

ترکیب مدل برگرفته از شبکه چشم و IHS وفقی بهبود یافته جهت تلفیق تصاویر سنجش از دور

میثم لطفی^۱ و حسن قاسمیان^۲

^۱تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، meysam.lotfi@modares.ac.ir

^۲تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، ghassemi@modares.ac.ir

مانند IKONOS و QuickBird قرار دارند، قادر به اخذ تصویر با وضوح مکانی و طیفی بالا نمی‌باشند. اما می‌توانند تصویر تک رنگ (*Pan* - *panchromatic*) با وضوح مکانی بالا و وضوح طیفی پایین و همچنین، تصویر چند طیفی (*MS*: *Multi-Spectral*) با وضوح طیفی بالا و وضوح مکانی پایین تولید کنند [۳]. در واقع می‌توان گفت، وضوح مکانی و طیفی رابطه عکس با یکدیگر دارند [۴].

در این مقاله، هدف از ادغام تصاویر بدست آوردن تصویری با وضوح طیفی و مکانی بالا می‌باشد. بطور کلی، روش‌های افزایش وضوح مکانی (*pansharpening*) به دو مرحله تقسیم می‌شوند: استخراج جزئیات مکانی و تزریق جزئیات مکانی. در مرحله اول، جزئیات مکانی مناسب از تصویر *Pan* که دارای وضوح مکانی بالا می‌باشد استخراج و در مرحله دوم، چگونگی تزریق جزئیات به تصویر *MS* مشخص می‌شود. در اغلب روش‌های ارائه شده، جزئیات مکانی از تفاضل تصویر *Pan* و تقریب پایین گذر آن بدست می‌آید [۵] و [۶].

روش‌های افزایش وضوح مکانی، به چهار خانواده اصلی تقسیم می‌شوند. روش‌های مبتنی بر جایگزینی که مولفه مکانی بدست آمده از تصویر *MS* با تصویر *Pan* جایگزین می‌شود، مانند روش‌های *IHS* [۷]، و (*PCA* (Principal Component Analysis) [۸]. روش‌های تلفیق مبتنی بر ترکیب ریاضی، مانند روش *Brovoy* [۹]. روش‌های تحلیل چند مقیاسی، مانند خانواده تبدیل موجک، کانتورلت [۲]، و اخیراً روش‌های مبتنی بر حسگری فشرده (*compressed sensing*) مطرح شده‌اند [۱۱].

روش‌های مبتنی بر *IHS*، معمولاً به دلیل محاسبات ساده، وضوح مکانی بالا و کارآمدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در روش ادغام *IHS*، تصویر از فضای *RGB* (Red-Green-Blue) به فضای *IHS* منتقل می‌شود. برای این انتقال، مدل‌های متعددی ارائه شده است که می‌توان به دو مدل *cylinder* [۱۱]، و *triangular* [۱۲]، اشاره کرد. در روش‌های ادغام مبتنی بر *IHS*، مؤلفه شدت روشنایی (*I*) بدست آمده از تبدیل *IHS* با تصویر *Pan* که دارای وضوح مکانی بالا می‌باشد، جایگزین می‌شود. اکنون با محاسبه تبدیل معکوس *IHS*، تصویر *MS* با وضوح مکانی بالا

چکیده- در این مقاله، ترکیب مدل برگرفته از شبکه چشم و روش *IHS* وفقی بهبود یافته جهت افزایش وضوح مکانی تصاویر چند طیفی (*MS*) ارائه خواهد شد. در روش وفقی بهبود یافته، برای کنترل مقدار و محل تزریق جزئیات مکانی، از لبه‌های تصویر *MS* و تصویر تک رنگ (*Pan*) استفاده می‌شود. در روش پیشنهادی، علاوه بر این، از ضرایب تخمین تصویر *Pan* توسط تصویر *MS* و مؤلفه شدت روشنایی مدل شبکه چشم نیز استفاده می‌شود. در نتیجه، با توجه به مقدار ضرایب تخمین، مقدار جزئیات تزریقی متناسب با هر باند خواهد بود. نتایج شبیه‌سازی برای تصاویر ماهواره‌های *SPOT*، *Landsat* و *IKONOS* نشان می‌دهد که روش ترکیبی، علاوه بر افزایش وضوح مکانی، در حفظ ویژگی‌های طیفی نیز کارآمدتر می‌باشد.

کلمات کلیدی- ادغام تصاویر، تصویر چند طیفی، افزایش وضوح مکانی، (*IHS* (intensity-hue-saturation) و *RIM* (*retina-inspired model*).

۱- مقدمه

به فرایند جمع‌آوری اطلاعات چند تصویر در تصویری واحد، تلفیق تصاویر گفته می‌شود. از تصویر بدست آمده، می‌توان در جهت بهبود دسته بندی، شناسایی و تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده کرد. غالباً، بیشتر روش‌های تلفیق در سطح پیکسل و پایین ترین سطح اطلاعات می‌باشند. برای ادغام در این سطح، لازم است تصاویر دارای ابعاد یکسان بوده و کاملاً هم مختصات شده باشند. این اطلاعات عموماً در حوزه مکان و طیف می‌باشند. وضوح طیفی به پهنای باند الکترومغناطیسی داده‌های اخذ شده توسط سنجنده و وضوح مکانی به طول واقعی از سطح شیئی (زمینی) که توسط یک پیکسل اخذ شده است گفته می‌شود [۱]. داشتن وضوح مکانی بالا، بیشتر در تشخیص و پی بردن به شکل و ساختار مؤلفه‌های موجود در تصویر کاربرد دارد. در مقابل، وضوح طیفی بالا برای تشخیص نوع و جنس اشیاء مناسب می‌باشد. نداشتن اطلاعات مناسب مکانی و طیفی بصورت همزمان، بیشتر ناشی از محدودیت‌های فناوری و سخت افزاری سنجنده‌ها می‌باشد [۲]. به همین دلیل، سنجنده‌هایی که در ماهواره‌های امروزی،

$$G(r; \sigma_c) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(\frac{-|r|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

که در آن $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ فاصله دو بعدی از مرکز فیلتر می‌باشد. معمولاً ضرایب α_c و α_s برابر یک انتخاب می‌شوند. نقش این دو فیلتر، مدل کردن سلول‌های مخروطی (*cone cell*) و افقی (*horizontal cell*) در شبکه چشم می‌باشد. با توجه به اینکه سنجنده‌های مخروطی به جزئیات حساس می‌باشند؛ نسبت به سلول‌های افقی دارای وضوح مکانی بالاتری هستند. در نتیجه، پهنای باند فیلتر سلول‌های افقی باریک تر از پهنای باند سلول‌های مخروطی می‌باشد [۲]. در حالت کلی، این دو فیلتر دارای واریانس‌های متفاوتی می‌باشند که نسبت آن‌ها بر اساس نسبت وضوح مکانی تصویر Pan و MS انتخاب می‌شود.

$$h_1(r) = \frac{\Delta_1^2}{2\pi} \exp\{-|r\Delta_1|^2\} - \frac{\Delta_2^2}{2\pi} \exp\{-|r\Delta_2|^2\} \quad (6)$$

که در آن Δ_1 و Δ_2 به ترتیب، اندازه پیکسل تصویر Pan و تصویر MS می‌باشند. کاربرد دیگر سلول‌های افقی در روش RIM، استخراج مشخصات طیفی تصویر MS است [۲]. به عبارتی، با استفاده از فیلتر پایین گذر گوسی، جزئیات مکانی تصویر MS کاهش پیدا می‌کند:

$$h_2(r) = \frac{\Delta_2^2}{2\pi} \exp\{-|r\Delta_2|^2\} \quad (7)$$

به این ترتیب، با جایگزین کردن جزئیات حذف شده با جزئیات استخراج شده در خروجی فیلتر تفاضل گوسی، تصویر MS نهایی بدست می‌آید. این فیلتر، یک مدل ساده از عملکرد سلول‌های bipolar در شبکه چشم است:

$$g(x, y) = h_1(x, y) * \text{Pan} + h_2(x, y) * \text{MS} \quad (8)$$

روش RIM، برخلاف روش IHS، اطلاعات طیفی را بیشتر حفظ می‌کند؛ اما محتوای اطلاعات مکانی آن کمتر است. در [۲]، روش ترکیبی RIM و IHS پیشنهاد شده است که از ویژگی هر دو روش بطور همزمان استفاده می‌کند. با این وجود، اعوجاج طیفی حاصل از روش IHS همچنان می‌تواند غالب باشد.

در مقالات، روش‌های مختلفی در جهت بهبود عملکرد IHS ارائه شده است که در ادامه دو روش (Adaptive IHS) [۱۳] و IAIHS (Improved Adaptive IHS) [۱]، را مورد بررسی قرار خواهیم داد.

۲- مروری بر روش IHS و فقی و بهبود یافته

همان طور که گفته شد، یکی از مشکلات روش‌های مبتنی بر IHS ایجاد اعوجاج در اطلاعات طیفی تصویر می‌باشد. این مشکل بیشتر از آنجائیکه می‌شود که اطلاعات مکانی استخراج شده از تفاضل تصویر تک

خواهیم داشت. در حالت کلی، تعداد باندهای تصویر MS بیشتر از سه باند می‌باشد، بعنوان مثال سه باند RGB و یک باند مادون قرمز. بنابراین، برای بدست آوردن مؤلفه I از رابطه (۱) استفاده می‌شود:

$$\mathbf{I} = \sum_{i=1}^N \alpha_i \mathbf{M}_i \quad (9)$$

که در آن \mathbf{M}_i باندهای تصویر چند طیفی می‌باشند. در این رابطه، مؤلفه شدت روشنایی بصورت ترکیب خطی از باندهای تصویر MS مدل می‌شود. در حالت تبدیل استاندارد، ضرایب α_i برابر $1/N$ انتخاب می‌شوند [۴]. در بیشتر موارد، هیستوگرام تصویر Pan و مؤلفه شدت روشنایی I متفاوت می‌باشند. بنابراین، در صورت جابجایی مؤلفه I با تصویر Pan، اعوجاج‌های ناخواسته طیفی در تصویر ادغام ایجاد خواهد شد. برای کاهش این موضوع، از تطبیق هیستوگرام استفاده می‌شود. یکی از روش‌های استاندارد برای تطبیق هیستوگرام، همسان کردن میانگین و واریانس تصویر Pan با میانگین و واریانس مؤلفه شدت روشنایی I است:

$$\mathbf{P}_{adj} = \frac{\sigma_I}{\sigma_P} (\mathbf{P} - \mu_P) + \mu_I \quad (10)$$

که در آن μ_P ، μ_I به ترتیب میانگین تصویر تک رنگ P و مؤلفه I و σ_P و σ_I به ترتیب انحراف معیار آن‌ها می‌باشند. همچنین، \mathbf{P}_{adj} تصویر تک رنگ تطبیق یافته می‌باشد که برای جایگزینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. باتوجه به اینکه مؤلفه I از ترکیب خطی باندهای تصویر MS بدست می‌آید، رابطه (۱)، بطور تقریبی حاوی اطلاعات مکانی تصویر Pan با جزئیات پایین می‌باشد. بنابراین، تنها جزئیاتی باید به تصویر MS منتقل شوند که در آن حضور ندارد. این جزئیات، با محاسبه تفاضل مؤلفه I و تصویر Pan قابل استخراج می‌باشند. در نتیجه، تصویر چند طیفی ادغام بصورت رابطه (۳) محاسبه خواهد شد:

$$\mathbf{F}_i = \mathbf{M}_i + (\mathbf{P}_{adj} - \mathbf{I}) \quad (11)$$

که در آن، \mathbf{F}_i باند نام تصویر ادغام می‌باشد. علاوه بر وضوح مکانی بالا، تصاویر بدست آمده از روش IHS دارای وضوح طیفی پایین بوده و عموماً دچار اعوجاج طیفی می‌شوند [۱۵]. در بیشتر موارد، این اعوجاج در نمایش RGB تصویر MS کاملاً قابل مشاهده با چشم می‌باشد.

از روش‌های دیگر ادغام تصاویر چند طیفی، مدل الهام گرفته از ساختار شبکه چشم انسان (RIM) می‌باشد [۱۴ و ۲]. در این روش، برای استخراج جزئیات تصویر از ایده تفاضل دو فیلتر گوسی (*Difference of Gaussian*) پایین گذر، که الهام گرفته از ساختار بینایی انسان می‌باشد، استفاده شده است، رابطه (۴).

$$\text{DoG} = \alpha_c G(r; \sigma_c) - \alpha_s G(r; \sigma_s) \quad (12)$$

صورت استفاده از آشکارساز نمایی، ماتریس ضرایب برای هر باند بصورت رابطه (۱۲) خواهد بود:

$$\mathbf{W}_{M_i} = \exp\left(-\frac{\lambda}{|\nabla \mathbf{M}_i|^4 + \varepsilon}\right) \quad (12)$$

استفاده تنها از رابطه (۱۲)، باعث هموارتر شدن تصویر ادغام می شود [۱]، که این موضوع به دلیل جزئیات مکانی پایین در تصاویر MS می باشد. با توجه به اینکه تصویر Pan دارای جزئیات بیشتری می باشد، یک انتخاب مناسب برای ماتریس ضرایب، بصورت ترکیب خطی از این دو ماتریس خواهد بود. که ایده اصلی روش IAIHS می باشد. بنابراین، ماتریس ضرایب \mathbf{W}_i بصورت رابطه (۱۳) انتخاب می شود:

$$\mathbf{W}_i = \frac{\mathbf{M}_i}{\mathbf{I}_s} (\beta \mathbf{W}_P + (1 - \beta) \mathbf{W}_{M_i}) \quad (13)$$

که در آن \mathbf{I}_s مؤلفه شدت روشنایی استاندارد و β عددی بین صفر و یک می باشد. با توجه به مقدار β ، می توان میزان جزئیات تریقی را کنترل کرد. همچنین، ماتریس تناسب $\mathbf{M}_i/\mathbf{I}_s$ برای حفظ نسبت تاثیر هر یک از باندها در ادغام و جلوگیری از اعوجاج طیفی اعمال می شود.

۳- روش پیشنهادی RIM-IAIHS

همان طور که گفته شد، مشکل عمده روش های مبتنی بر IHS، ایجاد اعوجاج طیفی، به دلیل تریق جزئیات اضافه در تصویر MS می باشد. از روش های مؤثر در کاهش این اعوجاج، تریق هوشمند جزئیات بر اساس اطلاعات مکانی باندهای MS است. همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود، عملکرد روش IHS در ساختار وقتی به مراتب بهتر شده است. با این وجود، نتایج در برخی از معیارهای ارزیابی طیفی همچنان نامناسب می باشد. در این مقاله، برای حفظ ویژگی های طیفی تصویر ادغام، از ترکیب روش RIM و IAIHS استفاده می کنیم.

روش وقتی بهبود یافته، با توجه به اینکه ماتریس ضرایب به دست آمده از باندهای تصویر چند طیفی (\mathbf{W}_{M_i}) بر اساس روش آشکارسازی لبه می باشد، قابل کنترل نیست. لذا، با استفاده از نتایج معادله (۹) که ضرایب آلفا برای باندهای مختلف متفاوت می باشد، قدرت ضرایب به دست آمده در رابطه (۱۳) بهینه نخواهد بود. این موضوع به این دلیل می باشد که نقش باندهای تصویر MS در تشکیل تقریب تصویر Pan لحاظ نشده است. در روش پیشنهادی، علاوه بر ضرایب ماتریسی [۱]، از ضریب قدرت شرکت هر یک از باندها در تشکیل مؤلفه \mathbf{I} نیز استفاده می کنیم. با توجه به اینکه ضرایب آلفای بدست آمده از رابطه (۹) بهینه می باشند، تریق جزئیات علاوه بر متناسب بودن با هر باند، بهینه نیز خواهد بود.

پیشنهاد دوم، استفاده از مؤلفه شدت روشنایی بدست آمده از روش RIM (IRIM)، بجای مؤلفه \mathbf{I} استاندارد برای نرمالیزه کردن باندهای طیفی

رنگ و چند طیفی دارای قدرت بالاتری می باشند. با توجه به اینکه در روش IHS ساده، جزئیات با ضرایب یکسانی برای همه پیکسل ها اعمال می شوند، در پیکسل هایی که نیاز به این جزئیات کمتر باشد، اعوجاج طیفی ایجاد خواهد شد. راه حل ساده برای کاهش این اعوجاج، تخمین مناسب (بهینه) مؤلفه \mathbf{I} در رابطه (۱) است؛ به گونه ای که تا حد ممکن به تصویر Pan نزدیک باشد [۱۳]. بنابراین، ضرایب α_i در رابطه (۱) باید به گونه ای انتخاب شوند که مسئله بهینه سازی زیر حداقل شود:

$$\min_{\alpha_1, \dots, \alpha_N} \left\| \mathbf{P} - \sum_{i=1}^N \alpha_i \mathbf{M}_i \right\|^2 \quad (9)$$

$$s.t. \quad \alpha_i \geq 0, \dots, \alpha_n \geq 0$$

البته، معادله (۹) زمانی می تواند به کمترین مقدار خود برسد که باندهای تصویر MS دارای هم پوشانی با پهنای باند تصویر Pan باشند [۱]. به این ترتیب، با محاسبه تفاضل مؤلفه \mathbf{I} و تصویر Pan، تنها اطلاعات مکانی از دست رفته یا تضعیف شده در باندهای MS تقویت خواهند شد. بنابراین، روش AIHS بصورت زیر قابل پیاده سازی می باشد:

$$\mathbf{F}_i = \mathbf{M}_i + \mathbf{W}_P (\mathbf{P}_{adj} - \mathbf{I}) \quad (10)$$

که در آن ماتریس وزن دهی جهت اعمال جزئیات می باشد. باتوجه به اینکه جزئیات در لبه های تصویر دارای قدرت بیشتری می باشند، ماتریس وزن دهی براساس لبه های تصویر Pan بدست می آید [۱۳]. به این ترتیب، تریق جزئیات تنها در لبه های تصویر که دارای اهمیت می باشند، انجام خواهد گرفت. برای استخراج لبه های تصویر، می توان از آشکارساز Canny [۱۵]، یا آشکارساز نمایی [۱۶] استفاده کرد. با توجه به عملکرد مناسب آشکارساز نمایی، در این مقاله از آن استفاده می کنیم.

$$\mathbf{W}_P = \exp\left(-\frac{\lambda}{|\nabla \mathbf{P}|^4 + \varepsilon}\right) \quad (11)$$

که در آن $\nabla \mathbf{P}$ گرادیان تصویر تک رنگ، λ پارامتر کنترل کننده همواری تصویر و قدرت لبه ها و ε یک مقدار کوچک برای صفر نشدن مخرج رابطه (۱۱) می باشد. در روش AIHS، ماتریس ضرایب \mathbf{W}_P از آن جهت اهمیت پیدا می کند که میزان و محل تریق جزئیات را مشخص می کند. ضرب کردن این ماتریس در همه باندها بطور یکسان، چندان منطقی به نظر نمی رسد. زیرا ممکن است، نیازی به ظاهر شدن لبه های تصویر Pan در هر یک از باندهای MS با قدرت مساوی نباشد [۱۷]. بنابراین، ماتریس ضرایب \mathbf{W}_P باید به گونه ای انتخاب شود که کمترین اضافات را داشته باشیم. با توجه به این توضیحات، داشتن ماتریس ضرایب مجزا برای هر باند، اجتناب ناپذیر به نظر می رسد. یک روش برای بدست آوردن ماتریس ضرایب مجزا برای هر باند، استفاده از اطلاعات مکانی آن باند می باشد. به این ترتیب، جزئیات اعمالی متناسب با لبه های هر باند خواهد بود. در

SPOT دارای تصویر تک رنگ با رزولوشن مکانی ۱۰ متر و ابعاد 504×504 پیکسل و ماهواره Landsat دارای تصویر MS با رزولوشن مکانی ۳۰ متر و ابعاد 168×168 می باشد. ماهواره IKONOS نیز دارای تصویر تک رنگ با وضوح مکانی ۱ متر و تصویر MS با وضوح مکانی ۴ متر می باشد. همانند [۱۳ و ۱۴]، ماتریس ضرایب ادغام برای $\lambda=10^{-9}$ و $\varepsilon=10^{-10}$ محاسبه می شوند. برای پیاده سازی روش ها، از نرم افزار MATLAB استفاده می کنیم.

نسبت وضوح مکانی تصویر تک رنگ به تصویر چند طیفی در ماهواره های SPOT و Landsat برابر ۳ می باشد. بنابراین، با اعمال فیلتر تخریب، وضوح مکانی و ابعاد تصویر تک رنگ و تصویر چند طیفی را به نسبت ۳ کاهش می دهیم. نتایج مقایسه کمی برای تصاویر ماهواره های Landsat و SPOT در جدول ۱ آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود، روش پیشنهادی در بیشتر موارد عملکرد بهتری داشته و تنها در معیار سنجش کیفیت مکانی Avg پایین تر از روش IHS قرار دارد.

شبیه سازی دوم بر روی تصاویر ماهواره IKONOS انجام شده است. همان طور که در جدول ۲ مشاهده می شود، روش پیشنهادی در بیشتر معیارهای ارزیابی دارای عملکرد بهتری است. این بهبود در سه معیار طیفی ERGAS، RASE و RMSE کاملاً واضح می باشد. نمایش RGB تصویر چند طیفی ماهواره IKONOS در شکل ۲ آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود، روش پیشنهادی علاوه بر افزایش وضوح مکانی، مشخصات طیفی را نیز به خوبی حفظ کرده است. بعنوان مثال، اعوجاج طیفی در ناحیه ای که مشخص شده است، برای روش پیشنهادی دارای مقدار کمتری می باشد.

۵- جمع بندی

تصاویر چند طیفی اخذ شده توسط ماهواره های سنجش از دور، علاوه بر وضوح طیفی بالا، وضوح مکانی مناسبی ندارند. ادغام تصاویر، یکی از ابزارهای پرکاربرد در بهبود وضوح مکانی تصاویر چند طیفی است. روش ادغام IHS، علاوه بر ایجاد تصویر با وضوح مکانی بالا، به دلیل کنترل نشدن مقدار جزئیات تزریقی دچار اعوجاج طیفی شدید می شود. برای حل این موضوع، از روش های وفقی استفاده می شود. در روش های وفقی، مقدار و محل تزریق جزئیات براساس لبه های تصویر مشخص می شود. اما برای جلوگیری از اعوجاج طیفی، مقدار جزئیات باید متناسب با هر باند باشد. در روش پیشنهادی، برای ایجاد تناسب از ضرایب تخمین تصویر تک رنگ از تصویر چند طیفی استفاده کردیم. همچنین، برای حفظ بیشتر اطلاعات طیفی، برای استخراج جزئیات از مزیت مدل RIM در حفظ ویژگی های طیفی استفاده کردیم. نتایج شبیه نشان می دهند که روش پیشنهادی، با حفظ بیشتر ویژگی های طیفی، وضوح مکانی بالاتری نسبت به روش های ذکر شده دارد.

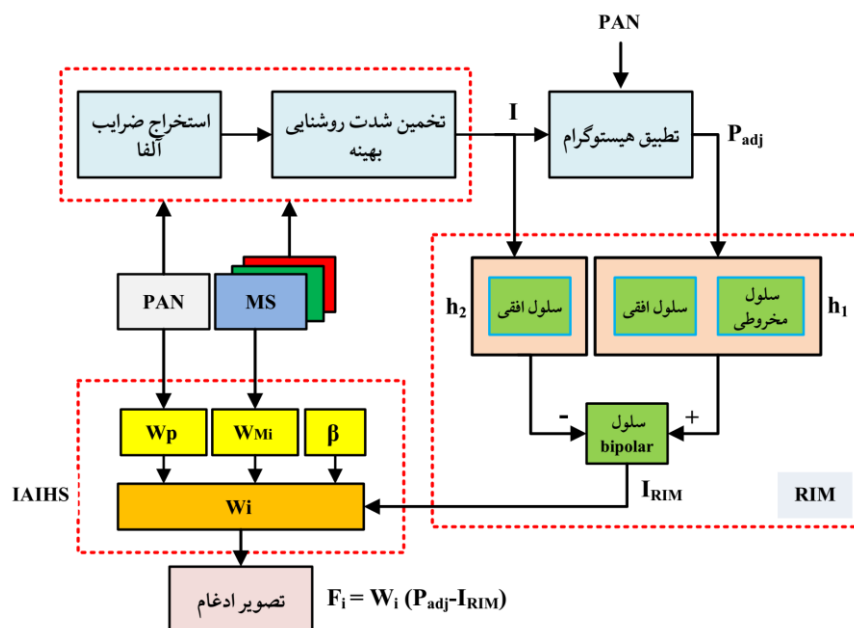
در رابطه (۱۳) می باشد. بنابراین، به دلیل اعوجاج طیفی پایین روش RIM نسبت به روش IHS [۲]، ماتریس تناسب، بهینه تر خواهد بود. به این ترتیب، رابطه (۱۳) را بصورت زیر بازنویسی می کنیم:

$$W_i = \frac{M_i}{I_{RIM}} (\beta W_p + \alpha_i (1 - \beta) W_m) \quad (14)$$

ساختار روش پیشنهادی در شکل ۱ آورده شده است. توجه شود که تصاویر Pan و MS، قبل از ورود به الگوریتم، ابتدا هم اندازه شده و سپس به بازه [۰، ۱] نرمالیزه می شوند. در روش پیشنهادی، ابتدا ضرایب آلفا و مؤلفه شدت روشنایی تخمین زده می شوند. در ادامه تطبیق هیستوگرام بین مؤلفه I و Pan انجام می گیرد. سپس تصویر تک رنگ P_{adj} و مؤلفه I در بلوک RIM پردازش شده و مؤلفه شدت روشنایی IRIM به دست می آید. در نهایت ماتریس ضرایب ادغام استخراج و تصویر ادغام بدست می آید.

۴- نتایج تجربی

برای مقایسه روش های ادغام تصاویر، می توان از ارزیابی کیفی (بصری) و کمی استفاده کرد. در ارزیابی کیفی، از نمایش RGB تصویر چند طیفی استفاده می شود. در این نوع ارزیابی، با مشاهده تصویر ادغام و مقایسه با تصویر چند طیفی مرجع، طبیعی بودن رنگ ها بررسی می شود [۱]. همچنین، میزان وضوح مکانی تصویر نیز قابل ارزیابی خواهد بود. در مقابل، روش های ارزیابی کمی، از یک معیار پیش تعریف شده برای مقایسه استفاده می کنند. بر اساس نوع معیار تعریف شده، روش های ارزیابی کمی به دو دسته متکی به تصویر مرجع و مستقل از آن تقسیم می شوند. براساس ساختار پیشنهادی Wald [۱۸]، معیارهای متکی بر مرجع، مانند Spectral Angle Mapper (SAM) [۱۹]، Root Mean Squared Error (RMSE)، Relative Average Spectral Error (RASE) [۲۰]، Universal Correlation Coefficient (CC) و Image Quality Index (Q-average) در مقیاسی که تخریب مکانی رخ داده است، سنجیده می شوند. به عبارتی، وضوح مکانی تصویر تک رنگ و تصویر چند طیفی مرجع، با عبور از یک فیلتر پایین گذر کاهش پیدا می کند. به این ترتیب، با اعمال روش های ادغام به تصاویر تخریب شده و مقایسه نتایج با تصویر چند طیفی مرجع، می توان عملکرد آن ها را مقایسه کرد. از معیارهای غیر متکی به تصویر مرجع، می توان به متوسط گرادیان (Avg) [۲۱] و روش Quality with No Reference (QNR) [۲۲] اشاره کرد. معیار Avg برای سنجش کیفیت وضوح مکانی تصویر ادغام استفاده می شود و هر چقدر مقدار آن بیشتر باشد نشان دهنده جزئیات بیشتر در تصویر نهایی است. معیار QNR دارای دو شاخص D_1 برای سنجش اعوجاج طیفی و D_2 برای سنجش اعوجاج مکانی می باشد. ایده اصلی QNR بر مبنای معیار Q-average است [۱]. در این مقاله، از تصاویر ماهواره های Landsat، SPOT و IKONOS استفاده می کنیم. ماهواره



شکل ۱: بلوک دیاگرام روش پیشنهادی ترکیب مدل RIM و IAIHS

جدول ۱: معیارهای ارزیابی طیفی و مکانی برای تصاویر ماهواره SPOT و Landsat

	SAM	ERGAS	RMSE	RASE	CC	Qavg	Avg
مقدار مرجع	۰	۰	۰	۰	۱	۱	-
IHS	۲/۳۱۹۶	۳/۸۵۰۸	۱۱/۲۶۳۱	۱۴/۳۸۸۲	۰/۷۷۸۸	۰/۷۳۵۸	۶/۹۳۱۹
RIM	۱/۸۳۸۲	۲/۵۴۴۸	۶/۹۲۵۶	۸/۸۴۷۶	۰/۸۹۵۶	۰/۷۴۴۰	۳/۵۳۹۵
RIM-IHS	۲/۳۲۲۴	۲/۷۴۴۳	۷/۴۹۵۱	۹/۵۷۴۸	۰/۹۰۵۸	۰/۷۴۱۱	۳/۰۱۸۳
AIHS	۱/۵۲۶۱	۲/۷۶۳۷	۷/۹۲۳۲	۱۰/۱۲۱۶	۰/۸۵۵۲	۰/۷۴۳۹	۵/۱۱۰۰
IAIHS	۱/۵۳۹۷	۲/۷۱۹۴	۸/۱۳۷۱	۱۰/۳۹۴۸	۰/۸۵۲۰	۰/۷۴۲۹	۵/۱۰۷۳
RIM-IAIHS	۱/۵۱۱۱	۲/۱۷۵۳	۶/۲۸۵۷	۸/۰۲۹۸	۰/۹۱۲۸	۰/۷۴۴۷	۶/۳۴۱۰

جدول ۲: معیارهای ارزیابی طیفی و مکانی برای تصاویر ماهواره IKONOS

	SAM	ERGAS	RMSE	RASE	CC	Qavg	Avg
مقدار مرجع	۰	۰	۰	۰	۱	۱	-
IHS	۶/۱۸۳۰	۹/۸۷۰۳	۴۶/۱۳۵۵	۳۹/۴۸۳۰	۰/۶۱۸۲	۰/۱۷۸۵	۲۴/۰۷۵۶
RIM	۵/۳۳۱۸	۷/۰۰۸۴	۳۲/۷۰۴۸	۲۷/۹۸۸۹	۰/۸۴۱۷	۰/۳۴۷۴	۱۰/۸۶۴۱
RIM-IHS	۵/۰۳۴۷	۷/۰۴۷۷	۳۲/۹۱۲۱	۲۸/۱۶۶۳	۰/۸۳۴۵	۰/۳۷۶۸	۱۰/۳۶۹۶
AIHS	۴/۹۲۶۰	۹/۳۲۳۳	۴۳/۴۸۶۷	۳۷/۲۱۶۲	۰/۶۶۳۱	۰/۳۸۶۳	۲۳/۹۵۹۶
IAIHS	۴/۹۸۵۸	۹/۳۰۰۵	۴۳/۳۸۲۰	۳۷/۱۲۶۶	۰/۶۶۶۸	۰/۳۵۸۹	۲۳/۸۱۶۸
RIM-IAIHS	۴/۴۰۷۷	۵/۹۶۵۴	۲۷/۳۸۳۵	۲۳/۴۳۵۰	۰/۸۸۲۷	۰/۳۹۴۷	۲۱/۶۹۸۷



شکل ۲: نمایش RGB تصویر MS مرجع و تصاویر ادغام برای ماهواره IKONOS: الف) تصویر MS مرجع با وضوح مکانی ۱۶ متر، ب) روش IHS، ج) روش RIM، د) روش RIM-IHS، ه) روش JAIHS، و) روش پیشنهادی.

- [12] Gonzalez and Woods, "Digital Image Processing", 3rd ED. Prentice Hall, 2008.
- [13] Sheida Rahmani, Melissa Strait, Daria Merkurjev and Michael Moeller, "An Adaptive IHS Pan-Sharpener Method", *IEEE, Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 7, no. 4, pp. 746–750, 2010.
- [14] Ghassemian, H., "A Retina Based Multi-resolution Image Fusion", *Proc. IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symp*, Sydney, NSW, vol. 2, pp. 709–711, 2001.
- [15] J. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. PAMI-8, no. 6, pp. 679–698, Nov. 1986.
- [16] P. Perona and J. Malik, "Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 12, no. 7, pp. 629–639, Jul. 1990.
- [17] C. Thomas, T. Ranchin, L. Wald, and J. Chanussot, "Synthesis of multispectral images to high spatial resolution: A critical review of fusion methods based on remote sensing physics," *IEEE Trans. Geosci. Remote. IEEE, Geoscience and Remote Sensing*, vol. 46, no. 5, pp. 1301–1312, 2008.
- [18] L. Wald, T. Ranchin, and M. Mangolini, "Fusion of satellite images of different spatial resolutions: Assessing the quality of resulting image," *Photogram. Eng. Remote Sens.*, vol. 63, no. 6, pp. 691–699, Jun. 1997.
- [19] A. Goetz, W. Boardman, and R. Yunas, "Discrimination among semi-arid landscape end members using the Spectral Angle Mapper (SAM) algorithm," in *Proc. Summaries 3rd Annu. JPL Airborne Geosci. Workshop*, pp. 147–149, 1992.
- [20] M. Choi and R. Kim, "Fusion of multispectral and panchromatic satellite images using the curvelet transforms," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 2, no. 2, pp. 136–140, Apr. 2005.
- [21] Z. Li, Zh. Jing, X. Yang, "Color transfer based remote sensing image fusion using non-separable wavelet frame transform", *Pattern Recognition Letters*, vol. 26, pp. 2006–2014, 2005.
- [22] L. Alparone, B. Aiazzi, S. Baronti, A. Garzelli, F. Nencini, and M. Selva, "Multispectral and panchromatic data fusion assessment without reference," *Photogram. Eng. Remote Sens.*, vol. 74, no. 2, pp. 193–200, Feb. 2008.

مراجع

- [1] Yee Leung, Junmin Liu and Jianshe Zhang "An Improved Adaptive Intensity–Hue–Saturation Method for the Fusion of Remote Sensing Images", *IEEE, Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 11, no. 5, pp. 985–989, 2013.
- [2] Sabalan Daneshvar and Hassan Ghassemian, "MRI and PET image fusion by combining IHS and retina-inspired models", *Elsevier, Information Fusion*, vol. 11 no. 2, pp. 114–123, 2010.
- [3] G. A. Shaw and H. K. Burke, "Spectral imaging for remote sensing," *Lincoln Lab. J.*, vol. 14, no. 1, pp. 3–28, 2003.
- [4] M. Choi, "A new intensity-hue-saturation fusion approach to image fusion with a tradeoff parameter," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 44, no. 6, pp. 1672–1682, Jun. 2006.
- [5] Hamid Reza Shahdoosti and Hassan Ghassemian, "Fusion of MS and PAN Images Preserving Spectral Quality", *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, vol. 12, no. 3, pp. 611–615, 2014.
- [6] S. Baronti, B. Aiazzi, M. Selva, A. Garzelli, and L. Alparone, "A theoretical analysis of the effects of aliasing and mis-registration on pansharpened imagery," *IEEE J. Sel. Topics signal Proces.*, vol. 5, no. 3, pp. 446–453, Jun. 2011.
- [7] T. Tu, S. Su, H. Shyn, and P. Huang, "A new look at IHS-like image fusion methods", *Inf. Fusion*, vol. 2, no. 3, pp. 177–186, Sep. 2001.
- [8] حمید رضا شاهدوستی و حسن قاسمیان «استفاده از تبدیل PCA مکانی جهت ادغام تصاویر چند طیفی و تک رنگ» دو فصل نامه علمی پژوهشی پردازش علائم و داده‌ها، شماره ۱ پیاپی ۱۹، ۱۳۹۲، صفحات ۶۹–۷۸.
- [9] A. Eshtehari and H. Ebadi, "Image Fusion of Landsat ETM+ and Spot Satellite Images Using IHS, Brovey and PCA", Tehran, Iran: Toosi Univ. Technol., 2008.
- [10] M. Ghahremani and H. Ghassemian, "Remote Sensing Image Fusion Using Ripplet Transform and Compressed Sensing", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 12, no. 3, pp. 502–506 March 2015.
- [11] Y. Zhang, G. Hong, "An IHS and wavelet integrated approach to improve pansharpening visual quality of natural color IKONOS and QuickBird images", *International Journal of Information Fusion*, vol. 6, no. 3, pp. 225–234, 2005.