

ارزیابی تلفیق تصاویر فراطیفی و تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا

علی اصغر تراهی^۱، سید محمد توکلی صبور^۲، سامان جواهری^۳

۱- استادیار سنجش از راه دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه خوارزمی تهران

۲- استادیار دانشکده جغرافیا، سنجش از راه دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه خوارزمی تهران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از راه دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه خوارزمی تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۹

چکیده:

مناطق شهری جهان دارای ویژگی های پیچیده فیزیکی - هندسی عناصر مختلف می باشند، که به سرعت در حال گسترشند. داشتن دانش دقیق از خصوصیات کاربری، تشخیص و شناسایی عوارض از ضروریات مدیریت برنامه ریزی سامان دهی بهینه نواحی شهری و محیط زیست می باشد. تلفیق تصاویر فراطیفی و تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا می تواند کمک موثری به شناسایی، استخراج و تولید نقشه از عناصر سازنده یک محیط شهری را فراهم نماید. هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی تلفیق در تصاویر فراطیفی و تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا می باشد. در این راستا داده فراطیفی مربوط به سنجنده هایپریون، در ابتدا از لحاظ باندهای غیر قابل استفاده و نوارهای بد قائم تصحیح شد. سپس از ماژول *FLAASH* جهت تصحیح اتمسفری این داده استفاده شد. در ادامه تصویر هایپریون با باند پانکروماتیک سنجنده *ALI* تصحیح هندسی شده و با استفاده از عملیات نمونه برداری مجدد به پیکسل سائز ۱۰ متر تبدیل شد. نهایتا با استفاده از الگوریتم های گرام اشمیت و *Pc Spectral* و *IHS* با تصویر *ALI* تلفیق شد. سپس با استفاده از باند پانکروماتیک تصویر *Orb View* دوباره تصحیح هندسی و نمونه برداری مجدد شده و به پیکسل سائز ۱,۵ متر تبدیل شد. در نهایت دوباره با روش های ذکر شده عملیات تلفیق با باند پانکروماتیک *Orb View* انجام شد، نتایج تلفیق نشان داد روش گرام اشمیت بهترین عملکرد را از نظر طیفی و مکانی داشت.

واژگان کلیدی: تصاویر فراطیفی، تلفیق تصاویر، تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی بالا، ماژول *FLAASH*

سنجش از دور^۱ می تواند تحت عنوان هنر بدست آوردن اطلاعات فیزیکی (تشخیص، مشاهده، شناخت) بدون تماس مستقیم با شیء با استفاده از سنسور تعریف شود. واژه سنجش از دور اولین بار در ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۵۰ توسط آقای *Evelyn Pruitt* از اداره تحقیقات نیروی دریایی آمریکا به کار رفت. هدف از سنجش از راه دور استخراج اطلاعات در مورد ساختار و محتوای سطح زمین، به وسیله پایش و تفسیر اندازه گیری های طیفی بدست آمده از یک مکان دور می باشد (*Hassan Ghassemian, 2016, 75-89*). در این میان سنجش از راه دوری فراطیفی یک تکنولوژی جدید سنجش از دوری است، که ترکیبی از قدرت تفکیک طیفی بالا و تصویر فضایی دو بعدی می باشد. تصاویر فراطیفی^۲ توسط سیستم های تصویربرداری طیفی اخذ می شود و برخلاف تصاویر رنگی و چندطیفی^۳ که تنها به تصویربرداری در چند باند محدود می پردازند، در سیستم تصویربرداری فراطیفی، صدها تصویر هم مرجع شده در هر لحظه عکسبرداری تولید و ذخیره می شود. داده های فراطیفی به طور گسترده ای برای صحت طبقه بندی های زمینی و شناسایی اهداف مورد استفاده قرار میگیرند (*Da LIU, Jianxun LI, 2018, 795-805*). وجود تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا منجر به افزایش کاربرد سنجش از دور در زمینه های مختلف شده است، با استفاده از این داده ها می توان نواحی خاصی را مورد بررسی قرار داده و برخی عوامل مورد نیاز را پیش بینی کرد و در نهایت قادر به تولید نقشه هایی با جزئیات بیشتر و به روز خواهیم بود (رقیه زلیکانی، ۱۳۹۲). تصاویر فراطیفی با وجود اطلاعات طیفی فراوان از قدرت تفکیک مکانی کمتری نسبت به تصاویر چندطیفی یا پانکروماتیک برخوردار می باشند. بنابراین تلفیق تصویر فراطیفی با تصاویر چندطیفی یا پانکروماتیک میتواند مضمون اطلاعات را بهبود بخشد (ربابه صادقی چهارده، ۱۳۹۲). از این جهت در بیشتر مواقع، لازم است تا به منظور یک کاربرد خاص و یا پایش پدیده های گوناگون، اطلاعات و داده های سنجنده های مختلف را به منظور استفاده از مزیت های تمامی آن ها مورد استفاده قرار داد. به عبارتی دیگر، داده ها و تصاویر اخذ شده توسط سنجنده های مختلف با یکدیگر به نحوی تلفیق شوند و داده و یا تصاویر جدید، دارای خصوصیات و ویژگیهای تمامی تصاویر و یا داده های اولیه باشد. به این نحو از تلفیق تصاویر (داده) به اصطلاح ادغام (*Fusion*) می گویند (علی رخش ماهپور و روزبه شاد، ۱۳۹۴، ۱۸۴-۱۸۶). به طور طبیعی، برای ترکیب کردن دو نوع مختلف از فرمولاسیون و به دست آوردن یک تصویر جدید با هر دو مشخصات اطلاعات ایده آل طیفی و مکانی یک کار مهم و مفید است (*Zhenyu An, Zhenwei Shi, 2014, 3150-3158*). قدرت تفکیک طیفی بالا می تواند باعث تمایز بین سطوح مختلف زمین را به وسیله ترکیبات مواد متفاوت با مشخصه طیفی شود (*Hassan Kousha, Hassan Ghassemian, 2011, 2887-2892*).

^۱Remote sensing^۲Hyper spectral^۳Multi spectral

قدرت تفکیک یکی از مهم ترین ویژگی های یک سامانه سنجش ازدور است که توانایی یک سنجنده را در بیان جزئیات داده های مکانی تعیین می کند و به اندازه کوچک ترین پدیده قابل تعیین برمی گردد. اصلی ترین ویژگی های قدرت تفکیک سامانه های تصویربرداری می توانند به قدرت تفکیک مکانی، قدرت تفکیک طیفی، قدرت تفکیک رادیومتری و قدرت تفکیک زمانی طبقه بندی شوند.

قدرت تفکیک مکانی: منظور از قدرت تفکیک مکانی اندازه کوچکترین شیئی ثابتی که می تواند روی زمین وجود داشته باشد. در تصاویر رقومی قدرت تفکیک به وسیله پیکسل سایز محدود می شود. اندازه کوچکترین شی ثابت نباید کوچکتر از اندازه پیکسل سایز باشد. ذاتا وضوح یک سیستم تصویربرداری در درجه اول توسط میدان دید لحظه تعیین می شود. یک اندازه از سطح زمین که در لحظه توسط عنصر آشکارساز در یک زمان و لحظه معین به وسیله سنجنده مشاهده می شود که در نهایت قدرت تفکیک مکانی را مشخص می کند (Dr. Abdulrahman K. Ali, 2011).

قدرت تفکیک رادیومتری: قدرت تفکیک رادیومتری به کوچکترین تغییر در میزان شدت تصویر اشاره می کند که، می تواند توسط سیستم سنجش شناسایی شود. که هرچه درجات خاکستری یا سطوح رقومی تصویر بیشتر باشد وضوح تصویر بیشتر می شود. قدرت رادیومتری سیستم بستگی به نسبت سگنال به نویز آشکارساز دارد. در تصاویر رقومی قدرت تفکیک رادیومتری محدود میشود به وسیله تعدادی سطوح تدریجی گسسته که برای رقومی کردن شدت داده های پیوسته استفاده می شود. (Dr. Abdulrahman K. Ali, 2011).

قدرت تفکیک طیفی: قدرت تفکیک طیفی سیستم سنجنده دارای تعداد و عرض نوارهای باریک طیفی می باشد که، به طیف بازتاب های مختلف از پدیده های زمینی حساس بوده که همین توانایی باعث تشخیص پدیده های مختلف با استفاده از طول موج های آن ها می شود. ساده ترین شکل از قدرت تفکیک طیفی دارای یک باند طیفی است که نور مرئی را دریافت می کند (Sanderson, 2010).

قدرت تفکیک زمانی: منظور از قدرت تفکیک زمانی یک اندازه از چرخه تکرار و فرکانس های همراه با بازدید مجدد سنجنده از قسمت های مختلف سطح زمین می باشد. به عبارتی سنجنده ها در بازه های زمانی مختلف کار سنجش را انجام می دهند. به طوریکه همین توانایی باعث می شود که سنجنده در فواصل مختلف زمانی تصویربرداری کند (Sanderson, 2010).

تکنیک های موجود در تلفیق تصاویر اساسا در سه سطح پردازش صورت می گیرند:

تلفیق در سطح پیکسل: در تلفیق در سطح پیکسل محاسبات مستقیماً روی پیکسل ها صورت می گیرد. خروجی این فرایند تصویری است که برای اهداف انسان یا ماشین به کار می رود و در مراحل بعدی تلفیق در تصویر یعنی تلفیق در سطح ویژگی و تصمیم و همچنین پردازش تصویر همانند بخش بندی تصویر و استخراج ویژگی و شناسایی اشیاء می تواند مفید و سودمند باشد (ناصر مهتابی گوجگی و همکاران، ۱۳۹۴).

تلفیق در سطح عارضه: در این سطح از تلفیق ابتدا اهداف مورد نظر در منابع داده با استفاده از روشهای قطعه بندی استخراج می شوند. سپس با استفاده از خصوصیات که خاص عوارض معین هستند از قبیل شکل و همسایگی اهداف مشابه از چند منبع تعیین شده و در نهایت با استفاده از روشهای آماری یا شبکه های عصبی تلفیق انجام میگردد (ربابه صادقی چهارده، ۱۳۹۲).

تلفیق در سطح تصمیم گیری: در این سطح از تلفیق تصاویر ورودی به صورت جداگانه پردازش شده و اطلاعات استخراج می شوند. سپس از قواعد تصمیم گیری جهت ترکیب این اطلاعات و دستیابی به تفسیر مشترک از عوارض مشاهده شده استفاده می شود (Vaibhav R, et al, 2015, 22-32). از جمله تحقیقاتی که در زمینه تلفیق تصاویر صورت گرفته میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

Dobhal از تکنیک های *PCT*، *GST* و *CN* در تلفیق داده های چند طیفی (تصویر *IKONOS*) و ابر طیفی استفاده کرد و تصاویر تلفیق شده را از نظر بهبود وضوح مکانی و طیفی مورد ارزیابی قرارداد. در واقع تفکیک پذیری بهتری از کلاس ها را بعد از تلفیق داده ها بدست آورد. در انتخاب مناسب ترین الگوریتم در ارزیابی مکانی، هر سه الگوریتم نتایج قابل مقایسه ای ارائه دادند. نتایج طبقه بندی روی تصاویر تلفیق شده *GST* و *PCT* اختلاف زیادی باهم ندارند ولی نتایج طبقه بندی انجام شده روی تصویر تلفیق شده با استفاده از الگوریتم *CN* زیاد خوب نبود.

Pande و همکارانش در سال 2009 تلفیق تصاویر هایپریون و چندطیفی *IKONOS* را با استفاده از سه الگوریتم تبدیل نرمالایز رنگی، *PCI* و گرام اشمیت بررسی نمودند.

در تحقیقی توسط *Francis X.J* و همکاران (۲۰۰۳) به تلفیق تصاویر مادیس با تصویر موزایک لند کاور لندست *TM* برای نظارت و پایش زمین های کشاورزی منطقه *Krishna* در مقیاس جهانی پرداختند. آن ها از روش های *HSI* و *PCA* برای تلفیق تصاویر استفاده کردند، سپس با استفاده از مقایسه طبقه بندی تصویر تلفیق شده و تصویر طبقه بندی شده همان منطقه از بازه زمانی پیشین به اعتبار سنجی روش تلفیق پرداختند، که صحت طبقه بندی تصویر فیوژن شده را نشان می دهد. نتایج تحقیق نشان داد که تصویر فیوژن شده مادیس ضمن حفظ قدرت تفکیک طیفی خود قدرت مکانی نیز بهبود یافته است.

Gomez و همکارانش در سال 2001 از مویک جهت تلفیق تصویر فراطیفی و چندطیفی شبیه سازی شده استفاده نمودند. تلفیق تصویر بین دو سطح طیفی تصویر فراطیفی و یکی از باندهای تصویر چندطیفی انجام گردید.

Darvishi و همکارانش در سال ۲۰۰۵ تلفیق دو مجموعه داده فراطیفی هایپریون / چند طیفی *QuickBird* و هایپریون / پانکروماتیک *Spot* را با دو الگوریتم گرام اشمیت و تبدیل مؤلفه اصلی بررسی نمودند. دو مجموعه داده نسبت قدرت تفکیک مکانی متفاوتی دارند و تفسیر بصری تصاویر نشان داد که تلفیق تصویر هایپریون / چند طیفی *QuickBird* منجر به ظهور عوارض طیفی شده و کیفیت طیفی نتایج تلفیق با افزایش نسبت قدرت تفکیک مکانی

کاهش یافته است. همچنین تأثیر نسبت قدرت تفکیک مکانی بر روی کیفیت مکانی تصاویر تلفیق شده مورد ارزیابی قرار نگرفته است و در ارزیابی طیفی نتایج هم تنها به بررسی عملکرد الگوریتم های مورد استفاده پرداخته شده است. *Mir.Masoud Kheirkhah Zarkesh* و همکارانش در سال ۲۰۱۷ به تلفیق تصاویر لندست ۸ و اسپات پرداختند. آن ها از شش الگوریتم *HPF*^۴، *IHS*، *HPF*، *Brovey*، *SFIM*^۵، *PCA* و *SFIM* در سطح پیکسل استفاده کردند. در ادامه برای ارزیابی کیفیت تلفیق تصاویر از شاخص های *mean, standard deviation, average*، *gradient, information entropy* و *correlation coefficient* استفاده کردند. نتایج تلفیق نشان داد که دو الگوریتم *Brovey* و *SFIM* در حفظ اطلاعات طیفی بهترین و الگوریتم *PCA* بدترین عملکرد را داشته اند. *Yifan* و همکارش در سال ۲۰۰۷ از تبدیل موجک سه بعدی برای تلفیق داده فرایطیفی و چندطیفی استفاده نمودند. نتایج تلفیق نشان دهنده کیفیت بالاتر تصاویر تلفیق شده با استفاده از روش پیشنهادی می باشد اما زمان پردازش و پیچیدگی الگوریتم از ضعفهای این روش بشمار میروند.

مجید هارونی و محسن کریمی در سال ۱۳۹۳ در تحقیقی به تلفیق تصاویر ماهواره لندست پرداختند که برای ارزیابی نتایج کمی تلفیق از شاخص های *Correlation Coefficient*، نسبت پیک سگنال به نویز *PANR*، انترپی، میانگین گرادیان و فرکانس مکانی استفاده کردند. آن ها اظهار داشتند که، روش های مبتنی بر تبدیل موجک گسسته^۶ و روش های مبتنی بر تبدیل پرده، رنگ، اشباع *Intensity Hue Saturation* بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. یک روش جدید ادغام تصویر مبتنی بر ترکیب روش های *HIS* و *DWT* ارائه گردید که معایبی همچون اعوجاج رنگی در روش مبتنی بر *HIS* و عدم پیوستگی مکانی در ویژگی های خطی در روش مبتنی بر *DWT* را برطرف کرده است و کیفیت ظاهری تصویر را هم نسبت به روش های ذکر شده بهبود بهتری داد.

مواد و روش ها

در این بخش به منطقه مورد مطالعه، داده های استفاده شده و روش های پیاده سازی شده پرداخته می شود.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه معروف به دوکوه نام منطقه و پادگانی است، در ۴ کیلومتری شمال غربی شهر اندیمشک و ۱۶۰ کیلومتری شهر اهواز در استان خوزستان و در مجاورت جاده اندیمشک به خرم آباد و شهرک دوکوه در شرق جاده و پادگان دوکوه در غرب جاده واقع شده است. این پادگان از شمال و غرب به رودخانهی فصلی بالارود منتهی می شود و بخش جنوبی آن نیز با عوارض مصنوعی محدود شده است. این منطقه به علت وجود دو ارتفاع ۳۱۶ و

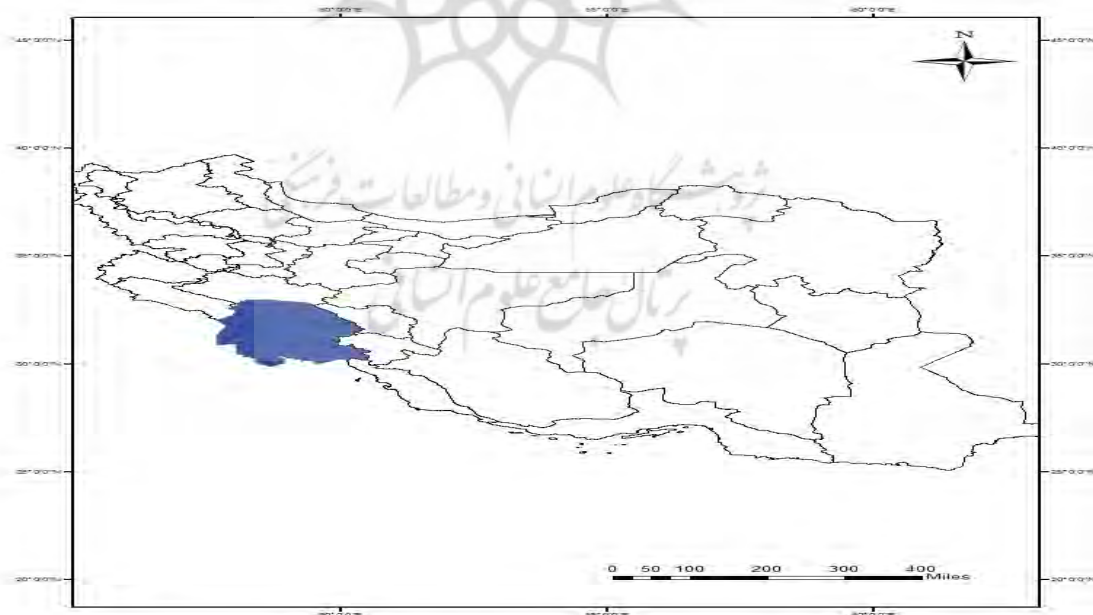
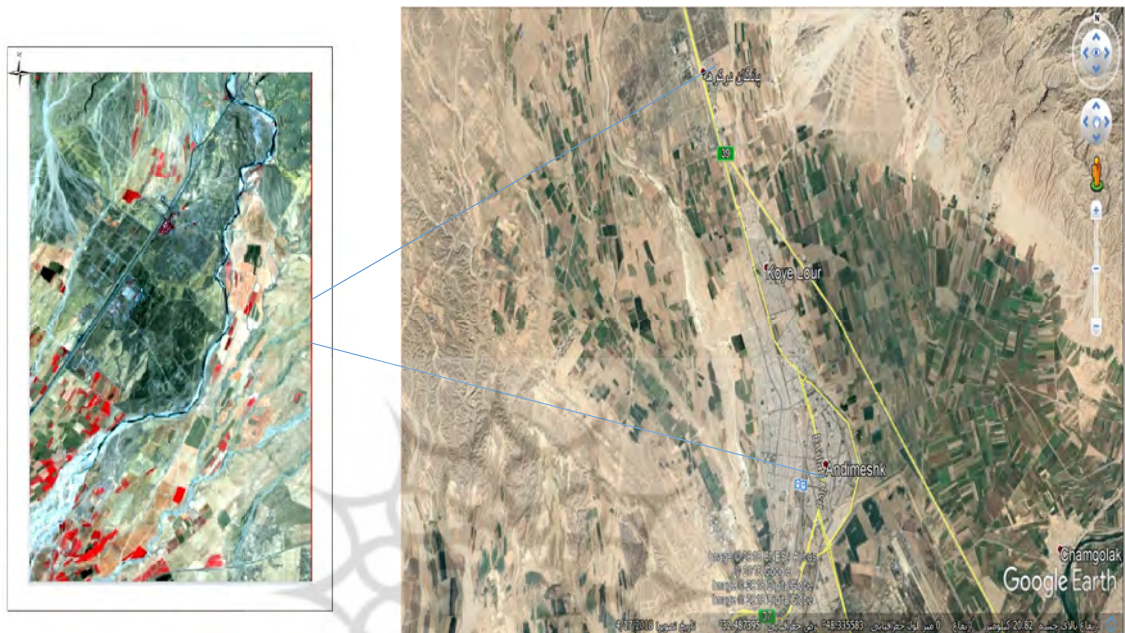
^۴ High Pass Frequency

^۵ Smoothing Filter-based Intensity Modulation

^۶ Average Gradient

^۷ Discrete Wavelet Transform

۲۸۸ متری در کنار هم که مانند دو کوه دوقولو در این منطقه مسطح خود نمایی می‌کنند، دوکوهه نام گرفته است. مساحت این پادگان با حواشی آن ۱۵ کیلومتر مربع می‌باشد که وسعت بخش اصلی آن کمتر از پنج کیلومتر مربع است. بخش اصلی پادگان که شامل ساختمان‌های گردان‌ها، ساختمان‌های اداری، دژبانی و انبار و ادوات و همچنین زمین صحرگاه است، در کنار جاده و ایستگاه راه‌آهن موقت دوکوهه قرار دارد. موقعیت جغرافیایی آن ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه و ۲۶ ثانیه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه و ۲۶ ثانیه عرض شمالی می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت شماتیک منطقه مورد مطالعه

داده های مورد استفاده

داده های مورد استفاده در این تحقیق شامل تصویر فراطیفی سنجنده هایپریون^۱ از سری ماهواره EO-1 مربوط به ژوئن سال ۲۰۰۳ با ۲۴۲ بانده طیفی و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و سطح Level IR، تصویر مربوط به سنجنده ALI^۲ از سری ماهواره EO-1 مربوط به تاریخ ژوئن سال ۲۰۰۳ با ۱۰ بانده طیفی که بانده یک آن بانده پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر و سطح LEVEL IGst^۳ ژئورفرنس شده و تصویر مربوط به سنجنده Orb View3 در تاریخ ۲۰۰۳ با ۵ بانده طیفی که بانده ۵ آن بانده پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۱ متر است اخذ گردید.

جدول ۱. مشخصات داده های مورد استفاده تحقیق

نام ماهواره	سنجنده	محدوده طیفی (میکرومتر)	تاریخ اخذ	پیکسل سایز
EO-1	Hyperion	۰/۴-۲/۵	۱۰ ژوئن ۲۰۰۳	۳۰۰
EO-1	ALI	۰/۴-۰/۶۹	۱۰ ژوئن ۲۰۰۳	۱۰۰
Orb View3	Orb View	۰/۴۵-۰/۹۰	۱۰ اکتبر ۲۰۰۳	۱۰

پیش پردازش تصاویر ماهواره ای

از جمله پیش پردازش های لازم داده هایپریون شامل: حذف بانده های غیر قابل استفاده، حذف نوارهای بد قائم در تصویر، تصحیح اتمسفری داده هایپریون، تصحیح اتمسفری داده های ALI و Orb View، تصحیح هندسی^۴ تصویر هایپریون با بانده پانکروماتیک تصویر ALI و Orb View و عملیات نمونه برداری مجدد روی تصویر تصحیح شده هندسی می باشد.

اشعه خورشیدی منعکس شده از سطح زمین قبل از رسیدن به سنجنده در مسیرش بایستی از لایه میانی اتمسفر عبور کند، که در این میان بخار آب، ذرات معلق و دیگر گازهای موجود در جو زمین، میزان انرژی منعکس شده از پدیده های سطح زمین را تحت تأثیر قرار می دهند. از این رو، اطلاعات بدست آمده بیان کننده ی ویژگیهای سطح زمین و همچنین اتمسفر می باشد. به منظور بازیابی بازتابندگی و بررسی خصوصیات بازتابندگی سطح، مؤلفه های

^۱ Hyperion Sensor

^۲ Earth Observation-1

^۳ Advanced Land Imager

^۴ geometric correction

^۵ resampling

اتمسفیری باید کاهش یا حذف شوند. این همان تصحیح اتمسفیری^۱ است که روی داده های هایپرپیون اعمال می شود (Hanane Hadjit et al, 2013, 1219–1235). تصحیح اتمسفیری تصویر هایپرپیون در نرم افزار ENVI با استفاده از ماژول FLAASH^۲ انجام شد. خطاهای اتمسفیری طول موج های مرئی، مادون قرمز، مادون قرمز کوتاه را تصحیح می کند. پارامترهای مختلفی که برای اعمال FLAASH روی تصاویر Hyperion مورد نیاز می باشد از فایل فراداده همراه تصویر بدست می آید. تاریخ پرواز و زمان اخذ تصویر در فایل Header موجود است. بعد از اعمال FLAASH، ابهام و مه گرفتگی در تصویر کاهش یافته و عوارض موجود در تصویر واضح تر شده و تصویر بهتر به نظر می رسد (S. AdlerGolderi et al, 2002). در ادامه با استفاده از الگوریتم Flat Field دو تصویر ALI و Orb View تصحیح اتمسفیری شدند.

یکی از گام های اصلی در فرآیند تلفیق، تطابق دو مجموعه داده است، که در نتیجه نهایی تلفیق تأثیرگذار می باشد. تصحیح هندسی، به معنی جابه جا کردن موقعیت پیکسلهای تصویر است تا آنها نسبت به هم در موقعیت مناسبی قرار گیرند و تصویر با زمین منطبق گردد. در نهایت باید یک سیستم مختصات زمینی به تصویر تصحیح شده اعمال شود (Chintan P. Dave et al, 2015, 24-27). در این تحقیق ابتدا تصویر هایپرپیون و تصویر ALI با استفاده از عملیات نمونه برداری مجدد به روش نزدیکترین همسایه^۳ با ۳۱ نقطه کنترل به صورت پیکسل هایی با اندازه ۱۰*۱۰ متر تبدیل شد. عملیات زمین مرجع کردن این دو مجموعه داده با خطای RMSE 0.439 انجام گردید. در قسمت دوم تلفیق تصویر هایپرپیون با تصویر OrbView با استفاده از عملیات نمونه برداری مجدد به روش نزدیکترین همسایه با ۱۷ نقطه کنترل به صورت پیکسل هایی با اندازه ۱,۵*۱,۵ متر تبدیل شد. عملیات زمین مرجع کردن این دو مجموعه داده با خطای RMSE 0.525 انجام گردید.

یکی از فرایندهایی که بعد از تصحیح هندسی انجام می شود عملیات نمونه برداری مجدد روی تصویر می باشد. در فرآیند نمونه برداری مجدد، عملیات درون یابی و نمونه برداری با یکدیگر ترکیب می شوند و بنابراین تصویر فقط برای آن دسته از پیکسل هایی که نیاز به پیش بینی دارند، درون یابی می شود. در تصحیح هندسی اندازه پیکسل نیز تغییر می کند ولی برای اطمینان بیشتر تصویر را به یکی از روش های نمونه برداری مجدد دوباره از لحاظ پیکسل سائز بررسی می کنند (Heather Studley & Keith T. Weber, 2010, 185-196). در این جا تصاویر تصحیح هندسی شده هر دو مرحله تصحیح هندسی باندازه پیکسل ۱۰ متر و ۱,۵ متر دوباره بر اساس روش نزدیک ترین همسایه نمونه برداری مجدد شدند.

بعد از اینکه مراحل پیش پردازش تصاویر هایپرپیون، ALI و Orb View³ به اتمام رسید عملیات تلفیق تصاویر شروع می شود. با توجه به اینکه هدف نهایی تلفیق در این تحقیق رسیدن قدرت تفکیک مکانی یا پیکسل سائز به

^۱Atmospheric correction

^۲ Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes

^۳Nearest neighbor

اندازه ۱,۵*۱,۵ متر می باشد، و براساس اینکه رسیدن پیکسل سایز هایپریون از ۳۰ متر به ۱,۵ متر باعث اعوجاج طیفی و عدم انطباق پیکسل های دو تصویر می شود، فرایند تلفیق دو مرحله ای خواهد شد. در مرحله اول تصویر هایپریون و *ALI* تلفیق شده تا پیکسل سایز آن ۱۰*۱۰ متر شده و سپس در مرحله دوم، با باند پانکروماتیک تصویر *Orb View3* تلفیق خواهد شد. برای پیش پردازش داده های هایپریون و پیاده سازی الگوریتم های تلفیق از نرم افزار *ENVI 5.3* و برای ارزیابی روش های تلفیق از نرم افزار *MATLAB 2018* استفاده شد.

تلفیق تصاویر

در این مرحله الگوریتم های تلفیق و نتایج تلفیق تشریح خواهد شد.

الگوریتم گرام اشمیت^۹

روش گرام اشمیت یک روش متعامد از روش های قدرتمند *pan-sharpening* بوده که مجموعه ای از متغیرهای ناهمبسته و متعامد را از یک مجموعه متغیرهای همبسته و متعامد تولید می کند. ارجحیت این تبدیل نسبت به روش *IHS* اینست که محدودیت تعداد باند وجود ندارد و همه باندهای تصویر فراطیفی در تبدیل شرکت داده می شوند (*R. J. Bhiwan, Vaibhav R, 2015*). روش اعمال این تبدیل به صورت :

- شبیه سازی باند پانکروماتیک از مجموعه داده باندهای تصویر فراطیفی و چند طیفی.
- اعمال تبدیل گرام اشمیت روی باند شبیه سازی شده ی پانکروماتیک و باندهای طیفی، با استفاده از باند پانکروماتیک شبیه سازی شده بعنوان باند اول.
- جایگزینی باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا توسط اولین باند تبدیل گرام اشمیت.
- اعمال تبدیل معکوس روش گرام اشمیت روی باندهای با قدرت تفکیک مکانی بالا

الگوریتم *Pc Spectral Sharpening*

تبدیل *PC* یک تکنیک آماری است که، تعدادی از متغیرهای وابسته را به متغیرهای ناهمبسته خطی که ترکیبی از متغیرهای اولیه می باشد تبدیل می کند. هدف اصلی این تبدیل در درجه اول کاهش ابعاد داده ها و در درجه دوم حفظ تغییرات اعمال شده در ادامه پردازش می باشد. در این تبدیل مولفه اصلی بیشترین تغییر را داشته و با باند پانکروماتیک انطباق زیادی خواهد داشت. روش کار بدین صورت خواهد بود که، باند پانکروماتیک جایگزین اولین مولفه اصلی *PC* شده در ادامه تبدیل معکوس *PC* اعمال شده و در نهایت اندازه پیکسل تصویر چند طیفی یا فراطیفی با تصویر پانکروماتیک به وسیله یکی از روش های نمونه برداری مجدد هم مقیاس می شوند (*Sascha Klonus, Manfred Ehlers, 2009, 1409-1416*).

^۹Gram scmidt sharpening

الگوریتم IHS^1

یکی از تکنیک های کلاسیک تلفیق تصاویر تبدیل IHS می باشد، این تبدیل یک روش تلفیق تصاویر چند طیفی با قدرت تفکیک طیفی بالا و تصاویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی بالا در سنجش از دور است. در این تبدیل سه باند اصلی تصویر سنجنده چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی پایین به فضای IHS تبدیل می شوند که، در این تبدیل مولفه I شدت روشنایی، مولفه H میزان رنگ متناسب با طول موج روشنایی و S اشباع میزان خلوص رنگ است. در این تبدیل I (متوسط مکانی متناظر با ناهمواری های سطح زمین) و H و S (اطلاعات طیفی بازتاب) تصویر RGB از هم دیگر جدا می شوند. و اطلاعات مکانی با تفکیک بالا، به جای اطلاعات مکانی I جایگزین می شود. لازم به ذکر است که پیش تر اجزای H و S با دقت مکانی PAN از نظر نمونه برداری یکسان می شوند و متعاقبا عملیات تبدیل عکس انجام می شود (Reham Gharbia et al, 2010).

حالت اول تبدیل از فضای RGB به فضای IHS :

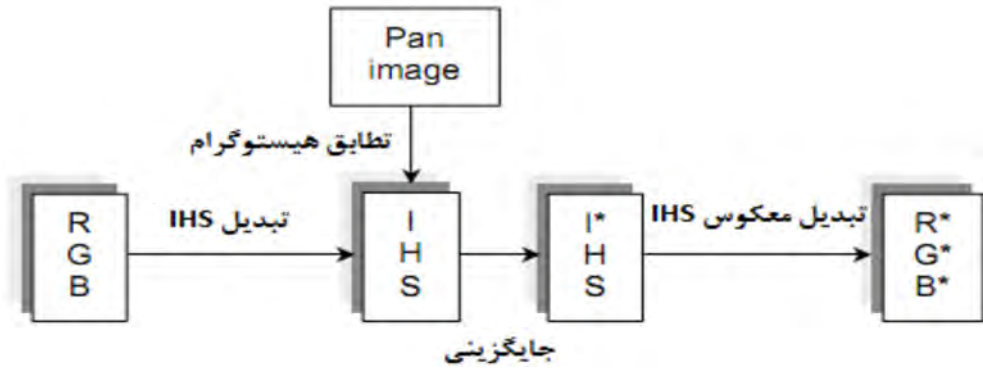
$$S = \sqrt{(V_1 + V_2)^2} \quad \text{معادله ۳:} \quad H = \tan^{-1} \frac{V_1}{V_2} \quad \text{معادله ۲:} \quad \begin{pmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{-2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad \text{معادله ۱:}$$

در این معادله ها V_1 و V_2 متغیرهای وابسته بین دو فضا هستند.

حالت دوم بازگشت از فضای IHS به فضای RGB :

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{-1}{2} \\ \frac{11}{\sqrt{2}} & \frac{-2}{\sqrt{6}} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \quad \text{معادله ۴:}$$

¹intensity-hue-saturation transform



شکل ۲. فرایند تلفیق IHS

این بخش به ارزیابی سه الگوریتم؛ *IHS*، *Pc Spectral Sharpening* و *Gram* اشمیت در تلفیق تصویر فراطیفی هایپریون و باند پانکروماتیک تصویر *ALI* با قدرت تفکیک مکانی بالا می پردازد.



(ب)



(الف)



(د)

(ج)

شکل ۳. تصاویر حاصل از تلفیق تصویر هایپریون و تصویر *ALI* (الف) تصویر هایپریون، (ب) تصویر حاصل از الگوریتم *PC* (ج) تصویر حاصل از الگوریتم *IHS*، (د) تصویر حاصل از الگوریتم گرام اشمیت

همان گونه در شکل ۳، مشاهده می گردد، تصاویر تلفیق شده هایپریون با باند پانکروماتیک *ALI* حاصل از هر سه الگوریتم *PC*، *IHS* و *GS*، به لحاظ بصری کیفیت بالایی دارند و اعوجاج و پاشیدگی رنگی و جابجایی عوارض در تصاویر حاصل از تلفیق مشاهده نمی گردد. بنابراین از لحاظ بصری تصاویر تلفیق شده کیفیت بالایی رو نشان می دهند.

معیارهای ارزیابی نتایج تلفیق

ارزیابی کیفیت تصویر در بسیاری از کاربردهای سنجش از دور که نیازمند هر دو قدرت تفکیک مکانی و طیفی است از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از معیارهای کیفیت به منظور اندازه گیری کیفیت تصویر بدست آمده می باشد. در حین تلفیق بعضی از اطلاعات طیفی و مکانی از دست می رود، بنابراین تصویر تلفیق شده باید با تصاویر اولیه مقایسه گردد. با وجود تکنیک های مختلف تلفیق تصویر، راه حل قابل قبول منحصر بفردی جهت ارزیابی کیفیت تصاویر تلفیق شده وجود ندارد. این مشکل در تلفیق تصاویر فراطیفی به دلیل حجم بیشتر داده و عدم دسترسی در بسیاری از موارد به داده زمینی حادث می شود. کیفیت بهینه تصویر تلفیق شده با داشتن شروطی مانند کمترین اعوجاج رنگی (مشمول بر تمام خصوصیات طیفی تصویر فراطیفی یا چندطیفی)، بیشترین قدرت تفکیک مکانی (مشمول بر تمام خصوصیات مکانی تصویر با قدرت تفکیک بالا) و بیشترین حالت طبیعی (بهترین مجموع کیفیت طیفی و مکانی داده ورودی) تعریف می شود که وصول نتیجه بهینه به شروطی از قبیل هندسه داده های ورودی، انتخاب الگوریتم مناسب، همزمانی داده ها، شباهت طیفی داده ها، نسبت اندازه پیکسل تصویر با قدرت تفکیک طیفی بالا به تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، دقت منطبق نمودن مجموعه داده های ورودی و حتی به خصوصیات منطقه مطالعاتی وابسته می باشد (Darvishi.A et al, 2005).

کیفیت طیفی و مکانی دو شاخص مهم در ارزیابی تصاویر تلفیق شده است. بنابراین، به منظور ارزیابی کیفیت طیفی تصاویر تلفیق شده، خصوصیات طیفی تصویر تلفیق شده با خصوصیات طیفی تصویر چندطیفی یا فراطیفی اصلی مقایسه می گردد و برای ارزیابی خصوصیات مکانی تصویر تلفیق شده، تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا با تصویر تلفیق شده مقایسه می شود. در ادامه به معیارهای مورد استفاده در ارزیابی تصاویر تلفیق شده در این پایان نامه اشاره می شود.

ارزیابی بصری

مشخص ترین معیار در ارزیابی نتایج تلفیق ارزیابی بصری می باشد. البته ممکن است که در برخی از موارد قادر به تشخیص تفاوت ها نباشد و موجب بروز اشتباه نیز گردد. ارزیابی بصری در بررسی عوارض خطی از قبیل رودخانه ها، جاده ها و همچنین مناطق پوشیده از گیاه استفاده می شود و در تشخیص شارپی و تغییرات رنگ مفید است (ربابه صادقی چهارده، ۱۳۹۲).

شاخص بایاس (Bias)

اختلاف بین میانگین های تصویر با قدرت تفکیک طیفی بالا و تصویر تلفیق شده است. کمتر بودن این معیار به معنی بهتر بودن کیفیت طیفی تصویر تلفیق شده است و مقدار ایده آل برای این معیار ارزیابی طیفی صفر است (ربابه صادقی چهارده، ۱۳۹۲).

شاخص ERGAS

این شاخص بعنوان شاخص ارزیابی طیفی عمومی در تصویر تلفیق شده بکار گرفته می شود. معادله (۳-۵) چگونگی محاسبه شاخص ERGAS را نشان می دهد. در بررسی شاخص ERGAS می توان گفت هرچه مقدارش کمتر باشد، روش تلفیق مورد نظر توانایی بهتری در حفظ خصوصیات طیفی تصویر اولیه داشته است (Stephen Tierney et al, 2013).

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{RMSE^2(B_i)}{M_i^2} \right)} \quad \text{معادله ۵}$$

که در آن:

h: قدرت تفکیک مکانی تصویر پانکروماتیک

L: قدرت تفکیک مکانی تصویر چندطیفی

N: تعداد باندهای طیفی (B_i)

M_i: میانگین هر یک از باندهای طیفی

RMSE: خطای کمترین مربعات بین هر یک از باندهای تصویر شارپ شده و تصویر اولیه.

شاخص Correlation Coefficient

این معیار ضریب همبستگی بین تصویر تلفیق شده و تصویر چندطیفی یا فراطیفی اصلی است که میزان شباهت طیفی بین دو تصویر را نشان میدهد. در حالت ایده آل این معیار باید نزدیک به یک باشد.

$$CC(F, M) = \frac{\sum (F - \bar{F})(M - \bar{M})}{\left(\sum (F - \bar{F})^2 \right) \left(\sum (M - \bar{M})^2 \right)} \quad \text{معادله ۶}$$

F و **M** تصویر چند طیفی و تصویر تلفیق شده است. این روش به صورت +۱ و -۱ است که +۱ بیانگر شباهت بالا و -۱ بیانگر عدم شباهت است.

شاخص RMSE

این معیار برای تعیین کردن مقدار متوسط اعوجاج طیفی در هر پیکسل تلفیق شده استفاده می شود. این خطا در سطح پیکسل بین تصویر تلفیق شده و تصویر اصلی محاسبه میشود که باید تا حد امکان کوچک باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{l * m * n} (\sum \sum \sum (F(i, j) - M(i, j))^2)}$$

معادله ۷:

l, m, n اندازه تصویر تلفیق شده را نشان می دهند. $M(i, j)$ اندازه پیکسل تصویر چند طیفی و $F(i, j)$ اندازه پیکسل تصویر تلفیق شده در محل (i, j) است. هر چه خروجی این شاخص به صفر نزدیکتر باشد، بیانگر میزان انحراف کمتر تصویر تلفیق شده نسبت به تصاویر ورودی می باشد. و هر چه از صفر بالاتر بود بیانگر خطای بیشتر ادغام است.

شاخص Q

فرمول (۳-۸) چگونگی محاسبه شاخص Q را نشان می دهد. این شاخص بین صفر و یک است که یک به معنی تلفیق با کمترین اعوجاج و خطای طیفی و صفر به معنی تلفیق ناصحیح داده ها می باشد.

$$Q = \frac{4 \overline{FM}}{f^2 + m^2 (F^2 + M^2)}$$

معادله ۸:

به طوری که fm کوواریانس میزان تصویر ادغام شده و تصویر چند طیفی است. f^2 و m^2 به ترتیب واریانس تصویر چند طیفی و تصویر ادغام شده است. \overline{F} و \overline{M} نیز به ترتیب میانگین تصویر چند طیفی و تصویر ادغام شده است.

جدول ۲. نتایج ارزیابی کیفیت داده های تلفیق شده Hyperion+ALI

شاخص	Pc spectral	IHS	گرام اشمیت
بایاس (Bias)	۰.۳۲	۰.۲۹	۰.۲۲
ERGAS	۷.۳۶	۸.۴۴	۵.۱۲
CC	۰.۸۵۲	۰.۹۲۳	۰.۸۹۲
RMSE	۲.۳۲۱	۳.۱۵۶	۱.۴۲۸

بنابراین با توجه به خروجی شاخص ها، نتیجه حاصل از تلفیق تصویر هایپریون با تصویر باند پانکروماتیک *ALI*، صحت بالایی دارد. از بین سه تاگوریتیم اعمال شده، الگوریتیم گرام اشمیت نسبت به دو الگوریتیم دیگر از صحت بالاتری برخوردار بوده و برای پردازش های بعدی (مرحله دوم تلفیق) مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

در این مرحله تصویر هایپریون (خروجی الگوریتیم گرام اشمیت) تلفیق شده مرحله قبل که دارای پیکسل سایز 10×10 متر بود با تصویر پانکروماتیک *Orb View* با پیکسل سایز یک متر تلفیق شد.



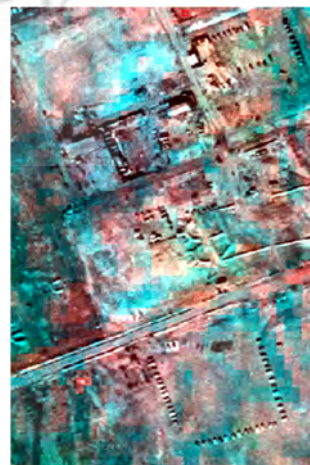
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۴. تصاویر حاصل از تلفیق تصویر هایپر یون و تصویر **Orb View** (الف) تصویر پانکروماتیک **Orb View** (ب) تصویر حاصل از الگوریتم **PC** (ج) تصویر حاصل از الگوریتم **IHS** (د) تصویر حاصل از الگوریتم گرام اشمیت

همان گونه در شکل (۴) ، مشاهده می گردد، تصاویر تلفیق شده هایپر یون با باند پانکروماتیک **Orb View** حاصل از هر سه الگوریتم **PC**، **IHS** و گرام اشمیت، به لحاظ بصری کیفیت بالایی دارند و اعوجاج و پاشیدگی رنگی و جابجایی عوارض در تصاویر حاصل از تلفیق مشاهده نمی گردد.

جدول ۳. نتایج ارزیابی کیفیت داده های تلفیق شده **Hyperion+OrbView**

شاخص	<i>Pc spectral</i>	<i>IHS</i>	گرام اشمیت
بایاس (<i>Bias</i>)	۰.۶۳	۰.۵۵	۰.۴۴
<i>ERGAS</i>	۸.۶۸	۹.۲۷	۶.۷۸
<i>CC</i>	۰.۷۶۴	۰.۸۸۶	۰.۷۸۶
<i>RMSE</i>	۳.۳۸۴	۴.۳۶۵	۲.۱۴۹
<i>Q</i>	۰.۹۲۲	۰.۸۷۳	۰.۹۱۵

بنابراین با توجه به خروجی شاخص ها، نتیجه حاصل از تلفیق تصویر هایپر یون با تصویر باند پانکروماتیک **OrbView** ، صحت بالایی دارد. از بین سه تاگوریتم اعمال شده، الگوریتم گرام اشمیت نسبت به دو الگوریتم دیگر از صحت بالاتری برخوردار می باشد.

بحث و نتیجه گیری

هدف اصلی تحقیق حاضر، ارزیابی تلفیق داده های فراطیفی و مجموعه داده دارای قدرت تفکیک مکانی بالا می باشد. هدف نهایی در این تحقیق رسیدن توان تفکیک ۱ متر می باشد بر این اساس و با توجه به وجود آمدن خطاهایی در هنگام تلفیق یکباره داده با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر با داده دارای قدرت تفکیک مکانی ۱ متر، از یک داده حد واسط **ALI** به منظور تلفیق این دو مجموعه داده استفاده گردید و نتایج حاصل از آن مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تلفیق داده ها در ابتدا تصویر هایپر یون به دلیل خام بودن مورد پیش پردازش های مختلف از جمله: حذف باندهای بد، حذف نوارهای بد قائم، تصحیح اتمسفری با استفاده از الگوریتم **FLAASH** قرار گرفت. در ادامه این دو مجموعه داده با خطای **RMSE 0.424** تصحیح هندسی و سپس به پیکسل سائز ۱۰ متر نمونه برداری مجدد شدند. در ادامه تصویر هایپر یون با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر با باند پانکروماتیک تصویر **ALI** با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر تلفیق شد. در ادامه و در مرحله دوم تلفیق، تصویر هایپر یون این بار با باند پانکروماتیک **OrbView3** با قدرت تفکیک مکانی ۱ متر در ابتدا با خطای **RMSE 0.525** تصحیح هندسی شده و سپس به پیکسل سائز ۱,۵ متر نمونه برداری

مجدد شد و در انتها تلفیق شدند. برای تلفیق تصاویر از سه روش گرام اشمیت، *pc spectral* و *IHS* استفاده گردید. مقایسه نتایج حاکی از آن بوده است که تصویر حاصل از روش گرام اشمیت در حفظ خصوصیات طیفی بهتر از سایر روش هاست و از نظر مکانی هم نتایج قابل قبولی ارائه داده است.

منابع

- زلیکانی. رقیه، (۱۳۹۲). "تهیه نقشه تغییرات در مناطق شهری با استفاده از تلفیق تصاویر ابر طیفی و اپتیکی با حد تشخیص مکانی بالا." پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- رخش ماهپور. علی و شاد. روزبه، (۱۳۹۴). "ادغام زمانی- مکانی تصاویر ماهواره‌های به منظور کاهش بازه ی پایش پدیده ها." اولین کنفرانس جغرافیا، عمران، شهرسازی، معماری، مدیریت شهری و توسعه پایدار. ۱۸۴-۱۸۶.
- صادقی چهارده. ربابه، (۱۳۹۲). "بررسی و ارزیابی نتایج تلفیق تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا با تصویر فراطیفی سنجنده هایپریون." پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- مهتابی گوجگی. ناصر، ابوالقاسمی. مجتبی، اکبرفخر آبادی. مهدی و حسینی. سید سعید (۱۳۹۴). "مقایسه ترکیب و تلفیق تصاویر رنگی ماهواره‌های و تصاویر پنکروماتیک به روش *IHS* و *Wavelet* با درون‌یابی نزدیکترین همسایه." اولین کنفرانس بین المللی دستاوردهای نوین پژوهشی در مهندسی برق و کامپیوتر.
- هارونی. مجید و کریمی. محسن (۱۳۹۳). "یک روش جدید بهبود کیفیت تصاویر ماهواره ای به کمک ادغام تصویر در سطح پیکسل و ویژگی." سومین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان).

Hassan Ghassemian.(2016). "A review of remote sensing image fusion methods". Faculty of Electrical and Computer Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. *Information Fusion* 32 (2016) 75-89

LIU. Da & LI. Jianxun.(2018). "Spectral-spatial target detection based on data field modeling for hyperspectral data". *Chinese Journal of Aeronautics*, (2018), 31(4): 795-805.

An. Zhenyu & Shi. Zhenwei.(2014). "Hyperspectral image fusion by multiplication of spectral constraint and NMF ". *Image Processing Center, School of Astronautics, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, PR Chinaa. Optik* 125 (2014) 3150-3158.

Kousha. Hassan & Ghassemian. Hassan.(2011). " High Spatial Resolution and Hyperspectral Image Fusion ". Faculty of Electrical and Computer Engineering, Tarbiat Modares University. 2887-2892.

Pandit. Vaibhav R & Bhiwani. R. J.(2015). " Image Fusion in Remote Sensing Applications: A Review". *International Journal of Computer Applications. Volume* 120 – No.10.

- X. Francis, J. Canisius & Turrall. Hugh.(2003). " Fusion Technique to Extract Detail Information from Moderate Resolution Data for Global Scale Image Map Production". *Proceedings of the 30th International Symposium on Remote Sensing of Environment – Information for Risk Management and Sustainable Development*.
- Darvishi, A., Kappas, M., Erasmi, S., (May 2005). "Hyper-spectral/high-resolution data fusion: Assessing the quality of EO1-Hyperion/Spot-Pan & Quickbird-MS fused images in spectral domain". in *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Workshop, Hannover, Germany*.
- Pande, H., Tiwari, P., Dobhal, S., (September 2009). "Analyzing Hyper-Spectral and Multi-Spectral Data Fusion in Spectral Domain." *Springer, 37: 395–408*.
- Kheirkhah Zarkesh. Mir.Masoud, Chattrsimab. Zahra, Bolouri. Samira & Asadi Lotfi. Akram.(2017). " Study and Comparison of Remote Sensing Images Fusion Techniques ".*The 1st international conference of SILKGIS.Isfahan.Iran*.
- Hadjit. Hanane, Oukebdane. Abdelaziz & Hafid Belbachir. Ahmad.(2013)." Atmospheric correction of Earth-observation remote sensing images by Monte Carlo method". *J. Earth Syst. Sci. 122, No. 5, October 2013, pp. 1219–1235*.
- Sanderson. Robert.(2010). " INTRODUCTION TO REMOTE SENSING". *Satellite picture of Las Cruces, NM. New Mexico State University*.
- Ali. Abdulrahman K.(2010). " REMOTE SENSING". *Republic of Iraq Ministry of Higher Education and Scientific Research University of Technology*.
- Golderi. S. Adler, Berk. A, Bernstein. L.S, Richtsmeier. S, Acharya. P.K & Matthew. M.W.(2002)." FLAASH, A MODTRAN4 ATMOSPHERIC CORRECTION PACKAGE FOR HYPERSPECTRAL DATA RETRIEVALS AND SIMULATIONS". 'Spectral Sciences, Inc., 99 South Bedford St., Burlington,MA01803.
- Dave. Chintan P, Joshi. Rahul & Srivastava. S. S.(2015)." A Survey on Geometric Correction of Satellite Imagery". *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). Volume 116 – No. 12.24-27*.
- S. Dobhal, "Performance analysis of high-resolution and hyperspectral data fusion for classification and linear feature extraction," ed: January, 2008.
- Weber. Keith T & Studley. Heather.(2010)." Comparison of Image Resampling Techniques for Satellite Imagery". *Final Report: Assessing Post-Fire Recovery of Sagebrush-Steppe Rangelands in Southeastern Idaho.185-196*.
- Yifan, Z., Mingyi, H., (March 2007). "Multi-Spectral and hyperspectral image fusion using 3-D wavelet transform." *Journal of Electronics(CHINA), 24(2): 218-224*.
- Gomez, R.B., Jazaeri, A., Kafatos, M., (April 2001)." Wavelet-based hyperspectral and multispectral image fusion." in *Proceedings of SPIE ,Orlando*.
- Pandit. Vaibhav R & Bhiwani. R. J.(2015). " Image Fusion in Remote Sensing Applications: A Review". *International Journal of Computer Applications. Volume 120 – No.10*.

Klonus. Sascha & Ehlers. Manfred.(2009). " Performance of evaluation methods in image fusion". 12th International Conference on Information Fusion Seattle, WA, USA.1409-1416.

Gharbia. Reham, Taher Azar. Ahmad, El Baz. Ali & Ella Hassanien. Aboul.(2014). "Image Fusion Techniques in Remote Sensing ".

Darvishi, A., Kappas, M., Erasmi, S., (May 2005). "Hyper-spectral/high-resolution data fusion: Assessing the quality of EO1-Hyperion/Spot-Pan & Quickbird-MS fused images in spectral domain". in International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Workshop, Hannover, Germany.

Tierney. Stephen, Gao. Junbin & Guo. Yi.(2013)." Affinity Pansharpening and Image Fusion".School of Computing and Mathematics Charles Sturt University Bathurst, NSW 2795, Australia

