

ترکیب و ادغام داده‌های چند طیفی و راداری به منظور شناسایی بهتر سیماهای زمین‌شناسی

نائر رحمانی، حجت‌اله رنجبر*، حسین نظام‌آبادی‌پور؛
دانشگاه شهید باهنر کرمان

دریافت ۹۸/۱۲/۰۴ پذیرش ۹۹/۰۶/۰۴

چکیده

امروزه با بکارگیری روش‌های متنوع پردازش تصویر، امکان بررسی بخش عمده‌ای از ویژگی‌های زمین‌شناختی مانند نوع لیتولوژی، دگرسانی گرمایی، زمین‌لغزش، ساختارهای زمین‌شناسی و غیره، وجود دارد. هر کدام از ویژگی‌های زمین‌شناختی را می‌توان با بهره‌گیری از یک یا ترکیب چند دسته داده ماهواره‌ای بررسی کرد. برای شناسایی سنگ‌ها بیش‌تر از ویژگی‌های طیفی استفاده می‌شود. اما ویژگی بافتی سنگ‌ها نیز اهمیت خاصی دارد که داده‌های راداری در اختیار می‌گذارند. در این مقاله سعی شده است با تلفیق داده‌های چندطیفی و راداری روشی برای بهبود تهیه نقشه زمین‌شناسی ارائه شود. به همین منظور با بکارگیری دو روش ترکیب داده مبتنی بر IHS و کنارهم گذاری داده‌ها، تصاویر طیفی سنجنده‌های استر و لندست هفت با داده‌های پلاریزه سنجنده ALOS (مربوط به بخشی از ناحیه معدنی کمربند مس کرمان) ترکیب شدند. اطلاعات راداری مربوط به پلاریزاسیون‌های مختلف در یک باند جدید به روش برآیندگیری متمرکز و سپس با داده‌های چند طیفی ترکیب شده است. نتایج ترکیب این دو نوع داده ماهواره‌ای نشان داده است که بارزسازی گسل‌ها، دایک‌ها، دگرسانی گرمایی و تفکیک لیتولوژی بهتر از زمانی است که تنها از داده‌های چندطیفی استفاده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: نقشه‌برداری زمین‌شناسی، رادار، چند طیفی، سنجش از دور، ادغام داده، بهبود کیفیت تصاویر

مقدمه

سنجش از دور اکتشافی نقش مهمی را در به‌دست آوردن اطلاعات اولیه و پایه از مناطق مختلف زمین بازی می‌کند. رشد روزافزون فناوری در ماهواره‌ها و سنجنده‌های مختلف هواپرد و فضاپرد و هم‌چنین تنوع داده‌های مختلف (از لحاظ تفکیک طیفی، تفکیک مکانی) این امکان را به متخصصان می‌دهد که با توجه به هدف بررسی شده، داده‌های موردنیاز را جمع‌آوری کرده و بر اساس پیش‌پردازش‌ها و پردازش‌های مختلف، پژوهش‌های دقیقی را روی مناطق مختلف زمین اجرا کنند. در راستای ترکیب بهینه داده‌های مختلف و کاهش تکرار اطلاعات نیز روش‌های مختلفی ارائه و به کار گرفته شده‌اند که در سطوح مختلف ترکیب داده‌ها بارها استفاده شده‌اند [۱]. روش‌های استفاده شده در ترکیب داده‌های مختلف نیز به مرور زمان در حال بسط و گسترش هستند [۲].

بخش عمده داده‌های استفاده شده در حیطه سنجش از دور اکتشافی و زمین‌شناسی، مربوط به داده‌های چند طیفی و ابر طیفی است که حاوی اطلاعات مفیدی در مورد بخش سطحی زمین هستند. این در حالی است که داده‌های راداری نیز به دلیل ماهیت و ویژگی پلاریزاسیون در جهات مختلف، قابلیت ثبت و بررسی خصوصیات ساختاری و بافتی سطح زمین را دارند که می‌تواند کمک چشم‌گیری به بررسی‌های زمین‌شناختی مناطق مختلف کند [۳].

داده‌های مختلف طیفی (مانند داده‌های ETM⁺ و ASTER) و راداری (مانند ALOS، RADARSAT و ERS) اغلب به‌صورت جداگانه با اهداف مختلف پردازش شده است و نتایج آنها بارها گزارش شده است [۴]، [۵]، [۶]، [۷]، اما

این‌گونه به‌نظر می‌رسد که ترکیب این داده‌ها در سطح پیکسلی، می‌تواند بهبود بسیار مطلوبی را در کیفیت داده‌ها و به‌تبع آن در نتایج حاصل ایجاد کند. با در نظر گرفتن فرضیه مذکور، ترتیبی اتخاذ شد که بر اساس آن صحت فرضیه بررسی شده و با ترکیب داده‌های ETM⁺ و ASTER با ALOS کارایی دسته داده جدید در بهبود وضعیت تهیه نقشه زمین‌شناسی و تفکیک لیتولوژی بررسی شود.

بخش عمده پژوهش‌ها تاکنون در زمینه ترکیب داده‌ها یا استفاده از دسته داده‌های طیفی و راداری در زمینه بررسی‌های کاربری اراضی^۱ و منابع طبیعی انجام شده است [۸]، [۹]، [۱۰]، [۱۱]، [۱۲]. نتایج تحقیقات مذکور نشان‌گر این مطلب است که به‌کارگیری یا ترکیب داده‌های راداری نتایج حاصل را موثق‌تر و مطمئن‌تر می‌کند. از سوی دیگر برخی پژوهش‌ها نیز در زمینه‌های مرتبط با زمین‌شناسی (از جمله زمین‌لغزش و مخاطرات طبیعی) با به‌کارگیری دسته‌داده‌های طیفی و راداری و بعضاً ترکیب آنها صورت گرفته است [۱۳]، [۱۴]، [۱۵]، [۱۶]. تعداد محدودی تحقیق نیز به استفاده از دسته داده‌های مذکور و مجموعه ترکیب شده از آنها در راستای شناسایی منابع معدنی و زمین‌شناسی پرداخته‌اند که اغلب در مرحله تصمیم‌گیری^۲ نتایج ترکیب شده‌اند [۱۷]، [۱۸]، [۱۹]، [۲۰]، [۲۱]. در این تحقیق سعی بر آن است که با ترکیب داده‌های راداری و چند طیفی و مقایسه آن با روش‌های مرسوم سنجش از دور تفکیک سنگ‌شناسی، ساختاری و دگرسانی گرمایی بهبود یابد، زیرا انتظار می‌رود با به‌کارگیری اطلاعات بافتی، نتایج دقیق‌تری به‌دست آید.

برای اعتبارسنجی نتایج تحقیق لازم است که یک منطقه معدنی با ویژگی‌های زمین‌شناسی کاملاً شناخته شده با بافت‌های سطحی کاملاً متغیر بررسی شود. دلیل این امر این است که محققان پس از حصول نتایج بتوانند یافته‌ها را براساس اطلاعات قبلی و بازدیدهای زمینی بررسی شده و اعتبارسنجی قرار دهند. به‌همین دلیل منطقه معدنی سرچشمه و پیرامون آن به‌عنوان منطقه آزمایشی و منطقه‌ای که اطلاعات کاملی از آن وجود دارد، انتخاب شد. محدوده تعیین شده دارای مساحت کلی تقریبی ۱۸۱۰ کیلومتر مربع و با کشیدگی شمالی‌جنوبی است که دلیل انتخاب این راستا، حضور انواع مختلف واحدهای سنگ‌شناختی با بافت‌های مختلف است. مهم‌ترین شهرهای قرار گرفته در این منطقه، پاریز و سرچشمه است. این منطقه هم‌چنین در جنوب شهر رفسنجان واقع شده است. در نیمه جنوبی این محدوده ارتفاعات منتهی به معادن مس پورفیری سرچشمه و دره‌زار حضور دارند. مسیر ترانزیتی و تردد اصلی این منطقه مربوط به جاده رفسنجان-سرچشمه-شهربابک است.

زمین‌شناسی منطقه

محدوده انتخاب شده برای این تحقیق، بخش‌هایی از ۴ برگه زمین‌شناسی پاریز (۷۱۴۹) [۲۲]، رفسنجان ۱ (۷۱۵۰) [۲۳]، چهارگنبد (۷۲۴۹) [۲۴] و رفسنجان ۲ (۷۲۵۰) [۲۵] با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ را شامل می‌شود. نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ پوشش‌دهنده این ناحیه، سیرجان [۲۶] و رفسنجان [۲۷] هستند. بررسی‌های گسترده‌ای روی زمین‌شناسی این ناحیه انجام شده است که منتج به تهیه نقشه‌های مختلفی نیز شده است. برای مثال مسیب سبزه‌ئی تحت نظر سازمان برنامه و بودجه در سال ۱۳۷۳ نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ استان کرمان را تهیه کرده است که دقت زیادی دارد [۲۸]. واحدهای موجود در این ناحیه دارای سنی از ائوسن پایینی تا هولوسن هستند. بررسی‌های ناحیه‌ای دیگر مربوط به دیمیتربیویچ و همکاران است که از طرف سازمان زمین‌شناسی کشور روی طرح

1. Land use
2. Decision Level

اکتشاف مس در استان کرمان انجام شده است [۲۹]. نقشه زمین‌شناسی مربوط به این ناحیه در شکل ۱ آورده شده است.

قدیمی‌ترین واحد موجود در منطقه با سن ائوسن کمی است. این واحد دارای ماسه سنگ و کنگلومرا و فلیش است که در محدوده شمال منطقه گسترش دارد (Ef1). کمپلکس بحرآسمان روی واحد فلیشی و در شمال منطقه گسترش دارد. این واحد عمدتاً دارای برش، توف، آگلومرا و به‌طور جزئی لاهای آندزیتی تا ریولیتی، ریوداسیت، سنگ آهک، ماسه‌سنگ و کنگلومرا است (EB). قدیمی‌ترین بخش از سازند رازک در منطقه، رازک پایینی است (ER1). این واحد دارای ترکیب ماسه سنگ، سنگ آهک نومولیت‌دار همراه با جریان‌های لاهو عمدتاً آندزیت و بازالت آندزیت است. رازک میانی عمدتاً دارای لاهای اسیدی (ریولیت تا ریوداسیت) است. این واحد هم‌چنین مرتبط با جریان‌های پیروکلاستیک و به‌طور جزئی بازالت و آندزیت است (ER2). جوان‌ترین بخش رازک در طبقات بالایی قرار گرفته است (ER3). این واحد آندزیت تا بازالت آندزیت، داسیت، ریولیت و پیروکلاست را شامل می‌شود. رازک پایینی و میانی میزبان سنگ‌های نفوذی است که کانی‌سازی مس در آن‌ها رخ داده است. رازک پایینی، میانی و فوقانی در منطقه گسترش زیادی دارند و عمده سنگ منطقه است. کمپلکس هزار (EH) با سن ائوسن بالایی با لاهای آندزیتی، آگلومرا، توف، به‌طور جزئی ریولیت تا داسیت با تناوب ماسه‌سنگ، کنگلومرا و لاهای بازالت آندزیتی و شوشونیتی گسترش بسیار کمی در این منطقه دارد. سازند قم با سن الیگوسن (OM) با ترکیب آهک ریفی و کنگلومرا در جنوب‌شرق منطقه گسترش کمی دارد. سنگ‌های نفوذی با سن الیگومیوسن (Gd) در سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی با سن ائوسن نفوذ کرده‌اند و باعث کانی‌سازی در منطقه شده‌اند. این توده‌های نفوذی بیش‌تر در نیمه جنوبی منطقه گسترش دارند. سازند قرمز با سن میوسن (Mr) (لایه‌های قرمز، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و مارن) در شمال شرق منطقه رخنمون دارند. گسترش سنگ‌های نئوژن (Ng3, Ngv2, Ng2) بیشتر در جنوب، مرکز و شمال منطقه می‌باشد. این سنگ‌ها با ترکیب ماسه‌سنگ، سیلتستون و کنگلومرا (عمدتاً با منشأ سنگ‌های آتشفشانی) هستند. نهشته‌های تراورتن (Qtr) با سن کواترنر در محدوده جنوبی منطقه در اطراف شهر و معدن سرچشمه رخنمون دارند. این رسوبات حاصل فعالیت‌های چشمه‌های آب گرم در کواترنر است. رسوبات کواترنر (Qal, Qt2, Qt1) با ترکیب تراس‌های گراولی، آبرفت، مخروط افکنه‌ها و رسوبات آبراهه‌ای در جنوب و شمال منطقه گسترش دارند [۲۸].

داده‌ها و روش‌ها

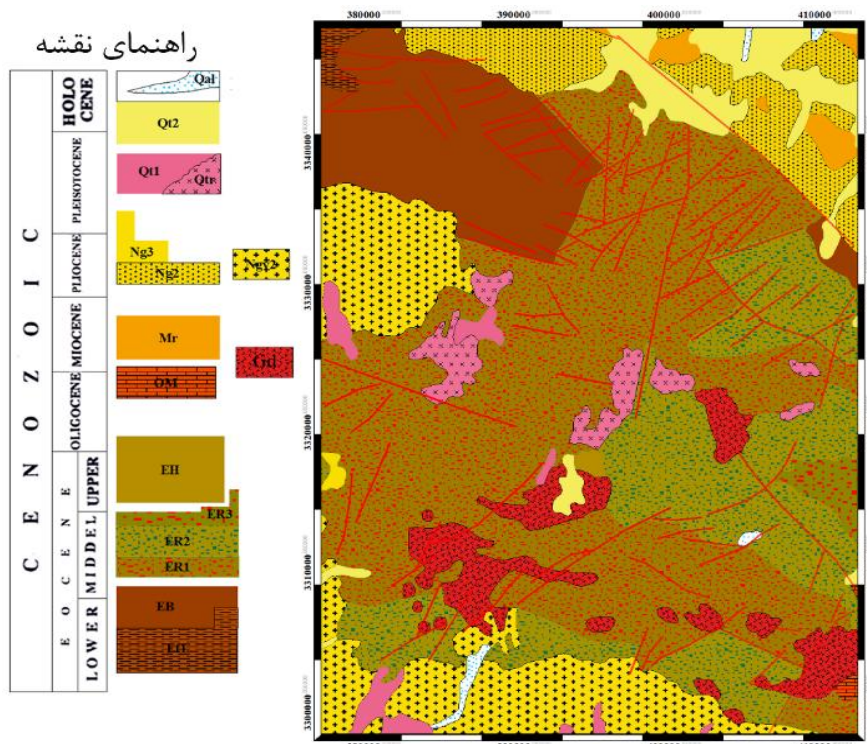
داده‌های استفاده شده در این تحقیق مشتمل بر داده‌های طیفی (ASTER و Landsat7) و راداری (ALOS PALSAR) است. این داده‌ها با توجه به سطح پردازشی و روال تحقیق تحت عملیات آماده‌سازی و پیش‌پردازش‌های خاص قرار گرفته‌اند. در بخش‌های آتی به تفصیل به این موضوع می‌پردازیم.

۱. داده راداری

آژانس فضایی اکتشافات ژاپن ۱ در تاریخ بیست و چهارم ژانویه سال ۲۰۰۶ ماهواره ALOS را در مدار قرار داد. ارتفاع مدار پروازی این ماهواره ۶۹۱ کیلومتر است و در یک دوره ۴۶ روزه عملیات را انجام می‌دهد [۳۰]. این ماهواره حامل سه سنجنده مختلف^۱ PRISM،^۲ AVNIR-2 و^۳ PALSAR است. این سنجنده‌ها به ترتیب مناسب نقشه‌برداری

1. Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)
2. Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping
3. Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2
4. Phased Array type L-band Synthetic Aperture RADAR

ارتفاع رقومی (ابزار پنکروماتیک سنجش از دور برای تصویربرداری استریو)، مشاهدات دقیق پوشش زمینی (رادومتر نسل دوم پیشرفته در حوزه مرئی و نزدیک مادون قرمز) و مشاهدات زمینی در همه شرایط آب و هوایی و روز و شب (سیستم چند پلاریزه رادار روزنه مصنوعی در حوزه باند L) هستند [۳۱] [۳۲]. سنجنده PALSAR دارای سه حالت تصویربرداری (ScanSAR, Fine) و Polarimetric است [۳۳]. تصاویر به کار گرفته شده در این پژوهش مربوط به حالت Fine-FBD و در سطح پردازشی RTC^۱ هستند.



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه بررسی شده [۲۸]

جدول ۱. اطلاعات مربوط به سنجنده‌های مختلف ماهواره ALOS [۳۳]

Polarimetric	ScanSAR	Fine		حالت ویژگی
		FBD ^۲	FBS ^۳	
۱۲۷۰ مگاهرتز (L-Band)				فرکانس میانی
HH+HV+VH+VV	VV یا HH	VV+VH یا HH+HV	VV یا HH	پلاریزاسیون
۸ تا ۳۰ درجه	۱۸ تا ۴۳ درجه	۸ تا ۶۰ درجه	۸ تا ۶۰ درجه	زاویه انحراف
۲۴ تا ۸۹ متر	۱۰۰ متر	۱۴ تا ۸۸ متر	۷ تا ۴۴ متر	بازه دقت مکانی

داده‌های RTC به دو دسته RT1 و RT2 تقسیم‌بندی می‌شوند که RT1 محصولاتی با اندازه پیکسل ۱۲/۵ متر و RT2 دارای اندازه پیکسلی ۳۰ متر هستند. داده استفاده شده در این تحقیق نیز مربوط به داده‌های RT1 است.

۲. پیش پردازش و آماده‌سازی داده رادار

داده‌های راداری استفاده شده در این تحقیق به صورت کامل پیش‌پردازش شده‌اند و نیازی به اجرای پردازش‌های

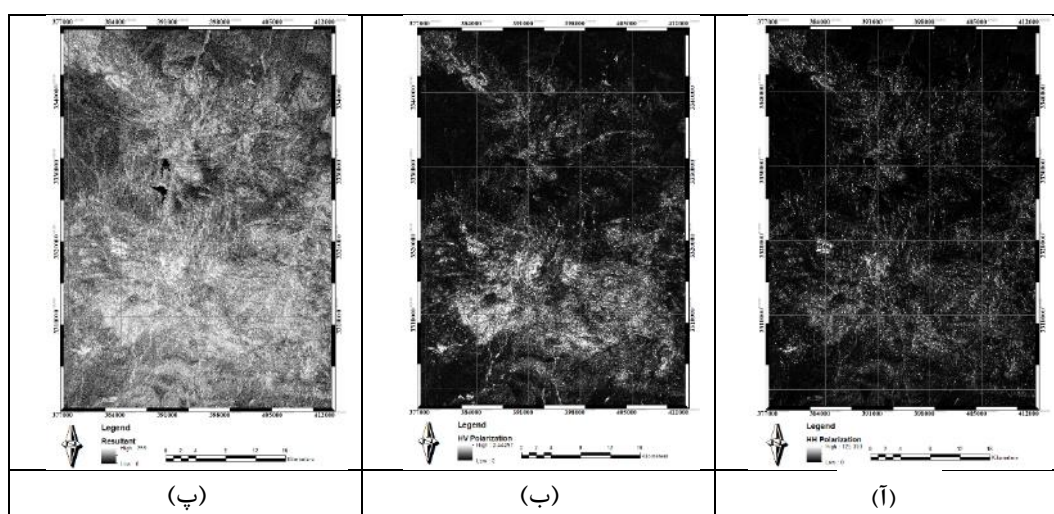
1. Radiometric Terrain Corrected
2. Fine Beam Single Polarisation
3. Fine Beam Double Polarisation

رادیومتری، توپوگرافی و ژئومتری ندارند [۳۴].

از آن‌جا که قرار است داده‌های طیفی و راداری تلفیق شوند و نتایج داده تلفیق شده بررسی شود، یکی از نکات مهم در این امر، هم‌بندسازی داده‌ها و محدوده تغییرات عددی پیکسل‌ها است. از آن‌جا که داده‌های اولیه دارای مقادیر با واریانس بسیار بالا است و کشتش تمایز به تنهایی امکان ارائه یک نتیجه مطلوب را ندارد؛ لازم است که ابتدا یک عملگر لگاریتمی روی دسته داده راداری اعمال شده و پس از حذف واریانس نامطلوب، داده‌ها را به پایه صفر رسانیده و سپس کشتش تمایز ۸ بیتی (بهدلیل مشابه‌سازی با داده‌های لندست ۷) روی داده اعمال شود. پس از یکسان‌سازی محدوده تغییرات عددی مقادیر پیکسلی، به‌منظور افزایش تمایز تغییرات، مقادیر پیکسلی بین مقادیر صفر تا ۲۵۵ با استفاده از روش گاوسی، کشیده شد.

۱-۲. تشکیل بردار برآیند پلاریزاسیون‌های HH و HV

داده‌های راداری در پلاریزاسیون‌های مختلف برداشت شده و هر پلاریزاسیون حاوی اطلاعات ویژه‌ای از منطقه است. یکی از راهبردهای جدید این تحقیق، ترکیب و تلفیق پلاریزاسیون‌های HH و HV سنجنده ALOS است. در این روش فرض بر آن است که داده‌های نامبرده شده ماهیتی برداری داشته و می‌توان برای تشکیل یک دسته داده جدید، بر اساس اصول ریاضیاتی، یک بردار برآیند برای داده‌های ابتدایی تعریف کرد و برآیند حاصل شده را به‌عنوان داده حاوی اطلاعات هر دو داده ابتدایی در فرآیند فیوژن استفاده کرد.



شکل ۲. (آ) نمایش پلاریزاسیون‌های دوگانه HH، (ب) HV مربوط به داده راداری ALOS PALSAR، (پ) تشکیل تصویر برآیند

چنان‌که از شکل ۲ استنباط می‌شود، داده تولید شده جدید دارای اطلاعات بیش‌تر و مفیدتری است که استفاده از آن در فرآیند ترکیب با داده‌های چند طیفی بررسی شده است.

۲. داده طیفی

۱. داده ETM⁺

لندست ۷ در تاریخ پانزدهم آوریل ۱۹۹۹ به‌وسیله موشک دلتای ۱۱ به فضا پرتاب شد و حاوی سنجنده ETM⁺ است. در این سنجنده، توان تفکیک زمینی باند ترمال به ۶۰ متر بهبود یافته و باند پانکروماتیک (باند ۸) با توان تفکیک زمینی ۱۵ در ۱۵ متر اضافه شده است. باندهای حرارتی این سنجنده دوگانه بوده است (باندهای ۶-۱ و ۶-۲)

و به حالات Low Gain و High Gain در اختیار کاربران قرار می‌گیرد. هدف اصلی از حالت‌های مذکور این است که از توان تفکیک رادیومتریک ۸ بیتی هر پیکسل قبل از اشباع‌شدگی سنجنده، حداکثر استفاده به عمل آید [۳۵]. در این پژوهش از داده‌های سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست ۷ به شماره گذر ۱۶۰ و ردیف ۳۹ مربوط به تاریخ هفتم اوت سال ۲۰۰۰ میلادی، با جزئیات خاص تصویری زیر استفاده شده است.

جدول ۲. اطلاعات فنی مربوط به سنجنده ETM⁺ [۳۶]

ردیف	باند	طول موج	ناحیه طیفی	تفکیک مکانی
۱	باند اول	0.45-0.52	آبی	۳۰ متر
۲	باند دوم	0.52-0.60	سبز	۳۰ متر
۳	باند سوم	0.63-0.69	سرخ	۳۰ متر
۴	باند چهارم	0.77-0.90	مادون سرخ نزدیک	۳۰ متر
۵	باند پنجم	1.55-1.75	مادون قرمز طول موج کوتاه	۳۰ متر
۶	باند ششم (۱)	10.40-12.50	حرارتی - Low Gain	۳۰ متر (۶۰ متر)
۷	باند ششم (۲)	10.40-12.50	حرارتی - High Gain	۳۰ متر (۶۰ متر)
۸	باند هفتم	2.09-2.35	مادون قرمز طول موج کوتاه	۳۰ متر
۹	باند هشتم	0.52-0.90	پنکروماتیک	۱۵ متر

دسته داده لندست ۷ به کار گرفته شده در این تحقیق مربوط به سطح پردازشی L1TP^۱ است. این سطح پردازشی دارای تصحیحات رادیومتری و برای تصحیح هندسی (Orthorectification) از نقاط کنترل زمینی و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) با دقت زیاد استفاده شده است. این محصولات در بین محصولات سطح یک، بهترین سطح کیفی را دارند [۳۷].

۱-۱-۱. پیش پردازش داده چند طیفی ETM⁺

حذف داده‌های اضافی

چنان که ذکر شد، داده‌های سنجنده ETM⁺ مشتمل بر ۹ تصویر (باند) است که ۲ باند آن حرارتی و باند دیگری نیز تصویر Pan است. در این تحقیق سه باند مذکور به دلیل اندازه پیکسل نامناسب و مناسب نبودن در مراحل پردازشی بعدی، حذف شده‌اند و تنها ۶ باند باقی مانده (باندهای ۱ تا ۵ و باند ۷) استفاده شده‌اند.

نرمال‌سازی داده‌ها

چنان که پیش‌تر ذکر شد به دلیل نیاز به تلفیق داده‌های با ماهیت مختلف، لازم است که داده‌ها هم‌بعد شده و سپس تلفیق اجرا شود. اما از آن‌جا که داده‌های راداری بر اساس داده‌های لندست ۷ مقیاس‌دهی مجدد شده‌اند، نیازی به تغییر بعد و مقیاس داده‌های لندست ۷ نیست.

۱-۱-۱. داده ASTER

سنجنده ASTER یک سنجنده چندطیفی با دقت مکانی مختلف برای باندهای با طول موج متفاوت است. این سنجنده روی ماهواره Terra تعبیه شده است و در دسامبر ۱۹۹۹ تحت یک پروژه تحقیقاتی موسوم به برنامه پایش زمینی به فضا پرتاب شده است [۳۸]. سنجنده ASTER پرکاربردترین و بهترین سنجنده در زمینه تهیه نقشه‌های دگرسانی گرمایی و شناسایی واحدهای زمین‌شناختی است [۳۹]، [۴۰]، [۴۱]. مشخصات فنی این سنجنده در جدول ۳ ارایه شده است.

1. Level-1 Precision and Terrain Corrected

جدول ۳. مشخصات فنی سنجنده ASTER [۴۱]

دامنه دینامیکی	دقت مکانی	محدوده طیفی (μm)	شماره باند	محدوده طیفی
هشت بیت	۱۵ متر	۰/۵۲ - ۰/۶۰	1	VNIR
		۰/۶۳ - ۰/۶۹	2	
		۰/۷۸ - ۰/۸۶	3N	
		۰/۷۸ - ۰/۸۶	3B	
هشت بیت	۳۰ متر	۱/۶۰۰ - ۱/۷۰۰	4	SWIR
		۲/۱۴۵ - ۲/۱۸۵	5	
		۲/۱۸۵ - ۲/۲۲۵	6	
		۲/۲۳۵ - ۲/۲۸۵	7	
		۲/۲۹۵ - ۲/۳۶۵	8	
		۲/۳۶۰ - ۲/۴۳۰	9	
دوازده بیت	۶۰ متر	۸/۱۲۵ - ۸/۴۷۵	10	TIR
		۸/۴۷۵ - ۸/۸۲۵	11	
		۸/۹۲۵ - ۹/۲۷۵	12	
		۱۰/۲۵ - ۱۰/۹۵	13	
		۱۱/۹۵ - ۱۱/۶۵	14	

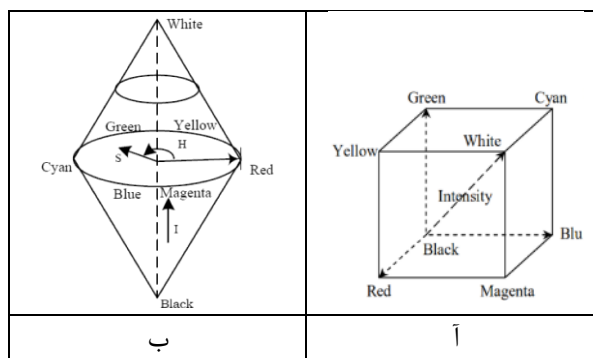
روش تحقیق

ادغام اطلاعات به‌روش‌های مختلفی به‌وسیلهٔ محققان مختلف اجرا شده است. در یک تقسیم‌بندی کلی روش‌های ادغام تصویر به‌روش‌های تعویض مؤلفه، تحلیل‌های چندوضوحه، ترکیبی و مدل مینا تقسیم‌بندی شده‌اند [۴۲]. از مشهورترین روش‌های ادغام اطلاعات می‌توان به‌روش‌های Wavelet, Gram-Schmidt, PCA, Brovey, JHS, Curvet, روش‌های آماری و موارد متعدد دیگری اشاره کرد [۴۲]. هرکدام از روش‌های معمول در ادغام اطلاعات به‌گونه‌ای متفاوت عمل می‌کنند و مبنای علمی آنها با هم متفاوت است. تشخیص روش مناسب و بهتر در ادغام اطلاعات از طریق تجربیات قبلی و داده‌های ورودی انجام می‌شود. در این تحقیق داده‌ها به دو صورت تلفیق می‌شوند. در اولین گام، تلفیق داده‌ها به‌صورت کنار هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی و اجرای روش‌های پردازشی است. در این روش که بر اساس فرضیه افزایش تعداد لایه‌ها و باندهای اطلاعاتی استوار است، سعی می‌شود با تکامل داده و پوشش نقص ماهوی یک دسته داده از طریق افزودن یک دسته داده دیگر، ماهیت داده‌ها بهبود یابد. منظور از بهبود داده، استفاده از توانایی داده‌های راداری در زمینهٔ تفکیک بافتی واحدهای سنگی [۴۳] و ادغام آن با داده‌های چند طیفی است. بنیان علمی فیوژن به‌روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر مبنای کاهش بعد و تجمیع اطلاعات در مؤلفه‌های ابتدایی خروجی تحلیل مذکور است (اغلب سه مؤلفه ابتدایی مجموعاً بیش از ۹۵٪ اطلاعات را در خود جای می‌دهند) [۴۴]. بعد از کنار هم‌گذاری لایه‌های ورودی (Stacking) و اجرای تحلیل مؤلفه‌های اصلی روی آنها، بر اساس این روش که با انتقال اطلاعات اولیه به فضای مختصاتی جدید، باعث می‌شود داده‌ها حول محورهای جدید با واریانس زیاد پراکنده شوند، مؤلفه‌های خروجی این روش (به‌ویژه مؤلفه اول) عصاره و چکیده کلی اطلاعات را در خود دارد [۴۵] و در صورت به‌کارگیری این مؤلفه (مؤلفه اول) به مثابه آن است که تمام داده‌ها برای پردازش‌های بعدی استفاده شده است. زمانی که افزایش قدرت تفکیک مکانی مد نظر باشد، مؤلفه اول با تصویر پان با قدرت تفکیک مکانی بالا جای‌گزین شده و دو باره به داده‌های خام برگردانده می‌شود [۴۶]. در اینجا صرفاً ادغام داده‌های چندطیفی و راداری مد نظر بوده است. در گام دوم تلفیق که یک روش مجزا است و عملیات اجرایی خاص خود را دارد، با به‌کارگیری روش ادغام داده‌ها با روش

IHS تلفیق دسته داده‌های اولیه انجام می‌شود. در ادغام اطلاعات به‌روش IHS (که یکی از مدل‌های فضای رنگ است)، تصویر ابتدایی ساخته شده از سه باند ابتدایی از محیط RGB به محیط IHS منتقل می‌شود. این انتقال به‌واسطه روابط ریاضی ارائه شده در معادله‌های ۱، ۲ و ۳ انجام می‌گیرد [۴۷]. در محیط IHS هر رنگ با سه پارامتر شدت، پرده رنگ و اشباع مشخص شده است. در محیط IHS می‌توان تصویری که برای فیوژن مدنظر است را با مؤلفه شدت جای‌گزین و همراه با دو مؤلفه پرده رنگ و اشباع به محیط RGB برگردان کرد [۴۸]. در این حالت سه مؤلفه ابتدایی پس از تلفیق با تک‌لایه حاوی اطلاعات، تلفیق شده و سه مؤلفه جدید حاوی اطلاعات لایه مذکور ساخته شده‌اند.

روابط ریاضیاتی تبدیل مؤلفه‌های RGB به IHS [۴۷]

$I = \frac{1}{3} (R+G+B)$	(۱)
$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R,G,B)]$	(۲)
If $B \leq G$: $H = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2}[(R-G)+(R-B)]}{\sqrt{(R-G)(R-G)+(R-B)(G-B)}} \right]$ Else: $H = 360 - H$	(۳)



شکل ۳. (آ) فضای رنگی RGB، (ب) در مقایسه با فضای رنگی IHS [۴۵]

۱-۱. کنارهم‌گذاری داده‌ها و روش مؤلفه‌های اصلی

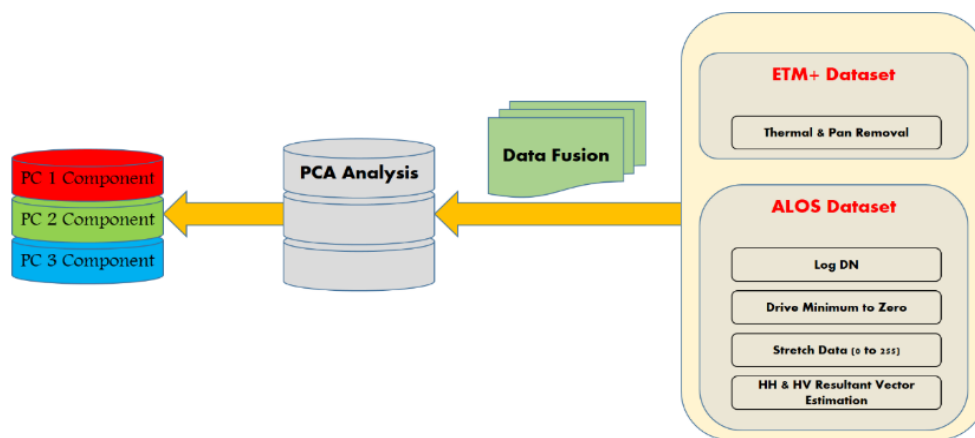
در این روش که عملکردی ساده نیز دارد، سعی خواهد شد که با کنارهم‌گذاری داده‌های طیفی (مربوط به سنجنده ETM⁺) و راداری (برآیند تولید شده از پلاریزاسیون‌های دوگانه سنجنده ALOS) و اعمال روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی روی دسته داده جدید (مشمول بر ۷ باند)، عصاره اطلاعات طیفی و راداری را در سه باند ابتدایی تجمیع شده و با نمایش یک ترکیب رنگی از سه مؤلفه اول، با بررسی بصری تصویر حاصل، میزان عملکرد و مطلوبیت تلفیق داده انجام شده را برآورد کرد (شکل ۴).

نتایج این روش ضمن مقایسه با حالات ابتدایی بدون تزریق اطلاعات بافتی، با نتایج روش تبدیل IHS نیز مقایسه شده است که در ادامه به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد.

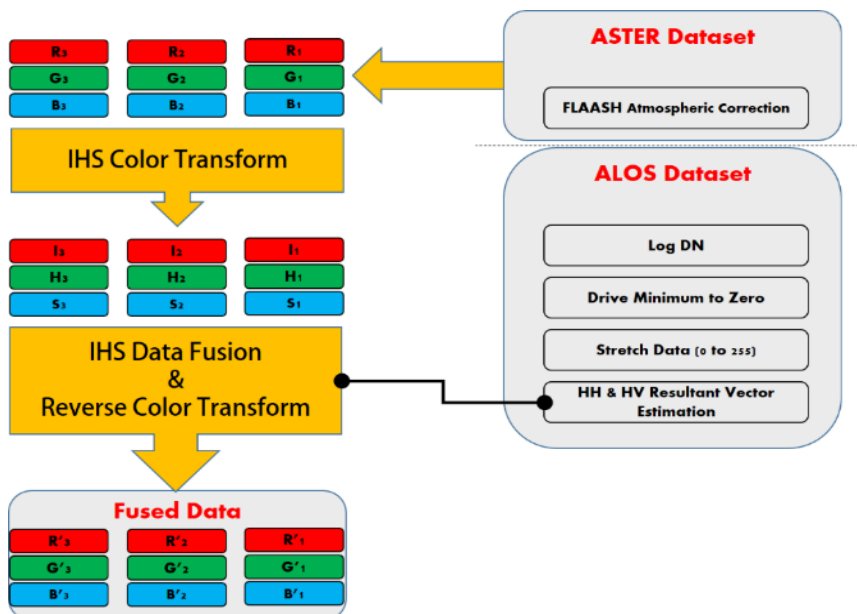
۱-۱. روش تلفیق داده‌ها با استفاده از تبدیل IHS

چنان‌که تصویر شماتیک ارائه شده نمایش می‌دهد (شکل ۵)، دسته داده ASTER در سه گروه سه‌باندی با استفاده از روش تلفیق IHS با داده تولید شده راداری ترکیب شده و در انتها دسته داده تولید شده جدید (داده‌های

ASTER ترکیب شده با داده‌های راداری) به کمک روش PCA تحلیل شده است. هدف از به‌کارگیری روش PCA استخراج و تمرکزدهی عصاره اطلاعات در باندهای ابتدایی دسته داده جدید است.



شکل ۴. تلفیق داده‌های چند طیفی و راداری با استفاده از روش کنارهم‌گذاری داده‌ها و روش مؤلفه‌های اصلی



شکل ۵. تلفیق داده‌های چند طیفی و راداری با استفاده از روش تبدیل IHS

با نمایش سه مؤلفه ابتدایی روش PCA یک ترکیب رنگی به دست می‌آید که حاوی اطلاعات بسیار زیاد و ارزشمندی از منطقه است. این روش نیز مانند روش قبل نتایج جالب توجهی دارد که در بخش نتایج بحث می‌شود.

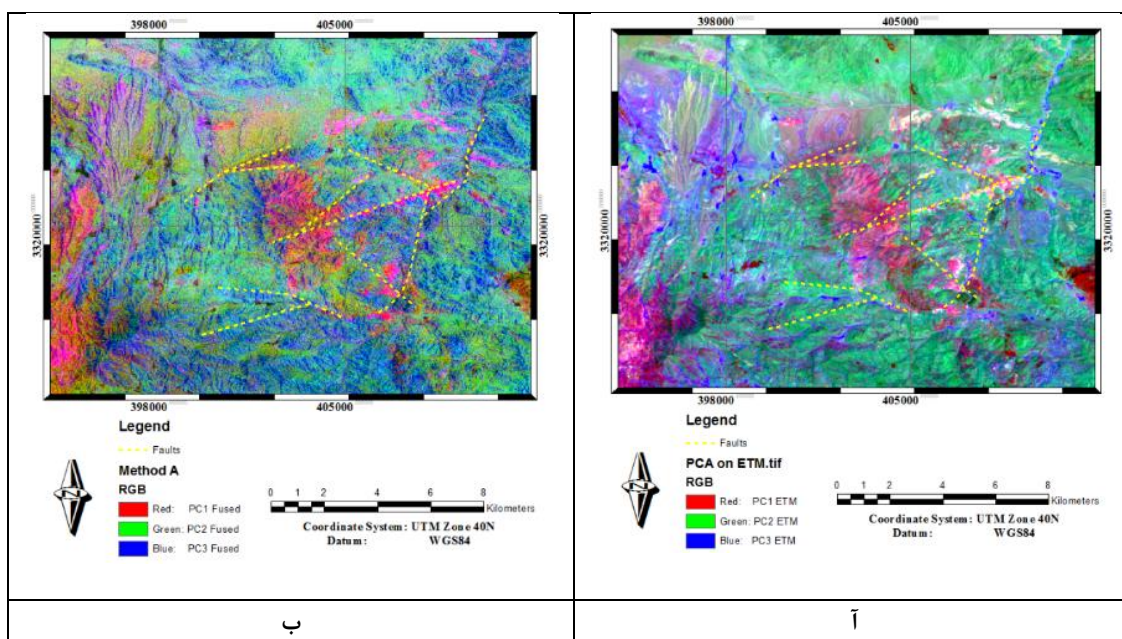
یافته‌های تحقیق

داده‌های چندطیفی تولید شده به وسیله سنجنده‌های مختلف تصویربرداری ماهواره‌ای حاوی اطلاعات ارزشمندی از سطح زمین هستند. اما متأسفانه در مبحث استخراج ویژگی‌های بافتی سطح زمین، داده‌های چندطیفی توانایی ویژه و شاخصی نداشته و به همین دلیل با اکتفای به این داده‌ها به تنهایی امکان بررسی موضوع مذکور وجود ندارد. نتایج حاصل از تحقیق حاضر مؤید این مطلب است که ترکیب داده‌های راداری و طیفی نتایج بسیار جالب توجهی را در زمینه بهبود تصاویر از سطوح زمینی ارائه می‌کند. در ادامه سعی شده است با بررسی بصری، میزان مطلوبیت عملکرد

داده‌های ترکیب‌شده نسبت به داده‌های چند طیفی، ارزیابی شود.

۱. بارزسازی گسل‌ها

روش کنارهم‌گذاری داده‌ها و روش مؤلفه‌های اصلی در بارزسازی گسل‌ها نتایج قابل قبولی ارائه می‌کند. با مقایسه اطلاعات حاصل از این روش با حالت بدون تلفیق داده‌های راداری و طیفی، گسل‌های منطقه به خوبی قابل تشخیص هستند. شکل ۶ نتایج این روش را در یک منطقه گسله نمایش می‌دهد.



شکل ۶. آ) تصاویر رنگی حاصل از سه مؤلفه اصلی مربوط به داده‌های ASTER (ب) و داده‌های ASTER ترکیب شده با داده‌های راداری ALOS

۲. استخراج و جداسازی واحدهای زمین‌شناختی با بافت متفاوت

در بخش‌های جنوبی منطقه بررسی شده و در هم‌جواری ناحیه معدنی دره‌زار، واحدهایی با سن نفوژن حضور دارند که بافت سطحی آن‌ها متمایز از نواحی اطراف است. به دلیل نشأت گرفتن این واحدها از واحدهای بالادست، در صورت بررسی به وسیله داده‌های چند طیفی، پاسخی مشابه دارند. داده‌های ترکیب شده به روش کنارهم‌گذاری داده‌ها و روش مؤلفه‌های اصلی و روش تبدیل IHS به خوبی این واحدها را تفکیک کرده‌اند (شکل ۷).

۳. استخراج دایک‌های نفوذی

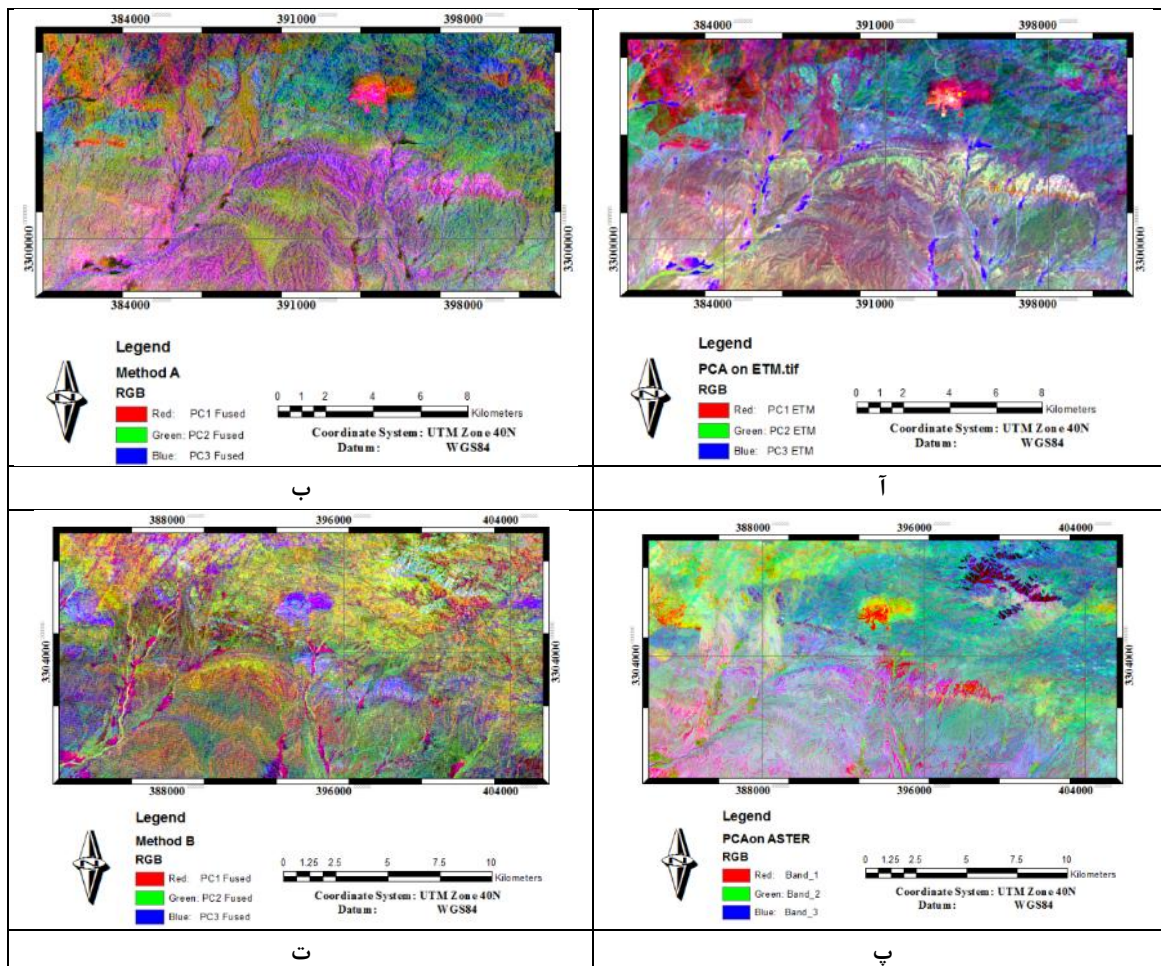
دایک‌های نفوذی به دلیل ماهوی دارای بافت منحصر به فردی نسبت به بخش‌های اطرافشان هستند. در بخش‌هایی از منطقه بررسی شده دایک‌هایی حضور دارند که روش کنارهم‌گذاری داده‌ها و روش مؤلفه‌های اصلی به خوبی آن‌ها را مشخص کرده است (شکل ۸). در بخش میانی و مرکزی تصویر مذکور، یک دایک نفوذی به طول تقریبی ۱۳ کیلومتر حضور دارد که در نتایج حاصل از این روش به خوبی قابل مشاهده است.

شکل ۹ ترکیب داده‌های چند طیفی و راداری با استفاده از روش کنارهم‌گذاری داده‌ها و روش مؤلفه‌های اصلی و روش تبدیل IHS را برای تعیین مناطق دگرسان شده نشان می‌دهد. تصاویر ترکیبی نتیجه بهتری به دست داده‌اند.

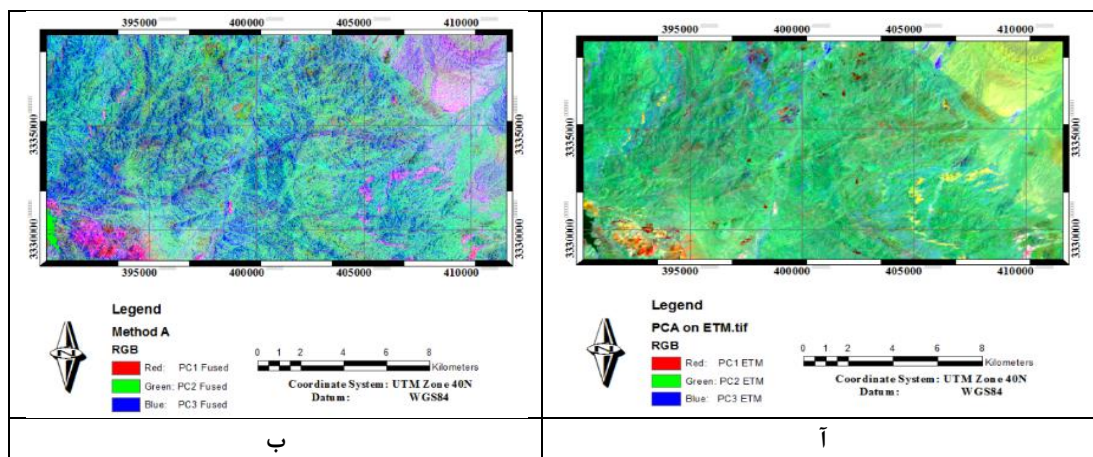
۳. تفکیک واحدهای زمین‌شناختی

در حالتی کلی روش تبدیل IHS در تفکیک واحدهای زمین‌شناختی موفق‌تر عمل کرده است. برای مثال در

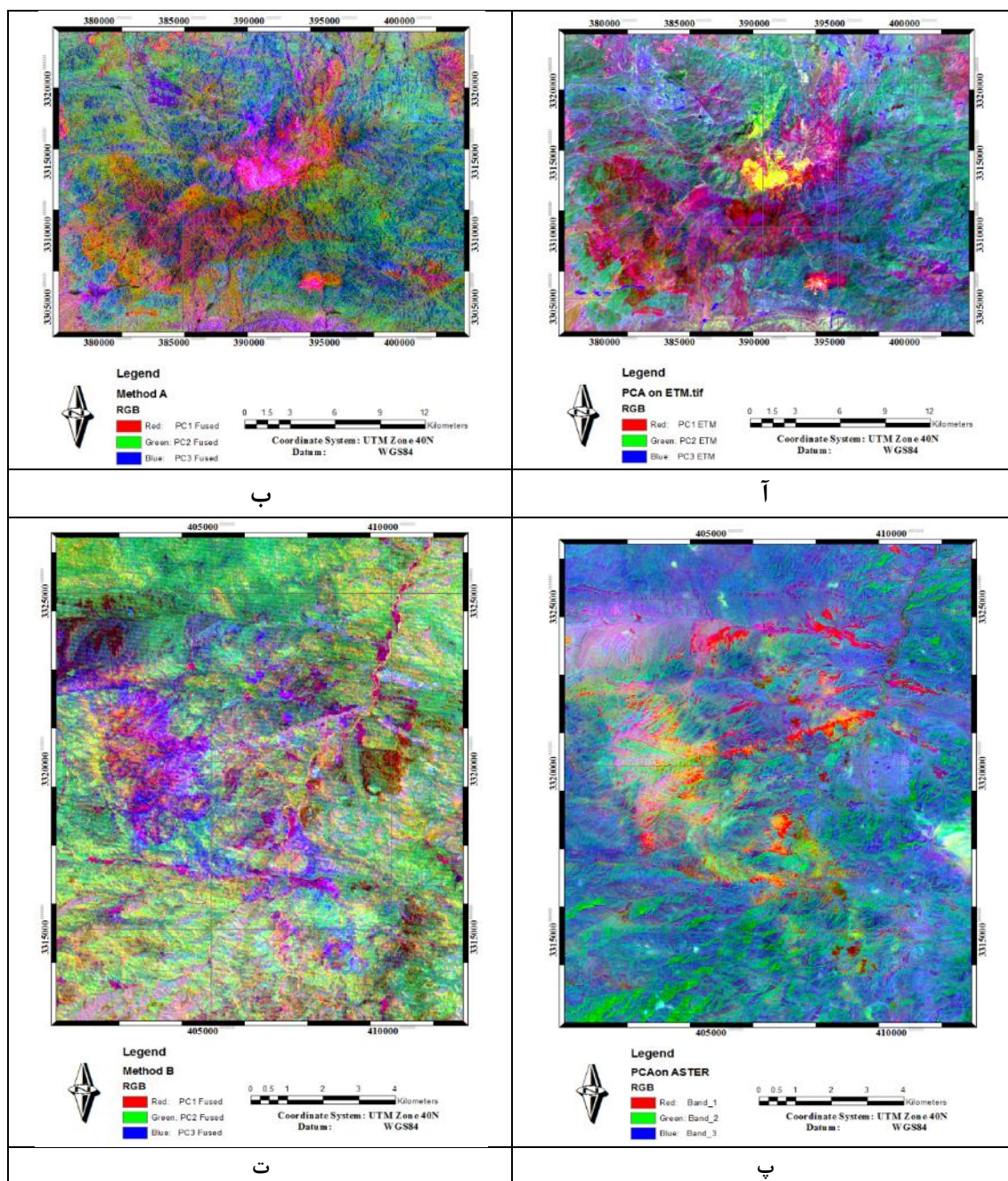
Error! Reference source not found. با مقایسه بصری بین حالت‌های ابتدایی و ترکیب شده، تفکیک لیتولوژیک بهتری به چشم می‌خورد. البته با بررسی جزئی‌تر موفقیت این روش در تفکیک لیتولوژی‌های مختلف، این نکته قویاً اثبات می‌شود (شکل ۱۱).



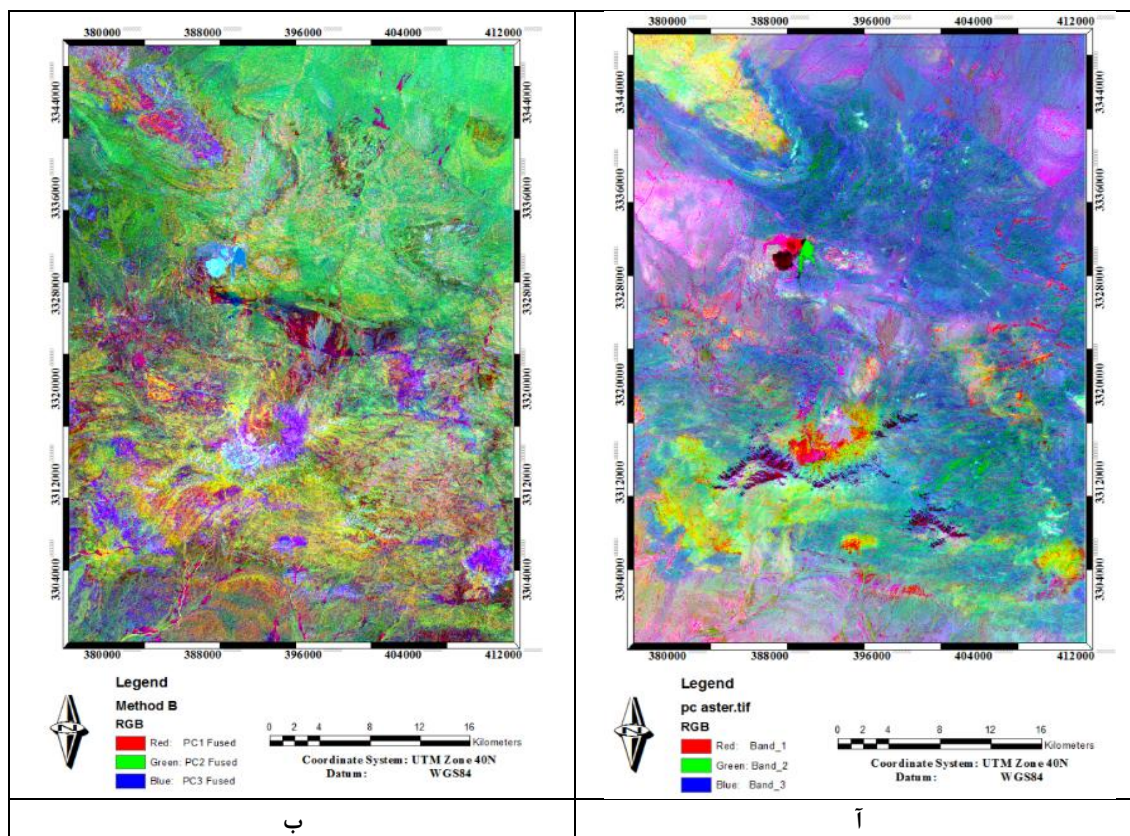
شکل ۷. آ مقایسه تفکیک واحدهای نئوزن در روش‌های مختلف، ب) ترکیب رنگی سه مؤلفه ابتدایی داده ETM، پ) ترکیب رنگی سه مؤلفه ابتدایی حاصل از تلفیق داده بر اساس روش کنارهم گذاری داده‌ها و روش مؤلفه‌های اصلی، ت) ترکیب رنگی حاصل از نمایش سه مؤلفه ابتدایی داده ASTER د) ترکیب رنگی سه مؤلفه ابتدایی حاصل از تلفیق داده با استفاده از تبدیل HIS



شکل ۸. آ) نمایش دایک موجود در بخش مرکزی تصویر در دو حالت مربوط به داده‌های اولیه، (ب) و داده‌های ترکیب شده تفکیک مناطق دگرسان شده گرمایی



شکل ۹. آ) نمایش یک ناحیه دارای دگرسانی گرمایی در حالت‌های ابتدایی مربوط به دسته داده‌های ETM، (ب) همراه با ترکیبات رنگی حاصل از روش کنارهم‌گذاری داده‌ها روش مؤلفه‌های اصلی، (ت) روش تبدیل IHS (پ)



شکل ۱۰. آ) مقایسه تفکیک لیتولوژیک در حالت ابتدایی مربوط به سنجنده ASTER، ب) حالت ترکیب شده همان سنجنده با داده‌های راداری

بحث

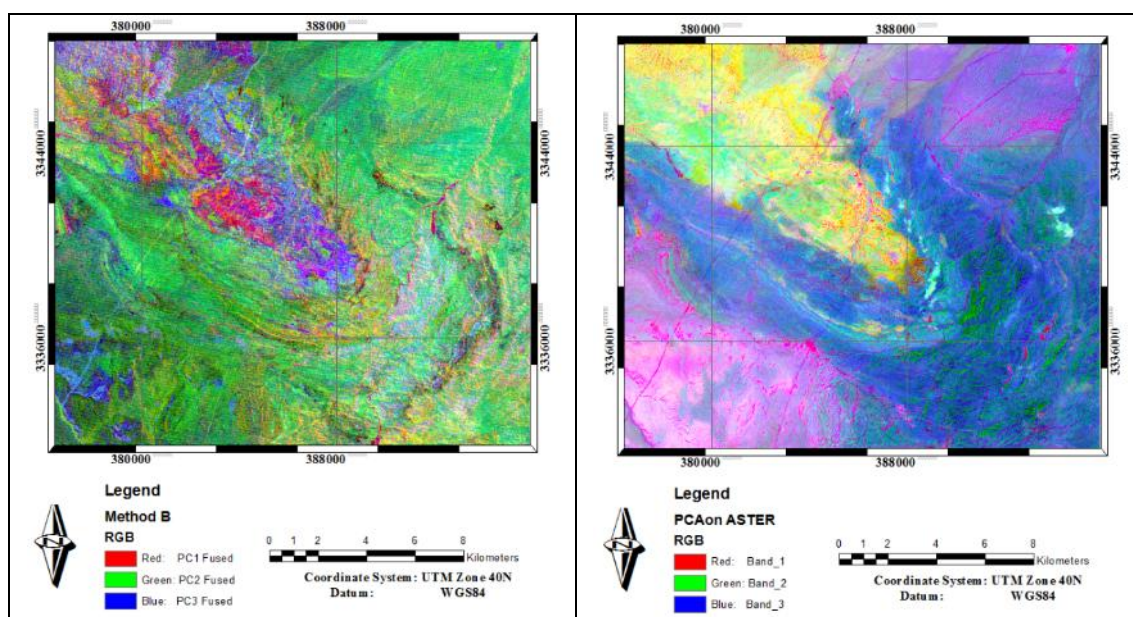
تصاویر چند طیفی ماهواره‌ای به صورت گسترده‌ای برای بارزسازی سنگ‌ها استفاده شده‌اند. عیب این داده‌ها این است که صرفاً متکی به ویژگی‌های طیفی سنگ‌ها است. در حالی که دو نوع سنگ ممکن است دارای ویژگی طیفی یکسان، اما دارای دو نوع بافت سطحی متفاوت باشند. تصاویر راداری به دلیل این که از انرژی مصنوعی استفاده می‌کنند و جهت سیر امواج الکترومغناطیس در پاسوی فضا پیمای نیست، بلکه به شکل اریب به سطح زمین برخورد می‌کند، به همین دلیل ساختارهای با روندی عمود بر جهت این امواج به خوبی در تصاویر راداری ظاهر می‌شوند. در صورتی که سطح زمین صاف و هموار یا دارای پستی و بلندی‌های کوچک باشد، در تصویر به دست آمده این ویژگی‌ها ثبت می‌شود. در این جا از هر دو ویژگی طیفی و بافتی به صورت هم‌زمان استفاده شده است. شکل ۶ ترکیب دو نوع داده چند طیفی استر و ALOS را برای بارزسازی گسل‌ها نشان می‌دهد. در تصویر ترکیب شده با داده‌های راداری علاوه بر گسل‌ها بافت روی سنگ‌ها بارزتر شده است. به عنوان مثال تراس‌های آهکی در شمال غرب منطقه بافت شباهت بارزتری را نسبت به تصاویر چند طیفی از خود نشان می‌دهند. هر دو روش ترکیب داده توانسته است این ویژگی را بارز کند. واحدهای سنگی در بخش‌های مختلف منطقه دارای ویژگی‌های متفاوتی مانند بافت و بافت زهکشی است. این ویژگی‌ها در کنار ویژگی‌های طیفی می‌توانند در نقشه‌برداری سنگ‌شناسی استفاده شوند. چنان که در شکل ۷ نمایش داده شده است، در تصاویر ب و ت، که هر دو داده چند طیفی و راداری ترکیب شده اند، تفکیک واحدهای نئوژن به خوبی انجام شده است. نکته مهم در این قسمت قدرت بیشتر روش کنارهم‌گذاری داده‌ها و روش مؤلفه‌های اصلی در تفکیک لیتولوژی است که با دقت بیشتری این کار را انجام داده است. علاوه بر تفکیک لیتولوژی سیمای خطی

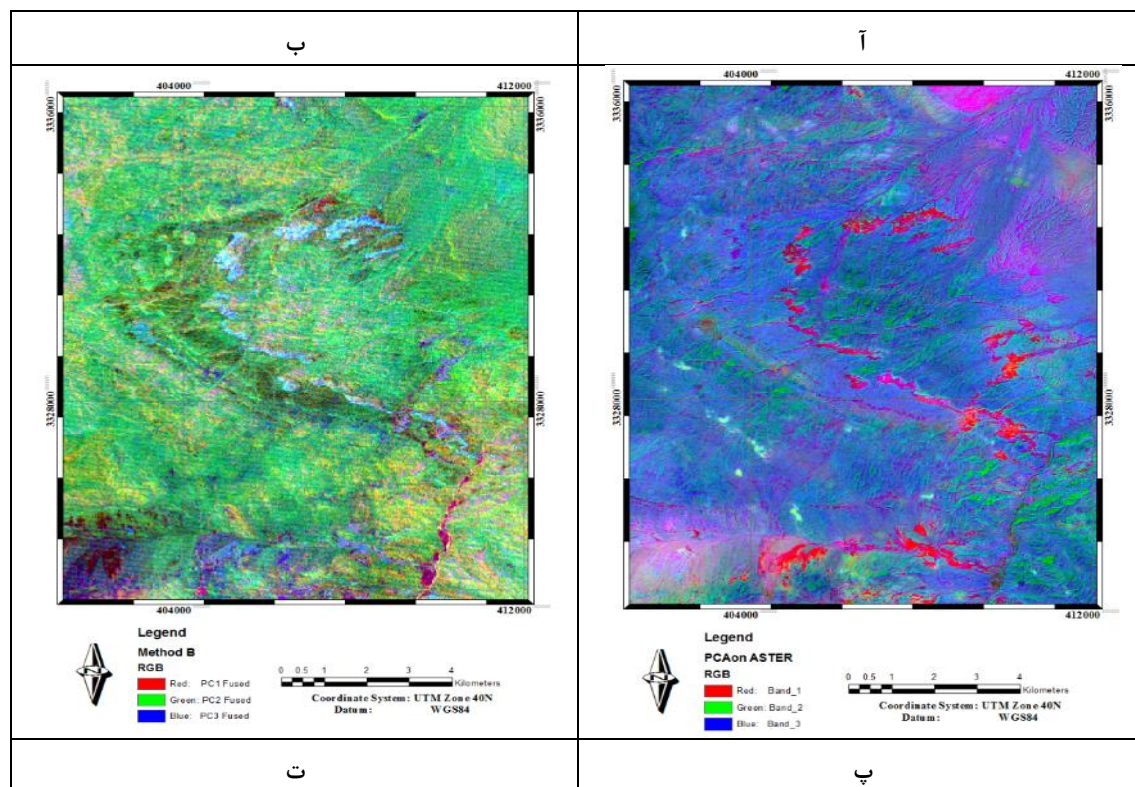
مانند گسل‌ها و آبراهه‌ها نیز بارز شده‌اند.

با بررسی بصری نتایج حاصل از روش‌های مختلف مشخص شد که مناطق حاوی دگرسانی گرمایی در داده‌های ترکیب شده به‌وسیله هر دو روش نمود بهتری دارند و با وضوح بیشتری قابل مشاهده هستند. ممکن است با تمرکز بر روی این موضوع بتوان به نتایج بهتری در زمینه تفکیک مناطق دگرسان شده به‌وسیله تکنیک‌های سنجش از دور دست پیدا کرد. نکته مهم این است که در داده‌های ترکیب شده به‌روش تبدیل IHS مناطق با گسترش بسیار کم‌تر دگرسانی گرمایی، با وضوح بهتری قابل مشاهده هستند و این در حالی است که در روش‌های مبتنی بر طیف این مناطق قابل شناسایی نیست (شکل ۹). چنان‌که در بخش ت شکل ۹ مشخص است، در پایین تصویر، ناحیه‌ای کوچک به‌رنگ آبی مشخص شده است که در تصویر بخش پ قابل مشاهده نیست.

دایک‌ها به‌دلیل این‌که سیماهای خطی زمین‌شناسی هستند و دارای تفاوت توپوگرافی با سنگ‌های همبر خود دارند، در تصاویر ترکیبی به شکل بهتری نمایش داده می‌شوند (شکل ۸).

به‌صورت کلی هر دو روش تلفیق داده‌ها نشان داد که نقشه‌برداری از سیماهای مختلف زمین‌شناسی با استفاده از داده‌های راداری و چند طیفی نتیجه بهتری به‌دست می‌دهد. اما به‌صورت کلی روش تلفیق داده‌ها با استفاده از روش کنارهم‌گذاری داده‌ها و روش مؤلفه‌های اصلی در بازسازی مناطق دگرسان شده، گسل‌ها و واحدهای زمین‌شناسی با بافت بسیار شاخص (مانند دایک‌ها و واحدهای نئوژن)، نتیجه بهتری را دارد. در حالی‌که روش تلفیق داده‌ها با استفاده از تبدیل IHS در تفکیک کلی واحدهای لیتولوژیک موفق‌تر است. تمام موارد مذکور بر اساس اطلاعات قبلی و دانش حصولی از پیش دست‌یافته مانند نقشه‌های زمین‌شناسی و گزارش‌های زمین‌شناسی، به‌وسیله محققان بررسی و تأیید شده تأیید است. تصاویر به‌دست آمده با داده‌های میدانی بررسی شده و تفسیر شده‌اند. بر اساس بررسی‌های میدانی و نقشه‌های زمین‌شناسی موجود در مقیاس‌های مختلف، ترکیب داده‌های راداری و طیفی نشان داد که می‌تواند منشأ بروز نتایج بسیار مطلوبی باشد. این حوزه نیاز به بررسی‌های علمی بیشتر و دقیق‌تر دارد. به‌کارگیری داده‌های مختلف راداری با پلاریزاسیون‌های مختلف، روش‌های مختلف تلفیق، روش‌های مختلف تجمیع اطلاعات راداری در یک باند و واردی از این دست پارامترهایی هستند که می‌توان با تغییر و بهبود آنها، نتایج مطلوبی را به‌دست آورد.





شکل ۱۱. تفکیک سنگ‌شناسی با روش تبدیل IHS در مناطق مختلف

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق به‌طور خلاصه بدین شرح ارائه می‌شود:

۱. یک بردار برآیند بر اساس دو تصویر راداری با پلاریزاسیون مختلف جهت ترکیب با تصاویر طیفی تهیه شد که حاوی ویژگی‌های بافتی است.
۲. روش تلفیق داده‌ها با استفاده از روش کنارهم‌گذاری داده‌ها و روش مؤلفه‌های اصلی در بارزسازی مناطق دگرسان شده، گسل‌ها و واحدهای زمین‌شناسی با بافت بسیار شاخص (مانند دایک‌ها و واحدهای نئوزن)، موفق‌تر عمل کرد.
۳. روش تلفیق داده‌ها با استفاده از تبدیل IHS در تفکیک کلی واحدهای لیتولوژیک موفق‌تر است. در این روش برخی مناطق دارای دگرسانی گرمایی به‌طور جزئی را به‌خوبی نمایش می‌دهد که در سایر داده‌ها و روش‌ها قابل تفکیک نیستند.
۴. تلفیق داده‌های مختلف از لحاظ اطلاعات موجود در هر داده (صرف نظر از ماهیت و طول موج یا فرکانس ثبت داده)، می‌تواند بررسی شده و نتایج آن بررسی شود.

منابع

1. Zhang J., "Multi-source remote sensing data fusion: status and trends", International Journal of Image and Data Fusion, 1(1) (2010) 5-24.
2. Klein L. A., "Sensor and data fusion: a tool for information assessment and decision making", (Vol. 138) (2004) SPIE press.
3. Pour A. B., Hashim M., "Structural geology mapping using PALSAR data in the Bau gold

- mining district, Sarawak, Malaysia", *Advances in Space Research*, 54 (4) (2014) 644-654.
4. Paillou P., Lopez S., Farr T., Rosenqvist A., "Mapping subsurface geology in Sahara using L-Band SAR: first results from the ALOS/PALSAR imaging radar", *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3(4) (2010) 632-636.
 5. Zhao C., Lu Z., Zhang Q., de La Fuente J., "Large-area landslide detection and monitoring with ALOS/PALSAR imagery data over Northern California and Southern Oregon", *USA. Remote Sensing of Environment*, 124(2012) 348-359.
 6. Mwaniki M. W., Moeller M. S., Schellmann G., "A comparison of Landsat 8 (OLI) and Landsat 7 (ETM+) in mapping geology and visualising lineaments: A case study of central region Kenya", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences* (2015).
 7. Ali S. A., Pirasteh S., "Geological applications of Landsat enhanced thematic mapper (ETM) data and geographic information system (GIS): mapping and structural interpretation in south-west Iran, Zagros structural belt", *International Journal of Remote Sensing*, 25 (21) (2004) 4715-4727.
 8. Qi Z., Yeh A. G. O., Li X., Lin Z., "A novel algorithm for land use and land cover classification using RADARSAT-2 polarimetric SAR data", *Remote Sensing of Environment*, 118 (2012) 21-39.
 9. Ban Y., Hu H., Rangel I. M., "Fusion of Quickbird MS and RADARSAT SAR data for urban land-cover mapping: Object-based and knowledge-based approach", *International Journal of Remote Sensing*, 31(6) (2010) 1391-1410.
 10. Lardeux C., Frison P. L., Rudant J. P., Souyris J. C., Tison C., Stoll B., "Use of the SVM classification with polarimetric SAR data for land use cartography", In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2006. IGARSS 2006. IEEE International Conference on* (2006, July)493-496, IEEE.
 11. Wijaya A., Gloaguen R., "Fusion of ALOS Palsar and Landsat ETM data for land cover classification and biomass modeling using non-linear methods", In *Geoscience and remote sensing symposium, 2009 IEEE International, IGARSS 2009* (Vol. 3, (2009, July) III-581. IEEE.
 12. Hyde P., Dubayah R., Walker W., Blair J. B., Hofton M., Hunsaker C., "Mapping forest structure for wildlife habitat analysis using multi-sensor (LiDAR, SAR/InSAR, ETM+, Quickbird) synergy", *Remote Sensing of Environment*, 102 (1-2) (2006) 63-73.
 13. Singhroy V., "Remote sensing of landslides", *Landslide hazard and risk* (2005) 469-492.
 14. Pour A. B., Hashim M., "Application of Landsat-8 and ALOS-2 data for structural and landslide hazard mapping in Kelantan, Malaysia", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(7) (2017) 1285.
 15. XIONG J., WANG S., ZHOU Y., WANG L., YAN F., "Study on the monitoring method of landslide dam formed by earthquake based on optical and radar remote sensing data", *Water Resources and Hydropower Engineering*, 1 (2012) 011.

16. Chen J., Li J., Zhang S., Lin J., Liu X., "Monitoring of Dali Lake based on Sentinel-1 data. In 2017 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES)", (2017, August) 1-2, IEEE.
17. Morais M. C. D., Martins Junior P. P., "Paradella W. R., "Mapping iron-mineralized laterite environments based on textural attributes from MAPSAR image simulation-SAR-R99B (SIVAM/SIPAM) in the Amazon region", *Revista Brasileira de Geofísica*, 29 (1) (2011) 99-111.
18. Pour A. B., Hashim M., "Integrating PALSAR and ASTER data for mineral deposits exploration in tropical environments: a case study from Central Belt, Peninsular Malaysia", *International Journal of Image and Data Fusion*, 6 (2) (2015) 170-188.
19. Pour A. B., Hashim M., "Application of PALSAR-2 remote sensing data for structural geology and topographic mapping in Kelantan river basin, Malaysia", In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 37, No. 1, (2016, June) 012067, IOP Publishing.
20. Bannari A., El-Battay A., Saquaque A., Miri A., "PALSAR-FBS L-HH Mode and Landsat-TM Data Fusion for Geological Mapping", *Advances in Remote Sensing*, 5 (04) (2016) 246.
21. Pour A. B., Hashim M., "Geological structure mapping for gold exploration targets using PALSAR remote sensing data in the Central Gold Belt", Peninsular Malaysia (2016).
22. Dimitrijevic M. D., Dimitrijevic M. N., Djordjevic M., Vulovic D., "Geological map of Pariz, sheet no. 7149, 1: 100,000 series", Geological Survey of Iran (1971).
23. Dimitrijevic M. D., Dimitrijevic M. N., Djordjevic M., "Geological map of Rafsanjan 1, No. 7150, Series 1:100,000", Geological Survey of Iran (GSI), Tehran (1973).
24. Khan Nazer N. H., Emami H., "Geological map of Chahar-Gonbad", No. 7249, 1:100000 Series. Geological Survey of Iran, Tehran (GSI) (in Persian) (1995).
25. Djokovic I., Dimitrijevic M. N., "Geological map of Rafsanjan II. No. 7250, 1:100000 Series", Geological Survey of Iran, Tehran (GSI) (1971).
26. Soheili M., Khannazer N., Mohajjel M., Sabzehei M., Eshraghi S., Roshan Ravan J., Yugoslavian group, "Geological map of Sirjan. quadrangle No. I11, Series 1:250000", Geological Survey of Iran (GSI) (1995).
27. Vahdati Daneshmand F., Zohrehbakhsh A., Djokovic I., Dimitrijevic M. D., "Geology Map of Rafsanjan, Scale 1: 250,000 (1990).
28. Sabzehei, M., (1995). Geological map of Kerman Province with scale of 1:500000", Plan and Budget of Kerman Province publication.
29. Dimitrijevic M. D., "Exploration for ore deposit in Kerman Region", Geological Survey of Iran Report Yu/53 (1973) 220.
30. Almeida-Filho R., Shimabukuro Y. E., Rosenqvist A., Sanchez G. A., "Using dual-polarized Alos Palsar data for detecting new fronts of deforestation in the Brazilian Amazônia", *International Journal of Remote Sensing*, 30 (14) (2009) 3735-3743.
31. Kayadibi O., "Recent advances in satellite technologies using to generate the Digital

- Elevation Model (DEM). In *Recent Advances in Space Technologies, 2009*", RAST'09. 4th International Conference on, (2009) 380-385, IEEE.
32. Rosenqvist A., Shimada M., Ito, N., Watanabe M., "ALOS PALSAR: A pathfinder mission for global-scale monitoring of the environment", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45 (11) (2007) 3307-3316.
 33. Karang I. W. G. A., Nishio F., Mitnik L., Osawa T., "Spatial-Temporal Distribution and Characteristics of Internal Waves in the Lombok Strait Area Studied by Alos-Palsar Images", *Earth Science Research*, 1(2) (2012) 11.
 34. Lee J. S., Wen J. H., Ainsworth T. L., Chen K. S., Chen A. J., "Improved sigma filter for speckle filtering of SAR imagery", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47 (1) (2008) 202-213.
 35. Chan H. P., Chang C. P., Dao P. D., "Geothermal anomaly mapping using landsat etm+ data in ilan plain, northeastern Taiwan", *Pure and Applied Geophysics*, 175 (1) (2018) 303-323.
 36. Irish R. R., "Landsat 7 science data users' handbook", National Aeronautics and Space Administration, Report (2000) 415-430.
 37. Pelto M., "Exceptionally High 2018 Equilibrium Line Altitude on Taku Glacier", *Alaska Remote Sensing*, 11 (20) (2019) 2378.
 38. Abrams M., Hook S., Ramachandran B., "ASTER user handbook, version 2. Jet Propulsion Laboratory", 4800 (2002) 135.
 39. Safari M., Maghsoudi A., Pour A. B., "Application of Landsat-8 and ASTER satellite remote sensing data for porphyry copper exploration: a case study from Shahr-e-Babak, Kerman, south of Iran", *Geocarto International*, 33 (11) (2018) 1186-1201.
 40. Pournamdari M., Hashim M., Pour A. B., "Spectral transformation of ASTER and Landsat TM bands for lithological mapping of Soghan ophiolite complex, south Iran", *Advances in Space Research*, 54(4) (2014) 694-709.
 41. Yamaguchi Y., Tsu H., Fujisada H., "Scientific basis of ASTER instrument design. In *Sensor Systems for the Early Earth Observing System Platforms*", Vol. (1993, August) 150-160, International Society for Optics and Photonics.
 42. Zhang T., Yang B., "Big data dimension reduction using PCA", In *2016 IEEE International Conference on Smart Cloud (SmartCloud)* (2016, November) 152-157, IEEE.
 43. Rebala G., Ravi A., Churiwala S., "Principal Component Analysis", In *An Introduction to Machine Learning* (pp. 141-152). Springer, Cham (2019).
 44. Sarp G., "Spectral and spatial quality analysis of pan-sharpening algorithms: A case study in Istanbul", *European Journal of Remote Sensing*, 47 (1) (2014) 19-28.
 45. Schetselaar E. M., "Fusion by the IHS transform: Should we use cylindrical or spherical coordinates", *International Journal of Remote Sensing*, 19 (4) (1998) 759-765.