

قابلیت سنجی کارآمدی روش‌های ترکیب و تلفیق داده‌های رادار و اپتیک با هدف شناسایی مناطق دگرسانی

محمد شریفی کیا^۱، احسان فلاحتی^۲ و جلال کرمی^۲

^۱دانشیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۳استادیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۹

چکیده

سنجش از دور اپتیک یک روش کم هزینه و کارآمد در شناسایی مناطق دگرسانی است. با این وجود در مناطق پوشیده از پوشش‌های گیاهی و رسوبات کواترنر، شناسایی این مناطق تنها توسط تصاویر اپتیک از دقت بالایی برخوردار نیست. به همین دلیل تلفیق داده‌های سنجنده اپتیک ASTER و سنجنده میکروویو PALSAR با روش‌های HSV، HSL، بیشترین شباهت و شبکه عصبی فازی به منظور شناسایی دقیق‌تر زون‌های دگرسانی در غرب استان قزوین مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا شناسایی دگرسانی‌های آرژیلیک و پروپیلیتیک توسط تصویر ASTER انجام گرفت. سپس بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی و داده‌های میدانی جمع‌آوری شده، برخی از مناطق دارای دگرسانی‌های پوشیده شده توسط رسوبات کواترنر، که توسط تصاویر ASTER قابل شناسایی نیستند، مشخص گردید. در ادامه تلفیق داده‌های باند L سنجنده PALSAR و باندهای مادون قرمز میانی سنجنده ASTER به روش‌های HSV، HSL، بیشترین شباهت و شبکه عصبی مصنوعی انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که تلفیق تصاویر رادار و اپتیک به روش‌های HSV و HSL باعث افزایش تفکیک‌پذیری مناطق دارای رخنمون دگرسانی آرژیلیک از سایر مناطق می‌شوند. همچنین ترکیب تصاویر رادار و اپتیک به روش‌های بیشترین شباهت و شبکه عصبی علاوه بر افزایش تفکیک‌پذیری زون‌های دگرسانی، باعث شناسایی بخشی از ذخایر پوشیده شده توسط رسوبات کواترنر می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: رادار، دگرسانی، اپتیک، شبکه عصبی، تلفیق تصاویر، اکتشاف.

*نویسنده مسئول: محمد شریفی کیا

E-mail: sharifikia@modares.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

به کلیه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که تحت‌تأثیر آب‌های ماگمایی و یا گرمایی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود دگرسانی می‌گویند. زون‌های دگرسانی به دلیل همراه بودن با ذخایر فلزی (مانند مس و طلا) و غیر فلزی (مانند کائولن، باریت و انواع خاک‌های صنعتی) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (Mars and Rowan, 2006). ساختار خاص لیتولوژیکی زون‌های دگرسانی فرآیند مناسبی از ظهور و عرضه باندهای جذبی و انعکاسی طیف الکترومغناطیسی متأثر از کانی‌های اصلی تشکیل دهنده آنها و نیز قابلیت اکتشافی خوب و قابل اعتمادی از عرصه‌های فضایی گسترش این کانی‌ها مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دوری را فراهم ساخته است (Yoshiki, 2002). مبتنی بر تحقیقات انجام شده توسط محققین مختلف، کانی‌های رسی به عنوان مهم‌ترین کانی‌های تشکیل دهنده زون‌های دگرسانی، دارای یک باند جذبی در طول موج ۲/۲ میکرون و یک باند انعکاسی در طول موج ۱/۶۵ میکرون هستند (Rowan et al., 2003; Moore and Reynolds, 1999; Sabins, 1999; Abdelsalam et al., 2000a). این قابلیت تمایز و تفکیک زون‌های دگرسانی در دو حوزه اصلی سنجش از دور (اپتیک و میکروویو) را فراهم می‌آورد (Hewson, et al., 2005). نکته قابل توجه اینکه برغم سهولت دسترسی و پردازش داده‌های اپتیک، این تصاویر در مناطقی که زون‌های دگرسانی توسط پوشش گیاهی و یا رسوبات کواترنر پوشیده شده‌اند کارایی چندانی نداشته و بیشتر معرف اطلاعات شیمیایی سطح خواهد بود. در مقابل تصاویر راداری حساسیت کمتری به ویژگی‌های شیمیایی سطح داشته و برخوردار از قابلیت‌هایی چون نفوذ در سطح و تصویربرداری در قطب‌های مختلف و اثرپذیری بالا از ویژگی‌های فیزیکی سطح (بافت و زبری) و همچنین ثابت دی الکتریک هستند (Woodhouse, 2006; Neal, 2004). این قابلیت‌ها اهمیت زیادی در مطالعات زمین‌شناسی و معدنی دارند (Schaber et al., 1996). به عنوان مثال برخی سنگ‌های آذرین مورفولوژی خشن‌تری (زبری بیشتر) در

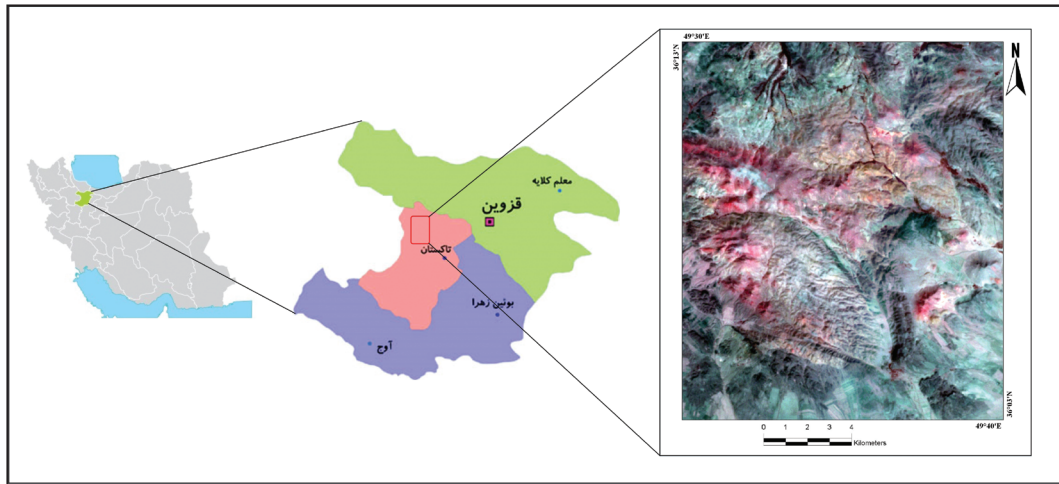
مقایسه با برخی سنگ‌های رسوبی دارند (Campbell and Campbell, 1992; Zebker et al., 1996). همچنین سازندهای قدیمی تحت تأثیر عوامل فرسایشی مختلف، معمولاً زبری کمتری نسبت به سازندهای جوان تر خواهند داشت (Abdelsalam et al., 2000b; Carolina et al., 2011; Farr and Chadwick, 1996). بنابراین ترکیب تصاویر اپتیک و رادار می‌تواند اطلاعات فیزیکی و شیمیایی سطح و عمق زمین را همزمان فراهم آورد. در این میان انتخاب یک روش بهینه جهت ترکیب داده‌های اپتیک و راداری به منظور بهبود دقت شناسایی زون‌های دگرسانی، از اهمیت بالایی برخوردار است. مبتنی بر این اندیشه و با هدف آزمون کارآمدی روش‌های مختلف تلفیق و ترکیب داده‌های رادار و اپتیک در شناسایی پهنه‌های نسبتاً مدفون زون‌های دگرسانی در بخشی از عرصه زمین‌شناسی غرب استان قزوین، تحقیق حاضر صورت پذیرفته است.

۲- محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در غرب استان قزوین و در شمال تاکستان بین طول‌های جغرافیایی ۳۰' ۴۹° تا ۴۰' ۴۹° شمالی و عرض‌های جغرافیایی ۳' ۳۶° تا ۱۳' ۳۶° شرقی انتخاب شده است (شکل ۱). این منطقه دارای آب و هوای سرد زمستانی و نسبتاً معتدل تابستانی است که همانند بسیار از مناطق ایران قابلیت جداسازی فصول به عنوان یک زیرساخت تأثیرگذار در یافته‌های سنجش از دوری را دارد. منطقه مورد مطالعه بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بر گه تاکستان است. مبتنی بر نظر (اشوکلین، ۱۹۷۴) این منطقه بخشی از پهنه البرز جنوبی است و واحدهای آذرین و دگرگونی قسمت عمده منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. دگرسانی آرژیلیک بزرگ‌ترین واحد دگرگونی منطقه است و کائولینیت و مونت‌موریونیت به عنوان کانی‌های سیلیکاته شاخص دگرسانی آرژیلیک، در گستره وسیعی از منطقه رخنمون دارند. در بخش مرکزی منطقه کانی‌های کلریت و اپیدوت وجود دارند که نشان‌دهنده وجود یک دگرسانی پروپیلیتیک در منطقه ۶۵

جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۷ دقیقه از جمله ذخایر مهم و اقتصادی منطقه محسوب می‌شود. این واحدهای دگرسانی توسط واحدهای سنگی توف با ترکیب عمدتاً داسیتی، ریو داسیتی و ریولیتی محصور گشته‌اند. در مجموع وسعت منطقه مورد مطالعه در حدود ۲۵۳ کیلومتر مربع می‌باشد.

این زون پیروپلیتی از یک طرف با توده گرانیته در تماس بوده و تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته و از طرف دیگر به زون آرژیلیکی تبدیل می‌شود. وجود این زون‌های دگرگونی موجب غنای منطقه از نظر ذخایر خاک‌های صنعتی گشته است. معدن کائولن قازانداغی در ۷ کیلومتری شمال غربی شهرستان تاکستان، در طول



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه.

۳- داده‌ها و روش تحقیق

برای انجام این پژوهش گروه متنوعی از داده‌ها به شرح ذیل مورد استفاده قرار گرفته است:

- تصویر ماهواره اپتیک سنجنده ASTER ماهواره ترا گذر ۱۶۶ و مسیر ۳۵ تاریخ ۲۰۰۷/۰۹/۰۶.

- تصویر ماهواره راداری سنجنده PALSAR ماهواره ALOS متعلق به کشور ژاپن در تاریخ ۲۰۰۷/۰۷/۱۷ و پلاریزاسیون HH، در مد بالاگذر و زاویه نگاه ۳۸ درجه.

- داده‌های پیمایشی جمع‌آوری شده از عملیاتی میدانی به کمک GPS و نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بر گره تاکستان.

روش مورد استفاده برای انجام این تحقیق آزمایشگاهی- پیمایشی و تحلیلی است. ابتدا مبتنی بر رفتار طیفی کانی‌های شاخص زون‌های دگرسانی آرژیلیک و پیروپلیتیک، این مناطق توسط تصویر سنجنده ASTER شناسایی شد. با مقایسه دگرسانی‌های شناسایی شده به کمک تصویر سنجنده ASTER با نقشه زمین‌شناسی و داده‌های میدانی جمع‌آوری شده، مناطق دگرسانی پوشیده شده توسط رسوبات کواترن مشخص گردید. این دگرسانی‌های فاقد رخنمون، مناطقی هستند که تصویر اپتیک به تنهایی قادر به شناسایی دقیق آنها نیست. در گام بعد مقادیر دامنه راداری باند L سنجنده PALSAR در دو تاریخ ۲۰۰۷/۰۱/۱۴ و ۲۰۰۷/۰۷/۱۷ برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. انتخاب دو تصویر به گونه‌ای انجام گرفت که متعلق به دو فصل متفاوت از لحاظ رطوبت سطحی خاک باشند. تصویر اول (۲۰۰۷/۰۱/۱۴) متعلق به فصلی است که با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه، بر اثر نزولات جوی سطح خاک دارای رطوبت زیاد و تصویر دوم (۲۰۰۷/۰۷/۱۷) متعلق به فصلی است که سطح خاک رطوبت کمی دارد. در ادامه از روش‌های HSV و HSL جهت تلفیق، و روش‌های بیشترین شباهت و شبکه عصبی فازی جهت ترکیب داده‌های اپتیک و راداری با هدف بهبود شناسایی زون‌های دگرسانی استفاده شد. در پایان نیز نتایج حاصل شده با یکدیگر مقایسه گردید.

۴- پردازش تصاویر راداری و اپتیک

جهت تلفیق داده‌ها، ابتدا عملیات پیش‌پردازش شامل تصحیحات اتمسفری

و رادیومتریک بر روی باندهای ۴ تا ۹ سنجنده ASTER اجرا شده و سپس مقادیر بازتاب سطحی برای تمامی باندها محاسبه شد. همچنین جهت پردازش تصاویر راداری عملیات ساخت تصویر مختلط منفردنگر (Single Look Complex)، چند نگاهه (Multi looking)، زمین مرجع‌سازی (Geocoding)، کالیبراسیون رادیومتری (Radiometric calibration) و نرمال‌سازی رادیومتری (Radiometric Normalization) به ترتیب بر روی هر یک از تصاویر متعلق به تاریخ‌های ۲۰۰۷/۰۱/۱۴ و ۲۰۰۷/۰۷/۱۷ انجام گرفت. جهت تعدیل اثرات نویز اسپیکل از فیلتر لی (Lee) استفاده گردید. در مرحله آخر مقدار ضریب باز پخش راداری بر حسب دسیبل برای هر دو تصویر محاسبه شد. کاهش رطوبت سطحی خاک با گذر از فصل مرطوب به فصل خشک باعث افزایش قابلیت نفوذ سیگنال‌های راداری در سطح و کاهش مقادیر دامنه راداری می‌شود. از آنجایی که قابلیت نگاهداشت رطوبت در سطوح خاک بسته به نوع بافت، مواد تشکیل دهنده و جنس لیتولوژی آن متغیر است، بنابراین میزان تغییرات مقادیر دامنه راداری در دو تصویر می‌تواند به عنوان یک معرف جهت تفکیک زون‌های دگرسانی از سایر مناطق باشد. بر همین اساس با کم کردن دو تصویر از یکدیگر، تصویر تغییرات دامنه راداری (تصویر تفاضلی) در فاصله زمانی برداشت دو تصویر نیز محاسبه و جهت تلفیق با داده‌های اپتیک مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از این پردازش‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

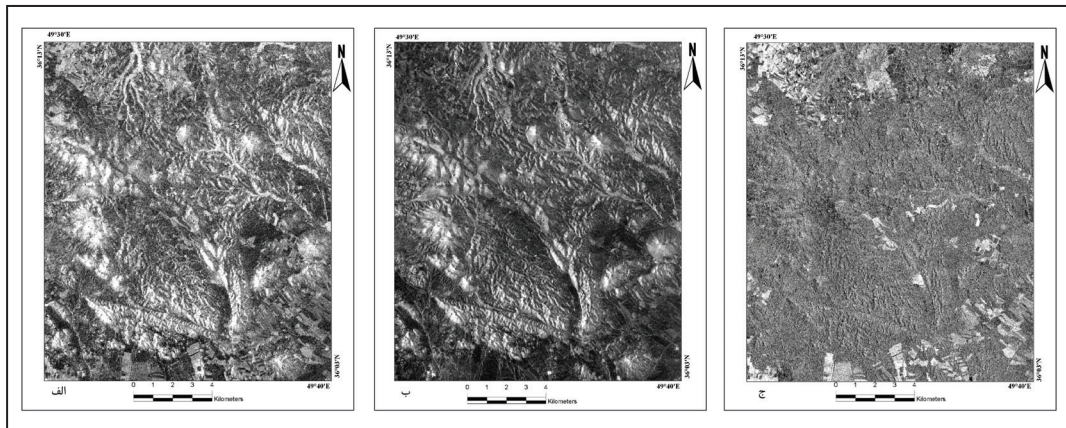
۵- تلفیق تصاویر رادار و اپتیک به روش HSV

این مدل رنگی بر اساس تصور، درک و شناخت انسان از مفهوم رنگ به وجود آمده و بر اساس فضای مختصات استوانه‌ای تعریف می‌شود. اهمیت سیستم‌های رنگی استوانه‌ای در پردازش تصویر به دلیل جدا کردن شدت روشنایی از رنگ است که این امر امکان ترکیب داده‌های مختلف با یکدیگر را فراهم می‌کند. در این سیستم مختصات رنگی، محیط استوانه نشان دهنده مولفه رنگ مایه (Hue)، شعاع استوانه معرف مولفه اشباع یا غلظت بر حسب درصد (Saturation) و ارتفاع استوانه نیز بیانگر شدت روشنایی (Value) است.

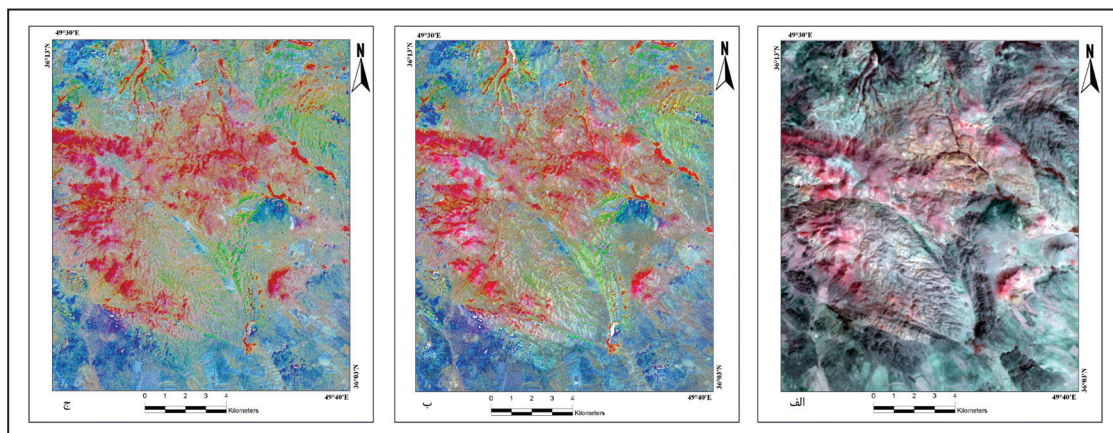
شکل ۳- الف تصویر ترکیب رنگی کاذب (RGB-۴۶۸) سنجنده AS-

شکل مشاهده می‌شود ترکیب باند L رادار با باندهای سنجنده ASTER، قابلیت آشکارسازی و تفکیک دگرسانی‌های آرژلیک و پروپلیتیک از سایر واحدهای لیتولوژیکی منطقه را افزایش داده است. در شکل ۳- ج تصویر باند L با قطبش HH تاریخ ۲۰۰۷/۰۱/۱۴ (فصل مرطوب) از تصویر باند L با قطبش HH تاریخ ۲۰۰۷/۰۷/۱۷ کم شده (تصویر تفاضلی) و تصویر حاصل جایگزین مؤلفه شدت روشنایی شده است. با توجه به شکل ۳- ج مشاهده می‌شود که تلفیق تصویر دامنه راداری تفاضلی باند L فصل خشک و مرطوب با تصویر سنجنده ASTER قابلیت تفکیک و جداسازی آلتراسیون‌های پروپلیتیک و آرژلیک را افزایش داده است.

TER را نشان می‌دهد. این ترکیب رنگی یک ترکیب مناسب جهت آشکارسازی زون‌های دگرسانی آرژلیک و فلیک است (Abrams, 2000; Galvao et al., 2005). در این تصویر مناطق قرمز تا صورتی رنگ نشان دهنده دگرسانی‌های آرژلیک و مناطق سبز رنگ نشان دهنده مناطق دگرسانی پروپلیتیک می‌باشد (Hubbard and Crowley, 2005). در شکل ۳- ب ترکیب داده‌های سنجنده ASTER و PALSAR با روش HSV نشان داده شده است که در آن مؤلفه شدت روشنایی با تصویر دامنه راداری با قطبش HH باند L در تاریخ ۲۰۰۷/۰۷/۱۷ (فصل خشک) رادار جایگزین شده است. همانطور که در این



شکل ۲- تصاویر دامنه راداری (دسیل) باند L الف) تصویر HH تاریخ ۲۰۰۷/۰۷/۱۷؛ ب) تصویر HH تاریخ ۲۰۰۷/۰۱/۱۴؛ ج) اختلاف تصاویر الف و ب.



شکل ۳- ترکیب تصاویر رادار باند L و ASTER به روش HSV الف) ترکیب رنگی کاذب 8-6-4RGB = سنجنده ASTER؛ ب) ترکیب تصاویر راداری و اپتیکی با جایگزینی تصویر دامنه راداری HH فصل خشک باند L با مؤلفه شدت روشنایی؛ ج) ترکیب تصاویر راداری و اپتیکی با جایگزینی تصویر دامنه راداری تفاضلی فصل خشک و مرطوب با مؤلفه شدت روشنایی.

۶- تلفیق تصاویر رادار و اپتیکی به روش HLS

مدل رنگی HSL نیز همانند مدل HSV بر مبنای مختصات استوانه‌ای تعریف می‌شود. مؤلفه‌های اصلی در این مدل عبارتند از: رنگ مایه (Hue)، غلظت یا اشباع (Saturation) و روشنایی (Lightness) که طبق روابط زیر از فضای RGB محاسبه می‌شوند:

$$H = \arccos \frac{1/2[(R-G)+(R-B)]}{\sqrt{((R-G)^2+(R-B)(G-B))}} \quad (1)$$

$$S = \frac{MAX(R,G,B)-MIN(R,G,B)}{1-2L-1} \quad (2)$$

$$L = \frac{1}{2}(MAX(R,G,B)+MIN(R,G,B)) \quad \text{www.SID.ir}$$

نتایج حاصل از ترکیب تصاویر راداری و اپتیکی به روش HSL در شکل ۴ نشان داده شده است.

۷- ترکیب تصاویر راداری و اپتیکی به روش طبقه‌بندی

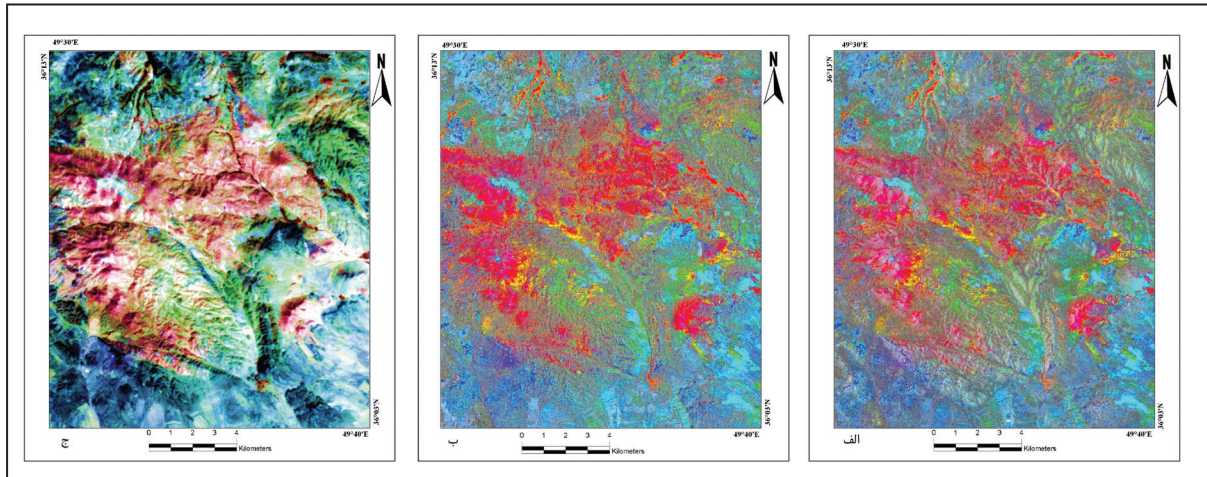
یکی از راه‌های ترکیب داده‌های اپتیکی و رادار استفاده همزمان از آنها جهت طبقه‌بندی است. در این تحقیق از دو روش طبقه‌بندی نظارت شده بیشترین شباهت (Maximum Likelihood) و شبکه عصبی فازی استفاده شد. جهت اجرای طبقه‌بندی ابتدا بر اساس برداشت‌های میدانی و اطلاعات زمین‌شناسی منطقه و همچنین بررسی رفتار طیفی کانی‌های مختلف، تعداد ۲۷۰۴ پیکسل به عنوان نمونه‌های آموزشی معرف ۷ کلاس موجود در منطقه انتخاب شد. این

کلاس‌ها عبارتند از: زون دگرسانی آرژلیک، زون دگرسانی پروپلیتیک، واحدهای آذرین آندزیت-بازالتی، سازندهای توف، گرانیت، سازند کربناته و رسوبات کواترنر. در هر دو روش، طبقه‌بندی در دو حالت انجام گرفت. در حالت اول طبقه‌بندی تنها بر مبنای باندهای ۴ تا ۹ سنجنده ASTER و در حالت دوم طبقه‌بندی بر اساس ترکیب باندهای ۴ تا ۹ سنجنده ASTER و همچنین

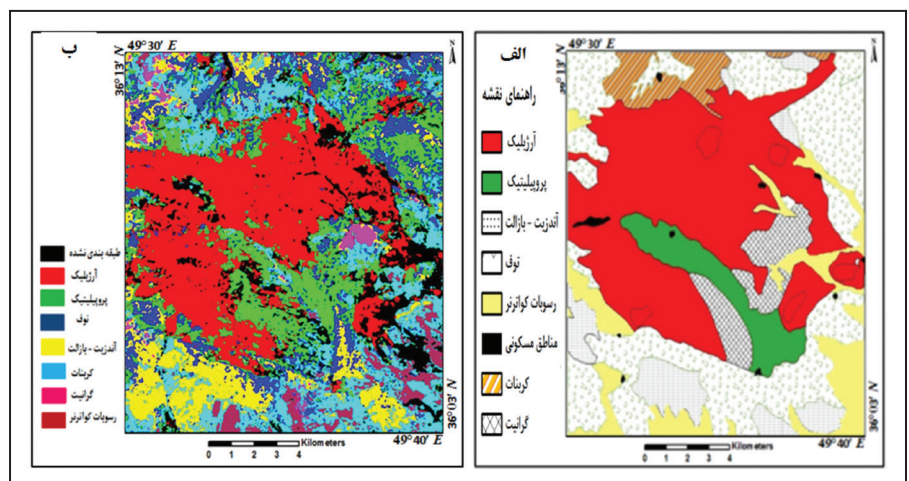
تصویر دامنه راداری باند L سنجنده PALSAR انجام گرفت.

۷-۱. ترکیب تصاویر راداری و اپتیک به روش بیشترین شباهت

نتیجه طبقه‌بندی با سطح احتمال ۹۵ درصد و براساس باندهای ۴ تا ۹ سنجنده ASTER در شکل ۵ نتایج آماری طبقه‌بندی در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۴- ترکیب تصویر رادار باند L و ASTER به روش HSL. الف) جایگزینی تصویر دامنه راداری HH فصل خشک باند L با مؤلفه روشی؛ ب) جایگزینی تصویر دامنه راداری HH تفاضلی باند L با مؤلفه روشی؛ ج) جایگزینی تصویر دامنه راداری HH فصل خشک با مؤلفه اشباع.



شکل ۵- مقایسه نقشه زمین شناسی و نتیجه طبقه بندی به روش بیشترین شباهت. الف) نقشه زمین شناسی منطقه؛ ب) طبقه بندی به روش بیشترین شباهت.

دقت تولید کننده		دقت کاربر		خطای omission		خطای commission		کلاس
97	94	100	100	3	6	0	0	دگرسانی آرژلیک
88	81	74	70	12	19	26	30	دگرسانی پروپلیتیک
36	29	67	62	64	71	33	38	توف
62	67	48	48	38	33	52	52	آندزیت - بازالت
76	73	74	70	24	27	26	30	گرانیت
89	88	67	64	11	12	33	36	گرانیت
94	94	86	86	6	6	14	14	رسوبات کواترنر
دقت سراسری = ۷۳				ضریب کاپا = ۶۸				
دقت سراسری = ۷۶				ضریب کاپا = ۷۱				

جدول ۱- نتایج آماری طبقه‌بندی به روش بیشترین شباهت، اعداد مشکی نتیجه طبقه‌بندی بر اساس تصویر ASTER و اعداد قرمز مربوط به طبقه‌بندی بر اساس ترکیب تصویر ASTER و PALSAR می‌باشند.

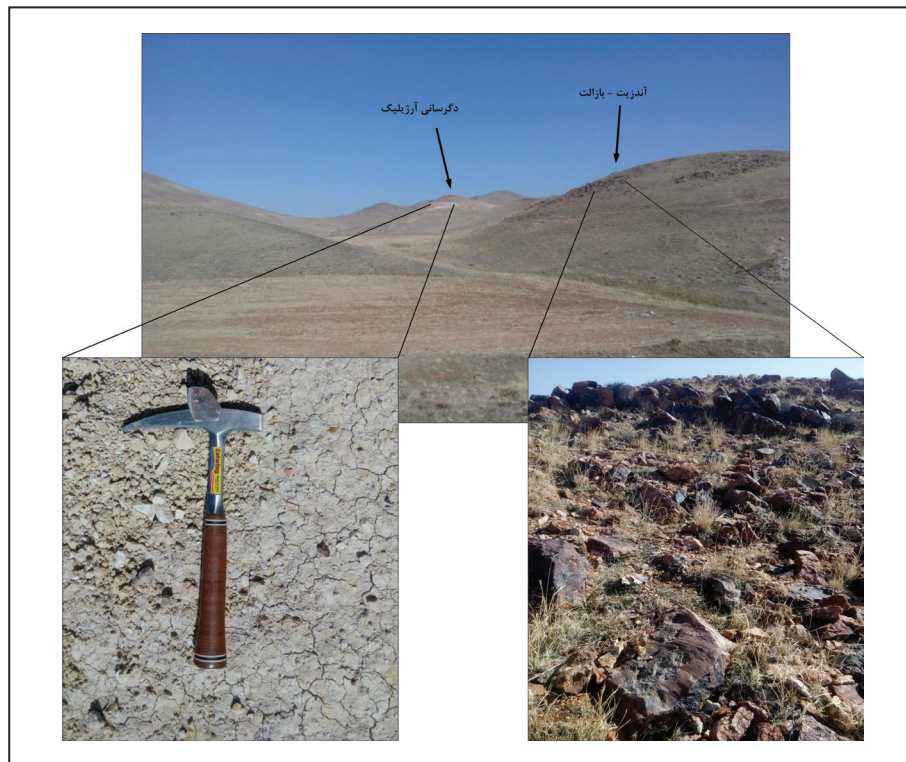
۷-۲. ترکیب تصاویر راداری و اپتیکی به روش شبکه عصبی

طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون با ۵ لایه میانی انجام گرفت. تعداد نرون‌های خروجی برابر ۷ و تعداد نرون‌های ورودی در هنگام استفاده از داده‌های اپتیکی برابر ۶ و در هنگام استفاده از ترکیب تصویر راداری و اپتیکی برابر ۷ در نظر گرفته شد. کد نویسی شبکه عصبی در نرم‌افزار متلب انجام گرفت و برای آموزش شبکه از الگوریتم انتشار برگشتی استفاده شد. ۷۰ درصد پیکسل‌های آموزشی جهت آموزش شبکه عصبی اختصاص یافت. طبقه‌بندی برای هر کلاس به صورت جداگانه انجام گرفت و جهت اختصاص پیکسل‌ها به کلاس‌های مورد نظر از منطق فازی استفاده شد. بدین صورت که عدد یک تعلق صد درصد یک پیکسل به کلاس مورد نظر و عدد صفر عدم تعلق آن پیکسل به کلاس مورد نظر را نشان می‌دهد.

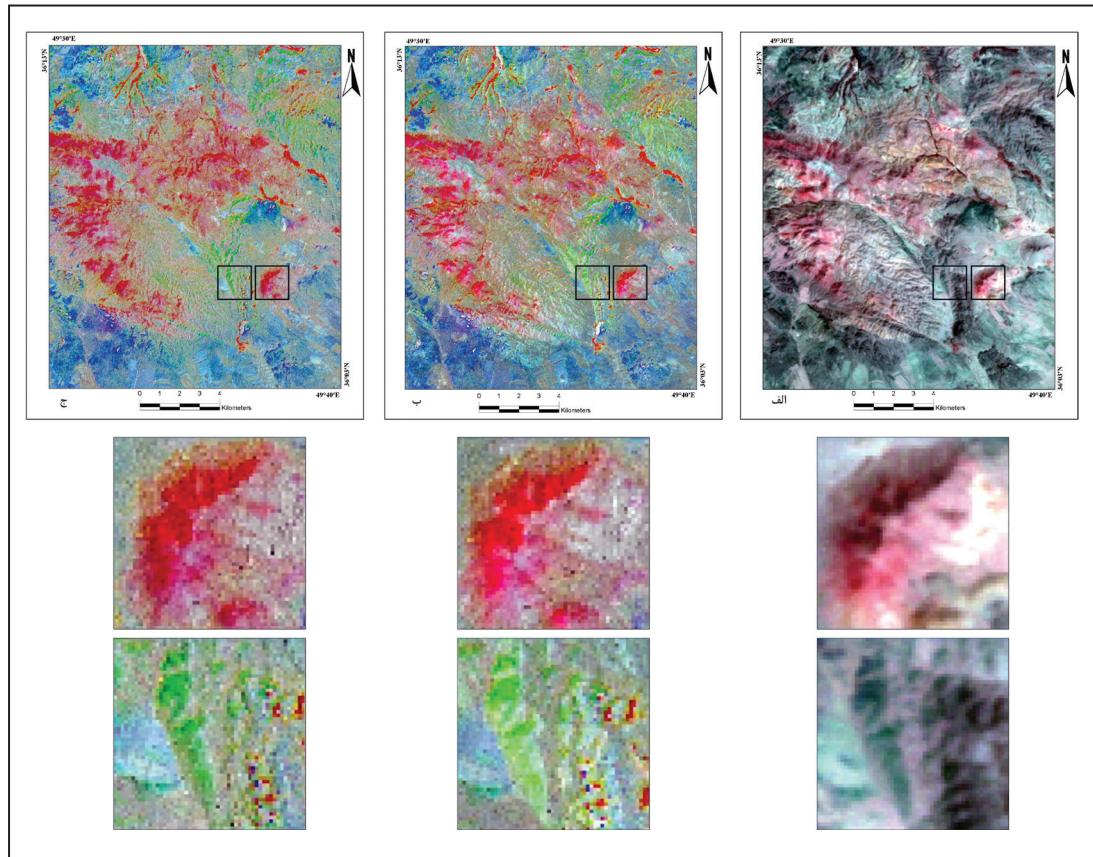
۸- بحث

نتایج تحقیق موید آن است که تلفیق تصاویر اپتیکی و راداری به روش HSV با افزایش کیفیت بصری تصویر، قابلیت شناسایی زون‌های دگرسانی را افزایش می‌دهد (شکل ۳). استفاده از یک تصویر راداری اگرچه سبب افزایش کنتراست دگرسانی آرژیلیک در منطقه شده است، ولی در شناسایی دگرسانی پروپیلیتیک در منطقه عملکرد مناسبی ندارد. این در حالی است که استفاده از دو تصویر راداری متعلق به فصول مختلف سال و استخراج روند تغییرات مقادیر دامنه راداری به واسطه تغییر رطوبت سطحی خاک، و تلفیق آن با تصاویر اپتیکی علاوه بر بهبود بارزسازی دگرسانی‌های آرژیلیک سبب افزایش کنتراست و شناسایی بهتر دگرسانی پروپیلیتیک در منطقه گشته است. از جمله دلایل این امر تفاوت ساختار لیتولوژی و مورفولوژی زون‌های دگرسانی با سازندهای دربرگیرنده آنها است. تشکیل زون آرژیلیک در این منطقه بر اثر دگرسانی واحدهای سنگی اولترابازیک توسط محلول‌های گرمابی رخ

داده است. برداشت‌های میدانی از منطقه نشان‌دهنده تفاوت در مورفولوژی زون‌های دگرسانی و سازندهای اولترابازیک دربرگیرنده آنها است. مناطق دگرسانی آرژیلیک به واسطه تحمل فرایندهای مختلف فرسایشی عموماً مورفولوژی نرم‌تری (زبری کمتر) در مقایسه با سازندهای اولترابازیک دارند (شکل ۶). تغییر در مورفولوژی سطح باعث تغییر مقادیر دامنه راداری می‌شود (Guo et al., 1997). از سوی دیگر حضور پیوندهای هیدروکسیل در ساختار کانی‌های تشکیل دهنده مناطق دگرسانی (مانند کائولینیت و مونت‌موریونیت) نیز باعث تغییر ثابت دی‌الکتریک و ضریب بازگشت‌پذیری فرکانس‌های راداری می‌شود. حضور گسترده کانی‌های رسی در مناطق دگرسانی باعث افزایش قابلیت نگاهداشت آب در این مناطق می‌گردد، این در حالی است که بافت نسبتاً متراکم واحدهای اولترابازیک مانع از نگاهداشت رطوبت به ویژه در فصل گرم سال می‌شود. بنابراین میزان تغییر مقادیر دامنه راداری در گذر از فصل مرطوب (فصلی که تقریباً تمامی سطوح صرف نظر از جنس لیتولوژی تقریباً اشباع از رطوبت هستند) به فصل خشک (فصلی که تنها سطوح با قابلیت نگاهداشت آب بالا قادر به نگهداری مقادیری از رطوبت هستند)، می‌تواند به عنوان یک معرف جهت تفکیک و بارزسازی مناطق دگرسانی از سایر مناطق باشد. مبتنی بر موارد ذکر شده تلفیق تصاویر راداری و اپتیکی سبب بهبود تفکیک‌پذیری مناطق دگرسانی از سایر مناطق می‌شود. در شکل ۷ نتیجه ترکیب تصاویر راداری باند L با پلاریزاسیون HH و تصویر ASTER به روش HSV نشان داده شده است. جهت مقایسه نتایج قسمتی از منطقه با بزرگنمایی نشان داده شده است. مناطق قرمز رنگ معرف دگرسانی‌های آرژیلیک و مناطق سبز رنگ معرف دگرسانی پروپیلیتیک در منطقه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود استفاده از تصویر تفاضلی مقادیر دامنه راداری سبب افزایش تن رنگ سبز و قرمز در تصویر شده است (شکل ۷-ج).



شکل ۶- تفاوت در مورفولوژی سطح سازندهای آندزیت-بازالت و مناطق دگرسانی در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۷- ترکیب تصاویر راداری باند L و ASTER به روش HSV. الف) تصویر ترکیب رنگی کاذب (RGB-468) سنجنده ASTER؛ ب) ترکیب تصویر ASTER با تصویر دامنه راداری باند L قطبش HH در تاریخ ۲۰۰۷/۰۷/۱۷؛ ج) ترکیب تصویر ASTER با تصویر دامنه راداری تفاضلی فصل خشک و مرطوب باند L با قطبش HH.

دقت سراسری و ضریب کاپا طبقه‌بندی ایجاد نکرد. نتایج آماری طبقه‌بندی در جدول ۱ آورده شده است. ترکیب داده‌های راداری و اپتیک باعث افزایش ۳ درصدی ضریب کاپا و دقت سراسری طبقه‌بندی شد. در شکل ۹ تصویر رنگی کاذب RGB-468-468 سنجنده ASTER، تصویر ترکیب داده‌های باند L رادار و ASTER به روش HSV و بیشترین شباهت نشان داده شده است. در مرکز منطقه مورد مطالعه که با مربع سفید نشان داده شده است، دگرسانی آرژلیک و پروپیلیتیک در تصویر ASTER و تصویر ترکیب شده به روش HSV قابل تفکیک و شناسایی نبوده ولی در تصویر ترکیب شده به روش بیشترین شباهت مشاهده می‌شود که محدوده پروپیلیتیک با رنگ سبز به خوبی بارزسازی شده است. نکته دیگر در مورد روش بیشترین شباهت انطباق بیشتر تصویر طبقه‌بندی شده با نمونه‌برداری‌های میدانی از منطقه مورد مطالعه است. در شکل ۱۰ نتیجه ترکیب تصاویر به روش بیشترین شباهت برای کلاس آرژلیک به همراه نمونه‌برداری میدانی انجام گرفته در منطقه نشان داده شده است. پیکسل‌های خاکستری در این تصویر معرف زون آرژلیکی هستند. در نقطه E باز دیده‌های میدانی نشان از حضور آلتراسیون آرژلیک دارد که البته به دلیل پوشیده شدن این منطقه با رسوبات حاصل از فرسایش، در ترکیب رنگی سنجنده ASTER مانند سایر رخنمون‌های آرژلیکی در منطقه با رنگ قرمز تا صورتی مشخص نیست. به عبارت دیگر ترکیب داده‌های راداری و اپتیک به روش بیشترین شباهت در شناسایی برخی از مناطق دگرسانی فاقد رخنمون، نسبت به ترکیب‌های رنگی سنجنده ASTER قابلیت بالاتری دارد.

منطبق بر نتایج حاصل شده در این پژوهش، روش شبکه عصبی یک روش مناسب جهت ترکیب تصاویر راداری و اپتیک به منظور شناسایی مناطق دگرسانی است، به ویژه مناطقی که دگرسانی‌های آرژلیک توسط رسوبات

منطبق بر نتایج حاصل از روش HSL در ترکیب تصاویر راداری و اپتیک (جایگزینی تصویر دامنه راداری به جای مولفه روشنایی) به منظور شناسایی زون‌های دگرسانی در هیچ یک از مناطق دگرسانی عملکرد مناسبی ندارد (شکل ۴). ترکیب تصاویر راداری و اپتیک در این روش سبب جابجایی مکانی رخنمون‌های دگرسانی آرژلیک شده است. این موضوع در شکل ۸ نشان داده شده است. شکل ۸- الف) ترکیب رنگی کاذب RGB 4-6-8 سنجنده ASTER را نشان می‌دهد که در آن مناطق به رنگ قرمز تا صورتی نمایانگر زون‌های دگرسانی آرژلیک می‌باشند. شکل ۸- ب) ترکیب باندهای ۴، ۶ و ۸ سنجنده ASTER با تصویر باند L با قطبش HH سنجنده PALSAR فصل خشک به روش HSV را نشان می‌دهد. شکل ۸- ج) نیز ترکیب باندهای فوق به روش HSL را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود از لحاظ مکانی انطباق خوبی بین رخنمون‌های دگرسانی آرژلیک در روش HSV و ترکیب رنگی کاذب سنجنده ASTER وجود دارد. در مقابل در روش HSL جابجایی مکانی بین رخنمون‌های دگرسانی آرژلیک با تصویر ترکیب رنگی کاذب سنجنده ASTER رخ داده است. نکته قابل توجه این که اگرچه به طور معمول جهت تلفیق داده‌های راداری و اپتیک جایگزینی باند راداری به جای مولفه روشنایی انجام می‌گیرد، نتایج این پژوهش نشان داد اگر باند راداری جایگزین مولفه اشباع شود به طور محسوسی سبب افزایش کنتراست و بارزسازی دگرسانی‌های آرژلیک در منطقه مورد مطالعه می‌شود (شکل ۴- ج).

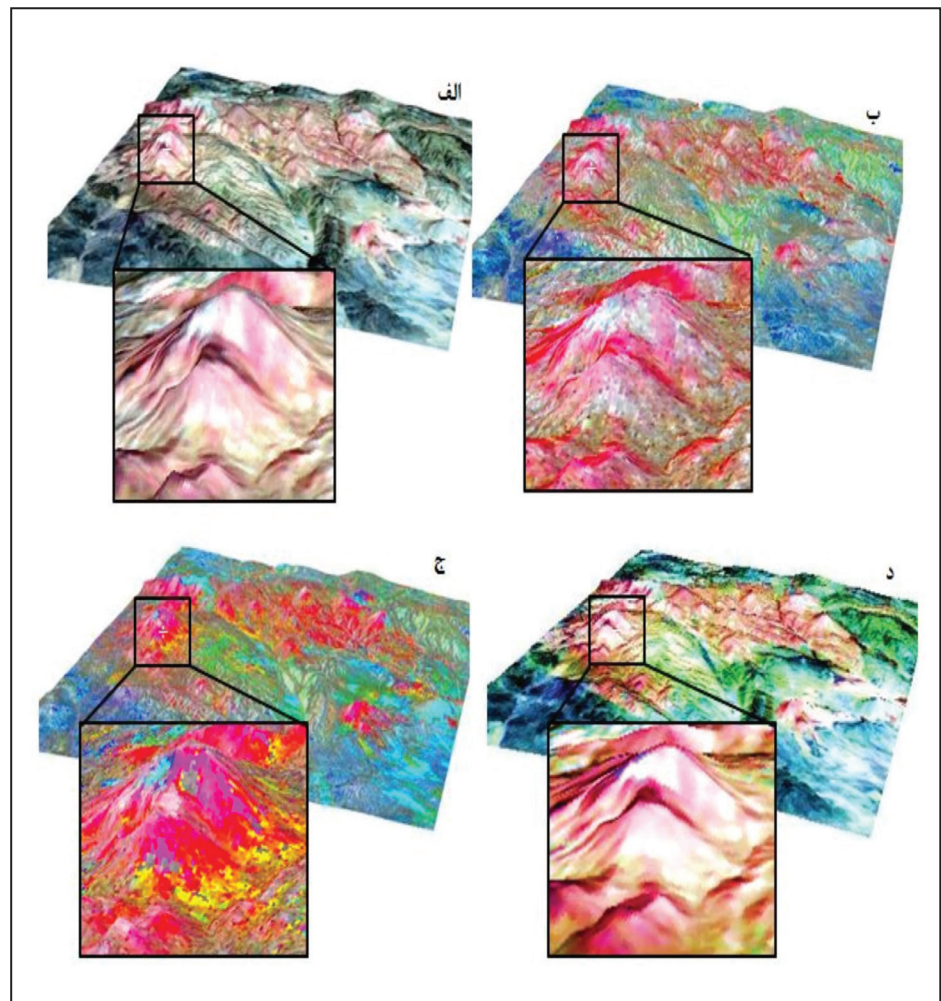
بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش طبقه‌بندی به روش بیشترین شباهت قابلیت بالایی در شناسایی مناطق دگرسانی به خصوص در مناطق فاقد رخنمون که ترکیب‌های رنگی ASTER قادر به شناسایی و تفکیک آنها نیستند را دارد. با این وجود ترکیب داده‌های راداری و اپتیک در این روش تغییر محسوسی در

و پروپیلیتیکی در منطقه مورد مطالعه دارد. همچنین استفاده از اختلاف مقادیر دامنه راداری در تصاویر متعلق به فصول مختلف، جهت تلفیق با داده‌های اپتیکی منجر به کسب نتایج بهتری به ویژه در شناسایی دگرسانی‌های پروپیلیتیکی دارد. در روش HLS زمانی که فرایند تلفیق با جایگزینی تصویر دامنه راداری با مؤلفه روشنایی انجام می‌شود، هیچ‌گونه بهبودی در شناسایی و تفکیک مرزهای مناطق دگرسانی مشاهده نشده و باعث جابجایی مکانی رخنمون‌های مناطق دگرسانی می‌شود. این در حالی است که جایگزینی تصویر دامنه راداری با مؤلفه اشباع باعث کنتراست بیشتر مناطق دگرسانی آرژیلیک و پروپیلیتیکی با سایر مناطق می‌شود. اگرچه این روش در بین روش‌های تلفیق تصاویر چندان مرسوم نیست اما نتایج آن مطابقت خوبی با نقشه زمین‌شناسی و برداشت‌های میدانی از منطقه دارد. به طور کلی روشهای تلفیق HSV و HSL در شناسایی مناطق دگرسانی مدفون شده در زیر رسوبات سطحی عملکرد خوبی ندارند. در مقابل روش‌های ترکیب تصاویر استفاده شده در این پژوهش شامل روش بیشترین شباهت و شبکه عصبی قابلیت بسیار خوبی در شناسایی دگرسانی‌های فاقد رخنمون دارند. این روش‌ها علاوه بر شناسایی رخنمون‌های دگرسانی در منطقه، می‌توانند جهت شناسایی مناطق فاقد رخنمون نیز استفاده شوند. این امر سبب درک بهتری از وسعت منطقه دگرسانی شده و جهت برآورد دقیق‌تر حجم ماده معدنی موجود در مناطق دگرسانی و طراحی عملیات اکتشافی و استخراجی اهمیت ویژه‌ای دارد. البته کارایی این روش‌ها بسته به ضخامت رسوبات سطحی و میزان رطوبت حجمی خاک در مناطق مختلف متفاوت خواهد بود.

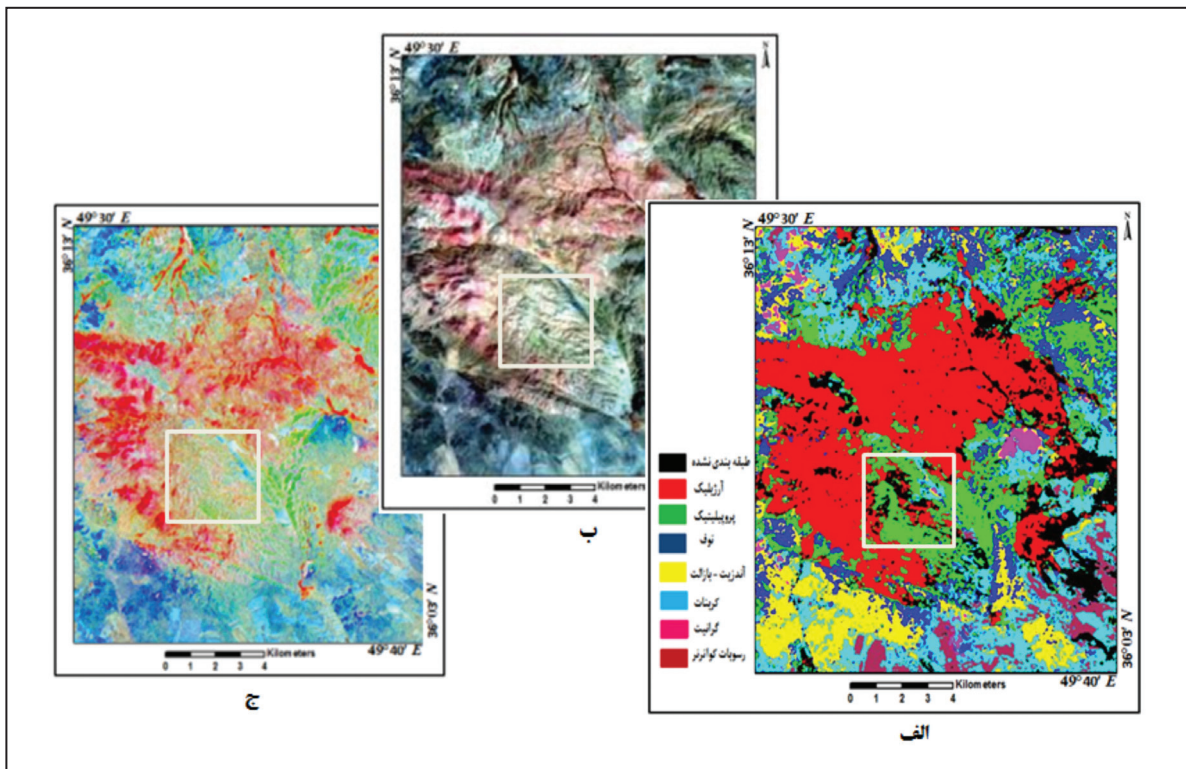
سطحی پوشیده شده‌اند. در واقع با ترکیب تصاویر راداری و اپتیکی علاوه بر تفاوت‌های شیمیایی، تفاوت‌های فیزیکی سطوح نیز جهت شناسایی مناطق دگرسانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از سوی دیگر قابلیت نفوذ در سطح فرکانس‌های راداری امکان کسب اطلاعات از عوارض مدفون شده در زیر سطح را فراهم می‌نماید. با توجه به شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که با ترکیب داده‌های سنجنده ASTER و سنجنده PALSAR به روش شبکه عصبی شناسایی پیکسل‌های دگرسانی آرژیلیک در مرکز منطقه مورد مطالعه که عمدتاً توسط رسوبات کواترنر پوشیده شده با دقت بهتری انجام می‌شود. همچنین مطابق شکل ۱۲ در همین منطقه پیکسل‌های بیشتری در کلاس زون دگرسانی پروپیلیتیکی قرار گرفته‌اند که با نتایج حاصل از بازبازرسی میدانی مطابقت خوبی دارد.

۹- نتیجه‌گیری

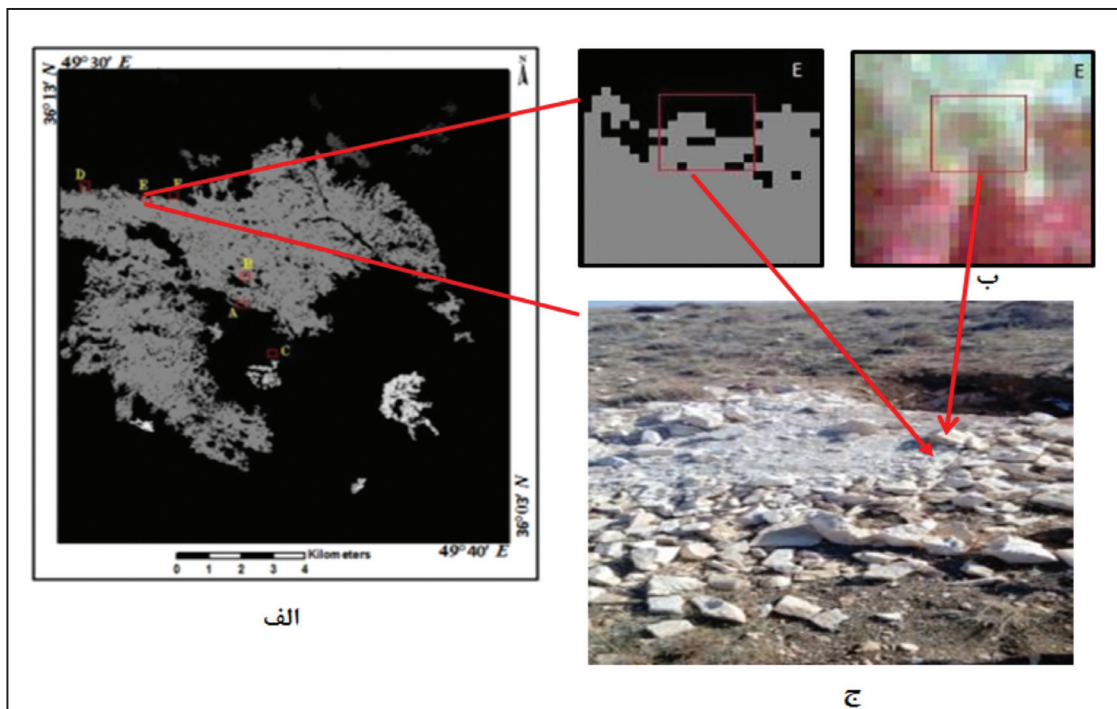
پوشیده شدن مناطق دگرسانی توسط پوشش‌های گیاهی و یا رسوبات سطحی قابلیت اکتشاف و شناسایی آنها به کمک تصاویر اپتیکی را کاهش می‌دهد. ترکیب تصاویر راداری و اپتیکی می‌تواند یک راه حل مناسب جهت تعدیل مشکل فوق باشد. بدین منظور دستیابی به یک روش مناسب جهت تلفیق و ترکیب تصاویر راداری و اپتیکی ضروری است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که روش HSV قابلیت خوبی در تلفیق داده‌های سنجنده‌های ASTER و PALSAR به منظور بازسازی و افزایش کنتراست رخنمون‌های دگرسانی‌های آرژیلیک



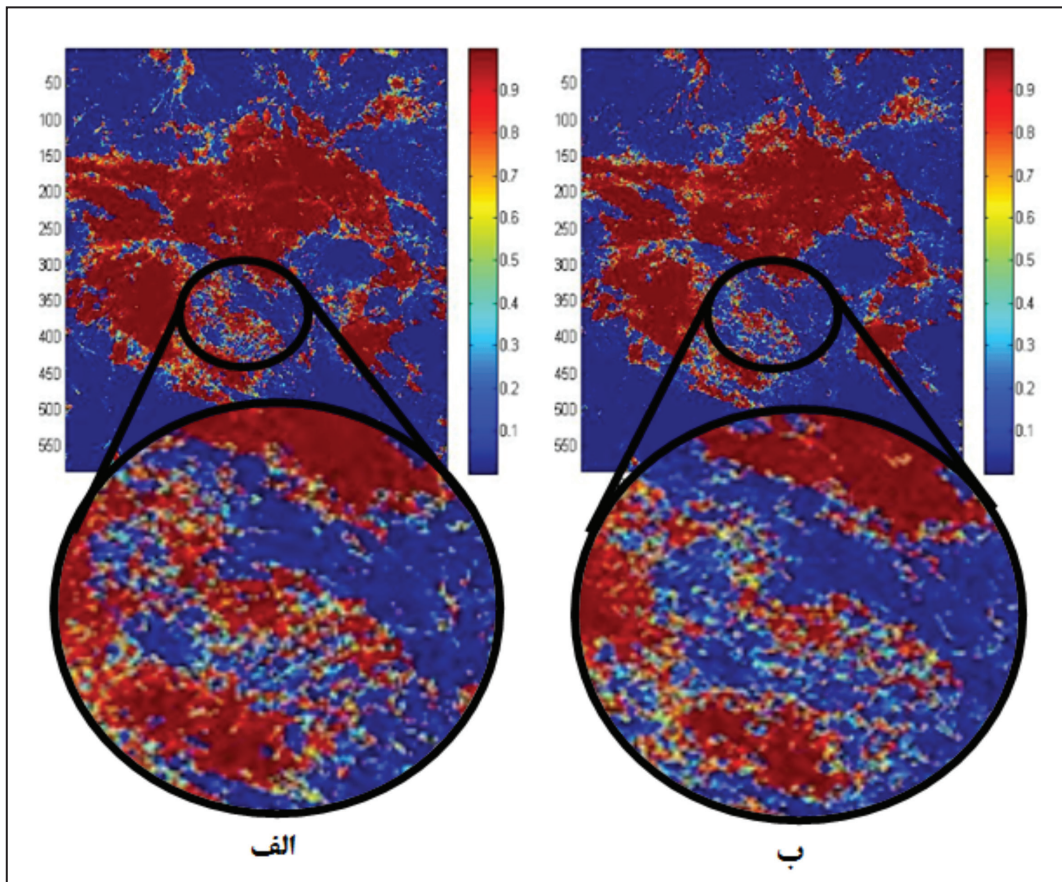
شکل ۸- مقایسه نتایج ترکیب تصاویر راداری و اپتیکی به روش HSV و HSL با ترکیب رنگی کاذب تصویر ASTER. الف) ترکیب رنگی کاذب (RGB ۴-۶-۸) سنجنده ASTER؛ ب) ترکیب تصاویر راداری و اپتیکی به روش HSV؛ ج) ترکیب تصاویر راداری و اپتیکی به روش HLS با جایگذاری تصویر دامنه راداری با مؤلفه شدت روشنایی؛ د) ترکیب تصاویر راداری و اپتیکی به روش HLS با جایگذاری تصویر دامنه راداری با مؤلفه اشباع.



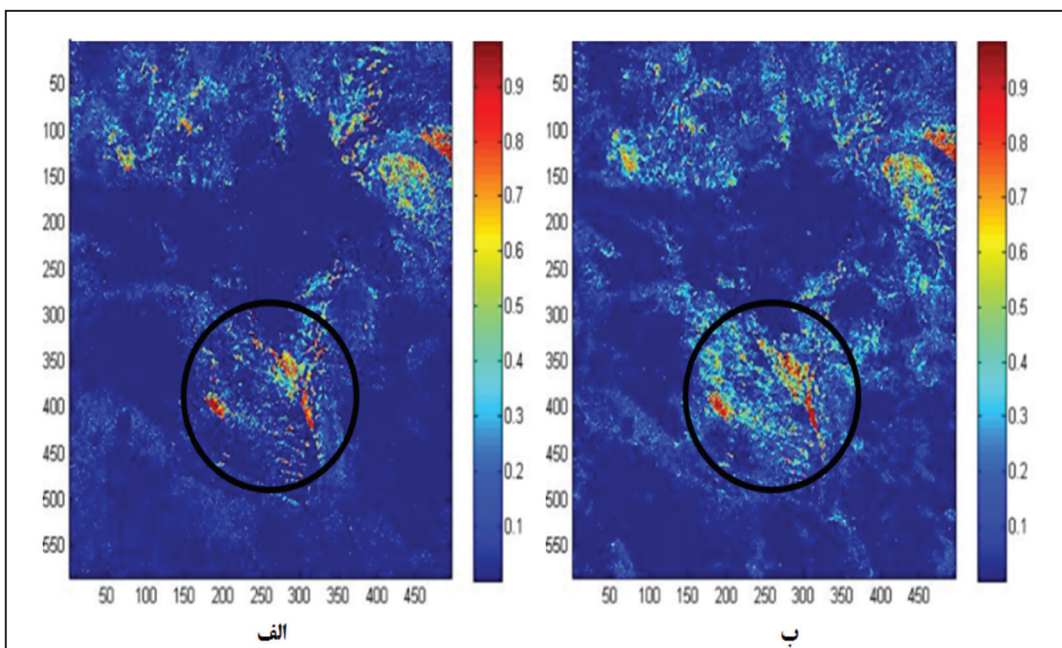
شکل ۹- مقایسه روش بیشترین شباهت و HSV در ترکیب تصاویر، الف) ترکیب تصاویر به روش بیشترین شباهت؛ ب) تصویر رنگی کاذب (RGB468) سنجنده ASTER؛ ج) تصویر حاصل از ترکیب باند L رادار و ASTER به روش HSV.



شکل ۱۰- مقایسه تصویر سنجنده ASTER و ترکیب تصاویر راداری و اپتیک در شناسایی زون آرژیلیک فاقد رخنمون. الف) محدوده آرژیلیک شناسایی شده به روش بیشترین شباهت (رنگ خاکستری نشان‌دهنده محدوده زون آرژیلیک است)؛ ب) محدوده زون آرژیلیک فاقد رخنمون در تصویر رنگی کاذب 4-6-8 RGB سنجنده ASTER؛ ج) تصویر دگرسانی آرژیلیک فاقد رخنمون در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۱۱- نتایج روش شبکه عصبی به صورت فازی در ترکیب داده‌های اپتیکی و راداری در زون آرژلیک. الف) طبقه‌بندی بر اساس تصویر Aster؛ ب) طبقه‌بندی بر اساس ترکیب تصویر Aster و PALSAR.



شکل ۱۲- نتایج روش شبکه عصبی به صورت فازی در ترکیب داده‌های اپتیکی و راداری در زون پروپلیتیک. الف) طبقه‌بندی بر اساس تصویر ASTER؛ ب) طبقه‌بندی بر اساس ترکیب تصویر ASTER و PALSAR.

References

- Abdelsalam, M. G., Robinson, C., El-Baz, F. and Stern, R. G., 2000a- Application of orbital imaging radar for geologic studies in arid region: the Saharan testimony. *Photogrammetric engineering & remote sensing*, vol. 66, No. 6, pp. 717-726.
- Abdelsalam, M. G., Stern, R. G. and Berhane, W. G., 2000b- Mapping gossans in arid regions with land sat TM and SIR-C images: the Buddha Alteration Zone in northern.
- Abrams, M., 2000- The Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform. *International Journal of Remote Sensing* 21, 847-859. doi: 10.1080/014311600210326.
- Campbell, B. A. and Campbell, D. B., 1992- Analysis of volcanic surface morphology on Venus from comparison of Arecibo, Magellan, and terrestrial airborne radar data, *Journal of geophysical research*, 97: 16293-16314. doi: 10.1029/92JE01558.
- Carolina, M., Junior, P. and Paradella, W., 2011- Mapping iron-mineralized laterite environments based on textural attributes from MAPSAR image simulation – sar-r99b (SIVAM/SIPAM) in the amazon region. doi: 10.1590/S0102-261X2011000100007.
- Farr, T. G. and Chadwick, O., 1996- Geomorphic Processes and Remote Sensing of Alluvial Fans in the Kunlun Mountains, China. *Journal of Geophysical Research*, 101(E10):23091-23100. doi: 10.1029/96JE01603.
- Galvao, L. S., Almeida-Filho, R. and Vitorello, I., 2005- Spectral discrimination of hydrothermally altered materials using short-wave infrared bands: evaluations in a tropical savanna environment. *International Journal of Applied earth observation and geoinformation*, 7(2), 107-114. doi: 10.1016/j.jag.2004.12.003.
- Guo, H., Liao, J., Wang, Ch., Wang, Ch., Farr, T. G. and Evans, D. L., 1997- Use of multifrequency, multi polarization shuttle imaging radar for volcano mapping in the Kunlun Mountains of Western China. *Remote Sensing of Environment*.59(2).
- Hewson, R. D., Cudahy, T. J., Mizuhiko, S., Ueda, K. and Mauger, A. J., 2005- Seamless geological map generation using ASTER in Brocken Hill Carnamona province of Australia. *Remote Sensing of Environment*, 99(1-2), 159-172. doi: 10.1016/j.rse.2005.04.025.
- Hubbard, B. E. and Crowley, J. K., 2005- Mineral Mapping on the Chilean-Bolivian Altiplano using Co-orbital ALI, ASTER and Hyperion imagery: Data dimensionality issues and solutions. *Remote Sensing of Environment*, 99(1-2), 173-186. doi: 10.1016/j.rse.2005.04.027.
- Mars, J. C. and Rowan, J. C., 2006- Regional Mapping of phyllic- and argillic-altered rocks in The Zagros magmatic arc, Iran, using Advanced Space borne Thermal and Reflection Radiometer) ASTER (data and logical operator algorithms. *Geosphere*, 2: 161-186. doi: 10.1130/GES00044.1.
- Moore, D. M. and Reynolds, R. C., 1999- X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals, Oxford University Press, p.332.
- Neal, A., 2004- Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: Principles, problems and progress. doi: 10.1016/j.earscirev.2004.01.004.
- Rowan, L. C., Hook, S. J., Abrams, M. J. and Mars, J. C., 2003- Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a new satellite-imaging system: *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, v. 98, no. 5, p. 1019-1027. doi:10.2113/gsecongeo.98.5.1019.
- Sabins, F. F., 1999- Remote sensing for mineral exploration, *Ore Geology Reviews*, 157-183. doi: 10.1016/S0169-1368(99)00007-4.
- Schaber, G., McCauley, J. F. and Breed, C. S., 1996- The use of multifrequency and polarimetric SIR-C/X-SAR data in geologic studies of Bir safsaf, Egypt. doi: 10.1016/S0034-4257(96)00143-5.
- Woodhouse, H. L., 2006- Introduction to microwave remote sensing, Taylor & Francis. doi: 10.1201/9781315272573.
- Yoshiki, N., 2002- Rock type mapping with indices defined for multispectral thermal infrared ASTER data: Case studies, In: Ehlers M. (Ed.), *Proceedings of Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology II*, Sep 23-26 2002, Agia Pelagia, Greece, SPIE. V. 4886, 2002, 123-132. The International Society for optical engineering (SPIE).
- Zebker, H. A., Rosen, P. and Hensley, S., 1996- Analysis of active lava flows on kilauea volcano, hawaii, using SIR-C radar correlation measurement, *Geology*, 24:495-498.

Efficiency capability of radar and optic data fusion methods to alteration mapping

M. Sharifikia^{1*}, E. Falahati² and J. Karami³

¹Associated Professor, Department of RS & GIS, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

²M.Sc. Student, Department of RS & GIS, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³Assistant Professor, Department of RS & GIS, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2018 June 27

Accepted: 2019 December 10

Abstract

Optical Remote sensing is a low-cost and efficient method to alteration zone detection. However in the area that have been covered by vegetation or alluvial, the identification of these zone is not very accurate with optical images. In this study fusion and integrating of ALOS-PALSAR L-band and ASTER data by HSV, HSL, Maximum Likelihood and ANN(Artificial Neural Network) is done to discover and enhance the argilic and propylitic alteration zones over the west of Qazvin province in Iran. For this purpose, argilic and propylitic alterations were first identified by ASTER image. Then based on geological data extract from GSI geological map and field data collection, some areas with alterations covered by quaternary sediments, not detectable by ASTER images, were identified. furthermore, the integration of the ALOS PALSAR L-band data and the ASTER SWIR bands with HSV, HLS, Maximum Likelihood and Artificial Neural Network were performed. The results of this study showed that the radar and optics data fusion, using HSV and HLS methods, increases the enhancement of visible argilic alteration zones in the study area. Also, the integration of radar and optics data with the Maximum Likelihood and the Artificial Neural Network methods, in addition to increasing the enhancement of the altered zones, can identify part of the altered zones that covered by alluvial and have no outcrops.

Keywords: Radar, Alteration, Optic data, Artificial Neural Network, Image fusion, Exploration.

For Persian Version see pages 65 to 74

*Corresponding author: M. Sharifikia; E-mail: sharifikia@modares.ac.ir