

کاربرد سنجش از دور در پی جویی پومیس در پیرامون قله دماوند

سیدمسعود مسعودی^۱، فاطمه فریدونی^۲ و علی اکبر متکان^۱

^۱دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

^۲دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۱/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۰/۲۹

چکیده

در این پژوهش برای نخستین بار پومیس‌های پیرامون قله دماوند با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای IRS، Aster، ETM+ و مدل رقومی ارتفاع (DEM) مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا تصحیحات اتمسفری، توپوگرافی و هندسی بر روی داده‌های ماهواره‌ای انجام شد. پس از عملیات پیش پردازش (Preprocessing) روش‌های تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تبدیل رنگ IHS، ترکیبات رنگی دروغین (FCC)، عامل شاخص بینه (OIF) و طبقه‌بندی نظارت شده (Supervised classification) به کار گرفته شد. ترکیب باندهای ETM+ در آشکارسازی معادن پومیس توانایی بالایی دارد. توانایی تصویر PAN در تشخیص جاده‌ها و سینه‌کارهای معدنی و نیز در ترکیب دقت مکانی با محدوده مرئی و فراسرخ (مادون قرمز) نزدیک (VNIR) سنجنده Aster بهتر از سنجنده ETM+ بوده است. روش‌های IHS و PCA تقریباً به طور یکسان نواحی پومیس و تراکی آندزیتی را آشکارسازی می‌نماید. محدوده طیفی VNIR با توجه به شدت روشنایی بیشتر و تغییرات توپوگرافی و پوشش گیاهی، مناسب نبوده و باعث تداخل کلاس‌ها می‌شوند. در مجموع، برای بیشتر سنگ‌ها محدوده طیفی فراسرخ متوسط (SWIR) بیشترین کارایی را در مقایسه با محدوده طیفی VNIR دارد. استفاده از DEM برای جداسازی زمین‌های کم شیب که محل انباشت پومیس‌های ریزشی هستند، در مناطق شمالی و خاوری و برخی از نواحی جنوبی قله مؤثر بوده است. به علت محدود بودن تعداد پیکسل‌های نمونه‌برداری، الگوریتم مورد استفاده در طبقه‌بندی نظارت شده، روش زاویه طیفی (SAM) است. در نهایت، پراکنش پومیس در چارچوب نقشه پتانسیل پومیس ارائه شد. با محاسبه سطوح همپوشانی لایه سازند زمین‌شناسی مؤثر با محدوده‌های سینه‌کارهای معدنی استخراج شده از تصویر PAN مقدار این همپوشانی ۹۳ در صد به دست آمد.

کلیدواژه‌ها: زاویه طیفی، پومیس، سنجش از دور، سنجنده ASTER، مدل رقومی ارتفاع، سنجنده ETM+.

E-mail: sfereidoni@gmail.com

*نویسنده مسئول: فاطمه فریدونی

۱- مقدمه

اکتشاف مواد معدنی در کشور با استفاده از فن‌آوری‌های جدید و پیشرفته در جهت برنامه‌ریزی‌های خرد و کلان اقتصادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پوکه معدنی اگر چه از مواد معدنی طبقه یک بوده و اهمیت مواد معدنی طبقه دو مانند فلزات با ارزش نیست، اما در جای خود تأثیر اقتصادی مهمی در صنعت ساختمان بویژه در تهران بزرگ دارد. این ماده معدنی برای تولید مصالح و بتن سبک به کار رفته و نسبت به مواد مشابه طبیعی مانند پرلیت و یا مصنوعی مانند لیکا نیاز به حرارت بالا و مصرف سوخت زیاد برای پف کردن و متخلخل شدن ندارد (قربانی، ۱۳۸۲). اکتشاف پوکه‌های معدنی که نام علمی آن همان پومیس یا پومست (شیشه‌های سیلیسی آتشفشانی به طور عمده به رنگ روشن) است (Davidson et al., 2004)، به طور کلی به روش پیگردی و پی‌جویی براساس اطلاعات محلی (اکتشاف چوپانی) و به ندرت با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و در مرحله تکمیلی با حفر چاهک و چاه در نقاط مناسب انجام می‌گیرد (مسعودی، ۱۳۷۱). نقشه زمین‌شناسی دماوند فقط گسترش سنگ‌های خروجی گدازه‌های آتشفشان دماوند در منطقه و همچنین محدوده کم وسعتی از آذرآوری‌ها را در پیرامون دره هراز نشان می‌دهد (آل‌باخ، ۱۹۶۳). بر روی نقشه یاد شده حتی معادن موجود و یا اندیس‌های شناخته شده پوکه معدنی نشانه‌گذاری نشده‌اند. بنابراین در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای برای پی‌جویی این ماده معدنی استفاده می‌شود. در سطح جهانی و حتی در کشورمان اکتشافات مواد معدنی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای انجام پذیرفته است که از آن جمله می‌توان به مواردی چون تهیه نقشه سنگ‌شناسی Mordor در استرالیا با استفاده از سنجنده Aster توسط Rowan et al. (2005) و همچنین Martines & Khan (2004) به تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و زمین‌ساختی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی و فراطیفی در کوهستان‌های Idalho اشاره داشت و یا Ramsey & Fink (1999) به

۲- محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات کشوری در استان مازندران و بر اساس مختصات متریک (UTM) در محدوده ۵۸۸۰۰۰ متر تا ۶۲۰۰۰۰ متر طول خاوری و ۳۹۶۵۰۰۰ متر تا ۳۹۹۳۰۰۰ متر عرض شمالی واقع شده است. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در شمال ایران و تصویر سه بعدی که با استفاده از DEM و محدوده طیفی VNIR سنجنده ASTER تهیه و نشان داده شده است.

۳- روش مطالعه

در این پژوهش، پردازش داده‌های ماهواره‌ای و نقشه‌ای با استفاده از نرم‌افزارهای Microstation، Erdas، ArcView، Envi، Mapsource، Idrisi، ArcGIS، Pci صورت گرفت. عملیات میدانی نسبت به شناسایی و پی‌جویی پومیس دماوند انجام شد. روش‌ها و تکنیک‌های به کار گرفته شده به ترتیب به شرح زیر است:

- ۱- زمین مرجع نمودن داده‌های نقشه‌ای: با استفاده از نرم‌افزارهای Microstation و ArcView عملیات زمین مرجع نمودن داده‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی انجام گرفت.
- ۲- تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای و هم‌مختصات کردن آنها با یکدیگر و با نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰: در ابتدا تصویر سنجنده PAN ماهواره IRS با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ در نرم افزار Pci تصحیح شد و سپس تصویر سنجنده ETM+ بر مبنای آن در نرم افزار Envi تصحیح شد.
- ۳- تصحیحات اتمسفری و موازنه داده‌های سنجنده‌های ETM+ و Aster: به منظور اعمال تصحیحات اتمسفری و موازنه‌های تابش (Radiance) و بازتاب (Reflectance) تصاویر از نرم‌افزار Erdas استفاده شد. داده‌های سنجنده Aster مورد استفاده شامل DN (Digital Number) هایی هستند که در سطح هشت بیت موازنه نیستند، بنابراین با استفاده از ضرایب UCC (Unit Conversions Coefficients) به رادیانس تبدیل شد (Abrams & Ramachandran, 2004).

۱۱- استخراج خطوط منحنی میزان ارتفاعی: با استفاده از نرم افزار Mapsource خطوط منحنی میزان ارتفاعی از نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ استخراج شد. ۱۲- تهیه نقشه‌های شیب و جهت شیب: پس از استخراج خطوط منحنی میزان، نقشه مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model) بر اساس این خطوط به دست آمد. سپس بر مبنای نقشه یاد شده، نقشه‌های شیب و جهت شیب در نرم افزار ArcGIS تهیه شد. ۱۳- ارزیابی و کنترل برداشت‌های میدانی: برای ارزیابی برداشت‌های میدانی از یک دستگاه گیرنده GPS مدل گارمین- ویستا استفاده شد. ۱۴- تلفیق، مقایسه و همپوشانی اطلاعات به دست آمده در محیط GIS و معرفی مناطق بالقوه. در نمودار ۱ الگوریتم مراحل انجام پژوهش آورده شده است.

۵- بحث

به دلیل ارتفاع بالای منطقه، نبودن رطوبت و صافی آسمان، عوامل جوی (اتمیسری) تأثیر چندانی در کیفیت تصاویر ندارند. بنابراین اعمال روش‌های مختلف تصحیح جوی و یا استفاده از روش هیستوگرام با توجه به این که نمونه‌های آموزشی برای رده‌بندی از خود تصویر گرفته می‌شوند، تأثیر چندانی ندارند. اعمال تصحیحات هندسی، تطابق داده‌های ماهواره‌ای با یکدیگر و با نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و برداشت‌های GPS مؤثر بوده و بر دقت کار افزوده است. در شکل ۲ همپوشانی تصویر PAN تصحیح هندسی شده با لایه راه‌های نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ نشان داده شده است. همان طور که در تصویر دیده می‌شود، انطباق به نسبت کاملی ما بین لایه راه‌ها و تصویر PAN وجود دارد.

در شکل ۳ تبدیل رنگ IHS برای باندهای ۶، ۸، ۹ محدوده طیفی SWIR سنجنده Aster دیده می‌شود. در این تبدیل پوکه‌ها و سنگ‌های هم‌جنس با آنها به رنگ آبی و به خوبی از سنگ‌های آهکی و پوشش گیاهی تمیز داده می‌شوند. روش PCA برای محدوده طیفی SWIR سنجنده Aster انجام شد. معادن پوکه و پومیس‌ها در مؤلفه اول روشن هستند. در مؤلفه‌های دوم، سوم و چهارم تیره هستند. مؤلفه‌های پنجم و ششم، تقریباً کدر و نوفه‌ای هستند. در شکل ۴ ترکیب باندهای مؤلفه‌های اصلی ۱، ۴، ۲ محدوده طیفی SWIR سنجنده Aster نشان داده شده است.

در این تصویر پوکه‌ها و سنگ‌های تراکی آندزیتی به رنگ نشان داده شده است. به علت ماهیت اکتشافی این پژوهش، طبقه‌بندی‌های انجام شده تک محصولی بوده و بیشتر به دنبال مناطقی که احتمال وجود پومیس در آنها بسیار است، بوده‌ام. ابعاد نمونه‌های برداشت شده از تصاویر تقریباً ۳۰ در ۳۰ متر مربع یعنی کمتر از ۱/۰ هکتار برای نمونه‌های تک پیکسلی بوده است. برای محدوده‌های چند پیکسلی در محوطه سینه کارهای معدنی بیشتر از ۱۲ پیکسل استفاده شد.

در شکل ۵ نقشه پراکنندگی پومیس‌ها و تراکی آندزیت‌ها بر اساس نمونه‌های چهار معدن رینه، کنگرچا، ملار و بهارلو بر روی داده‌های شش باند SWIR سنجنده Aster دیده می‌شود. در این رده‌بندی پومیس و تراکی آندزیت‌ها به علت ماهیت شیمیایی یکسان، هم‌زمان رده‌بندی می‌شوند.

در زمین‌های کم‌شیب و به نسبت تخت، چنانچه برش‌هایی طبیعی یا مصنوعی ایجاد شود (دره‌ها و چاله‌های طبیعی یا جاده‌های احداث شده) می‌توان رخنمون‌هایی از پومیس‌ها را دید. برای مثال در شمال قله و باختر روستاهای حاجی‌دلا و ناندل و نیز در منطقه لاله‌کوه این وضعیت قابل دیدن است. اما این یک نتیجه قابل تعمیم نیست چرا که مناطق کم‌شیب شمال باختر قله مانند داغ و جنوب باختر آن مانند چال و پایین وزان پوشیده از صخره‌ها و سنگ‌های گدازه‌ای هستند. نقشه زمین‌های تخت و مسطح (Flat) و با شیب بیشینه ۱۵ درجه از DEM منطقه استخراج شد. در شکل ۶ همپوشانی لایه نقاط معدنی و پومیس با لایه زمین‌های دارای شیب کمتر از ۱۵ درجه

۴- تصحیح توپوگرافی داده‌های ماهواره‌ای: تصحیح توپوگرافی بر روی تصاویر چند باندهای ETM+ و محدوده طیفی SWIR سنجنده Aster با استفاده از DEM تهیه شده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ رقومی و زوایای آزیموت و ارتفاع خورشیدی، همچنین به کارگیری الگوریتم Minnaert (Law & Nichol, 2003) در نرم افزار Erdas انجام شد (Imagine spectral Analysis users Guide, Erdas Imagine V8.6., 2002). ۵- تعیین بهترین ترکیب رنگی دروغین: فاکتور شاخص بهینه (OIF) برای سنجنده‌های Aster و ETM+ اجرا شد. این شاخص بر اساس کمترین همبستگی ما بین باندها استوار است (Dianwei & Mohamed, 2001).

۶- ترکیب دقت‌های مکانی (Data fusion) تصاویر سنجنده‌های ETM+ و Aster با استفاده از داده‌های تصویری سنجنده PAN ماهواره IRS: به منظور افزایش دقت مکانی تصاویر سنجنده‌های ETM+ و Aster عملیات ترکیب دقت مکانی در نرم افزار Envi انجام شد. این روش سبب افزایش دقت مکانی، برای دید بهینه تری می‌شود. ۷- تبدیل رنگ IHS برای داده‌های ETM+ و Aster: مدل رنگی IHS برای توضیح رنگ از مفاهیم رنگ طیفی H (Hue) اشباع S (Saturation) و شدت I (Intensity) که به آن V (Value) و B (Brightness) نیز می‌گویند، استفاده می‌کند. این تبدیل قادر است جزئیاتی از پدیده‌ها را که در مفهوم رنگی RGB نامشخص باشند را آشکارسازی نماید. این دو مدل با رابطه‌های زیر قابل تبدیل به یکدیگر هستند:

$$S = V_1 + V_2, H = \tan\left(\frac{V_1}{V_2}\right), V_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(R-G), V_1 = \frac{1}{\sqrt{6}}(R+G) - \frac{2}{\sqrt{6}}B, I = \frac{1}{\sqrt{3}}(R+G+B)$$

روش یاد شده در نرم افزارهای Idrisi و Envi انجام شده است.

۸- تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای داده‌های Aster: به منظور حذف اطلاعات مشترک و آشکارسازی اطلاعات غیرمشترک در باندهای طیفی داده‌های سنجنده Aster، از روش PCA استفاده شد (Aster Data processing wizard, 2002). این روش برای داده‌های ETM+ و Aster انجام شد.

۹- طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر: برای طبقه‌بندی نحوه پراکنش پومیس از روش SAM استفاده شد. روش‌های بیشترین احتمال و فاصله ماهالانویس در صورتی مفید هستند که تعداد پیکسل‌های نمونه دست کم چندین برابر تعداد باندهای به کار گرفته باشند (Mineral Exploration wizard, 2002). در الگوریتم‌های مبتنی بر زاویه طیفی برخلاف الگوریتم‌های مبتنی بر درجات روشی، شناسه‌ها برای رده‌بندی بر اساس زاویه بردارهای میانگین طیفی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Richards, 1999).

$$a = \cos^{-1} \frac{\sum_{nb} tri}{(\sum_{nb} l^{1/2}) * (\sum_{nb} rl^{1/2})}$$

nb شماره باند، ti طیف مورد آزمون در باند i، ri طیف مرجع در باند i و a زاویه بین دو طیف است.

الگوریتم SAM یک روش طبقه‌بندی سریع است که بر اساس محاسبه شباهت طیفی میان طیف‌های تصویر و طیف مرجع عمل می‌کند. طیف مرجع را می‌توان در آزمایشگاه یا با اندازه‌گیری‌های میدانی و یا این که به طور مستقیم از تصویر مورد نظر به دست آورد. در این پژوهش نمونه‌های آموزشی سینه کارهای معدنی به عنوان طیف‌های مرجع در نظر گرفته شد. روش SAM یک روش رده‌بندی کارآمد و قوی است. علت آن از بین بردن نفوذ اثرات سایه‌ای به وسیله برجسته نمودن ویژگی‌های بازتابی هدف است (Rourad et al., 2004).

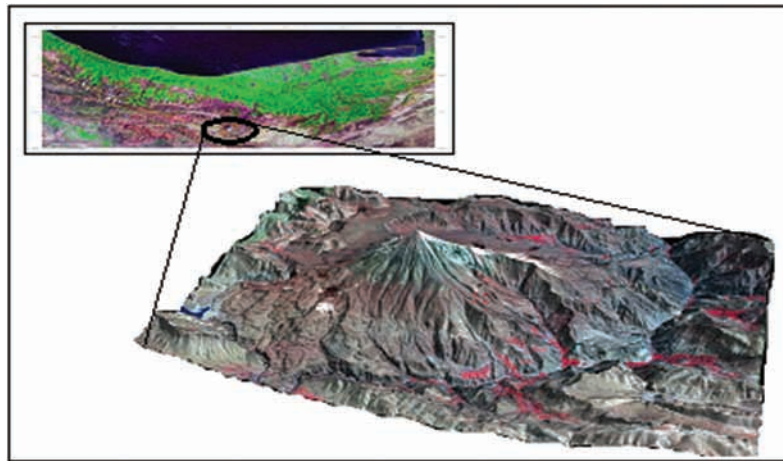
۱۰- استخراج لایه زمین‌شناسی مؤثر: با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و نیز عملیات میدانی لایه زمین‌شناسی مؤثر شامل گدازه‌ها و سنگ‌های آذر آوری دماوند به دست آمد.

ETM ترکیب باندهای ۱، ۵، ۷ است. در خصوص معادن پومیس ترکیب باندهای ۶، ۸، ۹ برای پومیس‌ها وضوح بیشتری دارند. با مقایسه مشاهده‌ای تصاویر یاد شده، می‌توان نتیجه گرفت به علت تغییرات بیشتر در مقادیر انحراف معیار باندهای ETM+ نسبت به SWIR و همبستگی کمتر بین باندهای سنجنده ETM نسبت به محدوده طیفی SWIR سنجنده Aster، ترکیبات رنگی سنجنده ETM وضوح بیشتری در رابطه با پدیده‌ها و همچنین معادن پومیس دارند. برای دستیابی به نقشه پتانسیل پومیس با توجه به این که سینه کارهای معدنی مناسب دارای وسعت محدودی هستند، گرفتن نمونه‌های آموزشی از تصاویر با تعداد کمی از پیکسل‌ها ممکن است. بنابراین از روش زاویه طیفی به علت کارایی در مواردی که نمونه آموزشی از یک پیکسل تهیه شده باشد، استفاده شد. دقت کلی رده‌بندی به روش SAM برای محدوده طیفی SWIR با حد آستانه زاویه ۰/۰۲ رادیان برابر ۷۲/۸ درصد و با زاویه ۰/۰۳ رادیان برابر ۹۸/۳ درصد به دست آمده است. این دقت در روش بیشترین احتمال ۹۸/۷ درصد و در روش فاصله ماهالانویس ۹۹/۵ درصد است. در خصوص تصاویر موازنه شده محدوده طیفی SWIR سنجنده Aster به روش IARR دقت کلی در روش SAM با زاویه ۰/۰۲ رادیان برابر ۷۲/۳ درصد و زاویه ۰/۰۳ رادیان برابر ۹۸/۳ درصد برآورد شده است. برای روش بیشترین احتمال، دقت ۹۱/۵ درصد و روش فاصله ماهالانویس ۹۹/۵ درصد به دست آمد.

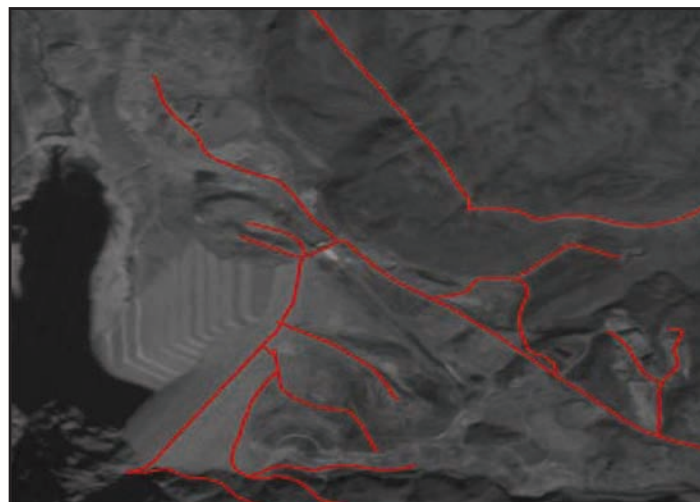
دیده می‌شود. در بیشتر موارد معادن و پتانسیل‌های پومیس با این نقشه تطابق دارند. با محاسبه سطوح همپوشانی لایه سازند زمین‌شناسی مؤثر با لایه محدوده‌های سینه کارهای معدنی استخراج شده از تصویر PAN مقدار این همپوشانی ۹۳ درصد به دست آمد که در شکل ۷ نشان داده شده است.

۸- نتیجه‌گیری

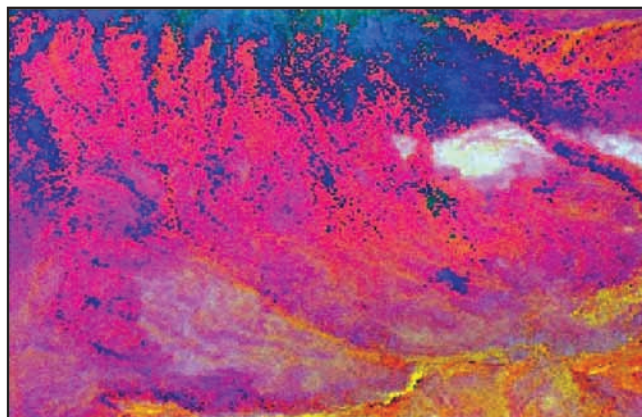
با توجه به داده‌های ماهواره‌ای به کار گرفته شده در این پژوهش، روش‌های PCA و IHS از نظر مشاهده‌ای، تقریباً به طور کامل نواحی پومیسی، معادن پومیس و تراکی‌اندزیت‌ها، نبود پوشش گیاهی را آشکار می‌کنند. می‌توان گفت نتایج به دست آمده از تجزیه مؤلفه‌های اصلی و تبدیل رنگ IHS در خصوص تشخیص پومیس و گدازه‌های جوان‌تر تراکی‌اندزیتی تقریباً یکسان بوده است. به منظور آشکارسازی مکانی، تصاویری برای شناسایی موقعیت معادن، تفسیر مشاهده‌ای به همراه برداشت‌های میدانی و برداشت نمونه‌های آموزشی با گیرنده GPS و انطباق آنها با تصاویر PAN ماهواره IRS و محدوده VNIR سنجنده Aster، همچنین ترکیب دقت مکانی آنها بسیار مفید بوده است. با توجه به مقدار بیشینه شاخص بهینه (OIF) بهترین ترکیب باندی برای محدوده طیفی SWIR سنجنده Aster ترکیب باندهای ۴، ۶، ۸ و در مورد سنجنده



شکل ۱- تصویر سه‌بعدی منطقه مورد مطالعه



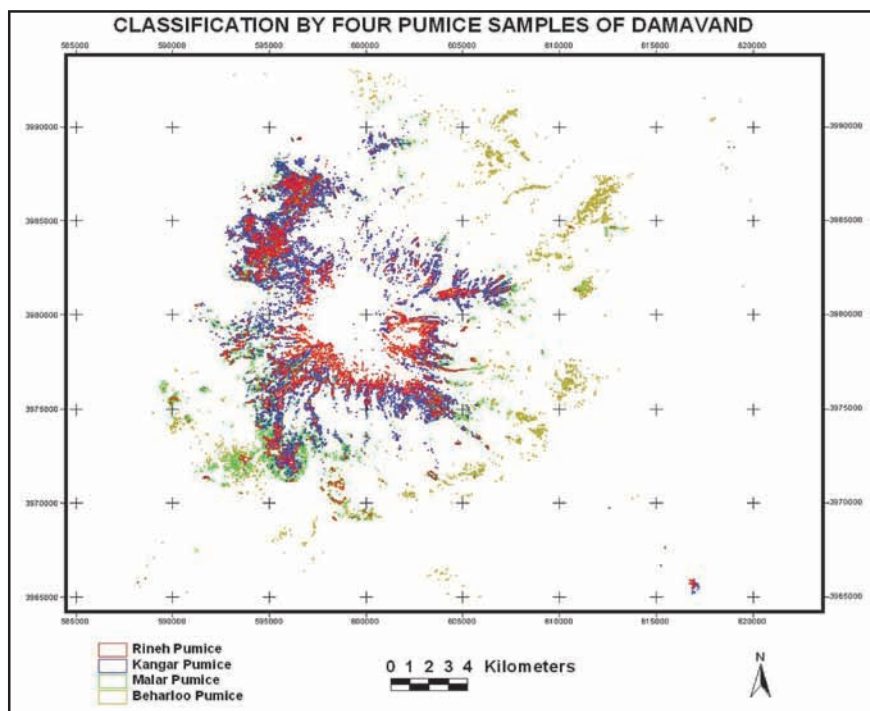
شکل ۲- همپوشانی تصویر IRS-PAN با لایه راه‌های نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ در منطقه سد لار



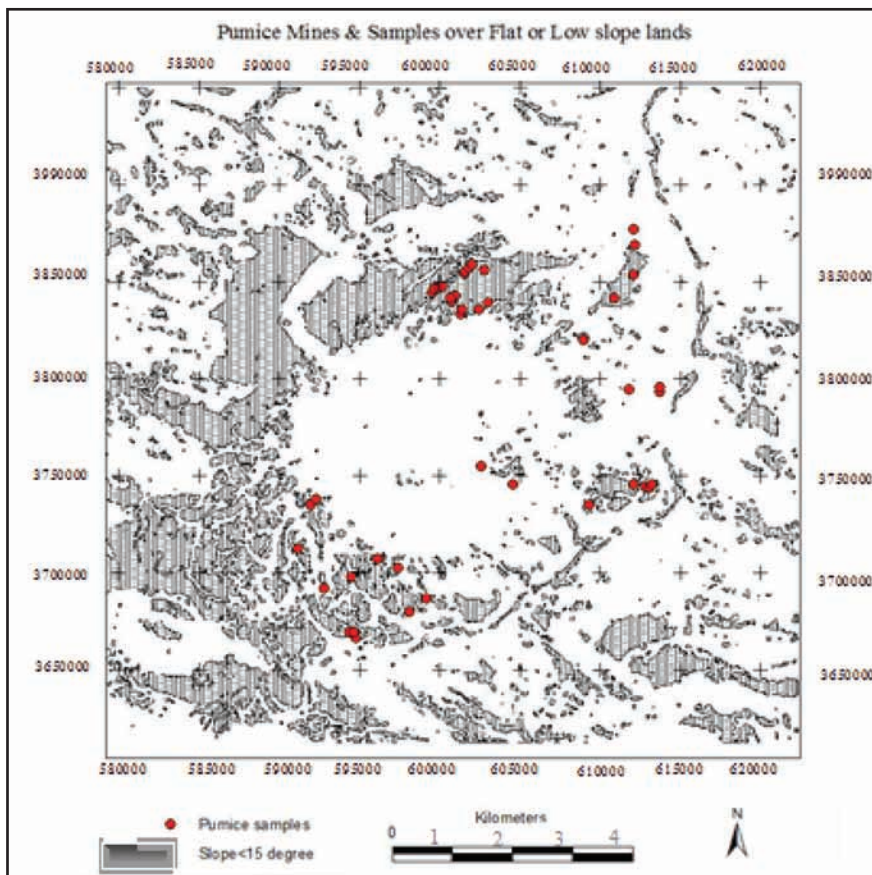
شکل ۳- تبدیل رنگ IHS ترکیب باندهای ۶، ۸، ۹ محدوده SWIR سنجنده Aster



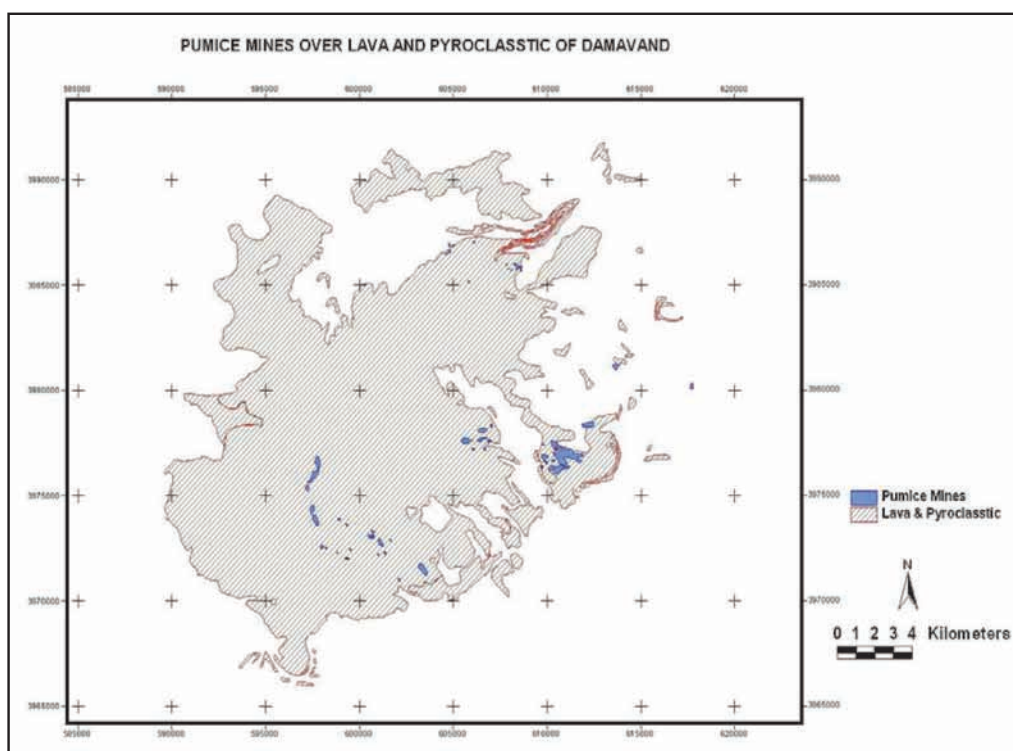
شکل ۴- ترکیب باندهای PC های ۱، ۴، ۲ محدوده SWIR سنجنده Aster



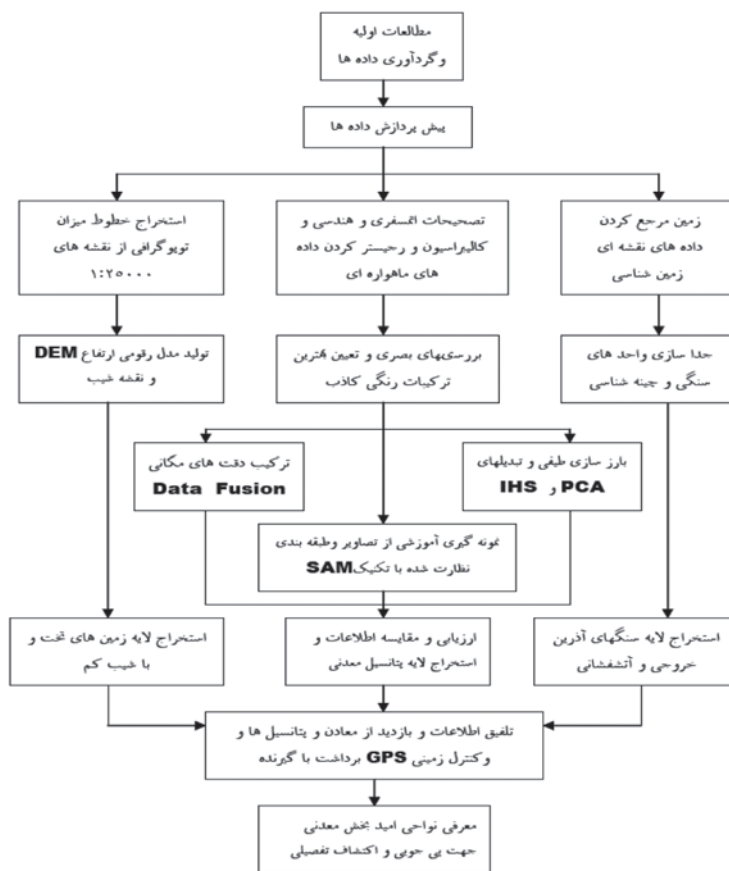
شکل ۵- نقشه پراکندهگی پومیس ها و تراکی آندزیت ها بر اساس نمونه های چهار معدن رینه، کنگرچال، ملار و بهارلو



شکل ۶- انطباق معادن پومیس و اندیس‌های معدنی با زمین‌های مسطح کم شیب



شکل ۷- انطباق معادن پومیس با سازند زمین‌شناسی مؤثر www.SID.ir



نمودار ۱- مراحل مختلف پی جویی ماهواره‌ای پومیس دامنه‌های کوه دماوند

کتابنگاری

آلن‌باخ، پ. ۱۹۹۳- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی دماوند و اطراف آن، ترجمه و تنظیم مهندس علی انتظام و دکتر منوچهر مهرنوش، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. قریانی، م. ۱۳۸۲- آتشفشان‌شناسی با نگرشی بر آتشفشان‌های ایران، انتشارات آریز زمین. مسعودی، س. م. ۱۳۷۱- پی جویی و پتانسیل‌یابی مواد معدنی در سطح استان مازندران، اداره کل معادن و فلزات مازندران.

References

- Abrams, M. H., Ramachandran, B., 2004- Aster user Hand book version 2. jet propulsion Laboratory, 4800 oak Grove Dr. Pasadena, CA 91109.
- Ianwei, R., Mohamed, A. G., 2001- Optimum Index Factor (OIF) for Aster Data: Examples From the Neoproterozoic Allaqi suture, Egypt. Department of Geosciences, university of Texas at Dalas.
- Law, K. H., Nichol, J., 2003- Topographic Correction for Differential Illumination effects on Ikonos Satellite Imagery, Department of Land Surveying and Geo-nformation, The Hong kong Polytechnic university, Hunghom, Kowloon, Hong kong.
- Magine spectral Analysis users Guide, Erdas Imagine V8.6.2002- Leica Geosystems, GIS and Mapping Division, 2801 Buford High way NE, Atlanta, Georgia 30329-2137USA.
- Martines, Y., Khan, S., 2004- Mapping Geology and Structure using Multispectral and Hyperspectral Data and Evaluating Topographic Correction Methods: Case Study, Salmon River Mountains of East-central Idaho, university of Houston and Idaho state university.
- Mineral Exploration wizard, 2002- ER Mapper 603 Release Notes, PP.101-133.
- Ramsey, M. S., Fink, G. H., 1999- Estimating Silicic Lava Vesicularity with Thermal Remote Sensing: A new Technique for Volcanic Mapping and Monitoring. Bull volcanol, 61:32-39. Springer-Verlag.
- Richards, J. A., 1999- Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction, Berlin and Heidelberg: Spring- Verlag.
- Rourad, G., Bannari, A., Harti, E., Desrochers, A., 2004- Validated Spectral Angle Mapper Algorithm for Geological Mapping: Comparative study between quick bird and Landsat-TM.
- Rowan, L. C., Mars, J. C., Simpson, C. J., 2005- Lithologic Mapping of the Mordor, Nt, Australia ultramafic complex by using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (aster), Remote Sensing of Environment.
- Aster Data processing wizard, 2002- Ermapper 6.3 Release Notes: PP.57-70.
- vidson, J., Hassanzadeh, J., Berzins, R., Stokli, D. F., Bashukoo, B., Turrin, B., Pandamooz, A., 2004- The Geology of Damavand Volcano, Alborz Mountains, northern Iran. GSA Bulletin, january, v.116, no1-2, P.16-29.