

اثر کالیبراسیون داده‌های استر در بارزسازی‌های سنگ شناختی؛ مطالعه موردی کمپلکس افیولیتی نیریز

مجید هاشمی تنگستانی^{۱*} و لاله جعفری^۲

^۱ بخش علوم زمین، مرکز دورسنجی و GIS دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

^۲ دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۲/۲۱

چکیده

انواع روش‌های کالیبراسیون بر روی داده‌های مرئی، فروسرخ نزدیک و فروسرخ موج کوتاه دسته داده L1B استر مربوط به منطقه افیولیتی نیریز انجام شده و به منظور معرفی روش بهینه، نتایج حاصل با دسته داده پیش‌تر کالیبره شده AST-07 مقایسه شده است. مجموعه داده‌های L1B با استفاده از روش‌های تصحیح جوی مطلق ATCOR-3 (تصحیح جوی و توپوگرافی) و ATCOR-2 (تصحیح جوی) و روش‌های تصحیح جوی نسبی IARR (میانگین بازتاب نسبی داخلی)، LR (باقیمانده لگاریتمی)، FF (پهنه مسطح)، EL (روش خطی تجربی)، DOS (کسر جسم سیاه)، AR (بازتاب ظاهری) و $\text{COS}(t)$ (روش چاوز) کالیبره شدند. به منظور ارزیابی و شناسایی بهترین روش کالیبراسیون، پردازش‌های تصویر- پایه تحلیل مؤلفه اصلی و طیف- پایه نقشه‌بردار زاویه طیفی بر روی مجموعه داده‌های کالیبره شده اجرا و نتایج آن با نقشه زمین‌شناسی و مشاهدات میدانی مقایسه شد. طیف نمونه‌های صحرایی به عنوان عضوهای انتهایی در روش نقشه‌بردار زاویه طیفی مورد استفاده قرار گرفته و برای مقایسه نتایج، از ماتریس ارزیابی استفاده شد. نتایج نشان داد که تصویرهای کالیبره شده با روش‌های مختلف بر اساس کاهش دقت در تفکیک و بارزسازی واحدهای سنگی به ترتیب ATCOR-3، AST-07، IARR، LR و داده‌های خام SWIR بوده و روش‌های دیگر از دقت کمی برای بارزسازی واحدهای سنگی برخوردار هستند.

کلیدواژه‌ها: استر، کالیبراسیون، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، نقشه‌بردار زاویه طیفی، ماتریس ارزیابی.

*نویسنده مسئول: مجید هاشمی تنگستانی

E_mail: tangestani@susc.ac.ir

۱- مقدمه

سنجده استر، یکی از ۵ سنجده مستقر بر روی ماهواره تراست که در دسامبر ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد. این سنجده محصول مشترک ناسا (NASA) و وزارت صنعت و بازرگانی بین‌المللی ژاپن (METI) (Japan's Ministry of Economy Trade and Industry) است که اطلاعات طیفی منابع زمینی را در ۱۴ باند طیفی و سه زیرسیستم مرئی-فروسرخ نزدیک (Visible and Near Infrared Instrument) (VNIR) با سه باند طیفی در محدوده ۰/۵۲ تا ۰/۸۶ میکرومتر و توان تفکیک مکانی ۱۵ متر، زیرسیستم فروسرخ موج کوتاه (Shortwave Infrared Instrument) (SWIR) با ۶ باند طیفی در محدوده‌های ۱/۶ تا ۲/۴۳ میکرومتر و توان تفکیک مکانی ۳۰ متر و زیرسیستم فروسرخ گرمایی (Thermal Infrared Instrument) (TIR) با ۵ باند طیفی در محدوده‌های ۸/۱۲۵ تا ۱۱/۶۵ میکرومتر و توان تفکیک مکانی ۹۰ متر در اختیار کاربر قرار می‌دهد (Fujisada and Ono, 1994). زیرسیستم فروسرخ موج کوتاه استر تحت تأثیر مشکل تداخل سیگنال (Crosstalk) نیز قرار دارد که منشأ اصلی این مشکل بخش‌های آلومینیومی آشکارساز باند ۴ است که طیف بازتاب شده از آن به سمت آشکارسازهای دیگر هدایت می‌شود. باندهای ۵ و ۹ به دلیل نزدیکی بیشتر به این آشکارساز بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته و این امر سبب ایجاد تداخل در بازتاب‌های طیفی این باندها شده است (Fujisada and Ono, 1994). تصحیح تداخل سیگنال بر روی داده‌های تولیدشده پیش از سال ۲۰۰۱ میلادی الزامی است. در حال حاضر چنین تصحیحاتی از طرف شرکت اخذ داده‌ها انجام می‌گیرد. برای این تصحیحات، می‌توان از نرم افزاری که شرکت Earth Remote Sensing Data Center (ERSDAC) ارائه می‌دهد نیز استفاده کرد.

هدف از این تحقیق، ارزیابی و مقایسه نتایج به دست آمده از انواع روش‌های کالیبراسیون بر روی داده‌های استر برای معرفی روش بهینه بارزسازی واحدهای سنگی است. کمپلکس افیولیتی نیریز به عنوان ناحیه آزمایشی برای کنترل نتایج این روش‌ها انتخاب شده است. (Tangestani and Vincent (2007) و (Tangestani (2006) از داده‌های سنجده استر به منظور نقشه‌برداری، تفکیک و بارزسازی واحدهای سنگی کمپلکس افیولیتی نیریز استفاده کرده‌اند.

جو زمین به طور عمده دارای گازهای نیتروژن، اکسیژن، آرگون، کربن دیوکسید و مقدار متغیری بخار آب بوده که با ۵۰ درصد امواج الکترومغناطیس در محدوده‌های ۰/۳ تا ۲/۸ میکرومتر برهم کنش دارند. عمده‌ترین آثار جو بر انرژی الکترومغناطیس، پخش و جذب جوی است. برهم کنش این انرژی و جو زمین سبب تغییراتی در ویژگی‌های تابش‌های ثبت شده در سنجده‌های ماهواره‌ای می‌شود. تأثیرات جو در این خصوص، به طول موج بستگی دارد و بر حسب زمان و مکان تغییر می‌کند (Kurucz et al., 1984). تابش‌های ثبت شده در سنجده، تحت تأثیر عوامل دیگری مانند اثرات تابش مجاورتی و توپوگرافی نیز قرار می‌گیرد. اثرات تابش مجاورتی و توپوگرافی بیانگر تداخل بازتاب پیکسل مورد نظر با بازتاب پیکسل‌های مجاور آن در یک صحنه ماهواره‌ای است. مانند حذف اثرات جوی، از بین بردن اثر پیکسل‌های مجاور در بازتاب پیکسل مورد نظر، امری لازم و ضروری به شمار می‌آید (Richter et al., 2006). امروزه برای رفع اثرات جوی و توپوگرافی از داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی، الگوریتم‌های متنوع تصحیح جوی و توپوگرافی استفاده می‌شود. عمل کالیبراسیون جوی داده‌های ماهواره‌ای به دو صورت نسبی (Green et al., 1988; Crowley, 1986; Goetz & Srivastava, 1985)؛ (Parodi & Prakash, 2004; Ben-Dor et al., 1994; Kruse et al., 1985, 1990) و مطلق (Berk et al., 1999, 2003; Kneizys et al., 1988, 1996)؛ (Parodi & Prakash, 2004)؛ (Richter et al., 2006; Richter 2008; Kruse, 2005) انجام می‌شود. روش‌های کالیبراسیون نسبی، برخلاف انواع مطلق، به خصوصیات مؤلفه‌ها و پارامترهای جوی نیاز نداشته، بلکه از اطلاعات ورودی موجود در خود تصویر استفاده می‌کند (Parodi & Prakash, 2004). برای اجرای روش‌های مطلق، ضروری است که پارامترهای جوی و کدهای انتقال تابشی در دسترس باشند. نتایج این تحقیقات نشان داده که داده‌های ماهواره‌ای کالیبره شده با روش‌های نسبی و مطلق بهتر از داده‌های خام قادر به تفکیک و بارزسازی واحدهای سنگی و مناطق دگرسانی هستند (Kruse, 2005; Richter et al., 2006; Richter 1996, 1997, 2008).

در تحقیق پیش رو، مجموعه داده‌های ۹ باندهی مرئی-فروسرخ موج کوتاه و فرسرخ نزدیک L1B با استفاده از کالیبراسیون مطلق توسط نرم افزار ATCOR-2 (تصحیح جوئی)، ATCOR-3 (تصحیح جوئی و توپوگرافی) و کالیبراسیون‌های نسبی مانند میانگین بازتاب نسبی داخلی (Internal Average Relative Reflectance; IARR)، پهنه مسطح (Flat Field; FF)، باقی‌مانده لگاریتمی (Log Residuals; LR)، روش خطی تجربی (Empirical Line; EL)، کسر جسم سیاه (Dark Object Subtraction; DOS)، بازتاب ظاهری (Apparent Reflectance; AR) و روش چاوز (COS (t)) کالیبره شدند.

پس از تهیه و گردآوری مجموعه داده‌های کالیبره شده به منظور ارزیابی و شناسایی بهترین روش کالیبراسیون، روش‌های پردازشی تصویر- پایه تحلیل مؤلفه اصلی (Principal Component Analysis; PCA) و طیف- پایه نقشه‌بردار زاویه طیفی (Spectral Angle Mapper; SAM) بر روی مجموعه داده‌های خام و کالیبره شده L1B استر و داده‌های AST-07 اجرا شد. داده‌های AST-07، مجموعه داده‌های ۹ باندهی مرئی، فرسرخ نزدیک و فرسرخ موج کوتاه سنجنده استر بوده که در ایستگاه دریافت داده‌ها با استفاده از پارامترهای جوئی و کدهای انتقال تابشی به طور مطلق کالیبره شده و به همان صورت می‌تواند در اختیار کاربران قرار گیرند.

با توجه به نیاز طیف واحد‌های سنگی در الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی نمونه‌های گردآوری شده از منطقه مورد مطالعه برای انجام طیف‌نگاری به آزمایشگاه دانشگاه ایالتی بولینگ گرین آمریکا (Bowling Green State University, USA) فرستاده و با استفاده از دستگاه طیف‌نگار (Analytical Spectral Devices; ASD) در محدوده طیف‌های بازتابی (۰/۴ تا ۲/۵ میکرومتر) تجزیه شدند. این طیف‌ها سپس به عنوان عضوهای انتهایی در روش نقشه‌بردار زاویه طیفی مورد استفاده قرار گرفتند.

تاکنون مطالعات بسیار زیادی در زمینه نقشه‌برداری واحد‌های سنگ‌شناختی با استفاده از الگوریتم‌های پردازشی تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM) بر روی داده‌های ماهواره‌ای انجام شده است. برای مثال Kruse (1998) با اجرای الگوریتم SAM روی داده‌های AVIRIS و SIR-C/X-SAR، واحد‌های سنگی را از یکدیگر تفکیک کرده است. Rowan and Mars (2003) عمل نقشه‌برداری واحد‌های سنگی را در Mountain Pass کالیفرنیا با استفاده از الگوریتم PCA روی داده‌های استر انجام داده‌اند. Girouard et al. (2004) با استفاده از داده‌های لندست، Quickbird و الگوریتم‌های نقشه‌بردار زاویه طیفی و تحلیل مؤلفه اصلی نقشه‌برداری واحد‌های سنگ‌شناختی را در منطقه Central Jebilet Morocco انجام داده‌اند.

Gomez et al. (2004) با استفاده از داده‌های سنجنش از دور ASTER عمل نقشه‌برداری واحد‌های سنگ‌شناختی نامیبیا را با استفاده از الگوریتم PCA انجام داده‌اند. Walfir et al. (2005) الگوریتم تحلیل مؤلفه اصلی انتخابی را برای نقشه‌برداری زمین‌ریخت‌شناختی در سواحل منطقه آمازون به کار برده‌اند.

Waldhoff et al. (2007) با استفاده از الگوریتم SAM بر روی داده‌های Hyperion و Quickbird عمل نقشه‌برداری واحد‌های سنگی را در مصر انجام داده‌اند. Amer (2009) و Amer et al. (2010) به منظور نقشه‌برداری واحد‌های سنگ‌شناختی در بیابان‌های خاوری مصر، از الگوریتم تحلیل مؤلفه اصلی را بر روی داده‌های نقشه‌بردار موضوعی بهبود یافته (Enhanced Thematic Mapper; ETM+) لندست (۲۰۰۹) و استر (۲۰۱۰) استفاده کرده‌اند.

۲- منطقه مطالعاتی

بیشتر توده‌های افیولیتی ایران در طول برخی از گسل‌های سراسری دیده می‌شوند (شکل ۱-ا). کمپلکس افیولیتی نیریز با مختصات $29^{\circ} 15' 26''$ - $29^{\circ} 40' 22''$ شمالی و $52^{\circ} 52' 30''$ - $54^{\circ} 14' 05''$ خاوری در شمال دریاچه بختگان و باختر شهر نیریز واقع شده است. این کمپلکس در واقع، بخشی از کمربند رورانده ۳۰۰۰ کیلومتری است که در کرتاسه پسین بر روی حاشیه صفحه عربستان رانده شده است (Stocklin, 1968).

شرایط آب و هوایی گرم و خشک، موقعیت جغرافیایی کوهستانی، زمین‌شناسی منطقه، ضعف و عدم تراکم پوشش گیاهی منجر به رخنمون قابل توجه واحد‌های سنگی در منطقه مورد مطالعه (کمپلکس افیولیتی نیریز) شده و بدین ترتیب شرایط مطلوبی را برای انجام مطالعات سنجنش از دور فراهم کرده است.

۳- داده‌ها و روش‌ها

۳-۱- کالیبراسیون جوئی داده‌های ماهواره‌ای

کالیبراسیون جوئی داده‌های ماهواره‌ای به دو صورت نسبی و مطلق قابل اجراست (شکل ۲). روش‌های تصحیح جوئی نسبی نیازی به مؤلفه‌ها و پارامترهای جوئی نداشته، بلکه از اطلاعات ورودی موجود در خود تصویر استفاده کرده و عمل تصحیح جوئی را انجام می‌دهد، به عبارتی، روش‌های تصحیح جوئی نسبی به صورت تجربی و آماری اجرا می‌شود. این روش‌ها برای زمانی که اطلاعات بسیار کمی در مورد پدیده‌های زمینی در دسترس است، مفید هستند. روش‌های نسبی به انواع روش‌های برهم‌کنشی و غیر برهم‌کنشی تقسیم می‌شود. در روش‌های برهم‌کنشی مانند روش پهنه مسطح (FF) و روش خطی تجربی (EL)، نیاز به آگاهی اولیه از منطقه مورد مطالعه است. اما در روش‌های نسبی غیر برهم‌کنشی مانند کالیبراسیون‌های میانگین بازتاب نسبی داخلی (IARR)، کسر جسم سیاه (DOS)، روش چاوز

کار برده می‌شود، در حالی که نسخه سوم آن (ATCOR-3) با استفاده از مدل ارتفاع رقمی (Digital Elevation Model; DEM) و کدهای انتقال تابشی MODTRAN عمل تصحیح جوئی و توپوگرافی را در سرزمین‌های ناهموار و کوهستانی انجام می‌دهد (Richter et al., 2006; Richter, 2008). پارامترهای ورودی مورد نیاز برای ATCOR-2 و ATCOR-3 محاسبه یا گردآوری شده و با استفاده از مدل ارتفاع رقمی منطقه در نرم‌افزار ATCOR-3 اطلاعات شیب زمین، جهت شیب، فاکتور دید آسمان و سایه تهیه شدند.

داده‌های AST-07 برای هر یک از ۹ باند موجود در محدوده مرئی و فرورسرخ نزدیک و فرورسرخ موج کوتاه تهیه می‌شوند. الگوریتم تصحیح جوی با استفاده از جدول مراجعه‌ای (Look up table) برای بازیابی بازتاب‌های سطحی در ایستگاه دریافت داده بر روی این دسته از داده‌ها اعمال شده و در اختیار کاربران قرار می‌گیرند. جدول مراجعه‌ای دارای محاسبات انتقال تابشی کد تکراری Gass-Seidel است که برای محاسبه تابش‌های واقعی در سنجنده، مجموعه از مقادیر بازتاب‌های سطحی فرضی و تنوعی از شرایط جوئی را به کار می‌برد. مجموعه‌ای از این شرایط فرضی به عنوان اطلاعات ورودی برای اجرای تصحیح جوئی در جدول مراجعه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. خروجی‌های این جدول مراجعه‌ای، مجموعه‌ای از هر دو بازتاب‌های سطحی و تابش‌های ثبت شده در سنجنده است. با استفاده از یک ارتباط خطی بین بازتاب‌های سطحی و تابش‌های ثبت شده در سنجنده، تابش‌های ثبت شده توسط سنجنده استر تبدیل به بازتاب‌های سطحی می‌شود. شرایط جوی توسط توزیع اندازه هواویز (آئروسول)، مقدار هواویز، فشار سطح و هندسه خورشید-ماهواره تعریف می‌شود (Abrams & Hook, 2001).

۳-۲. تحلیل مؤلفه اصلی

تحلیل مؤلفه‌های اصلی، پدازه‌ای بوده که بیشتر به منظور کاهش ابعاد داده‌ها به کار گرفته می‌شود. این روش اولین بار در ۱۹۰۱ توسط کارل پیرسون مطرح شد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی در تفسیر داده‌های رقمی سنجنش از دور، از اهمیت بسیاری برخوردار است. مهم‌ترین فواید PCA، جمع‌آوری، متراکم ساختن و حذف اطلاعات زائد در داده‌های ماهواره‌ای است. تحلیل مؤلفه‌های اصلی، یک روش تقویت تصویر برای نمایش بیشترین کنتراست طیفی از n باند طیفی است. این روش فراوانی‌های اضافی را در میان داده‌ها کاهش داده و تصویرهای جدید را در محورهایی با سیستم‌های مختصات جدید در مسیر کاهش واریانس تولید می‌کند. مؤلفه‌های نتیجه شده، بیشتر قابل تفسیرتر از تصاویر اولیه هستند. اولین مؤلفه اصلی برداری بوده که در مسیر بیشترین واریانس پیکسل‌ها در فریم قرار می‌گیرد. این مؤلفه دارای بیشترین واریانس طیفی داده‌ها بوده و مقدار واریانس آن بیشتر از مؤلفه‌های دیگر است. مجموع مؤلفه‌های اصلی ۱۰۰ درصد واریانس داده‌ها خواهد بود (Pearson, 1901). در دهه‌های اخیر، روش تحلیل مؤلفه اصلی به طور گسترده برای تفکیک و نقشه‌برداری واحدهای سنگ‌شناختی در مطالعات سنجنش از دور به کار برده شده است (Gomez et al., 2004; Walfir et al., 2005; Girouard et al., 2004; Amer et al., 2009, 2010).

۳-۳. نقشه‌بردار زاویه طیفی

نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) یک روش رده‌بندی سریع است که از راه ارزیابی، میزان تشابه طیف‌های تصویر و مرجع عمل نقشه‌برداری واحدهای زمین‌شناختی را انجام می‌دهد (Van Der Meer et al., 1997; Kruse et al., 1993; Rowan & Mars, 2003). این فرایند از راه محاسبه زاویه طیفی بین طیف‌های تصویر و مرجع (شکل ۳) انجام شده و خروجی‌های آن زاویه‌هایی بین صفر و یک است که هر قدر این زاویه کوچک‌تر باشد، طیف هدف مورد نظر به طیف مرجع نزدیک‌تر و تشابه آنها هم بیشتر است. همراه با خروجی‌های SAM تصویرهای rule نیز تولید می‌شوند که فاصله زاویه‌ای واقعی (بر حسب رادیان) بین هر طیف

(COS(t)) و بازتاب ظاهری (AR) از مدل‌ها و روش‌های آماری استفاده می‌شود (Chavez, 1975, 1988, 1989, 1996; Parodi & Prakash, 2004).

روش FF به یک ناحیه که از نظر طیفی یکنواخت و مسطح باشد، نیاز دارد که معمولاً به صورت ناحیه مورد نظر (Region Of Interest; ROI) در فریم تعریف می‌شود. میانگین طیف تابشی از این ناحیه مورد نظر (ROI) به عنوان طیف مرجع انتخاب شده و به طیف‌های موجود در هر پیکسل تصویر تقسیم می‌شود (Rast et al., 1991, Croweley et al., 1988, Goetz and Srivastava, 1985). در حالی که در روش IARR یک طیف میانگین از کل فریم محاسبه شده و به عنوان طیف مرجع به طیف‌های هر پیکسل در تصویر تقسیم شده تا بازتاب‌های واقعی و نرمال به دست آید (Mackin and Munday, 1988; Kruse, 1988). روش کالیبراسیون LR مشابه با کالیبراسیون IARR تمام ارقام موجود در فریم را برای رسیدن به یک نتیجه، به کار می‌برد. در این روش طیف تصویر در هر پیکسل به هر دو میانگین هندسی مکانی و هندسی طیفی تصویر تقسیم می‌شود (Zamudio and Atkinson, 1990).

در روش EL دو یا بیش از دو پدیده زمین‌شناسایی شده و طیف نمونه صحرایی آنها اندازه‌گیری می‌شود. در این روش به منظور تطابق طیف تصویری داده‌ها و طیف‌های بازتابی صحرایی از روش رگرسیون خطی استفاده می‌شود، سپس بهره (gain) و عرض از مبدا (offset) برای طیف‌های تابشی هر پیکسل محاسبه شده و برای تولید بازتاب‌های آشکار در هر پیکسل به کار می‌رود (Kruse et al., 1990, Green et al., Conel et al., 1988; Roberts et al., 1985; Zamudio and Atkinson, 1990, 1988).

الگوریتم کسر جسم سیاه (DOS) به منظور کاهش اثرات بخار آب در تصویر، مقدار درجه روشنایی را در پدیده‌هایی از تصویر که بازتاب آنها باید صفر باشد (مانند دریاچه‌های زلال و ژرف یا یک جسم سیاه) شناسایی می‌کند. هر مقدار بالای صفر در این مناطق، بیانگر یک افزایش همگانی در سراسر پیکسل‌های تصویر است، الگوریتم DOS برای تصحیح تصویر، این مقدار را از تمام پیکسل‌های تصویر کسر می‌کند (Chavez, 1975; 1988).

مدل COS(t) تمام عناصر و پارامترهای مدل DOS را همراه با یک پدازه برای برآورد مقدار جذب توسط گازهای جوئی و پخش ریلی به کار می‌برد. تابایی مسیر به دلیل بخار آب جوئی توسط مقدار درجه روشنایی در پدیده‌هایی که بازتاب در آنها باید صفر باشد (مانند دریاچه‌های زلال و ژرف)، برآورد شده و سپس از تمام پیکسل‌های تصویر کسر می‌شود. مدل AR ساده‌ترین روش تصحیح جوئی است و تنها برای تبدیل درجه‌های روشنایی به داده‌های بازتابی به کار می‌رود (Chavez, 1975, 1988, 1989, 1996).

برای اجرای روش‌های مطلق، ضروری است که مؤلفه‌ها و پارامترهای جوئی همراه با کدهای انتقال تابشی در دسترس باشند (Kruse, 2005; Richter et al., 2006; Richter 1996, 1997, 2008). در صورتی که نیمرخ‌های جوئی به مقدار کافی در دسترس باشد، خروجی این روش‌ها تصویری بوده که بازتاب پیکسل‌های زمینی را آشکار می‌کند. در مقایسه با روش‌های نسبی، مهم‌ترین منفعت این روش‌ها، ارزیابی دقیق بازتاب‌های زمینی در هر شرایط جوئی، ارتفاعی و هندسه بین خورشید و ماهواره است. مهم‌ترین اشکال این روش‌ها عدم دسترسی یا دسترسی دشوار به نیمرخ‌های جوئی مورد نیاز است (Parodi & Prakash, 2004).

نرم‌افزار ATCOR (Atmospheric and Topographic Corrections) برای کالیبراسیون مطلق جوئی داده‌های ماهواره‌ای در محدوده طیفی ۴۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر به کار برده می‌شود، توسط مرکز هوا-فضای آلمان (German Aerospace Center) توسعه یافته است. نسخه دوم این نرم‌افزار (ATCOR-2) به طور معمول برای تصحیح جوئی در سرزمین‌های مسطح و هموار به

ATCOR-2، نوع واحد سنگی را در منطقه مورد مطالعه از یکدیگر تفکیک می‌کند (شکل ۶). در این ترکیب‌های رنگی بجز واحدهای تفکیک شده در تصویر پیشین مجموعه هارزبورژیت- لرزولیت نیز از مجموعه هارزبورژیت- دونیت تفکیک شده است. تصویرهای ترکیب رنگی روش‌های JARR، FF، EL، LR، DOS، COS(t) و PCA نتایج مشابهی را به دست داده و مانند نتایج ATCOR-2 تنها قادر به جداسازی ۵ نوع واحد سنگی هستند (شکل ۵).

۴-۲. نتایج نقشه‌برداری زاویه طیفی

این الگوریتم با استفاده از طیف نمونه‌های صحرایی بر روی داده‌های SWIR خام، کالیبره شده و AST-07 استر اجرا شده و با استفاده از روش آستانه برش چگالی، مناطقی که بیشترین تطابق را با طیف مرجع داشتند، آشکار و خروجی‌های آن بر اساس نقشه زمین‌شناسی و مشاهدات میدانی ارزیابی شد. زاویه‌های طیفی واحدهای سنگی بارسازی شده در تصویرهای کالیبره شده با روش‌های مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، تصویرهای کالیبره شده ATCOR-3 و AST-07، برخلاف دیگر روش‌ها، قادر به بارسازی تمام واحدهای سنگی منطقه با زاویه‌های طیفی کوچک تر هستند.

خروجی داده‌های خام SWIR تنها قادر به بارسازی ۴ نوع واحد سنگی پریدوتیت، گابرو، مرمر و رادیولاریت است که با رخنمون‌های زمین‌شناختی در منطقه سازگاری دارند. تصویر خروجی داده‌های کالیبره شده ATCOR-2 قادر به تفکیک سه واحد سنگی پریدوتیت، گابرو و مرمر بوده که در مقایسه با نقشه زمین‌شناسی، از دقت بالایی ندارند، چرا که بخش عمده‌ای از آبرفت‌ها و دریاچه بختگان نیز همراه با این رخنمون‌ها بارز شده‌اند. نتایج حاصل از اجرای این الگوریتم بر روی مجموعه داده‌های کالیبره شده ATCOR-3 و AST-07 قادر به بارسازی ۶ واحد سنگی لرزولیت- هارزبورژیت، گابرو، مرمر، هارزبورژیت- دونیت، دیاباز و رادیولاریت است که با رخنمون‌های زمین‌شناسی منطقه نیز سازگاری دارند (شکل ۷). تصویرهای خروجی الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی بر روی داده‌های تصحیح شده با روش JARR، LR و FF به طور مشابه واحدهای سنگ‌شناختی پریدوتیت، گابرو، دیاباز و مرمر را آشکار کردند، اما نتایج روش FF در مقایسه با تصویرهای کالیبره شده با روش‌های IARR و LR از دقت کمتری دارند، زیرا تعداد قابل توجهی از پیکسل‌های مرمر، گابرو و پریدوتیت همراه با یکدیگر و همراه با دریاچه بارز شده‌اند. تصویرهای خروجی پردازش SAM بر روی داده‌های کالیبره شده EL، تنها قادر به شناسایی طیف نمونه‌های صحرایی مرمر، دیاباز و پریدوتیت با زاویه‌های طیفی نسبتاً بالا شده و تفاوت بین واحدهای گابرویی و پریدوتیت‌ها قابل تشخیص نیست. خروجی‌های حاصل از این الگوریتم بر روی تصویرهای کالیبره شده AR، DOS، COS(t) و قادر به شناسایی و بارسازی واحدهای سنگی با استفاده از طیف‌های مرجع نیستند.

۵- بحث

این مطالعه سعی داشته است روش‌های مختلف کالیبراسیون جوی مطلق و نسبی را با هدف تفکیک واحدهای سنگی افیولیتی بر روی داده‌های خام (LIB)، داده‌های کالیبره شده LIB و AST-07 اعمال کرده و با استفاده از طیف نمونه‌های صحرایی و اجرای فرایندهای PCA و SAM بر روی این دسته داده‌ها، افزون بر ارزیابی نتایج، مناسب‌ترین روش کالیبراسیون را معرفی کند. نتایج حاصل از ترکیب رنگی مؤلفه‌های اصلی نشان داد که تصویرهای کالیبره شده با روش‌های ATCOR-3 و AST-07 قادر به جداسازی ۶ نوع واحد سنگ‌شناختی از یکدیگر هستند (شکل ۳)، درحالی که تصویرهای حاصل از روش‌های JARR، EL، FF، LR، DOS، AR، COS(t) قادر به تفکیک واحدهای هارزبورژیت- لرزولیتی از واحدهای هارزبورژیت- دونیتی نیستند. به منظور مقایسه و ارزیابی نتایج رده‌بندی

تصویر و طیف مرجع را نشان می‌دهند. پیکسل‌های تیره‌تر در تصویرهای کوچک‌ترین زاویه‌های طیفی را نشان داده و بیشترین شباهت را با طیف مرجع دارند (Kruse et al., 1993). الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی با استفاده از معادله زیر میزان تشابه را بین طیف تصویر (t) و طیف مرجع (r) محاسبه می‌کند (Yuhas et al., 1992; Kruse et al., 1993; Van der Meer et al., 1997; De Carvalho and Meneses, 2000):

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{\left[\sum_{i=1}^{nb} t_i^2 \right]^{1/2} \left[\sum_{i=1}^{nb} r_i^2 \right]^{1/2}} \right]$$

nb تعداد باندها، t_i طیف آزمایشگاهی و r_i طیف مرجع است. الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی نیز از جمله روش‌های رده‌بندی کننده‌ای است که در سال‌های اخیر به طور گسترده توسط دانشمندان سنجش از دور به منظور نقشه‌برداری واحدهای سنگ شناختی مورد استفاده قرار گرفته است (Rowan & Mars, 2003; Kruse, 1998; Waldhoff et al., 2007; Girouard et al., 2004).

۴- تحلیل داده‌ها

در این تحقیق داده‌های سنجنده استر که در تاریخ ۸ سپتامبر ۲۰۰۳ اخذ شده‌اند، مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور یکپارچه‌سازی داده‌های VNIR و SWIR، باندهای SWIR استر با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر بر اساس باندهای VNIR با توان تفکیک مکانی ۱۵ متر بازنویسی شدند. پس از اجرای انواع روش‌های کالیبراسیون جوی مطلق و نسبی بر روی داده‌های LIB استر به منظور ارزیابی نتایج آنها با داده‌های خام و AST-07، پردازش‌های تصویر- پایه تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و طیف- پایه نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM) بر روی این داده‌ها اجرا و نتایج آنها با رخنمون‌های مربوطه در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رقمی شده در محیط Arc GIS و مشاهدات میدانی مقایسه شده است.

با بازدید صحرایی که در آذر ماه ۱۳۸۶ از منطقه مورد مطالعه انجام گرفت، ۵۰ نمونه از بخش‌های مختلف آن (شکل ۱) گردآوری شد. طیف نمونه‌های صحرایی مورد نیاز برای اجرای این الگوریتم‌ها با استفاده از دستگاه‌های طیف‌نگار ASD در آزمایشگاه دانشگاه ایالتی بولینگ گرین آمریکا در محدوده طیف‌های بازتابی (۴/۰ تا ۲/۵ میکرومتر) اندازه‌گیری و سپس بر اساس ۹ باند مرئی- فروسرخ موج کوتاه استر بازنویسی شدند.

مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم‌های PCA و SAM بر روی تصویرهای VNIR-SWIR با SWIR نشان داد که به دلیل متمرکز شدن رفتار طیفی بیشتر نمونه‌های سنگی منطقه در محدوده SWIR (شکل ۴)، فراوان بودن اکسیدهای آهن در منطقه و تداخل رفتار طیفی آنها با نمونه سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده VNIR، مجموعه داده‌های ۶ باندهای SWIR بهتر از داده‌های ۹ باندهای VNIR-SWIR قادر به جداسازی انواع واحدهای سنگ‌شناختی باشد. بنابراین در این تحقیق تنها به تفسیر نتایج حاصل از این الگوریتم‌ها بر روی تصویرهای SWIR پرداخته می‌شود.

۴-۱. نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی

پردازش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) بر روی مجموعه داده‌های خام (LIB) فروسرخ موج کوتاه، تصویرهای کالیبره شده و زیر مجموعه SWIR دسته داده AST-07 اجرا شد. به منظور تفکیک واحدهای سنگ‌شناختی و تسهیل در تفسیر نتایج PCA تصویرهای ترکیب رنگی از مؤلفه‌های اول، دوم و سوم داده‌های خروجی تهیه شد. ترکیب رنگی تصویرهای SWIR خام (LIB) و ATCOR-2 قادر به تفکیک ۵ واحد سنگی مرمر، گابرو، مجموعه گدازه بالشی و دیاباز، مجموعه هارزبورژیت- لرزولیت- دونیت و رادیولاریت است (شکل ۵). ترکیب رنگی تصویرهای کالیبره شده ATCOR-3 و AST-07، برخلاف ترکیب رنگی تصویرهای خام و کالیبره شده

نتایج پردازش‌های تصویر- پایه و طیف- پایه اجرا شده بر باندهای محدود مرئی و فروسرخ موج کوتاه سنجنده استر در منطقه اقیانوسی نیریز نشان می‌دهد که در صورت دسترسی به پارامترهای جوی، کدهای انتقال تابشی مناسب و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه، بهترین روش‌های حذف اثرات جوی و توپوگرافی برنامه 3-ATCOR و روش کالیبراسیون مطلق اجرا شده بر روی دسته داده‌های AST-07 هستند، زیرا نتایج پردازش‌ها بر روی دسته داده‌های کالیبره شده AST-07 کاملاً مشابه با تصاویر کالیبره شده 3-ATCOR است. همین نتایج همراه با دقت‌های به دست آمده، نشان می‌دهند که در صورت عدم دسترسی به این پارامترها کارآترین روش کالیبراسیون، فرایند میانگین بازتاب نسبی داخلی (IARR) است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که استفاده از داده‌های خام و کالیبره نشده استر (LIB) در مناطق گرم و خشک مانند نیریز، با میزان ناچیز هواویز و بخار آب جوی می‌تواند نتایج قابل قبولی را به دست دهد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی در مناطق گرم و خشک و نیمه‌خشک ایران بهترین و کارآمدترین روش برای حذف اثرات جوی و توپوگرافی موجود در فریم‌های ماهواره‌ای استر به ترتیب کاهش در دقت 3-ATCOR، 07-AST، IARR، LR و داده‌های خام کالیبره نشده (LIB) بوده و روش‌های 2-ATCOR، FF، EL، DOS(t) از دقت کمی برای آشکارسازی واحدهای سنگی برخوردار است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که بازتاب انرژی از دامنه‌ها می‌تواند اثر مهمی بر داده‌های ماهواره‌ای داشته باشد که حذف آن با استفاده از نرم افزارهایی مانند 3-ATCOR می‌تواند به ارتقاء کیفیت تصویر کمک قابل توجهی کند.

سپاسگزاری

نویسندگان از همکاری‌های صمیمانه آقای پروفیسور وینست که کار تجزیه طیفی نمونه‌های صحرائی را در آزمایشگاه دانشگاه ایالتی بولینگ گرین آمریکا انجام داده‌اند، و همچنین از آقای دکتر دانیل اشلفر به دلیل فراهم کردن نرم‌افزار 3-ATCOR کمال تشکر را دارند.

نقشه بردار زاویه طیفی از ماتریس آشفستگی و ضریب کاپا استفاده شد. ضریب کاپا یا کاپای کوهن (Cohen, 1960) معیاری چندمتغیره است که میزان سازگاری بین دو متغیر را نشان می‌دهد. این ضریب نشان می‌دهد که واحدهای رده‌بندی شده مورد نظر تا چه اندازه با داده‌های آزمایشی (نقشه‌های زمین‌شناسی و واقعیت‌های زمینی) سازگاری دارند. این ضریب با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

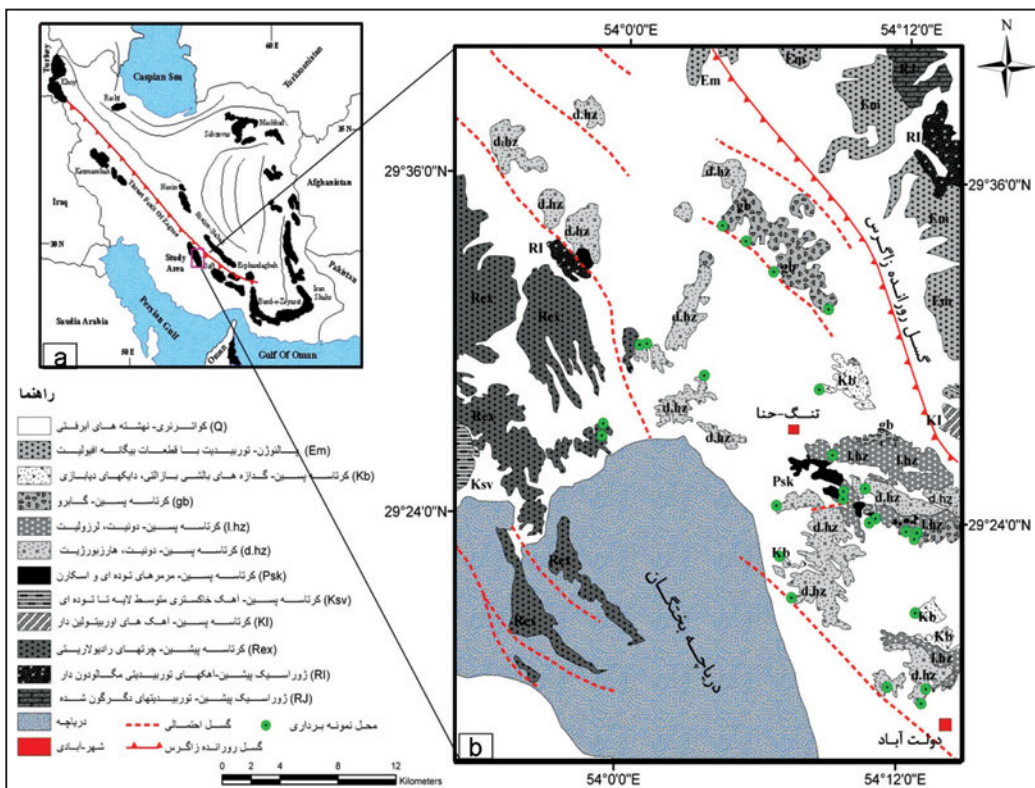
$$K = \frac{N \sum_k X_{kk} - \sum_k X_k \sum_k X_{\sum k}}{N^2 - \sum_k X_k \sum_k X_{\sum k}}$$

N تعداد کل پیکسل‌ها در نمونه آزمایشی، $\sum_k X_{kk}$ مجموع قطر ماتریس ارزیابی (X_{kk}) ، $\sum_k X_k \sum_k X_{\sum k}$ مجموع نمونه‌های آزمایشی در کلاس K و $X_{\sum k}$ مجموع پیکسل‌های پیش‌بینی شده در کلاس K هستند (Cohen, 1960).

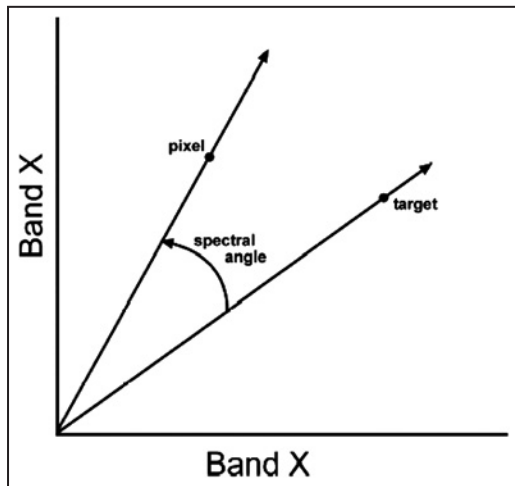
مقدار ضرب کاپا به طور معمول کمتر یا مساوی 1 است. عدد یک نشان دهنده بیشترین سازگاری و مقادیر کمتر، نشان‌دهنده سازگاری کمتر است. جدول 2 ضریب کاپا و دقت کل حاصل از پردازش SAM بر روی تصویرهای کالیبره شده با روش‌های مختلف را نشان می‌دهد. بر اساس نقشه زمین‌شناسی و 50 نقطه کنترل زمینی، درستی رده‌بندی ارزیابی شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بیشترین سازگاری نتایج با نمونه‌های آزمایشی مربوط به تصویرهای کالیبره شده با روش‌های مطلق 3-ATCOR و 07-AST است. با توجه به نتایج جدول می‌توان دریافت که روش‌های کالیبراسیون مطلق اجرا شده بر روی داده‌های 07-AST و روش 3-ATCOR مناسب‌ترین و کارآمدترین روش‌های تصحیح جوی برای داده‌های استر است.

۶- نتیجه گیری

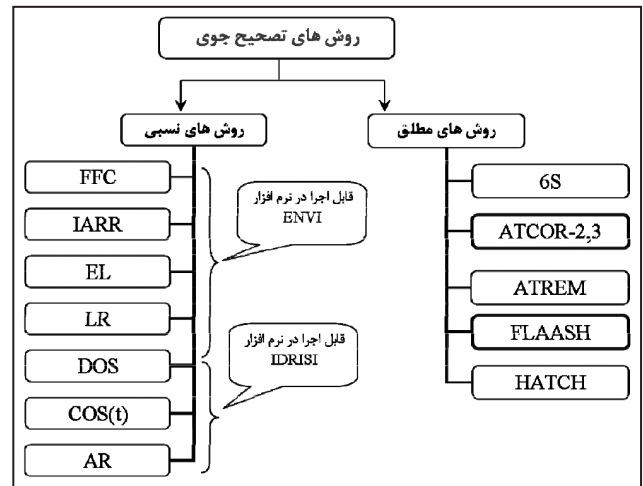
متمرکز شدن رفتار طیفی بیشتر نمونه‌های سنگی منطقه در محدوده SWIR، فراوان بودن اکسیدهای آهن در منطقه و تداخل رفتار طیفی آنها با نمونه سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده VNIR سبب شده که مجموعه داده‌های 6 باندهای SWIR بهتر از داده‌های یکپارچه VNIR-SWIR قادر به جداسازی انواع واحدهای سنگ‌شناختی باشد.



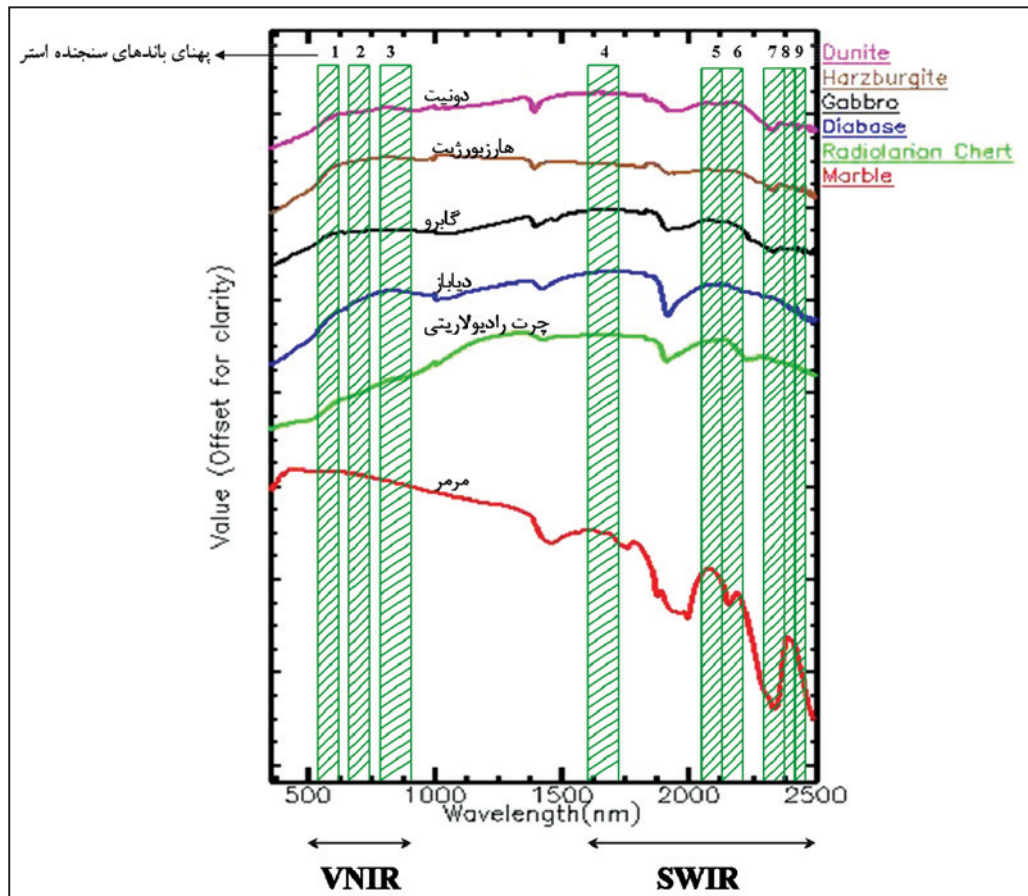
شکل ۱- (a) موقعیت ساختارهای گسلی اصلی و پراکندگی اقیانوس‌های ایران. (b) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (بر اساس Geological Survey of Iran, 1996) و موقعیت مکانی نمونه‌ها.



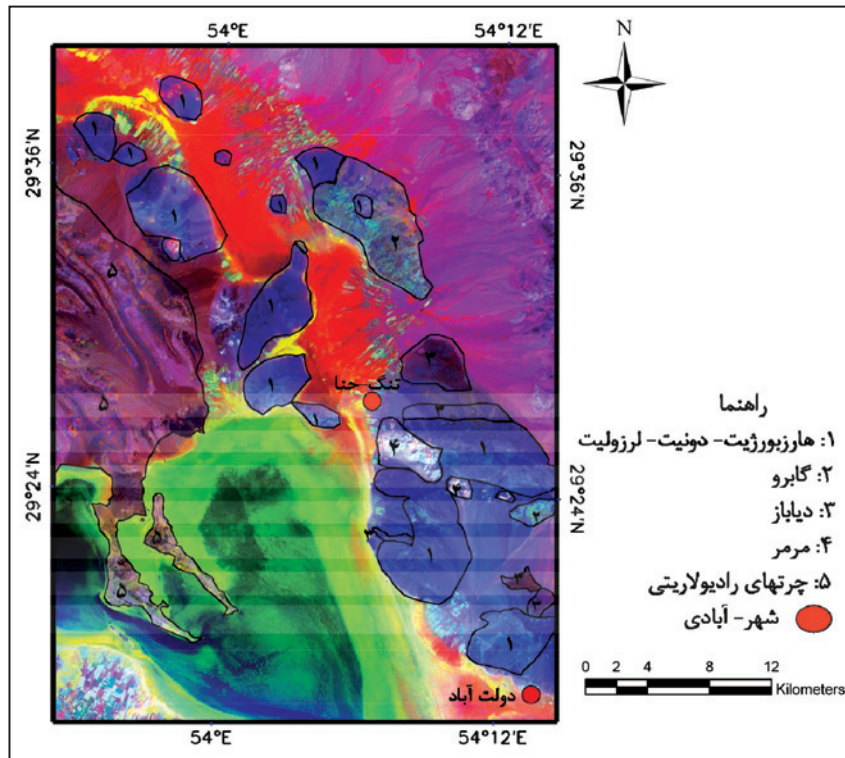
شکل ۳- زاویه طیفی بین طیف تصویر و طیف مرجع (Kruse et al., 1993)



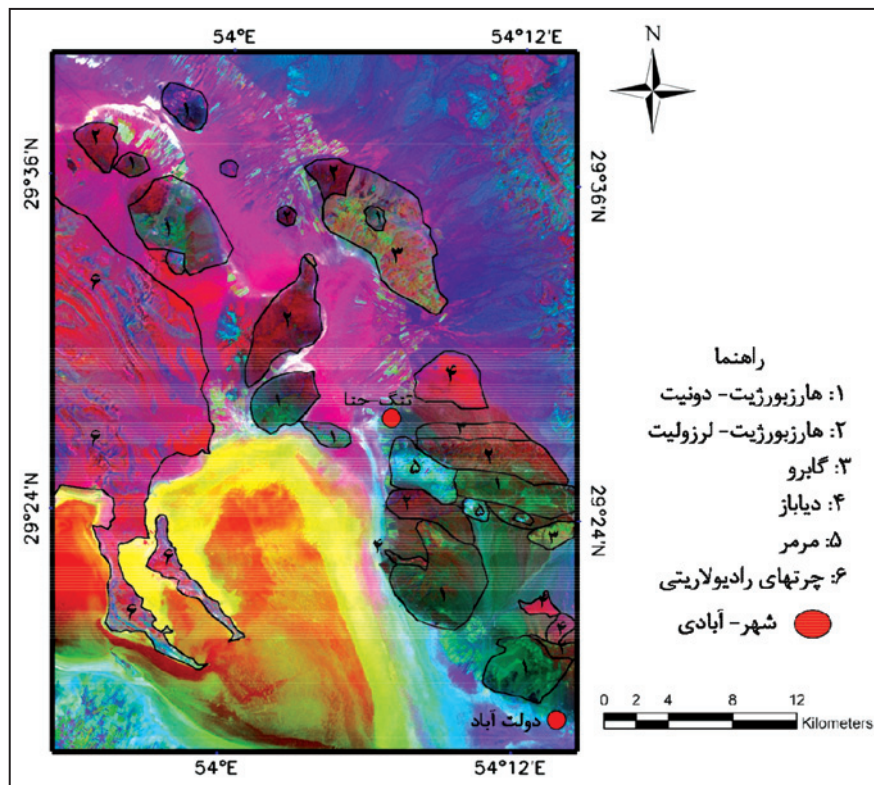
شکل ۲- روش های تصحیح جوی موجود برای مجموعه داده‌های بازتابی VNIR-SWIR



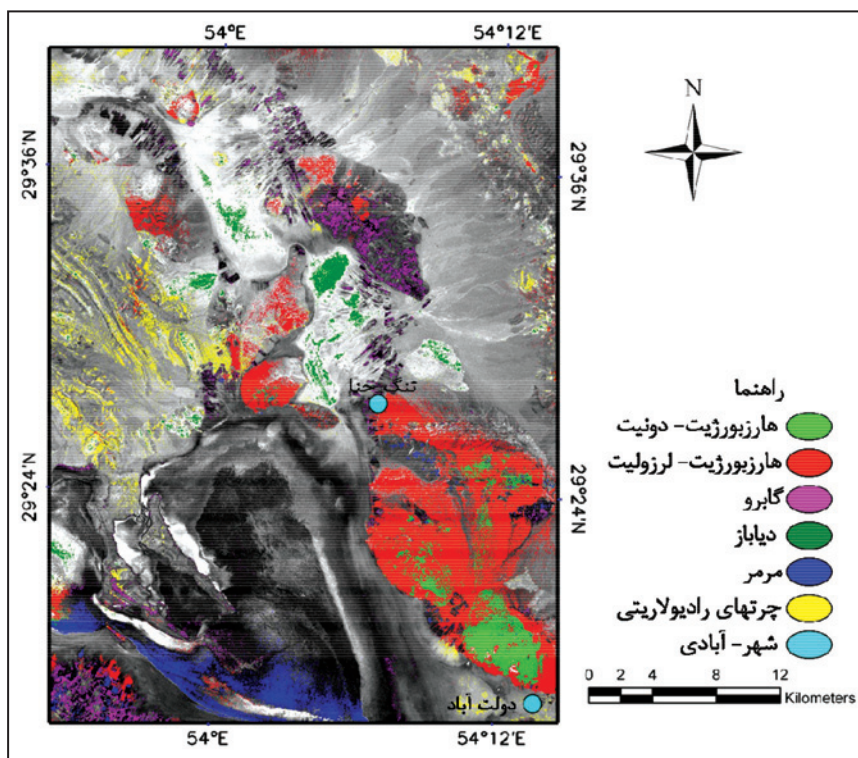
شکل ۴- مقایسه رفتار طیفی نمونه سنگ‌های منطقه با پهنای باندهای استر در محدوده‌های طیفی VNIR و SWIR



شکل ۵- تصویر ترکیب رنگی از مؤلفه‌های PC1, PC2, PC3 خروجی‌های تصویر SWIR کالیبره‌شده با روش IARR



شکل ۶- تصویر ترکیب رنگی از مؤلفه‌های PC1, PC2, PC3 خروجی‌های تصویر SWIR کالیبره‌شده با روش ATCOR-3



شکل ۷- خروجی‌های الگوریتم SAM، بر روی مجموعه داده‌های ۶ باندهی SWIR کالیبره شده با روش ATCOR-3.

جدول ۱- زاویه‌های طیفی واحدهای سنگی بارسازی شده در تصویرهای rule حاصل از الگوریتم SAM در تصویرهای کالیبره شده.

نوع سنگ	پریودیت		گابرو	دیاباز	مرمر	رادیولاریت
	لرزولیت-هارزبورژیت	دونیت-هارزبورژیت				
LIB	۰/۰۱-۰/۰۴	۰/۰۱-۰/۰۳	۰-۰/۰۳	بارز نشده	۰/۱۶-۰/۲۱	۰-۰/۰۳
ATCOR-2	۰/۰۵-۰/۱۰	۰/۰۱-۰/۰۹	۰/۰۱-۰/۰۹	بارز نشده	۰-۰/۰۲	بارز نشده
IARR	۰/۱۰-۰/۱۶	۰-۰/۰۲	۰-۰/۰۲	بارز نشده	۰/۱۹-۰/۲۴	بارز نشده
FF	۰/۰۷-۰/۰۹	۰-۰/۰۲	۰-۰/۰۲	بارز نشده	۰/۲۶-۰/۳۱	بارز نشده
EL	۰/۱۷-۰/۲۴	بارز نشده	بارز نشده	بارز نشده	۰/۰۱-۰/۰۳	بارز نشده
ATCOR-3	۰/۰۱-۰/۰۴	۰/۰۱-۰/۰۳	۰-۰/۰۲	بارز نشده	۰/۰۹-۰/۱۳	۰/۰۱-۰/۰۳
AST-07	۰-۰/۰۳	۰/۰۱-۰/۰۴	۰-۰/۰۲	بارز نشده	۰/۱۰-۰/۱۵	۰/۰۳-۰/۰۴

جدول ۲- ضرایب کاپا و دقت کل به دست آمده از رده‌بندی SAM بر روی تصویرهای کالیبره شده بر مبنای نقشه زمین‌شناسی و کنترل زمینی و مشاهدات میدانی

داده	LIB	ATCOR-2	IARR	FF	EL	ATCOR-3	AST-07
ضریب کاپا	۰/۵۹	۰/۴۵	۰/۶۲	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۸۰	۰/۷۵
دقت کل	۶۷٪	۶۰٪	۶۹٪	۳۸٪	۴۴٪	۸۳٪	۷۸٪

References

- Abrams, M. & Hook, S., 2001- Aster User Handbook Version 2, Jet Propulsion Laboratory.
- Alavi, M., 1994- "Tectonic of Zagros orogenic belt of Iran; new data and interpretation", *Tectonophysics*, 229, 211-238.
- Amer, R., 2009- Image Processing and Analysis Using LANDSAT ETM+ Imagery For Lithological Mapping At Fawakhir, Central Eastern Desert Of Egypt. ASPRS 2009 Annual Conference Baltimore, Maryland, March 9-13, 2009.
- Amer, R., Kusky, T. & Ghulam, A., 2010- Lithological mapping in the Central Eastern Desert of Egypt using ASTER data. 1464-343X/\$ - see front matter _ 2009 Elsevier Ltd. All rights reserved. doi:10.1016/j.jafrearsci.2009.06.004.
- Ben-Dor, E., Kruse, F. A., Lefkoff, A. B. & Banin, A., 1994- "Comparison of Three Calibration Techniques for Utilization of GER 63-Chanel Aircraft Scanner Data of Makhtesh Ramon, Negev, Israel". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* Vol. 60. No.11. pp.1339-1354.
- Berk, A., Anderson, G. P., Bernstein, L. S., Acharya, P. K., Dothe, H., Matthew, M. W., Adler-Goldena, S. M., Chetwynd, J. H., Richtsmeier, S. C. Pukall, B. Allred, C. L. Jeong, L. S. & Hoke, M. L., 1999- "MODTRAN4 Radiative Transfer Modeling for Atmospheric Correction". Spectral Sciences, Inc., Burlington, MA 01803. Air Force Research Laboratory, Hanscom AFB 01731.
- Berk, A., et al., 2003- "MODTRAN4 Version 3 Revision 1 User's Manual", Air Force Research Laboratory, Hanscom MA.
- Chavez, P.S. Jr., 1988- An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral Data. *Remote Sensing of Environment*, 24, 459-479.
- Chavez, P. S., Jr., 1989- Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. *Photogrammetric Engineering & Remote sensing*. 55(9): 1285-1294.
- Chavez, P. S., Jr., 1996- Image-based atmospheric corrections: Revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 1025- 1036.
- Chavez, P. S., Jr., 1975- Atmospheric, solar and M.T.F corrections FOR ERTS digital imagery. Proc. American society of photogrammetry Fall conference, phoenix, Arizona.
- Cohen, J., 1960- A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* 20, 37-46.
- Conel, J. E., Green, C. J., Alley, V., Bruegge, J. S., Carrere, G., Margolis, G., Vane, T. G., Chrien, P., Slater, S. F., Biggar, P. M., Teillet, R. D., Jackson, M. & Moran, S., 1988- In-flight radiometric calibration of the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS), Proceedings SPIE Conference on Recent Advances on Sensors, Radiometry and Data Processing for Remote Sensing, 924; 168-178.
- Crowley, J. K., 1986- "Visible and near-infrared spectra of carbonate rocks: reflective variations related to petrographic texture and impurities", *Journal of Geophysical research*, 91 (B5), 5001-5012.
- De Carvalho, O. A. & Meneses, P. R., 2000- Spectral Correlation Mapper (SCM); An Improvement on the Spectral Angle Mapper (SAM). Summaries of the 9th JPL Airborne Earth Science Workshop, JPL Publication 00-18, 9 p.
- Fujisada, H. & Ono, A., 1994- Observational performance of ASTER instrument on EOS AMI spacecraft. *Adv. Space Res.* 14, 147-150.
- Geological Survey of Iran, 1996- Geological map of Neyriz, 1:100,000 .
- Girouard, G., Bannari, A., El Harti, A. & Desrochers, A., 2004- Validated Spectral Angle Mapper Algorithm for Geological Mapping: Comparative Study between Quickbird and Landsat-TM. GeoScience Center P.O. Box 450, Ottawa (Ontario) K1N 6N5.
- Goez, A. F. H. & Srivastava, V., 1985- Mineralogical mapping in the Cuprite mining district, Nevada, Proceeding of Airborne Image Spectrometer (AIS) Data Analysis Workshop, 8-10 April, JPL Publication 85-41, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California. Pp. 22-31.
- Gomez, C., Delacourt, C., Allemand, P., Ledru, P., Wackerle, R., 2004- Using ASTER remote sensing data set for geological mapping, in Namibia. Accepted 24 August 2004 Available online 11 November 2004.
- Green, R. O., Gregg V. & Conel, J. E., 1988- Determination of inflight AVIRIS spectral, radiometric, spatial and signal-to-noise characteristics using atmospheric and surface measurements from the vicinity of the rare-earth-bearing carbonatite at Mountain Pass, California, Proceeding of the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Performance Evaluation Workshop. JPL Publication 88-38, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California., pp. 62-184.
- Kneizys, F. X., Abreu, L. W., Anderson, G. P., Chetwynd, J. H., Shettle, E. P., Berk, A., Bernstein, L. S., Robertson, D. C., Acharaya, P., Rothmann, L. S., Selby, J. E. A., Gallery, W. O. & Clough, S. A., 1996- The Modtran 2/3 Report and LOWTRAN 7 Model, Philips Laboratory, Geophysics Directorate.
- Kneizys, F. X., Anderson, G. P., Shettle, E. P., Gallery, W. O., Abreu, L. W., Selby, J. E. A., Chetwynd, J. H. & Clough, S. A., 1988- User Guide to LOWTRAN-7, Environmental Research Papers No.1010, AFGL-TR-88-0177, Air-Force Geophysical Laboratories.
- Kruse, F. A., 1998- Geologic Mapping Using Combined Analysis of Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) and SIR-C/X-SAR Data. Analytical Imaging and Geophysics LLC, 4450 Arapahoe Ave., Suite 100, Boulder, Colorado 80303 USA.
- Kruse, F. A., Raines, G. L. & Watson, K., 1985- Analytical techniques for extracting geologic information from multichannel airborne spectroradiometer and airborne imaging spectrometer data, Proceedings, International Symposium on Remote Sensing of Environment Fourth Thematic Conference, Remote Sensing for Exploration Geology, San Francisco, California, 1-4 April, pp. 309-324.

- Kruse, F. A., Kierein-Young, K. S. & Boardman, J. W., 1990- Mineral mapping at Cuprite, Nevada with a 63 channel imaging spectrometer, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 56(1): 83-92.
- Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. B., Heidebreicht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J., & Goetz, A. F. H., 1993- "The Spectral Image Processing System (SIPS)- interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data". *Remote Sensing of Environment*, 44, 145-163.
- Kruse, F. A., 2005- "Comparison of ATREM, ACORN, AND FLAASH Atmospheric corrections using low-altitude AVIRIS Data of BOULDER". Horizon GeoImaging, LLC, 4845 Pearl East Circle, Suite 101, Boulder, CO 80303-6113 USA.
- Kurucz, R. L., Furenid, I., Brault, J. & Testerman, L., 1984- NOAA Atlas No. 1, The Solar Flux Atlas from 296 to 1300 nm (Sunspot, NM: National Solar Observatory) First citation in article | NASA ADS.
- Mackin, S. & Munday, T. J., 1988- Imaging Spectrometry in Environmental SCIENCE Research and Applications-Preliminary Results from the Analysis of GER-II Imaging Spectrometer Data-Australia and the USA, Dept. of Geological Sciences, University of Durham, England Interim Report 1, Contract No.: D/ER1/9/4/2052/40/RAE(F) BNSC,44p.
- Nadimi, A. R. & Nadimi, H., 2002- Thrusts and Folds in the Neyriz Ophiolite and Associated Rocks, Iran Geology Department, Payame Noor University of Isfahan, Kohandej, POB. 81465-617, Isfahan, Iran.
- Parodi, G. N. & Prakash, A., 2004- Radiometric correction. In: N. Kerle, L.F.L. Janssen and G.C. Huurneman (Editors), principals of remote sensing. ITC education text book series, The international institute for geo-information science and earth observation (ITC). Ensched, pp. 129-137.
- Pearson, K., 1901- On lines and planes of closest fit to systems of points in space, *Philosophical Magazine*, Series 6, vol. 2, no. 11, pp. 559-572. [Cited by 383] (3.64/year) .
- Rast, M., Hook, S.J., Elvidge, C.D. & Alley, R. C., 1991- An evaluation of techniques for the extraction of mineral absorption features from high spectral resolution remote sensing data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 57(10):1303-1309.
- Richter, R., 1997- "Correction of atmospheric and topographic effects for high spatial resolution satellite imagery". *Int .J.Remote Sensing* 18(5):PP.1099-1111.
- Richter, R., 1996- "Atmospheric correction of DAIS hyperspectral image data". *Computers & Geosciences*, 22(7), pp.785-793.
- Richter, R., 2008- Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide, Version 6.4, January 2008).
- Richter, R., Schlapfer, D. & Muller, A., 2006- "An automatic atmospheric correction algorithm for visible/NIR imagery". *International Journal of Remote Sensing* Vol. 27, No. 10, 20 May 2006, 2077-2085.
- Ricou, L. E., 1968- Une coupe a travers les series a radiolarite des Monts Pichakun (Zagros Iran). *Bulletin of the Society for Geology* 10 (Fr. 7 Series), 478-485.
- Roberts, D. A., amaguchi, Y. Y. & Lyon, R. J. P., 1985- Calibration of airborne imaging spectrometer data to percent reflectance using field spectra measurements, *Proceeding of the Nineteenth, Ann Arbor, Michigan*, 21-25 October.
- Rowan, L. C. & Mars, J. C., 2003- "Lithologic mapping in the Mountain Pass, California, area using Advanced Spaceborne Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data" , *Remote Sensing of Environment*, 82, 350-366.
- Stocklin, J., 1968- "Structural history and tectonics of Iran"; A review, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52, 1229-1258.
- Tangestani, M. H., 2006- A comparative approach on TIR and VNIR-SWIR datasets of ASTER instrument for lithological mapping in Neyriz ophiolite zone, SW Iran. At Geological Applications session of the conference. *Map Asia* on September 11, 2006.
- Tangestani, M. H. & Vincent, R. K., 2007- Improved Rock Units Discrimination Using ASTER Data Of the Neyriz Ophiolite, NW, Iran, and its potential in Prospecting for Chromite Deposites. At the Exploration 2007, Remote sensing workshop on September 9, 2007.
- Van Der Meer, F., Vazquez-Torres, M. & Van Dijk, P. M., 1997- Spectral characterization of ophiolite lithologies in the Troodos Ophiolite complex of Cyprus and its potential in prospecting for massive sulphide deposits. *International Journal of Remote Sensing*, 18 (6), 1245-1257.
- Waldhoff, G., Bubenzer, O., Bolten, A., Koppe, W. & Bareth, G., 2007- Spectral Analysis Of ASTER, HYPERION, AND QUICKBIRD Data For Geomorphological Ana Geological Research In Egypt (Dakhla Oasis, Western Desert).
- Walfr, P. M., Filho, S, Paradella, W. R., 2005- Use of RADARSAT-1 fine mode and Landsat-5 TM selective principal component analysis for geomorphological mapping in a macrotidal mangrove coast in the Amazon Region. *Can. J. Remote Sensing*, Vol. 31, No. 3, pp. 214-224, 2005.
- Yuhas, R. H., Goetz, A. F. H. & Boardman, J. W., 1992- Discrimination Among Semi-Arid Landscape Endmembers Using the Spectral Angle Mapper (SAM) Algorithm. *Summaries of the 4th JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication 92-41, pp.147-
- Zamudio, J. A. & Atkinson, W. W., 1990- Analysis of AVIRIS data for spectral discrimination of geologic materials in the Dolly Varden Mountains. Nevada. *Proceeding of the Second Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop*, JPL Publication 90-54 Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California.pp 162-166.