



سنجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران  
Iranian Remote Sensing & GIS  
سال دوم، شماره دوم، تابستان ۱۳۸۹  
Vol.2, No.2, Summer 2010  
۷۱-۸۶

## مقایسه الگوریتم‌های نقشه‌بردار زاویه طیفی و انطباق سیمای طیفی در بارزسازی واحدهای سنگ‌شناختی افیولیت بر پایه داده‌های ASTER؛ مطالعه موردی کمپلکس افیولیتی نیریز

مجید هاشمی تنگستانی\*<sup>۱</sup>، لاله جعفری<sup>۲</sup>

۱. دانشیار بخش علوم زمین و مرکز دورسنجی و GIS، دانشگاه شیراز

۲. کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شیراز

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۳/۲۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۸/۴

### چکیده

در دهه‌های اخیر با تکامل فناوری سنجش از دور، این فناوری به مثابه روشی مؤثر برای نقشه‌برداری واحدهای سنگی مطرح شده، و داده‌های سنجنده استر نیز به طور گسترده برای جداسازی انواع کانی‌ها و سنگ‌های سیلیکاتی مورد استفاده قرار گرفته است. هدف از این تحقیق مقایسه الگوریتم‌های نقشه‌بردار زاویه طیفی و انطباق سیمای طیفی در تفکیک واحدهای سنگی کمپلکس افیولیتی نیریز بر پایه دسته داده‌های کالیبره شده SWIR و TIR استر است. طیف نمونه‌های صحرایی که به وسیله دستگاه‌های تجزیه طیفی (ASD) و طیف‌سنجی فرسوخ تبدیل فوریه (FTIR) اندازه‌گیری شده‌اند، به عنوان عضوهای انتهایی در این الگوریتم‌ها به کار رفته‌اند. مقایسه نتایج الگوریتم‌های نقشه‌بردار زاویه طیفی و انطباق سیمای طیفی با نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه و مشاهدات میدانی و با استفاده از ماتریس آشفتگی، نشان داد که به دلیل حذف پیوستار و در نتیجه نرمال شدن سیمای طیفی، الگوریتم انطباق سیمای طیفی دارای دقت بیشتری برای بارزسازی واحدهای سنگی هارزبورژیت - لرزولیت، هارزبورژیت - دونیت، گابرو، مرم، دیاباز و رادیولاریت بدون بارزشدگی رخنمون‌های اطراف است، در حالی که الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی بخش‌های عمده‌ای از رسوبات دریاچه‌ای، آبرفتی، واریزه‌های کوهرفتی و زمین‌های کشاورزی را همراه با این واحدهای سنگی بارز می‌کند. به علاوه، نتایج نشان داد که به دلیل متمرکز شدن رفتار طیفی نمونه‌های سنگی منطقه در محدوده SWIR، این داده‌ها بهتر از داده‌های TIR توان جداسازی انواع واحدهای سنگ‌شناختی را دارند.

**کلیدواژه‌ها:** افیولیت، استر، نقشه‌بردار، زاویه طیفی، انطباق سیمای طیفی.

\* نویسنده مکاتبه کننده: شیراز، چهارراه ادبیات، دانشکده علوم، بخش علوم زمین. تلفن: ۰۷۱۱-۶۱۳۷۲۲۲

## ۱- مقدمه

فناوری سنجش از دور و داده‌های ماهواره‌ای، توانایی بشر را برای تصویربرداری و نقشه‌برداری پدیده‌های سطح زمین به شکلی بنیادین ارتقا داده است و ابزاری مؤثر و توانمند برای نقشه‌برداری واحدهای سنگی، به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشکی که واحدهای زمین‌شناختی رخمون داشته باشند، به شمار می‌آید. زمین‌شناسان و متخصصان علم سنجش از دور به طور گسترده از داده‌های رقمی طیف‌سنجی بازتابی و گرمایی فضا برد پیشرفته (استر)<sup>۱</sup> برای شناسایی و بارزسازی جزئیات زمین‌شناختی استفاده می‌کنند. سنجنده استر، یکی از ۵ سنجنده مستقر بر ماهواره ترا<sup>۲</sup> است که در دسامبر ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد. این سنجنده اطلاعات طیفی منابع زمینی را در ۱۴ باند طیفی و سه زیرسیستم مرئی فرورسرخ نزدیک<sup>۳</sup> (VNIR) با سه باند طیفی در محدوده ۰/۵۲ تا ۰/۸۶ میکرومتر و توان تفکیک مکانی ۱۵ متر، زیرسیستم فرورسرخ موج‌کوتاه<sup>۴</sup> (SWIR) با ۶ باند طیفی در محدوده‌های ۱/۶ تا ۲/۴۳ میکرومتر و توان تفکیک مکانی ۳۰ متر و زیرسیستم فرورسرخ گرمایی<sup>۵</sup> (TIR) با ۵ باند طیفی در محدوده‌های ۸/۱۲۵ تا ۱۱/۶۵ میکرومتر و توان تفکیک مکانی ۹۰ متر (Fujisada and Ono, 1994)، در اختیار کاربر قرار می‌دهد.

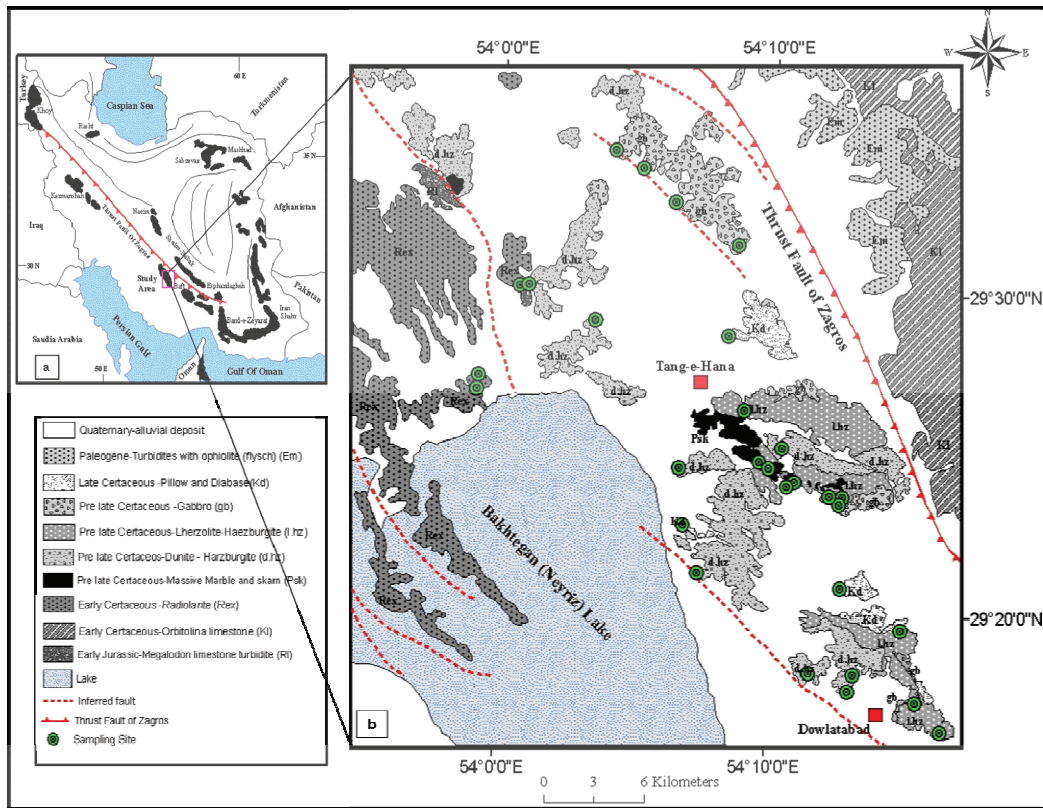
کمپلکس افیولیتی نیریز در امتداد زون برخوردی زاگرس<sup>۶</sup> در جنوب غربی کمربند دگرگونی سنندج - سیرجان، که صفحه عربستان و اوراسیا با یکدیگر برخورد می‌کنند، قرار گرفته است (Alavi, 1994; Stocklin, 1968; Ricou, 1968). چندین مطالعه با روش‌های جدید سنجش از دور بر روی افیولیت‌های واقع در زون برخوردی Yarlung در تبت (Wang et al., 1984)، افیولیت‌های مصر (Sultan et al., 1987) و افیولیت عمان (Abrams et al., 1988) با استفاده از مجموعه داده‌های نقشه‌بردار موضوعی لندست انجام شده است. Tangestani and Tangestani (2006) و Vincent (2007) از داده‌های سنجنده استر به منظور

نقشه‌برداری، تفکیک و بارزسازی واحدهای سنگی کمپلکس افیولیتی نیریز استفاده کرده‌اند. Ninomiya (2002)، Shuhab Khan et al, (2007) و Shuhab Khan and Mahmood (2008) نیز مجموعه داده‌های سنجنده استر را به ترتیب برای تفکیک و نقشه‌برداری واحدهای سنگی کمپلکس افیولیتی Muslim Bagh پاکستان و تفکیک واحدهای سنگی کربناتی و بازی و فوق بازی به کار برده‌اند، اما تا کنون مطالعه‌ای بر پایه مقایسه الگوریتم‌های نقشه‌بردار زاویه طیفی<sup>۷</sup> (SAM) و انطباق سیمای طیفی<sup>۸</sup> (SFF) در بارزسازی واحدهای سنگ‌شناختی افیولیت در کشور ایران انجام نشده است.

برای تفکیک و نقشه‌برداری واحدهای سنگ‌شناختی با استفاده از داده‌های چندطیفی مانند استر می‌توان از روش‌های کلاسیک رده‌بندی مثل بیشترین شباهت<sup>۹</sup> استفاده کرد، اما این روش تصویر پایه است و به منظور رده‌بندی تنها از اطلاعات موجود در تصویر استفاده می‌کند؛ در حالی که الگوریتم‌های SAM و SFF طیف پایه‌اند و به ازای هر طیف واحد سنگی، به عنوان عضو انتهایی، تنها توان بارزسازی یک واحد سنگ‌شناختی را دارند. نتایج تحقیقات و مطالعات Qiu و همکاران (2006) نشان داد که به منظور نقشه‌برداری زمین‌شناختی مناطق خشک در بخش‌های جنوب مصر الگوریتم‌های رده‌بندی طیف پایه SAM و SFF، دقت بیشتری در قیاس با روش‌های کلاسیک رده‌بندی تصویر پایه مانند بیشترین شباهت بر مبنای داده‌های چندطیفی استر دارند.

1. The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)
2. Terra satellite
3. Visible and Near Infrared Instrument
4. Shortwave Infrared Instrument
5. Thermal Infrared Instrument
6. Zagros collision zone
7. Spectral angle mapping
8. Spectral feature fitting
9. Maximum Likelihood Classification

مقایسه الگوریتم‌های نقشه‌بردار زاویه طیفی و انطباق سیمای طیفی در بارزسازی واحدهای سنگ‌شناختی افیولیت بر پایه داده‌های ASTER



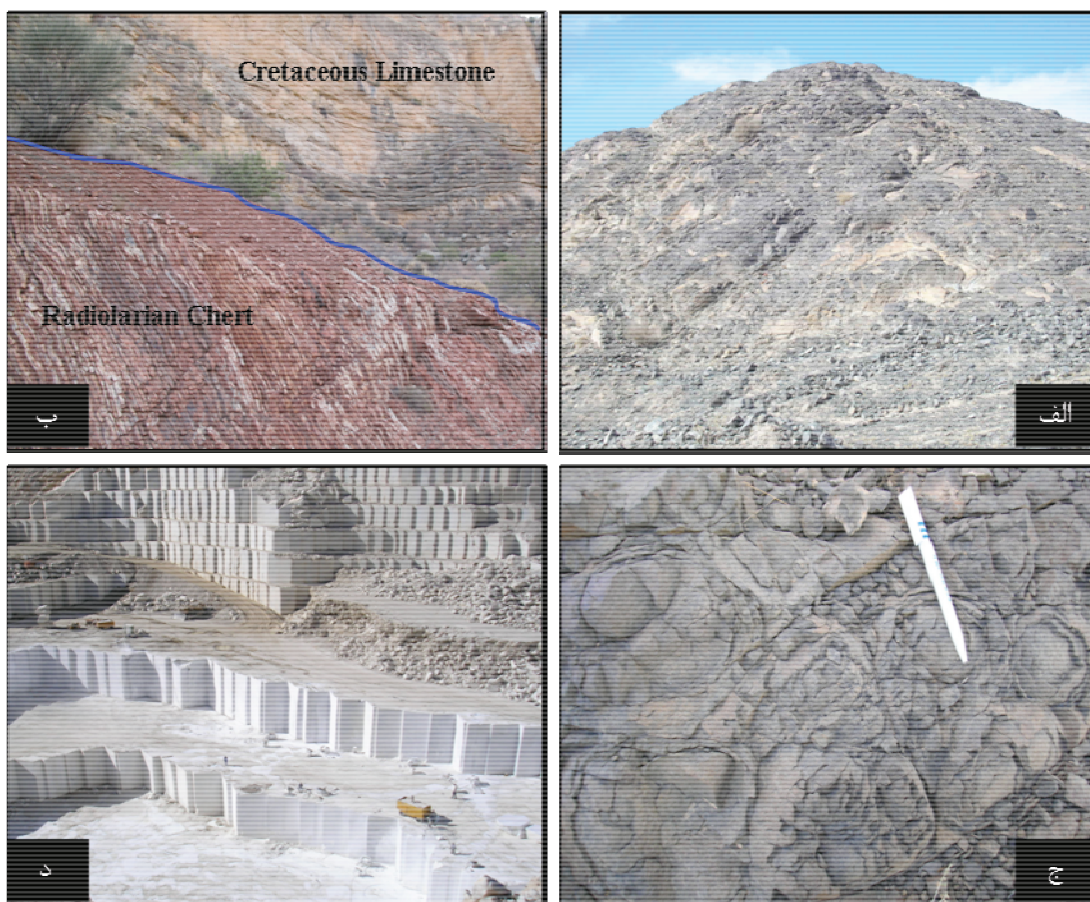
شکل ۱. (a) موقعیت ساختارهای گسلی اصلی و پراکندگی افیولیت‌های ایران. (b) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (براساس نقشه زمین‌شناسی منطقه؛ Geological Survey of Iran, 1996)، و موقعیت مکانی نمونه‌ها.

هدف از این تحقیق مقایسه الگوریتم‌های پیشرفته نقشه‌بردار زاویه طیفی و انطباق سیمای طیفی برای نقشه‌برداری واحدهای سنگی کمپلکس افیولیتی نیریز با استفاده از داده‌های استر است. نتایج حاصل از این الگوریتم‌ها با استفاده از ماتریس آشفتگی<sup>۱</sup> بر مبنای نقشه زمین‌شناسی و مشاهدات میدانی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است.

**۳- زمین‌شناسی منطقه**

بیشتر توده‌های افیولیتی ایران در طول برخی از گسل‌های سراسری دیده می‌شوند (شکل ۱a). کمپلکس افیولیتی نیریز با مختصات  $29^{\circ}15'26'' - 29^{\circ}40'22''$  شمالی و  $53^{\circ}52'30'' - 54^{\circ}14'05''$  شرقی در شمال دریاچه بختگان و غرب شهر نیریز واقع شده است. این

#### 1. Confusion Matrix



شکل ۲. عکس‌هایی از رخنمون واحدهای کمپلکس افیولیتی نیریز: الف) پریدوتیت؛ ب) بخشی از چرت رادیولاریتی (رادیولاریت پیچکان) در تماس با آهک‌های کرتاسه (لایه‌های فوقانی)؛ ج) فرسایش پوست‌پیزی در گدازه‌های بالشی؛ و د) بخشی از معدن روباز مرمر قلعه بهمن.

توده‌ای و اسکارن (Psk) تشکیل شده است؛ و ۴- زون رادیولاریت‌های پیچکان<sup>۴</sup>، شامل آهک‌های توریدیتی مگالودون‌دار (R1) و رادیولاریت‌های کرتاسه (Rex).

### ۳- تحلیل داده‌ها

در این تحقیق داده‌های LIB سنجنده استر، برگرفته شده در تاریخ ۸ سپتامبر ۲۰۰۳، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. پس از اجرای کالیبراسیون‌های جوئی مطلق بر ATCOR-3 (Richter, 2008; Richter et al., 2006) بر

۱- زون فلیش‌های ترشیاری<sup>۱</sup> (Em) که شامل انواع فلیش با قطعات بیگانه‌ای از افیولیت (سرپانتینت، گدازه بالشی و رادیولاریت) در زمینه‌ای از ماسه‌سنگ و شیل با قطعات بیگانه‌ای از آهک‌های اوربیتولین‌دار و سنگ آهک آلئولین‌دار، حاوی میزان کمی قطعات بیگانه افیولیتی است؛ ۲- زون سنندج - سیرجان<sup>۲</sup> (KI) که به طور عمده از سنگ آهک‌های اوربیتولین‌دار کرتاسه تشکیل شده است؛ ۳- زون افیولیتی<sup>۳</sup>؛ که از واحدهای سنگی دونیت - هارزبورژیت (d.hz) سرپانتینی‌شده همراه با کمی دایک گابرویی و پیروکسنیتی، تناوب لرزولیت - هارزبورژیت لایه‌ای با کمی دونیت سرپانتینی‌شده (l.hz)، گدازه‌های بالشی بازالتی و کمی دایک دیاباری (Kd)، گابرو (gb) و مخلوطی از مرمر

1. Tertiary Flysch zone
2. Sanandaj-Sirjan zone
3. Ophiolitic zone
4. Pichakan radiolarite zone



### ۳-۱- رفتار طیفی واحدهای سنگی افیولیت نیریز

در دهه‌های اخیر رفتار طیفی سنگ‌ها و کانی‌های تشکیل‌دهنده آنها به‌طور گسترده برای شناسایی ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی آنها مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجا که هر یک از کانی‌ها دارای ترکیب شیمیایی یا ساختار بلورین متفاوتی هستند و سنگ‌ها نیز تجمعاتی از کانی‌ها را در خود دارند، در نتیجه هر کانی یا سنگ قادر به جذب بخش‌های خاصی از امواج الکترومغناطیسی، به خصوص در محدوده‌های فروسرخ موج کوتاه و فروسرخ گرمایی است. این سیمای جذب برای هر کانی یا سنگ خاص‌اند و به عنوان «نشان‌های طیفی»<sup>۱۳</sup> برای شناسایی آنها به کار برده می‌شوند. هدف از این بخش توصیف رفتار طیفی واحدهای سنگین تشکیل‌دهنده کمپلکس افیولیتی نیریز شامل پریدوتیت سرپانتینی‌شده، گابرو، دیاباز، چرت‌های رادیولاریتی و مرمر است. سنگ‌های فوق‌بازی به عنوان اجزای اصلی افیولیت حاوی بیش از ۴۰ درصد اولیوین، اورتوپروکسن، کلینوپروکسن و مقادیر کمتری هورنبلند، بیوتیت، گارنت و اسپینل هستند. این کانی‌ها به طور متداول سیمای جذب قدرتمندی را به دلیل فرایندهای الکترونی در فلزات واسطه مانند آهن و فرایندهای ارتعاشی مولکولی در کانی‌های حاوی کربنات و هیدروکسیل نمایش می‌دهند (Vincent, 1997).

بر هم‌کنش بین فوتون‌ها با ارتعاشات خمشی و

روی داده‌های SWIR و گسیلندگی باند مرجع (Gillespie et al., 1999) بر روی داده‌های TIR، پردازش‌های طیف پایه نقشه‌بردار زاویه طیفی و انطباق سیمای طیفی با هدف نقشه‌برداری واحدهای سنگی بر روی این داده‌ها اجرا شدند و نتایج آنها با رخنمون‌های مربوط، در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ رقمی شده در محیط ArcGIS و مشاهدات میدانی مقایسه شده است.

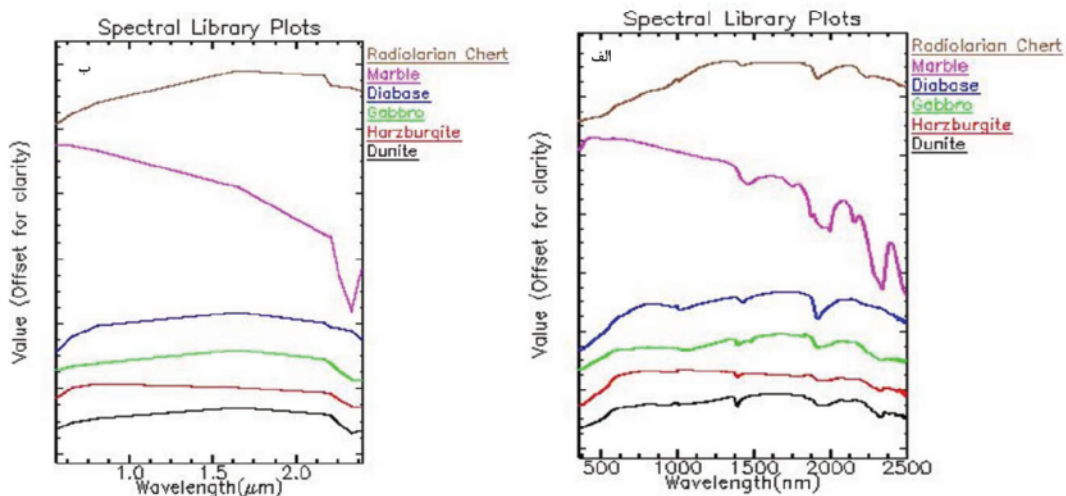
مدل انتقال تابشی<sup>۱</sup> MODTRAN، نوع سنجنده، ارتفاع زمین، زاویه سمت‌الرأس خورشیدی<sup>۲</sup>، قابلیت دید<sup>۳</sup>، تاریخ پرواز، فایل جو، فاکتور درجه‌بندی بازتابی<sup>۴</sup>، مدل ارتفاع رقمی<sup>۵</sup>، زاویه آزیموت خورشیدی<sup>۶</sup>، فایل‌های شیب و جهت شیب<sup>۷</sup>، فایل دید آسمان<sup>۸</sup> و فایل کالیبراسیون<sup>۹</sup> از پارامترهای ورودی مورد نیاز برای اجرای کالیبراسیون جو مطلق ATCOR-3 به شمار می‌آیند که بر روی داده‌های SWIR اجرا شده‌اند. برخی از آنها که همزمان با تصویربرداری اندازه‌گیری شدند، از فایل کمکی داده‌ها استخراج و گردآوری گردیدند؛ و برخی دیگر مانند اطلاعات شیب زمین، جهت شیب، فاکتور دید آسمان و سایه، با استفاده از مدل ارتفاع رقمی منطقه در نرم‌افزار ATCOR-3 محاسبه و تهیه شدند.

با بازدید صحرائی که در آذرماه ۱۳۸۶ از منطقه مورد مطالعه انجام گرفت، ۵۰ نمونه از بخش‌های مختلف آن (شکل ۲) گردآوری شد. طیف نمونه‌های صحرائی مورد نیاز برای اجرای این الگوریتم‌ها با استفاده از دستگاه‌های تجزیه طیفی<sup>۱۰</sup> (ASD) و طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه<sup>۱۱</sup> (FTIR) در آزمایشگاه دانشگاه ایالتی بولینگ گرین امریکا<sup>۱۲</sup> در محدوده طیف‌های بازتابی (۰/۴ تا ۲/۵ میکرومتر) و گرمایی (۶ تا ۱۶ میکرومتر) اندازه‌گیری و سپس به ترتیب براساس ۹ باند مرئی - فروسرخ موج کوتاه و ۵ باند فروسرخ گرمایی استر بازنویسی شدند (شکل‌های ۳ و ۴).

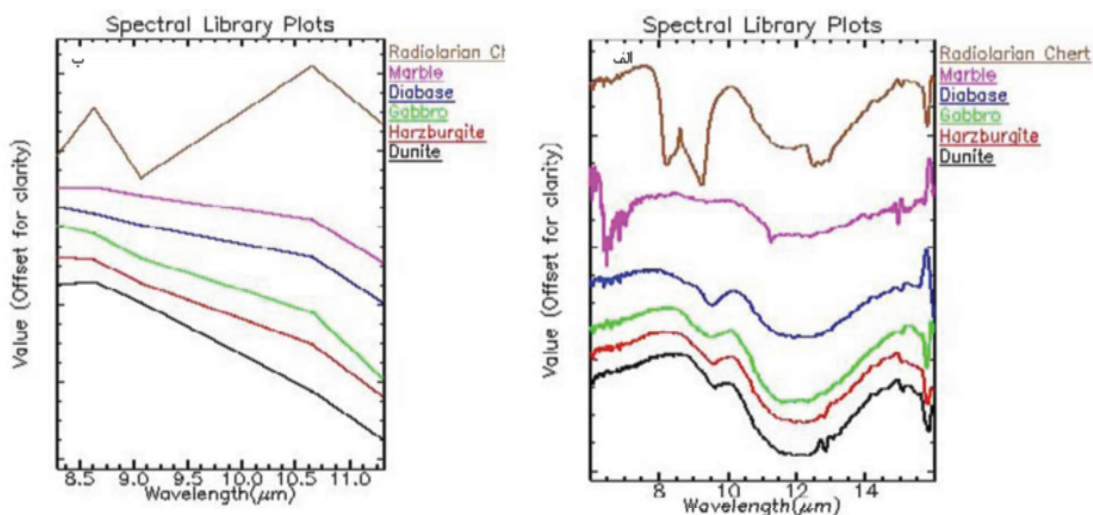
1. Radiative transfer model
2. Solar Zenith angle
3. Visibility
4. Reflectance scale factor
5. Digital Elevation Model
6. Sun Azimuth angle
7. Slope & Aspect files-
8. Sky view file
9. Calibration file
10. Analytical Spectral Device
11. Fourier Transform Infrared Spectrometry
12. Bowling Green State University, USA
13. Spectral Signatures

Hunt and Burns (1970) and Salisbury (1970) King, Hunt and Evarts (1980), Ashley (1979) and Ridley (1987) و Vincent (1997) مورد مطالعه قرار گرفته است.

کششی آنیون‌های گروه  $SiO_4$  سیماهای جذبی قدرتمندی را در کانی‌های سیلیکاتی در محدوده فرسرخ گرمایی - به خصوص ۲ تا ۲۵ میکرومتر - نشان می‌دهند، که باند بازماندی<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. رفتار طیفی بسیاری از سنگ‌های فوق‌بازی به وسیله<sup>۱</sup> Hunt



شکل ۳. الف) طیف‌های بازتابی واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در کمپلکس افیولیتی نیریز و ب) بازنویسی آنها براساس ۹ باند استر



شکل ۴. الف) طیف‌های گرمایی واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در کمپلکس افیولیتی نیریز؛ ب) بازنویسی آنها براساس ۵ باند استر

#### 1. Reststrahlen or residual ray

میکرومتر است که به ارتعاشات عامل C-O در CO<sub>3</sub> نسبت داده شده است ( Vincent, 1997; Hunt and Salisbury, 1970). این سیمای جذب در مرمرهای منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود (شکل ۳). باند بازماندی در نمونه‌های مرمر منطقه در محدوده‌های ۱۱/۲، ۱۳/۸ تا ۱۴ میکرومتر مشاهده می‌شود (شکل ۴). در چرت‌های رادیولاریتی به دلیل حضور اکسیدهای آهن فریک مانند گوتیت سیمای جذب خاصی در ۰/۴۸، ۰/۹، ۲/۲ و ۲/۴۵ میکرومتر مشاهده می‌شود. پس از بازنویسی طیف چرت رادیولاریتی به ۹ باند استر سیمای جذب مهم آن در ۲/۲ میکرومتر قابل مشاهده است (شکل ۳). این نمونه‌ها دارای باند بازماندی در ۹/۵ و ۱۱/۵ میکرومتر هستند (شکل ۴).

### ۳-۲- نقشه‌برداری زاویه طیفی

نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) از روش‌های رده‌بندی سریع است که از راه ارزیابی میزان تشابه طیف‌های تصویر و مرجع عمل نقشه‌برداری واحدهای زمین‌شناختی را انجام می‌دهد ( Kruse et al., 1993; Van Der Meer et al., 1997; Rowan and Mars, 2003; Dejong, 2001; al.). خروجی‌های این روش پیکسل‌هایی با زاویه طیفی بین صفر و یک است که هر قدر این زاویه کوچک‌تر باشد، طیف هدف مورد نظر به طیف مرجع نزدیک‌تر و تشابه آنها نیز بیشتر است. همراه با خروجی‌های SAM تصویرهای rule هم تولید می‌شوند که فاصله زاویه‌ای واقعی (برحسب رادیان) بین هر طیف تصویر و طیف مرجع را نشان می‌دهند. پیکسل‌های تیره‌تر در تصویرهای rule کوچک‌ترین زاویه‌های طیفی را نشان می‌دهند و بیشترین شباهت را با طیف مرجع دارند (Kruse et al., 1993).

این الگوریتم با استفاده از طیف نمونه‌های صحرایی بر روی مجموعه داده‌های SWIR کالیبره شده با ATCOR-3 توان بارزسازی ۶ واحد سنگی هارزبورژیت - لرزولیت، هارزبورژیت - دونیت، گابرو، دیاباز، مرمر و

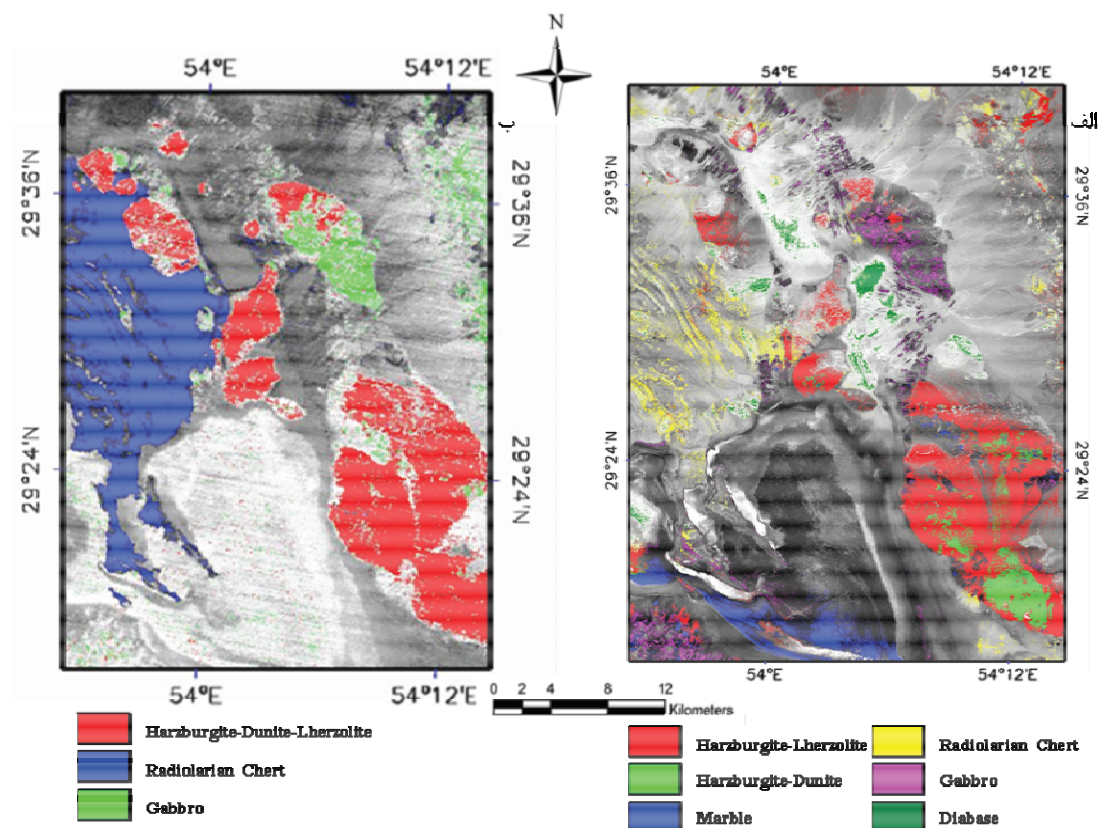
در هارزبورژیت‌های منطقه مورد مطالعه سیمای جذب نزدیک ۱ و ۱/۳ و ۱/۸۲ میکرومتر، به دلیل انتقال میدان بلوری در یون آهن فرو در مکان اکتاهدرال است. در پریدوتیت‌های سرپانتینی شده منطقه سیمای جذب قوی در نزدیکی ۱/۴، ۱/۹۵، ۲/۱ و ۲/۳ میکرومتر مشاهده می‌شود که تمامی آنها به ارتعاشات هارمونیک و ارتعاشات ترکیبی درگیر با حالت‌های کششی OH نسبت داده می‌شوند ( Vincent, 1974; Hunt and Evarts, 1980; Hunt et al., 1997). باندهای بازماندی در بیشتر نمونه‌های دونیتی و هارزبورژیتی منطقه در محدوده‌های ۹/۵، ۱۰/۷، ۱۱/۲ و ۱۲/۱ میکرومتر مشاهده می‌شود (شکل ۴). رفتار طیفی گابروها را (Adams, 1974; Van Der Meer et al., 1997) Vincent (1997) مورد مطالعه قرار داده‌اند. سیمای جذب در ۱/۲۸ و ۱/۸۵ میکرومتر در گابروهای منطقه مورد مطالعه به آهن فرو نسبت داده می‌شود. در برخی از نمونه‌های گابروی سیمای جذب ضعیفی در ۲/۳ میکرومتر مشاهده شده است که می‌توان آن را به حضور کلسیم موجود در دیوپسید نسبت داد. گابروهای منطقه دارای باند بازماندی در نزدیکی ۹/۵، ۱۰ تا ۱۰/۵ میکرومتر هستند (شکل ۴). آمفیبول‌ها سیمای جذب ضعیفی را در ۱/۳۹، ۲/۱۱، ۲/۳۰، ۲/۳۸ و ۲/۴۶ میکرومتر به دلیل ارتعاش یون هیدروکسیل نشان می‌دهند ( Vincent, 1997; Van Der Meer et al., 1997). دیابازهای منطقه سیمای جذب قوی‌ای را در نزدیکی ۲/۳۰ میکرومتر نشان می‌دهند که می‌توان آن را به ارتعاش یون هیدروکسیل موجود در آمفیبول، اپیدوت یا کلریت نسبت داد (شکل ۳). باند بازماندی این نمونه‌ها در محدوده ۹/۵ و ۱۰ میکرومتر مشاهده می‌شود (شکل ۴).

پس از بازنویسی طیف نمونه‌های هارزبورژیت، دونیت، گابرو و دیاباز به ۹ باند استر مهم‌ترین سیمای جذب در ۲/۳ میکرومتر (باند ۸ استر) با عمق‌های جذب متفاوت است (شکل ۳). کلسیت دارای باندهای جذب در محدوده‌های ۱/۸۷، ۱/۹۹، ۲/۱۵ و ۲/۳۳

مساحت سطوح رخنمون یافته پریدوتیت (هارزبورژیت، دونیت و لرزولیت به شکل یکپارچه) در تصویر ۸۲/۵۶ کیلومترمربع و در نقشه زمین‌شناسی ۷۴/۲۵ کیلومترمربع است. این اختلاف در مساحت به دلیل بارز شدن بخش‌هایی از رسوبات دریاچه‌ای، آبرفتی، واریزه‌های کوهرفتی و زمین‌های کشاورزی اطراف و واحدهای هارزبورژیت - دونیت همراه با واحدهای هارزبورژیت - لرزولیت است. مقایسه سایر سطوح رخنمون یافته همانند گابرو، دیاباز و مرمر - در تصویر با نقشه زمین‌شناسی رقمی شده نشان می‌دهد که اختلاف مساحت این واحدها در تصویر و نقشه زمین‌شناسی نیز ناشی از بارز شدن بخش‌هایی از رسوبات دریاچه‌ای، آبرفتی، واریزه‌های کوهرفتی و زمین‌های کشاورزی همراه با این واحدهاست.

رادیولاریت را دارد (شکل ۵-الف). زاویه‌های طیفی واحدهای سنگی بارزسازی شده در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، کمترین زاویه طیفی مربوط به گابرو است و برای واحدهای هارزبورژیت - دونیت، رادیولاریت، هارزبورژیت - لرزولیت، دیاباز و مرمر به ترتیب بزرگ‌تر می‌شود.

مقایسه رخنمون‌های سنگ‌شناختی در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رقمی شده با نتایج الگوریتم SAM نشان داد که مساحت رخنمون رادیولاریتی در تصویر ۷۴/۴۷ کیلومترمربع و در نقشه ۶۳ کیلومترمربع است. این افزایش مساحت در تصویر به دلیل بارز شدن قطعات بیگانه رادیولاریت موجود در پهنه فلش‌های ترشیری (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۹۹۶) همراه با واحدهای رادیولاریتی Rex است.



شکل ۵. خروجی‌های الگوریتم SAM بر روی: الف) تصویر SWIR کالیبره شده با روش ATCOR-3؛ و ب) تصویر TIR کالیبره شده با روش گسیلندگی باند مرجع



جدول ۱. زاویه‌های طیفی واحدهای سنگی بارزسازی شده با استفاده از الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی (برحسب رادیان)

نوع داده	نوع سنگ		گابرو	دیاباز	مرمر	رادپولاریت
	پریدوتیت	هارزبورژیت				
	هارزبورژیت- لرزولیت	هارزبورژیت- دونیت				
SWIR	۰/۰۱۴ - ۰/۰۴۳	۰/۰۱۲ - ۰/۰۳۹	۰/۰۰۷ - ۰/۰۲۵	۰/۰۷۳ - ۰/۱۰۱	۰/۰۹۴ - ۰/۱۳۲	۰/۰۱۴ - ۰/۰۳۶
TIR	۰ - ۰/۰۰۹		۰/۰۰۳ - ۰/۰۰۹	بارز نشده	بارز نشده	۰ - ۰/۰۰۷۴

طیف مرجع داشته‌اند، از روش آستانه برش چگالی<sup>۱</sup> استفاده شده و رده‌های با کمترین زاویه طیفی، با رنگ‌های مختلف بر روی باندهای خاکستری ۴ و ۱۱ استر، به ترتیب برای دسته داده‌های SWIR و TIR، تصویر شده است (شکل‌های ۵ الف و ب).

### ۳-۳- انطباق سیمای طیفی

انطباق سیمای طیفی (SFF) الگوریتمی است که برای مقایسه طیف‌های تصویر با طیف‌های مرجع، از روش حداقل مربعات<sup>۲</sup> استفاده می‌کند. این روش از راه ارزیابی سیمای جذبی مشخص در طیف‌ها عمل انطباق طیف‌های پیکسل و هدف را انجام می‌دهد (Clark et al., 1990, 1991, 1992; Clark and Roush, 1984). در این روش ابتدا پیوستار<sup>۳</sup> در طیف‌های تصویر و مرجع حذف می‌شود، سپس با استفاده از فن حداقل مربعات ژرفا و شکل سیمای طیفی، طیف تصویر با طیف مرجع مقایسه می‌گردد (Shippert, 1992). در این الگوریتم یک تصویر مقیاس<sup>۴</sup> به همراه یک تصویر خطای مربع جذر میانگین<sup>۵</sup> (RMS) و یا یک تصویر انطباق<sup>۶</sup>، خروجی‌های هر طیف مرجع را شامل می‌شود. در تصویر مقیاس، پیکسل‌های روشن‌تر تطابق بیشتری را با مواد مرجع نشان می‌دهند، در حالی که

الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی با استفاده از طیف نمونه‌های صحرایی بر روی مجموعه داده‌های ۵ باندهی فرسوخ گرمایی کالیبره‌شده با روش گسیلندگی باند مرجع نیز اجرا شد. تصویر خروجی این دسته داده، پریدوتیت (هارزبورژیت، دونیت و لرزولیت به شکل یکپارچه)، گابرو و رادیولاریت را با زاویه‌های طیفی نشان داده شده در جدول ۱، آشکار کرده است. همان‌گونه که این جدول نشان می‌دهد، کمترین زاویه‌های طیفی و در نتیجه بیشترین سازگاری سطوح رخنمون‌یافته با نقشه زمین‌شناسی به ترتیب مربوط به واحدهای سنگی پریدوتیت (هارزبورژیت، دونیت و لرزولیت به شکل یکپارچه)، رادیولاریت و گابرو است. در این تصویر بخش‌هایی از آهک‌های اوربیتولین‌دار و دریاچه بختگان همراه با مرمر بارز شده‌اند که دلیل آن می‌تواند تشابه رفتار طیفی واحدهای سنگی آهکی و مرمر (هر دو دارای باند جذبی در محدوده ۲/۳ میکرومترند) با رسوبات دریاچه‌ای باشد که به طور عمده از محصولات فرسایشی رخنمون‌های سنگی اطراف تشکیل شده است (شکل ۵-ب). در این تصویر واحدهای هارزبورژیت، دونیت و لرزولیت به شکل یکپارچه بارز شده‌اند. بنابراین مجموعه داده TIR در مقایسه با داده‌های SWIR قادر به تفکیک واحدهای سنگی هارزبورژیت - دونیت از واحد هارزبورژیت - لرزولیت و گابرو از دیاباز بر پایه الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی نیست.

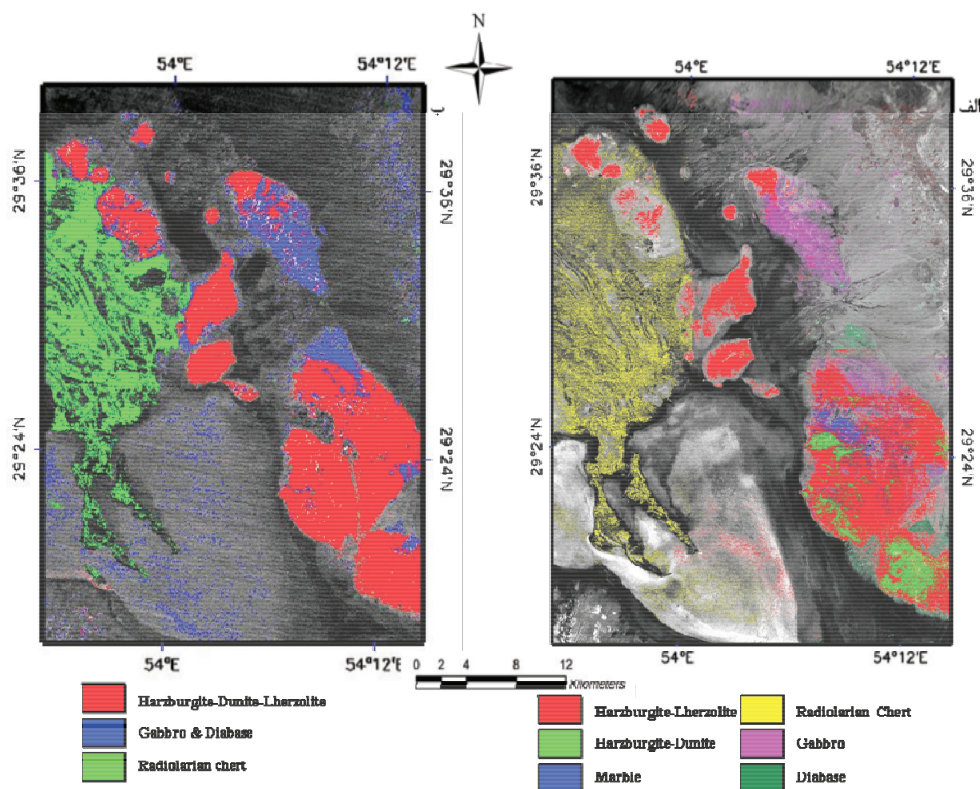
برای نمایش واحدهایی که بیشترین تطابق را با

1. Density slice
2. Least-squares technique
3. Continuum
4. Scale image
5. Root Mean Square
6. Fit image

نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رقمی شده، نشان داد که مساحت بیشتر این واحدها به خصوص گابرو ( $22/5\text{km}^2$ )، دیاباز ( $9/8\text{km}^2$ ) و مرمر ( $4/5\text{km}^2$ ) در تصویر و نقشه تقریباً یکسان است و تنها مساحت واحدهای هارزبورژیت - دونیت، هارزبورژیت - لرزولیت و رادیولاریت در تصویر کمی بیشتر از نقشه است، که این می‌تواند ناشی از بارز شدن بخش‌هایی از رسوبات دریاچه بختگان همراه با واحد پریدوتیتی و رادیولاریتی و همچنین واحدهای هارزبورژیت - لرزولیت همراه واحدهای هارزبورژیت - دونیت باشد و نیز به دلیل تشابه در رفتار طیفی آنها، زیرا رسوبات دریاچه از رخنمون‌های اطراف منشأ گرفته‌اند (شکل ۶-الف).

پیکسل‌های تیره در تصویر خطای مربع جذر میانگین بیانگر خطای کمتری هستند و در صورتی که با نتایج تصویر مقیاس ترکیب گردند، می‌توانند با استفاده از نمودار پراکندگی دوبعدی<sup>۱</sup> برای تعیین محل مناطقی که بیشترین تطابق را با طیف مرجع دارند به کار برده شوند.

تصویرهای خروجی حاصل از این الگوریتم بر روی داده‌های کالیبره شده SWIR با استفاده از طیف نمونه‌های صحرایی، ۶ واحد سنگی هارزبورژیت - دونیت، هارزبورژیت - لرزولیت، گابرو، دیاباز، رادیولاریت و مرمر را بارز کرد که با رخنمون آنها در نقشه زمین‌شناسی و مشاهدات میدانی سازگاری دارند. برخلاف نتایج حاصل از الگوریتم SAM، مقایسه واحدهای سنگی بارز شده به وسیله الگوریتم SFF با



شکل ۶. خروجی‌های الگوریتم SFF بر روی: الف) تصویر SWIR کالیبره شده با روش ATCOR-3؛ و ب) تصویر TIR کالیبره شده با روش گسیلندگی باند مرجع

## 1. Scatter plot

الگوریتم مقایسه بین طیف پیکسل و طیف مرجع در فضایی n بعدی به تعداد باندها صورت می‌گیرد و جهت بردارهای n بعدی مهم‌تر از طول آنهاست؛ و از همین رو مجموعه داده‌هایی که تأثیری در نتیجه نقشه‌بردار زاویه طیفی ندارند، نقشی مؤثرتر می‌یابند. این موضوع سبب می‌شود که نقشه‌بردار زاویه طیفی یک الگوریتم اندازه‌گیری شباهت و غیرحساس به تغییرات شدت روشنایی، توپوگرافی یا تفاوت‌های سپیدایی کلی باشد که اغلب در مجموعه داده‌های سنجش از دور رخ می‌دهد. اگر چه شکل سیمای طیفی ممکن است یکسان باشد و تنها عمق جذب آنها متناسب نباشد، اما این الگوریتم می‌تواند انطباق ضعیفی بین طیف پیکسل و طیف مرجع ایجاد کند. از دیگر ویژگی‌های مهم نقشه‌بردار زاویه طیفی این است که نتیجه آن عدد «میانگین» اختلاف بین طیف‌های پیکسل و طیف‌های مرجع در همه باندهای طیف است. با مشاهده این عدد، نمی‌توان دریافت که آیا عامل اصلی اختلاف در زاویه طیفی، عدم تناسب سیمای جذبی شاخص این گروه بوده است، و یا عدم تناسب اندک در همه باندها؛ و البته در هر دو حالت زاویه طیفی تقریباً مشابه خواهد بود. ضعف دیگر نقشه‌بردار زاویه طیفی، تطبیق کلی طیف است؛ یعنی علاوه بر سیمای جذبی منفرد، نوعی میانگین انطباق در سرتاسر محدوده طیفی صورت می‌گیرد و سبب می‌شود بخش‌های غیرشاخص طیف و همچنین پیوستار طیفی که در عمق جذب تأثیر می‌گذارد و نیز موقعیت سیمای تداخل‌یافته در نظر گرفته شوند (Hecker et al., 2008). از مشکلات دیگر الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی، اختلاف طیفی آن است. نادرست‌ترین فرض در SAM این است که عضوی انتهایی منتخب برای رده‌بندی تصویر، طیف‌های خالصی از مواد مرجع‌اند (Gebbinck, 1998). حذف پیوستار قبل از اجرای الگوریتم انطباق سیمای طیفی منجر به افزایش دقت در نتایج به دست آمده می‌شود و از مزیت‌های این الگوریتم به شمار می‌آید. بنابراین عدم بارزشدگی رخنمون‌های اطراف

نتایج خروجی این الگوریتم بر روی داده‌های TIR کالیبره‌شده با روش گسیلندگی باند مرجع با استفاده از طیف گرمایی نمونه‌های صحرایی تنها قادر به شناسایی و تفکیک پریدوتیت (هارزبورژیت، دونیت و لرزولیت به شکل یکپارچه)، گابرو و دیاباز به شکل یکپارچه و رادیولاریت است. در این تصویر نیز تشابه در رفتار طیفی منجر به بارز شدن بخش‌هایی از دریاچه همراه با واحد گابروی شده است (شکل ۶-ب). مانند نتایج خروجی الگوریتم SAM بر روی داده‌های TIR، در این تصویر خروجی نیز واحدهای هارزبورژیت، دونیت و لرزولیت و واحدهای گابرو و دیاباز به شکل یکپارچه بارز شده‌اند. بنابراین، برخلاف مجموعه داده‌های SWIR، مجموعه داده‌های TIR قادر به تفکیک واحدهای سنگی هارزبورژیت - دونیت از هارزبورژیت - لرزولیت و گابرو از دیاباز بر پایه الگوریتم انطباق سیمای طیفی نیست.

#### ۴- بحث و بررسی نتایج

در این مطالعه کوشش شده است که روش‌های نقشه‌بردار زاویه طیفی و انطباق سیمای طیفی به عنوان ابزارهای نقشه‌برداری پیشرفته داده‌های استر با هدف بارزسازی واحدهای سنگی یک کمپلکس افیولیتی با یکدیگر مقایسه شود و ضمن ارزیابی نتایج، مناسب‌ترین روش نقشه‌برداری نیز معرفی گردد. نتایج نشان داد با وجود اینکه الگوریتم‌های SAM و SFF قادر به بارزسازی ۶ واحد سنگی هارزبورژیت - لرزولیت، هارزبورژیت - دونیت، گابرو، مرمر، دیاباز و رادیولاریت با استفاده از دسته داده‌های SWIR هستند، اما برخلاف الگوریتم SFF، الگوریتم SAM مقادیر زیادی از زمین‌های کشاورزی و رسوبات آبرفتی و کوهرفتی اطراف رخنمون‌های سنگی را نیز بارز می‌کند که می‌تواند به دلیل ضعف‌ها و محدودیت‌های الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی باشد. الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی نیز، به مانند دیگر الگوریتم‌های رده‌بندی، علاوه بر مزیت‌هایش دارای ضعف‌هایی نیز هست. در این

کاپا و دقت کل را محاسبه می‌کند. ضریب کاپا و دقت کل حاصل از پردازش SFF و SAM بر روی تصویرهای SWIR کالیبره شده استر به ترتیب ۰/۸۸ و ۹۰ درصد و ۰/۷۶ و ۸۰ درصد است.

خروجی‌های حاصل از الگوریتم SAM بر روی داده‌های TIR کالیبره‌شده با روش گسیلندگی باند مرجع تنها ۳ واحد سنگی پریدوتیت (هارزبورژیت، دونیت و لرزولیت به شکل یکپارچه)، گابرو و رادیولاریت و الگوریتم SFF بر روی همین دسته داده‌ها پریدوتیت (هارزبورژیت، دونیت و لرزولیت به شکل یکپارچه)، گابرو و دیاباز به شکل یکپارچه و رادیولاریت را بارز کرد. بنابراین مجموعه داده‌های TIR در مقایسه با مجموعه داده‌های SWIR، توان تفکیک واحد سنگی هارزبورژیت - دونیت از واحد هارزبورژیت - لرزولیت و گابرو از دیاباز بر پایه الگوریتم‌های SAM و SFF را ندارد.

#### ۵- نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهند که بارز شدن بخش‌هایی از زمین‌های کشاورزی و رسوبات آبرفتی و کوهرفتی اطراف رخنمون‌های سنگی در الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی می‌تواند ناشی از ضعف‌ها و محدودیت‌های این الگوریتم باشد که به وسیله فرایند حذف پیوستار در الگوریتم انطباق سیمای طیفی رفع‌شدنی است.

مقایسه نتایج الگوریتم‌های نقشه‌بردار زاویه طیفی و انطباق سیمای طیفی با استفاده از ماتریس آشفتگی و مقایسه آنها با نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رقمی شده منطقه و مشاهدات میدانی، نشان داد که به دلیل حذف پیوستار و در نتیجه نرمال شدن سیمای طیفی، الگوریتم انطباق سیمای طیفی دارای دقت بیشتری برای تفکیک و بارزسازی واحدهای سنگی افیولیتی بر پایه دسته داده‌های SWIR و TIR است.

همراه با واحدهای سنگی در الگوریتم SFF را می‌توان به حذف پیوستار قبل از اجرای این الگوریتم نسبت داد. پیوستار در واقع قشر محدبی در سراسر بالای طیف است که ماکزیمم‌های بازتاب را به هم وصل می‌کند و ابتدا و انتهای ارزش‌های داده‌های طیفی روی این قشر قرار می‌گیرد. حذف پیوستار سبب نرمال شدن بازتاب طیف می‌شود و به کمک آن می‌توان سیمای طیفی جذبی منفرد را از یک خط مبنای عادی با یکدیگر مقایسه کرد (Kruse et al., 1993). این روش در حقیقت سبب حذف روند کلی طیف (مانند طیف‌های شیب‌دار) می‌شود و تنها سیمای طیفی در طیف تصویر با طیف مرجع مبنای مقایسه قرار می‌گیرند (Kokaly, 2001).

به‌منظور مقایسه و ارزیابی نتایج رده‌بندی‌های نقشه‌بردار زاویه طیفی و انطباق سیمای طیفی، از ماتریس آشفتگی و ضریب کاپا<sup>۱</sup> استفاده شد. ضریب کاپا (Cohen, 1960) معیاری چندمتغیره است که میزان سازگاری بین دو متغیر را نشان می‌دهد. این ضریب مشخص می‌سازد که واحدهای رده‌بندی‌شده مورد نظر تا چه اندازه با داده‌های آزمایشی (نقشه‌های زمین‌شناسی و واقعیت‌های زمینی) سازگاری دارند. مقدار ضریب کاپا به طور معمول کمتر یا مساوی ۱ است. عدد یک نشان از بیشترین سازگاری دارد و مقادیر کمتر نشان‌دهنده سازگاری کمترند. نتایج حاصل از SFF و SAM با استفاده از ماتریس آشفتگی بر مبنای نقشه زمین‌شناسی و مشاهدات میدانی، مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است؛ به این ترتیب که با توجه به وسعت و پراکندگی واحدهای سنگ‌شناختی در نقشه زمین‌شناسی و مشاهدات میدانی منطقه مورد مطالعه، برای هر واحد سنگی به طور مجزا یک ناحیه مورد نظر<sup>۲</sup> (ROI) از روی تصویر تهیه گردید و به‌منظور ارزیابی و تطابق نتایج حاصل از الگوریتم SFF و SAM این ROIها به عنوان نواحی آزمایشی به نرم‌افزار معرفی شدند. نرم‌افزار آن دسته از پیکسل‌های ROI را که با نتایج SFF و SAM واحد سنگی بارز شده مطابقت دارد در رده سنگی مورد نظر قرار می‌دهد و سپس ضریب

1. Kappa coefficient  
2. Region of Interest



- Applications, Journal of Geophysical Research, 89, 6329-6340.
- Clark, R.N., King, T.V.V., Kleijwa, M., Swayze, G.A., and Vergon, N., 1990, **High Spectral Resolution Reflectance Spectroscopy of Minerals**, Journal of Geophysical Research, 95 (B8), 12653-12680.
- Clark, R.N., Swayze, G.A. Gallagher, A., Gorelick, N., Kruse, F. A., 1991, **Mapping with Imaging Spectrometer Data Using the Complete Band Shape Least-squares Algorithm Simultaneously Fit to Multiple Spectral Features from Multiple Materials**, In: Proceedings, 3rd Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop, pp. 2-3.
- Clark, R.N., Swayze, G.A. Gallagher, A., 1992, **Mapping the Mineralogy and Lithology of Canyonlands, Utah with Imaging Spectrometer Data and the Multiple Spectral Feature Mapping Algorithm**, In: Summaries of the Third Annual JPL Airborne Geoscience Workshop, pp. 11-13.
- Cohen, J., 1960, **A Coefficient of Agreement for Nominal Scales**, Educational and Psychological Measurement, Vol. 20, 37-46.
- Fujisada, H. and Ono, A., 1994, **Observational Performance of ASTER Instrument on EOS AMI Spacecraft**, Advanced Space Research, Vol. 14, 147-150.
- Gebbinck, M.S.K., 1998, **Decomposition of Mixed Pixels in Remote Sensing Images to Improve the Area Estimation of Agricultural Fields**, Ph.D. thesis, Katholieke Universiteit Nijmegen, Veenendaal Universal Press, p. 165.
- نتایج همچنین نشان داد که به دلیل متمرکز شدن رفتار طیفی اغلب نمونه‌های سنگی منطقه در محدوده SWIR، مجموعه داده‌های ۶ بانده SWIR بهتر از داده‌های TIR توان جداسازی انواع واحدهای سنگ‌شناختی افیولیت بر پایه الگوریتم‌های SAM و SFF را دارد.
- ۶- سپاس‌گزاری**
- نویسندگان از همکاری‌های صمیمانه آقای پروفسور وینسنت که کار تجزیه طیفی نمونه‌های صحرایی را در آزمایشگاه دانشگاه ایالتی بولینگ گرین امریکا انجام داده‌اند، و همچنین آژ آقای دکتر دانیل اشلیفر به دلیل فراهم کردن نرم‌افزار ATCOR-3 کمال تشکر را دارند.
- ۷- منابع**
- Abrams, M.J., Rothery, D.A., Pontual, A., 1988, **Mapping the Oman Ophiolite Using Enhanced Landsat Thematic Mapper Images**, Tectonophysics 151, 387-401.
- Adams, J.B., 1974, **Visible and Near-infrared Diffuse Reflectance- Spectra of Pyroxenes as Applied to Remote Sensing of Soil Objects in the Solar System**, Journal of Geophysical Research, 79, 4829-4836.
- Alavi, M., 1994, **Tectonics of Zagros Orogenic Belt of Iran; New Data and Interpretation**, Tectonophysics, 229, 211-238.
- Burns, R.G., 1970, **Mineralogical Application of Crystal-field Theory**, pp. 1-224, Cambridge University Press, London.
- Clark, R. N., and Roush, T. L., 1984, **Reflectance Spectroscopy: Quantitative Analysis Techniques for Remote Sensing**

- Geological Survey of Iran, 1996, **Geological Map of Neyriz, 1:100,000.**
- Gillespie, A.R. Rokugawa, S. Hook, S.J. Matsunaga, T. Kahle, B., 1999, **Temperature/Emissivity Separation Algorithm Theoretical Basis Document, Version 2.4.**, prepared under NASA contract No. NAS5-31372.
- Hecker, C., Van der Meijde, M., Van der Werff, H., Van der Meer, F., 2008, **Assessing the Influence of Reference Spectra on Synthetic SAM Classification Results**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 46, No. 12.
- Hunt, G.R., and Salisbury, J.W., 1970, **Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks, Silicate Minerals**, Modern Geology, Vol. 1, 283-300.
- Hunt, G.R., Salisbury, J.W., and Lenhoff, C.J., 1974, **Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks, IX, Basic and Ultrabasic Igneous Rocks**, Modern Geology, Vol. 5, 15-22.
- Hunt, G.R. and P. Ashley, 1979, **Spectra of Altered Rocks in the Visible and Near Infrared, Economic Geology**, Vol. 74, 1613-1629.
- Hunt, G.R. Evarts, R.C., 1980, **The Use of Near-Infrared Spectroscopy to Determine the Degree of Serpentinization of Ultramafic Rocks**, Geophysics, Vol. 46, No.3, 316-321.
- King, V.V., Ridley, W., 1987, **Relation of the Spectroscopic Reflectance of Olivine to Mineral Chemistry and Some Remote Sensing Implications**, Journal of Geophysical Research, Vol. 92, No. B11, 11457-11469.
- Kruse, F.A., Lefkoff, A.B., Boardman, J.B., Heidebreicht, K.B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J., and Goetz, A. F. H., 1993, **The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data**, Remote Sensing of Environment, Vol. 44, 145-163.
- Nadimi, A., 1999, **Microstructural Analysis of Plastic Deformation of Upper Mantle and Shear Zones of the Neyriz Ophiolite, Southeastern Iran**, M.Sc. Thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran.
- Nadimi, A., 2002, **Mantle Flow Patterns at the Neyriz Paleospreading Center, Iran**, Earth and Planetary Science Letters, Vol. 203, 93-104.
- Ninomiya, Y., 2002, **Mapping Quartz, Carbonate Minerals and Mafic – Ultramafic Rocks Using Remotely Sensed Multispectral Thermal Infrared ASTER Data**, Proceedings of SPIE, 4710, 191–202.
- Qiu, F., Abdelsalam, M., Thakkar, P., 2006, **Spectral Analysis of ASTER Data Covering Part of the Neoproterozoic Allaqi-Heiani Suture, Southern Egypt**, Journal of African Earth Sciences, Vol. 44, 169–180.
- Kokaly, R.F., 2001, **Investigating a Physical Basis for Spectroscopic Estimates of Leaf Nitrogen Concentration**, Remote Sensing of Environment, 75, 153–161.

- 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, 2077–2085.
- Richter, R., 2008, **Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide, Version 6.4)**.
- Ricou, L.E., 1968, **Une Coupe a Travers Les Series a Radiolarite Des Monts Pichakon (Zagros Iran)**, Bulletin of the Society for Geology, Vol. 10, 478–485.
- 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, Vol. 82, 350-366.
- Shuhab Khan, D., Mahmood, K., Casey, J., 2007, **Mapping of Muslim Bagh Ophiolite Complex (Pakistan) Using Remote Sensing and Field Data**, Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 30, 333-343.
- Shuhab Khan, D., Mahmood, K., 2008, **The Application of Remote Sensing Techniques to the Study of Ophiolites**, Earth-Science Reviews, 89, 135-143.
- Shippert, P., 1992, **Introduction to Hyperspectral Image Analysis**, Ph.D. thesis, Geography Department, University of Auckland, New Zealand, p. 504.
- Sultan, M., Arvidson, R.E., Sturchio, N.C., Guinness, E.A., 1987, **Lithologic Mapping in Arid Regions with Landsat Thematic Mapper Data: Meatiq Dome**, Egypt. Geological Society of America Bulletin, Vol. 99, 748–762.
- 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**, Map Asia 2006 Proceedings.
- Tangestani, M.H., Vincent, R.K., 2007, **Improved Rock Units Discrimination Using ASTER Data of the Neyriz Ophiolite, SW Iran, and its potential in prospecting for chromite deposits**, Exploration 2007 conference, Remote sensing workshop, September 9, Toronto, Canada.
- 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, Vol. 18 (6), 1245-1257.
- Van Der Meer, F., Dejong, S. M., 2001, **Remote Sensing and Digital Image Processing**, imaging spectroscopy, Kluwer Academic publication, the Netherlands, p. 306.

Vincent, R.K., 1997, **Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing**, Prentice Hall, p. 366.

Wang, X.B., Xiao, X.C., Cao, Y.G., Zheng, H.X., 1984, **Geological Map of the**

**Ophiolite Zone Along the Middle Yarlung Zangbo River**, Xizang (Tibet). 2nd Geological and Geophysical Brigade of the Geological Bureau of the Tibet Autonomous Region. Publishing House of Surveying and Mapping, Beijing, P.R. China.