

## رسم نقشه شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار (ایران مرکزی) با استفاده از روشهای دورسنجی

عرفان حاجی<sup>۱\*</sup>، ماهیار سلطانی<sup>۲</sup>، بهنام رحیمی<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد زمین‌شناسی تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

۲- عضو هیئت علمی مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات پیشرفته، دانشگاه صنعتی شریف

۳- عضو هیئت علمی گروه علوم زمین، دانشگاه فردوسی مشهد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۶/۱۰

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۱۶

### چکیده

برای تهیه نقشه شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار، از ۶ تکنیک مختلف سنجش از دور جهت بارزسازی گسلها و شکستگیهای موجود در منطقه کمک گرفته شد. نرم افزار مورد استفاده برای این تکنیکها ER- Mapper 7.01 بود: ابتدا Scene شماره ۳۵-۱۶۰ از تصاویر Landsat ETM+ (که زون تکنار در جنوب آن قرار گرفته) انتخاب و برای وضوح بیشتر به کمک تکنیک FFT نویزها و سیگنالهای اضافی آن حذف گردید. سپس جهت مشاهده بهتر قطع شدگیهای ناگهانی لیتولوژی ناشی از گسلش، از تکنیک RGB و رابطه OIF کمک گرفته شد. به تصویر حاصل به جهت داشتن توان تفکیک مکانی بالاتر، تصویر Panchromatic سنجنده IRS تلفیق گردید. تکنیک بعدی، فیلترگذاری تصویر با استفاده از فیلترهای جهتی Sunangle برای رویت بهتر خطوط اثر شکستگیها بود. در مرحله چهارم از مولفه PC1 تکنیک PCA برای بارزسازی لبه‌های تیز شکستگیها کمک گرفته شد. در مرحله بعد، تصویر DEM منطقه با استفاده از تکنیک Sunshading مورد تابش مجازی نور قرار گرفت تا سایه‌های ایجاد شده برای شناسایی دره‌ها و برآمدگیهای خطی گسلها مورد استفاده قرار گیرد. تکنیک نهایی استفاده از Band Ratio بوده که عوارض طبیعی مرتبط با گسلش یکبار جداگانه روی تصاویر Grayscale و یکبار به صورت ترکیب RGB در تصویر رنگی بارزسازی شده و مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با استفاده از تصاویر حاصل از تکنیکهای مذکور نقشه شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار ترسیم گردید. نقشه حاصله برای راستی‌آزمایی، با گسلهای برداشت‌شده طی عملیات صحرایی مقایسه گردید و تطابق خوبی را با آن نشان داد که اعتبار تکنیکهای بکار رفته در دورسنجی را نشان می‌دهد.

**واژه های کلیدی:** داده‌های Landsat، سنجش از دور، سنجنده IRS، منطقه تکنار، نقشه گسل

## مقدمه

امروزه از مهمترین روشهای مطالعه و تحلیل ساختاری، استفاده از داده‌های دورسنجی (به ویژه تصاویر *LANDSAT ETM+* که در تحقیق حاضر به کار رفته است) خصوصا در مناطق شکننده (*Brittle*) می‌باشد.

منطقه تکنار (*Taknar Zone*) به عنوان شمالی-ترین برونزد خرده قاره ایران مرکزی (مولر و والتر، ۱۹۸۳؛ لیندنبرگ و جاکوبشاگن، ۱۹۸۳؛ افتخارنژاد و همکاران، ۱۳۷۶؛ طاهری و شمعیان، ۱۳۷۷) از دو دیدگاه برای این پروژه مناسب تشخیص داده شد: اول اینکه از نقطه نظر وضعیت ساختمانی جزء مناطق *Brittle* بوده و سیستمهای شکستگی موجود در منطقه نقش مهمی در ایجاد سیمای زمین شناختی و ساختاری آن ایفا نموده-اند. دلیل مهم دیگر وجود ذخائر معدنی فراوان فلزی در آن می‌باشد.

## روش مطالعه

در این تحقیق از تکنیکهای سنجش از دور شامل تکنیکهای کاهش نویز و شفاف سازی تصاویر و همچنین تکنیکهای بارزسازی خطواره‌های تکتونیکی (*Tectonic Lineaments*) برای رسم نقشه شکستگیها استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده، طیفهای مرئی و *Pan* ماهواره *Landsat*، تصویر *Pan* سنجنده *IRS* و تصاویر *DEM* (*SRTM*) منطقه مورد مطالعه است. همچنین برای پردازش داده‌ها از نرم‌افزار *ER-Mapper* 7.01 و برای رسم خطواره‌ها و خروجی نقشه از نرم‌افزار *Arcview* 4.3 بهره گرفته شد.

## پردازش داده‌های ماهواره ای

در تصاویر ماهواره‌ای سه راه برای تشخیص خطواره‌های ساختاری وجود دارد (سولومون و

قبریب، ۲۰۰۶):

الف) تشخیص تغییرات ناگهانی مرزهای لیتولوژی و جایجایی لایه‌ها در تصاویر رنگی.

ب) بررسی فرورفتگیها و دره‌های مستقیم به عنوان زونهای شکستگی.

پ) بررسی برآمدگیهای خطی (*Scarps*) گسلی و یا دایکها.

در این تحقیق جهت رویت و ترسیم حداکثر گسلها و شکستگیهای ساختاری و از طرفی پرهیز هر چه تمامتر از بروز خطا (خطوط اثر محور چینها، جاده‌ها، زمینهای کشاورزی و سازه‌های انسانی) از شش روش جداگانه بهره گرفته شده است که در پی می‌آید.

### - تبدیل فوریه (*Fourier Transform*)

برای اعمال تبدیل فوریه سریع (*FFT*)، ابتدا باید تصویر از میدان فضا به میدان فرکانس منتقل شود. در این حالت *Noise* ها و سیگنالهای اضافی تصویر حذف می‌گردد (سلطانی، ۱۳۸۷). در نهایت با انتقال دوباره به میدان فضا، تصویر منطقه (باند پانکروماتیک ۸ از *Scene* شماره ۳۵-۱۶۰ که زون تکنار در جنوب آن قرار گرفته است) را بدون نویز و با کیفیت بسیار خوب می‌توان دید و برای پردازشهای بعدی مورد استفاده قرار داد (شکل ۱). تبدیل فوق بر روی باند *Panchromatic* سنجنده *IRS* نیز اعمال شد.

### - استفاده از تصاویر *RGB* (*RGB Composition*)

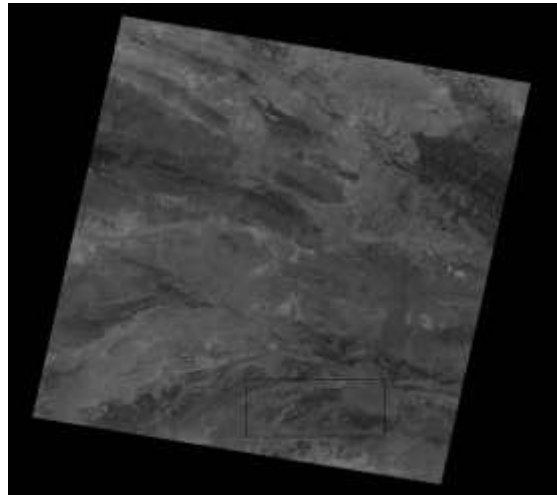
هدف در اینجا پیدا کردن قطع‌شدگی‌ها و تغییرات ناگهانی واحدهای سنگی است (سولومون و قبریب، ۲۰۰۶). ۶ باند مرئی ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ برای این مقصود مناسب می‌باشد. از آنجا که برای ساختن یک تصویر *RGB* سه باند برای سه رنگ اصلی مورد نیاز است، برای *X* ترکیب ممکن (غیر تکراری) از رابطه ترکیب استفاده می‌شود:

برای یافتن ترکیب مورد نظر، از رابطه  $OIF$  کمک گرفته می‌شود (چاوز و همکاران، ۱۹۸۲؛ چنگیز و همکاران، ۲۰۰۶):

$$OIF = \frac{\sum_{k=1}^3 S_k}{\sum_{j=1}^3 Abs} \quad (2) \text{ رابطه}$$

$$C(n,r) = n!/r!(n-r)! \quad (1) \text{ رابطه}$$

که  $n$  تعداد کل باندها (۶) و  $r$  تعداد باندها در هر ترکیب (۳) است. به این ترتیب ۲۰ ترکیب می‌تواند ساخته شود. اینکه کدام حالت از این ۲۰ ترکیب بهینه است، بستگی به مجموع اطلاعاتی دارد که هر کدام از ترکیبها در اختیار می‌گذارد.



شکل ۱: تصویر Scene شماره ۳۵-۱۶۰ پس از اعمال تبدیل فوریه (FFT) و کاهش نویز؛ کادر مشکی در پایین شکل، منطقه مورد مطالعه (زون تکنار) را نشان می‌دهد

(تکراری) امکان‌پذیر است که از نقطه نظر دید بصری ممکن است چشم در یک یا دو حالت از سه ترکیب، معیاریت (Contrast) رنگی تصویر را بهتر درک کند. در نهایت از ترکیبات مذکور، ترکیب 753 انتخاب گردید. (باند ۷ به قرمز، باند ۵ به سبز و باند ۳ به آبی اختصاص داده شد). با تلفیق تصویر Pan سنجنده IRS (با پیکسلهایی به ابعاد  $5/8 \times 5/8$  متر) به صورت خاکستری (Grayscale) و در مد Intensity به تصویر RGB حاصل، توان تفکیک مکانی تصویر به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد (شکل ۲).

$OIF$  یا *Optimum Index Factor* پارامتری می‌باشد که مجموع  $S_k$  یا *Standard Deviation* (انحراف معیار)  $k$  باند را نسبت به مجموع  $Abs(rj)$  یا *Correlation Matrix Value* (مقدار ماتریس همبستگی) همان باندها محاسبه می‌کند. به این ترتیب اگر  $OIF$  را برای هر کدام از ترکیبات سه گانه ممکن حساب کنیم، بزرگترین عدد بین ۲۰ حاصل تقسیم، ترکیب مورد نظر خواهد بود. مراحل کار در جداول ۱، ۲ و ۳ مشهود است. همانگونه که ملاحظه می‌شود باندهای ترکیبی بهینه ۳ و ۵ و ۷ می‌باشند.

حال برای ترکیب سه باند یادشده، باز سه حالت

جدول ۱: مقادیر انحراف معیار ۶ باند انتخابی Landsat

باند ۷	باند ۵	باند ۴	باند ۳	باند ۲	باند ۱	انحراف معیار
۱۵/۱۴۵	۱۷/۰۶۵	۱۲/۳۸۶	۱۵/۰۹۸	۹/۸۳۶	۷/۳۸۷	

جدول ۲: مقادیر ماتریس همبستگی ۶ باند مورد استفاده Landsat

ماتریس همبستگی	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۷
باند ۱	۱	۰/۹۵۶	۰/۹۱	۰/۷۴	۰/۷۸۹	۰/۸۲۶
باند ۲	۰/۹۵۶	۱	۰/۹۷۳	۰/۸۴۵	۰/۸۸	۰/۹
باند ۳	۰/۹۱	۰/۹۷۳	۱	۰/۸۷۲	۰/۹۰۳	۰/۹۱۶
باند ۴	۰/۷۴	۰/۸۴۵	۰/۸۷۲	۱	۰/۸۸۲	۰/۸۳۸
باند ۵	۰/۷۸۹	۰/۸۸	۰/۹۰۳	۰/۸۸۲	۱	۰/۹۷۵
باند ۷	۰/۸۲۶	۰/۹	۰/۹۱۶	۰/۸۳۸	۰/۹۷۵	۱

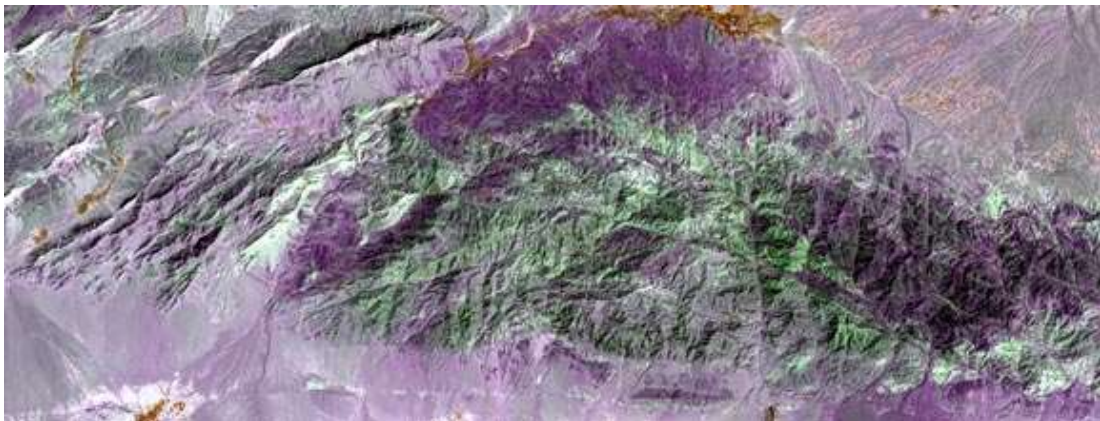
جدول ۳: محاسبه و مقایسه مقادیر OIF کلیه ترکیبات ممکن RGB و بدست آوردن ترکیب بهینه (۷ و ۵ و ۳) که با رنگ زمینه متفاوت از بقیه مجزا گردیده است

OIF	مجموع انحراف معیار	مجموع ماتریس همبستگی	ترکیب باندها
۱۱/۳۸۴۶	۳۲/۳۲۱	۲/۸۳۹	۱ و ۲ و ۳
۱۱/۶۵۲۵	۲۹/۶۰۹	۲/۵۴۱	۱ و ۲ و ۴
۱۳/۰۶۲۱	۳۴/۲۸۸	۲/۶۲۵	۱ و ۲ و ۵
۱۲/۰۶۸۶	۳۲/۳۶۸	۲/۶۸۲	۱ و ۲ و ۷
۱۳/۸۲۶۷	۳۴/۸۷۱	۲/۵۲۲	۱ و ۳ و ۴
۱۵/۱۹۹۸	۳۹/۵۵	۲/۶۰۲	۱ و ۳ و ۵
۱۴/۱۸۹۳	۳۷/۶۳	۲/۶۵۲	۱ و ۳ و ۷
۱۵/۲۷۹۱	۳۶/۸۳۸	۲/۴۱۱	۱ و ۴ و ۵
۱۴/۵۲۵	۳۴/۹۱۸	۲/۴۰۴	۱ و ۴ و ۷
۱۵/۲۸۸۴	۳۹/۵۹۷	۲/۵۹	۱ و ۵ و ۷
۱۳/۸۷۳۶	۳۷/۳۲	۲/۶۹	۲ و ۳ و ۴
۱۵/۲۳۹۱	۴۱/۹۹۹	۲/۷۵۶	۲ و ۳ و ۵
۱۴/۳۷۰۴	۴۰/۰۷۹	۲/۷۸۹	۲ و ۳ و ۷
۱۵/۰۶۹۸	۳۹/۲۸۷	۲/۶۰۷	۲ و ۴ و ۵
۱۴/۴۶۶۵	۳۷/۳۶۷	۲/۵۸۳	۲ و ۴ و ۷
۱۵/۲۶۱۷	۴۲/۰۴۶	۲/۷۵۵	۲ و ۵ و ۷
۱۶/۷۶۶۷	۴۴/۵۴۹	۲/۶۵۷	۳ و ۴ و ۵
۱۶/۲۳۳۴	۴۲/۶۲۹	۲/۶۲۶	۳ و ۴ و ۷
۱۶/۹۳۲	۴۷/۳۰۸	۲/۷۹۴	۳ و ۵ و ۷
۱۶/۵۴۷۷	۴۴/۵۹۶	۲/۶۹۵	۴ و ۵ و ۷

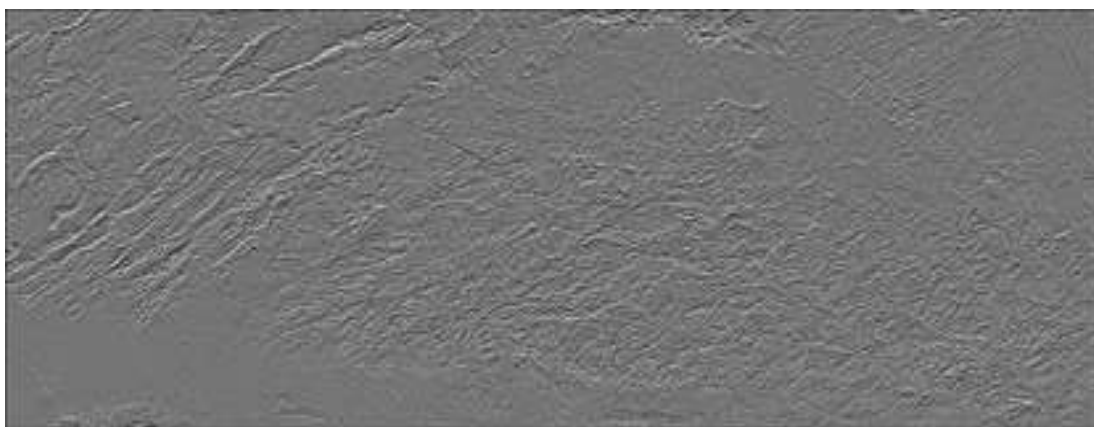
#### – فیلترگذاری (Filtering)

از جمله تکنیکهای ساده ولی بسیار مفید جهت بارزسازی لبه‌های تیز و مرزها، مانند خطوط گسل و درزه، فیلتر است (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۵؛ رنز،

۱۹۹۹). فیلتر مورد استفاده در اینجا، فیلتر جهتی *Sunangle* می‌باشد. بدین ترتیب ۸ نوع فیلتر را برای ۸ جهت اصلی و فرعی جغرافیایی روی باند ۸ Grayscale می‌توان به کار گرفت. در شکل ۳ یکی



شکل ۲: تصویر RGB=753 تکنار به انضمام باند Pan سنجنده IRS؛ تغییر رنگ عمدتاً بیانگر تغییر لیتولوژی است



شکل ۳: تصویر باند ۸ (Pan) تکنار پس از اعمال فیلتر Sunangle؛ جهت تابش خورشید از شمال

منطقه، از روشهای مفید استفاده از تکنیک Sun Shading روی تصاویر DEM می‌باشد (سلطانی، ۱۳۷۶). تکنیک استفاده از تصاویر DEM در هشت جهت جغرافیایی و با زاویه نزدیک به افق برای ایجاد سایه مجازی (Sunshading) به کار گرفته شد و سپس برای رسم خطوط ایجاد شده توسط سایه‌ها به کار رفت. شکل ۵ یکی از تصاویر یاد شده را با جهت تابش مجازی نور از سمت شمال نمایش می‌دهد.

#### - بهره‌گیری از نسبت بانندی (Band Ratioing)

این تکنیک برای بارزسازی عوارض مورد نظر با استفاده از تفاوت میزان جذب و انعکاس نور در پدیده‌های مختلف است (سلطانی، ۱۳۷۶). برای

از تصاویر برای نمونه آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، در این تصویر جهت مجازی تابش خورشید از شمال می‌باشد.

#### - بهره‌گیری از روش PCA (Principal Component Analysis)

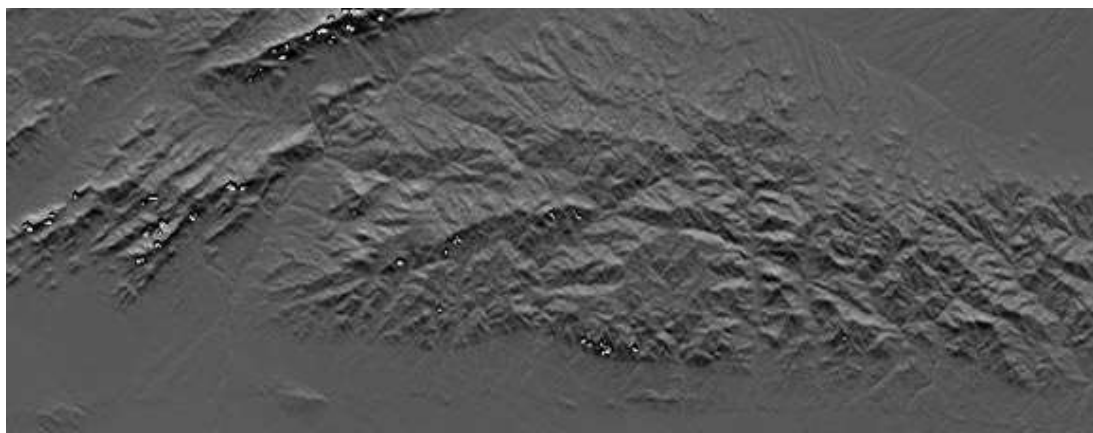
مزیت استفاده از تکنیک تحلیل مولفه اصلی کاهش طیفهای زائد نور بازتابی است (سلطانی، ۱۳۷۸). در این مرحله از مولفه اول (PC1) حاصل از تمامی باندها (به جز باند حرارتی) برای رویت بهتر خطواره‌ها روی تصویر Grayscale باند ۸ کمک گرفته شد. تصویر حاصل را در شکل ۴ می‌توان دید.

#### - به‌کارگیری تصاویر DEM

برای داشتن دید بهتر از پستی و بلندیهای یک



شکل ۴: تصویر باند Panchromatic لندست زون تکنار پس از اعمال تکنیک PC1



شکل ۵: تصویر DEM زون تکنار دارای Sun - Shading؛ جهت تابش خورشید از شمال

#### ۲) بر روی تصاویر مرکب RGB.

در حالت نخست برای بارزسازی هر کدام از عوارض نامبرده، نسبت بانندی مربوطه به طور جداگانه اعمال گردید. شکل ۶ تصویر خاکستری نسبت ۳/۱ برای کانیهای آهن دار، شکل ۷ نسبت ۵/۴ برای گیاهان و شکل ۸ نسبت ۵/۷ برای رسها و سنگهای دگرسان شده هیدروترمال را نشان می دهد. در حالت دوم (شکل ۹) نسبت ۳/۱ به کانال قرمز، نسبت ۵/۴ به کانال سبز و نسبت ۵/۷ به کانال آبی نسبت داده شده است. در تصاویر حاصل از هر دو روش، ساختار خطی گسلها کاملا پیدا است.

شناسایی آثار شکستگیهای ساختاری، بررسی سه عارضه مرتبط (خطی) مفید است:

الف) تجمع آثار رس و کانیهای رسی و دیگر مواد هیدروترمال (در اطراف نواحی تخریب گسلها).

ب) تجمع ترکیبات آهن (بیرون زده در بازشدگی شکستگیها).

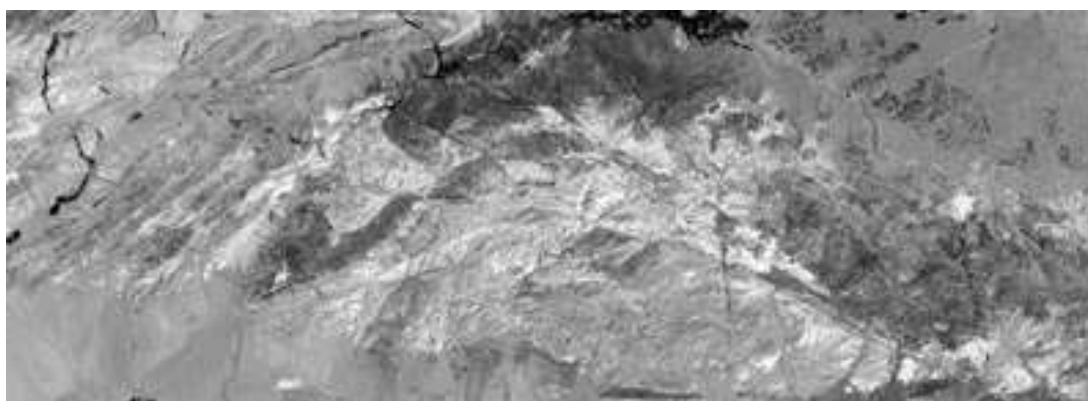
پ) پوشش گیاهی (که در اطراف گسلها و درزهها معمولا بیشتر گسترش دارد).

تکنیک فوق در دو حالت مختلف به کار گرفته شد:

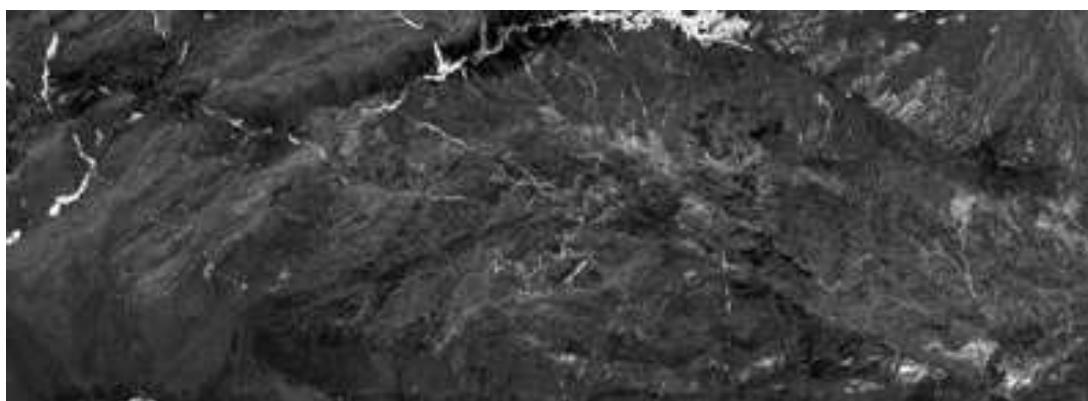
۱) روی تصاویر خاکستری (Grayscale).



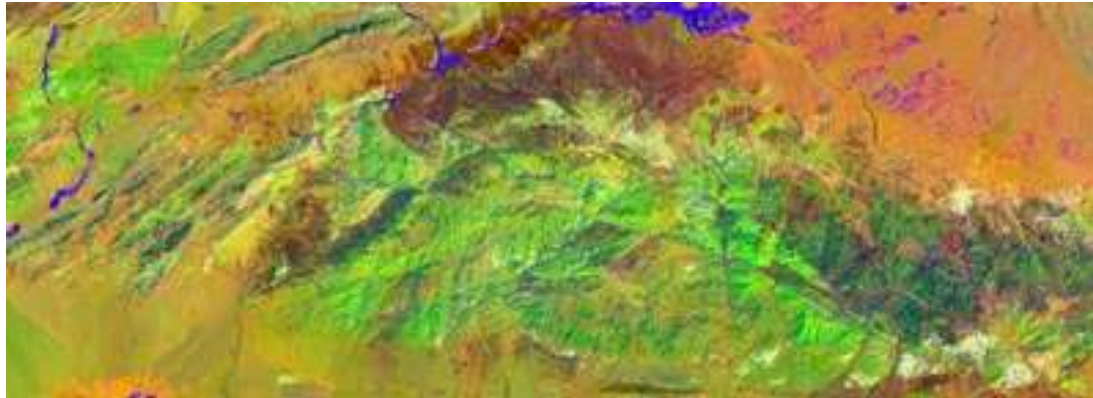
شکل ۶: نسبت ۳/۱ در تصویر خاکستری؛ نواحی دارای کانیه‌های آهن فریک روشنتر از مناطق دیگر دیده می‌شوند



شکل ۷: نسبت ۵/۴ در تصویر خاکستری؛ نواحی با پوشش گیاهی تیره تر از غیرگیاهان دیده می‌شوند



شکل ۸: نسبت ۵/۷ در تصویر خاکستری؛ نواحی حاوی رسها و کانیه‌های هیدروترمال روشنتر از بقیه نقاط هستند (در تصاویر مربوط به نسبت ۵/۷، گیاهان هم بارز می‌شوند که بایستی با روشهای تکمیلی تفکیک گردند)



شکل ۹: نسبتهای بانندی در تصویر RGB؛ رسها به رنگ سبز، گیاهان آبی و کانیهای آهن دار قرمز می‌باشند

برای هرگونه پردازشهای کمی و کیفی مرتبط با مطالعات آماری و فراکتالی مناسب و حائز قابلیت اعتماد بیشتر از نظر تطابق با شرایط واقعی حاکم بر منطقه است. این امر در مقایسه برداشتهای صحرایی در بخشهای وسیعی از منطقه تکنار با نتایج بدست آمده بر اساس نقشه رسم شده فوق در این پژوهش به خوبی اثبات گردیده است.

از سوی دیگر همانگونه که پیشتر ذکر شد، منطقه تکنار از نظر معدنی منطقه مستعدی می‌باشد که معدن مس تکنار در غرب محدوده (در نزدیکی روستای کلاته جمعه) موید آن است. تجمع کانی-زایی رس و همچنین آهن تا حدودی در روش نسبت بانندی منعکس شده است که در اشکال ۶، ۸ و ۹ می‌توان مشاهده کرد. استفاده از تکنیک یاد شده به این ترتیب مرتبط بودن پراکندگیهای مذکور را با سیستمهای گسلش در منطقه تکنار نشان می‌دهد. جایگیری نهشته‌های پلی‌متال در راستای شکستگیها و سایر صفحات ضعف در سالهای اخیر در اقصی نقاط دنیا به خوبی مورد توجه بوده است. از جمله این مطالعات می‌توان استرالیا را با هدف پی‌جویی طلا مثال زد (تریپ و ورنکام، ۲۰۰۴). ارتباط کانه‌زایی رس و آهن با دستجات گسلی در طی مشاهدات صحرایی نیز در منطقه تکنار بررسی شد. در این رابطه مشخص گردید که بیشترین میزان آلتراسیون در هسته

### رسم نقشه ساختاری

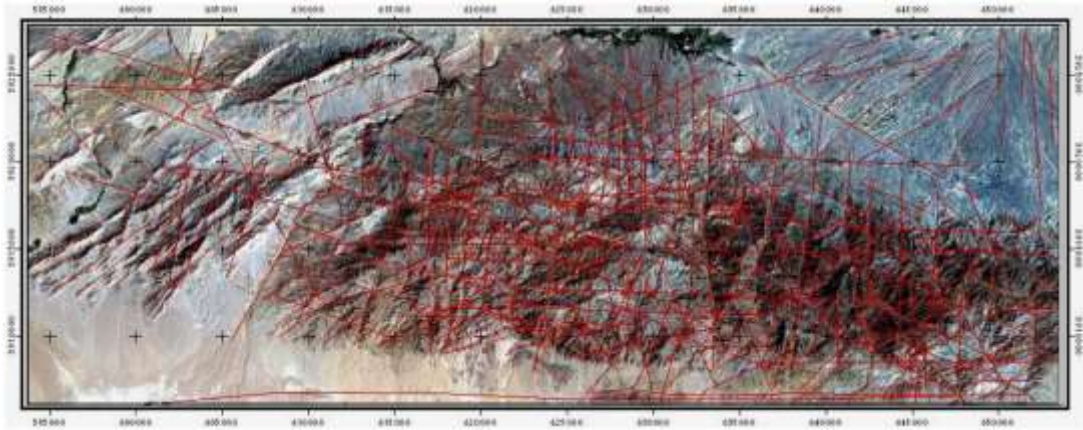
با استفاده از تصاویر حاصل از تکنیکهای اعمال شده شامل تصویر RGB=753 با پیکسلهای ۵/۸ متری، تصاویر فیلتر شده با پیکسلهای ۱۵ متری، تصویر تک باند PC1 با پیکسلهای ۱۵ متری، تصاویر DEM سایه‌دار و تصاویر Grayscale و RGB با نسبتهای بانندی بارز شده، خطواره‌های موجود در منطقه تکنار رسم شد و به منظور ارائه نقشه شکستگیهای ساختاری (Structural Fracture Map) روی تصویر RGB=321 (تصویر True Color) زون تکنار منتقل گردید که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود. نقشه رسم شده سیستمهای شکستگی حاکم بر منطقه تکنار را به خوبی نمایش می‌دهد.

### بحث و نتیجه گیری

همانگونه که مشاهده می‌گردد، استفاده از تکنیکهای دورسنجی به صورت هدفمند می‌تواند نقش فراوانی در تشخیص و ترسیم بسیاری از خطواره‌های ناشی از تکتونیک ایفا نماید که در حالت عادی روی تصویر خام یا قابل مشاهده نیستند، یا به سختی می‌توانند رویت شوند. در مقایسه با یک نقشه معمولی (بدون استفاده از هر گونه تکنیک) نقشه بدست آمده نه تنها نمایانگر شکستگیهای ساختاری بسیار بیشتری است، بلکه



های گسلی و زونهای تخریب گسلهای شمالی - کائولینیت) را در امتداد یکی از زونهای گسلی جنوبی ایجاد شده اند. شکل ۱۱ تصویری از آلتراسیون اکسیدهای آهن و رس (سریسیت و شمالی - جنوبی تکنار نشان می دهد.



شکل ۱۰: نقشه شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار روی تصویر ماهواره ای RGB=321



شکل ۱۱: تصویری از کانی زایی رس و آهن در امتداد گسلهای N-S تکنار؛ دید به جنوب، جنوب غرب

### پیشنهادات

عرضهای کوچکتر از ابعاد پیکسلهای مورد بحث احتمالاً در نقشه بدست آمده منعکس نشده است. با عنایت به توضیحات فوق رسم نقشه شکستگیهای ساختاری تمام یا بخشهایی از منطقه با استفاده از داده های ماهواره ای با مقیاسهای بزرگتر مانند SPOT و QUICK BIRD و سپس مقایسه نتایج حاصل با نقشه تهیه شده در این پژوهش پیشنهاد می گردد.

همانگونه که اشاره شد، تکنیکهای مورد استفاده در پژوهش حاضر عمدتاً بر روی باندهای ماهواره لندست اعمال گردیده و بالطبع مقیاس نقشه حاصل، متناسب با مقیاس تصاویر ماهواره فوق می باشد (پیکسلهای تصاویر پانکروماتیک لندست ابعاد ۱۵×۱۵ متر دارند). بدیهی است خطوط اثر شکستگیهای ساختاری با طولهای خیلی کوتاه و یا

### منابع فارسی

- افتخار نژاد، ج.، آقاباتی، ع.، و حمزه پور، ب.، ۱۳۷۶. نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ کاشمر، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- سلطانی، م.، ۱۳۷۶. مطالعه ولکانیسم پلیوکواترنر جنوب و جنوب غرب استان یزد با استفاده از تصاویر رقومی ماهواره‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، ۲۱۰ صفحه.
- سلطانی، م.، ۱۳۷۸. تفکیک ولکانیسم پلیوکواترنر جنوب غرب استان یزد با استفاده از پردازش داده های رقومی ماهواره‌ای (تکنیک PCA)، هجدهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین-
- Cengiz, O., Sener, E., and Yagmurlu, F., 2006. A satellite image approach to the study of lineaments, circular structures and regional geology in the Goluk Crater district and its environs (Isparta, SW Turkey), *Journal of Asian Earth Sciences.*, v. 27, p.254-271.
- Chavez, P. S., Berlin, G. L., and Sowers, L.B., 1982. Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. *Journal of Application Photography*, v. 8, p. 86-102.
- Lindenberg, H. G., and Jacobshagen, V., 1983. Post-Paleozoic geology of the Taknar Zone and adjacent areas (NE Iran, Khorasan), *Report of Geodynamic Project, (Geotraverse) In Iran.*, No 51.
- Muller, R. and Walter, R., 1983. Geology of the Precambrian–Paleozoic Taknar Inlier northwest of Kashmar, Khorasan Province northeast Iran. *Rep. of Geody. Proj. (Geotraverse) In Iran.*, No 51.
- Rencz, A., 1999. *Remote Sensing for the Earth Sciences*. John Willey & Sons, 707 p.
- Solomon, S., and Ghebrea, W., 2006. Lineament Characterization and their tectonics significance using Landsat TM data and field studies in the central highlands of Eritrea, *Journal of African Earth Sciences*, v.46, p. 654–668.
- Trip, G. I., and Vearncombe, J. R., 2004. Fault/fracture density and mineralization: a contouring method for targeting in gold exploration. *Journal of Structure Geology*, v. 26, p. 275-292.
- شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صص ۵۷۲ - ۵۶۷.
- سلطانی، م.، ۱۳۸۷. آشنایی با روشهای پردازش اطلاعات در پردازش تصاویر ماهواره‌ای؛ تکنیک تبدیل فوریه، وبلاگ msoltani.persianblog.ir دسترسی: ۱۳۸۷/۸/۱۰.
- طاهری، ج.، و شمعیان، ق.، ۱۳۷۷. نقشه زمین-شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ کاشمر، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- فاطمی، س. ب.، و رضایی، ی.، ۱۳۸۵. مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده، ۲۶۶ ص.