

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

عرفان حاجی*، بهنام رحیمی، ماهیار سلطانی

Erfan.haji@gmail.com

چکیده

امروزه مطالعه سیستمهای شکستگی با استفاده از روشهای سنجش از دور، به ویژه داده های ماهواره *LANDSAT* به میزان زیادی مورد توجه محققین قرار گرفته است. این گونه مطالعات به خصوص در مورد مناطق شکننده (*Brittle*) و فاقد پوشش زیاد آبرفت حائز اهمیت است. منطقه تکنار از جمله مناطق واجد شرایط فوق بوده، همچنین از نقطه نظر پتانسیل معدنی به خصوص کانسارهای فلزی مرتبط با شکستگیها از اهمیت بالایی برخوردار است که برای مطالعه انتخاب شد. با در نظر گرفتن مورفولوژیهای مورد انتظار مرتبط با گسلش، از ۶ تکنیک مختلف برای بارزسازی گسلها و شکستگیهای موجود در منطقه کمک گرفته شد: 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 شد. سپس به جهت مشاهده بهتر قطع-شدگیهای ناگهانی لیتولوژی و جابجاییهای رنگی ناشی از گسلش، از تکنیک *RGB* و برای بدست آوردن ترکیب بهینه از رابطه *OIF* کمک گرفته شد. به تصویر حاصل به جهت داشتن توان تفکیک مکانی بالاتر، تصویر *Panchromatic* از سنجنده *IRS* نیز تلفیق گردید. تکنیک بعدی، فیلتر گذاری تصویر با استفاده از فیلترهای جهتی هشتگانه *Sunangle* برای رویت بهتر لبه های تیز و خطوط ناشی از شکستگیها بود. در مرحله چهارم از تکنیک *PCA* برای بارز سازی خطوط مستقیم ناشی از شکستگیها کمک گرفته شد که پس از محاسبه چند مولفه اول، مولفه *PCI* انتخاب شده و به کار رفت. در مرحله بعد، تصویر *DEM* منطقه با استفاده از تکنیک *Sunshading* از هشت جهت جغرافیایی مورد تابش مجازی نور قرار گرفت تا سایه های ایجاد شده برای شناسایی دره ها و برآمدگیهای خطی ناشی از 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 همزمان و به صورت ترکیب *RGB* در تصویر رنگی اعمال شده و مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با استفاده از تصاویر حاصل از تکنیکهای مذکور نقشه شکستگیهای ساختاری منطقه تکنار ترسیم شد.

BSTRACT

Study of structural fractures using remote sensing techniques specially LANDSAT satellite data has been noticed frequently these years. Such researches are applied mainly for brittle and alluvium uncovered areas. Taknar Zone as an area with the foregoing conditions and having fault-related ore deposits was chosen for this research. 6 different techniques were used for detecting fractures based on the expected fault-related morphologies: first the scene no 160-35 of LANDSAT ETM+ images with Taknar Zone in the south was cleared by FFT technique. Then for detecting sudden color variations of rock units caused by fault displacements, the optimum RGB composition was found and used calculating OIF formula for all bands. This image was composed with IRS Panchromatic image for increasing the spatial resolution, too. The next technique, was Directional Filtering by Sunangle Filter in the 8 main directions for detecting sharp edges and boundaries related to the fractures. The Fourth technique, PCA, was calculated in several agents for detecting any fracture-related straight lines and PC1 agent was chosen as the best-fit one. In the next technique, DEM data of Taknar was virtually shone by Sun light in the 8 main directions using Sunshading technique for detecting virtual shades of all linear fault-related vallies and ridges. The final Technique, Band Ratio, was used in 2 ways. First, each of fault-related phenomena was detected separately on Grayscale images. Second, all the phenomena were detected together on a proper RGB colored image. This technique was used for identifying more faults. Finally, The Structural Fractures Map of Taknar Zone was drawn using the fractures detected by the foregoing methods.

۱- مقدمه

امروزه از مهمترین روشهای مطالعه و تحلیل ساختاری، استفاده از داده های دور سنجی (به ویژه تصاویر *ETM+* *LANDSAT* که در تحقیق حاضر به کار رفته است) خصوصا در مناطق شکننده (*Brittle*) است. منطقه تکنار (*Taknar Zone*) به عنوان شمالی ترین برونزد خرده قاره ایران مرکزی 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 می باشد.

۲- پردازش داده های ماهواره ای و رسم نقشه ساختاری

در تصاویر ماهواره ای سه راه برای تشخیص خطوط شکستگی ساختاری وجود دارد:

(۱) تشخیص تغییرات ناگهانی مرزهای لیتولوژی و جابجایی لایه ها در تصاویر رنگی.

(۲) بررسی فرورفتگیها و دره های مستقیم به عنوان زونهای شکستگی.

(۳) بررسی برآمدگیهای خطی به عنوان *Scarp* های گسلی و یا دایکها.

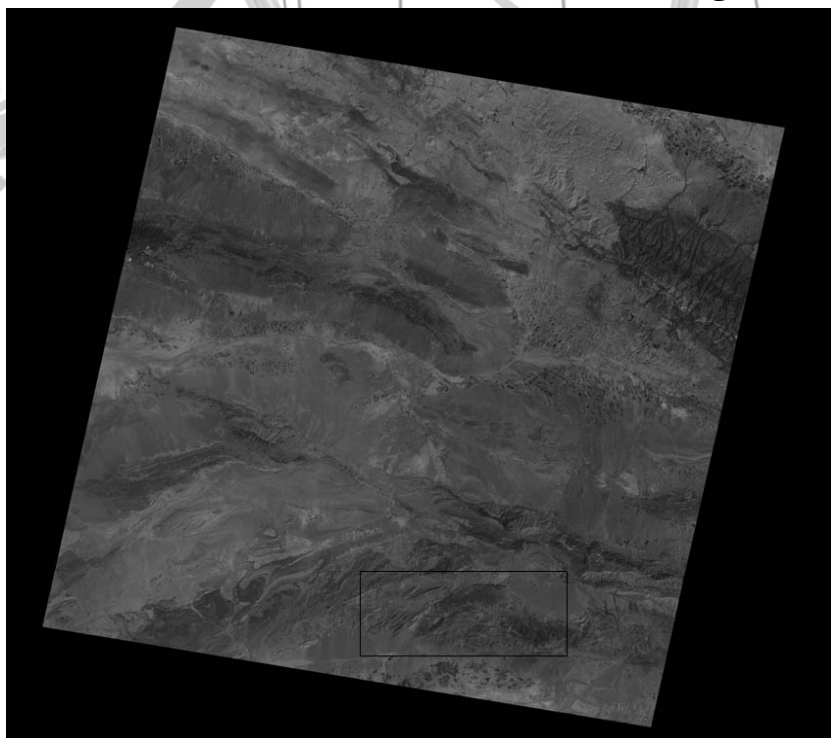
در این تحقیق جهت رویت و ترسیم حداکثر گسلها و شکستگیهای ساختاری و از طرفی پرهیز هر چه تمامتر از بروز خطا (خطوط اثر محور چینها، جاده ها، زمینهای کشاورزی و سازه های انسانی) از شش روش جداگانه بهره گرفته شده است که در پی می آید.

۲-۱- 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 می گردد. 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 می توان دید و برای پردازشهای بعدی مورد استفاده قرار داد (شکل ۱). تبدیل فوق بر روی باند *Panchromatic* سنجنده IRS نیز اعمال شد.

۲-۲- استفاده از تصاویر RGB (RGB Composition)

هدف در اینجا پیدا کردن قطع شدگی ها و تغییرات ناگهانی واحدهای سنگی است. ۶ باند ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ برای این مقصود مناسب می باشد. از آنجا که برای ساختن یک تصویر *RGB* سه باند برای سه



شکل ۱. تصویر نهایی ۳۵ - ۱۶۰ Scene فاقد سیگنالهای اضافی پس از انتقال مجدد به میدان فضا در FFT

رنگ اصلی مورد نیاز است، برای X ترکیب (غیر تکراری) ممکن از رابطه ترکیب استفاده می شود:

$$C(n,r) = n!/r!(n-r)!$$

که n تعداد کل باندها (۶) و r تعداد باندها در هر ترکیب (۳) است. به این ترتیب ۲۰ ترکیب می تواند ساخته شود. اینکه کدام حالت از این ۲۰ ترکیب بهینه است، بستگی به مجموع اطلاعاتی دارد که هر کدام از ترکیبها در اختیار می گذارد. برای یافتن ترکیب مورد نظر، از رابطه OIF کمک گرفته می شود:

$$OIF = \frac{\sum_{k=1}^3 S_k}{\sum_{j=1}^3 Abs}$$

OIF یا Optimum Index Factor، پارامتری می باشد 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 می کند. 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 می شود باندهای ترکیبی بهینه ۳ و ۵ و ۷ می باشند.

جدول ۱. مقادیر انحراف معیار ۶ باند انتخابی Landsat

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

جدول ۲. مقادیر ماتریس همبستگی ۶ باند مورد استفاده Landsat

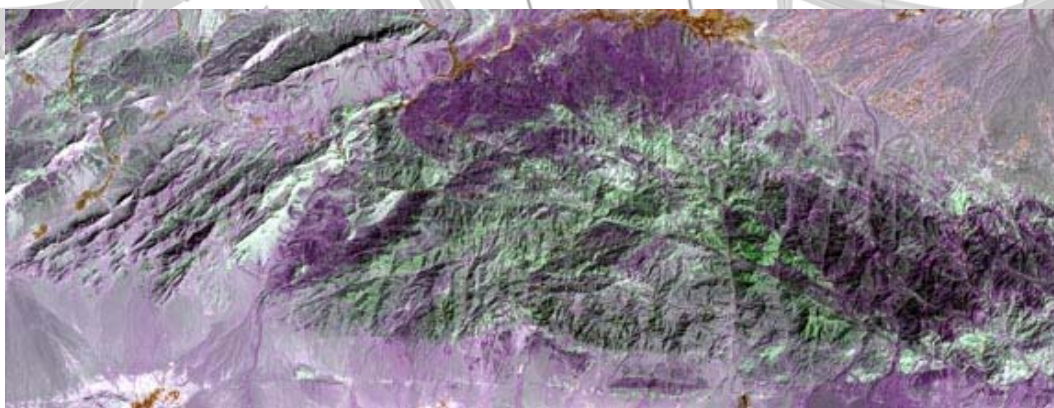
ماتریس همبستگی	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۷
باند ۱	۱	۰/۹۵۶	۰/۹۱	۰/۷۴	۰/۷۸۹	۰/۸۲۶
باند ۲	۰/۹۵۶	۱	۰/۹۷۳	۰/۸۴۵	۰/۸۸	۰/۹
باند ۳	۰/۹۱	۰/۹۷۳	۱	۰/۸۷۲	۰/۹۰۳	۰/۹۱۶
باند ۴	۰/۷۴	۰/۸۴۵	۰/۸۷۲	۱	۰/۸۸۲	۰/۸۳۸
باند ۵	۰/۷۸۹	۰/۸۸	۰/۹۰۳	۰/۸۸۲	۱	۰/۹۷۵
باند ۷	۰/۸۲۶	۰/۹	۰/۹۱۶	۰/۸۳۸	۰/۹۷۵	۱

جدول ۳. محاسبه و مقایسه مقادیر OIF کلیه ترکیبات ممکن RGB و بدست آوردن ترکیب بهینه (۷ و ۳ و ۵)

OIF	مجموع ماتریس همبستگی	مجموع انحراف معیار	ترکیب باندها
۱۱/۳۸۴۶	۲/۸۳۹	۳۲/۳۲۱	۳ و ۲ و ۱
۱۱/۶۵۲۵	۲/۵۴۱	۲۹/۶۰۹	۴ و ۲ و ۱
۱۳/۰۶۲۱	۲/۶۲۵	۳۴/۲۸۸	۵ و ۲ و ۱

۱۲/۰۶۸۶	۲/۶۸۲	۳۲/۳۶۸	۱و۲و۷
۱۳/۸۲۶۷	۲/۵۲۲	۳۴/۸۷۱	۱و۳و۴
۱۵/۱۹۹۸	۲/۶۰۲	۳۹/۵۵	۱و۳و۵
۱۴/۱۸۹۳	۲/۶۵۲	۳۷/۶۳	۱و۳و۷
۱۵/۲۷۹۱	۲/۴۱۱	۳۶/۸۳۸	۱و۴و۵
۱۴/۵۲۵	۲/۴۰۴	۳۴/۹۱۸	۱و۴و۷
۱۵/۲۸۸۴	۲/۵۹	۳۹/۵۹۷	۱و۵و۷
۱۳/۸۷۳۶	۲/۶۹	۳۷/۳۲	۲و۳و۴
۱۵/۲۳۹۱	۲/۷۵۶	۴۱/۹۹۹	۲و۳و۵
۱۴/۳۷۰۴	۲/۷۸۹	۴۰/۰۷۹	۲و۳و۷
۱۵/۰۶۹۸	۲/۶۰۷	۳۹/۲۸۷	۲و۴و۵
۱۴/۴۶۶۵	۲/۵۸۳	۳۷/۳۶۷	۲و۴و۷
۱۵/۲۶۱۷	۲/۷۵۵	۴۲/۰۴۶	۲و۵و۷
۱۶/۷۶۶۷	۲/۶۵۷	۴۴/۵۴۹	۳و۴و۵
۱۶/۲۳۳۴	۲/۶۲۶	۴۲/۶۲۹	۳و۴و۷
۱۶/۹۳۲	۲/۷۹۴	۴۷/۳۰۸	۳و۵و۷
۱۶/۵۴۷۷	۲/۶۹۵	۴۴/۵۹۶	۴و۵و۷

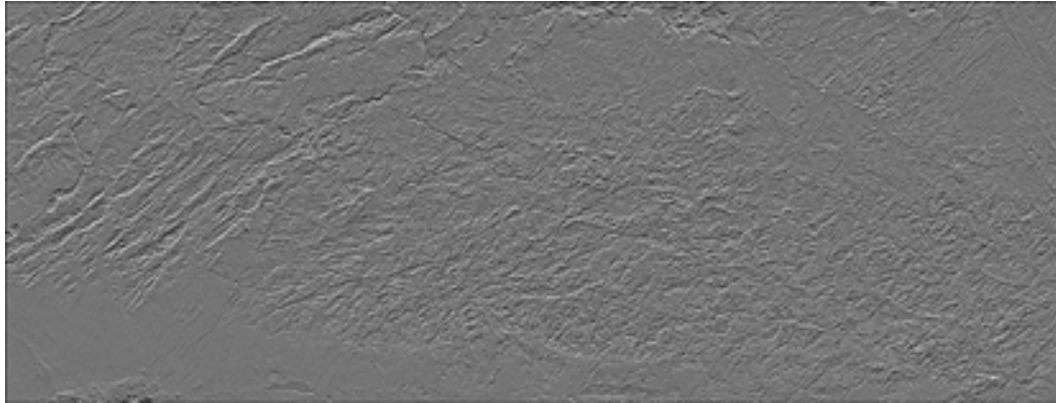
حال برای ترکیب سه بانده یاد شده، باز سه حالت (تکراری) امکان پذیر است که از نقطه نظر دید بصری ممکن است چشم در یک یا دو حالت از سه ترکیب، مغایرت (*Contrast*) رنگی تصویر را بهتر درک کند. در نهایت از ترکیبات مذکور، ترکیب 753 انتخاب گردید. (بانده ۷ به قرمز، بانده ۵ به سبز و بانده ۳ به آبی اختصاص داده شد). با تلفیق تصویر Pan سنجنده IRS (با پیکسلهایی به ابعاد ۵/۸×۵/۸ متر) به صورت خاکستری (*Grayscale*) و در مد *Intensity* به تصویر RGB حاصل، توان تفکیک مکانی تصویر به میزان قابل توجهی افزایش می یابد (شکل ۲).



شکل ۲. تصویر RGB=753 لندست به انضمام بانده Pan سنجنده IRS؛ تغییر رنگ عمدتاً بیانگر تغییر لیتولوژی است

۲-۳- فیلترگذاری (Filtering)

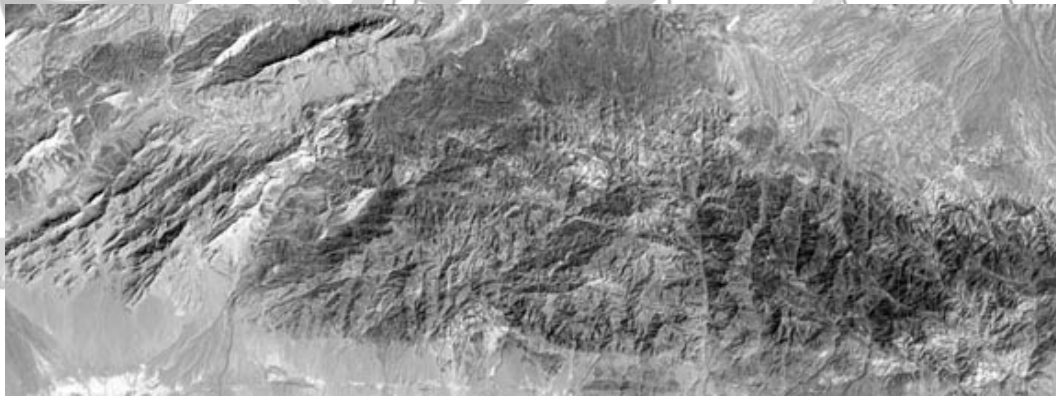
فیلتر مورد استفاده در اینجا، فیلتر جهتی *Sunangle* می باشد. بدین ترتیب ۸ نوع فیلتر را برای ۸ جهت اصلی و فرعی جغرافیایی روی باند ۸ Grayscale می توان به کار گرفت. در شکل ۳ یکی از تصاویر برای نمونه آورده شده است. همانطور که ملاحظه می شود، در این تصویر جهت مجازی تابش خورشید از شمال می باشد.



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

۲-۴- بهره گیری از روش PCA (Principal Component Agent)

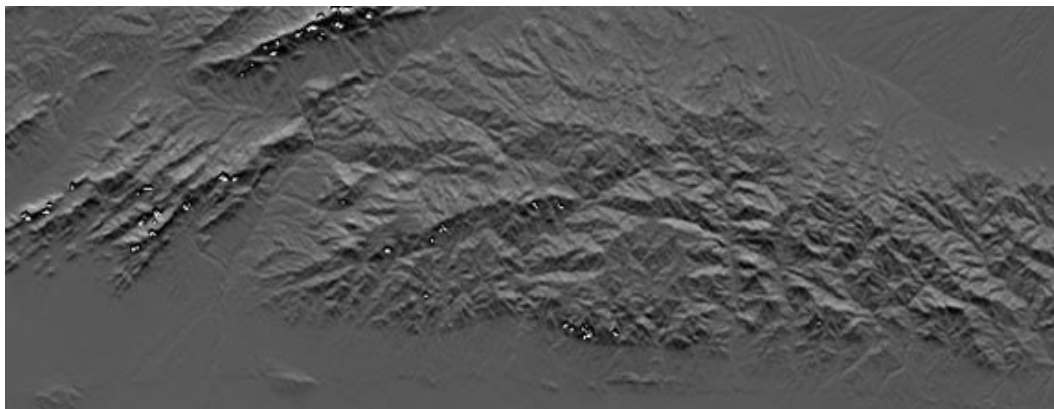
در این مرحله از مولفه اول (*PCI*) حاصل از تمامی باندها (به جز باند حرارتی) برای رویت بهتر خطواره ها روی تصویر Grayscale باند ۸ کمک گرفته شد. تصویر حاصل را در شکل ۴ می توان دید.



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

۲-۵- به کارگیری تصاویر DEM

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 سایه ها به کار رفت. شکل ۵ یکی از تصاویر یاد شده را با جهت تابش مجازی نور از سمت شمال نمایش می دهد.



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

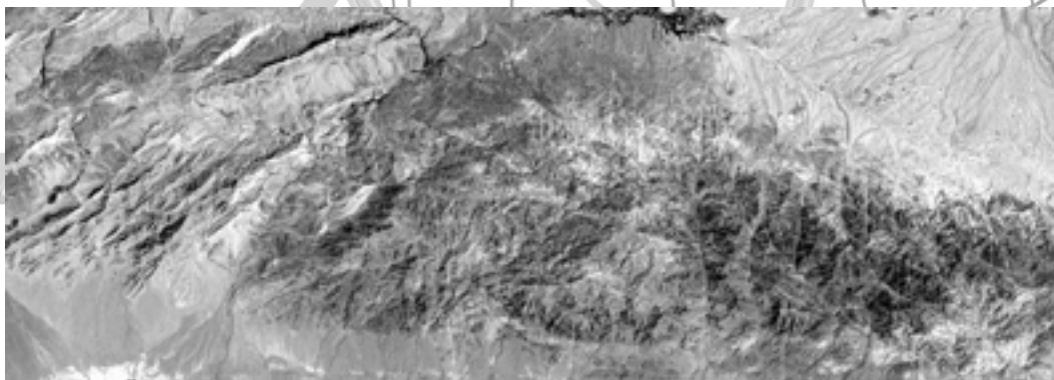
۲-۶- بهره گیری از نسبت بانندی (Band Ratioing)

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

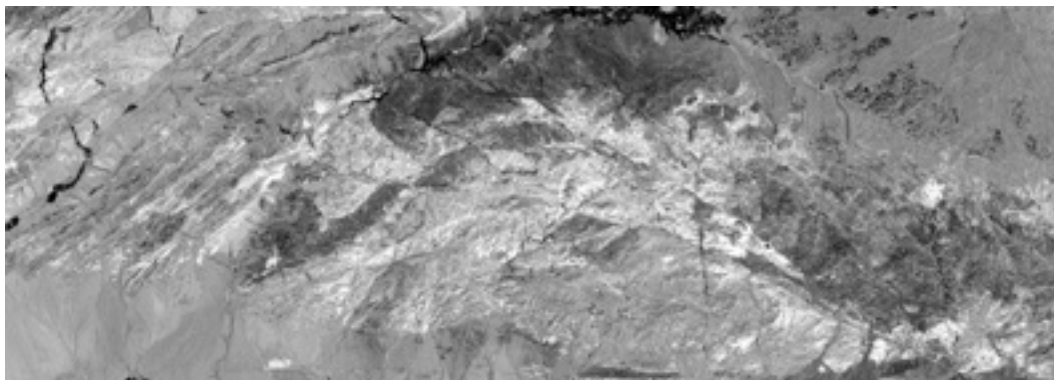
- ۱) تجمع آثار رس و کانیهای رسی و دیگر مواد هیدروترمال (در اطراف نواحی تخریب گسلها).
- ۲) تجمع ترکیبات آهن (بیرون زده در بازشدگی شکستگیها).
- ۳) پوشش گیاهی (که در اطراف گسلها و درزه ها معمولا بیشتر گسترش دارد).

تکنیک فوق در دو حالت مختلف به کار گرفته شد:

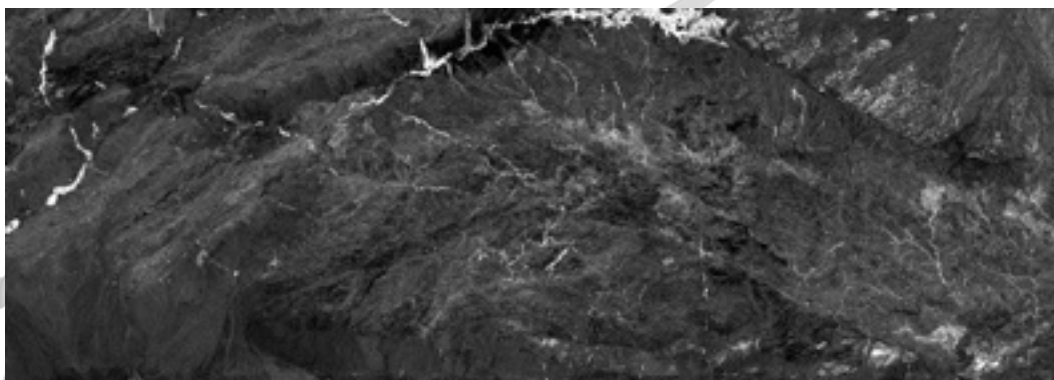
- الف) روی تصاویر خاکستری (Grayscale) (ب) بر روی تصاویر مرکب RGB در حالت نخست برای بارزسازی هر کدام از عوارض نامبرده، نسبت بانندی مربوطه به طور جداگانه اعمال شد.
- شکل ۶ تصویر خاکستری نسبت ۳/۱ برای کانیهای آهن دار، شکل ۷ نسبت ۵/۴ برای گیاهان



شکل ۶. نسبت ۳/۱ در تصویر خاکستری؛ نواحی دربردارنده کانیهای آهن فریک روشنتر از مناطق دیگر دیده می شوند

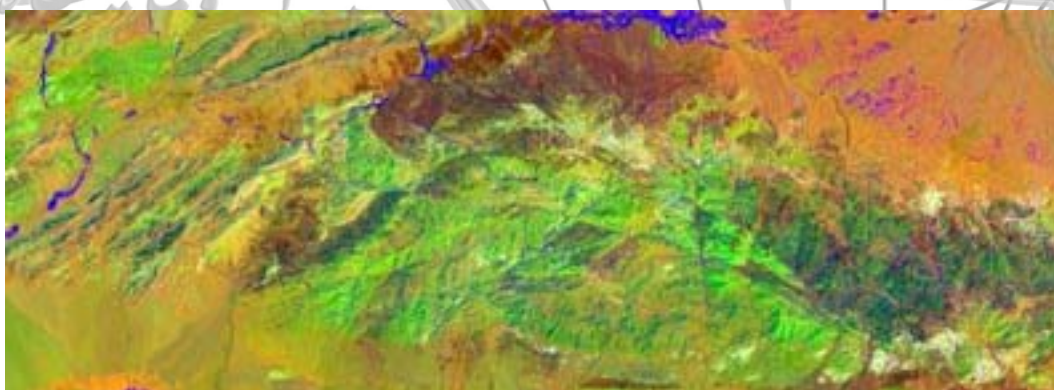


شکل ۷. نسبت ۵/۴ در تصویر خاکستری؛ نواحی با پوشش گیاهی تیره تر از غیر گیاهان دیده می شوند



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

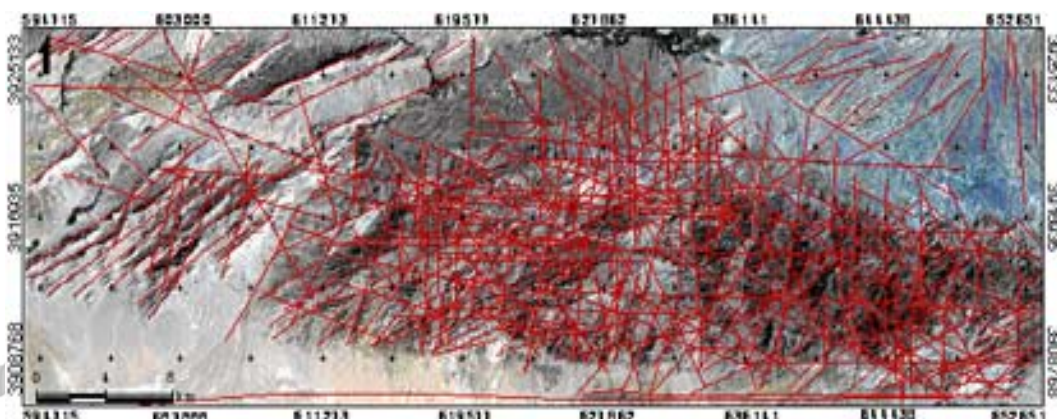
و شکل ۸ نسبت ۵/۷ برای رسها و سنگهای دگرسان شده هیدروترمال را نشان می دهد. در حالت دوم (شکل ۹) نسبت ۳/۱ به کانال قرمز، نسبت ۵/۴ به کانال سبز و نسبت ۵/۷ به کانال آبی نسبت داده شده است. در تصاویر حاصل از هر دو روش، ساختار خطی گسلها کاملا پیدا است.



شکل ۹. نسبتهای بانندی در تصویر RGB؛ رسها به رنگ سبز تیره، گیاهان به رنگ آبی و کانیهای آهن دار قرمز می باشند

۳- رسم نقشه ساختاری

با استفاده از تصاویر حاصل از تکنیکهای اعمال شده شامل تصویر RGB=753 با پیکسلهای ۵/۸ متر، تصاویر فیلتر شده با پیکسلهای ۱۵ متر، تصویر تک باند PC1 با پیکسلهای ۱۵ متر، تصاویر DEM سایه دار و تصاویر Grayscale و RGB با نسبتهای باندی بارز شده، خطواره های موجود در منطقه تکنار رسم شد و به منظور ارائه نقشه شکستگیهای ساختاری (*Structural Fractures Map*) روی تصویر RGB=321 (تصویر *True Color*) تکنار منتقل گردید که در شکل ۱۰ مشاهده می شود. نقشه رسم شده سیستمهای شکستگی حاکم بر منطقه تکنار را به خوبی نمایش می دهد.



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

۴- بحث و نتیجه گیری

همانگونه که مشاهده می گردد، استفاده از تکنیکهای دورسنجی به صورت هدفمند می تواند نقش فراوانی در تشخیص و ترسیم بسیاری از خطواره های ناشی از گسلش ایفا نماید که در حالت عادی یا قابل مشاهده نیستند، یا به سختی می توانند 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 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 می باشد. این امر در مقایسه برداشتهای صحرائی در بخشهای وسیعی از منطقه تکنار با نتایج بدست آمده بر اساس نقشه رسم شده در تحقیق حاضر به خوبی اثبات گردید.

از سوی دیگر همانگونه که در مقدمه ذکر شد، منطقه تکنار از نظر معدنی منطقه مستعدی می باشد 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 باندی منعکس شده است که در اشکال ۶، ۸ و ۹ می-توان مشاهده کرد. استفاده از تکنیک یاد شده به این ترتیب مرتبط بودن پراکندگیهای یاد شده را با سیستمهای گسلش در منطقه تکنار نشان می دهد. ارتباط کانه زایی رس و آهن با دستجات گسلی در طی مشاهدات صحرائی نیز بررسی شد. در این رابطه مشخص گردید که بیشترین میزان آلتراسیون در هسته های گسلی و زونهای تخریب گسلهای شمالی - جنوبی ایجاد شده اند. شکل ۱۱ تصویری از



شکل ۱۱. تصویری از کانی زایی رس و آهن در امتداد گسلهای N-S تکنار؛ دید به جنوب، جنوب غرب آلتراسیون اکسیدهای آهن و رس (سریسیت و کائولینیت) را در امتداد یکی از زونهای گسلی شمالی - جنوبی تکنار را نشان می دهد.

۵- پیشنهادات

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 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.