



راستی آزمایی خطواره‌های استخراج شده توسط روش‌های نیمه خودکار سنجش از دور: مطالعه موردی منطقه شمال غرب زون سندج-سیرجان

حجت‌اله صفری^{۱*}، مهدی مجلل^۲، عرفان حاجی^۳

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان.

۲- کارشناسی ارشد تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان.

۳- دانشجوی دکتری تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان.

چکیده:

جهت راستی آزمایی خطواره‌های استخراج شده توسط تکنیک‌های سنجش از دور، این ساختارها با ساختارهایی که توسط برداشت‌های صحرایی به اثبات رسیده و یا اینکه در نقشه‌های موجود آورده شده‌اند؛ مقایسه شدند. در این راستا، بخش شمال غربی زون سندج-سیرجان که دارای گسله‌های بسیار زیادی با طول‌های متفاوت بود به عنوان منطقه مورد مطالعاتی انتخاب گردید. در این پژوهش، ابتدا با تلفیق روش‌های مختلف سنجش از دور، اقدام به استخراج نیمه خودکار خطواره‌ها شد. در ادامه با کمک پیمایش‌های سطحی نقشه گسل‌ها تهیه و همچنین، گسل‌های موجود در نقشه‌های زمین‌شناسی رقومی گردیده و در محیط GIS به عنوان سه لایه برداری از شکستگی‌ها معرفی شدند. با استفاده از توانایی‌های محیط GIS، با روی هم قرار دادن لایه‌های اطلاعاتی و مقایسه بصری نتایج، میزان درستی خطواره‌های استخراج شده از طریق تکنیک‌های سنجش از دور مورد بررسی و راستی آزمایی قرار گرفت. بررسی‌های این پژوهش نشان می‌دهد که خروجی‌های حاصل از بکارگیری تکنیک‌های سنجش از دور تنها در مورد خطواره‌های بزرگ مقیاس و اصلی قابل اعتماد بوده و در مورد خطواره‌های کوچک مقیاس تر مناسب نمی‌باشند هر چند که نتایج حاصله حتماً می‌بایست توسط پیمایش‌های صحرایی مناسب کنترل و کالیبره گردند.

کلید واژه‌ها: خطواره، سنجش از دور، تکنیک‌های نیمه خودکار، تحلیل‌های بصری، زون سندج-سیرجان.

۱- مقدمه

سنجش از دور شامل تکنیک‌هایی است که بوسیله آن می‌توان بدون تماس مستقیم یا با حداقل مطالعات صحرایی، مشخصه‌های یک شیء یا پدیده را تعیین، اندازه‌گیری یا تجزیه و تحلیل نمود. تصاویر ماهواره‌ای از طول موج‌های مختلف طیف الکترومغناطیس به دست می‌آیند و به همین دلیل به عنوان یکی از ابزارهای مؤثر برای تشخیص و تفکیک خطواره‌ها در نظر گرفته می‌شوند و نسبت به عکس‌های هوایی اطلاعات بیشتری را در اختیار ما قرار می‌دهند. خطواره‌ها طرح یا الگوهایی هستند که بر روی تصویرهای سنجش از دور تعبیر می‌شوند. اولین بار هابس (۱۹۰۴) خطواره را اینطور توصیف نمود «خطی قابل توجه از چشم‌انداز زمینی که الگوی پنهانی مربوط به پی‌سنگ را آشکار سازد». سپس اولری (۱۹۷۶) این تعریف را اصلاح نموده و خطواره را یک عارضه خطی ساده یا مرکب سطحی که اجزای منظم آن در یک راستای مستقیم (یا به طور ملایمی دارای انحناء) دانست که به طور واضحی با اشکال و پدیده‌های مجاور خود اختلاف داشته و احتمالاً بازگو کننده یک پدیده زیر سطحی می‌باشد. امروزه واژه خطواره بیشتر برای گسل‌های پیمایش نشده و سایر شکستگی‌ها به کار برده می‌شود.

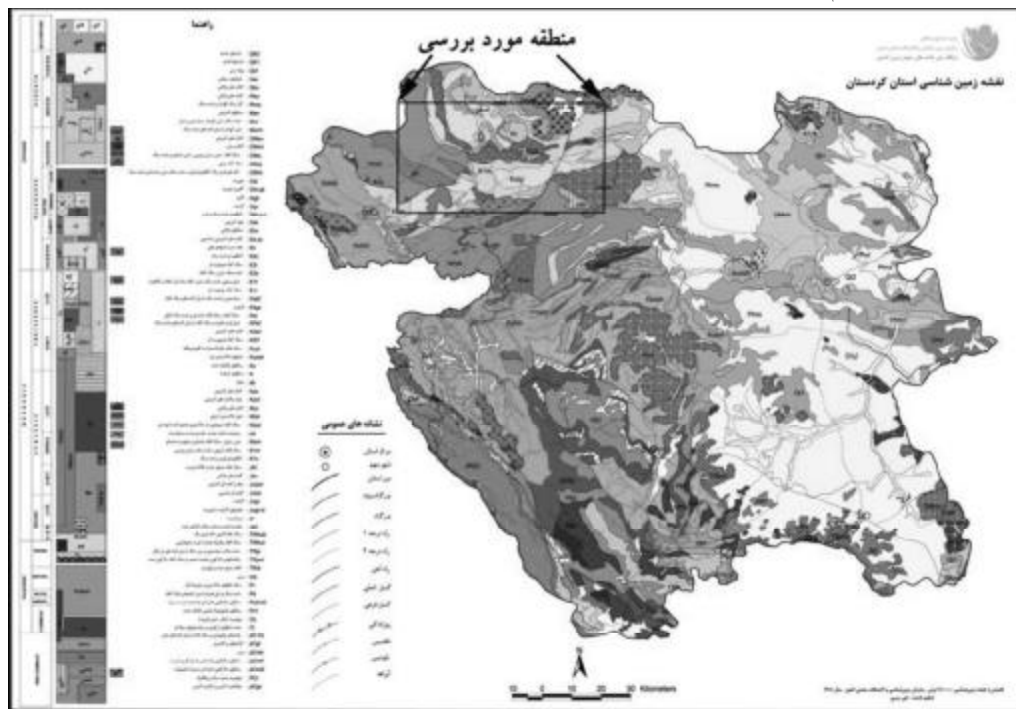
امروزه تکنولوژی‌های سنجش از دور در قالب روش‌های نیمه خودکار در زمینه‌های مختلفی نظیر، اکتشافات نفت و معادن، تهیه نقشه‌های سنگ‌شناسی، شناسایی ساختارهای زمین‌شناسی، مطالعات زمین-ریخت‌شناسی، مطالعه و ارزیابی مخاطرات زمینی و تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاع زمین فراگیر شده است. یکی از مهمترین موارد استفاده از داده‌های سنجش از دور شناسایی ساختارهای زمین‌شناسی می‌باشد، زیرا با توجه به پوشش وسیع داده‌های سنجش از دور این مهم امکان‌پذیر است، چنانکه تاکنون با استفاده از داده‌های دورسنجی و استفاده از روش‌های نیمه خودکار

اطلاعات بسیار سودمندی در این زمینه از قبیل الگوهای ساختاری در فلات ایران ارائه گردیده است (برزگر، ۱۳۷۰؛ یساقی و همکاران، ۱۳۸۰؛ داودی و همکاران، ۱۳۸۱؛ Barzegar, 1994؛ Berberian, 1995). کاهش زمان، پوشش منطقه‌ای وسیع‌تر و حداقل مطالعات صحرایی مزیت‌هایی هستند که کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور را در زمین‌شناسی متداول نموده است. با اینحال، بایستی اذعان نمود که در مواردی خطواره‌های استخراج شده صحیح نبوده و بعضاً با سایر عوارض نظیر عوارض ژئومورفولوژیکی غیرساختاری اشتباه شده‌اند و در مناطق صعب‌العبور یا بسیار وسیع محقق نمی‌تواند کنترل‌های زمینی لازم را در حد کفایت انجام دهد. به همین دلیل این روش شناسایی ساختارها می‌تواند دارای خطا باشد. با توجه به اینکه تهیه نقشه ساختاری هر منطقه با استخراج خطواره‌ها توسط تکنیک‌های سنجش از دور شروع می‌شود و باید این خطواره‌ها از الگوهای دیگری که مربوط به ساختارهای زمین‌شناسی نیستند، متمایز گردند. به همین دلیل، بسیار مهم است که نقاط ضعف (خطاهای) این روش از طریق راستی‌آزمایی مشخص گردند. هدف این پژوهش راستی‌آزمایی خطواره‌های استخراج شده از طریق مقایسه آنها با ساختارهایی است که توسط برداشت‌های صحرایی به اثبات رسیده و یا اینکه در نقشه‌های موجود آورده شده‌اند. در این راستا، ابتدا با تلفیق روش‌های مختلف سنجش از دور اقدام به استخراج نیمه خودکار خطواره‌ها در بخش شمال‌غربی زون سنندج-سیرجان نموده و سپس با استفاده از نقشه تهیه شده ساختارها، بر اساس اطلاعات برداشت شده صحرایی اقدام به راستی‌آزمایی ساختارهای استخراج شده خواهد گردید. در نهایت میزان دقت تکنیک‌های سنجش از دور به بحث گذاشته خواهد شد.

منطقه در استان کردستان و بخش کوچکی از شمال آن در استان آذربایجان غربی واقع شده است. این شهر از طریق سه محور اصلی (جاده آسفالت) به شهرهای بوکان در شمال، بانه در جنوب باختری و دیواندره در جنوب خاوری وصل می‌شود. راه‌های فرعی دیگری شهرستان سقز را به مراکز بخش و روستاهای پیرامون آن وصل می‌نماید که مهمترین آنها راه شنی سقز-سد بوکان می‌باشد(شکل ۱).

۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال باختری سنندج-سیرجان و جنوب شهرستان سقز در محدوده‌ای بین $27^{\circ} 59' 35''$ الی $45^{\circ} 18' 36''$ عرض شمالی و $33^{\circ} 01' 46''$ الی $49' 46''$ طول خاوری در بخش جنوبی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز قرار گرفته است. نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز در گوشه جنوب-خاوری نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ مهاباد میان 36° تا 46° طول‌های خاوری و 30° تا 36° عرض‌های شمالی جای دارد. از نظر تقسیم‌بندی کشوری بخش عمده این



شکل ۱. وضعیت زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، ۱۳۸۵)

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- مواد و ابزار مورد استفاده: برای مطالعه

سنجش از دور منطقه مورد مطالعه، از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌ها و نرم‌افزارهای زیر استفاده شده است:

- تصویر ماهواره‌ای Landsat 8 سنجنده + ETM مربوط به سپتامبر ۲۰۱۴ (NASA, 2014)

- نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سقز (باباخانی و همکاران، ۱۳۸۲) و چاپان (خلقی خسرقی ۱۳۷۸) و نقشه‌های توپوگرافی رقومی ناحیه مورد مطالعه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۷۵)

- نرم‌افزارهای ER Mapper 7.1، ENVI 4.5 و Global Mapper 16 برای ایجاد ترکیب باندهای مناسب، بارزسازی و اعمال فیلترهای مختلف جهت پردازش تصاویر، نرم‌افزارهای Arc Map 9.3، Arc View 3.2، برای رقومی کردن نقشه‌ها و جهت کار در محیط GIS و نرم‌افزار GEORient 9.5 برای تلفیق داده‌های و تجزیه و تحلیل آماری داده‌های صحرایی

- دستگاه GPS^۱ مدل گارمین با حداکثر دقت ۳ متر

۳-۲- روش‌های مورد استفاده

در این پژوهش از تکنیک‌های مختلف سنجش از دور، توانایی‌های محیط GIS، تحلیل‌های آماری، تحلیل هندسی و نقشه تراکم شکستگی‌ها استفاده گردید. نحوه استفاده از این روش‌ها به شرح ذیل می‌باشند:

۳-۲-۱- تکنیک‌های سنجش از دور:

استفاده از داده‌های دورسنجی در بررسی‌های زمین‌شناسی نیازمند یک سلسله تصحیحات و پردازش‌ها می‌باشد. انجام یک یا چند مرحله از این مراحل به نوع داده و ماهیت پروژه بستگی دارد. در پژوهش حاضر نیز برای نمایش ساختارهای اصلی و فرعی از روش‌های مختلفی استفاده شده است که ابتدایی‌ترین آن پیش‌پردازش می‌باشد. پیش‌پردازش شامل آن دسته از

عملکردهایی است که به طور نرمال پیش از آنالیز داده‌های اصلی و استخراج اطلاعات مورد نیاز صورت می‌گیرد. وظیفه اصلی پیش پردازش، بهبود تصویر با روش‌هایی است که امکان توفیق سایر پردازش‌ها را نیز افزایش می‌دهد و به طور معمول، به روش‌هایی برای ارتقای تمایز، حذف نویز و جداسازی آن نواحی که زمینه‌شان نشان‌دهنده احتمال وجود اطلاعات حرفی و عددی است، می‌پردازد. مهمترین عمل پیش پردازش تصحیحات هندسی و تصحیحات اتمسفری می‌باشند.

الف- ساخت ترکیبات رنگی

از روش‌های متداول در پردازش داده‌های ماهواره‌ای تهیه تصاویر رنگی مجازی (یا Red/Green/Blue) است. تمامی حالات به غیر از ۱-۲-۳ RGB = False Color (رنگ کاذب) نامیده می‌شوند. از آنجا که وابستگی خطی باندهای نزدیک به هم بالاست، بهتر است باندهایی با فاصله طول موج بیشتر از هم، با یکدیگر ترکیب شوند. یکی از بهترین ترکیبات برای جدایش واحدهای زمین‌شناسی از یکدیگر ۱-۴-۱ RGBV است = است که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۲).

ب- بارزسازی^۲ تصاویر ماهواره‌ای

بارزسازی تصویر به معنای استفاده از تکنیک‌هایی است که با کمک آنها می‌توان ارزش درجات روشنایی پیکسل‌های تصویر را به گونه‌ای تغییر داد که باعث افزایش مغایرت^۳ موجود در تصویر شده (SobbinFloyed, 1996) و مفسر با سهولت بیشتری اطلاعات مورد نیاز خود را از تصویر استخراج کند (طاهر کیا، ۱۳۷۵، نجفی دیسفانی، ۱۳۷۷، Haralick et al., 1987). عملیات بارزسازی تصویر، به دلیل بهبود نمایش تصویر به منظور کمک به تفسیر بصری و آنالیز آن می‌باشد. در واقع در واضح سازی

^۲ - Enhancement

^۳ - Contrast

^۱ - Global Positioning System

ب-۲- فیلترگذاری^۴:

فیلتر کردن نوعی تغییر ارزش‌های طیفی است که در آن، ارزش هر پیکسل نسبت به پیکسل همسایه‌اش تغییر می‌کند و تصویر جدیدی بوجود می‌آورد که می‌تواند دارای خصوصیات متفاوتی با تصویر اصلی باشد. فیلترگذاری از روش‌های اساسی جهت تغییر خصوصیات بصری تصویر به هدف بازسازی عوارض مورد نظر است. فیلترهای مهم و معمول در سنجش از دور، شامل فیلترهای پایین‌گذر، بالاگذر، باند گذر، بارزکننده لبه‌ها و جهت‌دار می‌باشند (نجفی و سیفانی ۱۳۷۷). با قرار دادن فیلتر بر روی تصویر، یک جعبه فیلتر یا پنجره فیلتر در نظر گرفته می‌شود و برای تعیین درجه روشنایی جدید پیکسل‌ها، این جعبه فیلتر بر روی تمام تصویر حرکت می‌کند و تصویر جدید را بوجود می‌آورد. بدیهی است هرچه ابعاد ماتریس فیلتر بزرگتر باشد، با سرعت بیشتر و دقت کمتری کار خواهد کرد (نجفی و سیفانی ۱۳۷۷). در این پژوهش، جهت بازسازی از طریق فیلترگذاری، از فیلترهای بارزکننده لبه‌ها و فیلترهای جهت‌دار بر روی تصاویر و همچنین فیلترهای تابش خورشید بر روی مدل رقومی ارتفاعی (DEM^۵) (برگرفته از ASTER GDEM از سایت NASA) منطقه استفاده گردیده است. اعمال این فیلترها بر اساس ماتریس ۳×۳ بر روی تصویر ماهواره‌ای (باند R) صورت گرفته است.

تصویر، هدف ما بهبود تصویر به منظور تفسیر بهتر و استفاده برای کاربردهای خاص می‌باشد. که در این حالت، قابلیت تشخیص اهداف فیزیکی افزایش می‌یابد. در هنگام تهیه تصاویر ماهواره‌ای، درجات روشنایی بالا به روشن‌ترین پدیده‌ها و درجات روشنایی پایین به تیره‌ترین پدیده‌های سطح زمین اختصاص داده می‌شود. در این مرحله به منظور افزایش وضوح تصویر و پدیده‌های موجود، از روش افزایش مغایرت تصاویر، با استفاده از روش کشش خطی استفاده می‌گردد. در این مطالعه، عمده‌ترین تکنیک‌های پردازش که برای بازسازی ساختارها و استخراج خطواره‌ها در تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است، به شرح ذیل می‌باشند:

ب-۱- امتزاج تصاویر^۱

در این روش، داده‌های ماهواره‌ای که توان تفکیک طیفی بالایی^۲ دارند (مانند ترکیب باند ۱-۴-۷)، با داده‌هایی که تنها یک باند طیفی داشته، اما از توان تفکیک مکانی بالایی^۳ برخوردارند (باند ۸ با دقت ۱۵ متر)، ترکیب می‌شوند. این تکنیک در بسیاری از مطالعات زمین‌شناسی، از جمله شناسایی و استخراج خطواره‌ها کارآمد است (Sabins Floyd, 1996; Prost, 1994). تلفیق تصاویر در نرم افزارهای تخصصی به چند صورت امکان پذیر می‌باشد که عبارتند از: PC Spectral Sharpening، CN Spectral Sharpening، Spectral Sharpening Intensity و Gram-Schmidt Spectral Sharpening می‌باشند. برای تلفیق تصاویر در این پژوهش از روش PC Spectral Sharpening استفاده گردید. شکل ۳ تصویر چند بانده ۱-۴-۷ بدون امتزاج تصاویر (۳-الف) و تصویر امتزاج شده (۳-ب) را نشان می‌دهند.

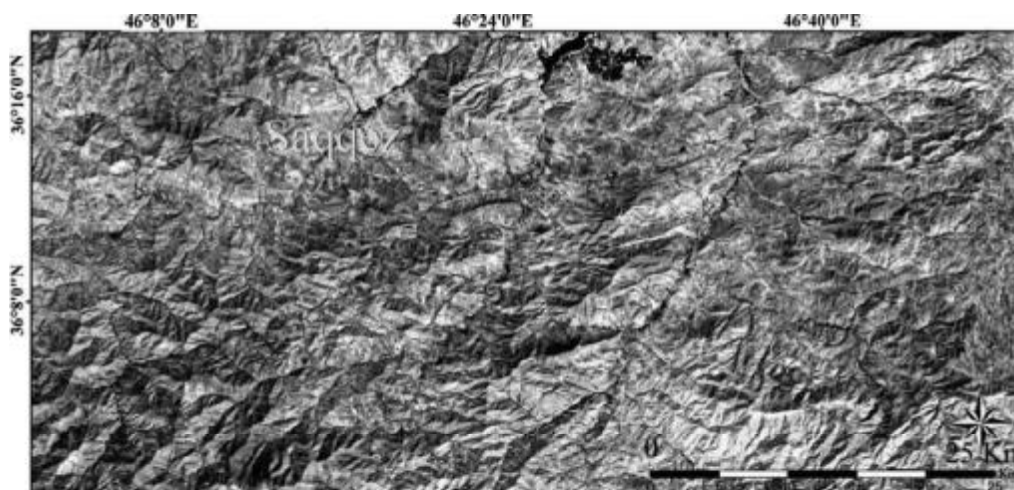
⁴ - Filtering

⁵ - Digital Elevation Model

¹ - Fusion

² - High Spectral Resolution

³ - High Spatial Resolution



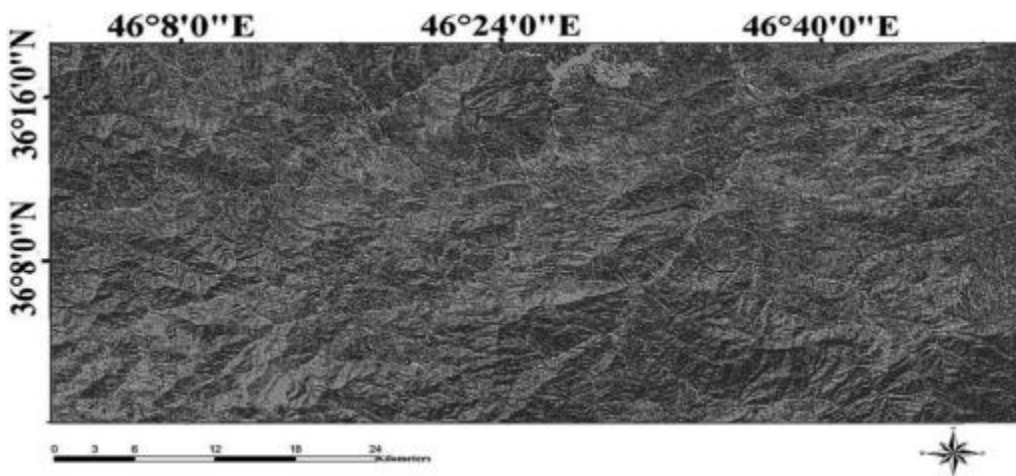
شکل ۲. تصویر ماهواره‌ای Landsat 8 ETM+ با ترکیب باند ۱-۴-۷ از منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. اثر امتزاج تصاویر جهت بارزسازی تصویر، الف- بدون اعمال امتزاج و ب- تصویر امتزاج شده

با ارزش‌های پیکسلی یکنواخت در تصاویر خروجی خواهیم داشت (Haralick et al., 1987). به این ترتیب با اعمال این فیلتر، لبه‌های تیز ایجاد شده تحت اثر ساختارها بارزتر خواهند شد (شکل ۴)

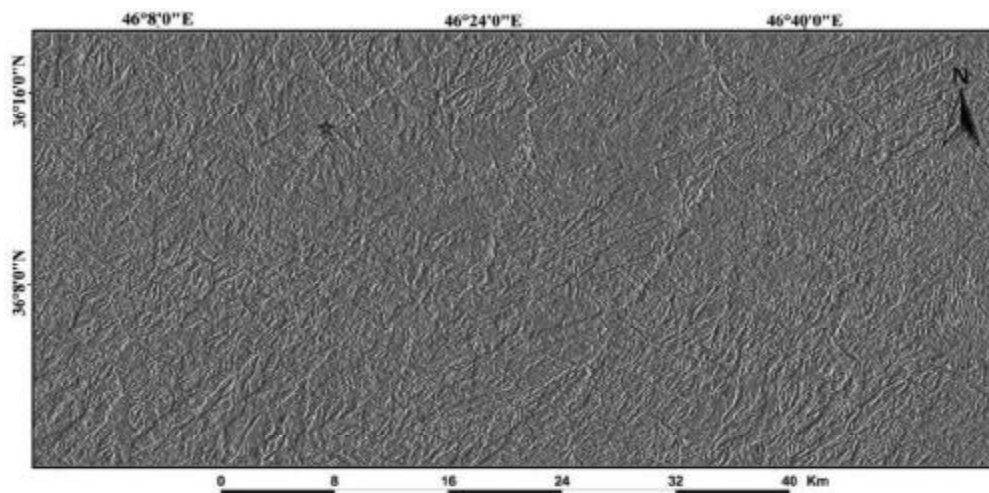
- **فیلتر بارزکننده لبه‌ها:** فیلتر تقویت‌کننده لبه‌ها به صورت انتخابی ماهیت‌هایی از تصویر را که دارای مؤلفه‌های جهت‌دار می‌باشد، تعیین می‌کند. مجموع اعداد ماتریس جهت‌دار صفر می‌باشد. در نتیجه مناطقی



شکل ۴. اعمال فیلتر بارزکننده لبه‌ها بر روی باند R تصویر ماهواره‌ای Landsat 8 ETM+ اصلاح شده منطقه مورد مطالعه

دارند را آشکار می‌نماید. در این پژوهش، جهت بارز نمودن ساختارهای خطی و استخراج آنها از فیلترهای جهت‌دار با جهات جغرافیایی ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ استفاده گردیده است (شکل ۵).

– **فیلترهای جهت‌دار:** فیلترهای جهت‌دار نیز با مکانیسمی تقریباً مشابه فیلترهای بارزکننده لبه‌ها، کلیه خط‌گونه‌ها نظیر جاده‌ها و راه‌آهن، رودخانه‌ها و آبراه‌ها، لبه تراس‌های آبرفتی، صخره‌ها، شکستگی‌ها و سایر پدیده‌های ژئومورفولوژیکی که سیمای خطی



شکل ۵. اعمال فیلتر جهت‌دار ۴۵ درجه بر روی باند R تصویر ماهواره‌ای اصلاح شده منطقه مورد مطالعه

دادن لایه‌های رستری و برداری استفاده گردید. در نهایت از روش‌های ترکیبی حاصل از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS جهت اعمال فیلترهای جهت تابش نور خورشید بر روی مدل رقومی ارتفاعی منطقه استفاده گردید.

۳-۲-۲- تکنیک‌های GIS

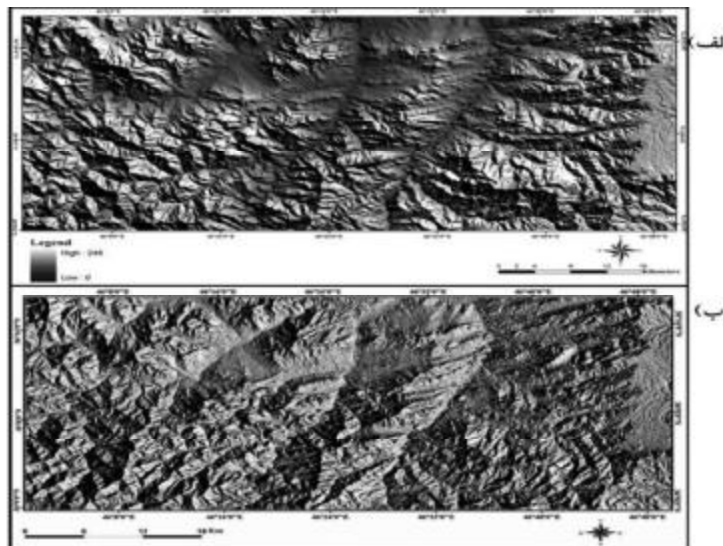
در این بخش از قابلیت‌های این محیط جهت تهیه مدل رقومی (DEM)^۱، رقومی‌سازی اطلاعات حاصل از تکنیک‌های سنجش از دور و همچنین بر روی هم قرار

^۱ - Digital Elevation Model

الف- تهیه مدل رقومی ارتفاعی منطقه

از جمله روش‌های مفید برای داشتن دید بهتر از پستی و بلندی‌های یک منطقه، استفاده از تکنیک زاویه تابش خورشید روی مدل رقومی ارتفاعی می‌باشد. مدل رقومی زمین حاصل تلاش برای به ترسیم کشیدن زمین است به گونه‌ای که به طور رقومی در سه بعد قابل نمایش باشد و تغییرات ارتفاع (Z) نسبت به سطح زمین (X,Y) در آن مشخص می‌شود. از آنجا که سطح زمین یک سطح پیوسته است برای داشتن یک مدل کامل از این سطح تعداد نامحدودی نقطه لازم است که در عمل ممکن نیست. بنابراین اطلاعات مورد نیاز باید از طریق نمونه برداری نقاط زمینی به دست آیند. نقاط نمونه در حقیقت مجموعه‌ای از نقاط هستند که با دقت مشخصی

نمونه برداری شده‌اند که در این تحقیق دقت مورد نظر ۱/۲۵۰۰۰ می‌باشد. این مدل به وسیله تابعی فاصله بین این نقاط را پر می‌کند و تغییرات ارتفاع بر روی سطح زمین را از این حالت گسسته به صورت پیوسته و با دقت مشخص نمایش می‌دهد (شکل ۶-الف). این مدل را می‌توان از روش‌های متعددی مانند فتوگرامتری، خطوط منحنی میزان، نقشه برداری زمینی و... ایجاد کرد (Aronoff, 1989). در عمل عمده ترین روش تهیه مدل رقومی ارتفاع، براساس بکارگیری توابع درون‌یابی موجود در GIS بر روی نقشه‌های برداری می‌باشد (Drakatos et al, 2003).



شکل ۶. الف- ایجاد مدل رقومی ارتفاعی منطقه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی؛ ب- اعمال فیلتر جهت تابش نور خورشید با زاویه تابش ۳۰ درجه با آزیموت ۹۰ درجه

ب- اعمال فیلترهای جهت تابش نور خورشید

بر روی مدل رقومی ارتفاعی منطقه

از آنجا که در تصاویر این مدل، خطوط عمود بر راستای تابش خورشید، به طور بهتری نمایان می‌شوند، لذا یکی از روش‌های سودمند برای بارزسازی سیمای خطی سیستم‌های شکستگی، استفاده از فیلترهای جهت تابش نور خورشید است (بهرامی، ۱۳۹۲؛ طاهرکیا،

۱۳۷۵؛ Prost, 1994; Sabins Floyd, 1996). با استفاده از این ابزار می‌توان نور مجازی خورشید را در جهات دلخواه به تصویر تابانید و به بررسی سایه‌های ایجادشده پرداخت. تکنیک فوق معمولاً در هشت جهت اصلی جغرافیایی و با زاویه نزدیک به افق به کار گرفته می‌شود و سپس برای رسم خطوطی که به صورت خط توسط سایه‌های مجازی ایجاد می‌شوند؛ به کار می‌رود.

گسلی، جابجایی پدیده‌های ریختی نظیر رودخانه‌ها و مخروط افکنه‌ها، الگوی مستقیم رودخانه‌ها و غیره، جهت تفکیک بصری^۱ این ساختارها از سایر پدیده‌های خطی (در نرم‌افزارهای Arc view 3.2 و Envi 4.8) استفاده شد. در برخی موارد، آثار خطی دلالت بر حضور شکستگی‌های پنهان در زیر پوشش رسوبی دارند. این شکستگی‌های پنهان معمولاً توسط اشکال زمینی (نظیر گودی‌ها، گنبد‌ها، پشته‌ها و ...) نمایان می‌شوند (Alpay, 1973; Prost, 1994).

در این پژوهش برای استخراج خطواره‌ها از تکنیک‌های مختلف سنجش از دور نظیر: امتزاج تصاویر، اعمال فیلترهای بارزکننده لبه‌ها و فیلترهای جهت‌دار و همچنین اعمال فیلتر جهت متفاوت تابش خورشید بر روی مدل رقومی ارتفاعی استفاده گردید (با استفاده از نرم‌افزارهای نرم‌افزارهای ER Mapper 7.1 و ENVI 4.5). شایان توجه است که برای داشتن خروجی واحد از روش‌های مختلف، از قابلیت‌های محیط GIS (در محیط نرم‌افزاری Arc Map 9.3 و Arc View 3.2) در روی هم قرار دادن لایه‌های رستری حاصل از این روش‌ها استفاده گردید (شکل ۷). برای استخراج هر خطواره، تمامی تصاویر رستری مورد کنترل، بازبینی و مقایسه قرار می‌گرفت و در صورت داشتن نتایج مشابه از تکنیک‌های متفاوت، خطواره فوق‌الذکر مورد تأیید قرار گرفته و ترسیم می‌گردید. در نهایت یک لایه برداری از خطواره‌های استخراج شده حاصل گردید (شکل ۸-الف).

در این پژوهش از فیلترهایی با زاویه تابش ۳۰ درجه در جهات جغرافیایی ۴۵، ۱۳۵، ۹۰ و ۱۸۰ درجه بر روی مدل رقومی ارتفاعی استفاده شده است (شکل ۶-ب).

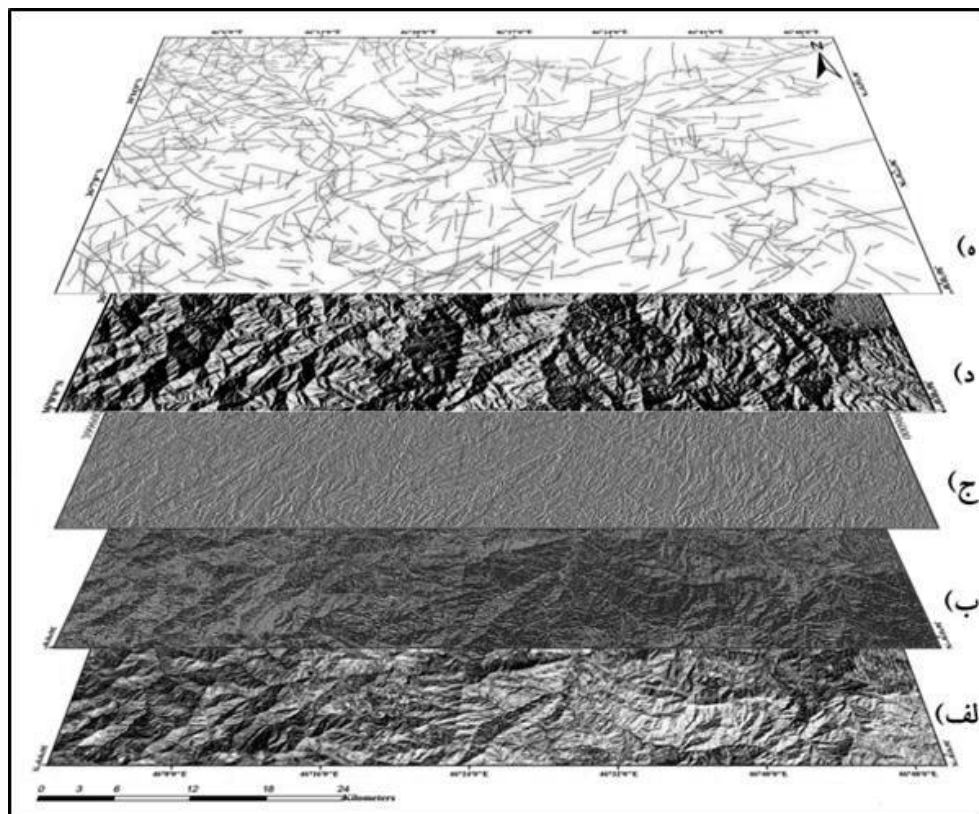
۳-۲-۳- استخراج عناصر ساختاری

در این پژوهش از سه روش جهت استخراج گسل‌ها و درزه‌های بزرگ مقیاس استفاده گردیده است که عبارتند از: استخراج از تصاویر ماهواره‌ای به کمک روش‌های سنجش از دور، استخراج از طریق شناسایی و پیمایش‌های صحرایی و استخراج از نقشه‌های موجود می‌باشند.

الف- استخراج عناصر ساختاری از تصاویر ماهواره‌ای

همانگونه که در بخش مواد و روش‌ها ذکر گردید؛ می‌توان گسل‌ها و درزه‌های بزرگ مقیاس را با استفاده از بارزسازی، به صورت خطواره بر روی تصویر ماهواره‌ای تشخیص داده و به صورت خودکار توسط نرم‌افزار (مانند نرم‌افزار PCI Geomatica) استخراج نمود. با توجه به اینکه این ساختارها بر روی تصویر ماهواره‌ای (و یا مدل رقومی ارتفاعی) به صورت خطی خود را نشان داده و می‌توانند با دیگر عوارض خطی نظیر آبراهه، جاده‌ها و سایر پدیده‌های خطی مورفولوژیکی اشتباه گرفته شوند، معمولاً برای استخراج این ساختارها از روش‌های نیمه خودکار استفاده شده و از شواهدی نظیر: قطع شدگی عوارض ساختمانی، کنار هم قرار گرفتن لیتولوژی‌های متفاوت با سن مختلف، قطع شدگی ناگهانی امتداد بیرون زدگی‌ها، پرتگاه‌های

^۱- Visional Extraction

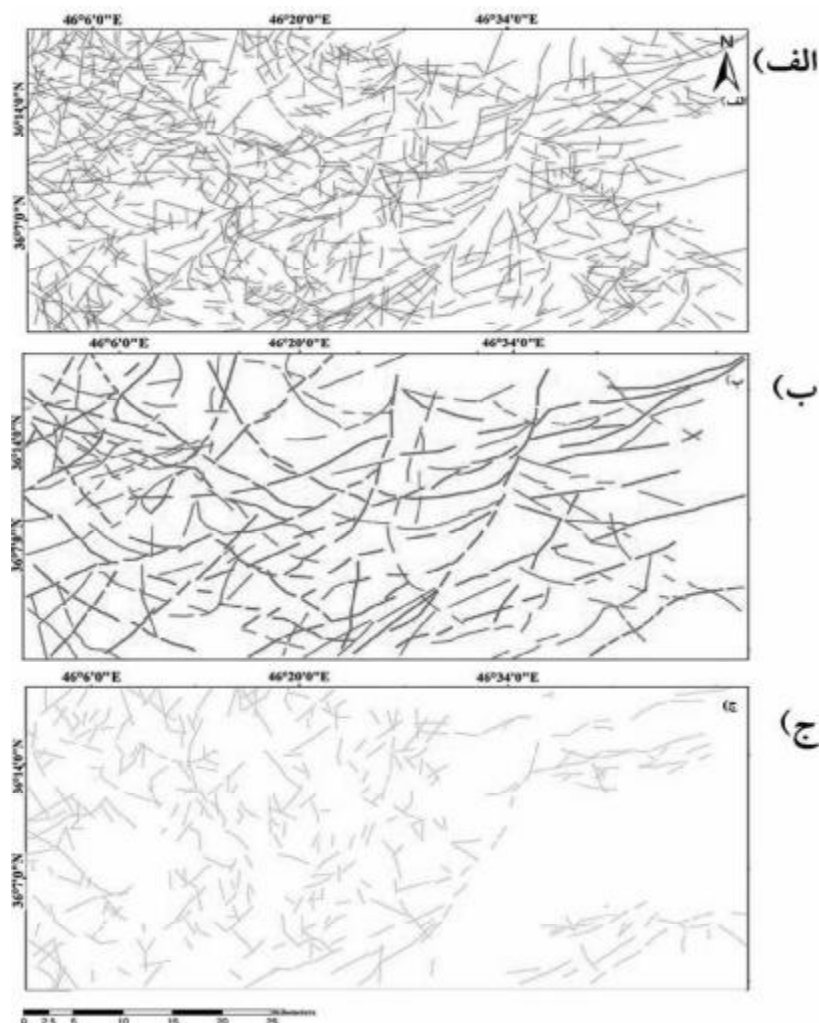


شکل ۷. نحوه استخراج خطواره‌ها با استفاده از خروجی‌های حاصل از تکنیک‌های مختلف سنجش از دور با استفاده از قابلیت‌های محیط GIS، الف: تصویر ماهواره‌ای اصلاح شده با ترکیب باند ۱-۴-۷؛ ب: تصویر ماهواره‌ای با فیلتر بارزکننده لبه‌ها، ج: تصویر ماهواره‌ای با فیلتر جهت‌دار، د: مدل رقومی ارتفاعی با فیلتر جهت تابش خورشید، ه: نقشه خطواره‌های استخراج شده

ب- استخراج عناصر ساختاری از طریق شناسایی و پیمایش‌های صحرائی

در این روش ابتدا به کمک بازدیدهای اولیه، شمایی از منطقه به دست آمده و سپس با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی به وسیله استریوسکوپ، ساختارهای منطقه مورد شناسایی اولیه قرار می‌گیرند. در نهایت، با

انجام پیمایش‌های صحرائی، ساختارها شناسایی و مورد اندازه‌گیری قرار گرفته و خروجی کار به صورت یک نقشه ساختاری از رده‌های مختلف گسلش ایجاد می‌شود (شکل ۸-ب).



شکل ۸. نقشه‌های شکستگی‌های استخراج شده از منابع مختلف: الف- نقش خطواره‌های استخراج شده توسط تلفیقی از تکنیک‌های مختلف سنجش از دور، ب- نقشه گسل‌های پیمایش و اندازه‌گیری شده، ج- نقشه گسل‌های استخراج شده از نقشه‌های زمین‌شناسی موجود

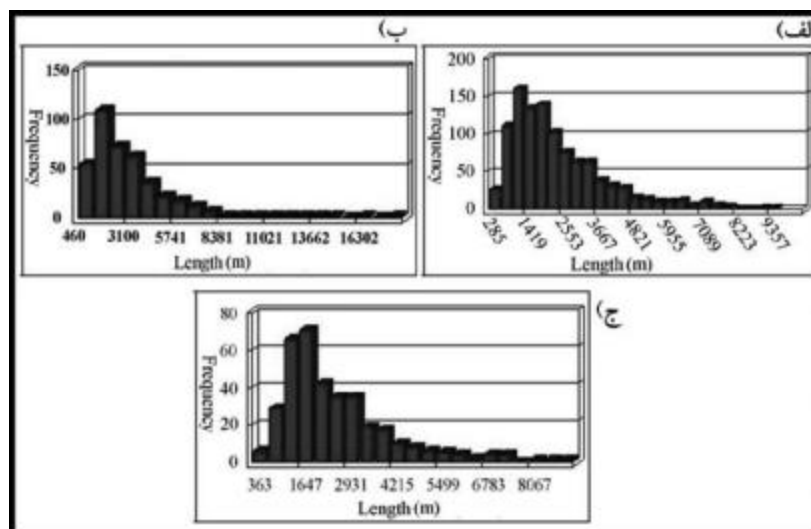
۳-۲-۴- تحلیل آماری اطلاعات

به منظور مقایسه آماری خطواره‌های استخراج شده، گسله‌های پیمایش شده و گسله‌های مستخرج از نقشه‌های زمین‌شناسی، اقدام به محاسبه خصوصیات نظیر: طول و فراوانی توسط نرم‌افزار Arc GIS 9.3 در محیط GIS گردید (اشکال ۹-الف، ب، ج). در نهایت با مقایسه آنها پی به شباهت‌ها و تفاوت‌های این سه نقشه برده شد.

ج- استخراج عناصر ساختاری از نقشه‌های

موجود

در این روش ابتدا تمامی نقشه‌های تهیه شده موجود نظیر نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰.۰۰۰ چاپان و سقز گردآوری شده و با اطلاعات صحرایی اولیه (و داشتن نقاط کنترلی مناسب) از منطقه مورد بررسی و دقیق قرار می‌گیرند. سپس با کمک نرم‌افزارهای محیط GIS رقومی گردیده و به عنوان یک لایه برداری ترسیم می‌گردند (شکل ۸-ج).

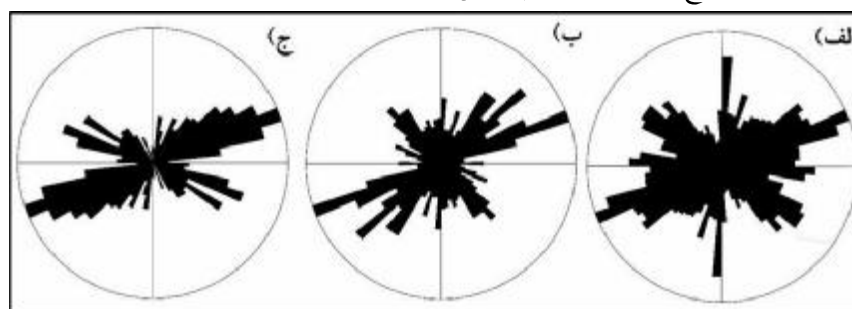


شکل ۹. تحلیل آماری شکستگی‌های استخراج شده از منابع مختلف، الف- نمودار خطواره‌های استخراج شده به روش سنجش از دور، ب- نمودار گسل‌های پیمایش و اندازه‌گیری شده، ج- نمودار گسل‌های استخراج شده از نقشه‌های زمین‌شناسی موجود

۳-۲-۵- تحلیل هندسی اطلاعات:

گسله‌های مستخرج از نقشه‌های زمین‌شناسی، بر اساس روش طول-امتداد (Ramsay & Hubber, 1987) توسط تابع Plore plot در نرم‌افزار Arc GIS 9.3 صورت پذیرفت (اشکال ۱۰-الف، ب، ج).

مهمترین تحلیل هندسی صورت گرفته برای ساختارها، تهیه نمودار گل سرخی از شکستگی‌های منطقه است. در این پژوهش تهیه نمودارهای گل سرخی برای خطواره‌های استخراج شده، گسله‌های پیمایش شده و

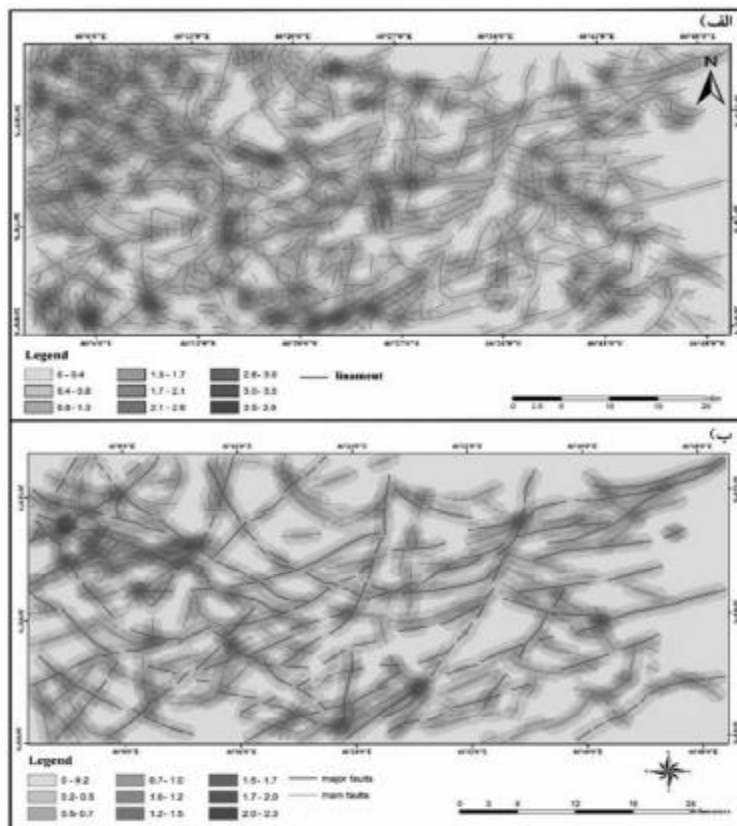


شکل ۱۰. نمودار گل سرخی شکستگی‌های استخراج شده از منابع مختلف، الف- خطواره‌های استخراج شده، ب- گسل‌های پیمایش و اندازه‌گیری شده، ج- گسل‌های استخراج شده از نقشه‌های زمین‌شناسی موجود

۳-۲-۶- تهیه نقشه هم‌شکستگی

سلول نموده و در جدول همراه (Attribute Table) شبکه مورد نظر ثبت گردید. در نهایت بر اساس جدول همراه شبکه ترسیمی، سطوح هم‌پتانسیل در محیط GIS ترسیم گردیدند. این خروجی‌ها به عنوان نقشه‌های هم‌شکستگی (Iso-Fracture) تهیه شدند (اشکال ۱۱-الف، ب).

برای محاسبه تراکم خطواره‌های استخراج شده و گسله‌های پیمایش شده در منطقه مورد مطالعه، ابتدا شبکه‌ای ترسیم شد که دارای سلول‌هایی با ابعاد ۲۰۰×۲۰۰ متر بود (Safari et al, 2011). سپس در محیط نرم‌افزار Arc view 3.2 اقدام به اندازه‌گیری و قرائت مجموع طول شکستگی‌های استخراج شده در هر



شکل ۱۱. نقشه هم‌شکستگی، الف-نقشه هم‌شکستگی خطواره‌های استخراج شده، ب- نقشه هم‌شکستگی گسل‌های پیمایش و اندازه‌گیری شده

از تکنیک‌های سنجش از دور گردید. نتایج حاصل از این بررسی‌ها به شرح ذیل می‌باشد:

الف- کنترل بصری ساختارها:

در کنترل بصری خطواره‌های استخراج شده از طریق تکنیک‌های سنجش از دور (شکل ۸-الف) و مقایسه آنها با گسل‌های پیمایش شده (شکل ۸-ب) و همچنین گسل‌های موجود در نقشه‌های زمین‌شناسی (شکل ۸-ج) مشخص گردید که تمامی خطواره‌های اصلی با طول بیش از ۳۰ کیلومتر بر روی گسل‌های بزرگ مقیاس^۱ موجود در پیمایش و اندازه‌گیری گسل‌ها و همچنین گسل‌های موجود در نقشه‌های زمین‌شناسی قرار

۴- بحث و بررسی پیرامون نتایج حاصله

برای مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مختلف استخراج خطواره‌ها و در نهایت اثبات گسل بودن آنها، از توانایی‌های محیط GIS استفاده گردید. به این ترتیب که، نتایج هر روش در قالب یک لایه برداری در این محیط نرم‌افزاری تهیه و با روی هم قرار دادن لایه‌ها (شکل ۱۲-الف) و مقایسه بصری نتایج، میزان درستی خطواره‌های استخراج شده از طریق تکنیک‌های سنجش از دور مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۲-ب). در نهایت، بر اساس نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری و هندسی (اشکال ۹ و ۱۰) و همچنین وضعیت تراکم شکستگی‌ها در نقشه خطواره‌ها (شکل ۱۱-الف) و گسل‌های استخراج شده (شکل ۱۱-ب)، سعی در مقایسه نتایج و راستی آزمایشی خطواره‌های استخراج شده

^۱- Major Faults

توسط اشکال زمینی (نظیر گودی‌ها، گنبد‌ها، پشته‌ها و ...) نمایان می‌شوند (Alpay, 1973; Prost, 1994). به همین دلیل، در بسیاری از موارد گسل‌های پنهان یا مدفون علیرغم داشتن شواهد ریخت‌زمین ساختی، فاقد رخنمون سطح گسل جهت پیمایش و اندازه‌گیری می‌باشند.

- عدم امکان دسترسی به برخی مناطق صعب‌العبور یا پوشیده شده (توسط جنگل، برف و واریزه)

- عدم دسترسی به برخی گسل‌ها در حین پیمایش‌های سیستماتیک به دلیل نحوه برنامه‌ریزی و اجرای برداشت‌های صحرائی.

شایان توجه است که تعداد زیادی از خطواره‌های کوچک مقیاس به دلیل تعداد و پراکنندگی زیادشان، بر روی هیچکدام از گسل‌های پیمایش شده و یا موجود در نقشه‌های زمین‌شناسی قرار نمی‌گیرند (اشکال ۱۲-الف، ب).

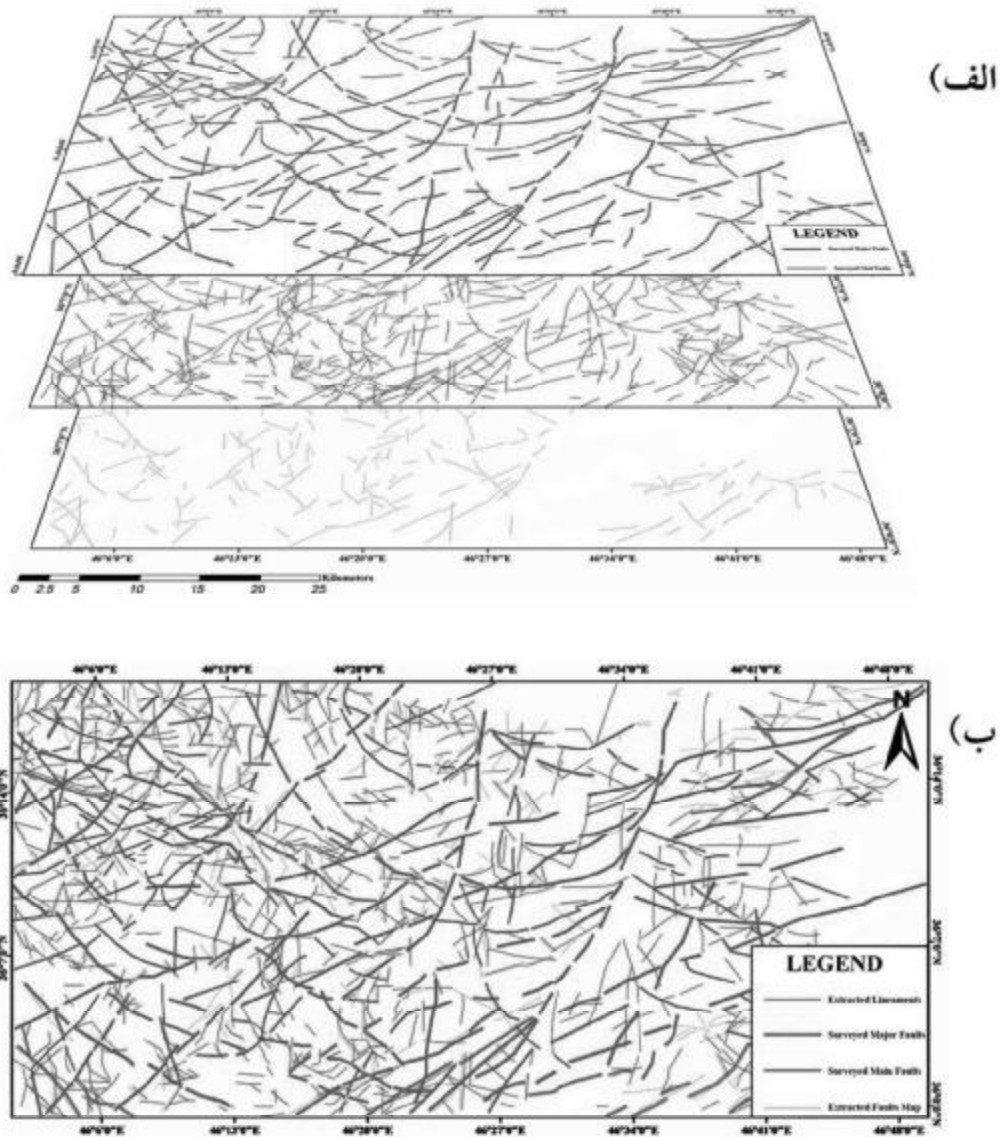
می‌گیرند (اشکال ۱۲-الف، ب). علت اصلی این مسئله این است که تمامی گسل‌های بزرگ مقیاس منطقه دارای شواهد ریخت‌زمین ساختی واضح و آشکار بر روی تصاویر ماهواره‌ای بارز شده و مدل رقومی ارتفاعی (شکل ۷) می‌باشند.

همچنین اکثر خطواره‌های اصلی با طول بیش از ۵ کیلومتر بر روی گسل‌های اصلی^۱ منطقه، بخصوص گسل‌های پیمایش شده، قرار می‌گیرند (شکل ۱۲-ب). این مسئله که چرا برخی از این خطواره‌های اصلی بر روی گسل‌های اصلی قرار نگرفته‌اند؛ می‌تواند به دلایل ذیل باشد که:

- برخی شواهد ریخت‌زمین ساختی این گسل‌ها می‌تواند گمراه کننده باشد. به عنوان مثال: مسیر مستقیم رودخانه بیشتر متأثر از جنس سنگ‌های مسیر بوده و یا اینکه ناشی از فاز فرسایشی ناشی از حرکات بزرگ مقیاس تکنونیک در پائین دست رودخانه است و تنها در برخی موارد می‌تواند حکایت از وجود یک گسل در زیر بستر رودخانه باشد.

- پنهان یا مدفون بودن گسل‌ها، در برخی موارد، آثار خطی دلالت بر حضور شکستگی‌های پنهان در زیر پوشش رسوبی دارند. این شکستگی‌های پنهان معمولاً

^۱ - main Faults



شکل ۱۲. استفاده از قابلیت‌های محیط GIS، الف- در روی هم قرار دادن لایه‌های اطلاعاتی برداری مربوط به شکستگی‌های استخراج شده از منابع مختلف، ب- تهیه خروجی از لایه‌های روی هم قرار داده شده

ج- تحلیل هندسی ساختارها

تهیه نمودار گل سرخی از خطوطاره‌های استخراج شده، گسله‌های پیمایش شده و گسله‌های مستخرج از نقشه‌های زمین‌شناسی (اشکال ۱۰- الف، ب، ج) و مقایسه آنها با هم، مشابهت‌های فراوانی را نشان می‌دهند. برای مثال: در تمامی این نمودارها روندهای ساختاری عمده‌ای نظیر ۸۰-۶۰N، ۱۴۰-۱۳۰N دیده می‌شوند.

ب- تحلیل آماری اطلاعات

بررسی آماری تعداد و فراوانی خطواره‌های استخراج شده، گسله‌های پیمایش شده و گسله‌های مستخرج از نقشه‌های زمین‌شناسی مشابهت‌های فراوانی را نشان می‌دهند (اشکال ۹- الف، ب، ج). به گونه‌ای که مثلاً بیشترین فراوانی مربوط به ساختارهایی با طول ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر می‌باشد.

رسیده و یا اینکه در نقشه‌های موجود آورده شده‌اند مقایسه شد. ابتدا با تلفیق روش‌های مختلف سنجش از دور، اقدام به استخراج نیمه خودکار خطوط در بخش شمال غربی زون سنندج-سیرجان گردید. سپس برای مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مختلف استخراج خطوط و اثبات گسل بودن آنها، با استفاده از توانایی‌های محیط GIS، نتایج هر روش در قالب یک لایه برداری در این محیط نرم‌افزاری تهیه و با روی هم قرار دادن لایه‌ها و مقایسه بصری نتایج، میزان درستی خطوط استخراج شده از طریق تکنیک‌های سنجش از دور مورد بررسی و راستی آزمایی قرار گرفت. در این روش از نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری، هر سه نوع خروجی هندسی و همچنین وضعیت تراکم شکستگی‌ها استفاده گردید.

بررسی‌های این پژوهش نشان می‌دهد که خروجی‌های حاصل از بکارگیری تکنیک‌های سنجش از دور تنها در مورد خطوط بزرگ مقیاس و اصلی قابل اعتماد می‌باشند و نتایج حاصله حتماً می‌بایست توسط پیمایش‌های صحرائی مناسب کنترل و کالیبره گردند زیرا خطی بودن این ساختارها سبب می‌شود که با دیگر عوارض خطی اشتباه گرفته شده و یا در برخی موارد، پدیده‌های ریخت‌زمین ساختی گمراه‌کننده خللی در نتایج ایجاد نماید.

منابع

- برزگر، ف.، ۱۳۷۰. معرفی گسل‌های نظام آباد و فیروز آباد در زاگرس میانی بر مبنای تفسیر داده‌های ماهواره‌ای لندست، مجموعه مقالات دهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ۱۳۲-۱۳۰.
- باباخانی، ع.، حریری، ع.، فرجندی، ف.، ۱۳۸۲. نقشه زمین‌شناسی ورقه سقز با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بهرامی، م.، ۱۳۹۲. مطالعه لرزه زمین‌ساخت ناحیه شهرضا، رساله کارشناسی ارشد، دانشکاه گلستان، ۱۴۶ صفحه.

این در حالی است که روندهای شمالی-جنوبی تنها در خطوط استخراج شده و گسله‌های پیمایش شده قابل مشاهده هستند.

۵- بررسی نقشه‌های هم‌شکستگی

بررسی نقشه‌های هم‌شکستگی تهیه شده برای خطوط استخراج شده (شکل ۱۱-الف) و گسله‌های پیمایش شده (شکل ۱۱-ب) نشان دهنده شباهت‌های فراوانی می‌باشد که این شباهت‌ها بیشتر مربوط به گسل‌های بزرگ مقیاس و اصلی منطقه می‌باشد که حکایت از نسبتاً یکسان بودن امتداد این خطوط با گسل‌های یاد شده دارد (رجوع شود به قسمت الف این بخش).

به این ترتیب در راستی آزمایی خطوط استخراج شده بوسیله تکنیک‌های سنجش از دور، می‌توان به این نتیجه رسید که نتایج این تکنیک‌ها بنا به دلایلی تنها در مورد خطوط بزرگ مقیاس و اصلی قابل اعتماد می‌باشند و نتایج حاصله حتماً توسط پیمایش‌های صحرائی مناسب کنترل و کالیبره گردند زیرا خطی بودن این ساختارها سبب می‌شود که با دیگر عوارض خطی نظیر آبراهه، جاده‌ها و سایر پدیده‌های خطی مورفولوژیکی اشتباه گرفته شوند. لذا برای استخراج این ساختارها شواهد صحرائی نظیر: قطع شدگی عوارض ساختمانی، کنار هم قرار گرفتن لیتولوژی‌های متفاوت با سن مختلف، قطع شدگی ناگهانی امتداد بیرون‌زدگی‌ها، پرتگاه‌های گسلی، جابجایی پدیده‌های ریختی نظیر رودخانه‌ها و مخروط افکنه‌ها، الگوی مستقیم رودخانه‌ها استفاده می‌شود تا بدین وسیله پدیده‌های ریخت‌زمین ساختی گمراه‌کننده خللی در نتایج ایجاد نماید.

۵- نتیجه‌گیری

برای راستی آزمایی خطوط استخراج شده توسط تکنیک‌های سنجش از دور، این ساختارها با ساختارهایی که توسط برداشت‌های صحرائی به اثبات

- Engineering. San Antonio, Texas, USA, 10, 455-466.
- Berberian, M., 1995. Master "Blind" Thrust Fault Hidden under the Zagros Folds: Active Basement Tectonics and Surface Morphotectonics. *Tectonophysics*, 241, 193-224.
- Drakatos, G., Melis, N., Papanastassiou, D., Karastathis, V., Papadopoulos, G.A., Stavrakakis, G., 2003. 3-D crustal velocity Structure from inversion of local earthquake data in Attiki (Central Greece) region. *Natural Hazards*, 27, p. 1–14
- Sabins, F., 1996. *Remote Sensing: Principles and Interpretation*; 3d Edition. W. H. Freeman and Company, New York.
- Haralick, Robert M., Stanley, R., Sternberg, and Xinhua Zhuang., 1987. Image analysis using mathematical morphology, *Pattern Analysis and Machine Intelligence*. IEEE Transactions on 4: 532-550.
- Hobbs, W. H., 1904. Lineament of the Atlantic Border Region. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 15, 483-506.
- NASA., 2014. Satellite image of Enhanced Thematic Mapper 8, scene, 168/35.
- NASA, 2015. Aster based Worldwide Digital Elevation Models with 1 arc-second resolution.
- O'leary, d. w., Friedman, I. D., and Phon, H. A., 1976. Lineament, Linear, Lineation: Some Proposed New Standards for Old Terms. *Geol. Soc, Am, Bull.*, 87, 1463-1469.
- Prost, G. L., 1994. *Interpretation of Remote Sensing Images for the Petroleum Industry: Exploration, Exploitation and Environmental Monitoring*, Gordon and Breach Science Publishers. Inc, New York.
- Ramsay, J. G., and Huber, M. I., 1978. *The techniques of Modern Structural Geology*, vol 2, Folds and Fractures. Academic Press.
- Safari, H., Pirasteh, S., and Shattri, B.M., 2011. Role of Kazerun Fault for Localizing Oil Seepage in the Zagros Mountains. Iran, an Application of GiT, *International Journal of Remote sensing*, Vol: 32, No: 1, 1-16.
- Sabins, F., 1996. *Remote Sensing: Principles and Interpretation*; 3d Edition. W. H. Freeman and Company, New York.
- خلقی خسرقی، م.ر.، ۱۳۷۸. نقشه زمین‌شناسی چهارگوش چابان، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- داودی، ز.، یساقی، ع.، برزگز، ف.، ۱۳۸۱. شناسایی و تحلیل پهنه‌های گسلی عرضی-برشی در شمال‌باختر زاگرس با استفاده از داده‌های دورسنجی فضایی، مجموعه مقالات بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- طاهرکیا، ح.، ۱۳۷۵. اصول و کاربرد سنجش از دور، جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران.
- پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، ۱۳۸۵. نقشه زمین‌شناسی استان کردستان
- سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۳۷۵. نقشه‌های توپوگرافی رقومی ناحیه مورد مطالعه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰
- نجفی دیسفانی، م. ن.، ۱۳۷۷. پردازش کامپیوتری تصاویر سنجش از دور، انتشارات سمت، تهران، صفحات ۲۳-۲۸۲.
- یساقی، ع.، برزگز، ف.، مهشادینیا، ف.، ۱۳۸۰. اثر دگرختی‌های زیر سطحی بر رسوبات فانروزوئیک پوشاننده در جنوب خاوری زاگرس با استفاده از داده‌های دورسنجی فضایی، مجموعه مقالات بیستمین گردهمایی علوم زمین، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- Alpay, A., 1973. Application of aerial photographic interpretation to the study reservoir natural fracture systems. *Journal of Petroleum Geology* 25 (1).
- Aronoff, S., 1989. *Geographic Information System: A Management Perspective*, WDL publication, Ottawa, Canada, p. 200.
- Barzegar, F., 1994. Basement Fault Mapping Zagros Floded Belt (S.W. Iran) Based on Space-Born Remotely Sensed Data. *Proceeding of The 10th Thematic Conference On Geologic Remote Sensing: Exploration, Environment and*

Investigation on validity of Lineaments extracted by Semi-automated Remote Sensing Techniques; Northwestern part of Sanandaj-Sirjan zone as a case study

HojjatOllah Safari^{1*}, Mehdi Mojallal², Erfan Haji³

1. PhD in Tectonics, Geology Department, Golestan University, Gorgan, Iran.
2. MSc in Tectonics, Geology Department, Golestan University, Gorgan, Iran.
3. PhD student in Tectonics, Geology Department, Golestan University, Gorgan, Iran.

Abstract:

For assessment of validity of extracted lineaments by Remote Sensing techniques, these structures compared with other structures which either prepared & proven by field surveying or extracted from available geological maps. Therefore, the Northwestern part of Sanandaj-Sirjan zone, which has structures with different sizes, is selected as a case study. In this research, firstly, the lineaments were extracted by compilation of semi-automate Remote Sensing Techniques. In follow, the surveyed faults were prepared by field investigations and then, the other type of faults were extracted & digitized from available geological maps and finally entered as fracture vector layers in GIS environment. These layers were overlaid by using of GIS capability and then the visional comparison was carried out for investigation and assessment of validity of extracted lineaments by Remote Sensing techniques. The results of this research shown that only main and major extracted lineaments were valid and trustable, whereas, the small lineaments have no this validity, and these outputs will be must check & calibrate by carefully field investigations.

Keywords: Lineament, Remote Sensing, Semi automate techniques, Visional analysis, Sanandaj-Sirjan zone.

*. Correspondent author Email: safari.ho@gmail.com