

استخراج گسل های زمین شناسی با استفاده از داده های سنجش از دور (مطالعه موردی: منطقه کپه داغ - شمال استان خراسان شمالی)

سمیه افشاری*، حسین آقامحمدی زنجیرآباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات • محمدرضا نوری، مدیریت اکتشاف

چکیده

شناسایی گسل ها در سراسر کره زمین، نه تنها بیانگر تاریخچه تکتونیکی هر منطقه می باشد، بلکه می تواند وضعیت آینده زمین شناسی منطقه را نیز تا حد زیادی مشخص نماید. در گذشته زمین شناسان برای تهیه نقشه های زمین شناسی و شناخت گسل، از مشاهدات زمینی استفاده می کردند. بعدها عکس های هوایی به کمک زمین شناسان آمد و بعد عملیاتی آنها را وسیع تر نمود. اما امروزه با استفاده از فناوری سنجش از دور، محققان و پژوهشگران به دستاوردهای مهمی در شناسایی موقعیت، وضعیت و نوع گسل در ابعاد وسیع تری نسبت به تصاویر هوابرد، دست یافته اند. تصاویر ماهواره ای به دلیل داشتن توان تفکیک زمانی، مکانی و طیفی بالا در محدوده طیفی مرئی، مادون قرمز و حرارتی امکان تجزیه و تحلیل زیادی در اختیار محققان قرار داده اند تا با شناسایی تغییرات در بافت زمین و هندسه لبه های این تغییرات و تفسیر نهایی توسط یک زمین شناس مجرب موقعیت گسل استخراج گردد. تاقدیس نادر در منطقه کپه داغ واقع در شمال شرقی ایران از جمله مناطقی در ایران است که به دلایل مختلفی چون وقوع شدن در مرز کشور، دارای فقر مطالعاتی زمین شناسی است. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸، گسل های منطقه با سه روش دستی، اتوماتیک و نیمه اتوماتیک استخراج گردید. سپس نتایج حاصله با گسل های موجود در منطقه مقایسه شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می دهد که با استفاده از روش نیمه اتوماتیک می توان گسل های موجود در این منطقه را با دقتی مناسب استخراج نمود.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۰۳/۲۹

تاریخ ارسال به داور: ۹۵/۰۳/۲۹

تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۰۶/۰۱

واژگان کلیدی:

کپه داغ، تاقدیس نادر، گسل، خطواره، سنجش از راه دور

مقدمه

به شدت صیقلی و شیاردار می شوند. این سطوح صیقلی و شیاردار به زمین شناسان در شناخت جهت آخرین جابه جایی ایجاد شده در طول گسل کمک می کند.

بیشتر مخازن نفتی در سنگ های شکافدار وجود داشته و این شکستگی ها در تولید هیدروکربور نقش عمده ای دارند. بنابراین تهیه نقشه خطواره ها به منظور بررسی الگوی شکستگی ها، ارتباط آن با چین خوردگی و تأثیر آن بر حرکت سیال ضروری به نظر می رسد. به طور معمول شناسایی و تفسیر خطواره ها با استفاده از برداشت های زمینی و همچنین تفسیر عکس های هوایی انجام می گیرد. از آنجایی که در مناطق وسیع، عکس های هوایی قادر به ارائه دید یکپارچه از منطقه نبوده و با توجه به صرف زمان و هزینه ی گزاف برای تهیه خطواره ها و گسل ها، عوارض مورد نظر به طور دقیق و کامل شناسایی نمی گردند، لذا از تصاویر ماهواره ای به علت دارا بودن گستردگی طیفی و یا توان تفکیک بالا، در تعیین موقعیت گسل ها استفاده می شود.

۱- روش مطالعه

خطواره عبارت است از یک ویژگی خطی ساده یا مرکب قابل نقشه برداری از یک سطح که اجزاء آن در یک خط راست یا

گسل ها شکستگی هایی در پوسته زمین هستند که در طول آنها تغییر شکل های قابل توجهی ایجاد شده است. گاهی اوقات گسل های کوچک در ترانشه های جاده، جایی که لایه های رسوبی چند متر جابه جا شده اند، قابل تشخیص هستند. گسل هایی در این مقیاس و اندازه معمولاً به صورت تک گسیختگی جدا اتفاق می افتد. در مقابل گسل های بزرگ، شامل چندین صفحه گسل در گیر می باشند. این پهنه های گسله، می توانند چندین کیلومتر پهنای داشته باشند و معمولاً از روی عکس های هوایی نسبت به پیمایش های زمینی بهتر قابل تشخیص هستند.

در واقع، حضور گسل در یک منطقه نشان می دهد که زمانی در گذشته، در طول آن جابه جایی رخ داده است. این جابه جایی ها می توانند یا به صورت جابجایی آرام باشد که هیچ گونه لرزشی در زمین ایجاد نمی کند و یا اینکه به صورت ناگهانی اتفاق بیفتد که جابه جایی های ناگهانی در طول گسل ها، عامل ایجاد بیشتر زلزله ها می باشد. بیشتر گسل ها غیر فعال هستند و باقیمانده ای از تغییر شکل های گذشته می باشند. در امتداد گسل های فعال، چین جابه جایی فرسایشی دو قطعه پوسته ای در کنار هم، سنگ ها شکسته و فشرده می شوند. در سطح صفحات گسلی، سنگ ها

* نویسنده ی عهده دار مکاتبات (s.afshari91@gmail.com)

خطواره‌ها در زمانی است که ممکن است انقطاعی در خطواره موجود باشد [۸].

از جمله عوارضی که برای شناسایی خطواره‌ها به کمک کاربر می‌آیند، عوارض توپوگرافی مثل دره‌های مستقیم، ترانشه‌های ممتد، مرز یا لبه صخره‌های مستقیم، جابه‌جایی سیستماتیک رودخانه‌ها، اختلاف ناگهانی تن رنگی سطح زمین و رویش گیاهی خطی می‌باشند. یک دره مستقیم، از عوارضی است که در پردازش تصاویر و شناسایی اولیه خطواره‌ها بسیار کمک می‌کند زیرا تصویر ماهواره‌ای هیچگونه اطلاعات مستقیم توپوگرافی منطقه را ندارد [۴].

تکنیک‌های بارزسازی تصویر جهت انجام عمل استخراج دستی خطواره‌ها بسیارند، اما مهمترین آنها جهت آماده‌سازی تصویر برای تهیه نقشه خطواره عبارتند از عملیات فیلتر کردن، تحلیل

خطی به نسبت منحنی به گونه‌ای ردیف شده‌اند که تفاوت آشکاری نسبت به محیط اطراف خود داشته و می‌تواند بازتاب یک پدیده زیرسطحی باشد [۶].

استخراج خطواره از روی تصاویر ماهواره، حایز اهمیت فراوان است زیرا نسبت به عکس‌های هوایی دارای ابعاد وسیع‌تر و تنوع طیفی بیشتری است. استخراج خطواره از روی تصاویر ماهواره می‌تواند به سه صورت دستی، اتوماتیک و نیمه‌اتوماتیک (تلفیق دو روش قبلی) انجام شود که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. به‌نظر می‌رسد در حال حاضر روش نیمه‌اتوماتیک، نسبت به سایر روش‌ها قابل اعتمادتر و دارای سرعت نسبی بهتری در استخراج خطواره باشد.

در روش نیمه‌اتوماتیک، کاربر ابتدا از روش اتوماتیک خطواره‌های موردنظر خود را با اعمال پارامترهای لازم استخراج کرده و در ادامه به تفسیر موقعیت تک‌تک خطوط می‌پردازد. از مزایای روش اتوماتیک سرعت بالای استخراج خطوط، دقت موقعیت مکانی بالا و عدم دخالت کاربر در انتخاب موقعیت خطوط است. اما با توجه به ضعف کلی روش اتوماتیک و در جهت تکمیل این روش شاید لازم باشد کاربر بعضی خطوط را به روش دستی به مجموعه خطوط اضافه کند.

۲- انتخاب داده

- Landsat-8: با توجه به بالابودن کیفیت تصاویر ماهواره Landsat8 نسبت به Landsat7 و افزایش تعداد باندهای آن از داده‌های این ماهواره استفاده گردید. تصویر مورد استفاده در این تحقیق در تاریخ ۲۰۱۳/۹/۲۹ در گذر ۱۵۹ و ردیف ۳۴ برداشت شده است.
- DEM منطقه: از این داده برای فیلترهای جهت‌دار در مرحله دستی و تولید شبکه هیدرولوژی استفاده شده است.

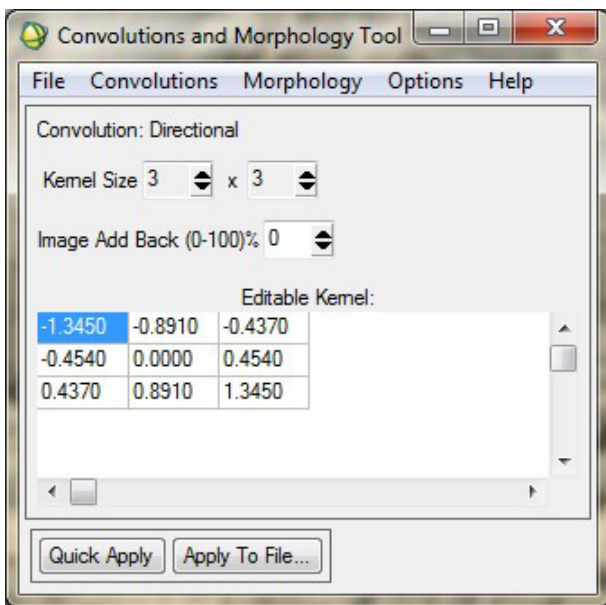
۳- روش تحقیق

۳-۱- استخراج خطواره‌ها

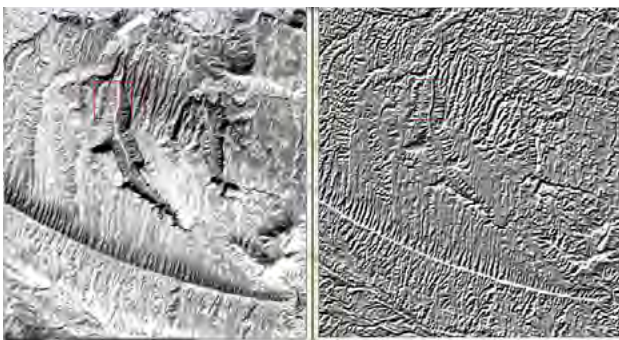
استخراج خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای که به‌منظور تهیه نقشه خطواره انجام می‌شود، شامل سه بخش: استخراج دستی، استخراج اتوماتیک و استخراج نیمه‌اتوماتیک (تلفیق اتوماتیک و دستی) می‌باشد.

۳-۱-۱- استخراج دستی

در روش استخراج دستی، خطواره‌ها از تصاویر ماهواره به‌صورت بازبینی تصویر و تفسیر عوارض به‌دست می‌آیند. خطواره‌ها معمولاً به‌عنوان خطوط مستقیم یا لبه‌هایی در تصویر هستند که اختلاف تن رنگی به علت اختلاف جنس مواد روی سطح زمین به‌وجود می‌آیند. دانش و تجربه کاربر نکته اساسی برای یافتن



شکل ۱ | نمونه‌ای از فیلتر جهت‌دار با کرنل ۳×۳ و زاویه ۶۳ درجه (عمود بر تابش خورشید)



شکل ۲ | تصویر سمت چپ باند ۴ لندست ۸ و تصویر سمت راست فیلتر جهت‌دار با زاویه عمود بر سمت تابش

اجزای اصلی (PCA) و ترکیب رنگی.

تصویر باندهای ۴ لندست ۸ می‌باشد که بر روی آن فیلتر جهت دار اعمال شده است.

ب- تحلیل عناصر اجزای اصلی (PCA)

تحلیل اجزای اصلی (PCA) تکنیکی بر مبنای پردازش روی باندهاست که می‌تواند ابعاد داده‌ها را کاهش دهد و اطلاعات چند باندها را در تعداد باندهای کمتری فشرده کند. بنابراین اطلاعات کاربردی جهت شناسایی اجزای در کلیه باندها می‌تواند در دو یا سه جزء فشرده شود.

اولین جزء PCA اطلاعات مادون قرمز نزدیک و میانی را در خود دارد و فایل ترکیب رنگی PCA جهت تفسیر بسیار ایده‌آل به نظر می‌رسد.

این تکنیک برای تصویر لندست ۸ که دارای ۷ باندها و مادون قرمز است کاربرد فراوان دارد و می‌توان پس از اعمال این تکنیک روی تصویر، با ترکیب رنگی سه جزء اول و یا ترکیب جزء اول با دو باند دیگر تصویر بارزی به دست آورد.

ج- ترکیب رنگی

چشم انسان می‌تواند تعداد مشخصی از سایه‌های خاکستری در تصویر را تشخیص دهد ولی قادر است تعداد زیادی رنگ را تفکیک کند (چندصد رنگ مختلف). بنابراین تکنیک عمومی که برای بارزسازی تصویر برای نمایش مقادیر عددی طیف‌ها طراحی شده است، نسبت دادن این رقم‌ها به رنگ‌های مشخص است تا کنتراست نمایشی یک پیکسل با پیکسل‌های اطراف بالاتر رود. در این حالت یک تصویر از نوع خاکستری به رنگی تبدیل می‌شود. تصاویر رنگی به‌ویژه نوع دیجیتالی

ابتدا، نقشه‌ها با یکی از روش‌های گفته شده تهیه می‌شوند. سپس تنها یک نقشه به صورتی که خطوط تکراری حذف شده باشد تهیه می‌شود. در این رویه که از تکنیک‌های مختلفی برای رسیدن به خطوط استفاده می‌شود، خطوط بیشتری در نظر گرفته شده و از منظرهای مختلف، این خطوط استخراج می‌گردند. هر چند این روش باعث شلوغی نقشه می‌شود اما روش مناسبی خواهد بود.

الف- فیلتر کردن

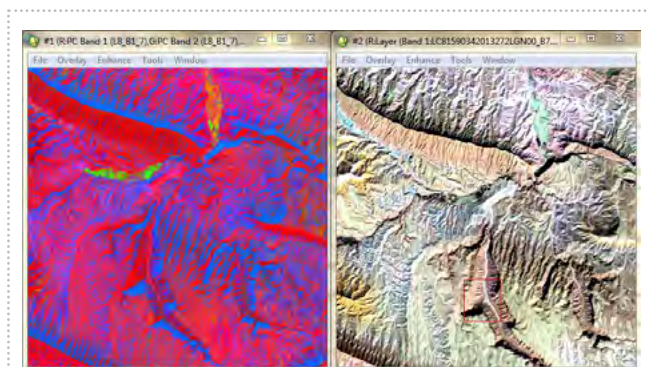
اعمال فیلترهای High Pass بر روی تصاویر موجب انتقال میزان بیشتری از ارزش‌های طیفی بالا می‌شود. در تصویر حاصل، در پدیده‌های دارای ارزش طیفی بالا، جزئیات بیشتری ظاهر می‌گردد و خصوصاً آنکه اختلاف میان پیکسل‌های مجاور که در آنها ارزش طیفی تغییر ناگهانی یافته، بیشتر می‌شود. از این خاصیت در مطالعه و بررسی عوارض خطی و مرزها استفاده می‌شود. این فیلتر مخصوصاً برای مقاصد بارزسازی بسیار مفید است که گاه به همین دلیل به آنها واضح کننده یا بارزکننده لبه می‌گویند.

فیلترهای جهت‌دار (فیلترهای لبه‌یابی) برای آشکارسازی عوارضی چون جاده‌ها، آبراهه‌ها، گسل‌ها و غیره و برای جهتی خاص طراحی شده‌اند (شکل-۱). از فیلترهای لبه‌یاب می‌توان Gradient-Prewitt و Gradient-Sobel، Gradient-Roberts را نام برد.

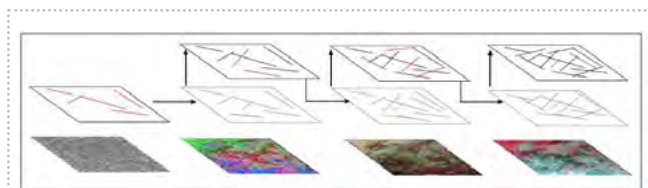
در این تحقیق با استناد به پژوهش‌های گذشته از باندهای ۴ لندست ۸ استفاده گردید (شکل-۲). تصویر سمت راست،

۱۱ ماتریس همبستگی باندهای ۱ تا ۷ تصویر لندست ۸

	تصویر لندست-۸ باند ۱	تصویر لندست-۸ باند ۲	تصویر لندست-۸ باند ۳	تصویر لندست-۸ باند ۴	تصویر لندست-۸ باند ۵	تصویر لندست-۸ باند ۶	تصویر لندست-۸ باند ۷
باند ۱ - تصویر لندست ۸	۱	۱	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸
باند ۲ - تصویر لندست ۸	۱	۱	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸
باند ۳ - تصویر لندست ۸	۰/۹۶	۰/۹۸	۱	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
باند ۴ - تصویر لندست ۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۹
باند ۵ - تصویر لندست ۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۱	۱	۱
باند ۶ - تصویر لندست ۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۱	۱
باند ۷ - تصویر لندست ۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۱	۱



شکل ۳ | تصویر سمت چپ PCA باند ۱ تا ۷ لندست ۸ و تصویر سمت راست ترکیب رنگی باندهای ۷ و ۹



شکل ۴ | مراحل تولید نقشه نهایی از چند نقشه

بالا و پایین داشت و برای بارسازی تصویر استفاده می‌شد [۳].
 Segment Tracing Algorithm (STA) روشی است که خطی از پیکسل‌ها را با اختلاف درجه خاکستری آنها، به صورت خودکار تشخیص داده و به شکل برداری در می‌آورد [۴].
 در این تحقیق برای استخراج اتوماتیک خطواره‌ها از ماژول LINE در نرم افزار PCI استفاده گردید که منطق آن بسیار نزدیک به الگوریتم STA است.

در روند استخراج اتوماتیک خطواره‌ها ابتدا باید عوارض خطی را از یک تصویر استخراج کرده و قطعات خطی را با داشتن شش پارامتر که در زیر توضیح داده شده، به شکل برداری رکورد نمود. این روند شامل سه مرحله: لبه‌یابی، آستانه‌گذاری و استخراج منحنی است.

در مرحله اول، از الگوریتم لبه‌یابی Canny استفاده می‌گردد. لبه‌یابی به روش Canny سه زیر مرحله دارد؛ ابتدا تصویر ورودی با تابع گوسین Gaussian فیلتر می‌شود که شعاع آن با اعمال پارامتر RADI مشخص می‌شود. سپس گرادیان تصویر فیلتر شده محاسبه می‌گردد و در آخر، پیکسل‌هایی که گرادیان آنها مقدار بیشینه را نداشته باشند کنار گذاشته می‌شوند. (با تنظیم توان لبه = ۰).

در مرحله دوم، با آستانه‌گذاری، تصویر به یک تصویر باینری مبدل می‌گردد. هر پیکسل ON مشخص کننده لبه است. مقدار آستانه در پارامتر GTHR مشخص می‌گردد.

در مرحله سوم، منحنی‌ها از تصویر لبه‌باینری شده استخراج می‌گردد. این مرحله شامل چند زیرمرحله است. ابتدا، با

مزیت بالایی برای کاربردهای مختلف دارند به خصوص اگر آنها رنگ کاذب "False-color" باشند.

برای به دست آوردن بهترین ترکیب رنگی (RGB) سه باندهای که بیشترین همبستگی را به هم دارند، از فرمول محاسباتی OIF استفاده می‌شود. در این پژوهش از نرم افزار ILWIS جهت به دست آوردن بهترین ترکیب باندهای استفاده گردید.

نتایج مربوط به ماتریس همبستگی باندهای ۱ تا ۷، تصویر لندست ۸ در جدول ۱ آمده است.

۵- تولید نقشه نهایی

با استفاده از تکنیک‌های گفته شده در بالا برای تصویر موردنظر بیش از ۳ نقشه نهایی می‌توان داشت که هر کدام به تنهایی به عنوان نقشه نهایی در نظر گرفته نمی‌شوند. نقشه‌های خروجی هر تکنیک را می‌توان به عنوان یک لایه در GIS وارد کرده و نقشه‌ای مشتمل بر چندین لایه (چون خود فیلترها چندین لایه می‌سازند) تولید نمود.

مراحل تولید نقشه نهایی از چند لایه در GIS بدین ترتیب است:

- ترسیم خطوط دستی با استفاده از تفسیر بصری روی هر لایه
- حذف خطوط تکراری زمانی که لایه جدید با لایه قدیم همپوشانی می‌کند. در اینجا هنگامی که خطوط با اختلاف طولی روی هم می‌افتند، خطوط کوتاه حذف می‌گردد.
- حذف راه‌ها و عوارض مصنوعی خطی با استفاده از تصویر زمینه.

۳-۱-۲- استخراج اتوماتیک

مزیت و برتری استخراج اتوماتیک خطواره‌ها بر روش دستی استخراج خطواره در مناطقی که چشم انسان قادر به تشخیص آن نیست، یکسان بودن عملیات برای کلیه تصاویر و سرعت بالای آن است [۲].

نرم افزارهای گوناگون، الگوریتم‌های متفاوتی را برای استخراج اتوماتیک پیشنهاد داده‌اند که سه الگوریتم پُر کاربرد عبارت‌اند از: Segment Tracing Algo- و Hough Transform، Haar Transform (STA) [۳].

Hough Transform تکنیکی است بر پایه تفکیک عوارض و اشیا با شکل‌های هندسی متفاوت. این امر مستلزم آن است که شکل هندسی آنها به شکل چند پارامتر معین شده باشد. این تکنیک جهت استخراج خطوط، دایره و بیضی بیشترین کاربرد را دارد. از مزایای این تکنیک بی‌تأثیر بودن گپ‌ها در خط می‌باشد [۸].

Haar Transform به کمک Majumdar و Bahattacharya در سال ۱۹۸۸ برای استخراج آرایش‌ها و تغییرات خطی استفاده شد. در این روش، دامنه‌ای از انرژی‌های گوناگون که در یک منطقه متمرکز شده‌اند را فراهم می‌کند. این تکنیک دو جزء فرکانس

استفاده از الگوریتم باریک کردن لبه‌ها پیکسل‌های عریض‌تر به منحنی تبدیل می‌گردند. سپس پیکسل‌های روی هر منحنی از تصویر استخراج شده و هر منحنی که تعداد پیکسل‌های آن کمتر از LTHR باشد، برای مراحل بعد حذف می‌گردد. در ادامه، پیکسل‌های منحنی به بردار تبدیل می‌شوند. خطوط نتیجه تقریباً بیشترین انطباق را با پیکسل‌های منحنی دارند که میزان این انطباق در پارامتر FTTHR مشخص می‌شود. در نهایت جفت خطوطی که شرایط زیر را داشته باشد، به هم وصل می‌گردند:

۱- دو سر دو خط به سمت یکدیگر بوده و در یک راستا باشند.
۲- دو سر دو خط موردنظر باید تا حد امکان به هم نزدیک باشند (این فاصله باید کمتر از پارامتر DTHR باشد).
انتخاب باند مناسب برای استفاده در مازول LINE نکته مهمی است که می‌توان از مقالات و پژوهش‌هایی که در این رابطه تحقیق شده استفاده نمود [7].

باند ۴ ماهواره لندست ۸ با قدرت تفکیک ۳۰ متر باند مناسبی برای این منظور است زیرا عوارض زمین‌شناسی مثل انواع مواد معدنی و سنگ‌ها و همچنین میزان رطوبت گیاهان در آن قابل تشخیص است. در این پژوهش برای نتیجه‌گیری بهتر جهت استخراج خطواره‌ها، شش پارامتر مذکور به میزان مطلوب تغییر داده شده است. با تغییر مقادیر پارامترها، چندین نقشه خطواره به دست آمد. مقادیر مناسب پارامترها که به صورت تجربی حاصل شده در ادامه آورده شده است.

برای تعیین حدود آستانه پارامترها از مشخصات عمومی گسل در منطقه با در نظر گرفتن طول، انحنای، قطعه بندی و گسستگی‌ها استفاده شده است. پارامترهای متوسط منطقه چنین به دست آمد: $RADI=10$: اندازه ماتریس کرنل گوسینی که به عنوان فیلتر استفاده شده ۱۰ است.

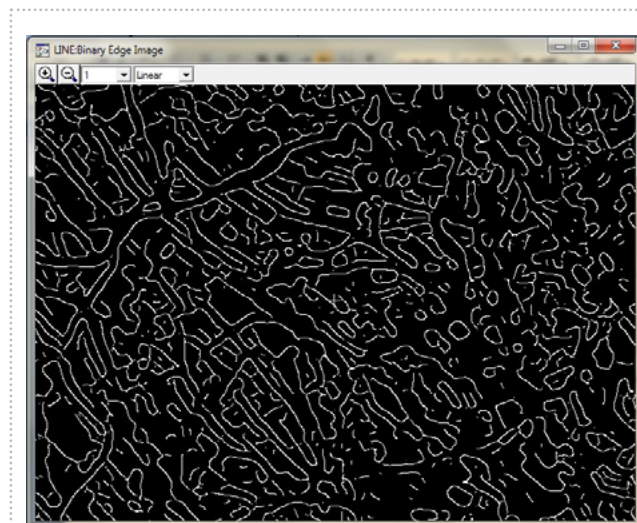
$GTHR=50$: هر جا بیشتر از ۳۰ درصد اختلاف طیفی بود، به عنوان لبه در نظر گرفته شد.
 $LTHR=30$: کمتر از ۳۰ پیکسل انحنای یک خط محسوب می‌کند.
 $FTTHR=5$: اگر دو خط کمتر از ۳ پیکسل فاصله داشتند یک خط محسوب شود.

$ATHR=10$: دو قطعه خط به هم متصل اگر کمتر از ۱۰ درجه باهم زاویه داشته باشند یک خط محسوب می‌شود.
 $DTHR=50$: دو خط در یک امتداد اگر کمتر از ۵۰ پیکسل با هم فاصله داشته باشند یک خط محسوب شود.
با انتخاب پارامترهای بالا در نرم‌افزار PCI برای تصویر ماهواره مذکور، خطوط به دست آمده را که در محیط وکتور ترسیم گردیده است به فرمت Shape تبدیل نموده تا در محیط ArcGIS برای تحلیل‌های بعدی مورد استفاده قرار گیرد.
مراحل استخراج خطواره‌ها در شکل‌های ۵- و ۶ نشان داده شده است؛ پس از وارد کردن باند تصویر موردنظر، دو فایل خروجی که یکی تصویر باینری نتیجه عمل فیلتر "کنی" (شکل-۵) و دیگری فایل برداری که نتیجه استخراج خطواره‌های مورد انتظار است (شکل-۶).

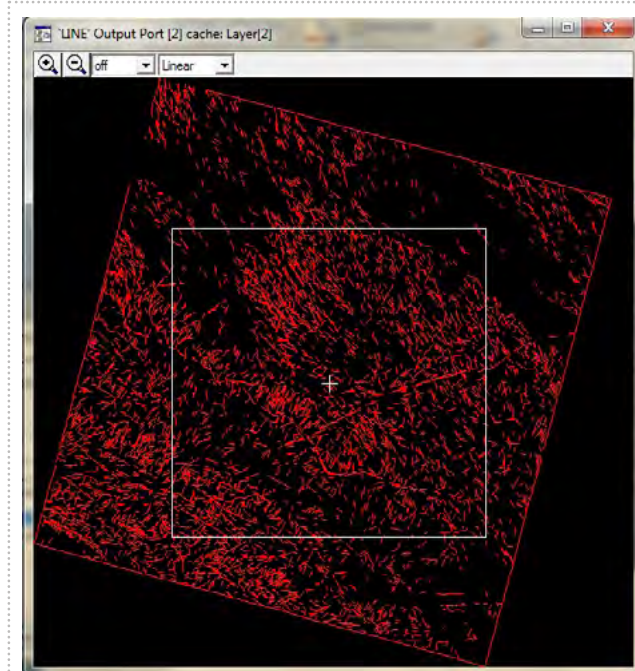
۳-۱-۳- استخراج نیمه اتوماتیک (تلفیق اتوماتیک و دستی)

در این روش که تلفیق دو روش بالاست با در نظر گرفتن کلیه خطواره‌های استخراج شده در روش اتوماتیک به تصحیح یا کامل کردن آن پرداخته شده است. با هم پوشانی نقشه استخراج

استفاده از الگوریتم باریک کردن لبه‌ها پیکسل‌های عریض‌تر به منحنی تبدیل می‌گردند. سپس پیکسل‌های روی هر منحنی از تصویر استخراج شده و هر منحنی که تعداد پیکسل‌های آن کمتر از LTHR باشد، برای مراحل بعد حذف می‌گردد. در ادامه، پیکسل‌های منحنی به بردار تبدیل می‌شوند. خطوط نتیجه تقریباً بیشترین انطباق را با پیکسل‌های منحنی دارند که میزان این انطباق در پارامتر FTTHR مشخص می‌شود. در نهایت جفت خطوطی که شرایط زیر را داشته باشد، به هم وصل می‌گردند:



شکل ۵ | نمونه‌ای از فایل باینری نتیجه عمل فیلتر Canny



شکل ۶ | نمونه‌ای از خطوط استخراج شده در فرمت برداری

نقشه نظارت شده نهایی به دست می آید. یکی دیگر از منابعی که می توان برای استخراج خطوط آبراهه های نهایی از آن کمک گرفت، DEM منطقه می باشد. در بسیاری از مقالات مرور شده با الگوریتم های معمول از DEM نیز خطوط آبراهه ها را استخراج نموده اند، اما تعداد زیادی از خطوط آبراهه های استخراج شده مثل خطوطی که در سیتیج یا خط الرأس ترسیم گردیده اند باید از لیست خطوط حذف شوند، در حالی که احتمال وجود گسل در دره ها و آبراهه ها بیشتر است. بنابراین می توان از DEM آبراهه ها و یا مناطقی که دارای شیب زیادند و احتمال وجود گسل بالاست را استخراج نمود. البته این شیب ها را نباید با شیب های ناشی از چین خوردگی اشتباه گرفت. این دو لایه برای تفسیر موقعیت گسل ها بسیار مناسب هستند. در این پژوهش برای به دست آوردن خطوط آبراهه ها از ابزار هیدرولوژی نرم افزار Arc GIS استفاده و نقشه آبراهه های اصلی ترسیم شده است (شکل ۷-۷). همچنین از DEM، مناطقی که دارای شیب بالایی هستند با تهیه نقشه شیب استخراج شده است (شکل ۸-۸).

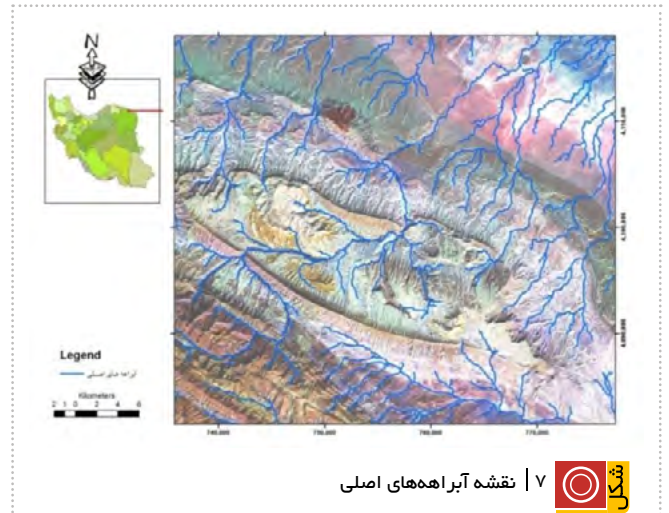
در این مرحله با همپوشانی لایه های تصویر ماهواره لندست و نقشه آبراهه ها در محدوده تاق دیس نادر و با استفاده از تصویر زمینه به تفسیر آنها پرداخته و با مشاوره و راهنمایی زمین شناسان آشنا به منطقه نقشه خطوط آبراهه های نهایی ترسیم گردید.

۴- نتایج

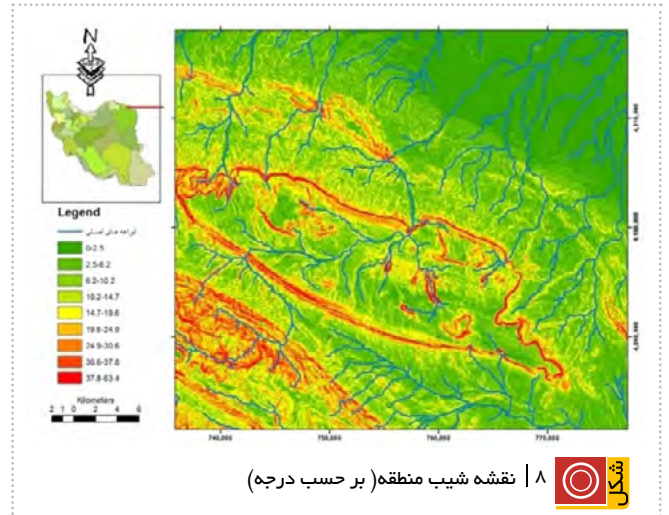
در این پژوهش از تصاویر ماهواره لندست ۸ به علت شانزده بیتی بودن آن استفاده شده است و این در حالی که تصاویر ماهواره لندست ۷ هشت بیتی است.

استخراج گسل، فرایند زمان بری است و نیاز به مطالعه از زوایای بسیار دارد. هرگز وجود یک خطواره روی زمین نشانه وجود گسل نبوده و همچنین اطمینان از وجود گسل روی زمین نشان از موقعیت دقیق آن ندارد زیرا در برخی موارد با وجود نشانه یا

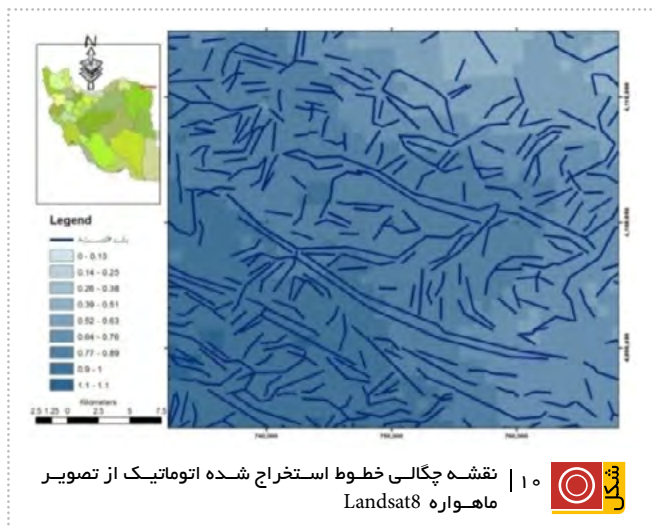
شده در روش اتوماتیک و تصویر بارز شده در روش دستی، خطوطی که ممکن است جامانده باشد تکمیل و برخی خطوط که به اشتباه ترسیم شده است، حذف می گردد و بدین ترتیب



شکل ۷ | نقشه آبراهه های اصلی



شکل ۸ | نقشه شیب منطقه (بر حسب درجه)



شکل ۹ | نقشه چگالی خطوط استخراج شده اتوماتیک از تصویر ماهواره Landsat8



شکل ۱۰ | نقشه خطواره استخراج شده از بانده ۴ لندست

باند ۴ لندست ۸ می باشد.

۴-۱-۱- تحلیل چگالی خطواره‌ها

هدف از تحلیل چگالی خطواره‌ها، محاسبه فراوانی خطواره‌ها در واحد سطح است [۱].



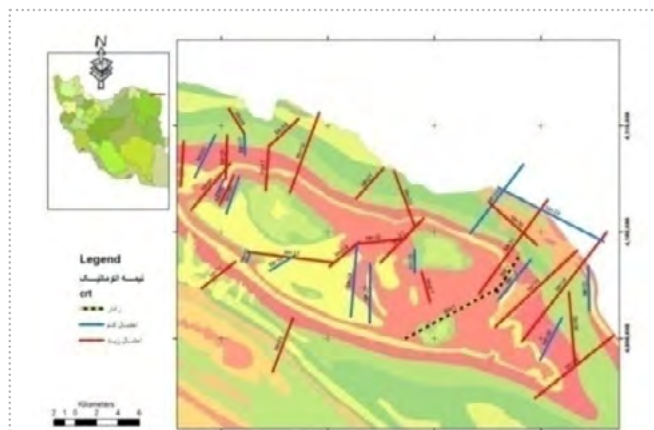
شکل ۱۳ | نقشه گسل نهایی خروجی روش نیمه اتوماتیک

اثر گسل روی زمین، در اصل خود گسل در فاصله‌ای از این اثر قرار دارد.

یکی از موانع آشکار شدن گسل روی زمین، وجود رسوبات در منطقه است که اگر زمین لرزه‌ای پس از نهشته‌های رسوبی رخ نداده باشد، به کلی نشانه‌های گسل را از بین خواهد برد. منطقه مورد مطالعه نیز که متعلق به یکی از حوضه‌های رسوبی کشور به نام کپه‌داغ است، از این امر مستثنا نیست. اما وجود توپوگرافی شدید در این منطقه کار را تا حدی آسان ساخته است. البته در قسمت غرب منطقه به علت هموار بودن چنین مانعی وجود دارد.

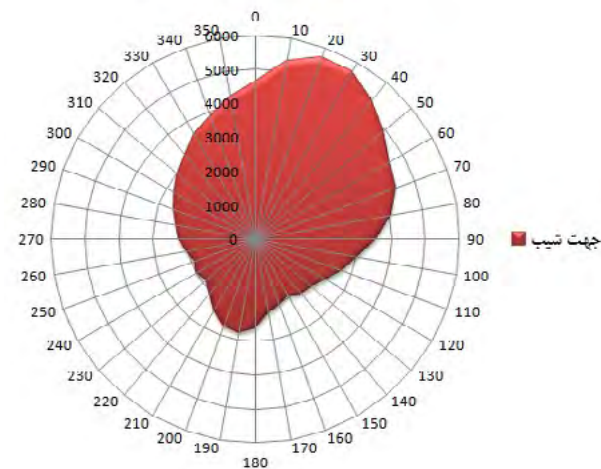
۴-۱- ارزیابی نتایج حاصل از روش اتوماتیک

تمرکز این تحقیق بر روش نیمه‌اتوماتیک است، بدین سبب ابتدا باید نتایج حاصل از روش اتوماتیک ارزیابی شده و پس از کنترل و تأیید خطوط به ترسیم دستی مبتنی بر تجربه زمین‌شناس آشنا به منطقه پرداخته شود. همانگونه که در شکل ۹- ملاحظه می شود خطوط آبی رنگ نتیجه استخراج اتوماتیک از تصویر



شکل ۱۴ | نقشه احتمال گسل بر روی سازندهای زمین‌شناسی- خطوط قرمز نشانه احتمال بالا و آبی نشانه احتمال کم وجود گسل است.

نمودار پراکنندگی جهت شیب



شکل ۱۱ | نمودار پراکنندگی جهت شیب منطقه



شکل ۱۵ | نمودار گل‌سرخ مربوط به گسل‌های منطقه مورد مطالعه در روش نیمه‌اتوماتیک



شکل ۱۶ | نمودار گل‌سرخ خطوط استخراج شده از تصویر ماهواره Landsat8

از دور مورد نیاز است. البته با همین تعداد گسل که از این مرحله به دست آمد، به ارزیابی آن پرداخته شد. واضح است که استخراج گسل های قطعی منطقه فقط با داشتن تصاویر اپتیکی به دست نخواهد آمد و نیاز به مراجع مختلف دیگر سنجش از دور نظیر داده های راداری، GPS، ماهواره های ثقل سنجی (البته با توان تفکیک مکانی بالا) و... دارد. با این وجود، گسل های استخراج شده نهایی را با توجه به کامل بودن نشانه های روی تصویر می توان به دو دسته "احتمال زیاد" و "احتمال کم" دسته بندی نمود (شکل-۱۴). همچنین داشتن اطلاعات میدانی نظیر مشاهدات مستقیم، برداشت های لرزه نگاری، برداشت های ثقل سنجی و یا راداری GPR در رسیدن به نقشه گسل نهایی کمک خواهد نمود [۵].

نتیجه ای که می توان از نمودار گل سرخی شکل-۱۵ گرفت آن است که با توجه به محدود بودن منطقه (ساختمان نادر) در کل منطقه کپه داغ، امتداد های گسل ها در ۳۰ درجه و صفر درجه بیشتر بوده و امتداد ۱۲۰ درجه گسلی قابل استخراج نبوده است؛ اگرچه می توان با مشاهدات میدانی به این امتداد نیز برخورد نمود.

نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا به کمک تصاویر ماهواره ای لندست ۸، گسل های موجود در منطقه با سه روش دستی، اتوماتیک و نیمه اتوماتیک استخراج گردید که مراحل انجام هر روش در مقاله توضیح داده شد. سپس نتایج حاصله با گسل های موجود در منطقه مقایسه شد. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که با استفاده از روش نیمه اتوماتیک می توان گسل های موجود در این منطقه را با دقتی مناسب استخراج نمود. ■

در این تحلیل نقشه ای تولید می گردد که در آن تعداد خطواره ها در واحد سطح ترسیم می شود. در همین راستا نقشه چگالی خطواره ها در نرم افزار ArcGIS ترسیم گردید (شکل-۱۰).

۴-۱-۲- بررسی جهت های خطوط استخراج شده

در بیشتر مقالات و تحقیقات، جهت خطواره ها معمولاً توسط نمودار گل سرخی یا رُز دیاگرام بررسی و تحلیل می شود. این نمودارها فراوانی خطواره ها را در فواصل زاویه ای یکسان نمایش می دهد. این فاصله در این تحقیق ۱۰ درجه است. به منظور بررسی ارتباط جهت خطواره ها با امتداد جهت شیب، نمودار گل سرخی برای جهت شیب نیز ترسیم شده که در شکل-۱۱ آمده است. از مشاهده نمودار می توان چنین تفسیر نمود که شیب منطقه بیشتر در ۲۰ تا ۳۰ درجه امتداد دارد و فراوانی آن بیشتر از ۵۵۰۰ می باشد و کمترین امتداد شیب در ۱۵۰ درجه است. کشیدگی و امتداد کوه ها در سمت عمود بر امتداد شیب ها بوده و بیانگر کشیدگی کوه های منطقه در امتداد ۱۲۰ درجه یا ۳۰۰ درجه یا به عبارتی جنوب غربی به شمال شرقی است.

۴-۲- ارزیابی نتایج حاصل از روش نیمه اتوماتیک

در این مرحله که با کمک و مشاوره کارشناس مجرب زمین شناسی منطقه انجام گرفت، با بررسی خطواره های منتج شده در بخش استخراج اتوماتیک و بررسی رفتار آرایشی رنگ منطقه و همچنین استفاده از امتداد و شکستگی های آبراهه های اصلی، خطوطی که گسل بودن آنها محتمل بین ۹۰ تا ۱۰۰ درصد بود، ترسیم گردید. بدیهی است که خطوط استخراج شده از نظر تعداد بسیار اندک خواهند بود زیرا برای تأیید تمامی خطواره ها شواهد بیشتری چه از نظر اطلاعات میدانی و چه داده های سنجش

منابع

- [1]. Greenbaum, D., Review of remote sensing applications to groundwater exploration in basement and regolith, Brit Geol Survey Rep OD 85/8, 1985, 36 p.
- [2]. GÜLCAN, S., lineament analysis from satellite images, north-west of Ankara, Ms. thesis, Middle East Technical University, 2005, 38 p.
- [3]. Koçal, A., A Methodology for Detection and Evaluation of Lineaments from Satellite Imagery, Ms. thesis, Middle East Technical University, 2004, 121 p.
- [4]. Koike, K., Nagano, S., Ohmi, M., Lineament Analysis of Satellite Images Using A Segment Tracing Algorithm (STA), Computers and Geosciences, 1995, Vol. 21, No. 9, 1091-1104.
- [5]. Mallast, U., Gloaguen, R., Geyer, S., Rodiger, T., Siebert, C., Semi-automatic extraction of lineaments from remote sensing data and the derivation of groundwater flow paths, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2011, Vol.8, 1399-1433
- [6]. O'leary, D.W., Freidman, J.D., and Pohn, H.A., Lineament, linear, lineation: Some proposed new definitions for old terms, Geol. Soc. Am. Bull. 87, 1976, 1463-1469.
- [7]. Sabins, F.F., Remote Sensing: Principles and Interpretation, 3rd Ed. W. H. Freeman and Company, New York, (1996), 494 p.
- [8]. Wang, J., Member, IEEE, Howarth, Philip J., Use of the Hough Transform in Automated Lineament Detection, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1990, Vol. 28, No. 4, 561-566.