



فصلنامه زمین ساخت
زمستان ۱۳۹۴، سال اول، شماره ۴

استخراج خطوط و شکستگی‌های خرم‌آباد از تصاویر سنجنده LANDSAT 8 و ASTER با استفاده روش بصری و رقومی خودکار

زهرا چراغی^۱، محمد مهدی فرهپور*^۲، رامین ساریخانی^۲، آرتمیس قاسمی^۲

۱. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشگاه لرستان

۲. عضو هیات علمی دانشگاه لرستان

چکیده

یکی از کاربردهای دورسنجی در زمین‌شناسی تهیه نقشه خطوط و شکستگی‌ها بعنوان یکی از مهم‌ترین مسائل مطالعات زمین‌شناسی مناطق مختلف است. هدف از این تحقیق استخراج خطوط و شکستگی‌های حوضه آبریز خرم‌آباد با استفاده از تصاویر LANDSAT 8 و ASTER به روش دستی و خودکار می‌باشد. بعد از تصحیحات هندسی، تکنیک‌های بارسازی یعنی فیلترگذاری و تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی تصاویر فوق اعمال شد. استخراج خطوط و شکستگی‌ها بر روی این تصاویر به دو روش دستی و خودکار انجام شد. خطوط و شکستگی‌های خودکار با گسل‌های نقشه‌ی زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای منطقه مقایسه و تا حد ممکن تصحیح شدند. در نهایت با تهیه نقشه خطوط و شکستگی‌های نهایی، دیاگرام گل‌سرخ‌ی آن ترسیم شد. مقایسه خطوط و شکستگی‌های ترسیم شده به روش‌های مختلف حاکی از آنست که تعداد خطوط و شکستگی‌های استخراج شده به روش خودکار هم‌خوانی کمی با خطوط و شکستگی‌های استخراج شده به روش دستی و نقشه‌های زمین‌شناسی دارند. با وجود این راستای غالب در این دیاگرام گل‌سرخ‌ی راستاهای شمال‌غربی - جنوب‌شرقی و شمال‌شرقی - جنوب‌غربی را نشان می‌دهد که همسو با راستای خطوط و شکستگی‌های ترسیم شده در نقشه زمین‌شناسی منطقه می‌باشد. مطابقت نقشه تراکم خطوط و شکستگی‌ها با نقشه ریخت‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که علاوه بر رخنمون سازندها تمامی عوارض سطحی همانند خطوط و شکستگی‌ها جهت یافتگی داشته و متاثر از ساختارهای زمین‌شناسی منطقه هستند. بنابراین با وجود آنکه خطوط و شکستگی‌های ترسیم شده بروش خودکار صحت کمی دارند؛ اما از مورفولوژی منطقه که متاثر از ساختارهای زمین‌شناسی است تبعیت می‌نمایند. یعنی در صورتی که مطالعه آماری خطوط و شکستگی‌ها مورد نظر باشد ترسیم خودکار آنها قابل پذیرش و مستند می‌باشد.

کلید واژه‌ها: استخراج خطوط و شکستگی‌ها، ASTER، LANDSAT 8، روش دستی، روش خودکار

۱- مقدمه:

خطواره‌های گسلی ساختارهایی هستند که بر روی تصاویر ماهواره‌های تعیری می‌شوند (عباسی و یساقی، ۱۳۹۰). نخستین بار (Hobbs, 1904) خطواره را خطی از چشم اندازهای زمینی برشمرد که الگوی پنهانی مربوط به گسلش در پی سنگ را آشکار می‌سازد، سپس (Oleary et al., 1976) خطواره را عمدتاً به صورت عارضه خطی ساده یا مرکب سطحی که اجزای منظم آن یا در راستای مستقیم قرار دارند و یا دارای انحنا یا ملایمی هستند و اختلاف آشکاری نیز با اشکال و پدیده‌های مجاورشان دارند و احتمالاً بازگو کننده‌ی پدیده‌های زیرسطحی‌اند و به منشأهای تکتونیکی مختلفی متعلق هستند (عباسی و یساقی، ۱۳۹۰). در اکثر نواحی خصوصاً در جاهایی که واحدهای سنگی رخنمون دارد، ساختارهای شکنا می‌توانند به واسطه فرسایش تفریقی به طور کامل در سنجش از دور مشاهده شوند (Papp & Cudahy, 2002). بطور کلی ساختارهای زمین‌شناسی مانند شکستگی، گسل، درزه، زون‌های برشی و فولیاسیون در مطالعات سنجش از دور خود را به صورت خطواره نشان می‌دهند (کمالی و همکاران، ۱۳۹۲).

به نقشه درآوردن خطواره‌ها و آنالیز آن‌ها از طریق داده‌های سنجش از دور، ابزار مفیدی جهت مطالعات تکتونیکی و ساختاری ناحیه‌ای است. به طور معمول شناسایی و تفسیر خطواره‌ها با استفاده از برداشت‌های زمینی و عکس‌های هوایی انجام می‌گیرد که این روش برای مناطق وسیع، بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است. لذا افراد زیادی کوشیده‌اند تا با استفاده از تصاویر ماهواره‌های و تکنیک‌های سنجش از دور به شناسایی خطواره‌ها پرداخته و خطواره‌های ساختاری و غیر ساختاری را در زمان کمتری نسبت روش‌های سنتی معمول، با دقت قابل قبول و صرف هزینه‌ی بسیار کمتر مطالعه نمایند. هدف از این پژوهش کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور با استفاده از تصاویر سنجنده LANDSAT و ASTER برای استخراج خطواره‌ها به دو روش تفسیر دستی و رقومی خودکار، تهیه نقشه گسل‌های منطقه، مقایسه این نقشه‌ها با یکدیگر و با

گسل‌های نقشه‌های زمین‌شناسی و در نهایت به دست‌آوردن نقشه خطواره نهایی منطقه است.

موقعیت و مشخصات جغرافیایی منطقه:

محدوده مطالعاتی در غرب ایران و در مرکز استان لرستان قرار گرفته است. این محدوده بین طول‌های "۲۰' ۵۳" ۴۷° تا "۱۷' ۵۲" ۳۳° شرقی و عرض‌های "۲۰' ۵۳" ۴۷° تا "۱۵' ۵۰" ۴۸° شمالی واقع شده است. محدوده مطالعاتی خرم‌آباد شامل یک دشت اصلی (دشت مرکزی) و تعدادی دشت‌های پراکنده کوچک از جمله دشت ده‌پیر، کمالوند و خرم‌آباد می‌باشد. محدوده مطالعاتی خرم‌آباد با وسعت ۲۵۰۱/۴ کیلومتر مربع بخشی از حوضه آبریز کرخه و در شرق آن واقع شده است (شکل ۱).

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از دو نوع تصویر لندست ۸ و استر استفاده می‌شود. تصاویر لندست ۸ از سال ۲۰۱۳ در ۱۱ باند تهیه می‌شوند که در این پژوهش از سین اطلاعاتی گذر ۱۶۶، ردیف ۳۷ استفاده شده است. تصاویر استر مربوط به یکی از ۵ سنجنده ماهواره TERRA به نام سنجنده استر (ASTER) است که در بیش از ده باند تصویر برداری می‌نماید. به همین دلیل تصاویر استر از جمله تصاویری است که در شاخه‌های مختلف زمین‌شناسی کاربرد فراوانی دارند (Di Tommaso & Rubinstein, 2007). پیش از استفاده از تصاویر محدوده مورد نظر لازم است از نظر هندسی و رادیومتریکی تصحیحاتی انجام شود تا تصاویر برای پردازش و فیلتر-گذاری برای بارسازی و استخراج خطواره‌ها آماده شوند. تصحیح هندسی (Geometric correction) عبارت است از یکسان سازی و یکنواخت نمودن مقیاس تصویر در تمام نقاط آن به نحوی که سیستم مختصات تمام نقاط تصویر بر سیستم مختصات متناظر زمینی منطبق شوند. تصاویر سنجش از دور برخلاف نقشه‌ها از ابتدا در یک سیستم مختصات مشخص قرار ندارند. تصحیح هندسی علاوه بر حذف و کاهش خطاهای هندسی، یک سیستم مختصات مشخص را نیز به تصویر اعمال کرده و تا حدی خصوصیات یک نقشه را از نقطه نظر هندسی به تصویر می‌دهد (اکبری، ۱۳۹۳).

تصاویر لندست معمولا بصورت تصحیح شده در اختیار کاربران قرار می‌گیرد و نیاز به تصحیح ندارند.

به این ترتیب داده‌های سنجنده لندست ۸ استفاده شده؛ همگی به صورت ارتو شده بوده و تنها عملیات موزاییک کردن و برش منطقه مطالعاتی بر روی آن‌ها انجام شده است. داده‌های سنجنده استر با استفاده از تصویر لندست در بخش Map نرم‌افزار 4.8 Envi تصحیح هندسی شدند.

پس از تصحیح هندسی، تصحیحات رادیومتریک (Radiometric correction) انجام می‌شود. هدف از انجام این نوع تصحیحات، حذف امواج الکترومغناطیسی مازادی است که علاوه بر امواج اصلی بازتابیده شده از سوی عوارض، توسط جو و عوارض مجاور در هنگام تصویر برداری هر عارضه به سنجنده رسیده است. به عبارت دیگر انرژی ثبت شده توسط سنجنده برای هر عارضه، فقط نشانگر انرژی بازتابیده شده آن عارضه نیست.

در این مطالعه از آنجایی که امکان حذف کامل خطای رادیومتریک و ایجاد یک تصویر بازتابی دقیق مستلزم در اختیار داشتن پارامترهای محیطی و جوی زیادی است و این اطلاعات خصوصا در مورد تصویر استر منطقه در اختیار نبود؛ صرفا از روش‌های تصحیح رادیومتریک Dark subtract و Destripe برای آماده‌سازی تصویر استر برای مرحله پردازش استفاده شد.

پردازش و بارزسازی تصویر: مجموعه عملیات و پردازش‌هایی که سبب بارزسازی پدیده‌ها و عوارض مورد مطالعه در تصویر می‌گردد، بارزسازی نامیده می‌شود. در این مطالعه پس از تصحیح هندسی تصویر، تکنیک‌های بارزسازی مکانی بر روی تصاویر لندست و استر صورت گرفت. با توجه به نوع هدف تحقیق (استخراج خطواره) و بر اساس تحقیقات مشابه و نتایج تحقیقات انجام شده، تکنیک‌های بارزسازی خطواره‌ها مورد استفاده شامل ترکیب تصاویر رنگی، اعمال فیلتر و تجزیه مولفه اصلی بوده است.

تصاویر ترکیب رنگی: ترکیب باندهای مختلف هر تصویر کاربردهای فراوانی دارد؛ ولی مهم‌ترین کاربرد آن‌ها

در تفسیر دستی و استخراج اطلاعات به صورت سنتی است. با انتخاب نوع سنجنده و همچنین ترکیب رنگی مناسب برای هر موضوع، یک مفسر باتجربه بسیاری از عوارض مورد نظر را بر روی تصویر تشخیص دهد. در این تحقیق از ترکیب باندهای ۷۵۲ لندست ۸ که معادل ترکیب باندهای ۷۴۲ لندست ۷ می‌باشد استفاده شده است. در حقیقت باند ۵ لندست ۸ معادل باند ۴ لندست ۷ بوده و همان خصوصیات را داراست. ترکیب باندهای ۱۲۳ در سیستم VNIR (Visible-Near Infrared) نیز به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالاتر و دارا بودن محدوده‌های طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک نیز ترکیبی است که در استخراج خطواره‌ها قابلیت بسزایی دارد.

تجزیه مؤلفه‌های اصلی (Principle Components Analysis -PCA):

تکنیکی بر مبنای پردازش بر روی تصاویر ترکیب باندهای است که با کاهش حجم داده‌ها، اطلاعات چند باند را در تعداد باندهای کمتری فشرده می‌کند (Gupta, 2003; Sarp, 2005; Kocal, 2004). با توجه به اینکه تصاویر باندهای مختلف یک منطقه دارای همبستگی بوده و اطلاعات مشابهی را منتقل می‌کنند؛ بنابراین به کمک روش PCA می‌توان اطلاعات کاربردی جهت شناسایی عوارض مورد نظر در کلیه باندها را در دو یا سه جزء فشرده نمود. تصاویر همه باندها اغلب دارای همبستگی زیادی با هم هستند و اطلاعات مشابه را منتقل می‌کنند. اولین جزء یا لایه در تصویر حاصل اعمال این تکنیک، اطلاعات مادون قرمز نزدیک و میانی را در خود دارد که برای تفسیر بسیار ایده آل به نظر می‌رسد. این تکنیک برای تصویر لندست ۸ که دارای ۷ باند مرئی 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 (افشاری و همکاران، ۱۳۹۵).

با استفاده از نرم‌افزار 4.8 Envi این تکنیک انجام شد به گونه‌ای که در تصویر لندست ۸ تجزیه مولفه اصلی برای باندهای ۷، ۵ و ۲ و در تصویر استر تجزیه مولفه اصلی بر روی باندهای ۱، ۲ و ۳ انجام گردید که خروجی این دستور

۲- روش اتوماتیک: در روش اتوماتیک برای استخراج اتوماتیک خطواره‌ها، از تکنیک‌های کمکی کامپیوتری استفاده شد. استخراج خطواره به روش خودکار دو مزیت اصلی دارد: ۱- در مدت زمان کوتاهی تمام خطواره‌ها را شناسایی و استخراج می‌کند؛ ۲- خطواره‌هایی را که با چشم قابلیت رؤیت نیستند، ترسیم می‌کند (Sarp, 2005).

در روش اتوماتیک که خطواره‌ها به کمک نرم افزار استخراج می‌گردد، علاوه بر ساختارهای زمین شناسی خطی (مانند گسل‌ها، درزه‌ها و مرز بین لایه بندی طبقات و ...)، عوارض خطی غیر زمین شناسی (مانند جاده‌ها، رودخانه‌ها، ستیخ‌ها و ...) نیز به عنوان خطواره رسم می‌شوند. بنابراین نقشه به دست آمده از این طریق از اطمینان کافی برخوردار نیست و مستلزم اصلاح می‌باشند. مهم‌ترین مزیت این روش‌های اتوماتیک صرفه‌جویی در زمان است. در مرحله استخراج خطواره‌ها به روش اتوماتیک، خطواره‌ها با استفاده از پارامترهای مشخص (که در ادامه آورده شده‌اند) از تصویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم افزار PCI Geomatica (2013) و در قسمت الگوریتم‌ها، از الگوریتم line نرم‌افزار استخراج شدند (شکل‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱). پارامترهای استفاده شده برای استخراج خطواره‌ها به شرح ذیل تعریف می‌شوند (Kocal et al., 2006):

RADI: سایز فیلتر

GTHR: اختلاف طیفی در لبه‌ها

LTHR: حداقل طول خط

ATHR: حداکثر زاویه مجاز بین قطعات یک خط

DTHR: حداقل فاصله بین نقاط انتهایی و کانتورهاست.

الف) استخراج خطواره‌های کوچک

جهت استخراج خطواره‌های کوچک پارامترها و مقادیر زیر مورد استفاده قرار گرفتند (فرویدی و همکاران، ۱۳۸۶).

Radius o filter in pixels, RADI=10

Threshold for edge gradient, GTHR=75

Threshold for curve length, LTHR=30

Threshold for line fitting error, FTHR=3

Threshold for angular difference, ATHR=1

Threshold for linking distance, DTHR=40

در سه باند جای می‌گیرد. در این پژوهش از مولفه اول به دلیل دارا بودن ۸۰ درصد از اطلاعات برای شناسایی خطواره استفاده شده است (شکل ۲ و ۳).

فیلترگذاری: حذف، کاهش و یا تقویت ارزش عددی یک طول موج انتخابی در هر پیکسل نسبت به پیکسل‌های مجاور که باعث ایجاد تصویر جدیدی می‌گردد فیلترگذاری نامیده می‌شود (علوی پناه، ۱۳۸۵). از آنجاکه در تصاویر ماهواره‌ای، خطواره‌های عمود بر راستای تابش خورشید، به طرز بهتری نمایان می‌شوند، لذا یکی از روش‌های سودمند برای بارزسازی سیمای خطی سیستم‌های گسل / شکستگی، استفاده از فیلترهای جهتی است (طاهرکیا، ۱۳۷۵ و Sabins, 1996). به کمک نرم افزار Envi 4.8 با جعبه فیلتر ۳*۳، کرنل‌های لازم (جدول ۱ الف تا د) را انتخاب و سپس فیلترهای جهتی (جدول ۲) مورد نظر اعمال شد (شکل‌های ۴ و ۶).

داده‌های بدست آمده

تکنیک‌های مختلف برای استخراج خطواره از تصاویر وجود دارد. در این تحقیق پس از اتمام عملیات آماده‌سازی تصویر، استخراج خطواره‌ها به دو روش دستی و رقومی خودکار انجام گردیده است.

۱- روش دستی: در روش دستی، بعد از اجرای تکنیک‌های فیلتر جهتی و ترکیب رنگی تصاویر برای افزایش کیفیت، با استفاده از تفسیر بصری یا چشمی در محیط نرم‌افزار ArcGIS تمام خطواره‌های گسلی موجود در منطقه استخراج گردید (شکل‌های ۵ و ۷). از مزیت‌های این روش این است که به راحتی می‌توان خطواره‌های غیر مرتبط با زمین‌شناسی، همانند جاده، ریل راه‌آهن و غیره را از خطواره‌های ساختاری تمیز داد. در استخراج خطواره‌های گسلی به این روش از شواهدی متعددی برای شناسایی این خطواره‌ها استفاده گردید. برخی از این نشانه‌ها شامل جابه‌جایی لایه‌ها، رودخانه‌ها و مخروط افکنه‌ها، خطی شدن پوشش گیاهی، دره‌های خطی، پرتگاه‌های گسلی، تغییرات ناگهانی مربوط به لیتولوژی که همراه با تغییر ریخت اشکال سطح زمینی است، تغییر ناگهانی جهت یا مقدار شیب و یا راستای لایه‌ها، قطع‌شدگی امتداد بیرون‌زدگی‌ها بوده است.

تراکم خطواره‌گی در (Photolineament Factor) هر سلول به دست می‌آید.

$$\text{رابطه (۱)} \quad (PF) = \left(\frac{a}{A}\right) + \left(\frac{b}{B}\right) + \left(\frac{c}{C}\right)$$

در این رابطه مقادیر A، B و C به ترتیب میانگین پارامترهای طول خطواره‌ها (a)، تقاطع خطواره‌ها (b) و تعداد خطواره‌ها (c) در کل منطقه است. در این پژوهش برای ترسیم این نقشه از نرم افزار Arc GIS 10.3، قسمت line density استفاده شده است و سایز سلول (cell size) ۲۲۲/۳۰ متر انتخاب در نظر گرفته شد (شکل ۱۶).

بحث و نتیجه‌گیری

برای تحلیل و تفسیر نقشه شکستگی‌ها از نمودارهای گوناگونی استفاده می‌شود که از جمله نمودار گل‌سرخ (دیگرام گل‌سرخ)، بافت نگار و نمودار راستا بر پایه فاصله پیمایش را می‌توان نام برد (رنگزن و سرافراز، ۱۳۹۰). برخی از این نمودارها مانند نمودار گل‌سرخ (که در این مقاله استفاده شده) فقط در مورد داده‌های دو بعدی کاربرد دارند. به همین دلیل، این دسته از نمودارها برای مطالعه شکستگی‌ها بسیار مناسب‌اند (برجسته، ۱۳۷۲). آنچه که در این نمودارها خصوصاً نمودار گل‌سرخ حائز اهمیت است مقایسه کلی و آماری راستای خطواره‌های ترسیم شده با یکدیگر می‌باشد، یعنی کدام راستا، راستای غالب بوده و در چه راستاهایی خطواره وجود دارد.

در اینجا بعد از ترسیم خطواره‌ها به روش‌های مختلف، دیگرام گل‌سرخ تمام نقشه‌ها از طریق نرم افزار Rock works 16، قسمت liner رسم شده‌اند (شکل‌های ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۵). در تمامی این رز دیگرام‌ها ملاحظه می‌گردد روند غالب در منطقه عمدتاً در دو راستای شمال غربی - جنوب شرقی و سپس شمال شرقی - جنوب غربی است. نقشه خطواره‌های استخراج شده به روش خودکار برای هر دو نوع تصویر سنجنده لندست ۸ و استر به ظاهر با یکدیگر متفاوت بوده و بنظر می‌رسد در هر روشی که نقشه بدست آمده براساس ویژگی‌های هر تصور عوارض متفاوتی به عنوان خطواره در نظر گرفته شده و ترسیم شده است؛ اما آنچه که در تفسیر کلی راستای خطواره‌ها

ب) استخراج خطواره‌های بزرگ

جهت استخراج خطواره‌های بزرگ پارامترها و مقادیر زیر به شرح ذیل وارد شد (Kocal et al., 2006):

Radius o filter in pixels, RADI=11
Threshold for edge gradient, GTHR=25
Threshold for curve length, LTHR=90
Threshold for line fitting error, FTTHR=4
Threshold for angular difference, ATHR=15
Threshold for linking distance, DTHR=200

صحت‌سنجی

معمولاً پس از ترسیم اتوماتیک خطواره‌ها، بایستی صحیح بودن هر یک از آنها را خصوصاً با پیمایش صحرائی تایید نمود. در اینجا بدلیل آنکه هدف ما ارزیابی خطواره‌های برگرفته شده از تصاویر فیلتر شده است؛ لذا ارزیابی صحت خطواره‌های ترسیم شده را در اینجا با توجه به قابلیت‌های برنامه Google Earth، به کمک تصاویر این برنامه بررسی و تا حد ممکن نقشه‌ها را اصلاح نموده‌ایم. لذا پس از استخراج خطواره‌ها در دو شیوه دستی و اتوماتیک با استفاده از تصاویر فیلتر شده، به کمک برنامه Arc GIS 10.3 فایل با فرمت KMZ خروجی گرفته شد تا توسط نرم افزار Google Earth خطواره‌ها فراخوانی شده و خطواره‌هایی که اشتباهی ترسیم شده یا غیرمرتبط یا غیرساختاری مانند مرز بین لایه‌بندی‌ها، آبره‌ها و ... حذف گردیدند تا در نهایت نقشه دقیق‌تری به دست آید (شکل ۱۴).

در شکل (۱۵) نیز خطواره‌های استخراج شده به روش دستی بعد از ترکیب باندی، اعمال فیلتر و تجزیه مؤلفه‌های اصلی به همراه زر دیگرام (براساس طول خطواره‌ها) آورده شده است.

آنالیز تراکم خطواره‌ها

با استفاده از روش پیشنهادی (Hardcastle, 1995) نقشه‌های تراکم خطواره‌گی مناطق مختلف رسم شد. در این روش ابتدا خطواره‌های استخراج شده در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی فراخوانده شده و سپس با استفاده از یک شبکه مناسب پارامترهای مختلف مانند طول خطواره‌ها (a)، تقاطع خطواره‌ها (b) و تعداد خطواره‌ها (c) در درون هر سلول شبکه تعیین شده و سپس با استفاده از رابطه (۱)

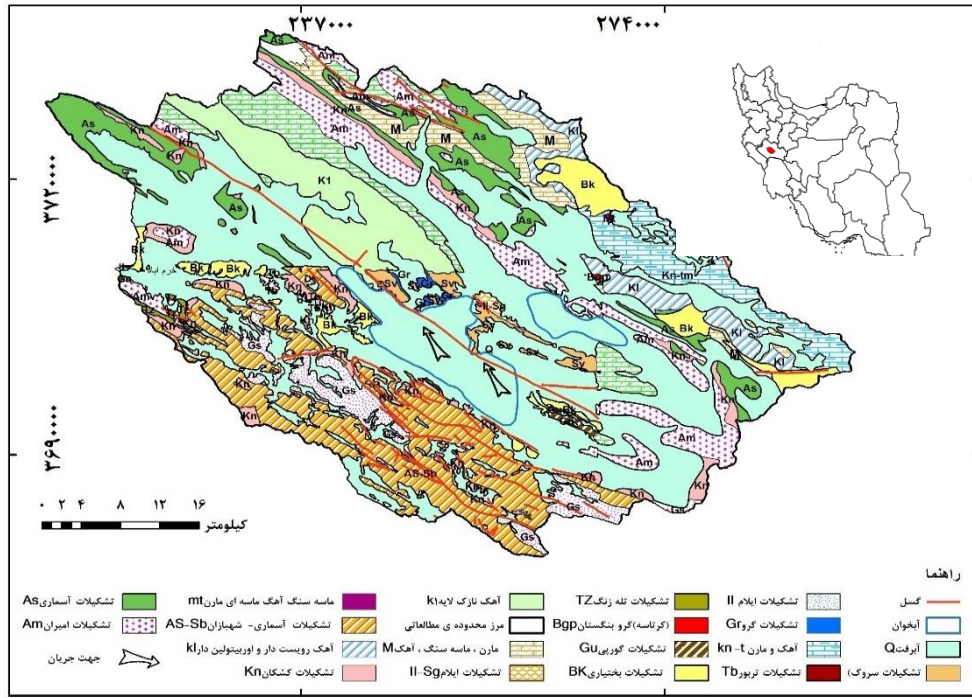
شکننده رفتار نموده و ساختارهای شکننده مانند درزه و گسل در آنها ایجاد شده است. البته لازم به ذکر است عمقی که این سازندها در آن دچار این نوع تغییر شکل بوده اند نیز زیاد نبوده است (Ramsay & Hubber, 1987). در سایر مناطقی که تراکم شکستگی پایین است، سازندهای گورپی و امیران گسترش دارند که مقاومت مکانیکی ضعیفی داشته‌اند (گورپی مارنی و امیران در این محدوده عمدتاً شیلی و ماسه سنگی است). در برخی نواحی نیز به دلیل وجود پوشش آبرفتی خطواره‌ها قابل تشخیص نبوده‌اند. سیمای ظاهری رخنمون‌های کربناته که در شکل (۲) نیز مشاهده می‌گردد نشان از کنترل ساختارها در شکل ظاهری و امروزی این منطقه دارد. همانطور که در شکل ملاحظه می‌گردد وضعیت ظاهری مورفولوژی منطقه عمدتاً دارای راستایی در جهت شمال غربی-جنوب شرقی دارد که همسان با راستای غالب بدست آمده در دیاگرام گل‌سرخ‌های حاصل از خطواره‌هاست. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ساختارهای ایجاد شده در سازندهای منطقه نقش بسزایی در کنترل وضعیت زمین ریختی آنها داشته‌اند. عبارات دیگر خطواره‌ها که بخشی از مهمترین ساختارهای منطقه هستند و در اینجا به روش خودکار بدست آمده‌اند از ساختارهای واقعی منطقه تبعیت نموده و برای تحلیل و پردازش ساختاری منطقه قابل استناد و معتبر می‌باشند.

در این مقاله از دو روش دستی و خودکار برای استخراج خطواره‌ها استفاده شده‌است. با توجه به خطواره‌های استخراج شده در روش دستی و مقایسه آنها با خطواره‌های حاصل از روش خودکار که با فیلترهای جهتی ۳۱۵ و ۴۵ در منطقه مورد مطالعه بارز شدند نتیجه گرفته می‌شود که فیلترهایی که بموازات یا عمود بر راستای خطواره‌های یک منطقه بکار برده شوند برای بارزسازی ساختارهای خطی در هر منطقه مناسب‌تر می‌باشند.

در انتها لازم به ذکر است که در روش خودکار خطواره‌های استخراج شده از تصاویر استر دارای تعداد بیشتری نسبت به خطواره‌های استخراج شده از تصاویر لندست بودند که این موضوع می‌تواند به دلیل بالا بودن کیفیت و وضوح تصاویر استر باشد و در کل خطواره‌های بزرگ استخراج شده دارای صحت بیشتری بودند.

قابل اهمیت می‌باشد نتیجه آماری آنهاست که در زردیاگرام-های آنها مشاهده می‌گردد (شکل‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱). روند خطواره‌های ترسیم شده براساس هر دو نوع تصویر در این رز دیاگرام‌ها از نظر آماری نتیجه یکسانی را ارائه نموده‌اند. نکته قابل توجه آنست که این نتیجه با نتیجه حاصل از دیاگرام گل‌سرخ تهیه شده از گسل‌های ترسیم شده از نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۱۲) از نظر آماری مطابقت دارد. همانند خطواره‌های ترسیم شده از تصاویر ماهواره‌ای، روندهای غالب گسل‌ها در نقشه زمین‌شناسی نیز شمال غربی - جنوب شرقی و شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشد (شکل ۱۵). اگرچه برخی از خطواره‌های ترسیم شده بروش خودکار با واقعیت همخوانی ندارند؛ اما یکسان بودن نتیجه آماری خطواره‌ها که از روش‌های مختلف ترسیم شده دور از انتظار نیست. چراکه ریخت ظاهری زمین در اکثر مناطقی که رخنمون سنگی دارند متأثر از ساختارهای زمین‌شناسی می‌باشد. ساختارها که بر اثر تاثیر نیروهای زمین‌ساختی حاصل از حرکت ورقه‌ها ایجاد می‌شوند، نقاط ضعیفی ایجاد می‌نمایند که ساده‌تر از سایر نقاط تحت تاثیر هوازگی و فرسایش قرار می‌گیرند و لذا سیمای ظاهری و سطحی زمین در چنین مناطقی با وضعیت ساختاری منطقه مطابقت می‌نماید. به این ترتیب نتیجه آماری خطواره‌ها در روشی که بطور خودکار رسم گردیده‌اند از الگوی خطواره‌های زمین‌ساختی تبعیت می‌نمایند (Burbank & Anderson, 2012).

در شکل (۱۶) نقشه تراکم خطواره‌های منطقه ترسیم شده است. در این نقشه میزان پراکندگی شکستگی‌ها و خطواره‌های ایجاد شده در نقاط مختلف منطقه نشان داده شده‌است. براساس این نقشه ملاحظه می‌گردد که بیشترین تراکم خطواره‌ها عمدتاً در دو بخش شمالی و جنوب غربی و تا حدودی در بخش‌های میانی منطقه ایجاد شده است. با مقایسه این نقشه با نقشه زمین‌شناسی منطقه مشخص می‌گردد که مناطقی که بیشترین تراکم شکستگی را دارند عمدتاً بر مناطقی که سنگ‌های آهکی آسماری و سروک رخنمون دارند، منطبق هستند (شکل ۱). این موضوع بیانگر تفاوت رفتار مکانیکی سازندهای مختلف در برابر تغییر شکل می‌باشد. سازندهای کربناته سروک و آسماری بدلیل بالا بودن مقاومت مکانیکی، بصورت



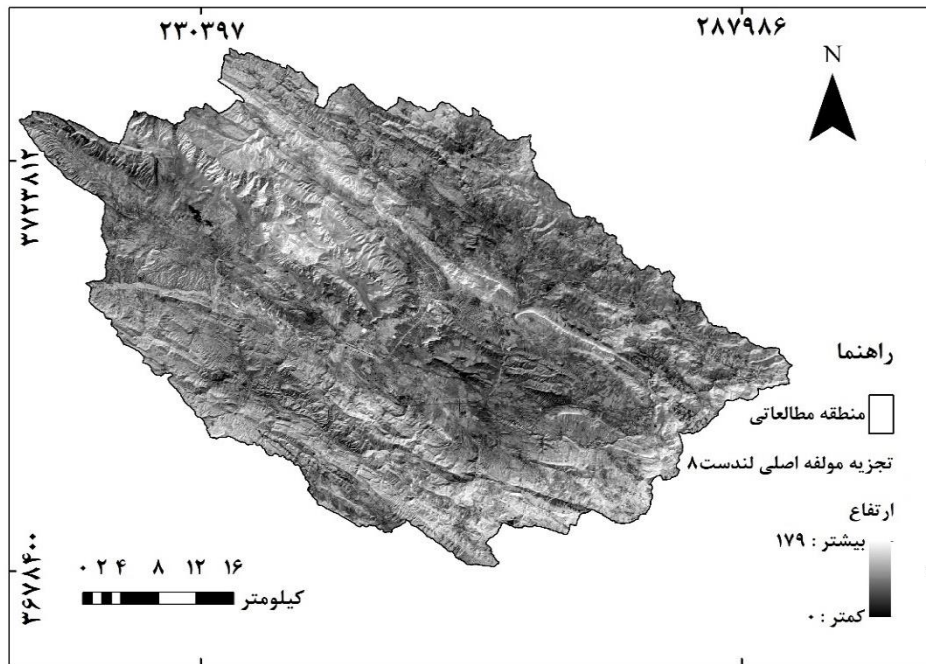
شکل ۱. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه و جایگاه آن در ایران.

جدول ۱. کرنل‌های مورد استفاده برای فیلتر نمودن تصویر لندست ۸ و استر (الف تا د).

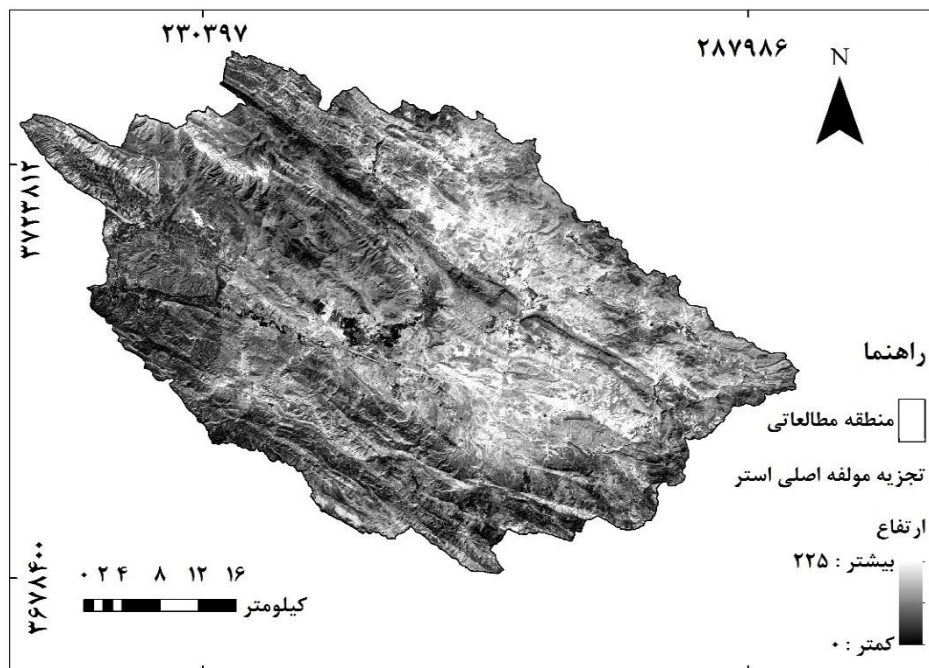
ب		الف	
کرنل ۴۵		کرنل ۰	
-۱/۴۱۴۲	-۰/۷۰۷۱	-۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
-۰/۷۰۷۱	۰/۰۰۰۰	-۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
۰/۰۰۰۰	۰/۷۰۷۱	-۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
د		ج	
کرنل ۳۱۵		کرنل ۹۰	
۰/۰۰۰۰	۰/۷۰۷۱	-۱/۰۰۰۰	-۱/۰۰۰۰
-۰/۷۰۷۱	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	-۰/۰۰۰۰
-۱/۴۱۴۲	-۰/۷۰۷۱	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰

جدول ۲. جهات پرتوافکنی و جهات خطواره بارز شده (فرهودی و همکاران ۱۳۸۶).

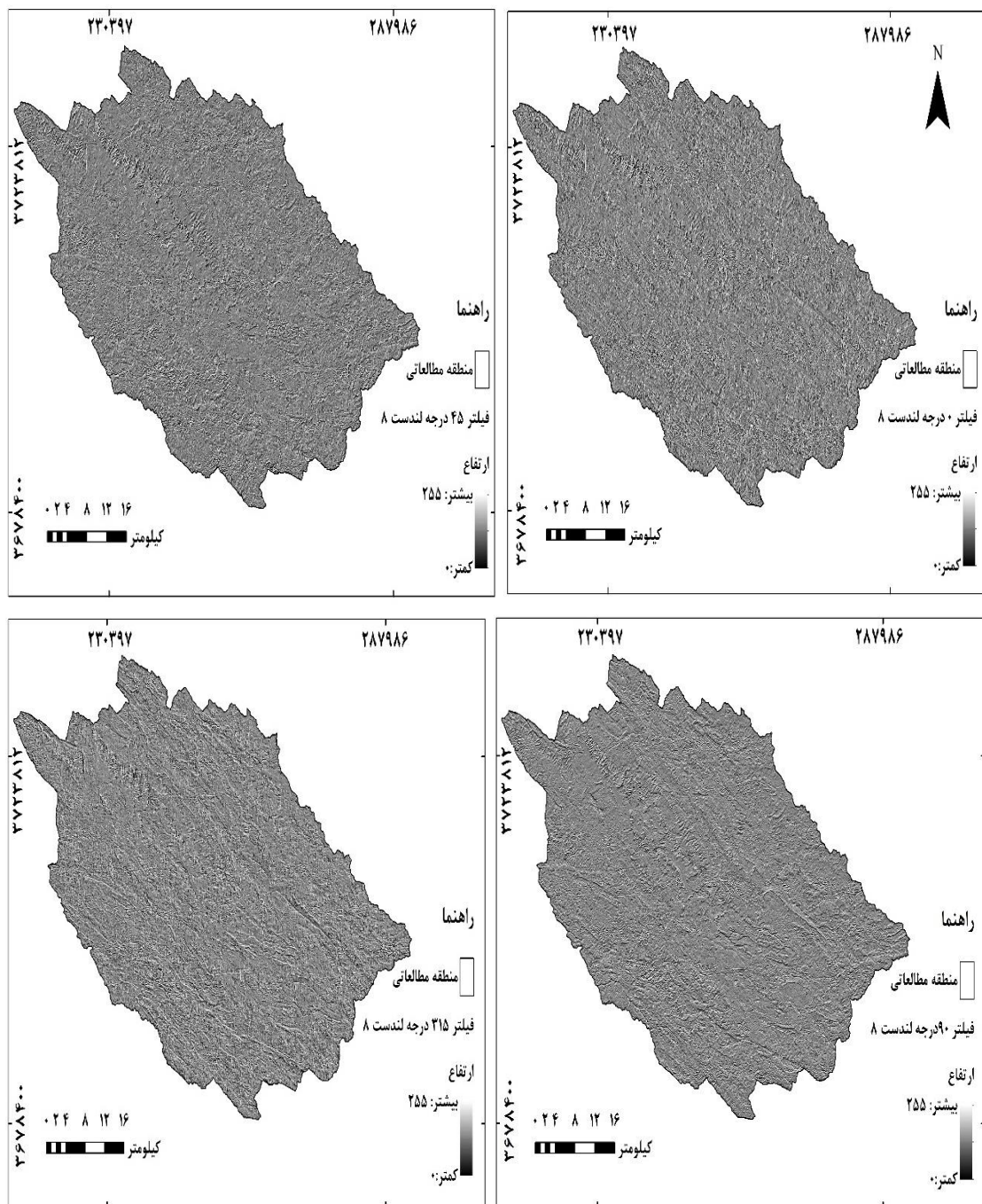
آزیموت منبع نور (درجه)	جهات خطواره‌های بارز شده
۰	E-W
۴۵	NW-SE
۹۰	N-S
۳۱۵	NE-SW



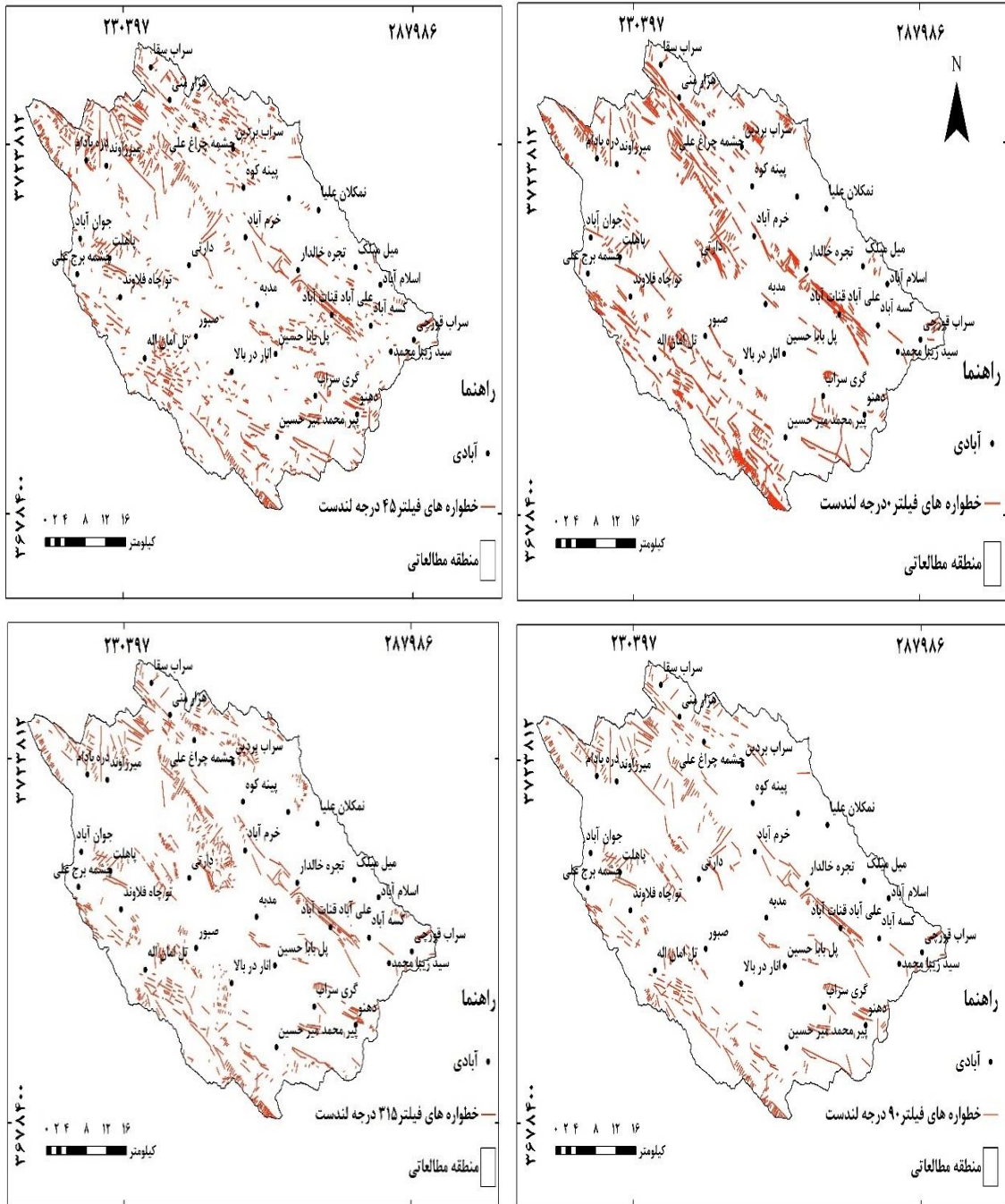
شکل ۲. مؤلفه اول حاصل از تجزیه مؤلفه اصلی بر روی باندهای ۷۵۲ لندست ۸



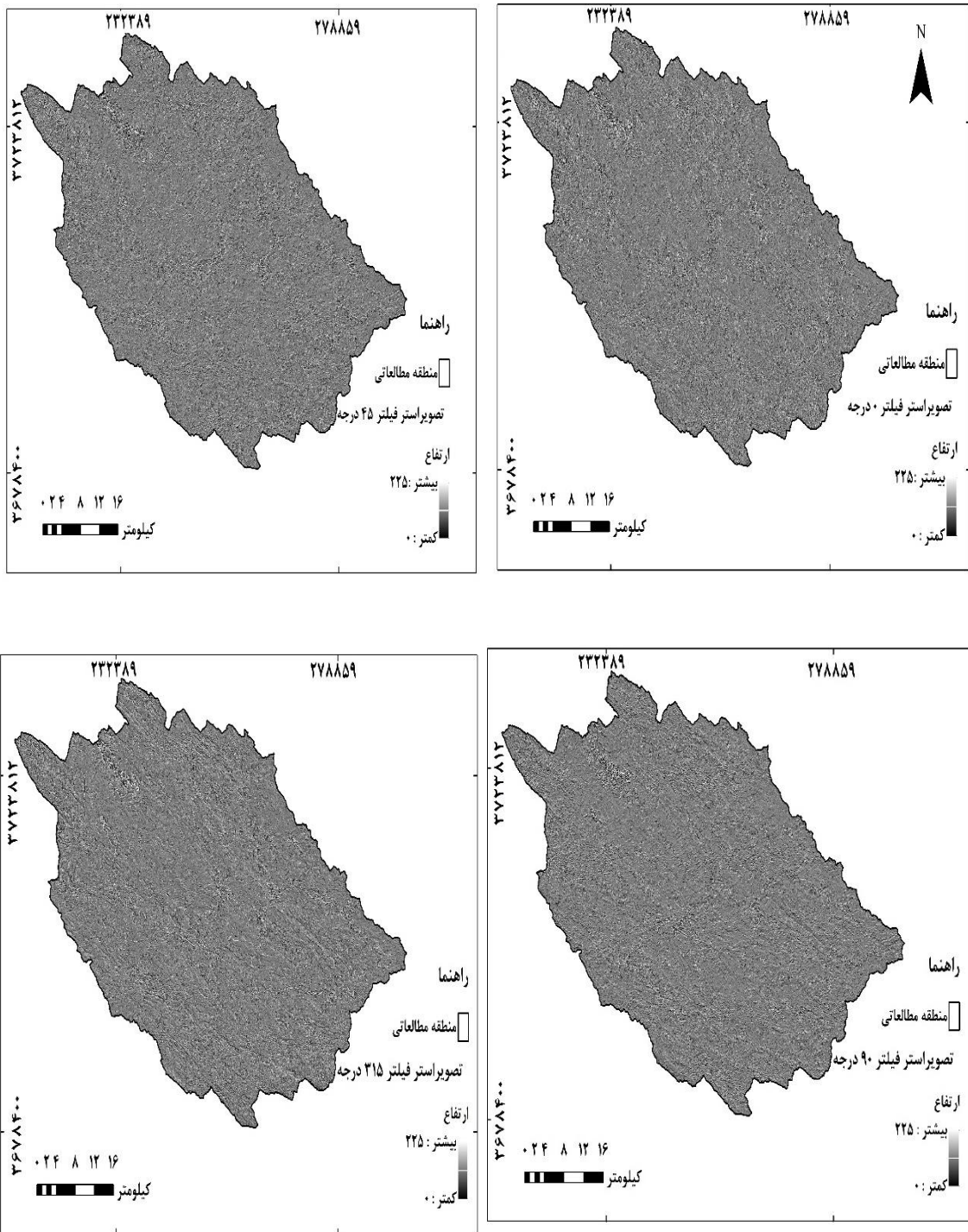
شکل ۳. مؤلفه اول حاصل از تجزیه مؤلفه اصلی بر روی باندهای ۱۲۳ VNIR استر.



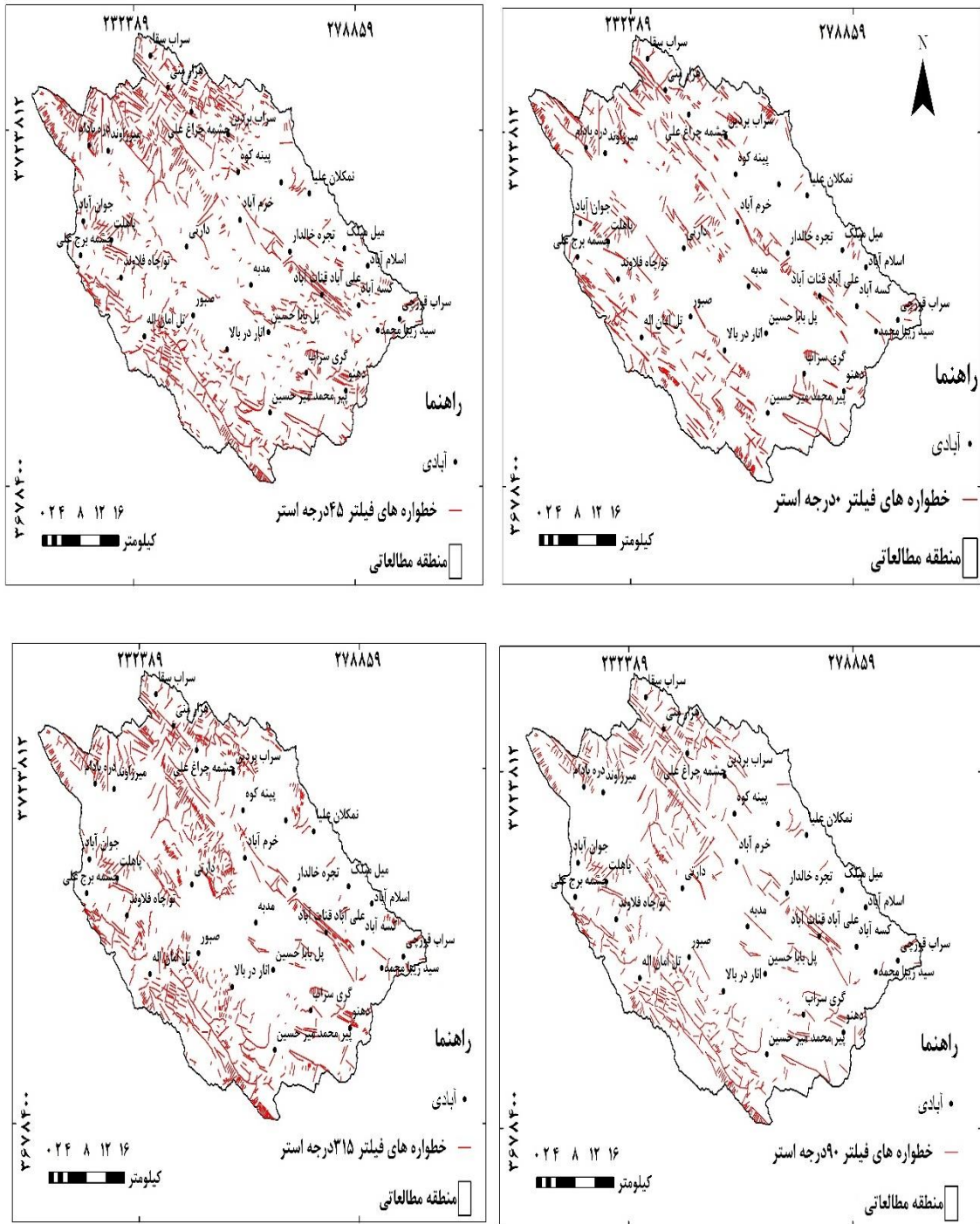
شکل ۴. اعمال فیلترهای جهتی ۰ درجه (N-E)، ۴۵ درجه (NE-SW)، ۹۰ درجه (N-S) و ۱۳۵ درجه (NW-SE) بر روی ترکیب رنگی ۷۵۲ نندست ۸.



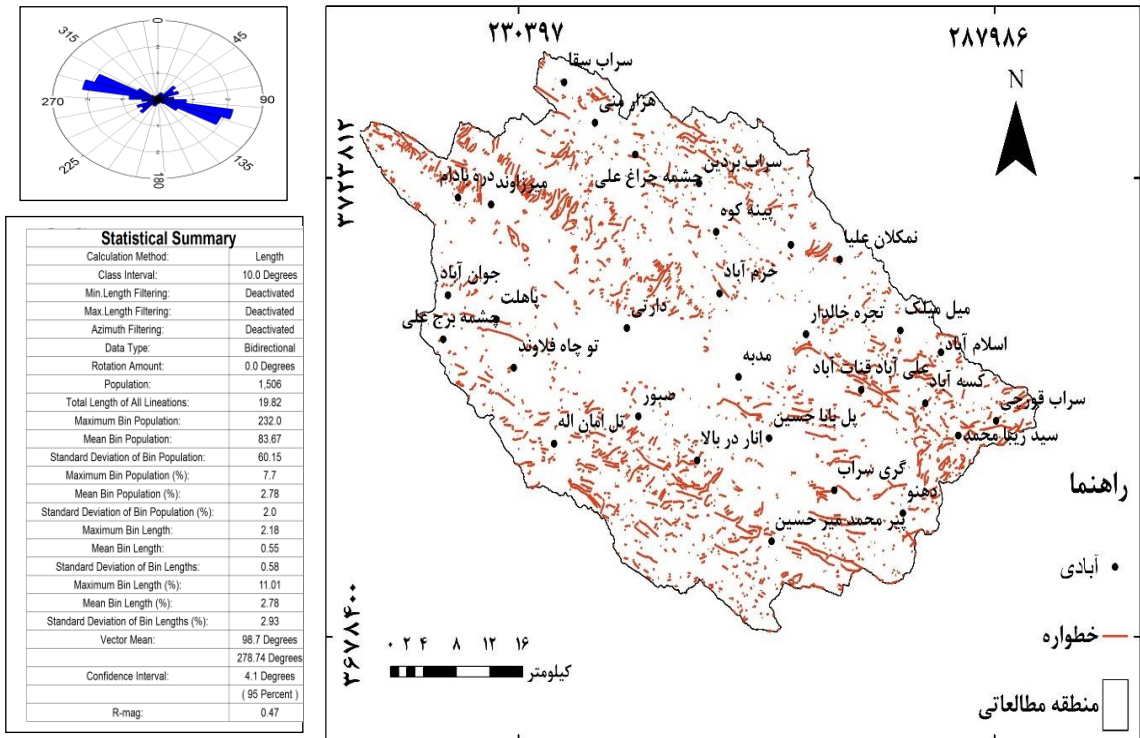
شکل ۵. خطواره‌های بارز شده با فیلترهای جهتی ۰ درجه (N-E)، ۴۵ درجه (NE-SW)، ۹۰ درجه (N-S) و ۳۱۵ درجه (NW-SE) که به روش دستی بر روی توکیب رنگی ۷۵۲ لندست ۸ تعیین شده اند.



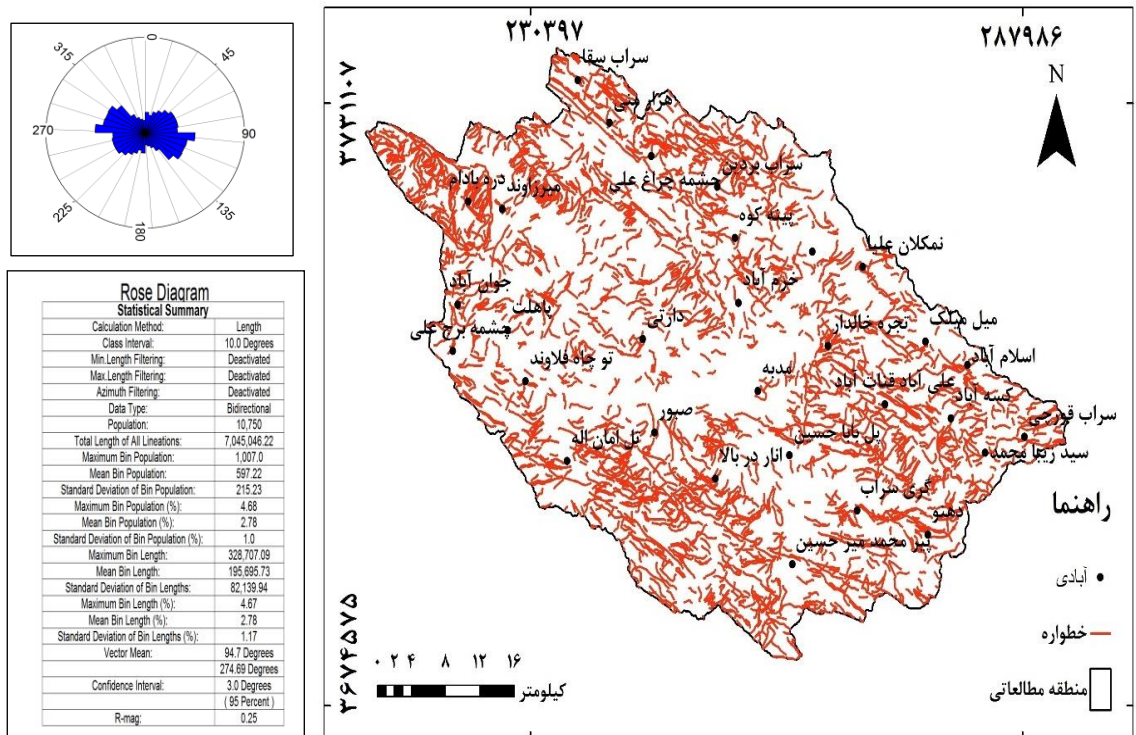
شکل ۶. اعمال فیلترهای جهتی ۰ درجه (N-E)، ۴۵ درجه (NE-SW)، ۹۰ درجه (N-S) و ۱۳۵ درجه (NW-SE) بر روی ترکیب رنگی ۱۲ باندهای VNIR سنجنده ASTER.



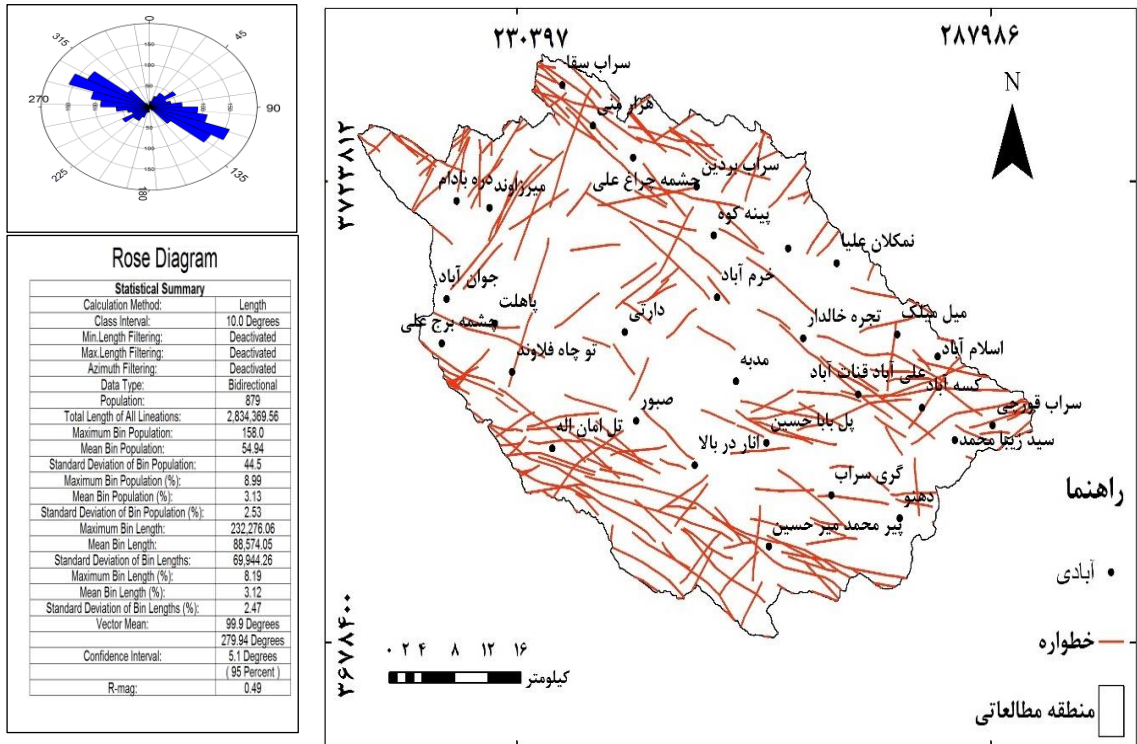
شکل ۷. خطواره‌های بارز شده با فیلترهای جهتی ۰ درجه (N-E)، ۴۵ درجه (NE-SW)، ۹۰ درجه (N-S) و ۳۱۵ درجه (NW-SE) که به روش دستی بر روی ترکیب رنگی ۱۲۳ باندهای VNIR سنجنده ASTER ترسیم شده اند.



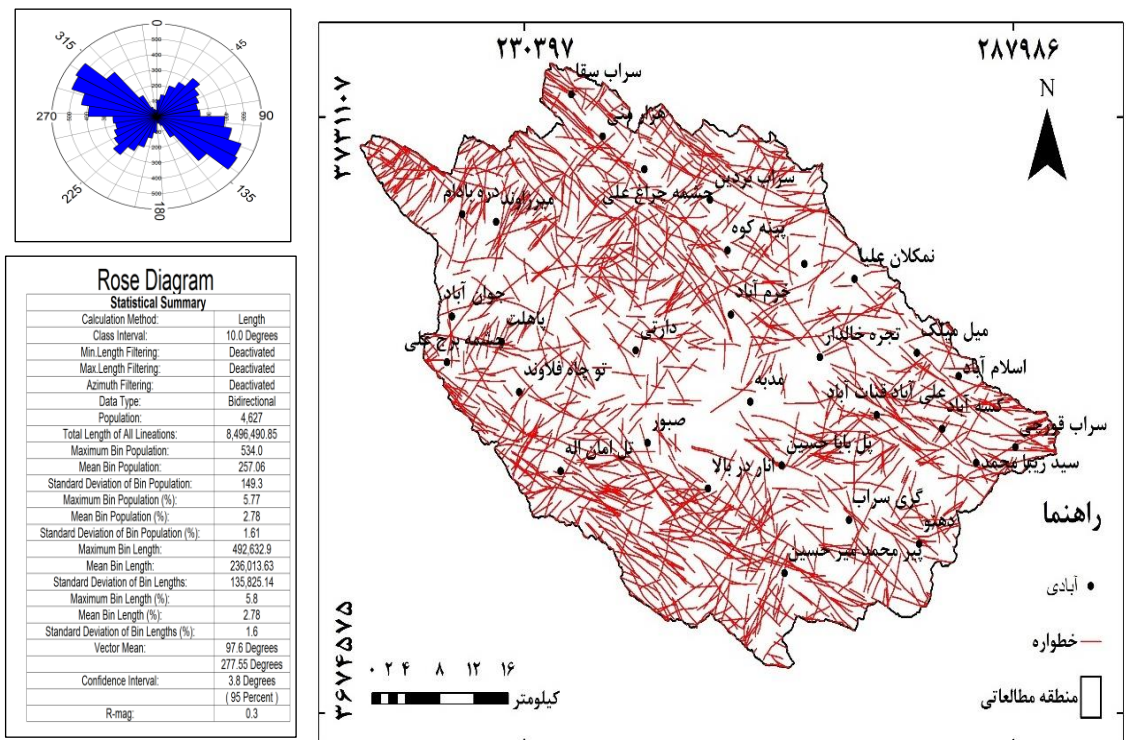
شکل ۸. خطواره‌های کوچک بارز شده با روش اتوماتیک بر روی ترکیب رنگی ۷۵۲ لندست ۸ به همراه رز دیاگرام.



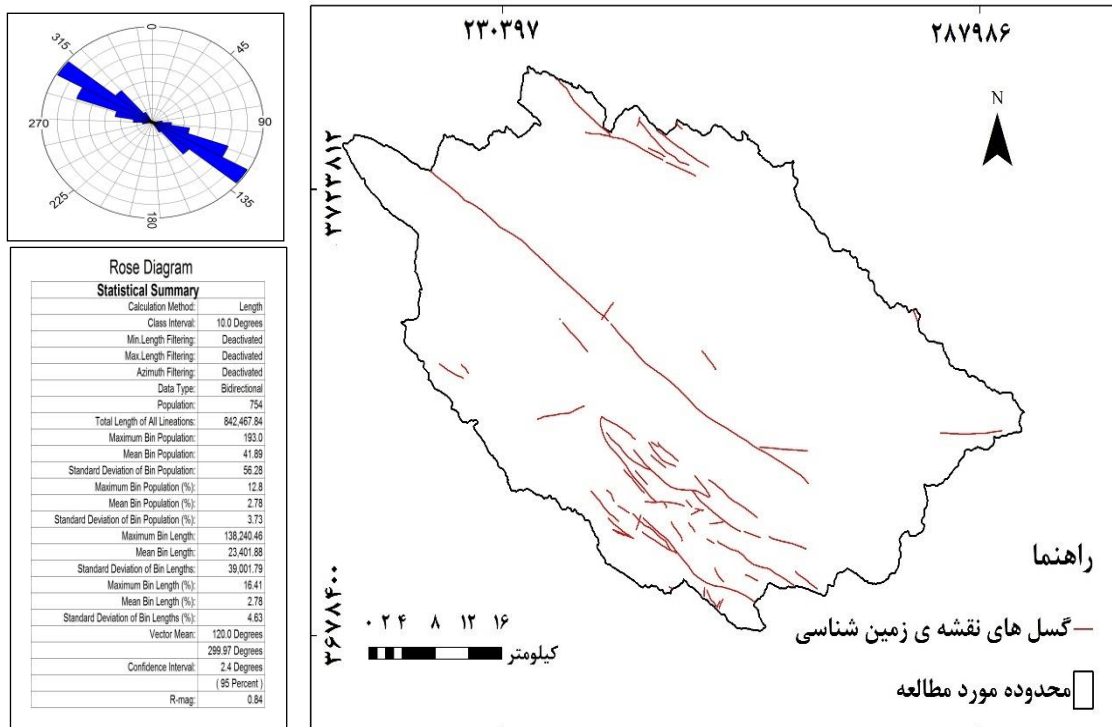
شکل ۹. خطواره‌های کوچک بارز شده با روش اتوماتیک بر روی ترکیب رنگی ۱۲۳ باندهای VNIR سنجنده Aster به همراه دیاگرام گل سرخی.



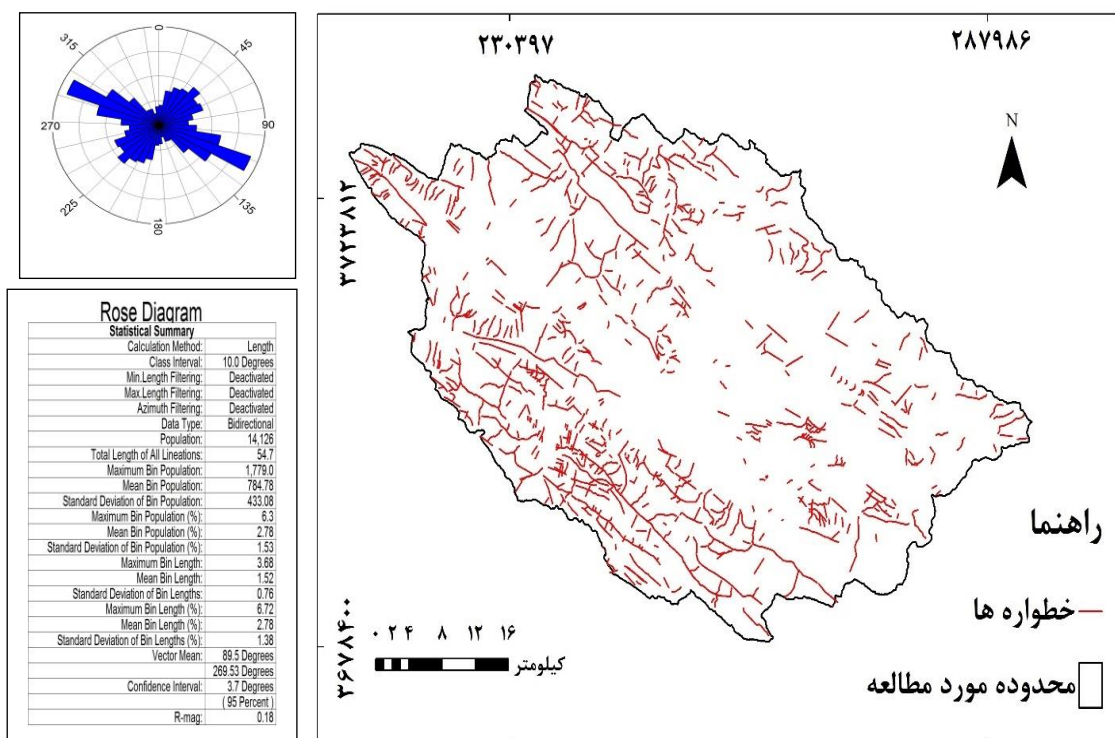
شکل ۱۰. خطواره‌های بزرگ بارز شده با روش اتوماتیک بر روی ترکیب رنگی باندهای ۷۵۲ لندست ۸ به همراه دیاگرام گل سرخی.



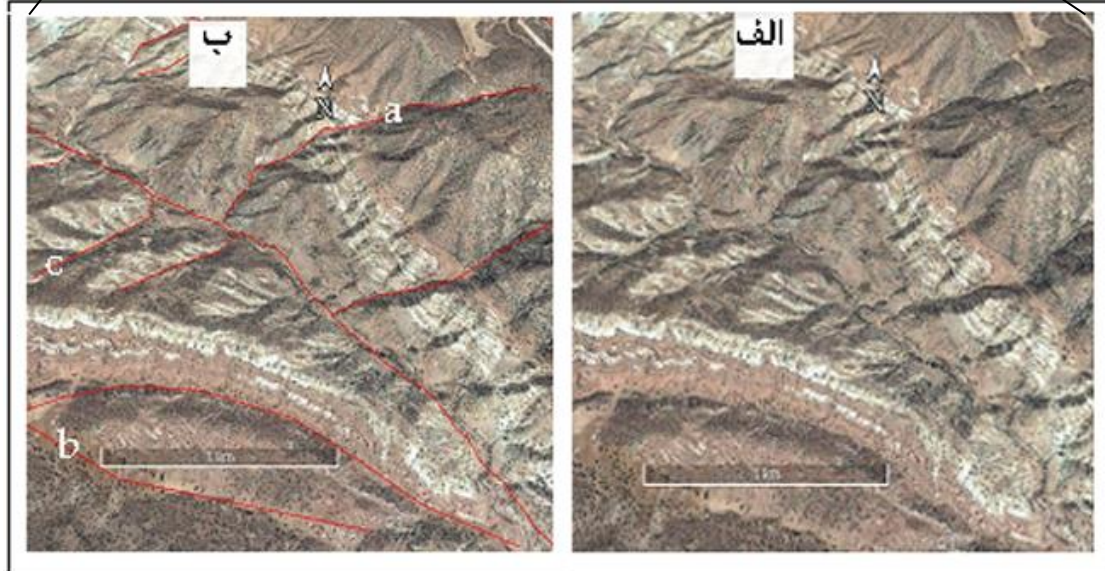
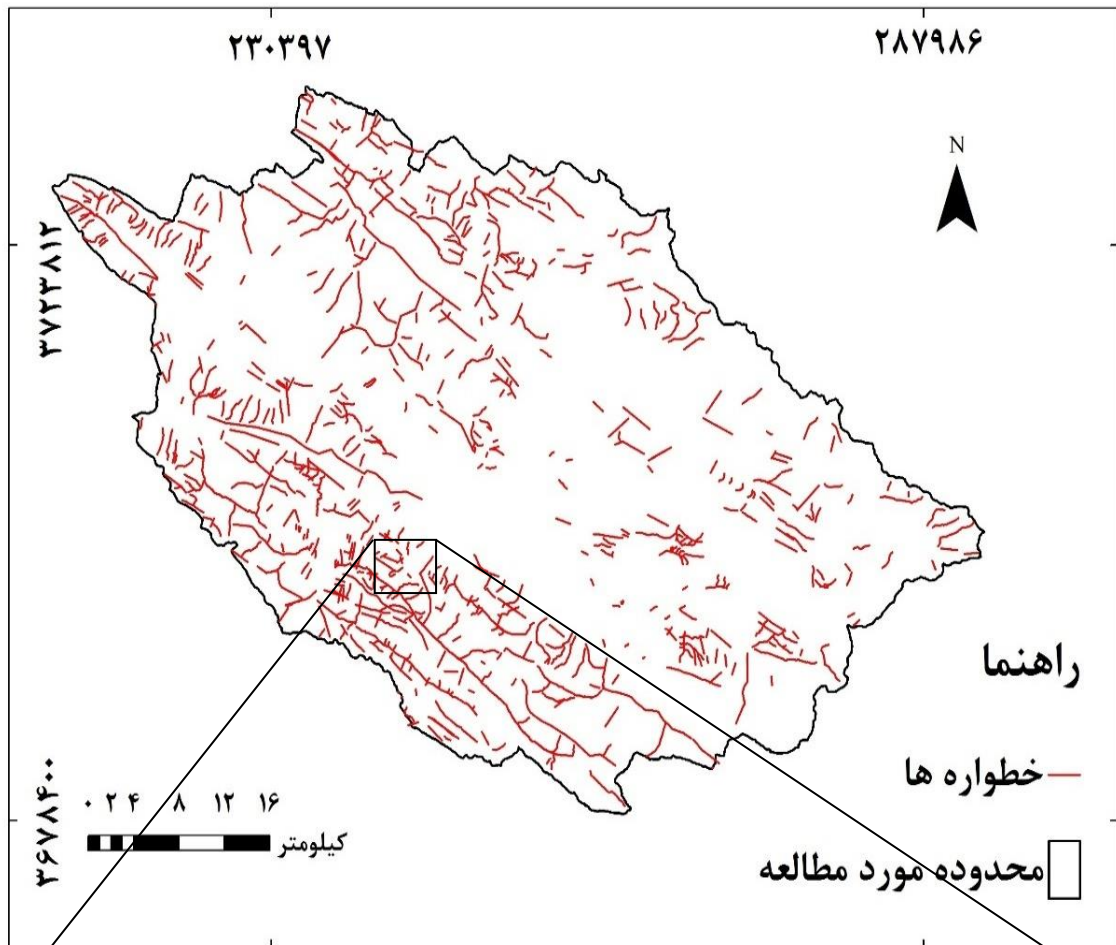
شکل ۱۱. خطواره‌های بزرگ بارز شده با روش اتوماتیک بر روی ترکیب رنگی ۱۲۳ باندهای VNIR سنجنده ASTER به همراه دیاگرام گل سرخی.



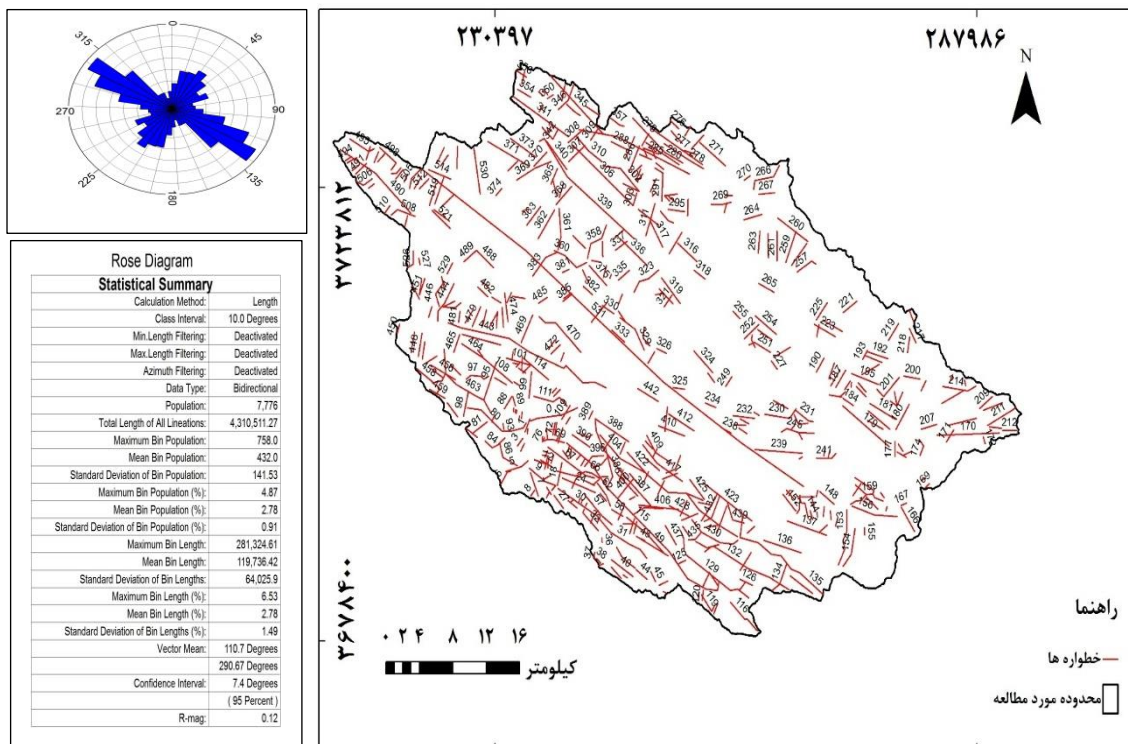
شکل ۱۲. گسل‌های برگرفته شده از نقشه زمین‌شناسی منطقه به همراه دیاگرام گل‌سرخ.



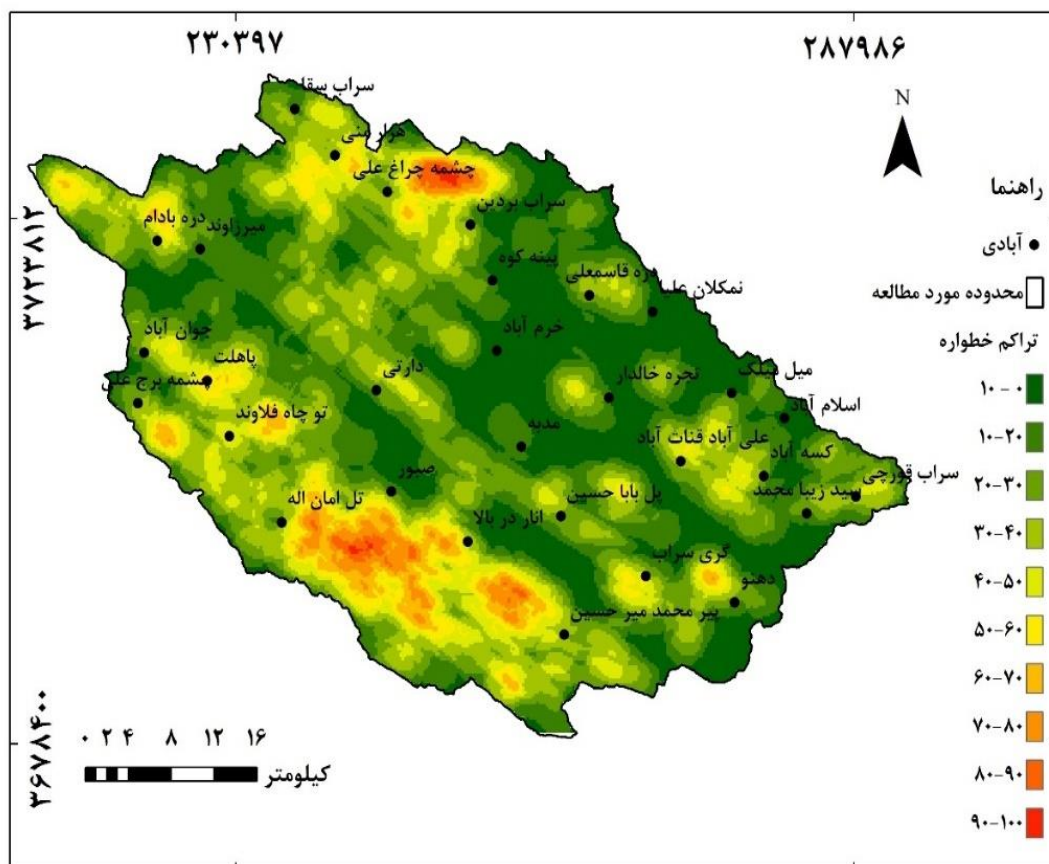
شکل ۱۳. نقشه خطواره‌های استخراج شده با روش دستی و به همراه دیاگرام گل‌سرخ.



شکل ۱۴. نقشه خطواره‌های تصحیح شده همراه نمایش قسمت کوچکی از این خطواره‌های رسیم شده به روش اتوماتیک که در محیط گوگل ارث فراخوانی شده اند. همانطور که در شکل ب مشاهده می شود در روش اتوماتیک آبراهه‌های a، b و c اشتباهاً بعنوان گسل ترسیم شده اند.



شکل ۱۵. نقشه نهایی خطواره‌های محدوده مطالعاتی به همراه دیاگرام گل سرخی.



شکل ۱۶. نقشه تراکم خطواره‌های منطقه مطالعاتی.

سیستم اطلاعات جغرافیایی فصلنامه زمین شناسی کاربردی،
۳(۱)، ۴۵-۵۲.

- Burbank D. W., & Anderson R. S., 2012. Tectonic Geomorphology, Second Edition, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, pp: 454.
- Di Tommaso, I., & Rubinstein, N. 2007. Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina. *Ore Geology Reviews*, 32(1), 275-290 .
- Gupta, R. P., 2003. Remote Sensing Geology, 3rd Edition, Springer-Verlag, Berlin.
- Hardcastle, K. C. 1995. Photolineament factor: a new computer-aided method for remotely sensing the degree to which bedrock is fractured. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(6), 739-747 .
- Hobbs, W. H. 1904. Lineaments of the Atlantic border region. *Geological Society of America Bulletin*, 15(1), 483-506 .
- Kocal, A ., Duzgun, H., & Karpuz, C. 2004. Discontinuity mapping with automatic lineament extraction from high resolution satellite imagery. *ISPRS XX, Istanbul* .
- O'leary, D., Friedman, J., & Pohn, H. 1976. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, 87(10), 1463-1469 .
- Papp, E., Cudahy, T., 2002. Hyperspectral remote sensing. *Geophysical and Remote Sensing methods for Regolith Exploration*, 144, 13-21.
- Ramsay j. G., & M. I. Hubber, 1987. THE TECHNIQUES OF MODERN STRUCTURAL GEOLOGY Volume 2: Folds and Fractures, ACADEMIC PRESS, pp: 700.
- Sabins, F. F. 1996. Remote Sensing: Principles and Interpretation; 3d Edition. W. H Freeman and Company. New York.
- Sarp, G. 2005. Lineament analysis from satellite images, north-west of Ankara. *Master of Science Dissertation, School of Natural and Applied Science of Middle East Technical University* .

منابع و مراجع

- اکبری، ا.، ۱۳۹۳، پردازش و استخراج اطلاعات از داده های ماهواره ای با استفاده از نرم افزار ENVI با نمونه های کاربردی در علوم، انتشارات ماهواره.
- افشاری، س.، آقا محمدی زنجیرآباد، ح.، نوری، م ر.، ۱۳۹۵. استخراج گسل های زمین شناسی با استفاده از داده های سنجنش از دور (مطالعه موردی: منطقه کیه داغ- شمال استان خراسان شمالی)، ماهنامه علمی ترویجی اکتشاف و تولید گاز، ۱۳۷. ۶۱-۵۴.
- برجسته، ا.، ۱۳۷۲. درزه، روش های مطالعه ، اندازه گیری، دسته بندی و تجزیه و تحلیل ساختاری آن. پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه تربیت مدرس.
- رنگز، ک.، سرافراز، ع.، ۱۳۹۰. وزارت نیرو و سازمان آب و برق خوزستان. بررسی عملکرد سیستم شکستگی سازند کنگلومرای بختیاری بر آبخوان دشت پلی. میانداوان با استفاده از تصاویر ماهواره ای و GIS.
- طاهرکیا، ح.، ۱۳۷۵. اصول و کاربرد سنجنش از دور؛ جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران.
- عباسی، ث.، یساقی، ع.، ۱۳۹۰. استفاده از تصاویر لندست و داده های زمین مغناطیسی در شناسایی خطواره های گسلی و تحلیل خاستگاه آن ها در ناحیه لرستان، زاگرس چین خورده، سنجنش از دور و GIS ایران، ۳(۱)، ۱۹-۳۴.
- علوی پناه، س.ک.، ۱۳۸۲. کاربرد سنجنش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۴۷.
- کمالی، ز.، سرکاری نژاد، خ.، رهنمادراد، ج.، ۱۳۹۲. بررسی ساختاری فروبوم دشت ارژن با، استفاده از تکنیک های سنجنش از دور و خش لفرهای گسلی، فصلنامه ی زمین شناسی کاربردی، ۹(۲)، ۱۴۸-۱۳۵.
- فرهودی، ق.، راهنماراد، ج.، طیبی، م.، ۱۳۸۶. استخراج خطواره های البرز باختری به کمک داده های اس آر تی ام نود متر و