

## شناسایی و استخراج گسل‌ها بر پایه GIS & RS و شواهد ژئومورفیک فعالیت آن‌ها در پهنه گسلی قوشاداغ در شمال غرب ایران

احمد رنجبری<sup>۱</sup>

موسی عابدینی<sup>۲</sup>

داود مختاری<sup>۳</sup>

خلیل ولیزاده کامران<sup>۴</sup>

### چکیده

تکتونیک فعال منطقه آذربایجان، همچون سایر نقاط ایران از همگرایی پوسته‌های قاره‌ای اوراسیا و عربی نشأت گرفته است. این پویایی منجر به گسلش بخش عمده‌ای از آن و درنتیجه وقوع زمین‌لرزه‌های ویرانگر شده است. شناسایی و استخراج این گسل‌ها تا حد زیادی می‌تواند به روشن شدن رفتار تکتونیکی منطقه کمک کند. از این طریق پراکنش فضایی مخاطرات ژئومورفیک شناسایی، پیش‌بینی و مدیریت می‌شود. در این راستا، شناسایی گسل‌های پهنه قوشاداغ و شواهد ژئومورفیک آن‌ها در شمال غرب ایران هدف کلی این پژوهش انتخاب گردید. این سامانه گسلی به دلیل فقر مطالعاتی تا حدودی ناشناخته مانده بود اما با آغاز فعالیت لرزه‌ای دوگانه ۲۱ مرداد ۱۳۹۱ مسبب تلفات جانی و مالی زیادی شد. برای استخراج گسل‌های منطقه، باند ۸ تصویر ماهواره لنست ۸ سنجنده OLI با ردیف ۳۳ و گذر ۱۶۸، با باند پانکروماتیک آن (۱۵ متر) فیوژن شد. جهت مشاهده بهتر خطواره‌ها از فن‌های PCA، RGB، فیلترهای جهت‌دار و نسبت باندی استفاده گردید سپس خطواره‌ها از تصاویر Pan Sharp شده در محیط نرم‌افزار ژئوماتیکا و با اعمال الگوریتم Lineament Extraction استخراج گردید. این فرایند در سه روش دستی، خودکار و نیمه‌خودکار و با استفاده از نرم‌افزارهای Envi5.1 و ArcGIS10.4.1 انجام شد. جهت حصول اطمینان از تصاویر سنتینل B2 و اسپات نیز به لحاظ برخی ویژگی‌ها استفاده شد و درنهاست گسل‌های استخراجی، با عملیات میدانی، پیمایش زمینی و مشاهدات پدیده‌های ژئومورفولوژیک مقایسه و تدقیق گردید. نتیجه پژوهش نشان از دقت بالای آن دارد به‌طوری‌که با ترکیب روش‌ها برای اولین بار برخی از گسل‌های جدید نیز شناسایی و عملکرد آن‌ها بررسی شدند.

**واژگان کلیدی:** RS & GIS، ژئومورفولوژی تکتونیکی، گسل قوشاداغ، زلزله ارسباران، شمال غرب ایران.

### مقدمه

گسل‌ها از عناصر مهم تکتونیکی هستند که با قطعه قطعه کردن پوسته زمین و جابه‌جا نمودن عمودی و افقی قطعات پوسته، ضمن ایجاد زمین‌لرزه به‌طور مستقیم در ایجاد انواع لندفرم‌های اولیه، شرکت دارند که اشکال ساختمنی اولیه برای عملکرد عوامل دینامیکی و ایجاد اشکال ثانویه هستند از طرف دیگر، گسل‌ها در امتداد خود نقاط ضعیفی در پوسته زمین ایجاد می‌کنند و بدین ترتیب، شرایط لازم برای مانگانیسم، دیاپریسم نمکی، چشم‌های آبرگم وغیره را به وجود می‌آورند. گسل‌ها همچنین می‌توانند در ایجاد بعضی مثاندرها، تنداب‌ها، انحراف، اسارت آبراهه‌ها و نیز تشکیل دریاچه‌ها و تالاب‌ها دخالت داشته باشند (رجی و شیری، ۱۳۸۸: ۱۰).

<sup>۱</sup>. دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

<sup>۲</sup>. استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم انسانی (نویسنده مسئول)

Email: abedini@uma.ac.ir - Tel: 09143555226

<sup>۳</sup>. استاد گروه ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز

<sup>۴</sup>. دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز



۶۹) بررسی سیر تکاملی مکان وقوع مخاطره طبیعی، یکی از اساسی‌ترین بخش‌های مطالعات مخاطرات طبیعی است (Rosenfeld, 2004: 424). به نقل از مختاری، ۱۳۸۵: ۵۳)، بدین منظور، خطوط گسلی پهلوتین مناطق برای شناخت وضعیت فعالیتهای تکتونیکی و تعییرات هیدروژئومورفیک در هر منطقه است (عبدینی، ۱۳۹۵: ۷۵)، تشخیص و تعریف گسل‌های یک منطقه نه تنها به آشکارسازی تاریخچه هر منطقه کمک می‌کند بلکه وضعیت حال و آینده ژئومورفوژئوبیکی و زمین‌شناسی آن را نیز تا حد زیادی مشخص می‌نماید پژوهشگران برای شناسایی موقعیت، وضعیت و نوع گسل‌ها، از فناوری RS و تصاویر ماهواره‌ای بهره می‌گیرند استفاده از داده‌های RS با توجه به ارائه اطلاعات به روز، پوشش تکراری و کم‌هزینه بودن در ارزیابی منابع طبیعی از جایگاه خاصی برخوردار است (رضابی، Akman & Tufekci, 2005؛ Kargel et al, 2016؛ Morales and Rosario, 2012؛ Jain, 2006؛ Erini et al, 2011؛ Jain, 2006)؛ تصاویر ماهواره‌ای به دلیل دارا بودن توان تفکیک زمانی، مکانی و طیفی بالا در محدوده طیفی مرئی، مادون قرمز و حرارتی امکان تجزیه و تحلیل مناسبی برای محققان فراهم آورده‌اند تا با تشخیص تعییرات در بافت و ساختار زمین و هندسه لبه‌های این تعییرات و تفسیر نهایی تعییرات ژئومورفوژئی سطح زمین، موقعیت گسل استخراج گردد و یا گسل‌های استخراج شده تدقیق و تصحیح شود سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نیز ابزاری مؤثر برای آنالیز داده‌های مکانی و غیرمکانی است (Zhang et al, 2013: 14)؛ استخراج گسل‌ها با استفاده از داده‌های سنجش از دور و با سه روش بازسازی دستی، خودکار و نیمه‌خودکار انجام می‌گیرد (افشاری و همکاران ۱۳۹۵: ۵۴). آن‌ها در مطالعه گسل‌های منطقه کپه‌داغ بر مناسب بودن روش نیمه‌خودکار تأکید نموده‌اند برای تهیه نقشه شکستگی‌های ساختاری می‌توان از فن‌های RS ازجمله؛ RGB، PCI و استفاده از نسبت باندی ER جهت بازسازی گسل‌ها پهنه برد به عنوان نمونه، بررسی گسل‌های گستره کرج-قرون بر اساس اعمال فیلترهای دورستجی و به کمک نرم‌افزارهای ArcviewGIS3.3، Mapper7.0، PCI Geomatica و Arcview (۱۳۹۰)، ساختار گسل تبریز را با استفاده از داده‌های دورستجی تحلیل نمودند عابدینی و همکاران (۱۳۹۵)، با استفاده از فن‌آوری RS و GIS به ارزیابی فعالیت گسل تبریز و تلفات ناشی از آن پرداختند. یانگ و همکاران (۲۰۱۷)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تعییرات فضایی-زمانی پس از زلزله و نچوآن را مطالعه و بر نقش آن در کاهش خطرات زمینی تأکید نمودند.

تا چند سال پیش، منطقه ارسیاران در نقشه‌های تحلیل خطر زلزله جزو مناطق کم خطر و یا با خطر متوسط نشان داده می‌شد و حتی در نقشه گسل‌های فعل ایران نیز که توسط پژوهشکده زمین‌لرزه‌شناسی تهیه شده (حسامی و همکاران، ۱۳۸۲) اشاره‌ای به فال بودن گسل‌های مهم آن نشده است اما زمین‌لرزه‌های دوگانه ویرانگر در ۲۱ مرداد ۱۳۹۱، پویایی و پیچیده بودن ساختارهای مورفوژئونیکی منطقه را نشان داد و از طرفی، مطالعه بیشتر و دقیق‌تر ژئومورفوژئی منطقه به ویژه شکستگی‌های ساختاری آن و اثرات مخاطره‌آمیز آن‌ها را ضروری و نظر پژوهشگران را بر این مهم معطوف نمود چراکه اگر گسل‌ها شناسایی نشوند منشأ زلزله‌ها نامعلوم و درنتیجه محل زلزله‌های آینده نامشخص خواهد بود و به تبع آن آسیب‌پذیری، تلفات و هدرافت منابع انسانی و مالی بیشتر خواهد شد همچنین شناسایی خطواره‌ها در منطقه به لحاظ اینکه در کنترل بسیاری از مخاطرات ژئومورفیک ازجمله؛ حرکات دامنه‌ای (لغزش‌ها، ...) نقش دارند از اهمیت بسیاری برخوردار است. لذا در بررسی حاضر، سعی شده است گسل‌های متعدد پهنه متأثر از زلزله ویرانگر سال ۱۳۹۱ ارسیاران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، اعمال روش‌های بازسازی تصویر و به کمک نرم‌افزارهای مربوطه استخراج و مقایسه شود و پس از پردازش در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS و ENVI و تطبیق و تدقیق به وسیله مشاهدات میدانی به صورت یک نقشه نهایی ارائه شود تا در مطالعات لرزه‌ای و ارزیابی‌های مخاطرات ژئومورفوژئی که از نیازهای اساسی جامعه در معرض خطر ماست مورد استفاده قرار گیرد.

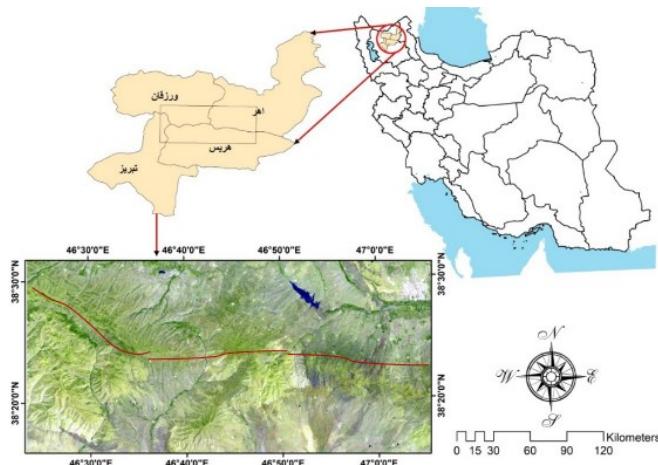
## معرفی منطقه موردمطالعه

پهنه گسلی قوشاداغ در شمال غربی ایران و در نیمه شمالی استان آذربایجان، بخشی از نیمه جنوبی منطقه قره‌داغ (ارسیاران) را در بر می‌گیرد (شکل ۱). گستره موردمطالعه در بلوك ساختاری ارس (شمال باختری ایران) قرار گرفته است (Berberian & Yeats, 1999: 122)؛ این منطقه، در پهنه برخوردي میان صفحه‌های ایران، عربی و قفقاز جای داشته و درگیر جنبش‌های ناشی از برهم‌کنش این سه پهنه هست و از این نظر از ویژگی‌های لرزه‌منسانی منحصر به‌فردی برخوردار است.

پهنه گسلی این منطقه بخشی از ریزپهنه ساختاری البرز-آذربایجان هست که همراه با گسل‌های شمال تبریز، مراغه، ... ساختارهای پویایی هستند که هر کدام به طور بخشی در جبران همگرایی مورب میان پلیت عربی و خردقاره ایران سهیم هستند (فریدی و همکاران، ۱۳۹۵). این پهنه گسلی مسبب زمین‌لرزه‌های دوگانه



۲۱ مرداد سال ۱۳۹۱ منطقه جنوب قره‌داغ (رسپاران) با بزرگی  $4/6 \times 6/2$  ریشتر است. هر دو رخداد تنها ۶ کیلومتر و ۱۱ دقیقه فاصله داشتند (Donner et al., 2015: 791) که باعث جان باختن ۳۰۶ نفر و ویرانی بیش از ۱۶۰ روستا و آسیب‌دیدگی اساسی ساختمان‌های شهرهای؛ ورزقان، اهر و هریس شد.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه

## مواد و روش‌ها

- مواد و ابزار: در این پژوهش، علاوه بر استفاده از کتب و منابع نوشتاری، از داده‌های متعدد دیگری نیز استفاده شده است که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌گردد:
- تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI با ردیف ۳۳، گذر ۱۶۸ و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر (باند ۸ تصویر).
- تصاویر ستینل ب-۲ و اسپت و همچنین تصاویر گوگل ارث جهت مقایسه و نتیجه بهتر.
- نرم‌افزارهای Envi5.1 جهت اعمال فن‌ها و پردازش تصاویر، PCA Geomatica برای استخراج خودکار خطواره‌ها و Arcmap10.4.1 بهمنظور ترسیم نقشه خروجی.
- نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ با هدف زمین مرجع کردن تصاویر ماهواره‌ای، DEM و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورزقان، اهر، خوجا و تبریز.

## روش‌شناسی:

استخراج گسل‌های منطقه، هدف اصلی و گامی مهم در تحلیل وضعیت ژئومورفوژئی تکتونیکی می‌باشد. جهت رسیدن به نتیجه بهتر، در کنار روش خودکار بعضی خلطوط به روش دستی به مجموعه خطوط اضافه و این دو روش تلفیق گردید. از آنجاکه تصوراتی که از مشاهدات مستقیم به دست می‌آیند نسبت به تصورات حاصل از مشاهدات غیرمستقیم معتبرترند (مقیمی و محمودی، ۱۳۸۳: ۱۲۸). جهت اعتبارسنجی و تدقیق بیشتر، از روش عملیات میدانی، پیمایش زمینی و اندازه‌گیری دستی جابجایی‌ها نیز استفاده شده است؛ بنابراین هدف از مطالعه حاضر، استخراج خطواره‌های موجود در منطقه مورد مطالعه با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره لندست-۸ سنجنده OLI، GIS و شواهد ژئومورفیک و بررسی عملکرد آن‌هاست. روش کار و مراحل انجام تحقیق در روند نمای زیر نشان داده شده است (شکل ۲).



شکل (۲). فلوچارت یا روند نمای روش تحقیق و اینزارهای مورد استفاده

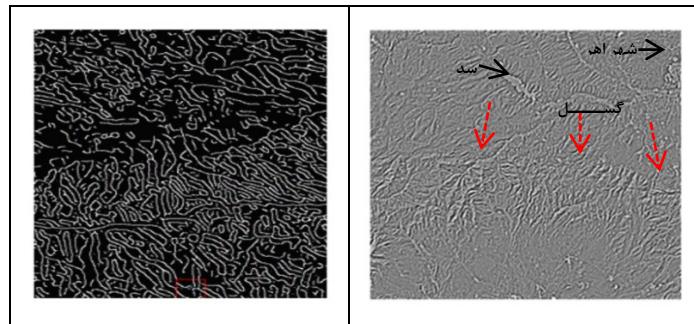
تجزیه و تحلیل داده‌ها

استخراج خودکار: در روند استخراج خودکار خطوطارههای ابتدا عوارض خطی از تصویر ماهواره ندست-۸ سنجنده OLI استخراج و قطعات خطی با پارامترهایی که در جدول شماره ۱ آورده شده است، به شکل برداری رکورد گردید. سپس مؤلفه اول جهت استخراج خطوطاره آماده شد و بقیه اقدامات در محیط نرمافزار Geomatica PCA و با فراخوانی تصویر PCI در آن تداوم یافت. مرحله بعد، استفاده از الگوریتم Linement extraction در Geomatica و استخراج خطوطارهای بود که در ۳ مرحله؛ لبه یابی، آستانه گذاری و استخراج خطوطارهای از لبه یابنری شده و از طریق اعمال پارامترهایی پیگیری شده است. برای تعیین حدود آستانه پارامترها از مشخصات عمومی گسل در منطقه و با در نظر گرفتن طول، انحنای، نقطه‌بندی و گسترشی استفاده شده است. پارامترهای متوسط منطقه چنین به دست آمد:

#### جدول ۱. پارامترهای موردنیاز برای استخراج رقومی خودکار خطوارها

پارامترهای مازول خطی	ارزش‌های مؤلفه‌ها
FTHR	۵
RADI	۱۰
ATHR	۱۰
LTHR	۳۰
GTHR	۵۰
DTHR	۴۰

با انتخاب پارامترهای بالا در نرم افزار PCI خطوط وکتوری به فرمت Shape تبدیل گردید تا در محیط ArcGIS برای تحلیل های بعدی مورد استفاده قرار گیرد. پس از وارد کردن باند تصویر موردنظر، دو فایل خروجی که یکی تصویر باینری نتیجه عمل فیلتر Canny و دیگری فایل برداری که نتیجه استخراج خطوطهای مورد انتظار است به دست آمد (شکل ۳).



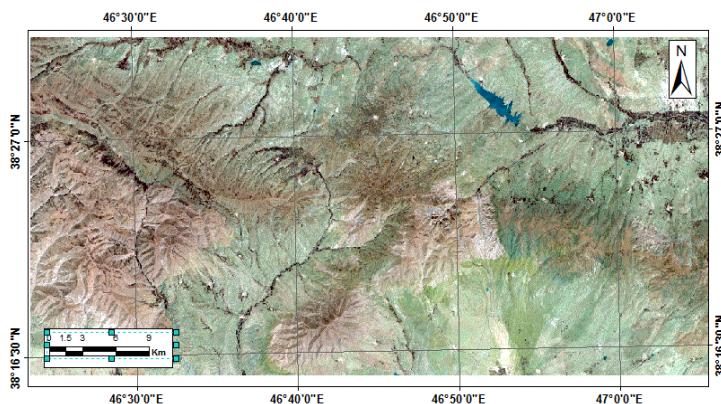
شکل (۳) تصویر سمت چپ فایل باینری نتیجه عمل فیلتر Canny راست حاصل فیلتر لندست-۸

**استخراج دستی:** فن‌های بارزسازی تصویر جهت انجام عمل استخراج دستی خطواره‌ها بسیارند، اما مهم‌ترین آن‌ها جهت آماده‌سازی تصویر برای تهیه نقشه خطواره عبارت‌اند از: عملیات فیلتر کردن، تحلیل اجزای اصلی (PCA) و ترکیب رنگی.

الف- استفاده از تصاویر RGB: پس از آماده‌سازی داده‌ها، تصویر لندست-۸ سنجده OLI انتخاب و جهت بهبود قدرت تفکیک مکانی با باند پانکروماتیک ۱۵ متر فیوژن گردید و برای وضوح بیشتر به کمک فن-FFT، سیگنال‌های اضافی حذف شد سپس برای مشاهده بهتر قطع شدگی لیتوژئیکی و جایه‌جایی‌های رنگی ناشی از گسل‌ش، از فن RGB کمک گرفته شد (شکل ۴). در این پژوهش از نرم‌افزار Envi5.1 جهت به دست آوردن بهترین ترکیب باندی استفاده شده است (جدول ۲).

جدول (۲). نتایج مرتبه ماتریس همبستگی باندهای ۲ تا ۷ تصویر لندست ۸

ماتریس همبستگی	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
باند ۲	۱	۰,۹۷۵	۰,۹۳۲	۰,۲۴۹	۰,۷۳۴	۰,۸۴۲
باند ۳	۰,۹۷۵	۱	۰,۹۶۵	۰,۳۳۰	۰,۸۱۲	۰,۸۹۶
باند ۴	۰,۹۳۱	۰,۹۶۵	۱	۰,۲۵۱	۰,۷۷۸	۰,۸۸۳
باند ۵	۰,۲۴۹	۰,۳۳۰	۰,۲۵۱	۱	۰,۵۱۱	۰,۳۳۱
باند ۶	۰,۷۳۴	۰,۸۱۲	۰,۷۷۸	۰,۵۱۱	۱	۰,۹۵۰
باند ۷	۰,۸۴۲	۰,۸۹۶	۰,۸۸۳	۰,۳۳۱	۰,۹۵۰	۱



شکل (۴). تصویر RGB=۲۳۶ پهنه گسلی قوشاداغ به انعام باند پن سنجنده ستینل-۲؛ تغییر رنگ یا نگر نقش فعل گسل‌ها در تغییر لیتوژئی منطقه می‌باشد

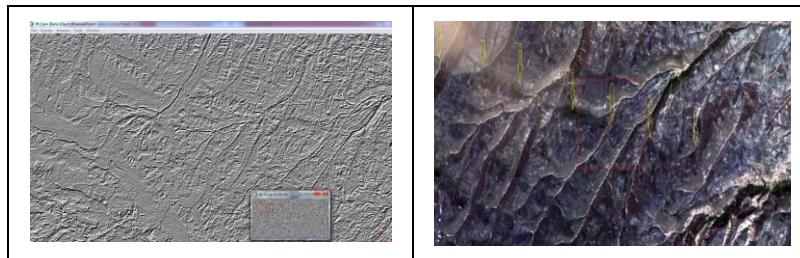
ب- تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA): با اعمال این فن روی تصویر، با ترکیب رنگی ۳ جزو اول با دو باند دیگر تصویر آشکاری به دست آمد.

ج- فیلترگذاری: فیلترها جزو عملیات‌هایی به نام بارزسازی مکانی هستند که بر پایه ارزش سلول‌های مجاور صورت می‌پذیرند (Jenson, ۱۳۸۸: ۴۰). به نقل از بابا‌حمدی،

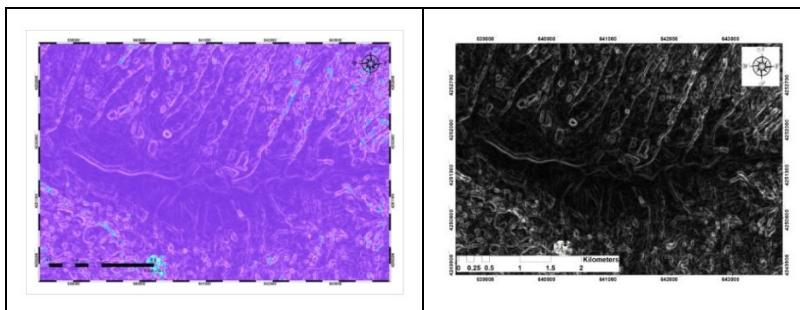
اعمال فیلترهای جهت‌دار: از فیلترهای جهت‌دار هم برای آشکارسازی عوارضی چون جاده‌ها، آبراهه‌ها، گسل‌ها و غیره استفاده شده است. در این پژوهش از باند ۴ لندست ۸ استفاده نیز گردید و بر روی آن فیلتر جهت‌دار اعمال شد (شکل ۵).

پ- فیلتر لبه یاب سوبل: با اعمال فیلتر سوبل خطوط‌های آشکار می‌شوند (ولی زاده کامران، ۱۳۸۰: ۵۹). برای تشخیص لبه‌های تصویر، بر روی تصویر اعمال شد. سپس از تصویر پس از اعمال فن تحلیل مؤلفه‌های اصلی خروجی گرفته شد (شکل ۶). جهت اطمینان بیشتر، عمل فیلتر لبه یاب سوبل، بر روی باندهای ترکیبی ۱۲۳ اسپات نیز اعمال گردید (شکل ۷).

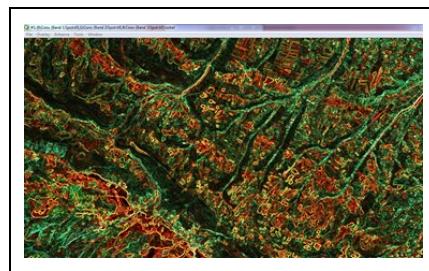
د- تولید نقشه نهایی: درنهایت، نقشه‌های خروجی هر فن به عنوان یک لایه در GIS وارد و نقشه‌ای مشتمل بر چندین لایه (چون خود فیلترها چندین لایه می‌سازند) تولید شد.



شکل (۵) راست تصویر لندست ۸ و چپ فیلتر جهت‌دار با کرنل  $3 \times 3$  با زاویه عمود بر سمت تابش از همان منطقه

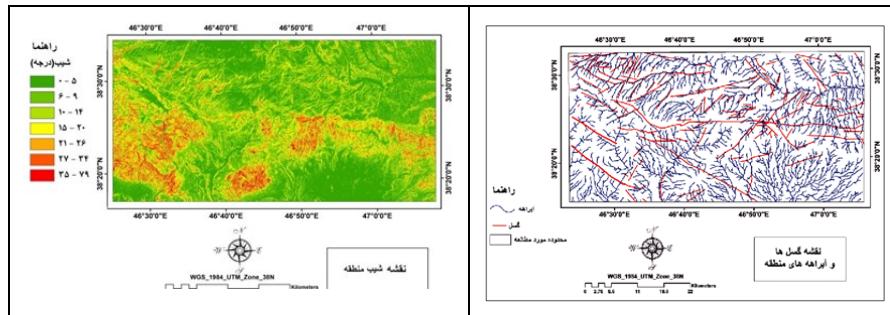


شکل (۶) تصویر لندست ۸ با اعمال فیلتر سوبل و چپ همان تصویر بعد از اعمال فن تحلیل مؤلفه اصلی

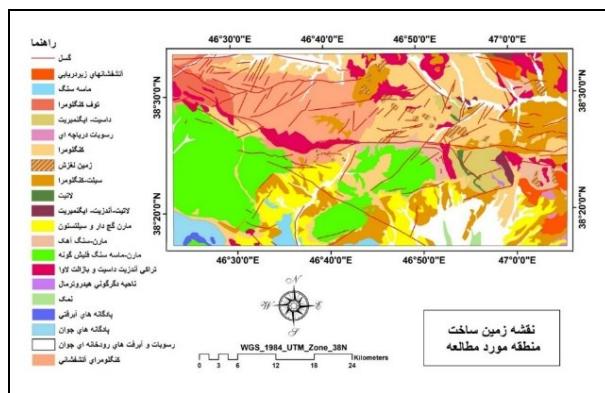


شکل (۷) اعمال فیلتر سوبل بر باندهای ترکیبی ۱۲۳ اسپات؛ سوگیری عمدتاً شمال‌غربی-جنوب‌شرقی خطوط‌ها

استخراج نیمه خودکار: با همپوشانی نقشه استخراج شده در روش خودکار و تصویر بارز شده در روش دستی، با تکمیل خطوط جامانده و حذف خطوط اشتباхи، نقشه نظارت‌شده نهایی به دست آمد. برای به دست آوردن خطوط آبراهه‌ها، جهت انتساب خطوط‌های از ابزار هیدرولوژی نرم‌افزار ArcGIS استفاده و نقشه آبراهه‌های اصلی ترسیم شده است. همچنین از DEM نقشه شیب استخراج شده است (شکل ۸ و ۹). درنهایت با ترسیم نقشه زمین‌شناسی، مرزهای لیتو‌لوزی با خطوط‌ها تطبیق و کنترل و سپس نقشه زمین‌ساخت منطقه مورد مطالعه ترسیم گردید (شکل ۱۰).



شکل (۸). نقشه آبراهه‌ها و گسل‌ها و شکل (۹). نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



شکل (۱۰). نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه همراه با ساختارهای گسلی

در این مرحله با همپوشانی لایه‌های تصویر لندست و نقشه آبراهه‌ها، شیب و زمین‌ساخت و با استفاده از تصویر زمینی به تفسیر آن‌ها پرداخته و با راهنمایی ژئومورفولوژیست‌ها و زمین‌شناسان آشنا به منطقه نقشه خطواره‌های نهایی ترسیم گردید.

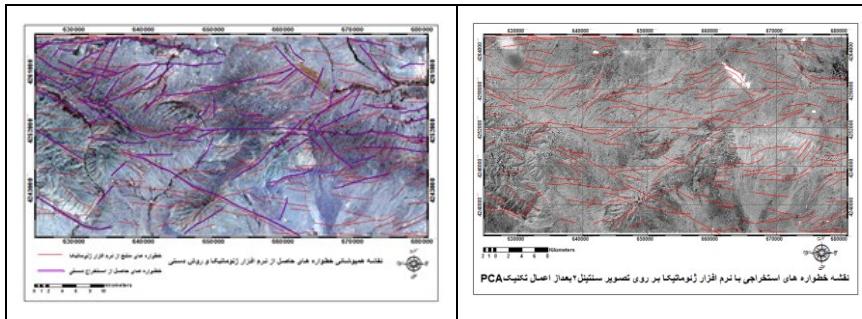
## یافته‌ها و بحث

استخراج گسل‌ها فرایندی زمان بر با عملیات و مطالعه بیشتر امکان‌پذیر است. در این راستا یکی از موانع پیش روی پژوهش حاضر، تنواع لیتوژئیکی و وجود نهشت‌های رسوبی گسترده بوده است. هرچند زمین‌لرزه اخیر منجر به گسیختگی‌های چند سانتی‌متری عمودی و افقی در امتداد گسل اصلی شده اما سکوت لزهای طولانی‌مدت و نیز غلبه نیروهای فرسایشی بر نیروهای تکتونیکی در برخی مکان‌ها، از تشکیل اسکارپمان مشخص و لبه‌های بارز جلوگیری کرده است. وجود تضاریس توپوگرافی شدید از جمله در قطعه شرقی از گویجه‌بغل تا راستای نصفالنهاری شهر اهر، کار را تا حدی آسان نمود. با استفاده از تصاویر حاصل از فن‌های اعمال شده، خطواره‌های موجود در پهنه گسلی قوشادغ استخراج شد.

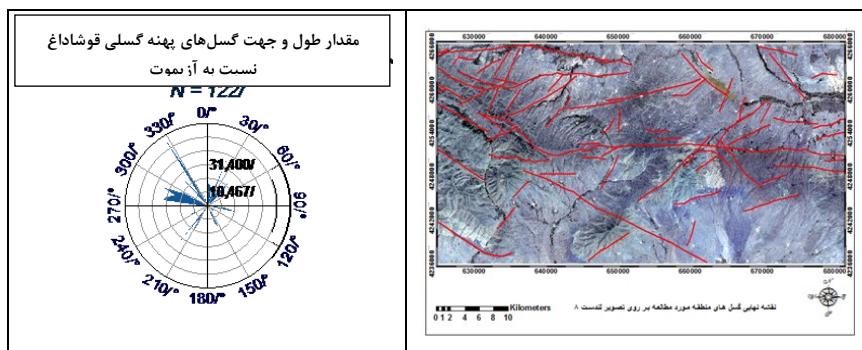
به دلیل وجود نقص‌هایی در روش‌های خودکار و دستی، ترجیح داده شد در این پژوهش بیشتر بر روی روش نیمه‌خودکار تمرکز شود. در این راستا از طریق فیلتر خطواره در نرمافزار Envi5.1 و با فیوژن کردن تصاویر و پردازش آن‌ها در نرمافزار ژئوماتیکا، خطواره‌ها به صورت خودکار استخراج گردید (شکل ۱۱)؛ بنابراین پس از ارزیابی نتایج حاصل از روش خودکار، به اعمال خطواره‌ها به روشن دستی همراه با کنترل‌های زمینی، نتیجه حاصل در یک نقشه همپوشانی (شکل ۱۲) نمایش داده شده است. سپس با بررسی خطواره‌های بدست‌آمده، حذف خطواره‌های تکراری و نامنوس به روش نیمه‌خودکار و مشاوره با کارشناسان زمین‌ساخت و ژئومورفولوژیست آشنا به منطقه، خطوطی که احتمال گسل بودن آن‌ها بیش از ۸۰ درصد بود به صورت نقشه نهایی گسل‌های منطقه ترسیم شد (شکل ۱۳)، واضح است که استخراج گسل‌های قطعی منطقه، نیاز به مراجع مختلف دیگر RS نظری داده‌های راداری، GPS، ماهواره‌های تلسنجی و ... دارد. همچنین داشتن اطلاعات میدانی نظیر مشاهدات مستقیم، برداشت‌های تلسنجی و یا راداری GPR در رسیدن به نقشه گسل نهایی کمک خواهد نمود (Mallast et al, 2011). جهت آگاهی از طول و راستای گسل‌ها، از نمودار گل‌سرخی استفاده شد. نتیجه این که امتداد گسل‌ها در ۲۸۰–۱۰۰ درجه بیشتر بوده و در امتداد ۸۰ درجه گسلی قابل استخراج نبوده است؛ اگرچه می‌توان با



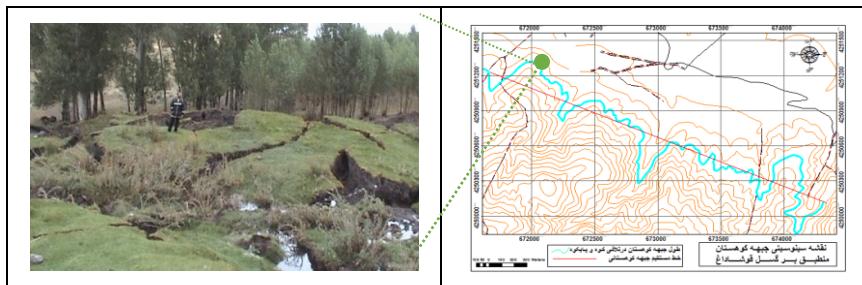
مشاهدات میدانی به این امتداد نیز برخورد نمود (شکل ۱۴).)



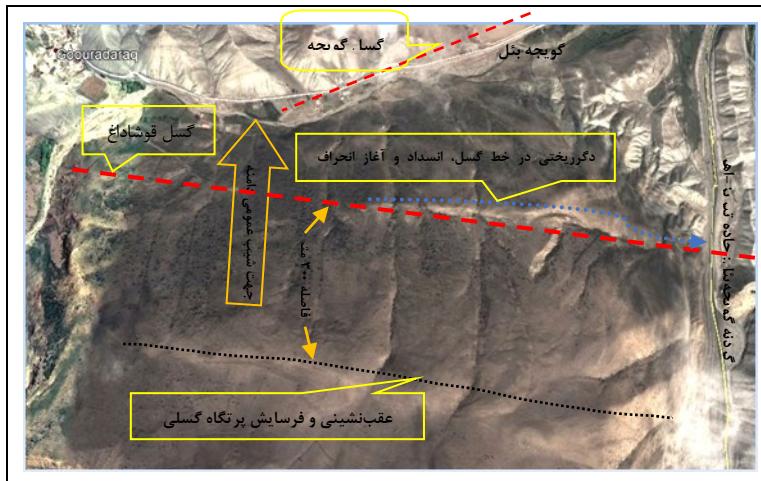
شکل ۱۱: نقشه گسل‌های پردازش شده به وسیله نرم‌افزار ژئوماتیکا و شکل ۱۲: استخراج خطوط‌ها با تلفیق روش‌های خودکار و دستی



شکل ۱۳: نقشه نهایی گسل‌های منطقه موردمطالعه به روش نیمه‌خودکار و شکل ۱۴: نمودار گل‌سرخی خطوط استخراج شده از تصویر ماهواره نشانگر طول و وجهت امتداد گسل‌ها  
اعتبارسنجی نتایج: در این پژوهش همانطور که از شواهد ژئومورفیک برای استخراج و معرفی گسل‌ها پره بده شده از روی تصویر نیز سیماهای ژئومورفوژئیکی حاصل از برآیند جابجایی‌ها در طول خطوط‌ها آشکار شده است. تصاویر همراه با شواهد ژئومورفیک نشانگر عملکرد فعال گسل‌های امتدادر و حرکت افقی قطعات پوسته در منطقه موردمطالعه به تبعیت از الگوی دگربختی قاره‌ای شمال غرب ایران می‌باشد به طوری که اثرات هیدروژئومورفیک ناشی از همین فعالیت‌های تکونیکی در مسیر گسل قوشاداغ، اشکال و پدیدهای ژئومورفیک متعددی، به وجود آورده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد. عملکرد گسل باعث شکل‌گیری پرتگاه گسلی بهویژه در دامنه شمالی گچچی قیران و یا قاری و ... شده (شکل ۱۵) و موجات تشدید ناپایداری و در نتیجه وقوع زمین‌لغزه‌های متعدد (شمال گوموشاآ (شکل ۱۶)، یا یحیلی، دامناب و واریزهای دامنابی متعدد را فراهم آورده است. همچنین گسل‌های عرضی قوشاداغ با راستی (۲۰) و تقریباً عمود بر گسل اصلی قوشاداغ سبب انتقال شبکه آبراهه‌ای با گسل و همسوی و هدایت آبراهه گویجیبل چای با این گسل شده است (شکل ۱۷).

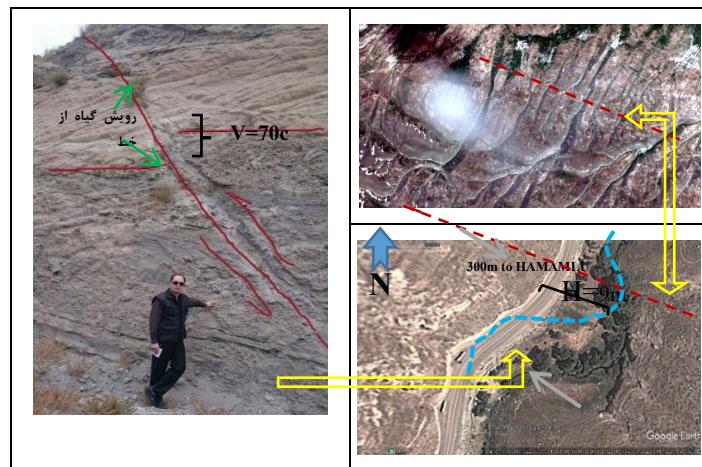


شکل (۱۵). نقشه سینوسیتی جبهه کوهستان در خط گسلی (راست) و شکل (۱۶). زمین لغزش شمال گوموش‌آباد در مجاورت گسل قوشاداغ پس از زلزله ۱۳۹۱ ارسباران



شکل (۱۷). اثرات هیدروژئومورفیک گسل قوشاداغ با دگریختی خطی، انحراف آبراهه و تشدید سیستم مورفوژنز

در تحلیل مخاطرات محیطی منطقه علاوه بر در نظر گرفتن واقعیت‌های زمین‌شناسی باید از نتایج بررسی ژئومورفولوژیکی نیز بهره برد (رنجری و مددی، ۱۳۹۶: ۵۰). جهت ارزیابی و تصحیح پراکنش گسل‌های استخراجی و اطمینان‌یابی از صحت فن‌های به کاربرده شده به مطالعات میدانی و مشاهدات مستقیم نیز اقدام شده است. تطبیق میدانی شواهد ژئومورفولوژیکی با نتایج حاصل از اعمال فن‌های RS، نشانگر مطابقت بسیار زیاد آن‌ها دارد. هرچند در مواردی اندک، اختلاف ناچیزی بین تصاویر و فرم‌های سطح زمین و همچنین برخی از پژوهش‌های قبلی انجام‌شده (Ghods et al., 2015: 536; Copley et al., 2013) مشاهده شده است. با وجود کوهستانی بودن منطقه موردبدرسی و پوشش جنگلی در برخی نقاط و محلویت‌های موجود پیماش زمینی در مسافت‌های ده کیلومتری صورت گرفته است. در بررسی‌های صحرایی، بارترین نقطه قوت تحقیق حاضر، شناسایی برخی گسل‌های منطقه ازجمله گسل شمال حماملو برای اولین بار توسط نگارنده به کمک پیماش‌های مکرر زمینی و تطبیق آن با تصاویر ماهواره‌ای و گوگل ارث (روش ترکیبی) بوده که در هیچ‌یک از منابع قبلی معرفی نشده است. این گسل که بهصورت یک زون معکوس عمل کرده است دارای مؤلفه امتدادی نیز بوده و به ایجاد زانو در تقاطع گسل با رود حماملوچای منجر شده است این گسل که بهصورت یک زون معکوس عمل کرده است دارای مؤلفه امتدادی نیز بوده و به ایجاد زانو در تقاطع گسل با رود حماملوچای و عریضتر شدن دره منجر شده است (شکل ۱۸).



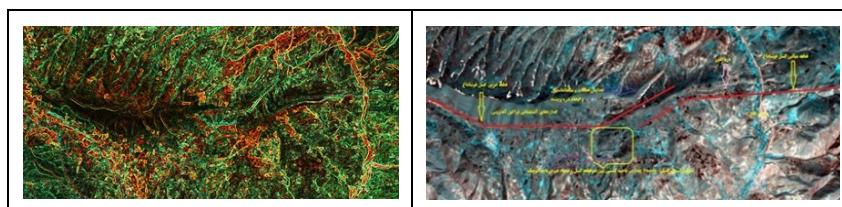
شکل (۱۸). گسل امتدادگر همراه با مؤلفه معکوس شمال حماملو در سه چشم‌انداز بزرگ، متوسط و کوچک مقیاس همراه با نخر جابجایی‌ها

همچنین با بررسی تصاویر لندست و گوگل ارث در شمال غربی منطقه خطواره‌هایی مشاهده گردید که پس از پیماش زمینی و تفسیر بصری، به عنوان بخشی از سامانه گسلی غالب تشخیص داده شد که بیشتر به شکل امتدادگر همراه با مؤلفه معکوس با عوارض ژئومورفیک مشخص ازجمله: انسداد و انحراف آبراهه و تشکیل پشت‌هه فشاری و ... نمود پیداکرده است (شکل ۱۹).



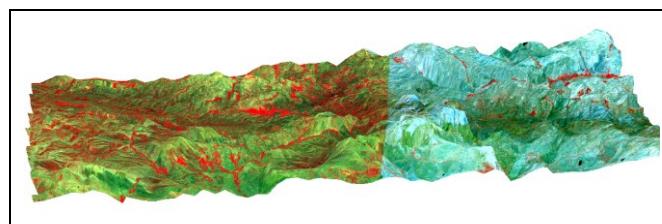
شکل ۱۹: سیستم گسلی جنوب البرد و نقش آن‌ها در انسداد اتحراف و شکل آبراهه‌ها از نگاه گوکل ارث (راست) و لندست ۸

در پیمایش زمینی دیگر، ضمن شناسایی بصری عوارض ژئومورفولوژی، به تشخیص، طبقه‌بندی و انطباق آن‌ها با خطواره‌های گسلی و جانمایی آن‌ها بر روی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ پرداخته شد. سپس جهت اعتبارسنجی بیشتر، دگریختی به وجود آمده و پیدایش اشکال ژئومورفیک خاص و چشم‌انداز آن از دید فیلتر سوبیل در باند ترکیبی اسپات با تفکیک ۱۰ متر نیز استخراج شد (شکل ۲۰). به نظر می‌رسد سازوکار امتدادلغز گسل، منجر به سیگماتاسیون و قطعه‌قطعه شدن گسل اصلی قوشاداغ بین زیغانو (زغن‌آباد) در شمال و هفت‌دان و سیرخاگو (سرخه گاو) در جنوب شده و به لحاظ تشکیل ناحیه تراکشنی، چاله‌های کوچک موسوم به استخر گسلی را به وجود آورده است (پیدایش دو برکه کوچک نشان از این فعالیت می‌باشد). پیدایش این وضعیت و اشکال یادشده می‌تواند ناشی از چرخش اثر محوری چین‌های همراه با گسلش از راستای شرق جنوب‌شرقی-غرب شمال‌غربی به راستای شرقی-غربی تفسیر و توجیه شود.



شکل (۲۰). جایش قطعات گسل قوشاداغ و دگریختی و پیدایش اشکال ژئومورفیک خاص (سمت راست) و چشم‌انداز آن از دید فیلتر سوبیل در باند ترکیبی اسپات با تفکیک ۱۰ متر

استفاده از DEM منطقه برای استخراج گسل‌ها نیز تابع برخی شرایط ساختاری از جمله نوع و مکانیسم گسل‌های هر منطقه است و نمی‌توان این روش را برای هر منطقه‌ای تعیین داد چراکه در منطقه موردپژوهش عکس تصویری که بیشتر خطواره‌ها در روش استخراج از DEM بر فروفتگی‌ها و دره آبراهه‌ها (به دلیل تبعیت از زون تضعیف و خردشده گسلی) منطبق هستند، بیشتر گسل‌ها از جمله قطعه میانی گسل قوشاداغ بر خطالرأس ارتفاعات منطبق‌اند که می‌تواند ناشی از مؤلفه فشاری طرفین صفحه گسلی باشد. برای درک و تحلیل بهتر این سیمای مورفوژئیکی از روش وارون‌سازی اغراق‌آمیز ناهمواری‌های منطقه با استفاده از نرم‌افزار Envi5.1 روی تصویر RGB اسپات استفاده گردید و به شکل کاذب اما نسبتاً دقیق گسل‌ها بهویژه گسل اصلی قوشاداغ، عمدتاً با فروفتگی‌ها منطبق شدند (شکل ۲۱).



شکل (۲۱). تصویر وارون شده سه‌بعدی RGB اسپات از منطقه موردمطالعه



## نتیجه‌گیری

همان‌گونه که تجربه زمین‌لرزه سال ۱۳۹۱ ارسباران نشان داد مناطقی در کشورمان وجود دارد که به دلیل بررسی انک و سطحی، حقایق زمین‌ساختی و مخاطرات ژئومورفولوژی آن مکتوم و پوشیده مانده و در رخدادهایی مانند زلزله‌های دوگانه ۱۳۹۱ ارسباران، چهره ناپایدار و غیرمنتظره خود را آشکار می‌نماید و خسارات قابل‌توجهی نیز بر جای می‌گذارد استفاده از فن‌های دورستنجی هدفمند در کنار مطالعات میدانی می‌تواند نقش مهمی در شناسایی و ترسیم شکستگی‌های ساختاری که در حالت عادی به‌سختی قابل مشاهده هستند، ایفا نماید. در این راستا، به کمک تصاویر ماهواره‌ای، گسل‌های پنهانه قوشاداغ با به‌کارگیری روش‌های خودکار، دستی و نیمه‌خودکار استخراج شد مراحل و جزئیات انجام این روش‌ها در مقاله آورده شد. نتایج حاصله با پیمایش زمینی و حتی تطبیق با آثار و گسیختگی‌های باقیمانده از زلزله، مقایسه و حتی گسل‌های جدیدی (گسل شمال حماملو و ...) شناسایی شد انسداد و انحراف آبراهه‌ها، پرتگاه گسل، پشت‌های کششی و فشاری و ... مهم‌ترین شواهدی هستند که به استخراج خلواههای گسلی از روی تصویر ماهواره‌ای کمک شایانی نمودند. همچنین سیمای ساختاری منطقه نه به صورت خطواره گسلی منفرد بلکه به صورت سامانه گسلی نشان داده شد. از طریق نمودار گل‌سرخی، راستای غالب گسل‌ها هم خاوری‌باخته تعیین شد. نتایج این پژوهش همچنین بیانگر آن است که استفاده از روش‌های خودکار و دستی به‌تهابی کافی نیست و جهت نتیجه‌بهتر بایستی از روش تلفیق این دو بهره برد. واضح است که استخراج گسل‌های قطعی منطقه فقط با داشتن تصاویر اپتیکی به دست نخواهد آمد و نیاز به مراجع مختلف دیگر RS نظیر داده‌های راداری، GPS، ماهواره‌های ثقل سنجی (البته با توان تفکیک مکانی بالا) و ... دارد. همچنین کنترل و پیمایش زمینی و بررسی اشکال ژئومورفیک (که نقطه قوت پژوهش حاضر هست)، هم باید جزو جدایی‌ناپذیر مطالعات این‌چنینی مدنظر قرار گیرد.



## منابع

- افشاری، سمیه؛ آقا محمدی، حسین؛ نوری، محمدرضا (۱۳۹۵)، استخراج گسل‌های زمین‌شناسی با استفاده از داده‌های سنجش‌از دور (مطالعه موردی: منطقه کپه‌داغ)، اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۳۷.
- بابا‌حمدی، عباس (۱۳۸۸)، کاربردهای سنجش‌از دور در زمین‌شناسی، چاپ دوم، تهران: انتشارات آوای قلم.
- حاج‌منوچهری، معصومه؛ آرین، مهران؛ سربی، علی (۱۳۸۹)، بررسی گسل‌ها و خطواره‌های گستره کرج- قروین بر اساس دورسنجی، زمین، دوره ۵ شماره ۴، صص ۲۱-۳۴.
- حسامی آذر، خالد؛ جمالی، فرشاد؛ طبیسی، هادی (۱۳۸۲)، نقشه گسل‌های فعال ایران، مقیاس: ۱:۳۵۰۰۰۰۰، انتشارات پژوهشگاه زلزله‌شناسی.
- رجی، معصومه؛ شیری طرزم، علی (۱۳۸۸)، نوتوکنونیک و آثار ژئومورفولوژیکی گسل اصلی تبریز و گسل‌های فرعی مرتبط با آن، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹، صص ۶۸-۹۶.
- رضایی مقدم، محمدحسین؛ اندیانی، صفری؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ الماس‌پور، فرهاد (۱۳۹۵)، تعیین بهترین الگوریتم استخراج کاربری- پوشش اراضی و کشف تغییرات از تصاویر ماهواره‌ای لندست (مطالعه موردی: حوضه صوفی چای مراغه)، فضای جغرافیایی، سال شانزدهم، شماره ۵۵، صص ۶۵-۸۷.
- رنجبری، احد؛ مددی، عقیل (۱۳۹۶)، مطالعه گند آتش‌فشانی بهلول‌داغی و تأثیر آن بر مورفولوژی منطقه شمال تبریز، مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره سیزدهم، پاییز ۱۳۹۶، صص ۴۹-۶۶.
- عبدینی، موسی (۱۳۹۵)، ژئومورفولوژی تکتونیکی، جلد اول، چاپ اول، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی.
- عبدینی، موسی؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ سرمستی، نادر (۱۳۹۵)، ارزیابی فعالیت و توان لرزه‌زایی گسل تبریز و برآورد تلفات انسانی کلان‌شهر تبریز با فن‌آوری سنجش‌از دور و GIS، جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۵۷، صص ۱۹۹-۲۱۶.
- فریدی، محمد؛ اسماعیلی، سیروس؛ احمدزاده، الهه (۱۳۹۵)، سامانه‌های گسلی چپ‌گرد و نقش آن‌ها در تکامل ریخت‌زمین‌ساختی شمال باختری ایران، سی‌وپنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.
- مختراری، داود (۱۳۸۵)، جایگاه ژئومورفولوژی در ارزیابی بلایای طبیعی و مقابله با آن‌ها در ایران، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال سوم، شماره ۹، صص ۵۱-۶۵.
- محمدزاده، مریم؛ الماسیان، محمود؛ پورکرمانی، محسن؛ سلطانی، ماهیار (۱۳۹۰)، تحلیل ساختاری گسل تبریز با استفاده از داده‌های دورسنجی، فصلنامه علوم زمین، سال ششم، شماره ۱۹، صص ۱۱۹-۱۳۱.
- مقیمی، ابراهیم؛ محمودی، فرج... (۱۳۸۳)، روش تحقیق در جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، تهران، نشر قومس، ۲۷۷ صفحه.
- ولیزاده کامران، خلیل (۱۳۸۰)، پهنه‌بندی خطر زلزله در شهرستان تبریز با استفاده از سنجش‌از دور و GIS، فضای جغرافیایی، شماره ۴، صص ۴۹-۶۵.
- وینست، رابت‌کی، ۱۳۸۸، مبانی دورسنجی زمین‌ساختی و زیست‌محیطی، مجید هاشمی تنگستانی، چاپ اول، تهران، نشر دانشگاهی، ۴۷۲ صفحه.
- Akman, A. & Tufekci, K. 2005. Determination and characterisation of fault systems & geomorphological features by RS & GIS techniques in the WSW Part of Turkey. Tectonophysics, 284: 317-386



- Baroň, I., et al, 2013. Paleostress analysis of a gigantic gravitational mass movement in active tectonic setting: The Qoshadagh slope failure, Ahar, NW Iran. *Tectonophysics*.605:70–87.
- Berberian, M. & Yeats, R. S., 1999. Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 120–139.
- Copley, A., Faridi, M., Ghorashi, M., Hollingworth, J., Hackson, J., Nazari, H., Oveisí, B. & Talebian, M., 2013. The 2012 August 11 Ahar earthquakes: consequences for tectonics and earthquake hazard in the Turkish–Iranian Plateau, *Geophys. J. Int.*, doi:10.1093/gji/ggt379.
- Donner, S., Ghods, A., Krüger, F., Rößler, D., Landgraf, A., Balato, P., 2015, 11 August 2012: Regional Seismic Moment Tensors and a Seismotectonic Interpretation, *Bulletin of the Seismological Society of America*,105 (2A): 791-807.
- Eirini S., Stelios P., 2011. Identification of lineaments with possible structural origin using ASTER images and DEM derived products in Western Crete Greece, Earsele Proceeding, Vol.10, pp.1-18.
- Geological Survey of Iran., 2002. Ahar, Khoja & varzghan, scale1:100,000.
- Ghods, A., Sabanian, E., Bergman, E., Faridi, M., Donner, S., Mortezanejad, G. & Aziz-Zanjani, A., 2015. The Varzaghan–Ahar, Iran, Earthquake Doublet: implications for the geodynamics of northwest Iran, *Geophys. J. Int.* 203, 522–540.
- Jain, S, and Verma, PP. K., 2006. Mapping active tectonics intensity zones using remote sensing and GIS, *Journal of Indian Society of Remote Sensing*, 34(2), pp 131-142.
- Jenson, J.R., 1996. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Prentice Hall Series in Geographic Information Science, 2nd edn. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Kargel, J. & et al, 2016. Geomorphic and Geologic controls of Geohazards induced by Nepal's 2015 Gorkha earthquake, *Science*, Vol. 351, Issue 6269, aac8353, DOI: 10.1126/science.aac8353.
- Mallast, U., Gloaguen, R., Geyer, S., Rodiger, T., Siebert, C., 2011. Semi-automatic extraction of lineaments from remote sensing data and the derivation of groundwater flow paths, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, Vol.8, 1399-1433
- Morales A., Daniel J., Rosario M., 2012. Application of Remote Sensing techniques to identify major faults in the Island of Puerto Rico using SAR and ALSR images, *Geological Society of America Bulletin*. Vol.87, PP.1463-1469.
- Oleary, D., Friedman, J., & Pohn, H., 1976, Lineament, linear, lineation: Some proposed new definitions for old terms, *Geol. Soc.Am. Bull.*87, 1463–1469.
- Rosenfeld, C. L. 2004. Geomorphological Hazard, *Encyclopedia of Geomorphology*, Volume 1, Rovtledge press, P, 423-426.
- Yang, W., Qi, W., Wang, M., Zhang, J., Zhang, Y., 2017. Spatial and temporal analyses of post-seismic landslide changes near the epicentre of theWenchuan earthquake, *Geomorphology* 276 8–15.
- Zhang W., Liu W., Yang J., Chen L., 2013. Remote sensing data analysis for structural information of active faults, *International Conference on Ecology, Waste Recycling and Environment Advances in Biomedical Engineering*, Vol.7, PP.13-18.