

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

پایان نامه ارشد تکتونیک

عنوان

ارزیابی پهنه برشی گسل کشف رود در شمال دشت مشهد

نگارنده

هانیه معمري

استاد راهنما

دکتر رمضان رمضانی اومالی

استاد مشاور

دکتر ناصر حافظی مقدس

شهریور ۱۴۰۰

ب

تقدیم به ساحت مقدس صاحب‌الزمان حضرت مهدی (عج) که سرچشمه هستی دو عالمند.

تقدیر و تشکر با بوسه بر دستان دو گوهر فروزان زندگی‌ام پدر و مادر عزیزم به خاطر همه‌ی تلاش‌های محبت‌آمیزی که در دوران‌های مختلف زندگی‌ام انجام داده‌اند و همواره دعاگو و مشوق من بوده و با مهر‌بانی چگونه زیستن را به من آموخته‌اند و دریای بیکران مهر خود را بر من ارزانی داشتند، امید آن که بتوانم قطره‌ای از دریای محبتشان را پاسخگو باشم.

همچنین برادران ارجمند آقایان مجید و حسین معمری، منصور معتمدی‌نیا و خواهر عزیزم هما معمری که در تمامی مراحل زندگی همراهان همیشگی و پشتوانه‌ام بوده و هستند تشکر ویژه دارم.

همچنین خواهر زاده‌ها و برادر زاده‌های عزیزم که دلخوشی زندگی‌ام هستند.

تشکر و قدردانی

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به هم نشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان گرداند. در ابتدا از استاد فاضل و اندیشمند، جناب آقای دکتر رمضان رضبانی اومالی که زحمت استاد راهنمای این پایان نامه را متقبل شدند و در کمال سعه صدر، با حسن خلق و بزرگواری، با مهربانی و گذشت، از هیچ کمک و لطفی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و اگر حمایت های پدران ایشان و لطف بی دریغ ایشان نبود قطعا این پایان نامه به سرانجام مطلوب نمی رسید، بسیار سپاسگزار و متشکرم. مقام شاگردی در مکتب ایشان افتخار بزرگی است که نصیب من گردید، باشد که همواره در مقام شاگردیشان باقی بمانم.

از استاد صبور و بزرگوارم، جناب آقای دکتر ناصر حافظی مقدس که زحمت استاد مشاور این پایان نامه را متقبل شدند در کمال سعه صدر، با حسن خلق و بزرگواری، با مهربانی و گذشت، از هیچ کمک و لطفی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و اگر حمایت های پدران ایشان و لطف بی دریغ ایشان نبود قطعا این پایان نامه به سرانجام مطلوب نمی رسید بسیار سپاسگزارم و خوشحالم که این پایان نامه بستری را فراهم نمود تا بتوانم افتخار شاگردی ایشان را داشته باشم، باشد که همواره از مساعدت های ایشان بهره مند گردم. بر خود لازم میدانم که از تمام کسانی که به نتیجه رساندن این پایان نامه از کمک ها و همراهی و همفکری-یشان بهره مند شدم، تشکر و قدردانی نمایم؛

به ویژه از آقایان:

جناب آقای مهندس حمید حافظی مقدس، مهندس علی معتمدی نیا، دکتر امیر سعادت دوست، مهندس سعید فخرقائم، مهندس بهروز کرابی، مهندس علی انتظار عرب، بابک فاخر خانم ها:

دکتر بهاره بروزی نیت، دکتر مریم جاویدی، مهندس الهه جباری، مهندس ندا شرفی، دکتر توران رضبانی، دکتر فاطمه ناصری، دکتر سمانه نادری، مهندس سارا غلامی، مهندس معصومه منیدری، مهندس اکرم جهانی، مهندس زهرا قدمگاهی، مهندس خدیجه حشمتی، مهندس راضیه نوربخش، مهندس نفیسه ابراهیمی و تمام عزیزانم که به من یاری بسیار رساندند تشکر ویژه دارم.

هانیه معمری

تابستان ۱۴۰۰

تعهد نامه

اینجانب **هانیه معمري** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین ساخت (تکتونیک) دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان ارزیابی **پهنه برشی گسل کشفرود در شمال دشت مشهد** تحت راهنمایی **دکتر رمضان رضانی اومالی** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (با بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

محدوده مورد مطالعه واقع در استان خراسان رضوی و در شمال دشت مشهد بین طول‌های جغرافیایی $59^{\circ}56'$ تا $59^{\circ}30'$ و عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ}15'$ تا $36^{\circ}36'$ قرار گرفته است. این منطقه از شمال به کپه-داغ (هزار مسجد) و از جنوب به سلسله رشته‌کوه‌های بینالود ختم شده است. درواقع این محدوده مابین حاشیه شمالی کوه‌های بینالود و جنوبی کپه‌داغ قرار گرفته است.

گسل کشف‌رود گسلی معکوس با راستای خم‌دار، شمال غرب - جنوب شرق که از شرق دریای خزر منطقه قفقاز شروع شده و تا شرق مشهد امتداد دارد و حدوداً ۱۲۰ کیلومتر طول دارد. و از نظر لرزه‌خیزی فعال محسوب می‌شود، که به موازات جنوب کوه‌های کپه‌داغ و کناره شمالی دشت مشهد کشیده و به روشنی آبرفت‌های کواترنر دشت مشهد را می‌برد و شیب آن به سوی شمال خاور می‌باشد.

در این مطالعه با کمک داده‌های داده‌های سنجش از دور، ژئوفیزیکی، و کمک گرفتن از مطالعات ریخت‌شناسی منطقه و بازدیدهای صحرایی به بررسی پهنه برشی گسل کشف‌رود پرداخته شده است.

درداده‌های دور سنجی با کار کردن بر روی تصاویر Aster که با توجه به توان تفکیک آن (۱۵ متر) برای انجام استخراج خطواره‌ها، در محیط‌های (Envi, Arc map, Pci geomatica, Google earth, Polar plots) و مقایسه‌ی داده‌های به دست آمده با یکدیگر روشی مناسب در استخراج خطواره‌ها ارائه گردد. بدین منظور خطواره‌ها به طور جداگانه بر روی داده‌های خام تصاویر Aster با محیط‌های نام برده تغییرات لازم داده شده و نقشه خطواره‌ها استخراج گردیده است. و سپس خطواره‌های غیر ساختاری مانند جاده‌ها و آبراهه‌ها از داده‌ها حذف شده؛ و در ادامه دیگرام گل‌سرخ و نمودارهای فروانی نسبی در تعداد شکستگی‌های موجود در سطح، در سه گسل اصلی و سه زاویه مقایسه شده است.

همچنین در مطالعات ریخت‌شناسی منطقه به بررسی دقیق‌تر مخروط افکنه در سال‌های ۱۹۶۴ و ۲۰۲۱ پرداخته شده است. بر اساس بررسی شاخص‌های مورفوتکتونیک، و مشاهده تغییرات طی سالیان فعال بودن منطقه از نظر تکتونیک فعال می‌باشد و گام بعدی در این پژوهش مطالعات ژئوفیزیکی می‌باشد که در اینجا بررسی مطالعه دشت مشهد از روش مقاومت ویژه الکتریکی با آرایش شلومبرژه استفاده شد. در این آرایش با زیاد کردن طول الکترودهای جریان، عمق نفوذ جریان بیشتر شده و لایه‌های عمیق‌تری مورد مطالعه قرار می‌گیرد بر اساس اطلاعات ژئوفیزیکی شاخه‌های فرعی از گسل کشف‌رود در شمال دشت مشهد شناسایی شده است.

کلید واژه: دشت مشهد - گسل کشف‌رود - کپه‌داغ

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل ۱: کلیات

۱-۱- مقدمه.....	۲
۱-۲- موقعیت جغرافیایی.....	۳
۱-۳- راههای دسترسی.....	۳
۱-۴- تعریف مسأله و هدف تحقیق.....	۴
۱-۵- تاریخچه مطالعات پیشین.....	۵
۱-۶- روش مطالعه و انجام تحقیق.....	۱۰

فصل ۲: زمین‌شناسی عمومی

۲-۱- مقدمه.....	۱۲
۲-۲- موقعیت ساختاری کپه‌داغ.....	۱۶
۲-۲-۱- نظریه اوراسیایی.....	۱۶
۲-۲-۲- نظریه گندوانایی.....	۱۶
۲-۳- زمین‌شناسی کپه‌داغ.....	۱۷
۲-۴- بررسی زمین‌ساخت کپه‌داغ.....	۱۸
۲-۵- لرزه‌زمین‌ساخت کپه‌داغ.....	۱۹
۲-۶- چهارچوب ساختاری-چینه‌ای.....	۲۱
۲-۷- زمین‌شناسی بینالود.....	۲۵
۲-۸- جایگاه تکتونیکی گسل کشف‌رود.....	۲۶
۲-۹- گسل‌های اصلی کپه‌داغ.....	۲۹
۲-۹-۱- پهنه گسلی عشق‌آباد.....	۳۰
۲-۹-۱-۱- گسل معکوس کپه‌داغ شمالی.....	۳۱
۲-۹-۱-۲- گسل شان‌دیز.....	۳۲
۲-۹-۱-۳- پهنه گسلی قوچان - رباط (قوچان - باخاردن).....	۳۳
۲-۹-۱-۴- گسل کارده.....	۳۳
۲-۹-۱-۵- گسل توس.....	۳۴

۳۴.....	۲-۹-۱-۶- گسل کشف‌رود.....
---------	---------------------------

فصل ۳: سنجش از دور با تمرکز بر گسل کشف‌رود

۴۰.....	۳ _ ۱ _ مقدمه.....
۴۱.....	۳ _ ۲ _ استخراج خطواره‌ها.....
۴۱.....	۳ _ ۳ _ روش انجام کار.....
۴۲.....	۳ _ ۳ _ ۱ _ زاویه ۹۰.....
۴۵.....	۳ _ ۳ _ ۲ _ زاویه ۱۳۵.....
۴۷.....	۳ _ ۳ _ ۳ _ زاویه ۱۸۰.....
۴۹.....	۳ _ ۴ _ ۱ _ گسل A.....
۵۰.....	۳ _ ۴ _ ۲ _ گسل B.....
۵۱.....	۳ _ ۴ _ ۳ _ گسل C.....

فصل ۴: مطالعات ریخت زمین‌ساخت (مورفوتکتونیک)

۵۴.....	۴-۱- مقدمه.....
۵۴.....	۴-۲- تراس‌های آبرفتی.....
۵۶.....	۴-۳- مخروط‌افکنه‌ها.....
۵۷.....	۴-۳-۱- بررسی مخروطه در سال ۱۹۶۴.....
۵۹.....	۴-۳-۲- بررسی مخروطها در سال ۲۰۲۱.....
۶۱.....	۴ _ ۴ شاخص پهنای دره به عمق دره (Vf).....

فصل ۵: مطالعات ژئوفیزیک با تمرکز بر گسل کشفرود

۶۴	۵-۱- مقدمه.....
۶۴	۵-۲- معرفی روش.....
۶۵	۵-۲-۱- حوزه‌های کاربرد.....
۶۶	۵-۳- شبکه‌بندی و آرایش‌های صحرایی.....
۶۷	۵-۴- روش تحقیق.....
۶۸	۵-۴-۱- پروفیل JKI.....
۷۰	۵-۴-۲- پروفیل WV.....
۷۳	۵-۴-۳- پروفیل AA.....
۷۶	۵-۴-۴- پروفیل TVZ.....

فصل ۶: تحلیل ساختاری گسل کشفرود

۸۰	۶-۱- مقدمه.....
۸۱	۶-۲- پارامترهای لازم جهت تحلیل هندسی و جنبشی و سازوکار گسل.....
۸۲	۶-۳- روش‌های تحلیل سازوکار گسل‌ها.....
۸۲	۶-۴- سازوکار غالب گسل‌ها در زون‌های کپه‌داغ و بینالود.....
۸۳	۶-۵- موقعیت جغرافیایی منطقه و نقاط پیمایش شده.....
۸۵	۶-۶- عملکرد گسل بر بستر رودخانه.....
۸۹	۶-۷- جابجایی لایه‌ها طی عملکرد گسل.....
۸۸	۶-۸- ژئومورفولوژی.....
۹۱	۶-۹- چشمه در محدوده گسل کشفرود.....

فصل ۷: نتیجه‌گیری

۹۵	نتیجه‌گیری.....
۱۰۱	منابع.....

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ نقشه راه‌های دسترسی و موقعیت جغرافیایی منطقه که با کادر قرمز مشخص شده است.....	۴
شکل ۱-۲ موقعیت کمر بند چین خورده رانده کپه داغ در شمال شرق ایران	۱۴
شکل ۲-۲ نقشه گسل‌های فعال ایران.....	۲۰
شکل ۳-۲ ستون چینه سازندهای حوضه رسوبی کپه‌داغ.....	۲۷
شکل ۴-۲ ارائه شماتیک از یک مکانیسم ممکن از ساختار.....	۲۹
شکل ۵-۲ مقطع عرضی از عملکرد گسل عشق‌آباد.....	۳۰
شکل ۶-۲ نقشه گسل‌های شمال شرق ایران که در آن موقعیت‌های گسل اصلی کپه‌داغ	۳۲
شکل ۷-۲ نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه.....	۳۶
شکل ۱-۳ تصاویر استر استخراج شده در نرم افزار envi تصویر اصلی و سه زاویه مورد بررسی.....	۴۲
شکل ۲_۳ خطواره‌ها در زاویه ۹۰ درجه.....	۴۴
شکل ۳_۳ نمودار تعداد شکستگی در زاویه ۹۰ درجه.....	۴۴
شکل ۴_۳ خطواره‌ها در زاویه ۱۳۵ درجه.....	۴۶
شکل ۵_۳ نمودار تعداد شکستگی در زاویه ۱۳۵ درجه.....	۴۶
شکل ۶_۳ خطواره‌ها در زاویه ۱۸۰ درجه.....	۴۸
شکل ۷_۳ نمودار تعداد شکستگی در زاویه ۱۸۰ درجه.....	۴۸
شکل ۸_۳ تعداد شکستگی در گسل A.....	۴۹
شکل ۹_۳ تعداد شکستگی در گسل B.....	۵۰
شکل ۱۰_۳ تعداد شکستگی در گسل C.....	۵۱
شکل ۱-۴ تراس آبرفتی.....	۵۵
شکل ۲-۴ مورفولوژی مخروطه افکنه‌ها a پیشانی‌های فعال b پیشانی‌های با فعالیت کم	۵۶
شکل ۳-۴ تصویر مخروط افکنه‌های دشت مشهد در بخش‌های شمال و جنوب در سال ۱۹۶۴.....	۵۸
شکل ۴-۴ تصویر مخروط افکنه‌های (الف) شمال دشت مشهد (ب) جنوب دشت مشهد در سال ۲۰۲۱.....	۶۰
شکل ۵-۴ مقطع عرضی یک دره فرضی و پارامترهای لازم جهت محاسبه (Vf).....	۶۲
شکل ۱-۵ مقطع ژئوالکتریکی پروفیل JKJ و تصویر ماهواره‌ای محل سونداژها.....	۹۶
شکل ۲-۵ مقطع ژئوالکتریکی پروفیل WV و تصویر ماهواره‌ای محل سونداژها.....	۷۲
شکل ۳-۵ نقشه مقطع ژئوالکتریکی پروفیل AA و تصویر ماهواره‌ای محل سونداژها.....	۷۵
شکل ۴_۵ نقشه مقطع ژئوالکتریکی پروفیل TVZ و تصویر ماهواره‌ای محل سونداژها.....	۷۷
شکل ۵_۵ تصویر ماهواره‌ای و محل قرار گیری گسل‌های احتمالی.....	۷۸

- شکل ۶-۱. نشانگرهای جنبشی سطوح لغز در گسل‌ها..... ۸۲
- شکل ۶-۲. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی..... ۸۴
- شکل ۶-۳. تغییرات صورت گرفته توسط نیروی انسانی..... ۸۵
- شکل ۶-۴ (الف و ب) اختلاف ارتفاع _ پ) نقاط مستعد جهت عملکرد فرسایش دیواره حوضه _ ت) تراس آبرفتی و مئاندر رودخانه _ ث) مئاندر رودخانه در بخش دیگر از رودخانه _ ج) بیرون زدگی سنگ‌بستر..... ۸۵
- شکل ۶-۵. بیرون زدگی مارن در بستر رودخانه..... ۸۷
- شکل ۶-۶. ارتفاعات صخره ساز..... ۸۸
- شکل ۶-۷. بیرون زدگی ماسه سنگ‌های قرمز شوریجه..... ۸۹
- شکل ۶-۸. مرز بین ماسه سنگ و مارن..... ۹۰
- شکل ۶-۹. اختلاف ارتفاع در رودخانه..... ۹۱
- شکل ۶-۱۰. چشمه در محدوده مطالعاتی..... ۹۲
- شکل ۶-۱۱. نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از چشمه‌های شمال دشت مشهد..... ۹۳
- شکل ۶-۱۳. تصویر هوایی نقاط شناسایی گسل‌ها..... ۹۴
- شکل ۷-۱. نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه..... ۹۹
- شکل ۷-۲. نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه و تعیین چند گسل احتمال با کمک داده‌های ژئوفیزیکی..... ۱۰۰

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۲-۱ سازندهای زیر پهنه کپه‌داغ.....	۲۲
جدول ۲-۲ خصوصیات چینه‌شناسی واحدهای تشکیل دهنده مقاطع تیپ سازندها و منطقه مورد مطالعه.....	۲۶
جدول ۴-۱ مخروط افکنه‌های سال ۱۹۶۴.....	۵۸
جدول ۴-۲ مخروط افکنه‌های ۲۰۲۱.....	۶۰
جدول ۴-۴ دره.....	۶۲
جدول ۷-۱ رده بندی دوره بازگشت گسل و اهمیت سازه‌های مجاز.....	۹۵

فصل ۱

کلیات

پهنه کپه‌داغ یک کمربند کوهزایی است که با طول ۷۷۰ کیلومتر از دریای خزر (شمال ایران) تا افغانستان امتداد دارد، صفحات توران و ایران مرکزی را از هم جدا می‌کند. این کمربند پاسخگوی حد شمال‌خاوری از برخورد صفحات عربی با اوراسیا می‌باشد. کپه‌داغ در قسمت جنوب‌خاوری به ارتفاع ۳ هزار متر می‌رسد و به سمت شمال‌باختری ارتفاع آن کاسته می‌شود (Masson et al, 2007) این کمربند در یک‌روند شمال‌باختری - جنوب‌خاوری چین‌خورده است. چین‌ها در غرب کپه‌داغ روند ENE_WSW و در شرق امتداد شمال‌باختری - جنوب‌خاوری دارند و در قسمت مرکزی دارای امتداد شرقی - غربی هستند. گسل‌های بسیاری کپه‌داغ را قطع می‌کنند که به ۲ دسته تقسیم می‌شوند (Ramazani oomali et al, 2008).

_ گسل‌های فعال همزمان با کوهزایی

_ گسل‌های فعال همزمان با رسوب‌گذاری

گسل‌های متعددی در پهنه کپه‌داغ وجود دارد که یکی از این گسل‌ها، گسل کشف‌رود می‌باشد. گسل معکوس کشف‌رود گسلی با راستای خم‌دار شمال‌خاور - جنوب‌باختر که نزدیک به ۱۲۰ کیلومتر درازا دارد. گسل بنیادی کشف‌رود به موازات رشته‌کوه‌های کپه‌داغ و کناره شمالی دشت مشهد کشیده شده و به‌وضوح آبرفت‌های کواترنر شمال دشت مشهد را قطع می‌کند. شیب گسل کشف‌رود به‌سوی شمال‌خاوری قرار گرفته است. این گسل باعث شده که، دولومیت و سنگ‌آهک مزدوران باسن ژوراسیک و شیل‌های گچ‌دار قرمز و قهوه‌ای و ماسه‌سنگ شوريجه با سن کرتاسه پیشین (از سمت شمال‌خاور) بر روی رسوبات آبرفتی و پهنه‌های سیلتی کواترنر دشت مشهد (در جنوب‌باختر) رانده شده‌اند. وجود ریخت‌های تخت سه‌گوش زیبا در راستای گسل، برش در رسوبات جوان آبرفتی و چشمه‌های فراوان و ایجاد دیواره در تمامی طول گسل نشانه‌های از فعالیت گسل فشارشی کشف‌رود است (Berberian & Qrashi 1989). گسل کشف‌رود گسلی لرزه‌زاست و گمان می‌رود دو زمین‌لرزه ۳۰ ژوئیه ۱۶۷۳ میلادی و آوریل ۱۶۸۷ مشهد به سبب حرکت دوباره این گسل رخ داده‌اند. (Berberian 1981).

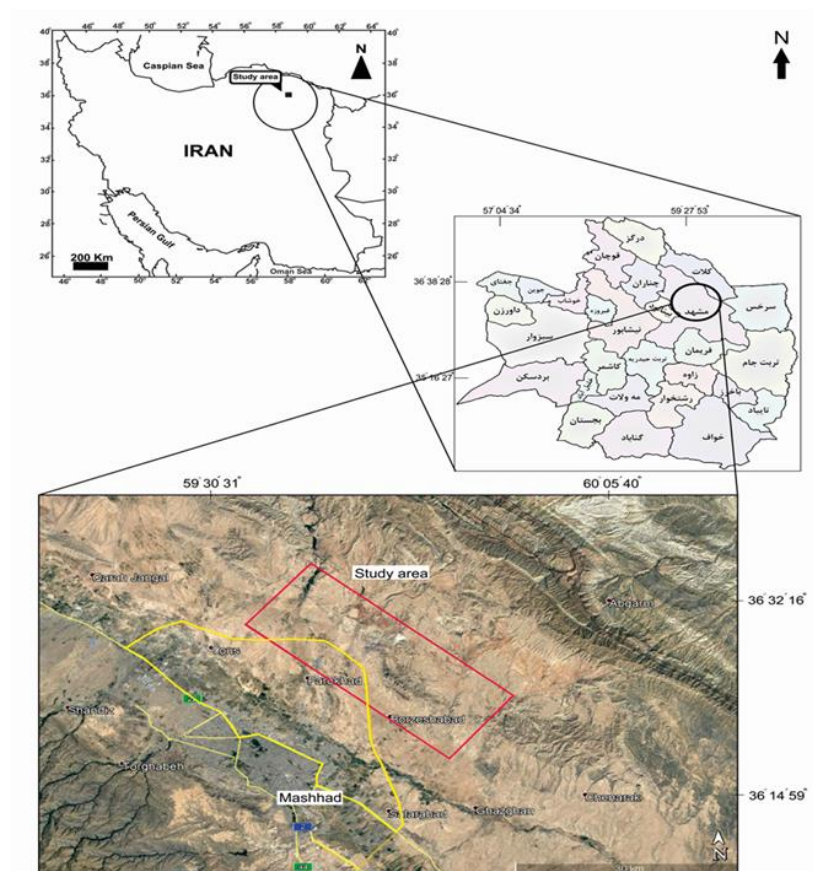
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی

محدوده مورد مطالعه در ورقه زمین شناسی مشهد در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، در شمال خاوری ایران و در حدفاصل عرض‌های جغرافیایی "۳۶°۱۵'۰۰" تا "۳۶°۳۰'۰۰" شمالی و طول‌های جغرافیایی "۵۹°۳۰'۰۰" تا "۵۹°۵۶'۳۰" خاوری قرار دارد.

کلان‌شهر مشهد، مرکز استان خراسان رضوی، در خاور و شمال خاوری نقشه قرار دارد. کلان‌شهر مشهد در سده اخیر شاهد رشد بالایی از جمعیت در این کلان‌شهر بوده است، این رشد جمعیتی نه تنها در محدوده کلان‌شهر مشهد بلکه در روستاها و شهرک‌های اطراف نیز طی دو دهه گذشته قابل توجه بوده و بنابر آخرین آمار جمعیت شهرستان مشهد ۳ میلیون و ۳۷۲ هزار و ۶۶۰ نفر است.

۳-۱- راه‌های دسترسی منطقه

اصلی‌ترین راه دسترسی به منطقه جاده آسفالتی آزادراه کنارگذر شمالی می‌باشد، که در طول مسیر از سمت شرق به غرب از منطقه‌های سالارآباد، رضویه، قازقان، کنه‌بیست، ناربند، مهرآباد، شرشر، فارمد، همت‌آباد، توس، حسن‌آبادگرگی، رضوان، اندرخ گذر می‌کند (شکل ۱-۱). به دلیل وسعت در روستاها و اتصال آن‌ها با یکدیگر راه دسترسی به منطقه بدون ایجاد مشکل میسر گردید.



شکل ۱-۱ نقشه راه‌های دسترسی و موقعیت جغرافیایی منطقه کشف‌رود با کادر قرمز رنگ مشخص شده است.

۴-۱- تعریف مسأله و هدف تحقیق

– با بررسی اولیه گزارش‌ها، مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته نشان‌دهنده‌ی فعال بودن پهنه‌برشی گسل کشف‌رود می‌باشد.

– موقعیت محدوده شهری و مسکونی نسبت به پهنه برشی گسل کشف‌رود ایجاد می‌کند که ارزیابی مناسبی روی پهنه برشی صورت گرفته و برای آن حریم تعیین کنیم.

– بررسی ساختاری زون گسلی کشف‌رود که با پیمایش در محدوده پهنه برشی گسل در قسمت شمال دشت مشهد انجام شده و متأسفانه در این قسمت زون گسلی رخنمون نداشته است؛ بنابراین با استفاده از مطالعات

ژئوفیزیکی، شاخص‌های مورفوتکتونیک و ویژگی تکتونیک مخروطه‌افکنه‌ها، بررسی خطواره‌ها به روش اتوماتیک وضعیت تکتونیک پهنه‌برشی گسل کشف‌رود مورد مطالعه و بررسی قرار دهیم.

- بررسی لرزه‌خیزی منطقه در نظر گرفته شده بود که به دلیل اینکه داده‌های خردلرزه در مورد پهنه گسلی موجود نیست بررسی لرزه‌خیزی منطقه میسر نگردید.

۱-۵- تاریخچه مطالعات پیشین

حوضه کشف‌رود در شمال دشت مشهد از جوانب مختلف زمین‌شناسی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. مطالعات انجام شده در این حوضه شامل :

۱ - ناصر حافظی مقدس و محمدرضا قائم مقامیان (۱۳۸۸) ارزیابی ضخامت آبرفت در شهر مشهد بر اساس بررسی‌های میکروترمور، تبدیل بزرگ‌نمایی آبرفت در ۲۰۰ نقطه از کلان‌شهر مشهد بر اساس روش نسبت طیفی و در ۱۲ نقطه از شهر مشهد نیز به روش توری خطی معادل تعیین شده است. دوره تشدید برآورد شده با دو روش ذکر شده تنها در برخی از نقاط که حفاری ژئوتکنیکی تا سنگ‌بستر ادامه داشته، هم‌خوانی مناسبی دارد و در سایر نقاط ذکر شده، اختلاف تقریباً بالایی مشاهده می‌شود. در بسیاری از توابع تبدیل اوج دومی در دوره‌های پایین‌تر از دوره تشدید مشاهده شده که مربوط به لایه بالایی با تغییرات سرعت و امپدانس مشخص نسبت به لایه‌های پایینی می‌باشد. بر اساس میانگین سرعت موج‌برشی و دوره تشدید در نقاطی که هم‌خوانی بین نتایج دو روش نسبت طیفی و تئوری خطی معادل قابل قبول بوده است رابطه تجربی بین ضخامت آبرفت و دوره تشدید به دست آمده و بر اساس آن ضخامت آبرفت و نیز پروفیل زیرسطحی خاک در بخش‌های مختلف کلان‌شهر مشهد ارزیابی شده است.

۲ - محمد جمالی و سید طاها طباطبایی عقدا (۱۳۹۳) ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی شهر مشهد در برابر زلزله با استفاده از مدل‌های تلفیقی AHP و ANP و FUZZY TOPSIS، میزان آسیب‌پذیری فیزیکی-کالبدی شهر مشهد در بخش‌های کشف‌رود دارای بیشترین مقدار می‌باشد که درستی فرضیه‌ی اول تحقیق را به روشنی

مشخص کرده، همچنین محدوده‌ی کشف‌رود، که امتیاز ویژه‌ای به مقاوم‌سازی و کیفیت ساخت‌وساز در نرم‌افزار Fuzzy Topsis به آن اختصاص یافت، نیازمند نگاه و تأمل بیشتر مسئولان در این زمینه است.

۳ - مریم لطفی توتشامی و همکاران (۱۳۹۴) بررسی‌های صورت گرفته بر روی لرزه‌خیزی گسل توس، و نتایج استخراج‌شده از مشاهدات لرزه‌زمین‌ساختی این گسل نشان می‌دهند، که گسل توس با درازای تقریبی ۸۰ کیلومتر، توان لرزه‌ای برای حداقل بزرگی ۴.۴ را دارا می‌باشد. بنا بر نتایج حاصله این گسل، گسلی است با پتانسیل لرزه-خیزی که با توجه به نزدیکی آن به مناطق مسکونی، فعالیت‌های لرزه‌ای آینده این گسل می‌تواند این مناطق را به شدت تحت تأثیر خود قرار دهد.

۴ - پوریان دهقان و همکاران (۱۳۹۲) بررسی اشکال ژئومورفولوژی حوضه کشف‌رود (شمال شرق ایران)، با استفاده از مطالعات ریخت‌شناسی انجام‌شده، می‌توان مناطق رسوب‌زا را شناسایی کرد و با برآورد حجم رسوب ایجاد شده که به دریاچه‌ی سد شریجه در پایین‌دست رودخانه حمل می‌شود، از رسوب‌زایی و حمل رسوبات جلوگیری کرد.

۵ - غلام‌رضا لشکری پور و همکاران (۱۳۸۸) بررسی منشأ و عوامل مؤثر در آلودگی منابع آب سطحی و زیرسطحی مسیر رودخانه کشف‌رود (دشت مشهد)، بعد از مشاهده و شناسایی مراکز آلودگی در نقاط تعیین‌شده رودخانه کشف‌رود، پساب واحدهای صنعتی و تولیدی موجود در محدوده مطالعاتی را می‌توان به‌عنوان اصلی‌ترین گزینه در آلاینده‌ی رودخانه کشف‌رود تعیین کرد. داده‌های حاصل از آزمایش‌ها کیفی نمونه‌های ۱۷ چاه مورد استفاده صنعت در غرب آبخوان نشان می‌دهند که در مورد ۵ عنصر و به‌ویژه تأثیر مخرب و غلظت بالای عناصر وانادیوم، آرسنیک و جیوه وضعیت سلامت جامعه با روند تولید کنونی نگران‌کننده است، در نهایت بهترین راه‌حل، انتقال پساب واحدهای صنعتی به تصفیه‌خانه‌های مجهز و استاندارد می‌باشد.

۶ - اصغر آزادی و همکاران (۱۳۸۸) ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی گسل توس در شمال شهر مشهد، بررسی وضعیت هندسه گسل با تحقیقات ژئوالکتریک در محدوده نزدیک خواجه ربیع، گسل توس را

گسلی معکوس با شیب به سمت جنوب باختر نشان می‌دهد. با توجه به ساخت و سازهای گسترده و پروژه‌های مهم نظیر الماس شرق در ناحیه شمال شهر مشهد لازم است به خطر زمین‌لرزه _ گسلش ناشی از فعالیت این گسل توجه ویژه شود.

۷ - موسی‌الرضا سعید نژاد، رضا آسایش پور (۱۳۹۲) مطالعه لرزه‌زمین‌ساخت گستره خراسان رضوی با بررسی ویژه بر گسل کشف‌رود، طبق بررسی‌های انجام‌شده، گسل کشف‌رود به علت نزدیکی به مرکز استان، طول نسبتاً زیاد و مکانیسم آن و همچنین شواهد لرزه‌خیزی و زمین‌ریخت‌شناسی موجود، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چشمه‌های لرزه‌ای بالقوه منطقه شناخته‌شده که می‌بایست مورد توجه خاص قرار گیرد.

۸ - لطف‌الله آقاجری و همکاران (۱۳۹۶) پهنه‌بندی ساختاری و ریخت زمین‌ساختی کپه‌داغ شرقی، میزان دگرشکلی و بالآمدگی در زیر پهنه کپه‌داغ زیاد است و به‌سوی شمال خاور به آرامی کاهش می‌یابد؛ بنابراین فراوانی گسل‌های راندگی و چین‌های فشرده و نامتقارن و همچنین شدت لرزه‌خیزی در این زیر پهنه بیشتر است. زیر پهنه کپه‌داغ در زمان کشش ژوراسیک میانی، بیشترین فرونشینی، گسل‌های کششی و نهشته‌ها را در خود داشته است. به همین دلیل این زیر پهنه در هنگام وارونگی زمین‌ساختی حوضه، دچار بیش‌ترین دگرشکلی شده است. دگرشکلی ساختاری در زیر پهنه‌های کپه‌داغ و درگز _ سرخس به‌سوی جنوب شرق به آرامی کاهش می‌یابد.

۹ - مهدی‌رضا پورسلطانی و همکاران (۱۳۸۵) تفسیر محیط رسوبی سازند کشف‌رود (باژوسین بالایی - باتونین زیرین)، بر مبنای ایکنوفسیل‌ها در شمال خاور ایران، سازند کشف‌رود در یک محیط رودخانه‌ای دلتایی و دریایی (به‌ویژه ژرف‌تر حوضه) برجای نهاده شده است. امید است تا این اطلاعات بتواند علاوه بر تفسیر جغرافیای دیرینه منطقه به شناخت شرایط زمین‌ساختی حوضه در زمان رسوب‌گذاری کمک نماید.

۱۰ - وفاخواه و همکاران (۱۳۹۱) تحلیل روند بارندگی و دبی در حوضه‌ی آبردار کشف‌رود، با ایجاد سد و استفاده از زمین‌های کشاورزی بیشتر سعی در بهره‌برداری و مهار بیشتر آب‌های روان در منطقه گردیده است. در رابطه با بزرگی روند، میزان کم یا زیاد شدن دبی آب در بیشتر نقاط مورد بررسی بسیار محدود بوده است. پیشنهاد

می‌شود با توجه به روند کاهش دبی در حوزه‌ی آبدار کشف‌رود، بهره‌برداری مناسبی از منابع آب موجود صورت گیرد.

۱۱ - مریم حسینیان و همکاران (علوم زمین، شماره ۵۷) زیست‌چینه‌شناسی و رسوب‌شناسی سازند کشف‌رود با توجه خاص به زیادی آمونیت، مقایسه مقاطع مورد مطالعه نشان می‌دهد که محیط رسوبی آن‌ها یکنواخت نبوده و در مواردی رخساره‌های کم‌عمق در جهت جانبی به رخساره‌های عمیق تبدیل می‌شوند. علت این امر می‌تواند مربوط به ساخته‌شدن مخروط‌های زیردریایی باشد که باعث مهاجرت جانبی محیط‌ها شده و واحدهای رسوبی و توالی‌های رخساره‌های مشخصی را ایجاد می‌کنند. معمولاً این‌ها توالی‌های درشت شونده یا ریز شونده به طرف بالا را در مقیاس بزرگ ایجاد کرده که با تغییراتی در ضخامت لایه‌ها و تنوع ساختارهای رسوبی همراه است. به‌طور کلی از آنجا که در مقطع جاده گاز، ماسه‌سنگ و شیل‌های سازند کشف‌رود به‌طور همساز و تدریجی به آهک‌ها و مارن‌های آمونیت‌دار سازند چمن بید به سن آلوین پیشین تبدیل می‌شود، سن سازند کشف‌رود را می‌توان با ژوسین تا باتونین پسین در نظر گرفت.

۱۲ - اعظم قزی و همکاران (۱۳۹۲) بررسی اهمیت زمین‌ریخت‌شناسی بر روی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی نهشته‌های آبرفتی شهر مشهد، بررسی اهمیت عوامل محیط رسوبی بر روی خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی بیان می‌کند که در واحد کوه‌پایه مقدار عددی نفوذ استاندارد بیشتر از دیگر ایستگاه‌ها بوده، ضمن اینکه بافت خاک در این پهنه بیشتر شنی بوده، بررسی کانی‌های رسی منطقه با استفاده از نمودار فعالیت نشان می‌دهد که حضور کانی اسمکتیت در پهنه کوه پایه‌ای، مخروط‌افکنه‌های جنوبی و مخروط‌افکنه گلستان بوده است. کانی اسمکتیت در پهنه کوه پایه‌ای و کانی کائولینیت در پهنه دشت هموار غالب می‌باشند. کم‌ترین مقدار چسبندگی مربوط به پهنه مخروط‌افکنه گلستان بوده و بیشترین مقدار مربوط به پهنه کوه‌پایه بوده که تأییدی بر خصوصیت نوع کانی رسی می‌باشد که خود تأثیر گرفته از محیط زمین‌ریخت‌شناسی بوده. بیشترین زاویه اصطکاک داخلی در پهنه مخروط‌افکنه طرق دیده‌شده است که به‌روشنی خصوصیت سنگ مادری رسوبات را بیان می‌دارد.

۱۳ - سید محمود اظهري و همکاران (۱۳۹۶) بررسی ساختار سرعتی پوسته فوقانی در ناحیه شمال خاور ایران در محدوده گسل‌های کشف‌رود و بینالود، در بخشی از جنوب مشهد یک ناپیوستگی بارز سرعتی دیده می‌شود. این تغییر سرعت در ژرفای ۴ کیلومتر مشاهده می‌شود اما در ژرفای ۸ کیلومتر دیده نمی‌شود احتمالاً ای تغییرات سرعتی ناشی از انباشت رسوبات آبرفتی در منطقه است که روی سنگ‌بستر با ضخامت متفاوت قرار دارد. هم‌چنین با توجه به نتایج توموگرافی، ناحیه منطبق بر سیستم گسلی شان‌دیز نسبت به طرفین خود سرعت کم‌تری نشان می‌دهد.

۱۴ - مسعود دوست‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) بررسی احتمال وجود گسل با استفاده از داده‌های نقطه‌میان‌ی مشترک ژئورادار، برای شناسایی گسل توسط روش ژئورادار، در آغاز به روش پروفیل‌یابی انعکاسی شروع به برداشت داده کرده. سپس با یک گزارش اولیه برای تعیین دقیق وضعیت لایه‌بندی، با مشخص کردن نقاط CMP برای به دست آوردن مدل سرعتی و در نتیجه جنس مواد در لایه‌های مختلف زیرسطحی شروع به برداشت‌های مورد نیاز کرده.

۱۵ - یونس غلامی و همکاران (۱۳۹۴) پیش‌بینی فضا‌های آسیب‌پذیر شهر مشهد هنگام وقوع زلزله، رشد نامناسب، بی‌رویه و غیراصولی شهر مشهد، به‌ویژه در چند دهه اخیر، ساخت‌وساز در محدوده‌های ممنوعه گسل‌ها و مناطق مستعد ناپایدار و آسیب‌پذیر زمین‌شناختی، نداشتن مدیران کارآمد در هنگام بروز خطر و نبود توانمندی‌های عملیاتی کافی برای بحران، وجود مناطق آسیب‌پذیر و بسیاری موارد دیگر نشان می‌دهند که در صورت بروز زلزله‌ای شدید در کلان‌شهر مشهد، تلفات و صدمات جبران‌ناپذیری به این شهر وارد خواهد شد.

۱-۶- روش مطالعه و انجام تحقیق

روش مطالعاتی در این پژوهش را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

- ✓ جمع‌آوری و مطالعه‌ی مقالات، گزارش‌ها و کتاب‌ها در ارتباط با موضوع مورد پژوهش، بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ مشهد و کلات نادر و ۱:۲۵۰۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای جهت آشنایی با موقعیت و وضعیت جغرافیایی، توپوگرافی و نحوه گسترش ساختارها.
- ✓ تهیه داده‌های ژئوفیزیکی منطقه از شرکت زمین فیزیک پویا برای ساختارهای زیرسطحی.
- ✓ بررسی تصاویر ماهواره‌ای استر با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر جهت شناسایی ساختارها و خطواره‌ها.
- ✓ پیمایش صحرایی با تأکید بر اندازه‌گیری ساختاری در منطقه، اعم از چین‌خوردگی، گسل‌ها، شکستگی‌های مرتبط با گسل خوردگی و لایه‌بندی و بررسی پهنه برشی.
- ✓ در ابتدا به تجزیه و تحلیل داده‌های حاصله از مشاهدات صحرایی پرداخته شد. که بنا به پنهان بودن گسل در محدوده شمال دشت مشهد به مواردی چون شاخص‌های مورفوتکتونیک و بررسی تأثیر عملکرد گسل بر مخروطه‌افکنه‌ها در سال‌های ۲۰۲۱ و ۱۹۶۴ پرداخته شده است؛ و همچنین مطالعات ژئوفیزیکی، بررسی خطواره‌ها به روش اتوماتیک پرداخته شده است.
- ✓ تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه
- ✓ تهیه نقشه ساختاری منطقه

فصل ۲

زمین‌شناسی عمومی

پهنه رسوبی - ساختمانی کپه‌داغ شامل کوه‌های هزار مسجد در شمال شرق ایران است که، از شرق دریای خزر شروع و بعد عبور از ترکمنستان و ایران، وارد خاک افغانستان می‌شود.

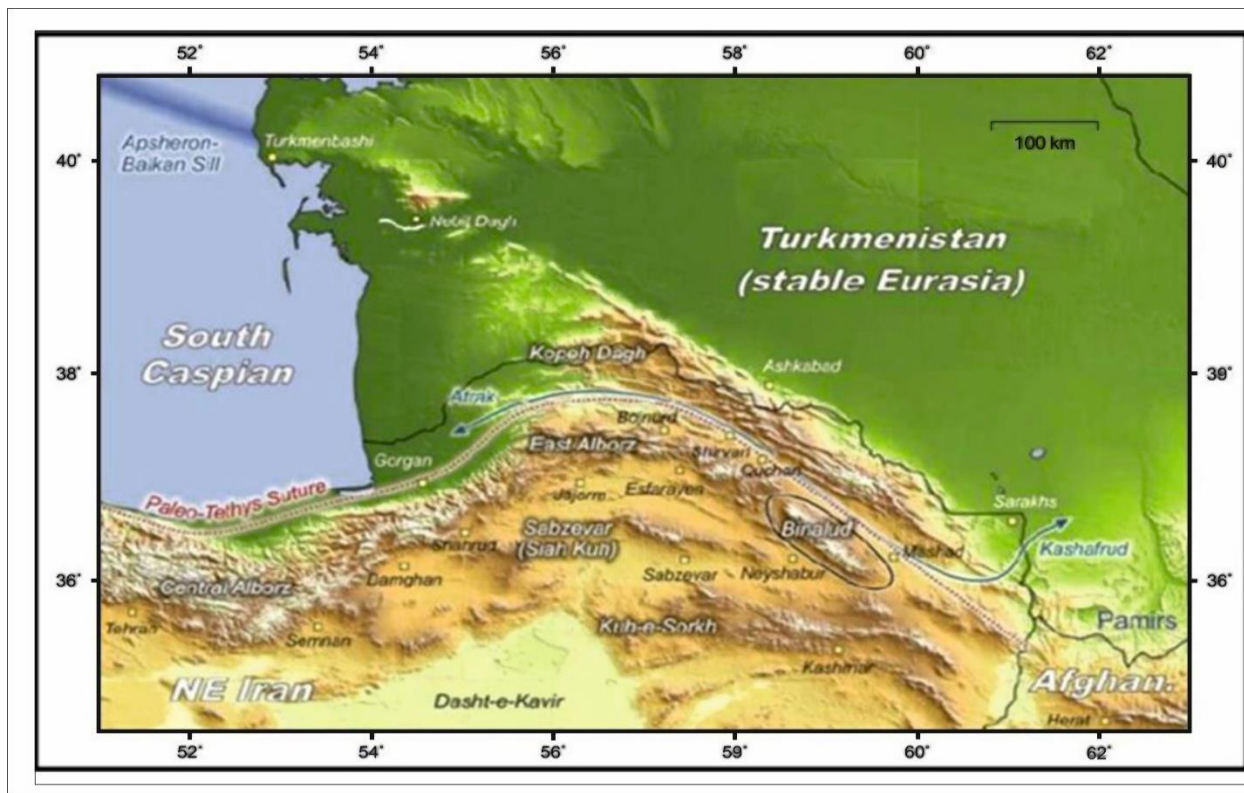
مرز شمالی پهنه کپه‌داغ با فلات توران، هم‌سو بر گسل عشق‌آباد می‌باشد که روند این گسل N 310 درجه است. در مورد مرز جنوبی کپه‌داغ، نظریات مختلفی وجود دارد، ولی این مرز با بیرون زدگی‌های (exposure) ناپیوسته منشورهای بر افزایش تئیس کهن مشخص شده است؛ که در شمال شرق فریمان (سفیدسنگ) و جنوب غربی مشهد رخنمون دارند. از نظر زمین‌ریخت‌شناسی، کپه‌داغ منطقه‌ای کوهستانی است که فازهای آلپ پایانی در به وجود آمدن چهره امروزی آن نقش بنیادی داشته است. زمین‌ریخت‌شناسی منطقه، از نظر سن جوان است و توپوگرافی (topography) منطقه، رابطه‌ای مستقیم با ساختمان‌های زمین‌شناسی دارد. به‌طور معمول، تاقدیس‌ها در منطقه ارتفاعات، وناودیس‌ها دشت‌های میان کوهی را می‌سازند و سازندهای کربناتی مزدوران و تیرگان واحدهای برون‌زده و سیما ساز در منطقه کپه‌داغ هستند. دشت‌های سرخس، گرگان، مشهد - قوچان و شیروان - بجنورد از مناطق فروافتاده پهنه رسوبی ساختاری کپه‌داغ هستند (آقاباتی، ۱۳۸۳).

منطقه زمین‌ساختی کپه‌داغ یک کمر بند چین‌خورده فعال با راستای میانگین N60W و طول حدودی ۷۷۰ کیلومتر در درازای مرز ایران و ترکمنستان از دریاچه خزر تا افغانستان بین طول‌های 45° تا 61° خاوری و عرض‌های 66° تا 63° شمالی قرار گرفته است. کپه‌داغ را می‌توان بخشی از ادامه خاوری کوه‌های البرز دانست اما ویژگی‌های زمین‌شناختی و ساختمانی آن نسبت به مناطق هم‌جوار خود متفاوت می‌باشد (نبوی، ۱۳۵۵).

منطقه زمین‌ساختی کپه‌داغ پس از کوهزایی سیمیرین پیشین هنگامی که به‌ظاهر برخورد ایران و توران پایان یافته بود به شکل یک منطقه رسوبی شکل می‌گیرد و از ژوراسیک تا میوسن رسوبات بدون وجود چین‌ه‌شناسی اساسی ولی با رخساره‌های گوناگون بر روی هم قرار گرفته‌اند. این رسوبات بیشتر شامل شیل، سنگ‌آهک، مارن،

ماسه‌سنگ و گاهی کنگلومرا و سنگ‌های تبخیری است. وارون شدگی (Inversion) منطقه زمین‌ساختی کپه‌داغ شمال البرز شرقی زمانی بعد از الیگوسن پیشین تامیانی (Berberian & King, 1981). با برگشت از رسوب‌گذاری دریایی (سازند خانگیران ائوسن) به رسوب‌گذاری قاره‌ای (رسوبات قرمز قاره‌ای شبیه به سازند قرمز بالایی در ایران مرکزی) در مدت‌زمان میوسن اتفاق افتاده است (نبوی، ۱۳۵۵). و کنگلومرای پلیوسن به‌طور دگرشیب بر روی توالی قبل از خود جای می‌گیرد (افشارحرب ۱۳۷۳). رشته‌کوه شامل آهک کرتاسه و مولاس‌های شکل‌گرفته از البرز اولیه است که دستخوش بالآمدگی و در بخش ترکمنستان سن‌های ژوراسیک_کواترنری دستخوش گسلش راندگی شده‌اند.

(Lyberis & Manby, 1999) و در منطقه ایران سنگ‌های ژوراسیک _ نئوژن شبیه به هم هستند و نهشته‌های کواترنری تنها دستخوش گسلش و راندگی و نه چین‌خوردگی شده‌اند (نواب پور و همکاران، ۱۳۸۲). به سمت جنوب‌خاور منطقه زمین‌ساختی کپه‌داغ در مرکز تاقدیس آق‌دربند توالی رسوبات ژوراسیک_کرتاسه به‌صورت دگرشیب بر روی توالی چین‌خورده پرمین _ تریاس قرار می‌گیرند (شکل ۲-۱) (Ruttner, 1993).



شکل ۱-۲ موقعیت کمربند چین خورده رانده کپه داغ در شمال شرق ایران (Hollingworth, 2007)

دگرذیسی درج شده در سنگ‌های پرمین _ تریاس بر اثر مسدود شدن پالتوتیس و هم‌سویی ورقه‌های ایران و توران در تریاس پسین تعریف شده است (Ruttner, 1993). پنجره فرسایشی Toarkir با روند شمال باختر _ جنوب خاور که در حاشیه خاوری دریاچه خزر قرار دارد تنها بیرون زدگی از سنگ‌های پالتوزوئیک و پرمین _ تریاس در منطقه ترکمنستان می‌باشد (نواب پور و همکاران ۱۳۸۲).

دگرذیسی فشارشی فعال بعد از میوسن متعهد چین خوردگی پیاپی رسوبات به ضخامت ۱۰ کیلومتر در منطقه ترکمنستان و ۳ کیلومتر در منطقه ایران به موازات شمال باختر _ جنوب خاور تا خاوری _ باختری قرار گرفته است (Lyberis et al, 1998).

برداشت‌ها از وجود سطح عدم پیوستگی در زیر سازند کلات که پیش‌تر توسط (Afsher Harb, 1979) معرفی شده عدم پیوستگی پیش‌رونده درون سازند پسته‌لیق و قرار گرفته دوگانه لایه‌های نئوژن بر روی سازندهای خانگیران و کشف‌رود به ترتیب در دو سوی شمالی و جنوبی بر روی بلندی‌های مزدوران نشان می‌دهد که به نظر اولین ضربان چین‌خوردگی بسیار پیش‌تر در زمان پایانی کرتاسه پسین و احتمالاً در محور حد واسط منطقه رسوبی آغاز شده است؛ مرحله عمده چین‌خوردگی بعد از میوسن باعث شده تا لایه‌های نئوژن در دو قسمت شمال و جنوب پهنه هماهنگ و پیاپی رسوبی نسبت به لایه‌های زیرین خود کامل چین‌خورده‌اند (نواب‌پور و همکاران ۱۳۸۲). در حالی که لایه‌های ذکر شده در بخش میانی که اکنون بافاصله از پیشانی‌های دگربرختی شمال و جنوب خود قرار گرفته‌اند، با چین‌خوردگی ملایم‌تر به صورت دگرشیب بر روی لایه‌های چین‌خورده و فرسایش یافته قدیمی‌تر نسبت به خود قرار گرفته‌اند. کوتاه شدگی در منطقه پر شده کپه‌داغ با لغزش لایه‌های سخت‌تر در لایه‌های ضعیف شیل‌ها و تبخیری‌های ژوراسیک اعمال شده است. گسل‌های میانبر درون منطقه‌ای به صورت ساختارهای فشارشی فعالیت مجدد خود را آغاز کرده و چین‌های گسترش گسلی را به وجود آورده‌اند (Lyberis & Manby, 1999).

چین‌های نامتقارن با شیب سطح محوری به سمت شمال تقریباً نیمه جنوبی کپه‌داغ را به صورت باریکه‌ای از شرق تا غرب در بر گرفته‌اند. تاقدیس‌های متقارن در حوضه بزنگان تاقدیس آسیازو به ترتیب از شرق تا غرب کپه‌داغ مشاهده می‌شوند و تاقدیس‌های موجود در شمال این حوضه (تاقدیس‌های خانگیران پیرامون درگز و شمال مراوه‌تپه واقع در حوضه ترکمنستان) هستند؛ که شیب سطح محوری آن‌ها به سمت جنوب قرار گرفته است. مطلب چشمگیر در پیمایش‌های صحرایی منطقه، همراهی گسل‌های راندگی با پهلوه‌های پرشیب تاقدیس‌های نامتقارن است. در این زمینه برداشت شاخص‌های سوی حرکت و موقعیت صفحه گسل‌های طولی در دشت کشف‌رود در شرق مشهد، بلندی‌های گوجگی تا شمال قوچان و مجموعه گسل‌های شرقی _ غربی گستره شمال بجنورد تا غرب پارک ملی گلستان در غرب کپه‌داغ نشان می‌دهند؛ بیش‌تر این گسل‌ها که در پهلوی جنوبی و پرشیب تاقدیس‌ها قرار دارند دارای شیب به سوی شمال بوده و راستای جابجایی اصلی آن‌ها راندگی است.

برداشت‌های مشابه در حوضه درگز بیان‌کننده حضور گسل‌های راندگی با شیب به‌سوی جنوب در پهلوی پرشیب شمالی تاقدیس‌های منطقه است با توجه به موارد فوق می‌توان گفت که منطقه زمین‌ساختی کپه‌داغ یک پهنه رسوبی با ساختار فراپوم (Graben) بوده؛ و توالی رسوبات آن در اثر حرکت هم‌سویی صفحات ایران و توران با حرکت واژگون روی گسل‌های عادی پی‌سنگی دچار چین‌خوردگی و گسلش راندگی شده‌اند به‌طوری‌که هم‌اکنون محور تاقدیس‌های متقارن نام‌برده شده در بالا را می‌توان به‌عنوان محور تقارن ساختمانی این حوضه در نظر گرفت. برداشت مؤلفه حرکتی برخی از راندگی‌ها در نیمه شرقی کپه‌داغ حضور یک لغزش کوچک‌تر راست‌بر را نیز نشان می‌دهد و می‌تواند بیان‌کننده سیستم دگردیسی ترافشارش (Transpression) در این قسمت از منطقه زمین‌ساختی کپه‌داغ باشد (افشار حرب ۱۳۷۳).

۲-۲- موقعیت ساختاری کپه‌داغ

همان‌گونه که در اکثر پژوهش‌های زمین‌شناسی، منطقه زمین‌ساختی کپه‌داغ را لبه جنوبی ورق توران و بخشی از ابرقاره اوراسیا به شمار آورده‌اند، در حال حاضر درباره جایگاه این حوضه دو دیدگاه مختلف وجود دارد که در ذیل این دیدگاه‌ها بیان می‌شود.

۲-۲-۱- نظریه اوراسیایی: طبق این فرضیه که طرفداران بسیاری دارد، در منطقه آق‌دربند نهشته‌های

لیاس با دگرشیمی مشهود بر روی توالی از نهشته‌های آذرآواری با ساخت پیچیده و به سن تریاس میانی _ بالایی قرار گرفته‌اند. ردیف‌های تریاس میانی _ بالایی، بر روی ضخامت زیادی از آواری‌های سرخ‌رنگ نهشته‌اند. بنابراین، این گروه از زمین‌شناسان، کپه‌داغ را بخشی از ابرقاره اوراسیا و سنگ‌های اولترامافیک منطقه مشهد را بقایای اقیانوسی می‌دانند که دو صفحه توران (اوراسیا) و ایران (گندوانا) را از یکدیگر جدا و به سمت خاور، در امتداد گسل هرات تا هندوکش ادامه‌دار شده است.

۲-۲-۲- نظریه گندوانایی: طبق این فرضیه برخلاف طرفداران فرضیه اوراسیایی، افتخار نژاد ۱۳۷۰ سنگ‌های

پرکامبرین پسین _ پالئوزوئیک منطقه رباط قره‌بیل را یکسان با نهشته‌های هم‌زمان در ایران مرکزی و البرز خاوری

می‌داند و بر این باور است که سکوی اپی کاتانگایی پالئوزوییک ورقه ایران در سرتاسر و یا بخشی از کوه‌های کپه‌داغ وجود دارد. در ضمن رخساره سنگ‌های دونین و کربنیفر پنجره فرسایشی آق‌دربند را یک‌سان سازندهای جیروود و مبارک البرز مرکزی می‌داند و به‌این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که پی‌سنگ حوضه کپه‌داغ متعلق به هرسینین توران (اوراسیا) نیست، بلکه دنباله‌ای از پی‌سنگ آفریقا _ عربستان است و لذا مرز میان سکوی ایران و پهنه هرسینین توران را در شمال کوه‌های کپه‌داغ و در خارج از ایران می‌داند (آقا نباتی، ۱۳۸۳).

۲-۳- زمین‌شناسی کپه‌داغ

کمبرند چین و راندگی درون‌قاره‌ای کپه‌داغ باسن پس از میوسن (Post- Miocene) (1967; Trifonov, 1978; Gorshkov, 1987; Priestley et al., 1994; Jackson et al., 1995 (Roustanovich,

یک ساختار پویا با امتداد N300 است که مرز بین ورقه اوراسیا (پلت فرم توران) و خردقاره ایران مرکزی را آشکار می‌سازد. حد شمالی آن گسل عشق‌آباد می‌باشد که در غرب محدود به منطقه خزر است و از سوی شرق تا پاراپامیسوس در افغانستان ادامه‌دار می‌باشد. درباره مرز جنوبی کپه‌داغ، نظریات مختلفی وجود دارد، فزاینده پائوتتیس معین می‌گردد که در شمال شرقی ولی این مرز با رخنمون‌های ناپیوسته منشورهای فزاینده پائوتتیس آشکار می‌شود که در شمال شرق فریمان (سفید سنگ) و جنوب غرب مشهد رخنمون پیدا کرده‌اند.

در حوضه کپه‌داغ نخستین بار Greisbach.L.C از مؤسسه زمین‌شناسی هندوستان در سال ۱۸۸۱ در شرقی ترین قسمت حوضه و در ادامه برداشت‌های افغانستان مورد بررسی قرار دادند. پس از آن مطالعاتی به صورت زیر در منطقه انجام شده است. شرکت نفت امیرانین در سال ۱۹۳۷ و ۱۹۳۸ در شرق و شمال شرق ایران مطالعاتی را انجام داده که گزارشات آن منتشر نشد ولی نتیجه حاصل از آن را شرکت Clapp.G.F در نشریه انجمن زمین-شناسان آمریکا در سال ۱۹۴۰ نشر دادند.

کمر بند کپه‌داغ با روند شمال غرب _ جنوب شرق میان ورقه‌های توران از شمال و ایران مرکزی در جنوب قرار گرفته است. این کمر بند حداکثر ارتفاعی در حدود ۳۰۰۰ متر از سطح دریا داشته که کم‌وبیش ۲۰۰۰ متر بالاتر از دشت ترکمن واقع شده است. کم عرض‌ترین و مرتفع‌ترین قسمت این کمر بند در بخش شرق و مرکزی آن واقع شده است. که به سمت غرب به عرض آن افزوده شده و در عوض از ارتفاع آن کاسته شده است. تا به سرزمین‌های کم ارتفاع حاشیه جنوب شرقی دریای خزر می‌رسد. این منطقه میان طول‌های جغرافیایی ۵۴ تا ۶۱ درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۶ تا ۳۰ است.

(2002; Thomas et al., 1999; Khain, 1994 Belov, 1981; Alavi, 1991; Jackson et al.)

۲-۴- بررسی زمین ساخت کپه‌داغ

در اکثر پژوهش‌های زمین‌شناسی مدل چین‌خوردگی کپه‌داغ با حوضه زاگرس مقایسه می‌شود چراکه، بیش‌تر چین‌ها نامتقارن، ممتد و کم‌وبیش با یکدیگر هم‌سو بوده و در یک‌روند NW – SE قرار گرفته‌اند. قابل ذکر است که در پیشانی جنوب غربی، چین‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر و شدت گرفته ولی به‌سوی خشکی توران، چین‌ها از هم جدا شده بازتر هستند و سرانجام از بین می‌روند. با استناد به شواهدی مانند بالا بودن شدت چین‌خوردگی در جبهه جنوبی و هم‌چنین نامتقارن و پرشیب بودن پهلوی جنوب غربی چین‌ها، به نظر می‌رسد حرکت صفحه ایران به‌سوی کپه‌داغ، در چین خوردن رسوب‌ها نقش اساسی‌تری داشته است. چنین حرکتی سبب تغییر سازوکار گسل‌های پی-سنگ از نرمال به راندگی، با شیب به سمت شمال، و هم‌چنین به وجود آمدن گسل‌های امتداد لغز شده که جهت جابه‌جایی زوج‌های گسلی با راستای فشارش بر کمر بند چین‌خورده کپه‌داغ انطباق دارند.

از نظر زمان تشکیل و سازوکار حرکتی، گسل‌های کپه‌داغ را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد.

اولین مجموعه گسل‌های هستند که هم‌زمان با فرونشست حوضه به وجود آمده‌اند؛ که به‌طور عموم روند شرقی _ غربی داشته و یا روند آن شمال‌شرقی _ جنوب‌غربی بوده و در شروع، سازوکار حرکتی این گسل‌ها نرمال بوده ولی پس از برقراری رژیم‌های فشارشی به انواع برگشته با شیب رو به سمت شمال تبدیل شده‌اند. مجموعه دوم گسل‌های هستند، که محور چین‌ها را قطع کرده و از نوع همگرا می‌باشند که ممکن است امتدادلغز راست‌گرد، با روند شمال‌غربی و یا امتدادلغز چپ‌گرد با روند شمال‌شرقی بوده، گسل‌های امتدادلغز راست-گرد نسبت به انواع چپ‌گرد دارای دراز و توان لرزه‌خیزی بیش‌تری هستند (آقا نباتی، ۱۳۸۳).

۲-۵- لرزه‌زمین‌ساخت کپه‌داغ

رخداده زمین‌لرزه‌های متعدد همراه با گسلش سطحی نشانگر آن است که کمربند چین‌خورده کپه‌داغ از زمان بازپسین فعالیت‌های آلی تاکنون حرکت داشته و موجب خرابی شهرستانی مانند قوچان شده است. به نظر مکنزی (۱۹۷۲)، زون لرزه‌خیز کپه‌داغ، ادامه جنوب‌شرقی نوار لرزه‌خیز قفقاز _ خزر است. جدا از زمین‌لرزه‌های آشکار شده و گسلش‌های کواترنر، آبرفت‌های پلکانی موجود در امتداد رودخانه‌ها، به‌ویژه رودخانه کشف‌رود، معرف فعالیت‌های جوان پهنه کپه‌داغ‌اند. مطالعه کانون زمین‌لرزه‌های کپه‌داغ نشان می‌دهد که:

✓ تعداد بیش‌تر زمین‌لرزه‌ها در مرز جنوبی و مرز شمالی کپه‌داغ رخ داده است.

✓ قسمت‌های جنوب‌شرقی و شرق کپه‌داغ چندان دست‌خوش لرزه نشده‌اند.

✓ در کل زمین‌لرزه‌های کپه‌داغ بیش‌تر از نوع کم ژرف هستند.

زمین‌لرزه‌های سال‌های ۱۹۵۹، ۱۹۷۰، ۱۹۷۲ مشخص می‌کند یک زون لرزه‌خیز با راستای SW-NE وجود

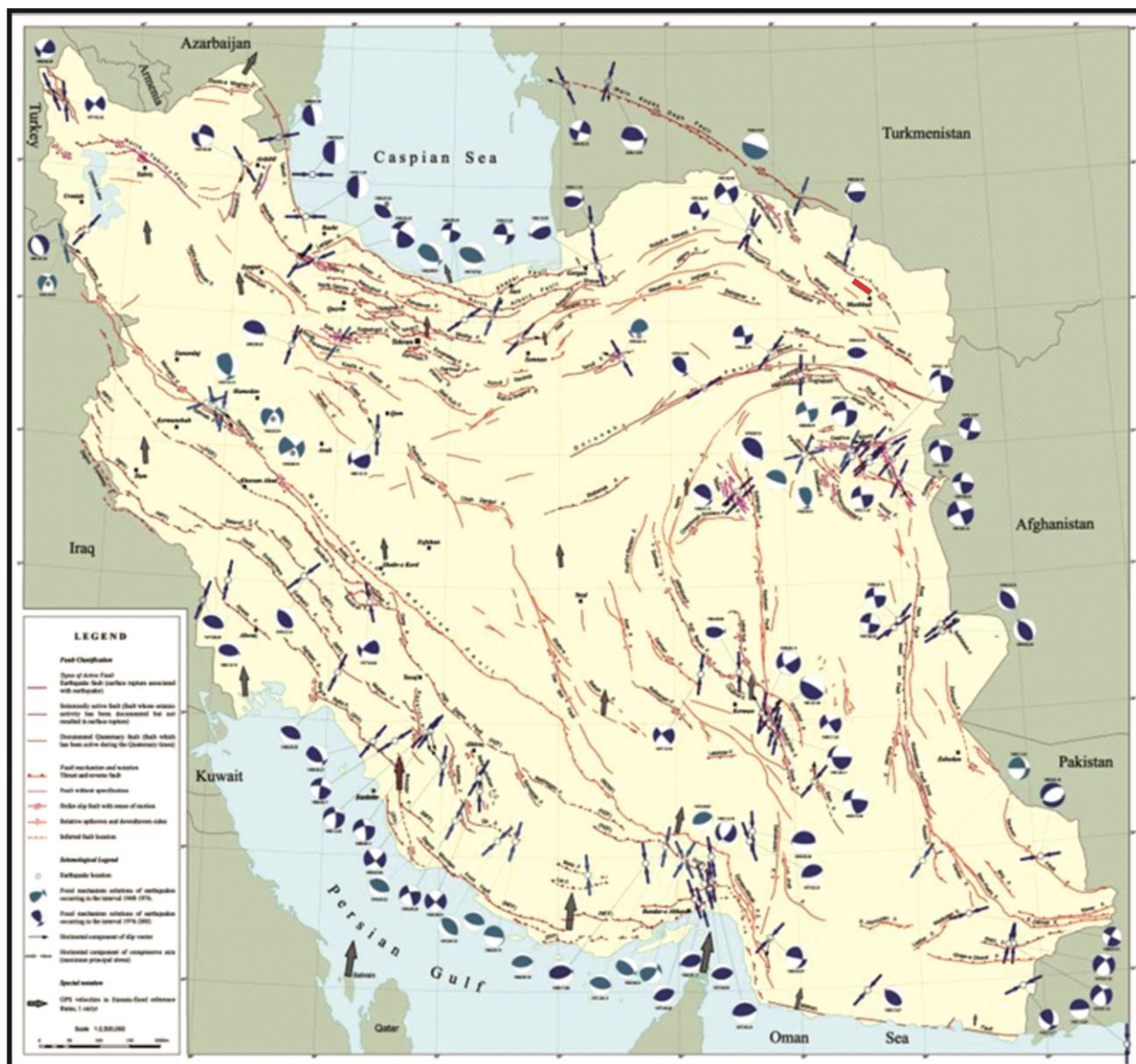
دارد.

آزاد شدن انرژی در گسل‌های همگرا متفاوت است، زمانی که یک گروه به حد جنبش می‌رسند، گروه دیگر در

حال ذخیره نیرو هستند. بنا به نوشت چالانکو (۱۹۷۲) تا قبل از سال ۱۹۴۵، زمین‌لرزه‌ها هم‌روند با گسل‌های

NW بوده‌اند؛ بعد از آن زمین‌لرزه‌ها، در راستای گسل‌های SE فعالیت داشته‌اند (آقا نباتی، ۱۳۸۳). منطقه

مورد مطالعه در شمال دشت مشهد واقع شده است؛ که مابین کپه داغ و بینالود با کادر قرمز مشخص شده در (شکل ۲-۲). که تحت تأثیر گسل‌های اصلی و فرعی قرار گرفته است (که در ادامه به آن‌ها می‌شود).



شکل ۲-۲ نقشه گسل‌های فعال ایران (خالد حسامی، فرشاد جمالی، هادی طبسی گروه زمین‌ساخت-پژوهشکده زلزله‌شناسی
(۱۳۸۲)

۲-۶- چهارچوب ساختاری - چینه‌ای

بر اساس نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته پیشین، به‌ویژه نقشه‌های زمین‌شناسی کشور ۱:۱۰۰۰۰۰ مشهد (Taheri & Ghaemi 1994) و کلات‌نادر (Nabavieh 1998) و ۱:۲۵۰۰۰۰ مشهد (افشار حرب و همکاران ۱۳۷۳).

پهنه دشت مشهد به سه منطقه، متفاوت جدا از هم تقسیم می‌شود که به ترتیب از شمال به جنوب شامل منطقه کپه داغ، منطقه مفصلی (Suture Zone) و منطقه بینالود است.

الف - بلندی‌های بینالود، رشته‌کوه‌های خمیده با راستای تقریباً شرقی - غربی و تحدبی به سمت شمال می‌باشد و شامل سنگ‌ها و رسوبات پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک هستند که از دید ژئوتکتونیک در لبه شمال شرقی قطعه لیتوسفری ایران جای گرفته است. این رشته‌کوه‌ها، یک نوارچین خورده و شکسته از نوع نازک پوسته‌ای (Thin skinned fold and thrust belt) است که طی برخورد میان قطعات لیتوسفری ایران و توران در حاشیه شمال شرقی ایران تشکیل شده است.

ب - منطقه مفصلی: بین منطقه بینالود واقع شده و دارای سنگ‌های دگرگونی و مجموعه افیولیتی است. مجموعه افیولیتی و سنگ‌های دگرگون در ارتباط با آن، نوارهایی به درازای ده‌ها کیلومتر با روند شمال غرب - جنوب شرق را در دامنه شمالی ارتفاعات بینالود تشکیل داده‌اند. این منطقه، محل برخورد قطعه لیتوسفری ایران در جنوب و قطعه لیتوسفری توران در شمال است، که با مسدود شدن اقیانوس پالئوتتیس (Paleotethys) همراهی کرده است (علوی ۱۹۹۱، ۱۹۷۹). خط مفصل (Suture) پالئوتتیس در جنوب مشهد و شمال ارتفاعات بینالود قرار می‌گیرد. فسیل‌های به‌دست‌آمده از سنگ‌آهک‌های نازک لایه رسوبات توریدایتی مربوط به کمپلکس افیولیتی، سن پرمین بالا را برای این مجموعه نشان می‌دهد.

ج - منطقه کپه‌داغ از سازندهای مختلفی تشکیل شده که مخصوص منطقه رسوبی و زون ساختاری کپه‌داغ است و محیط رسوب‌گذاری آن‌ها عمدتاً آپی کانتیننتال می‌باشد.

در پهنه ورقه‌ای مشهد تمامی توالی رسوبی، منطقه رسوبی کپه‌داغ، رخنمون ندارند و تنها قسمت‌هایی از توالی رسوبی که متعلق به سازندهای کشف‌رود، چمن بید، مزدوران و شورپچه و رسوبات نئوژن هستند، بیرون‌زدگی دارند. (Taheri & Ghaemi 1994) که از منابع ذیل گردآوری شده است؛ به صورت خلاصه در جدول (۱-۲) تنظیم شده است.

جدول ۱-۲ سازندهای زیر پهنه کپه‌داغ برگرفته از (افشار حرب، ۱۳۷۳) و آقا نباتی (۱۳۸۳)

سازند قدیم به جدید	سنگ‌شناسی	موقعیت	ضخامت در مقاطع عرضی (متر)	فسیل	توضیحات	معادل
کشف‌رود	شیل، شیل‌های سیلتی تیره‌رنگ، ماسه‌سنگ، کنگلومرا	در شمال	۱۸۰۰	آمونیت، ایکونوفسیل، نرم تن، استروکود، بلمینیت، کرینوتید، مرجان، اسفنج	در جنوب شرق کپه‌داغ	شمشک در البرز مرکزی
چمن بید	سنگ آهک ریزیلور، پیریت‌دار به رنگ خاکستری تیره و سیاه، نازک لایه‌ای که در بین ورقه‌های شیل تیره‌رنگ قرار دارد	در جنوب	۶۰۰	آمونیت و میکروفسیل	روستای چمن بید در ۶۰ کیلومتری غرب بجنورد در راه بجنورد- گنبد	معادل دلیچای و قسمت زیرین لار در البرز مرکزی سازند قلعه دختر در طبس

مزدوران	آکسفوردین - کیمبریدجین	سنگ‌های کربناتی ضخیم لایه و صخره ساز و مارن و شیل به صورت لایه‌های فرعی	فرسایشی	۱۰۰۰	میکروفسیل و گاهی ماکرو فسیل	گرفته شده از گردنه مزدوران
شوریجه	برناردین - برناردین	شیل و رس سنگ‌های قهوه‌ای مایل به قرمز، ماسه سنگ‌های قهوه‌ای مایل به خاکستری، کنگلومرا سنگ گچ، و لایه‌های جزئی سنگ‌های کربناته	تند	۹۵۰	به احتمال کم میکروفسیل دارد	نام روستای در کنار جاده مشهد - کلات
تیرگان	تیرگان - آلبین	سنگ‌های آهک الیتی و زیست‌آور و لایه‌های جزئی آهک‌های مارنی، مارن و شیل آهکی، سنگ‌آهک‌های اربیتولین - دار	هم‌شیب	۴۰۰	فسیل‌های بسیار خوبی از اوریبتولینا	روستای تیرگان از جنوب شرق شهرستان درگز
سرچشمه	آلبین	بخش زیرین مارن خاکستری و خاکستری تیره که در سطح فرسوده به رنگ خاکستری روشن مایل به سبز با فرسایش سرنیزه‌ای یا مدادی، بخش فوقانی شامل تناوب لایه‌های شیل تیره و لایه‌های نازک سنگ‌آهک است	هم‌شیب	۳۵۰	آمونیت و اوریبتولین	روستای سرچشمه در ۱۴ کیلومتری شمال شرق بجنورد
سنگانه	آلبین	شیل یکنواخت به رنگ خاکستری تیره تا سیاه کمی مایل به سبز که دارای لایه - های بسیار نازک از سیلتستون است دارای گرهک‌های فراوانی می‌باشد	هم‌شیب	۷۰۰	آمونیت‌های بزرگ، کنکرسیون	روستای سنگانه در ۷۰ کیلومتری شمال شرق بجنورد
آیتامیر	سینواری	شامل دو بخش که بخش ماسه سنگی اغلب در زیر قرار دارد و بخش شیلی که لایه‌های فوقانی را تشکیل می‌دهد ۰ هر دو بخش گلوکو نیتی بوده و اغلب به رنگ سبز زیتونی دیده می‌شود	هم‌شیب	۷۰۰ - ۲۰۰	میکروفسیل و آمونیت‌های تو دیلیت و هوپلیتیده	روستای آیتامیر در ۷۰ کیلومتری شمال شرق گنبد کاووس

آبدراز	تورونین-سانتونین	شیل به رنگ خاکستری روشن که سطوح فرسوده به رنگ سفید خاکستری دیده می شود و دارای سه بخش سنگ آهک گل سفیدی (چاکی لایمسون) در میان لایه های از شیل	نا همساز	۶۰۰- ۵۰۰	میکرو فسیل های فراوان (گلوبوتر و نکاتا)، آمونیت، دو کفه ای، اینوسرامس و خارپوستان	روستای ابدراز در شرق کپه داغ در راه مشهد- سرخس
آب تلخ	کامپانین	شیل آهکی به رنگ خاکستری مایل به آبی با لایه های جزئی و فرعی مارن	هم نشین		گلوبوتر و نکاتا و میکرو فسیل های دیگر، گریفنه آ، ویسکولاس (دو کفه های) و میکرو گاستروپ ود	روستای اب- تلخ در ۷۷ کیلومتری شمال شرق مشهد برش تیپ در جاده مشهد- سرخس
نیزار	ماینر پیشین	ماسه سنگ های ضخیم لایه، گلوکونیتی و شیل تشکیل شده و دارای یک لایه سنگ آهک ماسه ای در بخش فوقانی آن است	هم نشین و ندریجی	۳۱۸	کم فسیل	تنگه نیزار در راه مشهد- سرخس
کلات	ماینر پیشین	سنگ آهک ماسه ای، زیست آور صخره ساز	هم نشین		به احتمال کم گلوبوتر و نکاتا، میکرو فسیل های مهم از خانواده اوربیتوئیدیده دو کفه ای، فراوان، گاستروپودی به نام اتوستوما	ناودیس کلات، برش الگودر تنگه نیزار

پسته ليق	پالئوسن زيرين	لايه‌های شيل قهوه‌ای مایل به قرمز، رس سنگ، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و در برخی نقاط لايه‌های تبخيري	م.ش.پ.م		جنگل پسته- ای در غرب دشت سرخس	۲۰۰ متر معادل فجن در البرز مرکزی و کنگلومرای قاعده‌ای اوسن در ایران مرکزی
چهل کمان	پالئوسن	سنگ‌های کربناتی و دارای لايه‌های جزئی و فرعی مارن و شيل آهکی	م.ش.پ.م		بریزوآ ، گاستروپود، جلبک، استرای بزرگ و فسيل خارپوستان	روستای چهل کمان در شرق کپه داغ
خانگیران	پالئوسن فوقانی اوسن	شيل آهکی یکنواخت به رنگ سبز زیتونی و خاکستری مایل به آبی، دره ساز با لايه‌های جزئی و نازک ماسه‌سنگ رس‌دار	م.ش.پ.م	۱۸۸۰	در ماسه‌ها شکم پایان	منطقه خانگیران در ۳۰ کیلومتری غرب سرخس

- در منطقه مورد مطالعه تنها واحدهای سنگی رخنمون یافته متعلق به سازندهای مزدوران، شوريجه و نهشته‌های پليوسن _کواترنری می‌باشد که ویژگی‌های این واحدهای سنگی در جدول (۲-۲) ارائه شده است.

جدول ۲-۲. خصوصیات چین‌شناسی واحدهای تشکیل دهنده مقاطع تیپ سازندها و منطقه مورد مطالعه

سن	سازند	مشخصات سازند در مقطع تیپ و منطقه	تصویری از واحد سنگی در منطقه مورد مطالعه
ژوراسیک	مزدوران	نام خود را از تنگه مزدوران واقع در بستر کشف‌رود گرفته است. لیتولوژی آن متشکل از آهک ضخیم لایه تا توده‌ای به رنگ روشن، آهک دولومیتی متخلخل و دولومیت است. ضخامت حدود ۵۰۰ متر و سن آکسفوردین-کیمریجین دارد. بدون دگرشیمی واضحی بر روی سازند کشف‌رود قرار می‌گیرد و به‌وسیله‌ی رسوبات قرمز رنگ سازند شوربچه پوشیده می‌شود. در منطقه مورد مطالعه این پهنه از سنگ آهک دولومیتی قهوه‌ای تا خاکستری تیره پدید آمده است.	
کرتاسه	شوربچه	نام این سازند از دهکده شوربچه در انتهای شرقی کپه داغ گرفته شده است. لیتولوژی شامل ماسه‌سنگ و کنگلومرا، سن آن‌ها کیمریجین می‌دانند و ضخامت آن بین ۲۵۰ تا ۹۰۰ متر در تغییر است. در منطقه مطالعه شده این سازند از ماسه‌سنگ دانه‌متوسط تا دانه‌درشت، قهوه‌ای قرمز مایل شیل و رس سنگ قهوه‌ای مایل به قرمز، کنگلومرا، گچ و لایه‌های نازک آهک ماسه‌ای الیتی و بیو کله‌ستی پدید آمده است.	
کواترنری	نهشته‌های جوان	رسوبات عهد حاضر آن شامل انباشته‌ها و پادگانه‌های جوان به گونه پادگانه‌های آبرفتی مسطح واقفی است. همچنین از کنگلومرای خاکستری باسیمان ضعیف پدید آمده است.	

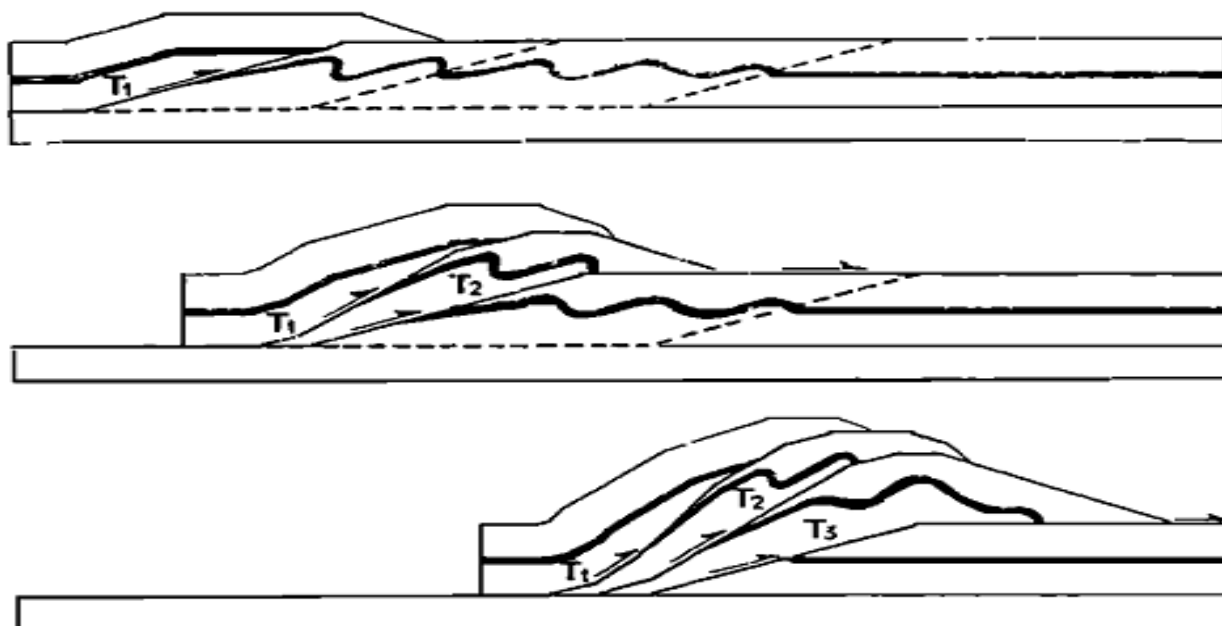
SYSTEM	SERIES		STAGE	FORMATION	LITHOLOGY
Tertiary	Neogene			Red Beds and Congl	
	Paleogene	Eocene		Khangiran	
		Paleocene	Thanetian	Chehel-Kaman	
			Danian	Pestehlegh	
Cretaceous	Upper		Maastrichtian	Kalat	
				Nyzar	
			Campanian	Abtalkh	
			Santonian	Abderaz	
			Turonian	Abderaz	
			Cenomanian	Atamir	
	Lower		Albian	Sanganah	
				Sarcheshmeh	
			Aptian	Tirgan	
			Barremian?		
Jurassic	Upper		Neocomian	Shurijeh	
	Middle		Kimmeridgian	Mozduran	
			Oxfordian		
			Callovian	Chaman-Bid	
			Bathonian		
	Lower		Bajocian (Liasic?)	Kashaf-Rud	

شکل ۲_۳ ستون چینه سازندهای حوضه رسوبی کپهداغ اقتباس همراه با تغییراتی از (Kalantary 1978).

۷-۲- زمین‌شناسی بینالود

سلسله جبال بینالود از نظر سنگ‌شناسی دربرگیرنده سنگ‌های پالئوزوییک، مزوزوییک و سنوزوییک هستند (Majidi & Alavi Tehrani, 1971). بر اساس پژوهش‌های ژئوفیزیک، ضخامت رسوبات در این منطقه حدود ۱ — ۲ کیلومتر است و پوسته قاره‌ای حدود ۵۰ — ۴۵ کیلومتر دارای ضخامت می‌باشد (Seber et al., 2001). در طی دوران پالئوزوییک در منطقه بینالود، بین یک خشکی واحد (تشکل شده از ورقه‌های ایران و عربستان) و ورقه توران، اقیانوسی به نام پالئوتتیس به وجود آمد و از بین رفت این اقیانوس در طول اردوئیسین پسین — سیلورین باز شده بود (Stampfli et al., 2002b Bagheri & Stampfli, 2008). و در زمان دونین میانی — پسین با شیب به سمت شمال به زیر لبه اوراسیا جنوبی (توران) شروع به فروپاشی کرده و در طول زمان پرمین پسین، با باز شدن اقیانوس نئوتتیس، ورقه ایران از ورقه عربستان شروع به جدا شدن کرده و در نتیجه با گسترش نئوتتیس، اقیانوس پالئوتتیس در محدوده زمانی تریاس پسین بسته شده و در نهایت خردقاره ایران با صفحه توران برخورد کرده‌اند و کوه‌های ائوسیمیرین به وجود آمده‌اند (Muttoni et al., 2009; Bagheri & Stampfli, 2008).

سلسله جبال بینالود رشته باریکی از سنگ‌های پالئوزوییک با منشأ ژئوسینکلینال و نهشته‌های اقیانوسی پالئوتتیس است (Belov et al., 1986). فرارانش و قرار گرفتن بقایای پالئوتتیس بر روی حاشیه خرد قاره ایران پیش از تریاس پسین اتفاق افتاده است (شکل ۲-۳) (Alavi, 1992 & 1996; Baud & Stampfli, 1989). این مجموعه دارای قسمت‌های افیولیتی، رسوبات فلیش دگرگون‌شده و یک توالی لایه‌ای آذرآواری می‌باشد (Alavi, 1992). که طی فرآیندهای تکتونو — ماگمایی مورد نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی مشهود قرار گرفته‌اند و به واسطه رسوبات جوان‌تر پوشیده شده است. در این منطقه زون گسلی سنگ‌بست — شاندیز با شیب زیاد از میان رسوبات کنگلومرا، ماسه — سنگ و شیل ژوراسیک عبور کرده و این‌چنین به نظر می‌رسد که در گذشته موجب راندگی رسوبات پرمین بر روی لایه‌های جوان‌تر (ژوراسیک) شده است.



شکل ۲-۴ ارائه شماتیک از یک مکانیسم ممکن از ساختار، کوتاه‌سازی، جابجایی و تغییر شکل چین‌ها در فرودپواره تراست‌ها در بینالود. چین‌هایی که از حرکات فرادپواره از اولین رانش تولید شده (T1) پس از آن، و هم‌چنین به‌این ترتیب، کوتاه شدگی، جابجایی، و تغییر شکل در طول انتشار تراست‌های بعدی (T2, T3). (Alavi, 1992)

۲-۸- جایگاه تکتونیکی گسل کشف‌رود

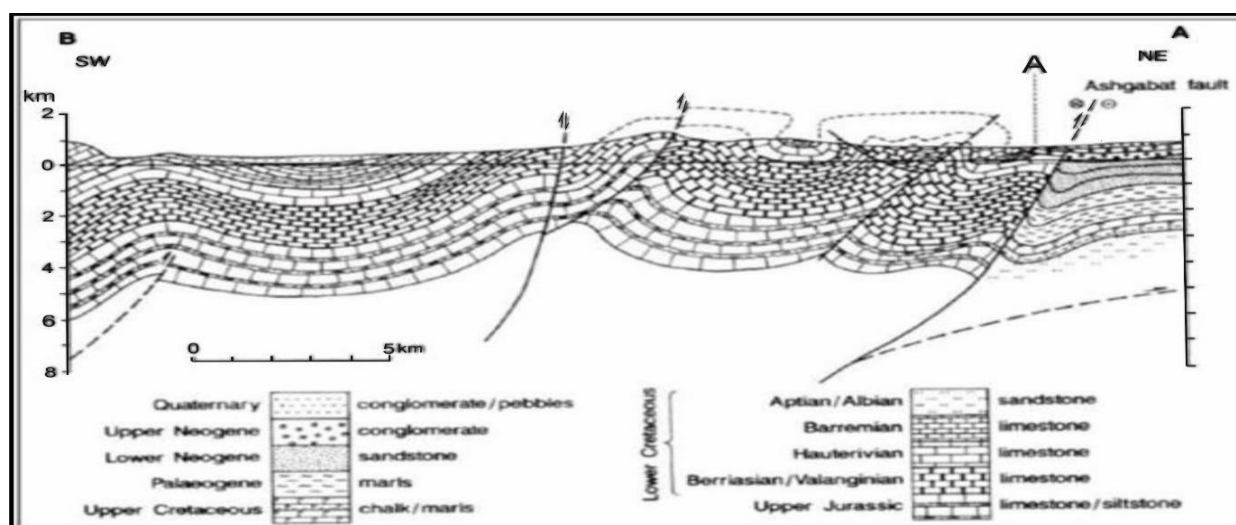
گسل کشف‌رود در زون کپه‌داغ قرار گرفته است که این زون زمین‌ساختی به‌صورت باریکه‌ای طویل در شمال خراسان و ادامه بخش شمالی آن در ترکمنستان قرار دارد. بر این اساس، محدوده مرزی شمال‌شرقی ایران با ترکمنستان به شمار می‌آید. مرز جنوبی کپه‌داغ به بینالود ختم می‌شود. مرز شمالی آن با فلات توران گسله است. این زون پس از کوهزایی سیمیرین پیشین، یعنی مادامی که ظاهراً برخورد بین ایران و توران تمام شده به‌صورت حوضه رسوبی در می‌آید و در آن از ژوراسیک تا میوسن، رسوبات ضخیمی بدون نبود چینه‌شناسی مهم ولی با رخساره‌های متنوع روی هم انباشته شده است. این رسوبات به‌طور کلی شامل شیل، آهک، مارن، ماسه‌سنگ و گاهی کنگلومرا و سنگ‌های تبخیری است که در انتها به‌وسیله لایه‌های قرمز رنگ پوشیده می‌شوند. از خصوصیات بارز این زون، نداشتن فعالیت‌های ماگمایی در طول پیدایش و دوام این منطقه رسوبی است.

۲-۹- گسل‌های اصلی کپه‌داغ

۲-۹-۱- پهنه گسلی عشق‌آباد

گسل عشق‌آباد یا گسل اصلی کپه‌داغ به طول ۳۵۰ کیلومتر در راستای N60W، حد بین کپه‌داغ و پلت‌فرم قراقوم را تشکیل می‌دهد. اگرچه گسل فعال اصلی عشق‌آباد به‌طور وسیع با رسوبات بعد از پلیوسن پوشیده شده است (Lyberis & Manby, 1999). اما چینه نگاری حفاری و داده‌های لرزه‌ای به‌وضوح نشان می‌دهند که یک جابجایی معکوس در گسل وجود دارد (Gorshkov, 1987). در ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر عشق‌آباد آهک‌های بارمین بر روی سنگ‌های پلیوسن در اثر حرکت گسلی با شیب به سمت جنوب رانده‌شده‌اند، که نشان‌دهنده ۷-۱۰ کیلومتر جابجایی معکوس می‌باشد (Lyberis & Manby, 1999).

بر اساس مطالعات (Gorshkov, 1987) میزان حرکت راندگی در گسل عشق‌آباد را در حدود ۵-۱۰ کیلومتر برآورد کرده است. (شکل ۲-۲) سازوکارهای کانونی موجود از این گسل نشان می‌دهد که یک گسل معکوس پرشیب با بردار لغزش شمال، شمال شرق می‌باشد که به‌صورت مایل نسبت به روند اصلی کپه‌داغ جای گرفته است (Priestly, 1994).



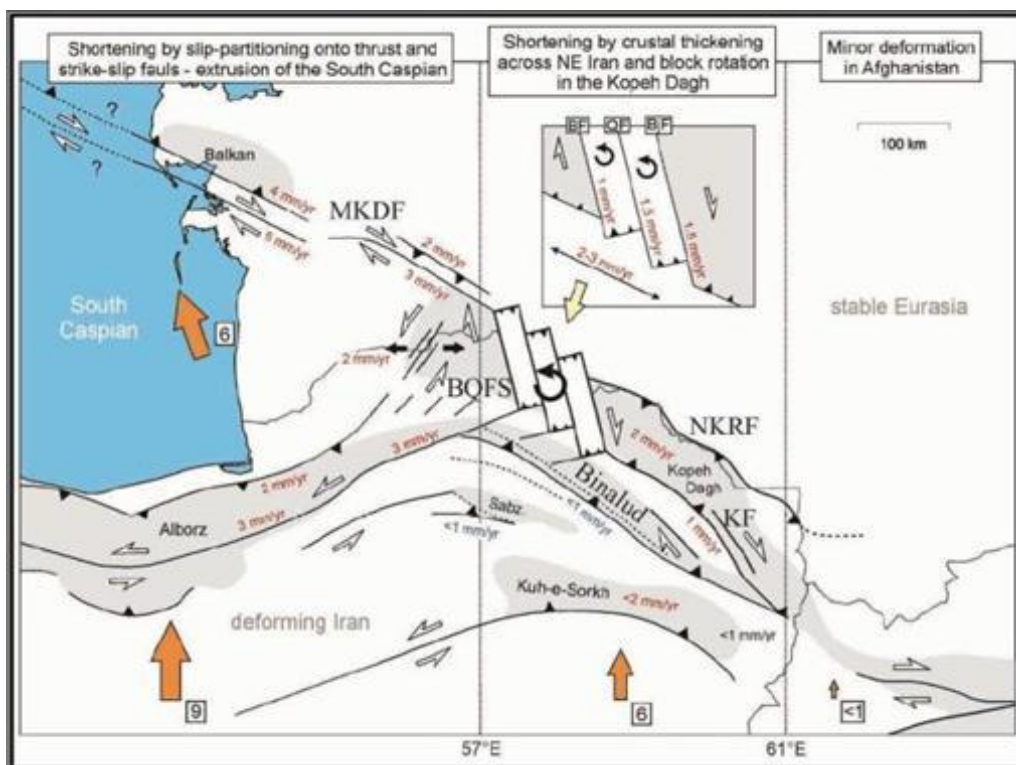
شکل ۲-۵ مقطع عرضی از عملکرد گسل عشق‌آباد (Lyberis & Manby, 1999)

ارتباط زاویه‌ای بین گسل عشق‌آباد و جهت فشارش در حوضه با یک مکانیسم معکوس راست‌بر برای این گسل هم‌خوانی دارد (Priestly, 1994).

بر این مبنا ایشان اعتقاد دارند که فعالیت‌های لرزه‌ای عهد حاضر به وسیله تقسیم دگردیسی به صورت حرکت راست‌بر در طول گسل عشق‌آباد و فشارش شمالی – جنوبی در دو سمت گسل همراه می‌شود. گسل عشق‌آباد در سمت غربی خود چین‌ها را قطع کرده و در سمت شرقی با آن‌ها موازی است. این گسل از سه قطعه تشکیل شده که هر کدام نسبت به دیگری مقداری جابجایی دارد (Rastsvetaev, 1996).

۲-۹-۱-۱- گسل معکوس کپه‌داغ شمالی

گسل معکوس کپه‌داغ شمالی در درازای کناره شمالی کپه‌داغ شرقی با حدود ۳۰۰ کیلومتر طول دارای امتداد است. این گسل مناطق وسیعی از بالاآمدگی را شکل می‌دهد که تمام رودخانه‌ها را قطع می‌کند در مرز ایران و افغانستان در طول جغرافیای N 60 E امتداد راندگی از شمال غرب – جنوب شرق به شرقی – غربی تغییر می‌کند و تدریجاً به سمت شرق بعد از حدود ۱۰۰ کیلومتر ناپدید می‌شود که با کاهش ژرفا همراه می‌باشد (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۶ نقشه گسل‌های شمال‌شرق ایران که در آن موقعیت‌های گسل اصلی کپه‌داغ، عشق‌آباد (MKDF)، گسل‌های معکوس کپه‌داغ شمالی (NKRF)، گسل کشف‌رود (KF) و پهنه گسلی قوچان - باخاردن (BQFS) در آن مشخص شده است (Hollingworth, 2007).

۲-۹-۱-۲ - گسل شانديز

گسل شانديز با درازاي شمال غرب _ جنوب شرق در پاي رشته کوه بينالود و از ۱۵ کيلومتری باختر مشهد می گذرد. بخش میانی حوضه گسل شانديز ، دارای شیب به سوی جنوب باختری بوده و سبب رانده شدن فیلیت های مشهد (از سوی جنوب غرب) بر روی ماسه سنگ، شیل و کنگلومراهای ژوراسیک (در شمال شرق) کشیده شده است. گسل شانديز در بخش های شمال غربی و جنوب شرقی خود حد میان کوه (در جنوب غربی) و دشت (در شمال شرقی) را تشکیل داده و رسوبات آبرفتی کواترنری را بریده است. پهنه گسل شانديز با خطواره مغناطیسی F-15 همخوانی دارد (Yousefi and Friedberg 1978). این پیوند ممکن است نشان دهنده عمق و اساس این گسل باشد.

۲-۹-۱-۳- پهنه گسلی قوچان - رباط (قوچان - باخاردن)

حوضه گسلی قوچان - رباط در منطقه‌ای به عرض ۴۰ کیلومتر با روندی شمال غربی - جنوب شرقی در شمال غرب شهرستان قوچان و شمال شهرستان شیروان واقع شده است. طول این حوضه در ایران ۱۰۰ کیلومتر می‌باشد و گسل‌های این پهنه راستالغز راست‌بر با شیب قائم هستند. ده گسل مهم این پهنه که پس از چین خوردگی فعال شده‌اند بلوک غربی این حوضه را نسبت به شرق آن حدود ۱۶ کیلومتر به سمت شمال غربی کشیده است. بیش‌ترین جابجایی در یکی از گسل‌های این پهنه در حدود ۸/۵ کیلومتر بوده است (افشار حرب ۱۳۷۳).

۲-۹-۱-۴- گسل کارده

گسل کارده با امتداد NW-SE در شمال کلان‌شهر مشهد از ۲۰۰ متری جنوب سد کارده می‌گذرد و بخشی از حوضه لرزه‌زمین‌ساختی کپه‌داغ است. امتداد این گسل شمال غرب - جنوب شرق و دارای شیب ۷۵ درجه به سمت شمال شرق می‌باشد. این گسل دارای مکانیزم امتدادی راست‌الغز با مؤلفه فشارشی است و در همسایگی روستای کارده قرار گرفته شده است. تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از مطالعه این گسل تأثیر یک سیستم برشی - فشارشی راست‌گرد را نشان می‌دهند که در آن گسل‌های با راستای NW-SE به‌عنوان حوضه جابجایی اصلی عمل کرده است. تجزیه و تحلیل ساختاری راهنمایی بر جهت‌گیری عمومی NE محور کوتاه شدگی بیضی واتنش برای منطقه مورد مطالعه دارد که بر راستای افقی بیشینه تنش مؤثر در ایجاد راندگی‌های کپه‌داغ منطبق است. هم‌چنین مطالعات مورفوتکتونیکی بیان‌کننده پویایی منطقه از نظر زمین‌ساختی بوده است که با توجه به مجاورت گسل با ساختگاه سد کارده و نیز مرکزهای جمعیتی شهری و روستایی، از نظر خطر لرزه‌زمین‌ساخت دارای اهمیت بالایی می‌باشد (سلیمانی و قائمی، ۱۳۹۱).

۲-۹-۱-۵- گسل توس

گسل توس دارای امتداد N50W و تقریباً طول ۳۵ کیلومتر در جنوب گسل کشف‌رود در شمال دشت مشهد قرار گرفته است. این گسل حد میان دشت توس و تپه‌های شمال آن (آهک‌های خاکستری سازند مزدوران) شمال آرامگاه توس می‌سازد (بربریان، ۱۹۸۲). و در جنوب شرقی‌ترین روند احتمالی این گسل به علت جایی‌گیری در واحدهای کواترنری به‌طور دقیق قابل‌پیگیری نیست ولی واحد کنگلومرای جوانی که در طول تشکیل خود تحت تأثیر حرکت گسل دچار چرخش شده حضور راستای حرکتی چپ‌گرد برای این راندگی را تأیید می‌کند آثار راندگی و چین‌خوردگی همراه با گسلش در روند این گسل نشان می‌دهد که جهت رانده شدن واحدها از سمت شمال‌شرق به سمت جنوب‌غرب بوده است. با توجه به مطالعات انجام‌شده، گمان می‌شود که گسل توس در فرودیواره گسل کشف‌رود در حال شکل‌گیری است. احتمالاً رشد این گسل جهت برخاستگی پیوسته با گسلش در فرادیواره گسل شده است که آثار حرکتی آن در نهشته‌های پلیوسن و کواترنری مشاهده می‌شود.

روستای چشمه‌گیلاس را می‌توان محل جدا شدن امتداد گسل توس از گسل کشف‌رود در بیان نمود. در محل این روستا و در منطقه جداشدگی گسل توس (چشمه‌گیلاس)، گسل کشف‌رود از امتداد خود (N40W) منحرف‌شده است و به سمت شرق ادامه پیدا می‌کند و پس از گذراندن مسافتی، مجدداً به مسیر اصلی خود بازگشته و هم‌جهت با گسل توس (N50W) به حرکت خود ادامه می‌دهد. با بررسی موقعیت این گسل‌ها نسبت به یکدیگر می‌توان بیان نمود که گسل توس با زاویه‌ای در حدود ۲۵ درجه از گسل کشف‌رود منشعب و هم‌زمان با رشد خود موجب افزایش شیب این گسل شده است (نادری میقان، ۱۳۹۰).

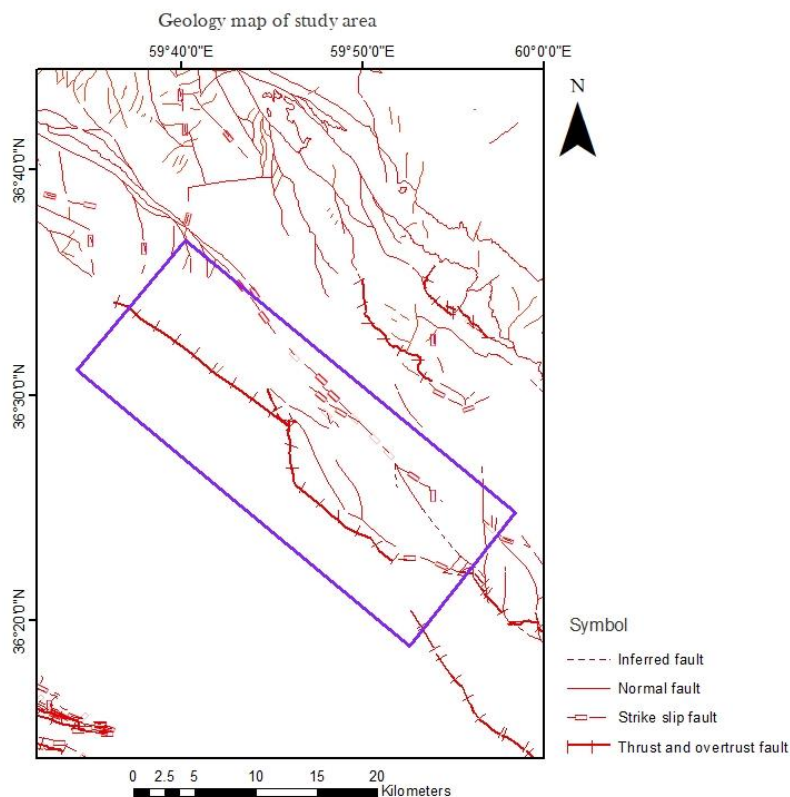
۲-۹-۱-۶- گسل کشف‌رود

گسل وارون کشف‌رود بخشی از ساختار مهم دره اترک - کشف‌رود است. دره اترک - کشف‌رود محل زمین‌درز میان کپه‌داغ (اوراسیا) و البرز خاوری - بینالود (ایران مرکزی) است (Motaghi et al., 2012). هیچ زمین‌لرزه

بزرگی در زمان‌های جدید روی گسل کشف‌رود رخ نداده است. این گسل اختلاف توپوگرافی آشکاری از واحدهای ژوراسیک و کرتاسه نسبت به نهشته‌های کواترنری و کف دره ایجاد کرده است (Hollingsworth, 2007). پژوهش‌های نوین در زمینه اندازه‌گیری حرکات گسل با استفاده از شبکه نقاط و اندازه‌گیری با موقعیت‌یاب جهانی (GPS) از سوی سازمان نقشه‌برداری مرکز خراسان نیز نشان‌دهنده پویایی این گسل است (شهیدی و همکاران، ۱۳۹۲). شیب گسل کشف‌رود به‌سوی شمال‌خاور و راستای آن شمال‌باختر- جنوب‌خاور و به‌موازات رشته‌کوه کپه‌داغ خاوری است. این گسل به‌سوی خاور به دسته‌ای از گسل‌های راست‌الغز با روند شمال‌شمال‌باختر _ جنوب‌جنوب- خاور می‌رسد؛ که دره کشف‌رود را بریده‌اند و به مجموعه فریمان در جنوب دره کشف‌رود وارد می‌شوند. در شمال‌خاور این گسل اصلی، گسل‌های راندگی دیگری به‌موازات آن دیده می‌شوند که بخش‌های گوناگون سنگ‌های ژوراسیک را روی هم رانده و سبب تمایل چین‌ها به‌سوی جنوب‌باختر شده‌اند.

گسل کشف‌رود در منطقه چشمه گیلان و رادکان رخنمون دارد (سازمان نقشه‌برداری خراسان، واحد پژوهش ۱۳۷۸). در محل روستای چشمه گیلان، راندگی کشف‌رود با موقعیت N40W/45NE و اندازه‌گیری گردید (بربریان، ۱۹۸۲). که بیانگر جهت کلی گسل است. گسل بنیادی کشف‌رود هم‌جهت با رشته‌کوه‌های کپه‌داغ (هزار مسجد) و حاشیه شمالی دشت مشهد کشیده شده است و به‌وضوح رسوبات آبرفتی کواترنری دشت را می‌برد (حیدر زاده، ۱۳۸۴). به دلیل عملکرد این گسل که شیبی به سمت شمال‌شرق دارد، سازند مزدوران به سن ژوراسیک (از سمت شمال‌شرق) بر روی بادبزنی‌های آبرفتی کواترنر (در جنوب‌غرب) کشیده شده است. وجود سطوح مثلثی شکل در امتداد گسل کشف‌رود، بریدگی در رسوبات جوان آبرفتی، وجود چشمه‌های فراوان، چین‌های پیشروی گسلی و ایجاد پرتگاه‌های گسلی در تمام طول آن نشان از فعال بودن گسل کشف‌رود می‌باشد (بربریان و قریشی، ۱۳۷۸). در روستای چشمه گیلان شاخه‌ای از این گسل وارد دشت مشهد شده و هم‌جهت با رودخانه کشف‌رود امتداد می‌یابد. این گسل که در بیشتر مطالعات به‌عنوان گسل توس (و در روستای چشمه گیلان به‌عنوان چشمه گیلان) معرفی شده است، دارای امتداد شمال‌غرب _ جنوب‌شرق بوده و امتداد گسل در بخش جنوب‌شرقی در نهشته‌های آبرفتی کواترنری خیلی آشکار نیست (نادری میقان، ۱۳۹۰).

گسل کشفرود مرز جنوب باختری کوه‌های هزارمسجد است. در شمال خاور این گسل اصلی، گسل‌های راندگی دیگری به موازات آن دیده می‌شوند که بخش‌های گوناگون سنگ‌های ژوراسیک را روی هم رانده و سبب تمایل چین‌ها به سوی جنوب باختر شده‌اند. مجموعه رخساره‌های سنگی شناسایی شده در سازند کشفرود، عمدتاً شامل رخساره‌های کنگلومرایی، ماسه‌سنگی و گلسنگی است، که از این میان، مجموعه رخساره‌های ماسه‌سنگی و گلسنگی بیش از ۹۰ درصد از این سازند را تشکیل می‌دهد (سعید نژاد و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۲-۷ نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه با توجه به نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ مشهد (Taheri & Ghaemi 1994) و ۱:۱۰۰۰۰۰ کلات نادر (Nabavieh 1998) گسل‌های شمال دشت مشهد

_ با توجه به هدف تحقیق که بررسی پهنه برشی گسل کشف‌رود و اهمیت آن از نظر اصلی‌ترین گسل محدوده و نزدیکی آن به کلان‌شهر مشهد می‌باشد تعریف و تعیین حریم گسلی برای این محدوده مشخص شده است؛ ارزیابی و برآورد هندسه گسلی، برای این پروژه و هدف آن، در بازدیدهای صحرایی و مواردی که ذکر شد متأسفانه بنا به دلایل ذیل موفق به برداشت‌های ساختاری نبوده‌ایم.

✓ توسعه محدوده شهری و روستایی به حریم گسل

✓ احداث جاده‌های اصلی و فرعی بین روستاها و از بین بردن آثار احتمالی گسل

✓ به دلیل خاک حاصلخیز مخروط‌افکنه‌ها و تخریب این پدیده‌ها تا پایه کوه برای استفاده کشاورزان و تغییر کاربری در این محدوده‌ها.

✓ احداث معدن روباز در محدوده‌ای که رخنمون سنگی داشته و شاید گسل شواهدی از خودش بجا گذاشته باشد که متأسفانه طی عوامل انسانی تخریب شده است و اجازه ورود به محدوده را نداشته‌ایم.

✓ احداث مرکز آموزش (بسیج سپاه مالک اشتر اردوگاه قدس) در روستای برزش‌آباد و منطقه حفاظت‌شده و غیرقابل دسترسی.

_ بنابراین طی نظرات اساتید محترم از شیوه‌های مصطلح دیگر برای مطالعه این گسل استفاده کرده‌ایم.

✓ یکی از روش‌های ارزیابی فعالیت گسل‌ها استفاده از تصاویر استر و بررسی خطواره‌ها (سنجش‌ازدور با تمرکز برگسل کشف‌رود) است.

✓ روش دیگر آن استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیکی است از جمله: تراس‌آبرفتی، مخروط‌افکنه‌ها، شاخص‌های پهنه دره، بستر رودخانه، زهکشی آبراهه‌ها می‌باشد که در این منطقه با توجه به اینکه تمامی این ویژگی‌ها امکان برداشت نیست با به‌کارگیری از تصاویر گوگل ارث به مطالعه هر آنچه بتوان انجام داد پرداخته ایم از جمله مخروط‌افکنه‌ها که در فصل ۴ ارائه شده است.

✓ و در نهایت به منظور بررسی‌های دقیق‌تر مطالعه داده‌های ژئوفیزیکی برای بررسی‌های زیرسطحی از منطقه مورد مطالعه که یکی از به‌روزترین و کاربردی‌ترین روش‌ها برای بررسی زیرسطحی هست برای هدف پروژه که تعیین حریم می‌باشد قابل استفاده است و مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

_ در فصل سوم به مطالعه سنجش‌ازدور با تمرکز بر گسل کشف‌رود و در فصل چهارم به مطالعه ریخت زمین‌ساخت (مورفوتکتونیک) و در فصل پنجم برای دقت بیشتر به مطالعات ژئوفیزیک با تمرکز بر گسل کشف‌رود؛ و در آخر در فصل شش به تحلیل ساختاری منطقه و تلفیق اطلاعات پرداخته شده است.

فصل ۳

سنجش ازدور با تمرکز برگسل کشفرود

گسل‌ها شکستگی‌هایی در پوسته زمین هستند که در طول آن‌ها تغییر شکل‌های قابل‌توجهی ایجاد شده است. گاهی اوقات گسل‌های کوچک در ترانشه‌های جاده، جایی که لایه‌های رسوبی چند متر جابه‌جا شده‌اند، قابل مشاهده هستند. گسل‌هایی در این مقیاس و اندازه معمولاً به صورت تک گسیختگی جدا اتفاق می‌افتد. در مقابل گسل‌های بزرگ شامل چندین صفحه گسل درگیر می‌باشند. این پهنه‌های گسله، می‌توانند چندین کیلومتر پهنای داشته باشند و معمولاً از روی عکس‌های هوایی نسبت به پیمایش‌های زمینی بهتر قابل تشخیص هستند. درواقع، حضور گسل در یک منطقه نشان می‌دهد که زمانی گذشته، در طول آن جابه‌جایی رخ داده است. این جابجایی‌ها می‌توانسته یا به صورت جابجایی آرام باشد که هیچ‌گونه لرزشی بر زمین ایجاد نمی‌کند و یا اینکه به صورت ناگهانی اتفاق بیفتد که جابجایی‌های ناگهانی در طول گسل‌ها عامل ایجاد بیشتر زلزله‌ها می‌باشد.

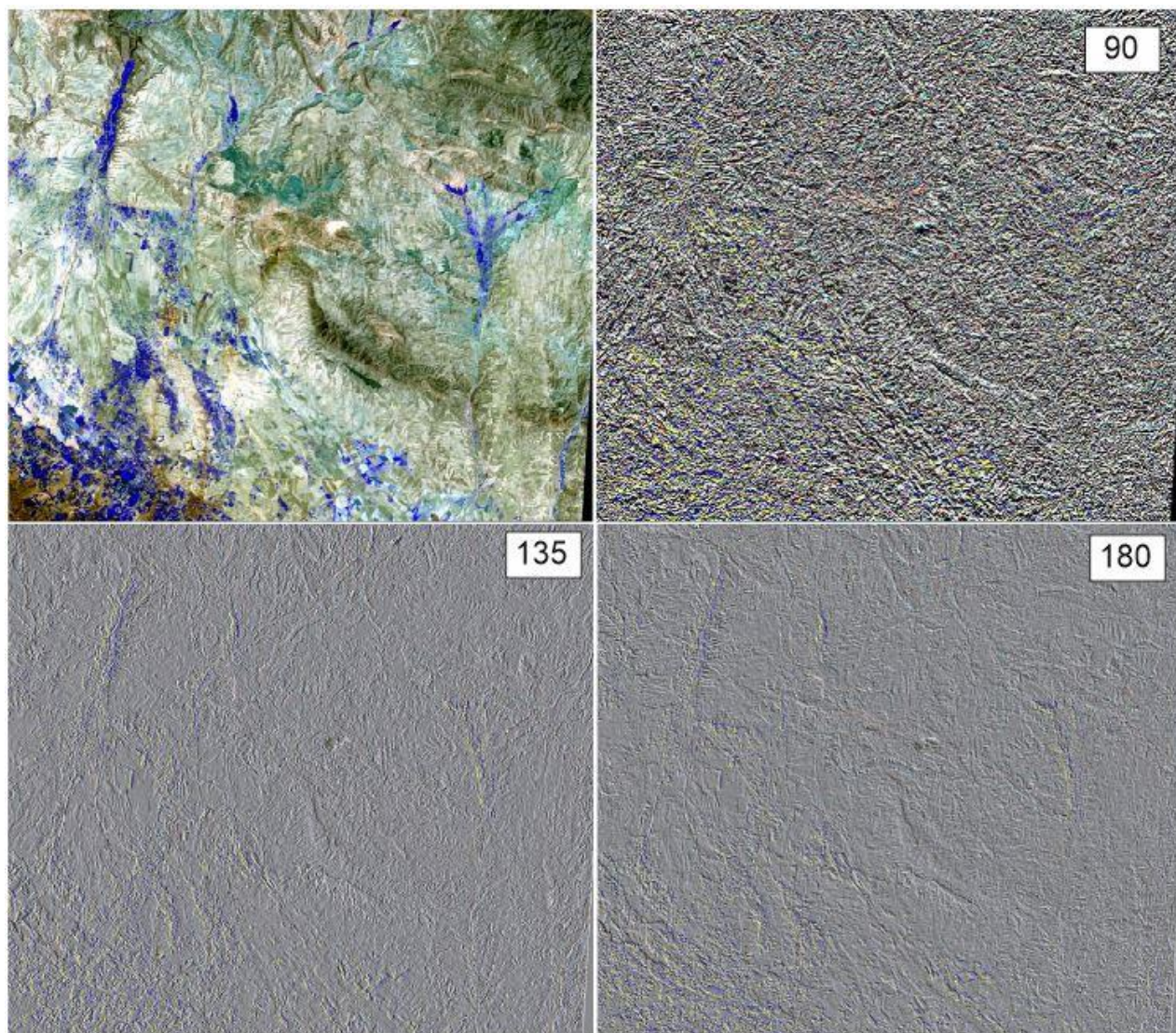
بیشتر گسل‌ها غیرفعال هستند، و باقیمانده‌ای از تغییر شکل‌های گذشته می‌باشند. در امتداد گسل‌های فعال، حین جابه‌جایی فرسایشی دو قطعه پوسته‌ای در کنار هم، سنگ‌ها شکسته و فشرده می‌شوند. در سطح صفحات گسلی، سنگ‌ها به شدت صیقلی و شیاردار می‌شوند. این سطوح صیقلی و شیاردار به زمین‌شناسان در شناخت جهت آخرین جابه‌جایی ایجاد شده در طول گسل کمک می‌کند. بنابراین تهیه نقشه خطواره‌ها به منظور بررسی الگوی شکستگی‌ها، ارتباط آن با چین‌خوردگی ضروری به نظر می‌رسد. به طور معمول شناسایی و تفسیر با استفاده از برداشت‌های زمینی و همچنین تفسیر عکس‌های هوایی انجام می‌گیرد. از آنجایی که در مناطق وسیع، عکس‌های هوایی قادر به ارائه دید یکپارچه از منطقه نبوده و با توجه به این جابه‌جایی‌ها صرف زمان و هزینه‌ی گزاف برای تهیه خطواره‌ها و گسل‌ها، عوارض مورد نظر به طور دقیق و کامل شناسایی نمی‌گردند، لذا از تصاویر ماهواره‌ای به علت دارا بودن گستردگی طیفی و یا توان تفکیک بالا، در تعیین موقعیت گسل‌ها استفاده می‌شود.

۳_۲_ استخراج خطواره‌ها

استخراج خطواره‌ها از تصاویر ماهواره‌ای که به‌منظور تهیه نقشه خطواره انجام می‌شود، شامل سه بخش: استخراج دستی، استخراج اتوماتیک و استخراج نیمه‌اتوماتیک که در این پروژه ما از روش اتوماتیک استفاده کرده‌ایم؛ 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 (افشار و محمدی زنجیرآباد، ۱۳۹۵).

۳_۳_ روش انجام کار

_ در این پژوهش سعی بر این است تا با کار کردن بر روی تصاویر Aster (شکل ۳-۱) که با توجه به توان تفکیک آن (۱۵ متر) برای انجام استخراج خطواره‌ها، در محیط‌های (Envi, Arc map, Pci geomatica) و Google earth, Polar plots و مقایسه‌ی داده‌های به‌دست‌آمده با یکدیگر روشی مناسب در استخراج خطواره‌ها ارائه گردد. بدین منظور خطواره‌ها به‌طور جداگانه بر روی داده‌های خام تصاویر Aster با محیط‌های نام برده تغییرات لازم داده شده و نقشه خطواره‌ها استخراج گردیده است. و سپس خطواره‌های غیر ساختاری مانند جاده‌ها و آبراهه‌ها از داده‌ها حذف‌شده؛ و در ادامه دیاگرام گل‌سرخ و نمودارهای فروانی نسبی در تعداد شکستگی‌های موجود در سطح، در سه گسل اصلی و سه زاویه مقایسه شده است.



شکل ۳-۱ تصاویر استر استخراج شده در نرم افزار envi تصویر اصلی و سه زاویه مورد بررسی برای گسل‌های (A,B,C) در سه زاویه ذکر شده نمودار فراوانی نسبی ترسیم شده است، به این صورت که از گسل موردنظر به فاصله‌های ۲ تا ۲۰ کیلومتر تعداد خطواره‌ها بررسی شده؛ و بر روی نمودار ترسیم شده است.

۳-۳-۱ زاویه ۹۰

در زاویه ۹۰ در گسل‌های A,B,C با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

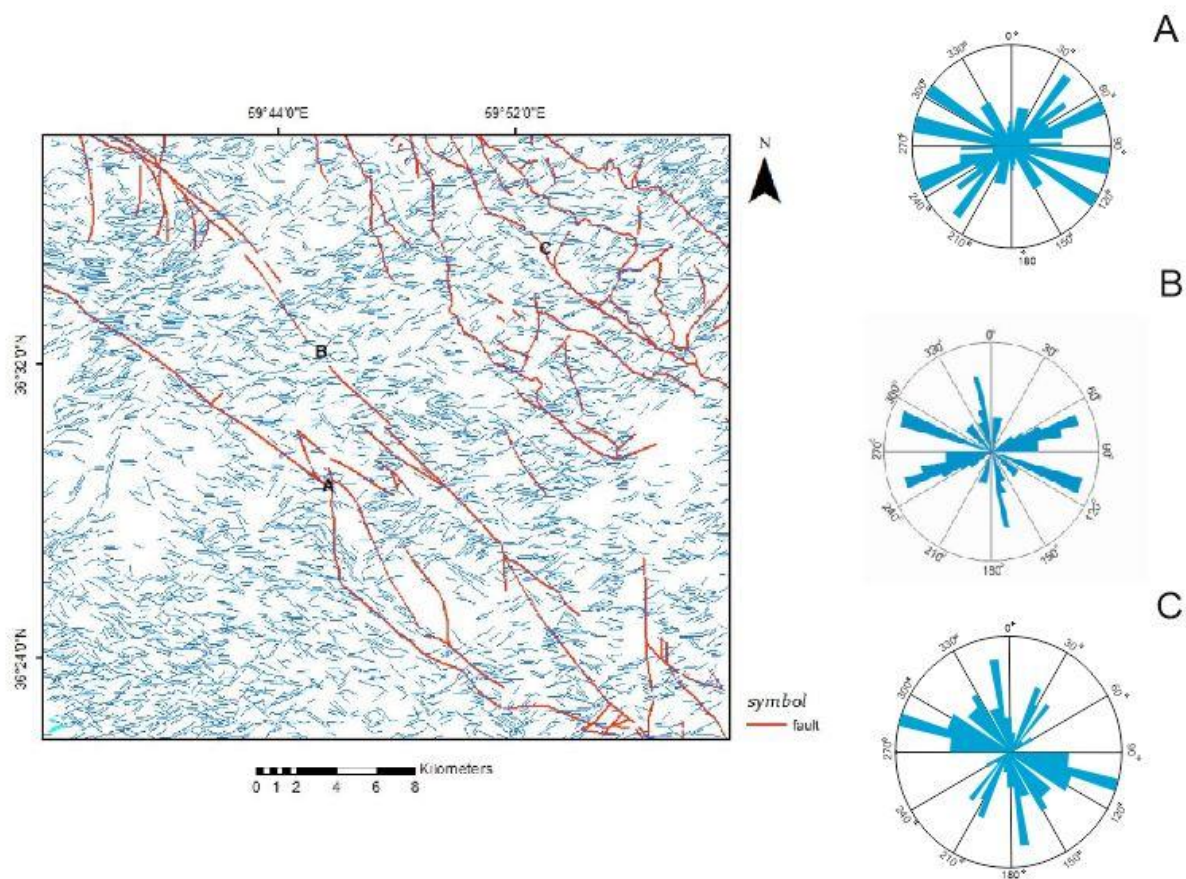
در گسل B تعداد شکستگی‌ها در واحد سطح بیشتر از دو گسل دیگر می‌باشد بیشترین فراوانی در جهت شمال غرب جنوب شرق این گسل دیده می‌شود؛ هرچند که در این دیاگرام شکستگی‌ها پراکنده هم داریم اما

بیشترین تراکم در شمال غرب - جنوب شرق می باشد در این گسل دودسته درزه داریم که اصلی ترین آن هم جهت با گسل و دیگری با زاویه ۳۰ درجه نسبت به گسل در شمال شرق - جنوب غرب قرار گرفته است. در شکل (۲-۳)

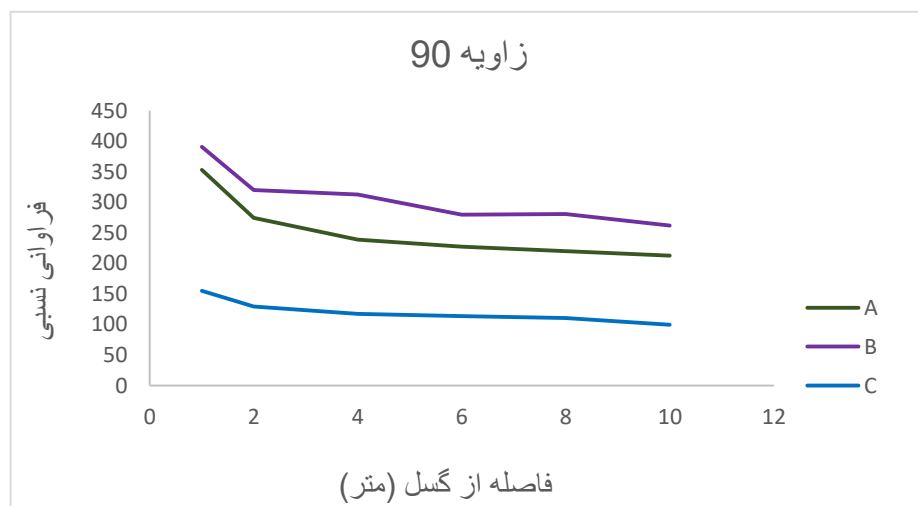
در گسل A نیز تعداد شکستگی ها از C بیشتر است و بیشترین روند دسته درزه های اصلی در این گسل شمال شرق - جنوب غرب نمودار را نشان می دهد که با زاویه ۳۰ تا ۴۰ درجه از گسل قرار گرفته و یک دسته درزه هم جهت با گسل داریم و تعداد شکستگی های پراکنده در این گسل نسبت به گسل های B, C کم تر است.

در گسل C تعداد شکستگی ها نسبت به دو گسل دیگر کمتر بوده و روند آن در شمال غربی - جنوب شرقی است که هم جهت با گسل هست پراکندگی شکستگی در این گسل کمتر بوده است. در شکل (۲-۳)

در هر سه گسل در نمودار فراوانی همان طور مشاهده می شود تعداد شکستگی ها در فاصله کمتر از ۲ کیلومتر زیاد هستند و بعد از ۲ کیلومتر رو به کاهش است و فراوانی عمومی منطقه را نشان می دهد (شکل ۳-۳). و روند هر سه گسل در شکل (۲-۳) در نمودارهای گل سرخی ارائه شده است.



شکل ۲_۳ خطواره‌ها در زاویه ۹۰ درجه



شکل ۳-۳ نمودار تعداد شکستگی در زاویه ۹۰ درجه

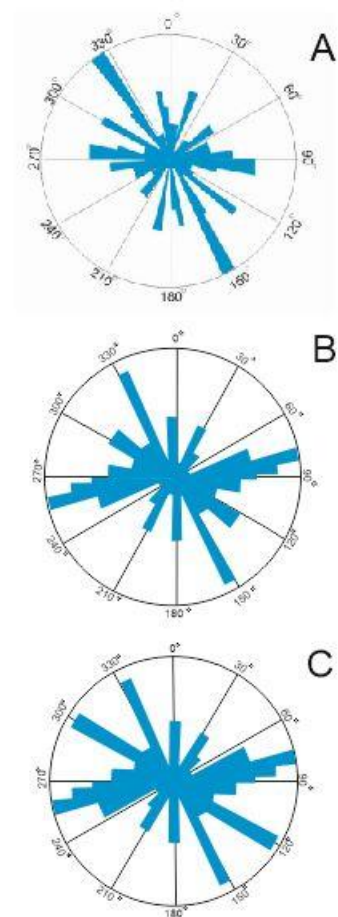
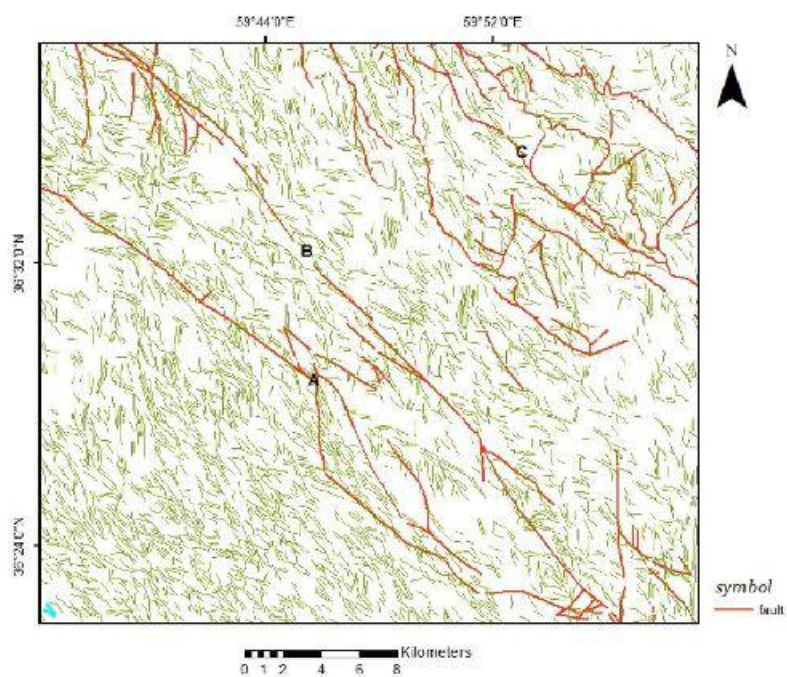
۳_۳_۲ زاویه ۱۳۵

در زاویه ۱۳۵ در گسل‌های A,B,C با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

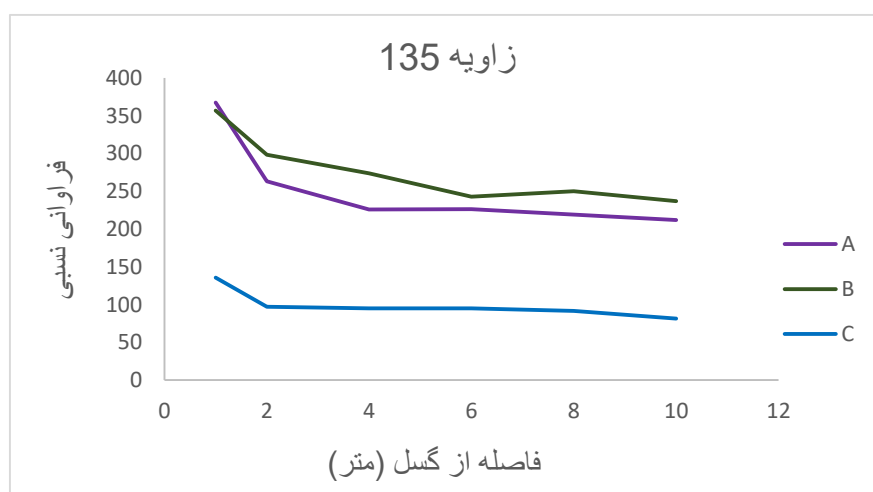
در گسل A تعداد شکستگی‌ها در واحد سطح در شروع بیشتر از دو گسل دیگر می‌باشد در فاصله ۱ کیلومتر از گسل شیب تندی دارد تا نزدیکی ۵ کیلومتر و بعد روند آن با گسل‌های دیگر به یک‌میزان کاهش پیدا کرده و روند عمومی منطقه را طی می‌کند (شکل ۳_۵) در نمودار گل‌سرخ گسل A یک دسته‌درزه اصلی داریم که هم‌روند با گسل می‌باشد تعداد شکستگی‌های پراکنده در این زاویه از گسل A کمتر به چشم می‌خورد. (شکل ۳_۴)

در گسل B نیز در فاصله حدوداً ۳ کیلومتر از گسل بیشترین فراوانی داریم و تا فاصله ۶ کیلومتری از گسل ۵۰ درصد از تعداد شکستگی‌ها کاسته شده است و از فاصله ۶ تا ۹ کیلومتری درصدی ناچیزی به تعداد شکستگی‌ها افزوده شده است و بعد از آن فراوانی عمومی منطقه طی شده است (شکل ۳_۵) در گسل B بیشترین دسته‌درزه‌ها در جنوب شرق - شمال غرب که هم‌روند با گسل است دیده می‌شود، و یک دسته دیگر هم داریم که با زاویه حدوداً ۶۰ تا ۷۰ درجه از دسته‌درزه دیگر فاصله دارد، هرچند شکستگی‌های پراکنده در این گسل داریم ولی به نسبت دسته‌درزه اصلی ناچیز است. (شکل ۳_۴)

در گسل C دسته‌درزه‌های اصلی شمال غربی - جنوب شرقی را نشان می‌دهند. شکستگی‌های پراکنده هم در این گسل مشاهده می‌شود. در این زاویه دسته‌درزه اصلی هم‌جهت با گسل شناسایی نشده است. در این گسل تعداد شکستگی‌ها نسبت به دو گسل دیگر و همچنین زاویه ۹۰ کمتر بوده و در فاصله کمتر از ۲ کیلومتر زیاد و بعد از آن فراوانی عمومی منطقه را طی می‌کند. (شکل ۳_۵)



شکل ۳_۴ خطواره‌ها در زاویه ۱۳۵ درجه



شکل ۳_۵ نمودار تعداد شکستگی در زاویه ۱۳۵ درجه

۳_۳_۳ زاویه ۱۸۰

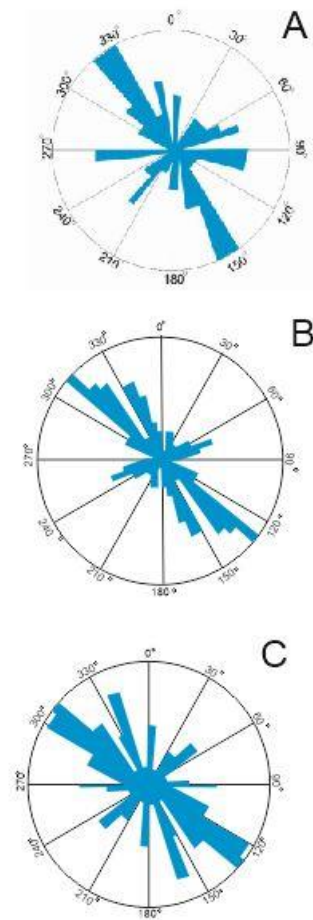
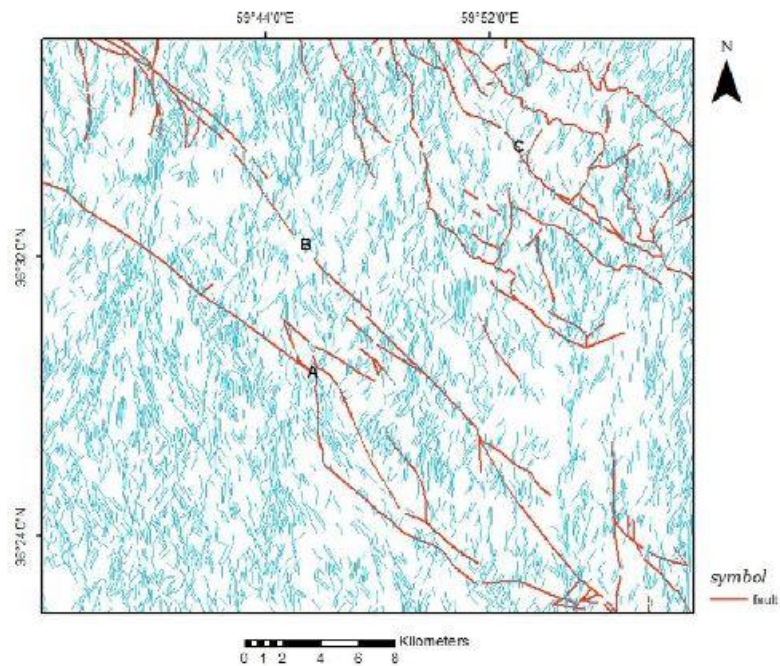
در زاویه ۱۸۰ هم گسل‌های A,B,C با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

در گسل B تعداد شکستگی‌ها در واحد سطح بیشتر از دو گسل دیگر می‌باشد بیشترین فراوانی دسته‌درزه‌ها شمال‌غربی - جنوب‌شرقی است که هم‌جهت با روند گسل می‌باشد تعداد شکستگی‌های پراکنده در این زاویه از گسل ناچیز بوده است. شکل (۳-۶)

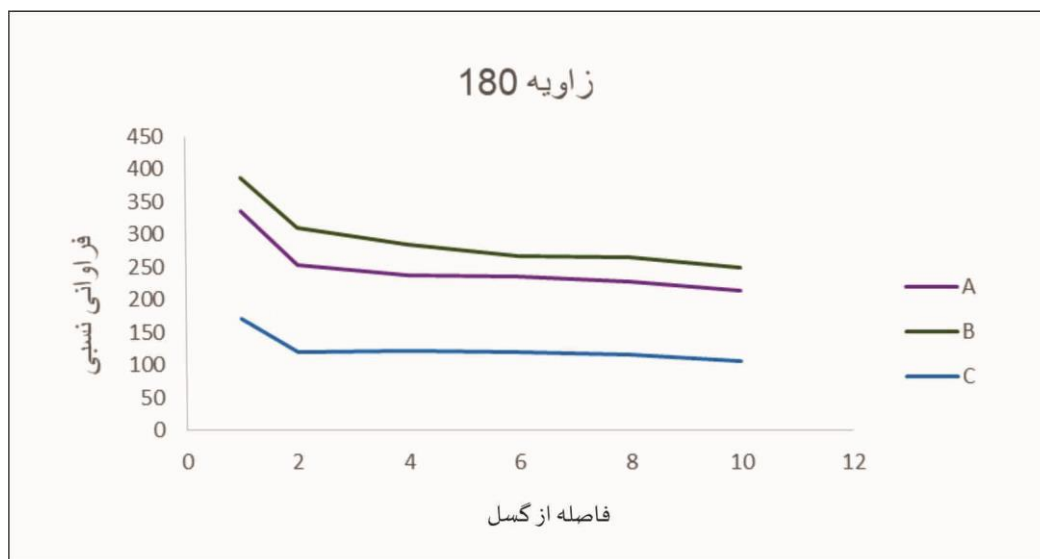
در گسل A تعداد شکستگی‌ها از C بیشتر است و بیشترین روند فراوانی دسته‌درزه‌ها در این گسل قسمت شمال‌غربی - جنوب‌شرقی نمودار را نشان می‌دهد. که هم‌جهت با گسل می‌باشد؛ تعداد شکستگی‌های پراکنده در این زاویه از گسل هم ناچیز بوده است. شکل (۳-۶)

در گسل C تعداد شکستگی‌ها نسبت به دو گسل دیگر کمتر بوده و روند فراوانی دسته‌درزه‌ها آن در شمال‌غرب جنوب‌شرق که هم‌روند با گسل می‌باشد. تعداد شکستگی‌های پراکنده در این زاویه از گسل هم ناچیز بوده است. شکل (۳-۶)

در هر سه گسل در نمودار فراوانی نسبی در فاصله کمتر از ۲ کیلومتر شکستگی‌ها زیاد و بعد از آن فراوانی عمومی منطقه را طی می‌کند و مانند دو زاویه دیگر هرچه از گسل فاصله بیشتر می‌شود تعداد شکستگی‌ها رو به کاهش است. (شکل ۳-۷)



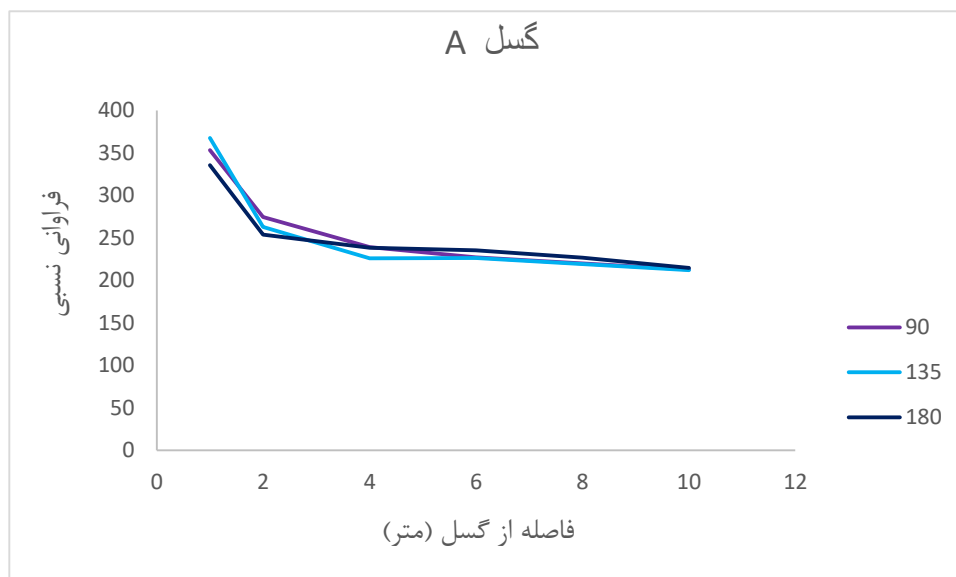
شکل ۳_۶ خطواره‌ها در زاویه ۱۸۰ درجه



شکل ۳_۷ نمودار تعداد شکستگی در زاویه ۱۸۰ درجه

۳_۴_۱_ گسل A

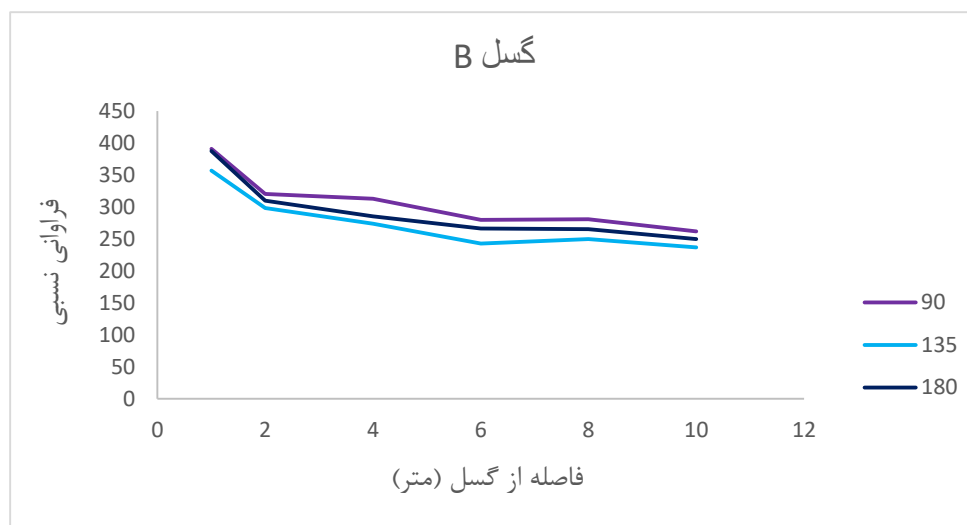
بر روی این گسل در زاویه ۹۰ درجه در فاصله ۲ کیلومتر فراوانی شکستگی خطواره‌ها از ۳۵۳ شروع شده و طبق نمودار همان گونه که مشخص است حدود ۲ کیلومتر فاصله از گسل تعداد خطواره‌ها کم شده و شیب نزولی داریم، و روند طبیعی خود را طی می‌کند. در زاویه ۱۳۵ از ۳۶۷ شروع شده در این زاویه نسبت به دو زاویه ۹۰ و ۱۸۰ تعداد بیشتری در آغاز نشان داده است ولی با فاصله گرفتن از گسل مانند دیگر زوایا می‌باشد، در زاویه ۱۸۰ تعداد خطواره‌ها ۳۳۵ که از دو زاویه قبل کمتر بوده در کل می‌توان اظهار داشت در این نمودار تفاوت چشمگیری مشاهده نمی‌شود ولی شکستگی‌ها در فاصله کمتر از گسل فراوانی بیشتری داشته و از حدود ۲ کیلومتر به بعد فراوانی عمومی منطقه را نشان می‌دهد (شکل ۳_۸)



شکل ۳_۸ تعداد شکستگی در گسل A

۳_۴_۲_ گسل B

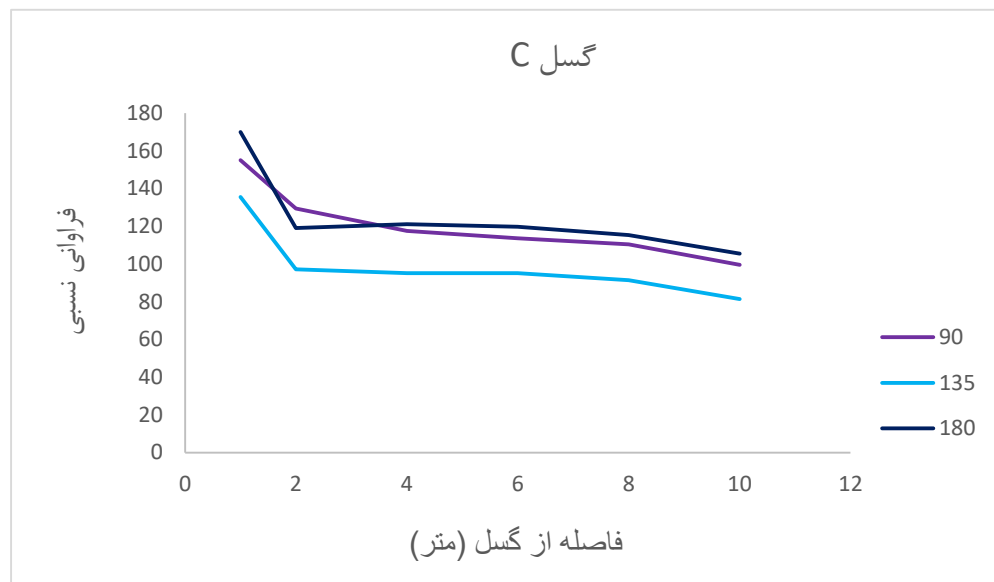
این گسل نیز دقیقاً مانند قبلی مورد بررسی قرار گرفت، تفاوت زیادی به چشم نمی خورد، در اینجا در زاویه ۹۰ و ۱۸۰ تعداد فراوانی خطواره‌ها در شروع به ترتیب ۷۸۲ و ۷۷۵ بوده و سیر نزولی داشته و در زاویه ۱۸۰ تعداد خطواره نسبت به شروع و با مقایسه با زاویه ۹۰ کمتر بوده است. در زاویه ۱۳۵ در فاصله ۲ کیلومتر از دو زاویه‌های دیگر کمتر بوده و سیر نزولی هم به همین نسبت کمتر نشان می‌دهد، در هر سه زاویه به صورت مشترک از ۸ کیلومتر به بعد فراوانی عمومی منطقه را نشان می‌دهد (شکل ۳_۹)



شکل ۳_۹ تعداد شکستگی در زاویه گسل B

۳_۴_۳ گسل C

در این گسل هم در سه زاویه مورد بررسی تا ۲ کیلومتری فاصله از گسل بیشترین درصد فراوانی را داریم و بافاصله از گسل روند تقریباً در هر سه یکسان است و در هر سه زاویه به صورت مشترک از ۲ کیلومتر فاصله از گسل فراوانی عمومی منطقه را نشان می دهد اما اختلاف در خطواره ها به صورت چشم گیرتری نسبت به دو گسل قبل قابل مشاهده است (شکل ۳_۱۰)



شکل ۳_۱۰ تعداد شکستگی در گسل C

__ در این فصل با کمک گرفتن سنجش از دور و بررسی خطواره های استخراج شده از تصاویر ماهواره ای استر با توجه به اینکه دشت مشهد دارای رسوبات کواترنری می باشد تعداد خطواره ها در این محدوده کوچک نشانگر فعال بودن تکتونیکی این حوضه می باشد، همچنین جهت گیری خطواره ها اکثراً هم جهت با گسل های منطقه هستند و روند شمال غرب __ جنوب شرق را دارند. در هر سه زاویه مورد بررسی می توان گفت زاویه ۹۰ مطلوب ترین نتیجه را به نمایش گذاشته است که در هر سه گسل مذکور روند اصلی دسته درزه ها با گسل هم جهت بوده و تعداد درزه های پراکنده در این زاویه نسبت به زاویه های ۱۳۵ و ۱۸۰ کمتر مشاهده شده است.

و در بررسی شکستگی‌ها و نمودار فراوانی نسبی آن به‌طور میانگین در زوایا و گسل‌های مذکور تا فاصله‌های حدود ۲ کیلومتر فراوانی شکستگی بسیار و با فاصله گرفتن از گسل شکستگی‌ها روندهای عمومی منطقه را طی می‌کنند.

فصل ۴

مطالعه ریخت زمین ساخت (مورفوتکتونیک)

_ در فصل ۲ دلیل پرداختن به مطالعات مورفوتکتونیکي اشاره شد در این فصل به برخی از شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی در محدوده مورد مطالعه پرداخته شده است.

۴-۱- مقدمه

از جمله روش‌های تحلیل ساختارها در علوم زمین استفاده از تفسیرهای مورفوتکتونیکي می‌باشد که از روی داده‌های توپوگرافی و اطلاعات دور سنجی و... انجام می‌شود. این تفسیر و تحلیل‌ها به بررسی روابط فضایی زمین ریخت‌ها (Landforms) و فرآیندهای تکتونیکي که باعث به وجود آمدن آن‌ها می‌شود، می‌پردازد و استنباط‌های مورفوتکتونیکي در راستای تحلیل دینامیکي یا جنبشی این فرآیندها است. به عبارت دیگر مورفوتکتونیک یا تکتونیک ژئومورفولوژی به مطالعه رابطه بین فرآیندهای تکتونیکي که در جهت به وجود آمدن توپوگرافی عمل می‌کنند و فرآیندهای سطحی که به حذف این پدیده‌ها می‌پردازد گفته می‌شود. ریخت زمین‌ساخت به معنای دانش مطالعه اشکال و سیمای ایجاد شده در زمین بر اثر فرآیندهای تکتونیکي و یا به معنای کاربرد اصول ژئومورفیک در تحلیل مسائل تکتونیکي است. نقطه آغاز این‌گونه مطالعات در یک منطقه، بررسی کمی و کیفی واحدهای توپوگرافی اصلی مثل رشته‌کوه‌ها، حوضه‌ها، آبراهه‌ها و خطواره‌ها است. امروزه بسیاری مطالعات برای فهم و درک هندسه و جنبش ساختارها و فرآیندهای زمین‌ساختی در مقیاس‌های ناحیه‌ای و منطقه‌ای بر اساس روش‌های مورفوتکتونیکي می‌باشد. از نشانه‌ای که می‌تواند فعال بودن منطقه را نشان دهد انحراف آبراهه‌ها، تراس‌های آبرفتی، مخروط افکنه و رودخانه‌ها می‌باشد (keller & pinter, 1996).

- در اینجا به شاخص‌هایی که هنگام پیمایش‌های صحرایی و مطالعه تصاویر ماهواره‌ای در منطقه مورد مطالعه نمایان بودند پرداخته‌ایم.

۴-۲- تراس‌های آبرفتی

تراس آبرفتی سطوحی هستند که به موازات محور دره رودخانه و در سطوح بالاتر از بستر کنونی رودخانه و در نتیجه تغییر سطح اساس رودخانه‌ها تشکیل می‌شوند. تراس‌های آبرفتی یکی از اشکال مشخص فرسایش

آب‌های روان در حاشیه رودخانه است. آن‌ها عارضه‌های هموار یا نسبتاً همواری هستند که از آبرفت تشکیل شده و پرتگاه حاشیه‌ای آن با شیب محسوسی به بستر فعال جریان آب یا به یک تراس دیگر منتهی می‌شود. افزایش حجم می‌تواند در آبرفت‌های قدیمی کف رودخانه‌ها کانال‌های را حفر نماید و سطح اساس را پایین‌تر ببرد. در روی خشکی و جاهای دور از دریا دو عامل می‌تواند باعث افزایش قدرت آب شود (در سواحل دریا بالاآمدگی سطح آب دریا می‌تواند روی سطح اساس رودخانه تأثیر بگذارد).

۱- تغییر اقلیم منطقه یعنی افزایش بارندگی

۲- افت سطح اساس حاصل از فعالیت یک گسل فعال موجب افزایش شتاب فرو سایی در بالادست و انباشتگی ضخیم رسوبات در پایین‌دست شود (Bull, 2007).

نمونه‌ای از تراس آبرفتی در مسیر رودخانه‌ای که گسل کشف رود از آن عبور کرده را در (شکل ۴-۱) در موقعیت جغرافیایی $36^{\circ}27'24,15''N$ و $59^{\circ}43'49,09''E$ می‌توان مشاهده کرد. در شکل موجود که تراس‌های پلکانی در دیواره سمت راست به‌خوبی قابل مشاهده است که در سمت چپ رودخانه دیده نمی‌شود که در این بخش نشان‌دهنده بالاآمدگی سمت راست رودخانه است.

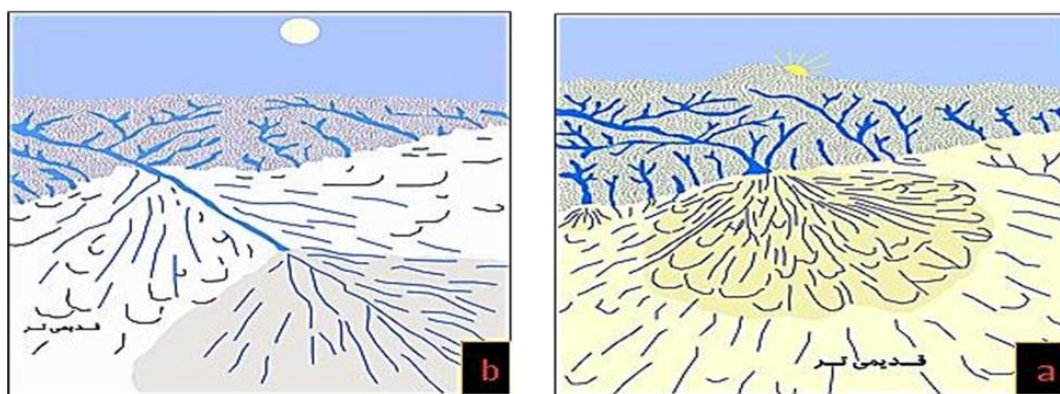


شکل ۴-۱ تراس آبرفتی (دید عکس به سمت شرق)

۴-۳- مخروطافکنه‌ها

مخروطافکنه‌ها نهشته‌های مثلثی شکل هستند؛ که معمولاً در پای ارتفاعات به خاطر کاهش ناگهانی شیب ایجاد می‌شوند. مخروطافکنه‌های در محدوده یک منطقه از جدیدترین نهشته‌های یک ناحیه از لحاظ سنی محسوب می‌شوند. بنابراین هر نوع حرکت و تحول و دگرشکلی تکتونیکی جوان در منطقه، می‌تواند بر روی این نهشته‌ها تأثیرگذار باشد. (پور کرمانی، ۱۳۷۶).

یکی از فواید بررسی‌های مورفولوژی و رسوب‌شناسی مخروطافکنه‌ها، اطلاعات بالارزشی است، که آن‌ها در زمینه نئوتکتونیک و در نتیجه فعالیت‌های لرزه‌خیزی جوان مناطق در اختیار متخصصان امر قرار می‌دهند (Harvey 1989). مقاطع شعاعی بیشتر مخروطافکنه‌ها از بخش‌های مختلفی که دارای تقعر می‌باشند تشکیل شده‌اند. مورفولوژی مخروطافکنه‌ها یکی از نشانه‌های مورد مطالعه در بررسی اثرات حرکات تکتونیکی فعال هست زیرا شکل یک مخروطافکنه می‌تواند بیانگر نرخ‌های مختلف فرایندهای تکتونیکی فعال، همچون فرایش سرچشمه کوهستانی آن مخروطافکنه‌ها در طول پهنه گسلی و یا کج شدگی سطح آن باشد. (شکل ۴-۲) به‌طور کلی برای ایجاد مخروطافکنه‌ها، وجود «اختلاف سطح» امری ضروری است و ما می‌دانیم ایجاد اختلاف سطح بر روی پوسته زمین عمدتاً عاملی تکتونیکی دارد. یعنی تا اختلاف سطح وجود نداشته باشد. گرادیان هیدرولیکی لازم جهت به حرکت درآوردن رودخانه از کوهستان به همراه حمل مواد فرسایشی این بخش به سمت دشت‌های پست‌تر ایجاد نمی‌شود تا عارضه‌ای همچون مخروطافکنه شکل گیرد (Bull, 1964).



شکل ۴-۲ مورفولوژی مخروطافکنه‌ها a پیشانی‌های فعال b پیشانی‌های با فعالیت کم (پور کرمانی ۱۳۷۶)

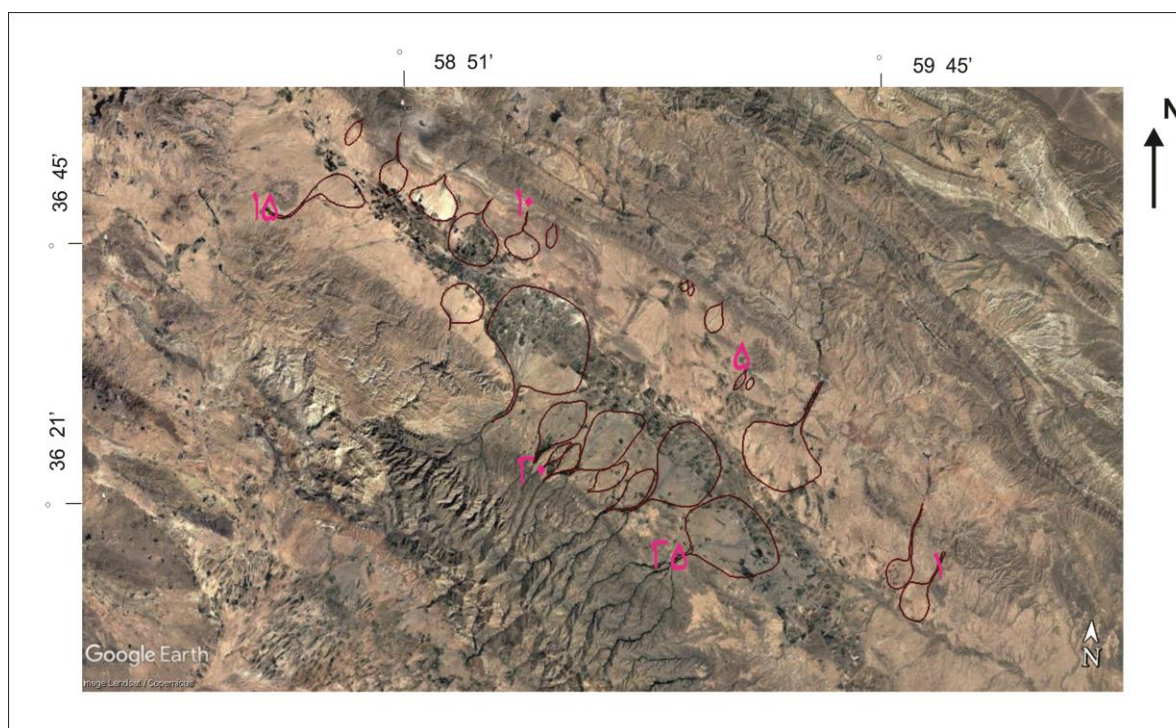
- در اینجا به بررسی دقیق تر مخروط افکنه در سال های ۱۹۶۴ و ۲۰۲۱ می پردازیم در این بخش از تصاویر گوگل ارث برای شناسایی مخروط افکنه ها و استخراج اطلاعات مربوط به هر یک از آن ها که در جداول ذیل آمده، در سال های ذکر شده استفاده شده است.

۴-۳-۱- بررسی مخروطه در سال ۱۹۶۴

نتایج داده های تصاویر هوایی به دست آمده از سنجش مخروط افکنه های دشت مشهد در شمال و جنوب دشت در سال ۱۹۶۴ میلادی در (جدول ۴-۱) آورده شده است. از این داده ها می توان ارتباط کمی بین هریک از شاخص های مخروط افکنه ای را تعیین و تحلیل کرد. در بین ۲۵ مخروط افکنه مورد بررسی مخروطه های جنوب غربی دشت مشهد، بزرگ ترین مخروط افکنه ها در این حوضه هستند؛ کوچک ترین مخروط افکنه از نظر وسعت، در شمال غرب دشت واقع شده اند. مهم ترین روابط کمی مخروط های منطقه شامل رابطه مساحت و وسعت حوضه زهکش آن ها با یکدیگر می باشد، ارتباط محیط مخروط افکنه ها با مساحت آن، رابطه شیب مخروط افکنه ها با پروفیل طولی و وسعت آن ها و نیز ارتباط طول آبراهه های اصلی مخروط با مساحت آن ها می باشد. به نسبت اینکه هر میزان حوضه زهکشی مخروط افکنه بزرگ تر باشد مساحت مخروط افکنه نیز بیشتر خواهد شد. برای نمونه مساحت حوضه زهکش مخروط افکنه شماره (۱۷) - $216/01$ کیلومتر مربع و مساحت مخروط افکنه آن $238/64$ کیلومتر مربع است، که یکی از بزرگ ترین مخروط های منطقه از نظر وسعت است. در حالی که مساحت کوچک ترین حوضه زهکشی مخروط افکنه (۷) - $1/11$ کیلومتر مربع و مساحت مخروط آن $1/28$ کیلومتر مربع می باشد بنابراین مخروط افکنه های وسیع دارای حوضه زهکش وسیع تری هستند. برای به دست آوردن شیب هر یک از مخروط افکنه های منطقه از اطلاعات تصویر گوگل ارث استفاده شده است (شکل ۴-۳) در صورت عادی شیب سطح مخروط افکنه ها به طرف پایین دشت و قاعده مخروط کاهش پیدا می کند و در پروفیل طولی آن ها حالت مقعری به وجود می آید.

از دیگر پارامترهای کمی هر مخروط افکنه شیب آن است. شیب سطحی (متوسط) مخروط های منطقه بین $1/0$ تا $4/9$ درصد متفاوت می باشد. معمولاً مخروط افکنه های جوان به ویژه در محل پرتگاه های کوهستانی از شیب

بیشتری برخوردار می‌باشند. اگرچه برخی از محققان از جمله (Bull, 1987) معتقدند که بین شیب و مساحت مخروط‌افکنه‌ها رابطه معکوسی وجود دارد؛ بدین معنا که شیب مخروط‌های کوچک بیشتر است ولی طی بررسی‌های صورت گرفته این ارتباط در مورد همه مخروط‌افکنه‌های دشت مشهد صادق نیست، زیرا اغلب آن‌ها از فعالیت‌های تکتونیکی تأثیرپذیری دارند. حتی شیب مخروط‌ها در قسمت‌های شمالی و جنوبی دشت کمی متفاوت هستند؛ که در شکل (۳-۴) و جدول (۱-۴) مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۴ تصویر مخروط‌افکنه‌های دشت مشهد در بخش‌های شمال و جنوب در سال ۱۹۶۴

جدول ۱-۴

حوضه آبریز مخروط			مخروطه افکنه						ارتفاع در خروجی حوضه (متر)	بلندترین ارتفاع حوضه (متر)	مخروطه افکنه‌ها
طول بزرگ‌ترین آبراهه	مساحت (Km ²)	محیط (Km)	ضریب شکل حوضه	طول حوضه	شیب حداکثر (درصد)	شیب متوسط (درصد)	مساحت (Km ²)	محیط (Km)			
۹/۴۸	۲۱۷/۸۵	۶۰/۵۰	۰/۶۰	۶/۷۱	۱۱/۰	۱/۶	۲۷/۰۸	۳۱/۴۳	۸۸۶	۱۰۵۰	۱
۱۶/۹۸	۸۲/۵۳	۳۴/۸۲	۰/۶۲	۵/۶۷	۱۷/۳	۱/۹	۲۰/۲۲	۳۴/۵۶	۹۱۲	۱۱۰۷	۲
۱/۸۵	۳۸۴/۷۲	۹۳/۰۴	۰/۷۷	۱۲/۱۸	۱۷/۸	۱/۷	۱۱۵/۴۷	۵۵/۹۸	۹۹۰	۱۲۵۲	۳
۳/۷۵	۱/۵۰	۵/۰۱	۰/۳۲	۲/۳	۱۰/۴	۴/۸	۱/۷۰	۵/۳۹	۱۱۰۰	۱۲۲۰	۴

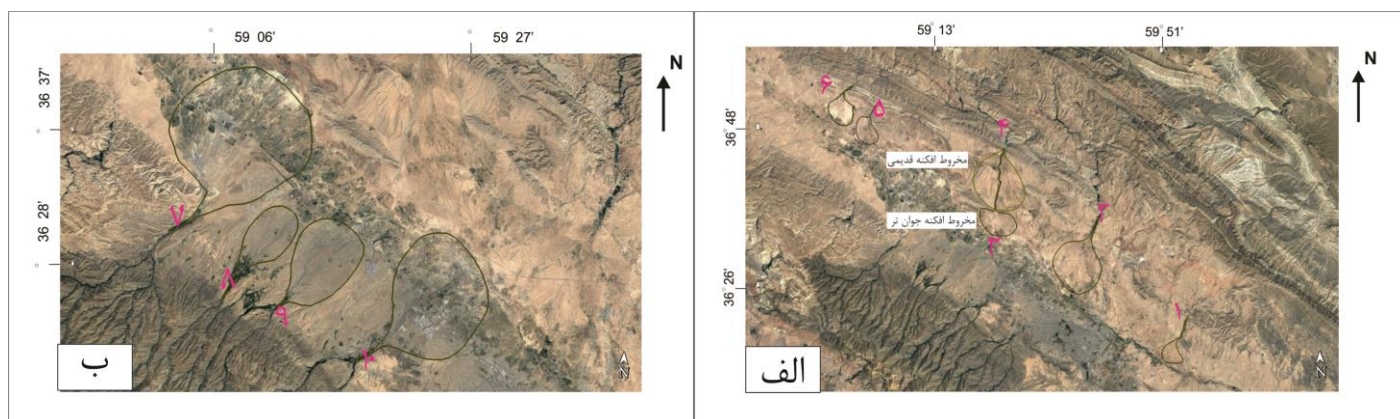
۲/۱۷	۵/۹۸	۹/۹۸	۰/۱۹	۳/۹۰	۱۱/۴	۳/۸	۲/۹۱	۹/۰۰	۱۰/۸۱	۱۲۴۵	۵
۴/۷۴	۷/۴۳	۱۱/۴۹	۰/۳۹	۵/۴۰	۲۴/۹	۳/۱	۱۱/۴۰	۱۳/۸۳	۱۲۰۳	۱۴۱۳	۶
۱/۱۳	۱/۱۱	۴/۱۲	۰/۳۶	۱/۸۸	۸/۵	۴/۹	۱/۲۸	۵/۱۷	۱۳۰۸	۱۴۲۸	۷
۱/۳۷	۱/۵۴	۴/۸۰	۰/۵۰	۱/۸۲	۹/۹	۳/۸	۱/۶۵	۵/۶۰	۱۳۱۹	۱۴۲۱	۸
۲/۸۲	۲/۸۳	۶/۵۷	۰/۳۹	۳/۷۰	۴۷/۲	۶/۳	۵/۳۱	۹/۹۹	۱۲۷۰	۱۴۹۴	۹
۶/۰۹	۱۸/۲۳	۱۷/۵۱	۲/۷۲	۴/۵۷	۲۵/۰	۲/۲	۲۰/۰۱	۲۳/۲۱	۱۱۴۱	۱۳۹۵	۱۰
۹/۳۰	۵۵/۲۰	۲۹/۵۴	۰/۷۲	۸/۸۷	۹/۷	۱/۱	۵۶/۹۷	۳۳/۴۳	۱۱۴۸	۱۳۰۳	۱۱
۸/۴۱	۱۶/۹۶	۱۹/۸۵	۰/۷۸	۶/۹۰	۱۳/۲	۱/۰	۳۷/۱۴	۲۵/۸۰	۱۱۷۵	۱۲۹۲	۱۲
۱۰/۳۴	۱۹/۸۸	۱۹/۸۹	۰/۵۱	۶/۵۶	۸/۷	۲/۰	۲۲/۰۹	۲۵/۵۵	۱۱۹۲	۱۴۴۴	۱۳
۳/۴۱	۷/۳۶	۱۱/۱۴	۰/۳۸	۴/۳۵	۲۳/۰	۳/۵	۷/۲۷	۱۱/۸۲	۱۲۷۵	۱۴۷۴	۱۴
۱۹/۱۰	۶۴/۵۷	۳۷/۰۷	۰/۵۷	۸/۱۰	۲/۴	۱/۰	۳۷/۹۹	۴۳/۰۰	۱۲۲۶	۱۴۲۶	۱۵
۱۱/۴۰	۹۸/۱۱	۴۴/۶۵	۱	۶/۱۵	۱۰/۳	۱/۲	۳۷/۸۶	۲۴/۹۷	۱۱۷۶	۱۳۲۱	۱۶
۱۶/۶۴	۲۱۶/۰۱	۶۳/۵۵	۱/۳۸	۱۳/۱۲	۲۸/۵	۱/۷	۲۳۸/۶۴	۶۵/۱۸	۱۱۰۴	۱۴۵۴	۱۷
۱۰/۶۰	۴۰/۰۵	۳۵/۸۱	۰/۱۵	۱۸/۲۲	۵/۱	۲/۶	۵۱/۰۴	۳۱/۴۷	۱۱۸۶	۱۵۸۱	۱۸
۱۶/۷۸	۲۹/۶۹	۲۹/۳۰	۰/۳۱	۶/۳۱	۱۰/۴	۳/۱	۵/۳۶	۱۲/۸۵	۱۳۰۷	۱۵۴۱	۱۹
۱۹/۷۴	۳۳/۷۹	۴۳/۰۵	۰/۳۴	۵/۹۲	۱۴/۴	۳/۵	۱۲/۰۵	۱۷/۳۳	۱۲۸۴	۱۶۱۳	۲۰
۱۶/۷۳	۴۵/۰۴	۳۴/۶۲	۰/۳۹	۱۳/۸۰	۵/۶	۲/۰	۷۳/۸۴	۳۷/۶۶	۱۰۹۵	۱۴۳۴	۲۱
۱۱/۰۵	۱۲/۲۲	۱۸/۵۴	۰/۳۵	۷/۱۸	۵/۳	۲/۵	۱۷/۹۷	۱۹/۳۷	۱۱۹۹	۱۴۴۴	۲۲
۲۰/۲۱	۸۴/۵۱	۴۸/۶۷	۰/۳۲	۸/۸۰	۱۵/۶	۲/۴	۲۵/۰۳	۲۴/۰۷	۱۱۴۷	۱۴۴۶	۲۳
۲۴/۲۰	۱۱۴/۸۴	۵۲/۲۴	۰/۶۹	۱۳/۳۸	۱۰/۲	۱/۶	۱۲۴/۲۵	۵۰/۸۴	۱۰۰۹	۱۳۴۸	۲۴
۲۷/۳۸	۲۶۸/۲۷	۶۳/۱۵	۰/۹۰	۱۲/۹۴	۲۱/۳	۱/۶	۱۵۱/۲۱	۴۸/۹۰	۹۸۲	۱۲۷۹	۲۵

۴-۳-۲- بررسی مخروط‌ها در سال ۲۰۲۱

روش کار در سال ۲۰۲۱ دقیقاً مانند سال ۱۹۶۴ می‌باشد، با این تفاوت که در سال ۲۰۲۱ با توجه به محدودیت‌های ذکرشده در فصل ۳ شاهد تعداد کمتری از این شاخص بوده‌ایم. که در بخش شمال دشت مشهد (کوه‌های هزار مسجد) ۶ پدیده و در قسمت جنوب آن ۴ پدیده (شکل ۴-۴) به‌صورت واضح قابل مشاهده و بررسی بوده است؛ در قسمت جنوب دشت مشهد رسوب‌گذاری در قاعده مخروط‌افکنه‌ها انتقال پیدا کرده است. بافاصله‌ای کم‌تر نسبت به مخروط‌افکنه‌های شمال دشت مشهد از کوهستان در دشت نمایان شده‌اند؛ و تمامی مخروط‌افکنه‌ها به سمت غرب تمایل پیدا کرده‌اند. همان‌طوری که مشاهده می‌شود مخروط‌های جنوب شرق تا شمال غرب دشت مشهد بزرگ‌ترین مخروط‌افکنه‌ها هستند؛ کوچک‌ترین مخروط‌افکنه از نظر وسعت، مخروط در شرق تا غرب دشت هستند.

در شمال دشت رسوب‌گذاری در قاعده مخروط‌افکنه‌ها انتقال پیدا کرده است و گاهی مخروط‌افکنه‌ها جدا شده از کوهستان هستند و بافاصله‌ای از کوهستان در دشت نمان شده‌اند. تمامی مخروط‌افکنه‌ها به سمت شرق تمایل پیدا کرده‌اند.

در این جدول مساحت حوضه آبریز مخروط افکنه شماره (۴) $329/88$ کیلومترمربع و مساحت مخروط افکنه آن $143/05$ کیلومترمربع است؛ که یکی از بزرگ‌ترین مخروط‌های منطقه از نظر وسعت است. درحالی‌که مساحت کوچک‌ترین حوضه زهکشی مخروط‌افکنه (۵) $83/81$ کیلومترمربع و مساحت مخروط آن $29/50$ کیلومترمربع می‌باشد بنابراین مخروط افکنه‌های بزرگ دارای حوضه زهکش کننده وسیع‌تری نیز هستند.



شکل ۴-۴ تصویر مخروط‌افکنه‌های (الف) شمال دشت مشهد (ب) جنوب دشت مشهد در سال ۲۰۲۱

جدول ۴-۲

حوضه آبریز مخروط			مخروطه افکنه						ارتفاع در خروجی حوضه (متر)	بلندترین ارتفاع حوضه (متر)	مخروطه افکنه‌ها
طول بزرگ‌ترین آبراهه	مساحت (Km ²)	محیط (Km)	ضریب شکل	طول حوضه	شیب حداکثر (درصد)	شیب متوسط (درصد)	مساحت (Km ²)	محیط (Km)			
۱۲/۷۲	۲۱۷/۵۴	۷۳/۱۰	۰/۶۱	۶/۲۳	۱۹/۵	۱/۹	۲۳/۷۲	۳۴/۶۴	۸۸۷	۱۰۸۱	۱
۹/۷۸	۲۵۲/۱۴	۹۳/۸۲	۰/۷۴	۱۳/۰۳	۲۴/۲	۱/۳	۱۳۰/۸۶	۵۵/۷۶	۹۷۸	۱۲۶۵	۲
۱۹/۶۴	۳۲۹/۸۸	۸۰/۶۰	۲/۱۸	۴/۸۳	۱۲/۸	۱/۳	۵۰/۹۹	۶۱/۳۳	۱۰۴۸	۱۳۵۱	۳
۳/۷۵	۳۲۹/۸۸	۸۰/۶۰	۰/۷۸	۱۳/۵۱	۱۵/۸	۱/۷	۱۴۳/۰۵	۴۶/۳۹	۱۱۲۵	۱۳۸۱	۴

۵	۱۴۱۳	۱۱۶۴	۲۷/۱۰	۲۹/۵۰	۱/۸	۴/۷	۶/۳۲	۰/۷۴	۴۲/۵۷	۸۳/۸۱	۵/۳۶
۶	۱۳۶۸	۱۱۷۷	۳۱/۴۷	۳۷/۳۶	۱/۵	۱۷/۲	۷/۲۶	۰/۷۱	۳۲/۵۹	۴۸/۰۶	۷/۴۲
۷	۱۴۱۶	۱۱۰۰	۶۶/۲۶	۲۲۸/۸۳	۱/۳	۱۸/۳	۱۵/۸۱	۰/۹۲	۶۵/۷۶	۱۸۳/۲۰	۱۱/۴۸
۸	۱۵۷۳	۱۱۹۰	۳۲/۸۷	۳۸/۴۱	۲/۶	۱۳/۱	۹/۲۷	۰/۴۵	۳۴/۲۶	۵۲/۷۳	۷/۴۷
۹	۱۴۲۶	۱۱۲۰	۳۵/۳۴	۷۱/۴۴	۱/۲	۱۲/۶	۱۱/۴۶	۰/۵۴	۵۶/۰۴	۸۷/۲۹	۶/۳۳
۱۰	۱۳۳۵	۹۹۱	۵۴/۲۳	۱۵۱/۴۴	۱/۲	۹/۹	۱۴/۱۹	۰/۷۵	۵۹/۷۵	۱۸۳/۷۸	۸/۴۸

_ با توجه به ضریب شکل حوضه و تعداد ۹ حوضه در سال ۲۰۲۱ و ۱۷ حوضه در سال ۶۴ گواه بر گسلی بودن منطقه بوده و جوان‌ترین عارضه‌های مورفولوژی را تحت تأثیر قرار داده است.

۴-۴_ شاخص پهنای دره به عمق دره (Vf)

_ پارامتری بعدی که به آن پرداخته‌ایم دره است که در محدوده کوه‌های هزار مسجد (شمال دشت) واقع شده‌است که طی بررسی و محاسبات استاندارد دره‌ها نشانه فعال بودن تکتونیک منطقه می‌باشد که اگر عدد حاصله کمتر از یک باشد فعال، بزرگ‌تر از یک و کمتر از ۲ باشد نیمه فعال و بزرگ‌تر از ۲ غیرفعال است در (جدول ۳-۴) میزان به‌دست‌آمده Vf در هر سه دره کوچک‌تر از یک هستند.

این شاخص اولین بار توسط Bull و McFadden (1977) به‌صورت رابطه ذیل معرفی شد:

$$\checkmark \quad Vf = 2 Vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$$

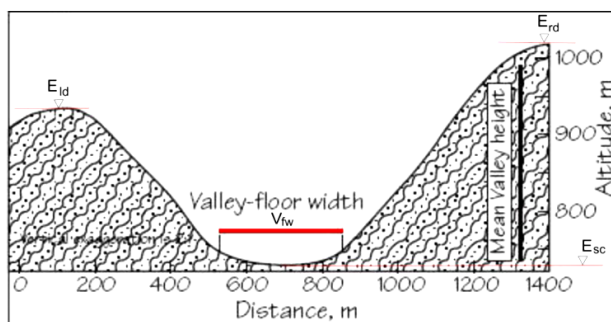
✓ Vf : شاخص پهنای دره به عمق دره

✓ Vfw : عرض بستر رودخانه

✓ Eld : ارتفاع دیواره سمت چپ دره

✓ Erd : ارتفاع دیواره سمت راست

✓ Esc : ارتفاع کف (بستر) دره



شکل ۴-۵ مقطع عرضی یک دره فرضی و پارامترهای لازم جهت محاسبه (V_f) (Kehher et al, 2002)

جدول ۴-۳

ایستگاه	V_f	Esc	Erd	Eld	V_{fw}	وضعیت تکتونیک
۱	۰/۸۳	۰/۶	۴/۹	۵/۶	۳/۹	فعال
۲	۰/۲۰	۰/۴	۳/۵	۶/۱	۰/۹	فعال
۳	۰/۳۱	۰/۷	۷/۸	$\frac{3}{4}$	۱/۷	فعال

__ با توجه به نتیجه مقدار عدد V_f به دست آمده در دره‌های مورد بررسی هر سه دره کوچک‌تر از یک هستند که با توجه به استاندارد V_f منطقه فعال شناسایی شده است.

فصل ۵

مطالعات ژئوفیزیک با تمرکز بر گسل کشف‌رود

۵-۱- مقدمه

در قرن اخیر، جهان شاهد پیشرفت‌های شگرفی در علوم و تکنولوژی و در جهت تسهیل زندگی و فعالیت‌های عمرانی بوده است. در کنار پیشرفت علم زمین‌شناسی و معدن، شاخه‌های جدید بین‌رشته‌ای با بهره‌گیری از علوم ریاضی، شیمی و فیزیک در علوم زمین به وجود آمد. یکی از این شاخه‌ها علم ژئوفیزیک می‌باشد که با بهره‌گیری از خواص فیزیکی به درک بهتر ما از زمین‌شناسی کمک می‌نماید. در حقیقت ژئوفیزیک به بررسی خواص فیزیکی آنچه زمین را می‌سازد مانند سنگ‌ها، کانی‌ها، مایعات، گازها، تغییر شکل‌ها، تغییر در ترکیبات، تغییرات حرارتی، شکستگی‌ها و هر نوع تغییر در خواص فیزیکی مجموعه تشکیل‌دهنده زمین می‌پردازد و بدین ترتیب مطالعه آنچه در زیرزمین و از دید ما پنهان است را ممکن و آسان می‌سازد.

با توجه به تعاریف بالا علم ژئوفیزیک گستردگی زیادی دارد و از جنبه‌های مختلفی می‌توان آن را تقسیم‌بندی نمود. از دید مقیاس، مطالعات ژئوفیزیک بسیار گسترده است. به‌عنوان مثال بررسی ساختمان کلی کره زمین که مطالعات ژئوفیزیک از طریق بررسی و تفسیر امواج لرزه‌ای مربوط به زلزله‌های با قدرت زیاد که در اعماق زمین اتفاق می‌افتد آن را ممکن می‌سازد، در مقیاس جهانی قابل بررسی است.

۵-۲- معرفی روش

کاوش‌های الکتریکی با آشکارسازی اثرهای سطحی حاصل از عبور جریان در داخل زمین سروکار دارند. در مقایسه با دیگر روش‌های ژئوفیزیک نظیر ثقل‌سنجی، مغناطیس و رادیواکتیویته که در آن‌ها تنها یک میدان نیرو یا ویژگی بی‌هنجار مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش‌های الکتریکی از تنوع بیش‌تری نسبت به دیگر روش‌های ژئوفیزیک برخوردارند. از میان روش‌های مختلف الکتریکی روش مقاومت ویژه از کاربرد گسترده‌ای

برخوردار است. یکی از دلایل این امر آن است که دامنه تغییرات مقاومت ویژه سنگ‌ها و کانی‌ها بسیار وسیع می‌باشد. روش‌های مقاومت ویژه الکتریکی در اوایل دهه ۱۹۰۰ ابداع شدند، اما از دهه ۱۹۷۰ و خصوصاً به دلیل دسترسی به کامپیوتر برای پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها، کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده‌اند. هدف از برداشت‌های مقاومت ویژه، تعیین توزیع زیرزمینی مقاومت ویژه با استفاده از اندازه‌گیری‌های سطحی می‌باشد. از این اندازه‌گیری‌های سطحی، مقاومت ویژه واقعی توده‌های زیرسطحی قابل تخمین است.

در اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه با تزریق جریان به درون زمین از طریق دو الکتروود جریان و اندازه‌گیری اختلاف ولتاژ حاصل میان دو الکتروود پتانسیل، مقاومت ویژه ظاهری ساختارهای زیرسطحی قابل تخمین است. اگرچه این مقاومت ویژه ظاهری تا حدودی مشخص‌کننده مقاومت ویژه واقعی منطقه‌ای در نزدیکی مجموعه الکتروودها است، ولی قطعاً یک مقدار مطلق نخواهد بود. رابطه بین مقاومت ویژه حقیقی و ظاهری رابطه‌ای پیچیده است. برای تعیین مقاومت ویژه حقیقی ساختارهای زیرسطحی از روی مقادیر ظاهری آن، از روش‌های معکوس سازی توسط نرم‌افزارهای کامپیوتری استفاده می‌شود.

۵-۲-۱- حوزه‌های کاربرد

روش مقاومت ویژه از گستره کاربرد وسیعی برخوردار است و کاربردهای آن را می‌توان در حوزه علوم مختلف به این ترتیب اولویت به صورت زیر طبقه‌بندی کرد.

- ۱- آب‌های زیرزمینی (اکتشاف منابع آب، تفکیک آب‌شور و شیرین و ...)
- ۲- اکتشاف معدن (انواع ذخیره‌های فلزی و غیرفلزی)
- ۳- مطالعات مهندسی و ژئوتکنیک (بررسی محل ساخت سازه‌های عظیم، آشکارسازی حفره‌ها، تونل‌ها و کانال‌های مدفون و ...)
- ۴- مطالعات زمین‌شناسی (آشکارسازی گسل‌ها، ضخامت رسوبات، تفکیک واحدهای زمین‌شناسی و ...)
- ۵- مطالعات زیست‌محیطی (آلودگی آب‌های زیرزمینی، محل دفن زباله‌ها و ...)

۵-۳- شبکه‌بندی و آرایش‌های صحرایی

برای اندازه‌گیری داده‌های مقاومت ویژه آرایش‌های الکترودی مختلفی پیشنهاد شده است. از مهم‌ترین آرایش‌هایی که در روش مقاومت ویژه بکار برده می‌شوند، می‌توان به ترتیب به آرایش‌های ونر، شلومبرژه، دوقطبی- دوقطبی، قطبی- دوقطبی، قطبی- قطبی، گرادیان (مستطیلی)، آرایه مربعی و اتصال به جرم اشاره کرد. بعضاً آرایش‌های مذکور دارای انواعی بوده و با نام‌های مختلف شناخته می‌شوند. آرایش ونر در پروفیل‌زنی، آرایش شلومبرژه در سونداژزنی، آرایش‌های دوقطبی- دوقطبی، قطبی- دوقطبی، در تهیه شبه مقاطع و برداشت‌های IP و آرایش قطبی-قطبی در مطالعات ۳ بعدی کوچک مقیاس محبوبیت زیادی پیدا کرده‌اند. برای بررسی ساختار لایه‌ای زمین در منطقه مورد مطالعه از روش ژئوالکتریک با آرایش شلومبرژه استفاده شده است. هر یک از لایه‌های زمین دارای مقاومت ویژه و ضخامت خاصی هستند که با شناخت این لایه‌ها می‌توان به ساختار و لایه بندی منطقه دسترسی پیدا کرد. تغییرات مقاومت ویژه هم با عمق و هم به صورت جانبی وجود دارد و شناخت این تغییرات جانبی با تغییر مکان نقطه‌ای اندازه‌گیری می‌شود که تفسیر داده‌ها با نرم‌افزار IPI انجام شده است و نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که به طور کلی منطقه مورد مطالعه از پنج لایه، آبرفت ریزدانه رسی، آبرفت درشت‌دانه شن و ریگ، گراول رسی سیلتی، رس گراولی و مارن تشکیل شده است.

آرایش شلومبرژه در میان آرایش‌های مختلفی که برای روش سونداژ الکتریکی قائم استفاده می‌شود در اکتشاف و ارزیابی ساختارهای زمین‌شناسی مناسب‌تر است. به این ترتیب برای بررسی بهتر و دقیق‌تر بر روی گسل کشف رود در قسمت شمال دشت مشهد از روش مقاومت ویژگی الکتریکی با آرایش شلومبرژه استفاده شده است. در این روش با زیاد کردن طول الکترودهای جریان، عمق نفوذ بیش‌تر شده و لایه‌های عمیق‌تری مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای درک بهتر توزیع مقادیر مقاومت ویژه الکتریکی در طول خط جریان‌های مختلف، نقشه‌های هم

مقاومت ویژه الکتریکی تهیه شده است. منحنی‌های به دست آمده از سونداژ الکتریکی قائم، می‌تواند مقاومت ویژه ظاهری را نسبت به طول الکترودهای جریان نشان دهد. اما نمی‌توان به صورت مستقیم عمق واقعی و مقاومت ویژه حقیقی را از روی منحنی قرائت نمود. به این ترتیب، منحنی‌های به دست آمده باید تعبیر و تفسیر شود تا برای هر فاصله الکترودی، عمق مربوطه بررسی شود. نسبت بین فاصله الکترودی و عمق، بستگی به ضخامت و مقاومت الکتریکی لایه‌ها دارد.

برای تعیین لایه‌بندی زمین در منطقه، باید مقاطع ژئوالکتریکی را بررسی کرد. مقاطع ژئوالکتریک پس از تفسیر منحنی‌های سونداژ هر پروفیل و با در نظر گرفتن اعداد مقاومت تفسیر شده، روند تغییرات مقاومت الکتریکی در عمق، تغییرات توپوگرافی در طول پروفیل و اطلاعات صحرایی به دست می‌آید (غلامرضا شافعی، ۱۳۹۵). در این بخش به بررسی چند نمونه از پروفیل‌های ژئوالکتریکی منطقه پرداخته‌ایم.

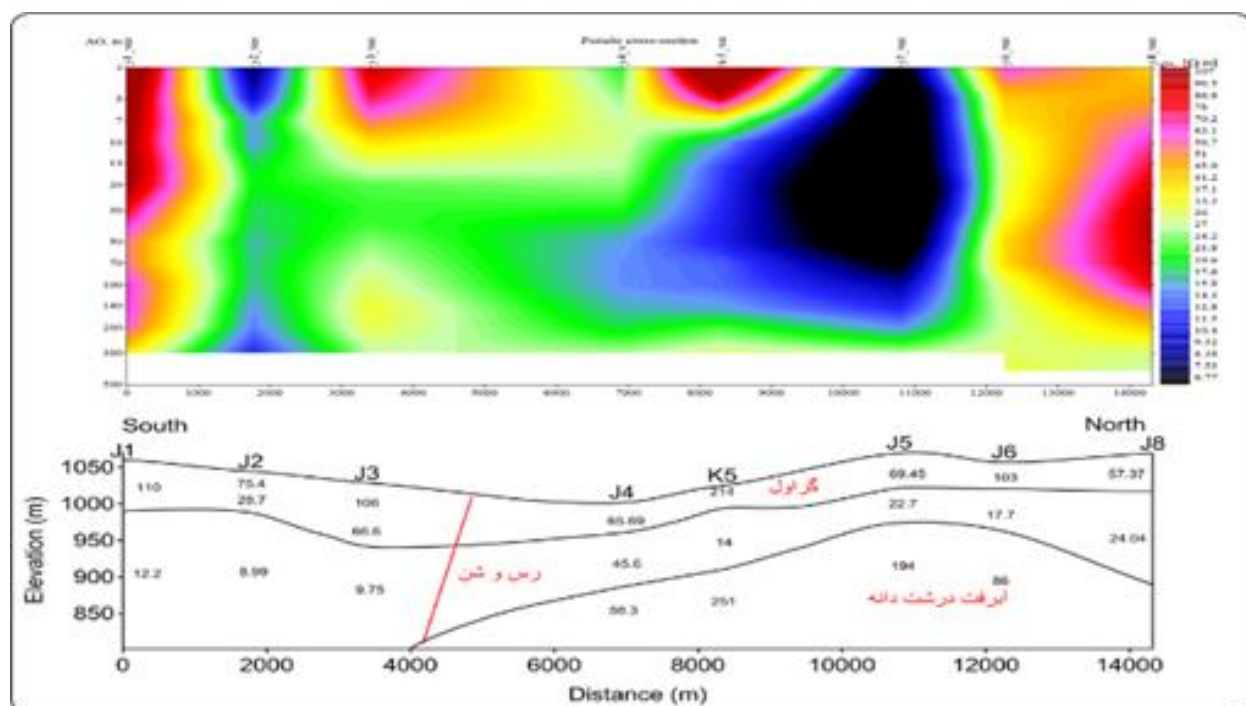
همان‌طور که قبلاً ذکر شده بنا به دلایلی که نتوانستیم از گسل و محدوده مورد مطالعه برداشت‌های ساختاری داشته باشیم، برای به نتیجه رساندن این پروژه و تکمیل کردن آن با توجه هدف و موضوع که ارزیابی پهنه‌برشی گسل کشف‌رود است از داده‌های ژئوفیزیکی که مربوط به شرکت زمین فیزیک پویا می‌باشد استفاده کرده‌ایم و داده‌های ذکر شده مورد بررسی قرار گرفت و ۴ تا تصویر از محدوده که نشانگر گسل در زیر سطح و جابجایی لایه‌های زیرسطحی می‌باشد مورد تفسیر قرار گرفت.

۵-۴- روش تحقیق

نسبت به هدف تحقیق، آرایش شلومبرژه نیز در میان آرایش‌های مختلفی که برای روش سونداژ الکتریکی قائم استفاده می‌شوند، در اکتشاف و ارزیابی ساختارهای زمین‌شناسی مناسب‌تر است، از این رو در مطالعه دشت مشهد از روش مقاومت ویژه الکتریکی با آرایه شلومبرژه استفاده شد. در این آرایش با زیاد کردن طول الکترودهای جریان، عمق نفوذ جریان بیشتر شده و لایه‌های عمیق‌تری مورد مطالعه قرار می‌گیرد. که در ۴ تصویر ماهوره‌ای که محل قرار گرفتن سونداژها مشخص شده و تفسیر داده در ادامه ارائه می‌گردد.

۵-۴-۱- پروفیل JKJ

دامنه مقاومت ویژه الکتریکی در این پروفیل بر اساس مقاومت ویژه‌ای حقیقی به‌دست‌آمده از پردازش داده‌های پروفیل JKJ و هم‌چنین زمین‌شناسی منطقه، سه لایه آبرفتی شامل گراول، رس و شن، آبرفت درشت‌دانه مشاهده می‌شود که این سه لایه به‌خوبی قابل تفکیک از یکدیگر بوده و دامنه تغییرات این پروفیل در ۸ سونداژ از ۸/۹۹ تا ۲۵۱ اهم‌متر می‌باشد. در لایه اول و سطحی‌ترین آن که مربوط به نهشته‌های گراول می‌باشد با مقاومت ویژه الکتریکی از ۲۸ تا ۲۱۴ اهم‌متر در این رسوبات متغیر است و بیش‌ترین مقاومت ویژه در این لایه در سونداژ K5 با مقاومت 214 اهم‌متر و کم‌ترین آن در سونداژ J2 با مقاومت ۲۸ می‌باشد. بیش‌ترین ضخامت در این لایه ۹۰ متر در سونداژ J3 و کم‌ترین ضخامت آن ۳۰ متر در سونداژ K5 شناسایی شده است. لایه رس و شن که دومین لایه این پروفیل می‌باشد با مقاومت ویژه ۸/۹۹ تا ۴۵/۶ اهم‌متر است. بیش‌ترین مقاومت ویژه در این لایه سونداژ J4 و کم‌ترین مقاومت آن در سونداژ J2 می‌باشد و بیش‌تری ضخامت شناسایی شده در این لایه ۱۹۰ متر در سونداژ J1 و کم‌ترین ضخامت ۹۰ متر در سونداژ J5 قرار گرفته است. و آخرین لایه این پروفیل که آبرفت درشت‌دانه می‌باشد از مقاومت ویژه ۵۸/۳ تا ۲۵۱ اهم‌متر است که در این لایه بیش‌ترین مقاومت ویژه در سونداژ K5 با مقاومت ۲۵۱ و کم‌ترین آن در سونداژ J4 قرار گرفته و بیش‌ترین ضخامت در لایه آخر ۱۷۵ متر مربوط به سونداژ J5 و کم‌ترین ضخامت آن 75 متر در سونداژ J4 می‌باشد. لایه آخر این پروفیل از سمت جنوب به شمال در فاصله ۴۰۰۰ متری تشکیل شده است. با توجه به شبه مقطع عکس بالا و تغییرات مقاومت و قطع‌شدگی لایه آخر، گسل شناسایی شده بین سونداژهای J3 و J4 قرار گرفته است. موقعیت ایستگاه‌های برداشت در این پروفیل از محدوده در شکل (۵-۱) مشخص شده است. در سونداژ J2 و هم‌چنین حدفصل بین سونداژهای J6 و J8 افت شدید مقاومت ویژه داریم که نشان‌دهنده وجود گسل در این ناحیه می‌باشد. مقاومت‌های پایین نشان‌دهنده زون خورد شدگی که می‌تواند آبرفتی و حتی اشباع از آب نیز باشد.

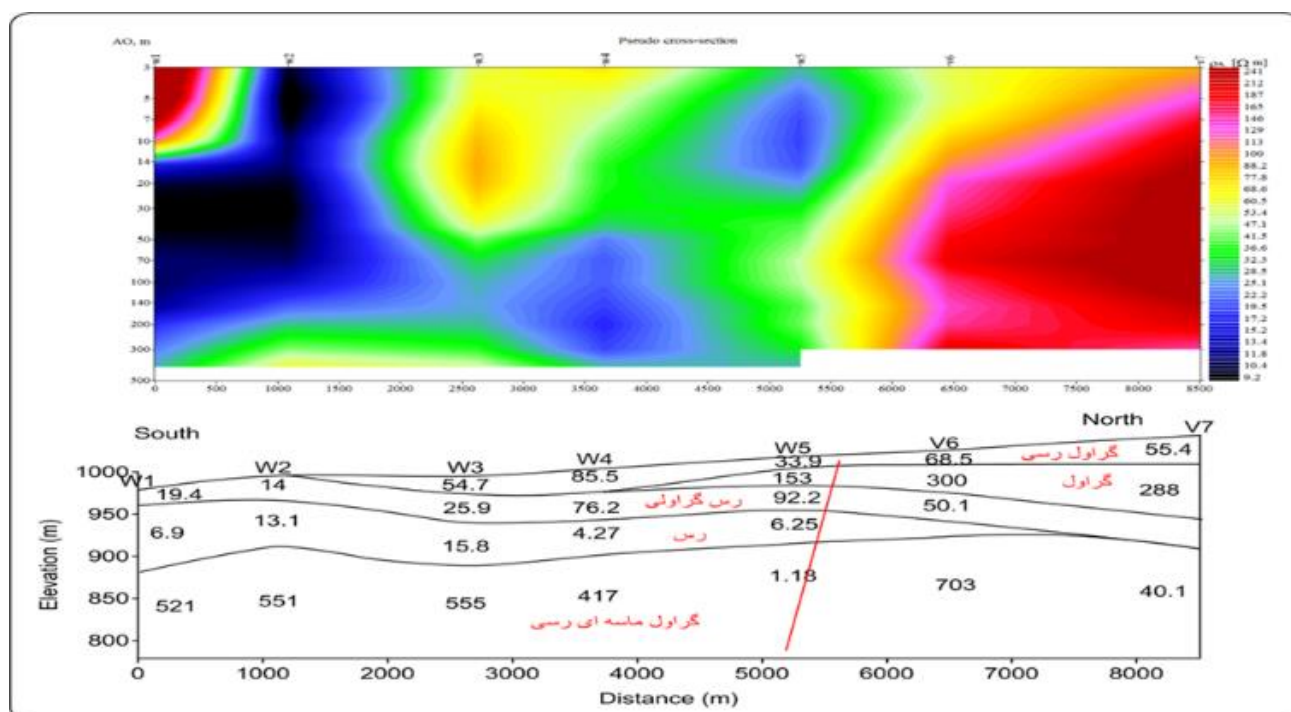
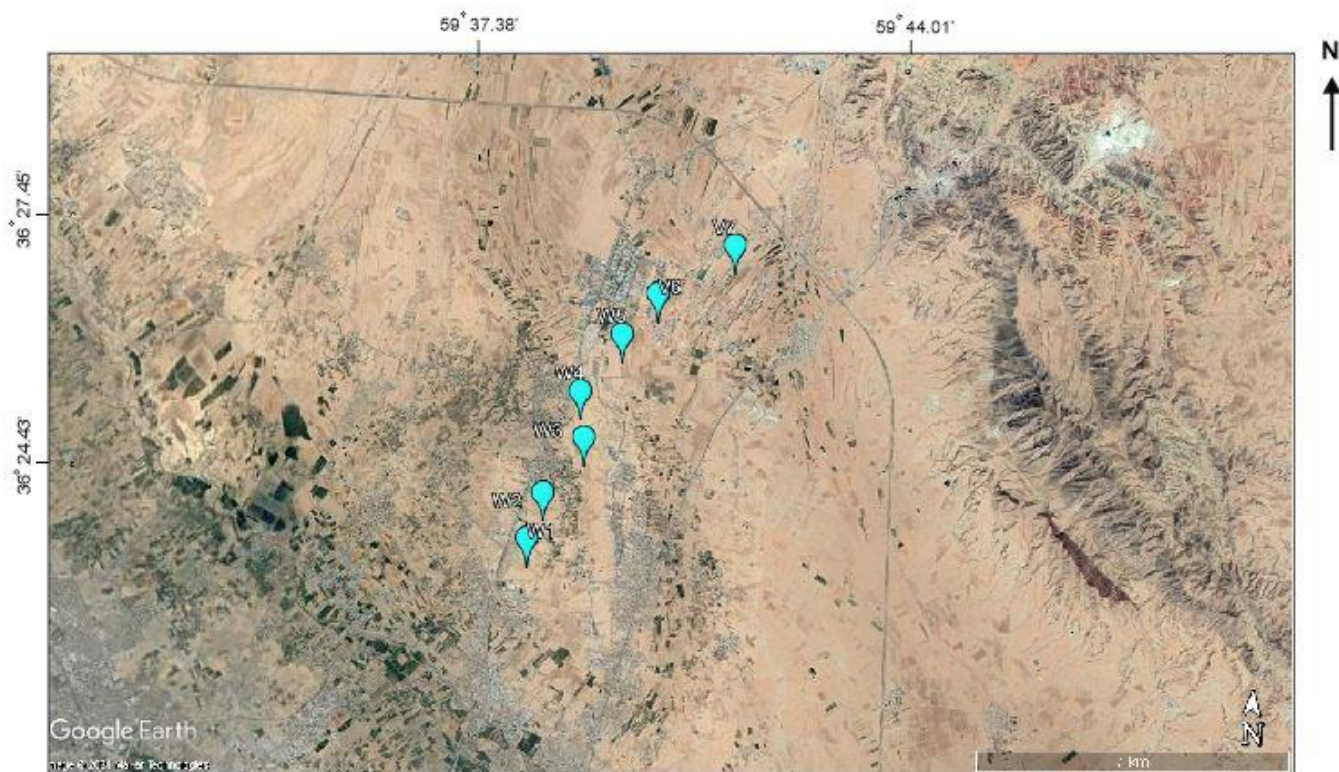


شکل ۵-۱ مقطع ژئو الکتریکی پروفیل JKJ و تصویر ماهواره‌ای محل سونداژها

۵-۴-۲- پروفیل WV

دامنه مقاومت ویژه الکتریکی در این پروفیل بر اساس مقاومت ویژه‌های حقیقی به‌دست‌آمده از پردازش داده‌های پروفیل WV و هم‌چنین زمین‌شناسی منطقه، پنج لایه آبرفتی شامل گراول رسی، گراول، رس، رس، رس، گراول ماسه‌ای رسی مشاهده می‌شود که این پنج لایه به‌خوبی قابل تفکیک از یکدیگر بوده و دامنه تغییرات این پروفیل در ۷ سونداژ از ۱/۱۸ تا ۷۰۳ اهم‌متر می‌باشد. در لایه اول و سطحی‌ترین آن که مربوط گراول رسی با مقاومت ویژه الکتریکی از ۳۳/۹ تا ۸۵/۵ اهم‌متر در این رسوبات متغیر است و بیش‌ترین مقاومت ویژه در این لایه در سونداژ W4 کم‌ترین آن در سونداژ W5 می‌باشد. بیش‌ترین ضخامت در این لایه ۳۰ متر در سونداژ V7 و کم‌ترین ضخامت آن ۱۵ متر در سونداژ V5 ثبت‌شده است. لایه گراول رسی از سمت جنوب در فاصله تقریباً ۱۲۰۰ متری از سونداژ W2 به سمت شمال لایه اول پروفیل می‌باشد. لایه گراول دومین لایه این پروفیل می‌باشد با مقاومت ویژه ۱۵۳ تا ۳۰۰ اهم‌متر است. بیش‌ترین مقاومت ویژه در این لایه سونداژ V6 و کم‌ترین مقاومت آن در سونداژ W5 می‌باشد. بیش‌تری ضخامت شناسایی‌شده در این لایه ۵۸ متر در سونداژ V7 و کم‌ترین ضخامت آن ۲۵ متر در سونداژ W5 است، این لایه از سمت جنوب سونداژ W4 در فاصله ۳۶۰۰ متری شروع به سمت شمال کشیده شده است. رسوبات لایه بعدی مربوط به رس گراول پروفیل می‌باشد که با مقاومت ویژه ۱۴ تا ۹۲/۲ اهم‌متر است. بیش‌ترین مقاومت ویژه در این لایه سونداژ W5 و کم‌ترین مقاومت آن در سونداژ W2 می‌باشد، بیش‌ترین ضخامت در این لایه ۳۵ متر در سونداژ V7 و کم‌ترین ضخامت آن ۲۵ متر در سونداژ W1 شناسایی‌شده است. این لایه از سمت شمال به سمت جنوب پروفیل تا سونداژ W4 در فاصله ۳۶۰۰ لایه سوم و تا سونداژ W2 در فاصله ۱۲۰۰ متری لایه دوم و تا سونداژ اول لایه سطحی می‌باشد. لایه رس چهارمین لایه پروفیل می‌باشد با مقاومت ویژه ۴/۲۷ تا ۱۵/۸ اهم‌متر است. بیش‌ترین مقاومت ویژه در این لایه سونداژ W3 و کم‌ترین مقاومت آن در سونداژ W4 می‌باشد. بیش‌ترین ضخامت شناسایی‌شده در این لایه ۹۰ متر در سونداژ W1 و کم‌ترین ضخامت آن ۱۵ متر در سونداژ V6 است، آخرین لایه پروفیل دارای گراول ماسه‌ای که از مقاومت ویژه ۱/۱۸ تا ۷۰۳ اهم‌متر است در این لایه بیش‌ترین مقاومت ویژه در سونداژ V6 و کم‌ترین آن در سونداژ W5 قرارگرفته و بیش‌ترین ضخامت در لایه

آخر ۱۵۰ متر مربوط به سونداژ V6 و کم‌ترین ضخامت آن ۱۰ متر در سونداژ W1 می‌باشد. با توجه به شبه مقطع عکس بالا و تغییرات مقاومت الکتریکی ویژه لایه‌ها، و قطع‌شدگی لایه‌ها در این پروفیل گسل شناسایی شده در فاصله‌ای 5200 متر بین سونداژهای W5 و V6 در قسمت شمال قرار گرفته است و تغییر مقاومت الکتریکی لایه‌ها تغییرات لایه‌ای و قطع‌شدگی لایه‌ها در این پروفیل به صورت قابل توجهی نمایان است. موقعیت ایستگاه‌های برداشت در این پروفیل در شمال دشت مشهد در (شکل ۵-۲) مشخص شده است. در سونداژ W5 و همچنین حدفاصل بین سونداژهای V6 و V7 افت شدید مقاومت ویژه داریم که نشان‌دهنده وجود گسل در این ناحیه می‌باشد.

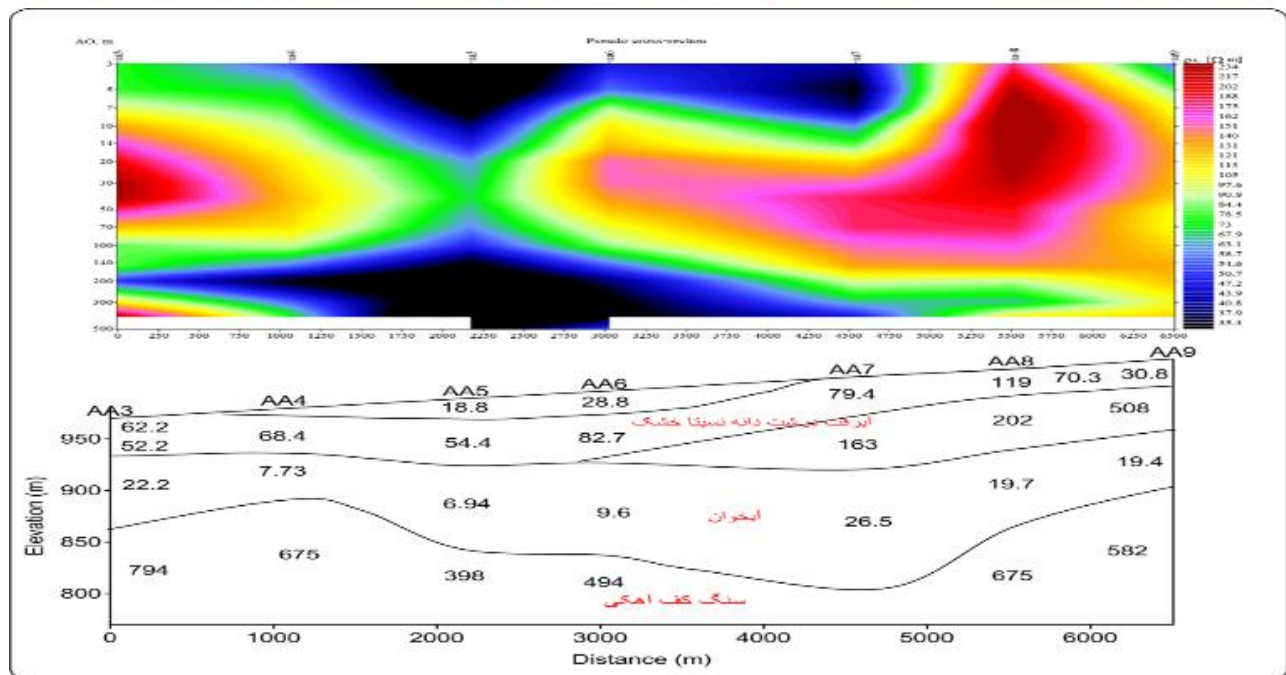


شکل ۵-۲ مقطع ژئو الکتریکی پروفیل WV و تصویر ماهواره‌ای محل سونداژها

۵-۴-۳- پروفیل AA

دامنه مقاومت ویژه الکتریکی در این پروفیل بر اساس مقاومت ویژه‌های حقیقی به دست آمده از پردازش داده‌های پروفیل AA و همچنین زمین‌شناسی منطقه، پنج لایه آبرفتی شامل آبرفت درشت‌دانه نسبتاً خشک، آبخوان، سنگ کف آهکی، که این پنج لایه به خوبی قابل تفکیک از یکدیگر بوده و دامنه تغییرات این پروفیل در ۷ سونداژ از ۶/۹۴ تا ۷۹۴ اهم‌متر می‌باشد. در لایه اول و سطحی‌ترین آن با مقاومت ویژه الکتریکی از ۱۸/۸ تا ۲۸/۸ اهم‌متر در این رسوبات متغیر است و بیش‌ترین مقاومت ویژه در این لایه در سونداژ AA6 کم‌ترین آن در سونداژ AA5 می‌باشد. بیش‌ترین ضخامت در این لایه ۲۵ متر در سونداژ AA6 و کم‌ترین ضخامت آن ۱۰ متر در سونداژ AA4 ثبت شده است. لایه به صورت یک لنز از فاصله ۸۰۰ متر بین سونداژهای AA3 و AA4 تا فاصله ۴۵۰۰ متر تا سونداژ AA7 ادامه دارد. لایه آبرفت درشت‌دانه نسبتاً خشک دومین لایه این پروفیل می‌باشد با مقاومت ویژه ۳۰/۸ تا ۱۱۹ اهم‌متر است. بیش‌ترین مقاومت ویژه در این لایه سونداژ AA8 و کم‌ترین مقاومت آن در سونداژ AA9 می‌باشد. بیش‌ترین ضخامت شناسایی شده در این لایه ۵۰ متر در سونداژ AA5 و کم‌ترین ضخامت آن ۲۵ متر در سونداژهای AA8, AA9 است، این لایه از سونداژ AA3 تا فاصله ۸۰۰ متر لایه اول بوده، تا فاصله ۴۵۰۰ متر لایه دوم و بعد تا انتهای پروفیل لایه اول بوده است. رسوبات لایه بعدی با مقاومت ویژه ۱۶۳ تا ۵۰۸ اهم‌متر است. بیش‌ترین مقاومت ویژه در این لایه سونداژ AA9 و کم‌ترین مقاومت آن در سونداژ AA7 می‌باشد، بیش‌ترین ضخامت در این لایه ۶۰ متر در سونداژ AA7 و کم‌ترین ضخامت آن ۵ متر در سونداژ AA6 شناسایی شده است. لایه آبخوان چهارمین لایه پروفیل می‌باشد با مقاومت ویژه ۶/۹۴ تا ۲۶/۵ اهم‌متر است. بیش‌ترین مقاومت ویژه در این لایه سونداژ AA7 و کم‌ترین مقاومت آن در سونداژ AA5 می‌باشد. بیش‌تری ضخامت شناسایی شده در این لایه ۱۲۵ متر در سونداژ AA7 و کم‌ترین ضخامت آن ۵۰ متر در سونداژ AA4 است، آخرین لایه پروفیل سنگ کف آهکی که از مقاومت ویژه ۳۹۸ تا ۷۹۴ اهم‌متر است در این لایه بیش‌ترین مقاومت ویژه در سونداژ AA3 و کم‌ترین آن در سونداژ AA۵ قرار گرفته و بیش‌ترین ضخامت در لایه آخر ۱۳۰ متر مربوط به سونداژ AA4 و

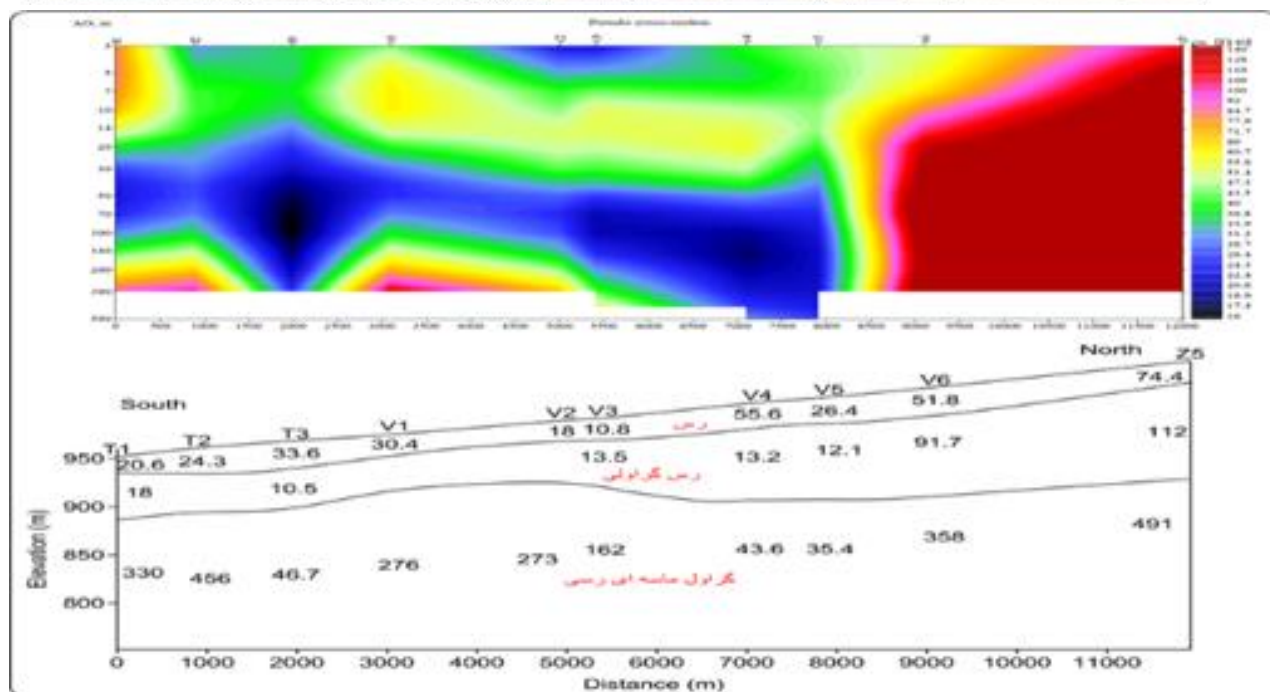
کمترین ضخامت آن ۳۵متر در سونداژ AA7 می باشد موقعیت ایستگاه های برداشت در این پروفیل در شمال دشت مشهد در (شکل ۵-۳) مشخص شده است. در حفاصل بین سونداژهای AA8 و AA9 افت شدید مقاومت ویژه داریم که نشان دهنده وجود گسل در این ناحیه می باشد و نشان دهنده زون خورد شدگی که می تواند آبرفتی و حتی اشباع از آب نیز باشد.



شکل ۵-۳ نقشه مقطع ژئو الکتریکی پروفیل AA و تصویر ماهواره‌ای محل سونداژها

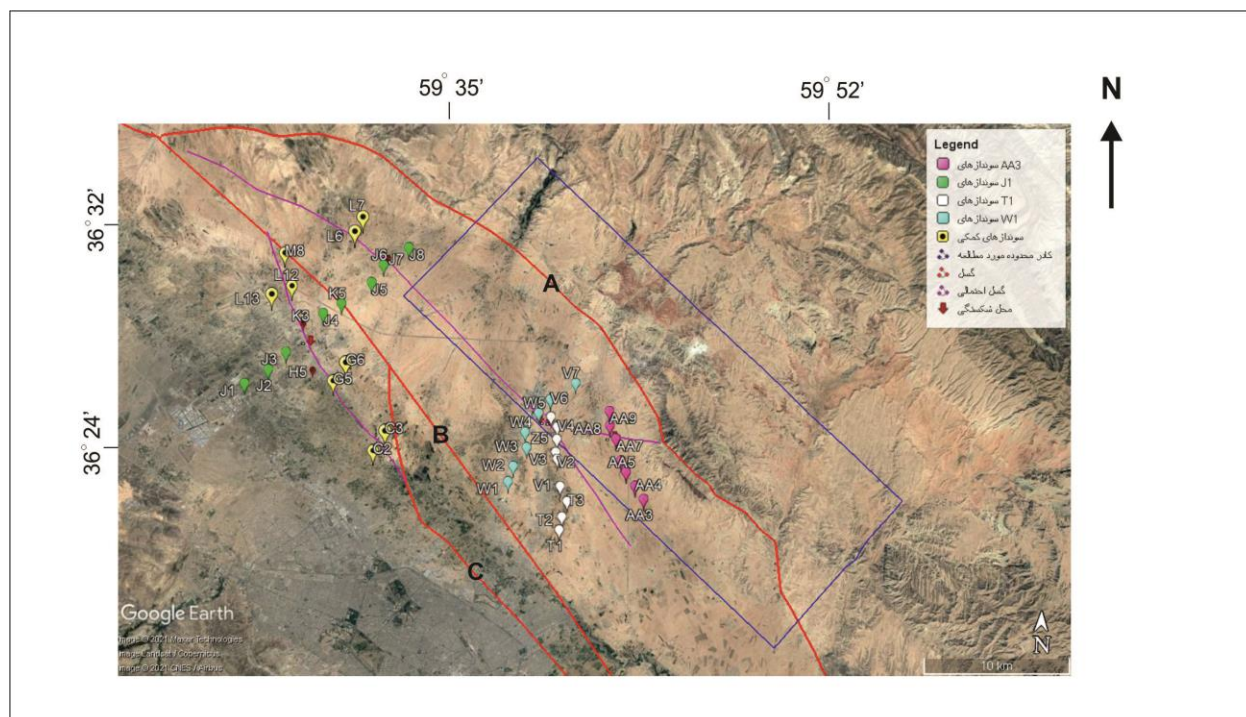
۵-۴-۴- پروفیل TVZ

دامنه مقاومت ویژه الکتریکی در این پروفیل بر اساس مقاومت ویژه‌های حقیقی به دست آمده از پردازش داده‌های پروفیل TVZ و همچنین زمین‌شناسی منطقه، سه لایه آبرفتی شامل رس، رس گراولی، گراول ماسه‌ای رسی که این سه لایه به‌خوبی قابل تفکیک از یکدیگر بوده و دامنه تغییرات این پروفیل در ۱۰ سونداژ از ۱۰/۵ تا ۴۹۱ اهم‌متر هست. در لایه اول و سطحی‌ترین آن که مربوط به نهشته‌های رس می‌باشد با مقاومت ویژه الکتریکی از ۱۰/۸ تا ۷۴/۴ اهم‌متر در این رسوبات متغیر است و بیش‌ترین مقاومت ویژه در این لایه در سونداژ Z5 و کم‌ترین آن در سونداژ V3 می‌باشد. بیش‌ترین ضخامت در این لایه ۳۰ متر در سونداژهای T3, V5, V6 و کم‌ترین ضخامت آن ۲۰ متر در سونداژ T1 شناسایی شده است. لایه رس گراولی دومین لایه این پروفیل می‌باشد با مقاومت ویژه ۱۰/۵ تا ۱۱۲ اهم‌متر است. بیش‌ترین مقاومت ویژه در این لایه سونداژ Z5 و کم‌ترین مقاومت آن در سونداژ T3 می‌باشد و بیش‌تری ضخامت شناسایی شده در این لایه ۱۰۰ متر در سونداژ Z5 و کم‌ترین ضخامت ۴۰ متر در سونداژ T3 قرار گرفته است. و آخرین لایه این پروفیل که گراول ماسه‌ای رسی می‌باشد از مقاومت ویژه ۳۵/۴ تا ۴۹۱ اهم‌متر است که در این لایه بیش‌ترین مقاومت ویژه در سونداژ Z5 و کم‌ترین آن در سونداژ V5 قرار گرفته و بیش‌ترین ضخامت در لایه آخر ۱۷۵ متر مربوط به سونداژ V2 و کم‌ترین ضخامت آن ۱۴۰ متر در سونداژ T1 می‌باشد. موقعیت ایستگاه‌های برداشت در این پروفیل در شمال دشت مشهد در شکل (۵-۴) مشخص شده است. در حفاصل بین سونداژهای V5 و V6 افت شدید مقاومت ویژه داریم که نشان‌دهنده وجود گسل در این ناحیه می‌باشد و نشان‌دهنده زون خورد شدگی که می‌تواند آبرفتی و حتی اشباع از آب نیز باشد.



شکل ۵ - ۴ نقشه مقطع ژئو الکتریکی پروفیل TVZ و تصویر ماهواره‌ای محل سونداژها

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته بر روی داده‌های ژئوفیزیکی منطقه مورد مطالعه تعدادی گسل فرعی در شمال دشت مشهد شناسایی شده است. (شکل ۵-۵)



شکل ۵-۵ تصویر ماهواره‌ای و محل قرار گیری گسل‌های احتمالی

فصل ۶

تحلیل ساختاری گسل کشف‌رود

عملکرد فرایندهای تکتونیکی سبب ایجاد ساختارهای مختلفی در پوسته زمین می‌شوند که بسته به نیروی تغییر شکل‌دهنده و رفتار سنگ‌ها عناصر مختلفی به وجود می‌آید. شکل و جهش‌یافتگی حاصل از ساختارها بازتابی از عملکرد بین نیروهای تغییر شکل‌دهنده و توده سنگ اولیه می‌باشد. دگر ریختی سطحی به‌عنوان یکی از فاکتورهای مهم در تعیین پایداری یک منطقه است. دگر ریختی نقطه آغاز در بررسی‌های زمین‌شناسی ساختاری می‌باشد. عناصر ساختاری ابزار ضروری جهت شناخت دگر ریختی و دستیابی به الگوی دگر ریختی در هر ناحیه محسوب می‌شوند که شامل چین‌ها و شکستگی‌ها می‌باشند. گسل‌ها، درزه‌ها و رگه‌ها از انواع مهم شکستگی‌ها در زمین‌شناسی ساختاری هستند.

گسل‌ها شکستگی‌هایی هستند که جابجایی بین بلوک‌های سنگی در دو سمت آن‌ها با چشم غیرمسلح قابل‌رؤیت می‌باشد و بیشترین جابجایی موازی با سطح شکستگی صورت پذیرد (Angelier, 1994). گاهی اوقات گسل‌های کوچک در ترانشه‌های جاده‌ای، جایی که لایه‌های رسوبی چند متر جابجا شده‌اند، و یا سطوح لغزش قابل‌توجهی رخنمون دارند و قابل‌ردیابی هستند. گسل‌هایی در این مقیاس و اندازه، معمولاً به‌صورت تک گسیختگی جدا دیده می‌شوند. در مقابل، گسل‌های بزرگ شامل چندین صفحه گسلی به طول چندین کیلومتر پهنا می‌باشند و معمولاً از روی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی راحت‌تر قابل‌تشخیص هستند. حضور گسل در یک منطقه نشان می‌دهد که در زمان گذشته در طول آن جابجایی رخ داده است. این جابجایی‌ها می‌تواند به‌صورت آرام و بدون لرزشی در زمین یا به‌صورت ناگهانی و اغلب با ایجاد زمین‌لرزه‌ها اتفاق بیفتد. بیشتر گسل‌ها غیرفعال اند و باقیمانده‌های از تغییر شکل‌های گذشته می‌باشند (حسینی، ۱۳۹۶).

گسل‌های ایران را می‌توان بر اساس زمان پیدایش، زمان آخرین حرکت و پراکندگی جغرافیایی دسته‌بندی کرد. در نقشه لرزه‌زمین‌ساخت ایران گسل‌های ایران به سه دسته عمده‌ی زیر تقسیم‌شده‌اند (بربریان ۱۹۷۶).

۱- گسل‌های زمین‌لرزه‌های جوان که در طی رویدادهای زمین‌لرزه‌ای و مخرب زمان حال به وجود آمده

اند یا دوباره فعال شده‌اند.

۲- گسل‌های کواترنری گسل‌هایی هستند که در دو میلیون سال گذشته حرکت داشته‌اند ولی به‌ظاهر زمین-

لرزه تاریخی و ثبت‌شده ندارند.

۳- گسل‌های پیش از کواترنری که سنی پیش از دو میلیون سال دارند ولی احتمالاً از زمان جنبش‌های آلپ

پایانی تاکنون حرکتی نداشته‌اند. با این حال نباید این گسل‌ها رو مرده تصور کرد چون ممکن است حرکت‌های

جوان آن‌ها ناشناخته باشد. در ضمن، در بسیاری از حالات، ممکن است در اثر فرسایش، پوشش گیاهی و یا عملکرد

انسان، نشانه‌ی حرکت‌های جوان این گسل‌ها از بین رفته باشد. لذا هرگز نباید اهمیت این گسل‌ها را نادیده گرفت.

۶-۲- پارامترهای لازم جهت تحلیل هندسی و جنبشی و سازوکار گسل:

۱- امتداد و شیب سطح گسل

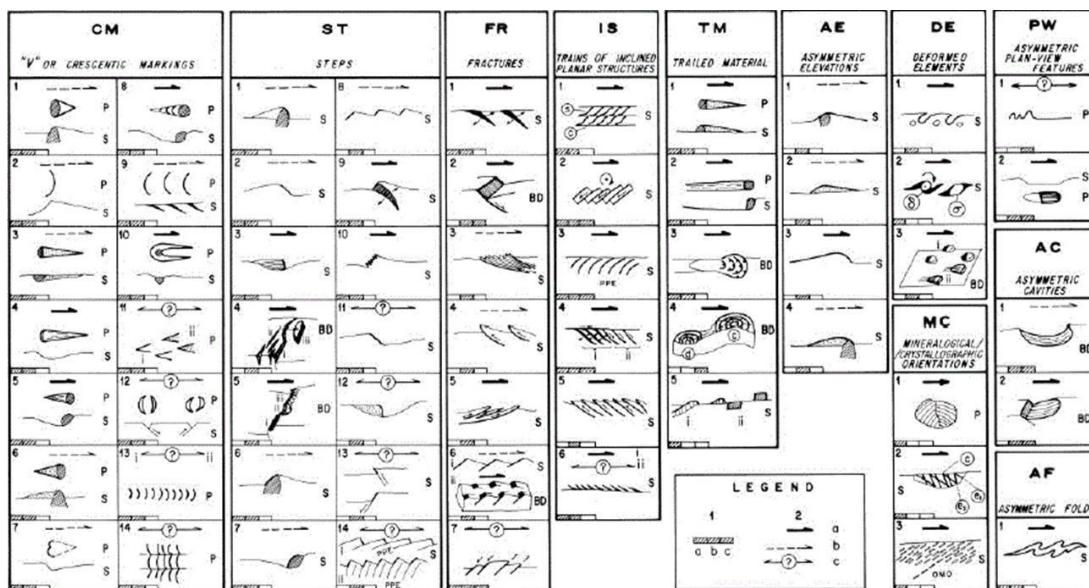
۲- زاویه افتادگی خطواره‌های روی سطح گسل

۳- جهت حرکت روی گسل

۴- نوع حرکت

۳-۶- روش‌های تحلیل سازوکار گسل‌ها

نشانه‌های لغز در گسل‌ها را به ۱۱ گروه اصلی (۱-۶) شامل: نشانه‌های هلالی یا V شکل، پله‌ها، شکستگی‌ها، ساختارهای صفحه‌ای، مواد دنباله‌دار، برجستگی‌های نامتقارن، اجزا تغییر شکل یافته، جهت‌یابی کانی‌شناسی، بلورشناسی، ساختارهای نامتقارن و چین‌های نامتقارن تقسیم‌بندی نموده است (Dobblas, 1988).



شکل ۶-۱. نشانه‌های جنبشی سطوح لغز در گسل‌ها. راهنمای تصویر 1: مشخص‌کننده مقیاس
(a میکروسکوپی، b میلی‌متری و c متری)، ۲ درجه اعتماد به نشانه‌گر (a نشانه‌گر خوب، b مناسب و c ضعیف)
BD بلوک دیاگرام، P: پالان و S: سطح مقطع

۴-۶- سازوکار غالب گسل‌ها در زون‌های کپه‌داغ و بینالود

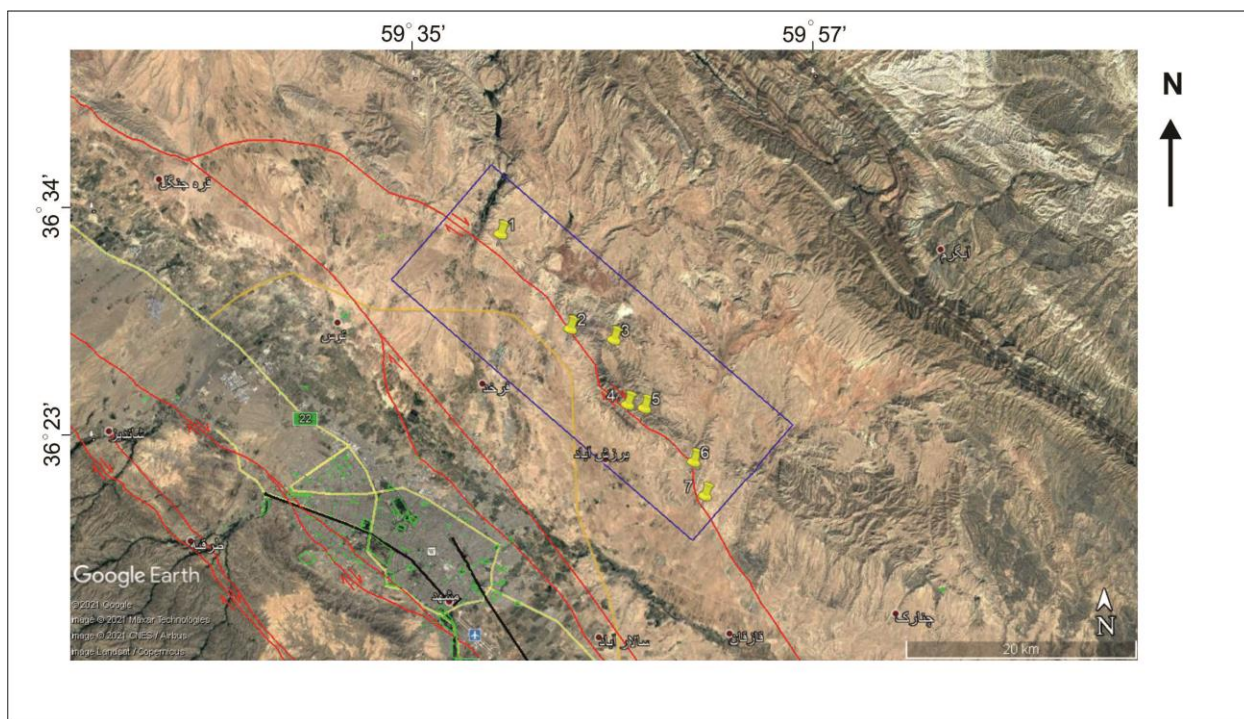
با توجه به اینکه اکثر گسل‌های فلات ایران عمدتاً از گسل‌های کوه‌پایه‌ای هستند (Berberian 1981).

بنابراین خطر اصلی زمین‌لرزه از جنبش دوباره این گسل‌ها می‌تواند باشد. مکانیسم اصلی و غالب در گسل‌های مهم شناخته‌شده دشت مشهد فشارشی بوده و یا این گسل‌ها یک مولفه مهم فشاری دارند این نکته از اهمیت زیادی برخوردار است؛ زیرا گسله‌های فشاری (در مقایسه با گسله‌های راست‌الغز و کششی) پرنرژی‌تر بوده یعنی از

گسل‌هایی هستند که بیشترین انرژی را در رابطه ایجاد گسستگی و ارتعاشات ناشی از آن به همراه دارند (Sibson, 1974, 1975, 1977). اما دوره بازگشت در آن‌ها به مراتب طولانی‌تر بوده ولی شتاب ثقل در طول آن‌ها بیشتر می‌باشد (Campbell, 1981). که می‌توانند زمین‌لرزه‌های ویرانگری را ایجاد نمایند. تمامی گسل‌های روانده منطقه مشهد روند شمال غرب – جنوب شرق دارند.

۶-۵- موقعیت جغرافیایی نقاط پیمایش شده در منطقه

_ در ادامه با توجه به گسل‌های منطقه مورد مطالعه که دارای روند شمال باختر _ جنوب خاور هستند و در این بین گسل کشف‌رود معکوس و شیب آن به سمت شمال خاور می‌باشد این گسل به دلیل نزدیکی به کلان‌شهر مشهد حائز اهمیت است؛ و با توجه به هدف پژوهش که ارزیابی پهنه برشی گسل کشف‌رود در شمال دشت مشهد می‌باشد، ما در این پژوهش به دنبال بررسی دقیق و تعیین حریم این گسل هستیم. به منظور انجام این پژوهش به پیمایش صحرایی در شمال دشت مشهد و بررسی رودخانه‌ای که در مسیر گسل قرار گرفته و ترانشه‌های جاده‌ای و آثار خش لغز و صفحه گسلی بوده‌ایم که در (شکل ۶-۲) کادر محدود با کادر آبی، مسیر گسل مورد بحث بارنگ قرمز، و آغاز نقطه پیمایش‌ها با نشان‌گرهای زرد مشخص شده است.



شکل ۶-۲ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی در منطقه

- ✓ K1: 36°32'24.00"N 59°39'51.00"E
- ✓ K2: 36°27'57.00"N 59°43'51.00"E
- ✓ K3: 36°27'25.41" N 59°46'21.51"E
- ✓ K4: 36°24'22.02" N 59°47'9.10"E
- ✓ K5: 36°24'13.00" N 59°48'6.00"E
- ✓ K6: 36°21'39.00"N 59°50'58.00"E
- ✓ K7: 36°20'2.00" N 59°51'37.00"E

- طی بررسی‌های تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه ۷ نقطه برای آغاز پیمایش صحرائی در نظر گرفته شد که با توجه به توضیحات قبل دشت مشهد پوشیده از رسوبات جوان و کواترنری است؛ و هیچ رخنمونی از گسل در این منطقه وجود ندارد؛ در پیمایش صورت گرفته شواهدی از گسل پنهان که در اعماق زمین هست و در سطح زمین رخنمون ندارد مشاهده شد. مانند وجود چشمه‌ها، قرار گرفتن توده‌های سنگی

در مجاورت مارن‌ها، مئاندر شدن رودخانه از سری شواهد برای اثبات گسل پنهان کشف‌رود می‌باشد. که یک‌به‌یک به بررسی و ارائه ایستگاه‌ها پرداخته می‌شود.

– در ایستگاه اول؛ طی بررسی تصاویر هوایی و مشاهده تغییر رنگ در تصویرها احتمال وجود گسل داده شد و برای بررسی دقیق‌تر بر روی زمین به‌عنوان ایستگاه تعیین‌شده که طی بازدید مشاهده شده تغییر رنگ در تصاویر هوایی به دلیل دخالت‌های انسانی و زیرورو کردن خاک منطقه تا پایه کوه می‌باشد (شکل ۶-۳).



شکل ۶-۳ تغییرات صورت گرفته توسط نیروی انسانی

۶-۶- عملکرد گسل کشف‌رود بر بستر رودخانه

تحقیقات افرادی چون (رضایی مقدم و همکاران ۱۳۹۱). در ارتباط با رودخانه کشف‌رود در دشت مشهد و بستری که پوشیده از رسوبات آبرفتی کواترنر است جریان دارد؛

– در ایستگاه دوم؛ که آغاز شروع پیمایش در مسیر رودخانه می‌باشد؛ این رودخانه مئاندري که به موازات گسل کشف‌رود در جریان است. با توجه به پیچ‌وخم‌های غیرعادی، گسترش حلقه مئاندرها، انحراف و قطع‌شدگی‌ها، پهن و باریک شدن بستر، تغییر مسیر ناگهانی، ارتفاع تراس‌ها و دیواره‌های کانال، نشانه تکتونیک فعال گسل کشف‌رود و ارتباط و تأثیر آن بر رودخانه کشف‌رود است. رودخانه کشف‌رود در سر آب دارای کانال نسبتاً مستقیم بوده و پیچ‌وخم بسیار اندکی دارد و مورفولوژی بستر رودخانه تابع توپوگرافی سطح زمین است.

تغییرات شیب زمین به علت فرونشینی گسل کشف‌رود در ساحل شمالی و بالاآمدگی ساحل جنوبی، در تنظیم کانال رودخانه موجب تغییر الگوی مجرا و ابعاد آن شده است طوری که رودخانه در جهت شیب به حرکت درآمده و به جهت این که شیب از شمال به جنوب است؛ دیواره شمالی کانال رود کم ارتفاع و در بیشتر نقاط بازمین‌های هم‌جوار هم‌سطح بوده و برعکس دیواره جنوبی کانال دارای ارتفاع بیش‌تر و متغیر حدود ۲ متر تا ۸ متر است. همان‌طور که گفته شد در اصلی‌ترین رودخانه‌ی دشت مشهد (کشف‌رود) که در امتداد گسل کشف‌رود است؛ تأثیراتی بر این رودخانه داشته است. محدوده مورد مطالعه در رودخانه‌ای که گسل آن را قطع کرده است شاهد تغییرات ذکرشده بوده‌ایم در شکل (۶-۳) طی مسیر پیمایش در مسیر آبراهه تغییرات ارتفاع از ۲ متر تا ۱۰ متر مشاهده شد، تراس آبرفتی داشته‌ایم که در فصل ۴ به آن اشاره شده است؛ در ایستگاه یک؛ رخنمون سنگ‌بستر دیده شد ضخامت رسوبات از سنگ‌بستر حدود ۶ متر می‌باشد؛ که بیانگر فعالیت و وجود گسل است.



شکل ۴-۶ الف و ب) اختلاف ارتفاع _ پ) نقاط مستعد جهت عملکرد فرسایش دیواره حوضه _ ت) تراس آبرفتی و مئندر رودخانه
_ ث) مئندر رودخانه در بخش دیگر از رودخانه _ ج) بیرون زدگی سنگ بستر

_ و در ادامه مسیر در همین ایستگاه به بیرون زدگی چندین مورد سنگ بستر (مارن ها) مواجه شدیم. (شکل ۶ _ ۳)



شکل ۶_۵ بیرون زدگی مارن در بستر رودخانه

_ در ایستگاه سوم؛ به دلیل ارتفاعات بالا و صخره‌ای غیر دسترسی متأسفانه پیمایش و بررسی صورت نگرفت.

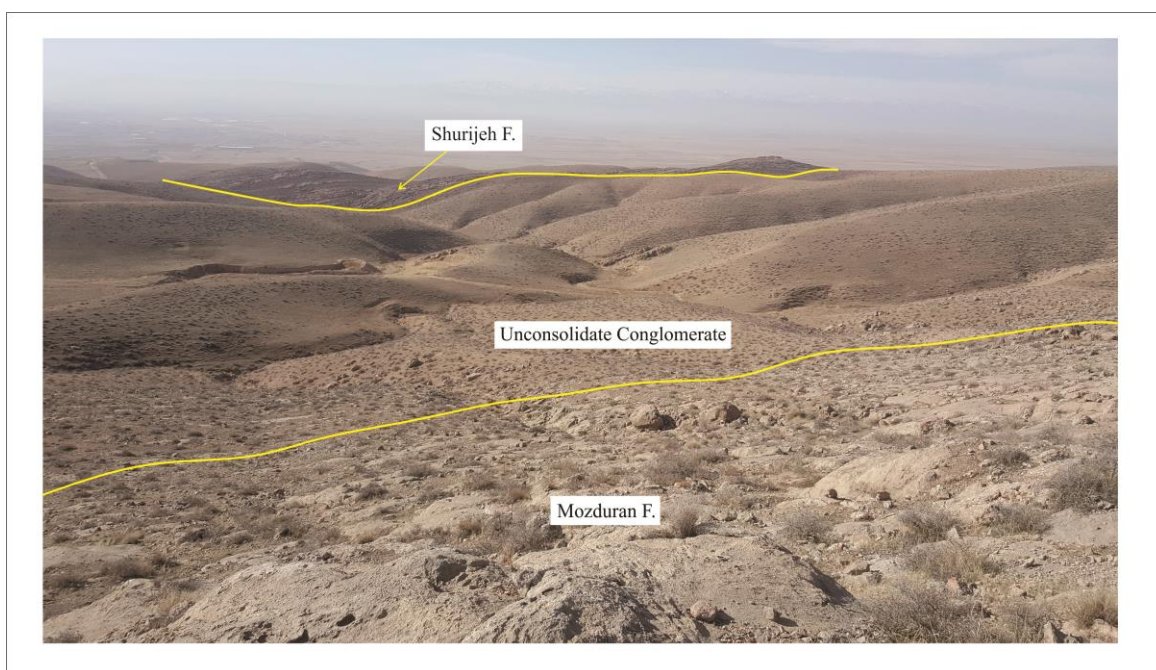
(شکل ۶-۷)



شکل ۶-۶ ارتفاعات صخره ساز

۶-۷- جابجایی لایه‌ها طی عملکرد گسل کشف‌رود

__ ایستگاه چهار؛ همان‌گونه که در فصل ۲ به‌صورت کامل ذکر شد از جابجایی سازندها در اینجا به توضیح کوتاه در مورد این فرایند بسنده می‌کنیم؛ دولومیت‌ها و سنگ‌آهک مزدوران باسن ژوراسیک و شیل‌های گچ دار قرمز و قهوه‌ای و ماسه‌سنگ شورجه باسن کرتاسه پیشین (از سمت شمال‌خاور) بر روی بادبزنی‌های رسوبات آبرفتی و پهنه‌های سیلتی کواترنر دشت در جنوب‌باختر رانده‌شده‌اند. گسل کشف‌رود اختلاف توپوگرافی آشکاری از واحدهای ژوراسیک و کرتاسه نسبت به نهشته‌های کواترنری و کف دره ایجاد کرده است. (شکل ۶_۸)



شکل ۶-۷ بیرون‌زدگی ماسه‌سنگ‌های قرمز شورجه دید عکس به سمت غرب

۶-۸- ژئومورفولوژی

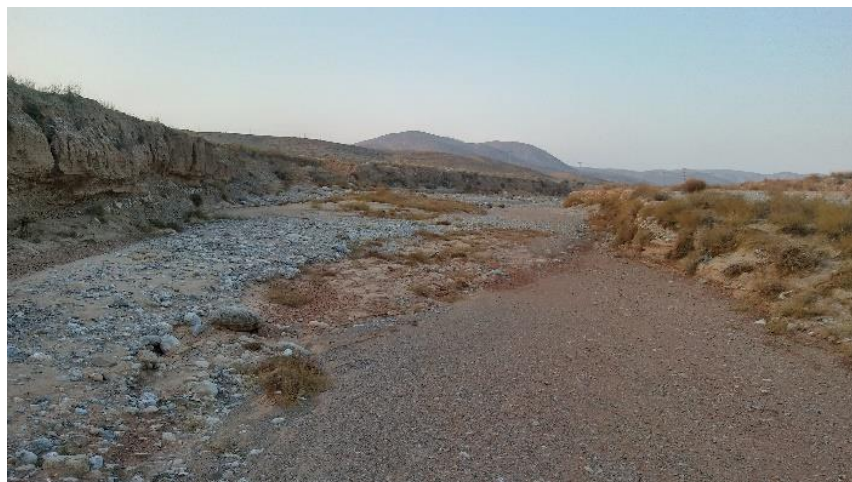
__ طبق نظریه بربریان قرار گرفتن مارن‌های جوان در کنار واحدهای قدیمی‌تر معرف وجود گسل در نظر گرفت که باعث کنار هم قرار گرفتن توده‌های نامتجانس می‌شود؛ معمولاً گسل‌های که در اعماق زمین هستند و در سطح رخنمون ندارند یک چنین عمل کرده‌های را در سطح زمین به‌جا می‌گذارند (شکل ۶-۹)



شکل ۶-۸ مرز بین ماسه‌سنگ و مارن (دید به سمت شمال غرب)

- در ایستگاه شماره پنج؛ و در بازدیدهای صحرایی چنین پدیده‌ای رؤیت شد که ماسه‌سنگ توده‌ای و حدوداً ۱۵۰ متر پایین‌تر به سمت غرب مارن‌ها قرار گرفته‌اند. که با استناد به گفته بربریان می‌توان گفت که مرز بین آن‌ها محل عبور گسل می‌باشد.

__ در ایستگاه شماره شش؛ نیز به بررسی رودخانه دیگری از محدوده پرداختیم که فقط اختلاف ارتفاع چشمگیری در این بخش مشاهده شد در دیواره غربی ارتفاع حدود ۶ متر و در دیواره شرقی حدود ۱ متر مشاهده شد. (شکل ۶-۱۰)



شکل ۹-۶ اختلاف ارتفاع در رودخانه (دید به سمت شمال)

۹-۶ چشمه در محدوده گسل کشف رود

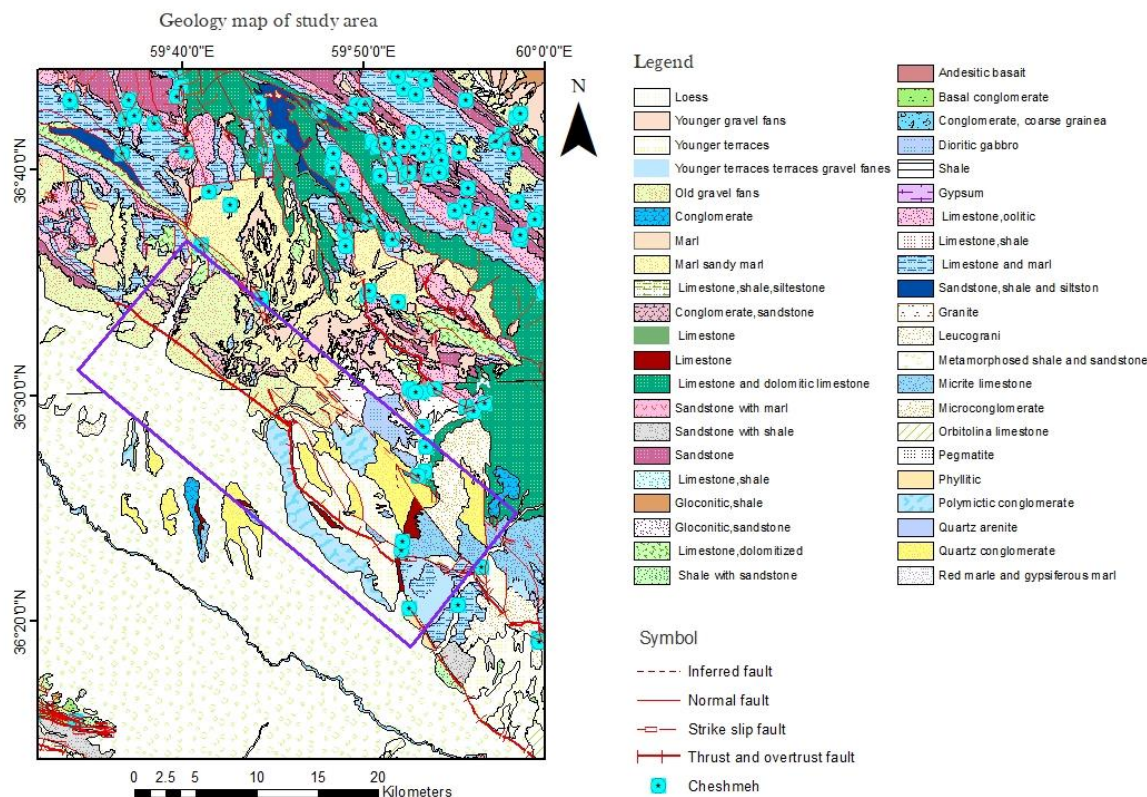
طبق مطالعات (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۹) عوامل زمین‌شناختی اثرات قابل‌توجهی بر وضعیت منابع آب زیرزمینی دارند و در بین این عوامل، نقش گسل‌ها بسیار بارز است. گسل‌ها با توجه به تغییراتی که می‌توانند در توالی لایه‌ها ایجاد کنند و همچنین با توجه به نقش مهمی که صفحات گسلی و شکستگی‌ها در نفوذ آب‌های جاری ایجاد می‌کنند، می‌توانند بر وضعیت فراوانی و کیفیت منابع آب زیرزمینی اثرگذار باشند. و به همین ترتیب طبق نظر (گلن و همکاران، ۲۰۱۳) محل چشمه‌های آب زیرزمینی در آلپ‌های شمال ایتالیا را بر اساس شواهد وزنی و شبکه به‌هم‌پیوسته شعاعی ترسیم نموده و به نقش گسل در ایجاد این چشمه‌ها تأکید کردند. و بازهم تأکید (عباسی و همکاران، ۱۳۹۳) بررسی با ارتباط پراکنش چشمه‌ها با گسل‌ها از طریق GIS در ارتفاعات شمالی و جنوبی دشت سبزوار نشان دادند بین گسل‌ها و چشمه‌ها با شیب و ارتباط سطوح ارتفاعی، ارتباط مستقیم وجود دارد و گسل‌ها می‌توانند در پیش‌بینی ظهور و از بین رفتن چشمه‌ها و همچنین میزان افزایش یا کاهش آب چشمه‌ها برای برنامه‌ریزی‌های آینده لحاظ شوند (رحیم زاده و طالقانی ۱۳۸۸). ارتباط نزدیکی بین رخنمون چشمه‌ها و فاصله از شکستگی‌ها وجود دارد به‌طوری‌که محل ظهور چشمه‌ها با فراوانی شکستگی‌ها انطباق خوبی دارد که نشانگر رابطه بین تراکم شکستگی و درجه اشباع است.

- چشمه‌ها به‌عنوان نقطه خروجی منابع آب زیرزمینی، نمایانگر نقاط ضعف زمین می‌باشند و می‌توانند نمایانگر مناطق خردشده ناشی از گسل‌های ناپیدا باشند. به‌منظور بررسی روابط خطواره‌های مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای با مکان هندسی چشمه‌ها، به‌عنوان تأییدی بر منشأ ساختمانی خطواره‌ها، با انجام عملیات صحرایی و هم‌چنین بهره‌برداری از نقشه توپوگرافی و GPS، موقعیت مکانی ۵ مورد چشمه در محدوده مشاهده شده که در (شکل ۶-۶) بر روی نقشه زمین‌شناسی ارائه گردید.

۱- ایستگاه شماره هفت؛ از چشمه‌های موجود در محدوده یکی از چشمه‌ها در مسیر گسل کشف‌رود قرار گرفته شده بود در روستای شرشر با موقعیت مکانی $36^{\circ}20'17/4''$ N و $59^{\circ}51'37/8''$ E مشاهده شده است. (شکل ۶-۵) که به گفته اهالی روستا در راستای همین چشمه حدوداً ۹ کیلومتر بالاتر هم یکی دیگر وجود داشته که به دلیل منطقه حفاظت‌شده و سیم‌خاردار کشیده شده بود مانع از بررسی و برداشت چشمه شد.



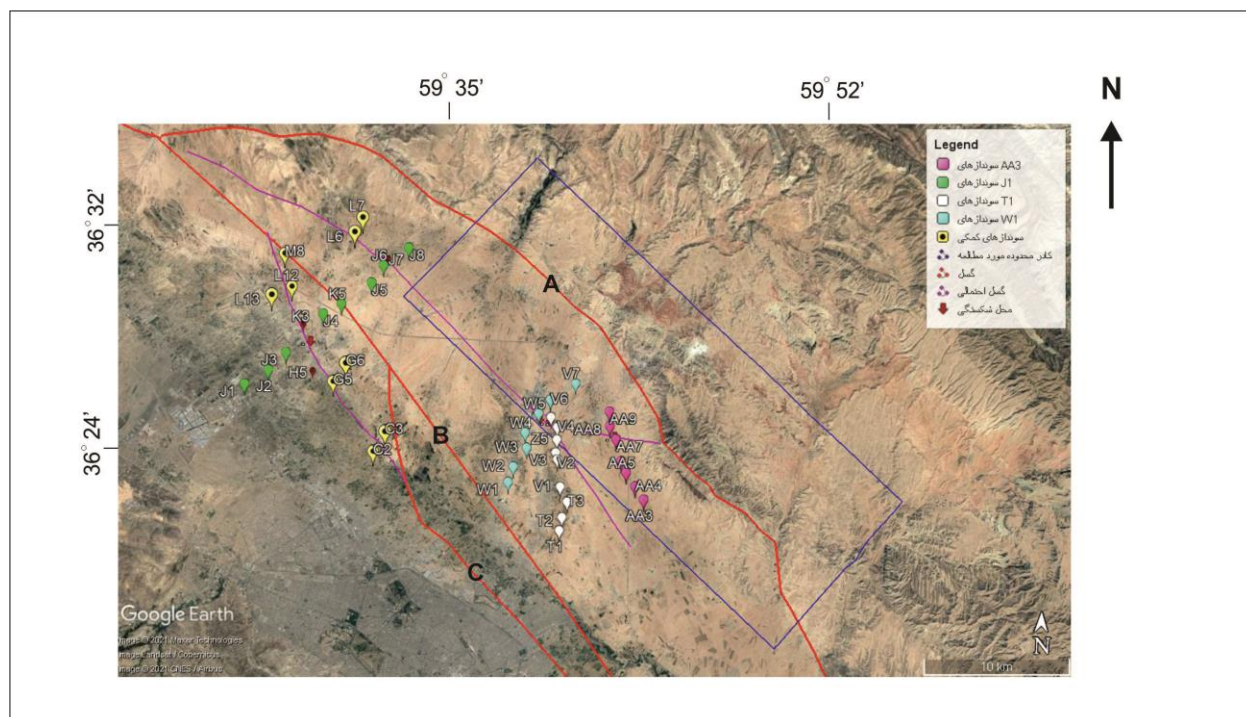
شکل ۶-۱۰ چشمه در محدوده مطالعاتی (دید عکس به سمت شرق)



شکل ۱۱_۶ نقشه زمین‌شناسی تهیه‌شده از منطقه مورد مطالعه با توجه به نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ مشهد (Taheri & Ghaemi 1994) و ۱:۱۰۰۰۰۰ کلات نادر (Nabavieh 1998) چشمه‌های شمال دشت مشهد

تمامی تحقیقات و مطالعات صورت گرفته بر روی پهنه گسل کشف‌رود که از بررسی‌های سنجش‌از‌دور، مطالعات ژئوفیزیکی (در فصل ۵ به‌طور کامل به آن پرداخته و تمامی تصاویر و سونداژهای مورداستفاده تحلیل و تفسیر شده است) و ریخت زمین‌ساخت منطقه شمال دشت مشهد و تلفیق مطالعات با یکدیگر و احتمال وجود و شناسایی شاخه‌های احتمالی از گسل در دشت مشهد در شکل (۷_۶) همان‌گونه که مشاهده می‌شود سه گسل از قبل تعیین‌شده داریم که گسل A گسل اصلی کشف‌رود است و گسل‌های B, C شاخه‌های از گسل کشف‌رود در شمال دشت بیان‌شده‌اند. همان‌گونه که ذکر شده طی بررسی‌های صورت گرفته و استفاده از پارامترهای مختلف

برای بررسی‌های دقیق‌تر بر روی این پهنه برشی چندین گسل احتمالی توسط استخراج مطالعات ژئوفیزیکی تعیین شده است که در تصویر این گسل‌های احتمالی بارنگ صورتی مشخص شده است، و با توجه به اطلاعات داده‌ها احتمال روند گسل C نادرست بوده و حدوداً ۲۰ کیلومتر بالاتر (شمال غرب) به گسل B متصل می‌شود.



شکل ۱۲_۶ تصویر هوایی نقاط شناسایی گسل‌ها

نتیجه گیری

– بر اساس آنچه بیان شد، نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به صورت خلاصه بیان کرد.

نتایج تحقیقات زمین‌شناسی، ریخت زمین‌ساخت، ژئوفیزیک، پردازش تصاویر ماهواره‌ای و آماده‌سازی نقشه خطواره‌ها، بررسی تصاویر گوگل ارث، به‌طور مشترک بیان می‌دارد که گسل کشف‌رود در شمال دشت مشهد واقع شده است؛ گسل کشف‌رود در محدوده شمال دشت مشهد رخنمون صحرایی نداشته ولی با بررسی تصاویر ژئوفیزیکی جابجایی لایه‌ها و تفاوت مقاومت ویژه در آن‌ها وجود گسل را به خوبی بیان می‌کند، و همچنین در برخی از نواحی در بازدیدهای صحرایی سنگ مارن (سنگ‌بستر) بر روی سطح رخنمون یافته است. بر اساس شاخص پیچ‌وخم رودخانه قسمت غربی دشت مشهد، دارای رودخانه‌ای با پیچ‌وخم می‌باشد که شواهد حاصله از مطالعات بیان می‌کند که رودخانه عمدتاً از شکستگی و گسل تبعیت می‌کند.

با کمک گرفتن سنجش از دور و بررسی خطواره‌های استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای استر با توجه به اینکه دشت مشهد دارای رسوبات کواترنری می‌باشد فراوانی خطواره‌ها (شکستگی‌ها) در این محدوده کوچک نشانگر فعال بودن تکتونیکی این حوضه می‌باشد همچنین جهت‌گیری خطواره‌ها اکثراً هم‌جهت با گسل‌های منطقه هستند و روند شمال غرب – جنوب شرق را دارند. در هر سه زاویه مورد بررسی می‌توان گفت زاویه ۹۰ مطلوب‌ترین نتیجه را شناسایی کرده است.

با توجه به مقادیر شاخص عرض کف دره به ارتفاع دره، در دامنه کپه‌داغ نیز قسمت‌های غربی دارای مقادیر پایین‌تری از شاخص V_f نسبت به قسمت شرقی دامنه می‌باشند که این هم حاکی از فعالیت پایین تکتونیکی در قسمت شرقی، و فعالیت نسبتاً بالاتری در قسمت غربی است. و با بررسی این شاخص بر روی ۳ دره به فعالیت تکتونیکی این منطقه گواه می‌دهد. و همچنین بررسی مخروط‌افکنه‌ها که به دلیل جوان بودن عارضه ژئومورفولوژی می‌توان اطلاعات با ارزشی را از آن‌ها به دست آورد که بر اساس شکل آن دلالت بر فعال بودن منطقه دارد.

برای تکمیل و به نتیجه رسیدن دقیق تر از داده‌های ژئوفیزیکی منطقه استفاده شده است و به واسطه اطلاعات به دست آمده شاخه‌های فرعی از گسل کشف رود به دست آمده است.

بنا به هدف این پروژه که تعیین حریم گسل مورد نظر می‌باشد و با توجه به تحقیقات به دست آمده که نشان‌دهنده تکتونیک فعال منطقه است و روز به روز توسعه شهری و روستایی به سمت دشت مشهد بیشتر می‌شود برای جلوگیری از خطرات احتمالی باید حریم مشخصی برای آن در نظر گرفت. از روابط مهم در زلزله‌شناسی تخمین بزرگی بر روی یک گسل فعال لرزه‌ای است. در واقع این محاسبه یکی از برآوردهای اولیه یک گسل بر اساس طول آن می‌باشد که نتیجه به دست آمده از آن به عنوان یکی از راه‌های تعیین بزرگی در خطر زمین لرزه می‌باشد.

که در اینجا طبق اطلاعات در دست داشته در مورد از رابطه نوروزی و مهاجر در ۱۹۷۸ برای محاسبه‌ی بزرگی _ طول گسیختگی استفاده کرده‌ایم.

$$✓ \quad M = \log L + 5.4$$

$$✓ \quad M = \log(120) + 5/4$$

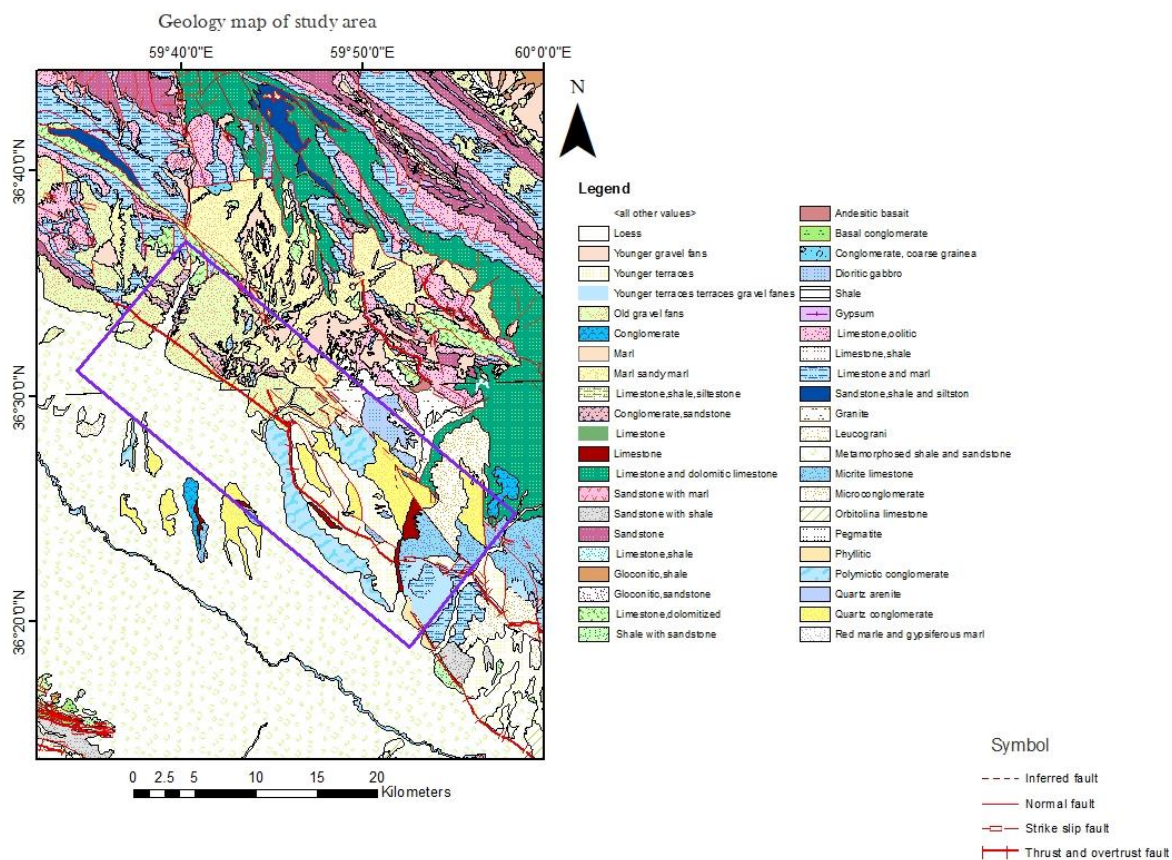
$$✓ \quad 7/8$$

با توجه به طول گسل مذکور بزرگی زلزله متحمل ۷/۸ ریشتر می‌باشد، که بر اساس بزرگی زلزله با حریم گسل را تخمین زد.

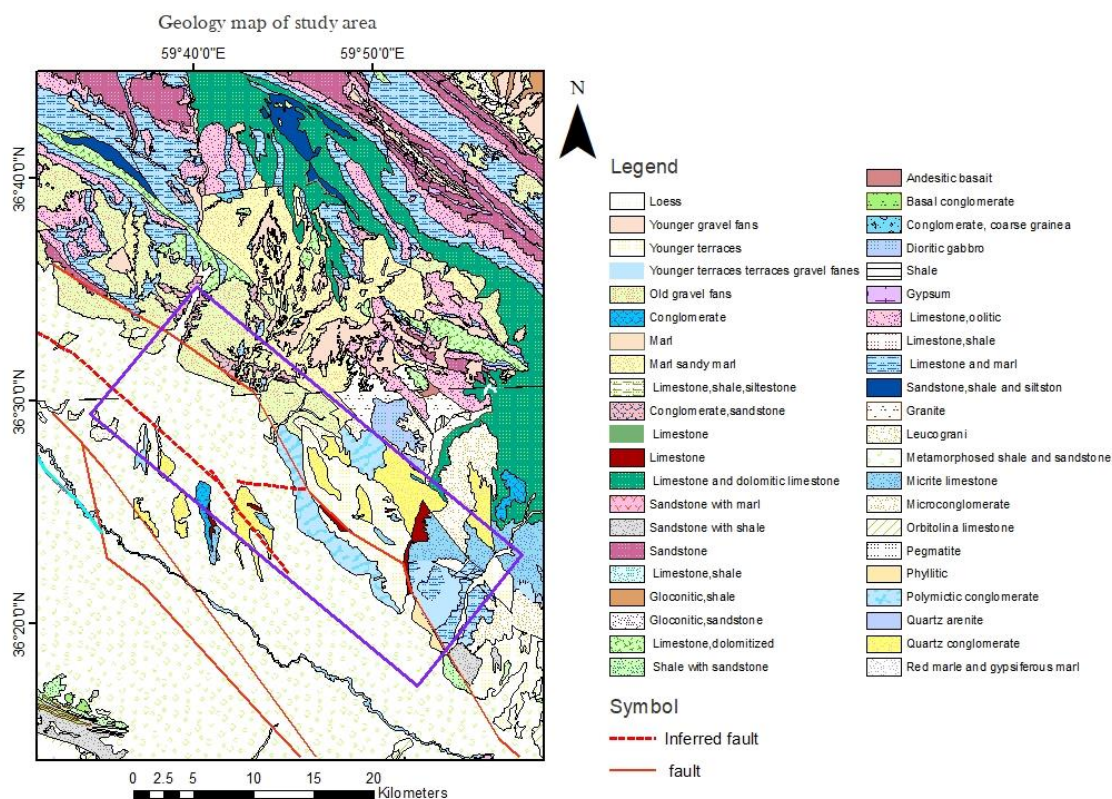
با توجه به اینکه روند ساخت و ساز در حریم پهنه گسل کشف رود رو به افزایش می‌باشد، یکی از مهم‌ترین مطالعات مقدماتی برای جلوگیری از آسیب پذیری لرزه‌ای رعایت حریم گسل است. با توجه به بزرگی به دست آمده بیشترین حریم گسل ۲/۵ کیلومتر در فرادیواره و کمترین حالت یک کیلومتر در فرو دیواره در نظر گرفته شده است.

جدول ۷- ۱) رده بندی دوره بازگشت گسل و اهمیت سازه های مجاز (Fraser et al., 2012. King et al., 2003)

رده بندی اهمیت سازه نزدیک گسل	توصیف	مثال برای کاربری
I	سازه های با خطر کم جانی و مالی (سازه های موقت)	سازه های با مساحت قاعده کم تر از ۳۰ متر مربع، سازه های مجزا، برج های خارج از شهرداری، استخر شنا، خانه های باغی و داخل مزارع
IIa	سازه های مسکونی اسکلت چوبی	سازه های یک طبقه با اسکلت چوبی
IIb	ساختمان های معمولی و سازه هایی که مشمول سایر گروه ها نمی شوند	سازه های اسکلت چوبی با مساحت بیش از ۳۰۰ متر مربع، سازه هایی چند منظوره، سازه های تجاری، مجتمع های اداری-تجاری طراحی شده برای کم تر از ۵۰۰۰ نفر و مساحت کم تر از ۱۰۰۰۰ متر مربع، مجتمع های مسکونی، تئاتر، سینما با مساحت کم تر از ۱۰۰۰ متر مربع، پارکینگ های طبقاتی
III	سازه های مهم شامل مجتمع های مسکونی با جمعیت زیاد، سازه های ارزشمند برای جامعه یا با ریسک بالا برای مردم	مراکز اورژانس و سایر مراکز و تاسیسات حساس، ترمینال های فرودگاهی، ایستگاه های اصلی قطار، مدارس و مراکز آموزشی، دانشگاه های با جمعیت بیش از ۵۰۰۰ نفر، مجتمع های مسکونی با مساحت بیش از ۱۰۰۰ متر مربع، مراکز خرید با مساحت بیش از ۱۰۰۰۰ متر مربع بجز فضای پارکینگ، موزه و گالری های هنری با مساحت بیش از ۱۰۰۰ متر مربع، ساختمان های اداری، مراکز اجتماعات که به جمعیت بیش از ۱۰۰۰۰ نفر سرویس ارائه می کنند، انبار مواد شیمیایی با مساحت بیش از ۵۰۰ متر مربع
IV	سازه های خاص و حیاتی	زیر ساخت های اصلی شهری، تجهیزات کنترل ترافیک، مراکز مدیریت بحران، مراکز اورژانسی-درمانی، فضاهای پارکینگ وسایل نقلیه اورژانسی، ایستگاه های پلیس و آتش نشانی و سایر موارد مشابه



شکل ۷_۱ نقشه زمین‌شناسی تهیه‌شده از منطقه مورد مطالعه با توجه به نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ مشهد (Taheri & Ghaemi 1994) و ۱:۱۰۰۰۰۰ کلات نادر (Nabavieh 1998)



شکل ۲_۷ نقشه زمین‌شناسی تهیه‌شده از منطقه مورد مطالعه با توجه به نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ مشهد (Taheri & Ghaemi 1994) و ۱:۱۰۰۰۰۰ کلات نادر (Nabavieh 1998) و تعیین چند گسل احتمال با کمک داده‌های ژئوفیزیکی

منابع

آزادی، الف، دولای، غ، حافظ مقدس، ن، حسامی آذر، خ، (۱۳۸۸)، "ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی گسل توس در شمال شهر مشهد"، فیزیک زمین و فضا، شماره ۴، ص ۳۴-۱۷.

افشار، س، آقامحمدی زنجیرآباد، ح، (۱۳۹۵)، "استخراج گسل‌های زمین‌شناسی با استفاده از داده‌های سنجش ازدور"، ماهنامه علمی-ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۳۷.

افشار حرب، ع، (۱۳۷۳)، "زمین شناس کپه‌داغ"، طرح تدوین کتاب زمین شناس ایران، ۲۷۵ صفحه.

افشار حرب، ع، آقانباتی، ع، شهرابی، م، داوودزاده، م، مجیدی، ب، علوی تهرانی، ن، (۱۳۶۵) "سازمان زمین‌شناس و اکتشافات معدنی کشور"، نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ مشهد.

آقانباتی، س.ع، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۴۵۵ ص.

آقانباتی، ع، (۱۳۸۷)، "گسل‌ها و نقش آنها بر زمین‌شناسی ایران"، رشد زمین‌شناسی، شماره ۳، ص ۲۶-۲۰.

بربریان، م، ۱۹۷۶، نقشه سائیزموتکتونیک، ایران سازمان زمین‌شناسی، کشور ۱:۲۵۰۰۰۰.

بربریان، م، قرشی، م، شجاع طاهری، ج، و طالبیان، م، (۱۳۷۸)، "پژوهش و بررسی نوزمین‌ساخت و خطر زمینلرزه-گسلش در گستره مشهد-نیشابور"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، کتاب شماره ۷۲.

حسامی، خ، جمالی، ف، طبسی، ه، (۱۳۸۲)، "نقشه گسل‌های فعال ایران"، انستیتو بین‌المللی مهندسی زلزله.

سلیمانی، ز، قائمی، ف، (۱۳۹۱)، "تحلیل سیستم شکستگی‌های مرتبط با گسل کارده شمال مشهد" سی‌امین گرد همایی علوم زمین.

شهیدی، ع، نظری، ح، و قائمی، ف، (۱۳۹۲)، "زمین‌ساخت ایران کپه‌داغ"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۹۷ ص.

مقصودی، م، ابراهیم‌خانی، ن، یمانی، م، (۱۳۹۱)، "تاثیر نئوتکتونیک بر مخروطه‌افکنه رود حاجی عرب (دشت قزوین)" با بررسی داده‌های مورفومتری و رسوب‌شناسی، انجمن جغرافیای ایران شماره ۳۳، ۸۷-۱۰۶.

نادری میقان، ن، قاسمی، م، ر، دولت، الف، (۱۳۹۰)، "یافته‌های جدید از سازوکار و جنبایی، گسله توس در حاشیه شمالی شهر مشهد"، سی‌امین گردهمای علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.

نبوی، م. ح، (۱۳۵۵)، "دیباچه‌ای بر زمین‌شناس ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی، کشور ۱۰۹ صفحه.

نواب پور، پ.، حیدرزاده، ق.، مافی، الف.، حق پور، ن.، (۱۳۸۲)، "الگوی دگرریختی، و پهنه بندی ساختاری ایالت زمین-
ساختی کپه داغ،" بیست و دومین گردهمایی، علوم زمین.

- Alavi, M.,(1991)**, Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Society of America Bulletin, 103, p. 983-992.
- Alavi, M., (1992)**, Thrust tectonics of the Binaloud region, NE Iran. Tectonics, 2, 360 – 370.
- Ambraseys, N. and Melville, C., 1982- A History of Persian Earthquakes. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 219 pp.
- Baud, A., & Stämpfli, G. M. (1989)**. Tectonogenesis & evolution of a segment of the Cimmerides: the volcano-sedimentary Triassic of Aghdarband (Kopet-Dagh, North-East Iran). In Tectonic Evolution of the Tethyan region. Springer Netherlands. pp. 265-275.
- Bazhenov, M. L., (1987)**, Paleomagnetism of Cretaceous and Paleogene Sedimentary Rocks From the Kope_Dagh and its Tectonics Implications, Tectonophysics, Vol. 136, PP, 223_235.
- Berberian, M.,(1981)**, Active faulting and tectonics of Iran
- Berberian, M., King, G., (1981)**, Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, Can. J. Earth Sci., Vol. 18, P. 210-265.
- Berberian, M. (1982)**, Late Cretaceous and early Miocene Andean-type plutonic activity in northern Makran and Central Iran. Journal of the Geological Society 139, 605-614 .
- Belov, A. A., Gatinsky, Y. G., & Mossakovsky, A. A., (1986)**, A precis on pre Alpine tectonic history of Tethyan paleoceans. Tectonophysics, 127, 197-211.
- Bull, W, B.(2007)**, Tectonic geomorphology of mountains : a new approach to paleoseimology. UK. Oxford : Black wall publishing.
- Bull, W, knuepfer, p.K., (1987)**, Adjustments by the Charwell river, Newzland, to uplift and climatic changes; Geomorphology P. pp 15-32.
- Bull, W.B., McFadden, L.D., (1977)**, Tectonic Geomorphology north and south of the Garlock fault, California, In: Doehring, D.O. (Ed), Geomorphology in Arid Regions, State University of NEW York, Binghamton, pp 115-138.
- Fraser J. G., Hubert-Ferrari A., Verbeeck K., Garcia-Moreno D., Avsar U., Maricq N., Coudijzer A., Vlamynck N., and Vanneste K.,(2012)** , "A 3000- year record of surface rupturing earthquakes at Gunalan: variable fault rupture lengths along the 1939 Erzincan earthquake-rupture segment of . the North Anatolian Fault, Turkey." Annals of Geophysics, 55(5), (2012) 895-927.

Hollingsworth, J., (2007), Active tectonics of NE Iran. Ph.D. thesis, Queen's college, University of Cambridge, p. 239.

Jackson, J., Priestly, K., Allen, M., Berberian, M., (2002), Active tectonic of the South Caspian Basin", *Geophysical Journal International*, v.148, p. 214-245.

Jackson, J., Haines, J. & Holt, W., (1995), The accommodation of Arabia–Eurasia plate convergence in Iran, *Journal of Geophysical Research*, 100(B8), 15205–15219.

Jackson, J., Priestley, K., Allen, M. & Berberian, M., (2002), Active tectonics of the South Caspian Basin, *Geophysical Journal International*, 148, 214–245.

Kalantary, A., (1987), Biofacies relationship of the Kopet-Dagh region. National Iranian Oil Company, Exploration and production Group. Tehran, 1 Sheet.

Keller, E.A, Pinter, N, (1996), Active tectonics (Earthquake, uplift and landscape). Prentice-Hall Inc.,

King A. B., Brunsdon D. R., Shephard R. B., Kerr J. E., Van Dissen (2003) "Building adjacent to active faults: a risk-based approach. In proceedings, Pacific Conference on Earthquake Engineering", Christchurch, New Zealand, February, Paper No.158.

Kopp, M. L. (1970), Diagonal'nykh Sdvigakh na Severo-Zapadnom Kopet-Dage. *Doklady Akad. Navk S. S. S. R.* 194, 163-166.

Lyberis, N., Manby, G., (1999), Oblique to Orthogonal Convergence Across the Turan Block in the Post-Miocene: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 83, PP. 1135_1160.

Lyberis, N., Manby, G., Poli, J. T., Kalougin, V., Yousouphoev, H., Ashirov, T., (1998), Post-Triassic evolution of the southern margin of the Turan plate, *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planetes / Earth & Planetary Sciences*. Vol. 326, pp. 137-143.

Majidi B, Alavi-Tehrani N., (1971), Geological map of the Mashhad area 1:100000 *Geol. Surv. Iran* (unpublished)

Masson, F., Anvari, M., Djamour, Y., Walpersdorf, A., Tavakoli, F., Daignieues, m., Muttoni. G, Gaetani. M, Kent. D. V, Sciunnach. D, Angiolini. L, Berra. F, Garzanti. E, Mattei. M, Zanchi. A., (2009), Opening of the Neo-Tethys Ocean and the Pangea B to Pangea A transformation during the Permian. *Gulf PetroLink, Bahrain. GeoArabia*, v. 14, no. 4, pp 17-48

- Motaghi, K., Tatar, M., Shomali, Z. H., Kaviani, A. and Priestley, K., (2012)**, High resolution image of uppermost mantle beneath NE Iran continental collision zone. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 208–209 , p. 38–49
- Nankali, H., Van Grop, S., (2007)**, Large_Scale Velocity Field and Strain Tensor in Iran Inferred From Gps Measurements: New insight for the Present_day Deformation Pattern Within NE Iran. *Geophys. J. Int.* 170, 436–440.
- Priestly, K., Baker, C., Jackson, J., (1994)**, Implications of earthquake focal mechanism data for the active tectonics of the south Caspian basin and surrounding regions, *Geophysical Journal International*, Vol.118(1), P. 111-141.
- Ramazani Oomali,R., Shahriari S., Hafezi Moghaddas,N., Omidi,P and Eftekharnnejhad.,(2008)**,A Model For Active Tectonics in Kope Dagh (North-East Iran), *World Applied Sciences Journal*. Vol. 3 (2), pp.312-316
- Rastsvetaev, L. M. (1966)**, Razryvy Kopet-Daga I ikh Sviaz' po Skladchatoi Strukturoi. *Geotektonika* 3, 93-107.
- Rastsvetaev, L. M.(1970)**, Roli Gorizontal'nykh Napriajenii v Formirovanii Noveishei Structuary, Kopet-Daga. In *Noveishie Tektonicheskie Dvijenja I Strukturii Alpiskovo Geosinklinal'noy Poyasy Yugo-Zapadanoi Evrazii Akad. Nauk Azerb. S. S. S. R., Ist. Geol.* 138-144.
- Ruttner, A.W., (1993)**, Southern borderland of Triassic Laurasia in northeast Iran. *Geologische Rundschau*. Vol. 82, pp. 110-120.
- Seber, D., Sandvol, E., Sandvol, C., Brindisi, C., and Barazangi, M., (2001)**, Crustal model for the Middle East and North Africa region: Implications for the isostatic compensation mechanism, *Geophys. J. Internat.* 147, pp 630–638.
- Sibson, R. H. (1977)**,Fault rocks and fault mechanisms: *Geological Society of London Journal*, v. 133, p. 191–231.
- Stampfli, G.M., von Raumer, J. and Borel, G.D. 2002b**. The Palaeozoic evolution of pre-Variscan terranes: From periGondwana to the Variscan collision In: J.R. MartinezCatalan, R.D. Hatcher, R. Arenas and F. Diaz Garcia (Eds.), *Variscan Appalachian Dynamics: the building of the Upper Paleozoic basement*. *Geological Society of America Special Paper* in press, in press.
- Tchalenko, J, S., (1975)**, Seismicity and Structure of the Kopet Dagh (Iran, USSR). *Philos. Trans. R. Soc. Land. Ser. A* 278 (1275), 1_28.

Thomas, J., Cobbold, P., Shein, V. and Douaran, S. L., (1999), Sedimentary record of Late Paleozoic to recent tectonism in Central Asia—analysis of subsurface data from the Turan and South Kazak domains. *Tectonophysics* 313, p. 243–263.

Trifonov, V., (1978), Late Quaternary Tectonic Movement of Western and Central Asia. *Geological Society of America Bulletin*, 89, p. 1059–1072.

Yousefi, E., Friedberg, J.L., (1978), Aeromagnetic map of Iran: Quaderangle, No. D7, Based on airborne survey by aero service corporation under contract to the Geological Survey of Iran.

Abstract

The study area is located in the province of Khorasan Razavi and northern Mashhad Plain between $59^{\circ}56'$ and $59^{\circ}30'$ and latitudes $36^{\circ}15'$ to $36^{\circ}36'$. This zone stretches from the north to the Koppeh Dag (Hezar Masjed mountain) and from the south of the Binalood mountain range. This zone is located between the northern boundary of the Binalood Mountains and the southern portion of Koppeh Dag.

The Kashfarud fault Inverted fault with a curved direction, northwest-south-east, which starts from the east of the Caspian Sea in the Caucasus region and extends to the east of Mashhad, and is about 120 km long. It is considered being active in terms of seismicity, which runs parallel to the south of the Koppeh Dag mountains and the northern side of the Mashhad plain and covers the Quaternary alluvium of Mashhad plain and its slope is to the northeast.

In this study, with the help of remote sensing data, geophysical data, and with the help of morphological studies of the region and field visits, the shear zone of the Kashfarud fault have been investigated. In telemetry data, use of Aster images, which, according to its resolution (15 meters) to extract the lines, in environments (Envi, Arc map, Pci Geomatics, Google earth, Polar plots) and compare – The obtained data should be presented together with a suitable method for extracting the lines. For this purpose, the lines were changed separately on the raw events of the Aster images with slave letter environments and the line map was extracted. And then unstructured lines such as roads and waterways are removed from the data; In the following, the rose diagram and the relative frequency diagrams in the number of fractures on the surface are compared in three main faults and three angles.

In addition, in morphological studies of the area, a more detailed study of the alluvial fan in 1964 and 2021 was conducted. Based on the study of morphotectonic indices and observation of changes during the years of active activity, the region is tectonically active and the next step in this research is geophysical studies. . In this scheme, by increasing the length of the current electrodes, the depth of current penetration increases and deeper layers are investigated. Geophysical data suggest that sub-branches of the Kashfarud Fault north of the Mashhad Plain have been identified.

Key word :Mashhad Plain - Kashfarud fault - Koppeh Dag.



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

MSc Thesis in Tectonic

Title

**Evaluation of Shear Zone of Kashafrud Fault in North of Mashhad
Plain**

Researcher

Hanieh Moammeri

Supervisor

Dr. Ramazan Ramazani Omali

Advisor

Dr. Naser Hafezi Moghaddas

September 2021