پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال هشتم، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۸
صص. ۱۲۱-۱۰۳

تحلیل شواهد ژئومورفیک و قابلیت آن در شناسایی گسل‌های پنهان

امیر صفاری *- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
امجد ملکی - دانشیار گروه جرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
فرزاد شیرزادی تبار- استادیار گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
علی احمدآبادی- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
فاطمه رحمتی‌پور- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۲۲ تائید نهایی: ۱۳۹۸/۰۶/۱۶

چکیده

در بیشتر مواقع برای شناسایی گسل‌های پنهان از روش‌های ژئوفیزیکی استفاده کرده‌اند. در پژوهش حاضر قابلیت ژئومورفولوژی جهت شناسایی گسل‌های پنهان مورد بررسی قرار گرفت. ازجمله مناطقی که رسوبات رودخانه‌ای آثار گسل‌ها را مدفون ساخته است شرق استان کرمانشاه است. با بررسی ژئومورفولوژی منطقه و براساس فرضیه جدایی طاقدیس شیرز از سفره روراندە و دیگر شواهد مورفوتکتونیکی حدود کلی گسل‌های پنهان شناسایی و بر روی نقشه زمین شناسی ترسیم شد. در مرحله بعد با پردازش داده‌های مغناطیس هوایی، موقعیت دقیق‌تر گسل‌ها ترسیم شد. سپس بر روی ۴گسل، ۵ مقطع برداشت VLF و مغناطیس زمینی صورت گرفت و نتایج مربوط به مراحل پیشین با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی نیز صحت سنجی شد. اولین گسل از غرب ارتفاعات پرآو و از شمال دشت کرمانشاه به سمت شرق بر روی ارتفاعات پرآو و بیستون امتداد می‌یابد و با گذشتن از ارتفاعات برناج به سمت غرب وارد دشت شده و پس از عبور از دشت صحنه مجددا با تغییر روند به سمت شمال شرق امتداد می‌یابد. در فاصله بین ارتفاعات بیستون تا دشت صحنه ۵ گسل با جهت شمال- جنوب و منشعب از گسل اول تا حدود طاقدیس شیرز امتداد دارند. گسل دیگر از غرب شهر کرمانشاه آغاز شده و در جنوب ارتفاعات پرآو با تغییر مسیر به سمت جنوب شرق ادامه می‌یابد و وارد دشت هرسین می‌شود. مقایسه نتایج ژئومورفولوژی، ژئوفیزیک و مغناطیس هوایی نشان می‌دهد که ژئومورفولوژی قادر است گسل‌های بزرگ و پی‌سنگی عمیق آشکار و حتی پنهان، که اثرات خود را در مورفولوژی منطقه برجای گذاشته‌اند، را شناسایی کند.

واژگان کلیدی: گسل پنهان، مورفوتکتونیک، مغناطیس هوایی، ژئوالکتریک، روش vlf

---

* نویسنده مسئول: E-mail: Saffari@khu.ac.ir

مقدمه

زمین‌ساخت و فعالیت‌های نوزمین‌ساختی از مهمترین عوامل شکل‌دهی و ریخت‌زایی سطح زمین در گذشته و عصر حاضر به شمار می‌روند (کومار[۱] و همکاران، ۲۰۰۷). بر اثر این فعالیت‌ها پدیده‌هایی از قبیل گسل، کوه، آتشفشان، زمین‌لرزه و دیگر پدیده‌ها حاصل می‌شوند. در این میان، در راستای مطالعه فعالیت‌های نوزمین‌ساختی و ارتباط با مورفولوژی سطح زمین، گسل‌ها به عنوان منعکس کننده‌ی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی از اهمیت بالایی برخوردارند. در بیشتر موارد گسل‌ها از طریق نشانه‌هایی قابل تشخیص و شناسایی هستند؛ با این وجود در بسیاری موارد نیز رخنمون این ساختارها یا به سطح زمین نرسیده و یا رسوبات شواهد و نشانه‌های آن را مدفون نموده‌اند (ژو[۲] و همکاران، ۲۰۱۷). چنین ساختارهایی به مناطقی اختصاص دارد که محل تراکم رسوبات کواترنری یا عصر حاضر هستند و شرایط رسوبگذاری به نحوی است که سرعت رسوبگذاری در این مناطق بیشتر از سرعت جابجایی پوسته زمین در امتداد گسل است. در چنین شرایطی اگرچه سطوح پوسته زمین در دو طرف گسل دچار جابجایی و راندگی به بالا یا پایین می‌شوند با این وجود رخنمون سطحی گسل یا در سطح زمین مشاهده نمی‌شود یا محدود به پشته‌ها و چین‌خوردگی‌های ملایمی در بخش‌هایی در امتداد گسل می‌شود (ژو و همکاران، ۲۰۱۷). فعالیت گسل‌های پنهان می‌تواند همانند گسل‌های آشکار تاثیر فراوانی در زمین‌ریخت‌شناسی منطقه برجای بگذارد (بونفورت[۳] و همکاران، ۲۰۱۳). به عنوان مثال فعالیت زمین‌ساختی در امتداد گسل‌های پنهان در رسوبات کواترنری در منطقه اوتا–ویلا فرانکا در کشور پرتغال موجب بالاآمدگی و تغییر سطح اساس محلی در رودخانه تاگوس شده است که این خود باعث عمیق شدن کانال، انحراف رودخانه و فرسایش در منطقه بالادست شده است (کاروالهو[۴] و همکاران، ۲۰۰۸).

برای شناسایی کامل این نوع از گسل‌ها می‌توان از روش‌های ژئوفیزیکی (کاروالهو و همکاران، ۲۰۰۸)، اندازه‌گیری CO_2 و رادون خاک (بونفورت و همکاران، ۲۰۱۳)، بازتاب لرزه و تصویر برداری الکتریکی (ساتانگا[۵] و همکاران، ۲۰۱۴)، لیدار[۶] و رادار زمینی نافذ (گویانگ[۷] و همکاران، ۲۰۱۴) و یا ژئوفیزیک هوایی (راجارام[۸] و همکاران، ۲۰۱۳) استفاده نمود. پژوهشگرانی که گسل‌های مدفون پوسته زمین را مورد بررسی قرار داده‌اند عموما روش‌های ژئوفیزیکی را به کار گرفته‌اند. به گفته گویانگ و همکاران (۲۰۱۴) نتایج حاصل از داده‌های ژئوفیزیک هوایی در راستای شناسایی گسل‌های پنهان در صورتی که همراه با شواهد داده‌های زمین ریخت شناسی و توپوگرافی باشند از ارزش علمی بالاتری برخوردار هستند. از این رو، در دامنه کوه سایانا در گرینلند نیوزلند پس از کشف بخش‌های پنهان گسل گریندل[۹] با استفاده از داده‌های ژئوفیزیک هوایی، دربررسی‌های میدانی خود چین‌خوردگی‌های ملایمی در امتداد مسیر این گسل پیدا کردند که امتداد این گسل را در زیر رسوبات کواترنر تایید می‌کرد. جوان دولوئی و همکاران (۱۳۸۸) از روش مقاومت سنجی الکتریکی برای شناسایی دو گسل مهم مدفون توس در شمال مشهد و رازک در شمال شرق بندر مقام استفاده کردند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که روش ژئوالکتریک با توجه به تنوع در آرایش

---

۱ Kumar

۲ Zhu

۳ Bonforte

۴ Carvalho

۵ Saetanga

۶ LIDAR

۷ Guiang

۸ Rajaram

۹ Greendale

و ارزانی آن می‌تواند مورد توجه ویژه قرار گیرد و نقش مهمی در تعیین مشخصات گسل‌های پنهان مخصوصا تعیین امتداد گسل‌های پنهان در مناطق مسکونی که امکان انجام اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی وجود ندارد، ایفا نماید. در پژوهشی دیگر علیان‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از روش‌های ژئوالکتریک و ژئورادار به بررسی گسل‌های فرعی اطراف تهران پرداختند. آنان روش‌های ژئوالکتریک و ژئورادار (GPR)[۱] را به عنوان یکی از ارزان‌ترین و سهل الوصول‌ترین تکنیک‌های قابل استفاده در شناسایی گسل‌های مدفون و پنهان کلان شهر تهران معرفی می‌کنند و با مشاهده اثر گسل آزاد شهر کارایی این روش را به خوبی نشان می‌دهند. یزدان‌پناه و همکاران (۱۳۸۸)، امیرپور و همکاران (۱۳۹۴)، آریامنش و همکاران (۱۳۸۸) و تعدادی دیگر از محققیق به شناسایی گسل‌های پنهان از طریق بررسی داده‌های مغناطیس هوایی پرداخته‌اند.

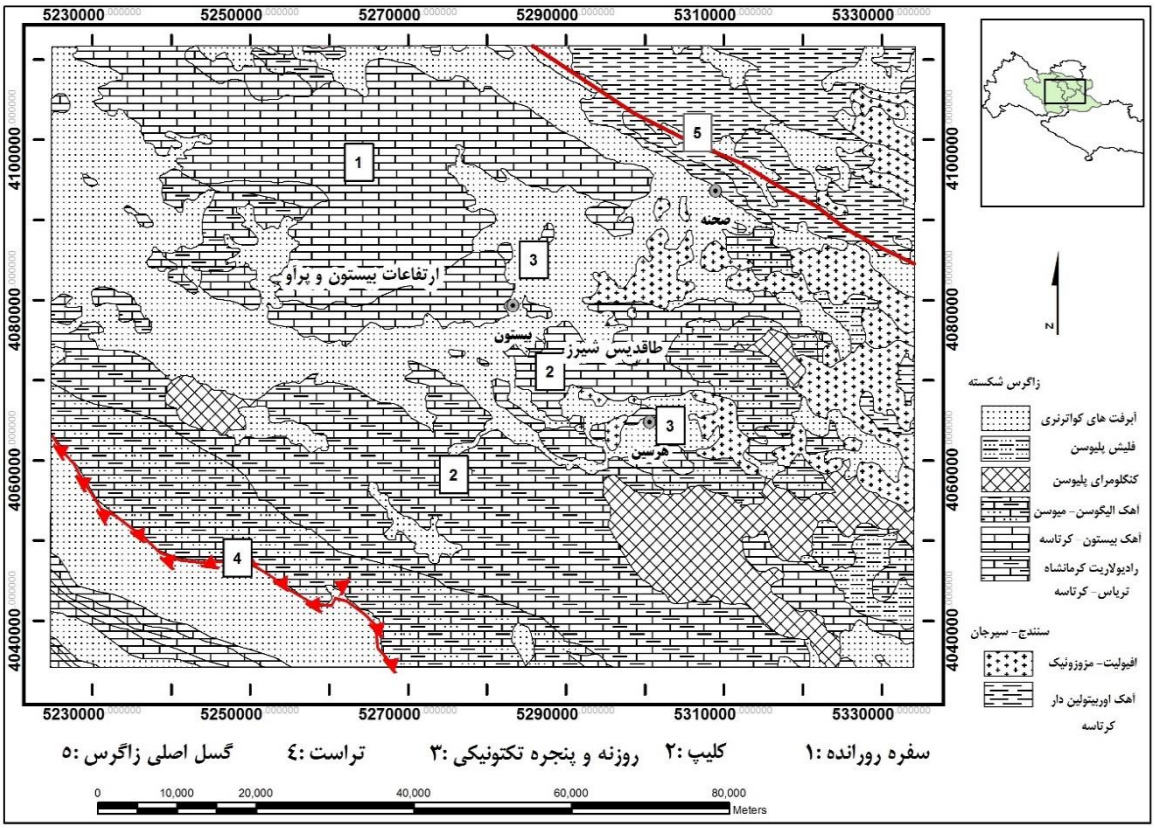
تکتونیک ژئومورفولوژی یا مورفوتکتونیک را می‌توان به دو شیوه تعریف کرد: ۱. مطالعه لندفرم‌های تشکیل شده توسط فرآیندهای تکتونیکی ۲. کاربرد اصول ژئومورفیک در حل مشکلات تکتونیکی. تعریف اول دلالت بر این دارد که ما علاقه‌مند به لندفرم‌ها، شکل آن‌ها و منشأشان به عنوان نتیجه‌ای از عملکرد فعالیت‌های تکتونیکی هستیم؛ تعریف دوم دارای یک ارزش مفید می‌باشد و آن این است که به ما اجازه می‌دهد تا ژئومورفولوژی را به عنوان ابزاری برای ارزیابی تاریخ، بزرگی و نرخ فرآیندهای تکتونیکی مورد استفاده قرار دهیم. در واقع فرآیندهای تکتونیکی، در امتداد گسل‌های فعال تأثیر قابل توجهی بر ژئومورفولوژی پیرامون گسل‌ها داشته و تجزیه وتحلیل ساختمانی نه تنها یک ارزیابی از نقش تکتونیک، فرسایش تفریقی و تکامل زهکشی در توسعه مورفولوژیکی را ارائه می‌دهد بلکه این تجزیه وتحلیل یک منبع داده برای درک تکامل شرایط زمین ساختی لندفرم‌ها را فراهم می‌نماید. به عبارتی می‌توان چنین بیان کرد که تجزیه وتحلیل لندفرم‌ها در یک چشم‌انداز بلندمدت اطلاعات جالبی در مورد تکتونیک به ما می‌دهد. در این میان مورفوتکتونیک به عنوان یکی از ابزارهای اصلی در شناسایی گسل‌های فعال، درک تکامل ساختارهای زمین‌شناسی، ارزیابی خطر لرزه‌ای و مطالعه تکامل چشم‌انداز تبدیل شده است (ادوارد و پنیتر، ۱۳۹۵). با توجه به آنچه که گفته شد، در این پژوهش سعی داریم مورفوتکتونیک را در معنای تعریف دوم بکار گیریم و توانایی ژئومورفولوژی و مورفوتکتونیک را در حل مشکلات تکتونیکی و این بار در یافتن و شناسایی گسل‌های پنهان مورد ارزیابی قرار دهیم و بررسی کنیم که آیا شواهد مورفولوژی و ژئوساختمانی و تفسیر ژئومورفولوژی به کشف گسل پنهان کمک میکند؟ و آیا ژئومورفولوژی به عنوان علمی که به بررسی مورفولوژی ناشی از تکتونیک می‌پردازد، در کنار روش‌های ژئوفیزیکی قادر به شناسایی این ساختارهای پنهان می‌باشد؟

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل دشت‌ها و کوهستان‌های واقع در شرق استان کرمانشاه در غرب کشور ایران است و در مختصات ۳۴ درجه تا ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. از نظر زمین‌ساخت، این منطقه در محدوده زون زمین شناسی زاگرس مرتفع یا شکسته است. پرتگاه‌های بلند جبهه رورانده، پرتگاه‌های خط گسل، پیچیدگی ساختمان چین‌ها و نمای کارستی و خشن از اختصاصات مهم پیکر شناسی زاگرس مرتفع است. مهمترین خصیصه کوه‌های زاگرس، ساختمان رورانده آن است که به شکل دیواره‌های بلند گسلی و یا پرتگاه‌های جبهه رورانده در چهره‌ی کوه‌ها انعکاس یافته است. گسل اصلی زاگرس که در نتیجه کوهزایی کاتانگایی به‌وجود آمده است دلیل پیدایش چنین ساخت‌هایی در زاگرس مرتفع است.

[۱] Ground Peretrating Radar

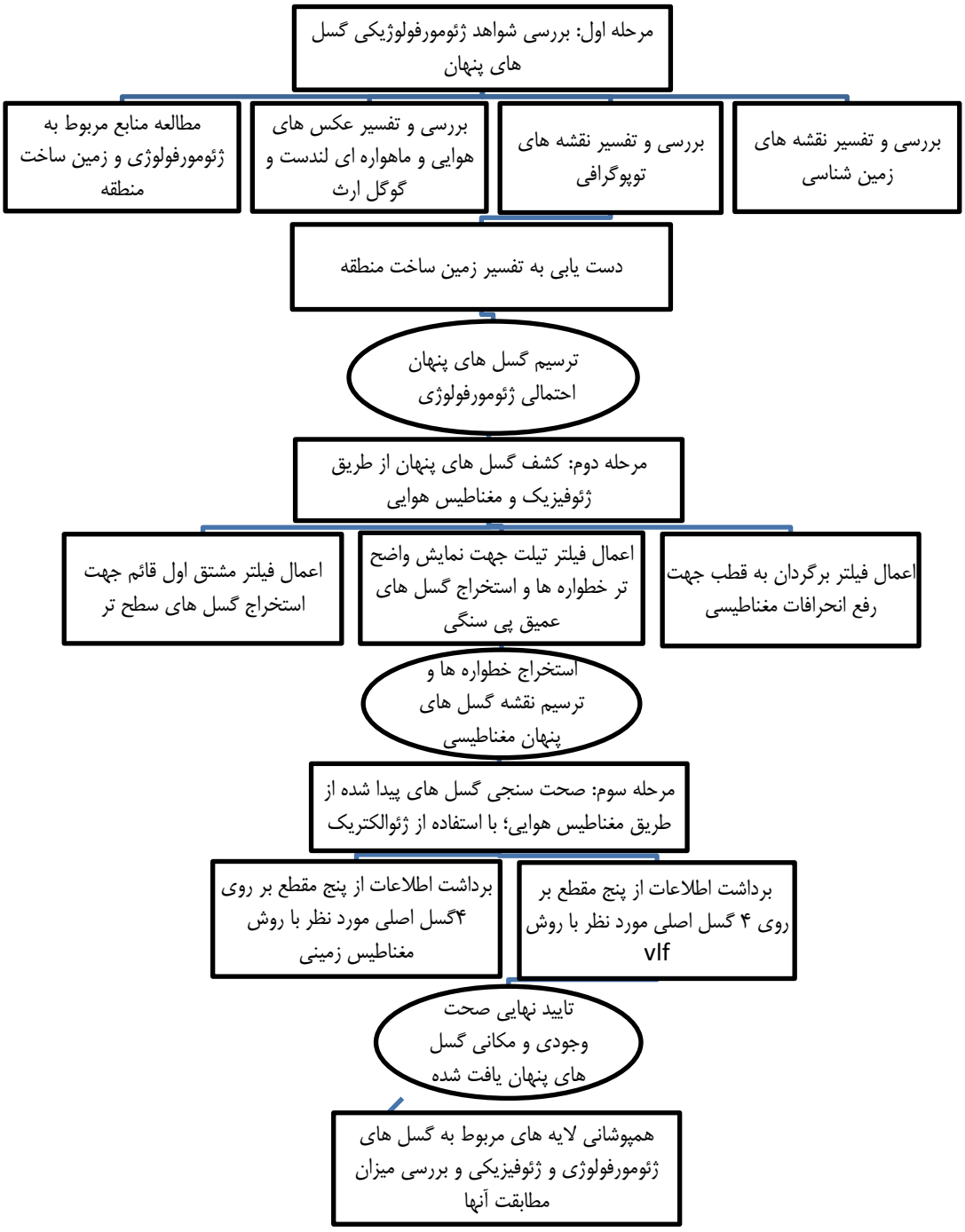
عملکرد این گسل‌ها موجب گردید تا طبقات آهکی زاگرس مرتفع چه در جهت قائم و چه در جهت افقی جابجا شوند و در نتیجه پرتگاه‌ها و دیواره‌های بلند کوهستانی را بوجود آورند. در امتداد گسل جدید زاگرس لایه‌های کرتاسه زاگرس مرتفع به شکل فلس‌ها (قطعات روی هم قرار گرفته) یا سفره‌های بزرگ روی رسوبهای ترشیاری زاگرس چین‌خورده رانده شده‌اند. در نتیجه این راندگی‌ها پرتگاه‌های بلندی در پیشانی یا جبهه رورانده و یا در امتداد قطعات فلسی به وجود آمده‌اند. مهمترین مثال از این نمونه کوه معروف بیستون است که دیواره تقریبا عمودی جبهه غربی آن با ارتفاع بیش از ۱۲۰۰متر مسلط به دشت بیستون می‌باشد. واحد رادیولاریتی که به صورت کوه‌های کم ارتفاع مرز بین زاگرس مرتفع و زاگرس چین‌خورده در کرمانشاه را تعیین کرده است احتمالا به‌صورت سفره‌های رورانده می‌باشند. به دلیل سستی نسبی رسوبهای رادیولاریتی، اغلب عامل فرسایش قسمت زیادی از آنها را از بین برده و در نتیجه دشت‌های نسبتا وسیع جایگزین شده‌اند. در اطراف این دشت‌ها بقایای سفره‌های رورانده تشکیل یک سری برجستگی‌های منفرد و کم ارتفاع را داده‌اند (کلیپ) مناظر ساختاری زمین در اطراف بیستون و هرسین از کلیپ و پنجره تکتونیکی می‌باشد (علایی طالقانی؛ ۱۳۸۴، ۱۵۲) (شکل شماره ۱). قدمت کهن‌ترین سنگ‌های محدوده، به تریاس می‌رسد لیکن آبرفت‌های کواترنر، رادیولاریت‌های کرتاسه– ژوراسیک کرمانشاه و سنگ آهک‌های ژوراسیک بیستون گسترده‌ترین واحدهای سنگی منطقه را تشکیل می‌دهند. اکثر رخنمون‌های موجود در این منطقه حالت رسوبی اولیه خود را حفظ نموده لیکن بعضی از رخنمون‌های تحت عملکرد گسل‌های راندگی، دگرگونی ضعیف تا متوسطی از خود نشان داده‌اند. شیب گسل در این کلیپ‌ها از صفر تا حداکثر ۱۰ درجه تغییر می‌کند و بخوبی وجود سفره‌های رانده شده را نشان می‌دهد (گزارش پشت نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ هرسین).



شکل شماره ۱: موقعیت و نقشه زمین ساخت منطقه مورد مطالعه

داده و روش تحقیق

به طور کلی پژوهش حاضر طی سه مرحله انجام گرفت: بررسی شواهد ژئومورفولوژی و زمین‌ساخت گسل‌های پنهان، پردازش داده‌های مغناطیس هوایی جهت یافتن گسل‌های پنهان و مقایسه با گسل‌های شناخته شده توسط مورفوتکتونیک، صحت سنجی نتایج مربوط به مراحل قبل توسط روش‌های ژئوفیزیکی VLF و مغناطیس زمینی.

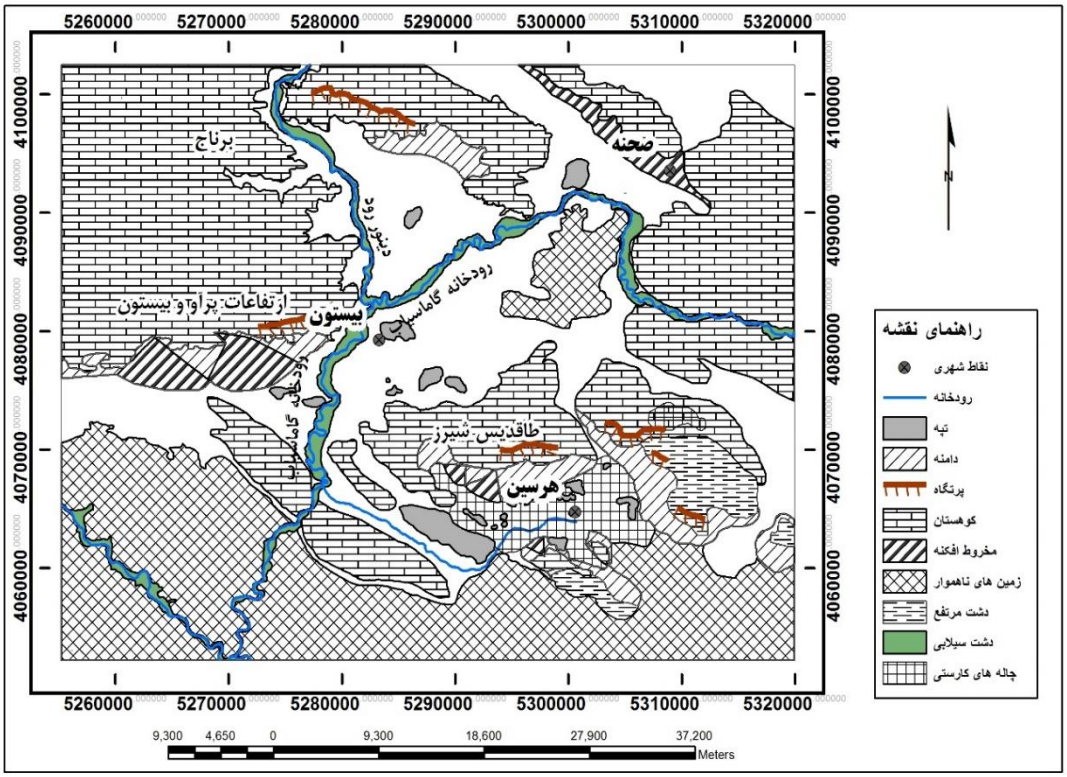


شکل شماره ۲: فلوچارت مراحل انجام پژوهش

بررسی ژئومورفولوژی

کار شناسایی گسل‌های پنهان از بررسی نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰و۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی کرمانشاه و نقشه‌های توپوگرافی منطقه آغاز گردید. عمده کار بر روی تفسیر زمین‌ساخت منطقه است. آنچه که در ابتدای پژوهش مورد توجه قرار گرفت؛ جنس و جهت قرارگیری ناهمواری‌ها نسبت به یکدیگر و نسبت به روند کلی سفره رورانده زاگرس بود که منطقه مورد مطالعه، بخشی از آن است. نگاه اجمالی به نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه، طاقدیس شیرز را به عنوان بخشی جدا شده از سفره رورانده نشان می‌دهد. این فرضیه بنای پژوهش را پی‌ریزی کرد. شباهت در جنس و شکل ظاهری طاقدیس که بصورت پرتگاهی در شمال دشت هرسین قرار گرفته است و فاصله به نسبت کم از ارتفاعات بیستون (۱۵ کیلومتر)، و همچنین؛ بریدگی ناگهانی ارتفاعات بیستون در محدوده شرقی آن، که به نظر محل جدا شدگی طاقدیس شیرز است فرضیه ما را تقویت می‌کرد. آنچه که در این میان پازل ما را تکمیل می‌کرد، وجود چندین گسل در منطقه بود که بر روی نقشه زمین شناسی اثری از آن‌ها وجود ندارد. با توجه به اینکه منطقه از نظر تکتونیکی و زمین‌ساخت فعال است و گسل‌های زیادی از گسل اصلی زاگرس منشعب شده‌اند و از طرفی بدلیل وجود رودخانه‌هایی که آبرفت زیادی را در منطقه رسوب می‌دهند احتمال پنهان بودن گسل‌های مورد نظر دور از انتظار نبود. جریان رودخانه‌های دینور رود و بخشی از گاماسیاب که عمود بر جهت ناهمواری‌ها در جریان است، پراکندگی افیولیت‌ها و سنگ‌های دگرگونی در بخش‌هایی از منطقه، شکل‌گیری پولیه هرسین در دامنه جنوبی طاقدیس شیرز؛ همگی لندفرم‌های ساختمانی و مورفوتکتونیکی بودند که به عنوان شواهدی دال بر وجود گسل و یا گسل‌های پنهان در منطقه مورد توجه قرار گرفتند.

بنابراین در ابتدا، بر اساس اطلاعات نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و عکس‌های هوایی و تصاویر گوگل ارث؛ نقشه ژئومورفولوژی با تاکید بر لندفرم‌های مورفوتکتونیکی منطقه بر اساس موضوع و نیاز پژوهش آماده شد (شکل شماره ۳). با مجموع اطلاعاتی که از تفسیر همزمان نقشه‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه و نیز سابقه زمین ساخت منطقه در دست است، ژئومورفولوژی و زمین‌ساخت منطقه تفسیر شد. براساس فرضیه جابجایی طاقدیس شیرز و به کمک لندفرم‌های سطحی، حدود کلی گسل‌های پنهان که نقش مهمی در مورفولوژی کنونی منطقه مطالعاتی دارند، شناسایی و بر روی نقشه زمین شناسی همپوشانی شد.



شکل شماره ۳: نقشه ژئومورفولوژی منطقه

مغناطیس هوایی

یکی از سریعترین مطالعات جهت شناسایی ساختارهای پنهان، ژئوفیزیک هوایی است که همواره نام مغناطیس هوایی را همراه خود دارد و تفسیر و مدلسازی حاصل از آن می‌تواند به شناسایی گسل‌های پنهان کمک نماید. تفسیر و مدلسازی داده‌های ژئوفیزیکی عبارت است از تعیین منبع آنومالی‌های موجود و ویژگی‌های آن‌ها از روی تغییراتی که در داده‌ها مشاهده می‌گردد (شارما[۱]، ۱۹۹۸). در این خصوص تهیه نقشه شدت میدان مغناطیسی بسیار مفید و ضروری است این نقشه با استناد داده‌های خام ژئوفیزیک هوایی که از سازمان زمین‌شناسی کشور اخذ شد، با استفاده از تحلیل نرم‌افزاری تهیه گردید (شکل شماره ۵). برای پردازش داده‌های مغناطیس هوایی در این پژوهش، نسخه ۶,۴,۲ نرم‌افزار Geosoft Oasis montaj مورد استفاده قرار گرفته است. این نرم‌افزار به نام ژئوسافت معروف می‌باشد.

از آنجایی که شدت میدان مغناطیسی کل در هر نقطه متاثر از مواد و ساختارهای مغناطیسی موجود در آن نقطه می‌باشد بر اساس تفسیر این نقشه و اعمال فیلترهای بالاگذر می‌توان به وجود ناهنجاری‌های ساختاری زیرسطحی پی برد (گروچ[۲] و همکاران، ۲۰۰۲). داده‌های شدت میدان کل مغناطیسی هریک از واحدهای لیتولوژی دارای یک پاسخ مغناطیسی خاص می‌باشند. زون‌های گسله و یا زون‌هایی که دارای خردشدگی هستند عموما بدلیل عبور آب و یا سیالات و هوازدگی کانی‌های مغناطیسی، پاسخ مغناطیسی با شدت کم را از خود نشان می‌دهند که شکل این ناهنجاری‌ها عموما بصورت ساختارهای خطی قابل مشاهده است. بالعکس برخی از این نواحی نیز ممکن است تحت اثر فرایندهای کانی سازی توسط محلول‌های کانی ساز قرار گرفته و کانی‌های مغناطیسی بصورت ثانویه در آنها تشکیل گردد در این حالت این ساختارها آنومالی‌های مغناطیسی خطی با شدت بالا از خود نشان می‌دهند. تفسیر

[۱] Sharma

[۲] Grauch & Johnston

آنومالی‌های مغناطیسی و مقایسه آنها با ساختارهای سطحی بدست آمده از تفسیر داده‌های ماهواره‌ای و مورفولوژی سطحی می‌تواند در شناسایی گسل‌های زیرسطحی و مدفون بسیار موثر باشد. همواره شدت میدان مغناطیسی اندازه‌گیری شده دارای یک انحراف از منبع به وجود آورنده آن است که این انحراف بر اثر زاویه میل و انحراف بردار مغناطیسی در آن منطقه بوجود می‌آید. برای حذف این مشکلات با اعمال فیلترهای رقومی این اثرات حذف می‌شوند (آناند[۱] و همکاران، ۲۰۰۳).

به این ترتیب داده شبکه‌ای مغناطیس هوایی اولیه منطقه مورد مطالعه ابتدا وارد نرم افزار شده تا پردازش و اعمال صافی‌های برگردان به قطب، مشتق قائم و تیلت بر روی داده‌ها امکان پذیر گردد و سپس به صورت نقشه‌ای از داده‌های پردازش شده درآید و بتوان خطواره‌های موجود را استخراج کرد.

VLF-AS و Mag-AS

ژئوالکتریک یکی از شاخه‌های ژئوفیزیک است که با استفاده از جریان الکتریکی به بررسی زیر سطح زمین می‌پردازد. در کاوش‌های الکتریکی اثرهای ناشی از شارش جریان الکتریکی در درون زمین، در سطح آشکارسازی می‌شود. مقاومت ویژه الکتریکی یکی از خواص فیزیکی سنگ‌ها است که تقریبا در تمام روش‌های الکتریکی اندازه‌گیری می‌شود. همبریها و گسلها ساختار مهم و با اهمیتی هستند که توسط روابط خاص الکترومغناطیسی توجیه می‌شوند. دستگاه مورد استفاده در این اندازه‌گیری دستگاه GSM-19 ساخت کشور کانادا می‌باشد، که شامل سه قسمت آنتن GPS، مغناطیس‌سنج جهت اندازه‌گیری میدان مغناطیسی و پیچه گیرنده جهت اندازه‌گیری سیگنال‌های VLF است. پیچه در این دستگاه از هزاران دور سیم تشکیل شده که به صورت قائم در محفظه پلاستیکی تعبیه شده است و مولفه حقیقی و موهومی H_z را اندازه می‌گیرد. فرستنده‌ها در سراسر جهان به طور فعال توزیع شده‌اند و با برنامه‌های منظم ارسال موج می‌نمایند.

در این عملیات ابتدا فرستنده‌ای با قدرت مناسب انتخاب شد، که در کار ما فرستنده آکسفورد در انگلستان با فرکانس ۱۹/۶ هرتز است. سپس در ۵ خط با طول‌های متفاوت عمود بر۴ گسل که در مراحل قبل شناسایی شدند، عملیات برداشت و قرائت داده‌ها صورت گرفت. پس از برداشت داده‌ها، با پردازش داده‌ها در نرم‌افزار MATLAB مقاطع چگالی جریان برای هر پروفیل بدست آمد. VLF AS سیگنال تحلیلی VLF است که در مکانهایی که تغییرات چگالی جریان القایی وجود داشته باشد، قله یا پیک نشان می دهد. چگالی جریان القایی به خاطر موج الکترومغناطیسی از طرف فرستنده VLF است. جاهایی که رساناتر باشد (یعنی مقاومت ویژه الکتریکی کمتر باشد)، چگالی جریان بیشتر خواهد بود و جاهایی که مقاومت ویژه الکتریکی بیشتر باشد، چگالی جریان القایی کمتر خواهد بود. تفسیر داده‌های VLF عموما کیفی است و شکستگی را به صورت یک ناحیه نشان می‌دهد. Mag AS سیگنال تحلیلی داده‌های مغناطیسی زمینی است که از مشتق اول این داده‌ها به دست آمده است. این مقدار در جاهایی که تغییرات مغناطیس پذیری وجود داشته باشد، قله یا پیک نشان می‌دهد.

بحث و یافته‌ها

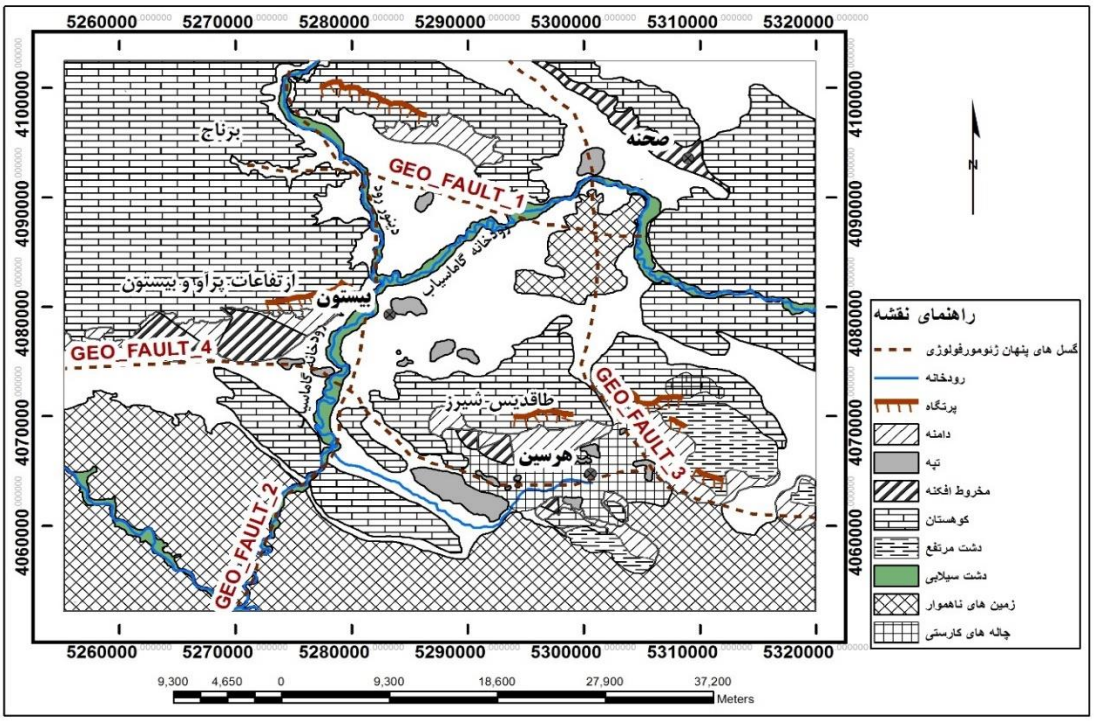
بررسی ژئومورفولوژی

بر اساس وضعیت تکتونیکی منطقه که در زون شکسته‌ی زاگرس قرار دارد وجود گسل‌های پنهان متعدد در جهات مختلف که از گسل‌های اصلی زاگرس منشعب شده‌اند، امری غیرممکن نیست و به طور کلی زمین ساخت این منطقه به طور مستقیم متاثر از عملکرد این گسل‌های پنهان و آشکار در طی دوران سوم و چهارم است. دشت‌های هرسین

[۱] Anand

و بیستون به عنوان پنجره تکتونیکی و ارتفاعات مجاور آنها به عنوان کلیپ و قسمت‌های جدا شده از روراندگی زاگرس محسوب می‌شوند (علایی طالقانی؛ ۱۳۸۴، ۱۵۲) (شکل شماره ۱). طاقدیس شیرز با ارتفاع ۲۷۰۸ متر به فاصله حدود ۱۵ کیلومتری از دیواره بیستون و سفره رورانده زاگرس، و در شمال دشت هرسین قرار دارد. نقشه‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهد که طاقدیس شیرز متشکل از آهک کرتاسه مشابه آهک ارتفاعات پرآو و بیستون است که با توجه به شباهت در جنس و فاصله اندک با ارتفاعات بیستون و پرآو، و همچنین فرم و نحوه قرارگیری آن که مانند ساخت‌های تک شیب با شیب ملایم در جهت سفره رورانده که از آن جدا شده و شیب تند و پرتگاهی در جهت مقابل که یادآور دیواره بیستون است؛ در امتداد گسل و یا گسل‌هایی از دیواره اصلی سفره و ارتفاعات بیستون و پرآو جدا شده است (شکل شماره ۱). بنابراین شمای کلی که می‌تواند این فرضیه را ثابت کند بصورت وجود حداقل چهار گسل است. گسل اول که موجب قطع شدگی و جدایی طاقدیس از بدنه اصلی در جهت شرقی- غربی می‌شود. و حداقل دو گسل عمود بر روند اصلی تراست، که حرکت کشویی دارند و سبب حرکت رو به جلو طاقدیس می‌شوند. گسل چهارم در امتداد شمال غربی- جنوب شرقی و در راستای تراست زاگرس که قاعدتا باید در جنوب طاقدیس قرار گیرد و حد نهایی حرکت طاقدیس است (شکل شماره ۴). جهت ترسیم حدود تقریبی گسل‌های پنهان مورد نظر علاوه بر اطلاعات نقشه زمین‌شناسی، نقشه ژئومورفولوژی منطقه به کمک ما آمد. گسل اول که در جهت غربی- شرقی است امتداد گسل برناج است که به سمت شرق ادامه می‌یابد و در داخل دشت مدفون می‌شود. گسل مورد نظر تا جنوب کوه خانه خدا و روستای سمنگان امتداد می‌یابد. این گسل باعث قطع شدن ارتباط طاقدیس شیرز با سفره رورانده از سمت شمال و در جهت شرقی- غربی است. قطع شدگی ناگهانی ارتفاعات و ایجاد دیواره‌های پرشیب در شرق ارتفاعات بیستون و پرآو و عمود بر تراست اصلی زاگرس، مطابق با فرضیه جدایی و قطع ارتباط طاقدیس شیرز از ارتفاعات بیستون و پرآو است. گسل پنهان فرضی دوم از شرق ارتفاعات بیستون و برناج شروع شده و وارد دشت بیستون می‌شود و تا غرب طاقدیس شیرز ادامه می‌یابد. جریان رودخانه دینور رود از زمانی که وارد دشت دینور و بیستون می‌شود و به رودخانه گاماسیاب می‌پیوندد، عمود بر جهت ارتفاعات در میان دشت بیستون جریان می‌یابد و در ادامه آن، جریان گاماسیاب، منطبق بر مسیر این گسل است. رودخانه گاماسیاب در امتداد لبه شرقی دیواره ارتفاعات بیستون و پرآو با پیوستن دینور رود به آن، با جهت شمالی- جنوبی در حرکت است و با همان جهت ارتفاعات ایل کوه را می‌شکافد و عمود بر ارتفاعات مذکور، جهت پیوستن به سطح اساس خود که رودخانه قره‌سو است جریان خود را ادامه می‌دهد که به نظر می‌رسد به تبعیت از گسل پنهان مورد نظر باشد. همچنین سامانه‌های زهکشی به فعالیت‌های نوزمین‌ساختی گسل‌ها به شدت حساس هستند و در صورت رویداد فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در یک ناحیه، که موجب فرورانش، فرونشست و یا جابجایی افقی یا قائم در طول گسل‌ها می‌شود، به سرعت به تغییرات ایجاد شده واکنش نشان می‌دهند و از آنها تاثیر می‌پذیرند. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که این رودخانه در طی ۵۶ سال گذشته تغییرات قابل توجهی داشته است به طوری که در بازه‌های بالادست به دلیل وقوع پدیده اولوشن رودخانه از حالت مئاندری به الگوی رودخانه‌ی شریانی تبدیل شده است. اولوشن به‌صورت یک حرکت و جابجایی سریع قسمتی از مسیر رودخانه روی دشت سیلابی است که باعث ایجاد مجرای جدیدی می‌شود و شرایط را برای ایجاد الگوی مجاری به‌هم پیوسته فراهم می‌کند. بازه‌های میانی رودخانه از حالت مئاندری خارج و تبدیل به الگوی شریانی شده‌اند. اما بازه‌های پایین دست دارای الگوی مئاندری هستند و این بازه‌ها در طی ۵۶ سال گذشته تغییر الگویی نداشته‌اند. همچنین سطوح فرسایش یافته در رودخانه مذکور بیشتر از سطوح رسوبگذاری شده می‌باشند و این به دلیل جابجایی و تغییر مسیر رودخانه می‌باشد به‌طوری که بعضی از قسمت‌های رودخانه بیش از ۴۰۰ متر جابجایی داشته است (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵). گسل سوم نیز در امتداد گسل دوم و در شرق آن قرار می‌گیرد. وجود توده‌های اولترابازیک که از نشانه‌های وجود و عمل گسل‌های پی سنگی است در شرق شهر صحنه امتداد گسل

پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. گسل چهارم که حد نهایی حرکت طاقدیس را نشان می‌دهد قاعدتا باید در جنوب و در پیشانی طاقدیس قرار گیرد. از سوی دیگر دشت هرسین واقع در دامنه جنوبی طاقدیس شیرز و محصور در ارتفاعات، به عنوان یک پولیه تکتونیکی باید به وسیله گسل و یا گسل‌هایی ایجاد شده باشد که در نقشه زمین‌شناسی اثری از این گسل‌های محتمل نیست. دشت هرسین بوسیله ارتفاعات آهکی محصور شده است. شمال دشت از آهک کرتاسه طاقدیس شیرز است و شرق و جنوب دشت از آهک میوسن و سازند قم و غرب آن آهک تریاس بصورت منقطع و کم ارتفاع تشکیل شده است. وجود توده‌های اولترابازیک و دگرگونی در داخل و اطراف دشت وجود گسل پی‌سنگی و عمیق را محتمل‌تر می‌کند. وجود تپه‌های متعدد در داخل دشت ظاهرا ناشی از حرکت و فعالیت گسل یا گسل‌های مورد نظر است. امتداد توده‌های اولترابازیک به سمت غرب دشت و قطع شدن آهک‌ها نشان از وجود گسل بزرگی است که به سمت غرب امتداد می‌یابد و احتمالا از جمله گسل‌هایی است که با زاویه ۴۵ درجه از گسل اصلی زاگرس منشعب شده‌اند. از سوی دیگر؛ کریستالیزه شدن مجدد آهک بیستون در جنوب پرآو نشان از دگرگونی حرارتی ناشی از عملکرد گسل‌های عمیق است. بنابراین می‌توان گفت گسل اخیر از دشت کرمانشاه شروع شده و با روند شرقی– غربی در جنوب کوه بیستون با تغییر جهت به سمت جنوب شرق وارد دشت هرسین می‌شود. علی رغم وجود شواهد زمین‌ساخت و ژئومورفولوژیکی؛ در نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰، اثری از گسل‌های شناسایی شده وجود ندارد. با توجه به آنچه گفته شد؛ حدود کلی و تقریبی گسل‌های حاصل از بررسی ژئومورفولوژی ترسیم شد (شکل شماره ۴).



شکل شماره ۴: گسل‌های پنهان شناسایی شده در بررسی‌های ژئومورفولوژی

مغناطیس هوایی

نقشه شدت کل میدان مغناطیس منطقه با پردازش داده‌ها در نرم افزار ژئوسافت بدست آمد (شکل شماره ۵). شدت میدان مغناطیسی اندازه‌گیری شده دارای یک انحراف و جابجایی مکانی نسبت به محل منبع بوجود آورنده آن می‌باشد که این جابجایی بر اثر زاویه میل و زاویه انحراف بردار میدان مغناطیسی درآن منطقه بوجود می‌آید. برای آنکه اثر

توده مغناطیسی بر روی آن توده منتقل شود و این جابجایی حذف گردد از فیلتری بنام برگردان به قطب (RTP)[۱] استفاده شد. برای هر نقطه یک زاویه میل و یک زاویه انحراف مغناطیسی در نظر گرفته می‌شود که متوسط زاویه میل و زاویه انحراف مغناطیسی در این ناحیه به ترتیب برابر ۵۱/۳۵ درجه ۳/۰۹۲ درجه می‌باشد. با اعمال این فیلتر، نقشه شدت میدان مغناطیسی کل اندکی دچار تغییر و جابجایی شده که این ناهنجاری‌ها اندکی به سمت شمال منطقه بوده و به طور کلی بی‌هنجاری‌ها پس از اعمال این فیلتر بر روی منبع بوجود آورنده خود قرار می‌گیرند که به این ترتیب می‌توان موقعیت منبع ناهنجاری‌ها را دقیق‌تر تعیین نمود (شکل شماره ۵).

تعیین محدوده بی‌هنجاری یا به عبارت بهتر تعیین لبه‌های بی‌هنجاری یکی از اساسی‌ترین گام‌های تفسیر داده‌های مغناطیس می‌باشد. استفاده از فیلتر تیلت یکی از روشهایی است که بر اساس آن می‌توان به این مهم دست یافت همچنین فیلتر تیلت بی‌هنجاری‌های بزرگ را مشخص می‌کند و برای نشان دادن گسل‌های عمیق و پی‌سنگی مناسب‌تر است (میلر و سینگ، ۱۹۹۴). مشتق تیلت به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$TDR^{۲} = tan^{-1}\left[\frac{VDR}{THDR}\right]$$ رابطه شماره (۱)

که VDR[۳] مشتق عمودی و THDR[۴] مشتق افقی مجموع میدان مغناطیسی می‌باشد.

نقشه بدست آمده از فیلتر تیلت، شدت تغییرات مغناطیس را بیشتر نشان داده به طوری که ناهنجاری در جهت غرب به شرق بصورت منقطع درآمده و در واقع لبه‌های ناهنجاری مشخص‌تر از قبل شده است و در مرکز منطقه ناهنجاری شمال غرب که به سمت جنوب شرق کشیده شده است و با اعمال همه فیلترها نشان داده شده است، واضح‌تر شده است و نشان دهنده گسل عمیق پی‌سنگی است که از سمت شمال غرب و در جنوب ارتفاعات بیستون شروع شده و به سمت جنوب شرق وارد دشت هرسین در جنوب طاقدیس شیرز می‌شود.

برای بررسی تغییرات (گرادیان) شدت میدان مغناطیسی در جهت‌های مختلف، از مشتق‌گیری استفاده شد. برای اینکه بی‌هنجاری‌های سطحی نسبت به بی‌هنجاریهای عمیق‌تر تقویت شوند از فیلتری بنام مشتق اول در جهت قائم استفاده شد که با اعمال این فیلتر بر روی نقشه برگردان به قطب، بی‌هنجاری‌های سطحی نمود بیشتری پیدا می‌کنند. بدین وسیله می‌توان رفتار این توده‌های مغناطیسی را در سطح بهتر مورد بررسی قرار داد. یکی از کاربردهای مهم نقشه مشتق اول قائم، پیدا کردن خطواره‌های مغناطیسی و تعیین دقیق‌تر مرز بین واحدهای لیتولوژی است که برای تعیین این خطواره‌ها در تفسیر نهایی از این فیلتر استفاده شده است. اعمال این فیلتر گسل‌های سطحی را نیز آشکار می‌کند (گروچ[۵] و همکاران، ۲۰۰۲) و به این ترتیب خطواره‌های شمالی–جنوبی در مرکز منطقه که در میان آبرفت‌های دشت بیستون و چمچمال مدفون است شناسایی و ترسیم شد.

پس از اعمال سه فیلتر برگردان به قطب، مشتق قائم و تیلت بر روی داده‌های مغناطیس هوایی، نقشه مربوط به خطواره‌های گسل‌های پنهان منطقه استخراج و ترسیم شد. خطواره‌های پی‌سنگی (Major Magnetic Liniation) و سطحی (Magnetic Liniation) شناسایی شده به صورت مجزا بر روی نقشه ترسیم شده‌اند.

---

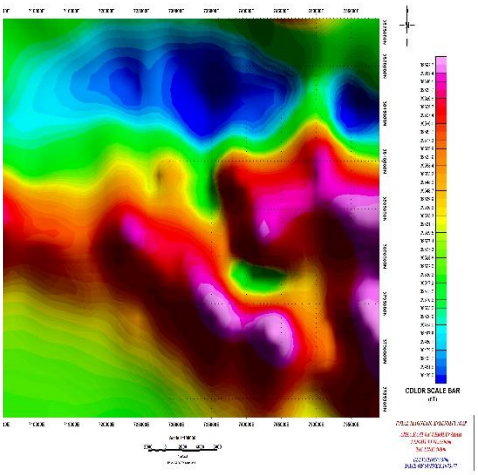
[۱] Reduction to Pole

[۲] Tilt Derivative

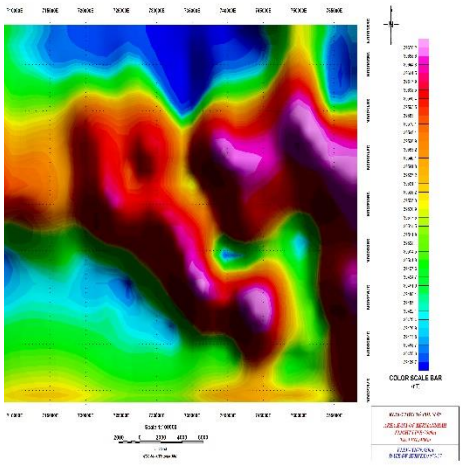
[۳] Vertical Derivative

[۴] Total Horizontal Derivative

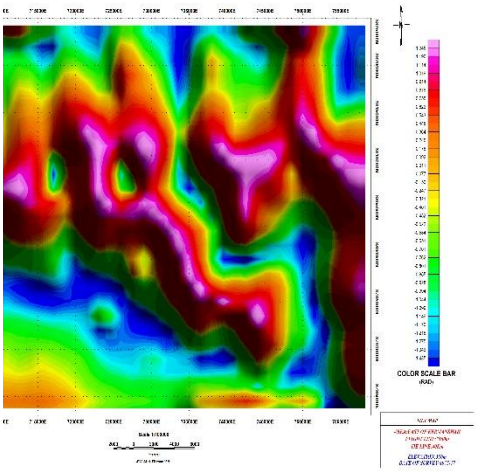
[۵] Grauch



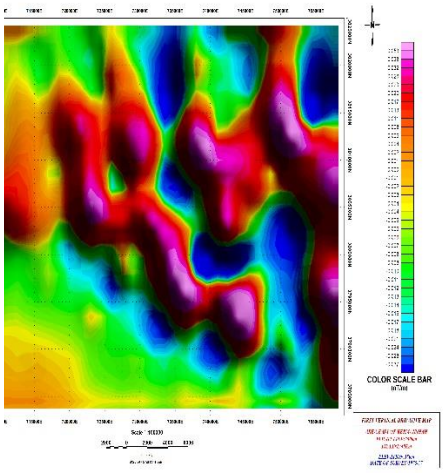
نقشه شدت کل میدان مغناطیسی



نقشه اعمال فیلتر برگردان به قطب (RTP)

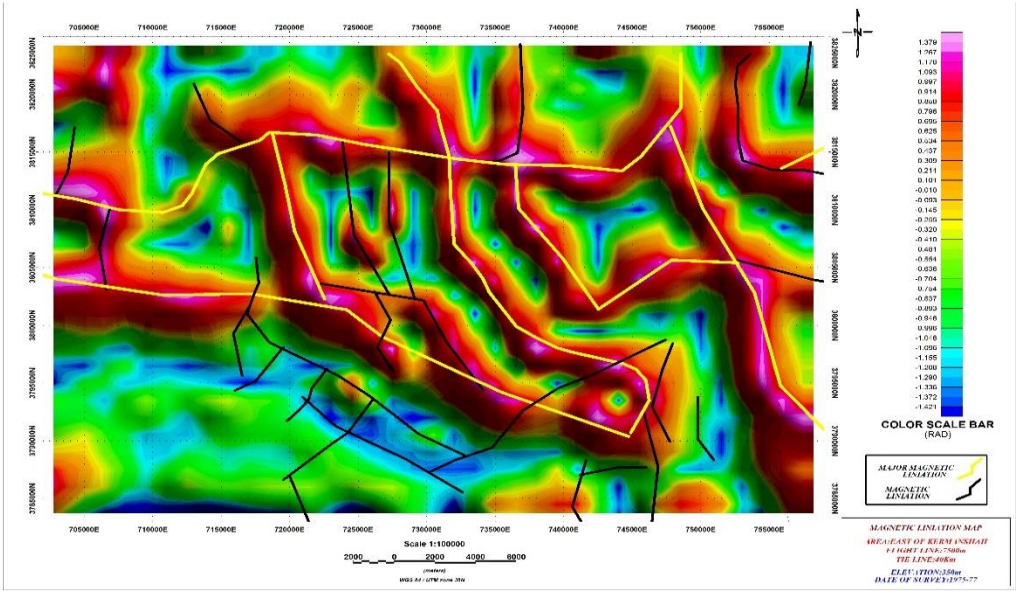


نقشه اعمال فیلتر تیلت



نقشه اعمال فیلتر مشتق اول در جهت قائم

شکل شماره ۵: نقشه‌های اعمال فیلترهای مختلف بر روی داده‌های مغناطیس هوایی

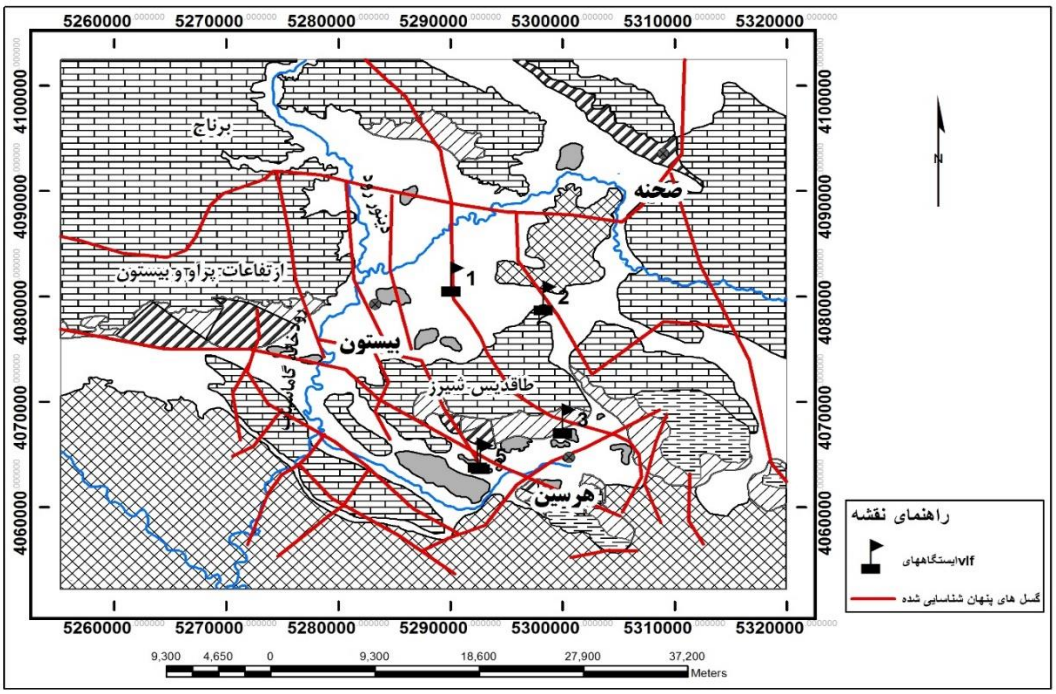


شکل شماره ۶: خطواره‌های مغناطیس منطقه مورد مطالعه

مغناطیس زمینی و VLF:

پس از پردازش داده‌ها در نرم‌افزار MATLAB، نمودار داده‌های حقیقی ثبت شده و مقطع چگالی جریان داده‌های حقیقی برای تمام پروفیل‌ها در شکل شماره ۸ نشان داده شده است.

به علت اینکه برداشت Vlf شرایط خاص توپوگرافی و حداقل عوامل ایجاد کننده نویز را می‌طلبد سعی شد عملیات برداشت تنها بر روی گسل‌هایی که وجود آنها به اثبات فرضیه کمک می‌کند صورت گیرد.



شکل شماره ۷: موقعیت پروفیل‌های قرائت داده‌های VLF و Mag

پروفیل شماره ۱:

این پروفیل در یک کیلومتری شمال روستای علی آباد در جهت شرق به غرب انجام شد. طول این پروفایل ۸۰۰ متر است. در این پروفیل ۹۴ قرائت صورت گرفته است.

نمودار VLF AS در ۴۵۸/۳ و ۷۶۰/۶ متری آنومالی را نشان می‌دهد که در نقشه چگالی جریان VLF هم مشخص است. این در حالی است که نمودار Mag AS در ۴۵۸/۳ و ۳۹۰/۷ و ۶۶۲/۶ متری آنومالی نشان داده و در ۷۶۰/۶ متری اصلاً چیزی نمایش نداده است. پس می‌توانیم محل گسل احتمالی را در ۴۵۸/۳ متری از نقطه شروع با مختصات (N ۳۸۰۸۶۸۰ و E ۷۳۱۹۳۳) بدانیم.

پروفیل شماره ۲:

این پروفیل در دویست متری شمال روستای سرآبله در جهت شرق به غرب انجام شد. طول این پروفایل ۱۲۰۰ متر است. در این قرائت ۱۵۴ قرائت صورت گرفته است.

نمودار VLF AS و نقشه VLF در نقاط ۷۵۱/۷ و ۸۴۹/۳ متری آنومالی نشان می‌دهند. نمودار Mag AS هم همین‌ها را تأیید میکند. پس محل گسل احتمالی بین این دو نقطه با مختصات (N ۳۸۰۷۱۱۲ و E ۷۳۸۹۶۲) و (N ۳۸۰۷۱۷۶ و E ۷۳۸۸۸۹) قرار دارد.

پروفیل شماره ۳:

این پروفیل در حدود یک کیلومتری غرب روستای کهریز، در جهت شمال شرق به جنوب غرب انجام شد. طول این پروفیل حدودا ۱۳۰۰ متر است. در این پروفیل ۱۶۵ قرائت صورت گرفته است.

از محل شروع، در فاصله ۳۲۰/۷ متری، نقشه VLF و نمودار VLF AS آنومالی نشان میدهند و نیز کمی بین ۸۰۰ تا ۹۰۰ متری. اما نمودار Mag AS در ۷۷۱/۲ و ۱۰۸۲ متری آنومالی نشان داده است. پس بهترین آنومالی برای گسل، در مختصات (N 3797965 و E ۷۴۰۷۸۸) (یعنی همان نقطه ۳۲۰/۷ متری) دیده می‌شود و ممکن است در مختصات (N ۳۷۹۷۴۶۴ و E ۷۴۰۲۲۰) (یعنی نقطه ۱۰۸۲ متری) هم گسل وجود داشته باشد که در نقشه VLF دیده نشده چون داده برداری بیشتر نداشته‌ایم.

پروفیل شماره ۴:

این پروفیل در حدود دوکیلومتری غرب شهر هرسین، در جهت شمال شرق به جنوب غرب انجام شد. طول این پروفیل ۵۰۰ متر است. در این پروفیل ۶۴ قرائت صورت گرفته است.

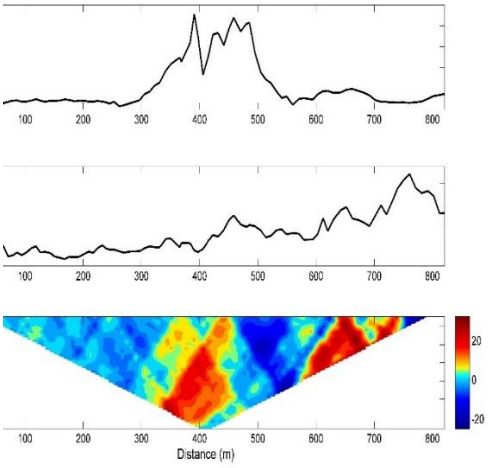
نمودار VLF AS در ۲۴۷/۳ و ۴۱۶/۷ متری آنومالی واضح نشان میدهد و آنومالی کوچکتری در ۷۰/۵۱ متری، و نقشه VLF هم تأیید میکند. اما نمودار Mag AS در ۷۸/۷۶ و ۴۲۹/۵ متر آنومالی به دست داده در حالی که در ۲۴۷/۳ متری آنومالی آن بسیار کوچک است. پس بهترین آنومالی برای وجود گسل، در ۲۴۷/۳ متری با مختصات (N ۳۷۹۴۷۹۴ و E ۷۳۴۲۸۵)، است. همچنین از مغناطیس هم نقاط با مختصات (N ۳۷۹۴۹۲۹ و E ۷۳۴۳۸۴) (یعنی نقطه ۷۸/۷۶ متری) و (N ۳۷۹۴۶۵۱ و E ۷۳۴۱۷۷) (یعنی نقطه ۴۲۹/۵ متری) برای گسل به دست می‌آیند.

پروفیل شماره ۵:

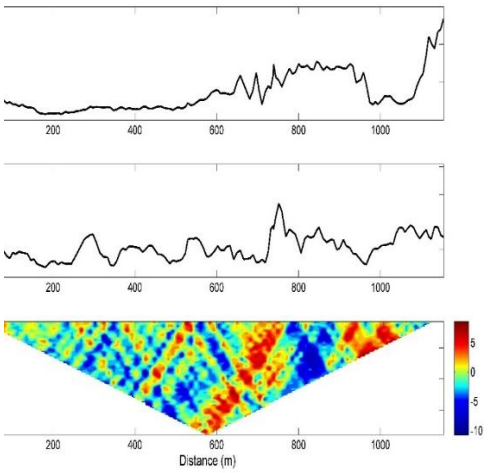
این پروفیل نیز در حدود دوکیلومتری غرب شهر هرسین در فاصله ۱۰۰ متری و در امتداد پروفیل ۴، در جهت شمال شرق به جنوب غرب انجام شد. طول این پروفیل نیز ۵۰۰ متر است. در این پروفیل ۶۸ قرائت صورت گرفته است.

نمودار VLF AS در ۱۳۵/۲ ، ۲۲۷/۳ و ۳۲۳/۳ متری آنومالی نشان داده که در این آخری از بقیه عمده‌تر است و همچنین از ۴۳۷/۵ تا ۴۶۰/۵ متری. نقشه VLF آنومالی از ۲۵۰ تا ۳۵۰ متری را عمده‌تر نشان میدهد و بقیه را تأیید میکند. اما نمودار Mag AS در ۴۶۰/۵ متری آنومالی قویتری را نشان میدهد در حالی که از ۲۹۰/۴ تا ۳۵۷/۲ متری هم آنومالی عمده‌ای را نشان میدهد. بهترین مختصات برای گسل، (N ۳۷۹۴۸۲۶ و E ۷۳۴۴۰۵) است (یعنی نقطه ۳۲۳/۳ متری). مختصات (N ۳۷۹۴۶۸۴ و E ۷۳۴۲۸۳) (یعنی ۱۳۵/۲ متری) و (N ۳۷۹۴۷۵۴ و E ۷۳۴۳۴۲) (یعنی

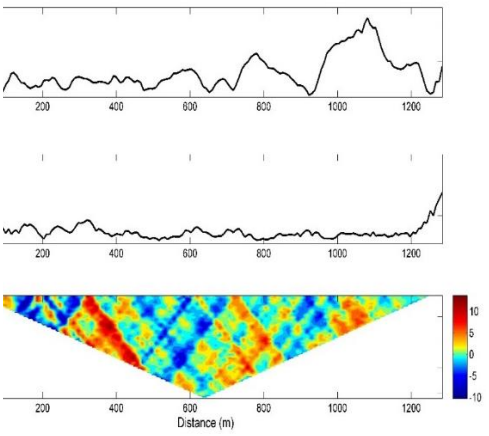
۲۲۷/۳ متری) نقاطی محتمل هستند. همچنین داده مغناطیسی در ۴۶۰/۵ متری با مختصات (N ۳۷۹۴۹۳۳ و E ۷۳۴۴۸۵) قله‌ای را نشان میدهد که در نقشه VLF خیلی واضح نیست چون داده بیشتری نداشته‌ایم.
محدوده‌های شناسایی شده به عنوان گسل، توسط بررسی‌های VLF کاملا منطبق بر خطوط گسل‌ها بودند.



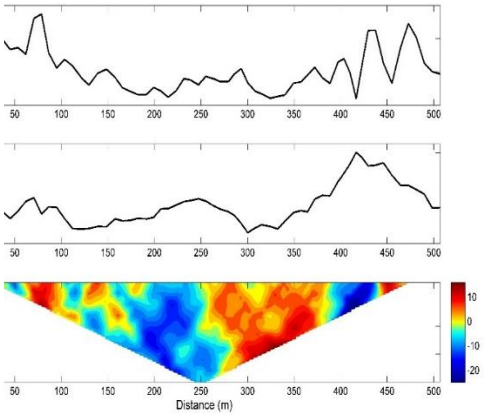
پروفیل شماره ۱



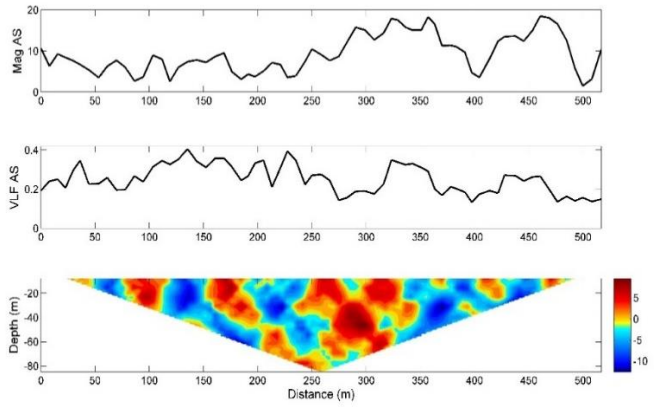
پروفیل شماره ۲



پروفیل شماره ۳



پروفیل شماره ۴

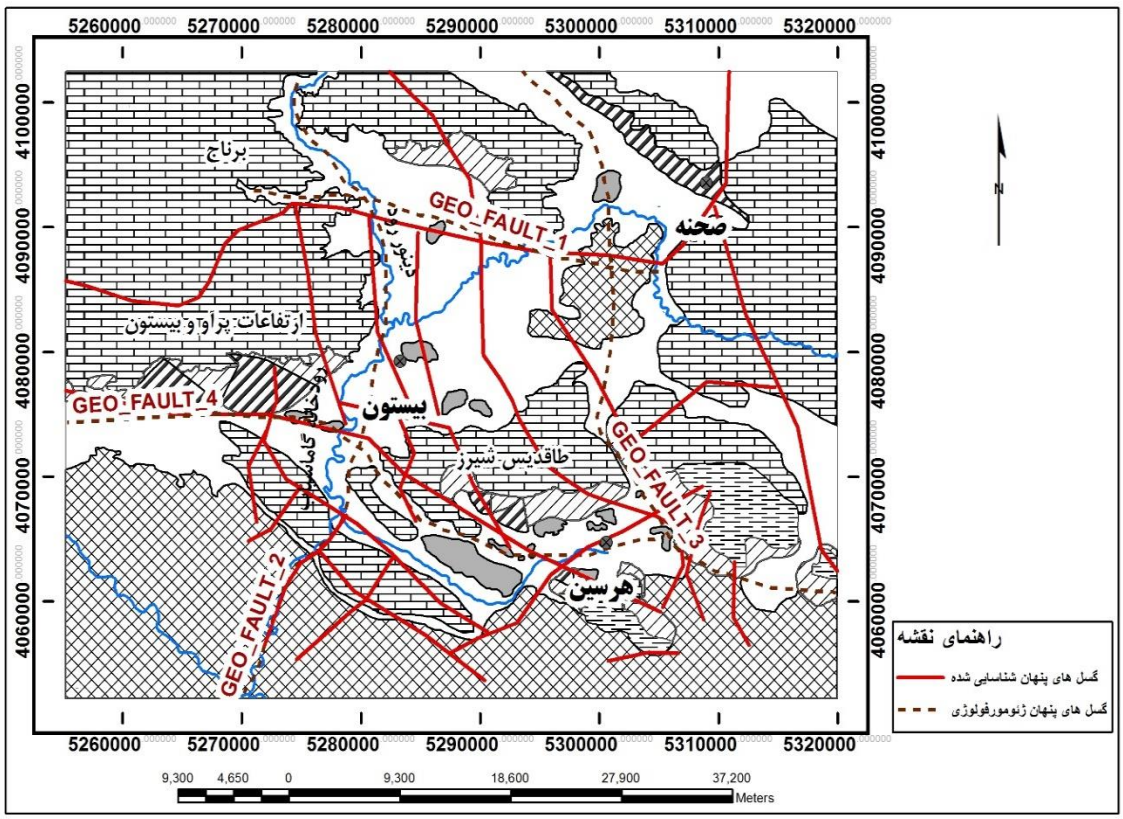


پروفیل شماره ۵

شکل شماره ۸: نمودار مغناطیسی ، VLF و مقطع چگالی جریان پروفیل‌ها

نتیجه‌گیری

گسل‌های پنهان به عنوان یکی از عوامل اثر گذار بر مورفولوژی، مورد نظر و مطالعه ژئومورفولوژیست‌ها قرار گرفته است. شناسایی این ساختارهای پنهان توسط مغناطیس و ژئوفیزیک نمی‌تواند نیاز به ژئومورفولوژی در مطالعه آن را برطرف کند و ژئومورفولوژی ولو اینکه به صورت تکمیل مطالعات و بررسی‌های روش‌های ژئوفیزیک هم بوده باشد همواره در شناسایی گسل‌های پنهان سهمی داشته است. این مطالعه به منظور دست‌یابی ژئومورفولوژی به جایگاهی مهم‌تر در شناسایی این نوع از گسل‌هاست. تفسیر بصری نقشه‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه احتمال وجود گسل‌هایی در جهت عمود بر گسل اصلی زاگرس، که موجب حرکت طاقدیس شیرز در امتداد ۱۵ کیلومتر به سمت جنوب شده است را نشان می‌دهد. می‌توان گفت طاقدیس شیرز علاوه بر حرکت در بستر سفره روراندگی و بر روی یک گسل معکوس با شیب بسیار کم، در امتداد گسل‌هایی معکوس و عمود بر امتداد گسل اصلی زاگرس نیز به صورت کشویی و چپ گرد از بدنه سفره رورانده جدا شده و در فاصله ۱۵ کیلومتری در امتداد روراندگی قرار گرفته است. نتایج بررسی‌های مغناطیسی و ژئوفیزیکی نیز وجود این گسل‌ها را اثبات نمود. نتایج حاصل از مجموع سه روش بکار گرفته شده جهت شناسایی گسل‌های پنهان نشان می‌دهد اولین گسل در جهت تقریبا غرب به شرق، از غرب ارتفاعات پرآو در شمال دشت کرمانشاه به سمت شرق بر روی ارتفاعات پرآو و بیستون امتداد می‌یابد و با تغییر جهت شمال شرق به سراب برناج رسیده و سپس با تغییر روند غربی- شرقی وارد دشت شده و پس از عبور از دشت صحنه مجددا با تغییر روند به سمت شمال شرق امتداد می‌یابد. در فاصله بین ارتفاعات بیستون تا دشت صحنه ۵ گسل با جهت شمال- جنوب و تقریبا منشعب از گسل اول تا حدود طاقدیس شیرز امتداد دارند. این گسل‌ها با حرکت کشویی و چپ گرد مسبب حرکت طاقدیس به سمت جلو شده‌اند. یکی از این گسل‌های شمالی- جنوبی به سمت جنوب طاقدیس شیرز ادامه می‌یابد و با یک انحنا وارد دشت هرسین شده که به نظر می‌رسد عامل جدایی طاقدیس از سفره همین گسل باشد. گسل دیگر که به نظر می‌رسد نقش مهمی در مورفولوژی منطقه و سرگذشت ژئومورفولوژی منطقه داشته و دارد از غرب شهر کرمانشاه آغاز شده و در جنوب ارتفاعات پرآو با تغییر مسیر به سمت جنوب شرق ادامه می‌یابد و وارد دشت هرسین می‌شود (شکل شماره ۹).



شکل شماره ۹: نقشه همپوشانی گسل‌های ژئومورفولوژی و مغناطیسی

قابل ذکر است آنچه که مغناطیس هوایی و VLF به عنوان گسل شناسایی کرده‌اند، پیشتر، ژئومورفولوژی به عنوان گسلی که باید وجود داشته باشد تا وضعیت مورفولوژی منطقه را توجیه کند شناسایی کرده بود. نتایج نشان می‌دهد که ژئومورفولوژی قادر است که گسل‌های بزرگ و پی سنگی عمیق آشکار و حتی پنهان که اثرات خود را در مورفولوژی منطقه و در مقیاس ناحیه‌ای برجای گذاشته‌اند را شناسایی کند. از طریق تفسیر نقشه‌های زمین‌شناسی و تحلیل ژئوساخت منطقه به همراه بررسی همزمان نقشه‌های ژئومورفولوژی، توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دور، ژئومورفولوژی تا حد زیادی قادر است آنومالی‌ها و حرکات ناشی از گسل‌هایی که گاهی تشخیص آنها در میدان توسط زمین‌شناس‌ها مقدور نیست، شناسایی کند. آنچه مسلم است این که اثر گسل‌های پنهان در مورفولوژی منطقه تنها در برخی از نواحی که اثر گسل به سطح رسیده باشند بصورت مستقیم و به شکل‌های قابل انتظار دیده می‌شود در غیر اینصورت؛ در شناخت و ردیابی گسل‌های پنهان به وسیله ژئومورفولوژی، بایستی به دنبال آثار غیر مستقیم و آثاری که گسل‌ها در دراز مدت بر روی مورفولوژی خصوصا ژئوساخت منطقه در مقیاسی بزرگتر از روش‌های معمول مطالعات مورفوتکتونیکی، داشته‌اند؛ باشیم. می‌توان گفت ژئومورفولوژی زمانی می‌تواند در یافتن گسل‌های پنهان موفق باشد که دیدی کلی و جامع هم در مقیاس مکانی و هم در مقیاس زمانی و گذشته ژئوتکنیکی منطقه داشته باشد.

سپاس‌گزاری:

سپاس و تشکر ویژه از کارکنان سازمان زمین‌شناسی خصوصا آقای مهندس محمدرضا اخوان اقدم که با در اختیار گذاشتن اطلاعات و تجارب خود ما را در انجام این پژوهش یاری رساندند.

منابع

- امیرپور، امیر، سهرابی، قهرمان، ۱۳۹۴، پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیس هوابرد برای تعیین مرز ساختارهای مغناطیسی و محل گسل‌های مدفون ایران، مجله علوم زمین، سال بیست و پنجم، شماره ۹۷، صص ۱۲۲-۱۱۵.
- آریامنش، محمد، منتظری، سیدمحسن، عکاشه، بهرام، ۱۳۸۸، مطالعه گسل‌های پنهان استان قم با استفاده از تفسیر داده‌های ژئوفیزیک هوائی، فصلنامه زمین، سال چهارم، شماره ۲، صص ۱۱۵-۱۱۱.
- جوان دولویی، غلام، اصغر، آزادی، حافظی مقدس، ناصر، حسامی آذر، خالد، ۱۳۸۸، ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی گسل توس در شمال شهر مشهد، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۵، شماره ۴، صص ۱۷-۳۴.
- حسینی، محمد، ۱۳۹۴، آموزش نرم‌افزارهای مغناطیس سنجی، چاپ اول، انتشارات فراگیر هگمتانه.
- علایی طالقانی، محمود، ۱۳۸۴، ژئومورفولوژی ایران، تهران، قومس، چاپ سوم.
- علیان‌نژاد، علی اکبر، مرادی هرسینی، کاظم، قرشی، منوچهر، خادمی، سهیلا، علیان‌نژادی، عباس، ارزیابی کارایی روش‌های ژئوالکتریک و ژئورادار در شناخت گسل‌های فرعی تهران، هشتمین همایش انجمن زمین-شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، ۱۵ و ۱۶ آبان ۱۳۹۲، دانشگاه فردوسی مشهد.
- کلر، ادوارد. ا، پنیتر، نیکولاس، ۱۳۹۵، تکتونیک فعال زمین‌لرزه‌ها، بالاآمدگی و چشم انداز، ترجمه ابوالقاسم گورابی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.
- یزدان‌پناه، حسام، خطیب، محمدمهدی، احمدی‌زاده، سیدسعید، نوروزی، غلامرضا، علیمی، محمدامیر، ۱۳۸۸، شناسایی گسل‌های پنهان لرزه‌زا به کمک شواهد ریخت زمین ساختی و مغناطیسی در منطقه آرین شهر، فصلنامه زمین شناسی ایران، سال سوم، شماره یازدهم، صص ۶۶-۵۷.
- *Anand, S. P. and Rajram, M., 2003, Study of Aeromagnetic Data Over Part of Eastern Ghat Mobile Belt and Bastar Craton, Gondwana Research.*
- *Baranov, V., 1957, A New Method for Interpretation of Aeromagnetic Maps, Pseudo Gravimetric Anomalies, Geophysics, V.2, No.2, pp 59-383.*
- *Bonforte. A, Carnazzo. A, Gambino. S, Guglielmino. F, Obrizzo .F, Puglisi. G, 2013, A Multidisciplinary Study of an Active Fault Crossing Urban Areas: The Trecastagni Fault at Mt. Etna (Italy), Journal of Volcanology and Geothermal Research, V. 251, 1 February, pp 41-49.*
- *Carvalho, J, rabeh, T, Cabral, J, Carrilho,F, Miranda, J.M, 2008, Geophysical Characterization of the- Vila Franca de Xira- Lisbon- Sesimbra Fault Zone, Portugal, Geophysical Journal International, V. 174, pp 567-584.*
- *Grauch, V.J.S. and Johnston, C.S., 2002, Gradient Window Method: A Simple Way to Isolate Regional from Local Horizontal Gradients in Potential-Field Gridded Data, 72nd Annual International Meeting, Sosiety of Exploration Geophysicists.*
- *Guiang, M, 2014, Topographic and Geophysical Imaging of the Structure of New Zealand's Greendale Fault Using LiDAR and Ground-Penetrating Radar, Final Manuscript Matthew Guiang 12/6/2014, Washington University in St. Louis, University of Canterbury.*

- *Kumar. R, Sinha. S, Sinha. R, Tandon. S.K, Gibling. M.R, 2007, Late Cenozoic Fluvial Successions in Northern and Western India: an Overview and Synthesis, Quaternary Science Reviews, V. 26, Issues 22-24, November, pp 2801-2822.*
- *Miller, H.G, Singh, V., 1994, Potential Field Tilt- A New Concept for Location of Potential Field Sources, Journal of Applied Geophysics, N32, pp 213-217.*
- *Nabighian, M.N, 1988, Electromagnetic Method in Applied Geophysics-Theory, Society of Exploration Geophysics, Vol.1 and 2, Chapter7.*
- *Rajaram. M, Anand, S.P, Singh. K.H, 2013, Proxy Heat Flux and Magnetization Model from Satellite Magnetic Data, Journal of Geophysics, 34, pp 55-61.*
- *Roset, W.R., Pilkington, M., 1993, Identifying Remnant Magnetization effects in Magnetic Data, Geophysics, V.57, No.5, pp 653-659.*
- *Saetanga, K, Yordkayhuna, S, Wattanasena, K, 2014, Detection of Hidden Faults Beneath Khlong Marui Fault Zone Using Seismic Refletion and 2-D Electrical Imaging, Scienceasia, V.40, pp 436-443.*
- *Sharma, K. K., 1998, Geological Evolution and Crustal Growth of the Bundelkh and Carton and its Relict in the Surrounding Regions, North Indian Shield. In: Ed. Paliwal, B.S. The Indian Precambrian, Scientific Publishers, Jodhpur, India. Pp 33-43.*
- *Zhu, A,Wang, P, Liu, F, 2017, The Buried Active Faults in Southeastern China as Revealed by the Background Seismicity and Plane Solutions, American Geophysical Union, Fall Meeting 2017.*