

ارزیابی سامانه گسل تلخاب در شکل گیری فرونشست دشت میقان اراک با استفاده از روش مقاومت ویژه الکتریکی

روح اله ندری^{۱*}، حسن علیزاده^۲

۱- استادیار، گروه زمین شناسی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۲- دانشیار، گروه زمین شناسی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵؛ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۱/۰۷

* نویسنده مسئول مکاتبات: Nadri@pnu.ac.ir

واژگان کلیدی

سامانه گسل تلخاب
ژئوالکتریک
فرونشست
میقان

چکیده

فرونشست زمین یکی از چالش‌های جدی در مناطق شهری و روستایی است که می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر زیرساخت‌ها و محیط زیست تأثیر بگذارد. منطقه مورد پژوهش واقع در منطقه میقان اراک می‌باشد که، فرونشست ناشی از فعالیت‌های انسانی و تغییرات طبیعی، به‌ویژه در اطراف گسل تلخاب، نگرانی‌های زیادی را به‌وجود آورده است. گسل تلخاب به‌عنوان یکی از ساختارهای زمین‌شناسی مهم در این منطقه، نقش کلیدی را در شکل‌گیری و توسعه فرونشست دشت میقان ایفا می‌کند. در این پژوهش با بهره‌گیری از روش مقاومت ویژه الکتریکی، موقعیت گسل تلخاب در منطقه شناسایی و آشکارسازی گردید. در این مطالعه، تعداد ۳۰ سونداژ مقاومت ویژه الکتریکی با استفاده از آرایش شلومبرگر در امتداد ۳ پروفیل و عمود بر گسل تلخاب برداشت شده است. در ابتدا تفسیر به روش دستی انجام گردید و سپس با کنترل زمین‌شناسی و استفاده از نتایج تفسیرهای دستی جهت بدست آوردن اطلاعات کلی و کیفی از وضعیت زیر سطح زمین، تفسیر کیفی داده‌های حاصله انجام شده و نهایتاً برای معکوس‌سازی دوبعدی، داده‌ها وارد نرم‌افزار Res 2 Dinv شده تا مدل وضعیت زمین‌شناسی زیرسطحی منطقه مورد بررسی قرار گیرد. در نهایت با استفاده از کلیه اطلاعات جمع‌آوری شده و تفسیر و تحلیل‌های صورت گرفته، نتایج مدلسازی مورد ارزیابی قرار گرفتند و محل ناپیوستگی‌ها و گسل‌ها با تقریب خوبی مشخص شدند. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد نتایج حاصل از تفسیر مقاطع، بیانگر وجود گسل‌هایی به موازات یکدیگر هستند که در طی عملیات مقاومت ویژه الکتریکی شناسایی گردیده که در نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه رخنمون نداشته‌اند. از اینرو گسل تلخاب به‌عنوان یک سامانه گسلی فعال، می‌تواند باعث تغییرات در فشار آب و در نتیجه فرونشست در منطقه شود.

مقدمه

فرونشست زمین از جمله مخاطرات زمین شناسی است که بصورت سریع و تدریجی اتفاق می افتد. عموماً حالت تدریجی آن، به دلیل تلفات انسانی کم آن در مقایسه با دیگر مخاطرات طبیعی از قبیل: زلزله و زمین لغزش و سیلاب کمتر مورد توجه قرار می گیرد (Modoni et al., 2013). اما فرونشست در حالت سریع، باعث آسیب به سازه های و تلفات انسانی می گردد. این پدیده به دلیل گسترش در کشورهای جهان طی سال های اخیر به مشکلی جهانی تبدیل شده است چرا که سبب تخریب کانال های آبیاری، شکست خطوط لوله های آب و نفت، خطوط انتقال نیرو، تخریب سازه ها و زیرساخت های حیاتی و همچنین تشدید سیلاب ها و زمین لغزش ها می شود (Abidin et al., 2013). فرآیندهای طبیعی مانند حرکات تکتونیکی، فوران آتشفشان، انحلال سنگها و کارستی شدن، تراکم رسوبات و ذوب زمین های یخ بسته، معمولاً سبب فرونشست زمین در ناحیه وسیع می گردند (Waltham et al., 2008). به طور کلی فرونشست متأثر از فعالیتهای انسانی مانند برداشت بی رویه آب از سفره های آب زیر زمینی و پارامترهای زمین شناسی می باشد که در صورت عدم شناخت از این پدیده، سبب آسیب جدی به زیرساخت های اقتصادی وارد می گردد (Galloway and Burbey, 2011). فرونشست زمین به عنوان یک پدیده طبیعی و انسانی، به ویژه در نواحی شهری و مناطق با فعالیت های صنعتی، به یکی از چالش های جدی تبدیل شده است. شناسایی و ارزیابی فرونشست با استفاده از روش های ژئوفیزیکی به عنوان یکی از راه های مطالعاتی و تحلیلی مناطق درگیر فرونشست می باشد. روش ژئوالکتریک نیز به عنوان ابزاری مؤثر برای شناسایی عوارض زمین شناسی و تحلیل ویژگی های زیرزمینی، به ویژه در پهنه های گسلی، شناخته شده است که می توانند به طور دقیق تغییرات مقاومت ویژه الکتریکی را شناسایی کنند و به عنوان شاخصی برای ارزیابی وضعیت زمین و پیش بینی فرونشست زمین عمل کند. به عبارت دیگر، مطالعات ژئوالکتریکی نشان داده اند که گسل ها می توانند به عنوان نواحی ضعف در زمین عمل کرده و تأثیرات مستقیمی بر فشار آب و رفتار خاک داشته باشند.

دشت میقان اراک به عنوان یکی از مهم ترین دشت های ایران، در چند دهه اخیر تأثیرات فرونشست را تجربه کرده است. متأسفانه میزان بارندگی در دهه گذشته به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. همچنین پیشرفت روزافزون اخیر در صنایع و کشاورزی، تقاضای آب زیرزمینی بیشتری را در این منطقه ایجاد کرده است. تغییرات اقلیمی و بهره برداری بیش از حد، دو دلیل اصلی کاهش سطح آب زیرزمینی و فرونشست متناظر آن به میزان ۱۷ متر در این دشت از سال ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۴ است (امیدی و همکاران، ۱۳۹۰). در منطقه میقان اراک، فرونشست ناشی از عوامل مختلف، شامل تغییرات اقلیمی، فعالیت های انسانی و ساختارهای زمین شناسی، به ویژه گسل تلخاب، به طور قابل توجهی افزایش یافته است. این گسل، به عنوان یک عنصر کلیدی در ساختار زمین شناسی منطقه، تأثیرات عمیقی بر رفتار خاک و توزیع آب های زیرزمینی دارد. تغییرات افت سطح آب در طی سال های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸ بطور چشمگیر افزایش داشته به نحوی که در غرب، جنوب

غرب، شمال و شمال شرق دشت میقان شاهد افزایش افت سطح ایستابی آب زیرزمینی تا ۷۰ متر هستیم. (صادقی و آخوندی، ۱۴۰۱). این مقاله به بررسی ساختار زمین شناسی سامانه گسل تلخاب و تأثیر آن بر فرونشست در منطقه میقان اراک با استفاده از روش های ژئوالکتریک می پردازد. نتایج این تحقیق می تواند به عنوان یک ابزار مفید برای مدیریت منابع آب و برنامه ریزی پایدار در این منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

جایگاه و وضعیت زمین شناسی منطقه

استان مرکزی با حدود ۳/۳۸۲/۲۹ کیلومتر مربع وسعت، بین مدارهای ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه ی پهنای شمالی و ۴۸ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۱ درجه ی طول خاوری از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. این استان با مساحتی معادل ۴/۲ کیلومتر مربع حدود ۱/۸۲ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده و از لحاظ ویژگی های توپوگرافی ۳۳/۹۱ درصد مساحت آن را کوه ها، ۱۴/۹۳ درصد مساحت آن را تپه ها و ۱۳/۷۶ درصد را فلات و مابقی را دشت ها تشکیل می دهند. محدوده مورد مطالعه از نظر تقسیمات جغرافیایی در بخش مرکزی استان مرکزی و به فاصله ۲۰ کیلومتری از شمال شهر اراک قرار دارد (شکل ۱) و بخش های سهل آباد، چشمه، تلخاب و شیرین آباد در محدوده مورد مطالعه واقع شده اند. راه های دسترسی به منطقه محورهای مواصلاتی اراک - کمیجان - فراهان - آشتیان می باشد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و نقشه ساختاری استان مرکزی و سونداژ پروفیل های A,B,C در محدوده مورد مطالعه که داخل کادر نشان داده شده است.

از نگاه ساختاری، استان مرکزی در شمال باختری ورق ایران مرکزی قرار دارد. ویژگی های ژئومورفولوژیک حاکم بر این استان، شامل مجموعه ای از رشته کوه ها و دشت های نیمه موازی است که از شمال خاوری به طرف جنوب باختری، با راستای تقریبی N120E ادامه دارند و می توان از آن ها به نام های رشته کوه های شمال خاوری ساوه، دشت ساوه، رشته کوه های مرکزی (ارتفاعات آشتیان - تفرش)، دشت جنوب باختری (حوضه ی دریاچه ی نمکی توزگل) و رشته کوه های جنوب باختری نام برد. ویژگی های ساختاری و زمین شناسی رشته کوه های یادشده، تفاوت های آشکار دارند، به گونه ای که در یک راستای شمال خاوری به جنوب باختری می توان گستره ی استان مرکزی را به دو زیر پهنه ماگمایی ارومیه - دختر در بخش های مرکزی و شمال خاوری و پهنه سندانج - سیرجان در بخش های جنوب باختری تقسیم کرد (شکل

آشفشانی اتوسن تشکیل می دهد. در بخشی از بخش شمال باختری گسل تلخاب، رسوبات سازند قم برونزد دارد. گسل تلخاب از خاور شهر اراک آغاز میشود و تا شمال خاور کمیجان ادامه می یابد (خداپرست و همکاران، ۱۳۹۳). بخش جنوبی این گسل در واحدهای آبرفتی و کواترنر مدفون شده و رخنمون مناسبی ندارد ولی در بخش شمالی گسل دارای رخنمون در محدوده مورد مطالعه می باشد (اکبری، ۱۳۹۳). در شمال غرب به سمت شهر خنجین هدایت شده و با عبور از ارتفاعات شمال شرق کمیجان وارد منطقه وفس شده و سپس توسط گسل های فرعی دیگری قطع و محو می گردد. رخنمون این گسل از شرق کمیجان (منطقه خنجین) شروع و از منطقه تلخاب می گذرد و از جنوب آشتیان وارد منطقه خورزن و سپس هفتاد قله و آنگاه وارد محدوده شهرستان محلات می شود.

گسل تلخاب با سازوکار امتدادلغز و مولفه معکوس دارای شیب بیش از ۸۰ درجه به سمت شمال خاور و امتداد ۳۱۰ درجه می باشد (شکل ۳). زاویه میل آن ۱۵ درجه و روند خش لغزهای گسل ۳۱۵ درجه اندازه گیری شده است (ندری و میناعراقی، ۱۳۹۷). با توجه به جوان بودن کمر بند آشتیان نراق و اینکه بعد از زمان کرتاسه از طریق گسل تلخاب، در فاز کشتی فعالیت های آشفشانی زیادی حتی تا ۲/۵ میلیون سال قبل ادامه داشته است می توان گفت گسل تلخاب فعال بوده و امکان لرزه خیزی حاصل از این گسل شدیدتر از سایر گسلها است (قدیمی و حسین نژاد، ۱۳۸۸). زمینلرزه سال ۱۹۴۵ میلادی تفرش، در بین این گسل و گسل تفرش گزارش شده و احتمالاً در اثر جنبش یکی از این دو گسل پدید آمده است (Berberian, 1976).

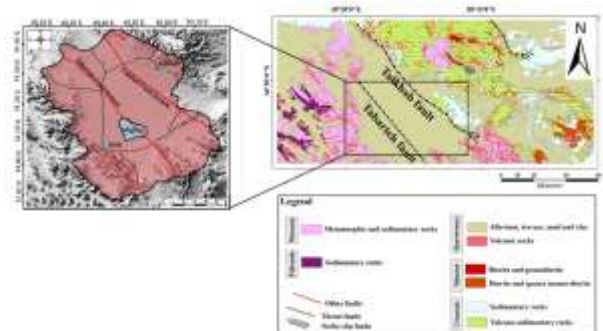


شکل ۳: صفحه گسل تلخاب و وضعیت گسل در شبکه استروگرافیکی

روش تحقیق:

برای انجام مطالعات ژئوالکتریکی منطقه مورد مطالعه، نخست اطلاعاتی از قبیل مطالعات زمین شناسی عمومی، ساختمانی و نقشه های توپوگرافی جمع آوری گردید. سپس برداشت داده های ژئوالکتریکی با استفاده از سونداژ زنی با آرایش شلومبرگر انجام شد. در سونداژ زنی به روش شلومبرگر، برای هر سونداژ ۲۲ داده مقاومت ویژه، با حداقل فاصله الکترو د جریان $AB=6$ متر و حداکثر $AB=2000$ متر اندازه گیری و قرائت شد. فاصله بین مراکز سونداژها حداقل ۵۰۰ متر و حداکثر ۲۰۰۰

۲). گسل های تفرش، تلخاب، تبرته نیز به عنوان گسل های اصلی منطقه می باشند که دارای روند شمال باختر- جنوب خاور و به موازات گسل های پهنه زاگرس می باشند و نوزمین ساخت استان را تحت تاثیر خود قرار داده اند. تالاب میقان اراک در مرز پهنه دگرگونی سنندج سیرجان و پهنه ارومیه بزمان قرار دارد. دو گسل اصلی تلخاب و توزلوگل (تبرته) با حرکت امتداد لغز راست بر و امتداد شمال باختر- جنوب خاور در شکل گیری این حوضه نقش اصلی دارند. (ایزدی کیان و همکاران، ۱۴۰۰). مرز جداکننده این دو پهنه گسل تلخاب می باشد (قدیمی عروس محله و حسین نژاد، ۱۳۸۸).

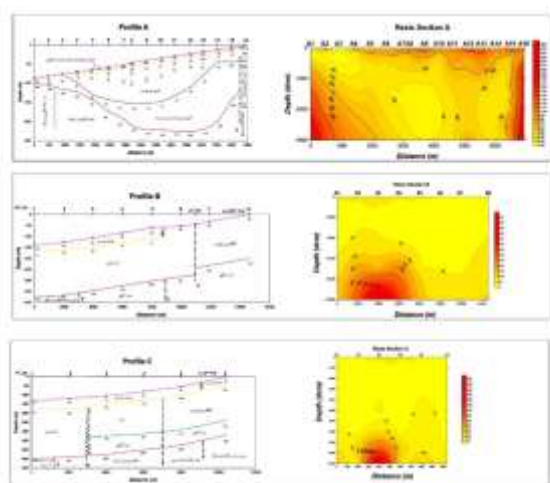


شکل ۲: سمت راست نقشه زمین شناسی ساده شده از منطقه مورد مطالعه (امامی و حاجیان، ۱۳۷۰). سمت چپ نقشه محدوده فرونشست دشت میقان

از نظر مطالعات جغرافیای دیرینه، منطقه مورد بررسی تا قبل از پالئوسن بخصوص در زمان کرتاسه به صورت حوضه دریایی بوده و در اثر فاز کوهزایی لارامین حوضه رسوبی چین خورده و در آن دو کمر بند سنندج - سیرجان و هفتاد قله از آب خارج شده و به صورت کوه های چین خورده ارتفاعات حوضه اراک را تشکیل داده اند (امامی و حاجیان، ۱۳۷۰). اما کمر بند آشتیان-نراق به صورت حوضه دریایی باقی مانده و در زمان اتوسن فعالیت های شدید آشفشانی و به دنبال آن فعالیت های پسروی و پیشروی مجموعه ای از سازندهای قرمز زیرین، سازند قم و سازند قرمز فوقانی را بجای گذاشته و پس از آن فاز کوهزایی پلیوسن به صورت فعالیت های ماگمایی این کمر بند را تحت تاثیر قرار داده، بطوریکه اثری از هیچکدام از فعالیت های فوق در کمر بند سنندج - سیرجان و هفتاد قله دیده نمی شود (قدیمی عروس محله و حسین نژاد، ۱۳۸۸). در دوره پلیستوسن میقان یکی از حوضه های مسیله و حوض سلطان بشمار می رفته است. در دوره پلیستوسن منطقه میقان بصورت تالاب برای حوضه های مسیله و حوض سلطان به شمار می آمد. نشست های گرابنی گسل های تلخاب از یک سو و توزلوگل از سوی دیگر به عنوان گسل های حاشیه این تالاب موجب تغییر مسیر شبکه زهکشی در این حوضه شده است (یمانی و اسدیان، ۱۳۸۳).

گسل تلخاب با طول تقریبی ۱۰۰ کیلومتر و راستای شمال باختر - جنوب خاور مرز میان رسوبات ژوراسیک و کرتاسه را با سنگهای

مقاطع پروفیل‌ها رسم شده و در نهایت این مقاطع الکتریکی با استفاده از زمین‌شناسی منطقه تفسیر زمین‌شناسی می‌شوند (شکل ۴).



شکل ۴: مقاطع پروفیل A, B, C حاصل از تفسیر دستی برداشت‌های ژئوالکتریک و شبه مقاطع رسم شده با نرم افزار Surfer 10

پروفیل A

این پروفیل از نتایج سونداژهای ۱ الی ۱۶ حاصل شده است و شامل دو بخش آبرفتی و سنگی است و راستای پروفیل شمال شرق - جنوب غربی است.

الف) واحد آبرفتی: در این پروفیل با توجه به مقاومت ویژه‌های به‌دست‌آمده سه لایه آبرفتی شناسایی گردید.

آبرفت سطحی دانه متوسط با زمینه دانه درشت، که از نوع پادگانه آبرفتی قدیمی است و ضخامت حداکثر آن در محل سونداژ ۱۶ برابر ۱۰ متر و ضخامت حداقل آن صفر متر در محل سونداژهای ۱ و ۲ است. مقاومت ویژه آن از ۹۰ اهم‌متر تا ۲۰۰ اهم‌متر متغیر است. آبرفت دانه متوسط، که ضخامت حداکثر آن در محل سونداژ ۱۰ برابر ۱۰۲ متر و ضخامت حداقل آن ۲۱ متر در محل سونداژ ۱۶ است. مقاومت ویژه آن از ۳۲ اهم‌متر تا ۱۲۰ اهم‌متر متغیر است. آبرفت متوسط دانه با زمینه ریزدانه، که در محل کلیه سونداژها به‌غیر از ۱۶ مشاهده می‌شود. ضخامت حداکثر آن در محل سونداژ برابر ۱۵۶ متر و ضخامت حداقل آن ۱۲ متر در سونداژ است. مقاومت ویژه آن از ۱۵ اهم‌متر تا ۴۵ اهم‌متر متغیر است.

ب) واحد سنگی: این واحد شامل ۳ لایه سنگ می‌باشد.

سنگ آهک ژوراسیک در محل سونداژ ۱۶ در زیر آبرفت با عمق ۳۰ متر و مقاومت ویژه ۷۰۰ اهم‌متر در دو بخش نزدیک سطح و همچنین در عمق دیده می‌شود. سنگ آهک موردنظر گسل خورده بوده و به دلیل راندگی در بالا و پایین طبقه اسلیت آهکی دیده می‌شود. اسلیت آهکی ژوراسیک در محل کلیه سونداژها به‌غیر از ۱ و ۲ در زیر آبرفت با عمق ۳۰ متر و حداکثر ۱۸۵ متر با مقاومت ویژه ۱۲۰ تا ۲۰۰ متر متغیر است.

پروفیل B

این پروفیل از نتایج سونداژهای ۱ الی ۸ به‌دست‌آمده است؛ و پروفیل راستای روستاهای داودآباد، زنگ آور و چشمه خانوردی آشتیان را شامل می‌شود و دارای واحدهای ذیل است:

متر می‌باشد. با توجه به نوع هدف (مطالعه گسل) نحوه گسترش طولی الکترودهای آرایش شلومبرگر در امتداد پروفیل‌ها است. در محدوده مورد مطالعه تعداد ۳۰ سونداژ داده‌های ژئوالکتریکی با آرایه شلومبرگر در راستای سه پروفیل A, B, C که موقعیت آنها در شکل ۱ نشان داده شده است، برداشت گردیده است.

در این پروژه ابتدا تفسیر به روش دستی انجام‌شده است و سپس با کنترل زمین‌شناسی و استفاده از نتایج تفسیرهای دستی، جهت به دست آوردن اطلاعات کلی و کیفی از وضعیت زیر سطح زمین، تفسیر کیفی داده‌های حاصله انجام‌شده و نهایتاً برای معکوس‌سازی دوبعدی، داده‌ها وارد نرم افزار RES2DINV شده تا وضعیت زمین‌شناسی زیرسطحی مورد بررسی قرار گیرد. در پایان با استفاده از کلیه اطلاعات، نتایج مدل‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفتند و محل ناپیوستگی‌ها و گسل‌های پنهان با تقریب خوبی به دست آمدند.

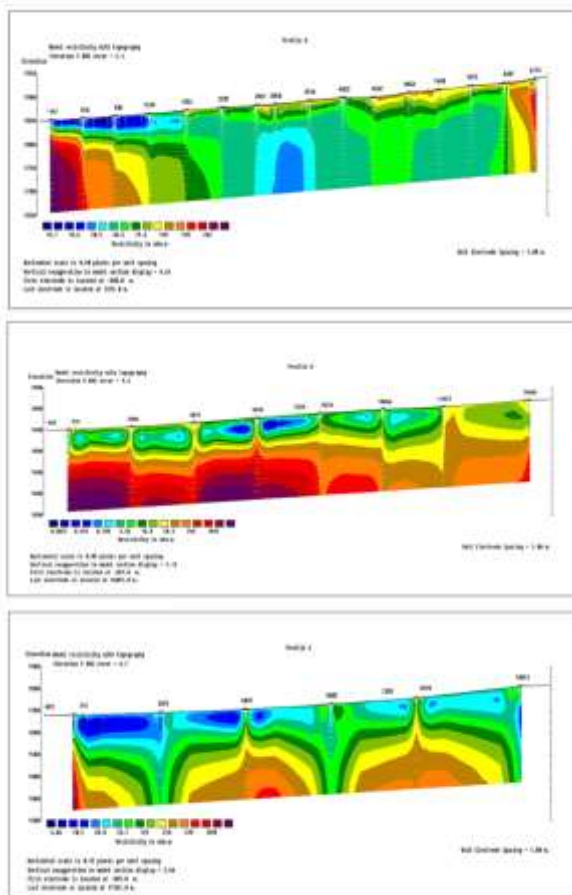
تجزیه و تحلیل داده‌ها:

منطقه مورد بررسی در امتداد گسل اصلی تلخاب قرار داشته و مرز زون‌های آتشفشانی ایران مرکزی و دگرگونی سنندج - سیرجان را تشکیل می‌دهد. واحدهای سنگی و آبرفتی حوضه مربوط به دوران دوم، سوم و چهارم زمین‌شناسی است. قدیمی‌ترین واحد سنگی موجود در حوضه را شیل و ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده با سن ژوراسیک تشکیل داده است. پس از آن آهک و آهک‌های دولومیتی با سن ژوراسیک در منطقه مشاهده می‌گردند. دوران سوم زمین‌شناسی در این حوضه شامل واحد آذرآواری ائوسن با ترکیب توف سبز، توفیت، آهک، شیل، مارن و واحد آهک، ماسه‌سنگ، شیل و مارن با سن اولیگومیوسن است.

دوره کواترنری در منطقه دربرگیرنده سه واحد: تراورتن، تراس‌های آبرفتی قدیم و پادگانه‌های آبرفتی جوان می‌باشد. با توجه به مجاورت حوضه مورد مطالعه با گسل تلخاب، از نظر تکتونیکی منطقه فعال بشمار می‌رود. درز و شکاف‌ها و شکستگی‌های موجود در واحدهای سنگی حوضه نمایانگر این مطلب است. چون بنابه اطلاعات زمین‌شناسی راستای تقریبی گسل‌ها، راستای شمال غربی - جنوب شرقی تعیین گردیده است لذا راستای پروفیل‌های برداشت شده تقریباً عمود بر راستای گسل‌ها انتخاب گردیده اند. البته لازم به ذکر است بدلیل وسعت ناحیه فاصله سونداژها در جنوب منطقه زیاد انتخاب شده است.

تشریح و تفسیر پروفیل‌ها:

آنچه در تفسیر کیفی یک منحنی سونداژ الکتریکی موردتوجه قرار می‌گیرد نقاط ماکزیمم و مینیمم درروی این منحنی‌ها است. جهت تفسیر کیفی داده‌ها و بررسی نحوه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری، نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری برحسب نصف فاصله الکترودهای جریان (AB/2) برای سونداژهای واقع در هر پروفیل رسم شده است. سپس سونداژهای صحرائی با استفاده از منحنی‌های تئوریک مقاومت ویژه ظاهری دو لایه‌ای تعبیر و تفسیر می‌شوند. به‌این‌ترتیب برای هر سونداژ الکتریکی ضخامت و مقاومت ویژه لایه‌ها تعیین می‌شود. سپس نتایج سونداژهای یک پروفیل باهم تلفیق شده و با کمک نرم‌افزار Excel



شکل ۵: مقاطع پروفیل A, B, C حاصل از مدل‌سازی معکوس دوبعدی با نرم افزار Res2Dinv

در این محدوده مقاومت ویژه از سطح به عمق به‌طور تدریجی افزایش می‌یابد. سنگ بستر در این ناحیه پایین بوده و جنس آن از شیل و ماسه سنگ های ژوراسیک می‌باشد. فاصله بین سونداژهای B5 تا B6 با تغییرات جانبی و عمقی مقاومت ویژه روبرو هستیم. در فاصله بین سونداژهای B6 و B7 سنگ بستر آهکی بالا آمده است. گسل جدید تلخاب یک و تلخاب دو با جابجایی قائم در مقطع آشکار می‌باشد. در فاصله بین سونداژهای C1 و C2 زونی با مقاومت ویژه کم مشاهده می‌شود که با توجه به زمین‌شناسی منطقه مربوط به آبرفت ماسه‌ای می‌باشد. در این محدوده مقاومت ویژه از سطح به عمق به‌طور تدریجی افزایش می‌یابد. سنگ بستر در این ناحیه پایین بوده و جنس آن از شیل ماسه ای ژوراسیک می‌باشد. شیب تند تغییر مقاومت نشان از وجود گسل می‌باشد. لازم به ذکر است که سنگ بستر در طول این پروفیل از توپوگرافی منطقه پیروی می‌کند. درفاصله بین سونداژهای C2 و C3 با تغییرات جانبی و عمقی مقاومت ویژه روبرو هستیم که نشان از ناپوستگی در لایه های میانی و گسل در آهک توده ای سنگ بستر است. درفاصله بین سونداژهای C3 تا C5 با تغییرات جانبی و عمقی مقاومت ویژه روبرو هستیم که نشان از گسل در شیل و ماسه سنگ کرتاسه است.

الف) واحد آبرفتی: این واحدها شامل واحد آبرفت ماسه ای با مقاومت ۱۲ تا ۵۰ اهم‌متر، واحد مارن شور با مقاومت ویژه ۸ تا ۳۰ اهم‌متر می‌باشد. ب) واحد سنگی: این واحد شامل کنگلومرای پلیوسن با مقاومت ویژه ۲۵ تا ۴۵ اهم‌متر، واحد مارن آهکی با مقاومت ۱۰۰ اهم‌متر و واحد شیل و ماسه‌سنگ ژوراسیک با مقاومت ویژه ۱۵۰ تا ۳۰۰ اهم‌متر است. در این پروفیل سه گسل در محل بین سونداژ ۲ و ۳، محل بین سونداژهای ۵ و ۶ و محل بین سونداژهای ۶ و ۷ دیده می‌شود. پروفیل C

این پروفیل از نتایج سونداژهای ۱ الی ۶ حاصل شده است. راستای پروفیل موردنظر روستای سهل‌آباد تا چشمه خورزن است و واحدهای زمین‌شناسی آن به شرح ذیل است:

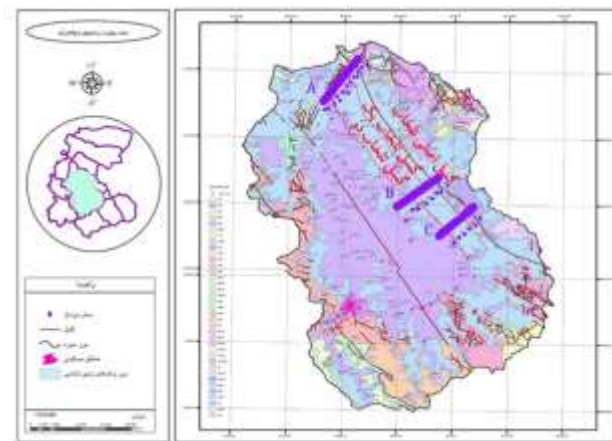
الف) واحد آبرفتی: این واحد عمدتاً از نوع ماسه‌ای است بخش سطحی را تشکیل داده و مقاومت ویژه آن از ۲۰ تا ۷۰ اهم‌متر متغیر است.

ب) واحد سنگی: ازجمله این واحدها می‌توان مارن شور با مقاومت ویژه ۱۵ تا ۱۸ اهم‌متر، مارن با مقاومت ۲۵ تا ۴۰ اهم‌متر، مارن آهکی با مقاومت ۷۰ تا ۱۱۰ اهم‌متر، کنگلومرای پلیوسن با مقاومت ویژه ۷۰ اهم‌متر، شیل و ماسه‌سنگ ژوراسیک با مقاومت ویژه ۹۰ تا ۲۰۰ اهم‌متر و آهک توده‌ای کرتاسه با مقاومت ویژه ۳۰۰ تا ۴۰۰ اهم‌متر را نام برد. از نظر ساختمانی گسل در بین سونداژهای ۱ و ۲، همچنین بین سونداژهای ۴ و ۵ و بین سونداژهای ۵ و ۶ دیده می‌شود.

مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس دوبعدی مربوط به مقاطع پروفیل A, B, C با استفاده از نرم‌افزار Res2Dinv در شکل ۵ نشان داده شده است. بعد از اینکه سونداژهای صحرائی تعبیر و تفسیر شدند نتایج سونداژهای یک پروفیل با هم تلفیق شده و با کمک نرم افزار مقاطع پروفیل‌ها رسم شده و در نهایت این مقاطع الکتریکی با استفاده از زمین‌شناسی منطقه تفسیر زمین‌شناسی شدند.

در دو ناحیه بین سونداژ A2 و A3 همچنین سونداژ A15 و A16 شیب تند تغییر مقادیر مقاومت ویژه نشان از محل عبور گسل می‌باشد و خمیدگی نمایان شده در سونداژ A16 دارای مفهوم تکرار طبقات و نوع گسل معکوس جدیدی را مشخص می‌کند. در فاصله بین سونداژهای B2 تا B3 پهنه ای با مقاومت ویژه کم مشاهده می‌شود که با توجه به زمین‌شناسی منطقه مربوط به آبرفت ماسه‌ای و مارن شور می‌باشد.

درفاصله بین سونداژهای C5 و C6 شیب تند تغییر مقاومت نشان از وجود گسل جدید تلخاب دو می باشد (شکل ۶). بررسی های وارون سازی دو بعدی داده های مگنتوتلوریک نیز بیانگر وجود گسل پنهان شده در منطقه می باشد (انصاری و همکاران، ۱۳۸۹).



شکل ۶: نقشه موقعیت سونداژ و برداشت های الکتریکی در راستای سامانه گسلی تلخاب متشکل از گسل اصلی تلخاب و گسل های شناسایی شده به نام گسل تلخاب یک و گسل تلخاب دو

نتیجه گیری :

در این مطالعه که به روش شلومبرگر انجام گردید با تفسیر کیفی داده های برداشت شده و مدل سازی دو بعدی بدست آمده مشخص گردید لایه های زمین شناسی و ناهنجاری های مربوط به تغییرات جانبی در راستای سامانه گسل تلخاب به عنوان یکی از ساختارهای اصلی در شکل گیری فرونشست دشت میقان نقش داشته است. نتایج حاصل از تفسیر مقاطع بیانگر وجود گسل هایی هستند که در طی عملیات ژئوالکتریک شناسایی گردیده اند و در نقشه های زمین شناسی منطقه رخنمون نداشته اند. بعضی از گسل های شناسایی شده با روش مقاومت ویژه، با گسل اصلی تلخاب در نقشه زمین شناسی همخوانی دارد و برخی از آنها نیز هم راستا با آن می باشند که در این مطالعه تعیین شده اند. به همین دلیل برای گسل تلخاب می توان یک سامانه گسلی در نظر گرفت که گسل های جدیدی در طی عملیات ژئوالکتریک در منطقه منجر به آشکارسازی و شناسایی آنها گردید که در شکل گیری فرونشست دشت میقان تاثیرگذار بوده اند. این گسل ها در سامانه گسلی تلخاب معرفی می گردند و شامل گسل اصلی تلخاب، گسل تلخاب یک و گسل تلخاب دو نام گذاری می گردند. گسل تلخاب یک به فاصله ۳ کیلومتری و در سمت باختر گسل اصلی تلخاب قرار داشته و در مسیر خود از روستای جعفرآباد، نوده تفرش و کاظم آباد و احتمالاً خنجین در فراهان عبور می کند و گسل تلخاب دو نیز به فاصله ۵ کیلومتری در باختر گسل تلخاب یک و به موازات گسل اصلی تلخاب و گسل تلخاب یک می باشد و در مسیر خود از روستاهای ابراهیم آباد، مجدآباد عبور می کند. عملکرد این سامانه گسلی در شکل گیری و توسعه فرونشست گرابنی بخش شمالی دشت میقان نقش داشته است.

منابع

اکبری، م. ج.، ۱۳۹۳، تحلیل ساختاری منطقه تفرش (شرق استان مرکزی) با نگرشی بر تغییر رژیم ساختاری منطقه، پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه بوعلی سینا، ۱۲۹.

امامی، م. ه. و حاجیان، ج.، ۱۳۷۰، شرح نقشه زمین شناسی ۲۵۰۰۰۰ چهارگوش قم سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

امیدی، م.، کریمی، م.، مرادی، غ.، شاه آبادی، ش.، ۱۳۹۰، بررسی اثرات خشک سالی های بر کاهش سطح منابع آب های زیر زمینی در دشت مرکزی اراک، انتشارات اداره کل هواشناسی استان مرکزی.

انصاری، م.، اسکویی، ب.، آنسورس، م.، ۱۳۸۹، تفسیر یک بعدی و دوبعدی داده های مگنتوتلوریک به منظور تشخیص ساختارهای زمین شناسی زیرسطحی در امتداد یک نیمرخ شرقی-غربی در منطقه اراک، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۶، (۳)، ۱-۱۳.

ایزدی کیان، ل.، پیری، ن.، اکبری، م.، ج.، مولایی، م.، ۱۴۰۰، بررسی زمین ساخت فعال گسل های تلخاب و توزلوگل و نقش آنها در شکل گیری تالاب میقان، اراک، فصلنامه زمین شناسی ایران، ۱۵، (۸۵)، ۱-۱۰.

خداپرست، ص.، محجل، م.، حاج امینی، س.، ۱۳۹۳، بررسی ساختاری و تاثیر تغییر سستبرای سازند قم بر هندسه ساختار ها، منطقه دخان در باختر ساوه، فصلنامه علوم زمین، (۹۳)، ۲۳۵-۲۴۴.

صادقی، س.، آخوندی، آ.، ۱۴۰۱، بررسی افت منابع آب زیرزمینی در حوزه تالاب میقان اراک. مدیریت جامع حوزه های آبخیز، ۴، (۲)، ۷۹-۹۳. قدیمی عروس محله، ف. و حسین نژاد، م. ر.، ۱۳۸۸، بررسی تکوین زمین شناسی حوضه آبریز کویر میقان اراک از حیث پتانسیل منابع آبی و استعداد لرزه خیزی، دانشکده فنی مهندسی اراک، دانشگاه علم و صنعت اراک.

میناءعراقی، م.، ۱۳۹۷، شناسایی گسل تلخاب در فرونشست میقان اراک با استفاده از روش ژئوالکتریک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور، خرم آباد، ۱۰۲.

ندیری، ر. و میناءعراقی، م.، ۱۳۹۷، شناسایی گسل تلخاب در فرونشست میقان اراک با استفاده از روش ژئوالکتریک، بیست و یکمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.

یمانی، م.، اسدیان خ.، ۱۳۸۳، شواهد ژئومورفولوژیکی عملکرد گسل تبرته و گسل تلخاب در فرونشست چاله میقان، پژوهش های جغرافیایی،

- Abidin, H. Z., Gumilar, I., Andreas, H., Murdohardono, D., & Fukuda, Y. (2013). On causes and impacts of land subsidence in Bandung Basin, Indonesia. *Environmental earth sciences*, 68(6), 1545-1553.
- Berberian, M., (1976). *Seismotectonic Map of Iran 1:2, 500, 000 Geological survey of Iran.*
- Galloway, D. L., & Burbey, T. J. (2011). Review: regional land subsidence accompanying groundwater extraction. *Hydrogeology Journal*, 19(8), 1459-1486.
- Modoni, G., Darini, G., Spacagna, R. L., Saroli, M., Russo, G., & Croce, P. (2013). Spatial analysis of land subsidence induced by groundwater withdrawal. *Engineering geology*, 167, 59-71.
- Rajabi, A., ghorbani E. (2016). Land subsidence due to groundwater withdrawal in Arak plain, Markazi province, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(20):738. DOI:10.1007/s12517-016-2753-7.
- Waltham, T. (2008). Sinkhole hazard case histories in karst terrains. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 41(3), 291-300