



## تفسیر سونداژهای الکتریکی با هدف شناسایی گسل های پنهان (مطالعه موردی : بخش غربی دشت بانس)

راحله فرهنگ<sup>1</sup>، عبدالمجید اسدی<sup>2</sup>، محسن پور کرمانی<sup>3</sup>

<sup>1</sup> دکتری تکتونیک، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دفتر امور اقتصادی، تهران، ایران farhang.r1402@gmail.com

<sup>2</sup> استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، کشاورزی و فناوری های نوین، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز، شیراز، ایران  
Asadi.abdolmajid11@gmail.com

<sup>3</sup> استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران Mohsen.pourkermani@gmail.com

### چکیده

مطالعات ژئوفیزیکی بخش غربی دشت بانس در شمال غربی شهر شیراز در استان فارس به منظور بررسی ویژگی های زمین شناسی و زمین ساختی تشکیلات، تفکیک و برآورد ضخامت لایه ها، تعیین محل لایه های آبدار، عمق و ضخامت آنها و تعیین گسل های پنهان در محدوده دشت مذکور با استفاده از روش مقاومت سنجی الکتریکی (ژئوالکتریک) انجام گردیده است. عملیات مقاومت سنجی الکتریکی (ژئوالکتریک) با برداشت 30 سونداژ الکتریکی در قالب 10 پروفایل با آرایه شلومبرژه انجام شده است. تفسیر نمودارهای ژئوالکتریک (مقاطع و شبه مقاطع) نشان دهنده وجود دو زون گسلش پنهان در امتدادهای شمال شرق- جنوب غرب و شمال غرب- جنوب شرق می باشد که به دلیل پوشیده شدن مناطق توسط رسوبات ضخیم کواترنری، امکان رخنمون گسل ها فراهم نبوده است. همچنین مطالعات بیانگر وجود آب زیرزمینی در امتداد این دو گسل می باشد.

### واژه های کلیدی

ژئوالکتریک، شلومبرژه، گسل های پنهان، بانس بیضا، فارس، ایران

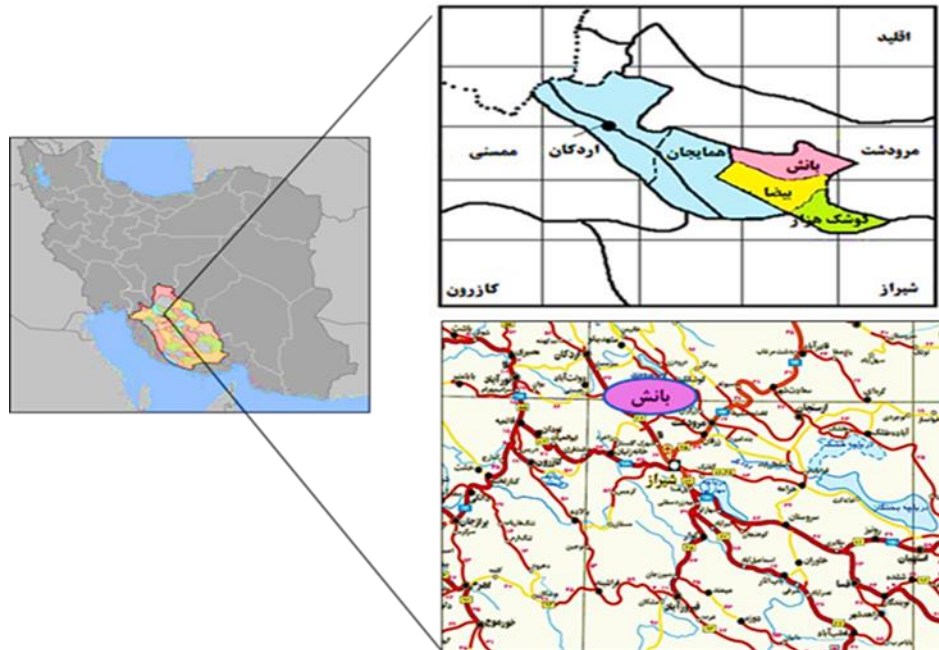


## 1. مقدمه

روش های ژئوفیزیکی یکی از ابزارهای شناسایی ساختارهای زیر سطحی است. در واقع روش های ژئوفیزیکی، پاسخی به تفاوت های خواص فیزیکی سنگ هاست (Telford et al., 1988). روش های مقاومت ویژه الکتریکی از سال 1900 میلادی شروع شد و از سال 1997 با توجه به پردازش های رایانه ای که برای تحلیل داده های آن به کار گرفته شد، گسترش یافت. یکی از اهداف ژئوالکتریک اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی است که پایه ای برای تشخیص لایه بندی و ساختمان داخلی زمین تلقی می شود (نوروزی، 1391). روش های ژئوالکتریک برای شناسایی گسل های پنهان و زون های گسلی نیز کاربرد فراوان دارد. توانایی روش های ژئوفیزیکی به خصوص روش ژئوالکتریک برای استنتاج از اهمیت ویژه ای برخوردار هستند، به طوری که این روش ها هم از یک فاصله معین از زمین و در برخی از روش ها بدون تماس با زمین می توانند منجر به ارائه اطلاعات گردند (Dentith et al (2016)، در روش ژئوالکتریک، جریان الکتریکی القایی توسط الکترودها به درون زمین هدایت شده و سپس اختلاف پتانسیل بین نقاط مختلف اندازه گیری می شود. ثبت اختلاف پتانسیل بین نقاط مختلف باعث شناسایی خصوصیات پتروفیزیکی و تعیین ناهمسانگردی در جهت های مختلف می شود. این روش بهترین نوع در جهت متمایز کردن لایه های زیرزمین از نظر مقاومت ویژه و ضخامت آنهاست و همچنین به انعطاف پذیری، سرعت بالا، سبک و قابل حمل بودن تجهیزات، هزینه های پایین عملیات صحرایی و ساده و مقرون به صرفه بودن و امکان تفسیر مستقیم و کیفی داده ها، یکی از قدرتمندترین روش های اکتشافی می باشد. (Ako, B.D. and Olorunfemi, M.O. 1989). هدف از تفسیر داده های حاصل از سونداژ زنی الکتریکی قائم، به دست آوردن یک تصویر یا مدل ژئوالکتریک قابل قبول و منطقی است که با نتایج مطالعات زمین شناسی و به عبارت دیگر مسائل مهندسی زمین شناسی مطابقت دارد. در ابتدا ممکن است برای به دست آوردن یک تصویر عمومی از منطقه، تفسیر به صورت کیفی انجام پذیرد. در تفسیر کیفی، تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر روی نقشه ها و مقاطع ظاهری مورد ارزیابی قرار می گیرند. برای بدست آوردن مدل واقعی از زمین، تفسیر باید به صورت کمی انجام پذیرد. در تفسیر کمی از داده های خام (مقادیر مقاومت ویژه ظاهری) یکسری پارامترهای فیزیکی شامل مقاومت ویژه واقعی و عمق یا ضخامت لایه ها تعیین می شود. برای بدست آوردن تفسیر دقیق تر باید نتایج حاصله را با سایر داده های حاصل از زمین شناسی، حفاری و غیره تلفیق نمود. در تفسیر کمی برای به دست آوردن مقادیر مقاومت های ویژه حقیقی یا واقعی و عمق یا ضخامت لایه ها از منحنی های استاندارد و نرم افزار IPI2WIN استفاده شده است. منحنی های سونداژ در ابتدا به روش دستی و با استفاده از آباک ها یا سر منحنی ها یا منحنی های استاندارد اصلی و کمکی (فرعی) دو لایه ای و سپس با استفاده از نرم افزار رایانه ای مذکور، مورد تفسیر قرار گرفته اند. مدل های بدست آمده از نرم افزار مذکور تطبیق مناسبتری با داده ها ارائه نمود و به همین علت در تفسیر نهایی از نتایج به دست آمده توسط این نرم افزار استفاده شده است. معمولاً نتایج داده های حاصل از برداشت یک سونداژ ژئوالکتریک به صورت یک نمودار با محورهای لگاریتمی ارائه می شود. در این نمودار با محورهای تمام لگاریتمی، مقدار  $\rho_a$  به صورت تابعی از فاصله الکترودی (طول  $AB/2$  در آرایش شلومبرژه) رسم می شود و با توجه به محورهای لگاریتمی، تفسیر نتایج به کمک آباک ها یا منحنی های استاندارد آسانتر شده است، به طوری که اگر آباکی برای مدل مشخص تنظیم شده باشد، در شرایطی که تغییرات مقاومت ویژه و ضخامت لایه دارای نسبت برابری با مدل مورد نظر باشد، با روش بسیار ساده ای که مبتنی بر موازی قرار دادن محورهای مختصات است می توان از این آباک استفاده نمود (Reynolds, 1997).

## 2. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در استان فارس در شمال غرب شیراز و شمال شرقی شهرستان سپیدان و از توابع بیضا قرار گرفته است. بخش بیضا از توابع شهرستان سپیدان است که در جنوب شرقی این شهرستان در عرض جغرافیایی شمالی بین  $29.48^{\circ}$ ،  $30^{\circ}$  و طول جغرافیایی شرقی بین  $52^{\circ}$ ،  $30^{\circ}$  و  $52^{\circ}$ ،  $37^{\circ}$  قرار دارد. بخش بیضا به صورت دشت نسبتاً وسیعی است که از طرف شمال، جنوب و غرب توسط ارتفاعات محصور شده و شرق آن به دشت مرودشت متصل است. این بخش دارای سه دهستان به نام بانس، بیضا (مرکزی) و کوشک هزار می باشد (شکل 1).



شکل 1. موقعیت محدوده مطالعاتی باناش و راههای دسترسی به آن

### 3 زمین شناسی و تکتونیک منطقه مورد مطالعه

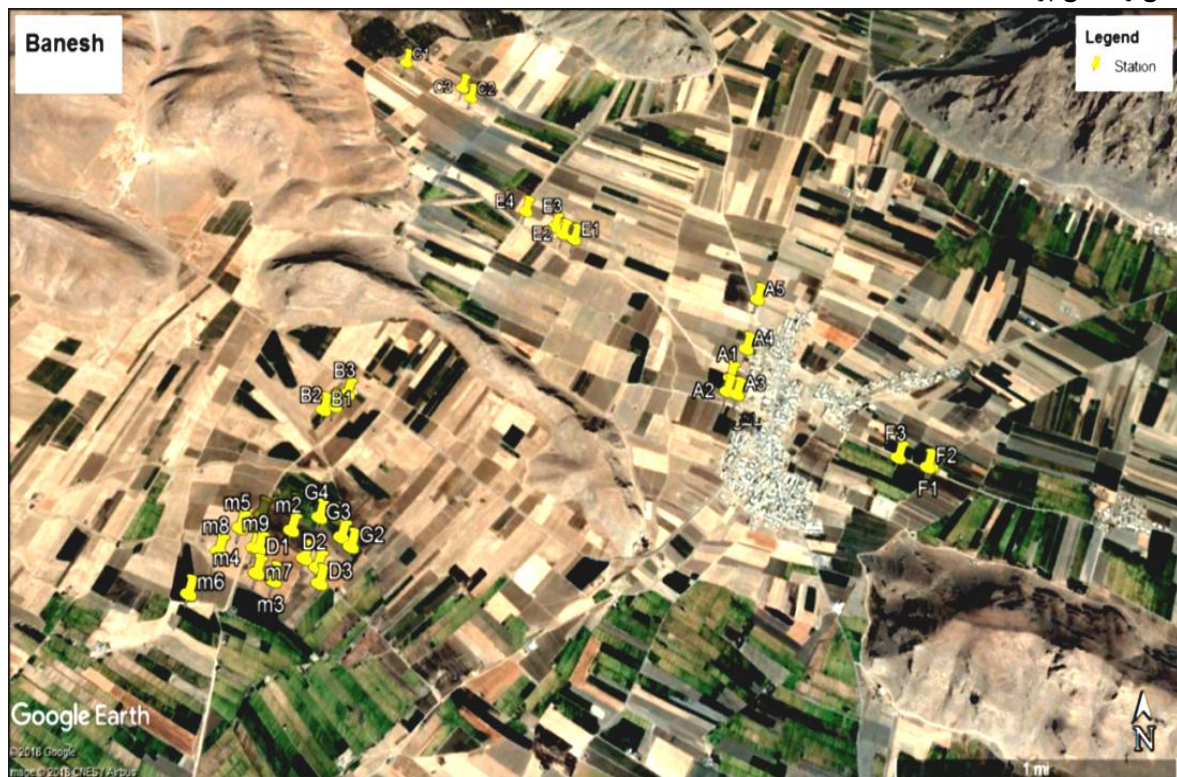
منطقه مورد مطالعه بنا به تقسیم زمین ساختی ایران توسط (Berberian 1976) در واحد زمین ساختی کمربند چین خورده فعال زاگرس واقع شده است. کمربند چین خورده - رورانده زاگرس به عنوان بزرگترین منطقه ساختاری ایران در اثر برخورد ورقه عربی و فلات ایران در تشریحی پسین (Stocklin, J. 1968) به صورت سلسله جبال به طول تقریبی 1800 کیلومتر [Hessami, K., Koyi, H.A. & Talbot, C.J. 2001a] و بر روی سکوی آرام قاره عربی تشکیل شده است. واحدهای زمین ساختی ایران متأثر از آرایش و حرکت صفحه عربی در جنوب و اوراسیا در شمال است و همین امر روندهای مختلفی را در بخش های مختلف ایجاد کرده است (آقابات، علی 1383). همگرایی بین صفحات قاره ای اغلب موجب تشکیل کمربندهای چین خورده - رانده می شود. پوشش رسوبی فوقانی فانروزویک زاگرس در طی کوهزایی های برخوردی نئوژن متحمل تغییر شکل می شود. این تغییر شکل در قالب چین های کشیده و باز و راندگی هایی تظاهر پیدا می کند. اشکال زمین در زاگرس اساساً ساختاری است. منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات زمین شناسی در زون زاگرس چین خورده قرار گرفته و سازندهای سروک، گورپی، فهلیان، گدوان، داریان و کزدمی به سن کرتاسه در آن رخنمون دارند. به همراه این سازندها، گنگلومرای عهد حاضر و آبرفت و رسوبات کواترنری اخیر نیز منطقه وسیعی را در برگرفته است. با توجه به پوشش رسوبی کواترنری، آثار گسل، درزه و شکستگی پنهان مانده است. این منطقه توسط ارتفاعات سنگ پهن و کوه علی یاغی در شمال، کوه مال امیر در شمال شرق، کوه سنگ پهن در شمال غرب و کوه تخت سنگ علیا در جنوب و جنوب شرق محصور شده است. گسل های اصلی و آنتی کلاین هایی در این ارتفاعات دیده می شود. گسل ها در مرز کوهستان ها با دشت در حال فرونشست قرار دارند. گسل های راستالغز باعث انحرافات در راستای کوهها و مناظر توپوگرافی شاخص شده اند. شاخص های ژئومورفیکی کمی نشان می دهند که منطقه به 2 بخش متفاوت قابل تقسیم است. در حالی که نرخ بالآمدگی در بخش شمالی بیشتر از نرخ فرسایشی به نظر می رسد به علت وجود بلندبوم های ناودوسی حاصل از فشار فوق العاده زیاد در نیمه جنوبی شدت فرآیندهای فرسایشی زیادتر است. مطالعات نشان می دهد منطقه مورد مطالعه در دشت بیضا نتیجه فرآیندهای تکتونیک ثقلی است. در این منطقه یک فاز کششی به دنبال فاز کوهزایی پاسادین رخ داده است و آبرفت گذاری شدیدی صورت گرفته است و در نتیجه چین خودگی های متعدد در دشت



توسط ضخامتی بین 50 تا 300 متر از رسوبات کواترنری پوشیده شده اند. داده های ژئوفیزیکی و نقشه های مغناطیس هوایی با این مطلب همخوانی دارد (شهسواری ، علی ، 1382).

#### 4. بحث

اولین قدم در طراحی یک برداشت ژئوفیزیکی، جمع آوری اطلاعات مربوط به سابقه مطالعات انجام شده و کلیه داده های ژئوفیزیکی موجود در رابطه با هدف مورد نظر است. بدین منظور ابتدا با بازدید از منطقه و بررسی نقشه های زمین شناسی 1:100000 و 1:25000 بیضا، نقشه های توپوگرافی، عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای کلیاتی از زمین شناسی و زمین ساخت منطقه مورد مطالعه به دست آمد. در ادامه با تطبیق داده های موجود و داده های بدست آمده در مرحله تکمیلی، شناسایی دقیقی از ساختارها، شواهد مربوط به گسل ها و زمین ساخت منطقه انجام گرفت. در مرحله پایانی از روش ژئوالکتریک با آرایه شلومبرژه جهت تایید شواهد زمین ساختی و زمین شناسی مبنی بر شواهد وجود گسل های پنهان منطقه استفاده گردید. بدین منظور برداشت های صحرائی شامل اندازه گیری و تعیین موقعیت نیمرخ سونداژها در محل های تعیین شده (30 سونداژ در منطقه در جهت عمود) و قرائت مقاومت ظاهری لایه های زمین شناختی (10 پروفیل بر اساس داده های برداشت شده) توسط دستگاه ژئوالکتریک صورت گرفت و سپس نسبت به تجزیه و تحلیل داده ها اقدام گردیده و نتایج مورد تفسیر قرار گرفت (شکل 2). در نهایت از تجمیع مطالعات ژئوفیزیکی و شواهد زمین شناسی و زمین ساخت، گسل ها و شکستگی های پنهان دشت بانس بیضا شناسایی گردید. در ادامه مطلب به بررسی چند نمونه ایستگاه و پروفایل ها و شبه مقاطع و مقاطع پرداخته شده است.

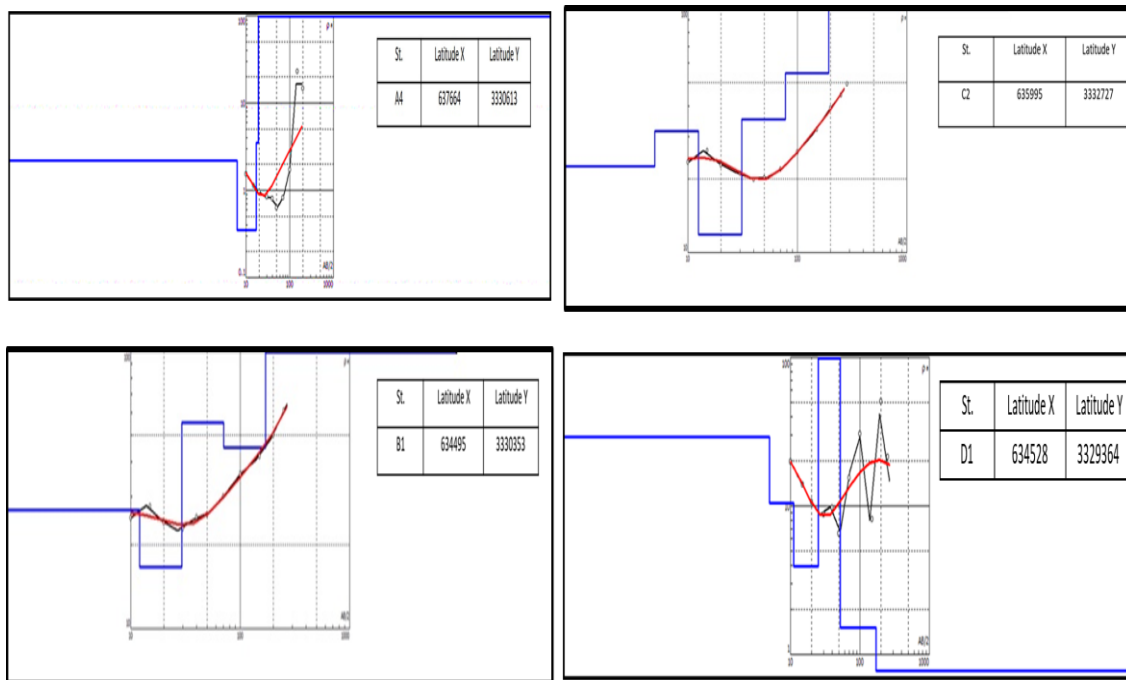


شکل 2. موقعیت ایستگاههای سوندینگ روی تصاویر ماهواره ای (Google earth))



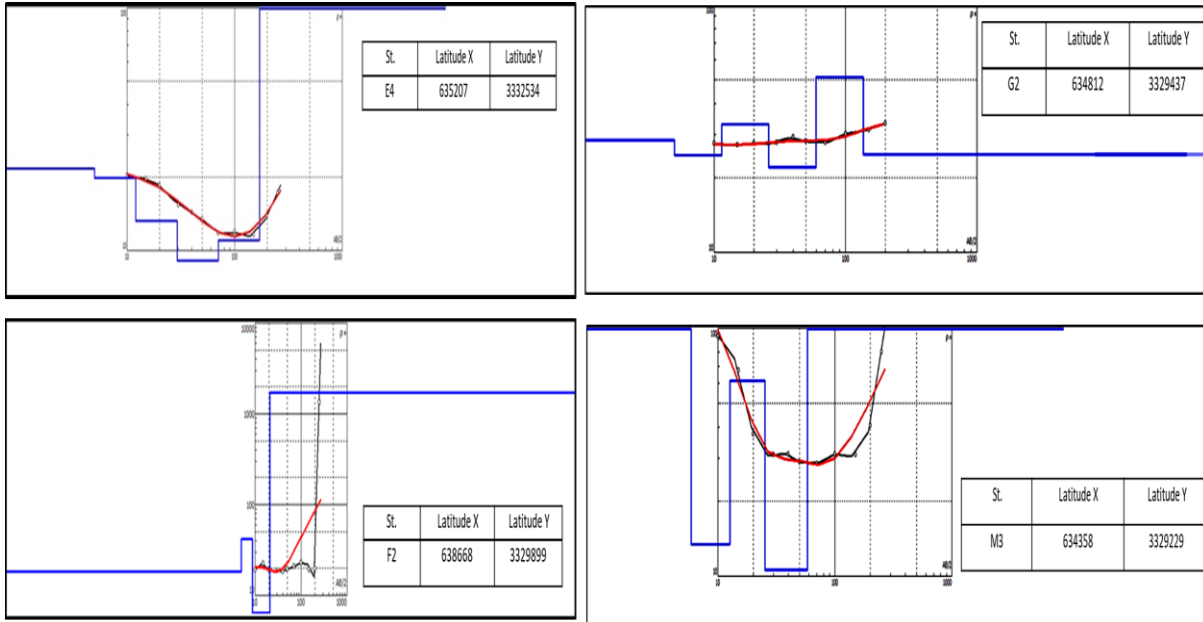
#### 4.1. بررسی نمودار مقاومت ظاهری

نمودارهای ظاهری 30 ایستگاه برداشت و مورد پردازش و تحلیل قرار گرفت که در ادامه شرح 8 ایستگاه به عنوان نمونه بیان گردیده است. بررسی نمودار مقاومت ظاهری ایستگاه A4، B1 و C2 نشان می دهد که تغییرات مقاومتی در این ایستگاهها از سطح به عمق روند افزایشی داشته و در ایستگاه B1 در بخش های عمیق به سازند سخت برخورد می نماید و به دلیل نزدیکی به زون خرد شده تا حدودی افزایش مقاومت با شدت کمتری صورت گرفته است. همچنین وجود رطوبت در بخش های سطحی نشان دهنده وجود خردشدگی در بخش های زیرین لایه سنگی است. همچنین نمودار مقاومت ظاهری ایستگاه D1 نشان می دهد که مقاومت از سطح به عمق با شیب بسیار ملایمی در حال افزایش است. این در حالی است که در بخش های سطحی مقاومت ابتدا روند کاهشی و سپس روند افزایشی نشان می دهد. به نظر می رسد نزدیکی به زون خرد شده باعث بطئی شدن روند افزایشی مقاومت در این ایستگاه باشد (شکل 3).



شکل 3. نمونه نمودارهای مقاومت ظاهری از پروفایل های A1، B1، C2 و D1

بررسی نمودار مقاومت ظاهری ایستگاه E4 نشان دهنده عبور زون خرد شدگی ضعیف از این ایستگاه می باشد. کاهش مقاومت از سطح به عمق نشان دهنده وجود زون خرد شده در بخش سنگ کف است. در نزدیکی این ایستگاه گسل دیده می شود. نمودار مقاومت ظاهری ایستگاههای F2 و G2 نشان دهنده افزایش مقاومت از سطح به عمق است. وجود سنگ کف آهکی در ایستگاه F2 در بخش های عمیق به خوبی قابل مشاهده است. به دلیل دور بودن از زون خرد شده مقاومت سنگ آهک عدد بالایی را از خود نشان می دهد و ضخامت بخش رسوبی از ایستگاه های مجاور کمتر است. همچنین نمودار مقاومت ظاهری ایستگاه M3 نشان می دهد که عمق سنگ کف در این ایستگاه در عمق 100 متری است و افزایش شدید مقاومت در بخش سنگ کف به دلیل دوری از زون خرد شده نشان دهنده تغییر در سازند های ایجاد کننده این ایستگاه است. عدم کاهش مقاومت در بخش سنگ کف خود موید عدم تاثیر زون خرد شده به دلیل دوری از این ایستگاه از سنگ کف می باشد. در تمامی ایستگاهها وجود حداقل 3 لایه اصلی که شامل بخش آبرفت و لایه سنگی است به خوبی قابل تشخیص است (شکل 4)



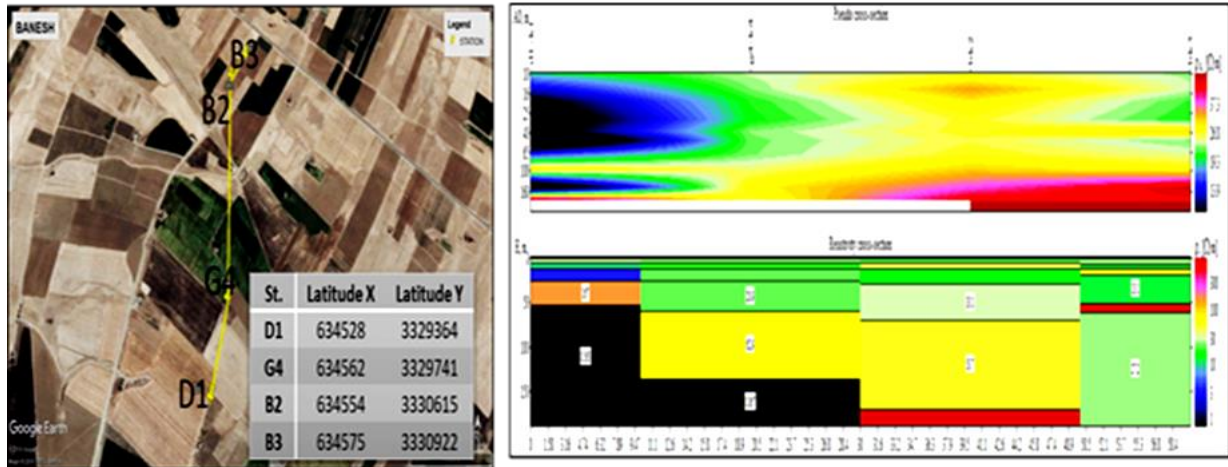
شکل 4. نمونه نمودارهای مقاومت ظاهری از پروفایل های E4, F2, G2 و M3

#### 4.2. بررسی شبه مقاطع و مقاطع ژئوالکتریک

شبه مقاطع و مقاطع در امتداد 10 پروفایل مورد پردازش و تحلیل قرار گرفت که در ادامه شرح 2 پروفایل 1 و 5 به عنوان نمونه بیان گردیده است.

##### 4.2.1. تفسیر مقطع و شبه مقطع پروفایل 1 (D1-G4-B2-B3)

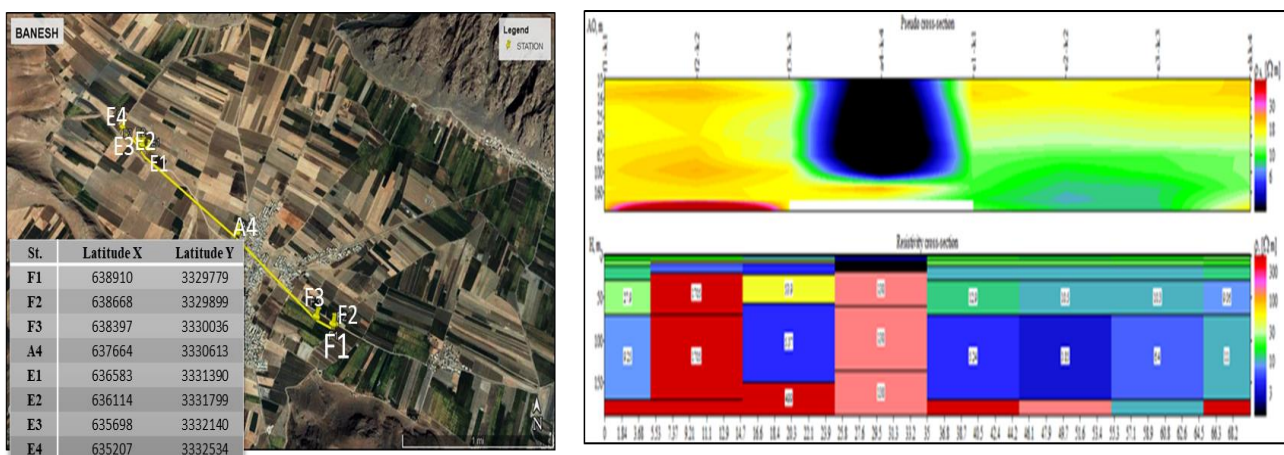
پروفایل 1 شامل 4 سونداژ بوده که پراکندگی و موقعیت هر یک از سونداژها آن در شکل (5) نشان داده شده است. بررسی شبه مقطع و مقطع ایستگاه های پروفایل 1 نشان می دهد که اولاً در محل ایستگاه B3 سنگ کف از سایر نقاط ایستگاه های موجود در پروفایل بالاتر است. به علاوه عبور زون خرد شدگی و گسلی از محل ایستگاه G4 به خوبی قابل تشخیص است. به نظر می رسد تغییرات مقاومت سنگ کف که می بایست افزایش مقاومت را به خوبی نشان دهد، به دلیل عبور زون خرد شده از این ایستگاه، شیب تغییرات بسیار ملایم بوده و با نفوذ رطوبت در بخش سنگ کف خرد شده از افزایش شدید مقاومت در این ایستگاه جلوگیری نموده است. همچنین در ایستگاه B2 و D1 تغییرات مقاومت نشان دهنده تاثیر زون خرد شدگی با شدت کمتر نسبت به ایستگاه G4 می باشد. به عبارت دیگر 2 ایستگاه D1 و B2 به دلیل زون خرد شدگی تا حدودی تاثیرات زون مذکور را نشان می دهد. اما این تاثیرات نسبت به ایستگاه G4 بسیار ملایم تر است.



شکل 5. شبه مقاطع ژئوالکتریک پروفایل 1

#### 4.2.2. تفسیر مقطع و شبه مقطع پروفایل 5 ( F1-F2-F3-A4-E1-E2-E3-E4 )

پروفایل 5 شامل 8 سونداژ بوده که پراکندگی و موقعیت هریک از سونداژها در شکل (6) نشان داده شده است. بررسی شبه مقطع و مقطع ایستگاههای پروفایل 5 نشان می دهد که سنگ کف آهکی در همه ایستگاه ها به خوبی قابل رویت است و لیکن این سنگ کف در ایستگاه A4 و F3 به شدت دچار خرد شدگی گردیده است، بنابراین افزایش مقاومت در این 2 ایستگاه بر خلاف سایر ایستگاه ها با شدت کمتری قابل رویت است. به عبارت دیگر به دلیل عبور زون خرد شده از محل ایستگاه ها، افزایش مقاومت به کندی صورت گرفته است. همچنین در محل ایستگاه E3 به دلیل وجود گسل فرعی از محل این ایستگاه تغییرات مقاومت نسبت به سایر ایستگاه ها نشانگر کاهش مقاومت در بخش سنگ کف است. به عبارت دیگر علیرغم افزایش مقاومت در ایستگاه های مجاور این ایستگاه عبور زون خرد شده از محل ایستگاه E3 و تاثیر این زون بر محل ایستگاه E2 تا حدودی باعث کاهش مقاومت در سنگ کف ایستگاه E2 گردیده است. بنابراین به نظر می رسد زون گسلی مذکور به طور مورب امتداد شبه مقطع و مقطع فوق را قطع کرده باشد.

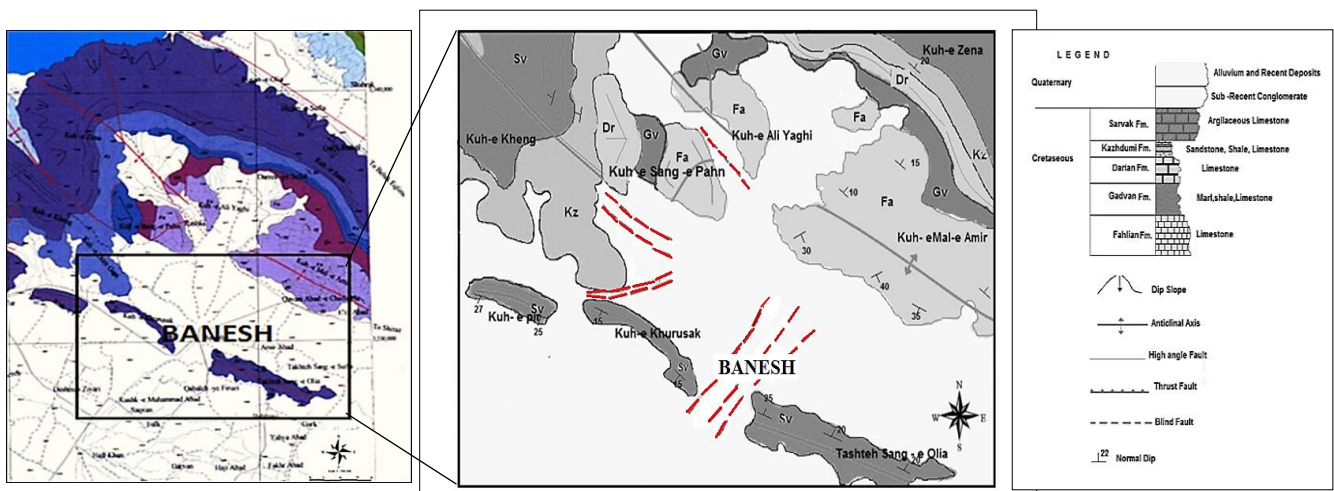


شکل 6. شبه مقاطع ژئوالکتریک پروفایل 5



## 5. نتایج

منطقه بانس بیضا در استان فارس در شمال غرب شیراز در واحد زمین ساختی کمربند چین خورده فعال زاگرس واقع شده است که توسط رسوبات فوقانی مربوط به زمان فانروزوییک پوشیده شده و باعث گردیده بسیاری از ساختارهای زمین شناسی از جمله گسل ها از نظر پنهان بماند. بر این اساس جهت شناسایی ساختارهای منطقه از روش ژئوالکتریک بر پایه آرایه شلومبرژه که روشی مناسب با ضریب اطمینان بالا در شناسایی ساختارهای پنهان می باشد استفاده گردیده است. توجه به داده های ژئوالکتریک و مقایسه آنها با برداشت های میدانی و مورفوتکتونیک منطقه، موید گسل های فعال آشکار و پنهان در منطقه مورد مطالعه می باشد. بر این اساس به منظور شناسایی محل احتمالی گسل ها تعداد 30 سونداژ در منطقه تعبیه و 10 پروفایل انتخاب گردیده است. نتایج حاصل از مقاطع و شبه مقاطع سونداژها و پروفایل ها نشان می دهد که منطقه مورد نظر، منطقه ای چین - گسلش بوده و سنگ کف، اغلب از نوع آهکی می باشد ولی در بعضی نقاط سنگ کف ماری نیز دیده شده است. همچنین محل دقیق گسل های تراستی در کف دشت که پیش از این به دلیل پوشیده شدن توسط رسوبات آبرفتی کواترنر تشخیص آنها مشخص نبوده است با این روش ممکن گردیده است. همچنین مطالعات به خوبی نشان می دهد کاهش مقاومت ظاهری علیرغم سنگ کف آهکی در ایستگاههایی که زون گسلی عبور نموده و یا ایستگاه در نزدیکی زون خرد شده و گسله قرار گرفته است، دیده می شود. همچنین نفوذ رطوبت به دلیل زون خرد شده به راحتی از سطح به عمق امکانپذیر گردیده است. همچنین مطالعات نشان دهنده زون گسلی مشهودی است که از ایستگاههای A1 تا A5 می گذرد و هدایت آب زیرزمینی در منطقه را به عهده دارد. عبور دو زون گسلی تراستی از سنگ کف ایستگاههای B1 و B2 به خوبی مشهود است. در ادامه بررسی ها مشخص گردید ایستگاههای G1 تا G4 روی گسل است و در ایستگاههای E1 و E3 گسل فرعی به طور مورب دیده می شود. نتایج کلی بررسی ها نشان دهنده دو زون گسلش در امتدادهای شمال شرق - جنوب غرب و شمال غرب - جنوب شرق و تعدادی گسل های فرعی و شکستگی هم راستا با روند زاگرس می باشد. در شکل 7 موقعیت گسل های پنهان شناسایی شده بر روی نقشه زمین شناسی نمایش داده شده است.



شکل 7. موقعیت گسل های پنهان شناسایی شده بر روی نقشه





## منابع

- [1] علی آقانباتی، 1383. زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- [2] علی شمسواری، 1382. تحلیل مورفوتکتونیک دشت بیضا، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شیراز
- [3] علی اصغر کلاگری، 1389. اصول اکتشافات ژئوفیزیک. دانشگاه تبریز
- [4] غلامحسین نوروزی، 1392. روش های الکتریکی در ژئوفیزیک اکتشافی، دانشگاه تهران،
- [5] Ako, B.D. and Olorunfemi, M.O. (1989). Geoelectric survey for Groundwater in the Newer Basalts of Vom Plateau Stat. Nig. J. Min. Geol. 25. 247-450
- [6] Berberian, M. , 1994, Historical hazards in Iran prior to 1900, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, 603, 1994.
- [7] Berberian, M. 1995, Master blind thrust faults hidden under the Zagros fold: active basement tectonics and Surface morphotectonic, Tectonophysics, 241, p. 193-224
- [8] Berberian, M. , 1976, Contribution to the Seismotectonics of Iran (Part II), G. S. I. , Rep. No. 39, pp. 143-186
- [9] Hessami, K., Koyi, H.A. & Talbot, C.J. 2001a. The significance of strike-slip faulting in the basement of the Zagros fold and thrust belt. Journal of Petroleum Geology, 24, 5-28
- [10] Michael Dentith & Stephen T. Mudge , Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist, 2016. Cambridge University Press
- [10] Reynolds, J. M., 1997- An introduction to applied environmental geophysics. John Wiley, 691
- [11] Stocklin, J. 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 52, no. 7, p. 1229-1258.
- [12] Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., and Keys, D.A. (1988). Applied Geophysics, Cambridge University Press. New York, 568p.