

شناسایی گسل مسبب زمین لرزه بم پنجم دی ماه ۱۳۸۲ به روش مقاومت ویژه الکتریکی

سحر حسین زاده^۱ و دکتر علی بیت اللهی^۲

چکیده

گسل بم یکی از گسلهای واقع در جنوب شرقی ایران است. ما برای رد یابی این گسل از روشهای الکتریکی و دیگر مشاهدات جانبی از جمله نقشه رادار و نقشه پراکنش استفاده کرده ایم. روشهای الکتریکی به کار رفته در این عملیات مشتمل بر سونداژ زنی (۲۱۳ عدد با ارایه شولومبرژه)، روش 3MN (در ۲۱ ایستگاه)، روش CRP (Combined Resistivity Profiling) (سه الکترودی چپ و راست در ۲۱ ایستگاه) و روش Cross یا سونداژهای عمود بر هم (در ۲۱ ایستگاه) می باشد. در روش 3MN سه طول طول مختلف برای الکترودهای جریان در نظر گرفته می شود و در هر کدام اندازه گیری پتانسیل با سه طول الکترودی انجام می شود این روش نتایج خوبی برای شناسایی ناپیوستگی های جانبی بدست می دهد. با مقایسه نتایج بدست آمده از روشهای الکتریکی نام برده، مسیر گسل مسبب زمین لرزه بم شناسایی شد. روند گسلش حدوداً شمالی-جنوبی و در امتداد گسل بم-بروات (حاشیه شرقی) می باشد. بر اساس داده های ژئوالکتریکی ناپیوستگی جانبی دیگری با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی از محدوده های مرکزی گستره مورد مطالعه قابل تعیین است که در مورد آن نمی توان بطور قطع سخن گفت. احتمالاً شاخه ای فرعی از یک گسلش در این مسیر است.

کلید واژه ها: روش 3MN، روش CRP، روش Cross، ژئوالکتریک، گسل.

Detection Bam fault caused Bam earthquake of December 26, 2003 by resistivity method

Sahar Hosseinzadeh and Dr.Ali Beitollahi

Abstract

Geoelectrical study designation has been done on the basis of pre knowledge about study area (on the basis of visiting have been done), process of buried fault, after shock data of Bam earthquake, remote sensing study and the process of recognized fault of Bam. The aim of this study is the investigation of faults and fractures location.

Methods which are used in these studies are consist of electrical sounding with schlomberger array, 3 electrode MN (3MN method), CRP and cross (perpendicular) arrangement around Bam city. The assessment of electrical sounding point shows that the

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه ژئوفیزیک واحد تهران شمال saharsanam@gmail.com

² استادیار مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن beitollahi@bhrc.ac.ir

main result of this project is made by electrical sounding points which consist of 213 sounding.

Estimating the strike of the lateral discontinuity was used too.

In 3MN method of measurement, 3 measurements of electrical resistance with 3 different lengths of potential electrodes for each current electrode space were done and 3 separate curves for each station were produced. Investigation of these curves was very useful in direction determination and the strike of lateral discontinuities. In another profile and for 21 stations measurements CRP method which has high capability in determination of faults and fractures location was used.

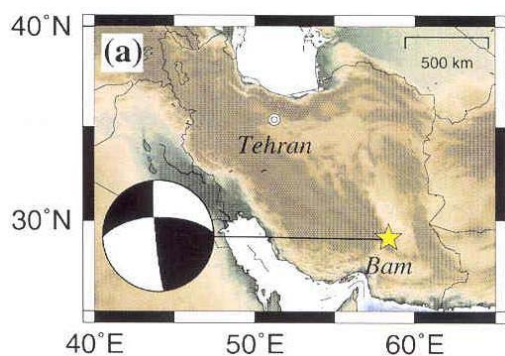
In another profile and in the middle of studied area and in 21 stations of cross perpendicular sounding was performed. In this method the location of lateral discontinuity (faults and) in relation with measurement point was determined. Coordination of all sounding point was picked up by GPS equipment.

Keywords: 3MN method, CRP method, Cross method, geoelectric, fault.

روشهای الکتریکی که شامل سونداژ زنی، 3MN، CRP و Cross استفاده کرده ایم.

مقدمه:

زلزله بم در تاریخ پنجم دی ماه ۱۳۸۲ در جنوب شرقی ایران رخ داد (شکل ۱). بنابر گزارش USGS مشخصات کانون زلزله $29.004^{\circ} N$ و $58.337^{\circ} E$ و عمق 10km است. این گسل امتداد لغز راست گرد بوده است. این زمین لرزه خسارات زیادی را به شهر بم و روستاهای اطراف آن وارد کرده است. از جمعیتی در حدود 142000 نفر 26271 نفر کشته شدند و دهها هزار نفر مجروح شدند و به شهر باستانی و معروف ارگ بم خسارات شدیدی وارد آمد. زلزله معروفی که قبلاً در این منطقه اتفاق افتاده بود مربوط به گسلی بود که در سمت غربی روستای بروات است. این روستا تقریباً در 5 کیلومتری جنوب شرقی شهر بم واقع است (Nakamura and et al, 2005). پس از این زمین لرزه به نظر رسید این زلزله مربوط به گسل بم است (Ahmadizadeh and Shakib, 2004) ولی شواهد کافی برای تعیین مکان آن وجود نداشت و این سوال مطرح شد که چشمه این زمین لرزه در کجا قرار دارد. خسارات سنگین در نزدیکی روستای بروات نبود بلکه در 2 تا 4 کیلومتری شرق بم مشاهده می شد. بررسیهای پراکنش پس لرزه ای و نقشه رادار مربوط به این ناحیه مشخص کرد که گسل فعال شده، گسل بم بروات نبوده است. برای اینکه موقعیت گسل را دقیقتر شناسایی کنیم از



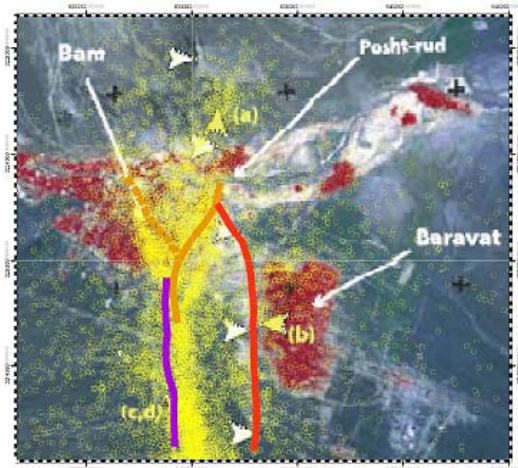
شکل ۱. زلزله امتداد لغز راستگرد در بم.

نقشه پراکنش پس لرزه ها

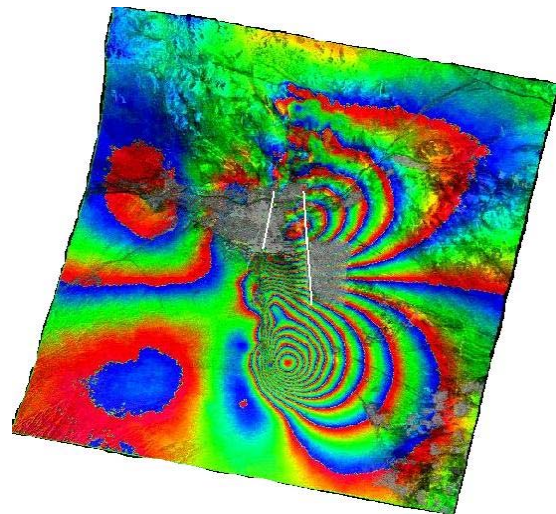
استفاده از توابع کمکی در یکتا کردن مسائل معکوس دو بعدی در تئوری ژئوفیزیک امری اجتناب ناپذیر است و اصولاً بدون آن تفسیر داده ها فاقد معنای ریاضی خواهد بود. دربرآورد مسیر گسل نهان بم علاوه بر اطلاعات بدست آمده از تفسیر مقاطع و منحنی ها بر اساس کار (Tatar et al, 2003) از اطلاعات توزیع پس لرزه های بم که در واقع معرف چشمه لرزه ای بم می باشد نیز استفاده شده است که در نقشه (۲) نشان داده می شود. هر چند توزیع پس لرزه ها گستره ای (مخصوصاً بطور عرضی) وسیع را شامل می گردد ولی نگاهی اجمالی به آن بازگو کننده این مطلب است که گسل مسبب در محدوده شهر

بم قرار دارد. نقشه ماهواره ای (رادار)

بر اساس یافته‌های دورسنجی نشان داده شده است که بیشترین جابجائی‌ها در اثر رخداد زمین‌لرزه بم در مسیری بوده است که در نقشه (۳) نشان داده شده است (Talebian, 2003). تلفیق اطلاعات رادار با توزیع پس‌لرزه‌ها نیز تأیید کننده همین مطلب است. هر چند اطلاعات بدست آمده از آن در داخل محدوده شهری خیلی واضح نمی‌باشد ولی با ردگیری امتداد جابجائی می‌توان تصویری از جانمایی گسلش در داخل شهر نیز بدست آورد.



شکل ۲. نقشه پس لرزه ها.



شکل ۳. نقشه ماهواره ای (رادار).

مطالعات ژئوالکتریکی انجام یافته در پروژه بم

طراحی مطالعات این پروژه بر اساس پیش دانسته‌هایی از خصلت آبرفت‌های گستره (بر مبنای بازدیدهای بعمل آمده)، روند گسل مدفون شناخته شده بر اساس داده‌های پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه بم و مطالعات دورسنجی و نیز بر اساس روند گسله شناخته شده بم صورت گرفته است. این طراحی جهت و امتداد گسله‌ها، را مشخص می‌کند.

نقاط سونداژ الکتریکی پیکره اصلی پروژه را تشکیل می‌دهد که مشتمل بر ۲۱۳ سونداژ می‌باشد. آرایه بکار گرفته شده شلومبرگر می‌باشد. با افزایش طول الکترودهای جریان عمق نفوذ جریان افزایش می‌یابد. ولی نمی‌توان بدون تفسیر این منحنی‌ها مشخص کرد که این مقاومت‌های الکتریکی ظاهری برداشت شده مربوط چه عمق خاصی می‌باشند. (Apparao 1974 & Barker 1989). مقدار عمق نفوذ در هر منطقه و حتی هر سونداژ با سونداژ دیگر فرق می‌کند و به ضخامت و مقاومت الکتریکی لایه‌ها بستگی دارد.

در ۲۱ ایستگاه و بر روی پروفیلی در وسط گستره اندازه‌گیری با روش 3MN بعمل آمد. بر اساس تحقیقات انجام یافته، از این روش می‌توان در برآورد امتداد ناپیوستگی جانبی استفاده کرد. (Al-Chalabi, 1969). روش اندازه‌گیری صحرائی بدین صورت بود که بازای هر فاصله الکترودهای جریان، سه اندازه‌گیری مقاومت ظاهری الکتریکی با سه طول مختلف الکترودهای پتانسیل انجام یافت و برای هر ایستگاه سه منحنی جداگانه بدست آمد.

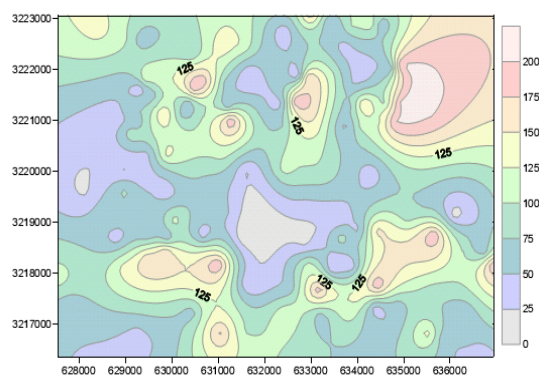
بمنظور تعیین مکان‌های ناپیوستگی‌های جانبی در عمق‌های مختلف، در پروفیل دیگر و برای ۲۱ ایستگاه اندازه‌گیری‌های CRP¹ در نظر گرفته شد. سیگنال این آرایه ضعیفتر از آرایه‌های ونر و ونر-شلومبرژه و قویتر از آرایه دوقطبی-دوقطبی است (Loke 1999).

¹ Combined resistivity profiling method

مقاومت ویژه به تغییر فاصله دو سونداژ مجاور توسط نرم افزار Excel این نقشه در نرم افزار Surfer8 تهیه شده است. در این نقشه هر جایی که تغییرات مقاومت ویژه بیشتر باشد یعنی پربندها به یکدیگر نزدیک باشد، می تواند نشان دهنده تغییرات جانبی باشد. از آنجایی که یک گسل در طبیعت بصورت یک صفحه نیست و با گذشت زمان تبدیل به یک زون خرد شده می شود و با نفوذ آب در آن مقاومت ویژه متفاوتی نسبت به اطراف خود خواهد داشت از این طریق قابل شناسایی است.

هر روشی زمانی بیشترین واکنش را نسبت به آنومالی از خود نشان می دهد که بصورت عمودی آنرا پیمایش کند و با توجه به نتایج بدست آمده از ثبت پس لرزه ها و نقشه رادار، امتداد گسل شمالی جنوبی تشخیص داده شده است به همین منظور ما گرادیان مقاومت ویژه را در راستای شرقی-غربی مورد بررسی قرار می دهیم.

با توجه به شکل (۵) بیشترین تغییرات مقاومت ویژه در راستای شرقی-غربی در سه مسیر مشخص شده دیده می شوند همانطور که ملاحظه می شود نمی توان از این طریق مسیر قطعی و دقیقی را برای گسل مشخص کرد به همین منظور احتیاج به تطبیق دادن نتایج روشهای دیگر با این روش داریم.



شکل ۴. نقشه هم مقاومت ویژه الکتریکی در عمق ۲۰۰ متری.

در پروفیل دیگر و در وسط گستره مورد مطالعه و در ۲۱ ایستگاه سونداژهای عمود بر هم (آرایش صلیبی^۲) اجرا شد. با این روش قرارگیری ناپیوستگی جانبی (گسله ها و...) نسبت به نقطه اندازه گیری مشخص می شود. محققین مختلفی محاسباتی را در مورد پاسخهای تئوری ساختارهای دو بعدی برای هر دو آرایه موازی و عمودی انجام داده اند و دریافته اند که پروفیل عمودی وقتی نا همگنی محدود باشد حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات جانبی از خود نشان می دهد

(Van Nostrand and Cook, 1955; Schulz and Tezkan, 1988; Mundry, 1984; Pous et al., 1996)

آرایه صلیبی همراه با روش اندازه گیری CRP روش های مناسبی برای برآورد ناهمسانگردی الکتریکی بشمار می روند.

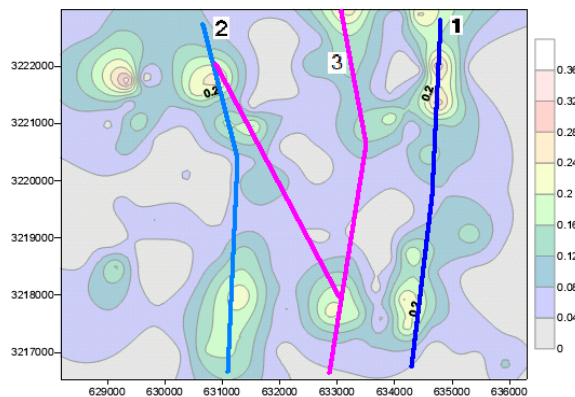
بررسی نقشه هم مقاومت ویژه

ما با داشتن ۲۱۳ سونداژ در طول ۱۱ پروفیل و تفسیر آنها توسط نرم افزار IPI2WIN، به منظور پیدا کردن محل تقریبی گسل موجود در ناحیه مورد مطالعه، نقشه گرادیان مقاومت ویژه در راستای شرقی-غربی را بررسی می کنیم. با توجه به اینکه تغییرات در لایه های سطحی نامنظم و ناگهانی هستند اطلاعات مفیدی را در اختیار ما نمی گذارند. به همین منظور از نتایج حاصله در عمقهای ۵۰ و ۱۰۰ متری خودداری کرده ایم. در شکل (۴) نقشه هم مقاومت ویژه الکتریکی در عمق ۲۰۰ متری می باشد، انتخاب کردن عمق ۲۰۰ متری با توجه به گسترش الکترودهای جریان که حداکثر $\frac{AB}{2} = 464$ می باشد و

ما عمق نفوذ جریان را $\frac{AB}{4}$ در نظر گرفته ایم، از طرف دیگر اکثر چاههای حفر شده در این ناحیه در عمق ۲۰۰ متر به سنگ کف آذرین رسیده اند. که با استفاده از آن نقشه تغییرات مقاومت ویژه نسبت به راستای شرقی-غربی تهیه شده است. با محاسبه کردن نسبت تغییرات

² Cross array

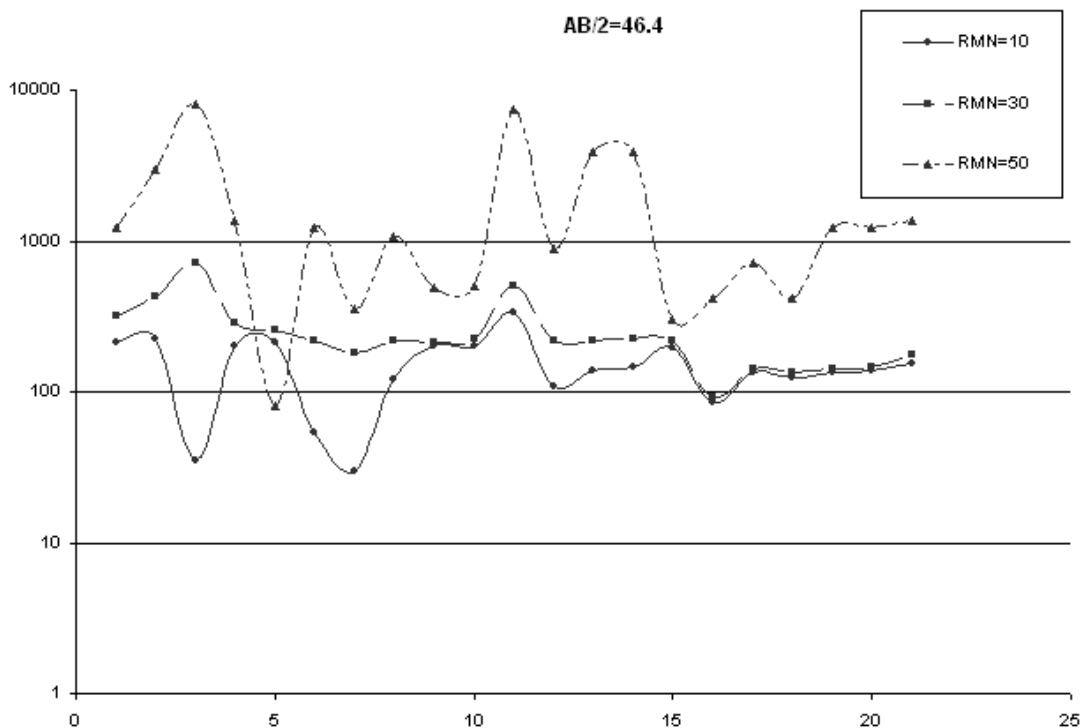
مورد بررسی ۲۳/۲، ۵۰ و ۱۰۷/۵ می باشد که در واقع ما سه افق سطحی میانی و عمقی را مورد بررسی قرار داده ایم. در شکل (۴) منحنی های مربوط اندازه گیریهای 3MN را مشاهده می کنید. همانطور که مشاهده می شود برای طول الکتروود جریان ۴۶/۶ (شکل ۶) هر سه منحنی در جای مشخصی همدیگر را قطع نکرده اند ولی برای طول الکتروود جریان ۱۰۰ (شکل ۷) منحنی ها در ایستگاههای ۴ و ۱۸ همدیگر را طوری قطع کرده اند که تشکیل یک مثلث داده است. مساحت مثلث محصور شده بین سه منحنی با زاویه صفحه ناپیوستگی جانبی و خط پیمایش رابطه دارد (Al-Chalabi, 1969). منحنی های مربوط به طول الکتروود جریان ۲۱۵ (شکل ۸) همدیگر را در ایستگاههای ۳، ۵ و ۱۱ طوری قطع کرده اند که تشکیل مثلث داده و در ایستگاه ۱۸ هر سه منحنی در یک نقطه یکدیگر را قطع کرده اند که در نزدیکی سونداژ P6S16 می باشد. موقعیت سونداژها و ایستگاهها در شکل ۱۰ با استفاده از نرم افزار ArcGIS تهیه شده است و ما مختصات دقیق هر ایستگاه را در سیستم UTM داریم پس تعیین مکانها کاملاً دقیق می باشد.



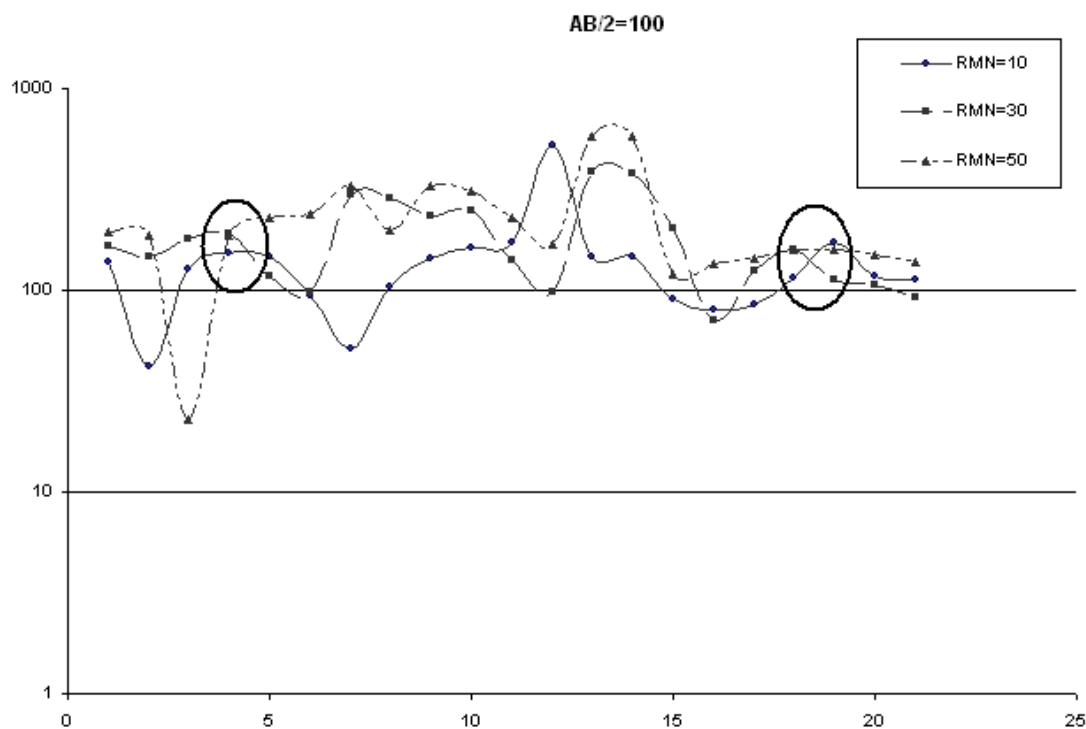
شکل ۵. گرادیان مقاومت ویژه در عمق ۲۰۰ متری (شرقی-غربی).

اندازه گیری های 3MN

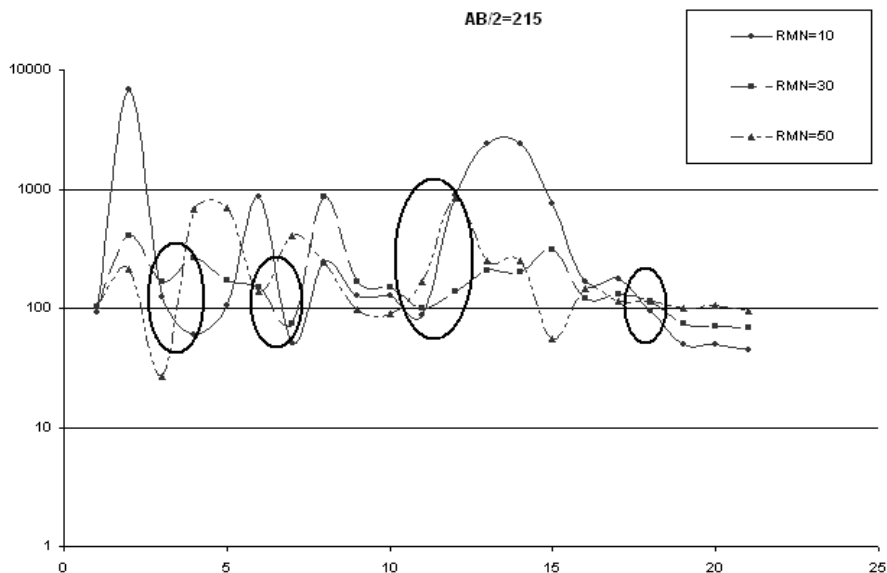
می توان نشان داد که ناپیوستگی های جانبی مقاومت ظاهری الکتریکی رفتار متفاوتی نسبت به نوع و آرایه اندازه گیری دارند. یکی از روش هایی که می تواند در جانمایی گسستگی های جانبی نظیر گسل و غیره مفید باشد آرایه ۳ الکتروود MN است که در آن منحنی های مختلفی نسبت به طول الکتروودهای اندازه گیر MN بدست می آید. در مطالعات گستره بم بمنظور شناسایی محل قرارگیری گسل زمین لرزه بم این نوع از اندازه گیری انجام گردید. در این روش زمانیکه پیمایش عمود بر ناپیوستگی جانبی باشد منحنی های مربوط به سه طول MN همدیگر را در یک نقطه قطع می کنند که مکان گسل را به ما نشان می دهد. در صورتیکه سه منحنی در این روش طوری یکدیگر را قطع کنند که تشکیل یک مثلث بدهد می توان این نتیجه را گرفت که در آن مکان ناپیوستگی جانبی قرار دارد که با راستای پیمایش ما زاویه می سازد و مساحت مثلث تشکیل شده با زاویه حاده ای که ناپیوستگی با پیمایش می سازد متناسب است، در این مقاله از نتایج این روش استفاده می شود و به جزئیات آن پرداخته نمی شود برای مطالعه بیشتر به (Al-Chalabi, 1969) مراجعه گردد. در این عملیات با سه طول ۱۰، ۳۰ و ۵۰ برای الکتروودهای پتانسیل و سه طول ۴۶/۴، ۱۰۰ و ۲۱۵ برای $\frac{AB}{2}$ که به ترتیب عمقهای



شکل ۶. نمودار 3MN برای عمق ۲۳/۳ متری.



شکل ۷. منحنی 3MN برای عمق ۵۰ متری.



شکل ۸. منحنی 3MN برای عمق ۱۰۰ متری.

ژئوالکتریک از آن استفاده می‌شود. فرض بر اینست در جهتی که عمود بر گسستگی جانبی اندازه‌گیری بعمل می‌آید منحنی بدست آید که شکل و مقادیر آن با منحنی که بصورت موازی بر ناپیوستگی جانبی است متفاوت باشد. بدیهی است در زمین همگن و همسانگرد دو منحنی بر هم منطبق می‌شوند و لذا مقطع تفاضلی مقادیری در حدود صفر و یا بسیار نزدیک به آن را نشان خواهد داد. هر چه مقادیر بزرگتر باشد ناهمسانگردی تیزتری را انتظار داریم. برای یک مدل دو بعدی ساده ما دو شبه مقطع بدست می‌آوریم. یکی موازی با ناپیوستگی جانبی و دیگری عمود بر آن. تحلیل ساختار زیر زمین با استفاده از این دو شبه مقطع فواید زیادی دارد. وقتی آنومالی دو بعدی داشته باشیم عمق و گسترش بر روی پروفیل عمودی بیشتر از پروفیل موازی اثر می‌گذارد. پروفیل عمودی در محدود کردن موقعیت غیر یکنواختی به ما کمک می‌کند.

در شکل (۱۱) برای محدوده بم در امتداد یک پروفیل چنین اندازه‌گیری بعمل آمده است که محل و موقعیت آن در شکل (۱۰) آورده شده است. در شکل (۱۱) نیز هر چند ناهمگنی‌های مختلفی قابل شناسایی است ولی در محدود ایستگاه ۱۶ به بعد مقادیر آن بالاتر از سایر نقاط و روند آن نسبت به شرق بسیار متغیر است. چنین رفتار

اندازه‌گیری‌های C.R.P.

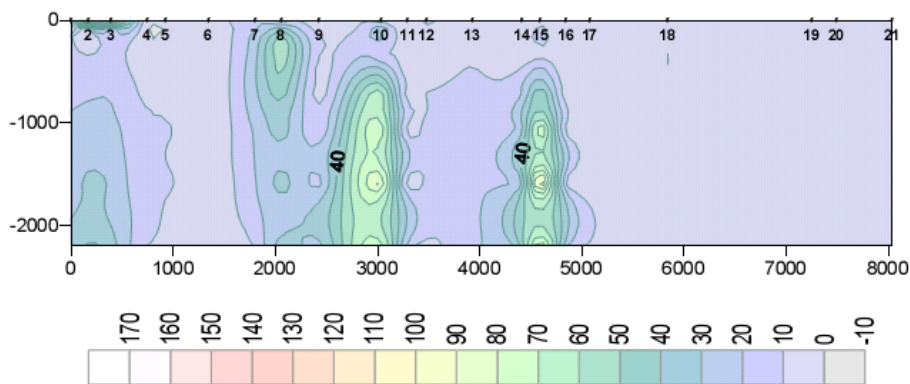
این روش اندازه‌گیری نیز اساساً برای شناسایی ناپیوستگی‌های جانبی مقاومت الکتریکی که در زمین بصورت گسل‌ها و دایک‌ها و غیره نمود پیدا می‌کنند معرفی شده است. رفتار منحنی‌ها در اثر تزریق جریان از سمت و سوهای مختلف در حضور ناهمسانگردی‌ها مختلف خواهد بود و لذا بررسی تغییرات می‌تواند در شناسایی ناهنجاری‌های جانبی الکتریکی مفید تلقی شود. از این روش در مطالعات ژئوالکتریکی گستره شهر بم بهره برده شد که موقعیت پروفیل آن در شکل ۹ آورده شده است. این حالت همان آرایه سه الکترودی است که از تفاوت آرایه‌های چپ و راست به ناهمسانگردی پی می‌بریم. در شکل ۹ پربند تفاضل مشاهده می‌شود. در ایستگاه‌های ۱۵ و ۱۰ بیشترین اختلاف بین مقاومت ویژه‌ها در حالت‌های چپ و راست دیده می‌شود که به ترتیب در نزدیکی سونداژهای p7s15 و p7s11 قرار دارند و در ایستگاه‌هایی مثل ۱۹ حداقل تغییرات را دارا می‌باشند.

اندازه‌گیری‌های Cross

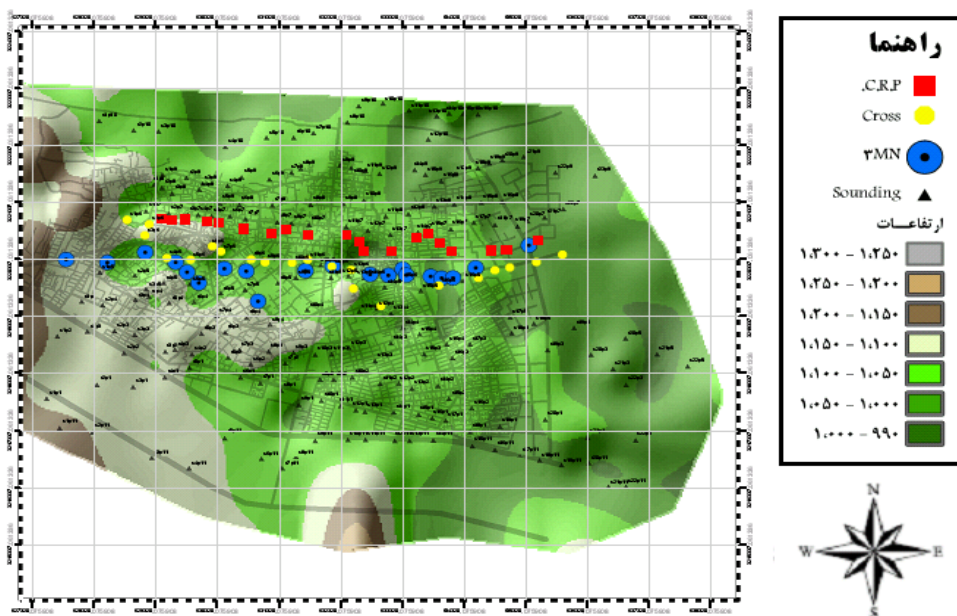
اندازه‌گیری در دو جهت گسترش عمود بر هم نیز یکی از روش‌های است که در مطالعات ناهمسانگردی در

انجام داده اند و دریافتند که پروفیل عمودی وقتی نا همگنی محدود باشد حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات جانبی از خود نشان می دهد (Van Nostrand and Cook, 1955; Schulz and Tezkan, 1988; Mundry, 1984; Pous et al., 1996).

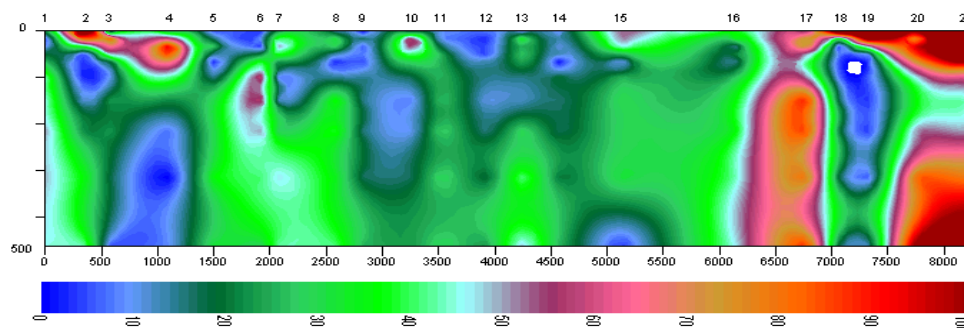
دلیل بر وجود آیزوتروپی قابل ملاحظه تا عمق تجسس می باشد. ایستگاه ۱۷ که بیشترین تغییرات از آن آغاز می شود در نزدیکی سونداژ p5s16 قرار دارد. محققین مختلفی محاسباتی را در مورد پاسخهای تئوری ساختارهای دو بعدی برای هر دو آرایه موازی و عمودی



شکل ۹. پربند تفاضلی (قدر مطلق) در CPR.



شکل ۱۰. موقعیت ایستگاههای CRP, 3MN, Cross و سونداژها.

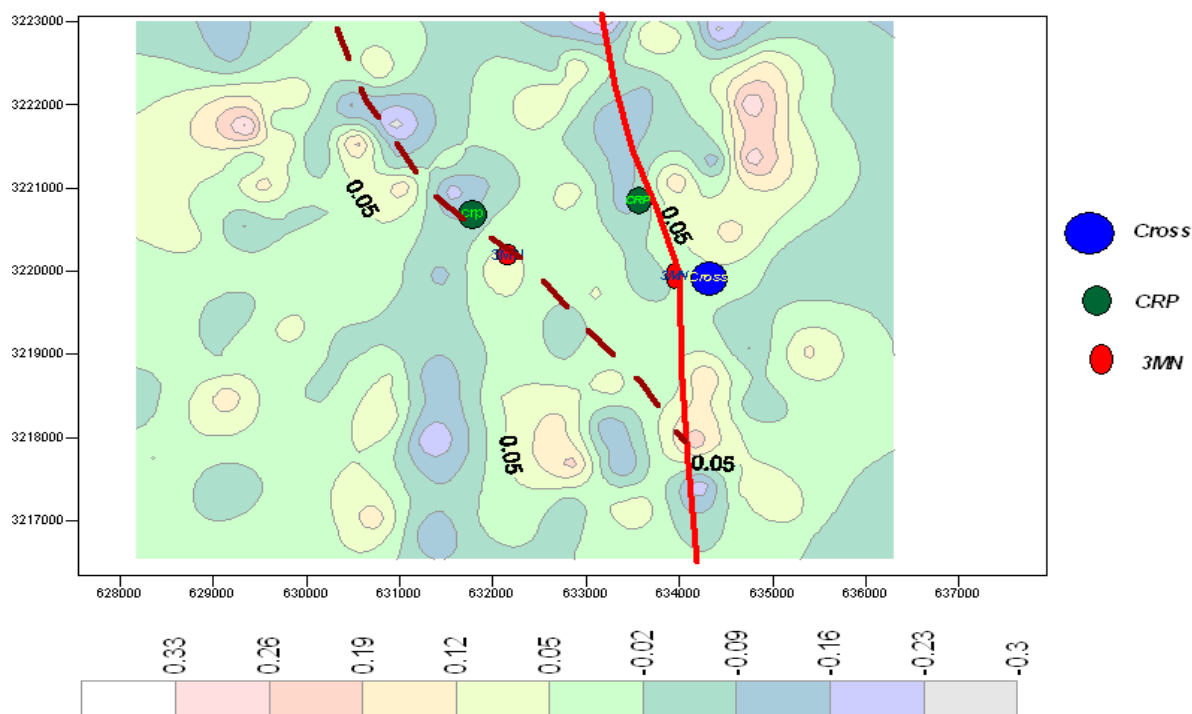


شکل ۱۱. مقطع تفاضلی (قدر مطلق) اندازه گیری Cross

نتیجه

در مطالعات ژئوالکتریکی بم با بررسی‌های موشکافانه هر کدام از شبه مقاطع و مقاطع ژئوالکتریکی و نیز با استفاده از نقشه‌های هم‌مقاومت‌های مختلف و شکل‌های مربوط به اندازه‌گیری‌های 3MN و CRP و آرایه Cross و با در نظر گرفتن اطلاعات پسرزه‌ها و نقشه رادار نقشه نهائی موقعیت گسل نهان مسبب زمین‌لرزه بم تهیه شده است، که در شکل ۱۲ نشان داده شده است. مشخص است که روند گسلش حدوداً شمالی - جنوبی است و این نتیجه همانطور که توضیح داده شده است از روی نقشه پراکنش پس لرزه‌ها و نقشه رادار بدست آمده و در امتداد گسل بم - بروات (حاشیه شرقی) می‌باشد. بر اساس داده‌های ژئوالکتریکی ناپیوستگی جانبی دیگری با امتداد شمال غربی از محدوده‌های مرکزی گستره مورد مطالعه قابل تعیین است همانطور که در شکل ۱۲ نیز بطور دقیق مکان پاسخ آرایه‌ها و روشهای مختلف مشخص شده، مشاهده می‌شود که آرایه Cross واکنشی در شاخه فرعی گسل از خود نشان نداده است چون این آرایه زمانی پاسخ مناسب می‌دهد که عمود بر ناپیوستگی جانبی پیمایش

شود و همانطور که در متن ذکر شد پاسخ آرایه‌های 3MN و CRP در شاخه فرعی کمی ضعیفتر از شاخه شمالی-جنوبی است. از طرف دیگر واکنش آرایه 3MN در ایستگاه ۱۸ راستای گسلش اصلی را که توسط نقشه پراکنش پس لرزه ای شمالی-جنوبی تشخیص داده شده بود تایید می‌کند، چون در این ایستگاه منحنی‌ها در عمق ۱۰۷ متری در یک نقطه یکدیگر را قطع می‌کنند و این نشان دهنده عمود بودن راستای پیمایش این آرایه به راستای ناپیوستگی جانبی است و چون پیمایش شرقی-غربی بوده است راستای گسلش شمالی-جنوبی می‌باشد. در همین آرایه در شاخه فرعی مشاهده می‌کنیم که سه منحنی طوری یکدیگر را قطع کرده اند که تشکیل یک مثلث داده است و نشان دهنده این است که راستای پیمایش و ناپیوستگی جانبی زاویه حاده با یکدیگر می‌سازند به نظر می‌رسد که احتمالاً شاخه‌ای فرعی از یک گسلش در این مسیر است. در شکل ۱۲ مکانهایی را که روشهای مختلف الکتریکی در آنها واکنش نشان داده اند مشخص کرده ایم.



شکل ۱۲. مسیر گسل با استفاده از نتایج بدست آمده از روشهای الکتریکی

قدردانی

اختیار قرار دادن این داده ها نهایت تشکر و قدردانی را

داریم.

تمام داده های استفاده شده در این پژوهش متعلق به مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن بوده است و از در

References:

- Ahmadzadeh, M. and Shakib, H. (2004), on the December 26,2003, southeastern Iran earthquake in Bam region, Eng. Struct., 26,10551070,doi:10.1016/g.engstruct.2004.03.006.
- Al-Chalabi, M., 1969, Theoretical resistivity anomalies across a single vertical discontinuity, Geophysical prospecting xvll, p. 63-81
- Loke, M.H., 1999, Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies
- Mundry, E., 1984, Geoelectrical model calculations for two-dimensional resistivity distributions, Geophys.Pros., 32,124-131.
- Nakamura, T., Suzuki, S., Sadeghi, H., Fatemi Aghda, S.M., Matsushima, T., Ito, Y., Hosseini, S.K., Jafar Gandomi, A. and Maleki, M., 2005 , Source fault structure of the 2003 Bam earthquake, southeastern Iran, inferred from the aftershock distribution and its relation to the heavily damaged area: Existence of the Arg-e-Bam fault proposed., GEOPHYSIC RESEARCH LETTERS, VOL. 32, L09308, doi: 10.1029/2005GL022631, 2005.
- Pous, J., Queralt, P. and Chavez, R., 1996, Lateral and topographic effects in geoelectrical soundings, J. Appl.Geophys., 35, 237-248.
- Schulz, R. and Tezkan, B., 1988, Interpretation of resistivity measurements over two-dimensional structures, Geophys.Pros., 36, 962-975
- Talebian, M., Fielding, E.J., Funning, G.J., Ghorashi, M., Jackson, J., Nazari, H., Parsons, B., Priestley, K., Rosen, P.A., Walker, R. and Wright, T.J (2004), The 2003 Bam (Iran) earthquake: Rupture of a blind strike-slip fault, Geophys. Res. Lett., 31, L11611, doi:10.1029/2004GL020058.
- Tatar, M., Hatzfeld, D., Moradi, A.S. and Paul, A., 2005, The 2003 December 26 Bam earthquake (Iran), Mw 6.6, aftershock sequence, Geophys. J. Int., 163, 90-105.
- Van Nostrand, R.G. and Cook, K.L., 1955, Discussion of 'Apparent resistivity for dipping beds', by Maeda, K. (GEO-20-01-0123-0147), Geophysics, 20,140-143.