

## شناسایی زون گسلی بم با استفاده از روش مگنتوتلوریک

### Recognition of Bam fault zone using magnetotelluric method

۱- مهناز سپهرمنش، بهروز اسکویی

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (mahnazsepar@gmail.com)، ۲ استادیار مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

#### چکیده

بهایی که انسان در طول تاریخ برای ماده اولیه حیات پرداخته گاهی بسیارگزارف بوده است، از جمله این موارد زلزله ویرانگر بم در جنوب شرقی ایران است. ارتباط بین گسل های معکوس فعال، آبخوان های بالا آمده ای که ذخیره آب را تهیه می کنند و مکان های تجمع اقوام بشری در نواحی خشکی از جهان مانند ایران شناخته شده می باشد.

درنگاهی گذرا به نقشه زمین شناسی ناحیه زلزله زده آبرفت هایی دیده می شود که کل منطقه را پوشانده اند. برای مشخص کردن ساختارهای زمین شناسی زیرسطحی از جمله گسل مسبب زلزله که یک گسل پنهان است روش مگنتوتلوریک می تواند بسیار کارآمد باشد.

برای مشخص شدن ساختار این گسل یک پروفیل MT با امتداد شرقی- غربی و عمود بر راستای گسل آشکار بم- بروات زده شد. مطالعه مقاطع 2D این پروفیل یک زون با مقاومت پایین در عمق ۸-۲ کیلومتری نشان می دهد که به وضوح دچار گسلس شده است. در اعماق بیشتر زون دیگری با مقاومت پائین تر مشاهده می شود که گسل خوردگی در آن مشاهده نمی شود، این زون به خوبی با عمق پس لرزه های ثبت شده مطابقت دارد شیب نزدیک به قائم گسل پنهان، عمق سنگ کف و وجود مؤلفه معکوس در گسل آشکار از نتایج این مطالعه است.

کلمات کلیدی: بم، زلزله، مگنتوتلوریک، گسل پنهان، مؤلفه امتداد لغز، گسل بم - بروات

#### Abstract

During history, the cost that the human being have paid for the principle matter of life sometimes has been very expensive; the devastating earthquake of Bam in the southeast of Iran was one of them which occurred in December 2003. The close relation between active reverse faulting, the uplifted aquifers that provide water and habitation in the desert regions as Iran has been known.

Surface geology of the region suggests thick aquifers that cover all the area. To detect the subsurface geological features such as any hidden fault that cause the earthquake, the magnetotelluric method might be very useful.

To study the Bam's fault zone, MT data have been collected along an east-west profile approximately perpendicular to the local strike of the Bam-Baravat fault. 2D inversion and interpretation along this profile showed a zone with low resistivity at the depth of 2-8 Km that obviously ruptured. Deeper down there is a zone with even lower resistivity that according to interferometry studies is not fractured. This zone is consistent with the depth of aftershocks. Nearly vertical dip of the fault, monitoring the depth of the bedrock and the study of the reverse component of the proven fault are of other results of this study.]

**Key words:** Bam, Earthquake, Magnetotelluric, Hidden fault, Strike-slip component

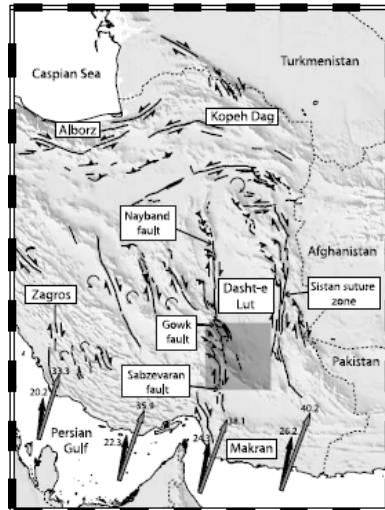
## ۱- مقدمه

در اولین ساعات روز ۵ دی ۱۳۸۲ زلزله مهیبی شهر بم و اطراف آن را به لرزه در آورد. شدت زلزله به حدی بود که باعث خرابی تقریباً تمامی ساختمان‌ها در بخش مرکزی شهر شد. بر اساس آمار رسمی ۲۵۰۰۰ و غیر رسمی (بربریان، ۲۰۰۵) ۴۰۰۰۰ نفر در اثر این زلزله کشته شدند. حتی در تاریخ زلزله‌های ویرانگر ایران که حوادثی از این دست نادر نیست این زلزله بسیار مخرب به شمار می‌آید. بزرگای این زلزله  $6.6 \text{ Mw}$  و مرکز کانونی آن در  $29,08^{\circ} \text{N}$  و  $58,38^{\circ} \text{E}$  گزارش شده است. ارتباط نزدیکی بین شهرها و گسل‌های فعال در نواحی کویری ایران وجود دارد (جکسون، ۲۰۰۶). چندین زلزله در سا لهای اخیر به وضوح شهرهای منفرد کویری ایران را هدف گرفته‌اند. زلزله سفیدابه در ۱۹۹۴ (بربریان و همکاران، ۲۰۰۰)، طبس در ۱۹۷۸، فردوس در ۱۹۶۸ (والکروهمکاران، ۲۰۰۳) و زلزله بم از این جمله‌اند. آنچه شایان توجه است اینکه در تمامی این موارد تا شعاع ۵۰ کیلومتری این شهرها شهر بزرگ دیگری مشاهده نمی‌شود و هر یک از این شهرها بزرگترین شهر در یک شعاع بزرگ محسوب می‌شوند. وقوع زلزله‌های ویرانگر در هر یک از این شهرها در نگاه اول شاید به بداقبالی تفسیر شود. اما با نگاهی علمی تر آنچه دیده می‌شود چیزی بیش از یک بد اقبالی ساده است. علت وقوع زلزله‌های مهیب در این شهرها و نه در دیگر نقاط خالی از سکنه کویر به وضوح در بم قابل توجیه است. بم و بروات آبادی‌هایی در کنار یکدیگر در کویر هستند که به محصول خرمای خود شهرت بسزائی دارند. علت وجود نخلستان‌های این شهرها دسترسی به آب است. این آب توسط آبخوان بالا آمده‌ای که در دیواره بالا رونده گسل معکوس قرار دارد ذخیره می‌شود و زیرپرگاه گسلی (اسکارپ) بم-بروات تجمع می‌یابد. بنابراین آنچه در بم و بروات اتفاق افتاد تنها یک حادثه نبود. وجود چنین شهرهایی در کویر وابسته به یک سیستم گسلی است.

نکته جالب در مورد بم آن است که زلزله در گسل آشکار منطقه اتفاق نیفتاده است. گسل مسبب زلزله در این مورد گسل پنهانی است که هیچ شکستگی عمده و یا تغییر در توپوگرافی در سطح به وجود نیاورده است. عدم وجود مؤلفه عمودی در حرکت گسل یکی از عواملی است که موجب می‌شود توپوگرافی در گسل وجود نداشته باشد. این آن چیزی است که در بم اتفاق افتاده است. وقوع زلزله در گسل‌هایی از این نوع پدیده‌ای ناشناخته نمی‌باشد. زلزله‌های طبس (۱۹۷۸)، نورث ریج در کالیفرنیا (۱۹۹۴) از آن جمله می‌باشند. عدم وجود شکستگی‌های وسیع سطحی در بم نشان می‌دهد گسلش در عمق اتفاق افتاده و به سطح نرسیده است. با توجه به این موضوع و پوشیده بودن دشت بم از تشکیلات ضخیم کواترنری برای شناسایی این گسل احتیاج به روشی با عمق نفوذ زیاد داریم. به این منظور مطالعات مگنتوتلوریک بم انجام گرفته است. استفاده از روش نوین MT بعنوان یک روش عمیق برای شناسایی زون‌های گسلی در اغلب نقاط دنیا شناخته شده است. مطالعه زون گسلی NAFZ که مانند گسل بم یک گسل پنهان است و باعث زلزله ۱۷ اگوست ۱۹۹۹ از میت در ترکیه شد (بولنت-تنک، ۲۰۰۴) و مطالعات MT گسل سن آندریاس (ونجیو، ۲۰۰۴) از این جمله می‌باشد.

## ۲- گسل‌های بم

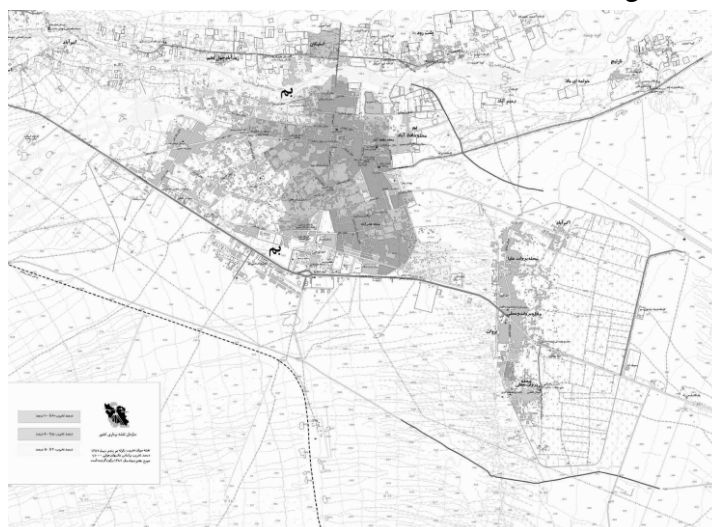
بم در دشت لوت واقع شده این دشت از طرف شرقی و غربی به سیستم‌های گسلی امتداد لغز راستگرد شمالی - جنوبی محدود می‌شود. سیستم گسلی که بخش غربی دشت را احاطه کرده تا گسل نایبند ادامه دارد. شهر بم در سیستم گسلی نایبند - گوک - سبزواران قرار دارد. گسل گوک که یک گسل امتداد لغز راستگرد است در غرب بم قرار دارد و یکی از لرزان‌ترین ساختارهای ناحیه است که در ۲۳ سال گذشته دست کم پنج زمینلرزه متوسط و بزرگ در گستره آن اتفاق افتاده است. گسل نایبند نیز یکی از گسل‌های بنیادی و کهن ایران است که بلوک لوت و بلوک طبس را از یکدیگر جدا می‌کند (آقا نیاتی، ۱۳۸۳).



شکل ۱- بم در سیستم گسلی نایبند - گوک - سبزواران. شهر بم در داخل مربع تیره رنگ قرار دارد. موقعیت دشت لوت نسبت به بم در شکل مشخص است. پیکان های سیاه و خاکستری معرف حرکت صفحه عربستان - اوراسیا هستند. پیکان های سیاه بر اساس اطلاعات حاصل از GPS و پیکان های خاکستری بر اساس آنومالی های مغناطیسی کف دریا به دست آمده اند (فانینگ، ۲۰۰۵).

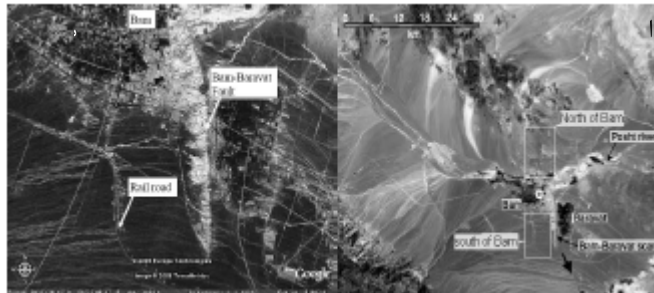
واضح ترین گسل در منطقه بم گسلی است به طول ۱۲ کیلو متر که از رودخانه پشت رود تا جنوب بین بم و بروات ادامه دارد. این گسل به وضوح در تصاویر ماهواره ای و عکس های هوایی دیده می شود (شکل ۳). گسل بم - بروات یک گسل معکوس است که یک مؤلفه امتداد لغز راستگرد نیز دارد (جکسون و همکاران، ۲۰۰۶).

پس از زلزله تمام توجهات به این گسل معطوف شد؛ اما تحقیقات میدانی یک هفته پس از زلزله هیچ شکستگی سطحی عمده ای در اطراف این گسل نشان نمی داد. مورد مشکوک دیگر خرابی شدید زلزله ای با بزرگای نه چندان زیاد ۶٫۶ بود. علت اصلی چنین خسارت شدیدی ممکن بود مربوط باشد به ضعف ساختمان های خشت و گلی مرسوم در منطقه اما با این وجود باز هم شدت خرابی در مقایسه با بزرگای زلزله کاملاً غیر منتظره بود و از یک گسل شیبدار بعید به نظر می رسید. مورد دیگر خرابی گسترده تر در شهر بم در مقایسه با روستای بروات بود. با وجود نزدیکی گسل به روستای بروات که طبیعتاً ساختمان های سست تری داشت شدت خسارات در شهر بم بسیار بیشتر بود و جالب تر آنکه این خرابی ها در یک شعاع کم به سرعت رو به کاهش می گذاشت؛ در حالیکه زلزله در مرکز شهر باعث خرابی تقریباً صد در صد شده بود در شعاع یک کیلو متری شدت خرابی ها به ۵۰-۸۰٪ می رسید (شکل ۲).



شکل ۲- میزان تخریب شهر بم و اطراف (سازمان نقشه برداری کشور)

تمامی این موارد باعث می‌شود گسل آشکار بم \_ بروات را که یک گسل شیبدار است نتوان عامل اصلی زلزله به شمار آورد. شدت زیاد خرابی و کاهش شدید آن در یک شعاع کم باعث می‌شود گسل مسبب زلزله را یک گسل با شیب زیاد تصور کرد. بالا بودن میزان خرابی در شهر بم در مقایسه با روستای بروات محل این گسل را بین این دو ولی نزدیک تر به بم نشان می‌دهد. با چنین تفسیرهایی تصویری از گسل مسبب زلزله به وجود می‌آید، اما در هیچیک از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای اثری از این گسل دیده نمی‌شود؛ از این رو آن را گسل پنهان می‌نامند.



شکل ۳- گسل های بم در عکس هوایی و تصویر ماهواره ای: الف) گسل بم \_ بروات و رودخانه پشت رود در نقشه هوایی بم (از جکسون، ۲۰۰۶). ب) گسل بم \_ بروات به وضوح در تصویر ماهواره‌ای دیده می‌شود. گسل جدید در نزدیکی راه آهن قرار دارد (از گوگل ارس).

### مفاهیم اولیه

روش‌های الکترومغناطیس به طور وسیع جهت تعیین ساختارهای مقاومت ویژه زیر سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها بر اساس پاسخ ساختارهای زیرسطحی نسبت به انتشار میدان‌های الکترومغناطیس استوارند. اگر زمین همگن و از نظر الکتریکی عایق باشد، اختلافی بین میدان‌های منتشر شده در سطح و یا داخل زمین وجود نخواهد داشت و تنها مقداری از شدت میدانی که در داخل زمین منتشر می‌شود کاسته خواهد شد. اگر یک توده رسانا در زیر سطح وجود داشته باشد، مؤلفه‌های مغناطیسی میدان الکترومغناطیسی اولیه سبب القای جریان پیچشی در جسم رسانا می‌شوند؛ این جریان به نوبه خود میدان ثانویه‌ای ایجاد می‌کند که از داخل زمین به سطح می‌رسد.

در محل گیرنده میدان برای اندازه‌گیری می‌شود که با مقایسه آن با میدان اولیه می‌توان اطلاعاتی راجع به ساختارهای زیرسطحی به دست آورد. در صورت وجود ناهمگنی یا ناهمسانگردی میدان برآیند نسبت به میدان اولیه هم از نظر اندازه و هم از نظر فاز متفاوت خواهد بود.

روش مگنتوتلوریک از تکنیک‌های حوزه فرکانس است و یک روش اکتشافی غیرفعال محسوب می‌شود که از طیف وسیع تغییرات ژئومغناطیسی به عنوان چشمه القای مغناطیسی در زمین استفاده می‌کند.

روش مگنتوتلوریک (MT) به صورت اندازه‌گیری همزمان میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی طبیعی زمین و ثبت تغییرات آنها نسبت به زمان در سطح زمین تعریف می‌شود. حاصل مطالعات مگنتوتلوریک تعیین وضعیت لایه‌های زمین از نظر الکتریکی است. ساختارهای زمین‌شناسی و همین‌طور سازندهای زمین‌شناسی با توجه به جنس، میزان و نوع سیالات، همچنین تخلیخشان دارای پاسخ‌های متفاوتی در تقابل با میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی زمین هستند.

زون‌های گسلی به خصوص اگر حاوی آب و مواد رسی باشند دارای هدایت الکتریکی بالایی می‌باشند. عمق نفوذ میدان‌های الکترومغناطیسی در زمین بستگی به دوره تناوب سونداژ الکترومغناطیسی و ساختار هدایتی زمین دارد.

$$\delta = 500 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad \text{رابطه ۱}$$

عمق پوسته (m)،  $\rho$  مقاومت ویژه ( $\Omega m$ ) و  $f$  (Hz) فرکانس بکار رفته است.

### نظری

مطالعات تجربی (مانند وارد و هاهمن، ۱۹۹۱) نشان می‌دهند که پدیده‌های الکترومغناطیسی از معادلات ماکسول پیروی می‌کنند. با استفاده از این معادلات و تقریب شبه ایستا داریم:

$$\nabla^2 E - i\mu\sigma\omega E = 0 \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\nabla^2 H - i\mu\sigma\omega H = 0 \quad \text{رابطه ۳}$$

که در سیستم SI،  $E$  شدت میدان الکتریکی (V/m)،  $H$  شدت میدان مغناطیسی (A/m)،  $\omega$  فرکانس زاویه ای (Hz)،  $\sigma$  هدایت الکتریکی (mhos/m)،  $\mu$  تراوایی مغناطیسی (Vs/Am) است.

آنچه در روش MT اندازه‌گیری می‌شود پنج مؤلفه الکترومغناطیسی است. سه مؤلفه مربوط به میدان مغناطیسی و دو مؤلفه مربوط به میدان الکتریکی.

### تانسور امپدانس

مؤلفه های میدان الکتریکی و مؤلفه عمودی میدان مغناطیسی به صورت زیر به مؤلفه‌های افقی میدان مغناطیسی مرتبط می‌شوند (کانتول، ۱۹۶۰).

$$\begin{bmatrix} E_x \\ H_y \end{bmatrix} = Z \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۴}$$

$Z$  یک ماتریس  $2 \times 2$  است که به عنوان تانسور امپدانس مختلط شناخته می‌شود.

$$Z = \begin{bmatrix} z_{xx} & z_{xy} \\ z_{yx} & z_{yy} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۵}$$

### توابع تبدیل موج تخت دو بعدی و تجزیه مد

در مدلسازی داده‌های MT معمول است که فرض کنیم توزیع رسانایی زمین می‌تواند توسط یک مدل دو بعدی به خوبی تخمین زده شود؛ این بدین معناست که یک سیستم مختصات وجود دارد که در آن تغییرات رسانایی در طول یک محور قابل صرف نظر کردن است، این محور به عنوان راستای امتداد تعریف می‌شود. با این تعاریف دو مد مختلف می‌توان تعریف کرد. این دو مد در شکل ۴ نشان داده شده‌اند.

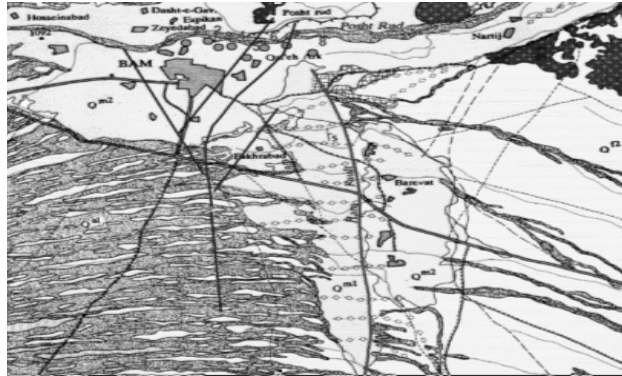


شکل ۴- مدهای TE و TM

در مد TE (E-polarization)، مؤلفه میدان الکتریکی در راستای امتداد ساختار رسانا قرار دارد و جریان در راستای x شارش می‌کند. در مد TM (B-polarization) میدان مغناطیسی در راستای امتداد و میدان الکتریکی عمود بر امتداد است. در مطالعات اخیر MT هر دو مد را بررسی می‌کنند و با استفاده از داده‌های هر دو مد اطلاعات کامل از تانسور امپدانس به دست می‌آورند.

## برداشت و پردازش داده‌ها

داده‌برداری عملیات MT در امتداد یک پروفیل شامل ۸ سونداژ در جهت شرقی - غربی و عمود بر امتداد گسل انجام شد. محل این سونداژها در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- موقعیت سونداژهای عملیات MT روی نقشه زمین شناسی. عوارض آبی مربوط هستند به گسل پنهان بر مبنای مطالعات پسرلزه ها (ناکامورا، ۲۰۰۵). پوشیده بودن منطقه مطالعاتی از آبرفت به خوبی مشهود است. سونداژهای ۴ تا ۷ بسیار نزدیک گسل پنهان می باشند.

پس از جمع آوری داده های MT به صورت سری های زمانی میدان های الکتریکی و مغناطیسی در باند های فرکانسی تعریف شده ، پردازش داده ها صورت می گیرد. نتیجه پردازش داده ها تانسورهای طیفی برای فرکانس های هدف در هر ایستگاه است که از آن به راحتی می توان مؤلفه های تانسور امپدانس را به همراه خطای آن استخراج کرد. پس از این مرحله تمامی عملیات مدلسازی و تفسیر داده ها بر روی مؤلفه های این تانسور صورت می گیرد.

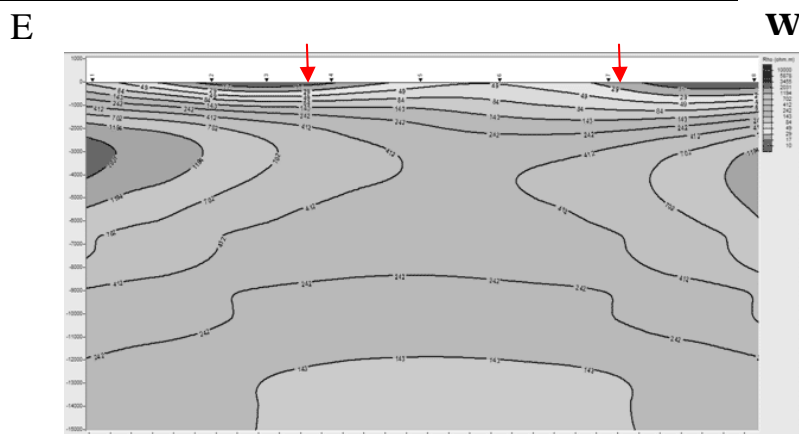
## وارون سازی و تفسیر داده های MT گسل بم

فرآیند مدلسازی رابطه بین داده های مشاهده شده و خواص فیزیکی، مسأله پیشرو نام دارد. بر عکس، حالتی که در آن خواص فیزیکی از داده ها حاصل می شود، مسأله وارون سازی نام دارد. هر دو فرآیندهایی تکرارپذیرند و هدف از تکرار این است که عدم انطباق بین داده های اندازه گیری شده و داده های حاصل از مدل کاهش یابد. برای مدل سازی داده های MT بم از روش معکوس استفاده شده است. شکل ۶ شبه مقاطع مقاومت ویژه و فاز محاسبه شده از وارون سازی و اندازه گیری شده را برای هر دو مد TE و TM نشان می دهد.



شکل ۶- شبه مقاطع مقاومت ویژه و فاز محاسبه شده و اندازه گیری شده برای مد TE (سمت راست) و مد TM (سمت چپ).

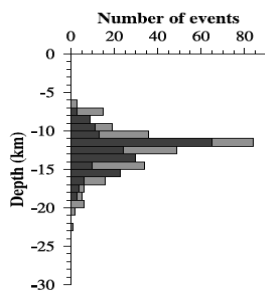
با دقت در مقادیر مقاومت و فاز اندازه گیری شده بین دو مد تفاوت هایی مشاهده می شود. وجود این چنین تفاوت هایی نشان دهنده ساختار دو بعدی گسل است. مدل نهایی دو بعدی حاصل از وارون سازی همزمان دو مد TE و TM (Joint inversion) در شکل ۷ آورده شده است.



شکل ۷- مدل نهایی دو بعدی حاصل از وارون سازی همزمان دو مد TE و TM، فلش ها محل گسل را نشان می دهند.

یک بخش مقاوم در قسمت غربی دیده می شود که نظیر آن در شرق نیز دیده می شود. (مناطق آبی رنگ) این قسمت های مقاوم زون گسلی را بین خود محصور می کنند به عبارتی بخش غربی محدوده گسل پنهان و شرقی محدوده گسل آشکار به بروات است. این بخش های مقاوم را می توان به سنگ کف مربوط دانست. از اینجا عمق سنگ کف چیزی حدود ۱,۵-۱ کیلومتر است که به خوبی با مطالعات مغناطیس سنجی مطابقت دارد.

سنگ کف در بخش شرقی در عمق بیشتری قرار گرفته است. این تفاوت به خوبی با توجه به گسل آشکار به بروات و قرار گرفتن آن در نزدیکی سونداژ ۸ قابل توجه است. این گسل یک گسل امتداد لغز است که شیب آن به سمت غرب است و یک مؤلفه معکوس نیز دارد. قرار گرفتن ایستگاه ۸ در اطراف این گسل و وجود مؤلفه معکوس در آن باعث این تفاوت شده است. مقطع فوق نشان می دهد که زون گسلی مقاومت پایینی (حدود ۵۰۰ اهم متر) دارد (بین ایستگاه های ۴ تا ۷) و در عمقی بین ۷-۲ کیلومتر قرار گرفته است. علت فیزیکی این آنومالی هادی می تواند وجود سیالات با درجه شوری بالا باشد. تصور می شود این سیالات در برش های گسلی (fault breccias) و زون های تخریب شده اطراف گسل تمرکز می یابند. با توجه به وجود سنگ های دگرگونی در منطقه از جمله مرمر که دگرسان شده سنگ آهک شناخته شده در منطقه است و عمق مورد بحث که عمق مناسب فرآیندهای دگرگونی است (۱۰-۳ کیلومتر)، می توان منشأ این سیالات را مربوط به واکنش های متامورفیکی دانست. به عبارتی می توان چنین گفت که این سیالات از مناطق دگرگون شده به زون های گسلی وارد شده اند. مطلب شایان توجه دیگر در مقطع MT وجود زون هادی (مقاومت بین ۱۵۰ و ۲۵۰ اهم متر) دیگری است که در اعماق بیش از ۷ کیلومتر قرار گرفته است. بر اساس مطالعات اینترفرومتری (Interferometry) این زون دچار گسلش نشده است اما مقاومت بسیار پائینی دارد و بیشترین تمرکز پسلرزه ها در آن مشاهده می شود (شکل ۸).



شکل ۸- هیستوگرام ۳۳۱ پسلرزه که کیفیت خوبی داشته اند؛ ۲۸۶ پسلرزه ای که با بهترین کیفیت مکان یابی شده اند با رنگ آبی مشخص شده اند. (تائارو همکاران ۲۰۰۵)

این مطلب نشان دهنده این است که اعماق بیشتری از زون سست وجود دارد که هنوز دچار گسلش نشده است و در صورت حرکت می تواند ضایعه دهشت باری را برای شهر تازه ساز بهم به وجود آورد.

هادی ترین مناطق (مقاومت کمتر از ۵۰ اهم متر) که از سطح تا اعماق ۵۰۰ متری مشاهده می شوند نشان دهنده رسوبات می باشند. این رسوبات بین ایستگاه های ۲ تا ۴ و ما بین ایستگاه های ۷ و ۸ مقاومت کمتری دارند و به وضوح شاخه های گسل را در سطح مشخص می کنند. کم بودن مقاومت در این نواحی به علت مرطوب بودن گسل است.



### نتیجه گیری

سنگ کف در عمقی بین ۱-۲ کیلومتر قرار گرفته است. شیب گسل نزدیک به قائم است و با شواهد زلزله کاملاً قابل تأیید است. در عمق کم در اطراف شاخه های گسل پنهان نواحی با مقاومت بسیار کم مشاهده می شود پائین بودن مقاومت در این عمق به علت مرطوب بودن گسل است.

نواحی گسل خورده محصور بین دو گسل پنهان و آشکار مقاومت پائینی را در اعماق ۷-۲ کیلومتری نشان می دهند. گسلش به خوبی در این ناحیه دیده می شود. مقاومت پائین این ناحیه می تواند مربوط به پر شدن حفره ها و شکستگی های برشی و زون گسلی تخریب شده از سیالات با درجه شوری بالا باشد. مقاومت در اعماق بیشتر زیر زون گسلی کاهش می یابد، این بخش که منطبق بر عمق تمرکز پس لرزه هاست و دچار گسلش نشده این سؤال را به وجود می آورد که آیا این نیمه دوم باقیمانده ناحیه سست ممکن است از نظر لرزه خیزی در آینده حادثه ساز شود؟

### مراجع

آفانباتی، س. ع.، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران، ISBN: 964-6178-13-8.

Berberian, M., Jackson, J., Qorashi, M., Talebian, M., Khatib, M., M and Priestley, K., 2000, The 1994 Sefidabeh earthquake in eastern Iran: blind thrusting and bedding- plane sleep on a growing anticline and active tectonics of the Sistan suture zone, *Geophys. J. Int.*, **142**, 283-299.

Berberian, M., 2005, The 2003 Bam urban earthquake: a predictable seismo-tectonic pattern along the western margin of the rigid Lut block, south-east Iran, *Earthquake spectra*, **21**, 35-99.

Bulent-Tank, S., Honkura, Y., Ogawa, Y., Matsushima, M., Oshiman., N., Kemal-Tuncer, M., Celik, C., Tolak, E., Mete-Isikara, M., 2005, Magnetotelluric imaging of the fault rupture area of the 1999 Imit (Turkey) earthquakes, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **150**, 213-225.

Cantwell, T., 1960, Detection and analysis of low frequency magnetotelluric signal. PhD thesis geology and geophysics, Massachusetts institute of technology

Fanning, G. j., Parsons, B., and Wright, T., 2005, Surface displacements and source parameters of the 2003 Bam (Iran) earthquake from Envisat advanced synthetic aperture radar imagery: *J. of Geophys. Res.*, **110**, B09406, doi:10.1029/JB:3338.

Jackson, J., Bouchon, M., Fielding, E., Fanning, G., Ghorashi, M., Hotzfeld, D., Nazari, H., Parsons, V., Priestly, B., Talebian, M., Tatar, M., Walker, R., Wright, T., 2006, Seismotectonic, rapture process and earthquake hazard aspects of the 2003 December 26 Bam, Iran, earthquake: *Geophys. J. Int.*, doi:10.1111/J.1365-246X.03056.X.

Jackson, J., 2006, Fatal attraction : Living with earthquakes, The growth of villages in to megacities, and earthquakes vulnerability in modern world, *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.*, in press.

Nakamura, T., 2005, Source fault structure of the 2003 Bam earthquake, South-eastern Iran, Inferred from the aftershock distribution and it's relation to the heavily damaged area: existence of the Arg-E-Bam fault proposed, *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L09308.

Tatar, M., Hotzfeld, D., Moradi, A. S., and Paul, A., 2005, The 2003 December 26 Bam earthquake (Iran),  $M_w$  6.6, aftershock sequence, *Geophys. J. Int.*, **163**, 90-105.

Walker, R., Jackson, J., Backer, C., 2003, Trust faulting in eastern Iran source parameters and surface deformation of the 1978 Tabas and 1968 Ferdows earthquakes sequences, *Geophys. J. Int.*, **152**, 749-765.

Ward, S. H., and Hohman, G. W., 1991, Electromagnetic theory for Gophysical applications: *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, 2 (3), Nabighian, M. N. Ed, SEG investigations in Geophysics, 131-311.

Wen, X., and Unsworth, M., 2006, Structural imaging in the Rocky Mountain Foot hills (Alberta) using magnetotelluric exploration, *AAPG*, **90** (3), 321-333.