

توصیف گسل هنديجان-ایذه با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری دوبعدی، داده‌های زمین لرزه و اطلاعات زمین‌شناسی

فاطمه‌السادات طیب‌حسینی*، محمدرضا سپهوند، دانشگاه کرمان • ایرج عبدالهی فرد، سیدابوالفضل میری، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۶/۰۲/۱۴
تاریخ ارسال به داور: ۹۶/۰۳/۰۸
تاریخ پذیرش داور: ۹۶/۰۶/۱۲

واژگان کلیدی:

گسل هنديجان-ایذه، نقشه‌های زمین‌شناسی، خطوط لرزه‌نگاری دوبعدی، لرزه‌ی زمین‌ساخت

چکیده

گسل‌های عمیق یا پی‌سنگی در شکل‌گیری و توزیع تله‌های نفتی اهمیت زیادی دارند و شناسایی و توصیف هرچه بهتر این گسل‌ها در اکتشاف و توسعه‌ی میادین هیدروکربوری راهگشاست. در این مقاله جهت شناخت هرچه بهتر گسل پی‌سنگی هنديجان-ایذه، از تلفیق اطلاعات ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی استفاده شده است. شواهد عملکرد گسل هنديجان-ایذه با توجه به تغییر سن سازندهای زمین‌شناسی در دو طرف این خطواره روی نقشه‌های زمین‌شناسی قابل مشاهده است. همچنین با دقت روی مدل‌های ارتفاعی و نیز تصاویر ماهواره‌ای می‌توان نشانه‌هایی از فعالیت این گسل را مشاهده کرد. در این پژوهش، در دشت‌های جنوبی و نیز خلیج فارس، با استفاده از خطوط لرزه‌نگاری دوبعدی، روند بلندای قدیمی هنديجان و ارتباط آن با عملکرد گسل عمیق هنديجان-ایذه شناسایی و بررسی شده است. در نهایت این مقاله لرزه‌ی زمین‌ساختی نواحی اطراف گسل عمیق هنديجان-ایذه را بررسی کرده و محاسبات سازوکار کانونی ۱۵ زمین لرزه مشخص کرد که این گسل سازوکار امتداد لغز راست‌بر با عمق بیش از ۱۰ کیلومتر، شیب حدود ۸۰ درجه و امتداد تقریباً شمالی-جنوبی با آزمون حدود ۲۰-۱۰ را نشان می‌دهد.

مقدمه

ساختمان در جلوی گسل پیشانی زاگرس است که هنوز در برابر کوهزاد زاگرس مقاومت کرده و روند گسل هنديجان را نشان می‌دهد. همچنین عملکرد حال حاضر گسل هنديجان-ایذه باعث چرخش در نوار ساحلی در محل آن شده است (شکل-۱). پس از ساختمان تنگو، گسل هنديجان-ایذه مسیر خود را در زیر ساختمان زاگرسی رگ‌سفید ادامه می‌دهد اما پیگیری مسیر آن دشوار می‌شود. با این حال اثر عملکرد راست‌بر این گسل با پیشش دماغه‌ی غربی ساختمان رگ‌سفید به سمت شمال مشخص است. در ادامه، این گسل از بین ساختمان‌های آجاجاری و پازنان عبور می‌کند و روند آن با چرخشی پادساعت‌گرد بیشتر به سمت شمال متمایل می‌شود (از آزمون حدود ۱۵ درجه به حدود ۷ درجه می‌رسد). شاید بتوان تصور کرد که گسل ایذه در این ناحیه به دو بخش تقسیم می‌شود که البته این نظر نیاز به مطالعات تکمیلی دارد. در شمال ساختمان‌های پازنان و آجاجاری، گسل ایذه روی بیشتر نقشه‌های شرکت نفت ترسیم شده است (شکل-۱) و از این نقطه به سمت شمال، گسل ایذه از غرب کوه بنگستان تا دماغه‌ی غربی ساختمان منگشت امتداد دارد. در محدوده‌ی ساختمان منگشت گسل ایذه به دو بخش تقسیم شده است که بخش غربی به سمت زاگرس مرتفع ادامه دارد. لازم به ذکر است که در قسمت شمالی (از شمال آجاجاری تا

پی‌سنگ در کمربند زاگرس فاقد هرگونه رخنمون است و فرض غالب بر اینست که پی‌سنگ زاگرس ادامه‌ی سپر عربی با جنس آذرین-دگرگونی با سن پرکامبرین باشد [۱]. وجود گسل‌های پی‌سنگی قدیمی با سن پرکامبرین و پالئوزوئیک و با روندهای مختلف در پی‌سنگ صفحه‌ی عربی اثبات شده است [۱ و ۲]. صفحه‌ی عربی در زمان‌های مختلف تحت تأثیر نیروهای تکتونیکی قرار گرفته و در نتیجه این نیروها، گسل‌ها و خطواره‌های قدیمی با روندهای مختلف روی صفحه‌ی عربی مجدداً فعال شده‌اند [۳-۱]. گسل هنديجان-ایذه از جمله خطواره‌های پی‌سنگی با روند تقریبی شمال-شمال‌شرق-جنوب-جنوب‌غربی است. پس از تشکیل کوهزاد زاگرس (از اواخر کرتاسه تا به امروز)، خطواره‌های پی‌سنگی در حاشیه‌ی شمالی صفحه‌ی عربی و از جمله گسل هنديجان-ایذه، تحت تأثیر این کوهزاد قرار گرفته‌اند و متقابلاً آرایش چین‌خوردگی‌های زاگرسی نیز از این گسل‌ها اثر پذیرفته است [۹-۴]. گسل هنديجان-ایذه از جنوب صفحه‌ی عربی (کشور عربستان) شروع می‌شود و میدان نفتی صفانیا که بزرگ‌ترین میدان نفتی فراساحل (دریایی) جهان و دومین میدان نفتی عربستان است روی این روند واقع شده است. همچنین میدان نفتی آرش (مشترک بین ایران و کویت) و میادین نوروز، هنديجان و بهرگانسر روی این بلندای شکل گرفته‌اند. ساختمان تنگو واقع در دشت آبادان، آخرین

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (fs.tayebhosaini@yahoo.com)

(شکل-۳). با توجه به این شکل، اختلاف توپوگرافی شدیدی در دو طرف گسل ایذه دیده می‌شود به طوری که بلوک شرقی گسل در طیف رنگی قرمز و زرد (ارتفاع میانگین بیش از ۱۰۰۰ متر) قرار گرفته و حداقل ۵۰۰ متر بالاتر از بلوک غربی گسل با طیف رنگی آبی و سبز (ارتفاع میانگین کمتر از ۵۰۰ متر) واقع شده است. یادآور می‌شود که در اثر این بالا آمدگی، سازندهای قدیمی‌تر در شرق و سازندهای جوان‌تر در غرب گسل ایذه رخنمون دارند. با تحلیل و پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌توان اطلاعات مفیدی از عوارض ساختاری بزرگ مقیاس سطحی مانند چین‌ها و گسل به دست آورد. در شکل-۳ تصویر ماهواره‌ای به همراه موقعیت گسل ایذه نشان داده شده است. با توجه به تصاویر ماهواره‌ای، در دو سمت غرب و شرق گسل ایذه تفاوت در رنگ و برجستگی دیده می‌شود. همان‌گونه که قبلاً گفته شد این اختلافات مرتبط به تفاوت در ارتفاع توپوگرافی و سازندهای زمین‌شناسی است.

۳- داده‌های غیر لرزه‌ای

داده‌های غیر لرزه‌ای نظیر داده‌های گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی در شناسایی ساختار کلی حوضه و کف حوضه به کار می‌روند. با فرض اینکه که خاصیت گرانش پی‌سنگ بیشتر از پوشش رسوبی بالایی است داده‌های گرانی‌سنجی در شناخت هندسه پی‌سنگ به کار می‌روند. در شکل-۴ نقشه‌ی آنومالی باقیمانده‌ی بوگه (بر

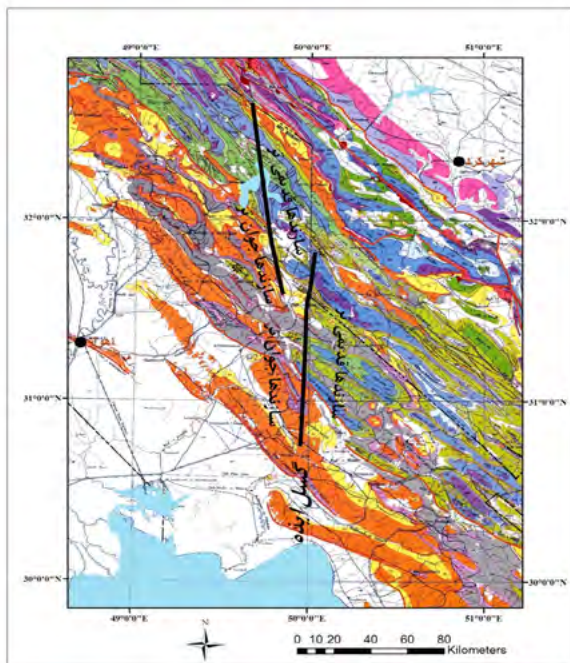
منگشت) از واژه‌ی گسل ایذه و در قسمت جنوبی از واژه بلندای قدیمی^۱ هندیمان استفاده می‌شود [۷]. همچنین هرگاه کل منطقه‌ی شمال و جنوب مد نظر باشد از واژه‌ی گسل هندیمان-ایذه استفاده شده است.

۱- نقشه‌ی زمین‌شناسی

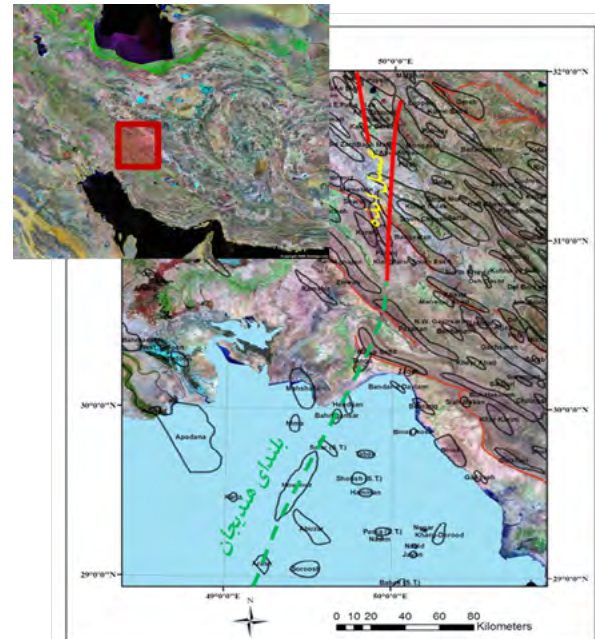
در قسمت شمالی (خشکی)، بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی می‌تواند نشانه‌هایی را از عملکرد گسل‌های عمیق روی سطح زمین آشکارا سازد. در شکل-۲ بخشی از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ زاگرس به همراه موقعیت گسل ایذه نشان داده شده است. با توجه به شکل-۲ در سمت شرق گسل ایذه سازندهای قدیمی‌تر (آسماری، بنگستان) رخنمون دارند. در حالی که در سمت غرب گسل سازندهای جوان‌تر (گچساران و آغاچاری) رخنمون دارند [۹] و تنها استثنای آن در کوه آسماری است که سازند آسماری در اثر عملکرد یک گسل تراستی به سطح زمین رسیده است (روی شکل با علامت * مشخص شده). بنابراین می‌توان فهمید که بلوک شرقی گسل ایذه در عمق بالاتری از بلوک غربی آن واقع شده است.

۲- اطلاعات سنجش از دور

یکی از داده‌هایی که می‌تواند نشان‌دهنده‌ی عملکرد گسل‌های بزرگ باشد اختلاف شدید و ناگهانی در توپوگرافی سطحی است



۲ | بخشی از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ زاگرس به همراه موقعیت گسل ایذه. در سمت شرق گسل پی‌سنگی ایذه سازندهای قدیمی‌تر (آسماری به رنگ سبز و بنگستان به رنگ آبی) رخنمون دارند در حالی‌که در سمت غرب گسل سازندهای جوان‌تر آغاچاری (به رنگ قهوه‌ای) و گچساران (به رنگ خاکستری) دیده می‌شود



۱ | نقشه‌ی تصویر ماهواره‌ای به همراه موقعیت ساختمان‌های منطقه و گسل‌های اصلی زاگرس و نیز موقعیت بلندای قدیمی هندیمان و گسل ایذه. توجه شود که گسل ایذه در ادامه بلندای هندیمان واقع شده و یک گسل ناحیه‌ای پی‌سنگی به نام هندیمان-ایذه وجود دارد. به چرخش به وجود آمده در خط ساحلی خلیج فارس در محل بلندای (گسل عمیق) هندیمان ایذه توجه شود.



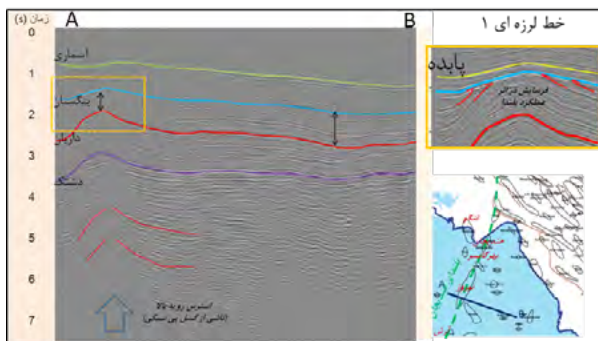
سازندها و روی نقشه‌های زمین‌شناسی نیز قابل استنتاج است.

۴- داده‌های لرزه‌نگاری

در بخش جنوبی با توجه به عمق زیاد گسل هندیجان-ایذه، این گسل روی مقاطع لرزه‌نگاری به درستی مشاهده نمی‌شود و تنها در برخی موارد، گسل‌ها و شکستگی‌هایی که احتمالاً از گسل اصلی و پی‌سنگی منشعب می‌شوند مشاهده می‌گردد. نکته‌ی مهم در تحلیل‌های این بخش آنست که تغییر ضخامت و نازک‌شدگی روی بلندای هندیجان، به‌طور غیرمستقیم نشان‌دهنده‌ی فعال شدن گسل‌های عمیق و پی‌سنگی واقع در زیر بلنداست. مقاطع لرزه‌نگاری نشان می‌دهند که کمترین فرسایش و نازک‌شدگی در جنوب بلندای اتفاق افتاده (ساختمان آرش) و هر چه به سمت مرکز و شمال روی بلندای حرکت می‌کنیم (به سمت ساختمان تنگو در مرز ساحل و دریا) مقدار این فرسایش افزایش می‌یابد. این بدین معناست که افزایش شیب ناحیه‌ای در زمان کرتاسه و اوایل ترشیری از شمال به جنوب بوده؛ برخلاف عهد حاضر که از جنوب (کشور عربستان) به شمال (سواحل خلیج فارس) افزایش عمق داریم.

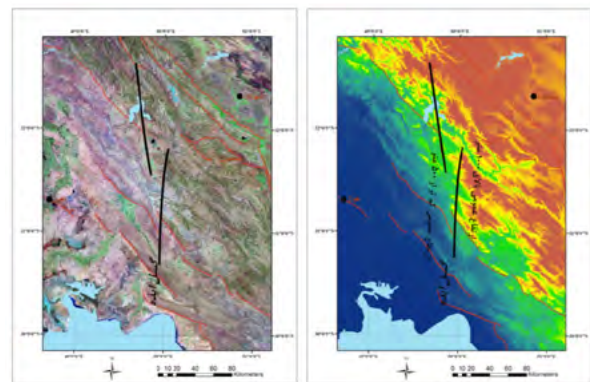
۴-۱- مقطع لرزه‌نگاری-۱

مقطع لرزه‌نگاری-۱ (شکل-۵) از جنوب ساختمان نوروز عبور می‌کند. با توجه به این مقطع می‌توان فهمید که حداکثر فعالیت بلندای گسل هندیجان-ایذه در زمان رسوب‌گذاری سازندهای گروه بنگستان (ایلام و سروک) اتفاق افتاده؛ به‌طوری که باعث نازک‌شدگی و فرسایش این دو سازند در اواخر کرتاسه شده است. همچنین در سازندهای پاینده، گورپی و آسماری نیز تا حدی نازک‌شدگی مشاهده می‌شود که نشان از ادامه‌ی فعالیت بلندای گسل پی‌سنگی مربوطه دارد. پس از آسماری تا زمان حال حاضر (کف دریا) نیز نازک‌شدگی روی مقطع لرزه‌نگاری دیده می‌شود که نشان می‌دهد فعالیت بلندای کماکان ادامه دارد و ممکن است تا حدی در اثر نیروهای زاگرسی تشدید شده باشد. لازم به‌ذکر

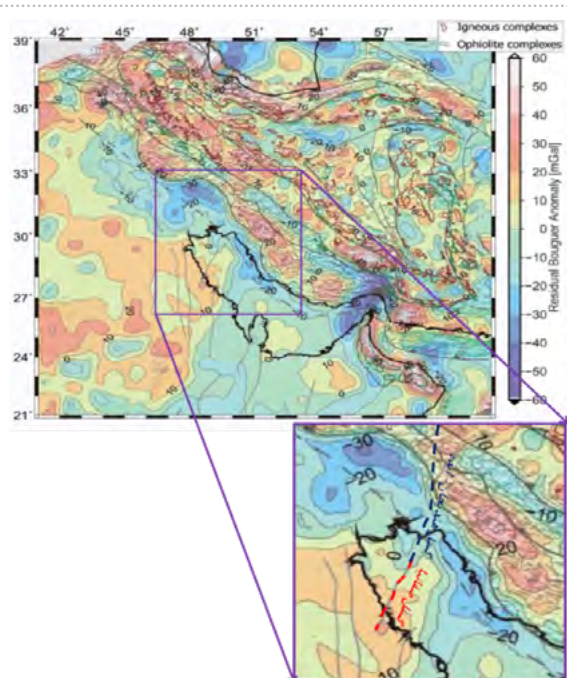


۵ | مقطع لرزه‌نگاری-۱ گذرا از جنوب ساختمان نوروز. به نازک‌شدگی و فرسایش در لایه‌های بنگستان توجه شود. این نازک‌شدگی در اثر فعالیت گسل پی‌سنگی هندیجان-ایذه هم‌زمان با نهشته شدن سازندهای گروه بنگستان (ایلام و سروک) و در نتیجه استرس قائم رو به بالا ایجاد شده است.

حسب میلی‌گال) در محدوده‌ی ایران و صفحه‌ی عربی نشان داده شده است. روی این نقشه موقعیت گسل پی‌سنگی صفانیا در جنوب (کشور عربستان) و در قسمت شمالی موقعیت گسل پی‌سنگی هندیجان-ایذه نشان داده شده است. توجه شود که مقادیر آنومالی باقیمانده‌ی بوگه در سمت شرق گسل مثبت و بسیار بیشتر از سمت غرب آنست که بالاتر بودن بلوک شرقی گسل نسبت به بلوک غربی آنرا نشان می‌دهد. یادآور می‌شود که این مسأله با توجه به



۳ | نقشه‌ی مدل ارتفاعی رقومی (سمت راست) و تصویر ماهواره‌ای (سمت چپ) در اطراف گسل ایذه. به اختلاف ارتفاع توپوگرافی (بیشتر از ۵۰۰ متر) و اختلاف رنگ و برجستگی تصویر ماهواره‌ای در دو طرف گسل ایذه توجه شود

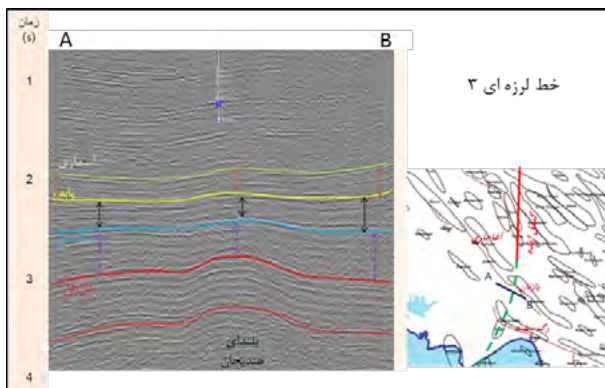


۴ | نقشه‌ی آنومالی باقیمانده‌ی گرانی‌سنجی بوگه (بر حسب میلی‌گال) در محدوده‌ی ایران و صفحه‌ی عربی، روی این نقشه، گسل پی‌سنگی صفانیا در کشور عربستان و در ادامه‌ی آن گسل هندیجان-ایذه در ایران نشان شده است. به اختلاف شدید مقادیر گرانی باقیمانده در دو طرف گسل و افزایش در شرق گسل، (به‌ویژه به سمت شمال و در داخل ایران) توجه شود

هندیجان با امتداد تقریبی شمال-شمال شرق جنوب-جنوب غربی روی آن به وضوح قابل مشاهده است و پس از آن پیگیری روند آن به سمت شمال دشوار می‌شود. با وصل کردن قله‌ی ساختمانی در این خط به قله‌ی ساختمانی در محل ساختمان تنگو و ساختمان هندیجان می‌توان مسیر حرکت بلندار را پیگیری کرد. همچنین این مقطع نشان می‌دهد که در شمال ساختمان رگ سفید، آزمون بلندار و در نتیجه گسل پی سنگی مربوطه کمتر می‌شود. همچنین نازک‌شدگی و فرسایش روی بلندار (در بازه‌ی کژدمی، سروک، ایلام، گورپی، پابده و تا حدی آسماری) قابل مشاهده است (مثل خطوط جنوبی‌تر در قسمت فراساحل).

۵- بررسی و تحلیل ضخامت رسوبی

با توجه به عمق زیاد گسل پی سنگی هندیجان-ایده، معمولاً در خطوط لرزه‌نگاری بازتابی (که عموماً حداکثر تا عمق ۱۰ کیلومتر را نشان می‌دهند) قابل شناسایی نیست. به همین دلیل، در این بخش سعی شده با استفاده از تغییرات ضخامت همزمان با رسوب‌گذاری سازندها [۷] فعالیت این گسل پی سنگی مشخص شود. بدین منظور از اطلاعات حدود ۵۰ حلقه چاه جهت ساخت نقشه‌های هم‌ضخامت عمقی^۵ در محدوده‌ی مورد مطالعه از سازند آسماری (به سن میوسن) تا سازند فهلیان (به سن کرتاسه آغازین) استفاده شده است (شکل-۸). در این تصاویر، مربع‌های کوچک محل نقاط چاه‌ها را نشان می‌دهند و طیف رنگی از قرمز به بنفش بیانگر افزایش ضخامت است. بر اساس نقشه‌های شکل می‌توان دریافت که فعالیت بلندای قدیمی هندیجان در بازه‌ی زمانی نهشته شدن سازندهای سروک تا پابده مشخص‌تر است و در زمان‌های قدیمی‌تر از سروک، کمتر فعال بوده است. ضخامت پابده تا آسماری در بخش جنوبی، مجموع دو سازند جهرم و آسماری و در بخش شمالی فقط معادل ضخامت آسماری است (در شمال جهرم نهشته نشده است). روی بلندای هندیجان-ایده یک



بلندای هندیجان روی مقطع لرزه‌نگاری عبوری از جنوب ساختمان‌های پازنان و آغاچاری. توجه شود که ضخامت از پابده تا داریان کاهش یافته که نشان‌دهنده‌ی فعال بودن بلندار در زمان رسوب‌گذاری این سازندهاست



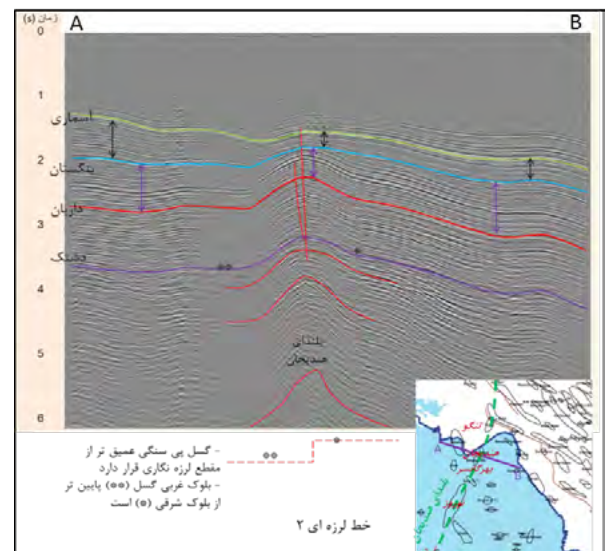
است که این نازک‌شدگی‌ها در اثر فعالیت گسل پی سنگی هندیجان-ایده همزمان با نهشته شدن سازندهای مختلف و در نتیجه‌ی استرس قائم رو به بالا ایجاد شده است.

۲-۴- مقطع لرزه‌نگاری

این مقطع از روی بلندای هندیجان و در محدوده‌ی ساختمان‌های هندیجان-بهرگانسر در شمال خلیج فارس و نزدیک نوار ساحلی عبور می‌کند. با توجه به تغییرات ضخامت رسوبی، فعالیت بلندار مجدداً از زمان آسماری تا داریان مشاهده می‌شود (شکل-۶). همچنین با مقایسه‌ی ارتفاع سطوح سازند دشتک در دو طرف بلندار می‌توان فهمید که بلوک شرقی گسل پی سنگی بالاتر از بلوک غربی قرار دارد و در نتیجه در عمق زیاد، بلوک شرقی گسل راست‌بر هندیجان-ایده بالاتر از بلوک غربی آن قرار گرفته است. یادآور می‌شود که در نقشه‌های زمین‌شناسی نیز در شرق گسل ایده سازندهای قدیمی‌تر رخنمون دارند که بالاتر بودن بلوک شرقی را تأیید می‌کند. همچنین نقشه‌های DEM، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های گرانی و مغناطیس‌سنجی همگی نشان‌دهنده بالاتر بودن بلوک شرقی گسل هندیجان-ایده هستند.

۳-۴- مقطع لرزه‌نگاری

این خط لرزه‌نگاری در جنوب غربی ساختمان آغاچاری و جنوب شرقی ساختمان پازنان و در جنوب فاصله‌ی میانی این دو ساختمان واقع شده است (شکل-۷). اهمیت این مقطع لرزه‌نگاری در اینست که شمالی‌ترین خط در قسمت خشکی است که بلندای



مقطع لرزه‌ای عبوری از محدوده‌ی ساختمان‌های هندیجان و بهرگانسر در شمال خلیج فارس و نزدیک نوار ساحلی، حداکثر فعالیت بلندار از زمان آسماری تا داریان مشاهده می‌شود. با مقایسه‌ی ارتفاع سطوح سازند دشتک در دو طرف بلندار می‌توان فهمید که بلوک شرقی گسل پی سنگی بالاتر از بلوک غربی قرار دارد. همچنین بلندای هندیجان بازشدگی ساختمانی به سمت بالا را نشان می‌دهد که در ارتباط با عملکرد منشأ شکل‌گیری بلندار در عمق زیاد است.



کلی کاهش ضخامت روی این بلندا مشاهده می‌شود. این کاهش ضخامت روی خطوط لرزه‌ای نیز دیده شده است. روی نقشه‌های هم‌ضخامت (شکل-۸) سازندهای لافان و ایلام (سروک-ایلام) و سازند سروک (کژدمی-سروک) بیشترین شواهد فعالیت و اثرگذاری بلندای هندیمان-ایذه می‌شود و می‌توان دریافت که زمان انتهایی کرتاسه اوج فعالیت این بلندا بوده است. حتی ضخامت سازند ایلام در چاه‌های نزدیک نوار ساحلی روی بلندا به صفر رسیده است. در این زمان‌ها روی بلندای هندیمان-ایذه در بخش جنوبی (خلیج فارس و به سمت سیر عربی) یک نازک‌شدگی عمومی عمومی مشاهده می‌شود که به سمت شمال (فروبار دزفول) از بین می‌رود. روی خطوط لرزه‌ای ناحیه‌ی خلیج فارس نیز ناپوستگی زاویه‌دار تورونین در رأس سروک کاملاً مشهود بوده و اثبات شده است. در نقشه‌ی هم‌ضخامت سازندهای کژدمی، داریان، گدوان و فهلیان نمی‌توان الگوهای ضخامتی منظمی که بتوان آنها را با موقعیت این دو بلندا مرتبط دانست مشاهده کرد و تنها شواهدی پراکنده از کاهش ضخامت در محل بلنداها در سازندهای کژدمی (کرتاسه میانی) و گدوان (کرتاسه آغازین) قابل مشاهده است.

۶- مطالعه‌ی لرزه‌ی زمین‌ساختی

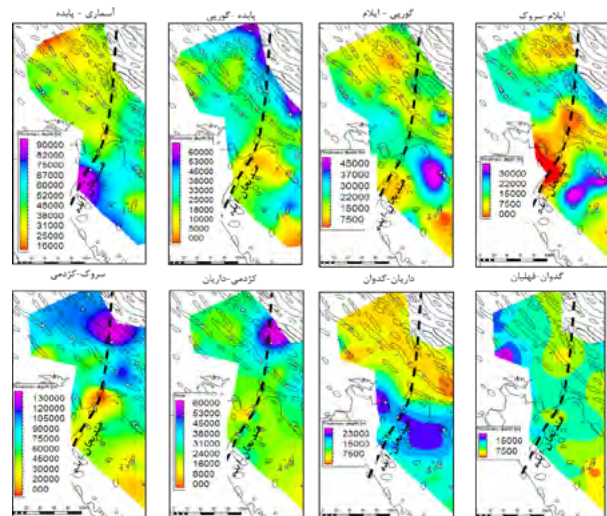
محاسبه‌ی سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ها از مهم‌ترین روش‌های توصیف گسل‌های عمیق محسوب می‌شود [۴]. در این مقاله لرزه‌ی زمین‌ساختی بخشی از جنوب فروبار دزفول با تمرکز بر گسل عمیق هندیمان-ایذه بررسی شده است. با توجه به اینکه عمق گسل هندیمان-ایذه بیش از ۱۰ کیلومتر است و در اطلاعات خطوط لرزه‌ای مستقیماً مشاهده نمی‌شود، در این مطالعه سازوکار کانونی ۱۵ زمین‌لرزه به روش وارون‌سازی شکل موج امواج پیکری در نرم‌افزار ایزولا محاسبه شده تا اطلاعاتی درباره‌ی روند و نوع فعالیت گسل هندیمان-ایذه به دست آید [۱۱ و ۱۰].

اساس وارون‌سازی بر رابطه‌ی ۱- استوار است [۱۲]. بدین ترتیب که اگر U شکل موج لرزه‌ای یا همان مشاهدات باشد، این مشاهدات به چشمه‌ی زمین‌لرزه یا تانسور گشتاور لرزه‌ای (M) و ساختار درون زمین (G) وابسته است و از رابطه‌ی ۱- به دست می‌آید:

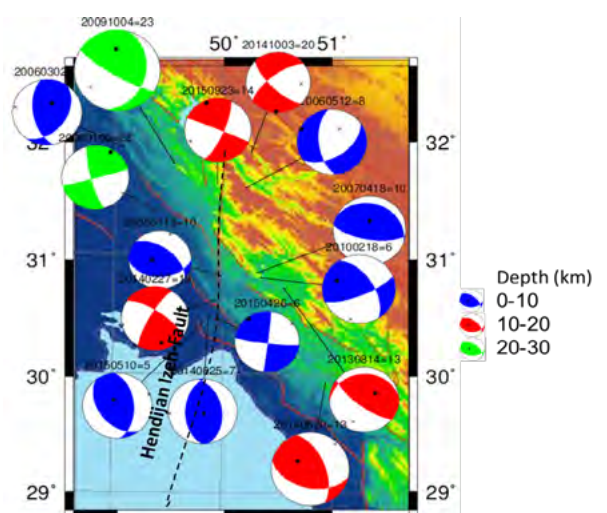
$$U_n(x, t) = M_{ij} \cdot G_{ni,j}(x, z, t) \quad (1)$$

یکی از عوامل مؤثر بر تعیین ماتریس G یا همان ساختار درون زمین، مدل سرعتی پوسته‌ی زمین است. هرچه دقت مدل سرعت در دسترس بیشتر باشد پاسخ نهایی به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود [۱۳]. با وارون‌سازی رابطه‌ی ۱- به روش حداقل مربعات، مکان و زمان چشمه‌ی زمین‌لرزه از راه جستجوی شبکه بهینه می‌شود. این جستجو به دنبال نقاطی است که خطای باقیمانده‌ی روش حداقل

افزایش ضخامت ناحیه‌ای از جنوب به سمت شمال دیده می‌شود که به نظر می‌رسد بیشتر تحت تأثیر پلاتفرم رسوبی جهرم (حداقل در جنوب منطقه) در زمان انوسن-الیگوسن باشد. از سوی دیگر، با توجه به نقشه‌ی هم‌ضخامت گورپی تا پاینده، بلندای هندیمان-ایذه در زمان رسوب‌گذاری سازند پاینده فعال بوده؛ به طوری که یک کاهش ضخامت روی این بلندا وجود دارد. بر اساس نقشه‌ی هم‌ضخامت سازندهای ایلام تا گورپی، در زمان رسوب‌گذاری سازند گورپی (کرتاسه‌ی پایانی) نیز بلندا فعال بوده و یک روند



۸ | نقشه‌های هم‌ضخامت عمقی به همراه موقعیت تقریبی گسل/بلندای هندیمان-ایذه. مربع‌های کوچک محل نقاط چاه‌ها را نشان می‌دهند و طیف رنگی از قرمز به بنفش بیانگر افزایش ضخامت است. با توجه به نقشه‌ها و کمتر شدن ضخامت روی بلندا می‌توان فهمید که حداکثر فعالیت بلندای قدیمی هندیمان در بازه‌ی زمانی نهشته شدن سازندهای سروک تا پاینده بوده است.



۹ | سازوکار کانونی ۱۵ زمین‌لرزه‌ای که در این پژوهش محاسبه و مرتب شده بر حسب عمق کانونی، رسم شده توسط GMT و به همراه موقعیت حدودی گسل هندیمان-ایذه

راستای سطحی و عمقی گسل هنديجان-ایزه را آشکار ساخت. همچنین مشخص گردید که بلوک شرقی این گسل پی سنگی در ارتفاع بیشتری از بلوک غربی آن قرار دارد.

■ بررسی خطوط لرزه‌نگاری دوبعدی به همراه نقشه‌های هم‌ضخامت رسوبی نشان داد که گسل پی سنگی هنديجان-ایزه در طی زمان‌های مختلف زمین‌شناسی فعال بوده که اوج فعالیت این گسل از ابتدای رسوب‌گذاری سازند پاینده تا انتهای زمان رسوب‌گذاری سازند سروک است.

■ نتایج حاصل از محاسبات سازوکار کانونی ۱۵ زمین‌لرزه در فاصله‌ی سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۵ نشان داد که زمین‌لرزه‌های با عمق کمتر از ۱۰ کیلومتر که احتمالاً به فعالیت‌های زاگرسی منتسب می‌شوند اغلب سازوکار معکوس و گاهی همراه با مؤلفه‌ی امتداد لغز را نشان می‌دهند. در حالی که زمین‌لرزه‌هایی که عمق کانونی بیش از ۱۰ کیلومتر دارند به گسل هنديجان-ایزه نزدیک هستند. سازوکار کانونی امتداد لغز راست‌بر با شیب تقریبی ۸۵-۷۵ درجه و آزمون ۲۰-۱۰ درجه را نشان می‌دهند.

مربعات در آن کمینه باشد یا به عبارت دیگر همبستگی بین شکل موج مشاهده‌ای و شکل موج ساختگی پیشینه باشد [۱۴].

در شکل ۹- سازوکار کانونی ۱۵ زمین‌لرزه به همراه موقعیت گسل هنديجان-ایزه نشان داده شده است. نتایج محاسبات سازوکار کانونی نشان داد که گسل هنديجان-ایزه سازوکار امتداد لغز راست‌بر با عمق بیش از ۱۰ کیلومتر و شیب حدود ۸۰ درجه و امتداد تقریباً شمالی جنوبی با آزمون ۲۰-۱۰ درجه دارد. با توجه به شکل ۹- سازوکارهایی که نسبت به موقعیت گسل هنديجان-ایزه در فاصله‌ی دورتری قرار دارند سازوکار معکوس و عمق کمتر از ۱۰ کیلومتر دارند و به شکل‌گیری گسل‌های مربوطه با کوه‌زاد زاگرس مرتبط است.

نتیجه‌گیری

■ بررسی هم‌زمان و تلفیق اطلاعات و نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های گرانی‌سنجی، به همراه تفاسیر خطوط لرزه‌نگاری دوبعدی، شواهدی از روند و

پانویس‌ها

1. mrsepahvand@yahoo.com
2. iabdollahie@yahoo.com

3. seyedabolfazl.miri@yahoo.com
4. Paleo-high

5. Isochore map

منابع

[1] Bahroudi A, Talbot C J, THE CONFIGURATION OF THE BASEMENT BENEATH THE ZAGROS BASIN, Journal of Petroleum Geology, 2003, 26, 257-282.
[2] Alavi M, STRUCTURES OF THE ZAGROS FOLD-THRUST BELT IN IRAN, American Journal of Science, 2007, 307, 1064-1095
[3] Abdollahie Fard I, Braathen A, Mokhtari M, Alavi S A, Interaction of the Zagros Fold-Thrust Belt and the Arabian-type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran, Petroleum Geoscience, 2006, 12, 347-362.
[4] Berberian M, Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, Najarian Associates, Inc., One Industrial Way West, Eatontown, NJ 07724, USA, 1995, 241, 193-224.
[5] Sepehr M, Cosgove J W, Structural framework of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran, Marine and Petroleum Geology, 2004, 21, 829-843.
[6] Sherkati Sh, Letouzey Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran, Marine and Petroleum Geology, 2004, 21, 535-554.
[7] اشرف‌زاده، ع، بلندی‌های قدیمی (Paleohigh)، نقش و اهمیت آنها در منطقه‌ی دزفول جنوبی، گزارش زمین‌شناسی شماره‌ی ۱۹۱۹-، مدیریت اکتشاف، ۱۳۷۸

[۸] منافی، م، آرین م، بررسی تکنونیک پی سنگ در فرورباری دزفول، حفاصل گسل کازرون و گسل هنديجان، SID، سال سوم، شماره‌ی ۱-، بهار ۱۳۸۷
[۹] داودی، ز، یساقی ع، تأثیر فعالیت پهنه‌ی گسلی عرضی ایذه بر دگربرخی‌های پوشش رسوبی در زاگرس چین‌خورده-رانده، مجله‌ی علوم زمین، تابستان ۱۳۹۰، سال بیستم، شماره‌ی ۸۰-، صفحه‌ی ۷۱ تا ۸۸
[10] Sokos E, Zahradnik J, Evaluating Centroid-Moment-Tensor Uncertainty in the New Version of ISOLA Software, Seismological Research Letters, 2013, 84.
[11] Kikuchi M, Kanamori H, Inversion of Complex Body Waves-III, Bulletin of the Seismological Society of America, 1991, 81, 2335-2350,
[۱۲] پاکزاد م، میرزایی ن، بررسی سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌ی ۱۱ فروردین ۱۳۸۵ درب آستانه سیلاخور، مجله‌ی فیزیک زمین و فضا، دوره‌ی ۳۳-، شماره‌ی ۳-، ۱۳۸۶، صفحه‌ی ۷۳-۸۶
[۱۳] یمینی فرد ف، مرادی ع، نقوی م، پارامترهای چشمه‌ی زمین‌لرزه‌ی ۲۵ مهرماه ۱۳۸۸ ری-تهران، با بزرگای گشتاوری ۴/۳، مجله‌ی ژئوفیزیک ایران، ۱۳۹۱، ۶، ۴۶-۵۸
[14] Zahradnik J, Sokos E, Multiple-point source solution of the Mw7.2 Van earthquake, October 23, 2011, Eastern Turkey. Report submitted to EMSC, 2011.