

تحلیل پس لرزه‌های زمین لرزه ۶ آذرماه ۱۳۸۴ جزیره قشم (ایران - زاگرس)

نوشته: عباس غلامزاده* و فرزاد یمنی فرد*

* پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۱۲/۰۴

چکیده

در ساعت ۱۳ و ۵۲ دقیقه روز ۶ آذرماه ۱۳۸۴ زمین لرزه ای با بزرگای $M_w=6$ جزیره قشم در استان هرمزگان را به لرزه درآورد و باعث تخریب فراوان و کشته شدن ده نفر شد. ساعتی پس از زمین لرزه اصلی، پس لرزه ای بزرگ با بزرگای $M_w=5.5$ بار دیگر جزیره را به لرزه درآورد که سازوکار محاسبه شده برای آن به طور کامل متفاوت از زلزله اصلی است. یک شبکه لرزه‌نگاری متراکم شامل ۱۷ ایستگاه برای مطالعه پس لرزه‌ها در منطقه نصب شد. تحلیل پس لرزه‌های ثبت شده بر توزیع پراکنده پس لرزه‌ها دلالت دارد. با این حال توزیع کانون پس لرزه‌ها در عمق، شیب نسبتاً کمی به سمت شمال باختر، سازگار با سازوکار کانونی لرزه اصلی را نشان می‌دهد. دو نوع سازوکار کانونی برای پس لرزه‌ها مشاهده می‌شود: امتدادلغز و معکوس. توزیع پراکنده پس لرزه‌ها و سازوکارهای معکوس و امتدادلغز، تعیین راستای گسلش امتدادلغز را با ابهام روبه‌رو ساخته است و نمی‌توان به‌طور قطعی تعیین کرد که لغزش امتدادلغز نتیجه فعال شدن گسل‌های با امتداد شمال باختر - جنوب خاور بوده است یا عملکرد سازوکار دگرشکلی افزاز در مرز باختری تنگه هرمز.

کلیدواژه‌ها: جزیره قشم، پس لرزه، شبکه لرزه‌نگاری متراکم، تنگه هرمز، سازوکار کانونی

۱- مقدمه

نیست و تنها اشاره شده است که آسیب فراوانی در اثر این زلزله به جزیره وارد شده است. چند زمین لرزه بزرگ تاریخی هم در سال‌های ۱۴۹۷ و ۱۶۲۲ میلادی به منطقه هرمز نسبت داده شده‌اند (Ambraseys & Melville, 1982). در شکل ۱ زمین لرزه‌های دستگامی منطقه از تاریخ ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۴ میلادی که توسط Engdahl et al. (2006) به‌وسیله داده‌های دور دوباره تعیین محل شده‌اند، به همراه سازوکار کانونی محاسبه شده توسط دانشگاه هاروارد (حل CMT) نمایش داده شده است. همان‌طور که از شکل پیداست، چند زمین لرزه در داخل و نزدیکی جزیره تعیین محل شده‌اند که سازوکار معکوس با روند تقریباً خاور- باختر و شمال خاور- جنوب باختر برای آنها محاسبه شده است، و مرکز این زمین لرزه‌ها با تعیین محل دوباره توسط Engdahl et al. (2006) در عرض جغرافیایی $27/5^\circ$ یعنی شمال بندرعباس اطراف منطقه خورگو و گنو تغییر می‌یابد. اما دقت تعیین محل این زمین لرزه‌ها به حدی نیست که بتوان در مورد ارتباط آنها با گسل‌های منطقه و یا ژرفای زمین لرزه‌ها که مستقیماً با لایه لرزه‌زا در ارتباط است اظهار نظر کرد. به‌طور کلی، جزیره و مناطق مجاور آن لرزه‌خیزی کمتری نسبت به شمال آن دارد.

۴- زمین لرزه ۶ آذرماه ۱۳۸۴ جزیره قشم

زمین لرزه جزیره قشم با بزرگای $M_w=6$ در ساعت ۱۳ و ۵۲ دقیقه به وقت محلی در روز ۱۳۸۴/۹/۶ رخ داد و موجب تخریب چندین روستا، ریزش سنگ و کشته شدن ۱۰ نفر شد. بر اثر این زمین لرزه، گسیختگی‌های سطحی با طول حدود ۵ کیلومتر و پهنای ۵-۱۰ متر در سطح زمین در نزدیکی گسل قشم مشاهده شد (شاه‌پسندزاده و حسامی، ۱۳۸۵). در این پهنه، شکستگی‌های با امتداد از 225° تا 245° مشاهده شده است. علاوه بر آن، شکستگی‌هایی نیز با روند شمال- شمال باختر یا میانگین امتداد 300° که با راستای چیره گسل‌های امتدادلغز موازی یا جنوب باختری تاقدیس گورزین، همخوانی دارد. سازوکار تعیین شده برای رویداد اصلی به روش CMT دلالت بر گسلش معکوس با شیب کم و دارای امتداد تقریباً خاور- باختری است. محل رومرکز زمین لرزه اصلی، به گزارش سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) در نزدیکی روستاهای تنب‌ها و گورزین است که بیشترین خسارت را متحمل شده‌اند.

در ساعت ۱۳ و ۵۲ دقیقه روز ۶ آذرماه ۱۳۸۴ زمین لرزه‌ای با بزرگای $M_w=6$ جزیره قشم را به لرزه درآورد و موجب خرابی‌های فراوان و کشته شدن ده نفر شد. مختصات جغرافیایی رومرکز این زمین لرزه توسط شبکه ملی لرزه‌نگاری باند پهن وابسته به پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله $26/83^\circ$ عرض شمالی و $55/82^\circ$ طول خاوری تعیین شده است. تقریباً ۶ ساعت پس از این زمین لرزه (ساعت ۲۰:۰۰) زمین لرزه دیگری با بزرگای $M_w=5.5$ رخ داد که سازوکار کانونی آن امتدادلغز و کاملاً متفاوت از سازوکار کانونی زمین لرزه اول، یعنی راندگی است. این اختلاف در سازوکار کانونی را می‌توان به ویژگی سازوکار دگرشکلی در این منطقه از زاگرس یا رخداد زلزله دوم توسط زلزله اول بر روی گسل امتدادلغز راست گرد در راستای متفاوت از راستای گسل قشم نسبت داد. در این مقاله با تحلیل پس لرزه‌های ثبت شده در یک شبکه متراکم لرزه‌نگاری که ۴ روز پس از وقوع زمین لرزه به مدت ۸۰ روز در جزیره نصب شده است و ویژگی‌های این زمین لرزه مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- ساختار زمین‌شناختی و زمین‌ساختی منطقه

جزیره قشم از لحاظ زمین‌شناختی در انتهای جنوب خاوری کمربند چین‌خورده-رورانده زاگرس در حاشیه باختری تنگه هرمز واقع است. از لحاظ زمین‌شناختی، سازندهای رخنمون شده در جزیره قشم شامل سری تبخیری هرمز به صورت گنبد‌ها یا دیاپیرهای نمکی و نهشته‌های مارنی، ماسه سنگی، سنگ آهکی است (حقی پور، ۱۳۸۴). در سطح جزیره، تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها با راستای شمال باختری- جنوب خاوری و خاوری- باختری مشاهده می‌شود و به نظر می‌رسد علت پیدایش جزیره باشند. بر اساس روندهای یاد شده برای تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها، گسل‌هایی به نقشه درآورده شده‌اند که دو حرکت امتدادلغز و معکوس برای آنها پیشنهاد شده است. وجود دو روند کاملاً متفاوت برای ساختارهای مهم جزیره از سیمای ویژه این منطقه است (شاه‌پسندزاده و حسامی، ۱۳۸۵).

۳- پیشینه لرزه‌خیزی منطقه قشم

از نظر پیشینه لرزه‌خیزی، تنها یک زمین لرزه تاریخی در سال ۱۳۶۱ میلادی مستقیماً به منطقه قشم نسبت داده شده است که اطلاعات زیادی در مورد این زمین لرزه در دست

۵- پس‌لرزه‌های زمین لرزه قشم

بزرگ‌ترین رویداد پس از زمین‌لرزه اصلی با بزرگی $M_w = 5.5$ ، به طور تقریبی ۶ ساعت پس از آن (ساعت ۱۸:۰۰) رخ داد (شکل ۲). برای این پس‌لرزه، سازوکار امتدادلغز محاسبه شده که امتداد یکی از صفحات آن در راستای طول جزیره یعنی شمال خاور- جنوب باختر است. در قسمت‌های بعد این مقاله، صفحه اصلی با استناد به توزیع پس‌لرزه‌ها در ژرفا و سازوکار کانونی آنها بررسی خواهد شد. سازوکار تعیین شده (حل CMT) برای دو پس‌لرزه دیگر با بزرگی ۵.۵ و $M_w = 4.7$ بر گسلش معکوس با کمی مؤلفه امتدادلغز دلالت دارد (شکل ۲). محل بزرگ‌ترین پس‌لرزه را USGS در شمال روستای گورزین تعیین کرده است. در تاریخ ۱۳ خرداد و ۷ تیر ۱۳۸۵ نیز دو زمین‌لرزه با بزرگی ۵/۱ و ۵/۸ ریشتر جزیره قشم را بار دیگر به لرزه درآورد که سازوکار تعیین شده برای آنها معکوس و امتداد صفحه‌های خاور- باختر و شمال خاور- جنوب باختر است.

توزیع پس‌لرزه‌های تعیین محل شده توسط شبکه INSN وابسته به پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله پراکنده است و نمی‌توان روند خاص را به آن نسبت داد که با توجه به فاصله ایستگاه‌ها و افزایش خطای تعیین محل برای پس‌لرزه‌های با بزرگی کوچک قابل انتظار است (شکل ۲).

برای بررسی دقیق‌تر چشمه زمین لرزه ۶ آذر ۱۳۸۴ قشم، چهار روز پس از رخداد زمین لرزه اصلی، شبکه‌ای متراکم شامل ۱۳ ایستگاه سه مؤلفه‌ای نصب شد که پس از یک ماه به ۱۷ ایستگاه افزایش یافت و در مجموع اندازه‌گیری به مدت ۸۰ روز ادامه یافت (شکل ۳).

ثبت به شکل پیوسته و با تکرار نمونه‌برداری ۱۰۰ هرتز انجام پذیرفت سپس ۱۴۲۲ رویداد از داده‌های پیوسته استخراج شد و پردازش اولیه داده‌ها، شامل قرائت فاز و قطبیت اولین موج رسیده، انجام شد. برای تعیین محل پس‌لرزه‌ها، مدل محاسبه شده توسط Hatzfeld et al. (2003) که برای زاگرس مرکزی ارائه شده است، استفاده شد و توسط نرم افزار "Hypocenter" تعیین محل گردید (Lienert et al., 1986). سازوکار رویدادها نیز با استفاده از قطبیت اولین موج رسید "P" برای پس‌لرزه‌هایی که بیش از ۸ قطبیت برای آنها قرائت شده بود و گاف آزمایشی تعیین محل آنها کمتر از 180° و خطای تعیین محل کمتر از ۳ کیلومتر بود، محاسبه شد و از بین آنها، سازوکارهایی که در آن هر چهار قسمت نمونه‌برداری شده‌اند و صفحات ترسیمی در نهایت ۱۰ درجه بیشتر تغییر نمی‌کنند، انتخاب شدند.

همان‌طور که از شکل ۴- الف پیداست، شبکه طراحی شده به خوبی کانون پس‌لرزه‌ها را پوشش داده است. توزیع پس‌لرزه‌ها در سطح جزیره بسیار پراکنده است و به سختی می‌توان به خط‌شدگی را به گسل‌های شناخته شده نسبت داد. این امر می‌تواند دلالت بر فعالیت گسل‌های متعدد یا وجود گسلی با شیب کم باشد.

با این حال، یک روند شمال باختر- جنوب خاور در انتهای خاوری توزیع پس‌لرزه‌ها قابل توجه است. برای مطالعه دقیق، ۳۵۵ رویداد با گاف آزمایشی کوچک‌تر از 180° درجه و خطای تعیین محل کمتر از سه کیلومتر که دست کم با ۱۶ ایستگاه تعیین محل شده بودند، انتخاب گردیدند (شکل ۴ ب). همان‌طور که در شکل ۴ ب پیداست، همچنان توزیع پس‌لرزه‌های انتخابی پراکنده است اما وجود دو روند شمال باختر- جنوب خاور و شمال خاور- جنوب باختر با طول حدود ۱۶ کیلومتر کمی واضح‌تر است. مقاطع عمقی پس‌لرزه‌ها در جهت‌های مختلف بررسی شد. پیچیدگی‌های مشاهده شده در توزیع رومرکز پس‌لرزه‌ها در توزیع در عمق آنها نیز مشاهده می‌شود. در شکل‌های ۶ الف، ب و ج مقاطع عمود بر راستای گسلش و شکستگی‌های مشاهده شده در سطح زمین نشان داده شده است که برای هر کدام پهنای در نظر گرفته شده برای تصویر کردن کانون پس‌لرزه‌ها ۳ کیلومتر انتخاب شده است. با توجه به مقاطع

BB و CC به نظر می‌رسد زون گسلش از دو گسل مرکب یکی با شیب کمتر در ژرفای پایین‌تر و دیگری با شیب زیادتر در ژرفای کمتر واقع است. مقطع AA به خط‌شدگی واضحی را نشان نمی‌دهد، اما در مقاطع BB و CC می‌توان صفحه‌ای با شیب حدود 45° به سوی شمال باختر تقریباً عمود بر گسل قشم گذراند که با سازوکار تعیین شده برای زمین لرزه اصلی همخوانی دارد.

همان‌طور که از مقطع DD مشخص است، ژرفای پس‌لرزه‌ها در بازه ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر قرار می‌گیرد که در مقایسه با ژرفاهای محاسبه شده برای خردزمین لرزه‌ها توسط شبکه‌های محلی در زاگرس مرکزی و زاگرس مرتفع کمی متفاوت است یعنی رویدادهایی با ژرفای بیش از ۱۵ کیلومتر رخ داده‌اند (Tatar et al., 2004; Yamini - Fard et al., 2006). در این مقطع، همچنین دو خوشه پراکنده از رویدادها با کشیدگی نزدیک به قائم مشاهده می‌شود. شکل ۶ سازوکارهای کانونی تعیین شده با کیفیت خوب برای پس‌لرزه‌های زلزله قشم را نمایش می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است، دو نوع سازوکار در بین داده‌ها مشاهده می‌شود: معکوس و امتدادلغز. به عبارت دیگر پس‌لرزه‌های زمین لرزه قشم نیز مانند شوک اصلی و بزرگ‌ترین پس‌لرزه آن دارای سازوکارهای متفاوت است. اما نکته قابل توجه وجود دو نوع سازوکار امتدادلغز است که بر اساس مشاهدات زمین‌شناسی، می‌تواند با مؤلفه راستگرد مشاهده شده از روی شکستگی‌ها در ارتباط باشد که دارای دو روند کاملاً متفاوت است. یعنی با روند ۲۳۰ تا ۲۴۰ درجه بر روی گسل قشم و امتدادی حدود ۳۰۰ درجه بر روی گسل گورزین (شاه پسندزاده و حسامی، ۱۳۸۵). با وجود این، با نگاهی به توزیع سازوکارهای شماره ۵، ۱۷، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۸، ۳۹، ۴۲، ۴۳، ۴۶، ۳۰ و نیز توزیع رومرکز پس‌لرزه‌ها به سختی می‌توان زون گسلش امتدادلغز واحدی را تشخیص داد که شاید به علت وجود چندین زون امتدادلغز در راستای شمال باختر- جنوب خاور باشد. حتی با نگاهی به مقاطع BB و CC در شکل ۶ سازوکار افزاز در منطقه در ذهن القا می‌شود که با شواهد زمین‌شناسی ناسازگار است. بدین معنی که زون گسلش از دو بخش یکی با شیب زیاد در ژرفای کمتر و دیگری با شیب کم در ژرفای بیشتر، تشکیل شده است. به عبارت دیگر، شوک اصلی با سازوکار روراندگی با شیبی به سمت شمال باختر رخ داده است. سپس بزرگ‌ترین پس‌لرزه با سازوکار امتدادلغز چپ‌گرد بر روی گسلی با همان راستای لرزه اصلی یعنی شکستگی مشاهده شده در سطح روی می‌دهد. در این صورت سازوکارهای امتدادلغز دیگر را می‌توان به گسل‌های فرعی با راستای شمال باختر- جنوب خاور نسبت داد.

همان‌طور که پیداست، وجود دو نوع گسلش در منطقه، بررسی پس‌لرزه‌ها را بسیار دشوار ساخته است که توزیع رومرکز و توزیع در ژرفای پس‌لرزه‌ها حکایت از این پیچیدگی دارد. چنانچه شواهد زمین‌شناسی مشاهده شده در سطح با واقعیت رخ داده در عمق یکسان باشد، منطقی است بپذیریم شوک اصلی سبب چکانش زمین لرزه دوم با سازوکار امتداد لغز راست گرد روی گسل با امتداد شمال باختر- جنوب خاور گردیده است (شاه پسندزاده و حسامی، ۱۳۸۵).

۶- نتیجه‌گیری

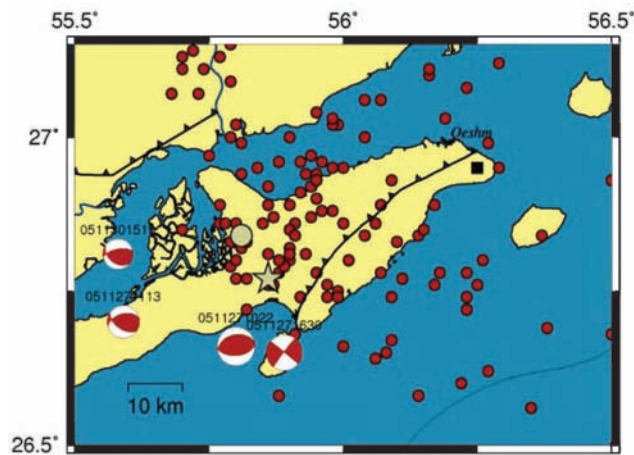
مطالعه پس‌لرزه‌های زمین لرزه ۶ آذر ۱۳۸۴ جزیره قشم ثبت شده در شبکه لرزه‌نگاری محلی متراکم حکایت از وجود سامانه گسلش مرکب در این منطقه دارد. توزیع رومرکز و توزیع در ژرفای پس‌لرزه‌ها نسبتاً پراکنده است و نمی‌توان به آسانی روند ساده‌ای را تعقیب کرد. با این حال وجود به خط‌شدگی با شیب کم به سوی شمال باختر واقع در ژرفای بیشتر، با سازوکار محاسبه شده برای شوک اصلی همخوانی دارد. ژرفای پس‌لرزه‌ها به ۲۰ کیلومتر هم می‌رسد که نسبتاً بیشتر از ژرفای

بوژه آقایان مهندس محمدیون و طهماسبی برای فراهم نمودن تسهیلات لازم برای انجام عملیات صحرایی صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. یقیناً بدون کمک ایشان انجام این عملیات میسر نبود. همچنین از همکاران محترم در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله که در نصب و نگهداری شبکه و جمع‌آوری داده‌ها ما را یاری نمودند بوژه آقایان مهندس مصطفی قاسمی، حمید حیدری مقدر و حمیدرضا محمدیوسف قدردانی می‌شود. از سرکار خانم مبین که مختصات گسل قشم را با توجه به تصاویر ماهواره‌ای تعیین کرد و در اختیار ما گذاشتند، سپاسگزاری می‌شود.

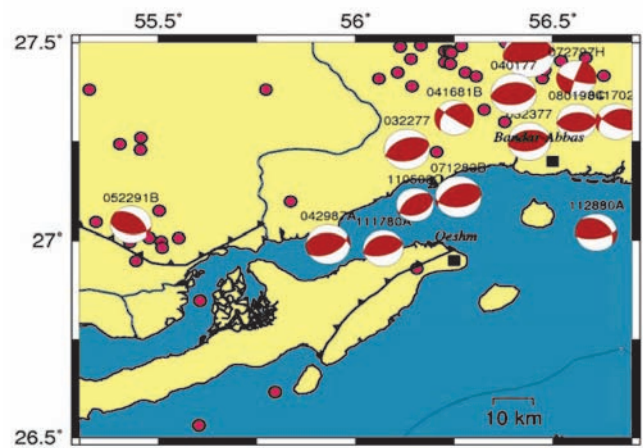
زمین‌لرزه‌ها در دیگر قسمت‌های زاگرس است. از دیگر ویژگی‌های پس‌لرزه‌های این زمین‌لرزه، تعداد کم پس‌لرزه‌ها در انتهای باختری زون پس‌لرزه‌ها یعنی ناحیه‌ای با بیشترین میزان تخریب است. تصویر پیچیده حاصل از توزیع پس‌لرزه‌ها این اجازه را نمی‌دهد که سازوکار امتدادلغز بزرگ‌ترین پس‌لرزه را با اطمینان به فعالیت گسل امتدادلغز راست‌گرد با امتداد شمال باختر- جنوب خاور یا به فعالیت گسل امتدادلغز چپ‌گرد در همان امتداد گسل قشم نسبت دهیم.

سپاسگزاری

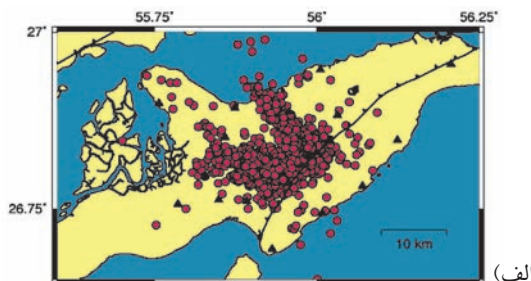
بدین وسیله از همکاری مسئولان محترم منطقه آزاد قشم در زمان رخداد زمین‌لرزه



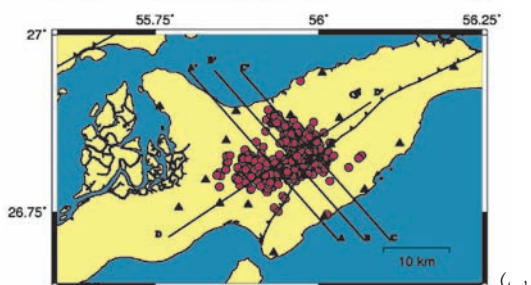
شکل ۲- توزیع پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۶ آذرماه ۱۳۸۴ جزیره قشم بر اساس کاتالوگ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (IIIES) و حل زمین‌لرزه اصلی و سه تا از پس‌لرزه‌های آن. ستاره محل رومرکز زمین‌لرزه اصلی مطابق کاتالوگ USGS را نشان می‌دهد و دایره بزرگ رومرکز بزرگ‌ترین پس‌لرزه است.



شکل ۱- زمین‌لرزه‌های دستگاهی ثبت شده در منطقه جزیره قشم و پیرامون آن مطابق کاتالوگ EHB (Engdahl et al., 2006) از تاریخ ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۴ میلادی به همراه سازوکار محاسبه شده توسط دانشگاه هاروارد با حل گشتاور تانسور ممان (CMT).

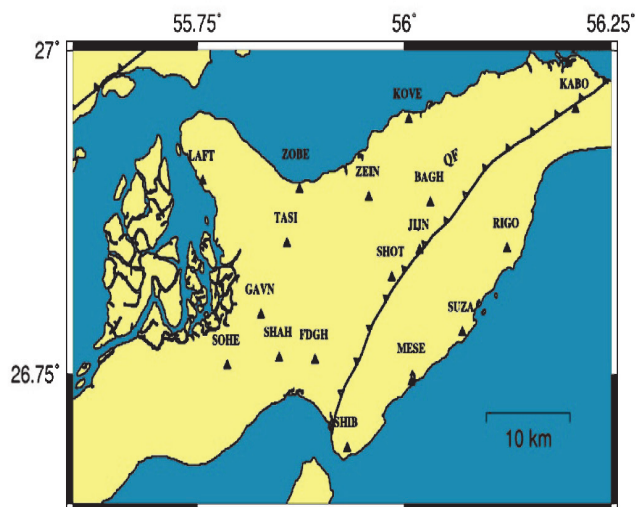


(الف)

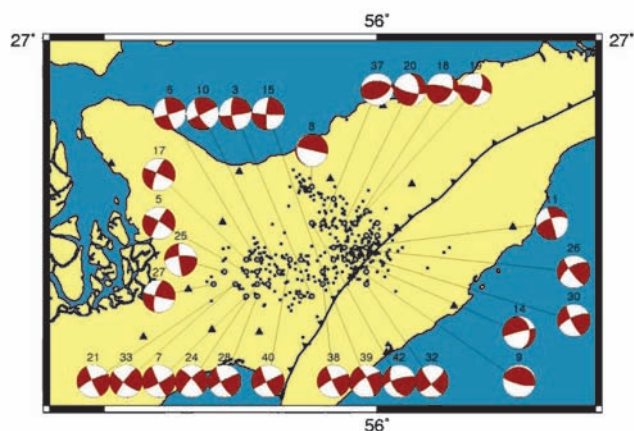


(ب)

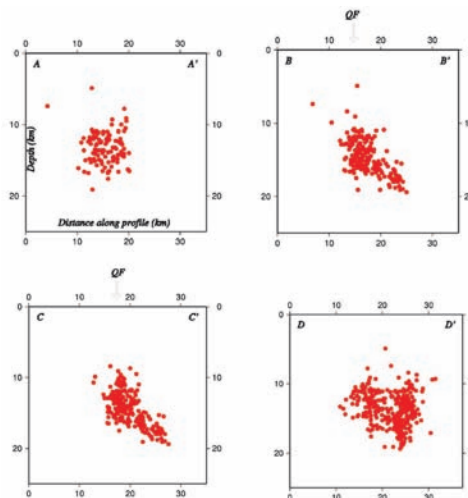
شکل ۴- (الف) توزیع رومرکز ۱۴۲۲ پس‌لرزه تعیین محل شده توسط داده‌های شبکه لرزه‌نگاری موقت نصب شده در جزیره قشم.
(ب) توزیع پس‌لرزه‌های انتخاب شده با معیار گاف آزمون‌توتی کمتر از 180° خطای تعیین محل کوچک‌تر از ۳ کیلومتر و حداقل شش ایستگاه.



شکل ۳- آرایش شبکه لرزه‌نگاری موقت نصب شده در منطقه قشم برای ثبت پس‌لرزه‌ها از تاریخ ۱۰ آذر ۱۳۸۴ تا اول اسفند ۱۳۸۴. ایستگاه GAVN در روستای گورزین واقع شده است.



شکل ۶- سازوکارهای تعیین شده برای تعدادی از پس‌لرزه‌های ثبت شده در شبکه متراکم لرزه‌نگاری محلی در منطقه قشم.



شکل ۵- مقطع عمقی از توزیع پس‌لرزه‌ها در امتداد خطوط مشخص شده در شکل (۴-ب).

کتابنگاری

- حقی پور، ع.، ۱۳۸۴- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جزیره قشم، منطقه آزاد تجاری قشم.
 شاه پسندزاده، م.، حسامی، خ.، ۱۳۸۵- بررسی گسیختگی‌های سطحی ناشی از زمین لرزه ششم آذرماه ۱۳۸۴ جزیره قشم، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، شماره ۲، ۳۴-۴۱.

References

- Ambraseys, N. N. & Melville, C. P., 1982- A History of Persian Earthquakes, Cambridge Earth Science Series, Cambridge University Press. London.
 Engdahl, E.R., Jackson, J.A., Myers, S.C., Bergman, E.A. & Priestley, K., 2006- Relocation and assessment of seismicity in the Iran Region. *Geophys. J. Int.*, 167, 761-778.
 Hatzfeld, D., Tatar, M., Priestley, K. & Ghafory-Ashtiany M., 2003- Seismological constraints on the crustal structure beneath the Zagros Mountain Belt (Iran), *Geophys. J. Int.*, 155, 403-410.
 Lienert, B. R. E., Berg, E. & Frozer, L. N. , 1986- Hypocenter: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 76, 771- 783.
 Tatar, M., Hatzfeld, D. & Ghafory-Ashtiany, M., 2004 - Tectonics of Central Zagros (Iran) deduced from microearthquake seismicity, *Geophys. J. Int.*, 156, 255-266.
 Yamini – Fard, F., Hatzfeld, D., Tatar, M., & Mokhtari. M., 2006- Microseismicity at the intersection between the Kazeran fault and the Main Recent Fault (Zagros- Iran), *Geophys. J. Int.*, 166, 176-196.