بهار۸۸، سال هجدهم، شماره ۷۱، صفحه ۸۱ تا ۸۴

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

نوشته: عباس غلامزاده* و فرزام یمینی 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 زمین‌لرزه 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. ساعاتی پس از زمین‌لرزه اصلی، پس‌لرزه 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 پس‌لرزه‌ها در منطقه نصب شد. تحلیل پس‌لرزه‌های ثبت شده بر توزیع پراکنده پس‌لرزه‌ها دلالت دارد. با این‌حال توزیع کانون پس‌لرزه‌ها در عمق، شیب نسبتاً کمی به سمت شمال باختر، سازگار با سازوکار کانونی لرزه اصلی را نشان می‌دهد. دو نوع سازوکار کانونی برای پس‌لرزه‌ها مشاهده می‌شود: امتدادلغز و معکوس. توزیع پراکنده پس‌لرزه‌ها 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 افراز در مرز باختری تنگه هرمز.

کلیدواژه‌ها : جزیره قشم، پس‌لرزه، شبکه لرزه نگاری متراکم، تنگه هرمز، سازوکار کانونی

۱- مقدمه

در ساعت ۱۳ و ۵۲ دقیقه روز ۶ آذرماه ۱۳۸۴ زمین‌لرزه‌ای 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 زمین‌لرزه توسط شبکه ملی لرزه‌نگاری باند پهن وابسته به پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله °۲۶/۸۳ عرض شمالی و °۵۵/۸۲ طول خاوری تعیین شده است. تقریباً ۶ ساعت پس از این زمین‌لرزه (ساعت ۲۰:۰۰) زمین‌لرزه دیگری با بزرگای M_W=5.5 رخ داد که سازوکار کانونی آن امتدادلغز و کاملاً متفاوت از سازوکار کانونی زمین‌لرزه 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 راست‌گرد در راستای متفاوت از راستای گسل قشم نسبت داد. در این مقاله با تحلیل پس‌لرزه‌های ثبت شده در یک شبکه متراکم لرزه‌نگاری که ۴ روز پس از وقوع زمین‌لرزه به مدت ۸۰ روز در جزیره نصب شده است ویژگی‌های این زمین‌لرزه مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- ساختار زمین‌شناختی و زمین‌ساختی منطقه

جزیره قشم از لحاظ زمین‌ساختی در انتهای جنوب خاوری کمربند چین‌خورده- روراندهٔ 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، سنگ‌آهکی 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 سیماهای ویژه این منطقه است (شاه پسندزاده و حسامی، ۱۳۸۵).

۳- پیشینه لرزه‌خیزی منطقه قشم

از نظر پیشینه لرزه‌خیزی، تنها یک زمین‌لرزه تاریخی در سال ۱۳۶۱ میلادی مستقیماً به منطقه قشم نسبت داده شده است که اطلاعات زیادی در مورد این زمین‌لرزه در دست نیست و تنها اشاره شده است که آسیب فراوانی در اثر این زلزله به جزیره وارد شده است. چند زمین‌لرزه بزرگ تاریخی هم در سال‌های ۱۴۹۷و ۱۶۲۲ میلادی به منطقه هرمز نسبت داده شده‌اند (Ambraseys & Melville,1982). در شکل ۱ زمین‌لرزه‌های دستگاهی 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 زمین‌لرزه 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، رومرکز این زمین‌لرزه‌ها با تعیین محل دوباره توسط Engdahl et al.(2006) در عرض جغرافیایی °۲۷/۵ یعنی شمال بندرعباس اطراف منطقه خورگو و گنو تغییر می‌یابد. اما دقت تعیین محل این زمین‌لرزه‌ها به حدی نیست که بتوان در مورد ارتباط آنها با گسل‌های منطقه و یا ژرفای زمین‌لرزه‌ها که مستقیماً با لایه لرزه‌زا در ارتباط است اظهارنظر کرد. به‌طور کلی، جزیره و مناطق مجاور آن لرزه‌خیزی کمتری نسبت به شمال آن دارد.

۴- زمین‌لرزه ۶ آذرماه ۱۳۸۴ جزیره قشم

زمین‌لرزه جزیره قشم با بزرگی 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 زمین‌لرزه، 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 °۲۲۵ تا °۲۴۵ مشاهده شده است. علاوه بر آن، شکستگی‌هایی نیز با روند شمال- شمال باختر با میانگین امتداد °۳۰۰ که با راستای چیره گسل‌های امتدادلغز موازی یال 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 خاوری- باختری است. محل رومرکز زمین‌لرزه اصلی، به گزارش سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) در نزدیکی روستاهای تنب‌ها و گورزین است که بیشترین خسارت را متحمل شده‌اند.

۵- پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه قشم

بزرگ‌ترین رویداد پس از زمین‌لرزه اصلی با بزرگی M_w= 5.5، به طور تقریب 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 5.5 و M_w=4.7بر 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 زمین‌لرزه ۶ آذر ۱۳۸۴ قشم، چهار روز پس از رخداد زمین‌لرزه 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 آزیموتی تعیین محل آنها کمتر از °۱۸۰ 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 آزیموتی کوچک‌تر از ۱۸۰ درجه و خطای تعیین محل کمتر از سه کیلومتر که دست‌کم با ۶ ایستگاه تعیین محل شده بودند، انتخاب گردیدند (شکل ۴ ب). همان طور که در شکل ۴ب 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 BB́ و CĆ 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 AÁ به خط‌شدگی واضحی را نشان نمی‌دهد، اما در مقاطع BB́ و CĆ می‌توان صفحه‌ای با شیب حدود °۴۵ به سوی شمال باختر تقریباً عمود بر گسل قشم گذراند که با سازوکار تعیین شده برای زمین‌لرزه اصلی همخوانی دارد.

همان‌طور که از مقطع DD́ مشخص است، ژرفای پس‌لرزه‌ها در بازه ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر قرار می‌گیرد که در مقایسه با ژرفاهای محاسبه شده برای خردزمین‌لرزه‌ها توسط شبکه‌های محلی در زاگرس مرکزی و زاگرس مرتفع کمی متفاوت است یعنی رویدادهایی با ژرفای بیش از ۱۵ کیلومتر رخ داده‌اند (Yamini – Fard et al., 2006 ;Tatar et al., 2004). دراین 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 می شود: معکوس و امتدادلغز. به عبارت دیگر پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه 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، ۳۳، ۲۵، ۷، ۲۴، ۲۸، ۴۰، ۳۸، ۳۹، ۴۲، ۳۲، ۲۶، 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 BB́ و CĆ در شکل ۶ سازوکار افراز 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 زمین‌لرزه دوم با سازوکار امتداد لغز راست گرد روی گسل با امتداد شمال باختر - جنوب خاور گردیده است (شاه پسندزاده و حسامی، ۱۳۸۵).

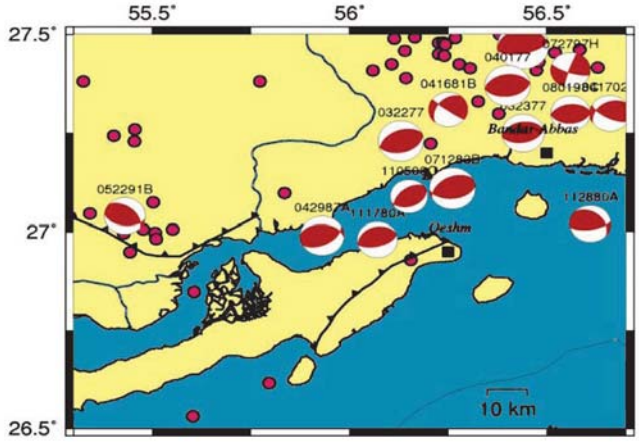
۶- نتیجه‌گیری

مطالعه پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه 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 به‌سوی 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

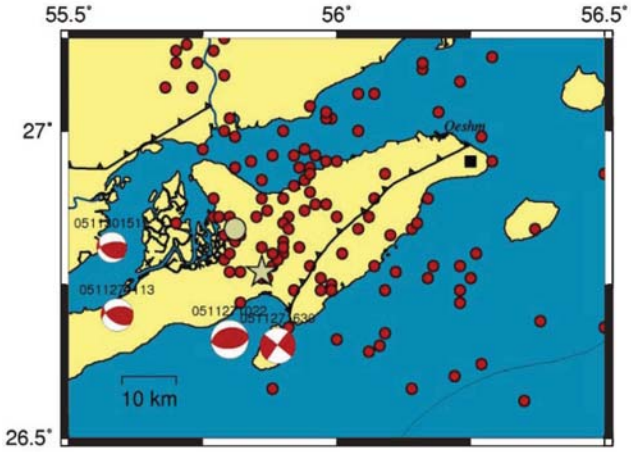
زمین‌لرزه‌ها در دیگر قسمت‌های زاگرس است. از دیگر ویژگی‌های پس‌لرزه‌های این زمین‌لرزه، تعداد کم پس‌لرزه‌ها در انتهای باختری زون پس‌لرزه‌ها یعنی ناحیه‌ای با بیشترین میزان تخریب است. تصویر پیچیده حاصل از توزیع پس‌لرزه‌ها این اجازه را نمی‌دهد که سازوکار امتدادلغز بزرگ‌ترین پس‌لرزه را با اطمینان به فعالیت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

سپاسگزاری

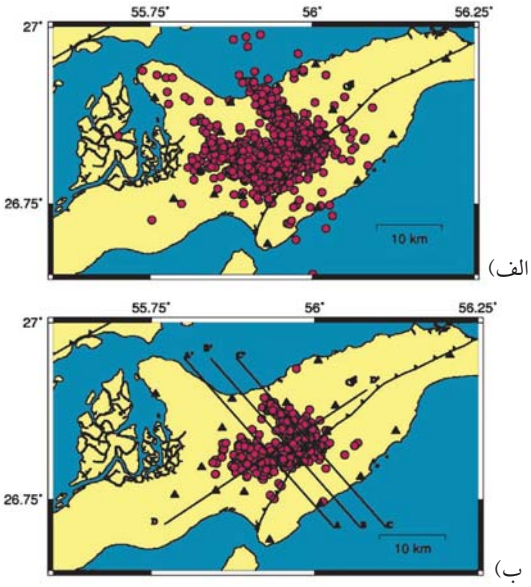
بدین وسیله از همکاری مسئولان محترم منطقه آزاد قشم در زمان رخداد زمین‌لرزه بویژه آقایان مهندس محمدیون و طهماسبی برای فراهم نمودن تسهیلات لازم برای انجام عملیات صحرایی صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. یقیناً بدون کمک ایشان انجام این عملیات میسر نبود. همچنین از همکاران محترم در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله که در نصب و نگهداری شبکه و جمع‌آوری داده‌ها ما را یاری نمودند بویژه 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.



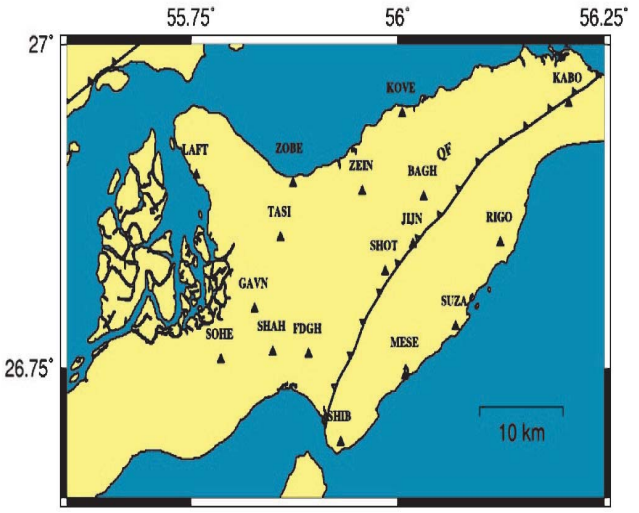
شکل ۱- زمین‌لرزه‌های دستگاهی ثبت شده در منطقه جزیره قشم و پیرامون آن مطابق کاتالوگ EHB (Engdahl et al., 2006) از تاریخ ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۴ میلادی به همراه سازوکار محاسبه شده توسط دانشگاه هاروارد با حل گشتاور تانسور ممان (CMT).



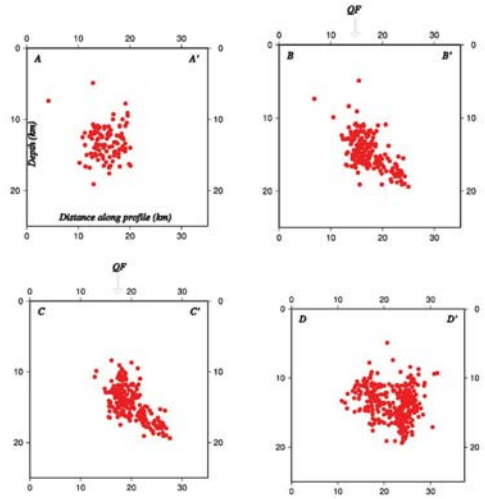
شکل ۲- توزیع پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۶ آذرماه ۱۳۸۴ جزیره قشم بر اساس کاتالوگ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (IIEES) و حل CMT زمین‌لرزه اصلی و سه تا از پس‌لرزه‌های آن. ستاره محل رومرکز زمین‌لرزه اصلی مطابق کاتالوگ USGS را نشان می‌دهد و دایره بزرگ رومرکز بزرگ‌ترین پس‌لرزه است.



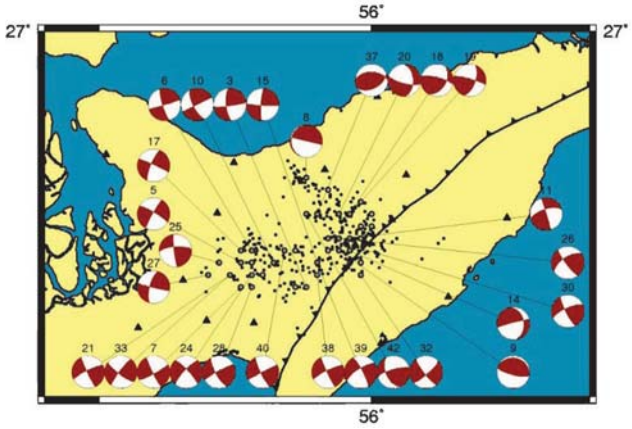
شکل ۴- الف) توزیع رومرکز ۱۴۲۲ پس‌لرزه تعیین محل شده توسط داده‌های شبکه لرزه‌نگاری موقت نصب شده در جزیره قشم.
ب) توزیع پس‌لرزه‌های انتخاب شده با معیار گاف آزیموتی کمتر از ۱۸۰°، خطای تعیین محل کوچک‌تر از ۳ کیلومتر و حداقل شش ایستگاه.



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



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

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، ۴۱-۳۴.

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), Ceophys. J. Int., 166, 176-196.