

بررسی لرزه‌ای زمین‌لرزه ۲۰۱۰ بردسیر و زمین‌لرزه‌های ۲۰۱۱ سیرچ و کهنوج در استان کرمان

مجید نعمتی*

دانشیار بخش زمین‌شناسی دانشکده علوم و مرکز پژوهشی زلزله دانشگاه شهید باهنر کرمان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۲۷

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۷/۱۴

چکیده

در طول یک سال سه زمین‌لرزه بردسیر (۲۰۱۰/۰۷/۳۱) با بزرگای $M_s=5.8$ ، زمین‌لرزه کهنوج (۲۰۱۱/۰۶/۱۵) با بزرگای $M_s=5.7$ و زمین‌لرزه سیرچ (۲۰۱۱/۰۶/۲۶) با بزرگای $M_s=5.2$ در استان کرمان (یکی از مناطق لرزه‌ای جنوب در ایالت لرزه زمین‌ساختی خاور ایران) روی دادند. این زمین‌لرزه‌ها بر پایه لرزه‌نگاشت‌های برداشت شده در شبکه لرزه‌نگاری محلی و شبکه‌های لرزه‌نگاری ناحیه‌ای دوباره کانون‌یابی شده و سازوکار آنها نیز با روش نخستین جنبش موج P به دست آورده شد. کانون‌یابی و برآورد سازوکار کانونی آنها نشان می‌دهد، به‌گمان این زمین‌لرزه‌ها وابسته به گسل‌های لاله‌زار، سبزواران و گلباف می‌باشند. شیب تند گسل‌های زمین‌لرزه‌های بردسیر و سیرچ، رو به شمال خاوری و هم‌چنین شیب تند گسل زمین‌لرزه کهنوج رو به خاور می‌باشد. سازوکار به دست آمده برای این سه زمین‌لرزه، به ترتیب راستالغز راست‌بر، معکوس با مولفه راستالغز راست‌بر و معکوس می‌باشند. سرانجام، می‌توان گفت نتایج این پژوهش با بررسی‌های میدانی زمین‌لرزه بردسیر، که بر پایه آن بیشینه شدت در سنجه‌های MM و JMA در گستره نزدیک به رومرکز، VI بوده و هیچ شکستگی وابسته به این زمین‌لرزه در بازدید میدانی از پیرامون رو کانون آن یافت نشده است، هم‌خوانی دارد.

واژه‌های کلیدی: سازوکار، بردسیر، سیرچ، کهنوج، گسل زمین‌لرزه‌ای.

مقدمه

این زمین‌لرزه‌ها هیچ‌کدام تلفات جانی و مالی نداشته‌اند، سامانه برق‌رسانی شهر کهنوج در پی این رخداد لرزه‌ای با مشکل مواجه شد. این گستره زیاد جنبا نبوده اگرچه، در نزدیکی سامانه گسلی بسیار جنبای زندان- میناب و در نزدیکی پهنه گذار بسیار جنبای لرزه‌ای میان زاگرس و مکران (یمینی-فرد و همکاران، ۲۰۰۷) جای دارد. از کارهای لرزه‌ای انجام شده در این گستره و پیرامون آن می‌توان به کارهای واکر و همکاران (۲۰۰۵)، تاتار و همکاران (۲۰۰۵) و واکر و همکاران (۲۰۱۳) که به شماره، درباره زمین‌لرزه داراب (گسل معکوس زاگرس)، زمین‌لرزه ۲۰۰۵ بم در جنوب استان کرمان و زمین‌لرزه‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ ریگان در استان سیستان و بلوچستان می‌باشند، اشاره نمود. در این بررسی سازوکار سه زمین‌لرزه بردسیر، سیرچ و کهنوج بررسی می‌شوند. به بیان دیگر، موضوع بحث این مقاله تعیین سازوکار زمین‌لرزه‌ها با یک روش نسبتاً دقیق (با توجه به بزرگای زمین‌لرزه‌ها) و امکان نسبت دادن آنها به گسلی معین در گستره رو کانونی زمین‌لرزه است.

مواد و روش‌ها

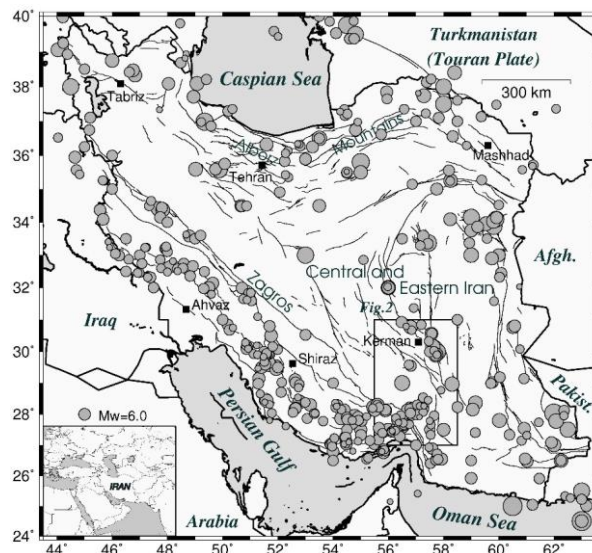
زمین‌ساخت جنبا در گستره

شاید بتوان گفت که گستره استان کرمان جنباترین پاره از ایالت لرزه‌زمین‌ساختی خاور ایران (بربریان، ۱۹۷۶) است (شکل ۱). گسل‌های این گستره مانند گسل‌های کوه‌بنان، گلباف، بم، گوک، لکرکوه، شهداد، لاله‌زار، رفسنجان، جیرفت و سبزواران، مسبب زمین‌لرزه‌های ویران‌گری در این استان می‌باشند. بلوک لوت و دشت جازموریان (شکل ۱) با گسل‌های شمالی- جنوبی راستالغز راست‌گرد از ایران مرکزی و زاگرس جدا می‌شوند (واکر، ۲۰۰۶). یکی از ویژگی‌های لرزه‌ای

سه زمین‌لرزه بردسیر، سیرچ و کهنوج (تقابلی و همکاران، ۱۳۸۹؛ شکری و همکاران، ۱۳۹۰؛ شکری و همکاران، ۱۳۹۰) در بازه زمانی یک سال در ایالت لرزه زمین‌ساختی خاور ایران و روی سامانه‌های گسلی بزرگ راستالغز راست‌گرد، در چند جا که از دیدگاه لرزه‌ای نایکسان بودند، روی داده‌اند. این زمین‌لرزه‌ها در شبکه لرزه‌نگاری محلی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور^۱ در زاگرس میانی، شبکه‌های لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران^۲ و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله^۳ به خوبی و بدون نوفه برداشت شده‌اند. جنباترین این سامانه‌ها گسل گلباف است که در پیشینه خود چشمه زمین‌لرزه‌های بزرگی بوده است. بزرگ‌ترین این زمین‌لرزه‌ها، زمین‌لرزه ۱۹۸۱/۰۷/۲۸ گلباف با بزرگای $M_w=7.3$ است (بربریان و همکاران، ۱۹۸۴ و ۲۰۰۱). زمین‌لرزه بردسیر در گستره تهی از لرزه‌خیزی در نزدیکی گسل لاله‌زار روی داده است. به گونه‌ای که به‌جز زمین‌لرزه سال ۱۹۲۳ هیچ زمین‌لرزه بزرگ دیگری در آنجا روی نداده است (امبراسیس و ملویل، ۱۹۸۲). گسل لاله‌زار را در این پژوهش می‌توان پاره‌ای از سامانه گسلی رفسنجان (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱) در نظر گرفت. زمین‌لرزه کهنوج نیز با بزرگای ۵/۳ در سنجه (ناتلی، ۱۹۷۳) M_N روی سامانه گسلی سبزواران- جیرفت در نزدیکی شهرستان کهنوج روی داده، ژرفای آن ۳۴ کیلومتر بوده و تنها پیش‌لرزه این رویداد دو دقیقه پیش از رخداد زمین‌لرزه اصلی با بزرگای ۴/۱ در ۱۲ کیلومتری جنوب باختری کهنوج برداشت شده است (IGUT). بنا به گزارش‌های تهیه شده (تقابلی و همکاران، ۱۳۸۹؛ شکری و همکاران، ۱۳۹۰؛ شکری و همکاران، ۱۳۹۰) اگرچه، خوش‌بختانه،

گسل‌های راستالغز آزاد می‌شوند. این گسل‌ها بلوک لوت را که یک گستره بی‌لرزه است، دربر می‌گیرند. در پیرامون این بلوک کرنش‌های لرزه‌ای کاهش می‌یابند (ماسون و همکاران، ۲۰۰۵). راستای سامانه‌های گسلی به هم پیوسته و هم‌گرای نایبند و کوه‌بنان که گسل‌های گلباف و گوک را در ادامه دارند، در پاره جنوب خاوری، در راستای سامانه گسلی بم بوده که خاستگاه زمین‌لرزه ویران‌گر بم (طالبیان و همکاران، ۲۰۰۴؛ تاتار و همکاران، ۲۰۰۵) می‌باشد.

استان کرمان این است که سامانه‌های گسلی بزرگ نایبند، کوه‌بنان و گلباف در شمال این استان به هم می‌رسند. همواره نقاط به هم‌رسی چندگانه^۴ گسل‌ها از ویژگی‌های لرزه‌ای مهمی برخوردار است، چون آن‌جا چگالی گسستگی‌ها بیش‌تر بوده، محل تمرکز تنش لرزه‌ای بوده و توان لرزه‌ای گسل‌ها بهم افزوده می‌شود (مانند به هم‌رسی گسل‌های آستانه و چاشم در البرز خاوری (نعمتی و همکاران، ۲۰۱۱). بیش‌تر کرنش‌های لرزه‌ای در خاور ایران روی این



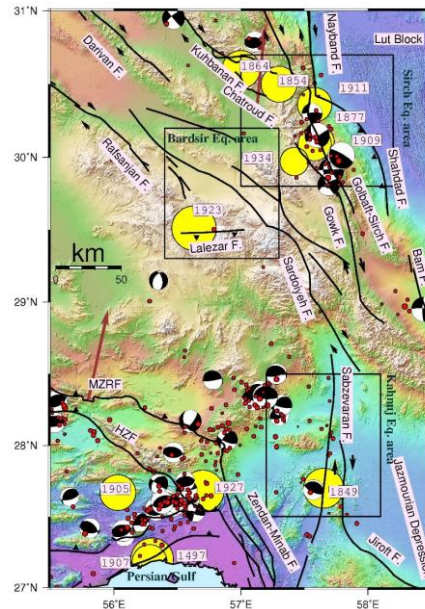
شکل ۱: نقشه گسل‌های ایران و روکانون زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر از ۵/۰. گسل‌ها از کار حسامی و همکاران (۲۰۰۳) و روکانون زمین‌لرزه‌ها از کاتالوگ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله برگرفته شده است. چهارگوش نشان داده شده در نقشه محدوده شکل ۲ می‌باشد. نواحی و شهرهای مهم روی نقشه نشان داده شده‌اند.

سامانه‌های گسلی سبزواران- جیرفت هستند (یمینی‌فرد و همکاران، ۲۰۰۷). یمینی‌فرد و همکاران (۲۰۰۷) در این گستره خرد زمین‌لرزه‌هایی با ژرفای ۲۵ تا ۳۵ کیلومتر با سازوکار راستالغز راست‌گرد و راندگی نیز گزارش کرده‌اند (شکل ۲). زمین‌لرزه‌هایی که در نقشه شکل ۲ با نشان‌گرهای قرمز نشان داده شده‌اند، زمین‌لرزه‌های دوباره کانون‌یابی شده کاتالوگ انگدال (ISC, 2012) هستند. این زمین‌لرزه‌ها با

گستره روکانونی زمین‌لرزه کهنوج که پهنه گذار لرزه‌ای میان ایالت‌های لرزه زمین‌ساختی زاگرس و مکران (بربریان، ۱۹۷۶) است، به هیچ روی، با دو گستره روکانونی زمین‌لرزه‌های بردسیر و سیرج یکسان نیست. در این گستره زمین‌لرزه‌ها ژرفای بیش‌تری داشته و گواه جنبش گسل‌های تراگذری^۵ هستند که پوسته را تا انتها بریده‌اند، (مانند گسل زندان- میناب) (شکل ۱). در این گستره خردلرزه‌های کم ژرفاتر وابسته به

دورلرز خوانده شده و به‌کارگیری ایستگاه‌هایی با نبود آزیموتی کمتر از ۱۸۰ درجه دوباره کانون‌یابی شده‌اند.

روش انگدال با به‌کارگیری یک مدل پوسته سرعتی یک بعدی موج P دقیق‌تر مانند AK135، فازهای P، S، PKP، فازهای ژرفی pP و sS، وزن‌دهی فازها بر پایه فاصله، دست‌کم ۱۰ فاز



شکل ۲: لرزه‌خیزی گستره‌ای پیرامون روکانون زمین‌لرزه سیرج، زمین‌لرزه بردسیر و زمین‌لرزه کهنوج. گسل‌ها در این نقشه از نقشه‌های زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی (GSI) و راستای جابه‌جایی راستالغز و شیب‌لغز آنها نیز از کار حسامی و همکاران (۲۰۰۳) برگرفته شده است. زمین‌لرزه‌هایی با نشان‌گرهای قرمز زمین‌لرزه‌های دوباره کانون‌یابی شده کاتالوگ انگدال (ISC Catalogue, 2012) بوده و نشان‌گرهای زرد رنگ زمین‌لرزه‌های تاریخی هستند (آمبراسیس و ملویل، ۱۹۸۲؛ بربریان و بیتس، ۱۹۹۹). بردارهای قهوه‌ای بردارهای GPS سرعت می‌باشند (ورنانت و همکاران، ۲۰۰۴).

گسل‌های گستره

گستره استان کرمان از دیدگاه ویژگی‌های لرزه زمین‌ساختی در ایالت لرزه زمین‌ساختی خاور ایران جای گرفته، که گسل‌های بسیار جنبایی مانند گسل گلباف در آن جای دارد (واکر، ۲۰۰۶). در این بخش مهم‌ترین گسل‌های این گستره و زمین‌لرزه‌های آنها بررسی می‌شوند.

راستای گسل کوه‌بنان که در ازای آن نزدیک به ۳۰۰ کیلومتر است، شمال باختری - جنوب خاوری می‌باشد. جابه‌جایی این گسل، راست‌گرد و راندگی می‌باشد. شیب آن تند و رو به شمال

خاوری است. بر پایه نقشه‌های زمین‌شناسی (GSI) و هم‌چنین پژوهش طالبیان و همکاران (۲۰۰۶) این گسل جوان و لرزه‌زا بوده چون نهشته‌های کواترنری را بریده است. در پی جنبش دوباره این گسل، زمین‌لرزه سال ۱۸۵۴ هوری‌جان با بزرگای $M_s=5.8$ و زمین‌لرزه سال ۱۸۶۴ چترود با بزرگای $M_s=6.0$ در پایانه جنوبی آن (شکل ۱)، زمین‌لرزه سال ۱۸۹۷ چترود با بزرگای $M_s=5.7$ ، زمین‌لرزه ۱۹۷۷/۰۹/۱۷ با بزرگای $M_s=5.6$ و زمین‌لرزه ۱۹۷۷/۱۲/۱۹ باب‌تنگل

روی گسل گلباف باعث انتقال تنش به گسل شهادت شده است (فیلدینگ و همکاران، ۲۰۰۴).

-گسل لکرکوه گسلی با راستای شمال باختری - جنوب خاوری است که با گسل‌های نایبند و کوه‌بنان در شمال گستره روکانونی زمین‌لرزه سیرچ به هم می‌رسند. درازای این گسل در بخش خاوری نزدیک به ۷۰ کیلومتر می‌باشد. شیب این گسل تند بوده و سازوکار آن راستالغز راست‌گرد می‌باشد (واکر، ۲۰۰۶). راستای این گسل در شمالی‌ترین و جنوبی‌ترین بخش‌های آن به ترتیب، به سوی باختر و خاور خم شده راستای آن نزدیک به خاوری - باختری می‌شود. از اینرو، سازوکار این گسل در آن بخش‌ها بایستی از راستالغز به شیب‌لغز تغییر نماید.

-گسل رفسنجان با راستای شمال باختری - جنوب خاوری دارای درازای بیش از ۱۴۰ کیلومتر بوده، تا نزدیکی گستره روکانونی زمین‌لرزه بردسیر گسترش دارد (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱). شیب این گسل به سوی شمال خاوری بوده و راستالغز راست‌گرد می‌باشد. زمین‌لرزه ۱۹۲۳/۰۹/۲۲ با بزرگای $M_s=6.2$ و زمین‌لرزه ۱۹۲۴/۰۱/۱۸ با بزرگای $M_s=5.7$ روی راستای این گسل روی داده‌اند (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱؛ بربریان و همکاران، ۱۹۸۴) (شکل ۱). فتاحی و همکاران (۲۰۱۱) بقایای یک گسیختگی با نزدیک به ۳ متر جابه‌جایی را یافته‌اند، که احتمالاً متعلق به یک زمین‌لرزه با بزرگای بیش‌تر از ۷.۰ روی این گسل بوده است. بنابراین، این گسل توانایی ایجاد یک زمین‌لرزه بزرگ را داشته باشد.

-سامانه گسلی سبزواران - جیرفت از دو گسل جیرفت و سبزواران تشکیل شده است. جنبش راستالغز هر دو آنها راست‌گرد است. شیب این دو گسل بر پایه سازوکار خردلرزه‌های برداشت شده با یک شبکه لرزه‌نگاری محلی (یمینی-فرد و

گیسک) با بزرگای $M_s=5.8$ روی داده‌اند (بربریان و همکاران، ۱۹۸۴).

-گسل کواترنری گلباف نیز راستالغز راست‌گرد بوده و جنباترین گسل در گستره در دست بررسی می‌باشد. این گسل راستای شمال، شمال باختری - جنوب، جنوب خاوری دارد. درازای آن بیش از ۱۵۰ کیلومتر نیست. سامانه گسلی گلباف متشکل از چندین پاره گسل با ساختار پلکانی است (بربریان و همکاران، ۱۹۸۴). این سامانه از پایانه جنوبی گسل نایبند در شمال تا رشته‌کوه‌های جبال‌بارز در جنوب کشیدگی دارد. گسل گلباف بخشی از سامانه گسلی راستالغز راست‌بر نایبند - سبزواران است که کناره باختری لوت را تشکیل می‌دهد. سازوکار چیره گسل گلباف راستالغز راست‌بر بوده و با توجه به شیب زیاد صفحه گسل، مولفه شیب لغز در رویدادهای مختلف لرزه‌ای به هر دو صورت نرمال و معکوس ظاهر شده است (شکری و همکاران، ۱۳۹۰). از سوی دیگر تکامل ریخت‌زمین‌ساختی این گسل نیز، هر دو مولفه شیب‌لغز عادی و راندگی را نشان می‌دهد (واکر و جکسون، ۲۰۰۲). زمین‌لرزه ۱۹۸۱/۰۷/۲۸ سیرچ با بزرگای $M_s=7.3$ و زمین‌لرزه ۱۹۹۸/۰۳/۱۴ فندوقا با بزرگای $M_w=6.6$ (بربریان و همکاران، ۱۹۸۴؛ بربریان و همکاران، ۲۰۰۱) در پی جنبش این گسل روی داده‌اند (شکل ۱).

-گسل شهادت گسلی است با سازوکار راندگی و دارای خمیدگی رو به شمال خاوری که درازایی نزدیک به ۱۰۰ کیلومتر و شیبی به سوی جنوب باختری دارد (واکر، ۲۰۰۶) (شکل ۱ و ۲). گمان می‌رود که این گسل جنبایی چندانی نداشته باشد. چین‌خوردگی همراه با گسلش باعث فراخاست نزدیک به ۶۰۰ کیلومتر مربع از زمین در گستره این گسل شده است. این چین‌خوردگی همراه با گسلش بی‌لرزه می‌باشد. زمین‌لرزه ۱۹۹۸ فندوقا

راستای این گسیختگی‌ها نزدیک به شمالی - جنوبی می‌باشد (بربریان و همکاران، ۱۹۸۱؛ بربریان و همکاران، ۲۰۰۱).

- زمین‌لرزه ۱۹۸۱/۰۷/۲۸ سیرچ (چهارفرسنگ) با بزرگای $M_s=7.1$ بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌ای است که تاکنون در گستره استان کرمان روی داده است. بیشینه شدت این زمین‌لرزه VIII برآورد شده است. زمین‌لرزه چهار فرسنگ روی گسل گلباف بیشینه جابه‌جایی ۶۰ سانتی‌متر و ۶۵ کیلومتر شکستگی در دو سوی دره گوک ایجاد نموده است. این زمین‌لرزه و زمین‌لرزه ۱۹۹۸ فندوقا روی هم رفته ۸۸ کیلومتر شکستگی ایجاد نموده‌اند (بربریان و همکاران، ۱۹۸۱؛ بربریان و همکاران، ۲۰۰۱).

- زمین‌لرزه ۱۹۹۸ فندوقا زمین‌لرزه‌ای است با بزرگای $M_w=6.6$ که در پیرامون روستای فندوقا در شمال گلباف روی داده است. این زمین‌لرزه دارای شمار زیادی پس‌لرزه بوده که بزرگ‌ترین آنها دارای بزرگای $m_b=4.9$ بوده است. این زمین‌لرزه در پی جنبش دوباره گسل زمین‌لرزه‌ای گلباف، نزدیک به ۲۳ کیلومتر گسلش و نزدیک به ۳ متر جابه‌جایی راستالغز راست‌گرد و یک متر جابه‌جایی عادی با شیب تند ایجاد کرده است. شکستگی این زمین‌لرزه دنباله شکستگی زمین‌لرزه‌های ۱۹۸۱ در دره گوک بوده است (بربریان و همکاران، ۲۰۰۱). جابه‌جایی راستالغز راست‌گرد این زمین‌لرزه با پیوندهای ریاضی بزرگا- درازای گسل (کریمی و همکاران، ۲۰۱۳؛ نعمتی و تاتار، ۲۰۱۵) هم‌خوانی ندارد.

- زمین‌لرزه ۱۹۸۹ گلباف با بزرگای $M_w=5.8$ دارای یک شکستگی با راستای NNW-SSE، با درازای ۱۹ کیلومتر بوده که چند سانتی‌متر جابه‌جایی روی گسل سیرچ گلباف در جنوب گلباف داشته است (بربریان و قرشی، ۱۹۹۴).

همکاران، ۲۰۰۷) نزدیک به شاقولی برآورد شده است (شکل ۲). در این پژوهش، خردلرزه‌های برداشت شده توسط شبکه لرزه‌نگاری محلی آنها در گستره این سامانه گسلی کم‌ژرفا بوده است. با به‌کارگیری داده‌های شبکه محلی، آن‌ها سازوکار راستالغز راست‌گرد را برای خردلرزه‌های این گسل‌ها پیش‌نهاد نموده‌اند.

- گسل لاله‌زار نیز که به گمان، دنباله گسل رفسنجان بوده و یا از شاخه‌های این گسل می‌باشد، ۴۰ کیلومتر درازا داشته و راستای آن نزدیک به خاوری- باختری است (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱) (شکل ۱). زمین‌لرزه پیش‌دستگاهی سال ۱۹۲۳ نیز به گمان روی گسل لاله‌زار روی داده است (آمبراسیس و ملویل، ۱۹۸۲). سازوکار این گسل معکوس بوده و شیب آن نیز رو به شمال می‌باشد (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱).

زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی گستره:

زمین‌لرزه ۱۸۴۹ کهنوج با $M_s=6.2$ ، زمین‌لرزه ۱۸۵۴ خورجند با شدت VIII، زمین‌لرزه ۱۸۶۴ چترود با $M_s=6.8$ ، زمین‌لرزه ۱۸۹۷ کرمان- چترود با $M_s=5.5$ ، زمین‌لرزه ۱۹۲۳ لاله‌زار با شدت VII^+ و بزرگای $M_w=6.9$ ، زمین‌لرزه ۱۹۴۸ گوک (گلباف) با $M_s=6.0$ ، زمین‌لرزه ۱۹۷۷ گیسک زرنند (باب‌تنگل) با $M_s=5.8$ ، زمین‌لرزه ۱۹۳۴ کرمان با $M_s=5.0$ و زمین‌لرزه ۱۸۴۹ جیرفت با $M_s=6.2$ (شکل ۱) زمین‌لرزه‌های تاریخی گستره می‌باشند (بربریان و بیتس، ۱۹۸۱؛ آمبراسیس و ملویل، ۱۹۸۲). در این‌جا به بررسی مهم‌ترین زمین‌لرزه‌های دستگاهی نیز می‌پردازیم.

- در زمین‌لرزه ویران‌گر ۱۹۸۱/۰۶/۱۱ گلباف با بزرگای $M_s=6.7$ که استان کرمان را به لرزه درآورد، پاره‌ای از سامانه گسلی گوک و گسل گلباف به گونه شمالی- جنوبی جابه‌جا شده است.

نتایج

پردازش سازوکارها

به دست آوردن سازوکار زمین‌لرزه‌ها با به‌کارگیری قطبش‌های نخستین موج P رسیده به ایستگاه‌های لرزه‌نگاری باند پهن، بلند دوره و هم‌چنین کوتاه دوره امکان‌پذیر است، اگر موج‌هایی به جز PP به‌کار برده شوند (هاوزکوف و اوتمولر، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰). اگر خطای روکانونی زمین‌لرزه از فاصله میان ایستگاه‌های به‌کار برده شده برای به دست آوردن سازوکار آن کم‌تر باشد، خطای کانون‌یابی تاثیر زیادی روی سازوکار نمی‌گذارد. تاثیر خطای کانون‌یابی به‌ویژه خطای ژرفی زمین‌لرزه روی سازوکار آن برای زمین‌لرزه‌های محلی با فاصله روکانونی کم‌تر از ۱۵۰ کیلومتر بسیار بیش‌تر از زمین‌لرزه‌های ناحیه‌ای و درولرز می‌باشد (استین و وایسشن، ۲۰۰۳). زیرا زمین‌لرزه‌های محلی (هم‌چنین خردلرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها) بیش‌تر با شبکه‌های محلی با فاصله میان ایستگاهی کم برداشت می‌شوند. جای ایستگاه روی دایره سازوکار کانونی بستگی به زاویه گسیل^۷ موج داشته که آن هم به ژرفای زمین‌لرزه بستگی دارد. از آنجایی که زاویه گسیل موج زمین‌لرزه‌های محلی بزرگ‌تر از زمین‌لرزه‌های ناحیه‌ای و دورلرز می‌باشد (لی و والاس، ۱۹۹۵)، بنابراین خطای ژرفی در زمین‌لرزه‌های ناحیه‌ای و دورلرز تاثیر کم‌تری روی زاویه گسیل موج و در پی آن سازوکار زمین‌لرزه می‌گذارد تا زمین‌لرزه‌های محلی. پژوهش‌گران زیادی با این روش سازوکار زمین‌لرزه‌ها را در یک گستره وسیعی از بزرگا به دست آورده‌اند (مکنزی، ۱۹۷۲؛ جکسون و مکنزی، ۱۹۸۴؛ عکاشه و برکمر، ۱۹۸۴؛ پرسیتلی و همکاران، ۱۹۹۴؛ نی و برازنگی، ۱۹۸۶). برونداد این پژوهش برای این زمین‌لرزه‌ها هم‌آمیخت و در پی آن پردازش

پس‌لرزه‌های این زمین‌لرزه نشان از گسلی ژرفی با درازای ۲۰ کیلومتر و بیشینه ژرفای ۲۵ کیلومتر داشتند (فاطمی و همکاران، ۱۳۷۷).

-زمین‌لرزه ۲۰۰۳ بم با بزرگای $M_w=6.6$ شکستگی تازه‌ای روی سامانه گسلی بم پدید آورده که این گسل زمین‌لرزه‌ای راستالغز راست‌گرد بوده و دارای شیب تند رو به باختر است. این گسل کم‌ژرفا (کم‌تر از ۱۵ کیلومتر) بوده، درازایی نزدیک به ۱۵ کیلومتر و جابه‌جایی نزدیک به ۲۵ سانتی‌متر داشته است (طالبیان و همکاران، ۲۰۰۶). پس‌لرزه‌های آن ۲۰ کیلومتر گستردگی داشته که می‌تواند نشان ستبرای شکستگی ژرفی آن باشد (تاتار و همکاران، ۲۰۰۵).

-زمین‌لرزه ۲۰۰۵ داهوئیه (زرنند) با بزرگای $M_s=6.5$ در خاور شهر زرنند، در کوه‌های خاوری گسل کوه‌بنان در شمال استان کرمان روی داده است. راستای پس‌لرزه‌ها پراکندگی خاوری-باختری را نشان داده و بزرگ‌ترین آنها با بزرگای $4/2$ با یک شبکه لرزه‌نگاری محلی برداشت شده است (نعمتی و قیطانچی، ۲۰۰۹). گسل خاستگاه این زمین‌لرزه یک گسل تازه پدید آمده با راستای خاوری-باختری با رخ‌نمونی به درازای نزدیک به ۱۲ کیلومتر و با شیب ۶۰ درجه رو به شمال بوده که سازوکار چیره آن راندگی بوده و سامانه راستالغز آن نیز راست‌گرد بوده است. جابه‌جایی راندگی این گسل پیامد جابه‌جایی راستالغز راست‌گرد گسل بزرگ کوه‌بنان با راستای شمال باختری-جنوب خاوری بوده است (طالبیان و همکاران، ۲۰۰۶).

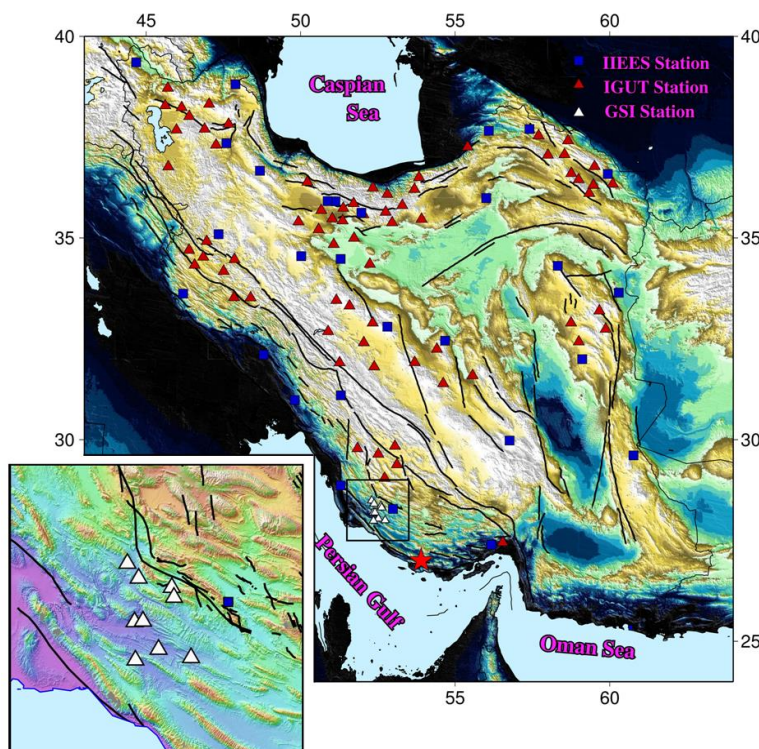
-بایستی به زمین‌لرزه‌های $1977/03/21$ (آمبراسیس و ملویل، ۱۹۸۲) و $1999/03/04$ (هاروارد، ۲۰۱۳) که در نزدیکی روکانون زمین‌لرزه کهنوج جای دارند، نیز اشاره نمود (شکل ۲).

(پیوست ۱). روش به‌دست آوردن سازوکار زمین‌لرزه‌ها به‌کارگیری قطبش‌های نخستین موج P رسیده به ایستگاه‌ها است. برای ایستگاه‌های نزدیک‌تر از ۱۵۰ کیلومتر فاز P_g و برای ایستگاه‌های دورتر فاز P_n خوانده شده‌اند. این سازوکارها جابه‌جایی راست‌الغز راست‌گرد برای زمین‌لرزه‌های بردسیر و کهنوج و جابه‌جایی راندگی برای زمین‌لرزه سیرچ پیشنهاد می‌کنند. در این پژوهش، بزرگای زمین‌لرزه بردسیر در سنجه M_L با میانگین‌گیری میان ۹ ایستگاه، ۵/۴ به دست آمد (جدول ۱).

موج‌های پیکری برداشت شده با ایستگاه‌های شبکه‌های لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و شبکه محلی سازمان زمین‌شناسی (در سال ۲۰۱۰ در استان فارس راه‌اندازی شده بود) (نعمتی و اویسی، ۱۳۸۹)) بوده است (شکل ۳). ایستگاه‌های این شبکه، موج‌های پیکری زمین‌لرزه بردسیر را به خوبی و بدون نوفه برداشت کرده‌اند. بیشینه خطای کانون‌یابی این زمین‌لرزه‌ها ۵ کیلومتر بوده و بیشینه چرخش صفحه‌های گرهی^۸ ها در سازوکارها ۵ درجه می‌باشد. این سازوکارها با کم‌ترین خطا در پلاریته‌ها پردازش شده‌اند

جدول ۱: ویژگی‌های زمین‌لرزه‌های بردسیر، کهنوج، سیرچ و پس‌لرزه‌های بزرگ آن‌ها.

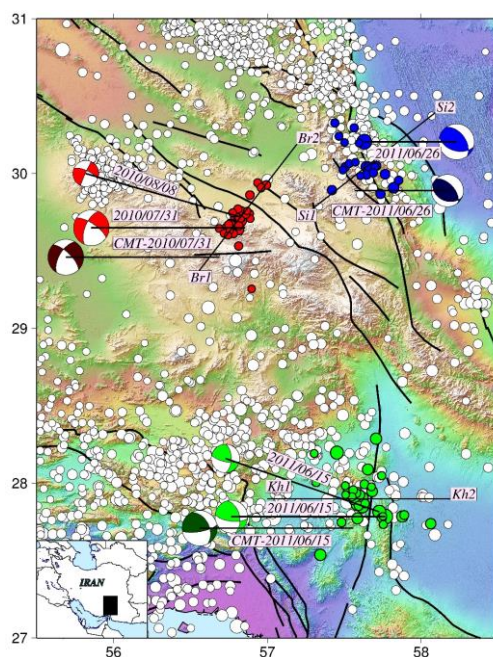
.Ref.	Fault Plane			Mag.	RMS(s)	Depth(km)	Lat.(°N)	Long.(°E)	Origin Time
	<i>Strike</i>	<i>Dip</i>	<i>Rake</i>						
<i>CMT</i>	۱۵۷	۴۵	۳۳۳	(M_S)۵/۷	-	۴۱	۲۷/۸۱	۵۷/۵۶	۰۱:۰۵-۱۵/۰۶/۲۰۱۱
<i>IGUT</i>	-	-	-	(M_N)۵/۳	۰/۶	۳۴	۲۷/۸۴	۵۷/۶۶	۰۱:۰۵-۱۵/۰۶/۲۰۱۱
<i>here</i>	۴۵۸	۶۷/۴۸	۹۶/۸۶	-	۰/۵	۳۱	۲۷/۸۰۶	۵۷/۶۱۸	۰۱:۰۵-۱۵/۰۶/۲۰۱۱
<i>IGUT</i>	-	-	-	(M_N)۴/۶	۰/۶	۲۷	۲۷/۸۱۶	۵۷/۲۸	۰۲:۴۳-۱۵/۰۶/۲۰۱۱
<i>here</i>	۳۶	۷۱/۲	۱۰۳/۱	-	-	-	-	-	۰۲:۴۳-۱۵/۰۶/۲۰۱۱
<i>CMT</i>	۷۱	۳۶	۱۱۴	(M_S)۵/۲	-	۲۲	۲۹/۸۹	۵۷/۵۷	۱۹:۴۴-۲۶/۰۶/۲۰۱۱
<i>IGUT</i>	-	-	-	(M_N)۵/۲	۰/۵	۱۳	۳۰/۲۰۶	۵۷/۶۳	۱۹:۴۴-۲۶/۰۶/۲۰۱۱
<i>here</i>	۶۷۳	۴۷/۴	۱۰۵/۸	-	۰/۵	۱۰	۳۰/۲۰۶	۵۷/۵۵۲	۱۹:۴۴-۲۶/۰۶/۲۰۱۱
<i>CMT</i>	-۲۵/۰	۶۰	۲۱۱	(M_S)۵/۸	-	۱۸	۲۹/۴۶	۵۶/۶۹	۰۶:۵۳-۳۱/۰۷/۲۰۱۰
<i>IGUT</i>	-	-	-	(M_N)۵/۸	۰/۴	۴	۲۹/۷۰۳	۵۶/۸۱۲	۰۶:۵۳-۳۱/۰۷/۲۰۱۰
<i>here</i>	-۲۱/۰	۶۱	۲۰۳	(M_L)۵/۴	۰/۴	۹	۲۹/۶۵	۵۶/۸۵۶	۰۶:۵۳-۳۱/۰۷/۲۰۱۰
<i>IGUT</i>	-	-	-	(M_N)۴/۲	۰/۲	۵	۲۹/۷۲۱	۵۶/۸۲	۲۲:۵۲-۰۸/۰۸/۲۰۱۰
<i>here</i>	-۱۹/۷	۸۶/۶	۲۰۳/۸	-	-	-	-	-	۲۲:۵۲-۰۸/۰۸/۲۰۱۰



شکل ۳: ایستگاه‌هایی که داده‌های آنها برای پردازش سازوکار زمین‌لرزه‌ها به کار برده شده‌اند.

باختری- جنوب خاوری سازوکار این زمین‌لرزه‌ها نیز با پایانه گسل رفسنجان (گسل لاله‌زار) سازگار است. شیب رو به شمال خاوری و راستالغز راست‌گرد بودن پایانه جنوب خاوری این گسل (فتاحی و همکاران، ۲۰۱۱) نیز با سازوکار ما هم‌خوانی دارد. شیب گسل لاله‌زار رو به شمال بوده، راستای آن شمال باختری- جنوب خاوری تا خاوری-باختری است و با سازوکار زمین‌لرزه بردسیر سازگاری دارد. این زمین‌لرزه یک سامانه شیب‌لغز عادی با شیب تند دارد. سرانجام، اگر زمین‌لرزه سیرچ نیز وابسته به گسل گلباف باشد، بر پایه این سازوکار گسل گلباف راستالغز راست‌گرد با شیب تند رو به شمال خاوری می‌باشد. اگرچه سامانه راندگی در این سازوکار برتر است.

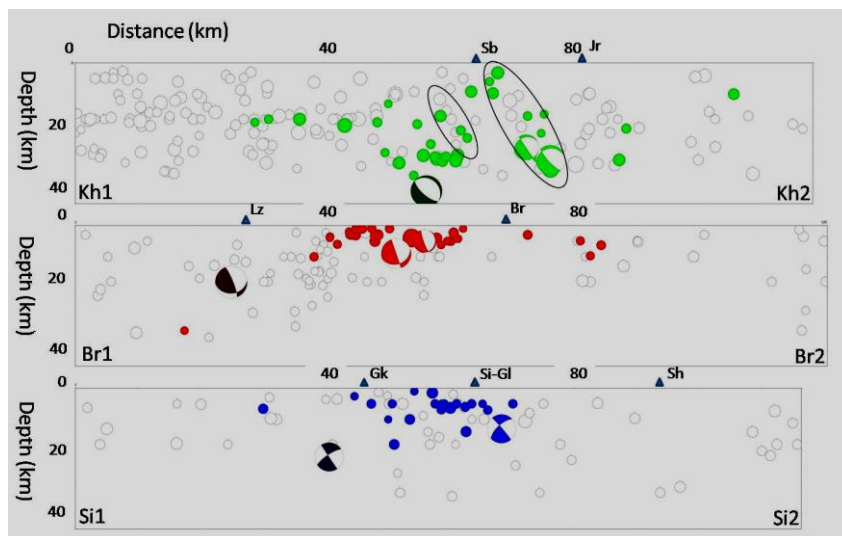
با نگاهی به شکل‌های ۳ و ۴ و با دیدگاه نزدیک‌تر بودن رو کانون زمین‌لرزه کهنوج (IGUT) به گسل سبزواران، رو به شمال خاوری بودن شیب آن و هم‌خوانی خوب پهنه لرزه‌خیز نشان داده شده (بیضی) با محل گسل در برش Kh، به گمان این گسل و نه گسل جیرفت خاستگاه این زمین‌لرزه بوده است. نزدیک بودن کانون زمین‌لرزه کهنوج به بزرگ‌ترین پس‌لرزه آن نشان از درست‌تر بودن کانون‌یابی این پژوهش نسبت به کانون‌یابی کاتالوگ هاروارد دارد. همان‌گونه که در شکل‌های ۴ و ۵ دیده می‌شود، یک کاف^۱ لرزه‌ای در گستره روکانونی زمین‌لرزه بردسیر دیده می‌شود. این گستره خالی از خردلرزه‌خیزی است. زمین‌لرزه بردسیر و پس‌لرزه بزرگ آن، به گمان به گسل لاله‌زار که در راستای گسل رفسنجان است، وابسته هستند. چون راستای پهنه گسلی شمال



شکل ۴: نقشه لرزه‌خیزی و سازوکار زمین‌لرزه‌ها. سازوکار CMT زمین‌لرزه‌های بردسیر، سیرج و کهنوج، به ترتیب با رنگ‌های قرمز، آبی و سبز پررنگ نشان داده شده‌اند. سازوکار کانونی پردازش شده زمین‌لرزه‌های بردسیر، سیرج و کهنوج در این پژوهش که بر پایه پلاریته نخستین جنبش موج P برداشت شده در ایستگاه‌های لرزه‌نگاری هستند، به ترتیب با رنگ‌های قرمز، آبی و سبز کم‌رنگ نشان داده شده‌اند. پس‌لرزه‌ها (IGUT)ی زمین‌لرزه بردسیر با نشان‌گرهای قرمز، زمین‌لرزه کهنوج با نشان‌گرهای سبز، زمین‌لرزه سیرج با نشان‌گرهای آبی و خردلرزه‌خیزی (IGUT, 2006-2010) با نشان‌گرهای سفید در گستره پیرامون زمین‌لرزه‌ها نمایش داده شده است.

گرفتن خطای ژرفی پس‌لرزه‌ها می‌توان گفت که به گمان، هر سه زمین‌لرزه در یک گستره ژرفی تهمی از پس‌لرزه روی داده و پس‌لرزه‌ها به تنهایی شیبی را برای گسل‌های چشمه نشان نمی‌دهند. شاید بتوان دو به خط شدگی در خردلرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها را در برش Kh با شیب تند رو به خاور جدا کرد. بیضی‌ها در شکل ۵ به خط‌شدگی زمین‌لرزه‌ها را در برش نشان می‌دهند. اگرچه، دقت کانونیابی زمین‌لرزه‌ها در حد شبکه محلی نیست، شاید بتوان با توجه به سازوکارهای معکوس و به خط‌شدگی در بیضی بزرگ‌تر و به خط‌شدگی در بیضی کوچک‌تر یک پهنه گسلی با این شیب به هر کدام از آن‌ها نسبت داد.

گسل‌های سیرج و بردسیر هر دو کم‌ژرفا هستند. ژرفای لرزه‌خیزی در برش‌های Br و Si تا ۲۰ کیلومتری و ژرفای لرزه‌خیزی در برش Kh تا ۴۰ کیلومتر نیز می‌رسد (شکل ۵). خطای زیاد در کانونیابی با روش حل تانسور گشتاور زمین‌لرزه^۱ در هر سه زمین‌لرزه به خوبی در برش‌ها دیده می‌شود. روش CMT هر سه زمین‌لرزه را ژرف‌تر کانونیابی کرده است. با نگاهی به سازوکارها در برش‌ها به خوبی دیده می‌شود که شیب پهنه‌های گسلی در دو زمین‌لرزه بردسیر و سیرج رو به شمال خاوری بوده و در زمین‌لرزه کهنوج به سوی خاور است، اگرچه، در زمین‌لرزه سیرج سامانه راندگی و در زمین‌لرزه‌های بردسیر و کهنوج سامانه راست‌الغز برتر می‌باشد. سرانجام با در نظر



شکل ۵: سه برش عمود بر گسل‌های چشمه زمین‌لرزه‌های سیرچ (Si)، بردسیر (Br) و کهنوج (Kh). راستای برش‌ها در شکل ۴ نشان داده شده و رنگ نشان‌گرها همان رنگ‌ها در آن شکل می‌باشد. در این برش‌ها گسل‌های جیرفت، سبزواران، بردسیر، لاله‌زار، گوک، سیرچ-گلباف و شهداد به شماره، با نام‌های Jr, Sb, Br, Lz, Gk, Si-Gl, Sh و نشان داده شده‌اند. بیضی‌ها به‌خط‌شدگی زمین‌لرزه‌ها را در برش نشان می‌دهند. شاید بتوان با توجه به سازوکارهای معکوس و به‌خط‌شدگی در بیضی بزرگ‌تر و به‌خط‌شدگی در بیضی کوچک‌تر یک پهنه گسلی با این شیب به هر کدام نسبت داد.

بحث و نتیجه‌گیری

می‌باشند. پردازش سازوکارها نشان می‌دهد که هر دو گسل خاستگاه زمین‌لرزه‌های سیرچ و بردسیر دارای شیب تند رو به شمال خاوری و گسل چشمه زمین‌لرزه کهنوج دارای شیب رو به خاور می‌باشد. ناهم‌خوانی اندک میان سازوکار CMT و روش نخستین جنبش موج P به نایکسانی روش‌های پردازش، خطای کانون‌یابی و پراکندگی نایکنواخت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری باز می‌گردد. ژرف‌تر بودن نسبی کانون زمین‌لرزه‌های اصلی در سنجش با پس‌لرزه‌های آنها گواهی بر درست بودن کانون‌یابی زمین‌لرزه‌های اصلی می‌باشد. شاید بتوان گفت که رفتار مواد تشکیل دهنده پوسته زمین در برابر تنش^{۱۱} پوسته شکننده و دینامیک شکست در لایه لرزه‌زا ایجاب می‌کند بیش‌تر زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر از ۵/۵ که کانون آنها در کف لایه لرزه‌زا جای دارد، ژرف‌تر از پس‌لرزه‌های خود باشند. از آنجایی که پس‌لرزه‌ها همواره دوام فرایند شکست بوده و هم‌چنین این فرآیند، بیش‌تر از پایین به بالا در لایه لرزه‌زا پیش می‌رود،

این بررسی نشان می‌دهد که به‌گمان، رویداد زمین‌لرزه ۲۰۱۰ کهنوج به گسل سبزواران و رویداد زمین‌لرزه ۲۰۱۱ سیرچ به گسل گلباف وابسته است. هم‌چنین می‌توان جنبش لرزه‌ای گستره بردسیر (زمین‌لرزه ۲۰۱۱ بردسیر) را به جنبش شاخه‌های جنوب خاوری گسل رفسنجان وابسته دانست. با این دیدگاه که گستره روکانونی زمین‌لرزه بردسیر، به جز زمین‌لرزه ۱۹۲۳ $M_w=6.9$ پیشینه لرزه‌ای بارزی نداشته است، می‌توان گفت این زمین‌لرزه در یک کاف لرزه‌ای روی داده است. بیشینه شدت VI در بازدید میدانی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور از پیرامون رو کانون زمین‌لرزه بردسیر، که بزرگ‌ترین آنها نیز هست، برآورد شده و هیچ شکستگی وابسته به این زمین‌لرزه دیده نشده است. این نشان دهنده کوچک بودن شکستگی زمین‌لرزه و به سطح نرسیدن آن است. دو زمین‌لرزه کوچک‌تر کهنوج و سیرچ نیز بدین‌گونه

تنش لرزه‌ای از زمین‌لرزه قبلی، به دنبال آن روی دهد. بنابراین، روی سامانه گسلی بزرگ نای‌بند تاثیر انتقال تنش لرزه‌ای زمین‌لرزه‌های سیرچ و کهنوج را روی رخداد زمین‌لرزه‌های پس از آن‌ها نمی‌توان نادیده گرفت. با نگاهی به نتایج این بررسی، راه‌اندازی شبکه‌های محلی در استان کرمان برای شناخت بیش‌تر سازوکار ژرفی گسل‌ها و کنش‌های لرزه‌ای آنها و در پی آن بررسی خطر زمین‌لرزه در آن گستره پرجمعیت گریزناپذیر است. بدیهی است که نتایج به دست آمده در این پژوهش در بررسی خطر زمین‌لرزه به روش‌های آماری، قطعی و احتمالاتی کاربرد داشته و می‌توانند به عنوان داده‌های ورودی این روش‌ها به کار روند.

اختیار گزاردن داده‌های شبکه‌های لرزه‌نگاری سپاس‌گزاری می‌شود.

این پندار در این سه زمین‌لرزه با در نظر گرفتن خطای ۵ کیلومتری در کانون‌یابی آن‌ها به خوبی دیده می‌شود. سامانه گسلی سبزواران که در پایانه جنوبی سامانه گسلی راستالغز نای‌بند - گلباف جای دارد، با روند شمالی جنوبی گستره مکران را به نواحی شمالی ایران مرکزی متصل می‌کند. رخداد زمین‌لرزه کهنوج روی این گسل به همراه زمین‌لرزه‌های سامانه گسلی نای‌بند - گلباف تنش برشی میان ایران مرکزی و نواحی لوت-مکران را تخلیه می‌نماید. می‌توان گفت که گسل‌های مسبب دو زمین‌لرزه کهنوج و سیرچ بخش‌های مهمی از یک سامانه بزرگ گسلی را (نای‌بند) تشکیل داده‌اند. از سوی دیگر، زمین‌لرزه رخ داده روی یک سامانه گسلی می‌تواند در پی انتقال

سپاس‌گزاری

از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله برای در

پانوش

- 1-GSI
- 2-IGUT
- 3-IIIES
- 4-Triple Junction
- 5-Transcurrent
- 6-First P Motion Method

- 7-Take-off angle
- 8-Nodal Planes
- 9-Gap
- 10-CMT (Harvard Un. Centriod Moment Tensor Solution)
- 11-Rheology

منابع

گلباف کرمان و پس‌لرزه‌های آن، جلد (۱ و ۲) ۲۴، ص ۱۱-۱۵.
شکری، م.ع.، اسکندری، م. و ضیا، م.، ۱۳۹۰. گزارش زمین‌لرزه ۲۵ خرداد ۱۳۹۰ جنوب کهنوج، کرمان، گروه لرزه‌زمین‌ساخت و زلزله‌شناسی،

-تقابلی، م.، جوان دولوئی، غ. و عسگری، ا.ه.، ۱۳۸۹. گزارش زمین لرزه ۱۳۸۹/۵/۹، جنوب بردسیر، کرمان، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، گزارش داخلی.
-فاطمی، ج.، عکاشه، ب.، سلطانیان، س. و گودرزی، ح.، ۱۳۷۷. زلزله ۲۹ آبان‌ماه ۱۳۶۸

- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گزارش داخلی.
- نعمتی، م. و اویسی، ب.، ۱۳۸۹. گزارش نخستین شبکه محلی در زاگرس میانی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گزارش داخلی.
- Akasheh, B. and Berckhemer, H., 1984. Focal mechanisms of earthquakes in Iran with special emphasis on small shocks in Tehran region, *Neues jahrbuch paleontology abhandlungen*, v. 168, p. 244-255.
- Ambraseys, N. and Melville, C., 1982. *A History of Persian Earthquakes*, Cambridge University Press.
- Berberian, M., 1976. Contribution to the seismotectonics of Iran, Part II. Geological Survey of Iran, report No. 39.
- Berberian, M., Jackson, J.A., Qorashi, M. and Kadir, M.H., 1984. Field and teleseismic observation of the 1981 Golbaf-Sirch earthquakes in SE Iran, *Royal Astronomical Society Geophysical Journal*, v. 77, p. 809-838.
- Berberian, M., Jackson, J.A., Fielding, E., Parsons, B., Priestley, K., Qorashi, M., Talebian, M., Walker, R., Wright, T.J. and Baker, C., 2001. The 1998 March 14 Fandoqa earthquake (M6.6) in Ker man province, southeast I ran: Re-rupture of the 1981 Sirch earthquake fault, triggering of slip on adjacent thrusts and the active tectonics of the Gowk fault z one, *Geophysical Journal International*, v. 146, p. 371-398.
- Berberian, M. and Qorashi, M., 1994. Coseismic fault-related folding during the south Golbaf earthquake of November 20, 1989, in southeast Iran, *Geology*, v. 22, p.531-534.
- Berberian, M., Jackson, J.A., Qorashi, M. and Kadir, M.H., 1984. Field and teleseismic observations of the 1981 Golbaf-Sirch earthquakes in SE Iran, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, v. 77, p. 809-838.
- Berberian, M. and Yeats, R., 1999. Patterns of Historical Earthquake Rupture in the Iranian Plateau, *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 89, p. 120-139.
- Fattahi, M., Walker, R.T., Talebian, M., Sloan, R.A. and Rasheedi, A., 2011. The structure and late Quaternary slip rate of the Rafsanzan strike-slip fault, SE Iran, *Geosphere* 2011, v. 7, p. 1159-1174.
- Geological Survey of Iran, 2011.
- Harvard Un., Department of Geological Sciences, Centroid Moment Tensor catalogue, <http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>, 2013.
- Havskov, J. and Ottemller, L., 2005. SEISAN: theearthquake analysis software, version 8.1.
- Havskov, J. and Ottemöller, L., 2010. "Routine Data Processing in Earthquake Seismology, With Sample Data, Exercises and Software", Springer Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 374 p.
- Hessami, K., Jamali, F. and Tabassi, H., 2003. Map of Major Active Faults of Iran, Tech. rep., International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Iran, <http://www.iiees.ir>.
- Institute of Geophysics University of Tehran, IGUT, <http://irsc.ut.ac.ir>, 2013.

- International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, IIEES, <http://www.iiees.ac.ir>, 2013.
- International Seismological Center, ISC, Engdahl Catalogue, <http://www.isc.ac.uk>, 2013.
- Jackson, J. and McKenzie, D., 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, v. 77, p. 185-264.
- Karimiparidari, S., Zaré, M., Memarian, H. and Kijko, A., 2013. Iranian earthquakes, a uniform catalog with moment magnitudes, *Seismological Society of Japan*, 7, 233-240, *Journal of Seismology* July 2013, v. 17(3), p. 897-911.
- Lay, T. and Wallace, T.C., 1995. *Modern Global Seismology*, International Geophysics Series, v. 85.
- McKenzie, D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, v. 30, p. 109-185.
- Masson, F., Chery, J., Hatzfeld, D., Martinoid, J., Vernant, P., Tavakoli, F. and Ghafoury Ashtiani, M., 2005. Seismic versus aseismic deformation in Iran inferred from earthquakes and geodetic data, *Geophysical Journal International*, v. 160, p. 217-226.
- Nemati, M. and Gheitanchi, M., 2009. Analysis of 2005 Dahuieh (Zarand) aftershocks sequence in Kerman province southeast of Iran, *Journal of Earth and Space Physics*, Geophysics Institute of University of Tehran, v. 36(4) p 1-9.
- Nemati, M., Hatzfeld, D., Gheitanchi, M., Sadidkhouy, A. and Mirzaei, N., 2011. Microseismicity and seismotectonics of the Firouzkuh and Astaneh faults (east Alborz, Iran), *Tectonophysics*, v. 506, p. 11-21.
- Nemati, M. and Tatar, M., 2015. Relations between source parameters for large Persian earthquakes, *Annals of Geophysics*, 2015 October, 58, 5, 2015, S0543; doi:10.4401/ag-6665.
- Ni, J. and Barazangi, M., 1986. Seismotectonics of Zagros continental collision zone and a comparison with the Himalayas, *Journal of Geophysical Research*, v. 91(B8), p. 8205-8218.
- Nuttli, O.W., 1973. Seismic wave attenuation relations for eastern North America, *Journal of Geophysical Research*, v. 78, p. 876-855.
- Priestley, K., Baker, C. and Jackson, J., 1994. Implications of earthquake focal mechanism data for the active tectonics of the south Caspian Basin and surrounding regions, *Geophysical Journal International*, v. 118, p. 111-141.
- Stein, S. and Wysession, M., 2003. *An Introduction to Seismology, Earthquakes and Earth Structure*, ISBN 0-86542-078-5.
- Talebian, M. and et al., 2004. The 2003 Bam (Iran) earthquake: rupture of a blind strike-slip fault, *Geophysical Research Letters*, v. 31, L11611.
- Talebian, M., Biggs, J., Bolourchi, M., Copley, A., Ghassemi, A., Ghorashi, M., Hollingsworth, J., Jackson, J., Nissen, E., Oveisi, B., Parsons, B., Priestley, K. and Saïdi, A., 2006. The Dahuieh (Zarand) earthquake of 2005 February, 22 in central Iran, *Geophysical Journal International*, v. 164, p. 137-148.
- Tatar, M., Hatzfeld, D., Moradi, A.S. and Paul, A., 2005. The 2003 December 26 Bam earthquake (Iran), M 6.6, aftershock sequence, *Geophysical Journal International*, v. 163, p. 90-105.
- Masson, F., Chery, J., Hatzfeld, D., Martinoid, J., Vernant, P., Tavakoli, F. and Ghafory Ashtiani, M., 2005. Seismic versus aseismic deformation in

Iran inferred from earthquakes and geodetic data, *Geophysical Journal International*, v. 160, p. 217-226.

-Walker, R.T., Priestley, K., Andalibi, M.J., Gheitanchi, M.R., Jackson, J.A. and Karegar, S., 2005. Seismological and field observations from the 1990 November 6 Furg (Hormozgan) earthquake: a rare case of surface rupture in the Zagros mountains of Iran, *Geophysical Journal International*, v. 163, p. 567-579.

-Walker, R.T., 2006. A remote sensing study of active folding and faulting in southern Kerman province, S.E. Iran: *Journal of Structural Geology*, v. 28, p. 654-668.

-Walker, R.T., Bergman, E.A., Elliott, J.R., Fielding, E.J., Ghods, A.R., Ghoraishi, M., Jackson, J., Nemati, M., Oveisi, B., Talebian, M. and Walters, R., 2013. The 2010-2011 Konarak (Rigan) earthquake sequence and its implications for distributed deformation and earthquake hazard in southeast Iran, *Geophysical Journal International*, doi: 10.1093/gji/ggs109.

-Yamini-Fard, F., Hatzfeld, D., Farahbod, A.M., Paul, A. and Mokhtari, M., 2007. The diffuse transition between the Zagros continental collision and the Makran oceanic subduction (Iran): microearthquake seismicity and crustal structure, *Geophysical Journal International*, v. 170, p. 182-194.

پیوست ۱: ویژگی‌های دیداری سازوکارهای پردازش شده زمین‌لرزه‌ها در این پژوهش.

