

بررسی ویژگی‌های زمین‌شناختی و لرزه‌ای رخداد زمین‌لرزه ۵ شهریور ماه ۱۳۸۹ خورشیدی توچاهی (جنوب دامغان) با بزرگای $M_N=5.9$

محمدعلی شکری^۱، محمد فروتن^۲، مجید نعمتی^۳، محمدجواد بلورچی^۱، شهریار جوادپور^۱ و بهنام اویسی^۲

^۱ کارشناسی‌ارشد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۲ دکتر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۳ استادیار، بخش زمین‌شناسی، دانشکده علوم و مرکز پژوهشی زلزله، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۸/۰۵ تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱۶

چکیده

در ساعت ۲۳:۵۳ دقیقه شامگاه جمعه ۵ شهریور ۱۳۸۹ خورشیدی زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۵/۹ در سنجح امواج محلی (M_N) شهرستان دامغان و روستاهای جنوب آن را لرزاند. پیش از رخداد این زمین‌لرزه، هیچ پیش‌لرزه‌ای در پیرامون رومرکز یاد شده ثبت نشده‌است. این در حالی است که تا حدود یک ماه پس از زمین‌لرزه اصلی، ۸۵ پس‌لرزه با بزرگای بین ۵-۱ توسط مرکز لرزه‌نگاری کشوری گزارش شده است. طی بازدیدهای میدانی انجام شده پس از رخداد، گسلش سطحی مرتبط با گسل مسبب زمین‌لرزه دیده نشد ولی شکستگی‌های ثانویه‌ای با راستای چیره 120° - 140° برداشت گردید. بر پایه بازدیدهای انجام شده در ۳۲ شهر و آبادی آسیب دیده در پی این زمین‌لرزه، بیشینه شدت زمین‌لرزه در سنجح تصحیح شده مرکالی (MMI) در آبادی توچاهی واقع در ۸۵ کیلومتری جنوب دامغان، برابر با VIII⁺ برآورد شد. متأسفانه بر اثر این رخداد ۴ تن از هم‌میهن‌انمان جان خود را از دست دادند. برای حل سازوکار زمین‌لرزه اصلی توچاهی و بزرگ‌ترین پس‌لرزه آن، از قطبش نخستین پرتو فشاری رسیده به ایستگاه‌ها استفاده شد. سازوکار ژرفی حل شده برای این رخداد لرزه‌ای، سازوکار راستالغز چپ‌بر و شیب نزدیک به قائم و راستای شمال خاوری-جنوب باختری را برای گسل مسبب این زمین‌لرزه پیشنهاد می‌کند. با توجه به موقعیت روکانون، موقعیت مکانی پس‌لرزه‌ها، حل سازوکار ژرفی زمین‌لرزه و مشاهدات صحرایی، گسل مسبب این رخداد لرزه‌ای، یکی از شاخه‌های گسلی جای‌گرفته در شمال بلندی‌های دارستان در جنوب آبادی‌های توچاهی، کوه‌زر و کوشاهی با سازوکار راستالغز چپ‌بر و راستای کلی شمال خاور-جنوب باختر با شیب به سوی شمال باختر و با نام گسل توچاهی معرفی می‌شود.

کلیدواژه‌ها: زمین‌لرزه، گسلش سطحی، روکانون، شدت، سازوکار ژرفی، توچاهی، دامغان.

*نویسنده مسئول: محمدعلی شکری

E-mail: M.shokri@gsi.ir

۱- پیش‌نوشتار

بر پایه تازه‌ترین گزارش مرکز پژوهش‌های بلایای طبیعی (CRED) در «ژنو»، طی یک دهه اخیر، جهان با رخداد بلایای طبیعی به ویژه زمین‌لرزه، سیل و توفان‌های سهمگین روبرو بوده است. به گونه‌ای که در گذر این دهه، تعداد بسیاری از ساکنان کره زمین در قاره‌های آسیا، اروپا، آمریکا و آفریقا جان خود را از دست داده و میلیون‌ها نفر نیز بی‌خانمان شدند (CRED Annual report, 2011). روند فزاینده رخداد بلایای طبیعی جهان در گذر دهه پیشین به فاجعه‌ای بدل شده است به گونه‌ای که پس از سال ۱۹۵۰ میلادی، دهه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی نخستین دهه در روند فزاینده رخداد بلایای طبیعی به شمار می‌آید.

با توجه به جای‌گیری سرزمین ایران بر روی کمربند جهانی زمین‌لرزه، ساکنان ایران زمین در گذر تاریخ همواره شاهد رویدادهای لرزه‌ای بزرگ و ویرانگری بوده‌اند. برای نمونه می‌توان به زمین‌لرزه‌های ۲۲ دسامبر ۸۵۶ کومس با بزرگای برآورد شده ۷/۹ (Ambraseys & Melville, 1982)، ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ رودبار-منجیل با بزرگای ۷/۳ (Berberian et al., 1992) در البرز، ۲۵ شهریور ۱۳۵۷ طیس با بزرگای ۷/۴ (Berberian, 1979) و زمین‌لرزه پنجم دی ماه ۱۳۸۲ بم با بزرگای ۶/۶ (Berberian, 2005) در ایران مرکزی به ترتیب با آمار تلفات در حدود ۲۰، ۴۰، ۲۰ و ۳۵ هزار کشته اشاره نمود. این در حالی است که در حدود دو ماه پیش از رخداد زمین‌لرزه ویرانگر بم، زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۷ در سواحل هاشو ژاپن رخ داد که هیچ تلفات جانی در بر نداشت (USGS website). همان‌طور که از شواهد بر می‌آید، متأسفانه هنوز زمین‌لرزه‌های با بزرگای متوسط در ایران قربانی می‌گیرند. رخدادهای طبیعی هنگامی به فاجعه تبدیل می‌شوند که بشر شناخت کافی از آنها را نداشته و آماده رویارویی با آن نباشد. پس از رخداد زمین‌لرزه‌های اهل، صومعه و نگار در استان‌های فارس، خراسان رضوی و کرمان، زمین‌لرزه توچاهی

۲- جایگاه زمین‌ساختی

تحولات زمین‌ساختی ناحیه تروند تحت تأثیر دسته‌گسلی است که با راستای شمال خاوری-جنوب باختری قرار گرفته‌اند. جنبش راستالغز چپ‌بر گسل‌هایی چون تروند و انجیلو سبب چین‌خوردگی شدید رسوبات پیش از کرتاسه در نوار محدود بین این دو گسل گشته و به یک دگرگونی ناحیه‌ای انجامیده است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). بین دو گسل تروند و انجیلو و در اثر حرکت راستالغز چپ‌بر آنها، چین‌های شمال باختری-جنوب خاوری ایجاد شده که با تداوم حرکات، حالت مارپیچی به خود گرفته‌اند و در شمال گسل انجیلو، درست به همین دلیل، چین‌ها به سمت شمال خاوری تمایل دارند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). ناحیه تروند در بخش شمالی به وسیله مجموعه‌های (کمپلکس) دگرگونی ژوراسیک محدود شده است که مرز شمالی کویر بزرگ را شکل می‌دهد (Alavi & Hushmandzadeh, 1976). این ناحیه یک الگوی ساده از تاقدیس‌ها و ناودیس‌هایی ملایم با روند خاور شمال خاور-باختر جنوب باختر را به نمایش می‌گذارد که بر روی سازند سرخ بالایی میوسن تأثیر گذاشته‌اند. در بخش باختری این ناحیه، توسعه و رشد این ساختارها به وسیله وجود گنبد‌های نمکی کنترل می‌شود.

گسل جنبای تروند با درازای بیش از ۱۳۰ کیلومتر با راستای شمال خاوری-جنوب باختری در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شهر دامغان و در نزدیکی آبادی‌های تروند، رشم، روزه، سنجو، کوه زر، چاهه، بیدستان و معلمان جای دارد. این گسل به همراه

۳-۲. زمین‌لرزه‌های مهم دستگاهی

زمین‌لرزه‌های بسیاری در سده گذشته در گستره تروود و پیرامون آن توسط دستگاه‌های لرزه‌نگاری به ثبت رسیده است. از این میان، زمین‌لرزه ۲۷ ژوئیه ۱۹۲۷ میلادی با بزرگای ۶/۹ در سنجه امواج پیکری (mb) در گستره دشت کویر، بزرگ‌ترین زمین‌لرزه ثبت شده در این ناحیه است (Ambraseys & Melville, 1982). رومرکز این زمین‌لرزه در مختصات ۳۴/۷۲ درجه عرض شمالی و ۵۳/۶۴ درجه طول خاوری گزارش شده است. جنبش گسل تروود (شکل ۲) در ۲۳ بهمن سال ۱۳۳۱ هجری خورشیدی (۱۲ فوریه ۱۹۵۳ میلادی) موجب رخداد زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۶/۴ در سنجه امواج پیکری (mb) با مشخصات رومرکز ۳۵/۲ درجه عرض شمالی و ۵۵ درجه طول خاوری در ۲۵ کیلومتری جنوب آبادی تروود شده است (Berberian, 1976). در پی این زمین‌لرزه، نزدیک به ۱۰۰۰ نفر از هم‌میهنانمان جان خود را از دست دادند و آبادی کهن تروود به کلی ویران شد (شکل ۳). این در حالی است که آبادی کنونی تروود در فاصله حدود ۱ کیلومتری باختر جایگاه پیشین آن بنا شده است.

۴- معرفی رویداد زمین‌لرزه پنجم شهریور ماه ۱۳۸۹ خورشیدی توچاهی (جنوب دامغان)

در ساعت ۲۳:۵۳ دقیقه شامگاه جمعه ۵ شهریور ۱۳۸۹ زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۵/۹ در سنجه امواج محلی (M_N) شهرستان دامغان و آبادی‌های جنوب آن را لرزاند. مشخصات رومرکز این رخداد توسط مرکز لرزه‌نگاری کشوری (IRSC) در مختصات ۳۵/۴۹ درجه عرض شمالی و ۵۴/۴۷ درجه طول خاوری واقع در ۷۶ کیلومتری جنوب شهرستان دامغان و ۵۰ کیلومتری شمال باختری آبادی تروود با ژرفای ۷ کیلومتر گزارش شده است. مشخصات رومرکزهای ارائه شده برای این زمین‌لرزه توسط مراکز لرزه‌نگاری در جدول ۱ ارائه شده است.

پیش از رخداد این زمین‌لرزه هیچ پیش‌لرزه‌ای در پیرامون رومرکز یاد شده ثبت نشده است. این در حالی است که نزدیک به یک ماه پس از رخداد زمین‌لرزه تعداد ۸۵ پس‌لرزه با بزرگای بین ۵-۱ توسط مرکز لرزه‌نگاری کشوری گزارش شده است (شکل ۴). بزرگ‌ترین رخداد پس‌لرزه در ساعت ۰۴:۵۹ دقیقه بامداد ششم شهریور با مشخصات رومرکزی ۳۵/۴۸ درجه عرض شمالی و ۵۴/۴۱ درجه طول خاوری با بزرگای ۵ و ژرفای ۵ کیلومتر در ۱۳ کیلومتری شمال باختری آبادی توچاهی ثبت شده است. تمرکز پس‌لرزه‌ها در گستره رومرکزی این زمین‌لرزه، صفحه گسلی با جهت شیب به سوی شمال باختری را به عنوان گسل مسبب این رخداد لرزه‌ای پیشنهاد می‌کند (شکل ۴).

۴-۱. شکستگی‌های مرتبط با زمین‌لرزه

اگرچه با توجه به بزرگای زمین‌لرزه توچاهی ($M_N=5.9$)، شکل‌گیری گسیختگی‌های سطحی اولیه مرتبط با گسلش مسبب رویداد لرزه‌ای دور از انتظار نبود، ولی در بازدیدهای میدانی انجام شده در هفته نخست پس از این رخداد، تنها گسترش شکستگی‌های ثانویه (شامل شکستگی‌های ثقیلی، کششی و ریدل) در سطح زمین دیده شده است (شکل ۵). بر پایه برداشت‌های میدانی (جدول ۲)، راستای چیره شکستگی‌ها بین 120° - 140° برآوردپذیر است (شکل ۶). روند اصلی نقاط برداشت این شکستگی‌ها، همراستا با گسلی شناخته شده است که در نقشه زمین‌شناسی تروود (۱:۲۵۰۰۰) (Alavi & Hushmandzadeh, 1976) در شمال بلندی‌های دارستان و ۱۵ کیلومتری شمال گسل تروود، معرفی شده است. در بررسی‌های میدانی در گستره پیرامون رومرکز زمین‌لرزه، شواهدی از جنبایی این گسل، همچون جابه‌جایی راستالغز آبراهه‌ها و پادگانه‌های آبرفتی (بین ۱۰ تا ۳۰ متر) در راستای آن دیده شده است (شکل ۷ و ۸). وجود چنین شواهدی در راستای گسل که با گذر زمان نمود آن بر روی سطح زمین همچنان پدیدار است، نشان از رخداد زمین‌لرزه‌هایی پیش از زمین‌لرزه پنجم شهریور ۱۳۸۹ توسط گسل مورد اشاره دارد.

گسل انجیلو (به موازات و در فاصله ۴۵ کیلومتری شمال آن) با شیبی به سمت جنوب خاور، یک منطقه برش ساده چپ‌بر را ایجاد کرده‌اند و کلیه سیمای توپوگرافی منطقه را تحت تأثیر قرار داده‌اند و جابه‌جایی قائم و افقی آنها سبب مگماتیسیم شدید دوران سوم شده است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). گسل تروود در دامنه جنوبی بلندی‌های دارستان متشکل از سنگ‌نهشته‌های آتشفشانی ائوسن با بیشینه بلندی ۲۳۱۹ متر، جای گرفته و سبب قطع‌شدگی با وزن‌های آبرفتی کواترنر شده است (شکل ۱). زمین‌ساخت جنبی در ناحیه تروود با رخداد زمین‌لرزه ویرانگر ۱۲ فوریه ۱۹۵۳ تروود با بزرگای ۶/۴ در مقیاس امواج سطحی به ثبت رسیده است. بررسی‌های صحرایی نشان داده که زمین‌لرزه تروود با جنبش گسلی در امتدادی با روند خاور شمال خاوری-باختر جنوب باختری زون گسلی همراه بوده است (Abdalian, 1953; Tchalenko, 1974). هندسه این زون گسلی بسیار بحث‌برانگیز بود و برای آن دو سازوکار راستالغز چپ‌بر و فشارشی پیشنهاد گردید (Shirokova, 1962; Ambraseys & Moinifar, 1977; Jackson & Mackenzie, 1984; Walker & Jackson, 2004; Eshraghi & Jalali, 2006). حسامی و همکاران (۱۳۸۲) نیز برای گسل تروود، سازوکار راستالغز راست‌بر با مؤلفه راندگی و شیب به سوی جنوب خاوری در نظر می‌گیرد. از جمله دیگر گسل‌های مهم منطقه می‌توان به گسل‌های درونه، آستانه، عطاری و دامغان اشاره نمود (شکل ۱).

۳- پیشینه لرزه‌خیزی

۳-۱. زمین‌لرزه‌های تاریخی

شهرستان دامغان و گستره تروود در گذر زمان شاهد رخداد زمین‌لرزه‌های ویرانگری بوده‌اند (شکل ۱). شواهد تاریخی نشان از رخداد زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای بیش از ۶ در بازه زمانی در حدود هزار سال در این پهنه از ایران زمین دارد.

– **زمین‌لرزه ۲۲ دسامبر ۸۵۶ کومس:** بزرگ‌ترین رخداد لرزه‌ای، مربوط به زمین‌لرزه کومس در سال ۸۵۶ میلادی با بزرگای برآورد شده ۷/۹ در سنجه امواج سطحی (M_s) بوده که شوربختانه سبب جان باختن حدود ۲۰۰۰۰ نفر از هم‌میهنانمان در گستره ایالت کومس (بسطام، شاهرود، دامغان و سمنان) گردید که از این میان، تعداد ۴۵۰۹۶ نفر در شهر دامغان جان خود را از دست داده‌اند (Ambraseys & Melville, 1982). بر پایه پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناسی انجام شده بر روی گسل جنبی آستانه، توسط سازمان زمین‌شناسی کشور، رخداد این زمین‌لرزه مرتبط با جنبش گسل آستانه دانسته شده است (شکری و همکاران، ۱۳۸۷).

– **زمین‌لرزه ۱۱۰۲ میلادی دامغان:** گرد کوه در گستره دامغان شاهد رویداد زمین‌لرزه‌ای بوده است که از جزییات و میزان ویرانی‌های ناشی از آن نشانه‌ای در دسترس نیست.

– **زمین‌لرزه‌های ۱۱۲۷ و ۱۳۰۱ میلادی فریم-چهاردانگه:** فریم-چهاردانگه در گذر سال‌های ۱۱۲۷ و ۱۳۰۱ میلادی شاهد زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای برآورد شده ۶/۸ و ۶/۷ در سنجه امواج سطحی (M_s) بوده است. در پی زمین‌لرزه ۱۱۲۷ میلادی که در گستره هزار جریب مازندران جنوبی روی داد، بسیاری از آبادی‌های منطقه فریم، جای گرفته در دره پهناوری در بلندی‌های خاور پل سفید ویران شدند (Ambraseys & Melville, 1982).

– **زمین‌لرزه ۲۶ ژوئن ۱۸۰۸ میلادی رشم:** در حدود ۵۰۰ سال پس از رخداد زمین‌لرزه فریم-چهاردانگه، در تاریخ ۲۶ ژوئن ۱۸۰۸ میلادی زمین‌لرزه‌ای با بزرگای برآورد شده ۶/۶ در سنجه امواج سطحی زمین (M_s)، در پهنه شمال خاوری دشت کویر روی داد و سبب ویرانی‌های بسیاری در منطقه کم‌جمعیت رشم (۱۷ کیلومتری جنوب باختری آبادی توچاهی) شد. این زمین‌لرزه، که در پی پیش‌لرزه نیرومندی روی داد، آبادی‌های بسیاری را در امتداد سرحد‌های مازنداران به سوی قم و سبزوار ویران کرد (Ambraseys & Melville, 1982).

۴-۲. پهنه بندی شدت زمین لرزه بر پایه سنجه تصحیح شده مرکالی (MMI)

این زمین لرزه در گستره های پل سفید، بهشهر، نكاء، ساری، قائم شهر، بابل، آمل، محمود آباد، بابلسر و گلوگاه استان مازندران به گونه ای نیرومند احساس شده است. گسترش لرزش این زمین لرزه به گونه ای بوده است که در شهرستان های دماوند، فیروزکوه، ری، ورامین و حتی با فاصله نزدیک به ۲۸۰ کیلومتری روکانون زمین لرزه از پایتخت، در ساختمان های بلند شهر تهران نیز زمین لرزه به خوبی احساس گردیده است. بر پایه بررسی های میدانی انجام شده در ۳۲ شهر و آبادی آسیب دیده در پی این زمین لرزه (جدول ۳)، بیشینه شدت زمین لرزه در سنجه تصحیح شده مرکالی (MMI) در بین آبادی های جای گرفته در نزدیکی پهنه رومرکزی زمین لرزه، در آبادی توچاهی و برابر با VIII⁺ برآورد شده است (شکل ۹). با توجه به نظریه اثر توپوگرافی محلی بر تشدید و تقویت امواج لرزه ای و مقایسه آن با شدت زمین لرزه، مشاهدات گویای آن است که بیشینه شدت در دامنه ارتفاعات، جایی که رسوبات جوان نهشته شده اند متمرکز است. با فاصله گرفتن از دشت های پست و کم ارتفاع و حرکت به سوی دامنه های با ارتفاع بالاتر (به ویژه در کوهپایه ها) بر میزان خرابی ها افزوده شده است. مقایسه نیمرخ توپوگرافی و شدت زمین لرزه (نیمرخ AB در شکل ۹) نیز گویای این مطلب می تواند باشد (شکل ۱۰). اگرچه در این بین نباید نقش زمین شناسی منطقه، پوشش رسوبی، مصالح استفاده شده در ساختمان ها و عدم رعایت اصول مهندسی در ساخت و ساز بناها را نادیده گرفت چرا که هر کدام از آنها می توانند در خرابی های ناشی از زمین لرزه بسیار اثرگذار باشند.

۴-۳. حل سازوکار کانونی زمین لرزه پنجم شهریور توچاهی

برای این زمین لرزه اصلی و بزرگ ترین پس لرزه آن از هم آمیخت و در پی آن پردازش پرتوهای پیکری برداشت شده با شبکه های لرزه نگاری مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (IGUT) و پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (IIIES) استفاده شده است (جدول ۴). روش به دست آوردن سازوکار برای این زمین لرزه ها، به کارگیری قطبش های نخستین پرتو فشاری رسیده به ۴۴ و ۳۱ ایستگاه است. سازوکار زمین لرزه اصلی با بزرگای ۵/۹ با نگاهی به راستای گسل های موجود در گستره رومرکزی این زمین لرزه، صفحه گسلی راستالغز چپ بر با راستای $N39^{\circ}E$ و شیب تند ۸۵ درجه پیشنهاد می شود (شکل ۱۱). همچنین بزرگای آن در سنجه ML (بزرگی در سنجه محلی) با میانگین گیری میان ۱۱ ایستگاه، ۵/۷ به دست می آید. سازوکار بزرگ ترین پس لرزه این رخداد با بزرگای ۵/۰، راستالغز چپ بر با راستای صفحه گسلی $N38^{\circ}E$ و شیب ۶۷ درجه رو به شمال پیشنهاد می گردد (شکل ۱۲). بزرگای این پس لرزه در سنجه ML با میانگین گیری میان ۹ ایستگاه، ۴/۸ به دست آمده است. حل این دو سازوکار با میزان دقت ۲ درجه چرخش در پهنه های گسلی و پراکندگی ایستگاه ها در هر چهار پاره از سازوکار انجام شده است.

۴-۴. تلفات و ویرانی های ناشی از زمین لرزه

بر پایه بررسی های میدانی انجام شده در ۳۲ آبادی از توابع شهرستان دامغان و شاهرود در هفته نخست پس از رویداد، آبادی های توچاهی، کوه زر، کوشاهی، شیمی، گلکی، دیزاب و کلو در پی این زمین لرزه آسیب جدی دیدند (شکل ۱۳). با توجه به وجود بافت قدیمی و فرسوده روستایی و بهره گیری از مصالح غیراستاندارد و عدم رعایت اصول مهندسی در ساخت بناهای مسکونی این خسارت ها تشدید شده است. به گزارش بنیاد مسکن استان سمنان ۵۰۰ واحد مسکونی روستایی به طور میانگین ۳۰ تا ۱۰۰ درصد خسارت دیده و بیش از نیمی از منازل مسکونی در آبادی های توچاهی، کوه زر و کوشاهی به طور کامل تخریب شده اند. ریزش و کج شدگی بیشتر بناها در باختر آبادی های توچاهی و کوه زر به سوی خاور دیده شده است، این در حالی است که در خاور آبادی های اشاره شده ریزش ها به سوی مخالف (باختر) است. از جمله دیگر اثرات ناشی از این رخداد لرزه ای می توان به ریزش دهانه چاه ها و قنات ها (شکل ۱۴)، قطع شدن آب چشمه ها و قنات ها در برخی نقاط همچون روستای دیان و

همچنین افزایش آب چشمه ها و زایش چشمه های جدید در برخی آبادی ها همچون کلات میرزا اشاره کرد (شکل ۱۵). شوربختانه تعداد ۴ نفر از اهالی آبادی های توچاهی (۲ نفر)، کوه زر (۱ نفر) و کلو (۱ نفر) در پی رخداد زمین لرزه جان باخته اند.

۴-۵. گسل مسبب زمین لرزه

زمین لرزه های ۲۶ ژوئن ۱۸۰۸ میلادی رشم (۱۷ کیلومتری جنوب باختری توچاهی) و زمین لرزه ۱۲ فوریه ۱۹۵۳ میلادی تروود به سبب جنبش گسل تروود روی داده اند (بربریان، ۱۳۷۴). بر پایه بررسی های انجام شده پس از رخداد زمین لرزه، مشخص گردید که گستره تحت تأثیر بیشترین شدت زمین لرزه ۵ شهریور ۱۳۸۹ که در برگرنده آبادی های توچاهی، کوه زر و کوشاهی است، نشان از وجود راستایی شمال خاوری-جنوب باختری در پهنه بیشینه شدت زمین لرزه دارد. با توجه به موقعیت روکانون، ژرفای کانونی، حل سازوکار ژرفی زمین لرزه با روش نخستین جنبش پرتو P (راستالغز چپ بر با راستای $N040^{\circ}$ و جهت شیب به سوی شمال باختری) و مشاهدات صحرایی (وجود گسیختگی های سطحی مرتبط با گسلش، تمرکز بیشینه ویرانی ها و وجود شاخه های گسلی جنبه در نزدیکی جنوب آبادی های توچاهی و کوه زر با راستای شمال خاوری-جنوب باختری) گسل مسبب این زمین لرزه، شاخه گسل جای گرفته در شمال بلندی های دارستان در جنوب آبادی های توچاهی، کوه زر و کوشاهی با سازوکار راستالغز چپ بر و راستای کلی $N060^{\circ}$ و با نام گسل توچاهی معرفی می شود (شکل ۱۶).

۵- نتیجه گیری

بر پایه بازدیدهای میدانی انجام شده پس از رخداد زمین لرزه پنجم شهریور ۱۳۸۹ خورشیدی توچاهی (جنوب دامغان)، بیشینه شدت در سنجه تصحیح شده مرکالی (MMI) در آبادی توچاهی (۴۰ کیلومتری باختر آبادی تروود و ۸۵ کیلومتری جنوب شهر دامغان)، برابر با VIII⁺ برآورد شده است. مقایسه شدت زمین لرزه و ریخت شناسی گستره پیرامون رومرکز، گویای آن است که بیشینه شدت در دامنه ارتفاعات، جایی که رسوبات جوان نهشته شده اند متمرکز است. با فاصله گرفتن از دشت های پست و کم ارتفاع و حرکت به سوی دامنه های با ارتفاع بالاتر (به ویژه در کوهپایه ها) بر میزان خرابی ها افزوده شده است. اگرچه در این بین نباید نقش زمین شناسی منطقه، پوشش رسوبی، مصالح استفاده شده در ساختمان ها و عدم رعایت اصول مهندسی در ساخت و ساز بناها را نادیده گرفت چرا که هر کدام از آنها می توانند در خرابی های ناشی از زمین لرزه بسیار اثرگذار باشند.

در این رخداد لرزه ای، گسلش سطحی مرتبط با گسل مسبب زمین لرزه بر روی زمین مشاهده نشد اما شکستگی های ثانویه مرتبط با زمین لرزه با راستای چیره $N120^{\circ}-140^{\circ}$ برداشت شد. پهنه بیشینه شدت زمین لرزه در برگرنده آبادی های توچاهی، کوه زر و کوشاهی، نشان از وجود راستایی شمال خاوری-جنوب باختری دارد. وجود شواهد ریخت زمین ساختی نیز بیانگر وجود شاخه گسلی جنبه در شمال بلندی های دارستان و جنوب آبادی های توچاهی، کوه زر، کوشاهی و دهنو با همان راستای شمال خاوری-جنوب باختری می باشد که با سازوکار ژرفی به دست آمده برای این زمین لرزه همخوانی دارد.

از هم آمیخت و در پی آن پردازش پرتوهای پیکری برداشت شده با شبکه های لرزه نگاری مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (IGUT) و پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (IIIES)، و به کارگیری قطبش های نخستین پرتو فشاری رسیده به ۴۴ ایستگاه، سازوکار زمین لرزه اصلی راستالغز چپ بر و صفحه گسلی با راستای $N39^{\circ}E$ و شیب تند ۸۵ درجه در محل رومرکز می باشد. بزرگای این زمین لرزه در سنجه ML (بزرگی در سنجه محلی) با میانگین گیری میان ۱۱ ایستگاه، ۵/۷ به دست می آید. سازوکار بزرگ ترین پس لرزه این رخداد با به کارگیری قطبش

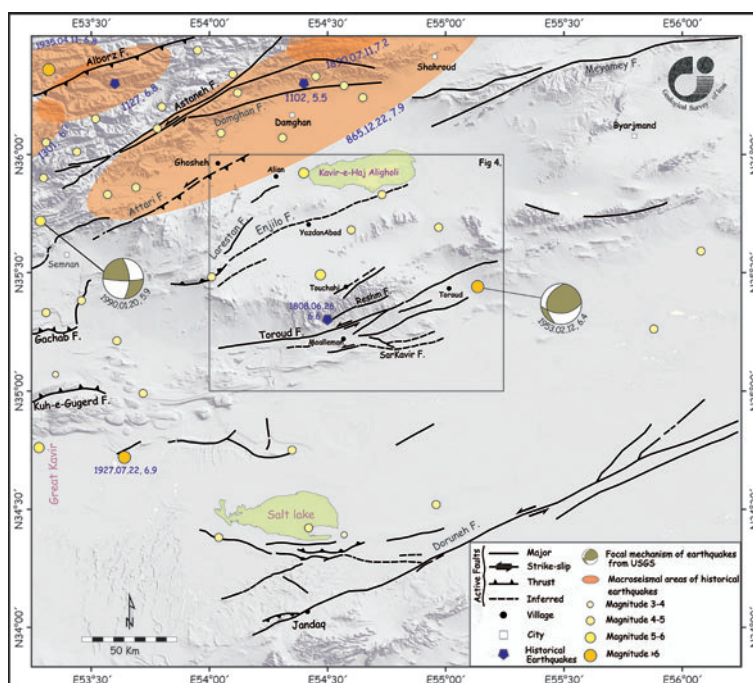
از رخداد آنها به دست فراموشی سپرده می‌شود و تا تجربه زمین‌لرزه بعدی در جایی دیگر از سرزمینمان، هیچ اقدامی در خصوص آمادگی برای رویارویی با این رخداد طبیعی و کاهش خسارات ناشی از آن صورت نمی‌گیرد. بی‌تردید شناسایی هرچه بهتر گسل‌ها به عنوان سرچشمه‌های لرزه‌زا، انتخاب جایگاه‌های مناسب به منظور ساخت بناهای مسکونی، صنعتی و ... رعایت اصول مهندسی و آیین‌نامه‌های ساخت و ساز و مقاوم‌سازی بناهای فرسوده، از مهم‌ترین راهکارهای کاهش آسیب‌های ناشی از این رخداد طبیعی می‌باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح شماره ۳۱-۰۲۹-۰۶-۸۹ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به انجام رسیده است. بی‌گمان انجام این پژوهش در نخستین روزهای پس از رخداد زمین‌لرزه بدون حمایت‌های ریاست محترم سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور جناب آقای مهندس محمدتقی کره‌ای امکان‌پذیر نبود که بدین‌وسیله از ایشان نهایت قدردانی به عمل می‌آید. از جناب آقای دکتر قرشی به سبب راهنمایی‌های ارزنده‌شان در طول تهیه این گزارش قدردانی می‌گردد. از جناب آقای دکتر سلیمانی‌آزاد به سبب همراهی‌ها و راهنمایی‌هایشان کمال تشکر را داریم. از جناب آقای مهندس کمال‌زاده سرپرست مرکز زمین‌شناسی سمنان به دلیل فراهم نمودن تسهیلات لازم در خصوص انجام این پژوهش سپاسگزاریم. در پایان نیز از جناب آقای مهدی خباز از همکاران ما در بخش نقلیه سازمان به خاطر همراهی در طول انجام بررسی‌هایی صحرایی قدردانی می‌شود.

نخستین پرتو فشاری رسیده به ۳۱ ایستگاه، راستالغز چپ‌بر با راستای صفحه گسلی $N38^{\circ}E$ و شیب 67° درجه رو به شمال پیشنهاد می‌گردد. بزرگای این پس‌لرزه در سنجه ML با میانگین‌گیری میان ۹ ایستگاه، $4/8$ به‌دست آمده است. حل سازوکارهای ژرفی با میزان دقت 2 درجه چرخش در پهنه‌های گسلی و پراکندگی ایستگاه‌ها در هر چهار پاره از سازوکار صورت گرفته است. سازوکار ژرفی به‌دست آمده همخوانی بسیاری با سازوکار ارائه شده توسط هاروارد (CMT) دارد.

با توجه به تمامی شواهد ذکر شده، گسل مسبب این زمین‌لرزه یکی از شاخه‌های گسلی جای گرفته در شمال بلندی‌های دارستان (از سامانه گسلی ترو-انجیلو) واقع در جنوب آبادی‌های توچاهی، کوه زر و کوشاهی با سازوکار راستالغز چپ‌بر و راستای کلی $N060^{\circ}$ و با نام گسل توچاهی معرفی می‌شود. شواهدی از جنبایی در راستای این گسل، همچون جابه‌جایی راستالغز آبراهه‌ها و پادگانه‌های آبرفتی (بین ۱۰ تا ۳۰ متر)، که با گذر زمان نمود آنها بر روی سطح زمین همچنان پدیدار است، نشان از رخداد زمین‌لرزه‌هایی پیش از زمین‌لرزه پنجم شهریور ۱۳۸۹ توسط گسل مورد اشاره دارد. این شواهد ریختاری حفظ شده یا با رخداد زمین‌لرزه‌های با نرخ لغزش متوسط با دوره بازگشت کوتاه به‌وجود آمده‌اند و یا با رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ با نرخ لغزش زیاد و دوره بازگشت طولانی، که این خود نشان از خطرپذیری لرزه‌ای بالا در این ناحیه دارد. ثبت زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی اثرگذار در گذشته نه چندان دور گستره ترو و پیرامون آن نیز شواهدی بر وجود زمین‌ساخت جنب‌ها در این پهنه از ایران زمین است. رخداد زمین‌لرزه ۵ شهریور ۸۹ توچاهی نیز گویای این نکته و هشدار بر احتمال رخداد زمین‌لرزه‌های آتی در این ناحیه می‌باشد. گذر زمان ثابت کرده است که نتایج زیانبار حاصل از زمین‌لرزه‌ها تا چند هفته یا چند ماه پس



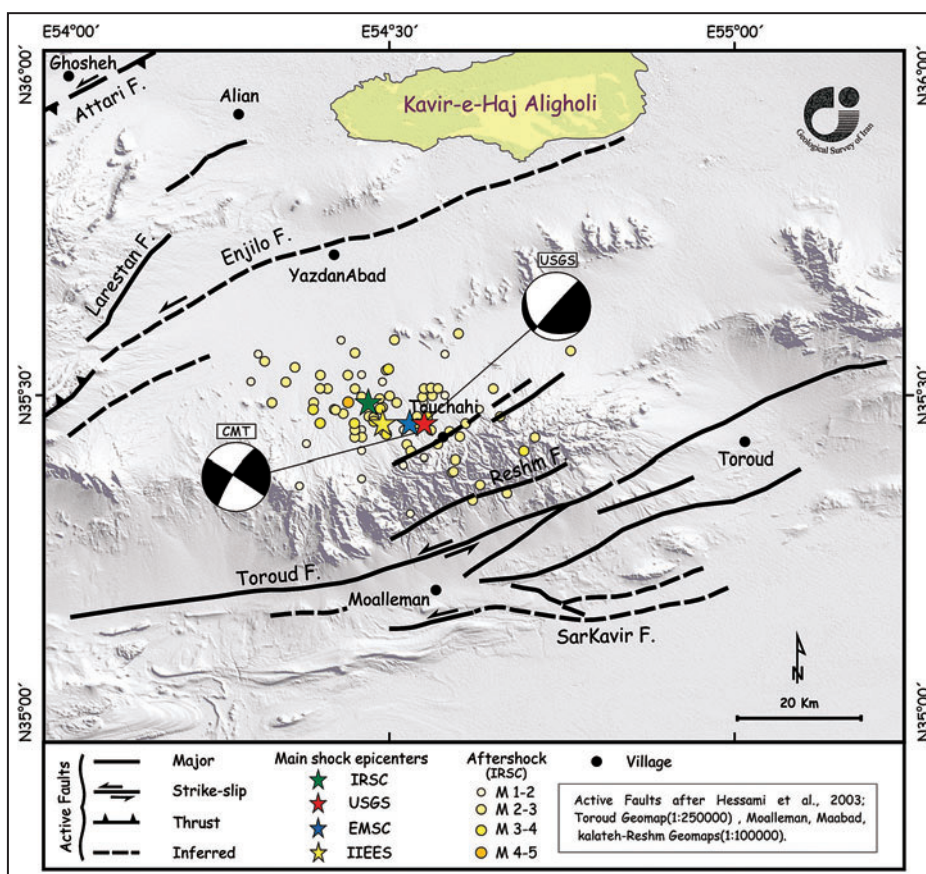
شکل ۱- نقشه لرزه‌زمین‌ساختی گستره پیرامون رومرکز زمین‌لرزه پنجم شهریور ۱۳۸۹ توچاهی. (گسل‌های جنب‌ها برگرفته از حسامی و همکاران (۱۳۸۲) و نقشه‌های زمین‌شناسی ترو از (Alavi & Hushmandzadeh, 1976)، معبد از اقلیمی و علوی نایینی (۱۳۴۹)، معلمان از (Eshraghi & Jalali, 2006)، دامغان از (Alavi & Salehi Rad, 1975) و کلاته رشم از جعفری (۱۳۷۳) - زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی بین سال‌های ۱۹۷۴-۱۹۰۰ برگرفته از (Ambraseys & Melville, 1982) و زمین‌لرزه‌های بین سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۷۴ برگرفته از (NEIC).



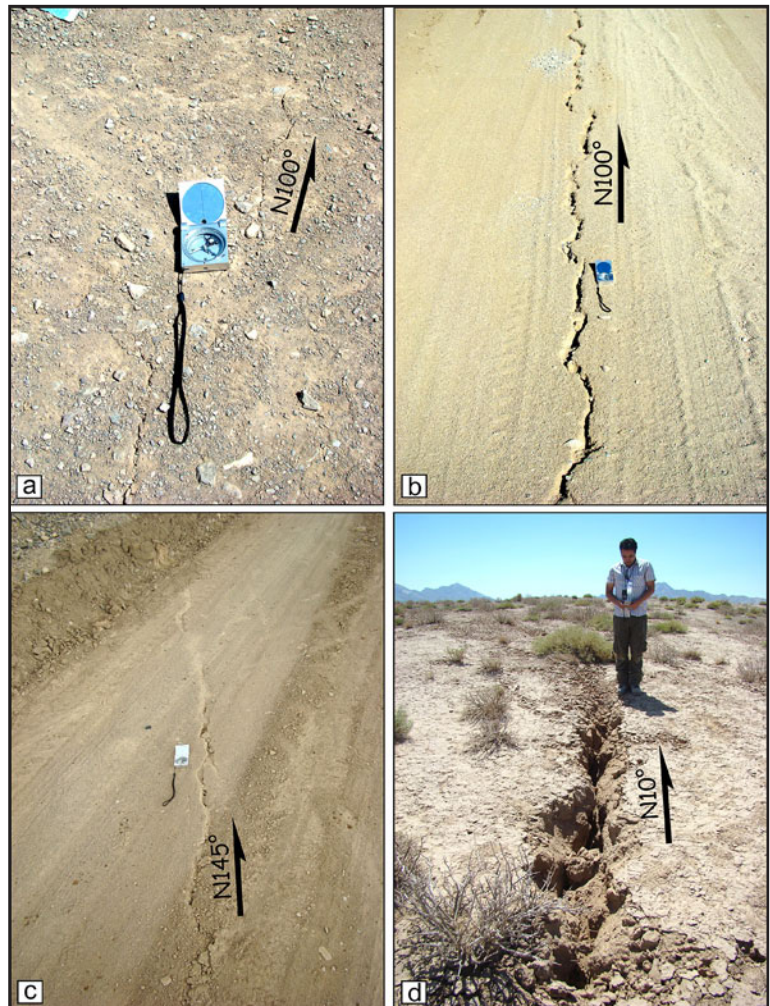
شکل ۳- نمایی از آبادی تروود که در پی زمین‌لرزه ۱۲ فوریه ۱۹۵۳ میلادی ویران شده است.



شکل ۲- نمایی از گسل راست‌الغز چپ‌بر تروود که بادن‌های کوتاه‌تری را در شمال روستای سینگ بریده است.



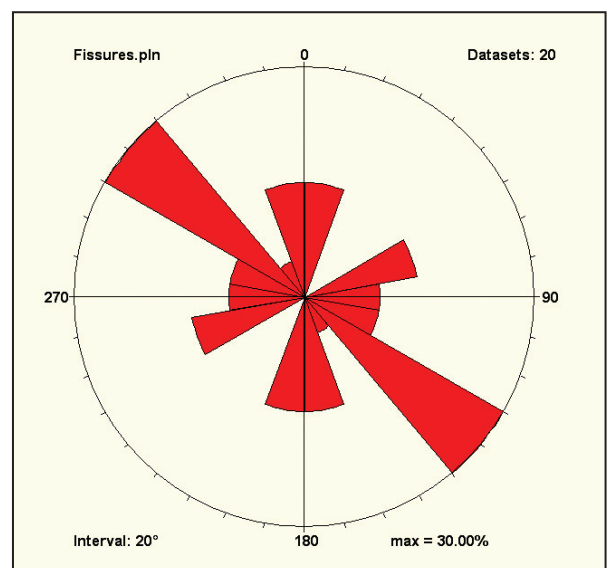
شکل ۴- نقشه پراکندگی رومرکز پس‌لرزه‌های رخداد لرزه‌ای پنجم شهریور ۱۳۸۹ توچاهی-جنوب دامغان. (گسل‌های جنب‌بر گرفته از حسامی و همکاران (۱۳۸۲)؛ نقشه‌های زمین‌شناسی معبد از اقلیمی و علوی نایینی (۱۳۴۹)؛ معلمان از Eshraghi & Jalali (2006) و کلاته- رشم از جعفریان (۱۳۷۳)؛ پس‌لرزه‌ها برگرفته از مرکز لرزه‌نگاری کشوری (IRSC)).



شکل ۵- شکستگی‌های ناشی از رخداد زمین‌لرزه پنجم شهریور ۱۳۸۹ توچاهی (جنوب دامغان). (a) شکستگی‌های کوچک با ساختار راست‌پله در نهشته‌های آبرفتی کواترنر در روستای توچاهی، (b) شکستگی‌های ثانویه مرتبط با زمین‌لرزه در نزدیکی معدن طلای آبگاره؛ (c) شکستگی‌های سطحی چپ‌بر راست‌پله در باختر روستای نوا؛ (d) گسیختگی سطحی ثانویه مرتبط با زمین‌لرزه توچاهی در جنوب روستای گلکی که به سبب وجود نهشته‌های مارنی و سست در این بخش، شدت گسیختگی تشدید شده است.



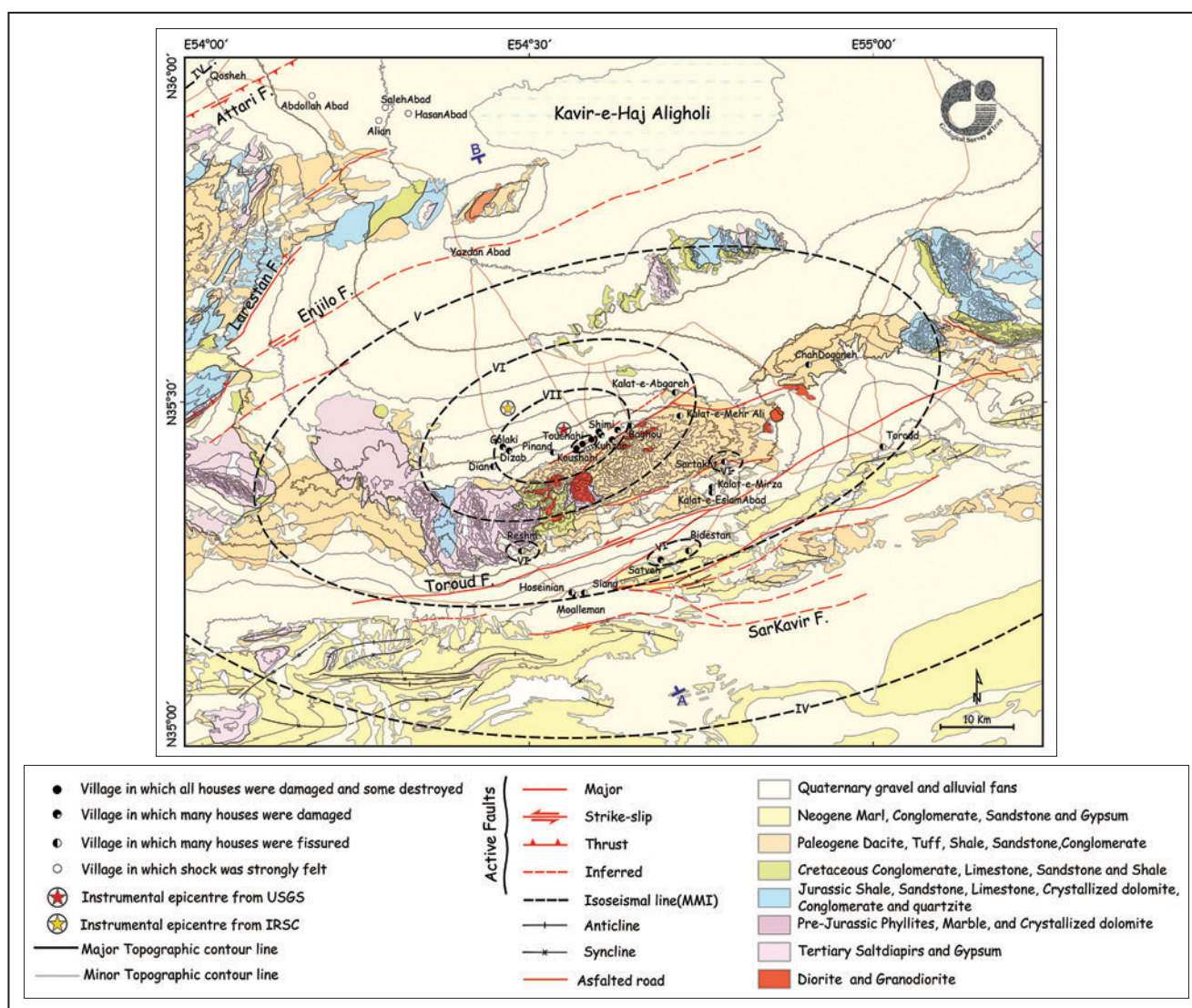
شکل ۷- جابه‌جایی چپ‌بر (25 ± 5 متر) در ساحل سمت راست رودخانه فصلی در جنوب روستای ده نو.



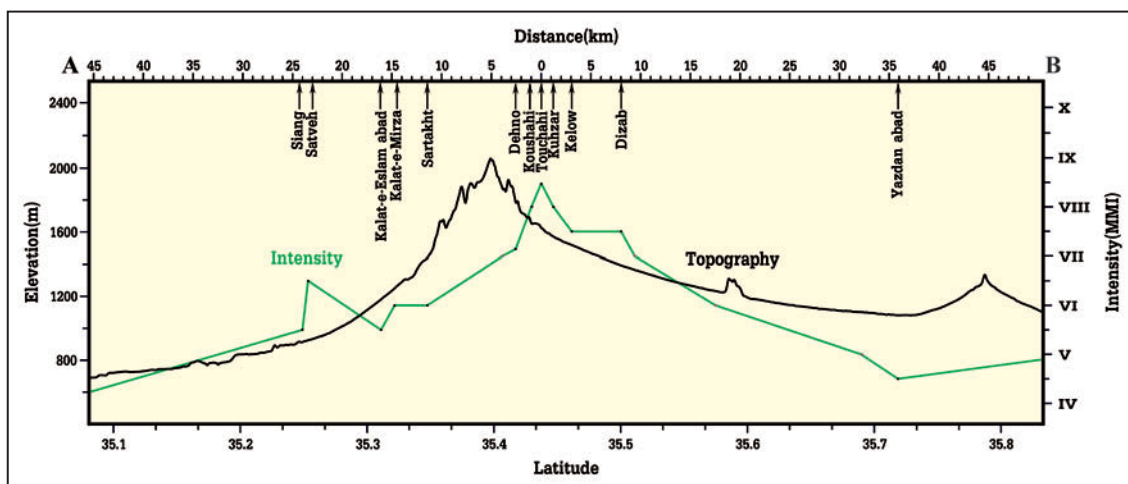
شکل ۶- مدل گل سرخی شکستگی‌های ثانویه به وجود آمده بر اثر رخداد لرزه‌ای پنجم شهریور ۱۳۸۹ خورشیدی توچاهی (جنوب دامغان). راستای چیره این شکستگی‌ها 120° - 140° می‌باشد.



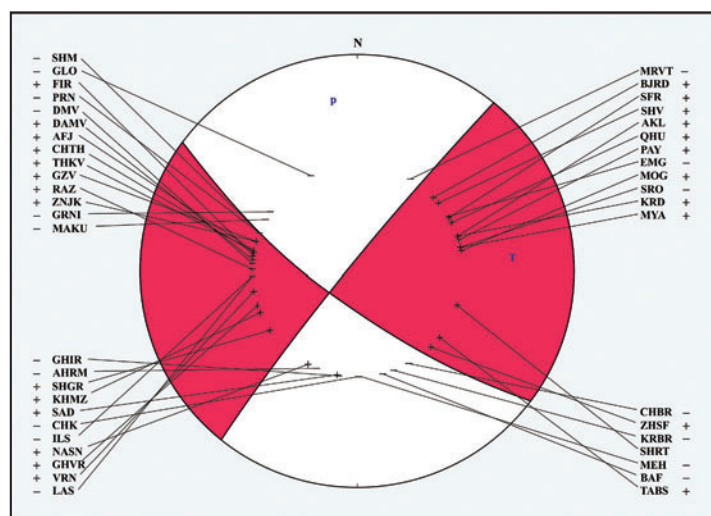
شکل ۸- جابه‌جایی چپ‌بر در حدود ۱۰ متر در ساحل رودخانه فصلی جای گرفته در جنوب خاوری روستای شیمی.



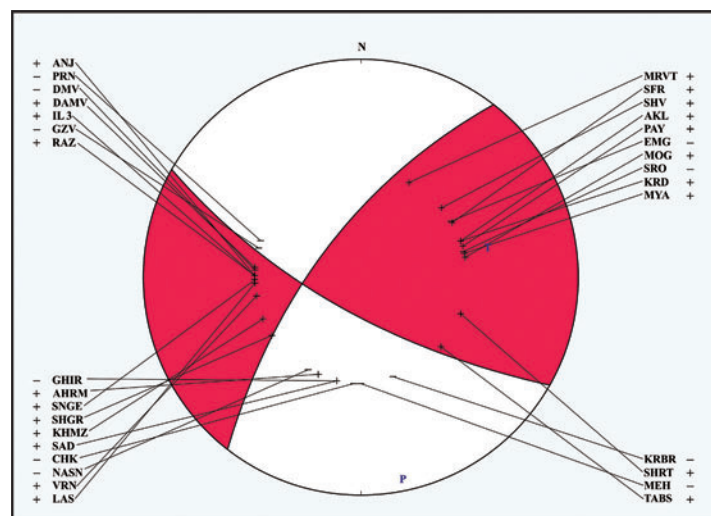
شکل ۹- نقشه هم‌شدت زمین‌لرزه پنجم شهریور ۱۳۸۹ توچاهی بر پایه پژوهش‌های صحرایی در سنجه تصحیح شده مرکالی (MMI).



شکل ۱۰- مقایسه نیمرخ توپوگرافی و شدت زمین‌لرزه. (نیمرخ AB در شکل ۹). در بخش بالایی نمودار موقعیت آبادی‌ها با توجه به فاصله آنها از نقطه ۱۰ (آبادی توچاهی) قرار گرفته‌اند. موقعیت آبادی‌ها بر روی گراف شدت بوسیله نقطه مشخص شده است.



شکل ۱۱- سازوکار کانونی به‌دست آمده برای رخداد زمین‌لرزه توچاهی با به‌کارگیری قطبش‌های نخستین پرتو فشاری رسیده به ۴۴ ایستگاه.



شکل ۱۲- سازوکار کانونی به‌دست آمده برای بزرگ‌ترین پس‌لرزه رخداد لرزه‌ای پنجم شهریور توچاهی با به‌کارگیری قطبش‌های نخستین پرتو فشاری رسیده به ۳۱ ایستگاه.



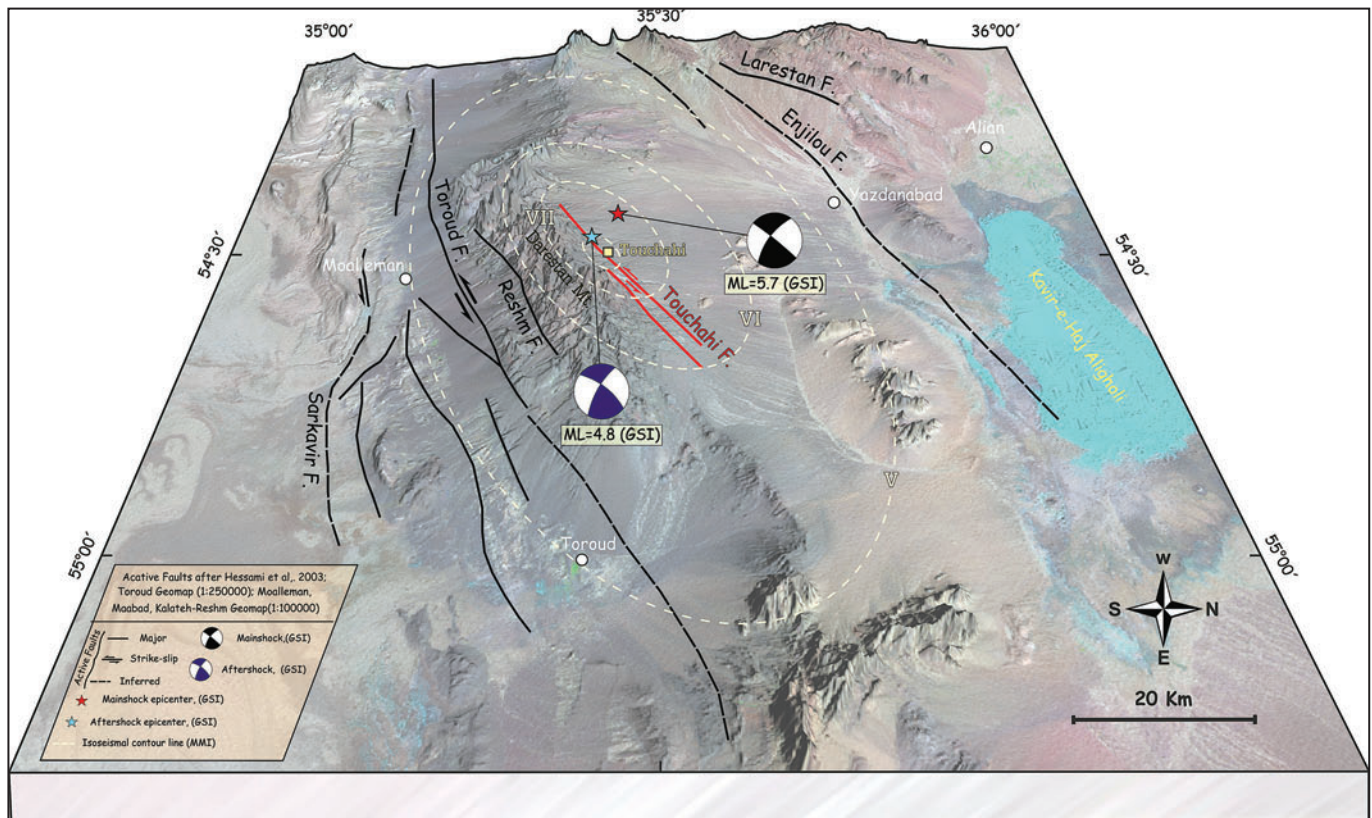
شکل ۱۳- نمایی از ویرانی‌های ناشی از زمین‌لرزه در آبادی‌ها؛ (a) کوه زره؛ (b,c) توچاهی؛ (d) گلکی.



شکل ۱۵ - زایش چشمه‌های جدید بر اثر رخداد زمین‌لرزه توچاهی در شمال آبادی کلات میرزا.



شکل ۱۴- ریزش دهانه چاه‌ها و قنات‌ها بر اثر لرزش‌های ناشی از زمین‌لرزه در آبادی دیان.



شکل ۱۶- موقعیت مکانی گسل مسبب زمین‌لرزه پنجم شهریور ۱۳۸۹ توچاهی بر روی تصویر ماهواره‌ای حاصل از تلفیق تصویر لندست ETM+ با مدل ارتفاعی رقومی (DEM) برگرفته از داده‌های SRTM (با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر)، در شمال بلندی‌های دارستان و جنوب آبادی توچاهی.

جدول ۱- ویژگی‌های لرزه‌ای رخداد پنجم شهریور ۱۳۸۹ توچاهی، گزارش شده توسط مراکز لرزه‌نگاری داخلی و خارجی.

Source	Longitude	Latitude	Magnitude	Depth(km)
IRSC	54.47	35.49	M_N 5.9	7
IIIES	54.49	35.46	M_I 5.9	7
USGS	54.55	35.46	M_W 5.7	10
EMSC	54.53	35.46	mb 5.7	10

IRSC: Iranian Seismological Center

IIIES: International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

USGS: U.S. Geological Survey

EMSC: European-Mediterranean Seismological Center

جدول ۲- ویژگی‌های شکستگی‌های ثانویه ناشی از رخداد زمین‌لرزه پنجم شهریور ماه ۱۳۸۹ توچاهی (جنوب دامغان).

نام روستا	راستای شکستگی‌ها	موقعیت شکستگی‌ها (UTM)	توضیحات
توچاهی	N100°	280172,3924471	
نوا	N145°	286542,3927716	شکستگی‌ها سازوکار راست پله چپ‌بر دارند
شیمی	N130°-160°	282742,3925802	
گلکی	N080°-130°-135°-160° N010°-060°-120°-135°-170°	269634,3924228 269729,3924193	شکستگی‌های N135° حالت راست پله دارند. پهنای زون شکستگی N160° حدود ۵ متر است.
دیزاب	N010°-070°	270466,3923568	
دیان	N010°	269068,3921518	
سرتخت	N135°	298949,3920973	
کلاته مهرعلی	N065°	293278,3927824	
جاده آبگاره-معدن	N100°	284790,3929687	بخشی زیادی از شکستگی‌ها در ارتباط با ریزش‌های ثقلی است.

جدول ۳- شدت محاسبه شده در سنجه تصحیح شده مرکالی (MMI)، بر پایه بازدیدهای میدانی از شهر و آبادی‌های آسیب دیده در رخداد لرزه‌ای پنجم شهریور ۱۳۸۹ توچاهی (جنوب دامغان).

Station No	Name	Longitude	Latitude	Intensity (MMI)
1	Touchahi	54.57794189	35.43912888	VIII+
2	Koushahi	54.56841663	35.43253708	VIII
3	Kouhzar	54.59129333	35.44500732	VIII
4	Dizab	54.47160339	35.42910004	VII+
5	Golaki	54.46226124	35.43485641	VII+
8	Kelow	54.60202408	35.45687866	VII+
6	Dehno	54.62143326	35.44577789	VII
7	Shimi	54.60603714	35.45227051	VII
9	Satveh	54.69132233	35.27050781	VI+
10	Reshm	54.48974609	35.28114716	VI+
11	Pinand	54.53627777	35.42670822	VI+
12	Nava	54.62860489	35.45994949	VI+
13	Bidestan	54.73192596	35.28392029	VI
14	Dian	54.45679855	35.41031265	VI
15	Sartakht	54.78334045	35.41455841	VI
16	Baghou	54.64656067	35.46425629	VI
17	Kalat-e-abgareh	54.71168518	35.51297761	VI
18	Siang	54.58085251	35.22212982	V+
19	Kalat-e-eslam abad	54.76509476	35.36871338	V+
20	Kalat-e-mirza	54.76506424	35.37689591	V+
21	Toroud	55.01466751	35.43261719	V+
22	Kalat-e-mehr ali	54.72138977	35.48055649	V+
23	Moalleman	54.56724935	35.21892166	V
24	Hosenian	54.56202698	35.22279739	V
25	Chah doganeh	54.9067955	35.55313873	V
26	Yazdan abad	54.42053223	35.70336914	IV+
27	Alian	54.28206635	35.90802765	IV
28	Hassan abad	54.32598877	35.91872787	IV
29	Saleh abad	54.29201126	35.92726898	IV
30	Abdollah abad	54.18548584	35.94456141	IV
31	Qosheh	54.03664017	35.96197128	IV
32	Damghan	54.35268955	36.16884266	III+

جدول ۴- ویژگی‌های رقوم سازوکار زمین‌لرزه توچاهی و بزرگ‌ترین پس‌لرزه آن، بر پایه پرتوهای پیکری برداشت شده با شبکه‌های لرزه‌نگاری مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (IGUT) و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (IIIES).

Orig. Time(GMT)	Long.(°E)	Err. (km)	Lat.(°N)	Err. (km)	Depth (km)	Err. (km)	RMS (s)	Mag.	Nodal Plane			Ref.
									Strike°	Dip°	Rake°	
20100827-192144.0	54.480	-	35.580	-	13.1	-	-	5.7($m_b-M_s-M_w$)	213	79	1	CMT
20100827-192144.0	54.466	-	35.488	-	6.7	-	0.5	5.9(M_N)	-	-	-	IGUT
20100827-192144.0	54.460	3.0	35.430	2.9	14.2	7.0	0.2	5.8(M_L)	-	-	-	IIIES
20100827-192144.0	54.476	2.1	35.456	2.6	10.0	5.5	0.6	5.7(M_L)	218.92	85.79	24.67	GSI
20100828-002646.0	54.415	-	35.483	-	5	-	0.4	5.0(M_N)	-	-	-	IGUT
20100828-002646.0	54.500	3.5	35.430	5.0	5	8.8	0.4	5.2(M_L)	-	-	-	IIIES
20100828-002646.1	54.547	3.0	35.423	2.9	6.7	6.0	0.8	4.8(M_L)	217.71	67.48	20.36	GSI

کتابنگاری

اقلیمی، ب. و علوی نایینی، م.، ۱۳۴۹- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معبد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
 بربریان، م.، ۱۳۷۴- نخستین کاتالوگ زلزله و پدیده‌های طبیعی ایران زمین، انتشارات پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
 جعفریان، م.ب.، ۱۳۷۳- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته- رشم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
 حسامی، خ.، جمالی، ف.، طبسی، ه.، ۱۳۸۲- نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ گسل‌های فعال ایران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
 شکری، م.ع.، قرشی، م.، نظری، ح.، سلامتی، ر.، طالبیان، م.، ریتز، ژ.ف.، محمدخانی، ح. و شاپسندزاده، م.، ۱۳۸۷- داده‌های مقدماتی از حفاری‌های پارینه‌لرزه‌شناسی بر روی گسل آستانه. فصلنامه علمی- پژوهشی علوم‌زمین، زمستان ۱۳۸۷، سال هجدهم شماره ۷۰، ص. ۸۴ تا ۹۳.
 هوشمندزاده، ع.، علوی نایینی، م. و حق پور، ع.، ۱۳۵۷- تحول پدیده‌های زمین‌شناسی ناحیه تروود (از پرکامبرین تا عهد حاضر)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸ صفحه.

References

- Abdalian, S., 1953- Le tremblement de terre deToroude, en Iran. La Nature, 81(3222), p.314-319, Paris.
- Alavi, M., & Salehi rad, R., 1975- Geomap of Damghan, 1:100000. Geological Survey of Iran.
- Alavi, M. & Hushmandzadeh, A., 1976- Geomap of Toroud, 1:250000. Geological Survey of Iran.
- Ambraseys, N.N. & Melville, C.P., 1982- A History of Persian Earthquakes, Cambridge University Press, New York.
- Ambraseys, N. N.; Moinfar, A. A., 1977- "The seismicity of Iran: The Torud earthquake of 12th February 1953", Annals of geophysics, 185-200, doi:10.4401/ag-4817
- Annual Disaster Statistical Review, 2011- Center for Research on the Epidemiology of Disasters Institute of Health and Society. Universite' catholique de Louvain- Brussels, Belgium. P. 52.
- Berberian, M., 1976- Contribution to the seismotectonics of Iran,. Geological Survey of Iran , Rep. 39 part II, p. 175-182.
- Berberian, M., 1979- Earthquake faulting and bedding thrust associated with the Tabas-e-Golshan (Iran) earthquake of September 16, 1978, Bull. Seism. Soc. Am. 69, 1861-1887.
- Berberian, M., Qorashi, M., Jackson, J.A., Priestley, K. & Wallace, T., 1992- The Rudbar-Tarom earthquake of June 20, 1990 in NW Iran: preliminary field and seismotectonic observations, and its tectonic significance. Bull. Seismol. Soc. Am., 82(4): 1726-1755.
- Berberian, M., 2005- The 2003 Bam urban earthquake: a predictable seismo- 1204 tectonic pattern along the western margin of the rigid Lut block, southeast 1205 Iran. Earthquake Spectra, 21, S35-S99.
- Eshraghi, S.A. & Jalali, A., 2006- Geomap of Moalleman, 1:100000. Geological Survey of Iran.
- IRSC, The Iranian Seismological Center, University of Tehran, 2010- Tehran, Iran, Available at: <http://irsc.ut.ac.ir/bulletin.php>.
- Jackson, J.A. & McKenzie, D.P., 1984- Active tectonics of the Alpine- Himalayan belt between western Turkey and Pakistan, Geophys. J. R. astr. Soc., 77, 185-264.
- NEIC, National Earthquake Information Center, Available at : <http://earthquake.usgs.gov/contactus/golden/neic.php>.
- Shirokova, E.I., 1962- Stresses effective in earthquake foci in Caucasus and adjacent districts. Bull. Acad. Sci. USSR, Geophys., ser. 10, p. 809-815 (Engl. Transl.).
- Tchalenko, J.S., 1974- Recent destructive earthquakes in the Central Alborz. In Materials for the study of seismotectonics of Iran: Geol. Surv. Iran, Rep. 29, p. 97-116.
- Walker, R. & Jackson, J., 2004- Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, Tectonics, vol. 23, TC5010, doi:10.1029/2003TC001529, 2004.

Geological and Seismic Study of the August 27, 2010 Touchahi Earthquake $M_N=5.9$ (South of Damghan City)

M. A. Shokri ^{1*}, M. Foroutan ², M. Nemati ³, M. J. Bolourchi ¹, Sh. Javadipour ¹ & B. Oveisi ²

¹ M. Sc., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

² Ph.D., Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences and Earthquake Research Center, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: 2014 January 06

Accepted: 2014 October 27

Abstract

The Touchahi earthquake of Aug 27, 2010 (M_N 5.9; IRSC- M_w 5.7; USGS) occurred at 19:23:49 UTC (23:53:49 local time on 5 Shahrivar 1389) in south of Damghan city. No foreshock were reported before this earthquake whereas 85 aftershocks (M_N 1-5) were registered by IRSC until 1 month after the mainshock. According to our field study after the event, surface rupture of causative fault was not observed but we measured some fractures related to this event with dominant strike of N120°-140°. According to our observations of 32 towns and villages that were damaged in this seismic event, maximum intensity (I_0) of VIII+ in MMI scale occurred near the Touchahi village in ~85 km south of Damghan city. Unfortunately in this earthquake 4 people were killed. Focal mechanisms of the Touchahi seismic event and its greatest aftershock is solved using the first P motion method. The fault plane solution show near vertical plane for the causative fault of the earthquake and suggests a left- lateral mechanism. The mechanisms associated with the fault show mainly left-lateral strike-slip motion, on a NE –SW striking fault plane. Based on location of the earthquake epicenter, its aftershocks location, the fault plane solution (left-lateral strike-slip with N039° strike and dip direction toward NW) and field observations, the causative fault of Touchahi earthquake is one of the active fault branches that is situated in north of Darestan mountain and south of Touchahi, Koohzar and Kooshahi villages. This fault with left-lateral strike-slip mechanism by general strike of NE-SW and dip direction toward NW is indicated as Touchahi fault.

Keywords: Earthquake, Surface rupture, Epicenter, Intensity, Focal mechanism, Touchahi, Damghan.

For Persian Version see pages 281 to 292

*Corresponding author: M. A Shokri; E-mail: M.shokri@gsi.ir