

لرزه زمین ساخت پهنه‌های البرز خاوری و کپه‌داغ با استفاده از داده‌های شبکه لرزه‌نگاری محلی

میثم کوه پیمای^۱، مرتضی طالبیان^۲، حمید نظری^۳، لینگ چن^۴، عبدالرضا قدس^۴ و منوچهر قرشی^۵

^۱ دانشجوی دکترا، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۲ دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۳ استاد، انستیتو زمین‌شناسی و ژئوفیزیک، آکادمی علوم چینی، پکن، چین

^۴ دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان، زنجان، ایران

^۵ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۰۷

چکیده

رشته کوه‌های کپه‌داغ و بینالود-آلا داغ در مرز شمال خاوری پهنه برخوردی عربی-اوراسیا واقع شده و از دیدگاه ساختاری دارای اهمیت می‌باشند. با توجه به وجود شهرهای بزرگ با پیشینه تاریخی، داده‌های خوبی از تاریخچه فعالیت لرزه‌ای در این ناحیه وجود دارد، اما داده‌های لرزه‌ای دستگاهی با کیفیت مناسب تا پیش از این پژوهش اندک است. در این پژوهش، داده‌های شبکه لرزه‌نگاری موقت ایران-چین که به مدت ۱۳ ماه در این محدوده فعال بوده، مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس این داده‌ها، تعداد ۳۷ سازوکار کانونی با روش قطبیت اولین رسید موج P تعیین گردید که شامل ترکیبی از سازوکارهای راستالغز، راندگی و عادی می‌باشد. تجمع محسوسی از سازوکارهای کانونی زمین‌لرزه‌ها در پیرامون مرز البرز خاوری و کپه‌داغ و در راستای دره رودخانه اترک دیده می‌شوند. همچنین مرز جنوبی و باختری بینالود، فعالیت نسبی بیشتری را نشان می‌دهند. بزرگای محلی (ML) رخدادها ۳.۵ تا ۴.۹ و عمق لرزه‌خیزی حداکثر تا ۲۰ کیلومتری می‌باشد. بیشترین فراوانی رخدادها در عمق حدود ۱۰ کیلومتری مشاهده می‌شود. محورهای تنش و برادرهای لغزش به دست آمده از سازوکارهای کانونی، به خوبی با وضعیت کینماتیک گسل‌های اصلی و رژیم زمین‌ساختی منطقه سازگار بوده و لرزه‌ها را بودن این گسل‌ها را تأیید می‌نماید. همچنین این داده‌ها وجود مؤلفه راستگرد گسل‌های کپه‌داغ خاوری، بینالود و هر دو مؤلفه چپ‌گرد و راست‌گرد در کپه‌داغ مرکزی را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: لرزه‌زمین‌ساخت، سازوکار کانونی، کپه‌داغ، بینالود، ایران.

*نویسنده مسئول: میثم کوه پیمای

Email: mkouhpeyma@gmail.com

۱- پیش‌نوشتار

دگرریختی برآورد شده از داده‌های لرزه‌ای و ژئودیتیک می‌تواند درک ما را از وضعیت دگرریختی‌های زمین‌شناسی و همچنین خطر لرزه‌ای، بهبود بخشد (Masson et al., 2005).

شبکه‌های لرزه‌نگاری محلی، نقش مؤثری در تعیین روندهای لرزه‌خیزی، حل سازوکارهای کانونی این روندها و ارزیابی صفحه گسله در برش‌های عمقی دارند. این روش با وجود سابقه طولانی، همچنان بعنوان روشی کارآمد و معتبر در بررسی لرزه‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساخت مناطق مختلف جهان، بکار گرفته می‌شود. از طرفی، اهمیت بررسی لرزه‌خیزی این پهنه‌ها با توجه به وجود شهرهای پرجمعیتی مانند مشهد، نیشابور، سبزوار و قوچان، دو چندان می‌شود.

گستره مورد مطالعه در حداصل طول جغرافیایی ۳۶ تا ۳۸ درجه خاوری و عرض جغرافیایی ۵۷ تا ۶۰ درجه شمالی واقع شده است و شامل پهنه‌های کپه‌داغ مرکزی-خاوری، بینالود و آلا داغ می‌باشد (شکل ۱). با توجه به اهمیت لرزه‌زمین‌ساختی این محدوده، این پژوهش با استفاده از داده‌های شبکه محلی ایران-چین در ترکیب با سایر داده‌های شبکه‌های دائمی لرزه‌شناسی ایران به بررسی وضعیت لرزه‌خیزی و ارتباط آنها با گسلش فعال در این منطقه می‌پردازد. این شبکه به مدت یک سال (۱۳۹۴ تا ۱۳۹۵) در این محدوده فعال بوده است.

۲- جایگاه زمین‌ساختی

کوه‌های کپه‌داغ، یک کمربند فعال با روند شمال باختری را شکل می‌دهند که ایران مرکزی را از پلاتفرم توران جدا می‌کند. واحدهای مزوزوئیک و ترشیاری کپه‌داغ در طی حرکات کوه‌زایی الیگومیوسن به صورت چین‌های موازی و نامتقارن، چین‌خورده‌اند (Stocklin, 1968; Tchalenko, 1975; Afshar Harb, 1979; Lyberis and Manby, 1999). چین‌خوردگی اولیه و جای‌گیری کپه‌داغ با

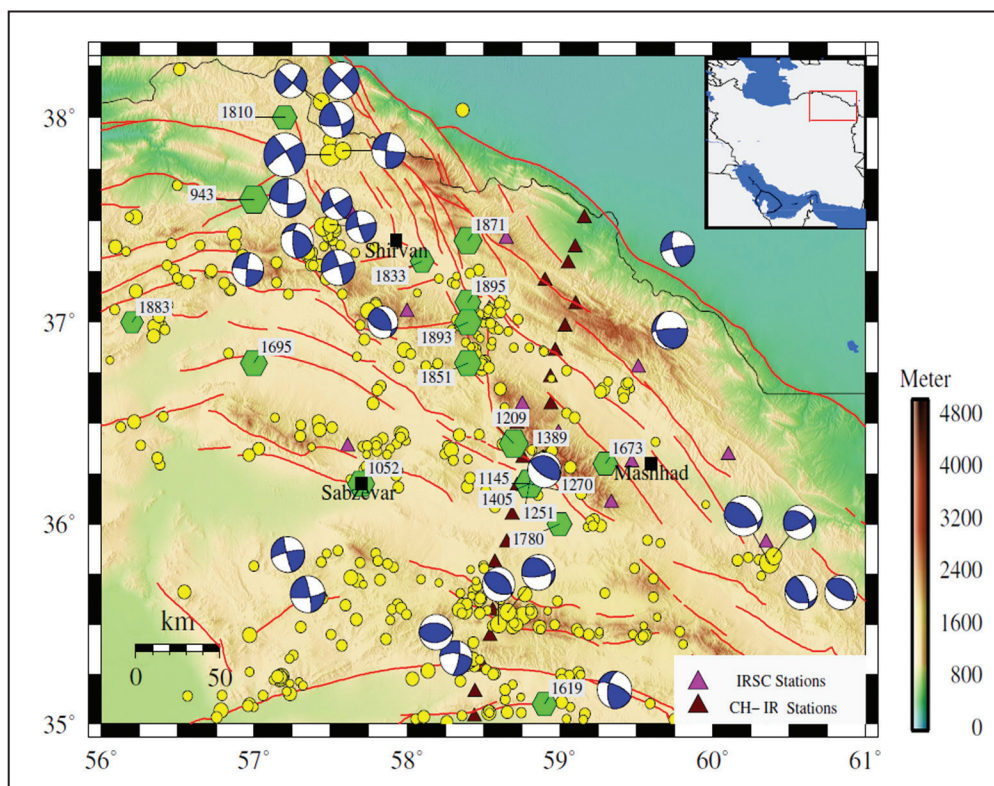
در فلات ایران، همگرایی عربی-اوراسیایی با کوتاه‌شدگی پوسته‌ای و گسلش راستالغز در حوضه‌های درون قاره‌ای زاگرس، البرز، کپه‌داغ و همچنین فرورانش فعال در پهنه فرورانش مکران همراه است. بر اساس داده‌های ژئودیتیک موجود، این کوتاه‌شدگی باید با نرخ بین ۴ تا ۱۰ میلی‌متر در سال در پهنه‌های کپه‌داغ و بینالود جبران گردد (Vernant et al., 2004; Reilinger et al., 2006; Masson et al., 2007; Tavakoli, 2007). پراکندگی رومرکز زمین لرزه‌ها در گستره فلات ایران، بیانگر این است که بیشتر دگرریختی در داخل مرزهای سیاسی ایران صورت می‌گیرد. اندازه‌گیری‌های جی‌پی‌اس نیز الگوی مشابهی را بدست می‌دهند و سرعت نسبت به اوراسیای برادرهای جی‌پی‌اس در مرزهای شمالی و خاوری ایران به صفر نزدیک می‌شود (Vernant et al., 2004). در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در ارتباط با جایگاه گسل‌های فعال و کینماتیک دگرریختی در شمال خاور ایران انجام شده است (به عنوان مثال Hollingsworth et al., 2006; Hollingsworth et al., 2008; Shabanian et al., 2009a., 2009b., 2010., 2012; Tavakoli, 2007; Javidfakhr et al., 2011a., 2011b; Mousavi et al., 2013).

کمربندهای چین‌خورده و راندگی کپه‌داغ و بینالود-آلا داغ در مرز شمال خاوری پهنه برخوردی عربی-اوراسیا واقع شده و از نظر لرزه‌خیزی، بسیار فعال می‌باشند. با توجه به وجود تمدن‌های به نسبت قدیمی، داده‌های تاریخی زیادی از وضعیت لرزه‌خیزی این محدوده در دست می‌باشد. در سده‌های اخیر هم این محدوده شاهد زمین‌لرزه‌های ویرانگری مانند زمین‌لرزه‌های سال‌های ۱۸۵۱، ۱۸۷۱، ۱۸۹۳ و ۱۸۹۵ قوچان و سال ۱۹۲۹ نزدیک شیروان بوده است (Ambraseys and Melville, 1982) (شکل ۱).

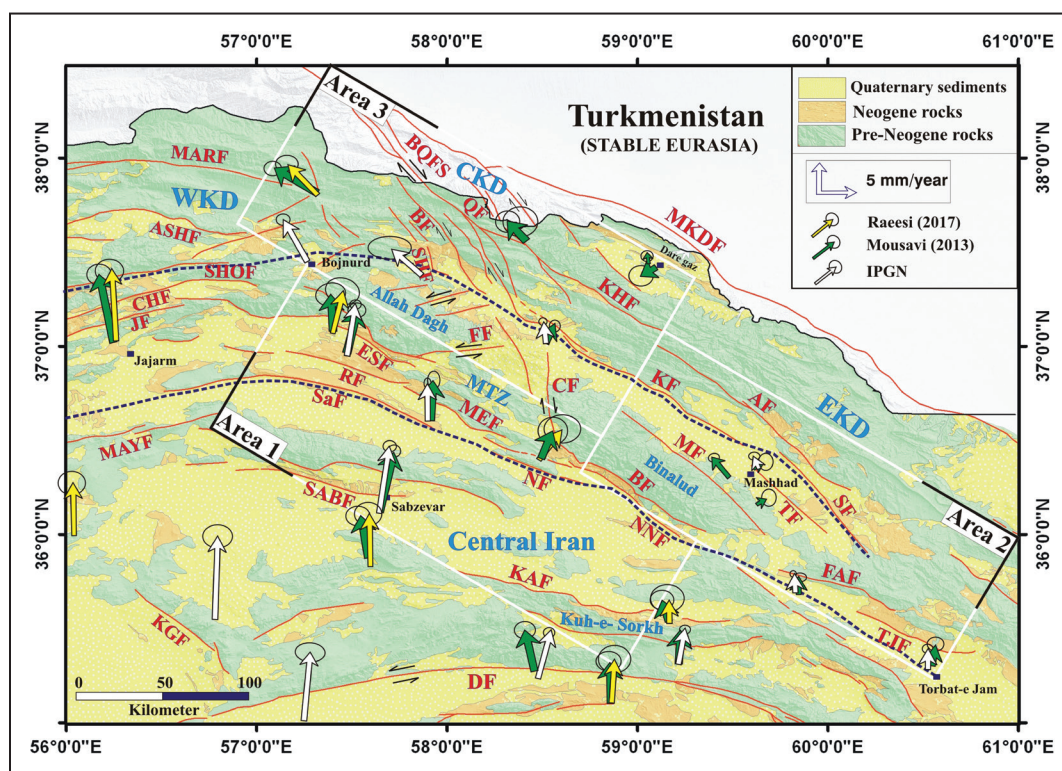
جهت‌گیری محور تانسورهای لرزه‌ای اساساً با جهت‌های محاسبه شده از داده‌های ژئودیتیک، همخوانی دارد. بنابراین مقایسه سبک، جهت‌گیری و نرخ

کپه داغ، تکامل زمین ساختی کوه های بینالود، بسیار پیچیده می باشد. این کوه ها در طی تاریخچه دگرریختی خود، مراحل دگرریختی نرم و ترد مزوزوئیک تا سنوزوئیک را گذرانده است (Sheikholeslami and Kouhpeyma, 2012; Alavi, 1992). همچنین در طی سنوزوئیک، به همراه کوه های کپه داغ و آلا داغ، زیر اثر دگرریختی فشارشی قرار داشته اند (Shabanian et al., 2009b, 2010). کوه های بینالود در قسمت جنوب باختری بوسیله سامانه گسلی نیشابور با راستای شمال باختری، در قسمت شمال خاور بوسیله پهنه گسلی مشهد و در بخش باختری بوسیله سامانه گسلی راستالغز راست بر چکنه با راستای شمالی- جنوبی، احاطه شده اند (شکل ۲). Shabanian et al., (2009b) بر این باور است که حرکت راستالغز کپه داغ مرکزی بوسیله این گسله به بینالود انتقال می یابد. دو مدل زمین ساختی متفاوت برای توصیف دگرریختی در شمال خاور ایران ارائه شده است. Hollingsworth et al. (2010) پیشنهاد می کنند که حرکت به سمت شمال ایران مرکزی نسبت به اوراسیا با کوتاه شدگی عمود بر رشته کوه و کشیدگی موازی رشته کوه کپه داغ همراه است که این امر بوسیله چرخش سیستماتیک بلوک ها به دور محورهای عمودی و گسلش راندگی فرعی در بینالود، اتفاق می افتد. Shabanian et al. (2009b) نشان می دهد که دگرریختی بطور عمده بوسیله گسلش راستالغز در طول سامانه های گسلی با مقیاس پوسته انجام می شود و در این مدل، دگرریختی در داخل و اطراف کوه های بینالود، بسیار مهم می باشند. به منظور سهولت تفسیر نتایج، در این پژوهش مرز تقریبی بین پهنه های البرز خاوری و کپه داغ را منطبق بر گسل راندگی کشف رود و دره رودخانه اترک و مرز بین پهنه های البرز خاوری و ایران مرکزی را در راستای گسل های نیشابور، شمال نیشابور و صمغان در نظر گرفته ایم (شکل ۲).

چین های با روند شمال باختری، نشان دهنده این است که کپه داغ در نتیجه رژیم زمین ساختی فشارشی با روند شمال خاوری در طول سنوزوئیک تشکیل شده است (Afshar Harb, 1979; Lyberis et al., 1998; Lyberis and Manby, 1999). این چین ها در کپه داغ مرکزی- باختری، بطور مایل بوسیله سامانه های گسلی راستالغز راست بر با روند شمال تا شمال باختری و گسل های راستالغز چپ بر با روند خاور تا شمال خاوری بریده می شوند. سامانه گسلی بخاردن- قوچان به ترتیب از باختر به خاور شامل گسل های شیروان، باغان، قوچان و دربادام می باشد (Hollingsworth et al., 2006; Shabanian et al., 2009a) (شکل ۲). قدیمی ترین سنگ های شناخته شده در پهنه کپه داغ، متعلق به نهشته های کربناته دونین و بازالت های کربونیفر است که در اثر کوهزاد سیمین با دگرشیبی زاویه دار در زیر نهشته های مزوزوئیک آغازین قرار می گیرد (Liberis et al., 1998). کوتاه شدگی امروزی در کپه داغ بوسیله گسل های راندگی احاطه کننده این رشته کوه در خاور طول جغرافیایی ۵۷ درجه خاوری، چرخش پادساعت گرد گسل های راستالغز راست بر بین طول جغرافیایی ۵۷ تا ۵۹ درجه خاوری و حرکت به سوی باختر بلوک ها در طول گسل های راندگی و راستالغز در باختر طول جغرافیایی ۵۷ درجه خاوری صورت می گیرد (Hollingsworth et al., 2010). رشته کوه های بینالود- آلا داغ با روند شمال باختری در جنوب کپه داغ واقع شده و بر روی حاشیه شمالی ایران مرکزی رانده می شوند. این رشته کوه ها از نظر ساختاری و زمین شناسی، ادامه خاوری کوه های البرز می باشند و در این پژوهش بعنوان البرز خاوری در نظر گرفته شده اند. مرز بینالود با کپه داغ را باید در دره رودخانه اترک دانست که در واقع محل اتصال ایران با صفحه اوراسیا می باشد (Alavi, 1996; Motaghi et al., 2012) (شکل ۲). بر عکس



شکل ۱- نقشه لرزه زمین ساختی شمال خاور ایران که شبکه لرزه نگاری موقت ایران- چین، با آرایش خطی و راستای شمال خاور- جنوب باختر، نشان داده شده است (مثلث های قهوه ای رنگ). سازوکارهای کانونی مربوط به کاتالوگ GCMT (<https://www.globalcmt.org>) می باشد. رومرکزهای زرد رنگ با بزرگای بیشتر از ۲/۵ و گاف آزمیموتی کمتر از ۱۲۰ درجه از مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (IRSC) می باشد. زمین لرزه های تاریخی با علامت پنج ضلعی سبز رنگ نمایش داده شده اند (Ambraseys and Melville, 1982). گسل ها از Talebian et al. (2013) می باشد.



شکل ۲- نقشه ساده شده زمین‌شناسی از محدوده مورد مطالعه به همراه گسل‌های فعال. واحدهای زمین‌شناسی از افتخارنژاد و همکاران (۱۳۵۴)، بلورچی و همکاران (۱۳۶۵)، افشارحرب و همکاران (۱۳۶۵)، افشار حرب (۱۳۶۲)، واعظی‌پور و همکاران (۱۳۷۰)، بهروزی و همکاران (۱۳۷۲)، طاطاوسیان و همکاران (۱۳۷۱). گسل‌ها از Talebian et al. (2013). بردارهای سرعتی جی‌پی‌اس بر اساس داده‌های IPGN، (2013) Moussavi et al. و (2017) Raeesi et al. به ترتیب با رنگ‌های سفید، سبز و زرد نشان داده شده است. مرز بین پهنه البرز خاوری (رشته‌کوه‌های بینالود-الا داغ) با پهنه‌های کپه داغ و ایران مرکزی، بوسیله خط چین سیاه رنگ، مشخص شده است. برای سهولت در جمع‌بندی داده‌ها، ناحیه مورد مطالعه را به ۳ محدوده کوچک‌تر، تقسیم کرده‌ایم. MKDF: گسل اصلی کپه‌داغ. EKD: کپه‌داغ خاوری. CKD: کپه‌داغ مرکزی، WKD: کپه‌داغ باختری. BQFS: سامانه گسلی بخاردن-قوچان. MTZ: پهنه انتقالی مشکان. QF: گسل قوچان. BF: گسل باغان. SHF: گسل شیروان. KHF: گسل خادمانلو. FF: گسل فرهادان. CF: گسل چکنه. ESF: گسل اسفراین. RF: گسل ریوند. MEF: گسل مشکان. SAF: گسل صمغان. NF: گسل نیشابور. NNF: گسل شمال نیشابور. SABF: گسل سبزواری. KAF: گسل کدکن. AF: گسل امروک. KF: گسل کشف‌رود. MF: گسل مشهد. BF: گسل بینالود. SF: گسل سرخده. TF: گسل توس. FAF: گسل فریمان. TJF: گسل تربت جام.

۲- داده‌ها و روش پردازش

در این پژوهش از شکل موج‌های ثبت شده توسط شبکه لرزه‌نگاری محلی ایران-چین و شبکه لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (IRSC) استفاده شده است. شبکه لرزه‌نگاری موقت ایران-چین، به مدت ۱۳ ماه (از مهر ۱۳۹۴ تا آبان ۱۳۹۵) در منطقه مورد مطالعه دایر بوده است (شکل ۱). این شبکه با همکاری مشترک سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پژوهشکده علوم زمین و انستیتو زمین‌شناسی و ژئوفیزیک آکادمی علوم چین به اجرا درآمد. شبکه لرزه‌نگاری ایران-چین، شامل ۶۵ ایستگاه با فاصله بین ایستگاهی حدود ۱۵ کیلومتر بوده که از شهر درگز در استان خراسان شمالی تا حوالی استان کرمان با راستای شمال خاور-جنوب باختر، طراحی و نصب گردید. این نحوه طراحی و چیدمان ایستگاه‌ها، بیشتر به منظور بررسی ساختار سرعتی پوسته می‌باشد. بنابراین برای پوشش آزمایشی ایستگاه‌ها، از شکل موج‌های ثبت شده توسط شبکه لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران بعنوان داده‌های کمکی استفاده شد. محدوده مورد مطالعه، بخش شمالی شبکه ایران-چین را در بر می‌گیرد که شامل ۲۵ ایستگاه لرزه‌نگاری می‌باشد. در این محدوده، همه دستگاه‌های لرزه‌نگار مورد استفاده از نوع تریلیوم (۱۲۰ PA Trillium) است. رخدادهای لرزه‌ای به روش تک‌رویدادی، مکان‌یابی گردیدند. با توجه به محلی بودن شبکه، برای مکان‌یابی رخدادهای بطور عمده از فازهای پوسته‌ای Pg و Sg

استفاده شد. تعیین بزرگای محلی (ML)، با استفاده از نرم‌افزار ساین SEISEN (Havskoy and Otemoller, 1999) و بر روی مؤلفه‌های افقی لرزه‌نگاشت انجام گرفت. برای محاسبه سازوکار کانونی از روش پولاریته اولین رسید موج طولی استفاده شد (Stein and Wysession, 2003).

۴- دستاوردها

در طی این پژوهش، تعداد ۸۶ رخداد با بزرگای بین ۳/۵ تا ۴/۹ ثبت گردیده است. مهم‌ترین دستاوردها بر اساس این داده‌ها به قرار زیر است.

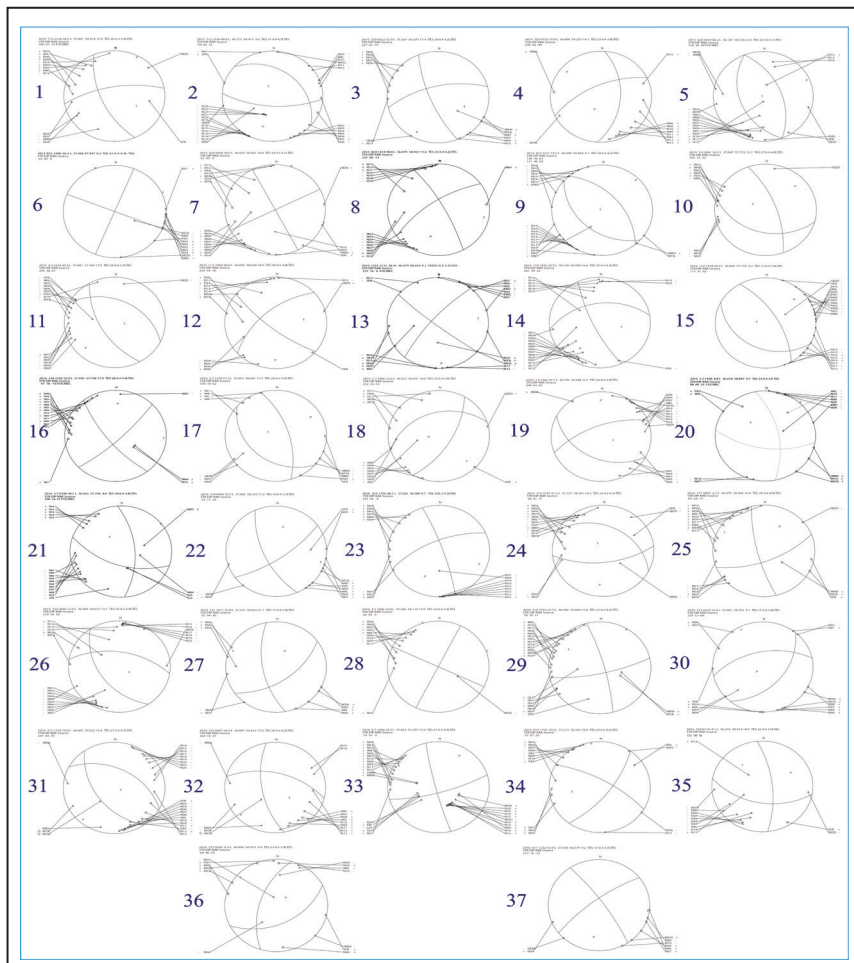
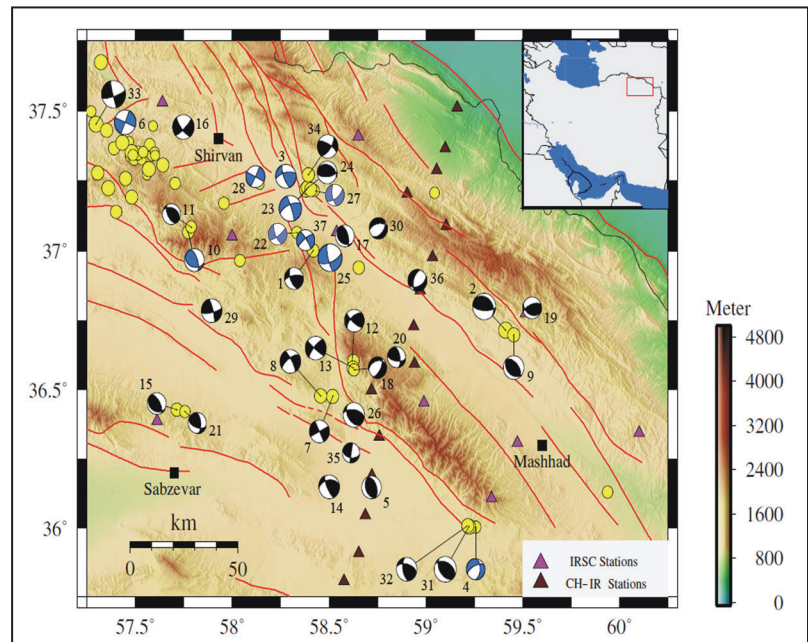
۴-۱. پراکندگی رومرکز و سازوکارهای کانونی رخدادهای

پراکندگی رومرکز داده‌های شبکه ایران-چین در محدوده طول جغرافیایی ۵۷ تا ۶۰ درجه خاوری و عرض جغرافیایی ۳۶ تا ۳۸ درجه شمالی می‌باشد. این رخدادهای به طور عمده در باختر پروفیل لرزه‌ای ایران-چین و در پهنه زمین‌ساختی بینالود-آلا داغ قرار دارند (شکل ۳). تعداد ۳۷ سازوکار کانونی محاسبه شد که تعداد ۲۷ سازوکار دارای کیفیت خوب A (پراکندگی مناسب ایستگاه‌ها نسبت به صفحات گسلی و عدم قطعیت صفحه‌های محاسبه شده، کمتر از ۲۰ درجه) و بقیه دارای کیفیت متوسط B هستند. از ۳۷ سازوکار کانونی حل شده، ۱۶ عدد دارای سازوکار راستالغز

خاوری و شمال خاور گسل کشف رود، سازوکارهای عمقی معکوس و نرمال مشاهده می شوند. رخدادهای معکوس، راستای شمال باختر- جنوب خاور داشته و با مؤلفه کوچکی از حرکت راستالغز راست بر همراه اند. رخدادهای بخش جنوب باختری رشته کوه بینالود و آلا داغ، بطور عمده دارای سازوکار معکوس با مؤلفه کوچکی از حرکت راستالغز راست بر می باشند. در باختر سامانه گسلی باغان- قوچان و پیرامون شهر بجنورد، سازوکارهای عمقی با سازوکار چیره راستالغز مشاهده می شوند (شکل ۳). مشخصات سازوکارهای کانونی در جدول ۱ نشان داده شده است.

(سازوکارهای ۱-۳-۶-۷-۸-۱۲-۱۳-۱۶-۲۲-۲۳-۲۵-۲۸-۲۹-۳۳-۳۴-۳۷) و ۲۱ عدد دارای سازوکار شیب لغز می باشند (سازوکارهای ۲-۴-۵-۹-۱۰-۱۱-۱۴-۱۵-۱۷-۱۸-۱۹-۲۰-۲۱-۲۴-۲۶-۲۷-۳۰-۳۱-۳۲-۳۵-۳۶) (شکل های ۳ و ۴). در بخش های مرکزی محدوده مورد مطالعه، رخدادهای به طور عمده، آرایش شمالی- جنوبی داشته و در راستای بخش جنوبی سامانه گسلی باغان- قوچان (در پهنه کپه داغ) و پهنه گسلی چکنه (در پهنه بینالود) قرار دارند. این رخدادهای، بطور عمده راستای شمالی- جنوبی تا شمال باختر- جنوب خاوری دارند و مؤلفه بزرگی از حرکت راستالغز راست بر را نشان می دهند. در محدوده کپه داغ

شکل ۳- سازوکارهای کانونی بدست آمده در این پژوهش، در گستره مورد مطالعه. سازوکارها با روش پولاریته اولین رسید موج طولی محاسبه شده اند. سازوکارهای با کیفیت خوب (A) به رنگ سیاه و سازوکارهای با کیفیت متوسط (B) به رنگ آبی نشان داده شده اند.



شکل ۴- سازوکارهای کانونی حل شده برای رخدادهای در گستره مورد مطالعه.

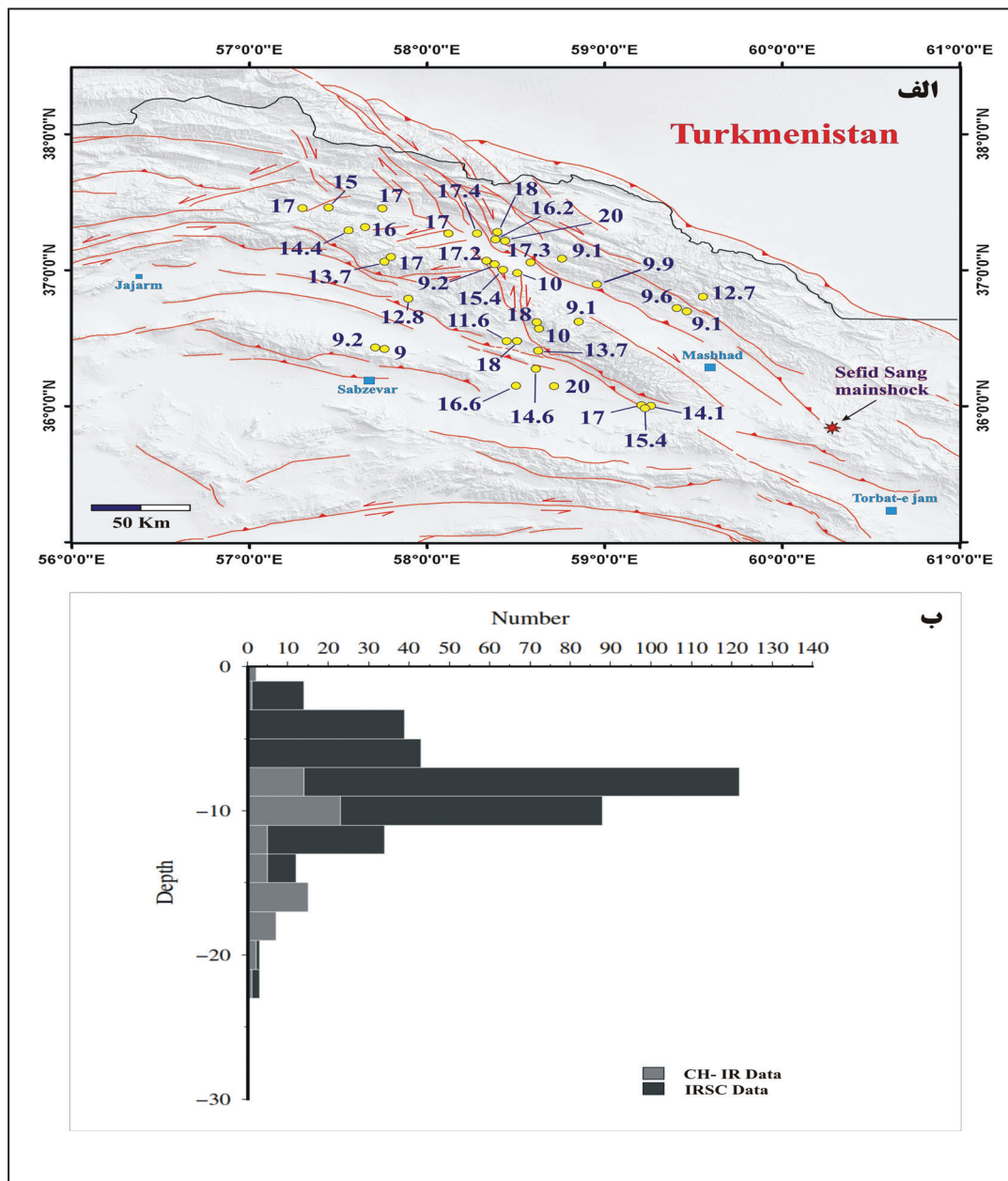
جدول ۱- مشخصات سازوکارهای حل شده در این تحقیق با استفاده از شبکه‌های محلی و منطقه‌ای.

Num	Date	Time	Lat	Lon	Str1	Dip1	Rake1	Str2	Dip2	Rake2	Mag	Depth	Quality
1	20150712	21:26	37.001	58.418	260	67	32	156	61	153	3.9	15.4	A
2	20150712	23:30	36.715	59.411	94	65	72	311	30	123	4.7	9.6	A
3	20150720	09:22	37.267	58.277	257	63	19	158	73	151	4.2	17.4	B
4	20150723	07:32	36.004	59:257	245	62	-48	2	49	-141	3.8	14.1	B
5	20150820	04:39	36.147	58.720	158	40	90	338	50	90	4.1	20	A
6	20150822	14:00	37.460	57.447	22	90	0	112	90	135	4.4	9.2	B
7	20150824	06:08	36.478	58.501	63	90	0	153	90	135	4.1	18	A
8	20150824	16:18	36.479	58.457	235	68	-13	330	78	22	4.2	11.6	A
9	20150827	22:21	36.698	59.454	130	36	83	319	50	96	4.2	9.1	A
10	20150906	20:41	37.067	57.772	105	37	42	339	66	119	4.0	13.7	B
11	20150906	22:42	37.081	57.786	295	38	61	150	57	111	3.7	17	A
12	20151106	10:04	36.605	58.620	229	58	18	129	75	147	4.0	18	A
13	20151225	21:31	36.579	58.625	221	76	6	129	84	166	4.3	9.1	A
14	20160110	18:32	36.150	58.500	261	44	22	155	75	132	4.3	16.6	A
15	20160114	19:34	36.428	57.714	117	31	62	329	63	106	3.9	9.2	A
16	20160124	21:05	37.443	57.748	47	78	-18	141	72	-167	4.4	17	A
17	20160202	13:38	37.053	58.581	130	33	62	342	61	107	3.9	17.3	A
18	20160203	18:05	36.572	58.631	252	36	-53	29	62	66	3.8	10	A
19	20160204	18:02	36.795	59.548	249	63	63	117	37	131	3.9	12.7	A
20	20160303	14:38	36.618	58.847	98	60	35	349	60	145	3.8	9.1	A
21	20160307	01:09	36.422	57.754	108	56	37	355	60	140	3.8	9	A
22	20160314	05:00	37.065	58.335	55	71	-29	155	63	-158	3.7	17.2	B
23	20160314	17:26	37.222	58.385	247	65	-9	341	82	25	4.3	9.7	B
24	20160315	22:47	37.227	58.391	84	61	73	296	33	117	4.1	16.2	A
25	20160317	08:07	36.975	58.505	69	64	-15	166	76	27	4.9	10	B
26	20160329	20:46	36.409	58.627	279	54	59	145	46	125	4.4	13.7	A
27	20160331	10:11	37.215	58.432	55	54	-36	168	62	42	3.8	20	B
28	20160402	10:06	37.266	58.119	26	90	0	116	90	135	3.9	17	B
29	20160510	15:53	36.786	57.894	78	76	11	345	79	166	4.2	12.8	A
30	20160512	03:29	37.081	58.755	259	53	-64	40	44	-120	3.8	9.1	A
31	20160513	13:24	36.005	59.222	297	44	70	144	49	108	4.5	15.4	A
32	20160523	04:57	36.007	59.212	284	54	37	170	61	138	4.2	17	A
33	20160607	22:04	37.453	57.297	74	76	-5	165	85	14	4.9	17	A
34	20160619	17:59	37.273	58.393	37	67	20	299	72	156	4.2	18	A
35	20160724	01:18	36.272	58.614	121	60	42	7	55	142	3.5	14.6	A
36	20160727	02:02	36.894	58.957	64	46	-53	197	55	58	3.9	9.9	A
37	20160811	12:32	37.038	58.379	233	76	-10	325	80	14	3.7	9.2	B

۴-۲. عمق لرزه خیزی

کمتر از ۱۲۰ درجه) نیز استفاده شده است. اگر چه دقت عمق کانونی زلزله ها در این مطالعه، به علت فاصله بین ایستگاهی زیاد، می تواند دارای خطای زیادی باشد، هنوز پراکندگی عمق کانونی زلزله ها با بررسی های انجام شده قبلی در پهنه البرز، سازگار است. با توجه به نمودار عمقی، رخدادها حداکثر تا عمق ۲۰ کیلومتری مشاهده می شوند و بیشینه فراوانی رخدادها نیز در عمق حدود ۱۰ کیلومتر دیده می شود (شکل ۵).

بر اساس نتایج مدل سازی امواج درونی، کانون همه زمین لرزه های شمال خاوری ایران در عمقی کمتر از ۱۵ کیلومتر قرار دارند و به بخش بالایی پوسته محدود می شوند. هیچ مدرکی از رخداد زمین لرزه در بخش زیرین پوسته وجود ندارد (Priestley et al., 1994; Jackson et al., 2002). برای یافتن درکی از عمق رخدادها در این محدوده، علاوه بر داده های این شبکه، از داده های مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (رخدادهای با گاف آزیموتی

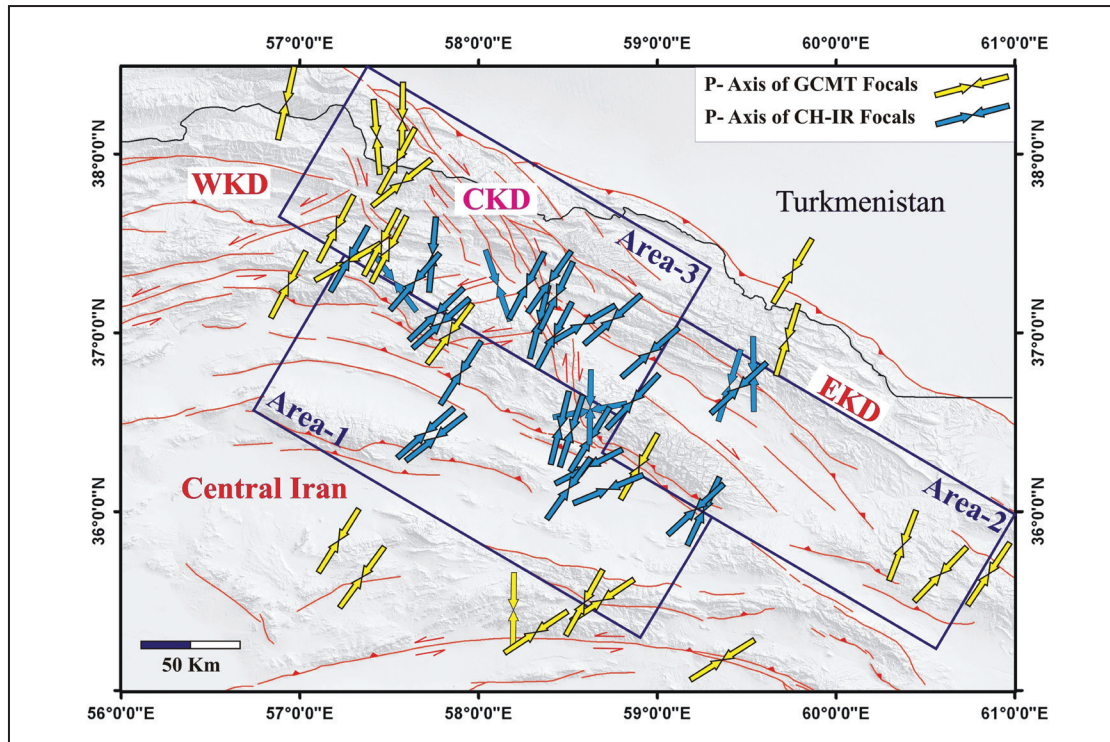


شکل ۵ - الف) نقشه پراکندگی رومرکزها و عمق رخدادهای شبکه ایران-چین در گستره مورد مطالعه. بر پایه نتایج بدست آمده در این پژوهش، حداکثر عمق رخدادها، به ۲۰ کیلومتر می رسد. رومرکز زمین لرزه ۱۳۹۶ سفید سنگ، با علامت ستاره مشخص شده است؛ ب) نمودار عمقی رخدادها در محدوده مورد مطالعه. بخش خاکستری مربوط به داده های شبکه ایران-چین و بخش سیاه رنگ، مربوط به داده های مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران می باشد. با توجه به نمودار، یک فراوانی بیشینه در عمق حدود ۱۰ کیلومتری، مشاهده می شود.

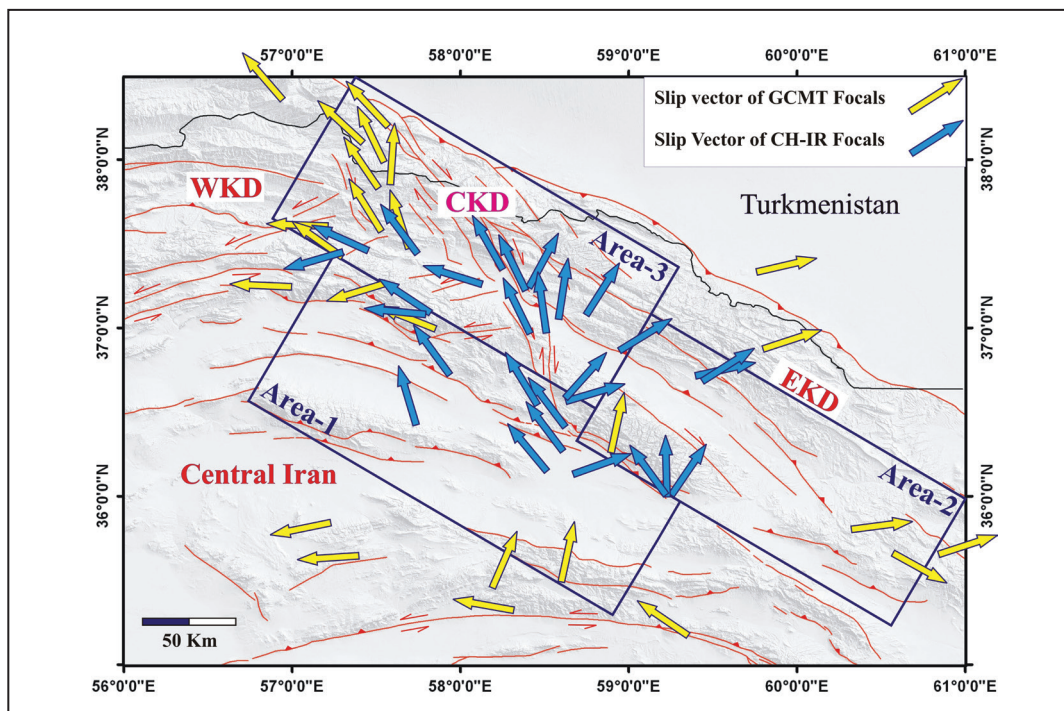
۳-۴. بردارهای تنش و لغزش

کانونی حل شده در محدوده مورد مطالعه به دست آمده‌اند. بردارهای تنش به طور عمده راستای شمال خاور- جنوب باختری دارند. از دو بردار لغزش (مربوط به صفحه‌های گره‌ای) در هر سازوکار عمقی، برداری که با راستا و سازوکار گسله‌های اصلی و فعال همخوانی داشتند انتخاب شده و در ادامه بر این اساس مورد بحث قرار گرفته است.

در کوه‌های کپه‌داغ و بینالود، وضعیت تنش کنونی که از تحلیل کینماتیک گسلی بدست آمده، بصورت $15^{\circ}\text{E} \pm \text{N}030$ است (Shabanian et al., 2010). همچنین وضعیت تنش حاصل از وارون‌سازی سازوکارهای کانونی زمین‌لرزه‌ها بصورت $5^{\circ}\text{E} \pm \text{N}023$ می‌باشد و نشان‌دهنده رژیم زمین‌ساختی ترافشارشی و همگن در این ناحیه است. بردارهای تنش (شکل ۶) و لغزش (شکل ۷) از روی سازوکارهای



شکل ۶- نقشه محورهای تنش بدست آمده از سازوکارهای کانونی زمین‌لرزه‌ها با استفاده از داده‌های شبکه محلی ایران- چین (بردارهای آبی رنگ) و کاتولوگ لرزه‌ای GCMT (بردارهای زرد رنگ).



شکل ۷- نقشه بردارهای لغزش بدست آمده از سازوکارهای کانونی زمین‌لرزه‌ها با استفاده از داده‌های شبکه محلی ایران- چین (بردارهای آبی رنگ) و کاتولوگ لرزه‌ای GCMT (بردارهای زرد رنگ).

۵- بحث

در گستره شمال خاوری ایران و در جنوب عرض جغرافیایی ۳۶ درجه، بردارهای جی پی اس، حرکت نسبی رو به شمال را نشان می دهند. مقدار حرکت از باختر به سمت خاور، کاهش می یابد و در نزدیک مرز بلوک هلمند به حدود صفر می رسد. سازوکارهای کانونی موجود در شمال باختر سامانه گسل دورونه، حرکت راستالغز چپ بر نشان می دهند که به نظر جزئی از این سامانه گسلی می باشند (شکل ۱). با توجه به روندهای ساختاری و بمنظور سهولت در دسته بندی داده ها و نتیجه گیری، گستره مورد مطالعه را به ۳ بخش کوچک تر تقسیم کرده ایم.

۵-۱. ناحیه ۱ (گستره البرز خاوری، بینالود-آلا داغ)

این ناحیه بخش های جنوبی البرز خاوری (شامل نیمه جنوبی کوه های بینالود و آلا داغ و پهنه مشکان) و بخش هایی از ایران مرکزی (شامل کوه سرخ و سیاه کوه-در شمال سبزوار) را در بر می گیرد. مرز بین البرز خاوری و ایران مرکزی از بخش های مرکزی این ناحیه عبور می کند. محورهای تنش بدست آمده از سازوکارهای شبکه موقت که به مدت یکسال در این محدوده فعال بوده است، کم و بیش بر راستای گسلهای بینالود خاوری، عمود بوده و نشان دهنده سازوکار راندگی محض یا چیرگی مؤلفه راندگی در این گسل ها می باشد (شکل ۶). در بخش باختری بینالود، گسل راندگی شمال نیشابور، به گسل راستالغز چکنه، می پیوندد. بردارهای لغزش در این منطقه، هم راستا با گسل چکنه هستند و گویای سازوکار راستالغز راست بر برای این گسل می باشند. گسل چکنه مرز خاوری پهنه انتقالی مشکان (Shabanian et al., 2009b) را شکل می دهد. این پهنه از سمت باختر بوسیله گسل فرهادان، محدود می شود. پهنه مشکان نسبت به کوه های بینالود و آلا داغ از توپوگرافی به نسبت پست تری برخوردار بوده و با توجه به این فروافتادگی، وجود اندکی مؤلفه شاقولی برای گسل های محدود کننده آن در خاور و باختر، دور از انتظار نیست. این موضوع در سازوکار کانونی زمین لرزه ها و زاویه موجود بین بردارهای لغزش و گسله های خاور و باختر این پهنه، مشهود است (شکل های ۳ و ۷). در پهنه سبزوار، بردارهای لغزش و محورهای تنش، زاویه ۷۰ تا ۸۰ درجه با راستای گسل سبزوار می سازند. از این رو حرکت به طور عمده راندگی با اندکی مؤلفه راستالغز راست بر، برای این گسل قابل انتظار است (سازوکارهای کانونی شماره ۱۵ و ۲۱ شکل ۳). برداشت های میدانی نیز حرکت راندگی این گسل را تأیید می نماید (Hollingsworth et al., 2006). بردارهای جی پی اس در ایستگاه نزدیک به گسل سبزوار، کم و بیش عمود بر آن می باشد که احتمالاً ناشی از تأثیر میدان نزدیک گسل به ایستگاه اندازه گیری است. اما در فاصله دورتر، با راستای گسل، زاویه می سازد و با مؤلفه حرکت راست بر این گسله، همخوانی دارد.

۵-۲. ناحیه ۲ (کپه داغ خاوری- بینالود خاوری)

این ناحیه بخش هایی از کپه داغ خاوری و بخش خاوری پهنه البرز خاوری را شامل می شود. روند ساختارها در این ناحیه، بصورت شمال باختر- جنوب خاور می باشد. دره رودخانه اترک که مرز ساختاری بین پهنه کپه داغ و البرز خاوری را مشخص می کند از قسمت مرکزی این ناحیه عبور می نماید. در این محدوده داده های لرزه ای زیادی وجود ندارد. محور تنش بیشینه، شمال- شمال خاوری با راستای عمومی گسله ها، زاویه حدود ۷۰ درجه می سازد. بنابراین همراه با حرکت راندگی، مؤلفه راستالغز نیز قابل انتظار است که با سازوکارهای ۲، ۹ و ۱۹ همخوانی دارد. این سامانه گسلی در انتهای جنوب خاوری خود به منطقه زمین لرزه ای سفید سنگ می رسد. در این منطقه گسل های راستالغز با پایانه های راندگی خاتمه می یابند و زمین لرزه سفید سنگ (۱۶ فروردین ۱۳۹۶) با بزرگای $M_w=6$ ، نتیجه جنبش یکی از این پایانه ها بوده است. اما در این محل نیز اندکی مؤلفه راستالغز همراه با سازوکار زمین لرزه ها دیده می شود که این موضوع با زاویه محور تنش و بردارهای لغزش نسبت به راستای گسله ها، همخوانی دارد.

۵-۳. ناحیه ۳ (کپه داغ مرکزی)

این ناحیه، محدوده کپه داغ مرکزی، بخش هایی از نیمه شمالی پهنه بینالود -

آلا داغ و همچنین بخش هایی از کپه داغ باختری را در بر می گیرد. از دیدگاه ساختاری گستره کپه داغ مرکزی، مجموعه ای از تاقدیس ها و ناودیس های با روند خاوری- باختری است که بوسیله دو دسته گسل های راستالغز پرشیب راست بر و چپ بر به ترتیب با دو راستای شمال باختر- جنوب خاور و شمال خاور- جنوب باختر بریده شده اند. جایجایی گسله های راست بر به روشنی در تصاویر ماهواره ای و عکس های هوایی قابل مشاهده است. با توجه به وجود تعداد زیادی گسله های با راستای شمال باختری- جنوب خاوری، اغلب ایستگاه های جی پی اس به ناچار در میدان نزدیک یکی از این گسله ها قرار می گیرند و نمی توانند بیانگر حرکت کلی منطقه باشند. این موضوع احتمالاً موجب شده که حرکت بردارهای جی پی اس با راستای گسله ها همسو باشند. از طرفی با توجه به روند محورهای تنش، زاویه حدود ۴۰ الی ۵۰ درجه بین راستای گسله ها و تنش بیشینه در منطقه دیده می شود. حرکت راستالغز راست بر از مجموعه گسل های این منطقه قابل انتظار است. سازوکار زمین لرزه ها نیز حرکت چیره راستالغز را نشان می دهند که با توجه به راستاهای شناخته شده در بخش شمالی کپه داغ مرکزی، این گسله ها از نوع راست بر می باشند. زمین لرزه ۱۹۹۷ بجنورد (گرمخان) با سازوکار راستالغز راست بر محض در بخش های باختری این محدوده رخ داده و باعث ایجاد شکستگی با راستای شمال باختر- جنوب خاور (N30W) و به طول حدود ۱۵ کیلومتر شده است (Hollingsworth et al., 2008). این گسل ها در انتهای جنوبی خود بوسیله انشعاب های راندگی، خاتمه می یابند. یکی از مشخص ترین آنها در شمال شهر قوچان دیده می شود. بردارهای لغزش در این منطقه، عمود بر راستای گسل های انتهایی هستند و حرکت راندگی محض را پیشنهاد می کنند. این موضوع در بررسی های میدانی بوسیله بالا آمدگی پشته ها تأیید می شود (Hollingsworth et al., 2006; Shabanian et al., 2009). متأسفانه داده های جی پی اس اندکی در این منطقه وجود دارد اما با توجه به راستای کلی گسل ها نسبت به جهت کوتاه شدگی کلی شمال- شمال خاوری (بر اساس داده های جی پی اس) و حرکت چیره راستالغز گسل ها (بر اساس سازوکار کانونی و بردار لغزش، شکل های ۳ و ۷)، لغزش این گسل ها به ناچار با چرخش پادساعتگرد حول محور عمود بر راستای گسل ها، همراه است. همچنین این چرخش، امکان خاتمه یافتن گسل های راستالغز اصلی کپه داغ در این منطقه را فراهم می سازد. مشابه این سازوکار در زاگرس مرکزی دیده می شود (Talebian and Jackson, 2004). در بخش جنوبی کپه داغ مرکزی، به احتمال این چرخش، در جهت عقربه های ساعت، خواهد بود. در این بخش، راستای غالب گسله ها شمال خاور- جنوب باختری است بنابراین از دو صفحه احتمالی سازوکار گسله ها، به نظر می رسد که صفحه هم راستا با گسل ها و سازوکار راستالغز چپ بر سرچشمه اصلی زمین لرزه ها در این منطقه است. بر این اساس، بردار لغزش هم راستا با گسل های منطقه بعنوان اولویت نخست انتخاب شده است.

۶- نتیجه گیری

لرزه نگاری با کیفیت مناسب، ابزاری مناسب برای مطالعه گسل های فعال در یک گستره است. در این پژوهش رومرکزهای بدست آمده از این مطالعات در شمال خاوری کشور همراه با سازوکارهای کانونی محاسبه شده از این داده ها در شناخت بهتر چگونگی دگرشکلی در این منطقه مورد استفاده قرار گرفته است. پراکندگی رومرکز زمین لرزه ها با جایگاه گسل های شناخته شده فعال در شمال خاوری ایران همخوانی دارد. عمق کانونی زلزله ها در این مطالعه اگر چه به دلیل فاصله زیاد ایستگاه ها می تواند خطای قابل توجهی داشته باشد، اما بطور کلی عمق های از پیش گزارش شده (حداکثر ۲۰ کیلومتر) را تأیید می نماید.

زاویه بردارهای لغزش بدست آمده از سازوکارهای کانونی نسبت به گسل ها، از بینالود خاوری به سوی باختر به تدریج کاهش می یابد که بیانگر تغییر سازوکار گسل ها از راندگی به راستالغز است. بردار های مایل در بخش میانی منطقه دیده

سپاسگزاری

این نوشتار به عنوان بخشی از نتایج پروژه بین‌المللی مطالعه ساختار پوسته در شمال خاور ایران می‌باشد. بدین وسیله از کارشناسان سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و کارشناسان انستیتو زمین‌شناسی و ژئوفیزیک آکادمی علوم چین که در برداشت‌های میدانی همکاری داشته‌اند سپاسگزاری می‌نمایم.

می‌شود که با مشاهدات زمین‌شناسی و توپوگرافی پست‌تر این منطقه (پهنه مشکان)، همخوانی دارد. در کپه داغ مرکزی بردارهای لغزش کم‌ویش هم راستا با گسل‌ها هستند و دلالت بر سازوکار کاملاً راستالغز این گسل‌ها دارند. در حالی که در کپه داغ خاوری زاویه مایل این بردارها نسبت به گسل‌ها بیانگر سازوکار رانندگی همراه با مؤلفه راستالغز است.

کتابنگاری

- افتخارنژاد، ج.، آقائباتی، ع.، حمزه‌پور، ب. و بارویانت، و.، ۱۳۵۴- چهارگوش زمین‌شناسی کاشمر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- افشار حرب، ع.، آقائباتی، ع.، مجیدی، ب.، علوی تهرانی، ن.، شهرابی، م.، داودزاده، م. و نوایی، ا.، ۱۳۶۵- چهارگوش زمین‌شناسی مشهد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- افشار حرب، ع.، ۱۳۶۱- چهارگوش زمین‌شناسی در گز. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- افشار حرب، ع.، ۱۳۶۲- چهارگوش زمین‌شناسی سرخس. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بلورچی، م.ح.، مهر پرتو، م.، افشار حرب، ع.، ۱۳۶۵- چهارگوش زمین‌شناسی بجنورد. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بهروزی، ا.، افتخارنژاد، ج. و علوی نائینی، م.، ۱۳۷۲- چهارگوش زمین‌شناسی تربت جام. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- طااطوسیان، ش.، زهره‌بخش، ا.، حمزه پور، ا.، علوی تهرانی، ن.، صدرالدینی، ع. و وزیری تبار، ف.، ۱۳۷۱- چهارگوش زمین‌شناسی سبزوار. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- واعظی پور، م. ج.، علوی تهرانی، ن.، بهروزی، ا. و خلقی، م. ح.، ۱۳۷۰- چهارگوش زمین‌شناسی تربت حیدریه. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Afshar Harb, A., 1979- The stratigraphy, tectonics and petroleum geology of the Kopet Dagh region, northeastern Iran, PhD thesis. Petroleum Geology Section, Royal School of Mines, Imperial College of Science and Technology, London.
- Alavi, M., 1992- Thrust tectonics of the Binalood region, NE Iran, *Tectonics*, 11, 360 – 370, doi:10.1029/91TC02217.
- Alavi, M., 1996- Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran. *J. Geodyn.* 21, 1–33.
- Ambraseys, N., and Melville, C., 1982- A History of Persian Earthquakes, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K. doi:10.1002/eqe.4290110412.
- Jackson, J.A., Priestley, K., Allen, M., Berberian, M., 2002. Active tectonic of South Caspian Basin. *Geophys. J. Int.* 148, 214–245.
- Javidfakhr, B., Bellier, O., Shabanian, E., Ahmadian, S and Saidi, A., 2011a- Plio-Quaternary tectonic regime changes in the transition zone between Alborz and Kopeh Dagh mountain ranges (NE Iran), *Tectonophysics*, 506, 86–108, doi:10.1016/j.tecto.2011.04.013.
- Javidfakhr, B., Bellier, O., Shabanian, E., Ahmadian, S., Saidi, A., 2011b. Plio-Quaternary tectonic regime changes in the transition zone between Alborz and Kopeh Dagh mountain ranges (NE Iran). *Tectonophysics* 506, 86–108. doi: 10.1016/j.tecto.2011.04.013.
- Havskoy, J., Otemoller, L., 1999- SEISAN: The Earthquake Analysis Software, version 8.0, Institute of Solid Earth Physics, University of Bergen, Norway.
- Hollingsworth, J., Jackson, J. Walker, R. Gheitanchi, M. R and Bolourchi, M. J., 2006- Strike-slip faulting, rotation and along-strike elongation in the Kopeh Dagh Mountains, NE Iran, *Geophys. J. Int.*, 166, 1161–1177, doi:10.1111/j.1365-246X.2006.02983.x.
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Nazari, H., 2008- Extrusion tectonics and subduction in the eastern South Caspian region since 10 Ma. *Geology* 36(10), 763–766. doi:10.1130/G30529Y.1.
- Hollingsworth, J., Fattahi, M. Walker, R. Talebian, M. Bahroudi, A. Bolourchi, M. J. Jackson, J. and Copley A., 2010- Oroclinal bending, distributed thrust and strike-slip faulting, and the accommodation of Arabia- Eurasia convergence in NE Iran since the Oligocene, *Geophys. J. Int.*, 181, 1214–1246, doi:10.1111/j.1365-246X.2010.04591.x.
- Lyberis, N., Manby, G., Poli, J. T., Kalugin, V., Yousouphocaev, H. & Ashirov, T., 1998- Post-Triassic evolution of the southern margin of the Turan plate, *C. R. Acad. Sci.*, 326, 137–143. doi:10.1016/S1251-8050(97)87458-7.
- Lyberis, N., and Manby G., 1999- Oblique to orthogonal convergence across the Turan block in the post-Miocene, *AAPG Bull.*, 83(7), 1135–1160. doi:10.1306/E4FD2E97-1732-11D7-8645000102C1865D.
- Masson, F., Chery, J., Hatzfeld, D., Martinod, J., Vernant, P., Tavakoli, F., Ghafory-Ashtiani, M., 2005- Seismic versus aseismic deformation in Iran inferred from earthquakes and geodetic data. *Geophys. J. Int.* 160 (1), 217–226. doi: 10.1111/j.1365-246X.2004.02465.x.
- Masson, F., M. Anvari, Y. Djamour, A. Walpersdorf, F. Tavakoli, M. Daignières, H. Nankali, and S. Van Gorp., 2007- Large-scale velocity field and strain tensor in Iran inferred from GPS measurements: New insight for the present-day deformation pattern within NE Iran, *Geophys. J. Int.*, 170, 436–440. doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03477.x.

- Mousavi, Z., Walpersdorf, A., Walker, R.T., Tavakoli, F., Pathier, E., Nankali, H.R.E.A., Nilfouroushan, F. and Djamour, Y., 2013- Global Positioning System constraints on the active tectonics of NE Iran and the South Caspian region. *Earth and Planetary Science Letters*, 377, pp.287-298. doi:10.1016/j.epsl.2013.07.007.
- Motaghi, K., Tatar, M., Shomali, Z.H., Kaviani, A., Priestley, K., 2012- High resolution image of uppermost mantle beneath NE Iran continental collision zone. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 208–209 (2012) 38–49. doi:10.1016/j.pepi.2012.07.006.
- Priestley, K., Baker, C., Jackson, J., 1994- Implication of earthquake focal mechanism data for the active tectonics of the South Caspian Basin and surrounding regions. *Geophys. J. Int.* 118, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1994.tb04679.x>
- Raeesi, M., Zarifi, Z., Nilfouroushan, F., Boroujeni S., Tiampo, K., 2017- Quantitative Analysis of Seismicity in Iran. *Pure Appl. Geophys.*, 174, 793-833.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S. V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., and Karam, G., 2006- GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *J. Geophys. Res.*, 111, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.
- Shabanian, E., L. Siame, O. Bellier, L. Benedetti, and M. R. Abbassi, 2009a- Quaternary slip-rates along the north-eastern boundary of the Arabia-Eurasia collision zone (Kopeh Dag Mountains, north-east Iran), *Geophys. J. Int.*, 178, 1055–1077. doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04183.x.
- Shabanian, E., O. Bellier, L. Siame, N. Arnaud, M. R. Abbassi, and J. J. Cochemé, 2009b- New tectonic configuration in NE Iran: Active strike-slip faulting between the Kopeh Dag and Binalud mountains, *Tectonics*, 28, TC5002. <https://doi.org/10.1029/2008TC002444>.
- Shabanian, E., O. Bellier, M. R. Abbassi, L. L. Siame, and Y. Farbod, 2010- Plio-Quaternary stress states in NE Iran: Kopeh Dag and Allah Dag-Binalud mountains, *Tectonophysics*, 480, P: 280-304 doi:10.1016/j.tecto.2009.10.022.
- Shabanian, E., V. Acocella, A. Gioncada, H. Ghasemi, and O. Bellier, 2012- Structural control on volcanism in intraplate post collisional settings: Late Cenozoic to Quaternary examples of Iran and eastern Turkey, *Tectonics*, 31, TC3013. doi:10.1029/2011TC003042.
- Sheikholeslami, M. R., and M. Kouhpeyma, 2012- Structural analysis and tectonic evolution of the eastern Binalud Mountains, NE Iran, *J. Geodyn.*, 61, 23–46. doi:10.1016/j.jog.2012.06.010.
- Stein, S. and Wysession, M., 2003- Introduction to seismology, earthquakes and earth structure, Blackwell Publishing, Oxford, 498 pp. doi:10.1063/1.1629009.
- Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran: a review, *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 52(7), 1229–1258. doi:10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D.
- Talebian, M. & Jackson, J., 2004- A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran, *Geophys. J. Int.*, 156(3), 506–526. doi:10.1111/j.1365-246X.2004.02092.x.
- Talebian, M., Nazari, H. and Ghorashi, M., 2013- Seismotectonic Map of the Alborz. Geological Survey of Iran. Research Institute for Earth Science.
- Tavakoli, F., 2007- Present-day kinematics of the Zagros and east of Iran faults, PhD thesis, Univ. of Joseph Fourier, Grenoble, France.
- Tchalenko, J. S., 1975- Seismicity and structure of the Kopet Dag (Iran, USSR), *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, 278, 1–28. doi:10.1098/rsta.1975.0019.
- Vernant, P., Nilfouroushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H.,
- Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chery, J., 2004- Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman, *Geophys. J. Int.*, 157(1), 381–398. doi:10.1111/j.1365-246X.2004.02222.x.

Seismotectonics of the East Alborz and Kopeh- Dagh zones using local seismic network data

M. Kouhpeyma^{1*}, M. Talebian², H. Nazari², L. Chen³, A. Ghods⁴ and M. Ghorashi⁵

¹Ph.D. Student, Research Institute for Earth Sciences, Geological survey of Iran, Tehran, Iran

²Associate Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological survey of Iran, Tehran, Iran

³Professor, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science, Beijing, China

⁴Associate Professor, Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran

⁵Associate Professor, Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran

Received: 2017 July 23

Accepted: 2017 November 28

Abstract

The Kopeh Dagh and Binalud-Ala Dagh mountains are important structural elements located in the northeastern boundary of Arabia-Eurasia collision zone. Due to existence of large cities with a long history of civilization, there is a relatively rich body of data on historical seismicity in this area. Nonetheless, little adequate instrumental seismic data were available prior to this study. In this paper, we utilized the temporary China-Iran local seismic network data deployed in the area for 13 months. Based on this data, we determined 37 focal solutions through first motion polarity approach suggesting a combination of strike-slip, reverse and normal mechanisms. There is a significant concentration of epicenters and focal mechanisms around the eastern Alborz - Kopeh Dagh boundary along the Atrak River. The southern and western boundaries of the Binalud Mountains also show relatively high seismic activities. The Local magnitude (ML) of the events ranges from 3.5 to 4.9 with depths of up to 20 km, mostly concentrated at ~10 km. The principal stress axes and slip vectors obtained from the focal mechanisms agree well with kinematic state of main faults and tectonic regime of the area, confirming the seismogenic nature of these faults. In addition, they are consistent with right-lateral component of slip along thrust faults in eastern Kopeh Dagh and Binalud and both left- and right-lateral motions in the central Kopeh Dagh.

Keywords: Seismotectonic, Focal mechanism, Kopeh Dagh, Binalud, Iran.

For Persian Version see pages 199 to 208

*Corresponding author: M. Kouhpeyma; E-mail: mkouhpeyma@gmail.com