تعیین جابه‌جایی پوسته حین لرزه با استفاده از مشاهدات GPS دایمی در زمین‌لرزه ۲۱ مرداد اهر و ورزقان

الهه بکری [۱*]، حمیدرضا نانکلی [۲] و زهره رحیمی [۳]

[۱] کارشناسی ارشد، گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران
[۲] استادیار، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران، ایران
[۳] کارشناسی، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۰۹/ ۰۲/ ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: ۱۷/ ۰۶/ ۱۳۹۲

چکیده

در ساعات ۱۶:۵۳:۱۶ و ۱۷:۰۴:۳۵ روز ۲۱مردادماه ۱۳۹۱ دو زمین‌لرزه با بزرگای ۶/۱ و ۶ در مقیاس امواج پیکری استان آذربایجان شرقی را لرزاند که در آن شهرستان‌های ورزقان، اهر و هریس کانون بیشترین خسارات بودند. ژرفای هر دو زمین‌لرزه در حدود ۱۰ کیلومتر و مرکز این رویدادها به‌ترتیب در مختصات ۳۸/۵۵ درجه عرض شمالی و ۴۶/۸۷ درجه طول جغرافیایی و ۳۸/۵۸ درجه عرض جغرافیایی و ۴۶/۷۸ طول جغرافیایی است. در این پژوهش با استفاده از ایستگاه‌های دایمیGPS واقع در محدوده گسل اهر- ورزقان برای میزان جابه‌جایی حین لرزه روی این ایستگاه‌ها، سری زمانی‌ها در یک بازه ۵۲ روزه تعیین شد و نتایج حاصله از تحلیل اولیه داده‌های ایستگاه دایمی GPS پس از زمین‌لرزه، به‌خوبی جابه‌جایی حین لرزه را به میزان ۰/۵ تا ۲ سانتی‌متر روی مؤلفه مسطحاتی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد و تغییرات ارتفاعی محسوسی در تحلیل این داده‌ها مشاهده نشده است.

کلیدواژه‌ها: شبکه ژئودینامیک، GPS، زمین‌ساخت، سری زمانی، چرخه لرزه‌ای.

***نویسنده مسئول:** الهه بکری
E-mail: elahe_bekri @yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

ایران در یک منطقه فعال همگرایی بین صفحات زمین‌ساختی عربستان در جنوب و اوراسیا در شمال قرار گرفته است. این کشور به عنوان بخشی از رشته‌کوه‌های چین‌خورده رانده آلپ- هیمالیا طرح پیچیده‌ای از مجموعه پوسته‌ها، قطعات زمین‌ساخت و لرزه‌زمین‌ساختی با ویژگی‌هایی خاص است. شواهد گوناگون مانند زمین‌لرزه‌های امروزی، آتشفشان‌های نیمه فعال، سواحل بالا آمده، تداوم بالا آمدن گنبدهای نمکی، گل‌فشان‌ها، پیدایش گسل‌های لرزه‌ای و ... نشانگر تغییر و تحول ژئودینامیکی کنونی پوسته ایران و ناپایداری آن است (درویش‌زاده، ۱۳۷۰). از طرفی طبق تعریف، علم ژئودزی به عنوان علم و هنر تعیین شکل و اندازه زمین و موقعیت روی آن است که تبدیل به یکی از مهم‌ترین ابزارهای تعیین شکل و تغییرات آن در طول زمان گشته است (Vanicek & Krakiwsky, 1986) و ابزارهای قوی و قابل اطمینانی را در اختیار دانشمندان علوم زمین قرار داده، که از آن در راستای پایش و ردیابی کوچک‌ترین تغییرات در زمین، شامل تغییرات جزیی در طول زمان و یا تغییرات ناگهانی ناشی از آزاد شدن انرژی ذخیره شده در ژرفای زمین به‌وسیله پارگی سنگ و رخداد زمین‌لرزه، بهره گیرند. امروزه در میان تمام روش‌های ژئودتیکی روش GPS (Global Position System) به عنوان یکی از دقیق‌ترین روش‌های مورد استفاده در تعیین تغییرات زمانی پوسته مورد توجه واقع شده است. سامانه GPS موقعیت سه‌بعدی نسبی را با دقتی حدود چند میلی‌متر به دست می‌دهد و یکی از ویژگی‌های مهم GPS آن است که در هر شرایط آب‌وهوایی امکان استفاده از آن وجود دارد و بر خلاف روش‌های سنتی نیازی به دید مستقیم بین ایستگاه‌ها وجود ندارد (Hofmann- Wallenhof et al., 1997). از طرفی بر پایه شواهد زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی، دو نوار لرزه‌خیز اصلی در ایران قابل شناسایی است؛ نوار لرزه‌خیز (جنوبی) کوه‌های زاگرس با روند شمال باختری- جنوب خاوری و نوار لرزه‌خیز شمالی، کوه‌های البرز و کپه‌داغ (نانکلی و همکاران، ۱۳۸۹)، همگرایی بین دو صفحه عربستان و اوراسیا توسط گسل‌های بسیاری در این دو نوار لرزه‌خیز جذب می‌شود. در این میان بلوک آذربایجان به دلیل قرارگرفتن در محل تلاقی این دو نوار لرزه‌خیز، ساختار زمین‌ساختی پیچیده‌ای دارد. اندازه‌گیری انجام گرفته با استفاده از GPS در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ میلادی داده‌های جدیدی را برای تعیین عددی حرکات امروزی و تغییر شکل فعال در ایران فراهم کرده است. سرعت‌های حاصل از اندازه‌گیری با GPS درطول حاشیه شمال خاوری صفحه عربستان بیانگر آن است که صفحه عربستان نسبت به اوراسیا با سرعت کمتری در مقایسه با آنچه Demets et al. (1990) پیش‌بینی کرده بود به سوی شمال در حرکت است. به عبارت دیگر در طول جغرافیایی بحرین عربستان با سرعتی معادل با 22 ± 2^{o} E میلی متر در سال در راستای 5^{o} E $\pm$ 8 N در حرکت است. با استفاده از نتایج این اندازه‌گیری‌ها بردار چرخش صفحه عربستان نسبت به اوراسیا با متغیرهای زیر قابل تعریف است. $0/5^{o}\pm$ $27/9^{o}$ E ، $1/4^{o}\pm$ $19/5^{o}$ ، $0/1^{o}\pm$ $0/41^{o}$ Myr^{-1}

کوتاه‌شدگی در ایران به دو شکل متفاوت در بخش‌های خاوری و باختری ایران روی می‌دهد. در خاور طول ۵۸ درجه بیشتر کوتاه‌شدگی در پهنه فرورانش مکران رخ می‌دهد (۲ ± ۱۹/۵ میلی‌متر در سال) و بقیه آن (یعنی ۲ ± ۶/۵ میلی متر درسال) در منطقه کپه‌داغ مستهلک می‌شود (Vernant et al., 2004). در باختر طول جغرافیایی ۵۸ درجه تغییر شکل ناشی از همگرایی روی چندین کمربند کوهزایی توزیع یافته در طول جغرافیایی تهران، نرخ کوتاه‌شدگی در کوه‌های زاگرس و البرز به‌ترتیب ۲ ± ۶/۵ و ۲± ۸ میلی‌متر در سال است (Vernant et al., 2004).

نرخ جابه‌جایی راست‌گرد روی گسل جوان زاگرس ۲ ± ۳ میلی‌متر در سال برآورد شده است (Vernant et al., 2004)، در برابر آن نرخ کوتاه‌شدگی در شمال باختر ایران بسیار زیاد است (۲ ± ۸ میلی‌متر در سال (Vernant et al., 2004)، بلوک ایران مرکزی به‌طور نسبی به‌صورت یک جسم صلب رفتار کرده و دارای یک حرکت منسجم و یکپارچه است. نقاط واقع در خاور طول جغرافیایی ۶۱ درجه جابه‌جایی بسیار کمی را نسبت به اوراسیا نمایش می‌دهند. تفاوت سرعت و چگونگی دگرشکلی مشاهده شده در خاور و باختر ایران در قالب حرکات امتدادلغز در طول حاشیه بلوک لوت خودنمایی می‌کند. پهنه گذر زاگرس به مکران در جنوب خاور ایران با سرعتی معادل با ۲ ± ۱۱ میلی‌متر در سال به‌صورت راست‌گرد در حال حرکت است (Vernant et al., 2004).

۲–زمین‌ساخت، لرزه‌خیزی و زمین‌شناسی منطقه

از آنجا که بلوک آذربایجان به عنوان یکی از مناطق لرزه‌خیز ایران، در طول تاریخ رویدادهای زیادی را پشت سر گذاشته، به‌طوری که آثار آن از پرکامبرین (زمین‌های دگرگونی زنجان، میانه، ماکو، خوی، شمال ارومیه) تا به امروز (آتشفشان‌های سبلان و سهند) قابل مشاهده است. این بخش از ایران، محل تلاقی دو نوار کوهزایی اصلی ایران البرز و زاگرس است که به دلیل لرزه‌خیز بودن این دو نوار کوهزایی، بلوک آذربایجان دارای طرح پیچیده‌ای از حرکات زمین‌ساختی و لرزه‌ای شده است (درویش‌زاده، ۱۳۷۰). به همین خاطر، در این پژوهش به تحلیل سری‌های زمانی و جابه‌جایی پوسته حین لرزه در این منطقه از ایران پرداخته می‌شود.

حرکت رو به شمال دماغه عربستان در پلیوسن میانی (۳/۵ میلیون سال پیش)، موجب حرکت و فعالیت گسل‌های انتقالی (ترانسفرم) طالش و قفقاز شد و در نتیجه بین دریای سیاه و حوضه جنوبی دریای خزر فاصله‌ای به‌وجود آمد. با قبول این موضوع، این نتیجه به دست می‌آید که در حال حاضر، فلات آذربایجان در سوی شمال- شمال خاور به حرکت خود ادامه می‌دهد و احتمالا فعالیت آتشفشانی پلیوکواترنر سبلان و سهند، و زمین‌لرزه‌های این منطقه معلول همین جابه‌جایی‌هاست. فراوانی چشمه‌های آب گرم و استثنایی مناطق اردبیل، هروآباد، و بستان‌آباد نیز شاهدی بر این مدعا به شمار می‌آیند (Zonenshain & Lepichon, 1986).

بر پایه قوانین کلی که بر گسل‌های ایران حاکم است (آقانباتی، ۱۳۸۳؛ درویش‌زاده، ۱۳۷۰)، گسل‌های منطقه شمال باختر ایران نیز با امتداد شمال باختری- جنوب خاوری، قدیمی و دارای سازوکار امتدادلغز راست‌گرد هستند و گسل‌های مربوط به رخدادهای زمین‌ساختی چرخه آلپی بیشتر موازی روند زاگرس، یعنی دارای امتداد حدود N140 درجه هستند. البته نباید این نکته را از نظر دور داشت که ممکن است گسل‌های پنهان و یا بی‌نامی نیز در منطقه باشند که رخنمون سطحی ندارند و سازوکار آنها تاکنون کشف و بررسی نشده است. از مهم‌ترین گسل‌های فعال منطقه می‌توان به گسل تبریز، گسل ارومیه یا زرینه‌رود، گسل آستارا یا تالش وگسل سلطانیه اشاره کرد،که زمین‌لرزه‌های تاریخی مهمی روی آنها رخ داده است. همان‌گونه که اشاره شد، این پژوهش در پی آن است که با استفاده از مشاهدات ژئودتیکی حاصل از شبکه دایمی GPS ایران و IPGN، به بررسی میزان تغییر شکل پوسته زمین حین زمین‌لرزه در این منطقه از ایران بپردازد. در ادامه به‌طور خلاصه به تشریح این شبکه، چگونگی عملکرد و نتایج حاصل از آن پرداخته می‌شود.

۳– شبکه دایمی ژئودینامیک سراسری ایران

خطرات و خسارات ناشی از زمین‌لرزه‌ها در سال‌های اخیر، متخصصان و مسئولان را بر آن داشت تا به انجام مطالعات جامع‌تری در زمینه سازوکار گسل‌های موجود در ایران بپردازند. در این راستا سازمان نقشه‌برداری کشور به ایجاد یک شبکه کنترل دایم GPS، موسوم به شبکه ژئودینامیک سراسری IPGN (International permanent Gps Network) پرداخته است. شبکه دایمی ژئودینامیک سراسری ایران که در حال حاضر شامل ۱۱۳ ایستگاه است، متشکل از یک شبکه اصلی و سه شبکه فرعی است. شبکه اصلی دارای ۴۵ ایستگاه است که برای بررسی حرکات پوسته زمین، به‌طور یکنواخت در سراسر ایران پراکنده‌اند. سپس با توجه به دو متغیر لرزه‌خیزی و جمعیت در مناطق مختلف کشور، شبکه‌های فرعی با نام‌های شبکه خراسان، شبکه تهران و شبکه آذربایجان متمرکز شده‌اند (جمور و همکاران، ۱۳۸۶).

اگر چه هدف اولیه از این شبکه، مطالعات ژئودینامیکی پوسته در ایران بوده است، ولی امکان استفاده‌های دیگر از آن، مانند تقویت و نگهداری چارچوب مختصاتی کشور، ایفای نقش ایستگاه‌های مرجع در طرح‌های مختلف نقشه‌برداری، ارسال تصحیحات تعیین موقعیت آنی، مطالعات جوی و هواشناسی و تعیین بخار آب موجود در اتمسفر، مطالعات یونسفر و ... نیز وجود دارد. از تلفیق نتایج این شبکه با داده‌های زمین‌شناسی، زمین‌لرزه‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی، می‌توان در ارزیابی خطرات ناشی از زمین‌لرزه و جابه‌جایی‌های پوسته زمین بهره فراوانی برد که در طرح‌های مختلف صنعتی، عمرانی و زیست‌محیطی مورد استفاده کارشناسان امر قرار گیرد (جمور و همکاران، ۱۳۸۴).

۴– شبکه آذربایجان

به منظور بررسی و نمایش تغییر شکل پوسته زمین در قالب طرح ژئودینامیک سراسری ایران و با توجه به دو متغیر توزیع جمعیت و نقاط زمین‌لرزه‌خیز از دید خطرپذیری و با توجه به اهمیت گسل‌های فعال موجود در آذربایجان، شبکه ژئودینامیک آذربایجان طراحی شد. با توجه به شکل ۱ این شبکه شامل ۲۵ ایستگاه دایم در منطقه شمال باختر و باختر، شامل استان‌های آذربایجان غربی وآذربایجان شرقی است. از این میان، ۳ ایستگاه مربوط به شبکه ژئودینامیک اصلی است (Hofmann- Wallenhof et al., 1997).

۵– معرفی رخداد

در ساعات۱۶:۵۳:۱۶و ۱۷:۰۴:۳۵ روز ۲۱مردادماه ۱۳۹۱ دو زمین‌لرزه با بزرگای ۶/۱ و ۶ در مقیاس امواج پیکری استان آذربایجان شرقی را لرزاند که در آن شهرستان‌های ورزقان، اهر و هرسین کانون بیشترین خسارات بودند. ژرفای هر دو زمین‌لرزه در حدود ۱۰ کیلومتر و مرکز این رویدادها به‌ترتیب در مختصات ۳۸/۵۵ درجه عرض شمالی و ۴۶/۷ درجه طول جغرافیایی و ۳۸/۵۸ درجه عرض جغرافیایی و ۴۶/۷۸ طول جغرافیایی است. سازو کار کانونی زمین‌لرزه‌ها برای زمین‌لرزه اول، امتداد لغز و برای زمین‌لرزه دوم، راندگی است (شکل ۲).

این زمین‌لرزه با پدید آمدن دیگر پدیده‌های زمین‌شناختی همراه بود که در ارتباط با تکان زمین و رفتارهای خاک بودند. از جمله این پدیده‌ها می‌توان به زمین‌لغزش، سنگ‌افت (Rock- fall) جوشش ماسه و روانگرایی (Liquefaction and Sand blow) اشاره کرد. مطابق شکل ۳ گسیختگی راست‌گرد جاده آسفالت خوجا- ورزقان در ۱۷ کیلومتری جنوب خاوری شهر ورزقان همراه با راندگی بلوک شمالی روی بلوک جنوبی، گسیختگی راستا (تقریباً خاوری – باختری) دارد و جابه‌جایی افقی در این ایستگاه ۴۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است.

۶– پردازش داده‌های مورد استفاده در پژوهش

روی همه ایستگاه‌های شبکه IPGN، گیرنده‌های GPS به‌صورت ۲۴ ساعته به ردیابی و ثبت سیگنال‌های دریافتی از ماهواره‌ها می‌پردازند. اطلاعات گردآوری شده در هر ایستگاه که شامل فایل‌های مشاهداتی و ناوبری، داده‌های هواشناسی و تیلت‌متر است و توسط مراکز اصلی داده‌ها به‌صورت روزانه و با استفاده از خط تلفن و مودم دریافت شده‌اند، پس از کنترل کیفیت و تبدیل فرمت، آماده پردازش می‌شوند.

پردازش این داده‌ها توسط نرم‌افزار GAMIT-GLOBK انجام می‌گیرد که یکی از نرم‌افزارهای دقیق و علمی در زمینه مطالعه حرکات پوسته زمین و تجزیه و تحلیل مشاهدات ژئودتیک و تحت سیستم عامل لینوکس است، که توسط دانشگاه MIT آمریکا نوشته شده است. پردازش داده‌ها به‌صورت روزانه و با استفاده از اطلاعات مداری دقیق (SP3files) و با دو هفته تأخیر نسبت به مشاهدات اولیه انجام می‌شود.

به منظور اتصال با استحکام بالا به شبکه جهانی IGS، به‌دست آوردن کمیت‌های حاصل از پردازش در چهارچوب مختصات جهانی ITRF2005 (مختصات و سرعت سالانه)، بالا بردن تعداد مشاهدات و درجه آزادی شبکه، بدون پرداخت هزینه اضافی و در نتیجه بالا رفتن دقت و اطمینان کمیت‌های برآورد شده و به حداقل رساندن خطاهای محاسباتی در پردازش داده‌ها، از مشاهدات ۲۲ ایستگاه شبکه جهانی IGS نیز

بهره گرفته می‌شود (Nankali & Djamour, 2006). موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش مطابق با جدول ۱ است.

۷–نتایج تحلیل جابه‌جایی پوسته در حین زمین‌لرزه

در نتیجه پردازش‌های شبکه ژئودینامیک، به‌صورت مختصات دقیق ایستگاه‌ها در سامانه مختصات ITRF، سری‌های زمانی مختصاتی برای ایستگاه‌ها به دست می‌آید. شکل‌های ۴ تا ۸ سری‌های زمانی را در یک بازه زمانی ۵۲ روزه و در سه مؤلفه شمالی- جنوبی، خاوری- باختری و ارتفاعی N,E,UP نشان می‌دهد.

شکل ۴ سری زمانی محاسبه شده برای ایستگاه اهر را پیش از زمین‌لرزه، در حین زمین‌لرزه و پس از زمین‌لرزه نشان می‌دهد که جابه‌جایی ناشی از زمین‌لرزه روی این ایستگاه در مؤلفه شمالی- جنوبی و خاوری- باختری ۲۰ میلی‌متر است که بیانگر تأثیرگذار بودن زمین‌لرزه روی این ایستگاه است و پس از این مرحله حرکت‌های پس‌لرزه‌ای ادامه پیدا می‌کند.

شکل ۵ سری زمانی محاسبه شده برای ایستگاه آمند را پیش از زمین‌لرزه، در حین زمین‌لرزه و پس از زمین‌لرزه نشان می‌دهد که جابه‌جایی ناشی از زمین‌لرزه روی این ایستگاه در مؤلفه شمالی- جنوبی و خاوری- باختری در حدود ۵ میلی‌متر است. به‌طوری که نسبت به ایستگاه‌های اهر و خواجه تغییرات جابه‌جایی محسوس نیست و پس از این مرحله حرکت‌های پس‌لرزه‌ای ادامه پیدا می‌کند.

شکل ۶ سری زمانی محاسبه شده برای ایستگاه بهرمان را پیش از زمین‌لرزه، در حین زمین‌لرزه و پس از زمین‌لرزه نشان می‌دهد که جابه‌جایی ناشی از زمین‌لرزه روی این ایستگاه در مؤلفه شمالی- جنوبی و خاوری- باختری ۱۲ میلی‌متر است و پس از این مرحله حرکت‌های پس‌لرزه‌ای ادامه پیدا می‌کند.

شکل ۷ سری زمانی محاسبه شده برای ایستگاه تبریز را پیش از زمین‌لرزه، در حین زمین‌لرزه و پس از زمین‌لرزه نشان می‌دهد که جابه‌جایی ناشی از زمین‌لرزه روی این ایستگاه در مؤلفه شمالی- جنوبی و خاوری- باختری حدود ۱۰ میلی‌متر است و پس از این مرحله حرکت‌های پس‌لرزه‌ای ادامه پیدا می‌کند.

شکل ۸ سری زمانی محاسبه شده برای ایستگاه خواجه را پیش از زمین‌لرزه، در حین زمین‌لرزه و پس از زمین‌لرزه نشان می‌دهد که جابه‌جایی ناشی از زمین‌لرزه روی این ایستگاه در مؤلفه شمالی- جنوبی و خاوری- باختری ۲۰ میلی‌متر است و پس از این مرحله حرکت‌های پس‌لرزه‌ای ادامه پیدا می‌کند.

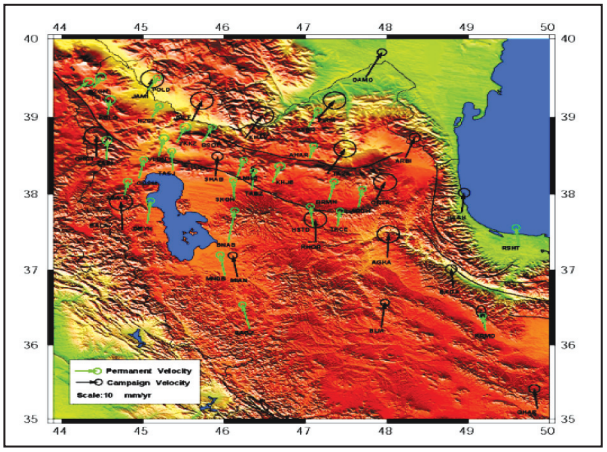
با توجه به شکل‌های ۴ تا ۸ نتیجه گرفته می‌شود که جابه‌جایی‌های ایجاد شده در سری‌های زمانی ناشی از تغییر شکل‌های هم لرزه‌ای در ایستگاه‌هاست و بستگی به ساختار زمین‌ساختی منطقه و مکانیسم گسل دارد و نیز بیان‌کننده این است که این ایستگاه‌ها تحت تأثیر زمین‌لرزه قرار گرفته و نقاط دور از گسل یعنی ایستگاه‌های تبریز، آمند و بهرمان پیش از زمین‌لرزه دارای روند افزایشی بوده و حین زمین‌لرزه جابه‌جایی کمی داشته‌اند و در ایستگاه‌های نزدیک اهر و خواجه پیش از زمین‌لرزه، حرکت قابل توجهی رخ نمی‌دهد. این رخداد می‌تواند ناشی از پدیده قفل‌شدگی در پیرامون ایستگاه اهر روی گسل باشد (Djamour et al., 2011; Masson et al., 2005) و علت کوچک بودن نرخ لغزش در باند نزدیک پیرامون گسل نسبت به دو نقطه با فاصله زیاد از آن، در دو سوی گسل، همین پدیده قفل‌شدگی است که تا یک ژرفایی از گسل رخ می‌دهد و باعث نرخ پایین راست‌گردی در فاصله نزدیک در برابر نرخ بزرگ‌تر راست‌گردی در فاصله دورتر از آن می‌شود و حین زمین‌لرزه بیشترین جابه‌جایی را نشان می‌دهد. در شکل ۹ میدان‌های جابه‌جایی حین زمین‌لرزه به‌صورت برداری مشاهده می‌شود که سوی بردارهای جابه‌جایی ایستگاه‌های آمند، خواجه، بهرمان، تبریز، حین زمین‌لرزه تغییر کرده و به سوی جنوب باختری و شمال باختری متمایل شده است.

۸– نتیجه‌گیری

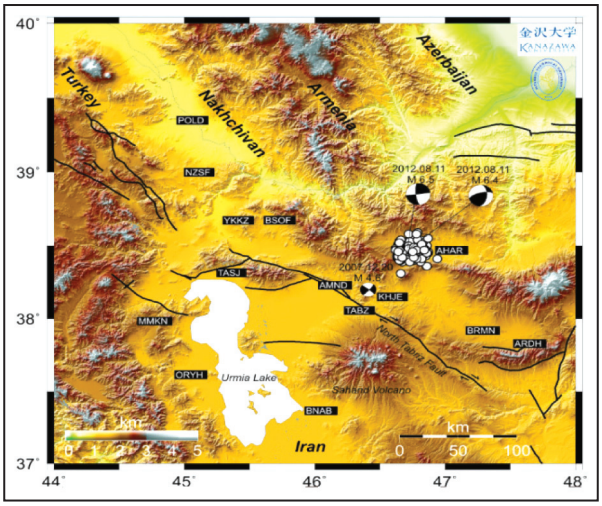
جابه‌جایی حین لرزه با استفاده از ایستگاه دایمی سازمان نقشه‌برداری برای ۵۲ روز پیش و پس از زمین‌لرزه از سال ۲۰۱۲ تعیین شد. نتایج حاصل از تحلیل سری زمانی‌های ایستگاه‌های دایمی، پس از زمین‌لرزه به خوبی جابه‌جایی حین لرزه را در منطقه نشان داده است. به‌طوری که میزان این جابه‌جایی در حین زمین‌لرزه ۵ تا ۲۰ میلی‌متر بوده است که بیشترین جابه‌جایی در ایستگاه اهر و خواجه مشاهده شده و می‌توان دلیل آن را نزدیکی این دو ایستگاه به گسل اهر در نظر گرفت. بین دو ایستگاه اهر و خواجه در طول جغرافیایی ۴۷ و ۴۶ درجه (شکل ۷)، حرکت در مؤلفه شمالی- جنوبی به‌صورت کششی و سبب یک بازشدگی شده است. شاید بتوان این نتیجه را تا حدی با ادعای Masson et al. (2005) سازگار دانست که به یک کشش در شمال بلوک آذربایجان اشاره کرده‌اند. البته مقدار این کشش خیلی قابل توجه نیست و از آنجا که شمار ایستگاه‌ها در این منطقه کم است، نمی‌توان لزوماً بر مقدار دقیق نرخ آن تأکید کرد ولی شاید بتوان این سازوکار کششی را به قرار گرفتن ایستگاه اهر در جنوب سازوکار فشاری کوه‌های قفقاز در آذربایجان نسبت داد.

سپاسگزاری

نگارندگان این مقاله مراتب سپاس خود را از داوران محترم فصلنامه و همچنین از سازمان نقشه‌برداری برای در اختیار گذاشتن داده‌ها ابراز می‌دارد.

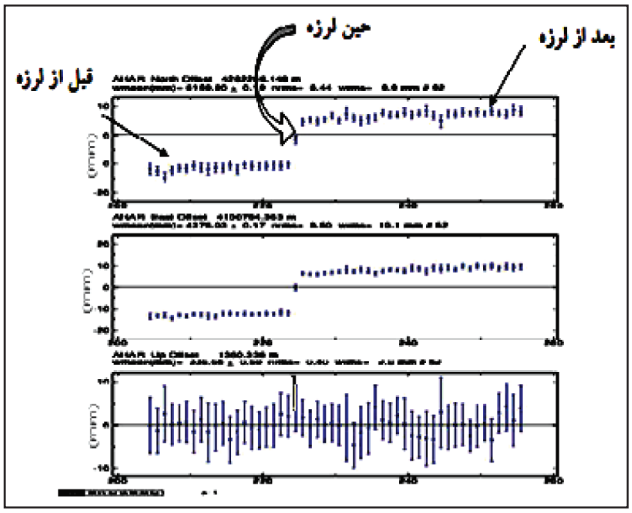


شکل ۱- پراکندگی ایستگاه‌های GPS به همراه سرعت.

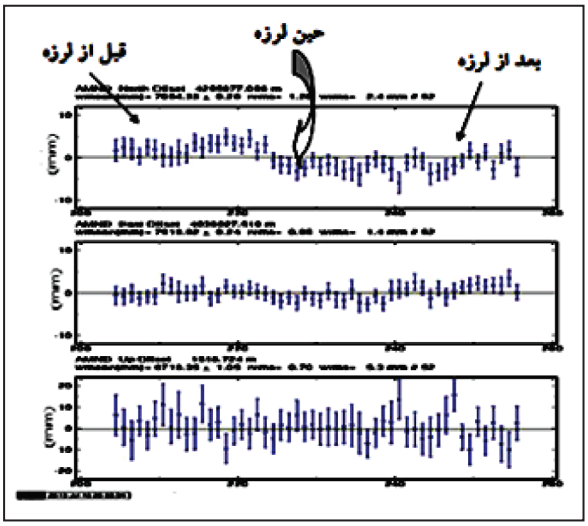


شکل ۲- سازوکار کانونی گسل و ایستگاه‌های GPS نشان داده شده است.

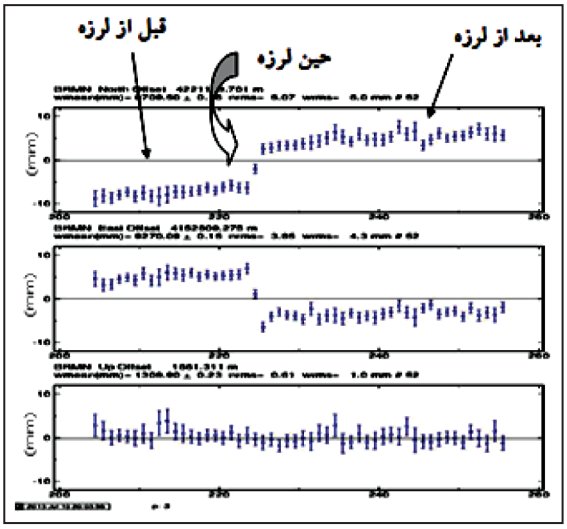
شکل ۳-گسیختگی راست‌گرد جاده آسفالت خوجا- ورزقان.



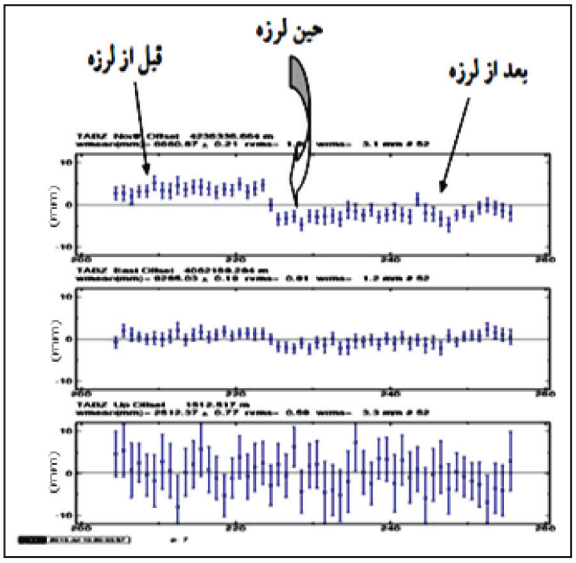
شکل ۴- سری زمانی مربوط به چرخه لرزه‌ای ایستگاه اهر.



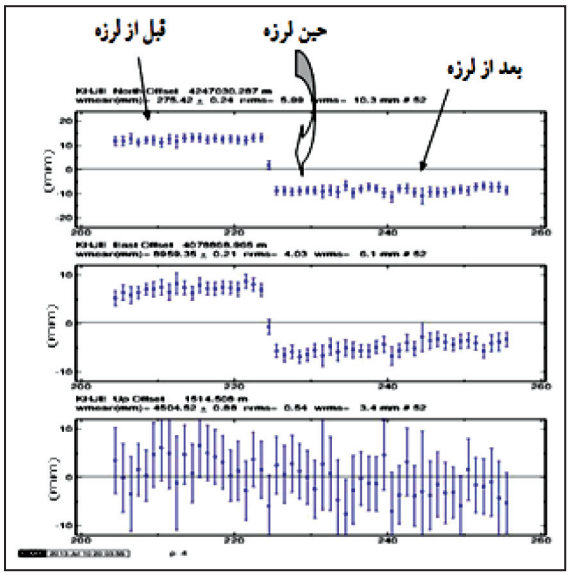
شکل ۵- سری زمانی مربوط به چرخه لرزه‌ای ایستگاه آمند.



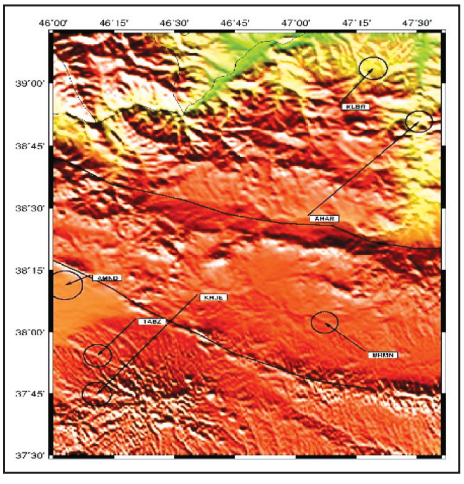
شکل ۶- سری زمانی مربوط به چرخه لرزه‌ای ایستگاه بهرمان.



شکل ۷- سری زمانی مربوط به چرخه لرزه‌ای ایستگاه تبریز.



شکل ۸- سری زمانی مربوط به چرخه لرزه‌ای ایستگاه خواجه.



شکل ۹- جابه‌جایی ایستگاه‌ها در حین زمین‌لرزه.

جدو ل ۱- نام کامل و اختصاری ایستگاه‌های GPS شبکه آذربایجان.

نام کامل	نام اختصاری	(λ)	(φ)	h
آمند	AMND	46.06	38.13	1516
اهر	AHAR	47.02	38.27	1359
بهرمان	BRMN	47.17	37.55	1660
تبریز	TABZ	46.20	38.08	1512
خواجه	KHJE	46.35	38.09	1514

کتابنگاری

آقانباتی، س. ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

جمور، ی.، موسوی، ز.، نانکلی، ح.، صدیقی، م. و توکلی، ف.، ۱۳۸۶- برآورد اولیه میدان سرعت و استرین از شبکه دائمی GPS ایران برای اهداف ژئودینامیک (IPGN)، اولین همایش پیش‌نشانگرهای زمین لرزه، اسفندماه ۱۳۸۶، مرکز مطالعات پیش‌نشانگرهای زمین لرزه مؤسسه ژئوفیزیک.

جمور، ی.، نانکلی، ح.، نعمتی، ع.، رحیمی، ز.، صادقی، ف. و بحرودی، ع.، ۱۳۸۴- طرح ژئودینامیک سراسری ایران و پیشرفت یک‌ساله آن تا دی‌ماه ۱۳۸۴، نشریه نقشه‌برداری، سازمان نقشه‌برداری کشور، سال شانزدهم، شماره ۷ (پیاپی ۷۵).

درویش‌زاده، ع.، ۱۳۷۰- زمین‌شناسی ایران، نشر دانش امروز وابسته به مؤسسه انتشارات امیرکبیر.

نانکلی، ح.، وثوقی، ب.، ثبوتی، ف.، حسامی، خ. و توکلی، ف.، ۱۳۸۹- مطالعه رفتار مکانیکی لیتوسفر در منطقه زاگرس با استفاده از مدل‌سازی عددی سه بعدی به روش المان محدود، نشریه نقشه برداری، سال بیست و یکم، شماره ۱۰۶.

References

Demets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F. & Stein, S., 1990- Current plate motions, Geophys. J. Int.,101 , 425–478.

Djamour, Y., Vernant, P., Nankali, H. & Tavakoli, F., 2011- NW Iran-eastern Turkey present-day kinematics: Results from the Iranian permanent GPS network, Earth and Planetary Science Letters, journal homepage: www.el sevier.com/ locate/epsl, EPSL-10909.

Hofmann- Wallenhof, B., Lichtenegger, H. & Collins, J., 1997- Global Positioning System, 4th Ed. (Springer, Vienna), 389p.

Masson, F., Chery, J., Hatzfeld, D., Martinod, J., Vernant, P., Tavakoli, F. & Ghafory-Ashtiani, M., 2005- Seismic versus aseismic deformation in Iran infrred from earthquakes and geodetic data,Geophys. J. Int., 160, 217-226.

Nankali, H. R. & Djamour, Y., 2006- Iranian Permanent GPS Network, GIS World, VOL. 20.

Vanicek, P. & Krakiwsky, E., 1986- Geodesy the concepts, University of New Brunswick, Canada, second Edition, Elsevier Science Publishers B. V. P. O. Box 1991, 1000 Bz Amsterdam, The Netherlands.

Vernant, Ph., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, M., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, E. R., Tavakoli, F. & Chery, J., 2004- Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS.

Zonenshain, L. P. & Lepichon, X., 1986- ”Deep basins of the Black Sea and Caspian Sea as remnanls of Mesozoic back – arc basins“,Tectonophysics, 123. PP. 181-211.

Coseismic Displacement of the Earth Crust Using Permanent GPS Stations in Ahar - Varzeqan Earthquake 2012

E. Bekri [1*], H. R. Nankali [2] & Z. Rahimi [3]

[1] M. Sc., Department of Physics, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedn, Iran

[2] Assistant Professor, National Cartographic Center, Tehran, Iran

[3] Master, National Cartographic Center, Tehran, Iran

Received: 2013 April 29 Accepted: 2013 September 08

Abstract

In the 11th August 2012 two Earthquakes trembled Azarbayjan that their scales were 6 Mw and 6.2 Mw. The locking depth of these two earthquakes is about 10 km, the epicenter of the first one is 38.55 N and 46.87 E, and the second one is 38.87 N and 46.87 E. In this research displacement of the earth crust during trembling on these stations was determined by using permanent GPS stations in Ahar Earthquake 2012. The cosiesmic offset due to the Ahar earthquake has been studied using permanent GPS Network of Azarbayjan (a sub network of Iranian permanent GPS Network). Here, we explore these issues using data processing and times series analysis of the GPS sites. We found 0.5 to 2 cm offset that the GPS site (near and far) showed from the main rapture due to earthquake.

Keywords: Geodynamic Network ,GPS, Tectonics, Times Series, Cycle Earthquake.

For Persian Version see pages 105 to 110

*Corresponding author: E. Bekri; E-mail: elahe_bekri@yahoo.com