

اختلاف بین بردار سرعت GPS و میزان کوتاه‌شدگی به سمت خاور در شمال خاور ایران - ارتفاعات بینالود

محسن خادمی^{۱*}، فرزین قائمی^۲، سید کیوان حسینی^۳ و فرخ قائمی^۴

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ سرپرست کارگاه ابزار دقیق، کارگاه سد هیروی، پاوره - کرمانشاه، ایران

^۲ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۳ استادیار، مرکز تحقیقات زمین‌لرزه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۴ مربی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

از جمله ساختارهایی که می‌توان به سازوکار زمین‌ساختی منطقه پی برد شکستگی‌ها هستند. برداشت شکستگی‌ها در فرادیواره و فرودیواره راندگی شمال نیشابور که به عنوان یک گسل فعال شناخته شده است صورت گرفته است. شکستگی‌های اطراف راندگی شمال نیشابور را به دو دسته شکستگی‌های عمود و موازی با گسل تقسیم کرده و هر دو دسته، تغییر در نوع حرکت راندگی شمال نیشابور را نشان داده و این نشانه تغییر سازوکار زمین‌ساختی در منطقه است. جدیدترین سازوکاری که برای این منطقه تعریف شده است نظریه چرخش ساعتگرد حول یک محور قائم است. نظریه چرخش بیان می‌دارد که این منطقه به سمت جنوب در حال حرکت است و هر چه به سمت خاور می‌رویم بزرگی آن بیشتر می‌شود. از آنجایی که جهت حرکت جهانی خرد قاره ایران مرکزی به سمت شمال است، حرکت به سمت جنوب این منطقه خلاف جهت حرکت جهانی است. افزایش بلندی ارتفاعات به سمت خاور که دلیلی برای بیشتر بودن میزان کوتاه‌شدگی در این منطقه است و کاهش بزرگی بردار سرعت GPS به سمت خاور خود دلیلی بر این مدعاست که کمتر شدن بردار سرعت به سمت خاور دلیل بر کم شدن میزان کوتاه‌شدگی نیست.

کلیدواژه‌ها: راندگی شمال نیشابور، چین، چرخش، بردار سرعت جهانی، بردار سرعت محلی، بردار سرعت GPS.

***نویسنده مسئول:** محسن خادمی

Email: mohsenkhademi93@gmail.com

۱- پیش‌گفتار

در سه دهه آخر، تلاش‌هایی برای مشخص کردن تغییرات سنوزویک شمال خاور ایران صورت گرفته است (Masson et al., 2007; Oomali et al., 2008; Tchalenko, 1975; AfsharHarb, 1979; Alavi, 1991; Alavi, 1992; Lyberis et al., 1998; Lyberis & Manbay, 1999; Hollingsworth et al., 2006; Hollingsworth et al., 2008; Hollingsworth et al., 2010; Shabaniyan et al., 2009 (a & b & c)).

تشخیص یک تغییر زمین‌ساختی در اواخر سنوزویک در شمال خاور ایران توسط Shabaniyan et al. (2009 a, b, c) و خادمی (۱۳۹۰) پیشنهاد شده است و نشان داده‌اند که شمال خاور ایران به صورت یکنواخت دگرگون نشده است و این تغییر در زمین‌ساخت منطقه تقریباً ۳/۵ میلیون سال پیش روی داده است که این زمان یک زمان گذری بین سازوکار زمین‌ساختی جدید و کهن در تمام منطقه در زمان سنوزویک است. خاور و شمال خاور ایران تقریباً در این زمان دچار یک تغییر زمین‌ساختی می‌شود که به صورت تغییر در نوع لغزش در بخش‌های خاوری گسل درونه (Walker & Jackson, 2004)، تغییر در روند محور چین‌خوردگی‌های ارتفاعات بینالود (خادمی، ۱۳۹۰؛ خادمی و همکاران، ۱۳۹۰)، تغییر در سازوکار رسوب‌گذاری بخش‌های خاوری کپه‌داغ (Lyberis & Manbay, 1999; Lyberis et al., 1998) و تشکیل سیستم گسلی قوچان باخاردان (سیستم گسلی نوین) (Shabaniyan et al., 2009 a & b) اعمال شده است.

در این نوشتار با کمک شکستگی‌های موجود در اطراف راندگی شمال نیشابور تغییر سازوکار زمین‌ساختی منطقه را نتیجه گرفته و این تغییر را نتیجه چرخش حول یک محور قائم دانسته و با استفاده از مدل چرخش به بررسی رابطه میان میزان کوتاه‌شدگی و بردار سرعت GPS از باختر به خاور در شمال خاور ایران پرداخته و در نهایت می‌توان گفت که علت کم شدن بردار سرعت GPS به سمت خاور نتیجه حرکات محلی ناشی از چرخش ساعتگرد منطقه حول یک محور قائم است.

۲- زمین‌شناسی منطقه

ارتفاعات بینالود در شمال خاور ایران و در راستای البرز خاوری قرار دارد (شکل ۱). زمین‌ساخت منطقه بینالود بیشتر از نوع راندگی همراه با ورقه‌های ساختاری بر روی هم رانده شده است که هر کدام از این ورقه‌ها به صورت یک ورقه راندگی واحد و یا ترکیب‌های دوپلکسی هستند (Alavi, 1992). هر کدام از این ورقه‌ها دارای ترکیب چینه‌شناسی خاص خود بوده و در زمان‌های متفاوتی شروع به فعالیت کرده‌اند. ارتفاعات بینالود به عنوان یک گوه با ساخت دوپلکسی آنتیفرمال استک شناخته شده است (Alavi, 1992). در این سیستم دوپلکسی، راندگی‌های بخش‌های شمال خاوری ارتفاعات بینالود شبیه به سمت شمال خاوری داشته و راندگی‌های بخش‌های جنوب باختری شبیه به سمت جنوب باختری دارند و حرکت در کل سیستم راندگی به سمت جنوب باختری است. راندگی شمال نیشابور یکی از این راندگی‌ها است.

۳- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه

در این نوشتار از نوع حرکات صورت گرفته بر روی شکستگی‌ها به نوع حرکت راندگی شمال نیشابور پی برده و برای توجیه تغییر نوع حرکت از تئوری چرخش استفاده شده است. به همین دلیل در ابتدا به بررسی شکستگی‌ها و در ادامه به بررسی مدل چرخش پرداخته می‌شود. برداشت شکستگی‌ها در ۵ ایستگاه و در ۱۵ روز کار عملیات میدانی صورت گرفته است (شکل ۲). برداشت شکستگی‌ها در محدوده ۲۰۰ تا ۵۰۰ متری حاشیه راندگی شمال نیشابور و به صورت خطی و محدوده‌ای انجام شد. در برداشت خطی، برداشت عمود و یا به موازات گسل در طول یک خط انجام شده و در برداشت محدوده‌ای نیز برداشت در یک محدوده مشخص، در فرادیواره و یا فرودیواره صورت گرفته است. در برداشت‌های خطی عمود بر امتداد گسل، برداشت اطلاعات از یک نقطه در فرودیواره شروع و به یک نقطه در فرادیواره ختم می‌شود. برداشت‌های خطی به موازات امتداد گسل و در نقاطی که بتوان امتداد گسل

زیاد کهن تر (۱) و خش‌لغزهای با افتادگی کم، جوان تر (۲) هستند. به دلیل اینکه این شکستگی‌ها به موازات گسل هستند، روند حرکتی که بر روی آنها ثبت می‌شود همان روند حرکتی است که بر روی گسل اصلی ثبت می‌شود.

۳-۳. شکستگی‌های عمود بر گسل

این شکستگی‌ها دارای محدوده امتدادی N69E تا N20W (جدول ۱)، یعنی تقریباً عمود بر روند راندگی شمال نیشابور هستند. این دسته از شکستگی بسته به حرکت گسل اصلی دارای حرکت‌های متفاوتی هستند. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، این دسته دارای خش‌لغزهایی با زاویه‌های افتادگی متفاوت (۹۰-۰ درجه) هستند. تفاوت در زاویه افتادگی نشان‌دهنده تفاوت در نوع حرکت بر روی این شکستگی‌ها است.

Angelier (1989) پیشنهاد می‌کند که اگر گسل اصلی دارای حرکت شبیه (راندگی یا نرمال) باشد، این دسته از شکستگی‌ها دارای حرکت امتدادلغز بوده و زاویه افتادگی خش‌لغزهای ایجاد شده کم خواهد بود. در صورتی که گسل اصلی دارای حرکت امتدادلغز باشد، این دسته از شکستگی‌ها دارای حرکت شبیه (راندگی و نرمال) بوده و زاویه افتادگی خش‌لغزهای ایجاد شده زیاد خواهد بود (شکل ۳-۱ الف) و اگر گسل اصلی دارای حرکت شبیه باشد، این دسته از شکستگی‌ها دارای حرکت امتدادلغزی هستند (شکل ۳-۱ ب). بررسی‌هایی که بر روی زاویه افتادگی خش‌لغزهای این دسته از شکستگی‌ها انجام شده، نشان می‌دهد که زاویه خش‌لغزهای این دسته نیز شبیه به شکستگی‌های موازی با گسل دارای تغییراتی است. این تغییرات نشان‌دهنده تغییر روند حرکتی بر روی راندگی شمال نیشابور است.

به طور کلی تغییر نوع لغزش گسل‌ها به دو صورت امکان‌پذیر است. (۱) تغییر روند گسل در یک منطقه با روند فشار ثابت (چرخش) و (۲) در نتیجه تغییر روند فشار بر روی یک گسل با روند ثابت. با توجه به تئوری (2003) McQuarrie که پیشنهاد می‌دهد که سازوکار زمین‌ساختی در منطقه از زمان کرتاسه تا به حال ثابت بوده است و مطالعات (2004) Walker & Jackson، (2010) Hollingsworth et al. و خادمی (۱۳۹۰) که نشان‌دهنده چرخش ساعتگرد حول یک محور قائم در نتیجه حرکت امتدادلغزی بین خرد ایران و افغانستان در طول منطقه خرد شده سیستان است، می‌توان نتیجه گرفت که تغییر در نوع لغزش در طول راندگی شمال نیشابور نیز در نتیجه چرخش به‌وجود آمده است.

۳-۴. مدل چرخش

حرکت امتدادلغزی راست‌گرد یک گسل شمالی جنوبی باعث چرخش در واحدهای زمین‌ساختی که در بالا و پایین آن قرار دارند می‌شود (شکل ۵). بخش خاوری واحدهای ساختاری که در شمال این گسل امتدادلغز قرار دارند شروع به چرخش ساعتگرد حول یک محور قائم می‌کنند. محور این چرخش تقریباً در شمال گسل امتدادلغز قرار دارد (منطقه A در شکل ۵). بردارهای سرعت چرخشی هم جهت هستند ولی بزرگی آنها با فاصله گرفتن از محور افزایش می‌یابد. برای درک بهتر مدل، در شکل ۵، از دو مرحله Step 1 (پیش از چرخش) و Step 2 (پس از چرخش) استفاده شد. همان‌طور که در Step 2 نمایش داده شده است نقطه a به نقطه a' تغییر مکان می‌دهد. این تغییر مکان در یک مسیر چرخشی صورت می‌گیرد. باید دقت شود که این جابه‌جایی‌ها (محور جابه‌جایی حاصل از چرخش یا محور جابه‌جایی چرخشی) با بردار سرعت کلی که در منطقه اتفاق می‌افتد تفاوت دارند. جابه‌جایی چرخشی یک جابه‌جایی محلی است. برای به دست آوردن بردار سرعت نهایی (Vf) باید بردار سرعت منطقه‌ای (Vre) به بردار سرعت چرخشی (Vro) اضافه می‌شود، بنابراین:

$$Vf = Vre + Vro$$

Vre و Vro دارای بزرگی و جهت هستند. برای نمونه در این جا، بزرگی Vre و Vro (در مکان 'a' که Vro دارای بیشترین مقدار است) با هم برابر گرفته شده است

را در سنگ‌هایی که توانایی شکستگی داشته باشند مشاهده کرد، انجام شده است. فرودبواره راندگی شمال نیشابور عمدتاً از سنگ‌های پالئوژن تشکیل شده و حرکات پس از پالئوژن را ثبت کرده است ولی سنگ‌های فرادبواره از سازندهای بهرام و شمشک (از ورقه‌های دیزباد و بوژان) تشکیل شده که بررسی و تحلیل شکستگی موجود در این سازندها را مشکل می‌سازد.

در مرحله بعد برای تفسیر و نمایش داده‌های برداشت شده، از نرم‌افزار win tensor استفاده شده است.

از انواع شکستگی‌هایی که در منطقه وجود دارد می‌توان به درزه‌ها و گسل‌های کوچک اشاره کرد. شکستگی‌های برداشت شده غالباً از انواع گسل‌های کوچک هستند. این دسته‌ها به صورت جداگانه بررسی می‌شوند.

در این نوشتار افزایش ارتفاع نشانه افزایش میزان کوتاه‌شدگی در منطقه در نظر گرفته شده است و برای رسیدن به این امر مقاطع توپوگرافی در دو مسیر کپه‌داغ باختری- کپه‌داغ خاوری و البرز خاوری- بینالود رسم شده است.

۳-۱-۱. گسل‌های کوچک

لغزش (خش‌لغزها و پله‌های حرکتی) و پرشدگی توسط کانی‌های ثانویه از ویژگی‌های بارز این شکستگی‌ها است. جهت حرکت در این شکستگی‌ها را می‌توان از روی پله‌ها و خش‌لغزها به‌دست آورد.

نمایش ساده تمام شکستگی‌های برداشت شده نشان می‌دهد که این شکستگی‌ها کاملاً به‌هم ریخته بوده و تفسیر آنها امری سخت و دشوار است. برای تفسیر این شکستگی‌ها، آنها بر پایه امتدادشان دسته‌بندی می‌شوند. این جدایش بدین صورت است که شکستگی‌هایی که به موازات گسل هستند به صورت جداگانه از شکستگی‌هایی که عمود بر گسل هستند، مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱).

۳-۲. گسل‌های کوچک موازی با گسل

این شکستگی‌ها دارای محدوده امتدادی N70E تا N160E (جدول ۱)، یعنی تقریباً موازی با روند راندگی شمال نیشابور هستند. این دسته از شکستگی‌ها بسته به حرکت گسل اصلی دارای حرکت‌های متفاوتی هستند. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، این دسته از شکستگی‌ها دارای زاویه افتادگی متفاوتی (۹۰-۰ درجه) هستند که نشان‌دهنده تفاوت در نوع حرکت انجام شده بر روی این شکستگی‌ها است. Angelier (1989) پیشنهاد می‌کند که اگر گسل اصلی دارای حرکت شبیه (راندگی یا نرمال) باشد، این دسته از شکستگی‌ها نیز دارای حرکت شبیه بوده و زاویه افتادگی خش‌لغزهای ایجاد شده روی آنها زیاد است (شکل ۳-۱ ب). در صورتی که گسل اصلی دارای حرکت امتدادلغز باشد (راست‌لغز یا چپ‌لغز)، این دسته از شکستگی‌ها نیز دارای حرکت امتدادلغز بوده و زاویه افتادگی خش‌لغزهای ایجاد شده نیز زیاد است (شکل ۳-۱ الف). زاویه افتادگی شکستگی‌ها نشان می‌دهد که شکستگی‌های به موازات گسل، دارای خش‌لغزهایی با زاویه افتادگی کم تا زیاد هستند. با توجه به برداشت‌های میدانی که بر روی شکستگی‌های موازی گسل انجام شده است، تغییر زاویه افتادگی خش‌لغزها به خوبی بر روی یک صفحه شکستگی قابل مشاهده است (شکل ۴). همان‌طور که در شکل ۴- الف نشان داده شده است زاویه افتادگی خش‌لغزها به صورت ممتد از ۴۵ درجه شمال خاوری (راندگی- راست‌گرد) به ۲۰ درجه شمال خاوری (راست‌گرد- راندگی) تبدیل می‌شود ولی در شکل ۴- ب و پ زاویه افتادگی خش‌لغزها به صورت ناگهانی از ۷۰ تا ۸۰ درجه شمال خاوری (راندگی- چپ‌گرد) به ۲۰ درجه جنوب باختری (راست‌گرد- راندگی) تبدیل می‌شود. همچنین خش‌لغزهای با زاویه افتادگی ۷۰ تا ۸۰ درجه جنوب باختری (غالباً شبیه) به ۲۰ درجه شمال خاوری (غالباً امتدادی) تبدیل می‌شوند (شکل ۴- ت). به علت اینکه خش‌لغزهای با زاویه کم خش‌لغزهای با زاویه زیاد را قطع کرده (شکل ۴- ب، پ و ت) و یا خش‌لغزهای با زاویه زیاد به خش‌لغزهای با زاویه کم تبدیل شده‌اند (شکل ۴- الف)، خش‌لغزهای با افتادگی

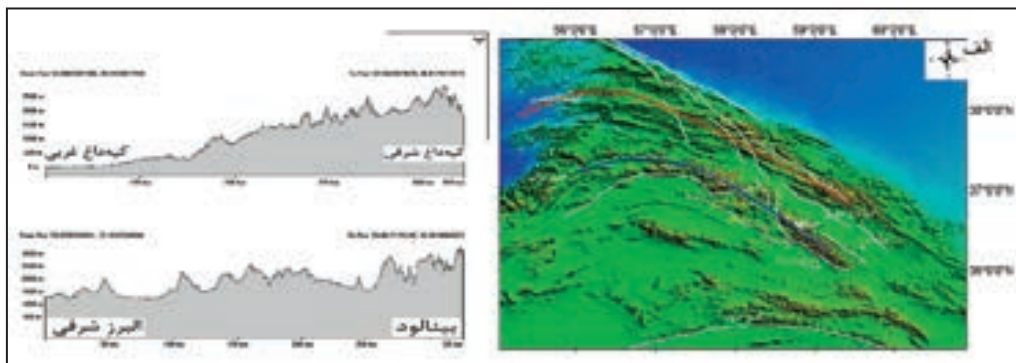
باختر به خاور کاهش می یابد (از 9 mm yr^{-1} در طول جغرافیایی سمنان تا 6 mm yr^{-1} در طول جغرافیای کاشمر و 2 mm yr^{-1} در مرز بین ایران و افغانستان در خاور ایران) (شکل ۶) و این در حالی است که مقاطع توپوگرافی نشان دهنده افزایش کوتاه‌شدگی (افزایش ارتفاع) به سمت خاور است (شکل ۱-ب).

۴- نتیجه‌گیری

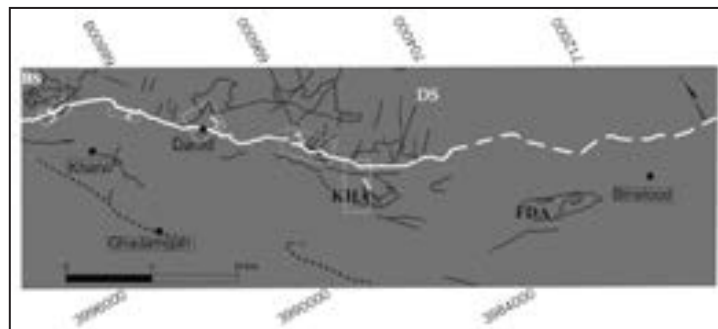
بر پایه تغییر در روند خش لغزهای برداشت شده در دامنه جنوبی ارتفاعات بینالود می توان نتیجه گرفت که زمین ساخت منطقه دچار تغییر شده است. این تغییر در نتیجه چرخش ساعتگرد حول یک محور قائم در نتیجه حرکت امتدادلغزی بین خردقاره ایران مرکزی و بلوک افغانستان در طول منطقه خرد شده سیستان است. در نتیجه چرخش، منطقه خاور شمال خاور ایران به سمت جنوب حرکت می کند و به سمت خاور بردار سرعت چرخش بزرگ تر می شود. باید توجه داشت که حرکت به سمت جنوب یک حرکت محلی است و با حرکت جهانی خردقاره ایران مرکزی که به سمت شمال است، متفاوت است. برای به دست آوردن بردار نهایی جابه‌جایی که معادل بردار سرعت GPS است، باید بردار سرعت جهانی با بردار محلی جمع شود. در بخش‌های خاوری شمال خاور ایران، بردار سرعت محلی خلاف جهت بردار سرعت جهانی است و این امر باعث می شود تا بردار سرعت نهایی یا بزرگی بردار سرعت GPS به سمت خاور کاهش پیدا کند و این در حالیست که ارتفاعات شمال خاوری ایران به سمت خاور برافراشته تر می شوند.

ولی جهت آنها مخالف هم است (شکل ۵). بنابراین V_f در این جا (a) برابر است با: $V_f = V_{re} + (-V_{ro})$ بنابراین V_f برابر با صفر می شود. در مکان 'b'، بزرگی V_{re} دو برابر بزرگی V_{ro} و جهت آنها نیز با هم مخالف است. پس در این نقطه، V_f صفر نبوده و دارای بزرگی و جهت است (شکل ۵). هم جهت با V_{re} است.

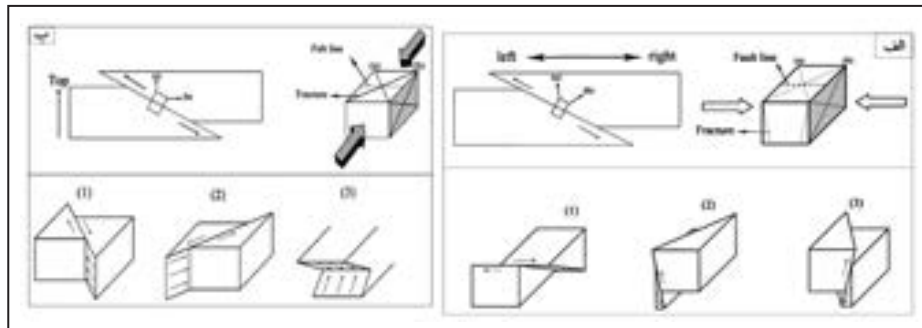
در شرایط حقیقی، سرعت GPS با بردار سرعت نهایی (V_f) برابر است. بنابراین سرعت GPS به تنهایی نمی تواند شرایط حقیقی را نشان دهد. یک نمونه از این نواقص، ارتفاعات در حال مرتفع شدن با نرخ کوتاه‌شدگی زیاد و سرعت GPS کم است. در این مناطق، جابه‌جایی‌های محلی از جمله جابه‌جایی‌های چرخشی باعث ایجاد بردار سرعت خلاف جهت بردار سرعت منطقه می شود و این امر باعث کاهش بردار سرعت نهایی یا بردار سرعت GPS می شود. در این مناطق میزان کوتاه‌شدگی افزایش می یابد و این در حالیست که بردار سرعت GPS کاهش می یابد. بر اثر حرکت امتدادلغزی بین خردقاره ایران مرکزی و بلوک افغانستان در طول منطقه خرد شده سیستان، بخش‌های خاوری، خاور شمال خاور ایران شروع به چرخش ساعتگرد حول یک محور قائم می کنند. همان‌طور که در شکل ۱-ب نشان داده شده است ارتفاعات بخش‌های خاوری البرز و کپه‌داغ به سمت خاور برافراشته تر می شوند و این دلیلی بر افزایش نرخ کوتاه‌شدگی به سمت خاور است. این در حالی است که بردارهای سرعت GPS انتشار یافته توسط Masson et al. (2007) نشان می دهد که بردار سرعت GPS در شمال خاور ایران از



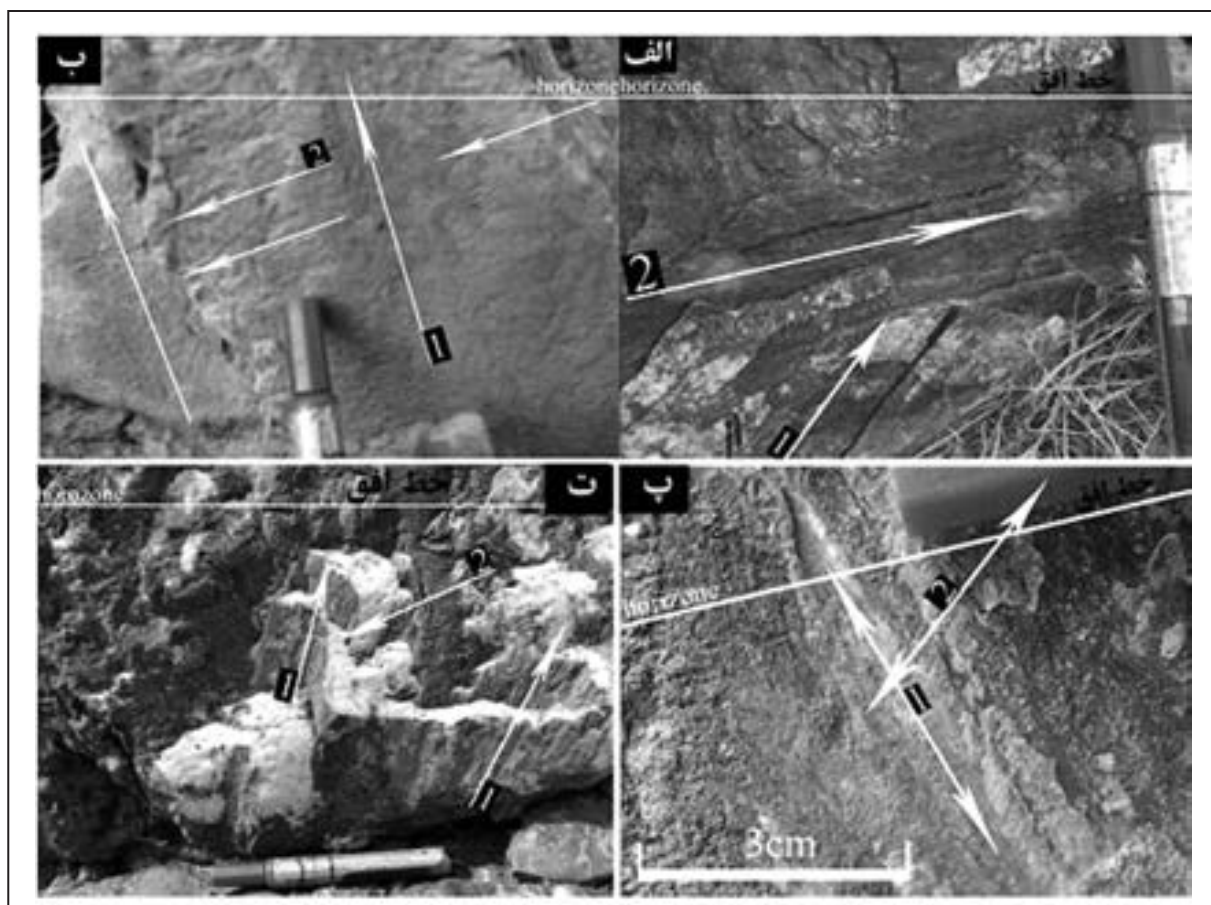
شکل ۱- الف) تصویر سایه داده SRTM شمال خاور ایران به همراه واحدهای زمین‌ساختی همجوار؛ ب) مقاطع توپوگرافی رسم شده در امتداد کپه‌داغ باختری به کپه‌داغ خاوری و البرز خاوری به بینالود.



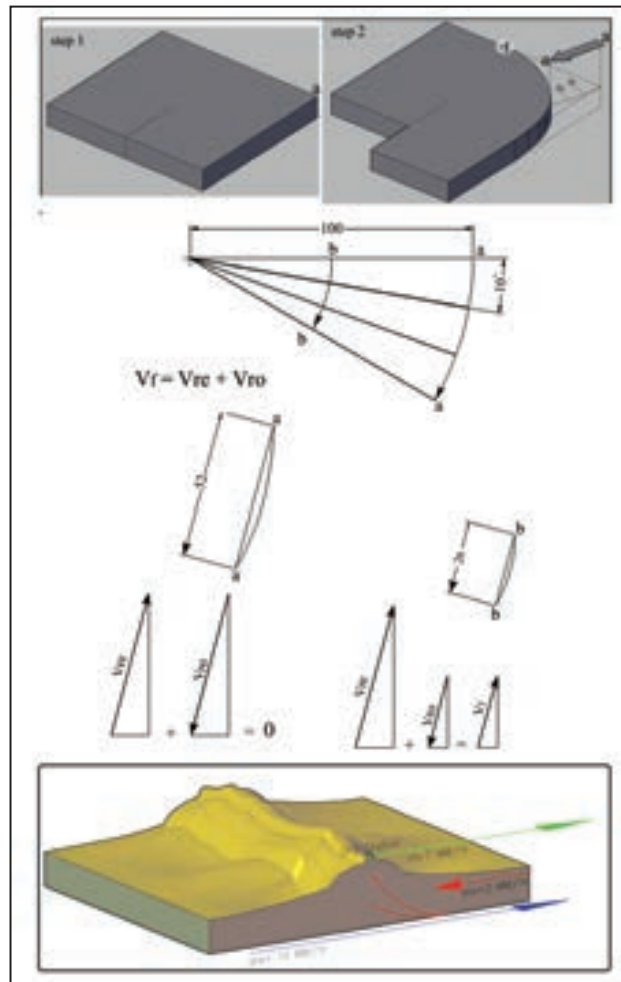
شکل ۲- نقشه زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه به همراه ایستگاه‌های مطالعاتی. ایستگاه‌ها به ترتیب از راست به چپ عبارتند از: ایستگاه آلاکتون خلخال (۱)؛ ایستگاه روستاهای گرینه و چناران (۲)؛ ایستگاه شهر دررود (۳)؛ ایستگاه روستای داس (۴)؛ ایستگاه شهر خرو (۵) و ایستگاه حصار (۶). KHA=آلاکتون خلخال. FDA=آلاکتون فخر داوود.



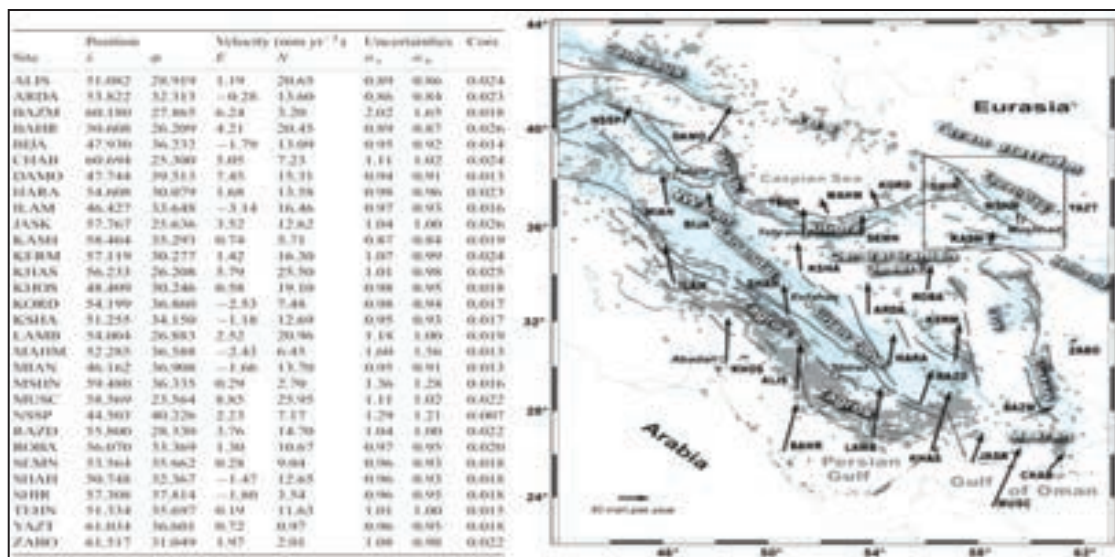
شکل ۳- رابطه لغزش شکستگی و لغزش گسل. الف) حرکت‌های متفاوت شکستگی‌های عمود (۱) و موازی (۲ و ۳) با گسل تحت تأثیر حرکت راندگی؛ ب) حرکت‌های متفاوت شکستگی‌های عمود (۱ و ۲) و موازی (۳) با گسل تحت تأثیر حرکت امتدادلغز (پس از Angelier, 1989).



شکل ۴- تغییر زاویه افتادگی خش‌لغزها. الف) تغییر تدریجی روند زاویه افتادگی از ۴۵ درجه خاوری به ۲۰ درجه خاوری (حرکت راست‌گردی). دید به سمت جنوب باختری؛ ب و پ) تغییر ناگهانی زاویه افتادگی از راندگی (۱) (۷۰ تا ۸۰ درجه شمال خاوری) به حرکت راست‌گرد (۲) (۲۰ درجه جنوب باختری). دید به سمت شمال باختر؛ ت) تغییر ناگهانی زاویه افتادگی از زیاد (بیشتر راندگی) (۷۰ درجه جنوب باختری) (۱) به کم (غالباً امتدادلغزی) (۳۰ درجه جنوب باختری). دید به سمت شمال باختر. سطح افق رسم شده است.



شکل ۵- تصویر نمادین از مدل چرخش. الف) Step 1 و Step 2 به ترتیب در بالا دست چپ و بالا دست راست قرار دارند. $A =$ محور چرخش. زاویه‌ها به درجه و اعداد به سانتی متر است؛ ب) نمایش رابطه بین بردار سرعت منطقه‌ای، بردار سرعت چرخشی و بردار سرعت GPS (نهایی).

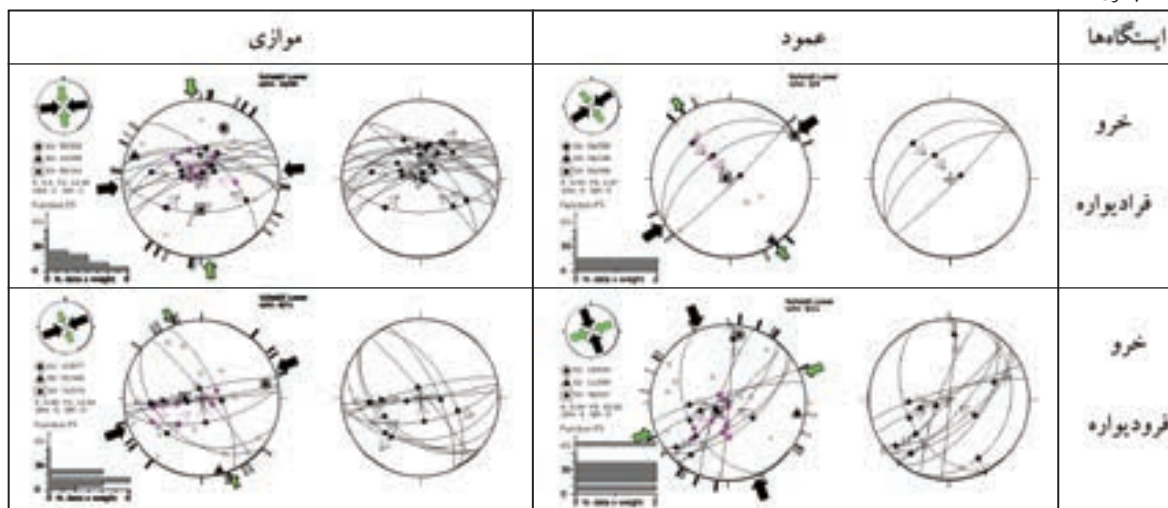


شکل ۶- بردار سرعت GPS به همراه جدول طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها و میزان جابه‌جایی‌ها در منطقه (Masson et al., 2007).

جدول ۱- گسل‌های کوچک منطقه مورد مطالعه. در بعضی ایستگاه‌ها، در چند محل برداشت داده‌ها صورت گرفته است که به صورت شماره بعد از نام ایستگاه‌ها آورده شده است. نام و محل ایستگاه‌ها در شکل ۲ مشخص شده است.

ایستگاه‌ها	عمود	موازی
خلخال		
گرینه فرادپوراه ۱		
گرینه فرادپوراه ۲		
گرینه فرودپوراه		
درود فرادپوراه		
درود فرودپوراه		
داس فرودپوراه		

ادامه جدول ۱



کتابنگاری

خادمی، م.، ۱۳۹۰- بررسی لرزه‌زمین‌ساخت راندگی شمال نیشابور (شمال شهر نیشابور)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۲۰ ص.
 خادمی، م.، قائمی، ف.، حسینی، ک. و قائمی، ف.، ۱۳۹۰- تغییر روند چین خوردگی در جنوب ارتفاعات بینالود، اولین همایش زمین‌شناس ایران، ۴ و ۵ خرداد ماه ۱۳۹۰، گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی شیراز.

References

- AfsharHarb, A., 1979- The stratigraphy, tectonics and petroleum geology of the KopetDagh region, northeastern Iran, Ph.D. thesis, Petroleum Geology Section, Royal School of Mines, Imperial College of Science and Technology, London.
- Alavi, M., 1991- Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran, Geological Society of America Bulletin, 103, 983-992.
- Alavi, M., 1992- Thrust tectonics of the Binalood region, NE Iran, Tectonics 11 (2), 360-370.
- Angelier, J., 1989- From orientation to magnitudes in paleostress determinations using fault slip data, Journal of Structural Geology, 11, No. 1, 37 to 50, 1989.
- Hollingsworth, J., Fattahi, M., Walker, R., Talebian, J., Bahroudi, A., Bolourchi, M. J. & 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., 1-33. doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04591.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/G25008A.1.
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Gheitanchi, M. R. & Bolourchi, M. J., 2006- Strike slip faulting, rotation and along-strike elongation in the KopehDagh Mountains, NE Iran, Geophys. J. Int. 166, 1161-1177. doi:10.1111/j.1365-246X.2006.02983.x.
- Lyberis, N. & Manbay, G., 1999- Oblique to orthogonal convergence across the Turan block in the postMiocene, AAPG Bull., 83(7), 1135-1160.
- Lyberis, N., Manbay, G., Poli, J. T., Kalougin, V., Yousouphocaev, H. & Ashirov, T., 1998- Post-Triassic evolution of the southern margin of the Turan plate. C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planetes / Earth & Planetary Sciences 1998. 326, 137-143.
- Masson, F., Anvari, M., Djamour, Y., Walpersdorf, A., Tavakoli, F., Daignières, M., Nankali, H. & Van Gorp, S., 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.
- McQuarrie, N., 2003- Crustal-scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. Journal of Structural Geology, 26, 519-535. DOI:10.1016/j.jsg.2003.08.009.

- Oomali, R. R., Shahriari, S., HafeziMoghaddas, N., Omidi, P. & Eftekharnajhad, J., 2008- A Model for Active Tectonics in KopeDagh (North-East Iran), *World Applied Sciences Journal* 3 (2): 312-316, ISSN 1818-4952.
- Shabanian, E., Bellier, O., Abbassi, M. R., Siame, L. & Farbod, Y., 2009c- Plio-Quaternary stress states in NE Iran: KopehDagh and Allah Dagh-Binalud mountain ranges, *TECTO-124778*, doi:10.1016/j.tecto.2009.10.022.
- Shabanian, E., Bellier, O., Siame, L., Arnaud, N., Abbassi, M. R. & Cochemé, J. J., 2009 b- New tectonic configuration in NE Iran: active strike-slip faulting between the KopehDagh and Binalud mountains, *Tectonics* 28, TC5002. doi:10.1029/2008TC002444.
- Shabanian, E., Siame, L., Bellier, O., Benedetti, L. & Abbassi, M. R., 2009 a- Quaternary slip rates along the northeastern boundary of the Arabia–Eurasia collision zone (KopehDagh Mountains, Northeast Iran), *Geophys. J. Int.* 178, 1055–1077. doi:10.1111/ j.1365-246X.2009.04183.x.
- Tchalenko, J. S., 1975- Seismicity and structure of the KopetDagh (Iran, USSR), *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, 278, 1–28, doi:10.1098/rsta.1975.0019.
- Walker, R. & Jackson, J., 2004- Active tectonics and Late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, *Tectonics*, 23, TC5010, doi:10.1029/ 2003TC001529.

Difference between GPS Velocity Vector and the Rate of Shortening toward East in the NE Iran, Binaloud Mountain

M. Khademi ^{1*}, F. Ghaemi ², S. K. Hosseini ³ & F. Ghaemi ⁴

¹ M.Sc., Geology Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad; Headman of the Instrumentation Shop of Hirvi Dam, Kermanshah, Iran

² Assistant Professor, Geology Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³ Assistant Professor, Earthquake Research Center, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

⁴ Lecturer, Geology Department, Islamic Azad University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 2013 April 22

Accepted: 2014 January 18

Abstract

The fractures are one of the structures, which can be used as a tool to unravel the tectonic processes in a region. The measurements of the fractures were conducted in the footwall and hanging wall of the North Neyshabour Thrust, which is one of the active faults of the region. We separated the fractures of the North Neyshabuor Thrust into tow sets of perpendicular and parallel to the fault, which suggests variations in tectonic condition. Clockwise rotation around vertical axis is the recent model, which is proposed for this region. Rotation model noted that the eastern part of NE Iran has been moving towards south and this magnitude increase towards the East. The southward movement of this region is in conflict with regional movement of the Iranian micro plate, which moves to the north. Increasing in elevation towards the east is caused by increasing in the shortening rate. Thus, a decrease in GPS vector towards the east suggests that the movement vector decreases towards the east. This does not indicate a decrease of shortening rate.

Keywords: North Neyshabour Thrust, Fold, Rotation, World Movement Vector, Local Movement Vector, GPS Velocity Vector.

For Persian Version see pages 99 to 106

*Corresponding author: M. Khademi; E-mail: mohsenkhademi93@gmail.com