

مطالعه تغییرات آهنگ کرنش در منطقه گذار بین زاگرس و مکران با استفاده از داده‌های بردار سرعت GPS

شاهرخ پوربیرانوند

استادیار گروه زلزله‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

* beyranvand@iiees.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۶

دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶

چکیده

منطقه گذار بین زاگرس و مکران از جایگاه خاصی در مطالعات تکتونیکی جنوب ایران برخوردار است. سازوکار گذار از ناحیه برخورد قاره‌ای در زاگرس به ناحیه فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر پوسته قاره‌ای در مکران در این منطقه باعث به وجود آمدن سوالاتی از نقطه نظر زمین‌ساخت و ژئودینامیک شده است. این سوالات به نوبه خود باعث انجام عملیات و مطالعات GPS در این منطقه و مناطق همجوار شده است. در این مطالعه از درون‌یابی بردارهای سرعت GPS بر روی یک شبکه مستطیل شکل و محاسبه کرنش در مرکز هر سلول برای مطالعه تغییرات آهنگ کرنش در این گستره استفاده شد. تغییرات مکانی قابل توجهی در محورهای اصلی آهنگ کرنش ژئودینامیکی در قسمت‌های مختلف منطقه گذار زاگرس و مکران مشاهده شد. بی‌هنجاری‌های مشاهده شده در کمیت‌های محاسبه شده، با لرزه‌خیزی و سازوکار گسلش بر روی گسل‌های مهم منطقه تطابق معنی‌داری را نشان داد. در این مطالعه همچنین برای نخستین بار روش جدیدی برای به نقشه درآوردن کمیت‌های جهت‌دار به وسیله مقیاسی رنگی با الگوی دایره‌ای پیشنهاد شد. راستای محورهای فشارشی آهنگ کرنش در منطقه مورد مطالعه به این روش به نقشه درآمد و بی‌هنجاری‌های قابل مشاهده در این نقشه با نقشه‌های آهنگ کرنش اتساعی و آهنگ کرنش برشی بیشینه مقایسه و مورد تعبیر و تفسیر بر مبنای واقعیات و مشاهدات زلزله‌شناختی قرار گرفت. بر این اساس مشخص شد که شدت لرزه‌خیزی با بزرگای محورهای فشارشی و کششی آهنگ کرنش متناسب است. همچنین بی‌هنجاری‌هایی در آهنگ کرنش برشی بیشینه مشاهده شد که با حرکت‌های راستالغز بر روی گسل میناب ارتباط دارد.

واژه‌های کلیدی: اتساعی، آهنگ کرنش، برشی بیشینه، سازوکار گسلش، مخاطرات لرزه‌ای، منطقه گذار زاگرس-مکران، GPS

۱- پیشگفتار

منطقه به انجام رسیده است (به عنوان مثال بایر و همکاران، ۲۰۰۶؛ یمینی فرد و همکاران، ۲۰۰۷). منطقه مکران در مجاورت زاگرس، در جنوب شرق ایران و جنوب پاکستان واقع شده است و بخشی از مرز صفحه‌ای اوراسیا-عربستان به حساب می‌آید که در آن پوسته اقیانوسی صفحه عربستان واقع در دریای عمان از اوایل کرتاسه با شیب کم به سوی شمال، شروع به فرورانش به زیر صفحه اوراسیا نموده است. مرز غربی زون فرورانش مکران که آن را از منطقه برخورد قاره‌ای زاگرس جدا می‌کند توسط سیستم گسلی میناب (مگی و همکاران، ۲۰۰۲) مشخص می‌شود. در مرز شرقی مکران سیستم‌های گسلی امتداد لغز چپ‌گرد اصلی، ارنچ نال و چمن وجود دارند که متناسب با حرکت بین صفحه اوراسیا و بخش غربی صفحه هند می‌باشند. آتشفشان‌های کواترنری در بخش شرقی مکران نسبت به بخش غربی فاصله بیشتری از جبهه

در ایران، در خلال همگرایی بین صفحات عربی در جنوب غرب و اوراسیا حرکت نسبی شمال-شمال شرقی صفحه عربی نسبت به اوراسیا از غرب به شرق از ۱۸ تا ۲۵ میلی‌متر در سال تغییر پیدا می‌کند و قطب این چرخش در آفریقای شمالی قرار دارد (والپرسدورف و همکاران، ۲۰۰۶). بر اساس مطالعات GPS کوتاه‌شدگی شمالی-جنوبی از ۹ mm/yr در قسمت‌های جنوب شرقی تا حدود ۴ mm/yr در قسمت‌های شمال غربی در زاگرس تفاوت نشان می‌دهد (ورنانت و همکاران، ۲۰۰۴؛ ماسون و همکاران، ۲۰۰۵). کمربند کوهستانی زاگرس از گسل آناتولی شرقی در ترکیه تا فرورانش مکران در جنوب ایران امتداد دارد. بنا به پیچیدگی‌های بسیار این منطقه کوهزایی و اهمیت آن در همگرایی صفحات عربی و اوراسیا و دگرشکلی‌های حاصل از آن، مطالعات فراوانی در این

گونگون بوده است. منطقه گذار بین زاگرس و مکران یک ناحیه ترفشارشی است. در جنوب شرق زاگرس دو سیستم گسلی میناب-زندان-پالامی و جیرفت-سبزواریان وجود. عمق زمین‌لرزه‌ها در منطقه گذار به حدود ۲۵ کیلومتر محدودی می‌شود. با پیشروی به سمت مکران بر عمق زمین‌لرزه‌ها افزوده می‌شود که به دلیل فرورانش فعال در منطقه مکران است. سامانه گسلی میناب که در مرز غربی مکران قرار دارد محل اتصال دو ناحیه برخورد قاره‌ای و فرورانش اقیانوسی-قاره ای است (بربریان، ۱۹۹۵). گسل‌های عمده منطقه گسل‌های امتدادلغز و معکوس می‌باشند. جهت تنش تقریباً عمود بر روند غالب NNW گسل‌ها قرار می‌گیرند و یک تغییر ناگهانی از لرزه‌خیزی شدید در زاگرس تا سکوت نسبی در غرب مکران مشاهده می‌شود (جکسون و مکنزی، ۱۹۸۴). عمق زمین‌لرزه‌های ۴ مارس ۱۹۹۹؛ ۱۴ فوریه ۲۰۰۳؛ و ۲۸ فوریه ۲۰۰۶، نشان می‌دهد که لایه لرزه‌زا برای زلزله متوسط در منطقه گذار محل برخورد زاگرس و سیستم گسلی جیرفت-سبزواریان، که بیشتر از ۲۰ کیلومتر است، که عمیق‌تر از رویدادهای مکران در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه است (مصطفی‌زاده و اشکپور مطلق، ۲۰۱۲). در غرب سیستم گسلی زندان-میناب-پالامی (ZMP) تا گسل زاگرس مرتفع (HZF) رویدادهایی با مولفه حرکت امتدادلغز مشاهده شده است که مولفه امتدادلغز آن‌ها می‌تواند تحت تاثیر حرکت راستگرد سیستم گسلی زندان-میناب-پالامی (ZMP) باشد (غلامزاده، ۱۳۸۸).

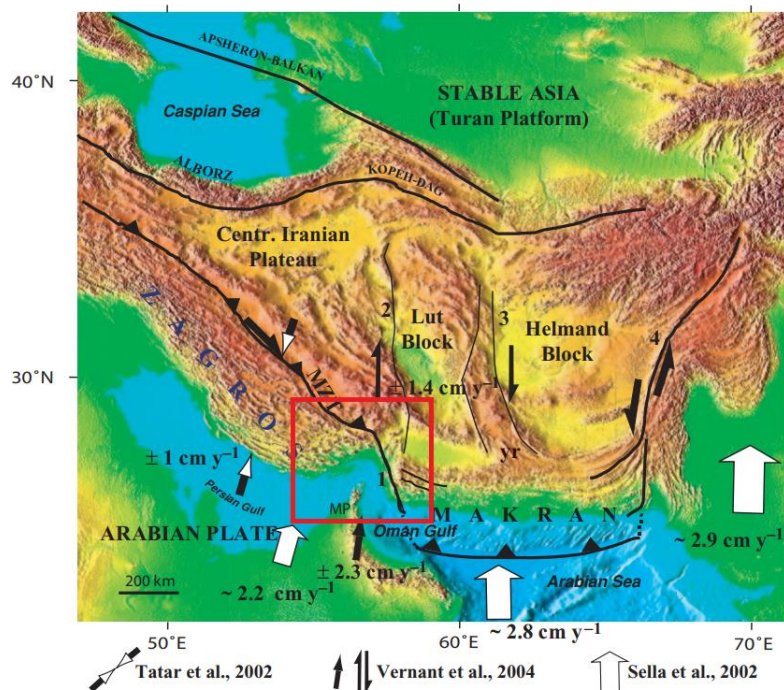
در ادبیات زمین‌شناسی این منطقه گاهی از خط عمان، خطی فرضی که دو سوی تنگه هرمز را با در نظر گرفتن خصوصیات زمین‌شناختی و لرزه‌ای متفاوت خود از یکدیگر جدا می‌کند نیز نام برده می‌شود. داده‌های ژئوفیزیکی مختلف از جمله مطالعات مغناطیسی-سنجی اختلافاتی را در دو سوی خط عمان آشکار می‌کند. به طوری که در ادامه خواهد آمد این اختلافات در راستای تنش‌های اصلی نیز در منطقه قابل مشاهده هستند. منطقه گذار بین زاگرس و مکران، ایستگاه‌های لرزه‌نگاری (مثلث‌های قرمز) و ایستگاه‌های GPS (مثلث‌های سفید) موجود در منطقه در شکل ۲ نمایش داده شده است. از سوی دیگر مطالعات GPS در منطقه با گسترش تدریجی شبکه ژئودینامیک دائمی و عملیات GPS مختلف در منطقه توسعه یافته است. مطالعات GPS متعددی در ایران انجام شده است که برخی

فرورانش دارند. از نظر هندسه فرورانش مکران یک گوه برافزایشی است که ناشی از تجمع رسوبات ناشی از فرورانش است. این رسوبات توسط پوسته اقیانوسی فرورونده به مرز فرورانش حمل شده در آنجا انباشته می‌شود. از این نظر مکران با ضخامت رسوباتی در حدود ۷ کیلومتر یکی از ضخیم‌ترین گوه‌های برافزایشی دنیاست. نرخ همگرایی در امتداد زون فرورانش مکران در حدود ۲ سانتی‌متر در سال برآورد شده است و این مقدار بطور جزئی از غرب به شرق افزایش می‌یابد (ظریفی، ۲۰۰۶). زمین‌لرزه بزرگ ۱۹۴۵ با بزرگای $M_w = 8.1$ (تنها زلزله بزرگ ثبت شده در مکران) یک رخداد تراسستی درون‌صفحه‌ای بود که تقریباً یک پنجم طول ناحیه فرورانش را دچار گسیختگی کرد. ۹ رخداد کوچک‌تر در شرق مکران که در سطح مشترک صفحه یا نزدیک به آن قرار داشتند، سازوکارهای راندگی مشابه زمین‌لرزه اصلی سال ۱۹۴۵ را نشان دادند. زمین‌لرزه‌های تراسستی مکران در عمق ۷۰ تا ۸۰ کیلومتری قرار دارد و گوه برافزایشی پوشاننده هم در حین و هم در بین زمین‌لرزه‌های بزرگ غیرلرزه‌ای باقی می‌مانند. این ناحیه غیرلرزه‌خیز، مانند سایر مناطق فرورانش، در آن قسمت از گوه برافزایشی قرار دارد که از رسوبات عمدتاً تحکیم نشده (سرعت‌های لرزه‌ای کمتر از ۴۰ کیلومتر بر ثانیه) تشکیل شده است (بایرن ۱۹۹۲). مکران یک فرورانش دو وجهی است، زیرا شواهد ژئومورفولوژیکی و لرزه‌ای به ترتیب حاکی از یک ناحیه شکستگی سطحی جانبی NNW راست‌بر در پوسته قاره‌ای و یک منطقه شکستگی شمال غربی عمیق چپ‌بر در پوسته اقیانوسی می‌باشد. رخدادهای لرزه‌ای بزرگی مانند زمین‌لرزه‌های چابهار ۱۹۸۹ (MW 5.5) و گوادر ۱۹۴۵ (MW 8.1) به ترتیب در جنوب جبهه فرورانش غرب و شرق مکران رخ داده اند. این زمین‌لرزه‌ها در عمق کم رخ داده‌اند و شواهدی از جفت‌شدگی ضعیف و قوی بین پوسته‌های اقیانوسی و قاره‌ای در گسل‌های معکوس با زاویه‌های کم و یا بسیار کم هستند (نعمتی، ۲۰۱۸). نقشه تکتونیکی منطقه شامل گسل‌های مورد اشاره در شکل ۱ نمایش داده شده است.

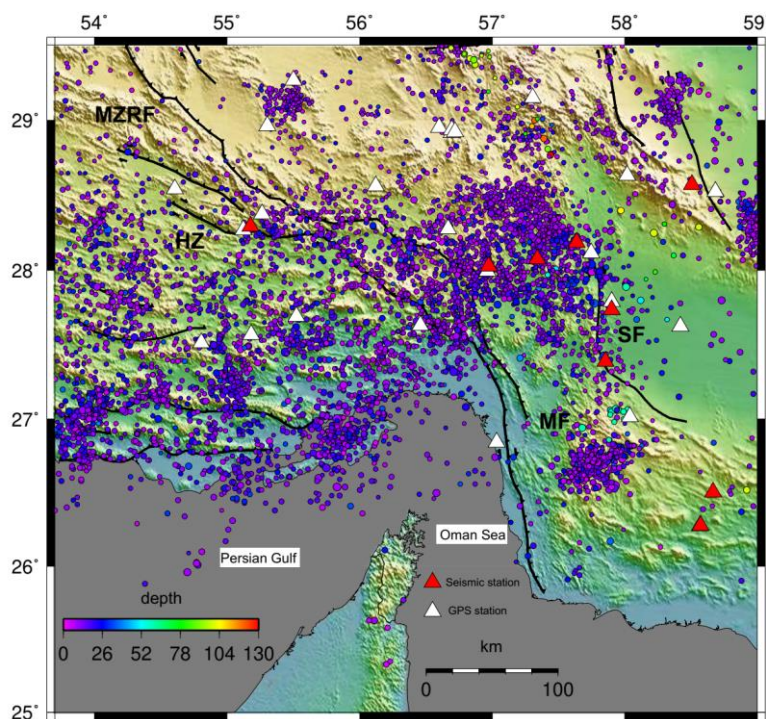
منطقه گذار بین زاگرس و مکران، محل تلاقی دو ایالت مهم لرزه زمین‌ساختی زاگرس و مکران است و به علت تفاوت‌های قابل مشاهده در زمین‌شناسی و لرزه زمین-ساخت دو طرف تنگه هرمز، همواره محل ایجاد پرسش‌های

طور خاص منطقه گذار بین زاگرس و مکران را تحت پوشش قرار داده اند (بیر و همکاران، ۲۰۰۶؛ پیرت و همکاران، ۲۰۰۹؛ پنی و همکاران، ۲۰۱۵).

به طور کلی تمام کشور را پوشش داده‌اند (نیلفروشان و همکاران، ۲۰۰۳؛ ورنانت و همکاران، ۲۰۰۴؛ ماسون و همکاران، ۲۰۰۵؛ رلینگر و همکاران، ۲۰۰۶) و برخی به



شکل ۱. وضعیت کلی ژئودینامیک جنوب ایران و مناطق همسایه (با تغییر از ریگارد و همکاران، ۲۰۰۵). محدوده مورد مطالعه با چهارگوش قرمز نشان داده شده است.



شکل ۲. لرزه‌خیزی منطقه گذار زاگرس-مکران به همراه گسل‌های منطقه و ایستگاه‌های لرزه‌نگاری و GPS. عمق زمین‌لرزه‌ها با مقیاس رنگی مشخص شده است کاتالوگ مورد استفاده از مرکز لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران از سال ۲۰۰۶ تاکنون می‌باشد. گسل‌های مهم منطقه به شرح زیر در شکل نشان داده شده‌اند:

(MF: Minab fault, SF: Sabzpushan fault, HZ High Zagros fault, MZRf: Main Zagros Reverse fault)

قرار گرفتن در معرض زمین‌لرزه است (وانگ، ۲۰۰۹). هدف از انجام این پژوهش، مطالعه تغییرات کرنش در منطقه گذار زاگرس-مکران و تاثیر آن بر مخاطرات لرزه‌ای است. در این راستا نشان داده خواهد شد که بر اساس مطالعه حاضر که با استفاده از داده‌های بردار سرعت GPS به بررسی آهنگ کرنش ژئودتیک پرداخته، چه مناطقی بر اساس بی‌هنجاری‌های مشاهده شده در نقشه‌های آهنگ کرنش مساحتی و همین‌طور آهنگ بیشینه کرنش برشی دارای مخاطرات لرزه‌ای بالاتری برای انسان و محیط او هستند. وجود شهرهای بزرگ، بندرهای مهم و همچنین سرمایه‌گذاری‌های کلان انجام شده در این بخش از کشور اهمیت مطالعاتی از این دست را برای منطقه مورد مطالعه دو چندان می‌سازند.

۲- داده‌ها

برای محاسبه آهنگ کرنش به بردارهای سرعت به دست آمده از پردازش داده‌های GPS نیاز است. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه از مقاله منتشر شده توسط لپیچون و کریمر در سال ۲۰۱۰ گرفته شده است. این مجموعه داده خود با تلفیق ایستگاه‌های مختلف دائمی و موقتی GPS تشکیل شده (شکل ۳). چهارچوب مرجع مورد استفاده در این مجموعه از داده‌ها اوراسیا است. داده‌های مورد استفاده در مطالعه مذکور شامل ۲۳ ایستگاه GPS می‌باشد که در گستره طول جغرافیایی ۵۳/۷ تا ۵۹ و عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۲۹/۵ درجه پراکنده‌اند. سرعت‌های ایستگاه‌ها برای تمام سری‌های زمانی با طول بیش از ۲/۵ سال، در حالی که برای سیگنالی سالانه و شش ماهه به طور همزمان حل می‌شدند، استخراج گردیدند (لپیچون و کریمر، ۲۰۱۰). کل داده‌های مورد اشاره، در پیوست ۱ آورده شده و قسمتی از داده‌ها که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته در جدول ۱ نمایش داده شده است.

۳- روش تحقیق

اندازه‌گیری‌های کوتاه مدت ژئودتیک در سراسر نواحی مرز بین صفحات اغلب توافق قابل توجهی با آهنگ‌های بلندمدت حرکت صفحه‌ای نشان می‌دهند. به عنوان مثال در کالیفرنیا اندازه‌گیری‌هایی که در مقیاس زمانی ۵-۱۰ ساله با تداخل سنجی خط مبنای خیلی بلند VLBI

به طوریکه در شکل ۲ دیده می‌شود توزیع لرزه‌خیزی در منطقه مورد مطالعه یکنواخت نبوده و مراکز تجمع رخداد‌های لرزه‌ای در مناطق مختلف قابل مشاهده هستند. برخی از این مناطق تجمع، با گسل‌های شناخته شده مطابقت دارند و برخی دیگر با هیچ گسل شناخته شده‌ای که به نقشه درآمده باشد مطابقت ندارند. این واقعیت نشان می‌دهد که گسل‌های فعال بسیاری در سرتاسر منطقه مورد مطالعه وجود دارند که به نقشه در آوردن آن‌ها نیازمند مطالعات بیش‌تر است.

همچنین ایستگاه‌های لرزه‌نگاری و ایستگاه‌های GPS در شکل ۲ به نمایش درآمده‌اند. هدف از این اقدام نشان دادن توزیع ایستگاه‌ها به منظور بررسی امکان تاثیرپذیری مشاهدات از نحوه توزیع ایستگاه‌ها می‌باشد. به طوری که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود در مطالعات قبلی در منطقه نیز تصریح شده است، کمبود لرزه‌خیزی در مکران غربی ارتباطی به نحوه پوشش ایستگاه‌های لرزه‌نگاری ندارد و از شرایط لرزه زمین‌ساختی این منطقه ناشی می‌شود. به طوریکه در شکل ۲ ملاحظه می‌شود لرزه‌خیزی در قسمت‌های مختلف منطقه مورد مطالعه توزیع متفاوتی را نشان می‌دهد و به طور کلی می‌توان گفت که لرزه‌خیزی در قسمت‌های باختری بیشتر از قسمت‌های خاوری منطقه است. خوشه‌های متعددی از زمین‌لرزه‌ها در نواحی مختلف شکل گرفته‌اند که نشان از وجود گسل‌های فعال در منطقه است. لرزه‌خیزی در ناحیه گذار بین دو پهنه لرزه زمین‌ساختی زاگرس و مکران در امتداد خط عمان به بیشترین مقدار خود می‌رسد. زمین‌لرزه‌ها در سمت باختری خط عمان مشخصات عمومی پهنه لرزه زمین‌ساختی زاگرس را به صورت زمین‌لرزه‌های پراکنده با عمق و بزرگای کم نشان می‌شوند. در سمت خاوری منطقه مورد مطالعه و سمت راست خط عمان لرزه‌خیزی کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته و به استثنای خوشه متمرکزی که در اطراف سامانه گسلی میناب مشاهده می‌شود تقریباً فعالیت لرزه‌ای عمده‌ای در محدوده مورد نظر به چشم نمی‌خورد. مخاطره لرزه‌ای^۱ یک پدیده طبیعی مانند تکان زمین، گسیختگی گسل یا روان‌گرایی خاک است که در اثر زمین‌لرزه ایجاد می‌شود، در حالی که خطر لرزه‌ای^۲ احتمال وارد آمدن آسیب به انسان یا محیط زندگی او در صورت

³Very Long Baseline Interferometry

¹ seismic hazard

² seismic risk

صفحات استرالیا و اقیانوس آرام مورد توجه قرار گرفت (والکوت، ۱۹۸۴). با استفاده از روش هاینس (۱۹۸۲) و والکوت (۱۹۸۴) توزیع‌های آهنگ کرنش برشی ژئودینامیک مدل‌سازی شد.

انجام شد (ارگوس و گوردن، ۱۹۹۰؛ وارد، ۱۹۹۰) حرکات مربوط آهنگ‌های صفحه‌ای بلند مدت را نشان داد (دمتس و همکاران، ۱۹۹۴). این هماهنگی بین آهنگ‌های بلند مدت و کوتاه مدت ابتدا در زلاندنو در مرز صفحه‌ای بین

جدول ۱. داده‌های سرعت GPS مورد استفاده در این مطالعه

No.	Lon	Lat	Ve	Vn	$1\sigma_{Ve}$	$1\sigma_{Vn}$	R	station
1	54.004	26.883	2.188	21.346	1.18	1	0.019	LAMB
2	54.004	26.883	4.522	20.836	1.16	0.98	0.051	3435
3	54.004	26.883	2.808	22.865	1.63	1.17	0.012	LAMB
4	54.126	29.923	-1.992	15.271	0.86	0.85	0	KHO2
5	54.316	29.239	-2.692	14.214	0.88	0.86	0	TMN2
6	54.32	27.644	-0.106	19.145	0.91	0.88	0	LAR2
7	54.381	26.937	3.603	21.029	0.78	0.62	0.001	3427
8	54.463	27.751	2.896	15.149	0.98	0.78	-0.018	3157
9	54.503	28.342	2.37	16.539	1.16	0.94	0.08	3165
10	54.7	28.645	-2.475	14.662	0.87	0.85	0	DEH2
11	54.723	27.06	4.963	22.001	0.84	0.7	0	3461
12	54.832	29.363	-1.694	14.695	0.87	0.85	0	BES2
13	55.19	29.336	0.414	10.434	1.42	1.2	0.06	2943
14	55.32	27.939	0.967	15.375	0.96	0.76	0.02	3387
15	55.657	27	4.838	24.577	2.08	1.79	0.03	BAGH
16	55.78	28.936	2.349	12.038	1.18	0.86	-0.022	2951
17	55.8	28.33	3.44	15.083	1.04	1	0.022	RAZD
18	55.867	27.651	1.495	19.495	2.04	1.78	0.026	FINO
19	55.895	28.294	2.721	20.337	1.2	1.16	-0.003	LADA
20	55.895	28.315	3.796	14.519	1.6	1.26	0.134	101
21	55.918	28.302	-0.202	18.264	1.37	1.04	-0.025	HAJI
22	56.162	27.366	3.964	21.476	2.04	1.79	0.027	GENO
23	56.233	26.208	5.461	25.883	1.01	0.98	0.025	KHAS
24	56.233	26.208	3.786	25.165	1.54	1.15	0.014	KHAS
25	56.504	28.529	4.055	15.21	1.98	1.73	0.023	DENA
26	56.946	27.488	-1.76	19.552	1.99	1.75	0.026	SARZ
27	57.1	27.16	0.96	23.255	1.89	1.64	0.03	MINA
28	57.217	28.01	1.652	16.147	1.9	1.67	0.029	GHOL
29	57.237	26.379	2.108	24.183	2.01	1.75	0.029	POOS
30	57.62	26.993	0.705	14.239	1.93	1.69	0.029	MOSH
31	57.767	25.636	3.193	13	1.04	1	0.026	JASK
32	57.767	25.636	2.673	14.481	1.2	1.06	0	JASK
33	57.884	27.901	1.215	13.632	1.97	1.69	0.031	SORC

هاینس و هولت (۱۹۹۳) برازشی چند جمله‌ای را توصیف کردند که امکان تعیین حرکات نسبت به هر منطقه یا نقطه مشخص شده را در ناحیه دگرشکلی در سطح زمین کروی

هاینس (۱۹۸۲)، والکوت (۱۹۸۴)، و بیبی و همکاران، (۱۹۸۶) حرکات در زلاندنو را نسبت به یک خط که فرض شده بود به صورت صلب عمل می‌کند تعیین کردند.

مؤلفه‌های آهنگ کرنش $\dot{\gamma}_1$ و $\dot{\gamma}_2$ را از اطلاعات گسل به دست می‌آوریم. اطلاعات روی آهنگ واگرایی افقی در داده‌های آهنگ فراخاست سنگ‌ها جای داده شده است (والکوت، ۱۹۸۴). مقدار زیاد فراخاست می‌تواند با گسلش در راستای ساختارهای عمده همراه باشد. همچنین برخی از فراخاست‌ها می‌توانستند با کوتاه‌شدگی بر روی ساختارهای رانده‌ای که غلبه کمتری دارند و بین گسل‌های راستالغز عمده واقع شده‌اند، همراه باشد. به دلیل ارتباط قوی‌تر بین مقادیر آهنگ کرنش اتساعی و پارامترهای مهم در بررسی مخاطرات لرزه‌ای (لرزه‌خیزی) در ادبیات مرتبط با موضوع و پیشینه پژوهش، در این مطالعه از تغییرات در جهت تفسیر مشاهدات استفاده خواهد شد.

۴- یافته‌های تحقیق: جهت آهنگ کرنش از مطالعات GPS

آهنگ کرنش با درون‌یابی سرعت GPS بر روی یک شبکه مستطیل شکل و سپس با مشتق‌گیری در مرکز هر سلول، با استفاده از روش توسعه یافته توسط هاینس و همکاران، (۱۹۹۸) به دست آمده است. سلول‌های شبکه دارای ابعادی در حدود ۰/۲ درجه هستند. جهت بزرگ‌ترین آهنگ کرنش‌های فشارشی و کششی افقی در اینجا به ترتیب به عنوان $(\dot{\epsilon}_{Hmax})$ و $(\dot{\epsilon}_{Hmin})$ تعریف شده است. در شکل ۳ بردارهای سرعت GPS مورد استفاده در این مطالعه بر روی پس‌زمینه رنگی که نشان‌دهنده آهنگ کرنش اتساعی (رابطه ۶) می‌باشد نشان داده شده است. در شکل ۴ بزرگ‌ترین آهنگ کرنش افقی کششی و فشارشی در محدوده مورد مطالعه به ترتیب توسط میله‌های سیاه و قرمز در مرکز سلول‌های شبکه گریدبندی شده، بر روی پس‌زمینه رنگی که نشان‌دهنده آهنگ کرنش برشی (رابطه ۴) می‌باشد نشان داده شده است. دو خط عمود نشان‌دهنده محور آهنگ کرنش با بزرگی ۱۰۰ نانواسترین بر سال برای هر دو محور، در راهنمای واقع در گوشه پایین سمت راست نشان داده شده است. ایستگاه‌های GPS با مثلث‌های کوچک نشان داده شده‌اند. عدم قطعیت در راستای آهنگ کرنش در این روش در حدود ۳ درجه (کیدینگ و همکاران، ۲۰۰۸) و در بزرگای محورهای آهنگ کرنش در حدود ۱۰ نانواسترین بر سال

فراهم می‌کرد. این تکنیک اجازه تعیین تانسور گرادیان سرعت افقی را از سه مولفه تانسور آهنگ کرنش $\dot{\epsilon}_{\theta\theta}$ ، $\dot{\epsilon}_{\phi\phi}$ و $\dot{\epsilon}_{\theta\phi}$ در سطح زمین می‌دهد. در این روش میدان سرعت افقی بوسیله برازش توزیع آهنگ کرنش با اسپلاین‌های دومکعبی^۱ بجای چند جمله‌ای‌ها با تغییراتی در روش هاینس و هولت، (۱۹۹۳) برآورد می‌شود.

اگر چه محاسبات ما برای یک زمین کرووی انجام می‌شود منطقه مورد مطالعه اغلب به حد کافی کوچک هست که بجای آهنگ‌های کرنش افقی $\dot{\epsilon}_{\theta\theta}$ ، $\dot{\epsilon}_{\phi\phi}$ و $\dot{\epsilon}_{\theta\phi}$ در مختصات کرووی از $\dot{\epsilon}_{xx}$ ، $\dot{\epsilon}_{yy}$ و $\dot{\epsilon}_{xy}$ در مختصات کارتزین استفاده شود. در سیستم کارتزین x به سمت شرق، y به سمت شمال و z به سمت بالا مثبت در نظر گرفته می‌شوند. آهنگ کرنش افقی می‌تواند به صورت آهنگ‌های کرنش برشی $\dot{\gamma}_1$ و $\dot{\gamma}_2$ و آهنگ کرنش اتساعی^۲ $\dot{\sigma}$ که از آن به عنوان آهنگ واگرایی افقی یاد می‌کنیم بیان شود:

$$\dot{\epsilon}_{xx} = \dot{\sigma} + \dot{\gamma}_1 \quad (1)$$

$$\dot{\epsilon}_{yy} = \dot{\sigma} - \dot{\gamma}_1 \quad (2)$$

$$\dot{\epsilon}_{xy} = \dot{\gamma}_2 \quad (3)$$

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{1}{2}(\dot{\epsilon}_{xx} - \dot{\epsilon}_{yy}) \quad (4)$$

$$\dot{\gamma}_2 = \dot{\epsilon}_{xy} \quad (5)$$

$$\dot{\sigma} = \frac{1}{2}(\dot{\epsilon}_{xx} + \dot{\epsilon}_{yy}) \quad (6)$$

این تعریف‌ها از آهنگ‌های کرنش برشی، یک دوم آهنگ‌های کرنش مهندسی هستند. آهنگ‌های واگرایی افقی می‌توانند از اطلاعات آهنگ فراخاست^۳ به دست آیند. با فرض عدم وجود تغییر حجم داریم:

$$\dot{\sigma} = \frac{1}{2} \frac{\partial w}{\partial z} \quad (7)$$

که $\partial w / \partial z$ آهنگ کرنش قائم است. اطلاعات آهنگ فراخاست مورد اشاره، فراخاست سنگ‌ها با توجه به میانگین سطح دریاست که با فراخاست سطح نسبت به سطح دریا یا ژئوئید متفاوت است. فراخاست سنگ‌ها نسبت به ژئوئید تنها در غیاب فرسایش با فراخاست سطحی نسبت به ژئوئید معادل است (انگلند و مولنار، ۱۹۹۰). ما تنها

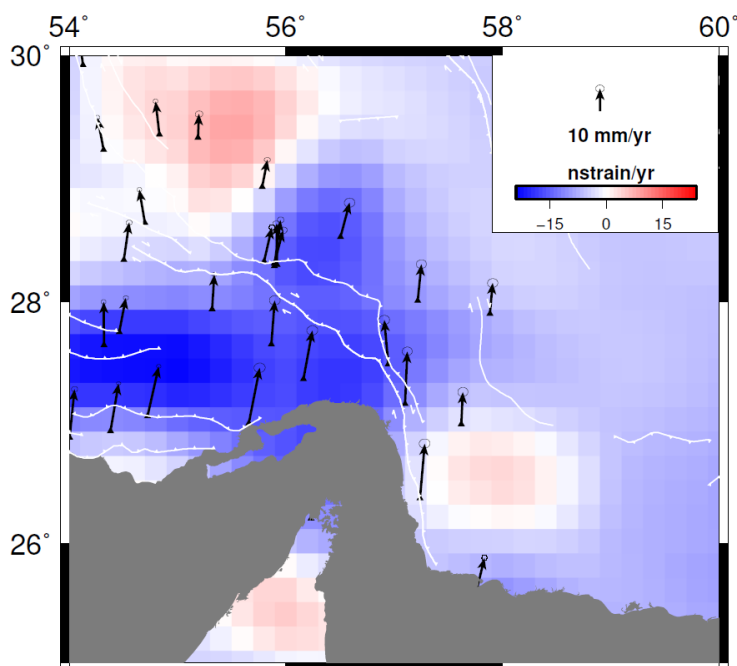
³ uplift

¹ bicubic splines

² dilatational

می‌شوند. به طریق مشابه در شکل ۴ که نشان‌دهنده تغییرات در آهنگ کرنش برشی بیشینه است سه بی‌هنجاری مثبت به چشم می‌خورد که در بخش خاور تنگه هرمز و در بخش‌های شمال باختری و باختر این تنگه به چشم می‌خورد. در بخش بعدی در مورد شباهت‌ها و تفاوت‌های این بی‌هنجاری‌های قبل مشاهده به بحث خواهیم پرداخت.

(ژو و شی، ۲۰۱۱) ارزیابی شده است. با پیاده‌سازی روش بر روی داده‌ها، نتایج مطالعه به دست می‌آیند. به طوری که در شکل ۳ مشاهده می‌شود دو بی‌هنجاری مثبت، یکی در خاور تنگه هرمز و دیگری در شمال-شمال باختری این تنگه در نقشه آهنگ کرنش اتساعی به چشم می‌خورد. بی‌هنجاری‌های منفی نیز به طور پراکنده در قسمت‌های مرکزی و باختری منطقه مورد مطالعه دیده



شکل ۳. بردارهای سرعت GPS مورد استفاده در منطقه به همراه آهنگ کرنش اتساعی به دست آمده از محاسبات آهنگ کرنش رنگ پس زمینه را تشکیل می‌دهد. در این شکل فشردگی یا فراخاست با رنگ آبی و اتساع یا فرونشست با رنگ قرمز مطابق با مقیاس رنگی نشان داده شده است.

همکاران، ۲۰۱۰؛ پنی و همکاران، ۲۰۱۵) اما دقیقاً در منطقه مورد بحث تاکنون مطالعه تداخل‌سنجی راداری مستقلی به انجام نرسیده است. در صورت انجام چنین مطالعه‌ای نتایج حاصل از این مطالعه و مطالعات مشابه (فرونشست و فراخاست) قابلیت صحت‌سنجی و مقایسه با نتایج InSAR را دارند.

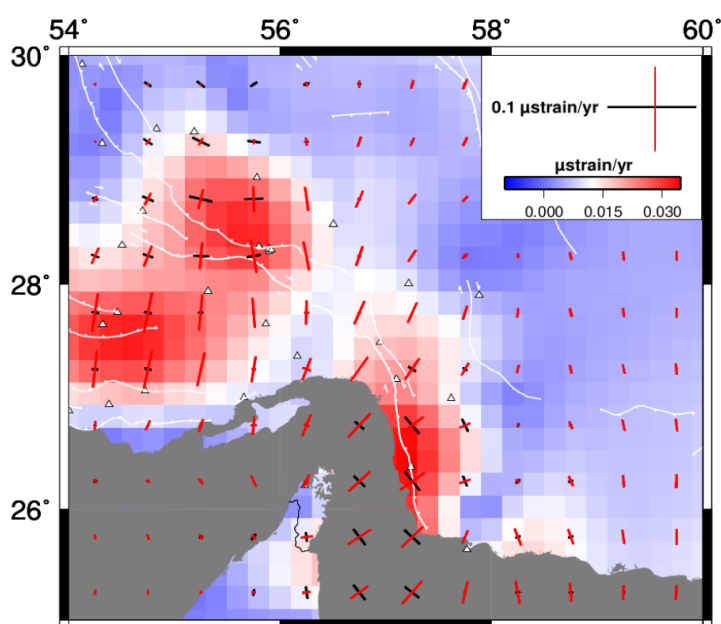
همچنین در شکل ۴ جهت محور فشارشی و کششی آهنگ کرنش به ترتیب با میله‌های قرمز و آبی رنگ نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که در دو سوی خاوری و باختری منطقه گذار بین زاگرس و مکران راستای جهت محور فشارشی آهنگ کرنش به طور تقریبی همراه با روند گسل‌های فعال منطقه دچار تغییر می‌گردد (شکل ۴). به این معنی که راستای محورهای فشارشی آهنگ کرنش در سرتاسر منطقه مورد مطالعه

در شکل ۳ بردارهای سرعت GPS که از پایگاه داده معرفی شده استخراج گردیده‌اند نمایش داده شده است. با توجه به زمینه رنگی مورد استفاده گسل‌های اصلی منطقه با رنگ سفید نشان داده شده در این نقشه فشردگی یا فراخاست با رنگ آبی و اتساع یا فرونشست با رنگ قرمز به تصویر درآمده‌اند. وجود این بی‌هنجاری‌ها در نقشه آهنگ کرنش مساحتی حاصل از مطالعات آهنگ کرنش با استفاده از داده‌های بردار سرعت GPS در موارد مطالعاتی دیگر نیز مشاهده شده است (به عنوان مثال کیدینگ و همکاران، ۲۰۰۷). در مطالعات مذکور نیز بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی در آهنگ کرنش مساحتی یا اتساع به صورت فرونشست و فراخاست تعبیر و تفسیر شده‌اند. مطالعات InSAR متعددی در مناطق مجاور در زاگرس و مکران انجام گرفته‌اند (به عنوان مثال روستایی و

این بار در جهت عقربه‌های ساعت راستای مذکور به شمال، شمال خاوری-جنوب، جنوب باختری تبدیل می‌شود.

زمینه رنگی مورد استفاده تغییرات آهنگ کرنش برشی بیشینه را نشان می‌دهد. با دقت در وضعیت محورهای آهنگ کرنش فشارشی و کششی مشخص می‌شود که در جاهایی که بزرگای هر دوی این محورها قابل توجه است بی‌هنجاری‌های مثبت در نقشه آهنگ کرنش برشی بیشینه به چشم می‌خورد. این نواحی اغلب با فعالیت گسل‌های مهم راستالغز در منطقه به خصوص سامانه گسلی زندان-میناب در شرق تنگه هرمز همخوانی دارند.

همواره حالت متقاطع (پادموازی) خود را با روندهای گسلی حفظ نموده است. در منطقه خاوری منطقه گذار بین زاگرس و مکران میله‌های قرمز که مبین محور فشارشی کرنش هستند راستایی تقریباً شمال خاوری-جنوب باختری دارند. این راستا به تدریج با گذار به سمت باختر دچار چرخشی بر خلاف عقربه‌های ساعت می‌شود به طوری که در شمال تنگه هرمز تقریباً راستایی شمالی-جنوبی پیدا می‌کند. در باختر تنگه هرمز ملاحظه می‌شود که راستای این محور با ادامه چرخش خود بر خلاف جهت عقربه‌های ساعت به شمال باختری-جنوب خاوری تبدیل می‌شود اما با گذار به سمت باختر بلافاصله با چرخشی



شکل ۴. جهت محورهای اصلی آهنگ کرنش به همراه گسل‌های اصلی منطقه. خطوط نازک قرمز و سیاه جهت محور کرنش اصلی انقباضی و اتساعی را نشان می‌دهند. زمینه رنگی تغییرات آهنگ کرنش برشی بیشینه را به نمایش در آورده است. دو خط عمود نشان‌دهنده محور آهنگ کرنش با بزرگی ۱۰۰ نانواسترین بر سال برای هر دو محور، در راهنمای واقع در گوشه بالا سمت راست نشان داده شده است. ایستگاه‌های GPS با مثلث‌های کوچک نشان داده شده‌اند.

که با افزایش از صفر تا ۳۶۰ درجه رنگ‌های مختلفی را مورد استفاده قرار دهد و در عین حال که در نهایت تباین رنگی ناچیزی بین مقادیر تقریباً یکسان مانند ۰ و ۳۵۹ ایجاد کند، در عین حال رنگ‌های مربوط به راستاهایی که دارای ۱۸۰ درجه اختلاف هستند را یکی در نظر بگیرد. اگر اساس تخصیص رنگ را نظام سه مولفه‌ای RGB در نظر بگیریم، برای ایجاد چنین مقیاس رنگی، اولین تلاش ممکن است اضافه کردن یکی از مقادیر RGB به دلخواه از ۰ تا ۳۶۰ درجه باشد. اما در این صورت هیچیک از شروط بالا محقق نخواهد شد. ایجاد چنین مقیاس رنگی تنها با بهره‌گیری از هر سه رنگ قرمز، سبز و آبی آنهم با

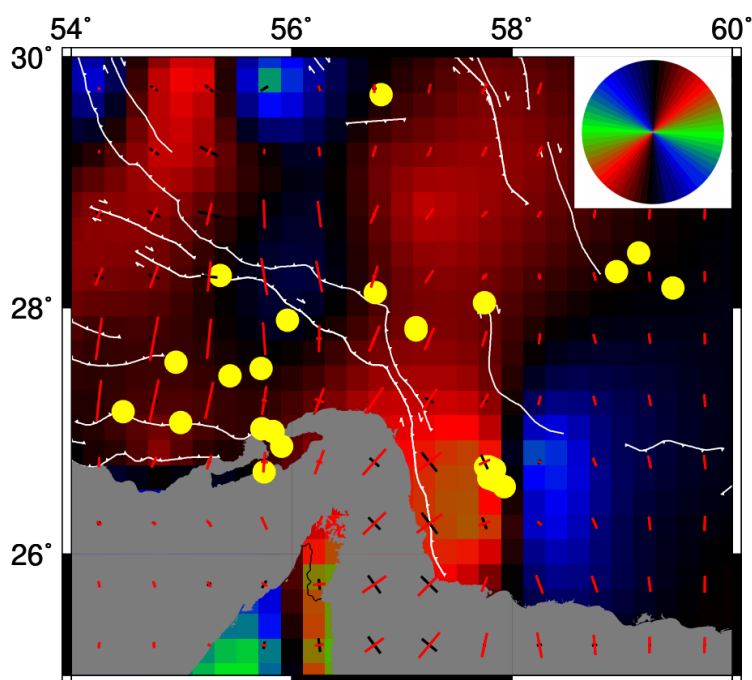
۵- روشی جدید در به نقشه در آوردن کمیت‌های وابسته به جهت

در شاخه‌های مختلف علوم خصوصاً علوم زمین و بالاخص در ژئودزی همواره کمیت‌های جهت‌دار متعددی مطرح می‌باشند. بردارهای سرعت GPS، راستای محورهای تنش، آهنگ کرنش و غیره از این دسته هستند. اما ایجاد مقیاسی رنگی برای همه این کمیت‌ها کار آسانی نبوده و تا کنون انجام نپذیرفته بود. به عنوان مثال برای به نقشه در آوردن کمیت‌هایی مانند جهت محور اصلی تنش یا آهنگ کرنش، نیاز به بهره‌گیری از مقیاسی رنگی است،

غالب قرمز است و بر عکس در جاهایی که راستای محورهای فشارشی شمال غربی-جنوب شرقی است رنگ آبی در پس زمینه دیده می‌شود. در مواردی که محورها حدوداً شمالی جنوبی هستند نیز رنگ پس زمینه سیاه است. به این ترتیب تغییرات یا بی‌هنجاری‌هایی که در راستای محورهای فشارشی آهنگ کرنش وجود دارد به نقشه درآمده و به صورت بصری قابل رویت گردیده است. به نقشه درآوردن بی‌هنجاری‌ها در کمیت جهت‌داری مثل راستای محورهای آهنگ کرنش این سوال را پدید می‌آورد که بی‌هنجاری‌های قابل مشاهده در نقشه حاصله به چه معنا هستند؟ در قسمت بحث مشابهت‌های موجود بین بی‌هنجاری‌های قابل مشاهده در این شکل با بی‌هنجاری‌های موجود در شکل‌های ۲ و ۳ که کرنش اتساعی و کرنش برشی بیشینه را نشان می‌دهند مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

الگویی خاص که شامل افزایش و کاهش تناوبی مقادیر هر یک از سه رنگ به طور غیر همزمان باشد، امکانپذیر خواهد بود. با استفاده از این الگو می‌توان دایره‌ای با بخش‌های متعدد ترسیم نمود که هر بخش بیانگر رنگ خاصی برای بازه مورد نظر از زوایا باشد.

در ادامه با استفاده از این مقیاس رنگی دایره‌ای زوایای محور فشارشی آهنگ کرنش در منطقه گذار بین زاگرس و مکران که در بخش قبلی محاسبه شده بود به نقشه درآورده شده است (شکل ۵). به طوری که ملاحظه می‌شود رنگ پس زمینه با چرخش میله معرف جهت محور آهنگ کرنش تغییر می‌کند. به عنوان مثال در سمت راست تنگه هرمز که محور تا حدی افقی شده است رنگ، به طوری که کاملاً با راهنمای مقیاس رنگی همخوانی دارد به سمت سبز میل پیدا کرده در جاهایی که راستای محورها شمال شرقی-جنوب غربی است، رنگ



شکل ۵. نقشه تغییرات در راستای محورهای فشارشی آهنگ کرنش در منطقه مورد مطالعه، دایره واقع در راهنمای نقشه بیانگر چگونگی تغییر رنگ با تغییر راستا می‌باشد. زمین‌لرزه‌های بزرگ رخ داده در منطقه با دایره‌های زرد نشان داده شده‌اند.

این مطالعه با کلیه مطالعات مذکور متفاوت می‌باشد. از این رو مقایسه نتایج که علاوه بر متفاوت بودن داده‌ها در بردارنده تفاوت‌ها و اختلاف نقاط قوت و ضعف در روش‌های مورد استفاده نیز می‌باشد حایز اهمیت است. از طرفی پیشنهاد روش جدید در این مطالعه درباره به نقشه درآوردن کمیت‌های وابسته به جهت، برای اولین بار این

۶- تجزیه و تحلیل

جهت آهنگ کرنش به دست آمده در مطالعات پیشین (ماسون و همکاران، ۲۰۰۷؛ ماسون و همکاران، ۲۰۱۴، خرمی و همکاران، ۲۰۱۹) در مناطق منطقه گذار بین زاگرس و مکران به طور کلی مشابه با نتایج به دست آمده از این مطالعه می‌باشد، اما داده‌ها و روش مورد استفاده در

موارد مطالعاتی دیگر نیز وجود ارتباط بین لرزه‌خیزی و بی‌هنجاری‌های مثبت و منفی در آهنگ کرنش اتساعی مشاهده شده است (کیدینگ و همکاران، ۲۰۰۹).

همچنین بی‌هنجاری‌های مشاهده شده در این نقشه با توجه به تجربیات حاصل از استفاده از این روش در موارد مطالعاتی دیگر به عنوان فشردگی یا فراخاست و کشیدگی یا فرونشست قابل تفسیر است. در این شکل بی‌هنجاری‌های قابل مشاهده به ترتیب با رنگ‌های قرمز و آبی مطابق با مقیاس رنگی نمایش داده شده است. بر این اساس مشاهده می‌شود که در محل بی‌هنجاری‌های مثبت مشاهده شده فراخاست اتفاق افتاده که به طرز معناداری با افزایش فعالیت لرزه‌ای همراه بوده است. همچنین در مناطق مرکزی و باختری منطقه نیز بی‌هنجاری‌های منفی با رنگ آبی وجود دارد که بیانگر فرونشست بوده و آن‌ها نیز همراه با لرزه‌خیزی به صورت پراکنده می‌باشند. لذا فرونشست و فراخاست هر دو می‌توانند در حین افزایش و کاهش تنش در منطقه، همراه با لرزه‌خیزی مشاهده شوند. اما با نگاه به شکل ۴ می‌توان مشاهده نمود که لرزه‌خیزی بالا مشخصه بی‌هنجاری‌های قابل مشاهده در نقشه آهنگ کرنش برشی بیشینه نیست. برعکس در مناطقی که این بی‌هنجاری‌ها مشاهده می‌شوند لرزه‌خیزی کمتری به چشم می‌خورد. آنچه در خصوص این نقشه اهمیت دارد مطابقت بی‌هنجاری‌ها با مناطقی است که در آن‌ها اندازه محورهای فشارشی و کششی آهنگ کرنش هر دو بزرگ هستند. به بیان دیگر این بی‌هنجاری‌های در مناطقی که یکی از این محورها (سیاه یا قرمز) بزرگ هستند به چشم نمی‌خورد. بلکه در مناطقی مثل خاور تنگه هرمز و شمال باختری این تنگه که محل قرارگیری بی‌هنجاری‌ها با رنگ قرمز است دیده می‌شوند. بی‌هنجاری مشاهده شده در خاور تنگه هرمز با محل قرارگیری سامانه گسلی میناب که گسل راستالغز شناخته شده‌ای است مطابقت دارد. علاوه بر این مشاهده با توجه به فرمول ۴ که مبنای محاسبه آهنگ کرنش برشی بیشینه است نیز می‌توان انتظار داشت که این بی‌هنجاری‌ها با حرکت‌های راستالغز بر روی گسل‌های فعال منطقه هماهنگی داشته باشند. در قسمت‌های باختر و شمال باختری تنگه هرمز نیز این بی‌هنجاری‌ها دیده می‌شوند اما در حال حاضر گسل یا گسل‌های راستالغز شناخته شده‌ای در نقشه آهنگ کرنش اتساعی به چشم نمی‌خورد. لذا این موضوع شایسته تحقیق و بررسی‌های

امکان را فراهم نمود که بی‌هنجاری‌های قابل مشاهده در کمیت‌های به دست آمده در خلال محاسبات آهنگ کرنش (یعنی آهنگ کرنش برشی بیشینه و آهنگ کرنش اتساعی) را بتوان با بی‌هنجاری‌های موجود در راستای جهت محورهای آهنگ کرنش مقایسه نمود و از دیدگاه زمین‌شناسی به تعبیر و تفسیر شباهت‌ها و تفاوت‌های موجود پرداخت. باید توجه شود که راستای محورهای فشارشی کرنش، به جابجایی‌های روی داده ارتباط دارد و از مطالعه دگرشکلی حاصل شده است و ممکن است بین این راستاها و راستای گسل‌ها ارتباط مستقیمی برقرار نباشد. اما همخوانی این راستاها می‌تواند بیانگر اتفاق افتادن جابجایی در راستای گسل‌های فعال منطقه باشد که با توجه به نحوه قرارگیری راستای محورهای فشارشی آهنگ کرنش و روندهای گسلی نسبت به هم به نوعی می‌تواند متذکر حرکت راستالغز باشد. همینطور عمود بودن این محورها بر راستای گسل می‌تواند به صورت چیرگی گسلش شیب‌لغز که در منطقه مورد مطالعه خود را به صورت راندگی نشان می‌دهد تفسیر شود. زمین‌لرزه‌هایی با سازوکار راستالغز، راندگی و ترکیبی با چیرگی یکی از این دو سازوکار در سرتاسر منطقه مورد مطالعه یافت می‌شوند و مؤید این مدعا هستند. با مقایسه شکل‌های ۲، ۳ و شکل نبود فعالیت لرزه‌ای در مناطقی واقع در خاور تنگه هرمز، واقع در امتداد سواحل مکران مشاهده می‌شود. مطالعات قبلی نشان داده است که این نبود لرزه‌ای در نتیجه کاستی در پوشش شبکه‌های لرزه‌نگاری نیست و به واقع فعالیت لرزه‌ای در این منطقه دچار نقصان است (یمینی‌فرد، ۲۰۰۷). در این منطقه همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود یک بی‌هنجاری مثبت به چشم می‌خورد که با مقایسه محل آن با شکل ۱ می‌توان مشاهده نمود که لرزه‌خیزی متمرکز به صورت خوشه‌ای چگال از زمین‌لرزه‌ها در آن ناحیه شکل گرفته است. همین طور در محل بی‌هنجاری قابل مشاهده در نقشه آهنگ کرنش اتساعی در شمال-شمال باختری تنگه هرمز خوشه‌ای از زمین‌لرزه‌ها واقع شده‌اند. بی‌هنجاری‌های منفی پراکنده در مرکز منطقه گذار بین زاگرس و مکران نیز با لرزه‌خیزی پراکنده همراه گردیده‌اند. لذا واقعیتی که از این شکل استنباط می‌شود این است که لرزه‌خیزی در محل بی‌هنجاری‌ها (چه مثبت و چه منفی) در نقشه آهنگ کرنش اتساعی تشدید می‌گردد. این امر در مطالعات قبلی نیز دیده شده و در

به تصویر درآوردن این داده‌ها و برای اولین بار مطرح می‌گردد دارای اهمیت ویژه ای است.

همچنین با مقایسه شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ به نظر می‌رسد که برای اولین بار وجود پهنه‌هایی با ویژگی‌های متفاوت در سمت راست تنگه هرمز، واقع در خاور سامانه گسلی میناب قابل مشاهده است. این پهنه‌ها در شکل‌های ۴ و ۵ دارای شباهت بسیار زیادی به هم هستند. از آنجا که شکل ۴ بیانگر بی‌هنجاری در نقشه آهنگ کرنش برشی بیشینه است، مشابهت بی‌هنجاری‌های قابل مشاهده در این شکل با شکل ۵ که راستای محورهای آهنگ کرنش را در منطقه به تصویر می‌کشد، می‌تواند نشان‌دهنده وجود ساختارهای گسلی راستالغز در این ناحیه باشد. وجود بی‌هنجاری قابل مشاهده در شکل ۳ که بیانگر پتانسیل لرزه‌خیزی بالا درست در مرز پهنه‌های مجاور مورد بحث در شکل‌های ۴ و ۵ واقع شده است، می‌تواند به عنوان نشانه‌ای بر توان لرزه‌زایی سامانه گسلی مورد اشاره دلالت داشته باشد. با مقایسه این یافته‌ها با مطالعات قبلی می‌توان مشاهده نمود که همخوانی خوبی بین مشاهدات مطرح در این مطالعه و مطالعات قبلی وجود دارد. در مطالعه (بایر و همکاران، ۲۰۰۶) در منطقه مورد بحث در بخش خاور سامانه گسلی میناب، جایی که به نظر می‌رسد بلوک‌های ساختاری مکران-لوت و عربستان از یکدیگر جدا شده‌اند، به روشنی بی‌هنجاری‌هایی در محورهای آهنگ کرنش اصلی و آهنگ چرخش محاسبه شده، با آنچه در شکل ۵ در مطالعه حاضر به چشم می‌خورد قابل ملاحظه می‌باشد. آهنگ انتقال دگرشکلی در نزدیکی گسل‌ها در منطقه مذکور در مطالعات قبلی حدود ۱۰ میلی‌متر بر سال ذکر شده که با داده‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر همخوانی دارد (بایر و همکاران، ۲۰۰۶).

همچنین شکل‌های ۳ و ۴ مطالعه حاضر با آنچه تحت عنوان آهنگ کرنش مساحتی و آهنگ کرنش برشی بیشینه در مطالعه (خرمی و همکاران، ۲۰۱۹) به تصویر در آمده‌اند مشابهت قابل توجهی دارند و بی‌هنجاری‌های قابل مشاهده با تغییرات اندک در هر دو مطالعه به چشم می‌خورند. باید اشاره کرد که مطالعه حاضر گذشته از تفاوت در داده‌ها و روش مورد استفاده، از روش جدید در به نقشه درآوردن راستای آهنگ کرنش سود می‌برد و تفسیر بی‌هنجاری‌های قابل مشاهده در راستای محورهای آهنگ کرنش به درک تفاوت‌های ساختاری در بلوک‌های سازنده منطقه کمک

بیشتر است. لذا در مناطقی که وجود خوشه‌ای از زمین‌لرزه‌ها، منابع مهمی را برای رخدادهای لرزه‌ای در منطقه معرفی می‌کند، شاهد وجود بی‌هنجاری در نقشه آهنگ کرنش اتساعی می‌باشیم. این موضوع با توجه به این که گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر مشترک میدان تنش ناحیه‌ای و راستای گسل‌های از پیش موجود، در چارچوب افراز دگرشکلی در منطقه گذار بین زاگرس و مکران، به یکی از دو حالت راندگی یا راستالغز و یا ترکیبی از این دو با مولفه‌ای غالب صورت می‌گیرند، قابل درک و توجیه است. در خصوص نقشه ایجاد شده از جهت‌گیری راستاهای آهنگ کرنش (شکل ۵) به روش جدید به نقشه درآوردن کمیت‌های وابسته به جهت و مطابقت آن با واقعیت‌های زمین‌شناسی نیز یافته‌های جالب توجهی وجود دارد. بی‌هنجاری مشاهده شده در نقشه آهنگ کرنش برشی بیشینه (شکل ۴) واقع در خاور تنگه هرمز به خوبی با بی‌هنجاری موجود در این نقشه (شکل ۵) مطابقت دارد. در شکل ۴ بی‌هنجاری منفی در مجاورت بی‌هنجاری مثبت مذکور به طور ضعیف به چشم می‌خورد که این کنتراست و اختلاف شدید در شکل ۵ به وضوح پیداست. اختلاف راستاهای آهنگ کرنش در این دو منطقه مجارو می‌تواند مؤید وجود گسلی در مرز میان این دو ناحیه باشد. از طرف دیگر در شکل ۳ آنومالی مثبت آهنگ کرنش اتساعی که به خوبی با محل رخداد زمین‌لرزه‌ها مطابقت داشت دقیقا در مرز بی‌هنجاری‌های مورد اشاره در شکل ۵ قرار گرفته که احتمال وجود گسلی فعال در این محدوده را تقویت می‌کند. نکته قابل توجه دیگر در مورد شکل ۵ این است که فعالیت‌های لرزه‌ای همواره در مناطقی رخ داده‌اند که همسو با دگرشکلی کلی منطقه، ناشی از فشار برخورد صفحه عربی با صفحه اوراسیا و خرد صفحه ایران، دچار دگرشکلی شده است. به این معنی که در شکل ۵ نقاط بیانگر رومرکز زمین‌لرزه‌ها در اکثر قریب به اتفاق مواقع در مناطقی واقع شده‌اند که دارای رنگ‌های قرمز و مشکی می‌باشند. در سایر مناطق که دارای رنگ‌های پس زمینه آبی، سبز و مانند آن‌ها هستند کمتر فعالیت لرزه‌ای مشاهده شده است. با توجه به مقیاس رنگی دایره‌ای که در راهنمای این شکل ترسیم شده مشخص می‌شود که این مناطق، جاهایی هستند که محورهای آهنگ کرنش جهت‌گیری‌هایی به سمت شمال خاوری یا شمال داشته است. این موضوع با توجه به اینکه با استفاده از روش جدید

مناطق‌هایی که در آن‌ها اندازه‌های محورهای فشاری و کششی آهنگ کرنش هر دو بزرگ هستند با شدت بیشتری مشاهده می‌شود. بر اساس مشاهدات به عمل آمده در نقشه آهنگ کرنش اتساعی، لرزه‌خیزی در محل بی‌هنجاری‌ها در این نقشه (چه مثبت و چه منفی) تشدید می‌گردد. ضمناً فرونشست و فراخاست هر دو می‌توانند در حین افزایش و کاهش تنش در منطقه، همراه با لرزه‌خیزی مشاهده شوند. بی‌هنجاری‌ها در آهنگ کرنش برشی بیشینه با حرکت‌های راستالغز بر روی گسل‌های فعال منطقه به خصوص گسل میناب هماهنگی دارد. همچنین در این مطالعه برای اولین بار روشی برای به نقشه درآوردن کمیت‌های جهت‌دار معرفی گردید. از این روش برای به نقشه درآوردن تغییرات در راستای محورهای فشاری آهنگ کرنش ژئودتیک در منطقه گذار بین زاگرس و مکران استفاده شد و بی‌هنجاری‌های قابل مشاهده بر روی نقشه حاصله، با بی‌هنجاری‌های موجود بر روی نقشه‌های آهنگ کرنش اتساعی و آهنگ کرنش برشی بیشینه مقایسه گردید. در نتیجه این مقایسه مشخص شد که فعالیت‌های لرزه‌ای همواره در مناطقی رخ داده‌اند که همسو با دگرشکلی کلی منطقه، ناشی از فشار برخورد صفحه‌عربی با صفحه‌اوراسیا و خرد صفحه ایران، دچار دگرشکلی شده است. در سمت خاور سامانه گسلی میناب پهنه‌هایی با خصوصیات متفاوت از لحاظ آهنگ کرنش برشی در کنار هم قرار گرفته‌اند. مشابهت این پهنه‌های بی‌هنجاری و وجود بی‌هنجاری در نقشه آهنگ کرنش مساحتی در مرز این پهنه‌ها می‌تواند به عنوان دلیلی بر وجود سامانه‌ای راستالغز در این منطقه که دارای توان لرزه‌زایی است تفسیر شود. با توجه به وجود شهرها و بنادر مهم و سرمایه‌گذاری‌های کلان انجام شده و بالا بودن مخاطرات لرزه‌ای در این بخش از کشور، لزوم بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تر از دیدگاه خطر لرزه‌ای توسط مطالعه حاضر مورد تاکید قرار داده شد.

منابع

- غلام‌زاده، ع (۱۳۸۸)، مطالعه لرزه‌خیزی و لرزه زمین‌ساخت در زون زاگرس شرقی، پایان‌نامه دکتری، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- Argus, D. F., and R. G., Gordon (1990) Pacific-North America plate motion from very long baseline interferometry compared with that determined from magnetic anomalies transform faults, and earthquake slip vectors, *J. Geophys Res*, 95 (17): 315- 324.

کرده است. با مقایسه مکان رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ در گستره مورد مطالعه مشخص می‌گردد که این زمین‌لرزه‌ها، مشابه با آنچه در مورد لرزه‌خیزی به نظر می‌رسد در مناطقی اتفاق افتاده‌اند که محورهای کرنش فشاری یا برشی دارای بزرگای قابل توجه هستند. نقشه‌های ترسیم شده در شکل‌های ۲ و ۳ در ارتباط با چگونگی قرار گرفتن محورهای آهنگ کرنش فشاری و کششی می‌توانند تعیین‌کننده سازوکار گسلش به منظور آزادسازی انرژی حاصل از اعمال تنش، طی فرایند دگرشکلی لرزه‌ای مورد توجه قرار بگیرند. شکل ۵ که برای اولین بار چگونگی توزیع راستای دگرشکلی را در منطقه به تصویر کشانده است می‌تواند به منظور تعیین نوعی پهنه‌بندی که در آن راستای دگرشکلی مورد توجه است قرار داده شود. شایان ذکر است که زمین‌لرزه‌های به طرز محسوسی در مرزهایی اتفاق افتاده‌اند که بین دو پهنه با راستاهای دگرشکلی متفاوت قرار دارد. این مرزها می‌توانند بیانگر وجود گسل‌ها باشند. در برخی موارد گسل‌هایی که مسبب این زمین‌لرزه‌ها بوده‌اند پیش از این به نقشه در آمده‌اند. اما در سایر موارد مانند شرق تنگه هرمز، جایی که مرز واضحی بین بی‌هنجاری قرمز و آبی وجود دارد و با رخداد خوشه‌ای از زمین‌لرزه‌ها نیز همراه شده هنوز گسلی معرفی نشده است. در آخر باید اشاره کرد که منطقه مورد مطالعه در جنوب کشور به سبب سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در سالهای اخیر شاهد رشد و توسعه اقتصادی پرشتابی بوده است. لذا بررسی مخاطرات لرزه‌ای به صورت کلی و خطر لرزه‌ای که از ناحیه زمین‌لرزه‌ها منطقه مورد مطالعه را مورد تهدید قرار می‌دهد از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین مطالعات دقیق‌تر با نصب و بهره‌برداری از ایستگاه‌ها و شبکه‌های دائم و موقت زلزله‌شناسی و ژئودزی در این منطقه پیشنهاد می‌گردد.

۷- نتیجه‌گیری

در این مطالعه آهنگ کرنش ژئودتیک با استفاده از بردارهای سرعت GPS در منطقه گذار بین زاگرس و مکران مورد بررسی قرار گرفت و جهت محورهای اصلی آهنگ کرنش تغییرات قابل توجهی را در منطقه مورد مطالعه نشان داد. راستای محورهای اصلی آهنگ کرنش در منطقه تغییراتی نشان داد که نسبت به روند گسل‌ها در بخش‌های مختلف تنگه هرمز متقاطع (پادموازی) است. لرزه‌خیزی در

- 98/5, Inst. of Geol. and Nucl. Sci., Lower Hutt, New Zealand.
- Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R. and Nazari, H (2008) Extrusion tectonics and subduction in the eastern South Caspian region since 10 Ma, *Geology*, 36: 763–766, doi:10.1130/G25008A.1.
- Holt, W. E. and Haines, A. J (1995) The kinematics of northern South Island, New Zealand, determined from geologic strain rates, *Journal of Geophysical Research*, 100.
- Holt, W. E. and Stern, T. A (1991) Sediment loading on the western platform of the New Zealand continent: Implications for the strength of a continental margin. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 107: 523-538.
- 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.
- Jackson, J. A., Priestley, K., Allen, M. and Berberian, M (2002) Active tectonics of the South Caspian Basin, *Geophysical Journal International*, 148: 214-245.
- Keiding, M., Arnadóttir, T., Sturkell, E., Geirsson, H. and Lund, B., 2008. Strain accumulation along an oblique plate boundary: The Reykjanes Peninsula, southwest Iceland, *Geophys. J. Int.*, 172: 861–872.
- Khorrani, F., Vernant, P., Masson, F., Nilfouroushan, F., Mousavi, Z., Nankali, H., Saadat, S. A., Walpersdorf, A., Hosseini, S., Tavakoli, P., Aghamohammadi, A., & Alijanzade, M (2019) An up-to-date crustal deformation map of Iran using integrated campaign-mode and permanent GPS velocities. *Geophysical Journal International*, 217(2): 832–843. <https://doi.org/10.1093/gji/ggz045>
- Kostrov, B. V (1974) Seismic moment and energy of earthquakes, and seismic flow of rock [Engl. transl.], *Izv. Earth Phys.*, 1: 23–40.
- Le Pichon, X. and Kreemer, C (2010) The Miocene-to-Present Kinematic Evolution of the Eastern Mediterranean and Middle East and Its Implications on Dynamics, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 38: 323-351.
- Maggi, A., Priestley, K., and Jackson, J (2002) Focal depths of moderate to large earthquakes in Iran, *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 4: 1-10.
- Masson, F., Chery, J., Hatzfeld, D., Martinod, J., Vernant, P., Tavakoli, F. and Ghafory-Ashtiani, M (2005) Seismic versus aseismic deformation in Iran inferred from earthquakes and geodetic data, *Geophys. J. Int.*, 160: 217–226.
- Masson, F., Y. Djamour, S. Van Gorp, J. Chéry, M. Tatar, F. Tavakoli, H. Nankali, and P. Vernant (2006) Extension in NW Iran driven by the motion of the South Caspian Basin, *Earth*
- Bayer, R., Chery, J., Tatar, M., Vernant, P. and Abbassi, M (2006) Active deformation in Zagros-Makran transition zone inferred from GPS measurements. *Geophys. J. Int.*, 165: 373–81.
- Berberian, M (1983) The southern Caspian: a compressional depression floored by a trapped, modified oceanic crust, *Can. J. Earth Sci.*, 20(2): 163–183.
- Berberian, M., King, G. C. P (1981) Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18: 210–265.
- Berberian, M (1995) Master “blind” thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241(3-4).
- Berberian, M., Yeats, R. S (2001) Contribution of archaeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau. *Journal of Structural Geology*, 23: 563–584.
- Bibby, H. M., Haines, A. J. and Walcott, R. I., (1986), Geodetic strain and the present day plate boundary zone through New Zealand, *Bull. R. Soc.*, 24: 427-438.
- Byrne, D. E., Sykes, L. and Davis, D. M (1992) Great thrust earthquakes and aseismic slip along the plate boundary of the Makran subduction zone. *J. Geophys. Res.*, 97: 449–478.
- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F. and Stein, S (1994) Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions, *Geophys. Res. Lett.*, 21: 2191-2194.
- Djamour, Y., Vernant, P., Bayer, R., Nankali, H. R., Ritz, J. F., Hinderer, J., Hatam, Y., Luck, B., Moigne, N., Sedighi, M., Khorrani, F (2010) GPS and gravity constraints on continental deformation in the Alborz mountain range, Iran. *Geophysical Journal International*, 183: 1287-1301
- Engdahl, E. R., Van der Hilst, R., Buland, R (1998) Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88: 722–743.
- England, P., and P. Molnar (1990) Surface uplift, uplift of rocks, and exhumation of rocks, *Geology*, 18: 1173-1177.
- Haines, A. J. and Holt, W. E (1993) A procedure to obtain the complete horizontal motions within zones of distributed deformation from the inversion of strain rate data, *J. Geophys. Res.*, 98 (12): 57-82.
- Haines, A. J (1982) Calculating velocity fields across plate boundaries from observed shear rates, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 68: 203-209.
- Haines, A. J., Jackson, J. A., Holt, W. E. and Agnew, D. C (1998) Representing distributed deformation by continuous velocity fields, *Rep.*

- Geology of Continental Margins. Springer-Verlag, New York, 873–877.
- Tatar, M., Hatzfeld, D., Martinod, J., Walpersdorf, A., Ghafori-Ashtiani, M. & Chéry, J (2002) The present-day deformation of the central Zagros from GPS measurements, *Geophys. Res. Lett.*, 29(19), doi:10.1029/2002GL015427.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chéry, J (2004) Contemporary Crustal Deformation and Plate Kinematics in Middle East Constrained by GPS measurements in Iran and Northern Oman, *Geophys. J. Int.*, 157: 381-398.
- Walcott, R. I (1984) The kinematics of the plate boundary zone through New Zealand: A comparison of short-and long-term deformations, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 79: 613-633.
- Walpersdorf, A., Hatzfeld, D., Nankali, H., Tavakoli, F. and Nilforoushan, F (2006) Difference in the GPS deformation pattern of north and central Zagros (Iran). *Geophys. J. Int.*, 167: 1077–88.
- Wang, Z (2009) Seismic Hazard vs. Seismic Risk. *Seismological Research Letters*, 80(5): 673-674. doi:10.1785/gssrl.80.5.673
- Ward, S. N (1990) Pacific-North America plate motions: New results from very long baseline interferometry, *J. Geophys. Res.*, 95 (21): 965-981.
- Yamini-Fard, F., Hatzfeld, D., Farahbod, A. M., Paul, A., & Mokhtari, M (2007) The diffuse transition between the Zagros continental collision and the Makran oceanic subduction (Iran): Microearthquake seismicity and crustal structure. *Geophysical Journal International*, 170 (1): 182-194. doi:10.1111/j.1365-246x.2006.03232.x.
- Zanchi, A., Zanchetta, S., Berra, F., Mattei, M., Garzanti, E., Molyneux, S., Nawab, A., and Sabouri, J (2009) The Eo-Cimmerian (Late? Triassic) orogeny in North Iran, *The Geological Society, London, Special Publications*, 312: 31–55
- Zarifi, Z (2006) Unusual subduction zones: Case studies in Colombia and Iran, PhD thesis, University of Bergen.
- Zhu, S. & Shi, Y (2011) Estimation of GPS strain rate and its error analysis in the Chinese continent, *Journal of Asian Earth Sciences*, 40: 351–362.
- Planet. Sci. Lett, 252(1–2): 180–188, doi: 10.1016/j.epsl.2006.09.038.
- Mostafazadeh, M. and Ashkpoor Motlagh, Sh (2012) Source Study of some Large Earthquakes Occurred in South Eastern Iran.
- Nilforoushan, F., Masson, F., Vernant, P., Vigny, C., Martinod, J., Abbassi, M., Nankali, H., Hatzfeld, D., Bayer, R., Tavakoli, F., Ashtiani, A., Doerflinger, E., Daignières, M., Collard, P. and Chéry, J (2003) GPS network monitors the Arabia-Eurasia collision deformation in Iran, *Journal of Geodesy*, 77: 411-422.
- Peyret, M., Djamour, Y., Hessami, K., Regard, V., Bellier, O., Vernant, P., Daignières, M., Nankali, H., Van Gorp, S., Goudarzi, M., Chéry, J., Bayer, R., & Rigoulay, M. (2009). Present-day strain distribution across the Minab-Zendan-Palami fault system from dense GPS transects. *Geophysical Journal International*, 179(2): 751–762.
- Penney, C., Tavakoli, F., Saadat, A., Nankali, H. R., Sedighi, M., Khorrami, F., Priestley, K (2017) Megathrust and accretionary wedge properties and behaviour in the Makran subduction zone. *Geophysical Journal International*, 209(3): 1800–1830.
- Pourbeyranvand, Sh., Lund, B., Tatar, M. and Aradottir, Th (2016) Spatial variations of stress and strain in the Zagros region, southwestern Iran, *International Conference and School on Structure, Tectonics and Earthquakes in the Alborz-Zagros-Makran Region*.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S. and Ergintav, S (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.
- Regard, V., Bellier, O., Thomas, J., Bourlès, D., Bonnet, S., Abbassi, M. R., Fegghi, K (2005) Cumulative right-lateral fault slip rate across the Zagros-Makran transfer zone: Role of the Minab-Zendan fault system in accommodating Arabia-Eurasia convergence in southeast Iran. *Geophysical Journal International*, 162(1): 177-203. doi:10.1111/j.1365-246x.2005.02558.x
- Roustaei, M., Nissen, E., Abbassi, M., Gholamzadeh, A., Ghorashi, M., Tatar, M., . . . Parsons, B (2010) The 2006 March 25 Fin earthquakes (Iran)-insights into the vertical extents of faulting in the Zagros Simply Folded Belt. *Geophysical Journal International*. doi:10.1111/j.1365-246x.2010.04601.x
- Sella, G. F., Dixon, T. H. & Mao, A., 2002. REVEL: a model for Recent plate velocities from space geodesy, *J. geophys. Res.*, 107, doi:10.1029/2000JB000033
- Stocklin, J (1974) Possible ancient continental margin in Iran. In: Burke, C., Drake, C. (Eds.),

Seismic Hazard Investigation by Strain Rate Variation Study in the Zagros-Makran Transition Zone Using GPS Velocity Vector Data

Sh. Pourbeyranvand

Assist. Prof., Dept., of Seismology, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran

* beyranvand@iiees.ac.ir

Received: 2022/2/5 Accepted: 2022/6/27

Abstract

The transition zone between the Zagros and Makran has a special place in tectonic studies in southern Iran. The mechanism of transition from the continental collision in the Zagros to the subduction of the oceanic crust to the subcontinent in Makran in this region has raised questions from the point of view of tectonics and geodynamics. These questions, in turn, have led to GPS operations and studies in this area and neighboring areas. This study used the interpolation of GPS velocity vectors on a rectangular grid and strain calculation in the center of each cell to study the strain rate changes in this range. Significant spatial changes were observed in the main axes of the geodetic strain track in different parts of the Zagros and Makran transition zones. The anomalies observed in the calculated committees showed a significant agreement with the seismicity and fault mechanism on important faults in the region. This study implemented a new method for mapping directional (vector) quantities by a color scale with a circular pattern on geodetic strain track data. The direction of the compressive axes of the strain rate in the study area was mapped in this way and the observed anomalies in this map were compared with the expansion strain rate and maximum shear strain rate maps and interpreted based on facts and seismological observations. Based on this, it was found that the seismicity is proportional to the magnitude of the compressive and tensile axes of the strain rate. Abnormalities were also observed in the maximum shear strain track related to slip movements on the Minab fault.

Keywords: Areal, Faulting mechanisms, GPS, Maximum shear, Seismic hazard, Strain rate, Zagros Makran transition zone.

پیوست ۱

پایگاه داده مورد استفاده در مورد داده‌های سرعت GPS در ایران که داده‌های جدول ۱ از آن استخراج گردیده‌اند

No.	Lon	Lat	Ve	Vn	$1\sigma V_e$	$1\sigma V_n$	R	station
1	40.052	38.963	-13.723	10.125	1.58	1.36	-0.012	KAKO
2	40.254	39.731	-3.006	6.066	0.75	0.68	-0.015	MERC
3	40.65	37.246	-6.623	16.898	0.8	0.75	-0.023	KIZ2
4	40.651	37.247	-6.623	16.898	0.8	0.75	-0.023	KIZI
5	40.738	31.09	-0.163	16.258	2.038	0.575	0	F027
6	41.057	38.959	-6.94	11.73	1.43	1.2	-0.024	SOLH
7	41.3	39.973	-0.854	6.142	0.66	0.64	0.008	ERZU
8	41.454	39.186	-6.07	11.003	2.01	1.29	-0.046	VART
9	41.512	39.643	-2.282	4.653	1.78	1.22	-0.072	TKMN
10	41.794	38.754	-4.877	15.024	0.84	0.69	0.107	KRKT
11	41.808	27.711	2.33	17.835	1.966	0.554	0	F024
12	42.149	39.714	-1.61	9.076	1.4	1.24	-0.022	KRYZ
13	42.457	37.528	-6.63	15.378	2.72	1.24	0.042	SRNK
14	42.547	38.488	-5.804	14.279	1.52	1.2	-0.045	RESD
15	42.91	39.232	-2.216	9.721	0.61	0.52	-0.032	PTNS
16	42.983	23.951	4.846	18.557	2.048	0.578	0	F013
17	43.026	39.719	0.652	8.931	0.68	0.65	-0.036	ARGI
18	43.341	38.549	-5.232	13.403	0.86	0.84	0.014	KAL2
19	43.514	21.795	6.934	17.908	1.912	0.538	0	F033
20	43.759	38.997	-5.182	11.765	2.09	1.42	-0.089	MRAD
21	43.898	29.409	0.908	18.552	2.538	0.721	0	F026
22	44.145	39.556	-0.883	7.387	2.12	1.29	-0.107	DBYZ
23	44.428	38.489	0.098	13.998	2.6	2.6	0.01	GHOT
24	44.75	37.534	-3.719	19.156	1.7	1.7	0.02	BALA
25	45.049	39.297	0.571	11.224	2.6	2.6	0.01	JAMI
26	45.183	21.942	6.873	20.08	2.52	0.716	0	F077
27	45.354	26.579	3.738	19.589	2.062	0.582	0	F039
28	45.573	28.527	2.381	19.645	2.257	0.639	0	F040
29	45.605	38.952	1.5	14.078	1.8	1.7	0.02	JOLF
30	45.661	39.837	4.84	10.765	0.86	0.81	-0.015	JERM
31	45.887	38.228	1.207	13.953	1.1	1	0.05	SHAB
32	46.093	39.536	4.023	10.397	0.99	0.88	0.026	NORA
33	46.162	39.126	1.065	14.868	2.11	1.39	0.024	KAJR
34	46.162	36.908	-3.841	16.077	1.61	1.49	0	MIAN
35	46.265	38.736	3.801	13.886	2.5	2.6	0.02	KHAV
36	46.367	39.511	4.544	11.789	0.83	0.81	-0.011	GORI
37	46.397	21.851	7.023	20.247	2.319	0.657	0	F019
38	46.401	24.911	6.08	19.81	0.406	0.472	0	SOLA
39	46.427	33.648	-3.467	16.854	0.97	0.93	0.016	ILAM
40	46.459	39.315	4.065	12.929	2.09	1.35	0.069	KARM
41	46.603	38.178	0.401	10.536	1.7	1.7	0.02	VARZ
42	46.682	24.744	4.893	20.071	1.548	0.433	0	F020

43	46.76	39.753	3.514	11.651	0.93	0.8	0.002	SHOU
44	47.123	37.368	-3.935	15.506	1.7	1.7	0.02	KHOR
45	47.157	38.984	4.666	13.791	1.7	1.7	0.02	PIRM
46	47.271	38.27	3.771	13.64	1.6	1.6	0.02	TAZA
47	47.429	32.692	-1.727	17.568	1.53	1.51	0	DELO
48	47.739	33.057	-3.818	18.108	1.51	1.49	0	GORI
49	47.744	39.513	7.157	15.703	0.94	0.91	0.013	DAMO
50	47.869	37.929	1.396	13.675	1.7	1.7	0.02	ORTA
51	47.93	36.232	-3.888	15.225	1.68	1.52	0	BIJA
52	48.005	37.169	-1.525	12.915	1.7	1.6	0.02	AGKA
53	48.175	33.406	-1.051	17.818	1.5	1.48	0	KORA
54	48.231	38.477	4.21	13.014	1.1	1	0.05	ARBI
55	48.29	28.243	2.606	21.115	1.896	0.534	0	F029
56	48.336	32.418	-5.953	19.052	1.46	1.4	-0.002	NILO
57	48.388	38.952	5.133	13.329	0.93	0.85	0.002	YARD
58	48.409	30.246	0.245	19.493	0.98	0.95	0.018	KHOS
59	48.409	30.246	-0.621	18.519	1.23	1.09	0.003	KHOS
60	48.419	38.706	4.904	12.539	0.91	0.8	0.003	GOSM
61	48.506	33.772	-4.622	15.432	1.5	1.48	0	BORU
62	48.55	25.242	5.115	21.235	2.385	0.677	0	F037
63	48.678	32.657	-4.022	18.99	1.5	1.48	0	DEZF
64	48.684	31.34	-1.649	19.971	1.42	1.41	0	AHVA
65	48.684	31.34	1.145	16.941	2.19	2.04	0.005	AHVA
66	48.717	39.497	6.251	12.991	0.66	0.64	0	BILE
67	48.814	36.764	-1.934	12.255	1.1	1	0.06	BADA
68	48.818	32.233	-2.839	16.368	1.26	0.86	0.049	1991
69	48.922	37.764	0.526	11.807	1.3	1.2	0.04	HASH
70	48.925	31.188	-3.021	21.62	1.5	1.48	0	AWAZ
71	48.952	34.256	-3.557	17.145	1.5	1.48	0	JOZA
72	49.011	30.664	-2.642	16.65	1.1	0.8	0.012	2574
73	49.039	23.832	6.05	21.778	1.512	0.423	0	F035
74	49.328	32.037	-3.574	19.276	1.5	1.48	0	SOLE
75	49.476	31.157	-3.455	18.413	1	0.6	0.059	2562
76	49.571	31.484	-2.297	22.436	1.5	1.48	0	HAFT
77	49.668	33.073	-1.007	15.242	1.51	1.49	0	SHOL
78	49.789	33.307	-1.476	16.346	2.02	1.16	0.189	1531
79	49.851	35.14	-1.994	14.863	1.51	1.49	0	GHAR
80	49.939	26.672	3.936	22.738	2.396	0.68	0	F030
81	50.026	30.325	-0.848	19.624	1.2	1.18	0	SARD
82	50.098	32.482	-3.698	17.296	1.53	1.51	0	CHEL
83	50.102	37.156	-2.695	14.682	2.9	2.8	0.03	ATTA
84	50.33	29.93	-0.42	18.69	1.42	0.92	-0.02	2604
85	50.451	31.538	-5.955	17.901	1.1	0.72	0.043	2077
86	50.458	33.157	-3.194	14.614	1.51	1.49	0	KHON
87	50.531	31.808	-4.089	15.297	1.51	1.5	0	KRD2

88	50.578	30.99	-0.366	17.034	1.19	1.18	0	DEDA
89	50.608	26.209	4.505	22.045	0.299	0.265	0	S051
90	50.608	26.209	4.648	22.229	0.278	0.268	0	BAHR
91	50.734	30.386	-0.593	17.313	1.28	1.04	-0.028	2522
92	50.744	24.077	6.993	23.469	2.388	0.678	0	F036
93	50.748	32.367	-3.352	14.662	1.58	1.47	0	SHAH
94	50.755	29.402	-1.063	17.823	1.04	0.72	0.004	3062
95	50.799	32.199	-2.681	13.813	1.32	0.88	0.026	2081
96	50.98	30.109	-0.965	18.721	1.43	1.41	0	BAMO
97	50.988	35.088	-0.031	9.972	1.5	1.5	0.01	CHSH
98	51.082	28.919	-1.683	20.108	0.95	0.92	0	ALIS
99	51.255	34.15	-1.486	13.08	0.95	0.93	0.017	KSHA
100	51.304	28.431	-1.672	18.587	1.58	0.96	0.056	3077
101	51.334	35.697	-1.276	11.236	0.44	0.375	0	TEHN
102	51.358	30.61	-2.34	16.494	1.43	1.42	0	SEPI
103	51.386	35.747	-0.751	13.46	1.65	1.51	0	TEHR
104	51.43	31.225	-2.064	12.936	1.2	1.18	0	SEMI
105	51.442	30.715	-4.364	14.508	1.04	0.64	-0.042	2511
106	51.551	28.191	0.841	20.729	1.42	1.08	-0.054	3084
107	51.755	29.732	-3.553	18.76	1.26	0.72	-0.081	2647
108	51.768	36.586	-3.657	11.634	1.71	1.5	0	NOSH
109	51.775	28.4	-0.652	18.813	1.44	1.42	0	SHAN
110	51.799	32.25	-2.589	14.607	1.52	1.5	0	QOMS
111	51.808	34.977	2.47	11.675	2.6	2.5	0.02	MOBA
112	51.812	35.73	-0.514	10.185	0.71	0.68	-0.001	BOOM
113	51.814	29.945	-1.927	15.74	1.45	1.43	0	DASH
114	51.836	27.85	4.094	20.183	1.47	1.43	0	DAYY
115	51.885	35.223	1.379	9.916	1.27	1.25	0.016	PISH
116	51.986	35.793	-0.293	9.946	1.33	1.3	0.018	ABAL
117	52.043	35.492	0.348	9.446	1.25	1.22	0.015	TANG
118	52.056	27.834	-0.119	22.72	0.9	0.88	0	KAN2
119	52.059	35.701	-1.023	8.887	1.25	1.24	0.014	DAMA
120	52.106	28.851	-2.995	19.879	0.9	0.87	0	FAR2
121	52.157	35.868	0.087	7.777	1.32	1.3	0.021	MEHR
122	52.164	28.542	2.98	20.003	2.08	1.24	-0.047	3091
123	52.179	30.726	-0.246	12.351	1.41	1.39	0	SEDE
124	52.235	29.617	-1.549	15.74	1.42	1.4	0	YAGH
125	52.285	36.588	-2.075	6.528	1.13	1.1	0.007	MAHM
126	52.285	36.588	-2.72	6.839	1.6	1.56	0.013	MAHM
127	52.305	36.206	-2.704	9.608	1.4	1.29	0.021	HELI
128	52.521	31.216	-0.694	13.566	1.26	0.82	-0.062	2127
129	52.568	31.228	-0.57	14.176	1.41	1.4	0	ABAD
130	52.586	35.701	-1.601	9.319	1.23	1.2	0.013	AMIN
131	52.607	27.474	-0.552	24.273	1.65	1.54	0	OSL2
132	52.639	29.477	3.073	13.106	1	0.7	-0.047	3021

133	52.664	30.058	0.757	13.417	1.08	0.8	-0.046	2661
134	52.685	27.36	0.893	17.837	1.58	1.02	-0.105	3457
135	52.752	29.798	0.068	14.587	1.45	1.42	0	MARV
136	52.903	28.392	0.474	15.848	0.98	0.72	0.011	3095
137	53.029	28.477	-3.003	16.294	0.86	0.85	0	QIR2
138	53.066	28.347	-2.275	17.291	0.88	0.86	0	ISL2
139	53.146	30.087	-0.989	13.864	0.97	0.9	0	SAA2
140	53.244	29.281	-2.452	14.921	0.9	0.87	0	SVR2
141	53.308	31.123	-0.602	13.562	1.43	1.41	0	ABAR
142	53.476	27.736	3.112	17.552	0.92	0.7	-0.012	3451
143	53.48	26.97	2.824	21.489	1.08	1.08	0	BMG2
144	53.564	35.662	-0.01	9.427	0.96	0.93	0.018	SEMNI
145	53.564	35.662	-0.148	9.493	1.32	1.13	0.014	SEMNI
146	53.596	26.92	5.43	17.743	1	0.78	0.024	3437
147	53.631	28.624	-1.653	17.107	1.01	0.97	0	GOT2
148	53.637	27.852	-1.449	16.268	0.94	0.92	0	BIG2
149	53.783	29.331	0.958	12.015	1.24	0.88	-0.079	2696
150	53.805	27.918	1.012	13.955	0.84	0.64	-0.01	3142
151	53.822	32.313	-1.211	13.999	1.04	1.02	0	ARDA
152	54.004	26.883	2.188	21.346	1.18	1	0.019	LAMB
153	54.004	26.883	4.522	20.836	1.16	0.98	0.051	3435
154	54.004	26.883	2.808	22.865	1.63	1.17	0.012	LAMB
155	54.126	29.923	-1.992	15.271	0.86	0.85	0	KHO2
156	54.199	36.86	-2.81	7.866	0.98	0.94	0.017	KORD
157	54.199	36.86	-1.11	5.726	1.36	1.13	0.016	KORD
158	54.316	29.239	-2.692	14.214	0.88	0.86	0	TMN2
159	54.32	27.644	-0.106	19.145	0.91	0.88	0	LAR2
160	54.381	26.937	3.603	21.029	0.78	0.62	0.001	3427
161	54.463	27.751	2.896	15.149	0.98	0.78	-0.018	3157
162	54.503	28.342	2.37	16.539	1.16	0.94	0.08	3165
163	54.608	30.079	-0.678	16.724	1.65	1.49	0	HARA
164	54.7	28.645	-2.475	14.662	0.87	0.85	0	DEH2
165	54.723	27.06	4.963	22.001	0.84	0.7	0	3461
166	54.832	29.363	-1.694	14.695	0.87	0.85	0	BES2
167	55.19	29.336	0.414	10.434	1.42	1.2	0.06	2943
168	55.32	27.939	0.967	15.375	0.96	0.76	0.02	3387
169	55.657	27	4.838	24.577	2.08	1.79	0.03	BAGH
170	55.78	28.936	2.349	12.038	1.18	0.86	-0.022	2951
171	55.8	28.33	3.44	15.083	1.04	1	0.022	RAZD
172	55.867	27.651	1.495	19.495	2.04	1.78	0.026	FINO
173	55.895	28.294	2.721	20.337	1.2	1.16	-0.003	LADA
174	55.895	28.315	3.796	14.519	1.6	1.26	0.134	101
175	55.918	28.302	-0.202	18.264	1.37	1.04	-0.025	HAJI
176	56.07	33.369	1.749	11.564	1.26	1.09	0.006	ROBA
177	56.07	33.369	1.008	11.053	0.97	0.95	0.02	ROBA

178	56.112	22.186	7.174	26.06	0.72	0.561	0	YIBL
179	56.162	27.366	3.964	21.476	2.04	1.79	0.027	GENO
180	56.233	26.208	5.461	25.883	1.01	0.98	0.025	KHAS
181	56.233	26.208	3.786	25.165	1.54	1.15	0.014	KHAS
182	56.504	28.529	4.055	15.21	1.98	1.73	0.023	DENA
183	56.946	27.488	-1.76	19.552	1.99	1.75	0.026	SARZ
184	57.1	27.16	0.96	23.255	1.89	1.64	0.03	MINA
185	57.119	30.277	-0.999	16.734	2.46	1.68	0	KERM
186	57.217	28.01	1.652	16.147	1.9	1.67	0.029	GHOL
187	57.237	26.379	2.108	24.183	2.01	1.75	0.029	POOS
188	57.308	37.814	2.148	2.919	1.38	1.11	0.02	SHIR
189	57.308	37.814	-2.062	3.921	0.96	0.95	0.018	SHIR
190	57.62	26.993	0.705	14.239	1.93	1.69	0.029	MOSH
191	57.767	25.636	3.193	13	1.04	1	0.026	JASK
192	57.767	25.636	2.673	14.481	1.2	1.06	0	JASK
193	57.884	27.901	1.215	13.632	1.97	1.69	0.031	SORC
194	58.464	35.293	0.62	6.624	0.81	0.75	-0.001	KASH
195	58.464	35.293	0.467	6.088	0.87	0.84	0.019	KASH
196	58.569	23.564	8.515	26.328	1.11	1.02	0.022	MUSC
197	58.569	23.564	6.522	26.984	1.24	1.07	0.001	MUSC
198	59.47	36.309	-1.83	2.706	1.51	1.45	-0.003	MASH
199	59.48	36.335	0.028	3.076	1.36	1.28	0.016	MSHN
200	59.48	36.335	-0.19	-1.132	1.76	1.53	0.008	MASH