

**ارزیابی پتانسیل حرکتی گسل های جنبای ناحیه پردیس (در گستره شمال باختر نیکنام ده  
تا جنوب خاور چنارک، پهنه ساختاری جنوب البرز مرکزی - شمال ایران)**

**حسین مرتازی؛** دانشجوی دکتری زمین شناسی، گرایش تکتونیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران

**محسن پور کرمانی\*؛** استاد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران

**محمود الماسیان؛** استاد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران

**سهیلا بوذری؛** استاد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

**چکیده**

در این مقاله به بررسی فعالیت پتانسیل حرکت گسل های فعال در گستره مورد پژوهش (ناحیه پردیس)، پهنه جنوب شرقی البرز مرکزی پرداخته شده است که یکی از پویاترین پهنه های لرزه زمین ساختی ایران است. از مهم ترین گسل های جنبای ناحیه مورد مطالعه، می توان به گسل مشا، تلو پائین، لتیان، سرخه حصار، ایوانکی، قصر فیروزه، کوثر، نیاوران و قبله اشاره کرد. در این بررسی، یک مدل نظری برای ارزیابی پتانسیل حرکتی گسل (Fault Movement Potential) یا FMP بر اساس رابطه بین ویژگی های هندسی گسل و میدان تنش تکتونیکی ناحیه ای پیشنهاد شده است. ارزیابی پتانسیل حرکتی گسل های فعال ناحیه پردیس در گستره شمال باختر نیکنام ده تا جنوب خاور چنارک، پهنه ساختاری جنوب البرز مرکزی هدف اصلی این بررسی می باشد. و در این راستا داده های ساختاری، به منظور دستیابی به موقعیت محور های اصلی تنش، در پهنه وسیعی از ناحیه مورد مطالعه برداشت گردید که از معادلات این الگو در نه ایستگاه منطقه مذکور استفاده شد. در نهایت با استفاده از روش وارون سازی، تنش اصلی بیشینه در هر مقطع به طور جداگانه به دست آمد و در معادلات جاگذاری شد. طبق محاسبات پتانسیل حرکتی گسل در هر مقطع از گسل های ناحیه مشخص گردید که گسل های مشا، لتیان و نیاوران بیشترین پتانسیل حرکتی در مقایسه با دیگر قطعات گسلی است. نتایج محاسبه پتانسیل حرکت گسل ها در هر قطعه، تطابق خوبی را با فراوانی زمین لرزه های رخ داده

نمایان می سازد، به طوری که بخش خاوری ناحیه مورد مطالعه دارای نرخ لرزه خیزی بیشتری نسبت به دیگر بخش های آن می باشد. با توجه به محاسبه مقادیر پتانسیل حرکتی گسل های ناحیه، مشخص گردید، بخش خاوری ناحیه (حداصل گسل مشا تا گسل نیاوران) بیشترین میزان احتمال لغزش در آینده دارا خواهد بود. بخش جنوبی گسل نیاوران با بیشترین میزان پتانسیل حرکتی گسل همراه است و ساختارهای تکتونیکی نواحی آن به عنوان جوان ترین فعالیت های نئوتکتونیکی در ناحیه معرفی می گردد.

واژه های کلیدی: گسل های جنبای، توان حرکتی، تنش اصلی بیشینه، میدان تنش زمین ساختی ناحیه ای.

### مقدمه

فلات ایران ناحیه ی با فعالیت لرزه ای بالا، بین صفحات پایدار عربی و اوراسیایی جای گرفته است. ارتفاعات کنونی آن، دگر ریختی فعال و لرزه خیزی با اندر کنش های پیچیده بین گسل های راندگی و امتداد لغز راست گرد فعال، به وسیله ی نیروهای همگرایی محرک صفحات ایجاد شده اند. رشته کوه البرز در حاشیه جنوبی حوضه کاسپین جنوبی با عرض ۱۰۰ کیلومتر و طول ۲۰۰۰ کیلومتر از قفقاز کوچک در شمال باختر تا رشته کوه های پاروپامیسوس<sup>۱</sup> در شمال افغانستان در خاور گسترده شده است و زمین ساخت فعالی را نشان می دهد (Berberian and Yeats, 2001). سنگ شناسی گستره مورد پژوهش، شامل مجموعه ای از سنگ های رسوبی پرکامبرین، پالئوزوییک و مزوزوییک و ترشیاری و رخنمون های نامنظمی از سنگ های آذرین با سن نه چندان دقیق و ترکیب شیمیایی متفاوت می باشد. علوی (۱۹۹۶)، ساختار البرز مرکزی را یک ساختار دوپلکس مرکب پیچیده با یک هندسه تاق ریخت معرفی کرده است. دیگر زمین شناسان نظیر اشتوکلین (۱۹۷۴)، رشته کوه البرز را به صورت یک بزرگ ناودیس مرکب معرفی نموده که به وسیله گسل های مختلفی بریده شده است. در دامنه های شمالی و جنوبی، شیب گسل های معکوس به ترتیب به سمت جنوب و شمال می باشد. نظری (۲۰۰۶) معتقد است که چین خوردگی از نوع جدایشی همراه با بالا آمدگی رخساره های پرکامبرین و پالئوزوئیک در البرز مرکزی روی داده است. در محدوده شرق تهران (حومه پردیس)، گسل های جنبای مورد ارزیابی قرار گرفته است. این گسل ها، به عنوان گسل های فعال و اصلی می باشد که به طور مستقیم شهر تهران، کلان شهری با ۱۳ میلیون سکنه را تهدید می کند و در گذشته منشأ چندین زمین لرزه بزرگ تاریخی بوده است. گسل مشا نیز به واسطه لرزه خیزی تاریخی شدید و وضعیت ریخت شناسی مشخص آن، یکی از مهم ترین گسل های فعال در البرز مرکزی می باشد. این گسل با درازایی در حدود ۱۵۰ کیومتر در نزدیکی شهر تهران واقع شده است که یک منبع دارای پتانسیل بالای لرزه ای محسوب می شود (Ritz et al., 2003). این گسل مهم ترین ساختار در جنوب البرز مرکزی است، بیشتر مطالعات صورت گرفته بر روی آن متمرکز به بخش های خاوری و مرکزی آن بوده است (Allen

<sup>1</sup> Paropamisus

(et al., 2003; Soleymani et al., 2003). بخش های باختری گسل مشا (منطقه کوه های طالقان) توسط Guest et al., (2006). مطالعه شده است. لرزه خیزی ارتباط مستقیمی با گسل های کواترنری منطقه دارد. به عنوان یک متغیر، برای به کمیت کشیدن خطر زمین لرزه در امتداد گسل های فعال ناحیه پردیس، به دست آوردن پتانسیل حرکتی گسل (FMP) می تواند مفید واقع گردد. از این رو، از آن برای ارزیابی خطر زمین لرزه در امتداد گسل های جنبای گستره مورد پژوهش، استفاده شده است. پتانسیل حرکتی گسل، پارامتر جدیدی برای به کمیت کشیدن خطر زمین لرزه برای گسل های کواترنری و فعال محسوب می گردد. این پارامتر که توسط لی و همکاران (۱۹۷۷) مطرح شده، برای ارزیابی حرکت گسل های اصلی در هنگ کنگ به کار گرفته شده است. نتایج این روش با رکوردهای لرزه ای تاریخی و فعالیت ریزلرزه ای کنونی آن منطقه سازگار می باشد. لذا می توان، با در نظر گرفتن ملاحظاتی، برای گسل های ایران زمین نیز به کار گرفته شود. پتانسیل حرکتی گسل که براساس ویژگی های هندسی گسل و میدان تنش تکتونیکی ناحیه ای محاسبه می گردد، یک ابزار مفید برای رده بندی پتانسیل جنبش گسل های کواترنری و فعال است. در این نوشتار، از روش Lee et al. (1977). برای ارزیابی فعالیت گسل های فعال ناحیه پردیس با توجه به روابط مکانیکی بین هندسه گسل و میدان تنش زمین ساختی، استفاده شده است.

### منطقه مورد پژوهش

گسل مشا، گسلی با درازای حدود ۲۰۰ کیلومتر، با روند حدودی ۱۱۰ درجه نسبت به شمال جغرافیایی و ساز و کار فشاری با مؤلفه امتداد لغز چپ گرد است. در راستای این گسل بنیادی، جوان و دراز، گستره بلند البرز از سوی شمال به روی چین های کناری البرز (در جنوب) رانده شده است. شیب گسل مشا همواره به سوی شمال و شمال خاوری میل داشته و میان ۳۵ تا ۷۰ درجه در نوسان است. فرا دیواره گسل مشا را سنگ هایی با گستره سنی متفاوت پروتروزوییک پسین تا تر شیرینی تشکیل می دهند. سنگ های فرود یواره گسل، افزون بر این، شامل سنگ های نئوژن و کواترنری نیز می شود و در کل به نظر می رسد، فرادیواره گسل مشا نسبت به فرود یواره آن دچار بالا آمدگی قابل ملاحظه ای شده باشد. به سوی باختر، جابه جایی چینه نگاشتی گسل مشا کم می شود. در محل روستای افجه، سنگ های سازند کرج در راستای گسل مشا روی نهشته های سرخ رنگ نئوژن رانده شده اند. در ناحیه مورد مطالعه، نه گسل فعال شناسایی گردید، از مهم ترین گسل های ناحیه، می توان به گسل مشا، تلو پائین، لتیان، سرخه حصار، ایوانکی، قصر فیروزه، کوثر، نیاوران و قبله اشاره کرد. بیان روند کلی منطقه مشکل است ولی در نگاهی کلی می توان، دو گروه گسل در منطقه تشخیص داد، یک گروه گسل های جنبای اصلی با روند شمال باختر- جنوب خاور و دیگری گسل های فرعی شاخه های گسل های اصلی با روند شمال خاور- جنوب باختر می باشد. (Berberian and Yeats, 2001).



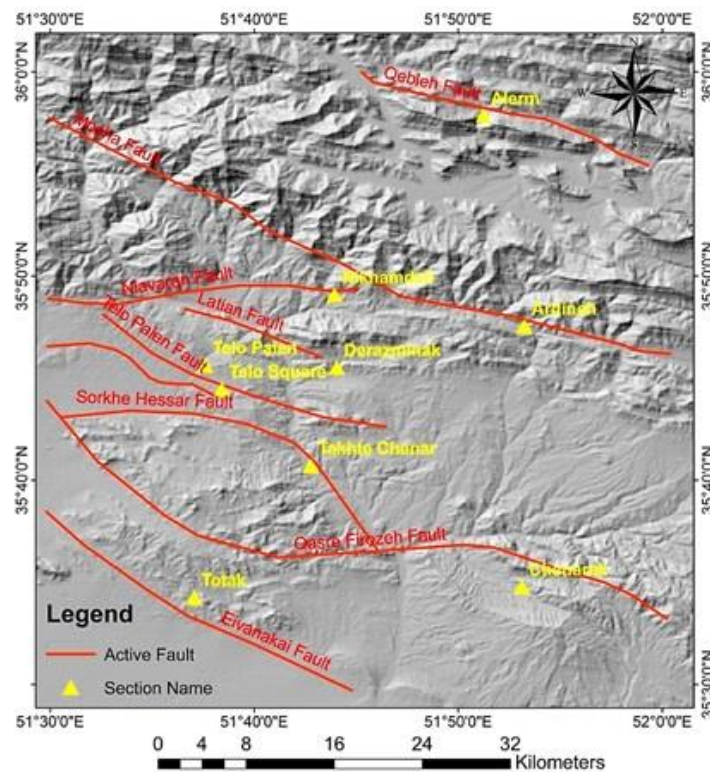
شکل ۲- الف) نمایی از ناپایداری شیب ها در مسیر جاده اُبعلی به امامزاده هاشم و تدابیر انجام شده به منظور جلوگیری از زمین لغزش ها و ریزش سنگ های احتمالی ب) نمایی از رخنمون شاخه هایی از گسل اصلی شمال تهران با همراه با چین خوردگی (دید به سمت جنوب خاور).

### روش تحقیق

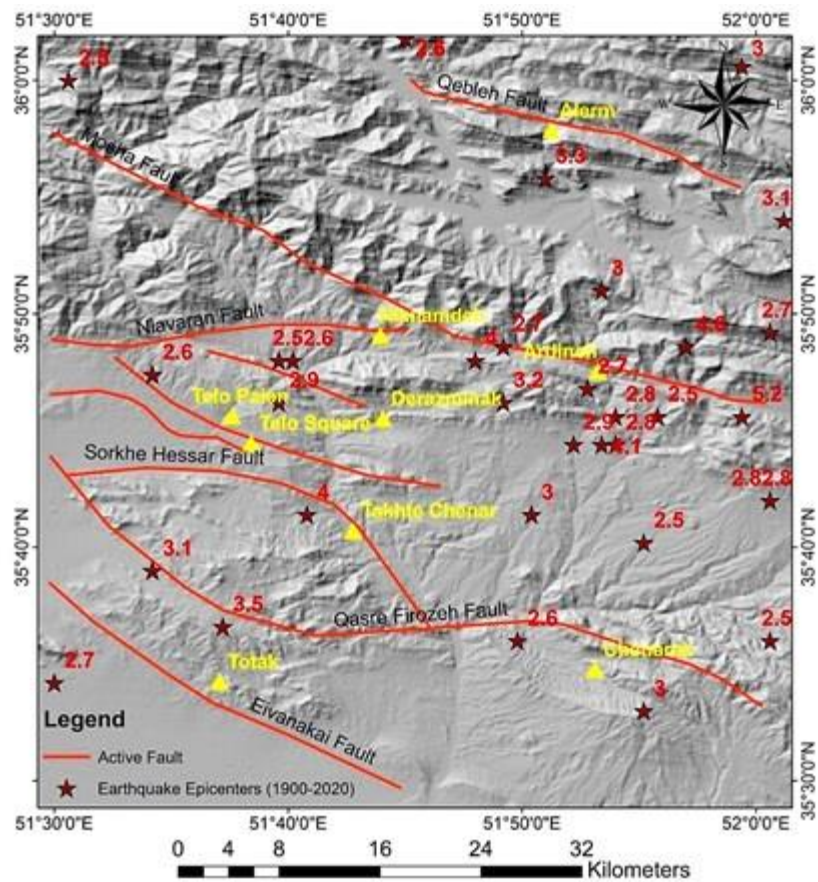
مقدار تنش بیشینه ناحیه ای با در دست داشتن شیب و امتداد یک دسته درزه مزدوج در ناحیه محاسبه شد و به صورت دستی در دایره موهر حل گردیده به طوری که نقطه تلاقی تنش متوسط و در فاصله قطب آن صفحه کمکی ترسیم گردیده است و مقدار نصف فاصله دو نقطه تلاقی درزه مزدوج بر روی صفحه کمک، همان مقدار تنش بیشینه لحاظ می گردد، به عبارتی با در دست داشتن شیب و امتداد گسل ها و ترسیم قطب صفحه گسل و اندازه گیری مقدار فاصله آن تا تنش بیشینه بر روی یک کمان شمالی - جنوبی در دایره موهر می توان مقدار زاویه  $\theta$  را محاسبه نمود در نهایت در معادلات جدول ۱ جاگذاری گردید و مقدار پتانسیل حرکت گسل های جنبای ناحیه در هر مقطع به دست آمده است (جدول ۲).

## جدول ۱- فلوجارت محاسبه توان حرکتی گسل در گستره مورد پژوهش

برداشت شیب و امتداد گسل ها و درزه های مزدوج در ناحیه	
پیاده سازی قطب صفحه گسل در دایره	پیاده سازی شیب و امتداد درزه های مزدوج
موهر	
ترسیم تنش متوسط، صفحه کمکی و ترسیم تنش بیشینه	
اندازه گیری زاویه تتا (فاصله بین قطب صفحه هر گسل تا تنش بیشینه)	
جاگذاری مقدار تتا بر اساس مقدار آن در معادله شماره ۹	
محاسبه مقدار پتانسیل حرکت گسل های جنبی برای هر کدام از گسل ها در هر مقطع	

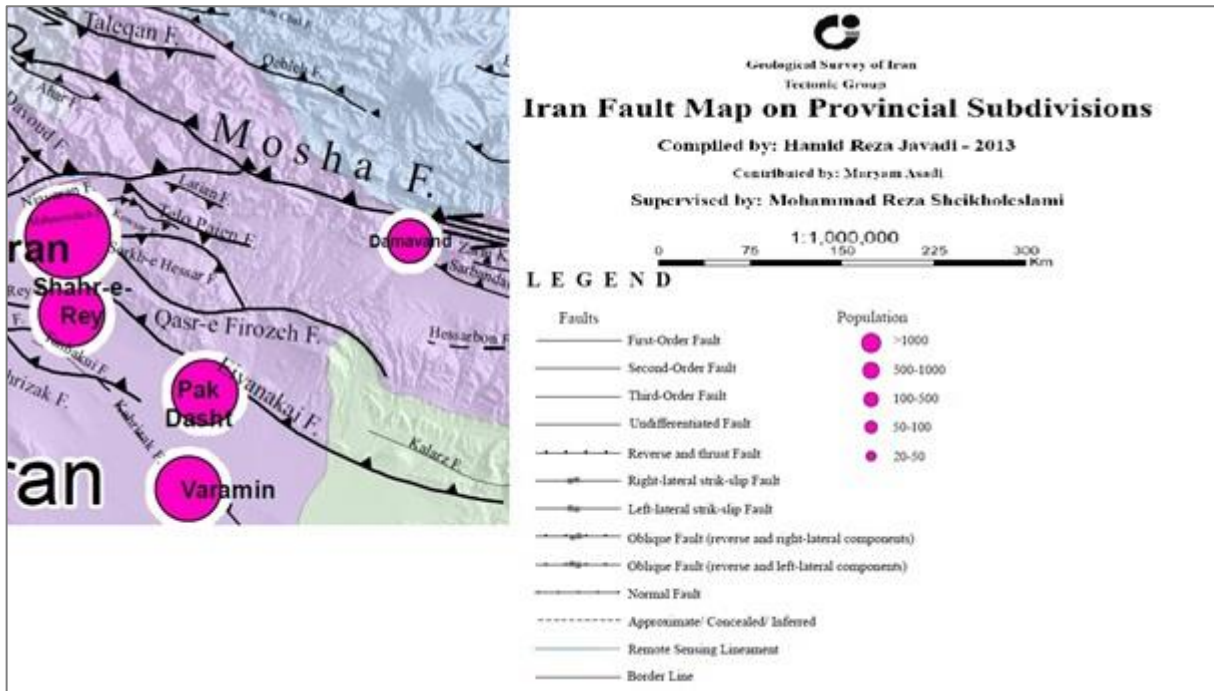


شکل ۲: نقشه گسل های جنبی به همراه نقاط برداشت شده در گستره مورد پژوهش



شکل ۳: پراکنش داده های لرزه ای دستگاهی و گسل های جنبای ناحیه

پتانسیل حرکتی گسل های فعال ناحیه مورد مطالعه، (شکل ۲)، طبق روش لی و همکاران (۱۹۹۷) با تنش ناحیه ای در هر مقطع به طور جداگانه محاسبه شد، تمامی محاسبات تنش ناحیه ای با استفاده از معادله شماره ۹ حل گردید (جدول ۱) پس از انجام محاسبات، نتایج حاصل از روش Lee et al., (1997) یعنی حل معادله بر پایه تنش ناحیه ای با نتایج حاصل از داده های لرزه ای (شکل ۵) با یکدیگر مقایسه شدند. گسل های مشا، لتیان و نیاوران با مقادیر بالای ۶۰ درصد احتمال لغزش در آینده برآورد گردیده است که پس از محاسبه زاویه  $\theta$  که مقدار فاصله قطب صفحه گسل با تنش بیشینه ناحیه ای به دست آمده است که پس از آن در معادله شماره ۹ حل گردید و مقدار پتانسیل حرکتی در هر مقطع اندازه گیری شده برای آن گسل محاسبه گردیده است.



شکل ۴: نقشه گسل های فعال در منطقه مورد مطالعه (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور)

### مدل نظری برای تحلیل پتانسیل حرکتی گسل

پتانسیل حرکتی گسل (FMP) به تنش تکتونیکی ( $\sigma$ )، هندسه صفحه گسل (G) و خواص فیزیکی محیط داخل و طرفین گسل (P) وابسته است. FMP تابعی از این عوامل می باشد:

$$FMP = f(\sigma, G, P) \quad (۱)$$

اگر چه یک محیط زمین شناسی معمولاً ناهمگن و خیلی پیچیده است ولی می تواند از نظر آماری، همگن و ایزوتروپ در نظر گرفته شود. بر اساس این مسئله و برای ساده سازی مدل نظری، محیط زمین شناسی حاوی گسل ها به صورت یک ماده همگن، ایزوتروپ و الاستیک در نظر گرفته شده است. بنابراین FMP می تواند به صورت ذیل ساده شود.

$$FMP = f(\sigma, G) \quad (۲)$$

برای در نظرگیری تأثیر جهت گیری تنش تکتونیکی و هندسه گسلی روی لرزه خیزی گسل، آزمایشاتی را با استفاده از مدل های بلوکی انجام داده اند. نتایج حاصله نشان داده که تغییر شیب گسل، باعث تغییرات قابل توجه در فواصل زمانی وقوع مجدد رخداد های لرزه ای مستقل، از میزان انرژی لرزه ای می شود. برای بعضی مقادیر شیب، فعالیت لرزه ای گسل از بین می رود و برای اثبات نتایج این آزمایش ها، یک تحلیل نظری انجام شده و نشان داده شده گسل ها، هنگامی می توانند بلغزند که زوایای بین جهت گیری تنش اصلی فشاری حداکثر و امتداد گسل بین ۲۰ و ۷۰ درجه باشد. (Lee et al., 1997) هر چند که استثنایی در به کار گرفتن این مدل برای سیستم های گسلی واقعی وجود دارد. این استثناء ناشی از محدودیت بررسی های دوبعدی هستند. در واقع، صفحات گسلی همیشه قائم

و جهت گیری تنش اصلی فشاری حداکثر نیز، همیشه افقی می باشد. در این روش، این مسئله با استفاده از دایره موهر تنش در نظر گرفته شده است. از نظر مکانیکی، مهم ترین عواملی که در شروع حرکت لغزشی روی یک گسل از پیش موجود مؤثر هستند (با فرض مثبت بودن تنش فشاری) عبارتند از:

۱- تفاضل تنش های اصلی حداکثر ( $\sigma_1$ ) و حداقل ( $\sigma_3$ ): ( $\sigma_1 - \sigma_3$ )، که تعیین کننده قطر دایره موهر است.

۲- مجموع تنش اصلی حداکثر و حداقل: ( $\sigma_1 + \sigma_3$ )، که تعیین کننده محل دایره موهر است. زاویه بین عمود بر صفحه گسلی و تنش اصلی بیشینه ( $\sigma_1$ ) به صورت  $\theta$  نشان داده می شود. حد پایینی و بالایی  $\theta$  در گسلی که دارای توانایی لغزش می باشد، به وسیله  $\theta_1, \theta_2$  نمایش داده شده است. علامت  $\theta_0$  نشانگر مقدار ویژه  $\theta$  در لغزش گسلی به احتمال بسیار،  $\phi$  زاویه اصطکاک داخلی گسل،  $\tau_0$  چسبندگی داخل گسل و  $T_0$  نقطه ای است که شکستگی کششی رخ می دهد. ابتدا زاویه ای ( $\theta_0$ ) که گسل به احتمال بسیار در آن می لغزد، محاسبه می گردد. بر اساس قضیه سینوس و شکل ۴، داریم:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2\tau_0 \text{ctg} \phi} = \frac{\sin \phi}{\sin(2\theta - \phi)} \quad \text{معادله (۳)}$$

با مشتق گیری از تنش ( $\sigma$ ) نسبت به زاویه  $\theta$  و مساوی با صفر قرار دادن مشتق داریم:

$$\cos(2\theta - \phi) = 0, \theta_0 = 45^\circ + \phi/2 \quad \text{معادله (۴)}$$

سپس، محدوده پایین و بالای زاویه  $\theta$  برای لغزش گسلی ممکن، محاسبه می گردد. از معادله (۳) داریم:

$$\sin(2\theta - \phi) = \frac{\sigma_1 + \sigma_3 + 2\tau_0 \text{ctg} \phi}{\sigma_1 - \sigma_3} \sin \phi \quad \text{معادله (۵)}$$

در شکل ۱ وقتی  $\sigma_3 \rightarrow T_0$ ،  $\sigma_1 - \sigma_3 \rightarrow \sigma_1 + \sigma_3 + 2\tau_0 \text{ctg} \phi$ ، محدوده  $\theta$  حداکثر است، بنابراین داریم:

$$\sin(2\theta - \phi) = \sin \phi \quad \text{معادله (۶)}$$

$$\theta_1 \rightarrow \phi, \theta_2 \rightarrow \pi/2 \quad \text{معادله (۷)}$$

معمولاً ضریب اصطکاک روی یک سطح شکستگی شکننده 0.5-0.8 است<sup>[۱۹]</sup> که مربوط به زوایای ذیل می باشد:

$$\phi = 27^\circ - 39^\circ$$

برای سادگی محاسبه،  $\phi$  را مساوی با ۳۰ درجه در نظر می گیرند و لذا:

$$\theta = \begin{cases} \theta_0 = 60^\circ \\ \theta_1 = \phi \\ \theta_2 = \pi/2 \end{cases} \quad \text{معادله (۸)}$$

یعنی وقتی  $30^\circ < \theta < 90^\circ$ ، یک گسل ممکن است بلغزد. هنگامی که  $\theta = 60^\circ$  باشد، گسل به راحتی می لغزد. اگر  $\theta \leq 30^\circ$  یا  $\theta \geq 90^\circ$  باشد، گسل نمی تواند بلغزد (شکل ۵).  
برای به کمیت کشیدن رابطه بین پتانسیل حرکتی گسل (FMP) و زاویه  $\theta$ ، FMP به صورت یک عامل نرمالیزه شده در ذیل تعریف شده است:

$$FMP = \begin{cases} 0 & , \theta \in [0^\circ, 30^\circ] \\ \frac{\theta - 30^\circ}{30^\circ} & , \theta \in [30^\circ, 60^\circ] \\ 1 - \frac{\theta - 60^\circ}{30^\circ} & , \theta \in [60^\circ, 90^\circ] \end{cases} \quad (\text{معادله ۹})$$

### محاسبه زاویه $\theta$

اگر جهت عمود ( $\gamma_1$ ) بر صفحه گسل و زاویه میل آن ( $\beta_1$ ) و جهت گیری تنش اصلی حداکثر ( $\gamma_2$ ) و زاویه میل آن ( $\beta_2$ ) معلوم باشد،  $\theta$  می تواند از روابط هندسی آن‌ها محاسبه گردد (شکل ۵).

اگر  $\gamma$  آزمون یک خط مستقیم و  $\beta$  زاویه میل آن باشد، خط راست می تواند به صورت ذیل تعریف شود:  
معادله (۱۰)

$$\begin{aligned} l &= OA = \cos \beta \cos \gamma \\ m &= CB = \sin \beta \\ n &= AB = \cos \beta \sin \gamma \end{aligned}$$

و بردار  $N = [l, m, n]$ ، جهت خط مستقیم است. بنابراین، زاویه بین دو خط مستقیم می تواند به صورت ذیل محاسبه گردد:  
معادله (۱۱)

$$\cos \theta = \cos \beta_1 \cos \beta_2 \cos(\gamma_1 - \gamma_2) + \sin \beta_1 \sin \beta_2$$

این درحالی است که اگر محور  $\sigma_1$  به سمت بالا باشد، مقدار  $\beta_2$  منفی می شود.

### جهت گیری تنش تکتونیکی ناحیه ای

تنش تکتونیکی، یک تنش اضافه شده به وضعیت تنش لیتواستاتیک است. به بیان دیگر، بخش منحرف شده از تنش لیتواستاتیک می باشد. تحلیل سازوکار ژرفی زمین لرزه، یکی از روش های رایج در مطالعه

میدان تنش تکتونیکی معاصر است. اگر چه جهت گیری تنش فشاری اصلی حداکثر، به دست آمده از تحلیل سازوکار ژرفی یک زمین لرزه قوی، معرف خصوصیات میدان تنش تکتونیکی ناحیه ای وسیع می باشد. برخی تحلیل های سازوکار ژرفی زمین لرزه های بزرگ، شرایط پیچیده ساختارهای عمیق و سیمای تنش را نشان می دهد. سیمای تنش به این معناست که میدان تنش استثنایی در فرآیند کانونی لحظه ای، به میدان تنش تکتونیکی ناحیه ای در فرآیند ایجاد زمین لرزه افزوده می شود و تحلیل سازوکار ژرفی یک زمین لرزه کوچک منفرد، دارای سیمای اتفاقی است. خوشبختانه تحلیل های سازوکار ژرفی مصنوعی بسیاری از زمین لرزه های کوچک، ممکن است وضعیت تنش تکتونیکی ناحیه ای را مشخص سازد. بنابراین، هم تحلیل های سازوکار ژرفی زمین لرزه های بزرگ و هم تحلیل های میانگین زمین لرزه های کوچک، می توانند برای به دست آوردن ترکیب کلی وضعیت تنش ناحیه ای مورد استفاده قرار گیرند. در هرحال، بررسی ارزیابی پتانسیل حرکتی گسل های کواترنری، نشان می دهد که حتی در نبود پیشینه لرزه خیزی شناخته شده، امکان رتبه بندی گسل های فعال براساس پارامتر یادشده در بالا وجود دارد (Ghorashi, and Arian, 2011).

جدول ۲- محاسبات توان حرکتی گسل های جنبای ناحیه پردیس با استفاده از تنش ناحیه ای

Section Name	Fault Name	Maximum mainly stress ( $\sigma_1$ )	Fault Plane	$\theta$	FMP
Alerm	Qebleh Fault	237/19	339/30	40	0.3
Ardineh	Mosha Fault	237/19	110/65	36	0.6
Niknamdeh	Niavaran Fault	237/19	02/55	51	0.7
Derazminak	Latian Fault	237/19	337/60	72	0.6
Telo Paien	Telo Paien Fault	237/19	334/70	82	0.3
Telo Square	Kowsar Fault	237/19	340/75	76	0.5
Takhte Chenar	Sorkhe Hesar Fault	237/19	333/80	83	0.2
Chenarak	Qasre Firozeh Fault	237/19	337/65	77	0.4
Totak	Eivanakai Fault	237/19	325/60	86	0.1

### نتیجه گیری

طبق محاسبات، پتانسیل حرکتی گسل در هر مقطع از گسل های ناحیه مشخص گردید که گسل های مشا، لتیان و نیاوران بیشترین پتانسیل حرکتی در مقایسه با دیگر قطعات گسلی است. نتایج محاسبه پتانسیل حرکت گسل ها در هر قطعه، تطابق خوبی را با فراوانی زمین لرزه های رخ داده نمایان می سازد، به طوری که بخش خاوری ناحیه مورد مطالعه، دارای نرخ لرزه خیزی بیشتری نسبت به دیگر

بخش‌های آن می‌باشد و تمرکز زمین لرزه‌ها بیشتر در بخش جنوب‌خاوری گسل مشا در ناحیه مشخص گردیده است که می‌تواند در آینده دچار گسلش از نوع شکننده گردد، به عبارتی می‌توان چنین استنباط کرد که گستره مورد پژوهش در مرحله پیش‌لرزه قرار دارد. با توجه به سرعت متوسط لغزش گسل‌های ناحیه در سال‌های اخیر و همچنین با توجه به مطالعات پیشین و نتایج به دست آمده از ناحیه و داده‌های حاصل از محاسبه مقادیر پتانسیل حرکتی گسل، بخش خاوری ناحیه (حدفاصل گسل مشا تا گسل نیاوران) بیشترین میزان احتمال لغزش در آینده را دارا می‌باشد. بخش جنوبی گسل نیاوران با بیشترین میزان پتانسیل حرکتی گسل همراه است و ساختارهای تکتونیکی نواحی آن به عنوان جوان‌ترین فعالیت‌های نئوتکتونیکی در ناحیه معرفی می‌گردد، این در حالی است که مقادیر رومرکز زمین لرزه‌ها دقیقاً در نزدیکی گسل‌های جنبای ناحیه رخ داده است.

## منابع:

- شهرابی، مصطفی. (۱۳۸۵). (گسل های سراسری و مهم ایران)، مجله رشد آموزش زمین شناسی، دوره دوازدهم، ش ۱، صفحات ۲۰ تا ۲۵.
- زمردیان، محمد جعفر. (۱۳۸۵). ژئومورفولوژی ایران، ج ۱، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۸۴ صفحه.
- بربریان، م.، قرشی، م.، ارزنگ روش، ا. و مهاجر اشجعی، ا.، ۱۳۷۵ - پژوهش و بررسی ژرف نوزمین ساخت و خطر زمین لرزه - گسلش در گستره تهران، سازمان زمین شناسی. کشور - گزارش شماره ۶۳.
- Angelier, J., 1994- Fault slip analysis and paleostress reconstruction in Hancock, Continental deformation, Pergamon press, Oxford, pp: 53-100.
- Allen, M., Jackson, J., and Walker, R., 2004, Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and longterm deformation rates: Tectonics, v. 23, art. no. TC2008, doi: 10.1029/2003 TC001530.
- Arian, M., Qorashi, M. (2006): The Movement Potential Evaluation of the Major Quaternary faults in Alborz-Central Iran Border Zone, from the East of Tehran to the East of Semnan, Geosciences, Vol. 15, No. 59, pp. 184-187.
- Alavi, M., 1996- Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran. Journal of Geodynamics, V.21, 1-33.
- Aleen, M. B., Ghassemi, M. R. Shahrabi, M. and Ghorashi, M., 2003a – Accommodation of Iate Cenozoic oblique shortening in the Alborz range , northernIran, J. Struct. Geol., 25, 659 – 672.
- Arian, M. (2011) Basement Tectonics and Geology of Iran. Asar Nafis Press, 300 p.
- Arian, M. (2013) Physiographic-Tectonic Zoning of Iran’s Sedimentary Basins. Open Journal of Geology, 3, 169-177.
- Arian, M., Maleki, Z. and Noroozpour, H. (2011) Cenozoic Diastrophism and Deformational Events in the East Central Alborz. Journal of Basic and Applied Scientific Research, 1, 2394-2400.
- Arian, M. and Bagha, N. (2012) Active Tectonics of Tehran Area, Iran. Journal of Basic and Applied Scientific Research, 2, 3805-3819.
- Arian, M. and Pourkermani, M. (2004) Tectonic Elements of South Flank in the East-Central Alborz Mountain. Journal of Sciences, Teacher Training University, 4, 359-368.
- Arian, M. and Qorashi, M. (2006) The Movement Potential Evaluation of the Major Quaternary Faults in Alborz-Central Iran Border Zone, from the East of Tehran to the East of Semnan. Journal of Geosciences, Geological Survey of Iran, 15, 184-188.
- Arian, M. (2012) Clustering of Diapiric Provinces in the Central Iran Basin. Carbonates and Evaporites, 27, 9-18. <http://dx.doi.org/10.1007/s13146-011-0079-9>.
- Arian, M., Toudeshki, V.H. and Noroozpour, H. (2011) Active Tectonics of Qezel Ozan River Basin, NW Iran. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 1, 291-295.
- Arian, M., Pourkermani, M., Sistanipour, A. and Noroozpour, H. (2011) Kinematic Significance of Fold- and Fault- Related Fracture Systems in the Rafsanjan’s Northeast Highlands (Central Iran). Journal of Basic and Applied Scientific Research, 1, 3398-3406.
- Arian, M., Pourkermani, M., Sistanipour, A. and Noroozpour, H. (2011) Seismicity and Fault Segmentation of Bafq.
- Asadian, F. and Arian, M. (2009) Identification of Diapiric Provinces of Central Iran through Geological and Geographical Analysis. International Journal of Agriculture Environment & Biotechnology, 2, 3443-3451.
- Arian, M. (2010) Earthquake-Fault Hazard Investigations in the Kerman Quadrangle. Journal of Sciences, Islamic Azad University, 19, 176-182.
- Arian, M. and Noroozpour, H. (2015) The Biggest Salt-Tongue Canopy of Central Iran. Open Journal of Geology, 5, 55-60. <http://dx.doi.org/10.4236/ojg.2015.52005>
- Arian, M. and Noroozpour, H. (2015) Tectonic Geomorphology of Iran’s Salt Structures. Open Journal of Geology, 5, 61-72. <http://dx.doi.org/10.4236/ojg.2015.52006>

- Arian, M. and Aram, Z. (2014) Relative Tectonic Activity Classification in the Kermanshah Area, Western Iran. *Solid Earth*, 5, 1277-1291. <http://dx.doi.org/10.5194/se-5-1277-2014>.
- Arian, M. and Hashemi, A. (2008) Seismotectonic Zoning in the Zagros. *Journal of Sciences*, 18, 63-76.
- Arian, M., Ahmadnia, A., Qorashi, M. and Pourkermani, M. (2002) Structural Analysis of Mengharak Transcurrent Fault System in Zagros, Iran. *Special Geo 2002 Conference Issue Geoarabia*, 7, 209-210.
- Arian, M., Qorashi, M., Pourkermani, M. and Ahmadnia, A. (2006) The Structural Significance Kareh Bas Transcurrent Fault System in the Zagros Fold and Thrust Belt. *Journal of Geosciences, Geological Survey of Iran*, 15, 126-133.
- Arian, M. and Nouri, R. (2015) Lineament Tectonics and Mineralization in Tarom Area, North Iran. *Open Journal of Geology*, 5, 115-124.
- Arian, M. and Feizi, F. (2005) Application of Geomorphic Indices to the Assessment of Relative Tectonic Activity
- Berberian, M., 1981. Tectono-plutonic episodes in Iran. *Geodynamics Series*, 3, WG-6, American Geophysical Union, 5-32.
- Berberian, M., 1976, Contribution to the seismotectonics of Iran (Part II). Geological Survey of Iran, Report No. 39.
- Berberian, M., Jackson, J. A., Ghorashi, M., Talebian, M., Khatib, M. M. & Priestley, K., 2000- The 1994 Sefidabeh earthquakes in eastern Iran: blind thrusting and bedding-plane slip on a growing anticline, and active tectonics of the Sistan suture zone. *Geophys. J. Int.*, 142, 283-299.
- Berberian, M. & Yeats, R. S., 1999- Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 120-139.
- Berberian, M., 1976- Contribution to the Seismotectonics of Iran, 1st edn., Part 10, Rep. No. 39, pp. 518, Geological Survey of Iran.
- Berberian, M., 1997- Seismic sources of the Transcaucasian historical earthquakes. In: Giardini, D., Balassanian, S. (Eds.), *Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus*. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht, Netherlands, pp. 233-311.
- Berberian, M., 1977. Three phases of metamorphism in Haji-Abad quadrangle (southern extremity of Sanandaj-Sirjan structural zone): a palaeotectonic discussion. In: Berberian, M. (Ed.), *Contribution to the seismotectonics of Iran (part 3)*. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran, pp. 239-263.
- Berberian, M., King, G.C., 1981. Towards a paleogeography and tectonics evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18: 210-265.
- Berberian, M., Yeatz, R. s., 2001- Contribution of archeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau. *Journal of Structural Geology* 23, 563-584.
- Bagha, N., Arian, M., Ghorashi, M., Pourkermani, M., El Hamdouni, R. and Solgi, A. (2014) Evaluation of Relative Tectonic Activity in the Tehran Basin, Central Alborz, Northern Iran. *Geomorphology*, 213, 66-87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.12.041>
- Baghin Fault System (Central Iran). *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 1, 382-396.
- Ehteshami Moinabadi, M., Yassaghi, A., 2007 – Gemometry and kinematics of the Mosha fault, south central Alborz Range, Iran: An example of basement involved thrusting. *J. Asian Earth science*, Article in press.
- Feizi, F., Arian, A. and Rahmani, R. (2007) Seismotectonic Zoning in the Eastern Part of the Central Alborz. *Journal of Sciences, Islamic Azad University*, 17, 151-164.
- Feizi, F. and Arian, M. (2011) The Role of Structural Controllers in Geneses of Copper Deposits in 1:50000 Map of Saiin Qaleh. *Journal of Sciences*, 21, 1-10.
- Guest, B., Axen, G.J., Lam, P.S., Hassanzadeh, J., 2006- Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountain, northern Iran, by combined conjugate strike slip and thin-skinned deformation, *Geosphere*, V.2, No.1, 35-52.
- Ghorashi, M. and Arian, M. (2011) *Tectonics of Iran*. Geologic Survey of Iran, 336 p.
- He, S.H. (1989): The effect of orientation and level of principal stress on fault movement: *Crustal Deformation and Earthquake*, 9 (3): pp. 44-52.
- Housini Toudeshki, V., Pourkermani, M., Arian, M. and Khosrotehrani, K.H. (2011) Influence of Structures on the Ghezel Ozan River. *Geosciences*, 21, 55-60.

- Housini Toudeshki, V. and Arian, M. (2011) Morphotectonic Analysis in the Ghezel Ozan River Basin, NW Iran. *Journal of Geography and Geology*, 3, 258-260.
- Jackson, J.A., Priestley, K., Allen, M. and Berberian, M. (2002) Active Tectonics of the South Caspian Basin. *Geophysical Journal International*, 148, 214-242. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-246X.2002.01588.x>
- Javadi Mousavi, E. and Arian, M. (2015) Tectonic Geomorphology of Atrak River, NE Iran. *Open Journal of Geology*, 5, 106-114.
- Khavari, R., Arian, M. and Ghorashi, M. (2009) Neotectonics of the South Central Alborz Drainage Basin, in NW Tehran, N Iran. *Journal of Applied Sciences*, 9, 4115-4126. <http://dx.doi.org/10.3923/jas.2009.4115.4126>
- Khavari, R., Ghorashi, M., Arian, M. and Khosrotehrani, K. (2010) Geomorphic Signatures of Active Tectonics in the Karaj Drainage Basin in South Central Alborz, Niran. *Geosciences Scientific Quarterly Journal*, 19, 67-74.
- Lee, C.F., Hou, J.J., Ye, H. (1997): The movement Potential of the major faults in Hong Kong area, Episodes, Vol.20, No.4, PP. 227-231.
- Lokajicek, T., Spicak, A. and Waniek, L. (1988): Tectonic stress orientation and the Seismic regime of a single fault: *Tectonophysics*. 152: pp. 297-302.
- Levels in the Alborz-Central Iran Border Zone (from the East of Varamin to the East of Semnan). *Journal of Sciences, Islamic Azad University*, 15, 378-403.
- Mardani, Z., Ghorashi, M. and Arian, M. (2011) Geomorphic Signatures of Active Tectonics in the Talaghan Rud, Shah Rud and Sefidrud Drainage Basins in Central Alborz, Niran. *Geosciences*, 20, 159-166.
- Mashal, M., Kermani, M.P., Charchi, A., Almasian, M. and Arian, M. (2013) Pattern of Structural Geology Underground in Eastern of North Dezfol Embayment. *Advances in Environmental Biology*, 7, 260-268.
- Nazari, H., 2006 – Analyse de la tectonique recent et active dans l'Alborz central et la region de Tehran: Approche morphotectonique et paleoseismologique. *Science de la terre etde l'eau. Montpellier, Montpellier II*: 247.
- Nazari H., Ritz J-f., Salmani r., Solaymani S., Balescu S., Michelot J-L. Ghassemi A., Talebian M., Lamothe M. and Massault M., 2007 – Paleoseismological analysis in Central Alborz, Iran. 50th Anniversary earthquake conference commemorating the 1957 Gobi-Altay earthquake (July – August 2007- Ulaanbaatar- Mongolia)
- Nazari, H., Ritz J-f., R. Salamati, M. Qorashi, A. Ghasemi, H. Habibi, F. Jamali, Sh. Javadipur., 2008- Linear structures in south of Tehran (Rey s and kahrizak 'Faults'): Fault scarps or Geomorphologic phenomenon., Z.A.P. consulting Engineers & International Institute of Earthquake Engineering and seismology (IIEES), Tehran – Iran.
- Nouri, R., Jafari, M.R., Arian, M., Feizi, F. and Afzal, P. (2013) Correlation between Cu Mineralization and Major Faults Using Multifractal Modelling in the Tarom Area (NW Iran). *Geologica Carpathica*, 64, 409-416.
- Nouri, R., Jafari, M.R., Arian, M., Feizi, F. and Afzal, P. (2013) Prospection for Copper Mineralization with Contribution of Remote Sensing, Geochemical and Mineralogical Data in Abhar 1:100,000 Sheet, NW Iran. *Archives of Mining Sciences*, 58, 1071-1084.
- Nouri, R., Afzal, P., Arian, M., Jafari, M. and Feizi, F. (2013) Reconnaissance of Copper and Gold Mineralization Using Analytical Hierarchy Process (AHP) in the Rudbar 1: 100,000 Map Sheet, Northwest Iran. *Journal of Mining and Metallurgy A: Mining*, 49, 9-19.
- Poroohan, N., Pourkermani, M. and Arian, M. (2013) An Assessment of Relationship in F-Parameter and Paleostress Fields in Heterogeneous Lithologies: Roudbar Area (Northwest of Iran). *Australian Journal of Basic & Applied Sciences*, 7, 933-942.
- Poroohan, N., Kermani, M.P. and Aryan, M. (2009) An Assessment on Correlations of Seismotectonic Parameters Preceding and Following Roudbar-Manjil Earthquake (Gilan, North of Iran). *Australian Journal of Basic & Applied Sciences*, 3, 2643-2652.
- Pourkermani, M. and Arian, M. (2001) Structural Geomorphology of Northeastern Kurdistan, Sistan and Baluchestan University. *Journal of Humanities*, 7, 37-48.
- Pourkermani, M. and Arian, M. (1997) Salt domes of Central Iran. *Journal of Humanities University of Sistan and Balouchestan*, 3, 29-41.
- Pazhoohan, M., Arian, M., Ghorashi, M. and Khosrotehrani, K. (2014) A Study of Drainage Pattern Responses to Active Tectonics in Tadvan Region, SW Iran. *Geodynamics*, 1, 36-41.

- Rahimi, N. and Arian, M. (2014) Tectonic Geomorphology of Hamedan-Sosangerd Region, West Iran. *Advances in Environmental Biology*, 8, 119-124.
- Sorbi, A., Arian, M. and Pourkermani, M. (2011) The Application of Geomorphic Indices to the Assessment of Relative Tectonic Activity Levels in Tehran Quadrangle. *Journal of the Earth*, 6, 1-9.
- Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. *American Association of Petroleum Geology Bulletin*, 52: 1229-1258.
- Strahler, A. N., 1952- Hypsometric (area-Altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63, 1117-1142.
- Stöcklin, J., 1974- Northern Iran: Alborz Mountains. In: Spencer, A. (Ed.) *Mesozoic – Cenozoic Orogenic Belts: Data for Orogenic Studies*. Geological Society Special Publication, London 4, pp. 213-234.
- Talebian, M., and Jackson, J., 2002, Offset on the Main Recent Fault of NW Iran and implications for the late Cenozoic tectonics of the Arabia-Eurasia collision zone: *Geophysical Journal International*, v. 150, p. 422-439, doi: 10.1046/j.1365-246X.2002.01711.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F., and Chery, J., 2004a, Contemporary crustal deformation and plate kinematics in Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Iran: *Geophysical Journal International*, v. 157, p. 381-398, doi: 10.1111/j.1365-246X.2004.02222.x .
- Wang, R. Ding. Z.Y., and Yin, Y.Q. (1979): *Introduction to solid mechanics*: Geological Press of.