

بررسی لرزه زمین ساختی و تحلیل راستای بردار لغزش در ناحیه دریاچه ارومیه

* مهدی زارع، استادیار پژوهشکده زلزله شناسی پژوهشگاه

۱- چکیده

در این مقاله وضعیت لرزه زمین ساخت در شمال باختری ایران، مطالعه لرزه خیزی و تغییر روندهای ساختاری در پهنه دریاچه ارومیه و رابطه آن با لرزه خیزی و خطر زمین لرزه بررسی می شود. سازوکارهای ژرفی و راستای قرارگیری روندهای گسله بنیادی در شمال و خاور آتشفشان سهند تا باختر دریاچه ارومیه نیز مورد توجه قرار می گیرد. این مطالعات نشان می دهد که پهنه ای با لرزه خیزی متوسط در ناحیه تغییر راستای بردار لغزش و فشارش بنیادی در پیرامون دریاچه ارومیه شکل گرفته است. این پهنه با رسیدن به مرزهای این ناحیه و با گسلهای بنیادی پرتکاپو به پایان می رسد. همچنین در این مقاله سازوکار راستالغز چپگرد برای سیستم خطواره های دهخوارقان- تبریز پیشنهاد می شود.

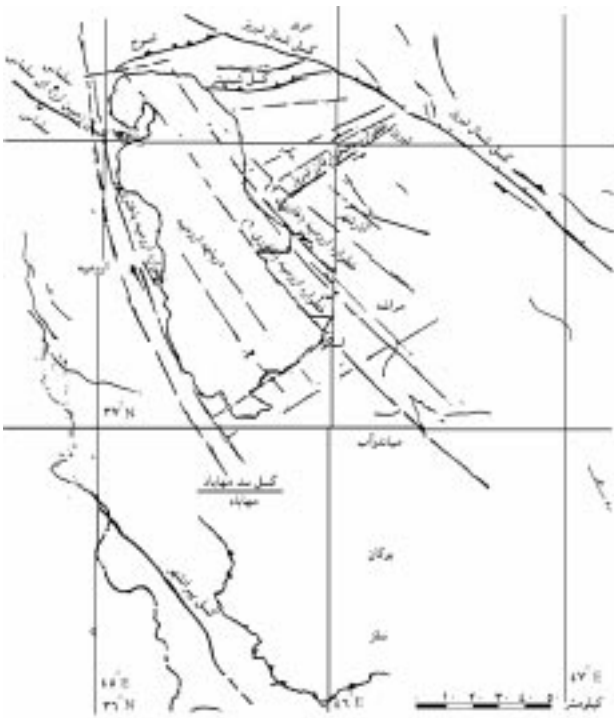
۲- مقدمه

با توجه به زلزله های تاریخی و مخرب در شهر تبریز (حداقل ۱۲ بار تخریب کامل شهر تبریز در طول تاریخ) و پیرامون آن و وجود یک مرز ساختاری بنیادی در این ناحیه، پهنه گسل شمال تبریز به عنوان پهنه ای ویژه از پهنه های پیرامون آن مجزا شده است. بررسی در این مورد مستلزم توجه به روندهای بنیادی در ناحیه و روند بردارهای لغزش است؛ زیرا، پهنه گسل شمال تبریز در ناحیه ای قرار دارد که وقتی به سمت باختر و جنوب باختر پیش می رویم به پهنه ای با لرزه خیزی متوسط می رسیم.

در مقاله حاضر با دقت در روندهای رده دوم نسبت به سیستم گسل شمال تبریز، یک پهنه برخورد در پیرامون شهر تبریز معرفی می شود؛ لذا، علاوه بر انجام بررسیهای آماری لرزه خیزی، از تصویرهای ماهواره ای رقومی شده نیز برای یافتن سیستم خطواره های بنیادی و سازوکار آنها استفاده شده است.

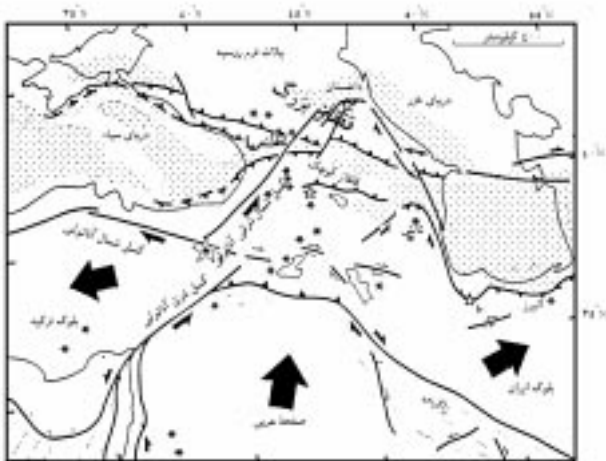
۳- لرزه زمین ساخت

منطقه مورد مطالعه در مجاورت فروافتادگی دریاچه ارومیه و در جنوب- جنوب باختر سیستم گسله شمال تبریز در ناحیه ای با لرزه خیزی متوسط در مقایسه با پهنه گسله شمال تبریز [۱] قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل (۱): ساختارهای اصلی در ناحیه پیرامون دریاچه ارومیه

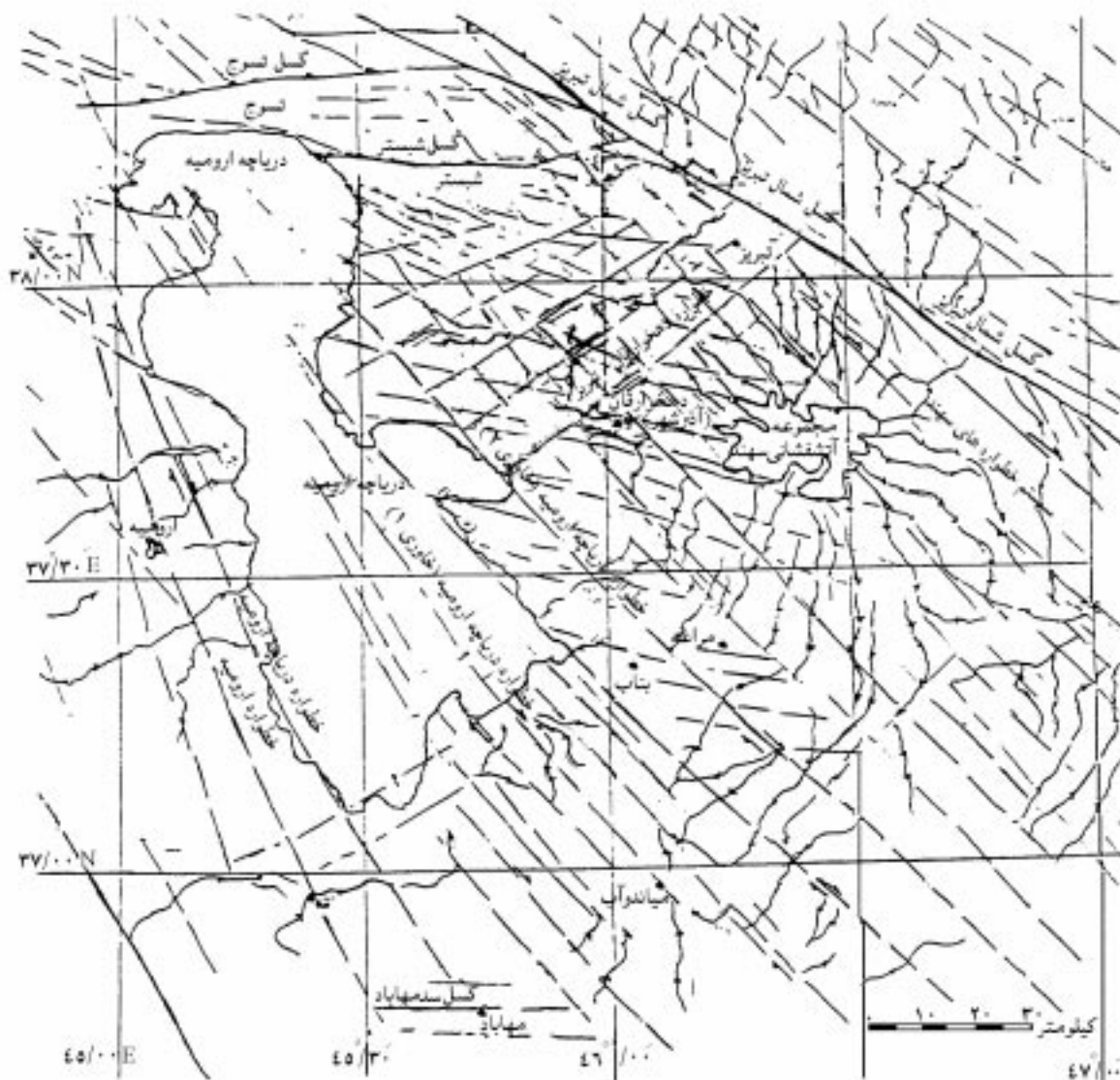
با توجه به نقشه گسلهای بنیادی منطقه شمال باختری ایران، خاور ترکیه و قفقاز در شکل (۲)، می توان روندهای بنیادی این منطقه را به صورت روند شمال باختری- جنوب خاوری (گسل شمال تبریز، گسل آتاتولی شمالی و گسل زاگرس) با سازوکار راستالغز راستگرد، روند شمال خاوری- جنوب باختری (گسل خاوری آتاتولی، شمال خاوری آتاتولی و خطواره دهخوارقان تبریز در شکل های ۲ و ۳) با سازوکار



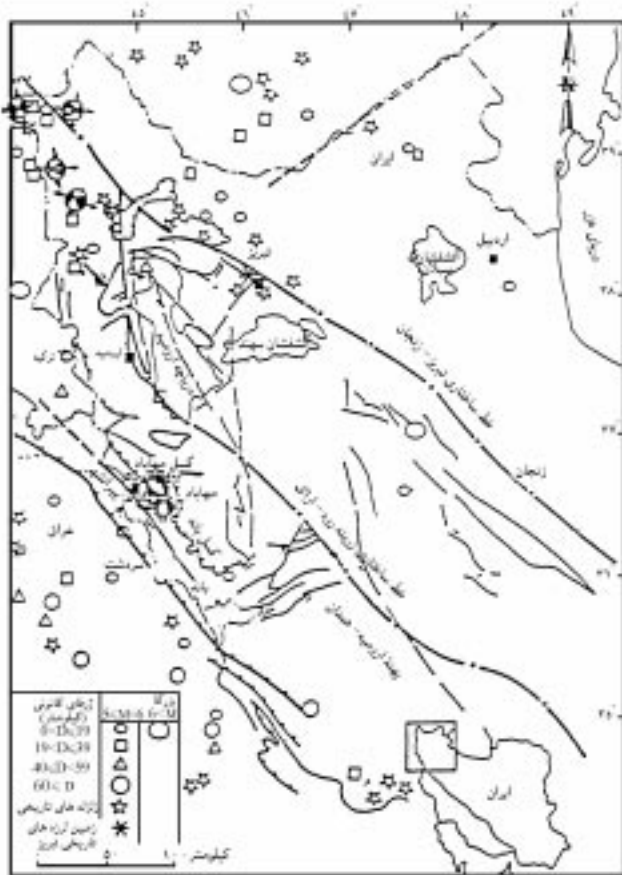
شکل (۲): نقشه زمین ساختی منطقه شمال باختری ایران، خاور ترکیه و قفقاز [۲]

راستالغز چپگرد و گسل‌های با روند خاوری - باختری (گسل قفقاز کوچک، قفقاز بزرگ، تسوج و شبستر در شکل‌های ۲ و ۳) با سازوکار فشاری معکوس تا راندگی دسته بندی نمود. مهمترین روند لرزه زا در این منطقه گسل شمال تبریز است که با ۱۲ زمین لرزه مخرب در طول تاریخ (آخرین زلزله در سال ۱۷۸۰ رخ داده) یکی از جنباترین روندهای کوتاه‌تر در ایران شناخته شده است.

روند خطواره دهخوارقان - تبریز در سال ۱۶۴۱ احتمالاً با زمین لرزه‌ای با بزرگای ۶/۸ جا به جا شده است [۳]. از گسیختگی سطحی بر اثر این زلزله هیچ گزارشی در دست نیست؛ ولی، از ایجاد شکاف در سطح زمین و وقوع زمین لغزش یاد شده است. از طرفی، با توجه به پهنه رومرکزی این



شکل (۳): روندهای خطواره ها و گسل‌های اصلی در ناحیه سهند - دریاچه ارومیه (بر اساس برداشتهای صحرایی و نقشه رقمی شده از تصاویر ماهواره ای به مقیاس ۱:۵۰۰,۰۰۰)



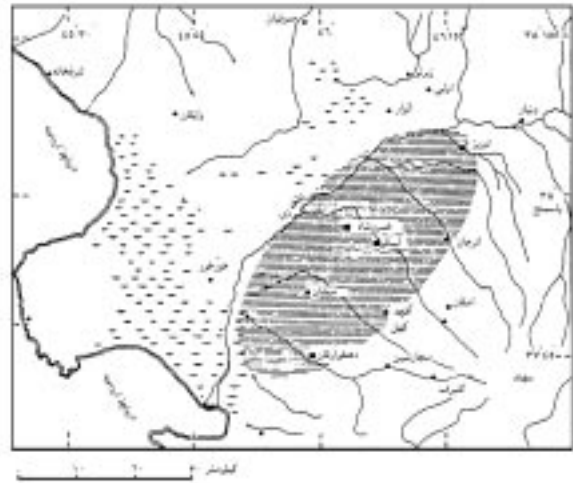
شکل (۵): نقشه لرزه زمین ساختی منطقه آذربایجان [۴]

بر اساس مطالعه زارع [۵] در ایران و ناتلی [۶] برای بزرگای کمتر از M_b ۶، و بیش از ۶، M_s به عنوان معادل M_w استفاده گردید. لرزه خیزی منطقه مورد مطالعه در دو بخش با ویژگیهای خاص مورد بررسی قرار می گیرد:

بخش اول: این بخش شامل ناحیه پیرامون سیستم گسل شمال تبریز است (شکل ۵) که با وقوع زمین لرزه های با بزرگای بیش از ۷ در جدول (۱) مشاهده می شوند. این زلزله ها بویژه بر روی سیستم گسله شمال تبریز متمرکز شده اند و وقوع آنها با گسیختگی سطحی زمین لرزه (وقوع آخرین زلزله در سال ۱۷۸۰) همراه بوده است.

بخش دوم: این بخش در پیرامون دریاچه ارومیه است (شکل ۴) که مهمترین زلزله در این پهنه زلزله سال ۱۶۴۱ دهخوارقان- تبریز با بزرگای $M_s = 6.8$ می باشد. غیر از زلزله یاد شده در این پهنه، بقیه زلزله ها در جدول (۲) با بزرگای حداکثر ۵/۵ مشاهده می شوند. این جدول بیانگر زلزله های پهنه لرزه زمین ساختی مراغه در جنوب دریاچه ارومیه است. با توجه به لرزه خیزی ناحیه لرزه زمین ساختی دریاچه ارومیه مشخص می گردد که این ناحیه دارای زمین لرزه هایی با بزرگای

زلزله در شکل (۴) کشیدگی مشخصی در راستای خطواره دهخوارقان- تبریز مشاهده می شود. به احتمال زیاد این مطلب بیانگر این مسأله است که روندهای رده دوم (نسبت به راستای گسل شمال تبریز و روندهای خطواره های خاوری و باختری دریاچه ارومیه) نیز در این ناحیه فعالیت لرزه ای نشان داده اند. بررسی تغییر روند آبراهه ها در راستا و در حین عبور از خطواره های یاد شده نشانگر سازوکار آنها می باشد؛ بنابراین، در این منطقه روند سیستم خطواره های سهند (راستای شمال باختری- جنوب خاوری) با سازوکار راستالغز راستگرد (مشابه گسل شمال تبریز و با زاویه نسبت به آن)، روند سیستم خطواره های دهخوارقان- تبریز با سازوکار راستالغز چپگرد (مشابه روندهای عمومی شمال خاوری- جنوب باختری در خاور و شمال خاور آناطولی) و روندهای خاوری و باختری دریاچه ارومیه با سازوکار راستالغز راستگرد (راستای شمال، شمال باختر- جنوب، جنوب خاور) مشخص شده اند. این سازوکارها عموماً در نقشه زمین ساخت ناحیه ای منطقه نیز مورد تأیید می باشند (شکل ۲). از سوی دیگر، با توجه به سازوکارهای ژرفی ارائه شده در نقشه لرزه زمین ساخت منطقه (شکل ۵) که از نواحی شمال و شمال باختری دریاچه ارومیه به دست آمده است (در ادامه روندهای شمال تبریز و باختر دریاچه ارومیه) چنین سازوکارهای راستالغزی را تأیید می نماید.



شکل (۴): پهنه رومرکز مهلزله ای زلزله سال ۱۶۴۱ دهخوارقان- تبریز [۳]

۴- لرزه خیزی

در بررسیهای لرزه خیزی بزرگای M_w به عنوان مبنا انتخاب گردید. به این منظور در هر مورد که بزرگای M_w از سوی مراکز لرزه نگاری گزارش شده است، همین مقدار استفاده گردید. در غیر این صورت

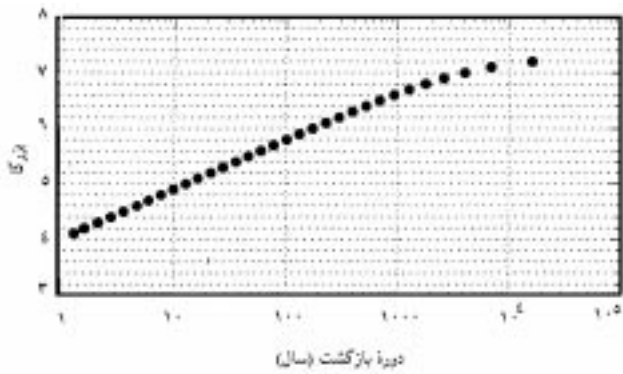
جدول (۱): فهرست زلزله های رخ داده با بزرگای بیش از ۵ در پهنه تبریز - دریاچه ارومیه

تاریخ	زمان وقوع	مختصات رومرکز		ژرفای کانونی (کیلومتر)	بزرگا * M_w	گسل زمین لرزه ای	مرجع	پهنه رومرکزی
		E	N					
۸۵۸		۴۸/۱۰۰	۴۶/۳۰۰		۶/۰		Amb	تبریز
۱۰۴۲/۱۱/۰۴	۱۸	۳۸/۱۰۰	۴۶/۳۰۰		۷/۶		Amb	تبریز
۱۱۳۵/۰۷/۲۵		۳۶/۱۰۰	۴۵/۹۰۰		۶/۱		Amb	کردستان
۱۱۳۵/۰۸/۱۳	۲۴	۳۶/۱۰۰	۴۵/۹۰۰		۶/۴		Amb	کردستان
۱۳۰۴/۱۱/۰۷	۲۴	۳۸/۵۰۰	۴۵/۵۰۰		۶/۷		Amb	تبریز
۱۵۹۳		۳۷/۸۰۰	۴۷/۵۰۰		۶/۱		Amb	سراب
۱۶۴۱/۰۲/۰۵	۱۸	۳۷/۹۰۰	۴۶/۱۰۰		۶/۸		Amb	دهخوارقان
۱۷۱۷/۰۳/۱۲	۰۶	۳۸/۱۰۰	۴۶/۳۰۰		۵/۹		Amb	تبریز
۱۷۲۱/۰۴/۲۶	۰۷	۳۷/۹۰۰	۴۶/۷۰۰		۷/۷	*	Amb	تبریز
۱۷۸۰/۰۱/۰۸	۲۴	۳۸/۲۰۰	۴۶/۰۰۰		۷/۷	*	Amb	تبریز
۱۷۸۶/۱/۰/	۱۸	۳۸/۳۰۰	۴۵/۶۰۰		۶/۳		Amb	مرند
۱۸۴۳/۰۴/۱۸	۰۸	۳۸/۷۰۰	۴۴/۹۰۰		۵/۹		Amb	خوی
۱۸۸۰/۰۷/۰۴		۳۶/۵۰۰	۴۷/۵۰۰		۵/۶		Amb	گروس
۱۸۸۳/۰۵/۰۳	۱۲	۳۷/۹۰۰	۴۷/۲۰۰		۶/۲		Amb	
۱۹۰۰/۰۲/۲۴	۰۰:۳۰	۳۸/۴۵۰	۴۴/۸۷۰		۵/۴		Amb	خوی
۱۹۰۵/۰۱/۰۹	۰۶:۱۷	۳۸/۰۰۰	۴۶/۰۰۰		۶/۲		Amb	
۱۹۳۰/۰۵/۰۶	۰۷:۰۳:۲۲	۳۸/۱۵۰	۴۴/۷۵۰	۳۳	۵/۵		BER	سلماس (بیش لرزه)
۱۹۳۰/۰۵/۰۶	۲۲:۳۴	۳۷/۰۰۰	۴۴/۶۸۰		۷/۲	*	Amb	سلماس
۱۹۳۴/۰۲/۲۲	۰۸:۰۷	۳۸/۷۶۰	۴۵/۹۴۰	۹۲	۶/۱		Amb	
۱۹۵۸/۰۵/۰۵	۰۵:۲۱:۴۶	۳۶/۵۰۰	۴۵/۵۰۰		۵/۵		MOS	
۱۹۶۵/۰۲/۱۰	۱۶:۰۹:۵۳	۳۷/۶۶۰	۴۷/۰۹۰	۴۵	۵/۰		ISC	علیخلیج
۱۹۷۰/۰۳/۱۴	۰۱:۵۱:۵۰	۳۸/۵۹۷	۴۴/۷۰۷	۲۳	۵/۳		NEIC	بدلان
۱۹۷۰/۱۰/۲۵	۱۱:۲۲:۲۰	۳۶/۷۶۹	۴۵/۱۲۹	۱۹	۵/۵		NEIC	پسوه
۱۹۸۰/۱۲/۱۸	۱۲:۳۴:۲۰	۳۶/۰۰۹	۴۴/۶۷۰	۳۳	۵/۸		NEIC	

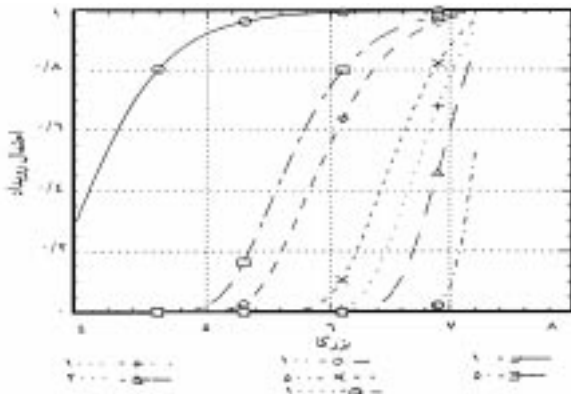
جدول (۲): فهرست زلزله های رخ داده در پهنه لرزه زمین ساختی مراغه

تاریخ	زمان وقوع	مختصات رومرکز		ژرفای کانونی (کیلومتر)	بزرگا * M_w	مرجع	پهنه رومرکزی
		E	N				
۱۶۴۱/۰۲/۰۵	۱۸	۳۷/۹۰۰	۴۶/۱۰۰		۶/۸	Amb	دهخوارقان
۱۹۵۸/۰۵/۰۵	۰۵:۲۱:۴۶	۳۶/۵۰۰	۴۵/۵۰۰		۵/۵	MOS	
۱۹۶۹/۱۱/۲۸	۰۱:۲۹:۲۰	۳۶/۷۲۰	۴۵/۱۷۵	۱۶	۴/۷	NEIC	
۱۹۷۰/۱۰/۲۵	۱۱:۲۲:۲۰	۳۷/۷۶۹	۴۵/۱۲۹	۱۹	۵/۵	NEIC	پسوه
۱۹۸۱/۰۷/۲۳	۱۴:۰۷:۲۰	۳۷/۳۱۴	۴۵/۲۵۷	۳۳	۴/۶	NEIC	
۱۹۸۱/۰۹/۱۴	۱۲:۰۳:۵۰	۳۷/۰۶۷	۴۵/۲۷۶	۴۳	۴/۵	NEIC	
۱۹۸۱/۱۰/۰۹	۰۱:۳۶:۱۰	۳۷/۱۹۵	۴۵/۳۸۵	۳۳	۴/۷	NEIC	
۱۹۸۲/۰۶/۱۰	۰۴:۱۷:۳۰	۳۷/۰۴۰	۴۵/۱۰۹	۳۳	۴/۶	NEIC	
۱۹۸۴/۱۰/۲۸	۲۲:۰۳:۶۰	۳۷/۰۱۷	۴۵/۲۹۷	۳۳	۴/۶	NEIC	
۱۹۸۶/۰۵/۱۱	۰۷:۲۹:۲۰	۳۷/۰۳۸	۴۵/۲۸۳	۳۳	۴/۶	NEIC	
۱۹۸۸/۰۶/۰۴	۰۳:۰۹:۱۰	۳۶/۹۵۴	۴۵/۲۹۴	۴۵	۴/۸	NEIC	
۱۹۹۱/۰۷/۰۵	۱۳:۵۲:۳۰	۳۶/۷۲۷	۴۵/۲۱۹	۱۱	۴/۸	NEIC	
۱۹۹۲/۰۳/۱۳	۱۹:۳۰:۴۰	۳۶/۷۰۵	۴۵/۲۰۷	۳۳	۴/۹	NEIC	
۱۹۹۳/۰۵/۲۵	۱۸:۳۸:۲۵	۳۷/۵۵۷	۴۵/۹۱۱	۳۳	۴/۱	NEIC	

* M_w برابر با M_s برای زمین لرزه هایی که M_w برای آنها گزارش شده است. در غیر این صورت، برابر با M_s برای زلزله های با بزرگای بیش از $M=6$ و برابر با mb برای زلزله های با بزرگای کوچکتر یا مساوی $M=6$ در نظر گرفته شده است.



شکل (۶): دوره بازگشت بزرگا برای پهنه لرزه زمین ساختی مراغه با استفاده از روش کیکو [۷]



شکل (۷): احتمال رویداد بزرگا برای دوره بازگشتها و بزرگاهای مختلف در پهنه لرزه زمین ساختی مراغه و ارائه نتایج به روش کیکو [۷]

(شکل ۲). نکته قابل توجه در این شکل وجود سازوکارهای راستالغز راستگرد از پهنه گسل آناتولی شمالی تا پهنه گسلی شمال تبریز و مشاهده چنین سازوکاری از پهنه گسله زاگرس تا روندهای شمالی جنوبی پیرامون دریاچه ارومیه، پیوستگی سازوکار راستالغز چپگرد از پهنه گسل آناتولی خاوری و شمال خاوری تا سیستم خطواره های دهخوارقان تبریز (شکل ۳) در خاور دریاچه ارومیه و روندهای گسلهای معکوس تا راندگی در جنوب دریاچه وان، شمال کوه آرارات در قفقاز و شمال دریاچه ارومیه (گسلهای تسوج و شبستر) می باشد. این موضوع نمایانگر وقوع یک پهنه برخورد زمین ساختی در این ناحیه است که با زمین لرزه های فراوان به همراه گسیختگی زمین لرزه ای در ناحیه گسل شمال تبریز، قفقاز، ارمنستان و خاور ترکیه مشخص می گردد.

با در نظر گرفتن پهنه دریاچه ارومیه تا گسل شمال تبریز و برداشت روند گسلهای شناخته شده، برداشت و شناسایی روندهای گسله پنهان و پوشیده در پیرامون دریاچه ارومیه بر اساس جا به جایی مسیر آبراهه ها، تغییر سطحهای پستی و بلندی و همچنین در امتداد هم قرار گرفتن روند

متوسط است و از نظر بزرگای جنبش نیز نسبت به زمین لرزه های پهنه گسل شمال تبریز در رده دوم قرار می گیرد. با توجه به بررسیهای لرزه خیزی حداکثر بزرگا در پهنه شمال تبریز ۷/۷ و در پهنه دریاچه ارومیه ۶/۸ مشاهده می گردد.

۵- پارامترهای لرزه خیزی

برای محاسبه پارامترهای لرزه خیزی در این ناحیه، از زمین لرزه رویداده در پهنه لرزه زمین ساختی مراغه (جدول ۲) و الگوریتم کیکو [۷] نسبت به محاسبه بزرگای بیشینه استفاده گردید. در تحلیل کیکو ۱۴ زمین لرزه پس از حذف پس لرزه ها وارد شده است (جدول ۳).

جدول (۳): نتایج حاصل از اعمال روش کیکو در پهنه لرزه زمین ساختی مراغه

تاریخ رویداد	بزرگا (با در نظر گرفتن عدم قطعیت)	بزرگا
۱۹۵۸/۰۵/۰۵	۵/۲	۵/۸
۱۹۶۹/۱۱/۲۸	۴/۴	۵/۰
۱۹۷۰/۱۰/۲۵	۵/۳	۵/۷
۱۹۸۱/۰۷/۲۳	۴/۴	۴/۸
۱۹۸۱/۰۹/۱۴	۴/۳	۴/۷
۱۹۸۱/۱۰/۰۹	۴/۵	۴/۹
۱۹۸۲/۰۶/۱۰	۴/۴	۴/۸
۱۹۸۴/۱۰/۲۸	۴/۴	۴/۸
۱۹۸۶/۰۵/۱۱	۴/۴	۴/۸
۱۹۸۸/۰۶/۰۴	۴/۷	۴/۹
۱۹۹۱/۰۷/۰۵	۴/۷	۴/۹
۱۹۹۲/۰۳/۱۳	۴/۸	۵/۰
۱۹۹۳/۰۵/۲۵	۴/۰	۴/۲

بزرگای بیشینه مشاهده شده در این جدول مربوط به زلزله دهخوارقان- تبریز می باشد. بر اساس این محاسبه با تعیین بزرگای آستانه $M=4.0$ برای دوره بازگشتهای متفاوت، بزرگاهای مختلف محاسبه و در شکل (۶) مشخص شده است. به عنوان مثال، به ترتیب برای دوره بازگشتهای ۵۰، ۷۵ و ۴۷۵ سال بزرگای ۵/۵، ۵/۷ و حدود ۶/۴ محاسبه شده است. بزرگای بیشینه نیز بر اساس این روش 7.3 ± 1.74 محاسبه شده است. در دوره بازگشتهای مختلف احتمال رویداد هر بزرگا در شکل (۷) مشاهده می شود.

۶- تحلیل راستای بردار لغزش در پهنه سهند- دریاچه ارومیه

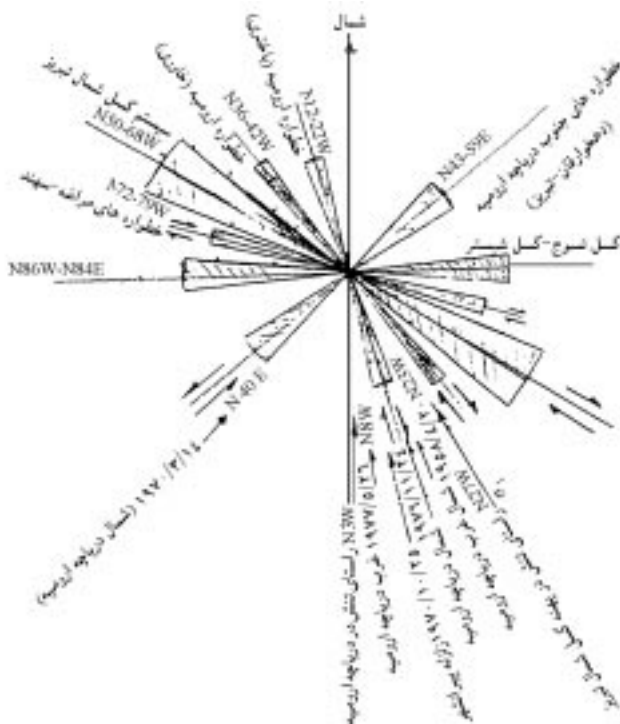
با توجه به شکلهای (۱، ۲ و ۳) روندهای بنیادی موجود در پهنه شمال باختری ایران، خاور ترکیه، قفقاز در شمال دریاچه ارومیه، دریاچه وان در خاور ترکیه و باختر قفقاز کوچک با یکدیگر تلاقی می نمایند

دره ها و عوارض ریخت شناختی مشخصات شکستگیهای پوسته زمین در این پهنه از کشور برداشت گردید (شکل ۳). بر این اساس، سازوکار راستالغز در مورد روند خطواره های پیرامون دریاچه ارومیه و سیستم آتشفشانی سهند مطابق شکل مذکور مشخص شد. از سوی دیگر، سازوکار راستالغز چپگرد که به احتمال بسیار زیاد در زمین لرزه ۱۶۴۱/۱۲/۵ جا به جا شده است ($M_s = 6.8$) بر اساس شواهد ریخت زمین ساختی روند دهخوارقان- تبریز معرفی می گردد.

با توجه به تغییر روند شکستگیها (گسلها و خطواره ها) و همچنین راستاهای تنش بر اساس روند گسلها و سازوکارهای ژرفی، وضعیت تنش و خطهای درز در پوسته زمین در نمودار شکل (۸) مشخص شده- است. در این شکل مشاهده می شود که پهنه یاد شده در خاور و شمال خاور دریاچه ارومیه، روند گسل شمال تبریز با راستای متغیر ($N50-68W$) و چندین بارگسیختگی زمین لرزه ای (وقوع ۱۲ زمین لرزه مخرب) و ایجاد یک مرز مشخص پستی و بلندی در ناحیه ای که شهرهای تبریز و بستان آباد در پای دامنه آن قرار گرفته اند، روند اصلی و اولیه در منطقه می باشند. در پیرامون سیستم گسله شمال تبریز می توان روندهای رده دوم خطواره های مراغه- سهند را با راستای $N72-79W$ و خطواره های خاوری دریاچه ارومیه را با راستای $N36-42W$ به عنوان روندهای R_1 و P در سیستم برشی ریدل (روند گسل شمال تبریز به عنوان راستای برشی اصلی) مشخص نمود. از سوی دیگر، روند خطواره های جنوب دریاچه ارومیه و سیستم دهخوارقان- تبریز با سازوکار راستالغز چپگرد در مدل یاد شده، به عنوان روند R_2 در نظر گرفته می شود. در چنین مدلی توجه به راستای گسلهای تسوج و شبستر با سازوکار فشاری نیز جالب می باشد. با ملحوظ نمودن سازوکارهای مذکور در ناحیه سهند- دریاچه ارومیه، غلبه روندهای شمال باختری- جنوب خاوری (گسل شمال تبریز، فشاری و راستالغز راستگرد) و راستاهای شمال، شمال باختر- جنوب، جنوب خاور پیرامون دریاچه ارومیه را می توان با سازوکار راستالغز راستگرد به عنوان روند رده دوم ملحوظ نمود. همچنین وجود روندهای راستالغز چپگرد در جنوب دریاچه ارومیه و خطواره دهخوارقان- تبریز را نیز به صورت راستاهای رده دوم در نظر می گیریم.

تغییر راستای بردار لغزش از حدود $N27W$ در ناحیه گسل شمال تبریز تا $N3W$ (تقریباً شمالی- جنوبی) در پهنه دریاچه ارومیه در شکل (۸) مشاهده می شود. به نظر می رسد که راستای فشارش اصلی در زمان کواترنر و عهد حاضر در این جهتها به منطقه

مزبور اعمال گردیده است. البته غلبه سازوکار برشی راستالغز راستگرد در ناحیه تبریز مشهود است و با توجه به تلاقی روندهای گسل شمال تبریز و سیستم راستالغز چپگرد دهخوارقان- تبریز، وقوع زمین لرزه های پی در پی تاریخی در ناحیه تبریز احتمالاً به دلیل وقوع یک پهنه برخورد زمین ساختی در ناحیه تبریز بوده است. شواهدی مبنی بر پایان این وضعیت موجود نیست و به نظر می رسد که چنین پهنه برخوردی، از تلاقی روندهای راستالغز راستگرد و چپگرد حاصل شده و اکنون نیز می تواند از نظر رخداد زمین لرزه به عنوان پهنه با خطر بسیار بالا محسوب گردد.

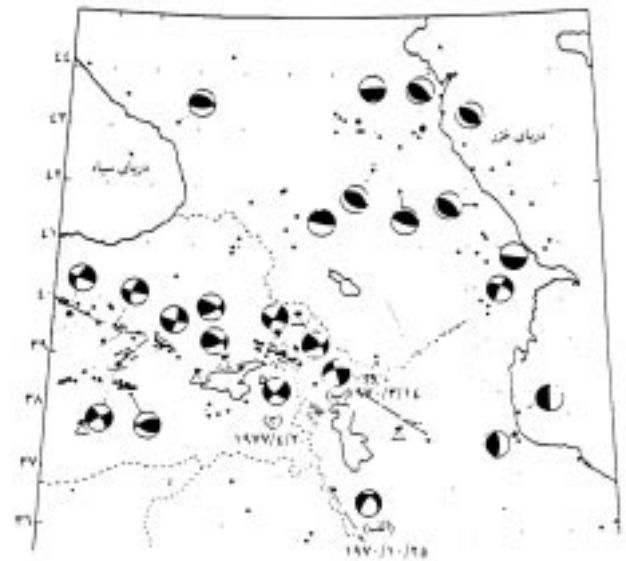


شکل (۸): نمودار شکستگی پوسته و سازوکار آن در پهنه دریاچه ارومیه- سیستم آتشفشانی سهند که روندهای تنش اصلی با توجه به پهنه های گسله و سازوکارهای ژرفی مشخص است.

۷- بررسی سازوکارهای ژرفی

با توجه به سازوکار گسلش (شکل ۲) در منتهاالیه شمال باختری ایران (ناحیه آذربایجان، دریاچه ارومیه تا دریاچه وان در ترکیه) تغییری در این سازوکارها از راستالغز راستگرد به صورت غالب در ناحیه دریاچه ارومیه بویژه بخش خاوری آن تا فشاری در ناحیه جنوب دریاچه وان، راستای گسلهای شبستر و تسوج و نهایتاً سازوکار راستالغز چپگرد در راستای سیستم گسل آتاتولی خاوری رخ می دهد. با توجه به سازوکارهای ژرفی در ناحیه یاد شده لرزه خیزی غالب توسط زلزله های با

سازوکار راستالغز کنترل می شود (شکل ۹). این سازوکارها در ناحیه دریاچه ارومیه نمایانگر جنبه شدن روندهای راستالغز راستگرد می باشد [۸ و ۹].



شکل (۹): سازوکارهای ژرفی در ناحیه شمال باختری ایران- خاور ترکیه [۸]
سازوکار ژرفی رویداد زمین لرزه در راستای گسل پیرانشهر و غلبه سازوکار ژرفی راستالغز راستگرد همراه با مؤلفه کششی در شکل (۱۰، الف) و روندهای شمال باختری- جنوب خاوری در شمال دریاچه ارومیه به ترتیب در نواحی مرزی ایران- ترکیه و ایران- ارمنستان در شکل (۱۰، ب و ج) مشاهده می گردد.

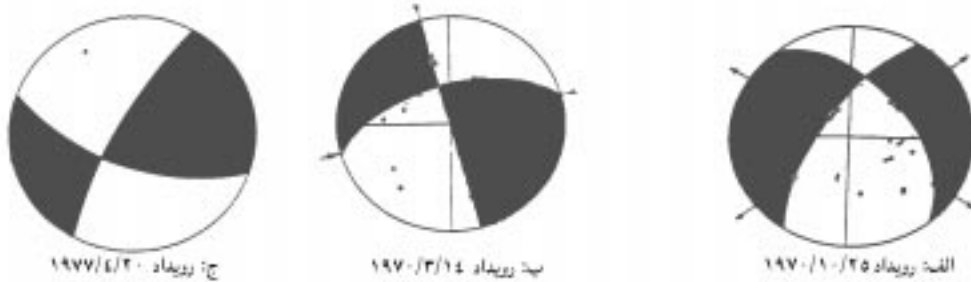
راستای بردارهای لغزش حاصل از زمین لرزه هایی که سازوکار ژرفی آنها موجود بوده است در شکل (۸) مشخص شده است. راستای فشارش بنیادی از $N27W$ تا $N3W$ متغیر است و از راستای بردار لغزش در زمین لرزه $1970/3/14$ که نشانگر روند $N20E$ است نیز نمی توان صرف نظر کرد (شکل ۸ و ۱۰، ب). احتمالاً این روند نمایانگر فعال شدن یک سازوکار فرعی نسبت به فشارش $N3-27W$ می باشد. در شکل (۸) این نکته قابل توجه است که لرزه خیزی منطقه در حد فاصل روندهای گسله شمال تبریز ($N50-68W$) تا روندهای نزدیک به شمالی- جنوبی باختر دریاچه ارومیه ($N12-22W$) به صورت لرزه خیزی متوسط (با بیشینه بزرگای $6/8$ مانند زلزله 1961 دهخوارقان- تبریز) مشاهده می شود. در پهنه جنوبی دریاچه ارومیه و ناحیه جنوبی و باختری سیستم آتشفشانی سهند هیچ زمین لرزه ای در عهد حاضر با بزرگای بیش از $m_b=4.8-4.9$ گزارش نشده است (جدول ۲). این لرزه خیزی متوسط را می توان احتمالاً با پهنه ایجاد شده در

حد فاصل تغییر روندهای بنیادی و مرزهای جنبایی زمین ساختی در پیرامون گسل شمال تبریز، شمال دریاچه ارومیه، بخش خاوری ترکیه و ناحیه دریاچه وان ترکیه مرتبط دانست. چنین حالتی با توجه به وضعیت لرزه خیزی بالای مرزهای اصلی این ناحیه لرزه زمین ساختی (گسل شمال تبریز، روند دهخوارقان- تبریز و خطواره باختری دریاچه ارومیه) از نظر وجود پهنه ای با لرزه خیزی متوسط اهمیت می یابد.

۸- نتیجه گیری

با توجه به روندهای بنیادی لرزه زمین ساختی در پهنه پیرامون سیستم آتشفشانی سهند- دریاچه ارومیه، مشخص گردید که این ناحیه محل تغییر روندهای بنیادی از شمال باختری- جنوب خاوری (گسل شمال تبریز، فشاری و راستالغز راستگرد) به خاوری- باختری (گسل تسوج و شبستر، راندگی)، شمال خاوری- جنوب باختری (روند دهخوارقان- تبریز، راستالغز چپگرد) تا روندهای تقریباً شمالی- جنوبی باختر دریاچه ارومیه (با سازوکار راستالغز راستگرد) می باشد. تغییر روندها در ساختار کلی زمین ساختی شمال باختری ایران و خاور ترکیه قابل توجه است؛ زیرا، تغییر روندهای بنیادی از جنوب پهنه قفقاز، تا شمال خاوری ایران به سمت شمال عراق و سپس خاور ترکیه قابل پی گیری است. با توجه به چنین حالتی در منطقه مذکور می توان نتیجه گرفت:

- وقوع زمین لرزه های شدید در تبریز احتمالاً مربوط به یک ناحیه تلاقی زمین ساختی بین سیستم گسل شمال تبریز و سیستم دهخوارقان تبریز بوده است. چنین ناحیه برخوردی اکنون نیز می تواند مجدداً فعال گردد؛
- روندهای رده دوم دهخوارقان- تبریز که مشابه سیستم گسله خاوری و شمال خاوری آناتولی ترکیه است دارای سازوکار راستالغز چپگرد می باشند؛
- فروافتادگی دریاچه ارومیه و بیرون زدگی آتشفشان سهند در حد فاصل این پهنه تغییر روندها رخ داده است؛
- لرزه خیزی متوسط در ناحیه دریاچه ارومیه احتمالاً با تغییر سازوکارهای راستالغز و فشاری از شمال و خاور آتشفشان سهند تا باختر دریاچه ارومیه و تمرکز منطقه فعالیت های لرزه زمین ساختی بر روی مرزهای اصلی این پهنه تغییر روند مرتبط است؛



شکل (۱۰): سازوکارهای ژرفی سه رویداد در ناحیه شمال باختری ایران [۸]

3-Ambraseys, N. N., and Melville, C.P. A History of Persian Earthquakes, Cambridge Earth Sci. 1982.

۴- مهدی، زارع. "خطر زمین لغزه در محدوده محور و مخزن سد در حال مطالعه" بانه، مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی بررسی راهبردهای کاهش خسارات زمین لغزه در کشور، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷۳.

5-Zare', M., Contribution a L' etude des Mouvements Forts en Iran: du Catalogue Aux Lois d' Attenuations, Ph.D. Thesis Universite' Joseph-Fourier, Grenoble France, 1999.

6-Nattli, O.W. (1979), The Relation of Sustained Maximum Ground Acceleration and Velocity to Earthquake In Teusity and Magnitude, "Miscellaneous Paper S-73-1, Rep. 16. U.S. Army. Crops of Engrs. Misisipi, 74P.

7-Kijko, A. and Sellevoll, M.A. (1992), Eshimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files, Part II: Incorporation of Magnitude Heterogenity, Bull. Seis. Soc. Amr., Vol 82, No. 1, pp.120-134.

8-Jackson, J. and Mekenzie, D. Active Tectonic of Alpine-Himalayan Belt Between Western Turkey and Pakistan, Geophy. J.R. Astr. Soc., Vol. 77., pp. 185-264, 1984.

9-Jackson, J., Seismology and the Active Tectonics of Iran. Proc. 3rd Int Conf. Seis. and Earthquake Eng. (SEE3), Vol. 1, pp.3-13, 1999.

* mzare@dena.iiees.ac.ir ◀

- با ملحوظ نمودن لرزه خیزی متوسط در ناحیه دریاچه ارومیه، بیشینه بزرگای زمین لرزه با بزرگای ۶/۸ به زلزله دهخوارقان- تبریز در سال ۱۶۴۱ مربوط است؛ در حالی که، حداکثر بزرگای در پهنه گسل شمال تبریز بر اساس زلزله های تاریخی به ۷/۷ می رسد. در پایان پیشنهاد می شود تا مطالعات دقیق تنش و برداشت نیمرخهای دقیق لرزه ای (به گونه ای که در راستای شمال خاوری- جنوب باختری پهنه یاد شده را قطع نماید) انجام شود. از سوی دیگر، با برداشتهای دیرینه لرزه شناسی بویژه بر روی روندهای خطواره های مشکوک در پیرامون دریاچه ارومیه می توان به سؤالهای فراوان در مورد توان لرزه زایی و زمان آخرین فعالیت این روندها پاسخ داد. انشاءالله چنین بررسیهایی به شناخت دقیقتر منطقه شمال باختری ایران از نظر رخداد زمین لرزه های مخرب و برآورد دقیقتر خطر زمین لرزه منجر گردد.

۹- مراجع

- 1-Nogol-Sadat, M.A.A., Seismotectonic Map of Iran, Teritise on the Geology of Iran, 1:1000,000 Scale, 1994.
- 2-Fuenzaalida, H., et al, (1997), Mechanism of the 1992 Erzincan Earthquake and its Aftershocks, Teefonis of Erzincan Basin and Decoupling on the North Anatolian Fault, Geoph, J. Int, Vol. 129, pp.1-28.