مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۵، بهار ۱۳۹۴
وصول مقاله: ۱۳۹۲/۰۳/۲۲
تأیید مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۱۰
صفحات : ۵۹- ۴۵

بررسی پتانسیل رخداد زمین‌لرزه در شهر تبریز

مجتبی مهرپویان[۱]، *محسن جامی[۲]، دکتر محمدمهدی خطیب[۳]، نازنین سرحدی[۴]

چکیده

با توجه به بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساختی، گستره تبریز و پیرامون آن در پهنه‌ای با خطر لرزه‌ای بالا قرار دارد. گسل‌های لرزه‌زایی چون گسل شمال تبریز، تسوج، شبستر، جنوب میشو، شمال میشو و... در فاصله کمی نسبت به شهر تبریز قرار دارند. با توجه به فاصله کم این گسل‌ها نسبت به شهر تبریز و گزارش چندین زمین‌لرزه تاریخی مخرب در طول تعدادی از این گسل‌ها، رخداد زمین‌لرزه مخرب در طول هر یک از آنها سبب اعمال نیروهای قابل توجه و ایجاد لرزش‌هایی با PGA افقی متوسط تا بالایی در ساختگاه تبریز می‌شود. گسل شمال تبریز که در مجاورت بلافصل شهر تبریز قرار دارد، بیشترین تهدید لرزه‌ای را برای شهر تبریز دارد، به طوریکه که این گسل در دوره‌های ۵۰ و۱۰۰ ساله با احتمال تجاوز ٪۶۴، پتانسیل ایجاد زمین‌لرزه‌ای با PGA افقی میانگین به ترتیب ۰/۱۸g و۰/۲۳ g در شهر تبریز را دارا می‌باشد. با توجه به نقشه‌های PGA افقی میانگین رسم شده در این تحقیق، شهر تبریز در دوره‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۴۷۵ ساله با احتمال تجاوز ٪۱۰ در پهنه‌ای با خطر لرزه‌ای بسیار بالا و در دوره ۱۰۰ ساله با احتمال تجاوز ٪۶۴ در پهنه‌ای با خطر لرزه‌ای بالا قرار دارد. براساس رابطه گوتنبرگ-ریشتر و با توجه به پیشینه لرزه‌خیزی شهر تبریز، دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ای با بزرگای Ms= ۷ و Ms= ۷/۴ در این شهر به ترتیب ۲۹۱ و ۵۵۸ سال می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساختی، چشمه‌های لرزه‌زای گستره تبریز، گسل شمال تبریز، PGA افقی میانگین.

۱- کارشناس ارشد تکتونیک، گروه زمین‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان mehrpouyan@yaho.com
۲- *دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات نویسنده مسئول) Mohsenjami84@yahoo.com
۳- استاد تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند Mkhatib@birjand.ac.ir
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان Nazanin_Sarhaddi@yahoo.com

مقدمه

با نگاهی به زمین‌لرزه‌های بزرگ پیش از سده بیستم تبریز و وجود گسل‌های مهمی از قبیل گسل شمال تبریز، گسل شمال میشو، گسل جنوب میشو، گسل تسوج و... در پیرامون این شهر و عدم رخداد زمین‌لرزه‌ای بزرگ در دو قرن اخیر در این گستره، احتمال رویداد زمین‌لرزه‌ای مخرب در این منطقه در آینده امری محتمل به نظر می‌رسد. اگرچه در گذشته مطالعات چندی بر روی لرزه‌خیزی شهر تبریز انجام شده است اما با توجه به جمعیّت شهر تبریز که بالغ بر ۱۶۰۰۰۰۰ نفر بوده و جایگاه صنعتی این شهر در کشور ایران که سبب روند رشد و توسعه سریع آن شده است، بررسی خطر زمین‌لرزه-گسلش این منطقه به منظور حصول نتایج دقیق‌تر امری ضروری به نظر می‌رسد.

روش تحقیق

در این تحقیق ابتدا به بررسی پیشینه لرزه‌خیزی گستره آذربایجان پرداخته و فرمول لرزه‌خیزی گستره تبریز را به روش گوتنبرگ-ریشتر تعیین نمودیم. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل نقشه‌های زمین‌شناسی (۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰) و آمار زمین‌لرزه‌های صد سالهٔ اخیر شهر تبریز می‌باشد. در ادامه به بررسی ساختارهای زمین‌شناسی و تعیین چشمه‌های لرزه‌زای فعال در شعاع ۳۰۰ کیلومتری شهر تبریز با بکارگیری نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران نمودیم. از مهمترین چشمه‌های لرزه‌زا، گسل‌ها هستند که به عنوان چشمه‌های لرزه‌زای خطی تلقی می‌شوند. بنابر تعریف سازمان زمین‌شناسی آمریکا، گسل‌های فعال گسل‌هایی هستند که: ۱- در طی ۱۰۰۰۰ سال گذشته جابجایی بر روی آن‌ها صورت گرفته باشد؛ ۲- در طی ۲ میلیون سال گذشته بر روی آن‌ها جابجایی روی داده باشد و در صورتی که گسلی در طی ۲ میلیون سال گذشته هیچ فعالیّتی نداشته باشد غیرفعال نامیده می‌شود. در تقسیم‌بندی دیگری بربریان و همکاران (۱۳۷۱) گسل‌های کواترنری را به سه دسته تقسیم می‌کنند: ۱- گسل‌های اصلی و لرزه‌زا با طول بیش از ۱۰ کیلومتر، ۲- گسل‌های متوسط با طول بین ۲ تا ۱۰ کیلومتر و ۳- گسل‌های فرعی با طول کمتر از ۲ کیلومتر. در این تحقیق گسل‌هایی با طول بیش از ۱۰ Km که طی دوره کواترنری نیز فعالیّتی داشته‌اند را به عنوان گسل‌های اصلی دارای پتانسیل فعالیّت در نظر گرفته و سپس با توجه به ساز و کار، شیب ودرازای گسل‌ها، موقعت زمین‌ساختی و زمین‌شناسی ساختگاه و با بکارگیری رابطه میرایی کمپبل ۲۰۰۸ و در محیط نرم‌افزار Arc GIS گستره شهر تبریز و پیرامون را به روش قطعی تحلیل خطر زمین‌لرزه-گسلش نمودیم.

جایگاه زمین‌ساختی و زمین‌شناسی آذربایجان

گستره آذربایجان در تقسیم‌بندی بربریان که از دیدگاه لرزه‌زمین‌ساختی می‌باشد، در واحد ایران مرکزی قرار می‌گیرد. در این تقسیم‌بندی، ایران مرکزی شامل مثلث میانی، آذربایجان، لوت، کوه‌های شرق ایران و البرز می‌شود *(Berberian, 1976: 6).*

از نگاه زمین‌ساخت صفحه‌ای، ایران میانی بخشی از ابرورقی است که تا فراسوی مرزهای خاوری و باختری ایران ادامه دارد. به سوی شمال باختری گستره‌های وسیعی از ترکیه، به ویژه پهنه‌های آناتولی و تورید، به این صفحه تعلق دارند. ادامهٔ خاوری صفحهٔ ایران را می‌توان تا جنوب کوه‌های پامیر، هندوکش، قره‌قوروم و حتی تا سرزمین‌های مرتفع ترانس هیمالیا و تبت دنبال کرد. در نقشهٔ زمین‌ساخت خاورمیانه، علوی برای این ابر صفحه، نام کوچک قارهٔ سیمرین را برگزیده است *(Alavi 1991: 8; Alavi, 1994: 6)*.

شمال غرب ایران در ناحیه‌ای بین دریای خزر، جنوب قفقاز، شرق آناتولی و شمال رشته‌کوه‌های زاگرس واقع شده است. این ناحیه بخشی از فلات ایران- ترکی‌ها می‌باشدکه یکی از دو فلات اصلی سامانه چین‌خورده آلپ- هیمالیا به شمار می‌رود. فلات ایران- ترکی‌ها دارای ارتفاع میانگین ۲ کیلومتر بوده و از خرده‌های قاره‌ای که در حاشیه اوراسیا کنار هم قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است *(Copley & Jackson 2006: 9; Dewey et al 1986:7)*.

شروع فعالیّت‌های زمین‌ساختی درون قاره‌ای کنونی این فلات با توقف رسوب‌گذاری حاشیه‌ای در آناتولی غربی و در حدود ۱۲ میلیون سال قبل آغاز شده است *(Copley & Jackson 2006: 9; McQuarrie et al, 1986: 11)*. با توجه به آنومالی‌های مغناطیسی بستر دریا، زون‌های شکستگی و همچنین ساختار حرکتی دریای سرخ پیشنهاد می‌کنند که برخورد قاره- قاره عربی- اوراسیا نزدیک به ۱۰ میلیون سال قبل و یا کمتر شروع شده است. مطالعات ژئودزی در حاشیه جنوبی فلات ترکیه- ایران نشان می‌دهد که این همگرایی حدود ۱۷mm/y و در جهت ^{0}۳۴۵ می‌باشد *(Mcklusky et al, 2003: 4)*.

لرزه‌خیزی آذربایجان

۱- زمین‌لرزه‌های تاریخی

بررسی ژرفِ زمین‌لرزه‌های گذشته روی داده در یک ناحیه، الگویی از لرزه‌خیزی و سیمایی از ویژگی‌های لرزه زمین‌ساختی آن ناحیه را آشکار می‌سازد *(شجاع‌طاهری و قرشی، ۱۳۸۱: ۸)*. از زمین‌لرزه‌های تاریخی گزارش شده از شهر تبریز و اطراف آن می‌توان به زمین‌لرزه‌های سال‌های ۸۵۸، ۱۰۴۲، ۱۲۷۳، ۱۳۰۴، ۱۵۵۰، ۱۶۴۱، ۱۷۱۷، ۱۷۲۱،۱۷۸۰ و ۱۷۸۶ میلادی اشاره کرد *(Ambraseys & Melville, 1982: 18; Berberian & Arshady,1976: 10 Berberian, 1973:12)*. چندین زمین‌لرزه تاریخی را با توجه به رو مرکز لرزه‌ای آن‌ها می‌توان به گسل‌های شمال تبریز، شمال‌میشو، جنوب میشو و تسوج نسبت داد که نشان‌دهنده فعالیّت‌های لرزه‌ای مخرب این گسل‌ها در طول تاریخ می‌باشد.



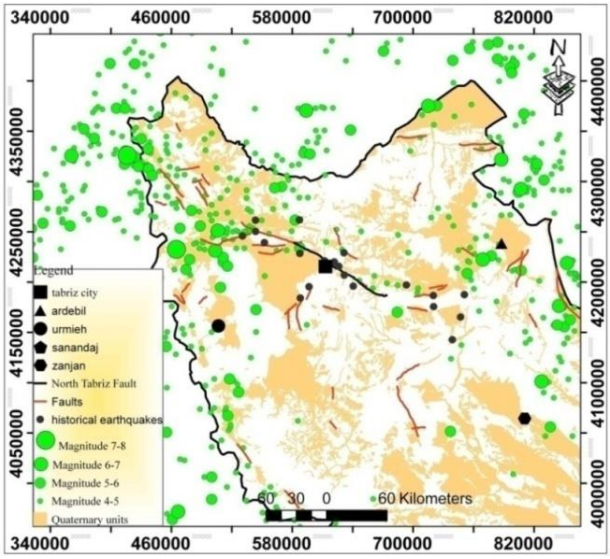
شکل ۱: ویرانه‌های برجای مانده از زمین‌لرزه ۱۷۸۰ میلادی. شرق روستای خواجه مرجان

ماخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹

آخرین زمین‌لرزه تاریخی مخرب در طول گسل شمال تبریز در سال ۱۷۸۰ میلادی و در حوالی روستای خواجه مرجان (۱۳ کیلومتری شمال غرب شهر تبریز) رخ داده است که سبب ویرانی‌هایی در شهر تبریز نیز شده است. (شکل ۱). ویرانه‌های بر جای مانده از این زمین‌لرزه در شرق روستای خواجه مرجان قابل مشاهده است.

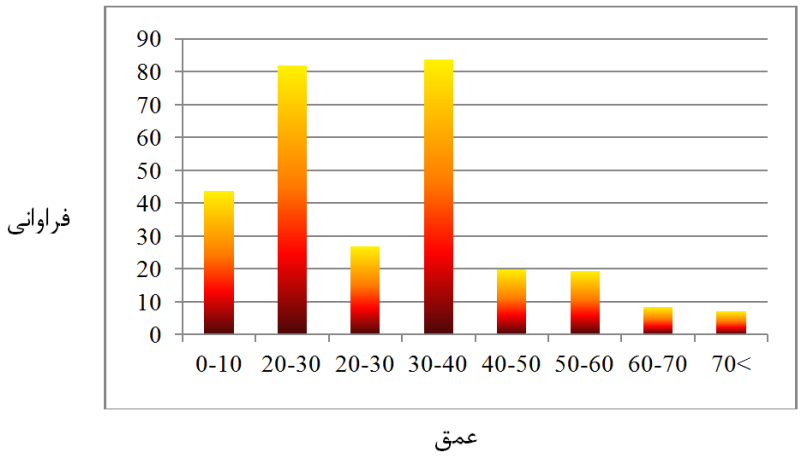
زمین‌لرزه‌های دستگاهی

اگرچه فعالیّت لرزه‌ای مهمی در دو قرن اخیر در تبریز گزارش نشده است، اما می‌توان از زمین‌لرزه سال ۱۳۰۹ شمسی سلماس با بزرگای MS=7/3 *(آقانباتی، ۱۳۸۳: ۳۴۱)* و زمین‌لرزه سال ۱۹۷۶ میلادی چالدران با بزرگای Mw=7/1 به عنوان زمین‌لرزه‌های مخرب سده بیستم آذربایجان نام برد. شکل ۲ *(Copley & Jackson, 2006: 9)* نشان‌دهنده موقعیت زمین‌لرزه‌های تاریخی، زمین‌لرزه‌های دستگاهی ثبت شده در شعاع ۳۰۰ کیلومتری شهر تبریز و گسل‌های اصلی و لرزه‌زای منطقه است که نشان‌دهنده‌ی رخداد اکثر زمین‌لرزه‌ها در مجاورت گسل‌های کاری منطقه می‌باشد. عمق اکثر زمین‌لرزه‌ها در این گستره کمتر از ۴۰ کیلومتر بوده که در رده زمین‌لرزه‌های سطحی قرار می‌گیرند (شکل۳). زمین‌لرزه‌های کم‌عمق در مقایسه با زمین‌لرزه‌های با عمق متوسط و زمین‌لرزه‌های عمیق به میزان بیشتری سبب لرزش زمین شده و در نهایت سبب خسارت‌های بیشتری نیز می‌شوند *(Westaway, 1993: 7)*.



شکل ۲: موقعیت زمین‌لرزه‌های تاریخی آذربایجان و زمین‌لرزه‌های دستگاهی شعاع ۳۰۰ کیلومتری شهر تبریز از ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۲ میلادی نسبت به گسل‌های اصلی بالقوه فعال منطقه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۳: عمق زمین‌لرزه‌های دستگاهی رخداده در شعاع ۳۰۰ کیلومتری شهر تبریز با بزرگای Ms≥4

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

نتایج و بحث

- تحلیل خطر لرزه‌ای گستره تبریز و پیرامون به روش احتمالی

در این روش محتمل‌ترین جنبش زمین به سبب رویداد زمین‌لرزه در آینده برآورد می‌شود و سپس برای پایین آوردن میزان شتاب به دست آمده با روش قطعی از فاکتورهایی چون دوره بازگشت زمین‌لرزه، درصد ریسک مورد قبول و احتمال رویداد زمین‌لرزه‌ای بزرگ در طول عمر مفید سازه استفاده می‌شود. یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای محاسبه لرزه‌خیزی، روش گوتنبرگ- ریشتر بوده که ما نیز در این پژوهش از آن استفاده کرده‌ایم رابطه گوتنبرگ- ریشتر بصورت زیر می‌باشد *(Lomnitz, 1976: 65)*.

رابطه ۱: $LogN(M)= a-bM$۱

در رابطه فوق؛ N(M): تعداد رخداد زمین‌لرزه با بزرگای M یا بزرگتر، M: بزرگی زمین‌لرزه بر حسب ریشتر و (a,b): ضرایب ثابت رگرسیون می‌باشند. بر اساس رابطه گوتنبرگ- ریشتر و با توجه به پیشینه لرزه‌خیزی منطقه، فرمول لرزه‌خیزی منطقه تبریز برابر است با Log N(Ms)= 2.47 – 0.705Ms. دوره بازگشت، نرخ رخداد سالیانه و احتمال رخداد زمین‌لرزه با بزرگای مشخص در دوره‌های زمانی ۱، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۴۷۵ ساله در منطقه تبریز در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: دوره بازگشت، نرخ رخداد سالیانه و احتمال رخداد زمین‌لرزه‌ای با بزرگای مشخص در منطقه تبریز

Ms	Return Period (year)	Annual rate	Probability occurrence(%)(year)				
			T=۱	T=۱۰	T=۵۰	T=۱۰۰	۴۷۵
۳	۰/۴	۲/۲۶۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۳/۴	۰/۸	۱/۱۸۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۳/۸	۱/۶	۰/۶۱۸	۶۱/۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۴/۲	۳/۱	۰/۳۲۳	۳۲/۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۴/۶	۵/۹	۰/۱۶۹	۱۶/۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۵	۱۱/۴	۰/۰۸۸	۸/۸	۸۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۵/۴	۲۱/۷	۰/۰۴۶	۴/۶	۴۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۵/۸	۴۱/۶	۰/۰۲۴	۲/۴	۲۴	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۶/۲	۷۹/۶	۰/۰۱۳	۱/۳	۱۳	۶۵	۱۰۰	۱۰۰
۶/۶	۱۵۲/۴	۰/۰۰۷	۰/۷	۷	۳۵	۷۰	۱۰۰
۶/۸	۲۱۰/۹	۰/۰۰۵	۰/۵	۵	۲۵	۵۰	۱۰۰
Ms	Return Period (year)	Annual rate	Probability occurrence(%)(year)				
			T=۱	T=/۱	T=/۵	T=۱۰۰	T=۴۷۵
۷	۲۹۱/۷	۰/۰۰۳	۰/۳	۴	۱۵	۳۰	۱۰۰
۷/۲	۴۰۳/۶	۰/۰۰۳	۰/۳	۳	۱۵	۳۰	۱۰۰
۷/۴	۵۵۸/۵	۰/۰۰۲	۰/۲	۲	۱۰	۲۰	۰/۸۵
۷/۶	۷۷۲/۷	۰/۰۰۱	۰/۱	۱	۵	۱۰	۰/۶۱
۷/۷	۹۰۸/۹	۰/۰۰۱	۰/۱	۱	۵	۱۰	۰/۵۲

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

-تحلیل خطر لرزه‌ای گستره تبریز و پیرامون به روش قطعی

در ایمنی سازه‌ها در برابر زمین‌لرزه دو نکته وجود دارد که باید مورد توجه قرار گیرد؛ ۱- ایمنی سازه‌ها و تأسیسات در برابر نیروهای مخرب زمین‌لرزه، ۲- ایمنی محل احداث سازه‌ها و تأسیسات هنگام زمین‌لرزه. همان قدر که ایمنی سازه مهم است، ایمنی ساختگاه نیز مهم بوده و در یک سازه مقاوم در برابر زمین‌لرزه باید هنگام طراحی سازه شناخت مطلوبی از ایمنی ساختگاه در دست باشد. برای سازه‌هایی با عمر مفید و کاربری‌های متفاوت، نیاز به رعایت

ضرایب ایمنی متفاوتی می‌باشد. در پهنه‌های کاری و لرزه‌خیز، مهمترین گام در راه پیشگیری و کاهش خطرهای ناشی از زمین‌لرزه‌ها در شهرها، سازه‌ها و مراکز صنعتی، اقتصادی و اجتماعی بررسی و برآورد بیشینه جنبش‌های ناشی از زمین‌لرزه است. سازه‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که در طول عمر مفیدشان در برابر بیشینه جنبش‌های برآورد شده، پایداری داشته و سالم بمانند. بیشینه نیروهای جانبی وارده به بناها معمولاً با بیشینه شتاب افقی (PGA) در محل متناسب می‌باشد. PeakGround Acceleration (PGA) یک اندازه‌گیری از شتاب زمین‌لرزه روی سطح زمین بوده و یک پارامتر مهم برای مقاصد مهندسی زلزله می‌باشد. انرژی زمین‌لرزه به صورت امواج از کانون سطحی خود به اطراف پراکنده شده و سبب حرکت زمین به صورت افقی و عمودی می‌شود. PGA میزان شتاب این جابجایی را در زمانی که سرعت زمین در بالاترین مقدار خود است، بیان می‌کند. مقدار PGA در زمین‌لرزه‌های مختلف متفاوت است. در یک زمین‌لرزه خاص در مکان‌های مختلف نیز میزانPGA متفاوت می‌باشد *(USGS, 2011)*. میزان PGA به عوامل مختلفی از قبیل طول گسل، بزرگای زمین‌لرزه، عمق کانون زمین‌لرزه، فاصله ساختگاه از کانون سطحی زمین‌لرزه، مدت یا دوام لرزش، ماهیت زمین‌شناسی ساختگاه و... بستگی دارد. مطالعات زمین‌شناسی یک ناحیه به همراه بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی آن ناحیه به زمین‌شناسان این امکان را می‌دهد که خطر لرزه‌ای را در آن ناحیه تشخیص داده و نقشه‌های خطر لرزه‌ای که میزان PGA احتمالی در آن منطقه طی یک رخداد زمین‌لرزه با یک احتمال تجاوز بیان می‌کند را برای آن ناحیه تهیه کنند. به منظور تهیه نقشه خطر لرزه‌ای لازم است رابطه میرایی مناسبی برای محاسبه PGA در گستره مورد مطالعه انتخاب شود. در این پژوهش از رابطه میرایی کمپبل ۲۰۰۸ که برای تهیه نقشه خطرلرزه‌ای ایالت کالیفرنیای آمریکا استفاده شده است) در تعیین میزان PGA استفاده نمودیم. از مزایای رابطه کمپبل ۲۰۰۸ نسبت به سایر روابط، در نظر گرفتن وضعیت و هندسه ساختارها در منطقه برای محاسبه خطر لرزه‌ای است. برای این منظور در این رابطه نوع سازوکار گسل‌ها، شرایط و جنس بستر ساختگاه (اثر ساختگاه بر میزان PGA)، عمق لایه لرزه‌زا و تأثیر فرادیواره گسل در میزان PGA در نظر گرفته شده است. همچنین در روابط دیگر در محل اثر سطحی گسل، میزان PGA اشباع شده و مقدار بیشتری از واقعیت را نشان می‌دهد اما در این رابطه این اشباع شدگی به وجود نمی‌آید. رابطه میرایی کمپبل ۲۰۰۸ عبارت است از:

رابطه ۲ : $nY=c_1+ f_1(M_w)+ c_4\ln\sqrt{(f_2(M_w, r_{seis}, S) + f_3(F)+f_4(S)+f_5(HW,F,M_w,r_{seis})+\varepsilon}$

در این رابطه:

f_1 تابعی از بزرگای زمین‌لرزه بوده و عبارت است از:

$$f_1 (M_w)= c_2M_w+c_3(8.5-M_w)^2$$

f_2 تابعی از میزان فاصله ساختگاه تا چشمه لرزه‌زا:

$$f_2 (M_w,r_{seis},S)= r^2_{seis}+g(S)^2(\exp[c_8M_w+c_9(8.5-M_w)^2])^2$$

$g(S)$ وابسته به شرایط تأثیر منبع نزدیک ساختگاه[1] بوده و به صورت زیر اعمال شده است:

$$g(S) = c_5+c_6(S_{VFS}+S_{SR})+c_7S_{FR}$$

f_3 تابعی از مکانیزم گسلش می‌باشد:

$$f_3 (F)= c_{10}F_{RV}+c_{11}F_{TH}$$

f_4 تابعی از شرایط تأثیر منبع دور ساختگاه[۲] بوده و به صورت زیر اعمال شده است:

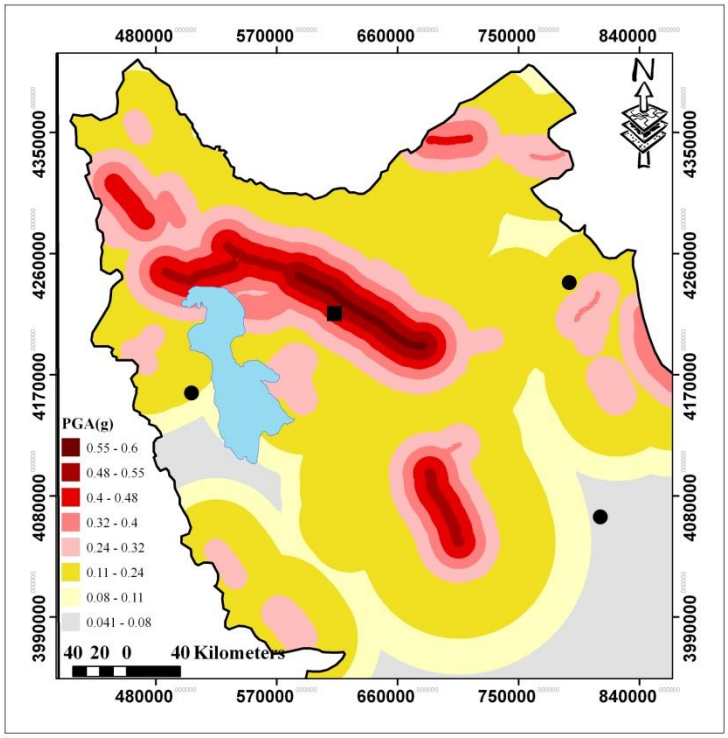
$$f_4(S) =c_{12}S_{VFS}+c_{13}S_{SR}+c_{14}S_{FR}$$

f_5 تابعی از تأثیر فرا دیواره می‌باشد:

$$f_5=(HW,F,M_w,r_{seis})= HWf_{HW}(M_W)f_{HW}(r_{seis})(F_{RV}+F_{TH})$$

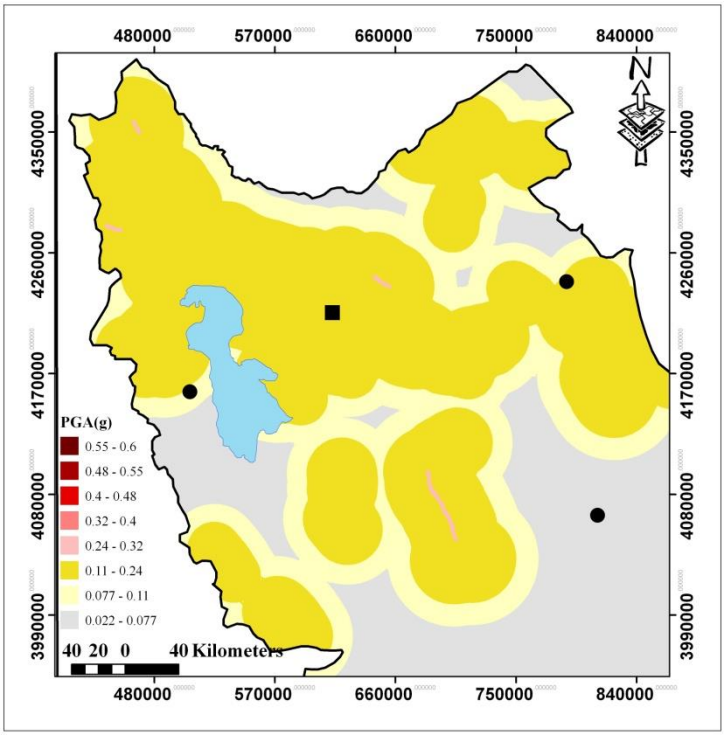
در روابط فوق Y: برابر با PGA افقی میانگین یا (Y_H)، M_W: بزرگای گشتاوری، r_{seis}: کوتاه‌ترین فاصله تا گسیختگی لرزه‌زا (km)، r_{jb}: کوتاه‌ترین فاصله تا اثر سطحی گسل، δ: شیب گسل برحسب درجه، و برای خاک خیلی سفت $S_{VFS}=1$ ، برای سنگ سست $S_{SR}=1$، برای سنگ سفت $S_{FR}=1$، و $S_{VFS}=S_{SR}=S_{FR}=0$ برای خاک سفت؛ $F_{RV}=1$ برای گسل معکوس، $F_{TH}=1$ برای گسل تراستی، $F_{RV}=F_{TH}=0$ برای گسل امتداد لغز و گسل نرمال می‌باشد. برای مشاهده جزئیات بیشتر می‌توان به منبع ۱۲ مراجعه نمود.

سپس برای انجام پهنه‌بندی به تفکیک واحدهای سنگی، براساس جنس هر یک و نیز به بررسی هندسه ساختارهای محدوده‌ی مطالعاتی پرداخته و در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه را رسم نمودیم (هندسه گسل‌های محدوده مطالعاتی در پیوست ۱ آورده شده است). در شکل‌های ۴ الی ۸ می‌توان نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در گستره شهر تبریز و پیرامون آن را که در محیط نرم‌افزار ArcGIS و بر اساس روش کمپبل ۲۰۰۸ و برای دوره‌های زمانی ۵۰، ۱۰۰ و ۴۷۵ سال با درصدهای احتمال تجاوز مختلف رسم شده‌اند را مشاهده نمود. بسته به نوع کاربری سازه مورد نظر، می‌توان از نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه مناسب استفاده نمود. همچنین در جدول‌ها مقادیر PGA اعمال شده از هر یک از گسل‌های اطراف شهر تبریز بطور مجزا آورده شده است.



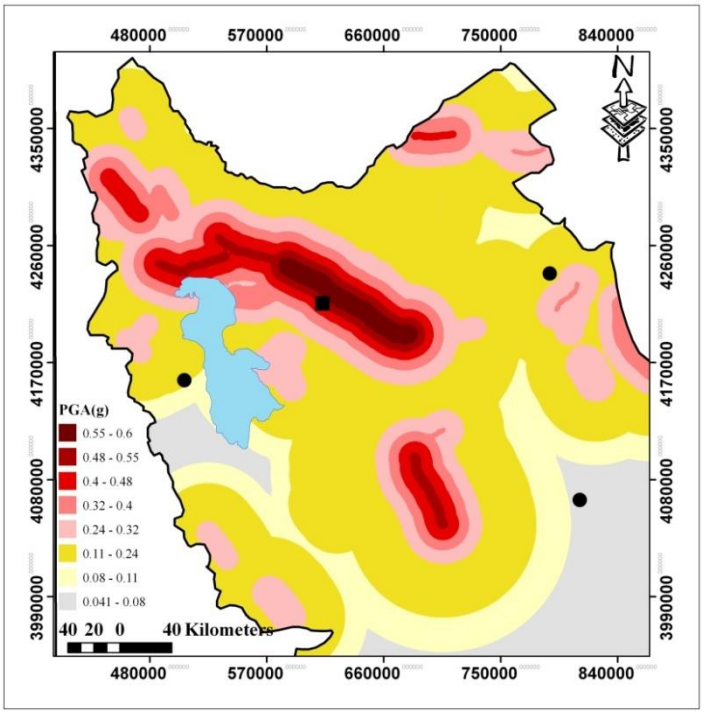
شکل ۴: نقشه خطرلرزه‌ای شمال‌غرب ایران در دوره۵۰ ساله با احتمال تجاوز۱۰٪ (PGA افقی میانگین)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰



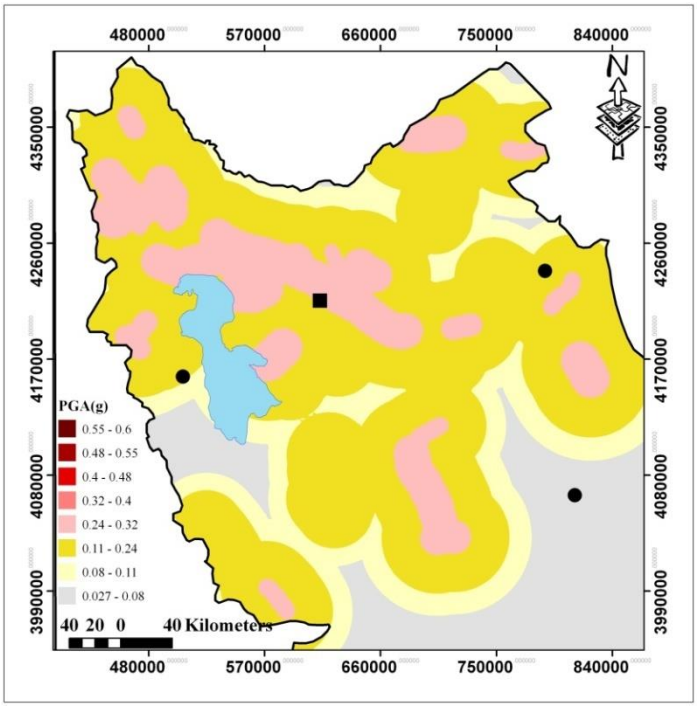
شکل ۵: نقشه خطرلرزه‌ای شمال‌غرب ایران در دوره۵۰ ساله با احتمال تجاوز۶۴٪ (PGA افقی میانگین)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰



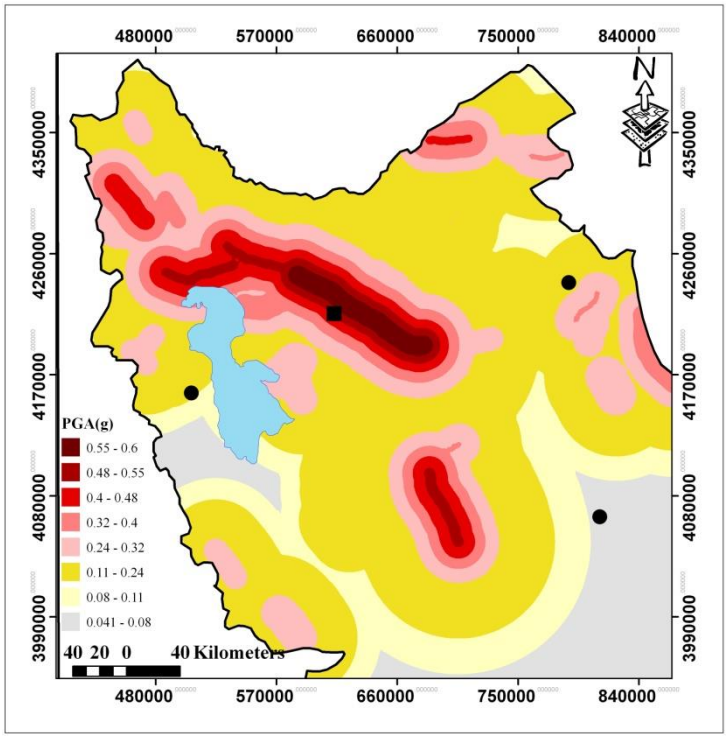
شکل ۶: نقشه خطرلرزه‌ای شمال‌غرب ایران در دوره۱۰۰ساله با احتمال تجاوز۱۰٪ (PGA افقی میانگین)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۷: نقشه خطرلرزه‌ای شمال‌غرب ایران در دوره۱۰۰ساله با احتمال تجاوز۶۴٪ (PGA افقی میانگین)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۸: نقشه خطرلرزه‌ای شمال‌غرب ایران در دوره۴۷۵ساله با احتمال تجاوز۱۰٪ (PGA افقی‌میانگین)

مأخذ: نگارندگان

جدول ۲: PGA افقی میانگین وارد بر شهر تبریز در دوره‌ی ۵۰ ساله با احتمال تجاوز ۶۴٪

Average Horizontal PGA(g) in 50 years 64% probability of exceedance	گسل	دهخوارقان	ارشد چمن	آغچه کهل	آق چای	الوارسی	مجیدآباد
	PGA	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
	گسل	امام رود	ایشگه سوکران	بانه	پیرانشهر	تالش	مازان
	PGA	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
	گسل	شمال تبریز	جنوب میشو	تسوج	حمزه لو	خوجا	قینرجه
	PGA	۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۳
	گسل	داشکسن	دامن چای	دیزج الند	رند	زندان سلیمان	ورزقان
	PGA	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳
	گسل	زورآباد	سوریک	شاهونی	شبستر	شرق اردبیل	قلعه داش
	PGA	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۳
	گسل	شمال میشو	شیرامین	عسگرآباد	غرب تالش	قاشقابلاغ فریس	گسل۱
	PGA	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱
	گسل	گسل۲	گسل۳	گسل۴	گسل۵	گسل۶	گسل۷
	PGA	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲
	گسل	گسل۸	گسل۹	گسل۱۰	گسل۱۱		
	PGA	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۸		

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۳: PGA افقی میانگین وارد بر شهر تبریز در دوره ۱۰۰ ساله با احتمال تجاوز ۶۴٪ *(ماخذ: نگارندگان)*

Average Horizontal PGA(g) in 100 years 64% probability of exceedance							
گسل	دهخوارقان	ارشد چمن	آغچه کهل	آق چای	الوارسی	مجیدآباد
PGA	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳
گسل	امام رود	ایشگه سوکران	بانه	پیرانشهر	تالش	مازان
PGA	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲
گسل	شمال تبریز	جنوب میشو	تسوج	حمزه لو	خوجا	قینرجه
PGA	۰/۲۳	۰/۱	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۳
گسل	داشکسن	دامن چای	دیزج الند	رند	زندان سلیمان	ورزقان
PGA	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴
گسل	زورآباد	سوریک	شاهونی	شبستر	شرق اردبیل	قلعه داش
PGA	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۰۴
گسل	شمال میشو	شیرامین	عسگرآباد	غرب	قاشقابلاغ فریس	گسل۱
PGA	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۱۳
گسل	گسل۲	گسل۳	گسل۴	گسل۵	گسل۶	گسل۷
PGA	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲
گسل	گسل۸	گسل۹	گسل۱۰	گسل۱۱		
PGA	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۹		

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

نتیجه

مطالعات لرزه‌زمین‌ساختی که در این پژوهش انجام شد، نشان دهنده واقع شدن شهر تبریز در منطقه‌ای با پتانسیل لرزه‌ای بالا می‌باشد. بر اساس رابطه گوتنبرگ- ریشتر، فرمول لرزه‌خیزی این شهر $Log(N)= 2.47 – 0.705$ Ms می‌باشد. براساس این فرمول، دوره بازگشت زمین‌لرزه‌های با بزرگای Ms=7 و Ms=7.4 در منطقه تبریز به ترتیب ۲۹۰ و ۵۵۸ سال می‌باشد.

با تعریفی که از تقسیم‌بندی گسل‌ها براساس فعالیّت آنها شد، ۴۶ گسل اصلی دارای پتانسیل فعالیّت لرزه‌ای در شعاع ۳۰۰ کیلومتری شهر تبریز شناسایی و میزان PGA که می‌تواند توسط هر یک از این گسل‌ها در دوره‌های زمانی ۵۰ و ۱۰۰ ساله با احتمال تجاوز ۶۴٪ به این شهر اعمال شود، براساس رابطه میرایی کمپبل ۲۰۰۸ محاسبه شده است. بر این اساس گسل‌های ارشد چمن، شمال‌تبریز، دهخوارقان، داشکسن، خوجا، شبستر، شیرامین، آغچه‌کهل، تسوج، جنوب میشو و شمال میشو، از لحاظ لرزه‌ای دارای خطر متوسط تا بالایی برای شهر تبریز بوده و رخداد زمین‌لرزه‌ای مخرب توسط هر یک از این گسل‌ها می‌تواند شهر تبریز را در معرض تهدید قرار دهد. گسل شمال تبریز که در مجاورت بلافصل شهر تبریز قرار دارد، بیشترین تهدید لرزه‌ای برای این شهر می‌باشد، به طوریکه که در صورت فعالیّت لرزه‌ای این گسل و رخداد زمین‌لرزه‌ای مخرب توسط آن، در دوره‌های ۵۰ و ۱۰۰ ساله با احتمال تجاوز ۶۴٪ این گسل پتانسیل ایجاد زمین‌لرزه‌ای را دارد که PGA افقی میانگین آن در شهر تبریز به ترتیب 0/18g و

0/23g می‌باشد. این مطلب با پیشینه لرزه‌ای گسل شمال تبریز که نشان دهنده رخداد چندین زمین‌لرزه مخرب در طول تاریخ در طول این گسل است، در توافق می‌باشد. شواهد زمین‌ریختی مرتبط با گسلش فعال متعددی نیز که در طول گسل شمال تبریز مشاهده می‌شود، نشان‌دهنده فعالیّت بالای این گسل است و مبین این امر است که اگرچه در طول دو قرن اخیر شهر تبریز و گسل شمال تبریز دوره‌ای با فعالیّت لرزه‌ای کم را می‌گذارند اما این نبود لرزه‌ای دلیلی بر پایین بودن خطر زمین‌لرزه در این منطقه نمی‌باشد و وقوع زمین‌لرزه مخرب در این منطقه در آینده امری محتمل و جدی است.

بر اساس جدول ۱، گسل‌های شمال تبریز، داشکسن، شمال میشو، جنوب میشو، شبستر، خوجا، گسل۱۱ و گسل۱ در دوره ۵۰ ساله با احتمال تجاوز ۶۴٪، پتانسیل ایجاد زمین‌لرزه‌ای را داشته که PGA افقی میانگین آن در شهر تبریز در رده خطر لرزه‌ای متوسط قرار می‌گیرد.

بر اساس جدول ۲، گسل‌های شمال تبریز، دهخوارقان، داشکسن، شمال میشو، گسل۱، گسل۱۱، ارشد چمن، جنوب میشو، آغچه کهل، شبستر، گسل۱ و خوجا در دوره ۱۰۰ ساله با احتمال تجاوز ۶۴٪، پتانسیل ایجاد زمین‌لرزه‌ای را داشته که PGA افقی میانگین آن در شهر تبریز در رده خطر لرزه‌ای متوسط قرار می‌گیرد.

با توجه به نقشه‌های PGA افقی میانگین رسم شده (شکل‌های ۴ الی ۸)، شهر تبریز در دوره ۵۰ ساله با احتمال تجاوز ۱۰٪، دوره ۱۰۰ ساله با احتمال تجاوز ۱۰٪ و در دوره ۴۷۵ ساله با احتمال تجاوز ۱۰٪ در پهنه‌ای با خطر لرزه‌ای بسیار بالا قرار دارد. همچنین این شهردر دوره ۱۰۰ ساله با احتمال تجاوز ۶۴٪ در پهنه‌ای با خطر لرزه‌ای بالا و در دوره ۵۰ ساله با احتمال تجاوز ۶۴٪ در پهنه‌ای با خطر لرزه‌ای متوسط قرار می‌گیرد.

سپاسگزاری

در انتها بر خود واجب می‌دانیم که از مدیریت گروه زمین‌شناسی وقت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، آقای مهندس مهران بخاطر حمایت‌هایی که در طول انجام این تحقیق نمودند تشکر نماییم.

منابع

۱) آقانباتی، سیدعلی (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور.

۲) بربریان، مانوئل (۱۹۷۳). نقشه مقدماتی رو مرکز و عمق کانونی زلزله‌ها، انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران.

۳) بربریان، مانوئل؛ منوچهر قرشی؛ بهرام ارژنگ‌روش؛ ارسلان مهاجر اشجعی (۱۳۷۱). پژوهش و بررسی نوزمین-ساخت. لرزه زمین‌ساخت. لرزه خیزی و خطر زمین‌لرزه گسلش در گستره قزوین بزرگ و پیرامون به همراه نقشه-های پیوست، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور. گزارش شماره ۶۱.

۴) قاسمی، محمدرضا (۱۳۸۳). چشمه‌های لرزه‌زا. گسله‌ها و انواع آن، سمینار آموزشی مبانی لرزه زمین‌ساخت و تحلیل خطر نسبی زمین‌لرزه. تهران. ایران.

۵) شجاع طاهری، جعفر؛ منوچهر قرشی (۱۳۸۱). بررسی خطر زمین‌لرزه-گسلش در گستره مشهد- نیشابور، مجله علوم زمین. سازمان زمین‌شناسی کشور. صفحات ۳۷- ۲۲.

6) ALAVI, M (1991). Sedimentary and structural characteristics of the paleo-Tethys remnants in northeastern Iran, Geol.Soc.of Amer, PP: 983-992.

7) ALAVI, M (1994). Tectonic of the zagros Orogenic Belt of Iran: New Data and Interpretations, Tectonophysics, PP: 211-238.

8) Ambraseys, N. N., Melville, C. P (1982). A history of Persian earthquakes, Cambridge University Press, Cambridge, 236 Page.

9) Berberian M.&Arshady S (1976). On the evidence of the youngest activity of The North Tabriz fault and the seismicity of Tabriz city,GeologySurvey of Iran,Vol 39, PP:397- 418.

10) Berberian M (1981). Active faulting and tectonics of Iran, Geodynamics Series, V 3.

11) Campbell, K. W (2008). New empirical attenuation relationship for the Western U.S. and California, USGS, PP:341-398.

12) Copley, A & Jackson, J (2006). Active Tectonics of Turkish-Iranian Plateau, Tectonics, Vol25, TC6006, doi: doi:10.1029/2005TC001906.

13) Dewey, J. F & Hempton, M. R & Kidd, W. S. F & Saroglu F & Sengor A. M. C (1986). Shortening of continental lithosphere: The tectonics of eastern Anatolia-A young collision zone, Geol. Soc. Spec. Publ, 19-36.

14) Farhoodi, G (1978). A Comparison of zagros geology to island arcs; J., GEOL, USA, Vol. 86; No.3; PP:323-334.

15) http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mag_vs_int.php.

16) Explanation of Parameters (2011). Geologic Hazards Science Center. U.S. Geological Survey. https://geohazards. usgs.gov/ deaggint /2002/ documentation /parm .php.

17) http://www.world-nuclear.org/info/inf18.html., 2011- Nuclear Power Plants and Earthquakes], accessed -04-08.

18) Lomnitz. C (1976). Global tectonics and earthquake risk, Elsevier.

19) McClusky, S & Reilinger, R & Mahmoud, S & Ben Sari D & Tealeb A (2003). GPS constraints on Africa (Nubia) and Arabia plate motions, Geophys. J, PP: 126–138.

20) McQuarrie, N & Stock J. M & Verdel C & Wernicke B. P (2003). Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions, Geophys.
21) Sengor, A. M. C (1990). A new model for the late Palaeozoic-Mesozoic tectonic evolution of Iran and implications for Oman, in The Geology and Tectonics of the Oman Region, Geology Society Science, No 49, PP: 497-831.
22) Stocklin, J & Setudehnia, A (1977). Stratigraphyic Lexicon of Iran, Geology survey of Iran, no,18, second edition, PP: 252-253.
23) Westaway, R (1990). Seismicity and tectonic deformation rate in soviet of Armenia: Implication for local earthquake hazard and evolution of adjacent regions, Tectonics, PP:477- 503.