



بررسی زمان هشدار احتمالاتی برای سامانه هشدار سریع زمین لرزه شهر تبریز

حمیرا کریمی واحد^۱ و رضا حیدری^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه ژئوفیزیک، تهران، ایران. (نویسنده مسئول). (karimi_vahed@yahoo.com)

۲. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه ژئوفیزیک، تهران، ایران. (R.heidari61@yahoo.com)

چکیده

زمینه و هدف: خطرپذیری بالای اقتصادی و اجتماعی مناطق شهری در برابر ریسک لرزه‌ای به دلیل تلفات سنگین ناشی از زمین‌لرزه بسیار قابل توجه است و از آنجایی که پیش‌بینی دقیق زمین‌لرزه با دانسته‌های فعلی امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ بنابراین، یک سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه می‌تواند در کاهش خسارات جانی و مالی زمین‌لرزه نقش پراهمیتی داشته باشد. در این مطالعه تلاش شده است که با استفاده از تعریف تابع احتمالاتی، میزان اجرایی بودن سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه برای شهر تبریز که بر روی گسل شمال تبریز در شمال‌غرب ایران قرار دارد، بررسی گردد.

روش: با استفاده از تعریف تابع احتمالاتی، میزان اجرایی بودن سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه برای شهر تبریز که بر روی گسل شمال تبریز در شمال‌غرب ایران قرار دارد، از شبیه‌سازی زمین‌لرزه به روش کاتوره‌ای با استفاده از سناریوهای زمین‌لرزه و پارامترهای ورودی کد شبیه‌سازی کننده مناسب، بیشینه شتاب جنبش زمین^۱ بر حسب گال با استفاده از کد نرم افزاری EXSIM برای تمامی شهرهای شمال‌غرب ایران محاسبه، سپس زمان‌های هشدار در سایت و ناحیه‌ای شهر تبریز در فضای taup محاسبه همچنین با کمک از نرم‌افزار ArcGIS، نقشه هم شدت محدوده مورد مطالعه رسم گردید.

نتایج: نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که نمی‌توان هشدار قابل توجهی در سایت، برای این شهر ایجاد نمود، به نظر می‌رسد که زمان هشدار ناحیه‌ای برای راه‌اندازی سامانه هشدار سریع در شهر تبریز، که مقدار آن برای تمامی سناریوهای در نظر گرفته شده زیر ۱۰ ثانیه می‌باشد از نظر اقتصادی، صرف هزینه، زمان و انرژی، با توجه به آرایش ایستگاهی موجود مقرون به صرفه نخواهد بود.

کلید واژه: سامانه هشدار، زمین‌لرزه، هشدار در سایت، هشدار ناحیه‌ای، بیشینه شتاب زمین، نمودار تابع احتمالاتی.

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** کریمی‌واحد، حمیرا؛ حیدری، رضا. (تابستان ۱۳۹۴). بررسی زمان هشدار احتمالاتی برای سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه شهر تبریز. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۵ (۲)، ۹۳-۱۰۰.

Investigating The Probabilistic Warning Times for Tabriz Earthquake Early Warning System (EWS)

Homeyra Karimivahed & Reza Heidari, PhD.

ABSTRACT

Background and objective: The economic and social vulnerability of urban areas to seismic risk because of the heavy tolls caused by earthquake, economic and social vulnerability of urban areas is very noticeable. Since it is not possible to accurately predict the earthquake occurrence with our current knowledge, then an Earthquake Early Warning System can significantly reduce the possible death and financial losses. This study attempts to investigate the level of implementing of Tabriz Earthquake Early Warning System on the north fault of Tabriz in the north west of Iran by using the Probability Cumulative Distribution Function.

Method: By using CDF (Probability Cumulative Distribution Function), this study aims to investigate the level of implementing of an Earthquake Early Warning System that is located on North Tabriz Fault, study the earthquake simulation with random method by using earthquake scenarios and input parameters of appropriate simulation code and calculate the maximum acceleration of ground motion by using software code of EXSIM for all north west cities of Iran. Then the warning times in Tabriz were calculated in TAUP space and by using ArcGIS software the intensity map of the area was drawn.

Conclusion: The results of this study show that it is not possible to establish considerable On-Site warning for Tabriz. It seems that this amount of time to set up Earthquake Early Warning Systems in Tabriz is under 10 seconds that due to the arrangement of existing stations it would not be cost-effective.

Keywords: Earthquake Early Warning System, On-Site Warning, Regional Warning, Peak Ground Motion of the Earth, Probability Cumulative Distribution Function (CDF).

► **Citation (APA 6th ed.):** Karimivahed H. & Heidari R. (2015, Summer). Investigating The Probabilistic Warning Times for Tabriz Earthquake Early Warning System (EWS). *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 5(2), 93- 100.

مقدمه

شاید بتوان گفت فعال ترین منطقه از لحاظ لرزه خیزی در خاورمیانه، نواحی شمال و شمال غرب ایران و شرق ترکیه باشد. زمین لرزه های متعدد و ویرانگر بارها و بارها این منطقه را تخریب کرده است. گسل شمال تبریز در این ناحیه بخش عمده ای از لرزه خیزی تاریخی و دستگاهی را به خود اختصاص داده است (شکل ۲)، و از آنجایی که شهر تبریز یکی از شهرهای مهم ایران با تراکم جمعیتی بالا می باشد در جهت کاهش تلفات جانی، مالی و اقتصادی مورد مطالعه قرار گرفته شده است.

فلات آناتولی-ایران سرزمین لرزه خیزی است و یکی از مهمترین ویژگی های توپوگرافی منطقه خاورمیانه است که در نتیجه برخورد قاره ای صفحه عربستان و صفحه اوراسیا شکل گرفته است. در این میان شمال غرب ایران که در محل تلاقی دو ایالت لرزه زمین ساختی البرز و زاگرس قرار گرفته، بسیار حائز اهمیت است (میرزائی و همکاران، ۱۳۸۱)، زیرا این منطقه در گذشته بارها زمین لرزه های ویرانگری را تجربه کرده است. همچنین گسل های لرزه ای بسیاری در این منطقه شناسایی شده است که برخی از آنها باعث زمین لرزه های بزرگی بوده اند. در بین گسل های شمال غرب ایران می توان به مهمترین آنها از جمله: گسل شمال تبریز، گسل شمال و جنوب میشو، ارومیه و سلطانیه اشاره نمود. با توجه به لرزه زمین ساخت منطقه، می توان گفت که گسل شمال تبریز مهم ترین عارضه تکتونیکی قابل ملاحظه در ناحیه شمال غرب ایران می باشد که به دلیل بیشترین ساخت و ساز و تراکم جمعیت بر روی آن، از جمله خطرناک ترین گسل های ایران می باشد، روند گسل تبریز N۱۱۵E، حرکت این گسل امتداد لغز راست گرد و شیب آن تقریباً قائم می باشد (بربریان، ۱۹۷۶)، که زلزله های تاریخی (۷/۴) ۱۰۴۲ (Ms)، (۷/۳) ۱۷۲۱ (Ms)، (۷/۳) ۱۷۸۰ (Ms) (۷/۴)، (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲)، مؤید این نکته هستند (نقشه ۱). بر این اساس گسل شمال تبریز و زمین لرزه های اتفاق افتاده بر روی آن مبنای مطالعات ما قرار گرفت، در بسیاری از مناطق دنیا همچون تبریز، اگرچه پتانسیل رخداد زمین لرزه مخرب به واسطه وجود گسل های فعال، بسیار بالا است، اما نگاهت مربوط به

زمین لرزه های مخرب بزرگی که در گذشته رخ داده، وجود ندارد. برای بدست آوردن نگاهت مربوط به زمین لرزه ها می توان از مدل نمودن جنبش نیرومند زمین (شبیه سازی)، استفاده کرد.

هدف این مطالعه این است که امکان راه اندازی سامانه هشدار سریع زمین لرزه برای منطقه تبریز بررسی شود و همچنین این مطالعه به منظور جلوگیری از هدررفت زمان، انرژی و هزینه در صورت داشتن سامانه هشدار سریع زمین لرزه در شهر تبریز انجام گرفته شده است.

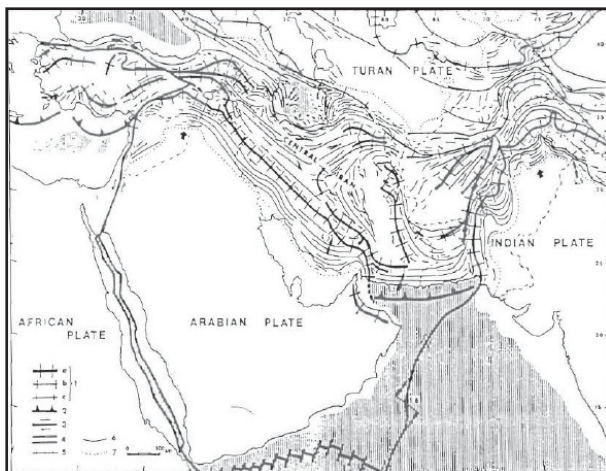
یک سامانه هشدار سریع زمین لرزه مجموعه ای است از نرم افزارها و سخت افزارها که به صورت برخط، به تجزیه و تحلیل نگاهت های یک زمین لرزه در حال وقوع می پردازد و در صورت مخرب بودن آن اقدام به ارسال پیام هشدار به مناطق در معرض خطر می کند. اساس کار بسیاری از سامانه های هشدار سریع زمین لرزه پردازش ۳ تا حداکثر ۵ ثانیه ابتدایی موج P می باشد. ناکامورا^۱ (۱۹۸۸). به این صورت که بر اساس دامنه نخستین جنبش های موج P، بیشینه جنبش نیرومند زمین تخمین زده می شود و چنانچه از یک مقدار آستانه بیشتر شود؛ برای گستره اطراف همان ایستگاه هشدار اعلام می شود. ایده ابتدایی سامانه های هشدار سریع زمین لرزه در حدود ۱۴۰ سال پیش توسط کوپر^۲ مطرح شد. سامانه هشدار سریع زمین لرزه شهر مکزیکوسیتی در مورد زمین لرزه ۱۴ سپتامبر ۱۹۹۵ منطقه کوپالا، اخطار رسانی ۷۰ ثانیه را برای شهروندان مکزیکوسیتی انجام داده است. اسپینوسا و آراند^۳ (۱۹۹۵). با استفاده از امواج اولیه P که به عنوان اولین ورودی فازهای لرزه ای بر روی ایستگاه های لرزه نگاری ثبت می شود و قدرت تخریب کمتری نسبت به سایر امواج دیگر دارد، می توان محل زلزله را مشخص نمود، اولین موج دریافتی P به صورت تقریبی برای زمین لرزه های کم عمق با سرعتی حدود ۱/۷ برابر امواج S و سطحی (معمولاً دامنه و در نتیجه آن انرژی امواج S نسبت به امواج P بزرگتر و مخرب تر است)، حرکت می کند و تأخیر دریافت امواج P و S در هر ایستگاه به فاصله کانونی، عمق و مدل سرعتی پوسته زمین لرزه بستگی دارد. در بسیاری از مواقع این زمان تأخیر برای اعلام هشدار قبل از رسیدن امواج مخرب زمین لرزه (موج S و امواج

1. Nakamura(1988)

2. J.D.Cooper

3. Espinosa-Aranda (1995)

سامانه هشدار سریع ناحیه‌ای^۲ معروفند، از نتایج پردازش تمامی یا بخشی از فازهای ثبت شده امواج دریافتی زمین‌لرزه در چند ایستگاه لرزه‌نگاری، پارامترهای چشمه زمین‌لرزه، در یک مرکز پردازش تعیین شده و در صورتی که زمین‌لرزه مخرب تشخیص داده شد، برای نواحی در معرض خطر پیام هشدار ارسال می‌شود. در دسته دوم از سامانه‌های هشدار، از روی موج P، که به سامانه هشدار سریع در سایت^۳ معروف است، استفاده می‌کنند؛ به این صورت که در هر ایستگاه بر اساس دامنه نخستین جنبش‌های موج P، (به عنوان مثال دامنه شتاب موج P، Pa)، بیشینه جنبش نیرومند زمین (به عنوان مثال بیشینه شتاب زمین) تخمین زده می‌شود و چنانچه از یک مقدار آستانه بیشتر شود، برای گستره اطراف همان ایستگاه اعلام هشدار می‌کند. برای تولید هشدار ناحیه‌ای با استفاده از سامانه در سایت بایستی کانون زمین‌لرزه و بزرگی زمین‌لرزه نیز حتماً تخمین زده شوند. در واقع سامانه در سایت زیر مجموعه‌ای از سامانه ناحیه‌ای قلمداد می‌شود. سوالاتی همانند: آیا راه‌اندازی سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه برای شهر تبریز بر اساس میزان زمان‌های هشدار ممکنه از سناریوهای مختلف زمین‌لرزه امکان‌پذیر است؟ و راه‌اندازی سامانه مورد نظر تا چه میزان پاسخ‌گوی نیاز شهر زلزله‌خیز تبریز برای ایجاد هشدارهای زمان‌دار می‌باشد؟ از جمله سوالاتی بودند که پیش از انجام مطالعه مطرح گردید و در پایان مطالعه به آن‌ها پاسخ داده شد.



شکل ۱: موقعیت ایران در کمربند آلپ-همالیای (بربریان، ۱۹۸۱)

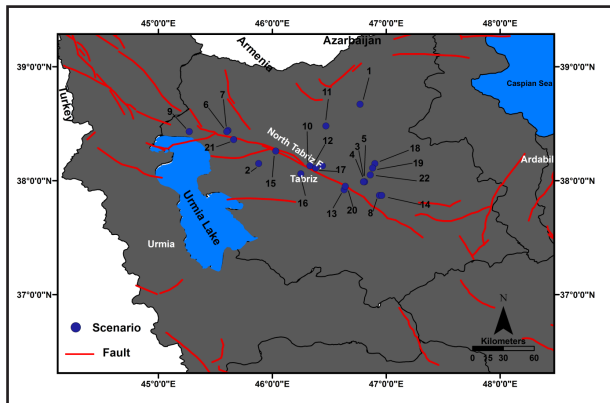
سطحی)، بسیار مناسب و کمک‌کننده می‌باشد. هر چه چشمه‌ی زمین‌لرزه از نقطه‌ی هدف، فاصله‌ی بیشتری داشته باشد، مدت زمان بیشتری تا رسیدن امواج مخرب S به هدف طول می‌کشد، اختلاف زمان رسیدن مناسب امواج P و S، فرصت محاسبه‌ی مکان و بزرگای زمین‌لرزه برای یک سامانه‌ی پردازشگر دارای تجهیزات لازم را فراهم می‌کند. این سامانه‌ی خودکار قادر است پس از دریافت موج P در ایستگاه‌های نزدیک چشمه به صورت درجا و آنی، با سرعت امواج رادیویی و در کمتر از ۱ ثانیه آن را به سامانه‌ی مرکزی پردازش موج منتقل کند. در سامانه‌ی اخیر، ۳ تا حداکثر ۵ ثانیه ابتدایی موج P تحلیل، و بزرگای زمین‌لرزه در راه و محل وقوع آن محاسبه می‌شود. پس از تعیین مکان و بزرگا، سامانه‌ی مرکزی در صورت لزوم هشدار خطر مربوطه را صادر می‌کند. با توجه به اینکه گسل‌های فعال و تاثیرگذار در داخل شهر یا در فاصله‌ی زیادی از منطقه‌ی موردنظر قرار گرفته باشد، تراکم ایستگاه‌های مستقر در منطقه نیز متفاوت خواهد بود، به این صورت که هر چقدر گسل‌های فعال از منطقه‌ی موردنظر دورتر باشد، تراکم ایستگاه‌ها نیز کمتر خواهد بود و بالعکس. در این مطالعه پس از شبیه‌سازی زمین‌لرزه و محاسبه‌ی زمان هشدار، نمودارهای آماری و احتمالاتی براساس زمان هشدار رسم می‌شود و نتایج این مطالعه بر اساس تحلیل و تفسیر نمودارهای آماری می‌باشد. نمودارهای تابع جمع‌ی احتمالاتی^۱ به صورت درصد احتمالی، برای تمام سناریوهای زمین‌لرزه عنوان خواهد شد و میزان هشدار در یک ایستگاه خاص را برای سناریوهای محتمل به صورت احتمالاتی نمایش می‌دهد. در بسیاری از محیط‌های تکتونیکی، تنها یک منطقه‌ی مشخص از گسل‌های فعال شناخته شده وجود ندارد. در چنین نواحی، توزیعی از گسل‌های شناخته شده و ناشناخته در اطراف منطقه‌ای که بایستی برای آن اعلام هشدار شود، وجود دارد و موقعیت زمین‌لرزه‌های بزرگ و خطرناک، از قبل شناخته شده نیست. بنابراین، طراحی یک سامانه هشدار سریع بهینه بسیار مشکل و پیچیده بوده و نیاز به افزایش شبکه‌ها و تجهیزات لرزه‌نگاری برخط، برای تشخیص سریع زمین‌لرزه و موقعیت چشمه‌ی آن دارد. سامانه‌هایی که برای چنین شرایطی طراحی می‌شوند، دو دسته‌اند؛ در دسته اول که به

2. Regional Warning

3. On-Site Warning

1. Probability Cumulative Distribution Function

لرزه‌ای قرار داده بودند، قرار گرفت. در این مطالعه تعداد ۲۲ سناریوی زمین لرزه‌ای (شکل ۳)، که پارامترهای مکانیزم گسلی آنها در (جدول ۱) ذکر شده است، اشاره نمود. برای تمام این سناریوها بزرگی ممان ۷ تعیین شد که به عنوان بزرگترین زمین لرزه ممکن متناسب با طول گسل شمال تبریز و بر اساس روابط ولز و کوپراسمیت^۴ (۱۹۹۴)، در نظر گرفته شده است.

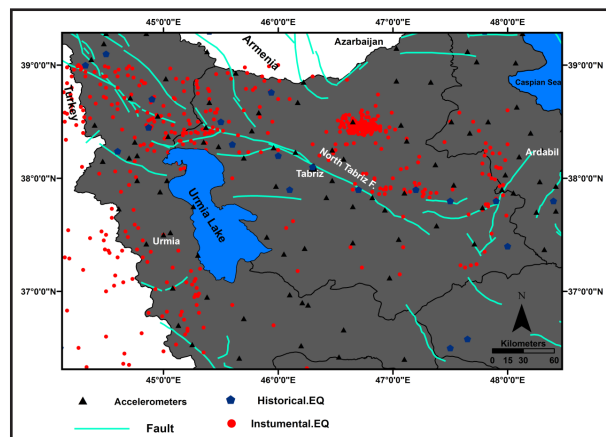


شکل ۳: توزیع سناریوهای استفاده شده در مطالعه مورد نظر

جدول ۱: پارامترهای مکانیزم گسلی، سناریوهای واقع بر روی گسل شمال تبریز (مرادی و همکاران، ۲۰۱۱).

.No	Data	Time	Latitude	Longitude	Strike	Dip	Depth (Km)
1	27/04/2004	17:30:00	38.67	46.77	195	70	4
2	1/5/2004	23:40:00	38.15	45.88	255	40	13
3	5/5/2004	06:23:00	37.99	46.81	350	45	46
4	5/5/2004	06:32:00	37.99	46.8	340	70	51
5	5/5/2004	08:06:00	37.99	46.8	100	30	71
6	7/5/2004	00:11:00	38.44	45.61	105	70	4
7	7/5/2004	17:58:00	38.43	45.6	300	60	8
8	7/5/2004	20:22:00	37.87	46.94	200	60	8
9	18/5/2004	11:29:00	38.43	45.27	340	60	33
10	23/5/2004	21:27:00	38.13	46.33	250	70	14
11	24/5/2004	03:16:00	38.48	46.47	210	80	25
12	29/5/2004	05:52:00	38.13	46.44	90	80	25
13	1/6/2004	23:13:00	37.92	46.63	90	70	4
14	4/6/2004	13:15:00	37.87	46.96	115	80	25
15	14/6/2004	22:54:00	38.26	46.03	100	70	33
16	25/6/2004	15:31:00	38.06	46.25	265	70	4
17	7/7/2004	07:25:00	38.11	46.38	120	80	21
18	9/7/2004	00:17:00	38.15	46.9	210	75	11
19	9/7/2004	00:19:00	38.11	46.88	270	80	35
20	9/7/2004	09:09:00	37.95	46.64	90	75	2
21	13/7/2004	02:26:00	38.36	45.66	290	70	33
22	20/7/2004	09:53:00	38.05	46.86	340	50	5

پس از شبیه‌سازی زمین لرزه با استفاده از سناریوهای مذکور و پارامترهای ورودی کد شبیه‌سازی کننده مناسب (جدول ۲)، بیشینه شتاب ۴. Wells and Coppersmith (1994)



شکل ۲: رویدادهای حوالی گسل تبریز، دایره قرمز رنگ رومرکز زمین لرزه‌های بزرگتر از ۳، پنج ضلعی‌های آبی رنگ نشان دهنده زمین لرزه‌های تاریخی و مثلث‌های مشکی نشان‌دهنده ایستگاه‌های شتابنگاری موجود در منطقه می‌باشند.

روش

در بسیاری از مناطق دنیا همچون تبریز، اگرچه پتانسیل رخداد زمین لرزه مخرب به واسطه وجود گسل‌های فعال، بسیار بالا است، اما نگاهت مربوط به زمین لرزه‌های مخرب بزرگ رخ داده در گذشته وجود ندارد. برای بدست آوردن نگاهت مربوط به زمین لرزه‌ها می‌توان از مدل نمودن جنبش نیرومند زمین (شبیه‌سازی)، استفاده کرد. یکی از تکنیک‌های موفق و مؤثر در شبیه‌سازی جنبش زمین، مدل‌سازی کاتوره‌ای می‌باشد. ماهیت این روش ایجاد سری‌های زمانی گذرایی است که حداقل، میانگین طیف آنها با طیف دامنه‌ی مشخص شده سازگار باشد. این روش با انتخاب پنجره‌ای از تاریخچه زمانی باند محدود تصادفی نوفه سفید گوس آغاز گردیده، به نحوی که میانگین مورد انتظار آن صفر بوده و واریانس طوری انتخاب می‌شود که دامنه‌ی طیفی بر روی مقدار میانگین، واحد گردد. طیف تاریخچه زمانی پنجره انتخاب شده، در طیف مشخصی ضرب شده و سپس به حوزه‌ی زمان بازگردانده می‌شود و در نهایت سری زمانی نهایی را نتیجه می‌دهد. بور^۱ (۲۰۰۳). سناریوهای مورد استفاده در این تحقیق بر مبنای کار مرادی و همکاران^۲ (۲۰۱۱)، که تعداد ۳۰ ایستگاه لرزه‌نگاری به فاصله‌ی ۱۰ کیلومتری را در میان ۸ ایستگاه^۳ که در سال ۱۹۹۵ توسط انیستیتو ژئوفیزیک دانشگاه تهران در اطراف شهر تبریز، برای ثبت فعالیت‌های

1. Boore (2003)
2. SiahkaliMoradi et al (2011)
3. IGTU

یافته‌ها

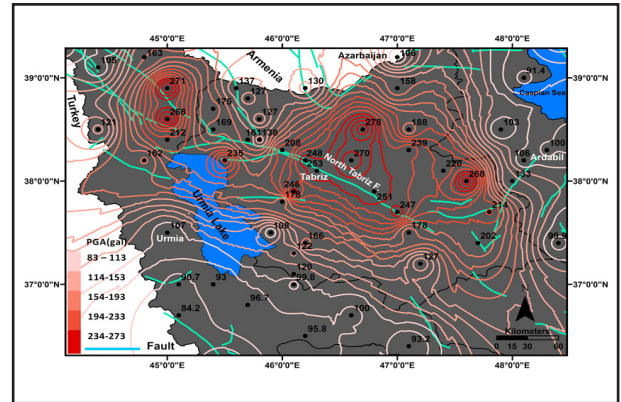
پس از انجام محاسبات و ترسیم نقشه‌های هم‌شدت منطقه مورد مطالعه، نقشه بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین برای شمال غرب ایران رسم گردید، (شکل ۵). با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که شهرهای قره‌ضیاءالدین، خوی، ورزقان، سراب، خواجه و تبریز، آمند، اهر، دمیرچی، هریس، بستان‌آباد، اسکو، صوفیان، تیکمه‌داش از نظر خطر لرزه‌ای بر حسب بیشینه شتاب جنبش زمین، در موقعیتی قرار دارند که در تقسیم‌بندی پهنه‌های خطر جز مناطق با خطر نسبی بالا محسوب می‌شوند، در این مطالعه تنها شهر تبریز به عنوان هدف مورد مطالعه قرار گرفت. به این صورت که اولین زمان رسید موج‌های P و S سناریوهای شبیه‌سازی شده، برای تمامی شهرها و ایستگاه‌های شتابنگاری مستقر بر اساس مدل پوسته زمین منطقه مورد مطالعه و استفاده از نرم‌افزار taup ثبت گردید. اختلاف زمان رسید موج S و زمان رسید موج P در هر ایستگاه، هشدار در سایت همان ایستگاه خواهد بود. پس از ۴ ثانیه از دریافت موج P در چهارمین ایستگاه لرزه‌شناسی (لازم به ذکر می‌باشد که تمامی محاسبات بر روی شهرها و ایستگاه‌های شتابنگاری سازمان زمین‌شناسی کشور که در منطقه مورد مطالعه مستقر بوده‌اند، انجام گرفته است) زمان رسیدن فازهای لرزه‌ای ثانویه تا ایستگاه‌های دیگر محاسبه و به عنوان زمان هشدار ناحیه‌ای در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه فرض شده که حداقل ۴ ثانیه برای پردازش نگاشت زمین لرزه و ارسال اطلاعات، لازم است. همچنین فرض می‌شود که یک هشدار نسبتاً دقیق، بر اساس گزارش حداقل ۴ ایستگاه خواهد بود. چهار تا از ایستگاه‌های نزدیک کانون زمین لرزه، زمان هشدار ناحیه‌ای هر ایستگاه را می‌دهند. از اختلاف زمان رسید موج S و موج P با یک تاخیر زمانی ۴ ثانیه‌ای (برای انتقال اطلاعات امواج از هر ایستگاه به یکی از شبکه‌های مرکزی برای پردازش زمان و در صورت لزوم اعلام هشدار به ایستگاه‌های دورتر)، به عنوان زمان هشدار ناحیه‌ای برای هر ایستگاه استفاده شد.

در هر سنسور:

$$(1) \quad t_s - t_p - 4s = \text{زمان هشدار در سایت}$$

$$(2) \quad t_s - (t_s - t_p - 4s)_{4i} = \text{زمان هشدار ناحیه‌ای}$$

جنبش زمین^۱ بر حسب گال با استفاده از کد نرم افزاری EXSIM برای تمامی شهرهای شمال غرب ایران محاسبه، سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، نقشه هم‌شدت محدوده مورد مطالعه رسم گردید (شکل ۴).



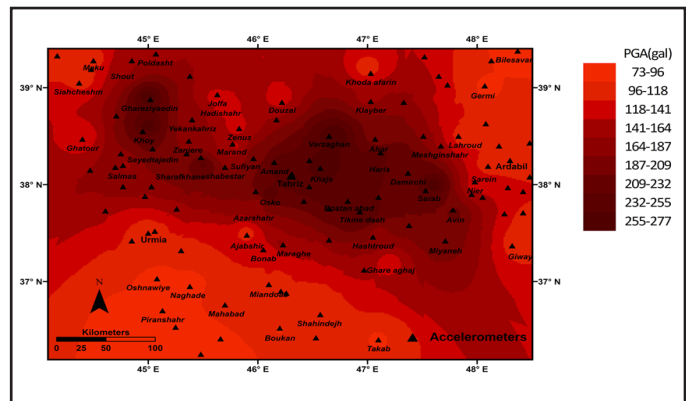
شکل ۴: نقشه هم‌شدت شمال غرب ایران بر اساس بیشینه شتاب جنبش زمین.

جدول ۲: پارامترهای ورودی کد شبیه‌سازی کننده نگاشت زمین لرزه برای سناریوهای مذکور

پارامتر	مقدار
افت تنش ^۲	۶۸ bars
فاکتور Q ^۳	$\log(Q) = 1.99 \log(f)^2 - 0.67(\log f) + 2.32$
طول مدت ^۴	$T_0 + 0.1(Km)$
اثر ساختگاه ^۵	$\frac{H}{V} e^{-\pi \kappa_s f}$
ضریب کاپا موج قائم ^۶	۰/۰۳
پهنای گسل (KM) ^۷	ولز و کوپراسمیت ^۷ (۱۹۹۴)
Pulsing area percentage	٪۵۰
تابع پنجره ^۹	Saragoni-Hart
توزیع هندسی ^{۱۰}	$R^{-1.0} (R < 70Km)$ $R^{+0.2} (70Km \leq R \leq 150)$ $R^{-0.1} (150Km \leq R)$
سرعت گسیختگی ^{۱۱}	۰/۸ of β
توزیع لغزش ^{۱۲}	random

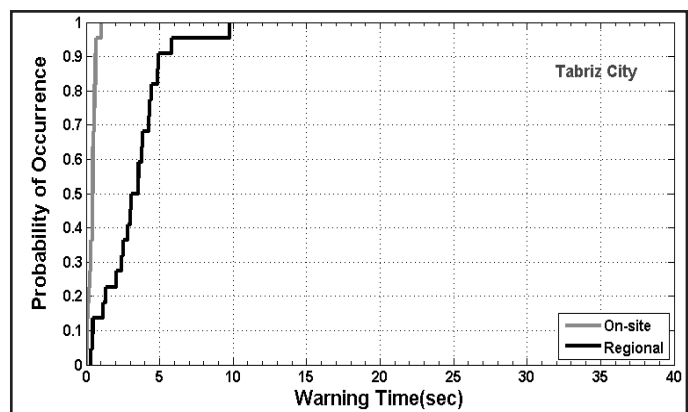
1. Peak Ground Motion
2. Stress drop
3. Q(f)
4. Duration
5. Site effects
6. K_s
7. Wells and Coppersmith (1994)
8. Fault width
9. Windowing function
10. Geometric spreading
11. Rupture velocity
12. Slip Distribution

زمان هشدار محدود را جبران کند. از آنجایی که هدف از انجام این مطالعه امکان راه‌اندازی سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه برای شهر تبریز است، به نظر می‌رسد که این مقدار زمان برای راه‌اندازی سامانه‌ی هشدار سریع در شهر تبریز با توجه به آرایش ایستگاهی موجود، مناسب نیست. پیش‌بینی زیر ۱۰ ثانیه‌ای هشدار ناحیه‌ای شهر تبریز در مقایسه با پیش‌بینی ۷۰ ثانیه‌ای شهر مکزیکوسیتی بسیار ناچیز است. برای بهبود بخشیدن مقدار زمان هشدار پیشنهاد می‌شود که زمان آنالیز و پردازش داده‌های لرزه‌ای به حداقل برسد و ایستگاه‌های شتابنگاری متعددی در نزدیکی چشمه‌ی لرزه‌زا تعبیه گردد. از جمله محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به استفاده از زمین‌لرزه‌های شبیه‌سازی شده به جای استفاده از زمین‌لرزه‌های واقعی و همچنین در نظر گرفتن تنها گسل شمال تبریز با وجود تاثیر گذاری و زلزله خیز بودن گسل‌های دیگر موجود در منطقه اشاره نمود.



شکل ۵: نقشه‌ی بیشینه شتاب جنبش زمین برای سناریوهای مورد مطالعه در منطقه شمال‌غرب ایران.

نمودار تابع احتمالاتی هشدارهای در سایت و ناحیه‌ای برای شهر تبریز که از اولویت بالا از لحاظ لرزه‌خیزی برخوردار است؛ رسم شد. با توجه به نمودار ۱، هشدار در سایت زیر ۲ ثانیه و هشدار ناحیه‌ای برای تمام سناریوها بین صفر تا ۱۰ ثانیه می‌باشد و برای غالب سناریوها هشدار ناحیه‌ای زیر ۵ ثانیه می‌باشد.



نمودار ۱: نمودار تابع جمعیتی احتمالاتی هشدار در سایت و ناحیه‌ای برای شهر تبریز.

بحث و نتیجه‌گیری

همانطوری که در نمودار ۱ نشان داده شده است، هشدار در سایت برای تمامی سناریوهای شهر تبریز زیر ۲ ثانیه می‌باشد که این مقدار قابل ملاحظه نمی‌باشد. هشدار ناحیه‌ای برای تمام سناریوهای در نظر گرفته شده بر روی گسل شمال تبریز مقدار بین صفر تا ۱۰ ثانیه را برای شهر تبریز نشان می‌دهد. این زمان هشدار برای بیشتر از ۹۰ درصد سناریوها کمتر از حدود ۵ ثانیه است. البته آرایش متراکم‌تر ایستگاه‌های شتابنگاری تا حد بسیار زیادی می‌تواند این

منابع

منابع فارسی:

میرزائی، نوربخش (۱۳۸۱). پارامترهای مبنایی زمین‌لرزه‌های ایران. دانش نگار، تهران.

منابع انگلیسی:

Ambraseyes, NN., & Melville CP. (1982). A history of Persian Earthquakes, Cambridge university press, Cambridge 219 pp. <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=4505460>

Atkinson, Gail. M., &Boore, David. M. (1995). Ground Motion Relations for Eastern North America. Bulletin of the Seismological Society of America, 85, No. 1, pp. 17-30, February 1995. <http://www.bssaonline.org/content/85/1/17.short>

Atkinson, Gail. M., &Boore, David. M.(1998). Evaluation of Models for Earthquake SourceSpectra in Eastern North America. Bulletin of the Seismological Society of America, 88, No. 4, pp. 917-934. <http://www.bssaonline.org/content/88/4/917.short>

Berberian, Manuel, Arshadi, S. (1976). On the evidence of the youngest activity of the north Tabriz fault and the seismicity of Tabriz city, Geol. Surv, 39, 397-418, Iran. https://www.researchgate.net/profile/Manuel_Berberian/publication/264881678_On_the_evidence_of_the_youngest_activity_of_the_North_Tabriz_Fault_and_the_seismicity_of_Tabriz_City/links/5471f3b90cf24af340c3dbe9.pdf



- Espinosa-Aranda, J., Jimenez, A., Ibarrola, G., Alcantar, F., Aguilar, A. (1995). Mexico city seismic alert system, *Seismic Res, Lett*, 66(6), 42-53 http://www.cires.org.mx/docs_info/CIRES_039.pdf
- Motazedian, Dariush, & Atkinson, Gail. (2005). Stochastic finite fault modeling based on dynamic corner frequency. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95, 995-1010. <http://www.bssaonline.org/content/95/3/995.short>
- Nakamura Y, Tucker BE (1988) Japan's earthquake warning: 41(2:33-40).
- SiahkaliMoradi, Ali., Hatzfeld, Denis., Tatar, Mohammad. (2011). Microseismicity and Seismotectonics of the North Tabriz fault (Iran), *Tectonophysics*. V(506) Pp 22-30 doi:10.1016/j.tecto.2011.04.008
- Wells, Donald., & Coppersmith, Kevin. (1994). New Empirical Relationship Among Magnitude, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 974-1002. <http://www.bssaonline.org/content/84/4/974.short>
- Berberian, Manuel, Arshadi, S. (1977). The Shibli rift systems (Sahand region, NW Iran) *GeoSurv*, 40, 229-236, Iran. <http://manuelberberian.com/Berberian%20&%20Arshadi%201977%20-%20Shibli.pdf>
- Boore, DAVID . (1983). Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 73, 1865-1894. <http://www.bssaonline.org/content/73/6A/1865.short>
- Boore, DAVID . M., & Atkinson. G.M. (1987). Stochastic Prediction of Ground Motion and Spectral Response Parameters at Hard-Rock Sites in Eastern North America. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 77, No. 2, pp. 440-467. <http://www.bssaonline.org/content/77/2/440.short>
- Boore, DAVID. (2003). Simulation of Ground Motion Using the Stochastic Method. *Pure appl. Geophys*, 160, 635-676 0033 - 4553/03/040635 - 42. <http://link.springer.com/article/10.1007/PL00012553>
- Cooper, J. D., (1868). Earthquake indicator, *Evening Bulletin XXVII*, 23.