

بررسی زمان هشدار احتمالاتی برای سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه بر روی گسل شمال تبریز

حمیرا کریمی واحد^۱ و رضا حیدری^{۲*}

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه ژئوفیزیک، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. استادیار، گروه ژئوفیزیک، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

(دریافت: ۹۴/۵/۱۱، پذیرش نهایی: ۹۵/۱۱/۵)

چکیده

با توجه به اینکه پیش‌بینی دقیق زمین‌لرزه با دانش فعلی بشر امکان‌پذیر نیست؛ یک سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه می‌تواند نقش پراهمیتی در کاستن تلفات و خسارات زمین‌لرزه‌ها داشته باشد. در این مطالعه با استفاده از تعریف تابع احتمالاتی، سطح اجرایی بودن سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه برای گسل شمال تبریز در شمال غرب ایران، بررسی و زمان هشدارهای در سایت و ناحیه‌ای برای مناطق و شهرهای در معرض خطر که شامل ۱۵ شهر با اولویت بالا شامل: خوی، ورزقان، سراب، تبریز، قره‌ضیاءالدین، آمند، تیکمه‌داش، اسکو، دمیچی، بستان‌آباد، صوفیان، هریس، اهر، خواجه و میانه می‌باشد، به شکل احتمالاتی ارزیابی شده است. خطرپذیری شهرهای ذکر شده در این مطالعه بر اساس شبیه‌سازی جنبش نیرومند زمین با استفاده از روش تصادفی برای ۲۲ زمین‌لرزه محتمل سناریو اولویت‌بندی شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که حداکثر زمان‌های هشدار ناحیه‌ای برای شهرهای خوی، قره‌ضیاءالدین، میانه، بستان‌آباد، هریس، خواجه، سراب، تیکمه‌داش، ورزقان، دمیچی و تبریز به ترتیب ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۱۳، ۱۷، ۱۲، ۱۹، ۱۴، ۱۵، ۱۸ و ۱۰ ثانیه است. این زمان‌های هشدار به عنوان یک فرصت مناسب قبل از رسیدن امواج سهمگین و نیرومند زمین‌لرزه، تا حد بسیار زیادی می‌تواند از تلفات و خسارات ناشی از وقوع زمین‌لرزه‌ها بکاهد. با توجه به این موضوع که برای ایستگاه‌های نزدیک به کانون زمین‌لرزه، امکان ایجاد هشدار ناحیه‌ای صرفاً برای اهداف دورتر میسر است؛ میزان هشدارهای در سایت برای زمین‌لرزه‌های نزدیک به اهداف (زمین‌لرزه‌های تأثیرگذار)، بررسی گردید که همان‌طور که انتظار می‌رود؛ هشدار در سایت شایان توجهی ایجاد نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین، سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه، نمودارهای تابع تجمعی احتمالاتی، هشدار در سایت و هشدار ناحیه‌ای.

۱. مقدمه

ایده ابتدایی سامانه‌های هشدار سریع زمین‌لرزه در حدود ۱۴۰ سال پیش توسط کوپر (۱۹۶۸) مطرح شد. از طریق سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه شهر مکزیکوسیتی، در مورد زمین‌لرزه ۱۴ سپتامبر ۱۹۹۵ منطقه کوبالا، اختطار رسانی ۷۰ ثانیه‌ای برای شهروندان مکزیکوسیتی انجام گرفته است (اسپینوسا - آراندا و همکاران، ۱۹۹۵). نمونه چنین مطالعه‌ای برای آمریکا انجام گرفته است که در آن بر اساس میزان شدت زمین‌لرزه‌های اتفاق افتاده و زمان رسید امواج آن‌ها، به تجزیه و تحلیل اجرایی بودن چنین سامانه‌ای برای شهر سانفرانسیسکو، پرداخته شده است (آلن و همکاران، ۲۰۰۹).

با استفاده از امواج اولیه P که به عنوان اولین ورودی

یک سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه مجموعه‌ای است از نرم‌افزارها و سخت‌افزارها که به صورت برخط (Online)، به تجزیه و تحلیل نگاشت‌های یک زمین‌لرزه می‌پردازد و در صورت مخرب بودن، پیام هشدار را به مناطق در معرض خطر ارسال می‌کند. اساس کار بسیاری از سامانه‌های هشدار سریع زمین‌لرزه، پردازش ۳ تا حداکثر ۵ ثانیه ابتدایی موج P می‌باشد (ناکامورا، ۱۹۸۸). به این صورت که بر اساس دامنه نخستین جنبش‌های موج P، بیشینه جنبش نیرومند زمین تخمین زده می‌شود و چنانچه از یک مقدار آستانه بیشتر شود؛ برای گستره احتمالی متأثر از بیشینه جنبش نیرومند زمین اطراف همان ایستگاه، هشدار اعلام می‌شود.

فازهای لرزه‌ای بر روی ایستگاه‌های لرزه‌نگاری ثبت می‌گردد و قدرت تخریب کمتری از سایر امواج دارد، می‌توان محل زمین‌لرزه را مشخص کرد. هرچه چشمه زمین‌لرزه از نقطه هدف فاصله بیشتری داشته باشد، پس‌افتادگی موج S از موج P بیشتر می‌شود. سرانجام اختلاف زمانی مناسب، فرصت محاسبه مکان و بزرگای زمین‌لرزه برای یک سامانه پردازشگر دارای تجهیزات لازم را فراهم می‌کند. این سامانه 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 سامانه مرکزی پردازش موج منتقل کند. در سامانه اخیر ۳ تا حداکثر ۵ ثانیه ابتدایی موج P، تحلیل و بزرگی زمین‌لرزه اتفاق افتاده و محل وقوع آن محاسبه می‌شود. پس از تعیین مکان و بزرگا، سامانه مرکزی در صورت لزوم هشدار خطر مربوطه را صادر می‌کند. با توجه به اینکه گسل‌های فعال و تأثیرگذار در داخل شهر یا در فاصله زیادی از منطقه موردنظر قرار گرفته باشد؛ تراکم ایستگاه‌های مستقر در منطقه نیز متفاوت خواهد بود. به این صورت که هر چقدر گسل‌های فعال از منطقه مورد نظر دورتر باشد، تراکم ایستگاه‌ها نیز کمتر خواهد بود و بالعکس. در بسیاری از محیط‌های تکنونیک‌تھا یک منطقه مشخص از گسل‌های فعال شناخته شده وجود ندارد. در چنین نواحی‌ای توزیعی از گسل‌های شناخته شده و ناشناخته در اطراف منطقه‌ای که باید برای آن اعلام هشدار گردد، وجود دارد و موقعیت زمین‌لرزه‌های بزرگ و خطرناک از قبل شناخته شده نیست. بنابراین، طراحی یک سامانه هشدار سریع بهینه بسیار مشکل و پیچیده است و به افزایش شبکه‌ها و تجهیزات لرزه‌نگاری برخط به منظور تشخیص سریع زمین‌لرزه و موقعیت چشمه آن نیاز دارد. سامانه‌هایی که برای چنین شرایطی طراحی می‌شوند، دو دسته‌اند: در دسته اول که به سامانه هشدار سریع ناحیه‌ای (Regional Warning) معروفند، از نتایج پردازش تمامی

فازهای ثبت‌شده امواج دریافتی زمین‌لرزه در چند ایستگاه لرزه‌نگاری، پارامترهای چشمه زمین‌لرزه در یک مرکز پردازش، تعیین شده و در صورتی که زمین‌لرزه مخرب تشخیص داده شود، برای نواحی در معرض خطر پیام هشدار ارسالی می‌شود. بعدها پس از پیشرفت‌های علمی و به منظور افزایش زمان هشدار، استفاده از بخش ابتدایی امواج دریافت‌شده در دستور کار قرار گرفت. دسته دوم که به سامانه هشدار سریع در سایت (On-site Warning) معروف است، با استفاده از بخش ابتدایی موج P برای مناطق اطراف خود ایجاد هشدار می‌کند؛ به این صورت که در هر ایستگاه بر اساس دامنه نخستین جنبش‌های موج P (به عنوان مثال دامنه شتاب موج P_a ، بیشینه نیرومند زمین (به عنوان مثال بیشینه شتاب زمین، PGA)، 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 باید کانون زمین‌لرزه و بزرگی زمین‌لرزه نیز حتماً تخمین زده شوند. در واقع سامانه در سایت زیرمجموعه‌ای از سامانه ناحیه‌ای قلمداد می‌شود.

تقریباً کل فلات ایران لرزه‌خیز است و یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های توپوگرافی منطقه خاورمیانه است که در نتیجه برخورد قاره‌ای صفحه عربستان و صفحه اوراسیا شکل گرفته است. در این میان شمال‌غرب ایران که در محل تلاقی دو ایالت لرزه‌زمین‌ساختی البرز و زاگرس قرار گرفته است؛ بسیار حائز اهمیت است (میرزائی، ۱۳۸۱)، زیرا این منطقه در گذشته بارها زمین‌لرزه‌های ویرانگری را تجربه کرده است. همچنین گسل‌های فعال لرزه‌ای بسیاری در این منطقه شناسایی شده است که برخی از آن‌ها مسبب زمین‌لرزه‌های بزرگی بوده‌اند. از جمله مهم‌ترین گسل‌های شمال‌غرب ایران می‌توان به گسل شمال تبریز، گسل شمال و جنوب میشو، ارومیه و سلطانیه اشاره کرد. با توجه به لرزه‌زمین‌ساخت منطقه، می‌توان گفت که گسل شمال تبریز

می‌توان از مدل کردن جنبش نیرومند زمین (شبه‌سازی) استفاده کرد. یکی از تکنیک‌های موفق و مؤثر در شبه‌سازی جنبش زمین، مدل‌سازی کاتوره‌ای (یا تصادفی) است. ماهیت این روش ایجاد سری‌های زمانی گذرایی است که حداقل، میانگین طیف آن‌ها با طیف دامنه مشخص شده سازگار باشد. این روش با انتخاب پنجره‌ای از تاریخچه زمانی باند محدود تصادفی نوفه سفید گوسی آغاز گردیده است؛ به نحوی که میانگین مورد انتظار آن صفر باشد و واریانس طوری انتخاب می‌شود که دامنه طیفی بر روی مقدار میانگین، واحد گردد. طیف تاریخچه زمانی پنجره انتخاب شده، در طیف مشخصی، ضرب و سپس به حوزه زمان بازگردانده می‌شود و در نهایت سری زمانی نهایی را نتیجه می‌دهد (بور، ۱۹۸۳؛ بور و اتکینسون، ۱۹۸۷؛ اتکینسون و بور، ۱۹۹۵؛ اتکینسون و بور، ۱۹۹۸؛ بور، ۲۰۰۳).

۴. اندازه‌گیری، مشاهده، محاسبه

سناریوهای مورد استفاده در این تحقیق بر مبنای کار مرادی و همکاران (۲۰۱۱)، است که از ۳۰ ایستگاه لرزه‌نگاری به فاصله تقریبی ۱۰ کیلومتری از ۸ ایستگاه لرزه‌نگاری مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (IGTU) در اطراف شهر تبریز، برای ثبت فعالیت‌های لرزه‌ای استفاده کردند. بنابراین، ۲۲ زمین‌لرزه گزارش شده توسط مرادی و همکاران (۲۰۱۱) که در شکل ۱ نشان داده شده و در جدول ۱ پارامترهای گسلی آن‌ها لیست شده است، به عنوان سناریوهای مورد استفاده در این مطالعه انتخاب گردید (شکل ۱؛ جدول ۱).

در این مطالعه که هدف آن بررسی احتمالاتی راه‌اندازی سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه بر روی گسل شمال تبریز به منظور کاهش تلفات جانی و مالی است، ابتدا نقاط اولویت‌دار در معرض خطر زمین‌لرزه شناسایی گردید.

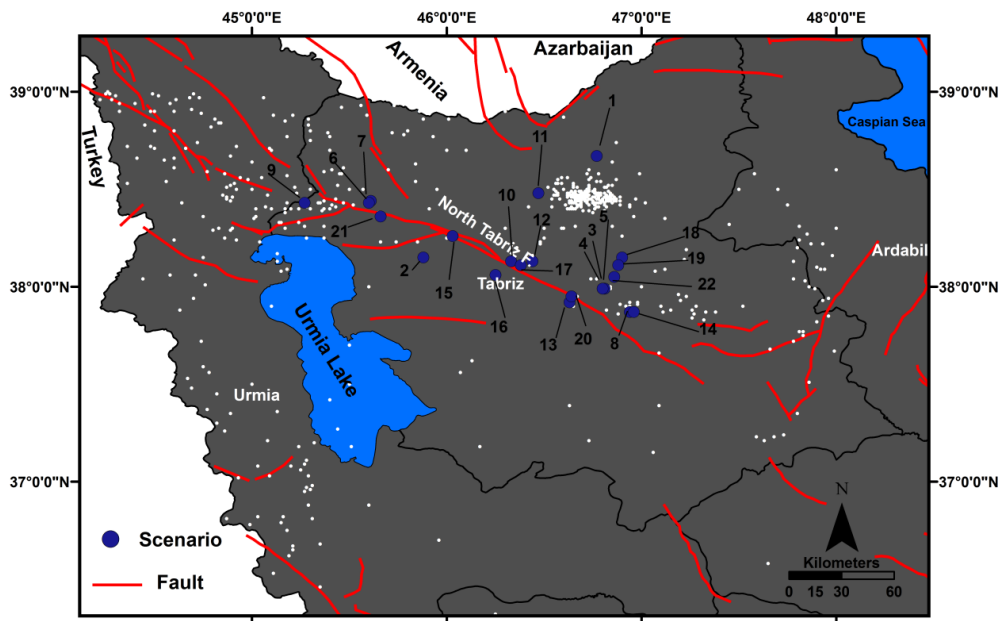
مهم‌ترین عارضه تکنیکی قابل ملاحظه در ناحیه شمال‌غرب ایران است که به دلیل بیشترین ساخت و ساز و تراکم جمعیت بر روی آن، خطرناک‌ترین گسل ایران می‌باشد. با توجه به روند گسل تبریز N115E، حرکت این گسل امتداد لغز راستگرد و شیب آن تقریباً قائم می‌باشد (بربریان و ارشدی، ۱۹۷۶) که زلزله‌های تاریخی سال‌های ۱۰۴۲ (M_s ۷/۳)، ۱۷۲۱ (M_s ۷/۳) و ۱۷۸۰ (M_s ۷/۴)، مؤید این نکته است (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲؛ شاهوار و همکاران، ۲۰۱۳).

۲. هدف پژوهش

هدف از این مطالعه شبه‌سازی زمین‌لرزه به منظور شناسایی نقاط اولویت‌دار خطرپذیر در مقابل زمین‌لرزه‌ها و محاسبه زمان هشدار سناریوی زمین‌لرزه‌های واقعی اتفاق افتاده بر روی گسل شمال تبریز و نتیجه آن ترسیم نمودارهای آماری و احتمالاتی براساس زمان هشدار محاسبه شده است. نتایج این مطالعه بر اساس تحلیل و تفسیر نمودارهای آماری ارائه شده است. نمودارهای تابع توزیع تجمعی به صورت درصد احتمالی، برای تمام سناریوهای زمین‌لرزه ارائه می‌شود و میزان هشدار برای یک ایستگاه خاص را برای سناریوهای محتمل به صورت احتمالاتی نمایش می‌دهد.

۳. روش پژوهش

گسل شمال تبریز و زمین‌لرزه‌های اتفاق افتاده بر روی آن با توجه به تاریخچه ذکر شده در مقدمه، مبنای مطالعات ما قرار گرفته است. در بسیاری از مناطق دنیا همچون تبریز، اگرچه پتانسیل رخداد زمین‌لرزه مخرب به واسطه وجود گسل‌های فعال بسیار زیاد است، اما نگاهت مربوط به زمین‌لرزه‌های مخرب بزرگ رخ داده در گذشته وجود ندارد. برای به‌دست آوردن نگاهت مربوط به زمین‌لرزه‌ها



شکل ۱. نقاط آبی: توزیع سناریوهای استفاده شده در این مطالعه و نقاط سفید: تمرکز زمین‌لرزه‌های دستگاهی بیشتر از ۳ ریشتر از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۵

جدول ۱. پارامترهای سازوکار 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

جدول ۲ شبیه‌سازی شد. لازم به ذکر است که بزرگی متوسط در نظر گرفته شده در این شبیه‌سازی با توجه به بزرگی زمین‌لرزه‌های تاریخی رخ داده در منطقه مورد مطالعه (بیشترین مقدار آن $M_s=7/7$) و نیز با توجه به طول حدود

برای این منظور نگاهت‌های شتاب ۲۲ سناریو زمین‌لرزه در موقعیت مکانی زمین‌لرزه‌های گزارش شده توسط مرادی و همکاران (۲۰۱۱)، با بزرگی متوسط فرضی ۷/۵ و با استفاده از پارامترهای چشمه و محیطی لیست شده در

با توجه به شکل های ۳ و ۴ مشاهده می شود که شهرهای قره ضیاءالدین، خوی، ورزقان، سراب، خواجه و تبریز، آمند، اهر، دمیرچی، هریس، بستان آباد، اسکو، صوفیان، تیکمه داش و میانه از نظر خطر لرزه ای بر حسب بیشینه شتاب جنبش زمین در تقسیم بندی پهنه های خطر جزو مناطق با خطر نسبی زیاد محسوب می شوند؛ بنابراین، در این مطالعه به عنوان نقاط هدف قرار گرفته اند. به این صورت که اولین زمان رسید موج های P و S سناریوهای معرفی شده در جدول ۱، برای تمامی شهرها و ایستگاه های شتاب نگاری مستقر بر اساس مدل پوسته زمین منطقه مورد مطالعه اشتري و همکاران (۲۰۰۵) و استفاده از نرم افزار taup (نرم افزاری برای محاسبه زمان رسیدهاست که علاوه بر محاسبه زمان رسیدها، مسیر پرتوها و جبهه موج ها را نیز محاسبه و رسم می کند. این نرم افزار برای هر مدل سرعتی کاربرد دارد). ثبت گردید. اختلاف زمان رسید موج S و زمان رسید موج P در هر ایستگاه، هشدار در سایت همان ایستگاه خواهد بود.

۱۵۰ کیلومتری گسل شمال تبریز (بریریان و ارشدی، ۱۹۷۶) فرض شده است.

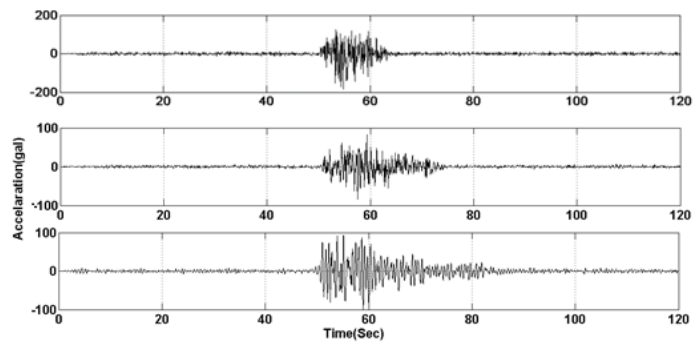
برای این منظور از برنامه شبیه سازی کاتوره ای EXSIM ارائه شده توسط معتضدیان و اتکینسون (۲۰۰۵) استفاده شده است. اگرچه تاکنون زمین لرزه دستگاهی تأثیر گذار با عمق نسبتاً زیاد در این منطقه اتفاق نیفتاده است، اما در این مطالعه به منظور بررسی زمان های هشدار در تمامی فواصل کانونی محتمل در منطقه مورد مطالعه زمین لرزه های با عمق حدود ۴۰ تا ۵۰ کیلومتر در جدول ۱ از لیست زمین لرزه های مورد مطالعه حذف نشد؛ اگرچه تعداد کم این زمین لرزه ها با عمق بیشتر از ۴۰ کیلومتر تأثیرات بسزایی در نتایج این مطالعه ندارد.

در شکل ۲ نمونه ای از نگاشت شبیه سازی شده نمایش داده شده است.

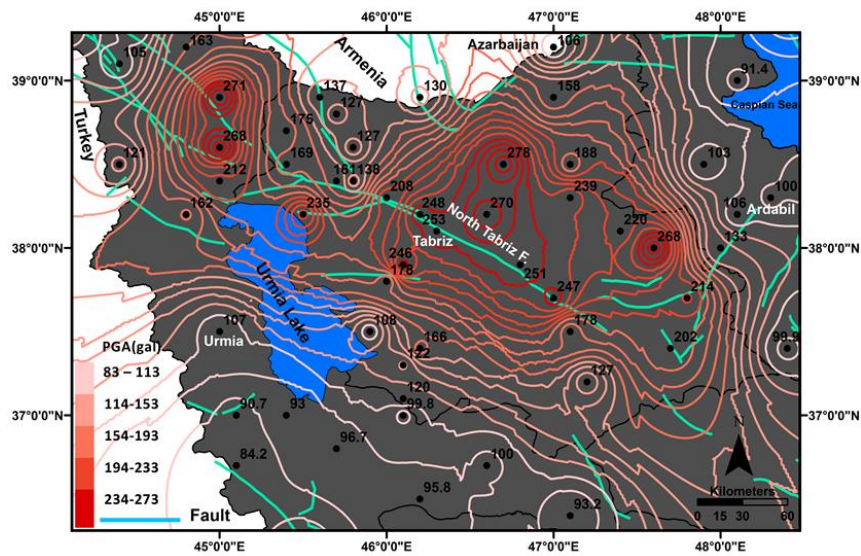
پس از شبیه سازی زمین لرزه بیشینه شتاب جنبش زمین بر حسب گال برای تمامی شهرهای شمال غرب ایران بر اساس شبیه سازی به دست آمده و نقشه بیشینه شتاب نیرومند زمین منطقه مورد مطالعه رسم گردید (شکل های ۳ و ۴).

جدول ۲. پارامترهای ورودی کد شبیه سازی کننده نگاشت زمین لرزه برای سناریوهای مذکور (بر اساس مطالعات معتضدیان (۲۰۰۶) برای شمال ایران)

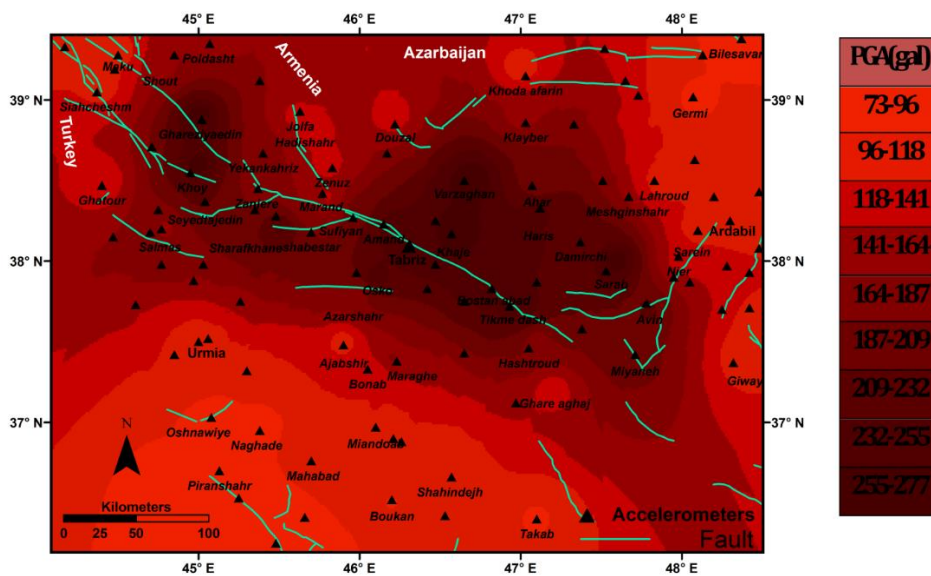
پارامتر	مقدار
Stress drop	68 bars
Q(f)	$Q = 87f^{1.46}$
Duration	$T_0 + 0.1(\text{Km})$
Site effects	$\frac{H}{V} e^{-\pi k_v f}$
K_v	0.03
Fault width (Km)	based on Wells and Coppersmith (1994)
Pulsing area percentage	50%
Windowing function	Saragoni-Hart
Geometric spreading	$R^{-1.0} (R < 70\text{Km})$ $R^{-0.2} (70\text{Km} \leq R \leq 150)$ $R^{-0.1} (150\text{Km} \leq R)$
Rupture velocity	0.8 of β
Slip distribution	Random



شکل ۲. نمونه‌ای از نگاشت‌های شبیه‌سازی شده در این مطالعه



شکل ۳. نقشه توزیع دامنه‌های بیشینه جنبش نیرومند زمین در شمال غرب ایران



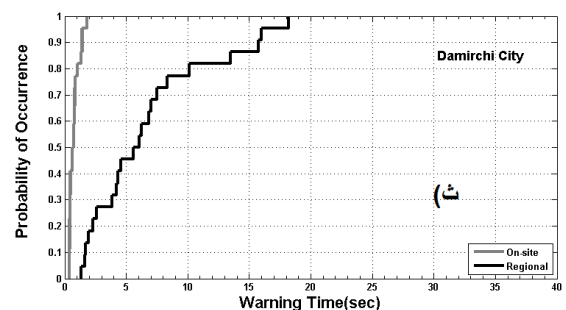
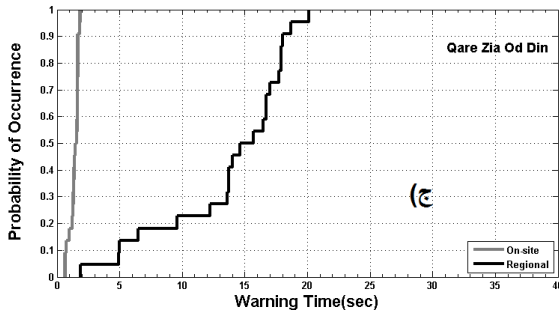
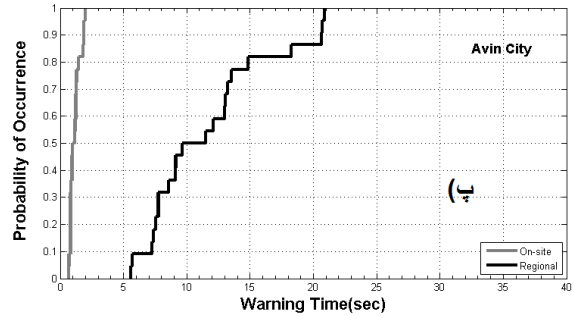
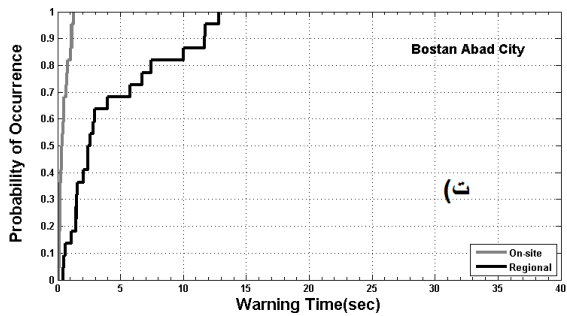
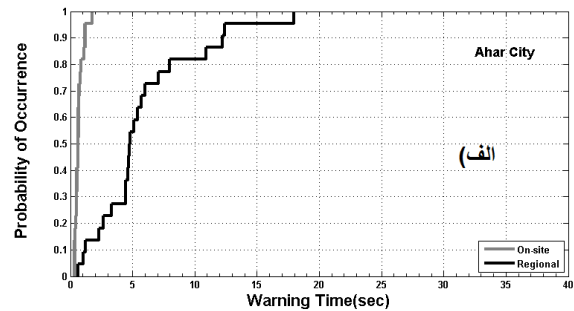
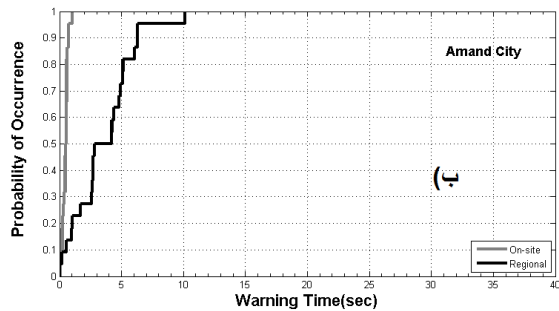
شکل ۴. بیشینه شتاب جنبش زمین برای سناریوهای مورد مطالعه در منطقه شمال غرب ایران.

هر ایستگاه را می‌دهد.

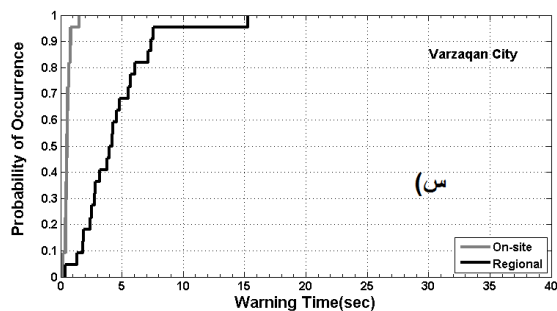
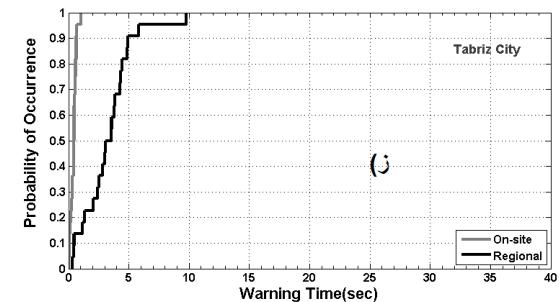
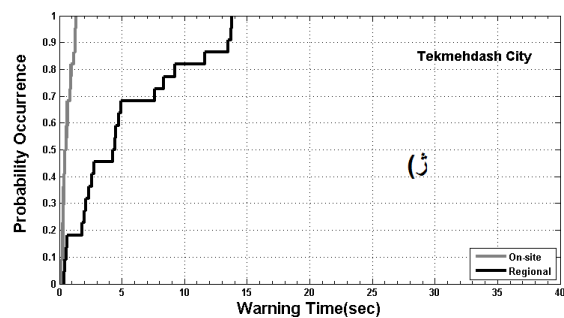
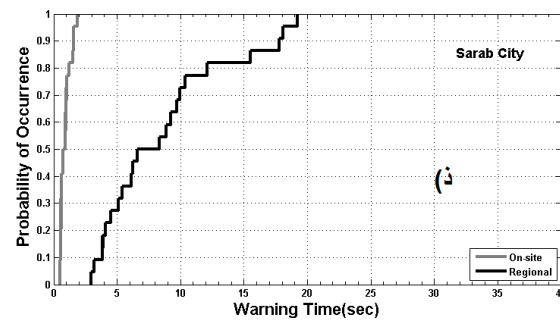
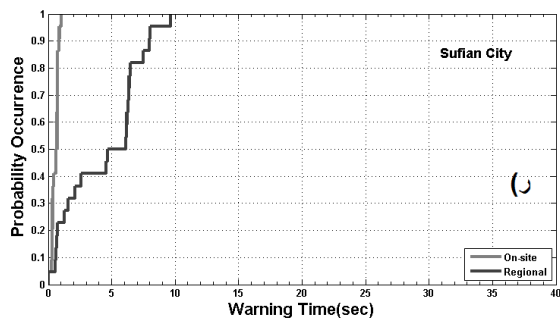
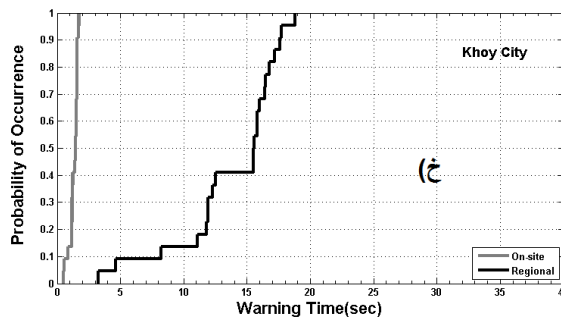
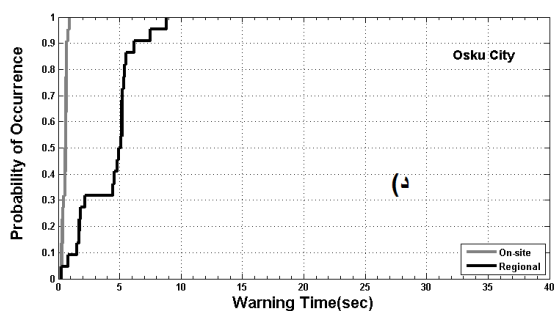
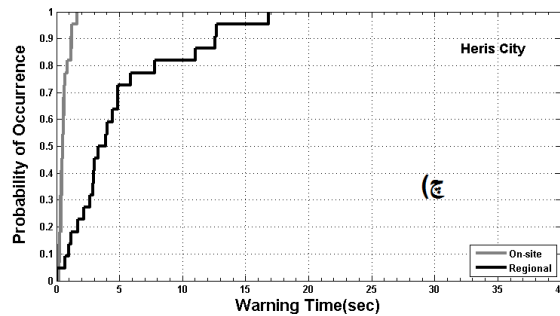
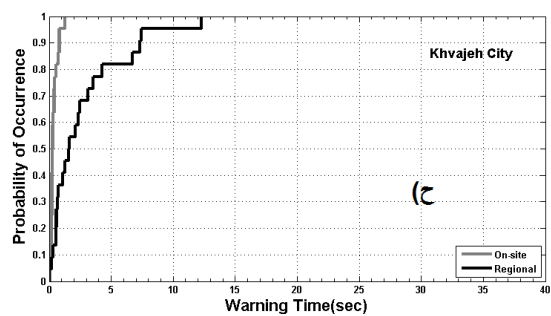
۵. بحث

نمودارهای تابع احتمالاتی هشدارهای در سایت و ناحیه‌ای برای ۱۵ شهر با اولویت بالا از لحاظ لرزه‌خیزی رسم گردید. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، مدت زمان هشدار در سایت ناشی از زمین‌لرزه‌های نزدیک تأثیرگذار (خطوط خاکستری)، قابل ملاحظه نیست. مدت زمان هشدار ناحیه‌ای (خطوط سیاه‌رنگ) برای شهرهای با اولویت بالا به شرح زیر است (شکل ۵):

توجه شود که مقدار هشدار در سایت صرفاً برای سناریوهای زمین‌لرزه مخرب و در فواصل کانونی کم محاسبه شده است؛ چراکه در سایر حالت‌ها بهترین زمان هشدار مربوط به سامانه‌های هشدار ناحیه‌ای است. پس از ۴ ثانیه از دریافت موج P در چهارمین ایستگاه لرزه‌نگاری، زمان رسیدن فازهای لرزه‌ای ثانویه تا ایستگاه‌های دیگر، محاسبه و به عنوان زمان هشدار ناحیه‌ای در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه فرض شده است که حداقل ۴ ثانیه برای پردازش نگاشت زمین‌لرزه و ارسال اطلاعات لازم است. همچنین فرض شده است که یک هشدار نسبتاً دقیق دست کم بر اساس گزارش چهار ایستگاه خواهد بود. چهار تا از ایستگاه‌های نزدیک کانون زمین‌لرزه، زمان هشدار ناحیه‌ای برای



شکل ۵. نمودارهای تابع تجمعی احتمالاتی ۱۵ شهر با اولویت بالا از لحاظ لرزه‌خیزی؛ خطوط سیاه و خاکستری به ترتیب هشدار ناحیه‌ای و در سایت هر شهر را نشان می‌دهد.



ادامه شکل ۵.

کند. اگرچه این زمان هشدار برای کلان‌شهر تبریز در مقایسه با سایر شهرهای در معرض خطر زمین‌لرزه کمتر است، اما این مقدار برای سایر شهرهای در معرض خطر فعالیت گسل شمال تبریز قابل ملاحظه است. به نظر می‌رسد که این مدت زمان برای راه‌اندازی سامانه هشدار سریع در شهر تبریز، از نظر اقتصادی، صرف هزینه، زمان و انرژی، با توجه به آرایش ایستگاهی موجود خیلی مناسب نیست و به تراکم ترک‌کردن پوشش ایستگاهی در اطراف این کلان‌شهر نیاز است. شایان ذکر است که پیش‌بینی مقادیر زمان هشدار برای تمامی شهرهای مورد مطالعه بر اساس آرایش ایستگاهی موجود و برای صرفاً گسل شمال تبریز انجام گرفته است. بدیهی است ارتقای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تأسیسات و شبکه‌های پایش باعث بهبود چشمگیر زمان هشدار خواهد شد. همچنین همان‌طور که عنوان شد اساس این مطالعه، سناریوهای روی گسل شمال تبریز بوده است که طبیعتاً در اثر فعالیت سایر گسل‌های منطقه مورد مطالعه، این مقادیر تغییرات عمده‌ای خواهند داشت.

مراجع

میرزائی، ن.، ۱۳۸۱، پارامترهای مبنایی زمین‌لرزه‌های ایران، دانش‌نگار، تهران-ایران.

- Allen, R.M., P. Gasparini and O. Kamigaichi, 2009, Earthquake Early Warning, Special Issue, *Seismo. Res. Lett.*, 80(5), 682-782.
- Ambraseyes, N. N. and Melville, C. P., 1982, A history of Persian earthquakes, Cambridge university press, Cambridge, 219 pp.
- Ashtari, M., Hatzfeld, D. and Kamalian, N., 2005, Microseismicity in region of Tehran: *Tectonophysics*, 395, 193-208.
- Atkinson, G. M. and Boore, D. M., 1995, Ground motion relations for Eastern North America, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85(1), 17-30.
- Atkinson, G. M. and Boore, D. M., 1998, Evaluation of models for earthquake source spectra in Eastern North America, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(4), 917-934.

زمان هشدار ناحیه‌ای برای شهر اهر برای تمامی سناریوها مقداری کمتر از ۱۸ ثانیه است. برای حدود نیمی از سناریوها برای شهر اهر مدت زمان هشدار کمتر از ۵ ثانیه است. برای شهر آمند این مقادیر به ترتیب ۱۰ و ۴ ثانیه است. مقادیر هشدار برای سایر شهرها در شکل ۵ نمایش داده شده است. کلان‌شهر تبریز که مهم‌ترین هدف در منطقه مورد مطالعه به شمار می‌آید، حدود کمتر از ۱۰ ثانیه برای تمام سناریوهای مدنظر در این مطالعه هشدار ناحیه‌ای دارد.

۶. نتیجه‌گیری

زمان هشدار در سایت برای تمامی سناریوهای زمین‌لرزه نزدیک و تأثیرگذار بر شهرهای اولویت‌دار کمتر از ۲ ثانیه برآورد گردید که این مدت زمان برای اعلام هشدار مناسب نیست. اما مقادیر هشدارهای ناحیه‌ای در برخی شهرها شایان توجه است. این مدت هشدار برای شهر تبریز به عنوان یکی از کلان‌شهرهای کشور با توجه به آرایش ایستگاهی موجود، حداکثر ۱۰ ثانیه است.

برای بیشتر از ۹۰ درصد سناریوهای مفروض در این مطالعه زمان هشدار کمتر از حدود ۵ ثانیه پیش‌بینی می‌شود که البته آرایش تراکم‌تر ایستگاه‌های شتاب‌نگاری تا حد بسیار زیادی می‌تواند این زمان هشدار محدود را جبران

- Berberian, M. and 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.
- Boore, D., 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.
- Boore, D. M. and 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(2), 440-467.
- Boore, D., 2003, Simulation of ground motion using the stochastic method., *Pure appl. Geophys*, 160, 635-676 0033-4553/03/040635-42.

- Cooper, J. D., 1868, Earthquake indicator, Evening Bulletin XXVII, 23.
- Espinosa-Aranda, J., Jimenez, A., Ibarrola, G., Alcantar, F. and Aguilar, A., 1995, Mexico city seismic alert system, Siesmic Res, Lett, 66(6), 42-53
- Motazedian, D. and Atkinson, G., 2005, Stochastic finite fault modeling based on dynamic corner frequency, Bulletin of the Seismological Society of America, 95, 995-1010.
- Motazedian, D., 2006, Region-specific seismic parameters for earthquakes in northern Iran, Bulletin of the Seismological Society of America, 96, 1383-1395.
- Nakamura, Y., 1988, On the urgent earthquake detection and alarm system (UrEDAS), Proceeding of the 9th world conference on Earthquake Engineering, VII, 673-678.
- Moradi, A., Hatzfeld, D. and Tatar, M., 2011, Microseismicity and seismotectonics of the North Tabriz fault Iran, Tectonophysics.
- Wells, D. and Coppersmith, K., 1994, New empirical relationship among magnitude, rupture width, rupture area, and surface displacement, Bulletin of the Seismological Society of America, 84, 974-1002.
- Shahvar. M. P., Zare, M. and Castellaro, S., 2013, A unified seismic catalog for the Iranian Plateau, Seismological Research Letters, volume 84, November 2, March/April 2013 233.

Investigating the probabilistic warning times for the earthquake early warning system (EEWS) on the north Tabriz fault

Karimi Vahed, H.¹ and Heidari, R.^{2*}

1. M.Sc. Graduated, Department of Geophysics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Department of Geophysics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(Received: 02 Aug 2015, Accepted: 24 Jan 2017)

Summary

The economic and social vulnerability of urban areas to seismic risk, because of the heavy tolls caused by earthquake, 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 and minimize the possible death toll. Using CDF (Probability Cumulative Distribution Function) this study aims at investigating the extent to which this Earthquake Early Warning System is implemented for the North Tabriz Fault so as to predict the time of On-Site warning time and Regional warning time in a probabilistic manner. To find out the areas and cities subject to risks of earthquakes, by earthquake simulation using a stochastic method, the peak ground motions of the earth (PGA) were calculated for the cities of northwest Iran. By the results of these calculations, high- priority areas were examined in this study. 15 of the top priorities in terms of seismicity on the basis of strong ground motion (PGA) nature, cities such as Khoy, Varzaqan, Sarab, Tabriz, Qarah Zia od Din, Amand, Tekmeh Dash, Osku, Damirchi, Bostan abad, Sufian, Heris, Avin and Khvajeh were considered based on our study. The result of this study shows that the maximum Regional warning time in the cities of Khoy, Qarah Zia od Din, Avin, Bostan abad, Heris, Khvajeh, Sarab, Tekmeh Dash, Varzaqan, Damirchi, Tabriz were 19, 20, 21, 13, 17, 12, 19, 14, 15, 18, 10 seconds respectively. Due to the fact that for the stations with enough distance to the epicenter of the earthquake, the creation of Regional warning time only for distant cities is possible and implementable. The On-Site warning time for earthquakes close to the targets was also measured, as already was clear, it is not possible to establish considerable On-Site warning time for high-risk areas for North Tabriz Fault. It seems that this amount of time (Regional warning time) to set up Earthquake Early Warning Systems in the city of Tabriz where it is the fourth largest city of Iran and has about 1.4 million inhabitants and one of the largest Iranian industrial cities, the Regional warning time is under 10 seconds which in terms of economy, cost, time and energy, according to the existing station arrangement, will not be economical and vital. It has to be mentioned that the warning times were calculated using the existing seismic network geometry in the region. Here we have only calculated the warning times to at least some of the affected population and cities (15 of the top priorities in terms of seismicity on the basis of strong ground motion) in damaging and destructive earthquakes.

Keywords: Earthquake early warning systems, Onsite warning and regional warning, Peak ground motion of the earth, Probability cumulative distribution function (CDF).