

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

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

حمیرا کریمی‌واحد

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه ژئوفیزیک، تهران، ایران  
Karimi\_yahed@yahoo.com

رضا حیدری

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

**کلید واژه‌ها:** سامانه هشدار سریع زمینلرزه، هشدار در سایت و هشدار ناحیه‌ای، حداکثر جنبش نیرومند زمین، نمودارهای تابع تجمعی احتمالاتی

### چکیده

خطرپذیری بالای اقتصادی و اجتماعی مناطق شهری در برابر ریسک لرزه‌ای در سال‌های اخیر به دلیل تلفات سنگین ناشی از فاجعه زمینلرزه بسیار قابل توجه است و در مقابل، پیشرفت‌های بسیار کمی برای مقابله با افزایش خسارات ناشی از این رویدادهای طبیعی انجام شده است. از آنجایی که پیش بینی دقیق زمینلرزه با دانش و دانسته‌های فعلی امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ بنابراین، برای مقابله با خسارات ناشی از زمینلرزه‌های مخرب در شرایط کنونی، 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 گسل شمال تبریز در شمال‌غرب ایران بررسی و زمان هشدارهای در سایت و ناحیه‌ای مناطق در معرض خطر زمینلرزه به شکل احتمالاتی ارزیابی گردد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که هشدارهای در سایت قابل توجهی نمی‌توان برای مناطق با خطر بالا برای فعالیت گسل شمال تبریز ایجاد نمود. حال آنکه از همین ایستگاه‌ها می‌توان برای برخی از مناطق مورد نظر، هشدارهای ناحیه‌ای تا حدود ۱۸ ثانیه ایجاد نمود. برای پیدا کردن نقاط در معرض خطرات زمینلرزه؛ با استفاده از شبیه‌سازی زمینلرزه به روش کاتوره‌ای، مقادیر بیشینه شتاب جنبش زمین برای شهرهای شمال‌غرب ایران محاسبه گردید، در نتیجه این محاسبات، نقاط اولویت‌دار مورد بررسی در این مطالعه خوی، ورزقان، سراب، تبریز، قره‌ضیاءالدین و خواجه در نظر گرفته شده است.

### مقدمه

یک سامانه هشدار سریع زمینلرزه مجموعه‌ای است از نرم‌افزارها و سخت‌افزارها که به صورت برخط، به تجزیه و تحلیل نگاشت‌های یک زمینلرزه در حال وقوع می‌پردازد و در صورت مخرب بودن آن اقدام به ارسال پیام هشدار به مناطق در معرض خطر می‌کند. اساس کار بسیاری از سامانه‌های هشدار سریع زمینلرزه پردازش ۳ تا حداکثر ۵ ثانیه ابتدایی موج P می‌باشد. 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 اطراف همان ایستگاه هشدار اعلام می‌شود. ایده ابتدایی سامانه‌های هشدار سریع زمینلرزه در حدود ۱۴۰ سال پیش توسط کوپر مطرح شد. سامانه هشدار سریع زمینلرزه شهر مکزیکوسیتی در مورد زمینلرزه ۱۴ سپتامبر ۱۹۹۵ منطقه کوپالا، اخطار رسانی ۷۰ ثانیه را برای شهروندان مکزیکوسیتی انجام داده است (1995) Espinosa and Aranda. نمونه چنین مطالعه‌ای برای آمریکا، که در آن براساس میزان شدت زمینلرزه‌های اتفاق افتاده و زمان رسید امواج آنها، به تجزیه و تحلیل اجرایی بودن چنین سامانه‌ای برای شهر سانفرانسیسکو، انجام شده است (Allen et al., 2009).

با استفاده از امواج اولیه P که به عنوان اولین ورودی فازهای لرزه‌ای بر روی ایستگاه‌های لرزه‌نگاری ثبت می‌گردد و قدرت تخریب کمتری نسبت به سایر امواج دیگر دارد، می‌توان محل زلزله را مشخص نمود. هر چه چشمه‌ی زمینلرزه از نقطه‌ی هدف، فاصله‌ی بیشتری داشته باشد، پس‌افتادگی موج S بیشتر می‌شود. سرانجام اختلاف زمانی مناسب، 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 (Real time or On line)، 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 زمینلرزه‌ی 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 بالعکس. در این مطالعه پس از شبیه‌سازی زمینلرزه و محاسبه‌ی زمان هشدار، نمودارهای آماری و احتمالاتی براساس زمان هشدار رسم می‌گردد و نتایج این مطالعه بر اساس تحلیل و تفسیر این نمودارهای آماری می‌باشد. نمودارهای تابع تجمعی احتمالاتی، (CDF) (Probability Cumulative Distribution Function) به صورت درصد احتمالی، برای تمام سناریوهای زمینلرزه عنوان خواهد شد و میزان هشدار برای 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 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 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 سامانه هشدار سریع ناحیه‌ای (Regional) معروفند، از نتایج پردازش تمامی 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 (On site) 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، بیشینه جنبش 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 بایستی کانون زمینلرزه و بزرگی زمینلرزه نیز حتماً تخمین زده شوند. در واقع سامانه در سایت زیر مجموعه‌ای از سامانه ناحیه‌ای قلمداد می‌شود.

فلات آناتولی-ایران سرزمین لرزه‌خیزی 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 شمال غرب ایران که در محل تلاقی دو ایالت لرزه‌زمین‌ساختی البرز و زاگرس قرار گرفته است بسیار حائز اهمیت است (میرزائی و همکاران ۱۳۸۱)، زیرا این منطقه در گذشته بارها زمینلرزه‌های ویرانگری را تجربه کرده است. همچنین گسل‌های لرزه‌ای بسیاری در این منطقه شناسایی شده‌است که برخی از آنها مسبب زمینلرزه‌های بزرگی بوده‌اند. از جمله مهمترین گسل‌های شمال غرب ایران می‌توان به گسل شمال تبریز، گسل شمال و جنوب میشو، ارومیه و سلطانیه اشاره نمود. با توجه به لرزه زمین ساخت منطقه، می‌توان گفت که گسل شمال تبریز مهم‌ترین عارضه‌ی تکتونیکی قابل ملاحظه در ناحیه‌ی شمال غرب ایران می‌باشد که به دلیل بیشترین ساخت و ساز و تراکم جمعیت بر روی آن، خطرناک‌ترین گسل ایران می‌باشد، روند گسل تبریز N115E، حرکت این گسل امتدادلغز راستگرد و شیب آن تقریباً قائم می‌باشد (بربریان، ۱۹۷۶)، که زلزله‌های تاریخی ۱۰۴۲ (Ms 7.3)، ۱۷۲۱ (Ms 7.3)، ۱۷۸۰ (Ms 7.4)، (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲)، مؤید این نکته هستند. بر این اساس گسل شمال تبریز و زمینلرزه‌های اتفاق افتاده بر روی آن مبنای مطالعات ما قرار گرفت، در بسیاری از مناطق دنیا همچون تبریز، اگرچه پتانسیل رخداد زمینلرزه مخرب به واسطه وجود گسل‌های فعال، بسیار بالا است، اما نگاشت مربوط به زمینلرزه‌های مخرب بزرگ رخ داده در گذشته وجود ندارد، برای بدست آوردن نگاشت مربوط به زمینلرزه‌ها 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 گذرای 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 (Boore 2003).

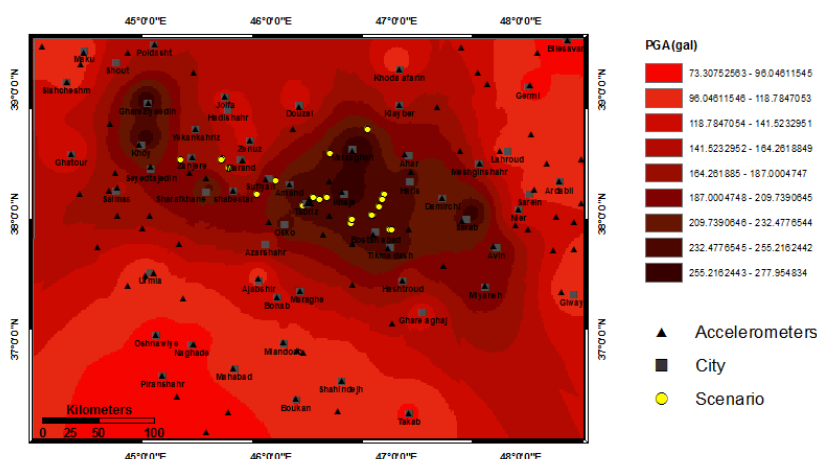
مرادی و همکارانش در سال ۲۰۰۴ تعداد ۳۰ ایستگاه لرزه‌نگاری به فاصله‌ی ۱۰ کیلومتری را در میان ۸ ایستگاه (IGTU) که در سال ۱۹۹۵ توسط انیستیتو ژئوفیزیک دانشگاه تهران در اطراف شهر تبریز، برای ثبت فعالیت‌های لرزه‌ای قرار داده بودند، نصب نمودند. از نتایج این مطالعه که اساس کار ما نیز قرار گرفت می‌توان به تعداد ۲۲ سناریوی زمینلرزه‌ای که پارامترهای مکانیزم گسلی آنها در (جدول ۱) ذکر شده است، اشاره نمود.



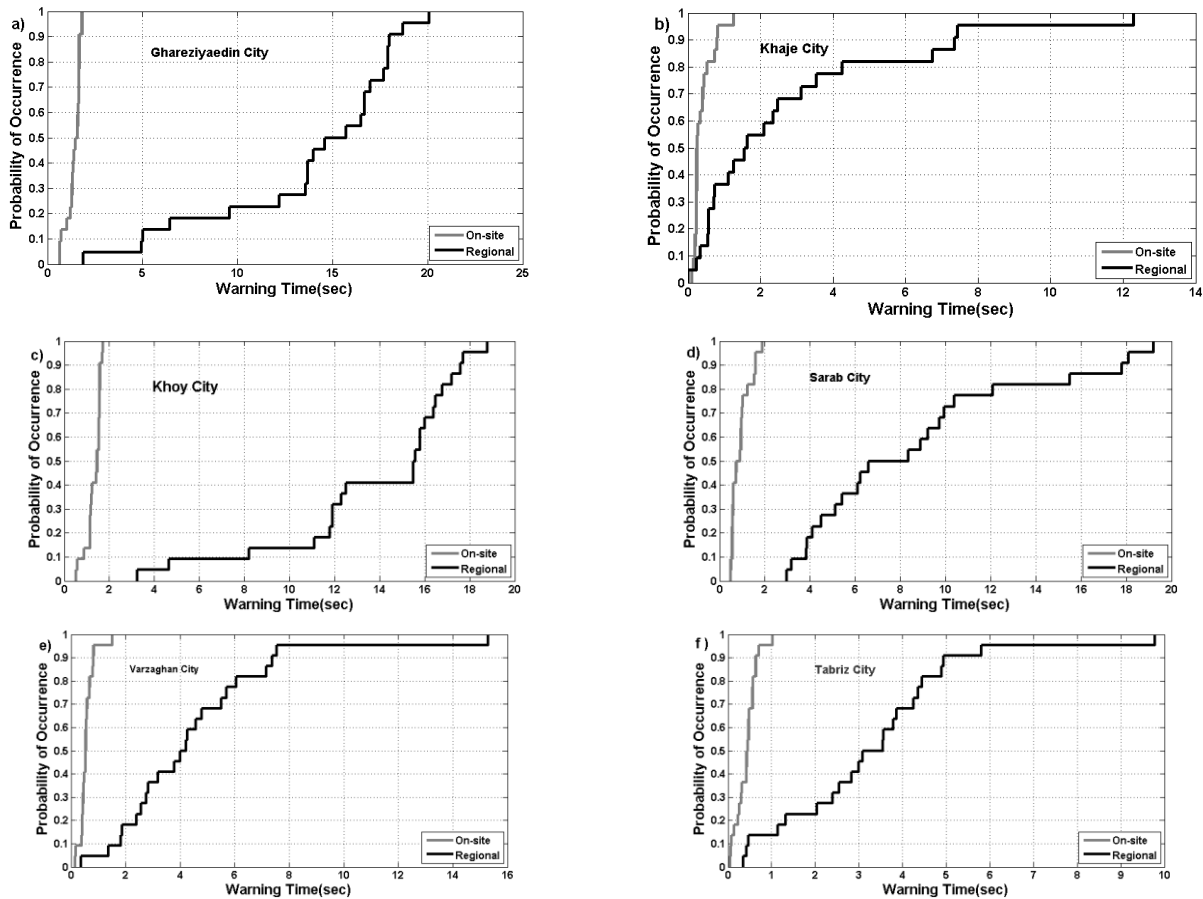
جدول ۱: پارامترهای مکانیزم گسلی، سناریوهای واقع بر روی گسل شمال تبریز (مرادی و همکاران، ۲۰۰۴)

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

در این مطالعه که هدف آن بررسی احتمالاتی، راه‌اندازی سامانه هشدار سریع زمینلرزه بر روی گسل شمال تبریز به منظور کاهش تلفات جانی، مالی و صرفه جویی در زمان، انرژی و هزینه می‌باشد، بر روی ۲۲ سناریویی که پارامترهای مکانیزم گسلی آنها در (جدول ۱)، نشان داده است، با استفاده از شبیه‌سازی کاتوره‌ای، مدل‌سازی انجام گرفته شده است. پس از شبیه‌سازی زمینلرزه‌های موجود، مقادیر بیشینه شتاب جنبش زمین بر حسب گال (gal) برای تمامی شهرهای شمال غرب ایران محاسبه گردید (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه بیشینه شتاب جنبش زمین برای سناریوهای مورد مطالعه غرب ایران



شکل ۲: نمودارهای تابع تجمعی احتمالاتی

از آنجایی که شهرهای قره‌ضیاءالدین، خوی، ورزقان، سراب، خواجه و تبریز مطابق (شکل ۱)، از نظر خطر لرزه‌ای بر حسب بیشینه شتاب جنبش زمین، در موقعیتی قرار دارند که در تقسیم‌بندی پهنه‌های خطر جزو مناطق با خطر نسبی بالا محسوب می‌شوند، امکان راه‌اندازی سامانه هشدار سریع برای این شهرها در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. 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، 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، زمان رسیدن فازهای لرزه‌ای ثانویه تا ایستگاه‌های دیگر محاسبه و به عنوان زمان هشدار ناحیه‌ای در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله فرض شده است که حداقل ۴ ثانیه برای پردازش نگاهت زمینلرزه و ارسال اطلاعات، لازم است. همچنین فرض شده است که یک هشدار نسبتاً دقیق، بر اساس گزارش حداقل ۴ ایستگاه خواهد بود. چهار تا از ایستگاه‌های نزدیک کانون زمینلرزه، زمان هشدار ناحیه‌ای برای هر ایستگاه را می‌دهد. 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. پس از محاسبه‌ی زمان هشدار در سایت و ناحیه‌ای، نمودارهای تابع تجمعی احتمالاتی برای شهرهای با اولویت بالا، رسم گردید (شکل ۲).

با توجه به (شکل ۲.a)، که مربوط به شهر قره‌ضیاءالدین می‌باشد، هشدار در سایت، زیر ۲ ثانیه می‌باشد، و تقریباً برای ۵۰٪ از سناریوها، هشدار ناحیه‌ای تا ۱۴ ثانیه اعلام نمود. برای شهر خواجه نیز هشدار در سایت، زیر ۲ ثانیه بوده و برای تقریباً ۲۰٪ از سناریوها می‌توان زمان ۸ ثانیه، هشدار ناحیه‌ای پیش‌بینی کرد (شکل ۲.b). مطابق شکل (۲.c)، هشدار در سایت شهر خوی زیر ۲ ثانیه و برای تقریباً ۷۰٪ از سناریوها، هشدار ناحیه‌ای ۱۵ ثانیه، می‌توان اعلام نمود. برای شهر سراب هم هشدار در سایت زیر ۲ ثانیه می‌باشد، ولی برای ۲۲٪ از سناریوها، هشدار ناحیه‌ای، تقریباً ۹ ثانیه خواهد بود (شکل ۲.d). می‌توان برای بیشتر از ۹۰٪ از سناریوها هشدار ناحیه‌ای تا ۸ ثانیه برای شهر ورزقان اعلام نمود، برای این شهر نیز، هشدار در سایت زیر ۲ ثانیه می‌باشد (شکل ۲.e). اما برای شهر تبریز که مهمترین شهر از لحاظ سیاسی-اقتصادی می‌باشد تنها برای بیشتر از ۹۰٪ از سناریوها می‌توان هشدار ناحیه‌ای تقریبی ۵ ثانیه اعلام نمود، و این در حالی است که هشدار در سایت شهر تبریز زیر ۱ ثانیه می‌باشد (شکل ۲.f).

## نتیجه گیری

زمان هشدار در سایت برای تمامی شهرهای اولویت دار زیر ۲ ثانیه برآورد گردید که این مدت زمان برای اعلام هشدار مناسب نمی باشد. اما مقادیر هشدارهای ناحیه ای در برخی از شهرها قابل توجه است. این مقدار هشدار برای شهر تبریز به عنوان یکی از کلان شهرهای کشور با توجه به آرایش ایستگاهی موجود، مناسب نخواهد بود. برای بیشتر از ۹۰ درصد سناریوهای مفروض در این مطالعه زمان هشدار کمتر از حدود ۵ ثانیه پیش بینی می شود که البته آرایش متراکم تر ایستگاه های شتابنگاری تا حد بسیار زیادی می تواند این زمان هشدار محدود را جبران نماید. اگرچه این زمان هشدار برای کلان شهر تبریز قابل ملاحظه نیست؛ اما زمان هشدار ناحیه ای برای سایر شهرهای در معرض خطر فعالیت گسل شمال تبریز قابل ملاحظه است. به عنوان مثال در شهر خوی این زمان هشدار برای بخش زیادی از سناریوها در حدود ۱۵ ثانیه و حتی برای برخی از سناریوها تا ۱۸ ثانیه هشدار ایجاد می شود. به نظر می رسد که این مقدار زمان برای راه اندازی سامانه ی هشدار سریع در شهر تبریز، از نظر اقتصادی، صرف هزینه، زمان و انرژی، با توجه به آرایش ایستگاهی موجود مقرون به صرفه نخواهد بود. لازم به ذکر می باشد که پیش بینی مقادیر زمان هشدار برای تمامی شهرهای مورد مطالعه بر اساس آرایش ایستگاهی موجود انجام گرفته شده است.

## فهرست مراجع

- Ambraseye NN and Melville CP (1982) A history of persian earthquakes, Cambridge university press, Cambridge 219 pp
- 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, Iran
- Berberian M and Arshadi S (1977) The Shibli rift systems (Sahand region, NW Iran) Geol Surv, 40, 229-236, Iran
- Boore DM (2003) Simulation of Ground Motion Using the Stochastic Method, Pure appl.geophys, 160, 635-676
- Epinosa-Aranda J, Jimenez A, Ibarrola G, Alcantar F, Aguilar A, Inostroza M and Maldonada S (1995) Mexico city seismic alert system, Seismic Res, Lett, 66(6), 42-53
- M Allen R (2006) Probabilistic Warning Times for Earthquake Ground Shaking in the San Francisco Bay Area, Seismological Research Letters ,77(3), 371-376
- Siahkali Moradi A, Hatezfeld D and Tatar M (2011) Microseismicity and seismotectonics of the North Tabriz fault (Iran), Tectonophysics

میرزائی ن (۱۳۸۱) پارامترهای مبنایی زمینلرزه های ایران، دانش نگار، تهران، ایران

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله