

دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده علوم پایه - گروه ژئوفیزیک

طراحی سازوکار ترسیم نقشه‌های مدیریت اضطراری پس از زمینلرزه

نگارش:

امیر صادقی باقرآبادی

استاد راهنما:

دکتر حسین صادقی

استاد مشاور:

دکتر سید کیوان حسینی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته ژئوفیزیک گرایش زلزله‌شناسی

شهریور ماه ۱۳۸۹

پیشکش بہ مادر و پدر بزرگوارم

شاید کہ ساسی باشد ناخیز

در برابر زحمت سالہار، سہری و یوری

تشکر و قدردانی

با سپاس از استاد گرانقدرم، جناب آقای دکتر حسین صادقی که رهنمودهای بی‌دریغ ایشان در تمام مراحل این تحقیق روشنگر راه من بوده است.

راهنمایی‌های ارزشمند استاد مشاورم جناب آقای دکتر سید کیوان حسینی را ارج نهاده و از لطف بی‌شائبه جناب آقای دکتر سید محمود فاطمی عقدا که داوری پایان‌نامه را بر عهده داشتند متشکرم. بر خود لازم می‌دانم از همکاری جناب آقای دکتر فریدون سیناییان مدیریت محترم شبکه شتابنگاری کشور قدردانی نمایم.

همچنین از سایر دوستانی که مرا در این راه یاری نمودند به ویژه سرکار خانم پروین بابایی و پرسنل محترم مرکز تحقیقات زمینلرزه شناسی دانشگاه فردوسی مشهد صمیمانه سپاسگزارم.

چکیده

برای تهیه نقشه های لرزش (الگوی حرکت زمین در حین زمینلرزه) به امکانات گوناگونی شامل تجهیزات سخت افزاری نظیر ایستگاه های شتاب نگاری و ارتباط مطمئن مخابراتی، پیش زمینه های مطالعاتی همانند پژوهش های صورت پذیرفته در مورد روابط کاهیدگی و نقشه شرایط ساختگاه و در نهایت یک نرم افزار برای تولید و ترسیم نیاز است. نقشه های لرزش اساس سایر نقشه های اضطراری پس از زلزله همانند نقشه های خسارت و تلفات محسوب می شود. الگوریتم تولید کننده نقشه لرزش بایستی قابلیت تطبیق با شرایط گوناگون را دارا باشد و بتوان از آن در صورت آماده بودن سایر ملزومات در مناطق مختلف استفاده کرد. سازوکاری که ما بدین منظور طراحی کرده ایم به سبب بهره گیری از یک الگوریتم انعطاف پذیر، توانایی اجرا شدن در مناطق گوناگون را دارا است و الزاماً نیازی به سایر برنامه ها برای تعیین بزرگی و رومرکز ندارد. نقشه های لرزش با توجه به ابعاد و پیکربندی شبکه لرزه ای مورد استفاده به سه دسته شهری، منطقه ای و ترکیبی تقسیم می شوند. روند کاری که ما در تولید این نقشه ها به کار بسته ایم امکان تولید هر سه مقیاس یاد شده را در تطابق با شبکه های مربوطه فراهم می سازد. کلیات روش های مورد استفاده در مکانیزمی که برای تولید نقشه های لرزش طراحی کرده ایم، در قالب عناوین کلی: الف) تعیین محل؛ ب) تعیین بزرگی؛ ج) برآورد در مناطق با پوشش ایستگاهی کم؛ د) تصحیح اثر ساختگاه و ه) درونیایی عددی خلاصه می شوند. خروجی این روش علاوه بر برخورداری از سه قالب مطلوب بصری مطلوب در قالب فایل متنی می تواند به عنوان ورودی در سایر نرم افزار ها از جمله نرم افزارهای برآورد خسارت و تلفات و GIS به کار گرفته شود. روند کار پیشنهاد شده برای نقشه لرزش منطقه ای با استفاده از داده های زمینلرزه بالاده (۱۹۹۴/۶/۲۰) با بزرگی ۶/۲ به کار بسته شد و صحت عملکرد آن مورد آزمون قرار گرفت. در مقیاس شهری نیز نقشه های نهایی به وسیله به کارگیری داده های حاصل از شبیه سازی یک سناریوی لرزه ای در شهر تهران به دست آمد و نتایج حاصل شده به لحاظ بصری از کیفیت و انطباق خوبی با نقشه های برآورد خسارت در مقیاس شهری برخوردار بود.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات و پیدایش

۱	.....	مقدمه
۲	.....	پیدایش -۱-۱
۴	.....	برآورد جنبش در مناطق با پوشش کم ایستگاهی -۲-۱
۴	.....	تصحیحات ساختگاه -۳-۱
۷	.....	خلاصه روش کار -۴-۱
۸	.....	دور سنجی لرزه‌ای برای فرآیند چشمه و لرزش شدید نزدیک چشمه -۵-۱
۸	.....	کاربرد -۱-۵-۱
۹	.....	روش -۲-۵-۱

فصل دوم: نقشه‌های لرزش موجود در جهان

۱۸	.....	مقدمه
۱۹	.....	گسترش در آمریکا -۱-۲
۲۰	.....	ویژگیهای نقشه‌های لرزش منطقه‌ای در آمریکا -۱-۱-۲
۲۲	.....	شمال و جنوب کالیفرنیا -۲-۱-۲
۲۲	.....	ناحیه تحت پوشش ۱-۲-۱-۲
۲۳	.....	راه‌اندازی و روند داده‌ها ۲-۲-۱-۲
۲۳	.....	روابط کاهیدگی ۳-۲-۱-۲
۲۴	.....	نقشه شرایط ساختگاه ۴-۲-۱-۲
۲۵	.....	یوتا -۳-۱-۲
۲۵	.....	ناحیه تحت پوشش ۱-۳-۱-۲
۲۶	.....	راه‌اندازی و روند داده‌ها ۲-۳-۱-۲
۲۸	.....	روابط کاهیدگی ۳-۳-۱-۲

۲۸	..... نقشه شرایط ساختگاه ۴-۳-۱-۲	
۳۱	..... آمریکای مرکزی ۴-۱-۲	
۳۱	..... ناحیه تحت پوشش ۱-۴-۱-۲	
۳۲	..... راهاندازی و روند داده‌ها ۲-۴-۱-۲	
۳۳	..... روابط کاهیدگی ۳-۴-۱-۲	
۳۴	..... نقشه شرایط ساختگاه ۴-۴-۱-۲	
۳۷	..... کانادا - اونتاریو	-۲-۲
۳۸	..... تشخیص رویداد ۱-۲-۲	
۴۲	..... تعیین محل و بزرگی ۲-۲-۲	
۴۳	..... روابط کاهیدگی ۳-۲-۲	
۴۵	..... ایتالیا	-۳-۲
۴۷	..... منطقه‌بندی و روابط پیش‌گویانه جنبش زمین ۱-۳-۲	
۴۹	..... تصحیح ساختگاه ۲-۳-۲	
۵۰	..... تعیین نوع ساختگاه بر اساس شیب توپوگرافی ۳-۳-۲	
۵۲	..... جنوب شرقی آلپ و شمال شرقی ایتالیا	-۴-۲
۵۴	..... روابط کاهیدگی ۱-۴-۲	
۵۴	..... تصحیح ساختگاه ۲-۴-۲	
۵۵	..... منطقه کامپانیا در جنوب ایتالیا	-۵-۲
۵۶	..... روابط کاهیدگی ۱-۵-۲	
۵۷	..... تصحیح ساختگاه ۲-۵-۲	
۵۸	..... روش به کار رفته برای محاسبه نقشه‌های لرزش زمین ۳-۵-۲	
۵۹	..... برون‌یابی مقادیر بیشینه در نواحی خارجی ۴-۵-۲	
۶۱	..... ترکیه - استانبول	-۶-۲
۶۳	..... دستگاه‌های به کار رفته ۱-۶-۲	
۶۴	..... تولید نقشه‌های خسارت ۲-۶-۲	
۶۶	..... رومانی - بخارست	-۷-۲

۶۷	..... اثر ساختگاه زلزله‌های Verancea در بخارست	۲-۷-۱
۷۰	..... راهکار نقشه لرزش	۲-۷-۲
۷۱	..... تایوان	۲-۸
۷۳	..... ژاپن	۲-۹
۷۴	..... یوکوهاما	۲-۹-۱

فصل سوم: شبکه‌بندی، درونیابی و برازش

۷۷	.....	مقدمه
۷۸	..... شبکه‌بندی و درونیابی	۳-۱
۷۸	..... انتخاب نقاط کنترل	۳-۱-۱
۷۹	..... ۱-۱-۱-۳. نزدیکترین همسایه	
۸۰	..... ۲-۱-۱-۳. مثلث‌بندی	
۸۲	..... ۳-۱-۱-۳. مثلث‌بندی Delaunay	
۸۳	..... ۴-۱-۱-۳. تعریف بصری مثلث‌بندی Delaunay و تکنیک جایگزینی	
۸۴	..... ۵-۱-۱-۳. محاسبه عددی مثلث‌بندی Delaunay	
۸۶	..... ۳-۱-۲. برآورد مقادیر در نقاط شبکه	
۸۶	..... ۳-۱-۲-۱. میانگین حسابی	
۸۶	..... ۳-۱-۲-۲. میانگین وزنی یا معکوس وزنی فاصله	
۸۷	..... ۳-۱-۲-۳. درونیابی نزدیکترین همسایه	
۸۸	..... ۳-۱-۲-۴. اسپلاین	
۹۰	..... ۳-۱-۲-۵. اسپلاین‌های کششی	
۹۲	..... ۳-۱-۲-۶. اسپلاین چند بعدی و علوم زمین	
۹۳	..... برازش مدل دلخواه به داده‌ها	۳-۲
۹۳	..... ۳-۲-۱. روش کمترین مربعات	
۹۵	..... ۳-۲-۲. روش رگرسیون چندگانه	

فصل چهارم: روش‌ها و معرفی الگوریتم

۹۸	.....	مقدمه
۹۹	..... تعیین محل	۱-۴
۱۰۸	..... تخمین سریع بزرگی با استفاده از داده‌های جنبش نیرومند زمین	۲-۴
۱۱۱	..... درونیابی در مناطق با پوشش کم ایستگاهی	۳-۴
۱۱۴	..... ۱-۳-۴ - تصحیح انحراف رابطه کاهیدگی	
۱۱۷	..... تعیین اثر ساختگاه	۴-۴
۱۱۸	..... ۱-۴-۴ - فاکتورهای تصحیح	
۱۱۹	..... ۲-۴-۴ - ضرائب تصحیح برای شهر تهران	
۱۲۲	..... درونیابی عددی	۵-۴
۱۲۲	..... ۱-۵-۴ - افراز صفحه مطالعه	
۱۲۵	..... ۲-۵-۴ - درونیابی به روش نزدیکترین همسایه و اسپلاین	
۱۲۹	..... مقیاس نقشه‌های لرزش	۶-۴
۱۳۰	..... ۱-۶-۴ - نقشه‌های لرزش شهری	
۱۳۰	..... ۲-۶-۴ - نقشه‌های لرزش منطقه‌ای	
۱۳۱	..... ۳-۶-۴ - نقشه‌های لرزش ترکیبی	
۱۳۱	..... ۴-۶-۴ - مکانیزم ارتباطی در انواع نقشه‌ها	
۱۳۲	..... روند کار و ارائه الگوریتم	۷-۴
۱۳۳	..... ۱-۷-۴ - مراحل تولید نقشه‌های لرزش منطقه‌ای	
۱۳۳	..... ۲-۷-۴ - منابع عدم قطعیت در تولید نقشه‌های لرزش	
۱۳۴	..... ۳-۷-۴ - مراحل تولید نقشه‌های لرزش شهری	
۱۳۵	..... ۴-۷-۴ - شمای عملیاتی تولید انواع نقشه‌های لرزش	

فصل پنجم: کاربرد و آزمون صحت کارکرد

۱۳۷	.....	مقدمه
۱۳۸	..... کاربرد و آزمون نقشه لرزش منطقه‌ای	۱-۵

۱۴۱	..... کاربرد نقشه لرزش شهری	۲-۵-
۱۴۲	..... شبیه‌سازی سناریوی زمینلرزه برای تهران ۱-۲-۵-	
۱۴۴	..... قالب‌های نمایش نقشه لرزش شهری ۲-۲-۵-	
۱۴۶	..... نتیجه‌گیری	۳-۵-
۱۴۶	..... پیشنهادات	۳-۵-
۱۴۷	..... منابع	

فهرست جداول

فصل اول: کلیات و پیدایش

- جدول ۱-۱: میانگین سرعت‌های موج برشی ۳۰ متر بالایی در طبقه‌بندی QTM و فاکتورهای تشدید برای محدوده‌های کوتاه‌دوره و میان‌دوره و بازه‌های مختلف دامنه (Wald *et al.*, 1999) ۶
- جدول ۱-۲: انواع نقشه‌های لرزش خروجی و زمان لازم برای تولید آنها ۱۳

فصل دوم: نقشه‌های لرزش موجود در جهان

- جدول ۲-۱: مناطق دارای نقشه لرزش و پست الکترونیک هماهنگ‌کنندگان آنها (Wald *et al.*, 2005) ۲۰
- جدول ۲-۲: فاکتورهای تشدید ساختگاه برای شرایط و پیوندهای مختلف برای منطقه یوتا (Ashland 2001) ۲۹
- جدول ۲-۳: طبقه بندی خاک برای منطقه آمریکای مرکزی (FEMA 1994) ۳۵
- جدول ۲-۴: مقادیر میانگین سرعت موج برشی و نوع ساختگاه NEHRP و فاکتورهای تشدید برای پیوندهای مختلف (Wald *et al.*, 2005) ۳۶
- جدول ۲-۵: ضرائب به دست آمده برای روابط کاهیدگی در اونتاریو (Kaka 2005) ۴۵
- جدول ۲-۶: طبقه بندی ساختگاه بر اساس مقررات UreoCode 8 (Michelini *et al.*, 2008) ۵۰
- جدول ۲-۷: ضرائب به دست آمده در روابط کاهیدگی منطقه Campania (Convertito *et al.*, 2007) ۵۶
- جدول ۲-۸: طبقه بندی زمین شناسانه ساختگاه و ضرائب تشدید به دست آمده برای منطقه Campania (Convertito *et al.*, 2009) ۵۸

فصل چهارم: روش‌ها و معرفی الگوریتم

- جدول ۴-۱: موقعیت ایستگاه‌های ثبت کننده و مقادیر شتاب مؤلفه‌های افقی زمینلرزه‌های زنجیران ۱۹۹۴/۶/۲۰ و بالاده ۱۹۹۹/۵/۶ ۱۰۱
- جدول ۴-۲: موقعیت سنتروئید و رومرکز زمینلرزه‌های زنجیران ۱۹۹۴/۶/۲۰ و بالاده ۱۹۹۹/۵/۶ و فاصله آنها ۱۰۶
- جدول ۴-۳: بزرگی‌های به دست آمده از لرزش مؤثر کلی، روش سنتروئید و گزارش شده برای زمینلرزه‌های زنجیران ۱۹۹۴/۶/۲۰ و بالاده ۱۹۹۹/۵/۶ ۱۱۰

- جدول ۴-۴: ضرایب انحراف رابطه کاهیدگی برای زلزله‌های زنجیران ۱۹۹۴/۶/۲۰ و بالاده ۱۹۹۹/۵/۶ ۱۱۵
- جدول ۴-۵: جدول مقادیر m_v و m_a برای برآورد فاکتورهای کوتاه‌دوره و میان‌دوره شدید ساختگاه (Borcherdt 1994) ۱۱۹
- ...
- جدول ۴-۶: فاکتورهای تصحیح برای مقادیر دامنه بیشینه شتاب نسبت به ساختگاه مرجع سنگ سخت براساس طبقه بندی NEHRP ۱۲۱

فصل پنجم: کاربرد و آزمون صحت کارکرد

- جدول ۵-۱: سازوکار کانونی به دست آمده برای زلزله ۲۵ مهر ۱۳۸۸ تهران (صادقی و همکاران، ۱۳۸۹ ج) ۱۴۱
- جدول ۵-۲: پارامترهای چشمه زمینلرزه ۲۵ مهر ۱۳۸۸ تهران (صادقی و همکاران، ۱۳۸۹ ج) ۱۴۱
- جدول ۵-۳: مشخصات هندسی گسل محدود به کار رفته در شبیه‌سازی سناریوی لرزه‌ای گسل ایوانکی (صادقی و همکاران، ۱۳۸۸) ۱۴۳
- جدول ۵-۴: پارامترهای به کار رفته در شبیه‌سازی سناریوی لرزه‌ای گسل ایوانکی (صادقی و همکاران، ۱۳۸۸) ۱۴۳

فهرست اشکال

فصل اول: کلیات و پیدایش

- شکل ۱-۱: ایستگاه های CDMG و USGS-Caltech و نقشه ساختگاه QTM (Wald *et al.*, 1999) ۳
- شکل ۱-۲: نمای شماتیک از مراحل تولید نقشه لرزش (Wald *et al.*, 1999) ۷
- شکل ۱-۳: جریان شماتیک پردازش داده های ShakeMap در نزدیک زمان واقعی ۱۱
- شکل ۱-۴: فلوجارت تشریح کننده سیستم پردازش ShakeMap و نقشه های لرزش حاصله ۱۵

فصل دوم: نقشه های لرزش موجود در جهان

- شکل ۲-۱: نقشه ایالت کالیفرنیا به همراه ایستگاه ها (Wald *et al.*, 2005) ۲۳
- شکل ۲-۲: نقشه ایالتی شرایط ساختگاه (Wills *et al.*, 2000) ۲۴
- شکل ۲-۳: مناطق و بزرگی حداقل آستانه برای تولید نقشه لرزش در یوتا (Wald *et al.*, 2005) ۲۵
- شکل ۲-۴: شبکه پیشرفته ملی لرزه نگاری نقشه لرزش برای Wasatch Front Urban Corridor شامل ایستگاه های جنبش نیرومند USGS، ایستگاه های جنبش نیرومند NSMP، ایستگاه های باند پهن (Wald *et al.*, 2005) ۲۷
- شکل ۲-۵: نقشه شرایط ساختگاه Wasatch Front بر اساس زمین شناسی و سرعت موج برشی (Ashland 2001) ... ۳۰
- شکل ۲-۶: نمای کلی نقشه محدوده منطقه ای برای تولید نقشه لرزش است. لرزه خیزی منطقه لرزه ای New Madrid به وسیله نقطه های سیاه مشخص شده است (Wald *et al.*, 2005) ۳۱
- شکل ۲-۷: شبکه لرزه ای New Madrid (Wald *et al.*, 2005) ۳۲
- شکل ۲-۸: نقشه شرایط ساختگاه زون لرزه ای New Madrid بر اساس زمین شناسی و سرعت موج برشی (Bauer *et al.*, 2001) ۳۷
- شکل ۲-۹: مکان ایستگاه های Polaris و زلزله های رویداده با بزرگی بیش از ۲/۸ (Kaka 2005) ۳۹
- شکل ۲-۱۰: مقادیر بیشینه سرعت ثبت شده در ۲۴ رویداد برحسب فاصله (Kaka 2005) ۴۰
- شکل ۲-۱۱: مقادیر بیشینه شتاب مؤلفه قائم ۵ رویداد احساس شده در منطقه بر حسب تابعی از فاصله (Kaka 2005) ... ۴۰
- شکل ۲-۱۲: توزیع رکوردهای جمع آوری شده بر حسب بزرگی و فاصله (Kaka 2005) ۴۴
- شکل ۲-۱۳: ایستگاه های مورد استفاده در نقشه لرزش ایتالیا (Michelini *et al.*, 2008) ۴۷
- شکل ۲-۱۴: منطقه بندی روابط کاهیدگی در ایتالیا (Michelini *et al.*, 2008) ۴۸
- شکل ۲-۱۵: طبقه بندی ساختگاه بر اساس زمین شناسی و توپوگرافی (Michelini *et al.*, 2008) ۵۱
- شکل ۲-۱۶: نمونه ای از نقشه بیشینه شتاب تولید شده در منطقه جنوب شرقی آلپ (Michelini *et al.*, 2008) ۵۳

- شکل ۲-۱۷: نقشه طبقه بندی زمین شناسانه QVTM (Convertito et al., 2009) ۵۷
- شکل ۲-۱۸: پارامترهای اصلی رویه مثلث بندی، ایستگاه های مجازی با دایره های توخالی و مراکز جرم مثلث ها با دایر سیاه نشان داده شده اند (Convertito et al., 2009) ۶۰
- شکل ۲-۱۹: نمونه ای از نقشه بیشینه شتاب تولید شده در منطقه کامپانیا در جنوب ایتالیا (Convertito et al., 2009) ۶۰
- شکل ۲-۲۰: موقعیت ایستگاه های جنبش نیرومند مستقر در استانبول (Edrik et al., 2003) ۶۱
- شکل ۲-۲۱: نقشه توزیع تصادفی خسارت در استانبول (Edrik et al., 2003) ۶۶
- شکل ۲-۲۲: نقشه رومانی و منطقه رومرکزی زلزله های Verancea (Bartlakowski et al., 2006) ۶۸
- شکل ۲-۲۳: ایستگاه های مشاهداتی و ایستگاه های مجازی در شهر بخارست (Bartlakowski et al., 2006) ۶۹
- شکل ۲-۲۴: نقشه های شدت تولید شده در شهر بخارست (Bartlakowski et al., 2006) ۷۱
- شکل ۲-۲۵: توزیع ایستگاه های جنبش نیرومند شامل ۸۰ ایستگاه زمان واقعی در تایوان (Wu et al., 2000) ۷۲

فصل سوم: شبکه بندی، درونیابی و برازش

- شکل ۳-۱: روش نزدیک ترین همسایه و ایجاد یک دایره پیرامون نقطه شبکه با شعاع تعیین شده توسط خودهمبستگی فضایی بین نقاط کنترل ۷۹
- شکل ۳-۲: روش مثلث بندی و انتخاب نقاط کنترل احاطه کننده نقطه شبکه به عنوان رئوس مثلث ۸۰
- شکل ۳-۳: مثلث بندی غیر قابل قبول بین گره ها ۸۱
- شکل ۳-۴: مثلث بندی Delaunay و دایر محیطی ۸۲
- شکل ۳-۵: مثلث بندی از شرایط Delaunay برخوردار نیست، دایر محیطی بیش از سه نقطه کنترل را شامل می شود، جایگزینی ضلع مشترک و تشکیل مثلث بندی Delaunay ۸۴
- شکل ۳-۶: مثلث بندی Delaunay برای ۱۰۰ نقطه در یک صفحه ۸۵
- شکل ۳-۷: درونیابی نزدیکترین همسایه در یک بعد بر روی نقاط داده ۸۷
- شکل ۳-۸: نمونه ای از یک اسپلاین درجه صفر ۸۹
- شکل ۳-۹: نمونه ای از یک اسپلاین درجه یک ۹۰
- شکل ۳-۱۰: منحنی اسپلاین با کشش بالا ($\tau=10$) و پایین ($\tau=0/1$) ۹۱

فصل چهارم: روش ها و معرفی الگوریتم

- شکل ۴-۱: صفحات کاهیدگی برازش شده به مقادیر بیشینه شتاب افقی و موقعیت سنترئید برای زمینلرزه های زنجیران فارس ۱۹۹۴/۶/۲۰ و بالاده ۱۹۹۹/۵/۶ ۱۰۵
- شکل ۴-۲: موقعیت سنترئید (ستاره آبی) و رومرکز (ستاره قرمز) زمینلرزه های زنجیران ۱۹۹۴/۶/۲۰ و بالاده ۱۹۹۹/۵/۶ ۱۰۷
- شکل ۴-۳: روند محاسبه لرزش مؤثر کلی از سه مؤلفه متعامد شتابنگاشت ۱۰۹
- شکل ۴-۴: شبکه بندی ایستگاه های مجازی با فاصله ۴۰ کیلومتر برای سه زمینلرزه های زنجیران، بالاده، و سیلاخور ۱۱۳

- شکل ۴-۵: رابطه کاهیدگی قبل (منحنی قرمز) و بعد از تصحیح انحراف (منحنی آبی) برای زمینلرزه‌های بالاده و زنجیران
شکل ۴-۶: توزیع سرعت موج برشی در ۳۰ متر بالایی در شهر تهران بر اساس طبقه‌بندی
۱۲۰ NEHRP, (Shafiee & Azadi 2007)
شکل ۴-۷: مثلث‌بندی برای ایستگاههای مجازی و حقیقی زلزله زنجیران و بالاده با استفاده از الگوریتم Delaunay ...
شکل ۴-۸: درونیابی بین ایستگاه‌های واقعی و مجازی زلزله‌های زنجیران و بالاده بوسیله روش نزدیکترین همسایه
شکل ۴-۹: صفحه اسپلین گذرنده از بین ایستگاه‌های واقعی و مجازی و نقشه نتایج درونیابی زلزله‌های زنجیران
۱۲۸ ۱۹۹۴/۶/۲۰ و بالاده ۱۹۹۹/۵/۶
شکل ۴-۱۰: مقایسه نتایج درونیابی به روش‌های اسپلین و نزدیکترین همسایه برای زلزله زنجیران ۱۹۹۴/۶/۲۰
شکل ۴-۱۱: شمای عملیاتی نرم افزار تولید نقشه لرزش
۱۳۵

فصل پنجم: کاربرد و آزمون صحت کارکرد

- شکل ۵-۱: نقشه لرزش پیک شتاب زمینلرزه بالاده با ۱۹ ایستگاه و ۱۲ ایستگاه ثبت‌کننده
۱۳۹
شکل ۵-۲: قالب‌های کانتور، کانتور پر شده و نمایش سلولی نقشه لرزش منطقه‌ای پیک شتاب زمینلرزه بالاده
۱۴۰
شکل ۵-۳: نقشه نواحی شهر تهران، گسل ایوانکی و گسل‌های اطراف، رومرکز، ایستگاه‌های شتابنگار ثبت‌کننده و سازوکار
کانونی زمینلرزه ۲۵ مهر ۱۳۸۸ (صادقی و همکاران، ۱۳۸۹ ج)
۱۴۲
شکل ۵-۴: نقشه نواحی شهر تهران، رومرکزهای سه‌گانه فرضی بر روی مدل گسل محدود ایوانکی و نقاطی که در آنها شبیه-
سازی صورت گرفته است (صادقی و همکاران، ۱۳۸۸)
۱۴۴
شکل ۵-۲: قالب‌های نمایش سلولی، کانتور و کانتور پر شده برای نقشه لرزش شهری
۱۴۵

فصل اول: کلیات و پیدایش

مقدمه

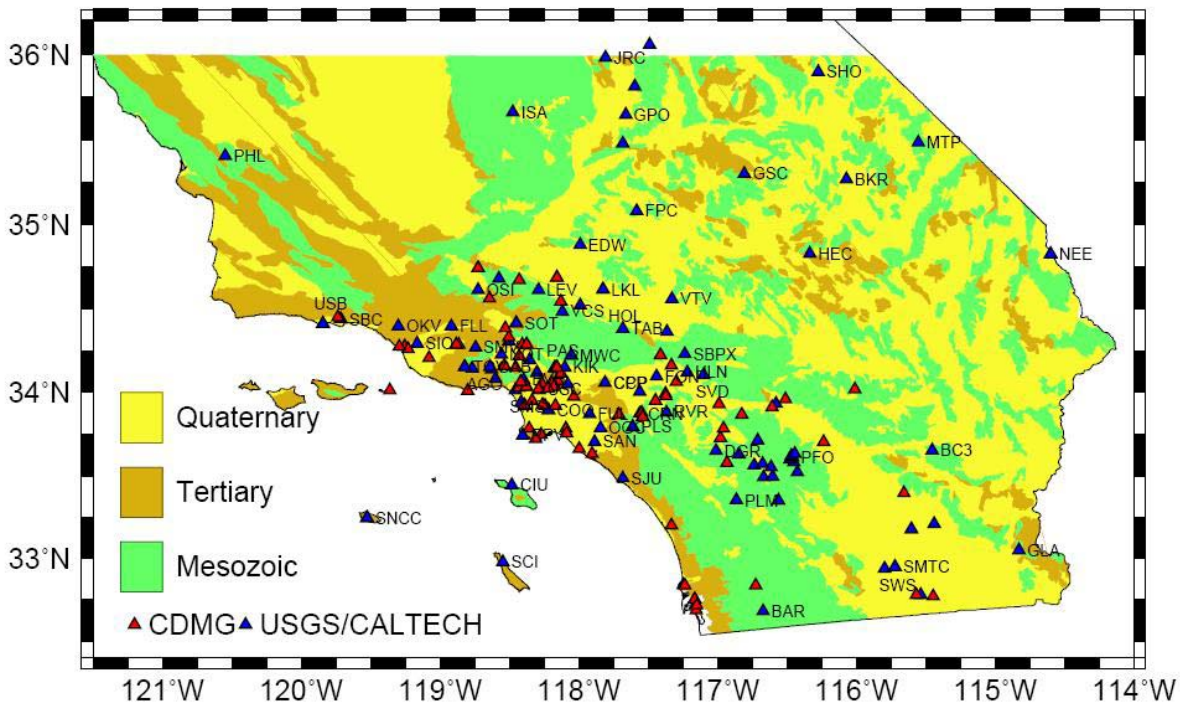
نقشه‌های لرزش برای کاهش خسارات و تلفات ناشی از زمینلرزه و در عین حال ارائه اطلاعات مطلوب برای مهندسين و مخاطبان ویژه به کار می‌روند. فرآیند پیدایش و طراحی نقشه‌های لرزش در ارتباط مستقیم با امکانات و تجهیزات مورد نیاز آن بوده است به این مفهوم که در صورت عدم وجود شبکه‌های خاص مورد نیاز اساساً طرح تولید نقشه‌های لرزش مطرح نمی‌شود. بر اساس این ارتباط تنگاتنگ بین امکانات سخت افزاری و الگوریتم مورد نیاز برای تولید نقشه لرزش، سازندگان اولین نقشه از این دست در پی پاسخ گویی به سؤالات حاصل از شرایط زمانی و مکانی خاص خود بوده‌اند. با گذشت زمان و متناسب با تغییر کردن شرایط و امکانات روش‌های نوینی نظیر آنچه که در ادامه تحت عنوان " دور سنجی لرزه ای برای فرآیند چشمه و لرزش شدید نزدیک چشمه " آورده شده است، برای برآورد هر چه بهتر مقادیر در نقشه‌های لرزش به کار رفته است.

۱-۱- پیدایش

ایده ترسیم نقشه لرزش نخستین بار توسط Wald و Quitariano در ۱۹۹۶ به محض در دسترس قرار گرفتن تعداد کافی از ایستگاه‌های جنبش نیرومند در شبکه لرزه‌نگاری کالیفرنیا و Terra Scope، طراحی و اجرا شد (Wald *et al.*, 1997).

هدف از تولید این نقشه لرزش یک نمایش سریع و خودکار مبتنی بر web از میزان لرزش هر ایستگاه بر اثر یک زمینلرزه، در قالب یک نقشه مقیاس شده و به منظور به تصویر کشیدن بهتر ناحیه لرزش بود. ارائه یک توصیف پر جزئیات از توزیع فضایی لرزش به درونیایی جنبش‌های اندازه‌گیری شده زمین با به کار بردن فاکتورهای تصحیح ساختگاه وابسته به فرکانس نیازمند است. این فاکتورهای تصحیح ساختگاه از اطلاعات ساده زمین‌شناسی به دست آمده و امکان انجام یک اصلاح مرتبه اول مفید را برای تشدید محلی در مناطق بی‌بهره از پوشش دستگاهی فراهم می‌نماید.

در روند تولید نقشه لرزش با به کارگیری ایستگاه‌های شبکه TriNet و ایستگاه‌های USGS-Caltech مطابق شکل (۱-۱) در اولین دقیقه بعد از لرزش پارامترهای جنبش زمین در دسترس بودند و با گذشت پنج دقیقه مهمترین ایستگاه‌های نزدیک چشمه از شبکه (CDMG, California Division of Mines and Geology) که ارتباط آنها به وسیله یک سیستم شماره‌گیری تلفنی خودکار برقرار است نیز به داده‌ها اضافه می‌شدند و سهم کاملتری از CDMG در مدت زمان تقریبی نیم ساعت در دسترس قرار می‌گرفت (Wald *et al.*, 1999).



شکل ۱-۱: ایستگاه های CDMG و USGS-Caltech و نقشه ساختگاه QTM. (Wald et al., 1999).

نقشه‌های ابتدایی صرفاً با مقادیر به دست آمده در زمان واقعی (real time) از شبکه TriNet تولید می‌شدند، اما به صورت خودکار با دریافت داده‌های بیشتر عملیات به‌هنگام‌سازی صورت می‌پذیرفت. داده‌های پارامتری به دست آمده از ایستگاه‌ها شامل پیک شتاب زمین (PGA)، پیک سرعت زمین (PGV) و پیک دامنه پاسخ طیفی در ۰/۳، ۱/۰ و ۳/۰ ثانیه بودند. نقشه لرزش به وسیله کانتور کردن اطلاعات لرزش درونیابی شده در یک شبکه مربعی یکنواخت به فاصله ۲/۸ کیلومتر (۰/۲۵ درجه) در سراسر کالیفرنیا جنوبی به دست می‌آمد. طبعاً اگر در هر ۴۵۰۰۰ نقطه این شبکه ایستگاه وجود داشت، آنگاه ایجاد نقشه‌های لرزش بسیار ساده تر می‌نمود اما در واقعیت بسیاری از نقاط شبکه ممکن بود که از نزدیکترین ایستگاه‌های گزارش کننده ده‌ها کیلومتر فاصله داشته باشند. در کل ترسیم این نقشه مشتمل

بر ترکیب اطلاعات ایستگاه‌های منحصربفرد، زمین‌شناسی (ارائه مقادیر تشدید ساختگاه) و فاصله رومرکزی برای ایجاد یک نقشه ترکیبی بود.

۲-۱- برآورد جنبش در مناطق با پوشش کم ایستگاهی

در این روش کار بایستی با حفظ اطلاعات لرزش مربوط به مناطق متراکم دستگاهی یک برآورد منطقی از مقادیر بیشینه پارامترهای جنبش زمین در نقاط دور از داده‌های شبکه صورت بپذیرد. به این منظور ابتدا پیک پارامترهای جنبش زمین از ایستگاه‌ها جمع آوری شده و به زمان و رومرکز یک زلزله خاص نسبت داده می‌شوند. در مناطقی که ایستگاه‌ها با تعداد کم و پراکنده قرار گرفته‌اند برای برآورد مقادیر پارامترهای جنبش نیرومند زمین، با ایجاد یک شبکه درشت از ایستگاه‌های مجازی و خیالی با فواصل یکسان ۳۰ کیلومتری، روابط کاهیدگی جنبش نیرومند زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. رابطه Joyner & Boore (1981) این مقادیر را برای ساختگاه‌های سنگی و بر حسب فاصله در تمام نقاط این شبکه درشت تعیین می‌کند. مقادیر پیک طیف پاسخ نیز به وسیله روابط Boore *et al.*, (1994) برآورد شده‌اند. تنها ایستگاه‌های غیر واقعی که در فاصله بیش از ۳۰ کیلومتر از ایستگاه‌های TriNet قرار دارند نگه داشته می‌شوند. وجود ایستگاه‌های خیالی، خوش‌رفتاری و کراندار بودن کانتورها را در لبه‌های نقشه و در مناطق با پوشش کم ایستگاهی ضمانت می‌کند (Wald *et al.*, 1999).

۳-۱- تصحیحات ساختگاه

به منظور درونیابی جنبش‌های ثبت شده به یک شبکه با پراکندگی و تراکم کافی در فواصل نامساوی از ایستگاه‌ها که به وسیله توابع پیوسته فضایی (کانتورها) نشان داده می‌شوند، از تصحیحات ساختگاه استفاده می‌شود. برای مثال درونیابی مستقیم و صرفاً عددی بین ساختگاه‌های سنگی احاطه