بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای **عادل معطی** پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان الگویابی داده های لرزه ای به منظور پیش بینی زلزله** در تاریخ ۱۳۹۲/۹/۳۰ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع - سیستمهای اقتصادی اجتماعی پیشنهاد می کنند. :

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمد رضا امین ناصری	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر حمید زعفرانی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمد مهدی سپهری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر وحید برادران	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمد مهدی سپهری	دانشیار	

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

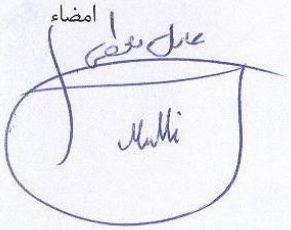
ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء



آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته **مهندسی صنایع- سیستم های اقتصادی و اجتماعی** است که در سال ۱۳۹۲ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای **دکتر محمد رضا امین ناصری**، مشاوره جناب آقای **دکتر حمید زعفرانی** از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **عادل معطی** دانشجوی رشته **مهندسی صنایع- سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی** مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:
عادل معطی
تاریخ و امضا:
۹۲/۹/۳۰

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی صنایع

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع/سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی

الگویابی داده‌های لرزه‌ای به منظور پیش بینی زلزله

نگارش:

عادل معطی

استاد راهنما:

دکتر محمد رضا امین‌ناصری

استاد مشاور:

دکتر حمید زعفرانی

پاییز ۱۳۹۲

تقدیر و تشکر

با سپاس از دو وجود مقدس:

آنان که ناتوان شدند تا به توانایی برسیم...

موهایشان سپید شد تا ما رو سفید شویم...

پدرم

مادرم

و تقدیم به همسر مهربانم: نیکا

چکیده:

زمین لرزه‌ها همواره یکی از فاجعه آمیزترین بلایای طبیعی در زمین بوده‌اند و خسارات جانی و مالی بسیاری در تمامی نقاط دنیا بر جای گذاشته‌اند. پیش بینی زلزله به عنوان یک ابزار مناسب در سال‌های اخیر مورد استفاده بسیاری از محققان در راستای کاهش آثار این بلای طبیعی مطرح بوده است. رویکردهای بسیاری از جمله بررسی رفتار حیوانات، بررسی تغییرات میدان الکترومغناطیسی زمین و همچنین رصد نمودن رفتارهای یک گسل در یک منطقه به منظور پیش بینی زلزله مورد استفاده قرار گرفته است. از این رو که زلزله‌ها نوعا ساختار و ماهیت تصادفی دارند، به کار بردن داده‌کاوی، به طور مشخص روش‌های محاسبات نرم در زمینه پیش‌بینی بسیار امید بخش بوده است. استفاده از این روش به خصوص در زمینه پیش بینی زلزله و کسب نتایج رضایت بخش محققان را بیش از پیش به سوی این موضوع مشتاق نموده است. با توجه به اینکه کشور ایران یکی از حادثه خیزترین کشورهای دنیا به شمار می‌رود، پیش بینی زلزله در این کشور می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای امید بخش در کاهش میزان تلفات به شمار رود. بدین منظور منطقه‌ای از جنوب ایران، اطراف جزیره قشم، که شاهد رخداد زلزله‌های بسیار بوده است، در نظر گرفته شده است. به منظور کشف الگو از روند رخداد زلزله‌های بزرگ در این منطقه، رفتار پارامتر معین به نام ضریب b، از رابطه گوتنبرگ ریشتر، برای ارائه الگویی از رخداد زلزله‌هایی با بزرگای مساوی و یا بزرگتر از $M_w = ۶/۰$ بررسی شده است. از روش خوشه بندی به عنوان رویکرد اصلی این پایان نامه انتخاب شده است. دو تکنیک خوشه بندی K-Means و نقشه خود سازمانده Self-Organizing Map(SOM) برای استخراج الگوهای رخداد زلزله‌های بزرگتر از $M_w = ۶/۰$ در این منطقه استفاده شده است. با استفاده از سنجه‌های معتبر ضریب سایه روشن و ضریب دیویس بولدین صحت خوشه بندی‌ها به ترتیب در خوشه بندی k-means و SOM استخراج شده است. از این دو تکنیک هر کدام به ترتیب سه خوشه بدست آمده است. با تحلیل خوشه‌های بدست آمده نشان داده شده است، که قبل از زلزله‌هایی با بزرگای بزرگتر و یا مساوی $M_w = ۶/۰$ کاهش معنادار در بازه زمانی مشخص در مقدار b-value وجود دارد. تمامی الگوهای بدست آمده به رویت خبرگان در حوزه لرزه شناسی رسیده و همگی بر معنادار بودن الگوهای استخراج شده تاکید دارند. بنابراین راهکاری جدید به منظور پیش بینی زلزله بر اساس روند تغییرات مقدار b-value ارائه شده است. بنابراین روش ذکر شده می‌تواند در رصد برخط زلزله‌ها و پیش بینی زلزله‌هایی با بزرگای بالا و خطرساز مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: پیش بینی زلزله، داده کاوی، شبکه عصبی، خوشه بندی، الگویابی، رابطه گوتنبرگ ریشتر

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱: معرفی و کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تعریف موضوع/اهداف تحقیق ۲

۱-۳-اهمیت موضوع ۴

۱-۴- مفروضات تحقیق ۵

۱-۵-تعاریف و اصطلاحات ۵

۱-۶- سابقه موضوع ۷

۱-۷- ساختار گزارش پایان نامه ۹

۱-۸- خلاصه فصل ۹

فصل ۲: مرور ادبیات ۱۰

۲-۱- مقدمه ۱۱

۲-۲- مطالعات کوتاه مدت برپایه پیش نشانگرها زلزله ۱۱

۲-۲-۱-سکوت لرزه‌ای ۱۲

۲-۲-۱-۱- مدل سازی عدم قطعیت ۱۷

۲-۲-۲- تغییرات غیر عادی میدان الکترومغناطیسی زمین: ۱۹

۲-۲-۳- رفتار غیرعادی حیوانات ۲۲

۲-۲-۴- مشاهده پدیده‌های غیرعادی زمین شیمی ۲۳

۲-۲-۴-۱- تغییرات غیرعادی تجمع عنصررادون ۲۳

۲-۲-۵- ارسال ماهواره برای تحقیق در مورد زمین لرزه از فضا ۲۷

۲-۳- مطالعات بلند مدت بر پایه داده‌های تاریخی ۳۰

۲-۳-۱- توزیع بزرگا و پیش بینی زلزله ۳۱

۲-۳-۱-۱- توزیع قانون توانی معکوس گتنبرگ - ریشتر ۳۱

۲-۳-۱-۲- مشخصه توزیع زمین لرزه ۳۲
۲-۳-۱-۳- توزیع احتمال زمین لرزه ۳۶
۲-۳-۲- مدل زمان تا رخداد برای پیش بینی زلزله ۳۸
۲-۳-۳- پیش لرزه‌ها..... ۴۰
۲-۴- نقد ادبیات ۴۲
۲-۵- خلاصه فصل ۴۷
فصل ۳ : روش شناسی و داده های تحقیق ۴۹
۳-۱- مقدمه ۵۰
۳-۲- مسئله تحقیق ۵۰
۳-۳- داده‌کاوی ۵۰
۳-۳-۱- آماده سازی داده‌ها ۵۴
۳-۳-۱-۱- پاک سازی داده‌ها ۵۴
۳-۳-۱-۲-نرمال / هم مقیاس کردن داده‌ها ۵۴
۳-۳-۱-۳- ساختن مشخصه‌ها ۵۵
۳-۳-۱-۴- انتخاب مشخصه‌ها..... ۵۶
۳-۳-۲- داده‌های تحقیق..... ۵۶
۳-۳-۲-۱- کاتالوگ لرزه‌ای ۵۷
۳-۳-۳- رابطه گوتنبرگ- ریشتر و مقدار b-value ۶۰
۳-۳-۴- انتخاب روش داده کاوی ۶۱
۳-۳-۵- خوشه بندی ۶۲
۳-۳-۶-تکنیک‌های خوشه بندی..... ۶۲
۳-۳-۶-۱- خوشه بندی K- میانگین ۶۲
۳-۳-۶-۲- مدل شبکه عصبی نقشه خودسازمانده..... ۶۴
۳-۳-۶-۳- معیارهای ارزیابی خوشه بندی..... ۶۸

۳-۴-خلاصه فصل ۷۲
فصل ۴: پیاده سازی متدولوژی تحقیق و تحلیل نتایج ۷۳
۴-۱- مقدمه ۷۴
۴-۲- آماده سازی داده‌ها ۷۴
۴-۲-۱- محاسبه مقدار b-value در راستای زمان ۷۴
۴-۲-۲- ساخت مشخصه‌های جدید/مجموعه داده جدید ۷۷
۴-۳- خوشه بندی داده‌ها و الگویابی ۷۸
۴-۳-۱- الگویابی با تکنیک k-means ۸۰
۴-۳-۲- الگویابی با تکنیک شبکه عصبی SOM ۸۳
۴-۳-۲-۱- تعیین محدوده تعداد خوشه‌ها، نوع توپولوژی و نرم فاصله ۸۴
۴-۳-۲-۲- آموزش نقشه خود سازمانده ۸۵
۴-۳-۳- خوشه بندی با SOM ۸۶
۴-۳-۳-۱- خوشه بندی مجدد داده‌ها بر اساس نتایج SOM ۸۸
۴-۴- خلاصه فصل ۹۱
فصل ۵: سرانجام و نتیجه گیری ۹۲
۵-۱- مقدمه ۹۳
۵-۲- مروری بر فصل‌های گذشته ۹۳
۵-۳- دستاوردهای تحقیق ۹۴
۵-۴- نوآوری تحقیق ۹۴
۵-۵- مطالعات آتی ۹۵
منابع ۹۷

فهرست شکل‌ها و نمودارها

عنوان صفحه

شکل ۲-۱: تفاوت نرخ لرزه خیزی در پنجره‌های زمانی (Wyss et al., 1999). ۱۶
شکل ۲-۲: روند شبیه سازی مونت کارلو (van Stiphout et al., 2011) ۱۹
شکل ۲-۳: الگوهای ایجاد شده با داده‌های مسئله (Ozerdem et al., 2006). ۲۱
شکل ۴-۲: شبکه عصبی بکار رفته در مقاله(lahcı et al., 2009) ۲۶
شکل ۲-۵: ساختار شبکه عصبی احتمالی ارائه شده در مقاله(Adeli and Panakkat, 2009) ۳۴
شکل ۲-۶: منطقه البرز مرکزی(Jafari, 2010). ۳۷
نمودار ۲-۱: ساختار کلی مرور ادبیات بر اساس دو رویکرد کوتاه مدت و بلند مدت ۴۳
شکل ۳-۱: روند پالایش داده‌ها ۵۱
شکل ۳-۲: فرایندکشف دانش در پایگاه داده ۵۱
شکل ۳-۳: فرایند انجام داده‌کاوی بر روی داده‌های مشخص ۵۳
نمودار ۳-۱: توزیع فراوانی – بزرگای زلزله‌های رخداده شده در بازه زمانی مشخص ۵۹
شکل ۳-۴: توزیع زلزله‌های رخ داده در بازه زمانی سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۲/۰۶/۱۹ ۵۹
شکل ۳-۵: روند اجرایی الگوریتم k-means ۶۳
شکل ۳-۶: شبکه عصبی نقشه خود سازمانده ۶۵
نمودار ۴-۱: تغییرات زمانی مقدار Mc در بازه زمانی مورد مطالعه بر اساس روش پنجره زمانی با در نظر گرفتن ۷۰زلزله با همپوشانی ۱ زلزله ۷۶
نمودار ۴-۲: نمودار تغییرات زمانی مقادیر برآورد شده b-value از رابطه ۴-۱ برای کاتالوگ لرزه‌ای مورد مطالعه در بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۲ ۷۶
شکل ۴-۱: میانگین پهنه‌های سایه روشن برای تمامی داده‌های تحقیق در ۳ خوشه تا ۸ خوشه ۷۹
نمودار ۴-۳: نمودار تغییرات مقایر بدست آمده از میانگین پهنه‌های ضریب سیلوئیت در مجموعه داده ND .. ۸۰
نمودار ۴-۲: نمودار تغییرات خوشه‌ها بین سالهای ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ ۸۱
نمودار ۴-۳: روند تغییرات خوشه‌ها در دسته‌های ۵ تایی از زلزله بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ ۸۲
نمودار ۴- ۴: روند تغییرات خوشه‌ها در دسته‌های ۵ تایی از زلزله بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ ۸۲
نمودار ۴-۵: روند تغییرات خوشه‌ها در دسته‌های ۵ تایی از زلزله بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ ۸۳
شکل ۴-۲: ماتریس U و برچسب نرون‌ها بر اساس الگوریتم SOM ۸۶
شکل ۴-۳: برچسب نرون‌ها بر اساس داده نماینده ۸۷
نمودار ۴- ۶: نمودار تغییرات مقادیر دیویس بولدین برای برچسب‌های هر نرون ۸۸
نمودار ۴-۷- روند تغییرات خوشه‌ها بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ ۸۹

نمودار ۴- ۸- روند تغییرات خوشه‌ها بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ ..... ۹۰
نمودار ۴-۹- روند تغییرات خوشه ها بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ ..... ۹۱

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول۲-۱: نتایج بدست آمده در مقاله (Papadopoulos et al., 2010). ۴۲
جدول ۲-۲: نقد ادبیات موضوع ۴۴
ادامه جدول ۲-۲: نقد ادبیات موضوع ۴۵
ادامه جدول ۲-۲: نقد ادبیات موضوع ۴۶
جدول ۳-۱: معیارهای ارزیابی شباهت درون خوشه ای ۶۹
جدول ۳-۲: معیارهای ارزیابی تفاوت برون خوشه ای ۶۹
جدول ۴-۱: مرکز خوشه های حاصل از خوشه بندی k-means ۷۸
جدول ۴-۲: مشخصات زلزله هایی با بزرگای بالاتر از ۶/۰ در مقیاس ریشتر در کاتالوگ مورد بررسی ۸۰
جدول ۴-۳- مراکز خوشه های تولید شده توسط خوشه بندی SOM ۸۹

فصل اول:

معرفی و کلیات

۱-۱- مقدمه

زلزله‌ها[1] یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی می‌باشند که تا به امروز جان هزاران نفر را گرفته‌اند و خسارات جانی و مالی بسیاری بر اقوام بشر تحمیل کرده‌اند. زلزله‌ها بدون هیچ هشداری اتفاق افتاده و می‌توانند کل یک شهر را تنها در چند ثانیه تخریب کنند(Morales-Esteban et al., 2010). امروزه تلاش‌های بسیاری در جهت پیش بینی این حادثه و بلای طبیعی[2] صورت گرفته است به گونه‌ای که گروهی از محققین به بررسی نشانه‌های قبل از وقوع زلزله از قبیل تغییرات غیر عادی میدان الکترومغناطیسی زمین، رفتار غیر عادی حیوانات و تجمع گاز رادون به منظور پیش بینی کوتاه مدت زلزله، و عده‌ای دیگر نیز با تلاش در پیدا کردن الگوهای لرزه‌ای قبل از زلزله‌های بزرگ سعی در پیش بینی بلند مدت زلزله‌ها داشته‌اند. تحقیقات انجام گرفته به صورت کلی سعی در پیش بینی پارامترهای مهم زلزله[3] از قبیل زمان رخداد زلزله، مکان وقوع آن و بزرگای زلزله بر پایه نشانه‌های گفته شده داشته‌اند(Panakkat and Adeli, 2008a). این مطالعات در جهت پیش بینی پارامترهای زلزله و شناسایی الگوها لرزه‌ای بسیار گسترده می‌باشند و بدین علت دامنه گسترده‌ای از علوم را از ریاضیات،آمار،کامپیوتر و مهندسی تا علم ژنتیک در بر می‌گیرد. داده کاوی نیز به عنوان یک مبحث میان رشته-ای می‌تواند در این حوزه ورود پیدا کند و با تحلیل و بررسی داده‌های لرزه‌ای، روشی نوین و قابل اطمینان در الگویابی زلزله‌های مخرب ارائه نماید.

۱-۲- تعریف موضوع/اهداف تحقیق

پیش بینی زلزله یک نمونه از تحقیقات میان رشته‌ای[4] می‌باشد که محققان مختلف از رشته‌های گوناگون از قبیل زمین شناسی، فیزیک، لرزه شناسی، ریاضیات، علوم کامپیوتر، مهندسی و حتی علوم اجتماعی در آن وارد شده-اند و در حال انجام تحقیقات می‌باشند.

آکادمی ملی علوم ایالات متحده[5] پیش بینی زلزله را اینگونه تعریف می‌کند: پیش بینی زمان و مکان رخداد و میزان بزرگی[6] زلزله به عنوان پارامترهای زلزله در آینده(Wyss, 1991). و یا کمیته زمین شناسی و پیش بینی زمین لرزه انجمن تحقیقات ملی ایالات متحده آمریکا[7] پیش بینی زمین لرزه را اینگونه تعریف می کند:

[1] Earthquakes
[2] Natural Disaster
[3] Earthquake Parameters
[4] Interdisciplinary

"یک پیش بینی زمین لرزه بایستی دامنه بزرگی مورد انتظار، ناحیه جغرافیایی که قرار است زمین لرزه در آن رخ دهد و همچنین فاصله زمانی تا رخداد را با دقت مناسب معین کند تا نهایتا موفقیت و شکست پیش بینی به سهولت قابل قضاوت باشد. تنها با ثبت دقیق و تجزیه وتحلیل شکست ها و پیروزی ها می توان موفقیت احتمالی تلاش های صورت پذیرفته را ارزیابی نمود و جهت گیری های آینده را ترسیم کرد. بعلاوه محققان بایستی یک فاصله اطمینان را به هر پیش بینی اختصاص دهند."(Peresan et al., 2005).

تلاش‌های دیگر نیز به در جهت پیش بینی پارامترهای فیزیکی زلزله نیز صورت گرفته است.از جمله میتوان به پیش بینی سرعت موج برشی و تاثیرات غیر خطی خاک و پیش بینی پارامترهای میرایی زمین لرزه اشاره نمود(Panakkat and Adeli, 2008a).

از منظر زمان پیش بینی پارامتر زمان مربوط به زمین لرزه بعدی به چهار قسمت دسته بندی می‌گردد.

۱. پیش بینی کوتاه مدت
۲. پیش بینی میان مدت
۳. پیش بینی بلند مدت
۴. پیش بینی آنی

به این ترتیب اگر پیش‌بینی زلزله حداکثر تا یک دهه انجام شود، پیش‌بینی بلندمدت تلقی می‌شود، اگر پیش‌بینی برای بازه زمانی چند هفته تا یک سال انجام گیرد، میان‌مدت و اگر برای بازه زمانی چند ساعت تا کمتر از یک ماه باشد، کوتاه‌مدت محسوب می‌شود. پیش‌بینی‌های بلندمدت و میان‌مدت زلزله با استفاده از روش‌های آماری و پیش‌بینی زلزله‌های کوتاه مدت و آنی با استفاده از روش‌های پیش نشانگری صورت می‌گیرد.

تغییرات غیرعادی میدان الکترومغناطیسی زمین، پیش لرزه‌ها، رفتار غیرعادی حیوانات تعدادی از پیش-نشانگر[8]هایی می‌باشند که امکانی برای پیش‌بینی کوتاه مدت در اختیار محققان می‌گذارد و داده‌های تاریخچه لرزه‌ها و زمان برگشت زلزله‌ها بدست آمده از زلزله‌های پیشین ابزاری برای پیش‌بینی‌های بلند مدت و میان مدت می‌باشند.

---

[5]The US National Academy of Science
[6]Magnitude
[7] United States National Research Council, Panel on Earthquake Prediction of the Committee on Seismology
[8]Precursors

در سالهای اخیر استفاده از روشهای داده‌کاوی به عنوان یکی از ابزارهای قدرتمند در جهت شناسایی الگوهای لرزه‌ای و همچنین پیش‌بینی های بلندمدت و کوتاه‌مدت مطرح شده است. استفاده از ابزارهایی شبیه شبکه عصبی مصنوعی[9]در شبیه‌سازی زلزله‌ها و روش های الگویابی در آن از قبیل پیش بینی با استفاده از الگوریتم-های متفاوت و همچنین ابزارهای داده کاوی از قبیل خوشه بندی و کلاس بندی[10] از جمله روش های متداول به منظور پیش بینی زلزله بوده است. بر اساس تعریف موضوع، می‌توان مسئله تحقیق را الگویابی از داده‌های لرزه‌ای به منظور پیش بینی زلزله‌هایی با بزرگایی مشخص عنوان نمود. الگویابی[11]، به معنای تعیین روندی مشخص از رخدادهای پشیین یک زلزله مشخص می‌باشد.

۱-۳- اهمیت موضوع

آسیب پذیری بشر در برابر حوادث طبیعی، همزمان با رشد جمعیت، پیشرفت صنعت و همچنین افزایش تولید مواد رادیو اکتیو و سمی و کارخانه‌های تولید این مواد در چند دهه گذشته رشد چشمگیری داشته و همچنان در حال افزایش می‌باشد.در سال ۱۹۹۸ در کوبه ژاپن زلزله سبب مرگ ۵۰۰۰ نفر و تخریب بیش از ۴۰۰۰۰۰ منزل مسکونی گردید و به میزان ۱۰۰ میلیارد دلار آمریکا هزینه به جای گذاشت(Peresan et al., 2005). همچنین زلزله بم در ایران سبب کشته شدن نزدیک به ۲۸۰۰۰ نفر و زخمی شدن ۳۰۰۰۰ نفر گردید. همچنین زلزله در ایزمیت ترکیه بیش از ۱۵۰۰۰ نفر کشته بر جای گذاشت(Szakács, 2011).

زلزله تنها حادثه طبیعی در مرگ و میرها و ضررهای اقتصادی نمی‌باشد. بلکه حوادث طبیعی دیگر نیز از جمله سیل‌ها و طوفان‌ها نقش در مرگ ومیر انسانی داشته‌اند. اما در دهه آخر قرن بیستم نقش زلزله‌هایی که حتی فاصله زیادی از زلزله‌های بزرگ داشته‌اند به تنهایی ۳۵٪ در زیان‌های اقتصادی بوده است که ۳۰٪ بیشتر از سیل‌ها و ۲۸٪ بیشتر از طوفان‌ها و حدود ۷٪ بالاتر از بقیه بلایای طبیعی بوده اند(Peresan et al., 2005).

ایران نیز از جمله کشورهایی است که گسل‌های فعال و خطرناکی دارد و بسیاری از شهرها و سکونتگاه‌های ایران روی این گسل‌ها قرار گرفته است. وقوع زمین لرزه‌های ویرانگر در صد سال اخیر بیانگر این موضوع است که ایران از نظر لرزه خیزی دارای پتاسیل بالایی است و با توجه به این مسئله که ششمین کشور خطرپذیر دنیا و چهارمین کشور از نظر خطرپذیری در آسیا است، تقریبا می توان گفت کمتر نقطه‌ای در ایران وجود دارد که در

[9]Artificial Neural Network
[10]classification
[11] Pattern Recognition

برابر وقوع زمین لرزه و خطرات و پیامدهای آن مصون باشد. با توجه به حوادث گفته شده در بالا که طی سال-های گذشته در تمامی نقاط دنیا اتفاق افتاده‌اند، تلاش برای پیش بینی زلزله در جهت کاهش تلفات انسانی و کاهش ضررهای اقتصادی بر کسی پوشیده نمی‌باشد.

۱-۴- مفروضات تحقیق

مفروضات این تحقیق در چند گزینه زیر خلاصه می‌گردند:

۱. مجموعه داده‌های لرزه‌ای، با عنوان کاتالوگ لرزه‌ای در نظر گرفته شده‌اند. در کاتالوگ های لرزه‌ای مورد استفاده در این تحقیق تمامی زلزله‌ها، بدون حذف پیش لرزه‌ها و پس لرزه‌ها در نظر گرفته شده اند.

۲. فرض بر آن است داده‌ها مورد استفاده در تحقیق قابل اطمینان و به دور از خطاهای دستگاهی و انسانی در جمع آوری هستند.

۳. الگویابی در مورد زلزله‌هایی صورت می‌گیرد که بزرگایی بزرگتر و یا مساوی ۶/۰ در مقیاس گشتاوری دارند.

۱-۵- تعاریف و اصطلاحات

با توجه به وجود اصطلاحات تخصصی در زمینه مهندسی زلزله و زلزله شناسی لازم است بعضی از اصطلاحات پرکاربرد در این پایان نامه تعریف گردد.

لیتوسفر[۱۲]:تشکیل دهنده یک لایه نسبتا سرد و صلب می‌باشند در حالی که این لایه‌ها از مواد متفاوت شیمیایی تشکیل شده است، ولی به دلیل مقاوم بودن و سرد بودن رفتار یکسانی از خود نشان می‌دهند.

صفحات تکتونیک[۱۳]: صفحات لایه لیتوسفر زمین که به آرامی و در جهات مختلف حرکت می کنند.(F.F.Evision, 2001).

[12] Lithosphere
[13] Plate tectonics

زمین لرزه : زمین لرزه به ظهور تغییرات قابل ملاحظه سنگ های زمین که در ضمن تغییرات بخش های بالایی و کم و بیش میانی لایه لیتوسفر رخ می دهند، اتلاق می گردد. زمین لرزه به ۳دسته گسیختگی های لرزشی سریع[۱۴]، زمین لرزه‌های آرام[۱۵] و پیش لرزه‌ها[۱۶] تقسیم می شود.

مشهور ترین تغییرات بخش میانی لایه لیتوسفر، زمین لرزه عادی[۱۷] تعریف می گردد که با تغییرات، شکستگی، تغییرات فازی و ساختاری همراه بوده و مقدار زیادی انرژی کشسانی[۱۸] مجتمع شده رها میکندکه به همراه انرژی رها شده امواج کشسانی(یا لرزشی) موجود است. انرژی امواج لرزشی یک بخش مشخص از(معمولا بین ۱ تا ۱۰ درصد)انرژی کل رها شده می باشد و معمولا برای تخمین انرژی کل بکار می رود. زمین لرزه‌های متوسط تا بزرگ که دامنه ۵ تا ۹ و بیشتر را شامل می شوند دارای انرژی در دامنه10^{12} - 10^{18} ژول می باشند که بوسیله روابط بین انرژی (E)، مقیاس لرزش لحظه‌ای(M_0)و بزرگی زمین لرزه در سطح (M_s) تقریب زده می شود. روابط به این گونه است:

$$\log E = 11.8 + 1.5\, M_s$$ معادله (۱-۱)

$$\log M_0 = 1.5\, M_s$$ معادله (۱-۲)

این تقریب فیزیک زمین را بسیار ساده در نظر می گیرد.(Sgrigna et al., 2007).

داده کاوی: داده کاوی فرایند تشخیص الگوهای معتبر، نو، مفید و نهایتاً قابل درک در داده‌ها است (Fayyad et al., 1996).

پیش بینی/ پیش گویی و مخاطره در برخی از مقالات بین این موارد اختلافاتی را در نظر میگیرند (Kagan and Jackson, 2006). در دفاع از مقاله قبلی خود Kagan and Jackson ۲۰۰۰ که بوسیله (Kossobokov, 2006). مورد انتقاد قرار گرفته بود اینگونه توجیح آوردند:

"در مقاله‌هایمان شدیدا بین پیش بینی[۱۹] و پیش گویی[۲۰] تفاوت قائلیم. ما پیش بینی آماری را بر حسب نرخ چگالی[۲۱]، یا چگالی احتمال بر واحد مکان و بزرگی زمین لرزه‌ها تعریف می کنیم. پیش گویی معمولا تحت

[14] fast seismic ruptures
[15] slow earth quick
[16] sub-seismic event
[17] ordinary earth quick
[18] Elastic
[19] Forecast
[20] Prediction
[21] rate-density

عبارات قطعی[۲۲] یا شبه قطعی[۲۳]، معین می گردد و بطور مشخص تر، با احتمال بالاتر و با قطعیت بیشتر نسبت به پیش بینی همراه است. مدل ما به طور صریح پیش بینی بوده است نه پیشگویی".

همانطور که دیده شده نویسنده به صراحت بین پیش بینی و پیش گویی تفاوت قائل است.

(F.F.Evision, 2001). در مقاله ذکر میکند که بین پیش بینی، پیش گویی تفاوت قائل نبوده و آنها دارای معنای معادلی با مخاطره[۲۴] هستند و از عبارت هم نظیر پیش بینی زمین لرزه[۲۵] همانند هم نظیر پیش بینی آب و هوا [۲۶] استفاده می نماید.

در این تحقیق نیز با توجه به اینکه عبارت هم نظیر پیش بینی آب و هوا در هواشناسی [۲۷]استاندارد می باشد (F.F.Evision, 2001) بین پیش بینی و پیش گویی تفاوت قائل نیستیم و آن را معادل مخاطره و هم نظیر، در نظر می گیریم.

۱-۶- سابقه موضوع

اولین تلاش های صورت گرفته در پیش بینی زلزله در حدود ۷۰ سال پیش توسط محققانی به نام‌های ایشیموتو[۲۸] و ایدیا[۲۹] در سال ۱۹۳۹ صورت گرفته است(Panakkat and Adeli, 2008a). از اواسط دهه ۱۹۸۰ به دلیل گزارشات متعدد صحیح از پیش بینی بعضی از پارامترهای زلزله از قبیل بزرگا و زمان و مکان زلزله بعدی با استفاده از الگوریتم‌های محاسباتی، خوشبینی نسبت به پیش بینی پارامترهای زلزله در بین محققان بوجود آمد(Keilis-Borok et al., 1988). اما در اوایل دهه ۱۹۹۰ به دلیل انتشار پیدا نکردن مدل-های پیش بینی جدید و یا معتبر نبودن مدل ارائه شده خوشبینی که نسبت به این امر حاصل شده بود به شدت کاهش پیدا کرد. همچنین در آن دوره اجماع عمومی در اکثر مجامع علمی که درگیر پیش بینی زلزله بودند ایجاد شده بود، که فرایندها ژئوفیزیکی که منجر به زلزله‌های بزرگ می‌شوند کاملا به دلیل رخداد آن زلزله بزرگ تغییر می‌کنند. به همین علت نمی‌توان بر پایه زلزله‌های گذشته اقدام به پیش بینی نمود(Panakkat and Adeli, 2008a). افزایش هزینه‌های صورت گرفته در جهت آمادگی در برابر زلزله نسبت به هزینه‌های

[22] deterministic
[23] quasi-deterministic
[24] hazard
[25]Synoptic earthquake forecasting
[26] Synoptic weather forecasting
[27] Metrology
[28]Ishimoto
[29]Idia

صورت گرفته در زمینه‌های تحقیقاتی در پیش بینی زلزله خود شاهد این مدعا بود که در آن دوره اعتماد لازم نسبت به توانایی در پیش بینی زلزله‌ها در مجامع علمی و سازمان‌های دولتی به حد زیادی کاهش پیدا کرده بود(Panakkat and Adeli, 2008a).

تلاش های صورت گرفته در زمینه پیش بینی بر پایه پیش نشانگرها و داده‌های تاریخی تا به حال صورت گرفته-اند. به عنوان نمونه گروهی از محققان بر اساس مطالعه پیش نشانگرها اقدام به پیش بینی زلزله نموده اند. با استفاده از بررسی تغییرات غیر عادی میدان الکترومغناطیسی زمین گروه VAN اقدام به پیش بینی مکان و زمان زلزله بعدی با استفاده از تغییرات موضعی گذرا امواج الکتریکی لرزشی در میدان مغناطیسی و الکتریکی زمین در هنگام بروز زلزله پرداخته اند(Panakkat and Adeli, 2008a).

(Zöller et al., 2002). با استفاده از روش بوت استرپ[۳۰] سعی در شناسایی سکوت‌های لرزهای در اروپا داشتند. آنها با استفاده از این روش سعی در محاسبه معنی‌دار در جهت شناسایی سکوت‌های لرزه‌ای قبل از زلزله‌های بزرگ را داشته‌اند. عده‌ای از محققن با بررسی پیش نشانگرها مختلف از قبیل تغییرات در میزان غلظت گاز رادون در خاک قبل و بعد از زلزله سعی در پیش بینی زلزله داشتند(Wattananikorn et al., 1998b). عده‌ای دیگر سعی در پیش بینی زلزله از روی داده‌های تاریخچه‌ای و بررسی تغییرات مشخصات این داده‌ها که از کاتالوگ لرزه‌ای بدست آمده بودند نمودند. عمده فعالیت آنها در زمینه بررسی روابط ابداع شده توسط محققین در داده‌های لرزه از قبیل رابطه گوتنبرک-ریشتر انجام گرفته است(Bowman and Sammis, 2004).

[30] Bootstrap