دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد

تحلیل خوشه‌ای و آنالیز پیش‌لرزه‌ها جهت پیش‌بینی زلزله با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی

پویان رمضانی بشلی

استاد راهنما :

دکتر رمضان رمضانی اومالی

اساتید مشاور:

دکتر مهدی زارع

پروفسور غلامرضا نخعی زاده

بهمن ۱۳۹۱

مقالات مستخرج از این تحقیق:

۱. پویان رمضانی بشلی, رمضان رمضانی اومالی ،"ارائه ماتریس کاربردی برخی از روش های آماری در داده کاوی برای پیش‌بینی زلزله"، سی امین گردهمایی علوم زمین کشور، سازمان زمین شناسی کشور،تهران، ۱۳۹۰

۲. پویان رمضانی بشلی, رمضان رمضانی اومالی، مهدی زارع، غلامرضا نخعی زاده، " خوشه بندی پیش لرزه های کشور و تهیه مدل پیش‌بینی برای منطقه هرمزگان"، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین کشور، سازمان زمین شناسی کشور،تهران، ۱۳۹۱

3. P.Ramezani Besheli, R.Ramezani omali, M.Zare, Gh.Nakhaeezadeh" *Zoning of Iran in Terms of Importance of Earthquake Precursor and Introduction of Main Zone Using Data Mining Process* "Natural. Hazards Earth Syst. Sci.,submitted in Dec. 2012

چکیده:

با توجه به قرارگیری ایران در کمربند زلزله‌خیز آلپ هیمالیا، زمین‌لرزه‌ها به‌عنوان مخرب‌ترین حادثه طبیعی، عامل تلفات بشری و خسارات اقتصادی قابل توجه در کشور محسوب می‌شوند. در طول تاریخ، زمین‌لرزه‌های ویرانگری مناطق مختلف کشورمان را لرزانده و باعث مرگ و میر تعداد زیادی از هم‌وطنانمان گردیده‌اند، از همین رو در این تحقیق به بررسی مسائل مرتبط با پیش‌بینی زلزله با استفاده از پیش نشانگر پیش لرزه پرداخته شد. برای انجام این کار ابتدا با استفاده از داده های لرزه ای موجود در کاتالوگهای زلزله یک بانک اطلاعاتی برای پیش لرزه های کشور تهیه شد. پس از پالایش کاتالوگها و جداسازی پیش لرزه ها از لرزه های اصلی با اعمال عملیات دیکلاسترینگ به روش گاردنر و نوپوف ۱۹۷۴ بر روی داده ها نقشه پیش لرزه های کشور را برای لرزه های بزرگتر از ۵ تهیه گردید. سپس عملیات خوشه بندی بر روی داده های پیش لرزه ای اجرا گشت. برای این بخش ابتدا از الگوریتم خود سازمان دهنده (SOM) کوهونن برای تعیین اعداد اولیه تعداد خوشه ها و سپس الگوریتم خوشه بندی K-Means برای ۵ تا ۱۵ خوشه اجرا گشت و با توجه به میزان شاخص سیلوئت تعداد ۶ خوشه را برای داده های پیش لرزه ای کشور تعیین شد. سپس خوشه های بدست آمده با استفاده از آزمونهای دانکن و توکی گروه بندی و با توجه به نتایج خوشه بندی و گروه بندی، نقشه زون بندی پیش لرزه های ایران تهیه گشت و زون انتقالی زاگرس – مکران به عنوان اصلیترین زون پیش لرزه ای ایران معرفی شد.

پس از مشخص شدن زون اصلی پیش لرزه ای به سراغ مدلسازی جهت پیش‌بینی زلزله با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی رفته و مدلسازی برای دو حالت پیش‌بینی[1] و طبقه بندی[2] انجام شد. نتایج پیش‌بینی نسبتا ضعیف و با ضریب همبستگی در حدود ۶۵ درصد بود ولی نتایج طبقه بندی از صحت بسیار بالایی

[1] prediction
[2] classification

برخوردار بود.

پس از انجام مدلسازی به معرفی زون انتقالی زاگرس – مکران از لحاظ وضعیت تکتونیکی پرداخته و گسلهای اصلی منطقه را معرفی شدند. در نهایت پارامترهای لرزه خیزی این زون مورد بررسی قرار گرفت. مقدار های a ،b و بزرگای کاملی برای این منطقه برای سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ محاسبه و نقشه آنها تهیه گشت. مقدار بدست آمده برای مقدار b در حدود ۰/۸ مقدارa ۵/۶ و بزرگای کاملی ۳/۲ محاسبه شده است. مقدار a سالانه در حدود ۴/۸ بدست آمده است. تغییرات پارامترهای لرزه خیزی وجود پریودهای شبه تناوبی ۲ ساله را برای این منطقه نشان می دهند.

فهرست

۱ فصل اول: مقدمه و کلیات……. .Error! Bookmark not defined۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ تاریخچه.....۴

۱-۳ کلیات: فرضیات و اهداف طرح ۹

۱-۳-۱ فرضیات ۱۰

۱-۳-۲ اهداف.....۱۰

۱-۴ بخشهای پژوهش ۱۱

۲ فصل دوم: ادبیات نظری.....۱۲

۲-۱ روشهای پیش بینی و پیش نشانگرها ۱۳

۲-۱-۱ پیش بینی بلند مدت ۱۳

۲-۱-۲ پیش بینی میان مدت ۱۳

۲-۱-۳ پیش بینی کوتاه مدت-آنی ۱۳

۲-۲ مطالعات پیش بینی کوتاه مدت و آنی زمین لرزه ۱۴

۲-۲-۱ مقدمه ۱۴

۲-۲-۲ پیش نشانگرهای لرزه شناختی ۱۴

۲-۲-۳ ارزیابی پیش نشانگرهای زمین لرزه ۱۸

۲-۳ داده کاوی ۲۴

۲-۳-۱ توصیف و خلاصه سازی داده ها: ۲۵
۲-۳-۲ دسته بندی ۲۵
۲-۳-۳ توصیف کلاسها ۲۵
۲-۳-۴ طبقه بندی ۲۶
۲-۳-۵ پیش بینی..... ۲۶
۲-۳-۶ تحلیل وابستگی ۲۷
۲-۴ استاندارد کریسپ ۲۷
۲-۴-۱ درک موضوع ۲۷
۲-۴-۲ درک داده ها..... ۲۸
۲-۴-۳ آماده سازی داده ها ۲۸
۲-۴-۴ مدلسازی ۲۸
۲-۴-۵ ارزیابی ۲۸
۲-۴-۶ استفاده ۲۹
۲-۵ دیکلاسترینگ ۲۹
۲-۵-۱ روش گاردنر نوپوف(۱۹۷۴) ۲۹
۲-۵-۲ توزیع پواسون ۳۲
۲-۶ تکنیک خوشه بندی K-means..... ۳۳
۲-۷ شبکه عصبی مصنوعی ۳۷
۲-۷-۱ تعریف شبکه عصبی مصنوعی ۳۷

۲-۷-۲ تاریخچه شبکه‌های عصبی مصنوعی ۳۷
۲-۷-۳ مدل ریاضی یک نرون ۳۸
۲-۷-۴ توابع محرک یا انتقال [۳۹] ۴۰
۲-۷-۵ انواع شبکه‌های عصبی مصنوعی ۴۳
۲-۷-۶ الگوریتم‌های آموزش شبکه عصبی MLP [39] ۴۵
۲-۸ پارامترهای لرزه خیزی ۴۷
۲-۸-۱ توزیع توانی ..... ۴۸Error! Bookmark not defined.
۲-۸-۲ روش محاسبه بزرگای کاملیM_c و مقدار b ۴۸
۲-۸-۳ برآورد درست‌نمایی بیشینه ۴۹
۳ فصل سوم: روش تحقیق..... ۵۱Error! Bookmark not defined.
۳-۱ مقدمه ۵۱
۳-۲ جریان کلی تحقیق ۵۲
۳-۳ جمع آوری داده ها ۵۲
۳-۴ پیش پردازش داده ها ۵۳
۳-۴-۱ یکپارچه سازی..... ۵۳
۳-۴-۲ حذف داده های معیوب ۵۳
۳-۵ دیکلاسترینگ داده ها..... ۵۳
۳-۶ خوشه بندی ۵۴
۳-۶-۱ استفاده از شبکه خود سازمان دهنده SOM..... ۵۴

۳-۶-۲ استفاده از الگوریتم K-means و شاخص سیلوئت ۵۴
۳-۶-۳ آزمون آماری ۵۴
۳-۶-۴ تهیه نقشه ۵۵
۳-۷ مدلسازی ۵۵
۳-۸ مطالعات لرزه زمین ساختی و بررسی پارامترهای لرزه خیزی زون اصلی ۵۵
۴ فصل چهارم: مدلسازی ۵۷
۴-۱ مقدمه ۵۷
۴-۲ آماده سازی داده ها ۵۸
۴-۲-۱ یکپارچه سازی داده ها ۵۸
۴-۲-۲ تعریف و جداسازی پیش لرزه ها ۵۹
۴-۳ خوشه بندی ۶۱
۴-۳-۱ تعیین تعداد کلاستر با استفاده از شبکه های خود سازمان دهنده ۶۱
۴-۳-۲ خوشه بندی با استفاده از الگوریتم K-means و شاخص سیلوئت ۶۲
۴-۳-۳ آزمونهای آماری ۷۰
۴-۴ مدلسازی جهت پیش بینی ۷۱
۴-۴-۱ آنالیز آماری داده‌ها ۷۱
۴-۴-۲ مدلسازی با استفاده از شبکه عصبی ۷۲
۴-۴-۳ مدلسازی برای حالت اول (پیش بینی) ۷۴
۴-۴-۴ مدلسازی برای حالت دوم (طبقه بندی) ۷۹

۵ فصل پنجم: بررسی پارامترهای لرزه‌خیزی... ۸۴

۵-۱ پیشگفتار ۸۵

۵-۲ گسله‌های مهم و اصلی گستره مورد مطالعه ۸۸

۵-۲-۱ گسل زاگرس مرتفع (HZF) ۸۸

۵-۲-۲ گسل پیشانی کوهستان (MFF) ۸۹

۵-۲-۳ گسل پیشژرفای زاگرس (ZFF) ۹۱

۵-۲-۴ گسل میناب- زندان ۹۲

۵-۲-۵ گسل فراغون ۹۳

۵-۲-۶ گسل خورگو ۹۴

۵-۲-۷ گسل کوشکو ۹۵

۵-۲-۸ گسل پالامی ۹۶

۵-۳ لرزه‌خیزی در گستره مورد مطالعه ۹۸

۵-۳-۱ تاریخچه لرزه‌خیزی گستره زاگرس ۹۸

۵-۳-۲ زمین‌لرزه‌های تاریخی گستره مورد مطالعه ۹۹

۵-۳-۳ زمین‌لرزه‌های دستگاهی ۱۰۰

۵-۴ پارامترهای لرزه خیزی محاسبه شده از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ برای زون ۱ . ۱۰۷

۵-۴-۱ تهیه نقشه های لرزه خیزی زون انتقالی زاگرس - مکران ۱۰۸

۵-۴-۲ نمودارهای تجمعی تعداد و گشتاور لرزه ها ۱۱۰

۵-۴-۳ محاسبه بزرگای کاملی و مقدارهای a و b به روش بیشینه درست نمایی ۱۱۱

۵-۴-۴ بررسی تغییرات مقدار b در زون انتقالی زاگرس – مکران ۱۱۲
۵-۴-۵ تهیه نقشه های مقدارهای a و b برای منطقه مورد مطالعه ۱۱۴
۵-۴-۶ بررسی کمی تعداد لرزه ها ۱۱۶
۵-۴-۷ بررسی عمقی لرزه های زون مورد مطالعه ۱۱۷
۵-۴-۸ نشان دادن لرزه های اصلی منطقه ۱۱۸
۶ فصل ششم: نتیجه گیری ۱۲۰
۶-۱ نتایج ۱۲۱
۶-۲ پیشنهادات ۱۲۴
۷ فهرست منابع ۱۲۵

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱**A**) فرکانس پیش لرزه های جمع آوری شده برای تعداد بزرگی از رشته ها به عنوان تابعی از زمان قبل از شوک اصلی. **B**) داده منحنی A برحسب مشتق آن[۱۴] ۱۶

شکل ۲-۲ اختلاف توزیع بزرگا بین شوک اصلی و پیش لرزه ۱۸

شکل ۲-۳ فرآیند داده کاوی ۲۴

شکل ۲-۴ مدل ریاضی نرون [۴۰] ۳۹

شکل ۲-۵تابع محرک خطی[۴۱] ۴۰

شکل ۲-۶ تابع محرک تانژانت هایپربولیک [۴۱] ۴۱

شکل ۲-۷تابع محرک سیگموئیدی [۴۱] ۴۱

شکل ۲-۸ تابع محرک شعاعی [۴۱] ۴۲

شکل ۲-۹ شبکه عصبی پرسپترون چند لایه [۴۳] ۴۴

شکل ۲-۱۰ تغییرات خطای شبکه در مراحل آموزش و آزمایش در صورت وجود پدیده overtraining ۴۶

شکل ۵-۱پنجره های زمانی -مکانی متغیر به کار رفته برای تعیین رویدادهای وابسته به زمان a) بر اساس روش گرونتال b) بر اساس روش اورهایمر c) طبق روش گاردنر و نوپوف d) مقایسه سه روش ۶۰

شکل ۵-۳نقشه دیکلاسترینگ لرزه های کشور به روش گاردنر و نوپوف (۱۹۷۴) براساس میزان نرمال شده پیش لرزه ها ۶۱

شکل ۵-۴ نتایج خوشه بندی SOM ۶۲

شکل ۵-۵ نتایج خوشه بندی به روش k-means برای تعداد ۵ تا ۱۵ خوشه ۶۴

شکل ۵-۶ اندازه شاخص سیلوئت برای تعداد ۵ تا ۱۵ خوشه ۶۵

شکل ۵-۷خروجی عملیات کلاسترینگ پیش لرزه های کشور با شش خوشه..... ۶۶
شکل ۵-۸ نقشه تهیه شده برای زون بندی پیش لرزه های کشور به همراه نشان دادن گسلهای اصلی..... ۶۷
شکل ۵-۹ آخرین نقشه لرزه خیزی ایران تهیه شده توسط توکلی و غفوری ۱۳۸۸ ..... ۶۹
شکل ۵-۱۰ الف) نشان دادن زون تعیین شده در نقشه گسلهای فعال ایران ب) محدوده معرفی شده برای زون انتقالی زاگرس مکران توسط ریگارد و همکاران ۲۰۰۶..... ۶۹
شکل ۵-۱۱نمودار خطای شبکه برای آموزش و ارزیابی برای ساختارهای مختلف با ۱ لایه..... ۷۶
شکل ۵-۱۲ نمودار خطا برای مرحله آموزش برای شبکه با یک لایه میانی ۷۷
شکل ۵-۱۳نمودار خطا برای مرحله ارزیابی برای شبکه با یک لایه میانی ۷۷
شکل ۵-۱۴نمودار ضریب همبستگی مدل ۷۸
شکل ۵-۱۵نمودار نشان دهنده خطا برای توابع انتقال مختلف در مرحله آموزش برای شبکه با ۵ نرون در لایه اول ۸۱
شکل ۵-۱۶نمودار نشان دهنده خطا برای توابع انتقال مختلف در مرحله ارزیابی برای شبکه با ۵ نرون در لایه اول ۸۲
شکل ۶-۱تقسیم بندی استانهای لرزه زمین ساختی فلات ایران (بربریان، ۱۹۷۶)..... ۸۷
شکل ۶-۲ نقشه راندگیهای فعال پیسنگی (کور)، گسلهای راستالغز عرضی فعال پیسنگی و گسل فعال اصلی زاگرس، به همراه راهحل سازوکارهای کانونی و پهنههای مهلرزهای زمینلرزههایی با بزرگای متوسط تا بزرگ در گستره کمربند چینخورده- رانده زاگرس [۵۵]. ۹۰
شکل ۶-۳تمرکز کانون زمینلرزهها در مجاورت نبود بینقطعهایی گسل پیشانی کوهستان [۵۵]. ۹۰
شکل ۶-۴تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از گسل پیشژرفای زاگرس. ۹۱
شکل ۶-۵تصویر ماهواره لندست ۷با قدرت تفکیک ۳۰ متر نشان دهنده موقعیت مکانی گسلهای میناب، زندان

.....۹۲

شکل ۶-۶ تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از گسل فراغون. ۹۴

شکل ۶-۷ تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از گسل خورگو. ۹۵

شکل ۶-۸ تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از گسل کوشکو ۹۶

شکل ۶-۹تصویر ماهواره لندست ۷ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از گسل پالامی. ۹۷

شکل ۶-۱۰برش عرضی کوه زندان که ساختار گل سرخی مثبت را برای آن پیشنهاد می‌کند [۵۶] ۹۷

شکل ۶-۱۱ فراوانی رومرکز زمین‌لرزه‌های زاگرس در مقایسه با سایر نواحی ایران (زلزله های با بزرگای بیش از ۵، IIEES). ۹۸

شکل ۶-۱۲ نقشه هم‌شدت زمینلرزه ۲۷ نوامبر ۲۰۰۵ جزیره قشم با Mw = ۵/۹. حل صفحه گسل و رومرکز زمین‌لرزه از سایت USGS گرفته شده است. نقطه‌چین قرمز موقعیت شکستگی سطحی مشاهده شده در سطح جزیره را نشان می‌دهد[۶۳].....۱۰۶

شکل ۶-۱۳نقشه لرزه خیزی زون انتقالی زاگرس – مکران با توجه به موقعیت گسلها از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ .....۱۰۸

شکل ۶-۱۴نقشه لرزه خیزی منطقه براساس بزرگی و عمق لرزه ها از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ .....۱۰۹

شکل ۶-۱۵نمودار تجمعی تعداد لرزه ها.....۱۱۰

شکل ۶-۱۶نمودار تجمعی گشتاور لرزه ها ۱۱۰

شکل ۶-۱۷نمودار FMD(پراکندگی تعداد-بزرگی) ۱۱۱

شکل ۶-۱۸نمودار تغییرات مقدار b برحسب بزرگی ۱۱۲

شکل ۶-۱۹نمودار تغییرات مقدار b برحسب عمق ۱۱۳

شکل ۶-۲۰نمودار سری زمانی تغییرات مقدار b برای سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ .....۱۱۳

شکل ۶-۲۱ نقشه نشانگر میزان مقدار b برای سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ .....۱۱۴
شکل ۶-۲۲نقشه نشانگر میزان مقدار a برای سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ .....۱۱۵
شکل ۶-۲۳ هیستوگرام تعداد لرزه ها بر حسب زمان شکل ۶-۲۴ هیستوگرام تعداد لرزه ها برحسب بزرگی.....۱۱۶
شکل ۶-۲۵تصویر سه بعدی نشان دهنده عمق لرزه ها از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ .....۱۱۷
شکل ۶-۲۶ نمودار عمق لرزه ها بر حسب زمان ۱۱۸
شکل ۶-۲۷ نقشه دیکلاسترینگ لرزه ها(اشکال نشان دهنده لرزه های اصلی می باشند) ۱۱۸
شکل ۶-۲۸ نقشه لرزه خیزی زون انتقالی زاگرس – مکران با نشان دادن لرزه های اصلی منطقه بزرگتر از ۵ .....۱۱۹

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱- توزیع بزرگای مختلف زمین‌لرزه‌های گزارش شده در ایران بین سالهای ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ (برگرفته از پایگاه ملی دادهها).....۴
جدول ۱-۲– تقسیم‌بندی پیش‌بینی زمین‌لرزه از نظر مقیاس مکانی و زمانی [۱۱] ۷
جدول ۲-۲- فهرست اولیه پیش‌نشانگرهای مهم مورد تأیید IASPEI (۱۹۹۴ میلادی) ۲۲
جدول ۲-۳- دومین فهرست پیش‌نشانگرهای مهم پیشنهادی IASPEI (۱۹۹۷ میلادی).....۲۳
جدول ۲-۴- پیش‌نشانگرهای تصمیم‌گیری نشده (۱۹۹۴ میلادی).....۲۳
جدول ۲-۵ طول مدت پنجره های زمانی و مکانی [۳۵] ۳۰
جدول ۲-۶ طول مدت پنجره های زمانی و مکانی [۳۳] ۳۱
جدول ۴-۱ اندازه شاخص سیلوئت برای تعداد ۵ تا ۱۵ خوشه ۶۵
جدول ۴-۲ رتبه بندی کلاستر های تعیین شده از لحاظ اهمیت ۶۸
جدول ۴-۳ نتایج آزمون آماری توکی و دانکن برای گروه بندی خوشه ها ۷۰
جدول ۴-۴خطای شبکه برای آموزش و ارزیابی برای ساختارهای مختلف با ۱ لایه ۷۴
جدول ۴-۵ نتایج نهایی مدل.....۷۸
جدول ۴-۶خطای شبکه برای آموزش و ارزیابی برای ساختارهای مختلف ۱ و ۲ لایه ۷۹
جدول ۴-۷نتیجه کلی مدل ۸۳
جدول ۵-۱فراوانی زمین‌لرزه‌ها در زونهای مختلف ساختمانی ایران ۱۰۱
جدول ۵-۲ فراوانی زمین‌لرزه‌های با بزرگای بین ۴ تا ۷/۵ ریشتر در گستره زاگرس ۱۰۱

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

با توجه به قرارگیری ایران در کمربند زلزله‌خیز آلپ هیمالیا، زمین‌لرزه‌ها به‌عنوان مخرب‌ترین حادثه طبیعی، عامل تلفات بشری و خسارات اقتصادی قابل توجه در کشور محسوب می‌شوند. در طول تاریخ، زمین‌لرزه‌های ویرانگری مناطق مختلف کشورمان را لرزانده و باعث مرگ و میر تعداد زیادی از هم‌وطنانمان گردیده‌اند؛ از مهمترین زمین‌لرزه‌های مخرب اخیر می‌توان به زمین‌لرزه‌های ۱۰/۵/ ۱۳۸۲ بم، ۱۳۸۳/۳/۸ فیروزآباد (کجور) و ۱۳۸۳/۱۲/۴ داهوئیه زرند و همچنین زلزله های دوگانه ۹۱/۵/۲۱ اهر-ورزقان اشاره کرد.

پیش‌بینی زمین‌لرزه در میان سایر اقدامات کاهش تأثیرات مخرب زمین‌لرزه نظیر آمادگی، از مدت زمان طولانی در جوامع علمی مورد بحث قرار گرفته است. پیش‌بینی زمین‌لرزه تنها زمانی می‌تواند مفید واقع شود که زمان، بزرگا و محل یک زمین‌لرزه قریب‌الوقوع را مشخص سازد؛ در غیر این‌صورت فاقد تأثیرات مطلوب اجتماعی و اقتصادی است.

هرچند دانش زلزله‌شناسی[۳] پیشرفت قابل توجهی در چند سال اخیر داشته است، اما تاکنون علیرغم تلاش-های فراوان محققان و هزینه‌های صرف‌شده در زمینه پیش‌بینی زمین‌لرزه، نتایج مطلوبی به‌دست نیامده است. به‌هرحال، در این زمینه همواره دو گروه در مقابل یکدیگر قرار گرفته‌اند، گروهی که به پیش‌بینی علمی زلزله خوش‌بین هستند و گروهی که با توجه به پیچیدگی‌های زمین‌لرزه، پیش‌بینی آن‌را غیرممکن می‌دانند. از دیدگاه آماری نیز از آنجائی که مقیاس زمانی در چنین فرایندی بسیار طولانی و مدت زمان مشاهدات ما بسیار محدود است، مطالعه پیش‌بینی زمین‌لرزه بسیار مشکل است. از طرف دیگر، الگوسازی زمین‌لرزه به شناخت کامل اجزای فیزیکی آن وابسته است که در زمان حاضر قابل دسترسی نیست. استفاده از پیش‌نشانگرهای زمین‌لرزه در پیش‌بینی زمین‌لرزه‌ها، به‌عنوان پدیده‌هایی ناشی از تجمع تنش‌های زمین‌ساختی در سنگ‌کره زمین، فعلا یکی از بهترین روش‌های پیش‌بینی زلزله بوده است. اگر چه جدا کردن

[3] seismology

علائم پیش‌نشانگر از ثبت منظم و بلندمدت یک پیش‌نشانگر مطمئن تاکنون امکان‌پذیر نبوده است. به‌هرحال، پیش‌بینی زمین‌لرزه یکی از چالش‌های علمی با ارزش است که اگر به نتایج موفق و علمی نائل شود یک پیشرفت ماندگار محسوب می‌شود. به‌عبارت دیگر، پیش‌بینی زمین‌لرزه می‌تواند در حفظ جان انسان‌ها و کاهش تأثیرات منفی بر فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی جامعه مفید باشد.

پیش‌بینی زمین‌لرزه در چهار قالب زمانی بلندمدت، میان‌مدت، کوتاه‌مدت و آنی مورد بررسی قرار می‌گیرد. پیش‌بینی بلندمدت شامل یک قالب زمانی ده ساله یا بیشتر است. پیش‌بینی میان‌مدت در محدوده زمانی چند سال تا چند هفته قرار می‌گیرد و می‌تواند در کاهش خسارات زمین‌لرزه‌های محتمل با آمادگی و مقاوم‌سازی سازه‌ها ارزشمند باشد. پیش‌بینی کوتاه‌مدت می‌تواند اطلاعات ویژه‌ای در مورد زمان و مکان یک زمین‌لرزه در چند روز، چند هفته یا چند ماه به‌دست دهد که در جهت تأمین امنیت عمومی مفید واقع شود.

بر اساس آمار پایگاه ملی داده‌ها ۱/۳۳ درصد از فلات ایران زمین در مناطق با خطر پایین زمین‌لرزه و ۱۶/۱۸ درصد در مناطق با خطر متوسط، ۵۴/۹۱ درصد در مناطق با خطر بالا و ۲۷/۵۷ درصد در مناطق با خطر خیلی بالا واقع شده است. بر این اساس، ایران به‌عنوان یکی از آسیب‌پذیرترین کشورها در برابر زمین‌لرزه‌ها معرفی شده است. این آسیب‌پذیری بالا از دو عامل ساخت و سازهای غیر مقاوم در برابر زلزله و جایگیری شهرها و روستاها در مناطق زلزله‌خیز کشور ناشی می‌شود.

جدول ۱-۱- توزیع بزرگای مختلف زمین‌لرزه‌های گزارش شده در ایران بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ (برگرفته از پایگاه ملی داده‌ها) فراوانی بزرگی زمین‌لرزه‌های گزارش شده در ایران در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ را نشان می‌دهد. همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد، ۱۳/۷ درصد از زمین‌لرزه‌های گزارش شده در ایران دارای بزرگای بیشتر از ۶ در مقیاس ریشتر می‌باشند که به‌طور متوسط هر یک سال، دو زلزله بالای ۶ ریشتر در کشور رخ می‌دهد.

جدول ۱-۱- توزیع بزرگای مختلف زمین‌لرزه‌های گزارش شده در ایران بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ (برگرفته از پایگاه ملی داده‌ها)

بزرگای امواج سطحی	تعداد	میزان نسبی رویداد زمین‌لرزه (٪)
۳/۵-۴	۱۲۱	۷/۵
۴-۵	۶۷۲	۴۱/۸
۵-۶	۵۹۴	۳۷
۶-۷	۱۸۹	۱۱/۸
>۷	۳۰	۱/۹

پیش‌بینی زمین‌لرزه تعیین‌کننده احتمال وقوع زمین‌لرزه در یک گستره مکانی، زمانی و بزرگای با دقت کافی جهت ارزیابی آن است. برای ارزیابی نیاز است که تعداد کافی از موفقیت‌ها و شکست‌ها با ثبت دقیق تجزیه و تحلیل شوند تا بتوان سطح اعتماد به پیش‌بینی را تعیین نمود. میزان موفقیت‌ها باید به اندازه‌ای باشد که پژوهشگران را متقاعد سازد یک حدس اتفاقی نبوده است؛ به‌ویژه مقدار دقت بزرگا-زمان-مکان مورد نظر برای اعلام هشدار باید متناسب با نیازهای جامعه باشد تا مسئولین را قادر سازد برای یک زمین‌لرزه قریب‌الوقوع اقدامات لازم را به‌عمل آورند.

کمیته پیش‌بینی زمین‌لرزه متعلق به تیم تحقیقاتی ملی ایالات متحده آمریکا پیش‌بینی زمین‌لرزه را به‌صورت زیر تعریف کرده است: " یک پیش‌بینی زمین‌لرزه باید قادر باشد محدوده بزرگا، محدوده جغرافیایی که زمین‌لرزه در آن رخ می‌دهد و نیز بازه زمانی را که در آن امکان رخداد زمین‌لرزه وجود دارد را با دقت کافی تعیین کند، به‌صورتی که بتوان موفقیت و یا شکست پیش‌بینی انجام شده را به‌طور مستقیم و در زمان کوتاه ارزیابی کرد".[۱]

۱-۲ تاریخچه

تحقیقات پیش‌بینی زمین‌لرزه بر اساس مشاهدات پیش‌نشانگرها سال‌ها پیش اوج گرفت و به‌علت مشاهدات

منفی در بسیاری از کشورها کمرنگ شد. با وجود این در سال‌های اخیر مجدداً فعالیت جدیدی در این زمینه آغاز شده است. یکی از دلایل افزایش علاقه به پیش‌بینی زمین‌لرزه آن است که داده‌های کافی جهت آزمایش اعتبار بعضی از روش‌های پیش‌بینی و فرضیات پایه آنها در حال جمع‌آوری است. به‌عنوان مثال

کاگان و جکسون ۱۹۹۴ نظریه نبود لرزه‌ای برای پیش‌بینی بلندمدت زمین‌لرزه را ارزیابی نمودند[۲].

بروک و همکاران ۱۹۸۹ نیز روش پیش‌بینی میان‌مدت زمین‌لرزه را در اتحاد جماهیر شوروی سابق و با استفاده از بانک داده‌های زمین‌لرزه‌ها انجام دادند[۳]

هیلی و همکاران ۱۹۹۲ و مینستر و ویلیام ۱۹۹۳ دانشمندان آمریکایی روش‌های پیشنهادی بروک و همکاران را مورد بررسی مجدد قرار داده و مورد آزمایش قرار دادند [۴, ۵].

علاوه بر این، زیر کمیته پیش‌بینی زلزله IASPEI[۴] ادعاهای مربوط به پیش‌نشانگرهای زمین‌لرزه را ارزیابی کرد[۶].

جهت اطلاع رسانی عمومی، در اسنادی که اخیراً منتشر می‌شود به‌جای پیش‌بینی زمان، مکان و بزرگای یک زمین‌لرزه محتمل در آینده، تلاش بر آن است که احتمال وقوع زمین‌لرزه در یک پنجره زمانی، مکانی و بزرگای مشخصی تخمین زده شود. برای مثال می‌توان به:

گزارش‌های گروه کاری احتمالات زمین‌لرزه کالیفرنیا (۱۹۸۸، ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۱۹۹۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴) براساس رخداد مجدد زمین‌لرزه‌های مختص روی قطعات گسلی مهم سن آندریاس در کالیفرنیا اشاره کرد[۷].

در گزارشی که در سال ۱۹۹۵ توسط مرکز زلزله کالیفرنیای جنوبی ارائه شد، ویژگی چشمه‌های زمین‌لرزه با ادغام داده‌های زمین‌شناسی روی گسل‌ها، بانک داده‌های زمین‌لرزه‌های تاریخی و داده‌های سامانه موقعیت‌یابی جهانی (GPS) در خصوص واتنش پوسته تعیین شده است[۸]. در واقع این روش کاربرد دیگری از تحلیل خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی است.

[4] Internationa Association of Seismology and Physics of the Earth Interior