

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش سازه

پهنه بندی خطر زلزله با استفاده از روش‌های طبقه بندی نظارت شده و تئوری ادغام داده‌ها (مطالعه موردی: کلان شهر تهران)

نگارنده: فاطمه موحدی اصل

استاتید راهنما

دکتر محمد شامخی امیری

دکتر بهناز بیگدلی

شهریور ۱۴۰۰



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره :

تاریخ :

ویرایش :

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای فاطمه موحدی اصل با شماره دانشجویی ۹۷۰۰۲۰۴ رشته عمران گرایش سازه تحت عنوان "پهنه بندی خطر زلزله با استفاده از روش‌های طبقه بندی نظارت شده و تئوری ادغام داده‌ها (مطالعه موردی: کلان شهر تهران)" که در تاریخ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه : امتیاز)	☐ دفاع مجدد	☐ مردود
---------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	a عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر محمد شامخی امیری	۱- استاد راهنما
	استادیار	دکتر بهناز بیگدلی	۲- استاد راهنما دوم
			۳- استاد مشاور
	استادیار	دکتر ابراهیم زمانی بیدختی	۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
			۵- استاد ممتحن
			۶- استاد ممتحن

تأیید رئیس دانشکده:

تقدیم به

پدر، مادر و همسر عزیزم

که تمامی مراحل زندگی با تمام وجود حامی و پشتیبان ام بوده اند و مرا از محبت و عشق خود سرشار نموده اند.

شکر و قدردانی

در این پایان نامه از تجربیات اساتید کرامت‌دور جناب آقای دکتر محمد شامخی امیری و سرکار خانم دکتر بهناز یکدلی بهره

گرفته‌ام، باشد که این یادآوری نمایانگر پاس بی‌پایان من نسبت به کمک بی‌دریغ و بزرگوارانه ایشان به شمار آید.

اراحضای محترم، هیئت داوران جناب آقای دکتر حسین پهلوان، جناب آقای دکتر محسن کرامتی و جناب آقای

دکتر ابراهیم زمانی بیدختی که قبول زحمت فرموده اند و در جلسه دفاع حضور یافته و اینجانب را از نظرات ارزشمند خود

بی‌دریغ نکذاشتند، کمال شکر را دارم.

تعمدنامه

اینجانب فاطمه موحدی اصل دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی سازه دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه پهنه بندی خطر زلزله با استفاده از روش های طبقه بندی نظارت شده و تئوری ادغام داده ها (مطالعه موردی: کلان شهر تهران) تحت راهنمایی دکتر محمد شامخی امیری و دکتر بهناز بیگدلی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

بشر در زمان کنونی در تلاش است تا بتواند بلاهای های طبیعی را شناسایی نماید و اقدامات لازم را برای کاهش خسارات به انجام برساند. یکی از این بلاهای طبیعی که برای بشر بسیار حائز اهمیت است، زلزله می باشد. شناخت هر چه بیشتر زلزله و انجام تمهیدات لازم برای مغایله با آن باعث می شود که میزان خسارات جانی و مالی به حداقل برسد. یکی از اقداماتی که برای پیش بینی زلزله انجام می گردد، تهیه نقشه ی پهنه بندی خطر زلزله می باشد.

هدف از انجام این پژوهش تهیه نقشه ی پهنه بندی خطر زلزله برای کلان شهر تهران با استفاده از روش های هوشمند می باشد که از دقت بالایی برخوردار است. استفاده از این نقشه ها می تواند به میزان قابل توجهی باعث کاهش خسارات ناشی از زلزله شود. در این پژوهش از نرم افزارهای سنجش از دور GIS و ENVI و برای تهیه نقشه ی پهنه بندی، لایه های؛ فاصله از گسل، شیب منطقه، جهت شیب و جمعیت در نظر گرفته شده است. در ادامه تحقیق از روش های طبقه بندی نظارت شده (حداکثر احتمال، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی) استفاده شده است، که وزن دهی لایه ها در این روش ها با استفاده از نظر کارشناسان و پژوهش های گذشته صورت گرفته است. در نهایت با تلفیق لایه ها و نظرات کارشناسان و استفاده از سه روش طبقه بندی نظارت شده، سه نقشه ی پهنه بندی حاصل شد. در ادامه برای ترکیب نتایج بدست آمده و کسب دقت بیشتر با استفاده از روش ادغام داده ها، نقشه پهنه بندی نهایی حاصل گردید. برای محاسبه دقت نتایج از دقت کل و ضریب کاپا استفاده شد که نتایج حاصل از روش های؛ حداکثر احتمال، ماشین بردار پشتیبان و شبکه های عصبی، به ترتیب دارای دقت های کل ۶۳٪، ۷۶٪ و ۷۷٪ و ضریب کاپای ۰/۵۲، ۰/۷۹ و ۰/۷۳ می باشند، در صورتیکه نقشه پهنه بندی نهایی که با کمک روش ادغام داده ها حاصل شد، دقت کل بیش از ۹۰٪ و ضریب کاپای ۰/۸۵ را نشان می دهد. در نهایت می توان گفت روش ادغام، روشی مناسب برای بهینه کردن نقشه ی پهنه بندی نهایی با تلفیق چند روش مختلف می باشد و دقت روش ها را افزایش می دهد.

کلمات کلیدی: زلزله، سنجش از دور، تئوری ادغام داده، طبقه بندی نظارت شده

پیش‌گفتار

زلزله از آن دسته از بلاهای طبیعی است که برای بشر بسیار حائز اهمیت است. از آن جهت که بشر هنوز به این علم دست نیافته است که بتواند زلزله را به طور دقیق و سریع پیش بینی نماید، پس انجام اقداماتی قبل از وقوع زلزله بسیار مهم و قابل اهمیت است. یکی از این اقدامات تهیه نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله است. طبق نقشه‌های پهنه بندی خطر زلزله که برای هر منطقه با توجه به شرایط آن منطقه تهیه می‌گردد، به خوبی می‌توان دریافت هر نقطه از منطقه‌ی مورد نظر از چه میزان خطر زلزله برخوردار است. در راستای تهیه نقشه‌های پهنه بندی زلزله پژوهشگران از روش‌های متعددی استفاده نمودند. در این پژوهش سعی شده اهمیت استفاده از روش‌های طبقه بندی که روش‌هایی مبتنی بر داده‌های آموزشی و تست هستند، برای تهیه نقشه‌های پهنه بندی مورد استفاده قرار گیرد و هدف نهایی و اصلی این پژوهش به کارگیری روش ادغام داده‌ها جهت تلفیق نقشه‌ها و بهبود دقت نقشه‌های پهنه بندی خطر زلزله می‌باشد.

فهرست مطالب

۵	فهرست جداول
۹	فهرست اشکال
۱۰	فهرست علائم
۱	فصل ۱: کلیات پژوهش
۲	۱-۱ مقدمه.....
۴	۲-۱ تعریف مسئله.....
۵	۳-۱ ضرورت انجام تحقیق.....
۶	۴-۱ اهداف پایان نامه.....
۶	۵-۱ فرضیه‌های تحقیق.....
۷	۶-۱ مراحل انجام پژوهش.....
۸	۷-۱ ساختار پایان نامه.....
۹	فصل ۲: مروری بر تحقیقات پیشین
۱۰	۱-۲ مقدمه.....
۱۰	۲-۲ مفاهیم آسیب پذیری.....
۱۰	۱-۲-۲ زلزله.....
۱۲	۲-۲-۲ علت به وجود آمدن زلزله.....
۱۳	۳-۲-۲ رابطه گسل با زلزله.....
۱۴	۴-۲-۲ نحوه آزاد شدن انرژی.....
۱۵	۵-۲-۲ آسیب پذیری و ریسک زمین لرزه.....

۱۶	۶-۲-۲ بحران
۱۶	۷-۲-۲ مدیریت بحران
۱۸	۸-۲-۲ بحران زمین لرزه
۱۹	۹-۲-۲ پهنه بندی
۲۰	۱۰-۲-۲ پیشینه تحقیق

فصل ۳: روش پژوهش ۴۵

۴۶	۱-۳ مقدمه
۴۶	۲-۳ فلوجارت روش پیشنهادی
۵۱	۳-۳ لایه‌ها
۵۲	۱-۳-۳ گسل
۵۵	۲-۳-۳ شیب توپوگرافی
۵۶	۳-۳-۳ جهت شیب
۵۷	۴-۳-۳ جمعیت
۵۷	۴-۳ نظرات کارشناسان
۵۸	۵-۳ وزن دهی به لایه‌ها
۶۱	۶-۳ انواع طبقه بندی
۶۱	۱-۶-۳ طبقه بندی نظارت نشده
۶۳	۲-۶-۳ طبقه بندی نظارت شده
۶۵	۷-۳ انواع روش‌های طبقه بندی نظارت شده
۶۵	۱-۷-۳ طبقه‌بندی حداکثر احتمال (ML)
۶۸	۳-۷-۲ طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM)
۷۳	۳-۷-۳ طبقه‌بندی شبکه‌های عصبی (NN)

۸-۳ تئوری ادغام داده‌ها به روش حداکثر رای گیری (MV)..... ۷۸

فصل ۴: بررسی نتایج و بحث ۸۱

۱-۴ مقدمه..... ۸۲

۲-۴ قلمرو جغرافیایی پژوهش..... ۸۲

۳-۴ داده‌ها..... ۸۵

۱-۳-۴ شدت مرکالی..... ۹۰

۲-۳-۴ مقدار شتاب بیشینه..... ۹۰

۳-۳-۴ شیب..... ۹۱

۴-۳-۴ جمعیت..... ۹۱

۴-۴ داده‌های آموزشی و تست..... ۹۱

۴-۴-۱ داده‌های آموزشی..... ۹۱

۴-۴-۲ داده‌های تست..... ۹۲

۵-۴ صحت سنجی..... ۹۳

۶-۴ نتایج..... ۹۵

۱-۶-۴ روش حداکثر رای گیری (ML)..... ۹۵

۲-۶-۴ روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)..... ۹۶

۳-۶-۴ روش شبکه های عصبی (NN)..... ۹۸

۴-۶-۴ ادغام (MV)..... ۹۹

۷-۴ مقایسه و بررسی نتایج..... ۱۰۲

فصل ۵: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۷

۱-۵ نتیجه گیری..... ۱۰۸

۲-۵ پیشنهادات..... ۱۰۹

فهرست جداول

جدول ۱-۳. وزن دهی به لایه شدت مرکالی گسل ری.....	۵۸
جدول ۲-۳. وزن دهی به لایه مقدار شتاب بیشینه گسل ری.....	۵۹
جدول ۳-۳. وزن دهی به لایه شدت مرکالی گسل شمال تهران.....	۵۹
جدول ۴-۳. وزن دهی به لایه مقدار شتاب بیشینه گسل شمال تهران.....	۵۹
جدول ۵-۳. وزن دهی به لایه شدت مرکالی گسل مشا.....	۵۹
جدول ۶-۳. وزن دهی به لایه مقدار شتاب بیشینه گسل مشا.....	۶۰
جدول ۷-۳. وزن دهی به لایه شیب.....	۶۰
جدول ۸-۳. وزن دهی به لایه جمعیت.....	۶۰
جدول ۹-۳. وزن دهی به لایه جهت شیب.....	۶۱
جدول ۱-۴. ماتریس ابهام روش ML.....	۹۶
جدول ۲-۴. میزان دقت و کاپا ML.....	۹۶
جدول ۳-۴. ماتریس ابهام روش SVM.....	۹۷
جدول ۴-۴. میزان دقت و کاپا SVM.....	۹۷
جدول ۵-۴. ماتریس ابهام روش NN.....	۹۸
جدول ۶-۴. میزان دقت و کاپا NN.....	۹۹
جدول ۷-۴. ماتریس ابهام روش MV.....	۱۰۰
جدول ۸-۴. میزان دقت و کاپا MV.....	۱۰۰
جدول ۹-۴. بررسی پژوهش‌های گذشته.....	۱۰۳

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲. آزاد سازی انرژی زمین..... ۱۲
- شکل ۲-۲. نحوه حرکت پوسته های زمین به هنگام وقوع زلزله..... ۱۳
- شکل ۳-۲. گسل با منشأ طبیعی [۶۱]..... ۱۴
- شکل ۴-۲. نقشه ی سه گسل اصلی تهران [۴۳]..... ۱۹
- شکل ۵-۲. نمونه نقشه ی پهنه بندی خطر زلزله [۱۵]..... ۲۰
- شکل ۱-۳. فلوچارت روش پیشنهادی..... ۴۷
- شکل ۲-۳. نقشه ی موقعیت قرار گیری سه گسل اصلی تهران [۴۳]..... ۵۵
- شکل ۳-۳. نمونه ی خانه ی احداث شده در شیب..... ۵۶
- شکل ۴-۳. جهت شیب خانه ای که در منطقه ی شیب دار احداث شده..... ۵۶
- شکل ۵-۳. نمونه ی جدول پر شده توسط کارشناسان..... ۵۸
- شکل ۶-۳. نحوه شکل گیری خوش ها [۶۲]..... ۶۳
- شکل ۷-۳. گام های طبقه بندی نظارت نشده..... ۶۳
- شکل ۸-۳. گام های طبقه بندی نظارت شده..... ۶۴
- شکل ۹-۳. نمودار نحوه جداسازی داده ها [۳۴، ۴۱]..... ۷۲
- شکل ۱۰-۳. نمودار بردار پشتیبان [۳۴، ۴۱]..... ۷۳
- شکل ۱۱-۳. تصویری از یک شبکه عصبی با دو لایه پنهان، گرادیان C وابسته به گرادیان لایه های بالاتر است که به آنها متصل است [۳۸، ۴۵]..... ۷۷
- شکل ۱-۴. نقشه موقعیت قرار گیری کلان شهر تهران [۶۳]..... ۸۴
- شکل ۲-۴. لایه های خروجی داده های مورد بررسی در این پژوهش از نرم افزار GIS..... ۹۰
- شکل ۳-۴. داده های آموزشی..... ۹۲
- شکل ۴-۴. داده های تست..... ۹۳
- شکل ۵-۴. نمونه ی جدول ماتریس حاصل از نرم افزار envi..... ۹۴
- شکل ۶-۴. نقشه ی پهنه بندی تهران با روش ML..... ۹۵
- شکل ۷-۴. نقشه ی پهنه بندی تهران با روش SVM..... ۹۷
- شکل ۸-۴. نقشه ی پهنه بندی تهران با روش NN..... ۹۸
- شکل ۹-۴. نقشه ی پهنه بندی تهران با روش MV..... ۱۰۰
- شکل ۱۰-۴. مقایسه دقت کلی..... ۱۰۱
- شکل ۱۱-۴. مقایسه میزان کاپا..... ۱۰۲

فہرست علامت

SVM: Support Vector Machines
NN: Neural Networks
ML: Maximum Likelihood
MV: Maximum Voting

فصل ۱: کلیات پژوهش

۱-۱ مقدمه

در سال‌های اخیر زلزله از آن جهت حائز اهمیت شده، که زندگی بشر را تحت تاثیر قرار داده است و شناخت و انجام تمهیدات لازم باعث می‌شود که میزان خسارات به حداقل برسد. زمین لرزه یا زلزله، لغزش زمین است که به علت آزاد شدن انرژی ناشی از گسیختگی سریع در گسل‌های پوسته زمین در مدتی کوتاه روی می‌دهد. محلی که منشأ زمین لرزه است و انرژی از آنجا خارج می‌شود را کانون ژرفی و نقطه‌ی بالای کانون در سطح زمین را مرکز سطحی زمین لرزه می‌گویند. پیش از وقوع زمین لرزه‌ی اصلی معمولاً زلزله‌های نسبتاً خفیف‌تری در منطقه روی می‌دهد که به پیش لرزه معروف‌اند، همچنین به لرزش‌های بعدی زمین لرزه نیز پس لرزه می‌گویند که با شدت کمتر و با فاصله زمانی گوناگون میان چند دقیقه یا چند ماه رخ می‌دهد. زمین لرزه‌ها توسط دستگاه زلزله سنج یا لرزه نگار ثبت می‌شوند و مقدار بزرگی یک زلزله متناسب با انرژی آزاد شده زلزله می‌باشد. زلزله به دو دسته رویداد طبیعی (زمین لرزه‌های زمین ساختی، آتشفشانی، فروریختی و اقیانوسی) و رویدادهای ساخت بشر (زمین لرزه‌های القایی و زمین لرزه‌های ناشی از رویدادهای کنترل شده) تقسیم می‌شوند که در این پژوهش به زمین لرزه‌های زمین ساختی پرداخته شده است. تلفات زلزله به عواملی نظیر انرژی آزاد شده زلزله، تراکم جمعیت و استحکام سازه بستگی دارد که می‌بایست پیشینه زلزله هر منطقه را مورد بررسی قرار داد و سازه‌ها را به گونه‌ای ساخت که در برابر نیروی زلزله مقاوم باشند و همچنین سازه‌های قدیمی نیز باید در برابر زلزله مقاوم سازی شوند تا میزان خسارات به حداقل برسد. بعد از وقوع زلزله امداد رسانی بسیار حائز اهمیت است که در این مورد تراکم جمعیت منطقه، میزان خسارات معابر شهری و خطوط حمل و نقلی و خرابی سازه‌ها بسیار مهم است تا بتوان در اولین فرصت بهترین امداد رسانی را انجام داد.

کشورهای ژاپن، آمریکا، چین، هند، نیوزیلند و ایران جزو کشورهای لرزه خیز دنیا به حساب می‌آیند. در دهه‌های اخیر زلزله‌های بزرگی در سطح ایران و جهان به وقوع پیوسته است، نظیر زلزله‌ی بم در ایران که به بزرگی ۶/۶ ریشتر و عمق ۷/۵ کیلومتر که شهر بم و مناطق اطراف آن در شرق استان کرمان را لرزاند. میزان خسارت این شهر بسیار بالا بوده به طوری که نیمی از شهر به طور کامل تخریب شده (دارای بافت فرسوده و تاریخی) و نیمی دیگر دچار خسارات شدید شده است و بعد از این زلزله فقط یک سوم جمعیت بم زنده ماندند به همین دلیل زلزله‌ی بم مرگ بارترین زلزله‌ی ایران محسوب می‌شود. زلزله‌ی والدویدا در شیلی، یکی از قوی‌ترین زلزله‌هایی بود که در تاریخ اتفاق افتاد. زلزله‌ای ۹/۵ ریشتری که هزاران زخمی و همچنین دو میلیون بی خانمان از خود برجای گذاشت. این زلزله با وجود قدرت بسیاری که داشت، به علت اینکه در عمق زمین به وقوع پیوست، در مقایسه با زلزله‌های بزرگ‌تر، خسارات زیادی از خود به جای

نگذاشت. تمامی موارد ذکر شده باعث شده است توجه و مطالعات فراوانی به خطر زلزله، شناسایی مناطق لرزه خیز، پهنه بندی مناطق، مناطق امن و مدیریت بحران پس از زلزله معطوف شود.

امروزه سیستم‌های اطلاعات مکانی به منظور بررسی هر چه بیشتر زلزله در زمینه‌های پهنه بندی و مدیریت بحران مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک سیستم اطلاعات مکانی (GIS^۱) مجموعه سخت افزار، نرم افزار و منابع انسانی است که با تکیه بر اطلاعات مکانی و توصیفی موجود و انجام تحلیل‌های مورد نیاز، امکان تصمیم‌گیری‌های صحیح را فراهم می‌نماید. پهنه بندی خطر زلزله و انتخاب نزدیکترین مناطق امن از جمله مهمترین کاربردهای جی آی اس در مدیریت بحران زلزله می‌باشد. جهت درک بهتر هر منطقه از لحاظ مخاطرات طبیعی مانند زلزله، سیلاب و ... پهنه بندی منطقه مورد نظر می‌تواند به پیشگیری از تلفات و خسارات بیشتر کمک کند. پهنه بندی هر منطقه به این معنی می‌باشد که بر حسب لایه‌های اطلاعاتی جمع آوری شده از منطقه، با استفاده از روش‌های مختلف موجود، منطقه به ناحیه‌هایی تقسیم می‌شود که میزان خطر پذیری هر منطقه را به خوبی نمایان می‌کند. هدف از انجام این تحقیق نیز به کارگیری لایه‌های مناسب و روش مناسب می‌باشد تا در نهایت منطقه‌ی مورد مطالعه به بهترین نحو ممکن مورد پهنه بندی قرار گیرد. در نهایت می‌توان گفت با توجه به زلزله‌های گوناگونی که رخ داده و خسارات بعد از آن باید به بحث زلزله در هر منطقه به طور دقیق پرداخت.

تهیه نقشه‌ی پهنه بندی برای هر منطقه نیازمند در نظر گرفتن لایه‌های متناسب با منطقه‌ی مورد نظر است تا نقشه‌ی پهنه بندی دقیق‌تری حاصل گردد. براساس نقشه‌ی پهنه بندی به خوبی می‌توان دریافت هر منطقه از چه میزان خطر زلزله برخوردار است. به موارد استفاده نقشه‌های پهنه بندی زلزله به صورت محدود و خلاصه پرداخته شده است که شامل موارد زیر می‌باشد:

- با توجه به نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله می‌توان ساختمان‌های در معرض خطر زلزله‌ی زیاد را شناسایی نمود و مقام‌سازی‌هایی لازم را به انجام رساند تا خسارات مالی و جانی کمتری در هنگام وقوع زلزله رخ دهد.
- طبق نقشه پهنه بندی خطر زلزله می‌توانند مناطق امن و پر خطر شهر را شناسایی نمایند و به مردم معرفی کنند تا در صورت وقوع زلزله مردم از این آگاهی برخوردار باشند که به چه مناطقی می‌توانند پناه ببرند و تا خسارات جانی کمتری رخ دهد.
- قبل از احداث بنا می‌توان با مراجعه به این نقشه دریافت که ساختمان‌های احداثی در برابر چه میزان خطر زلزله قرار دارد و اقدامات لازم مربوط به زلزله به صورت کامل صورت پذیرد.

^۱ Geographic Information Systems

- زمانی که سازه‌ای مهم و حساس در منطقه‌ی مورد نظر قرار است احداث گردد، می‌توان با توجه به این نقشه‌ها بهترین مکان را برای احداث آن انتخاب نمود تا در هنگام وقوع زلزله دچار کمترین خسارات گردد.

به صورتی کلی می‌توان گفت نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله منطقه‌ی مورد نظر را از خطر خیلی کم تا خطر خیلی زیاد مورد طبقه بندی قرار می‌دهد و می‌توان براساس این نقشه تاحدودی از خسارات جانی و مالی را کاهش داد و اقدامات مربوط به زلزله‌ی سازه‌ها را به درستی انجام داد.

در نهایت می‌توان گفت هر چه میزان لایه‌های اطلاعاتی برای تهیه نقشه‌ی پهنه بندی بیشتر باشد و این لایه‌ها متناسب با منطقه و به درستی انتخاب شده باشند، باعث می‌شود تا نقشه‌ی پهنه بندی با دقت بالاتری تهیه گردد. تهیه یک نقشه پهنه بندی دقیق مرجع بسیار عالی برای مقابله با زلزله و اقدامات قبل از زلزله می‌باشد.

۱-۲ تعریف مسئله

بافزایش جمعیت و رخ دادن زلزله‌های مهیب و گوناگون در سراسر جهان، بشر را به این امر واداشته تا اقداماتی انجام دهد که میزان خسارات مالی و جانی را به حداقل برساند. یکی از اقداماتی که باعث کاهش خسارات می‌گردد، تهیه نقشه پهنه بندی خطر زلزله می‌باشد. از آن جهت که نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله برای منطقه‌ی مورد نظر از خطر خیلی کم تا خیلی زیاد را مشخص می‌کند، برای درک اینکه هر قسمت از منطقه‌ی موردنظر تحت چه میزان خطر زلزله است، بسیار کاربردی و مهم می‌باشد.

براساس اینکه نقشه‌ی پهنه بندی میزان خطر زلزله را مشخص می‌نماید، تهیه این نقشه برای شهرهایی که در معرض خطر زلزله بیشتری هستند، بسیار مهم می‌باشد. یکی از شهرهای مهم که عوامل زلزله خیز در آن زیاد است، کلان شهر تهران می‌باشد. تهران منطقه‌ای لرزه خیز و دارای ۱۲ گسل مؤثر و سه گسل اصلی؛ ری، شمال تهران و مشا می‌باشد. براساس داده‌های زمین لرزه تاریخی، زمین لرزه‌های بزرگی (حدوداً ۲۰ زمین لرزه بزرگ) را در گذشته دور تجربه کرده و داده‌های زمین لرزه‌ای نشان می‌دهد تا کنون زلزله‌ی مخربی رخ نداده است. طبق بررسی زلزله‌های گذشته، تهران دارای زلزله‌هایی به طور میانگین به بزرگی ۷ ریشتر و دوره‌ی بازگشت ۱۵۸ سال می‌باشد. علاوه بر گسل‌های فراوان شیب منطقه، جمعیت بسیار زیاد و.... باعث می‌گردد بحث زلزله برای کلان شهر تهران به موضوع مهمی تبدیل گردد.

با توجه به عوامل متعدد زلزله خیزی تهران، تهیه نقشه پهنه بندی خطر زلزله برای این کلان شهر بسیار مهم بوده و هدف این پژوهش نیز دست یابی به نقشه‌ی پهنه بندی کلان شهر با استفاده از روش‌های مناسب می‌باشد.

۱-۳ ضرورت انجام تحقیق

جهت بیان ضرورت تحقیق و دلیل توجه به مسئله‌ی مخاطرات زلزله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- زلزله از جمله بلایای طبیعی است که در صورت وقوع، خسارت‌های مالی و جانی زیادی را در کشور ایجاد می‌کند. شناخت مناطق پرخطر می‌تواند در کاهش خسارت‌ها و تصمیم‌گیری در سیاست‌های توسعه اراضی مؤثر باشد.
- با تهیه‌ی نقشه پهنه‌بندی و بررسی سازه‌های احداث شده در مناطق با ریسک زیاد و بسیار زیاد می‌توان از بروز تلفات مالی و جانی جلوگیری کرد.
- از آنجا که پیش‌بینی زمان دقیق وقوع زلزله‌ها در حال حاضر امکان‌پذیر نمی‌باشد، مناسب‌ترین راه، شناسایی مناطق حساس به زلزله و طبقه‌بندی کردن آنهاست تا اینکه بتوان تا حدودی از خطر مواجهه با زلزله جلوگیری نمود. مطالعه و بررسی دقیق هر منطقه و مشخص کردن عوامل تاثیر گذار بر وقوع زلزله، این امکان را فراهم می‌سازد که سازه‌ها با توجه به شرایط منطقه احداث و بناهای ساخته شده در صورت لزوم مقاوم سازی شوند و در این صورت می‌توان تلفات را به حداقل رساند. به دلیل اینکه پهنه بندی خطر زلزله به عوامل محیطی بسیار وابسته است لازم است بر اساس منطقه‌ی مورد نظر این نقشه‌ها بعد از مرور زمان به روز رسانی شوند.
- در روش پیشنهادی این تحقیق سعی می‌شود از مجموعه‌ای از نظرات کارشناسان زلزله در مورد میزان تاثیر عوامل مختلف در خطر زلزله استفاده شود. در ادامه روش‌های طبقه بندی نظارت شده براساس نظرات کارشناسان سعی در طبقه بندی منطقه به کلاس‌های بسیار پرخطر، پر خطر، خطر متوسط، کم خطر و بسیار کم خطر را دارد.
- پس از ایجاد نتایج پهنه بندی مختلف با استفاده از روش‌های طبقه بندی متفاوت، روش‌های ادغام داده سعی می‌کند نتایج حاصل را با هم ادغام کند. نتیجه حاصل از ادغام داده معمولاً دقیق‌تر، باثبات‌تر و قابل اطمینان‌تر از نتایج تک تک طبقه بندی کننده‌ها می‌باشد. در واقع در این پژوهش

برخلاف مطالعات پیشین سعی می‌شود به جای تکیه بر نتایج یک روش محدود، چندین روش طبقه بندی استفاده شده و نتایج حاصل توسط روش ادغام داده تلفیق گردد.

۱-۴ اهداف پایان نامه

هدف از انجام این پژوهش تهیه نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله برای شهر تهران با استفاده از روش‌های طبقه بندی نظارت شده و تئوری ادغام داده‌ها است. در این پژوهش سعی شده تا با استفاده از لایه‌های موثر بر زلزله برای شهر تهران و به کارگیری سه روش ماشین بردار پشتیبان، شبکه‌های عصبی و حداکثر احتمال برای شهر به نقشه‌ی پهنه بندی دست یافت و در نهایت به کمک تئوری ادغام داده‌ها به روش رای گیری به یک نقشه‌ی پهنه بندی واحد دست یافت که دقت روش‌ها را نیز بهبود بخشیده است. اهداف این تحقیق به صورت زیر بیان شده است:

- (۱) بررسی مفاهیم آسیب پذیری
 - (۲) تعیین آسیب پذیری و نقشه‌ی پهنه بندی منطقه‌ی مورد نظر با استفاده از GIS و روش‌های مذکور جهت اقدامات به موقع و بهینه
 - (۳) اندازه گیری دقت نظر کارشناسان در کلاسه بندی نقشه آسیب پذیری
 - (۴) اندازه گیری ناسازگاری قوانین استخراج شده نسبت به نظر کارشناسان جهت استخراج قوانین دقیق
 - (۵) معرفی روش‌های نظارت شده و تئوری ادغام
 - (۶) بررسی میزان تاثیر تئوری ادغام داده‌ها در بهبود دقت روش‌ها
- در این پژوهش لایه‌ها در نرم افزار GIS مورد طبقه بندی و امتیاز دهی قرار گرفتند، سپس لایه‌ها وارد نرم افزار ENVI شدند و اعمال روش‌ها و صحت سنجی نتایج حاصل از روش‌ها در این نرم افزار صورت گرفت. در پایان کار سه روش طبقه بندی نظارت شده در نرم افزار MATLAB با یک دیگر تلفیق شده و صحت سنجی این روش هم در نرم افزار MATLAB صورت گرفته است.

۱-۵ فرضیه‌های تحقیق

فرض ۱: تهران دارای گسل‌های متعددی است، اما برای تهیه نقشه‌ی آسیب پذیری لرزه‌ای فیزیکی برای کلان شهر تهران در این پژوهش سه گسل اصلی تهران که شامل؛ مشا، شمال تهران و ری می‌گردد، در نظر گرفته شده است.

فرض ۲: پارامترهای مؤثر در آسیب پذیری لرزه فیزیکی بسیار متعدد هستند، اما برای شروع این پژوهش لایه‌های؛ فاصله از گسل، شیب منطقه، جهت شیب و جمعیت از میان پارامترها انتخاب شده است.

فرض ۳: سایر پارامترهای مؤثر در آسیب پذیری لرزه‌ای فیزیکی نظیر سن بنا، زمین شناسی و... بدلیل محدودیت در تهیه داده‌های اولیه در پژوهش در نظر گرفته نشده‌اند.

۱-۶ مراحل انجام پژوهش

در این تحقیق به منظور پهنه بندی خطر زلزله از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده و مفهوم ادغام داده استفاده می‌شود.

روش پیشنهادی دارای هفت مرحله کلی می‌باشد. مرحله اول شامل جمع آوری داده‌ها نظیر گسل (مقدار شتاب بیشینه و شدت مرکالی)، جمعیت، شیب و جهت شیب از مراجع مربوطه می‌باشد. مرحله دوم شامل آماده سازی لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS است. که در این مرحله تمامی لایه‌ها در محیط نرم افزار پردازش شده و اطلاعات هر لایه تقسیم بندی و مورد امتیاز دهی قرار می‌گیرد. مرحله سوم شامل جمع آوری نظرات کارشناسان و استفاده از نقشه‌های پهنه بندی حاصل از پژوهش‌های گذشته می‌باشد. در این مرحله سعی می‌شود از نظرات حداقل چهار کارشناس در زمینه پهنه بندی زلزله و برآورد خسارت با توجه به لایه‌های اطلاعاتی استفاده شود. نظرات کارشناسان در نهایت با نقشه‌های پهنه بندی جمع بندی شده و می‌توان از این اطلاعات برای تهیه نقشه داده‌های نمونه برای درجه بندی آسیب پذیری مناطق مختلف شهر تهران استفاده نمود. مرحله چهارم شامل داده‌های آموزشی و تست می‌باشد. در این مرحله از نتایج مرحله قبلی استفاده می‌شود و به کمک اطلاعات حاصل از مرحله سوم می‌توان داده‌های آموزشی و داده‌های تست جهت استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده را در نرم افزار تعریف نمود. مرحله پنجم شامل استفاده از سه روش طبقه‌بندی نظارت شده است. در این مرحله از سه روش طبقه‌بندی نظارت شده شامل شبکه‌های عصبی (^{1}NN)، ماشین بردار پشتیبان (^{2}SVM) و حداکثر احتمال (^{3}ML) مورد استفاده قرار گرفته است. بکارگیری این سه روش منجر به حاصل شدن سه نقشه پهنه بندی برای شهر تهران می‌گردد. مرحله ششم شامل بکارگیری ادغام به روش حداکثر رای گیری (^{4}MV) می‌باشد. در این روش سه نقشه پهنه بندی حاصل از مرحله پنجم با یکدیگر ادغام می‌گردند، که پیکسل‌هایی که

^۱ Neural Networks

^۲ support vector machines

^۳ Maximum Likelihood

^۴ Maximum Voting

بیشترین تکرار را در بررسی هر قسمت داشته باشند به عنوان پیکسل با امتیاز بیشتر انتخاب و نقشه‌ی پهنه بندی نهایی را شکل می‌دهند. مرحله‌ی هفتم نتیجه‌ی قرار گیری پیکسل‌ها با امتیاز بالا در کنار یکدیگر می‌باشند که حاصل نهایی آن نقشه‌ی پهنه بندی نهایی خطر می‌باشد.

۷-۱ ساختار پایان نامه

این پایان نامه با هدف تهیه نقشه‌ی پهنه بندی برای کلان شهر تهران صورت گرفته است. مطالب پایان نامه حاضر در پنج فصل ارائه می‌گردد، که به صورت خلاصه در زیر بیان می‌گردد.

۱) فصل اول: کلیات تحقیق

بررسی کلیات موضوع شامل ارتباط موضوع با کارهای قبلی، تعریف مسئله، ضرورت انجام تحقیق، اهداف پایان نامه، فرضیه‌های تحقیق و مراحل انجام پژوهش به صورت مختصر توضیح داده می‌شود.

۲) فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین

مرور ادبیات فنی و پیشینه کارهای محققین گذشته، نقشه‌های پهنه بندی خطر زلزله برای مناطق گوناگون، روش‌های مختلف در تهیه نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله، در نظر گرفتن لایه‌های مختلف برای شروع پژوهش و تهیه نقشه‌های پهنه بندی خطر زلزله و پرداخته شده است.

۳) فصل سوم: روش پژوهش

در این فصل روند پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. این فصل شامل بررسی لایه‌های مورد استفاده، نحوه تهیه داده‌های آموزشی و تست، جمع آوری لایه‌های مورد نظر، بررسی روش‌های استفاده شده و سایر مراحل انجام پژوهش برای دست یابی به نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله بیان شده است.

۴) فصل چهارم: بررسی نتایج و بحث

این فصل شامل بررسی نتایج خروجی از لایه‌ها از نرم افزار GIS، استفاده از روش‌ها و خروجی لایه‌ها در نرم افزار ENVI و در نهایت استفاده از روش ادغام داده‌ها در نرم افزار MATLAB که منجر به تهیه نقشه‌ی پهنه بندی نهایی برای کلان شهر تهران می‌شود.

۵) فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

در این فصل نتیجه گیری و پیشنهادات ارائه گردیده است.

فصل ۲ : مروری بر تحقیقات پیشین

۲-۱ مقدمه

نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله یکی از ابزارهای بسیار مناسب برای مقابله با زلزله می‌باشد. پهنه بندی خطر زلزله با استفاده از لایه‌های در نظر گرفته شده و روش‌های مورد نظر برای منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه می‌گردد. نقشه‌ی پهنه بندی که برای منطقه‌ی مورد نظر تهیه گردید تمامی مناطق را که دارای خطرهای گوناگونی هستند به خوبی نمایش می‌دهد و یا به عبارتی دیگر از خطر خیلی کم تا خطر خیلی زیاد را نمایش می‌دهد.

نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله برای شهرهایی که در معرض خطر زلزله قرار دارند بسیار مناسب است، زیرا به خوبی می‌توان دریافت مناطق مختلف در برابر زلزله از چه میزان خطری برخوردار هستند و اقدامات لازم قبل از وقوع زلزله به انجام برسد.

پژوهش‌های که از گذشته تا کنون برای دستیابی نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله صورت گرفته است برای دست یابی به نقشه است که از دقت بالاتری برخوردار باشد تا اقدامات صورت گرفته براساس این نقشه‌ها نیز دقیق‌تر و مؤثرتر باشد.

گام نخست برای تهیه این نقشه‌ها در نظر گرفتن لایه‌های اطلاعاتی نظیر؛ گسل، جمعیت، شیب منطقه، روانگرایی، قدمت بنا و... می‌باشد که براساس منطقه‌ی مورد نظر انتخاب می‌گردد و یا به بیان دیگر براساس منطقه‌ی انتخابی لایه‌هایی که دارای اهمیت بیشتری در هنگام وقوع زلزله هستند انتخاب می‌گردند. گام دوم انتخاب روش برای دستیابی به این نقشه‌هاست که با مشاهده پژوهش‌های گذشته و دقت نقشه‌های حاصله می‌توان دریافت که استفاده از کدام روش سبب می‌شود تا به نقشه‌ای دست یابیم که از دقت بالایی برخوردار است.

برای شروع پژوهش در این زمینه اولین مرحله مطالعه پژوهش‌های گذشته می‌باشد تا دید کلی و کاملی را نسبت به این زمینه داشته باشیم و تا بتوانیم پژوهش درستی را در این زمینه آغاز نماییم.

۲-۲ مفاهیم آسیب پذیری

۲-۲-۱ زلزله

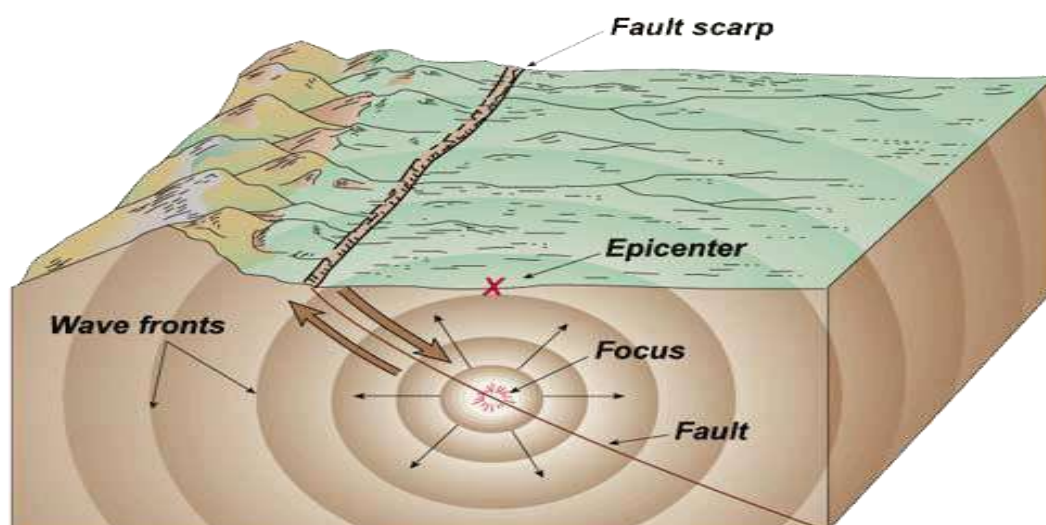
زمین‌لرزه (Earthquake) یا زلزله، لرزش و جنبش و تکان خوردن زمین است که به دلیل رهش انرژی تخلیه شده از سنگ‌ها در گسل‌های پوسته زمین در مدّتی کوتاه روی می‌دهد. به عبارت دیگر لرزش ناگهانی پوسته‌های جامد زمین، زلزله یا زمین لرزه نامیده می‌شوند. محلّی که منشأ زمین‌لرزه

است و انرژی از آنجا خارج می‌شود را هایپوسنتر، و نقطه‌ای بالای کانون در سطح زمین را مرکز سطحی زمین‌لرزه می‌گویند. پیش از وقوع زمین‌لرزه‌ی اصلی معمولاً زلزله‌های نسبتاً خفیف‌تری در منطقه روی می‌دهد که به پیش‌لرزه معروف‌اند. به لرزش‌های بعدی زمین‌لرزه نیز پس‌لرزه می‌گویند که با شدت کمتر و با فاصله‌ی زمانی گوناگون میان چند دقیقه تا چند ماه رخ می‌دهد. هرچقدر تعداد پیش‌لرزه‌ها بیشتر باشد، مقدار ریشتر زمین‌لرزه‌ی اصلی، کمتر می‌باشد.

زمین‌لرزه نتیجه‌ی رهایی ناگهانی انرژی از داخل پوسته زمین است که امواج ارتعاشی را ایجاد می‌کند. دلیل اصلی وقوع زلزله را می‌توان افزایش فشار بیش از حد داخل سنگ‌ها و طبقات درونی زمین بیان نمود. این فشار به حدی است که در سنگ گسستگی بوجود می‌آورد و دو قطعه سنگ در امتداد سطح شکستگی نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند. زمین‌لرزه‌ها توسط دستگاه زلزله‌سنج یا لرزه‌نگار ثبت می‌شوند. هر چقدر، کانون زلزله عمیق‌تر باشد، آسیب دیدگی زمین هم، کمتر می‌شود. مقدار بزرگی یک زلزله متناسب با انرژی آزاد شده زلزله است. زلزله‌های کوچک‌تر از بزرگی ۳ ریشتر اغلب غیر محسوس و بزرگ‌تر از ۶ ریشتر خسارت‌های جدی را به بار می‌آورند، البته ریشتر که هر واحد اضافه آن حدوداً ده برابر قبلی است. عوامل متعدد دیگری از عمق زلزله رخ داده، جهت لرزش (عمودی یا ضربه‌ای) و نوع طول موج لرزش (فاصله جابجایی مکانی رفتی و برگشتی در هر لرزش) در میزان تخریب تأثیر دارند.

در حالت کلی کلمه‌ی زمین‌لرزه هر نوع ارتعاشی را در بر می‌گیرد چه ارتعاش طبیعی چه مصنوعی توسط انسان که موجب ایجاد امواج ارتعاشی می‌شود. زمین‌لرزه‌ها اغلب نتیجه حرکت گسل‌ها هستند، و همین‌طور می‌تواند حاصل فعالیت‌های آتشفشانی، ریزش کوه‌ها، انفجار معدن‌ها و آزمایش‌های هسته‌ای باشد.

نقطه‌ی آغازین شکاف لرزه را کانون می‌نامند. مرکز زمین‌لرزه نقطه‌ای در راستای عمودی کانون و در سطح زمین است. شکل (۱-۲) نحوه آزادسازی انرژی زلزله را نشان می‌دهد.



۲-۲-۲ علت به وجود آمدن زلزله

تجمع انرژی در درون زمین و افزایش نیروی زیاد در درون زمین وعدم تحمل طبقات زمین برای نگهداری این انرژی از طرف دیگر موجب شکسته شدن زمین در بعضی نقاط آن شده و انرژی از محل آن آزاد می‌شود. این شکستگی که اکثرا با جابجایی زمین اتفاق می‌افتد باعث خطرات و ایجاد لرزش زمین می‌شود که به آن زلزله گفته می‌شود.

فرضیه اصلی که انرژی حاصل از زمین لرزه از کجا تامین می‌شود این است که زمین از ورقه‌هایی تشکیل شده است که این ورقه‌ها با صفحاتی که در کنار هم قرار دارند به یکدیگر فشار وارد کرده و باعث می‌شوند که ورقه‌هایی که دارای وزن کمتری هستند به داخل زمین فرو روند (این پدیده در اصطلاح علمی فرو رانش صفحات گفته می‌شود). همچنین ممکن است که ورقه‌ها در کنار یکدیگر به هم فشرده شوند. در اثر فرو رانش و پایین رفتن صفحه به درون زمین و به دلیل افزایش فشار و دمای طبقات درونی، ورقه شروع به گرم شدن و ذوب شدن می‌کند و مواد مذاب حاصله سبک شده مجدداً به سمت بالا حرکت کرده و فشاری را به طبقات مجاور وارد می‌کند. ترکیب این نیروها در درون زمین باعث ایجاد یک حالت عدم تعادل انرژی می‌شود، این وضعیت تا زمانی که طبقات فوقانی و سطحی زمین تحمل مقاومت در برابر آن را داشته باشند حفظ می‌گردد. اما زمانی که سنگ‌ها دیگر تحمل فشار را نداشته باشند، انرژی به یکباره آزاد می‌گردد و زلزله به وجود می‌آید. البته این بدان مفهوم نیست که تمامی زلزله‌ها بدین طریق ایجاد می‌شوند، بلکه می‌توان گفت بخش اصلی زمین لرزه‌ها، با این فرضیه قابل توجیه است.

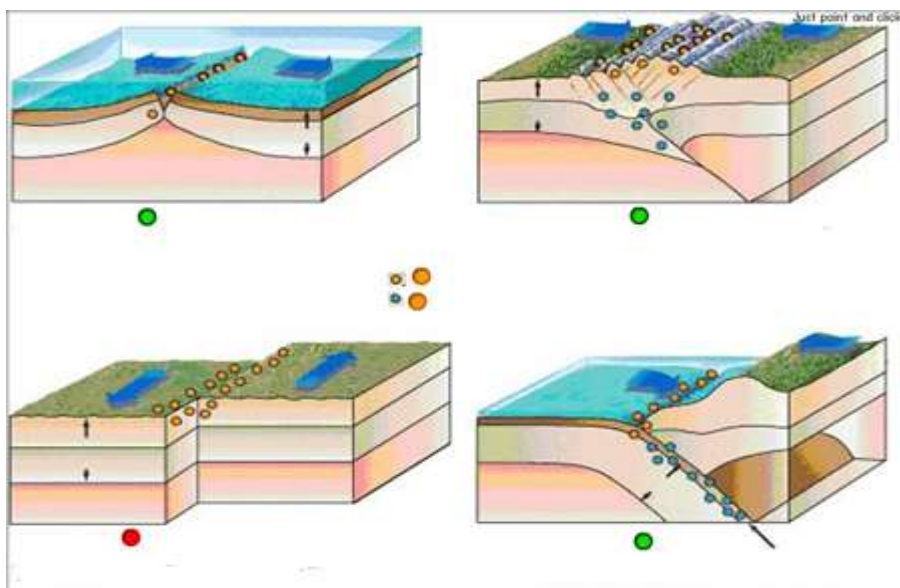
انواع حرکت پوسته‌های زمین در هنگام وقوع

✓ صفحه‌ها به سمت هم حرکت کنند (همگرا)

✓ در جهت مخالف هم حرکت کنند (واگرا)

✓ در کنار یکدیگر بلغزند

شکل (۲-۲) نحوه حرکت پوسته‌های زمین هنگام وقوع زلزله را به خوبی نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲. نحوه حرکت پوسته های زمین به هنگام وقوع زلزله

۳-۲-۲ رابطه گسل با زلزله

گسل یا گسله (Fault) به سطح شکستگی که توأم با جابجایی است گسل گفته می‌شود. به عبارت دیگر به شکستگی‌هایی گفته می‌شود که سنگ‌های دو طرف صفحه‌ی شکستگی در برابر همدیگر حرکت کرده باشند. این جابه‌جایی می‌تواند از چند میلی‌متر تا صدها متر باشد. انرژی آزاد شده به هنگام حرکت سریع گسل‌های فعال عامل وقوع اغلب زمین‌لرزه‌ها است. رابطه گسل_زلزله دو طرفه است. یعنی وجود گسل‌های فراوان در یک منطقه سبب بروز زلزله می‌گردد. این زلزله به نوبه خود سبب ایجاد گسل جدیدی گردیده و نتیجتاً تعداد شکستگی‌ها زیادتر شده و به این ترتیب قابلیت لرزه خیزی منطقه افزایش می‌یابد.

گسل‌های بزرگ در پوسته زمین نتیجه حرکت برشی زمین هستند و زمین‌لرزه نیز نتیجه نیروی رها شده در حین لغزش سریع لبه‌های یک گسل به هم است. بزرگترین نمونه‌های گسل مرزهای میان ورقه‌های زمین‌ساختی کره زمین است. از آنجا که یک گسل معمولاً از یک شیار مستقیم و مرتب تشکیل نشده و ناحیه‌ای از تغییر شکل‌های پیچیده زمین را در بر می‌گیرد معمولاً به جای گسل از «منطقه گسلی» صحبت می‌کنند. شکل (۳-۲) یک نمونه از گسل با منشأ طبیعی است که در طبیعت رخ داده است.



شکل ۳-۲. گسل با منشأ طبیعی [۶۱]

۴-۲-۲ نحوه آزاد شدن انرژی

ممکن است یک زلزله به همراه خود پیش لرزه و پس لرزه‌هایی داشته باشد، که این دو قبل و بعد از زلزله اصلی ممکن است وقوع یابند، به عبارتی دیگر این موضوع به نحوه آزاد شدن انرژی زلزله بستگی دارد. بطوری که انرژی زلزله به صورت‌های زیر آزاد می‌گردند.

❖ پیش لرزه:

گاهی اوقات از بروز زلزله اصلی، یک سری زلزله‌هایی با بزرگی کمتر از زلزله اصلی به وقوع می‌پیوندد که معمولاً فراوانی آن‌ها با نزدیک شدن به زمان وقوع لرزش اصلی، افزایش می‌یابد.

❖ لرزش اصلی:

همان زلزله اصلی بوده که بواسطه‌ی آن اکثر انرژی ذخیره شده در سنگ‌ها یکباره آزاد می‌گردد.

❖ دسته لرزه:

مجموعه‌ای از تعداد زیادی زلزله که در یک منطقه محدود در مقطع زمانی در حد هفته تا چند ماه به وقوع می‌پیوندد. دسته لرزه‌ها غالباً در نواحی آتشفشانی دیده می‌شوند.

❖ ریز لرزه:

لرزه‌های ضعیفی هستند که برزگی آن‌ها ۳ ریشتر و یا کمتر از ۳ بوده و غالباً افزایش ناگهانی و نامنظم آن‌ها نشانه قریب الوقوع بودن زلزله اصلی می‌باشند.

❖ پس لرزه:

زلزله‌های خفیف‌تری که غالباً پس از لرزش اصلی، از حوالی کانون زلزله اصلی منشأ می‌گیرد، را پس لرزه می‌گویند. پس لرزه‌ها می‌توانند حتی سال‌ها پس از وقوع زلزله‌های اصلی نیز به طول انجامد.

۲-۲-۵ آسیب پذیری و ریسک زمین لرزه

ریسک، خسارات قابل انتظاری می‌باشد که در اثر وقوع خطری مشخص، به یک نوع از عناصر درون محیط خطر وارد شده است. مقدار آسیبی که به هریک از عناصر درون محیط ریسک، در اثر وقوع درجه‌ی مشخصی از خطر قابل وارد شدن باشد، آسیب پذیری می‌گویند و از مقیاس صفر تا یک بیان می‌شود. برآورد ریسک را وابسته به خطر و آسیب پذیری عناصر درون محیط ریسک می‌دانند.

آسیب پذیری ضعف ذاتی را در جنبه‌های مشخصی در محیط‌های شهری می‌رساند که مستعد آسیب به علت ویژگی‌های اجتماعی، فیزیکی یا طراحی شهری می‌باشد. در صورتی که ریسک، درجه پتانسیل خرابی در مکان‌هایی است که در معرض مخاطرات قرار دارند. آسیب پذیری به عنوان یکی از اجزاء ریسک، تخریبی است که از وقوع پدیده طبیعی ناشی می‌شود و از مقیاس صفر تا یک بیان می‌شود.

برآورد ریسک وابسته به میزان خطر و آسیب پذیری عناصر درون محیط ریسک می‌دانند. بنابراین ریسک به صورت تابع (۱-۲) تعریف شده است (سیلاوی، ۱۳۸۵ و امیری، ۱۳۸۶).

$$(۱-۲) \quad \text{ریسک} = \text{خطر} \times \text{پذیری آسیب}$$

لازم به ذکر است که رابطه (۱-۲) دو پارامتر خطر پذیری (میزان خطر) و آسیب پذیری از هم مستقل فرض می‌گردند.

براساس مطالب ذکر شده، جوامع شهری و مراکز جمعیتی و صنعتی جزء آسیب پذیرترین عوامل در مقابل زلزله می‌باشند. بنابراین تهیه نقشه پهنه بندی خطر زلزله که نواحی منطقه‌ی مورد نظر را بر حسب درجات مختلف آسیب پذیری مورد تقسیم بندی قرار می‌دهد، حائز اهمیت است. طبق لایه‌ها و اطلاعات مربوطه روش‌های در نظر گرفته شده این نقشه حاصل می‌گردد. بعد از تهیه این نقشه به خوبی می‌توان اقدامات قبل از وقوع زلزله را به صورت کامل به انجام رساند. برای مناطق آسیب پذیر مقاوم سازی صورت

پذیرد و برای ساخت سازه‌های جدید باتوجه به مناطق مقاوم سازی‌های لازم در برابر زلزله رعایت گردد.

۲-۲-۶ بحران

از آنجا که دامنه‌ی بحران تمامی جوانب زندگی بشر را اعم از اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و... در بر گرفته تعاریف متعددی نیز از دیدگاه‌های گوناگون توسط اندیشمندان علوم مختلف برای آن ارائه گردیده است. از دیدگاه سیستماتیک یک بحران عبارت است از وضعیتی که نظم سیستم اصلی یا قسمتی از آن را که ما سیستم فرعی می‌نامیم مختل کرده و پایداری آن را به هم می‌زند. به بیان دیگر یک بحران وضعیتی است که تغییری ناگهانی در یک یا چند قسمن از عوامل متغیر سیستم به وجود می‌آورد (علی نیا، ۱۳۸۸).

از دید تصمیم‌گیری، بحران عبارت از وضعیتی است که:

۱. اهداف عالی و حیاتی واحد تصمیم‌گیرنده را تهدید می‌کند.
 ۲. زمان واکنش را برای اتخاذ تصمیم محدود می‌کند.
 ۳. عناصر و عوامل تصمیم‌گیرنده را با بروز ناگهانی خود غافلگیر می‌کند (علی نیا، ۱۳۸۸).
- بحران در طول تاریخ مکتوب بشری همواره با انسان بوده و چه بسا که پیش از آن نیز موجود بوده باشد. نسل‌های بشر همواره مجبور به تحمل بحران‌ها، خسارت‌ها و صدمات ناشی از آن بوده و پس از چندی نیز از مشتقات آن رهایی یافته و بهبودی حاصل نموده‌اند (سیلاوی ۱۳۸۵). به منظور آماده سازی مدیران و تصمیم‌گیرندگان جهت مدیریت بهینه بحران و کاهش اثرات سوانح و عواقب ناشی از قطع فعالیت‌ها، تعیین مکان‌های آسیب‌پذیر شهری و ارائه راهکارهای جهت امن‌تر ساختن آن‌ها، ما را در رسیدن هرچه سریعتر به هدف ذکر شده یاری می‌کند.

۲-۲-۷ مدیریت بحران

یکی از جنبه‌های مهم و قابل توجه در برنامه ریزی توسعه، تاکید و توجه به آسیب‌پذیری کشور در مقابل بلایای طبیعی است. زیرا در شهر باتوجه به حجم بالای سرمایه گذاری و مکان‌گزینی بسیاری از تاسیسات و ابزارهای اقتصادی و اجتماعی جامعه جلب توجه بیشترین را طلب می‌کند، چرا که در صورت بروز این حوادث تلفات و خسارات مالی و جانی زیادی به دنبال خواهد داشت.

مدیریت بحران، علمی کاربردی است که از طریق مشاهده سیستماتیک بحران‌ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها

به جستجوی ابزارهایی می‌پردازد که به وسیله آن‌ها می‌توان از بروز بحران‌ها پیشگیری نمود و یا در صورت بروز بحران در خصوص کاهش اثرات، تأمین آمادگی لازم، امداد رسانی سریع و بهبود اوضاع اقدام نمود. به صورت خلاصه، مجموعه‌ای از تلاش‌های هماهنگ جهت کاهش نتایج منفی، ایجاد آمادگی در قبال پاسخگویی و بازسازی نتایج حاصل از مخاطره را مدیریت بحران گویند (وجودی و زارع ۱۳۸۳).

رشد کلان شهرها در کشورهای در حال توسعه بسیار سریع می‌باشد. با توجه به این موضوع، وجود طیف بسیار گسترده‌ای از انواع بناها، صنایع و افراد در سطوح مختلف اجتماعی باعث ایجاد ساختار پیچیده‌ای می‌شود که مدیریت بحران را مشکل می‌سازد.

یکی از نهادهای بین‌المللی که اقدامات مؤثری در زمینه و اجرای استراتژی‌های جهانی در زمینه‌ی پرداختن به امر مدیریت بحران بالاخص در مناطق شهری فعالیت دارد، بانک جهانی است. عمده فعالیت این نهاد در زمینه حمایت‌های مالی و اعتباری در امر ایجاد و یا بازسازی اجزای مختلف محیط‌های شهری می‌باشد (علی‌نیا، ۱۳۸۸).

شهر نشینی و ایجاد کلان شهرها از پدیده‌هایی است که در قرن بیستم به وفور با آن مواجه بوده‌ایم. در آغاز قرن بیستم تنها بیست کلان شهر با جمعیت تقریبی بیشتر از یک میلیون نفر در جهان وجود داشتند. این در حالی که در انتهای قرن بیستم تعداد ابر شهرها به ۴۰۰ شهر افزایش یافته است. در این میان ۲۸ کلانشهر جمعیتی بیش از هشت میلیون نفر دارند که ۲/۳ آن‌ها در کشورهای در حال توسعه قرار دارند (علی‌نیا، ۱۳۸۸).

به طور کلی با توجه به مسائل ذکر شده فوق، جهت مدیریت بهینه بحران چهار مرحله اساسی شامل: کاهش، سازماندهی، واکنش و بازیابی باید اجرا شود. همه‌ی این مراحل به گونه‌ای به یکدیگر وابسته هستند به طوریکه نمی‌توان به طور کامل آن‌ها را از یکدیگر متمایز کرد. اقدامات لازم در مورد هر کدام به طور خلاصه در زیر آورده شده است (آقا طاهر، ۱۳۸۴ و سیلاوی، ۱۳۸۵):

❖ کاهش اثرات:

یکسری اقدامات پیشگیرانه جهت ارزیابی خطر و کاهش اثرات ناشی از آن (مانند قوانین مربوط به کاربری اراضی، فعالیت‌های مهندسی و فعالیت‌های بیمه‌ای) می‌باشد.

❖ ایجاد آمادگی:

مجموعه برنامه ریزی‌هایی است که به منظور پاسخگویی مؤثر در شرایط اضطراری وقوع مخاطره (از قبیل برنامه ریزی به صورت محلی، مدیریت منابع، توافقات همکاری با سایر

بخش‌ها و سازمان‌های سرویس رسان و همچنین آموزش پرسنل متخصص) می‌بایست به انجام برسد.

❖ پاسخگویی:

فعالیت‌هایی است که در حین وقوع مخاطرات و بلافاصله بعد از آن به منظور ارائه کمک‌های اولیه به آسیب دیدگان و کاهش اثرات جانبی ناشی از آن به انجام می‌رسد (از قبیل جستجو و نجات، تخلیه آسیب دیدگان، سرویس‌های اورژانس درمانی، القاء حریق و جلوگیری از فروریختن ساختمان‌های آسیب دیده).

❖ بهبود:

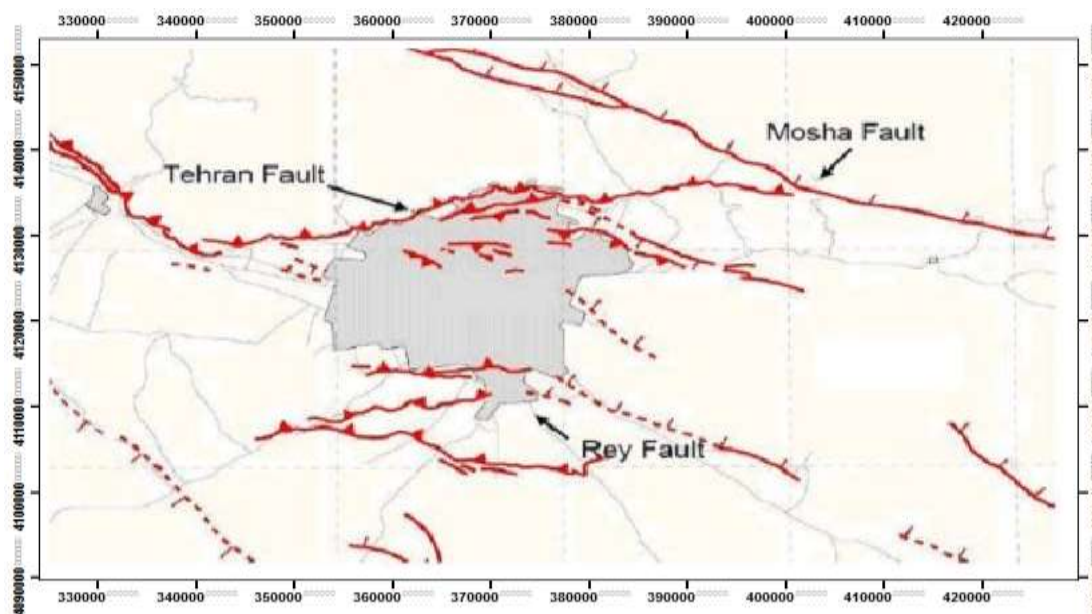
اقدامات لازم در زمینه بهبود وضعیت آسیب دیده به عنوان فاز نهایی سیکل مدیریت بحران در نظر گرفته می‌شود. این مرحله شامل فعالیت‌هایی از قبیل اسکان موقت، بازسازی سرویس‌های حیاتی، تأمین غذا، پوشاک، جمع‌آوری زباله، مشاوره روحی روانی، ارائه کمک‌های کارایی و ارائه راه‌هایی برای ایجاد زمینه جهت شروع مجدد زندگی می‌باشد. این مرحله، تا هنگامی که تمام سیستم‌ها به حالت نرمال برگردند ادامه می‌یابد و می‌تواند چندین سال ادامه داشته باشد.

۲-۸-۲ بحران زمین لرزه

جنبش یا تکان پوسته زمین که به صورت طبیعی ناشی از زیر پوسته زمین است زمین لرزه می‌نامند. گاهی زلزله باعث تغییراتی در سطح زمین می‌شود، اما اغلب زیان به وجود آمده ناشی از تکان‌ها فقط محسوس است و ممکن است زلزله به وسیله یک انفجار آتشفشانی بوجود آید. زلزله در حقیقت در بیشتر نواحی آتشفشانی امری عادی است و اغلب قبل و یا هم زمان با انفجار اتفاق می‌افتند. اصل زلزله تکتونیکی است و احتمالاً وجود یک شکست لازمه‌ی آن است. موج‌های زلزله دست کم در سه جهت اتفاق می‌افتد و در یک مسافت قابل ملاحظه از مکان اصلی به طور جداگانه حس می‌شوند. وقتی امواج زلزله از مکانی می‌گذرد زمین و ساختمان‌ها می‌لرزند و به جلو و عقب می‌روند.

یکی از مهم‌ترین بررسی‌ها در مورد زمین لرزه می‌تواند تعیین آسیب پذیری یک منطقه‌ی شهری در برابر آن باشد. در این خصوص نیازمند آن هستیم که منطقه‌ی مورد مطالعه را از نظر خطر پذیری مورد تحلیل قرار دهیم.

تهران به عنوان یکی از شهرهای مهم ایران به واسطه‌ی قرار گرفتن چندین گسل فعال در اطراف و محدوده آن از نظر ریسک بالایی در مقابل زمین لرزه برخوردار است. چهار مورد از مهم ترین گسل‌های فعال در این منطقه عبارت‌اند از گسل مشا، گسل ری و گسل شمال تهران که موقعیت آن‌ها در شکل (۲-۴) نشان داده شده است.

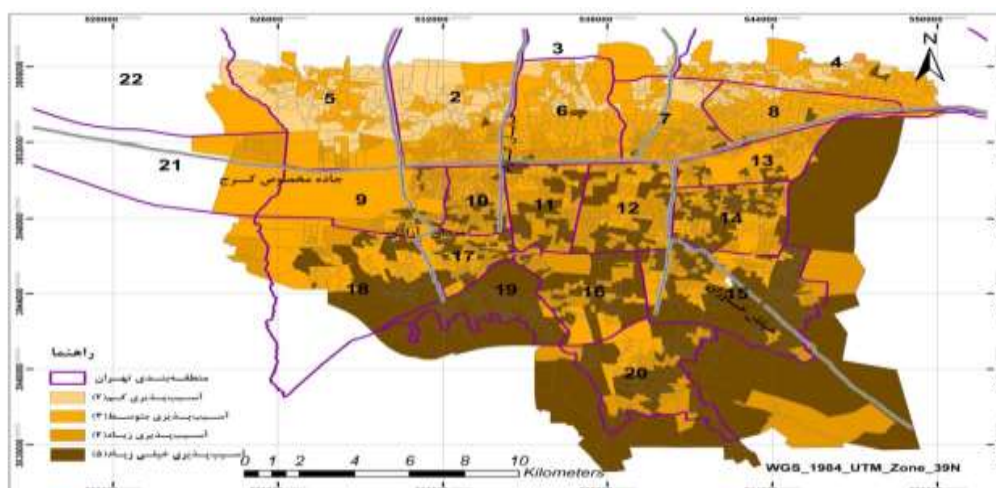


شکل ۲-۴. نقشه‌ی سه گسل اصلی تهران [۴۳]

۲-۲-۹ پهنه بندی

هر جامعه‌ای توسط بلاهای طبیعی مورد تحدید قرار می‌گیرد. زلزله یک پدیده طبیعی است که می‌تواند سراسر جهان را مورد تحدید قرار دهد، اما برحسب شرایط گوناگون منطقه‌ای میزان خطر پذیری زلزله متفاوت است.

پهنه بندی هر منطقه به این معنی می‌باشد که بر حسب لایه‌های اطلاعاتی جمع آوری شده از منطقه، بااستفاده از روش‌های مختلف موجود، منطقه به ناحیه‌هایی تقسیم می‌شود که میزان خطر پذیری هر منطقه را به خوبی نمایان می‌کند. هدف از انجام این تحقیق نیز به کارگیری لایه‌های مناسب و روش مناسب می‌باشد تا در نهایت منطقه‌ی مورد مطالعه به بهترین نحو ممکن مورد پهنه بندی قرار گیرد. شکل (۲-۵) نمونه‌ای از نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله می‌باشد که به خوبی می‌توان دریافت هر نقطه از چه میزان خطری برخوردار است.



شکل ۲-۵. نمونه نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله [۱۵]

۲-۱۰-۲ پیشینه تحقیق

در این بخش برخی از مهم ترین تجزیه و تحلیل های انجام شده برای تعیین میزان آسیب پذیری لرزه ای فیزیکی به اختصار مورد بررسی قرار گرفته است.

فرج زاده و همکاران در سال ۲۰۰۶، زاگرس یکی از فعال ترین مناطق لرزه خیز ایران را مورد بررسی قرار دادند. از موضوعات اصلی برای پهنه بندی خطر زمین لرزه در این پهنه لرزه خیز، تحلیل عکس العمل واحدهای زمین شناسی در برابر نیروهای زلزله می باشد. در مطالعه حاضر که در منطقه شیراز صورت گرفته است، تحلیل رفتار سازندهای زمین شناسی در مقابل گسلش و وقوع زمین لرزه بوده است. به همین منظور از لایه های سازندهای زمین شناسی، کانون های زلزله های تاریخی و سده بیستم استفاده شده و با بهره گیری از توان سیستم اطلاعات جغرافیایی ارتباط سازندهای زمین شناسی با متغیرهای فوق الذکر تحلیل گردیده است. نتایج این مطالعه نشان داد که سازند آهکی آسماری دارای حداکثر تراکم گسل خوردگی بوده و سنگ های آسماری تفکیک نشده دارای حداکثر طول گسل خوردگی هستند. فراوانی رخدادهای لرزه ای نیز در رسوبات کواترنر بیش از سازند آسماری و سنگ های آسماری جهرم بوده است. پس از تحلیل رفتار سازندها در برابر نیروهای لرزه ای به هر یک از آنها وزن مناسب داده شده و نقشه پهنه بندی خطر زمین لرزه در پنج گروه بر اساس مقاومت سازندها تهیه گردید.

استفاده گسترده از فناوری های اطلاعاتی (IT^۱) به عنصری حیاتی در بسیاری از رشته ها در سال های اخیر تبدیل شده است. به عنوان مثال برنامه ریزی شهر، علوم اجتماعی، مهندسی و غیره. به ویژه مطالعات

^۱ Information technology

مبتنی بر GIS برای برنامه ریزی شهری به عنوان ابزاری قدرتمند برای ارزیابی سناریوهای زلزله اهمیت بیشتری پیدا کرده است. هدف این مقاله توصیف چگونگی استفاده از GIS در ارزیابی ریسک، به ویژه در اثر زلزله است. چیگدم تارهان^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۶ برخی از بخش‌های شهرداری متروپولیتن^۲ از میر^۳ را برای نشان دادن چگونگی استفاده مؤثر GIS برای ارزیابی ریسک زلزله مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تجزیه و تحلیل‌ها به عنوان یک مدل سه بعدی ایجاد شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا نشان داده شد. در پایان تجزیه و تحلیل‌ها، متوجه شدند که در مرکز شهر به اندازه کافی مکان اجتماعات یا پناهگاه وجود ندارد. علاوه بر این، هیچ گونه وظیفه قانونی برای ساخت و سازهای ساختمانی به منظور مقاومت در برابر زلزله وجود نداشت.

پانککت^۴ و همکاران در سال ۲۰۰۷ شبکه‌های عصبی برای پیش بینی میزان رویداد لرزه‌ای در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش هشت پارامتر محاسبه شده ریاضی شناخته شده به عنوان شاخص‌های لرزه خیزی بررسی شده است. شاخص‌ها براساس گوتنبرگ ریشتر و توزیع مشخصه بزرگی زلزله و همچنین بر اساس نتیجه گیری‌های انجام شده توسط مطالعات اخیر پیش بینی زلزله انتخاب شده‌اند. از آنجا که هیچ رابطه ریاضی یا حتی تجربی مشخصی بین این شاخص‌ها و مکان و بزرگی زلزله در یک پنجره زمانی خاص وجود ندارد، این مشکل با استفاده از سه شبکه عصبی مختلف مدل سازی می‌شود: شبکه عصبی، یک شبکه عصبی مکرر و یک شبکه عصبی با عملکرد شعاعی. دقت پیش بینی مدل‌ها با استفاده از چهار اندازه گیری آماری مختلف ارزیابی می‌شود: احتمال تشخیص، نسبت هشدار کاذب، انحراف فرکانس و نمره مهارت واقعی یا نمره R. کالیفرنای جنوبی و منطقه خلیج سانفرانسیسکو با استفاده از داده‌های دو منطقه لرزه‌ای متفاوت، داده‌های آموزش و داده‌های تست مورد بررسی قرار می‌گیرند. به طور کلی مدل شبکه عصبی مکرر بهترین دقت پیش بینی را در مقایسه با شبکه‌های شبکه عصبی و شبکه‌ی عصبی با عملکرد شعاعی ارائه می‌دهد. این تحقیق یک رویکرد علمی برای ارزیابی پتانسیل خطر لرزه‌ای کوتاه مدت یک منطقه فراهم می‌کند.

امیری در سال ۲۰۰۸ در این پایان نامه از دو دیدگاه برای بررسی عدم قطعیت با نام های تئوری شهود (دمستر- شافر) و تئوری مجموعه‌های زبر (تئوری راف ست) در تعیین آسیب پذیری لرزه‌ای فیزیکی و انسانی شهر تهران در دو سناریوی وقوع زمین لرزه در یک روز از سال تحصیلی و شب استفاده نمود. در

^۱ Cigdem Tarhan

^۲ Metropolitan

^۳ Ýzmir

^۴ Pankkat

تعیین آسیب پذیری فیزیکی و انسانی، نتایج تحلیل خطر گسل شمال تهران به عنوان یکی از معیارهای تأثیر گذار مورد استفاده قرار گرفته است و از آنجایی که نتایج این تحقیق بیانگر این مطلب است که حتی با لحاظ کردن گسل شمال تهران، همچنان مراکز مرکزی و جنوبی شهر جزء آسیب پذیرترین مناطق شهر است، لذا از بررسی اثرات گسل‌های دیگر به عنوان معیار آسیب پذیری صرف نظر گردیده است. در این پژوهش در ابتدا استفاده از نظرات کارشناسان و با کمک قانون ترکیب دمستر، معیارهای مختلف بکار گرفته شده در مسئله آسیب پذیری، وزن دهی شده‌اند. بعد از این مرحله نیز وزن دهی در مورد گزینه‌های مورد بررسی که در اینجا حوزه‌های شهره بوده‌اند، انجام و به نوعی آسیب پذیری حوزه‌های شهری بر حسب معیارهای در نظر گرفته شده درجه بندی شده‌اند. اما از آنجایی که تعداد گزینه‌های مورد بررسی یا به عبارت دیگر حوزه‌های شهری بسیار زیاد بوده و نمی‌توان برای وزن دهی همه آن‌ها از نظرات کارشناسان استفاده نمود لذا ناچار این کار توسط رایانه انجام شده است. در نهایت با استفاده از لایه‌های (شدت زمین لرزه، شیب منطقه و) و روش مذکور به نقشه‌ی پهنه بندی کلان شهر تهران دست یافتند.

ماینت سو^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۹ جهت تهیه نقشه‌ی پهنه بندی زلزله منطقه‌ی میانمار را مورد بررسی قرار دادند. منطقه مورد مطالعه، که در حدود ۱۰۰ کیلومتری شمال ماندالای است، قسمت شمالی گسل زگارینگ (Sagaing) در شمال میانمار را پوشش می‌دهد، جایی که مرتباً زمین لرزه‌هایی با شدت و شدت مختلف گزارش شده است. منطقه مورد مطالعه شامل حدود ۲۰،۰۰۰ کیلومتر مربع در قسمت شمالی به اصطلاح حوضه ایراودی (Irrawady) واقع شده است. داده‌هایی که در این پژوهش در نظر گرفته شده است شامل؛ داده‌های تصویر ماهواره‌ای و داده‌های زلزله تاریخی برای محاسبه تراکم خطی، تراکم نقطه کانون، شدت بزرگی و کانتور عمق کانونی می‌باشد. این مطالعه برای شناسایی جدید خطرات لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد و انتظار می‌رود آگاهی را برای پیشگیری از بلایا افزایش دهد. این مشاهدات همچنین می‌تواند در سایر مناطق لرزه خیز منطقه کوهستانی اعمال شود. این مطالعه ثابت کرده است که مناطق با چگالی بالا در مناطق لرزه‌ای جمع شده‌اند. این می‌تواند ابزاری ارزشمند برای مطالعه زمین لرزه، مکمل سایر مطالعات زمینی و ماهواره‌ای فراهم کند. با این حال، صحت نتایج این مطالعه به داده‌های فهرست زلزله و درصد تأثیر در تعیین وزن بستگی دارد.

تاکنون روش‌های تصمیم گیری چند معیاره مختلفی به منظور تهیه نقشه آسیب پذیری لرزه‌ای ارائه شده‌اند و هر کدام به نوعی عدم قطعیت‌های موجود در داده‌ها و نظرات کارشناسی را مدیریت می‌کردند و در نهایت نقشه آسیب پذیری لرزه‌ای با کمترین عدم قطعیت با استفاده از آن‌ها تهیه شده است. صمدی

^۱ Mynit soe

علی نیا در سال ۲۰۰۹ در این پایان نامه از روش محاسبات دانه‌ای به منظور تهیه نقشه آسیب پذیری لرزه‌ای فیزیکی شهر تهران استفاده نمود. انتخاب این روش به منظور ساده سازی روش‌های موجود در حل مسئله سلسله مراتبی و همچنین رفع کمبودهای روش‌های استفاده شده در تحقیق‌های گذشته در مدل سازی عدم قطعیت نظر کارشناسان می‌باشد. یکی از مشخصه‌های ویژه این روش بر خلاف روش‌های گذشته، استخراج قوانین تصمیم گیری دقیق با مقدار ناسازگاری صفر از مجموعه‌های از پیش کلاسه بندی شده توسط کارشناسان است که در این مورد، بر خلاف روش‌های مذکور در بالا در حل مسئله به صورت پارتیشن، حل مسئله پوششی می‌باشد. به این معنی که در این روش‌ها با در نظر گرفتن عدم افزونگی، یک حوزه شهری ممکن است با بیش از یک قانون کلاسه بندی شود. در این پایان نامه، نقشه آسیب پذیری لرزه‌ای فیزیکی شهر تهران با در نظر گرفتن سناریوی فعال شدن گسل شمال تهران با استفاده از تئوری محاسبات دانه‌ای در دو محدوده مطالعاتی، کل شهر تهران و قسمت مرکز و جنوب شهر تهران با لحاظ نمودن وضعیت سطح آب‌های زیر زمینی، تهیه شده است. لایه‌های مورد بررسی در این پژوهش شامل؛ شدت زمین لرزه، شیب توپوگرافی، عمق آب زیر زمینی و... می‌باشد. دقت متوسط نقشه آسیب پذیری بدست آمده نسبت به نظر کارشناسان برای کل شهر تهران ۷۲٪ بوده است و برای نقشه آسیب پذیری برای مناطق مرکزی و جنوب تهران ۶۹٪ شده است.

تاسکین^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۹ یک الگوریتم جدید یادگیری ماشین را پیشنهاد می‌دهد که نام آن را انتخاب و پشتیبانی برداری قرار داده‌اند. هدف این پژوهش دستیابی به عملکرد طبقه‌بندی ماشین‌های بردار پشتیبانی غیر خطی فقط با استفاده از بردارهای پشتیبانی SVM خطی است. روش پیشنهادی به هیچ نوع هسته‌ای نیاز ندارد و در مقایسه با ماشین بردار پشتیبان غیرخطی به زمان محاسبه کمتری نیاز دارد. الگوریتم SVSA^۲ دو مرحله دارد: انتخاب و انطباق. در مرحله اول، برخی از بردارهای پشتیبانی به دست آمده از SVM خطی انتخاب می‌شوند، سپس بردارهای پشتیبانی انتخاب شده به صورت تکراری در الگوریتم training سازگار می‌شوند. روش پیشنهادی در برابر SVM خطی و غیرخطی در داده‌های سنجش از دور مصنوعی و واقعی مقایسه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی SVSA عملکرد بسیار نزدیک به SVM غیرخطی را بدون هیچ هسته‌ای در زمان محاسبه کمتر به دست می‌آورد.

پانککت در سال ۲۰۰۹ یک رویکرد محاسباتی برای پیش بینی مکان و زمان وقوع زمین لرزه‌های متوسط تا بزرگ آینده در یک مفهوم تقریبی، براساس مدل سازی شبکه عصبی و استفاده از هشت شاخص لرزه خیزی به عنوان ورودی در منطقه کالیفرنیا به انجام رساند. دو روش مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در

^۱ Taskin

^۲ Support Vector Selection and Adaptation (SVSA)

روش اول، یک منطقه لرزه‌ای بزرگ به چند ناحیه کوچک تقسیم می‌شود و ثبت زمین لرزه تاریخی به تعدادی از دوره‌های زمانی مساوی کوچک تقسیم می‌شود. شاخص‌های لرزه خیزی برای هر زیر منطقه، برای هر دوره زمانی محاسبه می‌شود و رابطه آنها با بزرگترین زمین لرزه رخ داده در آن زیر منطقه طی دوره زمانی کوچک با استفاده از یک شبکه عصبی مکرر بررسی می‌شود. در روش دوم، رکورد زلزله تاریخی به تعدادی دوره زمانی نابرابر تقسیم می‌شود که هر دوره به عنوان زمان بین زمین لرزه‌های بزرگ تعریف می‌شود. شاخص‌های لرزه خیزی برای هر دوره زمانی محاسبه می‌شود و ارتباط آنها با طول و عرض جغرافیایی محل کانون محاسبه می‌شود و زمان وقوع زلزله بزرگ و کوچک با استفاده از یک شبکه عصبی مکرر مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

عادلی^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۹ از یک شبکه‌ی عصبی احتمالی برای پیش بینی بزرگی زمین لرزه در یک منطقه لرزه‌ای با استفاده از هشت پارامتر محاسبه شده ریاضی معروف به شاخص‌های لرزه خیزی استفاده نمودند. شاخص‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش شامل زمان سپری شده در طی تعداد خاص n از حوادث لرزه‌ای قابل توجه قبل از ماه مورد نظر است، شیب منحنی قانون معکوس قدرت گوتنبرگ - ریشتر برای رویدادهای n ، میانگین انحراف مربع در مورد خط رگرسیون براساس قانون معکوس گوتنبرگ ریشتر برای n رویداد، میزان ریشه مربع انرژی لرزه‌ای آزاد شده در طی n رویداد، میانگین زمان یا دوره بین وقایع مشخصه و ضریب تغییر میانگین زمان و می‌باشد. دقت پیش بینی مدل با استفاده از سه معیار آماری مختلف ارزیابی می‌شود: احتمال تشخیص، نسبت هشدار کاذب و نمره مهارت واقعی یا نمره R . مدل PNN^2 با استفاده از داده‌های مربوط به منطقه جنوب کالیفرنیا مورد آزمایش قرار گرفته است. این مدل دقت پیش بینی خوبی را برای زمین لرزه‌های بزرگ بین ۴/۵ و ۶ به همراه دارد.

صفری و همکاران در سال ۲۰۱۰ منطقه‌ی مسجد سلیمان را برای دست یابی به نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله مورد پژوهش قرار دادند. مسجد سلیمان (MIS^3) در قسمت شمالی دزفول واقع شده است که در کمربند محوری زاگرس با فعالیت‌های لرزه‌ای بالا قرار دارد. شهر مسجدسلیمان در بالای میدان نفتی MIS (اولین میدان نفتی کشف شده در خاورمیانه) واقع شده است. قسمت اصلی منطقه مورد مطالعه در دره رودخانه تمبی و اطراف آن و مناطق مجاور واقع شده است. مراحل زیر در این تحقیق انجام شده است: (الف) پردازش تصویر و تحقیقات میدانی برای تشخیص سنگ شناسی خارج شده و استخراج ویژگی‌های ساختاری مانند؛ گسل‌ها و خطوط، (ب) بررسی فعالیت‌های اخیر گسل توسط ارزیابی زمین لرزه، (ج)

^۱ Adeli

^۲ Probabilistic Neural Network

^۳ Masjed-i-Soleiman

دیجیتال سازی نقشه کانتور زیرزمینی (UGC^۱) و سپس، تهیه طرح سه بعدی که نشان می‌دهد رابطه بین ساختارهای زیر سطح و سطح چگونه است. تقاطع مناطق گسل نیایش و MIS باعث ایجاد شکستگی بالا شده است که باعث نشت گاز (و نشت روغن) از طریق درپوش ضخیم گاز این میدان نفتی شده است. این مطالعه نتیجه گرفت که ادغام تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در رابطه با مشاهده میدانی می‌تواند با موفقیت برای نقشه برداری از ویژگی‌های ساختاری و همچنین تأثیرات زیست محیطی در میدان نفتی و تراوشات استفاده شود. سرانجام، نویسندگان نتیجه گرفتند که این زمین لرزه پیش بینی شده ممکن است باعث شکستگی گسترده سنگ‌های کلاهدک شود و حجم زیادی از گاز S₂H را از بالاترین لایه مخزن آزاد کند.

مصون سازی شهرها و برنامه ریزی جهت سازمان دهی فضاهای شهری در برابر بلایای طبیعی، موضوعی است که در سال‌های اخیر نظر محققان را به خود جلب نموده است. در این راستا شناسایی پهنه‌های آسیب پذیری در برابر زلزله و تعیین میزان چگونگی آسیب پذیری آن‌ها را فراهم می‌آورد تا در مراحل بعدی باتوجه به امکانات و محدودیت‌های موجود راهکارهای مناسب در جهت کاهش این آسیب پذیری اتخاذ گردد. حبیبی و همکاران در سال ۲۰۱۱ شهر بابلسر که یکی از شهرهای مهم شمال کشور می‌باشد که در پهنه بندی با خطر بالا از نظر زلزله مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله آسیب پذیری پهنه‌های مختلف شهر بابلسر در برابر زلزله براساس معیارهای بافت و کالبد شهر (بافت شهری، کیفیت ابنیه، عمر ابنیه، نوع مصالح عمده بنا، مساحت قطعات، تعداد طبقات مسکونی، تراکم ساختمانی، فضای باز) و سطح دسترسی به مراکز حیاتی (مراکز آتش نشانی، مراکز درمانی و بیمارستان، مراکز نیروی انتظامی) مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که پهنه‌های مرکزی شهر با توجه به بافت ارگانیک و قدمت بالا علی‌رغم نزدیکی بیشتر به مراکز حیاتی آسیب پذیری بیشتری نسبت به سایر نواحی دارد. به صورت دقیق‌تر نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بعد از بررسی نواحی ۱۱ گانه شهر بابلسر، نواحی (۴، ۸ و ۱۰) دارای بافت ارگانیک و قدمت بیشتری است و آسیب پذیری نسبی بالاتری در برابر زلزله دارد. نواحی توسعه جدید شهر (۲، ۹و۶) با توجه به رعایت ضوابط حیاتی دارای آسیب پذیری کمتری نسبت به سایر نواحی می‌باشد.

امروزه باتوجه به روند رو به رشد جمعیت و تراکم جمعیتی مناطق شهری کشورهای در حال توسعه علی‌الخصوص در شهرهای پرجمعیت و مستعد از نظر لرزه خیزی، لزوم نگرشی همه جانبه و فراگیر به حوادث طبیعی و فجایع ناشی از بروز آن‌ها بیش از پیش جلوه نموده است. شهر تاریخی تبریز به خاطر نزدیکی به

^۱ User-generated Content

گسل‌های راست‌گسل فعال یکی از شهرهای زلزله‌خیز ایران به شمار می‌آید. در این بین شهرداری منطقه ۸ تبریز که به عنوان شهرداری تاریخی و فرهنگی شهر تبریز شناخته می‌شود، دارای اماکن تاریخی با ارزش، بافتی فرسوده، ترافیک سنگین و تراکم جمعیت بالاست که اهمیت مطالعه و پژوهش را در زمینه مدیریت بحران بیشتر می‌کند. پیشگامی و همکاری در سال ۲۰۱۱ جهت مدیریت صحیح بحران در منطقه قدیمی ۸ تبریز، با بهره‌گیری از مدل شاخص همپوشانی وزنی در محیط GIS و در نظر گرفتن لایه‌های؛ تفکیک ابنیه، تراکم جمعیت، نزدیکی به معابر، نزدیکی به فضای باز، اماکن درمانی، ایستگاه آتش‌نشانی، اماکن نظامی و انتظامی، پمپ بنزین و همچنین توپوگرافی محدوده مورد مطالعه، این پژوهش را به انجام رساندند. نتایج حاصل از خروجی مدل نشان می‌دهد که تنها ۱۳/۹۴٪ از محدوده مورد مطالعه دارای وضعیت مطلوب تا بسیار مطلوب می‌باشد. ۴۷/۳۷٪ از محدوده نیز در وضعیت متوسط از لحاظ خطر پذیری در مواقع بحرانی قرار دارد. ۳۸/۶۹٪ از محدوده مورد مطالعه نیز در شرایط نامطلوب تا بسیار نامطلوب قرار دارد که این امر لزوم برنامه‌ریزی دقیق و اصولی را در مراحل قبل، حین و وقوع بحران از طرف مسئولین این منطقه طلب می‌کند.

کشور چین از نظر قلمرو وسیع است و دارای محیط زمین‌شناسی پیچیده‌ای می‌باشد. شرایط زمین‌شناسی طبیعت که بر توسعه خطرات تأثیر می‌گذارد و بسیار پیچیده و متنوع است. چین یکی از مهم‌ترین کشورها از جهت رخ دادن زلزله در جهان است. هونگشیا لو^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۱ در شهر نان‌چونگ، استان سی‌چوان که دارای مساحت ۸۱ کیلومتر مربع و ۷۵۵ میلیون نفر جمعیت می‌باشد، پژوهش خود را به انجام رساندند. داده‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش شامل نقشه کاربری زمین، داده‌های تصویر DEM^۲، RS^۳ است که زمان آن قبل از ماه مه و بعد از ماه مه سال ۲۰۱۰ است، می‌باشد. جهت پردازش اطلاعات از نرم‌افزار GIS نمودند که نرم‌افزار بسیار مناسبی جهت دست‌یابی به اطلاعات زلزله می‌باشد. باربارا تیلن-ویلیگ^۴ و همکاران در سال ۲۰۱۲ منطقه تسالونیک در شمال یونان را که موقعیت جغرافیایی و اهمیت مالی شهر نیاز به مطالعه دقیق و کامل خطرات طبیعی دارد و ممکن است بر ایمنی گیاهان و تأسیسات صنعتی و زیربنایی تأثیر بگذارد را مورد پژوهش قرار دادند. در محدوده این مطالعه، از ابزارهای Google Earth یا Open Street Map برای کسب اطلاعات لازم و همچنین ارزیابی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های پایگاه (سایت) ESRI و سایر ابزارهای وب استفاده شده است. در چارچوب این مطالعه، داده‌های

^۱ Hongxia Lu

^۲ Digital Elevation Model

^۳ Remote Sensing

^۴ Theilen-Willige

ماهواره‌ای برای به دست آوردن اطلاعات تقریباً واقعی در مورد پوشش کاربری زمین با استخراج آن از تصاویر ماهواره‌ای پردازش شده دیجیتال مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از روش‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) همراه با پایگاه‌های اطلاعاتی جغرافیایی مرتبط می‌تواند به مقامات محلی و ملی کمک کند تا آمادگی و سازماندهی بهتری داشته باشند. تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در شمال شرقی یونان به منظور کمک به مناطقی است که بیشتر در معرض حرکت زمین‌های زلزله قرار دارند. در نهایت می‌توان طبق پژوهش‌ها دریافت نرم افزار GIS، نرم افزار مناسبی جهت بررسی منطقه از لحاظ زلزله و انجام اقدامات لازم می‌باشد.

خو^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۲ از مدل سازی ماشین بردار پشتیبانی (SVM) بر اساس تئوری یادگیری آماري است، استفاده نمودند. این روش شامل یک مرحله آموزش با مقادیر ورودی و خروجی هدف می‌باشد. در سال‌های اخیر، این روش به طور فزاینده‌ای محبوب شده است. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی قدرت نقشه برداری از مدل سازی SVM در نقشه حساسیت به لغزش زمین لرزه‌ای برای بخشی از حوزه رودخانه جیانجیانگ چین با استفاده از نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. این رودخانه تحت تأثیر زلزله ونچوان قرار گرفت. ارتفاع، زاویه شیب، میزان شیب، فاصله از گسل‌های لرزه‌ای، فاصله از زهکشی‌ها و سنگ شناسی به عنوان پارامترهای کنترل استفاده شده است. ۱۲ نقشه حساسیت لغزش ایجاد شده با مکان‌های شناخته شده مرکز لغزش و چند ضلعی‌های لغزش مقایسه شد تا میزان موفقیت و دقت پیش بینی هر مدل بررسی شود. نقشه‌های حساسیت پیش بینی لغزش به برنامه ریزان برای درک احتمال لغزش در مناطق مختلف کمک می‌کند و می‌تواند در کاهش خطر مفید باشد.

تلسکا^۲ در سال ۲۰۱۲، مطالعه حاضر را با استفاده از مسئله ریاضی، پارامترهای گسترده ای از ECMD^۳ و با استفاده از روش حداکثر احتمال تخمین زده است. در این سال‌ها علاقه به استفاده از مدل‌های گسترده در توزیع قدر تجمعی زلزله در حال افزایش بوده است. عدم انعطاف پذیری در لرزه خیزی منجر به شکل جدیدی از توزیع تجمعی بزرگی زلزله می‌شود که قانون گوتنبرگ - ریشتر را می‌توان به عنوان یک مورد خاص در نظر گرفت.

امیر احمدی و آب باریکی در سال ۲۰۱۳ در شهر سبزوار یکی از شهرهای کهن استان خراسان رضوی است که در حال حاضر به عنوان دومین شهر پرجمعیت استان خراسان رضوی بعد از مشهد شناخته می‌شود. طی دهه‌ی گذشته شاهد توسعه و گسترش سریع فیزیکی بوده که به ساخت و سازهای بدون

^۱ Xu

^۲ Telesca

^۳ earthquake cumulative magnitude distribution

ملاحظات ایمنی از نظر حوادث طبیعی از جمله زلزله و صرفاً برای پاسخگویی به نیازهای سکونتی در کوتاه مدت انجام گرفته، منجر گشته است. گسترش و توسعه‌ی شهر به سمت شمال موجب اشغال عوارض زمین شناسی و ژئومورفولوژی پرخطر مانند گسل‌ها، تپه‌های نئوژن، کانون‌های زلزله، شیب‌های تند و رسوبات آبرفتی و مخروط افکنه‌های جدید کواترنری شده است. در این تحقیق ابتدا مهم‌ترین عوامل مؤثر به عنوان عوامل اصلی تشدید خطر در صورت وقوع زمین لرزه شناسایی شده است، سپس لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از GIS ساخته شدند که شامل لایه‌های فاصله از گسل، شیب، توپوگرافی، شیب لایه‌های زمین، لیتولوژی، کاربری زمین، تراکم جمعیت و ساختمان، قدمت ساختمان و فاصله از کانون زلزله‌های تاریخی می‌باشند. در ادامه عوامل مؤثر به روش AHP وزن دهی گردیدند که نقشه پهنه بندی خطر در پنج گروه خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تهیه گردید. نقشه‌ی پهنه بندی تهیه شده نشان می‌دهد که در صورت بروز زلزله ۱۱ کیلومتر مربع از وسعت شهر در پهنه خطر بسیار زیاد، ۳۷ کیلومتر مربع از وسعت شهر در پهنه خطر زیاد، ۴۹ کیلومتر مربع از وسعت شهر در پهنه خطر متوسط، ۶۰ کیلومتر مربع از وسعت شهر در پهنه خطر کم، ۵۹ کیلومتر مربع از وسعت شهر در پهنه خطر خیلی کم قرار می‌گیرند.

مدیریت بحران علمی کاربردی است که به وسیله مشاهدات سیستماتیک بحران‌ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها در جستجوی یافتن ابزاری است که به وسیله آن به توان از بروز بحران‌ها پیشگیری یا در صورت بروز در راستای کاهش اثرات آن به امداد رسانی وسیع و بهبود اوضاع اقدام نمود. همه ساله در نقاط مختلف کره زمین افراد زیادی بر اثر وقوع سوانح طبیعی نظیر زلزله، سیل و طوفان جان و کاشانه خود را از دست می‌دهند. تأمین مکان‌های مناسب برای استقرار مراکز امداد رسانی پس از وقوع زلزله و اسکان آوارگان یکی از موارد مهم در برنامه ریزی و مدیریت بحران است. فداء و همکاران در سال ۲۰۱۳ در این پژوهش منطقه سه شهرداری اصفهان که جمعیتی بالغ بر ۱۱۱۸۹۶ نفر می‌باشد را مورد بررسی قرار دادند، تا بتوانند مکان یابی محل‌های اسقرار موقت جمعیت آسیب دیده را بعد از زلزله احتمالی انتخاب و مورد مطالعه قرار بدهند و همچنین به کارگیری متد تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۱ و استفاده از نرم افزار ARC GIS در تعیین مکان یابی و پیدا کردن بهترین مدل سازگاری با استفاده از فرآیند تصمیم گیری Topsis، پارک شهید رجایی، خیابان‌های باغ گل‌دسته و آینه خانه به عنوان بهترین مکان برگزیده شده‌اند.

قنبری و همکاران در سال ۲۰۱۳ شهر تبریز را برای پهنه بندی خطر زلزله مورد بررسی قرار دادند. هدف اصلی این مقاله شناسایی و پهنه بندی محدوده شهر تبریز از نظر میزان آسیب پذیری در مقابل خطر زمین لرزه است. این تحقیق از نظر نوع تحقیقات کاربردی- توسعه‌ای و از نظر روش جز تحقیقات توصیفی-

^۱ Analytical Hierarchy Process (APH)

تحلیلی است. در این راستا ابتدا با استفاده از نظریات کارشناسان رشته‌های مرتبط با زلزله بررسی و ۱۵ معیار طبیعی (فاصله از گسل، سطح ایستایی آب، شیب و زمین شناسی) و انسان ساخت (تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، فاصله از مراکز خطر، کیفیت ابنیه، اندازه قطعات، کاربری اراضی، دسترسی به شبکه‌های ارتباطی، نفوذ ناپذیری بافت، قابلیت جابجایی در شرایط بحرانی، دسترسی به فضای باز، دسترسی به مراکز امدادی) مؤثر در میزان آسیب پذیری شهر در مقابل خطر زمین لرزه شناسایی شد. سپس با استفاده از توابع تحلیلی نرم افزار GIS، مدل‌های وزن دهی معیار، تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و شاخص همپوشانی و تلفیق این دو مدل و همپوشانی لایه‌هایی که منتج از معیارهای مؤثر در میزان آسیب پذیری بوده‌اند، نقشه‌ی نهایی پهنه بندی آسیب پذیری شهر در مقابل خطر زمین لرزه بر اساس مدل ذکر شده استخراج شد. نتایج دو مدل، شباهت زیادی با هم داشتند، با این تفاوت که نواحی با خطر بسیار بالا در مدل تحلیل سلسله مراتبی پراکندگی بیشتری نسبت به مدل شاخص همپوشانی داشته و بیشتر قسمت‌های شهر در مدل شاخص همپوشانی در پهنه‌های خطر متوسط قرار گرفتند. در یک نتیجه گیری کلی می‌توان گفت شهر تبریز از نظر خطر زمین لرزه وضعیت مطلوبی نداشته و بیشتر قسمت‌های پر تراکم شهری، بخصوص قسمت‌های شمالی و مرکزی شهر، در پهنه‌های آسیب پذیری و خطر بسیار بالا و بالا قرار دارند.

در سال‌های اخیر وقوع زلزله‌های مرگبار در مناطق فعال لرزه‌ای باعث گردیده تا پدیده روانگرایی مورد توجه محققین قرار گیرد. در مناطقی که آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین می‌باشد، ارتعاشات ناشی از زمین لرزه می‌تواند چسبندگی و انسجام میان ذرات تشکیل دهنده خاک را از بین ببرد، و خاک حالت مایع و روان به خود بگیرد در این حالت روانگرایی اتفاق می‌افتد. روانگرایی اغلب باعث خسارت‌های وسیعی بر تأسیسات شهری و روستایی، سازه‌های ساحلی، منابع آبی و خطوط انتقال آب و گاز می‌شود. مهر شاهی در سال ۲۰۱۳ در این پژوهش تلاش نموده تا با مطالعه عوامل اصلی ایجاد روانگرایی، با استفاده از مدل فازی به پهنه بندی نواحی مستعد وقوع این پدیده بپردازد. شهرستان ابرکوه به دلیل شرایط مورفوتکتونیک و وجود گسل‌های فعال به ویژه گسل اصلی دهشیر- بافت و شاخه‌های فرعی آن، ویژگی‌های زمین شناسی و وجود رسوبات جوان کواترنر و وجود منابع آب‌های زیرزمینی در معرض خطر روانگرایی می‌باشد. جهت مدلسازی، شش معیار به عنوان عوامل اصلی و تأثیرگذار در ایجاد روانگرایی در نظر گرفته شده است که با استفاده از توابع عضویت فازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی، فازی شده‌اند. پس از فازی سازی لایه‌ها، عملکرد گامای فازی اجرا گردیده است. لایه‌های مورد بررسی در این پژوهش شامل؛ زمین شناسی، شیب، عمق آب زیرزمینی، سستی خاک و پراکندگی گسلی می‌باشد. جهت افزایش دقت در به دست آوردن نقشه‌ی حساسیت نواحی مسند وقوع روانگرایی در منطقه، از سه گامای ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ استفاده شده است. پس از مقایسه لایه‌های حاصل از سه گامای مورد نظر، این نتیجه حاصل گردید که نقشه به دست آمده از

مقدار گامای ۰/۹ دارای قدرت هم پوشانی بهتر و نیز دقت بالاتر در پهنه بندی نواحی از نظر حساسیت به وقوع روانگرایی می باشد. در نتیجه در این مدلسازی مشخص شد حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع از وسعت شهرستان، در معرض خطر بالای وقوع روان گرایی است که عمدتاً نواحی شمال شرق، شرق و جنوب شرق شهرستان را در بر می گیرد. نواحی با احتمال خطر وقوع متوسط، ۵۶ کیلومتر مربع برآورد شده است که جنوب شرق و تا حدی مرکز شهرستان را در بر دارد.

قرل بیگلو و همکاران در سال ۲۰۱۴ در شهر شیراز برای پهنه بندی و تخمین خسارات ناشی از زلزله، از مدل رادیوس و نرم افزار GIS استفاده نمودند. در این پژوهش با در نظر گرفتن لایه های؛ تعداد ساختمان های مورد مطالعه با توجه به نوع سازه و کاربری آن ها، تعداد طبقات ساختمانی، جمعیت کل منطقه، شریان های حیاتی منطقه، داده های خاک و زمین شناسی، خطوط آب و فاضلاب، نقشه های توپوگرافی و بررسی این داده ها در نرم افزار GIS و برنامه ی رادیوس که ابزار ساده ای برای ارتقاء درک از فرایند تخمین خسارت زلزله، برای تصمیم گیرندگان و عموم مردم می باشد، منطقه ی مورد مطالعه را مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج حاصل از تحقیق دریافتند که هر نقطه از منطقه ی مورد مطالعه در برابر زلزله چگونه خواهد بود، از این طریق هم می توانند مناطقی را که در مقابل زلزله دچار صدمات بیشتری می شوند ترمیم نمایند و هم می توانند نقاط امن تر را در هنگام زلزله شناسایی کنند و در نهایت این نقشه کمک می کند تا هم پیشگیری های لازم را قبل وقوع زلزله به انجام رسانند و هم در صورت وقوع زلزله به مناطق شناخت بهتری جهت امداد رسانی داشته باشند.

بحران های طبیعی همچون زلزله، طوفان و سیل قادر به تحمیل خسارات جبران ناپذیری به انسان و محیط زیست هستند. از این رو ارزیابی ریسک به منظور مدیریت مناسب و کاهش خسارات، حیاتی است. ارزیابی ریسک با فرآیند برآورد احتمال وقوع یک رویداد و اهمیت یا شدت اثرات زیان آور آن مشخص می شود. هاشمی و همکاران در سال ۲۰۱۴ جهت تحقیق به منظور ارزیابی شدت آسیب پذیری در برابر زلزله، پارامترهای مؤثر (فاصله از گسل، فاصله تا جاده اصلی، تراکم جمعیت زیر ده سال و تراکم جمعیت بالای ده سال) شناسایی و با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی مورد وزن قرار دادند. نقشه آسیب پذیری به روش همپوشانی و منطق فازی برای بلوک های آماری شهر تهران تهیه و به صورت بصری در محیط سیستم اطلاعات مکانی ارائه گردیدند. نتایج بدست آمده حاکی از ارجعیت منطق فازی در تعیین آسیب پذیری مناطق است. مدل همپوشانی شاخص با تعداد مناسب کلاس های وزنی برای هر فاکتور می تواند نتایج مشابه با منطق فازی به بار آورد. علاوه بر آن مدل همپوشانی شاخص از مزایای سادگی، سرعت بیشتر در حل مسئله و انعطاف پذیری در ترکیب ورودی ها و رتبه بندی خروجی ها بهره می برد. روش مناسب برای تهیه نقشه آسیب پذیری به میزان فازی بودن پارامترها، انتخاب مناسب تابع عضویت و

ادغام بهینه لایه‌های اطلاعاتی بستگی دارد.

کلانشهر تبریز به دلیل تنگناهای ژئومورفولوژیکی، احداث و ساخت شهرک‌های اقماری در اطراف شهر روی آورده است. اغلب شهرک‌های ایجادشده به ویژه شهرک ارم، در مجاورت گسل فعال شمال تبریز و عوامل تهدیدکننده مخاطرات طبیعی از قبیل زلزله، سیلاب، حرکات توده‌ای و... که شاخص‌های اساسی در مطالعه‌های مخاطرات ژئومورفولوژیکی است، قرار گرفته و عمدتاً در مناطق شیب دار با لیتولوژی نامقاوم متشکل از سازندهای میوسن (تناوبی از مارن‌های آهکی و نمکدار، کنگلومرا و ماسه سنگ با میان لایه‌های آهکی) ایجاد شده‌اند. هدف عمده تحقیق حاضر، تعیین وضعیت فعلی الگوی استقرار کاربری‌های اراضی شهری و پهنه بندی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های ژئومورفولوژیک در مناطق آسیب پذیر، در تطابق با استانداردهای کاربری‌های اراضی شهری در شهرک ارم تبریز است. مختاری و همکاران در سال ۲۰۱۴ به دلیل پیچیدگی و ازدیاد فاکتورهای مؤثر در تعیین کیفیت مکانی استقرار سکونتگاه‌های شهری، از روش‌های چندمتغیره‌ی تصمیم ساز برای تعیین درجه تناسب کیفی استقرار کاربری‌های اراضی استفاده کردند. لایه‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش شامل؛ شیب، فاصله از گسل، زمین شناسی، فاصله از جاده، ارتفاع، جهت شیب، ناپایداری دامنه و فاصله از آب‌های سطحی می‌باشد. بدین منظور از روش‌های ارزیابی چند معیاره مبتنی بر تحلیل سلسله مراتبی AHP برای تولید و تجزیه و تحلیل نقشه‌ها و لایه‌های مختلف کاربری‌ها استفاده شده است. بر اساس یافته‌های تحقیق، از کل مساحت ۵۵۴/۹۳ هکتاری شهرک، حدود ۳۶/۱۵ هکتار در مناطق با استاندارد خیلی کم، ۱۳۴/۴۴ هکتار در مناطق با استاندارد کم، ۱۳۳/۴۵ هکتار در مناطق با استاندارد متوسط، ۱۱۵/۶۳ هکتار در مناطق با استاندارد زیاد و ۱۸/۲ هکتار در مناطق با استاندارد خیلی زیاد استقرار یافته‌اند.

چلیک^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۴ به مبحث زلزله پرداختند. زمین لرزه‌ها اتفاقی است که در اثر ترک خوردگی پوسته زمین ایجاد می‌گردد و ارتعاشات فوری سطح زمین را متزلزل می‌کند و به صورت موج پخش می‌شود. زمین لرزه‌ها به متغیرهایی مانند نحوه انتشار این امواج، محاسبه این امواج و روش‌های محاسبه، ارزیابی این مجموعه داده‌های ثبت شده و... بستگی دارد. پیش بینی زمین لرزه‌های احتمالی و به حداقل رساندن خسارات از عوامل مهم هستند. هدف این پژوهش پیش بینی زمین لرزه با استفاده از روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و ماشین‌های بردار پشتیبانی می‌باشد. در این مرحله، ابتدا داده‌های لرزه‌ای طبقه‌بندی می‌شوند و سپس نتایج مقایسه‌ای در مرحله آزمون مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. در این مقاله از داده‌های پایان لرزه‌ای به دست آمده از گودال معدن که از طریق الگوریتم‌های طبقه‌بندی،

^۱ Çelik

طبقه‌بندی می‌شوند، استفاده شده است. گام بعدی بررسی داده‌ها به کمک روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان در طبقه‌بندی می‌باشد. میزان تشخیص زود هنگام با طبقه‌بندی از طریق شبکه عصبی مصنوعی ۸۳٪ درصد محاسبه می‌شود. میزان تشخیص زود هنگام با طبقه‌بندی از طریق ماشین بردار پشتیبانی ۹۱٪ محاسبه می‌شود.

شناخت مسائل روستا و ارائه راهکارهای مناسب برای آن‌ها از اقدامات اساسی در راستای نیل به توسعه پایدار روستایی است. یکی از دغدغه‌های اصلی مدیران و برنامه ریزان منطقه‌ای، مخاطرات طبیعی در مناطق مختلف است. جلالیان و همکاران در سال ۲۰۱۵ در شهرستان طارم در شمال استان زنجان به پژوهش پرداختند. این شهرستان به دلیل ساختار خاص زمین شناسی و توپوگرافی آن، آسیب پذیری بالایی در برابر خطر زلزله دارد. در این تحقیق، تلاش شده است تا با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و روش تحلیل چند معیاری فضایی و با بکارگیری پنج شاخص محیطی و جمعیتی به پهنه بندی سکونتگاه‌های روستایی در برابر خطر زلزله مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار، ابتدا پارامترهای مؤثر شامل: وجود گسل، جنس زمین، شیب، زمین لغزش و تراکم جمعیت انتخاب شده و سپس لایه‌های اطلاعاتی آن‌ها در محیط GIS تهیه و کلاس بندی شده است. وزن دهی به معیارها بر اساس تابع مقیاس خطی در مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) صورت گرفته و نقشه نهایی پهنه بندی خطر زلزله در چهار کلاس پهنه‌های با خطر پایین، خطر متوسط، خطر بالا و خطر خیلی بالا به دست آمده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که بخش عمده از محدوده شهرستان طارم و سکونتگاه‌های روستایی منطقه در پهنه با خطر بالا و خیلی بالا قرار گرفته است. باتوجه به پهنه‌های خطر بالقوه، ضروری است تا محل مناسبی برای اسکان اضطراری در منطقه مکان یابی و تجهیز شود.

ایران یکی از زلزله خیزترین کشورهای دنیا است و شهرهای آن در رابطه با این مخاطره طبیعی آسیب‌های فراوان دیده‌اند. کلانشهر تهران به عنوان کلانشهر اول کشور نه تنها از این قاعده مستثنی نیست، بلکه با توجه به وجود گسل‌های متعدد، بافت‌های فرسوده، تراکم سازه‌ای، جمعیت متراکم، عدم رعایت استانداردها، توسعه فیزیکی نامناسب با خطر جدی مواجه است. روش انجام تحقیق توصیفی-تحلیلی، با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای (اسناد، نقشه‌های زمین شناسی و توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth) است. کریمی کرد آبادی و همکاران در سال ۲۰۱۵، در این پژوهش با استفاده از مدل ترکیبی^۱ FUZZY-AHP و با بکارگیری نرم افزارهای Arc GIS و Choic Expert به پهنه بندی خطر زلزله و تأثیر آن در امنیت شهری منطقه یک شهر تهران پرداختند. لایه‌های در نظر گرفته شده در این

^۱ FUZZY Analytical Hierarchy Process (FUZZY- AHP)

پژوهش شامل؛ زمین شناسی، خدمات ایمن شهری، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از مناطق پر تراکم جمعیت می باشد. نقشه پهنه بندی خطر زلزله نشان می دهد، بیشتر مساحت و گستره آن، جزء پهنه های خطرناک وقوع زلزله محسوب می شوند. مناطق دارای خطر کم و خیلی کم که ۲۳ درصد محدوده مورد مطالعه را در بر می گیرد، بیشتر منطبق بر محدوده شهری نواحی الهیه، قیطریه، ولنجک، زعفرانیه و باغستان که به صورت پراکنده در بعضی قسمت های منطقه یک می باشند. مناطق دارای خطر خیلی زیاد و زیاد که در حدود ۵۰ درصد مساحت منطقه یک را در بر می گیرند. می توان گفت که بیشترین پهنه های خطر در امتداد گسل ها قرار می گیرند و مناطق کم دوام و فرسوده شهر، بیشتر در پهنه های با خطر زیاد و متوسط قرار گرفته اند، که این خود می تواند منجر به سلب امنیت و افزایش خسارات و تلفات ناشی از زلزله گردد. به طور کلی منطقه یک کلان شهر تهران به شدت در خطر زلزله خیزی قرار دارد و نیازمند توجه اساسی برای کاهش خسارات و تلفات ناشی از زلزله است و هر چه زودتر و بیشتر نیازمند بررسی و فکر چاره است.

مؤلفه های کالبدی فضاهای شهری هم چون ساختمان ها، فضاهای باز و ویژگی های کالبدی آنها همچون حجم توده، نحوه و محل استقرار، اندازه و شکل ظاهری و موقعیت قرارگیری آنها، نقشی تعیین کننده در شدت و میزان آسیب پذیری شهرها در مواجهه با زمین لرزه را دارند. بسیاری از شهرهای ایران بر روی پهنه های با خطر نسبی متوسط و زیاد زلزله واقع شده اند. از این رو توجه به کیفیت عناصر و مؤلفه های کالبدی فضاهای شهری در ایران می تواند از بروز فجایع انسانی در شهرها به نحوی چشمگیر بکاهد. شهر گرگان با جمعیتی حدود ۳۳۰ هزار نفر و وسعتی معادل ۳۶۰۰ هکتار در سال ۱۳۹۰ جز شهرهای واقع بر روی پهنه های زلزله خیز با خطر نسبی زیاد قرار گرفت. ۱۲ درصد از جمعیت این شهر در بافت فرسوده (که در حدود ۱۰ درصد از مساحت کل شهر را در بر گرفته است) سکونت دارد. فقدان پهنه بندی آسیب شناسانه از شهر در برابر زلزله، سبب شده است تا آسیب شناسی لرزه ای در این شهر از اهمیت و ضرورت بالایی برخوردار باشد. صیامی و همکاران در سال ۲۰۱۵ در این مقاله با استفاده از محاسبه، ترکیب و تحلیل شاخص هایی چون دسترسی به مراکز درمانی، نسبت بین عرض خیابان و ارتفاع ساختمان ها (درجه محصوریت)، تراکم ساختمانی، تراکم جمعیتی، کاربری زمین و کیفیت ابنیه، میزان آسیب پذیری شهر گرگان و... از طریق مدل سلسله مراتبی معکوس و GIS در مقابل زلزله مورد بررسی قرار دادند. این تحقیق نشان داد ساختمان های موجود در جنوب شهر نسبت به بقیه محدوده مورد مطالعه، دارای آسیب پذیری کمتری هستند. با حرکت از سمت جنوب به مرکز شهر، بر میزان آسیب پذیری افزوده می شود. علت این امر این است که جنوب شهر نسبت به شمال آن دارای معابر با عرض کافی، ساختمان های مقاوم و با قدمت کم می باشد.

محمد یعقوب^۱ در سال ۲۰۱۵ در این مطالعه توزیع مکانی-زمانی حوادث زلزله در امارات متحده عربی و تأثیر آن بر جمعیت را مورد بررسی قرارداد. تجزیه و تحلیل داده‌ها از ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۲ نشان داد که در طی ۲۸ سال زمین لرزه‌های مکرر وجود داشته است. از نظر فضایی، حوادث زلزله به صورت خوشه‌ای در امارات فوجیره در قسمت شرقی امارات متحده عربی (Thrust Oman) پیدا شد. از لحاظ زمانی، حداکثر تعداد وقایع زلزله (۴۹٪ از حوادث) در سال ۲۰۱۱ رخ داده است و این مطابق با گزارش سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS^۲) است که نشان می‌دهد در سال ۲۰۱۱ فعالیت زلزله به بالاترین سطح در ۲۰ سال گذشته رسیده است. دفعات افزایش در چند سال گذشته همراه با توسعه شهری نگران کننده است و تهیه اقدامات پیشگیرانه مانند نقشه‌های خطر برای منطقه ضروری می‌شود. در این مطالعه از هفت پارامتر برای تولید نقشه خطر استفاده شده است، که شامل زمین شناسی، خاک، شیب، کاربری زمین، وقایع تاریخی زلزله، خط گسل و جاده‌ها است. برای تعیین مرزهای مناطق در معرض خطر زلزله از تجزیه و تحلیل وزن دهی GIS استفاده می‌شود. نقشه حاصل در توسعه منظم و مناسب کاربری زمین برای برنامه ریزی جامعه و سیاست کمک خواهد کرد. از نظر نویسندگان، این تحقیق اولین تلاشی است که داده‌های مختلف GIS را برای تولید نقشه خطر برای قسمت شرقی امارات متحده عربی ادغام می‌کند. این روش می‌تواند توسط سایر مناطق جهان مورد استفاده قرار گیرد.

امروزه روش‌های مختلفی برای پهنه بندی خطر زمین لغزش‌ها وجود دارد. درخصوص زمین لغزش‌ها ناشی از زلزله، تحقیقات محدودتری انجام شده است. بررسی و تحلیل مشخصات زمین لغزش‌های ناشی از زلزله و نحوه توزیع آن‌ها در شناخت مناطق مستعد زمین لغزش در زلزله‌های آینده اهمیت بسزایی دارد. رجبی و همکاران در سال ۲۰۱۶ با هدف مطالعه و شناسایی عوامل مؤثر بر زلزله و پهنه بندی زمین لغزش‌های ناشی از زلزله به روش‌های ارزش اطلاعاتی و تحلیل سلسله مراتبی در محدوده‌ای در نزدیکی مرکز منجیل به مساحت ۳۰۹/۳۰ کیلومتر را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه با استفاده از دومدل رگرسیون دو متغیره (ارزش اطلاعاتی) و تحلیل سلسله مراتبی پهنه بندی خطر زمین لغزش‌های ناشی از زلزله انجام شده و کارایی این دو روش مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور، ابتدا باتوجه به موقعیت زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته، بررسی‌های تطبیقی و نتایج سایر محققین، هفت عامل شامل شدت آریاس، زاویه اصطکاک داخلی، شیب، چسبندگی، جهت شیب، ارتفاع و انحنا دامنه به عنوان مهم ترین عوامل وقوع زمین لغزش‌های ناشی از زلزله منجیل شناسایی شده و لایه‌های رستری عوامل مذکور در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه گردید. نقشه‌ی فهرست زمین لغزش‌ها نیز

^۱ Mohamed Yagoub

^۲ The United States Geological Survey

با استفاده از عکس‌های هوایی و مشاهدات میدانی تهیه و در کنار سایر اطلاعات قرار گرفت. تمامی اطلاعات و داده‌های تهیه شده جهت تحلیل اولیه وارد محیط GIS شد و نقشه‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش‌های ناشی از زلزله با در نظر گرفتن روش‌های مذکور انجام شد. سپس کارایی دو روش مورد بررسی با استفاده از دو شاخص جمع کیفیت‌ها و دقت روش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که مدل رگرسیون دومتغیره (روش ارزش اطلاعاتی) نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی روش مناسب‌تری بوده و نتایج آن با واقعیت تطابق دارد.

از آنجا که مکان یابی مسکن موقت در زمان وقوع فاجعه زلزله بدون در نظر گرفتن معیارهای استاندارد که توسط سازمان‌های امدادی انجام می‌شود، ممکن است عوارض زیادی به ویژه در شهرهای بزرگ ایجاد کند. برای جلوگیری از چنین مشکلاتی، یک برنامه مدون برای منطقه بندی مناطق مستعد لرزه‌ای در شهرک‌هایی مانند شهر اهواز، از نظر مناطق خطرناک، مناطق امن برای اسکان موقت پس از فاجعه و مشخص کردن مسیر برای رسیدن به مناطق امن مورد نیاز است. رنگ زن و همکاران در سال ۲۰۱۶ شهر اهواز را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، اهداف فوق با استفاده از منطق فازی، تحلیل سلسله مراتبی فازی و GIS در منطقه "یک" کلانشهر اهواز مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور، مهمترین داده‌ها برای تعیین مکان‌های پر خطر و همچنین مناطق امن و همچنین شناسایی مسیرهای بهینه برای رسیدن به مناطق امن جمع آوری و استفاده شده است. بر اساس نتایج، سیستم استنتاج فازی دقت ۸۵٪ را نشان می‌دهد در حالی که، تحلیل سلسله مراتبی فازی دقت ۴۱٪ را نشان می‌دهد. با مقایسه نتایج روش‌ها به خوبی می‌توان دریافت روش منطق فازی توانایی بالاتری نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی را دارد. برای شناسایی مکان‌های ایمن برای اسکان موقت پس از فاجعه زلزله، پس از بررسی نوع و کاربری اراضی مناطق پیشنهادی با استفاده از دو مدل، در مدل سیستم استنتاج فازی، ۲۵ سایت و در تحلیل سلسله مراتبی فازی، ۱۸ سایت مسکن موقت تعیین شد.

زمین لرزه از جمله بلایای طبیعی به شمار می‌رود که هر ساله خسارت جانی و مالی بسیاری را به همراه دارد. امروزه با پیشرفت علم و فناوری، زمینه‌های مناسبی برای شناخت و کاهش این خطرات طبیعی فراهم شده است. در این راستا می‌توان اطلاعات جغرافیای را همگام با ابزار پشتیبانی تصمیم به منظور ارزیابی خطر زمین لرزه به کاربرد. این پژوهش به منظور بررسی میزان تأثیر عوامل مختلف در ایجاد پدیده زمین لرزه و پهنه بندی خطر وقوع زمین لرزه در بخش مرکزی شهرستان سمیرم که توسط رحیمی شهید و همکاران در سال ۲۰۱۷ انجام گرفت. برای رسیدن به این هدف با به کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی عوامل مورد بررسی به صورت زوجی مقایسه و وزن هر یک از عوامل که مبین میزان تأثیر آنها است محاسبه شده است. لایه‌های در نظر گرفته شده در این تحقیق شامل: فاصله از گسل، واحدهای سنگ

شناسی، فاصله از مرکز سطحی زمین لرزه و بزرگی زمین لرزه می‌باشد. باتوجه به مقادیر کمی وزن هر یک از عوامل، نقشه وزنی هر عامل تهیه و در نهایت اقدام به تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لرزه با استفاده از لایه های وزنی و ضریب وزنی مربوط به هر یک از عوامل شده است. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر این است که روش تحلیل سلسله مراتبی به دلیل استوار بودن بر مبنای مقایسه های زوجی موجب سهولت و دقت در انجام محاسبه های لازم و ارائه نتایج به دلیل دخالت دادن تعداد زیادی از عوامل در مقایسه با سایر روش های پهنه بندی خطر زمین لرزه است. نتایج نشان داد که در مدل تحلیل سلسله مراتبی حدود ۴۹/۷۲٪ حوضه در پهنه های با خطر بالا و خیلی بالا قرار می گیرد.

شناسایی و تعیین مناطق حساس و مستعد لغزش می تواند ضمن جلوگیری از بروز خسارت ها، زمینه را برای اجرای طرح های پایدارسازی دامنه ها فراهم آورد. پهنه بندی خطر زمین لغزش یکی از روش های غیرمستقیم و کارآمد در شناسایی این مناطق است. سیستم اطلاعات مکانی (GIS) در تلفیق با روش های تصمیم گیری چندمعیاره می تواند بدین منظور به کار رود. عفتی و همکاران در سال ۲۰۱۷ در این مطالعه برای تعیین مناطق مستعد خطر زمین لغزش در استان البرز از تحلیل های مکانی و تحلیل سلسله مراتبی بر پایه قضاوت کارشناسان خبره جهت وزن دهی به عوامل مؤثر در تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش استفاده نمودند. لایه های در نظر گرفته شده در این پژوهش شامل؛ جنس خاک، باران، جهت شیب و مقدار شیب می باشد. نتایج پهنه بندی در چهار دسته بسیار پرخطر، پرخطر، خطر متوسط و کم خطر قرار می گیرند طوری که محدوده خطرناک به صورت مجموع پهنه های پرخطر و بسیار پرخطر در نظر گرفته شود. نتایج نشان داد که ۸۶/۷۲٪ از زمین لغزش ها در محدوده خطرناک با مساحت ۹۷۲۰/۹۷ کیلومترمربع رخ داده اند. بخش های کوهستانی استان تهران بر روی سازندهای حساس به زمین لغزش احداث شده است و اگر حرکات لغزشی در این نواحی رخ دهد، چه بسا شاهد اثرات جبران ناپذیر در همه ی ابعاد آن باشیم. هدف این پژوهش که توسط عابدینی و همکاران در سال ۲۰۱۷ صورت پذیرفته است، بررسی و تحلیل زمین لغزش در استان تهران و پهنه بندی نواحی مستعد وقوع زمین لغزش است. این پهنه بندی از طریق مدل فازی با استفاده از ۸ شاخص کمی و کیفی شامل زمین شناسی، ارتفاع، شیب دامنه ها، جهت دامنه ها، فاصله از گسل ها، فاصله از رودخانه ها، کاربری زمین و بارش، به عنوان عوامل مؤثر در وقوع حرکات لغزشی در نرم افزار Arc GIS انجام شد. نتایج نشان داد در حدود ۱۳/۳۱ درصد از محدوده ی مورد مطالعه در پهنه های با آسیب پذیری زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. حدود ۱۳/۷۱ درصد در پهنه ی با آسیب پذیری متوسط و ۷۲/۹۴ درصد از مساحت استان تهران در پهنه ی با خطر وقوع کم و بسیار کم قرار گرفته است. پس از انجام مشاهدات میدانی از نواحی مستعد وقوع زمین لغزش و مقایسه ی آن با نقشه ی پهنه بندی به دست آمده صحت و کارایی مدل فازی تأیید می شود. پهنه های با آسیب پذیری بالا، عمدتاً نواحی کوهپایه ای و

کوهستانی استان تهران هستند. علت آسیب پذیری بالا، عوامل توپوگرافی و انسانی هستند، هر چند مورفولوژی پهنه‌های در معرض خطر زمین لغزش، از عامل شیب تبعیت کرده است و این نشان دهنده‌ی نقش عامل شیب در وقوع حرکات لغزشی است.

پهنه بندی خطر رویکرد مهمی از فرایند مدیریت پیش از بحران است که به برنامه ریزان و مدیران شهری در آماده سازی و کاهش آسیب پذیری کمک فراوانی می‌کند. مسئله اساسی انتخاب معیارهای آسیب پذیری و نحوه ترکیب این معیارهاست و به علاوه انتخاب مدلی مناسب است که بتواند به بهترین شیوه نمایانگر میزان آسیب پذیری باشد. کرمی و همکاران در سال ۲۰۱۸ شهر تبریز را برای تهیه نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله مورد بررسی و پژوهش قرار دادند. شهر تبریز به عنوان بزرگ‌ترین مادر شهر شمال غرب کشور از نظر وسعت، شرایط صنعتی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی اهمیت فراوان دارد، اما به دلیل هم جوار با گسلی بزرگ و فعال، شرایط نامساعد دارد. در این مقاله با استفاده از نرم افزارهای IDRISI و ARCGIS و انتخاب ۱۵ معیار (طبیعی: فاصله از گسل، شیب- کالبدی: تراکم تعداد طبقات، تراکم کیفیت ابنیه، تراکم نوع مصالح، دانه بندی، تراکم مسکونی، تراکم ساختمانی، تراکم تجاری- فاصله از مراکز امداد و نجات، فاصله از فضای باز، فاصله از شبکه‌ی معابر، فاصله از مراکز خطر زا- جمعیت: تراکم جمعیت، تراکم تعداد خانوار) و ترکیب مدل های منطق Fuzzy و AHP میزان آسیب پذیری منطقه‌های شهری و جمعیت ساکن در آنها نیز تحلیل و استخراج شده است. نتایج نشان می‌دهد که مناطق ۱۰ و ۱ به ترتیب دارای بدترین شرایط ممکن هستند و تطبیق نتایج به دست آمده با وضع موجود، حاکی از دقت بالای مدل انتخاب شده در موضوع پهنه بندی خطر زلزله است.

الدغوم^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۸ امارات متحده عربی را جهت بررسی میزان آسیب پذیری در برابر زلزله مورد بررسی قرار دادند. امارات متحده عربی در صفحه عربستان، غرب آسیا در انتهای جنوب شرقی شبه جزیره عربستان در خلیج عربستان واقع شده است. سواحل امارات بیش از ۶۵۰ کیلومتر (۴۰۴ مایل) در امتداد ساحل جنوبی خلیج عربستان امتداد دارد. در این مطالعه از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای بررسی وقایع مکانی - زمانی وقایع زلزله در سراسر صفحه عربستان و تأثیر آنها بر امارات متحده عربی (امارات) استفاده شده است. پس از آن، پارامترهای ژئوفیزیکی امارات متحده عربی، فاصله خط گسل، شیب، نوع خاک و زمین شناسی رتبه بندی و بر اساس سهم آنها توزین شدند و با استفاده از یک فرایند تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) برای شناسایی و تعیین خطر لرزه‌ای ترکیب شدند. مناطق نقشه پهنه بندی خطر لرزه‌ای در پنج منطقه خطر از بسیار زیاد تا بسیار کم طبقه بندی شدند. مشخص شده است که شهر

^۱ Al-Dogom

فجیره در منطقه "بسیار بالا" واقع شده است، شهرهای شارجه و دبی از مناطق "بالا" تا متوسط واقع شده‌اند در حالی که شهر ابوظبی نسبتاً از مناطق اصلی لرزه‌ای و گسل‌های اصلی فاصله دارد و در منطقه کم خطر لرزه‌ای قرار دارد. به عبارت دیگر ۷۸،۱۰٪ از کل منطقه مورد مطالعه در منطقه پر خطر قرار دارد، ۲۵/۹۱٪ تحت خطر متوسط و ۴۸،۹۵٪ در منطقه کم خطر قرار دارد. نتایج این مطالعه می‌تواند به بهبود برنامه ریزی شهری و استراتژی‌های کاهش اضطراری در امارات متحده عربی کمک کند.

حیدری در سال ۲۰۱۸ بافت قدیمی زنجان را برای دست یابی به نقشه‌ی پهنه بندی و اقدامات لازم قبل از وقوع زلزله مورد بررسی قرار داد. واقع شدن شهر زنجان بر روی کمر بند زلزله آلپ- هیمالیا از یک سو و قرار گرفتن چندین گسل فعال در اطراف آن از سوی دیگر، ضرورت انجام بررسی‌های مربوط به آسیب پذیری لرزه‌ای این شهر را آشکار می‌کند. با توجه به اهمیت موضوع ارزیابی آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله، در این مقاله سعی شده است تا با بکارگیری روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برآورد مناسبی از آسیب پذیری بافت قدیم شهر زنجان در برابر زلزله با استفاده از ویژگی‌های کالبدی و عناصر اصلی و رفتاری ساختمانی و تعیین تأثیر هر کدام از آن‌ها در میزان آسیب پذیری ارائه شود. روش مطالعاتی این تحقیق مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی بوده و از منابع اطلاعاتی طرح تفصیلی شهر زنجان و بهنگام سازی آن با استفاده از یافته‌های میدانی نگارندگان استفاده گردید است. تحلیل‌های صورت گرفته در پژوهش حاضر مبتنی بر تلفیق تحلیل سلسله مراتبی در محیط نرم افزار ARCGIS بوده است. لایه‌های در نظر گرفته شده در این مقاله شامل؛ تراکم جمعیت، قدمت بنا، نظام تفکیک قطعات، تراکم ساختمانی، مصالح ساختمانی، کیفیت بنا و تعداد طبقات می‌باشد. نتایج به دست آمده، نشان داد که بیشتر مناطق دارای خطر زیاد در برابر زلزله می‌باشند. بر این اساس، نگارندگان بکارگیری سیاست‌ها و تمهیداتی به منظور تشویق ساکنین در نوسازی و مقاوم سازی واحدهای مسکونی را از سوی مسئولین و دست اندرکاران پیشنهاد نموده‌اند.

وانگ^۱ همکاران در سال ۲۰۱۸ برای پیش بینی میزان زلزله ناشی از مخزن (RTE^۲) از روش‌های ماشین بردار پشتیبانی (SVM) و ماشین بردار پشتیبان فازی (FSVM^۳) استفاده نمودند. از عوامل اصلی تأثیرگذار بر RTE می‌توان به سنگ شناسی، یکپارچگی توده سنگ، ویژگی‌های گسل، وضعیت تنش زمین ساختی و زمینه فعالیت لرزه‌ای در منطقه مخزن اشاره نمود که در ۱۱ پارامتر دسته بندی می‌شوند و با استفاده از فرایند تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) کمی می‌شوند. مجموعه داده‌های موجود در ۱۰۰ مخزن در چین، از

^۱ Wang

^۲ reservoir- triggered earthquake

^۳ fuzzy support vector machines

جمله ۴۸ مورد مستند RTE، به ترتیب برای آموزش و اعتبارسنجی مدل‌های پیش‌بینی ایجاد شده با SVM و FSVM استفاده شدند. از طریق آزمایش‌های عددی، مشخص شد که هر دو مدل SVM و FSVM در پیش‌بینی مقدار RTE با دقت بالا موثر هستند، به شرطی که نمونه‌های کافی جمع‌آوری شود. پیش‌بینی زلزله یک منطقه تحقیقاتی چالش‌برانگیز است، جایی که وقوع یک فاجعه ویرانگر در آینده پیش‌بینی می‌شود. در این کار، شصت ویژگی لرزه‌ای از طریق استفاده از مفاهیم لرزه‌نگاری، مانند قانون گوتنبرگ-ریشتر، تغییرات سرعت لرزه‌ای، انتشار انرژی لرزه‌ای و ... محاسبه می‌شود. عاصم^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۸ برای پیش‌بینی مخاطرات زلزله در هندوکوش، شیلی و کالیفرنیا که از لحاظ زلزله بسیار چالش‌برانگیز است، از روش شبکه‌های عصبی ترکیبی^۲ و رگرسیون بردار پشتیبان^۳ استفاده نمودند. در این پژوهش لایه‌های بسیاری نظیر: مفاهیم لرزه‌نگاری، فرکانس زلزله، انتشار انرژی زلزله و در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نسبت به مطالعاتی که قبلاً در این زمینه صورت گرفته است، دارای دقت بهتر و خروجی دقیق‌تری است.

پرل^۴ و همکاران در سال ۲۰۱۸ جهت بررسی لرزه‌خیزی در ایالات متحده مرکزی خواستار کاتالوگ‌های جامعی برای بهبود ارزیابی خطر لرزه‌ای شدند. طی دهه‌های گذشته، حجم داده‌های لرزه‌ای به طور تصاعدی افزایش یافته است و این نیاز به الگوریتم‌های کارآمد برای شناسایی و مکان‌یابی قابل اعتماد زلزله‌ها را ایجاد می‌کند. در این پژوهش از پیشرفت‌های اخیر در هوش مصنوعی استفاده شده است و ConvNetQuake، یک شبکه عصبی کانولوشن بسیار مقیاس‌پذیر برای تشخیص و مکان‌یابی از یک شکل موج را ارائه می‌دهند. در این پژوهش از تکنیک شبکه عصبی برای مطالعه لرزه‌خیزی ناشی از آن در اوکلاهما، ایالات متحده استفاده می‌کنند. این مقاله بیش از ۱۷ برابر زمین لرزه‌هایی که قبلاً توسط سازمان زمین‌شناسی اوکلاهما ثبت شده بود، شناسایی می‌کند. ترتیب الگوریتم این مقاله سریعتر از روش‌های تعیین شده است.

اوچو^۵ و همکاران در سال ۲۰۱۹ در بوگوتا-کلمبیا برای دست‌یابی به هدف تعیین عرض جغرافیایی و وقایع لرزه‌ای از روش ماشین بردار پشتیبان استفاده نمودند. در راستای دست‌یابی به این هدف، سوابق لرزه‌ای ایستگاه ال روسال که در ۴۰ کیلومتری شمال غربی بوگوتا واقع شده را مورد بررسی قرار دادند. با استفاده از روش مورد نظر و در نظر گرفتن داده‌های موجود به خوبی توانستند شرایط لرزه‌ای مکان مورد

^۱ Asim

^۲ Hybrid Neural Networks (HNN)

^۳ Support Vector Regressor (SVR)

^۴ Perol

^۵ Ocho

نظر را مورد بررسی قرار دهند.

هان^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۹ یک مطالعه موردی ارزیابی آسیب پذیری لرزه‌ای و نقشه برداری از زمین لرزه ۵/۸ ام ال گیونگجو^۲ در گیونگجو^۳، کره جنوبی را به انجام رساندند. لایه‌های مورد استفاده در این پژوهش شیب، ارتفاع، سطح آب زیرزمینی، فاصله از گسل و.... می‌باشد. در این مقاله از مدل رگرسیون لجستیک (LR^۴) و چهار مدل هسته بر اساس روش یادگیری ماشین بردار پشتیبانی (SVM) استفاده شده است. میزان موفقیت مدل‌ها به ترتیب ۰/۶۵۲، ۰/۶۴۹، ۰/۸۴۲، ۰/۹۹۸ و ۰/۶۳۰ و میزان پیش بینی به ترتیب ۰/۷۱۴، ۰/۶۵۱، ۰/۸۰۴، ۰/۹۱۹ و ۰/۶۲۹ می‌باشد، در بین پنج مدل، RBF^۵-SVM بالاترین عملکرد را از خود نشان داد. نقشه‌های آسیب پذیری لرزه‌ای برای هر یک از پنج مدل ایجاد شده و به عنوان ایمن، کم، متوسط، زیاد یا بسیار بالا درجه بندی شده‌اند. سرانجام، توزیع کلاس‌های ساختمانی در بین ۲۳ منطقه اداری گیونگجو بررسی شده‌اند. مناطق آسیب پذیر مشترک در میان هر پنج نقشه جونگبو دونگ^۶ و هوانگنام-دونگ^۷ و منطقه امن مشترک در میان هر پنج نقشه گانگدونگ-میون^۸ می‌باشد.

زلزله یکی از خطرناک‌ترین بلایای طبیعی است. الگوریتم‌های زیادی برای پیش بینی زلزله با استفاده از سیستم‌های خبره (ES^۹) ارائه شده است. تحسین^{۱۰} و همکاران در سال ۲۰۲۰ با هدف پژوهش، شناسایی و مقایسه روش‌ها، مدل‌ها، چارچوب‌ها و ابزارهایی که برای پیش بینی زلزله با استفاده از پارامترهای مختلف استفاده می‌شوند را مورد بررسی قرار دادند. نویسندگان این مقاله یک مطالعه نقشه برداری سیستماتیک بر اساس ۷۰ مقاله تحقیقاتی که توسط پژوهشگران مختلف نوشته شده را مورد بررسی قرار دادند که منتشر شده بین ژانویه ۲۰۱۰ و ژانویه ۲۰۲۰ می‌باشد. با تجزیه و تحلیل این منطقه تحقیقاتی نشان می‌دهد که بسیاری از مدل‌های پیشنهادی سعی در پیش بینی‌های طولانی مدت در مورد زمان، شدت و مکان زمین لرزه‌های آینده دارند. در این مقاله انواع مختلف سیستم‌های خبره مبتنی بر قاعده، فازی و یادگیری ماشین برای پیش بینی زلزله مورد بحث قرار می‌گیرد. علاوه بر این، این بحث مجموعه داده‌های لرزه‌ای منطقه ای و جهانی را مورد استفاده قرار می‌دهد. ابزارهای مورد استفاده برای پیش بینی زمین لرزه برای مناطق

^۱ Han

^۲ ML Gyeongju

^۳ ML Gyeongju

^۴ Logistic regression

^۵ Radial basis function

^۶ Jungbu dong

^۷ Hwangnam-dong

^۸ Gangdong-myeon

^۹ Expert system

^{۱۰} Tehseen

مختلف جغرافیایی، تجزیه و تحلیل اطلاعات با طبقه بندی مقالات بر اساس نوع تحقیق، نوع تجربی، رویکرد، منطقه هدف و پارامترهای خاص سیستم انجام شده است. در آخر، این پژوهش طبقه بندی رویکردهای پیش بینی زلزله و تحولات تحقیق در طی دهه گذشته را ارائه می دهد.

یوسف- پورقاسمی^۱ در سال ۲۰۲۰ با هدف ارزیابی قابلیت های هفت تکنیک پیشرفته یادگیری ماشین (MLT^۲) از جمله، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، جنگل تصادف (RF^۳)، رگرسیون تطبیقی چند متغیره (MARS^۴)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN^۵)، تبعیض درجه دوم تجزیه و تحلیل (QDA^۶)، تجزیه و تحلیل (LDA^۷) و (NB^۸)، برای مدل سازی حساسیت به زمین لغزش و مقایسه عملکرد آنها صورت پذیرفته است. این مطالعه با استفاده از نرم افزار منبع باز GIS و R در حوزه آب ها، منطقه عسیر، عربستان سعودی انجام شده است. ابتدا، در مجموع ۲۴۳ مکان لغزش در حوضه آب ها شناسایی شد تا نقشه موجودی لغزش را با استفاده از منابع مختلف داده تهیه کنند. تمام مناطق لغزش به طور تصادفی به دو گروه با نسبت ۷۰٪ برای آموزش و ۳۰٪ برای اعتبارسنجی تقسیم شدند. دوازده متغیر لغزش برای مدل سازی حساسیت به لغزش ایجاد شده است که شامل ارتفاع، سنگ شناسی، فاصله از گسل ها، شاخص پوشش گیاهی، استفاده از زمین، فاصله تا جاده ها، زاویه شیب و..... می باشد. یافته های ما نشان داد که روش جنگل تصادفی (با دقت ۹۵/۱٪) و روش تجزیه و تحلیل (با دقت ۹۴/۱۷٪) بهترین عملکرد را در مقایسه با سایر MLT ها ایجاد کرده اند. نتیجه این مطالعه و نقشه های حساسیت به زمین لغزش برای حفاظت از محیط زیست مفید خواهد بود.

شهر بزرگ تهران، پایتخت ایران، در معرض خطر بالای زلزله قرار دارد. این شهر واقع در قسمت مرکزی کمربند لرزه ای آلپ - هیمالیا است. تهران توسط چندین گسل فعال احاطه شده است. خطر بالای لرزه ای همراه با توزیع متراکم جمعیت و چندین عامل آسیب پذیری باعث می شود که تهران یکی از ۲۰ شهر بزرگ جهان در معرض خطر بالای زلزله باشد. کامران زاده و همکاران در سال ۲۰۲۰، این مقاله را با هدف تهیه ارزیابی خطر زلزله امروز در تهران به انجام رساندند. ابتدا، مؤلفه های خطر زلزله از جمله خطر قرار گرفتن در معرض و آسیب پذیری بر اساس برخی از مجموعه های داده مبتنی بر GIS ارزیابی می شود (به عنوان

^۱ Youssef- Pourghasemi

^۲ Machine Learning Technique

^۳ Machine Learning Technique

^۴ Multivariate Adaptive Regression Spline

^۵ Artificial Neural Network

^۶ Quadratic Discriminant Analysis

^۷ Linear Discriminant Analysis

^۸ Naive Bayes

مثال، لرزه خیزی، زمین شناسی، گسل‌های فعال، توزیع جمعیت، کاربری زمین، بافت شهری، انواع سازه، سن و...). سپس، نقشه‌های خطر زلزله با استفاده از رویکرد احتمالی تهیه می‌شوند. سرانجام، تمام این مؤلفه‌ها در یک چارچوب مکانی ترکیب شده و نقشه خطر زلزله برای تهران ارائه می‌شود.

دبناث^۱ در سال ۲۰۲۱ به تحلیل پیش بینی زلزله در هند با استفاده از طبقه‌بندی کننده یادگیری ماشین نظارت شده پرداخته است. زلزله یکی از مهم ترین انواع خطرات طبیعی است. در نتیجه، مدیریت موفقیت آمیز این پدیده بسیار مهم است. در زمین لرزه‌ها، در کنار تأثیرات مخربی که بر اقتصاد وارد می‌کند، می‌تواند باعث از دست رفتن جان بسیاری از افراد شود. توانایی پیش بینی زمین لرزه‌ها یکی از بزرگترین موضوعات علوم زمین است. فناوری یادگیری ماشین می‌تواند در زمینه علوم زمین برای پیش بینی زمین لرزه‌ها نقشی حیاتی داشته باشد. هدف این مقاله ایجاد روشی برای پیش بینی دامنه بزرگی زمین لرزه‌ها با استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی کننده یادگیری ماشین است. سه دامنه مختلف طبقه‌بندی شده است: زلزله بزرگ، زمین لرزه متوسط و زمین لرزه خفیف. به منظور تمایز بین این طبقه‌بندی‌ها، از هفت الگوریتم طبقه‌بندی کننده یادگیری ماشین مختلف برای ساخت مدل استفاده شده است. الگوریتم‌های شبکه‌های باور بیزی^۲، درخت تصادفی^۳، رگرسیون لجستیک^۴، جنگل تصادفی^۵، رگرسیون درختی^۶ و... برای هر مجموعه داده اعمال شده‌اند. همه مدل‌ها با استفاده از ابزار Weka ساخته شده‌اند و نتایج آن ذکر شده است. مشاهده شد که طبقه‌بندی کننده‌های Simple Logistic و LMT در هر مورد عملکرد خوبی دارند.

پیکوزی^۷ و همکاران در سال ۲۰۲۱ برای پیش بینی مرحله آمادگی زلزله‌های القایی توسط شبکه‌های عصبی (NN) در کالیفرنیا، از داده‌های تاریخ وقوع، زمان وقوع، موقعیت مکانی، عمق و... استخراج شده از فهرست لرزه نگاری Geyers برای مشاهده تحول زمانی و مکانی لرزه خیزی استفاده نمودند. با توجه به میزان بسیار بالای لرزه خیزی و شبکه لرزه‌ای با کیفیت بالا، Geysers یک آزمایشگاه طبیعی عالی برای مطالعه فرایندهای گسیختگی و هسته زلزله‌های ناشی از آن است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تکامل مکانی و زمانی لرزه خیزی می‌تواند با بهره‌مندی از اطلاعاتی که از فهرست لرزه نگاری و با استفاده از یادگیری ماشین به دست می‌آید. با بررسی مطالعات گذشته می‌توان دریافت که در هر یک از پژوهش‌ها از تعدادی روش جهت بررسی خطرات زلزله استفاده شده است و در برخی مقالات به مقایسه این روش‌ها

^۱ Debnath

^۲ Bayes Net

^۳ Random Tree

^۴ Simple Logistic

^۵ Random Forest

^۶ Logistic Tree

^۷ Picozzi

بسندۀ نموده است.

با بررسی مطالعات گذشته به خوبی می‌توان دریافت که پژوهش‌های گذشته یا از یک روش برای تهیه نقشه‌ی پهنه بندی کلان شهر مورد نظر استفاده نمودند یا از چندین روش برای دستیابی به نقشه‌های پهنه بندی خطر زلزله استفاده کردند و در نهایت به مقایسه روش‌ها پرداختند. اما اهمیت و هدف تحقیق حاضر استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده‌ی حداکثر رای گیری (ML)، ماشین بردار پشتیبان و شبکه‌های عصبی و در نهایت تلفیق این سه روش از طریق ادغام به روش حداکثر رای گیری (MV) برای تهیه نقشه‌ی پهنه بندی خطر شهر تهران می‌باشد. استفاده از روش ادغام باعث شد که پهنه بندی خروجی هر سه روش با یکدیگر تلفیق و نقشه نهایی دارای دقتی بالاتر از هر سه روش مذکور گردد. استفاده از این نوع ترکیب روش‌ها در مطالعات لرزه خیزی تاکنون صورت نگرفته است و وجه تمایز این مطالعه نسبت به مطالعات گذشته می‌باشد.

فصل ۳ : روش پژوهش

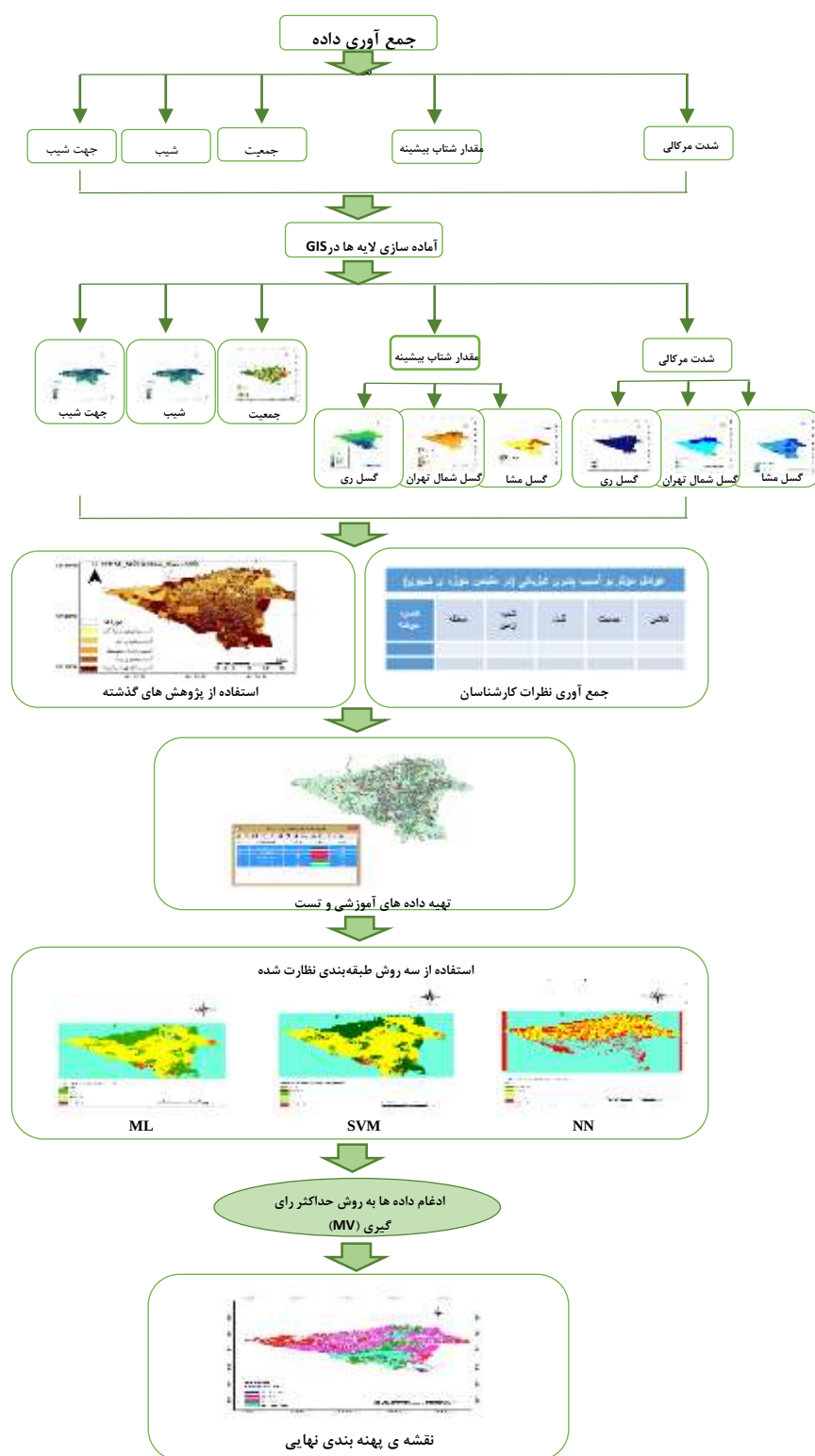
۳-۱ مقدمه

در جامعه کنونی با توجه به افزایش جمعیت شهرها و قرار گیری این شهرها در مکان‌های مستعد زلزله باعث شده تا به موضوع زلزله با اهمیت بیشتری پرداخته گردد. از این نظر شهر تهران با توجه به اینکه پایتخت ایران می‌باشد از جمعیت زیاد و قابل ملاحظه‌ای برخوردار است و علاوه بر جمعیت زیاد بر روی گسل‌های متعددی نیز این شهر بنا شده است. از جمله عوامل دیگر که باعث شده است شهر تهران از نظر زلزله مورد توجه قرار گیرد کوهپایه‌ای بودن این شهر می‌باشد که باعث شده شهر دارای شیب قابل توجهی باشد.

یکی از بهترین راه‌ها برای اینکه بدانیم قبل از وقوع زلزله چه اقداماتی باید صورت پذیرد، تهیه نقشه‌ی پهنه بندی زلزله می‌باشد. با تهیه نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله به خوبی می‌توان دریافت هر نقطه از شهر مورد نظر از چه میزان خطر زلزله برخوردار است و اقدامات لازم با توجه به شرایط هر منطقه صورت پذیرد. هدف از این پژوهش اقدام برای تهیه نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله برای کلان شهر تهران می‌باشد. در ابتدا باید لایه‌های مورد استفاده در پژوهش تهیه گردند. تهیه این لایه‌ها در نتیجه نهایی و دست یابی به نقشه‌ای با دقت بالا بسیار مؤثر است. لایه‌هایی در نظر گرفته شده در این پژوهش شامل گسل، شیب منطقه، جهت شیب منطقه و جمعیت می‌باشد. در مراحل بعدی این لایه‌ها و اطلاعات در نرم افزار GIS مورد تحلیل و امتیاز بندی قرار می‌گیرند. پس از پایان این مرحله لایه‌ها برای اجرای روش‌های مورد نظر آماده می‌شوند. در این تحقیق از روش طبقه بندی نظارت شده استفاده شده است و با استفاده از این سه روش، سه نقشه‌ی پهنه بندی حاصل می‌گردد که دارای دقت‌های متفاوتی هستند. در نهایت از روش ادغام داده‌ها جهت تلفیق این سه نقشه و دست یابی به نقشه نهایی استفاده شده است.

۳-۲ فلوجارت روش پیشنهادی

این پژوهش در هفت مرحله صورت پذیرفته است. شکل (۳-۱) مراحل انجام این پژوهش را به طور کامل نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱. فلوچارت روش پیشنهادی

✓ گام اول: جمع آوری داده

برای شروع پژوهش اولین مرحله تهیه لایه‌های مورد نیاز است. ابتدا باید منطقه‌ی مورد مطالعه بررسی قرار گیرد و لایه‌های دارای اهمیت برای منطقه در برابر زلزله مشخص گردد. عوامل مختلف که باعث می‌شود تهران به عنوان شهری لرزه خیز معرفی شود، در این پژوهش شناسایی و بررسی گردید. از این میان چهار پارامتر به عنوان مهم‌ترین پارامترهای لرزه خیزی تهران مشخص شد. مهم‌ترین لایه، گسل می‌باشد که شهر تهران بر روی گسل‌های مختلفی بنا شده است. از میان سه گسل‌های مهم و اصلی تهران، گسل ری، شمال تهران و مشا به عنوان مهم‌ترین و تاثیر گذارترین انتخاب شدند. برای هر گسل پارامترهای شدت مرکالی و مقدار شتاب بیشینه در نظر گرفته شد. در نهایت می‌توان گفت ۶ لایه حاصل از گسل‌ها ایجاد می‌شود. لایه‌ی دوم در نظر گرفته شده جمعیت می‌باشد. تهران به دلیل اینکه پایتخت ایران می‌باشد و بیشتر مراکز خدماتی، اقتصادی، اداری، بازرگانی و در این شهر واقع شده است از جمعیت بسیار زیادی برخوردار است و در صورت وقوع زلزله هم دچار خسارات جانی و هم مالی زیادی می‌شود. پس جمعیت نیز یکی از لایه‌های بسیار مهم جهت تهیه نقشه‌ی پهنه بندی زلزله می‌باشد. کلان شهر تهران از آن جهت که در کوهپایه واقع شده است از شیب قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. لایه‌های بعدی این پژوهش را میزان شیب و جهت شیب تشکیل می‌دهد. پس از اینکه لایه‌ها برای شروع تحقیق مشخص شدند حال باید این اطلاعات جهت شروع پژوهش گردآوری شود. از این رو برای دست یابی به این اطلاعات به مراجع مربوطه مراجعه نموده و لایه‌ها و اطلاعات مورد نیاز تهیه شده‌اند.

✓ گام دوم: آماده سازی لایه‌ها در GIS

پس از تهیه لایه‌ها از مراجع مربوطه، لایه‌ها وارد نرم افزار GIS می‌شوند. ابتدا داده‌های هر لایه که به صورت پلیگون می‌باشد به کمک نرم افزار تبدیل به تصاویر رستری می‌شوند تا نرم افزار بتواند بر روی آن‌ها پردازش انجام دهد. پس اینکه لایه‌ها تبدیل به تصاویر رستری شدند، گام بعدی طبقه بندی اطلاعات و امتیاز دهی به این لایه‌ها می‌باشد. هر لایه به تعدادی دسته بر اساس نظرات کارشناسان تقسیم بندی می‌شوند. پس از تقسیم بندی با توجه به نظرات کارشناسان و تحقیق و پژوهش به هر لایه امتیازی اختصاص داده می‌شود. علت امتیاز دهی به لایه‌ها به دلیل است که در ادامه پژوهش و استفاده از نرم افزارهای مختلف، آن نرم افزار اهمیت هر لایه را بداند و تأثیر درست هر لایه را در ادامه روند پژوهش اعمال نماید. پس از اینکه تمامی لایه‌ها دسته بندی و طبق

نظرات کارشناسان امتیاز دهی شدند برای استفاده از این لایه‌ها در نرم افزار ENVI خروجی گرفته می‌شود.

✓ گام سوم: جمع آوری نظرات

این مرحله شامل جمع آوری نظرات کارشناسان و مطالعه پژوهش‌های گذشته در مورد پهنه بندی کلان شهر تهران در برابر زلزله می‌باشد. در این قسمت از پژوهش برای تهیه داده‌های آموزشی و تست نیازمند اطلاعات دقیق و قابل اعتمادی هستیم. این اطلاعات از طریق بررسی نقشه‌های پهنه بندی خطر زلزله که برای شهر تهران توسط پژوهش‌های گذشته صورت گرفته است به همراه نظرات حداقل چهار کارشناس که در زمینه زلزله تخصص داشته باشند صورت پذیرفته است. ابتدا با توجه به نقشه‌ی پهنه بندی پژوهش‌های گذشته نقاطی آموزشی و تست انتخاب می‌شوند و در گام بعدی به کمک کارشناسان مربوطه این نقاط بررسی شده تا اطمینان یابیم نقاط مناسب را برای شروع پژوهش انتخاب کرده باشیم. به کمک این داده‌های آموزشی برای نرم افزار نقاط را از کم خطر تا پرخطر معرفی می‌نماییم و به کمک داده‌های تست صحت نقشه‌ی نهایی را می‌سنجیم تا بدانیم نقشه‌ی پهنه بندی نهایی از دقت خوبی برخوردار است.

✓ گام چهارم: داده‌های تست و آموزشی

این مرحله شامل وارد نرم نمودن داده‌های آموزشی و تست در نرم افزار ENVI می‌باشد. پس ورود لایه‌ها به نرم افزار ENVI، مرحله بعدی وارد نمودن داده‌های تست و آموزشی در نرم افزار است. داده‌های آموزشی و تست که با توجه به نظرات کارشناسان و پژوهش‌های گذشته مشخص شده‌اند، وارد نرم افزار می‌شوند. این داده‌ها به کمک ابزارهای نرم افزار تعریف می‌شوند. پس از وارد نمودن لایه‌ها و تعریف نمودن داده‌های تست و آموزشی، اکنون زمان استفاده از روش‌های مورد نظر جهت دست یابی به نقشه پهنه بندی کلان شهر تهران است.

✓ گام پنجم: روش‌های طبقه بندی نظارت شده

روش‌های مورد استفاده در این پژوهش سه روش از میان روش‌های مختلف طبقه بندی نظارت شده می‌باشد. در این پایان نامه از سه روش شامل شبکه‌های عصبی (NN)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و حداکثر احتمال (ML) استفاده شده است. در این قسمت از پژوهش با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی و داده‌های آموزشی و به کارگیری روش‌های مورد نظر نقشه‌ی پهنه بندی کلان شهر تهران تهیه می‌گردد. با استفاده از سه روش طبقه بندی نظارت شده سه نقشه‌ی پهنه بندی برای کلان شهر تهران حاصل می‌گردد. روش‌های طبقه بندی نظارت شده به دلیل اینکه بر

خلاف سایر روش‌ها داده‌های آموزشی را شخص پژوهنده به نرم افزار معرفی می‌نماید، از دقت خوبی برخوردار هستند.

✓ گام ششم: روش ادغام

این مرحله شامل به کارگیری ادغام به روش حداکثر رای گیری می‌باشد. پس استفاده از سه روش از میان روش‌های طبقه بندی نظارت شده، سه نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله برای کلان شهر تهران حاصل می‌گردد. برای اینکه یک نقشه‌ی نهایی داشته باشیم و دقت روش‌ها را افزایش بدهیم از ادغام داده‌ها به روش حداکثر رای گیری استفاده می‌کنیم. با استفاده از این روش سه نقشه‌ی پهنه بندی تلفیق می‌شوند و یک نقشه‌ی پهنه بندی نهایی حاصل می‌گردد و دقت هر یک از روش‌ها که به کمک داده‌های تست محاسبه شده بود، افزایش می‌یابد.

✓ گام هفتم: نقشه پهنه بندی نهایی

پس از تلفیق نقشه‌ها به کمک ادغام یک نقشه‌ی پهنه بندی نهایی از خطر کم تا خطر خیلی زیاد زلزله برای کلان شهر تهران حاصل می‌گردد. به کمک این نقشه به خوبی می‌توان دریافت هر نقطه از منطقه‌ی مورد نظر دارای چه میزان خطری در مقابل زلزله است و اقدامات لازم قبل از وقوع زلزله صورت پذیرد. این اقدامات سبب می‌شود تا خسارات مالی و جانی کاهش یابد و شهرهای ایمن‌تری در برابر زلزله داشته باشیم.

موارد زیر اهداف، ضرورت اصلی و انگیزه انجام این تحقیق را بیان می‌کند. این اهداف عبارتند از :

- زلزله از جمله بلایای طبیعی است که در صورت وقوع، خسارت‌های مالی و جانی زیادی را در کشور ایجاد می‌کند. شناخت مناطق پرخطر می‌تواند در کاهش خسارت‌ها و تصمیم گیری در سیاست‌های توسعه اراضی مؤثر باشد.
- با تهیه‌ی نقشه پهنه‌بندی و بررسی سازه‌های احداث شده در مناطق با ریسک زیاد و بسیار زیاد می‌توان از بروز تلفات مالی و جانی جلوگیری کرد.
- از آنجا که پیش‌بینی زمان دقیق و سریع وقوع زلزله‌ها در حال حاضر امکان‌پذیر نمی‌باشد، مناسب‌ترین راه، شناسایی مناطق حساس به زلزله و طبقه‌بندی کردن آنهاست تا اینکه بتوان تا حدودی از خطر مواجهه با زلزله جلوگیری کرد. مطالعه و بررسی دقیق هر منطقه و مشخص کردن عوامل تاثیر گذار بر وقوع زلزله، این امکان را فراهم می‌سازد که سازه‌ها با توجه به شرایط منطقه احداث شوند و بناهای ساخته شده در صورت لزوم مقاوم سازی شوند و می‌توان تلفات را به حداقل

رساند. به دلیل اینکه پهنه بندی خطر زلزله به عوامل محیطی بسیار وابسته است لازم است بر اساس منطقه‌ی مورد نظر این نقشه‌ها بعد از مرور زمان به روز رسانی شوند.

- در روش پیشنهادی این تحقیق سعی می‌شود از مجموعه‌ای از نظرات کارشناسان زلزله در مورد میزان تاثیر عوامل مختلف در خطر زلزله و نقشه‌های حاصل از مطالعات گذشته استفاده شود. در ادامه روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده براساس نظرات کارشناسان سعی در طبقه‌بندی منطقه به کلاس‌های بسیار پرخطر، پر خطر، خطر متوسط، کم خطر و بسیار کم خطر دارد.
- استفاده از سه روش طبقه‌بندی نظارت شده، شبکه‌های عصبی (NN)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و حداکثر احتمال (ML) برای دست یابی به نقشه‌های پهنه بندی خطر زلزله که از دقت بالایی برخوردار هستند.

در نهایت استفاده از روش ادغام داده‌ها به روش حداکثر رای گیری (MV) که به تلفیق سه روش طبقه‌بندی نظارت شده منجر خواهد شد و سبب افزایش دقت نقشه‌ی پهنه بندی می‌گردد.

۳-۳ لایه‌ها

یکی از مهم‌ترین بررسی‌ها در مورد زمین لرزه می‌تواند تعیین آسیب پذیری یک منطقه‌ی شهری در برابر آن باشد. در این خصوص نیاز است که منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر خطر پذیری مورد تحلیل قرارگیرد و عوامل مؤثر برزلزله در منطقه‌ی مورد نظر و براساس شرایط آن منطقه شناسایی شوند. این عوامل مؤثر لایه‌های پژوهش برای تهیه نقشه‌ی پهنه بندی زلزله را مشخص می‌نماید. منطقه‌ی مورد مطالعه این پژوهش کلان شهر تهران می‌باشد. تهران به دلیل اینکه پایتخت کشور ایران می‌باشد و بیشتر مراکز خدماتی، تجاری، اداری، سیاسی و..... در این شهر واقع شده‌اند، باعث می‌گردد جمعیت قابل توجهی در این شهر ساکن باشند. جمعیت زیاد این شهر باعث می‌شود در صورتی که اقدامات لازم قبل از زلزله صورت نپذیرد شاهد خسارات جانی و مالی زیادی خواهیم بود. یکی از عوامل مهم دیگر که باعث شده تهران از نظر زلزله بسیار مهم و حائز اهمیت باشد، وجود گسل‌های بسیار زیاد در این منطقه است. در این پژوهش به بررسی سه گسل اصلی تهران پرداخته شده است. عامل دیگر که بسیار در امر زلزله مهم می‌باشد شیب منطقه است. تهران به دلیل اینکه در منطقه‌ی کوهپایه‌ای احداث شده است از شیب قابل توجه برخوردار است. در ادامه به صورت کامل و جامع‌تر به بررسی لایه‌ها خواهیم پرداخت.

۳-۳-۱ گسل

گسل یا گسله به شکستگی‌هایی اطلاق می‌شود که سنگ‌های دو طرف صفحه شکستگی نسبت به یکدیگر حرکت کرده باشند. این جابه‌جایی می‌تواند از چند میلی‌متر تا صدها متر باشد. انرژی آزاد شده به هنگام حرکت سریع گسل‌های فعال، عامل وقوع اغلب زمین‌لرزه‌ها است. گسل‌های بزرگ در پوسته زمین نتیجه حرکت برشی زمین هستند و زمین‌لرزه‌ها نیز نتیجه نیروی رها شده در حین لغزش سریع لبه‌های یک گسل به هم هستند. بزرگ‌ترین نمونه‌های گسل، مرزهای میان ورقه‌های زمین‌ساختی کره زمین است. از آنجا که یک گسل معمولاً از یک شیار مستقیم و مرتب تشکیل نشده و ناحیه‌ای از تغییر شکل‌های پیچیده زمین را در بر می‌گیرد، معمولاً بجای گسل از منطقه گسلی صحبت می‌کنند. بزرگ‌ترین گسل ایران گسل زاگرس است. مطالعه گسل‌ها از آنجائی که توان لرزه زایی دارند، دارای اهمیت است. شناسایی زون‌های گسلی فعال و برآورد توان لرزه زایی این گسله‌ها می‌تواند در کاهش خسارت‌های جانی و مالی مهم باشد. قرارگیری کانون زمین لرزه‌های سده بیستم در درازای بسیاری از گسل‌های ایران، نشان می‌دهد که بسیاری از گسل‌های ایران هنوز فعال هستند.

گسل به عنوان مهم‌ترین عامل ایجاد زلزله شناخته شده است. اصولاً گسل‌ها دارای توان لرزه‌ای نهفته و لرزه‌زا هستند و در صورت رها سازی انرژی ذخیره شده، زلزله‌های کوچک و بزرگی را به وجود می‌آورند. بدون تردید بین گسل و زلزله رابطه نزدیکی برقرار است و قسمت اعظم زلزله‌ها بر روی گسل‌های قدیمی متمرکز هستند. این مسئله هم در گسل‌های بزرگ و هم در گسل‌های کوچک تقریباً صادق است. اگر گسل قبل از وقوع زلزله موجود باشد، پس لرزه در ایجاد آن نقشی نداشته و در این صورت زلزله تنها در فعال سازی مجدد گسل دخالت می‌کند. به طور کلی می‌توان ابراز داشت که شکستگی یک گسل موجب شکستگی گسل دورتر نمی‌شود و شکستگی یک گسل ممکن است موجب تحرک گسل‌های منشعب از خود شود. ولی حتماً بر روی گسل‌های دوردست تأثیری ندارد. بررسی مناطق گسلی بعد از وقوع زمین لرزه نشان می‌دهد که مقدار جابجایی‌های حاصل از زلزله از یک سانتی متر تا بیست متر تغییر می‌کند و هیچگاه زیاده‌تر از این حد نیست. پهنای منطقه تحت تأثیر ده‌ها تا صدها متر و طول آن از یک تا هزار کیلومتر در نوسان است. اصولاً در یک زلزله، تمام منطقه گسلی شکسته نمی‌شود، بلکه بعضی از بخش‌ها در هم می‌شکنند و در عوض بخش‌های دیگر مقاومت می‌کنند. رابطه گسل و زلزله دو طرفه است. وجود گسل‌های زیاد در یک منطقه جدید موجب بروز زلزله جدید است. زلزله مزبور گسل جدیدی را بوجود می‌آورد و در نتیجه تعداد شکستگی‌ها زیاده‌تر شده و به این ترتیب قابلیت زلزله‌زایی منطقه افزایش می‌یابد. ادغام و ترکیب گسل‌های کوچک در طی زمان به ساختمان اصلی گسل‌ها در

مکان مرتبط است. وجود گسل‌های پیرامونی و سابقه لرزه‌خیزی آنها می‌تواند سندی برای وقوع زلزله در زمان‌های آتی باشد که به عنوان یک عامل تهدید کننده مطرح است. جهت مقابله اصولی با این پدیده و کاستن از میزان آسیب‌های آن نیاز به انجام سلسله مطالعاتی در خصوص وضعیت لرزه‌خیزی و توان لرزه‌زایی گسل‌های فعال پیرامونی و تخمین میزان خسارت مالی و جانی به وجود آمده در اثر زلزله‌های احتمالی است تا با روشن شدن وضعیت لرزه‌خیزی و میزان آسیب‌ها، به بررسی عوامل آسیب‌زا و شناخت نقاط ضعفی که باعث تشدید آسیب‌ها می‌شود، پرداخت. وجود یا عدم وجود گسل‌ها و شکستگی‌های زمین و فعالیت‌های اخیر آن‌ها و جوان بودنشان از جمله شاخص‌هایی است که در فعالیت‌های آتی آن می‌تواند اثرگذار باشد. در واقع رابطه گسل - زلزله دو طرفه بوده، یعنی گسل‌های فراوان در یک منطقه سبب بروز زلزله می‌شود. زلزله نیز به نوبه خود سبب ایجاد گسل‌های جدیدی شده و در نهایت، تعداد شکستگی‌ها زیادتر شده و به این ترتیب قابلیت لرزه‌خیزی منطقه افزایش می‌یابد. ایران یکی از زلزله خیزترین کشورهای دنیا محسوب می‌شود و شهرهای آن در رابطه با این پدیده طبیعی آسیب‌های فراوان دیده است. برای کاهش آثار و پیامدهای ناگوار این پدیده نیاز به طراحی برنامه‌هایی برای کاهش میزان آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله است، که مهمترین هدف این برنامه‌ها حفظ حیات و زندگی ساکنین است.

تهران به عنوان یکی از شهرهای مهم ایران به واسطه‌ی قرار گرفتن چندین گسل فعال در اطراف و محدوده آن از ریسک بالایی در مقابل زلزله بر خوردار است. از مهم‌ترین گسل‌های تهران، گسل ری، گسل شمال تهران و مشا می‌باشد.

۳-۱-۳-۱ گسل مشا

گسل فشاری مشا گسلی است طویل، اساسی و لرزه‌زا که در راستای آن گستره بلند البرز از شمال بر روی دامنه‌های جنوبی آن رانده شده است. این گسل با طولی حدود ۴۰۰ کیلومتر از جنوب غربی شاهرود و در شرق، تا آبیک در غرب ادامه دارد. بنظر می‌رسد راندگی در راستای گسل مشا پیش از دوران دوم زمین شناسی آغاز شده و تا اوایل دوران سوم حدود ۴ کیلومتر جابه جایی قائم در آخرین فاز کوه زایی آلپ ایجاد نموده است. زمین لرزه‌ی تاریخی سال ۱۸۳۰ میلادی به وقوع پیوسته در تهران با فعالیت بخش خاوری گسل مشا مطابقت دارد. بزرگترین زمین لرزه تاریخی تهران که در سال ۹۵۸ میلادی روی داده است، فاصله ای در حدود ۵۰ کیلومتر تا مرکز تهران داشته و با فعالیت بخش باختری گسل مشا مطابقت دارد. (شیخیان ۱۳۹۵)

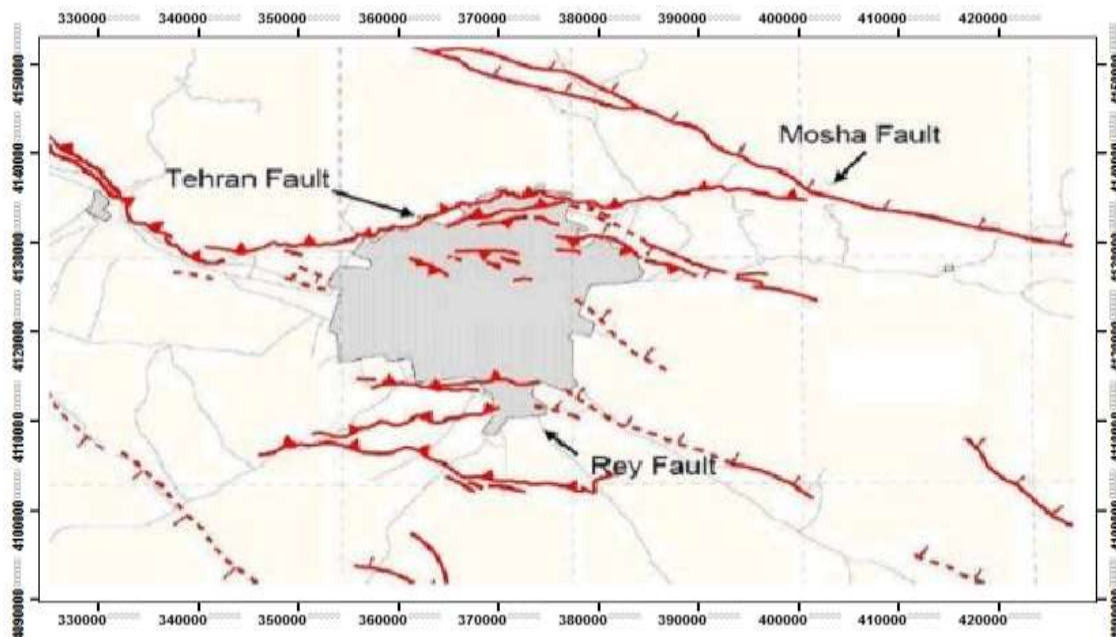
۳-۱-۳-۲ گسل شمال تهران

گسل شمال تهران شامل یک منطقه از گسل‌هایی است که به صورت نردبانی-پلکانی در پهنه شمال و باختر تهران با درازای بیش از ۷۵ کیلومتر در کوه پایه شمال تهران از شرق دره لشکرک (ده سبو) در شمال شرق تهران، تا آبادی کاظم آباد (۲ کیلومتری شرق کلار و شمال بزرگراه تهران-کرج) و شهر کرج در غرب ادامه یافته است و نزدیکترین گسل زلزله زا به شهر تهران می‌باشد. ساز و کار گسل شمال تهران، فشاری و راست‌لغز چپ گرد است. سیستم گسلی شمال تهران شبیه متغیر بین ۱۰ تا ۸۰ درجه را دارا می‌باشد و شامل ۳ بخش بوده و از خاور به باختر عبارت از گسل لشکرک به طول ۲۵ کیلومتر، گسل کن به درازای ۲۷ کیلومتر و گسل ماهدشت-کرج به درازای ۴۳ کیلومتر است که در یک قالب پلکانی-نردبانی قرار گرفته‌اند. این احتمال وجود دارد که زمین لرزه‌های ۸۵۵-۸۵۶ و ۱۷۷۱ میلادی به دلیل گسیختگی گسل شمال تهران روی داده باشند. (شیخیان ۱۳۹۵)

۳-۱-۳-۳ گسل ری

گسل جنوب ری به شکل دیواره کوتاه (۱ تا ۲ متر) و فرسوده شده‌ای در جنوب غربی شهر ری و ۱۴ کیلومتری جنوب تهران) که به سمت جنوب غربی ادامه دارد، می‌باشد. درازای این گسل در حدود ۱۸/۵ کیلومتر بوده و ادامه شرقی و غربی آن در زیر رسوبات جوان رودخانه‌ای و دشتی ناپدید می‌گردد. گسل جنوب ری در راستای ضلع جنوبی فرونشست ری امتداد می‌یابد و تقریباً به موازات آن، گسل موسوم به شمال ری، در راستای ضلع شمالی فرونشست امتداد دارد. فاصله بین این دو گسل تنها ۳ تا ۵ کیلومتر است. به نظر می‌رسد که منشاء هر دو گسل یکی باشد و هر دوی آنها شاخه‌هایی از یک گسل باشند. بیان قطعی این نکته دشوار است زیرا اطلاعات کافی در مورد آنها در دسترس نمی‌باشد. به منظور تحلیل خطر زلزله در پهنه تهران، ویژگی‌های زمین ساختی، لرزه زمین ساختی و گسله‌های گستره‌ای به شعاع ۳۰۰ کیلومتر از مرکز، مورد بررسی قرار گرفته است

شکل (۲-۳) نقشه‌ی موقعیت قرار گیری سه گسل مورد بررسی در این پژوهش را در شهر تهران نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲. نقشه‌ی موقعیت قرار گیری سه گسل اصلی تهران [۴۳]

۳-۲-۳ شیب توپوگرافی

زیاد بودن شیب توپوگرافی زمین نیز یکی از عواملی است که می‌تواند باعث افزایش خطر ساز بودن یک زمین لرزه شود. بر این اساس نتیجه گرفته می‌شود که در اثر بیشتر شدن شیب توپوگرافی، زمین لرزه‌ی مشابهی می‌تواند خسارات بیشتری را برای ساختمان‌ها ایجاد نماید. بنابراین شیب توپوگرافی شاخص دیگری برای تعیین آسیب پذیری فیزیکی می‌باشد.

تهران به دلیل اینکه در کوهپایه واقع شده است دارای شیب قابل ملاحظه‌ای است. داشتن شیب کلان شهر تهران بر روی زلزله‌ها تأثیر می‌گذارد و باعث می‌شود در صورت وقوع زلزله خسارات و تلفات در صورت عدم مقاوم سازی بیشتر شود.

شکل (۳-۳) نمونه‌ای از خانه احداث شده در شیب می‌باشد. در صورت وقوع زمین لرزه در این ناحیه به سبب اینکه این خانه در شیب واقع شده است باعث می‌شود تا گرانش زمین نیز بر تخریب بیشتر خانه تأثیر بگذارد. در صورتی که دو زلزله مشابه در دو مکان که از همه لحاظ محیطی و ... شبیه هم هستند فقط از لحاظ شیب منطقه با یکدیگر متفاوت هستند، رخ دهد، شهر دارای شیب بیشتر متحمل خسارات بیشتری خواهد شد.



شکل ۳-۳. نمونه‌ی خانه‌ی احداث شده در شیب

۳-۳-۳ جهت شیب

جهت شیب منطقه از دیگر عوامل موثر بر میزان شدت زلزله‌ای است که در منطقه‌ی مورد نظر رخ می‌دهد. ساختمان‌ها باید در جهت شیب مقاوم سازی شوند تا در هنگام زلزله در جهت شیب فرونریزند. شکل (۳-۴) نمونه‌ای از جهت شیب را نشان می‌دهد. طبق عکس جهت شیب را به خوبی می‌توان درک کرد. در مناطق مستعد زلزله و دارای شیب، باید در جهت شیب ساختمان‌ها مقاوم سازی شوند تا در صورت بروز زلزله در جهت شیب فرو نریزند.



شکل ۳-۴. جهت شیب خانه‌ای که در منطقه‌ی شیب‌دار احداث شده

۳-۳-۴ جمعیت

تراکم بالای جمعیت از این نظر که نشانگر تعداد بالای انسان‌های در معرض خطر و نیازمند امداد می‌باشند، مهم‌ترین شاخص آسیب پذیری انسانی است. وضعیت تراکم در شهرهای بزرگ از جمله تهران، با افزایش جمعیت و بدون توجه به آثار اجتماعی، اقتصادی، فضایی - کالبدی و زیبایی شناختی، مسایل و مشکلاتی را به وجود آورده که توجه برنامه‌ریزان شهری را به خود جلب کرده است. طبق نقشه‌ی تراکم جمعیت می‌توان دریافت کدام یک از مناطق تهران دارای جمعیت بیشتری نسبت به سایر مناطق می‌باشد.

۳-۴ نظرات کارشناسان

این مرحله شامل جمع آوری نظرات کارشناسان و مطالعه پژوهش‌های گذشته در مورد پهنه بندی کلان شهر تهران در برابر زلزله می‌باشد. در این قسمت از پژوهش برای تهیه داده‌های آموزشی و تست نیازمند اطلاعات دقیق و قابل اعتمادی هستیم. این اطلاعات از طریق بررسی نقشه‌های پهنه بندی خطر زلزله که برای شهر تهران توسط پژوهش‌های گذشته صورت گرفته است به همراه نظرات حداقل چهار کارشناس که در زمینه زلزله تخصص داشته باشند صورت پذیرفته است. ابتدا با توجه به نقشه‌ی پهنه بندی پژوهش‌های گذشته نقاطی آموزشی و تست انتخاب می‌شوند و در گام بعدی به کمک کارشناسان مربوطه این نقاط بررسی شده تا اطمینان یابیم نقاط مناسب را برای شروع پژوهش انتخاب کرده باشیم. به کمک این داده‌های آموزشی برای نرم افزار نقاط را از کم خطر تا پرخطر معرفی می‌نماییم و به کمک داده‌های تست صحت نقشه‌ی نهایی را می‌سنجیم تا بدانیم نقشه‌ی پهنه بندی نهایی از دقت خوبی برخوردار است.

شکل (۳-۵) نمونه‌ای از جدول پر شده توسط کارشناسان است. در این پژوهش برای آسیب پذیری لرزه‌ای حوزه‌های شهری از نظرات چهار کارشناس استفاده شده است. کارشناسان برای نقاطی که از کلان شهر تهران انتخاب شده است، با استفاده از اعداد ۱ تا ۵ که نشان دهنده خطر خیلی کم تا خیلی زیاد است، را تکمیل می‌نمایند.

امتیاز	مرکالی-ری	شتاب-ری	مرکالی-شمال تهران	شتاب-شمال تهران	مرکالی-مشا	شتاب-مشا	جمعیت	شیب زمین	جهت شیب	شماره حوضه
۳	۵	۲	۴	۳	۴	۳	۴	۲	۳	۱(غرب تهران)
۱	۴	۲	۵	۴	۳	۳	۴	۱	۲	۲(شمال تهران)
۴	۴	۲	۴	۲	۵	۴	۳	۴	۴	۳(شرق تهران)

۴ (جنوب تهران)	۳	۳	۲	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۴
.....										

شکل ۳-۵. نمونه‌ی جدول پر شده توسط کارشناسان

۳-۵ وزن دهی به لایه‌ها

پس از تهیه لایه‌ها از مراجع مربوطه، لایه‌ها وارد نرم افزار GIS می‌شوند. ابتدا داده‌های هر لایه که به صورت پلیگون می‌باشد به کمک نرم افزار تبدیل به تصاویر رستری می‌شوند تا نرم افزار بتواند بر روی آن‌ها پردازش کند. پس اینکه لایه‌ها تبدیل به تصاویر رستری شدند، گام بعدی طبقه بندی اطلاعات و امتیاز دهی به این لایه‌ها می‌باشد. هر لایه به تعدادی دسته بر اساس نظرات کارشناسان تقسیم بندی می‌شوند. پس از تقسیم بندی با توجه به نظرات کارشناسان به هر لایه امتیازی اختصاص داده می‌شود. علت امتیاز دهی به لایه‌ها به دلیل است که در ادامه پژوهش و استفاده از نرم افزارهای مختلف، آن نرم افزار اهمیت هر لایه را بداند و تأثیر درست هر لایه را در ادامه روند پژوهش اعمال نماید. پس از اینکه تمامی لایه‌ها دسته بندی و طبق نظرات کارشناسان امتیاز دهی شدند برای استفاده از این لایه‌ها در نرم افزار ENVI خروجی گرفته می‌شود. برای اینکه تصاویر خروجی در بهترین حالت کیفیت باشند، تصاویر با پسوند TIF خروجی گرفته شدند و برای مرحله‌ی بعدی وارد نرم افزار ENVI می‌شوند. جدول (۳-۱)، جدول (۳-۲)، جدول (۳-۳)، جدول (۳-۴)، جدول (۳-۵)، جدول (۳-۶)، جدول (۳-۷)، جدول (۳-۸) و جدول (۳-۹) نحوه وزن دهی به لایه‌ها در نرم افزار GIS را نشان می‌دهند.

نحوه وزن دهی به لایه‌ها در نرم افزار GIS بدین صورت است که اطلاعات لایه‌ها در ۱۰ کلاس تقسیم بندی می‌گردند و به هر کلاس با توجه به میزان خطر پذیری در مقابل زلزله وزنی تخصیص داده می‌شود. به طور مثال لایه‌ی اطلاعاتی شدت مرکالی گسل ری که بازه‌ی عددی ۰ تا ۸/۹۷ را در بر می‌گیرد به ۱۰ کلاس تقسیم می‌گردد و به تمامی کلاس‌ها وزنی از ۱ تا ۱۰ داده می‌شود. علت نبودن وزن ۵ یا وزن‌هایی نظیر آن به این علت است که در این وزن شدت مرکالی برای گسل ری وجود ندارد.

جدول ۳-۱. وزن دهی به لایه شدت مرکالی گسل ری

وزن دهی	شدت مرکالی گسل ری
۱	۰ - ۰/۷۴
۷	۵/۲۳ - ۵/۹۸
۹	۷/۴۷ - ۸/۲۲
۱۰	۸/۲۲ - ۸/۹۷

جدول ۳-۲. وزن دهی به لایه مقدار شتاب بیشینه گسل ری

وزن دهی	مقدار شتاب بیشینه
۰/۸	۰ - ۱۹۶
۱	۱۹۶ - ۲۴۵
۱/۲	۲۴۵ - ۲۹۴/۳
۱/۴	۲۹۴/۳ - ۳۴۳/۳۵
۱/۶	۳۴۳/۳۵ - ۳۹۲/۴
۱/۸	۳۹۲/۴ - ۴۴۱/۴
۲	۴۴۱/۴ - ۴۹۰/۵
۲/۲	۴۹۰/۵ - ۵۳۹/۵
۲/۴	۵۳۹/۵ - ۵۸۸/۶
۲/۶	۵۸۸/۶ - ۶۳۷/۶

جدول ۳-۳. وزن دهی به لایه شدت مرکالی گسل شمال تهران

وزن دهی	شدت مرکالی گسل شمال تهران
۱	۰ - ۰/۷۴
۸	۰/۷۴ - ۷/۴۷
۹	۷/۴۷ - ۸/۲۲
۱۰	۸/۲۲ - ۸/۹۷

جدول ۳-۴. وزن دهی به لایه مقدار شتاب بیشینه گسل شمال تهران

وزن دهی	مقدار شتاب بیشینه
۰/۸	۰ - ۱۹۶
۱	۱۹۶ - ۲۴۵
۱/۲	۲۴۵ - ۲۹۴/۳
۱/۴	۲۹۴/۳ - ۳۴۳/۳۵
۱/۶	۳۴۳/۳۵ - ۳۹۲/۴
۱/۸	۳۹۲/۴ - ۴۴۱/۴
۲	۴۴۱/۴ - ۴۹۰/۵
۲/۲	۴۹۰/۵ - ۵۳۹/۵
۲/۴	۵۳۹/۵ - ۵۸۸/۶
۲/۶	۵۸۸/۶ - ۶۳۷/۶

جدول ۳-۵. وزن دهی به لایه شدت مرکالی گسل مشا

وزن دهی	شدت مرکالی گسل مشا
---------	--------------------

۰ - ۰/۶۵	۱
۵/۸۹ - ۶/۵۵	۸
۶/۵۵ - ۷/۲۰	۹
۷/۲۰ - ۷/۹۰	۱۰

جدول ۳-۶. وزن دهی به لایه مقدار شتاب پیشینه گسل مشا

وزن دهی	مقدار شتاب پیشینه
۰/۸	۰ - ۱۹۴
۱	۱۹۴ - ۲۴۵
۱/۲	۲۴۵ - ۲۹۴/۳

جدول ۳-۷. وزن دهی به لایه شیب

وزن دهی	میزان شیب
۱	٪۱
۲	٪۲
۳	٪۳
۴	٪۴
۵	٪۵
۶	٪۶
۷	٪۷
۸	٪۸
۹	٪۹
۱۰	٪۱۰

جدول ۳-۸. وزن دهی به لایه جمعیت

وزن دهی	میزان جمعیت
۱	۰ - ۱۰۲
۲	۱۰۲ - ۴۳۴
۳	۴۳۴ - ۸۱۰
۴	۸۱۰ - ۱.۳۷۶
۵	۱.۳۷۶ - ۲.۳۶۱
۶	۲.۳۶۱ - ۳.۷۸۵
۷	۳.۷۸۵ - ۵.۲۶۵
۸	۵.۲۶۵ - ۷.۱۹۲
۹	۷.۱۹۲ - ۲۱.۰۸۹

جدول ۳-۹. وزن دهی به لایه جهت شیب

وزن دهی	میزان شیب
۱	۰ - ۱۶۲
۲	۱۶۲ - ۴۳۴
۳	۴۳۴ - ۸۱۰
۴	۸۱۰ - ۱,۳۷۶
۵	۱,۳۷۶ - ۲,۳۶۱
۶	۲,۳۶۱ - ۳,۸۷۵
۷	۳,۸۷۵ - ۵,۲۶۵
۸	۵,۲۶۵ - ۷,۱۹۲
۹	۷,۱۹۲ - ۲۱,۰۸۹

۳-۶ انواع طبقه بندی

منظور از طبقه بندی تصاویر در سنجش از دور، تکنیک‌های طبقه بندی برای گروه بندی پیکسل‌ها به کار می‌روند تا بتوانند جزئیات پوشش زمین (Land cover) را نشان بدهند. پوشش زمین می‌تواند جنگل، مناطق شهری، کشاورزی و یا دیگر موارد باشد.

دو نوع طبقه بندی اصلی وجود دارد:

۱. طبقه بندی نظارت نشده

۲. طبقه بندی نظارت شده

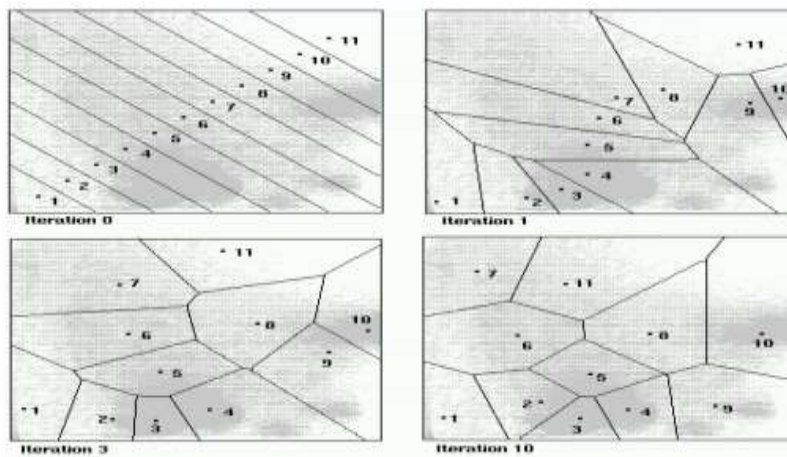
پیکسل‌ها کوچکترین واحد نمایش هر عکس هستند. طبقه بندی‌های نظارت نشده و نظارت شده دو نوع از مرسوم ترین نوع طبقه بندی‌ها هستند.

۳-۶-۱ طبقه بندی نظارت نشده

پیکسل‌ها بر اساس ویژگی‌های بازتابشی به صورت گروه‌هایی تقسیم می‌شوند. این گروه‌ها یا خوشه‌ها Clusters نامیده می‌شوند. کاربر تعداد خوشه‌ها را برای طبقه بندی مشخص می‌کند و اینکه از کدام باندها استفاده کند.

این نوع طبقه بندی ها هنگامی استفاده می شود که هیچ نوع داده های زمینی وجود ندارد و نرم افزار بر اساس محاسبات آماری تعداد خوشه ها را مشخص می کند. کاربر به صورت دستی مشخص می کند که هر خوشه مربوط به چه کلاسی است. این باعث می شود که چند خوشه یک کلاس را نشان دهند.

روش های طبقه بندی نظارت نشده مختلفی وجود دارد هدف اصلی آنها آن است که به بهینه ترین شکل ممکن بتوانند اطلاعات طیفی متفاوت را دسته بندی نمایند. شباهات طیفی بین پیکسل ها مانع از این می شود که بتوان خوشه ها را به درستی و به راحتی از یکدیگر تفکیک نمود. در یکی از مرسوم ترین رهیافت ها کاربر بیشترین تعداد خوشه های ممکن را برای یک تصویر تعیین می کند. بر همین اساس سیستم رایانه برای هریک از کلاس ها اطلاعات آماری مختلفی را تعریف می کند. به عنوان مثال از فاکتور میانگین به عنوان مرکز خوشه در فضای ویژگی استفاده می شود. سپس هر پیکسل در فضای ویژگی که از کمترین فاصله با مرکز خوشه ها داشته باشد به آن خوشه الحاق می شود. در این مرحله هر پیکسل یک برچسب برای آن کلاس در نظر گرفته می شود. سپس فرایند محاسبه تکرار می شود و بصورت مداوم مرکز خوشه ها مورد محاسبه مجدد قرار می گیرد تا آنکه بهترین خوشه بندی ممکن شکل گیرد. فرایند خوشه بندی زمانی متوقف می شود که در حین انجام پردازش های متوالی مرکز خوشه و خوشه ایجاد شده هیچ تغییری نکند (آنالیز حساسیت). در این راستا با استفاده از یک حد آستانه می توان خوشه هایی که کمتر از یک تعداد پیکسل خاص دارند را حذف نمود. بعد از پایان یافتن فرایند خوشه بندی میزان شباهت و تفکیک پذیری خوشه ها از یکدیگر با استفاده از معیارهای میانگین فاصله درون خوشه ای محاسبه می گردد. تلفیق خوشه ها به منظور کاستن از برخی از خوشه های غیر ضروری و بدون کاربرد انجام می گیرد تا نتیجه بدست آمده از گویایی بیشتری در این رابطه برخوردار باشد. درصد و میزان تلفیقی که در این زمینه صورت می گیرد تابعی از حد آستانه تعیین شده توسط کاربر است. در این فرایند طبقه بندی کاربر می تواند بیشترین فاصله بین خوشه ها (کلاس ها)، فاصله بین مرکز دو خوشه، شعاع خوشه و حداقل تعداد پیکسل های موجود در یک خوشه را تعیین نماید. تحلیل میزان پراکنش خوشه ها در حول میانگین به وسیله میانگین انحراف معیار هریک از باندهای طیفی ثبت شده تعیین می شود. هرچقدر خوشه های ایجاد شده در فضای ویژگی باریک تر باشند احتمال تفکیک پذیری آنها در فضای ویژگی بیشتر خواهد شد. تحلیل نزدیکی خوشه ها در فضای ویژگی از طریق اندازه گیری فاصله بین مرکز آنها تعیین می شود. در صورتی که فواصل بین مرکز خوشه ها کمتر از حد آستانه مورد نظر باشد، با یکدیگر تلفیق می شوند. عموماً آخرین خوشه بدست آمده از تکرار محاسبات بهترین است. برای درک هرچه بهتر این موضوع به شکل (۳-۶) زیر توجه نمایید.



شکل ۳-۶. نحوه شکل گیری خوشه‌ها [۶۲]

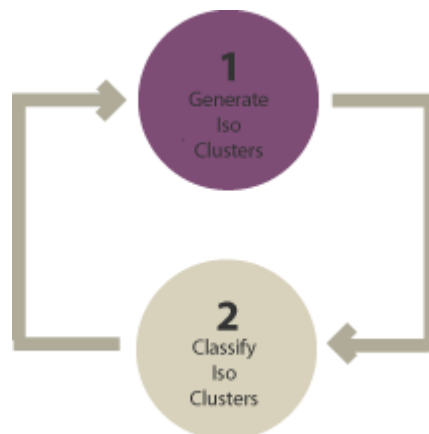
پس از شکل گیری خوشه‌ها در فضای ویژگی اطلاعات آماری آنها استخراج شده و سپس از این اطلاعات برای طبقه بندی نهایی تصویر اصلی استفاده می‌شود.

این طبقه بندی شامل گام‌های زیر است:

۱- تولید خوشه‌ها (Clusters)

۲- مشخص کردن کلاس‌ها

شکل (۳-۷) گام‌های این طبقه بندی را به تصویر کشیده است.



شکل ۳-۷. گام‌های طبقه بندی نظارت نشده

۳-۶-۲ طبقه بندی نظارت شده

در اینجا کاربر نمونه‌هایی را برای هر پوششی در تصویر دیجیتالی مشخص می‌کند. این نمونه‌ها Training site نامیده می‌شوند. طبقه بندی بر اساس نمونه‌های آموزشی است که کاربر با امضاهای طیفی به نرم افزار

معرفی کرده است. نرم افزار طبقه بندی کننده تصویر ماهواره‌ای تعیین می‌کند که هر کلاسی چقدر به داده‌های آموزشی شباهت دارد و بر آن اساس طبقه بندی می‌کند.

به بیان دیگر زمانی که از داده‌های اولیه اطلاع داریم، می‌توانیم از این روش استفاده کنیم. در این روش کاربر برای آموزش نحوه شناسایی اطلاعات به نرم افزار داده‌هایی را معرفی می‌نماید. این داده‌ها به نام داده‌های آموزشی شناسایی می‌شوند. نرم افزار به کمک داده‌های آموزشی اطلاعات ورودی را شناسایی و طبقه بندی می‌نماید. به صورت متناسب هر اطلاعاتی که وارد نرم افزار می‌شود کاربر می‌تواند داده‌های آموزشی متناسب با آن را به نرم افزار معرفی نماید، تا نرم افزار بهترین طبقه بندی را انجام دهد. تعیین داده‌های آموزشی برتری این روش نسبت به سایر روش‌ها است و هم باعث می‌شود نتیجه‌ی حاصل از دقت بالایی برخوردار باشد. برای صحت سنجی نتایج حاصل و بدست آوردن دقت نقشه‌ها، کاربر برای نرم افزار داده‌های تست نیز تعریف می‌نماید. از این طریق نرم افزار به کمک داده‌های آموزشی نتیجه‌ی نهایی را محاسبه می‌نماید و به کمک داده‌ای تست دقت این نتیجه نهایی را اعلام می‌دارد.

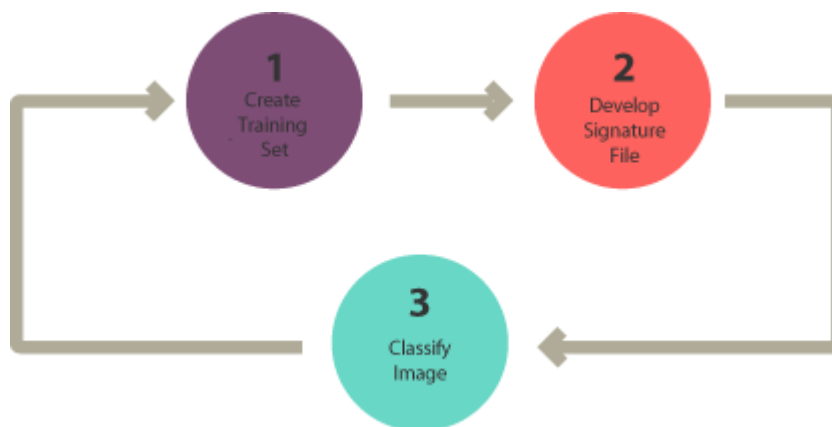
مراحل طبقه بندی نظارت شده:

۱- انتخاب نقاط آموزشی

۲- تولید فایل‌های امضاء (Signature)

۳- طبقه بندی

شکل (۳-۸) گام‌های روش طبقه بندی نظارت شده را به خوبی نشان می‌دهد.



شکل ۳-۸. گام‌های طبقه بندی نظارت شده

۳-۷ انواع روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده

روش‌های متعددی برای طبقه‌بندی نظارت شده وجود دارد. که در این پژوهش از سه روش مهم طبقه‌بندی نظارت استفاده شده است. این سه روش شامل طبقه‌بندی حداکثر احتمال (ML)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و شبکه‌ی عصبی (NN) می‌باشد.

۳-۷-۱ طبقه‌بندی حداکثر احتمال (ML)

در علم آمار برآورد حداکثر درست‌نمایی که به‌طور خلاصه به آن ML مخفف عبارت انگلیسی maximum likelihood نیز گفته می‌شود روشی برای برآورد کردن پارامترهای یک مدل آماری است. وقتی بر مجموعه‌ای از داده‌ها عملیات انجام می‌شود یک مدل آماری به دست می‌آید آنگاه حداکثر درست‌نمایی می‌تواند تخمینی از پارامترهای مدل ارائه دهد. روش حداکثر درست‌نمایی به بسیاری از روش‌های شناخته شده‌ی تخمین آماری شباهت دارد. فرض کنید برای شخصی اطلاعات مربوط به قد زرافه‌های ماده بالغ موجود در یک جمعیت مهم باشد و این شخص به خاطر محدودیت هزینه یا زمان نتواند قد تک تک این زرافه‌ها را اندازه بگیرد، این شخص تنها می‌داند که این طول قدها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند ولی میانگین و واریانس توزیع را نمی‌داند حال با استفاده از روش درست‌نمایی بیشینه و با در دست داشتن اطلاعات مربوط به نمونه‌ای محدود از جمعیت می‌تواند تخمینی از میانگین و واریانس این توزیع بدست آورد. ML این کار را به این ترتیب انجام می‌دهد که واریانس و میانگین را مجهول در نظر می‌گیرد آنگاه مقادیری را به آن‌ها نسبت می‌دهد که با توجه به اطلاعات موجود محتمل‌ترین حالت باشد. در حالت کلی روش ML در مورد یک مجموعه‌ی مشخص از داده‌ها عبارتست از نسبت دادن مقادیری به پارامترهای مدل که در نتیجه‌ی آن توزیعی تولید شود که بیشترین احتمال را به داده‌های مشاهده شده نسبت دهد (یعنی مقادیری از پارامتر که تابع درست‌نمایی را حداکثر کند). ML یک ساز و کار مشخص را برای تخمین ارائه می‌دهد. با این حال در بعضی موارد مشکلاتی پیش می‌آید از قبیل اینکه برآوردهای حداکثر درست‌نمایی نامناسب‌اند یا اصلاً وجود ندارند.

• اصول

فرض کنید n مشاهده‌ی زیر را داشته باشیم $X_1, X_2, \dots, X_n$ که به طور مستقل از هم و یکنواخت توزیع شده و از یک توزیع با تابع توزیع احتمال نامشخص f پیروی می‌کنند. f به طور محتمل متعلق به یک خانواده مشخص از توزیع‌های نرمال مانند $\{f(\cdot|\theta, \theta \in \Theta)\}$ می‌باشد که مدل پارامتری نامیده می‌شود. بنابراین $f^* = f(\cdot; \theta^*)$ مقدار θ_{MLE} نامعلوم است و به عنوان مقدار صحیح پارامتر در نظر گرفته می‌شود.

حال می‌خواهیم برآورد گری چون θ بیابیم که تا حد ممکن به مقدار صحیح یعنی θ_0 نزدیک باشد. هم x_i ها و هم پارامتر θ هر دو می‌توانند بردار هم باشند. برای استفاده از روش درست‌نمایی بیشینه ابتدا باید توابع چگالی توام را برای همه‌ی مشاهدات مشخص کنیم. برای حالتی که توزیع‌ها مستقل و یکنواخت‌اند این تابع چگالی توام به صورت زیر معادله (۱-۳) است:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n | \theta) = f(x_1 | \theta) \cdot f(x_2 | \theta) \dots f(x_n | \theta) \quad (1-3)$$

حال می‌خواهیم از زاویه‌ای متفاوت به این تابه نگاه کنیم؛ فرض کنید مشاهدات $x_1, x_2, \dots, x_n$ پارامترهای ثابت و θ پارامتر متغیر این تابع باشد از این منظر این تابع، توزیع تابع درست‌نمایی نامیده می‌شود. در عمل بسیار راحت‌تر که با لگاریتم تابع درست‌نمایی معادله (۲-۳) کار کنیم:

$$l(\theta | x_1, x_2, \dots, x_n) = f(x_1, x_2, \dots, x_n | \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i | \theta) \quad (2-3)$$

که لگاریتم درست‌نمایی نامیده می‌شود. یا نمونه‌ی تراز شده‌اش که میانگین درست‌نمایی لگاریتمی به صورت معادله (۳-۳) نامیده می‌شود:

$$Ln l(\theta | x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n Ln f(x_i | \theta) \quad (3-3)$$

$$\bar{L} = \frac{1}{n} Ln l$$

علامت $\bar{L}$ نشان دهنده‌ی آنست که آن وابسته به یک برآوردگر می‌باشد. در واقع مقدار لگاریتم درست‌نمایی انتظاری یک مشاهده‌ی منفرد را در مدل بیان می‌کند. روش درست‌نمایی بیشینه θ را با یافتن مقداری از θ که $\bar{L}(\theta | x)$ را بیشینه کند تخمین می‌زند. این روش تخمین یک تقریب درست‌نمایی بیشینه از θ به صورت معادله (۴-۳) می‌باشد:

$$\{\hat{\theta}_{mle}\} \subseteq \{\arg \max_{\theta \in \Theta} \bar{L}(\theta | x_1, x_2, \dots, x_n)\} \quad (4-3)$$

در این روش تفاوتی نمی‌کند که تابع درست‌نمایی را بیشینه کنیم یا لگاریتم درست‌نمایی را زیرا لگاریتم یک تبدیل یکنواخت است. برای بسیاری از مدل‌ها می‌توان ML را به صورت تابعی صریح از داده‌های مشاهده شده $x_1, x_2, \dots, x_n$ پیدا کرد. برای برخی مسایل ممکن است تقریب‌هایی متفاوت موجود باشند که تابع را بیشینه کنند و برای برخی دیگر نیز هیچ تقریب مناسبی وجود ندارد. در گفته‌های فوق فرض بر

این بود که داده‌ها به طور مستقل و یکنواخت توزیع شده‌اند. اما این روش را می‌توان به حوزه‌های وسیع‌تری نیز گسترش داد. در مسایلی پیچیده‌تر چون سری‌های زمانی حتی فرض استقلال هم می‌تواند حذف شود. یک برآوردگر درست‌نمایی بیشینه با یک برآوردگر بیزی احتمال حداکثر که روی پارامترها یک توزیع پیشینی یکنواخت را می‌دهد منطبق است.

در مطالب فوق فرض بر این است که داده‌ها مستقل و دارای توزیع یکسان هستند. این روش می‌تواند برای حالت‌های بیشتر از جمله نوشتن تابع چگالی مشترک $f(x_1, x_2, \dots, x_n | \theta)$ (پارامتر θ محدود و مستقل از سایر نمونه‌ها n) و در یک فرمت ساده‌تر برای داده‌های ناهمگون با تابع چگالی مشترک $f(x_1 | \theta) \cdot f(x_2 | \theta) \cdot \dots \cdot f(x_n | \theta)$ استفاده کرد. فرض می‌کنیم که هر نمونه مشاهده شده x_i قابل استخراج از یک متغیر تصادفی با تابع توزیع f_i باشد. در حالت‌های پیچیده‌تری مانند سری‌های زمانی، فرض مستقل بودن متغیرهای تصادفی می‌تواند راهگشا باشد.

برآورد درست‌نمایی بیشینه در کنار برآورد بیزی با شرط داشتن یک توزیع یکنواخت بر روی پارامترها استفاده می‌شود. در واقع هرچه برآورد موخره بیشینه شود، احتمال پارامتر θ مشروط به داده‌های $x_1, x_2, \dots, x_n$ افزایش می‌یابد. معادله (۳-۵)، معادله توزیع احتمال می‌باشد.

$$P(\theta | x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{f(x_1, x_2, \dots, x_n | \theta) P(\theta)}{P(x_1, x_2, \dots, x_n)} \quad (۳-۵)$$

که در آن $P(\theta)$ توزیع مقدم برای پارامتر θ است که در آن $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ احتمال متوسط داده‌ها بر روی همه پارامترها ست. از آنجا که مخرج مستقل از θ است، برآوردگر بیزی از بیشینه کردن رابطه $f(x_1, x_2, \dots, x_n | \theta) P(\theta)$ بدست می‌آید. علاوه بر این فرض اگر در نظر بگیریم که احتمال مقدم $P(\theta)$ توزیع یکنواخت دارد، تخمین‌گر بیزی از بیشینه کردن تابع درست‌نمایی بیشتر فرض کنیم که قبل از یک توزیع یکنواخت از بیزی برآورد به دست آمده است توسط به حداکثر رساندن احتمال تابع $f(x_1, x_2, \dots, x_n | \theta)$ بدست می‌آید؛ بنابراین برآوردگر بیزی، برآورد درست‌نمایی بیشینه را با در نظر گرفتن توزیع مقدم یکنواخت $P(\theta)$ همراهی می‌کند.

• ویژگی‌ها

درست‌نمایی بیشینه یک برآوردگر اکس‌ترمم بنا شده بر تابع هدف به صورت معادله (۳-۶) می‌باشد:

$$\hat{L}(\theta | x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln f(x_i | \theta) \quad (۳-۶)$$

و مشابه نمونه‌ای درست‌نمایی لگاریتمی میانگین $l(\theta) = E[\ln f(x_i|\theta)]$ می‌باشد. مقدار انتظاری اینجا متناظر با چگالی صحیح محاسبه شود.

برآوردگر درست‌نمایی بیشینه اساساً هیچگونه ویژگی‌های بهینه برای نمونه‌های متناهی ندارد. با این حال این روش مشابه دیگر روش‌های تخمین، برای بیان بسیاری از مسایل دارای ویژگی‌های مجانبی جالبی می‌باشند که عبارتند از:

سازگاری: دنباله برآوردهای درست‌نمایی بیشینه در احتمال، به مقدار تخمین زده شده همگرا است. نرمال جانبی: متناظر با افزایش اندازه‌ی نمونه توزیع ML به یک توزیع گاوسی میل می‌کند که میانگین آن θ و ماتریس کوواریانس آن برابر است با وارون ماتریس اطلاعات فیشر. کارایی: زمانی که اندازه‌ی نمونه به بینهایت میل می‌کند، برآورد به کران پایین کرامر-رائو برسد. این بدین معنی است که هیچ برآوردگر مجانبی نا اریبی خطای مربعی شده‌ی میانگین مجانبی کمتر از ML ندارد.

۳-۷-۲ طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM)

ماشین بردار پشتیبانی (Support vector machines - SVM) یکی از روش‌های یادگیری با نظارت است که از آن برای طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده می‌کنند.

این روش از جمله‌ی روش‌های نسبتاً جدیدی است که در سال‌های اخیر کارایی خوبی نسبت به روش‌های قدیمی‌تر برای طبقه‌بندی نشان داده‌است. مبنای کاری دسته‌بندی کننده‌ی SVM دسته‌بندی خطی داده‌ها است و در تقسیم خطی داده‌ها سعی می‌کنیم خطی را انتخاب کنیم که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد. حل معادله پیدا کردن خط بهینه برای داده‌ها به وسیله روش‌های QP^1 که روش‌های شناخته شده‌ای در حل مسائل محدودیت‌دار هستند صورت می‌گیرد. قبل از تقسیم خطی برای اینکه ماشین بتواند داده‌های با پیچیدگی بالا را دسته‌بندی کند داده‌ها را به وسیله‌ی تابع ϕ به فضای با ابعاد خیلی بالاتر برده می‌شود. برای اینکه بتوانیم مسئله ابعاد خیلی بالا را با استفاده از این روش‌ها حل کنیم از قضیه دوگانگی لاگرانژ برای تبدیل مسئله‌ی مینیمم‌سازی مورد نظر به فرم دوگانگی آن که در آن به جای تابع پیچیده‌ی ϕ که ما را به فضایی با ابعاد بالا می‌برد، تابع ساده‌تری به نام تابع هسته که ضرب برداری تابع ϕ است ظاهر می‌شود استفاده می‌کنیم. از توابع هسته مختلفی از جمله هسته‌های نمایی، چند جمله‌ای و سیگموئید می‌توان استفاده نمود.

¹ Quality progress

الگوریتم SVM، جزو الگوریتم‌های تشخیص الگو دسته‌بندی می‌شود. از الگوریتم SVM، در هر جایی که نیاز به تشخیص الگو یا دسته‌بندی اشیاء در کلاس‌های خاص باشد می‌توان استفاده کرد. در ادامه به کاربردهای این الگوریتم به صورت موردی اشاره می‌شود:

سیستم آنالیز ریسک، کنترل هواپیما بدون خلبان، ردیابی انحراف هواپیما، شبیه‌سازی مسیر، سیستم راهنمایی اتوماتیک اتومبیل، سیستم‌های بازرسی کیفیت، آنالیز کیفیت جوشکاری، پیش‌بینی کیفیت، آنالیز کیفیت کامپیوتر، آنالیز عملیات‌های آسیاب، آنالیز طراحی محصول شیمیایی، آنالیز نگهداری ماشین، پیشنهاد پروژه، مدیریت و برنامه‌ریزی، کنترل سیستم فرایند شیمیایی و دینامیکی، طراحی اعضای مصنوعی، بهینه‌سازی زمان پیوند اعضا، کاهش هزینه بیمارستان، بهبود کیفیت بیمارستان، آزمایش اتاق اورژانس، اکتشاف روغن و گاز، کنترل مسیر در دستگاه‌های خودکار، ربات، جراثقال، سیستم‌های بصری، تشخیص صدا، اختصار سخن، کلاسه بندی صوتی، آنالیز بازار، سیستم‌های مشاوره‌ای محاسبه هزینه موجودی، اختصار اطلاعات و تصاویر، خدمات اطلاعاتی اتوماتیک، مترجم لحظه‌ای زبان، سیستم‌های پردازش وجه مشتری، سیستم‌های تشخیص ترمز کامیون، زمان‌بندی وسیله نقلیه، سیستم‌های مسیریابی، کلاسه بندی نمودارهای مشتری/بازار، تشخیص دارو، بازبینی امضا، تخمین ریسک وام، شناسایی طیفی، ارزیابی سرمایه، کلاسه بندی انواع سلول‌ها، میکروب‌ها و نمونه‌ها، پیش‌بینی فروش‌های آینده، پیش‌بینی نیازهای محصول، پیش‌بینی وضعیت بازار، پیش‌بینی شاخص‌های اقتصادی، پیش‌بینی ملزومات انرژی، پیش‌بینی واکنش‌های دارویی، پیش‌بینی بازتاب محصولات شیمیایی، پیش‌بینی هوا، پیش‌بینی محصول، پیش‌بینی ریسک محیطی، پیش‌بینی جداول داور، مدل کردن کنترل فرایند، آنالیز فعالیت گارانتی، بازرسی اسناد، تشخیص هدف، تشخیص چهره، انواع جدید سنسورها، دستگاه کاشف زیر دریایی به وسیله امواج صوتی، رادار، پردازش سیگنال‌های تصویری شامل مقایسه اطلاعات، پیگیری هدف، هدایت جنگ‌افزارها، تعیین قیمت وضعیت فعلی، جلوگیری از پارازیت، شناسایی تصویر/سیگنال، چیدمان یک مدار کامل، بینایی ماشین، مدل کردن غیر خطی، ترکیب صدا، کنترل فرایند ساخت، آنالیز مالی، پیش‌بینی فرایندهای تولید، ارزیابی بکارگیری یک سیاست، بهینه‌سازی محصول، تشخیص ماشین و فرایند، مدل کردن کنترل سیستم‌ها، مدل کردن ساختارهای شیمیایی، مدل کردن سیستم‌های دینامیکی، مدل کردن سیگنال تراکم، مدل کردن قالب‌سازی پلاستیکی، مدیریت قراردادهای سهام، مدیریت وجوه بیمه، مدیریت سهام، تصویب چک بانکی، اکتشاف تقلب در کارت اعتباری، ثبت نسبه، بازبینی امضا از چکها، پیش‌بینی ارزش نسبه، مدیریت ریسک رهن، تشخیص حروف و اعداد، تشخیص بیماری و...

ما مجموعه داده‌های آزمایش D شامل n عضو (نقطه) را در اختیار داریم که به صورت زیر معادله (۷-۳) می‌شود:

$$D = \{(x_i, y_i) | x_i \in R^p, y_i \in \{-1, 1\}\}_{i=1}^n \quad (7-3)$$

جایی که مقدار y برابر ۱ یا -۱ و هر x_i یک بردار حقیقی p بعدی است. هدف پیدا کردن ابر صفحه جداکننده با بیشترین فاصله از نقاط حاشیه‌ای است که نقاط با $y_i = 1$ را از نقاط با $y_i = -1$ جدا کند. هر ابر صفحه می‌تواند به صورت مجموعه‌ای از نقاط x که شرط زیر را ارضا می‌کند به صورت معادله (۸-۳) نوشته می‌شود:

$$w \cdot x - b = 0 \quad (8-3)$$

جایی که w بردار نرمال است، که به ابر صفحه عمود است. ما می‌خواهیم w و b را طوری انتخاب کنیم که بیشترین فاصله بین ابر صفحه‌های موازی که داده‌ها را از هم جدا می‌کنند، ایجاد شود. این ابر صفحه‌ها با استفاده از معادله (۹-۳) توصیف می‌شوند.

$$\begin{aligned} w \cdot x - b &= 1 \\ w \cdot x - b &= -1 \end{aligned} \quad (9-3)$$

اگر داده‌های آموزشی جدایی پذیر خطی باشند، ما می‌توانیم دو ابر صفحه در حاشیه نقاط به طوری که هیچ نقطه مشترکی نداشته باشند، در نظر بگیریم و سپس سعی کنیم، فاصله آن‌ها را، حداکثر کنیم. با استفاده از هندسه، فاصله این دو صفحه $\frac{2}{\|w\|}$ است؛ بنابراین $\|w\|$ را مینیمم کنیم. برای اینکه از ورود نقاط به حاشیه جلوگیری کنیم، شرایط معادله (۱۰-۳) را اضافه می‌کنیم:

برای هر i

$$\begin{aligned} w \cdot x_i - b &\geq 1, \text{ if } y_i = 1 \\ w \cdot x_i - b &\leq -1, \text{ if } y_i = -1 \end{aligned} \quad (10-3)$$

این می‌تواند به صورت معادله (۱۱-۳) نوشته شود:

$$y_i(w \cdot x_i - b) \geq 1, \forall 1 \leq i \leq n \quad (11-3)$$

با کنار هم قرار دادن این دو مسئله بهینه سازی به صورت معادله (۱۲-۳) به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \min_{(w,b)} & \frac{1}{2} \|w\|^2 \\ \text{s.t. } & \forall 1 \leq i \leq n \\ & y_i(w \cdot x_i - b) \geq 1 \end{aligned} \quad (12-3)$$

• فرم اولیه

مسئله بهینه‌سازی مشاهده شده در قسمت قبل، مسئله سختی، برای حل کردن است، زیرا به $\|w\|$ وابسته است (نرم w یا اندازه طول بردار). خوشبختانه می‌توانیم، بدون تغییر در مسئله $\|w\|$ را با $\frac{1}{4} \|w\|^2$ جانشین کنیم (عبارت $\frac{1}{2}$ برای آسودگی در محاسبات ریاضی آمده). این یک مسئله بهینه‌سازی (OP) برنامه‌ریزی غیرخطی (QP) است. به‌طور واضح تر در معادله (۱۳-۳) بیان شده است:

$$\begin{aligned} \min_{(w,b)} \quad & \frac{1}{4} \|w\|^2 \\ \text{s. t. } \forall 1 \leq i \leq n \quad & y_i(w \cdot x_i - b) \geq 1 \end{aligned} \quad (13-3)$$

می‌توان عبارت قبل را با استفاده از ضرایب نا منفی لاگرانژ به صورت معادله (۱۴-۳) نوشت که در آن ضرایب لاگرانژ هستند:

$$\min_{w,b,\alpha} \left\{ \frac{1}{4} \|w\|^2 - \sum_{i=1}^n \alpha_i [y_i(w \cdot x_i - b) - 1] \right\} \quad (14-3)$$

اما فرمول فوق اشتباه است. فرض کنید ما بتوانیم خانواده‌ای از ابر صفحات که نقاط را تقسیم می‌کنند پیدا کنیم. پس همه $y_i(w \cdot x_i - b) - 1 \geq 0$. بنابراین ما می‌توانیم مینیمم را با فرستادن همه α_i به $+\infty$ پیدا کنیم. با این حال شرط پیش گفته می‌تواند به صورت معادله (۱۵-۳) بیان شود:

$$\min_{w,b,\alpha} \min_{\alpha} \left\{ \frac{1}{4} \|w\|^2 - \sum_{i=1}^n \alpha_i [y_i(w \cdot x_i - b) - 1] \right\} \quad (15-3)$$

ما به دنبال نقاط saddle می‌گردیم. حالا می‌توان این مسئله را به کمک برنامه‌ریزی غیرخطی استاندارد حل کرد. جواب می‌تواند به صورت ترکیب خطی از بردارهای آموزشی به صورت معادله (۱۶-۳) بیان شود:

$$w = \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i x_i \quad (16-3)$$

تنها چند α_i بزرگتر از صفر خواهد بود. x_i متناظر، دقیقاً همان بردار پشتیبان خواهد بود و به شرط را ارضا خواهد کرد. از این می‌توان نتیجه گرفت که بردارهای پشتیبان شرط معادله (۱۷-۳) را نیز ارضا می‌کنند:

$$y_i(w \cdot x_i - b) = 1 \quad (17-3)$$

که اجازه می‌دهد مقدار b تعریف شود. در عمل الگوریتم مقاوم‌تر خواهد بود اگر تمام N_{sv} بردار پشتیبان میانگین گرفته شود به صورت معادله (۱۸-۳):

$$b = \frac{1}{N_{sv}} \sum_{i=1}^{N_{sv}} (w \cdot x_i - y_i) \quad (18-3)$$

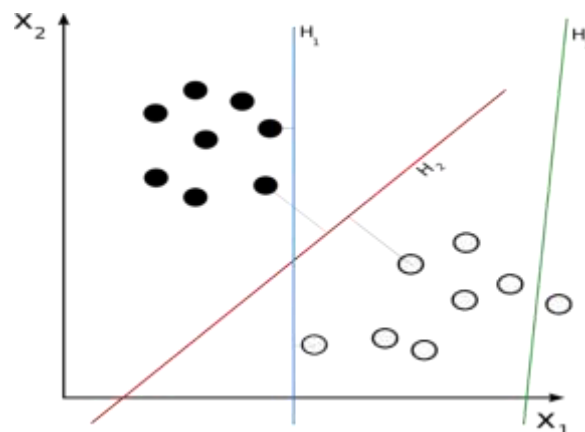
• فرم دوگان

استفاده از این واقعیت که $\|w\|^2 = w \cdot w$ و جانشینی $w = \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i x_i$ می‌توان نشان داد که دوگان SVM به مسئله بهینه سازی به صورت معادله (۱۹-۳) ساده می‌شود:

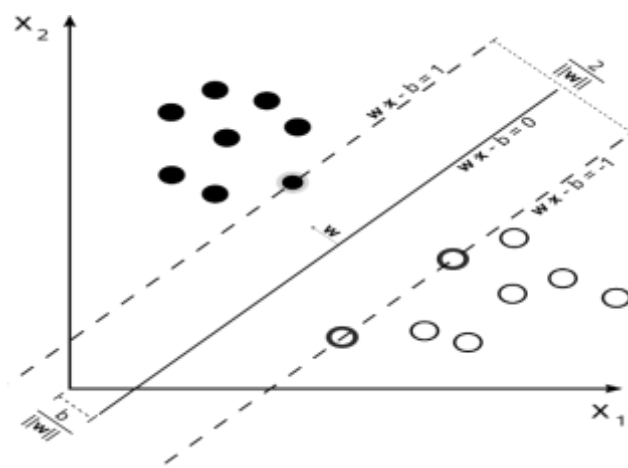
$$\begin{aligned} \max_{\alpha_i} (L(\alpha) = \sum_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i^T x_j = \\ \sum_{i=1}^n \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j y_i y_j k(x_i, x_j) \text{ s.t } \forall_i, \alpha_i \geq 0, \text{ and } \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i = 0. \end{aligned} \quad (19-3)$$

در اینجا هسته $k(x_i, x_j) = (x_i, x_j)$ تعریف می‌شود. عبارت α تشکیل یک دوگان برای بردار وزن‌ها مجموعه آموزشی به صورت معادله (۲۰-۳) می‌دهد:

$$w = \sum_i \alpha_i x_i y_i \quad (20-3)$$



شکل ۳-۹. نمودار نحوه جداسازی داده‌ها [۳۴، ۴۱]



شکل ۳-۱۰. نمودار بردار پشتیبان [۳۴،۴۱]

شکل (۳-۱۰) نمودار جداسازی اطلاعات می‌باشد. در این نمودار H_2 دو دسته اطلاعات را از هم جدا نمی‌کند. H_1 اما دو دسته را از هم با حاشیه‌ای کوچک جدا می‌کند و H_2 دو دسته را با حداکثر حاشیه از هم جدا می‌سازد.

شکل (۳-۱۱) آبرصفحه‌ای با حداکثر حاشیه برای یک ماشین بردار پشتیبانی که با نمونه داده‌هایی از دو دسته یادگرفته شده است. داده‌هایی که بر روی آبرصفحه حاشیه قرار دارند بردارهای پشتیبانی نام دارند.

۳-۷-۳ طبقه‌بندی شبکه‌های عصبی (NN)

شبکه‌های عصبی (Neural Networks - NN) یا به زبان ساده‌تر شبکه‌های عصبی سیستم‌ها و روش‌های محاسباتی نوین برای یادگیری ماشینی، نمایش دانش و در انتها اعمال دانش به دست آمده در جهت بیش‌بینی پاسخ‌های خروجی از سامانه‌های پیچیده هستند. ایده‌ی اصلی این گونه شبکه‌ها تا حدودی الهام گرفته از شیوه‌ی کارکرد سیستم عصبی زیستی برای پردازش داده‌ها و اطلاعات به منظور یادگیری و ایجاد دانش می‌باشد. عنصر کلیدی این ایده، ایجاد ساختارهایی جدید برای سامانه‌ی پردازش اطلاعات است.

این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده بهم پیوسته با نام نورون تشکیل شده که برای حل یک مسئله با هم هماهنگ عمل می‌کنند و توسط سیناپس‌ها (ارتباطات الکترومغناطیسی) اطلاعات را منتقل می‌کنند. در این شبکه‌ها اگر یک سلول آسیب ببیند بقیه سلول‌ها می‌توانند نبود آن را جبران کرده، و نیز در بازسازی آن سهیم باشند. این شبکه‌ها قادر به یادگیری‌اند. مثلاً با اعمال سوزش به سلول‌های

عصبی لامسه، سلول‌ها یاد می‌گیرند که به طرف جسم داغ نروند و با این الگوریتم سیستم می‌آموزد که خطای خود را اصلاح کند. یادگیری در این سیستم‌ها به صورت تطبیقی صورت می‌گیرد، یعنی با استفاده از مثال‌ها وزن سیناپس‌ها به گونه‌ای تغییر می‌کند که در صورت دادن ورودی‌های جدید، سیستم پاسخ درستی تولید کند.

• زمینه

فلسفه‌ی اصلی شبکه‌ی عصبی، مدل کردن ویژگی‌های پردازشی مغز انسان برای تقریب زدن روش‌های معمول محاسباتی با روش پردازش زیستی است. به بیان دیگر، شبکه‌ی عصبی روشی است که دانش ارتباط بین چند مجموعه‌ی داده را از طریق آموزش فراگرفته و برای استفاده در موارد مشابه ذخیره می‌کند. این پردازنده از دو جهت مشابه مغز انسان عمل می‌کند:

- یادگیری شبکه عصبی از طریق آموزش صورت می‌گیرد.
- وزن دهی مشابه با سیستم ذخیره سازی اطلاعات، در شبکه‌ی عصبی مغز انسان انجام می‌گیرد.

• تعریف

یک شبکه‌ی عصبی، از سه لایه‌ی ورودی، خروجی و پردازش تشکیل می‌شود. هر لایه شامل گروهی از سلول‌های عصبی (نورون) است که عموماً با کلیه‌ی نورون‌های لایه‌های دیگر در ارتباط هستند، مگر این که کاربر ارتباط بین نورون‌ها را محدود کند؛ ولی نورون‌های هر لایه با سایر نورون‌های همان لایه، ارتباطی ندارند.

نورون کوچک‌ترین واحد پردازشگر اطلاعات است که اساس عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهد. یک شبکه‌ی عصبی مجموعه‌ای از نورون‌هاست که با قرار گرفتن در لایه‌های مختلف، معماری خاصی را بر مبنای ارتباطات بین نورون‌ها در لایه‌های مختلف تشکیل می‌دهند. نورون می‌تواند یک تابع ریاضی غیرخطی باشد، در نتیجه یک شبکه‌ی عصبی که از اجتماع این نورون‌ها تشکیل می‌شود، نیز می‌تواند یک سامانه‌ی کاملاً پیچیده و غیرخطی باشد. در شبکه‌ی عصبی هر نورون به‌طور مستقل عمل می‌کند و رفتار کلی شبکه، برآیند رفتار نورون‌های متعدد است. به عبارت دیگر، نورون‌ها در یک روند همکاری، یکدیگر را تصحیح می‌کنند.

• کاربرد

با استفاده از دانش برنامه‌نویسی رایانه می‌توان ساختار داده‌ای طراحی کرد که همانند یک نورون عمل نماید. سپس با ایجاد شبکه‌ای از این نورون‌های مصنوعی به هم پیوسته، ایجاد یک الگوریتم آموزشی برای

شبکه و اعمال این الگوریتم به شبکه آن را آموزش داد. این شبکه‌ها برای تخمین و تقریب، کارایی بسیار بالایی از خود نشان داده‌اند. گستره کاربرد این مدل‌های ریاضی بر گرفته از عملکرد مغز انسان، بسیار وسیع می‌باشد که به عنوان چند نمونه کوچک می‌توان استفاده از این ابزار ریاضی در پردازش سیگنال‌های بیولوژیکی، مخابراتی و الکترونیکی تا کمک در نجوم و فضاوردی را نام برد. اگر یک شبکه را هم‌ارز با یک گراف بدانیم، فرایند آموزش شبکه تعیین نمودن وزن هر یال و base اولیه‌ی خواهد بود.

• یادگیری

یادگیری ماشینی با نظارت (supervised learning) به دنبال تابعی از میان یک سری توابع هست که تابع هزینه (loss function) داده‌ها را بهینه سازد. به عنوان مثال در مسئله رگرسیون تابع هزینه می‌تواند اختلاف بین پیش‌بینی و مقدار واقعی خروجی به توان دو باشد، یا در مسئله طبقه‌بندی ضرر منفی لگاریتم احتمال خروجی باشد. مشکلی که در یادگیری شبکه‌های عصبی وجود دارد این است که این مسئله بهینه‌سازی دیگر محدب (convex) نیست. ازین رو با مشکل کمینه‌های محلی روبرو هستیم. یکی از روش‌های متداول حل مسئله بهینه‌سازی در شبکه‌های عصبی بازگشت به عقب یا همان back propagation است. روش بازگشت به عقب گرادیان تابع هزینه را برای تمام وزن‌های شبکه عصبی محاسبه می‌کند و بعد از روش‌های گرادیان کاهشی (gradient descent) برای پیدا کردن مجموعه وزن‌های بهینه استفاده می‌کند. روش‌های گرادیان کاهشی سعی می‌کنند به صورت متناوب در خلاف جهت گرادیان حرکت کنند و با این کار تابع هزینه را به حداقل برسانند. پیدا کردن گرادیان لایه آخر ساده است و با استفاده از مشتق جزئی بدست می‌آید. گرادیان لایه‌های میانی اما به صورت مستقیم بدست نمی‌آید و باید از روش‌هایی مانند قاعده زنجیری در مشتق‌گیری استفاده کرد. روش بازگشت به عقب از قاعده زنجیری برای محاسبه گرادیان‌ها استفاده می‌کند و همان‌طور که در پایین خواهیم دید، این روش به صورت متناوب گرادیان‌ها را از بالاترین لایه شروع کرده آن‌ها را در لایه‌های پایین‌تر «پخش» می‌کند.

• بازگشت به عقب (back propagation)، روشی برای محاسبه گرادیان‌ها

برای سلول عصبی c ورودی که از سلول عصبی p به این سلول وارد می‌شود را با b_{pc} نشان می‌دهیم. وزن این ورودی w_{pc} است و مجموع ضرب ورودی‌ها با وزن‌هایشان را با a_c نمایش می‌دهیم، به این معنی که $a_c = \sum_{i=1}^n l(h_w(x_i), y_i)$. حال باید روی a_c تابعی غیر خطی اعمال کنیم این تابع را می‌نامیم و خروجی آن را با b_c نمایش می‌دهیم یعنی $b_c = \theta_c(a_c)$ به همین شکل خروجی که از سلول عصبی c خارج شده و به سلول n وارد می‌شود را با b_{cn} نمایش می‌دهیم و وزن آن را w_{cn} می‌نامیم. حال تمام وزن‌های این شبکه

عصبی را در مجموعه‌ای به اسم W می‌گنجانیم، هدف یادگیری این وزن هاست. اگر ورودی ما x باشد و خروجی y و خروجی شبکه‌ی عصبی ما $h_w(x)$ ، هدف پیدا کردن W است به قسمتی که برای تمام داده‌ها y و $h_w(x)$ به هم خیلی نزدیک شوند. به عبارت دیگر هدف کوچک کردن یک تابع هزینه بر روی تمام داده‌هاست، اگر داده‌ها را با $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ و تابع هزینه را با L نشان دهیم هدف کمینه کردن تابع معادله (۲۱-۳) است:

$$Q(W) = \sum_{i=1}^n l(h_w(x_i), y_i) \quad (21-3)$$

به عنوان مثال اگر مسئله رگرسیون است برای L می‌توانیم خطای مربعات را در نظر بگیریم و اگر مسئله دسته بندی است برای L می‌شود منفی لگاریتم درست نمایی را استفاده کرد.

برای بدست آوردن کمینه $Q(W)$ باید از روش گرادیان کاهشی استفاده کرد، به این معنی که گرادیان تابع را حساب کرده، کمی در خلاف جهت آن حرکت کرده و این کار را آنقدر ادامه داد تا تابع هزینه خیلی کوچک شود. روش بازگشت به عقب در واقع روشی برای پیدا کردن گرادیان تابع $Q(W)$ است.

حال فرض کنیم می‌خواهیم گرادیان تابع $Q(W)$ را نسبت به وزن w_{pc} بدست بیاوریم. برای این کار نیاز به قاعده زنجیری در مشتق‌گیری داریم. قاعده زنجیری به این شکل کار می‌کند: اگر تابعی داشته باشیم به اسم f که وابسته به سه ورودی u, v, w باشد و هر کدام از این سه ورودی به نوبه خود وابسته به t باشند، مشتق f به t به شکل معادله (۲۲-۳) محاسبه می‌شود:

$$\frac{\partial f(u(t), v(t), w(t))}{\partial t} = \frac{\partial f}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial v} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial w} \frac{\partial w}{\partial t} \quad (22-3)$$

با استفاده از این قاعده زنجیری روش بازگشت به عقب را به شکل معادله (۲۳-۳) دنبال می‌کنیم:

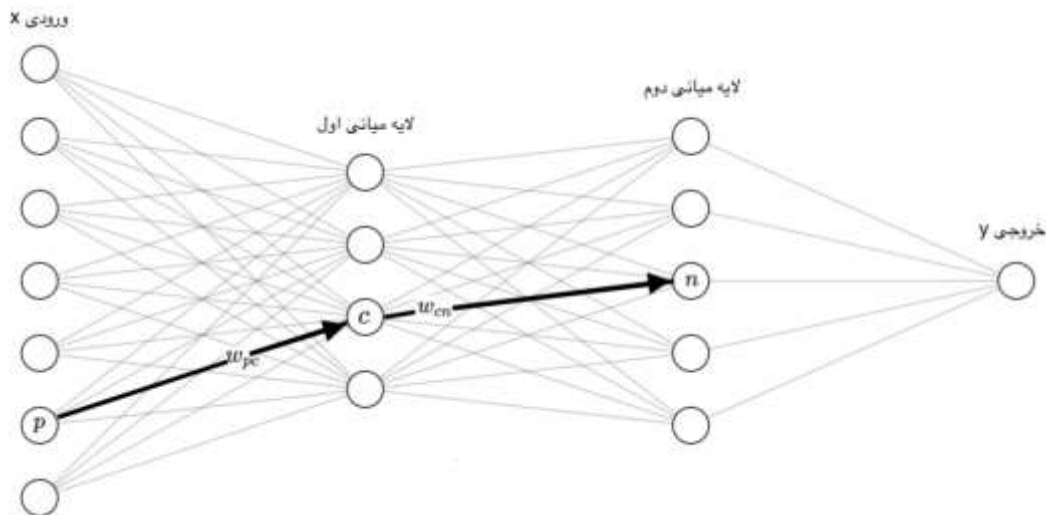
$$\begin{aligned} \delta_c &= \frac{\delta Q}{\delta a_c} \\ a_c &= \sum_p w_{pc} \times b_{pc} \\ b_c &= \theta_c(a_c) \end{aligned} \quad (23-3)$$

$$\begin{aligned}
\delta_c &= \frac{\delta Q}{\delta a_c} = \frac{\delta Q}{\delta b_c} \frac{\delta b_c}{\delta a_c} = \frac{\delta Q}{\delta b_c} \times \theta_c(a_c) \\
&= \left(\sum_n \frac{\delta Q}{\delta a_c} \frac{\delta a_c}{\delta b_c} \right) \times \theta_c(a_c) \\
&= \left(\sum_n w_{cn} \delta_n \right) \times \theta_c(a_c) \\
\frac{\delta Q}{\delta w_{pc}} &= \frac{\delta Q}{\delta a_c} \frac{\delta a_c}{\delta w_{pc}} = \delta_c b_p
\end{aligned}$$

همان طور که در خط پیشین دیدیم برای بدست آوردن گرادیان نسبت به w_{pc} به دو مقدار نیاز داریم ورودی به سلول عصبی c از سلول عصبی p که همان b_p است و راحت بدست می‌آید و δ_c که از روش بازگشتی بدست می‌آید و بستگی به δ هایی لایه بعد دارد که سلول c به آن‌ها وصل است، به طور دقیقتر به صورت معادله (۳-۲۴):

$$\delta_c = \left(\sum_n w_{cn} \delta_n \right) \times \theta_c(a_c) \quad (۳-۲۴)$$

روش بازگشتی برای بدست آوردن δ ها به این شکل کار می‌کند که ابتدا δ را برای سلول‌های لایه خروجی حساب می‌کنیم، و بعد لایه‌ها را به نوبت پایین می‌آییم و برای هر سلول δ آن را با ترکیب δ های لایه‌های بالایی آن طبق فرمول حساب می‌کنیم. محاسبه کردن δ برای لایه خروجی آسان است و مستقیماً با مشتق گرفتن از Q بدست می‌آید.



شکل ۳-۱۱. تصویری از یک شبکه عصبی با دو لایه پنهان، گرادیان c وابسته به گرادیان لایه‌های بالاتر است که به آنها متصل است [۳۸،۴۵]

شکل (۳-۱۲) تصویری از یک شبکه عصبی با دو لایه پنهان، گرادیان C وابسته به گرادیان لایه‌های بالاتر است که به آنها متصل است را نشان می‌دهد.

۳-۸ تئوری ادغام داده‌ها به روش حداکثر رای گیری (MV)

ادغام تصمیم گیری (Decision Fusion)، تصمیمات مختلف از روش‌ها یا داده‌های مختلف را باهم تلفیق یا ادغام می‌کند تا سرانجام در مقایسه با نتیجه یک تصمیم فردی، تصمیم دقیق‌تر و قابل اعتمادتری اتخاذ شود. یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها در تلفیق تصمیم گیری، روشی مبتنی بر مفهوم رای گیری است، که در آن هر نتیجه به عنوان یک رای در نظر گرفته می‌شود. ساده‌ترین شکل این روش، رای حداکثری MV است. در این روش، اگر تمام نتایج از وزن و دقت یکسانی برخوردار باشند، نتیجه‌ی همه‌ی طبقه‌بندی‌ها با یکدیگر تلفیق شده و تصمیم با بالاترین رای به عنوان کلاس برنده معرفی می‌شود. در روش رای گیری حداکثری که وزن تمام طبقه‌بندی کنندگان برابر باشد، کلاس با حداکثر تعداد آرا برنده خواهد شد.

$$\sum_{i=1}^L d_{i,k} = \max_{j=1}^L d_{i,j} \quad (3-25)$$

در معادله (۳-۲۵) به ازای $i=1, \dots, m$ (که در آن m تعداد مجموعه روش‌های تصمیم گیری است) و x_j به ازای $j=1, \dots, c$ (که در آن c تعداد کلاس‌های موجود است) بردار c بعدی $\{d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{im}\}$ برای هر طبقه‌بندی کننده می‌تواند بکار رود. همچنین مقدار d_{ij} می‌تواند ۰ یا ۱ باشد.

هنگامی که طبقه بندی کننده‌ها وزن‌های مختلفی دارند، حالت خاصی از این روش با نام "حداکثر رأی وزن دار" به کار می‌رود. در وضعیت مذکور، نقش یا وزن طبقه بندی کننده‌هایی که دقت بیشتری دارند، در رأی گیری بیشتر می‌شود، در حال که طبقه بندی کننده‌ها با دقت کمتر وزن کمتری را در ادغام دریافت می‌کنند.

$$g_j(x) = \sum_{j=1}^M d_{ij} \times b_j \quad (3-26)$$

b_j در رابطه (۳-۲۶) وزن مربوط به هر طبقه بندی کننده است. تاکنون تحقیقات فراوانی روی این روش و به طور ویژه در زمینه‌ی بهبود دقت آن صورت پذیرفته است.

روش‌های رای گیری فقط مقدار کمی از نتایج تصمیم گیرهای محلی را برای ادغام استفاده می‌کند و اکثر این روش‌ها فقط نیاز به رتبه اول تصمیم گیرها (تصمیم‌های سخت) دارند و بکارگیری آن‌ها ساده می‌باشد.

یکی از روش‌های پرکاربرد، روش اکثریت آرا (Majori Voting Function (MVF)) است که الگوی x را

طبق معیار زیر به کلاس w_j تخصیص می‌دهد معادله (۲۷-۳)، معادله (۲۸-۳) و معادله (۲۹-۳):

$$X \in w_j \quad \text{if} \quad V(j) = \max_{k=1}^M [V(k)] \quad (27-3)$$

$$\Delta_{ki} = \begin{cases} 1 & \text{if } g_k^i(x_i) = \max_{j=1}^N [g_j^i(x_i)] \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (28-3)$$

$$V(k) = \sum_{I=1}^N \Delta_{ki} \quad (29-3)$$

$g_j^i(x_i)$ تابع ممیز تصمیم گیر i^{th} است.

فصل ۴ : بررسی نتایج و بحث

۴-۱ مقدمه

در این فصل به بررسی نتایج حاصل از پژوهش پرداخته می‌شود. حوادث طبیعی یکی از عوامل خطرزا برای جامعه می‌باشد. از مهمترین این حوادث می‌توان به زمین لرزه اشاره نمود. پیش بینی بحران و بزرگی آن می‌تواند به سیاستمداران، محققان و مسئولان ذیربط در اتخاذ تصمیمات مناسب کمک شایانی کند. مهندسی نقشه‌برداری در محاسبه و ارائه نتایج بحرانهای طبیعی نقش قدرتمند و غیر قابل انکاری دارد. یکی از جنبه‌های این علم برای پرداختن به اثرات زیانبار ناشی از بحرانهای طبیعی، بهره‌گیری از سیستم اطلاعات مکانی است. سیستم اطلاعات مکانی علم و فناوری قدرتمندی در مدلسازی بحران می‌باشد و این ویژگی را بواسطه قابلیت بالایی که در مدیریت، تلفیق، مدلسازی و پردازش حجم وسیعی از داده‌ها و نمایش آنها دارد، بدست آورده است.

با توجه به بافت عمرانی، اقتصادی و فرهنگی تهران و آسیب پذیری آن در مقابل سوانح طبیعی بخصوص زمین لرزه، می‌توان تصور نمود که اثرات مخرب زمین لرزه در این شهر در تمام کشور تاثیرات منفی و نامطلوبی را به همراه خواهد داشت. لذا با توجه به این مهم، لازم است که مسئولین کشوری و بخصوص مسئولین مستقیم ابرشهر تهران در صدد یافتن روش‌های مدون و قابل اجرا برای مدیریت بحرانهای طبیعی بویژه زمین لرزه باشند. برای مهیا کردن یک سیستم منسجم برای مدیریت بحران یک ابرشهر، ابتدا نیاز به شناخت بحران و ابعاد آن در گستره شهر می‌باشد. در این پایان نامه به منظور شناخت آسیب پذیریهایی محتمل، اقدام به تهیه نقشه‌های آسیب پذیری فیزیکی و انسانی ناشی از زمین لرزه شده است که بستری را برای پیش بینی نحوه توزیع بحران فراهم آورده است. نقشه‌های مذکور می‌توانند به عنوان یک سیستم راهنما و پشتیبان برای چرخه مدیریت بحران تلقی گردند.

در این فصل پس از در نظر گرفتن لایه‌های مورد نظر و اعمال داده‌های آموزشی و استفاده از روش‌های طبقه بندی نظارت شده که در نهایت منجر به ایجاد نقشه‌های پهنه بندی خطر زلزله برای کلان شهر تهران می‌گردد. این فصل به بررسی نتایج حاصل و صحت آن‌ها می‌پردازد.

۴-۲ قلمرو جغرافیایی پژوهش

استان تهران به مرکزیت شهر تهران است. تهران پرجمعیت‌ترین شهر و پایتخت ایران، با وسعتی حدود ۱۲،۹۸۱ کیلومتر مربع، بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجه شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه‌ی طول شرقی واقع شده است. این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از جنوب غربی به استان مرکزی، از غرب به استان البرز و از شرق به استان سمنان محدود است. جمعیت این استان طبق سرشماری ۱۳۹۵ بالغ بر

۱۳،۲۶۷،۶۳۷ نفر بوده است که ۱۲،۴۵۲،۲۳۰ نفر در نقاط شهری و ۸۱۴،۶۹۸ نفر در نقاط روستایی ساکن هستند. در این پژوهش تنها کلان شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۴ موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی را نشان می‌دهد. بیست و چهارمین شهر پرجمعیت جهان و پرجمعیت‌ترین شهر باختر آسیا به‌شمار می‌رود. کلان‌شهر تهران نیز دومین کلان‌شهر پرجمعیت خاورمیانه است.

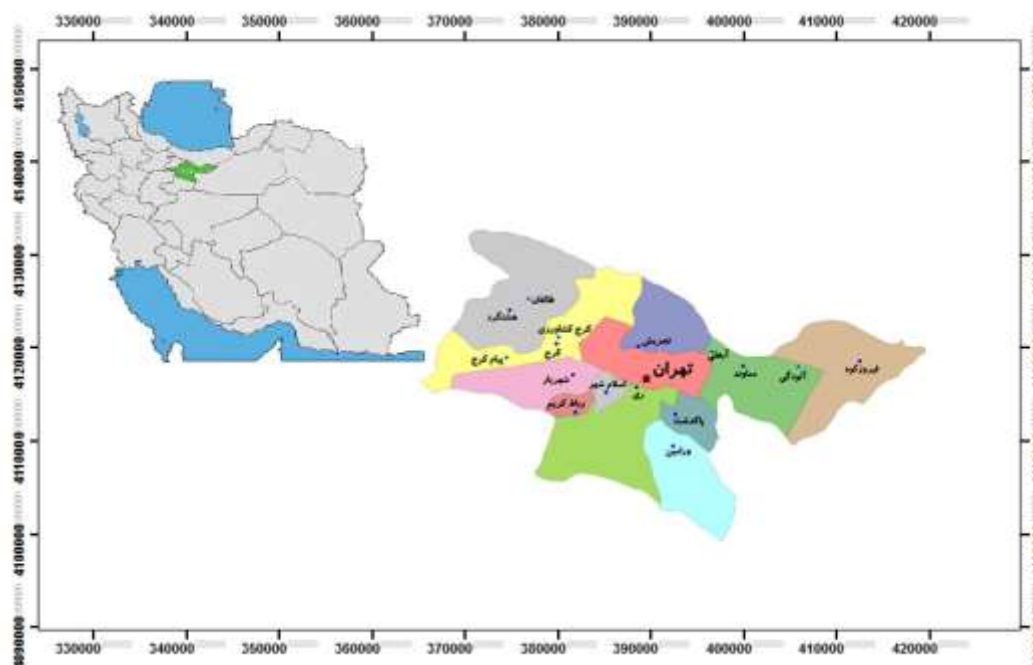
از دید ناهمواری‌های طبیعی، تهران به دو ناحیه‌ی دشتی و کوهپایه‌ای البرز تقسیم می‌شود و گستره‌ی کنونی آن از ارتفاع ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متری از سطح دریا امتداد یافته‌است. تهران دارای اقلیم نیمه‌خشک است. در بیشتر سال‌ها، فصل زمستان نیمی از کل بارش‌های سالانه‌ی تهران را تأمین می‌کند و تابستان نیز کم‌باران‌ترین فصل در تهران است.

تهران شهری با گوناگونی گروه‌های قومی است اما جمعیت خارجی آن کم است. به عنوان بزرگ‌ترین شهر فارسی‌زبان جهان، اکثریت مردم تهران را پارسیان تشکیل می‌دهند و بیشتر مردم این شهر رسماً مسلمان و شیعه‌ی دوازده‌امامی هستند. دیگر جوامع مذهبی در تهران شامل بهائیان، زرتشتیان، مسیحیان و یهودیان می‌شود.

تهران کانون اقتصادی ایران است و نخستین منطقه‌ی صنعتی این کشور محسوب می‌شود، اما فعالیت‌های اقتصادی بین‌المللی نقش چندانی در شمار شاغل‌های آن ندارد. بر اساس آمار سال ۱۳۹۵، سهم تهران در کل تولید ناخالص داخلی ایران ۲۱ درصد است و با اختصاص نیمی از بخش صنعت کشور به خود، نقش مهمی در اقتصاد ایران دارد. این شهر یکی از مهم‌ترین مراکز گردشگری ایران به حساب می‌آید و دارای مجموعه‌ای از جاذبه‌های گردشگری است که شامل کاخ‌ها و موزه‌هایش می‌شود. برج آزادی نماد تهران است و از منشور کوروش بزرگ، برای نخستین‌بار در این مکان پرده‌برداری شد. برج میلاد نیز نماد دیگر تهران و بلندترین برج ایران است. تهران با میزبانی بازی‌های آسیایی ۱۹۷۴، نخستین شهر در خاورمیانه بود که میزبان بازی‌های آسیایی شد و مجموعه‌ی ورزشی آزادی به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین‌های آن دوران، هم‌زمان با این بازی‌ها در ۱۰ شهریور ۱۳۵۳ گشایش یافت.

از نظر اداری، تهران به ۲۲ منطقه و ۱۲۲ ناحیه‌ی شهری تقسیم شده‌است و شهرهای تجریش و ری را دربر گرفته‌است. اداره‌ی شهر توسط شهرداری تهران انجام می‌شود. شهردار تهران توسط شورای شهر تهران انتخاب می‌شود و این شورا بر عملکرد شهرداری نظارت کرده و برای اداره‌ی شهر، قانون‌گذاری می‌کند. در سال ۱۳۴۷، نخستین طرح جامع تهران، با افق ۲۵ ساله و با مسئولیت عبدالعزیز فرمانفرمائی و ویکتور گروئن تهیه شد که تاکنون از مهم‌ترین مبنای قانونی توسعه‌ی شهر تهران بوده‌است. به عنوان یک مرکز سیاسی و اداری، مهم‌ترین نهادهای دولتی و قضایی ایران، همانند وزارتخانه‌ها

و مجلس شورای اسلامی که تهران ۳۰ نماینده در آن دارد، در این شهر واقع شده است. این شهر دارای دو فرودگاه بین‌المللی امام خمینی و مهرآباد است که از پررفت‌وآمدترین فرودگاه‌ها در ایران هستند. شکل (۴-۱) نقشه کلان شهر تهران را نشان می‌دهد.



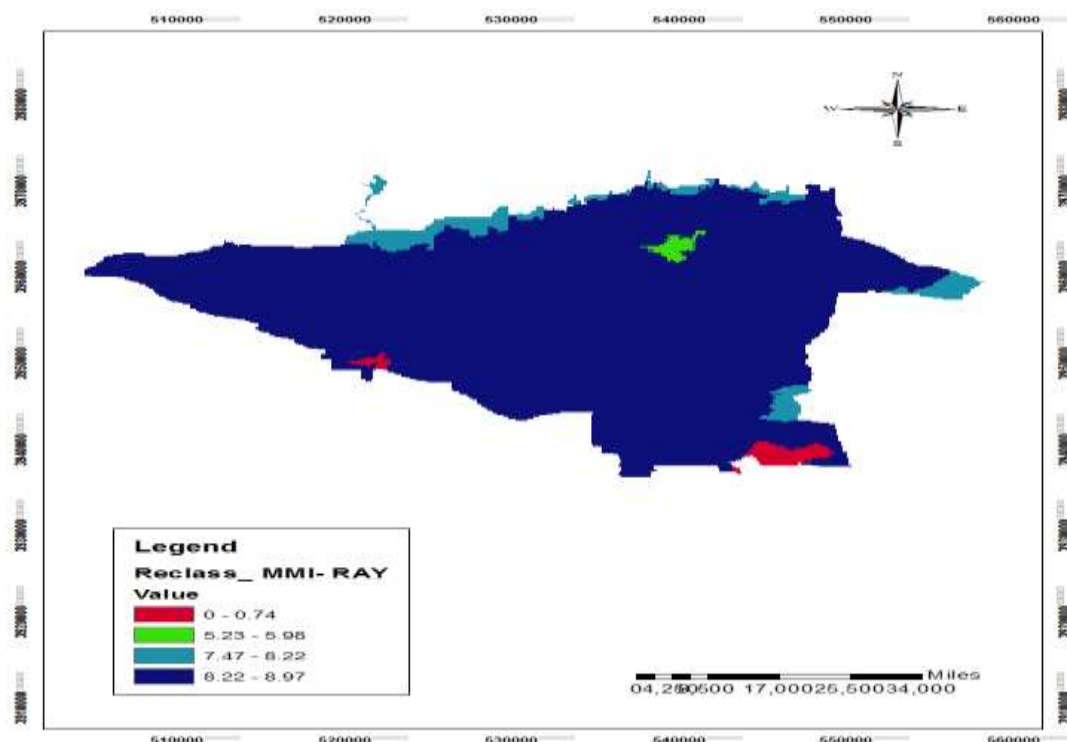
شکل ۴-۱. نقشه موقعیت قرار گیری کلان شهر تهران [۶۳]

پیشینه‌ی زندگی در تهران به دوران نوسنگی بر می‌گردد و کاوش‌های باستان‌شناسی صورت گرفته در تهران، منجر به کشف اسکلت‌های ۷۰۰۰ ساله‌ی انسان و ابزارهای سنگی شده است. در اوایل سده‌ی هفتم، با ویرانی شهر ری و مهاجرت مردم آن به تهران، دانش تجارت، ساخت‌وساز و شهروندی مردم ری به تهران انتقال یافت و باعث پیشرفت آن شد. در دوران صفوی بسیار بر اهمیت تهران افزوده شد اما سرچشمه‌ی شکوفایی و پیشرفت این شهر، به پایتختی آن برمی‌گردد. آقامحمدخان قاجار، بنیان‌گذار دودمان قاجار که پس از بارها تلاش برای تصرف تهران، بالاخره موفق به انجام این کار شده بود، در نوروز سال ۱۱۶۵، پس از سال‌ها جنگ با خاندان زند و مدعیان پادشاهی، تهران را پایتخت خواند. تبدیل شدن تهران از شهری معمولی به یک پایتخت مدرن، از دوران پهلوی شروع شد. در دوران پهلوی، امور کشوری در پایتخت متمرکز شد و شمار کارکنان دولتی در شهر به سرعت افزایش یافت؛ در این دوران، شهر تهران علاوه بر دو وظیفه‌ی سیاسی و تجاری، وظیفه‌ی اداری را نیز پذیرفت. با انقلاب ۱۳۵۷ و آغاز جنگ ایران و عراق، برای نزدیک به یک دهه توسعه‌ای در تهران صورت نگرفت و پس از پایان این دوره، توسعه‌ی پایتخت ایران ادامه یافت و تهران به کانون پذیرش جمعیت در ایران تبدیل شد.

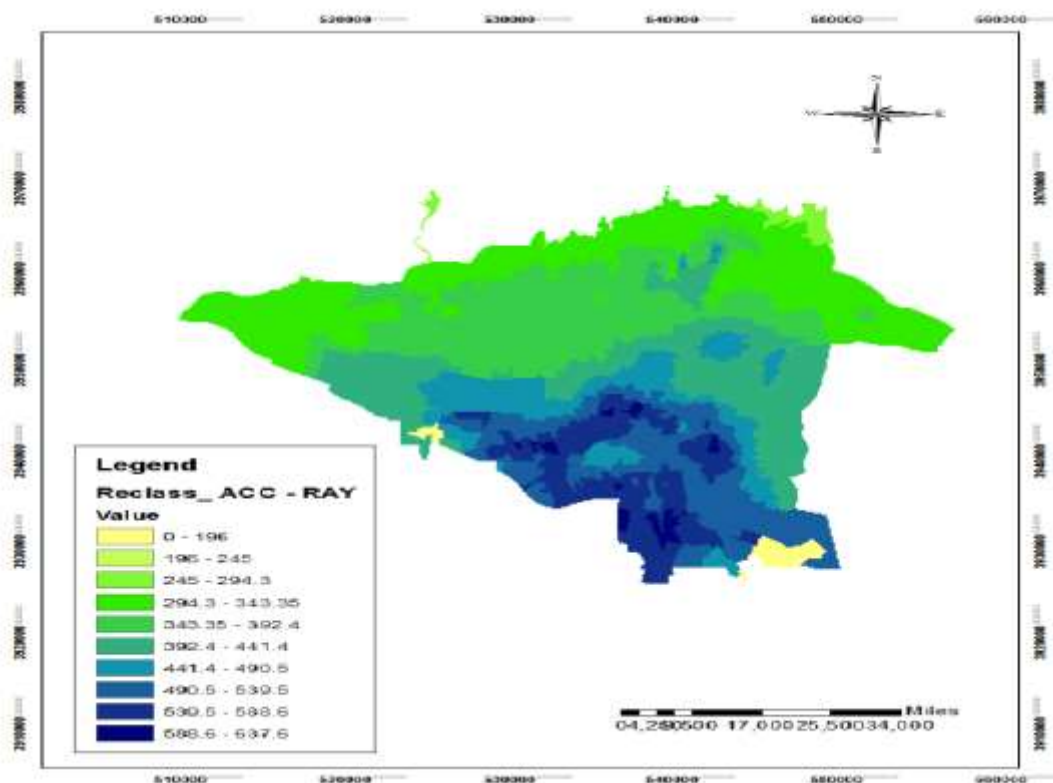
۳-۴ داده‌ها

در ابتدا برای دست یابی به نتیجه نهایی، لایه‌ها وارد نرم افزار GIS می‌شوند و نقشه مربوط به هر لایه تهیه می‌گردد. براساس لایه‌های مذکور نظرات کارشناسان و به کارگیری روش مورد نظر نقشه پهنه بندی نهایی حاصل می‌گردد.

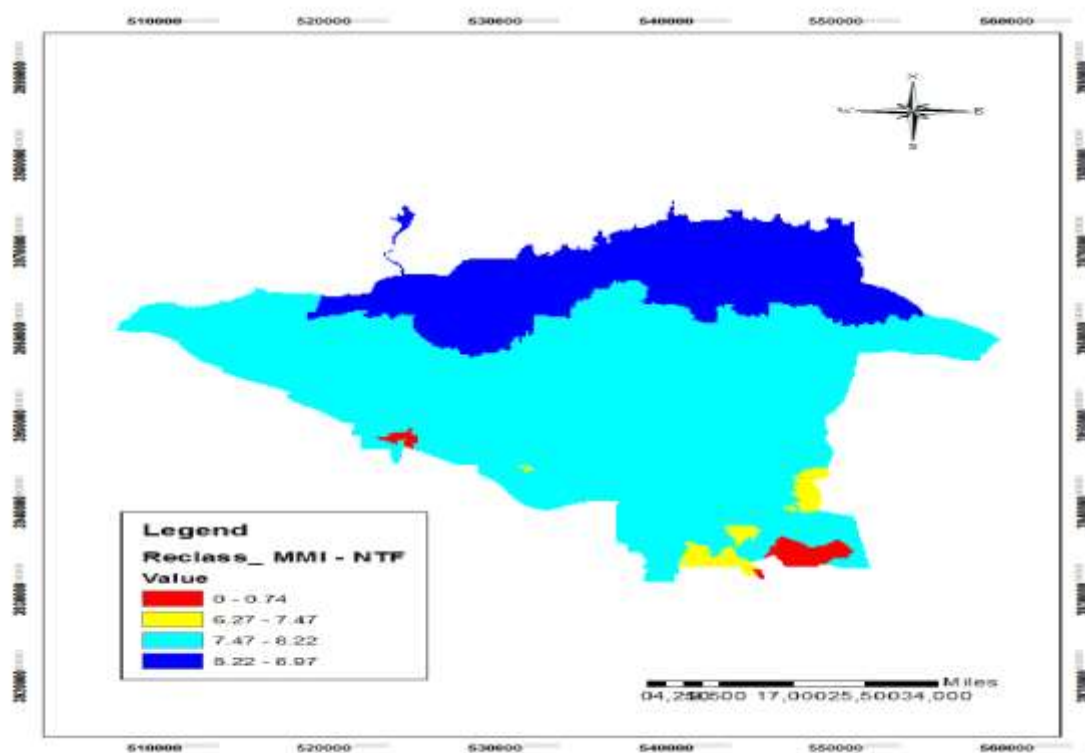
داده‌های لایه‌های مورد نیاز از ارگان‌های مربوطه جمع آوری شده‌اند. پس از دست‌یابی به داده‌های مورد نیاز گام بعدی وارد نمودن داده‌ها در نرم افزار GIS می‌باشد. پس از ورود داده‌ها به نرم افزار هر داده، مورد دسته بندی و امتیازدهی قرار می‌گیرد. در نهایت برای هر گروه از داده‌های ورودی به نرم افزار یک نقشه‌ی خروجی حاصل می‌گردد. شکل (۲-۴) نشان دهنده تمامی نقشه‌های خروجی از نرم افزار می‌باشد. این لایه‌های خروجی از نرم افزار، مبدا شروع پروژه برای دست‌یابی به نقشه‌ی پهنه بندی کلان شهر تهران می‌باشد. شکل "الف" و "ب" مربوط به گسل ری، شکل "ت" و "ث" نشان دهنده گسل تهران و شکل "ج" و "د" مربوط به گسل مشا می‌باشد. این سه گسل از مهم‌ترین گسل‌های تهران می‌باشند و نقشه نیز اطلاعات مربوط به شدت مرکالی و بیشینه شتاب این سه گسل را نمایش می‌دهد. شکل "ع" و "ی" نقشه‌ی شیب و جهت شیب شهر تهران است که یکی از عناصر مهم و قابل ملاحظه در پهنه بندی زلزله می‌باشد. شکل "و" نقشه‌ی خروجی لایه‌ی جمعیت است، از آن جهت که تهران شهری با جمعیت زیاد است در نظر گرفتن این لایه از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.



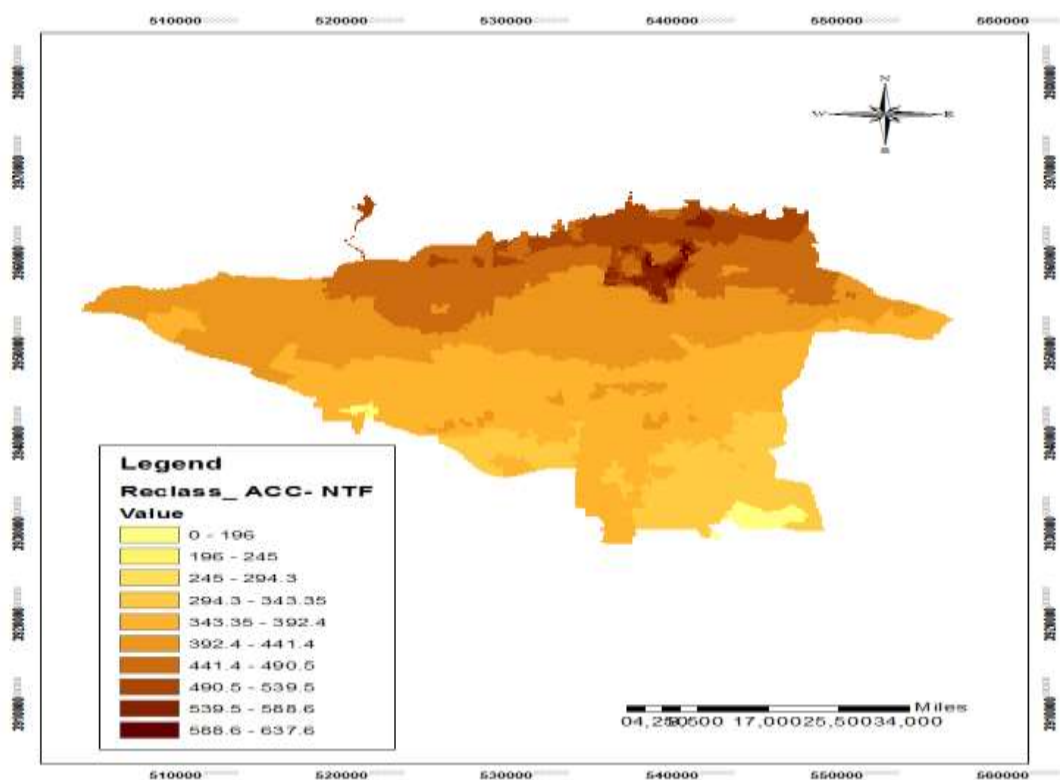
الف. نقشه شدت مرکزی گسل ری



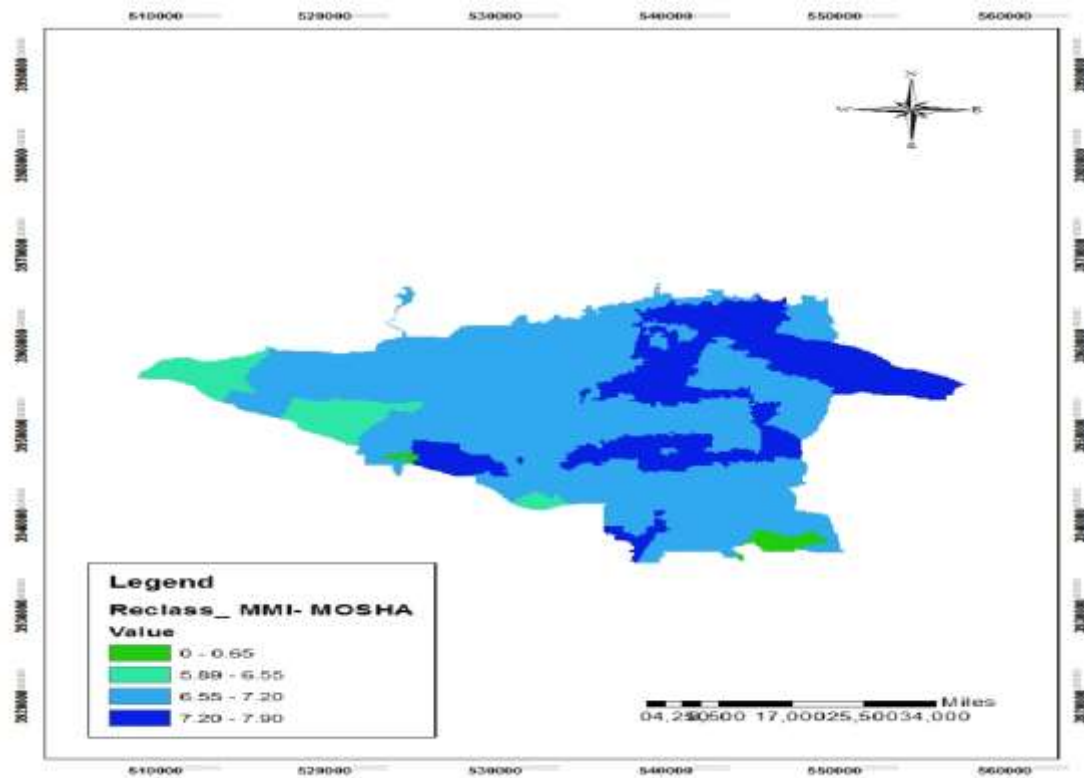
ب. نقشه مقدار شتاب بیشینه گسل ری



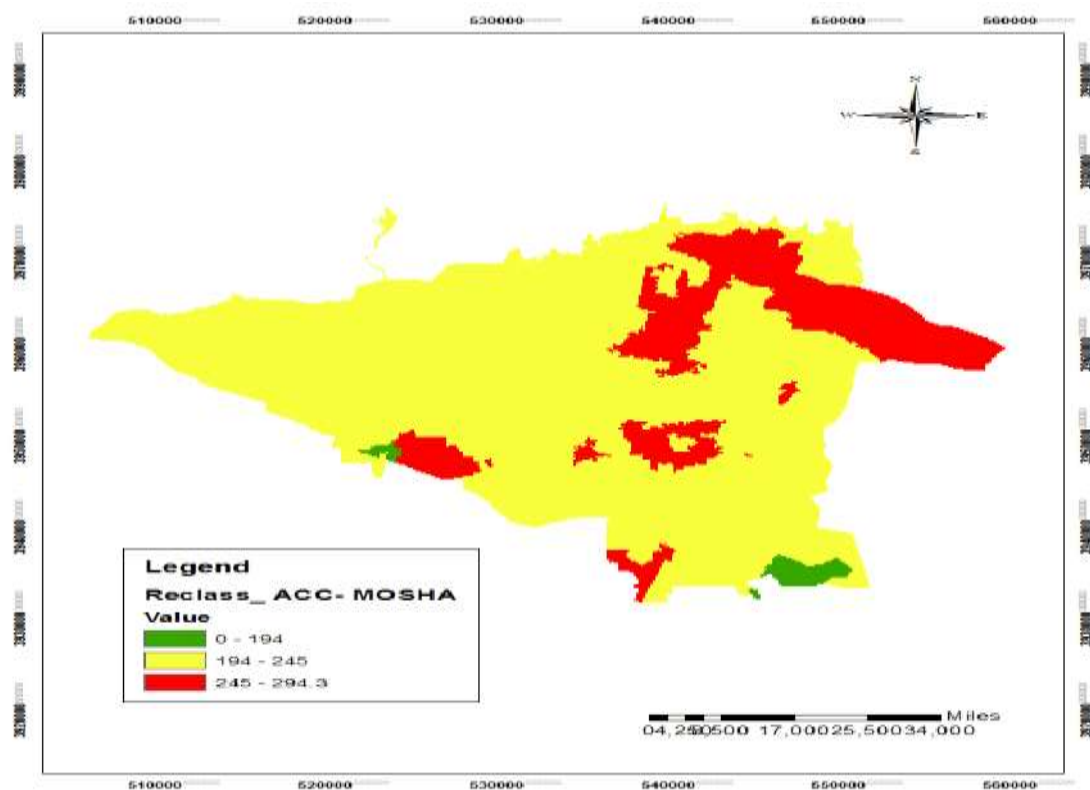
ت. نقشه شدت مرکزی گسل شمال تهران



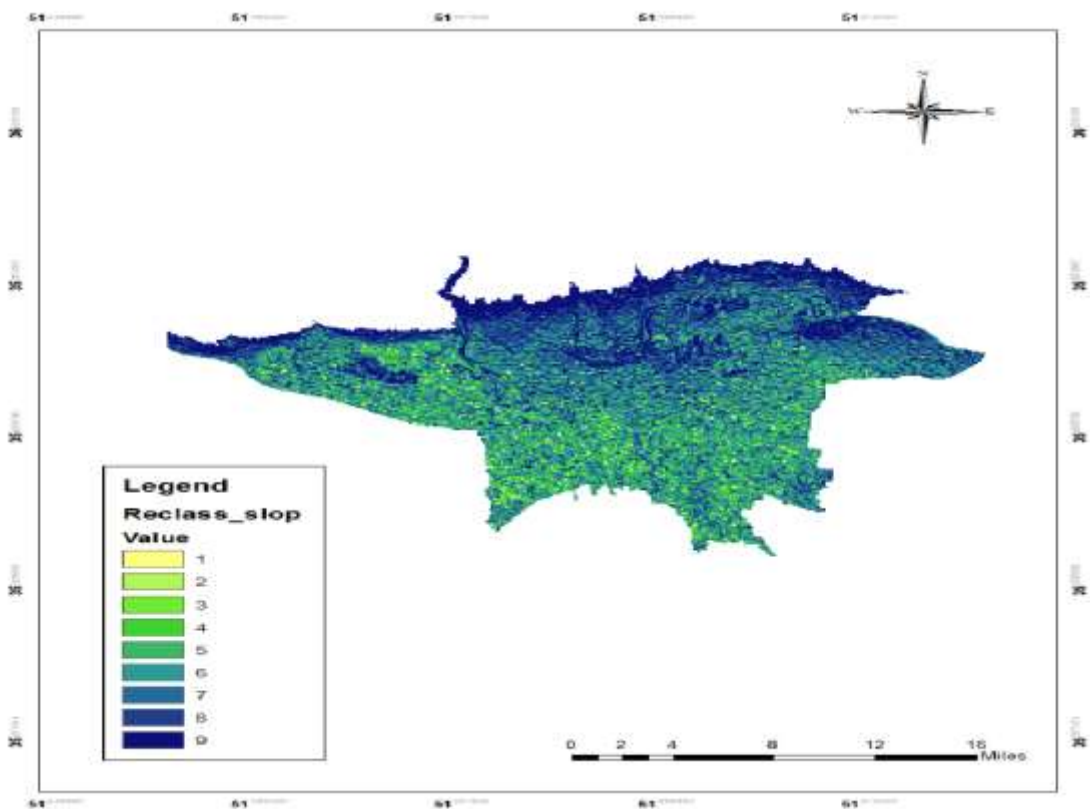
ث. نقشه مقدار شتاب بیشینه گسل شمال تهران



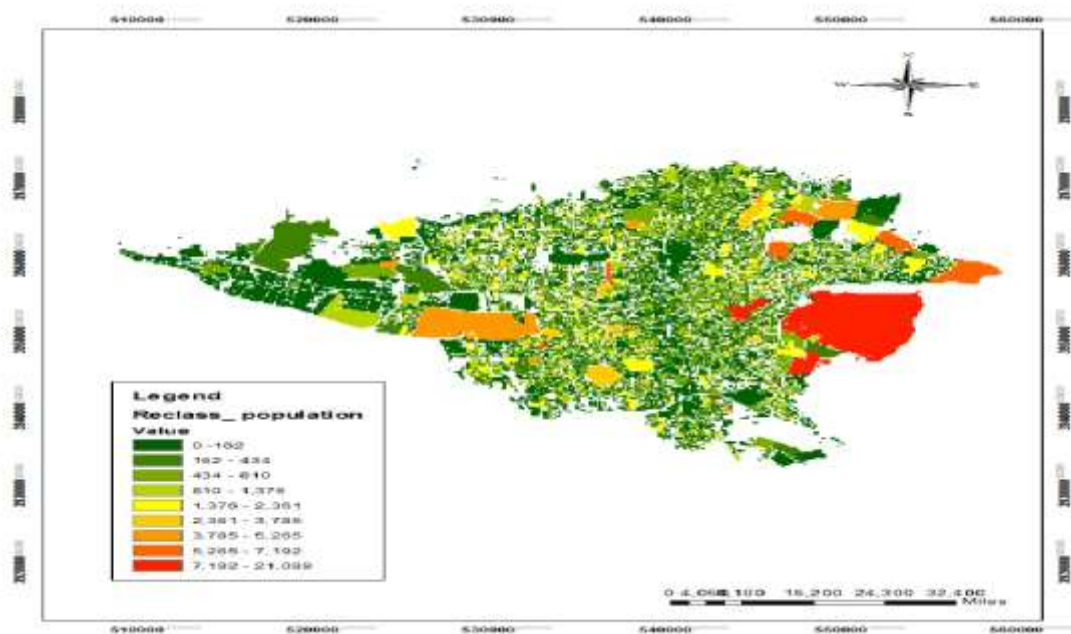
ج. نقشه شدت مرکالی گسل مشا



د. نقشه مقدار شتاب بیشینه گسل مشا



ع. نقشه شیب توپوگرافی شهر تهران



شکل ۴-۲. لایه‌های خروجی داده‌های مورد بررسی در این پژوهش از نرم افزار GIS

شکل (۴-۲) لایه‌های خروجی از نرم افزار GIS را نمایش می‌دهد که به کمک این لایه‌ها و روش‌های مورد نظر می‌توان به نقشه‌ی پهنه بندی دست یافت. (هاشمی ۸۹، شامخی ۹۷، صفاری ۹۶)

به ترتیب لایه‌های استفاده شده در این پژوهش مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند:

۴-۳-۱ شدت مرکالی

شدت زلزله با مقیاس مشهور مرکالی معرفی می‌شود، این شدت در واقع بیانگر میزان احساس افراد و موجودات زنده از زلزله و تاثیر بر سازه‌ها می‌باشد. بر خلاف تصور عموم شدت زلزله علاوه بر بزرگا، به عوامل متعددی از جمله عمق کانون زلزله، سنگ بستر، لایه‌های زیرین، فاصله از کانون زلزله و وابسته است. با مشاهده سه نقشه مربوط به شدت مرکالی در سه گسل اصلی مشا، ری و شمال تهران (شکل: الف، ت، ج) می‌توان براساس راهنمای نقشه که هر چه میزان عدد بیشتر به معنای شدت مرکالی بیشتر است، می‌توان دریافت که در کدام مناطق شدت مرکالی زیاد و در کدام مناطق کم می‌باشد. طبق نقشه‌ی حاصل از شدت مرکالی گسل ری به خوبی می‌توان دریافت بیشتر مساحت کلان شهر تهران تحت تاثیر شدت مرکالی زیاد ناشی از گسل ری قرار دارد. بر اساس نقشه‌ی شدت مرکالی گسل شمال تهران، می‌توان دریافت این گسل بیشتر شمال تهران را تحت تاثیر قرار می‌دهد و شدت مرکالی این گسل با بررسی عوامل تاثیرگذار در شمال بیش تر از سایر مناطق است. با بررسی نقشه‌ی شدت مرکالی گسل مشا، مشاهده می‌کنیم که بیشتر مساحت تهران تحت تاثیر خطر نسبتا زیاد این گسل قرار دارد.

۴-۳-۲ مقدار شتاب بیشینه

از معیارهای مهم در طراحی و علت اصلی آسیب‌ها، بیشینه شتاب سطح زمین در هنگام زلزله می‌باشد که بر اساس ضریبی از g شتاب جاذبه ی زمین سنجیده می‌شود.

بر اساس راهنمای جدول می‌توان به خوبی فهمید براساس هر گسل، کلان شهر تهران در معرض چه میزان شتاب بیشینه قرار می‌گیرد. براساس این راهنما هر چه میزان عدد بیشتر باشد یعنی آن منطقه بیشتر تحت تاثیر شتاب بیشینه گسل‌های مختلف قرار می‌گیرد. نقشه‌ی شتاب بیشینه گسل ری (شکل: ب) برای کلان شهر تهران به خوبی نشان می‌دهد که شمال تهران دارای شتاب بیشینه نسبت به جنوب تهران می‌باشد. نقشه‌ی شتاب بیشینه گسل شمال تهران (شکل: ث) از لحاظ شتاب بیشینه برعکس گسل ری می‌باشد، به عبارت دیگر شمال تهران دارای شتاب بیشینه بیشتری نسبت به جنوب تهران می‌باشد. با

بررسی نقشه‌ی گسل مشا (شکل: د) می‌توان دریافت بیشتر مساحت تهران دارای شتاب بیشینه متوسط هستند.

۴-۳-۳ شیب

شیب (شکل: ع، ی) یکی از عوامل تاثیرگذار بر زلزله می‌باشد. به دلیل اینکه تهران شهری است که بر روی زمینی بنا شده که دارای شیب قابل ملاحظه‌ای می‌باشد، در نظر گرفتن این لایه برای تهیه نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله امری ضروری می‌باشد. طبق نقشه شیب تهران به خوبی می‌توان دریافت که شمال تهران نسبت به سایر مناطق این کلان شهر از شیب بیشتری برخوردار می‌باشد.

۴-۳-۴ جمعیت

با توجه به آمارگیری که به صورت دوره‌ای انجام می‌پذیرد و موقعیت جغرافیایی، اقتصادی، سیاسی و... تهران می‌توان دریافت که این کلان شهر، پرجمعیت‌ترین شهر ایران می‌باشد. در هنگام وقوع زلزله شهر دچار خسارات جانی و مالی می‌گردد، با بررسی نقشه‌ی جمعیت به خوبی می‌توان دریافت که کدام مناطق بر این اساس دچار خسارات بیشتری می‌گردند.

با توجه به نقشه‌ی جمعیت (شکل: و) و راهنمای نقشه می‌توان دریافت که هر کدام از مناطق تهران از چه میزان جمعیتی برخوردار می‌باشد. با توجه به تمام این موارد گفته شده به خوبی می‌توان دریافت که لایه‌ی جمعیت هم یکی از لایه‌های مهم در بررسی زلزله برای کلان شهر تهران می‌باشد.

۴-۴ داده‌های آموزشی و تست

در روش‌های طبقه‌بندی کننده یک ویژگی بسیار مهم وجود دارد که از سایر روش‌ها آن را متمایز می‌کند، آن هم وارد نمودن داده‌های آموزشی و تست توسط پژوهشگر به نرم افزار می‌باشد.

۴-۴-۱ داده‌های آموزشی

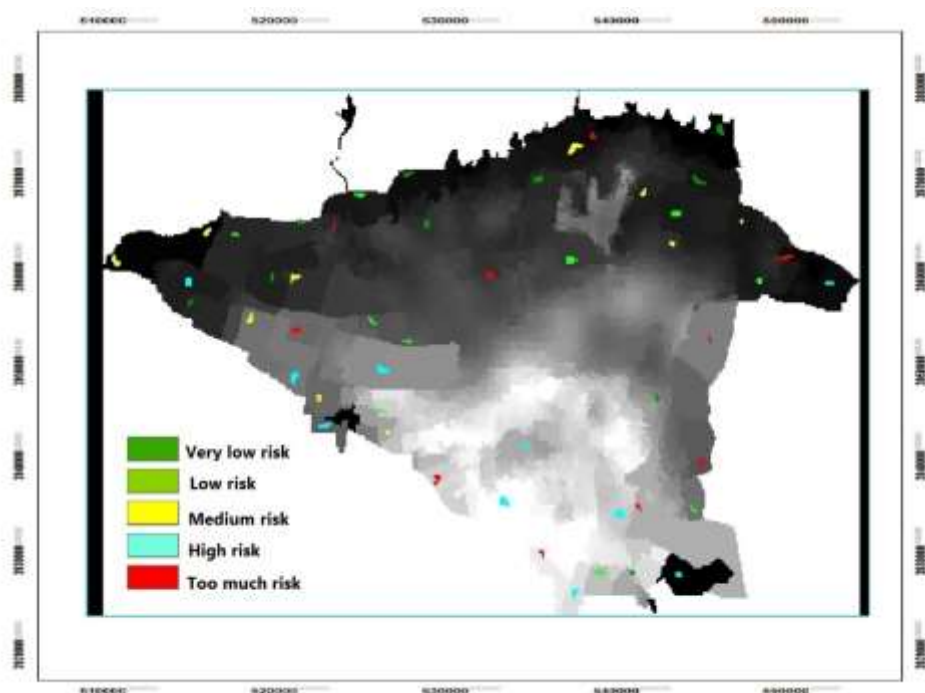
پس از مرتب نمودن لایه‌ها، شروع محاسبات گام دوم بدست آوردن نقاط آموزشی برای تعریف در نرم افزار می‌باشد. در این مقاله برای دستیابی به داده‌های آموزشی از نظر چهار کارشناس و تحقیقات گذشته (خامس پناه ۱۳۹۲، شیخیان ۱۳۹۵) استفاده شده‌است. پس از تلفیق نظرات و نقشه‌های پهنه بندی گذشته به نقاطی دست خواهیم یافت که از میزان خطر زلزله‌ی آن‌ها آگاه هستیم. این نقاط، نقاط آموزشی را

تشکیل می‌دهند و عبارتی برای نرم افزار تعریف می‌شود که نقاط مختلف که از میزان خطر زلزله متفاوت برخوردار هستند، از چه ویژگی‌هایی برخوردار هستند. در این حالت برای نرم افزار تعریف شد که چگونه کل شهر تهران را مورد ارزیابی خطر زلزله قرار دهد و برای سایر نقاط بر همین مبنا تصمیم‌گیری نماید. این نقاط وارد نرم افزار می‌شوند و با در نظر گرفتن لایه‌های اطلاعاتی و روش‌های مورد نظر، تحلیل خطر کلان شهر تهران آغاز می‌گردد. با استفاده از سه روش، لایه‌ها و داده‌های آموزشی نتیجه این کار دست‌یابی به سه نقشه‌ی پهنه‌بندی از کلان شهر تهران می‌باشد.

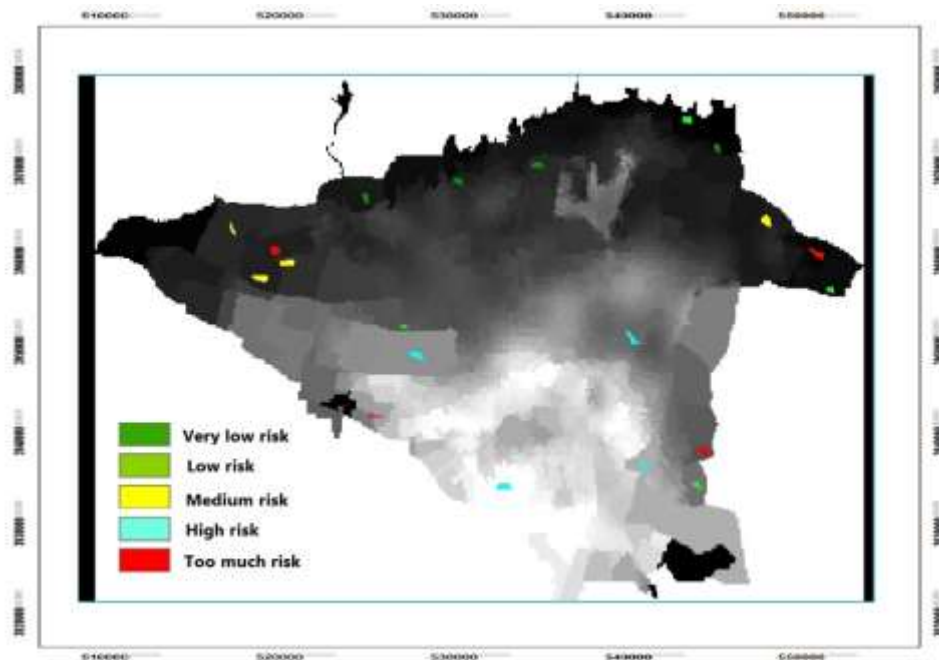
۴-۲-۴ داده‌های تست

پس از دست‌یابی به سه نقشه‌ی پهنه‌بندی، حال زمان بررسی دقت نقشه‌های بدست آمده است. در این مرحله مانند حالت قبل که داده‌های آموزشی مشخص شد، داده‌های تست برای سنجش مشخص می‌شود. داده‌های تست متفاوت از داده‌های آموزشی است و میزان آن حدود ۳۵٪ تا ۵۰٪ داده‌های آموزشی می‌باشد. پس از مشخص نمودن داده‌های تست و وارد نمودن آن در نرم افزار، دقت نقشه‌های پهنه‌بندی به دست می‌آیند. از این طریق می‌توان دریافت نقشه‌های پهنه‌بندی بدست آمده در نرم افزار از چه میزان دقتی برخوردار می‌باشند.

شکل (۴-۳) و (۴-۴) به ترتیب نشان دهنده داده‌های آموزشی و تست تعریف شده در نرم افزار می‌باشند.



شکل ۴-۳. داده‌های آموزشی



شکل ۴-۴. داده‌های تست

۵-۴ صحت سنجی

در نهایت برای بررسی دقت نقشه پهنه بندی خطر کلان شهر تهران، دقت کل (overall accuracy) و ضریب کاپا (Kappa) برای بیان دقت خروجی استفاده شد. از مهم‌ترین این فاکتورها overall accuracy یا دقت کلی است. با استفاده از این دو روش در انتهای کار می‌توان دقت مراحل انجام کار جهت تهیه نقشه پهنه بندی خطر زلزله را مورد ارزیابی قرار داد. که دقت را بر حسب پیکسل‌هایی که به درستی اندازه‌گیری شده‌اند محاسبه می‌کند. فاکتور دیگر در زمینه اعتبار سنجی که اعتبار بالایی نیز دارد ضریب کاپاست. ضریب کاپا میزان دقت را بر اساس تمامی پیکسل‌هایی درست و غلط طبقه‌بندی شده‌اند محاسبه می‌نماید.

- ماتریس ابهام (Confusion Matrix)

- دقت کل (overall accuracy)

- ضریب کاپا (Kappa)

در نرم افزار envi پس از استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده ماتریس ابهام حاصل می‌گردد. شکل (۵-۴) نمونه‌ای از ماتریس ابهام حاصل از نرم افزار envi می‌باشد.

	کلاس A	کلاس B	کلاس C	Total
کلاس A	a	d	g	a+d+g
کلاس B	b	e	h	b+e+h
کلاس C	c	f	i	c+f+i
Total	a+b+c	d+e+f	g+h+i	a+...+i

شکل ۴-۵. نمونه ی جدول ماتریس حاصل از نرم افزار env

طبق ماتریس ابهام بدست آمده می توان دقت کلی را از فرمول (۴-۱) بدست آورد.

$$O.A = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \quad (4-1)$$

که در آن k تعدا کلاس ها، n تعداد پیکسل های معلوم در داده ی مرجع، n_{ii} اعضای قطری ماتریس ابهام O.A دقت کلی طبقه بندی می باشد.

طبق جدول ماتریس ابهام که در شکل (۴-۵) آمده است ماتریس ابهام و فرمول (۴-۱) به صورت زیر فرمول (۴-۲) محاسبه می گردد:

$$O.A = \frac{a + e + i}{a + \dots + i} \times 100 \quad (4-2)$$

طبق ماتریس ابهام می توان کاپا را با استفاده از فرمول (۴-۳) به صورت زیر محاسبه نمود.

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}} \quad (4-3)$$

که در آن k تعدا کلاس ها، n تعداد پیکسل های معلوم در داده ی مرجع، n_{i+} مجموع عناصر سطری i ام، n_{+i} مجموع عناصر ستونی i ام میباشند.

طبق ماتریس ابهام بدست آمده می توان کاپا را از فرمول (۴-۳) بدست آورد.

فرم کلی فرمول کاپا به صورت زیر است و با استفاده از فرمول (۴-۴) حاصل می گردد.

$$K = \frac{\Pr(a) - \Pr(e)}{1 - \Pr(e)} \quad (4-4)$$

$$\Pr(a) = \frac{a + e + i}{a + \dots + i}$$

محاسبه برای کلاس A و بقیه ی کلاس ها نیز به همین صورت:

$$\Pr(a) = \frac{d}{a+d+g}$$

$$\Pr(b) = \frac{e}{b+e+h}$$

$$\Pr(c) = \frac{f}{c+f+i}$$

در نهایت با جاگذاری پارامتر های بدست آمده، کاپا محاسبه می گردد.

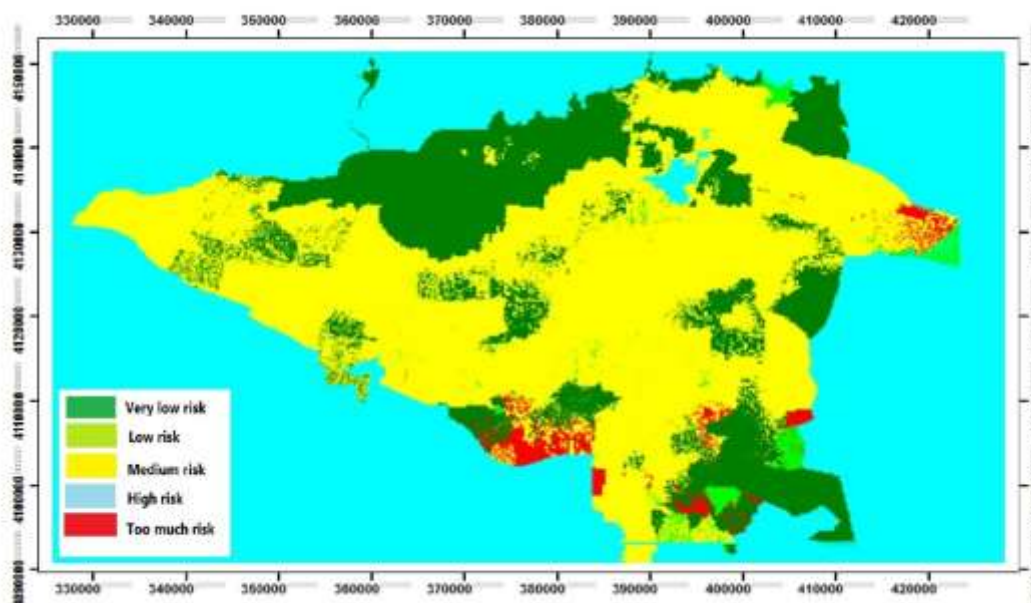
استفاده از نرم افزار envi، از آن جهت حائز اهمیت است که تمامی پارامترهای ذکر شده در این قسمت را محاسبه نموده و نتایج نهایی را نشان می‌دهد.

۴-۶ نتایج

هدف این پژوهش دست یابی به نقشه‌ی پهنه بندی زلزله کلان شهر تهران می‌باشد. در گام نخست لایه‌های اطلاعاتی وارد نرم افزار می‌شوند. در این مقاله چون از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شده است، داده‌های آموزشی و تست باید تعریف شوند تا برای نرم افزار داده‌ها تعریف شوند. در نهایت به کمک داده‌های تست، صحت سنجی انجام شود. در گام دوم داده‌های آموزشی وارد نرم افزار شدند. در گام بعدی با تلفیق لایه‌ها، داده‌های آموزشی و به کارگیری روش‌های ML، SVM و NN سه نقشه‌ی پهنه بندی برای شهر تهران حاصل می‌گردد. در نهایت برای دست یابی به یک نقشه‌ی نهایی و بهبود دقت روش‌ها، نقشه‌های پهنه بندی به کمک روش رای گیری ادغام می‌گردند.

۴-۶-۱ روش حداکثر رای گیری (ML)

اولین روش مورد استفاده از روش‌های طبقه‌بندی روش حداکثر رای گیری است. شکل (۴-۶) نقشه‌ی پهنه بندی تهران با روش ML می‌باشد. جدول (۴-۱) نشان دهنده ماتریس ابهام روش ML است که مبنای محاسبه‌ی صحت سنجی است و جدول (۴-۲) میزان دقت و کاپا روش مذکور را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۶. نقشه‌ی پهنه بندی تهران با روش ML

جدول ۴-۱. ماتریس ابهام روش ML

		داده های تست					
		خطر خیلی کم	خطر کم	خطر متوسط	خطر زیاد	خطر خیلی زیاد	جمع
داده های آموزشی	خطر خیلی کم	۱۷۴	۲۷	۲۷	۰	۰	۲۲۸
	خطر کم	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	خطر متوسط	۰	۳۰	۲۸۳	۴۸	۰	۳۶۱
	خطر زیاد	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	خطر خیلی زیاد	۰	۰	۰	۲۶۵	۲۲	۲۸۷
	جمع	۱۷۴	۵۷	۳۱۰	۳۱۳	۲۲۰	۸۷۶

جدول ۴-۲. میزان دقت و کاپا ML

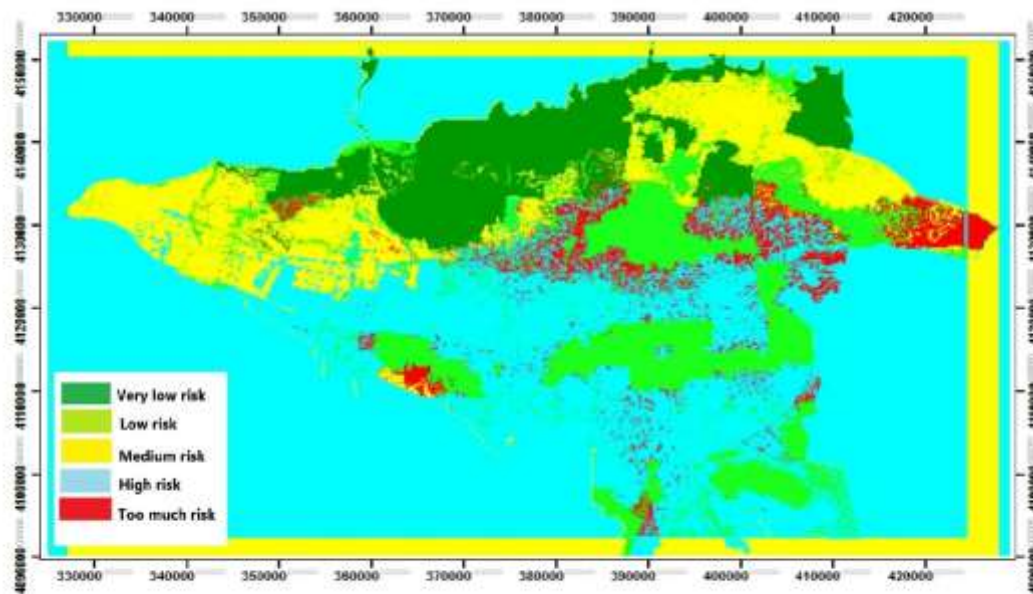
Overall Accuracy	Kappa Coefficient
۶۳/۰۳۵۴٪	۰/۵۲۳۷

اولین روش طبقه‌بندی مورد استفاده در این پژوهش، روش حداکثر احتمال می‌باشد. ابتدا داده‌های تست با استفاده از نظرات کارشناسان و مطالعات گذشته در نرم افزار تعریف می‌شود. در گام بعدی با استفاده از داده‌های آموزشی، لایه‌های مورد نظر و به کارگیری روش مذکور نقشه‌ی پهنه بندی حاصل می‌گردد. به کمک راهنمای نقشه به خوبی می‌توان دریافت که هر منطقه از تهران با استفاده از این روش در چه میزان خطری از زلزله قرار دارد. طبق نقشه بیشتر مناطق تهران در معرض خطر متوسط زلزله قرار دارند و منطق جنوبی در محدوده‌ی خطر بسیار زیاد واقع شده‌اند. در گام بعدی باید دقت و کاپا نقشه مورد محاسبه قرار گیرد تا دریابیم نقشه‌ی پهنه بندی حاصل برای کلان شهر تهران از چه میزان دقتی برخوردار است. با استفاده از داده‌های تست دقت نقشه مورد محاسبه قرار می‌گیرد. در ابتدا ماتریس ابهام توسط نرم افزار مورد محاسبه قرار می‌گیرد و در مرحله‌ی بعدی با استفاده از ماتریس ابهام دقت و کاپا محاسبه می‌گردد. در نهایت براساس خروجی نرم افزار به نقشه‌ی پهنه بندی کلان شهر تهران با استفاده از روش حداکثر رای گیری که دارای دقت ۶۳/۰۳۵۴٪ و کاپا ۰/۵۲۳۷، دست می‌یابیم.

۴-۶-۲ روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)

دومین روش که از میان روش‌های طبقه بندی نظارت شده انتخاب گردید روش ماشین بردار پشتیبان است که از دقت خوبی جهت محاسبه داده‌ها برخوردار است. شکل (۴-۷) نقشه‌ی پهنه بندی تهران با روش

SVM می‌باشد. جدول (۳-۴) نشان دهنده ماتریس ابهام روش SVM است که مبنای محاسبه‌ی صحت سنجی است و جدول (۴-۴) میزان دقت و کاپا روش مذکور را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷. نقشه‌ی پهنه بندی تهران با روش SVM

جدول ۳-۴. ماتریس ابهام روش SVM

		داده های تست					
		خطر خیلی کم	خطر کم	خطر متوسط	خطر زیاد	خطر خیلی زیاد	جمع
داده های آموزشی	خطر خیلی کم	۷۱۵	۰	۴۰	۰	۰	۷۵۵
	خطر کم	۷	۴۳۶	۰	۰	۳۶۴	۸۰۷
	خطر متوسط	۱	۸۳	۹۳۱	۰	۱۴۱	۱۱۵۶
	خطر زیاد	۰	۵۲	۰	۹۹۴	۰	۱۰۴۶
	خطر خیلی زیاد	۰	۰	۰	۳	۳۹۱	۳۹۴
	جمع	۷۲۳	۵۷۱	۹۷۱	۹۹۷	۸۹۶	۴۱۵۸

جدول ۴-۴. میزان دقت و کاپا SVM

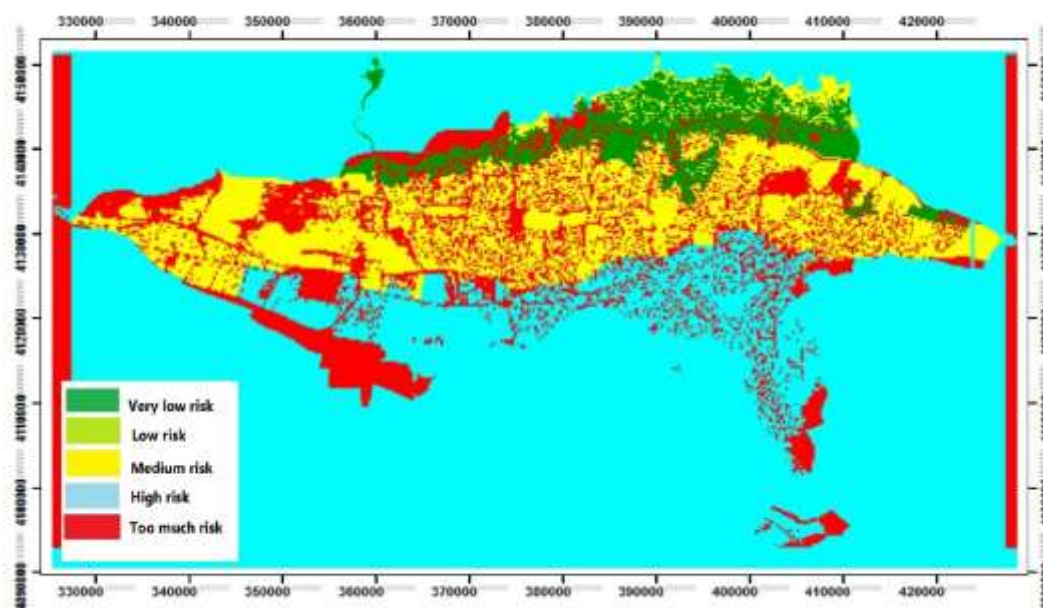
Overall Accuracy	Kappa Coefficient
٪ ۸۳/۳۸۱۴	۰/۷۹۱۳

روش بعدی مورد استفاده از بین روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده، روش ماشین بردار پشتیبان است. گام‌های اولیه برای استفاده از این روش کاملاً مطابق روش قبلی می‌باشد، که در نهایت منجر به ایجاد نقشه‌ی

پهنه بندی کلان شهر تهران می گردد. طبق این نقشه‌ی پهنه بندی، قسمت شمال تهران دارای کم‌ترین خطر زلزله و قسمت مرکزی و جنوب تهران دارای بیشترین خطر زلزله می‌باشد و طبق راهنمای نقشه‌ی که خطر خیلی کم تا خطر خیلی زیاد را مشخص می‌کند به خوبی می‌توان دریافت هر نقطه از کلان شهر تهران در معرض چه میزان خطر زلزله قرار دارد. بعد از دست‌یابی به نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله با استفاده از داده‌های تست دقت و کاپا نقشه‌ی مورد نظر مورد محاسبه قرار می‌گیرد. ابتدا نرم افزار برای دست بابی به مقادیر دقت و کاپا، ماتریس ابهام را مورد محاسبه قرار می‌دهد و بعد براساس این ماتریس مقادیر دقت و کاپا را بدست می‌آورد. با توجه به جدول (۴-۴) مقدار دقت نقشه‌ی پهنه بندی حاصل از روش ماشین بردار پشتیبان ۸۳/۳۸۱۴٪ و میزان کاپا ۰/۷۹۱۳ می‌باشد.

۴-۶-۳ روش شبکه های عصبی (NN)

آخرین روش انتخابی از میان روش های طبقه بندی نظارت شده، روش شبکه های عصبی است. شکل (۴-۸) نقشه‌ی پهنه بندی تهران با روش NN می‌باشد. جدول (۴-۵) نشان دهنده ماتریس ابهام روش NN است که مبنای محاسبه‌ی صحت سنجی است و جدول (۴-۶) میزان دقت و کاپا روش مذکور را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۸. نقشه‌ی پهنه بندی تهران با روش NN

جدول ۴-۵. ماتریس ابهام روش NN

		داده های تست					
		خطر خیلی کم	خطر کم	خطر متوسط	خطر زیاد	خطر خیلی زیاد	جمع
داده های تست قبلی	خطر خیلی کم	۶۲۳	۱۸	۰	۰	۱۴	۶۵۵
	خطر کم	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	خطر متوسط	۴۳	۲۲۰	۹۷۱	۰	۱۳۸	۱۳۷۲
	خطر زیاد	۰	۴۴	۰	۹۸۸	۱۶	۱۰۴۸
	خطر خیلی زیاد	۵۷	۲۸۹	۰	۹	۷۲۸	۱۰۸۳
	جمع	۷۲۳	۵۷۱	۹۷۱	۹۹۷	۸۹۶	۴۱۵۸

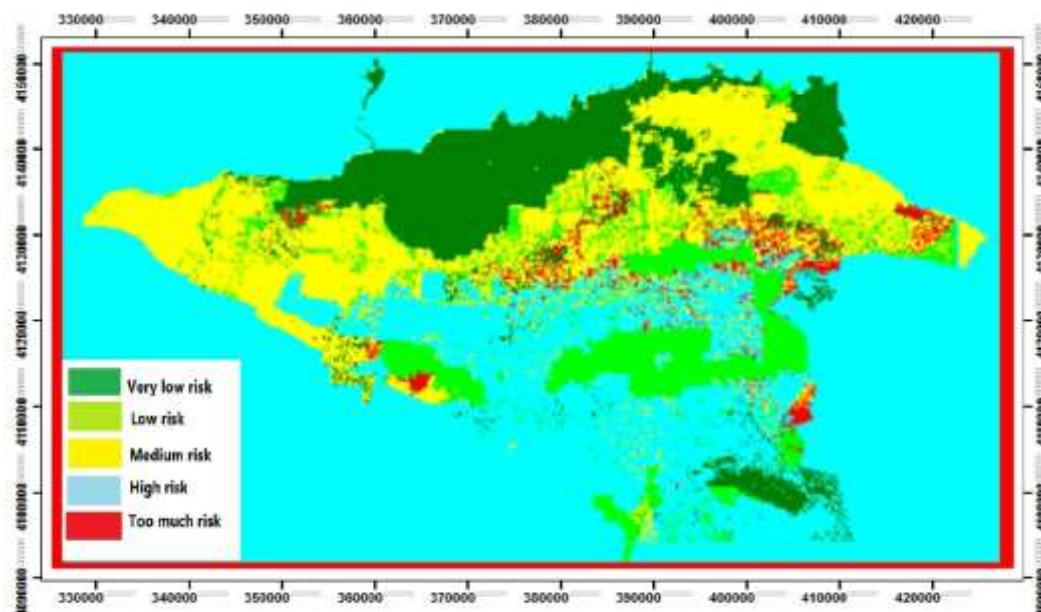
جدول ۴-۶. میزان دقت و کاپا NN

Overall Accuracy	Kappa Coefficient
۷۹/۶۰۶٪	۰/۷۳۸۲

آخرین روش مورد استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده در این پژوهش، روش شبکه‌های عصبی می‌باشد. در این روش نیز مانند دو روش قبلی با استفاده از داده‌های آموزشی نقشه‌ی پهنه بندی شهر تهران حاصل می‌گردد. باتوجه به نقشه‌ی پهنه بندی می‌توان دریافت، قسمت شمال تهران دارای خطر خیلی کم و بیشتر مناطق تهران دارای خطر خیلی زیاد است. پس از دست بابی به نقشه‌ی پهنه بندی نهایی، گام بعدی محاسبه‌ی دقت و کاپا نقشه می‌باشد تا بتوانیم به خوبی درک کنیم نقشه‌ی حاصل از چه میزان دقتی برخوردار است. نقشه‌ی پهنه بندی حاصل از روش شبکه‌های عصبی دارای دقت ۷۹/۶۰۶٪ و کاپا ۰/۷۳۸۲ می‌باشد.

۴-۶-۴ ادغام (MV)

آخرین مرحله محاسبات، بکارگیری روش ادغام می‌باشد. تمامی لایه‌های پهنه بندی خروجی از سه روش مورد نظر، در این مرحله با یکدیگر تلفیق می‌شوند. شکل (۴-۹) نقشه‌ی پهنه بندی تهران با روش MV می‌باشد. جدول (۴-۷) نشان دهنده ماتریس ابهام روش MV است که مبنای محاسبه‌ی صحت سنجی است و جدول (۴-۸) میزان دقت و کاپا روش مذکور را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۹. نقشه‌ی پهنه بندی تهران با روش MV

جدول ۴-۷. ماتریس ابهام روش MV

		داده های تست					
		خطر خیلی کم	خطر کم	خطر متوسط	خطر زیاد	خطر خیلی زیاد	جمع
داده های آموزشی	خطر خیلی کم	۷۲۳	۰	۰	۰	۰	۷۲۳
	خطر کم	۲۸	۴۵۵	۲۸	۴۴	۱۶	۵۷۱
	خطر متوسط	۳۹	۰	۹۳۲	۰	۰	۹۷۱
	خطر زیاد	۰	۰	۶	۹۸۸	۳	۹۹۷
	خطر خیلی زیاد	۵	۱۵۵	۷۲۳	۰	۵۸۶	۸۹۶
	جمع	۷۹۵	۶۱۰	۱۱۱۶	۱۰۳۲	۶۰۵	۴۱۵۸

جدول ۴-۸. میزان دقت و کاپا MV

Overall Accuracy	Kappa Coefficient
٪ ۹۰/۲۲	۰/۸۵۶۲

مرحله‌ی نهایی برای دست یابی به نقشه پهنه بندی، استفاده از روش ادغام داده‌ها به روش حداکثر رای گیری می‌باشد. برای این منظور نقشه‌ی پهنه بندی حاصل از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده به همراه داده‌های تست وارد نرم افزار متلب می‌شود. به کمک نرم افزار متلب نقشه‌ی پهنه بندی نهایی، ماتریس ابهام، دقت و کاپا حاصل می‌گردد. دقت نقشه‌ی پهنه بندی حاصل از روش ادغام ۹۰/۲۲٪ و کاپا ۰۵/۸۵۶۲ می‌باشد که نشان دهنده دقت بالای نقشه‌ی بدست آمده است. براساس نقشه‌ی پهنه بندی نهایی و به کمک

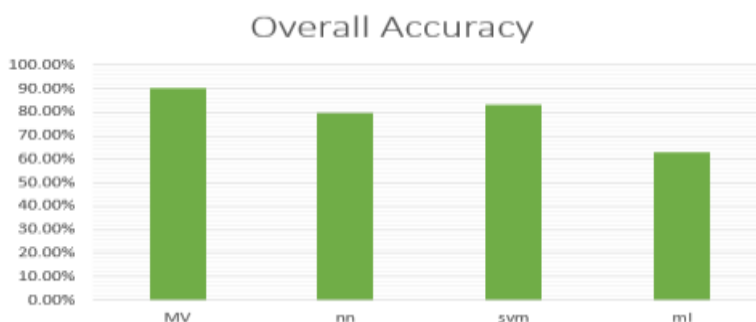
راهنمای نقشه به خوبی می‌توان دریافت که هر منطقه از چه میزان خطری برخوردار است و اقدامات لازم جهت مقابله با زلزله صورت پذیرد. براساس نقشه به خوبی می‌توان دریافت شمال تهران دارای خطر کمتر است و هر چه به نواحی وسط تهران نزدیک می‌شویم خطر زلزله متوسط می‌شود و نواحی جنوبی تهران از خطر بیشتری نسبت به سایر نقاط برخوردار هستند.

براساس نتایج حاصل از روش ادغام که در جدول‌های (۷-۴) و (۸-۴) بدست آمده است به خوبی نشان می‌دهد که نتیجه‌ی حاصل از ادغام از نتایج هر یک از روش‌ها به تنهایی بسیار بهتر بوده است. به عبارت دیگر می‌توان گفت روش ادغام نتایج نهایی تمام روش‌های ادغام شونده را به خوبی بهبود بخشیده است. در ادامه‌ی پژوهش به مقایسه دقت کل و کاپا پرداخته می‌شود تا به خوبی نشان دهد که روش ادغام سبب بهبود نتایج شده است.

طبق نقشه‌ی پهنه بندی نهایی که حاصل ادغام سه روش طبقه‌بندی نظارت شده می‌باشد می‌توان دریافت که هر منطقه از تهران از چه میزان خطر زلزله برخوردار است.

با مقایسه تمامی نقشه‌های پهنه بندی حاصل از روش‌های مختلف به خوبی می‌توان دریافت که نقشه‌ها دارای تفاوت‌هایی در شناسایی مناطق از لحاظ خطر پذیری هستند که این به خاطر تفاوت در دقت نقشه‌ها در شناسایی نقاط است. طبق ماتریس ابهام به خوبی می‌توان دریافت که در هر کلاس خطر پذیری چه نقاط را درست تشخیص داده و چه میزان نقاط را در کلاس‌های دیگر خطر پذیری تشخیص داده است.

طبق نقشه‌های گسل کلان شهر تهران که بیشتر در شمال این شهر واقع شده‌اند انتظار می‌رود که شمال تهران نسبت به جنوب تهران از خطر پذیری بیشتری نسبت به زلزله برخوردار باشد، اما به دلیل اینکه بیشتر ساختمان‌های شامل تهران تازه ساخت هستند و بیشتر موارد مربوط ب زلزله را در ساختمان‌های خود رعایت نموده و برخلاف جنوب تهران که بیشتر ساختمان‌ها قدیمی ساخت هستند و همچنین رعایت کمتر موارد مورد به اقدامات قبل زلزله برای ساختمان‌ها و همچنین تراکم ساختمانی بالا باعث شده تا جنوب تهران بیشتر در معرض خطر پذیری زلزله قرار گیرد.



شکل ۴-۱۰. مقایسه دقت کلی

طبق شکل (۴-۱۰) که دقت کلی چهار روش ML، SVM، NN و MV را نشان می‌دهد، می‌توان به وضوح دریافت که دقت ادغام از تمامی روش‌ها بیشتر بوده و دقت هر سه روش را بهبود بخشیده است. طبق نمودار و با مقایسه عددی دقت‌ها می‌توان دریافت ادغام دقت روش‌های ML، SVM و NN را به ترتیب ۲۷/۱۸٪، ۶/۸۴٪ و ۱۰/۶۱٪ بهبود بخشیده است.



شکل ۴-۱۱. مقایسه میزان کاپا

طبق شکل (۴-۱۱) که مقدار کاپا چهار روش ML، SVM، NN و MV را نشان می‌دهد، می‌توان به وضوح دریافت که مقدار کاپا ادغام از تمامی روش‌ها بیشتر بوده و کاپا هر سه روش را بهبود بخشیده است. طبق نمودار و با مقایسه عددی کاپاها می‌توان دریافت ادغام کاپای روش‌های ML، SVM و NN را به ترتیب ۰/۳۳۲۵، ۰/۰۶۴۹ و ۰/۱۱۱۸ بهبود بخشیده است.

۴-۷ مقایسه و بررسی نتایج

در سال‌های اخیر کنترل و پیش‌بینی بلاهای طبیعی برای نسل بشریت بسیار مهم و قابل توجه است از این رو مطالعات و تحقیق‌های بسیاری صورت گرفته است. یکی از بلاهای طبیعی بسیار مهم، خطر زلزله می‌باشد، از آن جهت که علم هنوز به عرصه‌ای از علم و تکنولوژی نرسیده است که بتواند زلزله را به طور دقیق پیش‌بینی نماید در تلاش است تا مناطق زلزله را مشخص نماید تا میزان خسارات مالی و جانی را به حداقل برساند.

از این رو برای مناطق مختلف نقشه‌ی پهنه بندی تهیه می‌گردد تا به خوبی دریافت که هر منطقه از چه میزان خطری برخوردار است. با بررسی مطالعات پیشین که در این زمینه رخ داده است، به خوبی می‌توان

دریافت هر پژوهش از تعدادی روش جهت پهنه بندی نقشه استفاده نموده است و در نهایت نقشه‌های پهنه بندی از روش‌های مختلف را مورد مقایسه قرار داده است.

در این پژوهش برخلاف سایر پژوهش‌ها بعد از استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده، نتایج حاصل از این سه روش را با یکدیگر به کمک روش ادغام تلفیق شده است. در نهایت یک نقشه‌ی پهنه بندی برای منطقه‌ی مورد نظر حاصل می‌گردد که در مقایسه با هر روش به تنهایی از دقت بالاتری برخوردار است. این پژوهش دارای سه ویژگی می‌باشد:

- استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده که این امکان را به پژوهنده می‌دهد داده‌های آموزشی و تست را برای نرم افزار تعریف کند.
- استفاده از روش ادغام که سبب دست یافتن به نقشه‌ی پهنه بندی نهایی از روش‌های مورد استفاده می‌گردد.
- افزایش دقت روش‌های مورد استفاده در پژوهش (برتری این پژوهش به مطالعات گذشته در استفاده از روش ادغام می‌باشد که باعث می‌گردد دقت روش‌های مورد استفاده را افزایش دهد).

جدول شماره (۴-۹) مقایسه تعدادی روش‌های استفاده شده در پژوهش‌های گذشته می‌باشد که به خوبی نشان می‌دهد که استفاده از روش ادغام، روشی جدید و مناسب برای جمع بندی نتایج و رسیدن به یک نتیجه‌ی واحد که حاصل از روش‌های مورد استفاده در پژوهش است، می‌باشد.

جدول ۴-۹. بررسی پژوهش‌های گذشته

منطقه‌ی مورد مطالعه	نام روش مورد استفاده	سال انتشار	نام مقاله
تهران	روش تلفیق تئوری مجموعه‌های زیر و محاسبات دانه‌ای	۱۳۹۲	خامس پناه
تهران	روش عملگرهای فازی	۱۳۹۳	مرادی
تهران	روش‌های همپوشانی شاخص و فازی	۱۳۹۳	هاشمی و همکاران
تهران	FUZZY-AHP و نرم افزارهای Arc Expert Choice و GIS	۱۳۹۴	کریمی کرد آبادی و همکاران
تهران	روش تلفیق محاسبات دانه‌ای و شبکه‌های عصبی	۱۳۹۵	شیخیان
البرز	روش سیستم اطلاعات مکانی و تحلیل سلسله مراتبی	۱۳۹۶	عفتی و همکاران
شهرستان سمیرم استان اصفهان	روش تحلیل سلسله مراتبی و GIS	۱۳۹۷	رحیمی شهید و همکاران
زنجان	تحلیل سلسله مراتبی	۱۳۹۷	حیدری

Pankkat. A and Adeli. H	۲۰۰۷	شبکه عصبی ، یک شبکه عصبی مکرر و یک شبکه عصبی با عملکرد شعاعی	کالیفرنیا جنوبی و منطقه خلیج سانفرانسیسکو
Adeli. H and Panakktat. A	۲۰۰۹	شبکه‌ی عصبی	منطقه‌ی جنوب کالیفرنیا
Panakktat.A	۲۰۰۹	شبکه‌ی عصبی	کالیفرنیا
Taskin.G	۲۰۰۹	پشتیبانی برداری (SVSR) و SVM	بم-ایران
Xu.C	۲۰۱۱	SVM	بخشی از حوزه رودخانه Jianjiang چین
Hongxia and Zhang	۲۰۱۱	روش داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی	در شهرستان نانگ چانگ استان سی چانگ
Mohamed Yagoub	۲۰۱۲	روش داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی	امارات متحده عربی
Theilen-Willige et al	۲۰۱۲	روش سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و پایگاه داده‌های جغرافیایی	منطقه‌ی تسالونیکی یونان شمال شرقی
Telesca. L	۲۰۱۲	روش حداکثر احتمال (ML)	_____
ÇELİK.E et al	۲۰۱۴	روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و ماشین‌های بردار پشتیبانی	گودال معدن (ترکیه)
Al-Dogom et al	۲۰۱۸	روش تحلیل سلسله مراتبی و نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی	امارات متحده عربی
Khawaja M. Asim et al	۲۰۱۸	SVM, HNN	هندوکوش، شیلی و کالیفرنیا
Perol. T et al	۲۰۱۸	روش شبکه‌های عصبی	اوکلاهما (ایالات متحده)
Wei.H et al	۲۰۱۸	SVM, FSVM	چین
Luis H. Ocho et al	۲۰۱۹	روش ماشین بردار پشتیبان	بوگوئا-کلمبیا
Jihye Han et al	۲۰۱۹	مدل رگرسیون لجستیک و چهار مدل هسته بر اساس روش یادگیری ماشین بردار پشتیبانی (SVM)	Gyeongju (کره جنوبی)
کامران زاده و همکاران	۲۰۲۰	روش سنجش از دور	تهران
Ratiranjan Jena et al	۲۰۲۰	شبکه‌های عصبی	ادیشا(هند)
Rabia Tehseen et al	۲۰۲۰	مقایسه ۷۰مقاله تحقیقاتی	_____
Youssef, A.M et al	۲۰۲۰	ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی، رگرسیون تطبیقی چند متغیره، شبکه‌ی عصبی مصنوعی، تبعیض درجه دوم تجزیه و تحلیل، تجزیه و تحلیل	عسیر عربستان سعودی
Picozzi.M et al	۲۰۲۱	شبکه‌های عصبی	کالیفرنیا
Debnath.P	۲۰۲۱	طبقه‌بندی کننده یادگیری ماشین	هند

با توجه به جدول ۴-۹ که به مقایسه‌ی روش‌های مورد استفاده در پژوهش‌های گذشته پرداخته است به خوبی می‌توان دریافت که در مقالات گذشته پژوهشگران یا از یک روش برای تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زلزله برای منطقه‌ی مور نظر خود استفاده نمودند و یا از چندین روش برای تهیه نقشه‌ی پهنه‌بندی استفاده نمودند و در نهایت به مقایسه این روش‌ها پرداخته و بهترین روش را معرفی نمودند. اهمیت و هدف تحقیق

حاضر استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده‌ی حداکثر رای گیری (ML)، ماشین بردار پشتیبان و شبکه‌های عصبی و در نهایت تلفیق این سه روش از طریق ادغام به روش حداکثر رای گیری (MV) برای تهیه نقشه‌ی پهنه بندی خطر شهر تهران می‌باشد. استفاده از روش ادغام باعث شد که پهنه بندی خروجی هر سه روش با یکدیگر تلفیق و نقشه نهایی دارای دقتی بالاتر از هر سه روش مذکور گردد. استفاده از این نوع ترکیب روش‌ها در مطالعات لرزه خیزی تاکنون صورت نگرفته است و وجه تمایز این مطالعه نسبت به مطالعات گذشته می‌باشد.

فصل ۵ : نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه گیری

در این فصل به نتیجه گیری از مطالب بیان شده در این پایان نامه پرداخته شده است. شهر تهران به عنوان یکی از پرجمعیت‌ترین و بزرگ‌ترین شهرهای دنیا و مرکز سیاسی اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی کشور به علت قرار گرفتن در اطراف گسل‌های لرزه خیز و فعال از اهمیت ویژه‌ای از نظر زلزله و آسیب پذیری در برابر آن برخوردار است. پیش بینی بحران زمین لرزه و بزرگی آن می‌تواند به مدیران و برنامه ریزان شهری جهت اتخاذ راهکارهای مناسب و کارآمد کمک شایانی کند. یکی از عمده‌ترین زیر ساختارهای لازم جهت تدوین برنامه ریزی جهت کاهش خطرات ناشی از زلزله در این کلان شهر، مطالعات تهیه نقشه آسیب پذیری لرزه‌ای مناطق شهری جهت تعیین مکان‌های آسیب پذیر است که باید در مقیاس مناسب و مطلوب صورت پذیرد.

وجود نقایصی که تا کنون در برنامه ریزی، انتخاب محل، طراحی، ساخت و ساز ایجاد شده است منجر به آسیب پذیر نمودن این شهر از نظر فیزیکی که عمدتاً متوجه ساختمان‌ها می‌باشد، شده است. بنابراین بنا به اهمیت این موضوع، در این پایان نامه به منظور تعیین مکان‌های آسیب پذیری محتمل اقدام به تهیه نقشه‌های آسیب پذیری فیزیکی لرزه‌ای شده است. به منظور فراهم آوردن امکاناتی جهت برنامه ریزی‌های کلان شامل میزان تراکم ساختمان‌ها و سازه‌های زیر بنایی شهری و مقاوم سازی شهر تهران، مطالعات انجام شده در این پایان نامه در سطح حوزه‌های شهری بر اساس آمار مرکز ایران می‌باشد.

هدف این پژوهش تهیه نقشه‌ی پهنه بندی زلزله برای یکی مهم‌ترین شهر ایران، یعنی تهران می‌باشد. علت اهمیت آن از نظر زلزله به چندین عامل مربوط می‌گردد که مهم‌ترین عامل‌های آن روی گسل واقع شدن تهران و جمعیت بسیار زیاد آن می‌باشد. با تهیه نقشه‌ی پهنه بندی خطر زلزله در تهران می‌توان دریافت کدام مناطق در خطر زیاد و کدام مناطق در خطر کم قرار دارند. طبق این نقشه ساختمان‌های قدیمی واقع در محل‌های پرخطر مقاوم سازی می‌گردد و ساختمان‌های جدید در مناطق کم خطر احداث می‌گردند. بدین صورت می‌توان در صورت بروز زلزله خسارات مالی و جانی را به حداقل رساند.

در این پژوهش در گام نخست لایه‌های اطلاعاتی مربوط به زلزله که از عوامل تاثیرگذار بر زلزله می‌باشند را جمع آوری نموده است و از نظرات کارشناسان و نقشه‌های پهنه بندی حاصل از مطالعات پیشین جهت داده‌های آموزشی و تست مورد استفاده قرار گرفته است. در گام بعدی با استفاده از سه روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر رای گیری (ML)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و شبکه‌های عصبی (NN) به سه نقشه‌ی پهنه بندی برای تهران حاصل گردیده است. در نهایت هر سه نقشه‌ی پهنه بندی به کمک روش

ادغام به روش رای گیری (MV) با یکدیگر تلفیق گردیده‌اند. استفاده از روش ادغام سبب گردیده که دقت و میزان کاپا داده‌ها به طور چشمگیری افزایش یابند. اهمیت این تحقیق عبارت است از:

- روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده نظیر حداکثر رای گیری (ML)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و شبکه‌های عصبی (NN) و در نهایت تلفیق این سه روش از طریق ادغام به روش حداکثر رای گیری (MV) برای تهیه نقشه‌ی پهنه بندی خطر شهر تهران مورد استفاده قرار گرفتند.
- استفاده از روش ادغام باعث شد که تصویر پهنه بندی خروجی هر سه روش با یکدیگر تلفیق می‌گردد، که منجر به افزایش میزان دقت و کاپا هر سه روش گردید.
- طبق شکل (۴-۱۰) می‌توان مشاهده نمود که با استفاده از روش ادغام به روش حداکثر رای گیری که براساس این روش نقشه‌ی پهنه بندی حاصل از سه روش SVM، ML و NN با یک دیگر تلفیق می‌شوند و در نهایت می‌توان دریافت که هم میزان دقت تمامی روش‌ها افزایش یافته و هم میزان کاپا روش‌ها به طور چشم گیری تغییر نموده است.

نوآوری این تحقیق عبارت‌اند از:

- استفاده از لایه‌های اطلاعاتی مختلف و در نظر گرفتن لایه‌هایی که تاثیر بسزایی در زلزله خیزی کلان شهر تهران دارند.
- مورد استفاده قرار دادن سه نرم افزار ENVI، MATLAB و GIS
- استفاده از نظرات کارشناسان و نقشه‌های پهنه بندی گذشته برای دست یابی به داده‌های آموزشی و تست دقیق
- استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده نظیر ماشین بردار پشتیبان (SVM)، حداکثر رای گیری (ML) و شبکه‌های عصبی (NN)
- استفاده از روش ادغام به روش حداکثر رای گیری که سبب بهبود نقشه‌ی بندی حاصل و افزایش دقت و کاپای روش‌های مورد استفاده گردید.

۲-۵ پیشنهادات

- استفاده از لایه‌های بیشتر برای شروع پژوهش جهت دست‌یابی به نقشه‌ی پهنه بندی که تمامی

پارامترها را در نظر گرفته باشد.

- استفاده از پارامترهای مؤثر آسیب پذیری زلزله نظیر زمین شناسی، سن بنا، تراکم ساختمانی و... که در امر زلزله بسیار حائز اهمیت هستند و در این پژوهش به دلیل عدم دسترسی به داده‌های لایه‌ها مورد استفاده قرار نگرفته‌اند.
- استفاده از روش‌های دیگر طبقه بندی نظارت و مقایسه با نتایج حاصل جهت دست یابی به روش بهتر
- استفاده از سایر روش‌های ادغام و مقایسه با نتایج حاصل مشخص نمودن بهترین روش ادغام

مراجعه

- [۱] آقا طاهر ر، (۱۳۸۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "برآورد آسیب پذیری لرزه‌ای در تهران با استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی"، دانشکده فنی دانشگاه تهران
- [۲] امیر احمدی ا. و آب باریکی ز. (۱۳۹۳) "ریز پهنه بندی خطر زلزله شهر سبزوار با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS" فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، دوره ۳۵: ص ۱۳۴.
- [۳] امیری ع، (۱۳۸۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی ریسک لرزه‌ای شهر تهران با بکارگیری تئوری‌های عدم قطعیت شهود و زیر" پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران.
- [۴] پیشگاهی فرد ز. و اقبالی ن. (۱۳۹۰) "سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و نقش آن در مکان یابی مناطق مخاطره آمیز شهری جهت استفاده در مدیریت بحران (مطالعه موردی: منطقه ۸ شهرداری تبریز)" فصلنامه جغرافیایی آمایش محیط، شماره ۱۲، دوره ۱: ص ۹۲.
- [۵] جلالیان ح. و دادگر ح. (۱۳۹۴) "پهنه بندی آسیب پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله با مدل AHP در محیط GIS، مطالعه موردی بخش چورزق شهرستان طارم" مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۲۶، دوره ۳: ص ۲۹.
- [۶] حبیبی، ک. و تحصیلدار، م. و کمالی نسب، ح. (۱۳۹۰) "پهنه بندی آسیب پذیری شهر در برابر زلزله با استفاده از منطق IO و مدل دلفی در محیط GIS (نمونه مورد مطالعه: شهر بابلسر)" همایش ملی ژئوماتیک ۹۰، ص ۱.
- [۷] حیدری م. (۹۷) "ارزیابی آسیب پذیری بافت‌های شهری از خطر زلزله (مطالعه موردی: بافت قدیم شهر زنجان)" مهندسی جغرافیایی سرزمین، شماره ۳، دوره ۲: ص ۱۰۱.
- [۸] رجبی ع. و خسروی ح. (۱۳۹۵) "مقایسه‌ی روش‌های ارزش اطلاعاتی و تحلیل سلسله مراتبی در پهنه بندی خطر زمین لغزش‌های ناشی از زلزله (مطالعه موردی)" فصلنامه علمی و پژوهشی علوم و مهندسی زلزله، شماره ۳، دور ۴: ص ۳۱.
- [۹] رحیمی شهید م. و رحیمی ن. (۱۳۹۶) "پهنه بندی خطر زمین لرزه با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان سمیرم)" یافته‌های نوین زمین شناسی کاربردی، شماره ۲۲، دوره ۱۱: ص ۱۰۹.
- [۱۰] خامس پناه ف، (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی آسیب پذیری لرزه‌ای شهر تهران با استفاده از تلفیق تئوری محاسبات دانه‌ای و مجموعه‌های زیر"، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

- [۱۱] رنگ زن ک. و کابلی زاده م. و کریمی د. و نعیمی ا. (۱۳۹۵) "پهنه بندی خطر پذیری زلزله و مکان یابی مناطق امن در زمان مخاطرات طبیعی با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و GIS (مطالعه موردی: منطقه‌ی یک شهرداری اهواز)" مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۳، دوره ۱: ص ۴۹.
- [۱۲] سیلاوی ط، (۱۳۸۵)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "آسیب پذیری لرزه‌ای شهر تهران با بکارگیری مدل‌های فازی شهودی"، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.
- [۱۳] شامخی امیری م. و منصوری سرشت خ. (۱۳۹۷) "تحلیل خطر لرزه
- [۱۴] ای احتمالی با استفاده از الگوریتم لنگر دوم-مرتبه اول برای تهران و حومه" نشریه علمی-پژوهشی مهندسی عمران امیر کبیر، شماره ۵۲، دوره ۳: ص ۷۵۷.
- [۱۵] شیخیان ح، (۱۳۹۵)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "بررسی آسیب پذیری لرزه‌ای شهر تهران با استفاده از تلفیق تئوری محاسبات دانه‌ای و شبکه‌های عصبی" پردیس دانشکده فنی، دانشگاه تهران
- [۱۶] صفاری ح. و پولادوند م. (۱۳۹۶) "ریز پهنه بندی لرزه‌ای شهر تهران براساس تحلیل خطر قطعی و شاخص‌های لرزه‌ای مناطق همجوار گسل" نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساختمان، شماره ۱، دوره ۴: ص ۱۰۹.
- [۱۷] صیامی ق. و تقی نژاد ک. و زاهدی کلاکی ع. (۱۳۹۴) "آسیب شناسی لرزه‌ای پهنه‌های شهری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی معکوس و GIS" فصلنامه مطالعات برنامه ریزی شهری، شماره ۹، دوره ۳: ص ۴۳.
- [۱۸] صمدی نیا ح، (۱۳۸۸)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "تهیه نقشه آسیب پذیری لرزه‌ای شهر تهران با استفاده از تئوری محاسبات دانه‌ای"، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.
- [۱۹] عفتی م. و عسگری سرشگی ع. (۱۳۹۶) "پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی" فصلنامه نقشه و اطلاعات مکانی گیلان، شماره ۲، دوره ۱: ص ۱۶.
- [۲۰] فداء آ. و المدرسی ع. (۱۳۹۲) "مدیریت بحران بعد از زلزله با استفاده از GIS (مطالعه موردی: منطقه سه اصفهان)" جهاد دانشگاهی.
- [۲۱] فرج زاده م. و بصیرت ف. (۱۳۸۵) "پهنه بندی حساسیت تشکیلات زمین شناسی در مقابل نیروهای زلزله در منطقه شیراز با استفاده از GIS" مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۵، دوره ۱: ص ۵۹.
- [۲۲] قزل بیگلر ر. و المدرسی ع. (۱۳۹۳) "پهنه بندی و تخمین خسارت ناشی از زلزله با استفاده از مدل رادیوس و GIS (مطالعه موردی: منطقه‌ی یک شهرداری شیراز)" مجله دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، شماره ۱، دوره ۱: ص ۱.
- [۲۳] قنبری ا. و سالکی ملکی م. و قاسمی م. (۱۳۹۲) "پهنه بندی میزان آسیب پذیری شهرها در مقابل

خطر زمین لرزه (نمونه موردی: شهر تبریز) "مجله جغرافیا و مخاطرات طبیعی، شماره ۵، دوره ۱: ص ۲۱.

[۲۴] کریمی کرد آبادی م. و نجفی ا. (۱۳۹۴) "ارزیابی خطر زلزله با استفاده از مدل ترکیبی FUZZY-AHP در امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه‌ی یک کلان شهر تهران)" مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری، شماره ۲۰، دوره ۶: ص ۱۷۰.

[۲۵] کرمی م. و امیری س. (۱۳۹۷) "پهنه بندی آسیب پذیری شهری ناشی از زلزله با استفاده از مدل Fuzzy-Ahp مطالعه موردی شهر تبریز" نشریه علمی-پژوهشی برنامه ریزی توسعه کالبدی، شماره ۶، دوره ۱۰: ص ۱۱۰.

[۲۶] مختاری د. و امامی کیا و. (۱۳۹۳) "پهنه بندی کاربری اراضی شهری شهرک ارم تبریز براساس شاخص‌های اساسی مخاطرات ژئومورفولوژیک" مجله جغرافیایی فضا، شماره ۱۲، دوره ۴: ص ۱۵۰.

[۲۷] مرادی م. (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی آسیب پذیری لرزه‌ای شهر تهران با استفاده از عملگرهای انتگرال فازی"، پردیس دانشگده‌های فنی، دانشگاه تهران.

[۲۸] مهرشاهی د. و محصل همدانی ز. (۱۳۹۲) "پهنه بندی نواحی مستعد وقوع روانگرایی با استفاده از مدل فازی: شهرستان ابرکوه" استان یزد "مجله کاوش‌های مناطق بیابانی، شماره ۱، دوره ۲: ص ۵۳.

[۲۹] وجودی م. و زارع و. (۱۳۸۳) "عدم قطعیت در تخمین جنبش شدید زمین" پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و زمین شناسی

[۳۰] هاشمی م. و آل شیخ ع. (۸۹) "پهنه بندی آسیب پذیری زلزله به کمک GIS (مطالعه موردی منطقه‌ی تهران)" مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۹۳، دوره ۱۶: ص ۳۰۶.

[۳۱] Adelia H. and Panakkat A. (۲۰۰۹) "A probabilistic neural network for earthquake magnitude prediction" J. of ELSEVIER, ۲۲, pp ۱۰۱۸.

[۳۲] Al-Dogom D., Schuckma K. and Al-Ruzouq R. (۲۰۱۸) "GEOSTATISTICAL SEISMIC ANALYSIS AND HAZARD ASSESSMENT; UNITED ARAB EMIRATES" The International Archives of the Photogrammetry, ۴, pp ۲۹.

[۳۳] Asim K., Idris A. and Iqbal F. (۲۰۱۸) "Martı nez lvarez, Earthquake prediction model using support vector regressor and hybrid neural networks" PLOS ONE, ۱۳, ۷, pp ۱.

[۳۴] Campbell C. and Ying Y. (۲۰۱۱) "Learning with Support Vector Machines"

[۳۵] David H. and Bent N. (۲۰۰۷) "Econometric Modeling: A Likelihood Approach. Princeton: Princeton University Press" Journal of Sustainability.

[۳۶] Debnath D., Chittora P., Chakrabarti T., Leonowicz Z., Jasinski M., Gono R. and Jasińska E. (۲۰۲۱) "Analysis of Earthquake Forecasting in India Using Supervised Machine Learning Classifiers" Journal of Sustainability, ۱۳, pp ۹۷۱.

[۳۷] Çelik E., Atalay M. and Baye H. (۲۰۱۴) "EARTHQUAKE PREDICTION USING SEISMIC BUMPS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND SUPPORT VECTOR MACHINES" Signal Processing and Communications Applications Conference, ۲۲, pp ۷۳۰.

- [۳۸] Fast L. (۲۰۱۳) “Basics of neural networks” Journal of Sustainability, ۵, pp ۸۰.
- [۳۹] Han J., Park P., Kim S., Son S., Lee S. and Kim J. (۲۰۱۹) “Performance of Logistic Regression and Support Vector Machines for Seismic Vulnerability Assessment and Mapping: A Case Study of the 12 September 2016 ML5.8 Gyeongju Earthquake” South Korea. Journal of Sustainability, ۱۱, pp ۱.
- [۴۰] Hongxi L., Zhang J. and Zhu G. (۲۰۱۱) “Application of Geographical Information System to Earthquake Disaster” Supported by: the Fundamental Research Funds for the Central Universities.
- [۴۱] Ivanciuc O. (۲۰۰۷) “Applications of Support Vector Machines in Chemistry” Reviews in Computational Chemistry, ۲۳, pp۲۹۱.
- [۴۲] Jena R., Pradhan B. and Alamri A. (۲۰۲۰) “Susceptibility to Seismic Amplification and Earthquake Probability Estimation Using Recurrent Neural Network (RNN) Model in Odisha, India” Journal of Applied sciences, ۱۰, pp۱.
- [۴۳] JICA C. (۲۰۰۰) “The study on seismic microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran” Pacific Consultants International Report, OYO Cooperation, Japan.
- [۴۴] Kamranzad F., Memarian H. and Zare M. (۲۰۲۰) “Earthquake Risk Assessment for Tehran, Iran” J. Geo-Inf, ۹, pp۴۳۰.
- [۴۵] Kasabov N. (۱۹۹۸) “Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering, The MIT Press”
- [۴۶] Mohamed Yagoub M. (۲۰۱۲) “Spatio-temporal and hazard mapping of Earthquake in UAE (1984–2012): Remote sensing and GIS application” Geoenvironmental Disasters a Springer Open Journal, ۲, ۱۳, pp۱.
- [۴۷] Ochoa L., Niño L. and Vargas C. (۲۰۱۹) “Support vector machines applied to fast determination of the geographical coordinates of earthquakes. The case of El Rosal seismological station, Bogotá – Colombia” Universidad nacional de Colombia, ۸۶, pp۲۳۰.
- [۴۸] Richard R. (۲۰۱۸) “Mathematical Statistics: An Introduction to Likelihood Based Inference. New York: John Wiley & Sons” pp۲۲۷.
- [۴۹] Panakkat P. (۲۰۰۹) “Recurrent Neural Network for Approximate Earthquake Time and Location Prediction Using Multiple Seismicity Indicators” Journal of Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, ۲۴, pp۲۸۰.
- [۵۰] Panakkat A. and Adeli H. (۲۰۰۷) “NEURAL NETWORK MODELS FOR EARTHQUAKE MAGNITUDE PREDICTION USING MULTIPLE SEISMICITY INDICATORS” International Journal of Neural Systems, ۱۷, pp۱۳.
- [۵۱] Perol T., Gharbi M. and Denolle M. (۲۰۱۸) “Convolutional neural network for earthquake detection and location” Journal of science advances/ research article, ۴, pp ۱.
- [۵۲] Picozzi M. and Giovanni Iaccarino A. (۲۰۲۱) “Forecasting the Preparatory Phase of Induced Earthquakes Recurrent Neural Network” Journal of forecasting, ۳, pp۱۷.
- [۵۳] Safari H., Pirasteh S., Pradhan B. and Khedri Gharibvand L. (۲۰۱۰) “Use of Remote Sensing Data and GIS Tools for Seismic Hazard Assessment for Shallow Oilfields and its Impact on the Settlements at Masjed-i-Soleiman Area, Zagros Mountains, Iran”

- Remote Sensing, ۲, pp ۱۳۶۴.
- [۵۴] Soe M., Ryutaro T. and Ishiyama D. (۲۰۰۹) “Remote Sensing and GIS Based Approach for Earthquake Probability Map: A Case Study of the Northern Sagaing Fault Area, Myanmar” Journal of the Geological Society of Thailand, ۱, pp ۲۹
- [۵۵] Tarhan Ç. and Saygin O. (۲۰۰۶) “GIS BASED RISK ASSESSMENT: A CASE STUDY OF ÝZMÝR METROPOLITAN AREA” ۱st International CIB Endorsed METU Postgraduate Conference Built Environment & Information Technologies, Ankara
- [۵۶] Taskin G., Ersoy O. and Kamasak M. (۲۰۰۹) “Support Vector Selection and Adaptation for Classification of Earthquake Image, Conference Paper researchgate (۱-۴)” University of Cape Town, Cape Town, p۲۱, South Africa.
- [۵۷] Tehseen R., Farooq M. and Abid A. (۲۰۲۰) “Earthquake Prediction Using Expert Systems: A Systematic Mapping Study” Journal of Sustainability, ۱۲, pp ۱.
- [۵۸] Telesca L. (۲۰۱۲) “Maximum Likelihood Estimation of the Nonextensive Parameters of the Earthquake Cumulative Magnitude Distribution” Bulletin of the Seismological Society of America, ۲, pp ۸۸۶
- [۵۹] Theilen-Willige B., Savvaidis P., Tziavos I.N. and Papadopoulou I. (۲۰۱۲) “Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) Contribution to the Inventory of Infrastructure Susceptible to Earthquake and Flooding Hazards in North-Eastern Greece” Journal of Geosciences, 2, pp ۲۰۲
- [۶۰] Wang X., Wei H., Wang M., Song M. and Cheni D. (۲۰۱۸) “Study on the Magnitude of Reservoir-Triggered Earthquake Based on Support Vector Machines” Journal of Wiley-Hindawi, 3, pp ۱
- [۶۱] WWW.STNEWS.IR
- [۶۲] WWW. <https://ltb.itc.utwente.nl/۴۸۱/concept/۷۸۸۰۸>
- [۶۳] WWW. <https://tourismiran.blog.ir/۱۳۹۱/۰۸/۱۸/Tehran/۲۰map>
- [۶۴] Xu C., Dai F., Xu X. and Lee Y. (۲۰۱۱) “GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed” China. Journal of Elsevier, 1, pp ۷۰
- [۶۵] Youssef A. and Pourghasemi H. (۲۰۲۰) “Landslide susceptibility mapping using machine learning algorithms and comparison of their performance at Abha Basin, Asir Region, Saudi Arabia” Journal of Pre-proof

ABSTRACT

Mankind is currently trying to identify natural disasters and take the necessary measures to reduce the damage. One of these natural disasters that is very important for human beings is earthquakes. Knowing more about the earthquake and taking the necessary measures to deal with it will minimize the loss of life and property. One of the measures taken to predict an earthquake is to prepare an earthquake risk zoning map. Today, the hazard zoning map, which determines the amount of risk from very low to very high for the target area, is based on GIS remote sensing software. Accepts. For this purpose, layers; the distance from the fault, the slope of the area, the direction of the slope and the population are considered to be six and GIS, ENVI and Matlab software have been used. In this research, supervised classification methods have been used, which, according to experts, weigh the layers. Finally, by combining layers and expert opinions and using supervised classification methods, a zoning map is obtained. In this research of methods; Maximum probability (ML), support vector machine (SVM) and neural networks (NN) are used with %63, %76 and %77 accuracy, respectively. Finally, with the help of the theory of data integration by voting method (MV) which is done in MATLAB software, the final zoning map can be achieved, which has a high accuracy. The accuracy of the final zoning map is %90, which is higher than the accuracy of any of the monitored classification methods, which indicates an increase in the accuracy of the zoning map. And the accuracy of the set of methods can be increased with the help of the integration method. According to this zoning map, the metropolis of Tehran can be classified from very low risk to very high risk.

KEYWORDS

Earthquake, Remote Sensing, Data Integration Theory, Supervised Classification, ENVI



Shahrood University of Technology
Faculty of Civil Engineering
M.Sc. Thesis IN Civil Engineering

English: Earthquake Hazard Zoning Using Supervised Classification Methods and Data Fusion Theory (Case study: Tehran metropolis)

BY:

Fatemeh Movahedi Asl

Supervisors:

Dr. Mohammad Shamekhi Amiri

Dr. Behnaz Bigdeli

October2021

