جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

# راهنمای ارزیابی ریسک سوانح طبیعی

## ضابطه شماره ۹۱۳

**آخرین ویرایش: ۱۴۰۴/۱۱/۲۷**

معاونت فنی، زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی و اجرایی

**Nezamfanni.ir**

پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی

و مهندسی زلزله

**iiees.ac.ir**

۱۴۰۵

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رئیس سازمان

باسمه تعالی

| | |
|---|---|
| بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران | شماره : ۱۴۰۵/۶۶۳۸۹ |
| | تاریخ : ۱۴۰۵/۰۲/۲۱ |

به استناد ماده(۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور و تبصره ذیل بند(۳-۱) ماده(۴) «سند نظام فنی‌واجرایی یکپارچه کشور»، موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۰۵۴۴/ت۶۳۷۱۹ه مورخ ۱۴۰۴/۰۳/۰۶ هیئت وزیران؛ ضابطه پیوست با مشخصات زیر ابلاغ و در«سامانه نظام فنی‌واجرایی کشور» به نشانی Nezamfanni.ir منتشر می‌شود:

| | |
|---|---|
| **عنوان:** | **راهنمای ارزیابی ریسک سوانح طبیعی** |
| **شماره ضابطه:** | **۹۱۳** |
| **نوع ابلاغ:** | راهنما |
| **حوزه شمول:** | همه قراردادهای جدیدی که از تاریخ اجرای این بخشنامه، از محل وجوه عمومی و یا به صورت مشارکت عمومی-خصوصی منعقد می‌شوند. |
| **تاریخ اجرا:** | ۱۴۰۵/۰۷/۰۱ |
| **متولی تهیه، اخذ بازخورد و اصلاح :** | پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله |
| **مرجع اعلام اصلاحات:** | امور نظام فنی‌واجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور |

**مفاد این بخشنامه، برای قراردادهایی که قبل از تاریخ اجرای آن منعقد شده‌اند، در صورت توافق طرفین قرارداد، قابل استفاده است.**

سیدحمید پورمحمدی

رونوشت :
معاونت حقوقی ریاست جمهوری – سامانه ملی قوانین و مقررات جمهوری اسلامی ایران
امور حقوقی قوانین و مقررات
مرکز روابط عمومی، امور بین‌الملل و مدیریت دانش
دبیرخانه مرکزی سازمان

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

# اصلاح مدارک فنی

## خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیهٔ این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام و ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، از شما خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده‌ی هر گونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

***۱ - شماره‌ی بند و صفحه‌ی موضوع مورد نظر را مشخص کنید.***

***۲ - ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.***

***۳ - در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.***

***۴ - نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.***

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

**نشانی برای مکاتبه:** تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

**web:nezamfanni.ir** **Email:nezamfanni@chmail.ir**

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

**بسمه تعالی**

# پیشگفتار

سوانح طبیعی از جمله زلزله و سیل در کشور هر ساله علاوه بر تلفات انسانی خسارات قابل توجهی به بخش‌های مختلف اقتصادی از جمله صنعت، مسکن، کشاورزی، تولید و حاکمیت شامل بخش‌های بهره‌بردار و مالکان تحمیل می‌نماید. ارزیابی ریسک این حوادث به عنوان اولین گام در مدیریت ریسک سوانح دارایی‌ها و توسعه پایدار ریسک-آگهیده[1] کشور حائز اهمیت است. با توجه به نیاز کشور به انجام مطالعات ریسک به عنوان پیش نیاز طرح‌های توسعه‌ای در نظام فنی و اجرایی کشور، الزامی شدن تهیه پوشش بیمه سوانح برای دارایی‌های غیر منقول دستگاه‌های اجرایی در قانون مدیریت بحران کشور و همچنین نیاز آینده شرکت‌های بیمه به بیمه نویسی، محاسبه سرمایه توانگری و مدیریت تعهدات بیمه‌ای بر اساس محاسبات ریسک سوانح طبیعی لازم است استانداردی ملی به منظور تشریح روش تحلیل ریسک دارایی‌ها در برابر انواع سوانح طبیعی و انسان ساخت تهیه و تدوین گردیده و در دسترس دست اندرکاران نظام فنی و اجرایی کشور قرار گیرد.

به این ترتیب امور نظام فنی‌واجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور با توجه به فقدان سندی معتبر در کشور به منظور تبیین راهکار انجام مطالعات در این زمینه، تهیه این ضابطه تحت عنوان "راهنمای تحلیل ریسک سوانح" را در قالب همکاری با پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در دستور کار قرار داد، که پس از بررسی براساس نظام فنی‌واجرایی یکپارچه، موضوع ماده ۳۴ قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی مصوب هیات محترم وزیران تصویب و ابلاغ گردید.

در آغاز پروژه، موضوعات مطالعات مورد نظر برای این راهنما در شکل نهایی در چند بخش و به شرح زیر در نظر گرفته شد که بر اساس یافته‌ها در حین انجام مطالعات پروژه و نظرات کارفرما و کارگروه محترم ارزیابی پروژه به تناسب اصلاح و نهایی شده است:

۱) تعاریف موجود در زمینه‌ی تحلیل ریسک سوانح
۲) مؤلفه‌های مختلف مدیریت ریسک شامل شدت خطر، آسیب پذیری، مشخصات دارایی(های) در معرض خطر و محاسبات مالی،
۳) مطالعات مورد نظر برای تعیین مؤلفه شدت خطر شامل تولید کاتالوگ مصنوعی رویدادها و تحلیل خطر برای سوانح طبیعی (مانند زلزله، سیل و توفان)
۴) مطالعات مورد نظر برای تعیین مؤلفه آسیب‌پذیری شامل روش‌های ارزیابی آسیب پذیری،
۵) مطالعات مورد نظر برای تعیین مؤلفه دارایی(های) در معرض خطر شامل گونه‌شناسی دارایی‌ها، توزیع جغرافیایی و قیمت‌گذاری،

[1] Risk-Informed Sustainable Development

omoorepeyman.ir

۶) مطالعات مورد نظر برای تعیین مؤلفه محاسبه خسارات محتمل و محاسبات مالی،

۷) پیوست: کاربرد راهنمای ارزیابی ریسک سوانح در طرح‌های توسعه‌ای، مدیریت کاهش ریسک و صنعت بیمه

بدیهی است تعریف ریسک یا خسارت محتمل و مطالعات مورد نیاز برای برآورد شاخص‌های مربوط به آن وابسته به دیدگاه و جایگاه فرد مورد نظر در مواجهه با این موضوع بوده و از جایگاه‌های مختلف این تعریف تفاوت‌هایی خواهد داشت. در این راهنما ضمن در نظر گرفتن دیدگاه عمومی در بیان ضوابط و معیارهای مورد نیاز، در موضوعات موردی، دیدگاه برآورد خسارات محتمل و سپس مبانی برآورد نرخ سالیانه بیمه سوانح طبیعی مورد توجه خواهد بود.

این راهنما در دو بخش کلی تهیه شده است. در بخش ۱، ضمن اشاره به تعاریف پایه و نکات مشترک، چارچوب عمومی مطالعات تحلیل ریسک ناشی از سوانح طبیعی ارائه شده است. در بخش ۲، ملاحظات لازم در تحلیل ریسک سوانح زلزله و سیل مطابق با چارچوب مطالعات تحلیل ریسک مندرج در بخش ۱ ارائه شده است.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صـرف گردید، این مجموعه مصـون از وجود اشـکال و ابهام در مطالب آن نی ست. لذا در را ستای تکمیل و پربار شدن این ضابطه از کاربران محترم درخوا ست می شود موارد ا صلاحی را به امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه ک شور ار سال کنند. کار شنا سان سازمان پی شنهادهای دریافت شـده را بررسـی کرده و در صـورت نیاز به اصـلاح در متن ضـابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشـور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع رسانی نظام فنی و اجرایی کشور به آدرس Nezamfanni.ir برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسـهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده‌است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از اینرو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

**حمید امانی همدانی**

**معاون فنی، زیربنایی و تولیدی**

**بهار ۱۴۰۵**

omoorepeyman.ir

**تهیه و کنترل «راهنمای ارزیابی ریسک سوانح طبیعی»**

**[ضابطه شماره ۹۱۳]**

**تهیه‌کنندگان متن**

این راهنما در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و با حضور افراد زیر تهیه گردیده است:

| | | |
|---|---|---|
| افشین کلانتری | پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله | دکترای مهندسی عمران |
| هومن معتمد | پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله | دکترای مهندسی عمران |

**کارگروه بررسی متن**

پیش‌نویس این راهنما پس از تهیه توسط افراد زیر مورد بررسی قرار گفته و بر اساس نظرات ایشان اصلاح و تکمیل شد:

| | | |
|---|---|---|
| محسن غفوری آشتیانی | پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله | دکترای مهندسی عمران |
| محمدرضا ذوالفقاری | دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی | دکترای مهندسی عمران |

**اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور):**

| | |
|---|---|
| علیرضا توتونچی | معاون امور نظام فنی‌واجرایی |
| فرزاد پارسا | معاون امور نظام فنی‌واجرایی |
| محمد کارگر شورکی | کارشناس امور نظام فنی‌واجرایی |

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

## فهرست مطالب

عنوان صفحه


فصل ۱- کلیات و چارچوب عمومی مطالعات تحلیل ریسک ۱
۱- کلیات و چارچوب عمومی مطالعات تحلیل ریسک ۳
۱-۱- کلیات ۳
۱-۱-۱- مقدمه ۳
۱-۱-۲- هدف ۳
۱-۱-۳- گستره و کاربران ۴
۱-۱-۴- مقیاس مطالعه ۴
۱-۱-۵- تخصصهای مورد نیاز ۴
۱-۱-۶-کیفیت مطالعات ۵
۱-۱-۷- سلب مسئولیت ۵
۱-۲- اصطلاحات و تعاریف ۶
۱-۳- اصول ۷
۱-۴- چارچوب ۸
۱-۴-۱- مقدمه ۸
۱-۴-۲- رهبری و تعهد ۸
۱-۴-۳- یکپارچگی ۹
۱-۴-۴- طراحی ۹
۱-۴-۴-۱- شناخت اهمیت ریسک سوانح ۹
۱-۴-۵- پیاده سازی ۹
۱-۴-۶- نظارت و بازنگری ۱۰
۱- ۵- فرآیند ۱۰
۱-۵-۱- کلیات ۱۰
۱-۵-۲- روشهای سنجش ریسک ۱۱
۱-۵-۳- سنجش خطر ۱۲
۱-۵-۳-۱- شناسایی مخاطره ۱۲
۱-۵-۳-۲- انتخاب شاخص خطر ۱۲
۱-۵-۳-۳- محاسبه شاخص خطر ۱۳
۱-۵-۳-۴- اثرات عدم قطعیت عوامل مؤثر در تحلیل خطر ۱۵
۱-۵-۳-۵- راستی‌آزمایی ۱۶
۱-۵-۴- شناسایی دارایی در معرض خطر ۱۶
۱-۵-۵- سنجش آسیب‌پذیری ۱۸


omoorepeyman.ir

۱-۵-۵-۱- گونه‌بندی اجزای دارایی در معرض خطر بر اساس گونه‌شناسی ..... ۱۸
۱-۵-۵-۲- تعیین الگوی آسیب‌پذیری گونه‌های موجود در دارایی ..... ۱۸
۱-۵-۵-۳- راستی‌آزمایی الگوی آسیب‌پذیری انتخاب شده ..... ۱۹
۱-۵-۵-۴- بررسی عدم قطعیت ..... ۱۹
۱-۵-۶- سنجش ریسک ..... ۱۹
۱-۵-۶-۱- سنجش ریسک به روش کیفی ..... ۲۰
۱-۵-۶-۲- سنجش ریسک به روش کمّی-کیفی ..... ۲۱
۱-۵-۶-۳- سنجش ریسک به روش کمّی ..... ۲۲
۱-۶- ملاحظات ویژه ..... ۲۴
۱-۶-۱- عدم قطعیت ..... ۲۴
۱-۶-۲- همبستگی ..... ۲۴
۱-۶-۳- راستی‌آزمایی ..... ۲۵
۱-۶-۴- مستندسازی ..... ۲۵
۱-۷- مراجع اصلی ..... ۲۵
فصل ۲- زلزله ..... ۲۷
۲- سنجش ریسک زلزله ..... ۲۹
۲-۱- سنجش خطر زلزله ..... ۲۹
۲-۱-۱- مقدمه ..... ۲۹
۲-۱-۲- تحلیل خطر به روش کیفی ..... ۲۹
۲-۱-۳- سنجش خطر به روش کمّی ..... ۳۰
۲-۱-۳-۱- تحلیل خطر با رویکرد تعینی ..... ۳۰
۲-۱-۳-۲- تحلیل خطر زلزله با رویکرد احتمالاتی ..... ۳۲
۲-۱-۴- اثرات عدم قطعیت عوامل مؤثر در تحلیل خطر زلزله ..... ۳۴
۲-۱-۵- همبستگی ..... ۳۴
۲-۱-۶- راستی‌آزمایی ..... ۳۴
۲-۲- شناسایی دارایی‌های در معرض خطر ..... ۳۵
۲-۳- سنجش آسیب‌پذیری در برابر زلزله ..... ۳۶
۲-۳-۱- گونه‌بندی دارایی‌های در خطر ..... ۳۶
۲-۳-۲- تعیین الگوی آسیب‌پذیری گونه‌های دارایی ..... ۳۶
۲-۳-۳- راستی آزمایی الگوی آسیب‌پذیری انتخاب شده ..... ۳۷
۲-۳-۴- بررسی عدم قطعیت ..... ۳۷
۲-۴- سنجش ریسک ..... ۳۸
۲-۴-۱- سنجش ریسک لرزه‌ای به روش کیفی ..... ۳۸

omoorepeyman.ir

۲-۴-۲- سنجش ریسک لرزه‌ای به روش کمّی ..... ۳۹
۲-۴-۳- سنجش ریسک به روش کمّی-کیفی ..... ۴۱
۲-۵- ملاحظات ویژه ..... ۴۲
۲-۵-۱- عدم قطعیت ..... ۴۲
۲-۵-۲- همبستگی ..... ۴۲
۲-۵-۳- راستی‌آزمایی ..... ۴۲
فصل ۳- سیل ..... ۴۳
۳- سنجش ریسک سیل ..... ۴۵
۳-۱- سنجش خطر سیل ..... ۴۵
۳-۱-۱- مقدمه ..... ۴۵
۳-۱-۲- تحلیل خطر سیل به روش کیفی ..... ۴۶
۳-۱-۳- تحلیل خطر سیل به روش کمّی ..... ۴۶
۳-۱-۳-۱- تحلیل خطر تعینی ..... ۴۷
۳-۱-۳-۲- تحلیل خطر سیل به روش احتمالاتی ..... ۴۸
۳-۱-۴- شاخص و معیار شدت رخداد سیل ..... ۵۰
۳-۱-۵- اثرات عدم قطعیت عوامل مؤثر در تحلیل خطر سیل ..... ۵۰
۳-۱-۶- راستی‌آزمایی نتایج تحلیل خطر سیل ..... ۵۱
۳-۲- شناسایی دارایی در معرض خطر سیل ..... ۵۱
۳-۲-۱- آسیب‌پذیری در برابر سیل ..... ۵۲
۳-۲-۲- گونه‌بندی دارایی‌های در خطر ..... ۵۲
۳-۲-۳- تعیین الگوی آسیب پذیری گونه‌های دارایی ..... ۵۳
۳-۲-۴- راستی آزمایی الگوی آسیب پذیری انتخاب شده ..... ۵۳
۳-۲-۵- بررسی عدم قطعیت ..... ۵۳
۳-۳- سنجش آسیب/ زیان ..... ۵۴
۳-۳-۱- سنجش آسیب/زیان سیل به روش کیفی ..... ۵۴
۳-۳-۲- سنجش ریسک سیل به روش کمّی ..... ۵۵
۳-۳-۳- سنجش ریسک به روش کمّی-کیفی ..... ۵۷
۳-۳-۴- عدم قطعیت ..... ۵۸
۳-۳-۵- همبستگی ..... ۵۸
۳-۳-۶- اعتبار و راستی‌آزمایی ..... ۵۹
۳-۳-۷- اهمیت مرور و بازنگری نتایج تحلیل ریسک سیل ..... ۵۹
۳-۳-۸- مستندسازی مطالعات تحلیل ریسک سیل ..... ۵۹
۳-۳-۹- ابزار تحلیل ریسک سیل ..... ۶۰
پیوست ۱ ..... ۶۱

omoorepeyman.ir

پیوست ۱: نحوه محاسبه همبستگی ریسک (آسیب و زیان) برای دارایی‌های توزیع شده مکانی..... ۶۳
مراجع..... ۶۷
فهرست مراجع اصلی..... ۶۹

omoorepeyman.ir

## فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۱-۱: فرایند مطالعات تحلیل ریسک سوانح طبیعی ..... ۱۱
شکل ۱-۲: ماتریس شدت-احتمال خطر (سرخ: خطر خیلی زیاد، نارنجی: خطر زیاد، زرد: خطر متوسط، سبز: خطر کم و آبی: خطر خیلی کم) ..... ۱۴
شکل ۱-۳: شماتیک مدل دارایی ..... ۱۷
شکل ۱-۴: فلوچارت انجام سنجش ریسک به روش مدل‌سازی احتمالاتی ..... ۲۴
شکل ۲-۱: روندنمای مراحل لازم برای سنجش خطر زلزله به روش کمّی با رویکرد تعینی (سناریومحور) ..... ۳۲
شکل ۲-۲: روندنمای مراحل لازم برای سنجش کمّی خطر زلزله با رویکرد احتمالاتی ..... ۳۴
شکل ۲-۳: فلوچارت مراحل انجام سنجش کیفی ریسک زلزله برای یک یا گروهی از دارایی‌ها ..... ۳۹
شکل ۲-۴: فلوچارت مراحل انجام سنجش کمّی ریسک زلزله برای یک یا گروهی از دارایی‌ها ..... ۴۱
شکل ۳-۱: مراحل انجام سنجش تعینی خطر سیل ..... ۴۸
شکل ۳-۲: مراحل انجام سنجش احتمالاتی خطر سیل ..... ۵۰
شکل ۳-۳: فلوچارت مراحل انجام سنجش کیفی ریسک سیل برای یک یا گروهی از دارایی‌ها ..... ۵۵
شکل ۳-۴: فلوچارت مراحل انجام سنجش کمّی (احتمالاتی) ریسک سیل برای یک یا گروهی از دارایی‌ها ..... ۵۷
شکل پ-۱: شهرستانهای استان تهران ..... ۶۴

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

# فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۱-۱: تخصص‌های مورد نیاز و حداقل سابقه لازم برای انجام مطالعات تحلیل ریسک بر اساس مخاطره مورد مطالعه و مؤلفه‌ی ریسک مهندسی عمران ..... ۵
جدول ۱-۲: پارامترهای خطر مربوط به مخاطرات محتمل در ایران ..... ۱۳
جدول ۱-۳: تبدیل مقادیر کیفی به مقادیر کمی-کیفی ..... ۲۱
جدول ۲-۱: تبدیل مقادیر کیفی به مقادیر کمّی-کیفی ..... ۳۸
جدول ۳-۱: تبدیل مقادیر کیفی به مقادیر کمّی-کیفی ..... ۵۴
جدول پ-۱: ماتریس همبستگی خسارات در شهرستانهای استان تهران ..... ۶۴
جدول پ-۲: ماتریس همبستگی ریسک چند مخاطرهای ..... ۶۶

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

# فصل ۱

## کلیات و چارچوب عمومی مطالعات تحلیل ریسک

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

# ۱- کلیات و چارچوب عمومی مطالعات تحلیل ریسک

## ۱-۱- کلیات

### ۱-۱-۱- مقدمه

این راهنما با هدف ارائه چارچوب و روش‌شناسی مطالعات تحلیل ریسک تدوین شده است. در تدوین این راهنما ضوابط و معیارهای نظام فنی و اجرایی کشور، استانداردهای معتبر بین‌المللی موجود در رابطه با مدیریت ریسک و همچنین فرآیندهای پذیرفته شده برای مدل‌سازی ریسک سوانح در بخش مهندسی و بیمه سوانح در سایر کشورها مورد ارجاع قرار گرفته‌اند. این ضابطه به نحوی تهیه شده تا به عنوان راهنمایی برای انجام مطالعات تحلیل ریسک دارایی‌های غیر منقول موجود در کشور در برابر سوانح به کار رود. بر این اساس، راهنمای مورد نظر شامل حداقل نیازمندی‌ها، روش‌ها و محاسبات لازم برای انجام پروژه‌های مطالعات ریسک دارایی‌ها در برابر سوانح است. انجام مطالعات تحلیل ریسک دارایی‌ها شامل ابنیه و تأسیسات زیرساخت در برابر سوانح طبیعی در موارد زیر مورد نیاز خواهد بود:

- برنامه‌ریزی برای توسعه طرح‌های موجود با اجرای بخش‌های جدید یا تغییر در تأسیسات موجود؛
- شناسایی مخاطرات جدید با توجه به شرایط ساختاری، محلی یا اقلیمی؛
- تهیه پیوست مطالعات ریسک برای طرح‌های توسعه کشور با در نظر گرفتن رویکرد توسعه پایدار ریسک آگاه در برنامه هفتم توسعه کشور،
- ارزیابی ریسک ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و دارایی‌های غیر منقول (حداکثر خسارات محتمل دارایی هدف در برابر حوادث آینده در طول عمر آن) متعلق به دستگاه‌های حاکمیتی به منظور پیش نیاز اقدامات مدیریت کاهش و انتقال ریسک و
- ارزیابی ریسک-پایه تعهدات شرکت‌های بیمه در ارائه پوشش ریسک سوانح طبیعی[1] (حوادث فاجعه آمیز طبیعی) برای مخاطراتی از قبیل زلزله، سیل، توفان و غیره موضوع آیین‌نامه اجرایی بند (چ) ماده (۱۳) قانون مدیریت بحران کشور که در قسمت‌های مختلف این صنعت مانند قیمت گذاری، تعیین سرمایه توانگری و مدیریت انباشتگی ریسک[2] کاربرد خواهد داشت. در این فصل کلیات و چارچوب مورد نظر برای مطالعات تحلیل ریسک بر اساس این راهنما معرفی شده است.

### ۱-۱-۲- هدف

هدف این راهنما فراهم ساختن چارچوب عمومی، روند مطالعاتی و روش‌شناسی استاندارد برای سنجش ریسک دارایی های غیرمنقول کشور در برابر ریسک سوانح طبیعی بر اساس ضوابط و معیارهای نظام فنی و اجرایی کشور و استانداردهای

[1] Property catastrophe
[2] Risk aggregation management

omoorepeyman.ir

معتبر بین‌المللی مدیریت ریسک و روش‌شناسی پذیرفته شده برای مدل‌سازی ریسک سوانح در سازمان‌های بین‌المللی عمومی و خصوصی است.

### ۱-۱-۳- گستره و کاربران

این راهنما بر اساس رویکردی جامع‌نگر و شیءگرا به منظور تشریح حداقل الزامات فنی برای سنجش ریسک دارایی های غیرمنقول شامل ساختمان‌ها، تأسیسات صنعتی و زیرساخت‌های موجود در برابر ریسک سوانح طبیعی تدوین شده است. با وجود آن که توضیحات موردی در این راهنما شامل و محدود به زلزله و سیل می‌باشد، چارچوب و روش‌شناسی پیشنهاد شده در این راهنما برای سایر سوانح طبیعی نیز قابل استفاده هستند. کاربرد اصلی این راهنما در موارد زیر است:
شناسایی نوع مخاطرات طبیعی موجود در محل پروژه؛

- توسعه مدل خطر برای مخاطرات اولویت‌دار؛
- شناسایی دارایی‌های در معرض خطر و توسعه مدل دارایی؛
- شناسایی آسیب‌پذیری دارایی‌های در معرض خطر و توسعه مدل آسیب‌پذیری؛
- سنجش ریسک دارایی‌های در معرض خطر؛
- اولویت‌بندی ریسک بر مبنای معیارهای هدف مطالعه؛
- تعریف کاستی‌های احتمالی در معیارهای برآورد و محاسبه ریسک و لزوم اقدامات دقیق‌تر بعدی.

کاربران این راهنما شامل مهندسان مشاور، دفتر فنی سازمان‌ها، نهادها و وزارتخانه‌ها، دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی و کلیه مراکزی که مسئول تهیه مطالعات ریسک مخاطرات طبیعی هستند، است.

### ۱-۱-۴- مقیاس مطالعه

مطالعه تحلیل ریسک با توجه به ماهیت دارایی، پراکندگی مکانی و جغرافیایی آن در سه مقیاس نقطه‌ای، محلی و منطقه‌ای انجام می‌شود. مقیاس نقطه‌ای شامل دارایی‌های تک مانند ساختمان، کارگاه و زیرساخت‌های کوچک است که در آنها سطح خطر تقریباً ثابت فرض می‌شود. مقیاس محلی شامل دارایی‌هایی با کاربری یکسان و گستردگی محلی مانند شهرک‌های مسکونی، کارخانه‌های صنعتی، زیرساخت‌های بزرگ مقیاس مانند پل‌های با طول قابل توجه است که به دلیل ابعادشان ممکن است تحت تأثیر سطوح گوناگونی از خطر قرار گیرند. مقیاس منطقه‌ای نیز شامل مجموعه‌ای از دارایی‌ها با تنوعی از کاربری‌ها است که در پهنه‌ای با ابعاد قابل توجه مانند مناطق شهری، شهرستان‌ها و استان و کل کشور توزیع شده‌اند و در معرض سطوح مختلفی از خطر قرار گرفته‌اند. تحلیلگر ریسک باید بر اساس مقیاس پروژه نسبت به انتخاب دقت مورد نیاز برای تعیین پارامترهای مطالعه، اقدام نماید.

### ۱-۱-۵- تخصص‌های مورد نیاز

تخصص‌های مورد نیاز و حداقل سابقه لازم برای انجام مطالعات تحلیل ریسک بر اساس مخاطره مورد مطالعه و مؤلفه‌ی

omoorepeyman.ir

ریسک به شرح جدول زیر پیشنهاد می‌شود.

**جدول ۱-۱: تخصص‌های مورد نیاز و حداقل سابقه لازم برای انجام مطالعات تحلیل ریسک بر اساس مخاطره مورد مطالعه و مؤلفه‌ی ریسک**

| بخش | رشته تحصیلی | مقطع تحصیلی | سابقه کار قبلی و مهارت |
|---|---|---|---|
| خطر سیل | مهندسی سازه‌های هیدرولیکی و در صورت لزوم هیدرولوژی مهندسی یا هواشناسی | کارشناسی ارشد یا دکتری | مدل‌سازی سیل، پهنه‌بندی سیلاب، |
| خطر زلزله | مهندسی عمران- مهندسی زلزله، زلزله‌شناسی مهندسی، ژئوتکنیک | کارشناسی ارشد یا دکتری | تحلیل خطر زلزله، مطالعات لرزه زمین ساخت |
| دارایی (خطر سیل و زلزله) | مهندسی عمران/عمران | کارشناسی ارشد یا دکتری | GIS، پایگاه داده، متره |
| آسیب‌پذیری (سیل و زلزله) | مهندسی عمران-سازه | کارشناسی ارشد یا دکتری | ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان و سازه‌ها و ارزیابی خسارت سوانح، طراحی سازه |
| محاسبات مالی (سیل و زلزله) | **مهندسی عمران** | کارشناسی و بالاتر | برنامه نویسی رایانه، ارزیابی مالی، ارزیابی خسارت سوانح |
| مدیر پروژه | مهندسی عمران | دکتری | مدیریت پروژه تحلیل ریسک |

همچنین ناظرین پروژه‌های ارزیابی ریسک نیز باید به گونه‌ای انتخاب گردند که در بخش‌های مختلف پروژه (ستون اول جدول) صاحب نظر بوده و از لحاظ تحصیلی، دانش فنی و تجربه کاری در سطحی برابر یا بالاتر از مشاورین قرار داشته باشند.

### ۱-۱-۶-کیفیت مطالعات

منظور از کیفیت مطالعات، شرایط انجام پروژه، کیفیت و دقت داده‌های ورودی، دقت روش‌شناسی مورد استفاده و خروجی‌های مورد نیاز است. کیفیت انجام مطالعه باید با اهمیت دارایی مورد مطالعه و منابع مالی پروژه همخوانی داشته باشد. لزوم انجام مطالعات میدانی، انتخاب منابع داده و تخصص‌های مورد نیاز بر اساس اهمیت پروژه و کیفیت مورد نیاز مطالعه تعیین می‌گردد.

### ۱-۱-۷- سلب مسئولیت

در حالی که دستورالعمل حاضر نیاز اولیه را برای انجام مطالعات تحلیل ریسک مخاطرات طبیعی پایه گذاری می‌کند، انجام صحیح ارزیابی ریسک سوانح نیازمند استفاده از افراد خبره که دارای تجربه و دانش کافی در این زمینه می‌باشند، است. همچنین به دلیل عدم قطعیت قابل توجه در مطالعات ریسک، سوانح طبیعی آینده ممکن است دارای ابعاد متفاوتی نسبت به آنچه تخمین زده می‌شود، باشند.

omoorepeyman.ir

## ۱-۲- اصطلاحات و تعاریف

مخاطره طبیعی: مخاطره عبارت است از یک رویداد طبیعی، پدیده یا فعالیت انسانی مستعد ایجاد زیان که ممکن است باعث از دست دادن زندگی یا جراحت، زیان مالی، اختلالات اجتماعی و اقتصادی یا تخریب محیط زیست شود. عبارت مخاطره در این دستورالعمل به مخاطرات طبیعی اشاره دارد. این مخاطرات پدیده‌های منحصراً انسان ساخت مانند جنگ، آلودگی و شیوع بیماری را شامل نمی‌شود؛

- شناسایی مخاطرات اصلی: مخاطره‌ای که بر اساس بررسی تاریخی مخاطرات رویداده و شواهد موجود در محل ساختگاه پروژه در دست مطالعه، اثر غالب در ایجاد خسارات محتمل است. این مخاطرات عامل ایجاد مخاطرات ثانویه می‌گردند.
- مخاطرات ثانویه: گونه‌ای از مخاطرات هستند که در اثر رخداد یک مخاطره اصلی رخ می‌دهند مانند آتش سوزی پس از زلزله، زمین لغزش پس از زلزله یا توفان، سونامی و غیره؛
- خطر: پارامتری قابل اندازه‌گیری از مخاطره است که با زیان رابطه مستقیم دارد؛ مانند عمق سیلاب، شتاب زلزله و سرعت ماندگار توفان. خطر از طریق دو مفهوم شدت و احتمال سنجیده می‌شود؛
- دارایی: سرمایه‌هایی هستند که در معرض خطر قرار دارند. دارایی در این راهنما شامل ساختمان، زیرساخت، تأسیسات غیرمنقول و جان انسان می‌شود؛
- آسیب‌پذیری: میزان زیان وارد شده به دارایی در رویارویی با شدت‌های مختلف خطر است؛
- ریسک: احتمال رخداد یک پیشامد بد با شدت مشخص. ریسک متشکل از سه مؤلفه‌ی خطر، دارایی و آسیب‌پذیری است؛
- سنجش ریسک: تعیین اندازه‌ی کیفی یا کمی ریسک؛
- مدل‌سازی ریسک: سنجش ریسک از طریق توسعه‌ی مؤلفه‌های سه‌گانه‌ی ریسک؛
- سانحه طبیعی: اختلال جدی در عملکرد یک سیستم (مانند سکونتگاه‌ها، مراکز جمعیتی و صنعتی) در اثر بروز مخاطرات طبیعی و اندرکنش آن با دارایی‌ها و آسیب‌پذیری آن سیستم که منجر به وقوع خسارات انسانی، کالبدی، اقتصادی و زیست محیطی شود.
- ریسک سانحه طبیعی: خسارات و تلفات محتمل در یک سیستم در اثر وقوع یک مخاطره طبیعی.
- تحلیل‌گر – تحلیل‌گر ریسک: تحلیل‌گر فرد یا مجموعه‌ای دارای تخصص‌های لازم برای تحلیل ریسک است که توسط کارفرما به عنوان مسئول انجام مطالعات تحلیل ریسک موضوع این راهنما تعیین می‌گردد. با توجه به وجود زمینه‌های مختلف تخصصی در فرایند تحلیل ریسک، لازم است کارفرما تا زمان تدوین ضوابط ملی لازم، رأساً با توجه به موضوع پروژه و گستره‌ی آن، بر اساس یک فرایند منطقی و مبتنی بر اسناد مشخص شده، نسبت به انتخاب تحلیل‌گر با احراز صلاحیت لازم اقدام نماید؛

omoorepeyman.ir

- احتمال فراگذشت رویداد سیل: به عنوان یک متغیر پیشا عبارت است از احتمال آنکه معیار شدت رویداد (مانند دبی رودخانه) در مدت زمانی معین از مقداری معین فراتر رود. با توجه به ماهیت پیشا و همراه با عدم قطعیت این رویداد لازم است تحلیل‌گر نسبت به انتخاب معیارهای متناسب احتمالاتی برای معرفی شاخص‌های مربوط به این رویداد اقدام نماید. همچنین لازم است توابع توزیع احتمال مناسب با توجه به ماهیت خطر سیل و موضوع پروژه‌ی در دست مطالعه انتخاب گردد؛
- میانگین دوره بازگشت سیل: زمان میانگین برآورد شده بین دو رویداد با یک شدت مشخص است. سیل با دوره بازگشت ۵۰۰ سال یعنی سیلی که بر اساس برآورد انجام شده یا رویدادهای تاریخی ثبت شده هر ۵۰۰ سال یک بار اتفاق می‌افتد؛
- نرخ وقوع سیل: به معنی تعداد دفعات وقوع رویداد سیل در واحد سال است. نرخ وقوع عکس دوره بازگشت است. نرخ وقوع سیل با دوره بازگشت ۵۰۰ سال برابر با ۱/۵۰۰ است؛
- اهمیت پروژه: بسته به اهمیت پروژه، سنجش ریسک می‌تواند با استفاده از روش‌های مختلفی انجام شود. در راهنمای حاضر پروژه پراهمیت شامل گروه‌های اول تا سوم اهمیت در آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله[1] و پروژه‌های کم اهمیت دربرگیرنده گروه چهارم طبقه‌بندی یاد شده است.
- مدل دارایی: مجموعه گونه‌های مختلف موجود در سیاهه‌ی دارایی در معرض خطر بر اساس ویژگی‌های کالبدی و عملکردی و مشخصات تعریف شده برای هر یک از اجزای دارایی است.

## ۱-۳- اصول

سنجش ریسک سوانح می‌بایست به عنوان بخشی از فرآیند مدیریت ریسک پروژه‌های اقتصادی یا مطالعات مربوط به بیمه سوانح به کار گرفته شود. در فرایند سنجش ریسک سوانح، تخصص‌های مختلف مشارکت دارند. همچنین اطلاعات مختلف از مراجع متعددی کسب و در مطالعه به کار برده می‌شود. از این رو برای اطمینان از کیفیت و اعتبار نتایج حاصل از این مطالعه لازم است اجزای مختلف به صورت مؤثر و کارآمد و بر اساس اصول زیر به کار برده شود:

- یکپارچگی: سنجش ریسک سوانح باید به عنوان بخش جدایی ناپذیر از مطالعاتی که نیازمند آن هستند بوده و اطلاعات مورد نیاز برای تصمیم‌گیری مربوط به پروژه را فراهم سازد؛
- ساختارمندی: سنجش ریسک سوانح می‌بایست بر اساس ساختارها و فرآیندهای پذیرفته شده و استاندارد انجام پذیرد؛
- تناسب: روش سنجش و نوع خروجی‌های آن می‌بایست بر اساس نیازمندی‌های مطالعه تعیین گردد؛

omoorepeyman.ir

[1] استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم)

- پویایی: مؤلفه‌های ریسک سوانح در طول زمانی دستخوش تغییر می‌شوند که این مسئله اندازه و پراکنش ریسک را تغییر می‌دهد. لازم است سنجش ریسک در بازه‌های زمانی مشخص بسته به نوع مخاطره و اهمیت دارایی تکرار شود.

عوامل فرهنگی و انسانی: ریسک سوانح تنها منشأ طبیعی ندارد و فعالیت‌های انسانی و ساختار فرهنگی منطقه مورد مطالعه بر آن تأثیر می‌گذارد. لازم است این عوامل در سنجش یا کالیبراسیون نتایج دخالت داده شوند؛

## ۱-۴- چارچوب

### ۱-۴-۱- مقدمه

هر برنامه مدیریت ریسک در یک مجموعه دارای ماهیت، راهبردها و اهداف مربوط به خود است. بر اساس این مشخصه ها اهداف مورد نظر برای مطالعات تحلیل ریسک در یک مجموعه تعیین می‌شود. چارچوب تعریف شده برای مطالعات تحلیل ریسک باعث می‌شود هر یک از اجزای مطالعه به نحو مؤثری در رسیدن به اهداف پروژه کمک کند. چارچوب تعریف شده برای مطالعات باید در موارد زیر اطمینان کافی ایجاد کند:

- کلیه اجزای لازم در مطالعه تحلیل ریسک منظور شده‌اند؛
- این اجزا دارای هماهنگی و یکپارچگی لازم هستند؛
- این اجزا دارای مقیاس مشابه و همخوان با یکدیگر و همچنین متناسب با اهداف مطالعه هستند؛
- مراجع و مبانی مطالعه برای توسعه اطلاعات و داده‌ها در هر جزء با سایر اجزا دارای تطابق لازم است؛
- جهت‌گیری مطالعات به سمت بروندادهای مورد نظر است.

### ۱-۴-۲- رهبری و تعهد

مدیریت ارشد طرح و سازمان‌های ناظر باید تا حد ممکن اطمینان حاصل نمایند که نتایج سنجش ریسک در کلیه مؤلفه‌های مرتبط طرح به کار گرفته شده و تصمیمات لازم با علم به نتایج ارزیابی ریسک سوانح مؤثر در طرح اخذ می گردد. مدیریت پروژه باید در موارد زیر متعهد باشد:

- اطلاع یافتن از وضعیت موجود و آسیب‌پذیری دارایی‌های در معرض خطر در طرح؛
- مطابقت دادن روش سنجش ریسک با مقتضیات و الزامات طرح بر اساس اهمیت دارایی‌ها و شدت رخداد رویدادهای خطرآفرین؛
- تخصیص منابع مورد نیاز برای انجام صحیح فرآیند سنجش ریسک؛
- الزام ذی‌نفعان و دست اندرکاران طرح در استفاده از نتایج سنجش ریسک سوانح و نظارت بر آنها.

omoorepeyman.ir

### ۱-۴-۳- یکپارچگی

مطالعات تحلیل ریسک یک پروژه دارای مؤلفه‌های معرفی شده در بند ۱-۵-۱ است. هر یک از این مؤلفه‌ها در قالبی مشخص و مجزا و معمولاً بر اساس ضوابط و معیارهایی مستقل از سایر مؤلفه‌ها تدوین می‌شوند. از این رو لازم است برنامه ریزی انجام مطالعات در چارچوب تعریف شده به نحوی باشد که اطمینان کافی از هماهنگی و یکپارچگی مطالعات ایجاد نماید. این برنامه‌ریزی باید منتج به این امر گردد که مقیاس مطالعات در هر مؤلفه با سایر مؤلفه‌ها متناسب بوده و خروجی مورد نظر از هر مؤلفه برای مؤلفه بعدی قابل استفاده باشد. همچنین همانگونه که در بند ۱-۴-۱ ذکر شد لازم است مجموعه فرایند تعریف شده در چارچوب پروژه با کمترین هزینه به اهداف مورد نظر در مطالعات تحلیل ریسک و بروندادهای مورد نظر در آن بینجامد.

مطالعات تحلیل ریسک همزمان با به کارگیری مراجع معتبر مورد اشاره در این راهنما انجام می‌شود. با این حال در طی انجام مطالعات هر مؤلفه باید توجه نمود ضوابط موجود در زمان‌های متفاوت و با دیدگاه‌های متفاوت تدوین شده‌اند. بر این اساس باید بررسی و توجه کافی بر هماهنگ‌سازی اصول و مبانی مورد استفاده در این زمینه نیز به صورت مضاعف مورد توجه باشد.

مطالعات تحلیل ریسک همچنین باید به نحوی صورت پذیرد تا نتایج حاصل با کارکردهای سازمان‌های استفاده کننده از این نتایج هماهنگ بوده و یا به طور طبیعی باعث ارتقای این کارکردها شود.

### ۱-۴-۴- طراحی

#### ۱-۴-۴-۱- شناخت اهمیت ریسک سوانح

پیش از تعیین روش مناسب برای سنجش ریسک سوانح در طرح، لازم است تحلیل‌گر ریسک درک صحیحی درباره موارد زیر به دست آورد:

- میزان ارزش دارایی‌های موجود در طرح؛
- انواع مخاطرات موجود در منطقه مورد بررسی؛
- فراوانی و شدت مخاطرات شناسایی شده در منطقه؛
- دارایی‌های دچار مخاطرات شناسایی شده در طرح؛
- شرایط آسیب‌پذیری دارایی دچار هر مخاطره.

### ۱-۴-۵- پیاده سازی

مدیران ارشد طرح باید نسبت به انجام اقدامات زیر با تعهد لازم عمل نمایند:

- برنامه‌ریزی برای انجام فرآیند سنجش ریسک سوانح
- تخصیص منابع انسانی و مشاور متخصص و منابع مالی لازم،

omoorepeyman.ir

- تشخیص سایر مراحل و بخش‌های طرح که باید از نتایج سنجش ریسک در تصمیم‌گیری استفاده نمایند،
- شناسایی کاستی‌های موجود در زمینه اطلاعات ریسک و اقدام در جهت تأمین آنها
- نظارت بر استفاده از نتایج سنجش ریسک در بخش‌های مرتبط طرح
- برنامه‌ریزی برای به روزرسانی مطالعات در دوره‌های زمانی مشخص متناسب با شرایط پروژه

### ۱-۴-۶- نظارت و بازنگری

فرآیند تحلیل ریسک باید به منظور حصول اطمینان از معتبر بودن فرضیات اتخاذ شده در مورد شناسایی ریسک‌ها، صحت فرضیات انجام گرفته در مرحله سنجش ریسک‌ها، همسو بودن نتایج ارزیابی ریسک با تجربیات واقعی و پیاده‌سازی صحیح روش‌های سنجش ریسک به صورت دوره‌ای مورد نظارت و بازنگری قرار گیرد.

## ۱- ۵- فرآیند

### ۱-۵-۱- کلیات

سنجش ریسک سوانح طبیعی، از طریق سنجش مؤلفه‌های مؤثر بر ریسک و ترکیب آنها با یکدیگر انجام می‌شود. بر این اساس چارچوب مطالعه تحلیل ریسک در این راهنما شامل ۴ مؤلفه اصلی مندرج در زیر است:

۱- سنجش خطر؛

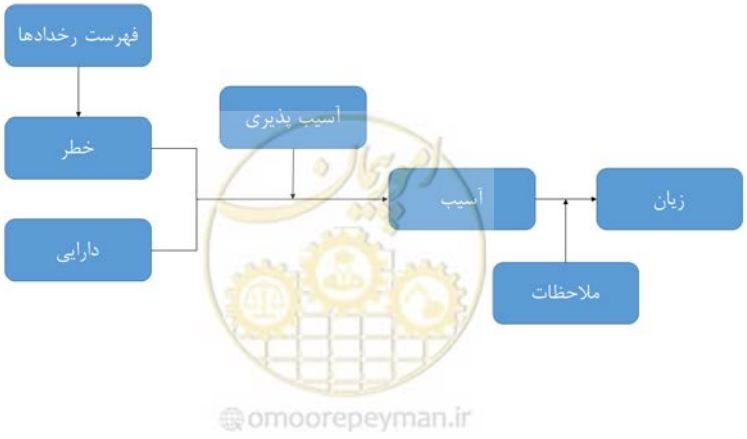
۲- سنجش دارایی‌های در معرض خطر؛

۳- سنجش آسیب‌پذیری: مستقیم، غیرمستقیم؛

۴- سنجش آسیب/زیان: آسیب مستقیم مالی و جانی غیر مستقیم یا هزینه‌های موقت دوره بحران؛

۵- ارزیابی آسیب/زیان: طبقه‌بندی و اولویت‌دهی به ریسک.

این مؤلفه‌ها باید به صورت کیفی یا کمّی - بر اساس نیازمندی‌های طرح - و ترکیب آنها بر اساس فرآیند نشان داده شده در شکل (۱-۱) در نظر گرفته شوند.




omoorepeyman.ir

**شکل ۱-۱: فرایند مطالعات تحلیل ریسک سوانح طبیعی**

تحلیل‌گر باید نسبت به شناخت مشخصات پروژه و تهیه یا تولید اطلاعات لازم در هر زمینه مبتنی بر ضوابط این راهنما و سایر ضوابط معتبر ملی اقدام نماید. در بسیاری از موارد این مؤلفه‌ها دارای اثرات متقابل بر یکدیگر هستند.

میزان پیچیدگی و دقت هر یک از این مؤلفه‌ها در مطالعه باید بر اساس اهداف مطالعه، مقیاس مطالعه و کاربرد آن مشخص گردد. در بسیاری از این موارد با توجه به در دسترس بودن حجم داده متفاوت در هر یک از مؤلفه‌ها، لازم است تحلیلگر نسبت به انتخاب سطح دقت متفاوت و تنظیم این عامل بین مؤلفه‌های مختلف مطالعه تصمیم‌گیری نماید. برای این کار ممکن است از مدل‌های ساده و سیاهه‌ای محدود یا مدل‌های دقیق و سیاهه گسترده در مؤلفه‌ها استفاده شود.

در مواردی مانند محدود بودن منابع (زمان، بودجه یا داده) یا نیاز به سؤالاتی مشخص، انجام مطالعه‌ای در سطح محدود با حذف بخشی از هر مؤلفه توصیه می‌شود.

در بخش‌های بعدی این فصل از راهنما روش‌شناسی مطالعات هر یک از مؤلفه‌های معرفی شده، چارچوب انجام مطالعات و ملاحظات لازم در هر بخش ارائه شده است. همچنین رویکردهای مختلف سنجش مؤلفه‌های ریسک و سپس ترکیب آنها با یکدیگر به منظور ارزیابی ریسک دارایی‌های طرح در برابر مخاطرات طبیعی ارائه می‌شود. سنجش ریسک ناشی از مخاطرات مختلف از چارچوبی مشابه پیروی می‌کند.

### ۱-۵-۲- روش‌های سنجش ریسک

تحلیل ریسک به روش‌های مختلفی که متأثر از اهمیت ریسک در پروژه، در دسترس بودن اطلاعات ورودی برای سنجش ریسک و در دسترس بودن توانمندی علمی-مهندسی هستند قابل انجام است. در صورتی که روش استفاده شده برای تحلیل ریسک، میزان خسارات محتمل یا ریسک پروژه را در قالب صفات کیفی توصیف کند، روش سنجش کیفی و در صورتی که ریسک در قالب کمیت مربوط به زیان مالی محتمل بیان شود، روش سنجش کمّی نامیده می‌شود. علاوه بر این تقسیم‌بندی، روش‌های سنجش ریسک را می‌توان در گروه‌های زیر نیز دسته‌بندی کرد:

۱- روش‌های مبتنی بر نظر کارشناسی: این روش‌ها معمولاً در مواقعی استفاده می‌شوند که اطلاعات مورد نیاز در دسترس نباشد یا اطلاعات در دسترس دارای محدودیت باشد؛

۲- روش‌های آماری: در صورت وجود داده‌های مربوط به زیان در سوانح گذشته می‌توان ریسک را بر اساس پارامترهای آماری مانند میانگین و انحراف معیار سنجید؛

۳- روش‌های متکی بر داده‌های مکانی: این روش‌ها به فراخور وجود و کیفیت داده‌های مکانی، دارای درجات مختلف پیچیدگی هستند و برای نمایش مکانی ریسک (یا مؤلفه‌های آن) و تولید نقشه کاربرد دارند؛

۴- روش‌های متکی بر مدل‌سازی ریسک: در صورت وجود و در دسترس بودن مدل‌های معتبر ریسک سوانح برای یک منطقه، می‌توان از این مدل‌ها (با یا بدون انجام اصلاحات) برای سنجش ریسک استفاده کرد.

omoorepeyman.ir

### ۱-۵-۳- سنجش خطر

سنجش خطر شامل فرآیندی است که شناسایی مخاطرات موجود در محل مطالعه، تعیین شاخص شدت و توزیع مکانی خطر (تعیین احتمال و شدت شاخص خطر و تخمین محدوده جغرافیایی تحت تأثیر) را در بر می‌گیرد. در این بخش اطلاعات کلی در مورد نحوه انجام تحلیل خطر ارائه می‌گردد. اطلاعات ارائه شده در این بخش اختصاص به مخاطره خاصی نداشته و برای کلیه مخاطرات قابل استفاده است.

#### ۱-۵-۳-۱- شناسایی مخاطره[1]

در اولین گام از مطالعات تحلیل خطر لازم است تحلیل‌گر نسبت به جمع‌آوری اطلاعات اولیه با هدف شناخت مخاطرات طبیعی محتمل یا مخاطرات اصلی در ساختگاه در دست مطالعه، اقدام نماید. شناسایی مخاطرات اصلی[2] از روش‌های گوناگونی از قبیل بررسی تاریخچه و کاتالوگ سوانح رخ داده در مصاحبه با افراد محلی؛ استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی خطر بین‌المللی، ملی، استانی یا محلی؛ گزارش‌های سازمان‌ها و دستگاه‌های اجرایی از جمله نهادهای مرتبط با موضوع پروژه و یا مراجعه به اسناد پروژه‌های گذشته قابل انجام است. در بررسی اطلاعات گذشته باید اطلاعات در مورد موقعیت رخداد، تاریخ رخداد، شدت رخداد، میزان آسیب، مقدار زیان مالی و جانی به بار آمده مورد توجه قرار گیرد. استفاده از ابزارهای ارزیابی مانند ماتریس شدت-احتمال[3] مفید است. تحلیل‌گر اهمیت مخاطرات موجود در محل را از طریق بررسی تواتر و شدت آنها تعیین می‌کند.

ایجاد یک بانک اطلاعاتی یا کاتالوگ مربوط به هر خطر شامل نوع خطر، زمان رویداد، محل رویداد و توزیع جغرافیایی شدت رویداد، عوامل ایجاد خطر، روند تغییرات شدت رویداد در طول زمان و سایر اطلاعات مورد نیاز برای شناسایی ماهیت کیفی و کمّی هر خطر و استفاده در تحلیل آن لازم است.

#### ۱-۵-۳-۲- انتخاب شاخص خطر

پس از شناسایی مخاطرات اصلی در محدوده مورد مطالعه، لازم است شاخص شدت خطر برای هر یک از مخاطرات مورد نظر تعیین گردد. تعیین شاخص خطر بستگی به نوع داده‌های اندازه‌گیری شده و در دسترس و حساسیت دارایی‌های مورد مطالعه نسبت به آنها دارد. ممکن است یک یا چند شاخص شدت خطر در این مرحله انتخاب شوند. جدول ۱-۲ نمونه هایی از شاخص‌های شدت خطر را برای دو مخاطره سیل و زلزله نشان می‌دهد.

omoorepeyman.ir

[1] Identification of perils
[2] Material perils
[3] Intensity-probability matrix

**جدول ۱-۲: پارامترهای خطر مربوط به مخاطرات محتمل در ایران**

| نوع مخاطره | شاخص شدت خطر |
|---|---|
| زلزله | بیشینه شتاب روی سطح زمین (PGA)، بیشینه سرعت روی سطح زمین (PGV)، بیشینه جابجایی روی سطح زمین (PGD)، بیشینه شتاب طیفی روی سطح زمین (PSA)، مدت زمین لرزه (ثانیه) و غیره |
| سیل | عمق آبگرفتگی (متر)، زمان ماندابی (روز)، سرعت جریان (متر بر ثانیه)، میزان رسوب و غیره. |

### ۱-۵-۳-۳- محاسبه شاخص خطر

محاسبه شاخص خطر شامل فرآیندهای محاسباتی به منظور تعیین احتمال، شدت و توزیع مکانی شاخص خطر در محدوده مورد مطالعه است. به طور کلی سنجش شاخص خطر بسته به اهمیت پروژه، منابع موجود و اطلاعات در دسترس به روش کیفی و کمّی تقسیم‌بندی می‌گردد. تکیه اصلی این راهنما بر استفاده از روش‌های کمّی تحلیل خطر است که در انجام ارزیابی عددی آسیب‌ها و خسارات کاربرد مؤثرتر و بهتری دارد.

سنجش خطر به روش کیفی باید تنها در ارزیابی‌های مربوط به مرحله مقدماتی پروژه که اطلاعات لازم برای انجام محاسبات دقیق‌تر موجود نیست، دارایی کم اهمیت بوده، یا در مواردی که مقصود از تحلیل ریسک انجام غربالگری اقدامات بر اساس اولویت آنها باشد، مدنظر قرار گیرد.

#### ۱-۵-۳-۳-۱- سنجش خطر[1] به روش کیفی

در سنجش خطر به روش کیفی احتمال و شدت رخداد مخاطره مورد نظر به صورت کیفی و با استفاده از عبارت‌های توصیفی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بیان می‌گردد. تحلیل خطر کیفی مخاطرات طبیعی باید به تشخیص تحلیلگر از طریق یک یا ترکیبی از روش‌های زیر انجام شود:

رویکردهای گروهی: در این روش‌های که مبتنی بر آراء جمعی است شدت و احتمال خطر با استفاده از تکنیک‌های استاندارد مانند مصاحبه ساختارمند با متخصصین مطلع یا روش‌های مصاحبه‌ی دوره‌ای مانند روش دلفی به طور کیفی تعیین می شود؛

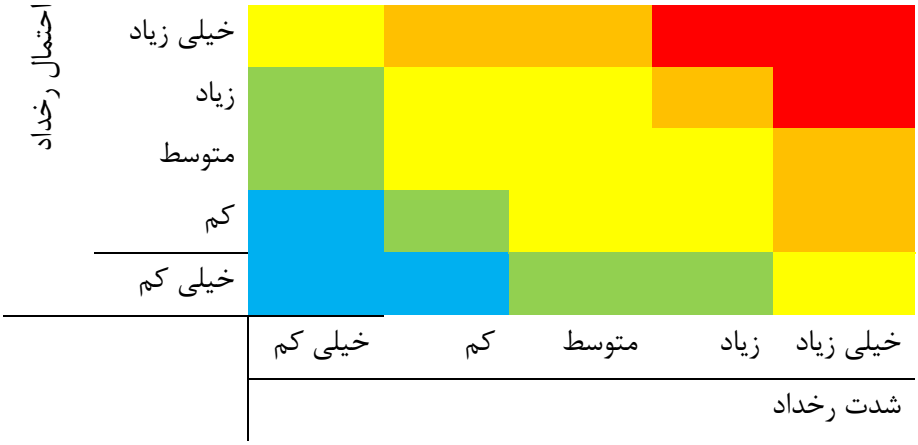
رویکرد مبتنی بر شواهد: در این رویکرد، شدت و احتمال مخاطرات رویداده در گذشته مبنایی برای تعیین ابعاد مخاطره در آینده است. استفاده از فهرست رخدادهای گذشته از جمله تکنیک‌های مربوط به این رویکرد هستند؛

قضاوت کارشناسی[2]: در این روش بر اساس تجربیات گذشته‌ی تحلیلگر مطلع درباره مخاطره مورد نظر یا شناخت وی از تاریخچه‌ی رویدادهای گذشته در محل پروژه، احتمال و شدت کیفی خطر تعیین می‌گردد. از جمله متخصصانی که می توان از نظر کارشناسی آنها در مورد سطح خطر یک منطقه استفاده نمود، می‌توان به کارشناسان بیمه، کارشناسان سازمان ها یا شرکت‌های دولتی، عمومی یا خصوصی مرتبط با سوانح طبیعی و نقشه‌های خطر منتشر شده توسط مراکز تحقیقاتی

[1] Qualitative risk analysis
[2] Expert opinion

omoorepeyman.ir

و علمی داخلی یا بین‌المللی اشاره کرد. همچنین می‌توان از روش‌های مرسوم در سنجش خطر به روش کیفی استفاده نمود. یکی از این روش‌ها، ترسیم ماتریس شدت-احتمال خطر است که در آن محورهای افقی و عمودی به ترتیب شدت وقوع و احتمال وقوع مخاطره را به صورت کیفی نشان می‌دهند (شکل ۱-۲)؛




**شکل ۱-۲: ماتریس شدت-احتمال خطر (سرخ: خطر خیلی زیاد، نارنجی: خطر زیاد، زرد: خطر متوسط، سبز: خطر کم و آبی: خطر خیلی کم)**

- روش‌های آماری[1]: در صورت وجود پایگاه داده مناسب و کافی از رخدادهای خطرزای گذشته، تحلیلگر ریسک قادر خواهد بود با استفاده از روش‌های آماری برآوردی از احتمال وقوع مخاطره و شدت آن به دست آورد. برای استفاده از این روش وجود سامانه‌ی ثبت اطلاعات قابل اطمینان (پیوسته و دقیق) در محل پروژه ضروری است؛
- تحلیل‌های سیستمی: در هنگامی که دارایی در معرض خطر شامل سیستم‌های پیچیده با اجزای زیاد است (مانند تأسیسات صنعتی) می‌توان برای شناخت و تحلیل کیفی شدت و احتمال مخاطرات ممکن در آینده از چک‌لیست ها، روش‌های تحلیل سیستمی مانند هزاپ[2]، تحلیل علل ریشه‌ای[3]، درخت خطا[4] و نظیر آنها بهره برد؛
- بازرسی محل[5]: در این روش تحلیلگر ریسک بر اساس آثار رویداد مخاطرات گذشته مانند داغ آب سیل بر عوارض محلی یا زمین لغزش‌های تاریخی، اطلاعاتی در مورد پارامتر خطر به دست می‌آورد. این روش در هنگامی که روش‌های دیگر قابل استفاده نباشند یا در کنار روش‌های دیگر کاربرد دارد.

**۱-۵-۳-۳-۲- سنجش خطر[6] به روش کمّی**

در سنجش (تحلیل) خطر به روش کمّی، از شاخص‌های عددی برای تعریف پارامترهای مختلف مؤثر بر شدت خطر استفاده می‌شود. این نوع تحلیل لازم است در پروژه‌های پراهمیت -که مقادیر دقیق ریسک مبتنی بر شاخص‌های کمّی

[1] Event log
[2] HAZOP
[3] Root Cause Analysis
[4] Fault Tree
[5] Site inspection
[6] Quantitative risk analysis

omoorepeyman.ir

برای تصمیم‌گیری مورد نیاز باشد- مورد استفاده قرار گیرد. تحلیل خطر کمّی خود به دو گروه تحلیل خطر تعینی[1] و تحلیل خطر احتمالاتی[2] تقسیم می‌شود.

**۱- تحلیل خطر تعینی**

در تحلیل خطر تعینی فرض می‌گردد که یک مخاطره در مکان مشخص و با شدت مشخص رخ می‌دهد و سپس بر اساس این فرض و استفاده از روش‌های مهندسی، پارامتر خطر در محل پروژه یا در شبکه‌ای از نقاط از پیش تعریف شده محاسبه می‌گردد. بنابراین تعریف یک یا چند سناریوی رخداد یک مخاطره در مکان مشخص و با بزرگی مشخص یکی از مراحل لازم در این نوع تحلیل خطر است. این سناریوها معمولاً برای توصیف بدبینانه‌ترین یا محتمل‌ترین رخداد مخاطره‌آمیز تعریف می‌شوند. از این نوع تحلیل خطر بیشتر برای برآوردهای مربوط به هشدار زودهنگام سانحه، مدیریت واکنش اضطراری یا برنامه‌ریزی برای بازتوانی و بازسازی پس از رخداد سانحه یا تحلیل ریسک مجموعه‌های با گستردگی جغرافیایی مانند شریان‌های حیاتی استفاده می‌گردد. مراحل تحلیل خطر تعینی زلزله و سیل در فصول بعدی این راهنما ارائه می‌شود.

**۲- تحلیل خطر احتمالاتی**

در روش احتمالاتی، احتمال وقوع و بزرگای کلیه عوامل مولد مخاطره و مؤثر بر پارامتر خطر در محل ساختگاه مانند گسیختگی گسل‌های منطقه یا وقوع بارش بر اساس اطلاعات ثبت شده در گذشته یا مدل‌های ریاضی در تعیین پارامتر خطر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نوع تحلیل معمولاً در طرح‌های هادی، جامع و تفصیلی روستایی و شهری، مطالعات کاهش ریسک مخاطرات طبیعی، احداث پروژه‌ها با دوره بهره‌برداری طولانی و تعیین نرخ بیمه سوانح مورد استفاده قرار می‌گیرد. خروجی تحلیل خطر احتمالاتی معمولاً به صورت نقشه خطر[3] با دوره‌های بازگشت مختلف و منحنی احتمال فراگذشت خطر[4] تولید می‌گردد. مراحل لازم برای انجام تحلیل خطر احتمالاتی زلزله و سیل در فصول بعدی این راهنما ارائه می‌شود.

**۱-۵-۳-۴- اثرات عدم قطعیت عوامل مؤثر در تحلیل خطر**

شناخت عوامل ایجاد عدم قطعیت در فرایند برآورد شدت خطر ضروری است. علاوه بر آن در روند تحلیل خطر ممکن است روش‌های متفاوتی برای تعیین پارامترهای لازم برای تحلیل وجود داشته باشد که در نظر گرفتن هر کدام از این روش ها در انتهای تحلیل به نتیجه متفاوتی منجر می‌گردد و باعث ایجاد عدم قطعیت در نتایج می‌گردد. در چنین مواردی لازم است تحلیلگر با شناخت منابع ایجاد عدم قطعیت با در نظر گرفتن توابع توزیع احتمال مناسب، اثرات عدم قطعیت در هر یک از عوامل را در فرایند تحلیل و نتایج نهایی منظور نماید. همچنین تحلیل‌گر باید با استفاده از روش‌های مناسب (مانند درخت منطق) مسئله عدم قطعیت روش تحلیل را مورد بررسی قرار داده و گستره نتایج ممکن را که به دلیل استفاده از

[1] Deterministic
[2] Probabilistic
[3] Hazard map
[4] Probability exceedance curve

omoorepeyman.ir

روش‌های مختلف و فرضیات متفاوت تحلیل به دست آمده، ارائه دهد. این موضوع به خصوص در انجام تحلیل خطر احتمالاتی دارای اهمیت زیاد است و پیامدهای آن باید در نتایج نهایی تحلیل خطر منعکس گردد.

**۱-۵-۳-۵- راستی‌آزمایی**

تحلیل‌گر باید صحت و اعتبار هر یک از پارامترهای استخراج شده در روند تحلیل خطر و همچنین نتایج نهایی تحلیل خطر را با روشی متقن و متعارف آزموده و آن را در گزارش ارائه نماید. بر این اساس پس از انجام تحلیل خطر، نتایج به دست آمده باید با استفاده از اندازه‌گیری‌های محلی مناسب یا مقایسه با نتایج مطالعات معتبر قبلی مورد صحت‌سنجی قرار گیرد. همانگونه که ذکر شد این راستی‌آزمایی و اعتبارسنجی باید در صورت امکان در کلیه مراحل انجام تحلیل خطر انجام پذیرد.

**۱-۵-۴- شناسایی دارایی در معرض خطر**

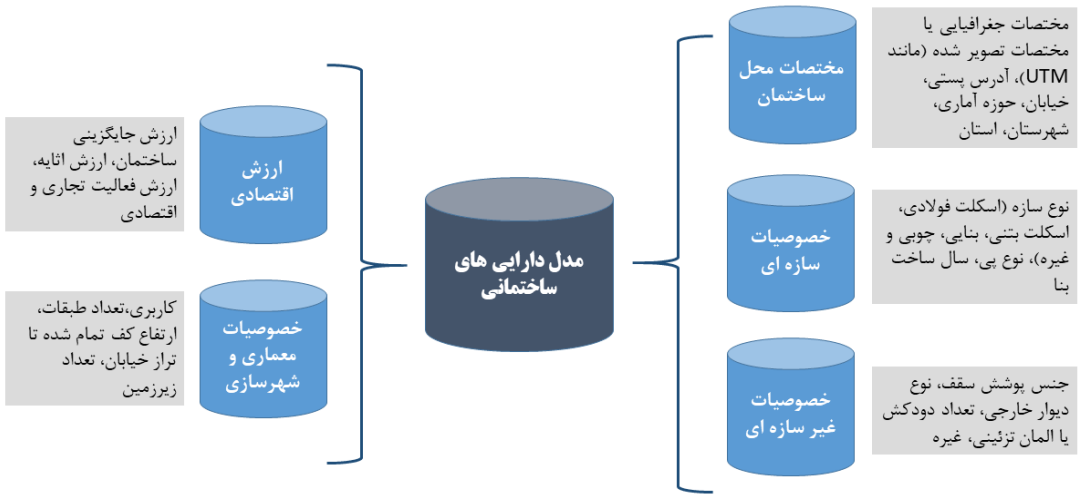
دارایی‌های در معرض خطر شامل کلیه ابنیه، تأسیسات، تجهیزات و اثاثیه هستند که در معرض مخاطرات قرار داشته و احتمال دارد در صورت رخداد مخاطره دچار آسیب کالبدی و عملکردی شوند. مؤلفه‌ی دارایی در معرض خطر بسته به هدف مطالعه تعریف متفاوتی دارند. در صورتی که تحلیل ریسک با هدف محاسبه آسیب و زیان محتمل یا محاسبات نرخ بیمه برای یک سازه یا تأسیسات مشخص انجام شود، مؤلفه‌ی دارایی تنها شامل این مجموعه خواهد بود. در حالی که اگر هدف از مطالعه انجام محاسبات مربوط برای مجموعه‌ای از تأسیسات و ابنیه در گستره‌ی جغرافیایی قابل توجه مانند یک محله، منطقه یا یک شهر باشد، دارایی‌های در معرض خطر شامل مجموعه‌ای از ساختمان‌ها و تأسیسات در گونه‌های مختلف بوده و مشخصات مؤثر در مطالعه با تنوع بیشتری در سیاهه مربوط به دارایی‌ها مورد نیاز خواهد بود.

در صورتی که موضوع مطالعه شامل بررسی یک منطقه است مؤلفه‌ی دارایی وضعیت ابنیه و اجزای فیزیکی و مشخصات جمعیتی محدوده در دست مطالعه را شرح می‌دهد. در این مؤلفه باید با استفاده از سیستم‌های استاندارد گونه‌شناسی نسبت به گروه‌بندی هر یک از اجزای در دست مطالعه مانند ساختمان‌های متعارف، تأسیسات ضروری و حساس، اجزای سیستم حمل و نقل و اجزای سیستم‌های خدمت‌رسانی مانند آب برق گاز و مخابرات اقدام نمود. این گروه‌بندی بر اساس ویژگی‌های مؤلفه قبلی و بعدی فرایند مطالعه یعنی مؤلفه‌های سنجش خطر و آسیب‌پذیری و همچنین اطلاعات و مشخصات در دسترس از آنها انجام می‌پذیرد. در ایجاد سیاهه دارایی می‌توان از بانک‌های داده موجود استفاده نمود؛ اما اصلاح و به روزرسانی آنها بر اساس بررسی‌های میدانی و نمونه‌های تعریف شده به این منظور ضروری است.

به مجموعه گونه‌شناسی بخش‌های مختلف دارایی و مشخصات آنها در این راهنما مدل دارایی اطلاق می‌گردد. مدل دارایی ارتباط بین بخش‌های کالبدی و عملکردی دارایی را به کمک مشخصات تعریف شده برای هر یک از بخش‌ها و گونه‌ها به مؤلفه‌های خطر و آسیب‌پذیری در مطالعه تحلیل ریسک برقرار می‌سازد.

omoorepeyman.ir

همانطور که در شکل (۱-۳) نشان داده شده است، یک مدل ایده‌آل دارایی ساختمان بطور نمونه حاوی مشخصات زیر است:




**شکل ۱-۳: شماتیک مدل دارایی**

۱) محل دارایی: محل دارایی بسته به اطلاعات در دسترس و دقت سنجش ریسک با ریزنمایی‌های مختلفی از قبیل مختصات جغرافیایی، مختصات محلی، آدرس پستی، کد پستی، محله، ناحیه، منطقه، شهر، شهرستان و استان تعیین می‌شود.

۲) خصوصیات سازه‌ای: نوع سازه (مانند اسکلت فولادی، بتن مسلح، بنایی، چوبی، سبک و غیره)، سال ساخت و تعداد طبقات خصوصیاتی از دارایی هستند که میزان آسیب‌پذیری سازه را در برابر مخاطره مورد مطالعه آشکار می‌کنند؛

۳) خصوصیات غیرسازه‌ای: نوع مصالح دیوارهای خارجی، نوع مصالح سقف، وجود دودکش، سازه‌های الحاقی و غیره میزان آسیب‌پذیری اجزاء غیرسازه‌ای را در برابر مخاطره مورد مطالعه مشخص می‌کنند؛

۴) خصوصیات معماری و شهرسازی: کاربری، تعداد طبقات، تراز کف طبقه اول و غیره از جمله خصوصیاتی هستند که بر میزان آسیب‌پذیری دارایی تأثیر می‌گذارند؛

۵) ارزش: بر اساس تعریف ارائه شده برای گستره این راهنما، برای برآورد ارزش اقتصادی دارایی ابنیه، تأسیسات، تجهیزات و اثاثیه داخل آن منظور می گردد. با این حال تحلیلگر می‌تواند با در نظر گرفتن تمهیدات لازم میزان درآمد کسب و کار داخل ساختمان (روزانه یا ماهانه) را نیز در تعیین زیان ناشی از رخداد مخاطره در نظر بگیرد.

۶) از آنجا که اغلب جمع آوری کلیه اطلاعات و مشخصات مربوط به دارایی به دلیل عدم وجود پایگاه‌های داده شهری قابل اعتماد به طور کامل ممکن نیست، در عمل تنها بخشی از اطلاعات فوق در روند سنجش ریسک استفاده می شود. بدیهی است هر چه جزئیات مدل دارایی دقیق‌تر، تعداد اطلاعات توصیفی[1] بیشتر و درصد خطا کمتر باشد،

[1] Attribute

omoorepeyman.ir

کیفیت خروجی سنجش ریسک بالاتر و قابل اتکاتر خواهد بود. در این زمینه توجه به ملاحظات مندرج در بندهای ۱-۳ و ۱-۴-۳ این راهنما ضروری است.

### ۱-۵-۵- سنجش آسیب‌پذیری

مؤلفه‌ی آسیب‌پذیری شدت آسیب‌پذیری کالبدی یا عملکردی دارایی را در رویارویی با مخاطرات تعیین می‌کند. آسیب پذیری کالبدی معمولاً به شکل آسیب و تأثیرپذیری عملکردی به شکل تولید یا درآمد از دست‌رفته تعریف می‌شود. بسته به روش سنجش آسیب پذیری، تحلیلگر ریسک در این مرحله باید میزان آسیب‌پذیری دارایی در مواجهه با مقادیر مختلف شدت خطر را از طریق مدل‌سازی رایانه‌ای آسیب‌پذیری دارایی (برای دارایی‌های نقطه‌ای) یا انتخاب مقدار کیفی آسیب پذیری، توابع شکنندگی یا توابع آسیب‌پذیری متناسب با خصوصیات گونه‌ی جزء مورد نظر در دارایی (برای دارایی‌های محلی و منطقه‌ای) تعیین کند. سنجش آسیب‌پذیری در چند مرحله انجام می‌پذیرد. این مراحل در زیربخش‌هایی که در پی می‌آیند توضیح داده شده‌اند. جزئیات فنی در مورد سنجش آسیب‌پذیری بسته به نوع مخاطره به صورت نمونه در برابر زلزله و سیل در فصل‌های دوم و سوم ارائه می‌شود.

#### ۱-۵-۵-۱- گونه‌بندی اجزای دارایی در معرض خطر بر اساس گونه‌شناسی

گونه‌شناسی مرجع در هر مطالعه با هدف تعریف گونه‌های مختلف موجود در یک دارایی بر اساس شرایط آسیب‌پذیری آنها در مواجهه با مخاطره با شدت‌های مختلف، توسط تحلیل‌گر ایجاد می‌شود. این گونه‌شناسی بر اساس معیارهایی مانند خصوصیات شهرسازی، معماری و سازه‌ای تعریف می‌گردد. در این مرحله، تحلیلگر ریسک باید نسبت به گونه‌بندی اجزای دارایی در معرض خطر بر اساس گونه‌شناسی مرجع خود اقدام نماید. اطلاعات لازم برای گونه‌بندی اجزای دارایی باید در مرحله شناسایی دارایی در معرض خطر جمع‌آوری شده باشد. تعداد گونه‌بندی اجزای دارایی باید به نحوی تعیین شود که ۱) تفاوت اجزای دارایی‌ها را از لحاظ تأثیرپذیری از مخاطرات در نظر گیرد و ۲) امکان تعیین آسیب‌پذیری کیفی[۱] یا یافتن توابع شکنندگی و آسیب پذیری[۲] یا توسعه آنها را با توجه به داده‌ها و منابع در دسترس میسر نماید. برای این منظور مرور ادبیات فنی مربوط به مطالعات سنجش ریسک در مورد دارایی‌های مشابه و بهره‌گیری از دانش متخصصان سنجش ریسک در هنگام تعیین گونه‌های آسیب‌پذیری توصیه می‌شود.

#### ۱-۵-۵-۲- تعیین الگوی آسیب‌پذیری گونه‌های موجود در دارایی

پس از گونه‌بندی دارایی‌های در معرض خطر بر اساس میزان آسیب‌پذیری آنها در برابر مخاطره مورد نظر، باید الگوی آسیب‌پذیری هر گونه تعیین شود. بسته به روش انتخابی برای سنجش ریسک، تعیین الگوی آسیب‌پذیری به دو شکل انجام می‌پذیرد:

---

[۱] برای استفاده در سنجش ریسک به روش کیفی

[۲] برای استفاده در سنجش کمی و عددی ریسک

omoorepeyman.ir

- سنجش ریسک به روش کیفی: در هنگامی که از روش کیفی برای سنجش ریسک استفاده می‌شود، لازم است آسیب‌پذیری گونه‌های دارایی با توصیف کیفی (آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد) تعیین شود. در این هنگام تحلیل گر باید با استفاده از روش‌های مبتنی بر قضاوت کارشناسی، روش‌های گروهی، یا بررسی داده‌های آسیب‌های گذشته نسبت به انتخاب درجه کیفی آسیب‌پذیری هر گونه دارایی اقدام نماید.
- سنجش ریسک به روش کمّی: در صورت استفاده از روش کمّی و عددی در سنجش ریسک، تحلیلگر باید از یکی از دو روش زیر استفاده نماید:

- یا از طریق مرور ادبیات فنی مربوط به آسیب‌پذیری دارایی در معرض خطر نسبت به انتخاب توابع شکنندگی و آسیب‌پذیری که در مطالعات معتبر گذشته برای شرایط مشابهی تهیه شده‌اند، استفاده نماید.
- یا در صورت معتبر نبودن یا عدم وجود توابع یاد شده، با استفاده از روش‌های معتبر تحلیل آسیب‌پذیری شامل روش‌های تجربی، تحلیلی یا روش‌های ترکیبی، نسبت به توسعه توابع مورد نیاز اقدام نماید.

**۱-۵-۵-۳- راستی‌آزمایی الگوی آسیب‌پذیری انتخاب شده**

الگوی آسیب‌پذیری انتخاب شده برای گونه‌های دارایی می‌بایست با بهره‌گیری از قضاوت کارشناسی، مقایسه آماری با خسارات گذشته به دارایی‌های مشابه یا مقایسه با مطالعات معتبر مستقل راستی‌آزمایی گردند به نحوی که الگوی انتخابی تا بیشترین حد ممکن بیانگر نحوه آسیب‌پذیری گونه‌های دارایی در شرایط مخاطره‌ای و ساخت و ساز در منطقه پروژه باشد.

**۱-۵-۵-۴- بررسی عدم قطعیت**

مسئله عدم قطعیت در الگوی آسیب‌پذیری انتخاب شده می‌بایست توسط تحلیل‌گر با به کارگیری روش‌های مناسب مورد بررسی قرار گیرد و دامنه تغییرات در حالت‌های ممکن برای آن پیش‌بینی شود.

**۱-۵-۶- سنجش ریسک**

سنجش ریسک شامل ترکیب مؤلفه‌های دارایی، آسیب‌پذیری و خطر و در نهایت سنجش آسیب (خسارت کالبدی) و زیان (خسارت مالی) و زیان غیرمستقیم (خسارت مالی غیرمستقیم) است. مراحل لازم برای سنجش ریسک تعینی و احتمالاتی یا دارایی‌های تکی و گروهی یکسان است. همچنین، همانند رویکرد دنبال شده در بخش سنجش خطر، بسته به نوع تحلیل خطر انتخاب شده و تحلیل آسیب‌پذیری و دارایی، تحلیلگر باید از یکی از روش‌های کمّی، کیفی، یا کمّی-کیفی برای سنجش ریسک استفاده نماید. سنجش ریسک ممکن است با درجات مختلفی از دقت و کیفیت انجام پذیرفته و دربرگیرنده یک یا چند مرحله ساده یا پیچیده باشد. به طور کلی روش‌های سنجش ریسک باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

- مناسب و مرتبط با نیازمندی‌های پروژه مورد نظر باشند؛

omoorepeyman.ir

- نتایج به دست آمده از روش انتخابی موجب افزایش آگاهی از ریسک و آگاه‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری در مورد یک راهکار (اعم از سخت‌افزاری یا نرم‌افزاری) در بهره‌برداران پروژه شود؛
- قابلیت تکرارپذیری داشته باشند یعنی در صورت تکرار فرآیند توسط گروهی دیگری از کارشناسان به نتایج مشابه ختم شوند؛
- متناسب با نوع ریسک‌ها و میزان اهمیت آنها باشند؛
- منابع مالی، زمانی و انسانی لازم برای انجام با کیفیت روش وجود داشته باشد؛
- دارای مناسب‌ترین رویکرد متناسب با میزان دسترسی به اطلاعات و داده‌های مورد نیاز باشند؛
- الزامات سایر آیین‌نامه‌های مرتبط (مانند آیین‌نامه‌های موجود برای تحلیل خطر) را رعایت کند؛

در ادامه، نحوه انجام سنجش ریسک به صورت کیفی، کمّی و کمّی-کیفی تشریح می‌شود.

**۱-۵-۶-۱- سنجش ریسک به روش کیفی**

در مواقعی که هدف سنجش ریسک برآورد عددی مقدار زیان و احتمال آن باشد، می‌توان بر حسب دقت، فوریت، کیفیت داده‌های در دسترس و منابع زمانی، مالی و انسانی موجود، روش‌های مختلفی را مد نظر قرار داد:

**الف) رویکردهای گروهی:**

در این روش‌ها که مبتنی بر آراء جمعی است شدت و احتمال خطر با استفاده از تکنیک‌های استاندارد مانند مصاحبه ساختارمند با متخصصین یا روش‌های مصاحبه‌ی دوره‌ای مانند روش دلفی، به طور کیفی تعیین می‌شود. به همین روال میزان آسیب و خسارات محتمل ناشی از شدت خطر حاصل از این رویکرد به برآوردی از خسارت محتمل یا ریسک پروژه منتج می‌شود.

**ب) رویکرد مبتنی بر شواهد:**

در این رویکرد، شدت و احتمال مخاطرات روی داده در گذشته مبنایی برای تعیین ابعاد مخاطره در آینده است. استفاده از چک لیست‌ها و فهرست رخدادهای گذشته از جمله تکنیک‌های مربوط به این رویکرد است.

**ج) قضاوت کارشناسی:**

در این روش بر اساس تجربیات گذشته‌ی کارشناس مطلع درباره زیان‌های ناشی از مخاطرات شناسایی شده و یا شناخت وی از تاریخچه‌ی رویدادهای گذشته در محل پروژه، احتمال و شدت زیان به صورت کیفی برآورد می‌شود. از جمله متخصصانی که می‌توان از نظر کارشناسی آنها در مورد سطح ریسک یک منطقه استفاده نمود، می‌توان به کارشناسان بیمه، کارشناسان سازمان‌های دولتی و عمومی یا شرکت‌های خصوصی مرتبط با سوانح طبیعی، نقشه‌های ریسک (متوسط سالانه یا متناظر با احتمال مشخص) منتشر شده توسط مراکز تحقیقاتی و علمی داخلی یا بین‌المللی اشاره کرد. همچنین می توان از روش‌های مرسوم در سنجش ریسک مانند ماتریس شدت-احتمال و نظیر آن استفاده کرد.

omoorepeyman.ir

**د) استفاده از روش‌های تحلیلی سیستمی:**

استفاده از این روش‌ها بیشتر برای تحلیل ریسک تأسیسات صنعتی با ساختار پیچیده و اجزاء فراوان کاربرد دارد و می تواند تخمینی کیفی از شدت و احتمال رخداد زیان‌بار ارائه دهد.

**ه) مدل‌سازی کیفی ریسک:**

در مواقعی که کلیه مؤلفه‌های ریسک (خطر، آسیب‌پذیری و دارایی) به صورت کیفی دسته‌بندی شده باشند، لازم است تحلیلگر از روش کیفی برای سنجش ریسک اقدام نماید. در این حالت لازم است آسیب یا زیان وارد به دارایی در معرض خطر، به صورت کیفی تعیین شود. مراحل انجام سنجش ریسک به روش کیفی به شرح زیر است:

۱- تشکیل پایگاه داده مکانی برای دو لایه‌ی خطر و دارایی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS): در این مرحله می بایست پایگاه داده‌ی مقادیر کیفی خطر و ارزش دارایی در محل مختصات هر دارایی در قالب جدول ایجاد شود. سپس لازم است مقادیر کیفی به مقادیر کمی-کیفی معادل بر اساس جدول ۱-۳ تبدیل شود؛

**جدول ۱-۳: تبدیل مقادیر کیفی به مقادیر کمی-کیفی**

| توصیف کیفی | خیلی کم | کم | متوسط | زیاد | خیلی زیاد |
|---|---|---|---|---|---|
| معادل کمی-کیفی | ۰/۱ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۹ |

۲- تخصیص آسیب‌پذیری به دارایی‌های مکانی: در این مرحله لازم است میزان کمّی-کیفی آسیب‌پذیری بسته به خصوصیات مؤثر در آسیب‌پذیری دارایی مانند سال ساخت، نوع مصالح، کاربری و غیره به هر یک از دارایی‌های توزیع شده نسبت داده شود. در صورت یکسان بودن ماهیت دارایی‌های در معرض خطر، می‌توان از یک میزان آسیب‌پذیری کیفی برای آنها استفاده نمود. در گام بعد، تحلیلگر باید معادل عددی آسیب‌پذیری را به روشی که در این مرحله ارائه شد به لایه‌ی دارایی‌ها اضافه نماید؛

۳- محاسبه ریسک (آسیب): در این مرحله لازم است تحلیلگر ریسک با استفاده از تحلیل برهم‌نهی مکانی مقدار ریسک را از حاصل‌ضرب جبری مقادیر کمّی شده‌ی هر یک از سه مؤلفه خطر، دارایی و آسیب‌پذیری برای هر دارایی، محاسبه کند؛

۴- ارائه نتایج ریسک: در این مرحله لازم است تحلیلگر پس از انجام دسته‌بندی مناسب برای مقادیر محاسبه شده ریسک، نقشه ریسک دارایی‌ها را تولید کند. به منظور درک بهتر از تحلیل کیفی، می‌توان نتایج ریسک را به بزرگ‌ترین مقدار موجود نرمال‌سازی کرد.

**۱-۵-۶-۲- سنجش ریسک به روش کمّی-کیفی**

این روش که ذیل روش‌های سنجش ریسک به روش کیفی نیز قابل دسته‌بندی است در مواقعی به کار می‌رود که برخی مؤلفه‌های ریسک (خطر، آسیب‌پذیری و دارایی) به صورت کمّی و برخی دیگر به صورت کیفی آماده شده باشند. در این

omoorepeyman.ir

شرایط، لازم است تحلیلگر از روش کمّی-کیفی برای سنجش ریسک استفاده نماید. در این حالت تنها لازم است آسیب وارد به دارایی در معرض خطر، به صورت کیفی تعیین شده و از سنجش زیان صرف نظر شود. مراحل انجام سنجش کمّی-کیفی ریسک به شرح زیر است:

۱- تبدیل مقادیر مؤلفه‌های عددی به معادل کمّی-کیفی: در این مرحله تحلیلگر می‌بایست با استفاده از رابطه ۱-۱ نسبت به نرمال‌سازی مؤلفه‌های عددی اقدام نموده و بازه‌ی تغییر مقادیر را به بازه صفر تا یک محدود سازد؛

$$x_{normalised} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$ (رابطه ۱-۱)

۲- تبدیل مقادیر مؤلفه‌های کیفی به معادل کمّی-کیفی: در این مرحله تحلیلگر می‌بایست با استفاده از جدول ۱-۳ نسبت به کمّی‌سازی مؤلفه‌های کیفی اقدام نماید؛

۳- تخصیص آسیب‌پذیری به دارایی‌های مکانی: در این مرحله لازم است میزان کمّی-کیفی آسیب‌پذیری بسته به خصوصیات مؤثر در آسیب‌پذیری دارایی مانند سال ساخت، نوع مصالح، کاربری و غیره به هر یک از دارایی‌ها نسبت داده شود. سپس تحلیلگر می‌بایست معاد ل عددی آسیب‌پذیری را به لایه دارایی‌ها اضافه کند؛

۴- محاسبه ریسک (آسیب): در این مرحله لازم است تحلیلگر ریسک با استفاده از تحلیل برهم‌نهی مکانی، مقدار ریسک را از حاصل‌ضرب جبری مقادیر کمّی شده‌ی هر یک از سه مؤلفه خطر، دارایی و آسیب‌پذیری برای هر دارایی محاسبه کند؛

۵- ارائه نتایج ریسک: در این مرحله لازم است تحلیلگر پس از انجام دسته‌بندی مناسب برای مقادیر محاسبه شده ریسک، نقشه ریسک دارایی‌ها را تولید نماید.

### ۱-۵-۶-۳- سنجش ریسک به روش کمّی

در مواقعی که کلیه مؤلفه‌های ریسک (خطر، آسیب‌پذیری و دارایی) به صورت کمّی در دسترس باشند، لازم است تحلیلگر از روش کمّی برای سنجش ریسک استفاده نماید. در این حالت می‌توان بسته به دقت و فوریت مورد نیاز و همچنین کیفیت داده‌های در دسترس و منابع زمانی، مالی و انسانی موجود روش‌های مختلفی را مد نظر قرار داد:

**الف) روش‌های آماری:**

در صورت در دسترس بودن آمار ساختارمند از رخدادهای زیان‌بار گذشته مانند میزان آسیب، زیان، تاریخ رخداد و دارایی خسارت دیده می‌توان با استفاده از روش‌های آماری نسبت به برونیابی زیان و احتمال وقوع آن اقدام نمود. استفاده از این رویکرد در صورت عدم دسترسی به پایگاه داده با کیفیت از زیان‌های گذشته ممکن است منجر به تخمین نادرست از شدت و احتمال زیان در آینده شود.

**ب) روش مدل‌سازی احتمالاتی:**

در این روش زیان‌های محاسبه شده برای تعداد بسیار زیادی از رخدادهای شبیه‌سازی شده مورد تحلیل آماری قرار گرفته و نتایج ریسک به صورت پارامترهای مختلف مانند میانگین زیان سالانه و یا نمودارهای فراگذشت احتمال زیان تولید

omoorepeyman.ir

می‌شوند. استفاده از این روش نیازمند استفاده از منابع انسانی متخصص و صرف هزینه مالی و زمان بیشتر نسبت به سایر روش‌ها است. این روش در تحلیل ریسک دارایی‌های پرارزش با هدف تصمیم‌سازی برای روش‌های مدیریت ریسک مانند کاهش ریسک (مقاوم سازی کالبدی و غیرکالبدی، تجهیز مراکز مدیریت بحران و غیره)، انتقال ریسک (بیمه) و پرهیز از ریسک (مانند کاربری زمین شهری و روستایی) بیشترین کاربرد را دارد. مراحل مختلف مدل‌سازی احتمالاتی ریسک به شرح زیر است:

۱- تشکیل پایگاه داده مکانی برای دو لایه‌ی خطر و دارایی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی[1]: در این مرحله می‌بایست پایگاه داده‌ی مقادیر عددی خطر و ارزش دارایی در محل مختصات هر دارایی در قالب جدول ایجاد شود؛

۲- انتخاب تابع آسیب‌پذیری مناسب برای گونه‌های مختلف دارایی در معرض خطر؛

۳-محاسبه ریسک کالبدی (آسیب): در این مرحله، لازم است از طریق استفاده از نرم‌افزارهای تجاری معتبر سنجش ریسک یا با استفاده از برنامه‌نویسی نسبت به محاسبه آسیب اقدام نمود. در صورت استفاده از روش برنامه‌نویسی لازم است، درصد آسیب در هر دارایی با استفاده از مقدار خطر در محل دارایی و منحنی آسیب‌پذیری مربوط به گونه دارایی محاسبه شود. در صورت نیاز به درنظرگیری عدم قطعیت ثانویه در منحنی‌های آسیب‌پذیری، قابلیت انتخاب تصادفی درصد آسیب برای هر سطح از خطر پیش‌بینی شود؛

۴- محاسبه ریسک مالی (زیان): در این مرحله لازم است تحلیلگر نسبت به اعمال شرط آسیب کامل به درصدهای محاسبه شده در مرحله قبل اقدام نماید. حد آسیب کامل[2] می‌بایست از طریق قضاوت کارشناسی تعیین گردد. به منظور محاسبه زیان، لازم است درصدهای آسیب که حد آسیب کامل در آنها اعمال شده است در ارزش اقتصادی دارایی مورد بررسی ضرب جبری شوند؛

۵- محاسبه ریسک مالی غیرمستقیم (زیان غیر مستقیم): در صورت نیاز، به منظور سنجش زیان مالی غیرمستقیم تحلیلگر می‌بایست با استفاده از روش‌های مناسب اقتصادی (روش داده-ستانده[3] یا روش‌های نظیر آن) نسبت به محاسبه زیان در سایر بخش‌های اقتصادی که به طور مستقیم آسیب ندیده‌اند اقدام نماید. تحلیلگر لازم است برای به دست آوردن اطلاعات دقیق‌تر نحوه محاسبه زیان غیرمستقیم ناشی از سوانح به مراجع فنی معتبر مانند راهنمای تحلیل ریسک زلزله و سیلاب هازوس[4] مراجعه نماید؛

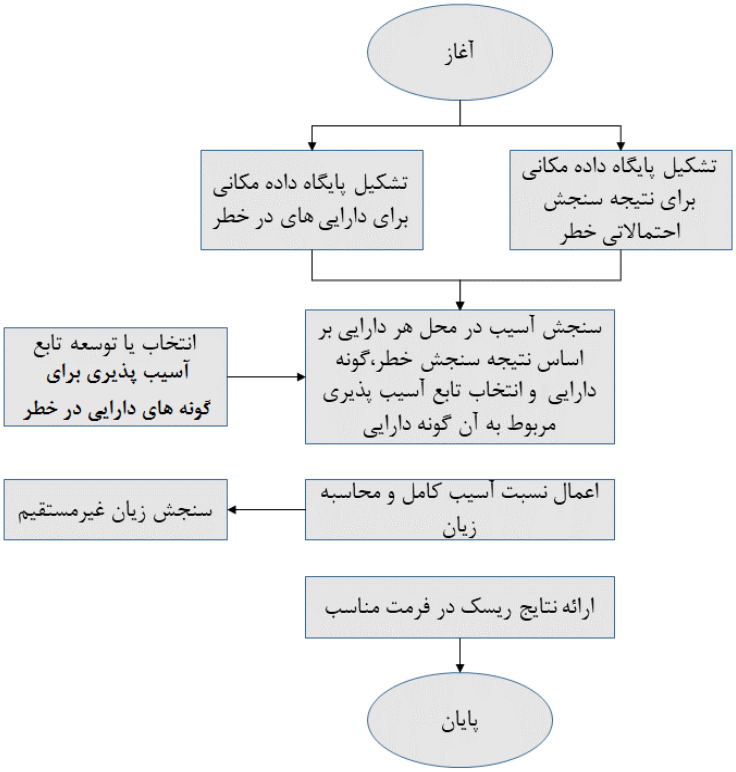
۶- ارائه نتایج ریسک: در این مرحله تحلیلگر می‌بایست از طریق دسته‌بندی مناسب و اختصاص رنگ به هر دسته از مقادیر ریسک نسبت به تهیه نقشه ریسک (آسیب یا زیان) اقدام نماید. همچنین در صورت استفاده از مؤلفه‌ی احتمالاتی برای خطر، تحلیلگر باید از طریق روش‌های آماری نمودار احتمال فراگذشت ریسک یا نمودار تجمعی را برای گونه‌های مختلف دارایی تهیه نماید.

---

[1] GIS
[2] Total loss condition
[3] Input-output method
[4] HAZUS

omoorepeyman.ir

نمودار نمایش داده شده در شکل ۱-۴ مراحل انجام سنجش ریسک به روش کمّی را نمایش می‌دهد.




**شکل ۱-۴: فلوچارت انجام سنجش ریسک به روش مدل‌سازی احتمالاتی**

## ۱-۶- ملاحظات ویژه

### ۱-۶-۱- عدم قطعیت

معمولاً میزان قابل توجهی از عدم قطعیت در نتایج تحلیل ریسک وجود دارد. این عدم قطعیت ناشی از داده‌های ورودی، روش‌های استفاده شده در تحلیل و همچنین تکنیک‌های استفاده شده برای تفسیر و ارائه نتایج است. به منظور تحلیل عدم قطعیت لازم است منشأ عدم دقت با بروز خطا در هر یک از مراحل سنجش ریسک به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و مستندسازی شود. به این منظور می‌توان از تحلیل حساسیت به عنوان ابزاری برای شناسایی عدم قطعیت در تحلیل ریسک استفاده نمود. همچنین ممکن است روش‌های متفاوتی برای تعیین پارامترهای لازم برای تحلیل خطر و ریسک وجود داشته باشد که در نظر گرفتن هر کدام از این روش‌ها به نتیجه‌ای متفاوت منجر گردد. در چنین مواردی لازم است تحلیلگر با استفاده از روش‌های مناسب (مانند درخت منطق) مسئله عدم قطعیت تحلیل را مورد بررسی قرار داده و گستره نتایج ممکن را که به دلیل استفاده از روش‌های مختلف و فرضیات متفاوت تحلیل به دست آمده، ارائه دهد.

### ۱-۶-۲- همبستگی

omoorepeyman.ir

در پروژه‌هایی که دارای ابعاد کالبدی قابل توجه در یک یا دو بعد هستند، یا به صورت گسسته در مکان‌های دور از هم قرار دارند، الگوی مکانی و زمانی رخداد پارامتر ریسک محاسبه شده در مکان‌های مختلف پروژه می‌بایستی از طریق به کارگیری روش‌های تعیین همبستگی مکانی و زمانی[1] مورد بررسی قرار گیرد. همچنین در صورت نیاز به محاسبه زیان تجمیعی ناشی از دو خطر مختلف، لازم است همبستگی مکانی و زمانی مربوط به بروز آسیب و زیان در نظر گرفته شود. تحلیلگر می‌تواند به منظور در نظر گرفتن همبستگی مکانی دارایی‌ها یا همبستگی زمانی مخاطرات از روش تحلیلی یا روش ساده شده ماتریس کیفی همبستگی که نحوه محاسبه آن در پیوست ۱ ارائه شده استفاده نماید.

### ۱-۶-۳- راستی‌آزمایی

پس از انجام تحلیل خطر، نتایج به دست آمده می‌بایست با استفاده از تاریخچه آسیب‌ها و زیان‌های گذشته در محل پروژه، ارزیابی کمیته فنی یا مقایسه با نتایج مطالعات معتبر قبلی، مورد صحت‌سنجی قرار گیرد.

### ۱-۶-۴- مستندسازی

در تهیه گزارش ارزیابی ریسک می‌بایست علاوه بر ارائه نتیجه تحلیل، مواردی مانند محدودیت‌ها، مفروضات و توجیه مفروضات؛ روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده؛ داده‌ها، مفروضات، منابع و اعتبار آنها؛ تحلیل حساسیت و عدم قطعیت؛ فرضیات اساسی و دیگر عواملی که ممکن است تغییر آنها نتایج تحلیل ریسک را بی ارزش کند؛ بحث در مورد نتایج و راستی آزمایی آنها؛ نتیجه‌گیری و پیشنهاد و منابع مورد استفاده ارائه گردند.

## ۱-۷- مراجع اصلی

این راهنما با تکیه بر ضوابط و معیارهای مدیریتی و فنی معتبر ملی و بین‌المللی تدوین شده است. فهرستی از مراجع معتبر و مبنا برای این راهنما به شرح زیر است:

- انجمن بیمه‌گران بریتانیا (۲۰۱۴) ریسک‌های مدل‌سازی نشده: راهنمایی برای ارزیابی کامل‌تر ریسک سوانح برای بیمه
- راهنمای مدیریت ریسک: ایزو ۳۱۰۰۰، (۲۰۱۸) موسسه استاندارد بریتانیا؛
- روش‌های پذیرفته شده در سنجش و مدل‌سازی ریسک سوانح در سازمان‌های بین‌المللی توسعه و صنعت بیمه کشورهای توسعه یافته؛
- اصطلاحات مربوط به مخاطرات (۲۰۲۱) وب‌سایت دفتر کاهش ریسک سوانح سازمان ملل متحد (PreventionWeb)
- قانون مدیریت بحران کشور، مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۸).

[1] Spatial and temporal correlation

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

# فصل ۲

## زلزله

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

# ۲- سنجش ریسک زلزله

تحلیل ریسک ناشی از زلزله با هدف شناخت آسیب‌ها و زیان‌های ناشی از وقوع رویداد زلزله در پروژه مورد نظر انجام می‌گیرد. در مطالعه سنجش ریسک زلزله، تحلیلگر باید در گزارش خود اطلاعات مورد نیاز درباره مؤلفه‌های خطر زلزله، دارایی در معرض خطر، آسیب‌پذیری دارایی در برابر زلزله و میزان آسیب و زیان ناشی از وقوع این مخاطره در محل دارایی را مشخص نماید. در این فصل روش‌شناسی لازم برای انجام مطالعات سنجش ریسک زلزله ارائه شده و حداقل ملاحظات لازم برای بررسی در هر مؤلفه از این مطالعه معرفی می‌شود. همچنین نتایج پایه مورد نظر از مطالعه سنجش ریسک زلزله فارغ از اهداف ویژه در هر پروژه بیان می‌شود.

## ۲-۱- سنجش خطر زلزله

### ۲-۱-۱- مقدمه

سنجش (تحلیل) خطر زلزله باید شامل فرآیندهای محاسباتی به منظور تعیین بسامد، بزرگا و توزیع مکانی پارامتر خطر در محدوده‌ی مورد مطالعه باشد. در سنجش خطر زلزله، به عنوان مرحله‌ای از فرآیند سنجش ریسک، لازم است معیار شدت زلزله بر اساس مطالعه‌ی تحلیل خطر انتخاب گردد. در اولین گام از مطالعات تحلیل خطر لازم است تحلیل‌گر نسبت به جمع‌آوری اطلاعات اولیه با هدف شناخت خطر زلزله در محدوده ساختگاه پروژه در دست مطالعه اقدام نماید. در جمع آوری اطلاعات می‌توان از روش‌های گوناگونی مانند بررسی تاریخچه و کاتالوگ رخدادهای لرزه‌ای تاریخی و دستگاهی شامل اطلاعاتی در مورد تاریخ رخداد، شدت رخداد و خسارات و تلفات به بار آمده؛ مصاحبه با افراد محلی؛ استفاده از نقشه های لرزه‌زمین‌ساخت، ژئوتکنیک، مطالعات داخلی و خارجی موجود در مورد پهنه‌بندی خطر در سطح ملی، استانی یا محلی؛ گزارش‌های سازمان‌ها، دستگاه‌های اجرایی از جمله نهادهای مرتبط با موضوع پروژه و شرکت‌های خصوصی؛ یا مراجعه به اسناد پروژه‌های گذشته استفاده کرد.

به طور کلی سنجش خطر بسته به اهمیت پروژه و اطلاعات در دسترس به روش کیفی و کمّی تقسیم‌بندی می‌شود. تکیه اصلی این راهنما بر استفاده از روش‌های کمّی تحلیل خطر برای دارایی‌های پراهمیت[1] است که در انجام ارزیابی عددی آسیب‌ها و خرابی‌ها کاربرد مؤثرتر و بهتری دارد.

### ۲-۱-۲- تحلیل خطر به روش کیفی[2]

روش سنجش خطر زلزله به روش کیفی تنها در مورد پروژه‌های کم اهمیت (مطابق تعریف فصل ۱) کاربرد دارد. از

[1] درجه اهمیت دارایی‌های مختلف در فصل ۱ ارائه شده است.

[2] Qualitative risk analysis

omoorepeyman.ir

جمله تکنیک‌های قابل استفاده برای سنجش خطر زلزله به روش کیفی می‌توان به قضاوت کارشناس مهندسی عمران یا متخصص زلزله‌شناسی یا مهندسی زلزله، ارزیابی آمار معتبر رخدادهای زلزله‌ی گذشته در محل و بازرسی محل برای یافتن شواهدی از وقوع گسلش و زمین لغزش لرزه‌ای اشاره کرد. تحلیل‌گر می‌بایست با استفاده از یک یا ترکیبی از روش‌های یاد شده به درکی در مورد پتانسیل رخداد زمین لرزه در محل پروژه به همراه تخمینی از فراوانی و شدت آن دست یابد و در گزارش خود منعکس کند.

### ۲-۱-۳- سنجش خطر به روش کمّی[1]

در مواردی که پروژه در دسته‌ی پراهمیت طبقه‌بندی می‌شود، استفاده از روش‌های سنجش خطر کمّی لازم خواهد بود. این روش به دو رویکرد تعینی و احتمالاتی انجام می‌شود. روش تعینی یا سناریومحور باید در مواردی که پیامد رخداد سناریوی خاصی در محل پروژه اهمیت دارد، مانند برنامه‌ریزی برای آمادگی، پاسخ و یا بازسازی و بازتوانی پس از زلزله، به کار رود. در مواردی که هدف از انجام سنجش خطر تهیه استانداردها و آیین‌نامه‌ها، مانند آیین‌نامه‌های طراحی ابنیه، آیین نامه برنامه‌ریزی کاربری زمین یا تهیه جدول نرخ بیمه زلزله است، استفاده از روش سنجش خطر با رویکرد احتمالاتی مناسب‌تر است. در ادامه مراحل لازم برای انجام هر یک از دو روش یاد شده تشریح می‌گردد.

باید توجه داشت که مراحل شرح داده‌شده شامل کلیات تحلیل خطر زلزله بوده و تحلیلگر باید علاوه بر این موارد برای انجام تحلیل خطر با رویکرد تعینی از جزئیات فنی ارائه شده در ضابطه ۶۲۶ امور نظام فنی و اجرایی کشور[2] پیروی نماید. در غیاب برخی جزئیات مورد نیاز در نشریات و استانداردهای داخلی، باید به دستورالعمل‌ها و استانداردهای معتبر بین المللی مراجعه شود.

#### ۲-۱-۳-۱- تحلیل خطر با رویکرد تعینی

به منظور تعریف سناریوی زلزله لازم است گسل مسبب زلزله، بزرگای مورد انتظار و فاصله رومرکز زلزله تا محل پروژه مشخص گردد. مراحل تحلیل خطر تعینی زلزله به شرح زیر است:

۱) مطالعه لرزه‌زمین ساخت: در این مرحله تحلیلگر خطر نسبت به جمع‌آوری اطلاعات مربوط به وضعیت زمین‌شناسی منطقه، نقشه گسل‌های فعال، مشخصات مربوط به گسل‌ها (هندسه گسل، سازوکار گسلش، زاویه صفحه گسلی، زاویه حرکت دو قسمت گسل نسبت به یکدیگر و غیره) اقدام می‌نماید. علاوه بر این، لازم است تحلیلگر فهرست (کاتالوگ) زلزله‌های رخ داده در گذشته در شعاع ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتری محل پروژه (بسته به میزان لرزه‌خیزی منطقه و اهمیت پروژه) را از منابع معتبر ملی (مانند کاتالوگ لرزه‌ای پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و کاتالوگ زلزله های تاریخی ایران) و در صورت نیاز از پایگاه‌های داده‌های لرزه‌ای منطقه‌ای و جهانی جمع‌آوری نماید؛

[1] Quantitative risk analysis

[2] راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله

omoorepeyman.ir

۲) انتخاب سناریوی زلزله: در این مرحله لازم است تحلیل‌گر به تعریف سناریوهای محتمل رخداد زلزله بپردازد. معمولاً در تعریف این سناریوها بیشترین بزرگای محتمل [1]زلزله در گسل یا گسل‌های مورد مطالعه در نظر گرفته می‌شود. در تعیین این حالت می‌بایست ابتدا پتانسیل لرزه‌خیزی گسل‌های اطراف محل پروژه و فاصله آنها تا محل پروژه در نظر گرفته شود. تحلیلگر می‌بایست در انتخاب سناریوهای زلزله گسل‌های مختلف و بزرگاهای زلزله ممکن برای هر گسل را در نظر گیرد؛

۳) انتخاب رابطه‌های کاهندگی[2]مناسب: پس از تعریف سناریوهای زلزله، تحلیلگر باید نسبت به انتخاب یک یا چند رابطه کاهندگی مناسب که تا حد ممکن بیانگر رفتار مستهلک کننده زمین در منطقه مورد مطالعه است، اقدام نماید. معمولاً لازم است چندین رابطه کاهندگی با اوزان مناسب که نشان‌دهنده مطابقت آنها با وضعیت زمین شناسی منطقه است با استفاده از روش ترکیب صحیح مانند درخت منطق مورد استفاده قرار گیرد. این اوزان می‌بایست یا با استفاده از نتایج مطالعات معتبر گذشته (قضاوت کارشناسی) در منطقه لرزه‌ای مورد مطالعه تعیین شود یا باید توسط روش‌های آماری مناسب که برای تحلیل داده‌های لرزه‌ای رخدادهای گذشته مناسب است، محاسبه شود؛

۴) مطالعات ژئوتکنیکی: به منظور تعیین پارامتر خطر زلزله در سطح زمین لازم است که اطلاعات مورد نیاز درباره میزان اثر بزرگنمایی نهشته‌های خاک زیر محل پروژه در قالب سرعت موج برشی (Vs) با استفاده از آزمایش‌های مناسب ژئوتکنیکی تعیین گردد. این اطلاعات معمولاً یا مستقیماً در روابط کاهندگی وارد می‌گردند یا به منظور تبدیل پارامترهای خطر روی سنگ بستر به پارامترهای روی سطح خاک در تحلیل ژئوتکنیکی مجزا بکار می‌روند؛

۵) مدل همبستگی پارامتر شدت خطر: در صورتی که سنجش خطر برای شبکه‌ای مرکب از چندین محل انجام شود، لازم است همبستگی پارامتر شدت خطر در نقاط مختلف با استفاده از مدل همبستگی مناسب تعیین شود؛

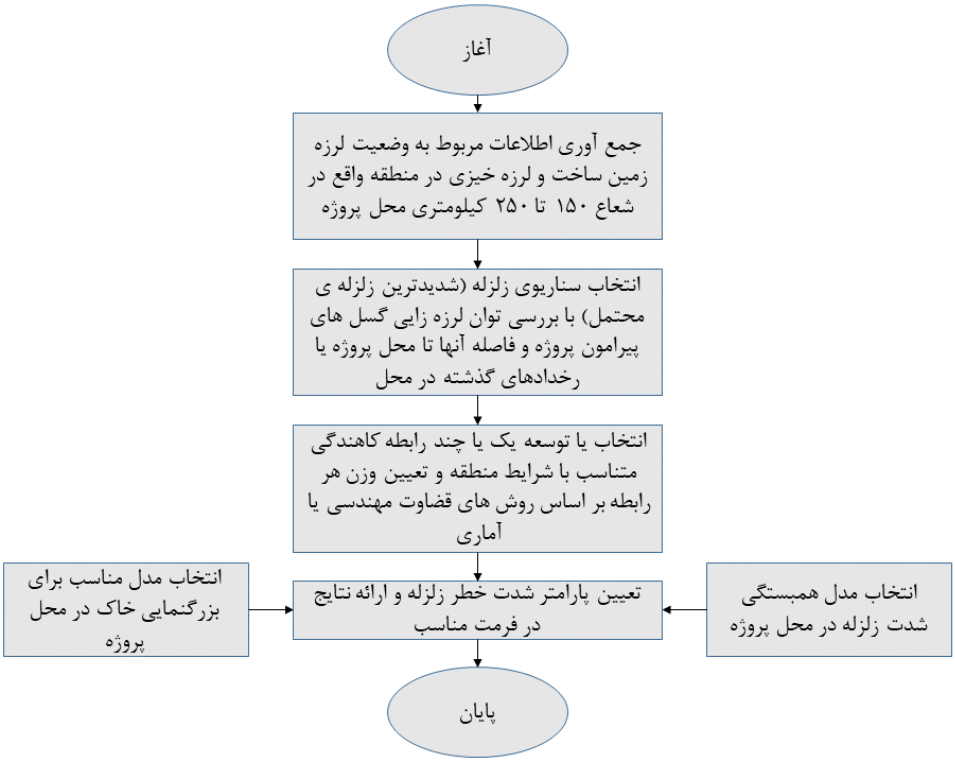
۶) محاسبه پارامترهای شدت خطر در محل پروژه: پس از طی مراحل فوق، تحلیلگر باید از طریق به‌کارگیری بستر نرم افزاری معتبر نسبت به محاسبه پارامتر خطر زلزله در محل پروژه و تراز مناسب (مانند تراز محل احداث پی یا زیرسازه) اقدام نماید. نتایج این مرحله باید در قالب نقشه پهنه‌بندی زلزله در محدوده اطراف پروژه ارائه شود. این نقشه‌ها باید شدت پارامتر خطر زلزله را در پهنه مورد بررسی نشان دهند. در صورت استفاده از نرم‌افزارهای تجاری معتبر لازم است فایل محاسبات به همراه دفترچه محاسبات که شامل فرضیات و محدودیت‌های تحلیل خطر است به کارفرما ارائه شود. در صورت استفاده از بسترهای محاسبات غیرتجاری لازم است مدارک فنی لازم مبنی بر صحت روند محاسبات یا عملکرد صحیح نرم افزار مورد استفاده به کارفرما یا نماینده قانونی آن ارائه شود.

مراحل لازم برای انجام تحلیل خطر تعینی زلزله به اختصار در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir

[1] Probable Maximum Magnitude

[2] Ground Motion Prediction Equations (GMPE)




**شکل ۲-۱: روندنمای مراحل لازم برای سنجش خطر زلزله به روش کمّی با رویکرد تعینی (سناریومحور)**

### ۲-۱-۳-۲- تحلیل خطر زلزله با رویکرد احتمالاتی

در روش تحلیل خطر زلزله با رویکرد احتمالاتی، کلیه عوامل مؤثر بر ایجاد حرکات شدید زمین در محل پروژه مانند ویژگی‌های گسل‌های محدوده در دست مطالعه، مشخصات لرزه‌خیزی، فاصله ساختگاه تا چشمه‌های لرزه‌زا و اثرات مسیر عبور موج تا ساختگاه بر دامنه آن به صورت پارامتر احتمالاتی معرفی می‌شوند. خروجی تحلیل خطر زلزله احتمالاتی معمولاً به صورت نقشه خطر[1] زلزله با دوره‌های بازگشت مختلف و منحنی احتمال فراگذشت خطر[2] زلزله تولید می‌شود.

در انجام مطالعات تحلیل خطر زلزله احتمالاتی توجه به مراحل زیر لازم است:

**مراحل تحلیل خطر زلزله با رویکرد احتمالاتی**

مراحل لازم برای انجام این نوع تحلیل خطر برای زلزله به شرح زیر است:

۱) مطالعه لرزه‌زمین ساخت: در این مرحله تحلیلگر خطر نسبت به جمع‌آوری اطلاعات مربوط به وضعیت زمین‌شناسی منطقه، نقشه گسل‌های فعال، مشخصات مربوط به گسل‌ها (هندسه گسل، سازوکار گسلش، زاویه صفحه گسلی، زاویه حرکت دو قسمت گسل نسبت به یکدیگر و غیره) اقدام می‌نماید. علاوه بر این، لازم است تحلیلگر فهرست (کاتالوگ) زلزله‌های رخ داده در گذشته در شعاع ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتری محل پروژه (بسته به میزان لرزه‌خیزی منطقه و اهمیت

[1] Hazard map
[2] Probability exceedance curve

omoorepeyman.ir

پروژه) را از منابع معتبر ملی (مانند کاتالوگ لرزه‌ای پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و کاتالوگ زلزله های تاریخی ایران) و در صورت نیاز از پایگاه‌های داده‌های لرزه‌ای منطقه‌ای و جهانی جمع‌آوری نماید؛

۲) مطالعات لرزه‌خیزی (ساخت مدل چشمه لرزه‌ای): در این مرحله تحلیلگر با توجه به ویژگی‌های لرزه‌زمین ساخت منطقه و توزیع رخدادهای گذشته زلزله (شامل زلزله‌های ثبت شده توسط دستگاه و زلزله‌های تاریخی) و مطالعات گذشته نسبت به تعریف چشمه‌های لرزه‌ای به صورت خطی یا ناحیه‌ای یا هر دو اقدام می‌نماید. سپس با استفاده از روش‌های آماری نسبت به تشکیل رابطه بازگشتی زلزله و پارامترهای لرزه‌خیزی (مانند پارامترهای گوتنبرگ-ریشتر)، انتخاب بزرگای کمینه، بزرگای بیشینه و سایر پارامترهای مورد نیاز برای هر چشمه لرزه‌ای اعم از خطی و ناحیه‌ای اقدام می نماید. در صورت استفاده از هر دو نوع چشمه خطی و ناحیه‌ای، تحلیلگر می‌بایست درصد مشارکت هر دسته از چشمه های لرزه‌زا را با استفاده از روش‌های مناسب مانند درخت منطق تعیین نماید؛

۳) انتخاب رابطه‌های کاهندگی مناسب: پس از تعریف سناریوهای زلزله، تحلیلگر باید نسبت به انتخاب روابط کاهندگی مناسب که تا حد ممکن بیانگر رفتار مستهلک کننده زمین در منطقه مورد مطالعه است، اقدام نماید. معمولاً لازم است چندین رابطه کاهندگی با اوزان مناسب که نشان‌دهنده مطابقت آنها با وضعیت زمین شناسی منطقه است با استفاده از روش ترکیب صحیح مانند درخت منطق مورد استفاده قرار گیرد. این اوزان می‌بایست یا با استفاده از نتایج مطالعات معتبر گذشته در منطقه لرزه‌ای مورد مطالعه تعیین شود یا می‌بایست توسط روش‌های آماری مناسب که برای تحلیل داده‌های لرزه‌ای رخدادهای گذشته مناسب است، محاسبه شود؛

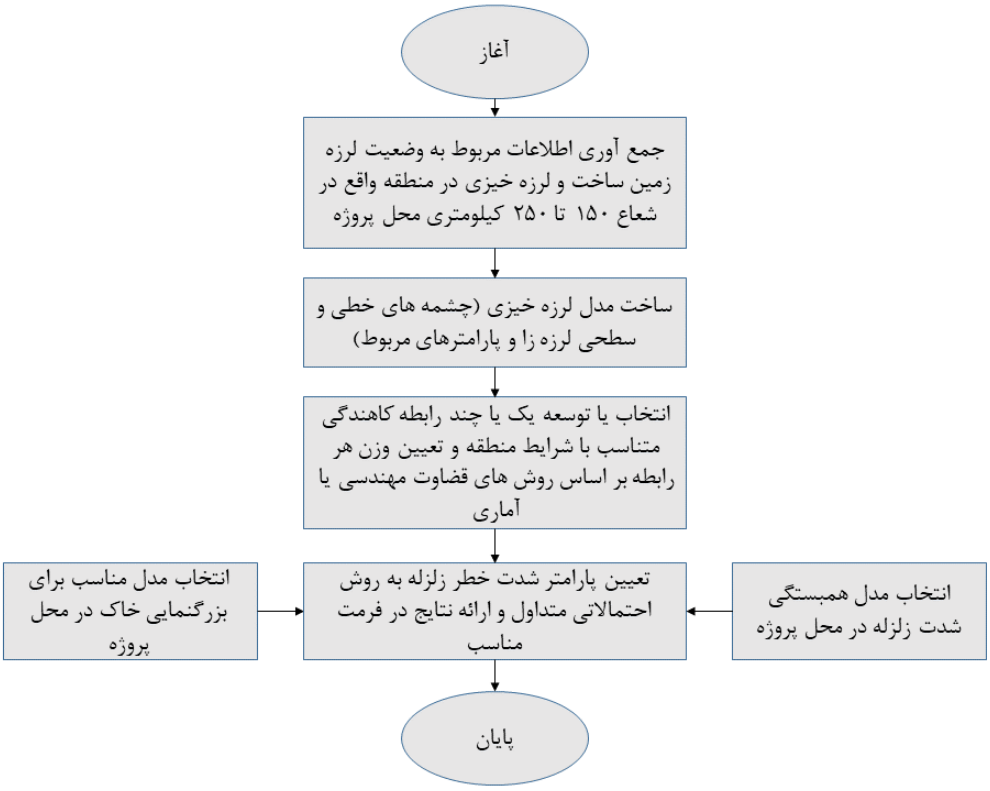
۴) مطالعات ژئوتکنیکی: به منظور تعیین پارامتر خطر زلزله در سطح زمین لازم است که اطلاعات مورد نیاز درباره میزان اثر بزرگنمایی نهشته‌های خاک زیر محل پروژه در قالب سرعت موج برشی (Vs) با استفاده از آزمایش‌های مناسب ژئوتکنیکی تعیین شود. این اطلاعات معمولاً یا مستقیماً در روابط کاهندگی وارد می‌گردند یا به منظور تبدیل پارامترهای خطر روی سنگ بستر به پارامترهای روی سطح خاک در تحلیل ژئوتکنیکی مجزا بکار می‌روند؛

۵) مدل همبستگی پارامتر شدت خطر: در صورتی که سنجش خطر برای شبکه‌ای مرکب از چندین محل انجام شود، لازم است همبستگی پارامتر شدت خطر در نقاط مختلف با استفاده از مدل همبستگی مناسب تعیین شود؛

۶) محاسبه پارامترهای خطر در محل پروژه: پس از طی مراحل فوق، تحلیلگر می‌بایست از طریق به‌کارگیری بستر نرم افزاری معتبر نسبت به محاسبه پارامتر خطر زلزله در محل پروژه و تراز مناسب (مانند تراز محل احداث پی یا زیرسازه) اقدام نماید. نتایج این مرحله می‌بایست در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای خطر برای دوره‌های بازگشت مختلف و همچنین منحنی احتمال فراگذشت پارامتر خطر در محدوده مورد نظر ارائه شود. در صورت استفاده از نرم‌افزارهای تجاری معتبر لازم است فایل محاسبات به همراه دفترچه محاسبات که شامل فرضیات و محدودیت‌های تحلیل خطر است به کارفرما ارائه شود. در صورت استفاده از بسترهای محاسبات غیرتجاری لازم است با ارائه مدارک فنی لازم عملکرد صحیح نرم افزار مورد استفاده بر کارفرما یا نماینده قانونی آن مسجل شود.

مراحل لازم برای انجام تحلیل خطر تعینی زلزله به اختصار در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir




**شکل ۲-۲: روندنمای مراحل لازم برای سنجش کمّی خطر زلزله با رویکرد احتمالاتی**

### ۲-۱-۴- اثرات عدم قطعیت عوامل مؤثر در تحلیل خطر زلزله

در روند تحلیل خطر زلزله لازم است تحلیل‌گر با استفاده از روش‌های مناسب (مانند درخت منطق) مسئله عدم قطعیت تحلیل را مورد بررسی قرار داده و گستره نتایج ممکن را که به دلیل استفاده از روش‌های مختلف و فرضیات متفاوت تحلیل به دست آمده، ارائه دهد. این موضوع به خصوص در انجام تحلیل خطر زلزله احتمالاتی دارای اهمیت زیاد است و پیامدهای آن باید در نتایج نهایی تحلیل خطر منعکس گردد.

### ۲-۱-۵- همبستگی

در پروژه‌هایی که دارای ابعاد کالبدی قابل توجه در یک یا دو بعد هستند، یا به صورت گسسته در مکان‌های دور از هم قرار دارند، الگوی مکانی و زمانی رخداد پارامتر خطر زلزله محاسبه شده در مکان‌های مختلف پروژه باید از طریق به کارگیری روش‌های تعیین همبستگی مکانی و زمانی[1] مورد بررسی قرار گیرد.

### ۲-۱-۶- راستی‌آزمایی

پس از انجام تحلیل خطر زلزله، نتایج به دست آمده باید با استفاده از اندازه‌گیری‌های محلی مناسب یا مقایسه با نتایج مطالعات معتبر قبلی مورد صحت‌سنجی قرار گیرد. این راستی آزمایی می‌بایست در صورت امکان در کلیه مراحل انجام

[1] Spatial and temporal correlation

omoorepeyman.ir

تحلیل خطر زلزله انجام پذیرد.

## ۲-۲- شناسایی دارایی‌های در معرض خطر

تحلیلگر باید بر اساس مقیاس مطالعه و محدوده‌ی مورد نظر برای مطالعه، نسبت به تهیه سیاهه دارایی در معرض خطر اقدام نماید. در صورتی که موضوع مطالعه شامل بررسی یک منطقه است مؤلفه‌ی دارایی باید وضعیت ابنیه و اجزای فیزیکی و مشخصات جمعیتی محدوده در دست مطالعه را در قالب سامانه اطلاعاتی مکان‌محور شرح دهد. به کارگیری سامانه مکان‌محور امکان تطابق مشخصات مکانی خطر و دارایی را میسر می‌سازد. در این مؤلفه باید با استفاده از سیستم‌های استاندارد گروه‌بندی نسبت به گروه‌بندی هر یک از اجزای در دست مطالعه مانند ساختمان‌های متعارف، تأسیسات ضروری و حساس، اجزای سیستم حمل و نقل و اجزای سیستم‌های خدمت‌رسانی مانند آب، برق، گاز و مخابرات اقدام کرد. این گروه‌بندی بر اساس ویژگی‌های مؤلفه قبلی و بعدی فرایند مطالعه یعنی مؤلفه‌های سنجش خطر و آسیب‌پذیری و همچنین اطلاعات و مشخصات در دسترس از آنها انجام می‌پذیرد. در ایجاد سیاهه می‌توان از بانک‌های داده موجود استفاده کرد؛ اما اصلاح و به روزرسانی آنها بر اساس بررسی‌های میدانی و نمونه‌های تعریف شده به این منظور ضروری است.

پایگاه داده دارایی‌های در معرض خطر زلزله باید به طور ایده‌آل حاوی اطلاعات زیر باشند:

۱- محل دارایی: محل دارایی بسته به اطلاعات در دسترس و دقت سنجش ریسک با ریزنمایی‌های مختلفی از قبیل مختصات جغرافیایی، مختصات محلی، آدرس پستی، کد پستی، محله، ناحیه، منطقه، شهر، شهرستان و استان تعیین می‌شود؛

۲- خصوصیات سازه‌ای: نوع سازه (مانند اسکلت فولادی، بتن مسلح، بنایی، چوبی، سبک و غیره)، نوع سیستم مقاوم در برابر بار جانبی (مهاربندی، دیوار برشی، قاب خمشی و غیره)، سال ساخت، ارتفاع سازه یا تعداد طبقات و نوع پی؛

۳- خصوصیات غیرسازه‌ای: نوع مصالح دیوارهای خارجی، نوع مصالح سقف، تأسیسات مکانیکی و برقی، تجهیزات و سایر اجزاء غیر سازه‌ای؛

۴- خصوصیات معماری و شهرسازی: کاربری، متراژ زیر بنا، ابعاد دارایی، سطح اشغال و ... ؛

۵- ارزش: ارزش اقتصادی دارایی اعم از ابنیه، تأسیسات، تجهیزات و اثاثیه داخل آن و همچنین میزان درآمد حاصل از کسب و کار داخل ساختمان (روزانه یا ماهانه).

از آنجا که جمع آوری کلیه اطلاعات یاد شده برای پایگاه داده دارایی‌ها به دلیل عدم وجود پایگاه‌های داده شهری قابل اعتماد به طور کامل ممکن نیست، در عمل تنها بخشی از اطلاعات فوق در روند سنجش ریسک استفاده می‌شود. بدیهی است هر چه جزئیات مدل دارایی دقیق‌تر، تعداد اطلاعات توصیفی[1] بیشتر و درصد خطا کمتر باشد، کیفیت خروجی سنجش ریسک بالاتر و دارای قابلیت اطمینان بیشتر خواهد بود.

[1] Attribute

omoorepeyman.ir

## ۲-۳- سنجش آسیب‌پذیری در برابر زلزله

آسیب‌پذیری دارایی در برابر زلزله نحوه آسیب‌دیدگی کالبدی یا عملکردی دارایی را در رویارویی با درجات مختلف از خطر زلزله تعیین می‌کند. آسیب‌دیدگی کالبدی معمولاً به شکل آسیب (خسارت کالبدی) و کاهش عملکرد در قالب تولید یا درآمد از دست رفته است. بر اساس روش سنجش آسیب، تحلیلگر ریسک باید در این مرحله، نحوه‌ی آسیب‌دیدگی دارایی در مواجهه با شدت‌های مختلف خطر زلزله را از طریق انتخاب مقدار کیفی آسیب‌پذیری، توابع شکنندگی، یا توابع آسیب‌پذیری متناسب با ویژگی‌های دارایی تعیین نماید. سنجش آسیب‌پذیری در چند مرحله انجام می‌پذیرد. این مراحل در زیربخش‌های که در پی می‌آیند توضیح داده شده‌اند.

### ۲-۳-۱- گونه‌بندی دارایی‌های در خطر

در این مرحله، تحلیلگر ریسک باید نسبت به دسته‌بندی دارایی‌های در معرض خطر زلزله بر اساس ویژگی‌های شهرسازی، معماری، سازه‌ای و غیرسازه‌ای اقدام نماید. اطلاعات لازم برای گونه‌بندی دارایی باید در مرحله شناسایی دارایی های در معرض خطر زلزله جمع‌آوری شده باشد. تعداد گونه‌های آسیب‌پذیری دارایی‌ها باید به نحوی تعیین شود که:

- تفاوت دارایی‌ها را از نظر نحوه تأثیرپذیری از زلزله در نظر گیرد و
- امکان تعیین آسیب‌پذیری کیفی [۱] یا یافتن توابع شکنندگی و آسیب‌پذیری [۲] یا توسعه آنها را با توجه به داده‌ها و منابع در دسترس در نظر گیرد. مرور ادبیات فنی مربوط به مطالعات سنجش ریسک در مورد دارایی‌های مشابه و بهره‌گیری از دانش متخصصان سنجش ریسک در هنگام تعیین گونه‌های آسیب‌پذیری توصیه می‌شود.

معمولاً گونه‌بندی آسیب‌پذیری در برابر زلزله بر اساس دسته‌بندی خصوصیات دارایی شامل دسته‌بندی ارتفاعی یا تعداد طبقات؛ دسته‌بندی نوع سازه و دسته‌بندی زمان ساخت دارایی یا میزان شکل‌پذیری آن در برابر بارهای جانبی زلزله تعیین می‌شود. گونه‌بندی آسیب‌پذیری می‌بایست به نحوی تعیین شود که امکان یافتن منحنی‌های شکنندگی یا آسیب‌پذیری متناظر با گونه‌ها در ادبیات فنی یا توسعه منحنی‌ها با استفاده از روش‌های مرسوم وجود داشته باشد.

### ۲-۳-۲- تعیین الگوی آسیب‌پذیری گونه‌های دارایی

پس از دسته‌بندی دارایی‌های در خطر بر اساس میزان آسیب‌پذیری آنها در برابر زلزله، باید الگوی آسیب‌پذیری هر گونه توسط تحلیل‌گر تعیین شود. بر اساس نوع روش انتخابی برای سنجش ریسک، تعیین الگوی آسیب‌پذیری به دو شکل انجام می‌پذیرد:

- سنجش ریسک به روش کیفی: در هنگامی که از روش کیفی برای سنجش ریسک زلزله استفاده می‌شود، لازم است آسیب‌پذیری گونه‌های دارایی در برابر زلزله با توصیف کیفی (آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد) تعیین شود.

---

[۱] برای استفاده در سنجش ریسک به روش کیفی

[۲] برای استفاده در سنجش ریسک به روش کمّی

omoorepeyman.ir

در این هنگام تحلیل‌گر می‌بایست با استفاده از روش‌های مبتنی بر قضاوت کارشناسی، روش‌های گروهی، یا بررسی داده‌های آسیب‌های گذشته نسبت به انتخاب درجه کیفی آسیب‌پذیری برای هر گونه دارایی اقدام نماید؛

- سنجش ریسک به روش کمّی: در صورت استفاده از روش کمّی و عددی در سنجش ریسک، تحلیلگر باید از طریق مرور ادبیات فنی مربوط به آسیب‌پذیری دارایی در خطر نسبت به انتخاب توابع شکنندگی و آسیب‌پذیری که برای شرایط مشابهی تهیه شده‌اند، اقدام نماید. در صورت معتبر نبودن یا عدم وجود توابع یاد شده، تحلیلگر می بایست با استفاده از روش‌های معتبر سنجش آسیب‌پذیری که شامل روش‌های تجربی[۱]، تحلیلی[۲] یا روش‌های ترکیبی[۳] است، نسبت به توسعه توابع مورد نیاز اقدام نماید. در صورت استفاده از توابع شکنندگی، لازم است منحنی آسیب‌پذیری متناظر با هر گونه دارایی از طریق جمع وزن‌دار احتمال فراگذشت سطوح مختلف آسیب که از توابع شکنندگی به دست می‌آید، توسعه یابد. سطوح خسارت مورد استفاده می‌بایست دربرگیرنده گستره‌ی یکنواختی از درجات مختلف آسیب‌دیدگی دارایی در برابر خطر زلزله باشد. تحلیل‌گر به منظور دستیابی به اطلاعات بیشتر در مورد نحوه تولید توابع شکنندگی و آسیب‌پذیری می‌تواند به راهنمای فنی مدل زلزله HAZUS[۴] مراجعه نماید.

### ۲-۳-۳- راستی آزمایی الگوی آسیب‌پذیری انتخاب شده

الگوی آسیب‌پذیری انتخاب شده برای گونه‌های دارایی باید با بهره‌گیری از قضاوت کارشناسی، مقایسه آماری با خسارات گذشته برای دارایی‌های مشابه یا مقایسه با مطالعات معتبر مستقل، راستی‌آزمایی گردند به نحوی که الگوی انتخابی تا بیشترین حد ممکن بیانگر نحوه آسیب‌پذیری گونه‌های دارایی در شرایط مخاطره‌ای و ساخت و ساز مشابه با منطقه پروژه باشد.

### ۲-۳-۴- بررسی عدم قطعیت

مسئله عدم قطعیت و عوامل مؤثر بر آن در الگوی آسیب‌پذیری انتخاب شده باید با به کارگیری روش‌های مناسب مورد بررسی قرار گرفته و دامنه حالت‌های ممکن برای آن پیش بینی شود. علاوه بر آن در صورت وجود داده‌های تجربی مناسب در مورد خسارات گذشته و یا استفاده از روش‌های تحلیلی باید عدم قطعیت ثانویه توابع شکنندگی و آسیب‌پذیری که توزیع احتمال فراگذشت سطوح آسیب یا درصد خسارت را برای شدت‌های مختلف خطر زلزله تعیین می‌کند، نیز در نظر گرفته شود.

omoorepeyman.ir

[1] Empirical
[2] Analytical
[3] Hybrid
[4] Technical Manual of HAZUS - Earthquake

## ۲-۴- سنجش ریسک

مرحله سنجش ریسک زلزله شامل ترکیب مؤلفه‌های خطر زلزله، دارایی، برآورد آسیب لرزه‌ای و برآورد زیان است. مراحل لازم برای سنجش ریسک لرزه‌ای برای تحلیل ریسک تعینی و احتمالاتی یا دارایی‌های تکی و گروهی یکسان است. همچنین، همانند رویکرد دنبال شده در بخش خطر زلزله، بسته به نوع تحلیل انتخاب شده در بخش‌های خطر، آسیب پذیری و دارایی، تحلیلگر باید از یکی از روش‌های کمّی، کیفی، یا کمّی-کیفی برای سنجش ریسک استفاده نماید. در ادامه، نحوه انجام سنجش ریسک به هر یک از روش‌های یاد شده تشریح می‌شود.

### ۲-۴-۱- سنجش ریسک لرزه‌ای به روش کیفی

در مواقعی که کلیه مؤلفه‌های ریسک ناشی از زلزله (خطر، آسیب‌پذیری و دارایی) به صورت کیفی دسته‌بندی شده باشند، لازم است تحلیلگر از روش کیفی برای سنجش ریسک استفاده کند. مراحل انجام سنجش کیفی ریسک به شرح زیر است:

۱) تشکیل پایگاه داده مکانی برای دو لایه خطر و دارایی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS): در این مرحله می‌بایست پایگاه داده مقادیر کیفی خطر و ارزش دارایی در محل مختصات هر دارایی در قالب جدول ایجاد شود. سپس لازم است مقادیر کیفی به مقادیر کمّی-کیفی معادل بر اساس جدول ۲-۱ تبدیل شود؛

**جدول ۲-۱: تبدیل مقادیر کیفی به مقادیر کمّی-کیفی**

| مقدار کیفی | خیلی کم | کم | متوسط | زیاد | خیلی زیاد |
|---|---|---|---|---|---|
| معادل کمّی-کیفی | ۰/۱ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۹ |

۱) تخصیص آسیب‌پذیری به دارایی‌های مکانی: در این مرحله لازم است میزان کمّی-کیفی آسیب‌پذیری بسته به خصوصیات مؤثر در آسیب‌پذیری دارایی مانند سال ساخت، نوع مصالح، کاربری و غیره به هر یک از دارایی‌ها نسبت داده شود. سپس تحلیلگر باید معادل عددی آسیب‌پذیری را به لایه دارایی‌ها اضافه نماید؛

۲) سنجش آسیب: در این مرحله لازم است تحلیلگر ریسک با استفاده از تحلیل برهم‌نهی مکانی نسبت آسیب را از طریق ضرب دو مؤلفه خطر و آسیب‌پذیری برای هر دارایی محاسبه نماید.

۳) اعمال حد آسیب کامل: در این مرحله پس از نرمال سازی نسبت‌های آسیب، نسبت‌هایی که از حد آسیب کامل[1] بیشتر هستند به نسبت آسیب کامل (۱/۰) تبدیل می‌شوند. مقادیر به دست آمده آسیب، آسیب اصلاح شده نامیده می‌شوند؛

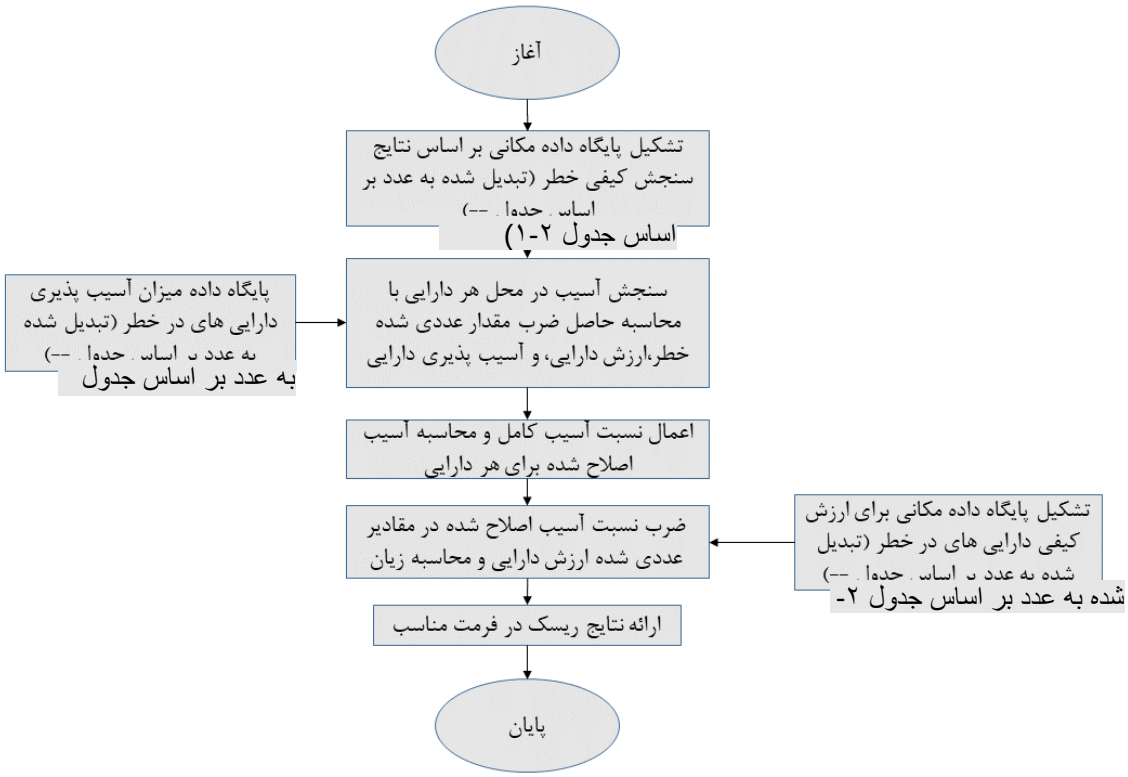
[1] حد آسیب کامل در سنجش کیفی ریسک بر اساس قضاوت کارشناسی تعیین می‌گردد.

omoorepeyman.ir

۴) سنجش زیان: از ضرب مقادیر اصلاح شده آسیب در مقادیر عددی شده ارزش دارایی متناظر، میزان زیان دارایی محاسبه می‌شود. این مقادیر پس از نرمال سازی به بزرگ‌ترین مقدار به عنوان زیان گزارش می‌شود؛

۵) ارائه نتایج آسیب و زیان (ریسک): در این مرحله لازم است تحلیلگر پس از انجام دسته‌بندی مناسب برای بازه های عددی محاسبه شده ریسک و تعیین شدت کیفی معادل به آنها، نقشه ریسک دارایی‌ها را تولید نماید.

شکل ۲-۳ مراحل مختلف سنجش کیفی ریسک زلزله را نمایش می‌دهد.




**شکل ۲-۳: فلوچارت مراحل انجام سنجش کیفی ریسک زلزله برای یک یا گروهی از دارایی‌ها**

## ۲-۴-۲- سنجش ریسک لرزه‌ای به روش کمّی

در مواقعی که کلیه مؤلفه‌های ریسک (خطر، آسیب‌پذیری و دارایی) به صورت کمّی (تعینی یا احتمالاتی) آماده شده باشند، لازم است تحلیلگر از روش کمّی برای سنجش ریسک استفاده نماید. در این حالت باید مقادیر آسیب و زیان و در صورت لزوم زیان غیرمستقیم برای دارایی‌های تکی یا گروهی به صورت عددی محاسبه شوند. تنها در صورتی که سنجش خطر به صورت احتمالاتی انجام شده باشد، می‌توان برای سنجش ریسک از روش انتگرال‌گیری متداول یا نرم‌افزارهایی که از این روش استفاده می‌کنند بهره برد. در غیر این صورت می‌توان از روش زیر استفاده کرد:

۱) تشکیل پایگاه داده مکانی برای دو لایه خطر و دارایی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی[1]: در این مرحله می

[1] GIS

omoorepeyman.ir

بایست پایگاه داده مقادیر عددی خطر و ارزش دارایی در محل مختصات دارایی یا گروهی از دارایی‌ها در قالب جدول ایجاد شود. در صورتی سنجش خطر به روش احتمالاتی انجام شده باشد، می‌بایست مقدار پارامتر خطر برای دوره‌های مختلف بازگشت در محل دارایی (ها) ثبت شود؛

۲) محاسبه ریسک کالبدی (آسیب): در این مرحله، لازم است از طریق استفاده از نرم‌افزارهای تجاری معتبر سنجش ریسک یا با استفاده از برنامه‌نویسی نسبت به محاسبه آسیب اقدام نمود. در صورت استفاده از روش برنامه‌نویسی لازم است، نسبت آسیب در هر دارایی با استفاده از مقدار یا مقادیر خطر در محل دارایی (ها) و منحنی آسیب پذیری مربوط به گونه دارایی (ها) محاسبه گردد. در صورت نیاز به درنظرگیری عدم قطعیت ثانویه در منحنی های آسیب‌پذیری، قابلیت انتخاب تصادفی (نمونه گیری بختی) درصد آسیب برای هر سطح از خطر پیش‌بینی شود.

۳) محاسبه ریسک مالی (زیان): در این مرحله لازم است تحلیلگر نسبت به اعمال شرط آسیب کامل به نسبت‌های محاسبه شده در مرحله قبل اقدام نماید. حد آسیب کامل[۱] می‌بایست از طریق قضاوت کارشناسی تعیین گردد[۲]. به منظور محاسبه زیان، لازم است درصدهای آسیب که حد آسیب کامل در آنها اعمال شده است در ارزش اقتصادی دارایی مورد بررسی ضرب شوند؛

۴) محاسبه ریسک مالی غیرمستقیم (زیان غیر مستقیم): به منظور سنجش زیان مالی غیرمستقیم تحلیلگر می‌بایست با استفاده از روش‌های مناسب اقتصادی (روش داده-ستانده[۳] یا روش‌های نظیر آن) نسبت به محاسبه زیان در سایر بخش‌های اقتصادی که به طور مستقیم آسیب ندیده‌اند، اقدام نماید. تحلیلگر لازم است برای به دست آوردن اطلاعات دقیق‌تر از نحوه محاسبه زیان غیرمستقیم ناشی از سوانح به مراجع فنی معتبر مانند راهنمای تحلیل ریسک زلزله هازوس[۴] مراجعه نماید؛

۵) ارائه نتایج ریسک: در این مرحله تحلیلگر می‌بایست پس از تجمیع زیان‌ها در مقیاس جغرافیایی مناسب از طریق دسته‌بندی مناسب و اختصاص رنگ به بازه‌های مختلف آسیب یا زیان نسبت به تهیه نقشه ریسک (آسیب یا زیان) اقدام نماید. همچنین در صورت انجام سنجش احتمالاتی خطر، می‌توان نسبت به ترسیم منحنی فراگذشت زیان به صورت پیوسته (در صورت استفاده از روش انتگرال‌گیری متداول) یا گسسته (در صورت انجام محاسبات ریسک برای سطوح خطر مربوط به چند دوره بازگشت زلزله) اقدام نمود. به همین ترتیب، می‌توان میزان میانگین زیان سالانه را نیز برای یک یا مجموعه‌ای از دارایی‌های در خطر زلزله از طریق انتگرال‌گیری سطح زیر منحنی فراگذشت محاسبه نمود.

شکل ۲-۴ مراحل مختلف سنجش کمّی ریسک زلزله را نمایش می‌دهد.

---

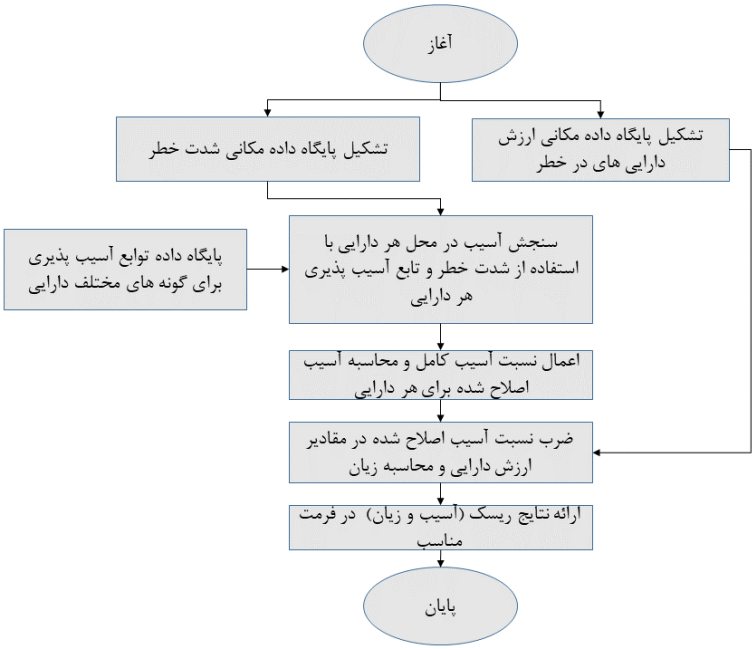
[1] Total loss condition

[۲] حد آسیب کامل برای ساختمان‌های مرسوم در حدود ۰٫۶ یا ۶۰ درصد است.

[3] Input-output method

[4] HAZUS

omoorepeyman.ir




**شکل ۲-۴: فلوچارت مراحل انجام سنجش کمّی ریسک زلزله برای یک یا گروهی از دارایی‌ها**

### ۲-۴-۳- سنجش ریسک به روش کمّی-کیفی

در مواقعی که برخی مؤلفه‌های ریسک (خطر، آسیب‌پذیری و دارایی) به صورت کمّی و برخی دیگر به صورت کیفی آماده شده باشند، لازم است تحلیلگر از روش کمّی-کیفی برای سنجش ریسک استفاده نماید. در این حالت تنها لازم است آسیب وارد به دارایی در معرض خطر، به صورت کیفی تعیین شده و از سنجش زیان صرف نظر شود. مراحل انجام سنجش ریسک به روش کمّی-کیفی به شرح زیر است:

۱) تبدیل مقادیر مؤلفه‌های عددی به معادل کمّی-کیفی: در این مرحله تحلیلگر می‌بایست با استفاده از رابطه ۲-۱ نسبت به نرمال‌سازی مؤلفه‌های عددی اقدام نموده و بازه تغییر مقادیر را به بازه صفر تا یک محدود سازد؛

$$x_{normalised} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$ (رابطه ۲-۱)

۲) تبدیل مقادیر مؤلفه‌های کیفی به معادل کمّی-کیفی: در این مرحله تحلیلگر می‌بایست با استفاده از جدول ۲-۱ نسبت به کمّی‌سازی مؤلفه‌های کیفی اقدام نماید؛

۳) تخصیص آسیب‌پذیری به دارایی‌های مکانی: در این مرحله لازم است میزان کمّی-کیفی آسیب‌پذیری بسته به خصوصیات مؤثر در آسیب‌پذیری دارایی مانند سال ساخت، نوع مصالح، کاربری و غیره به هر یک از دارایی‌ها نسبت داده شود. سپس تحلیلگر می‌بایست معادل عددی آسیب‌پذیری را به لایه دارایی‌ها اضافه کند؛

omoorepeyman.ir

۴) محاسبه ریسک (آسیب): در این مرحله لازم است تحلیلگر ریسک با استفاده از تحلیل برهم‌نهی مکانی، مقدار ریسک را از حاصل‌ضرب جبری مقادیر کمّی شده‌ی هر یک از سه مؤلفه خطر، دارایی و آسیب‌پذیری برای هر دارایی محاسبه کند؛

۵) ارائه نتایج ریسک: در این مرحله لازم است تحلیلگر پس از انجام دسته‌بندی مناسب برای مقادیر محاسبه شده ریسک، نقشه ریسک دارایی‌ها را تولید نماید.

## ۲-۵- ملاحظات ویژه

### ۲-۵-۱- عدم قطعیت

در روند سنجش ریسک زلزله ممکن است روش‌های متفاوتی برای تعیین پارامترهای لازم برای تحلیل (مانند چگونگی تعیین حد آسیب کامل یا نحوه در نظر گرفتن عدم قطعیت ثانویه نمودارهای آسیب‌پذیری) وجود داشته باشد که در نظر گرفتن هر کدام از این روش‌ها به نتیجه‌ای متفاوت منجر شود. در چنین مواردی لازم است تحلیلگر با استفاده از روش‌های مناسب (مانند درخت منطق) مسئله عدم قطعیت تحلیل را مورد بررسی قرار داده و گستره نتایج ممکن را که به دلیل استفاده از روش‌های مختلف و فرضیات متفاوت تحلیل به دست آمده، ارائه دهد.

### ۲-۵-۲- همبستگی

در پروژه‌هایی که دارای ابعاد کالبدی قابل توجه در یک یا دو بعد هستند، یا به صورت گسسته در مکان‌های دور از هم قرار دارند، الگوی مکانی و زمانی رخداد پارامتر ریسک محاسبه شده در مکان‌های مختلف پروژه می‌بایستی از طریق به کارگیری روش‌های تعیین همبستگی مکانی و زمانی[1] مورد بررسی قرار گیرد. همچنین در صورت نیاز به محاسبه ریسک تجمعی ناشی از دو خطر مختلف (مانند سیل و زلزله) لازم است همبستگی مکانی و زمانی مربوط به بروز آسیب و زیان در نظر گرفته شود. تحلیلگر می‌تواند به منظور در نظر گرفتن همبستگی مکانی دارایی‌ها یا همبستگی زمانی مخاطرات از روش محاسبه ماتریسی که در پیوست ۱ ارائه شده، استفاده نماید.

### ۲-۵-۳- راستی‌آزمایی

پس از انجام تحلیل خطر، نتایج به دست آمده می‌بایست با استفاده از تاریخچه آسیب‌ها و زیان‌های گذشته در محل پروژه یا مقایسه با نتایج مطالعات معتبر قبلی، مورد صحت‌سنجی قرار گیرد.

[1] Spatial and temporal correlation

omoorepeyman.ir

# فصل ۳

# سیل

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

# ۳- سنجش ریسک سیل

مطالعه سنجش ریسک سیل با هدف شناخت خسارات محتمل در اثر وقوع این رویداد در محل ساختگاه پروژه مورد نظر برای اتخاذ تصمیمات لازم در مدیریت ریسک انجام می‌گیرد. در مطالعه سنجش ریسک سیل، تحلیلگر باید در گزارش خود اطلاعات مورد نیاز در مؤلفه‌های خطر سیلاب، دارایی در معرض خطر، آسیب‌پذیری دارایی در برابر سیل و همچنین نتایج تحلیل شامل میزان زیان محتمل ناشی از وقوع این خطر در دارایی را مشخص نماید. در مطالعات مؤلفه تحلیل خطر سیل، باید اثرات پارامترهای طبیعی (مانند رژیم بارش/دما در بالادست و تأثیر تغییر اقلیم و نوسانات اقلیمی بر آن) و همچنین مداخلات انسانی در رودها و مسیل‌ها (شامل رژیم ذخیره سازی و رهاسازی آب توسط سدهای بالادست، نحوه مصرف آب در بالادست و وضعیت حریم رودخانه) در نظر گرفته شده باشد. با این حال به دلیل محدودیت‌های اطلاعات موجود در هر مورد، تحلیل‌گر می‌تواند بر اساس مشخصات پروژه و مندرجات بندهای مرتبط به انجام مطالعات ویژه بپردازد. باید توجه داشت که دستورالعمل شامل کلیات و چارچوب مطالعات سنجش خطر و ریسک سیل بوده و تحلیلگر باید تحلیل‌های مورد نیاز را با رعایت جزئیات فنی ارائه شده در نشریه شماره ۱۶۴-ن معاونت آب و آبفای وزارت نیرو[1]، ضابطه ۳۰۷[2] و ضابطه شماره ۸۲۱[3] نظام فنی و اجرایی، انجام دهد. در صورت عدم وجود اطلاعات مورد نیاز در نشریات و استانداردهای داخلی، باید دستورالعمل‌ها و استانداردهای معتبر بین‌المللی مورد رجوع قرار گیرد.

## ۳-۱- سنجش خطر سیل

### ۳-۱-۱- مقدمه

سنجش خطر سیل به عنوان اولین گام در سنجش ریسک سیل، شامل به دست آوردن اطلاعات در رابطه با محل وقوع سیل، شدت سیل و دوره بازگشت آن است. خروجی این مرحله باید دربرگیرنده‌ی پارامترهای مورد نیاز در توابع برآورد آسیب و زیان باشد. این پارامترها بسته به روش مورد استفاده برای تحلیل ریسک و توابع آسیب پذیری ممکن است اطلاعاتی در مورد عمق جریان، سرعت جریان و زمان آبگرفتگی/ماندابی را به صورت کمّی یا کیفی ارائه دهند. در اولین گام از مطالعات تحلیل خطر لازم است تحلیل‌گر نسبت به جمع‌آوری اطلاعات اولیه با هدف شناخت خطر سیل در محدوده ساختگاه پروژه در دست مطالعه با روش‌های گوناگون از جمله روش‌های زیر اقدام نماید:

- جمع‌آوری اطلاعات بارش در ایستگاه‌های همدیدی بالادست؛
- جمع‌آوری منحنی‌های شدت-مدت-دوره بازگشت در حوضه آبریز بالادست؛

[1] بررسی خسارت سیلاب
[2] راهنمای پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه
[3] راهنمای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب

omoorepeyman.ir

- اطلاعات مربوط به کاربری زمین و پوشش گیاهی و خاک در بالادست؛
- جمع‌آوری تاریخچه و کاتالوگ رویدادهای خطرآفرین تاریخی و متأخّر (شامل اطلاعات در مورد تاریخ رخداد، سرعت و عمق رخداد در نقاط مختلف و زیان و تلفات به بار آمده)؛
- مصاحبه با افراد محلی در مورد سابقه سیلاب در منطقه؛
- استفاده از نقشه‌های بین‌المللی، ملی، استانی یا محلی پهنه‌بندی خطر سیل؛
- گزارش‌های سازمان‌ها و دستگاه‌های اجرایی و شرکت‌های خصوصی مرتبط با موضوع پروژه؛
- اسناد پروژه‌های گذشته در محدوده‌ی ساختگاه مورد مطالعه.

به طور کلی تحلیل خطر سیل بر اساس اهمیت پروژه، منابع انسانی موجود، منابع مالی، زمان پروژه و اطلاعات در دسترس به دو روش کیفی و کمّی تقسیم‌بندی می‌شود. تأکید اصلی این راهنما بر استفاده از روش‌های کمّی تحلیل خطر سیل است که کاربرد مؤثرتر و فراگیرتری در انجام ارزیابی عددی مقادیر آسیب و زیان دارد. با این حال در مواردی که ثابت شود امکان انجام تحلیل کمّی به هیچ صورت ممکن نیست، روش‌های کیفی به عنوان حداقل الزام در نظر گرفته می شود. مراحل روش‌های کمّی و کیفی تحلیل خطر سیل در ادامه تشریح می‌شود.

### ۳-۱-۲- تحلیل خطر سیل به روش کیفی[1]

روش سنجش کیفی خطر سیل تنها در مورد پروژه‌های کم اهمیت (مطابق تعریف فصل ۱) کاربرد دارد. از جمله تکنیک های قابل استفاده برای سنجش کیفی خطر سیل می‌توان به قضاوت کارشناس مهندسی عمران یا متخصص هیدرولیک و هیدرولوژی، ارزیابی آمار معتبر رخدادهای سیل گذشته در محل، روش‌های مبتنی بر خرد جمعی مانند تحلیل سلسله مراتبی، بازرسی محلی برای یافتن شواهدی از داغاب سیل، رسوب‌گذاری و آب شستگی و پرسش از افراد محلی در مورد سابقه سیلاب اشاره نمود. تحلیل‌گر می‌بایست با استفاده از یک یا ترکیبی از روش‌های یاد شده به درکی در مورد پتانسیل رخداد سیل در محل پروژه به همراه تخمینی از فراوانی و شدت آن دست یابد و در گزارش خود منعکس نماید.

### ۳-۱-۳- تحلیل خطر سیل به روش کمّی[2]

در این راهنما تحلیل خطر کمّی سیل با دو روش تعینی و احتمالاتی تعریف و با توجه به اهمیت و ابعاد پروژه، منابع انسانی و مالی موجود، اطلاعات در دسترس، هدف مطالعه و انتظارات کارفرما در مطالعات بکار می‌رود. تحلیلگر بر اساس رویکردی که برای تحلیل ریسک ناشی از سیل اتخاذ کرده باید نسبت به انتخاب روش تحلیل خطر سیل اقدام نماید. در انتخاب روش مورد نظر، در دسترس بودن اطلاعات مورد نیاز و اعتبار اطلاعات در هر روش یک عامل مهم و تعیین‌کننده است.

[1] Qualitative risk analysis
[2] Quantitative risk analysis

omoorepeyman.ir

### ۳-۱-۳-۱- تحلیل خطر تعینی

تحلیل خطر تعینی به معنای تحلیل محل و شدت رخداد یک سناریوی سیلاب با مشخصات از قبل تعیین شده است. در این نوع تحلیل خطر، رخداد سیل حتمی فرض می‌شود و لذا عامل احتمال رخداد در نتایج محاسبه وجود ندارد. در مورد سیل، تعریف سناریو می‌تواند به دو شکل تعریف سناریوی بارش (تعیین هیتوگراف) یا تعیین میزان دبی عبوری از مسیل یا رودخانه مجاور محل پروژه (تعیین هیدروگراف) انجام پذیرد. یکی از سناریوهای معمول در تحلیل خطر، در نظر گرفتن بیشترین سیلاب محتمل[1] است.

**مراحل تحلیل خطر تعینی سیل**

رعایت مراحل زیر در تحلیل خطر تعینی سیل لازم است:

۱) مطالعات فیزیوگرافی حوضه آبخیز: این مطالعات به منظور شناخت حوضه آبخیزی که پروژه در پایین دست آن قرار دارد انجام شده و شامل تعیین محدوده‌ی حوضه، شبکه آبراهه‌های داخل حوضه، پروفیل طولی رودخانه‌های داخل حوضه، شیب متوسط حوضه، مساحت حوضه و زمان تمرکز حوضه است. اگر برای تعیین خطر سیلاب نیاز به مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه باشد، دامنه اطلاعات در این بخش بیشتر خواهد بود؛

۲) مطالعات هواشناسی و آب‌سنجی: هدف از انجام این مطالعات تعیین هیتوگراف بیشترین بارش محتمل[2] در حوضه آبخیز بالادست محل پروژه است. در صورت وجود داده‌های آماری از سیل‌های گذشته در مقاطع رودخانه نزدیک پروژه می‌توان از مطالعات هواشناسی صرف نظر نمود، ولی معمولاً به دلیل نبود داده‌های با کیفیت آب سنجی، انجام مطالعات هواشناسی الزامی است. از داده‌های موجود آب‌سنجی می‌توان برای راستی‌آزمایی نتایج تحلیل هیدرولوژیکی (مرحله ۴) استفاده نمود. مطالعات هواشناسی شامل جمع‌آوری داده‌های مربوط به جهت حرکت جبهه‌های باران‌زا، نحوه توزیع مکانی بارش، رابطه شدت-مدت-فراوانی بارش و الگوی زمانی و مکانی بارش است؛

۳) انتخاب سناریوی بارش یا دبی سیلاب: بر اساس نتایج به دست آمده از مرحله قبل، می‌توان نسبت به تعیین سناریوی تعینی سیلاب (هیدروگراف تعینی) که در اثر رواناب ناشی از بیشترین بارش محتمل محاسبه شده است، اقدام نمود. در صورت وجود داده‌های آب‌سنجی با کیفیت می‌توان هیدروگراف سناریوی تعینی سیل را به طور مستقیم از تحلیل آماری سیلاب‌های گذشته تعیین کرد؛

۴) مطالعات هیدرولوژیکی: هدف از انجام این مرحله از مطالعات، تبدیل داده‌های بارش به رواناب (هیدروگراف) در نقطه تمرکز حوضه آبخیز بالادست محل پروژه است. برای انجام این مرحله تحلیل‌گر باید از نرم‌افزارهای معتبر مدل‌سازی هیدرولوژیکی استفاده نماید. در صورت تمایل تحلیل‌گر برای استفاده از سایر نرم‌افزارها باید مستندات لازم در مورد عملکرد مناسب نرم‌افزار غیرتجاری به کارفرما ارائه شود؛

[1] Probable Maximum Flood
[2] Probable Maximum Precipitation

omoorepeyman.ir

۵) مدل‌سازی هیدرولیکی: پس از تعیین هیدروگراف بیشینه سیل محتمل در نزدیک‌ترین مقطع آبراه اصلی در بالادست پروژه، لازم است که مقاطع هیدرولیکی جریان برای تعیین پارامترهای عمق و سرعت جریان از طریق مدل‌سازی هیدرولیکی محدوده ما بین نقطه گزارش هیدروگراف تا محل پروژه تعیین گردد. برای انجام این مرحله می‌بایست تحلیل‌گر از نرم‌افزارهای معتبر مدل‌سازی هیدرولیکی استفاده نماید. در صورت تمایل تحلیل‌گر برای استفاده از سایر نرم‌افزارها، مستندات لازم در مورد عملکرد مناسب نرم‌افزار انتخابی می‌بایست به کارفرما ارائه شود؛

۶) محاسبه پارامترهای خطر سیل: پس از مدل‌سازی هیدرولیکی جریان، می‌توان از طریق تحلیل‌های زمانی مناسب نسبت به محاسبه پارامترهای خطر (حداکثر عمق جریان، حداکثر سرعت جریان، یا حداکثر زمان آبگرفتگی/ماندابی) در محل پروژه اقدام کرد. نتایج محاسبه می‌بایست در قالب نقشه پهنه‌بندی پارامتر خطر سیلاب سناریو در محدوده‌ی اطراف محل پروژه ارائه گردد.

مراحل لازم برای انجام تحلیل خطر تعینی سیل به اختصار در شکل ۳-۱ آورده شده است.

**شکل ۳-۱: مراحل انجام سنجش تعینی خطر سیل**

### ۳-۱-۳-۲- تحلیل خطر سیل به روش احتمالاتی

در این روش علاوه بر تعیین محدوده‌ی آبگرفتگی و پارامترهای شدت خطر، احتمال رخداد شدت‌های مختلف خطر نیز ارزیابی می‌شود. نتایج حاصل از چنین تحلیلی در تخمین پارامترهای بیمه سیلاب و همچنین برنامه‌های پرهیز و کاهش ریسک مانند برنامه‌ریزی کاربری زمین و توسعه بناهای آبی (مانند سدها و سیل‌بندها) کاربرد دارد. در روش تحلیل خطر

omoorepeyman.ir

سیل به روش احتمالاتی، کلیه عوامل مؤثر بر ایجاد سیل و مشخصات شدت از جمله عمق و سرعت و ماندابی جریان به صورت پارامتر احتمالاتی معرفی می‌شوند. این پارامترها می‌بایست با توابع آسیب پذیری که در مراحل بعد برای تخمین آسیب و زیان استفاده می‌شود همخوانی داشته باشند. خروجی تحلیل خطر سیل به روش احتمالاتی معمولاً به صورت نقشه خطر[1] سیل با دوره‌های بازگشت مختلف تولید می‌شود.

**مراحل تحلیل خطر احتمالاتی سیل**

مراحل لازم برای انجام این نوع تحلیل خطر سیل به شرح زیر است:

۱) مطالعات فیزیوگرافی حوضه آبخیز: این مطالعات به منظور شناخت حوضه آبخیزی که پروژه در پایین دست آن قرار دارد انجام می‌شود و شامل تعیین محدوده‌ی حوضه، شبکه آبراهه‌های داخل حوضه، پروفیل طولی رودخانه های داخل حوضه، شیب متوسط حوضه، مساحت حوضه و زمان تمرکز حوضه است. اگر برای تعیین خطر سیلاب نیاز به مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه باشد، دامنه اطلاعات در این بخش بیشتر خواهد بود؛

۲) مطالعات هواشناسی و آب‌سنجی: هدف از انجام این مطالعات تعیین هیتوگراف بارش با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله در حوضه آبخیز بالادست محل پروژه است. در صورت وجود داده‌های آماری از سیل‌های گذشته در مقاطع رودخانه نزدیک پروژه می‌توان از مطالعات هواشناسی صرف نظر نمود ولی معمولاً به دلیل نبود داده‌های با کیفیت آب سنجی، انجام مطالعات هواشناسی الزامی است. از داده‌های موجود آب‌سنجی می‌توان برای راستی آزمایی نتایج تحلیل هیدرولوژیکی (مرحله ۳) استفاده کرد. مطالعات هواشناسی شامل جمع آوری داده‌های مربوط به جهت حرکت جبهه‌های باران‌زا، نحوه توزیع مکانی بارش، رابطه شدت-مدت-فراوانی بارش و الگوی زمانی بارش است؛

۳) مطالعات هیدرولوژیکی: هدف از انجام این مرحله از مطالعات، تبدیل داده‌های بارش (هیتوگراف) با دوره‌های زمانی ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله به رواناب (هیدروگراف) در نقطه تمرکز حوضه آبخیز بالادست محل پروژه است. برای انجام این مرحله باید تحلیل‌گر از نرم‌افزارهای معتبر مدل‌سازی هیدرولوژیکی استفاده نماید. در صورت تمایل تحلیل‌گر برای استفاده از سایر نرم‌افزارها باید مستندات لازم در مورد عملکرد مناسب نرم‌افزار به کارفرما ارائه شود؛

۴) مدل‌سازی هیدرولیکی: پس از تعیین هیدروگراف بیشینه سیل محتمل در نزدیک‌ترین مقطع آبراه اصلی در بالادست پروژه، لازم است که مقاطع هیدرولیکی جریان برای تعیین پارامترهای عمق و سرعت جریان از طریق مدل‌سازی هیدرولیکی محدوده ما بین نقطه تمرکز حوضه تا محل پروژه تعیین گردد. برای انجام این مرحله می بایست تحلیل‌گر از نرم‌افزارهای معتبر مدل‌سازی هیدرولیکی استفاده نماید. در صورت تمایل تحلیل‌گر برای استفاده از سایر نرم‌افزارها، باید مستندات لازم در مورد عملکرد مناسب نرم‌افزار به کارفرما ارائه شود؛

[1] Flood Hazard Map

omoorepeyman.ir

۵) محاسبه پارامترهای خطر سیل: پس از مدل‌سازی هیدرولیکی جریان، می‌توان از طریق تحلیل‌های زمانی مناسب نسبت به محاسبه پارامترهای خطر (عمق و سرعت جریان و زمان ماندابی) در محل پروژه اقدام کرد. محاسبه پارامتر خطر سیل می‌بایست برای کلیه دوره‌های بازگشت ذکر شده در مرحله ۳ انجام شود. نتایج محاسبه می‌بایست در قالب نقشه پهنه‌بندی سیلاب برای هر دوره بازگشت و منحنی احتمال فراگذشت خطر سیل در محدوده‌ی اطراف محل پروژه ارائه شود.

مراحل لازم برای انجام تحلیل خطر احتمالاتی زلزله به اختصار در شکل ۳-۲ آورده شده است.

**شکل ۳-۲: مراحل انجام سنجش احتمالاتی خطر سیل**

### ۳-۱-۴- شاخص و معیار شدت رخداد سیل

در تعیین شاخص و معیار شدت خطر مورد نظر توجه به مؤلفه‌های در معرض ریسک و نحوه به کارگیری توابع آسیب پذیری در آنها دارای اهمیت است. تحلیلگر باید بر اساس شدت خطر ورودی توابع آسیب‌پذیری نسبت به انتخاب پارامتر خطر سیل در مطالعات اقدام نماید. با توجه به توابع آسیب پذیری مطابق بند ۲-۳-۴، استفاده از معیارهای بیشینه سرعت جریان و بیشینه عمق جریان به عنوان دو شاخص اصلی در مطالعات پیشنهاد می‌شوند.

### ۳-۱-۵- اثرات عدم قطعیت عوامل مؤثر در تحلیل خطر سیل

با توجه به عدم قطعیت موجود در داده‌های مبنای تحلیل خطر سیل، تحلیل‌گر لازم است با استفاده از روش‌های مناسب (مانند درخت منطق) عوامل ایجاد و اثرات عدم قطعیت را در تحلیل خطر سیل و نتایج حاصل از آن مورد بررسی قرار داده

omoorepeyman.ir

و دامنه تغییرات نتایج ممکن را که به دلیل استفاده از روش‌های مختلف و فرضیات متفاوت تحلیل به دست آمده، ارائه نماید. این موضوع به ویژه در انجام تحلیل خطر سیل به روش احتمالاتی دارای اهمیت زیاد است و پیامدهای آن باید در نتایج نهایی تحلیل خطر منعکس شود. تحلیل‌گر باید عدم قطعیت ناشی از تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه، شکست در سازه‌های دفاعی (مهارکننده) سیل، رهاسازی قابل توجه در سدهای بالادست و تأثیرات ناشی از تغییر فصول را نیز در محاسبه خطر در نظر بگیرد.

### ۳-۱-۶- راستی‌آزمایی نتایج تحلیل خطر سیل

پس از انجام تحلیل خطر سیل، نتایج به دست آمده باید با استفاده از اندازه‌گیری‌های محلی مناسب یا مقایسه با نتایج مطالعات گذشته معتبر خطر و پهنه‌بندی سیل، آمار ایستگاه‌های هواشناسی و آب سنجی، عکس‌های ماهواره‌ای رخدادهای گذشته، مطالعات دیرینه‌شناسی سیل، یا سایر روش‌ها صحت‌سنجی شود. این راستی آزمایی باید در صورت امکان در کلیه مراحل انجام تحلیل خطر سیل انجام پذیرد.

## ۳-۲- شناسایی دارایی در معرض خطر سیل

تحلیلگر باید بر اساس مقیاس مطالعه و محدوده‌ی مورد نظر برای مطالعه نسبت به تهیه سیاهه دارایی در معرض خطر اقدام نماید. در صورتی که موضوع مطالعه شامل بررسی یک منطقه است، مؤلفه‌ی دارایی وضعیت ابنیه و اجزای فیزیکی و مشخصات جمعیتی محدوده در دست مطالعه را شرح می‌دهد. در این مؤلفه باید با استفاده از سیستم‌های استاندارد گروه‌بندی نسبت به گروه‌بندی هر یک از اجزای در دست مطالعه مانند ساختمان‌های متعارف، تأسیسات ضروری و حساس، اجزای سیستم حمل و نقل و اجزای سیستم‌های خدمت‌رسانی مانند آب، برق، گاز و مخابرات اقدام نمود این گروه‌بندی بر اساس ویژگی‌های مؤلفه قبلی و بعدی فرایند مطالعه یعنی مؤلفه‌های خطر و آسیب‌پذیری و همچنین اطلاعات و مشخصات در دسترس از آنها انجام می‌پذیرد. در ایجاد سیاهه می‌توان از بانک‌های داده موجود استفاده نمود؛ اما اصلاح و به روزرسانی آنها بر اساس بررسی‌های میدانی و نمونه‌های تعریف شده به این منظور ضروری است.

پایگاه داده دارایی‌های در معرض خطر سیل می‌بایست به طور ایده‌آل حاوی اطلاعات زیر باشند:

۱- محل دارایی: محل دارایی بسته به اطلاعات در دسترس و دقت سنجش ریسک با ریزنمایی‌های مختلفی از قبیل مختصات جغرافیایی، مختصات محلی، آدرس پستی، کد پستی، محله، ناحیه، منطقه، شهر، شهرستان و استان تعیین می‌شود؛

۲- خصوصیات سازه‌ای: نوع سازه (مانند اسکلت فولادی، بتن مسلح، بنایی، چوبی، سبک و غیره)، نوع سیستم مقاوم در برابر بار جانبی (مهاربندی، دیوار برشی، قاب خمشی و غیره)، سال ساخت، ارتفاع سازه یا تعداد طبقات و نوع پی؛

۳- خصوصیات غیرسازه‌ای: نوع مصالح دیوارهای خارجی، نوع مصالح سقف، تأسیسات مکانیکی و برقی، تجهیزات و سایر اجزاء غیر سازه‌ای،

omoorepeyman.ir

۴- خصوصیات معماری و شهرسازی: کاربری، متراژ زیر بنا، ابعاد دارایی، تراز طبقه همکف، تعداد طبقات زیر زمین، سطح اشغال، غیره؛

۵- ارزش: ارزش اقتصادی دارایی اعم از ابنیه، تأسیسات، تجهیزات و اثاثیه داخل آن و همچنین میزان درآمد حاصل از کسب و کار داخل ساختمان (روزانه یا ماهانه).

از آنجا که جمع آوری کلیه اطلاعات بالا به دلیل نبود وجود پایگاه‌های داده شهری قابل اعتماد به طور کامل ممکن نیست، در عمل تنها از بخشی از اطلاعات فوق در روند سنجش ریسک استفاده می‌شود. بدیهی است هر چه جزئیات مدل دارایی دقیق‌تر، تعداد اطلاعات توصیفی[1] بیشتر و درصد خطا کمتر باشد، کیفیت خروجی سنجش ریسک بالاتر و قابل اتکاتر خواهد بود.

### ۳-۲-۱- آسیب‌پذیری در برابر سیل

آسیب پذیری دارایی در برابر سیل، نحوه آسیب‌دیدگی کالبدی یا عملکردی دارایی را در رویارویی با درجات مختلف از شدت سیل تعیین می‌کند. آسیب‌دیدگی کالبدی معمولاً به شکل آسیب (خسارت کالبدی) و آسیب‌دیدگی عملکردی به شکل تولید یا درآمد از دست رفته است. تحلیل‌گر ریسک باید بسته به روش سنجش آسیب، نحوه آسیب‌دیدگی دارایی در مواجهه با شدت‌های مختلف خطر سیل را از طریق انتخاب مقدار کیفی آسیب پذیری، توابع شکنندگی یا توابع آسیب پذیری متناسب با خصوصیات دارایی تعیین نماید. سنجش آسیب پذیری در چند مرحله انجام می‌پذیرد. این مراحل در زیربخش‌های که در پی می‌آیند توضیح داده می‌شوند.

### ۳-۲-۲- گونه‌بندی دارایی‌های در خطر

در این مرحله، تحلیلگر ریسک می‌بایست نسبت به دسته‌بندی دارایی‌های در خطر سیل بر اساس خصوصیات شهرسازی، معماری، سازه‌ای و غیرسازه‌ای اقدام نماید. اطلاعات لازم برای گونه‌بندی دارایی باید در مرحله شناسایی دارایی‌های در معرض خطر سیل جمع‌آوری شده باشد. تعداد گونه‌های آسیب پذیری دارایی‌ها باید به نحوی تعیین شود که نخست تفاوت دارایی‌ها را از لحاظ نحوه تأثیرپذیری از سیل در نظر گیرد و دوم، امکان تعیین آسیب پذیری کیفی[2] یا یافتن توابع آسیب پذیری[3] یا توسعه آنها را با توجه به داده‌ها و منابع در دسترس در نظر گیرد. مرور ادبیات فنی مربوط به مطالعات سنجش ریسک در مورد دارایی‌های مشابه و بهره‌گیری از دانش متخصصان سنجش ریسک در هنگام تعیین گونه‌های آسیب‌پذیری توصیه می‌شود.

باید توجه داشت که عمده آسیب‌های وارد به دارایی‌ها از ناحیه سیل، برخلاف زلزله، آسیب‌های غیرسازه‌ای و به خصوص آسیب به اثاثیه است که این مسئله باید در تعیین گونه‌های آسیب‌پذیری در برابر سیل مد نظر قرار گیرد. معمولاً گونه

[1] Attribute

[2] برای استفاده در سنجش کیفی ریسک

[3] برای استفاده در سنجش کمی و عددی ریسک

omoorepeyman.ir

بندی آسیب پذیری در برابر سیل بر اساس دسته‌بندی خصوصیات دارایی شامل دسته‌بندی ارتفاعی یا تعداد طبقات؛ دسته بندی نوع سازه و کاربری آنها تعیین می‌شود. گونه‌بندی آسیب پذیری باید به نحوی تعیین شود که امکان یافتن منحنی های شکنندگی یا آسیب‌پذیری متناظر با گونه‌ها در ادبیات فنی یا توسعه منحنی‌ها با استفاده از روش‌های مرسوم وجود داشته باشد.

### ۳-۲-۳- تعیین الگوی آسیب پذیری گونه‌های دارایی

پس از دسته‌بندی دارایی‌های در خطر بر اساس میزان آسیب پذیری آنها در برابر سیل، باید الگوی آسیب پذیری هر گونه تعیین شود. بسته به نوع روش انتخابی برای سنجش ریسک، تعیین الگوی آسیب‌پذیری به دو شکل انجام می‌پذیرد:

- سنجش کیفی ریسک: در هنگامی که از روش کیفی برای سنجش ریسک سیل استفاده می‌شود، لازم است آسیب پذیری گونه‌های دارایی در برابر سیل با توصیف کیفی (آسیب پذیری کم، متوسط و زیاد) تعیین شود. در این هنگام تحلیل‌گر می‌بایست با استفاده از روش‌های مبتنی بر قضاوت کارشناسی، روش‌های گروهی، یا بررسی داده های آسیب‌های گذشته نسبت به انتخاب درجه کیفی آسیب پذیری هر گونه دارایی اقدام نماید.
- سنجش کمّی ریسک: در صورت استفاده از روش کمّی و عددی در سنجش ریسک، تحلیلگر باید از طریق مرور ادبیات فنی مربوط به آسیب پذیری دارایی در خطر، توابع آسیب‌پذیری با شرایط مشابه را انتخاب کند. در صورت معتبر نبودن یا عدم وجود توابع یاد شده، تحلیلگر باید با استفاده از روش‌های معتبر سنجش آسیب‌پذیری که شامل روش‌های تجربی[۱]، تحلیلی[۲] یا روش‌های ترکیبی[۳] است، نسبت به توسعه توابع مورد نیاز اقدام نماید. تحلیلگر به منظور دستیابی به اطلاعات بیشتر در مورد نحوه انجام تولید توابع شکنندگی و آسیب پذیری می‌تواند به راهنمای فنی مدل سیل هازوس[۴] مراجعه کند.

### ۳-۲-۴- راستی آزمایی الگوی آسیب پذیری انتخاب شده

الگوی آسیب پذیری انتخاب شده برای گونه‌های دارایی باید با بهره‌گیری از قضاوت کارشناسی، مقایسه آماری با خسارات گذشته برای دارایی‌های مشابه یا مقایسه با مطالعات معتبر مستقل راستی‌آزمایی گردند، به نحوی که الگوی انتخابی تا بیشترین حد بیانگر نحوه آسیب پذیری گونه‌های دارایی در شرایط مخاطره‌ای و ساخت و ساز در منطقه پروژه باشد.

### ۳-۲-۵- بررسی عدم قطعیت

مسئله عدم قطعیت و عوامل مؤثر بر آن در الگوی آسیب پذیری انتخاب شده باید با به کارگیری روش‌های مناسب مورد بررسی قرار گرفته و دامنه حالت‌های ممکن برای آن پیش بینی شود. علاوه بر آن در صورت وجود داده‌های تجربی مناسب

[1] Empirical
[2] Analytical
[3] Hybrid
[4] Technical Manual of HAZUS - Flood

omoorepeyman.ir

در مورد خسارات گذشته یا استفاده از روش‌های تحلیل باید عدم قطعیت ثانویه توابع آسیب پذیری که توزیع احتمال فراگذشت سطوح آسیب یا درصد خسارت برای شدت‌های مختلف خطر سیل را تعیین می‌کنند، نیز در نظر گرفته شود.

## ۳-۳- سنجش آسیب/ زیان

مرحله سنجش آسیب و زیان سیل شامل ترکیب مؤلفه‌های شدت خطر سیل، دارایی در معرض خطر، آسیب ناشی از سیل و زیان حاصل از آن است. این مرحله آخرین گام از مراحل چهارگانه تحلیل ریسک است که فرآورده نهایی تحلیل را در اختیار بهره‌مندان پروژه قرار داده و مبنای فعالیت‌هایی قرار می‌گیرد که در ادبیات مدیریت ریسک، چاره‌سازی ریسک[1] نام گرفته است. گام‌های لازم برای ارزیابی آسیب و زیان سیل برای تحلیل ریسک به روش تعینی و احتمالاتی یا دارایی های تکی و گروهی یکسان است. همچنین، بر اساس رویکرد دنبال شده در بخش خطر سیل، تحلیلگر باید از یکی از روش های کمّی، کیفی، یا کمّی-کیفی برای ارزیابی آسیب/زیان استفاده نماید. در ادامه، نحوه انجام ارزیابی آسیب/زیان به هر یک از روش‌های یاد شده تشریح می‌شود.

### ۳-۳-۱- سنجش آسیب/زیان سیل به روش کیفی

در مواقعی که کلیه مؤلفه‌های ریسک ناشی از سیل (خطر، آسیب‌پذیری و دارایی) به صورت کیفی دسته‌بندی شده باشند، تحلیلگر می‌تواند از روش کیفی برای ارزیابی آسیب/زیان اقدام نماید. مراحل انجام ارزیابی آسیب/زیان سیل به روش کیفی به شرح زیر است:

۱- تشکیل پایگاه داده مکانی برای دو لایه خطر و دارایی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS): در این مرحله باید پایگاه داده مقادیر کیفی خطر و ارزش دارایی در محل مختصات هر دارایی در قالب جدول ایجاد شود. سپس لازم است مقادیر کیفی به مقادیر کمّی-کیفی معادل بر اساس جدول ۳-۱ تبدیل شود؛

**جدول ۳-۱: تبدیل مقادیر کیفی به مقادیر کمّی-کیفی**

| مقدار کیفی | خیلی کم | کم | متوسط | زیاد | خیلی زیاد |
|---|---|---|---|---|---|
| معادل کمّی-کیفی | ۰/۱ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۹ |

۲- تخصیص آسیب‌پذیری به دارایی‌های مکانی: در این مرحله لازم است میزان کمّی-کیفی آسیب‌پذیری بسته به خصوصیات مؤثر در آسیب‌پذیری دارایی مانند سال ساخت، نوع مصالح، کاربری و غیره به هر یک از دارایی‌ها نسبت داده شود. تحلیلگر باید معادل عددی آسیب‌پذیری را به لایه دارایی‌ها اضافه نماید؛

۳- ارزیابی آسیب سیل: در این مرحله لازم است تحلیلگر با استفاده از تحلیل برهم‌نهی مکانی، مقدار ریسک را از حاصل ضرب جبری مقادیر کمّی شده‌ی هر یک از سه مؤلفه خطر، دارایی و آسیب‌پذیری برای هر دارایی، محاسبه کند؛

[1] Risk treatment

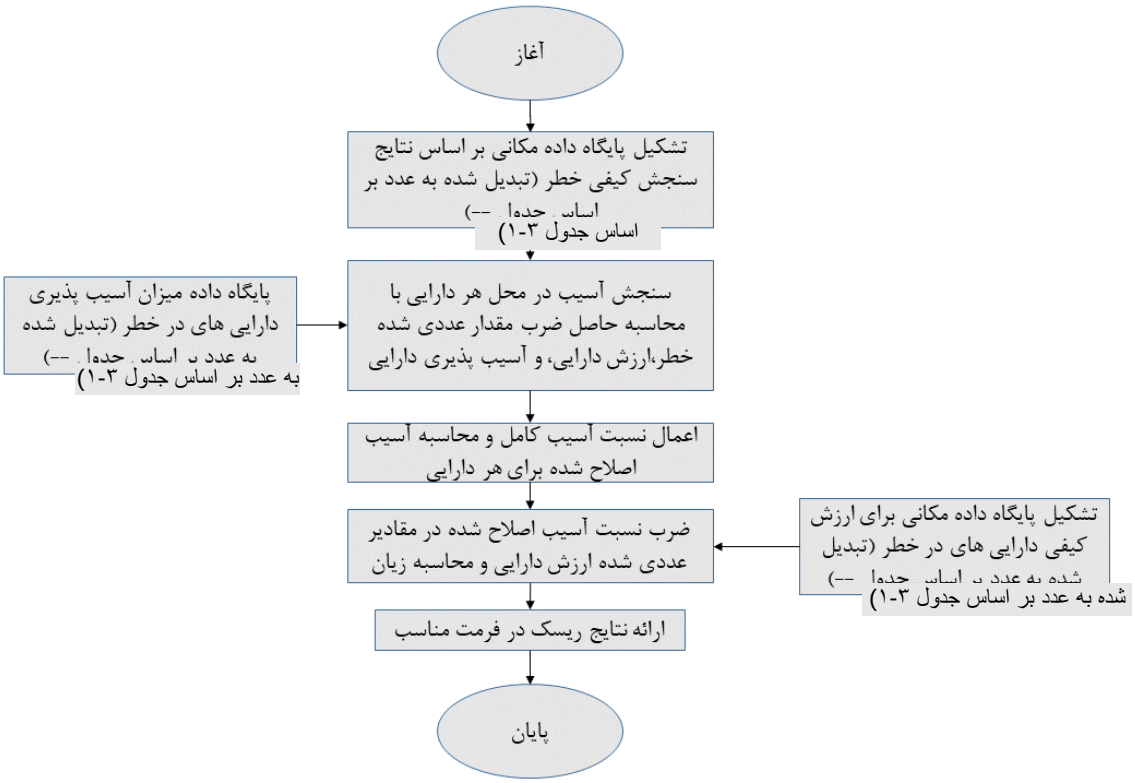
omoorepeyman.ir

۴- اعمال حد آسیب کامل: در این مرحله پس از نرمال سازی نسبت‌های آسیب، نسبت‌هایی که از حد آسیب کامل[۱] بیشتر هستند به نسبت آسیب کامل (۱/۰) تبدیل می‌شوند. مقادیر به دست آمده آسیب، آسیب اصلاح شده نامیده می‌شوند؛

۵- سنجش زیان: از ضرب مقادیر اصلاح شده آسیب در مقادیر عددی شده ارزش دارایی متناظر، میزان زیان دارایی محاسبه می‌شود. این مقادیر پس از نرمال سازی به بزرگ‌ترین مقدار، به عنوان زیان گزارش می‌شود؛

۶- ارائه نتایج آسیب و زیان (ریسک): در این مرحله لازم است تحلیلگر پس از انجام دسته‌بندی مناسب برای بازه‌های عددی محاسبه شده ریسک و تعیین شدت کیفی معادل با آنها، نقشه ریسک دارایی‌ها را تولید نماید.

شکل ۳-۳ مراحل لازم برای سنجش آسیب/زیان سیل را نمایش می‌دهد.




**شکل ۳-۳: فلوچارت مراحل انجام سنجش کیفی ریسک سیل برای یک یا گروهی از دارایی‌ها**

در تخصیص مقادیر کیفی در هر یک از مراحل فوق می‌توان از روش‌های مبتنی بر قضاوت کارشناسی، خرد جمعی، آمار گذشته و نتایج تحقیقات گذشته استفاده نمود.

### ۳-۳-۲- سنجش ریسک سیل به روش کمّی

در مواقعی که کلیه مؤلفه‌های ریسک (خطر، آسیب‌پذیری و دارایی) به صورت کمّی تدوین شده باشند، می‌توان از روش

[۱] حد آسیب کامل در سنجش کیفی ریسک بر اساس قضاوت کارشناسی تعیین می‌گردد.

omoorepeyman.ir

کمّی برای ارزیابی آسیب/زیان استفاده نمود. در این حالت باید مقادیر آسیب و زیان و در صورت لزوم زیان غیرمستقیم به صورت عددی محاسبه می‌شوند. مراحل انجام سنجش ریسک سیل به روش کمّی به شرح زیر است:

۱- تشکیل پایگاه داده مکانی برای دو لایه شدت خطر سیل و دارایی در معرض این خطر در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی[1]: در این مرحله باید پایگاه داده مقادیر شدت خطر سیل و ارزش دارایی در محل مختصات هر دارایی در قالب جدول ایجاد شود؛

۲- محاسبه ریسک کالبدی (آسیب): در این مرحله، لازم است با استفاده از نرم‌افزارهای معتبر سنجش ریسک یا با استفاده از برنامه‌نویسی نسبت به محاسبه آسیب اقدام کرد. در صورت استفاده از روش برنامه‌نویسی لازم است، درصد آسیب در هر دارایی با استفاده از مقدار خطر در محل دارایی و تابع آسیب‌پذیری مربوط به گونه دارایی محاسبه شود. در صورت نیاز به درنظرگیری عدم قطعیت ثانویه در منحنی‌های آسیب‌پذیری، قابلیت انتخاب تصادفی درصد آسیب برای هر سطح از خطر پیش بینی شود؛

۳- محاسبه ریسک مالی (زیان): در این مرحله لازم است تحلیلگر نسبت به اعمال شرط آسیب کامل به درصدهای محاسبه شده در مرحله قبل اقدام نماید. حد یا درصد آسیب کامل، میزانی از آسیب است که دارایی خسارت دیده دیگر قابل تعمیر نبوده و می‌بایست جایگزین شود. حد آسیب کامل[2] باید از طریق قضاوت کارشناسی تعیین شود. به منظور محاسبه زیان، لازم است درصدهای آسیب که حد آسیب کامل در آنها اعمال شده است در ارزش اقتصادی دارایی مورد بررسی ضرب جبری شوند؛

۴- محاسبه ریسک مالی غیرمستقیم (زیان غیر مستقیم): به منظور سنجش زیان مالی غیرمستقیم ناشی از بروز سیل در محل دارایی، تحلیلگر باید با استفاده از روش‌های مناسب اقتصادی (روش داده-ستانده[3] یا روش‌های نظیر آن) نسبت به محاسبه زیان در سایر بخش‌های اقتصادی که به طور مستقیم آسیب ندیده‌اند، اقدام نماید. تحلیلگر باید برای به دست آوردن اطلاعات دقیق‌تر نحوه محاسبه زیان غیرمستقیم ناشی از سوانح به مراجع فنی معتبر مانند ضابطه شماره ۸۲۱ سازمان برنامه و بودجه یا راهنمای تحلیل ریسک ناشی از سیلاب ایالات متحده[4] مراجعه کند؛

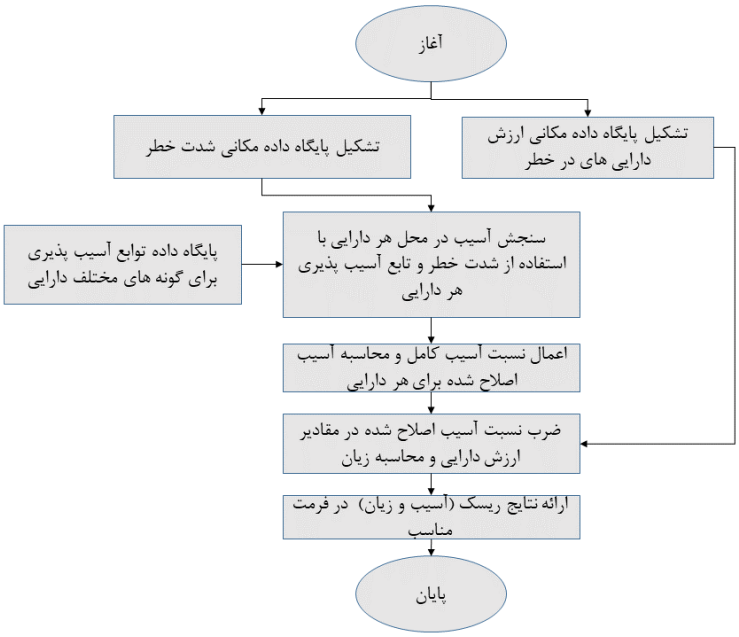
۵- ارائه نتایج ریسک: در این مرحله تحلیلگر باید از طریق دسته‌بندی مناسب و اختصاص رنگ به هر دسته از مقادیر ریسک نسبت به تهیه نقشه ریسک (آسیب یا زیان) اقدام نماید. همچنین در صورت استفاده از روش احتمالاتی برای خطر، تحلیلگر باید از طریق روش‌های آماری نمودار احتمال فراگذشت ریسک را برای گونه‌های مختلف دارایی یا به صورت تجمیعی تهیه نماید. زیان میانگین سالیانه[5] پارامتر دیگری است که در این مرحله از طریق محاسبه سطح زیر نمودار فراگذشت قابل محاسبه است.

omoorepeyman.ir

[1] GIS
[2] Total loss condition
[3] Input-output method
[4] HAZUS
[5] Average Annual Loss (AAL)

مراحل ارائه شده در این بخش، خلاصه‌ای از مراحل لازم برای انجام ارزیابی آسیب/زیان است. تحلیلگر ریسک لازم است برای دستیابی به جزئیات بیشتر به نشریات شماره ۱۶۴-ن معاونت امور آب و آبفا وزارت نیرو[1] و ضوابط شماره ۶۶۸[2] و ۷۰۵[3] نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه مراجعه نماید.

مراحل لازم برای سنجش کمّی آسیب و زیان ناشی از سیل در محل دارایی (ها) در شکل ۳-۴ نشان داده شده است.




**شکل ۳-۴: فلوچارت مراحل انجام سنجش کمّی (احتمالاتی) ریسک سیل برای یک یا گروهی از دارایی‌ها**

## ۳-۳-۳- سنجش ریسک به روش کمّی-کیفی

در مواقعی که برخی مؤلفه‌های تحلیل ریسک سیل (خطر، آسیب‌پذیری و دارایی) به صورت کمّی و برخی دیگر به صورت کیفی آماده شده باشند، تحلیلگر می‌تواند از روش کمّی-کیفی برای سنجش ریسک سیل استفاده نماید. در این حالت لازم است آسیب و زیان وارد به دارایی در معرض خطر، به صورت کیفی تعیین شود. مراحل سنجش ریسک کمّی-کیفی به شرح زیر است:

۱- تبدیل مقادیر مؤلفه‌های عددی به معادل کمّی-کیفی: در این مرحله تحلیلگر باید با استفاده از رابطه ۳-۱ نسبت به نرمال‌سازی مؤلفه‌های عددی اقدام نموده و آنها را به بازه مقادیر صفر تا یک محدود سازد؛

$$x_{normalised} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad \text{(رابطه ۳-۱)}$$

۲- تبدیل مقادیر مؤلفه‌های کیفی به معادل کمّی-کیفی: در این مرحله تحلیلگر باید با استفاده از جدول ۳-۱ نسبت به

[1] بررسی خسارت سیلاب
[2] دستورالعمل تهیه گزارش فنی سیلاب
[3] راهنمای مدیریت سیلابدشت

omoorepeyman.ir

کمّی‌سازی مؤلفه‌های کیفی اقدام نماید؛

۳- تخصیص آسیب‌پذیری ناشی از/به دارایی‌های مکانی: در این مرحله لازم است میزان کمّی-کیفی آسیب‌پذیری بر اساس خصوصیات مؤثر در آسیب‌پذیری دارایی مانند سال ساخت، نوع مصالح، کاربری و غیره به هر یک از دارایی‌ها نسبت داده می‌شود. سپس تحلیلگر باید معادل عددی آسیب‌پذیری را به لایه دارایی‌ها اضافه کند؛

۴- ارزیابی آسیب سیل: در این مرحله لازم است پس از نرمال سازی مقادیر آسیب به بزرگ‌ترین مقدار آسیب، نتایج به دست آمده در دسته‌هایی که معرف درجات کیفی آسیب هستند مرتب شوند. خروجی این مرحله نقشه‌های شدت ریسک برای دارایی‌های تکی یا گروهی خواهد بود؛

۵- ارزیابی زیان سیل: در صورتی که ارزش اقتصادی دارایی‌های در خطر سیل یکسان باشد، خروجی مرحله ۵ می‌تواند به عنوان نتیجه ارزیابی زیان نیز در نظر گرفته شود. در صورت اختلاف بین ارزش اقتصادی دارایی‌های در خطر، می‌توان مقادیر خروجی مرحله ۴ را با اثر دادن ضرایب ارزش نسبی به زیان سیل تبدیل کرد.

مراحل انجام سنجش کمّی-کیفی ریسک سیل پس از نرمال سازی مقادیر عددی، مشابه روش سنجش کیفی ریسک سیل است.

### ۳-۳-۴- عدم قطعیت

در روند سنجش ریسک ناشی از سیل می‌توان از روش‌های متفاوتی برای تعیین پارامترهای لازم برای تحلیل (مانند چگونگی تعیین حد آسیب کامل یا نحوه در نظر گرفتن عدم قطعیت ثانویه نمودارهای آسیب پذیری) استفاده کرد. در نظر گرفتن هر کدام از این روش‌ها می‌تواند به نتیجه‌ای متفاوت منجر شود. در چنین مواردی لازم است تحلیلگر با استفاده از روش‌های مناسب (مانند درخت منطق) اثرات عدم قطعیت در تحلیل را مورد بررسی قرار داده و گستره نتایج ممکن را که به دلیل استفاده از روش‌های مختلف و فرضیات متفاوت تحلیل به دست آمده، در نتایج مورد توجه قرار دهد. از آنجا که عدم قطعیت نتایج سنجش خطر سیل در بخش خطر انجام می‌شود، اثر بررسی‌های انجام شده در نتایج سنجش ریسک وارد شده و نیازی به تکرار مطالعات عدم قطعیت در مورد خطر نیست، اما این مطالعات باید برای سایر مؤلفه‌های ریسک (آسیب پذیری، دارایی و محاسبات آسیب و زیان) انجام شود.

### ۳-۳-۵- همبستگی

توصیه می‌شود الگوی مکانی و زمانی رخداد پارامتر ریسک محاسبه شده در مکان‌های مختلف در پروژه‌هایی که دارای ابعاد کالبدی قابل توجه در یک یا دو بعد هستند، یا به صورت گسسته در مکان‌های دور از هم قرار دارند، از طریق به کارگیری روش‌های تعیین همبستگی مکانی و زمانی[1] مورد بررسی قرار گیرد. همچنین در صورت نیاز به محاسبه ریسک تجمعی ناشی از دو خطر مختلف (مانند سیل و زلزله) لازم است همبستگی مکانی و زمانی مربوط به بروز آسیب و زیان در

[1] Spatial and temporal correlation

omoorepeyman.ir

نظر گرفته شود. تحلیلگر می‌تواند به منظور در نظر گرفتن همبستگی مکانی دارایی‌ها یا همبستگی زمانی مخاطرات از روش محاسبه ماتریسی که در پیوست ۱ ارائه شده، استفاده کند.

### ۳-۳-۶- اعتبار و راستی‌آزمایی

پس از انجام تحلیل خطر، نتایج به دست آمده باید با استفاده از آسیب‌ها و زیان‌های ثبت شده از رویدادهای گذشته در محل پروژه یا مقایسه با نتایج مطالعات معتبر قبلی، مورد صحت‌سنجی قرار گیرد. لازم است تحلیل‌گر با روش‌های مناسب نسبت به صحت نتایج حاصل از تحلیل خطر سیل اطمینان حاصل نماید. پارامترهای مؤثر در نتایج که طی روند محاسبات به کار گرفته شده‌اند، مقایسه نتایج محلی با شواهد ثبت شده قبلی، میزان اعتبار کاتالوگ‌ها و بانک‌های داده مورد استفاده، توابع مدل‌های برآورد شدت خطر بر اساس مشخصات رویداد در سرچشمه‌ها بر اساس مشخصات مسیر سیلاب و ساختگاه از جمله مواردی هستند که باید در هر بخش صحت‌سنجی شود. این بررسی باید در سایر مراحل از جمله تعیین توابع آسیب‌پذیری، زیان و برآورد پارامترهای ریسک مورد نظر نیز صورت پذیرد.

### ۳-۳-۷- اهمیت مرور و بازنگری نتایج تحلیل ریسک سیل

با توجه به پویایی شرایط در دست مطالعه از نظر شدت خطر سیل و شرایط پروژه، افزایش روزافزون داده‌ها و ارتقای روش‌های تحلیل ریسک لازم است مطالعات تحلیل ریسک سیل در دوره‌های زمانی مشخص بررسی و بر اساس شرایط موجود مورد بازنگری قرار گرفته و به روزرسانی شود. در حین بازنگری مطالعه باید به موارد زیر توجه کرد:

- جامعیت مطالعه: تحلیل‌گر باید با توجه به افزایش تدریجی اطلاعات پروژه از جامعیت اقدامات انجام گرفته در بخش‌های مختلف مطالعات اطمینان حاصل نماید؛
- درستی مطالعه: با توجه به ارتقای روش‌های تحلیل ریسک در طول زمان، تحلیل‌گر باید با بررسی روش‌های موجود از کارآمدی رویکرد و روش تحلیل ریسک به کار رفته اطمینان حاصل نموده و صحت و دقت نتایج را کنترل نماید؛
- به‌روزرسانی بانک‌های داده مورد استفاده: با توجه به شرایط زمانی و تغییرات ایجاد شده، تحلیل‌گر باید از آخرین اطلاعات در دسترس در مؤلفه‌های تحلیل خطر یا دارایی در معرض خطر استفاده نموده و مطالعات را به روزرسانی کند.

### ۳-۳-۸- مستندسازی مطالعات تحلیل ریسک سیل

لازم است مدارک و مستندات مطالعه و اسناد مبنای مطالعات تحلیل ریسک سیل، گزارش مطالعات مراحل مختلف و نتایج حاصل به نحو مناسب ذخیره‌سازی و ثبت شود. در این زمینه باید به وجود چارچوب لازم برای ثبت و نگهداری اسناد مطالعاتی برای یک بازه‌ی زمانی مشخص توجه نمود. سطح اهمیت ذخیره‌سازی، نوع و میزان داده‌های مورد نیاز برای ذخیره‌سازی باید توسط تحلیلگر مشخص شود. در این زمینه سطح ریسک موجود، الزامات قانونی موجود و الزامات

omoorepeyman.ir

سیستم‌های مدیریتی موجود در محل باید مورد توجه قرار گیرد. اسناد ذخیره‌سازی شده از جمله باید نشان دهنده موارد زیر باشند:

- بررسی و شناسایی دقیق شدت سیل مورد نظر؛
- مقدار پارامترهای ریسک ناشی از سیل؛
- معیارهای ارزیابی آسیب‌پذیری به کار گرفته شده؛
- شرایط محلی منظور شده در توابع به کار رفته از جمله توابع آسیب و میزان زیان ناشی از آسیب‌ها.

### ۳-۳-۹- ابزار تحلیل ریسک سیل

نرم‌افزارهای تحلیل خطر سیل، تحلیل ریسک سیل و ذخیره‌سازی و نمایش نتایج باید در هماهنگی با نیازهای پروژه و شرایط مورد نظر کارفرما انتخاب شده و به کار روند. در هر حال تحلیل‌گر باید از دقت و صحت نتایج ابزار به کار رفته اطمینان حاصل نموده و نتایج هر بخش را به نحو مناسب صحت‌سنجی کند.

omoorepeyman.ir

# پیوست ۱

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

# پیوست ۱: نحوه محاسبه همبستگی ریسک (آسیب و زیان) برای دارایی‌های توزیع شده مکانی[۱]

در صورتی که دارایی‌های در خطر در نقاط مختلف کشور پراکنده شده باشند، امکان همزمانی آسیب/زیان برای همه دارایی در اثر رخداد مخاطرات طبیعی مانند سیل و زلزله غیرمحتمل خواهد بود. البته احتمال همزمانی خسارت در دارایی هایی که در فاصله کمتری نسبت به هم قرار دارند وجود خواهد داشت. به این دلیل، لازم است برای محاسبه ریسک دارایی های توزیع شده در نقاط مختلف کشور، اثر همبستگی خسارات را در نظر گرفت. یکی از روش‌هایی که برای در نظرگیری همبستگی ریسک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، ماتریس همبستگی است که نحوه استفاده آن در این پیوست توضیح داده می‌شود. کوچک‌ترین واحد جغرافیایی در این روش، شهرستان در نظر گرفته شده است. روند کلی کار به این صورت است که ابتدا ریسک دارایی‌های در خطر در هر شهرستان محاسبه شده و سپس با در نظرگیری اثر همبستگی، میزان ریسک در سطح استان محاسبه می‌شود. اگر دارایی‌های در خطر در بیش از یک استان وجود داشته باشند، اثر همبستگی خسارت بین استان‌ها نیز داخل محاسبات منظور می‌شود تا ریسک پروژه در سطح کشور (بالاترین سطح) به دست آید. در نظر گرفتن اثر همبستگی در تجمیع ریسک‌های توزیع شده، معمولاً باعث کاهش اندازه ریسک شده و اقدامات چاره‌سازی برای ریسک‌ها، مقرون به صرفه‌تر خواهد شد.

می‌توان پس از محاسبه ریسک مخاطره در هر شهرستان، بردار ریسک استان ($\bar{R}_{OST,k}$) را که دارای بُعدی به تعداد شهرستان های واقع در آن استان است، تشکیل داد. k در اینجا اندیس استان است. در صورتی که دارایی‌های در خطر در همه استان های کشور توزیع شده باشند، این ماتریس باید برای هر یک از ۳۱ استان کشور آماده شود. در غیر این صورت بردار ریسک می‌بایست تنها برای استان‌های حاوی دارایی‌های در خطر آماده شود. از آنجا که مخاطرات طبیعی (سیل، زلزله و غیره) معمولاً در همه شهرستان‌های واقع در یک استان به طور همزمان در یک سال رخ نمی‌دهند، به منظور در نظر گرفتن همبستگی مکانی و زمانی ریسک‌های محاسبه شده لازم است ریسک دارایی‌های هر استان با استفاده از ماتریس همبستگی خسارات زلزله استان مربوطه با هم ترکیب شوند. رابطه (پ-۱) نحوه محاسبه ریسک در مقیاس استان را نشان می‌دهد.

$$R_{OSTk} = \sqrt{\bar{R}^{T}_{OST,k}\, AGG_{OST,k}\, \bar{R}_{OST,k}} \qquad (پ-۱)$$

در این رابطه، $AGG_{OST,k}$ ماتریس همبستگی خسارات شهرستان‌ها در استان k و $R_{OSTk}$ مقدار پله‌ای[۲] (غیر برداری) ریسک استان k است. ماتریس همبستگی خسارات زلزله استان، ماتریسی متقارن است که بُعد آن برابر تعداد شهرستان های واقع در آن استان است. به دلیل آنکه هر شهرستان با خودش همبستگی کامل دارد قطر اصلی این ماتریس برابر ۱

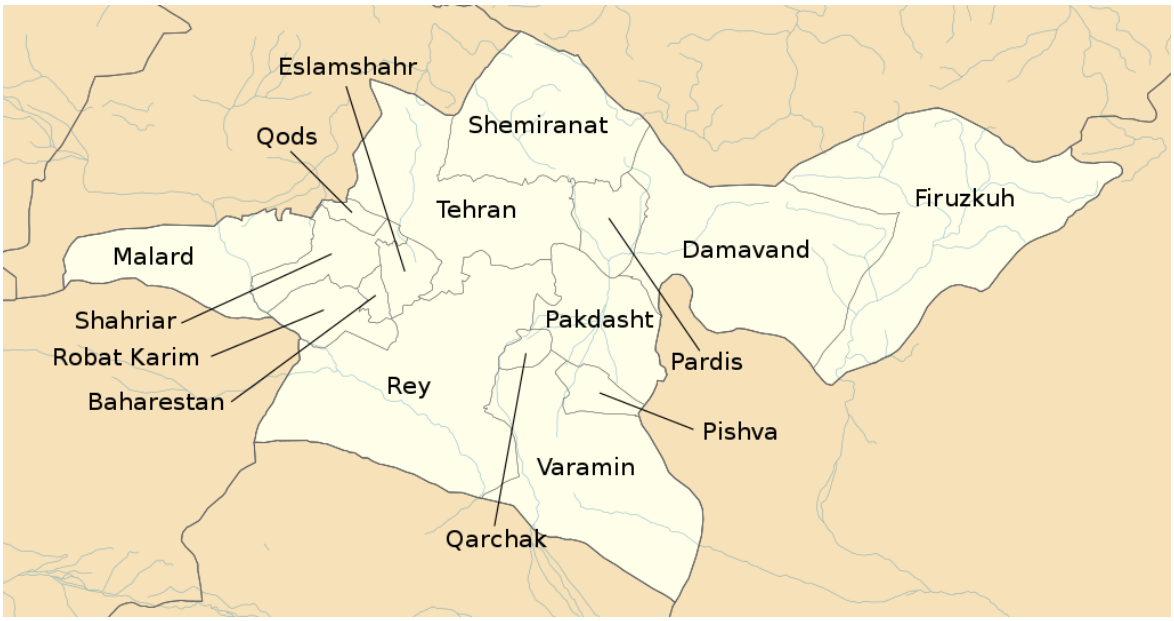
---

۱ کاهش خسارت مجموع، در مورد خسارات سالانه میانگین (AAL) موضوعیت نداشته و تنها مربوط به خسارات با دوره بازگشت مشخص است.

[2] Scalar

omoorepeyman.ir

است. روش محاسبه سایر درایه‌های ماتریس به این صورت است که اگر دو شهرستان دارای مرز مشترک باشند دو درایه محل تقاطع سطر و ستون مربوط به این شهرستان‌ها دارای مقدار ۰/۵ و در سایر موارد صفر خواهد بود. شکل پ-۱ شهرستان‌های استان تهران و جدول پ-۱ ماتریس همبستگی خسارات زلزله در استان تهران را نشان می‌دهد.




**شکل پ-۱: شهرستان‌های استان تهران**

این آرایش به این معناست که در صورت وقوع سانحه در یک شهرستان، احتمال همزمانی وقوع خسارات جدی معمولاً تنها در شهرستان‌های مجاور قابل انتظار است و درصد همزمانی خسارات جدی مربوط به شهرستان‌های غیر مجاور قابل صرف نظر کردن خواهد بود.

پس از محاسبه ریسک مخاطره مورد نظر در مقیاس استان، لازم است تا سرمایه توانگری زلزله برای کل کشور به طریقی مشابه با استفاده از ماتریس همبستگی استان‌ها محاسبه شود. به این منظور، ابتدا لازم است بردار ریسک استان های کشور ($\bar{R}_{NAT}$) تشکیل شود که دارای ۳۱ درایه خواهد بود که هر درایه حاوی مقدار ریسک یک استان است که از طریق تجمیع ریسک‌های شهرستان‌های آن استان در گام پیش محاسبه شده است. رابطه (پ-۲) شکل ریاضی روش محاسبه ریسک کل (مقیاس کشوری) برای ریسک‌های توزیع شده در استان‌های مختلف کشور را بیان می‌کند.

$$R_{NAT} = \sqrt{\bar{R}_{NAT}^{T}\, AGG_{NAT}\, \bar{R}_{NAT}} \qquad (پ-۲)$$

که در این رابطه $AGG_{NAT}$ ماتریس همبستگی خسارات استان‌ها است که به روش مشابهی مانند ماتریس همبستگی شهرستان‌ها تهیه می‌شود. $R_{NAT}$ هم مقدار پله‌ای ریسک تجمیع شده در سطح کشوری است.

**جدول پ-۱: ماتریس همبستگی خسارات در شهرستان‌های استان تهران**

omoorepeyman.ir

| | تهران | شهریار | اسلامشهر | بهارستان | ملارد | پاکدشت | ری | قدس | رباط کریم | ورامین | قرچک | پردیس | دماوند | پیشوا | شمیرانات | فیروزکوه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تهران | ۱ | | | | | | | | | | | | | | | |
| شهریار | ۰/۵ | ۱ | | | | | | | | | | | | | | |
| اسلامشهر | ۰/۵ | ۰/۵ | ۱ | | | | | | | | | | | | | |
| بهارستان | ۰ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۱ | | | | | | | | | | | | |
| ملارد | ۰ | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۱ | | | | | | | | | | | |
| پاکدشت | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | | | | | | | | | | |
| ری | ۰/۵ | ۰ | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۰/۵ | ۱ | | | | | | | | | |
| قدس | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰ | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۱ | | | | | | | | |
| رباط کریم | ۰ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | | | | | | | |
| ورامین | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۱ | | | | | | |
| قرچک | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۰/۵ | ۱ | | | | | |
| پردیس | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | | | | |
| دماوند | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۵ | ۱ | | | |
| پیشوا | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۱ | | |
| شمیرانات | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰ | ۱ | |
| فیروزکوه | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۵ | ۰ | ۰ | ۱ |

در صورتی که تحلیل ریسک به صورت چند مخاطره‌ای انجام شود، خسارات ناشی از مخاطرات مختلف که همگی مربوط به دوره بازگشت یکسانی باشند، به روش مشابهی با استفاده از ماتریس همبستگی مخاطرات محاسبه می‌شود. به این منظور، ابتدا لازم است بردار ریسک مخاطرات ($\bar{R}_{MH}$) در مقیاس مطالعه (شهرستان، استان یا کشوری) که دارای ۲ درایه حاوی مقدار ریسک زلزله و سیل در مقیاس مورد نظر است، تشکیل شود. رابطه (پ-۳) شکل ریاضی روش محاسبه ریسک چندمخاطره‌ای (در اینجا ریسک سیل و زلزله) را در مقیاس مورد مطالعه بیان می‌کند.

$$R_{MH} = \sqrt{\bar{R}_{MH}^{T}\, AGG_{MH}\, \bar{R}_{MH}} \qquad (پ-۳)$$

که در این رابطه $AGG_{MH}$ ماتریس همبستگی مخاطرات است و $R_{MH}$ مقدار پله‌ای ریسک تجمیع شده در سطح کشوری است. جدول پ-۲ ماتریس همبستگی ریسک چندمخاطره‌ای (سیل و زلزله) را نمایش می‌دهد.

omoorepeyman.ir

**جدول پ-۲: ماتریس همبستگی ریسک چند مخاطره‌ای**

| | سیل | زلزله |
|---|---|---|
| سیل | ۱ | ۰ |
| زلزله | ۰ | ۱ |

omoorepeyman.ir

# مراجع

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

## فهرست مراجع اصلی

این فصل از راهنما با تکیه بر ضوابط و معیارهای مدیریتی و فنی معتبر ملی و بین‌المللی تدوین شده است. فهرستی از مراجع معتبر و مبنا برای این راهنما به شرح زیر است:


- قانون مدیریت بحران کشور، مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۸
- راهنمای کاربردی تحلیل خطر زلزله، ضابطه شماره ۶۲۶ سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۹۵.
- دستورالعمل روش‌های محاسبه حداکثر سیل محتمل PMF، ضابطه شماره ۶۴۷، سازمان برنامه و بودجه.
- راهنمای پادسیل سازی، ضابطه شماره ۶۸۱، سازمان برنامه و بودجه.
- راهنمای تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیلاب، ضابطه شماره ۸۲۱، سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۹۹؛
- راهنمای تعیین دوره بازگشت سیلاب، برای کارهای مهندسی رودخانه، ضابطه شماره ۳۱۶، سازمان برنامه و بودجه؛ ۱۳۸۴؛
- راهنمای مدیریت ریسک: ایزو ۳۱۰۰۰، موسسه استاندارد بریتانیا، ۲۰۱۸
- راهنمای مدیریت ریسک، (۲۰۱۸) موسسه استاندارد بریتانیا؛
- روش‌های پذیرفته شده در سنجش و مدل‌سازی ریسک سوانح در سازمان‌های بین‌المللی توسعه و صنعت بیمه کشورهای توسعه یافته؛
- روش های محاسبه حداکثر بارش محتمل (PMP) و منحنی های عمق، سطح، تداوم بارش (DAD) ضابطه شماره ۷۱۶، ۱۳۹۵.
- شرح خدمات مطالعات تعیین حد بستر و حریم رودخانه یا مسیل، ضابطه شماره ۲۷۶
- قانون مدیریت بحران کشور، مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۸.
- اصطلاحات مربوط به مخاطرات (۲۰۲۱) وب‌سایت دفتر کاهش ریسک سوانح سازمان ملل متحد (PreventionWeb)
- ریسک‌های مدل‌سازی نشده: راهنمایی برای ارزیابی کامل‌تر ریسک سوانح برای بیمه، انجمن بیمه‌گران بریتانیا، ۲۰۱۴.
- HAZUS Flood Model User Guidance, 2018


omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

**خواننده گرامی**

امور نظام فنی‌واجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از پنجاه سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر نهصد عنوان ضابطه و نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست ضوابط و نشریه‌های منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **nezamfanni.ir** به صورت رایگان و برای عموم قابل دستیابی می‌باشد.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

# Guideline for Disaster Risk Analysis [IR-Code 913]


**Authors & Contributors Committee:**

| | | |
|---|---|---|
| Afshin Kalantari | International Institute of Earthquake Engineering and Seismology | Ph.D. of Civil Eng. |
| Hooman Motamed | International Institute of Earthquake Engineering and Seismology | Ph.D. of Civil Eng. |

**Supervisory Committee:**

| | | |
|---|---|---|
| Mohsen Ghafory Ashtiyani | International Institute of Earthquake Engineering and Seismology | Ph.D. of Civil Eng. |
| Mohammadreza Zolfaghri | K.N Toosi University of Technology | Ph.D. of Civil Eng. |

**Steering Committee (Plan and Budget Organization):**

| | |
|---|---|
| Alireza Toutounchi | Deputy of Technical and Executive Affairs Department |
| Farzad Parsa | Deputy of Technical and Executive Affairs Department |
| Mohammad Kargar Shooraki | Expert of Technical and Executive Affairs Department |


omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

## Abstract

Natural hazards such as earthquakes and floods inflict substantial human and economic losses across multiple sectors in Iran each year—including industry, housing, agriculture, production, and governance—affecting both public institutions and private asset owners. Risk assessment of such hazards represents a foundational step in disaster risk management and is essential for advancing risk-informed sustainable development.

Given the national imperative to integrate risk studies as prerequisites for development planning within the Technical and Executive System of I.R. Iran, and in light of the legal requirement for disaster insurance coverage for immovable assets of executive agencies under the National Disaster Management Law, as well as the evolving needs of the insurance sector for underwriting, solvency capital estimation, and liability management based on hazard-specific risk metrics, the development of a national standard for asset risk analysis against natural and anthropogenic hazards has become a strategic necessity. This standard must be made available to stakeholders within the technical and executive planning system.

In response, and recognizing the absence of a validated national framework to guide such studies, the Technical and Executive System Affairs of the Planning and Budget Organization, in collaboration with the International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), initiated the development of a technical publication titled “Guideline for Disaster Risk Analysis.” The scope of this guideline was defined through iterative consultation with project stakeholders and refined based on findings during the study phase and feedback from the project’s evaluation committee.

The finalized structure of the guideline comprises the following components:

1. Terminology and Definitions relevant to disaster risk analysis
2. Core Components of Risk Management, including hazard intensity, vulnerability, asset characteristics, and financial modeling
3. Hazard Intensity Assessment, including synthetic event catalog generation and hazard modeling for earthquakes, floods, and storms
4. Vulnerability Assessment, outlining methodologies for evaluating structural and systemic vulnerability
5. Exposure Analysis, including asset typology, spatial distribution, and valuation techniques
6. Loss Estimation and Financial Modeling, addressing probable damage scenarios and economic impact calculations
7. Appendix: Application of the guideline in development planning, risk reduction strategies, and insurance sector operations

omoorepeyman.ir

It is acknowledged that the definition of risk and expected loss—as well as the methodologies for estimating related indicators—may vary depending on the stakeholder's perspective and institutional role. This guideline adopts a generalist approach to defining standards and criteria, while also incorporating specific methodologies for estimating probable losses and deriving annual premium rates for natural hazard insurance.

The document is structured in two main sections:

- Section 1 introduces foundational definitions and shared principles, and presents the overarching framework for disaster risk analysis studies.
- Section 2 provides detailed considerations for earthquake and flood risk analysis, aligned with the framework established in Section 1.

omoorepeyman.ir

**Islamic Republic of Iran**
**Plan and Budget Organization**

# Guideline for Disaster Risk Analysis

## IR-Code 913

### Last Version 16/02/2026


Deputy of Technical, Infrastructure and Production

Department of Technical and Executive Affairs

nezamfanni.ir

International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

iiees.ac.ir


2026

omoorepeyman.ir

**این ضابطه**

با عنوان «راهنمای ارزیابی ریسک سوانح طبیعی» به منظور تشریح روش تحلیل ریسک دارایی‌ها در برابر انواع سوانح طبیعی و انسان ساخت در سه فصل و یک پیوست تهیه و تدوین گردیده که شامل فصل‌های کلیات، زلزله و سیل و پیوست نحوه محاسبه همبستگی ریسک (آسیب و زیان) برای دارایی‌های توزیع شده مکانی می‌باشد.

omoorepeyman.ir