

## تحلیل ریسک مخاطرات چندگانه شهری در اثر سیل و زلزله (مطالعه موردی: منطقه بیست تهران)

خدیجه نوروزی خطیری<sup>۱</sup> - دانشجوی دکتری مدیریت در سوانح طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دکتر بابک امیدوار - دانشیار مدیریت در سوانح طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دکتر بهرام ملک محمدی - استادیار مدیریت در سوانح طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

سجاد گنج‌های - کارشناس ارشد مدیریت در سوانح طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۲ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۹/۱۷

### چکیده

با گسترش جامعه (شهری) و اقتصاد، به تدریج نیاز به کاهش دادن مخاطرات، اطمینان در ارتباط با کنترل ریسک مخاطرات و دیگر اقدامات مهم و مدیریتی در جهت تهیه برنامه‌ها و پیگیری طرح‌های بازدارنده از بروز آسیب پذیری‌های بیشتر، زیاد شده است. با توجه به توسعه شهرنشینی و تراکم بالای ساختمانی در شهرهای بزرگ، به خصوص شهر تهران، ریسک خسارت مالی و تلفات انسانی توسط سوانح طبیعی نظیر سیل و زلزله به طور چشم‌گیری بالا می‌رود. در این تحقیق به بررسی ریسک مخاطرات چندگانه ساختمان‌های منطقه بیست شهر تهران بر اساس نتایج تحلیل خسارت پرداخته شده است. در راستای به دست آوردن ریسک خسارت‌های چندگانه، احتمال وقوع دو مخاطره سیل و زلزله محاسبه گردید. همچنین با توجه به اینکه عمر مفید سازه‌ها ۵۰ سال است، احتمال خرابی سازه‌ها در سطوح مختلف هم برای مخاطره سیل و هم برای مخاطره زلزله با در نظر گرفتن این عمر مفید محاسبه شده است. در ادامه با در نظر گرفتن روش‌های احتمالاتی تعیین ریسک مخاطرات چندگانه، میزان ریسک خرابی تعیین گردید و در نهایت با استفاده از محیط GIS نقشه‌های ریسک مخاطرات چندگانه تولید شد. در این تحقیق، میزان درصد خرابی در ساختمان‌ها مشخص گردید و با توجه به نتایج به دست آمده، میزان درصد خرابی در ساختمان‌ها با توجه به سطوح خرابی مختلف در مخاطرات مجزا و چندگانه بدست آمد و تعداد ساختمان‌های آسیب دیده بنایی، فولادی و بتنی به ترتیب به میزان ۱/۲۵، ۱/۲۶ و ۱/۵ برابر افزایش می‌یابد.

**کلید واژه‌ها:** مخاطرات چندگانه، ریسک، احتمال، زلزله، سیل.

## ۱. مقدمه

تحلیل ریسک در دارایی‌های حیاتی، رویکردی سیستماتیک است که از قابلیت ترکیب دانش‌ها و مهارت‌های چندگانه به منظور تحلیل آسیب‌پذیری جامع تأسیسات و دارایی‌ها برخوردار می‌باشد. همچنین تحلیل ریسک این دارایی‌ها، ابزاری مدیریتی در دست مدیران بحران در جهت تصمیم‌گیری برای بررسی شیوه‌های اقدام متقابل در مواجهه با تهدیدها و آسیب‌پذیری‌های احتمالی است. در بسیاری موارد، اصطلاح *مخاطرات چندگانه* در موضوعات مربوط به کاهش خطر استفاده شده است؛ به عنوان مثال، در سیاست‌های بین‌المللی، برای اولین بار، در برنامه توسعه پایدار (UNEP<sup>1</sup>) در سال ۱۹۹۲، این اصطلاح آمده است. این سند، فراخوانی جهت "پژوهش‌های مخاطرات چندگانه" بوده که به عنوان بخشی از برنامه ریزی اسکان بشر و مدیریت در مناطق مستعد خطر تهیه شده است (UNEP, 1992). این اصطلاح دوباره در برنامه ژوهانسبورگ در زمینه "حفاظت و مدیریت منابع طبیعی بر پایه توسعه اقتصادی و اجتماعی" آورده شده است (UN, 2002). همچنین این اصطلاح اشاره به، خطرات چندگانه یکپارچه، رویکرد فراگیر آسیب‌پذیری، ارزیابی خطر و مدیریت سانحه "از جمله پیشگیری، کاهش خطرپذیری، آمادگی، پاسخ و بازیابی" به عنوان یک عنصر اساسی در یک جهان ایمن در قرن بیست و یکم اشاره دارد (UN, 2002). پس از آن، در چارچوب فعالیت‌های هیوگو (UN-ISDR, 2005) در تطابق با برنامه ژوهانسبورگ، موارد "یکسان‌سازی مخاطرات چندگانه، رویکرد کاهش خطر بلایا، جهت‌گیری سیاست‌گذاری‌ها، برنامه ریزی و برنامه نویسی مربوط به توسعه پایدار، امداد، توانبخشی، و فعالیت‌های بازیابی در شرایط پس از سانحه و پس از جنگ" پیشنهاد گردید و به تصویب رسید. علاوه بر این، (فما، ۱۹۹۵)، در برنامه استراتژی کاهش ملی بلایا در ایالات متحده آمریکا با هدف کاهش ریسک اثرات بلایای طبیعی و تمرکز بر مخاطرات چندگانه بر روی طراحی و ساخت و ساز ساختمان‌ها، از این واژه استفاده کرد. دلمانکو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۶)، آنالیز مخاطرات چندگانه را بدین‌گونه تعریف کرده‌اند: "به کارگیری روش‌ها و رویکردها در ارزیابی و به تصویر کشیدن رخداد انواع مختلف خطرات طبیعی در یک منطقه".

جوانبرگ و همکاران به بررسی آنالیز مخاطرات چندگانه در شبکه شریان‌های حیاتی در دانشگاه توکیو پرداخته‌اند. در این آنالیز شبکه شریان‌های حیاتی به صورت گره و لینک در نظر گرفته شده و شکست در هر کدام از آن‌ها و تاثیر همزمان آن بر لینک و گره‌های دیگر در نظر گرفته می‌شود و در نهایت ریسک شکست بدست می‌آید. محدودیت اساسی این مدل این است که در شریان‌هایی که به صورت لینک و گره هستند، کارایی دارد (جوانبرگ<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۹).

اشمیت<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۲) به مدل‌سازی ریسک سوانح چندگانه از جمله زلزله، آتشفشان، سیل، باد و سونامی پرداخته‌اند و نرم‌افزاری را با نام RiskScape تهیه کرده‌اند که قادر است ریسک‌های مخاطرات چندگانه را بدست آورد. البته این نرم‌افزار با زبان JAVA نوشته شده است و محدودیت‌هایی نیز دارد. در این پژوهش، اندرکنش مخاطره و پیامدهای آن در نظر

۱ برنامه محیط زیست ملل متحد

2 FEMA

3 Delmonaco

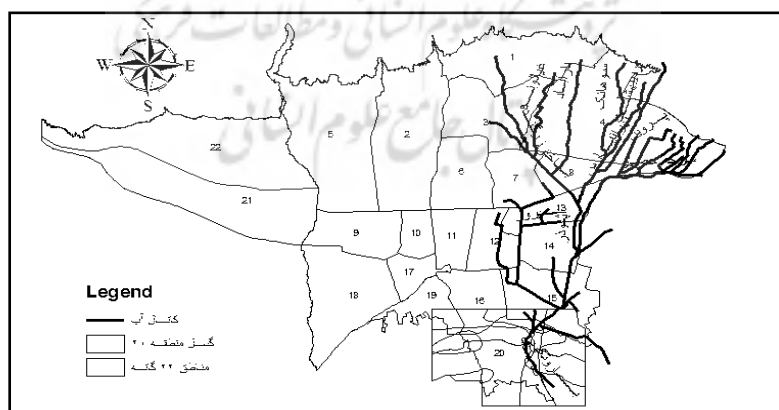
4 Javanbarg

5 Schmidt

گرفته نشده و به صورت مستقل تعیین شده است. زینگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، به بررسی و تعیین ریسک مخاطرات چندگانه با توجه به احتمالات پرداخته اند و در نهایت ریسک مخاطرات (دارایی و شبکه شریانها) را به صورت کمی به دست آورده اند. در این پژوهش شکست در سیستم‌هایی نظیر شریان‌های حیاتی که به صورت لینک و گره می‌باشند، در نظر گرفته شده است. از آنجا که در حوزه پیشگیری، اتخاذ تدابیر و برنامه ریزی شهری مستلزم داشتن اطلاعات صحیح از مناطق و شناخت وضعیت موجود می‌باشد، لذا مطالعه و پژوهش در زمینه کاهش خطرپذیری و شناخت تهدیدات موجود در شهر تهران ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این تحقیق نیز در نظر گرفتن خسارات و ریسک خرابی‌های ناشی از مخاطرات همزمان می‌باشد. بنابراین در این راستا، باید به بررسی و شناخت وضع موجود مناطق، انعطاف پذیری شهر تهران و تحلیل آسیب پذیری آن پرداخته شود. بدیهی است که نتایج حاصل از این مطالعه باعث توانمندسازی سیستم مدیریت بحران در فاز قبل از بحران می‌گردد؛ بنابراین اهمیت پرداختن به این مساله ضروری به نظر می‌رسد.

## ۲. منطقه مورد مطالعه

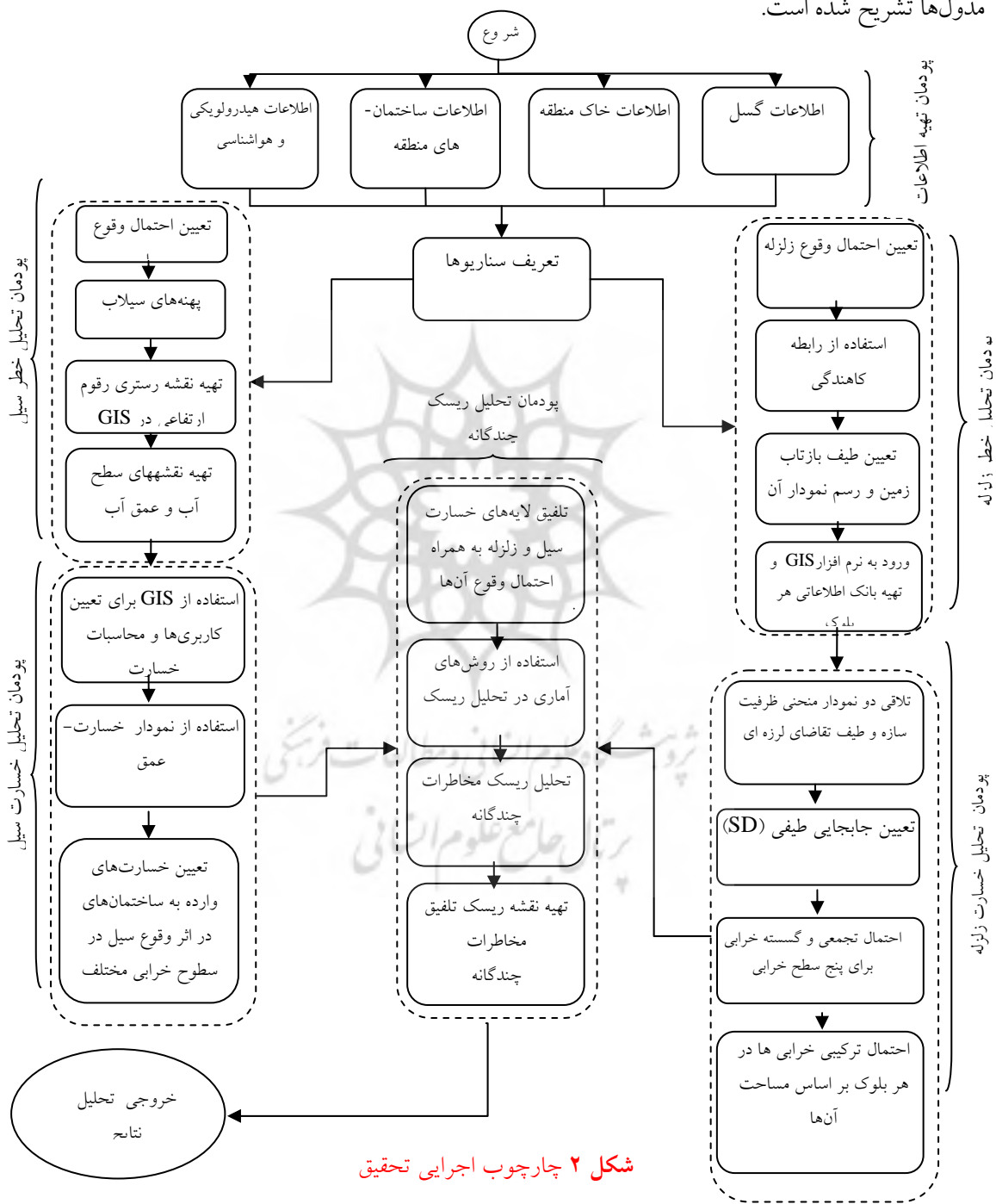
منطقه ۲۰ (شهری) جنوبی‌ترین منطقه شهری شهرداری تهران با وسعت ۲۳ کیلومتر مربع داخل محدوده شهری و ۱۵۳ کیلومتر مربع حریم است. سابقه و قدمت ۶۰۰۰ ساله شهر ری و وجود اماکن و عناصر با ارزش تاریخی و همچنین جذب زوار حرم حضرت عبدالعظیم (ع)، ویژگی‌های بسیار بارز و خاصیت تاریخی - مذهبی به این منطقه بخشیده و آن را نسبت به سایر مناطق تهران، مجزا و متفاوت ساخته است. جدا افتادگی کالبدی این منطقه از تهران که تا سالیان اخیر نیز ادامه داشته است، از خصایص بارز این منطقه به شمار می‌رود. منطقه انتخاب شده جهت مطالعه، مورد تهدید گسل‌های ری و دیگر گسل‌های شهر تهران بوده، همچنین واقع شدن در پایین دست رودخانه سرخه حصار این منطقه را مورد تهدید سیل قرار داده است. با توجه به رخداد سوانحی نظیر سیلاب شهری در سال ۱۳۸۰ و زلزله‌های تاریخی در منطقه شهر ری مطالعه این قبیل سوانح در جهت کاهش خطرپذیری و مدیریت آن ضروری به نظر می‌رسد. شکل ۱ نقشه منطقه مورد مطالعه به همراه کانال‌های موجود و گسل ری می‌باشد.



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه

۳. مواد و روش‌ها

همان‌گونه که در شکل ۲ مشهود است، روش انجام این تحقیق شامل مدول تحلیل خطر سیل و زلزله، مدول تحلیل خسارت سیل و زلزله و در نهایت مدول تحلیل ریسک مخاطرات چندگانه می‌باشد. در ادامه هر کدام از مدول‌ها تشریح شده است.



شکل ۲ چارچوب اجرایی تحقیق

۳.۱. پودمان<sup>۱</sup> تحلیل خطر

در این قسمت به ارزیابی احتمالاتی خطر لرزه ای شهر تهران پرداخته شده است. از دیدگاه لرزه خیزی نیز با استناد به مراجع تاریخی، شهر قدیم ری و تهران کنونی، ۶ بار توسط زلزله‌های سهمگین ویران شده است. وجود گسل‌های فعالی مثل شمال تهران، مشاء، شمال و جنوب ری دلیل اصلی لرزه خیز بودن این شهر است. پارامترهای لرزه خیزی بر مبنای زلزله‌های تاریخی و دستگامی برای یک دوره زمانی که از ۴ قرن پیش از میلاد آغاز می شود و تا زمان حاضر ادامه پیدا می کند، تعیین شده اند. توکلی (۱۹۹۶)، با استفاده از روابط Kijko، پارامترهای لرزه‌خیزی را با استفاده از کاتالوگ زلزله که زلزله‌های آن تا شعاع ۲۰۰ کیلومتری برای تهران رخ داده‌اند، محاسبه کرده است. پارامترهای مذکور در جدول ۱ ارایه شده است. در این پژوهش با استفاده از پارامترهای محاسبه شده توسط توکلی و روابط شماره ۱ و ۲، به ترتیب نرخ رشد سالیانه، احتمال وقوع پوآسون برای عمر مفید ۵۰ ساله و دوره تناوب تعیین گردید، که در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول ۱ پارامترهای لرزه ای برای تهران (توکلی، ۱۹۹۶)

Span of Time	Beta	$M_{max}$	$\Lambda$
1927-1995	1.41 $\pm$ 0.11	7.9 $\pm$ 0.33	0.37

$$\lambda_{m_t} = v \frac{\exp[-\beta(m_t - m_2)] - \exp[-\beta(m_{max} - m_2)]}{1 - \exp[-\beta(m_{max} - m_2)]} \quad (1)$$

$$p = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2)$$

جدول ۲ محاسبات مربوط به دوره بازگشت زلزله محتمل و احتمال وقوع آن

B	$\lambda$	Mmax	Mmin	M	$\lambda m$	p	T	T
1.3	0.37	7.9	4	7	0.005	0.22	194	50

بنابراین برای منطقه مورد مطالعه با توجه به فرمول و طول عمر سازه که ۵۰ سال می باشد، احتمال وقوع زلزله برای بزرگای ۷، ۲۲/۰ بدست آمد.

## ۳.۲. رابطه کاهندگی

جهت تحلیل خطر از روابط کاهندگی زارع (۱۹۹۹)، استفاده گردید. بر اساس مطالعات صورت گرفته بر روی داده‌های شتاب‌نگاری ایران که از سراسر کشور به دست آمده بودند و با انتخاب تعداد ۴۹۸ نگاشت سه مولفه ای و اصلاح آن‌ها، زارع و همکاران موفق به ارایه روابط کاهندگی برای کشور ایران شدند. مدل کاهندگی محاسبه بیشینه شتاب و سرعت زمین (زارع، ۱۹۹۹) به صورت زیر می باشد:

$$\log A = a.M + b.X - \log X + C_1 S_1 + C_2 S_2 + C_3 S_3 + C_4 S_4 + \sigma.p \quad (3)$$

در این رابطه،  $A$  پارامتر مورد نظر (شتاب یا سرعت بیشینه زمین)،  $M$  بزرگای گشتاوری زلزله،  $X$  فاصله کانونی (بر حسب کیلومتر)،  $C$  ضریب ساختگاه ( $S$ ) و  $\sigma$  انحراف معیار می باشد. انحراف معیار با قرار دادن  $P=1$  به میانگین مقدار (در حالت  $P=0$ ) افزوده می شود. در این رابطه  $C_1$  مربوط به ساختگاه سنگی،  $C_2$  مربوط به ساختگاه آبرفت سخت،  $C_3$  مربوط به ساختگاه آبرفت نرم (ماسه) و  $C_4$  مربوط به ساختگاه نرم (رسی) می باشد. ضرایب مورد استفاده در روابط کاهندگی زارع و همکاران (۱۹۹۹) در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: مولفه‌های رابطه کاهندگی (زارع، ۱۹۹۹)

منطقه	A	B	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
ایران مرکزی- البرز (مولفه قائم)	0.322	-0.0003	-0.828	-0.754	-0.971	-0.788
ایران مرکزی- البرز (مولفه افقی)	0.322	-0.0004	-0.688	-0.458	-0.72	-0.585
زاگرس (مولفه قائم)	0.406	-0.0038	-1.262	-1.333	-1.23	-1.777
زاگرس (مولفه افقی)	0.339	-0.0019	-1.047	-1.065	-1.02	-0.975
کل ایران (مولفه قائم)	0.362	-0.0002	-1.124	-1.15	-1.139	-1.064
کل ایران (مولفه افقی)	0.36	-0.0003	-0.916	-0.852	-0.9	-0.859

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، ساختگاه منطقه مورد مطالعه در تقسیم بندی آبرفت سخت قرار می گیرد، در نتیجه  $S_2=1$  و  $S_1, S_3$  و  $S_4$  برابر صفر خواهند بود.

## ۳.۳. تعیین طیف بازتاب زمین و تهیه طیف پاسخ استاندارد

با توجه به دستورالعمل HAZUS، طیف بازتاب زمین  $S_{AS}$  شتاب طیفی کوتاه پریود خاک نوع  $i$ ، ( $S_{Ali}$ ) شتاب طیفی پریود ۱ ثانیه خاک نوع  $i$  بر اساس سرعت موج برشی منطقه و نوع خاک تعیین و با استفاده از فرمول‌های ۴ تصحیح گردید.

$$S_{AGI} = S_{AS} F_{AI} \quad , S_{ALI} = S_{AL} F_{VI} \quad , T_{AVI} = \left( \frac{S_{AGI}}{S_{AS}} \right) \left( \frac{F_{VI}}{F_{AI}} \right) \quad (4)$$

همچنین طیف پاسخ استاندارد که از قسمت زیر تشکیل شده محاسبه گردید.

- شتاب ثابت (در محدود زمان تناوب کمتر از  $T_{AV}$  شتاب عددی ثابت برابر با  $S_{AS}$  می باشد).
- سرعت ثابت (در محدوده زمان تناوب  $T_{AV} < T < T_{VD}$  شتاب با  $1/T$  متناسب است).
- تغییر مکان ثابت (در محدوده زمان تناوب  $T > T_{VD}$  شتاب با  $1/T^2$  متناسب می باشد).

### ۳,۴. پودمان تحلیل خسارت زلزله

با توجه به توضیحات بالا نمودارهای طیف تقاضای لرزه‌ای و ظرفیت سازه، محاسبه و رسم شد که به عنوان نمونه در شکل ۳ تلاقی دو نمودار طیف تقاضای لرزه‌ای و ظرفیت سازه برای سازه بنایی ارایه شده است. با توجه به SDهای بدست آمده از تلاقی نمودارهای مذکور و همچنین با در نظر گرفتن میانه و  $\beta$  هر سازه، احتمال تجمعی با توجه به رابطه ۵، برای پنج سطح خرابی در ساختمان‌ها محاسبه گردید، سپس با در نظر گرفتن روابط ۶، احتمال گسسته برای سطوح مختلف خرابی محاسبه گردید. لازم به ذکر است که نمودارهای احتمال گسسته سازه‌ها رسم گردید که به عنوان نمونه در شکل ۴ آورده شده است.

$$P(d_s | S_d) = \varphi \left( \frac{1}{\beta d_s} \ln \left( \frac{S_d}{S_{d,d_s}} \right) \right) \quad (5)$$

در رابطه ۵،  $\overline{S_{d,d_s}}$  مقدار میانه تغییر مکان طیفی در حالت خرابی  $d_s$ ،  $\beta d_s$  انحراف استاندارد لگاریتم طبیعی تغییر مکان طیفی برای حالت خرابی  $d_s$  و  $\varphi$  تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد می‌باشد.

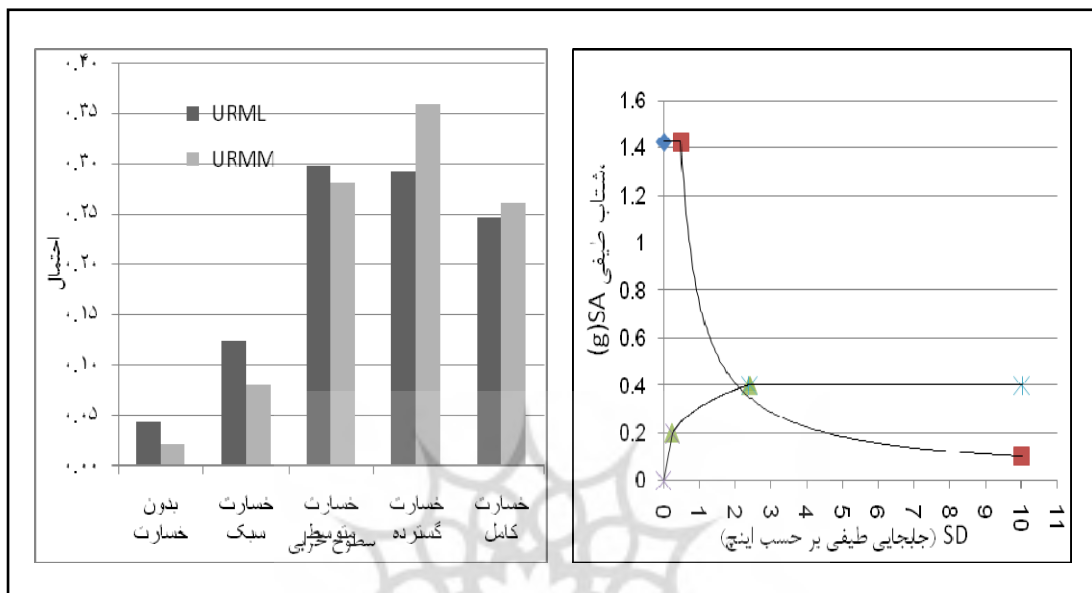
$$\begin{aligned} R_{COMB} [DS = C] &= R_{COMB} [DS \geq C] \\ R_{COMB} [DS = H] &= R_{COMB} [DS \geq H] - R_{COMB} [DS \geq C] \\ R_{COMB} [DS = M] &= R_{COMB} [DS \geq M] - R_{COMB} [DS \geq H] \\ R_{COMB} [DS = S] &= R_{COMB} [DS \geq S] - R_{COMB} [DS \geq M] \\ R_{COMB} [DS = None] &= 1 - R_{COMB} [DS \geq S] \end{aligned} \quad (6)$$

### ۳,۵. ترکیب خسارت‌ها به کلاس‌های مختلف سازه‌ای

احتمال خسارت سطوح مختلف برای انواع سازه‌ها، بایستی با هم ترکیب شوند. برای هر حالت از خسارت، احتمال خسارت به هر نوع مدل از سازه با توجه به کسری از مساحت کل ساختمان به تمامی ساختمان‌ها وزندهی می‌شود، که در رابطه ۷ آورده شده است.

$$POSTER_{ds,t} = \sum_{i=1}^n [PMBTSTR_{ds,t} \times \frac{FA_{i,t}}{FA_t}] \quad (7)$$

در رابطه ۷،  $POSTER_{dsi}$  احتمال خرابی کل ساختمان‌ها،  $PMBTSTR_{dsj}$  احتمال خرابی سازه  $j$ ،  $FA_{ij}$  مساحت سازه،  $FA_i$  مساحت کل بلوک می‌باشد. با در نظر گرفتن موارد بالا در منطقه بیست تهران، احتمال خرابی در اثر زلزله برای سطوح مختلف تهیه گردید که در شکل ۵ برای سطح متوسط ارایه شده است.



شکل ۴ احتمال خرابی سطوح مختلف در ساختمان (low code)

شکل ۳ تلاقی منحنی ظرفیت سازه بنایی URMM و منحنی طیف تقاضای لرزه ای (low code)

### ۳.۶. پودمان تحلیل خطر سیل

خطر دومی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته، سیل شهری است. مسیل مورد مطالعه در منطقه، مسیل سرخه حصار است. این مسیل از بزرگ‌ترین سیلابروهای شرق تهران می‌باشد که از شمال شرق پارک جنگلی سرخه حصار شروع شده و در جنوب جاده دماوند به سمت غرب جریان یافته که بخشی از رواناب حوضه شهری شرق تهران پارس نیز در این رودخانه تخلیه می‌شوند. این رودخانه از ارتفاعات سرخه حصار سرچشمه می‌گیرد. در طرح جامع شهر تهران (۱۳۸۴)، مدلسازی هیدرولیکی آبراه‌ها صورت گرفته که نتایج این مدل پس از بررسی در جهت تعیین خسارت سیل در این پژوهش استفاده شده است. در این مطالعات، جهت انجام محاسبات هیدرولیکی در اولین گام هندسه مدل ساخته شده است. برای انجام مقدمات این کار از قابلیت‌های نرم افزار RAS در محیط GIS استفاده شده است، بدین ترتیب که مسیر هر یک از آبراه‌ها و



مقاطع عرضی در محیط نرم افزار GIS ترسیم و مشخصات آن‌ها استخراج و جهت انجام اصلاحات و سپس آنالیز هیدرولیکی به نرم افزار RAS انتقال یافته است.

در بررسی‌های صورت گرفته دوره بازگشت سیلاب طرح در طرح‌های مختلف مهندسی رودخانه در ایران از استاندارد خاصی پیروی نمی‌کند. در استاندارد تعیین دوره بازگشت سیلاب طراحی در مهندسی رودخانه (۱۳۸۰)، برای طرح‌هایی که خطر جانی مطرح نباشد، حداقل دوره بازگشت ۱۵ ساله و برای سیلاب دشت‌های رودخانه‌های بزرگ سیلاب طراحی ۱۰۰ سال توصیه شده است. در سیلاب دشت‌های رودخانه‌های کوچک در صورت عدم وجود خطر جانی حداقل ۲۵ سال در نظر گرفته می‌شود، ولی در صورت وجود خطر جانی دوره بازگشت صد سال توصیه شده است. همچنین در کشورهای دیگری از جمله آمریکا، استرالیا، چکسلواکی، سوئیس، فیلیپین و کانادا دوره بازگشت سیلاب در مناطق مسکونی را ۱۰۰ سال در نظر می‌گیرند. بنابر موارد فوق، بحرانی‌ترین حالت برای شهر، سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله است؛ لذا احتمال وقوع سیل برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با عمر مفید سازه ۵۰ سال محاسبه گردید که در زیر آورده شده است.

$$P=1-(1-(1/100))^{50}=0.39$$

### ۳.۷. پودمان تحلیل خسارت سیل

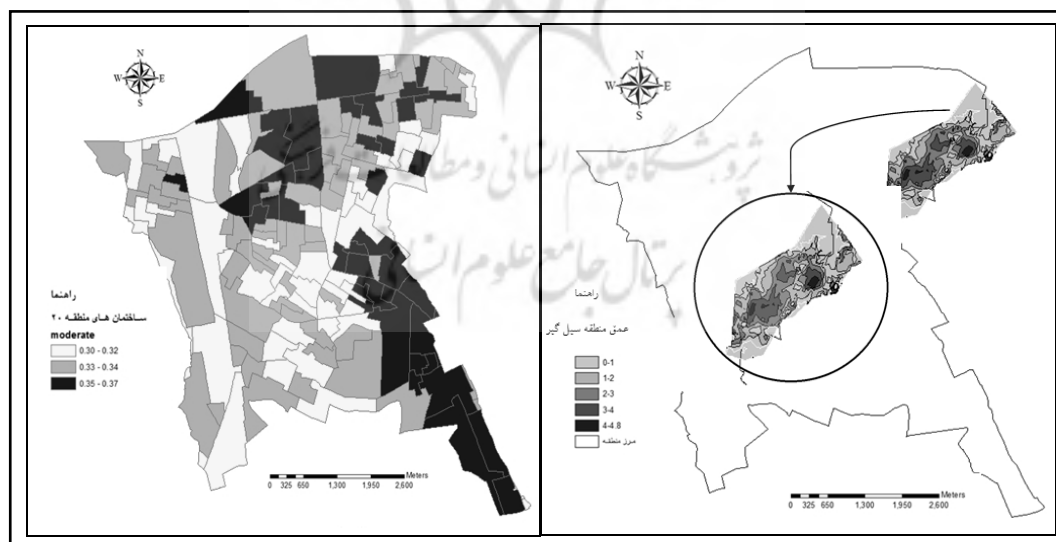
برای تعیین خسارت ناشی از سیل ابتدا عمق آبگرفتگی سیل باید تعیین می‌شود. بدین منظور، با استفاده از محیط GIS نقشه رستری رقوم ارتفاعی زمین تهیه گردید. همچنین با استفاده از پهنه بندی سیلاب، نقاط کرانه مشخص شدند و با اضافه نمودن جداول طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع این نقاط در جداول GIS نقشه سطح آب تهیه گردید. از تفاضل رقوم سطح آب و سطح زمین، عمق آبگرفتگی سیلاب در منطقه تعیین شد که در شکل ۶ مشاهده می‌گردد. شکل ۷، نیز نشان‌دهنده مساحت‌هایی است که به زیر آب (با عمق‌های متفاوت) رفته‌اند. البته لازم به توضیح است، این نمودار مربوط به کل منطقه سیل‌گیر می‌باشد و عمدتاً عمق‌های بالا در مناطق مسکونی قرار نمی‌گیرند. با همپوشانی نقشه عمق آب و نقشه بلوک‌های ساختمانی، عمق آب در بلوک‌های مختلف مشخص گردید و به هر کدام از بلوک‌ها با توجه به نوع سازه درصد خسارت مربوطه داده شد و در نتیجه احتمال خرابی تعیین گردید. با توجه به اینکه نوع سازه نیز پارامتر مهمی در تخریب می‌باشد، مطالعاتی در این زمینه در کشور نیوزلند (NIWA, 2010<sup>1</sup>) صورت گرفته، و منحنی

شکست برای سازه‌های مختلف تهیه شده است. برای تهیه این منحنی از مطالعات بین‌المللی دیگری نیز کشورهای آلمان، انگلیس، ایالات متحده، هلند، نروژ، استرالیا، ایتالیا و ژاپن بهره‌گرفته شده است. همچنین در این پژوهش سطوح خسارت از پنج قسمت تشکیل شده است که در جدول ۵، سطوح خسارت، توصیفات و خسارت نسبی آن ارائه و منحنی‌های خسارت سیل برای انواع مختلف ساختمان، به همراه عمق آب (m) در شکل ۸ آورده شده است.

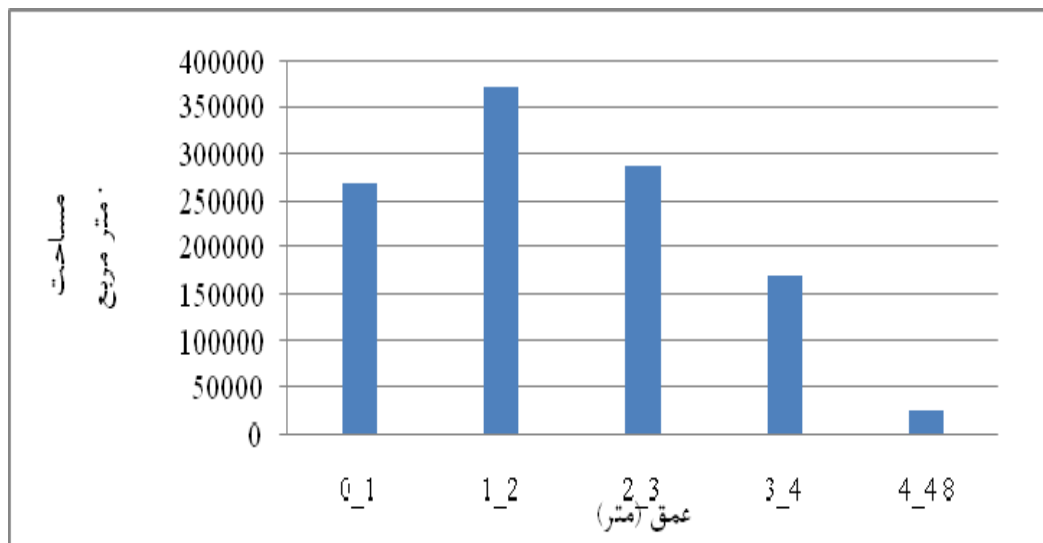
جدول ۵ سطوح خرابی سیل به همراه خسارت نسبی آن‌ها

سطح خسارت	توصیف	خسارت نسبی
DS0	ناچیز	0-2.0
DS1	سبک - غیرسازه‌ای	0.0-02.1
DS2	متوسط - قابل تعمیر سازه‌ای	0.0-5.1
DS3	شدید - خسارت جبران‌ناپذیر سازه‌ای	0.0-95.5
DS4	فروریختن سازه	0 > 95

\* (NIWA, 2010)

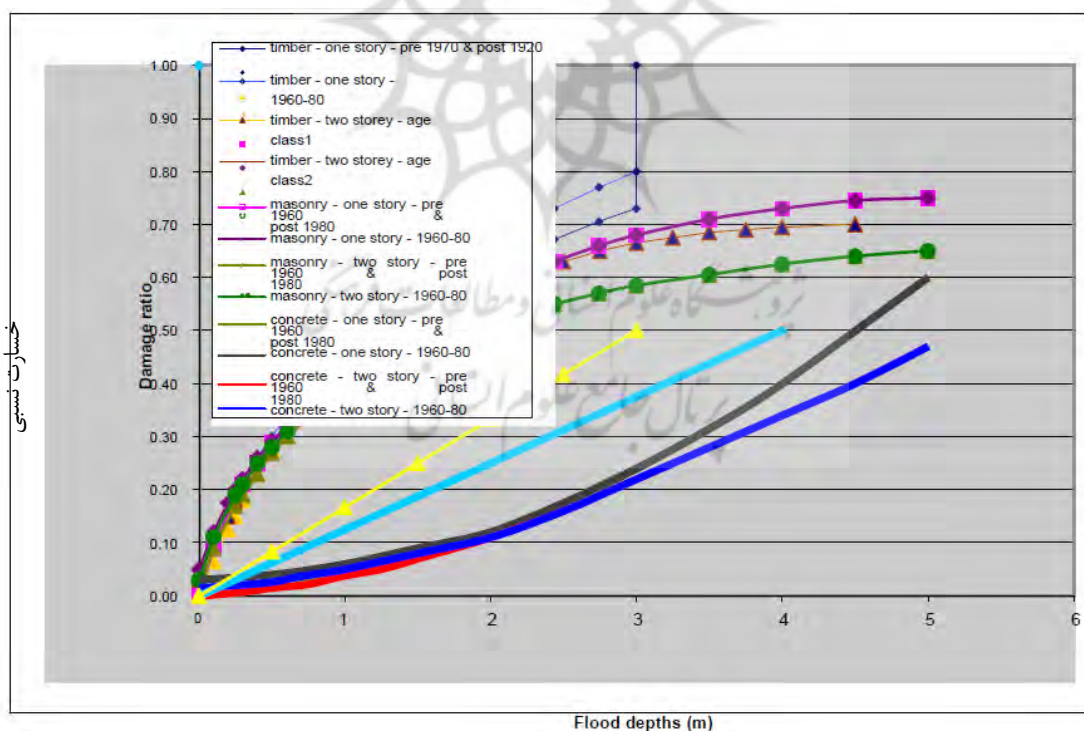


شکل ۵ احتمال وقوع خرابی در اثر زلزله (سطح متوسط) شکل ۶: نقشه عمق آب در منطقه مورد مطالعه



شکل ۷ نمودار عمق مساحت منطقه سیل گیر در منطقه بیست

با توجه به توضیحات بالا در منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های سطوح خرابی و خسارت در اثر سیل تهیه گردید که در شکل ۹ و ۱۰ ارائه شده است.



شکل ۸ منحنی‌های شکست سیل



شکل ۹ سطوح خرابی مختلف در اثر سیل شکل ۱۰ خسارت‌های ناشی از سیل در منطقه مورد مطالعه

### ۳.۸. مدل ریسک مخاطرات چندگانه

روش تجزیه و تحلیل مخاطرات چندگانه، مبتنی بر تئوری احتمال کل است. با توجه به تعداد  $CC^1$  هایی که در شبکه وجود دارد (m)،  $CC$  تا  $2^m$  خواهیم داشت، که هر کدام از این‌ها یک  $CCE^2$  نامیده می‌شوند.

$CCE_1 = \overline{CC_1} \cap \overline{CC_2} \cap \dots \cap \overline{CC_m}$ ,  $CCE_2 = CC_1 \cap \overline{CC_2} \cap \dots \cap \overline{CC_m}$ , ...,  $CCE_{2^m} = CC_1 \cap CC_2 \cap \dots \cap CC_m$  (۸)  
در حقیقت ما یک فضای از  $CCE$  ها را خواهیم داشت ( $\Omega_{CCE}$ )، که مجموعه ای جامع و دو به دو ناسازگار هستند که می‌تواند در شبکه اتفاق بیفتد.

$$\Omega_{CCE} = \{CCE_1, CCE_2, \dots, CCE_{2^m}\}$$

اگر احتمال وقوع هر  $CCE$  را  $\Pr(CCE_j)$  در نظر بگیریم آنگاه داریم (رابطه ۹):

$$\sum_{j=1}^{2^m} \Pr(CCE_j) = 1 \text{ and } CCE_i \cap CCE_j = \emptyset \text{ for any } i \neq j \quad (9)$$

بنابراین با توجه به توضیحات بالا و با در نظر گرفتن دو مخاطره سیل و زلزله در این پژوهش، در این سیستم دو  $CCE$  داریم که در نتیجه فضای ما دارای  $2^2=4$  زیر مجموعه خواهد شد:

$$\Omega_{CCE} = \{CCE_1, CCE_2, CCE_3, CCE_4\}$$

با توجه به اینکه  $CC$  مستقل هستند، می‌توان احتمال وقوع هر  $CCE$  را اینگونه محاسبه کرد (رابطه ۱۰):

$$\Pr(CCE_1) = (1 - P_{CC1}) \cdot (1 - P_{CC2}), \Pr(CCE_2) = (P_{CC1}) \cdot (1 - P_{CC2}),$$

1 Common Cause

2 CC event

$$\Pr(\text{CCE}_3) = (1 - P_{\text{CC1}}) \cdot (P_{\text{CC2}}), \Pr(\text{CCE}_4) = (P_{\text{CC1}}) \cdot (P_{\text{CC2}})$$

همچنین ممکن است این دو واقعه مثل سیل (CC۲) و طوفان (CC۱) به هم وابسته باشند، در این صورت احتمالشان این گونه محاسبه می شود (رابطه ۱۱):

$$\Pr(\text{CC}_2 | \text{CC}_1) = p, \Pr(\text{CC}_2 | \text{no CC}_1) = q \quad (11)$$

آنگاه داریم:

$$\Pr(\text{CCE}_1) = (1 - P_{\text{CC1}}) \cdot (1 - q), \Pr(\text{CCE}_2) = (P_{\text{CC1}}) \cdot (1 - p), \\ \Pr(\text{CCE}_3) = (1 - P_{\text{CC1}}) \cdot q, \Pr(\text{CCE}_4) = (P_{\text{CC1}}) \cdot p \quad (12)$$

احتمال شکست را می توان این گونه (رابطه ۱۳) تشریح کرد:

$$\Pr(F) = \sum \Pr(F | E) \Pr(E) \quad (13)$$

که  $\Pr(F | E)$  و  $\Pr(E)$  به ترتیب احتمال وقوع علت معمول  $E$  و احتمال شرطی شکست در شبکه به شرط علت معمول  $E$  می باشد. با توجه به مجموعه علت معمول  $\Omega_{\text{CCE}}$  و احتمال کل قضیه، احتمال شکست شبکه  $PF$  می تواند بازنویسی شده و این گونه بدست بیاید (رابطه ۱۴):

$$P_F = \sum_{i=1}^m [\Pr(F | \text{CCE}_i) \cdot \Pr(\text{CCE}_i)] \quad (14)$$

که  $\Pr(\text{CCE}_i)$  احتمال اتفاق افتادن هر علت معمول رویداد  $\text{CCE}_i$  می باشد و  $\Pr(F | \text{CCE}_i)$  احتمال شرطی شکست شبکه به شرط وقوع  $\text{CCE}_i$  است (Xing, 2008).

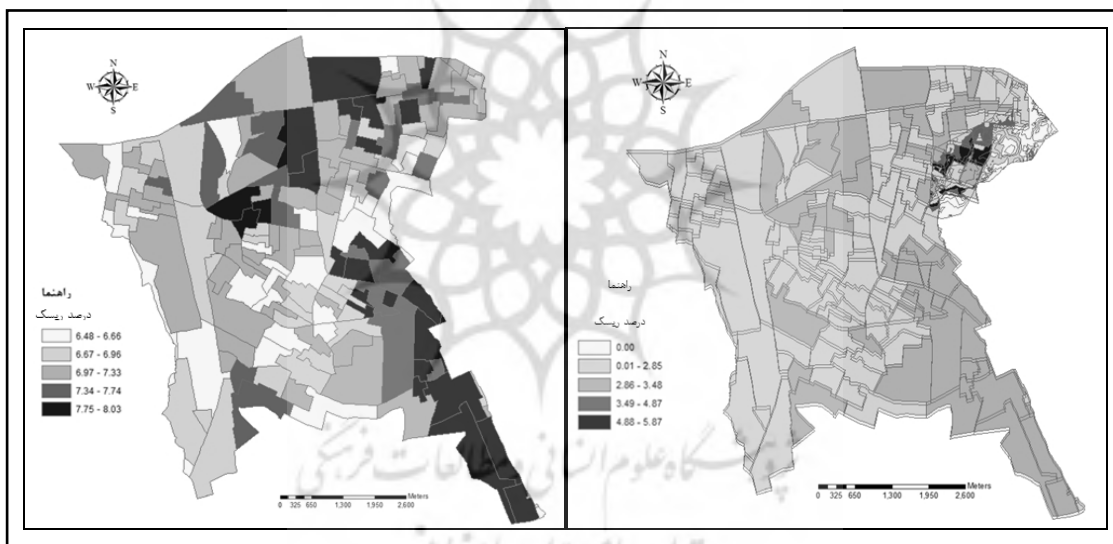
#### ۴. بحث و نتایج

نتایج هریک از پودمان های چارچوب تحقیق در هر بخش به تفکیک ذکر گردید، اما برای مخاطرات چندگانه بایستی از سناریوهای سیل و زلزله جهت برنامه ریزی واکنش اضطراری و برنامه ریزی پیشگیری از بحران بهره برد. بنابراین، باید زلزله هایی را فرض نمود که بیشترین خسارت را به محدوده مورد مطالعه وارد خواهد نمود. در این پژوهش سناریوهای احتمالی در نظر گرفته شده است که به شرح جدول ۶ می باشد. در این سناریوها زلزله با بزرگای ۷ و سیلی با دوره تناوب ۱۰۰ سال در نظر گرفته شده است.

با توجه به جداول سناریوهای مذکور و با در نظر گرفتن روابط بخش ۶ ریسک ناشی از "وقوع سیل و عدم وقوع زلزله"، "وقوع زلزله و عدم وقوع سیل"، "وقوع زلزله و عدم وقوع سیل" برای سطوح مختلف محاسبه گردید و وارد جداول GIS شد و در نتیجه نقشه های Multi\_Hazard تولید گردید. لازم به ذکر است که به دلیل آن که در منطقه سطح خرابی DS4 در اثر سیل وجود ندارد، سناریوهای شماره ۸ و ۱۲ رخ نخواهد داد. شکل ۱۱ و ۱۲ نقشه های سناریوهای شماره ۲ و ۱۰ را به عنوان نمونه نشان می دهد.

جدول ۶ سناریوهای مختلف در نظر گرفته شده

شماره سناریو	وقوع یا عدم وقوع زلزله	وقوع یا عدم وقوع سیل	سطح خرابی
۱	وقوع زلزله	عدم وقوع سیل	سطح خرابی سبک
۲	وقوع زلزله	عدم وقوع سیل	سطح خرابی متوسط
۳	وقوع زلزله	عدم وقوع سیل	سطح خرابی گسترده
۴	وقوع زلزله	عدم وقوع سیل	سطح خرابی کامل
۵	عدم وقوع زلزله	وقوع سیل	سطح خرابی سبک (DS1)
۶	عدم وقوع زلزله	وقوع سیل	سطح خرابی متوسط (DS2)
۷	عدم وقوع زلزله	وقوع سیل	سطح خرابی گسترده (DS3)
۸	عدم وقوع زلزله	وقوع سیل	سطح خرابی کامل (DS4)
۹	وقوع زلزله	وقوع سیل	سطح خرابی سبک
۱۰	وقوع زلزله	وقوع سیل	سطح خرابی متوسط
۱۱	وقوع زلزله	وقوع سیل	سطح خرابی گسترده
۱۲	وقوع زلزله	وقوع سیل	سطح خرابی کامل



شکل ۱۱ نقشه ریسک در اثر وقوع زلزله و شکل ۱۲ نقشه ریسک در اثر وقوع مخاطرات چندگانه (سطح متوسط)

۵. نتیجه گیری

همان‌طور که ذکر گردید، در ارتباط با ریسک خسارت ناشی از سیل و زلزله بر روی ساختمان به طور جداگانه، پژوهش‌های بسیاری صورت گرفته است. اما آنچه این پژوهش را متفاوت ساخته، استفاده از روابط احتمالاتی ترکیبی برای تعیین ریسک خسارت ناشی از مخاطرات همزمان یا پی در پی می باشد. آنچه مسلم است احتمال وقوع

مخاطرات به صورت همزمان پایین است. همان طور که در این پژوهش احتمال رخداد وقوع سیل و زلزله به ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۳۹ می باشد، احتمال رخداد هر دو سانحه با ضرب این دو عدد بسیار کاهش می یابد. اما آنچه مهم است خسارت ناشی از مخاطرات چندگانه می باشد که خرابی‌های بیشتری را در سطوح بالای خرابی در پی دارد. نتایج حاکی از آن است که در منطقه بیست تهران با در نظر گرفتن سناریو مخاطرات چندگانه؛ آمار خرابی در سطوح بالاتر افزایش می یابد و از تعداد خرابی در سطوح پایین تر کاسته می شود. در سطح خرابی کامل به طور متوسط در تمامی سازه‌ها افزایش ۱/۳ برابر تعداد خرابی را نسبت به مخاطره تکی خواهیم داشت. همچنین با در نظر گرفتن محدوده سطح خرابی کامل و در نظر گرفتن نوع سازه، تعداد ساختمان‌های آسیب دیده بنایی، فولادی و بتنی به میزان ۱/۲۵، ۱/۲۶ و ۱/۵ برابر افزایش می یابد. از مزیت‌های دیگر این روش، به طوری که در نقشه‌های خروجی مشاهده شد، به تصویر کشیدن خطرات یا احتمال خطرات به صورت مجزا و ترکیبی است که احتمال خرابی خطرات در اثر وقوع مخاطرات به صورت مجزا و تلفیق خطرات به صورت کلی در موقعیت‌های مختلف جغرافیایی به صورت کمی به تصویر کشیده شده است.

### فهرست منابع و مآخذ

- شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری، ۱۳۸۴. مطالعات پهنه‌بندی سیل در طرح جامع تهران. وزارت نیرو، استاندارد راهنمای تدوین دوره بازگشت سیلاب طراحی برای کارهای مهندسی، بنی حبیب، ابراهیم؛ ۱۳۸۰. شماره استاندارد ۱۳۸۰-۲۴۱-الف.
- Delmonaco, G., Margottini, C., Spizzichino, D., 2006. ARMONIA methodology for multi-risk assessment and the harmonisation of different natural risk maps. Deliverable 3.1.1, ARMONIA.
- FEMA., 1995. National mitigation strategy: Partnerships for building safer communities. Tech. rep., Federal Agency Management Agency., Washington, USA. (2005),
- HAZUS99-SR2 Technical Manual., 1999. Developed by Federal Emergency Management Agency (FEMA). Washington, D.C.
- Javanbarg, M., B. et al., 2009. "Multi-Hazard Reliability Analysis of Lifeline Networks". TCLEE2009, ASCE.
- Jochen, Schmidt., et al., 2012. Quantitative multi-risk analysis for natural hazards: a framework for multi-risk modeling. Nat Hazards (2011) 58:1169–1192 DOI 10.1007/s11069-011-9721-z.
- Ministry of Power of Iran, Standard guide for codifying flood reoccurrence period for engineering workd design, BaniHabidEbrahim (2001), standard No.: A-241-1380
- NIWA Technical Report: WLG2010 "RiskScape: Flood fragility methodology".
- Tavakoli, B., 1996. "Major Seismotectonic Provinces of Iran", International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES). (in Persian), Tehran, Iran.

- UN., 2002. Johannesburg plan of implementation of the world summit on sustainable development. Tech.rep., United Nations, [http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD\\_POI\\_PD/English/WSSD\\_Plan Impl.pdf](http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/WSSD_Plan_Impl.pdf), access 03 September 2009.
- UNEP., 1992. Agenda 21.Tech. rep., United Nations Environment Programme, [http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/res\\_agenda21\\_07.shtml](http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/res_agenda21_07.shtml), access 03 September 2009.
- UN-ISDR., 2005. Hyogo framework for action 2005–1015: Building the resilience of nations and communities to disasters. In: World Conference on Disaster Reduction, Kobe, Hyogo, Japan.
- Water and Watershed Jahad Co., 2005. Flood zoning studies in Tehran comprehensive plan.
- Xing, L., 2008. "An Efficient Binary-Decision-Diagram-Based Approach for Network Reliability and Sensitivity Analysis". IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS—PART A: SYSTEMS AND HUMANS. VOL. 38, NO. 1, JANUARY 2008.
- Zare, M., 1999. "Contribution a letude Des Mouvements Forts en Iran: Du Catalogue Aux Lois d'Att'enuation". Ph.D. Thesis Universit'e Joseph- Fourier. Grenoble, France, 237p.

