فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ پنجم، شمارهٔ اوّل، بهار ۱۳۹۴
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK) Quarterly, Vol. 5, No. 1 (Spring 2015)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۲۵

تخمین خسارت زلزله

تخمین میزان خسارات ناشی از زلزله در منطقه ۹ شهرداری مشهد با استفاده از مدل رادیوس در محیط GIS

دکتر غلامرضا کاظمیان[۱] و سیمین‌دخت آریش[۲]

۱. استادیار گروه مدیریت شهری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران Kazemian1344@gmail.com

۲. کارشناسی ارشد مدیریت شهری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران (نویسنده مسئول) si_arash@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: منطقه ۹ شهر مشهد با وسعت بیش از ۳۲۷۵ هکتار و جمعیت بالغ بر ۳۲۹۵۶۲ نفر، یکی از مهم‌ترین مناطق این شهر است که با سه گسل مهم (جنوب مشهد، سنگ بست- شاندیز و توس) تهدید شده است. وجود کاربری‌های مهمی مانند دانشگاه فردوسی، مراکز تربیت معلم شهید خورشیدی و شهید بهشتی، آموزشکده شهید منتظری و همچنین مراکز آموزشی غیرانتفاعی همچون مرکز آموزش سازمان همیاری شهرداری‌های خراسان رضوی و... نشان دهنده اهمیت بالای این منطقه از دیدگاه شهری است. بنابراین، بررسی‌های مربوط به آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطقه ۹ شهر مشهد و یافتن بهترین مدل برای بررسی آن یکی از ضروریات مدیریت شهری مشهد است.

روش: مطالعه حاضر از نوع توصیفی و ازلحاظ ماهیت کاربردی است. برای جمع‌آوری داده‌ها، مطابق استانداردها و پیش‌نیازهای مدل رادیوس، از سازمان‌های مربوطه استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با توجه به روش‌های مبتنی بر پایگاه اطلاعاتی و با بهره‌گیری از مدل رادیوس و نرم‌افزارهای مبتنی بر رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت پذیرفت.

یافته‌ها: در سناریوی گسل جنوب مشهد، بیشترین خسارت و در سناریوی گسل توس، کمترین خسارت به منطقه وارد می‌شود و در کل، محدوده‌هایی که دارای تراکم ساختمانی و جمعیتی بالا بوده اند، بیشترین آسیب‌پذیری و محدوده‌هایی که نوع خاک از جنس سنگی بوده است و تراکم متوسط و پایینی داشته‌اند، کم‌ترین آسیب‌پذیری را دارند.

نتیجه‌گیری: دوری و نزدیکی از گسل در شدت آسیب‌پذیری مؤثر است. با استفاده از یافته‌ها، مدل رادیوس از سطح دقت و کارایی بالایی برخوردار است.

نوع مقاله: مطالعه پژوهشی.

کلیدواژه‌ها: مدل رادیوس، زلزله، تخمین خسارت زلزله، منطقه ۹ شهرداری مشهد، سناریوی خسارت زلزله، گسل‌های مشهد.

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** کاظمیان، غلامرضا؛ آریش، سیمین‌دخت (بهار ۱۳۹۴). تخمین میزان خسارات ناشی از زلزله در منطقه ۹ شهرداری مشهد با استفاده از مدل رادیوس در محیط GIS و ارائه راهکارهایی جهت کاهش آسیب‌پذیری منطقه در برابر زلزله. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۵ (۱)، ۹-۲۰.

EARTHQUAKE DAMAGE ESTIMATION

Earthquake Damage Estimation of District 9 of Mashhad Municipality Using RADIUS Model based on GIS

Gholamreza Kazemian[1] & Simindokht Arish[2]

1. Assistant Prof., Urban Management, Faculty of Management & Accounting, Allame Tabatabaei Univ., Tehran, Iran Kazemian1344@gmail.com

*2. MS. in Urban Management, Faculty of Management & Accounting, Allame Tabatabaei Univ., Tehran, Iran (Corresponding author) si_arash@yahoo.com

ABSTRACT

Background and objective: District 9 of Mashhad municipality with a spread over 3275 hectares and the population over 329562 people, is one of the most important districts of Mashhad, which is threatened by three major faults (South of Mashhad, Sang Bast – Shandiz and Tous). Existence of important sites such as Ferdowsi University, Shahid Khorshidi and Shahid Beheshti teacher training centers, Shahid Montazeri School and also non profit educational centers such as cooperation organization training center of Khorasan Razavi municipalities and etc. reflect the high importance of this district from the urban view. Therefore, the studies related to the seismic vulnerability of district 9 of Mashhad and finding the best model for the study of urban management requirements of Mashhad.

Method: This is an applied- descriptive study. Data was gathered from relevant organizations in accordance with the standards and requirements of RADIUS model. Data analysis was performed according to methods based on database and utilize the RADIUS model and softwares based on the geographic information system approach.

Findings: The greatest damage caused by South of Mashhad fault scenario and the least damage was caused by Tous fault scenario. In total, the greatest vulnerability is in the areas that have a high population and density building and areas which type of their soil is rocky and have low and medium density, have the least vulnerability.

Conclusion: Being near and far from the fault is effective in vulnerability intensity. By using the findings, the radius model has the highest accuracy and performance.

Type of paper: Research article

Keywords: RADIUS Model, Earthquake, Earthquake damage estimation, District 9 of Mashhad Municipality, Earthquake Damage Scenario, Mashad Faults.

▶ **Citation (APA 6th ed.):** Kazemian, GR, Arish S. (2015, Spring). Earthquake damage estimation of district 9 of Mashhad Municipality using RADIUS model based on GIS. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, *5*(1), 9-20.

مقدمه

کشور ایران با ویژگی‌های خاص زمین‌ساختی، همواره در بسیاری از نقاط با خطر زلزله مواجه می‌باشد. بر پایه آمارهای رسمی در ۲۵ سال گذشته، ۶٪ از تلفات انسانی کشور ناشی از زلزله بوده است و به طور میانگین هرسال یک زلزله ۶ ریشتری و هر ۱۰ سال یک زلزله به بزرگی ۷ درجه در مقیاس ریشتر در کشور رخ می‌دهد. (رنجبر، اشراقی و ایرانمنش، ۱۳۸۵). اگر جلوگیری از وقوع زلزله امکان‌پذیر نیست، ولی کاهش آسیب‌های ناشی از آن امکان‌پذیر است. چیزی که بیش از همه اهمیت دارد، نجات دادن جان انسان‌ها در برابر این رخداد طبیعی است. رشد شهری باعث تسهیلات زیادی می‌شود ولی درعین‌حال عوامل بحران‌زا هم بیشتر شده است و تسهیلات محیطی تبدیل به ضرر می‌شود (ناکاباياشی، ۱۹۹۴).[1] علاوه بر این تخریب بافت، تأخیر در تخلیه جمعیت ساکن، مسدود شدن شبکه‌های ارتباطی، افزایش خسارات و زنده‌به‌گور شدن هزاران نفر از دیگر مسائل خواهد بود. بسیاری از افراد که در زیر آوار مانده‌اند، اگر امکان دسترسی و کمک‌رسانی به آن‌ها میسر نباشد، آن‌ها نیز جان خود را از دست خواهند داد (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۷).

شهر مشهد نیز احاطه شده در میان گسل‌ها می‌باشد. در جنوب و جنوب غربی این شهر گسل جنوب وجود دارد که طول بیش از ۹۰ کیلومتر دارد و کمترین فاصله آن تا مشهد به کمتر از ۲ کیلومتر می‌رسد. همچنین از طرف شرق و جنوب شرقی کمترین فاصله آن تا گسلی به طول ۱۰۰ کیلومتر در حدود ۲۰ کیلومتر است و در شمال آن گسلی به طول ۲۴ کیلومتر قرار دارد. تحقیق در آمار زلزله‌های رخ داده در این گستره نیز نشانگر وقوع زلزله‌های تاریخی قابل‌توجه در اطراف شهر مشهد می‌باشد (مهدوی‌عادلی و جزایری‌مقدس، ۱۳۹۰). همچنین تحقیقات نشان می‌دهند که مناطق غربی این شهر از سطح خطر لرزه‌ای بالاتری نسبت به سایر مناطق برخوردار است، به‌طوری‌که مناطق ۹-۱۲ بالاترین سطح خطر زلزله را دارند و مناطق ۱-۲، ۷-۸ نیز از سطح خطر نسبتاً بالایی برخوردارند، توجه به خطرات زلزله در دو منطقه ۹ به واسطه پرجمعیت بودن و منطقه ۷، به‌واسطه گستردگی بسیار حیاتی می‌باشد (مهدوی‌عادلی و جزایری‌مقدس، ۱۳۹۰). منطقه ۹ شهر مشهد یکی از مناطقی است که باید بحث خطرات ناشی از زلزله در آن به‌طورجدی موردتوجه قرار گیرد، زیرا این منطقه از یک‌طرف دارای وسعت و جمعیت قابل‌توجهی است و از طرف دیگر، سطح خطر زلزله در این منطقه به صورت قابل توجهی بالا می‌باشد (مهدوی‌عادلی و جزایری‌مقدس، ۱۳۹۰).

تحقیقات زیادی در خصوص انواع روش‌های تخمین خسارت زلزله انجام شده است. ازجمله روش‌هایی که به این مهم می‌پردازند عبارت‌اند از روش رادیوس،[2] روش هازوس[3] و روش‌های مبتنی بر جی‌آی‌اس (GIS).

در سال ۲۰۰۲، انستیتو بین‌المللی علوم اطلاعات جغرافیایی و مشاهدات زمین یک پروژه تحقیقاتی را باهدف تقویت مقامات محلی درزمینه مدیریت ریسک آغاز کرد تا روش‌های خاصی برای ارزیابی ریسک مبتنی بر جی‌آی‌اس و کمک به تصمیم‌گیری ایجاد کند که برای مسئولان محلی در شهرهایی با اندازه متوسط در کشورهای در حال توسعه مفید است؛ اما نیاز به سطوح بالای مشارکت حرفه‌ای و دقت بهتر در پایگاه داده و منابع دارد. نظارت جامعه نیز می‌تواند ابزار مفیدی باشد اما سطح دقت آن برای تصمیم‌گیری کافی نیست (عالم، تسفاماریوم و عالم، ۲۰۱۳).[4]

سامانه ارزیابی خسارت زمین‌لرزه مرکز زمین‌لرزه میانه آمریکا[5] یا به‌اختصار MAEViz که با تلاش مشترک بین مرکز زمین‌لرزه مید-امریکا[6] و مرکز ملی کاربردهای ابرکامپیوتر[7] ایجادشده، یکی از پلتفرم‌های مدرن مستقل نرم‌افزار ارزیابی ریسک لرزه‌ای، با منبع باز است که می‌توان از آن برای برنامه‌ریزی پیشگیری از بلایا و کاهش خسارات و ارزیابی سریع واکنش بعد از بلایا استفاده کرد. اما پیچیدگی استفاده از این نرم‌افزار نیاز به اشخاص فنی و ماهر دارد که هزینه‌های خاصی را به همراه دارد. نرم‌افزار هازوس (HAZUS)[8] یک نرم‌افزار تعاملی است که توسط فما[9] و انستیتو ملی علوم

1. Nakabayashi, 1994

2. RADIUS: Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban areas against Seismic Disasters
3. HAZUS: Hazards-United States
4. Alam, Tesfamariam, & Alam, 2013
5. Mid-America Earthquake Center Seismic Loss Assessment System (MAEViz) http://mae.cee.illinois.edu/software/software_maeviz.html
6. MAE center :Mid-American Earthquake Center
7. NCSA: National Center for Supercomputing Applications
8. Hazard US (HAZUS)
9. Federal Emergency Management Agency (FEMA)- https://www.

ساختمان[1] منتشرشده است. نسخه چند خطر آن (HAZUS-MH) [2] در پلتفرم ArcGIS تهیه شده و مجموعه داده کامل در سطح آمار را می‌توان از کل ایالات متحده به دست آورد. اما به سختی می‌توان از روش هازوس در سایر بخش‌های جهان استفاده کرد که این به خاطر پیچیدگی و مقدار زیاد داده‌های ورودی است (عالم، تسفاماریوم و عالم، ۲۰۱۳).

دهه ۱۹۹۰ از طرف سازمان ملل به عنوان دهه بین‌المللی کاهش بلایای طبیعی اعلام شده است. پروژه رادیوس یکی از مهم‌ترین پروژه‌های آغازشده در این دوره است (سازمان ملل، ۱۹۹۰-۲۰۰۰).[3] اگرچه سطح دقت رادیوس برای طراحی هر ساختاری کافی نیست اما برای تصمیم‌گیری مناسب است و ابعاد مالی و زمانی را در نظر می‌گیرد. یکپارچه‌کردن جی‌آی‌اس با رادیوس باعث تقویت دقت نتایج می‌شود (سازمان ملل، ۱۹۹۰-۲۰۰۰).

با توجه مقایسه صورت گرفته بین روش‌های مختلف تخمین خسارت و با توجه به ماهیت رشته مدیریت امور شهری مقاله پیش رو از روش رادیوس برای ارزیابی ریسک استفاده خواهد کرد زیرا در آن از مشارکت مسئولان مختلف حوزه امور شهری استفاده خواهد شد.

همچنین به لحاظ ماهیت این رشته که از گرایش‌های علوم انسانی و مدیریت اجرایی است رادیوس بهترین گزینه جهت ارزیابی ریسک منطقه برای تصمیم‌گیری‌های مرتبط با کاهش خسارت و امنیت و رفاه شهری است چراکه به تخصص‌های پیچیده مهندسی نیازی ندارد و در کمترین زمان به نتایج مناسبی خواهد رسید و تجربه‌های موفقی در سایر کشورها داشته است. همچنین به لحاظ هزینه نسبت به سایر روش‌ها مقرون‌به‌صرفه‌تر است و نیازی به اطلاعات پیچیده و منابع زیاد ندارد و درعین‌حال از دقت متناسبی نیز برخوردار است و برای کشورهای در حال توسعه و مناطقی که اطلاعات ریز و دقیقی از منطقه در دست نیست و نقشه‌های جی‌آی‌اس و اطلاعات جغرافیایی برای آن مناطق تهیه نشده است و درعین‌حال جزو مناطق پرخطر محسوب می‌شوند می‌تواند اطلاعات مناسبی را در اختیار مدیران قرار دهد.

با توجه به مطالب بیان شده، این ضرورت به طور جدی احساس می‌شود که با ایجاد یک مدل مناسب و به‌کارگیری انواع داده‌های مکانی و غیرمکانی و انجام تحلیل‌های مربوط در سیستم اطلاعات جغرافیایی، بتوان به ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری شهر مشهد در برابر زلزله کمک نموده و در کنار کسب آمادگی‌های لازم در برابر این خطر طبیعی، در یک فرایند نظام‌مند به مدیریت بحران‌های ناشی از سوانح پرداخت. لذا هدف از این مطالعه ارزیابی مدل رادیوس جهت تخمین خسارات ناشی از زلزله و ارائه روش‌های مناسب جهت تخمین خسارات ناشی از زلزله است. و سعی دارد تا به سؤالات زیر پاسخ مناسبی ارائه دهد:

- قابلیت پیاده‌سازی مدل رادیوس جهت تخمین خسارت زلزله در منطقه چقدر است؟
- بیشترین خسارات منطقه ناشی از کدام سناریوی زلزله است؟
- راهکارهای کاهش خسارت بر مبنای یافته‌های مدل رادیوس کدام‌اند؟

روش

مطالعه حاضر از نوع توصیفی و ازلحاظ ماهیت، کاربردی خواهد بود. برای انجام تحقیق، منطقه ۹ شهرداری مشهد انتخاب گردید، جهت جمع‌آوری اطلاعات از روش‌های شناسایی کتابخانه‌ای و تهیه و گردآوری اطلاعات و داده‌ها مطابق استانداردها و پیش نیازهای مدل رادیوس، از سازمان‌های مربوطه (شهرداری منطقه۹مشهد،مدیریت ساماندهی و مدیریت بحران مشهد،شرکت برق منطقه‌ای مشهد) استفاده شده است. با توجه به روش پژوهش، ابزار جمع‌آوری داده‌ها در این مطالعه، استفاده از اطلاعات و مدارک موجود در سازمان‌های مختلف بود. تجزیه و تحلیل داده‌ها با توجه به روش‌های مبتنی بر پایگاه اطلاعاتی و با بهره‌گیری از مدل رادیوس و نرم‌افزارهای مبتنی بر رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد. روش کلی انجام کار برای تخمین خسارت با استفاده از برنامه رادیوس در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

سناریوی زلزله، وضعیت زمین، داده‌های آماری و عملکرد

fema.gov/hazus

1. National Institute of Building Sciences (NIBS)- http://www.nibs.org/
2. Hazard U.S.-Multi-Hazard (HAZUS-MH)
3. United Nations, 1990-2000

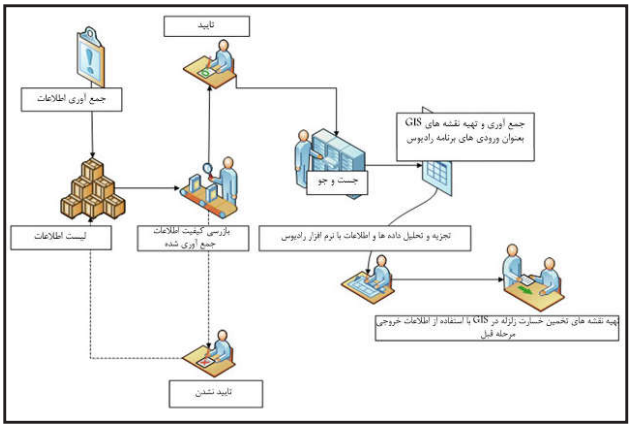
جدول. ۱. مقایسه کلی روش‌های مختلف تخمین خسارات زمین‌لرزه*

روش‌ها	مشارکت ذینفعان			انگیزه برای جامعه	دقت	منابع لازم	امکان استفاده در کشورهای در حال توسعه
	افراد حرفه ای	مسئولان	جامعه				
ابزارهای ارزیابی ریسک برای تشخیص مناطق شهری آسیب‌پذیر در برابر بلایای زمین‌لرزه (RADIUS)	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	کم	بله
ابزارهای ارزیابی ریسک مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تشخیص مناطق شهری آسیب‌پذیر در برابر شبکه بلایای زلزله (GIS GRID)	زیاد	کم	کم	کم	متوسط تا زیاد	زیاد	بله
تقویت مسئولان محلی درزمینه مدیریت ریسک (SLARIM)	زیاد	متوسط	کم	کم	زیاد	زیاد	بله
نظارت بر جامعه	کم	متوسط	زیاد	زیاد	کم	کم	بله
HAZUS	زیاد	کم	کم	کم	زیاد	زیاد	بله

* **منبع:** عالم، تسفاماریوم و عالم، ۲۰۱۳، ص ۶۷.

آسیب‌پذیری ساختمان‌ها مهم‌ترین داده‌های ورودی برای تخمین خسارت زلزله هستند. برای تهیه و تدوین یک سناریوی خسارت زلزله، باید ناحیه هدف مشخص شود و با توجه به زمین‌شناسی و موقعیت گسل ها، باید بزرگی، مرکز زلزله و مدل افت قدرت موج مشخص گردد. تخمین خسارت با توجه به مخاطره و سازه‌های موجود و تعداد و نوع سازه‌ها و شریان‌های حیاتی برآورد خواهد شد. نقشه خسارت بیان‌کننده ارتباط بین شدت لرزه‌ای و درجه خسارت به سازه‌ها خواهد بود. تلفاتی همچون مرگ و جراحت هنگام وقوع زلزله در شب یا روز تخمین زده می‌شوند (سینتیا، ۲۰۰۳).[1] بنابراین، کل فرایند تخمین خسارت منجر به آگاهی از مجموع خسارت و چگونگی توزیع آن‌ها در صورت وقوع زلزله است.

شکل ۱. روش کلی انجام کار جهت تخمین خسارت ناشی از زلزله با استفاده از برنامه رادیوس و جی‌آی‌اس*



*منبع: عالم، تسفاماریوم و عالم، ۲۰۱۳، ص۶۸.

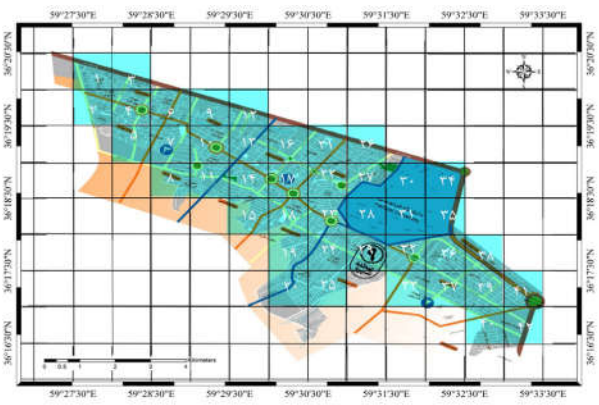
1. Cynthia, 2003

یافته‌ها

نرم‌افزار رادیوس برای تدوین سناریوی زلزله و تخمین خسارت فرایند گام به گام و مشخصی دارد. بدین‌صورت که هنگام وارد نمودن داده‌های موردنیاز در هر قسمت، داده‌ها توسط نرم‌افزار به صورت خودکار بررسی شده و در صورت ناقص بودن اطلاعات هشدار داده و اجازه اجرای سناریوی زلزله در ادامه داده نمی‌شود. در ادامه به ترتیب مراحل مختلف انجام کار شرح داده می‌شود.

◀ **گام اول:** شبکه‌بندی منطقه: برای برآورد و تخمین خسارت، منطقه ۹ شهرداری مشهد به ۴۲ شبکه مساوی، ۱ کیلومتر در ۱ کیلومتر، تقسیم و اطلاعات موردنیاز برنامه، به تفکیک هر شبکه وارد نرم‌افزار شد که شبکه‌بندی منطقه در نرم‌افزار ArcGIS و با توجه به مرزهای منطقه و توزیع کاربری‌های موجود در آن صورت گرفته است که نقشه ۱ شبکه‌بندی منطقه را با استفاده از نرم‌افزارGIS نشان می‌دهد.

نقشه ۱. شبکه‌بندی منطقه ۹ مشهد (۱کیلومتر در ۱ کیلومتر) با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS

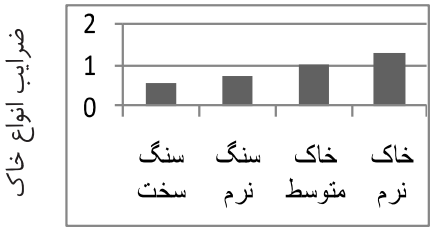


مقادیر ورودی باید به هر یک از شبکه‌ها اختصاص یابند و خروجی‌های توزیع‌شده فضایی را می‌توان به این طریق به دست آورد. با توجه به تقسیمات کالبدی صورت گرفته در الگوی توسعه حوزه جنوب غربی.منطقه ۹ شامل ۱۵ محله می‌باشد (مهندسان مشاور نقش پیراوش، ۱۳۹۰). دو محله به این دلیل که سطح وسیعی از این دو محله را زمین‌های بایر و ارتفاعات و عوارض طبیعی تشکیل داده اند در برنامه وارد نشده است و جمعاً ۱۳ محله موردبررسی قرار گرفت.

◀ **گام دوم:** تعیین وضعیت خاک منطقه: چهار طبقه‌بندی زمین مبتنی بر خاک سطحی یعنی سنگ سخت، سنگ نرم، خاک متوسط و خاک نرم در برنامه رادیوس به کاررفته است. به علاوه، نوع خاک ناشناس برای راحتی کاربران وجود دارد. مقادیر ضرایب تقویت نیز در جدول ۲ برای گروه‌های مختلف خاک نشان داده شده اند. در نقشه ۲ نیز بافت غالب خاک سطحی منطقه نشان داده شده است. با بررسی مطالعات صورت گرفته در ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای مشهد و نقشه‌های بافت خاک، مشاهده شد که در غرب مشهد و نیز حاشیه ارتفاعات جنوبی بافت خاک شنی (خاک‌های درشت دانه) می‌باشد. پهنه شنی از سطح به عمق گسترش بیشتری می‌یابد. بخش اعظم نهشته‌های زیرسطحی در شهر مشهد بخصوص در بخش غربی خاک غیر چسبنده شن و ماسه‌ای است (حافظی‌مقدس، طاهری و روشن‌روان، ۱۳۸۷).

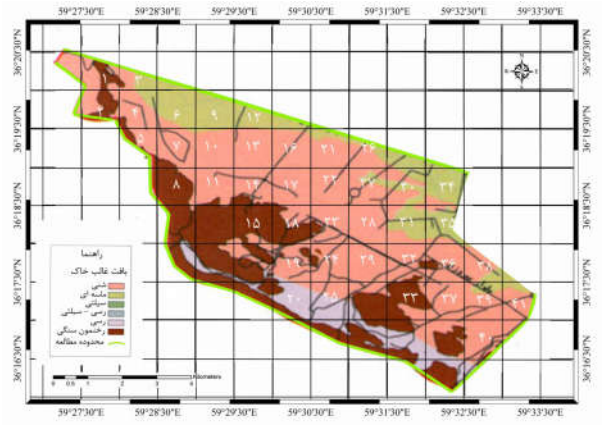
جدول. ۲. گروه‌بندی و ضرایب انواع خاک بر اساس مدل رادیوس

کد خاک	نوع خاک	ضریب
۰	نامعلوم	۱
۱	سنگ سخت	۰/۵۵
۲	سنگ نرم	۰/۷۰
۳	خاک متوسط	۱
۴	خاک نرم	۱/۳۰



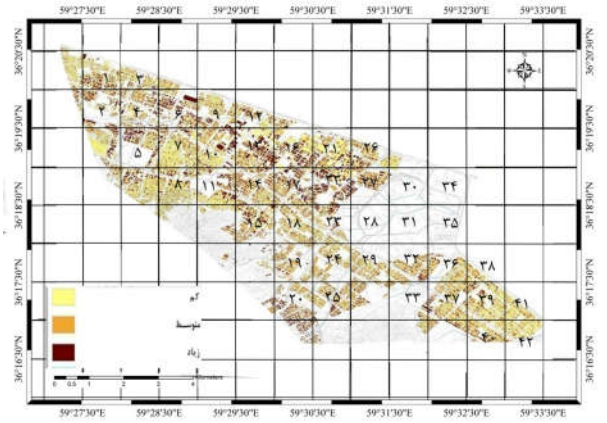
نوع خاک / سنگ

نقشه ۲. نقشه بافت غالب خاک منطقه ۹ مشهد، شبکه‌بندی شده توسط برنامه ArcGIS



◀ **گام سوم:** اطلاعات میزان تراکم ساختمان‌ها در منطقه: آگاهی از میزان تراکم ساختمان‌ها در هر شبکه برای محاسبه میزان خسارات ضروری است. نقشه ۳ تراکم ساختمانی موجود در منطقه ۹ را نشان می‌دهد. میزان تراکم به ۴ نوع (بدون تراکم، تراکم کم، تراکم متوسط، تراکم زیاد و خیلی زیاد) تقسیم شده است که هر نوع تراکم ضریب مخصوص به خودش را دارد که در جدول ۳ نشان داده شده است.

نقشه۳. تراکم ساختمان‌های موجود در منطقه ۹ مشهد، شبکه‌بندی‌شده با برنامه ArcGIS



جدول ۳ اطلاعات میزان تراکم ساختمان‌ها

کد تراکم	توصیف	ضریب
۰	بدون تراکم	۰
۱	کم	۰/۵
۲	متوسط	۱
۳	زیاد	۱/۵
۴	خیلی زیاد	۳

◄ **گام چهارم:** اطلاعات مربوط به طبقه‌بندی انواع ساختمان‌ها: آگاهی از تعداد و کلاس ساختمان‌های موجود در هر شبکه برای محاسبه میزان خسارات ضروری است. در برنامه رادیوس ساختمان‌ها ازلحاظ نوع کاربری به پنج گروه تقسیم می‌شوند: ۱- مسکونی، ۲- آموزشی، ۳-پزشکی، ۴- تجاری و ۵-صنعتی؛ که هرکدام از این گروه‌ها نیز به کلاس‌های مختلف تقسیم می‌شوند. گروه مسکونی به سه کلاس (مسکونی ۱، مسکونی ۲ و مسکونی ۳) طبقه‌بندی می‌شود که شرح آن‌ها در ادامه در جدول ۴ آمده است. ساختمان‌های آموزشی و پزشکی نیز هرکدام به دو کلاس طبقه‌بندی شده است. اطلاعات مربوط به طبقه‌بندی ساختمان‌های این منطقه مطابق مدل رادیوس در جدول ۴ نشان داده شده است. بیشترین درصد ساختمان‌های منطقه، مربوط به نوع مسکونی ۲ می‌باشد (ساخت‌وساز ترکیبی بتن مسلح-بنای غیرمسلح: ساخت‌وساز زیر استاندارد که مطابق با تمهیدات قانون ساختمان‌سازی محلی نیست (ارتفاع تا ۳ طبقه). اکثر ساختمان‌های مربوط به منطقه ۹ کوتاه مرتبه هستند. اطلاعات ارقامی این جداول از طرح تفصیلی حوزه جنوب غربی مشهد و اطلاعات موجود در سیستم SDI شهرداری (SDI.Mashhad.ir) به دست آمده است.

◄ **گام پنجم:** وضعیت شریان‌های حیاتی منطقه: گروه‌بندی شریان‌های حیاتی منطقه ۹ شهرداری مشهد مطابق مدل رادیوس در جدول ۵ آورده شده است. اطلاعات این جدول از سازمان‌های مربوطه

جدول ۴. طبقه‌بندی انواع ساختمان مطابق با برنامه رادیوس

گروه ساختمان	تعریف	تعداد
مسکونی ۱	ساخت‌وساز غیررسمی: زاغه‌ها و خانه‌های پراکنده ساخته شده از آجر خام، ملات گل، دیوارهای سست و سقف‌های نامناسب	-
مسکونی ۲	ساخت‌وساز ترکیبی بتن مسلح-بنای غیرمسلح: ساخت‌وساز زیر استاندارد که مطابق با تمهیدات قانون ساختمان‌سازی محلی نیست (ارتفاع تا ۳ طبقه)	۲۲۳۳۷
مسکونی ۳	ساخت ترکیبی بتن مسلح-URM: ساخت‌وساز قدیمی و تخریب‌شده که مطابق با تمهیدات قانون ساختمان‌سازی نیست (ارتفاع ۶-۴ طبقه)	-
مسکونی ۴	ساخت‌وساز بتن تقویت‌شده مهندسی: ساختمان‌های چندطبقه جدید برای اهداف مسکونی و تجاری	۶۳۳۳
آموزشی ۱	ساختمان مدرسه تا ۲ طبقه؛	۱۹۱
آموزشی ۲	ساختمان مدرسه بلندتر از ۲ طبقه؛ ساختمان اداری باید در این مجموعه قرار گیرد؛ در کل،درصد این نوع ساختمان بسیار کم است.	۱۵۶
پزشکی ۱	بیمارستان‌های کوتاه تا متوسط: معمولاً درصد این نوع ساختمان بسیار کم است	۲۷
پزشکی ۲	بیمارستان‌های بلندمرتبه: در کل،درصد این نوع ساختمان باید کم باشد.	۲
تجاری	مراکز خرید	۴۱۸۸
صنعتی	تسهیلات صنعتی	۸

و طرح تفصیلی حوزه جنوب غربی مشهد جمع‌آوری شده‌اند.

جدول ۵. گروه‌بندی شریان‌های حیاتی منطقه ۹ مشهد مطابق برنامه رادیوس

شریان‌های حیاتی	میزان	واحد	توصیف
جاده نوع اول	۱۰	کیلومتر	جاده‌های محلی به مناطق اطراف
جاده نوع دوم	۲۳	کیلومتر	شاهراه‌ها و بزرگراه‌ها
پل و راه آهن	۱۰	تعداد	تعداد پل‌ها و راه آهن
تونل	۰	تعداد	-
برق۱	۲۱۴۰۹	تعداد	تعداد دکل‌های برق و مخابرات
برق۲	۱۴۷۳	تعداد	تعداد ایستگاه‌های برق و مخابرات
آب۱	۸۱	کیلومتر	طول خطوط آب و فاضلاب
آب۲	۳	تعداد	تعداد ایستگاه‌های پمپاژ آب
آب۳	۰	تعداد	تعداد ایستگاه‌های آب و فاضلاب صنعتی
مخزن آب ۱	۶	تعداد	تعداد آب‌انبارها و آب‌بندها
مخزن آب ۲	۸	تعداد	تعداد مخازن مرتفع
سوخت‌های بنزینی و گازوئیلی	۳	تعداد	تعداد ایستگاه‌های پمپ بنزین و..

◀ **گام ششم:** تعیین سناریوی زلزله: اگرچه زمین‌لرزه‌های فرضی را می‌توان به عنوان زمین‌لرزه موردنظر به کار برد. اما باید از دیدگاه لرزه‌شناسی اعتبارسنجی شود. زمین‌لرزه‌های تاریخی فراهم شده در ابزار رادیوس در تصمیم‌گیری در مورد پارامترهای ورودی زمین‌لرزه مناسب هستند؛ مثلاً مکان، عمق، اندازه و زمان وقوع زلزله. در این مطالعه به منظور ایجاد تصویری مناسب از وقوع خسارت در این منطقه و تهیه انواع خسارات ممکن بر اثر وقوع زلزله احتمالی در این منطقه، سه زلزله، ناشی از فعال شدن سه گسل جنوب، سنگ بست- شاندیز و توس در نظر گرفته شده است، درنتیجه سه سناریو در برنامه رادیوس مدنظر قرار گرفتند که مشخصات آن‌ها در جدول ۶ آمده است.

شهر مشهد در شمال کوه‌های چین خورده – گسلیده بینالود (واقع در شمال ایران مرکزی) و در دشتی از نهشته‌های آبرفتی کواترنری بین ارتفاعات کپه داغ (در شمال) و بینالود (در جنوب) قرار گرفته است. جوشش آبرفتی در این دشت سبب شده است که تشخیص گسل‌ها دشوار و تقریباً غیرممکن جلوه کند. سه گسل جنوب مشهد، شمال مشهد و گسل شاندیز نزدیک‌ترین گسل‌ها به شهر مشهد می‌باشند. در ادامه مشخصات این گسل‌ها به اختصار بیان شده است.

- **گسل توس:** گسل توس شاخه‌ای از گسل کشف رود است که روند شمال غربی-جنوب شرقی دارد. شواهد زمین ریخت‌شناسی نشان می‌دهد که ادامه این گسل از شمال غربی شهر مشهد در نزدیکی‌های توس وارد محدوده شهری می‌شود. این گسل با عبور از کنار بقعه خواجه ربیع به سمت شمال شرقی شهر مشهد امتداد می‌یابد و از حاشیه گل شهر خارج می‌شود. گسل توس با پهنه‌ای به عرض ۲-۳ کیلومتر، دارای سازوکار معکوس با شیبی به سمت جنوب غرب است که فعالیت آن در طی دوره کواترنر کاملاً مشهود است. همچنین بربریان و همکاران کانون سطحی زلزله تاریخی ۱۵۹۸ مورخ ۱۹۷۳/۰۷/۰۳ با بزرگی ۶/۶، ۱۶۸۷/۰۴/۱ و ۱۸۸۳/۰۲/۲۶ را در مجاورت گسل احتمالی توس مشخص نموده اند (حافظی‌مقدس، طاهری و روشن‌روان، ۱۳۸۷).
- **گسل سنگ بست- شاندیز:** گسل مهم دیگر گسل شاندیز می‌باشد که در ۱۵ کیلومتری غرب مشهد واقع شده است و در اصل به صورت گسلی تک نبوده بلکه به صورت سامانه گسلی با عرض حداقل ۳ کیلومتر و طول تقریبی ۷۷ کیلومتر تعریف شده است و در یک زلزله تاریخی و سه زلزله دستگاهی نقشی اثبات شده داشته است احتمال دارد سامانه گسلی شاندیز در رویداد زمین‌لرزه ۳۰ ژوئیه ۱۶۷۳ مشهد (Ms 6.6) نقشی داشته باشد قرار گرفتن مرکز زمین‌لرزه‌های ۱ مه ۱۹۷۶، ۱۷ اوت ۱۹۷۷ و ۴ ژانویه ۱۹۸۳ در نزدیکی گسل شاندیز، ممکن است گویای جنبش ضعیف این گسل در قرن بیستم باشد (حافظی‌مقدس، طاهری و روشن‌روان، ۱۳۸۷).
- **گسل جنوب مشهد:** گسل جنوب مشهد سازنده ارتفاعات واقع در جنوب مشهد می‌باشد. معروف‌ترین بخش این ارتفاعات کوهسنگی است. این گسل با درازای بیش از ۱۰۰ کیلومتر در فاصله کمتر از ۵ کیلومتر از نقطه مرکزی شهر مشهد قراردارد. قرار گرفتن این گسل در ادامه جنوب خاوری گسل جنوب چناران و قرار گرفتن در یک جایگاه فعال سبب شده است که

این گسل به همراه گسل جنوب چناران به عنوان یک چشمه لرزه زا در مدل‌سازی چشمه‌ها مطرح باشند (حافظی‌مقدس، طاهری و روشن‌روان، ۱۳۸۷).

گسل‌های شمال و جنوب مشهد و گسل‌های شاندیز ازجمله گسل‌های بسیار نزدیک به شهر هستند و با توجه به فاصله کم آن‌ها تا نقطه مرکزی شهر (حرم مطهر حضرت امام رضا (ع)) می‌تواند اثرات مخرب بسیار شدیدی بر روی شهر داشته باشد که علت آن را می‌توان در طول زیاد این گسل‌ها و فاصله کم آن‌ها تا شهر دانست. بزرگ‌ترین زمین‌لرزه تاریخی روی‌داده در گستره موردبررسی، زمین‌لرزه تاریخی ۲۳ نوامبر ۱۴۰۵ میلادی نیشابور با بزرگای Ms ۷/۴ (در فاصله پیرامون۷۴ کیلومتری مرکز مشهد (حرم مطهر اما رضا (ع)) و زمین‌لرزه دستگاهی ۴ می۱۹۴۰ با بزرگای Ms ۶/۵ (در فاصله ۱۱۷ کیلومتری مرکز مشهد) می‌باشد.

با استناد به اطلاعات موجود در ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای مشهد و با توجه به اطلاعات و درازای چشمه‌های لرزه زا در گستره طرح می‌توان عدد ۷/۴ را به‌عنوان بیشینه بزرگای پذیرفتنی برای زمین‌لرزه‌های محتمل در گستره طرح پیشنهاد و پذیرفت (حافظی‌مقدس، طاهری و روشن‌روان، ۱۳۸۷). بنابراین در هر سه سناریو، بیشینه بزرگای زمین‌لرزه محتمل در گستره طرح یعنی عدد ۷/۴ ریشتر بکار رفته است تا بتوان نتایج حاصل از سه سناریو را مقایسه نمود.

جدول ۶. مشخصات مدل‌های سناریوی زلزله*

مشخصات	مدل گسل جنوب مشهد	مدل گسل سنگ بست- شاندیز	مدل گسل توس
موقعیت نسبت به منطقه	غرب -جنوب غرب	غرب	شمال شرق -جنوب شرق
بزرگی زلزله	۷/۴	۷/۴	۷/۴
عمق زلزله (کیلومتر)	۱۰	۱۰	۱۰
فاصله از شبکه مرجع(کیلومتر)	۱	۱۵	۱۷

* **منبع:** حافظی‌مقدس، طاهری و روشن‌روان، ۱۳۸۷، ص ۳۳، ۳۶.

لازم است زمان وقوع را نیز برای سناریوی زمین‌لرزه مشخص کنیم، چون تعداد تلفات وابسته به این است که زلزله طی شب روی داده یا روز، زمان زلزله ساعت ۴ بامداد در نظر گرفته شده است.

تجزیه و تحلیل یافته‌ها: بر اساس نتایج حاصل از تخمین خسارت بر اساس سه سناریوی گسل و همچنین با مقایسه نقشه تخمین خسارت ساختمان به دست آمده با نقشه‌های جنس خاک و میزان تراکم ساختمان‌ها، مشخص شد که قسمت‌هایی از منطقه ۹ شهرداری که جنس خاک از نوع سنگ سخت بوده است و همچنین قسمت‌هایی که تراکم ساختمانی متوسط و پایین بوده است خسارت‌ها کمتر تخمین زده شده است. و به همین ترتیب شبکه‌ها و محلاتی که تراکم ساختمانی بالا داشتند و جنس خاک نیز از نوع نرم رسی و شنی است میزان خسارت‌ها بیشتر بوده است. همچنین دوری و نزدیکی شبکه‌ها به گسل مربوطه و موقعیت جغرافیایی گسل نسبت به منطقه ۹ شهرداری در افزایش و کاهش میزان تخمین خسارت تأثیر بسیاری داشته است.

در سناریو گسل جنوب مشهد میزان خسارت وارد به ساختمان‌های منطقه ۹ شهرداری مشهد معادل ۳۴٪ کل ساختمان‌های موجود در منطقه می‌باشد که از میان محلات موجود در منطقه ۹، بیشترین آسیب ساختمانی را به ترتیب: محله حافظ (معادل ۴۲٪) و محله هنرستان (معادل ۴۰٪) داشته اند که این به دلیل تراکم بسیار زیاد ساختمانی نسبت به مساحت محله و جنس خاک محله که از نوع خاک نرم رسی و شنی می‌باشد. همچنین فاصله بسیار کم با گسل جنوب است دوری و نزدیکی به گسل‌های مهم و فعال یکی از شرایط زمین‌شناسی است که به هنگام زلزله در میزان خطرات ناشی از آن تأثیر می‌گذارد. هر چه محل ساختمان به گسل اصلی نزدیک‌تر باشد امکان خطر برای آن ساختمان بیشتر است. که برنامه رادیوس نیز این مطلب را تأیید کرد.

کمترین میزان آسیب به ساختمان نیز مربوط به محله شهرک نفت (معادل ۲۲/۵٪) و محله آب و برق (معادل۲۷/۴٪) می‌باشد. و می‌توان دلیل این کاهش خسارت ساختمان را نوع خاک محله آب و برق که از نوع رخنمون سنگی است دانست و میزان تراکم متوسط محله شهرک نفت نسبت به مساحت وسیع محله دانست. در مورد شریان‌های حیاتی منطقه ۹ نیز با توجه به یافته‌های تحقیق، میزان خسارت به برق ۲ (تعداد ایستگاه‌های برق و مخابرات) در هر سه سناریو گسل جنوب، گسل سنگ بست-شاندیز و گسل توس بیشتر از سایر شریان‌ها حیاتی بود. به این صورت که در سناریو گسل جنوب

تخمین خسارت برق ۳۵/۲٪ بود. در سناریو گسل توس ۲۵/۳٪ و در سناریو گسل سنگ بست–شاندیز ۱۸٪ بود.

بحث و نتیجه‌گیری

زلزله ازجمله مخاطرات طبیعی است که سکونتگاه‌های انسانی را مورد تهدید قرار می‌دهد و بیم فاجعه ناشی از زلزله محققین را بر آن داشته است تا هرکدام بر پایه دانش و رشته تخصصی خود نسبت به شناخت زلزله، مکانیسم اثر، روش مدیریت بحران‌های ناشی از آن و روش‌های کاستن از زیان‌های آن اقدام نمایند. دراین‌بین دانش شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری نیز به فراخور حیطه عمل خود، در سال‌های اخیر در پی شناسایی روش‌هایی برای تخفیف خسارات زلزله در شهرها به‌عنوان زیستگاه عمده بشر بوده است. یکی از روش‌هایی که می‌تواند در شهرها در حیطه شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری موجبات کاستن زیان‌های زلزله در شهرها را فراهم نماید، بهره بردن از مدل‌های تخمین خسارت ناشی از زلزله و برنامه‌ریزی بر مبنای یافته‌های این مدل‌ها برای مقابله با خسارات ناشی از زلزله است.

رادیوس برنامه‌ای است که کارایی و صحت آن در کشورهای توسعه یافته به اثبات رسیده است. در برنامه رادیوس کاهش خطرات زمین‌لرزه یک فعالیت بلندمدت است. ساخت شهرهای ایمن دهه‌ها به طول خواهد انجامید. مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود یا تغییر مکان آن‌ها در کوتاه‌مدت بسیار دشوار است. حتی در منطقه موردمطالعه خطر زلزله‌های شهری همچنان رشد خواهد کرد مگر اینکه اقدامات فوری انجام شود. با این حال رادیوس به افزایش آگاهی عمومی در میان جوامع کمک خواهد کرد. این پروژه به ثبات اولویت‌های برنامه‌ریزی کاربری زمین، مقررات ساخت‌وساز، مقاوم‌سازی سازه‌های موجود و مهم‌تر از همه ترویج مدیریت پیشگیرانه از خطرات زلزله کمک می‌کند

یافته‌های به دست آمده از طریق برنامه رادیوس پاسخ سؤال دوم تحقیق(بیشترین خسارات منطقه ناشی از کدام سناریوی زلزله است؟) مشخص شد و بیشترین آسیب ناشی از سناریوی گسل جنوب بود که دلیل آن این است که گسل جنوب کاملاً در منطقه ۹ واقع شده است و فاصله‌ای تا این گسل ندارد، پس از آن بیشترین خسارت مربوط به گسل سنگ بست–شاندیز می‌باشد که نسبت به سناریو گسل توس موقعیت نزدیک تری نسبت به منطقه دارد. نتایج حاصل از سه سناریو در جدول ۷ آورده شده است. کمترین میزان آسیب‌پذیری برای منطقه ناشی از گسل توس است که در فاصله دوری از منطقه ۹ است. نتایج نیز نشان داد که محله آب و برق در هر سه سناریو کمترین میزان آسیب‌پذیری را دارد که این به دلیل جنس خاک محله که از نوع رخنمون سنگی است می‌باشد. محله حافظ نیز در هر سه سناریو بیشترین آسیب‌پذیری را به دلیل تراکم بالای ساختمانی نسبت به مساحت محله داشت. آسیب‌پذیری بقیه محلات بنا به موقعیت گسل نسبت به محله و دوری و نزدیکی به گسل متفاوت بود. به عنوان مثال، محله رضاشهر ۲ در سناریو گسل جنوب و توس به دلیل اینکه موقعیت جغرافیایی این دو گسل نسبت به محله بسیار نزدیک بود درصد خسارت بالایی داشت در صورتی که در گسل سنگ بست– شاندیز به دلیل دور بودن از این سناریو میزان خسارت به طرز چشمگیری کاهش پیدا کرده است.

پاسخ سؤال اول تحقیق (قابلیت پیاده‌سازی مدل رادیوس جهت تخمین خسارات ناشی از زلزله چقدر است؟) نیز با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد. در کل مدل رادیوس، با توجه به ارائه سریع نتایج در مدت زمانی کوتاه، مدل مناسبی جهت برآورد خسارات ناشی از زلزله است و برای شرایط کنونی بسیاری از مناطق ایران که اطلاعات GIS تهیه نشده است، مدل مناسبی جهت تخمین خسارات ناشی از زلزله است و از قابلیت لازم برای انجام این کار برخوردار است و نتایج حاصل از این مدل در منطقه موردمطالعه نیز این مطالب را تأیید کرد.

محدودیت‌ها و مزیت‌های مدل: مدل رادیوس مورد استفاده در این پژوهش مزایا و معایبی، به عنوان محدودیت‌های پژوهش دارد که به آن‌ها پرداخته شده است:

◀ **مزایا:** یکی از مهم‌ترین مزیت‌های مدل رادیوس این است که تمامی روابط و توابع استفاده شده در برنامه به صورت مشخص نشان داده شده و در دسترس است و در صورت نیاز امکان تغییر و بومی‌سازی آن‌ها بر اساس توابع موجود در کشور امکان‌پذیر است. با به‌کارگیری این رویکرد جهت تدوین سناریوی زلزله و تخمین خسارات احتمالی، می‌توان درک بهتری از زلزله و میزان ریسکی که با آن روبرو هستیم داشته باشیم، همچنین گستره و دامنه خسارت و

جدول ۷. نتایج تخمین خسارت زلزله با استفاده از مدل رادیوس

سناریو زلزله	خسارت و تلفات (٪)	محله۱ اقبال	محله۲ شهرآرا	محله۳ حافظ	محله۴ آب و برق	محله۵ نیرو هوایی	محله۶ هنرستان	محله۷ کوثر	محله۸ فردوسی	محله۹ نجفی	محله۱۰ چهارچشمه	محله۱۱ بهارستان	محله۱۲ شهرک نفت	محله۱۳ رضاشهر	منطقه ۹
مدل گسل جنوب مشهد	ساختمان	۳۷	۳۵/۶	۴۲/۲	۲۷/۴	۳۵/۱	۴۰/۲	۳۴/۵	۳۶/۵	۳۳/۴	۲۸/۴	۳۴/۲	۲۲/۵	۳۷/۸	۳۳/۸
	کشته‌شدگان	۱/۲	۱	۳/۵	۰/۶	۱/۱	۱/۵	۱	۱/۱	۰/۹	۰/۷	۱/۲	۰/۶	۱/۳	۰/۹
	مصدومان	۹	۸/۷	۱۸	۶/۴	۸/۵	۱۰	۸/۴	۸/۹	۸/۲	۶/۸	۸/۸	۶/۹	۹/۷	۷/۹
مدل گسل توس	ساختمان	۲۵/۷	۲۳/۹	۲۹/۱	۱۵/۹	۲۲	۲۸/۶	۲۵/۱	۲۷/۱	۲۳/۳	۱۷/۳	۲۱/۹	۱۶/۵	۲۹	۲۳
	کشته شدگان	۰/۵	۰/۴	۱/۷	۰/۲	۰/۴	۰/۷	۰/۵	۰/۶	۰/۴	۰/۲	۰/۵	۰/۳	۰/۷	۰/۴
	مصدومان	۵/۵	۵	۱۱	۳/۳	۴/۷	۶/۶	۵/۶	۶/۱	۵/۱	۳/۷	۵	۴/۶	۶/۸	۵
مدل گسل سنگ بست-شاندیز	ساختمان	۲۳/۶	۱۶/۴	۲۲/۷	۱۸/۵	۲۰/۶	۲۱/۴	۱۶/۹	۱۶/۸	۱۵/۳	۱۵/۲	۱۳	۶/۸	۹/۷	۲۴/۵
	کشته شدگان	۰/۴	۰/۲	۱	۰/۲	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۱	۰/۲
	مصدومان	۵	۳/۲	۸/۴	۳/۷	۴	۴/۲	۳/۱	۳	۲/۸	۲/۸	۲/۴	۱/۴	۱/۶	۳

جدول ۸. درصد خسارت وارد به شریان‌های حیاتی منطقه ۹ شهرداری مشهد مطابق برنامه رادیوس

سناریو زلزله	جاده نوع۱	جاده نوع ۲	پل	برق۱	برق۲	آب۱	آب۲	مخزن آب ۱	مخزن آب۲	جایگاه سوخت
گسل جنوب	۱۴/۸	۶/۷	۳۰/۹	۵/۵	۳۴/۹	۵/۸	۲۲/۲	۱۳/۳	۱۱/۲	۳۲/۷
گسل توس	۸/۶	۴/۱	۱۶/۷	۳/۴	۲۵/۳	۳/۳	۱۵/۱	۸/۱	۶/۲	۲۴/۲
گسل سنگ بست-شاندیز	۹/۳	۴/۳	۱۸/۱	۳/۶	۲۶/۵	۳/۵	۱۵/۹	۸/۴	۶/۶	۲۵/۳

مناطق آسیب‌پذیر در شهر مشخص خواهند شد.

مدل رادیوس از ساختار ساده‌ای برخوردار است و استفاده از آن نیاز به تخصص‌های پیچیده ندارد، بنابراین، کارشناسان محلی به سادگی می‌توانند از آن استفاده نمایند. این نرم‌افزار برای تدوین سناریوی زلزله و تخمین خسارت فرایند گام به گام و مشخصی دارد. بدین صورت که هنگام وارد نمودن اطلاعات موردنیاز در هر قسمت، اطلاعات توسط نرم‌افزار به صورت خودکار بررسی شده و در صورت ناقص بودن اطلاعات هشدار داده و اجازه اجرای سناریوی زلزله در ادامه داده نمی‌شود. در برنامه رادیوس منطقه موردنظر به شبکه‌های مساوی تقسیم‌بندی شده و اطلاعات موردنیاز برای انجام برنامه وارد شبکه‌ها شده و می‌توان به آسانی اندازه و تعداد شبکه‌ها را تغییر داد. مثلاً به‌راحتی می‌توان اندازه شبکه‌ها را کوچک نموده و با کوچک نمودن اندازه شبکه‌ها می‌توان به نتایج دقیق تری در ارتباط با آسیب‌پذیری منطقه دست یافت. در صورت تغییر میزان جمعیت منطقه به‌سادگی می‌توان جمعیت جدید را وارد نموده و سناریو جدید را بر اساس آن تدوین نمود.

پس از ورود کامل اطلاعات، اجرای برنامه برای برآورد تخمین خسارت به‌سرعت و در چند دقیقه انجام شده که در مدت زمان کوتاهی می‌توان نتایج مناسبی را از تدوین سناریوهای مختلف زلزله به دست آورد. برنامه رادیوس این امکان را دارد که در صورت نداشتن اطلاعات خاصی از منطقه موردمطالعه، گزینه نداشتن اطلاعات را انتخاب نموده که در این صورت اطلاعات ورودی در برنامه بعد از تدوین سناریوی زلزله، در قسمتی تحت عنوان اطلاعات ورودی به نقشه و جداول نشان داده می‌شوند.

◀ **معایب:** برنامه رادیوس ضمن داشتن مزیت‌های ذکر شده در بالا، معایب و کاستی‌هایی نیز دارد. شبکه‌بندی در نرم‌افزار رادیوس ثابت و به صورت مربع‌های هم اندازه انجام می‌شود که این مورد باعث ایجاد خطاهایی در مرزها و عدم شبکه‌بندی مناسب منطقه موردمطالعه شده و همواره بخشی از اطلاعات در حاشیه‌های منطقه به‌درستی وارد نرم‌افزار نمی‌شود.

در رویکرد رادیوس تعداد و میزان اطلاعات ورودی ثابت بوده و نمی‌توان آن‌ها را به دلخواه تغییر داده و اطلاعاتی اضافه

یا کم نمود. میزان خساراتی که به ساختمان‌ها وارد می‌شود، شامل فروریختگی ساختمان‌ها و خسارات سنگین است و خسارات جزئی در این نرم‌افزار محاسبه نمی‌شود، یعنی ساختمان‌هایی که تحت عنوان ساختمان‌های خسارت دیده در این برنامه مشخص می‌شوند، در حقیقت ساختمان‌هایی هستند که تخریب شده اند. نقشه‌های حاصله از نتایج برنامه رادیوس ساده بوده و طیف اطلاعات نشان داده شده در نقشه‌ها محدود و تنها در چهار دسته ارائه می‌شوند و درنتیجه نیاز به بازپردازش این اطلاعات بر اساس جدول‌های خروجی و توسط نرم‌افزارهای تکمیلی دیگر است.

نتایجی که این مدل در مورد شریان‌های حیاتی در ارتباط با خسارت وارده به آن‌ها ارائه می‌دهد در قالب اطلاعات کلی بوده و خسارت وارده به آن‌ها را در بخش‌های مختلف منطقه موردمطالعه ارائه نمی‌دهد. جمعیت کل منطقه موردمطالعه در این رویکرد یک بار در ابتدای کار وارد برنامه شده و جمعیت در منطقه بر اساس وزن شبکه‌ها و کاربری آن‌ها توزیع می‌شود که منطقی به نظر نمی‌رسد، چراکه خصوصیات اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی مناطق مختلف باهم متفاوت بوده و شبیه هم نیستند و ممکن است که جمعیت در منطقه‌ای بیشتر از آنچه که برنامه اعمال نموده است باشد.

اطلاعات ورودی در برنامه بعد از تدوین سناریوی زلزله، در قسمتی تحت عنوان اطلاعات ورودی به صورت نقشه و جدول نشان داده می‌شوند، اما برای شریان‌های حیاتی این‌گونه نیست و نه به صورت نقشه و نه به صورت جدول نشان داده نمی‌شوند. اگر اطلاعات مربوط به وضعیت خاک در دسترس نباشند، کاربر می‌تواند گزینه نامشخص را انتخاب نماید که این مورد منطقی نیست، چراکه نوع خاک در شدت زلزله مؤثر است و خطا در ورود اطلاعات مربوط به آن، سبب ایجاد خطا در تخمین خسارات و تلفات می‌شود.

پیشنهادها:

- آگاهی و آموزش افراد نسبت به میزان خطرپذیری منطقه و استفاده از مشارکت‌های مردمی جهت کاهش خسارت‌ها
- برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری با هدف کاهش آسیب‌های ناشی از زلزله
- انطباق مدیریت بحران‌های شهری با برنامه‌های توسعه شهری
- مکان‌یابی مراکز امداد و اسکان: به منظور کاهش خسارات اجتماعی و روانی تأمین سرپناه و اسکان موقت آسیب‌دیدگان، مکان‌یابی مراکز موردنظر می‌بایست موردتوجه قرار گیرد. معیارهای مکان‌یابی این مراکز عبارت‌اند از: ایمنی، کارایی، اثربخشی و مجهز بودن. بنابراین، با توجه به وجود قطعات درشت دانه در محدوده منطقه ۹ شهرداری، مانند دانشگاه فردوسی و پادگان شهید برونسی و انبار کارخانه کوکاکولا می‌توان با تجهیز کردن این اماکن، برای استقرار جمعیت در شرایط بحران از آن‌ها بهره برد.

منابع

منابع فارسی:

حافظی‌مقدس، ناصر؛ طاهری، جعفر؛ روشن‌روان، جمال (۱۳۸۷). *ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای شهر مشهد. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور*، مدیریت منطقه شمال شرق.

حبیبی، کیومرث؛ پوراحمد، احمد؛ مشکینی، ابوالفضل؛ عسگری، علی؛ نظری عدلی، سعید (بهار ۱۳۸۷). عوامل ساختمانی مؤثر در آسیب‌پذیری بافت کهن شهری زنجان با استفاده از GIS & Fuzzy Logic. *هنرهای زیبا، شماره ۳۳*، ۲۷-۳۶. بازیابی از https://jhz.ut.ac.ir/article_19038_1889.html

رنجبر، محسن؛ اشراقی، مهدی؛ ایرانمنش، فاضل (۱۳۸۵). *تهیه الگوی پایگاه اطلاعات مکانی به منظور مکان‌یابی محل‌های استقرار جمعیت‌های آسیب دیده ناشی از زلزله* (اولین همایش مقابله با سوانح طبیعی، پردیس فنی دانشگاه تهران)، ۸۶-۸۸. بازیابی چکیده از http://www.ngdir.ir/papers/PPapersDetail.asp?PID=6557

سامانه جامع اطلاعات مکانی شهر مشهد / شهرداری مشهد. بازیابی از www.SDI.mashhad.ir/

مهدوی‌عادلی، مهدی؛ جزایری‌مقدس، سیدمحمود (۱۳۹۰). *تحلیل و ارزیابی خطر زلزله در مناطق مختلف شهر مقدس مشهد* (سومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت شهری. مشهد مقدس، مشهد - دانشگاه فردوسی مشهد - سال ۱۳۹۰). بازیابی چکیده از http://www.civilica.com/Paper-URBANPLANING03-URBANPLANING03_025=.html

مهندسان مشاور نقش پیراوش. (۱۳۹۰). *طرح تفصیلی با رویکرد شهری، نقش و جایگاه حوزه جنوب غرب*. مشهد: نهاد مطالعات و برنامه‌ریزی و عمران شهر مشهد.

منابع انگلیسی:

Alam, M. N., Tesfamariam, S., & Alam, M. S. (2012). GIS-Based seismic damage estimation: Case study for the city of

Kelowna, BC. *Natural Hazards Review, 14*(1), 66-78. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000082

Berberian,M.,1994.'*Natural Hazard and the First Earthquake Catalogue of Iran,Vol.1,Historical Hazard in Iran Prior to 1900*',A UNESCO/IIEES publication during UN/IDNDR :International Institute of Earthquake Engineering and Seismology,Tehran,603 (in English)+66(in Persian). http://manuelberberian.com/Berberian,%201995.%20Catalogue.pdf

Nakabayashi, I. (1994, November). Urban planning based on disaster risk assessment. *In Disaster management in metropolitan areas for the 21st century*: Proceedings of the IDNDR Aichi/Nagoya International Conference 1993 Japan (pp. 1-4). UN. Centre for Regional Development. Retrieved from http://cidbimena.desastres.hn/pdf/eng/doc5806/doc5806.pdf

Ramesh ,G., Ganesh ,Jimee. and Amod Mani Dixit.(2008). *Earthquake Awareness And Effective Planning Through Participatory Risk Assessment: An Experience From Nepal*. the 14 th World Conference on Earthquake Engineering.October 12-17,2008, Bbijing, China. http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/14_07-0086.PDF

United Nations. (1990-2000). *Risk assessment tools for diagnosis of urban areas against seismic disasters*. Geneva: United Nations, International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR) secretariat. Retrieved from http://www.unisdr.org/files/2752_RADIUSRiskAssessment.pdf