Journal of Structural and Construction Engineering, 8(Special Issue 3), 2021, pp. 468-483

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Risk Analysis of Selected Buildings in Shahrekord Based on HAZUS Requirements using Fuzzy Logic

Mehran Koohikamali[1], Gholamreza Ghodrati Amiri[2]*

1- Instructor, Research Sectors of Civil Engineering, Research Institute of Shakhes Pajouh, Isfahan, Iran
2 -Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

ABSTRACT

Earthquake is a natural and unpredictable phenomenon that causes a lot of human and financial losses in many seismic zones of world. Therefore, the prediction of seismic events is one of the most important in earthquake and structure literature. Moreover, planning for crisis prevention as well as taking appropriate decisions after the crisis in urban areas will significantly increase the impact of measures to reduce the seismic risk. One of the computational tools in the risk analysis is the fuzzy logic to predict the possible damages due to natural disasters. Precise scientific principles and many advantages of this tool in analyzing phenomena with probabilistic uncertainties have caused its application to be constantly expanded and developed. In the present paper, the use of fuzzy tools for classification of the structures in Shahrekord (IRAN) has been investigated and the seismic hazard of selected buildings in this city is examined as a sample of existing structures. The results are consistent with the experiences of the recent earthquakes in this country for the vulnerability of buildings in urban areas. Also, the results indicate that the proposed method has good adaptation and the parameters which have been used in the damage assessment, propose good reliable flexibility.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 14 November 2020
Revise Date: 28 December 2020
Accept Date: 19 January 2021

Keywords:
Seismic Risk
Earthquake
Damage
Fuzzy Logic
Qualitative Description

doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.257341.2292

*Corresponding author: Gholamreza Ghodrati Amiri.
Email address: ghodrati@iust.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

تحلیل خطرپذیری کیفی ساختمان‌های منتخب موجود در شهرکرد مطابق ضوابط HAZUS بر مبنای منطق فازی

مهران کوهی کمالی[۱]، غلامرضا قدرتی امیری*[۲]

۱- فارغ التحصیل دکترای عمران گرایش زلزله، پژوهشکده عمران، پژوهشگاه شاخص پژوه اصفهان

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران، ایران

چکیده

زلزله یک پدیده طبیعی است که باعث بوجود آمدن خسارات جانی و مالی بسیار زیادی شده است و بشر تاکنون موفق نشده است که زمان وقوع آن را پیش‌بینی نماید. بنابراین، یکی از موضوعات مهم مرتبط با زلزله، پیش‌بینی حوادثی است که با وقوع آن بوجود می‌آید. برنامه‌ریزی برای پیشگیری از وقوع بحران و همچنین اتخاذ تصمیمات مناسب بعد از وقوع بحران در مناطق شهری باعث خواهد گردید که تاثیر اقدامات مربوط به کاهش خطرپذیری لرزه‌ای به صورت چشمگیری افزایش یابد. یکی از ابزارهای محاسباتی مورد استفاده در علم تحلیل خطرپذیری کاربرد منطق فازی برای پیش‌بینی خسارات و آسیب‌های محتمل در اثر وقوع سوانح و رخدادهای طبیعی است. اصول علمی دقیق و مزایای فراوان این ابزار در تحلیل پدیده‌هایی با عدم قطعیت احتمالاتی باعث گردیده که کاربرد آن به طور مداوم گسترش و پیشرفت داشته باشد. در این پژوهش، استفاده از ابزار فازی برای طبقه‌بندی سازه‌های موجود در شهرکرد نسبت به خطر لرزه‌ای با توصیف کیفی مورد بررسی قرار گرفته است و میزان خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان‌های منتخب موجود در شهرکرد به عنوان یک جامعه نمونه از ساختمان‌های موجود در شهر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده در این زمینه با تجربیات ناشی از زلزله‌های سال‌های اخیر در کشور برای آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در مناطق شهری مطابقت دارد و بیانگر این است که روش مورد استفاده دارای تطابق مناسب و پارامترهای مورد استفاده در ارزیابی آسیب‌پذیری قابل اطمینان مناسبی را ارائه می‌دهند.

کلمات کلیدی: خطرپذیری، زلزله ، خسارت، منطق فازی، توصیف کیفی

سابقه مقاله:					
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	شناسه دیجیتال:
۱۳۹۹/۰۸/۲۴	۱۳۹۹/۱۰/۰۸	۱۳۹۹/۱۰/۳۰	۱۳۹۹/۱۰/۳۰	۱۴۰۰/۰۹/۳۰	doi: 10.22065/jsce.2021.257341.2292
					https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.257341.2292

*نویسنده مسئول: غلامرضا قدرتی امیری

پست الکترونیکی: ghodrati@iust.ac.ir

۱- مقدمه

زلزله از عمدهترین پدیده‌های طبیعی است که وقوع آن بر اساس الگوهای احتمالاتی در محیط‌های شهری موجب آسیب‌های اقتصادی، تلفات انسانی و خسارات می‌گردد. زلزله‌های ناغان (۱۳۵۶)، طبس (۱۳۵۷)، منجیل (۱۳۶۹)، بوئین زهرا (۱۳۸۱)، بم (۱۳۸۲) و سرپل ذهاب (۱۳۹۶) از این نمونه رخدادها می‌باشند. در زلزله سرپل ذهاب عمده تلفات مربوط به فروریزش ساختمان‌ها بوده است. در سال‌های اخیر در مناطقی از دنیا مانند ژاپن و ایالات متحده که کیفیت سازه ها مورد توجه است بیشترین تلفات و خسارات زلزله‌ها ناشی از اجزای غیرسازه‌ای بوده است. بنابراین لازم است که در داخل کشور ایران ابتدا میزان خطرپذیری سازه‌های موجود مشخص شود، سپس سازه‌ها برحسب میزان خطرپذیری تعمیر، تقویت یا بهسازی شوند.

ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها به عوامل و معیارهای مختلفی بستگی دارد. اگر این معیارها کمّی باشند، با استفاده از روش‌های ریاضیاتی می‌توان اولویت‌بندی را انجام داد؛ اما از آنجا که معیارهای اولویت‌بندی خطرپذیری، هم به صورت کمی و هم کیفی ایجاد می‌شوند و همچنین در برخی موارد با یکدیگر در تضاد هستند، بنابراین نیازمند استفاده از روش‌هایی مانند سیستم استنتاج فازی[1] می‌باشند. سیستم استنتاج فازی ابزاری است که جهت رابطه‌مند نمودن یک فرایند به کمک پایگاه قواعد فازی [2] استفاده می‌شود.

در سال‌های اخیر تحقیقات مختلفی با استفاده از روش فازی و در زمینه موضوعات اولویت‌بندی خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها، به عنوان یکی از مؤثرترین و کاربردی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری معیارهای چندگانه استفاده شده است. تسفاماریام و ساعتچی اوغلو[3] در سال ۲۰۰۸ روش ارزیابی براساس خطرپذیری لرزه‌ای با استفاده از روش فازی به کمی‌سازی ارزیابی‌های لرزه‌ای پرداخته‌اند و یک فرایند اولویت‌بندی لرزه‌ای برای ساختمان‌های بتن مسلح پیشنهاد نموده‌اند [۱] . در ادامه همان محققان در سال ۲۰۱۰ با ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح و در نظر گرفتن برخی از جزئیات پارامترهای ورودی لرزه‌ای، تحقیق قبلی یعنی روش اولویت‌بندی خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح را به مدلی جزئی‌تر و دقیق‌تر تعمیم دادند [۲]. تسفاماریام و وانگ[4] در سال ۲۰۱۲ پژوهشی با هدف اولویت‌بندی بهسازی لرزه‌ای برمبنای خطرپذیری برای ساختمان‌های بتن مسلح مهم شهری منتشر نمودند و به عنوان مطالعه موردی، بیش از ۶۰۰ ساختمان بتنی مراکز آموزشی و اورژانسی واقع در ایالت اورگان[5] آمریکا را مورد ارزیابی قرار دادند [۳] که در طی آن بر اساس یک ساختار ارزیابی سلسله مراتبی، این ساختمان‌ها از نظر خطرپذیری لرزه‌ای و با استفاده از سیستم استنتاج فازی اولویت‌بندی شده‌اند. در سال ۲۰۱۶، سالگادو-گالوز و همکاران[6] ضمن انجام یک مطالعه موردی بر روی ساختمان‌های شهر مدلین[7] و حومه آن در کشور کلمبیا، با بررسی تفکیکی هر ساختمان به تعیین شاخص ریسک لرزه‌ای شهری براساس تخمین خسارات مالی و جانی احتمالی و ویژگی‌های لرزه‌ای منطقه شامل پاسخ دینامیکی خاک پرداخته‌اند [۴].

تحقیقاتی نیز مرتبط با این موضوع برای ساختمان‌های داخل کشور انجام شده است.

قدرتی امیری و همکاران در سال ۱۳۹۲ با استفاده از تکنیک فازی، مدلی جهت تحلیل خطرپذیری زلزله و طبقه‌بندی سازه‌ها به سطح پذیرش خطر لرزه‌ای پیشنهاد و کارایی آن نیز بر روی تعدادی از مدارس شهر تهران مورد بررسی قرار داده‌اند [۵]. رضویان امرئی و همکاران در سال۱۳۹۳ خطرپذیری لرزه‌ای شهرکرد را بر اساس رویکرد پیش بینی تلفات و خسارات با استفاده از نرم افزار SELENA مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بیانگر این بود که مناطق ۱ تا ۴ و ۱۰، ۱۱ و ۱۲ به دلیل تراکم جمعیت زیاد و عمر زیاد سازه‌ها دارای آسیب-پذیری بسیار بیشتری نسبت به سایر مناطق شهری بوده‌اند. در این مطالعه، عامل تلفات انسانی در تعیین میزان آسیب‌پذیری شهرکرد نقش اساسی داشته است [۶]. زهتاب و همکاران در سال ۱۳۹۷یک فرایند اولویت‌بندی خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی با استفاده از

[1] Fuzzy Inference Systems
[2] Fuzzy Rule Base
[3] Tesfamariam and Saatcioglu
[4] Wang
[5] Oregon
[6] Salgado-Galvez et al.
[7] Medellin

ساختار سلسله‌مراتبیِ ارزیابی و به کمک روش استنتاج فازی پیشنهاد داده‌اند [۷]. قدیمی حمزه کلایی و همکاران در سال ۱۳۹۷ از طریق تئوری منطق فازی وضعیت آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهری منطقه هفت تهران را مورد ارزیابی قرار دادند. برای این منظور، شاخص های اصلی مؤثر بر میزان آسیب‌پذیری این منطقه، شناسایی گردید. سپس، با در نظر داشتن عدم قطعیت‌های موجود در این شاخص‌ها، میزان تأثیر آنها بر روی آسیب‌پذیری منطقه تعیین شده است [۸]. وحدت و همکاران در سال ۲۰۱۴ روش چندمعیاره فازی برای ایجاد یک سیستم مدیریت ریسک در مناطق لرزه‌خیز را مورد مطالعه قرار دادند[۹]. بوستان و همکاران در سال ۲۰۱۵ یک مدل احتمالاتی برای ارزیابی خطر لرزه‌ای با استفاده از روش مجموعه‌های فازی ارائه دادند و سپس با بهره‌گیری از آن در محدوده استان تهران یک منحنی خطر فازی استخراج نمودند[۱۰]. زهرایی و همکاران در سال ۲۰۱۷ با بکارگیری سیستم خبره فازی یک مدل تحلیل ریسک برای مدیریت پروژه‌های ساخت پیشنهاد دادند که طی آن ضمن ارائه ساختار سلسله‌مراتبی مبتنی بر قوانین فازی، به تعیین ریسک کلی پروژه و طبقه‌بندی آن‌ها بر مبنای بزرگا پرداختند و مدل پیشنهادی را در یک پروژه ساختمانی در شهر تهران پیاده‌سازی کردند [۱۱].

در پژوهش حاضر، فرایند اولویت‌بندی خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهر شهرکرد با بهره‌گیری از ابزار استنتاج فازی معرفی گردیده است. در هسته اصلی این فرایند، یک ساختار سلسله‌مراتبی ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای شده قرار دارد که به طور خاص برای تعیین میزان پذیرش خطر لرزه‌ای ساختمان‌های موجود در شهرکرد طراحی گردیده است. پارامترهای ورودی فرایند به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که شامل کلیه عوامل مهم تأثیرگذار بر خطرپذیری لرزه‌ای سازه‌ها باشد و تاثیر آنها از از طریق روش استنتاج‌گر فازی مشخص شده است. هدف از انجام این تحقیق، ارائه و گسترش استفاده از منطق فازی برای ایجاد یک فرایند اولویت‌بندی خطرپذیری لرزه‌ای سازه‌ها برای ساختمان-های شهری می باشد. برای این منظور مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار در تعیین میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های مورد مطالعه شامل نوع خاک، بیشینه شتاب زمین، نامنظمی در ارتفاع و پلان، نوع اسکلت سازه، سیستم باربر جانبی سازه و نوع فونداسیون در ارزیابی میزان آسیب‌پذیری و تعیین خطرپذیری شهری مورد مطالعه قرار گرفته است. با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان مشخص نمود که کدام نوع از ساختمان‌های موجود از نظر خطرپذیری، وضعیت بحرانی‌تری دارند و مستلزم توجه و رسیدگی بیشتری از طریق بهسازی و یا نوسازی هستند. از مزایای روش مورد استفاده در این تحقیق می‌توان به دسترسی و استفاده آسان آن مطالعات مربوطه اشاره نمود.

۲-روش فازی

۲-۱. معرفی منطق فازی

لطفی‌زاده برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ روش فازی را مطرح نمود و این باعث گردید که حیطه جدیدی در علم سیاستگزاری و تحلیل تصمیم‌گیری به وجود آید [۱۲]. در این روش از مفاهیم ریاضی ساده در فرایند مدل‌سازی استفاده می‌شود و قابلیت انطباق‌پذیری بسیار زیادی در انواع مسائل تصمیم‌گیری از طریق آن وجود دارد. این روش، قابلیت پردازش داده‌های غیردقیق، گنگ و غیرمنظم فازی را دارا می‌باشد. از جمله اساسی‌ترین ویژگی‌های روش فازی می‌توان به قابلیت استفاده از تجربیات علمی و عملی موجود در مسئله مورد بررسی اشاره نمود. توصیفات کیفی که مبنای ارتباط و برآمده از ذهن انسان است مبنای مدل‌سازی توصیفات کیفی مفاهیم ریاضی است و باعث گردیده که روش فازی به شکل گسترده‌ای مورد استفاده قرار گیرد [۱۳]. بنابراین، به دلیل اینکه در ارزیابی و برآورد خسارات سازه‌ها اکثر عوامل تاثیرگذار به صورت کیفی هستند، بنابراین روش فازی در این زمینه کاربردی است. ویژگی‌های کیفی در این زمینه شامل؛ پارامترهای زبانی، رابطه بین متغیرها از نوع شرطی (اگر-آنگاه) و تشکیل یک فرایند استنتاجی از الگوریتم‌های استدلالی تقریبی جهت تشکیل روابط مورد نیاز خواهد بود [۱۴].

مدل‌سازی بر اساس منطق فازی بر اساس مراحل ذیل انجام می‌گیرد:

- مرحله اول؛ تهیه داده‌های مورد نیاز پارامترها به منظور انجام مدل‌سازی.
- مرحله دوم؛ تبدیل شاخص‌های کیفی به مقادیر کمی و معادل‌سازی اعداد فازی با داده‌های موجود.
- مرحله سوم؛ مشخص نمودن مقدار عضویت متناظر برای هر داده بر اساس توابع عضویت تعریف شده برای هر شاخص.

- مرحله چهارم؛ تعیین پایگاه داده قواعد فازی برای هر شاخص.
- مرحله پنجم؛ کاربرد استنتاج ممدانی[8] جهت پردازش داده ها مطابق روابط (۱ و ۲) : [۱۲]، [۱۵]

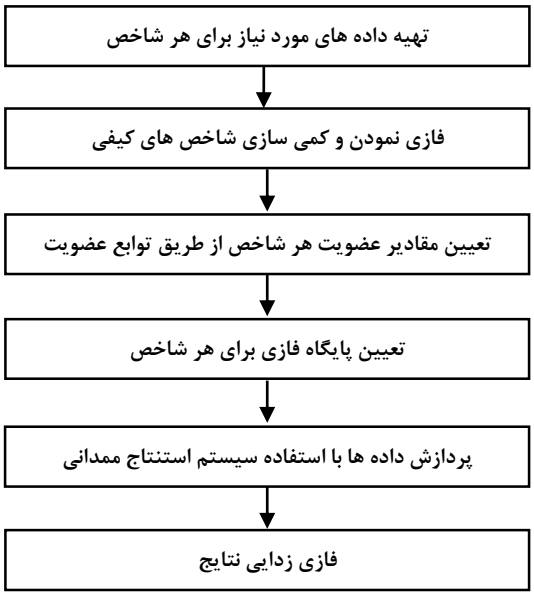
$$R_i : \text{IF } x_1 \text{ is } A_{i1} \text{ AND } x_2 \text{ is } A_{i2} \text{ THEN } y \text{ is } B_i, \quad i = 1, \ldots, n \tag{۱}$$

$$R = \bigcup_{i=1}^{n} R_i = R_1 \text{ ALSO } R_2 \text{ ALSO} \ldots \text{ ALSO } R_n \tag{۲}$$

در این روابط R_i بیانگر گزاره iام، x_1 و x_2 متغیرهای زبانی ورودی، n تعداد کل گزاره‌ها، A_{i1} و A_{i2} مجموعه‌های فازی ورودی، y متغیر زبانی خروجی و B_i مجموعه فازی خروجی می‌باشند. همچنین پارامتر R بیانگر گزاره‌ای است که مجموع عملکرد گزاره‌های R_i در آن نشان داده شده است. معمولاً برای روابط AND و ALSO به ترتیب از عملگرهای کمینه min و بیشینه max استفاده می‌شود.

- مرحله ششم؛ تبدیل نتایج پردازش به یک عدد غیر فازی از طریق فرایند فازی‌زدایی[9].

خلاصه‌ای از مراحل مذکور تحت عنوان مدل‌سازی برمبنای سیستم استنتاج فازی در شکل ۱ به صورت شماتیک ارائه شده است.



شکل۱: فرایند پیاده سازی سیستم استنتاج فازی در حل مسائل

۲-۲. قواعد منطق فازی

در سیستم‌های فازی، دانش به شکل قواعد اگر-آنگاه فازی ارائه می‌شوند. در اکثر موضوعات فازی قواعد بر اساس تجربیات گذشته ایجاد می‌شوند و طراح باید تمام روابط بین ورودی و خروجی را بداند. یک اگر-آنگاه فازی یک گزاره شرطی به صورت «اگر گزاره فازی» و «آنگاه گزاره فازی» مطرح می‌گردد. بنابراین برای درک قواعد اگر-آنگاه فازی می‌بایست ابتدا گزاره فازی شناسایی شود. یک گزاره فازی عبارتی است که به یک مقدار صحیح فازی منجر می‌شود، بنابراین اگر P گزاره فازی باشد $T(\bar{P})$ نشانگر مقدار درستی (۱-۰) مربوط به

[8] Mamdani
[9] Defuzzification

است. $\bar{P}$ در ساده‌ترین حالت گزاره‌ها به مجموعه‌های فازی پیوند داده می‌شوند. مقادیر عضویت فازی مربوط به مجموعه $\widetilde{P}$ و $\widetilde{A}$ عنوان مقادیر درست فازی $T(\tilde{P})$ خواهد بود. یعنی $T(\widetilde{P})=\mu_{(\widetilde{A})}(x)$ که $0 < \mu_{(\widetilde{A})}(x) < 1$ می‌باشد. درکل دو نوع گزاره فازی بصورت گزاره ساده و گزاره مرکب وجود دارد. بر این اساس، گزاره فازی ساده به شکل x و A است که در آن اگر x متغیر زبانی و A متغیر زبانی متغیرx است. یک گزاره فازی مرکب ترکیبی از گزاره‌های فازی ساده با استفاده از اتصال دهنده‌های (و) ،(یا) و (نه) که بیانگر اشتراک فازی، اجتماع و مکمل فازی می‌باشد. در کل عبارت‌های فازی مرکب را به عنوان روابط فازی در نظر گرفته می شوند که بصورت ذیل بیان می‌شوند:

If A_1 and/or B_1 ,then H_11 else-

If A_2 and/or B_1 ,then H_21 else-

If A_1 and/or B_2 ,then H_12 else-

If A_2 and/or B_2 ,then H_22 else

اما توابع تعلق این روابط فازی or، and و not می‌باشند که بصورت ذیل بیان می‌شوند برای رابط (and) از اشتراک فازی استفاده می‌گردد. فرض می‌شود که A و B مجموعه‌های فازی در U و V می‌باشند آنگاه عبارت فازی مرکب x، A است B،y به صورت رابطه فازی $A\cap B$ در $U\times V$ با تابع عضویت:

$$\mu A\cap B\,(x,y)= t[\mu A(x)\,,\ \mu B(y)] \qquad (۳)$$

تعبیر می‌شود که $t:[0,1]\times[0,1]\to[0,1]$ یک $t-$ نرم دلخواه است. برای رابطه (n,t) از مکمل فازی استفاده می‌گردد، بدین معنی که A نیست (not A) با $\widetilde{A}$ جایگزین می‌شود. به عنوان مثال عبارت فازی (x ، s است و F، x نیست یا x ، M نیست) یا x ، M است= FP یک رابطه فازی در $[0,Vmax]^3$ با تابع عضویت:

$$\mu FP(x1,x2,x3) =s\{t[\mu s(x1)\ ,c(\ \mu p(x2))],\ \mu M(x3)\} \qquad (۴)$$

است که s ، t و c به ترتیب عملگرهای s–نرم، t-نرم و مکمل فازی هستند و کند=s ، متوسط=M ، تند=F مجموعه های فازی هستند و $x_1=x_2=x_3=x$.

A و B در این قوانین ورودی‌های فازی و H هم فعالیت‌های خروجی هر قاعده می‌باشند. حالاتی را که در آن، قواعد بصورت یک متغیر ورودی (اگر A_1، آنگاه H_1، اگر A_2، آنگاه H_2، و ... ، اگر A_n، آنگاه H_n) توصیف می‌شوند بیانگر انتقال ساده (یا یک تبدیل) از متغیرهای ورودی به خروجی است. به هر حال، در بیشتر مسائل منطق فازی، بیش از یک متغیر وجود دارد. در صورتی که در قاعده اگر-آنگاه (if-then) جملات فازی متعددی (به عنوان مثال، وجود متغیرهای زیاد) وجود داشته باشد از این گونه جملات می‌توان با قاعده اگر A و B یا D، آنگاه H اشاره کرد. به عنوان مثال؛

IF A_i and B_i and C_i then A_{ijk}

که این جملات بصورت زیر تجزیه می‌شوند:

If A_i and B_j , then H_{ij}

If H_{ij} and C_k , then H_{ijk}

که H_{ij} یک متغیر واسطه‌ای (میانی) است.

همچنین به عنوان مثال دیگر جمله اساسی اگر A_1 و B_2 و C_1، آنگاه H_{121} به جملات اگر A_1 و B_2، آنگاه H_{12} و اگر H_{12} و C_2، آنگاه H_{121} تجزیه می‌شود و از این قوانین می‌توان دریافت که A_1 و B_2، متغیرهای میانی و H_{12} را ایجاد می‌کند و متغیر H_{12} و C_1 ، پاسخ H_{121} را ایجاد می‌کنند.

مجموعه ای از قوانین که به سیستم اشاره دارند پایگاه قوانین نامیده می‌شوند. قوانین اگر-آنگاه را می توان به اشکال مختلفی ارائه نمود که در شکل استاندارد چند ورودی- چند خروجی[10](MIMO) و چند ورودی- تک خروجی[11](MISO) در نظر گرفته شده‌اند، که به شکل MIMO برای یک قانون را، می‌توان به تعدادی از دستورات MISO با استفاده از منطق قوانین تجزیه نمود.

۱-۲. تفسیر قواعد اگر-آنگاه

در ریاضیات جدید عبارت اگر p ، آنگاه q به شکل $p \rightarrow q$ نوشته شده که p,q متغیرهایی هستند که فقط دو مقدار درست (د) و یا نادرست (ن) را می‌پذیرد. عبارت p→q معادل است با:

$$\bar{p} \vee q$$

و

$$(p \wedge q) \vee \bar{p}.$$

که ∨,∧ نشان دهنده عملیات منطقی اجتماع، اشتراک و مکمل می‌باشد. با جایگزینی p و q با عبارت های فازی و جایگزینی ∨,∧ و با اجتماع فازی، اشتراک فازی و مکمل فازی قواعد اگر- آنگاه فازی تشکیل خواهد گردید. در ادامه یک قاعده اگر- آنگاه فازی به صورت؛ اگر FP1 آنگاه FP2؛ بکار برده می‌شود که FP1 یک رابطه فازی است در U=U1× ... × Un و FP2 یک رابطه فازی است در Vn=V1× ... × Vn و x و y به ترتیب متغیرهای زبانی در U و V می‌باشند. با توجه به اینکه کدام مکمل t-نرم وs-نرم استفاده شوند، استلزام‌های مختلفی حاصل می‌شود. استلزام ممدانی دارای تابع عضویتی بصورت زیر است:

$$\mu Q(x,y)=\min [\mu fp1(x) , \mu fp2(y)] \quad (۵)$$

یا

$$\mu Q(x,y)=\mu fp1(x) . \mu fp2(y) \quad (۶)$$

استلزام ممدانی در سیستم‌ها وکنترل فازی کاربرد وسیعی دارد.

دو ویژگی عمومی منطق فازی در مورد پایگاه قوانین وجود دارد که مورد بررسی قرار می‌گیرند این ویژگی‌ها عبارتند از:

- کامل بودن (یعنی برای هر ورودی احتمال کنترل کننده فازی، نتیجه ای وجود دارد یا نه).
- سازگاری (یعنی آیا نتایجی که قوانین ایجاد می‌کنند با یکدیگر نتایج قوانین، متناقض هستند یا نه).

۳- مشخصات مدل‌های مورد مطالعه

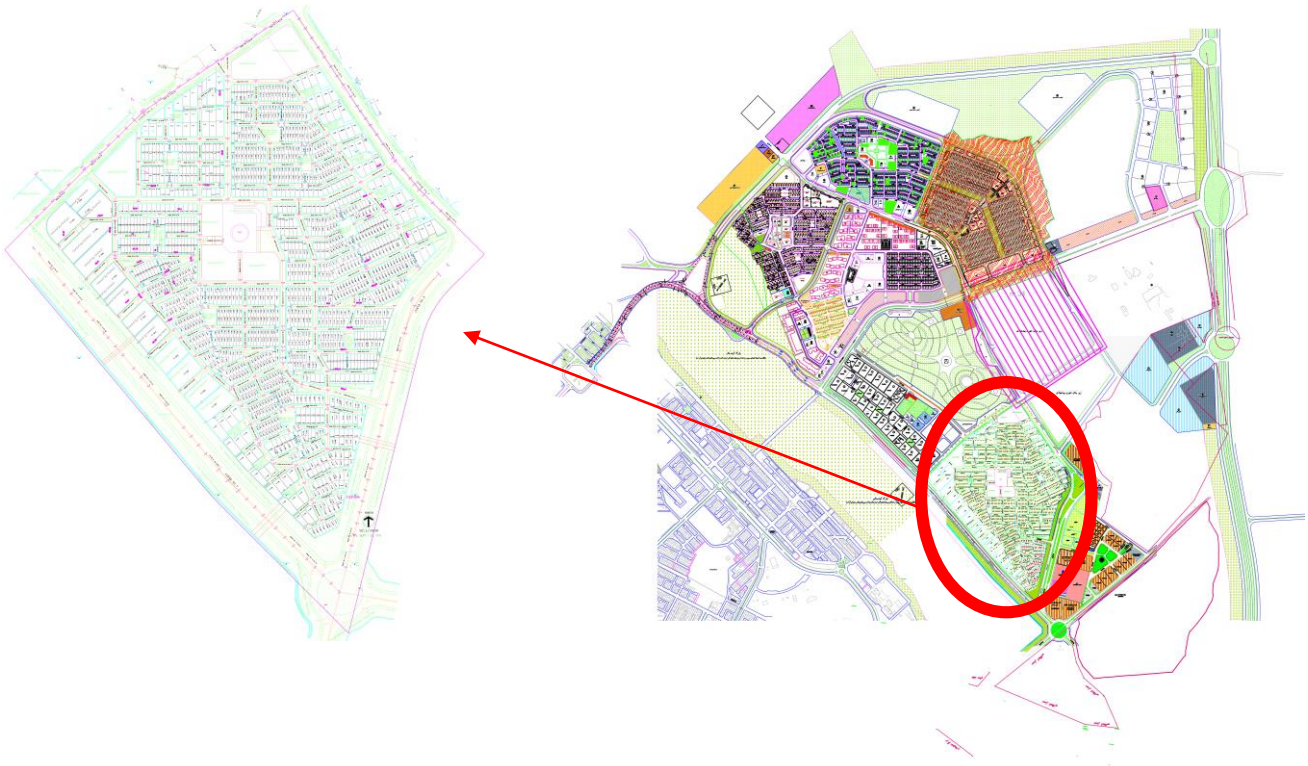
بر اساس ارزیابی ساختمان‌های شهرکرد، ۱۰ تیپ از ساختمان‌های موجود با ساختمان‌های HAZUS [۱۶] تطابق مناسبی داشته‌اند و برای این تحقیق انتخاب شده اند. مطابق جدول (۱) این ساختمان‌ها شامل ۶ نوع سازه فولادی و ۴ نوع سازه بتنی کوتاه، متوسط و بلند مرتبه می‌باشند.

[10] Multiple-Input and Multiple-Output
[11] Multiple-Input and Single-Output

جدول۱ : طبقه‌بندی ساختمان‌های شهر شهرکرد بر اساس HAZUS

ردیف	برچسب	توضیح	ارتفاع (متر)			
			محدوده		میانگین	
			نوع	طبقات	طبقات	ارتفاع (متر)
۱	SIL	سازه فولادی قاب خمشی ۱ تا ۳ طبقه	کوتاه	1-3	2	7.2
۲	SIM	سازه فولادی قاب خمشی ۴ تا ۸ طبقه	متوسط	4-8	5	18
۳	SIH	سازه فولادی قاب خمشی بیش از۸ طبقه	بلند	8+	13	46.8
۴	S2L	سازه فولادی مهاربندی ۱ تا ۳ طبقه	کوتاه	1-3	2	7.2
۵	S2M	سازه فولادی مهاربندی ۴ تا ۸ طبقه	متوسط	4-8	5	18
۶	S2H	سازه فولادی مهاربندی بیش از۸ طبقه	بلند	8+	13	46.8
۷	CIL	سازه بتنی قاب خمشی ۱ تا ۳ طبقه	کوتاه	1-3	2	7.2
۸	CIM	سازه بتنی قاب خمشی ۴ تا ۸ طبقه	متوسط	4-8	5	18
۹	C2L	سازه بتنی با دیوار برشی ۱ تا ۳ طبقه	کوتاه	1-3	2	7.2
۱۰	C2M	سازه بتنی با دیوار برشی ۴ تا ۸ طبقه	متوسط	4-8	5	18

مطابق شکل ۲ ناحیه پنج شهرداری شهرکرد شامل ساختمان‌های مسکن مهر شهرکرد می‌باشد و در آن از انواع سیستم‌های سازه ای استفاده شده است. بنابراین در این پژوهش از ساختمان‌های این منطقه به عنوان جامعه نمونه ساختمان‌های شهری استفاده شده است[۱۷].

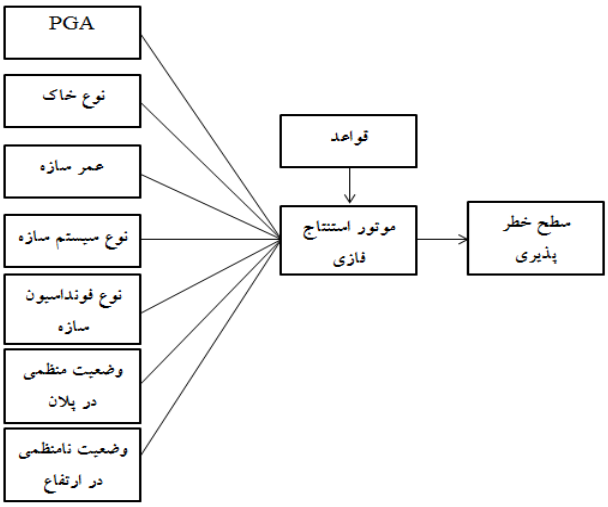


شکل۲: منطقه مورد مطالعه شهرکرد برای ارزیابی خطرپذیری [۱۷]

۴- ساختار ارزیابی خطرپذیری لرزه ای

ارزیابی خطرپذیری بر اساس منطق فازی از طریق یک ساختار ساده قابل مطالعه است. مطابق شکل ۳ این ساختار در سه سطح و طی یک مرحله استنتاج فازی به ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای پرداخته است. در این ساختار، نوع خاک، بیشینه شتاب زمین، منظمی در ارتفاع و پلان، نوع اسکلت سازه، سیستم باربر جانبی سازه و نوع فونداسیون به عنوان پارامترهای ورودی سیستم اولویت‌بندی در نظر گرفته

شده‌اند که می‌بایست اطلاعات آنها در مورد هر ساختمان جمع‌آوری گردد. مطابق شکل ۳ در این سیستم هفت پارامتر مؤثر ارزیابی سازه به عنوان ورودی گرفته شده است و در قسمت کنترل کننده که با قواعد ممدانی طراحی شده است، پردازش انجام شده و سطح خطر به عنوان خروجی معرفی شده است. در نهایت این مدل در سیستم فازی متلب ایجاد شده و با گرفتن اطلاعات اولیه ساختمان سطح خطرپذیری سازه را به عنوان خروجی ارائه داده است.



شکل۳: ساختار مدل پیشنهادی بر اساس سیستم استنتاج فازی

در این ساختار، بیشینه شتاب زمین (PGA)، نوع خاک، عمر سازه، نوع سیستم سازه‌ای، نوع فونداسیون سازه، وضعیت منظمی در پلان، وضعیت نامنظمی در ارتفاع به عنوان متغیرهای ورودی مورد استفاده در ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای در نظر گرفته شده‌اند. برای ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای لازم است اطلاعات این پارامترها در مورد هر ساختمان‌های مورد مطالعه جمع‌آوری گردد. به دلیل اینکه هدف این پژوهش استخراج ارزیابی کیفی بر اساس منطق فازی بوده است، بنابراین اطلاعات کیفی موجود در خصوص سازه‌ها مبنای ارزیابی خطرپذیری سازه‌های مورد مطالعه قرار گرفته است. در ادامه هفت متغیر ورودی معرفی می‌گردند و توضیحاتی مختصر و کاربردی در خصوص هریک ارائه گردیده است.

۴-۱. بیشینه شتاب زمین (PGA)

هدف اصلی این پژوهش ارزیابی میزان خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان‌های مورد مطالعه در شهرکرد است. برای این منظور باید اطلاعاتی در خصوص احتمال وقوع و میزان بزرگای زلزله‌ها در این منطقه در دسترس باشد. در مطالعه لرزه‌شناسی مناطق، این موضوع از طریق تحقیقات تاریخی، مطالعات ساختگاه منطقه، تهیه مدل‌های احتمالاتی و همچنین شبیه‌سازی عددی انجام می‌گیرد. در این تحقیق، به دلیل اینکه نیاز به استفاده از یک پارامتر کلی و رایج و با میزان قابل قبولی از اطمینان وجود دارد، بنابراین پارامترهای مختلفی برای ارائه زلزله‌خیزی مورد بررسی قرار گرفته است. از معیارهای مهم در طراحی و ارزیابی میزان آسیب‌پذیر سازه ها، بیشینه شتاب سطح زمین در زمان زلزله‌ها می‌باشد. بیشینه شتاب زمین (PGA) به عنوان یک متغیر مناسب است که دسترسی به استخراج آن به عنوان یک شاخص مهندسی و پژوهشی در این تحقیق استفاده شده است.

۴-۲. نوع خاک

شرایط ساختگاه مورد مطالعه در ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ها به عنوان یک عامل تاثیرگذار در تغییر شرایط لرزه‌ای از طریق بزرگی و محتوای فرکانسی امواج محسوب می شود. علاوه بر آن، وقوع پدیده‌های نظیر رانش زمین و روانگرایی نیز در هنگام وقوع و بعد از زلزله می‌تواند بر میزان آسیب‌پذیری اثر بسیار زیادی داشته باشد. نوع خاک در تعیین شرایط ساختگاهی مناطق مورد مطالعه یک عامل

عمده در این زمینه است. وجود انواع خاک‌های مختلف مطابق طبقه‌بندی ضوابط آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای بر مبنای مطالعات وسیع ژئوتکنیکی انجام گرفته است. در این مطالعه، انواع خاک‌های منطق مورد مطالعه مطابق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ [۱۸] لحاظ گردیده است.

۴-۳. عمر سازه

مهم‌ترین عامل موثر در تعیین میزان آسیب‌پذیری سازه‌ها در مواجهه با مخاطرات طبیعی شامل میزان فرسودگی و وجود زوال در بخش‌های مختلف ساختمان است. فرسودگی و زوال در یک سازه بر اساس روش‌های کیفی و کمی قابل ارزیابی و اندازه‌گیری است. در روش‌های کیفی باید عوامل موثر در افزایش میزان زوال و فرسودگی سازه‌های موجود مورد استفاده قرار گیرد. عمر سازه به عنوان مهم‌ترین عامل موثر در تعیین این شاخص محسوب می شود. با افزایش عمر سازه مقاومت، سختی و شکل‌پذیری اعضای مختلف سازه شامل تیرها، ستون‌ها، اتصالات و اجزای تشکیل دهنده سیستم‌های باربر جانبی دچار کاهش می‌گردند. با وقوع مخاطرات طبیعی و یا تغییر در کاربری ساختمان این موضوع تاثیر عمده‌ای در رفتار سازه خواهد داشت. برای تعیین عمر سازه روش‌های مختلفی وجود دارد. ارزیابی مستندات فنی طراحی و ساخت سازه (در صورت وجود و دسترسی)، مشاهدات و ارزیابی، سونداژها و آزمایش‌های در محل، مستندات و طرح‌های مربوط به سازمان‌ها و نهادهای متولی ساخت و ساز، جمع‌آوری اطلاعات میدانی از ساکنان و بهره‌برداران از سازه‌ها روش‌های مورد استفاده برای تعیین عمر سازه‌ها محسوب می‌شوند. با تعیین دقیق یا تقریبی عمر سازه‌ها می توان با یک طبقه‌بندی مناسب سازه‌های موجود را بر اساس ویرایش‌های مختلف استاندارد ۲۸۰۰ [۱۸] طبقه‌بندی نمود.

۴-۴. نوع سیستم سازه‌ای

چهار نوع سیستم باربر جانبی سازه‌ای برای مطالعه ساختمان‌های منتخب این پژوهش در نظر گرفته شده است. ساختمان‌های فولادی با سیستم باربر جانبی قاب خمشی و مهاربندی و ساختمان‌های بتنی مسلح با سیستم باربر جانبی قاب خمشی و دیوار برشی از سازه‌های مورد مطالعه این پژوهش هستند. سیستم‌های سازه‌ای مبتنی بر قاب‌خمشی از نظر میزان شکل‌پذیری و اتلاف انرژی‌های ناشی از زلزله رفتار مناسبی دارند و می توانند به عنوان معیار مناسبی جهت ارزیابی از نحوه طراحی و اجرای مناسب ساختمان‌ها نیز محسوب شوند. سیستم‌های سازه‌ای بر اساس مهاربندی و دیوار برشی مبتنی بر سختی می باشند و در صورتیکه در اجرای آنها معیارهای مربوط به تامین سختی مناسب تامین شود می‌توانند به عنوان شاخصی جهت سازه‌هایی با عملکرد رفتار جانبی مناسب معرفی شوند.

۴-۵. نوع فونداسیون سازه

با توجه به تغییرات بوجود آمده در دستورالعمل‌های مربوط به ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی ساختمان‌های موجود، فونداسیون‌ها که از طریق آیین‌نامه‌های طراحی که مبتنی بر نتایج حاصل از تحلیل‌های خطی می‌باشند دارای انواع مختلف آسیب‌پذیری می‌باشند. این موضوع به دلیل وجود نیروهای بزرگ در طراحی مبتنی بر رفتار خطی سازه می‌باشد. همچنین توسعه و بروزرسانی آیین‌نامه‌ها نیز باعث گردیده است که شدت آسیب‌پذیری فونداسیون‌های موجود نیز افزایش یابد. بهسازی لرزه‌ای فونداسیون‌های موجود در صورتیکه با تسلط و دانش کافی مهندسی انجام نگیرد منجر به استفاده از طرح‌های حجیم مقاوم‌سازی خواهد گردید. بنابراین ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری انواع مختلف فونداسیون‌های موجود ساختمان‌ها باید مشخص گردد و به عنوان یکی از عوامل اصلی و دائمی تعیین کننده میزان آسیب‌پذیری سازه ها لحاظ گردد.

۴-۶. وضعیت منظمی در پلان

مطابق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ نامنظمی در پلان شامل نامنظمی هندسی، پیچشی، دیافراگم، خارج از صفحه و سیستم‌های غیر موازی می‌باشد[۱۸]. وجود نامنظمی در پلان سازه بیشتر از مقادیر مشخص شده در ضوابط باعث خواهد گردید که تحت بارهای جانبی

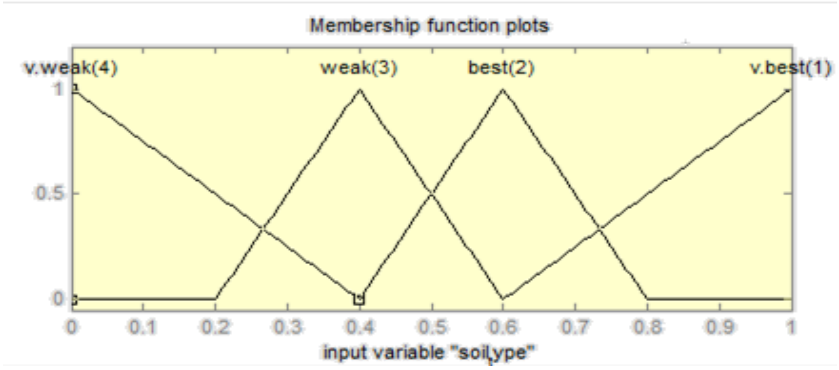
سازه دچار پیچش‌های بیش از اندازه و همچین تمرکز تنش در برخی از اعضای باربر جانبی و توزیع نامناسب نیروهای ناشی از سیستم‌های باربر جانبی گردد. بنابراین، کاهش نامنظمی در پلان می تواند به بهبود رفتار لرزه‌ای کمک نماید.

۴-۷. وضعیت نامنظمی در ارتفاع

نامنظمی در ارتفاع سازه شامل تغییرات ناگهانی یا ناپیوستگی در مقاومت و سختی می‌باشد. این عامل از طریق هندسه، جرم، مقاومت جانبی، نامنظمی سختی جانبی، انقطاع در سیستم باربر جانبی، موانع عمودی و معکوس، طبقات نرم، تغییرات سختی ستون‌ها، ستون ضعیف و تیر قوی و هرگونه تغییرات به وجود آمده در سیستم سازه‌ای اولیه می‌باشد [۱۸]. هرگونه تغییر در مقاومت یا سختی سازه باعث تغییرات اساسی در رفتار لرزه‌ای خواهد شد، بنابراین عوامل ایجاد تغییرات در سختی و مقاومت سازه‌ها در ارزیابی میزان آسیب‌پذیری مورد توجه قرار گیرد.

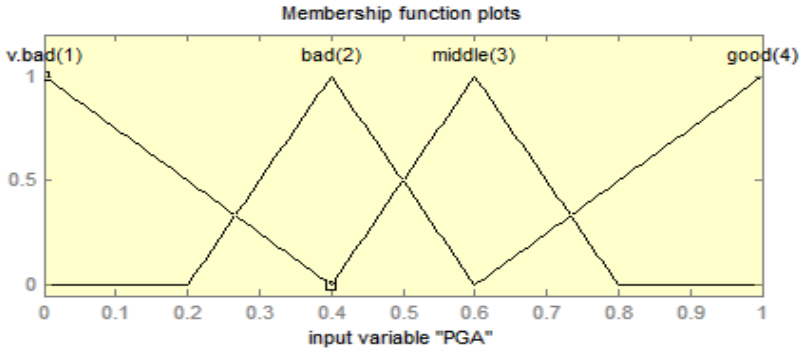
۵- نتایج

در این پژوهش به منظور طراحی توابع عضویت و برای اعمال و عدم قطعیت ها نوع در انتخاب خاک محل سازه از توابع مثلثی استفاده شده است. عدم قطعیت ها مربوط به قضاوت و ارزیابی از نوع خاک محل استقرار سازه، بدین صورت است که ممکن است در بسیاری از ساختگاه‌ها، تشخیص و طبقه‌بندی خاک محل مورد نظر به سادگی میسر نباشد . در شکل ۴ توابع عضویت فازی نوع خاک ارائه شده است که در آن به خاک‌های I تا IV به ترتیب برچسب ۱ تا ۴ اختصاص داده شده است.



شکل۴: پارامتر های لرزه ای با توجه به نوع خاک

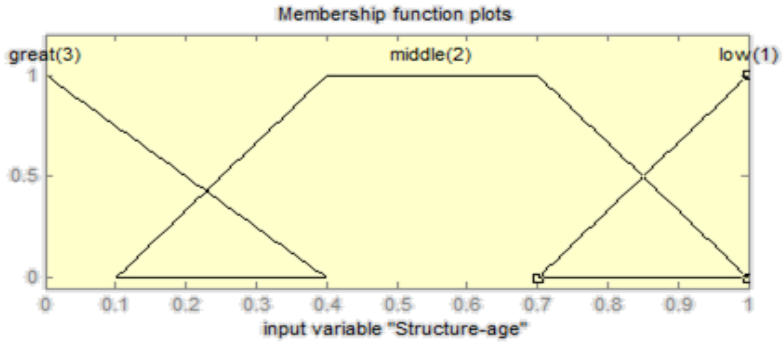
در شکل ۵ برای هر چهار مقدار بیشینه شتاب زمین[12] (PGA) موجود در داده‌ها ۰/۳۵g و ۰/۳۰g و ۰/۲۵gو ۰/۲۰g، یک تابع عضویت بصورت مثلثی به گونه‌ای رسم شده که هر مورد از PGA در مقدار متناظر خود برابر با یک است.



شکل۵: توابع عضویت فازی بیشینه شتاب زمین (PGA)

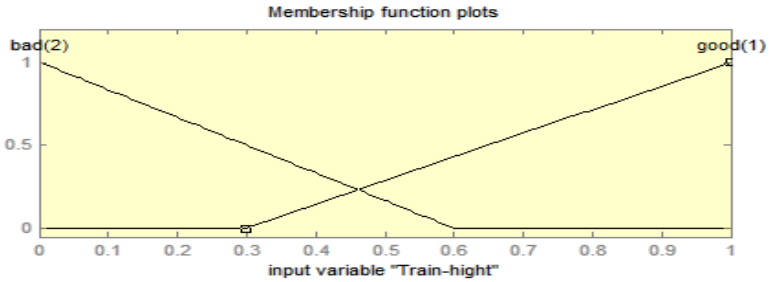
[12] Peak Ground Acceleration

پارامتر عمر سازه، بر اساس آیین‌نامه‌های مورد استفاده برای طراحی آنها به سه نوع کم، متوسط، زیاد طبقه‌بندی شده‌اند. برای طراحی توابع عضویت این سه مجموعه از توابع ذوزنقه‌ای استفاده شده است که همانند توابع مثلثی می‌تواند عدم قطعیت را مدل مینمایند. شکل ۶ توابع عضویت عمر سازه را نشان می‌دهد که در آن عمر کم، متوسط، زیاد به ترتیب با برچسب‌های ۱ تا ۴ مشخص شده‌اند.



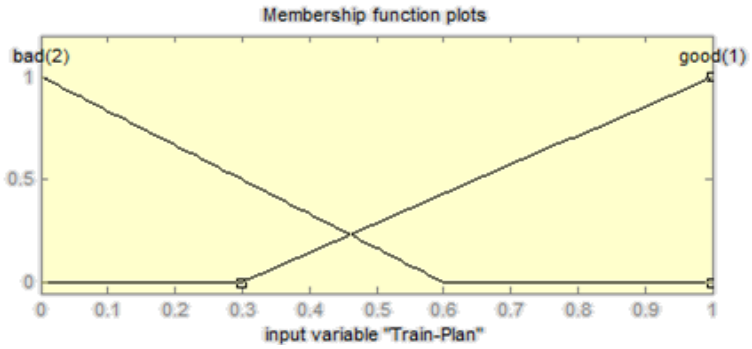
شکل۶: توابع عضویت فازی عمر سازه

شکل ۷ توابع عضویت منظمی در ارتفاع را نشان می‌دهد که در آن به منظمی کد۱ و به نامنظمی کد۲ اختصاص داده شده است.



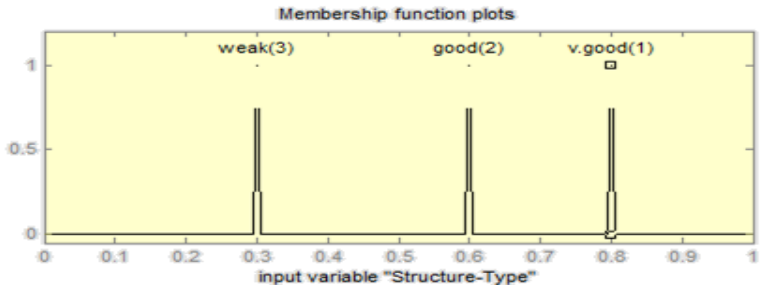
شکل۷: توابع عضویت فازی منظمی در ارتفاع

شکل ۸ توابع عضویت منظمی در پلان سازه را نشان می دهد که در آن به منظمی کد۱ و به نامنظمی کد۲ اختصاص داده شد.

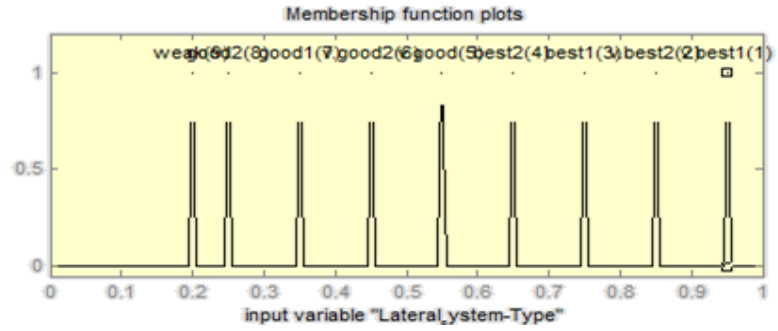


شکل۸: توابع عضویت فازی منظمی در پلان

نتایج توابع عضویت برای نوع اسکلت سازه و نوع فونداسیون در شکل ۹ و ۱۰ ارائه شده است. چهار نوع سیستم سازه‌ای شامل قاب خمشی فولادی، مهاربندی فولادی، قاب خمشی بتنی و دیوار برشی بتنی و پنج نوع فونداسیون در داده‌ها ارائه شده است، که در بخش قبلی همه آنها کدگذاری شده است. برای طراحی توابع عضویت از تابع عضویت واحد استفاده شده است.

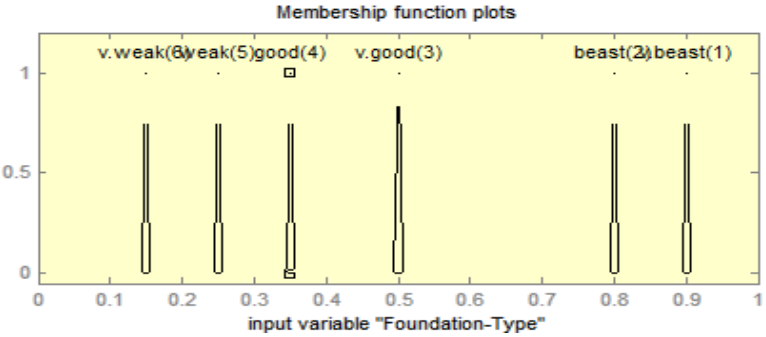


شکل۹: توابع عضویت فازی نوع اسکلت سازه



شکل۱۰: توابع عضویت فازی انواع سیستم باربر جانبی سازه

در شکل ۱۱ توابع عضویت فازی فونداسیون سازه ارائه شده است که در آن پی منفرد، پی منفرد با شناژهای رابط، پی نواری، پی گسترده، کلاف افقی زیر دیوار به ترتیب کدهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل۱۱: توابع عضویت فازی انواع فونداسیون سازه

۶- جمع بندی

در این پژوهش، از طریق منطق فازی یک روش اولویت‌بندی خطرپذیری لرزه‌ای برای ساختمان‌های منتخب شهرکرد ارائه گردیده است. برای این منظور یک ساختار سلسله مراتبی در سه سطح و طی یک مرحله و با بهره‌گیری از روش استنتاج فازی، وضعیت خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی و بتنی به عنوان مطالعه موردی تعیین شده است. نتایج روش مذکور در مطالعات اولیه بهسازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌های مورد مطالعه قابل استفاده خواهد بود است.

با کاهش بیشینه شتاب زمین میزان آسیب‌پذیری با نرخ بسیار کمی کاهش یافته است. به عبارت دیگر، این پارامتر یک عامل اساسی در کاهش میزان خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان‌های مورد مطالعه بوده است، بطوریکه افزایش آن باعث خرابی و خسارات گسترده در ساختمان‌ها بر اساس تجربیات زلزله‌های قبلی گردیده است.

تاثیر خاک ساختگاه برای ساختمان های مورد مطالعه شان می‌دهد که خاک‌های نوع یک و دو در کاهش آسیب‌پذیری مربوط به اثرات ناشی از زلزله‌ها در ساختمان‌ها بسیار موثر بوده است. با تغییر خاک‌ها به نوع سه و چهار میزان آسیب‌پذیری به شدت افزایش یافته است. تجربیات مربوط به زلزله کرمانشاه در سال ۱۳۹۶ در شهر سرپل ذهاب نیز بیانگر تاثیر شدید تغییر نوع خاک در مناطق مختلف شهری و افزایش شدید میزان آسیب‌پذیری در این زمینه بوده است.

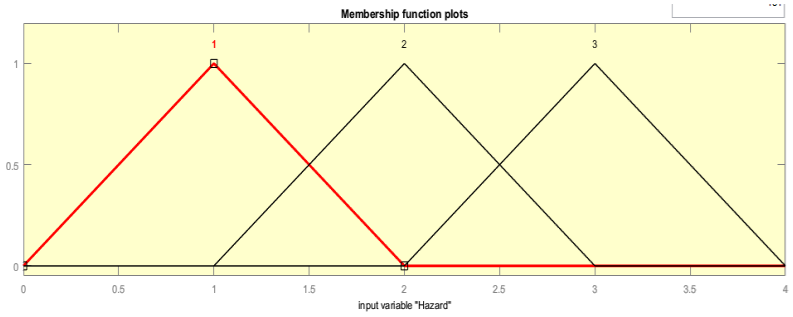
ساختمان‌های با عمر سازه بیش از سه دهه به علت اینکه اجزای غیرسازه‌ای نظیر دیوارها در این سازه‌ها نقش قابل توجهی در باربری جانبی دارند و هیچ‌گونه تمهیداتی برای مهار و کاهش آسیب‌پذیری آنها انجام نشده است. بنابراین دارای وضعیت خطرپذیری بسیار شدیدتری هستند. میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های طراحی شده بر اساس ویرایش‌های بعدی ضوابط طراحی وضعیت نسبتا متوسط و قابل قبولی دارند و دلیل آن استفاده از تجربیات زلزله‌ها در تدوین ویرایش‌های مختلف ضوابط طرایح ساختمان‌ها بوده است. این ساختمان‌ها دارای دامنه وسیعی از داده‌های مورد مطالعه هستند و می‌توان در خصوص ارائه عملکرد قابل قبول ساختمان‌هایی که در آنها ضوابط لرزه‌ای رعایت شده است اطمینان حاصل نمود. تجربیات زلزله‌های مختلف در چند دهه اخیر در کشور نیز نشان داده است که رعایت ضوابط لرزه‌ای در طراحی و اجرای ساختمان‌ها در کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای بسیار موثر بوده است. ضوابط لرزه‌ای مورد استفاده در این زمینه ممکن است به صورت دقیق و کامل تامین و اجرا نگردند ولی استفاده از آنها و رعایت ضوابط ساخت و ساز همواره باعث کاهش چشمگیر خسارت‌ها گردیده است. ساختمان‌های طراحی شده با ضوابط سال‌های اخیر دارای وضعیت بسیار مطلوبی از نظر وضعیت آسیب‌پذیری می‌باشند.

با افزایش نامنظمی در پلان و ارتفاع ساختمان‌های مورد مطالعه میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌ها به طور یکنواخت افزایش یافته است. وضعیت این پارامترها به صورت قطعی مشخص است. به عبارت دیگر، عدم رعایت منظمی در پلان و ارتفاع مطابق ضوابط باعث افزایش میزان آسیب‌پذیری می‌گردد و بر اساس میزان بی‌نظمی این آسیب‌پذیری افزایش خواهد یافت.

اسکلت فولادی به علت مشکلات مرسومی که در اجرای اتصالات آن وجود دارد و اسلکت بتنی به دلیل مشکلات مربوط به کیفیت و نحوه ساخت مصالح دارای شرایط آسیب‌پذیری مشابهی هستند. عدم رعایت این موضوع باعث افزایش میزان آسیب‌پذیری گردیده است و تامین شرایط اجرایی مناسب در ساختمان‌ها فولاد و همچنین افزایش کیفیت ساخت اجزای ساختمان‌های بتنی باعث کاهش یکسان میزان آسیب‌پذیری شده است. برای ساختمان‌ها در شرایط همسان میزان آسیب‌پذیری در قاب های خمشی به علت وجود ظرفیت شکل‌پذیری زیاد بیشتر بوده است. با افزایش خطر لرزه‌ای منطقه، سیستم‌های باربر جانبی فولادی و بتنی که دارای سیستم‌های افزایش سختی شامل مهاربندی و دیوار برشی بوده‌اند رفتار بسیار مناسبی داشته اند ولی قاب‌های خمشی دارای آسیب‌پذیری بسیار شدیدی بوده‌اند.

نوع فونداسیون مورد استفاده در ساختمان‌های مورد مطالعه بر اساس نیاز سازه و امکان اجرای آنها باعث گردیده است که تفاوت‌هایی در میزان آسیب‌پذیری سازه‌ها ایجاد گردد. وجود پارامترهای مختلف تاثیرگذار مختلف و همچنین نوع سازه‌های مورد مطالعه باعث گردیده است که تاثیر نوع فونداسیون در تعیین میزان آسیب‌پذیری لرزه‌های چندان چشمگیر نباشد. اما ضروری است که استفاده از فونداسیون‌های گسترده به عنوان یک اولویت در کاهش آسیب‌پذیری ناشی از پارامتر فونداسیون مورد توجه گیرد.

نتایج سیستم استنتاج فازی برای تعیین میزان خطرپذیری سازه‌های مورد مطالعه به میزان کم، متوسط، زیاد به ترتیب با برچسب ۱ تا ۳ در شکل ۱۲ ارائه شده است.



شکل۱۲: توابع عضویت فازی خطر پذیری سازه

نتایج بدست آمده بیانگر این موضوع است که بر اساس پارامترهای در نظر گرفته شده برای ارزیابی میزان خطرپذیری سازه‌های مورد مطالعه تقریبا یک میزان مشابه از آسیب‌پذیری در سازه های مورد مطالعه بدست آمده است. این موضوع بیانگر تاثیر عوامل مختلف در تعیین میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری است و رعایت یک یا چند پارامتر در کاهش میزان آسیب‌پذیری کافی نخواهد بود.

مراجع

[1] Tesfamariam, S. Saatcioglu, M. (2008) Risk-Based Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Buildings, *Journal of Earthquake Spectra*. 24(3), pp.795-821.

[2] Tesfamariam, S. Saatcioglu, M. (2010) Seismic vulnerability assessment of reinforced concrete buildings using hierarchical fuzzy rule base modeling, *Journal of Earthquake Spectra*. 26(1), pp.235-256.

[3] Tesfamariam, S. Wang, Y. (2012) Risk-based seismic retrofit prioritization of reinforced concrete civic infrastructure: case study for state of Oregon schools and emergency facilities", *Natural Hazards Review of American Society of Civil Engineers*. 13(3), pp.188-195.

[4] Salgado-Gálvez, M.A. Zuloaga Romero, D. Velásquez, C.A. Carreño, M.L. Cardona, O.D. and Barbat, A.H. (2016) Urban seismic risk index for Medellín, Colombia, based on probabilistic loss and casualties estimations", *Journal of Natural Hazards*. 80(3), pp.1995–2021.

[5] Ghodrati Amiri, Gh. AsmariSaad Abad, S. ZareHossein Zadeh, A. (2013) Earthquake risk assessment using fuzzy inference systems and its application in seismic rehabilitation studies", *Modares Civil Engineering Journal*. 13(4), pp.71-84. (in Persian)

[6] Razavian, A. S. A., Ghodrati, A. G., & Zeinali, R. S. (2015) Seismic Risk Assessment of Shahrekord, Journal of Structural and Construction Engineering, 1(1), 19-26.

[7] Zehtab Yazdi, M.H., Raissi Dehkordi, M., Eghbali, M., Ghodrati Amiri, Gh. (2018) Seismic Risk Prioritization of Steel Buildings Using Fuzzy Inference System: A Case Study of School Buildings in Selected Regions of Tehran, *Amirkabir Journal of Civil Engineering*. DOI: 10.22060/CEEJ.2018.14809.5761. (in Persian)

[8] Ghadimi Hamzehkolaei, A., Ghodrati, Amiri. G., Vafaeinezhad, A. S. & Zare Hosseinzadeh, A. (2018). Seismic zoning of urban areas considering the effect of physical conditions using Fuzzy logic theory: case study of Tehran's 7th region, *Journal of Structural and Construction Engineering*, 5(3), 5-15.

[9] Vahdat, K. Smith, N.J. Ghodrati Amiri, G. (2014) Fuzzy multi criteria developing a risk management system in seismically prone areas, *Journal of Socio-Economic Planning Sciences*. 48, pp.235-248.

[10] Boostan, E. Tahernia, N. and Shafiee A. (2015) Fuzzy—probabilistic seismic hazard assessment, case study: Tehran region, Iran, *Journal of Natural Hazards*. 77, pp.525–541.

[11] Zahraei, B. Roozbahani, A. and Mirshekari, M., (2017) Risk assessment model based on fuzzy expert systems for construction project management. *Sharif Journal of Civil Engineering*. 32.2(4.1), pp.61–70.

[12] Zadeh, L.A. (1965) Fuzzy sets. *Journal of Information and Control*, 8(3), pp.338-353.

[13] Yager, R. (1980) On a general class of fuzzy connectives", *Journal of Fuzzy sets and systems*. 4, pp.235-242.

[14] Zadeh, L.A. (1973) Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 1, pp.28-44.

[15] Mamdani, E. H. (1977) Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis", *IEEE Transactions on Computers*. 26(12), pp.1182–1191.

[16] HAZUS-MH MR5, Multi-Hazard loss Estimation Methodology: Earthquake Model. (2003), Department of Homeland security, FEMA, Washington, D.C,

[17] https://chb.mrud.ir/

[18] Road, Housing and Urban Development Research Center. (2015) Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings Standard No.2800 (4th Edition)", Tehran. (in Persian).