



## تحلیل ریسک زلزله شهرکرد به روش نروفازی با استفاده از ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها

غلامرضا کیوانی هفشجانی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۱  
بازنگری: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹  
پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۰۱  
ارائه آنلاین: ۱۳۹۷/۰۴/۲۵

### کلمات کلیدی:

منطق فازی  
سیستم فازی عصبی  
سیستم درخت تصمیم  
عدم قطعیت  
توابع عضویت

**خلاصه:** امروزه علم تحلیل ریسک و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها از شاخه‌های مهندسی زلزله می‌باشند که روند آنها بسیار طولانی، حجیم و هزینه بر می‌باشد. یکی از مهمترین مشکلات در این زمینه، زمان بر بودن و درصد خطای بالای آنها می‌باشد. لذا با دستیابی به یک نتیجه منطقی می‌توان از سیستم‌های تصمیم‌گیر به منظور حل مشکلات استفاده نمود. هدف تهیه روشی است که بتوان به کمک آن تحلیل ریسک زلزله را از طریق مطالعات بهسازی با استفاده از ابزار نروفازی تسریع بخشید. در این روش ۴۰۰ مدرسه از مدارس شهرکرد و حومه را بصورت تصادفی انتخاب و سپس به ارزیابی میزان پذیرش خطر لرزه‌ای آنها با استفاده از چک لیست ارزیابی سریع براساس دستورالعمل ارزیابی سریع ساختمان‌ها، نشریه ۳۶۴ و روش ATC پرداخته شد. همچنین به کمک از نرم‌افزار وکا از بین چندین داده مربوط به اطلاعات سازه‌ای، مؤثرترین آنها با توجه به تعداد تکرار و ارزش انتخاب سپس در نرم‌افزار Anfis به منظور طراحی سیستم نروفازی استفاده شد. برای بررسی دقت مدل طراحی شده ابتدا به مقایسه سطح خطر بدست آمده از سیستم نروفازی و سطح خطر واقعی و در گام بعد به محاسبه میزان پراکندگی خروجی‌های سیستم و مقایسه با نتایج موجود در داده‌ها پرداخته شده است. و این حاکی از انطباق نتایج سیستم نروفازی و نتایج حاصل از ارزیابی کیفی و کارایی مناسب این سیستم می‌باشد. از مهمترین مزایای این روش می‌توان به مدل کردن عدم قطعیت‌ها، ورود اطلاعات از سازه به روش کیفی و کمی، سرعت بالای روند تحلیل ریسک اشاره نمود.

### ۱- مقدمه

موقعیت سازه و بررسی مجاورت آن با عوامل لرزه‌زا که نتیجه آن ارزیابی میزان اختلاف سازه با استانداردهای موجود کنونی در زمینه طراحی و اجرا می‌باشد [۱]. معمولاً روند تحلیل خطر و خطرپذیری دارای حجم محاسباتی بالا، فرمولاسیون پیچیده، وقت‌گیر، هزینه بر و خارج از حوصله می‌باشد که از مهمترین معایب این روش است. امروزه به منظور پذیرش خطر لرزه‌ای سازه‌ها می‌توان از مطالعات بهسازی بصورت گسترده و با استفاده از آئین نامه‌های مربوطه 'ATC و FEMA<sup>۲</sup> و سایر نشریات دیگر استفاده نمود. لذا با ایجاد روشی مناسب با استفاده از سیستم‌های هوشمند نظیر نروفازی به انجام مطالعات تحلیل ریسک پرداخته شد. در مطالعات بهسازی، بسیاری

زلزله یکی از مخربترین بلاهای طبیعی است که ماهیتی پیچیده و غیرقابل پیش بینی دارد. هر ساله در اکثر نقاط دنیا بالاخص کشورمان ایران زلزله‌های بسیاری رخ می‌دهد که تبعات مستقیم و غیر مستقیمی اعم از آسیب‌های جانی، مالی و غیره برجای می‌گذارد. میزان پذیرش این آسیب‌ها نتیجه عملکرد پیش بینی شده برای سازه براساس مطالعات تحلیل خطر بوده اما امروزه روند تحلیل خطر و خطرپذیری براساس محاسبات آماری و احتمالاتی می‌باشد. تحلیل خطر شامل تحلیل احتمالاتی روی پارامترهای زلزله شامل شدت، بزرگا، تعداد زلزله و محل وقوع آن می‌باشد؛ در حالی که تحلیل ریسک یا تحلیل خطرپذیری، تحلیل روی اطلاعات برداشت شده از

1 Applied Technology council

2 Federal Emergency Management Agency

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: reza.keyvani1@gmail.com



زلزله های احتمالی ترسیم می شوند.

در این تحقیق با استفاده از سیستم نروفازی اقدام به انجام تحلیل ریسک از طریق مطالعات بهسازی پرداخته شد؛ که از یک سیستم ارزیاب سریع از طریق انتخاب ویژگی یا پارامترها بوسیله الگوریتم یادگیری درخت تصمیم که باعث کاهش و بهینه شدن تعداد پارامترهای ورودی سیستم می شود استفاده شد [۳]. در سیستم نروفازی از یک سیستم استنتاج گر استفاده می شود که با استفاده از قابلیت یادگیری  $ANN^1$ ، توانایی ایجاد و بهینه سازی مجموعه ایی از قواعد فازی بر اساس داده های ورودی را دارد [۳].

بر این اساس می توان زمینه ای برای کاربر فراهم نمود تا با وارد کردن پارامترهای مختلف مورد نیاز در تحلیل ریسک نظیر سازه ای و ژئوتکنیکی یک ارزیابی سریع از ساختمان داشته باشد. مزایای این روش عدم وجود فرمولاسیون پیچیده، سرعت بالا و روندی آسان می باشد. جهت بررسی کارایی این مدل، مطالعه ای پیرامون میزان ریسک سازه های تعدادی از مدارس شهرکرد و حومه انجام شده که حاکی از کارایی مناسب روش پیشنهادی است.

## ۲- سیستم نروفازی

سیستم نروفازی<sup>۲</sup> که در سال ۱۹۹۳ ارائه شد حاصل تلفیق شبکه عصبی تطبیقی و منطق فازی است که با بکارگیری فرآیند یادگیری هابیرید می توان پارامترهای آن را برای مدل سازی سیستم براساس داده های ورودی- خروجی موجود تنظیم نمود. در این سیستم مدل فازی یک روش تصمیم گیر در حل مسائل و مدل سازی عدم قطعیت ها و گنگی ها می باشد؛ از سوی دیگر شبکه عصبی در آموزش این سیستم و کاهش خطا کاربرد دارد [۵]. از جمله اشکالات وارد بر شبکه  $Anfis^3$  این است که افزایش تعداد پارامترها باعث افزایش دقت شناسایی می شود اما سرعت شبیه سازی به شدت کم می شود. برخی از ویژگی ها و توانایی های سیستم نروفازی عبارتند از [۷]:

۱. قابلیت مدل کردن توصیفات کیفی و زبانی به شکل ریاضی
۲. قابلیت در مدل سازی توابع غیر خطی پیچیده
۳. انعطاف پذیری بسیار بالا در حل مسأله
۴. قابلیت استفاده از تجربیات عملی و علمی موجود در بحث

از سازه های موجود از استانداردهای طراحی و حتی اجرایی دور بوده که نیازی به مطالعات تفصیلی ندارد. لذا بر اساس آئین نامه های مذکور از چک لیست های ارزیابی سریع به منظور انجام این مطالعات استفاده می شوند. این چک لیست ها به گونه ای طراحی شده اند که می توان براحتی در مورد سازه تصمیم گیری نمود. بطور کلی سازه ها را می توان به سه دسته تقسیم نمود [۲]:

(۱) چنانچه سازه به لحاظ طراحی و اجرایی بسیار ضعیف باشد و با استانداردهای موجود فاصله زیادی داشته باشد، مطالعات بهسازی به لحاظ اقتصادی به صرفه نبوده است و از روند مطالعات خارج می شود و باید تخریب یا تغییر کاربری صورت گیرد.

(۲) اگر سازه در طراحی و اجرا با استانداردها اختلاف زیادی نداشته باشد دارای پذیرش خطر لرزه ای کم بوده است و به لحاظ میزان پذیرش خطر بررسی باید متناسب با سطح عملکرد باشد.

(۳) اگر سازه با استانداردهای موجود فاصله و اختلاف داشته باشد و بهسازی آن ممکن و اقتصادی نباشد باید مطالعات بهسازی آن ادامه یابد.

روند مطالعات بهسازی بدین گونه می باشد که با استفاده از چک لیست ها و دستورالعمل ارزیابی سریع ساختمان ها (نشریه ۳۶۴) اطلاعات مربوط به سازه توسط ارزیاب جمع آوری شده و پس از امتیازدهی با توجه به امتیاز کسب کرده توسط کارشناسان در مورد ادامه روند مطالعات بهسازی تصمیم گیری می شود.

در سال های اخیر مطالعات زیادی با استفاده از سیستم های هوشمند نظیر منطق فازی، شبکه عصبی مصنوعی و غیره در علوم تحلیل خطر و تحلیل ریسک انجام شده است. Sen ۲۰۱۰ با استفاده از منطق فازی روش نوینی برای انجام ارزیابی تحلیل ریسک پیشنهاد نمود. در این روش مشخصات و ویژگی های سازه ای و میزان پذیرش خطر بصورت توصیفات زبانی (کیفی) و کمی تقسیم بندی می شود. از معایب این روش میزان کمیت در نظر گرفته شده برای ویژگی ها، تأثیر پارامترهای ورودی بر خروجی و اینکه پارامترها بر چه اساسی به عنوان پارامترهای ورودی انتخاب شده اند. گرامی و همکاران ۲۰۱۲ به مطالعه پهنه بندی خطر زلزله احتمالی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. این شبکه با دریافت الگوهای ورودی، قادر به استخراج مشخصات الگوهای پیچیده ایی از داده های ورودی است و سپس با پژوهش های آماری انجام شده نقشه های پهنه بندی مکان

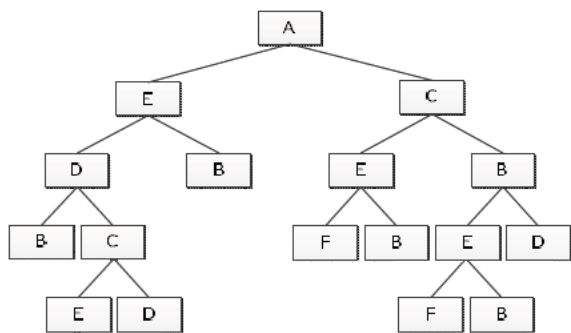
1 Artificial Neural Network

2 <sup>†</sup> Neuri Fuzzy

۳ سیستم استنتاج عصبی- فازی: نوعی شبکه عصبی مصنوعی است که بر اساس سیستم فازی تاکاگی- سوگنو می باشد.

بر اساس مباحث استاندارد ۲۸۰۰ از سوی دیگر با توجه به استفاده از چک لیست های ارزیابی و دستورالعمل ارزیابی سریع ساختمان ها (نشریه ۳۶۴) و اطلاعات مربوط به سازه برحسب الویت انتخاب شدند. با توجه به اینکه قبلا گفته شد با افزایش تعداد پارامترها، دقت سیستم افزایش، اما سرعت آن شدیداً کاهش پیدا می کند لذا از بین ۱۰ پارامتر انتخاب شده که از مشخصات مندرج در استاندارد ۲۸۰۰ می باشند، به یک اندازه در سازه تأثیر نداشته پس به نحوی باید مهمترین و تأثیرگذارترین پارامترها را برای تعیین خطرپذیری انتخاب نماییم و برای این منظور از تکنیک درخت تصمیم استفاده شده است. درخت تصمیم یکی از ابزار قوی و متداول برای دسته بندی، مقایسه و پیش بینی پارامترها براساس امتیازدهی بوده که شبیه فلوجارت می باشد. براساس الگوریتم، ممکن است دو یا تعداد بیشتری شاخه داشته باشد. برای مثال، ریشه درختانی با تنها دو شاخه در هر نود ایجاد می کند. هر شاخه منجر به نود تصمیم دیگر یا یک نود برگ می شود. با پیمایش یک درخت تصمیم از ریشه به پایین به یک مورد یک رده یا مقدار نسبت می دهیم. هر نود از داده های یک مورد، برای تصمیم گیری درباره آن انشعاب استفاده می کند. درخت های تصمیم از طریق جداسازی متوالی داده ها به گروه های مجزا ساخته می شوند و هدف در این فرآیند افزایش فاصله بین گروه ها در هر جداسازی است.

این درخت دارای یک گره در بالاترین قسمت به نام ریشه می باشد و به سمت پایین رشد می کند و از طریق شاخه ها به گره های دیگری می رسد، بطوری که گره ریشه بالاترین امتیاز و گره های پایین تر ارزش و امتیاز کمتری بر اساس تعداد دفعات تکرار به لحاظ دسته بندی را دارا می باشند [۱۲]. در شکل ۱ اگر امتیاز ردیف آخر



شکل ۱. درخت تصمیم فرضی برای ارزش گذاری پارامترهای [۱۲]

Fig. 1. Hypothetical decision tree for evaluating parameters

مورد بررسی به منظور ایجاد مدلی پویا

قابلیت توصیفات کیفی مبنای ارتباط، اظهارنظر، ساده سازی، کارآمدتر شدن و استفاده به طور گسترده این سیستم شده است. سیستم نروفازی توانایی مدل سازی و تحلیل مسائل پیچیده که در ذات آنها ابهاماتی ناشی از ریاضیات و قوانین غیر ممکن وجود دارد را داشته است. این سیستم سعی در ایجاد نزدیکی بیشتری بین دقت ریاضیات و نیز ابهام کلی متغیرهای زبانی را در دنیای واقعی دارد. قابلیت استفاده از تجربیات عملی و علمی موجود در بحث مورد بررسی، باعث شده تا برخلاف سایر سیستم ها که با دریافت داده های آموزشی مدلی مبهم ایجاد می کند سیستم نروفازی پویا و روشن باشد.

### ۳- مدل نروفازی ارزیابی لرزه ای سریع

جهت تعریف و طراحی این مدل نیازمند یک سری اطلاعات جامع به منظور تعلیم و آموزش یک سیستم می باشیم. در قدم اول برای مدل سازی و انطباق هرچه بیشتر مدل بر واقعیت از مجموعه داده های بهسازی مدارس شهرکرد و حومه استفاده شد. این مشخصات از سازه و مؤثر در زلزله شامل ماکزیمم شتاب زمین<sup>۱۱</sup> در محل، نوع خاکی<sup>۱۲</sup> که سازه روی آن بناست، عمر سازه، مساحت زیربنای سازه، سیستم باربر جانبی، نوع اسکلت سازه، نوع سقف، نوع فنداسیون و منظمی یا نامنظمی در پلان و ارتفاع سازه می باشند [۲]. اما علاوه بر این ۱۰ داده، مجموعه ای از داده های دیگر هم وجود دارد که بیانگر میزان هزینه هر متر مربع بهسازی سازه می باشد و به سه گروه سازه هایی که مطالعات بهسازی آنها مقرون به صرفه نبوده، سازه هایی که با توجه به هزینه هر مترمربع، بهسازی آنها پایان پذیرفته است و سازه هایی که نیازی به بهسازی ندارند را به عنوان خروجی سیستم در نظر می گیریم. بدین ترتیب براساس فهرست بهای سال ۹۶ در صورتی که هزینه هر مترمربع عملیات بهسازی سازه کمتر یا بیشتر از حد میانگین هزینه عملیات بهسازی باشد، به سطح خطرپذیری کم و متوسط تقسیم بندی می شود و سازه هایی که به لحاظ اقتصادی عملیات بهسازی آنها مقرون به صرفه نمی باشد در سطح خطرپذیری زیاد قرار می گیرند؛ قابل ذکر است که پارامترهای مذکور از یک سو

1 Peak Ground Acceleration

۲ این مقادیر براساس مندرجات آئین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) استخراج شده اند.

جدول ۱. امتیاز پارامترهای موجود در درخت تصمیم

Table 1. Score the parameters in the decision tree

پارامتر	امتیاز	پارامتر	امتیاز
سازه‌های سیستم نوع	۱۱۲۵	سقف سازه نوع	۷۳۰
زمین شتاب ماکزیمم	۱۵۶۰	خاک نوع	۲۳۵۴
فونداسیون نوع	۱۱۲۵	سازه عمر	۳۸۹۲
بنا زیر سطح	۲۵۶	ارتفاع در نظم وضعیت	۸۲۷
پلان در نظم وضعیت	۱۱۲۵	جانبی برابر سیستم	۳۸۴

سیستم سازه ای، وضعیت نظم در پلان سازه، وضعیت نظم در ارتفاع سازه را به عنوان مؤثرترین پارامترها در ارزیابی خطر پذیری انتخاب نمود. البته پارامترهای دیگری نظیر فاصله ساختگاه تا گسل های لرزه ای، فعالیت گسل ها و غیره وجود دارد که می توان به عنوان پارامترهای ورودی استفاده شوند ولی به دلیل نبود یا عدم دسترسی به اطلاعات مربوطه نمی توان از این پارامتر در آموزش سیستم استفاده نمود. همچنین پارامتر تعداد طبقات سازه نیز می تواند بحث برانگیز باشد ولی به دلیل مشابه بودن تعداد طبقات اکثر مدارس موجود، این نیز وارد محاسبات نشده است.

پس از مشخص شدن پارامترهای ورودی و خروجی نوبت به طراحی توابع عضویت برای هر یک از پارامترها می شود؛ این توابع درجه عضویت متغیرها را مشخص می کند و در دو نوع توابع پیوسته<sup>۵۱</sup> و گسسته<sup>۶۲</sup> می باشند. با توجه به وجود عدم قطعیت<sup>۶۳</sup> در پارامترهای در نظر گرفته شده برای طراحی سیستم مورد نظر به منظور تعیین سطح خطر سازه ها از توابع پیوسته استفاده شده است. توابع عضویت پیوسته عمدتاً بصورت توابع تحلیلی ریاضی و یا با شکل مشخص می گردند. همیشه در پارامترها خطاهایی وجود دارد که با در نظر گرفتن عدم قطعیت ها سیستم طراحی شده دقیق تر عمل می نماید. مجموعه فازی یک تابع مشخصه که برد آن از مجموعه  $\{0,1\}$  به بازه بسته  $[0,1]$  تبدیل شده است و بصورت  $\mu_A(X) \in [0,1]$  نمایش داده می شود و به این درجه عضویت گفته می شود [۱۳]. درجه عضویت درجه ای است که یک عنصر به مجموعه تعلق دارد. فرض می کنیم که  $X$  یک مجموعه غیر تهی باشد مجموعه فازی  $A$  در  $X$  توسط تابع عضویت مشخص می شود:

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

در نتیجه مجموعه فازی به شکل زیر نشان داده می شود:

$$A: \{(x, \mu_A(X)) / x \in X\} \quad (2)$$

$F(x)$  خانواده تمام زیر مجموعه های فازی که می توان روی مجموعه حقیقی  $X$  تعریف کرد می باشد. اگر مجموعه  $X = \{X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}\}$  یک مجموعه گسسته باشد و  $A$  یک مجموعه فازی در آن باشد و آن را بصورت زیر نمایش می دهیم [۱۳، 17 inpersian]:

$2^0$  باشد ردیف های فوقانی تا ریشه به ترتیب با امتیازات  $2^1, 2^2, 2^3$  و ارزش گذاری<sup>۱۱</sup> می شوند. براساس این پارامترهای  $F, E, D, C, B, A$  صاحب امتیازات ۱۶، ۱۱، ۱۰، ۷، ۱۵ و ۳ می باشد، برای طراحی درخت تصمیم از روش الگوریتم  $J48$  نرم افزار وکا<sup>۳۳</sup> استفاده شده است.

وکا یک نرم افزار داده کاوی متن باز همراه با الگوریتم ها و استانداردهای زیادی برای پردازش، کلاستر بندی، طبقه بندی و رگرسیون می باشد که برخورداری از این الگوریتم با استفاده از فایل داده ها امکان پذیر می باشد. این نرم افزار یک واسط همگون، برای بسیاری از الگوریتم های یادگیری متفاوت، فراهم کرده است که از طریق روش های پیش پردازش<sup>۳۳</sup>، پس پردازش و ارزیابی نتایج طرح های دیگری روی همه مجموعه های داده موجود، قابل اعمال است؛ نرم افزار وکا پیاده سازی الگوریتم های مختلف یادگیری را فراهم می کند و به آسانی می توان آنها را به مجموعه داده خود اعمال کرد. وظیفه الگوریتم  $J48$  تجزیه و تحلیل و طبقه بندی مجموعه داده های آموزشی و قوانین است.

بر اساس نتایج حاصل از نرم افزار وکا برای پارامترهای سیستم مورد نظر، درخت تصمیم<sup>۴۴</sup> طراحی شده دارای ۱۲ ردیف با امتیازات  $2^0$  تا  $2^{11}$  می باشد و پارامترها دارای امتیاز مطابق جدول ۱ می باشند. براساس جدول ۱ می توان از بین ۱۰ پارامتر مذکور ۶ پارامتر عمر سازه، نوع خاک، ماکزیمم شتاب زمین، نوع فونداسیون سازه، نوع

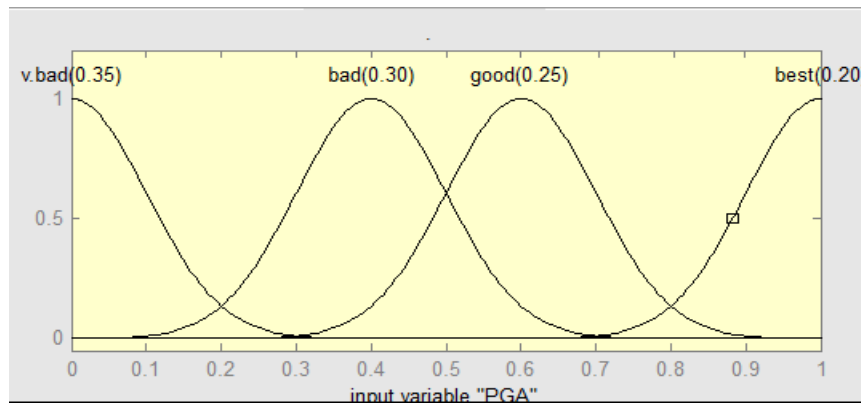
۱ این ارزش گذاری بسته به نظر اشخاص خبره، می تواند به مقادیر یا مدل های ریاضی متفاوتی، تغییر یابد.

2 Weka

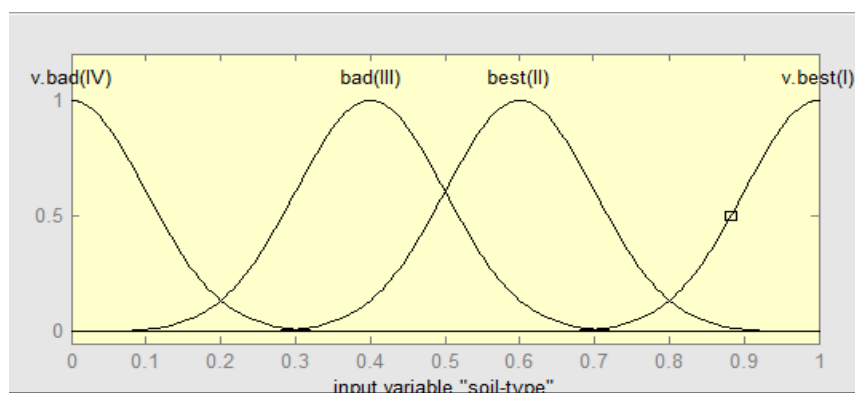
۳ پیش پردازش شامل همه تبدیلاتی است که بر روی داده های خام صورت می گیرد و آنها را به صورتی در می آورد که برای پردازش های بعدی نظیر استفاده در دسته بندی، ساده تر و مؤثرتر باشد.

4 Decision Tree

5 Continuouse  
6 Discrete  
7 Uncertainties



شکل ۲. توابع عضویت فازی PGA  
Fig. 2. PGA fuzzy membership functions



شکل ۳. توابع عضویت فازی نوع خاک  
Fig. 3. soil type of Fuzzy membership functions

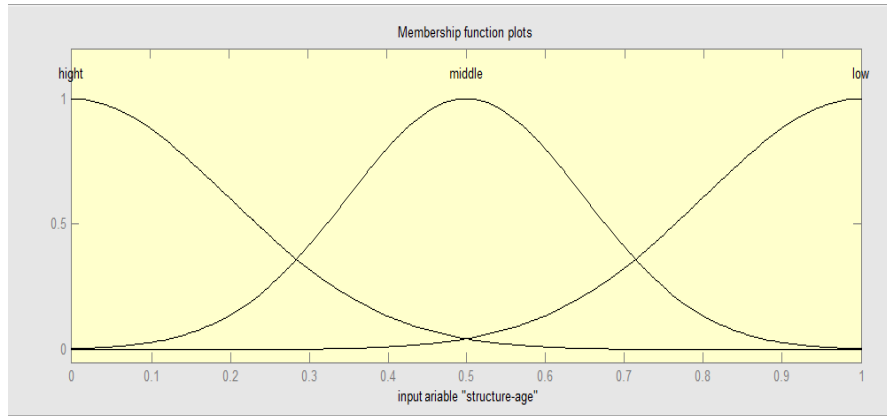
### ۳-۱- توابع عضویت ماکزیمم شتاب زمین (PGA):

شتاب افقی بیشینه (PGA)<sup>۱۴</sup> برای یک مؤلفه حرکت، بزرگترین مقدار قدر مطلق شتاب حاصله از آن مؤلفه شتاب نگاشت می باشد. از جمع برداری دو مؤلفه عمود بر هم، برآیند بیشینه PGA که جهت آن معمولاً بر جهت مؤلفه های اندازه گیری شده منطبق نیست بدست می آید. شتاب های افقی، بعلت رابطه آنها با نیروهای اینرسی برای تشریح حرکات زمین استفاده می شوند. بزرگترین نیروهای دینامیکی حاصل در سازه های خیلی صلب (پریود پایین)، رابطه نزدیکی با PGA دارند. بیشینه شتاب، کاربرد زیادی در مقیاس بندی طیف طرح دارد. همچنین PGA، با شدت زلزله رابطه مستقیم دارد و تأثیر مهمی در خرابی سازه ها دارد.

با توجه به استاندارد ۲۸۰۰ برای PGA از چهار مقدار 0.2g،

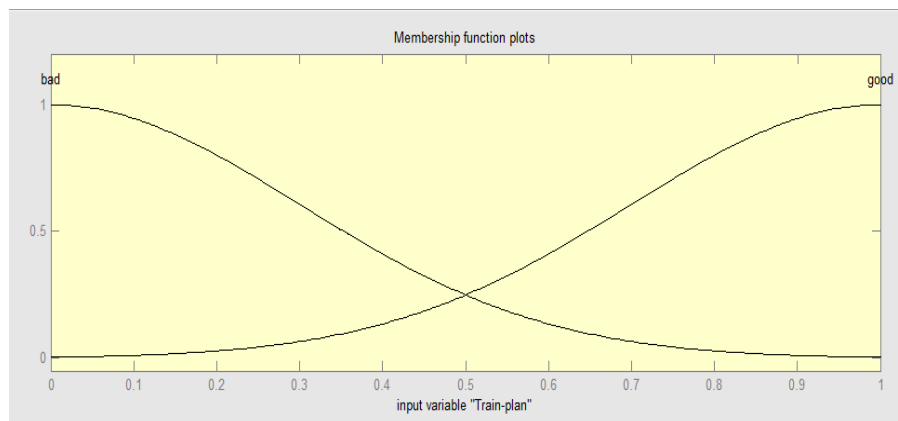
$$A = \frac{\mu_1}{x_1} + \dots + \frac{\mu_n}{x_n} \quad (3)$$

توابع گسسته تعدادی از مقادیر گسسته بین صفر و یک را تشکیل می دهد. مثلاً ۰، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۰/۹ و ۱ اما توابع پیوسته یک منحنی پیوسته از اعداد اعشاری بین صفر و یک را شامل می شود. توابع پیوسته توابعی نرم و منحنی شکل بوده که می توان تمام مقادیر و عدم قطعیت ها را شامل و در برگیرد دامنه این توابع به دلیل نرمی آنها غیر صفر می باشد. لذا به منظور افزایش دقت سیستم از این نوع توابع برای طراحی توابع عضویت استفاده شد. به منظور اعمال عدم قطعیت ها در یک مدل استفاده از توابع عضویت پیوسته توصیه شده است.



شکل ۴. توابع عضویت فازی عمر سازه

Fig. 4. Structural life of fuzzy membership functions



شکل ۵. توابع عضویت فازی منظمی در پلان

Fig. 5. Fuzzy membership order functions in the plan

زمین شامل دامنه، محتوای فرکانسی و مدت زمان اثر قابل ملاحظه ای می گذارند. مسأله پاسخ زمین به پاسخ توده خاک در برابر حرکت بستر سنگی زیر آن وابسته است. با وجود این حقیقت لایه خاک نقش بسیار مهمی در تعیین خصوصیات حرکت سطح زمین ایفا می کند و دلیل انتخاب این پارامتر برای آموزش سیستم است [۱]. توابع عضویت این پارامتر هم طبق مشخصات انواع خاک تعریف شده در استاندارد ۲۸۰۰ شامل ۴ نوع خاک I، II، III، IV بصورت منحنی و به ترتیب با درجه عضویت ۱، ۰/۶، ۰/۴ و ۰/۱ طراحی شده است. ممکن است خاک محل سازه دارای مشخصات متفاوتی با خاک های تعریف شده در استاندارد ۲۸۰۰ باشد و یا تلفیقی از دو نوع خاک باشد. لذا برای در نظر گرفتن این عدم قطعیت ها و خصوصیات، توابع عضویت برای هر نوع خاک را منحنی شکل در نظر گرفته؛ بطوری که با هم همپوشانی دارند. مثلا خاک نوع II ضمن داشتن ۱۰۰٪ مشخصات خود، ۵۰٪ مشخصات خاک های نوع I و III را دارا باشد و بطور قطع

۰.۲۵g، ۰.۳g و ۰.۳۵g برای طراحی توابع عضویت<sup>۱۵</sup> این پارامتر استفاده شد. توابع عضویت مربوط به این پارامتر بصورت منحنی شکل رسم می شود. درجه عضویت *PGA* برای چهار نوع ۰.۲g، ۰.۲۵g، ۰.۳g و ۰.۳۵g به ترتیب ۱، ۰/۶، ۰/۴ و ۰/۲ می باشد. هرکدام از موارد *PGA* در مقدار متناظر برابر واحد بوده و هر منحنی با مقدار مجاورش همپوشانی دارد. عدم قطعیت در *PGA* را می توان این گونه بیان کرد که احتمال دارد که *PGA* حاصل از تحلیل خطر برای هر مکان با *PGA* موجود در استاندارد متفاوت باشد. مثلا *PGA* شهرکرد در نقشه های پهنه بندی ۰.۳g لحاظ شده اما طی مطالعات تحلیل خطر، *PGA* منطقه جنوبی ۰.۲۹g و مرکز شهر ۰.۳g می باشد.

### ۳-۲- توابع عضویت نوع خاک محل

شرایط محلی ساختگاه بر کلیه خصوصیات مهم حرکت نیرومند

در پلان بصورت آری یا خیر، از دیدگاه افراد مختلف متفاوت است. بنابراین دخیل کردن بحث عدم قطعیت در این زمینه، ضروری به نظر می‌رسد. توابع عضویت این پارامتر از نوع سیگموئیدال می‌باشد با توجه به اینکه نظم در سازه‌های مختلف متفاوت بوده بری سازه با پلان منظم با در نظر گرفتن اثر پیچش کم درجه عضویت بین  $0.5-0$  و برای سازه‌های نامنظم با اثر پیچشی زیاد و شدید درجه عضویت  $1-0.5$  در نظر گرفته شد.

### ۳-۵- توابع عضویت مربوط نوع سیستم سازه و فنداسیون

براساس اطلاعات مربوط به سازه‌های منتخب برای مدل سازی، ۵ نوع سیستم سازه ای و ۶ نوع فنداسیون وجود دارد. سیستم ساختمانی و نوع فنداسیون از پارامترهای مؤثر در نحوه عملکرد ساختمان در برابر زلزله بوده که هر نوع از سیستم‌های ساختمانی به نحو خاصی در برابر زلزله عکس العمل نشان می‌دهند. به عنوان مثال سیستم قاب خمشی فولادی نسبت به سیستم قاب ساده به همراه مهاربند همگرا دارای رفتار و مشخصات متفاوتی به لحاظ سختی، تغییر شکل، انتقال نیرو، مقاومت و عملکرد می‌باشد. برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها ناشی از قضاوت‌های متفاوت افراد و کارشناسان در مورد هر یک از آنها از توابع گوسی مطابق شکل ۶ استفاده شده است. شش نوع سیستم سازه ای عبارتند از قاب خمشی بتنی به همراه دیوار برشی، قاب خمشی بتنی، قاب خمشی فولادی، قاب ساده فولادی به همراه مهاربند، ساختمان با مصالح بنایی به ترتیب با درجه عضویت های  $0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9$  و فنداسیون‌ها شامل پی منفرد بدون شناژ، پی منفرد همراه با شناژ و رابط، کلاف افقی زیر دیوار، پی نواری، پی مرکب و پی گسترده می‌باشند و نوع توابع عضویت  $0.1, 0.25, 0.35, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8$  و از نوع گوسی است (شکل ۷).

### ۳-۶- توابع عضویت خروجی

پارامتر خروجی یا همان خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان به سه دسته توصیف کیفی کم، متوسط و زیاد تقسیم شده است؛ توابع عضویت این پارامتر به دلیل دقت و همپوشانی لازم بصورت منحنی گوسی می‌باشد، چرا که ممکن است سازه ای وجود داشته باشد که به لحاظ مطالعات و عملیات بهسازی بین دو دسته متوسط و زیاد

نمی‌توان بیان کرد خاک یک ساختگاه دقیقاً از نوع I است و این خود یک ابهام در نوع خاک می‌باشد؛ همچنین مبهم بودن نوع خاک باعث ایجاد عدم قطعیت‌های بزرگتری می‌شود. مدل طرح شده برای توابع عضویت نوع خاک به گونه ای است که در طول از مبدأ متناظر خود مقداری برابر واحد، ولی در مجاورت خود مقدارش صفر نمی‌شود.

### ۳-۳- توابع عضویت عمر سازه

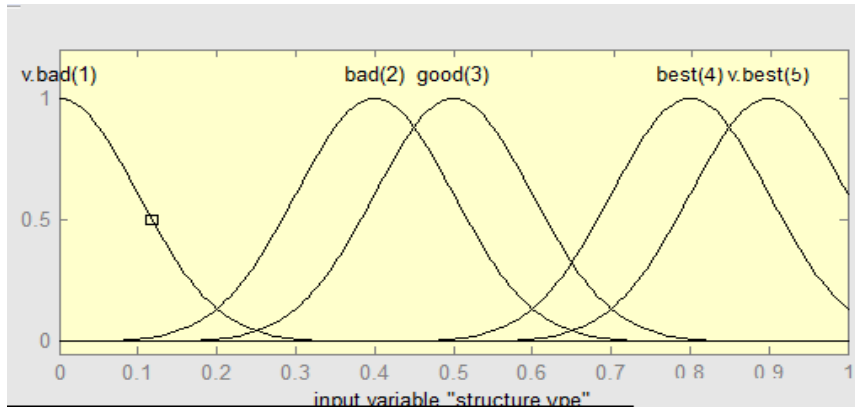
عمر سازه تأثیر بسزایی بر پذیرش خطر لرزه‌ای آن دارد. به عنوان مثال سازه‌های بتنی برای عمر معین طراحی می‌شوند گرچه این عمر ۵۰ تا ۶۰ سال می‌باشد، ولی بتن با گذشت زمان دچار افت و خزش<sup>۱۱</sup> شده که نهایتاً باعث تأثیر منفی در عملکرد سازه هنگام وقوع زلزله می‌شود. در سازه‌های فولادی به نحو دیگری تأثیر داشته است، بطوری‌که که با گذشت زمان امکان خوردگی فولاد بوسیله سولفات‌ها و کربوهیدرات‌ها وجود دارد. از سوی دیگر با افزایش عمر سازه عوامل مخرب و مؤثر بر سازه (نظیر خستگی، خوردگی و فرسودگی مصالح در اثر عوامل گوناگون، چگونگی رفتار سازه تحت بارهای سیکلی) هم افزایش پیدا می‌کند.

در توابع عضویت عمر سازه از سه توصیف کیفی کم با درجه عضویت ۱، متوسط با درجه عضویت  $0.5$  و زیاد با درجه عضویت  $0.1$  استفاده شد. عدم قطعیت موجود در این پارامتر، بسته به قضاوت‌های افراد برای یک سازه با سن مشخص که در چه رده ایی از توصیفات کیفی قرار می‌گیرد، می‌توان بیان شود. مثلاً یک سازه با سن ۱۲ سال در چه رده ایی از توصیفات کیفی کم، متوسط و زیاد قرار می‌گیرد؟ طبق نظر کارشناسان و افراد خبره طول عمر سازه در ایران ۵۰ سال است و با توجه به توصیفات کیفی و کمی، سازه با این سن در رده متوسط قرار گرفت.

### ۳-۴- توابع عضویت مربوط به وضعیت نظم در پلان سازه

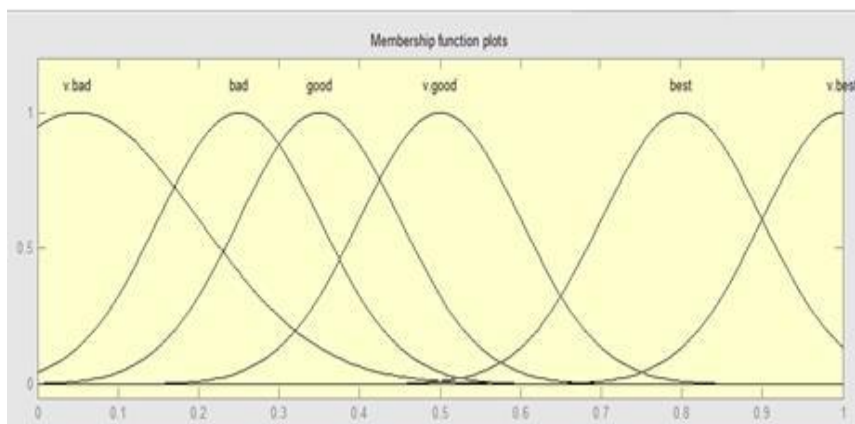
بی‌نظمی در پلان باعث ایجاد پدیده‌های خاص مانند پیچش در ساختمان‌ها می‌شود که نسبت به ساختمان‌های منظم، عملکرد ویژه ای دارند. میزان نظم در پلان سازه با توجه به قضاوت‌های شخصی متفاوت می‌باشند مثلاً دو ساختمان نامنظم در پلان می‌توانند نامنظمی‌های متفاوتی داشته باشند، بطوری‌که گزارش منظمی

1 Creep



شکل ۶. توابع عضویت فازی سیستم سازه ایی

Fig. 6. Structural system fuzzy membership functions



شکل ۷. توابع عضویت فازی انواع فونداسیون سازه

Fig. 7. Fuzzy membership functions of various types of structural foundations

- 3-If (PGA is 3) and (Age is 2) and (Order plan is 2) then (Hazard is 2).
- 4-If (PGA is 2) and (Soil type is 3) and (PGA is 3) then (Hazard is 2)
- 5-If (PGA is 1) and (Soil type is 4) and (Age is 3) and (Order plan is 2) then (Hazard is 3).
- 6- If (PGA is 2) and (Age is 3) and (Order plan is 2) then (Hazard is 3).

این قواعد با توجه به مشخصات و شکل توابع عضویت پارامترها ساخته و تکمیل می شوند. در سیستم<sup>۵۵</sup> Anfis در مرحله آموزش با اصلاح پارامترهای درجه عضویت بر اساس خطای قابل قبول، مقادیر ورودی به مقادیر واقعی نزدیک می شوند. در این سیستم از الگوریتم یادگیری شبکه عصبی و منطق فازی به منظور طراحی نگاشت غیر خطی بین فضای ورودی و خروجی استفاده می شود و قابلیت خوبی

قرار گیرد.

مرحله بعد از طراحی و تعریف توابع عضویت، طراحی یک سیستم استنتاج گر است. سیستم استنتاج گر باتوجه به پارامتر و نتایج حاصل از درخت تصمیم و روابط منطقی علمی، قواعد اگر- آنگاه<sup>۱۱</sup> را نوشته که این قواعد در انواع کلاس ممدانی<sup>۲۲</sup> و تاکاگی- سوگنو<sup>۳۳</sup> تنظیم می شوند [۷]. در این سیستم از کلاس سوگنو استفاده شد و قواعد سوگنو با استفاده از نرم افزار متلب<sup>۴۴</sup> نوشته شد که در زیر تعدادی از قواعد آورده شده است.

- 1-If (PGA is 3) and (Soil type is1) and (Age is 1) then (Hazard is 1).
- 2-If (PGA is 3) and (Soil type is 2) and (Age is 2) and (Order plan is 1) then (Hazard is 1)

5 Adaptive Network- based Fuzzy inference System ( : نوعی شبکه عصبی مصنوعی است که براساس سیستم فازی تاکاگی- سوگنو می باشد.

1 If-then rulse  
2 Mamdani  
3 Takagi- Sugeno  
4 Matlab



می باشد و این دلایل انتخاب پارامتر فنداسیون برای اعتبار سنجی است [7].

شایان ذکر است که این حالات صرفاً برای بررسی و تعیین دقت مدل در صورت بروز نقصان و کمبود در داده های ورودی مطرح شده است. در اعتبار سنجی دقت مدل بر اساس اطلاعات ۱۰۰ مدرسه، از همه ۶ پارامتر ورودی استفاده می شود.

این به منظور بررسی دقت سیستم در کاهش و افزایش داده ها می باشد. برای بررسی سیستم طراحی شده روی نتایج، دو عملیات صورت می گیرد:

۱. بررسی تعداد نتایج درست طبقه بندی شده؛ این کار از طریق مقایسه سطح خطر پیش بینی شده به وسیله سیستم نروفازی<sup>۱۱</sup>، و سطح خطر واقعی (که در داده ها وجود داشت) بررسی می شود.
۲. محاسبه میزان پراکندگی خروجی های مدل با نتایج موجود در داده ها که از طریق مجموع جذر میانگین مربعات خطا با استفاده از رابطه (۴) انجام می گیرد [۸]:

$$(4) \quad \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{سطح خطر برآورد شده با سیستم} - \text{سطح خطر دیتاها})^2}{n-1}}$$

نتایج بدست آمده از انجام دو کنترل فوق روی دو مدل با انواع پارامترها بصورت زیر است.

بدیهی است پاسخ سیستم روی داده های تصادفی دقتی کمتر ولی منطقی تر نسبت به داده هایی دارد که سیستم روی آنها آموزش انجام داده است. همان طور که دیده می شود، در نهایت مدل طرح شده به نتیجه ۶۹ درصد صحت کلاسه بندی دیتاها و مجموع جذر میانگین مربعات خطاها به مقدار ۰/۰۲۸۱ در بررسی مجموعه ۳۰۰ تایی رسیده است. همچنین، در بررسی نمونه ی ۱۰۰ تایی ۷۴ درصد داده ها درست کلاسه بندی شده اند و جذر میانگین مربعات خطاها حدود ۰/۱۱۶۵ شده است.

با توجه به جدول ۲ مشخص می شود که مدل طراحی شده برای ۵ و ۶ پارامتر با افزایش تعداد پارامترهای ورودی سیستم تعداد داده های درست کلاسه بندی شده بیشتر و مجموع جذر میانگین مربعات خطاها کمتر شده است.

نتیجه مقایسه خروجی های دسته خطر بر اساس مدل پیشنهادی

در آموزش، ساخت و طبقه بندی دارد.

Anfis اجازه استخراج قوانین فازی از اطلاعات عددی یا دانش متخصص را می دهد و بطور تطبیقی یک قاعده بنیاد می سازد. همچنین می تواند تبدیل پیچیده هوش بشری به سیستم های فازی را تنظیم نماید. این سیستم مشکل اصلی، یعنی بدست آوردن قواعد اگر- آنگاه فازی را با استفاده مؤثر از قابلیت یادگیری ANN به منظور تولید خودکار قواعد و بهینه سازی پارامترها حل کرده است و برای فرایند آموزش ترکیبی از روش های آموزش پس انتشار خطای کمینه مربعات بهره گیری می کند [۳].

#### ۴- بررسی دقت مدل طراحی شده

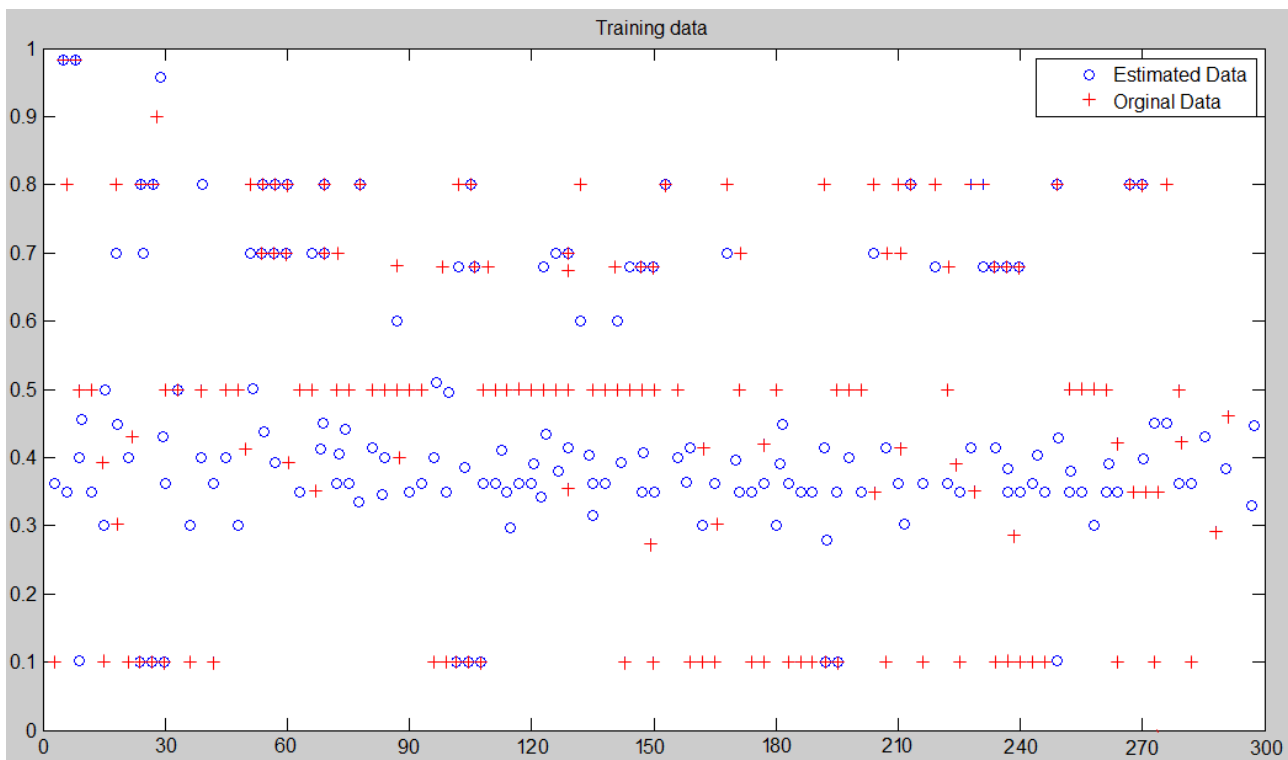
داده های مربوط به نزدیک ۴۰۰ مدرسه در سراسر استان چهارمحال و بختیاری در دسترس می باشد که از اطلاعات مربوط به ۳۰۰ مدرسه برای آموزش سیستم و اطلاعات مربوط به ۱۰۰ مدرسه بصورت تصادفی برای تست نهایی تحت آموزش سیستم استنتاج گر انتخاب شده است. در این حالت میزان دقت سیستم طراحی شده یک بار برای داده های آموزشی (۳۰۰ عدد) و یکبار برای داده های تست (۱۰۰ عدد) ارزیابی می گردد. در اعتبارسنجی سیستم طراحی شده دو حالت زیر را در نظر می گیریم.

۱. ۵ ورودی باتوابع عضویت پیوسته
۲. ۵ ورودی با توابع عضویت پیوسته به همراه پارامتر نوع فنداسیون پارامتر نوع فنداسیون در مدل دوم برای اعتبارسنجی انتخاب شد. در جدول ۱ امتیاز پارامترهای نظم در پلان و نوع فنداسیون یکسان می باشند. فنداسیون خود جزئی از سازه است و با سازه دارای پیوستگی کامل و مرز مشترک خاک و سازه است. از سوی دیگر در برآورد پاسخ لرزه ای سیستم خاک و سازه، دو عامل تحریک ورودی و مشخصات دینامیکی سیستم دارای نقش تعیین کننده ای هستند. در این میان یکی از پدیده های مهم و اثرگذار بر تحریک ورودی، اندرکنش سینماتیک خاک- سازه است. این اثر، محتوای فرکانسی و نوع مؤلفه های ورودی را تحت تأثیر قرار می دهد که به دنبال آن باعث تغییر در پی و سازه خواهد شد. به عبارتی سطح تماس خاک و سازه همانند یک فیلتر در شتاب های افقی است که سازه ممکن است دیگر شتاب زمین را تجربه نکند. در نتیجه تأثیر و عملکرد پارامتر فنداسیون در سازه در زمان زلزله بیشتر از پارامتر نظم در پلان سازه

جدول ۲. نتایج بررسی دقت مدل طراحی شده

Table 2. Results of the accuracy of the designed model

نوع داده‌ها	تعداد ورودی	نتایج حاصل داده‌های درست کلاسه‌بندی شده	جذر مجموع مربعات میانگین خطا
۳۰۰ داده	۵	۰/۵۰	۰/۰۳۸۶
	۶	۰/۶۹	۰/۰۲۸۱
۱۰۰ داده	۵	۰/۴۵	۰/۰۵۹۶
	۶	۰/۷۴	۰/۱۱۶۵



شکل ۸. مدل داده‌های اصلی بعد از آموزش برای ۵ داده

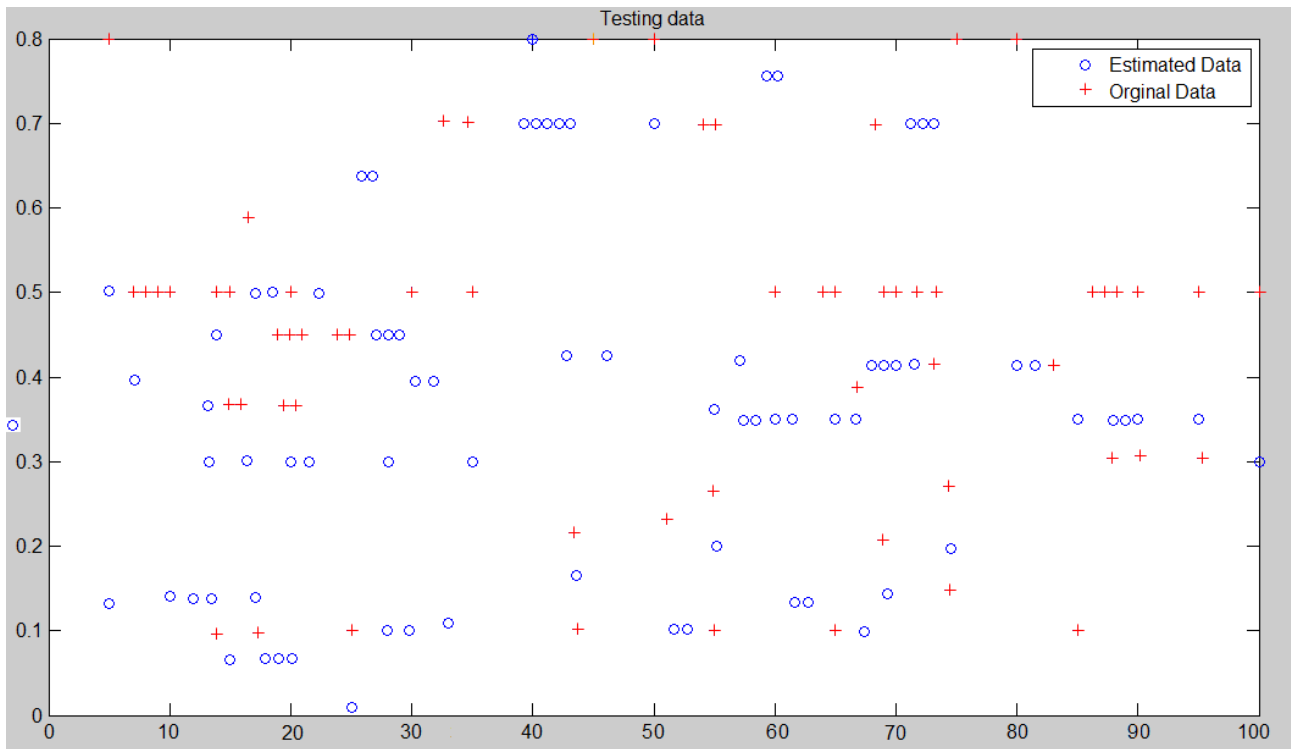
Fig. 8. Main data model after training for 5 data

می باشد.

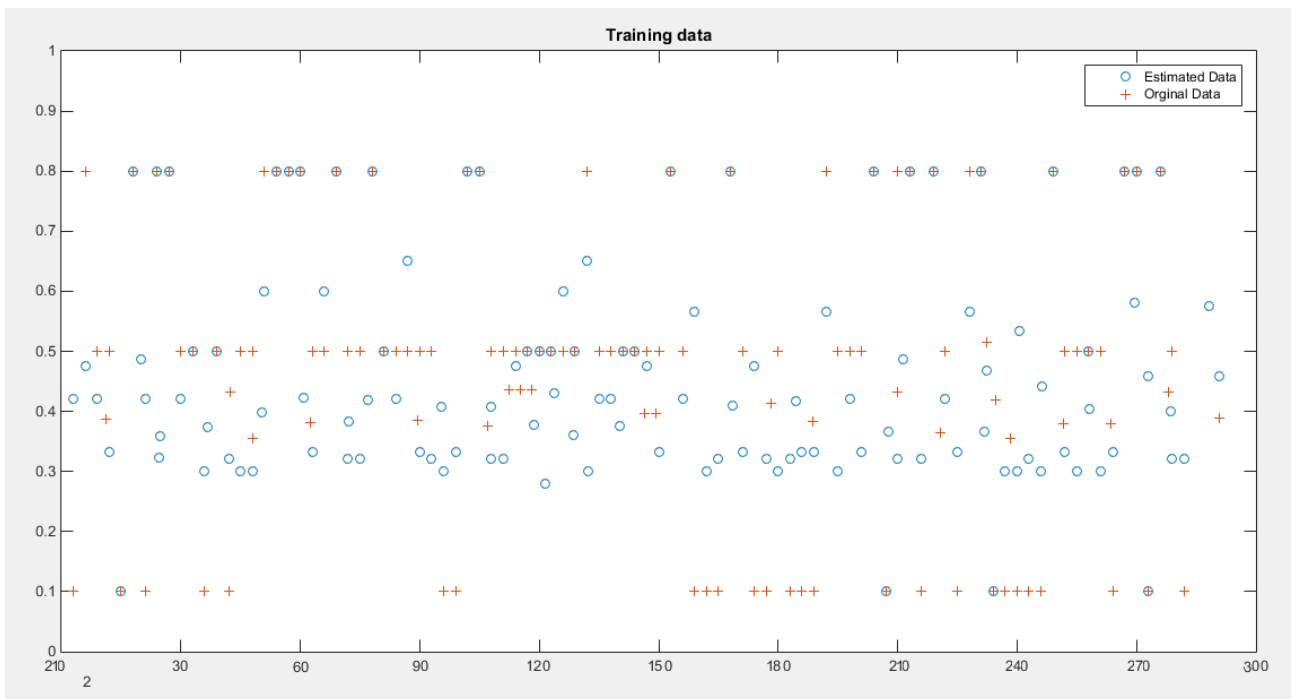
#### ۵- مطالعه موردی شهر شهرکرد

به منظور تسهیل و تسریع در روند ارزیابی سازه‌ها و تعیین سطح پذیرش خطر لرزه‌ای سازه‌ها برنامه‌ای به کمک نرم‌افزار متلب (شاخه anfis) مطابق شکل ۱۲ تحت عنوان ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای تهیه شد. بطوری که با دریافت اطلاعاتی از سازه‌ها به عنوان ورودی و با تجزیه و تحلیل این اطلاعات و ساخت قواعد اگر-آنگاه بر

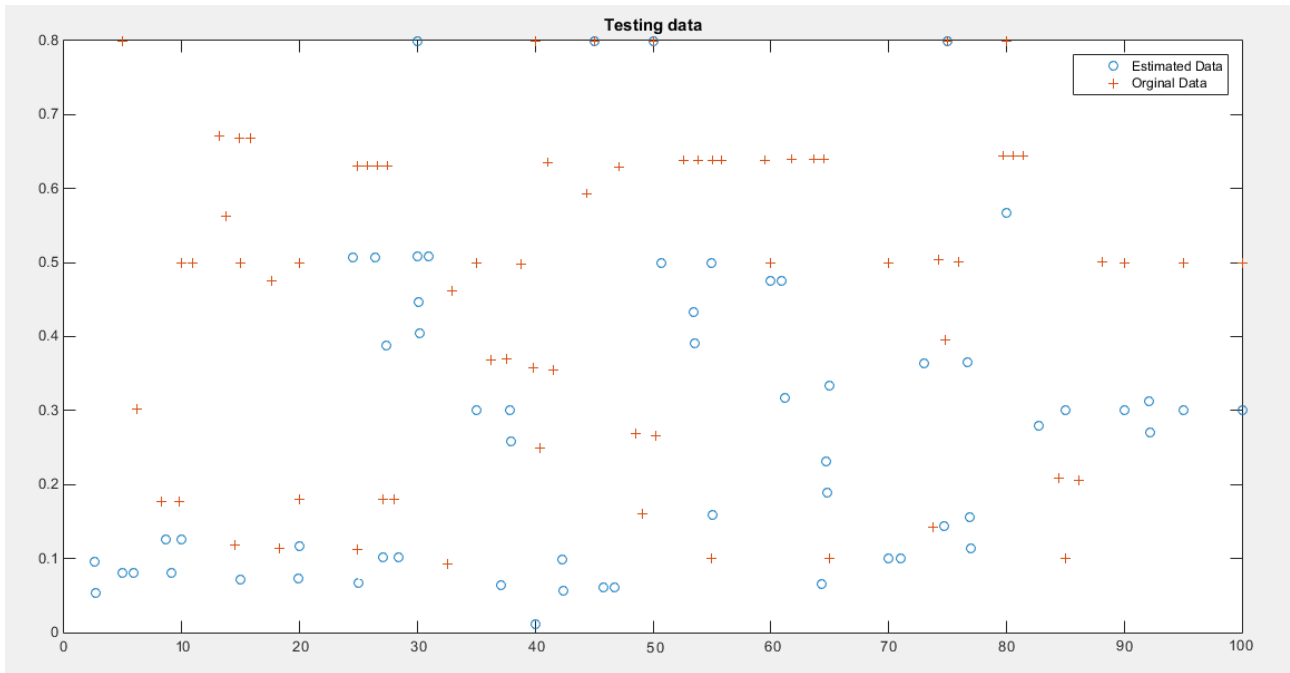
و دسته خطر اصلی موجود در داد‌ها برای اطلاعات ۳۰۰ مدرسه ارائه شده است. در شکل‌های ۸ تا ۱۱ محور افقی بیانگر شماره مدرسه و محور قائم بیانگر سطح خطر تعیین شده به کمک روند پیشنهادی و سطح خطر تعیین شده اصلی موجود در داده‌هاست. لذا به منظور از بین بردن خطای خروجی‌های مدل طرح شده اختلاف کوچکتر برابر ۰/۱ و با سطح خطر اصلی داده‌ها برابر می‌شود بنابراین باتوجه به جدول و شکل‌ها واضح است که روش پیشنهادی از دقت بالایی در تعیین سریع سطح خطر سازه‌ها با کمک ۶ ورودی اولیه برخوردار



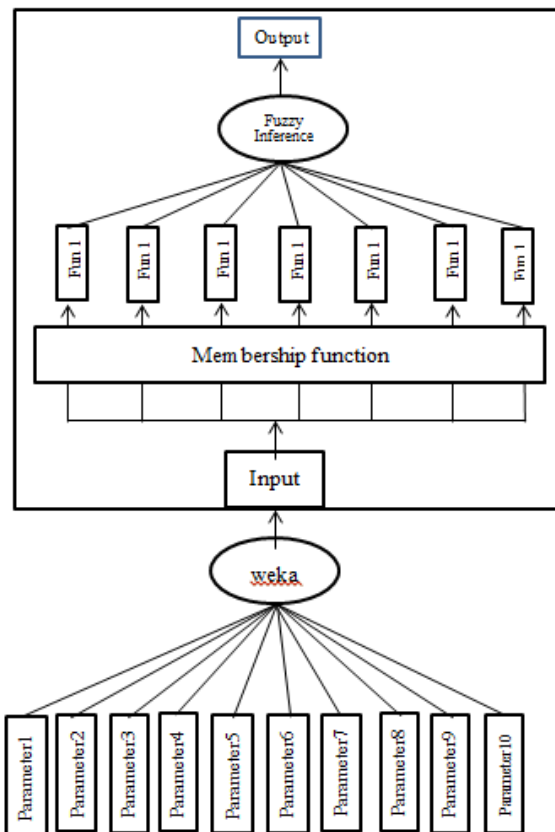
شکل ۹. مدل داده های تست بعد از آموزش برای ۵ داده  
Fig. 9. Test data model after training for 5 data



شکل ۱۰. مدل داده های اصلی بعد از آموزش برای ۶ داده  
Fig. 10. Main data model after training for 6 data

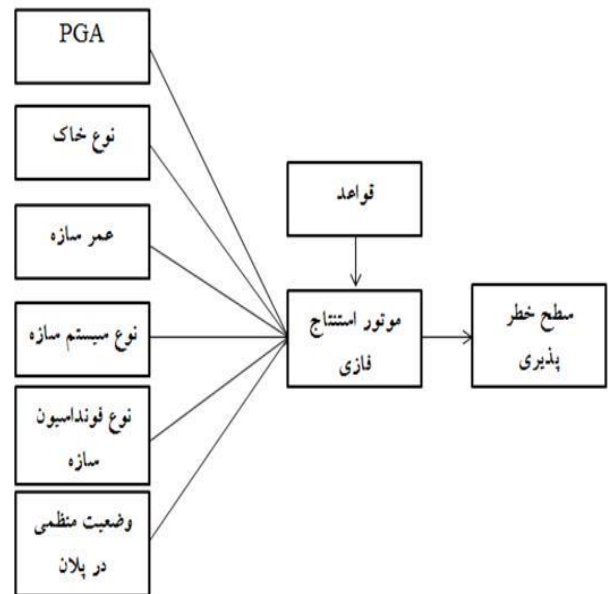


شکل ۱۱. مدل داده های تست بعد از آموزش برای ۶ داده  
 Fig. 11. Test data model after training for 6 data



شکل ۱۳. روند انجام طراحی سیستم نروفازی  
 Fig. 13. The process of designing a Neuro-Fuzzy system

اساس اطلاعات توسط سیستم استنتاج گر، خروجی را در اختیار کاربر قرار می دهد. دقت این مدل در بخش ۴ بررسی شد. لذا برای بررسی کارایی این سیستم در مطالعات اولیه بهسازی، به مطالعه ۱۰۰ مدرسه در شهرکرد و حومه پرداخته شد. اطلاعات مربوط به ۱۰۰ مدرسه

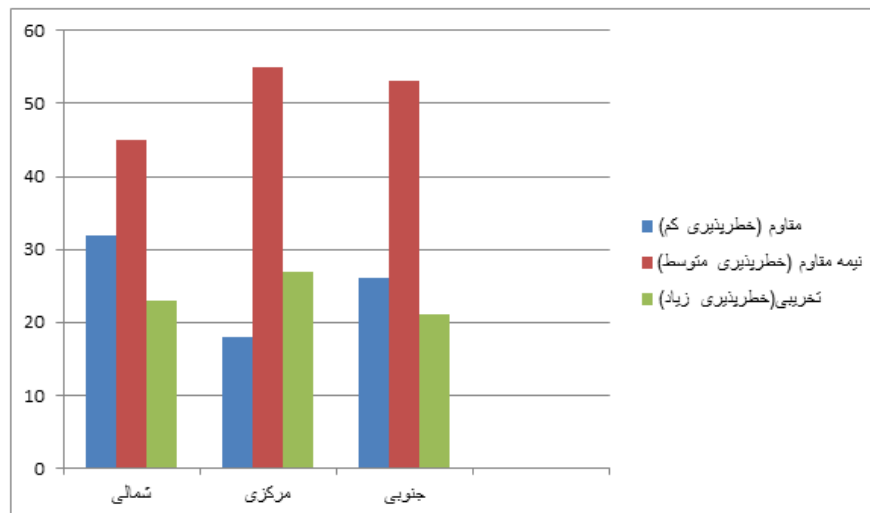


شکل ۱۲. معماری مدل پیشنهادی [۷]  
 Fig. 12. Proposed model architecture

جدول ۳. منطقه بندی و درصد بندی مدارس در سطح شهر

Table 3. Zoning and percentage of schools in the city

پارامتر	امتیاز	پارامتر	امتیاز
سازه‌ای سیستم نوع	۱۱۲۵	سقف سازه نوع	۷۳۰
زمین شتاب ماکزیمم	۱۵۶۰	خاک نوع	۲۳۵۴
فونداسیون نوع	۱۱۲۵	سازه عمر	۳۸۹۲
بنا زیر سطح	۲۵۶	ارتفاع در نظم وضعیت	۸۲۷
پلان در نظم وضعیت	۱۱۲۵	جانبی باربر سیستم	۳۸۴



شکل ۱۴. طبقه‌بندی مدارس در دسته های خطرپذیری برای سه منطقه

Fig. 14. Classification of schools into risk categories for three areas

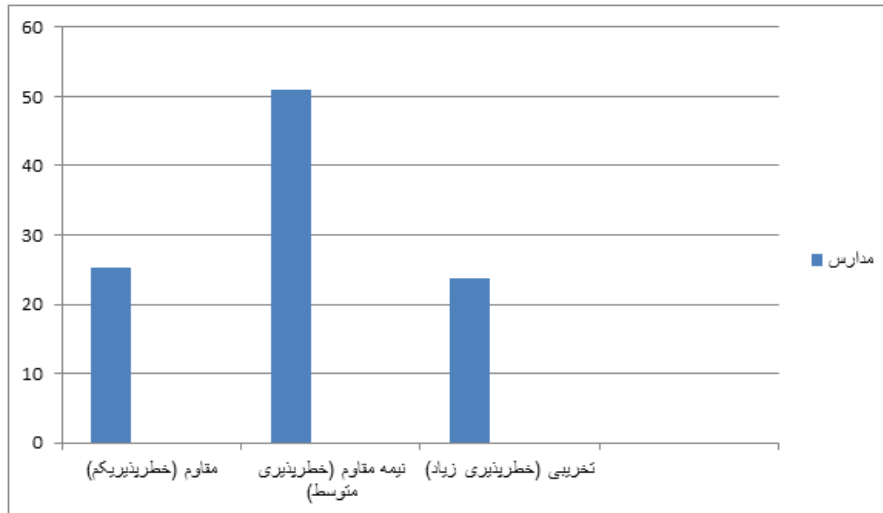
که براساس ارزیابی کیفی بهسازی توسط سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس انجام شده است در دسترس می باشد؛ تعداد ۱۰ مدرسه از بین مدارس انتخاب شد. از این رو ضمن تعیین سطح خطر تمامی مدارس به کمک روش پیشنهادی به بررسی و مقایسه نتایج حاصل از سیستم طراحی شده و اطلاعات حاصل از مطالعات و ارزیابی کیفی مدارس پرداخته شد.

اطلاعات مربوط به ۱۰۰ مدرسه به سه قسمت شمالی ۳۴ عدد، مرکزی ۳۳ عدد و جنوبی ۳۳ عدد تقسیم بندی شد. همان طور که در جدول های ۲ و ۳ و شکل های ۸ تا ۱۱ مشاهده می شود میزان کارایی روش پیشنهادی برای تعیین سطح خطر لرزه‌ای با مقایسه نتایج موجود بررسی می شود. البته اختلافاتی هم ممکن است بین نتایج دو روش دیده شود؛ مثلاً سازه ای براساس روند پیشنهادی در روش پیشنهادی کیفیت بهتری را نشان می دهد. در حالی که به لحاظ ارزیابی کیفی دارای سطح خطر زیاد می باشد که این اختلاف را می توان با عدم قطعیت توجیه نمود.

در روش پیشنهادی همانند شکل ۱۲ به شش پارامتر اشاره شده؛ نرم افزار طراحی شده این شش پارامتر را به عنوان ورودی دریافت و سطح خطر را به عنوان خروجی ارائه می دهد. براساس سطح خطر بدست آمده، می توان پیرامون انجام سایر مراحل بهسازی لرزه‌ای، اظهار نظر کرد. پارامترهای مذکور برای ۱۰۰ مدرسه استخراج و به نرم افزار داده شده و سطح خطر هر مدرسه تعیین می شود. نتایج حاصل از این مطالعه در جدول ۳ و شکل ۱۴ نشان داده شده است. آن دسته از مدارسی که در گروه خطرپذیری متوسط قرار گرفته اند، برای ادامه مطالعات به مرحله کیفی می روند ادامه روند مطالعات بهسازی

که براساس ارزیابی کیفی بهسازی توسط سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس انجام شده است در دسترس می باشد؛ تعداد ۱۰ مدرسه از بین مدارس انتخاب شد. از این رو ضمن تعیین سطح خطر تمامی مدارس به کمک روش پیشنهادی به بررسی و مقایسه نتایج حاصل از سیستم طراحی شده و اطلاعات حاصل از مطالعات و ارزیابی کیفی مدارس پرداخته شد.

اطلاعات مربوط به ۱۰۰ مدرسه به سه قسمت شمالی ۳۴ عدد، مرکزی ۳۳ عدد و جنوبی ۳۳ عدد تقسیم بندی شد. همان طور که در جدول های ۲ و ۳ و شکل های ۸ تا ۱۱ مشاهده می شود میزان کارایی روش پیشنهادی برای تعیین سطح خطر لرزه‌ای با مقایسه نتایج موجود بررسی می شود. البته اختلافاتی هم ممکن است بین نتایج دو روش دیده شود؛ مثلاً سازه ای براساس روند پیشنهادی در روش پیشنهادی کیفیت بهتری را نشان می دهد. در حالی که به لحاظ ارزیابی کیفی دارای سطح خطر زیاد می باشد که این اختلاف را می توان با عدم قطعیت توجیه نمود.



شکل ۱۵. طبقه‌بندی مدارس در دسته‌های رفتاری مقاومت برای سه منطقه خطر سه گانه

Fig. 15. Orbital classification in the behavioral classification of resistance for three triple danger zones

جدول ۴. مقایسه نتایج تعیین سطح خطر موجود و مدل طراحی نروفازی برای مدارس انتخابی

Table 4. Comparison of the results of determining the existing risk level and neo-fuzzy design model for selected schools

ردیف	نوع کاربری	تعداد طبقات	زیربنا ( $m^2$ )	عمر سازه	نوع سازه	نوع فنداسیون	منظمی در پلان	سطح خطر فازی	سطح خطر اصلی دیتاها
۱	هنرستان کاردانش	۱	۶۲۱۳	۹	مهاربندی	منفرد	منظم	۰/۹	مقاوم (خطرپذیری کم)
۲	دبیرستان	۲	۱۶۶۲/۶	۲۳	قاب خمشی	شناژ بتنی	منظم	۰/۴۱	نیمه مقاوم (خطرپذیری متوسط)
۳	هنرستان حرفه‌ای	۳	۱۵۵۷.۳۶	۲۹	مهاربندی	منفرد	منظم	۰/۸۲	نیمه مقاوم (خطرپذیری متوسط)
۴	دبستان	۱	۱۰۶.۴۲	۳۵	بنایی	شناژ بتنی	منظم	۰/۳	تخریبی (خطرپذیری زیاد)
۵	دبستان	۱	۱۱۱.۳۳	۲۶	بنایی	شناژ بتنی	منظم	۰/۱۸	تخریبی (خطرپذیری زیاد)
۶	دبیرستان	۲	۳۶۵۲.۷۵	۹	دیوار برشی	نواری	منظم	۰/۸۹	مقاوم (خطرپذیری کم)
۷	راهنمائی	۳	۷۲۴۷.۶۲	۱۲	دیوار برشی	نواری	منظم	۰/۸	مقاوم (خطرپذیری کم)
۸	راهنمائی	۱	۴۵۷۳.۵۴	۱۰	مهاربند	منفرد	نامنظم	۰/۸۲	مقاوم (خطرپذیری کم)
۹	فرزانگان	۱	۲۱۱۹.۴۸	۱۰	مهاربند	منفرد	منظم	۰/۸۸	مقاوم (خطرپذیری کم)
۱۰	دبیرستان	۳	۴۹۰۴.۲۱	۱۵	بنایی	شناژ بتنی	منظم	۰/۸۱	مقاوم (خطرپذیری کم)

۱. روش پیشنهادی قابلیت در نظر گرفتن عدم قطعیت ها را در اطلاعات دارد. این عدم قطعیت ها باعث تأثیر در خروجی ها و ایجاد نتایج نادرست را داشته است. لذا تهیه و طراحی مدلی که بتوان این عدم قطعیت ها را در نظر گیرد و برطرف سازد لازم می باشد.

۲. سیستم طراحی شده دارای سرعت و سهولت مناسب نسبت به مابقی روش ها می باشد. بیان و توصیف کیفی اطلاعات تعریف شده برای سیستم نظیر سن سازه، وضعیت ظاهری سازه، نوع خاک و غیره خود باعث سادگی فرآیند ارزیابی سازه ها و همچنین کاهش خطا در داده های کمی می شود.

۳. در روش پیشنهادی، از سیستم استنتاج گر فازی استفاده شده است، این سیستم جزء روش های بسیار قوی در حل مناسب مسائل در یک سیستم محاسباتی بوده است و قابلیت رقابت با سایر سیستم ها نظیر شبکه عصبی مصنوعی، سیستم فازی و غیره را دارد. از جمله بارزترین قابلیت این سیستم تشکیل قواعد اگر-آنگاه فازی در مقایسه با سایر سیستم ها و روش ها می باشد.

۴. مدل سازی نسبتاً راحت، عدم وجود محاسبات پیچیده در روش پیشنهادی یکی دیگر از دلایل افزایش سرعت نسبت به سایر روش های کلاسیک می باشد. یکی از این روش های کلاسیک تحلیل ریسک احتمالاتی بوده که وقت گیر دارای حجم عملیاتی زیاد است.

۵. می توان با استفاده از نتایج بدست آمده از سیستم نروفازی و با توجه به اطلاعات وارده نسبت به لرزه خیزی منطقه بصورت کیفی اظهار نظر نمود. در استاندارد ۲۸۰۰ زلزله، شهرکرد در منطقه با لرزه خیزی زیاد قرار دارد و براساس مطالعات پهنه بندی لرزه ای انجام شده در سه قسمت شمالی، مرکزی و جنوبی به ترتیب دارای  $0.29g$ ،  $0.24g$  و  $0.30g$  می باشد. ولی با توجه به نتایج حاصل از سیستم نروفازی، مقادیر جدول ۳، PGA منطقه و اینکه احتمال تخریب در سازه های مقاوم بصورت جزئی بدلیل وجود عدم قطعیت ها امکان دارد منطقه شمالی، مرکزی و جنوبی به ترتیب دارای خطر پذیری بسیار زیاد، زیاد و زیاد می باشند.

موارد ذکر شده در بالا ناشی از استفاده از سیستم نروفازی است و باعث می شود تا تحلیل ریسک سازه و تصمیم گیری درباره بهسازی سازه ها راحت تر و سریع تر انجام گیرد و این خود نشان دهنده کاربرد مناسب سیستم پیشنهاد شده می باشد.

مدارس دیگر با کمک نتایج خروجی نرم افزار و تصمیم کارشناسان انجام می پذیرد.

سازه های مقاوم: سازه در طراحی و اجرا با استانداردها اختلاف زیادی نداشته باشد و دارای پذیرش خطر لرزه ای کم بوده است و به لحاظ میزان پذیرش خطر بررسی باید متناسب با سطح عملکرد باشد. سازه های نیمه مقاوم: اگر سازه با استانداردهای موجود فاصله و اختلاف داشته باشد و بهسازی آن ممکن و اقتصادی نباشد باید مطالعات بهسازی آن ادامه یابد.

سازه های تخریبی: مطالعات بهسازی به لحاظ اقتصادی به صرفه نبوده است و از روند مطالعات خارج می شود و باید تخریب یا تغییر کاربری صورت گیرد [۲].

در ۱۰ مورد، نتایج مربوط به سطح خطر براساس ارزیابی کیفی سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور موجود است. میزان کارایی روش پیشنهادی را با تعیین سطح خطر این مدارس و مقایسه آنها با نتایج موجود بررسی می شود. این ۱۰ مدرسه در مناطق مرکزی شهرکرد بوده و از این رو حداکثر شتاب محل  $0.3g$  و خاک نوع II در نظر گرفته می شود. جدول ۴ بیانگر سایر اطلاعات ورودی به نرم افزار و همچنین نتایج بدست آمده است.

نتایج جدول ۴ انطباق بسیار مناسب نتایج روش پیشنهادی با نتایج موجود را نشان می دهد. در سازه شماره ۳ در جدول، اختلافی بین نتایج وجود دارد؛ بطوری که سازه فوق براساس روش پیشنهادی در سطح خطر کم قرار گرفته؛ در صورتی که براساس ارزیابی کیفی دارای سطح خطر متوسط می باشد. علت این نوع اختلاف را می توان با کمک بحث عدم قطعیت در روند پیشنهادی توجیه نمود. نتایج این جدول بیانگر کارایی مناسب روش پیشنهادی در تعیین سطح خطر سازه و ارزیابی سریع آن می باشد.

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله سیستمی جهت تحلیل ریسک و ارزیابی سازه ها به نام سیستم نروفازی طراحی و ارائه شد که با مدل ارزیابی کیفی لرزه ای سازه ها مقایسه شده است. دقت مدل طراحی شده از طریق چند روش مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت که بیان کننده دقت بالا و کارایی مناسب سیستم طراحی شده است. از مهمترین مزایای این روش پیشنهادی به شرح زیر می باشد:

October 2001

- [11] Wang, Lee, translated by Mohammad Tashneh Lab, Nima Saffarpour, Dariush Afyoni, "Fuzzy Systems and Fuzzy Control"
- [12] Azar, Adel and Hojjat Faraji (2007), Fuzzy Management Science, First Edition, Publications Iran Center for Management and Productivity Studies, affiliated to Tarbiat Modares University
- [13] Goodarzi, Mohammad Reza, Kangavari, Mohammad Reza, (2004) Learning the decision tree [۱۴] منهایج، محمد باقر، «محاسبات فازی (جلد سوم): هوش محاسباتی» تهران انتشارات دانش نگار، ۱۳۸۸.
- [15] WWW.iiees.ac.ir
- [16] J. Yuan, "Dealing with stochastic dependence in the modeling of train delays and delay propagation", International conference on transportation engineering, 2007.
- [17] K. Briggs, C. Beck, "Modeling train delays with q-exponential functions", *Statistical Mechanics and its Applications*, May 2007, pp. 498-504.
- [18] V.T. Tran, B.S. Yang, M.S. Oh, and A.C. Chiow Tan, "Fault diagnosis of induction motor based on decision trees and adaptive neuro-fuzzy inference", *Expert Systems with Application*, 2009, pp. 1840-1849.
- [19] M.A. Mashrei, N. Abdulrazzaq, T.Y. Abdalla, M.S. Rahman, "Neural networks model and adaptive neurofuzzy inference system for predicting the moment capacity of ferrocement members", *Engineering Structures*, June 2010, pp.
- [20] N. Bartoletti, F. Casagli, S. Marsili, Libelli, "Data-driven rainfall/runoff modelling based on a neuro-fuzzy inference system", Elsevier, 2017.
- [21] Zs.J. Viharos "Survey on Neuro-Fuzzy systems and their applications in technical diagnostics and measurement", Elsevier, 2015
- [1] Koochi Kamali, Mehran, "Shahrekord Probabilistic Risk Analysis", Thesis, 1388.
- [2] Instructions for rapid seismic assessment of existing buildings, Journal No. International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. 1387
- [3] Soltani, Saeed, Sardari, Soroush, Sheikhpour, Mojgan, (2010), Networks Artificial Neurology, First Edition, Scientific and Cultural Publications.
- [4] Soltani, Saeed, Sardari, Soroush, Sheikhpour, Mojgan, (2010), Networks Artificial Neurology, First Edition, Scientific and Cultural Publications.
- [5] Kia, Mostafa (2010), Neural Networks in MATLAB, First Edition, Publications Kian Green Computer
- [6] Kia, Mostafa (2011), Fuzzy Logic in MATLAB, Second Edition, Markaz Publications University publication
- [7] Dear Moghadam, Rahim, Comparison of artificial neural network and ANFIS neurophase methods In forecasting the annual flow of Bashar River, Islamic Azad University, Shiraz Branch, 2014
- [8] Asmari Saadabad, Soheil, "Earthquake risk analysis with fuzzy inference system and Case study of Tehran", thesis, 2013.
- [9] Zeinali Rastabi, Safdar, Ghodrati Amiri, Gholamreza, "Risk Assessment Shahrekord", Journal of Structural and Construction Engineering, 2014
- [10] Wang, Lee, Fuzzy Systems and Fuzzy Control, translated by Mohammad Tashneh Lab, Nima Safapour, Dariush Afyoni. Khajeh Nasir al-Din Tusi University of Technology,

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

Gh. Keyvanihafshejani, Gh. Ghodrati Amiri, Shahrekord earthquake risk assessment by neuro-fuzzy way method using seismic evaluation of structures, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(1) (2021) 297-312.

DOI: 10.22060/ceej.2018.14295.5620

