



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

زمان پذیرش نهایی: 99/08/29

شماره مجوز مجله: 80400

## پیش‌بینی پی‌ریود سازه‌های بتن‌آرمه بر اساس پارامترهای هندسی با استفاده از شبکه عصبی فازی-تطبیقی

علیرضا یاراحمدی<sup>1</sup>، حمیدرضا باباعلی<sup>2</sup>

1- کارشناس ارشد مهندسی عمران

2- دکتری مهندسی عمران- استاد دانشگاه آزاد واحد خرم‌آباد

### چکیده

در این پژوهش، مدل‌سازی شبکه عصبی فازی-تطبیقی جهت تخمین پاسخ سازه‌های قاب‌های بتن‌آرمه متقارن بر حسب زمان تناوب طبیعی، نیروی برش پایه، گشتاور خمشی پایه و تغییرمکان بام بکار می‌رود. مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی در سه گروه توسعه داده می‌شوند. در هر گروه پارامترهای ورودی به‌گونه‌ای انتخاب می‌شوند که نشان دهنده جرم، سختی و هندسه ساختمان هستند. تعداد 206 ساختمان تحلیل می‌شوند که از این تعداد، نتایج تحلیلی 155 ساختمان جهت آموزش و بقیه آنها جهت ارزیابی و آزمایش شبکه عصبی فازی-تطبیقی بکار می‌روند. تحلیل دینامیکی سازه‌ها بر اساس آیین نامه زلزله ایران (استاندارد 2800 ویرایش چهارم) انجام پذیرفته و به منظور ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، از کمیت‌های آماری استفاده می‌شود. در گروه اول، 7 پارامتر ورودی جهت توسعه این مدل‌ها بکار می‌روند. در گروه‌های دوم و سوم پارامترهای ورودی به 6 و 5 تقلیل داده می‌شوند. نتایج نشان می‌دهند، مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی که تحت گروه سوم توسعه داده می‌شوند نتایج قابل قبولی را ارائه داده و در قیاس با مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی توسعه داده شده تحت گروه اول و دوم دارای دقت بیشتری می‌باشند. به کمک مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی پیشنهادی، مشخص می‌شود که هندسه ساختمان و ابعاد ستون‌ها پارامترهای مهمی در تحلیل دینامیکی قاب‌های ساختمانی بتن‌آرمه هستند. از داده‌های آموزش این سه مدل جهت ارائه یک رابطه پیشنهادی بین ارتفاع ساختمان و زمان تناوب طبیعی اصلی ارتعاش استفاده شده و با معادلات مشابه پیشنهادی توسط دیگر محققین مقایسه می‌گردد.

**کلمات کلیدی:** ساختمان بتن‌آرمه، شبکه عصبی فازی-تطبیقی، تحلیل دینامیکی، زمان تناوب، ANFIS.

### 1- مقدمه

مدل‌سازی شبکه‌های عصبی فازی-تطبیقی (ANFIS) روشی از سیستم‌های عصبی واقعی هستند که کاربرد فراوانی در حل مسائل مختلف در علوم دارند که در این پژوهش جهت تخمین پاسخ سازه‌های بتن‌آرمه بر اساس زمان تناوب طبیعی، نیروی برش پایه، گشتاور خمشی، بکار می‌رود. حوزه کاربرد این شبکه‌ها آنچنان گسترده است که از کاربردهای طبقه‌بندی گرفته تا کاربردهایی نظیر درون‌یابی، تخمین، آشکارسازی و ... را شامل می‌شود. پاسخ لرزه‌ای یک سیستم سازه‌ای به پارامترهای مختلف



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

از جمله پیکربندی سازه مشخصه‌های دینامیکی و مشخصه‌های زمین‌لرزه بستگی دارد. به همین جهت برای تخمین صحیح عملکرد لرزه‌ای سازه لازم است پارامترهای تاثیرگذار به درستی شبیه‌سازی شوند [1]. زمان تناوب اصلی ارتعاش ساختمان که در غالب معادلاتی در آیین‌نامه‌های ساختمانی ظاهر می‌شود به منظور محاسبه برش پایه طراحی و نیروهای جانبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش با استفاده از شبکه عصبی فازی-تطبیقی، یک رابطه تحلیلی برای تعیین زمان تناوب ساختمان‌های بتن‌آرئه می‌گردد و تأکید بر روی مدل‌هایی است که دارای تعداد پارامترهای ورودی کمتری هستند شبکه عصبی فازی-تطبیقی بعنوان ابزار مؤثری برای ساده‌سازی مسائل پیچیده با تعداد و حجم بالای محاسباتی در زمینه مهندسی عمران و سازه بکار گرفته شده است [2]. در شبکه عصبی فازی-تطبیقی انتقال و پردازش داده‌های ورودی به شبکه‌ای متشکل از واحدهای محاسباتی ساده بنام "نورون" اختصاص داده می‌شود. هر نورون زمانی که از مجموع وزنی ورودی از مقدار فعالسازی تجاوز می‌نماید یک سیگنال خروجی برگشت می‌نماید مقدار خروج با تعریف یک انتقال یا فعالسازی محاسبه می‌شود [3].

مزیت اصلی یک شبکه خوب آموزش داده شده این است که برای تولید یک راه تخمینی نیازمند یک روند محاسباتی سعی و خطا<sup>1</sup> و تکراری است. برای هر مساله باید با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده از تحلیل‌هایی که انتخاب شده‌اند، شبکه عصبی آموزش داده شود [4]. آموزش یکی از ویژگی‌های شبکه عصبی است که ممکن است کنترل شده و کنترل نشده و وابسته به پیکربندی شبکه‌ها باشد. بنابراین پیکربندی روش آموزش یا یادگیری و نوع تابع فعالسازی نورون‌ها، جزء مشخصه‌های اصلی محسوب می‌شوند. شبکه عصبی دارای دو مد عملیاتی هستند: مد یادگیری و مد عادی. در مد یادگیری پارامترهای قابل تطبیق شبکه‌ها اصلاح می‌شوند و در مد عادی شبکه‌های آموزش دیده برای شبیه‌سازی خروجی بکار می‌روند [5].

## 2- مرور ادبیات و پیشینه پژوهش

در سال 2017، بهنود و همکارانش [6] در پژوهشی به پیشبینی مقاومت فشاری بتن معمولی و بتن با عملکرد بالا با استفاده از الگوریتم درخت تصمیم، مدل P5M پرداخته‌اند. مقاومت فشاری بتن یکی از پارامترهای مورد نیاز در بسیاری از آیین‌نامه‌های طراحی است. پیشبینی قابل اعتماد از آن می‌تواند در زمان و هزینه بسیار کارآمد باشد. علاوه بر این، می‌تواند ضایعات مصالح را با کاهش تعداد اختلاط‌ها کاهش دهد. در این مطالعه، الگوریتم درخت تصمیم، مدل P5M برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن معمولی (NC) و بتن با کارایی بالا (HPC) مورد استفاده قرار گرفت. در مقایسه با سایر روشهای محاسباتی، مدل‌های درختی قادر به ارائه دو مزیت عمده هستند: الف) آن‌ها قادر به ارائه معادلات ریاضی هستند و بینش بیشتری را برای حل معادلات بدست آمده ارائه می‌دهند. ب) آن‌ها برای توسعه و پیاده‌سازی مناسب‌تر هستند. برای توسعه مدل درخت تصمیم، در مجموع 1912 داده متفاوت جمع‌آوری شد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که مدل درخت P5M می‌تواند یک روش جایگزین مناسب برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن‌های NC و HPC با استفاده از مقدار اجزای بتن به عنوان پارامترهای ورودی باشد.

اسلامی تبار و همکاران [7] در سال 1396، در پژوهشی کاربرد شبکه استنتاج عصبی فازی-تطبیقی در برآورد مقاومت پیوستگی بین بتن و میلگردهای مدفون را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این پژوهش پارامترهای مؤثر بر مقاومت پیوستگی بین بتن و میلگرد از جمله: سیمان، آب، درشت‌دانه‌ها، ریزدانه، بیندر، سوپرپلاستی‌سایزر در نظر گرفته شده‌اند. که برای هر یک از این پارامترها بر روی مقاومت پیوستگی از شبکه استنتاج عصبی فازی-تطبیقی استفاده شده است که علاوه بر ابعاد گوناگون هر پارامتر مقدار تاثیرشان نیز مشخص می‌شود. این شبکه حاصل تلفیق شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی است. برای ارزیابی کاربرد شبکه استنتاج عصبی فازی-تطبیقی از معیارهای مجموع مربعات خطا و ضریب همبستگی کمک گرفته شده است که نتایج حاصل‌شده برتری این شبکه را نشان می‌دهد و این شبکه را به ابزار قوی جهت مدل کردن مکانیزم‌های پیچیده علوم مهندسی تبدیل می‌کند.

<sup>1</sup> Trial And Error Computational Process



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

## 3- انواع سیستم سازه‌ای

انواع سیستم باربر جانبی را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

- 1- سیستم دیوارهای باربر: در این سیستم بار قائم عمدتاً توسط دیوارهای باربر تحمل می‌شود و مقاومت در برابر بار جانبی توسط دیوارهای باربر که به صورت دیوار برشی عمل می‌کنند انجام می‌شود.
- 2- سیستم قاب ساختمانی: در این سیستم بارهای قائم عمدتاً توسط قاب؛ تحمل شده و مقاومت در برابر بار جانبی برعهده دیوار برشی یا قاب مهاربندی شده است.
- 3- سیستم قاب خمشی: نوعی سیستم سازه‌ای است که در آن بارهای قائم توسط قاب فضایی تحمل شده و مقاومت در برابر بار جانبی توسط قاب خمشی تأمین می‌گردد.
- 4- سیستم دوگانه یا ترکیبی: بارهای قائم توسط قاب‌های ساختمان تحمل می‌شوند و مقاومت در برابر بار جانبی توسط مجموعه دیوار برشی یا قاب مهاربندی شده تأمین می‌گردد.
- 5- سیستم کنسولی: در این سیستم نیروی جانبی توسط تیرهای که به صورت کنسولی (در پای ستون گیردار متصل شده است و هیچ عنصری در طول ستون به آن متصل نیست) اجرا می‌شوند، تحمل می‌گردد.
- 6- سیستم‌های سازه‌ای دیگر نیز با توجه به آیین‌نامه 2800 (ویرایش چهارم) به شرطی مجاز به استفاده باشند که بارهای ثقلی در آنها توسط یکی از آیین‌نامه‌های معتبر جهانی محاسبه شوند و به تأیید کمیته اجرایی این آیین‌نامه برسند [8].

## 3-1- بررسی روش‌های تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها

روش‌های مختلفی برای تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها وجود دارد. تفاوت این روش‌ها در فرض رفتار خطی برای المان‌های سازه‌ای و نحوه‌ی اعمال نیروی زلزله می‌باشد. در مدل‌های خطی فرض بر آن است که المان‌های سازه‌ای در طول تحلیل دارای مقاومت نامحدود و سختی ثابت می‌باشند، در صورتی که در مدل‌های غیرخطی کاهش مقاومت و سختی سازه در طول تحلیل لحاظ می‌شود. همچنین در تحلیل‌های استاتیکی نیروی زلزله توسط یک الگوی بارگذاری استاتیکی به سازه اعمال می‌شود، در صورتی که در تحلیل‌های دینامیکی بارگذاری زلزله به صورت دینامیکی و بر اساس رکوردهای معین صورت می‌گیرد. بر این اساس روش‌های تحلیل عبارتند از:

1) خطی استاتیکی و دینامیکی

2) غیرخطی استاتیکی و دینامیکی

در تحلیل‌های خطی (رفتار مصالح خطی) فقط سختی و مقاومت اعضای اصلی مدل می‌شود، در تحلیل‌های غیرخطی سختی و مقاومت هر دو گروه اعضای اصلی و غیر اصلی و همچنین تغییرات مقاومت و سختی این اعضا در اثر کاهندگی باید در مدل سازه‌ای وارد گردد. نیروی جانبی زلزله مؤثر بر سازه ساختمان را می‌توان با استفاده از روش تحلیل استاتیکی معادل و یا روش‌های تحلیل دینامیکی محاسبه کرد [9].

## 3-2- روش‌های تحلیل خطی

روش‌های تحلیل خطی را می‌توان در کلیه ساختمان‌ها با هر تعداد طبقه بکار برد. تنها، روش تحلیل استاتیکی معادل را می‌توان در ساختمان‌های سه طبقه و کوتاه‌تر، از تراز پایه و یا ساختمان‌های زیر بکار گرفت:

الف- ساختمان‌های منظم با ارتفاع کمتر از 50 متر از تراز پایه.

ب- ساختمان‌های نامنظم با ارتفاع کمتر از 50 متر از تراز پایه که دارای نامنظمی زیاد و شدید پیچشی در پلان نباشد. دارای نامنظمی جرمی، نرم و خیلی نرم در ارتفاع نباشد [10].



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

## 3-3- روش‌های تحلیل غیرخطی

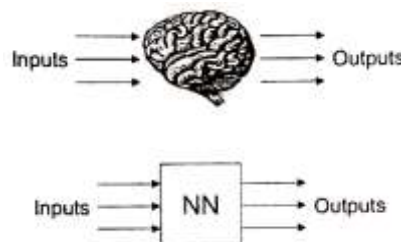
روش‌های تحلیل غیرخطی را می‌توان در کلیه ساختمان‌ها با هر تعداد طبقه بکار برد، ولی برای استفاده از آنها ضروری است سازه علاوه بر اقلان الزامات آنها، ضوابط تحلیل و طراحی یکی از روش‌های خطی عنوان شده [10]. این روش تحلیل به دو دسته استاتیکی و دینامیکی تقسیم می‌شود که دقت آن به پارامترهای زیادی با توجه به نوع تحلیل است. اگر چه تحلیل و ارزیابی خطی در حد الاستیک دید خوبی از ظرفیت سازه فراهم می‌نماید و موقعیت اولین نقطه تسلیم را در اختیار ما قرار می‌دهد، ولی با این حال قادر به پیش‌بینی مکانیزم شکست سازه و چگونگی باز توزیع نیروها در حین تسلیم‌های پی در پی نبوده و نتایج قابل اطمینان در مورد میزان تغییر شکل‌های پلاستیک و در نتیجه میزان آسیب‌های سازه‌ای در اختیار ما نمی‌گذارد. [11]. هدف از انجام آنالیزهای غیرخطی با هر یک از روش‌های مذکور، تعیین حداکثر تغییر پلاستیک و جابجائی طبقات تحت زلزله طرح می‌باشد تا با استفاده از این نتایج بتوان عملکرد لرزه‌ای را نسبت به تراز عملکرد جانبی سازه ارزیابی نمود [12].

## 3-4- معیار انتخاب روش تحلیل (خطی و غیرخطی)

برای انتخاب روش تحلیل، مهندس طراح می‌تواند با قضاوت مهندسی و مشاوره با کارفرما از همان ابتدا روش تحلیل غیرخطی را انتخاب کند، اما چنانچه لازم باشد تا مطابق آیین نامه لزوم این کار اثبات شده و یا راه حل توسط کنترل‌ها انتخاب شود می‌بایست ابتدا یک تحلیل مقدماتی خطی با شرایط انجام شده و سپس با بررسی موارد ذکر شده و کنترل شروط ادامه مسیر خطی و با تغییر روش تحلیل به روش غیرخطی معین گردد [12]. طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها یعنی تعیین مشخصات اعضای ساختمان (شامل نوع مصالح، شکل مقاطع، ابعاد مقاطع و جزئیات اتصالات) بر اساس عملکردی که در برابر زلزله‌های مشخص از آنها انتظار می‌رود. در اکثر آیین نامه‌های طراحی لرزه‌ای، ابتدا اهداف و عملکردهای مورد انتظار از ساختمان‌ها بیان می‌شود و در ادامه، ضوابطی ارائه می‌گردد که در صورت رعایت آنها، ادعا می‌شود، این ساختمان‌ها می‌توانند اهداف بیان شده را برآورده نمایند [13].

## 4- شبکه عصبی

شبکه عصبی مصنوعی<sup>1</sup> یکی از روش‌های هوش مصنوعی<sup>2</sup> به شمار می‌رود. هوش مصنوعی به سیستم‌های گفته می‌شود که می‌تواند واکنش‌هایی مشابه رفتارهای هوشمند انسانی از جمله درک شرایط پیچیده، شبیه‌سازی فرایندهای تفکری و شیوه‌های استدلالی انسانی و پاسخ موفق به آن‌ها، یادگیری و توانایی کسب دانش و استدلال برای حل مسائل را داشته باشند. روش شبکه عصبی مصنوعی ایده‌ای است برای پردازش اطلاعات، که از سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده و مانند مغز به پردازش اطلاعات می‌پردازد [14].



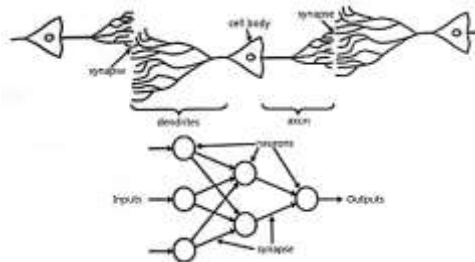
شکل (1): مقایسه‌ی مدل زیستی و ریاضی شبکه عصبی [14]

<sup>1</sup> Artificial Neural Network

<sup>2</sup> Artificial Intelligence



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل (2): مقایسه‌ی مدل زیستی و ریاضی شبکه عصبی [14]

عنصر کلیدی این ایده، ساختار جدید سیستم پردازش اطلاعات است. این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق العاده بهم پیوسته به نام نرون<sup>1</sup> تشکیل شده است که برای حل یک مساله با یکدیگر هماهنگ عمل می‌کنند. شبکه‌های عصبی مصنوعی نظیر انسان‌ها با مثال یاد می‌گیرند. یک شبکه عصبی مصنوعی برای انجام وظیفه‌های مشخص، مانند شناسایی الگوها و دسته‌بندی اطلاعات، در طول یک فرایند یادگیری تنظیم می‌شود. با گذشت زمان مدل عصبی مصنوعی تکمیل تر و اشکالات آن برطرف گردید. شبکه‌های عصبی یک ابزار قدرتمند برای مدل‌های رگرسیونی غیرخطی هستند که امروزه به‌عنوان یک پیشرفت عمده در زمینه ماشین‌های آموزشی مطرح می‌شود. توانایی شبکه‌های عصبی برای یادگیری و برنامه‌ریزی موجب مقبولیت و اقبال عمومی به این ابزار توانمند گردیده است. مهم‌ترین ویژگی شبکه عصبی توانایی آن برای شناخت یک سیستم غیرخطی دینامیکی بدون داشتن هیچ‌گونه پیش‌فرض در فرآیند مدل‌سازی می‌باشد. به‌طور کلی شبکه‌های عصبی دارای سه کاربرد ویژه و اساسی زیر می‌باشند:

1. دسته بندی<sup>2</sup>: الگو برداری، شناسایی خواص و همسان‌سازی.
2. کاهنده نویز<sup>3</sup>: شناسایی الگوها در ورودی و تولید خروجی‌های بدون نویز.
3. پیش‌بینی کننده<sup>4</sup>: برون‌یابی زمانی بر پایه داده‌های گذشته [14].

## 4-1- تاریخچه شبکه‌های عصبی مصنوعی

الف- شروع شبکه عصبی در سال 1943 میلادی توسط مک کلاث<sup>5</sup> و پیتز<sup>6</sup> صورت گرفت و اولین شبکه عصبی با بکارگیری چند نرون ساده تهیه گردید که قدرت محاسباتی قابل توجهی داشت.

ب- در سال 1969 میلادی هب<sup>7</sup> اولین قانون آموزش برای شبکه‌های عصبی را مطرح نمود. وی پیشنهاد نمود که اگر دو نرون همزمان فعال باشند در آن صورت باید مقدار اثر ارتباط بین آنها افزایش یابد.

ج- دهه‌های 50 و 60 میلادی سال‌های طلایی شبکه‌های عصبی می‌باشند. در محدوده سالهای 1985 تا 1962 روزن بلات<sup>8</sup> گروه بزرگی از شبکه‌های عصبی به نام پرسپترون را معرفی نمود. قانون آموزش این شبکه‌ها یک روش تکراری اصلاح وزن است که بسیار قوی‌تر از قانون هب عمل می‌کند.

## 4-2- کاربردهای شبکه‌های عصبی مصنوعی

بطور کلی می‌توان کاربردهای شبکه عصبی را این‌گونه دسته‌بندی کرد: تناظر (شبکه الگوهای مغشوش و بهم ریخته را بازشناسی می‌کنند)، خوشه‌یابی، دسته‌بندی، شناسایی، بازسازی الگو، تعمیم‌دهی (بدست آوردن یک پاسخ صحیح برای محرک ورودی که

<sup>1</sup> Neuron

<sup>2</sup> Classification

<sup>3</sup> Noise Reduction

<sup>4</sup> Prediction

<sup>5</sup> Mc Culloch

<sup>6</sup> Pitts

<sup>7</sup> Hebb

<sup>8</sup> Rosen Blat



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

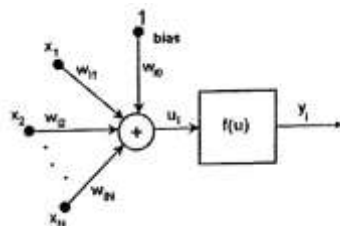
قبلا به شبکه آموزش داده نشده) و بهینه‌سازی، امروزه شبکه‌های عصبی در کاربردهای مختلفی نظیر مسائل تشخیص الگو که خود شامل مسائلی مانند تشخیص خط، شناسایی گفتار، پردازش تصویر و مسائلی از این دست می‌شود و نظیر مسائل دسته‌بندی متون یا تصویر، بکار می‌روند. در کنترل یا مدل‌سازی سامانه‌هایی که ساختار داخلی ناشناخته یا بسیار پیچیده‌ای دارند نیز به‌صورت روزافزون از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده می‌شود. کاربرد مناسب‌تر شبکه‌های عصبی برای کنترل یک سیستم دور موتور در برابر تغییرات ناگهانی بار و زمان پاسخ‌دهی نیز مطرح شده است [14].

## 3-4- اصول کار شبکه عصبی

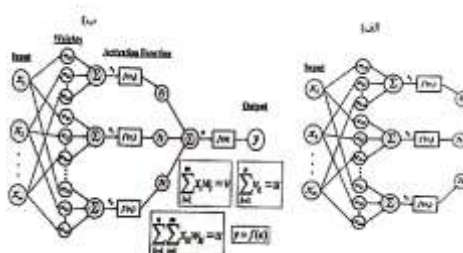
شبکه عصبی مصنوعی یک مدل ریاضی است که بر پایه الگو گرفتن از ساختار و عملکرد مغز انسان بنا نهاده شده است. یک سلول عصبی عبارت است از یک عنصر فیزیکی که دارای تعدادی ورودی است که با شدت‌های مختلف اعمال می‌شود و یک خروجی که به‌صورت تابعی غیرخطی از ورودی‌ها نمایش داده می‌شود. هرگاه مجموع ورودی‌های وزن‌دار شده از سطح آستانه‌ای بیشتر شود عصب تحریک شده و در خروجی و در پتانسیل معینی بروز می‌دهد. به‌طور کلی پردازش اطلاعات در واحدهای زیادی تحت عنوان نرون صورت می‌گیرد.

## 4-4- معماری شبکه‌های عصبی

مقصود از معماری شبکه برای حل یک مسئله عبارت است از انتخاب تعداد لایه‌های مناسب، تعداد نرون‌ها در هر لایه، نحوه برقراری اتصال بین نرون‌ها، انتخاب توابع محرک مناسب برای نرون‌ها و در نهایت تعیین الگوریتم یادگیری و نحوه تنظیم وزن‌ها می‌باشد. معماری شبکه‌های عصبی در اکثر مسائل مهندسی پیش‌بینی کننده، از یک سیستم ساختار سه لایه‌ای تشکیل یافته که شامل لایه‌های ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی می‌باشد. در این ساختار، لایه ورودی نخست به پردازش داده‌های ورودی برای انتقال به لایه مخفی می‌پردازد سپس لایه مخفی قبل از ارسال اطلاعات به لایه خروجی با استفاده از توابع انتقال همانند تانژانت هایپربولیک یا تابع منطقی به محاسبه ضرایب وزن مناسب می‌پردازد. [14].



شکل (3): معماری کلی شبکه عصبی مصنوعی [14]



شکل (4): ساختار شماتیک محاسبه‌ی معادله‌ی هدف و ضرایب وزن آن در شبکه عصبی مصنوعی [14]



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

## 4-5- ویژگی‌های شبکه عصبی مصنوعی

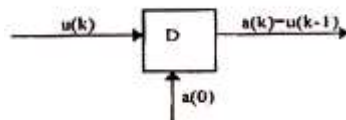
شبکه‌های عصبی مصنوعی با وجود اینکه با سیستم عصبی طبیعی قابل مقایسه نیستند اما ویژگی‌هایی دارند که آن‌ها را در بعضی کاربردها مانند تفکیک الگو، رباتیک، کنترل و به‌طور کلی در هر جا که نیاز به یادگیری یک نگاشت خطی یا غیرخطی باشد ممتاز می‌نماید. [14].

## 4-5-1- قابلیت یادگیری

شامل موارد فوق می‌باشد: 1) قابلیت تعمیم<sup>1</sup>، 2) پراکندگی اطلاعات، 3) پردازش موازی، 4) مقاوم بودن<sup>2</sup>.

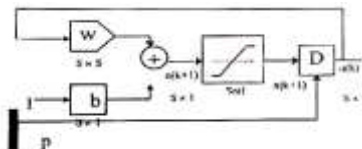
## 4-6- طبقه‌بندی شبکه‌های عصبی

شبکه‌های عصبی را بر اساس ساختار، الگوریتم‌های یادگیری و نمونه پیاده‌سازی طبقه‌بندی می‌کنند. ساختار شبکه‌های عصبی به‌طور کلی به دو دسته شامل شبکه عصبی پیشرو<sup>3</sup> (ایستا) و شبکه عصبی پسرو<sup>4</sup> (پویا) تقسیم می‌شود. خروجی شبکه پیشرو تابعی از ورودی آن‌هاست چون با پاسخ شبکه بر اساس ورودی گذشته یا رفتار خروجی نمی‌باشد. این شبکه‌ها هیچ‌گونه حافظه پویایی ندارند. شبکه‌های پیشرو به‌وسیله معادلات جبری ساده توصیف می‌شوند. در این شبکه سیگنال خروجی هر نرون به‌طرف نرون‌های لایه عقب‌تر برگشت داده نمی‌شود (شکل 5).



شکل (5): مدل شبکه‌های عصبی پیشرو [14]

در شبکه عصبی پسرو یا برگشتی، حداقل یک سیگنال برگشتی از یک نرون به همان نرون یا نرون‌های همان لایه و یا لایه‌های قبل وجود دارد. به عبارت ساده‌تر تغییر فعالیت خروجی نرون‌ها به رفتار دینامیکی شبه خروجی بستگی دارد. این شبکه‌ها از معادلات دیفرانسیل استفاده می‌کنند و وابسته به ورودی‌ها و خروجی‌های گذشته هستند (شکل 6) [14].



شکل (6): مدل شبکه‌های عصبی پسرو [14]

## 4-7- مدل ریاضی شبکه‌های عصبی

ساختار سه لایه‌ای شبکه عصبی پیشرو با الگوریتم انتشار برگشتی در اکثر مدل‌سازی‌ها سری‌های زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد و الگوی کلی برای نگاشت غیرخطی میان متغیرهای ورودی و خروجی را تشکیل می‌دهد. ساختار سه لایه‌ای شبکه عصبی پیشرو بر پایه ترکیب خطی از متغیرهای ورودی است که با یک تابع محرک غیرخطی تبدیل می‌یابد. پارامترهای  $k, j, i$  بیانگر نرون‌های لایه ورودی، مخفی و خروجی می‌باشد.

<sup>1</sup> Generalization

<sup>2</sup> Robustness

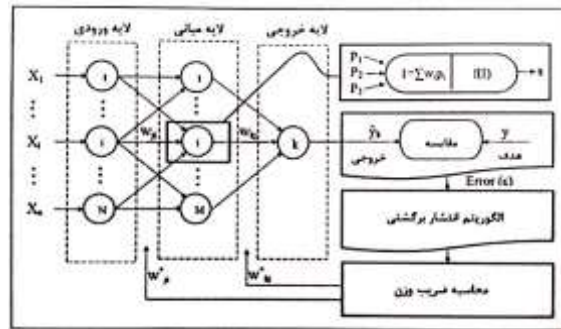
<sup>1</sup> Feed-Forward Neural Networks

<sup>2</sup> Recurrent or Feed-Back Neural Networks





# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل (7): ساختار سه لایه‌ای شبکه عصبی پیشرو با الگوریتم انتشار برگشتی [14]

به این دلیل این ساختار از شبکه، شبکه پیشرو نامیده می‌شود که چگونگی ارتباط میان نرون‌ها به گونه‌ای است که از لایه ورودی به لایه مخفی و از این لایه به لایه خروجی اتصال می‌یابند و درون یک لایه نیز نرون‌ها به یکدیگر ارتباط پیدا نمی‌کنند. برای تولید مقدار خروجی است به صورت رابطه غیر صریح زیر بیان می‌گردد:

$$\hat{y} = f_0 \left[ \sum_{j=1}^M w_{kj} \cdot f_h \left( \sum_{i=1}^N w_{ji} X_i + w_{j0} \right) \right] + w_{k0} \quad (1)$$



شکل (8): شمای کلی از روند مراحل مدل سازی به روش شبکه عصبی [14]

## 4-8- معایب شبکه‌های عصبی مصنوعی

با وجود برتری‌هایی که شبکه‌های عصبی نسبت به سامانه‌های مرسوم دارند معایبی نیز دارند که پژوهشگران این رشته تلاش دارند که آن‌ها را به حداقل برسانند. مرتبط ساختن پارامترها یا ساختار شبکه به پارامترهای فرایند معمولاً غیر ممکن است، دقت نتایج بستگی زیادی به اندازه مجموعه آموزش دارد، آموزش شبکه ممکن است مشکل و یا حتی غیر ممکن باشد و نهایتاً پیش‌بینی عملکرد آینده شبکه و عمومیت یافتن آن به سادگی امکان‌پذیر نیست [14].

## 4-9- کاربردهای منطق فازی

از زمانی که تئوری منطق فازی به منظور توصیف سیستم‌های پیچیده پیشنهاد گردید این منطق بسیار مورد استقبال واقع شد و به طور موفقیت‌آمیزی در مسائل مختلف به ویژه کنترل کننده‌هایی مثل راکتورهای شیمیایی، قطارهای خودکار و راکتورهای هسته‌ای بکار گرفته شده است. همچنین استفاده از منطق فازی برای مدل کردن مدیریت مخازن و حل ویژگی‌های مبهم آن‌ها نیز پیشنهاد شده است. با وجود این، مشکل اصلی منطق فازی این است که روند سیستماتیک برای طراحی یک کنترل کننده فازی وجود ندارد.

## 4-10- مفاهیم سیستم‌های فازی از دیدگاه ریاضیات

منطق فازی از دیدگاه ریاضی یک نگاشت مناسب از فضای ورودی به فضای خروجی می‌باشد.





# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



## 4-10-1- فازی ساز<sup>1</sup>

به عنوان نگاشتی از یک نقطه (پارامتر ورودی مدل) به یک مجموعه تعریف می شود. نتیجه فازی سازی، ایجاد درجه عضویت متناظر با آن پارامتر ورودی است.

$$1) (u_1(1), u_2(1)) \rightarrow y(1)$$

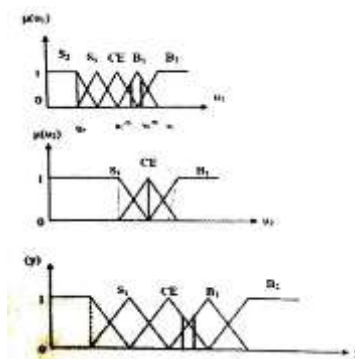
$$2) (u_1(2), u_2(2)) \rightarrow y(2)$$

.

.

.

$$N) (u_1(N), u_2(N)) \rightarrow y(N)$$



شکل (9): یک مثال از تقسیم نواحی در متغیرهای ورودی و خروجی در منطق فازی [14]

## 4-10-2- ساخت قوانین فازی

مجموعه قوانین فازی بر اساس دانش شخص خبره بنا می شود. برای هر مجموعه از داده ها می توان، درجات عضویت نواحی مربوطه را تعیین نموده و قوانین مرتبط با هر جفت را به شیوه زیر بدست آورد:

then y is CE. Rule 1 : If  $u_1$  is  $B_1$  and  $u_2$  is CE

then y is  $B_1$ . Rule 2 : If  $u_1$  is  $B_1$  and  $u_2$  is  $B_1$

## 4-10-3- عملگرهای فازی

هنگامی که قسمت شرط هر قانون فازی از دو یا چند جز تشکیل شده باشد، عملگر فازی از این جزها یک عدد که متناظر ترکیب آن جزها باشد را ایجاد می نماید. رایج ترین عملگرهای فازی "AND" و "OR" می باشند. عملگر "AND" هم می تواند به معنی اشتراک ( $\min$ ) و هم به معنی حاصل ضرب (Prod) باشد. همچنین عملگر "OR" می تواند به معنی اجتماع ( $\max$ ) باشد.

## 4-10-4- ترکیب قواعد

زمانی که یک ورودی مدل متعلق به ناحیه مشترک دو تابع عضویت باشد، آنگاه قوانین فازی مرتبط با هر دو تابع عضویت تعیین می گردند که هر کدام از این قوانین یک مجموعه فازی را ایجاد می نمایند.

## 4-10-5- غیر فازی ساز

<sup>1</sup> Fuzzifier



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

در نهایت مقادیر فازی خروجی توسط غیرفازی ساز به مقادیر خروجی معمولی تبدیل می‌شوند. پس از اینکه رابطه استنتاج فازی با استفاده از قوانین فازی، رابطه بین ورودی‌ها و خروجی را برقرار نمود و درجه عضویت خروجی فازی در تابع عضویت مربوطه تعیین شد، آنگاه با استفاده از روشی بین سطوح موجود در توابع عضویت مختلف، مرکز سطح آن‌ها تعیین می‌گردد [14].

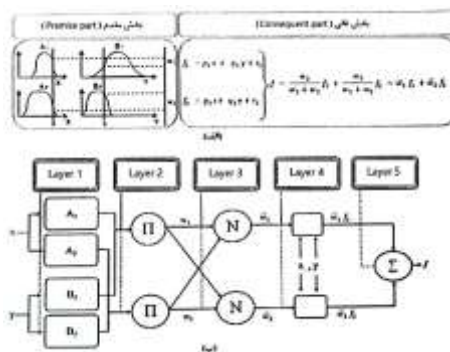
## 4-11- سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی<sup>1</sup> (ANFIS)

منطق فازی بر مبنای تئوری مجموعه‌های فازی قرار دارد که بین طبقات مختلفی از موضوعات، ارتباط برقرار می‌کند، به طوریکه عضویت از جنس درجه باشد و با پارامتر درجه بتوان میزان عضویت را نشان داد. در فرآیند استنباط فازی 5 مرحله باید انجام گیرد: (1) فازی سازی متغیرهای ورودی (2) بکار بردن عملگرهای (و، یا) در بخش مقدمه (3) استنتاج از مقدمه به نتیجه (4) ترکیب نتایج قوانین (5) غیر فازی کردن، بخش شبکه عصبی در ساختار شبکه فازی عصبی تطبیقی، یا استفاده از روش‌های یادگیری عصبی راه حلی را برای بدست آوردن اطلاعاتی درباره مجموعه داده‌ها به منظور مدل سازی فازی ارائه می‌دهد تا پارامتر تابع عضویت به نحوی تنظیم شوند که بهترین سیستم استنباط فازی به یک سری داده موجود اختصاص یابد. ابتدا ساختار یک مدل با پارامترهای مشخص (تابع و درجه عضویت) فرض می‌شود. سپس یک سری داده ورودی/خروجی به شکلی که قابل استفاده برای آموزش سیستم استنباط فازی عصبی تطبیقی باشد جمع‌آوری می‌گردد. در ادامه به وسیله سیستم استنباط فازی عصبی تطبیقی، مدل سیستم استنباط فازی را با داده‌های موجود آموزش داده، تا با اصلاح پارامترهای تابع درجه عضویت مطابق با حد خطای انتخاب شده، داده‌های حاصل از مدل به مقدار واقعی نزدیک شوند. مدل استنتاج فازی عصبی تطبیقی، شبکه‌ای چند لایه متشکل از گره‌ها و کمان‌های اتصال دهنده گره‌ها می‌باشد. برای یک مدل فازی مرتبه اول سوگنو با دو ورودی، یک خروجی و دو تابع عضویت برای هر یک از ورودی‌ها، یک مدل در شبکه فازی عصبی تطبیقی معمولی در شکل (10) نشان داده شده است. مطابق با شکل (10) فرض گردیده که سیستم فازی دارای ورودی X و Y و یک خروجی f می‌باشد. برای چنین مدلی قوانین معمولی با در نظر گرفتن دو قانون فازی (If-then rules) به صورت زیر تعریف می‌گردد [14].

then  $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$ ; Rule 1 : If  $\mu(x)$  is  $A_1$  and  $\mu(y)$  is  $B_1$   
then  $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$ ; Rule 2 : If  $\mu(x)$  is  $A_2$  and  $\mu(y)$  is  $B_2$

که متغیرهای  $A_1, A_2, B_1$  و  $B_2$  به ترتیب توابع عضویت برای ورودی‌های X و Y هستند و  $p_1, q_1, r_1, p_2, q_2, r_2$  پارامترهای تابع خروجی می‌باشند. بنابراین در این حالت فرمول بندی در شبکه فازی عصبی تطبیقی از یک آرایش شبکه عصبی پنج لایه پیشرو پیروی می‌کند.

پارامترهایی که بایستی در روند مدل شبکه فازی عصبی تطبیقی بهینه سازی گردند عبارت‌اند از پارامترهای مقدم  $\{a_i, b_i, c_i\}$  و پارامترهای تالی  $\{p_i, q_i, r_i\}$ .



شکل (10): الف) مکانیسم قوانین سیستم فازی سوگنو ب) آرایش معادل ANFIS [14]

<sup>1</sup> Adaptive Neuro Fuzzy Inference System



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

## 5- مشخصات مدل‌ها

مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش، 206 ساختمان در 14 نوع پلان با 5 تیپ طبقه، 3 و 5 و 7 و 10 و 15 می‌باشند (جدول 1). ساختمان‌ها از نوع قاب خمشی بتنی ویژه می‌باشند و فرض می‌شود که در پایه گیردار بوده و هیچ اندرکنشی بین خاک و سازه در نظر گرفته نمی‌شود. کف طبقات به صورت دیافراگم صلب در نظر گرفته می‌شود. مقاطع اجزای سازه‌ای برای تیرها و ستون‌ها به شکل مربع است. مقاطع تیرها در محدوده اندازه 30\*30 الی 90\*90 سانتیمتر بوده و مقاطع ستون در محدوده اندازه 30\*30 الی 110\*110 سانتیمتر، ارتفاع کف تا کف طبقات 300، 400 و 500 سانتیمتر در نظر گرفته می‌شود. ضخامت دال 15 سانتیمتر بوده، بار مرده کف طبقات برابر  $600 \text{ kg/m}^2$ ، بار زنده کف طبقات برابر  $200 \text{ kg/m}^2$ ، بار قائم زلزله برابر  $1/6 \text{ AIW}$  و بار دیوارهای پیرامونی برابر  $400 \text{ kg/m}^2$  در نظر گرفته می‌شود. فرض می‌شود سازه‌های مذکور در ناحیه با لرزه خیزی بسیار بالا و بر روی خاک تیپ ۲ قرار گرفته‌اند. همچنین مشخصات مصالح در این مدل‌ها عبارتند از: رده بتن با مقاومت مشخصه  $250 \text{ kg/cm}^2$ ، مدول یانگ<sup>۱</sup>  $E=2/65 * 105 \text{ kg/cm}^2$ ، فولاد نرم ساختمانی معروف به St37 نوع AIII با تنش تسلیم  $F_y=4000 \text{ kg/cm}^2$ .

شماره پلان	ابعاد پلان	شماره پلان	ابعاد پلان	شماره پلان	ابعاد پلان
1	18*15	6	24*15	11	25*24
2	24*20	7	24*10	12	30*30
3	30*25	8	18*10	13	30*24
4	30*20	9	12*10	14	30*12
5	30*15	10	15*12	-	-

## 5-1- تحلیل و طراحی مدل‌ها

برای تحلیل و طراحی سازه‌ها از روش تحلیل استاتیکی خطی بر اساس آیین‌نامه 2800 ایران (ویرایش چهارم) استفاده شده است. در تحلیل ساختمان‌های مورد نظر، شتاب مبنای طرح با توجه به منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد  $A=0.35$  و زمین نوع II با  $T_0=0.1$ ،  $T_s=0.5$  و  $S=1.5$  همچنین برای ساختمان‌های مسکونی با قاب بتنی خمشی ویژه ۲،  $\Omega_0=3$ ،  $R=7.5$ ،  $C_d=5.5$  و ضریب بازتاب  $B=B_1+N$  تعیین شده است [8].

ابعاد تیر و ستون
35*35
40*40
45*45
50*50
55*55
60*60
65*65
70*70
75*75
80*80
85*85
90*90
95*95
100*100
105*105
110*110

## 6- روش کار

مدل‌سازی و بارگذاری ثقلی و بار جانبی جهت طراحی ساختمان‌ها با نرم‌افزار ETABS V9.7.3 و آئین‌نامه ACI318-08 (شکل 11)) انجام شده است و پس از تحلیل و طراحی و تعیین مقاطع و مشخصات آن‌ها، ده پارامتر ورودی جهت توسعه تمامی

<sup>1</sup> Young's Modulus

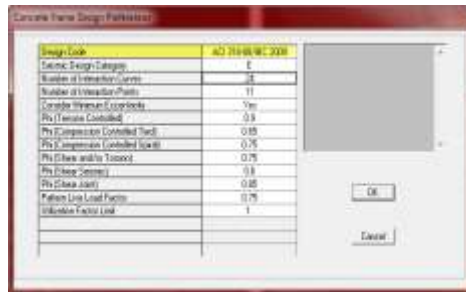
<sup>1</sup> Special concrete moment frame



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی با هدف داشتن عملکرد بهتر استفاده می‌شود. سپس یک مدل شبکه عصبی فازی-تطبیقی جهت تخمین زمان تناوب طبیعی در دو جهت توسعه داده می‌شوند. تأثیر سه مد اول در تحلیل دینامیکی قاب‌های ساختمان بتن‌آرمه در نظر گرفته می‌شود. جدول (3) داده‌های ورودی مورد استفاده را برای شبکه عصبی فازی-تطبیقی نشان می‌دهد.



شکل (11): آیین نامه طراحی ساختمان‌های بتن‌آرمه در نرم‌افزار ETABS V9.7.3

جدول (3): پارامترهای ورودی شبکه فازی عصبی تطبیقی		
ردیف	پارامتر	نشانه
1	طول ساختمان	L
2	عرض ساختمان	W
3	تعداد ستونها در هر طبقه	N <sub>C</sub>
4	تعداد تیرهای هر طبقه	N <sub>B</sub>
5	حداقل بعد ستون	C <sub>min</sub>
6	حداکثر بعد ستون	C <sub>max</sub>
7	ارتفاع ساختمان	H
8	حداکثر ارتفاع طبقات	h <sub>max</sub>
9	تعداد طبقات	n
10	محیط ساختمان	P

از 206 ساختمان مورد بررسی، داده‌های 155 ساختمان برای آموزش<sup>1</sup> مدل و تعداد 51 ساختمان باقی‌مانده به‌منظور آزمایش<sup>2</sup> مدل بکار می‌رود. این تقسیم‌بندی داده‌ها بعد از سعی و خطاهای متعدد بدست آمده است. بنابراین تقسیم‌بندی داده‌ها 75 درصد برای آموزش و 25 درصد برای ارزیابی می‌باشد. به‌منظور به حداقل رساندن پارامترهای ورودی ممکن جهت توسعه مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی بدون کاهش دقت مورد نظر تحلیل‌هایی صورت می‌گیرد. بدین منظور، مدل‌های شبکه‌های عصبی فازی-تطبیقی به 3 گروه تقسیم‌بندی می‌شوند. گروه‌های 1، 2 و 3 به ترتیب با 7، 6 و 5 پارامتر ورودی تقسیم می‌شوند. به‌منظور ارزیابی نتایج و دقت مدل‌های توسعه داده شده، پارامترهای آماری به شرح زیر توسعه داده شدند: جذر مجموع مربعات خطا<sup>3</sup> (RMSE)، ضریب تبیین<sup>4</sup> (DC یا R<sup>2</sup>)، یک مدل شبکه عصبی فازی-تطبیقی با الگوریتم سوگنو<sup>5</sup> جهت آموزش در هر گروه توسعه داده می‌شود.

<sup>1</sup> Train

<sup>2</sup> Test

<sup>3</sup> Root Mean Square Error

<sup>4</sup> Determination Coefficient

<sup>5</sup> Sugeno



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



## 7- مدل سازی شبکه عصبی فازی-تطبیقی<sup>1</sup>

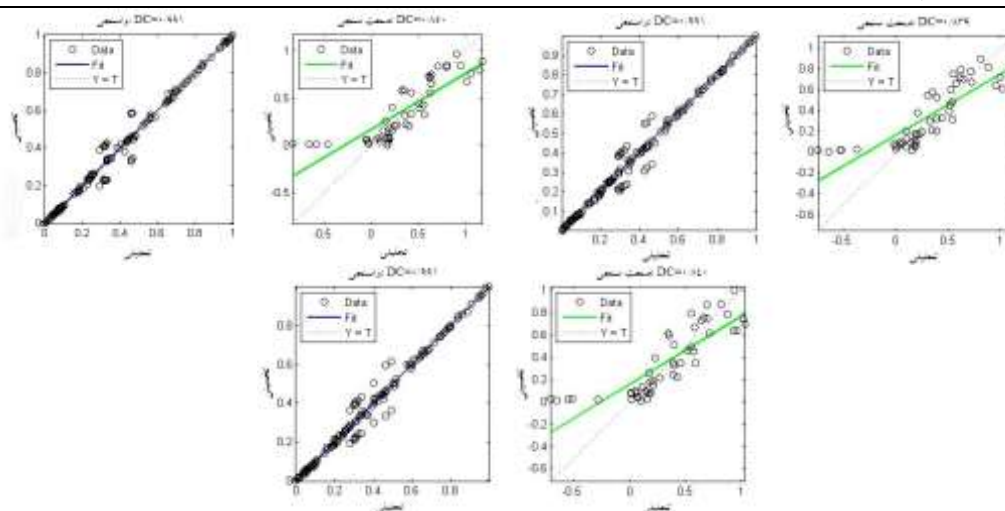
- training epoch number (default: 10)
- training error goal (default: 0)
- initial step size (default: 0.01)
- step size decrease rate (default: 0.9)
- step size increase rate (default: 1.1)

### 7-1- نتایج حاصل از تحلیل

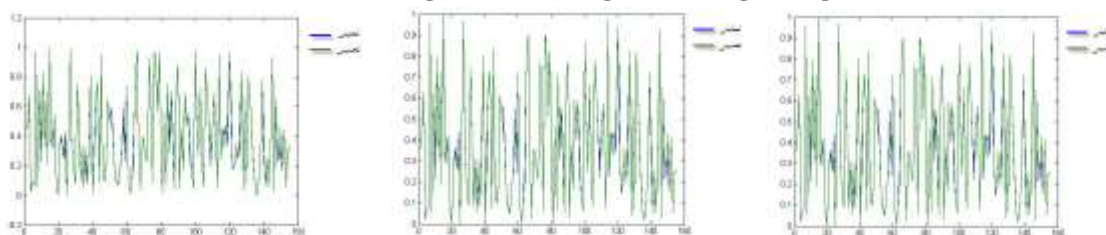
همانطوریکه در بخش قبل بحث گردید، سه گروه مدل شبکه عصبی فازی-تطبیقی توسعه داده شدند و مقایسه نتایج در اینجا بحث می گردد. پارامترهای ورودی با در نظر گرفتن هندسه، توزیع جرم و مشخصه های سختی قاب های ساختمانی در تحلیل دینامیکی انتخاب می شوند. تاثیر هندسه در پارامترهایی همچون  $L, W, H$  منعکس شده و اثر جرم ساختمان در پارامترهای  $n, N_C, N_B, h, C_{max}, C_{min}$  در نظر گرفته شده است. مشخصات سختی قاب ساختمانی بر حسب  $h, C_{max}, C_{min}$  فرض می شود. در گروه اول با 7 پارامتر ورودی و دو پارامتر خروجی، مدل های شبکه عصبی فازی-تطبیقی توسعه داده شده و نتایج سه مدل اول زمان تناوب آن در جدول (4) آورده شده است. همچنین نمودار پراکندگی و نمودار کیفی مدل شبکه عصبی فازی-تطبیقی گروه اول به ترتیب در شکل های (12)، (13)، و (14) نمایش داده شده است.

جدول (4): نتایج مدل شبکه عصبی فازی-تطبیقی گروه اول

مرحله و سنجی		مرحله واسنجی		زمان تناوب (T)
DC	RMSE	DC	RMSE	
0/850	0/245	0/991	0/037	زمان تناوب مدل اول (T <sub>1</sub> )
0/839	0/230	0/991	0/036	زمان تناوب مدل دوم (T <sub>2</sub> )
0/840	0/228	0/991	0/036	زمان تناوب مدل سوم (T <sub>3</sub> )



شکل (12): نمودار پراکندگی واسنجی و صحت سنجی زمان تناوب طبیعی مدل اول، دوم و سوم به کمک مدل گروه (1)

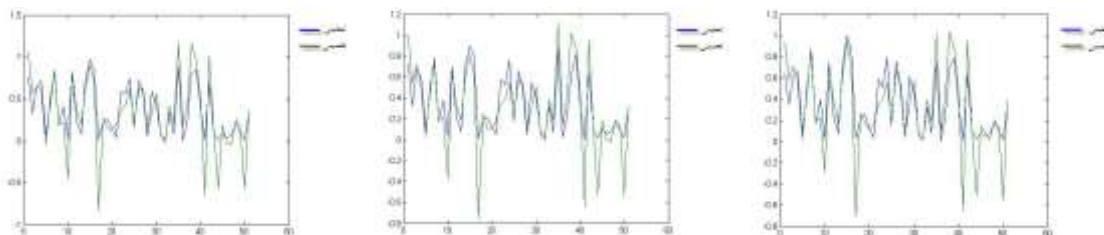


<sup>1</sup> Adaptive Network Neuro-Fuzzy Modeling



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

شکل (13): نمودار کیفی واسنجی زمان تناوب طبیعی مد اول، دوم و سوم به کمک مدل گروه (I)



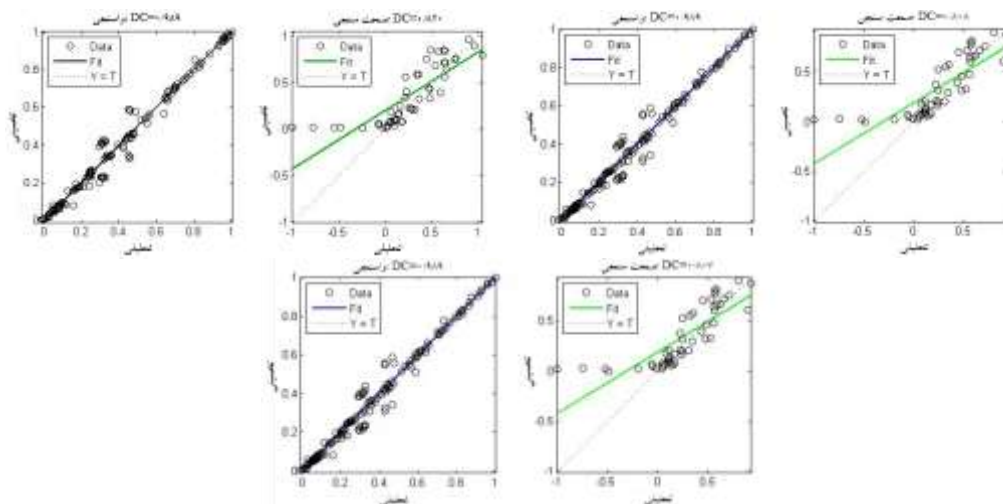
شکل (14): نمودار کیفی صحت سنجی زمان تناوب طبیعی مد اول، دوم و سوم به کمک مدل گروه (I)

تأثیر تقارن قاب‌های ساختمانی در پلان با معرفی یک پارامتر ورودی بیشتر که محیط ساختمان (P) می‌باشد به‌عنوان جانشین دو پارامتر ورودی طول و عرض ساختمان در نظر گرفته می‌شود. گروه جدید مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی با استفاده از 6 پارامتر ورودی توسعه داده می‌شوند. نتایج این مدل در جدول (5) نمایش داده می‌شوند. همچنین نمودار پراکندگی و نمودار کیفی مدل شبکه عصبی فازی-تطبیقی گروه دوم در شکل‌های (15)، (16) و (17) نمایش داده شده است.

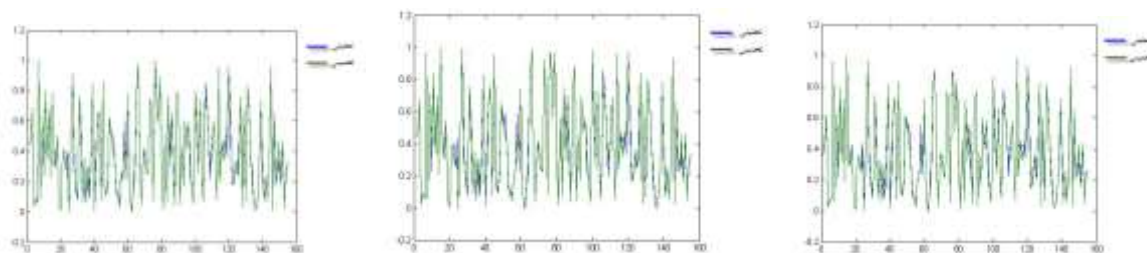
جدول (5): نتایج مدل شبکه عصبی فازی-تطبیقی گروه دوم

مرحله صحت سنجی		مرحله واسنجی		زمان تناوب (T)
DC	RMSE	DC	RMSE	
0/820	0/251	0/989	0/041	زمان تناوب مد اول (T <sub>1</sub> )
0/808	0/241	0/989	0/040	زمان تناوب مد دوم (T <sub>2</sub> )
0/807	0/248	0/989	0/040	زمان تناوب مد سوم (T <sub>3</sub> )

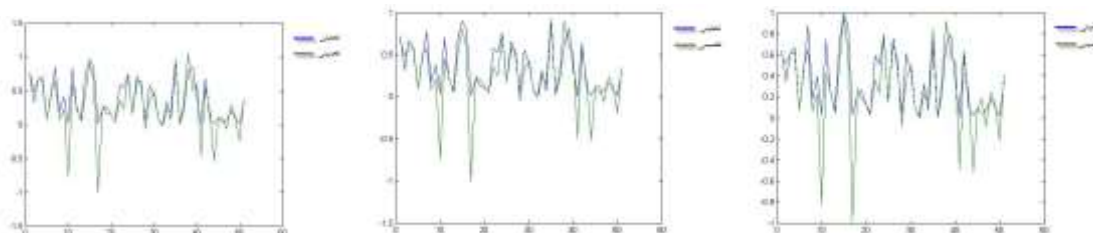
# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل (15): نمودار پراکندگی و اسنجی و صحت‌سنجی زمان تناوب طبیعی مد اول، دوم و سوم به کمک مدل گروه (2)



شکل (16): نمودار کیفی و اسنجی زمان تناوب طبیعی مد اول، دوم و سوم به کمک مدل گروه (2)



شکل (17): نمودار کیفی صحت‌سنجی زمان تناوب طبیعی مد اول، دوم و سوم به کمک مدل گروه (2)

با هدف کاهش تعداد پارامترهای ورودی جهت اجتناب از تکرار در مدل، مدلی با استفاده از فقط 5 داده ورودی توسعه داده می‌شود. از آنجایی که جرم، سختی و هندسه ساختمان پارامترهای مهم در تحلیل دینامیکی هستند، مدلی با 5 پارامتر ورودی به صورت سعی و خطا، توسعه داده می‌شود. محیط ساختمان (P) و ارتفاع ساختمان (H) که نماینده هندسه مدل بوده را می‌توان به همراه ابعاد ستون‌ها و ارتفاع طبقه ( $h, C_{max}, C_{min}$ ) برای محاسبات سختی در نظر گرفت و اثر دیگر پارامترهای ورودی همچون تعداد تیرها و ستون‌ها در هر طبقه و تعداد طبقات ساختمان ( $n, N_C, N_B$ ) را می‌توان به طور غیرمستقیم از طریق محیط ساختمان به ارتفاع ساختمان و دیگر پارامترهای انتخابی در نظر گرفت. بنابراین 5 پارامتر ورودی شامل موارد زیر هستند: محیط ساختمان (P)، حداقل و حداکثر بعد ستون ( $C_{max}, C_{min}$ )، ارتفاع ساختمان (H) و ارتفاع طبقه ( $h$ ). نتایج این مدل در جدول (6) نمایش داده می‌شوند. همچنین نمودار پراکندگی و نمودار کیفی مدل شبکه عصبی فازی-تطبیقی گروه سوم در شکل‌های (18)، (19) و (20) نمایش داده شده است. به کمک پارامترهای فوق رابطه‌ای نیز توسط آیین نامه زلزله ایران (استاندارد 2800) برای زمان تناوب به شکل زیر پیشنهاد شده است:





# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

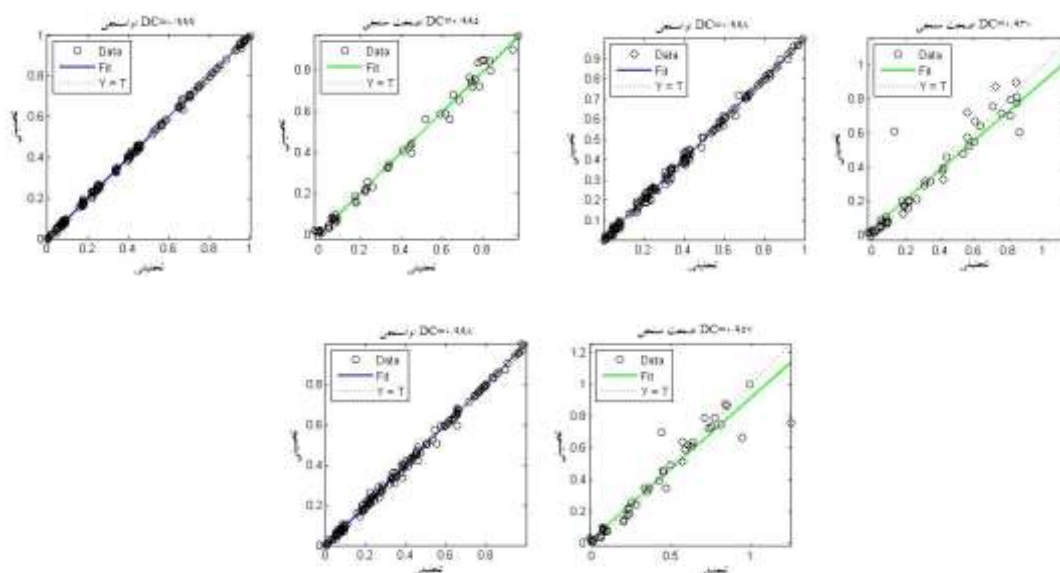


$$T = 0.05 H^{3/4}$$

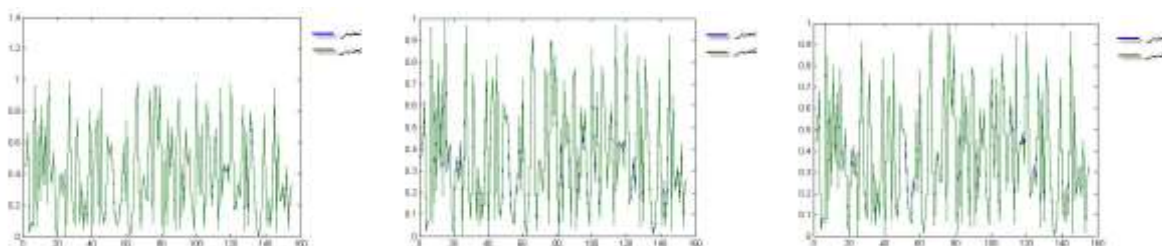
(2)

جدول (6): نتایج مدل شبکه عصبی فازی-تطبیقی گروه سوم

مرحله صحت سنجی		مرحله واسنجی		زمان تناوب (T)
DC	RMSE	DC	RMSE	
0/995	0/028	0/999	0/007	زمان تناوب مد اول (T <sub>1</sub> )
0/930	0/113	0/998	0/014	زمان تناوب مد دوم (T <sub>2</sub> )
0/957	0/094	0/998	0/013	زمان تناوب مد سوم (T <sub>3</sub> )



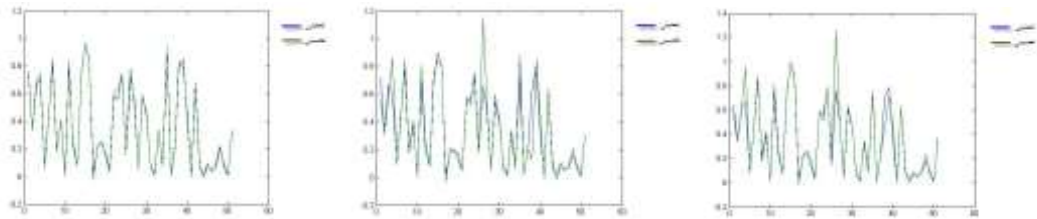
شکل (18): نمودار پراکندگی واسنجی و صحت‌سنجی زمان تناوب طبیعی مد اول، دوم و سوم به کمک مدل گروه (3)



شکل (19): نمودار کیفی واسنجی زمان تناوب طبیعی مد اول، دوم و سوم به کمک مدل گروه (3)



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل (20): نمودار کیفی صحت‌سنجی زمان تناوب طبیعی مد اول، دوم و سوم به کمک مدل گروه (3)

## 8- مقایسه نتایج با روابط تجربی آیین نامه زلزله ایران (استاندارد 2800) و دیگر محققین

همانطوریکه نتایج مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی در جداول فصل قبل نشان می‌دهند، مدل‌های توسعه داده شده با 7 پارامتر ورودی، همانطوریکه از مقادیر DC (یا  $R^2$ ) و RMSE مشاهده می‌شود، اثر جرم ساختمان در مدل‌ها توسط دو پارامتر یعنی طول (L) و عرض (W) نسبت به محیط ساختمان بهتر درک شده است. همچنین نمودار پراکندگی نشان داده شده مبین این مطلب است که تعادل پراکندگی بین مقادیر تحلیلی و تخمینی وجود دارد. از آنجایی که جزئیات جرم، سختی و هندسه ساختمان به خوبی در موارد فوق منعکس شده، پارامترهای (L) و (W) دارای مقادیر بیشتر از 0/807 در هر حالت است. نتایج نشان می‌دهند که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در گروه 1 و 2 اثر ارتفاع ساختمان با پارامتر ورودی را به همراه دیگر پارامترهای ورودی همچون ارتفاع طبقه و تعداد طبقات ساختمان در نظر می‌گیرند. با این وجود، برای مدل مشابه توسعه داده شده در گروه سوم، اثر ارتفاع با دو پارامتر ورودی که ارتفاع ساختمان و ارتفاع طبقه می‌باشد، در نظر گرفته می‌شود. همچنین مشخص می‌شود که تأثیر محیط (P) بر روی زمان تناوب طبیعی ارتعاش در مقایسه با ارتفاع ساختمان کمتر می‌باشد. اگرچه تأثیر  $n$ ,  $N_c$ ,  $N_b$  در مدل‌های گروه اول و دوم بیشتر می‌باشد، اما دقت مدل زمانی که این پارامترها در گروه سوم بکار می‌رود به آن اندازه نیست. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر این پارامترهای ورودی توسط دیگر پارامترهای ورودی در نظر گرفته می‌شود و بنابراین هیچ کاهش در دقت نتایج وجود ندارد. از تئوری دینامیک سازه‌ها، برای یک سیستم یک درجه آزادی، فرکانس طبیعی (W) به صورت زیر بدست می‌آید [15]:

$$\omega = \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (3)$$

که  $k$  سختی سیستم دارای جرم می‌باشد. زمان تناوب اصلی ارتعاش آنگاه از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (4)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (5)$$

$$K = N_c (12EI / h^3) \quad (6)$$

$$K = N_c (12E (WD^3/12) / h^3) \quad (7)$$

که  $W$  عرض ستون،  $D$  عمق ستون،  $N_c$  تعداد ستون‌ها،  $E$  ضریب ارتجاعی،  $I$  گشتاور ماند، و  $h$  ارتفاع طبقه است. با جایگذاری مقدار سختی (رابطه (7)) در رابطه زمان تناوب (رابطه (5)) رابطه زیر حاصل می‌گردد.

$$T = 2\pi (mh^3 / N_c E W D^3)^{1/2} \quad (8)$$

جرم ساختمان نیز با استفاده از محیط (P) و ارتفاع ساختمان (H) در نظر گرفته می‌شود. بنابراین پارامترهای ورودی  $N_c$  و  $N_b$  در مقایسه با پارامترهایی همچون محیط (P)، ارتفاع ساختمان (H)، ارتفاع طبقه (h) و تعداد طبقات (n)، تأثیر منفی بر روی مقدار T دارند. جدول (7)، مقایسه زمان تناوب اصلی ارتعاش حاصل از مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی را با مقادیر تحلیلی و آیین نامه 2800 نشان می‌دهد.



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



جدول (7): مقایسه زمان تناوب اصلی ارتعاش حاصل از مدل‌های شبکه فازی-تطبیقی با مقادیر تحلیلیو آیین نامه 2800

زمان تناوب حاصل از مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی			زمان تناوب تحلیلی مد اول ( $T_1$ )	زمان تناوب آیین نامه 2800 (T) ( $= 0.05 H^{3/4}$ )
گروه (3)	گروه (2)	گروه (1)		
2/448	1/524	2/673	2/992	1/242
2/917	3/565	3/317	3/016	1/242
2/227	2/149	2/120	2/605	1/058
1/499	1/629	1/463	2/550	1/058
2/301	3/143	1/914	2/375	0/905
1/765	1/825	1/959	2/369	0/905
1/255	1/442	1/684	2/473	0/861
2/401	2/228	3/095	2/027	0/773
1/506	1/846	1/976	1/641	0/633
1/146	1/287	1/114	1/608	0/633

زمان تناوب حاصل از مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی			زمان تناوب تحلیلی مد دوم ( $T_2$ )	زمان تناوب آیین نامه 2800 (T) ( $= 0.05 H^{3/4}$ )
گروه (3)	گروه (2)	گروه (1)		
2/655	1/308	2/288	2/883	1/242
2/227	3/305	3/121	2/951	1/242
1/894	1/889	1/875	2/554	1/058
1/375	1/488	1/344	2/069	1/058
2/047	2/800	2/338	2/182	0/905
1/669	1/788	1/888	2/052	0/905
1/172	1/362	1/583	2/318	0/861
1/950	2/644	2/888	1/844	0/773
1/385	1/756	1/889	1/486	0/633
1/112	1/266	0/908	1/385	0/633

زمان تناوب حاصل از مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی			زمان تناوب تحلیلی مد سوم ( $T_3$ )	زمان تناوب آیین نامه 2800 (T) ( $= 0.05 H^{3/4}$ )
گروه (3)	گروه (2)	گروه (1)		
2/241	1/086	2/098	2/362	1/242
2/011	2/660	2/493	2/129	1/242
1/570	1/655	1/646	2/145	1/058
1/321	1/408	1/280	1/961	1/058
1/780	2/487	1/025	2/075	0/905



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

زمان تناوب حاصل از مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی			زمان تناوب تحلیلی مد سوم (T3)	زمان تناوب آیین نامه 2800 (T) ( $= 0.05 H^{3/4}$ )
گروه (3)	گروه (2)	گروه (1)		
1/473	1/563	1/649	1/896	0/905
1/062	1/241	1/434	1/845	0/861
1/709	2/178	2/376	1/723	0/773
1/258	1/597	1/728	1/386	0/633
1/306	1/046	0/734	1/262	0/633

مقایسه مقادیر جدول (7) نشان می‌دهد که مقادیر زمان تناوب اصلی ارتعاش حاصل از مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی با استفاده از 5 پارامتر ورودی نسبت به دیگر گروه‌ها بسیار نزدیک به مقادیر تحلیلی می‌باشد. داده‌های 51 ساختمان که برای ارزیابی مدل استفاده گردید، جهت حصول رابطه بین ارتفاع ساختمان (H) و زمان تناوب طبیعی اصلی ارتعاش استفاده گردید. به نظر می‌رسد که مدل پیشنهادی شبکه عصبی فازی-تطبیقی، مقادیر را نزدیک به حد فوقانی آیین نامه 2800 ( $T = 0.08 H^{3/4}$ ) ارائه می‌دهد.

جدول (8)، مقایسه بین روابط تجربی پیشنهاد شده توسط آیین نامه زلزله و دیگر محققین را با مقادیر پیشنهادی حاصل از مدل شبکه عصبی فازی-تطبیقی مقایسه می‌کند. حد فوقانی معادله پیشنهادی توسط بسیاری از آیین نامه ساختمانی در مرجع [15] آمده است. به نظر می‌رسد که مدل پیشنهادی شبکه عصبی فازی-تطبیقی، مقادیر را نزدیک به حد فوقانی ارائه می‌دهد.

جدول (8): مقایسه بین معادلات تجربی مختلف زمان تناوب و نتایج حاصل از مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی

شبکه عصبی فازی-تطبیقی گروه (3)	مرتضایی [16] (1392) $T = 0.0959 H^{3/4}$	کرولی و پینهو [16] (1997) $T = 0.054 H$	گول و چوپرا (1997) [15]		آیین نامه 2800	
			حد فوقانی	حد تحتانی	حد فوقانی	حد تحتانی
			$T = 0.0669 H^{0.9}$	$T = 0.0466 H^{0.9}$	$T = 0.08 H^{3/4}$	$T = 0.05 H^{3/4}$
2/448	2/383	3/915	3/160	2/201	1/692	1/242
2/917	2/383	3/915	3/160	2/201	1/692	1/242
2/227	2/029	3/159	2/605	1/815	1/378	1/058
1/499	2/029	3/159	2/605	1/815	1/378	1/058
2/301	1/735	2/565	2/160	1/505	1/236	0/905
1/765	1/735	2/565	2/160	1/505	1/236	0/905
1/255	1/652	2/403	2/037	1/419	1/988	0/861
2/401	1/482	2/079	1/788	1/245	1/013	0/773
1/506	1/214	1/593	1/407	0/980	1/447	0/633
1/146	1/214	1/593	1/407	0/980	1/447	0/633

## 9- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان می‌دهد که تحلیل دینامیکی ساختمان‌ها را می‌توان به کمک شبکه‌های عصبی فازی-تطبیقی انجام داد و نتایج را با دقت منطقی و قابل قبولی تخمین زد. از آنجایی که روش‌های تحلیل دینامیکی قطعی بوده و مدل‌های ریاضی در دسترس هستند، نتایج ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی نشان می‌دهد که مقادیر ضریب تبیین DC (یا  $R^2$ ) بیشتر از 0/807 بوده و جذر مجموع مربعات خطا (RMSE) کمتر از 0/251 می‌باشد.



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



نتایج نشان می‌دهند که مدل‌های توسعه یافته تحت گروه 3 نتایج خوبی را در مقایسه با دو گروه دیگر ارائه می‌دهند. مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی گروه سوم در مقایسه با دو گروه دیگر دارای نتایج مطلوب‌تری هستند و نتایج در محدوده قابل قبولی قرار دارند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی، کاربر را قادر می‌سازند تا از خصوصیات مدل آگاه شده، به‌گونه‌ای که مشاهده می‌شود مدل‌های با 6 و 7 پارامتر ورودی نیز در مقایسه با پارامترهای ورودی 5 تایی دارای نتایج قابل قبولی هستند. این مشاهدات نشان می‌دهد که دقت نتایج حاصل از مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی حتی هنگامی که مدل‌ها با تعداد پارامترهای کمتری توسعه می‌یابند، کاهش نیافته و گاهی نیز افزایش می‌یابند. پژوهش حاضر، کاربرد شبکه‌های عصبی فازی-تطبیقی را در تحلیل دینامیکی قاب‌های ساختمانی بتن آرمه متقارن نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود در حین توسعه مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی، شناسایی مناسب پارامترهای ورودی به منظور حصول عملکرد بهتر مدل‌های شبکه عصبی فازی-تطبیقی دارای اهمیت بوده که شاید مستلزم شناخت بهتر از مدل مذکور می‌باشد.

## مراجع

- [1]. Adeli, H. (2001). Neural networks in civil engineering: 1989–2000. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 16(2), 126-142
- [2]. Hakan Arslan, M. (2009). Application of ANN to evaluate effective parameters affecting failure load and displacement of RC buildings. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(3), 967-977.
- [3]. Bilgehan, M., & Turgut, P. (2010). The use of neural networks in concrete compressive strength estimation. *Comput Concr*, 7(3), 271-283.
- [4]. Caglar, N., Elmas, M., Yaman, Z. D., & Saribiyik, M. (2008). Neural networks in 3-dimensional dynamic analysis of reinforced concrete buildings. *Construction and Building Materials*, 22(5), 788-800.
- [5]. Crowley, H., & Pinho, R. (2006, September). Simplified equations for estimating the period of vibration of existing buildings. In *Proceedings of the 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology* (p. 1122).
- [6]. Behnood, A., Behnood, V., Gharehveran, M. M., & Alyamac, K. E. (2017). Prediction of the compressive strength of normal and high-performance concretes using M5P model tree algorithm. *Construction and Building Materials*, 142, 199-207.
- [7]. اسلامی‌تبار، و.، اسلامی‌تبار، آ.، اسلامی‌تبار، ف. (۱۳۹۶). کاربرد شبکه استنتاج عصبی فازی-تطبیقی در برآورد مقاومت پیوستگی بین بتن و میلگردهای مدفون. دومین کنفرانس ملی ریاضی: مهندسی پیشرفته با تکنیک‌های ریاضی. ارومیه. دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارومیه.
- [8]. آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله استاندارد 2800 (ویرایش 4). مولف: کمیته دائمی بازنگری آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله. تهران. انتشارات مرکز تحقیقات، مسکن و شهرسازی.
- [9]. نیکنام، ا.، احمدی، ح.، مهدوی، ن. (1386). ارزیابی روش تحلیل دینامیکی غیر خطی افزایشی (IDA) در مطالعه رفتار لرزه‌ای سازه‌ها. دومین کنفرانس ملی بهسازی و مقاوم سازی ایران.
- [10]. نیکنام، ا.، ثنایی، ا.، هاشمی، ج.، باجی، ح. (1381). رفتار و ضوابط طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی بر مبنای آیین نامه UBC. انتشارات دانشگاه هرمزگان.
- [11]. فاروقی، ع. (1388). راهنمای کاربردهای بهسازی لرزه‌ای. چاپ دوم، ویرایش سوم. تهران. انتشارات سیمای دانش.
- [12]. T. Wenk (1392). مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌ها: راهکارها و نمونه‌های اجرایی از کشور سوئیس، (ترجمه و تدوین؛ محاسب، س.، نیری، آ.). تهران. انتشارات تمثیل.
- [13]. کماسی، م.، شرقی، س. (1395). روش‌های داده کاوی در تحلیل سری‌های زمانی. چاپ اول. تهران. انتشارات ناقوس با همکاری انتشارات دانشگاه آیت‌الله العظمی خرم‌آبادی (ره).



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



- [14]. Goel, R. K., & Chopra, A. K. (1997). Period formulas for moment-resisting frame buildings. *Journal of Structural Engineering*, 123(11), 1454-1461.
- [15]. Crowley, H., & Pinho, R. (2006, September). Simplified equations for estimating the period of vibration of existing buildings. In *Proceedings of the 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology* (p. 1122).
- [16]. مرتضایی، ع. (مهرماه 1392). کاربرد شبکه عصبی مصنوعی برای تحلیل دینامیکی ساختمان‌های بتن‌آرمه. پنجمین کنفرانس ملی بتن ایران. تهران.