

کاربرد برنامه‌نویسی ژنتیکی برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن مسلح شده با FRP

مهدی نجاتی

کارشناس ارشد عمران سازه، دانشگاه آزاد واحد بروجرد
amin.ne1389@gmail.com

چکیده

مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای بتنی مسلح شده با الیاف کامپوزیت FRP، خطرپذیری سازه‌های بتنی، در برابر زلزله را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. با توجه به این که امروزه مقاومت فشاری سازه‌های بتنی با مقاومت طرح متفاوت است، لذا ضرورت استفاده از روش‌های نوین مقاوم‌سازی کاربردی می‌باشد و به دست آوردن مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای FRP و اثر محصورشدگی از اهداف کاربردی پایان‌نامه می‌باشد. در این پژوهش از داده‌های تجربی ۱۰۷ نمونه استوانه‌ای بتنی، مسلح شده با الیاف FRP، با نرم‌افزارهای Genxpro جهت پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن مسلح شده با FRP با روش برنامه‌نویسی ژنتیکی مورد بررسی قرار گرفته است. که از این داده‌های تجربی مورد استفاده شده ۷۵٪ داده‌ها برای آموزش و ۲۵٪ برای آزمایش لحاظ می‌گردد. سپس نمونه‌ها شامل قطر نمونه استوانه‌ای و ضخامت لایه FRP و مقاومت کششی نهایی و مقاومت نهایی محصور نشده به عنوان ورودی در نرم‌افزار معرفی شده لحاظ می‌شود پس از وارد کردن داده‌ها به محیط نرم‌افزار و بررسی پایگاه، جهت استفاده در مدل پیش‌بینی کننده و کنترل تنظیمات معماری کروموزم‌ها برای ساختن مدل و ارزیابی توابع برازش، فرمول‌های مختلفی به عنوان مقاومت فشاری بتن مسلح شده با FRP به دست آمده است. نتایج به دست آمده نشان دهنده همبستگی مطلوب بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط برنامه‌نویسی ژنتیکی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سازه‌های بتنی - مقاومت فشاری - الیاف FRP - بتن مسلح

مقدمه

زلزله‌هایی که در سال‌های اخیر در سراسر جهان به وقوع پیوسته است. نشان داد که بسیاری از سازه‌های زیربنایی در کشورهای در حال توسعه به دلیل قدمت ساخت و عدم انطباق با آیین‌نامه‌های جدید طراحی نیازمند همسازی می‌باشند. ایجاد روکش‌های فولادی به دور اجزاء بتنی از اولین راهکارها جهت محصور نمودن این اجزا می‌باشد و تاکنون مطالعات گسترده‌ای در مورد رفتار مقاطع مقاوم‌سازی شده با این روش به انجام رسیده است. اما اثر نامطلوب شرایط محیطی بر ژاکت‌های فولادی و مراحل دشوار و زمان ایجاد آن‌ها سبب گردید که صفحات کامپوزیتی از جنس پلیمرهای مسلح شده با الیاف، موسوم به ورقه‌های FRP^۱ به عنوان جایگزین روکش‌های فولادی مورد استفاده قرار گیرند. این شیوه به دلیل ویژگی‌ها مطلوب خود، در مدت کوتاه پیدایش با استقبال زیادی مواجه شده و مطالعات فراوانی پیرامون آن به انجام رسیده است. امروزه تقویت سازه‌های بتنی مسلح به کمک ورق‌های پلیمری مسلح شده با الیاف یا FRP به عنوان یک روش جدید مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از FRP برای مقاوم‌سازی نسبت به روش‌های سنتی دارای مزایایی شامل افزایش مقاومت، سختی زیاد، سبکی وزن، مقاومت در برابر خوردگی، ضخامت کم و حمل و نقل و نصب آسان می‌باشد. پس از چسباندن ورق FRP به مقطع بتنی، پاسخ سازه در مواردی از قبیل شکل‌پذیری، مقاومت و نوع شکست با رفتار سازه تقویت نشده متفاوت است. بنابراین آزمایش‌های تجربی و یافتن روش‌های تحلیلی و عددی برای پیش‌بینی مقاومت فشاری تقویت شده ضروری به نظر می‌رسد. انتخاب روش تقویت متناسب با مقاومت مورد نظر، میزان خسارت وارده، نوع اعضاء و اتصالات آن‌ها امکان دسترسی به مصالح و جنبه‌های اقتصادی است. انواع اصلی ترکیبات FRP که در تقویت خارجی و تعمیر ستون‌های بتنی استفاده می‌شود عبارتند از: استحکام پلیمرهای مسلح شده توسط شیشه^۲ (GFRP)، استحکام پلیمرهای مسلح توسط الیاف کربن^۳ (CFRP) و فیبر آرامید پلیمر تقویت شده^۴ (AFRP)، انواع FRP می‌تواند مارپیچ، پیچیده و لوله‌ای باشد.

ترکیبات FRP چندین مزیت را به دلیل قدرت خیلی بالا نسبت به وزن، رفتار خوردگی خوب و خاصیت خنثی الکترومغناطیسی دارا می‌باشد. بنابراین انواع تاثیر FRP روی مقاومت فشاری به طور گسترده مطالعه شده است و چندین مدل آزمایشی و تئوری پیشنهاد شده است. در ضمن در سال‌های اخیر، محاسبه تکنیک‌های هوش مصنوعی مثل شبکه‌های عصبی مصنوعی^۵ (ANN)، سیستم استنباط فازی-عصبی تطبیقی^۶ (ANFIS) و برنامه‌نویسی ژنتیکی^۷ (GP) مورد توجه محققان در مدل‌سازی کاربردهای مختلف مهندسی عمران قرار گرفته است.

پیشینه پژوهش

در سال ۱۳۹۰ محمد کارکن و همکاران مقاله‌ای با عنوان تحلیل قابلیت اطمینان رابطه‌های موجود برای تعیین مقاومت فشاری ستون‌های بتنی محصور شده با FRP منتشر ساختند. همچنین در سال ۱۳۸۷ زهرا سبحانی و همکاران در مقاله‌ای با عنوان شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن الگوریتم پس انتشار خطا و شبکه المان ارائه کردند در این مقاله از دو نوع شبکه عصبی مصنوعی با سه ساختار مختلف، برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن استفاده شد. در همین راستا در سال ۱۳۹۳ نصراله‌زاده و نوحی در مقاله‌ای با عنوان پیش‌بینی مقاومت فشاری ستونی بتنی مربعی محصور شده با FRP با استفاده از منطق فازی ارائه کردند در این پژوهش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی مربعی محصور شده با FRP، با استفاده از منطق فازی مدل گردید. در سال ۲۰۱۳ توگی و جیان^۸ مقاله‌ای با عنوان رفتار فشاری محوری بتن محصور شده با

- 1 Fiber Reinforced Polymer (FRP)
- 2 Glass fiber reinforced polymer
- 3 Carbon fiber reinforced polymer
- 4 Aramid fiber reinforced polymer
- 5 Artificial Neural Network
- 6 Adaptive Neural Fuzzy Inference System
- 7 Genetic Programming
- 8 Togay ozbakkalolu

FRP آزمون تجربی پایگاه داده‌ها بررسی گردید در این مقاله از داده‌های مطالعاتی از آزمون جامع ساخته شده از نتایج حاصل از تست فشار محوری بر روی ۸۳۲ نمونه بتنی محصور شده با FRP منتشر کرده است. در سال ۲۰۱۲ رضانیان پور و همکاران مقاله‌ای با عنوان کاربرد برنامه‌نویسی ژنتیکی و سیستم استنباط فازی - عصبی برای مدل‌سازی افزایش استحکام پلیمرهای مسلح شده توسط الیاف کربن شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون چند متغییره و برخی از مدل‌های تجربی موجود ارائه نمودند و مدل‌های پیشنهادی این پژوهش براساس نتایج تجربی جمع‌آوری از پژوهش‌های مختلف می‌باشد. همچنین در سال ۲۰۱۱ الیکر فاتح کارا^۹ مقاله‌ای با عنوان پیش‌بینی مقاومت برشی تیرهای بتن مسلح FRP بدون خاموت براساس برنامه‌نویسی ژنتیکی ارائه کرد که در این مقاله هدف ایجاد مدلی ساده اما درست برای پیش‌بینی مقاومت برشی تیرهای باریک بتن آرمه FRP بدون خاموت می‌باشد در سال ۲۰۱۰ نادرپور و همکاران مقاله‌ای با عنوان پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن محصور شده با FRP با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه نمودند.

از تحقیقات جدید در زمینه تابع‌یابی مقاومت فشاری بتن FRP شده در سال ۲۰۱۰ گندمی و همکاران مقاله‌ای با عنوان فرمول جدید برای مقاومت فشاری بتن استوانه‌ای محصور شده با FRP با استفاده از برنامه‌نویسی ژنتیکی خطی ارائه نمودند. در این مقاله از اساس مدل LGP با استفاده از دو مجموعه متفاوت از داده ورودی ساخته شده است.

الیاف مورد استفاده در کامپوزیت‌های FRP

به طور کلی، قسمت عمده ی ظرفیت باربری یک ماده‌ی کامپوزیت توسط الیاف تامین می‌شود. این الیاف از موادی کاملاً الاستیک، شکننده و بسیار مقاوم ساخته می‌شوند. قطر این الیاف بسته به جنس آن‌ها بین ۵ تا ۲۵ میکرون است. الیاف مذکور امروزه در شکل‌ها، درجه‌ها و جنس‌های مختلف موجود هستند. جنس الیاف می‌تواند از شیشه، کربن، آرامید یا وینیلون باشد. نام FRP ساخته شده با هر یک از این مواد با حرف اول نام ماده‌ی تشکیل دهنده‌ی الیاف شروع می‌شود. به این ترتیب چهار نوع مشخص از FRP می‌تواند وجود داشته باشد. FRP ساخته شده با الیاف کربن؛ FRP ساخته شده با الیاف شیشه؛ و کامپوزیت‌های FRP ساخته شده با الیاف آرامید و وینیلون هستند. هر یک از الیاف مورد بحث، مشخصات فیزیکی، مکانیکی خاص دارند که در ادامه به بخشی از آن‌ها اشاره می‌گردد (طلایی‌طبا، ۱۳۸۲).

نرم‌افزار GenXpro

ویرایش چهارم نرم‌افزار GenXpro در چهار سطح استاندارد، پیشرفته، حرفه‌ای و تجاری وجود دارد. علاوه بر آن نسخه دانشگاهی آن در دو سطح حرفه‌ای و تجاری طراحی گردیده است. در هر چهار نسخه نرم‌افزار، امکان استفاده از آن در قالب‌های تابع‌یابی^{۱۰}، دسته‌بندی^{۱۱}، پیش‌بینی سری زمانی^{۱۲} و مدل‌سازی ترکیبی منطقی^{۱۳} وجود دارد. در مدل‌سازی آنچه بیش از همه اهمیت دارد، تنظیم درست پارامترها و رسیدن به جواب‌های منطقی و جامع در تحلیل‌ها است. برای نیل به چنین هدفی ابتدا در این پایان‌نامه سعی در جمع‌آوری داده‌های آزمایشگاهی شده است پس این داده‌ها در نرم‌افزار GenXpro به روش برنامه‌نویسی ژنتیکی مدل‌سازی و نتایج با نتایج آن آزمایشگاهی مقایسه می‌گردد. در این راستا ابتدا مدل‌سازی مقدماتی به منظور آشنایی با نکات خاصی مربوط به آنالیز داده کاوی ارائه می‌گردد و سپس نتایج تحلیل‌ها آورده شده است.

دسته‌ای از نتایج نمونه‌های آزمایشگاهی ساخته شده در اختیار قرار می‌گیرد. گر چه بعضی از این نتایج ممکن است همراه با خطا باشند ولی کلیت این نتایج به عنوان مبنایی برای استنتاج بعدی مورد توجه و استفاده قرار می‌گیرد. در مقابل، در یک تحلیل کامپیوتری اولین سوال اساسی در برخورد با هر نتیجه‌ای آن است که چگونه و تا چه حد به صحت این نتیجه اطمینان داده می‌شود. در هر تحقیق برای آن که نتایج تحلیل‌های کامپیوتری خود را مبنایی برای نتیجه‌گیری‌ها و مقایسه‌های بعدی

9 Ilker Fatih Kara
10 Function Finding
11 Classification
12 Time series prediction
13 Logic Synthesis models

قرار داده شود، در روش‌های داده کاوی به روش هوش مصنوعی بهترین روند برای نیل به این هدف آن است که نمونه‌هایی از تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده توسط سایر محققین را انتخاب شود و با نرم‌افزار مورد استفاده خود سعی در بدست آوردن نتایج تقریباً مشابه داشته شود.

در این پایان‌نامه از چهار متغیر ورودی برای ساخت مدل استفاده شده است که این ورودی‌ها در زیر آورده شده است.

۱- قطر استوانه بتنی (D)

۲- ضخامت لایه FRP (t)

۳- مقاومت کششی نهایی لایه (f'_f)

۴- مقاومت نهایی بتن محصور نشده (f'_{co})

داده‌های تجربی مورد استفاده در این پژوهش از مطالعات گذشته برای پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن مسلح شده FRP جمع‌آوری شده است این پایگاه داده شامل ۱۰۱ داده که از هفت مطالعه جداگانه به دست آمده است. برای ارزیابی، مجموعه داده‌ها به دو زیر مجموعه آزمایش و آموزش تقسیم می‌شوند که ۷۵٪ داده‌ها برای آموزش و ۲۵٪ درصد برای آزمایش لحاظ می‌گردد از ۱۰۱ داده ۴۶ داده برای آزمایش و ۷۵ داده برای آموزش قرار می‌گیرد برای مدل GP از نرم‌افزار کامپیوتری Genxpro استفاده می‌شود. ۶ مدل GP برای ارزیابی مقاومت فشاری با استفاده از ۲ مجموعه ورودی به کار می‌روند. برای هر ۶ مدل فرمول مقاومت فشاری استوانه‌های بتنی محصور شده به دست آمده است.

فرمول مقاومت فشاری (f'_{cc}) برحسب متغیرهای مستقل، قطر نمونه استوانه‌ای (D)، ضخامت لایه (t)، مقاومت کششی نهایی (f'_f) و مقاومت نهایی بتن محصور نشده (f'_{co}) برای به دست آوردن بهترین نتیجه الگوریتم GP در زیر نشان داده شده است.

$$f_{cc} = 4.21 pu(\sin(\cos(ff))) + 8.24 + 2f_{co} - \cos(ff) - (t) + \sin(pu) + pu + a \tan(t) - \tan(f_{co}) \quad (۱-۴)$$

$$f_{cc} = -4.36t(\cot(ff))^3 + D + 2(f_{co}) - \sin(ff) + 2(ff) + 2(pu) + \cot(t) - 6.53 + (9 \cot(t))^3 \quad (۲-۴)$$

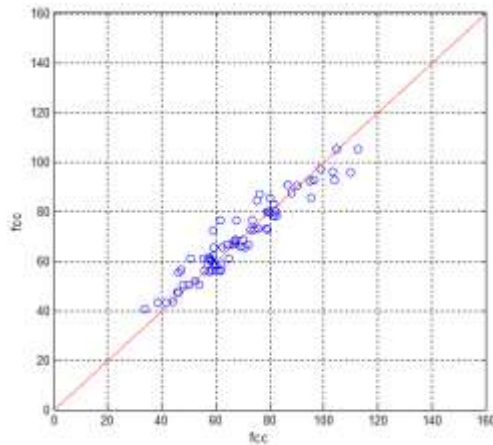
$$f_{cc} = 9 \tan D \sqrt{(f_{co}) - 0.2a} + 9 \tan \sqrt{-8.24 + ff} - D^2((f_{co}) - 7.78)(Pu)^{\frac{1}{3}} + a \tan(ff) \sqrt{(f_{co}) - 4.9 - Pu} \quad (۳-۴)$$

$$f_{cc} = 7.40 - (f_{co}) - \frac{419 \cos(ff)}{\operatorname{csch}1} + \frac{pu}{\sin(pu)} \times 0.15a + pu + \operatorname{csch} \times D(\sin(\operatorname{acsch}(-1.29))) + \sqrt{ff} \quad (۴-۴)$$

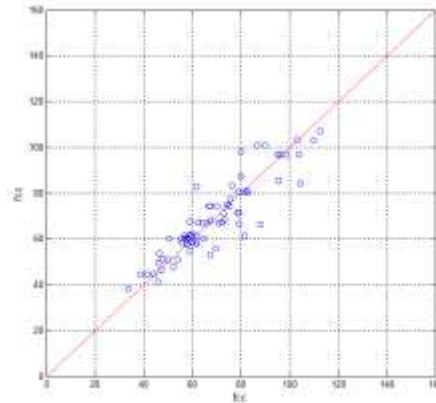
$$f_{cc} = 9.47 \cot(\cos(ff)) + \frac{2.4}{2(pu) + 3.06} - \sec \frac{D}{f_{co}} - \frac{0.79 f_{co}}{Pu} + f_{co} - 2.63 \sec(\sec(D)) - \frac{2.63 + ff}{\cot(2.63)} + Pu \quad (۵-۴)$$

$$f_{cc} = \frac{1}{\cot(D)} + \frac{ff}{6.06} - \cosh(7.05) + \operatorname{acsch}(0.1) + \frac{5.58}{f_{co}} - t - f_{co} + pu + t(ff) - D + 73.68 \quad (۶-۴)$$

در فرمولهای از شماره (۱) تا (۶) به ترتیب از دسته توابع یک تا شش استفاده شده است در این قسمت ابتدا داده‌های ورودی (Input) به برنامه وارد شده سپس از نمونه‌های ورودی ۷۵ درصد به عنوان داده‌های آموزشی (واسنجی) ۱۴ و ۲۵ درصد به عنوان داده‌های آزمایشی (صحت‌سنجی) ۱۵ در نظر گرفته شده است که پس از تنظیمات برنامه از قبیل Genetic Numerical constants و operators, fitness function و تنظیمات دیگر برنامه و سپس برنامه اجرا و به دست آوردن نتایج، فرمول‌های ذکر شده به دست آورده شده است.



نمودار ۱ مقایسه مقاومت فشاری آزمایشگاهی با مقاومت فشاری پیش‌بینی شده فرمول شماره یک در مرحله واسنجی

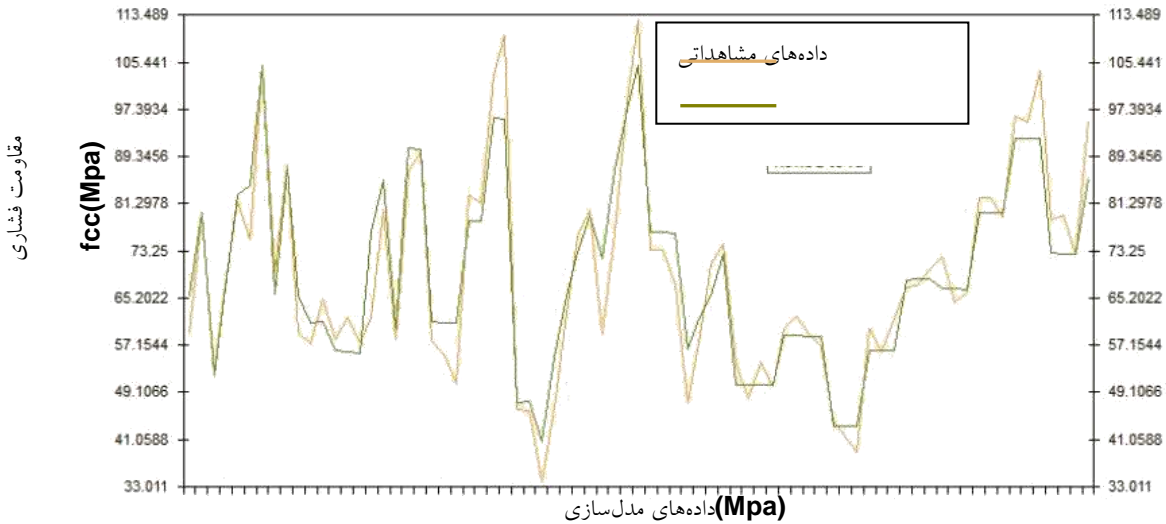


نمودار ۲ مقایسه مقاومت فشاری آزمایشگاهی با مقاومت فشاری پیش‌بینی شده فرمول شماره دو در مرحله واسنجی برای تمام فرمول‌ها این خروجی را به دست می‌آوریم که ما در اینجا برای شماره ۱ و ۲ آورده شد. در قسمت واسنجی نمودار ۱، $R = 0/91$ که به یک نزدیک می‌باشد و $RMSE = 5/34$ و نمودار ۲ در قسمت واسنجی که $R = 0/81$ و $RMSE = 7/45$ که هم ضریب همبستگی و هم ریشه میانگین مربعات خطا در نمودار ۱ دارای دقت بالاتری و توزیع نقاط به خط قطری ۴۵ درجه (نیمساز ربع اول) نزدیک‌تر می‌باشد که این نشان از دقت بالای فرمول به دست آمده می‌باشد و همینطور برای باقی فرمول‌ها این تحلیل انجام می‌شود که نتایج آن به صورت جدول زیر می‌باشد:

جدول ۱ نتایج برآورد پیش‌بینی مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای با الیاف FRP برای ترکیب‌های مختلف

نوع ترکیب	ضریب تبیین (R^2)	ضریب همبستگی (R)	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) Mpa
۱	۰/۸۲	۰/۹۱	۵/۳۳
۲	۰/۶۷	۰/۸۱	۷/۴۵
۳	۰/۵۲	۰/۷۲	۹/۱۹
۴	۰/۹۴	۰/۹۷	۷/۲۵
۵	۰/۷۹	۰/۸۸	۵/۸۳
۶	۰/۶۷	۰/۸۲	۷/۵۹

همانطور که از جدول ۱ مشاهده می‌گردد ترکیب (۴) دارای بهترین جواب است چرا که ضریب تبیین در قسمت واسنجی دارای دقت بالاتری نسبت به ترکیب‌های دیگر می‌باشد و ریشه میانگین مربعات خطا دارای کمترین خطا نسبت به ترکیب‌های دیگر می‌باشد لذا ترکیب (۴) دارای عملکرد بهتری نسبت به بقیه ترکیب‌ها دارا می‌باشد.



نمودار ۳ مقایسه GP پیش‌بینی شده فرمول شماره یک در برابر مقاومت فشاری تجربی استوانه‌ای محصور شده FRP در مرحله واسنجی

همان‌طور که از نمودار مشخص می‌باشد ارتباط بسیار خوبی بین نتایج به دست آمده از داده‌های واسنجی و خروجی مدل برنامه‌نویسی ژنتیکی وجود دارد. به صورتی که به نظر می‌رسد این نمودار تا حدود بسیار زیادی بر هم منطبق شده‌اند و این نشان از توانایی بسیار خوب مدل برنامه‌نویسی ژنتیکی در پیش‌بینی مقاومت فشاری نمونه‌ها دارد.

نتیجه‌گیری

تکنیک‌های هوش مصنوعی از قابلیت‌های بسیار بالایی جهت پیش‌بینی مقاومت فشاری بتن مسلح شده با الیاف FRP دارد. با توجه به جداول و نمودارهای به دست آمده مشخص می‌شود که مدل برنامه‌نویسی ژنتیکی جهت پیش‌بینی مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای بتنی مسلح شده با الیاف FRP مناسب می‌باشد. در این ساختار معیارهای ضریب تبیین و ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا برای سنجیدن نتایج به کار رفته است. ضریب همبستگی و ضریب تبیین بیشتر و ریشه میانگین مربعات خطا کمتر ملاک ارزیابی می‌باشد. ترکیبات مختلفی از پارامترهای موجود را می‌توان برای برآورد، مورد ارزیابی قرار داد. همان‌طور که از خروجی‌ها مشخص گردید در قسمت واسنجی ضریب همبستگی بین ۰/۷۲ و ۰/۹۱ می‌باشد، که ریشه میانگین مربعات خطا بین ۵/۳۴ و ۹/۱۹ می‌باشد که هر چه توزیع نقاط به خط ۴۵ درجه (نیم‌ساز ربع اول) نزدیک‌تر باشد نشان از دقت بالای فرمول محاسباتی می‌باشد

منابع

- اکبری، م، باقری زاده، س. (۱۳۹۳)، برآورد مقاومت فشاری بتن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه کاشان.
- کارکن، م؛ توکل‌زاد، م؛ شهابیان مقدم، ف، (۱۳۹۰)، تحلیل قابلیت اطمینان رابطه‌های موجود برای تعیین مقاومت فشاری ستون‌های بتنی محصور شده با FRP، پژوهشگاه هوا فضا، صص ۴-۱۲
- سعادت‌مند، ح. (۱۳۸۶)، پیش‌بینی رفتار بتن محصور در کامپوزیت FRP به روش اجزاء محدود، نشریه بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران. شماره ۲، جلد ۱۸، صص ۶۴-۵۵.
- نصراله‌زاده نشلی، ک؛ نوحی، ا. (۱۳۹۳)، پیش‌بینی مقاومت فشاری ستون بتنی مربعی محصور شده با FRP با استفاده از منطق فازی، مجله علمی پژوهشی مکانیک سازه‌ها و شاره‌ها، شماره ۴، صص ۶۴-۴۵.

- Berthet, JF, Ferrier, E and Hameliu, P. (2006). Compressive behavior of concrete externally confined by composite jackets, Part B: Modeling, *Construct Build Mater* 20: 338-347.
- Chih Tsai, H and Ping pan, C. (2013), Improving analytical models of circular concrete columns with genetic programming polynomials. *Cenet program Evolvable Mach* 14: 221-243.
- Fatih Kava, (2011), Prediction of shear strength of FRP reinforced concrete beams without stirrups based on genetic programming *advance in engineering software*, 42: PP.295-304.
- Gandomi, A.H, Alavi, A.H., and Sahab, M.G., (2010), *New . Materials and structures*. 43: pp.963-983.
- Golatsani, T.M, Rahai, and Sebt, M.H. (2013), Artificial neural network and genetic programming for predicting the bond strength of GFRP bars in concrete. *Materials and structures*.
- Jalal, M, Ramezani Pour, A.A., Pouladkhan, A.R., and Tetdro, P. (2012), Application of genetic programming (GP) and ANFIS for strength enhancement modeling of CFRP reinforced concrete cylinders. *neural comput & applic*.
- Nader pour, H, Khejvoddin, A and Ghodvati Amivi, G. (2010), Prediction of FRP-confined compressive strength of concrete using artificial neural networks. *Composite structures*. 42: PP. 2817-2829.
- Nourani, V, Komasi, m and Alami, M. (2012). Hybrid wavelet-Genetic programming approach to optimize ANN modeling of rainfall- runoff process. *Journal of hydrologic engineering*. PP: 724-741.
- Ozbakkaloga, T and Lim, J.C. (2013), Axial compressive behavior of FRP confined concrete: Experimental test database and a new design oriented model-composites: part B 55: PP. 607-637.
- Rousakis T (2001), Experimental investigation of concrete cylinders confined by carbon FRP sheets, under monotonic and cyclic axial compressive load. *Research Teort. Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden*.
- Sivanandam, S.N and Deepa, S.N, (2008), *Introduction to Genetic Algorithms*, Springer-verlag berlin Heidelberg.