

ارزیابی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح با استفاده از شبکه‌های

عصبی مصنوعی

دریافت مقاله: ۱۳۹۶-۱۱-۲۵

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷-۱-۲۸

یاسر شریفی*

دانشیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان
yasser_sharifi@yahoo.com - y.sharifi@vru.ac.ir

نجمه محمدی درجوزی

کارشناسی ارشد سازه، دانشکده فنی مهندسی، موسسه آموزش عالی علامه جعفری رفسنجان
n.mohamadi6670@yahoo.com

عادل مقبلی

کارشناسی ارشد سازه، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان
adel.moghbeli8@gmail.com

چکیده:

تیرهای عمیق بتن مسلح به تیرهایی گفته می‌شود که در مقایسه با تیرهای بتنی معمولی دارای نسبت زیاد ارتفاع به دهانه می‌باشند. نوع شکست این تیرها عموماً به صورت برشی است. مهم‌ترین هدف این پژوهش ارائه فرمولبندی مناسب و دقیق با در نظر گرفتن تمامی پارامترهای تاثیرگذار برای تخمین مقاومت برشی تیرهای مذکور می‌باشد. پیرو هدف پژوهش، یک مطالعه‌ی عددی بر پایه شبکه عصبی مصنوعی برای بررسی رفتار برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح به کار گرفته شده است. بدین منظور تاثیرات هندسه‌ی مقطع، مقدار و مقاومت تسلیم فولادهای طولی و عرضی و مقاومت فشاری بتن در یک تیر عمیق بتنی مسلح ارزیابی شده است. فرمولبندی دقیقی بر اساس شبکه عصبی مصنوعی جهت ارزیابی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح ارائه شده است. در پایان یک مقایسه بین نتایج شبکه‌های عصبی مصنوعی و نتایج مقررات طراحی بعضی این‌ها صورت گرفت. از این مقایسه می‌توان دریافت که آیین‌نامه‌ها نتایج را با دقت کم ارائه می‌دهند. واژگان کلیدی: تیرهای عمیق بتنی مسلح، مقاومت برشی نهایی، مدل تجربی برای پیش‌بینی مقاومت برشی، تیرهای عمیق، شبکه‌ی عصبی مصنوعی.

بتن از پرکاربردترین مصالح ساختمانی است. بتن ممکن است از انواع مختلف سیمان و نیز پوزولان‌ها، سرباره کوره‌ها، گوگرد، مواد افزودنی، پلیمرها، الیاف و غیره تهیه شود. تیر عمیق یک عضو سازه‌ای است که در ساختمان‌های بلند، اسکله‌های دریایی، سدها و پل‌ها کاربرد دارد. تیرهای با ارتفاع زیاد بتن مسلح به تیرهایی گفته می‌شود که در مقایسه با تیرهای بتنی معمولی دارای نسبت زیاد ارتفاع به دهانه داشته باشند. به دلیل ارتفاع زیاد، این تیرها دارای سختی زیادی هستند. نوع شکست این تیرها عموماً به صورت برشی است اما احتمال شکست نوع خمشی نیز وجود دارد و لیکن بررسی رفتار مربوط به گسیختگی نوع برشی است. در طراحی سازه‌ها، معمولاً تیرها بر اساس لنگر خمشی موجود طراحی گشته و ضابطه برش در آنها کنترل می‌گردد. تیر ساده تیری است که دهانه که تکیه‌گاه‌های آن در دو انتها یکی به صورت غلتکی و دیگری مفصلی می‌باشد. تیرها بسته به محلی که در آن به کار گرفته می‌شوند تحت تاثیر بارهای مختلفی قرار می‌گیرند که این بارها به صورت متمرکز، گسترده‌ی یکنواخت، گسترده‌ی غیر یکنواخت (خطی) و یا ترکیبی از آنها می‌باشند. بتن مسلح توسط فولاد مسلح شده است. عموماً بتن را به علت ضعف کششی آن توسط فولاد (در ناحیه‌ی کششی) تقویت می‌کنند. تیر بتنی مسلح زمانیکه تحت اثر بار قرار می‌گیرد به علت وجود فولاد در ناحیه‌ی کششی پس از ایجاد اولین ترک فولاد وارد عمل شده و در مقابل کشش مقاومت می‌کند تا زمانی که ترک‌های بیشتری در این ناحیه به وجود آید و باعث گسیختگی در تیر گردد. تنش کششی در تیر فقط محدود به تنش خمشی نیست در نتیجه برش خالص و یا ترکیب برش و خمش در نقاط مختلف تیر به وجود می‌آید. به منظور شناخت رفتار تیرهای عمیق بتنی مسلح تحقیقات زیادی انجام شده و در جریان است. تیرهای عمیق به دلیل داشتن هندسه‌ی خاص دارای رفتاری متفاوت از تیرهای معمولی هستند. تحقیقات گسترده‌ی توسط محققان مختلف بر روی رفتار تیرهای عمیق بتنی مسلح صورت گرفته است، اما از مقایسه‌ی نتایج آزمایشگاهی با نتایج به دست آمده از روابط موجود در منابع درمی‌یابیم که روابط موجود نمی‌توانند پیش بینی صحیحی را از رفتار تیرهای عمیق بتنی مسلح ارائه نمایند که لزوم انجام پژوهش‌های بیشتری را در این زمینه می‌طلبد. شبکه‌های عصبی [۱] از عناصر عملیاتی ساده‌ای ساخته می‌شوند که به صورت موازی در کنار هم عمل می‌کنند. این عناصر از سیستم‌های عصبی زیستی الهام گرفته شده‌اند. در طبیعت، عملکرد شبکه‌های عصبی از طریق نحوه‌ی اتصال بین اجزا تعیین می‌شود. از شبکه‌های عصبی برای پیاده سازی توابع پیچیده در زمینه‌های مختلف از جمله تشخیص الگو، تشخیص هویت، طبقه بندی، پردازش صحبت و تصویر و سیستم‌های کنترلی استفاده می‌شود. پس از تنظیم یا همان آموزش شبکه‌ی عصبی، اعمال یک ورودی خاص به آن منجر به دریافت پاسخ خاصی می‌شود. شبکه بر مبنای تطابق و همسنگی بین ورودی و هدف سازگار می‌شود تا اینکه خروجی شبکه و خروجی مورد نظر ما (هدف) بر هم منطبق گردند. گونه‌های خاصی از شبکه‌های عصبی [۳ و ۴] مثل هاپفیلد و شبکه‌های خطی به صورت مستقیم توسط طراح، طراحی می‌شوند. به طور خلاصه می‌توان گفت روش‌های مختلفی برای طراحی تکنیک‌های یادگیری موجود می‌باشد و کاربرد در انتخاب روش دارای انتخاب‌های زیادی می‌باشد. شبکه‌های عصبی مصنوعی رابطه‌ی دورادوری با نقطه‌ی مقابل طبیعی خود دارد. مغز انسان شامل بیش از 10^{11} نورون عصبی می‌باشد که از طریق حدود 10^4 اتصال به ازای هر نورون به هم متصل شده‌اند. به طور کلی و متناسب با کاربرد مورد نظر ما می‌توان سه قسمت اصلی برای نورون‌ها در نظر گرفت: دندریت^۱، بدنه‌ی سلول^۲ و اکسون^۳. دندریت‌ها دریافت کننده‌های درخت شکل از جنس فیبرهای عصبی هستند که سیگنال‌های الکتریکی را به بدنه‌ی سلول منتقل می‌کنند. بدنه‌ی سلول این سیگنال‌ها را جمع کرده و یک حد استانه بر روی آنها اعمال می‌کند. در نهایت اکسون یک فیبر عصبی بلند است که این سیگنال‌ها را از بدنه‌ی سلول به نورون‌های دیگر منتقل می‌کند. به

Dendrit^۱
Cell Body^۲
Axon^۳

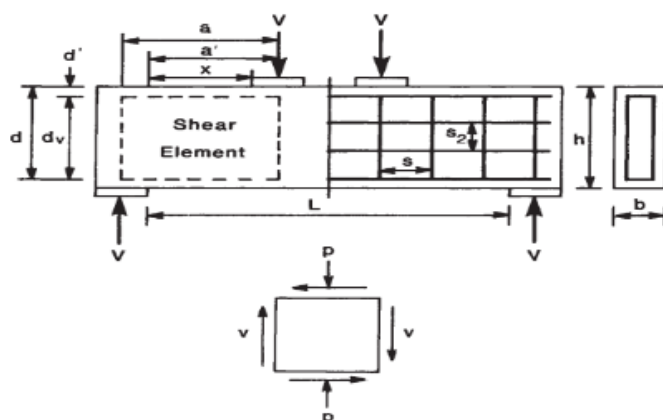
نقطه‌ی اتصال بین اکسون یک سلول عصبی با دندریت سلول عصبی دیگر سیناپس^۴ گفته می‌شود. نحوه‌ی چینش نورون‌ها و قدرت سیناپس‌ها که در واقع بنا کننده‌ی تابع شبکه‌ی عصبی می‌باشند با توجه به فرایندهای پیچیده‌ی شیمیایی معین می‌گردد.

۲- روش پژوهش

برای شبیه سازی و پیش بینی مقاومت برشی نهایی تیرهای بتن مسلح از شبکه‌های عصبی مصنوعی [۱۰-۵] به عنوان یک مدل قابل اطمینان و کارآمد در این مطالعه استفاده شده است. داده‌های ارزیابی به منظور ساخت شبکه‌ی عصبی از آزمایشات و پژوهش‌های پیشین گرفته شده است. یک مطالعه‌ی عددی با هدف بررسی رفتار مقاومت برشی نهایی تیرهای عمیق بتنی مسلح واقع بر تکیه گاه ساده و لحاظ کردن اثر خصوصیات هندسی مقطع بر مقاومت برشی نهایی صورت گرفت. در نهایت یک رابطه بر اساس شبکه‌ی عصبی مصنوعی پیشنهاد شده است تا بتوان مقاومت برشی نهایی تیر عمیق بتنی مسلح را تعیین نمود.

۲-۱- بررسی رفتار تیرهای عمیق بتنی مسلح توسط F.K.KONG:

کتاب تیرهای عمیق بتنی مسلح منتشر شده توسط استاد F.K.KONG [۱۱ و ۱۲] به عنوان یک مرجع بین المللی روی رفتار، طراحی و تحلیل تیرهای عمیق بتنی مسلح کار کرده است. نمونه‌ی مورد بررسی یک نوع تیر عمیق با سطح مقطع مستطیلی که در بالا بارگذاری شده و در پایین تکیه‌گاه ساده قرار گرفته است می‌باشد شکل ۱.



شکل ۱: مشخصات ابعادی تیر عمیق.

۲-۲- یک مدل تجربی برای ظرفیت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح با استفاده از GSA:

برنامه نویسی تکوینی GP (Genetic Programming) نماد تکنیک بهینه سازی است که ایجاد کننده‌ی برنامه‌های کامپیوتری برای حل یک مسئله می‌باشد. SA (Simulated annealing) برای شبیه سازی کامپیوتری دوام استفاده می‌شود. فرمول ارائه شده در مدل تجربی برای ظرفیت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح با استفاده از GSA [۱۳] برای محاسبه‌ی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح، براساس نتایج آزمایشگاهی می‌باشد. مقاومت نهایی تیر عمیق بتنی مسلح به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$V_{GSA} = 2 \frac{d}{a} \frac{\rho(\rho_h - f_c + \rho_v + \xi - 4)}{(\xi + 2)} \frac{a}{d} + 4 \quad (1)$$

$$\xi = \frac{\left(f_c + 4 \frac{a}{d} - 4 \right)^2}{25}$$

در این رابطه با توجه به نتایج آزمایشگاهی مقدار a/d (نسبت دهانه‌ی برش به عمق) ρ ، ρ_h ، ρ_v و f_c متغیر در نظر گرفته می‌شوند. ρ ارماتور اصلی بر حسب درصد می‌باشد. ارماتور اصلی در راستای طول عضو (تیر) قرار می‌گیرد و به منظور جبران مقاومت کششی پایینی که در بتن وجود دارد می‌باشد. در صورت عدم رعایت اصول و قوانین در اجرای آن تحمل سازه در نیروهای برشی، کششی و فشاری کمتر از مقدار محاسبه شده خواهد بود. ρ_h و ρ_v به ترتیب ارماتور برشی افقی و عمودی بر حسب درصد و f_c مقاومت فشاری مشخصه‌ی بتن بر حسب مگاپاسکال می‌باشد.

۲-۳- موسسه بتن امریکا (ACI) :

موسسه بتن امریکا [۱۶-۱۴] یکی از معتبرترین مؤسسات علمی در جهان است که در سال ۱۹۰۴ در آمریکا تاسیس گردید. مطابق ACI-318، فصل یازدهم شامل برش و پیچش عضوهای بتنی غیر پیش تنیده و پیش تنیده می‌باشد. طراحی عضو بر اساس برش مطابق رابطه (۲) می‌باشد:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2)$$

در اینجا V_n مقاومت برشی اسمی، V_c مقاومت برشی اسمی فراهم شده توسط بتن، V_s مقاومت برشی اسمی فراهم شده توسط ارماتور برشی می‌باشد. برای محاسبه‌ی V_c ابتدا باید مقدار زیر محاسبه شود:

$$\left[3.5 - 2.5 \left(\frac{M_u}{V_u \times d} \right) \right] < 2.5$$

پس از محاسبه‌ی رابطه‌ی قبل عدد به دست آمده را در رابطه‌ی (۳) برای محاسبه‌ی V_c ضرب می‌کنیم:

$$V_c = \left(\sqrt{f_c} + 120 \times \rho_w \times \left(\frac{V_u \times d}{M_u} \right) \right) \times \left(\frac{b_w \times d}{7} \right) \quad (3)$$

V_s از رابطه‌ی (۴) به دست می‌آید:

$$V_s = \left(\frac{A_v}{S_v} \left(\frac{1 + \frac{L}{d}}{12} \right) + \frac{A_h}{S_h} \left(\frac{11 - \frac{L}{d}}{12} \right) \right) \times (f_y \times d) \quad (4)$$

در اینجا A_v سطح ارماتور برشی عمودی با یک فاصله‌ی S ، L دهانه‌ی موثر از تیرهای عمیق مسلح، A_h سطح ارماتور برشی افقی با یک فاصله‌ی S ، f_y مقاومت جاری شدن ویژه از ارماتورهای غیر پیش تنیده است.

۲-۴- طرح و اجرای ساختمان های بتن ارمه (ایین نامه بتن ایران ABA) :

در کشورهای مختلف به منظور رسیدن به اهدافی از جمله: ایمنی، سلامت و صرفه‌ی اقتصادی فرد و جامعه ضوابط و مقرراتی را در بخش‌های مختلف فعالیت‌های ساختمانی مد نظر قرار داده‌اند. مطابق مبحث طرح و اجرای

ساختمان‌های بتن ارمه [۲] طراحی مقاطع تحت اثر برش یا پیچش و یا اثر توام آنها در حالت حدی نهایی مقاومت رعایت می‌شود. در مقاطع تحت اثر برش، کنترل حالت حدی مقاومت باید بر اساس رابطه‌ی (۵) صورت گیرد:

$$V_u \leq V_r \quad (5)$$

در این رابطه V_u نیروی برشی ایجاد شده در مقطع است که از تحلیل سازه تحت اثر بار نهایی به دست می‌آید و V_r مطابق رابطه‌ی (۶) محاسبه می‌شود:

$$V_r = V_c + V_s \quad (6)$$

در تیرهای عمیق کنترل حالت حدی نهایی مقاومت در برش باید بر اساس رابطه‌ی $V_u \leq V_r$ و $V_r = V_c + V_s$ صورت گیرد. در این روابط نیروی برشی مقاوم نهایی بتن (V_c) و نیروی برشی مقاوم نهایی ارماتورها (V_s) می‌باشد.

$$V_c = (3.5 - 2.5 \left(\frac{M_u}{V_u \times d} \right)) \times \left(0.95vc + 12 \times \rho_w \left(\frac{V_u \times d}{M_u} \right) \right) \times (b_w \times d) \quad (7)$$

$$vc = 0.2 \times \phi_c \times \sqrt{f_c} \quad (8)$$

$$V_s = \left[\frac{A_v}{12 \times S_n} \left(1 + \frac{L_n}{d} \right) + \frac{A_{vh}}{12 \times S_h} \left(11 - \frac{L_n}{d} \right) \right] \times (\phi_s \times f_y \times d) \quad (9)$$

پس از محاسبه ی V_c و V_s نگاه مقدار V_r را تعیین می‌کنیم. به هر حال V_r نباید بیشتر از $4 \times v_c \times b_w \times d$ اختیار شود.

۵-۲- ساختار شبکه‌ی عصبی مصنوعی ارائه شده در این مطالعه برای به دست آوردن مقاومت برشی نهایی:

در این مطالعه رفتار تیر با مد نظر قرار دادن مشخصات مصالح بررسی شده است. شرایط مرزی مدل به صورت تکیه‌گاه ساده تحت اثر دو بار متمرکز مورد تحقیق قرار گرفته است. در (جدول ۱) متغیرهای استفاده شده‌ی ۱۴۱ نمونه‌ی آزمایشگاهی [۱۷ و ۱۸] برای مدل پیشنهادی آورده شده است که d و b به ترتیب عمق موثر و عرض بر حسب میلی‌متر، a دهانه‌ی برش، f_c مقاومت فشاری بتن بر حسب کیلو نیوتن بر میلی متر مربع، f_{yv} و f_{yh} به ترتیب مقاومت جاری شدن ارماتورهای برشی افقی و قائم بر حسب کیلو نیوتن بر میلی متر مربع، ρ و ρ_h و ρ_v به ترتیب درصد ارماتور اصلی، درصد ارماتور برشی افقی و قائم می‌باشند جدول ۱.

جدول ۱: مشخصات مدل.

Specimen	d	b	a	fc	F _{yh}	F _{yv}	ρ	ρ _h	ρ _v
Average	370.9333	98.28085	354.7174	0.023868	0.418826	0.402281	0.016738	0.005012	0.005601
STDEV	101.4624	10.72681	116.6572	0.010181	0.130882	0.127077	0.004498	0.004928	0.004801
Median	355.6	101.6	355.6	0.0204	0.4459	0.4459	0.0194	0.0045	0.0048
Mode	305	102	355.6	0.0192	0.4835	0.4835	0.0194	0	0.0048
Minimum	216	76	125.01	0.0161	0	0	0.0052	0	0
Maximum	724	110	1000.08	0.0588	0.5048	0.4835	0.0194	0.0245	0.0245

بر اساس مطالعه‌ی انجام شده بردارهای ورودی و خروجی برای مدل سازی ANN به ترتیب شامل ۹ و ۱ متغیر به صورت زیر می‌باشند:

$$Input = \{d, b, a, f_c, F_{yh}, F_{yv}, \rho, \rho_h, \rho_v\}$$

$$Output = \{V\}$$

در اینجا V مقاومت برشی نهایی مقطع می‌باشد. در این مطالعه قبل از معرفی داده‌ها به ANN ابتدا آنها را مقیاس بندی می‌کنیم. یعنی تمام داده‌ها را با استفاده از فرمول زیر استاندارد می‌کنیم، سپس آنها را به شبکه وارد می‌نماییم.

$$X_s = \frac{X - M}{S_d}$$

در این فرمول X متغیر ورودی و یا متغیر هدف است که باید به شبکه معرفی شود، M و S_d به ترتیب میانگین و انحراف معیار دسته داده‌های مربوط به یک متغیر هستند. پارامترهای استفاده شده برای ارزیابی کارآمدی شبکه‌ی عصبی مصنوعی عبارتند از ضریب همبستگی (R)، میانگین مربع خطا (MSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و درصد خطای مطلق (Err) که فرمول آنها به شکل رابطه‌ی (۱۰) تا (۱۳) است:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(t_i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}} \quad (10)$$

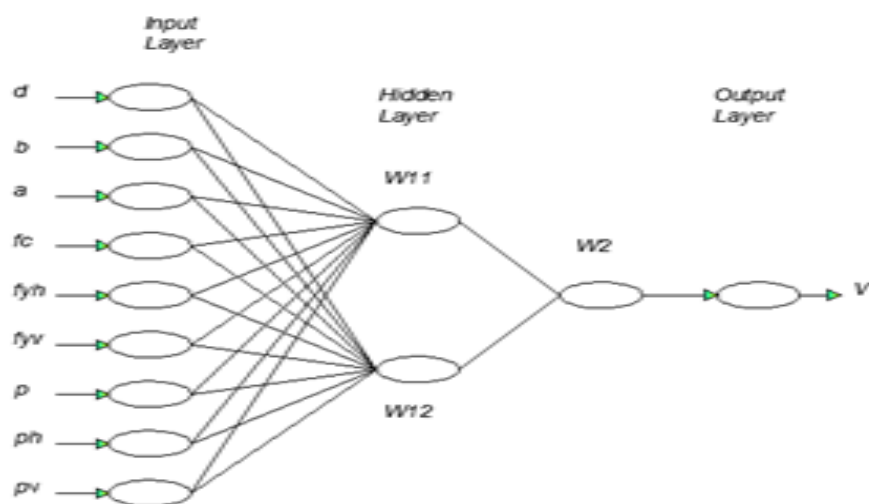
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - y_i)^2 \quad (11)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - t_i| \quad (12)$$

$$Err_i = \frac{|y_i - t_i|}{t_i} \times 100$$

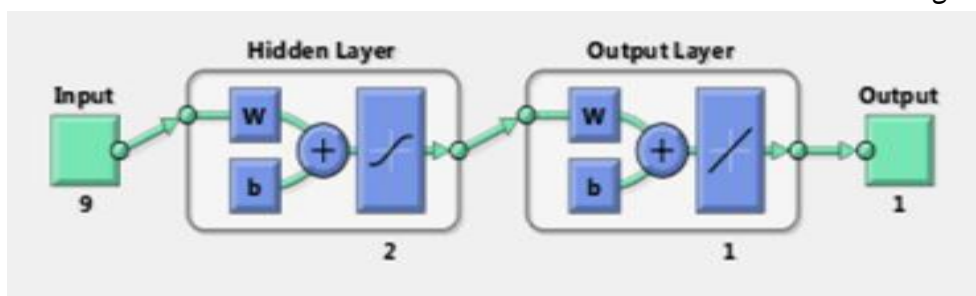
(۱۳)

که t_i مقدار خروجی واقعی، y_i مقدار خروجی پیش بینی شده برای خروجی i ام هستند و مقدار میانگین خروجی‌های واقعی و پیش بینی شده هستند. از آنجایی که با افزایش تعداد نورون‌ها فرمول پیچیده‌تر و غیر کاربردی می‌شود بعد از تعدادی سعی و خطا یک شبکه‌ی عصبی با وجود یک لایه‌ی پنهان با دو نورون در آن انتخاب شد، شبکه‌ی عصبی ساخته شده در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲: ساختمان شبکه‌ی عصبی برای تعیین مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح.

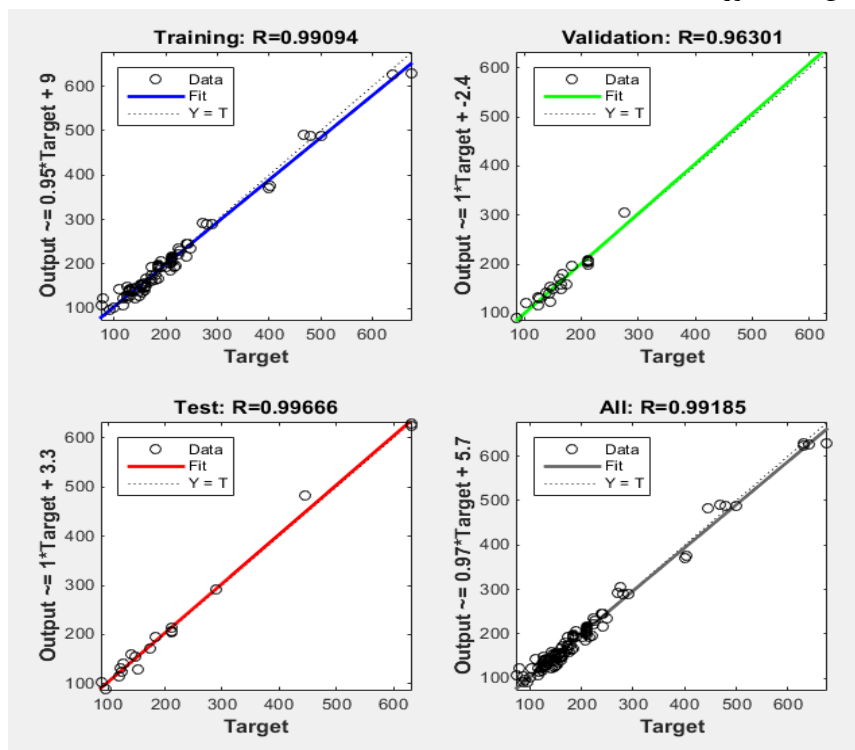
در ضمن شبکه‌ی عصبی ساخته شده دارای تابع انتقال (tanh) در لایه‌ی پنهان و تابع همانی در لایه‌ی خروجی خود می‌باشد شکل ۳.



شکل ۳: معماری شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای ارائه‌ی رابطه‌ی برای به دست آوردن مقاومت برشی نهایی.

در این مطالعه الگوریتم پس انتشار با تابع یادگیری لونبرگ - مارکوارت [۱۹] به منظور یادگیری شبکه استفاده شده است. برای آنالیز، داده‌ها تقسیم می‌شوند به داده‌های آموزشی، ارزیابی و آزمایشی. در این مطالعه از ۱۴۱ داده برای پیش بینی مقاومت برشی استفاده شده است که ۷۰ درصد داده برای آموزش، ۱۵ درصد داده برای ارزیابی و ۱۵ درصد داده برای آزمایش در شبکه مورد استفاده قرار گرفته است. تحلیل رگرسیون برای داده‌های خروجی

شبکه و داده‌های هدف انجام شد و مقدار ضریب همبستگی به دست آمد که نشان دهنده دقت مناسب شبکه می‌باشد. در شکل ۴ این مطلب آورده شده است.



شکل ۴: ضریب همبستگی ANN برای تیرهای عمیق بتنی مسلح برای به دست آوردن مقاومت برشی نهایی.

ماتریس وزن‌ها در لایه‌ها به صورت زیر می‌باشد:

$$w_{11} = [0.531024 \quad 0.238214 \quad -3.9495 \quad -0.40621 \quad -0.01912 \quad 1.254433 \quad 2.86243 \quad 0.668525 \quad 0.100439 \quad 0.094218]$$

$$w_{12} = [-0.62883 \quad -0.25496 \quad 1.015842 \quad 0.229776 \quad -0.01435 \quad -0.1377 \quad -1.36951 \quad -0.15178 \quad -0.07653 \quad -0.06191]$$

$$w_2 = [-0.17021 \quad -5.42539 \quad -5.96411]$$

در پایان فرمول به دست آمده برای تخمین مقاومت برشی (V) تیرهای عمیق بتنی مسلح برای حالت بارگذاری متمرکز تیر دو سر ساده با استفاده از ANN به صورت رابطه‌ی (۱۴) به دست آمده است:

$$V = 183.5188 - (561.9618 \times \left(\frac{2}{(1 + e^{-2 \times \beta_1}) - 1} \right)) - (617.7624 \times \left(\frac{2}{(1 + e^{-2 \times \beta_2}) - 1} \right)) \quad (14)$$

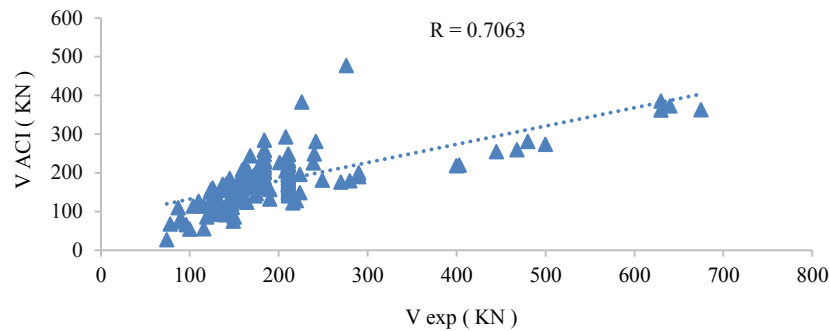
مقادیر β_1 و β_2 مطابق رابطه‌ی (۱۵) و (۱۶) محاسبه می‌شوند:

$$\begin{aligned} \beta_1 = & 0.0023 \times (d) - 0.3682 \times (b) - 0.0035(a) - 0.0019(fc) + 0.0096(Fyh) + 0.0225 \times (Fyv) \\ & + 148.6296 \times (\rho) + 20.3832 \times (\rho h) + 19.6255 \times (\rho v) + 21.3505 \end{aligned} \quad (15)$$

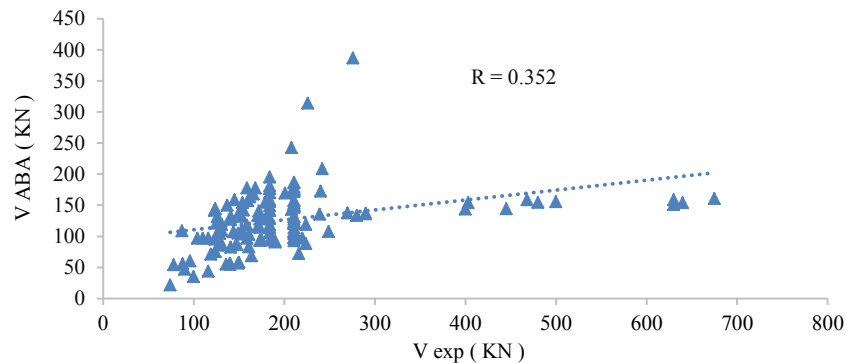
$$\beta_2 = 0.0025 \times (d) + 0.0947 \times (b) + 0.002 \times (a) - 0.0014 \times (fc) - 0.0011 \times (F_y h) - 0.0108 \times (F_y v) - 33.7453 \times (\rho) - 15.5318 \times (\rho h) - 12.8961 \times (\rho v) - 4.1782 \quad (16)$$

۳- یافته‌ها (نتایج):

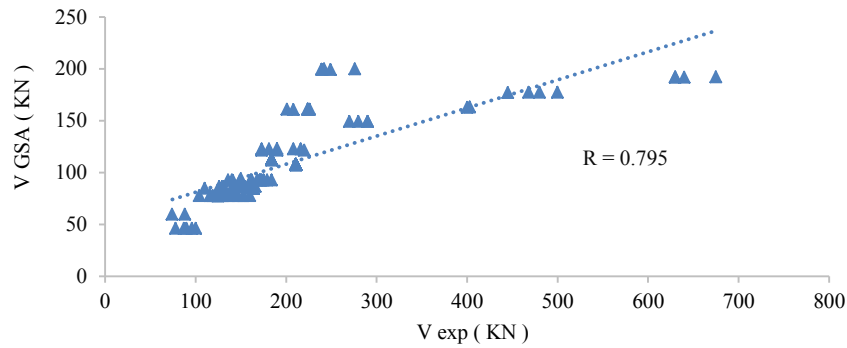
پیشنهادات جدیدی بر اساس شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت طراحی تیرهای عمیق در معرض بار متمرکز ارائه شد. پس از آن یک مقایسه بین نتایج شبکه‌های عصبی مصنوعی و نتایج مقررات طراحی بعضی این نام‌ها صورت گرفته است. از این مقایسه می‌توان دریافت که این نام‌ها نتایج را با دقت کم ارائه می‌دهند. این نام‌های امریکا (ACI) و ایران (ABA)، روش GSA و روش ANN روابطی را برای تیرهای عمیق بتنی مسلح ارائه داده‌اند و در مورد مقاومت برشی پیش بینی دارند. در شکل‌های ۵ تا ۸ مقایسه‌ای بین مقاومت برشی نهایی تیرهای عمیق بتنی مسلح به دست آمده از آزمایشگاه با این نام‌های امریکا (ACI)، ایران (ABA)، روش GSA و روش ANN انجام شده است.



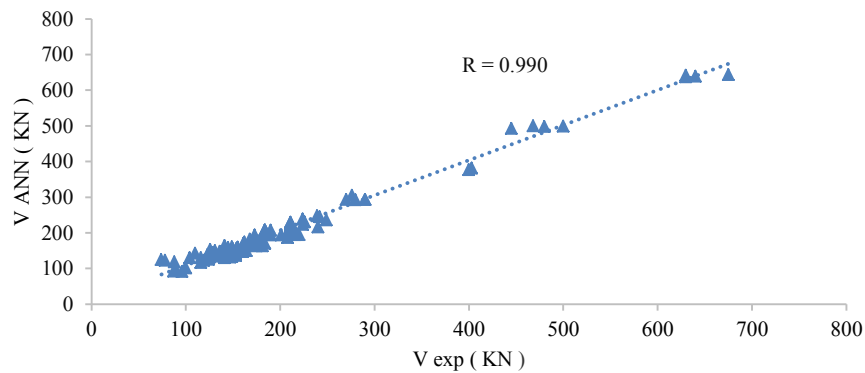
شکل ۵: نمودار مقایسه‌ی مقاومت برشی (آزمایشگاهی - این نام بتن امریکا).



شکل ۶: نمودار مقایسه‌ی مقاومت برشی (آزمایشگاهی - این نام بتن ایران).



شکل ۷: نمودار مقایسه‌ی مقاومت برشی (از آزمایشگاهی - روش GSA).

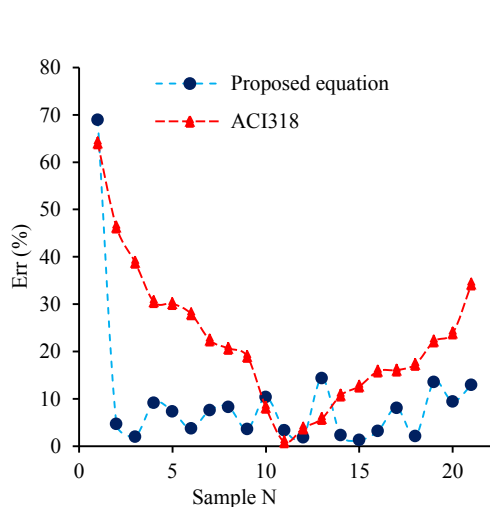


شکل ۸: نمودار مقایسه‌ی مقاومت برشی (از آزمایشگاهی - روش ANN).

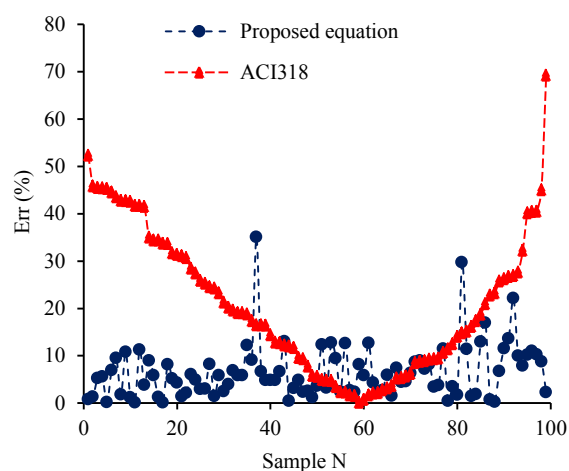
با توجه به شکل‌ها هر اندازه مقدار R به دست آمده به یک نزدیکتر باشد بیانگر این است که رابطه‌ی پیشنهاد شده برای محاسبه‌ی مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح دارای دقت مناسب تری نسبت به سایر روابط پیشنهاد شده دارد و به نتایج حاصل از آزمایشگاه نزدیکتر می‌باشد. همان طور که در شکل‌ها مشخص است این نام‌های موجود و روش‌های پیشین تخمین درستی از مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح ندارند. به همین دلیل نیاز به رابطه‌ی دقیق‌تر برای به دست آوردن مقاومت برشی نهایی می‌باشد که در بخش قبل با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی این رابطه ارائه شده است. یکی از مشکلات موجود در آموزش شبکه‌های عصبی بیش برارزش^۵ شبکه بر داده‌های آموزشی می‌باشد. منظور از بیش برارزش این است که پس از آموزش شبکه خطا بر روی مجموعه‌ی آموزشی به حداقل مقدار خود می‌رسد اما با ارائه‌ی داده‌های جدید به شبکه به عنوان ورودی خطا بسیار بالا می‌باشد. در واقع شبکه بر روی داده‌های آموزشی احاطه‌ی کامل می‌یابد اما نمی‌تواند در قبال داده‌های جدید عکس العمل مناسب را از خود نشان دهد. دو راه حل برای افزایش عمومیت شبکه در جعبه‌ی ابزار شبکه‌های عصبی در نظر گرفته شده است: تنظیم^۶ و توقف زود رس^۷. روش توقف زود رس به صورت پیش فرض در آموزش انواع شبکه‌های عصبی در این جعبه ابزار استفاده می‌شود. در این تکنیک داده‌های موجود به سه زیر مجموعه شکسته می‌شود.

Overfitting^۵
Regularization^۶
Early stopping^۷

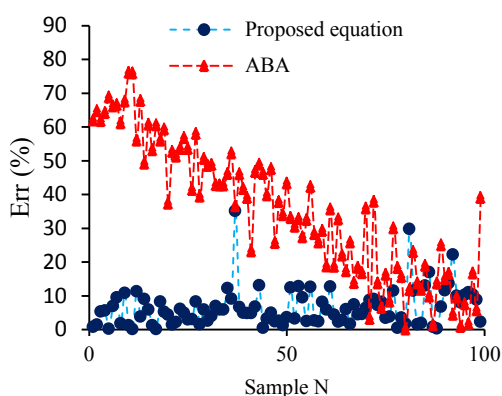
شوند. زیر مجموعه‌ی اول همان آموزشی خواهد بود که برای محاسبه‌ی گرادیان و به روز رسانی وزن‌ها و بایاس‌ها از آن استفاده می‌شود. زیر مجموعه‌ی دوم زیر مجموعه‌ی معتبر سازی است. زیر مجموعه‌ی سوم زیر مجموعه‌ی آزمایشی می‌باشد که در طول فرایند آموزش کاربردی ندارد و از آن برای مقایسه‌ی مدل‌های مختلف استفاده می‌شود. در این قسمت با استفاده از شکل‌های ۹ تا ۱۷ به مقایسه‌ی فرمول به دست آمده از شبکه‌های عصبی مصنوعی با روابط این نامه‌ای می‌پردازیم.



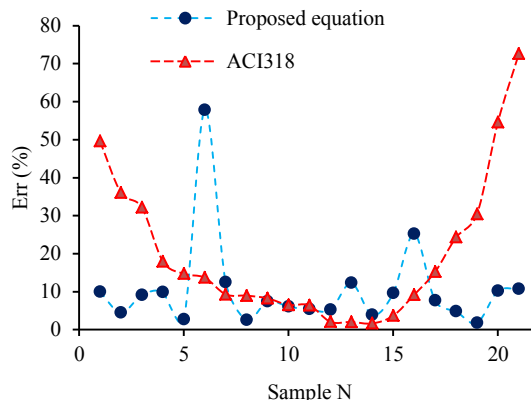
شکل ۱۰: مقایسه‌ی بین آیین نامه‌ی امریکا و فرمول



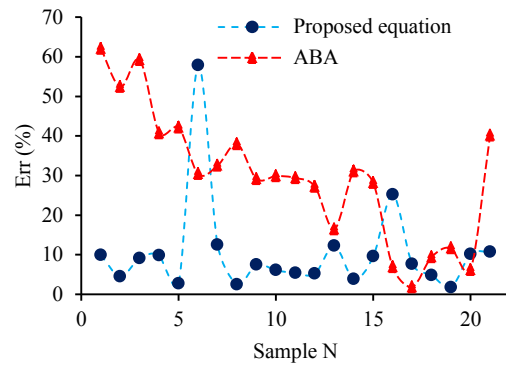
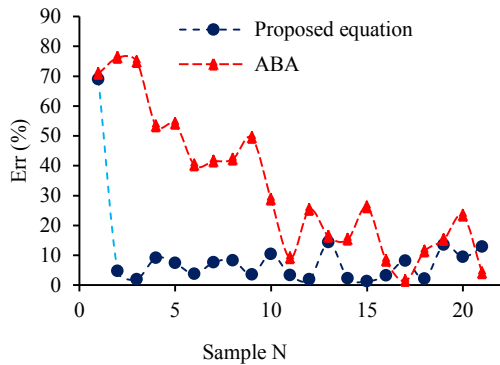
شکل ۹: مقایسه‌ی بین آیین نامه‌ی امریکا و فرمول پیشنهادی داده‌های آموزشی. پیشنهادی داده‌های ارزیابی.



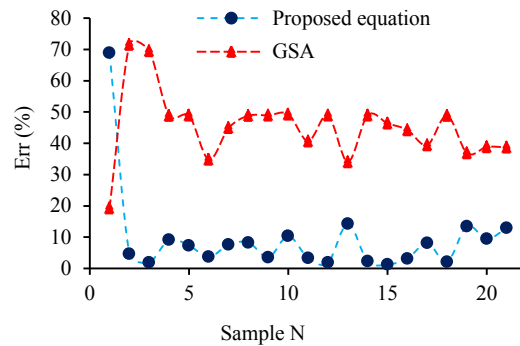
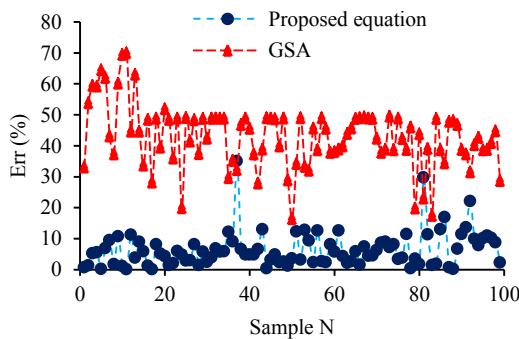
شکل ۱۲: مقایسه‌ی بین آیین نامه‌ی ایران و فرمول



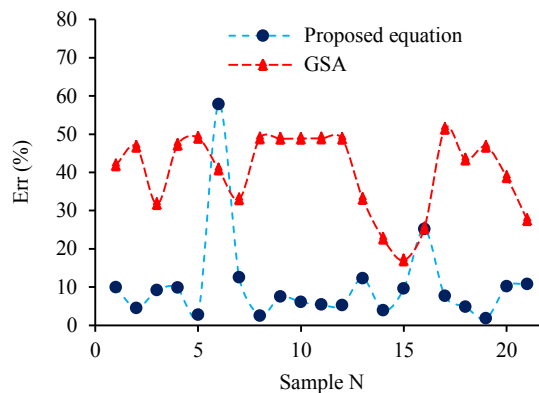
شکل ۱۱: مقایسه‌ی بین آیین نامه‌ی امریکا و فرمول پیشنهادی داده‌های آزمایشی. پیشنهادی داده‌های آموزشی.



شکل ۱۳: مقایسه‌ی بین آیین نامه‌ی ایران و فرمول پیشنهادی داده‌های ارزیابی. شکل ۱۴: مقایسه‌ی بین آیین نامه‌ی ایران و فرمول پیشنهادی داده‌های آزمایشی.



شکل ۱۵: مقایسه‌ی بین روش GSA و فرمول پیشنهادی داده‌های آموزشی. شکل ۱۶: مقایسه‌ی بین روش GSA و فرمول پیشنهادی داده‌های ارزیابی.



شکل ۱۷: مقایسه‌ی بین روش GSA و فرمول پیشنهادی داده‌های آزمایشی.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در سال‌های گذشته مطالعات گسترده‌ای در رابطه با مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح انجام گرفته است. در گام اول داده‌های به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی پژوهش‌های پیشین را جمع‌آوری سپس یک مقایسه بین مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح استخراج شده از نتایج آزمایشگاهی و روابط آیین نامه‌ای انجام گرفت. در گام بعدی این تحقیق شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تعیین مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح به کار گرفته شده‌اند. دستورالعمل‌های طراحی سازه‌های بتنی، مقاومت برشی تیر عمیق بتنی مسلح در این حالت با نتایج

ازمایشگاه مقایسه شد. این مقایسه نشان داد که این نام‌های ABA ، ACI ، روش GSA به صورت قابل اطمینان مقاومت برشی را تعیین می‌کنند، اما دقت آنها زیاد نیست که این می‌تواند مشکل‌آفرین باشد. یک فرمول نسبتاً دقیق برای تعیین مقاومت برشی تیرهای عمیق بتنی مسلح با به کار گرفتن ANN توسعه داده شد.

مراجع

- [۱] کیا، س. م. (۱۳۹۳). شبکه‌های عصبی در MATLAB ویرایش سوم، تهران، دانشگاهی کیان.
- [۲] طرح و اجرای ساختمان‌های بتن ارمه، دفتر مقررات ملی ساختمان، وزارت راه و شهرسازی. مبحث نهم.
- [3] Elcordy MF, Chang KC and Lee GC. (1993). *Neural networks trained by analytically simulated damage states. J Comput Civil Eng*, 7(2):130-45.
- [4] Sand A and Saka M. (2001). *Prediction of ultimate shear strength of reinforced-concrete deep beams using neural networks. J Struct Eng*, 127(7):818-828.
- [5] Inel M. (2007). *Modeling ultimate deformation capacity of RC columns using artificial neural networks. Eng Struct*, 29(3):329-35.
- [6] Tang S, Kong FK and Poh SP. (1998). *Shear strength of reinforcement and prestressed concrete deep beams. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, 128(2):112-123.
- [7] Naderpour H and Alavi SA. (2017). *A proposed model to estimate shear contribution of FRP in strengthened RC beams in terms of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. Composite Structures*, 170:215-227.
- [8] Hosseini G. (2017). *Capacity Prediction of RC Beams Strengthened with FRP by Artificial Neural Networks Based on Genetic Algorithm. Soft Computing in Civil Engineering*, 1(1):93-98.
- [9] Farahnaki R. (2017). *The application of particle swarm optimization and artificial neural networks to estimating the strength of reinforced concrete flexural members. Soft Computing in Civil Engineering*, 1(2):1-7.
- [۱۰] نادرپور حسین و فخاریان پویان. (۱۳۹۶). پیش بینی مقاومت پیچشی تیرهای بتن آرمه تقویت شده با FRP با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی. مهندسی سازه و ساخت، شناسه دیجیتال 10.22065/JSCE.2017.70668.1023
- [11] Kong FK. (2002). *Reinforced concrete Deep Beams. Taylor & Francis e – Library, Van Nostrand Reinhold New York.*
- [12] Smith KN and Vantsiotis AS. (1982). *Shear strength of deep beams. ACI struct J*, 79(3): 201-213.
- [13] Kong FK, Robins PJ and Cole DF. (1970). *Web reinforcement effects on deep beams. ACI struct J*, 67(12):1010-1018.
- [14] ACI , Committee 318. (2015). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 218 – 05) and Commentary (ACI 318 – 05), USA.*
- [15] ACI – 318 , ACIC, (2008). *318 – 08 : Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary . American Concrete Institute.*
- [16] Mau ST and Hsu TSTC. (1989). *Formula for the shear strength of deep beams. ACI Struct J*, 86(5):516-523.
- [17] Tang CY and Tan KH. (2004). *Interactive mechanical model for shear strength of deep beams. J struct Eng*, 130(10):1634-1544.
- [18] CIRIA-Guide 2, C.I.R.a.I.A. (1977). *CIRIA Guide 2: The Design of Deep Beams in Reinforcement Concrete.*
- [19] Hagan MT and Menhaj M. (1999). *Training feed-forward networks with the Marquardt algorithm. IEEE Transactions on Neural Networks*, 5:989-93.

Shear Capacity Assessment of Reinforced Concrete Deep Beams Using Artificial Neural Network

*Yasser Sharifi**

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran.

*yasser_sharifi@yahoo.com y.sharifi@vru.ac.i**

Najmeh Mohamadi

Master of structures, Faculty of Engineering, Institute of Higher Education Allameh Jafari Rafsanjan, Iran.

Adel Moghbeli

Master of structures, Department of Civil Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran.

Abstract

Reinforced concrete deep beams introduced as the flexural members that the height to length ratio of such members are more than the conventional beams. The failure mode of reinforced concrete deep beams is shear. The most important aim of the current paper is to present an exact and appropriate formulae including all influences variables to assess the shear capacity of abovementioned elements. A numerical study based artificial neural network was investigated to asses shear capacity of deep reinforced concrete beams. For this purpose effects of section geometries, amount and strengths of steel reinforcement and compressive strength of concrete of such members were incorporated. An exact equation based neural network modelling in order to shear capacity assessment of reinforced concrete deep beams have been introduced. Then a comparison between the obtained results from artificial neural networks and those from code recommendations was done. It was found that the proposed equation give more exact result than code recommendations predictions.

Keywords: *Deep Reinforced Concrete Beams, Shear Strength, Artificial Neural Network, Code Recommendation*