بررسی عملکرد دال های دو طرفه بتن مسلح به روش اجزا محدود با استفاده از هوش مصنوعی

ساسان کیاست [*۱]، کورش شاهوردیانی [۲]

۱- دکتری سازه، دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران.

۲- هیات علمی دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

خلاصه

دال‌های دو طرفه بتن مسلح، از نظر عملکرد و رفتار سازه ای از پیچیده ترین اجزای سازه هستند. تحلیل و طراحی این گروه از سازه ها مخصوصا از روشهایی مانند آنالیز پلاستیک و اجزا محدود، بسیار زمانبر بوده و برای رسیدن به نتایج مطلوب، تحلیل های نرم افزاری زیادی لازم است. بنابراین استفاده از این روشهای تحلیل به عنوان یک روش متداول، پیچیده و زمانبر است، مخصوصاً اگر تحلیل دال در حالت غیرالاستیک وغیر خطی مورد نظر باشد. شبکه های عصبی مصنوعی به عنوان یک سیستم پردازش اطلاعات می توانند پس از آموزش مناسب، در این زمینه مورد استفاده قرار گیرند. از مزیت های این سیستم می توان به سهولت در استفاده، سرعت بسیار بالا و دقت مناسب در تحلیل حالت های گوناگون و گستردگی نتایج، اشاره نمود.

کلمات کلیدی: دال دو طرفه بتن مسلح، هوش مصنوعی، آنالیز پلاستیک ، شبکه عصبی مصنوعی

۱. مقدمه

روش اجزای محدود، برای تحلیل انواع سازه ها از جمله دال های دو طرفه بتن مسلح یک تحلیل جامع و کامل بوده که در حالت های الاستیک و غیرالاستیک قابل استفاده است. اما استفاده از این روش به دلیل حجم بالای محاسبات و زمان بر بودن روش حل، مخصوصاً برای حالات رفتاری غیر خطی-غیر الاستیک، متعارف و کاربردی نیست. البته استفاده از نرم افزارها تا حدودی از دشواری حل مسائل اجزای محدود کاسته است. اما استفاده از این نرم افزارها هنوز پیچیدگی های خود را دارد. مدل سازی گرافیکی، تعریف نوع تماس ها، مش بندی و انتخاب نوع المانی که برای حل مسائل پاسخگو باشد، تعریف صحیح پارامترهای تحلیل، انتخاب درست مشخصه های مدل و نیاز به صرف زمان زیاد جهت تحلیل ، از مواردی هستند که برای مدل سازی ها به وسیله نرم افزارها باید مورد توجه قرار گیرد و البته باید تاکید کرد که دریافت جواب صحیح از یک مسأله اجزای محدود به کمک نرم افزار، همیشه به سادگی امکان پذیر نیست. استفاده از نرم افزارهای اجزای محدود مانند Abaqus مستلزم داشتن آگاهی و تجربه کافی در ارتباط با مدل سازی، تحلیل نرم افزاری ، تئوری روش اجزای محدود

و همچنین در اختیار داشتن مقادیر منطقی برای مقایسه نتایج می باشد علاوه بر اینکه گاهی اوقات جهت تحلیل مدل های نرم افزاری نیاز است که نرم افزار ساعت ها در حال آنالیز مدل باشد. بنابراین اگر امکان استفاده از ابزار ساده تری جهت تحلیل سازه ها فراهم شود به طوری که این ابزار بتواند زمان حل مساله را کاهش داده و نتایج آن در مقایسه با نتایج روش های منطقی حل مساله قابل قبول باشد، این امر می تواند به روند حل و بررسی مسائل علمی و پژوهشی سرعت بیشتری دهد و در حل مسائل مهندسی جنبه کاربردی هم داشته باشد. شبکه های عصبی مصنوعی از سیستم های هوشمند برای پردازش اطلاعات هستند که کاربرد این سیستم ها در علوم مختلف از جمله مهندسی سازه در حال توسعه است. شبکه های عصبی به عنوان یک ابزار می توانند در شاخه های مختلف مهندسی بسیار مفید واقع شوند. مخصوصاً هنگامی که زمان حل مسأله، مورد توجه باشد این شبکه ها می توانند در زمان مناسب و با دقت مطلوب نتایج مناسب را ارائه دهند. در این مطالعه با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل اجزای محدود یک شبکه عصبی آموزش داده می شود، به طوری که این شبکه بتواند مقدار بار نهایی یک دال دو طرفه بتن مسلح را ارائه دهد. برای آموزش شبکه عصبی از نتایج به دست آمده از تحلیل اجزای محدود به کمک نرم افزار Abaqus استفاده می شود. بدین منظور ابتدا جمعیت اولیه نود دال دو طرفه به وسیله نرم افزار مدل سازی گردید، در انتخاب دال ها سعی گردید که تنوع ابعاد، اندازه ها، ارتفاع و سطح مقطع میلگرد ها طوری در نظر گرفته شود که گستردگی دامنه هندسه آنها بتواند در بر گیرنده ی هندسه گروه بزرگی از دال های دو طرفه متعارف باشد. این دال ها دارای هندسه منظم مربع یا مستطیل و مستقر بر تکیه گاه های گیردار از سمت اضلاع خود هستند. محدوده ابعاد دال های مدل سازی شده از دال هایی با اندازه اضلاع حدود ۱ در ۱ متر تا دال هایی به اندازه اضلاع ۹ در ۱۰ متر در نظر گرفته شده است. ارتفاع دال از ۷ تا ۲۰ سانتی متر متغیر می باشد و برای آرماتور گذاری از میلگرد های به قطر ۸ تا ۲۰ میلی متر، استفاده شده است. ظرفیت نهایی یا بار نهایی (kg/m2) هر یک از دال ها با استفاده از نرم افزار محاسبه شده و برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی استفاده میشود.

۲. صحت سنجی مدل عددی

در این مطالعه برای اطمینان بیشتر از صحت نتایج به مقادیر آزمایشگاهی به دست آمده از تحقیقات یک گروه مشخص از محققین اکتفا نگردید و از هشت نمونه دال دو طرفه آزمایش شده توسط سه دسته از پژوهشگران برای مقایسه با نتایج تحلیل اجزای محدوداستفاده شد. این نمونه ها عبارتند از دال های دو طرفه بتن مسلح آزمایش شده توسط:

الف) هانگ و ناوی[۱] در یک مقاله تحقیقاتی ACI [1]

ب) پاول[۲] در رساله دکتری دانشگاه کمبریج [2]

پ) نی بلاک[۳] در رساله دکتری دانشگاه کوین انگلستان [3]

[۱] Hung and Nawy
[۲] Powell
[۳] Niblock

مشخصات این هشت نمونه دال در جدول ۱ ارایه می گردد.

جدول ۱- جزئیات مدل آزمایشگاهی

Slab	Aspect ratio r	Width-to-depth Ratio b=L_x/h	Effective depth d(mm)	%Reinforcement ratio ρ	Steel yield strength f_y (N/mm^2)	Concrete cylinder strength f'_c (N/mm^2)
Hung and Nawy's slabs ($L_y \times L_x \times h = 1651 \times 1651 \times 63.5$ mm^3)						
C1-1	1	26	50.8	0.58	471	38.6
C1-2	1	26	50.8	0.36	475.2	38.6
C4-4	1.38	18	50.8	0.36	475.05	38.07
C4-5	1.38	18	50.8	0.38	470.91	38.07
Niblock' s slabs ($L_y \times L_x \times h = 950 \times 950 \times 63.5$ mm^3)						
S2R	1	19	38.0	0.258	510	37
Powell' s slabs ($L_y \times L_x \times h = 914.4 \times 522.5 \times 32.7$ mm^3						
S58	1.75	16	25.2	0.97	255.2	40
S59	1.75	16	25.2	0.97	255.2	39.3
S62	1.75	16	25.2	1.53	255.2	36.3

مدل سازی نمونه های آزمایشگاهی در نرم افزار اباکوس انجام شد. برای مدلسازی سقف بتنی از المان *solid* ، برای مدلسازی میلگردهای آن از المان *truss* استفاده شد.

پس از تحلیل اجزای محدود دال ها بوسیله نرم افزار Abaqus، مقدار بار نهایی (kg/m2) (ظرفیت نهایی در رفتار غیر خطی – غیر الاستیک) برای هر مدل به دست آمد ، سپس این مقادیر با مقادیر بدست آمده از تحقیقات آزمایشگاهی جدول ۱ مقایسه شد.

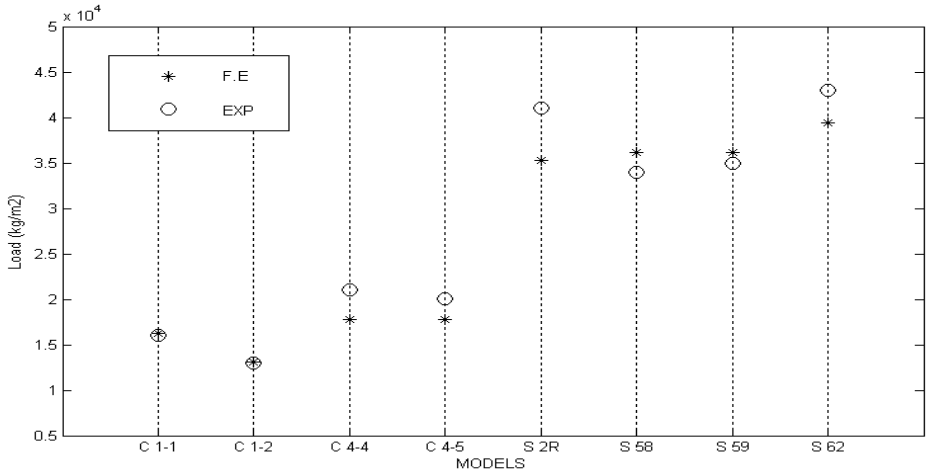
خطای نتایج مقادیر به دست آمده از تحلیل اجزای محدود در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی توسط رابطه(۱) به دست آمد:

رابطه(۱) :

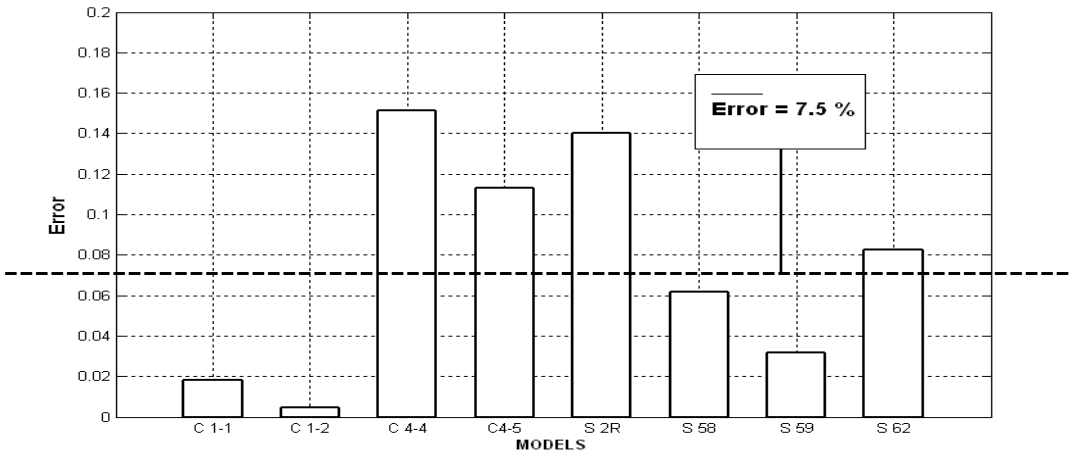
$$\overline{E} = \left| \frac{E_x - F.E}{E_x} \right|$$

$\overline{E}$ خطای نتایج است، $F.E$ مقدار بار نهایی برای یک مدل دال دو طرفه حاصل از تحلیل اجزای محدود می باشد و E_x مقدار بار نهایی برای یک مدل دال دو طرفه حاصل از نتایج آزمایشگاهی را مشخص می کند.

مقایسه بین مقادیر به دست آمده از تحلیل اجزای محدود به کمک نرم افزار Abaqus و نتایج آزمایشگاهی ، نشان دهنده دقت قابل قبول تحلیل ها می باشد. نتایج حاصل از تحلیل اجزای محدود به کمک نرم افزار Abaqus برای دال های دو طرفه بتن مسلح در این مطالعه نسبت به نتایج آزمایشگاهی، میانگین خطایی در حدود هفت درصد دارد. شکل ۱ .



شکل ۱- الف : مقایسه بین مقادیر به دست آمده از تحلیل اجزای محدود و نتایج آزمایشگاهی



شکل ۱- ب : خطای نتایج تحلیل اجزای محدود در مقایسه با مقادیر آزمایشگاهی

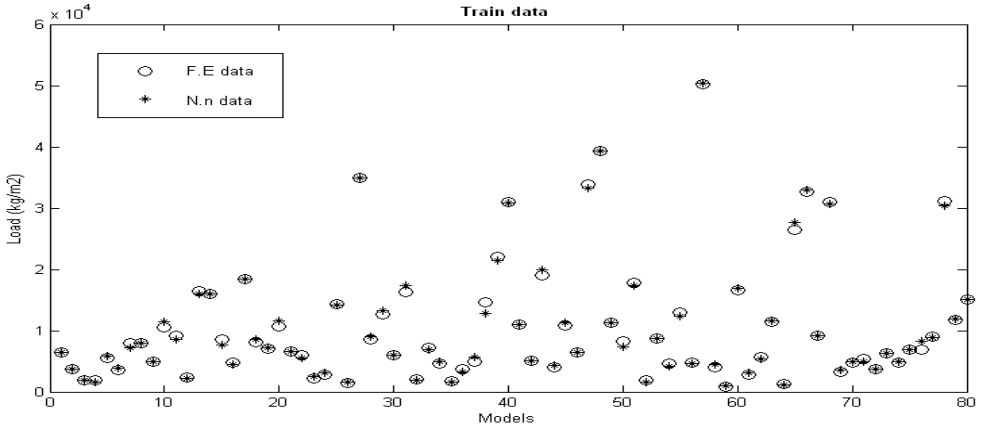
با توجه به بررسی های فوق و مقایسه نتایج با مقادیر آزمایشگاهی، شیوه مدل سازی و تحلیل دال های دو طرفه مطابق آن چه در بخش های قبل ذکر شد، قابل قبول و مناسب، ارزیابی گردید

۳. آموزش شبکه عصبی مصنوعی R.B.F

ازمشخصات و نتایج تحلیل ۹۰ مدل دال دو طرفه که با استفاده از تحلیل اجزای محدود به کمک نرم افزار Abaqus مدل سازی و آنالیز گردید برای آموزش و کنترل شبکه عصبی R.B.F استفاده گردید. اما از این تعداد، ۸۰ نمونه برای آموزش شبکه و ۱۰ نمونه برای کنترل درستی نتایج شبکه عصبی در نظر گرفته شد، بنابراین مراحل آموزش شبکه با استفاده از مشخصات ۸۰ دال دو طرفه بتن مسلح انجام گرفت. سپس با استفاده از مشخصات ۱۰دال دو طرفه بتن مسلح صحت نتایج شبکه عصبی مورد بررسی قرار گرفت.

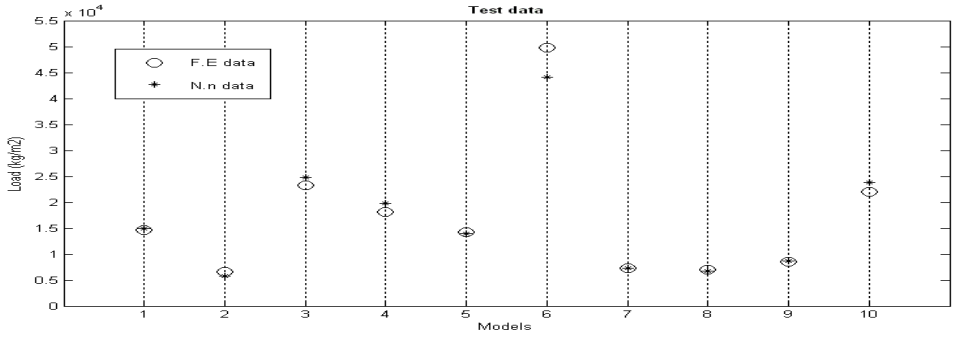
برای آموزش شبکه عصبی R.B.F و ارائه نتایج آموزش شبکه، در محیط نرم افزار متلب، کد نویسی انجام شد که ابتدا اطلاعات مربوط به دال های دو طرفه را دریافت و نرمالیزه نماید. دلیل نرمالیزه کردن داده ها، فاصله ی زیاد بین ارقام داده های هر دال می باشد. برای هر دال مشخصات هندسی، مقادیر مرتبط با میلگردها، مقاومت مشخصه فشاری بتن، به همراه مقدار بار نهایی که از تحلیل اجزاء محدود دال به دست آمده است، به شبکه عصبی R.B.F ارائه می شود و روند آموزش و یادگیری شبکه انجام می پذیرد. سپس نتایج مرتبط با خطا درمرحله یادگیری شبکه ، در نمودارهایی ترسیم می شود و به کاربر ارائه می گردد. این اطلاعات نشان دهنده یادگیری شبکه عصبی RBF و توان شبکه در تخمین بار نهایی می باشد.

روند آموزش فوق و بررسی نمودارهای مربوطه جهت رسیدن به یادگیری مطلوب و قابل قبول شبکه به دفعات تکرار شد و در هر مرحله سعی گردید با تغییر پارامتر های آموزش شبکه، روند یادگیری به سمت یادگیری مطلوب هدایت شود. خطای محاسبات در مرحله یادگیری شبکه در شکل 2 نشان داده شده است.



شکل ۲ – تطابق نتایج تحلیل اجزای محدود و یادگیری شبکه عصبی در مرحله آموزش

پس از طی مرحله آموزش، برای بررسی صحت محاسبات شبکه عصبی R.B.F ، از مشخصات ۱۰ دال دوطرفه که در مرحله آموزش شبکه به کار گرفته نشده اند استفاده گردید. در شکل ۳ مقادیر بار نهایی حاصل از تحلیل اجزای محدود با مقادیر بار نهایی تخمین زده شده توسط شبکه عصبی آموزش دیده برای ده مدل جدید مقایسه شده است.



شکل ۳- مقایسه نتایج شبکه عصبی با تحلیل اجزاء محدود برای ۱۰ مدل دال دوطرفه جدید

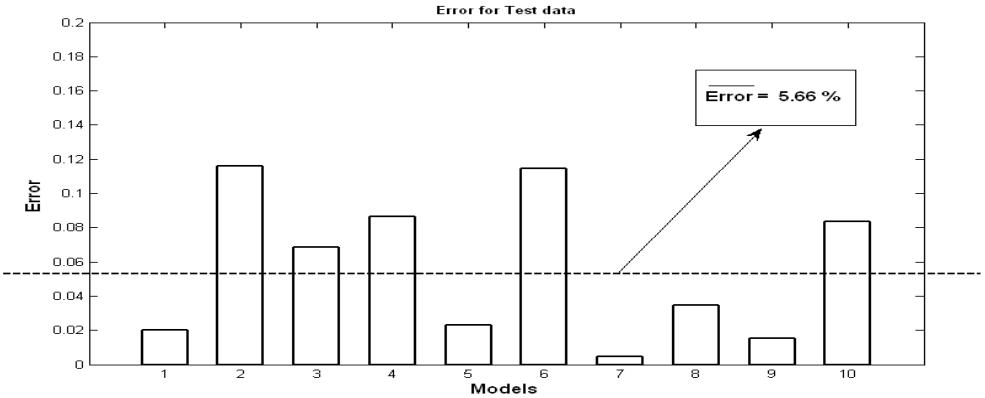
برای کنترل دقیق تر نتایج، مقدار خطای محاسبات شبکه عصبی مصنوعی برای هر دال دو طرفه بتن مسلح از رابطه(۲) به دست آمد.

رابطه(۲) :

$$\overline{Er} = \left| \frac{F.E - N.n}{F.E} \right|$$

$\overline{Er}$ خطا در محاسبات شبکه عصبی است ، $F.E$ مقدار بار نهایی برای یک مدل دال دو طرفه حاصل از تحلیل اجزای محدود و $N.n$ مقدار بار نهایی برای یک مدل دال دو طرفه حاصل از برآورد شبکه عصبی می باشد.

در شکل۴ مقادیر خطای محاسبه شده برای هر یک از ۱۰ دال دو طرفه بتن مسلح نشان داده شده است.



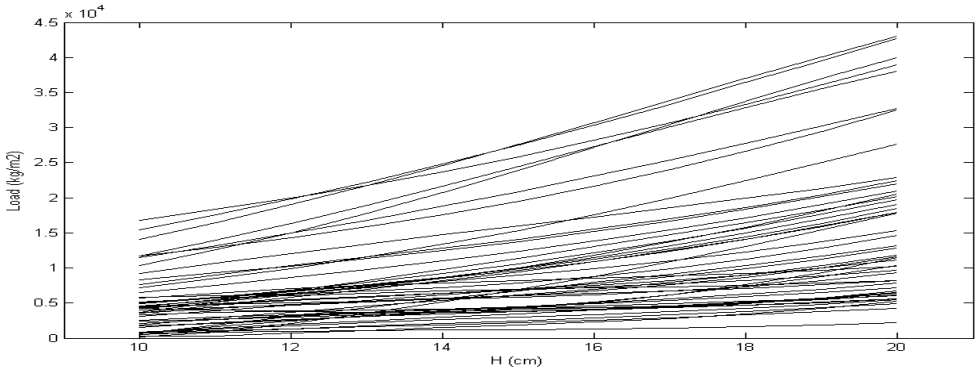
شکل۴- خطای نتایج شبکه عصبی در مقایسه با تحلیل اجزاء محدود

با بررسی مقادیر خطای محاسبه شده می توان گفت که شبکه عصبی آموزش دیده، دقت مناسبی دارد و میانگین خطای محاسبات شبکه عصبی آموزش دیده کمتر از شش درصد می باشد. از طرفی مزیت مهم شبکه عصبی آموزش دیده کاهش چشمگیر زمان حل مساله است، به طوری که این شبکه می تواند مقادیر بار نهایی برای دال های دو طرفه بتن مسلح را در زمان بسیار کوتاه تخمین بزند.

۴. نتیجه گیری

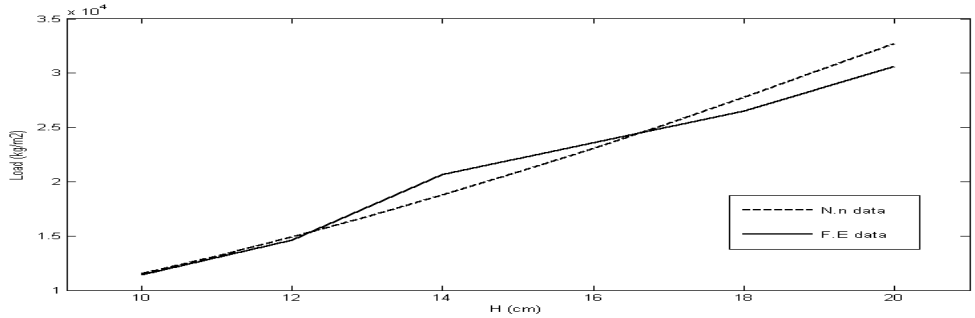
در این مطالعه، رفتار دال های دوطرفه، با استفاده از تحلیل اجزای محدود و گسترش دامنه کاربرد آن به کمک شبکه های عصبی مصنوعی بررسی گردید. نتایجی که به کمک هوش مصنوعی از رفتار دال ها میتوان بدست آورد بسیار گسترده است، برای نمونه می توان به تحلیل زیر که با استفاده از شبکه مصنوعی گسترش یافته انجام شده است اشاره نمود :

نمودار (ضخامت دال- بارنهایی) برای ۶۵ مدل دال دوطرفه، برای هر دال در یازده ضخامت متفاوت و با تحلیل ۷۱۵ حالت به کمک شبکه عصبی ترسیم شد. شکل۵



شکل ۵ . بر هم نهی نمودارهای (ضخامت – مقدار بار نهایی) برای ۶۵ مدل دال دوطرفه

برای یک نمونه از دال ها، نمودار بدست آمده از نتایج شبکه عصبی با نمودار حاصل از تحلیل اجزای محدود مقایسه گردید و دقت نمودارها مناسب ارزیابی شد. شکل۶



شکل ۶-مقایسه نتایج تحلیل اجزا محدود و هوش مصنوعی در نمودار(ضخامت – مقدار بار نهایی) دال دوطرفه در مدل نمونه

در گستره ای که شبکه عصبی مصنوعی آموزش دیده است، با اضافه نمودن حالات بهینه سازی به عنوان یک برنامه بر اساس هوش مصنوعی می توان نتایج ارائه شده توسط شبکه عصبی مصنوعی در این مطالعه را تقریبی از یک آنالیز غیر خطی و غیرالاستیک به وسیله تحلیل اجزاء محدود دانست. مزیت مهم شبکه عصبی آموزش دیده آن است که به کمک این سیستم می توان به سادگی تحلیل های پیچیده اجزا محدود را با دقت مناسب و با گستردگی فراوان برای عضو مورد نظر انجام داد. با تحلیل نمودار های بررسی شده در این مطالعه و با ترسیم نمودارهای دیگر توسط شبکه در زمان کوتاه و با دقت مناسب، عملکرد دال های دو طرفه که از پیچیده ترین اجزای سازه بتن مسلح هستند با سهولت بیشتر ودر زمان کمتر بررسی می گردد.

منابع:

1. T.Y. Hung, E.G. Nawy. Limit strength and serviceability factors in uniformly loaded, iso-tropically reinforced two way slabs. American Concrete Institute, ACI SP-30, Detroit, 1971. p. 301.
2. D.S. Powell. Ultimate strength of concrete panels subjected to uniformly distibuted loads. PhD Thesis, Cambridge University, UK, 1956.
3. R.A. Niblock, Compressive membrane action and the ultimate capacity of uniformly loaded reinforced concrete Slabs. PhD Thesis , The Queen's University of Belfast , UK , 1986 .
4. M. Esmaeil Nia Omran, S. Mollaei, Estimation of RC columns' response under the effect of lateral blast loading by SDOF method and comparison with FEM, Journal of Structural and Construction Engineering 4(3) (2017) 81-90. 10.22065/jsce.2017.75048.1063.