



بهینه‌سازی شبکه‌های دولایه فولادی توسط الگوریتم ژنتیک در تعامل با شبکه‌های عصبی مصنوعی

فرزاد شهابیان^۱، محمد حسین ابوالبشری^۲، سید مسعود احمدی^۳

چکیده

در طراحی بهینه سازه‌های فضاکار به دلیل پر عضو بودنشان نسبت به سازه‌های دیگر، زمان زیادتری برای تحلیل، طراحی و یا تعیین وزن آنها مورد نیاز می‌باشد. در این مقاله برای اجتناب از تحلیل‌های مکرر و وقت‌گیر مرسوم در روش‌های معمول، با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک طراحی بهینه سازه‌های فضاکار از نوع شبکه دو لایه انجام گردیده است. برای این کار، ۱۸۰ نمونه شبکه دو لایه فولادی با سه توپولوژی مختلف با دهانه‌هایی بین ۱۰ تا ۷۵ متر و ارتفاع ۱ تا ۲/۵ متر تحلیل شده و در هر مورد وزن بهینه سازه تعیین گردیده است. نتایج حاصل برای آموزش، آزمایش و طراحی یک شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین وزن سازه به کار گرفته شده است. آن گاه از روش الگوریتم ژنتیک در تعامل با شبکه عصبی، برای انتخاب یک سازه فضاکار بهینه استفاده شده است. بدین ترتیب می‌توان با توجه به ابعاد زمین، مناسب‌ترین پوشش از نوع شبکه دو لایه را با یک توپولوژی مشخص به همراه ارتفاع، فاصله ستون‌ها و طول اعضای افقی پیشنهاد نمود.

کلمات کلیدی:

بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی مصنوعی، سازه فضاکار، شبکه دولایه

Neuron-Genetic Optimization of Double Layer Steel Grids

F. Shahabian, M.H. Abolbashari, S.M. Ahmadi

ABSTRACT

Analysis and design of space structures are normally time consuming since a large number of members is involved. The problem becomes more involved when optimization is performed, where numerous analysis should be carried out. In this paper, neural network and genetic algorithm are applied for optimization of double steel layer grids. 180 models with three topologies, spans between 10 and 75 m and height between 1 and 2.5 m are analyzed and designed for optimum weight. The results have been used for training and testing of proposed neural networks system to predict the weight of the structures. The genetic algorithm based on neural networks is used for design optimization. Thus, for a site plan with arbitrary length and width, the output of the neuron-genetic system is the selection of a double steel grid with optimized shape based on three available topologies with height, distance between columns and length of horizontal members.

Key words:

Optimization, Genetic Algorithm, Neural Networks, Double Layer Steel Grids

۱. استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد fshahabianm@yahoo.com

۲. دانشیار گروه مکانیک، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد abolbash@um.ac.ir

۳. کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد m_ahmad@yahoo.com

کاربرد خود از این روش در بهینه سازی خرپاهای فضایی استفاده کردند.

در این مقاله از روش الگوریتم ژنتیک برای بهینه کردن شبکه‌های دو لایه فولادی استفاده شده است. به منظور کاهش زمان در انجام تحلیل‌های مکرر و وقت گیر این نوع سازه‌ها به دلیل پر عضو بودن آن‌ها نسبت به سازه‌های دیگر، زمان زیادتری برای تحلیل، طراحی و یا تعیین وزن آنها مورد نیاز است، از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شده است. برای این کار ۱۸۰ نمونه شبکه دو لایه با سه توپولوژی مختلف تحلیل شده و در هر مورد وزن بهینه سازه تعیین گردیده است. نتایج فوق برای آموزش، انتخاب و طراحی یک شبکه عصبی مصنوعی مناسب برای پیش بینی وزن سازه به کار گرفته شده است، آن گاه از روش الگوریتم ژنتیک برای انتخاب یک سازه فضاکار با وزن حداقل استفاده شده است. بدین ترتیب می‌توان با توجه به ابعاد زمین، مناسبترین سازه فضاکار از نوع شبکه دو لایه فولادی را با یک توپولوژی خاص به همراه ارتفاع، فاصله ستون‌ها و طول اعضای افقی پیشنهاد نمود.

۲- روش شبکه‌های عصبی مصنوعی

الهام از طبیعت و سیستم‌های زنده در حل مسائل مختلف همواره به عنوان یک ایده اساسی مورد توجه بشر قرار داشته و این رویکرد تاکنون دستاوردهای با ارزشی را به دنبال داشته است. تلاش‌های اولیه به منظور مدل سازی مغز و شبکه عصبی انسان منجر به ارائه مدل‌هایی برای عملکرد یک واحد پردازش مغز یعنی نرون شده است. یک شبکه عصبی مصنوعی که به صورت مخفف با ANN نمایش داده می‌شود از ترکیب واحدهایی به نام نرون تشکیل شده است. ورودی این نرون در وزن‌ها ضرب شده و سپس با یک عدد ثابت که بایاس نامیده می‌شود جمع می‌گردد، نتیجه نیز از یک تابع غیر خطی عبور می‌کند تا خروجی ساخته شود، شکل (۱). تعداد نرون‌های لایه مخفی یک شبکه عصبی تاثیر بسزایی در عملکرد آن دارد. انتخاب

رویکرد استفاده از سازه‌های فضاکار در بسیاری از پروژه‌ها در سراسر جهان، گواه قاطعی بر مزایای قابل توجه این نوع سازه‌هاست. قابلیت پوشش دهانه‌های بزرگ با تکیه‌گاه‌های میانی محدود، قابلیت توسعه سازه در سطح و ارتفاع، استحکام، سبکی وزن، داشتن نمای ظاهری جذاب، سادگی و امکان ساخت سریع از مزایای عمومی این نوع سازه‌هاست. اکنون صدها مورد اجرای موفق از سازه‌های فضاکار را می‌توان در گوشه و کنار دنیا مشاهده کرد که به صورت گنبدی، چلیکی یا شبکه‌های چند لایه، فضاهایی نظیر سالن‌های ورزشی، نمایشگاه‌ها، سالن‌های اجتماعات، و امثال آن را پوشانده است. از این میان، شبکه‌های دو لایه به لحاظ اقتصادی و سهولت اجرا، از انواع رایج سازه‌های فضاکار می‌باشند [1,2].

از سوی دیگر همزمان با توسعه صنعت سازه‌های فضاکار در چند دهه اخیر، لزوم دستیابی به روش‌های سریع و دقیق در زمینه تحلیل، طراحی و بهینه سازی این نوع سازه‌ها را به وجود آورده است. در طراحی بهینه سازه‌های فضا کار به دلیل پر عضو بودنشان نسبت به سازه‌های دیگر، زمان زیادتری برای تحلیل، طراحی و یا تعیین وزن آنها مورد نیاز است. از جمله روش‌هایی را که می‌توان به منظور کاهش زمان لازم در تحلیل و طراحی سازه‌ها به کار برد، روش شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد [3-5].

در سال‌های اخیر استفاده از روش ژنتیک الگوریتم در بهینه کردن سازه‌ها مورد توجه قرار گرفته است. به نظر می‌رسد اولین بار گلدبرگ و سمتانی [6] از این روش در بهینه سازی یک خرپای ساده ۱۰ عضوی استفاده کردند. جنکینز [7] این روش را برای بهینه سازی قاب‌های مستوی به کار برد. راجیو و کریشنامورثی [8] چگونگی استفاده از روش ژنتیک الگوریتم را در بهینه سازی عمومی خرپاها بسط دادند. ارباتور و همکاران [9] کاربرد روش فوق را در بهینه کردن سازه‌های مستوی و فضایی نشان دادند. هیالیوگلو [10] این روش را در بهینه‌سازی قاب‌های فضایی به کار برد. دومینگوئز و همکاران [11] در مطالعات

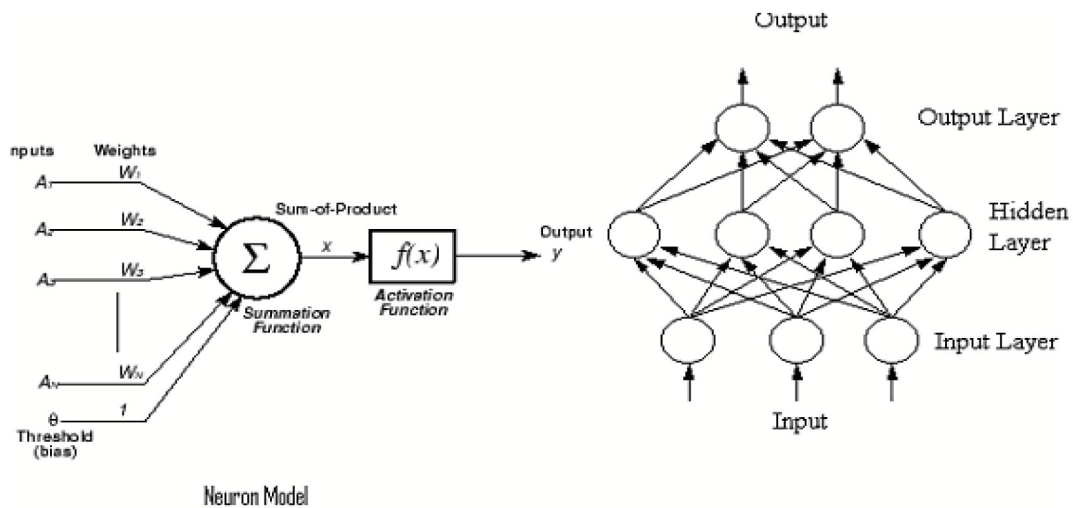
تعداد نرون‌ها در واقع مصالحه‌ای بین همگرایی و قابلیت تعمیم شبکه می‌باشد. شبکه‌های عصبی چند لایه قادر هستند با انتخاب مناسب تعداد لایه‌ها و سلولهای عصبی، که اغلب زیاد هم نیستند، یک نگاشت غیر خطی را با دقت دلخواه انجام دهند.

توسعه الگوریتم پس انتشار خطا با فراهم آوردن روشی از نظر محاسباتی کارا، رنسانسی در شبکه‌های عصبی ایجاد نمود. قانون پس انتشار خطا از دو مسیر اصلی تشکیل می‌شود. مسیر اول به مسیر رفت موسوم می‌باشد که در این مسیر، بردار ورودی به شبکه اعمال می‌شود و تاثیراتش از طریق لایه‌های میانی به لایه‌های خروجی انتشار می‌یابد. بردار خروجی تشکیل یافته در لایه خروجی، پاسخ واقعی شبکه را تشکیل می‌دهد. در این مسیر پارامترهای شبکه،

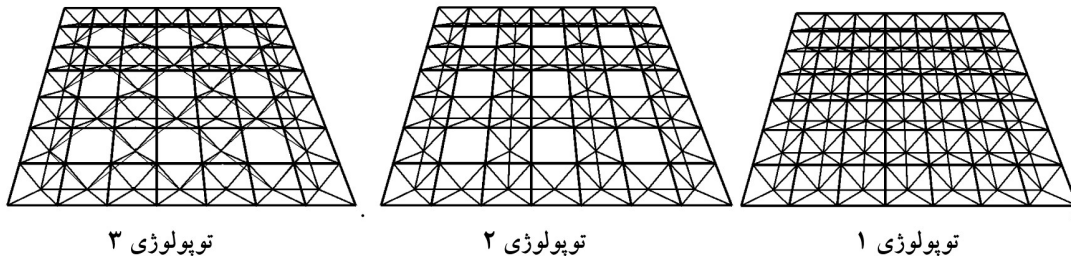
ثابت و بدون تغییر در نظر گرفته می‌شوند. مسیر دوم به نام مسیر برگشت نامگذاری شده است. در این مسیر، برعکس مسیر رفت، پارامترهای شبکه تغییر کرده و سپس تنظیم می‌گردند. این تنظیم مطابق با قانون اصلاح خطا (اختلاف بین پاسخ مطلوب و پاسخ واقعی شبکه) انجام می‌گیرد.

۲-۱- مدل‌سازی داده‌های ورودی

در این مقاله، شبکه‌های دولایه فولادی با سه نوع توپولوژی مختلف مطابق با شکل (۲) در نظر گرفته شده‌اند. بار مرده سازه‌های فضاکار 30 kg/m^2 ، بار برف معادل 150 kg/m^2 و اثر دما در این مدل‌ها $\pm 3^\circ \text{C}$ برای اعمال به اعضا سازه در نظر گرفته شده است.



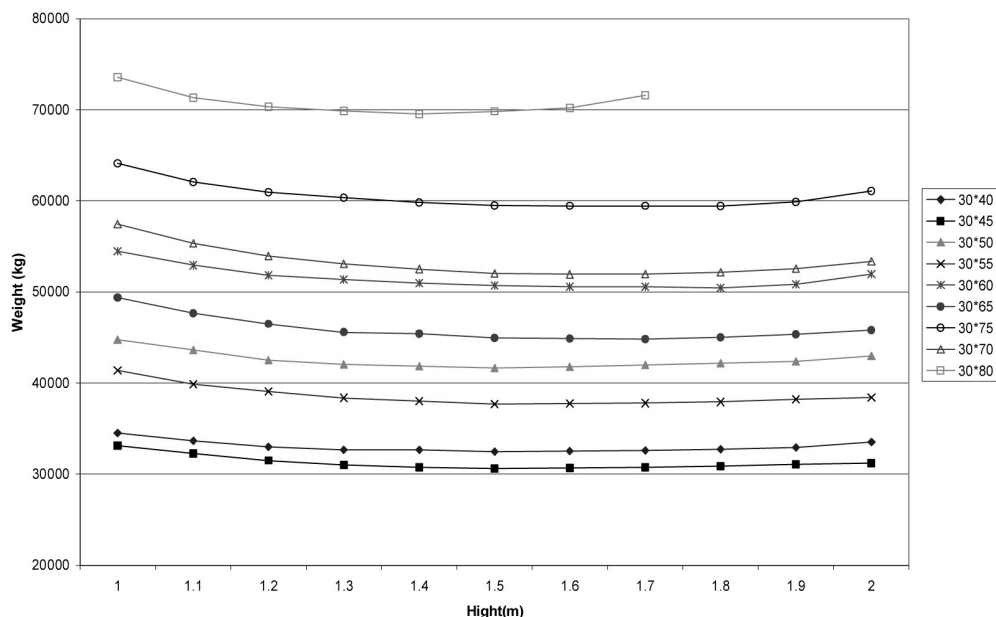
شکل (۱): ساختار شبکه ANN به همراه مدل یک نرون



شکل (۲): توپولوژی‌های مختلف شبکه‌های دو لایه

تحلیل و طراحی سازه‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAP2000Ver.10.01 صورت گرفته است. برای ایجاد طرح مناسب به وسیله این نرم‌افزار، مادامی که نتایج حاصل از تحلیل و طراحی بر هم منطبق نبوده‌اند عملیات تحلیل و طراحی تکرار گردیده است. نتایج حاصل از تحلیل و طراحی مدل‌ها نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع سازه فضاکار تا یک حد مشخص،

وزن سازه کاهش می‌یابد ولی پس از آن، با افزایش ارتفاع، وزن سازه شروع به افزایش می‌نماید. این مطلب نشانگر اهمیت ارتفاع بهینه برای سازه‌های فضاکار می‌باشد. به عنوان مثال تغییرات وزن شبکه‌های دو لایه با طول‌های مختلف برای عرض ۳۰ متر نسبت به ارتفاع در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳): تغییرات وزن شبکه‌های دو لایه فولادی با ارتفاع‌های مختلف برای عرض ۳۰ متر

۱- عرض سازه: عرض سازه برابر ۱۰، ۱۲، ۱۵، ۲۰، ۳۰ متر انتخاب شده است.

۲- طول سازه: طول سازه متناسب با عرض آن از ۳۰ تا ۷۵ متر در نظر گرفته شده است. طول‌های در نظر گرفته شده عبارتند از: ۳۰، ۳۶، ۴۰، ۴۵، ۴۸، ۶۰، ۷۰، ۷۲ و ۷۵ متر.

۳- ارتفاع سازه: ارتفاع سازه متناسب با طول و عرض سازه بین ۱ تا ۲٫۵ متر در نظر گرفته شده است. ارتفاع‌های در نظر گرفته شده عبارتند از: ۱، ۱٫۷، ۲ و ۲٫۵ متر.

۲-۲- آموزش و طراحی شبکه‌های عصبی

در این مقاله از شبکه عصبی به عنوان جایگزین نرم‌افزار تحلیل و طراحی سازه‌های فضاکار که به طور معمول زمان زیادی برای تحلیل و طراحی بهینه نیاز دارد، استفاده شده است. برای پیش بینی وزن سازه توسط شبکه‌های عصبی، از نتایج حاصل از طراحی بهینه ۱۸۰ شبکه دو لایه فولادی در سه نوع توپولوژی مختلف شکل (۲)، با در نظر گرفتن ابعاد زیر استفاده شده است. به عنوان مثال تعدادی از مدل‌های آماده شده برای آموزش و طراحی شبکه عصبی مربوط به توپولوژی ۱ در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): تعدادی از مدل‌های آماده شده برای آموزش و طراحی شبکه عصبی مربوط به توپولوژی ۱

شماره مدل	وزن (kg)	طول اعضای فقی (m)	فاصله ستون‌ها (m)	ارتفاع (m)	طول (m)	عرض (m)
1	9895	1.67	15	1	30	15
2	9791	3	15	1	30	15
3	7870	1.67	5	1	30	15
4	7323	2.5	5	1	30	15
5	9785	1.67	15	2	30	15
6	8808	3	15	2	30	15
7	9093	1.67	5	2	30	15
8	7737	2.5	5	2	30	15
9	13315	1.67	15	1	45	15
10	14163	3	15	1	45	15
11	11712	1.67	5	1	45	15
12	10987	2.5	5	1	45	15
13	14325	1.67	15	2	45	15
14	12503	3	15	2	45	15
15	13506	1.67	5	2	45	15
16	11594	2.5	5	2	45	15
17	19474	2	20	1	40	20
18	19904	2.5	20	1	40	20
19	15147	2	10	1	40	20
20	15101	2.5	10	1	40	20
21	14333	2.5	5	1	40	20
22	16875	2	20	1.7	40	20
23	16454	2.5	20	1.7	40	20
24	14470	2	10	1.7	40	20
25	13758	2.5	10	1.7	40	20
26	13274	2.5	5	1.7	40	20
27	18235	2	20	2.5	40	20
28	16622	2.5	20	2.5	40	20
29	16325	2	10	2.5	40	20
30	14761	2.5	10	2.5	40	20

برای انتخاب شبکه‌های عصبی مناسب برای هر یک از سه نوع توپولوژی، دو نوع شبکه عصبی از نوع پرسپترون (MLP) و انتشارمقابل (RBF) با یکدیگر مقایسه شده است. مشخصات کلی در نظر گرفته شده عبارتند از:

تعداد مدل‌های آماده شده برای هر شبکه عصبی مربوط به هر نوع توپولوژی برابر ۶۰ و در مجموع ۱۸۰ عدد می‌باشد.

تعداد مدل‌ها برای آموزش هر شبکه عصبی ۴۰ عدد بوده که به طور تصادفی از میان ۶۰ مدل انتخاب می‌گردد و بقیه مدل‌ها برای آزمایش شبکه‌های آموزش دیده تخصیص می‌یابند.

ورودی‌های هر شبکه عصبی، برابر ۵ در نظر گرفته شده‌اند که عبارتند از: طول سازه، عرض سازه، ارتفاع

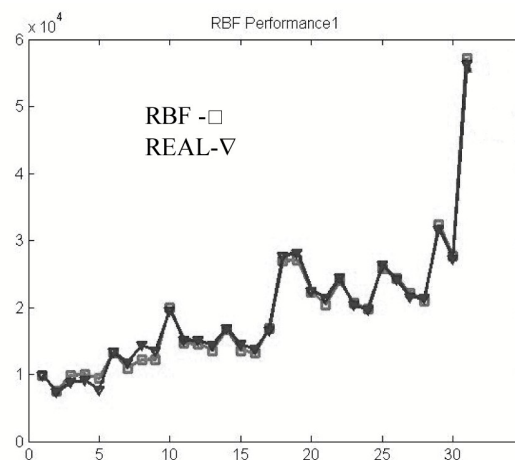
سازه، فاصله ستون‌ها و طول اعضای افقی. وزن به عنوان خروجی شبکه عصبی در نظر گرفته شده است.

مقایسه وزن‌های واقعی و خروجی شبکه‌های عصبی MLP و RBF برای یک توپولوژی نمونه نوع (۱) در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است. بررسی شبکه‌ها نشان می‌دهد که شبکه RBF جواب‌های مطلوب تری نسبت به شبکه MLP داده است که به دلیل رفت و برگشت‌های پیایی بین الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی و سرعت بالای شبکه RBF می‌باشد. محاسبات نشان می‌دهد که شبکه عصبی با تقریب قابل قبولی (میانگین خطایی کمتر از ۷٪) به تخمین وزن سازه می‌پردازد.

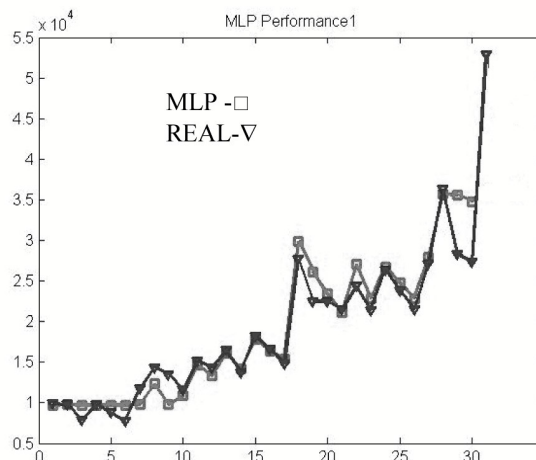
مصنوعی» به معرفی مفاهیم اصلی GA شامل عملگرهای سه‌گانه انتخاب (Selection)، آمیزش (Crossover) و جهش (Mutation) که در مورد سیستم‌های مصنوعی به کار می‌روند و همچنین مبانی ریاضی الگوریتم ژنتیک پرداخت.

روش کار بدین صورت است که، در فرآیند تکثیر، کروموزوم‌هایی با شایستگی بالا شانس تکرار بیشتر در جمعیت منتخب را پیدا می‌کنند که این کار توسط فرآیند انتخاب صورت می‌پذیرد. بدین منظور روش‌های متنوعی مطرح شده است و روش چرخ گردان معروف‌ترین آنهاست. همچنین از انتخاب نخه‌گرا نیز استفاده شده که در هر نسل تعدادی از برانزده‌ترین افراد بدون تغییر به نسل بعد منتقل شده است. پس از تکمیل فرآیند انتخاب، نوبت به اعمال عملگر بر روی جهت منتخب به منظور تولید جمعیت فرزندان می‌رسد. در انجام فرآیند پیوند، با انتخاب مقدار ثابت نرخ پیوند، به ترتیب برای هر کروموزوم یک عدد تصادفی تولید می‌شود. اگر عدد تصادفی تولید شده از نرخ پیوند کمتر باشد، این کروموزوم انتخاب می‌شود تا با کروموزوم‌های بعدی که شرایط فوق را دارد، آمیزش نماید. در این مقاله از میان انواع مختلف پیوند، یکنواخت مورد استفاده قرار گرفته است. سپس نوبت به اعمال عملگر جهش می‌رسد. هدف از این کار ایجاد پراکندگی بیشتر در محدوده کاوش فضای طراحی است. در انجام فرآیند جهش، با انتخاب مقدار ثابت نرخ جهش، برای کلیه بیت‌های کروموزوم‌های جمعیت عدد تصادفی تولید می‌شود. اگر عدد تصادفی تولید شده از نرخ جهش کوچکتر باشد، مقدار آن بیت عوض یعنی مقدار صفر به یک و یا بالعکس تبدیل می‌شود. الگوریتم ژنتیک هنگامی که برخی ضوابط مانند تعداد معینی تولید نسل و یا میانگین انحراف معیار عملکرد اشخاص جمعیت تامین شود، به پایان می‌رسد.

در بهینه‌سازی سازه‌ها، معمولاً تابع هدف، وزن سازه می‌باشد و به حداقل رساندن وزن با برآورده کردن قیود



شکل (۴): مقایسه وزن‌های واقعی (REAL) و خروجی شبکه عصبی (RBF) مربوط به توپولوژی ۱

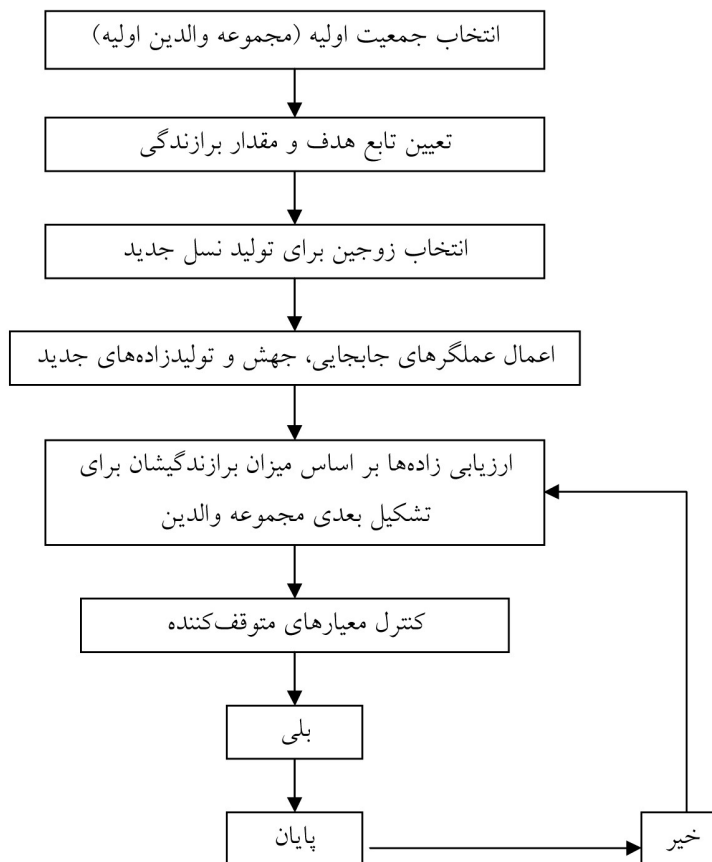


شکل (۵): مقایسه وزن‌های واقعی (REAL) و خروجی شبکه عصبی (MLP) مربوط به توپولوژی ۱

۳- روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک الگوریتم ژنتیک الهام گرفته از طبیعت است و تکامل طبیعت با فرضیه داروین، اساس شکل‌گیری آن می‌باشد که در آن بهترین‌ها حق بقا دارند. الگوریتم ژنتیک توسط جان هلند متخصص علوم کامپیوتر دانشگاه میشیگان در سال ۱۹۶۲ ارائه شد. هلند [12] با ارائه رساله‌ای با عنوان «تطابق در طبیعت و سیستم‌های

می‌شود که خود به خود باعث می‌شود این مدل از مسیر انتخابی گزینه بهینه، خارج گردد. شکل (۶) فرآیند کلی حل مسائل را در الگوریتم ژنتیک به طور خلاصه نشان می‌دهد.

مساله، هدف الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در صورت نقض شدن این قیود، تابع پناستی وارد عمل شده به این صورت که وزن به دست آمده را با عدد بسیار بزرگی جمع می‌کند، این عمل باعث بالا رفتن غیر طبیعی وزن مدل پناستی‌دار

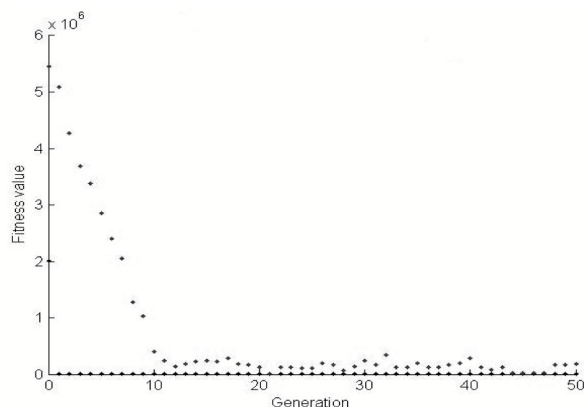


شکل (۶): فرآیند حل مسائل بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

۴- کاربرد همزمان الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی

در نظر گرفته شده به شرح زیر می‌باشد:
 عرض سازه : بین ۱۰ تا ۳۰ متر با گام‌های ۱ متر
 طول سازه : بین ۳۰ تا ۷۵ متر با گام‌های ۱ متر
 ارتفاع سازه : بین ۱ تا ۲,۵ متر با گام‌های ۰,۱ متر
 فاصله ستون‌ها : بین ۵ تا ۲۰ متر با گام‌های ۱ متر
 طول اعضای افقی : بین ۱/۵ تا ۳ متر با گام‌های ۰/۰۱ متر
 توپولوژی: سه نوع توپولوژی مانند شکل (۲)

پس از به دست آوردن شبکه عصبی مطلوب برای تخمین وزن هر یک از مدل‌های موجود، اینک با استفاده از الگوریتم ژنتیک به انتخاب بهینه برای پوشش هر زمین با طول و عرض دلخواه دست خواهیم یافت. برای انجام این کار یک برنامه در محیط نرم‌افزار مطلب نوشته شد. در این برنامه از تابع GA مطلب استفاده شد و جمعیت اولیه برای تولید نسل‌ها ۱۰۰ و تعداد نسل‌ها نیز ۵۰ نسل در نظر گرفته شده است. محدوده متغیرهای



شکل (۷): روند همگرا شدن نسل‌های الگوریتم ژنتیک

در واقع هدف ما از تحلیل GA، رسیدن به یک پوشش مناسب از نوع شبکه دو لایه برای یک زمین با طول و عرض دلخواه بوده است. با توجه به سه نوع توپولوژی و متغیرهایی نظیر فاصله ستون‌ها و ارتفاع سازه و طول اعضای افقی، فضای جستجوی GA گسترده می‌باشد که با انتخاب جمعیت اولیه و تعداد نسل‌های مناسب به صورت بهتری به هدف خود خواهیم رسید. در شکل (۷) روند همگرا شدن نسل‌های الگوریتم ژنتیک به جواب بهینه مشاهده می‌گردد. در جدول (۲) چند نمونه از جواب‌های الگوریتم ژنتیک ارائه گردیده است.

جدول (۲): جواب بهینه GA

الگوریتم ژنتیک							شبکه عصبی		
ورودی		خروجی					خروجی وزن (kg)		
عرض (m)	طول (m)	ارتفاع (m)	فاصله ستونها (m)	طول اعضا افقی (m)	نوع شکل	وزن (kg)	توپولوژی ۱	توپولوژی ۲	توپولوژی ۳
15	30	2.1	15	1.5	2	2983	10429	2983	4910
20	60	1.5	5	2.5	1	19188	19188	34627	26099
30	70	1.1	5	2.5	1	42029	42029	73905	52305
30	60	1.6	15	1.5	3	30399	45644	44902	30399
20	40	1.5	5	2.5	1	13219	13219	22288	16290
15	45	1.9	15	1.5	2	2439	13394	2439	4734
10	40	1.7	10	2	2	4823	8152	4823	9057
10	30	1.7	10	2	2	6710	7843	6710	8367
30	40	1.6	5	2.5	1	22851	22851	40391	28277

به دست آمده از الگوریتم ژنتیک، نتایج حاصل از تحلیل و طراحی توسط نرم‌افزار SAP2000 برای سایر گزینه‌های ممکن در جدول (۳) ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، وزن سازه پیشنهادی GA از سایر گزینه‌های ممکن کمتر می‌باشد. قابل ذکر است که با استفاده از نرم‌افزار SAP2000، سازه با مشخصات پیشنهادی GA مجدداً تحلیل و طراحی شد و وزن سازه برابر ۱۹۰۲۵ کیلوگرم به دست آمد که نشان‌دهنده دقت بالای روش پیشنهادی در انتخاب نوع سازه بهینه می‌باشد.

همان‌طور که در جدول (۲) ملاحظه می‌شود، الگوریتم ژنتیک قابلیت تشخیص بهترین جواب را از بین جواب‌های محاسبه شده توسط شبکه عصبی دارا می‌باشد. به عنوان مثال اگر هدف انتخاب یک سازه بهینه برای پوشش زمینی به ابعاد ۲۰ متر در ۶۰ متر باشد، پیشنهاد GA عبارتست از سازه‌ای با توپولوژی نوع ۱ که در آن فاصله ستون‌ها از یکدیگر ۵ متر، ارتفاع شبکه ۱/۵ متر و طول اعضای افقی برابر ۲/۵ متر باشد. چنین سازه‌ای دارای وزنی تقریبی برابر با ۱۹۱۸۸ کیلوگرم خواهد بود. برای اطمینان از دقت جواب‌های

جدول (۳) : گزینه‌های ممکن با عرض ۲۰ متر و طول ۶۰ متر

عرض (m)	طول (m)	ارتفاع (m)	فاصله ستونها (m)	طول اعضا افقی (m)	وزن واقعی گزینه‌های ممکن با عرض ۲۰ و طول ۶۰ متر (Kg)		
					توپولوژی ۱	توپولوژی ۲	توپولوژی ۳
20	60	1	10	2	22492	21399	24032
20	60	1.7	10	2	21370	19285	21120
20	60	2.5	10	2	24132	20844	22510
20	60	1	20	2	27732	26581	30483
20	60	1.7	20	2	24396	22620	25516
20	60	2.5	20	2	26365	23240	36229
20	60	1	5	2.5	21440	25927	31824
20	60	1.7	5	2.5	19650	24467	31400
20	60	2.5	5	2.5	21333	25042	35031
20	60	1	10	2.5	22460	26322	29611
20	60	1.7	10	2.5	20325	23334	28808
20	60	2.5	10	2.5	21502	24541	37606
20	60	1	20	2.5	28125	33283	30898
20	60	1.7	20	2.5	23454	26231	29854
20	60	2.5	20	2.5	23854	25472	36229

۵- نتیجه گیری

عملیات تحلیل و طراحی بهینه سازه‌های فضاکار به دلیل پر عضو بودن و درجه نامعینی بالا، بسیار وقت گیر می‌باشد. در این مقاله، با استفاده همزمان از الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی، طراحی بهینه سازه‌های فضاکار از نوع شبکه دو لایه انجام شد. یکی از ویژگی‌های مهم روش پیشنهادی این است که از شبکه عصبی به عنوان جایگزین نرم‌افزار تحلیل و طراحی سازه‌های فضاکار که ممکن است قابلیت Link شدن با GA را نداشته باشد، یا اگر این قابلیت را داشته باشد به زمان زیادی برای تحلیل و طراحی بهینه نیاز دارد، استفاده شده است. برای این کار از اطلاعات مربوط به ۱۸۰ شبکه دو لایه بهینه برای آموزش و طراحی شبکه‌های عصبی استفاده شد و از میان شبکه‌های عصبی موجود، شبکه RBF که به دلیل رفت و برگشت‌های

پیاپی بین الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی و سرعت بالای شبکه، جواب‌های مطلوب تری را ارائه داد، انتخاب شد. محاسبات نشان داد که شبکه عصبی برگزیده شده با تقریب قابل قبولی (میانگین خطایی کمتر از ۰.۷٪) به تخمین وزن سازه می‌پردازد.

بدین ترتیب، ابتدا سه شبکه عصبی برای سه توپولوژی مورد نظر طراحی شد، سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک در تعامل با شبکه‌های عصبی طراحی شده، سازه فضاکار بهینه به دست آمد. به عنوان مثال برای پوشش زمینی به ابعاد ۲۰ متر در ۶۰ متر، پیشنهاد GA عبارت بود از یک شبکه دو لایه با توپولوژی نوع ۱ که در آن فاصله ستونها از یکدیگر ۵ متر، ارتفاع شبکه ۱/۵ متر و طول اعضا افقی برابر ۲/۵ متر باشد. چنین سازه ای دارای وزنی تقریبی برابر با ۱۹۱۸۸ کیلوگرم بوده که در مقایسه با سایر گزینه‌های ممکن از وزن کمتری برخوردار می‌باشد.

- 1- Makowski, Z.S., "Analysis, design and construction of double-layer grids", London, Applied Science, 1981.
- 2- El-Sheikh, A., "Configuration of double-layer space trusses", International Journal of Structural Engineering and Mechanics, Vol. 6, No. 5, pp. 543-554, 1998.
- 3- Hajela, P., and Berke, L., "Neurobiological computational models in structural analysis and design", Computers and Structures, Vol. 41, pp. 657-667, 1991.
- 4- Adeli, H. and Park, H.S., "Counter propagation neural network in structural engineering", Journal of Structural Engineering, Vol. 121, pp. 1205-1211, 1995.
- 5- Kaveh, A. and Servati, H., "Design of double layer grids using backpropagation neural networks", Computers and Structures, Vol. 79, pp. 1561-1568, 2001.
- 6- Goldberg, D.E., and Samtani, M.P., "Engineering optimization via genetic algorithm", Ninth Conference on Electronic Computation, New York, N.Y., ASCE, pp. 471-482, 1986.
- 7- Jenkins, W.M., "Plane frame optimum design environment based on genetic algorithm", Journal of Structural Engineering, Vol. 118, No. 11, pp. 3013-3013, 1992.
- 8- Rajeev, S., Krishnamoorthy, C.S., "Discrete optimization of structure using genetic algorithms", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 5, pp. 1233-1250, 1992.
- 9- Erbatur, F., Hasancebi, O., Tutuncu, I., and Kilic, H., "Optimal design of planar and space structures with genetic algorithms", Computers and Structures, Vol. 75, pp. 209-224, 2000.
- 10- Hayalioglu, M. S , "Optimum load and resistance factor design of steel space frames using genetic algorithm", Structural and Multidisciplinary Optimization, V. 21, No. 4, pp. 292-299, 2004.
- 11- Dominguez, A., Stiharu, I. and Sedaghati, R., "Practical design optimization truss structures using the genetic algorithms", Research in Engineering Design, Vol. 17, No. 2, pp. 73-84, 2006.
- 12- Holland, J.H. "Adaptation in natural and artificial systems". University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.