Application of Artificial Intelligence in the Optimal Seismic Design of Steel Structures Based on the Iran Mabhas-10 Regulations

M. Kiani*, A. Rahgozaar

Abstract

The current research aims to provide an algorithm using artificial intelligence calculations to satisfy all the regulations of Mabhas-6, Mabhas-10, and standard 2800 of the national building regulations while minimizing the weight of the structure. In previous research, the control of constraints and the optimal design of steel moment frames were done in two dimensions and only with older algorithms. One of the most important tasks of this research is the completion of the new restrictions of regulations to control all the restrictions and optimal design of the widely used types of short and intermediate steel structures. All the regulations and controls necessary for the three main types of steel structures widely used in the country, such as 1) braced frames and 2) frames with shear walls, and 3) a dual system of moment frames and shear walls, have been implemented. Finally, the results of this algorithm were validated with a Tabriz hospital project. One of the valuable results of the work is to facilitate the safe design and control process of the steel buildings by providing a graphic panel of the model input and displaying all the essential outputs of the structure in the form of text and diagrams. The work process is intelligently programmed to be performed automatically by just inputting a standard ETABS file into the optimal seismic design process algorithm. In the ETABS file, each design group (e.g., columns, beams, braces, and walls) is defined as a list of usable sections so that the artificial intelligence algorithm can choose the best arrangement. For the three structural examples and the hospital project, we showed that in addition to design safety, significant savings between 11 to 30 percent could be made on the total steel weight, which would take several years to achieve these results for a computer without the use of artificial intelligence.

Key Words: *Artificial Intelligence, Genetic Algorithm, Bird Algorithm, Optimal Seismic Design, Steel Structures, Automatic Intelligence*

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

*Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Imam Hossein University, Tehran, Iran. (kiani@ihu.ac.ir)- Writer-in-Charge

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال چهاردهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، (پیاپی ۵۵): صص ۹۰-۸۳

علمی- پژوهشی

کاربرد الگوریتم‌های هوش مصنوعی در طراحی لرزه‌ای بهینه سازه‌های فولادی براساس مبحث ۱۰ مقرارت ملی ساختمان

مجید کیانی*[۱]، آوش رهگذار[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱ /۰۹/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲

چکیده

پژوهش حاضر، قصد دارد با استفاده از محاسبات هوش مصنوعی، الگوریتمی ارائه نماید تا در حالی که وزن سازه را حداقل می‌کند، تمامی قیودات آیین‌نامه‌های مبحث ۶، مبحث ۱۰ و استاندارد ۲۸۰۰ مقررات ملی ساختمان را ارضا کند. در پژوهش‌های پیشین کنترل قیود و طراحی بهینه قاب‌های خمشی فولادی بصورت دو بعدی و فقط با الگوریتم های قدیمی‌تر انجام شده بود. از مهم‌ترین کارهای این پژوهش تکمیل قیود جدید آیین‌نامه‌ای برای کنترل تمام قیود و طراحی بهینه انواع پرکاربرد سازه‌های فولادی کوتاه و میان‌مرتبه می‌باشد. کلیه قیود و کنترل‌های آیین‌نامه‌ای لازم برای سه نوع سازه فولادی اصلی پر کاربرد کشور نظیر: ۱) قاب‌های مهاربندی و ۲) قاب‌های دارای دیوار برشی ۳) قاب‌های خمشی دوگانه با دیوار برشی پیاده‌سازی شده است. در نهایت نتایج این الگوریتم با پروژه بیمارستان الزهرا تبریز صحت‌سنجی گردید. از نتایج ارزشمند کار راحت کردن فرایند کنترل و طراحی ایمن ساختمان اسکلت فلزی با ارائه یک پنل گرافیکی ورودی مدل و نمایش تمام خروجی های مهم سازه در قالب متن و نمودار می باشد. فرآیند کار به صورت هوشمند برنامه ریزی شده تا فقط با ورودی یک فایل ETABS استاندارد به الگوریتم روند طراحی لرزه‌ای بهینه بصورت خودکار انجام شود. در فایل ETABS مقاطع تعریف شده برای هر گروه طراحی ستون، تیر، مهاربند و دیوار به صورت لیستی از مقاطع قابل استفاده تعریف شده است تا الگوریتم هوش مصنوعی بهترین آرایش آن را انتخاب بکند. برای سه مثال سازه‌ای و پروژه بیمارستان الزهرا تبریز نشان داده شد که در کنار ایمن سازی طراحی می‌توان صرفه جویی قابل توجهی در حدود ۱۱ تا ۳۰ درصد از وزن فولاد با ارزش کشور داشت که رسیدن به این نتایج برای کامپیوتر بدون استفاده از هوش مصنوعی چندین سال طول می‌کشید.

کلید واژه‌ها: هوش مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم پرندگان، طراحی لرزه‌ای بهینه، سازه‌های فولادی، هوشمند سازی خودکار

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

© نویسندگان

[۱]استادیار دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران- kiani@ihu.ac.ir - نویسنده مسئول

[۲]دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

۱- مقدمه

«الگوریتم» فرآیندی برای حل و جستجوی جواب درست یک مسئله سخت با شکستن آن مسئله به مراحل آسان و ساده تر می باشد. در کنار آن «هوش مصنوعی» یک علم است که در آن فناوری‌های مختلفی نظیر منطق مجموعه فازی، شبکه‌های عصبی و سیستم‌های تکاملی وجود دارد [۱]. الگوریتم های هوش مصنوعی مجموعه‌ای خاص از روال منطقی و یا ریاضی ساده جهت ساختن یک سیستم با هوش است. این الگوریتم ها با استفاده از کامپیوتر و الگوگیری از درک نزدیک به هوش انسانی و یا طبیعت، نهایتاً دستیابی به مکانیزم هوش مصنوعی برای انجام آزمایش‌هایی با این مدل به‌منظور پی بردن به رفتار سیستم و نیز ارزیابی استراتژی‌های گوناگون در مجموعه ای از معیارها اعمال شده است برای عملیات سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲]. سیستم‌های پیچیده، سیستم هایی هستند که در محاسبات عددی راه حل تحلیلی برای آنها غیر ممکن بوده و برای حل آنها به جای محاسبات سخت از الگوریتم‌های محاسبات نرم استفاده می‌شود. محاسبات نرم راه‌حل های کاملا منعطفی ارائه می‌دهد تا مسائل را با تعامل بین عدم دقت و عدم قطعیت مبتنی بر محاسبات فازی حل بکنند. مثالی از محاسبات عددی نرم پیش‌بینی تغییر شکل دیوار تحت بار نامعین انفجار با روندی سعی و خطایی می‌باشد در حالی که در طرف مقابل محاسبات عددی سخت از روابط تحلیلی معین برای مثلا محاسبه خیز تیرها استفاده می‌کنند [۳]. به کمک این الگوریتم ها میتوان طیف گسترده ای از مسائل پیچیده نامعین را در حوزه های مهندسی سازه، بهینه سازی و طراحی قابلیت اطمینان و ایمن ساختمان‌ها پیاده‌سازی کرد.

در بخش تحقیقات پیشین، بیشتر کارهای تحقیقاتی محدود به مثال‌های دو بعدی ساده و یا تعدادی محدود مثال سه بعدی بدون پلتفرم هوش مصنوعی جامعی برای خودکارسازی طراحی هر نوع سازه فولادی بوده است. اولین الگوریتم بهینه‌سازی در سال ۲۰۰۲ به‌کمک روش شبیه‌سازی تبرید (SA) در طراحی یک قاب فولادی دوبعدی به کمک مجموعه‌ای از کامپیوترها به دلیل ضعف پردازشگرهای آن زمان انجام شده بود [۴]. در سال ۲۰۰۹ تعدادی الگوریتم برای حل سریع‌تری و کاهش حجم محاسبات بهینه سازی سازه‌های فولادی دو بعدی تحت فقط دو قید آیین‌نامه‌ای دریفت و نسبت تنش بررسی گردید که نهایتا الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) با عملکرد بهتری پیشنهاد گردید. همچنین در سال ۲۰۰۹ از قابلیت‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش‌بینی برش پایه قاب‌های خمشی و مهاربندی دوبعدی استفاده گردید. در سال ۲۰۱۱ با ترکیب الگوریتم انتقال موجک (WT) و ANN به بهینه سازی دو قاب فولادی سه بعدی ساده با دیافراگم صلب فقط تحت کنترل دینامیکی قید دریفت طبقات پرداخته است [۵]. در سال ۲۰۱۲ سه الگوریتم جستجو ذرات باردار (CSS)، کلونی مورچه‌ها (ACO)، جستجو هارمونی (HS) در طراحی بهینه یک ساختمان ۱۰ طبقه خمشی تحت فقط دو قید نسبت تنش و دریفت انجام شده است و الگوریتم CSS با عملکرد بالاتری پیشنهاد گردید [۶]. در سال ۲۰۱۵ دو قاب خمشی و مهاربندی سه‌بعدی با نامنظمی در ارتفاع تحت قیود سه قید آیین‌نامه‌ای با شش الگوریتم فراابتکار بهینه سازی گردید. نهایتا الگوریتم HS بهترین عملکرد را در قاب خمشی و الگوریتم جستجوی ممنوعه (TS) بهترین عملکرد را در قاب مهاربندی داشته است [۷]. در سال ۲۰۱۷ از نُه الگوریتم فراابتکار برای بهینه سازی اقتصادی وزن سه نوع قاب سه بعدی خمشی معمولی (OMF)، متوسط (IMF) و ویژه (SMF) تحت کنترل سه قید آیین‌نامه‌ای نسبت تنش، دریفت و ظرفیت اتصال ویژه به کمک تحلیل دینامیک طیفی (RSA) استفاده گردید و به ترتیب الگوریتم جستجوی هارمونی (HS)، ازدحام ذرات (PSO) و برخورد اجسام (CBO) بهترین عملکرد را از خود نشان دادند [۸]. در سال ۲۰۱۹ از سه الگوریتم فراابتکار برای بهینه‌سازی سه قاب فولادی معمولی (OMF) سه بعدی با تیرهای و ستون‌های منشوری و غیر منشوری تخت دو قید آیین‌نامه‌ای نسبت تنش و دریفت استفاده گردید و الگوریتم جستجوی هارمونی (HS) بهترین عملکرد را از خود نشان دادند [۹]. در سال ۲۰۲۰ از الگوریتم گرادیانی (fmincon) برای بهینه‌سازی سه قاب خمشی فولادی بلند مرتبه به کمک تحلیل دینامیک طیفی (RSA) تحت کنترل سه قید آیین‌نامه‌ای نسبت تنش، دریفت، هم‌پایه سازی دینامیکی و ظرفیت اتصال ویژه استفاده گردید [۱۰]. در سال ۲۰۲۱ از سه الگوریتم فراابتکار برای بهینه سازی اقتصادی وزن مقاطع فولادی پیوسته و گسسته تحت کنترل سه قید آیین‌نامه ای نسبت تنش، دریفت و ظرفیت اتصال ویژه استفاده گردید و به ترتیب الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) و الگوریتم ژنتیک (GA) و الگوریتم گرادیانی (fmincon) بهترین عملکرد را از خود نشان دادند [۱۱]. همچنین در سال ۲۰۲۱ به کمک الگوریتم خسارت یکنواخت چند هدفه (MUDO) برای بهینه سازی اقتصادی وزن مقاطع قاب‌های خمشی ویژه فولادی در طول عمر آن تحت کنترل چهار قید آیین‌نامه‌ای اجراپذیری هندسه ستون، نسبت تنش، دریفت و ظرفیت اتصال ویژه استفاده گردید [۱۲]. با نگاهی به تحقیقات انجام شده فقط به مقایسه انواع الگوریتم‌های تکاملی تحت تعدادی قیود محدود پرداخته شده و از پلتفرم هوش مصنوعی برای درک و بهینه‌سازی انواع سیستم‌های لرزه‌ای فولادی با قیود متفاوت استفاده نشده است. این پژوهش به رفع این شکاف تحقیقاتی برای سازه‌های فولادی می‌پردازد.

در ادامه، ابتدا به بیان مسئله پرداخته شده و بعد از آن، روش تحقیق، سوال و فرضیه‌های تحقیق آمده و سپس به معرفی پلتفرم هوش مصنوعی پرداخته شده است. نهایتا سه مثال سازه‌ای با این پلتفرم بطور ایمن بهینه می شوند و در پایان با پروژه بیمارستان الزهرا تبریز صحت‌سنجی می‌گردد.

۲- بیان مسئله و اهداف تحقیق

در طراحی اصولی ساختمان‌های فولادی، زمانی یک طراحی کامل است که تمام قیود آیین‌نامه‌ای به صورت کامل کنترل شده باشد بطوری که ملاحظات اجرایی نهایی در نظر گرفته شود و از حداقل مصالح موجود استفاده گردد. رسیدن به طراحی کامل برای یک انسان مجهز به کامپیوتر کاری بسیار زمان‌بر و غیر ممکن خواهد بود از این جهت که: ۱) فقط با توان و زمان محدودی می‌تواند کار بکند، ۲) خطای خستگی انسان و کنار گذاشتن کنترل تعدادی از قیود آیین‌نامه ایران و ۳) پیچیدگی مربوط به تاثیر پذیری کل سازه با تغییر عضو آن، مانع رسیدن به چنین طرح کاملی می‌شود. از جهتی کنار گذاشتن کنترل تعدادی از قیود آیین‌نامه می‌تواند منجر به ناایمن شدن طراحی بشود. بنابراین بعد از آمدن فناوری طراحی ساختمان در کامپیوترها با نرم‌افزارهایی نظیر ETABS، SAP2000 و SAFE که موجب افزایش سرعت تحلیل شده، در زمان حال فناوری هوش مصنوعی آمده است تا نقیصه‌های این نرم‌افزارها را بصورت هوشمند پوشش بدهد و امکان رسیدن به طراحی کامل را با سرعت خیلی بیشتری انجام دهد. هدف این پژوهش شامل به کارگیری هوش مصنوعی در فرآیند یادگیری خودکار، پیاده‌سازی تمام قیود لرزه‌ای آیین‌نامه متناسب با انواع مختلف سازه‌های فولادی و بهینه‌سازی آن با استفاده از تکنیک‌های محاسبات نرم می‌باشد.

۳- روش تحقیق

ابتدا کارکرد پلتفرم الگوریتم هوش مصنوعی نوشته شده معرفی می‌گردد که به چه روشی فایل ETABS یک سازه فولادی را دریافت، ارزیابی و بهینه سازی می‌کند. بعد از آن به اختصار فرآیند جامع کنترل تمام قیود آیین‌نامه‌ای برای انواع سیستم‌های لرزه‌ای تشریح می‌گردد. سپس بهینه‌سازی سه مثال سازه‌ای سه بعدی نامنظم در ارتفاع و پلان به ترتیب از نوع سیستم لرزه‌ای: ۱) قاب مهاربندی، ۲) قاب ساده با دیوار برشی و ۳) سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی ارزیابی می‌گردد. در این ارزیابی از سه الگوریتم تکاملی جستجوی هارمونی (HS)، ازدحام ذرات (PSO)، ژنتیک (GA) و یک الگوریتم گرادیانی (fmincon) استفاده خواهد شد. نهایتا الگوریتم هوش مصنوعی با پروژه بیمارستان الزهرای تبریز صحت‌سنجی می‌گردد.

۴- سوال و فرضیه‌های تحقیق

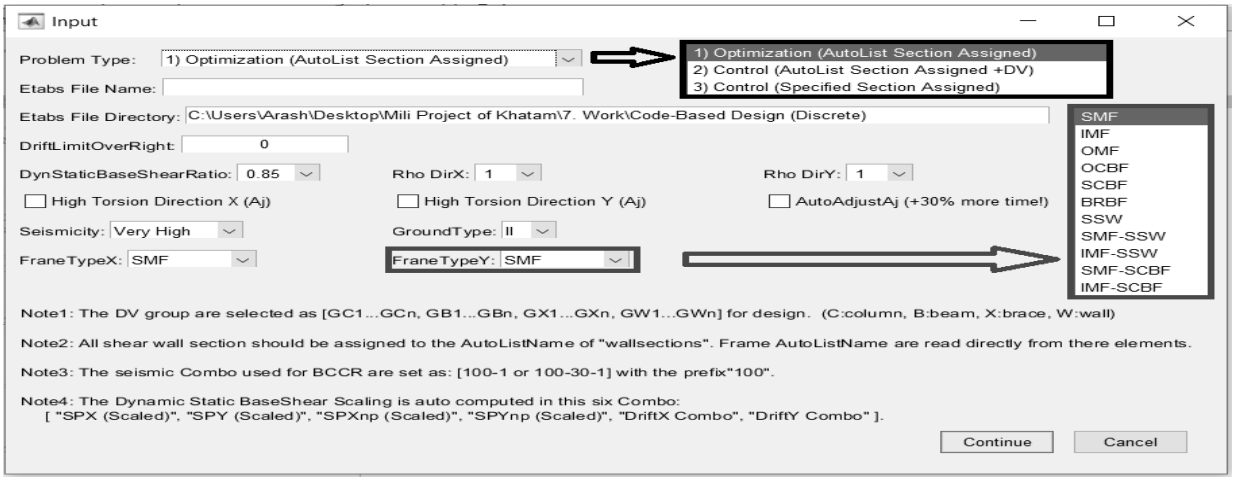
فایل ETABS ورودی به این پلتفرم الگوریتم هوش مصنوعی چه ویژگی‌هایی باید داشته باشد؟ آیا تمام قیود به درستی ارضاء می شوند؟ کدام الگوریتم تکاملی عملکرد بالاتری در رسیدن به جواب بهینه را داشته است؟ چه میزان صرفه جویی اقتصادی برای هر نوع سیستم لرزه‌ای ایجاد شده است؟ پاسخ به این سوالات با مثال‌هایی کاربردی در پژوهش پاسخ داده می شوند.

۵- پلتفرم الگوریتم هوش مصنوعی

پلتفرم الگوریتم هوش مصنوعی به زبان برنامه نویسی MATLAB نوشته شده است و به کمک رابط API با نرم‌افزار تحلیل و طراحی ETABS ارتباط برقرار می‌کند. بخش اول الگوریتم به یادگیری دانش اولیه مسئله شامل: ورودی پنل گرافیکی، مشخصات هندسی و مصالح سازه، لیست گروه بندی‌های (برای ستون‌ها، تیرها، مهاربندها و دیوارهای برشی) و لیست مقاطع موجود می‌پردازد. در بخش دوم الگوریتم به برنامه ریزی و شبکه سازی دانش اولیه و نیز اختصاص قیود مربوط با هر سیستم لرزه‌ای می‌پردازد. در بخش سوم الگوریتم با بکارگیری الگوریتم‌های تکاملی مناسب به جستجوی دانش جدید برای یافتن کامل ترین طراحی بهینه می‌پردازد. در ادامه به تشریح این سه بخش می‌پردازیم.

۵-۱- پنل گرافیکی ورودی دانش اولیه

بخشی از دانش اولیه هر مسئله برای الگوریتم هوش مصنوعی از طریق پنل گرافیکی شکل تعریف می‌شود. این بخش از دانش اولیه شامل نوع تحلیل (بهینه‌سازی، کنترل لیست، کنترل مقطع مشخص)، اسم و آدرس فایل ETABS، محدودیت دلخواه دریفت، ضریب هم‌پایه سازی دینامیکی، ضریب نامعینی، اعمال خودکار نامنظمی، سطح لرزه خیزی و نوع سیستم لرزه‌ای در دو جهت X و Y است.

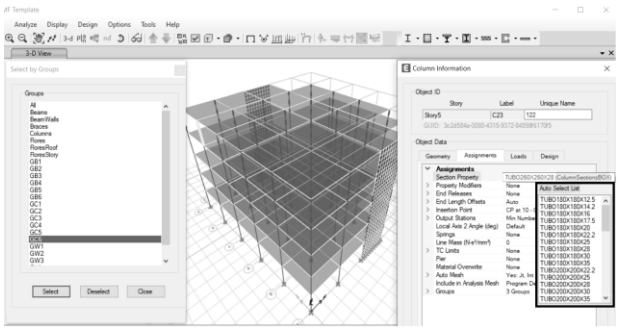


شکل (۱): نمایش پنل گرافیکی ورودی پلتفرم.

شایان ذکر است که با توجه به این که مرجع قابل قبول طراحی ساختمان‌ها توسط نظام مهندسی کشور و اکثر طراحان نرم‌افزار ETABS می باشد، از فایل مدل ETABS به عنوان ورودی الگوریتم گرفته می‌شود. بقیه دانش اولیه مسئله بصورت مستقیم از نرم‌افزار ETABS گرفته می‌شود نظیر: مصالح، سربارها، تعداد طبقات، تعداد خرپشته‌ها، لیست مقاطع هر گروه، لیبل بندی المان‌ها و گروه ستون‌ها (GC1)، تیرها (GB1)، مهاربندها (GX1) و دیوارهای برشی (GW1).

۵-۲- برنامه ریزی و شبکه سازی دانش اولیه

با کامل شدن دانش اولیه مسئله، این اطلاعات و لیبل بندی‌ها بصورت خودکار برنامه ریزی می شود تا به صورت موثر به عنوان دانش اولیه هوش مصنوعی استفاده گردد. برای مثال لیست مقاطع گروه ستون ششم (GC6) در شکل مربوط به طبقه آخر ساختمان مستقیم از نرم‌افزار گرفته می‌شود و در الگوریتم براساس سطح مقطع مرتب سازی می‌شود تا لیبل شماره یک متناظر با قوی‌ترین مقطع قابل استفاده باشد. به همین ترتیب شبکه سازی اولیه برای کل المان‌های سازه آماده سازی می‌گردد تا در گام بعد برای تولید دانش جدید به کمک الگوریتم‌های تکاملی قابل درک و استفاده باشد. این گام شامل برنامه‌ریزی قیود آیین‌نامه نیز می‌باشد که در بند ۶ بحث می‌گردد.



شکل (۲): نمایش پنل گرافیکی ورودی پلتفرم.

۵-۳- الگوریتم‌های تکاملی برای تولید دانش جدید

به‌کارگیری و انتخاب الگوریتم‌های تکاملی، وابستگی شدیدی به شرایط مسئله مورد بررسی، نوع متغیرها، گسترش و بزرگی مسئله و شرایط به‌کارگیری آنها دارد. اشتباه در به‌کارگیری این ابزارها، زمان و هزینه زیادی تلف خواهد کرد. بنابراین باید در انتخاب این ابزارها دقت زیادی نمود. به همین دلیل با استناد به ادبیات فنی ارائه شده در مقدمه از سه الگوریتم تکاملی جستجوی هارمونی (HS)، ازدحام ذرات (PSO)، ژنتیک (GA) و یک الگوریتم گرادیانی (fmincon) استفاده خواهد شد تا نهایتا بهترین آنها برای مسئله طراحی کامل و بهینه انواع سازه‌های فولادی استفاده گردد. این الگوریتم‌های چندین خط کد می‌باشند که در برنامه MATLAB به صورت پیش فرض وجود دارد ولی نیاز به تنظیمات اضافی دارد تا بتوان حداکثر عملکرد را از آنها گرفت. عملکرد آنها در مثال‌های پیش‌رو بررسی خواهد شد.

۶- تابع هدف بهینه‌سازی و کنترل قیود

سازه‌های ورودی تحت بارگذاری‌های مندرج در مبحث ۶ [۱۳] مقررات ملی ساختمان و قیود مبحث ۱۰ [۱۴] و استاندارد ۲۸۰۰ [۱۵] تحلیل و طراحی خواهد شد. لازم به ذکر است، بهینه‌سازی روی مدل سه بعدی به کمک الگوریتم پیشنهادی در نرم‌افزار MATLAB و تحلیل دینامیک طیفی (RSA) در نرم‌افزار ETABS انجام خواهد شد. هدف از طراحی بهینه، بهینه‌سازی وزن اصلی سازه ($Wight_0$) و ارضای شرایط هر کدام از قیودات آیین‌نامه‌ای (g_j=$Demand_j$/$Capacity_j$-1) می‌باشد. در صورت تختی هر کدام از قیدهای مسئله، تابع جریمه (PF) آن به صورت تجمعی به کمک رابطه (۱) محاسبه شده و این جریمه به کمک رابطه (۲) در وزن اصلی سازه ضرب می شود تا وزن جریمه‌دار سازه ($Wight_{PT}$) را تشکیل بدهد.

$$PF = \prod_{j=1}^{k} (\max\{g_j, 0\} + 1) \quad (۱)$$

$$Weight_{PT} = \begin{cases} Weight_0 & ; \quad \text{if } PF = 1 \\ Weight_0 \times 2^{PF} & ; \text{ elseif } PF > 1 \end{cases} \quad (۲)$$

در ادامه به فرآیند جامع کنترل قیود آیین‌نامه به طور مختصر پرداخته می‌شود:

۱) کنترل شکل‌پذیری لرزه‌ای مقاطع براساس نوع سیستم لرزه‌ای و نوع المان (ستون، تیر و مهاربند).

۲) کنترل دریفت اولیه سازه با لحاظ کردن ضریب نامعینی سازه (ρ)، سپس ارزیابی نوع پیچش با نامنظمی زیاد یا شدید جهت اعمال ضریب Aj آیین‌نامه ۲۸۰۰ به نیروی زلزله در صورت لزوم و کنترل دریفت نهایی سازه.

۳) کنترل نسبت تنش تمام ترکیب بارها مبحث ۶ و هشدار محدودیت‌های لرزه‌ای نظیر طول مهار تکیه گاه‌های جانبی برای ستون‌ها، تیرها، مهاربندها براساس مبحث ۱۰.

۴) کنترل خیز بارهای سرویس تخت بار زنده با L/360 و تحت ترکیب بار زنده و مرده با L/240 و نیز کنترل ارتعاش 5Hz تیرها تحت بار مرده مطابق با مبحث ۱۰.

۵) کنترل اجرا پذیری طراحی برای هر کدام از اجزای ستون‌ها، مهاربندها و دیوارهای برشی با کنترل دقیق قرارگیری جزء تحتانی بزرگ‌تر یا مساوی در زیر جزء فوقانی آن صورت می‌پذیرد. این کنترل از دو جهت برای هوش مصنوعی حیاطی است تا اولا، نرم‌افزار ETABS در تحلیل خطا یا اتلاف زمان انجام ندهد و دوما هوش مصنوعی به جواب اشتباهی هدایت داده نشود. همچنین کنترل حداقل و حداکثر تراکم آرماتور مجاز دیوار مطابق مبحث ۹ [۱۶] در این بخش بررسی می‌گردد.

۶) کنترل زلزله تشدید یافته تحت ضریب اضافه مقاومت سیستم لرزه‌ای (Ω_0) برای ظرفیت محوری ستون‌ها مطابق با مبحث ۱۰ صورت می‌پذیرد. این کار به صورت مستقیم و خودکار با ضرب ضریب Ω_0 در شدت زلزله و بینهایت کردن ظرفیت خمشی و برشی ستون‌ها انجام می‌شود.

۷) کنترل ظرفیت اتصال با محاسبه نسبت مجمع ظرفیت خمشی ستون‌ها به مجمع ظرفیت خمشی تیرها برای سیستم‌های قاب خمشی ویژه و دوگانه براساس مبحث ۱۰ ارزیابی می‌گردد. برخلاف کنترل ETABS، در آیین‌نامه ایران برای کنترل ظرفیت خمشی ستون‌ها گفته شده حتما باید از نیروی محوری تحت زلزله تشدید یافته در کاهش ظرفیت آن استفاده شود که در الگوریتم اعمال گردید. همچنین نقیصه ETABS در عدم کنترل این معیار برای تمام مقاطع فولادی نظیر مقاطع قوطی و SD به صورت مستقیم و خودکار در الگوریتم نوشته شده رفع گردید.

۸) کنترل دریفت سرویس برای سازه‌هایی با اهمیت خیلی زیاد، در این بخش سختی اعضاء نباید کاهش داده شود و شدت زلزله باید با ضریب یک ششم اعمال گردد که در آن تحلیل ضریب رفتار (R) باید یک فرض شود.

۹) کنترل نسبت تنش سرویس، این کنترل با همان فرضیات بند ۸ قبلی ولی با کاهش سختی اعضاء انجام می‌شود. در این کنترل نسبت تنش برای ستون‌ها، تیرها، مهاربندها براساس مبحث ۱۰ کنترل می‌گردد.

۱۰) کنترل سیستم دوگانه برای سهم قاب خمشی تنها با ۲۵٪ شدت زلزله مطابق استاندارد ۲۸۰۰ صورت می‌گیرد.

۱۱) کنترل سیستم دوگانه برای سهم سیستم مهاربند یا دیوار برشی با ۵۰٪ شدت زلزله مطابق استاندارد ۲۸۰۰ صورت می‌گیرد.

در نهایت براساس ۱۱ دسته کلی ذکر شده در بالا الگوریتم به صورت هوشمند انتخاب می‌کند که در هر مسئله متفاوت کدام قیود آیین‌نامه‌ای مطابق با سیستم لرزه‌ای انتخاب شده باید کنترل گردد. در ادامه سه مثال با سه سیستم لرزه‌ای مختلف ارائه می گردد.

۷- سه مثال سازه‌ای کاربردی

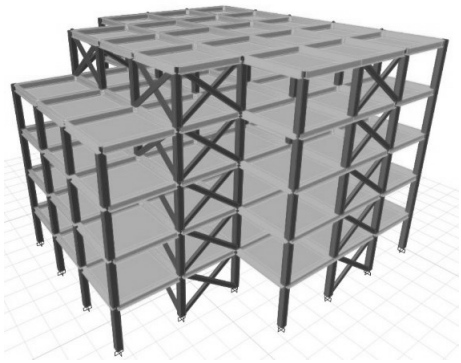
در این بخش به ارزیابی عملکرد پلتفرم الگوریتم هوش مصنوعی در رسیدن به بهینه‌ترین طراحی کامل پرداخته می‌شود. این پلتفرم با چهار الگوریتم معروف بهینه سازی fmincon، GA، PSO و HS به جستجوی جواب خواهد پرداخت. برای این کار سه ساختمان پنج طبقه نامنظم در ارتفاع و پلان با سه نوع سیسم لرزه‌ای مختلف در ادامه بررسی می‌گردد.

۷-۱- سیستم قاب مهاربندی

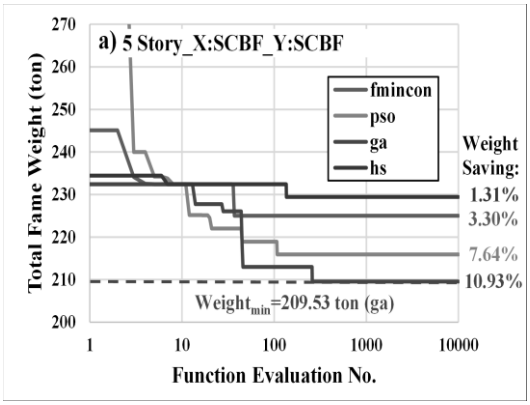
یک ساختمان پنج طبقه با سیستم قاب مهاربندی ضربدری ویژه در دو جهت متعامد به نحوی اختیار شده تا مطابق شکل پیچش ناشی از نامنظمی آن به حداقل برسد. روند بهینه‌سازی این ساختمان به کمک پلتفرم این پروژه با چهار الگوریتم ذکر شده مطابق شکل (۴): جزئیات همگرایی چهار الگوریتم بهینه‌سازی

بهینه سازی شده است. در این بخش الگوریتم GA با عملکردی

مطلوب توانسته وزن سازه بهینه را به ۲۰۹/۵۲ ton یعنی حدود ۱۰/۹٪ معادل ۲۲/۹ تن سبک‌سازی بکند. سازه مبنا مقایسه با وزن 232.43ton سازه‌ای است که تمام قیود آیین‌نامه ایران را ارضاء کرده و در حد توان طراحی بعد از بهینه سازی خودکار ETABS با ارضاء قیود آیین‌نامه‌ای اقتصادی شده بود. نکته قابل توجه این است که جواب بهینه خودکار ETABS به دلیل ارضا نکردن قیود آیین‌نامه‌ای مانند عدم کنترل ضریب اضافه مقاومت در این پلتفرم با اعمال ضریب پنالتی به بینهایت (یعنی دو تا سه برابر وزن سازه) حرکت می کرد. در رتبه دوم الگوریتم PSO نیز عملکرد خوبی داشته و موفق شده وزن سازه بهینه را به 215.94ton یعنی حدود ۷/۶۴٪ معادل ۱۶/۵ تن سبک‌سازی بکند. در رتبه سوم و چهارم الگوریتم fmincon و HS توانسته وزن سازه بهینه را به ترتیب حدود ۳/۳٪ و حدود ۱/۳۱٪ سبک‌سازی بکنند.



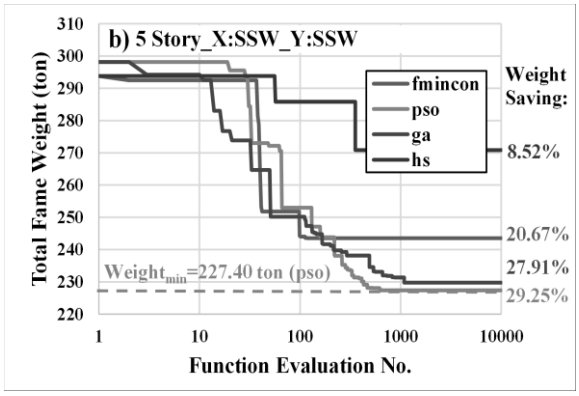
شکل (۳): هندسه المان‌های ساختمان سیستم قاب مهاربندی.



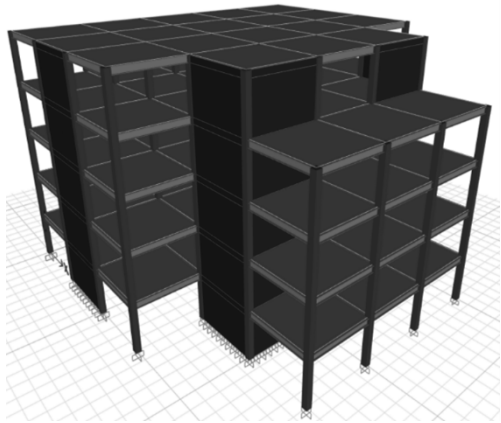
شکل (۴): جزئیات همگرایی چهار الگوریتم بهینه‌سازی

۷-۲- سیستم قاب ساده با دیوار برشی

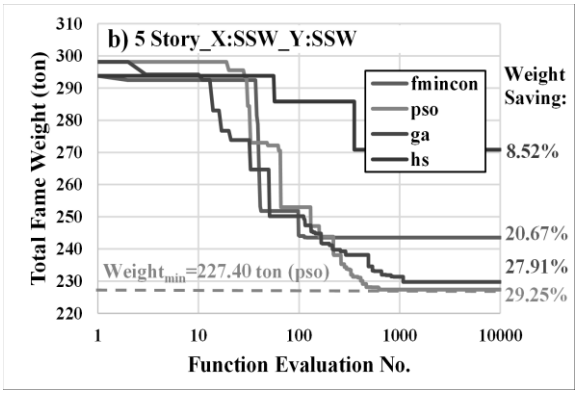
یک ساختمان پنج طبقه با سیستم قاب ساده با دیوار برشی ویژه در دو جهت متعامد به نحوی اختیار شده تا مطابق شکل پیچش ناشی از نامنظمی آن به حداقل برسد. روند بهینه‌سازی این ساختمان به کمک پلتفرم این پروژه با چهار الگوریتم ذکر شده مطابق



شکل بهینه‌سازی شده است. در این بخش الگوریتم PSO توانسته وزن سازه بهینه را به 227.39ton یعنی حدود ۲۹/۲۵٪ معادل ۶۶/۵ تن سبک‌سازی بکند. سازه مبنا مقایسه با وزن 293.9ton مطابق توضیحات قبل سازه‌ای است که تمام قیود آیین‌نامه ایران را ارضاء کرده است. در رتبه دوم الگوریتم GA نیز عملکرد خوبی داشته و موفق شده وزن سازه بهینه را به 229.77ton یعنی حدود ۲۷/۹۱٪ معادل ۶۴/۱ تن سبک‌سازی بکند. همچنین در رتبه سوم و چهارم الگوریتم fmincon و HS توانسته وزن سازه بهینه را به ترتیب حدود ۲۰/۶۷٪ و حدود ۸/۵۲٪ سبک‌سازی بکنند.



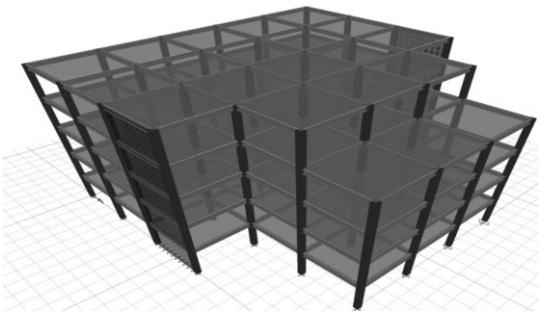
شکل (۵): هندسه المان‌های ساختمان سیستم قاب ساده با دیوار برشی.



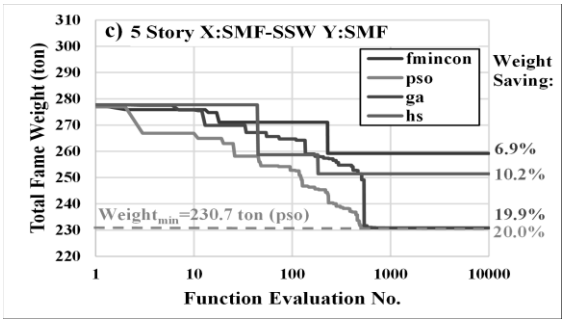
شکل (۶): جزئیات همگرایی چهار الگوریتم بهینه‌سازی.

۷-۳- سیستم قاب خمشی ویژه دوگانه با دیوار برشی

یک ساختمان پنج طبقه با سیستم قاب خمشی در یک جهت و سیستم قاب خمشی دوگانه با دیوار برشی ویژه در جهت متعامد به نحوی اختیار شده تا مطابق شکل پیچش ناشی از نامنظمی آن به حداقل برسد. روند بهینه‌سازی این ساختمان به کمک پلتفرم این پروژه با چهار الگوریتم ذکر شده مطابق شکل بهینه-سازی شده است. در این بخش الگوریتم PSO توانسته وزن سازه بهینه را به 230.7ton یعنی حدود ۲۰/۰٪ معادل ۴۶/۳ تن سبک‌سازی بکند. سازه مبنا مقایسه با وزن 277ton مطابق توضیحات قبل سازه‌ای است که تمام قیود آیین‌نامه ایران را ارضاء کرده است. از جهتی الگوریتم GA نیز عملکرد خوبی داشته و موفق شده وزن سازه بهینه را به 230.9ton یعنی حدود ۱۹/۹٪ معادل ۴۶/۱ تن سبک‌سازی بکند. همچنین در رتبه سوم و چهارم الگوریتم HS و fmincon توانسته وزن سازه بهینه را به ترتیب حدود ۱۰/۲٪ و حدود ۶/۹٪ سبک‌سازی بکنند.



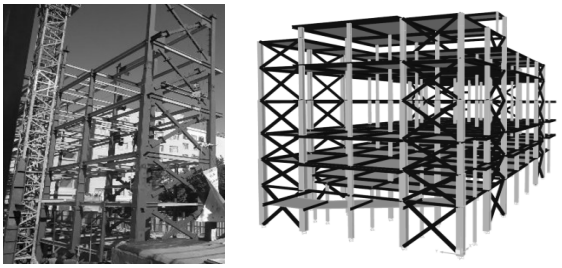
شکل (۷): هندسه المان‌های ساختمان سیستم قاب خمشی ویژه دوگانه با دیوار برشی.



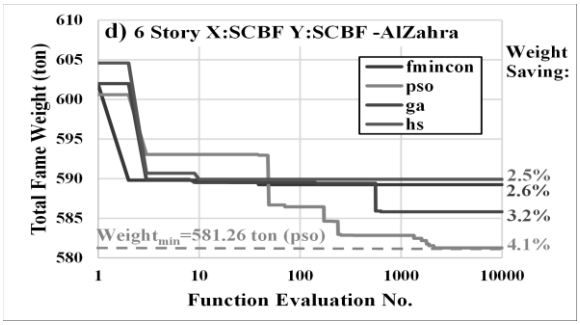
شکل (۸): جزئیات همگرایی چهار الگوریتم بهینه‌سازی.

۸- صحت‌سنجی پلتفرم با پروژه بیمارستان الزهرا

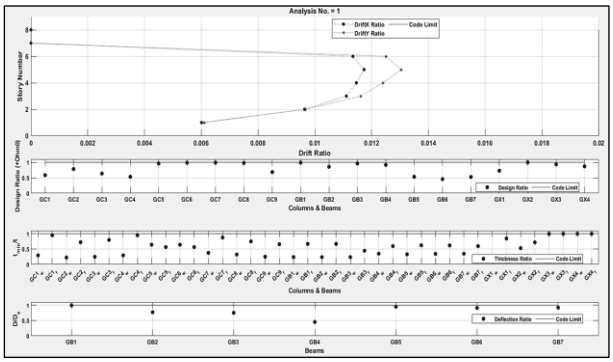
برای صحت‌سنجی کارکرد درست پلتفرم با ساختمان‌های پیچیده‌تر از پروژه بیمارستان الزهرا تبریز با زیربنای ۹۲۰۰ مترمربع که در ۶ طبقه احداث شده و دو خرپشته در دو ارتفاع مختلف دارد، استفاده گردید. این بیمارستان مطابق شکل از دو سیستم قاب مهاربندی در دو جهت متعامد استفاده می‌کند و به نحوی قرار گرفتند تا پیچش ناشی از نامنظمی آن به حداقل برسد. روند بهینه‌سازی این ساختمان به کمک پلتفرم این پروژه با چهار الگوریتم ذکر شده مطابق شکل بهینه‌سازی شده است. در این بخش الگوریتم PSO با عملکرد مطلوبی توانسته وزن سازه بهینه را به 581.2ton یعنی حدود ۴/۱٪ معادل ۲۳/۴ تن سبک‌سازی بکند. سازه مبنا مقایسه با وزن 604.6ton سازه‌ای است که در زمان اجرا به صورت بهینه طراحی شده بود و با این وجود موفق شدیم طراحی آن را بهتر بکنیم. از جهتی الگوریتم GA نیز عملکرد خوبی داشته و موفق شده وزن سازه بهینه را به 585.8ton یعنی را حدود ۳/۲٪ معادل ۱۸/۸ تن سبک‌سازی بکند. همچنین در رتبه سوم و چهارم الگوریتم HS و fmincon توانسته وزن سازه بهینه را به ترتیب حدود ۲/۶٪ و حدود ۲/۶٪ سبک‌سازی بکنند. بعد از مقایسه انواع راه حل‌ها بهینه نهایتا نتایج الگوریتم PSO به عنوان بهترین طراح انتخاب شده و به صورت گرافیکی در شکل با جزئیات بیشتر نمایش داده شده است.



شکل (۹): هندسه المان‌ها و اجرای اسکلت بیمارستان الزهرا.



شکل (۱۰): جزئیات همگرایی چهار الگوریتم بهینه‌سازی.



شکل (۱۱): نمایش گرافیکی خروجی‌ها بهینه‌ترین گزینه طراحی پروژه بیمارستان الزهرا.

۹- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به معرفی یک پلتفرم الگوریتم هوش مصنوعی پرداخته شده است. این پلتفرم به زبان برنامه نویسی MATLAB نوشته شده است و به کمک رابط API با نرم‌افزار تحلیل و طراحی ETABS ارتباط برقرار می‌کند. با وارد کردن یک فایل ETABS با استانداردهای خواسته شده در پنل گرافیکی، این پلتفرم قابلیت طراحی هوشمندانه انواع سازه‌های فولادی را فراهم می‌کند. این موضوع تا به الآن کمتر مورد بررسی قرار گرفته زیرا علم لازم برای گسترش این فناوری هوشمند در طراحی خودکار فراهم نبوده است و از جهتی ارضاء تمام قیود آیین‌نامه کار بسیار سنگین بوده که با ابتکارت فراوانی به این هدف بزرگ رسیدیم. در این پژوهش بیشتر به معرفی نتایج و کلیات کار پرداخته شده است. تمامی قیودات آیین‌نامه‌ای استاندارد ۲۸۰۰، مبحث ۶، مبحث ۹و مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان مربوط به انواع سازه‌های فولادی در این پلتفرم پیاده سازی شده است. استفاده از هوش مصنوعی در طراحی‌های مهندسی پدیده‌ای نوع ظهوری است که به‌سرعت در حال تکامل می‌باشد و کشور ایران نباید از آن عقب بیفتد.

در این مقاله الگوریتم PSO با بالاترین عملکرد برای انواع سازه‌های بررسی شده به عنوان الگوریتم تکاملی برگزیده برای این پلتفرم انتخاب گردید. این پلتفرم برای سه سیستم سازه‌ای مورد مطالعه: ۱) قاب مهاربندی، ۲) قاب ساده با دیوار برشی و ۳) قاب خمشی دوگانه با دیوار برشی توانسته است به‌ترتیب به میزان ۱۱٪ (۲۳ ton)، ۲۹٪ (۶۶/۵ ton) و ۲۰٪ (۴۶/۳ ton) صرفه‌جویی فولاد داشته باشند. در هر سه مثال دیده شده که هوش مصنوعی با کاهش وزن سازه و افزایش زمان تناوب اصلی آن موفق شده است بار لرزه‌ای وارد به سازه را کاهش دهد که منجر به طرح اقتصادی‌تری شده است. همچنین پروژه بیمارستان الزهرا تبریز برای ارزیابی کارکرد مناسب پلتفرم در سازه‌های پیچیده‌تر بررسی گردید. در این پروژه با وجود بهینه بودن طرح اجرا شده، این پلتفرم موفق شده طرح بهینه‌تری به میزان ۴/۱٪ (۲۳/۴ ton) صرفه‌جویی فولاد پیدا بکند که این میزان مقداری قابل توجهی است. با توجه به قیمت تمام شده واحد هر کیلو فولاد برابر با ۶۰ هزار تومان با احتساب هزینه رنگ، اتصالات و نصب هرکیلو فولاد، این پلتفرم ۱/۴ میلیارد تومان صرفه‌جویی مالی در پروژه الزهرا و نیز صرفه‌جویی در منابع با ارزش فولاد کشور انجام شده است. این در حالی است که با حذف خطای انسانی به یک طراحی کامل و ایمن می‌توان دست یافت. شایان ذکر است که سبک سازی هوشمند سازه به دلیل کاهش نیرو و پیچش زلزله در تمام طبقات ساختمان‌های نامنظم می‌تواند در کنار کاهش هزینه، موجب افزایش ایمنی شود.

۱۰- مراجع

[1] M. R. Hasani Ahangar and A. Moghaddasi “The Study and Introducing Artificial Intelligence Algorithm to Solve OptimizationIssues: Application, Advantages and Disadvantages”, Passive Defense Quarterly. 2014 Jan 12;4(3):13-24. (In Persian).

[2] S. Rajasekaran and G. A. V. Pai, Neural networks, fuzzy logic and genetic algorithm: synthesis and applications. PHI Learning Pvt. Ltd., 2003.

[3] B. Choudhury and R. M. Jha, “Soft Computing Techniques,” in Soft Computing in Electromagnetics, Cambridge University Press, 2016, pp. 9–44.

[4] H. S. Park and C. W. Sung, “Optimization of steel structures using distributed simulated annealing algorithm on a cluster of personal computers,” Comput. Struct., vol. 80, no. 14–15, pp. 1305–1316, 2002.

[5] S. Gholizadeh and O. A. Samavati, “Structural optimization by wavelet transforms and neural networks,” Appl. Math. Model., vol. 35, no. 2, pp. 915–929, 2011.

[6] A. Kaveh and S. Talatahari, “Charged system search for optimal design of frame structures,” Appl. Soft Comput., vol. 12, no. 1, pp. 382–393, 2012.

[7] R. Alberdi and K. Khandelwal, “Comparison of robustness of metaheuristic algorithms for steel frame optimization,” Eng. Struct., vol. 102, pp. 40–60, 2015, doi: https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.08.012.

[8] A. Kaveh, M. H. Ghafari, and Y. Gholipour, “Optimal seismic design of 3D steel moment frames: different ductility types,” Struct. Multidiscip. Optim., vol. 56, no. 6, pp. 1353–1368, 2017.

[9] A. Kaveh, M. Z. Kabir, and M. Bohlool, “Optimum design of three-dimensional steel frames with prismatic and non-prismatic elements,” Eng. Comput., pp. 1–17, 2019.

[10] M. Sarcheshmehpour, H. E. Estekanchi, and H. Moosavian, “Optimum seismic design of steel framed-tube and tube-in-tube tall buildings,” Struct. Des. Tall Spec. Build., vol. 29, no. 14, 2020, doi: 10.1002/tal.1782.

[11] S. A. Mirfarhadi, H. E. Estekanchi, and M. Sarcheshmehpour, “On optimal proportions of structural member cross-sections to achieve best seismic performance using value based seismic design approach,” Eng. Struct., vol. 231, 2021, doi: 10.1016/j.engstruct.2020.111751.

[12] A. Ghasemof, M. Mirtaheri, R. Karami Mohammadi, and M. R. Mashayekhi, “Multi-objective optimal design of steel MRF buildings based on life-cycle cost using a swift algorithm,” Structures, vol. 34, 2021, doi: 10.1016/j.istruc.2021.09.088.

[13] Office of National Building Regulations, “Topic 6: Loads on Buildings”, Iran Development Publishing House, Housing and Construction Deputy, Ministry of Roads and Urban Development, Tehran, Iran, 2018. (In Persian).”

[14] Office of National Building Regulations, “Topic 10: Design and Implementation of Steel Buildings”, Iran Development Publishing House, Housing and Construction Deputy, Ministry of Roads and Urban Development, Tehran, Iran, 2022. (in Persian).

[15] Bureau of National Building Regulations, “Standard 2800: Design Code of Buildings Against Earthquake”, 4th Edition, Iran Development Publishing House, Ministry of Roads and Urban Development, Tehran, Iran, 2014. (in Persian).

[16] Office of National Construction Regulations, “Topic 9: Design and Implementation of Reinforced Concrete Buildings”, Iran Development Publishing House, Housing and Construction, Ministry of Roads and Urban Development, Tehran, Iran, 2020. (In Persian).

Application of Artificial Intelligence in the Optimal Seismic Design of Steel Structures Based on the Iran Mabhas-10 Regulations

M. Kiani*, A. Rahgozaar

Abstract

The current research aims to provide an algorithm using artificial intelligence calculations to satisfy all the regulations of Mabhas-6, Mabhas-10, and standard 2800 of the national building regulations while minimizing the weight of the structure. In previous research, the control of constraints and the optimal design of steel moment frames were done in two dimensions and only with older algorithms. One of the most important tasks of this research is the completion of the new restrictions of regulations to control all the restrictions and optimal design of the widely used types of short and intermediate steel structures. All the regulations and controls necessary for the three main types of steel structures widely used in the country, such as 1) braced frames and 2) frames with shear walls, and 3) a dual system of moment frames and shear walls, have been implemented. Finally, the results of this algorithm were validated with a Tabriz hospital project. One of the valuable results of the work is to facilitate the safe design and control process of the steel buildings by providing a graphic panel of the model input and displaying all the essential outputs of the structure in the form of text and diagrams. The work process is intelligently programmed to be performed automatically by just inputting a standard ETABS file into the optimal seismic design process algorithm. In the ETABS file, each design group (e.g., columns, beams, braces, and walls) is defined as a list of usable sections so that the artificial intelligence algorithm can choose the best arrangement. For the three structural examples and the hospital project, we showed that in addition to design safety, significant savings between 11 to 30 percent could be made on the total steel weight, which would take several years to achieve these results for a computer without the use of artificial intelligence.

Key Words: *Artificial Intelligence, Genetic Algorithm, Bird Algorithm, Optimal Seismic Design, Steel Structures, Automatic Intelligence*

*Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Imam Hossein University, Tehran, Iran. (kiani@ihu.ac.ir)- Writer-in-Charge