طراحی بهینه سازه فولادی دیاگرید در ساختمان بلند

اشکان خدابنده‌لو*
استادیار گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
رضا آقاجانی
دانشجوی دکتری عمران سازه، دانشکده فنی ومهندسی، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
a.khodabandehlou@iaurmia.ac.ir
تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۰۶/۲۰

چکیده:

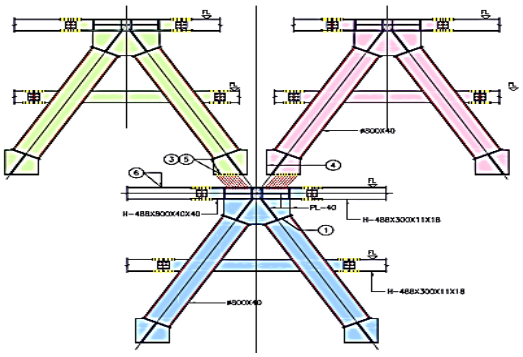
سازهٔ دیاگرید المان‌های قطری است که همزمان نقش باربری بارهای افقی و قائم را بر عهده دارند. در سازهٔ دایاگرید، بارهای وارده برخلاف اکثرسیستمهای متداول ساختمانهای بلند مرتبه که توسط مکانیسمهای برشی و خمشی انتقال میابند، به دلیل پیکره‌بندی مثلثی آنها و حذف ستونهای قائم از مکانیسم انتقال بار محوری برخوردار بوده و به عبارت دیگر عملکردی خرپایی دارند. سیستم دایاگرید برای کارائی و زیبایی معماری و سازه‌ای گسترش داده شده است. سازه‌های دیاگرید به‌عنوان یک سیستم سازه‌ای در ساختمان‌های بلند از نظر عملکرد، بهبود یافته‌ی سیستم سازه‌های قابی و لوله‌ای می‌باشد که با کاهش چشم‌گیر لنگی برش، وزن سازه را به‌شدت کاهش می‌دهد. هدف از این تحقیق، بهینه‌یابی سازه‌های شبکه قطری برای کمینه‌سازی وزن سازه، تعیین تعداد تقسیمات افقی و عمودی می‌باشد. افزونه‌ی برنامه‌نویسی گرافیکی گرس‌هاپر بر روی نرم‌افزار راینو، با پارامتریک کردن برنامه‌ی نوشته شده امکان بهینه‌سازی الگوریتمیک را فراهم می‌سازد. بهینه‌یابی در برنامه‌ی نوشته شده توسط الگوریتم ژنتیک از طریق پلاگین گالاپاگوس بر اساس نتایج خروجی از موتور تحلیل سازه پلاگین کارامبا انجام می‌شود. نتایج شبیه سازی حاکی از آنست که برای سازه‌ی شبکه قطری ۴۰ طبقه با مساحت ۹۰۰ مترمربع هر طبقه، بهینه‌ترین حالت با تعداد تقسیمات افقی و عمودی ۸ و ۲۶ و زاویه ۶۴ با محور افقی، ۲۱۵۰۸ تن وزن کل سازه خواهد داشت.

کلید واژگان: ساختمان‌های بلند، دیاگرید، طراحی بهینه، الگوریتم ژنتیک، گالاپاگوس

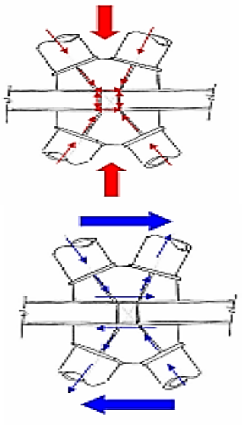
۱- مقدمه

امروزه با پیشرفت علوم و فناوری، نیازها و خواسته‌های جدیدی در زمینه‌ی مهندسی سازه به‌وجود آمده است. عامل زمان در ساخت سازه‌ها اهمیت دوچندان یافته و با رشد جمعیت بشری، علاقه به ساخت فضاهای بزرگ بدون ستون‌های میانی افزایش بسیاری پیدا کرده است [۱۵]. در این راستا، در قرن حاضر، تعدادی از متخصصان مجذوب قابلیت‌های منحصر به فرد سازه‌های شبکه قطری در ساختمان‌های بلند شده و پاسخ بسیاری از نیازهای جدید را در این سازه‌ها جسته‌اند. ظهور زیبایی‌شناسی مبتنی بر عملکرد بهینه‌ی سازه‌ای، سبب شکل گیری سازه‌های شبکه قطری شده است [۱].

از نظر ساختمانی، شبکه قطری ایده‌ی نو و جدیدی نیست؛ پیدایش سیستم شبکه‌ی قطری تقریباً به دهه‌ی ۱۹۶۰ بر می‌گردد. در آن زمان به دلیل اتصالات پیچیده و عدم پیشرفت تکنولوژی، تعداد اندکی از این سیستم استفاده شده‌اند؛ اما امروزه با گسترش روز افزون تکنولوژی و قابلیت ساخت اتصالات بصورت کارخانه‌ای، کاربرد سیستم شبکه‌ی قطری توسعه یافته است. در شکل ۱ نمونه‌ای از چیدمان اعضای قطری درسیستم شبکه‌ی قطری و در شکل ۲ نحوه‌ی توزیع بار در محل گره اعضای قطری نشان داده شده است. توانایی سازه‌های شبکه قطری در تأمین سختی جانبی و پیچشی پربازده در سازه‌های بلند باعث تحقیق شده است [۶].



شکل ۱- نمونه‌ای از چیدمان اعضای قطری در سیستم سازه دیاگرید [۶]



(الف) (ب)

شکل ۲- توزیع بار در محل گره اعضای قطری، الف) تحت بار ثقلی ب) تحت بار جانبی [۶]

در سیستم سازه‌ای شبکه قطری توزیع جرم سازه دور از مرکز، مقاومت این سازه را در برابر نیروها و به ویژه نیروهای جانبی افزایش می‌دهد. در این سیستم، ستون‌های پیرامونی حذف شده و ستونها و بادبندها با هم ترکیب می‌شود و سبب صرفه جویی در میزان مصالح و صرفهٔ اقتصادی و نیز بازدهی بالای سازه‌ای می‌گردد. سازه‌ی شبکه قطری باعث به حداقل رساندن تغییرشکل برشی می‌شود. چرا که برش را از طریق عمل محوری اعضاء مورب حمل می‌کند، سازه‌های شبکه قطری، به هسته با سختی برشی بالا نیاز ندارند، چراکه نیروی برشی توسط شبکهٔ قطری محیطی تحمل می‌شود. سازه‌ی شبکه قطری، شبکه‌ای از المان‌های قطری (مورب) است که همزمان نقش باربری بارهای افقی و قائم را بر عهده دارند. در سازه‌ی شبکه قطری، بارهای وارده برخلاف اکثر سیستم‌های متداول ساختمان‌های بلند مرتبه که توسط مکانیسم‌های برشی و خمشی انتقال می‌یابند، به دلیل پیکره‌بندی مثلثی آنها و حذف ستون‌های قائم از مکانیسم انتقال بار محوری برخوردار بوده و به عبارت دیگر عملکردی خرپایی دارند [۱۴].

در تحقیقی، زاویه‌ی بهینه‌ی سازه‌ی شبکه قطری ساختمان‌های بلند با استفاده از بهینه سازی شبکه که بر اساس الگوریتم پارامتریک پیاده سازی شده صورت گرفته است. در واقع موضوع اصلی پیدا کردن ماکزیمم سختی ساختمان‌های بلند با زاویه بهینه بوده است. در زاویه‌ی بهینه‌ی شبکه قطری نشان داده شده که به‌طور مؤثر تغییرشکل افقی در بالاترین طبقه با استفاده از الگوریتم بهینه سازی مینیمم گردیده است [۱۰]. آقای مون و همکاران به روشی ساده جهت انتخاب سایز اولیه‌ی المان‌های قطری شبکه قطری پرداخته‌اند. ایشان روش ساده‌ای را برای تعیین مقدار اولیه‌ی اجزاء برای ساختمان‌های ۲۰ تا ۶۰ طبقه ارائه نمودند. این مقادیر اولیه برای مهندسان و معماران به عنوان طرح کلی برای طراحی اولیه بسیار مفید واقع می‌شود [۵]. تحقیقات در زمینه‌ی سازه شبکه قطری فقط به هندسه‌های ساده پلانی و ارتفاعی ختم نشده است. در مقاله‌ی دیگر، عملکرد سازه‌ای سیستم شبکه قطری در ساختمان‌های بلند با اشکال پیچیده از قبیل پیچ خوردگی و برج‌های حالت آزاد مطالعه شده است. برای بررسی تأثیر متغیر حالت هندسه‌ی

ساختمان‌های بلند با اشکال پیچیده از قبیل نرخ پیچش و زاویه‌ی چرخش، مدل ساختاری پارامتری برای این مطالعه استفاده شده است [۱۱]. در مطالعه‌ی لی و همکاران، طراحی بهینه‌ی هوشمند برای اندازه گیری تأثیر متغیرهای هندسه‌ای مثل اندازه و توپولوژی تبدیل شبکه قطری به مهندسی سازه صورت گرفته است [۱۲].

در این مقاله نشان داده شده که برنامه‌های متعددی برای بدست آوردن جواب بهینه با استفاده از ابزار طراحی بهینه سازی تعریف می‌شود و می‌تواند احتمالات مفهومی واحدهای سلولی شبکه قطری را که به صورت آزمایشی تولید می‌شود را ارزیابی کند [۱۲]. در مقاله‌ی دیگر، عملکرد لرزه‌ای سازه‌های شبکه قطری معمولی بررسی شده است. برای این منظور، یک سازه شبکه قطری با ۳۶ طبقه و اشکال مختلف و بادبندهای خارجی طراحی شده و پاسخ به زلزله ارزیابی شده است. همچنین در این مقاله سازه‌های لوله‌ای طراحی و عملکرد لرزه‌ای آن با سازه شبکه قطری مقایسه شده است. طبق نتایج تحلیل سازه‌های شبکه قطری قدرت بالایی با قابلیت کشش کم در مقایسه با سازه‌های لوله‌ای دارد [۱۳].

اگر چه ساختمان‌های زیادی با سیستم شبکه قطری پیشنهاد می‌شوند و به عرصه‌ی رقابت وارد گردیده‌اند، اما مطالعات کمی روی رفتار سیستم شبکه قطری یا گره‌های شبکه قطری در گذشته انجام گردیده است. از همه مهمتر مطالعه‌ی ساختار گره‌های شبکه قطری به خاطر هندسه‌ی پیچیده و ارتباط پر هزینه‌ی سیستم شبکه قطری بسیار مشکل است. از اینرو، یکی از مسائل اصلی در شبکه قطری‌ها تعیین چیدمان المان‌های مورب است به نحوی که پارامترهای هدفی همچون وزن، تغییرمکان جانبی کمینه و یا پارامتری همچون سختی جانبی بیشینه گردد. در این تحقیق، مدلسازی پارامتریک سازه شبکه قطری انجام می‌پذیرد. پارامتری‌سازی المان‌ها پیش‌زمینه‌ی بحث بهینه‌سازی هندسه و وزن آنها خواهد بود.

طراحی بهینه به شکل «بهترین طراحی قابل قبول بر اساس یک معیار کیفی شایستگی از پیش تعیین شده» تعریف می‌گردد. اهمیت طراحی سازه‌های با وزن مینیمم، اولین بار توسط صنایع هوا– فضا مورد توجه قرار گرفت که در آنها طراحی سازه‌های هواپیما بیشتر با وزن آن کنترل می‌شد تا با هزینه‌ی آن. توجه فزاینده به کمبود مواد خام و منابع انرژی شناخته شده، موجب تمایل به داشتن سازه‌هایی سبک، کارا و ارزان قیمت شده است [۷].

جهت انجام شبیه‌سازی، بهینه‌سازی چند متغیره و نیز بیان پارامتریک مدل هندسی سازه‌های مورد نظر از افزونه‌ی پارامتریک گرس‌هاپر و دو پلاگین درون سازمانی این افزونه به نام‌های کارامبا و گالاپاگوس استفاده شده است. گرس‌هاپر، یک زبان برنامه نویسی بصری است که در برنامه‌ی راینو اجرا می‌شود. برنامه‌ها با کشیدن قطعه‌ها بر روی صفحه ساخته می‌شود. خروجی به این مؤلفه‌ها و سپس به ورودی از اجزای پس از آن متصل می‌شود. گرس‌هاپر به طور عمده برای ایجاد الگوریتم‌های مولد مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸].

کارامبا یک برنامه‌ی اجزاءمحدود (FEM) برای پیش‌بینی رفتار سازه تحت بارهای ثقلی و جانبی می‌باشد. این برنامه در یک چارچوب مهندسی سازه در یک محیط طراحی پارامتریک و تعاملی طراحی شده است. یکی از اهداف آن ساختن یک ابزار سبک و سریع برای تسهیل جریان یکپارچه‌ی اطلاعات میان مدل‌های سازه‌ای و هندسی می‌باشد. تمرکز مقاله‌ی حاضر بر روی امکان سنجی اعمال الگوریتم ژنتیک (GA) که نوع خاصی از روش های تکاملی می‌باشد، در بهینه سازی سازه‌ای در دنیای واقعی است. الگوریتم ژنتیک به مقدار زیادی به ارزیابی تابع هدف (درمورد ارزیابی سازه‌ای این موضوع اشاره دارد به محاسبات اجزاء محدود) اتکا دارد و در پلاگین گالاپاکوس از این الگوریتم فرا ابتکاری بهره برده می‌شود. در این پلاگین، در گام اول باید یک نسل مولد انتخاب شود تا نسل‌های بعدی از این نسل تولید شوند. در نوع انتخاب این نسل مولد می‌توان چند روش به کار برد که سه روش بیشترین کاربرد را دارد: انتخاب ایزوتروپیک یا یکنواخت، انتخاب انحصاری، انتخاب جهت‌دار [۹].

۲- تعریف پروژه

در این پروژه، فضای مفید طبقات ۳۶۰۰۰ متر مربع می‌باشد که در ۴۰ طبقه با ارتفاع ۲۰۰ متر و متراژ ۹۰۰ متر مربع فضای مفید برای هر طبقه در یک پلان مربع شکل با ابعاد ۳۰ متر در ۳۰ متر در شهر تبریز تعریف شده است. ارتفاع کف تا کف طبقات ۵ متر تعریف شده است که حدود ۱۴۰ سانتی متر آن را سازه کف اشغال کرده است. سازه‌ی تعریف شده برای کف طبقات به عنوان سازه‌ی افقی هم برای تحمل بار ثقلی و هم به‌عنوان یک دیافراگم صلب برای تحمل بارهای جانبی، سازه‌ی مرکب متشکل از یک سازه‌ی فضاکار و دال بتنی روی آن می‌باشد. ارتفاع این دال بتنی ۲۰ سانتی متر و ارتفاع مقطع سازه فضاکار یک متر می‌باشد.

سازه‌ی عمودی این برج یک سازه‌ی شبکه قطری در محیط ساختمان می‌باشد که در برنامه‌ی نوشته شده (شکل ۳) تحلیل و بهینه سازی شده است. سازه‌ی افقی شامل یک دیافراگم صلب مرکب متشکل از یک لایه‌ی دال بتنی و یک سازه‌ی فضاکار زیر آن است که این سازه‌ی دیافراگم به وسیله‌ی اتصالات صلب به سازه‌ی شبکه قطری در محیط پلان متصل می‌شود. داخل پلان کاملاً عاری از سازه‌ی عمودی است و تمام سازه‌ی عمودی در محیط پلان قرار گرفته است تا حداکثر بازوی اهرم در مقابله با بارهای جانبی حاصل شود و نتیجتاً عملکرد سازه‌ای بهبود یابد.

استفاده‌ی توأم از این سازه‌ی شبکه قطری و سازه‌ی مرکب کف طبقات، نیاز به سازه‌ی ثانویه در داخل پلان ساختمان را از بین برده است تا پلان طبقات حداکثر انعطاف‌پذیری را دارا باشند. هدف از انجام این پروژه یافتن روابط میان پارامترها است. برای انجام بهینه‌سازی، برنامه به صورت پارامتریک نوشته شده است.

شکل ۳-سازه دیاگرید و سازه مرکب دال بتنی و سازه فضاکار کف

در تحلیل اجزاء محدود توسط افزونه‌ی کارامبا در محیط برنامه نویسی گرس‌هاپر، بارگذاری شامل ترکیب بار زنده و مرده می‌باشد. دال بتنی در سیستم کف استفاده شده در این سازه به ضخامت ۲۰ سانتی متر و از بتن باردهٔ مقاومتی C20/25 می‌باشد و سازه فضاکار استفاده شده دارای شبکه‌هایی با ابعاد ۳ در ۳ متر با فاصله‌ی ۱ متر بین دو لایه به‌عنوان ارتفاع مقطع سازه فضاکار و از جنس فولاد St37 می‌باشد. در فرآیند بهینه‌سازی پارامتریک با الگوریتم ژنتیک توسط افزونه‌ی گالاپاگوس در محیط نرم‌افزار گرس‌هاپر، مقاطع سازه‌ی فضاکار از استاندارد بریتانیا، گروه CHS (مقاطع توخالی دایره‌ای) بهینه‌یابی شده اند. وزن کل سازه به‌عنوان تابع هدف، حداکثر تغییرشکل به‌عنوان محدودیت بهینه‌یابی و مقاطع اعضای سازه فضاکار در ۱۲ گروه به عنوان پارامترهای بهینه‌سازی تشکیل شده‌اند. حداکثر تغییرشکل (خیز مجاز) سازه فضاکار $\frac{1}{240}$ کوچکترین دهانه برای بارهای مرده و $\frac{1}{360}$ کوچکترین دهانه برای بارهای زنده، می‌باشد [۳].

۳- بارگذاری و تحلیل سازه

ساختمان‌ها و سازه‌ها و کلیه اجزاء آنها باید برای اثر ناشی از باد و زلزله طراحی و ساخته شوند، این اثر باید باتوجه به میانگین سرعت باد درمنطقه، ارتفاع، شکل هندسی ساختمان‌ها، میزان پوشش وگرفتگی محاسبه شوند [۲].

بار باد در این پروژه طبق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران اعمال گردیده و به صورت بردارهایی تعریف می‌شود که شامل فشار و مکش در هر طبقه که در مساحت سطح مؤثر آن ضرب می‌شود و به علت صلب بودن دایافراگم طبقات، بردار حاصل به مرکز ثقل وارد می‌شود. مکان سازه، شهر تبریز در نظر گرفته شده است و مشخصات و بارگذاری لرزه‌ای مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ ایران می‌باشد [۲و۴].

انجام بهینه‌سازی سازه‌ی شبکه قطری با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری مدنظر بوده است که استفاده از یک محیط برنامه نویسی را ملزم می‌کند. افزونه‌ی برنامه نویسی گرافیکی گرس‌هاپر بر روی نرم افزار مدل سازی هندسی راینو قابلیت بیان پارامتریک هر مسأله امکان بهینه سازی الگوریتمیک را نیز فراهم می‌سازد. در جدول ۱ مدل پارامتریک سازه شبکه قطری برای برخی از مقادیر محتمل پارامترهای حاکم بر مسأله و بهینه‌سازی نشان داده شده است. همچنین مقادیر پارامترها و نیز بهینه‌ترین حالت مسأله‌ی حاکم در جداول مربوطه ارائه شده است. برنامه‌ی نوشته شده امکان بهینه‌سازی الگوریتمیک را فراهم می‌سازد.

جدول ۱–نشان دادن پارامتریک سازی درسازه دیاگرید

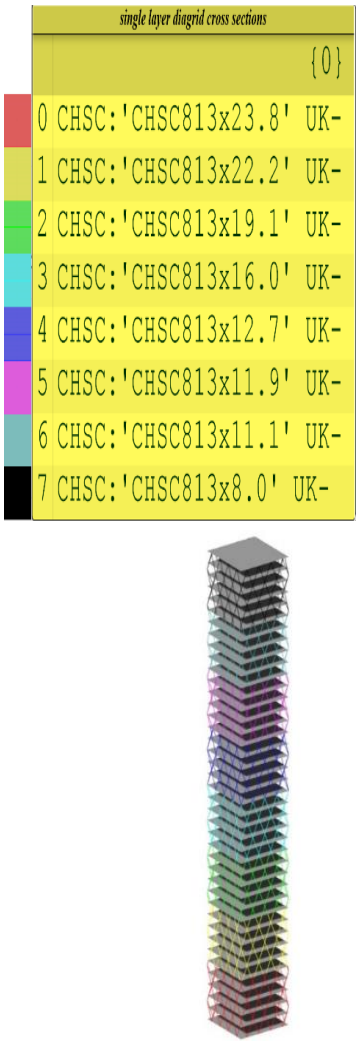
تقسیمات عمودی	۴۶	۵۶	۲۶	۱۴
تقسیمات افقی	۱۰	۱۶	۸	۶
زاویه با محور افق	۵۵/۳۹	۶۴/۰۱	۶۴/۰۱	۷۰/۷۰
وزن کل سازه (تن)	۲۱۷۳۸	۲۲۰۸۴	۲۱۵۰۸	۲۱۵۴۳

فرآیند بهینه‌سازی پارامتریک با الگوریتم ژنتیک توسط افزونه‌ی گالاپاگوس (شکل ۴) در محیط نرم افزار گرس‌هاپر انجام می‌شود. متغیرهای بهینه‌سازی به‌صورت عددی به‌عنوان Genome (ژنهای) بهینه‌سازی در ورودی کامپوننت گالاپاگوس و تابع هدف بهینه سازی به‌صورت Fitness (سازگاری) در خروجی کامپوننت گالاپاگوس تعریف می‌شود. متغیرهای تعریف شده برای بهینه سازی الگوریتمیک سازه‌ی شبکه قطری عبارتند از:

۱. تعداد تقسیمات افقی هر وجه سازه شبکه قطری

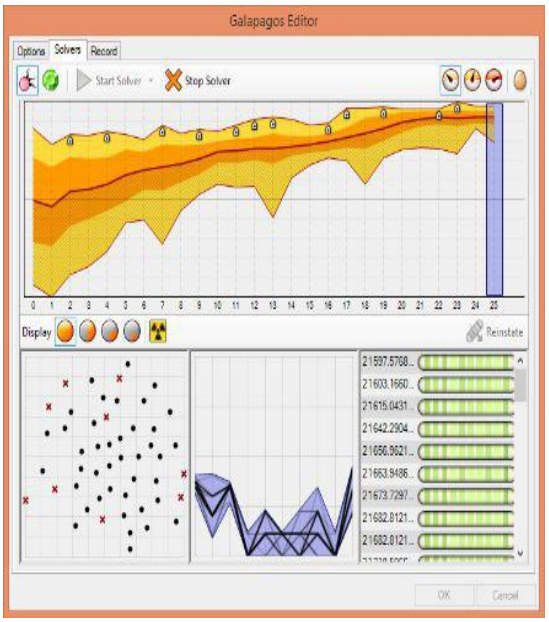
۲. تعداد تقسیمات عمودی هر وجه سازه شبکه قطری

۳. مقاطع اعضای سازه شبکه قطری از استاندارد بریتانیا گروه CHS (مقاطع توخالی دایره‌ای) در ۸ تیپ



تیپ‌بندی مقاطع در هر ۵ طبقه یکسان می‌باشند و با توجه به اینکه بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک نیاز به عددی کردن متغیرها دارد، در برنامه‌ی نوشته شده مقاطع تعریف شده به صورت عددی برنامه نویسی شده است. وزن سازه به‌عنوان تابع هدف این بهینه سازی، معیارسنجش و ارزیابی پاسخها در این فرآیند بهینه‌یابی الگوریتمیک می‌باشد. محدودیت در الگوریتم‌های بهینه‌سازی به‌عنوان یک رکن اساسی معرفی می‌شود و با توجه به اینکه در افزونه‌ی گالاپاگوس امکان تعریف محدودیت وجود ندارد ملزم به برنامه نویسی کردن تابع محدودیت در نرم افزار گرس‌هاپر هستیم. دریفت (تغییرمکان‌های نسبی طبقات) به عنوان محدودیت بهینه‌یابی در این پروژه به‌صورت گرافیکی برنامه نویسی شده است. در مراحل بهینه‌یابی، پس از تعیین پارامترهای بهینه سازی (تعداد تقسیمات افقی، تعداد تقسیمات عمودی و مقاطع سازه

شبکه قطری)، دریفت نرم افزاری طبقات از طریق برنامه نویسی و موتور تحلیل نرم افزار کارامبا محاسبه می‌شود.



شکل ۴- تصویری از فرآیند بهینه سازی سازه دیاگرید

در این تحقیق، نتایج حاصل از جستجو توسط الگوریتم نوشته شده در نرم‌افزار برنامه نویسی گرس‌هاپر می‌باشد. بهینه‌یابی در برنامه‌ی نوشته شده توسط الگوریتم ژنتیک از طریق افزونه‌ی گالاپاگوس بر اساس نتایج خروجی از موتور تحلیل سازه کارامبا انجام می‌شود.

این برنامه شامل مدلسازی پارامتریک برج مورد نظر می‌باشد، متغیرهای این مدل پارامتریک، تعداد تقسیمات عمودی و افقی سازه شبکه قطری و (زاویه‌ی حاصله) می‌باشد و بر این اساس وزن سازه به‌عنوان تابع هدف این بهینه‌سازی، ارزیابی می‌شوند. هدف از انجام این بهینه‌یابی، یافتن روابط میان متغیرهای یک سازه‌ی شبکه قطری می‌باشد تا نهایت مقرون به صرفگی از نظر هزینه، مصرف انرژی حداقل برای تولید ساختمان و حداکثر کیفیت در عملکرد سازه‌ای حاصل شود. متغیرهای بهینه‌سازی فوق‌الذکر به طور تشریحی عبارتند از:

تقسیمات افقی: تعداد تقسیمات طول جداره که بیان کننده‌ی تعداد چشمه‌های سازه‌ی شبکه قطری در محور افقی می‌باشد.

تقسیمات عمودی: تعداد تقسیمات ارتفاع جداره که بیان‌کننده‌ی تعداد چشمه‌های سازه شبکه قطری در محور عمودی می‌باشد.

تعداد اعضا: هر عضو با مقطع لوله‌ای که حد فاصل دو گره قرار می‌گیرد.

تعداد تقسیمات افقی و عمودی تعیین کننده‌ی تعداد اعضای سازه‌ی شبکه قطری می‌باشد. منظور تعداد کل اعضای شبکه قطری در این سازه می‌باشد.

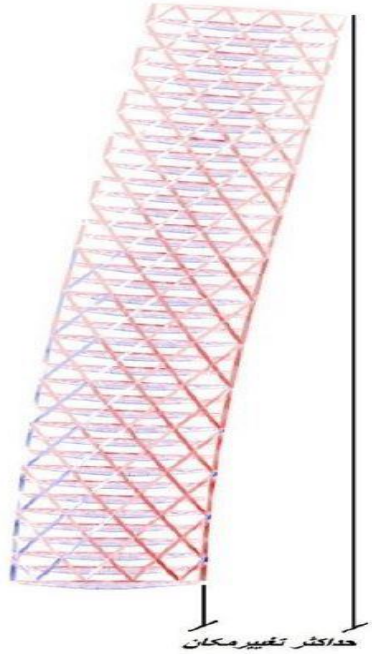
مقاطع سازه‌ی شبکه قطری در استاندارد بریتانیا گروه CHS (مقاطع توخالی دایره‌ای): در مورد شبکه قطری در هشت تیپ بهینه‌یابی می شوند.

در عوض، پارامترهای ارزیابی بر اساس نتایج حاصل از تحلیل سازه عبارتند از:

وزن کل سازه (تن): در اینجا منظور وزن کلیه‌ی اعضای سازه‌ای شامل سازه‌ی شبکه قطری و سازه‌ی کف مرکب طبقات (دال بتنی و سازه فضاکار زیر آن) می‌باشد و به عنوان تابع هدف، مبنای ارزیابی پارامترهای بهینه‌سازی است.

اثر پی–دلتا (کیلونیوتن در متر): برابر است با مجموع پی–دلتا در تمام اعضا (پی–دلتا برای هر عضو برابر است با حاصلضرب نیروی فشاری در تغییرمکان)

حداکثر تغییرمکان (متر): مفهوم حداکثر تغییرمکان در یک ترکیب بار برابر است با تغییرمکان نقطه‌ای از سازه که بیشترین جابجایی را تحت ترکیب بار موردنظر نسبت به وضعیت اولیه‌ی خود داشته است (شکل ۵). تحت ترکیبات بار مختلف، بیشترین "حداکثر تغییر مکان" مبنا قرار می‌گیرد.



شکل ۵- حداکثر تغییرمکان سازه دیاگرید به طور شماتیک

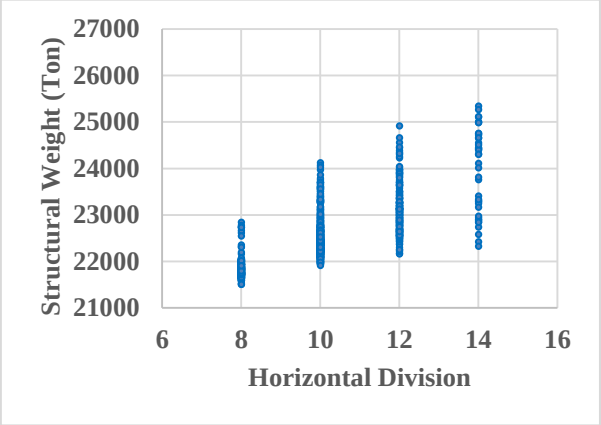
۴- نتایج حاصل از تحلیل

منظور از پاسخ بهینه، حالتی از سازه شبکه قطری است که وزن سازه در این حالت حداقل است. مشخصات پاسخ بهینه در جدول ۲ ارائه شده است.

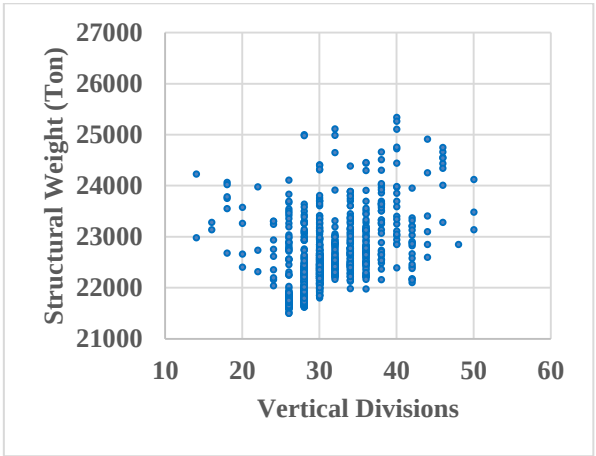
جدول ۲-بهینه‌ترین پاسخ برای سازه دیاگرید

تعداد تقسیمات افقی	۸
تعداد تقسیمات عمودی	۲۶
زاویهٔ اعضا با محور افق (درجه)	۶۴/۰۱
تعداد اعضای شبکه قطری	۲۰۴۸
اثر پی–دلتای کل ساختمان (کیلو نیوتن در متر)	۲۶۵۹۴۰
حداکثر تغییرمکان سازه (متر)	۱/۵۱
وزن کل سازه (تن)	۲۱۵۰۸

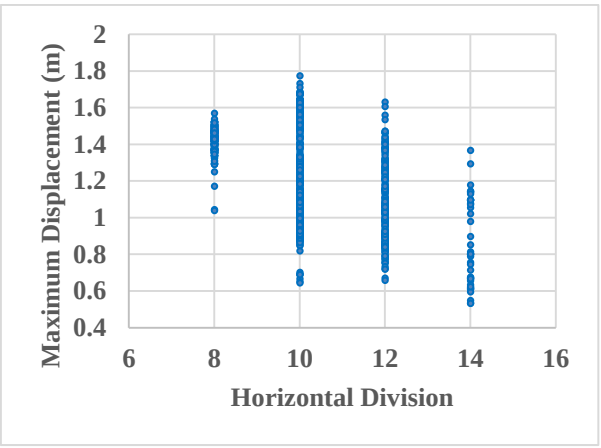
اشکال ۶ تا ۱۳ نتایج به دست آمده از این بهینه‌یابی می‌باشد. اشکال ارائه شده بیان کننده‌ی رابطه‌ی پارامترهای بهینه‌یابی (تعداد تقسیمات و تعداد اعضا) و پارامترهای ارزیابی بر اساس نتایج حاصل از تحلیل سازه (وزن و حداکثر تغییرمکان) می‌باشد.



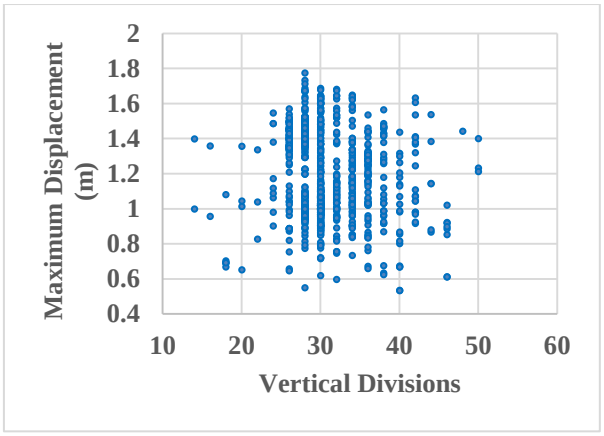
شکل ۶- تعداد تقسیمات افقی- وزن در سازه دیاگرید



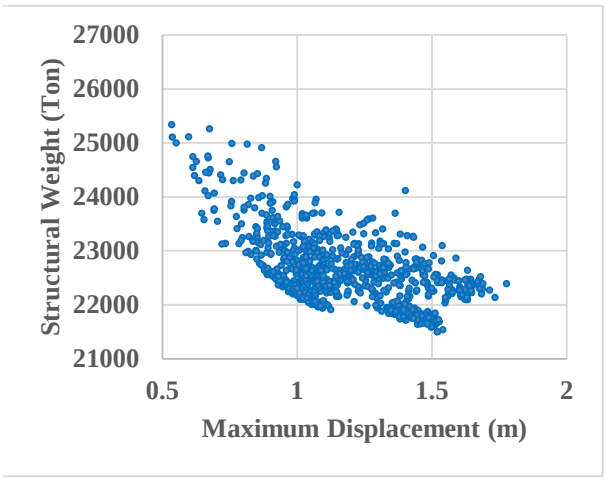
شکل ۷- تعداد تقسیمات عمودی- وزن در سازه دیاگرید



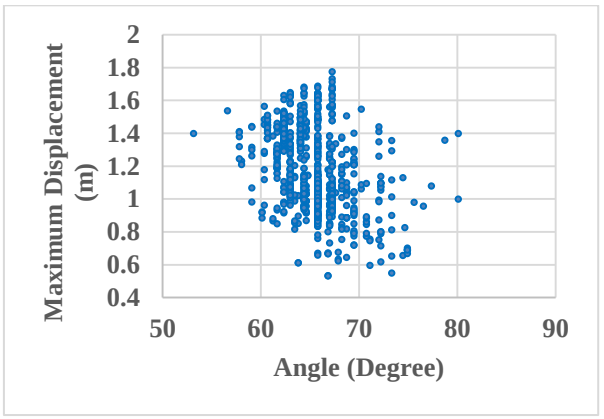
شکل ۸- تعداد تقسیمات افقی- حداکثر تغییرمکان در سازه دیاگرید



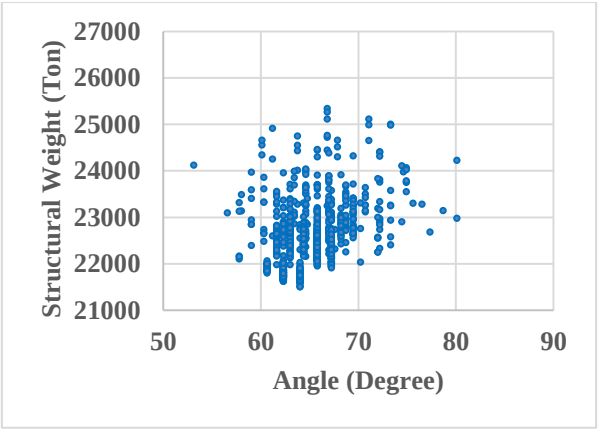
شکل ۹- تعداد تقسیمات عمودی- حداکثر تغییرمکان در سازه دیاگرید



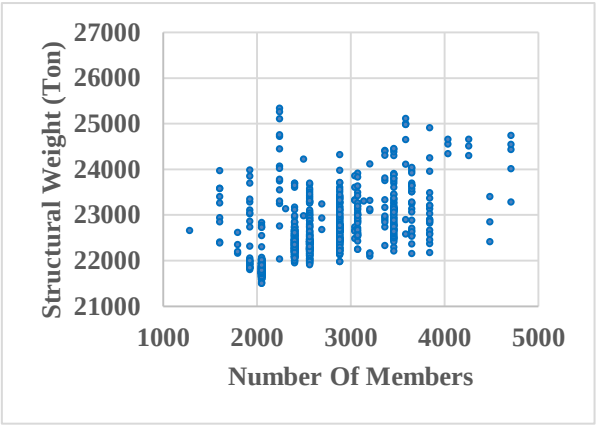
شکل ۱۰- حداکثر تغییرمکان- وزن در سازه دیاگرید



شکل ۱۱- زاویه- حداکثر تغییرمکان در سازه دایاگرید



شکل ۱۲- زاویه – وزن در سازه دیاگرید



شکل ۱۳- تعداد اعضاء– وزن در سازه دیاگرید

۵- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق با توجه به متغیرهای مسأله‌ی بهینه‌سازی (تقسیمات عمودی، تقسیمات افقی) و تابع هدف وزن سازه، بهینه‌سازی وزن سازه‌ی شبکه قطری صورت گرفته است. نتایج حاکی از آن است که حدوداً ۳۰ درصد مصرف فولاد در سازه‌ی شبکه قطری کاهش می‌یابد که در سازه‌ای با این مقیاس، صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه و مصرف انرژی حاصل می‌شود. کاهش تقسیمات افقی در شبکه قطری وزن کاهش و تغییرمکان افزایش می‌یابد. بهینه‌ترین پاسخ برای تقسیمات عمودی در حقیقت تعیین کننده‌ی زاویه‌ی بهینه است. بهینه ترین تقسیمات عمودی حالتی است که تحت زاویه‌ی حاصله کمترین لنگی برشی در اعضای شبکه قطری حاصل می‌شود و متعاقباً تنش‌های غیرمحوری (خمش وبرش) کمینه‌اند و محوری (کشش و فشار) بودن حداکثری تنش در اعضاء به حداقل رسیدن وزن منجر می‌شود.

مراجع

[۱] گلابچی، م.ر.، گلابچی، م. مبانی طراحی ساختمان‌های بلند، تهران، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۲. ۱- ۲۰

[۲] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳.

[۳] معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی. (۱۳۸۹). آیین‌نامه سازه‌های فضاکار. ایران: معاونت نظارت راهبردی.

[۴] بارهای وارد بر ساختمان، مبحث ششم، مقررات ملی ساختمان ایران، وزارت مسکن و شهرسازی، تهران، ایران، ۱۳۹۲.

[5] Moon, k.s., Connor, j.j., and Fernandez, j.e. Diagrid Structural Systems for Tall Buildings: Characteristics and Methodology for Preliminary Design,The Structural Design of Tall and Special Buildings,Vol. 16, No. 2, 2007, pp 205-230.

[6] Kim J.S, Kim Y.S ,Lho S. Structural Schematic Design of Tall Building in Asan using the Diagrid System Vol. 18, No. 4 . 2008, pp 105-120.

[7] Haftka, R & ,.Gurdal, Z, .Elements of structural Optimization, .(1993).

[8] Payne A, Issa R, Grasshopper Primer, Second Edition – for version 0.6.0007, 2009, pp 1-45.

[9] Clemens Presinger Parametric Structural Modelin User Manual 2013, 1-120.

[10] Eul S, Joo L, Jong, R, So Y, J, A Development of a Shape Optimization Design Techniques for the Diagrid Tapered Tall-Building .Society of Steel Construction,Vol.15, No. 2, 2011, pp 1-9.

[11] MOON K, Diagrid Structures for Complex-Shaped Tall Buildings, Vol. 14, No. 5, 2011, pp 1343-1350.

[12] Lee D, Lee J, Kim J, and Srarossek U, Investigation on Material Layouts of Structural Diagrid Frames by using Topology Optimization, Vol. 18, No. 2, 2014, pp 549-557.

[13] Kim J, Lee Y, Seismic performance evaluation of diagrid system buildings, Vol. 21, No. 10, 2010, pp 736-749.

[14] Boake T. Diagrid Structures Systems, 2014, pp 15-25

[15] Taranath, B, Tall Building Design Steel, Concrete, and Composite Systems, 2017, pp 45-50.

Optimal design of diagrid steel structure in high building

Ashkan Khodabandehlou*
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran
Reza Aghajani
Ph.D. Student of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Engineering, Islamic Azad University, Urmia Branch, Iran

Abstract:

Diagrid structure is diagonal elements that simultaneously carry the load of horizontal and vertical loads. In diagrid structures, unlike most common systems of high-rise buildings in which incoming loads are transmitted through shear and flexural mechanisms, the diagrid structures, due to their triangular configuration and removal of vertical columns, have a central load transfer mechanism, in other words, they have truss performance. Diagrid structures are developed for effectiveness and beauty of architecture and structure.Diagrid structures as a structural system in high-rise buildings in terms of performance, is an improved system of frame and pipe structure, which reduces the structural weight by decreasing the shear lag. The goal of this research is to optimize the diameter structure of buildings to minimize the weight of the structure, to determine the number of horizontal and vertical segments. Grasshopper graphical programming plugin for Rhino software, with parameterization of the written program, provides algorithm optimization. Optimization in the program written by the genetic algorithm is done through the Galapagos plugin based on the outcomes of the structure analysis engine of the Karamba plugin. The simulation results indicate that for a 40-store diameter structure of 900 square meters in each floor, the optimal mode with the horizontal and vertical divisions of 8, and 26, and the angle of 64 with the horizontal axis will be 21508 tons of the total structure.

Keywords: Tall Buildings, Diagrid, Optimized Designing, Genetic Algorithm, Galapagos