طراحی بهینهٔ شبکه قطری سازهٔ دیاگرید تک و دو لایه در ساختمان‌های بلند مرتبه تحت اثر بارهای ثقلی و جانبی

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: ۹۷/۰۵/۰۳ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۰۹/۱۲

چکیده:

سازه‌های دیاگرید به‌عنوان یک سیستم سازه‌ای در ساختمان‌های بلند مرتبه از نظر عملکرد، بهبود یافتهٔ سازه‌های قابی و لوله‌ای می‌باشند که با کاهش چشم‌گیر لنگی برش، وزن سازه را به‌شدت کاهش می‌دهد. هدف از این تحقیق، بهینه‌یابی سازه‌های دیاگرید برای کمینه‌سازی وزن سازه، تعیین تعداد تقسیمات و زاویهٔ بهینه و در پایان مقایسه میان سازهٔ دیاگرید تک لایه و دو لایه برای انتخاب گزینهٔ مقرون به صرفه‌تر می‌باشد. دراین تحقیق، انجام بهینه‌سازی سازهٔ دیاگرید با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری مدنظر بوده است که استفاده از یک محیط برنامه‌نویسی را ملزم می‌کند. افزونهٔ برنامه‌نویسی گرافیکی گرس‌هاپر بر روی نرم‌افزار مدل‌سازی هندسی راینو، با پارامتریک کردن برنامهٔ نوشته شده امکان بهینه‌سازی الگوریتمیک را فراهم می‌سازد. بهینه‌یابی در برنامهٔ نوشته شده توسط الگوریتم ژنتیک از طریق افزونهٔ گالاپاگوس بر اساس نتایج خروجی از موتور تحلیل سازهٔ کارامبا انجام می‌شود. نتایج حاصل از بهینه یابی نشان می‌دهد که زاویهٔ بهینهٔ اعضای سازه دیاگرید با خط افق برای سازه دیاگرید تک‌لایه ۶۴/۰۱ و برای سازه دیاگرید دولایه ۶۵/۷۷ می‌باشد. وزن بهینهٔ سازه دیاگرید تک‌لایه در مقایسه با دولایه کمتر است که با توجه به ساخت ساده‌تر در مدت زمان سریعتر و متعاقباً مصرف انرژی کمتر، سازه دیاگرید تک‌لایه به عنوان گزینهٔ مقرون به صرفه‌تر انتخاب می‌شود.

کلید واژگان: ساختمان‌های بلند، دیاگرید، بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک، گرس هاپر، کارامبا، گالاپاگوس

۱- مقدمه

افزایش روز افزون جمعیت و ضرورت استفاده بیشتر از زمین در مراکز پرتراکم شهرها، مهاجرت و ضرورت بازسازی و نوسازی در مناطق شهری، ایجاد و گسترش مراکز صنعتی و تجمع افراد در مراکز شهری و ضرورت کاهش هزینه‌های ناشی از گسترش افقی شهرها همگی از جمله عواملی هستند که باعث شده ساختمان‌های بلند مرتبه از استقبال چشمگیری درجامعهٔ مهندسی برخوردار شوند [۱]. امروزه با پیشرفت علوم و فناوری، نیازها و خواسته‌های جدیدی در زمینهٔ مهندسی سازه به‌وجود آمده است. عامل زمان در ساخت سازه‌ها اهمیت دوچندان یافته و با افزایش جمعیت بشری، علاقه به ساخت فضاهای بزرگ بدون ستون‌های میانی خواهان بسیاری پیدا کرده است [۱۵]. در قرن حاضر، تعدادی از متخصصان مجذوب قابلیت‌های منحصر به فرد سازه‌های دیاگرید در ساختمان‌های بلند شده و پاسخ بسیاری از نیازهای جدید را در این سازه‌ها جسته‌اند. ظهور زیبایی‌شناسی مبتنی بر عملکرد بهینهٔ سازه‌ای، سبب شکل‌گیری سازه‌های دیاگرید شده است [۱۶]. در سیستم سازه‌ای دیاگرید توزیع جرم سازه دور از مرکز، مقاومت این سازه را در برابر نیروها و به ویژه نیروهای جانبی افزایش می‌دهد. در سازه دیاگرید کلیهٔ ستون‌های موجود حذف می‌گردد. سیستم دیاگرید ستون‌ها و بادبندها را با هم ترکیب می‌کند و سبب صرفه جویی در میزان مصالح و صرفهٔ اقتصادی و نیز بازدهی بالای سازه‌ای می‌گردد. سازهٔ دیاگرید باعث به حداقل رساندن تغییرشکل برشی می‌شود. چرا که برش را از طریق عمل محوری اعضاء مورب حمل می‌کند، سازه‌های دیاگرید به هسته با سختی برشی بالا نیاز ندارند، چرا که نیروی برشی توسط دیاگریدهای محیطی تحمل می‌شود. سازهٔ دایاگرید شبکه‌ای از المان‌های قطری (مورب) است که همزمان نقش باربری بارهای افقی و قائم را بر عهده دارند. در سازهٔ دیاگرید، 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، زاویهٔ بهینهٔ دیاگرید ساختمان‌های بلند با استفاده از بهینه‌سازی دیاگرید که بر اساس الگوریتم پارامتریک پیاده‌سازی شده صورت گرفته است. درواقع موضوع اصلی پیدا کردن ماکزیمم سختی ساختمانهای بلند با زاویه بهینه بوده است. در زاویهٔ بهینه دیاگرید نشان داده شده که به‌طور مؤثر تغییرشکل افقی در بالاترین طبقه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مینیمم گردیده است [۱۰]. یکی از نکات مهم در زمینهٔ سازه دیاگرید اجرای نیمه پیش‌ساختهٔ اتصالات آن است. در مقاله‌ای رفتار چرخه‌ای گره سازه دیاگرید برای بارهای جانبی از قبیل زلزله و باد مطالعه شده است. بر اساس نتیجه آزمایش عملکرد چرخه‌ای برای گره‌های دیاگرید با تأکید بر روی خصوصیات چرخه‌ای و روش چرخه‌ای و روش ولدینگ و مودهای خطا مورد بحث قرار گرفته است [۶]. آقای مون و همکاران به روشی ساده جهت انتخاب سایز اولیهٔ المانهای قطری دیاگرید پرداخته‌اند. ایشان روش ساده‌ای را برای تعیین مقدار اولیهٔ 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 زمینهٔ سازه دیاگرید فقط به هندسه‌های ساده پلانی و ارتفاعی ختم نشده است. در مقالهٔ دیگر، عملکرد سازه‌ای سیستم دیاگرید در ساختمان‌های بلند با اشکال پیچیده از قبیل پیچ خوردگی و برج‌های حالت آزاد مطالعه شده است. برای بررسی تأثیر متغیر حالت هندسهٔ ساختمان‌های بلند با اشکال پیچیده از قبیل نرخ پیچش و زاویهٔ چرخش، مدل ساختاری پارامتری برای این مطالعه استفاده شده است [۱۱]. در مطالعهٔ لی و همکاران، طراحی بهینهٔ هوشمند برای اندازه‌گیری تأثیر متغیرهای هندسه‌ای مثل اندازه و توپولوژی تبدیل دیاگرید به مهندسی سازه صورت گرفته است. 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 دیاگرید را که به صورت آزمایشی تولید می‌شود را ارزیابی کند [۱۲]. در مقالهٔ دیگر، عملکرد لرزه‌ای سازه‌های دیاگرید معمولی بررسی شده است. برای این منظور، یک سازه دیاگرید 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 دیاگرید مقایسه شده است. طبق نتایج تحلیل، سازه‌های دیاگرید قدرت بالایی با قابلیت کشش کم در مقایسه با سازه های لوله‌ای دارد [۱۳]. یکی از مسائل اصلی در دیاگریدها تعیین چیدمان المان‌های مورب است به نحویکه پارامترهای هدفی همچون وزن، تغییرمکان جانبی کمینه و یا پارامتری همچون سختی جانبی بیشینه گردد. در این تحقیق، مدلسازی پارامتریک سازه دیاگرید تک لایه و دو لایه انجام می‌پذیرد. پارامتری سازی المان‌ها پیش زمینهٔ بحث بهینه‌سازی هندسه و وزن آنها خواهد بود. در ادامه وزن و پیکره‌بندی سازه دیاگرید تک لایه و دولایه تحت بارهای ثقلی و جانبی بررسی می‌گردد. لذا هدف این تحقیق تعیین زوایای بهینه المان‌های مورب و وزن بهینه سازه دیاگرید تک لایه و دولایه در ساختمان بلند مرتبه می‌باشد. تحلیل به صورت عددی با نرم‌افزارهای معتبر مهندسی عمران و بالخصوص نرم افزار پارامتریک گرس هاپر و کارامبا می‌باشد.

۲- روش تحلیل

بهینه‌سازی عبارت است از رسیدن به بهترین نتیجه در مورد یک عملیات در حالی که محدودیت‌های مشخصی برآورده شده باشند. اهمیت طراحی سازه‌های با وزن مینیمم، اولین بار توسط صنایع هوافضا مورد توجه قرار گرفت که در آنها طراحی سازه‌های هواپیما بیشتر با وزن آن کنترل می‌شد تا با هزینهٔ آن. در دیگر صنایع مربوط به سیستم‌های مهندسی ساختمان و ... ممکن است هزینه در درجهٔ اول اهمیت داشته باشد، هر چند که وزن سیستم، هزینه و عملکرد آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. توجه فزاینده به کمبود مواد خام و منابع انرژی شناخته شده، موجب تمایل به داشتن سازه‌هایی سبک، کارا و ارزان قیمت شده است [۷]. یک الگوریتم خوب برای بهینه‌سازی باید دارای ویژگی‌هایی مانند قابل اطمینان بودن، کلی بودن و نداشتن محدودیتی روی شکل توابع، قابلیت استفاده آسان برای طراحان و دارای بازدهی بالا باشد. پارامتریک بر اساس تفکر الگوریتمیک است که امکان بیان پارامترها و قواعد آن، پیوستگی، تعریف، برنامه گشایی و روشن ساختن رابطه بین اهداف طرح و پاسخ طرح را فراهم می‌کند. نام پارامتریک، برگرفته از ریاضیات (معادلهٔ پارامتریک) است و مربوط می‌شود به پارامترهای خاص و متغیرهایی که قابلیت ویرایش دارند که نتیجهٔ نهایی آنها را تغییر می‌دهد. طراحی پارامتریک یک الگو در طراحی است که در آن از رابطهٔ بین عناصر برای تغییر و تبدیل آن به هندسهٔ پیچیده و ساختار استفاده می‌شود. جهت انجام شبیه سازی، بهینه‌سازی چند متغیره و نیز بیان پارامتریک مدل هندسی سازه‌های مورد نظر از افزونهٔ پارامتریک گرس هاپر و دو پلاگین درون سازمانی این افزونه به نام‌های کارامبا و گالاپاگوس استفاده شده است. گرس‌هاپر، یک زبان برنامه نویسی بصری است که در برنامه 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. بسیاری از اجزای گرس‌هاپر هندسه‌های دو بعدی و سه بعدی ایجاد می‌کنند. بعضی از آنها انواع دیگری از الگوریتم‌ها از جمله عددی، متنی، صوتی، تصویری و برنامه‌های کاربردی لمسی را ایجاد می‌کنند. داده‌ها می‌توانند یا به‌صورت یک ثابت تعریف شده، و یا می‌توان آن را از راینو یا یک فایل بر روی کامپیوتر وارد کرد. داده‌ها همیشه در پارامترها ذخیره شده و می‌توان به طور شناور آنها را به یک جزء به‌عنوان ورودی یا خروجی متصل کرد [۸]. کارامبا یک برنامهٔ اجزاء محدود برای پیش‌بینی رفتار سازه تحت بارهای ثقلی و جانبی می‌باشد. این برنامه در یک چارچوب مهندسی سازه طراحی شده که یک ابزار سبک و سریع برای تسهیل جریان یکپارچهٔ اطلاعات میان مدل‌های سازه‌ای و هندسی می‌باشد [۹].

این پژوهش بر روی امکان سنجی اعمال الگوریتم ژنتیک که نوع خاصی از روش‌های تکاملی می‌باشد، در بهینه سازی سازه‌ای در دنیای واقعی بوده و الگوریتم ژنتیک به مقدار زیادی به ارزیابی تابع هدف (در مورد ارزیابی سازه‌ای این موضوع اشاره دارد به محاسبات اجزاء محدود) اتکا دارد. از برنامهٔ گالاپاگوس که ضمیمهٔ نرم‌افزار پارامتریک گرس هاپر می‌باشد برای بهینه سازی استفاده شده است. این نرم‌افزار از روش‌های تکاملی برای حل مسئله استفاده می‌کند. در این نرم افزار 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 و یا یکنواخت، انتخاب انحصاری، انتخاب جهت دار. در این تحقیق، نتایج حاصل از جستجو توسط الگوریتم نوشته شده در نرم افزار برنامه‌نویسی گرس‌هاپر می‌باشد. بهینه‌یابی در برنامهٔ نوشته شده توسط الگوریتم ژنتیک از طریق افزونهٔ گالاپاگوس بر اساس نتایج خروجی از موتور تحلیل سازهٔ کارامبا انجام می‌شود. این برنامه شامل مدلسازی پارامتریک برج مورد نظر می‌باشد، متغیرهای این مدل پارامتریک، تعداد تقسیمات عمودی و افقی سازهٔ دیاگرید (زاویه حاصله) و فاصلهٔ بین دو لایهٔ دیاگرید در هر وجه ساختمان (برای دیاگرید دو لایه) می‌باشد و بر اساس وزن سازه به‌عنوان تابع هدف این بهینه سازی، ارزیابی می‌شوند. هدف از انجام این بهینه یابی، یافتن روابط میان متغیرهای یک سازهٔ دیاگرید می‌باشد تا نهایت مقرون به‌صرفگی از نظر هزینه، مصرف انرژی حداقل برای تولید ساختمان و حداکثر کیفیت در عملکرد سازهای حاصل شود.

۳- تعریف پروژه، پارامتریک‌سازی، بهینه‌سازی دیاگرید

در این تحقیق، 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 سازهٔ کف اشغال کرده است. سازهٔ تعریف شده برای کف طبقات به‌عنوان سازهٔ افقی، هم برای تحمل بار ثقلی و هم به‌عنوان یک دیافراگم صلب برای تحمل بارهای جانبی، سازهٔ مرکب متشکل از یک سازهٔ فضاکار و دال بتنی روی آن می‌باشد. ارتفاع این دال بتنی ۲۰ سانتی متر و ارتفاع مقطع سازهٔ فضاکار یک متر می‌باشد. مشخصات مصالح بتنی و فولادی بکار رفته نیز به ترتیب مطابق جداول ۱و۲ می‌باشد.

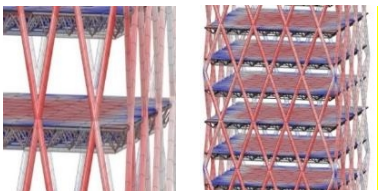
جدول ۱- مشخصات مصالح بتنی C20/25

مشخصات مصالح	مقدار
مدول الاستیسیته [KN/cm2]	۳۰۰۰
مدول برشی [KN/cm2]	۱۲۵۰
وزن مخصوص [KN/m3]	۲۵
ضریب انبساط حرارتی [1/C°]	۱×۱۰$^{-۵}$
تنش تسلیم [KN/cm2]	۱/۳۳

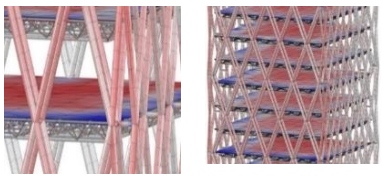
جدول ۲- مشخصات مصالح فولادی Steel St37

مشخصات مصالح	مقدار
مدول الاستیسیته [KN/cm2]	۲۱۰۰۰
مدول برشی [KN/cm2]	۸۰۷۶
وزن مخصوص [KN/m3]	۷۸/۵
ضریب انبساط حرارتی [1/C°]	۱/۲×۱۰$^{-۵}$
تنش تسلیم [KN/cm2]	۲۴

سازهٔ عمودی این برج یک سازهٔ دیاگرید در محیط ساختمان می‌باشد که در دو مورد مجزا به‌صورت تک لایه و دو لایه در دو برنامهٔ نوشته شدهٔ مجزا (به ترتیب مطابق شکل‌های ۱و ۲) تحلیل و بهینه سازی شده است. سازهٔ دیاگرید دو لایه عبارت است از دو جدارهٔ دیاگرید موازی هم که دو نقطهٔ تقاطع اعضای دیاگرید روبروی هم در دو جداره بوسیلهٔ اعضای افقی با اتصالات صلب به هم متصل شده است. سازهٔ افقی شامل یک دیافراگم صلب مرکب متشکل از یک لایه دال بتنی و یک سازه فضاکار زیر آن است که این سازهٔ دیافراگم به وسیلهٔ اتصالات صلب به سازهٔ دیاگرید در محیط پلان متصل می‌شود. داخل پلان کاملاً عاری از سازهٔ عمودی است و تمام سازهٔ عمودی در محیط پلان قرار گرفته است تا حداکثر بازوی اهرم در مقابله با بارهای جانبی حاصل شود و نتیجتاً عملکرد سازه‌ای بهبود یابد، استفادهٔ توأم از این سازهٔ دیاگرید و سازهٔ مرکب کف طبقات، نیاز به سازهٔ ثانویه در داخل پلان ساختمان را از بین برده است تا پلان طبقات حداکثر انعطاف‌پذیری را دارا باشند. هدف از انجام این تحقیق یافتن روابط میان پارامترها و بعد مقایسهٔ تک لایه و دو لایه است. برای انجام بهینه‌سازی، برنامهٔ به صورت پارامتریک نوشته شده است.

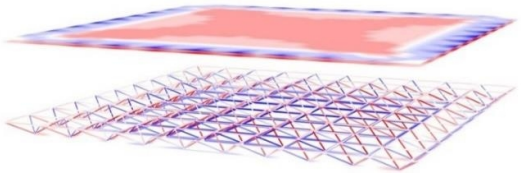


شکل ۱ –سازه دیاگرید تک لایه و سازه مرکب دال بتنی و سازه فضاکار کف



شکل ۲ – سازه دیاگریددولایه وسازه مرکب دال بتنی وفضاکارکف

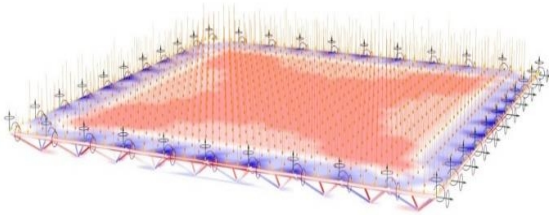
با توجه به زیاد بودن ابعاد دهانه (۳۰ متر) و با هدف عاری بودن فضای داخل از هرگونه سازهٔ اضافی، استفاده از یک کف مرکب متشکل از یک سازه فضاکار و دال بتنی روی آن برای سازهٔ کف طبقات به‌عنوان یک راه حل برای ارتفاع مقطع زیاد مورد نیاز معرفی شده است. سازهٔ فضاکار استفاده شده شبکه‌های مربع روی مربع جابجا شده با اتصالات صلب به‌صورت لبهٔ پیش‌آمده می‌باشد که در (شکل ۳) نشان داده شده است. امتیاز این نوع مقطع لبه، حذف کمانش اعضای نزدیک تکیه‌گاه که همواره بیشترین تنش را دارا هستند در مقایسه با لبهٔ شبیدار می‌باشد.



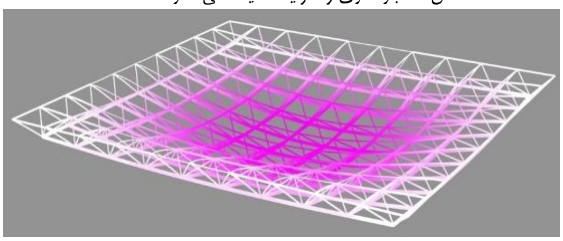
شکل ۳– سازه فضاکار مربع روی مربع جابجا شده

در این تحقیق، اتصال اعضای دیاگرید به هم به‌صورت صلب طراحی شده است. عملکرد یکپارچه میان سازه فضاکار و دال بتنی از طریق پیوندهایی برقرار می‌شود که در نقش توأم هم به‌عنوان پیونده‌های لایهٔ بالایی سازه فضاکار استفاده می‌شود و هم به‌عنوان برش‌گیر، اتصال میان دو لایه را برقرار می‌سازد.

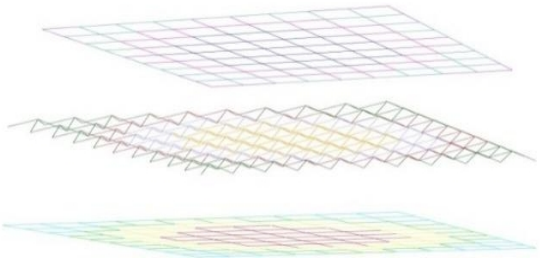
در تحلیل اجزاء محدود توسط افزونهٔ کارامبا در محیط برنامه‌نویسی گرس هاپر، بارگذاری شامل ترکیب بار زنده و مرده و تغییرشکل می‌باشد که (به‌ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵) نشان داده شده است. دال بتنی در سیستم کف استفاده شده در این سازه به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر و از بتن با ردهٔ مقاومتی C20/25 می‌باشد و سازه فضاکار استفاده شده دارای شبکه‌هایی با ابعاد ۳ در ۳ متر با فاصلهٔ ۱ متر بین دو لایه به‌عنوان ارتفاع مقطع سازه فضاکار و از جنس فولاد St37 می‌باشد. در فرآیند بهینه‌سازی پارامتریک با الگوریتم ژنتیک توسط افزونهٔ گالاپاگوس در محیط نرم‌افزار گرس‌هاپر، مقاطع سازه فضاکار از استاندارد بریتانیا، گروه CHS (مقاطع توخالی دایره‌ای) بهینه‌یابی شده‌اند. وزن سازه به عنوان تابع هدف، حداکثر تغییر شکل به عنوان محدودیت بهینه‌یابی و مقاطع اعضای سازه فضاکار در ۱۲ گروه به عنوان پارامترهای بهینه‌سازی تشکیل شده‌اند (شکل ۶) و (جدول ۳). طبق ضوابط آیین نامه بتن ایران، 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].



شکل ۴– بارگذاری و شرایط تکیه‌گاهی سازهٔ کف



شکل ۵– تغییرشکل شماتیک سازه فضاکارکف تحت بارهای اعمالی



شکل۶- تیپ‌بندی مقاطع سازه فصاکار

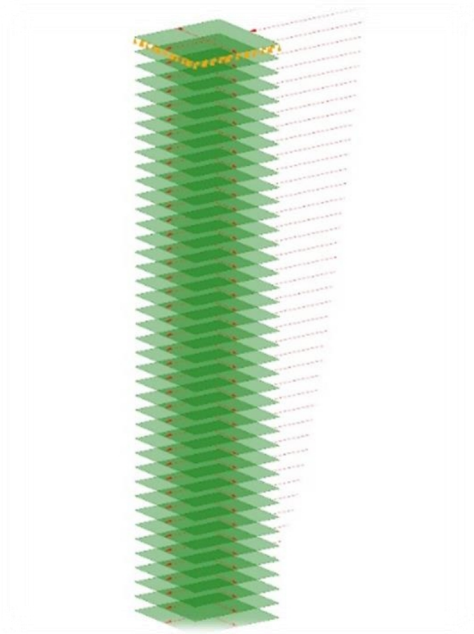
جدول۳- تیپ بندی مقاطع بعد از بدست آوردن پاسخ بهینه

ردیف	رنگ	مقطع	استاندارد
شبکه کف فوقانی			
۱		CHSH 76.1×3	UK
۲		CHSH 114.3×3	UK
۳		CHSH 60.3×2.5	UK
۴		CHSH 114.3×3	UK
شبکه کف تحتانی			
ردیف	رنگ	مقطع	استاندارد
۱		CHSH 88.9×3	UK
۲		CHSH 88.9×3.6	UK
۳		CHSH 114.3×6.3	UK
۴		CHSH 193.7×5	UK
اعضای مورب رابط			
ردیف	رنگ	مقطع	استاندارد
۱		CHSH 88.9×3	UK
۲		CHSH 114.3×8	UK
۳		CHSH 139.7×3.2	UK
۴		CHSH 88.9×2.5	UK

سازه فضاکار سقف متشکل از سه بخش شبکه کف تحتانی، اعضای مورب رابط، شبکه کف فوقانی بوده و دال بتنی بر روی آن قرار می‌گیرد. مقاطع بهینه برای این سه بخش در شکل ۶ و جدول ۳ با ۴ رنگ مختلف نشان داده شده است. برای هرکدام از شبکه‌های کف تحتانی و فوقانی و اعضای رابط، چهار مقطع مختلف با رنگ‌های مختلف بدست آمده است.

سازه‌های بلند و کلیهٔ اجزاء آنها باید در برابر اثرات ناشی از بار باد و زلزله تحلیل گردیده و برای اثر هر یک از این دو که بیشتر باشد طراحی و ساخته شوند. جهت طراحی سازه در برابر باد ضوابط مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران [۴] و برای طراحی در برابر زلزله، مشخصات و بارگذاری لرزه‌ای مطابق ضوابط آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران برای شهر تبریز درنظر گرفته شده است [۲].

اثر باد باید باتوجه به میانگین سرعت باد در منطقه، ارتفاع، شکل هندسی ساختمان‌ها، میزان پوشش وگرفتگی محاسبه شوند. بار باد در این تحقیق به صورت دینامیکی اعمال گردیده و به صورت بردارهایی تعریف می شود که شامل فشار و مکش در هر طبقه که در مساحت سطح مؤثر آن ضرب می‌شود و به علت صلب بودن دایافراگم طبقات، بردارحاصل به مرکزثقل وارد می‌شود (شکل ۷).



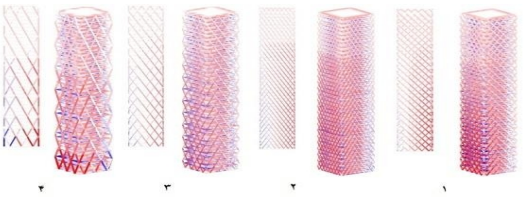
شکل ۷-بارگذاری باد در طبقات مختلف سازه

۳-۱- پارامتریک‌سازی مدل‌سازی و تحلیل سازه

انجام بهینه‌سازی سازه دیاگرید با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری مدنظر بوده است که استفاده از یک محیط برنامه نویسی را ملزم می‌کند. افزونهٔ برنامه‌نویسی گرافیکی گرس‌هاپر بر روی نرم‌افزار مدل‌سازی هندسی راینو و قابلیت بیان پارامتریک هر مسئله امکان بهینه‌سازی الگوریتمیک را نیز فراهم می‌سازد.

در شکل‌های ۸ و ۹ و جدول‌های ۴ و ۵ به ترتیب مدل پارامتریک سازهٔ دیاگرید تک و دو لایه برای برخی از مقادیر محتمل پارامترهای حاکم بر مسئله و بهینه‌سازی نشان داده شده است. همچنین در هریک از سازه‌های دیاگرید تک و دو لایه مقادیر پارامترها و نیز بهینه‌ترین حالت

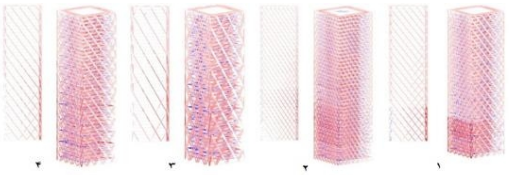
مسئلهٔ حاکم در جداول مربوطه ارائه شده است. برنامهٔ نوشته شده امکان بهینه‌سازی الگوریتمیک را فراهم می‌سازد.



شکل – نشان دادن پارامتریک‌سازی در سازه دیاگرید تک لایه

جدول ۴–نتایج پارامتریک‌سازی در سازه دیاگرید تک لایه

پارامترها	۱	۲	۳	۴
تقسیمات عمودی	۴۶	۵۶	۲۶	۱۴
تقسیمات افقی	۱۰	۱۶	۸	۶
زاویه با محور افق	۵۵/۳۹	۶۴/۰۱	۶۴/۰۱	۷۰/۷۰
وزن‌کل سازه (تن)	۲۱۷۳۸	۲۲۰۸۴	۲۱۵۰۸	۲۱۵۴۳



شکل ۹– نشان دادن پارامتریک سازی در سازه دیاگرید دو لایه

جدول ۵– نتایج پارامتریک‌سازی در سازه دیاگرید دو لایه

پارامترها	۱	۲	۳	۴
تقسیمات عمودی	۴۶	۵۶	۲۴	۱۴
تقسیمات افقی	۱۰	۱۶	۸	۶
زاویه با محور افق	۵۵/۳۹	۶۴/۰۱	۶۵/۷۷	۷۰/۷۰
وزن کل سازه (تن)	۲۱۹۳۳	۲۲۰۰۷	۲۱۸۰۱	۲۲۲۸۱

۳-۲- بهینه‌سازی سازه دیاگرید

فرآیند بهینه‌سازی پارامتریک با الگوریتم ژنتیک توسط افزونهٔ گالاپاگوس شکل‌های ۱۰ و۱۱ در محیط نرم افزار گرس هاپر انجام می‌شود. متغیرهای بهینه‌سازی به‌صورت عددی به‌عنوان Genome (ژنهای) بهینه‌سازی در ورودی کامپوننت گالاپاگوس و تابع هدف بهینه‌سازی به‌صورت Fitness (سازگاری) در خروجی کامپوننت گالاپاگوس تعریف می‌شود.

متغیرهای تعریف شده برای بهینه سازی الگوریتمیک سازه دیاگرید تک لایه عبارتند از:

۱. تعداد تقسیمات افقی هر وجه سازهٔ دیاگرید

۲. تعداد تقسیمات عمودی هر وجه سازهٔ دیاگرید

۳. مقاطع اعضای سازهٔ دیاگرید از استاندارد بریتانیا گروه CHS (مقاطع توخالی دایره‌ای) در ۸ تیپ (شکل ۱۲)

تیپ‌بندی مقاطع در هر ۵ طبقه یکسان می‌باشند و با توجه به اینکه بهینه سازی با الگوریتم ژنتیک نیاز به عددی کردن متغیرها دارد، در برنامهٔ نوشته شده مقاطع تعریف شده به صورت عددی برنامه‌نویسی شده است. متغیرهای تعریف شده برای بهینه‌سازی الگوریتمیک سازه دیاگرید دو لایه عبارتند از:

۱. تعداد تقسیمات افقی هر وجه سازهٔ دیاگرید

۲. تعداد تقسیمات عمودی هر وجه سازهٔ دیاگرید

۳. مقاطع اعضای سازهٔ دیاگرید از استاندارد بریتانیا گروه CHS (مقاطع دایره‌ای توخالی) در ۲۴ تیپ (شکل ۱۳)

۴. فاصلهٔ بین دو لایهٔ سازهٔ دیاگرید

تیپ‌بندی مقاطع در سازهٔ دیاگرید برای لایهٔ داخلی، لایهٔ خارجی و اعضاء اتصال دهندهٔ دولایه، به‌صورت مجزا در هشت تیپ انجام شده است. (هر ۵ طبقه به‌عنوان یک تیپ شناخته می‌شود.)

وزن کل سازه به‌عنوان تابع هدف این بهینه سازی، معیار سنجش و ارزیابی پاسخ‌ها دراین فرآیند بهینه‌یابی الگوریتمیک می‌باشد. محدودیت در الگوریتم‌های بهینه سازی به‌عنوان یک رکن اساسی معرفی می‌شود و با توجه به اینکه در افزونهٔ گالاپاگوس امکان تعریف محدودیت وجود ندارد ملزم به برنامه نویسی کردن تابع محدودیت در نرم افزار گرس هاپر هستیم. دریفت (تغییرمکان‌های نسبی طبقات) به‌عنوان محدودیت بهینه یابی در این تحقیق به‌صورت گرافیکی برنامه‌نویسی شده است.

در مراحل بهینه‌یابی، پس از تعیین پارامترهای بهینه سازی (تعداد تقسیمات افقی، تعداد تقسیمات عمودی و مقاطع سازهٔ دیاگرید)، دریفت نرم افزاری طبقات از طریق برنامه‌نویسی و موتور تحلیل نرم‌افزار کارامبا محاسبه می‌شود.

شکل ۱۰ – تصویری از فرآیند بهینه‌سازی سازهٔ دیاگرید تک لایه

شکل ۱۱ – تصویری از فرآیند بهینه‌سازی سازهٔ دیاگرید دو لایه

در شکل‌های ۱۰ و ۱۱، نقاط توپر مشخص شده با شماره ۱ نشان‌دهنده جواب‌های تولید شده در نسل‌ها، نقاط ضربدری مشخص شده با شماره ۲ جواب‌های حذف شده، شماره ۳ نشان‌دهنده نمودار ژنوم و شماره ۴ مقادیر تابع هدف را نشان می‌دهند.

شکل ۱۲– تیپ‌بندی مقاطع اعضا در سازهٔ دیاگرید تک لایه و مقاطع بهینه بدست آمده

جدول ۶–تیپ‌بندی مقاطع سازه دیاگرید تک لایه

ردیف	رنگ	مقطع	استاندارد
۱		CHSC 813×23.8	UK
۲		CHSC 813×22.2	UK
۳		CHSC 813×19.1	UK
۴		CHSC 813×16	UK
۵		CHSC 813×12.7	UK
۶		CHSC 813×11.9	UK
۷		CHSC 813×11.1	UK
۸		CHSC 813×8	UK

تیپ‌بندی مقاطع جهت بهینه‌سازی سازه دیاگرید تک لایه در ۸ تیپ مختلف بدست آمده و در شکل ۱۲ و جدول ۶ با رنگ‌های مختلف نشان داده شده است.

شکل ۱۳– تیپ‌بندی مقاطع اعضا درسازهٔ دیاگرید دو لایه

جدول ۷– تیپ‌بندی مقاطع سازه دیاگرید دو لایه

لایه داخلی			
ردیف	رنگ	مقطع	استاندارد
۱		CHSC 610×20.6	UK
۲		CHSC 610×16	UK
۳		CHSC 610×12	UK
۴		CHSC 610×11.1	UK
۵		CHSC 610×9.5	UK
۶		CHSC 610×8.7	UK
۷		CHSC 610×7.9	UK
۸		CHSC 610×6	UK
لایه خارجی			
ردیف	رنگ	مقطع	استاندارد
۱		CHSC 610×15.9	UK
۲		CHSC 610×12.5	UK
۳		CHSC 610×11.1	UK
۴		CHSC 610×8.7	UK
۵		CHSC 610×8	UK
۶		CHSC 610×7.9	UK
۷		CHSC 610×6.4	UK
۸		CHSC 610×6	UK
اعضای اتصال دهنده			
ردیف	رنگ	مقطع	استاندارد
۱		CHSC 323.9×12.5	UK
۲		CHSC 323.9×8	UK
۳		CHSC 323.9×6.3	UK
۴		CHSC 273×12	UK
۵		CHSC 273×6.3	UK
۶		CHSC 244.5×12.5	UK
۷		CHSC 244.5×8	UK
۸		CHSC 244.5×5	UK

مقاطع بهینه بدست آمده برای لایه داخلی، خارجی و اعضای اتصال‌دهنده بین دو لایه تیپ‌بندی مقاطع جهت بهینه‌سازی سازه دیاگرید دو لایه (شامل لایه داخلی، خارجی و اعضای اتصال‌دهنده بین دو لایه)، برای هر لایه بدست آمده و با رنگ‌های مختلف نشان داده شده است (شکل ۱۳) و (جدول ۷).

۳-۳- تشریح پارامترهای متغیر در بهینه‌سازی

تقسیمات افقی: تعداد تقسیمات طول جداره که بیان‌کنندهٔ تعداد چشمه‌های سازهٔ دیاگرید در محور افقی می‌باشد.

تقسیمات عمودی: تعداد تقسیمات ارتفاع جداره که بیان‌کنندهٔ تعداد چشمه‌های سازهٔ دیاگرید در محور عمودی می‌باشد.

زاویه(درجه): زاویهٔ اعضای دیاگرید با محور افق می‌باشد که‌در حقیقت از تقسیمات افقی و عمودی حاصل می‌شود.

تعداد اعضا: هر عضو با مقطع لوله‌ای که حد فاصل دو گره قرار می‌گیرد. تعداد تقسیمات افقی و عمودی تعیین‌کنندهٔ تعداد اعضای سازهٔ دیاگرید می‌باشد. منظور تعداد کل اعضای دیاگرید در این سازه می‌باشد.

فاصلهٔ بین دو لایه (متر): این پارامتر فقط در برنامهٔ نوشته شده برای سازهٔ دیاگرید دو لایه کاربرد دارد و بیانگر طول اعضای سازه‌ای افقی می‌باشد که اتصال دهندهٔ دولایه ازطریق اتصال دوگره روبروی هم می‌باشد.

مقاطع سازهٔ دیاگرید در استاندارد بریتانیا گروه CHS (مقاطع توخالی دایره‌ای): در مورد دیاگرید تک لایه در هشت تیپ و در مورد سازهٔ دیاگرید دولایه در هشت تیپ برای لایهٔ داخلی، هشت تیپ برای لایهٔ خارجی و هشت تیپ برای اعضای اتصال‌دهندهٔ دولایه بهینه‌یابی می‌شوند.

تحلیل ۳-۴- تشریح پارامترهای ارزیابی بر اساس نتایج

وزن (تن): در اینجا منظور وزن کلیهٔ اعضای سازه‌ای شامل سازهٔ دیاگرید و سازهٔ کف مرکب طبقات (دال بتنی و سازهٔ فضاکار زیر آن) می‌باشد و به‌عنوان تابع هدف، مبنای ارزیابی پارامترهای بهینه سازی است.

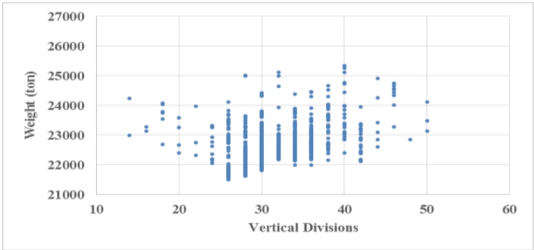
اثر پی-دلتا (کیلونیوتن در متر): برابر است با مجموع پی-دلتای تمام اعضا

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

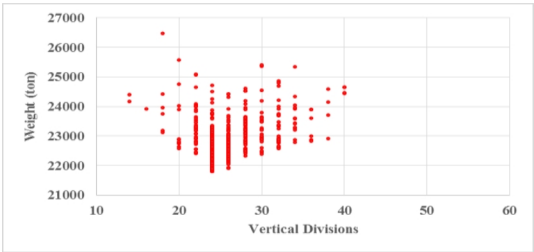
۴-نتایج حاصل از تحلیل

۴-۱- نتایج حاصل از بهینه‌یابی

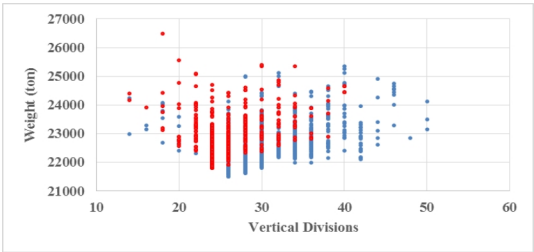
نمودارهای ۱ الی ۴۱ نتایج به دست آمده بهینه‌یابی می‌باشد. نمودارهای حاصله بیان‌کنندهٔ رابطهٔ پارامترهای بهینه‌یابی (تعداد تقسیمات، تعداد اعضا و زاویهٔ حاصله، فاصلهٔ بین دو لایه) و پارامترهای ارزیابی بر اساس نتایج حاصل از تحلیل سازه (وزن، اثر پی-دلتا و حداکثر تغییرمکان) در دو فرآیند بهینه‌سازی مجزا برای سازه دیاگرید تک و دو لایه می‌باشد، در نمودارها نقاط آبی رنگ برای دیاگرید تک لایه و نقاط قرمز رنگ برای دیاگرید دو لایه اختصاص داده شده است.



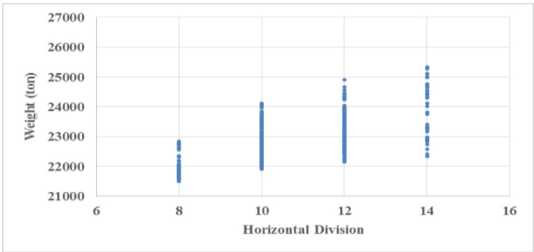
نمودار ۱- تعداد تقسیمات عمودی- وزن در تک لایه



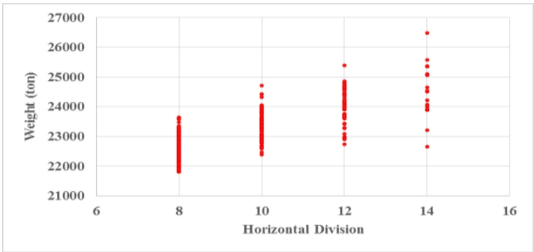
نمودار ۲- تعداد تقسیمات عمودی- وزن در دو لایه



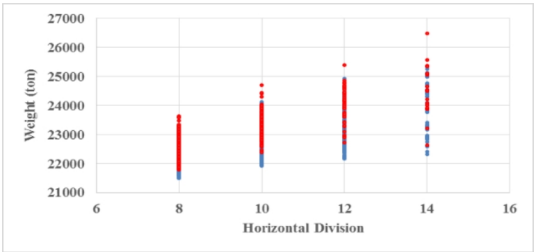
نمودار۳- مقایسهٔ تعداد تقسیمات عمودی- وزن در تک و دو لایه



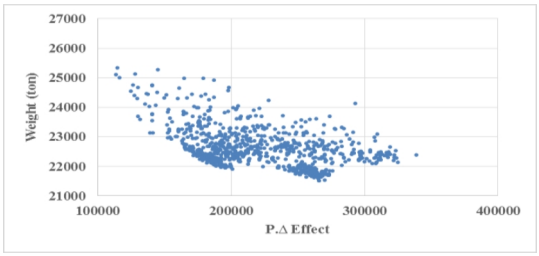
نمودار۴- تعداد تقسیمات افقی- وزن در تک لایه



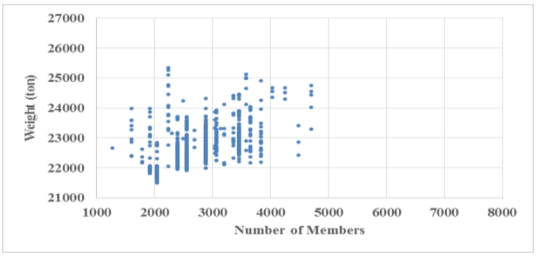
نمودار ۵- تعداد تقسیمات افقی- وزن در دو لایه



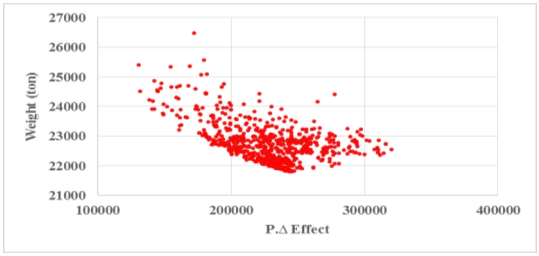
نمودار ۶-مقایسهٔ تعدادتقسیمات افقی- وزن در تک و دو لایه



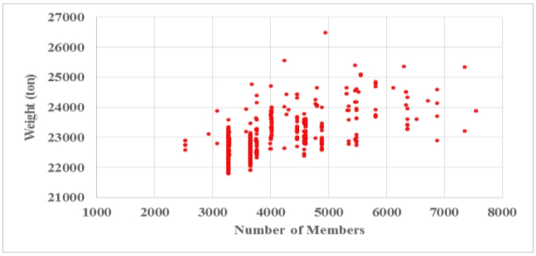
نمودار ۷- اثر پی دلتا – وزن در تک لایه



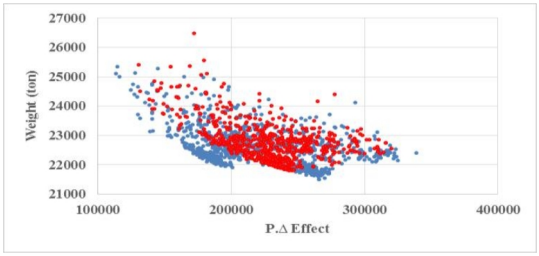
نمودار ۱۳- تعداد اعضاء- وزن در تک لایه



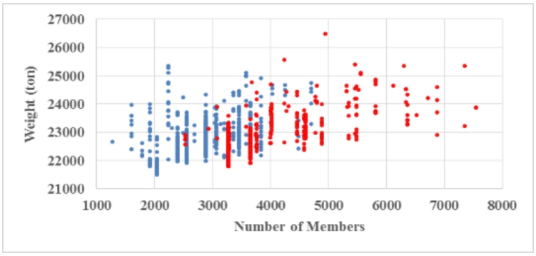
نمودار ۸- اثر پی دلتا – وزن در دو لایه



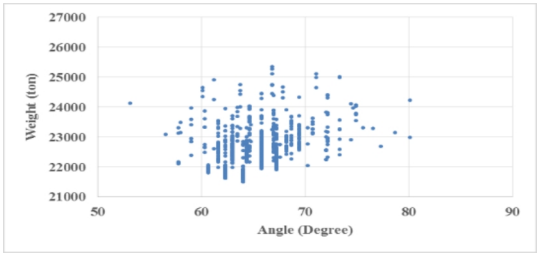
نمودار۱۴-تعداد اعضاء- وزن در دو لایه



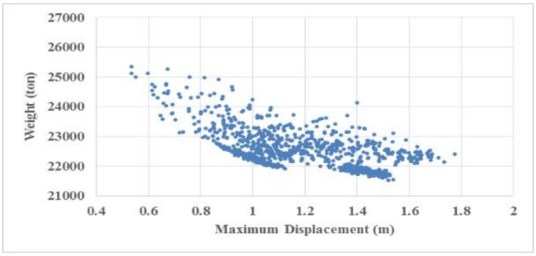
نمودار ۹- مقایسهٔ اثر پی دلتا – وزن در تک و دو لایه



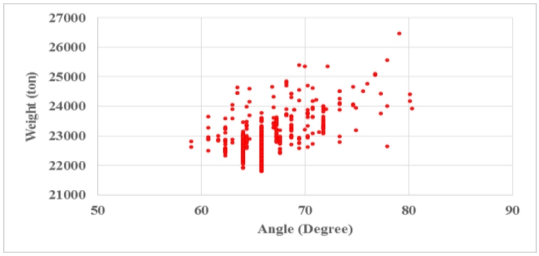
نمودار ۱۵- مقایسهٔ تعداد اعضاء- وزن در تک و دو لایه



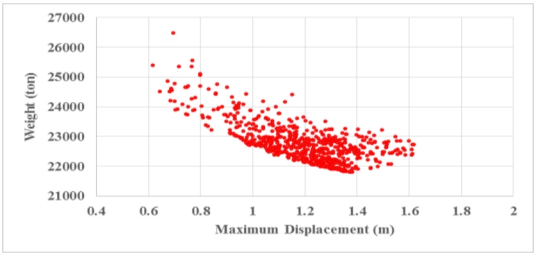
نمودار ۱۰- زاویه – وزن در تک لایه



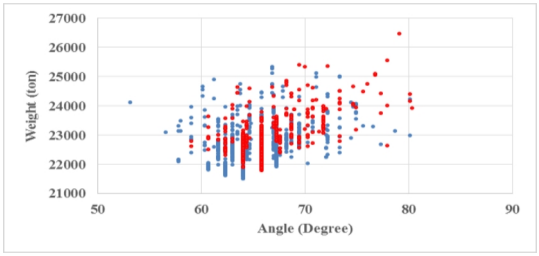
نمودار۱۶- حداکثر تغییرمکان- وزن در تک لایه



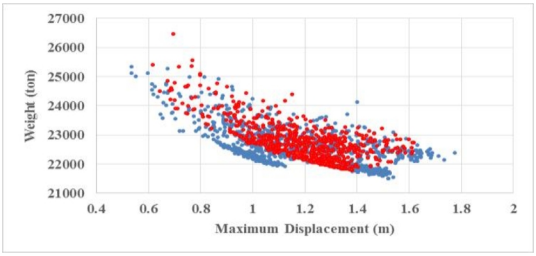
نمودار ۱۱- زاویه – وزن در دو لایه



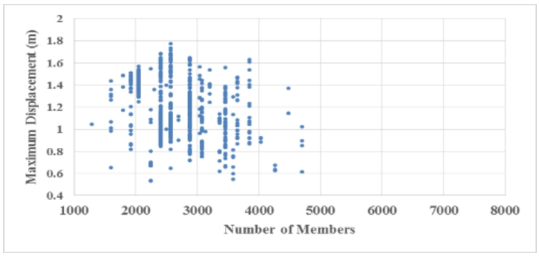
نمودار۱۷- حداکثر تغییرمکان- وزن در دو لایه



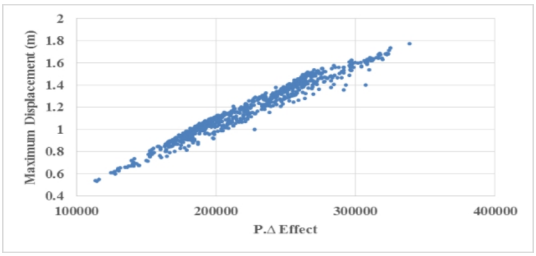
نمودار ۱۲- مقایسهٔ زاویه – وزن در تک و دو لایه



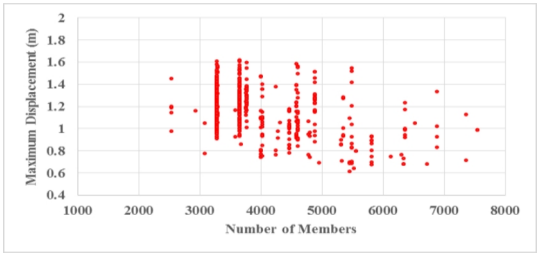
نمودار۱۸- مقایسهٔ حداکثرتغییرمکان- وزن در تک و دو لایه



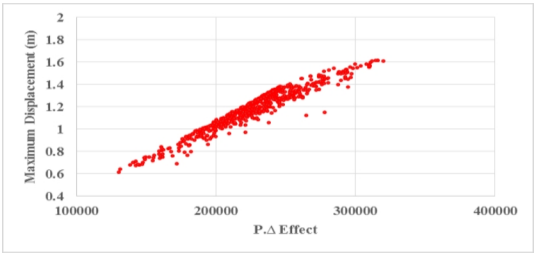
نمودار۱۹- تعداد اعضاء- حداکثر تغییرمکان در تک لایه



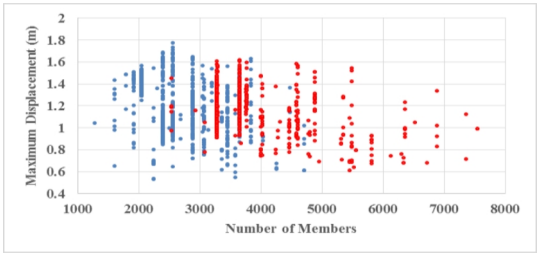
نمودار۲۵- اثر پی دلتا- حداکثر تغییرمکان در تک لایه



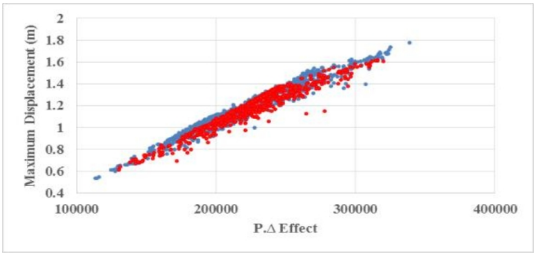
نمودار۲۰- تعداد اعضاء- حداکثر تغییرمکان در دو لایه



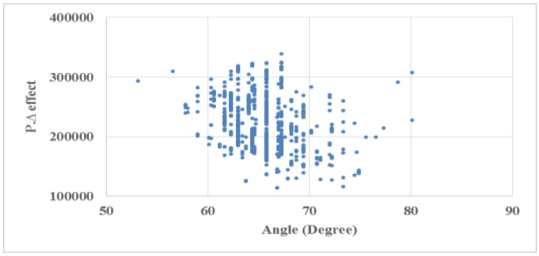
نمودار۲۶-اثر پی دلتا- حداکثر تغییرمکان در دو لایه



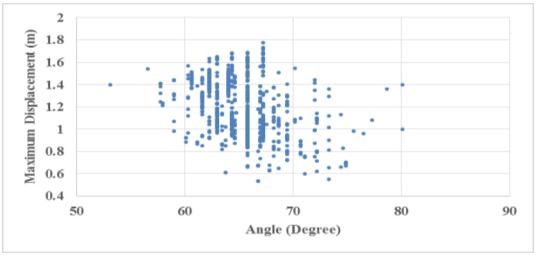
نمودار۲۱-مقایسهٔ تعداد اعضاء-حداکثرتغییرمکان در تک و دو لایه



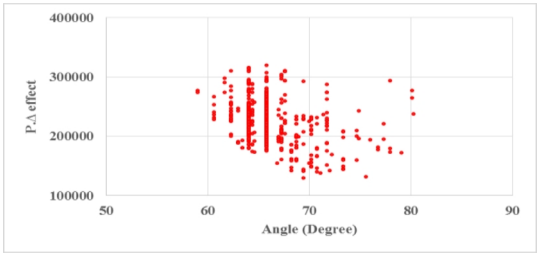
نمودار۲۷- مقایسهٔ اثرپی دلتا- حداکثر تغییرمکان در تک و دو لایه



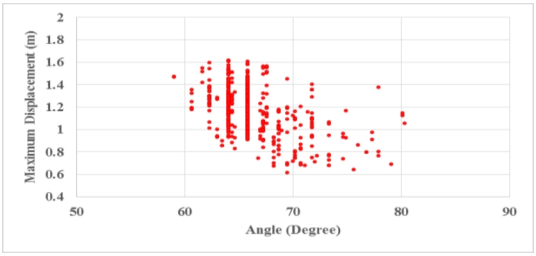
نمودار۲۲- زاویه- اثر پی دلتا در تک لایه



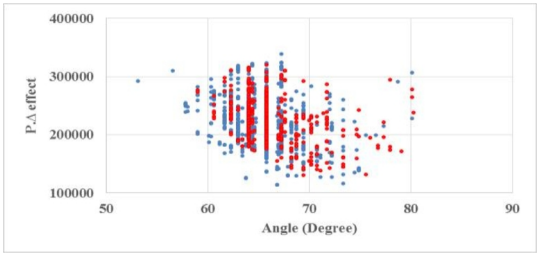
نمودار ۲۸- زاویه- حداکثر تغییرمکان در تک لایه



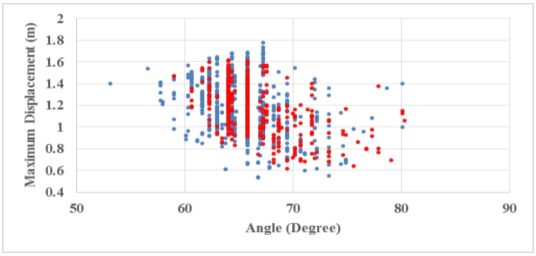
نمودار۲۳- زاویه- اثر پی دلتا در دو لایه



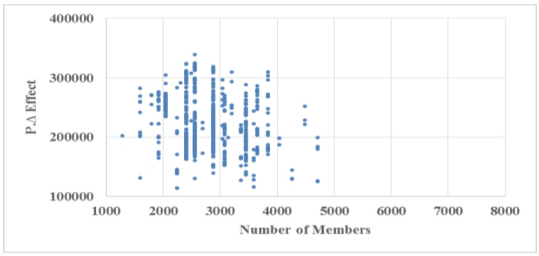
نمودار۲۹- زاویه- حداکثر تغییرمکان در دو لایه



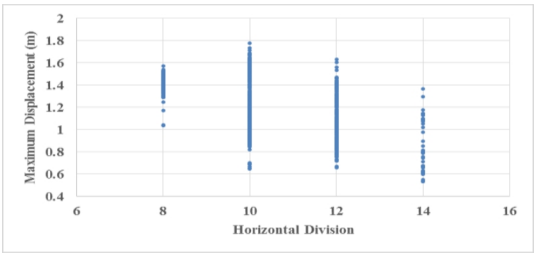
نمودار۲۴- مقایسهٔ زاویه- اثر پی دلتا در تک و دو لایه



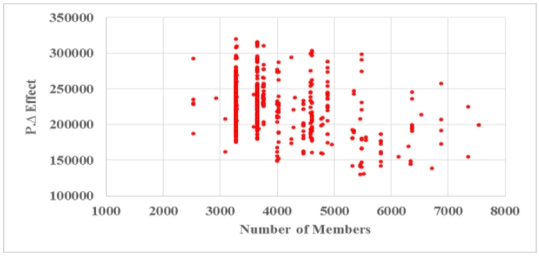
نمودار۳۰- مقایسهٔ زاویه-حداکثرتغییرمکان در تک و دو لایه



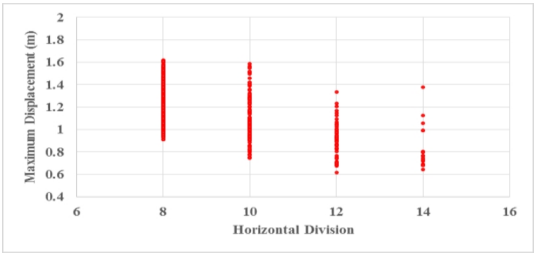
نمودار۳۱- تعداد اعضاء- پی دلتا در تک لایه



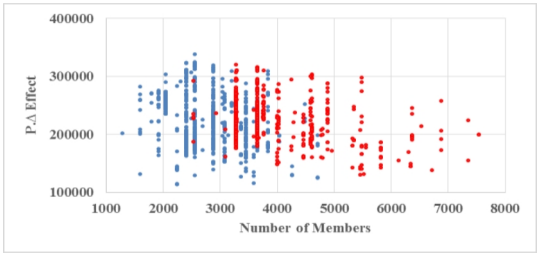
نمودار۳۷- تعداد تقسیمات افقی- حداکثر تغییرمکان در تک لایه



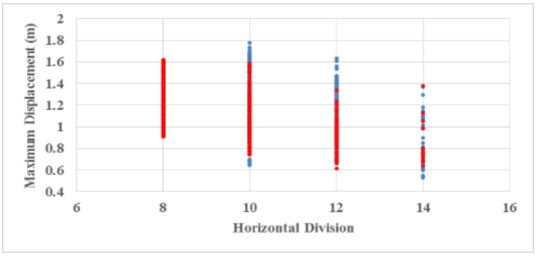
نمودار۳۲- تعداد اعضاء- پی دلتا در دو لایه



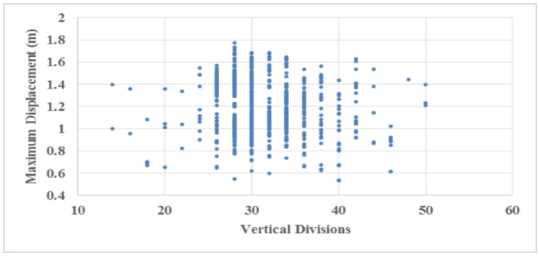
نمودار۳۸- تعداد تقسیمات افقی- حداکثر تغییرمکان دو لایه



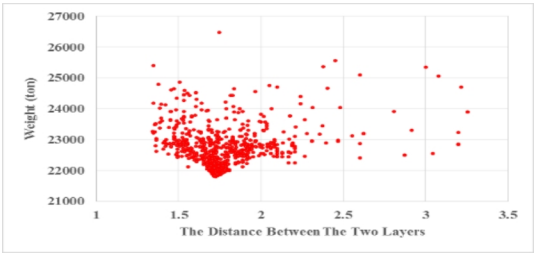
نمودار۳۳- مقایسهٔ تعداد اعضاء- پی دلتا در تک و دو لایه



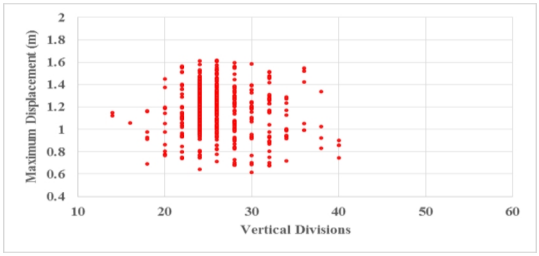
نمودار۳۹-مقایسهٔ تعدادتقسیماتافقی-حداکثرتغییرمکان درتک و دو لایه



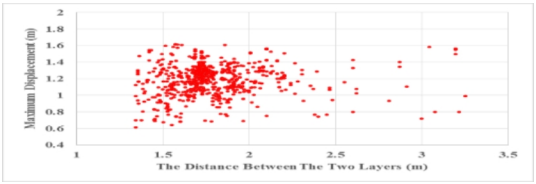
نمودار۳۴- تعداد تقسیمات عمودی-حداکثرتغییرمکان در تک لایه



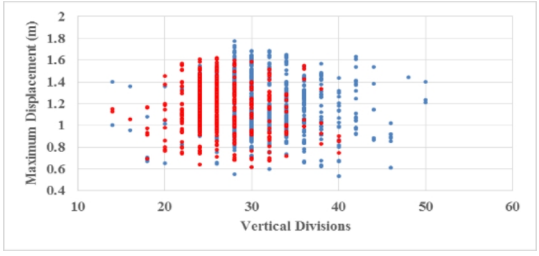
نمودار۴۰- فاصلهٔ بین دو لایه- وزن در دو لایه



نمودار۳۵- تعداد تقسیمات عمودی-حداکثرتغییرمکان در دو لایه



نمودار۴۱- فاصلهٔ بین دو لایه- حداکثر تغییرمکان در دیاگرید دو لایه



نمودار۳۶- مقایسهٔ تعدادتقسیمات عمودی-حداکثرتغییرمکان تک‌ودولایه

۴-۲- مشخصات پاسخ بهینه

منظور از پاسخ بهینه، حالتی از سازهٔ دیاگرید است که وزن سازه در این حالت حداقل است و در بهینه‌یابی حاصل از برنامهٔ نوشته شده برای سازه دیاگرید تک لایه و دو لایه به‌صورت مستقل استخراج می‌شود که مشخصات آن بدین شرح است:

۴-۲-۱- بهینه‌ترین پاسخ برای دیاگرید تک لایه

جدول ۸- مشخصات سازه دیاگرید تک لایه بهینه

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

۴-۲-۲- بهینه‌ترین پاسخ در دیاگرید دولایه

جدول ۹- مشخصات سازه دیاگرید دو لایه بهینه

تعداد تقسیمات افقی	۸
تعداد تقسیمات عمودی	۲۴
زاویه ی اعضا با محور افق (درجه)	۶۵/۷۷
تعداد اعضای دیاگرید	۳۲۷۶
اثر پی-دلتای کل ساختمان (کیلو نیوتن در متر)	۲۴۵۷۳۰
حداکثر تغییرمکان سازه (متر)	۱/۳۸
فاصلهٔ بین دو لایه (متر)	۱/۷۲
وزن کل سازه (تن)	۲۱۸۰۱

۵-بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با توجه به متغیرهای مسئلهٔ بهینه‌سازی (تقسیمات عمودی، تقسیمات افقی، زاویه، تعداد اعضا، مقاطع سازه‌ای و فاصلهٔ بین دو لایه) و تابع هدف وزن سازه، بهینه‌سازی وزن سازه دیاگرید تک و دو لایه صورت گرفته است. بهینه‌ترین وزن برای سازهٔ دیاگرید تک لایه عدد کوچکتریست و از وزن کمتر سازهٔ دیاگرید تک لایه در مقایسه با سازهٔ دیاگرید دو لایه می‌توان این نتیجه را گرفت که صلبیت بسیار زیاد دیافراگم و بازوی اهرم ۳۰ متری حاصل از دیافراگم میان لایه‌های داخلی دیاگرید روبروی هم، در مقایسه با صلبیت ناچیز و بازوی اهرم کوتاه عناصر اتصال دهندهٔ بین دو لایه، باعث می‌شود که لایهٔ داخلی دیاگرید در مقایسه با لایهٔ خارجی بسیار صلب‌تر باشد، نقش لایهٔ خارجی در انتقال بار کم‌رنگ شود و لایهٔ داخلی وظیفه‌دار اصلی انتقال بار باشد.

همچنین تعداد اعضای دیاگرید به‌عنوان یک پارامتر مهم در میزان انرژی مصرف شده برای تولید مصالح، حمل و نقل، صرف نیروی انسانی و بازگشت سرمایه نقش به‌سزایی درصرف هزینه و انرژی ایفا می‌کند. نتایج حاصله نشان می‌دهدکه بهینه‌ترین وزن درحالتی است که تعداد اعضا کم می‌باشد و این نتیجه‌ای مفید در مورد صرف انرژی و هزینه است. در مقایسهٔ دیاگرید تک لایه و دو لایه و با توجه به تعداد تقسیمات تقریباً یکسان دو حالت، واضح است که تعداد اعضا در دیاگرید تک لایه به مراتب پایین‌تر باشد و با توجه به وزن پایین‌تر بهینه‌ترین حالت، دیاگرید تک لایه گزینهٔ مقرون به صرفه‌تر از هر لحاظ می‌باشد. با مشاهدهٔ نمودارهای حاصله (۱ الی ۴۱) می‌توان دریافت که با کاهش تقسیمات افقی در دیاگرید تک و دو لایه، وزن کاهش و تغییرمکان افزایش می‌یابد. این افزایش تغییرمکان موجب می‌شود که با تعداد تقسیمات کمتر از حدی، تغییرمکان طبقات از دریفت مجاز تجاوز نماید و بدین ترتیب بهینه‌ترین پاسخ، حالتی است که تقسیمات افقی پایین‌ترین تعدادی است که تغییرمکان سازه از دریفت مجاز تجاوز نمی‌کند. بهینه‌ترین پاسخ برای تقسیمات عمودی در حقیقت تعیین‌کنندهٔ زاویهٔ بهینه است. بهینه‌ترین تقسیمات عمودی حالتی است که تحت زاویهٔ حاصله کمترین لنگی برشی دراعضای دیاگرید حاصل می‌شود و متعاقباً تنش‌های غیرمحوری (خمش و برش) کمینه‌اند و محوری (کشش و فشار) بودن حداکثری تنش در اعضاء به حداقل رسیدن وزن منجر می‌شود. در مورد رابطهٔ زاویه و اثر پی-دلتای سازه می‌توان گفت تحت زاویهٔ بهینه که در آن وزن سازه حداقل است، حداکثر نیروهای محوری را در اعضای دیاگرید سازه‌ای شاهد هستیم که این بیشینه بودن نیروهای محوری منجر به افزایش اثر پی-دلتا و خطر کمانش اعضای سازه‌ای می‌شود.

در مورد فاصلهٔ بهینه میان دو لایهٔ سازه دیاگرید در هر وجه ساختمان اینگونه می‌توان نتیجه گرفت که کاهش فاصله میان دو لایه، بازوی اهرم سازه‌ای را کاهش می‌دهد و افزایش این فاصله، صلبیت سازهٔ دیاگرید را کاهش می‌دهد که هر دو حالت منجر به افزایش نیروهای سازه‌ای و متعاقباً افزایش سطح مقاطع اعضاء و افزایش وزن می‌شود. بهینه‌ترین پاسخ برای فاصله میان دو لایه فاصله‌ای است که در آن بازوی اهرم و صلبیت در یک حالت تعادل قرار می‌گیرد و نیروهای سازه‌ای در آن کمینه است.

مراجع

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

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

[۳] معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی. (۱۳۸۹). آیین نامه سازه های 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 Young-Ju ; JUNG In-Yong ; JU Young-Kyu ; Park Soon Jeon; KIM Sang-Dae.2010.Cyclic Behavior of Diagrid Nodes with H-Section Braces, American Society of Civil Engineers. vol. 136. pp. 1111-1122

[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.

[16] Stafford Smith B, Coull A. Tall Building Structures Analysis and Design, 1991, pp 1-20

Optimized Designing of the Diametric Network of one or two-layer Diagrid Structure in Dignified Buildings under the Gravity and Lateral Loads

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 structures as the structural system in dignified buildings, from the applicational point of view, are framed and piped developed structures which decrease the weight of the structure by reducing the cutting limp. The goal of the present article is to optimize the diagrid structures for reducing the weight of structure, determining the number of classifications and the optimize angle and finally comparing the mono and two-layer diagrid structure for selecting the economic option. Through the present research, doing the optimizing diagrid structure by using the extra-creating algorithms, which made the integrated drive electronic necessary, was considered. The Grasshopper graphical programming extension on the Rhino geometric modelling software supplied the algorithmic optimization by making the written program parametric by the genetic algorithm by Galapagos extension. Optimizing in the written software is done by the genetic algorithm by Galapagos extension in base of output results from Karamba analysis structure engine. The optimizing accessed results show that the optimizing angle of the diagrid structures' members with horizon line for mono-layer diagrid os 64/01 and for two-layer diagrid structure is 65/77. The optimizing weight of the mono-layer diagrid is less than two-layer diagrid which by attention to the simple structure in the rapid time and less energy consuming, the mono-layer diagrid is selected as the affordable option.

Keywords: Tall Buildings, Diagrid, optimization, genetic algorithms, Grasshopper, Karamba, Galapagos