واکاوی استفاده از سیستم‌های دیاگرید (سازه‌ای نوین) در ساختمان‌های بلندمرتبه با رویکرد معماری پارامتریک، نمونه پژوهش: ساختمان سوئیس‌ری لندن

مسلم مستاجران گورتانی: کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
Moslem.Mostajeran.g@gmail.com
سیده آیدا برکاتی: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه کاشان
aida.barekati@gmail.com

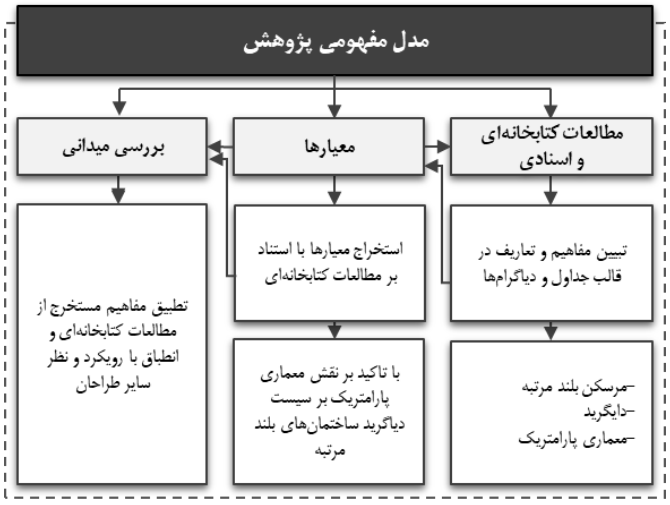
چکیده

در طول ده سال اخیر، سازه‌های دیاگرید نشان داده‌اند که قابلیت تطبیق‌پذیری بسیار بالایی با انواع و اقسام ساختمان‌ها، دهانه‌ها و اشکال دارند، از طرفی معماری پارامتریک می‌تواند با استفاده از الگوریتم، کدها، برنامه‌ها محاسبات نرم‌افزاری به پرامترهای محیطی توجه بیشتری نماید، به این ترتیب که فرصت پردازش بیشتر اطلاعات را فراهم می‌آورد. مقاله‌ی پیش رو در پی فرضیه‌ی اثرگذاری معماری پارامتریک بر سیستم دایاگرید ساختمان‌های بلندمرتبه است لذا روش انجام پژوهش به صورت توصیفی- تحلیلی بوده و نوع تحقیق، کاربردی است که با استفاده از رویکردی کیفی و اکتشافی به بررسی مفاهیم، مبانی و زمینه های استفاده از سازه‌های نوین دیاگرید در ساختمان‌های بلند مرتبه با رویکرد معماری پارامتریک پرداخته است. رویکرد مطالعه موردی یکی از متداولترین استراتژیهای تحقیق کیفی محسوب می‌شود. این رویکرد یک روش یا شیوه نیست بلکه نوعی استراتژی پژوهشی است. در پی بررسی ساختمان‌های دیاگرید در این مقاله، ساختمان سوئیس ری لندن اثر نورمن فاستر در سال ۲۰۰۴ مورد بررسی قرار می‌گیرد. یکپارچگی در طراحی سازه‌ای و طراحی معماری و محیطی این ساختمان نیازمند یک نیت با رویکردی مشترک بود. ابزار دیجیتال در موفقیت این پروژه بسیار مهم بود. آروپ به تجزیه و تحلیل ساختاری، طراحی، هماهنگی و ارتباط اطلاعات ساختاری که شامل طیف وسیعی از ابزارهای طراحی پارامتریک می‌شد دست پیدا کرد که منجر به خلق شکل هندسی خاص ساختمان شد. ساختمان سوئیس ری به عنوان نمادی مهم در ساختمان سازی بلند مرتبه دیاگرید در جهان مطرح است، بررسی‌های حاکی از آن است که سیستم ساختاری ایجاد شده برای سوییس ری تأثیر بسزایی بر ساختمان‌های دیاگریدی پس از خودش داشت؛ به ویژه ساختمان‌هایی که هندسه مبتنی بر منحنی داشتند و سه گوشه‌سازی _ مثلث‌بندی _ را هم در سازه و هم در نمای خود برای تحصیل موفقیت، مورد استفاده قرار می‌دهند. استفاده از شفت مثلثی در نمای طبقات بالا با سطح بالای دقت در طراحی و ساخت سیستم‌های روکش فلزی متعدد به واسطه هماهنگی اندازه و خطوط مشترک، که از سیستم‌هایی مهم در جزییات هم‌گرا هستند، مشهود است.

کلید واژه ها: دیاگرید، سیستم سازه‌ای، ساختمان بلند مرتبه، رویکرد پارامتریک، سوئیس‌ری لندن.

مقدمه

در طول ده سال اخیر، سازه‌های دیاگرید نشان داده‌اند که قابلیت تطبیق پذیری بسیار بالایی با انواع و اقسام ساختمان‌ها، دهانه‌ها و اشکال دارند. در اکثر موارد، دیاگریدها مقاومت سازه‌ای در ساختمان‌هایی با پوشش غیر خطی ایجاد می‌کنند که مطابق و همسو با سازه‌های بسیار زاویه‌دار و با اشکال منحنی است. دیاگریدها در خالص‌ترین شکل ممکن خود، این توانایی را دارند که تمامی بارهای گرانشی و جانبی را بدون کمک هسته سازه ای سنتی تحمل کنند(اسدی محل چالی، ۱۳۹۷: ۱۱۴). دیاگرام زیر به تبیین ساختاری مفهومی روند پژوهش اشاره دارد.



نمودار ۱.مدل مفهومی پژوهش (منبع: نگارنده ۱۳۹۸)

پیشینه پژوهش

امروزه به دلیل ظهور هر چه بیشتر سازه‌های بلند مرتبه ضرورت توجه به این دسته از ساختمان‌های رخ بیشتری می‌نماید، بنابراین مطالعات اخیر بر روی این قبل از ساختمان در حال رشد است، این در حالی است که عمر توجه به رویکرد پارامتریک در سیستم سازه‌ای دیاگرید که تحت سازه‌ای نوین شکل‌گرفت کمتر مورد بررسی قرار گرفت. علی هذا خدابنده‌لو و آقا جانی به بررسی مکانیسم برسی و خمشی سازه‌های دیاگرید می‌پردازد، نتایج تحقیقاتشان حاکی از آن است که به لحاظ عملکردی دیاگرید بهبود یافته‌ی سازه‌های قابی و لوله‌ایست، که با کاهش چشمگیر لنگی برش وزشن سازه را به شدت کاهش می‌دهد، در تحقیقی دیگر حق‌پرست و همکاران به بررسی رویکرد پایداری بر سازه‌های نو در ساختمان‌های هوشمند مبادرت ورزیدند، این پژوهش با تمرکز بر کاهش مصرف انرژی صورت گرفت، و تاکید ایشان بر نانوسازه‌های برگرفته از طبیعت بود، نتایج پژوهش حاکی از آن بود که فراورده های نانو میتوانند طی چندروز طراحی و درمدت چندساعت به نقاط مختلف دنیا توزیع شوند و حتی این قابلیت وجود دارد که این محصولات را ازپیش طراحی کرد از سویی دیگر ساختارهای طبیعی همواره به عنوان راه کاری موثر درایجاد یک سازه پایدار مطرح شده‌اند که مسائلی همچون کاهش مصرف انرژی مصالح و بهینه سازی کلان را هم از نظر اقتصادی و هم ازنظر زمانی محقق می‌سازند (خدابنده‌لو و آقاجانی ۱۳۹۷).

در تحقیقی دیگر وفامهر و غم‌خوار «سازه های دیاگرید با پلان مربعی یکسان در سازه‌هایی که نسبت ارتفاع به عرض آن‌ها کمتر از ۷ می‌باشد بهتر است زاویه بین اعضای مورب در تمام ارتفاع سازه ثابت بماند و نتایج محاسبات نشان می‌دهد که این زاویه بهینه بین ۶۰ تا ۷۲ درجه بسته به ارتفاع سازه متغیر خواهد بود. و نیز در مورد سازه‌های با نسبت ارتفاع به عرض بیشتر از ۷، بهتر است زاویه بین اعضای مورب سیستم دیاگرید در ارتفاع سازه تغییر یابد که برای هر سازه با ارتفاع مشخص، مقادیر زوایای بهینه معین می‌باشند. نتایج حاصل از محاسبات فوق که بر اساس سختی سازه حاصل می‌شود، با نتایج حاصل از استراتژی‌های مصرف کمتر مصالح کاملا تطبیق دارد و محاسبات نشان می‌دهد که برای ساخت سازه‌های طراحی شده با زوایای بهینه از نظر سازه‌ای، میزان فولاد مورد نیاز کمتر خواهد بود. از نقطه نظر معماری نیز برای داشتن بازشوهایی با زاویه دید حداکثرکه کمترین مانع را (اعضای مورب در سازه های دیاگرید به منزله موانع بصری به شمار می روند) پیش روی کاربران قرار دهند زاویه بهینه بین اعضای مورب ۶۰ درجه می‌باشد. از نظر زیبایی شناسی و تلطیف حس بصری نیز زوایای بهینه ای وجود دارد. در این مطالعه با توجه به تمامی موارد فوق زاویه بهینه بین اعضای مورب برای سازه‌های دیاگرید با ارتفاعات مختلف به دست آمده است» (وفامهر و همکاران ۱۳۹۰).

خواجه‌میری و ستوده در پژوهشی به بررسی تحولات تاریخی سازه‌های دیاگرید نقششان در کاهش مصرف مصالح و بهینه‌سازی لرزه‌ای در کنار انعطاف‌پذیری طراحی در معماری و جزئیات پرداخته‌اند، نتایج تحقیقاتشان به ارائه‌ی معیارهای ساده و کاربردی می‌انجامد (خواجه‌میری و ستوده ۱۳۹۶). در پژوهشی دیگر طبایی و همکاران ترکیب رفتار خرپایی دیاگرید و عملکرد خوب لرزه‌ای سیستم قاب خمشی در ساختمان‌های بلندمرتبه را تدقیق کردند، و نتایج تحقیقشان حاکی از آن بود که مدل ساخته شده حاصل از ترکیب این دو سیستم توسط میز لرزان مورد آزمایش قرار گرفت، فرکانس طبیعی و پاسخ سازه استخراج گردید و مدل نرم افزار با مشخصات حاصل از آزمایش به روزرسانی شد. تحلیل تاریخچه زمانی در هر سه ناحیه طیفی با فرکانس‌های مختلف با توجه به معیارهای مقیاس انجام پذیرفت و نتایج مدل تحلیلی سیستم قاب خمشی و دیاگرید به صورت جداگانه با سیستم پیشنهادی مقایسه شد. عملکرد لرزه‌ای سیستم پیشنهادی مناسب‌تر از دو سیستم متداول بوده و ازلحاظ اقتصادی به صرفه‌تر می‌باشد(طبایی و همکاران ۱۳۹۴).

افرا و همکاران پژوهشی را تحت عنوان روش‌ها و ویژگی‌های طراحی مقدماتی سیستم سازه‌ای دیاگرید در ساختمان‌های بلند انجام دادند، نتایج تحقیقاتشان بیانگر روش ساده‌ای برای تعیین ابتدایی ابعاد قطعات این سازه‌ها ارائه می‌کند. این روش برای یک رشته ساختمان‌های بلند از ۲۰ الی ۶۰ طبقه بکار گرفته می‌شود و می‌تواند مقادیر مطلوب هندسی شبکه‌ای که نمونه‌ای از بارگذاری طرح می‌باشد را مشخص نماید. این مقادیر نشان دهنده مفید بودن آن‌ها برای معماران و مهندسین

سازه به عنوان خط مشی طراحی اولیه است. امور و مسائل مرتبط با سازه‌ای و ساخت سازه‌های شبکه موبی در این مقاله مورد بحث قرار خواهد گرفت (افرا و همکاران ۱۳۹۴).

روش تحقیق

روش تحقیق در مطالعه حاضر، به صورت توصیفی- تحلیلی است که با استفاده از رویکردی کیفی و اکتشافی به بررسی مفاهیم، مبانی و زمینه‌های استفاده از سازه‌های نوین دیاگرید در ساختمان‌های بلندمرتبه با رویکرد معماری پارامتریک پرداخته است. تحقیقات موردی زمانی برتری می‌یابند که پرسش‌هایی با ادوات استفهام «چگونه» یا «چرا» مطرح می‌باشند و نیز زمانی که پژوهشگر کنترلی بر رویدادها ندارد و آنگاه که پدیده مورد توجه متعلق به زمان معاصر و در بستر زندگی واقعی قرار داشته باشند. جدول زیر به بررسی ساختمان سوئیس ری لندن به عنوان نمونه پژوهش و ارزیابی شاخص‌های معماری دیاگرید با توجه به ضرورت می‌پردازد.

جدول ۱. اصول معماری سبز و راهکارها (منبع: نگارندگان ۱۳۹۸)

اصول معماری سبز	راهکارهای معماری
گودوهات	روش موردی بیش از همه یک رویکرد است که بر اساس آن هر واحد اجتماعی همچون یک کل در نظر گرفته می شود. حال این واحد می تواند یک فرد، یک خانواده، یک نهاد اجتماعی یا حتی یک جامعه باشد (K. Yin, 2010: 84).
موریس دوورژه	اصطلاح مطالعه موردی معرف دو چیز است که در عمل با هم اختلاف دارند: نخست، یک موضوع بر سر تحلیل ژرف رفتار یک فرد است، چه از راه سندهای شخصی و چه از راه مصاحبه های خاطرات. و این معنی اصل و دقیق مطالعه موردی است. دوم، در معنای گسترده تری، مطالعه موردی را به هرگونه بررسی تک نگاری که درباره یک حادثه یا تصمیم، یا درباره یک مورد خاص انجام می شود، اطلاق می کنند (همان: ۸۵).

نقاط قوت روش مطالعه موردی

کرسول نقاط قوت روش مطالعه موردی را اینگونه برمی‌شمرد (کرسول۲، ۱۳۹۶):

۱. نقطه قوت و منحصر بفرد تحقیق موردی در توانایی‌های آن است که می‌تواند از انواع مدارک (مثل اسناد، آثار فرهنگی و تاریخی، مصاحبه و مشاهده) استفاده کند. فراتر اینکه، در برخی از شرایط شخص پژوهشگر با مشارکت در تحقیق شاهد رویداد است و بدین وسیله می‌تواند در فرآیند پژوهش تغییرات غیررسمی بدهد.

۲. از جمله نقاط قوت تحقیق موردی آن است که به شناخت تمامی ابعاد یک واحد اجتماعی می پردازد.

نقاط ضعف روش مطالعه موردی

کرسول نقاط ضعف متعددی هم برای این روش ذکر می‌کند (همان):

- فاقد قدرت تعمیم است. هرچند که ابزاری ارزشمند است و با استفاده از آن می توان متغیرهای معنادار را کشف کرد اما امکان تعمیم داده ها را فراهم نمی سازد زیرا فقط بر روی یک مورد صورت می گیرد و در یک مقطع زمانی است.

- فاقد اعتبار درونی نیست باز هم به همین دلیل که در یک مقطع زمانی و برای یک بار صورت می‌گیرد. روابط علی را مورد شناخت و تحلیل قرار نمی‌دهد، بسیاری از دانشمندان آنرا برای مراحل ماقبل تجربی تحقیق مفید می دانند.

مبانی نظری

واژه‌شناسی و ماهیت بلند مرتبه‌سازی

در فرهنگ معین، بلند مرتبه به معنای دارای جاه و مقام و درجه و وضع بلند، بلند محل، بلند مکان است (.فرهنگ معین). تعاریف مختلفی از بلندمرتبه و ساختمان‌های بلند وجود دارد، در ایران ساختمان بلند مرتبه طبق مصوبه سال ۱۳۷۷ شورای عالی شهرسازی و معماری به ساختمان‌های بالاتر از شش طبقه گفته می‌شود. از تعاریف اصلی که در انگلستان برای ساختمان بلند مرتبه مطرح است می‌توان به ساختمان‌هایی که از متوسط تعداد طبقات منطقه همجوار بلندتر هستند و ساختمان‌هایی که خط آسمان را به طرز چشمگیری تغییر می‌دهند، اشاره نمود. بلندمرتبه‌سازی همواره به عنوان یک پدیده مهم و اساسی مورد بحث بوده است مکتب مدرنیسم بیش از سایر جنبش‌های فکری در شکل‌گیری و رشد عمودی شهرها نقش ایفا کرده است (زیاری ۱۳۷۸، ۱۱-۱۲). «تو سعه‌ی عمودی شهر یا بلندمرتبه سازی به افزایش طبقات ساختمان‌های موجود یا ساختمان‌های مرتفع چندین طبقه در شهرها اطلاق می شود» (هیراسکار، جی‌کی، (۱۳۷۶)، درآمدی بر برنامه‌ریزی شهری، ترجمه محمد سلیمانیو هماکاران، تهران: دانشگاه تربیت معلم)، در گذشته بلندمرتبه‌سازی به تمدن مصر و برای توصیف اهرام بر می‌گردد بعد از آن در به تصویر کشیدن خصیه‌های کلیساها و کاخها رخ می‌دهد، سپس در شکل و مقیاس کنونی در قرن ۱۹ در شیکاگو با بنای ده طبقه‌ی بیمه آغاز و سپس گسترش می‌یابد (مستاجران ۱۳۹۶، ۱۲).

جدول ۲. دیدگاه اندیشمندان در ارتباط با ماهیت و مفهوم سکونت و مسکن (منبع: نگارنده ۱۳۹۸)

نظریه‌پردازان	دیدگاه اندیشمندان در ارتباط با ماهیت و مفهوم سکونت و مسکن
سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور	هر بنایی که ارتفاع آن (فاصله قائم بین تراز کف بالاترین طبقه قابل تصرف تا تراز پایین ترین سطح قابل دسترسی برای ماشین آتش‌نشانی) از ۲۳ متر بیشتر باشد، ساختمان بلند محسوب می‌شود
ضوابط و مقررات شورای عالی معماری و شهرسازی	براساس مصوب سال ۱۳۷۷، به ساختمان‌های بالای ۶ طبقه گفته شده
طرح جامع تهران	مصوب سال ۱۳۸۶ به ساختمان‌های بالای ۱۲ طبقه اطلاق شده است

واژه‌شناسی و مفهوم سیستم‌های سازه‌ای دیاگرید

واژه دیاگرید متشکل از دو واژه (diagonal برابر با قطری) و (grid برابر با شبکه) می‌باشند و به سیستمی سازه‌ای اطلاق می شود که طبیعتی یکپارچه در ضخامت اعضا داشته و این یکپارچگی سازه‌ای خود را به وسیله‌ی مثلث بندی به دست می‌آورد. این سیستم می‌تواند به صورت صفحه‌ای، بلور شکل و یا به صورت مجموعه‌ای از منحنی‌ها اجرا شوند؛ که در واقع از اشکال بلوری یا منحنی‌ها در جهت افزایش سختی و مقاومت سازه به کار می‌رود. دیاگریدها می‌توانند به صورت اشکال هندسی مختلفی مانند منحنی‌های پیچیده و در زوایای مختلف خلق شوند؛ درحالی که هیچ سازه‌ی دیگری این ریسک را نمی‌پذیرد این سیستم از فواید و نکات مثبت اقتصادی گوناگونی ازجمله موارد زیر برخوردار است (Ferguson and Lane, 2010: 63):

- افزایش پایداری بر اساس مثلث بندی.
- ترکیب نیروی‌گرانش و بارهای جانبی ساختمانی که به طور باالقوه کارایی بیشتری را به ارمغان می‌آورد.
- پیش بینی سیستم‌های جایگزین تحمل بار در صورت ناتوانی سازه.
- کاهش میزان نیاز به مصالح و کاهش بار این عناصر بر پی.
- کاهش بار طبقات فوقانی موجب کاهش میزان بار بر پی ساختمان می‌شود.
- توانایی پوشش ساختمانی برای بسیاری از اشکال سازه‌ای.

ضخیم بودن اعضای سازه‌ای دیاگرید، تمامی سیستم‌های سه بعدی مثلث بندی شده همچون قاب‌بندی‌های فضایی، خرپاهای فضایی و یا سازه های ژئودوزیک را متمیز می‌کند. اگرچه لازم به ذکر است که بسیاری از پیشرفت‌های سیستم دیاگریدی از جزئیات همین سیستم های سازه‌ای نام برده منشأ می‌گیرد (Barker, 2005: 132). در ادامه مزیت‌های این سیستم بررسی می‌شود.

- سطح بالایی ازهمکاری میان معماران، مهندسین سازه و سازندگان مورد نیاز است که موجب می شود تا همزمان با افزایش پیچیدگی پروژه، سطح استانداردهای آن و متعاقبا کرد بیرونی این پیچیدگی نیز چشمگیرتر باشد.
- منطبق شدن علم و تجربه ی معماران و مهندسین سازه.
- امکان کاهش اتکای سازه به هسته سازه ای برای دستیابی به ایستایی کل مجموعه وجود دارد.
- سطح بالایی از پیش ساختگی در این نوع پروژه‌ها با افزایش استفاده از امکانات تجاری همراه است.
- سطح بالای ارتجاعی بودن اعضای سازه به قاب‌های آنان پایداری می‌بخشد.

معماری پارامتریک

«فرم حاصل از آن قوانین، طراحی پارامتریک گونه‌ای از طراحی است که در آن قوانین شفاف هندسی حاکم بوده و متعاقبا تابعی ضمنی از پتانسیل متغییرهای مؤثر باشد. به عبارت دیگر یک مدل با ترکیبات پارامتریک عبارت است از یک فرم منعطف با سازگاری زیاد در تغییرات توپولوژیک و نسبتهای مکانی. در حقیقت طراحی پارامتریک عالوه بر ارائه مدلهای هندسی توانایی نمایش روابط میان آن‌ها را در قالب ساختاری زنجیرهای از روابط سلسله مراتبی داراست و بر مبنای چگونگی سازماندهی و سلسله مراتب پارامترگذاری، برخی از مدل ها و یا عناصر، پارامترهایی کامال مستقل و ثابت بوده و برخی دیگر از آن‌ها، پارامترهایی وابسته هستند که تحت تأثیر داده‌های دریافتی از پارامترهای مستقل تغییر می‌کنند. چنین ساختاری ماهیتی ثابت دارد هرچند که ممکن است مدل نهایی با اعمال کنترل و نظارت دگرگون شود و یا با اعمال تغییرات در پارامترهای مستقل ترکیب متفاوتی از آن بوجود آید» (اخلاصی، احمد مجید مفیدی شمیرانی و نظام‌الدین عنبری روزبهانی، رویکرد طراحی الگوریتمیک و راهکارهای معماری بومی ایران در بهره‌گیری از راهکارهای معماری گذشته در راستای طراحی نماهای شفاف معاصر، ویژه نامه منتخل مقالات اولین همایش روشنایی و نورپردازی معماری وشهرسازی آرمان‌شهر). مدلسازی دانش محور (BIM) راه حلی گسترده برای ارائه اشیاء پارامتریک تعاملی ارائه می‌دهد که نمایش دهنده عناصر معمارانه‌ای است که از داده‌های سازه‌ای ساخته می‌شوند، این عناصر (شامل جزئیات سطوح اسکن شده) به دقت نقشه برداری شده تا نقاط ابری یا تصویرهای پیمایش محور حاصل گردد. عناصر معماری از زبان توصیف هندسی (GDL) استفاده می‌کنند. طرح و جزئیات اشیاء پارامتریک بر پایه طیفی از دستورالعمل های ویترویوس تا پالادیو و تا کتاب‌های ارائه دهنده الگوی معماری قرن هجدهم میلادی قرار دارد. معماری رنسانس به طور پیشرفته‌ای توصیف گشته و مستند سازی شده است و ضوابط عناصر معماری آن استخراج شده که از طراحی مدل‌های پارامتریک حمایت می‌نماید. استفاده از داده‌های سازه‌ای، فرصت توسعه جزئیات مستتر در این سطوح را در بخش سازه و آرایش مادی در مرحله نهایی فرآیند «BIM» فراهم می‌آورد که بانک داده تیپی از اشیاء مادی ایجاد می‌کند. این‌ها تصویرسازی‌های ابری شکل و داده‌های پیمایش تصویری هستند که در سیستم نرم افزاری مدیریت سطحی وارد گشته‌اند. ترسیمات چندبر تمام مهندسی، مقاطع و مدل‌های سه بعدی می توانند از این پس به طور خودکار به مدلسازی دانش محور منجر شوند.

رویکرد مدلسازی دانش محور

مدلسازی دانش محور در کار دیگران توصیف شده است (Murphy et al, 2009) که با شناسایی و جمع‌آوری اطلاعات مورد استفاده در اسکن لیزری و فرآیند اسکن‌ها جهت منفرد ساختن و آزمون مناسب‌ترین پیمایش‌های مدلسازی «BIM» قرابت دارد. این نقاط مجزای ابری شکل و تصاویر چندبر به عنوان چارچوبی برای چاپ پارامتریک استفاده می‌شوند. این مفهوم برای طراحی بانک داده اشیاء در «GDL» در راستای طراحی فرآیند چاپ عمل می‌کند. انگیزه این کار برآمده از تلاش‌هایی است که در راستای مستند سازی حفاظت و مراقبت خودکار در فرم ترسیم و برنامه‌ریزی مهندسی اسکن لیزری و تصویر سازی بر پایه پیمایش‌های ساختارهای سازه‌ای صورت می‌گیرد. کار ما در زمینه تجربه به طور منظم با ساختارهای سازه‌ای ایرلند مرتبط بوده و برآمده از اصول حفاظتی است تا از داده‌های پیمایش شده ابری به مثابه پایه‌ای برای توسعه مستندسازی حفاظتی بهره گیرد. در نتیجه، تحقیق با ارزشی حول محدوده‌هایی با حساسیت میراث معماری صورت می‌گیرد که محدود به ابزارهای بصری می شود، درحالی که ظرفیت آن برای مستندسازی خودکار کلیت چرخه‌های حفاظتی ساختارهای سازه‌ای هنوز درک نشده است. در این مقاله جنبه‌های اضافی و جدیدی تحت عنوان مدلسازی میراث معمارانه توسعه یافته است:

- یک چارچوب سازه‌ای برای ایجاد بانک داده پارامتریک عناصر معماری از طریق سنجش ارزیابی دستورالعمل های معمارانه در ارتباط با نقشه‌سازی و شناسایی ضوابط معنادار پیشنهاد شده است که بیان گر طیف گسترده‌ای از ساختمان‌های مهم می‌باشد و می‌تواند در مدل‌های کامپیوتری شبیه‌سازی شود. دوم، مداخله و درک این ضوابط ضرورت دارد و می‌تواند به سادگی از کتاب‌های الگوی معماری مورد تبعیت قرار گیرد که بیشتر مربوط به پس از رنسانس و آغاز عصر روشنگری در قرون ۱۷ و ۱۸ میلادی می‌شود، این الگوها در قالب شکل‌های هندسی و شکل‌های غیر تیپ مورد تفسیر قرار می‌گیرد.
- توسعه ضوابط شکلی و پارامتریک برای بازتولید عناصر کلاسیک در کتاب‌های الگو با استفاده از «GDL» ارائه می‌گردد و با کدهای نمونه توصیف گشته‌اند. این اشکال بانک داده‌های جدیدی را عرضه می‌دارد که به تمام نمودارهای کلاسیک منظم این امکان را می‌دهد که در ارتباط با فرم‌های منظم هندسی معرفی شوند. اشکال ارگانیک و غیر تیپ در «GDL» به کمک مجموعه ای از فرآیندها در جهت حداکثر سازی محتوای پارامتریک اشیاء مورد استفاده واقع می‌شود. این شکل‌ها به مثابه اشیاء پارامتریک منفرد یا در ترکیب با اشیاء بزرگتر در بانک داده نگهداری شده و در سطوح «BIM» تغییر شکل داده شده تا با ملزومات دیگر منطبق شوند. این طیف بانک داده باید به لحاظ اندازه ای متناسب سازی شوند.
- به مسئله چاپ به صورت نقاط ابری و داده های تصویری پیمایش شده توجه گردیده و راه حل های متناسب پیشنهاد شده و مورد آزمون واقع می شود، این واقعه که مدلسازی دانش محور مدل‌های سه بعدی خود را با چاپ‌های دوبعدی عرضه می‌نماید، پیمایش‌هایی را طلب می‌کند که در محیط «BIM» دوبعدی باید صورت پذیرد. این موضوع می‌تواند از طریق مجموعه‌ای از روش‌ها رفع و رجوع شود. دوم، باید اشیاء به کمک تغییر پارامترها بازآفرینی شده و تغییر شکل یابند و این بر پایه داده‌های عددی صورت می‌پذیرد. برای تسهیل این فرآیند، از نرم افزار مقیاس بندی عکس کمک گرفته می‌شود، که شبکه محور است و کمک می‌کند تا چاپ انجام گیرد و مقیاس مسافت‌ها و میزان زوایا در محیطی دوبعدی محاسبه شود. این تولید داده های پارامتریک عددی را برای اصلاح و چاپ بانک داده اشیاء و تبدیل آن به داده‌های پیمایش شده لیزری تسهیل می‌نماید.
- سرانجام طرحی برای سناریوی کاربر پدید می‌آید که بتواند با آن به آزمون سنجه های پایداری «BIM» به مثابه ابزاری برای ترسیم مهندسی خودکار برای فرآیندهای حفاظتی مبادرت ورزد.

رویکرد «BIM» چیدمانی جدید برای مدل سازی دانش محور بوجود آورده است که با طراحی ساختمان‌های جدید و نوآوری‌هایی که مربوط به نیرو، سازه، تحلیل اقتصادی و برنامه ریزی اجزای طراحی معماری می‌شود، منطبق است. به استثنای بعضی متخصصان (Fai et al, 2011)، کارهای بسیار کمی پیرامون مدلسازی ساختمان های مهم و تولید مدل‌های «BIM» با استفاده از اسکن‌های لیزری صورت پذیرفته است. کارهای ایشان بیشتر معطوف به مشکلات مرتبط با اسکن لیزری و «BIM» از طریق تولید بانک داده‌ای اشیاء برای چاپ به پیمایش اسکن محور در محیط «BIM» می شود. این رویکرد شامل خلق بانک داده پارامتریک یا ارتقاء چاپ اشیاء به پیمایش‌های اسکن شده نمی‌شود. مزایای «BIM» در رویکردهای مدلسازی فراهم کننده مستندسازی‌های خودکار در فرم مهندسی ترسیمات دقیق حفاظتی از میراث معماری می شود. این در تضاد شدید با محصولات بصری پر جزئیاتی دارد که از دیگر رویکردهای روندکاری و مدلسازی پارامتریک با کمک ابزارهای بصری ایجاد می شوند، قرار دارد. «BIM» از این رویکردها مجزاست، این محصول به تولید مدل‌های سه بعدی در سطوحی می پردازد که مربوط به سازه و آرایش مادی آن ها ست. علاوه بر مستند سازی سه بعدی، تصویر سازی‌های گرافیکی چندبر، مقاطع، جزئیات و برنامه ریزی‌ها (نیرو، فرسایش هزینه‌ای و غیره) هم در آن به صورت نقاط داده ای ابری شکل حضور دارند. استفاده از داده‌های سازه‌ای برای خلق مجدد گذشته یا حفظ و نگهداری صنایع مهم و ایجاد محیط‌های گسترده‌تری برای حفاظت (ICOMOS, 2011)، تحقیق بیشتری را طلب می‌کند. در تحقیق روندکاری و مدلسازی پارامتریک از میراث واجد ارزش، استفاده از دانش معماری جهت آگاهی از ایجاد مدل های تبدیل به جزئی از رویکرد طراحی شده است(Chevrier et al, 2010, 2009; De Luca et al, 2011; Muller et al, 2006; Wonka et al, 2003). در حالی که این کارها از رویکرد «BIM» آگاهی داشته‌اند، در تحلیل خود از داده‌های سازه‌ای معماری متفاوتی استفاده کرده اند. «BIM» بر کتاب‌های الگوی معماری برای تعریف ضوابط و جزئیات معماری تاکید می‌کند. علاوه بر آن، بیانیه ای وجود دارد که به تکامل فرم معماری کلاسیک اروپایی برای مدلسازی کامپیوتر محور می‌پردازد. هدف از تولید مستندسازی حفاظتی در مقابل مدل‌های بصری پر جزئیات اینست که سطوح متفاوتی از دقت، به خصوص در اختصاص جزئیات ساخت در ورای سطوح اسکن شده ایجاد شود. منابع سازه ای غنی‌تر و وسیع‌تر می‌تواند به کمک ابزارهای نرم افزاری وارد آن شوند.

مدلسازی معماری با استفاده از گرامرهای شکلی

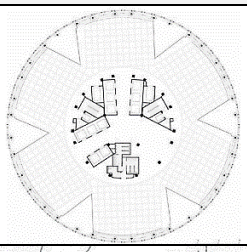
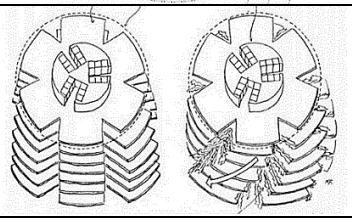
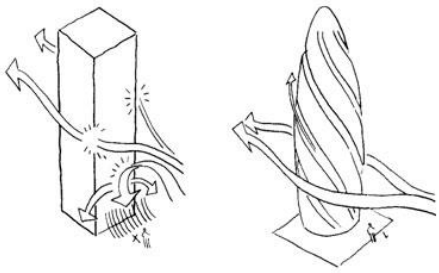
در مستند سازی نظام کلاسیک، معماران رنسانس به فرمول‌بندی زبانی پرداختند که در آن ضوابط حاکم بر توزیع و ترکیب اجزاء در گرامر و ترکیبش مستتر بود. این عناصر (مدل ها، تیپ ها، نمادها و غیره) کلمات معماری را می‌سازند، ترکیب کلی آن مرتبط با ساختار زبانی می‌باشد، این زبان‌شناسی برای معماری پایه‌ای جهت تحلیل و درک فراهم می‌آورد (Clarke and Crossley, 2000). اخیراً از زبان شناسی برای بیان و نشانه شناسی در زمینه محاسبه مدل روندکاری ساخت و محیط‌های مجازی استفاده می‌شود (Stiny and Gips, 1972). این در دهه ۱۹۷۰ میلادی در مفهوم سازی تحلیل طرح‌های معماری برای مدل‌های کامپیوتری رواج داشته است. ساختمان‌ها بر پایه سبک‌های معماری مختلف قرار دارند و می‌توانند تفکیک شده و از طریق مجموعه‌ای از شکل‌های پایه دوباره ارائه شوند، این اشکال از طریق ضوابط در جایی که یک شکل می‌تواند تغییرکند یا با تبدیل جایگزین شود، تحت سلطه قرار می‌گیرند. بنابراین گرامر شکلی به درک سبک‌های معماری و نمودارهای برنامه‌ریزی شهری منجر می‌شود. مبادی مدلسازی روندکاری که بر پایه گرامرهای شکلی قرار دارد، می‌تواند به طور خودکار دوباره ساخته شده و به تولید سبک‌ها و نمودارها در محیط های مجازی منجر شود. در نمونه تولید مدل‌های سه بعدی شهر، نقشه ها و قلمروهای آبی و خاکی، برای تولید مسیرها و خیابان‌ها و هندسه و موقعیت ساختمان‌ها از آن استفاده می‌شود (Parish and Müller, 2001). مدلسازی روندکاری به طور خودکار منجر به تولید مدل‌های مجازی ساختمان های منفرد بر پایه گرامرهای شکلی می‌شود. در نمونه انطباق گرامرها با سبک‌های معماری، ضوابط جدید اصلاح شده تا منجر به ارتقاء مدل‌های مجازی به طور خودکار شود، به طور مثال ضوابط مجزا سبب تفکیک ساختارها و عناصر معماری به اجزاء می‌شود، به طور مثال نماها می‌توانند به طور عمودی به طبقات و به طور افقی به پنجره ها و سایر پنل ها تقسیم شوند (Aliaga et al, 2007; Muller et al, 2006; Wonka et al, 2003). در نمونه میراث معماری و باستان شناسی «پلاستیکو دِ روما آنتیکا»، یک مدل بزرگ پلاستری در پاریس از روم سلطنتی (۱۶ در ۱۷ متر) در اواخر قرن گذشته اسکن گردید و مدل آن استخراج شد. این مدل

حاوی اطلاعات خاص و مهم است و بازسازی ضابطه محور روم باستان آن مدلسازی شده و با نام تولد دوباره روم ۱ ارائه شده است (Guidi et al, 2007, 2008) و در ادامه با فراگیر شدن آن در مقیاس کل شهر تولد دوباره روم ۲ نام گرفت (Frischer et al, 2008). مدلسازی گرامر شکلی در تضاد با زبان معمارانه آن در راستای ساخت اشیاء پارامتریک بکار گرفته شده است، در جایی که چاپ آن به کمک پیمایش های تصویری/ لیزری برای ایجاد یک مدل سبب شد تا گذشته آن به کاربرد آن در آینده و در ارتباط با تعاملات انسانی پیوند بخورد.

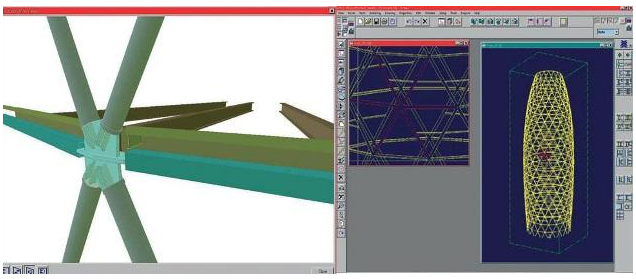
نمونه پژوهش

برج سوییس‌ری که به نام 30 St. Mary Axe هم شناخته می شود، اولین برج اداری است که به طور کامل با سازه دیاگرید شناخته شده است. این بنا تیپولوژی ابرساختمان‌های دیاگریدی را با شامل شدن عناصر کلیدی و مدولار بودن عناصر گره‌ای تعریف می‌کند. مهندسی پارامتری کامل و مطالعات باد که برای این پروژه توسط فاستر و شرکا، آروپ و PWDI انجام شد به عنوان اساس برج‌های دیاگریدی مقرر شد. زمینه‌ی سایت و میل به ایجاد یک میدان عمومی به توسعه پلان دایره وار برج کمک کرد. قطر آن به طوری متفاوت بود که محدوده‌ی ساختمان در سایت می توانست کوچک تر باشد. بدین صورت که برج تا ارتفاع ۵۶/۰۵ متر عریض شده (تا طبقه‌ی هفدهم) و دوباره از این ارتفاع تا ارتفاع ۱۷۹/۸ متر (بالای برج) باریک می‌شود، در نتیجه هر یک از ۴۰ طبقه متفاوت از دیگری است. دهانه‌ی کف، جهت گیری و تقاطع، زاویه کف با قطر نما تماما در سراسر ارتفاع ساختمان متفاوت است. با توجه به گفته دونیک مونرو: «راه حل سازه‌های فولادی پیرامون به طور خاص برای این ساختمان به منظور رسیدگی به مسائل ایجاد شده توسط هند سه غیرمعمول، به شیوه ای که به طور کامل با مفهوم معماری یکپارچه شود توسعه داده شد».

جدول ۳. معرفی برج سوییس‌ری (منبع: نگارندگان ۱۳۹۸)

معرفی اجمالی برج سوییس‌ری			
تصاویر	اطلاعات تصویر	تصاویر	اطلاعات تصویر
	اجزای پلان دایره ای شکل		روند ساخت ساختمان سوئیس ری نورمن فاستر
	ضوابط شکلی و پارامتریک		قرارگیری سطوح نما منطبق با سازه
	کدگذاری نقاط روی نما		

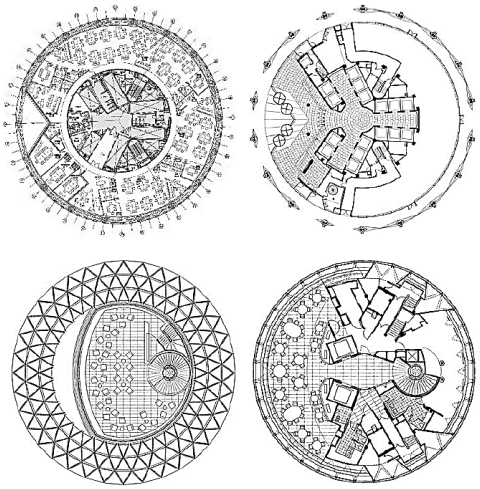
از برج چهار چوبی تو خالی و باز شخوف تا ایده فاستر برای ساختمانی با کارآمدی انرژی بالا و دو نما که از استراتژی های مارپیچی برای تقویت تهویه طبیعی استفاده می کند، زمینه فنی بسیاری باید پوشش داده می شد. برخی از فرآوری‌های فنی پروژه‌ی شهرداری لندن برای طراحی این پروژه مفید بود، اما حتی این پروژه ها هم در زمینه‌ی ارتفاع و الزامات برنامه ریزی متفاوت بودند (Barker, 2005: 217).



تصویر ۱. مدلسازی اطلاعات سازه ای (منبع: دسترسی در گوگل)

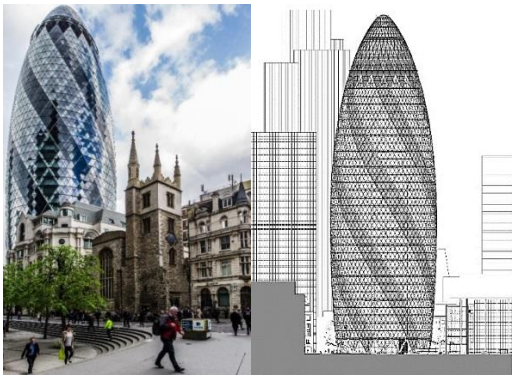
تصویر ۲. نحوه‌اتصالات‌سازه‌ها (منبع:دسترسی‌درگوگل)

نقشه پلان طبقه نشان می‌دهد که طرح فضای داخلی به عنوان شش انگشت مرتب در اطراف یک هسته‌ی دایره‌ای مرکزی تصور می‌شود. سازه‌ی دیاگرید به دلیل این که باعث می‌شود تا هسته مرکزی نیازی به مقاومت در برابر نیروهای باد نداشته باشد، سود قابل توجهی به ارمغان می آورد. هسته مرکزی می‌تواند به صورت یک سازه فولادی براساس یک پلان باز طراحی شده و فضاهای انعطاف پذیری در آن گنجانده شود. انتقال مسئولیت مقاومت در برابر باد و نیروهای جانبی از هسته مرکزی به دیاگرید پیرامونی به این معنی بود که بارهای وارده بر پی در مقیاس با بنایی که توسط هسته تثبیت می‌شود نیز کاهش می‌یابد (Foster and Partners, 2005: 239).



تصویر ۳. نحوه قرارگیری پلان در طبقات مختلف نسبت به سازه (منبع: مستاجران گورتانی، ۱۳۹۵: ۲۸۳)

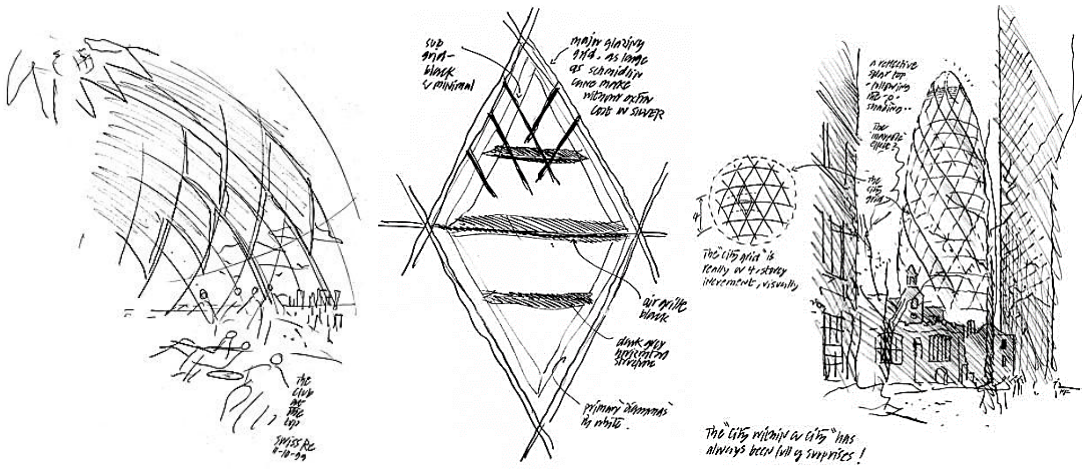
به منظور داشتن فضاهای بدون ستون در کف طبقات، ستون‌ها در فضای بین دو نما قرار داده شده‌اند که از بیرون توسط سیستم پوشش شیشه ای دیوار پرده‌ای و از داخال هم توسط یک سیستم شیشه‌ای پوشش داده می‌شوند. سپس ستون‌های پیرامونی تا حد زیادی مایل شدند تا به اعضای مورب سیستم دیاگرید تبدیل شوند. در نتیجه آن‌ها شکل کاهنده تدریجی ساختمان را دنبال می‌کردند و از آنجایی که سازه دیاگرید مفهومی متقارن در خود دارد، منجر به ایجاد مارپیچی شده که در جهت مخالف از ساختمان بالا می‌رود. از طرح شش انگشت در طرح شش وجهی مثلثی در فضاهای داخلی استفاده شد (که به عنوان بخشی از سیستم تهویه به وسیله دو نما) که علاوه بر آن نور را به خوبی به فضای داخلی هدایت می‌کند. اساسا پلان هر طبقه در هرسطح باید پیچ خورده یا چرخیده باشد تا از سیستم مثلثی کاهنده تدریجی دیاگرید تبعیت کند. فضاهای اداری به تبعیت از خطوط مارپیچ دیاگرید در ساختمان بالا می‌روند. این چرخش به نوبه خود نیاز به کنسولی بزرگ در اسلوب طبقه را مرتفع می‌کردند و سازه دیاگرید را پایدار می‌کند (سالوادوری، ۱۳۹۵: ۱۶۷).



تصویر ۴. تصویر ساختمان سوئیس‌ری لندن، اثر نورمن فاستر (منبع: مستاجران گورتانی، ۱۳۹۵: ۲۸۱)

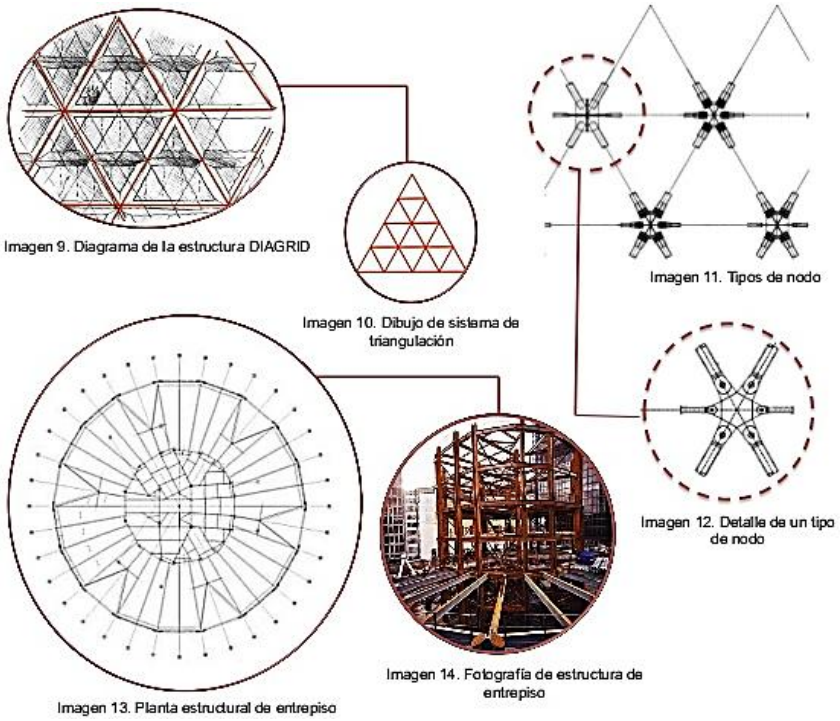
تحلیل سیستم سازه‌ای

ساختار منحنی این ساختمان با استفاده از عناصر صاف ایجاد شده است. برخلاف سازه دیاگرید، برای شهرداری لندن مقیاس سوییس ری به قدر کافی بزرگ بود تا یک ساختار وجهی که ظاهری منحنی و بدون عارضه‌ی اضافه را نشان دهد و هزینه خم کردن فولاد را نداشته باشد. تقسیمات کوچک‌تر به قطعات مثلثی نیز در نما به منحنی نشان داده شدن ظاهر آن بیشتر کمک می‌کند. طرح جدید فاستر شبیه میوه کاج است که با کمک روش مدلسازی پارامتری رایانه‌ای به دست آمده است. این شکل، علاوه بر آنکه دید ساختمان‌های مجاور را محدود نمی‌کند، از نظر سازه‌ای نیز مطلوب می‌باشد (مستاجران گورتانی، ۱۳۹۵: ۲۸۱).



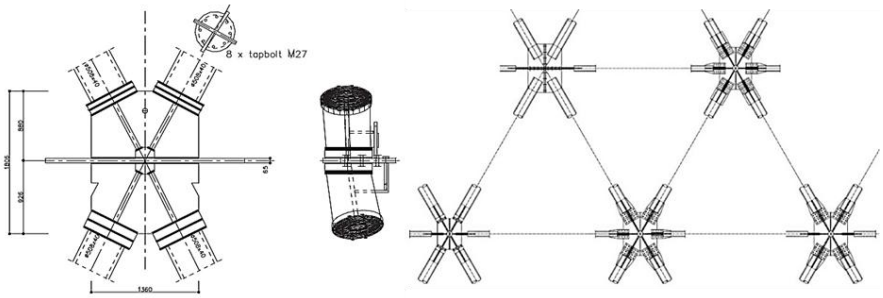
تصویر ۵. اسکیس های معمار (منبع: مستاجران گورتانی، ۱۳۹۵: ۲۸۲)

یکپارچگی در طراحی سازه‌ای و طراحی معماری و محیطی نیازمند یک نیت با رویکردی م شترک بود. ابزار دیجیتال در موفقیت این پروژه بسیار مهم بود. آروپ به تجزیه و تحلیل ساختاری، طراحی، هماهنگی و ارتباط اطلاعات ساختاری که شامل طیف وسیعی از ابزارهای طراحی پارامتریک می‌شد دست پیدا کرد که منجر به خلق شکل هندسی خاص ساختمان شد. از آن جا که این نوع نرم افزار و این روش کار در آن زمان نسبتاً جدید بود، توسعه داخلی آن به لینک‌هایی بین تجزیه و تحلیل، طراحی و مدلسازی سه بعدی سازه فولادی بسیار مهم بود. آروپ از یک مدل کامل اکس استیل برای این منظور استفاده کرد. یکی از ابتکارات این پروژه، تبادل اطلاعات الکترونیک به طور آزادانه بین تیم طراحی و پیمانکاران بود. مدل سه بعدی ثابت کرد که برای ایجاد ارتباط مؤثر در پروژه ضروری است: در حالی که مهندس سازه مدل اولیه را برای هماهنگی با هسته مرکزی و اندازه طراحی می‌کرد. پیمانکاران اصلی و فرعی از این مدل برای جزئیات و خدمات مربو به روکش های فلزی و MEP استفاده می‌کردند (Ferguson and Partners, 2010: 81). ماهیت سه بعدی از ملاحظات طراحی، در طراحی نمای دیاگرید نیازمند راه حل‌های جدید است. مقاطع لوله ای انتخاب شدند تا هندسه‌ی پیچشی بین گره‌های دیاگرید را مهار کنند. صفحات گردی که در انتهای اجزای دیاگرید جوش داده شدند اجازه می‌دادند تا در نقاط گره به راحتی از سیستم پیچ و مهره‌ای استفاده شود. اعضای دایره‌ای دیاگرید باعث شد تا مقاطع آن در مقایسه با مقاطع عمومی یا یک پروفایل گسترده بسیار کوچک‌تر شوند. این مسئله در زمینه مهندسی حریق ساختمان بسیار چالش بر انگیز بود (Munro, 2004: 424).



تصویر ۶. جزییات و قرارگیری گره‌ها در نمای دیاگرید (منبع: مستاجران گورتانی، ۱۳۹۵: ۲۸۵)

طرح سازه ای برج سوئیس ری بر مبنای سازه ساختمان‌های بلند ساخته شده از سازه‌های مثلثی شکل با عناصر مورب و حلقه‌های افقی یعنی دیاگراید شکل گرفته است. عملکرد سه بعدی سازه شامل ترکیب اعضای مورب و حلقه افقی است. به علت عدم توانایی سازه مثلث بندی شده در تحمل کمانش وارده، از کمربند افقی به منظور تقویت سازه استفاده می‌شود. بالابردن میزان استقامت سازه از طریق اتصال گره‌ها به کمربند افقی صورت می‌گیرد (مستاجران گورتانی، ۱۳۹۵: ۲۸۴).



تصویر ۷. جزییات گره‌ها (منبع: مستاجران گورتانی، ۱۳۹۵: ۲۸۵)

هدایت برش در این سازه از طریق رفتار محوری اعضای مورب و در نتیجه به حداقل رساندن تغییر شکل برشی و کاهش نیاز به هسته با مقاومت برشی بالا انجام می‌گیرد. انتقال نیروهای ثقلی تنها نقش هسته می‌باشد که امکان جابه‌جا شدن هسته از مرکز پلان را فراهم می‌آورد. کاهش نیروی وارد بر پی نیز با به کارگیری هسته انجام می‌شود. در نهایت با ایجاد پوسته‌ای یکپارچه و سخت، استقلال هرچه بیشتر کف‌ها از سازه پیرامونی تأمین می‌شود و مقابله با نیروها با بهره‌گیری از فرم منحنی صورت می‌گیرد. کف طبقات از دال کامپوزیت با تیرهای شعاعی متصل به هسته خدماتی و آسانسور با زاویه بین محوری ۱۰درجه می‌باشد (همان: ۲۸۵). بر خلاف یک ساختمان صاف بلندمرتبه که ممکن است قاب سازه‌ای به شیوه‌ای که کمتر مورد توجه باشد ساخته شود، این برج برتر دیاگریدی به منظور نشان دادن سازه در نظر گرفته شد (اسدی محل چالی، ۱۳۹۷: ۱۱۶). تصمیمات نهایی گرفته شده درباره خطرهای آتش سوزی موجب شد تا پوشش ضدحریق که ۹۰ دقیقه از فولاد محافظت می‌کرد فراهم شود. تصمیم گرفته شد که روکش فولاد به عنوان بخشی از روند محافظت درنظر گرفته شود. مقطع فولادی گرد این اجازه را می‌داد که حجم‌های الماس شکل به گونه ای بچرخند که کمترین تأثیر را روی نما داشته باشند. در هماهنگی با تعامل بسیار ناچیز دیاگرید با دیوار پرده‌ای تنها جرز (نقره‌ای)، و نه ضخامت آن، بر دیوار پرده‌ای تغییر داده شده است تا جای دیاگرید در پشت دیوار پرده‌ای مشخص شود. سوییس ری در برقراری استانداردهای هرچه بیشتر در نحوه استفاده از گره‌ها در ترکیب مستقیم با دیاگرید بسیار مهم بود. این طبقه‌بندی تا حد زیادی ساخت و نصب سازه دیاگرید را تسهیل کرد.

طراحی گره یک چالش بود زیرا هندسه دقیق گره‌ها در هر طبقه تغییر می‌کرد و تابعی از عملکرد منحنی ساختمان بود. در مجموع گره‌ها به غیر از تنظیمات مربوط به زاویه، یکسان به نظر می‌رسید. دقت در ساخت سطوح آماده بلبرینگ گره‌ها و ستون‌ها بسیار مهم و نیازمند درصد خطای یک میلی‌متر بود (سالوادوری، ۱۳۹۵: ۱۷۱). این دقت ساخت اطمینان قبولی از هماهنگی اعضا با کمترین تنظیمات محیطی را ارائه می‌دهد. درصد خطای کوچک هم لازم است زیرا تمام قطعات فلزی در یک کارگاه مشابه شاخته نشده و هم زمان در محل نصب نمی شوند. به طور معمول اتصال پیچ و مهره‌ای برای تسهیل مونتاژ سریع اجزای مورب انتخاب می‌شوند، در حالی که عناصر داخلی گره‌ها در کارگاه جوش می‌شوند.

تصویر ۱. اجرای یکپارچه‌ی سازه‌ی سقف (منبع: دسترسی در گوگل)

نتیجه‌گیری

ساختمان سوئیس‌ری به عنوان نمادی مهم در ساختمان سازی بلندمرتبه دیاگرید در جهان مطرح است. در پایه این بنا مقاطع بزرگی از دیاگرید از دیوار پرده‌ای بیرون زده و در نقطه ورودی برج یک ردیف ستون را تشکیل می‌دهد در این جا روکش فلزی فولاد که در داخل به عنوان پوشش ضد حریق استفاده شده تبدیل به روکش بیرونی می شود که علاوه بر آتش در برابر هوازدگی و خوردگی نیز محافظت می‌کند. این جدایی سازه از بنا تأکید بار قدرت دیاگرید به عنوان یک سیستم سازه‌ای دارد که در تضاد با ابرساختمان‌ها است که یک قدم به عقب می‌نشیند و همچنین از یک پایه‌ی بزرگ برای استحکام برج پایه سوییس‌ری در واقع به سمت داخل پایه، مخروطی شکل می‌شود. سیستم‌های ساختاری ایجاد شده برای سوییس ری تأثیر بسزایی بر ساختمان‌های دیاگریدی پس از خودش داشت؛ به ویژه ساختمان‌هایی که هندسه مبتنی بر منحنی داشتند و سه گوشه سازی _ مثلث بندی _ را هم در سازه و هم در نمای خود برای تحصیل موفقیت، مورد استفاده قرار می‌دهند. استفاده از شفت مثلثی در نمای طبقات بالا با سطح بالای دقت در طراحی و ساخت سیستم‌های روکش فلزی متعدد به واسطه هماهنگی اندازه و خطوط مشترک، که از سیستم‌هایی مهم در جزییات هم‌گرا هستند، مشهود است.

تشکر و قدردانی

با تقدیر و سپاس از جناب آقای دکتر داراب دیبا عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، که در به ثمر نشستن پژوهش‌های انجام شده، راهنما و روشنی‌بخش مسیر بودند.

مراجع

۱- اسدی محل‌چالی، مسعود (۱۳۹۷). پدافند غیرعامل، مدیریت بحران و مهندسی فرهنگی، تهران: انتشارات آرمانشهر.
۲- افرا، علی، حامد رمضانپور و حسین علیجانی. (۱۳۹۴)، روشها و ویژگی های طراحی مقدماتی سیستم سازه ای دیاگرید در ساختمانهای بلند، کنگره بین المللی پایداری در معماری و شهرسازی معاصر خاورمیانه.
۳- خدابنده‌لو، اشکان و رضا آقاجانی. (۱۳۹۷)، طراحی بهینه‌ی سازه فولادی دیاگرید در ساختمان بلند، فصلنامه آنالیز زلزله، دوره ۱۵، شماره ۲.
۴- خواجه‌میری، فاطمه و افسانه ستوده. (۱۳۹۶)، ساختارهای دیاگرید: انعطاف پذیری و بهره گیری از جزئیات اجرایی در معماری، کنفرانس ملی رهیافت‌های نو در مهندسی عمران و معماری.
۵- سالوادوری، ماریو (۱۳۹۵). سازه در معماری، ترجمه محمود گلابچی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۶- طبایی،سعید، محمد افشاری، بهادر ضیایی‌مهر، امید بهار. (۱۳۹۴)، ارزیابی عملکرد سیستم ترکیبی دیاگرید در سازه های بلند مرتبه، دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران.
۷- کرسول۱، جان دبلیو. (۱۳۹۶). طرح پژوهش، رویکردهای کیفی، کمی و ترکیبی، مترجمین علیرضا کیامنش و مریم دانای طوس، تهران: جهاد دانشگاهی، واحد علامه طباطبایی.
۸- کرسول۲، (۱۳۹۶). پویش کیفی و طرح پژوهش، انتخاب از میان پنج رویکرد روایت پژوهی، پدیدارشناسی، نظریه داده بنیاد، قوم‌نگاری و مطالعه موردی، ویرایش دوم، تهران: نظر اشراقی.
۹- مستاجران گورتانی، مسلم، (۱۳۹۵) ، نقش معماری در ایمن سازی ساختمان‌ها در برابر حوادث (نمونه موردی: طراحی مجتمع مسکونی بلندمرتبه در منطقه ۲۲ تهران)، استاد راهنما دکتر داراب دیبا، پایان نامه جهت اخذ کارشناسی ارشد در رشته مهندسی معماری، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران.

10- Aliaga, D.G., Rosen, P.A., Bekins, D.R., 2007. Style grammars for interactive visualization of architecture. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 13 (3), 786–797.
11- Barker, D., 2005. Swiss Re Tower by Foster and Partners, http://www.architecturework.com/2005/0504/design_1-1.html.
12- Chevrier, C., Charbonneau, N., Grussenmeyer, P., Perrin, J., 2010. Parametric documenting of built heritage: 3D virtual reconstruction of architectural details. International Journal of Architectural Computing 8 (2), 131–146.
13- Clarke, G., Crossley, P. (Eds.), 2000. Architecture and language: constructing identity in European architecture, c. 1000-c. 1650, Cambridge University Press, New York, NY.
14- De Luca, L., Busayarat, C., Stefani, C., Véron, P., Florenzano, M., 2011. A semanticbased platform for the digital analysis of architectural heritage. Computers & Graphics 35 (2), 227–241.
15- Fai, S., Graham, K., Duckworth, T., Wood, N., Attar, R., 2011. Building information modelling and heritage documentation, in: 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia. XXIII CIPA Symposium – Prague, Czech Republic – 12–16 September (On CDROM).
16- Ferguson, A.; Lane, B. 2010. Swiss Re – Structural Fire Engineering for the Newest Tall Building in London, http://www.maco-Manchester.ac.uk/Project/Research/Structures/Strucfire/CaseStudy/Steel Composite/Swiss.html.
17- Foster, N. and Partners. 2005. Modelling the Swiss ReTower, http://www.architecturework.com/2005/0504/tools_1-1.html.
18- Frischer, B., Abernathy, D., Guidi, G., Myers, J., Thibodeau, C., Salvemini, A., Muller, P., Hofstee, and Minor, B., 2008. Rome reborn. ACM SIGGRAPH ‘08, New Tech, Demos, 34.
19- Guidi, G., Frischer, B., Lucenti, I., 2007. Rome Reborn – Virtualising the ancient imperial Rome. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36 (Part 5/W47), (on CD-ROM).
20- Guidi, G., Frischer, B., Lucenti, I., Donno, J., Russo, M., 2008. Virtualising ancient imperial Rome: from Gismondi’s physical model to a new virtual reality application. International Journal of Digital Culture and Electronic Tourism 1 (2–3), 240–252.
21- ICOMOS, Venice Charter, http://www.icomos.org/venicecharter2004/index.html (accessed 20.01.11).
22- K. Yin, R. 2010. Qualitative Research, From Start to Finish, Guilford Press, Second Edition.
23- Muller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., Van Gool, L., 2006. Procedural modelling of buildings. ACM Transactions on Graphics 25 (3), 614–623.
24- Munro, D. 2004, Swiss Re's Building London, Stalbyggna, no. 3.
25- Murphy, M., McGovern, E., Pavia, S., 2009. Historic building information modelling (HBIM). Structural Survey 27 (4), 311–327.
26- Parish, Y. I. H., Müller, 2001. Procedural modelling of cities. In: Proceedings of the 28th annual conference on computer graphics and interactive techniques, ACM Press, pp. 301–308.
27- Stiny, G., Gips, J., 1972. Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture. Information Processing 71, 1460–1465.
28- Wonka, P., Wimmer, M., Sillion, F., Ribarsky, W., 2003. Instant architecture. ACM Transactions on Graphics 22 (3), 667–669.