



دانشگاه گیلان  
۱۳۵۲\_۱۹۷۴

چاپ اول

# سازه‌های دیاگرید

سیستم / اتصالات / جزییات

تألیف:

تری مایر بواک

ترجمه:

دکتر امیررضا کریمی آذری

اسنادبار دانشکده هنر و معماری دانشگاه گیلان

اداره چاپ و انتشارات دانشگاه گیلان

سازه‌های دیاگرید

مترجم: دکتر امیررضا کریمی آذری



# سازه های دیاگرید سیستم / اتصالات / جزییات

تألیف

تری مایر بواک

ترجمه

دکتر امیر رضا کریمی آذری

استادیار دانشکده معماری و هنر

انتشارات دانشگاه گیلان

۱۳۹۷



شابک: ۳ - ۱۸۷ - ۱۵۳ - ۶۰۰ - ۹۷۸

|                     |  |
|---------------------|--|
| سرشناسه             | : بوک، تری مایر<br>Boake, Terri Meyer  |
| عنوان و نام پدیدآور | : سازه های دیاگرید : سیستم، اتصالات، جزئیات/تالیف تری مایر بواک : ترجمه امیررضا کریمی آذری ؛ ویراستار علمی مجتبی پوراحمدی. |
| مشخصات نشر          | : رشت: دانشگاه گیلان، ۱۳۹۷.  |
| مشخصات ظاهری        | : ۲۸۹ص: مصور ( بخشی رنگی )، نمودار   |
| شابک                | : 978-600-153-187-3  |
| وضعیت فهرست نویسی   | : فیپا   |
| یادداشت             | : عنوان اصلی: Diagrid structures : systems, connections, details .   |
| موضوع               | : فولاد ساختمانی-- طرح و ساختمان   |
| موضوع               | : Steel, Structural -- Design and construction   |
| موضوع               | : ساختمان های فلزی -- طرح و ساختمان  |
| موضوع               | : Building, Iron and steel -- Design and construction  |
| موضوع               | : معماری جدید  |
| موضوع               | : Architecture, Modern   |
| موضوع               | : معماری خانگی -- تاریخ -- قرن ۲۱م.  |
| موضوع               | : Architecture, Domestic-- History-- 21st century  |
| موضوع               | : معماری خانگی -- تاریخ -- قرن ۲۰م.  |
| موضوع               | : Architecture, Domestic-- History-- 20th century  |
| شناسه افزوده        | : کریمی آذری، امیررضا، ۱۳۵۶ -، مترجم   |
| شناسه افزوده        | : پوراحمدی، مجتبی، ۱۳۶۰ -، ویراستار  |
| رده بندی کنگره      | : ۱۳۹۷ س ۲ ۸۶ ب / ۶۸۴ TA   |
| رده بندی دیویی      | : ۷۲۴/۶  |
| شماره کتابشناسی ملی | : ۵۳۸۴۹۷۴  |

### اداره چاپ و انتشارات دانشگاه گیلان

|               |  |
|---------------|--|
| نام کتاب      | : سازه های دیاگرید، سیستم/اتصالات/جزئیات |
| مؤلف          | : تری مایر بواک                          |
| مترجمان       | : دکتر امیر رضا کریمی آذری               |
| ویراستار علمی | : دکتر مجتبی پور احمدی                   |
| ویراستار ادبی | : هوشنگ سپهری                            |
| نوبت چاپ      | : اول، ۱۳۹۷                              |
| ناشر          | : انتشارات دانشگاه گیلان                 |

\* هر گونه چاپ و تکثیر فقط در اختیار انتشارات دانشگاه گیلان است.\*

## فهرست

- پیشگفتار دکتر.ادمین باسون.....۷
- مقدمه.....۹
- جدول
- زمانی.....۱۱
- ۱- روند همکاری.....۱۶**
- دیاگرید چیست؟.....۱۷
- از شخوف تا فاستر.....۱۸
- اهمیت همکاری.....۱۹
- نقش اطلاعات مدلسازی سازه.....۱۹
- چرا دیاگرید را انتخاب کنیم؟.....۲۲
- تصمیم دیاگریدی مرحله به مرحله.....۲۳
- ۲- انقلاب دیاگرید.....۲۶**
- تولد دیاگرید در سازه گرایی روسی.....۲۷
- تأثیرات جنبش مدرن.....۳۰
- گنبدهای ژئودزیک و سازه های فضاکار.....۳۲
- ضرورت تیپ بندی هسته دیاگریدی.....۳۶
- اولین ساختمان اداری دیاگریدی.....۳۹
- ساختار سازه های دیاگریدی معاصر.....۴۲
- هنگام انتخاب سازه.....۴۳
- ۳- اصول سازه های معاصر دیاگریدی.....۴۷**
- مفهوم و تعریف کاوش در قابلیت های دیاگرید.....۴۸

- کاوش امکانات سیستم های شبکه مورب..... ۵۰.....  
 انتخاب مواد ساخت ..... ۵۱.....  
 فواید سازه ای..... ۵۱.....  
 اولین ساختمان های دیاگریدی معاصر..... ۵۳.....

#### ۴- نیازهای فنی..... ۷۹.....

- طراحی برای کارایی..... ۸۰.....  
 تست باد..... ۸۲.....  
 طراحی لرزه ای..... ۸۸.....  
 سیستم های حفاظت حریق..... ۹۱.....  
 امنیت ساکنین..... ۹۲.....  
 پوشش های اسپری ضد حریق..... ۹۲.....  
 لوله های فولادی پر شده از بتن..... ۹۳.....  
 روکش های ضخیم..... ۹۶.....

#### ۵- مدول و پیماننه..... ۹۸.....

- مسایل مقیاس و شکل..... ۹۹.....  
 حوزه رفتار سازه ای..... ۱۰۱.....  
 حوزه انتخاب مدول..... ۱۰۲.....  
 تعمیم مدلها برای رفتار سازه ای ساختمان های بلند..... ۱۰۵.....  
 تنیدن اعضای دیاگریدی..... ۱۰۷.....  
 مدول ها و شرایط گوشه ها..... ۱۱۰.....  
 تاثیر مدول ها بر اتصالات..... ۱۱۳.....  
 اندازه مدول ها برای ساختمانهایی با اندازه و شکل متنوع..... ۱۱۴.....  
 مدولهای کوچک، دو تا چهار طبقه..... ۱۱۵.....  
 مدول های متوسط شش تا هشت طبقه..... ۱۱۷.....  
 مدول های بزرگ ، بالای ده طبقه..... ۱۱۸.....  
 مدول های بی قاعده..... ۱۲۰.....

#### ۶- طراحی اعضا و گره ها..... ۱۲۴.....

- گره چیست؟..... ۱۲۵.....  
 انتخاب مصالح..... ۱۲۶.....  
 پیش فرض های طراحی گره ها (نمونه برج مجله هرست و سوییس آر ای تاور) ..... ۱۲۷.....  
 تأثیر گسترش بر اعضا و گره ها..... ۱۲۹.....  
 سیستم های پنهان..... ۱۳۰.....  
 سیستم آشکار معمارانه..... ۱۳۱.....

- تطبیق گره ها با سیستم پنهان..... ۱۳۳
- تطبیق گره ها با سیستم آشکار..... ۱۳۷

#### ۷- طراحی هسته سازه..... ۱۴۸

- مصالح رایج در ساختمان های بلند..... ۱۵۰
- تاثیر واقعه ی یازده سپتامبر بر این طراحی ..... ۱۵۱
- کاربرد هسته در یک ساختمان دیاگراید..... ۱۵۴
- هسته های قاب فولادی ..... ۱۵۵
- هست های مسلح بتنی..... ۱۶۴

#### ۸- ساخت و ساز..... ۱۷۹

- معضلات امنیت..... ۱۸۰
- نمایان بودن معمارانه در برابر پنهان بودن سازه..... ۱۸۵
- اقتصاد در زمینه پیش ساختگی..... ۱۸۷
- تاثیر انتخاب گره ها بر توسعه سازه..... ۱۸۸
- معضلات حمل و نقل..... ۱۹۰
- معضلات سایت..... ۱۹۲
- حفظ ایستایی طی برپا سازی ..... ۱۹۵

#### ۹- طراحی نما..... ۱۹۸

- دیوار پرده ای و طراحی نما..... ۱۹۹
- شیشه بندی مثلثی..... ۲۰۱
- شیشه بندی راست گوشه..... ۲۰۵
- تمیز کردن و نگهداری..... ۲۱۰

#### ۱۰- دیاگرایدهای خارجی و سیستم دولایه دیاگراید..... ۲۱۶

- دیاگراید خارجی..... ۲۱۷
- خیابان شلی ، سیدنی ، استرالیا..... ۲۱۹
- برج کانتون، گوانجو، چین..... ۲۲۲
- او-۱۴، دبی، امارت..... ۲۲۵
- کاربرد سیستم دولایه..... ۲۲۸
- ساختمان لیدنهال، لندن، انگلیس..... ۲۳۱
- برج دوحه ، قطر..... ۲۳۳
- برج البهار ، ابوظبی ، امارات..... ۲۳۴
- کپیتال گیت ، ابوظبی ، امارات..... ۲۳۷

۱۱- مدارک پروژه ها ..... ۲۴۰

|     |   |
|-----|---|
| ۲۴۲ | ..... ساختمان لیدنهال ، لندن ، انگلیس   |
| ۲۵۳ | ..... کپیتال گیت ، ابوظبی ، امارات      |
| ۲۶۰ | ..... برج کانتون ، گوانجو ، چین         |
| ۲۶۳ | ..... مرکز دارایی گوانجو ، چین          |
| ۲۶۸ | ..... برج دوحه ، دوحه ، قطر             |
| ۲۷۳ | ..... ژونگو زون بیجینگ ، چین            |
| ۲۷۵ | ..... سوپر برج لوتوس ، سئول ، کره جنوبی |

۱۲- ضمیمه

|     |                            |
|-----|----------------------------|
| ۲۸۴ | ..... نمونه کتب منتخب مرجع |
| ۲۸۵ | ..... یادداشتها            |
| ۲۸۶ | ..... مدارک تصویری         |
| ۲۸۷ | ..... فهرست مطالب          |
| ۲۸۸ | ..... فهرست بناها          |
| ۲۸۹ | ..... فهرست اشخاص          |
| ۲۹۰ | ..... درباره نویسنده       |

تقدیم به دانشجویان عزیز معماری ورودی ۱۳۹۱ دانشکده معماری و هنر دانشگاه گیلان  
و قدردانی از مهندس بهزاد طورانداز که در به ثمر رساندن این ترجمه من را همراهی کردند.





## پیشگفتار

سازمان جهانی فولاد مفتخر است که حامی ویژه ی سازه های دیاگراید است. سیستم/اتصالات/جزئیات، طراحی های لبه برش فولاد را در قالب طراحی ساختمانی به نمایش می گذارد. سازه های دیاگریدی در آمریکای شمالی، اروپا، آسیای شرق و استرالیا واقع شده اند که در واقع کاربرد نوآورانه ی فولاد را در جهان به نمایش می گذارند. در فعالیت های ساختمانی هر ساله مقدار زیادی فولاد بدلیل استحکام، شکل پذیری و تطبیق پذیری آن در موارد مختلف استفاده می شود. ما به طور قطع بر این باوریم که فولاد پایه ی اصلی اقتصاد جهانی است.

فولاد هدایتگر اصلی اقتصاد جهانی است. صنعت فولاد در جهان بیش از دو میلیون نفر را به طور مستقیم و دو میلیون نفر را به صورت پیمانی به استخدام خود دارد و علاوه بر آن ۴ میلیون نفر در صنایع وابسته مشغول به کار هستند. این قابلیت فولاد است که زمینه را برای خلق شهرهایی متفاوت و بناهایی در تمامی اشکال و ابعاد ایجاد می کند که به خلق فضایی الهام آور برای زندگی، کار و تفریح منجر می شود.

قابلیت های کششی فولاد بر تمامی مصالح ساختمانی دیگر برتری دارد و به همین دلیل است که بهترین پاسخ برای ابرسازه ها و دهانه های عریض و طولیل پل ها است دیاگریدها نیز قابلیت های فولاد را گسترش دادند و موفق به خلق سیستمی جدید و منحصر به فرد شده اند که دامنه ای نامحدود از شکل های معماری را فراهم می کند.

فولاد پایدار، هسته ی اصلی اقتصاد سبز است. فولاد ساخته شده در ۱۵۰ سال پیش همچنان می تواند بازیافت شود و در محصولات و موارد جدید مورد استفاده قرار گیرد. مقدار انرژی مورد نیاز برای تهیه ی یک تن فولاد در سی سال اخیر به مقدار ۵۰ درصد کاهش یافته است و بدین شکل به گزینه ای مناسب برای سازه ی ساختمان تبدیل شده است. ۹۷ درصد از محصولات فولاد می تواند دوباره مورد استفاده قرار گیرد. هنگامی که به آینده ی ساختمان هایمان جهت "طراحی جداسازی قطعات" می نگریم، به وضوح فولاد بهترین گزینه است که به ما اجازه ی استفاده ی دوباره و بلافاصله را از اجزای ساختمانی می دهد. همچنین آنچه که امکان استفاده ی مجدد نداشته باشد، می تواند در چرخه ی بسته بازیافت قرار گیرد و عملاً هیچ فولادی هدر نمی رود.

فولاد همه جای زندگی ما حضور دارد، از قوطی های کنسرو گرفته تا کاربری های مختلف، اتومبیل ها و ساختمان هایی که در آن کار و زندگی می کنیم. امروزه بخش سکونت و ساخت ساز با استفاده از حدود نیمی از کل فولاد تولیدی جهان، عمده ترین استفاده ی فولاد محسوب می شود.

فولاد، امن، نوآورانه و چالش پذیر است. صنعت فولاد امروز متعهد به تأمین امنیت و سلامت مردمان و متعهد به هدف والای "کارگاه های بدون مصدومیت" است. حفظ این امنیت در هیچ کجا به اندازه ی صنعت ساخت و ساز که آهنگران و استادکاران جوشکاری با چندین تن از قطعات طویل فولاد در بلندترین ارتفاعات مشغول به کار هستند، اهمیت ندارد. یکی از فواید سازه های دیاگریدها پیش ساخته بودن آنهاست. طراحی آنها پیشرفته ترین نرم افزارهای طراحی و ساخت را می طلبد که به کمک این نرم افزارها این امکان وجود دارد که این سازه به صورت پیش ساخته در پایگاه ساختمانی اجرا شده و بدین ترتیب کار در ارتفاع را به حداقل برساند.

ما عمیقا براین باوریم که این کتاب پل ارتباطی میان فولاد و ساختمان را مستحکم تر می کند.

## دکتر ادوین باسوون

سرپرست ارشد سازمان جهانی فولاد

### قدردانی

تشکر ویژه از دفتر معماری آروپ در لندن که فضایی را برای حضور بنده جهت برگزاری جلسات اختصاص دادند و امکان دسترسی به کتابخانه ی وسیع و بانک اطلاعاتشان را نیز سخاوتمندانه فراهم ساختند.

این هدف والا با همکاری و سخاوتمندی جمع کثیری از افراد و به ویژه افراد مذکور ممکن شد.

ArcelorMittal,  
Ateliers Jean Nouvel,  
Brookfield  
Multiplex  
Australasia, Peter  
Chipchase (Arup),  
Council on Tall  
Buildings and Urban  
Habitat, D+H  
Steel, Damian Eley  
(Arup), Elizabeth C.  
English, Neb  
Erakovic (Yolles),  
Foster + Partners,  
Alistair Fussell  
(Steel Construction  
New Zealand), Bryan  
Hamilton  
(Aedas), William  
Hare Structural  
Engineers, Vincent  
Hui, Leslie E.  
Robertson Associates,  
London Legacy,

دیاگریدها به عنوان یکی از خلاقانه ترین و تطبیق پذیرترین سیستم ها برای ساخت سازه های ساختمانی در هزاره ی معاصر اثبات شده اند. دیاگریدها به عنوان یک سیستم سازه ای، به ظرفیت های آهن چه در طراحی و چه در ساخت و استقرار بستگی بسیار دارند. همچنین در مسیر موفقیت یک پروژه ی دیاگریدی، همکاری و هماهنگی میان معمار، مهندس و سازنده ی فولاد ضروری و مهم است.

متن پیش روی تحقیقاتی را گسترش می دهد که تحت عنوان "درک طراحی فولادی (راهنمای طراحی معماری)" در سال ۲۰۱۱ منتشر شد. از آنجایی که ساخت اکثر بناهای دیاگریدی تا سال ۲۰۰۲ به اتمام رسیده و هم چنان هم در حال رشد هستند، این عنوان به نظر مقدمه ای مناسب برای بررسی های پیش رو پیرامون مسئله طراحی های لبه برش فولادی است. اکثر بناهایی را که پیرامون تحقیق خود جهت تألیف این کتاب در چند سال اخیر بررسی کردم، از لحاظ شکل و تطبیق پذیری منحصر به فرد هستند و نیز نقاط متشکی هم دارند. شناسایی این نقاط مشترک و بررسی طرح، پایه های تألیف این کتاب را ایجاد کرده اند.

طراحی سازه ای دیاگرید، مستلزم احاطه ای کامل بر هندسه ی قائم سازه های فولادی است. احاطه ای که با علم برآن، همان اتصالات سازه ای به نقاط اتصال یا به اصطلاح گره تبدیل می شود که پیش نیاز تبدیل سازه های غیر استاندارد به بهترین اشکال ممکن است. به وسیله ی یک مقیاس بندی کلی یا به اصطلاح ضریب، مکان های استقرار گره را می توان مشخص کرد. این زاویه مندی مشخصا بر نماسازی آن تأثیر می گذارد. توانایی دیاگریدها برای تحمل تمامی بارهای جانبی،

Kyoung Sun Moon,  
 Miroslav Munka,  
 Ahmad Rahimian  
 (WSP Cantor  
 Seinuk), Rogers Stirk  
 Harbour +  
 Partners, RUR  
 Architecture, David  
 Ryan (Australian  
 Steel Institute), Jeff  
 Schofield (ADNEC),  
 Skidmore,  
 Owings & Merrill,  
 TFP Architects,  
 Walters Inc., Warren  
 and Mahoney  
 Architects and Chris  
 Wilkinson (Wilkinson  
 Eyre Architects).

و تشکری ویژه از مهندسانی  
 که با علم و هنر خود ساختمان  
 های دیاگرید و این معماری الهام  
 آور و دلربا را خلق کردند.

سازه های دیاگریدی معاصر را مورد تحلیل قرار می دهد  
 تا با اولویت های موجود در روند طراحی آشنا شویم (فصل  
 های ۴ تا ۱۰). بخش سوم به جزئیاتی بیشتر و نگاهی دقیق  
 تر بر برخی از همین پروژه ها می پردازد (فصل ۱۱).

تعداد زیادی از عکس های موجود در کتاب توسط خودم  
 در سفرهایم گرفته شده است. در مواقعی که امکان حضور بنده  
 جهت تهیه ی تصاویر نبود و یا به خاطر ویژگی هایی ساختمان  
 مهم و یا متمایز از دیگر بناها بود، مدارک دقیق و تصاویر آن را  
 از مهندسین ، معماران یا سازندگان در محل اخذ شد که  
 اسامی آنها در انتهای کتاب ذکر شده است. با سپاس فراوان  
 بابت همکاری های لازم و مدارکی که در اختیار قرار گرفت تا  
 این تحقیق چنین پربار و ارزشمند شود. این کتاب بدون کمک  
 و همکاری های سخاوتمندانه ی سازمان جهانی فولاد ممکن  
 نمی شد.

## جدول زمان بندی

جدول پیش رو، ساختمان های مذکور در متن کتاب را از ابتدایی ترین بناهای شوخوف تا به دوران معاصر نشان می دهد که همسو با رشد و توسعه ی سازه های دیاگریدی باشند اند. البته این را نمیتوان لیست کاملی از تمامی سازه های این دسته دانست. ساختمان های منتخب از سال ۱۹۶۰ تا معاصر، کلیتی از این گروه را ارائه می دهند و شمایی از پیشرفت این سیستم در طول زمان هستند.



۱۹۶۳

(ایالات متحده، پیتزبرگ)

ساختمان IBM

ارتفاع: ۱۳ طبقه

نوع سیستم: سازه ی

پنهان

معماران: کرتیس و دیویس



۱۸۹۶-۱۹۱۹

برج های شوخوف (روسیه)

ارتفاع: حدود ۳۵۰ متر

نوع سیستم: شبکه ای

بدون پوشش

طراح: ولادمیر شوخوف



۱۹۹۶

پورتا د اوروپا (اسپانیا،

مادرید)

ارتفاع: ۱۱۴ متر-۳۷۴

فوت-۲۶ طبقه

نوع سیستم: هسته ی

مورب

معمار: جانسون و برگی

مهندس: لسلی و با

همکاری رابرتسون



۱۹۹۰

برج بانک چین (چین،

هنگ کنگ) ارتفاع: ۳۶۷ متر-

۱،۲۰۵ فوت-۷۲ طبقه

نوع سیستم: هسته ی

مورب

معمار: آی. ام. پی

مهندس سازه: لسلی



۱۹۶۹

مرکز جان هنکاک

(ایالات متحده-شیکاگو)

ارتفاع: ۳۴۴ متر-۱،۱۲۸

فوت-۱۰۰ طبقه

نوع سیستم: هسته ی

مورب

معمار و مهندس: سم



۲۰۰۶ برج مجله هرست

(ایالات متحده، نیویورک)  
ارتفاع: ۱۸۲ متر - ۵۹۷ فوت -  
۴۶ طبقه

نوع سیستم: سازه ی

پنهان

معمار: فاستر و همکاران

کانتر

مهندس: WSP سینوک



۲۰۰۸ برج توراودو (قطر) -

دها) ارتفاع: ۱۹۵ متر - ۶۴۰  
فوت - ۵۱ طبقه / نوع سیستم:  
سازه ی نیمه پنهان / معمار:

CICO.SAIT



۲۰۰۴ سویس ری (انگلستان،

لندن) ارتفاع: ۱۸۰ متر - ۵۹۰  
فوت - ۴۰ طبقه - نوع سیستم:

سازه ی پنهان

معمار: فاستر و همکاران

مهندس: آروپ



۲۰۰۸ برج کانتون (چین،

گوانگژهو)

ارتفاع: ۶۰۰ متر - ۱،۹۶۹  
فوت نوع سیستم: برج

توریستی، آی.ای.ای خارجی

معمار: مارک هم، باربارا

کوییت، آی.بی.آ.

مهندس: آروپ



۲۰۰۲ شهرداری لندن

(انگلستان، لندن) ارتفاع: ۱۰  
طبقه

نوع سیستم: سیستم

نگهدارنده شیشه

معمار: فاستر و همکاران

مهندس: آروپ



۲۰۰۶ موزه سلطنتی

اونتاریو) کانادا، تورنتو)

ارتفاع: ۶ طبقه

نوع سیستم: سازه ی

پنهان

معمار: لیبسکیند، برگمن و

هامان

مهندس: آروپ



۲۰۱۴ نیستیتو فناوری  
مانوکا (نیوزلند، آکلند)

نوع سیستم : سیستم  
آ.ای.اس.اس جهت محافظت از  
شیشه ها  
معمار: وارن و ماهانی  
مهندس: گروه مشاوره ی  
هالمر



۲۰۱۰

**Guangzhou IFC**  
ارتفاع: ۴۳۹ متر  
نوع سیستم : آ.ای.اس.اس  
Wilkinson Eyre  
Architects



۲۰۱۲ One Shelley  
Street

ارتفاع: ۱۱ طبقه  
نوع سیستم : سازه ی  
پنهان  
معمار: فیتزپاتریک و  
همکاران



۲۰۱۲ برج های البهار  
(ابو دهبی)

ارتفاع: ۱۴۵ متر ۴۷۶  
فوت- ۲۹ طبقه  
نوع سیستم : کندوی عسل  
معمار: Aedas  
مهندس: آروپ



۲۰۱۱

کپیتال گیت  
ارتفاع: ۱۶۵ متر-۵۴۰  
فوت- ۳۶ طبقه  
نوع سیستم : دیاگرید  
آ.ای.اس.اس  
معمار: RMJM  
مهندس: RMJM



(چین، شن)  
۲۰۱۱-KK100 (ژن)

ارتفاع: ۴۴۲ متر-۱،۴۹۹  
فوت- ۱۰۰ طبقه  
نوع سیستم : هسته مورب  
معمار: معماران TFP



۲۰۱۲ برج الدوحه - ارتفاع  
 ۲۳۸ متر:  
 نوع سیستم : پنهان و  
 آی.اس.اس  
 Terrell Group,  
 China Construction



با انکانا - ۲۰۱۲  
 ارتفاع: ۲۳۷ متر  
 نوع سیستم : آی.اس.اس  
 Foster + Partners  
 w/ Zeidler  
 Partnership



۲۰۱۲ ArcelorMittal  
 Orbit Tower  
 ارتفاع: ۱۵۰ متر  
 نوع سیستم : آی.اس.اس  
 Anish Kapoor,  
 Cecil Balmond



۲۰۱۲ - (چین)  
 CCTV (بیجینگ)  
 ارتفاع: ۲۳۴ متر - ۷۶۸  
 فوت - ۵۴ طبقه. نوع سیستم:  
 پنهان و آی.اس.اس -  
 معمار: رم کولهااس  
 مهندس: آروپ



۲۰۱۱ - ساختمان مرکزی  
 الدهر  
 ارتفاع: ۱۱۰ متر  
 نوع سیستم : دیاگرید  
 پنهان  
 MZ Architects



۲۰۱۰  
 O-14  
 ارتفاع: ۱۰۶ متر  
 نوع سیستم : دیاگرید  
 بتنی  
 RUR Architecture  
 Reiser + Umemoto





۲۰۱۶- ساختمان

لیندینهال

ارتفاع: ۲۲۴ متر

نوع سیستم: آی.اس.اس

Rogers Stirk

Harbour + Partners



۲۰۱۵- برج ابر لوته

ارتفاع: ۵۵۵ متر

نوع سیستم: طرح ساخته

نشده



۲۰۱۴- گوانجو زون

ساخته نشده - ارتفاع

: ۵۲۸ متر

Architect: TFP

Architects

Engineer: Arup



### 1- روند همکاری

- دیاگرید چیست؟
- از شخوف تا فاستر
- اهمیت همکاری
  
- نقش اطلاعات مدلسازی سازه
  
- چرا دیاگرید را انتخاب کنیم؟
- تصمیم دیاگریدی مرحله به مرحله

## دیاگرید چیست؟

پروژه ی ساخت  
برج سوییس ری در  
انگلستان - لندن که  
توسط فاستر و همکاران  
و با مشارکت گروه  
آرپ در سال ۲۰۰۴ به  
اتمام رسید، نقطه ی  
شروع تکامل و کاربرد  
سازه های نوین  
دیاگریدی باشند است.

در طول ده سال اخیر، سازه های دیاگرید نشان داده اند که قابلیت  
تطبیق پذیری بسیار بالایی با انواع و اقسام ساختمان ها، دهانه ها و  
اشکال دارند. در اکثر موارد، دیاگریدها مقاومت سازه ای در ساختمان  
هایی با پوشش غیر خطی ایجاد می کنند که مطابق و همسو با سازه  
های بسیار زاویه دار و با اشکال منحنی است. دیاگرید ها در خالص  
ترین شکل ممکن خود، این توانایی را دارند که تمامی بارهای گرانشی  
و جانبی را بدون کمک هسته ی سازه ای سنتی تحمل کنند.

واژه ی دیاگرید متشکل از دو واژه ی (diagonal = قطری) و  
(grid = شبکه) باشند و به سیستمی سازه ای اطلاق می شود که  
طبیعتی یکپارچه در ضخامت اعضا داشته و این یکپارچگی سازه ای  
خود را به وسیله ی مثلث بندی به دست می آورد. این سیستم می  
تواند به صورت صفحه ای، بلور شکل و یا به صورت مجموعه ای از  
منحنی ها اجرا شوند؛ که در واقع از اشکال بلوری یا منحنی ها در جهت  
افزایش سختی و مقاومت سازه به کار می رود. هم ضخامت بودن  
اعضای سازه ای دیاگرید، تمامی سیستم های سه بعدی مثلث بندی  
شده همچون قاب بندی های فضایی، خرپاهای فضایی و یا سازه های  
ژئودوزیک را متمیز می کند. اگرچه لازم بذکر است که بسیاری از  
پیشرفت های سیستم دیاگریدی از جزئیات همین سیستم های سازه  
ای نام برده منشأ می گیرد.

سیستم های سازه ای دیاگریدی که در این کتاب به آنها خواهیم  
پرداخت، برای پوشش ساختمان ها استفاده می شود و به طور عمده به  
عنوان سیستم محاط کننده ی ساختمان های متوسط الی مرتفع به کار  
برده می شود که معمولاً بارهای گرانشی و جانبی ساختمان را تحمل  
می کردند و علاوه بر آن پوششی بر صفحات کف ایجاد می کند.

این سیستم به طور عمده برای سقف هایی با دهانه وسیع و بدون ستون استفاده می شود که خواستگاه سیستم دیاگرید در این کاربرد سیستم سازه ای لاملا (صفحه ای) است که در آن از مصالح متنوعی استفاده می شود اما اولویت با چوب است. در اکثر موارد کاربرد سیستم لاملا، سعی بر استفاده از شبکه الماس شکل است و از مثلث بندی (برخلاف دیاگریدها) اجتناب می شود. ایده های مربوط به سیستم سازه ی چوبی لاملا، کمک شایان توجهی به تکامل شبکه های مشبک فولادی می کردند است. جزئیات شبکه ی مشبک فولادی، مشخصاً با محیط سازه ای دیاگرید برای ساختمان های بزرگ متفاوت است (این نوع از سازه در کتاب دیگر این نویسنده با عنوان "درک طراحی فولادی (راهنمای طراحی معماری در بخش ۱۲\_ فولاد و سیستم شیشه ای)" ذکر شده است). در این کتاب نیز پیرامون طراحی دیاگرید و فنونهای آن بر پایه ی مطالب مقدماتی فصل ۹ (سیستم های قاب بندی پیشرفته) و کتاب مذکور دیگر کاوش خواهیم کرد.

### از شخوف تا فاستر

اصول اولیه ی تیپ بندی سازه ی دیاگریدی، بر مرز دو رشته ی مهندسی و معماری قرار دارد. نخستین بررسی ها توسط مهندس روس تبار، ولادمیر شخوف، با این هدف آغاز گشت که سیستم سازه ای برای حل مسائل و نیازهای صرفاً عمرانی و عملکردی ایجاد شود؛ که الزاماً نمی توان آن را معمارانه دانست. بررسی ها و جزئیات اولیه و انتخاب مصالح کاملاً عملکردگرا و ساده بود. همچنین قابل توجه است که نورمن فاستر، اثر شخوف را به عنوان منبع الهام آور برای آثار خود در زمینه ی دیاگریدها معرفی می کردند است. این موضوع، نقش برج های شخوف به عنوان خواستگاه و منبع الهام ساختمان هایی مانند برج سوییس ری و برج مجله ی هرست را تأیید می کند. همچنین این امکان را به ما می دهد تا روند تغییر جزئیات این سیستم از برج های اغراق آمیز و مخروطی و بی معنا به سمت سازه ای که نیاز به تحمل بارهای کف و پوشاندن ساختمان را بر عهده می گیرد را مورد بررسی قرار دهیم. این امر، تغییری شگرف در نقش سازه بود که در طراحی، جزئیات و پروژه های ساختمانی بسیار حائز ارزش است، این دگرگونی توسط شخص نورمن فاستر و گروه معماری آروپ در برج های سوییس ری و هارست اتفاق افتاد و تصمیمات اتخاذ شده در پروسه ی طراحی این دو برج، موجب تبیین ابعاد موضوع دیاگرید تا به امروز شده است.

## اهمیت همکاری

مبحث همکاری در ساخت سازه های دیاگریدی، نسبت به سایر سیستم های سنتی از اهمیت بسیار بالاتری برخوردار است. در شرایطی که فولاد نمایان با اهداف معمارانه به کار برده شود، حق انتخاب جزئیات ساخت در جهت زیباسازی ساختمان محدود شد و نیاز به مشارکت و همکاری بیشتر می شود. در هر دو حالت استفاده ی پنهان یا نمایان فولاد در سازه های دیاگریدی، مبحث همکاری به دلیل پیچیدگی سازه و همچنین کمبود تجربه ی مرتبط در بین معماران، مهندسان و سازندگان در زمینه ی طراحی و اجرای دیاگرید ها، همچنان مهم تلقی می شود.

در جریان افزایش استفاده از فولاد نمایان در دو دهه ی اخیر، مدیریت و مراحل اجرا و طراحی پروژه های دیاگرید دستخوش تغییر شده است. در شرایطی که فولاد پنهان از لحاظ جزئیات و نمونه های اجرا شده به امری عادی تبدیل شده است، علم سازندگان آن نیازمند ارتقاء بیشتر است. تنها سازندگان سازه های فولادی با تجربه می توانند در این زمینه تیم ساخت را در مشکلات احتمالی در جزئیات، طراحی، انتخاب اعضا و اتصالات و رویه ی نصب و اجرا کمک کنند، که موجب صرفه جویی زمان و هزینه در پروژه نیز می شود.

اگرچه گفته می شود که استفاده از سیستم سازه ای دیاگریدی می تواند موجب صرفه جویی ۲۰ درصدی در وزن فولاد مصرفی شود، اما این امری پیوسته قابل استناد نیست. هزینه های مهندسی و ساخت این نوع سازه در مقایسه با انواع سنتی آن و یا حتی نمونه های سازه های پنهان فولادی می تواند بیشتر باشد. حتی در مواردی که فولاد سازه به صورت نمایان نیست، دقت در ساخت گره ها و اعضا و اتصال آنها به هم از جهت هزینه و سهولت ساخت و ساز حائز اهمیت است. نکته ی جالب این است که در اکثر متون و مقالات منتشر شده در مورد سازه های پیچیده ی فولادی، به سازندگان آنها اشاره ای نمی شود در حالی که آنان نقشی اساسی را در این پروسه ایفا می کنند.

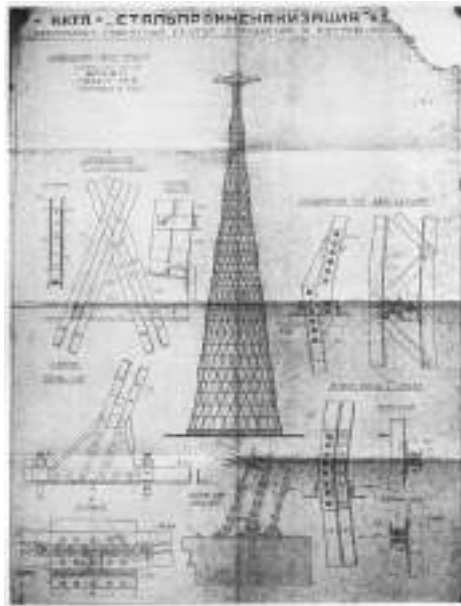
## نقش مدلسازی اطلاعات ساختمانی

ترسیمات فنی و مهندسی در طی سی سال اخیر به شکل قابل توجهی تغییر یافته است. ساخت قاب های فولادی راست گوشه را می توان حاصل بلوغ این ترسیمات در قرن بیستم دانست.

اکثر این سازه های فولادی این امکان را دارند تا تمامی نیروهای سه بعدیشان را بر روی سطوح دو بعدی تحلیل کنند. اما گونه ای از سازه به نام برج های عظیم مخروطی که شخوف ارائه می داد، مطابق با امکانات و درک عمده ی مهندسان آن دوران بود.

این نکته اجتناب ناپذیر است که شکوفایی و ظهور این نوع از سازه همزمان با ظهور سیستم های کامپیوتری در ترسیمات مهندسی اتفاق افتاد. پیشرفت مدلسازی اطلاعات ساختمانی<sup>۲</sup> نقش محوری در طراحی و محاسبه ی سازه های پیچیده بر عهده داشت. هندسه های پیچیده نسبت به سازه های معمولی خطی، در ترسیم گره ها، اتصالات و محاسبه ی بارگیری به دقت بیشتری نیازمند هستند. درشرایطی که نرم افزارهای پیشرفته ای مانند کاتیا<sup>۳</sup> به معمارانی چون فرانک گهری امکان خلق اشکال منحصر به فرد منحنی را داد، همسو با آن نرم افزارهایی مانند اکس/استیل برای کمک به مهندسين، ترسیم کنندگان جزئیات، طراحان و سازندگان چنین اشکال پیچیده ای ایجاد شده بود. در سال ۲۰۰۴ نرم افزار اکس/استیل به نوع جدیدتر آن یعنی تکلا ارتقاء یافت که کاربرد ها و ابزارهای پیچیده تری را فراهم ساخت. امکانات بالای محیط کار در مسیر همکاری موفق میان معماران، مهندسين سازه و سازندگان نقش بسزایی دارد. این نرم افزار همچنان در حال ارتقاء است تا کارایی و سهولت بیشتری را فراهم آورد.

تصویر پیش رو، یکی از ترسیمات فنی شخوف از برج رادیوی شاپولوکا در سال ۱۹۱۹ است. جزئیات ترسیمی و ابزارهای مورد استفاده ای که در گونه های دیاگریدی آن زمان معمول بود، نشان داده شده است. هنده ی کلی برج از یک نمونه ی هندسی دیاگریدی نشأت می گیرد. جزئیات آن برای سازندگان نیز اهمیت داشته چراکه طبق آن اتصالات و سازه را پیش می بردند.



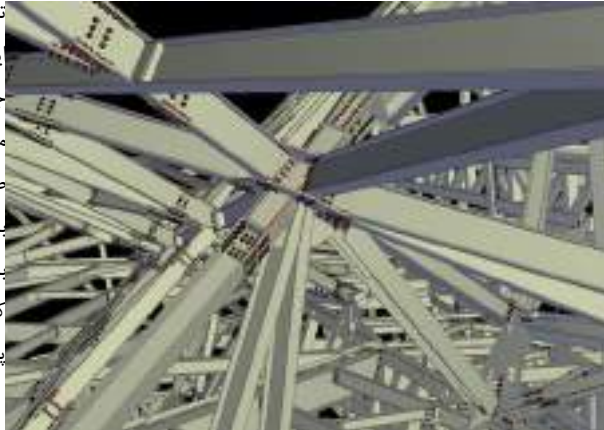
ترسیمات سازه ای حاصل از نرم افزار هایی همچون تکلا، بنتلی<sup>۱</sup> و نرم افزارهای مشابه، نقشی حیاتی در مراحل طراحی و ساخت ایفا می کنند. این ترسیمات توسط سازندگان فولاد و با استعانت از دانش مهندسان و در جهت ریزه کاری اتصالات به کار برده می شود. همچنین می توان برای درک بهتر اتصالات، این تصویر و ترسیمات سه بعدی را به صورت جز به جز و بزرگنمایی شده مورد بررسی قرار داد و هرکدام را مشاهده و اصلاح کرد.

این تصویر سه بعدی از سیستم کف سازه ای برج بانکانا<sup>۲</sup> واقع در کالیاری کانادا است که توسط فاستر و همکارانش طراحی شده است. این سازه یک مدل بی.آی.ام می باشد که سازندگان فولاد در طراحی، ساخت و ترسیمات تجاری از آن استفاده می کنند. این نمونه توسط کمپانی والترز،



یکی از طراحان فولادی این پروژه، ترسیم شده است.

این تصویر نمونه، موزه ی رویال  
اوتناریو واقع در کانادا، تورنتو است که  
توسط دنیل لیبسکیند طراحی و  
توسط گروه والترز، سازنده ی فولاد  
این پروژه، ترسیم شده است، مراحل  
جزئی مدلسازی آن را به خوبی نشان  
می دهد. نمونه ی رقمی، اندازه های  
صحیح و ضخامت اعضا را در بر دارد و  
به سازندگان این امکان را می دهد که  
به میزان پیچیدگی سیستم دست پیدا  
کنند تا بتوانند به درستی اتصالات  
پیچی و جوشی را تعبیه کنند.



این گونه مدلسازی ها می تواند جایگزین مؤثری برای مدلسازی های فیزیکی باشد که علاوه  
بر هزینه های بالا، موجب تأخیر در اجرای پروژه نیز می شوند. در این مدل ها، رنگ های شماتیک  
به سازندگان این امکان را می دهد تا به طور کاملاً واضح سیستم را تشخیص داده و مجموعه  
ترسیماتی را ارائه دهد که مطابق با ترتیب نصب باشد. ترسیمات تجاری که برای ساخت تمام اعضا  
و اتصالات مورد نیاز است از همان مدل اصلی استخراج می شود. استفاده از چنین سیستمی، به  
سطح بالایی از کیفیت اجرایی در ساخت عناصر مورد نظر می انجامد که عملاً به حصول مقاومتی  
بالتر و نصبی بهتر کمک می کند.

### چرا دیاگرید را انتخاب کنیم؟

دیاگریدها به انتخابی معمارانه در طراحی و ساخت ساختمان های معاصر بدل شده اند.  
اگرچه دلایل مهندسی محکمی وجود دارد که استفاده از دیاگرید را طرح می کند، اما بحث  
پیرامون این موضوع با مهندسين در نهایت به این فرجام می رسد که معماری نقش الهام بخشی را  
در این حوزه ایفا می کند. دیاگریدها می توانند به صورت اشکال هندسی مختلفی مانند منحنی  
های پیچیده و در زوایای مختلف خلق شوند؛ درحالی که هیچ سازه ی دیگری این ریسک را نمی  
پذیرد.



این سیستم از فواید و نکات مثبت اقتصادی گوناگونی از جمله موارد زیر برخوردار است:

-افزایش پایداری بر اساس مثلث بندی.

-ترکیب نیروی گرانس و بارهای جانبی ساختمانی که به طور بالقوه کارایی بیشتری را به

ارمغان می آورد.

-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 می شود

-توانایی پوشش ساختمانی برای بسیاری از اشکال سازه ای

از دیدگاه مدیریت طراحی و ساخت پروژه نیز نکات مثبتی وجود دارد که بسیار حائز اهمیت

است:

-سطح بالایی از همکاری میان معماران، مهندسين 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 چشمگیر تر باشد.

-منطبق شدن علم و تجربه ی معماران و مهندسين 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 پروژه ها با افزایش استفاده از امکانات تجاری همراه

است.

-سطح بالای ارتجاعی بودن اعضای سازه به قاب های آنان پایداری می بخشد.

پروسه و کرد بیرونی تمامی پروژه های این دسته ساختمان ها در حال حاضر موجود نیست؛ ولی

در پی بررسی سطح وسیعی از این نوع ساختمان ها در این کتاب به صورت یک به یک به تحلیل

آنان خواهیم پرداخت.

### تصمیمات دیاگریدی ، مرحله به مرحله

ساختار این کتاب به گونه ای است که به طور گسترده به بررسی جزئیاتی می پردازد که اساس بخشی از این تصمیم گیری ها را تشکیل می دهد.

#### تصمیمات اولیه:

- تمایلات معمارانه در برابر سازه ای
- اشکال معماری (نرم گوشه در برابر راست گوشه - عادی در برابر غیرعادی)
- ارتفاع و اندازه یا مقیاس مرتبط با پروژه
- کاربری ساختمان
- تصمیمات ضد حریق در پروژه ( فولاد نمایان معمارانه - سیستم پنهان یا محافظت شده)

#### تصمیمات ثانویه:

- اندازه و ابعاد نمونه ی لوزی شکل اولیه

#### \*طراحی گره

- سیستم فولادی نمایان
- سیستم فولادی پنهان

#### \*طراحی هسته

- نیاز به بار اضافی وجود ندارد.
- جهت آماده سازی بارهای جانبی اضافی در ساختمان های بلند به هسته نیاز است.

#### -معضلات ساخت پذیری

- هندسه ی مشخص در برابر هندسه ی نامشخص
- سطح بندی محوطه
- حمل و نقل و دسترسی

-امکانات تجاری و اتصال به سایت

### **\*طراحی نما**

- تاثیر بیانات سازه ای برنمای خارجی
- الگوی چهارگوش نگهداری شیشه
- الگوی سه گوش نگهداری شیشه

### **\*دیاگریدهای خارجی**

- جای گذاری دیاگرید خارج از دیوار گرمایشی
- استفاده از دیاگرید برای نگهداری یک
- جای گذاری دیاگرید خارج از دیوار گرمایشی
- استفاده از دیاگرید برای نگهداری یک پوشش ثانویه

تنوع گسترده ای از ساختمان ها در فصول مختلف کتاب مشاهده می شود. بسیاری از این ساختمان ها به عنوان نمونه ارائه شده اند و اطلاعات مربوطه با همکاری و سخاوتمندی معماران، مهندسين سازه، سازندگان و افراد دخیل در پروژه گرد آمده است.



## ۲- انقلاب دیاگرید

- تولد دیاگرید در روسیه
- تأثیرات جنبش مدرن
- گنبد های ژئودزیک و سازه های فضاکار
- ضرورت تیپ بندی هسته دیاگریدی
- اولین ساختمان اداری دیاگریدی
- ساختار سازه های معاصر دیاگریدی
- هنگام انتخاب سازه

سازه های مشبک اریب، به عنوان یکی از نوآورانه ترین و تطبیق پذیرترین ابزارهای ساختمان سازی در هزاره ی معاصر پدیدار شده اند. استفاده از دیاگریدها به عنوان یک زبان سازه ای معاصر برای ساختمان ها، در اوایل هزاره ی دوم آغاز شد؛ همچون شهرداری لندن (۲۰۰۲)، برج سوییس ری در لندن (۲۰۰۴) و برج مجله ی هارست در شهر نیویورک (۲۰۰۶). فاستر و همکارانش، طراح معماری هر سه ی این بناها بودند. اروپ مسئولیت مهندسی پروژه های لندن، و وی.اس.پی کانتور سینوک خدمات مهندسی هارست را به عهده داشتند.

بسیاری از برج های دیاگریدی ولادیمیر شوخوف که در سال ۱۸۹۶ ساخته شد، هنوز به عنوان اولین نمونه های دیاگرید فولادی پا بر جا هستند.

این پروژه ها نیز همچون کارهای اولیه های تک نورمن فاستر، به طوری بود که زبان سازه ای آنها به تمامی جنبه های طراحی شان نفوذ کرد. چالش های ویژه مهندسی، ساخت و نصب که طبیعتا از منحرف شدن از استانداردهای فناوری سازه های فلزی منتج می شوند، مستلزم سطح بالاتری از همکاری در چنین پروژه هایی است. نوآوری و کاوش های سابق فاستر در زمینه ی معماری های تک، شرکتی با مهارت های مشارکتی قوی ایجاد کرده است.

### تولد دیاگرید در سازنده گرایی روسی

با وجود موج جدید ساخت ساختمان های دیاگرید، تاریخ شروع آن به حدود ۱۰۰ سال پیش برمی گردد. نورمن فاستر از کار معمار سازنده گرای روسی ، ولادیمیر شوخوف (۱۸۵۳-۱۹۳۹) به عنوان نمونه ی ایده های برج دیاگرید خود یاد می کردند است. شوخوف یکی از پرکارترین مهندسان و معماران زمان خود باشند که مسئولیت خلق صدها سازه، پل و سقف های خربایی با دهانه های بزرگ را بر عهده داشته است.

خلق یک سیستم سازه ای جدید توسط سازنده گرایان روسی، به طور قابل توجهی از روش های قاب بندی استاندارد در گذشته متفاوت بود که از تعدادی فاکتورهای مشابه حاصل شد. صنعتی سازی در اواخر قرن ۱۹، کاملاً در نوسان بود. اختراع فولاد سازه ای به روش بسمر در اواخر قرن ۱۹ مصالحی را به وجود آورد که به مراتب قوی تر از مصالح پیش از آن بود. فولاد، توانایی تولید انبوه در پروفیل ها و مقاطع استاندارد را دارد. همچنین فولاد دارای خواص کششی بسیار بالایی در مقایسه با آهن ورزیده یا چدن است. این امر موجب شد تا آزمایش انواع اشکال سازه ای ممکن شود و برای تراکم، به ظرفیت بهینه محدود نباشد. دیگر نیازی به پرهیز از تنش های کششی نبود و به زودی کشف شد که در بهره جستن از ظرفیت کششی و سبکی بصری این مصالح جدید مزیت هایی وجود دارد.

اختراع اسکلت فولادی، عملکرد سازه ای کالبد را از دیواره های خارجی تفکیک کرد؛ بنابراین در اواخر قرن ۱۸، به مصالح سازه ای غالب در ساختمان ها تبدیل شد. توسعه های اجرایی در بتن مسلح، از فولاد پیروی کرد؛ اما در اواخر قرن بیستم بود که ماشین های پمپ بتن، ساختمان سازی به وسیله ی بتن مسلح را ممکن ساختند تا بتوان به ارتفاعات بالا دسترسی پیدا کرد.

سازه های خرپای فلزی در اوایل دهه ۱۸ مورد استفاده قرار گرفت و برای اولین بار در ساخت پل و پس از آن برای سقف های با دهانه های بزرگ وفق داده شد. این سازه ها به طور نمونه از آهن ورزیده ساخته شدند، چنانکه به طور قابل ملاحظه ای بهتر از چدن ایفای نقش می کند ( هرچند که در مقایسه با فولاد نوین ضعیف است). در سال ۱۸۴۷، مهندس آمریکایی، "کار بر روی ساختمان پل" را تألیف کرد و روش ها تحلیلی برای اعمال نیرو در خرپاها تهیه کرد. استحکام ذاتی سازه های سه گوش پیش تر از قرن سوم قبل از میلاد توسط یونانیان شناخته شده بود؛ همچنین در کتاب ویتروویوس با عنوان " ده کتاب در باب معماری " نیز از آن یاد شده است.

با این حال، در ابتدای اختراع فولاد مدرن بسیاری از سازه ها نمی توانستند از پتانسیل ایجاد شده از نیرو های کششی قطری استفاده کنند: در بیشتر ساختمان هایی که در دوران انقلاب صنعتی ساخته شده اند، اصول سازه ای که قرن ها مورد استفاده باشند رعایت شده است. هنگامی که در طی قرن ۱۸ رشته ی مهندسی سازه پدیدار و نقش معمار و مهندس از هم منفک شد، ساختمان های پیچیده با توجه به ابزار محاسبه ی اولیه که در آن دوران موجود بود، چالش های

جدیدی را برای مهندسان ایجاد کرد. مسلماً مهندسان و فیزیکدانان از طراحی سازه بر اساس پیش بینی استفاده می کردند، اما ریاضی پایه هنوز هم به هندسه ی اقلیدسی به عنوان بنیان خویش وابسته بود که به اشتباه به سازه های غیر خطی نام گذاری شده اند.



اولین برج دیاگریدی که توسط ولادیمیر شخوف در سال ۱۸۹۶ طراحی شد.

در سال ۱۸۲۹، ریاضی دان روسی به نام نیکولای ایوانوویچ لوباچوسکی، با استفاده از مورد سطح منحنی مضاعف، یک تکذیبیه علیه منطق اقلیدسی منتشر کرد که منجر به بنیان گذاشتن هندسه ی غیر اقلیدسی شد. با اینکه هندسه ی خیالی جدید او در آن دوران به طور گسترده مورد پذیرش قرار نگرفت ولی بر دنباله رویان وی تأثیر گذار بود. بر اساس تحقیقات تاریخی که توسط الیزابت سی. انگلیش صورت گرفت، ارتباط مستقیمی بین دستاورد های ریاضی لوباچوسکی و اکتشافات سازه ای ولادیمیر شخوف وجود داشت.

"ایده سازه های دیاگرید" و اولین بنای ساخته شده دیاگریدی به نام ولادیمیر شخوف ثبت شده است. این طرح شامل یک برج کارا و قابل ساخت برای حمل یک وزن گرانشی سنگین در بالای خود بود؛ یک برج آبی. "برج شخوف" که در پولیبینو ی روسیه واقع شده است، در سال ۱۸۹۶ طراحی شد و طرح آن به استفاده از شبکه بندی اریب زوایای فولادی متکی باشند است. باریک شدن سازه از پایه تا بالا از یک منحنی سهمی پیروی می کند. این برج با استفاده از سازه ی ظریف نواری از پنج طبقه ی عظیم تشکیل شده که به هم پیوسته هستند و بدین سبب منجر به کاهش اندازه ها می شود و یک تلسکوپ وارون را به ذهن متبادر می کند. شکل منحنی این برج در اثر لاغری زوایای فولادی و خودنگهداری حاصل از حلقه ها پدیدار می شود. این برج توخالی است و نیازمند اندکی مقاومت در برابر وزن باد است. این مهم با استفاده از یک نردبان فولادی که در داخل آن تعبیه شده است، به دست می آید. شخوف با ساخت ۲۰۰ برج با استفاده از این سیستم اعتبار یافته است.

با اینکه وقتی لاغری مقاطع فولادی به صورت منحنی های سهمی درآمدند، خمیدگی هایی به وجود آمد، اما شکل دیاگرید با استفاده از بخش های مستقیم که در نقاط گره ای تقاطع پیدا می کردند ظهور یافت. در برج شخوف از مقاطع فولادی بلند تر و هم پوشانی آن ها در نقاط تقاطع نسبت به استفاده از تقاطع ها به عنوان گره تمایل بیشتری وجود داشت که بعد ها به سبک ژئوذریک و سازه های فضاکار معرفی شد.

آنچه بسیار در این کاوش اهمیت دارد و کاربرد این روش را برای برج های بلند ممکن می کند این است که شکل دیاگریدی هم می تواند وزن سازه ای و هم وزن جانبی را بدون نیاز به سازه ی اضافی تحمل کند؛ اما در مقایسه، نوع جدید آسمان خراش ها که در این دوره در حال توسعه بودند، بارهای سازه ای دیوار های خارجی و کف ها را تنها به کمک یک قاب فولادی و یک هسته ی مرکزی که استقامت لازم در برابر نیروی باد را فراهم کند، تحمل می کردند. در شرایطی که مقاومت اضافی مورد نیاز است، هسته بیشترین بار را تحمل می کند.

نوآوری مهم دیگر، برون یابی ایده ی سازه ای شخوف بود که برای اولین بار برج ها را به سازه هایی با دو سقف منحنی گونه مجهز کرد. این سقف ها تطبیق پذیری بر طبق خواست او را که همان هندسه ی غیر اقلیدسی بود به نمایش گذاشتند. در شرایطی که کارکرد برج به لحاظ هندسی شبیه به هم اما در بلندا و قطر ها متفاوت بود، کارکرد سقف این اجازه را داد که با استفاده از ایده های قاب بندی قطری حد بیشتری از بار نسبت به پتانسیل های هندسی تحمل شود.

سبکی و ظرافت ساختار برج دیاگرید شوخوف در نهایت موجب بی ارزشی آنها شد. ماهیت آشکار مواد و همچنین انتخاب بخش ها و اتصالات سبک وزن موجب زوال آن شد. بسیاری از بخش های آن نیز در خطر ویرانی هستند. زیربنای برج شوخوف توسط نوه ی پسری شوخوف پابرجا مانده است تا تلاش هایی را برای بازگردانی برج و جلوگیری از خرابی آنها هدایت و رهبری کند. ([www.shukhuv.org](http://www.shukhuv.org))

### تأثیر جنبش مدرن

قدرت محض و محبوبیت جنبش مدرن و استایل بین المللی آن، آزمایش های سازه ای و شکل های معماری غیرخطی را به گوشه ای فرستاد. اگرچه خرپاها و سقف های طاقی و ستونی تقویت شده با خرپا همچنان بخشی از سیستم های سازه ای را که در طول قرن بیستم استفاده می شدند



تشکیل می دادند، شبکه ی قطری به سادگی و به خودی خود ناپدید شد. همان طور که سازه های بلند در طول قرن تکامل یافته اند، سیستم های استحکام ترجیح دادند که از ستون ها برای تحمل بار قائم، و از سایر روش های تقویت اتصال غیر رسا برای مقاومت نیروهای جانبی همانند بارهای باد استفاده ی ترکیبی کنند.

طراحی ساختاری آسمان خراش های فولادی، در ترکیب با کیفیت ساخت بالا، در فولاد مقاومت بالا با اطمینانی منعکس شد که منجر به حذف سیستم های افزونه شد. سیستم های مهاربندی، به ویژه آن هایی که از عضوهای قطری استفاده می کنند، حذف شدند؛ زیرا در طراحی فضاهای داخلی مداخله می کردند و ارتفاع بین طبقات را افزایش می دادند. در حالی که شبکه های مورب مسیرهای متناوب بارگذاری را درون سیستم شان و به شکل شبکه های قطری ارائه می دهند، قاب های معمول نمی توانند این مسیرها را ارائه دهند. کارل کاندیت<sup>۱</sup>، مورخ مشهور معماری، در توصیف برج ۱۹۱۳ وولورث<sup>۲</sup> در شهر نیویورک که در آن زمان بلندترین سازه در جهان بود، چنین بیان می کند:

"قاب طاقی برج وولورث تا طبقه ی بیست و هشتم ادامه می یابد. در طبقات بالاتر، تا طبقه ی چهل و دوم، مهاربندی از طریق یک سیستم دوگانه مهاربندی زانویی محکم شده است که در آن زانوها در بالا و پایین تیرآهن و ستون های تقویتی آن قرار گرفته اند. قاب وولورث می تواند به راحتی شدیدترین طوفان ها را تحمل کند؛ به هر حال این توزیع افراطی فولاد در گچ بری ها و مهاربندی ها به عنوان یک افزونگی گران قیمت از فولاد، به همراه قربانی کردن نالازم فضاهای عمودی بین طبقات، در نظر گرفته می شود. توسعه ی فولاد مقاومت بالا، اتصالات جوشی و فنون جدید پیچ و مهره و میخ کردن، حذف این اشکال اضافی را در سازه هایی حتی بلند تر از وولورث امکان پذیر کرد."

همچنین ساختمان امپایر استیت<sup>۳</sup> که در شهر نیویورک قرار دارد و در سال ۱۹۳۱ پایان یافته است، با حذف مقدار بسیار زیادی از فولاد افزونه که برای تقویت اتصالات مورد استفاده قرار گرفته بود، نوع مهاربندی پرهزینه ای را که در برج وولورث استفاده شده بود، ساده کرد. در این قاب، تیرآهن ها به سادگی به اندازه ی کل عمقشان به ستون تقویتی پُرچ شدند و تیرها به اندازه ی کل

<sup>1</sup> Carl Condit

<sup>2</sup> 1913 Woolworth Tower

<sup>3</sup> Empire State Building

عمق شان به تیرآهن ها پرچ شدند. مهاربندی های مثلثی در اتصالات حذف شدند؛ زیرا با ارتفاع خالی بین طبقه ای مداخله داشتند. در هر صورت، سازه ی هسته که آسانسور ها و پله های خروجی را در خود جا می داد، قاب فولادی بود؛ موردی که کمیاب باشند و در عین حال یک ویژگی معمول سازه های شبکه مورب است. کاهش ارتفاع بین طبقه ای می تواند سبب افزایش حجم در فضای شهری شود که به معنای درآمد بیشتری از اجاره است.

ساخت و ساز آسمان خراش ها برای جایگزینی پرچ ها با پیچ و مهره ها، به مدت چندین دهه به همین شکل باقی ماند. همچنان که ارتفاع سازه ها بلند تر می شدند و در معرض بارهای باد بیشتر قرار می گرفتند، انواع جدیدی از سیستم های مهاربندی لازم بودند تا سازه را تقویت کنند، و در واقع به شکل ساده، بایستی به عنوان یک طره ی بسیار بلند عمل می کردند. درجایی که اتصالات تیر به ستون مقاومت خمشی ناکافی بودند، مهاربندی  $X$  و  $K$  اضافه می شدند و معمولا در داخل و نزدیک هسته قرار می گرفتند تا آن را تا حد امکان ساده سازند؛ برای مثال هیچ تأثیری روی طراحی نما یا جریان رفت و آمد داخل ساختمان نداشته باشد.

همان طور که ملزومات سیستم های مکانیکی افزایش بیشتری یافت، این مهاربندی ها در طبقات و فواصل مشخص در سرتاسر ارتفاع سازه قرار داده می شدند. از ساختارهای خرپایی به عنوان یک روش استحکامی در این طبقات استفاده می شد. از دیدگاه طراحی، این طبقات خرپایی می توانستند به سادگی در حالی که یک دیوار پرده ای<sup>1</sup> استاندار مشخص را تقویت می کنند، در داخل پلان نما جا داده شوند.

### گنبد ژئودزیک و سازه های فضاکار<sup>2</sup>

از لحاظ تأثیر بر موضوع ساختار و جزئیات سازه های شبکه ی مورب، می توان گفت که ابداع و توسعه ی سازه های فضاکار و ژئودزیک، به عنوان پوششی برای برج های سهمی وار هذلولی گون شوخوف، حائز اهمیت بودند. گنبدهای ژئودزیک، سازه های فضاکار و شبکه های مورب همگی استحکام مورد نیاز خود را از شکل مثلثی می گیرند. جزئیات مربوط به گنبدهای ژئودزیک و سازه های فضاکار بر روی جزئیات واژگان، مهندسی و ساخت شبکه های مورب تأثیر گذاشته است.

<sup>1</sup> curtain wall

<sup>2</sup> Geodesic Domes And Spaceframes

هتل ماندارین واقع در شهر پکن در چین، که توسط OMA طراحی شده است و در طول بازسازی خود در سال ۲۰۱۱ (پس از آتش سوزی ۲۰۰۸) نشان داده شده است، تغییر معاصر از کاربرد یک سازه ی فضاکار را نشان می دهد. در شرایطی که کار ارزان تر است، غیر معمول نیست که اتصالات جوشی درخواست شوند. با در برداشتن کاربردهای فضاکار مبتنی بر سیستم های سنتی، اتصال گوی شکل می تواند تعداد زیادی از واحدها را در داخل قطب خود حفظ کند. هر چه تعداد واحدها بیشتر باشد، در نتیجه انتقال بار چشم گیرتر شده و گره ها بزرگ تر می شوند.



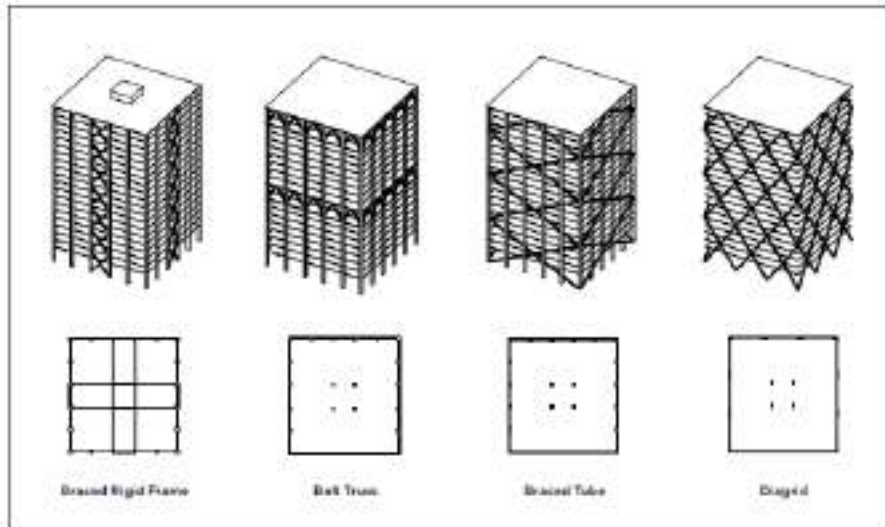
همان طور که پیشتر اشاره شد، به طور کلی پیشرفت های فنی مربوط به خرپاها برای توسعه ی استحکام سازه ای حائز اهمیت بودند؛ زیرا شکل مثلث به طور ذاتی مستحکم است. در هر صورت، به طور کلی، از خرپاها برای ایجاد تقویت ساختار یا شکل کلی سازه استفاده نمی شد؛ خرپاهای اولیه به صورت ابتدایی به عنوان واحدهای پوشش دو بعدی دو سطحی ایجاد شدند تا تقویت کف یا سقف را فراهم کنند. علاوه بر آن، خرپاها مفهوم سیستمی از واحدهای متصل به هم را ایجاد کردند که این واحدها نیروهای خود را به سمت نقاط گره انتقال می دادند، با این نتیجه که در درجه ی اول طراحی گره ها اتصال فیزیکی واحدها را فراهم می کرد و از هم محور شدن محور خنثای هر واحد متصل اطمینان حاصل می کرد تا نیروهای فشاری و کششی خالص را به داخل فولاد هدایت کند. گره ها لزوماً با ملاحظات زیبایی و پیش سازی کنترل نشده و عموماً به عنوان عاملی که به خوبی ساخته و بیان شده باشد، شناخته نمی شدند.

در مقابل، گره های گنبد های ژئودزیک و سازه های فضاکار اولیه مخصوصاً طراحی می شدند تا سبب اتصالات سریع و استاندارد شوند و تعداد زیادی از واحدها را در یک قطب مرکزی به هم متصل کنند. این گره ها معمولاً به عنوان اشیاء قابل شناسایی فیزیکی، از پیش ساخته شده بودند و قسمتی از سیستم را شکل می دادند. به طور معمول، سازه ای از این نوع دارای عمق تقریباً یک واحد است و استحکام خود را از طریق تجمع سه بعدی مثلث ها به دست می آورد.



پارک مقاله ی جهانی  
فراری واقع در ابوظبی، امارات  
متحده عربی که توسط  
معماران بنوی طراحی شده  
است، از یک شکل سنتی  
سیستم فضاکار برای ساخت  
سقف ۲۰۵۰۰۰ متری-۲،۲  
میلیون فوتی خود استفاده  
می کند. اندازه ی واحدها  
مطابق با ملزومات بارگذاری  
آنها تغییر می کنند و گره  
های کروی شکل طراحی شده  
اند تا تعداد ۱۲ عضو متقاطع  
را جا دهند.

برای اهداف انتقال بار، گره ها در خرپاها، گنبد های ژئودزیک و سازه های فضاکار به صورت  
اتصالات مفصلی یا گیره ای طراحی شده اند. این مسئله به این معناست که این گره ها برای انتقال  
نیروهای خمشی یا لزوما سخت بودن، طراحی نشده اند. سختی سازه به صورت تدریجی از طریق  
افزودن مجموعه های مثلثی ای از واحدها و گره های آنها حفظ می شود. واحدها تمایل دارند که  
کوتاه باشند و در نتیجه نسبتا به راحتی بالا برده شوند و در حین ساخت از خود مقاومت کنند.  
برخی اختلافات سازه های فضاکار، مانند هتل ماندارین در پکن، به استفاده از سیستم های  
سنگین تر با درجه ی کمتری از پیش سازی، استحکام کمتری در نوع و اندازه ی واحدها، و به  
استفاده از نسبت بالاتری از جوش تمایل دارند.



این شکل‌ها استفاده از سیستم‌های مهاربندی قطری را در نوع سازه‌های بلند نشان می‌دهد. درجایی که قاب صلب مهاربندی شده و مورب‌های خرپای کمربندی، اغلب درون یک الگوی قاب دیوار پرده‌ای سنتی تجمیع می‌شوند، هر دو سیستم لوله‌ای مهاربندی شده و شبکه‌های مورب، از مقیاس خود برای تغییر شکل طرح استفاده می‌کنند تا حضور خود را نشان دهند.



مهاربندی قطری مرکز جان هنکاک واقع در شیکاگو، ایلینوی، ایالات متحده آمریکا که توسط سَم طراحی و در سال ۱۹۶۹ تکمیل شد، به وضوح سیستم مهاربندی جانبی را به عنوان قسمتی از زیبایی‌نما، نشان می‌دهد.

### ضرورت تیپ بندی هسته یا دیاگرید

تکامل برج های بلند به دو فاز تغییر انواع قاب ساختاری تقسیم می شود. در نتیجه ی مستقیم حذف ستون های عمودی به عنوان وسیله ای برای تحمل بارهای قائم، شبکه ی مورب به وضوح از تمامی انواع دیگر سازه ها جدا می شود. سیمای تعیین شده ی شبکه های مورب در جزئیات نما یک ویژگی مشخصه ی برجسته ی دیگر است. حتی در موردهایی که در آن یک دیوار پرده ای مستطیلی به سازه ی شبکه ی مورب اعمال می شود، مانند مرکز تجاری بین المللی در گوانجو، شبکه های مورب بزرگ در سرتاسر نمای شیشه ای بسیار شفاف، قابل رؤیت است.

با اتمام مرکز ۱۰۰ طبقه ی جان هنکاک در سال ۱۹۶۹ در شهر شیکاگو که توسط سَم طراحی شده است، طوقه ی لوله ای مهاربندی شده معرفی شد که اولین ظهور مجدد عمده ی یک مهاربندی قطری مشخص در یک سازه ی بلند به شمار می رفت. برای اینکه ابعاد بزرگ تری از شیشه و تعداد کمتری ستون های عمودی ایجاد شوند، واحدهای بزرگ مورب بر روی هم قرار داده شدند تا ارتفاع کل سازه را مهاربندی کنند. ستون های عمودی که از پشت به هسته قاب شده بودند، بارهای قائم را تحمل می کردند و شبکه های مورب که به اجبار مشخص و آشکار بودند، نیروهای جانبی را جذب می کردند. در جایی که سازه ی قبلی، مقاومت نیروی جانبی و قائم سیستم ستون و تیر را با اتصالات مقاومت خمشی تحمل می کرد، مرکز جان هنکاک این ایده را معرفی کرد که این دو سیستم می توانند از هم جدا شده و به صورت مختلفی در معماری مشخص شوند.

تنها با طراحی مرکز جان هنکاک و معرفی لوله های مهاربندی شده بود که معماران متعهد شدند تا مهاربندی را در طراحی نما جای دهند و در نتیجه یک رویکرد مهندسی را به حوزه ی طراحی معماری وارد کنند. درحالی که برج های قبلی از قانونی پیروی می کردند که ابعاد پلان یک شکل را در سرتاسر ارتفاع سازه حفظ می کرد، مرکز جان هنکاک به شکل مخروطی بود. درجایی که طرح های قبلی با پله هایی که دارای مسیر مستقیم بودند برج را عقب می کشیدند تا زیربنا را کاهش دهند، مهاربندی های قطری زاویه هایی را معرفی کرد که منجر به تغییر پنجره ها در گوشه های ساختمان می شد. مرکز جان هنکاک اولین برج مدرن مخروطی بود و برای بازرسی های بیشتر مربوط به هندسه، به عنوان یک نمونه مطرح شد.



بانک برج چین که در هنگ کنگ، چین، توسط I.M. Pei طراحی و توسط همکاران زلزلی ای. رابرتسون مهندسی شده است، در سال ۱۹۹۰ به پایان رسید. از ساختار و خطوط سیستم مهاربندی قطری برای تقویت تغییرات در شکل ساختمان استفاده شده است.

یک قاب صلب مهاربندی شده و خرپای کمربندی، به سادگی درون وضعیت کنونی دیوار پرده ای به کار برده شده و در پشت شکل راست خطی آن پنهان می شدند. امروزه معماران مهاربندی قطری را نشان می دهند، اما زمانی که ابتدا معرفی شد نیاز به مهاربندی متداول نبود و معمولاً حضور آن در طرح نما تأیید نمی شد. بانک برج چین در هنگ کنگ که در سال ۱۹۹۰ توسط I.M. Pei طراحی و توسط شرکت همکاران زلزلی ای. رابرتسون مهندسی شده است، بار دیگر از تقویت قطری مشخص در اثر نمای خود استفاده کرد. سازه ی بلند ۳۶۷ متری/۱۲۰۵ فوتی از سیستم ترکیبی فولاد و بتن برای جذب بارهای قائم و جانبی استفاده کرد. به علاوه، از مهاربندی های قطری بزرگ برای تنظیم شکل ساختمان با ایجاد نقاط شکست منشور مانند مثلثی، استفاده شد. شبکه های قطری بخشی از سیستم ترکیبی جاذبه و باد است و به عنوان واحدهای جعبه فولادی ساخته شده اند که برای تعدیل و استحکام بیشتر با بتن پر شده اند. عملکرد ترکیبی مواد سازنده ی عناصر سازه ای، یک سازه ی مخروطی فضاکار را ایجاد کرد که به ۵۰ درصد فولاد کمتری نسبت به سازه های قاب فولادی معمول نیاز داشت.

ساختمان یک لوله ی مربعی به ارتفاع ۱۷۰ فوت/۵۲ متر در یک سمت است و توسط شبکه های قطری به چهار منشور مثلثی تقسیم شده است. ستون های عمودی از نمای سازه دور شده اند و هیچ تأثیری روی طرح نما ندارند؛ با دیدن قسمت خارجی تکمیل شده این طور به نظر می رسد که هیچ ستون عمودی وجود ندارد. نتیجه ی تنظیم خرپای عمودی فضاکار این است که تقریباً همه ی بارهای قائم از طریق شبکه های قطری به ستون های چهار گوشه منتقل می شوند. یک نوآوری منحصر به فرد در سیستم ترکیبی بتن و فولاد استفاده از ابرستون های بتنی در گوشه های ساختمان است که اتصال مهاربندی های بزرگ قطری را فراهم می کند. به جای اتصالات فولاد به

فولاد، انتهای مهاربندی های فولادی درون ستون های بتنی در گوشه ها جاسازی شده اند (برای اطلاعات بیشتر، فصل ۶: طراحی گره و واحد را مشاهده کنید).

در زمان پایان کار سازه، بانک برج چین بلندترین ساختمان در آسیا بود. چالش هایی در مورد شرایط محیطی باد در هنگ کنگ وجود داشت که در آن بارهای باد با سرعت ۱۴۳ مایل بر ساعت / ۲۳۰ کیلومتر بر ساعت، دو برابر بیشتر از سرعت باد در شهر نیویورک است و سازه ای که در منطقه ی زلزله خیز لس آنجلس ساخته شده است دارای چهار برابر بارگذاری جانبی است. پی و رابرتسون این طرح سازه ای اکسپرسیونیست را انتخاب کردند تا این جنبه از ملزومات طراحی را در شکل سازه منعکس کنند.



این تصویر در سال ۱۹۸۸ از بانک برج چین در هنگ کنگ، در اصل توسط رکورد اخبار مهندسی و در طی بحثی در خصوص مزایای سیستم ساختاری ترکیبی به چاپ رسید. دسته بندی واحد ها و ارتباط بین شبکه های قطری بزرگ برای محکم کردن سازه یه وضوح مشخص است.

در شرایطی که مرکز جان هنکاک و بانک برج چین از این جهت با هم متفاوت اند که شبکه های قطری آنها برای رساندن شکل سازه مورد استفاده قرار گرفته اند، هر دو طرح میزان آشکاری شبکه های قطری را در نما محدود می کنند تا بیشتر از سیستم های دیوار پرده ای استاندارد راست خطی برای پوشش استفاده کنند. بانک برج چین، بر خلاف مرکز جان هنکاک، در پلان مربعی اولیه، استفاده از ستون های عمودی را برای نقاط اتصال مثلث ها محدود می کردند است تا دیوارهای پرده ای با وجود ستون های عمودی قطع نشوند. تأثیر وجود شبکه های مورب بیشتر در فصل ۹: طراحی نما مورد بررسی قرار خواهند گرفت.



## اولین ساختمان اداری تقویت شده با شبکه ی مورب

اولین سازه ی تقویت شده با شبکه ی مورب به عنوان یک آنومالی در بین جدول زمانی توسعه قرار می گیرد. ساختمان آی بی ام (IBM)، که اکنون ساختمان فولاد کاران متحد نامیده می شود، در سال ۱۹۶۳ در پیتزبورگ به پایان رسید و توسط کِرتیس (Curtis) و دیویس (Davis) طراحی و توسط شرکت لِزلی ای. رابرتسون مهندسی شده است. رابرتسون همچنین مسئول طراحی ساختاری بانک برج چین در هنگ کنگ بود که در سال ۱۹۹۰ پایان یافت. مشاهده خواهد شد که تنها بخش کمی از سیستم ساختاری خلاقانه ی شبکه ی مورب که توسط ساختمان آی بی ام نشان داده شده است، به طور مستقیم روی کارهای بعدی رابرتسون تأثیر می گذارد. در هر صورت، ماهیت پیش سازی عناصر و استحکام لوله ی اولیه به طور مستقیم بر طراحی سیستم ساختاری خارجی برج های مرکز تجارت جهانی در شهر نیویورک تأثیر می گذارد.

شبکه ی مورب در ساختمان آی بی ام، همزمان نقش سیستم تقویت سازه ای و روکش فلزی را ایفا می کند. در زمان ساخت و ساز آن در دهه ی ۱۹۶۰، بسیار عجیب به نظر می رسید که بر اساس جداسازی این دو عملکرد از اواخر دهه ی ۱۸۰۰ میلادی، از دیوار پرده ای کلاسیک آلومینیومی در ساخت و ساز سازه های بلند به صورت گسترده استفاده شود. بار خارجی در تنها ۸ نقطه، یعنی دو نقطه در هر سمت سازه، به زمین منتقل می شود. این مسئله قسمت های معلق قابل مشاهده ای را از این جفت تقویت های مرکزی به گوشه های سازه ایجاد می کند. شبکه ی مورب سازه ای فولادی پوشش شده اند تا از خوردگی جلوگیری شود.

اگرچه نقطه های تقویتی، با فضای باز در پایه ی هر چهار گوشه ی ساختمان، یک قسمت معلق بسیار بزرگ ایجاد می کند، اما تنظیم شبکه ی مورب به خوبی صورت گرفته است. شبکه ی الماس به صورت مؤثری از یک واحد الماس شکل برای هر ارتفاع طبقه به طبقه استفاده می کند و پهن ترین نقطه ی الماس را که پوشش شیشه ی نما را در سطح چشم قاب می گیرد، قرار می دهد. در مقابل، برخلاف سازه های آتی با شبکه ی مورب، تمامی سیستم ساختاری به شکل مثلث نیست. کلاف مخفی افقی تنها در سطح طبقات اتفاق می افتد که در آن سازه ی فولادی به کف متصل می شود تا نمای داخلی سازه بدون مانع باقی بماند.



ساختمان آی بی ام، در شهر پیتزبورگ، ایالت پنسیلوانیا، ایالات متحده ی آمریکا (اکنون به نام ساختمان فولادکاران متحد)، طراحی شده توسط کِرتیس و دیویس و مهندسی شده توسط لُزلی ای. رابرتسون که در سال ۱۹۶۳ به پایان رسید، اولین نمونه از یک سیستم سازه ای شبکه ی مورب فولادی است که برای تقویت طبقات یک سازه ی برج استفاده شد. با جدا شدن از سیستم دیوار پرده ای کلاسیک آلومینیومی، اسکلت شبکه ی مورب فولادی به استحکام کمک می کند که به وضوح در نما آشکار است.



این تصویر در حال ساخت ساختمان آی بی ام به وضوح ماهیت سبک شبکه های مورب را به عنوان سیستم تقویت خارجی سازه نشان می دهد. شرکت لُزلی ای. رابرتسون اشاره می کند که اصطلاح "شبکه ی مورب" در زمان ساخت استفاده نمی شد، اما این ساختمان اولین استفاده ی مدرن از این سیستم در نظر گرفته می شود. قاب های شبکه مورب مطابق با ملزومات استحکامی خود برای مونتاژ، با رنگ کد شده اند.

اگرچه سیستم پیش ساز ساخته شده برای ساختمان آی بی ام دقیقا هیچ گاه در سازه های شبکه ی مورب بعدی تکرار نشد، اما این ساختمان فن اولیه ای را که امروزه استفاده می شود، بنا نهاد: یک قاب لوله ای شبکه ی مورب محیطی که سیستم های مقاومت بار قائم و جانبی را با هم یکی می کند. ستون های عمودی در قسمت خارجی سازه و همچنین ستون های داخلی ساختمان حذف شدند و یک زیربنای بسیار باز ایجاد کردند. شبکه مورب خارجی به وسیله ی یک سیستم طبقه ی قاب فولادی به هسته متصل شد. هسته آن قابی فلزی بود اما به اندازه ی سازه های بلند قبلی تقویت نشد چون بارگذاری جانبی توسط شبکه ی مورب محیطی تحمل می شد. این سیستم شبکه ی مورب خارجی از جهت حذف سیستم ستون های عمودی برای بارهای قائم، از یک سیستم لوله ای محیطی سنتی متفاوت است. سیستم لوله ای شبکه ی مورب به صورت هم زمان بارهای جانبی و قائم را تحمل می کند بنابراین قاعده ی همراهی هسته ی مرکزی دیگر ضروری نیست. ملزومات مشخص هسته در مقاومت بار، با جزئیات در فصل ۷: طراحی هسته مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت.



پوشش شبکه ی مورب فولادی حالت بسیار خوبی را برای زیبایی نما ایجاد می کند. رنگ آمیزی شیشه ی نما بسیار نزدیک به رنگ آمیزی عناصر محکم و پُر پنل محیطی است.

قاب شبکه ی مورب خارجی برای محافظت خوردگی روکش شده است. از یک سقف وافل بتنی استفاده شده است تا به تقویت قسمت های معلق به گوشه های سازه کمک شود. شبکه ی مورب ساختمان آی بی ام به شکل واحدهایی با اتصالات ساختاری اولیه در نقاط میانی بین سطوح طبقات، از پیش ساخته شده بود تا مونتاژ محیطی را ساده سازد.



### ساخت و ساز دیاگریدی معاصر

در نگاه به گذشته، چندین عامل کلیدی در ظهور ساختار شبکه مورب معاصر نقش داشتند که در همان زمان فازهای کلیدی تغییر از برج های سهمی وار هذلولی گون شوخوف را مشخص می کنند:

- هنگامی که شوخوف به واحدهای برج های شبکه ی مورب خود اجازه داد تا به سادگی روی هم بی افتند و اغلب از طریق "گره های نظری" به صورت پیوسته ادامه یابند، ژئودزیک ها و سازه های فضاکار، فن اتصال گره ها را معرفی کردند و در نتیجه واحدها را در این نقاط حساس اتصال، ناپیوسته کردند.
- سازه های شبکه ی مورب از فنون پیش سازی و نصب استفاده می کنند که در ساخت سازه های فضاکار بسیار توسعه یافتند (اگرچه تفاوت های آشکاری به دلیل افزایش اندازه ی سیستم شبکه ی مورب و واحدهای آن وجود دارد).

افزایش بار و اندازه ی ترکیبی در سازه های شبکه مورب معاصر، عملکرد ساختاری گره ها را از یک اتصال گره یا مفصل به اتصالی که نیازمند مقاومت خمشی است، تغییر می دهد. ما مقاومت خمشی را بیشتر در فصل ۶: طراحی گره و واحد بررسی خواهیم کرد. همان طور که در فصل ۱: قابلیت ساخت مشاهده خواهیم کرد، مقاومت خمشی نیز برای کاهش نیازمندی به سیستم های موقت مقاومت در حین نصب لازم است، به طوری که واحدها می توانند به خاطر اتصالات بعدی که برای تکمیل مثلث خودشان است، با کمی انحراف از گره معلق شوند.

استفاده از یک سیستم مقاومت خمشی یا سیستم گره ای سخت شده برای اتصال واحدهای مستقیم شبکه ی مورب، روش مقاومت محیطی اصلی به دست آمده توسط شوخوف را به یک سیستم بار جانبی و قائم تبدیل کرد، که قابلیت تقویت سازه هایی با بارگذاری زیاد را دارد. افزایش اندازه ی واحدها سبب معرفی یک سیستم کف شد (که بخشی از نوع شوخوف نبود) که می توانست از سیستم شبکه ی محیطی تا هسته را پوشش دهد.

جایگزینی ساختار لوله ای شبکه ی مورب پایه در محیط سازه که نخستین بار در ساختمان های بی ام معرفی شد، به همراه مهاربندی آشکار و پس از افزایش اندازه، همان طور که اولین بار

در مرکز جان هنکوک معرفی شد، صحنه را برای بارگذاری اصلاحات سیستمی در جهت ظهور یک سیستم ساختاری شبکه‌ی مورب تعریف شده، آماده کردند.

## هنگام انتخاب سازه

ساخت هندسه‌های حلقوی و به هم پیچیده و اشکال منحنی معاصر به شدت ایجاب می‌کنند که یک رویکرد مثلثی فولادی می‌تواند رویکرد ساختاری مناسبی را عرضه کند. برای ساختمان‌های بزرگ‌تر که از چندین طبقه پشتیبانی می‌کنند، این کار می‌تواند شکل یک سازه‌ی شبکه‌ی مورب را بگیرد. در هر صورت، این مسئله به هیچ وجه بیان نمی‌کند که این رویکرد تنها یا حتی لزوماً بهترین رویکرد برای ساخت همه‌ی سازه‌های بلند معاصر است. برای سقف‌ها یا سازه‌های صدف شکل، یک شبکه‌ی توری می‌تواند مناسب‌تر باشد (درک طراحی فولاد، فصل ۱۲ را مشاهده کنید). توسعه‌هایی در مدل‌سازی ساختاری سه بعدی، این موارد را بسیار قابل مشاهده است. برای سازه‌های بلندی که بارهای جانبی و قائم چشم‌گیری را تقویت می‌کنند، تعدادی فنون برای گزینش وجود دارند.



سیستم ساختاری برای  
برج Chow Tai Fook (CTF)  
در گوانجو، چین،  
طراحی شده توسط کان  
پیدرسون فاکس و با همکاری  
آرپ، از یک رویکرد ابرستون  
استفاده می‌کند. این تصویر  
سازه در سال ۲۰۱۲، اندازه‌ی  
نسبی ستون‌ها و هسته‌ی بتن  
آرمه را در پایین‌ترین سطح  
ابربرج ۵۳۰ متری/۱۷۳۹ فوتی  
نشان می‌دهد.

ساختار هسته‌ای قطری نیز برای سازه‌های بلند معروف است. یکی از ویژگی‌های این نوع سازه، اندازه‌ی بزرگ‌تر شبکه‌های قطری است که واحدهایی را تا ۱۲ طبقه و به عنوان عملکردی از ابعاد کلی صفحه‌ی طبقات، ارتفاع، و شکل برج پوشش می‌دهند. سیستم هسته‌ی قطری از واحدهای قطری استفاده می‌کند تا مسیرهای بار عمودی عرضه شده توسط ستون‌ها را تکمیل کند. ناحیه‌ی بخش صلیبی شبکه‌های قطری قابل توجه است و می‌تواند دارای تأثیری شگرف بر طراحی نما و همچنین طراحی فضاهای داخلی باشد.

سیستم هسته‌ی قطری گاهی به همراه نوع جدیدی از قاب ترکیبی استفاده می‌شود که از ابرستون‌ها استفاده می‌کند، مخصوصاً در ابربرج‌ها که بارهای تجمیعی طبقه‌ای بسیار زیاد هستند. یک ابربرج که توسط انجمن سازه‌های بلند



مرکز فورچن گوانجو، یک سازه ی هسته قطری در شهر گوانجو، چین است. این تصویر در حال ساخت این ابر برج ۳۰۹ متر/۱۰۱۵ فوتی در سال ۲۰۱۲، و نیز استفاده ی دلخواه از بخش های مربعی ای که با بتن پر شده اند را نشان می دهد، ساختار فولادی یک روش ساخت و ساز متداول در چین است. این اتصالات روی ستون ها و شبکه های مورب جوش داده شده اند.



و منطقه شهری (CTBUH) ساخته شد، دارای ارتفاع حداقل ۳۰۰ متر/۹۸۴ فوت است. ابرستون ها می توانند تکرار ستون ها را، که گاهی به هشت می رسد، کاهش دهند اما همچنان برای

استحکام به هسته نیازمندند. همان طور که شبکه های قطری می توانند نما را محو کنند، یک سیستم ترکیبی هسته ی قطری با ابرستون ها می تواند همچنین اندازه ی نسبی شبکه های قطری را پایین نگه دارند، مانند برج KK100 واقع در شنژن که توسط معماران TFP و گروه آروپ طراحی شده و در ابعاد یک ابرسازه با ۴۴۲۰ فوت/۱۴۹۹ متر ارتفاع است.

ابرستون ها و ابر قاب ها حتی نسبت به شبکه های مورب نیز برای سازه ها جدید ترند. برج های مرتفع مانند برج شانگهای، که توسط معماران گنسلر و مهندسان Thornton Tomasetti Inc طراحی و مهندسی شده است، از یک ابرفریم هسته و مهاربازویی استفاده می کند تا با آیین نامه های ساخت و ساز در چین مطابقت کند. این برج برنامه ریزی شده بود تا به ارتفاع ۶۳۲ متر/۲۰۷۳ فوت برسد، برای مثال ۲۰۰ متر/۶۵۶ فوت بلند تر از مرکز تجارت بین المللی گوانجو که بلندترین برج شبکه ی مورب ساخته شده در زمان نوشتن این متن است.

مدل سایت برای برج KK100 در شهر شنژن، کشور چین، که توسط معماران TFP طراحی و توسط آروپ مهندسی شده است، استفاده از یک هسته را روی ساختمان بسیار مرتفع نشان می دهد. این تصویر در داخل این سازه و در مرکز ارائه ی طرح گرفته شده است. اندازه ی واقعی شبکه های قطری را می توان در پس زمینه مشاهده کرد.



ابربرج با ارتفاع ۶۳۲ متر/۲۰۷۳ فوت بسیار زیاد است. اندازه ی کارگر ساخت و ساز را در کنار پایین یکی از ستون های برج شانگهای ۱۲۸ طبقه ای در نظر بگیرید.

اینکه آیا یک سیستم قاب شبکه ی مورب یک رویکرد قابل مشاهده برای این دسته از ابربرج ها است یا نه، هنوز باید مشخص شود. انواع شبکه های مورب در طراحی های برج Zhongguo Zun در پکن، طراحی شده

توسط معماران TFP (۵۲۸ متر/۱۷۳۲ فوت، ۱۰۸ طبقه) (صفحه ی پروفایل پروژه را در صفحه ی ۱۷۰ مشاهده کنید) و ابربرج لاتنه در سئول، طراحی شده توسط سَم (۵۵۵متر/۱۸۱۸ فوت، ۱۲۳ طبقه) (صفحه ی پروفایل پروژه را در صفحه ی ۱۷۲ مشاهده کنید) هردو به سود دیگر رویکرد های ساختاری رها شده است.



نمایی از داخل یکی از طبقات مهاربازویی برج شانگهای. این خرپاهای بسیار بزرگ اندازه، از پشت به هسته ی بتنی بسته شده اند تا بتوانند سیستم کشش و کف را که از ابرستون ها معلق هستند، تقویت کنند. این رویکرد پیچیده شکل انحنای نامنظم برج را تسهیل می کند.

برخی از معضلات طراحی زمان انتخاب سیستم ساختاری مناسب، تأثیری است که ساختار بر روی فضاهای داخلی دارد و اینکه چگونه از سیستم ساختاری به سود یا هدف معماری استفاده کند. سیستم های مهاربازویی اغلب از طبقات مهاربازویی به عنوان فضاهای

پناه گیری (فضای امن) در پاسخ به نیازهای امنیت حریق و تخلیه ی ساختمان استفاده می کنند. اینها معمولا در نما و به وسیله ی تغییر در طرح دیوار پرده ای و از جنس مواد قابل مشاهده اند. ابرستون ها تأثیر زیادی بر روی زیربنای قابل استفاده ی سازه، مخصوصا در طبقات پایینی دارند.

در پایان، انتخاب سیستم ساختاری مستلزم ارزیابی مشترک تمامی گزینه های طراحی فراگیر توسط تیم پروژه است.



برج شانگهای در حال ساخت در سال ۲۰۱۲، در شهر شانگهای چین، طراحی شده توسط معماران Gensler با مهندسی شرکت thornton tomasetti، پوشش منحنی پیچیده ی خود را نشان می دهد که بخشی از یک سیستم نمای دوتایی است که از طبقات مهار بازویی، معلق اند. ابرستون های ابرقاب هسته-و-مهار بازویی در پایین ساختمان قابل مشاهده هستند.



۳

## اصول ساختار سازه های دیاگریدی معاصر

مفهوم و تعریف

کاوش امکانات سیستم های

شبکه ی مورب

انتخاب مصالح

فواید سازه ای

اولین ساختمان های دیاگریدی

– پروفایل پروژه: تالار شهر  
لندن | فاستر+همکاران،  
آروپ

– پروفایل پروژه: برج  
سوئیس ری |  
فاستر+همکاران، آروپ

– پروفایل پروژه: برج مجله  
ی هرست |  
فاستر+همکاران، WSP  
CANTOR SEINUK



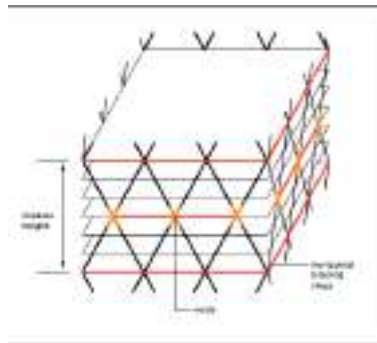
## مفهوم و تعریف

ساخت برج مجله ی هرست در سال ۲۰۰۶ در شهر نیویورک به اتمام رسید.

شناسه ها و مفاهیم شبکه ی مورب. "واحد" به تعداد طبقاتی اشاره می کند که شبکه ی الماس شکل به صورت لبه به لبه پوشش می دهد. "گره" نقطه ی اتصال واحدهای قطری است. یک حلقه مهاربندی افقی توسط اتصال گره های شبکه ی مورب به تیر لبه ی طبقه ایجاد می شود. تندی زاویه ی شبکه ی مورب به عنوان زاویه ی تشکیل شده بین قطری ها و کف، اندازه گیری می شود. این تصویر کاربرد سیستم را برای یک پلان مربعی نشان می دهد. این مسئله می تواند منجر به ایجاد معلق های پایه ای بزرگی در گوشه شود، چون گوشه ها هیچ ستون عمودی ندارند تا تقویت شوند. (تصویر پس از K.S. Moon، نکته ی ۱ را مشاهده کنید).

عبارت "شبکه ی مورب" به نوعی گمراه کننده است. از شبکه ی مورب معمولا برای توصیف یک شبکه ی ساختاری قطری استفاده می شود. این سیستم از واحدهای قطری تشکیل شده که در نقاط گره به هم متصل هستند و معمولا از فولاد سازه ای ساخته شده اند. اگرچه شبکه ی قطری اغلب به عنوان ویژگی ظاهری غالب در طراحی سازه های شبکه ی مورب ظاهر می شود، اما به خودی خود مستحکم نیست. سیستم الماس شکل نیازمند شکل مثلثی است تا کفایت را در ساختار خود ایجاد کند. شبکه های مورب یا قطری، رویمی کردندای طراحی ساختاری برای ساخت سازه هایی هستند که مقاومت بارهای جانبی و قائم را با هم و در یک سیستم مثلثی از واحدها ترکیب می کردند، به طوری که نیاز به ستون های عمودی را حذف می کنند. این سیستم معمولا در محیط ساختمان قرار داده می شود. ساختار مثلثی معمولا در جایی حاصل می شود که تیرهای لبه ی کف به درون شبکه وصل می شوند.

ایده ی اولیه در پس سیستم شبکه ی مورب، تشخیص صرفه جویی تا حد امکان در حذف (بیشتر) ستون های عمودی



بود. ستون های عمودی که برای حمل بارهای قائم مهندسی شده اند، قابلیت ارائه استحکام جانبی ندارند. شبکه مورب اگر به درستی قرار گیرد،

می تواند تمامی بارهای قائم را تحمل کند و به خاطر پیکربندی مثلثی خود، استحکام جانبی نیز ارائه دهد. سازه ی شبکه ی مورب، به هسته ی فولادی یا بتنی مقاوم شده ی اضافی، برای ارائه ی استحکام جانبی نیاز ندارد. این موضوع بیشتر در فصل ۷: طراحی هسته بررسی می شود.

اندازه ی واحد به عنوان تابعی از ارتفاع ساختمان و زاویه ی واحدهای خمیده انجام شده اند. واحدهای الماس شکل معمولا شش تا هشت طبقه را لبه به لبه پوشش می دهند، اگرچه از واحدهای کوتاه تر برای سازه هایی با ساختار هندسی یک برج شبکه ی مورب به عنوان یک معلق عمودی مدل می شود. اندازه ی واحدهای شبکه ی مورب قطری معمولا با تقسیم ارتفاع برج به اندازه های مساوی تعیین می شود. مطالعات فراوانی در جهت بهینه کردن نامنظم یا انحنای تنگ تر استفاده می شود. به طور معمول، ارتفاع واحد پایه ی شبکه ی مورب الماسی تا چندین طبقه گسترش می یابد. در این روش، تیرهایی که لبه ی طبقات را تعیین می کنند نیز می توانند به درون واحد های شبکه ی مورب قاب شوند و استحکام لازم را برای ارتفاع تقویت نشده ی واحدهای قطری فراهم کنند. قاب بندی کف معمولا این تیرهای لبه را از پشت به هسته قاب خواهد کرد.

چون بخش قابل توجهی از هزینه ی سازه به خاطر ساخت این گره هاست، تلاش ها در جهت حداقل کردن تغییرات و تعداد آنها و ساده کردن اتصال بین گره و قطرها برای سرعت دادن به روند اتصال است.

اتصالات اصلی سازه در گره ها اتفاق می افتد. واحدهای قطری معمولا از گره به گره به صورت برعکس پیوسته هستند و به این موضوع اشاره می کنند که آنها به عنوان واحدهای جدا نصب شده اند چون یک اتصال فیزیکی بین واحد و گره وجود دارد. این مسئله می تواند به عنوان تابعی از ارتفاع واحد، از پروژه ای به پروژه ی دیگر تغییر کند و خود را کامل کنند.

حلقه ها یا مهاربندی افقی با اتکا به شکل هندسی کلی سازه ممکن است لازم شود تا در کشش (جایی که در آن بارهای قائم منجر می شوند تا شبکه ی مورب به بیرون فشار وارد کند) یا در فشار (جایی که شیب شبکه ی مورب به داخل ساختمان فشار وارد می کند) عمل کنند. مهاربندی افقی اغلب توسط تیر لبه ی ساختار کف شکل می گیرد که به داخل گره قاب می شود تا مثلث را کامل کند. از سوی دیگر، یک واحد آشکار ساختاری فولادی می تواند به صورت اضافه بین گره ها

جای گیرد. این موضوع بیشتر در فصل ۵: واحد ها و واحدهای بودن و فصل ۶: طراحی گره و واحد مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

### کاوش امکانات سیستم های شبکه ی مورب

درجایی که کاربردهای مهاربندی قطری آشکار تمایل ندارند که به صورت قابل ملاحظه ای شکل خط راستی برج را تغییر دهند (برای مثال مرکز جان هنکاک در شیکاگو)، کاربردهای کنونی شبکه های مورب قابلیت شبکه ی مثلثی را به کار می برند تا شکل های هندسی تصادفی تر یا منحنی را راحت تر شکل داده و بسازند. اصطلاح "مش (Mesh)" اشاره ی مستقیم به فنون های نرم افزار و ابزارآلات مدل کردن سه بعدی دارد تا از طریق BIM، جست و جوی طراحی ناشی از معماری، تبدیلات نسبتاً مستقیمی را در نرم افزار جزئیات ساخت ایجاد کند. ایده ی شبکه ای که برای مجموع منحنی ها اندازه است، مبنای طراحی شبکه های توری معاصر است.

بسیاری از برج های شبکه ی مورب در جهت حذف ستون های بین ساختار خارجی و هسته عمل می کنند. نمونه های شبکه های مورب که بیشتر قابل توجه هستند، برای روشنایی بیشتر در روز و استفاده از صفحه ی کف کوچک نیز می کوشند. این مسئله از یک روند انگیزه ی پایداری، در جهت افزایش تأثیر روشنایی روز و اعتبارات LEED حمایت می کند.

مسئله ای که برخلاف رویمی کردندای ساختاری مدرن پیشین برای سازه های بلند، بسیار در رابطه با شبکه های مورب جذاب است، این است که تیپولوژی "پایه" وجود ندارد. ساختمان های شبکه ی مورب معاصر به منحصر به فرد بودن گرایش دارند، و این ایده را که بلندپروازی های معماری، فناوری های مهندسی را در این سازه ها به جلو می رانند، تقویت می کند. هر یک از ساختارهای شبکه ی مورب چه از لحاظ ارتفاع، شکل، پروفایل، طراحی گره یا ارتفاع واحد شبکه ی مورب، تقریباً در مقابله با تحقیق کنونی که به دنبال بهینه سازی است، بسیار متفاوت هستند. این مسئله را می توان به پیشرفت های محاسباتی و مدل سازی نسبت داد که اگرچه کمی جلوتر نباشند، اما همپای توسعه ی شبکه ی مورب جلو رفته اند و به سادگی شکل های هندسی نامنظم یا معلق را در کل فرایند طراحی، از طراحی ساختاری گرفته تا طراحی جزئیات، خلق طراحی های شاپ و ساخت، پشتیبانی می کنند.

### انتخاب مواد ساخت

اگرچه می توان شبکه های مورب را از مواد مختلفی ساخت، اما ماده ای که بیش از همه استفاده شده، فولاد است. می توان از سیستم قاب محیطی شبکه ی مورب فولادی به همراه یک هسته ی بتنی یا قاب فولادی استفاده کرد. انتخاب مواد ساخت هسته بیشتر در فصل ۷: طراحی هسته مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت. مطابق انجمن سازه های بلند و منطقه های شهری ترکیبی از شبکه ی مورب فولادی به همراه یک هسته ی فولادی به عنوان یک سازه ی تمام فولادی در نظر گرفته خواهد شد، در حالی که یک شبکه ی مورب فولادی به همراه یک هسته ی بتنی به عنوان یک سازه ی ترکیبی دسته بندی می شود. استفاده از سیستم شبکه ی مورب فولادی در نقطه ای از تاریخ می آید که در آن استفاده از فولاد برای ساخت بناهای بلند به مقداری تاریخی پایین است. مطابق با اطلاعات انجمن تنها ۲ درصد از سازه های بلندی (۲۰۰ متری/۶۵۶ فوتی یا بلند تر) که در سال ۲۰۱۲ ساخته شده، به عنوان ساختمان های تمام فولادی خلق شدند. این مقدار به ۳ درصد در سال ۲۰۱۱، ۲۲ درصد در سال ۱۹۹۲ و ۶۳ درصد در سال ۱۹۷۲ تغییر کرد.

درجایی که گزینش مواد ساخت هسته می تواند با توجه به موقعیت مکانی تغییر کند، زمانی که مسئله ی ساخت سیستمی از عناصر باشد برای ساخت و ساز حجیم، استفاده از مدل سازی هوشمند ساختمان (BIM) و مونتاژ سریع تر در کارگاه، مناسب می باشد، گزینش فولاد برای سیستم شبکه ی مورب جهانی است. بتن برای چنین ساخت و ساز های حجیمی مناسب نیست. دلیل دیگر این است که بسیاری از عناصر باید در برابر نیروهای کششی بالا مقاومت کنند.

مطالعاتی که توسط مهندس پری شارنیش برای طراحی برج با انکانا در کالگری (پروفابل فرآیند را در درک طراحی فولادی، در صفحات ۱۳۶ تا ۱۴۳ مشاهده کنید)، تکمیل شده در سال ۲۰۱۲ انجام شدند، نتیجه دادند که با استفاده از یک ساختار شبکه ی مورب-ترکیبی در مقابل یک ساختار لوله ای مهاربندی شده، می توان ۲۰ درصد در وزن فولاد ساختاری صرفه جویی کرد. گزارش ها هم چنین بیان می کنند که در ساخت و ساز برج مجله ی هرست در شهر نیویورک، با استفاده از یک ساختار شبکه ی مورب به جای یک ساختار قاب فولادی مرسوم، از ۲۰ درصد فولاد کمتری استفاده شد.

### فواید سازه ای

می توان تعدادی مزایای ساختاری را به استفاده از سیستم شبکه ی مورب در مقایسه با یک سیستم قاب (خمشی) قائم معمول نسبت داد. در جایی که "هسته ی قطری" یا "لوله ی

مهاربندی شده ی " اولیه، از واحدهای مهاربندی قطری بر روی سیستم تقویت خارجی قاب شده به عنوان یک سیستم استحکام تکمیلی استفاده می کرد، سیستم شبکه ی مورب کنونی اغلب از یک قاب خارجی ویژه ی متشکل از واحدهای قطری استفاده می کند که به عنوان ابزار اصلی تقویت جانبی و قائم ترکیبی استفاده می شود. شبکه ی مورب محیطی اغلب با هسته ی مرکزی همکاری داشته است که در حمل بارهای قائم مشارکت و استحکام اضافی را فراهم می کند. این نوع از ساختار، بارهای باد جانبی را بهتر از ستون های عمودی تحمل می کردند و استحکامی ایجاد می کنند که توسط عملکرد محوری واحد های قطری تکمیل می شود:

"ساختارهای شبکه های مورب، در مقایسه با ساختار های لوله ای قاب بندی مرسوم بدون شبکه های قطری، در کمینه کردن تغییر شکل برشی بسیار مؤثرتر هستند، چون آنها بار برشی را توسط عملکرد محوری واحدهای قطری تحمل می کنند در حالی که سازه های لوله ای قاب بندی شده ی مرسوم بار برشی را به وسیله ی خم کردن ستون های عمودی تحمل می کنند."

شبکه ی مورب نیازمندی برای ستون های گوشه ی بزرگ تر را بر طرف می کند، برای مثال این نیازمندی مورد برج مجله ی هرست در شهر نیویورک و ساختمان آی بی ام در پیتزبورگ است که در آن ها، سازه فقط توسط هشت نقطه تقویت می شود و گوشه ها را کاملاً معلق رها می کند. شبکه ی مورب همچنین در مورد سازه های ترکیبی توزیع بهتری از بار را فراهم می کند، چون سیستم در مدیریت مسیره های بار و به عنوان نتیجه ی مستقیمی از عملکرد شبکه ی مورب، افزونگی ایجاد می کند.

درجایی که ابر ساختمان های اخیر مانند برج خلیفه<sup>۱</sup> در دبی، برج پادشاهی<sup>۲</sup> پیشنهادی در جدّه و برج "شهر آسمان" گروه براد چین<sup>۳</sup> در شانگهای، اندازه ی زیربنای سازه را به دلیل مقاومت خمشی افزایش می دهند، بیشتر برج های شبکه ی مورب این روش را برای ساخت و سازه های به صورت منطقی بلند، به کار نبرده اند. برخی سازه ها مانند سوئیس ری و مرکز تجاری بین المللی گوانجو، حتی زیربنا را باریک می کند و برای استحکام اضافی به ساختار شبکه ی مورب متکی می شوند. بلندترین سازه ی شبکه ی مورب ساخته شده تا کنون IFC گوانجو است که توسط معماران

<sup>1</sup> Burj Khalifa

<sup>2</sup> Kingdom Tower

<sup>3</sup> China Broad Group

ویلیکینسون آیری طراحی و توسط آروپ مهندسی شده است. با ۴۳۹ متر/۱۴۳۹ فوت ارتفاع به عنوان

یک ابرسازه واجد شرایط باشند اما از رکورد تعیین شده ی برج خلیفه (۸۲۸ متر/۲۷۱۷ فوت) کمتر است و به زودی برج های پادشاهی و براد چین نیز از آن پیشی می گیرند. در هر صورت، طرح لوله ای نسبتا مستقیم در برج های شبکه ی مورب سبب فضاکاری به صورت چشمگیری نزدیکی بیشتر به هم، بین ساختمان ها می شود که از منظر تراکم شهری مسئله ی مهمی است.

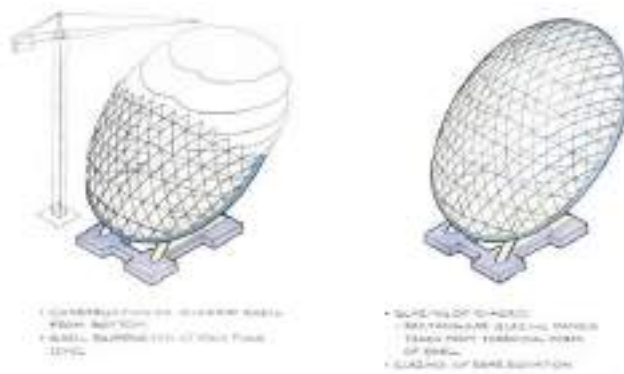
### اولین بناهای معاصر با سازه دیاگرید

|                |  |
|----------------|--|
| معمار          | بنای دیاگریدی معاصر در اوایل سالهای ۲۰۰۰ به عنوان  |
| فاستر و شرکا   | سه پروژه ای که تقریبا به صورت همزمان در دفتر فاستر و شرکا حال انجام بودند مشاهده شدند. شهرداری لندن در سال |
| مهندس سازه     | ۲۰۰۲ تکمیل شد. طراحی سوییس ری(که به نام های 30   |
| آروپ           | St. Mary Axe و "The Gherkin" نیز شناخته می   |
| مهندس M+E      | شود)، که آن هم در لندن واقع است، در سال ۱۹۹۷ آغاز شد   |
| آروپ           | و ساخت آن در سال ۲۰۰۰ شروع شده و در سال ۲۰۰۴   |
| مدیران ساختمان | تکمیل شد. برج مجله هرست واقع در نیویورک در سال ۲۰۰۳  |
| MACE           | کلنگ زده شد و در سال ۲۰۰۶ تکمیل شد. گروه کارشناسان   |
|                | مهندسی آروپ عهده دار طراحی جزئیات دو پروژه ی   |
|                | شهرداری لندن و سوییس ری بودند و شرکت مهندسی کانتور   |
|                | سینوک در پروژه ی برج مجله هرست همکاری کرد.   |

### مشخصات پروژه: شهرداری لندن، لندن، انگلستان

شهرداری لندن نشان دهنده ی تلاش های مشترک "فاستر و شرکا" و "آروپ" برای طراحی پایدار و همچنین شکل سازه ای بدیع است. هندسه ی این ساختمان با ارتفاع ۴۵ متر/ ۱۴۸ فوت مستقیما در پاسخ به اقلیم و موضوعات خورشیدی است.

استفاده از سازه ی دیاگرید در شکل منحنی سطح شمالی بنا، به سمت جنوبی این اجازه را داده تا معمولی تر ساخته شود و با استفاده از ستون های شیبدار زاویه های مختلف صفحات بیضی شکل پله ای کف ها را باهم تطبیق دهد. دیاگرید شامل بخش های دایره ای توخالی (HSS) ساخته شده از فلز ساختمانی معماری اکسپوز (AESS) است. علاوه بر اینکه این سازه رمپ مارپیچی با مشخصات بالا را در محدوده ی قابل مشاهده ی نزدیک به پوسته در خود جا داده و حفظ می کند، نیاز است که کیفیت فلز استفاده شده نیز بسیار استثنایی باشد. فلز ساختمانی که در بخش اداری ساده تر بوده است و با ستون های شیب دار از جنس AESS و ارائه ی یک عنصر وحدت بخش در قسمت انتهایی ساخته شد.



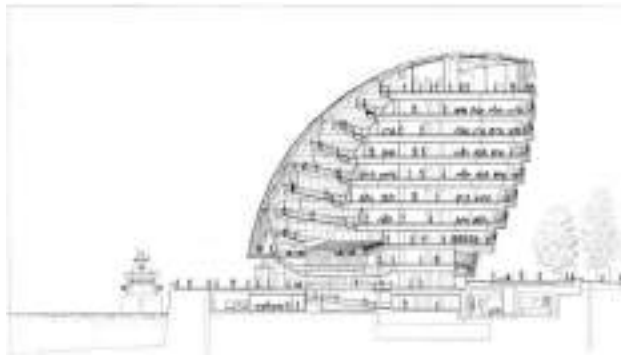
این طرح ها توسط اروپ کشیده شده بخشی از مطالعاتی است که برای مجموعه ای از پارامترهای سازه ی دیاگرید انجام گرفته است. هندسه ی تخم مرغی شکل آن منطبق بر صفحات کف است. فضای خالی که با

رمپی مارپیچی احاطه شده است، از پشت نمای بیرونی قابل مشاهده است.

ساخت شهرداری لندن واقع در لندن، انگلستان، طراحی شده توسط فاستر و اروپ در سال ۲۰۰۲ تکمیل شد. این سازه از آب الهام گرفت شده است تا نمایی پله ای در قسمت جنوبی تشکیل دهد و خود سایه اندازی به صورت پایدار را خلق کند.







این دید مقطعی نشان دهنده ی تقسیم ساختمان به دو بخش رو به شمال که شامل رمپ مارپیچ می شود و رو به جنوب است که شامل بخش های اداری می شود.



در رو به رو عکسی از مراحل ساخت بنا قرار دارد، چگونگی اتصال پوشش شیشه ای به سه نقطه ی اجزای دیاگریدا نشان می دهد. تصویر جزئیات نشان می دهد که اتصالات چگونه به شبکه مشبک فولادی که پشتیبانی مستقیم برای پوشش شیشه ای مثلثی شکل بیرونی است، وصل می شود.

در عکسی که در سال ۲۰۰۱ از شهرداری لندن در حال ساخت گرفته شده روش های مختلفی که برای ساختن دیاگرید به کار گرفته شده است و نیز طبقه هایی از ساختمان را که توسط بخش های اداری اشغال شده است، به وضوح نشان می دهد.



نمایی از رمپ عمومی به رمپ خصوصی که از بالای ووید شورا می گذرد مشاهده می شود. سطح شیبدار مارپیچ مرکزی توسط میله های تحت تنش تثبیت شده و به سازه دیاگرید خود وصل شده است.

پوسته ی دیاگریدی اگرچه خود سخت و محکم است اما نیاز به درگیر شدن با طبقات ساختمان و کف و سقف ها دارد (همان گونه که در کردار آروپ نشان داده شده) زیرا تنها بخشی از سازه را تشکیل می دهد. در واقع سازه ی دیاگرید در درجه اول برای نگه داشتن شیشه منحنی به کار می رود.

همچنین حمایت رمپ مارپیچ بزرگ داخلی که از برابر نما عبور می کند ساخته شده است. یکی از چالش های سازه ای برای هر ساختمان ایجاد یک ووید (void) عظیم و غیر عادی است. شهرداری لندن به گونه ای طراحی شده که رمپ به صورت جداگانه، به طور کامل روی یک سیستم پشتیبانی کششی به جای اتصالات سخت تکیه دارد. استحکام سازه ای دیاگرید در این ها احتیاج است که سطح شیبدار مارپیچی با استفاده از سیستم میله های تحت کشش به حالت معلق آویزان شود.

مدول دیاگرید با ارتفاع طبقات سازه ای مکمل مطابقت ندارد و از آنجایی که نقاط اتصال شبکه ی دیاگرید در تراز وسط طبقات اداری قرار دارد، تعداد طبقات برابری ارائه نمی کنند. از داخل به وضوح مشخص است که تراز شبکه ی دیاگرید کمی بالاتر از سطح زمین قرار دارد. پایه دیاگرید نمایان شده و به طور مؤثری به عنوان یک نرده یا نیمکت در قسمت بیرونی ساختمان عمل می کند. ارتفاع هر مدول حدود چهار طبقه است که با هر پل قطری حدود دو طبقه می شود. در کل ساختار سازه ای که روی داخلی نشان داده شده پرانتز های افقی قابل مشاهده که مثلث های شبکه الماس هرم دیاگرید را تکمیل می کنند، از همان مقطع سازه ای گرد و توخالی ساخته شده اند تا سازه ای یک پارچه ای را خلق کنند. در نمونه های آینده خواهیم دید که خطوط افقی در ساختار واحد کف طبقات به کار برده شدند اما از آنجایی که در این مثال از کف بلند شده اند، نیاز بود که با آن ها مشابه با خطوط قطری برخورد شود تا سازه ای نمایان بسیار منسجم خلق شود.

رویکرد مهندسی حفاظت در برابر آتش برای ستون های فولادی نمایان، لایه ی نازکی از پوشش ضد حریق است که پوشش نمایی با کیفیت بالا محسوب می شود. استفاده از پوشش ضد حریق این امکان را به ما می دهد که نوع جزئیات مورد استفاده در دیاگرید را انتخاب کنیم. این تصمیم برای اتصال تمام جوش این برنامه ی دیاگرید AESS باعث افزایش هزینه های ساخت و

نصب و راه اندازی می شود. از آنجا که جوشکاری در کارگاه قبل از حمل و نقل محدود شده است، جوشکاری در کارگاه به صرفه تر است زیرا امکان دسترسی بهتر به جوش را برای سازندگان فراهم می کند. در نتیجه این سازه ی دیاگرید عناصر گره ای مجزایی برای اتصال عناصر قطعه ای ایجاد نمی کند. این عناصر گره ای به عنوان روشی متداول در پروژه های بزرگ تر تبدیل شدند که در مراحل ساخت و ساز و نصب سازه بسیار سودمند هستند.



گالری عمومی اصلی با استفاده از سازه ی دیاگرید در سمت چپ و سرسرای شورا با پوشش شیشه ای مشرف در سمت راست مشاهده می شود.

پایه ی سازه ی دیاگرید در گالری عمومی. از آنجایی که عنصر های افقی، جزء جدانشدنی بخش نمایان فولادی را تشکیل می دهند، از همان مقطع سازه ای دایره ای توخالی و قطری ساخته شده اند. ساختار تمام جوش سازه به وضوح مشخص است. جوش ها بسیار تمیز انجام شده اند به صورتی که به تمیزکاری و اصلاح نیازی ندارند که باعث صرفه جویی در پروژه های AESS می شود.

با توجه به شکل منحنی ساختمان در یک مقیاس نسبتاً کوچک نیاز بود که اجزای دیاگرید به عنوان مهاربند بین هر دو طبقه به صورت منحنی درآورده شود. در ساختمان هایی با مقیاس بزرگ تر این امکان وجود دارد که برای رسیدن به شکل منحنی از اعضای صاف استفاده شود. مشاهده و تماس نزدیک با فولاد نیز عامل دیگری است که باعث می شود تا نتوان این تقریب را استفاده کرد. در مقابل پنل های شیشه ای که توسط قطعه های فولادی صاف نگه داشته می شوند. از آنجایی که هر بخش شیشه ای به سه نقطه از دیاگرید متصل می شود، در اینجا تأثیر چندانی بر آن ها نداشته و عامل مهمی محسوب نمی شود. رسیدن به لبه های صاف در سازه ی دیوار پرده ای مهم است، زیرا پنل های آماده به صورت نرمال مسطح هستند و پوشش های شیشه ای منحنی به ویژه برای واحد های محکم و چسبیده بسیار گران تمام می شود.

دو ویژگی نمای نهایی دیاگریدی، استفاده از بخش های نگه دارنده ی صاف برای پوشش شیشه ای، حالت مثلثی چند وجهی نما را تقویت می کند. طبقات اداری با واحد های مستطیلی کوچک تری مشخص شده اند این امر باعث می شود تا الحاق واحدهای پنجره ای و سایه های داخلی مقرون بصره تر شوند. موقعیت دیاگرید سطح شیبدار مارپیچی در بخش نمای شمالی بنا را محصور می کردند و نیازی به سایه بان دیگر نیست.

علی رغم اینکه شهرداری لندن به یک عنصر معماری صحیح و حیاتی در " لندن نو " تبدیل شد، شکل آن پس از تکمیل در سال ۲۰۰۲ به راحتی پذیرفته نشد. دان بارکره، نویسنده مجله آنلاین مرتبط با ایالات متحده به نام " هفته ی معماری "، آن را بیشتر شبیه ایستگاه فرود ماهواره تشبیه می کردند است. با نگاهی به گذشته ی این پروژه به خاطر اکتشافات جدیدش در زمینه ی اشکال نامنظم منحنی با استفاده از سیستم دیاگرید به روش AESS بسیار مهم است. بسیار متفاوت از سوییس ری، برج مجله ی هرست که هر دو هم زمان با مراحل ساخت سیتی هال لندن در فرآیند طراحی بودند، تجربیات جدیدی در رابطه با طراحی خاص و مشکلات سازه ای مرتبط با سیستم دیاگرید در اختیار گذاشت.



در نقطه ای که نمای دیاگرید به بخش فولادی شبکه ای برای نگهداری پوشش شیشه ای می رسد، تراز دوم به یک مدول مثلثی از دیاگرید برخورد می کند. در سازه ی دیاگرید، اتصال زبانه های ورق بین بخش های پوشش شیشه ای وارد می شوند.



هر پانل شیشه ای متشکل از نه پانل سه گوش است. نمای بیرونی نمایانگر پانل های شیشه ای پیش ساخته ای که با صفحات اندک در نقاطی که به دیاگرید وصل شده و می رسند مشخص است. این قضیه بر مدولار بودن پانل ها تأکید بیشتری می کند.



یک نوار جوش داده شده به مقطع فلزی توخالی دایره ای اتصال دیوار پرده ای را تسهیل می کند. جدای از دیوار پرده ای نوع معمولی آلومینیومی، سیستم سازه ای که پوشش شیشه ای به آن متصل شده از صفحات فولادی ساخته شده است که به عنوان یک شبکه ی فلزی عمل می کند. قاب دیاگرید به صورت پیچیده ای به نمای کلی ساختمان متصل شده است، شکل آن نیز به وضوح مدولار بودن دیاگرید را که از برخورد قطعه دو طبقه به دست آمده نشان می دهد. طول و هندسه اعضا در طول ارتفاع ساختمان متفاوت می شود؛ دیاگریدی که بالای دو طبقه دهانه را ایجاد می کند به گونه ای کش آمده تا اندازه های متغیر را با هم وفق دهد.

### مشخصات پروژه: برج سوییس ری لندن، انگلستان

برج سوییس ری که به نام 30 St. Mary Axe هم شناخته می شود، اولین برج اداری است که به طور کامل با سازه ی دیاگرید شناخته شده است. این بنا تیپولوژی ابرساختمان های دیاگریدی را با شامل شدن عناصر کلیدی و مدولار بودن عناصر گره ای تعریف می کند. مهندسی پارامتری کامل و مطالعات باد که برای این پروژه توسط فاستر و شرکا، آروپ و PWDI انجام شد به عنوان اساس برج های دیاگریدی مقرر شد. این یک نمونه ی اولیه از الزامات برای کار تیمی مشترک بین محصول معماری، شرکت های مهندسی فولاد است که به عنوان مبنایی برای اطمینان از حاصل شدن یک محصول موفق از انجام چنین ابتکار منحصر به فردی در نظر گرفته شده است. اگرچه به نقل از فاستر، رویه ی الهام بخش سوییس ری اثر شخوف ارجاع داده می شود، اما واقعیت های فیزیکی و نیازمندی های تکنیکی این دو پروژه بسیار باهم متفاوت است. از برج چهار چوبی تو خالی و باز شخوف تا ایده ی فاستر برای ساختمانی با کارآمدی انرژی بالا و دو نما که از استراتژی های مارپیچی برای تقویت تهویه ی طبیعی استفاده می کند، زمینه فنی بسیاری باید پوشش داده می شد. برخی از فرآوری های فنی پروژه ی شهرداری لندن برای طراحی این پروژه مفید بود، اما حتی این پروژه ها هم در زمینه ی ارتفاع و الزامات برنامه ریزی متفاوت بودند.

Architect

**Foster+ partners**

Structural Engineer  
**ARUP**

Wind Engineer

**RWDI**

Fire Engineering|

**Arup fire**

Main Contractor

**Skanska**

Steel Constructor

**Victor buyck steel**

Construction

**Hollandia**

FAÇADE Consultant

**Emmer pfenninger & partner AG.**

FAÇADE Supplier

**Schmidlin(UK)LTD.**



طبق بیانات آروپ یکی از چالش های کلیدی مهندسی این ساختمان نیاز آن به طراحی با هندسه های مختلف بود. آروپ روند طراحی محیط سازه ای شکل را خیلی زود به کمک فاستر و شرکا توسعه داد، به این منظور که از عهده ی هندسه ی پیچیده و الزامات برنامه ریزی شده بر بیایند. ماهیت خاص این دیاگرید، به شکل دایره ای سازه و میل برای سیستم تهویه مارپیچی با استفاده از دو نما گره خورده بود. دومینیک مونرو، یکی از همکاران در طراحی با آروپ که عمیقا با پروژه درگیر بود، در مقاله ای برای STALBYGAND نوشت: این پروژه توانایی فولاد سازه ای در به انجام رساندن ایده های رادیکال معماری را نشان می دهد.

زمینه ی سایت و میل به ایجاد یک میدان عمومی به توسعه ی پلان دایره وار برج کمک کرد. قطر آن به طوری متفاوت بود که محدوده ی ساختمان در سایت می توانست کوچک تر باشد. بدین صورت که برج تا ارتفاع ۵۶/۰۵ متر عریض شده (تا طبقه ی هفدهم) و دوباره از این ارتفاع تا ارتفاع ۱۷۹،۸ متر (بالای برج) باریک می شود، در نتیجه هر یک از ۴۰ طبقه متفاوت از دیگری است. دهانه ی کف، جهت گیری و تقاطع، زاویه کف با قطر نما تماما در سراسر ارتفاع ساختمان متفاوت است. با توجه به گفته ی دونیک مونرو: "راه حل سازه های فولادی پیرامون به طور خاص برای این ساختمان به منظور رسیدگی به مسائل ایجاد شده توسط هندسه ی غیرمعمول، به شیوه ای که به طور کامل با مفهوم معماری یکپارچه شود توسعه داده شد".

نقشه پلان طبقه نشان می دهد که طرح فضای داخلی به عنوان شش انگشت مرتب در اطراف یک هسته ی دایره ای مرکزی تصور می شود. سازه ی دیاگرید به دلیل این که باعث می شود تا هسته مرکزی نیازی به مقاومت در برابر نیرو های باد نداشته باشد، سود قابل توجهی به ارمغان می آورد. هسته ی مرکزی می تواند به صورت یک سازه ی فولادی بر اساس یک پلان باز طراحی شده و فضاهای انعطاف پذیری در آن گنجانده شود. انتقال مسئولیت مقاومت در برابر باد و نیرو های جانبی از هسته ی مرکزی به دیاگرید پیرامونی به این معنی بود که بار های وارده بر پی در مقیاس با بنایی که توسط هسته تثبیت می شود نیز کاهش می یابد.

به منظور داشتن فضاهای بدون ستون در کف طبقات، ستون ها در فضای بین دو نما قرار داده شده اند که از بیرون توسط سیستم پوشش شیشه ای دیوار پرده ای و از داخل هم توسط یک سیستم شیشه ای پوشش داده می شوند. سپس ستون های پیرامونی تا حد زیادی مایل شدند تا به اعضای مورب سیستم دیاگرید تبدیل شوند. در نتیجه آن ها شکل کاهنده ی تدریجی ساختمان را دنبال می کردند و از آنجایی که سازه ی دیاگرید مفهومی متقارن در خود دارد، منجر به ایجاد مارپیچی شده که در جهت مخالف از ساختمان بالا می رود. از طرح شش انگشت در طرح شش ووبیدی مثلثی در فضاهای داخلی استفاده شد (که به عنوان بخشی از سیستم تهویه به وسیله ی دو نما) که علاوه بر آن نور را به خوبی به فضای داخلی هدایت می کند. اساسا پلان هر طبقه در هر سطح باید پیچ خورده یا چرخیده باشد تا از سیستم مثلثی کاهنده ی تدریجی دیاگرید تبعیت کند. فضاهای اداری به تبعیت از خطوط مارپیچ دیاگرید در ساختمان بالا می روند. این چرخش به نوبه خود نیاز به کنسولی بزرگ در اسلب طبقه را مرتفع می کردند و سازه دیاگرید را پایدار می کند.



برج سوویس ری واقع در لندن، انگلستان که توسط فاستر و شرکا طراحی و توسط گروه آروپ مهندسی شده و در سال ۲۰۰۴ به اتمام رسید، یکی از منحصر به فردترین برج های ساخته شده در خط آسمان لندن در سال های اخیر است. ارتفاع آن اخیراً توسط برج شارد (که این عکس از داخل آن گرفته شده) پشت سر گذاشته شده است. ساختمان لندهال که توسط راجر ستریک هاربر و شرکا طراحی شده است (مشخصات پروژه را در صفحه ۱۴۸ ببینید).

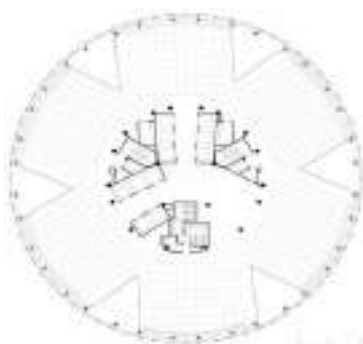
اگر ستون های پیرامونی از لحاظ فنی توسط اعضای مورب دیاگرید ساخته شده باشد، در حالی که توسط گره ها در طبقات مختلف متصل شده اند، سیستم دیگری احتیاج است تا مقاومت افقی سیستم را تأمین کند؛ زیرا نیروهای گرانشی به طور طبیعی در راستای منشا به قطر ها به هم وصل می شوند. آروپ حلقه های افقی را اضافه کرد تا در برابر نیروهای رانشی شکل منحنی مقاومت کند. هندسه ی سه بعدی ناشی از گره ها با توجه به ماهیت مایل ستون ها، فشار رو به بیرون بسیار زیادی را در ارتفاع میانه ی ساختمان حاصل می کند. اساساً حلقه ها به عنوان عنصر کششی در میانه و سطوح پایین تر برج عمل می کنند. در بالای

برج که بار ها سبک تر است و عناصر مورب خوابیده تر هستند حلقه ها به سفت مثلثی تبدیل می کردند که پایداری عالی را برای برج تأمین می کند. همچنین حلقه ها در برابر هر بارگذاری افقی یا نامتقارن نیز به صورت موثر عمل می کنند. مهندسی باد در این ساختمان در بخش ۴ بررسی می شود: الزامات تکنیکی.

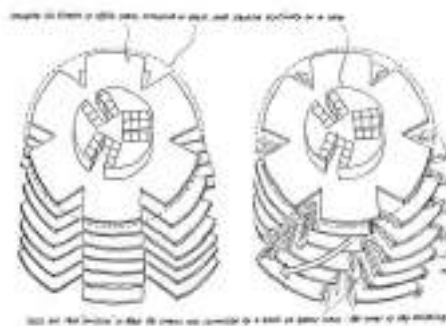




رابطه ی دیاگرید و اسلب های کف در این عکس از بنای در حال ساخت نشان داده می شود. گره ها یک در میان در سطح طبقات قرار گرفته اند و بدین ترتیب اعضای مورن استوانه ای هر دو طبقه را پوشش می دهد. جایی که آنها از شافت تهویه می گذرند، مهاربندی صورت نگرفته است. طبقات در لبه هایی که فضای داخلی اشغال می کنند به اجزای مورب متصل می شوند. جایی که دیاگرید نیازمند مقاومت در برابر نیروهای پیچشی است، در ارتفاع میانه ی ساختمان حلقه ها از قطعات باریک تر سازه ای استفاده می کردند که بیشتر به عنوان عناصر کششی عمل می کنند.



پلان طبقه میانی سوییس ری نشان می دهد که چگونه طرح ۶ انگشت به حفره های مثلثی شکل مربوط شده است تا سیستم تهویه هوا در ساختمان تسهیل شود. هسته ی آن به سادگی با ستون فولادی ساخته شده است و عناصر دیاگرید در پاکت بین دونمای ساختمان در جایی که فضای اداری در ارتباط با فضای بیرون قرار می گیرد، واقع شده است.



این طرح معمار نشان می دهد که سطوح کف چگونه می چرخند تا حفره های مارپیچ مثلثی ایجاد کنند. هدف معمار، دیدی واضح از شافت های تهویه شیشه ای مثلثی بود تا استفاده کنندگان، یک اتصال بصری سراسری در فضا احساس کنند .

ساختار منحنی این ساختمان با استفاده از عناصر صاف ایجاد شده است. برخلاف سازه ی دیاگرید، برای شهرداری لندن مقیاس سوییسی ری به قدر کافی بزرگ بود تا یک ساختار وجهی که ظاهری منحنی و بدون عارضه ی اضافه را نشان دهد و هزینه ی خم کردن فولاد را نداشته باشد. تقسیمات کوچک تر به قطعات مثلثی نیز در نما به منحنی نشان داده شدن ظاهر آن بیشتر کمک می کند.

یکپارچگی در طراحی سازه ای و طراحی معماری و محیطی نیازمند یک نیت با رویکردی مشترک بود. ابزار دیجیتال در موفقیت این پروژه بسیار مهم بود. اروپا به تجزیه و تحلیل ساختاری، طراحی، هماهنگی و ارتباط اطلاعات ساختاری که شامل طیف وسیعی از ابزار های طراحی پارامتریک می شد 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 ی داخلی آن به لینک هایی بین تجزیه و تحلیل، طراحی و مدلسازی سه بعدی سازه ی فولادی بسیار مهم بود. اروپا 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 ی مرکزی و اندازه طراحی می کرد. پیمانکاران اصلی و فرعی از این مدل برای جزئیات و خدمات مربوط به روکش های فلزی و MEP استفاده می کردند.

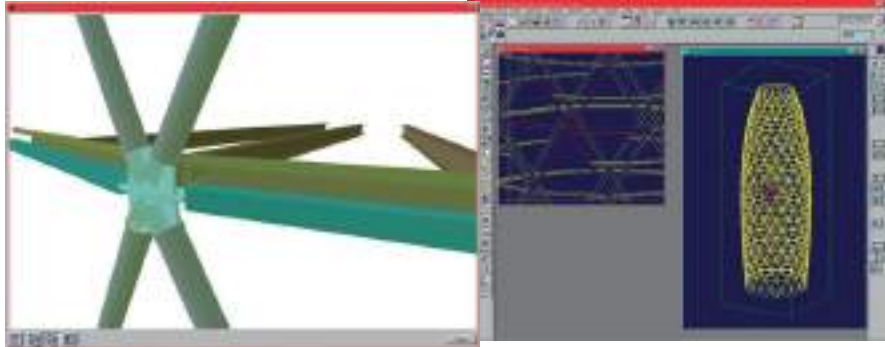
ماهیت سه بعدی از ملاحظات طراحی، در طراحی نمای دیاگرید نیازمند راه حل های جدید است. مقاطع لوله ای انتخاب شدند تا هندسه ی پیچشی بین گره های دیاگرید را مهار کنند. صفحات گردی که در انتهای اجزای دیاگرید جوش داده شدند اجازه می دادند تا در نقاط گره به راحتی از سیستم پیچ و مهره ای استفاده شود. اعضای دایره ای دیاگرید باعث شد تا مقاطع آن در مقایسه با مقاطع عمومی یا یک پروفایل گسترده بسیار کوچک تر شوند. این مسئله در زمینه ی مهندسی حریق ساختمان بسیار چالش بر انگیز بود.

مونتاز اعضای دیاگرید به گره می تواند در محل انجام بگیرد تا محیط کار را تا اندازه ی معقولی کوچکتر کند. گره و دو عضو به عنوان یک واحد برداشته می شوند و نشان می دهد که ساختار سازه در طول نصب دارای ثبات است.



بر خلاف یک ساختمان صاف بلند مرتبه که ممکن است قاب سازه ای به شیوه ای که کمتر مورد توجه باشد ساخته شود، این برج برتر دیاگریدی به منظور نشان دادن سازه در نظر گرفته شد. تصمیمات نهایی گرفته شده درباره ی خطر های آتش سوزی موجب شد تا پوشش ضد حریق که ۹۰ دقیقه از فولاد محافظت می کرد فراهم شود. تصمیم گرفته شد که روکش فولاد به عنوان بخشی از روند محافظت در نظر گرفته شود. مقطع فولادی گرد این اجازه را می داد که حجم های الماس شکل به گونه ای بچرخند که کمترین تأثیر را روی نما داشته باشند. در هماهنگی با تعامل بسیار ناچیز دیاگرید با دیوار پرده ای تنها جرز (نقره ای)، و نه ضخامت آن، بر دیوار پرده ای تغییر داده شده است تا جای دیاگرید در پشت دیوار پرده ای مشخص شود. سوییس ری در برقراری استاندارد های هرچه بیشتر در نحوه ی استفاده از گره ها در ترکیب مستقیم با دیاگرید بسیار مهم بود. این طبقه بندی تا حد زیادی ساخت و نصب سازه ی دیاگرید را تسهیل کرد.

طراحی گره یک چالش بود زیرا هندسه دقیق گره ها در هر طبقه تغییر می کرد و تابعی از عملکرد منحنی ساختمان بود. در مجموع گره ها به غیر از تنظیمات مربوط به زاویه، یکسان به نظر می رسید. دقت در ساخت سطوح آماده ی بلبرینگ گره ها و ستون ها بسیار مهم و نیازمند درصد خطای یک میلی متر بود. این دقت ساخت اطمینان قبولی از هماهنگی اعضا با کمترین تنظیمات محیطی را ارائه می دهد. درصد خطای کوچک هم لازم است زیرا تمام قطعات فلزی در یک کارگاه مشابه ساخته نشده و هم زمان در محل نصب نمی شوند. به طور معمول اتصال پیچ و مهره ای برای تسهیل مونتاز سریع اجزای مورب انتخاب می شوند، در حالی که عناصر داخلی گره ها در کارگاه جوش می شوند.



اسکرین شاتی از یکی از مدل های آر.وی. نمایش دقیق از پیشرفت مدل دیجیتال سازه که نشانگر جدایی گره ها و اتصالات از اجزای شعاعی کف است.

این تیم همچنین در حالی که به طور همزمان در حال برقراری ارتباط است، باید یک استراتژی برای انطباق گسترش افقی طبیعی دیاگرید در حین فرآیند برپایی طراحی می کردند. پیمانکاران فولاد VB-H گره و جزئیات اتصال خلاقانه ای را توسعه دادند که میان فولاد کف و گره برقرار شده است و به دیاگرید اجازه می دهند تا گستره ی شعاعی مورد نیاز خود را تأمین کند، در حالی که میزان قابل اتکایی از نگهداری دیاگرید توسط گره ها نیز تأمین می شود. این جزئیات تنظیم دقیق موقعیت گره ها در حین برپایی سازه را با استفاده از پیچ های شعاعی فراهم می کند. این امر اطمینان می دهد که حلقه های تحت تنش می تواند بدون استفاده از سوراخ های بیش از اندازه بزرگ یا پیچ و مهره ی تحت تنش بسته شوند، همچنین سوراخ های بیش از هندسه دایره وار بر طراحی طبقات نیز اثر می گذارد. تیر های شعاعی که با زاویه ی ۱۰ درجه از مرکز دهانه از قاب فولادی هستند به پیرامون متصل می شوند. این امر بزرگ ترین دهنه ممکن را برای عرشه فولادی فراهم می آورد که در حدود متر ۴،۷۵/متر ۱۵،۵۸ فوت است. عمق کلی کفه فلزی و پوشش بتن روبه حدود ۱۶۰ میلی متر است که از حد نرمال بیشتر باشند و پایداری مضاعفی برای سیستم تأمین می کند.

مشاهده چشم انداز شیشه ای سوییس ری دلیل استفاده از روکش های سفید در اجزای چرخنده ی دیاگرید را نشان می دهد. جعبه های دور فولاد چرخیده اند، لذا کمترین میزان ارتباط با سیستم دیوار پرده ای را دارند. در حالی که پنل های الماس هرم شیشه ای ثابت هستند، پنجره های کوچکتر مثلثی در جایی که برای تهویه لازم است باز شو هستند. این امر در قسمت هایی که شیشه های مارپیچ تیره تر هستند مهم است زیرا شافت های تهویه را محصور می کند



نمایی از داخل بنای در حال ساخت نشان می دهد که چگونه کف فلزی عرشه به خوبی روی تیر های شعاعی بدون نیاز به سیستم نگهداری ثانویه قرار می گیرد. تیرهای شعاعی آن به دیاگرید متصل می شوند.

سه گوش سازی که غالباً این راه حل ساختاری را تأمین می کند، نیازمند ملاحظات در طراحی نما است. روش های قابل توجهی برای نشان دادن دیاگرید در نما وجود دارد که در فصل نهم مطرح شده است: طراحی نما. اما تصمیمات گرفته شده در پروژه ی سوییس ری بحثی جداگانه دارد زیرا تأثیر بسزایی در طراحی ساختمان های پس از خود داشته است. همانگونه که قبلاً در این بخش ذکر شد الگوی دیاگرید مستقیماً تصمیم استفاده ی از دیوار پرده ای به عنوان نما را تحت تأثیر قرار می دهد تا به عنوان یک سیستم متشکل از الماس گونه ها و مثلث ها برای خرد کردن مقیاس کلی دیاگرید به اندازه مورد نیازی که به شکل منحنی نزدیک باشد. کفه های الماس گونه

کل ارتفاع طبقه را پوشش می دهد و با عناصر پنجره ای مثلثی شکلی پر می شوند که مکان حلقه های افقی را نشان می دهد.

در پایه ی بنا مقاطع بزرگی از دیاگرید از دیوار پرده ای بیرون زده و در نقطه ی ورودی برج یک ردیف ستون را تشکیل می دهد 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 می کند. این جدایی سازه از بنا تأکید بر قدرت دیاگرید به عنوان یک سیستم سازه ای دارد که در تضاد با ابرساختمان ها است که یک قدم به عقب می نشینند. و همچنین از یک پایه ی بزرگ برای استحکام برج پایه سوییس ری در واقع به سمت داخل پایه مخروطی شکل می شود. سیستم های ساختاری ایجاد شده برای سوییس ری تأثیر بسزایی بر ساختمان های دیاگریدی پس از خودش داشت. به ویژه آن هایی که هندسه ای مبتنی بر منحنی داشتند که سه گوشه سازی هم در سازه و هم در نما برای موفقیت آمیز بودن ساخت بنا مؤثر باشند است.



دیاگرید از دیوار پرده ای جدا شده تا یک ردیف ستون در پایه ی بنا ایجاد کند.

نمایی از طبقات به بالا از طریق شافت مثلثی. سطح بالای دقت در طراحی و ساخت سیستم های روکش فلزی متعدد توسط هماهنگی اندازه و خطوط مشترک از سیستم هایی که در این جزئیات هم گرا هستند مشهود است.



برج مجله ی هرست واقع در شهر نیویورک، نیویورک، ایالات متحده ی آمریکا که توسط فاستر و شرکا طراحی و توسط کانتور سینوک مهندسی شد، در سال ۲۰۰۶ تکمیل شد و نمایی از جنوب غربی آن گرفته شده. سازه ی دیاگریدی در بالای یک بنای تاریخی سنگی برپا شده که تضاد جالب توجهی در سبک ایجاد می کردند است. مجاورتی که طراحی ها و تصمیمات سازه ای بسیاری به همراه آورد.

نمایی از طبقه همکف ورودی به سمت بالای آتریوم که تعداد زیادی از طبقات پایین تر بخش مرکزی برج هرست را اشغال می کند. ابر ستون های عمودی و عناصر مورب بزرگ استفاده شدند تا بخش دیاگریدی بنا را که بالای این فضا می نشیند نگه دارند. نورگیر سقفی، ساختار جدید و قدیمی بنا را از هم جدا می کند.

طبیعی مورد نیاز  
برای سطوح پایین  
تر را تأمین کند. از  
آنجایی که این بنا  
به دنبال گواهینامه  
LEED بود، در  
نظر گرفتن نور  
طبیعی در طراحی  
بسیار حائز اهمیت  
بود.

معمار

Norman  
foser

گروه معماری  
همکار

ADAMSON  
ASSOCIATION

مدیر توسعه

TISHMAN  
SPEYER  
PROPERTIES

مدیر ساخت

TURNER  
CONSTRUCTION  
CO.

مهندس سازه

## مشخصات پروژه: برج مجله ی هرست، نیویورک، ایالات متحده ی

آمریکا

برج مجله ی هرست در نیویورک احتمالاً نرمال ترین سازه ی  
دیاگریدی معاصر است که شکل مستطیلی آن با عنوان "دهان پرنده"  
کمی در گوشه تغییر شکل یافته و دنداندار شده و بدین ترتیب مفهوم  
دیاگرید بودن ساختمان برجسته می کند.

انتخاب و جزئیات نمای دیاگرید نتیجه چالش های بسیار خاص  
طراحی بود. فاستر و شرکا با این نیاز مواجه شدند که حداقلی از نمای  
برج تاریخی هرست مشخص باشد، در حالی سطح زیر ساختمان  
افزایش قابل توجهی دارد. این بار با همکاری کانتور سینوک به عنوان  
مهندسین سازه، تصمیم گرفته شد که از دیاگرید به عنوان سازه از  
طبقه دهم تا چهل و چهارم استفاده شود و با پایه هایی که در طبقه  
بنای تاریخی موجود می نشینند، این سازه تأمین شود. این امر اجازه ی  
تفکیک کار سازه مورد نیاز برای بنای جدید از کار بازسازی بنای  
تاریخی را می داد. داخل بنای تاریخی تخریب و نمای سنگی حفظ  
شده و بر اساس شاخص های زلزله جاری نیویورک تقویت شد.

بخش عمده ای از حجم بنای تاریخی موجود به یک فضای آتریوم  
بزرگ، دسترسی به آسانسور ها، خدمات و سالن اختصاص داده شده  
است. به دلایل سازه ای و زیبایی شناختی برج دیاگریدی که شامل  
فضاهای اداری می شود، یک قدم از پیرامون دیوار های موجود بنای  
تاریخی عقب نشست. این امر ساخت پنجره ی سقف بعنوان نورگیر را  
که پل میان برج و بنای تاریخی بوده است، ممکن ساخت تا نور



MOUNTAIN  
ENTERPRISES

WSP CANTOR SEINUK

بنا کننده سازه فولادی

CIVES STEEL

سازنده جزییات فولادی

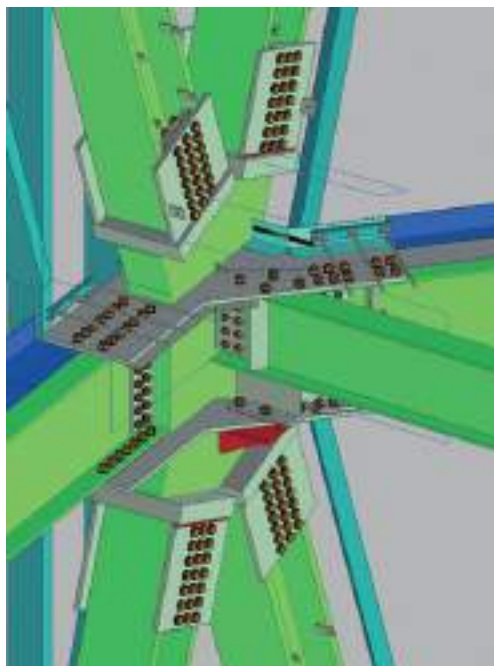
دسترسی به نور طبیعی و فضای باز بدون ستون در پلان های اتاق های کار از جمله فاکتور هایی بود که به انتخاب دیاگرید به عنوان سیستم سازه ای کمک می کرد. سازه ی دیاگرید می تواند پایداری کافی را بدون نیاز به ستون های مضاعف بین دیواره بیرونی و هسته تأمین کند. از آنجایی که از هر طرف کنار خیابان قرار گرفته، تصمیم گرفته شد که هسته به سمت بخش عقبی ساختمان فشار داده شود و در نتیجه از طبقات ساختمان به صورت مفیدتری برای نور و دید استفاده شود. وقتی که هسته در مرکز ساختمان قرار نگرفته باشد بخش بزرگی از توانایی خود را برای ایفای نقش به عنوان یکی از عناصر پایداری از دست می دهد. این تیم روش های مختلف برای رسیدن به سازه پیرامونی را قبل از تصمیم گیری دیاگرید به عنوان راه حل نهایی مشاهده کرد. این روش به طور خاص به دلیل توانایی تحمل نیروی جاذبه و بارهای جانبی که بدون نیاز به اتکا هستند، برای مقاومت در برابر بار های جانبی انتخاب شد. در نهایت هسته به عنوان یک قاب مهار شده ی فولادی طراحی شد که به تحمل نیروهای جانبی کمک کرد.

طراحی هسته ی بنا ها به دلیل اولویت های مصالح، از لحاظ جغرافیایی متفاوت است. نیویورک سیتی دارای سابقه طولانی استفاده ی نسبتاً منحصر به فرد از فولاد برای ساخت هسته ی ساختمان است که قدمت آن به زمان سننگلر (۱۹۰۸)، رول ورث (۱۹۱۳) و ساختمان امپایر استیت (۱۹۳۰) بر می گردد، تنها اخیراً در واکنش به عواقب حادثه ۱۱ سپتامبر استفاده از بتن برای تأمین حفاظت بیشتر از هسته قاب فولادی معمول گردید. این سیستم مرکب برای تقویت قاب فولادی ۱۰ طبقه ی اول برج محله هرست استفاده شد تا به فضاهای باز بزرگ و انتقال بار های مهم بین ابر ستون ها و ابر قاب ها و سازه ی بالای هسته آن بالای ۱۲،۱۹ متر و نورگیر سقفی نعل اسبی بزرگ که به دور سه طرف از پایه ی بخش دیاگریدی برج می پیچد باشد.

سازه ی دیاگرید دور تا دور چهار طرف بنا می پیچد، لذا یک لوله پیرامونی تشکیل می دهد. مهندسین، این سیستم را به جهت افزودگی ساختاری و توانایی ذاتی آن در تأمین مسیر های مختلف برای انتقال بارها انتخاب کردند. همچنین از احمد رحیمیان از اعضای سینوک ذکر شده که

این پروژه نسبت به یک قاب خمشی معمولی ۲۰ درصد فولاد کمتری استفاده می کردند است. به دنبال تلاش برای کسب صدور گواهینامه ی LEEDTM ، فولاد استفاده شده دارای محتوای ۹۰ درصد بازیافتی است. خیلی زود این تصمیم گرفته شد که سازه ی دیاگرید به دلیل ترکیبی از مهندسی حریق و انتخاب های زیباشناسانه در معرض دید قرار نگیرد. در عوض معمار در نظر گرفت که سازه ی دیاگرید را از بیرون و درون بنا با استفاده از سیستم روکش استیل ضد زنگ نشان دهد. این به آن معنی بود که گره ها و اتصالات اعضای دیاگرید که به گره ها می رسیدند، باید از نظر ابعاد و اندازه بسیار تمیز و ظریف باشد. هدف این بود که اتصالات بین گره ها و اجزای مورب از ابعاد بیرونی اجزای مورب بزرگ تر نباشند تا از شکل سازه ای حجیم اجتناب شود. در طراحی نهایی با جزئیات سازه، آن را به عنوان یک سیستم پنهان تصور کردند.

این مدل سه بعدی اکس استیل از گره نشان دهنده ی پیچیدگی اتصالات پیچی است. صفحاتی که تأمین کننده ی مسیر انتقال بار از اجزای دیاگرید به گره ها هستند، دقیقاً توسط دستگاه ها بررسی شدند تا از مسیر انتقال بار اطمینان حاصل شود. صفحات پارویی استفاده شده این اجازه را می دهند که پیچ ها در کنار اجزای دیاگرید جای بگیرند، اجزای اتصالی دقیق در مسیری که برای خطوط معماری استیل با روکش ضد زنگ در نظر گرفته شده است، حفظ شوند.



لبه ی گسترده مقاطع فولادی نورد شده (مقاطع عمودی) به عنوان اجزای دیاگرید استفاده شده است. انتهای آن ها به وسیله ی صفحات بزرگی که بار به صفحات مشابه در بازوی گره ها انتقال

می دهد قطع می شود. آن ها با ضریب خطای بسیار کم ماشین کاری شده است، تا از انتقال بار مناسب اطمینان حاصل شود. گره ها از صفحات جوش داده شده به صورت ((X)) شکل ساخته شدند تا زاویه ی دیاگرید را مشخص کنند. در همین حال اتصال را برای حلقه ی تیر های افقی که تحت تنش عمل می کردند تا قاب برج نیروهای به سمت بیرون را تحمل کند و همچنین اتصال تیر های کف در پشت گره ها به نوار های برشی را فراهم کند. پنهان بودن سازه ی دیاگرید اجازه ی پیچ کردن گره ها و اجزای سایت در محل را در حین برپایی سازه را می دهد که نصب نسبتاً سریع انجام گیرد.



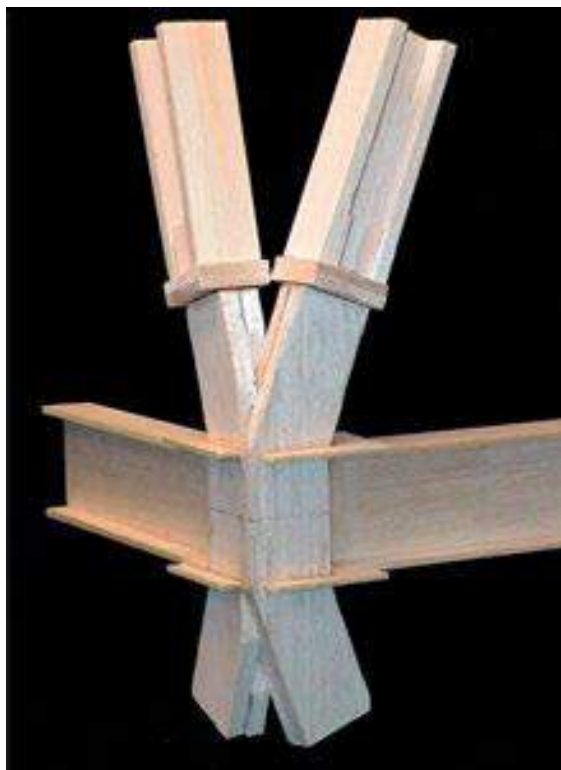
برای این پروژه برپا کننده ی سازه ی فولادی این پروژه اشاره کرد که ترکیبی از استاندارد ها و سوراخ ها بزرگ تر از حد عادی استفاده شد تا اجازه ی برخی تنظیمات مناسب را بدهد و پروژه بدون مشکلاتی در تراز بودن یا متناسب بودن پیش برود.

این بخش از مدل که جزئیات فولادی آن توسط سایو استیل و مؤسسه مانتین تولید شده است، طرح کلی دیاگرید را نشان می دهد. لبه ی تیرها به اجزای مورب بین گره ها و اتصالات مهار شده است.



ابعاد بیرونی ساختمان تاریخی موجود  $60/96 \times 60/96$  متر و ابعاد برج دیاگریدی  $35/56 \times 48/77$  متر است. گره ها در فاصله ۱۲ متر از مرکز با توجه به فاصله ی موجود قرار گرفته است. کار با این هندسه در نما به این معنی است که گره ها در هر ۴ طبقه به صورت متناوب تکرار می شوند. از آنجایی که اجزای مورب در این مورد طول ۴ طبقه را بین هر دو اتصال گره ای پوشش می دهند، تیرهای کف طبقات میانی به اجزای دیاگرید متصل می شوند تا مهار شوند و طول بدون نگهدارنده ی خود را کاهش دهند. بنابراین مدول کلی شبکه ی الماس شکل ۸ طبقه را در برمی گیرد که بر اساس آمارها تا به امروز از بزرگ ترین ابعاد مدول برای سازه ی دیاگرید محسوب می شود.

این شکل کلی از سازه ی فولادی نشان دهنده ی خروج از مرکز هسته و همچنین استفاده از ابرستون ها و اعضای مورب بزرگ در طبقه ی پایین برج است.



مدل چوبی یکی از گره های کناری که در طراحی این پروژه استفاده شد.

سه نوع اساسی از گره ها وجود دارد که شامل بخش میانی، گره هایی بالایی و پایینی می شود، هر کدام از آن ها تنظیمات خاص خود را دارند زیرا آنها ساختار سازه را آغاز می کردند و پایان می دهند. نوع اولیه ی گره که غالباً تکرار شده در سطح دیواره قرار گرفته است. گره هایی که در گوشه های صفحات مستطیل شکل کامل قرار گرفته اند به گونه ای طراحی شده اند تا شرایط هر گوشه ی خاص را به عنوان عضوی که بار به آن وارد می شود و آن را انتقال می دهد، تطبیق دهند و شرایطی را به وجود آورند که به صورت قابل توجهی از شرایط دیوار متفاوت است.

گوشه های ساختمان به عقب میخ شده است تا "دهان پرنده" را شکل دهد که به منظور اجتناب از صفحات بزرگ معلق بین گره های کناری است. گره هایی که در گوشه قرار گرفته است، با توجه به هندسه ی اعضایی که به آنها وارد می شود تقویت شده اند. علاوه بر این دلایل عملکردی برای ساخت این جزئیات، دهان پرنده توسط تیم به عنوان یک ویژگی معماری جهت تأکید بر سازه ی دیاگرید بنا شناخته شد. شکل دادن گوشه ها توسط "دهان پرنده" عدم وجود ستون در گوشه ها را بسیار آشکار می کند.

توسعه ی سازه، اتصالات و جزئیات بسیار متکی بر مدل سازی دیجیتال است. الزامات سفت و سخت طراحی برای دقیق بودن دیوار پرده ای بیرونی بیان گر ضرورت اکتشافات بیشتر در جزئیات دیاگرید بود، که در گذشته تا به این حد توسعه نیافته بود. تیم پروژه به سمت مدل های چوبی آزمایش شده در طول زمان به عقب بازگشت تا هندسه ی گره ها را کشف کند که به عنوان فرآیند بسیار موفقیت آمیز و ارزشمندی شمرده شد.



جزئیات یکی از "دهان پرنده" ها از نزدیک در گوشه ی برج، نشان دهنده ی استفاده از استیل ضد زنگ برای برجسته سازی سیستم دیاگرید. استفاده از دیوار پرده ای استاندارد در سه گوشه سازی که اجازه می دهد تا نور و سایه در داخل راحت تر کنترل شود.



مراحل نصب و اجرای پوشش ضد حریق در حال ساخت بنا

قابل ساخت بودن یک نگرانی مهم برای هر پروژه ی فولادی و به ویژه برای یک سایت شهری کوچک با محل کارگاهی محدود است. شهر نیویورک، منهتن به صورت خاص، مشکلاتی برای حمل و نقل مقاطع فولادی عظیم از روی پل ها به جزیره دارد که اگر برای حمل و نقل نیاز به تدابیر خاص باشد، به میزان قابل توجهی به هزینه های پروژه می افزاید. اگر مقاطع خیلی بزرگ باشند، تنها از طریق برخی پل های خاص و در طول شب قابل حمل هستند تا برای جریان ترافیک مشکل ایجاد نکنند. همچنین همه ی پل ها محدودیت های وزنی و ابعادی دارند که برای تدارکات در حین ساخت سازه های فولادی مشکل ساز هستند. خرد بودن سیستم دیاگرید به گره ها و اجزای مورب پیش ساخته ی گسسته که می تواند در یک نظام مشخص به هم پیچ شوند یکی از مزایای سازه ی دیاگرید برای این پروژه ی خاص بود.

درجه ی بالایی از تکرار از نظر توالی نصب و جزئیات، همچنین سطح بالای همکاری میان معمار، مهندسین، اجراکننده و سازنده ی قطعات، استفاده از سیستم دیاگرید را در برج هرست بسیار موفقیت آمیز بود.



آهن کاران از اجراکنندگان نیویورک سیتی لوکال شماره ۴۰ رسیدن گره در حین برپایی قاب.

گره ها اساساً متقارن هستند و همینطور تکرار شونده، بنابراین این امکان وجود داشت که قلاب را به بالای جرثقیل دقیق تنظیم کرد تا در زاویه درستی فرود بیایند و لذا با نیروی کمی بتوان آنها را پیچ کرد و برای رسیدن به اجزای دیگر تنظیم نمود. در اتصالات از ترکیبی از استاندارد ها و سوراخ های بزرگتر از حد معمول استفاده شد تا نصب در محل را تسهیل کند.

روکش فلزی و نمای استفاده شده در برج هرست به طرز قابل توجه ای از تجربه ی قبلی فاستر در برج سوییس ری متفاوت بود. سوییس ری از سیستم پوشش شیشه ای مثلثی استفاده که با شکل منحنی اش متناسب بود و تأکید بر سازه ی دیاگرید به صورت حداقلی با روکش های فلزی صورت گرفت. اما طبیعت راست گوشه برج هرست متناسب با سیستم سه گوشه ای به نظر نمی رسید. مقیاس بزرگ مدول دیاگرید در هرست این اجازه را داد که از کرتین وال با شکل استانداردتری استفاده شود و استفاده از قطعات دیوار پرده ای مثلثی و دوزنقه ای به حداقل برسد و فقط در

نقاطی که دیوار پرده ای به دیاگرید می رسد، اتفاق بیفتد. عناصر دوزنقه ای نیز در طول نما بسیار منظم اتفاق افتاده است که در ساخت وساز بسیار مفید بود.

این سه پروژه ی پایه سازه های دیاگریدی معاصر است ، اساس نظام مند شدن سازه ی دیاگرید را شکل دادند که تا دهه های اخیر پیشرفت حاصل شود. با وجود اینکه شهرداری لندن ممکن است تأثیر محدودی به خاطر ابعادش یا استفاده از دیاگرید در بخشی از بنا و نه کل آن، داشته باشد، اما آغازگر استفاده از دیاگرید در نشان دادن طراحی های معمارانه محسوب می شود. سوییس ری زبانی برای شکل های منحنی تعبیه کرد که از نمای سه گوشه ای استفاده می کند. هرست شکل دیاگریدی با مقیاس بزرگ تری را ارائه داد و در نمای بیرون استفاده از دیوار پرده ای به صورت معمول تر را تجربه کرد.





۴

## نیاز های تکنیکی

طراحی برای کارایی

تست باد

طراحی لرزه ای

سیستم حفاظت حریق

- امنیت ساکنان
- محافظت در برابر حریق
- لوله های فلزی پر شده با بتن
- روکش های مقاوم

ماکت ۱/۵۰ برای تست میز  
تکان دهنده (شبیبه ساز زلزله) از  
برج کانتون، در چین، طراحی  
مارک هامل، باربارا کوپیت،  
مهندسی سازه: اروپ

توسعه ی روابط کاری با مشاوران مهندسی مناسب برای  
طراحی باد، لرزه و محافظ آتش، از جنبه های ضروری مرتبط  
با مدیریت پروژه های پیچیده ی دیاگرید است. هدف از این  
فصل ارائه ی یک نمای کلی از برخی از استراتژی هایی است  
که در ساختمان دیاگرید تا به امروز اعمال شده است.

### طراحی برای کارایی

ساختمان ها در حال حاضر قادر به ترغیب مرزهایی در ارتفاع، هندسه و مصالح به عنوان یک نتیجه  
ی مستقیم از پیشرفت در فناوری هستند که ما اکنون آنها را برای طراحی و ساخت استفاده می  
کنیم. روشی که ساختمان ها بر اساس آن طراحی شده اند، تغییر چشمگیری کرده است. این روش  
ها به ویژه برای سازه های قدیمی شامل آزمون و خطا است. روش های سابق طراحی به عنوان یک  
اقدام احتیاطی قابل قبول نیست، چرا که این مواد و وزن اضافی را به ساختمان می افزایند. هدف  
طراحی فعلی، دقت در ترکیب با عوامل ایمن و معقول است. پیشرفت در فناوری محاسباتی در  
طول ۳۰ سال گذشته، طراحی سازه و ساخت فولاد را آزاد می کردند است. ترکیب روش های  
بیشتر در آزمون های سنتی برای بارگذاری باد، عملکرد لرزه و آتش، اساس شیوه های مهندسی  
فعلی هستند.

مسائل بارگذاری خاص تأثیر زیادی در طراحی سازه های دیاگرید دارد. یکی از نوآورانه ترین  
جنبه های سازه های دیاگرید توانایی مقاومت در برابر بارهای جانبی است. ساختارهای قاب خمشی  
سنتی یا باربند دار متشکل از ستون های عمودی و کف افقی طبقات، به پایداری جانبی که توسط  
هسته برای مقاومت در برابر بارهای جانبی فراهم می شود وابسته است. مسئولیت حرکت مقاومت  
بار جانبی در یک محیط دیاگرید نیازمند توسعه ی مداوم تحقیقات قابل توجه و تست پیش بینی  
است. این مهم است که بدانیم که دانش عملکرد موجود و مخصوصا کدها پایه ی انواع ساختارهای  
قبلی هستند و اغلب شامل دیاگرید نمی شوند.

شرایط فعلی برای آزمایش باد ساختمان ها در سراسر جهان به طور چشمگیری متفاوت است. در بسیاری از حوزه های مقاومت، تست باد هنوز اجباری نیست. همچنین در اواسط سال ۱۹۶۰ تست باد از ساختمان ها حتی به عنوان یک جنبه ی بالقوه ی طراحی ساختمان در نظر گرفته شده بود. در این مرحله ی تست باد فقط برای ساختمان هایی که بسیار بلند و یا دارای الگوهای بارش برف غیرمعمول بودند، در نظر گرفته شده است. این امر می توانست با راهنمایی مهندس سازه و نه به طور اجباری باشد. شرکت های بزرگ که تمرکز تجارت آنها روی تست تونل باد است، در اوایل سال ۱۹۷۰ وارد صحنه شدند. با این حال تست تونل باد به بیش از ۱۰۰ سال پیش بر می شود، اما در درجه ی اول توسط وسایط حمل و نقل هوایی صنعتی برای مطالعه ی عملکرد وسیله ی نقلیه استفاده می شد. برادران رایت در اوایل سال ۱۹۰۱ برای تست هواپیمایشان از یک تونل باد ساده استفاده کردند.

بارهای لرزه ای نیز تأثیر زیادی در بار پتانسیل جانبی بر ساختمان دارد. در شرایطی که عملکرد ضعیف یک ساختار تحت تنش بار بیش از حد باد باشد، ممکن است منجر به ناراحتی سرنشینان و صدمات به ساختار سازه ای بنا شود، فقدان طراحی لرزه ایی عواقب بسیاری جدی در پی دارد. این به این معنی نیست که عملکرد مورد نیاز باد حائز اهمیت نیست، بلکه برای تأیید عملکرد سازه تحت یک رویداد شدید لرزه ای است. ساختارهای دیاگرید یک روش بسیار جدید و ابتکاری از ساختار یک ساختمان را ارائه می دهد. با این وجود سابقه ی عملکردی وجود ندارد که بتواند از طریق ساختارهای موجود تأسیس شود. قدرت لرزه های فعلی برای ساختمان های بلند به فناوری دیاگرید نیاز ندارد.

طراحی ضد حریق به دلیل دخالت های معماری در این سیستم سازه جالب توجه است. در شرایطی که بیشتر سیستم های سازه ای تمایل به پنهان شدن یا ساخته شدن در ترکیب با اصول مختلف مفاهیم معماری رادارند، سیستم های دیاگرید اغلب به عنوان عناصر بیانی در هر سه استفاده می شود. مهندسی آتش تعیین خواهد کرد که آیا ساختار مورد نظری تواند تحمل کند یا باید پوشیده شده و بیشتر محافظت شود.

باد، الزامات حفاظت از لرزه و آتش، در مراحل اولیه ی طراحی مورد ارزیابی قرار می گیرند چرا که آنها طیف وسیعی از امکانات برای استفاده در پروژه های دیاگریدی را تعیین می کند. درحالی که این امر برای همه ی ساختمان ها صدق می کند، در مورد ساختمان های دیاگرید مفهوم خاصی

وجود دارد زیرا ما در حال حاضر در روند ایجاد سوابق موفق برای سازه ی دیاگرید در این مناطق هستیم.

### تست باد

تست باد یک بخش ضروری از مهندسی ساختمان معاصر است. تست های باد چه بر پایه ی مدل های فیزیکی و یا شبیه سازی دیجیتال، اطلاعاتی را فراهم می کنند که برای طراحی ساختار و روکش فلزی و تعیین بهترین شکل برای ساخت بحرانی است، به طوری که شرایط باد را در مجاورت ساختار تشدید نمی کند. اغلب تست های متعدد برای اعلام نتایج شبیه سازی اجرا خواهد شد.

شکست برج های دوقلو در مرکز تجارت جهانی، از اهمیت توسعه در ساختمان های بلند دیاگریدی برخوردار است، همان طور که برج ها به یک سیستم پشتیبانی از فولاد که به یک هسته ی قاب فولادی می انجامد، متکی هستند. مؤسسه ی ملی استاندارد و فناوری (NISI) ایالت متحده در مطالعه ی جامعه مرکز تجارت جهانی، ناهماهنگی در پیش بینی تست باد را در برج هایی که با شکست مواجه شدند مورد اخطار قرار داد. در طی تحقیقات فروپاشی NISI نشان داد که برآورد بار باد از سه آزمایش جداگانه ی تونل باد در مدل های مرکز تجارت جهانی تا حد زیادی متفاوت است. در نتیجه NISI پیشنهاد کرده است که یک تغییر کد نیاز است، در ایالت متحده، از یک استاندارد ملی پذیرفته شده برای انجام تست های تونل باد استفاده شده که برای تعیین بارهای باد در طراحی ساختمان های بلند مورد استفاده قرار گرفته است.

عدالت طراحان از برج های مرکز تجارت جهانی و شرکت مهندسی لسللی ایبی رابرتسون، استفاده از لایه ی مرزی تست تونل باد برای برج ها در مراحل اکتشافی خود در آن زمان بوده است. به ویژه برج های تمام فولادی سنتی شهر نیویورک فاقد جرمی است که می توانست توسط یک هسته ی سنگین فراهم شود، بنابراین نمی تواند به سوابق ساختمان هایی که در آنها از بتن آرمه استفاده شده است، تکیه کند. به منظور تأیید اعتبار داده هایی که در تست تونل باد برای برج های مرکز تجارت جهانی تولید شده، از آنها در یک برج بر بالای ساختمان مجاور به سایت و همچنین از دو دستگاه اندازه گیری دیگر در نقاط دیگر استفاده می شود. سرعت آن اندازه گیری شده بود و نوسان برج براساس داده های جمع آوری شده پیش بینی شده بود. در آن زمان شناخته

نشده بود که چگونه جنبش کارکنان قابل تحمل است. روان شناسان بر این باورند که مردم به سادگی می توانند با آن سازگار شوند. طراحان ریسک در پروژه های بزرگ را نمی پذیرند، به طوری که پس از توسعه تعدادی از شبیه سازی های حرکت به تجربه بالقوه، آنها نتیجه گرفتند که یک سیستم میرایی مورد نیاز است. آنها سیستم میرایی ویسکوالاستیک را برای استفاده در ساختمان ها به منظور محدود کردن جنبش، توسعه دادند و به ثبت رساندند.

صرف نظر از توصیه های NISI و تطبیق متناوب کدهای الزامی، آزمایش اثرات باد بر روی ساختمان، در حال حاضر به طور معمول برای همه ی ساختمان های بلند و ساختمان های با هندسه ی غیر معمول به انجام می رسد که آسایش انسان و یا وزن برف فراوان را تحت تأثیر قرار می دهد.

آسایش بشر شامل تأثیر الگوی باد بر محیط زیست در درجه ی اول و نیز حرکت در سطوح بالا است. برای ساختمان های بلند، بار باد باید به منظور طراحی درست سیستم و ضمیمه روکش فلزی شناخته شده است. سه راه برای اجرای تست باد وجود دارد:

۱-دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)

۲-مرز لایه ی تونل باد

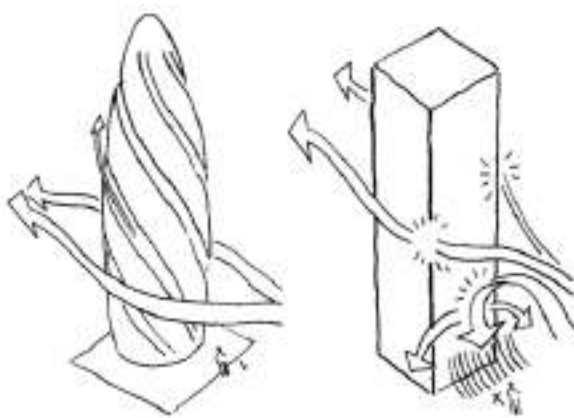
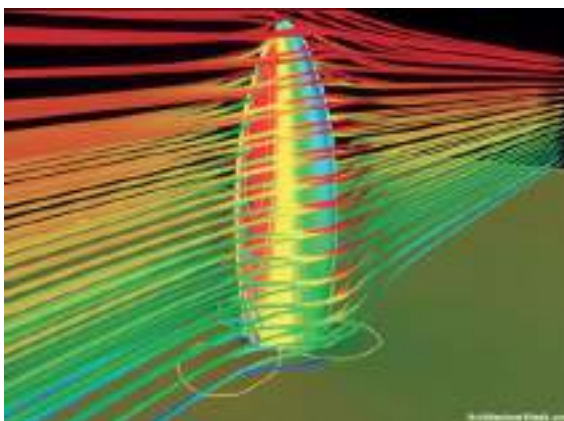
۳-فلوم آب

اکثر ساختمان ها از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و همچنین یک یا چند آزمایش فیزیکی استفاده می کنند. ساختمان ها در ارزیابی یک فلوم آب برای تجمع برف و ماسه آزمایش خواهد شد. یکی از ملاحظات کلیدی در تعیین ساختار و شکل یک برج دیاگرایدی، توانایی مقاومت در برابر بار باد است. اگرچه برنامه های CFD قادر به انجام بعضی از مدل های پیش بینی شده است که به تعیین شکل کمک خواهد کرد، اکثر ساختمان هایی با شکل غیرعادی و یا بلند در یک تونل باد فیزیکی تست شده اند.

مهندسان باد براساس یافته های خود تغییر شکل ساختمان را پیشنهاد می کنند. همچنین تحقیقات مربوطه هر سیستم میرایی را که برای جبران نوسان بالقوه در بالای برج با توجه به اثرات باد نیاز است بررسی می کند. سیستم تنظیم توده دمپر (TMD) باید جایگزین طرح و بخشی از ساختمان شود. ساختمان های خیلی بلند به دقت بیشتری در طراحی آیرودینامیک نیاز دارند.

انجام تست اهمیت زیادی برای آن دسته از ساختارهای جدید دیاگرید دارد که شامل اشکال غیرعادی یا پیچیده است، زیرا حرفه ی مهندسی هیچ قوانین کلی استاندارد ندارد که به آن متکی باشد. در مورد سوییس ری (خیابان ۳۰، مری آکس)، شکل ساختمان ها در پاسخ به الگوهای باد در اطراف محل برای ایجاد یک حوزه ی عابر پیاده ی کوچک در پایه ی برج توسعه یافته بود.

شکل برج سوییس ری واقع در لندن انگلستان که توسط فاستر و شرکا طراحی و توسط اروپ مهندسی شد، بر این هدف بود تا جریان باد را در اطراف ساختمان تسخیر کند و بدین صورت با عملکرد سیستم تهویه ی طبیعی که بوسیله ی عناصر آتریوم دو لبه ی مارپیچی خلق شده بود همکاری کند. فاستر در طراحی اش برج خود را با برج مستطیلی شکل استاندارد ی کمه باد نمی تواند در اطراف آن جریان یابد مقایسه کرد. الگوهای جریان باد در اطراف برج سوییس ری به همان شکل پیش بینی شده است.



الگوهای جریان باد در اطراف برج سوییس ری متناسب با شکل برج

در شرایطی که طرح ها و مدل CFD ممکن است در ایجاد درک اولیه از عملکرد باد بر ساختمان ها مفید باشد، این نوع از نقشه ها و مدل ها، نتیجه ی عمده ی زمینه ی ساختمان ها را بررسی نمی کند. به ویژه موقعیت های شهری الگوهای جریان باد بسیار پیچیده به عنوان یک نتیجه ی مستقیم از پیکربندی ساختمان های مجاور محل را مورد مطالعه قرار می دهند. برای مقابله با این مسئله کارآمدترین اقدام، مدل سازی تونل باد است.

زمین های ساختمان هایی که در تونل باد قرار دارند، باید همانند نواحی شهری (قشر مرزی) مدل سازی شوند تا شبیه سازی صحیحی به هنگام فشار از طرف باد ایجاد شود. این همان مدلی است که در ساختمان لیدنهل لندن نیز مورد استفاده قرار گرفت. برج سوییس ری و شکل منحصر به فرد برج ها در مجاورت ساختمان به آسانی قابل تشخیص است. این منحصر به فرد بودن جهت ایجاد نتایج صحیح حائز اهمیت است.



انواع مدل های فیزیکی استفاده شده در لایه ی مرزی تونل باد در جزئیات بزرگ اجرا می شود. این مهم است که مدل بافت پوششی و هندسه ی دقیق شرایط در خوانش اثر می گذارد. این مهم با استفاده از فناوری های چاپ سه بعدی به راحتی انجام می شود. مدل ها را می توان در مقیاس های مختلف برای ارزیابی جنبه های مختلف طراحی ایجاد کرد. در این عکس، می توان مدل انجام شده ی لایه مرزی برای ساختمان لیدنهل را به طور کلی مشاهده کرد. برخی اوقات ساختمان هایی که در وضعیت منزوی تری قرار دارند، مدل های بزرگ تری هستند. اندازه ی مدل مطابق با قابلیت تونل باد تعیین خواهد شد. تونل باد تجاری در محدوده ی سطح مقطع از ۲۰۴ متر×۲۰۴

متر/۸ فوت×۸ فوت وجود دارد. لایه ی مرزی تونل باد استاندارد یک جدول چرخش برای سهولت مطالعه ی اثرات باد از جهات مختلف را فراهم می آورد.

تغییر شکل معماری جدا از مسیر مستقیم می تواند برای ایجاد "باد زیاد" استفاده شود. این امر در اصطلاح علمی "گردابه" نامیده می شود. در جایی که هندسه ی ناهموار برای جلوگیری از گرداب ها در سمت پشت به باد از ساختار سنگ فرش استفاده می شود، که اگر در هماهنگی با رزونانس طبیعی ساختمان باشد می تواند باعث شکست فاجعه بار شود. مطالعه های زیادی درباره ی طراحی گوشه های ساختمان به عنوان یک تأثیر قابل توجه بر گردابه و مسیر جریان باد در اطراف ساختمان در حال انجام است.



آزمودن اثرات باد در قسمت پایینی ساختمان بخصوص در نمونه های ابربرج ها در مناطق شهری بسیار حائز اهمیت است. وجود بادگیرها در سایت های شهری متراکم می تواند باعث شود که محدوده ی عابر پیاده قابل تردد نباشد. تصویر نزدیک تری از مدل باد ساختمان لیدنهال که برای تست تردد عابر پیاده مجهز شده است: مدل سمت چپ وضعیت قبل از ساخت و ساز و مدل سمت راست وضعیت نهایی ساختمان را نشان می دهد.

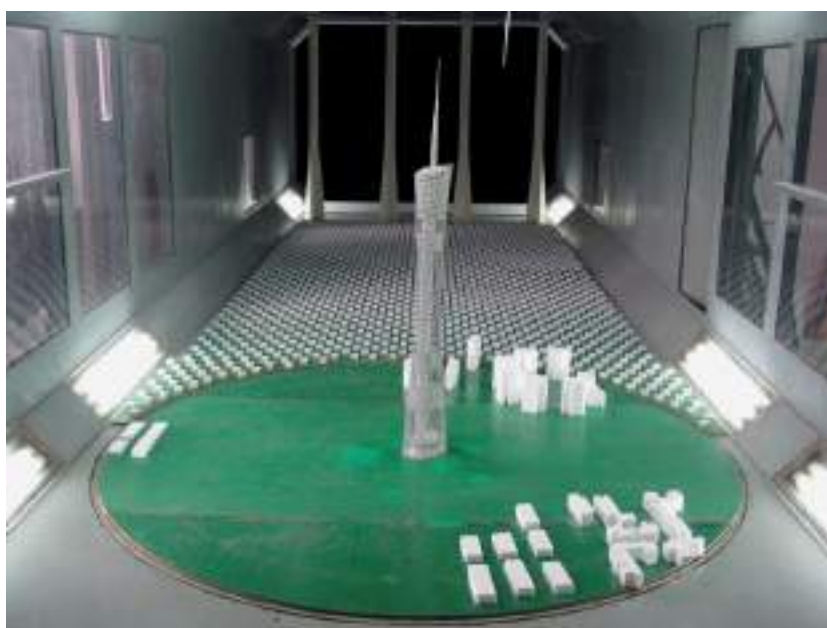
برج کانتون در گوانجو باید پاسخ گوی چندین مشکل بحرانی بارگذاری جانبی می بود. برج ارتباطی ۶۰۰ متری/۱۹۶۹ فوتی در یک ناحیه ی مستعد طوفان واقع شده است. اگرچه ساکنین در زمان وقوع طوفان ساختمان را تخلیه می کنند، اما تغییر شکل و حرکات ساختمان همچنان باید محدود شود. سازه های به شکل پلان بیضوی همانند پلان استفاده شده برای برج کانتون، مستعد انفعالات عرضی باد ناشی از انتشار گردابه است. این مسئله حائز اهمیت بود که بار دقیق باد را تعیین می کردند و انحراف رانش جانبی و محدودیت شتاب ساختمان، درست تنظیم شوند. از لحاظ



تعیین بارهای باد، شکل ساختاری منحصر به فرد شبکه ی مورب برج در هیچ یک از آیین نامه های ساختمانی پوشش داده نشده بود که این بارها، یکی از مورد های بحرانی بار باد برای مطالعه و بررسی بودند. مهندسين باد آرپ، مجموعه ای از مطالعات آب و هوایی باد و تست های تونل باد آزمایشگاهی را انجام دادند تا بارگذاری باد سازه را به دقت ارزیابی کنند. آنها از فنون شبیه سازی مونت-کارلو برای استنتاج مشخصات باد استفاده کردند، مونت-کارلو یک فن حل مسئله بود که برای تخمین احتمال خروجی های مشخصی با استفاده از چندین اجرا یا شبیه سازی امتحانی با استفاده از متغیرهای تصادفی استفاده می شد. این آزمایش های شامل یک آزمون توپوگرافی و یک آزمون مدل باد بخشی در مقیاس ۱:۱۵ می شد. از یک متد عددی استفاده شد تا نیروهای باد را بیشتر در طرح سازه تجمیع کنند. از مدل بخشی در اندازه ی بزرگ نیز برای تست رفتار خرد اقلیم نواحی باز برج استفاده شد، چون این نوع ساختاری شبکه ی مورب دارای هیچ گونه نمونه ی باد، مخصوصا در این مقیاس بزرگ نبود.

چون برج کانتون یک برج پخش (انتشار) است، این مسئله حائز اهمیت بود که برج، این عملکرد را در طول وقوع بادهای شدید حفظ کند. آزمایش های اضافی بر روی بخش آنتن برج انجام شد تا اطمینان حاصل شود که حرکت های (آنتن) محدودند. یک سیستم میراگر در بالای برج و بخش دکل ایجاد شد تا به کنترل حرکات برج کمک کند.

اطلاعات بیشتر در مورد آزمایش های باد را می توان در درک طراحی فولادی، فصل ۹: سیستم های پیشرفته قاب بندی: شبکه های مورب مشاهده کرد.



نمایی از برج کانون در حین تست باد، لایه مرزی که توسط آرپ اجرا شده است، عدم حضور سازه های مجاور دیگر در نزدیکی برج شرایط واقعی محیط را نشان می دهد، که برج در کنار رودخانه واقع شده و هیچ سازه بلندی در نزدیکی آن وجود ندارد. میتوان در تصویر مشاهده کرد که نیمی از ارتفاع برج تنها شامل شبکه مورب خارجی و هسته آسانسور هست که مطالعه استحکامش را در این مرحله بسیار بحرانی میکند.

### طراحی لرزه ای

توسعه ی فاکتورهای عملکرد لرزه ای برای سیستم های مقاومت نیروهای لرزه ای با قاب شبکه ی مورب، در حوزه ی جدیدی از مطالعات مهندسی جای می گیرد. آیین نامه های کنونی مدل ساختمانی، به وضوح سیستم های شبکه ی مورب را مورد بررسی قرار نمی دهند. سازه ی تحت زمین لرزه های متوسط تا شدید، یک سیستم مقاومت در برابر نیروی لرزه ای را می طلبد که باید بتواند شکل پذیری و ویژگی های توزیع کارآمد تنش وارد بر ساختمان را عرضه کند. این مسئله ضروری است تا در حین تحمل تغییر شکل های قاب برشی، از ریزش ساختمان جلوگیری شود. در پیکربندی نرمال یک سیستم با قاب شبکه ی مورب، بارهای قائم و جانبی به عنوان فشار یا کشش محوری، از طریق واحدهای بادبندی و تیر افقی (گره افقی) توزیع می شوند. تحت شرایط فشرده، عناصر قاب شبکه ی مورب به گونه ای طراحی خواهند شد که با یک فاکتور مناسب امنیتی، به صورت ارتجاعی خطی باقی بمانند.

اگر سیستم شبکه ی مورب محیطی، به همراه یک هسته ی بتن آرمه ساخته شود، توسط طراحی لرزه ای، یک سیستم دوگانه در نظر گرفته می شود. هسته ی بتن آرمه به این صورت در نظر گرفته می شود که به گونه ای شکل پذیر عمل کند. اگر ساختمان شبکه ی مورب بدون یک هسته ی بتن آرمه طراحی شود، نمی تواند همانند یک سیستم دوتایی عمل می کردند و شکل پذیری فراهم شده توسط هسته را ندارد. در این مورد، سیستم شبکه ی مورب محیطی، به تنها سیستم مقاومت در برابر نیروی لرزه ای تبدیل شده است و به متد کاملاً متفاوتی برای طراحی و آنالیز نیاز دارد. این مسئله را می توان مطابق با برخی از بندهای آیین نامه (های ساختمانی)، یک "سیستم دیوار باربر" یا یک "سیستم ناشناخته" نام گذاری کرد. لازم است که سیستم های ناشناخته به روش های دیگری آزموده شوند تا عملکردشان تعیین شود.

در جایی که متدهای محاسباتی ممکن است برای پیش بینی عملکرد یک ساختار شبکه ی مورب کافی نباشند، از میزهای لرزه ی فیزیکی می توان استفاده کرد. آزمون میز لرزه در برج

کانتون مورد استفاده قرا گرفت چون شکل شبکه ی مورب آن فراتر از تحلیلات طراحی استاندارد لرزه ای است. یکی از چالش های استحکام سازه ای، باریکی برج در "کمرش (قسمت میانی)" و کمبود نسبی مواد ساختاری در آن بخش برای مقاومت باره است. از فنون های محاسباتی پیشرفته استفاده شد تا تأیید شود که برج قادر به تحمل وقایع لرزه ای شدید هستند و همچنین ستون محیطی را در بخش میانی یعنی در جایی که در آن هیچ دیافراگم طبقه وجود ندارد، چک می کند. آزمون های مدل بزرگ اندازه که شامل یک آزمون میز لرزه ای در مقیاس ۱:۵۰ و یک آزمون بار پایداری در مقیاس ۱:۱۵ باشند، در کمر ساختمان انجام شده است، تا امنیت ساختاری را تأیید کنند.



ساختار داخلی مؤسسه ی فناوری مانوکاتو، آوکلند، نیوزیلند، که توسط معماران وارن و ماهانی طراحی شده است، از یک سیستم مهاربندی لرزه ای برای تقویت سازه استفاده می کند. در این مورد، شبکه ی مورب بارهای جانبی را تحمل می کند اما تنها سیستم سازه ای فولادی برای ساختمان نیست. صفحات طبقات عمیق و حیاط داخلی به روشی نسبتاً استاندارد ساخته شده است تا با آیین نامه های ساختمانی نیوزیلند سازگاری داشته باشند. قاب با مهار بندی خارج از مرکز (EBF) برای MJH، با مهندسی شرکت فولاد D&H، با استفاده از جوش های نفوذی کامل صفحات فلنچ ۶۰ میلی متری/۲،۴ اینچی با تار ۵۰ میلی متری/۲ اینچی ساخته شد.

ساختمان های شبکه ی مورب ساخته شده تا به امروز، به ویژه برج ها، در نواحی ای با زلزله خیزی کم تا متوسط ساخته شده اند. هیچ کدام از ساختمان ها به جز مؤسسه ی فناوری مانوکاتو در شهر آوکلند، کشور نیوزیلند، در منطقه های به شدت زلزله خیز ساخته نشده اند. این سازه ی کوتاه، از شبکه ی مورب تنها برای تقویت دو نمای خود استفاده می کند. فولادِ سَمَتِ دیگر ساختمان از فنون های مهاربندی لرزه ای به جای استفاده از قاب هایی با مهاربندی خارج از مرکز (EBF) استفاده می کند.

یک مدل بزرگ از IFC در هنگ کونگ چین، طراحی شده توسط ویکن سون آیر با همراهی آروپ، ماهیت نوآورانه ی این ساختارهای شبکه مورب بزرگ، متدهایی از تحقیق و اعتبار سازه ای لازم می کند که اغلب شامل ساخت مدل های فیزیکی بزرگ می شوند.



آزمون میز لرزه ای بخشی از برج کانتون، توسط یک میز میراگر جرمی مجهز شده است، این سیستم شامل یک سیستم میراگر جرمی فعال فشرده AMD است، که AMD از موتور های کاهش خطی نصب شده بر TMD ناشی

شده اند. در صورت وقوع خرابی سیستم کنترل HMD، سیستم یک به یک با سیستم TMD غیر فعال تبدیل می شوند.

در زمان نوشتن این کتاب، رویکردی مبتنی بر کد تعریف شده است برای ارزیابی عملکرد لرزه ای یک سازه ی شبکه ی مورب وجود نداشت. پیش بینی می شود که تحقیقات در این حوزه ی مهم ادامه یابد. در این زمان، رویکرد تست کردن برای پروژه های نامدار، به استفاده از ترکیبی از متدهای آنالیز، شامل مدل کردن فیزیکی و آزمون میز لرزه برای مدتی ادامه خواهند داشت.

### سیستم های حفاظت حریق

اگرچه فولاد یک ماده ی نسوز است، اما زمانی که در حین آتش سوزی در معرض حرارت قرار می گیرد، می تواند به طور ناگهانی تخریب شود. در حالی که (مورد استفاده، ارتفاع ساختمان و دسترسی به تجهیزات آتش نشانی، در نظر گرفته می شود، در عین حال فولاد باید تا به مدت بیش از ۴۵ دقیقه حرارت ناشی از آتش را تحمل کند، برای مقاومت کردن، نیازمند حفاظت در برابر حریق است. در بیشتر آیین نامه های حریق، تمرکز طراحی حفاظت از آتش ابتدا بر روی این موضوع است که سلامت ساختمان به مدتی حفظ شود تا تمامی ساکنین ساختمان را تخلیه کنند و دوم اینکه سازه پس از اطفاء حریق، دست نخورده باقی بماند. هرچه ساختمان بزرگ تر و پیچیده تر باشد، این مسئله سخت تر می شود. این بدین معناست که استفاده از فولاد ساده و رنگ آمیزی شده و نمایان، کاملاً محدود است. حفاظت از حریق را می توان از طریق پوشاندن فولاد با موادی که خسارت ناشی از حرارت را برای مدتی به تأخیر اندازد، و یا از طریق استفاده از یک سیستم اطفاء حریق، و یا ترکیبی از هر دو روش به دست آورد.

برای بحث های کامل تری که پیرامون گزینه های مختلف برای حفاظت از حریق فولاد، طرح می شود که به درک طراحی فولادی، فصل ۷: پوشش ها و حفاظت در برابر حریق مراجعه کنید. محتوای این فصل، نوآوری های خاصی را که در ساختمان های شبکه ی مورب یافت می شوند، مورد بررسی قرار خواهد داد.

### امنیت ساکنان

موضوعات مربوط به تخلیه ی ایمن ساختمان از ساکنان ممکن است منجر به ایجاد الزامات مورد نیاز برای حفاظت از ساختار فولاد در طول مدت آتش سوزی شود. در ساختمان های بسیار بلند، استفاده از طبقه ی تخلیه (فضای امن) در حال حاضر معمول است. این طبقات باید در برابر آتش مقاوم باشند و موجب تخلیه ی ایمن ساختمان از ساکنان شود، به طوری که به ابزارهای خاصی جهت خروج نیازی نیست. کاربرد طبقه ایمن، بخشی از استراتژی های مورد استفاده در گوانگژو IFC تعیین شده است. نمونه ی طبقات، در نواره ی نمای ساختمان قابل مشاهده هستند.

رفتار نما در گوانگژو یک المان طراحی از تهی سازی و کف مکانیکی

ایجاد می کردند است. طبقات تخلیه در جایی قرار داده می شوند که نیاز به اهداف مهندسی آتش باشد و این طبقات ساختاری مشابه با طبقات دیگر ساختمان دارند. در یک سیستم پایه، تقویت و سطوح بیرونی برای انجام دو وظیفه اجرا می شوند: آنها طبقات تخلیه هستند و باید به طور همزمان الزامات ساختاری و تجهیزات آتش را در محل خود مستقر کنند.

### پوشش های اسپری ضد حریق

فیبر اسپری برای حفاظت از آتش به کار می رود که معمولاً در سیستم های اسکلت فلزی برای مخفی کردن ساختار سازه استفاده می شود. این روش، جایگزین استفاده از اسپری ضد حریق آزیست است. سه نوع از ترکیبات مختلف مورد استفاده در این روش وجود دارد:

گچ کاری، گچ سیمان و گچ لیفی. این مواد به دلیل ضخامت لازم به منظور ایجاد تأخیر در ظهور دمای فولاد به دمای شکست تقریبی آن از ۵۴۰ درجه، اسپری می شوند.



برج های البهار واقع در ابوظبی، امارات متحده ی عربی، طراحی شده توسط معماران آنداس با آرپ، از اسپری ضد حریق بر روی اعضای سازه های فولادی استفاده شده است و به عنوان یک سیستم فولادی مخفی طراحی شده است.

در میان اعضای دیاگرید، سنگ گچ از یک روکش فلزی شش ضلعی برای به حداقل رساندن تأثیر بخش لبه ی گسترده در فضای داخلی استفاده می کند. جرزهای خارجی نمایش دهنده ی دیاگرید های روی جبهه شمالی می توانند در دیوار پرده های خارجی دیده شوند.



ساختار کف کپیتال گیت واقع در ابوظبی، امارات متحده ی عربی، طراحی شده توسط RMJM، از نوعی اسپری حفاظت از در برابر حریق استفاده شده است که در قالب عناصری پنهان خواهند شد. سیستم های محافظتی ترکیبی اغلب به هنگام اتمام کار، به صورت نمایان خواهند بود.

### لوله های فولادی پر شده از بتن

بتن مدت طولانی است که به عنوان یک روش حفاظت از آتش و همچنین یک ماده ی مرکب برای تقویت ساختاری در ساختمان استفاده می شود. بتن را می توان با استفاده از فولاد احاطه کرد و با ایجاد یک عمق پوشش بین منبع آتش و فولاد، و یا برای پر کردن بخش های HSS، مقاومت آنها را در برابر آتش افزایش داد. روش پر کردن، مقاومت کمتری را نسبت به قفسه فراهم می کند و

بسته به زمان در نظر گرفته شده، برای مقاومت در برابر آتش مورد نیاز نیز ممکن است به حفاظت اضافی نیاز داشته باشد. در حال حاضر استفاده از لوله های پر شده از بتن افزایش یافته است و در آسیا و خاورمیانه ی شرق یک استراتژی برای حفاظت در مقابل آتش، در ساخت و ساز سیستم های ترکیبی (کامپوزیت) ارائه می کند. افزایش استفاده از این سیستم به دنبال روش برای حفاظت سازه های دیاگرید بلند مرتبه، در عین حل به نمایش در آوردن سیستم ساختاری آنها می شود.

به هنگام ساخت سازه های دیاگریدی بزرگ، سیستم ستون لوله های فولادی پر شده از بتن مزایای بسیاری در مقایسه با سازه های فولادی استاندارد و یا سیستم ساده ی بتن مسلح دارد.

**تعامل بهتر بین لوله های فولادی و بتن:** کمانش محلی لوله های فولادی با تأخیر است و زوال قدرت آن نیز با توجه به اثر بازدارنده ی بتن، با تأخیر است. قدرت و صلابت بتن با توجه به اثر محدود ارائه شده توسط لوله های فولادی افزایش می یابد و از خرد شدن بتن توسط لوله جلوگیری می شود، خیزش بتن کمتر از بتن مسلح معمولی است.

**خواص مقطعی:** نسبت فولاد در مقاطع بتنی، بسیار بیشتر از بتن مسلح و بتن ریزی مقاطع فولادی است.

**بهره وری ساخت و ساز:** کار برای شکل ها و میله های تقویت کننده حذف شده است و ریخته گری بتن توسط لوله های ترمی یا روش های پمپی انجام می شود. این بهره وری منجر به یک کارگاه ساخت و سازه تمیز، کاهش نیروی کار، هزینه ی ساخت و ساز و مدت زمان پروژه می شود.



این لوله های بسیار بزرگ ستون در گوانگژو IFC با بتن به عنوان بخشی پرمقاومت در برابر آتش، خود به یک پوشش ماله اعمال شده نیاز به درجه ای برای این کلاس از ابر برج دارد. نمایی در داخل یکی از بتن پر لوله های



فولادی برای کانتونبرج. این ها همه سفارشی ساخته می شوند. سخت کننده های حلقه در داخل، قدرت در نقاط انتقال بار های اضافه شده را فراهم می کنند.

**مقاومت در برابر آتش:** بتن، مقاومت کلی در برابر آتش را بهبود می بخشد، به طوری که مواد نسوز پوشش پف اضافی را می توان کاهش داد و یا حذف کرد.

**عملکرد هزینه:** از آنجا که از محاسن ذکر شده در بالا، عملکرد بهتر هزینه ها با جایگزین کردن یک ساختار تمام فولادی با ساختار لوله ای پر شده از بتن به دست می آید.

**اثرات زیست محیطی:** اثرات زیست محیطی را می توان با حذف قالب، تعیین فولاد با ظرفیت بازیافت بالا و با استفاده از بتن با کیفیت بالا با دانه های بازیافتی کاهش داد .

ظرافت خاصی در اشکال گرد و صاف لوله های فولادی پر شده از بتن وجود دارد که به راحتی توسط انواع دیگر مقاطع فولادی با پوشش مقاومت در برابر آتش و یا بدون این پوشش قابل تکرار نیست و تنها برای اعضای با قطعات بزرگ مناسب است.

اولویت برای استفاده از لوله های فولادی بزرگ پر شده از بتن، منطقه ای است. این نوع از ساخت و ساز در چین بسیار رایج است اما به ندرت در اروپا و یا شمال آمریکا دیده می شود. بازارهای غربی، زمانی که مقاطع بزرگ تر مورد نیاز باشد، گرایش به استفاده از بخش های نورد گرم یا صفحه ی ساخته شده دارند. در حالی که انتظار می رود از این روش ساخت و ساز در گوانگژو IFC و برج کانتون استفاده شود، جالب است بدانیم که سیستم دیاگرید در برج دوحه در قطر، طراحی شده توسط ژان نوول ها Ateliers، از یک لوله بتن پر مشابه استفاده شده است. جزئیات مربوط به دیاگرید در برج دوحه بسیار شبیه به جزئیات مورد استفاده در گوانگژو IFC است. با توجه به اینکه مهندسان و شرکت پیمانکاری مورد استفاده برای برج دوحه چینی بودند، جهانی شدن روش ساخت و ساز ممکن است خود را در اینجا نشان می دهد.

تفاوت در میزان کار و نگرانی های ایمنی ساخت و ساز نیز تمایل به دانش انتخاب نوع ساختاری است. به دلیل نگرانی های شدید در رابطه با بیش از ایمنی کارگران در آمریکای شمالی، استرالیا و اروپا تمایل می رود تا میزان انجام جوش در سایت را کاهش دهند. سیستم های لوله های فولادی بتن پر شده از بتن، جوشکاری زیادی را می طلبد که اکثر آنها باید در ارتفاعات انجام شوند.

تمام ستون های جوش داده شده ی دیاگرید HSS که نقطه نظر ساختاری و کانونی را برای غرفه ورودی جدید در مرکز مالی جهان در شهر نیویورک خلق می کنند و توسط پلی کلارک پلی طراحی شده است، از ساختار آتش پف استفاده کرده اند تا بتواند در معرض این ساختار قرار گیرد. کار نهایی، به خوبی با سیستم **uplighting** انجام شده است. این شکل، بسیار یادآور شکل برج دیاگریدی هذلولی اصلی است که توسط ولادیمیر شخوف طراحی شده است. ساخت فولاد با شرکت والترز و نصب و راه اندازی توسط متروپولیتن والترز اجرا شد.

### روکش های مقاوم



روکش ضخیم مقاوم فولادی در برابر آتش و رنگ ظاهری را فراهم می کند. این مقاومت شامل سیستم رزین هستند که با مواد مختلف پف که رنگی هستند، تحت تأثیر گرما با یکدیگر برای تولید فوم عایق و یا "کاراکتر" واکنش نشان می دهند. این لایه ی کاراکتر خاصیت هدایت حرارتی کم و گسترش به

حجم چند برابر پوشش اصلی را دارد. لایه ی کاراکتر، میزان گرمایش فولاد و در نتیجه ظرفیت ساختاری آن را کاهش می دهد. از آنجا که این مواد می تواند در برابر آتش به مدت حداکثر دو ساعت مقاومت کنند، برای برنامه های کاربردی AESS در سازه ی دیاگرید به برنامه ای بسیار محبوب تبدیل شده است. رتبه بندی مقاومت در برابر آتش وابسته به نوع و ضخامت پوشش و همچنین نوع آتش است که ممکن است برای استفاده در ساختمان پیش بینی شود. افزایش امتیاز مقاومت در برابر آتش معمولاً با استفاده از پوشش های مختلف محصول حاصل می شود.

این پوشش ها ظاهر کمی ضخیم شبیه به یک پوست پرتقال دارند. این باید در تصمیم گیری در مورد جزئیات برای اتصالات و اعضا به حساب گرفته شود.

از پف حفاظتی آتش در معماری سازه های فلزی کاپیتال گیت استفاده شده است. بیان اعضاء و اتصالات آنها یک جنبه ی بسیار مهم طراحی است که بدین صورت پوشش پف انتخابی قابل اجرا باشند است. سازه ی نمایان ساختمان لیدنهایل با استفاده از آتش پف حفاظتی ساخته شده است که ساختار آن به عنوان بخشی از سیستم نمای دو طرف آن می باشد.



## ۵

**مدول ها و پیمانه**

مسائل مربوط به مقیاس و شکل

حوزه رفتاری سازه

حوزه انتخاب مدول

تعمیم مدل برای رفتار سازه ای ساختمان های بلند

تئیدن اعضای دیاگریدی

مدول ها و شرایط گوشه

تأثیر مدول بر اتصالات

اندازه ی مدول ها برای ساختمان های مختلف از نظر شکل و ارتفاع

مدول های کوچک: دو تا چهار طبقه

مدول های میانی: شش تا هشت طبقه

مدول بزرگ: ۱۰+ طبقه

مدول نامنظم



### مسائل مربوط به مقیاس و شکل

در ساخت خانه ی اپرای گوانگژو توسط زها حدید و IFC گوانگژو توسط ویلکینسون ایر معماران از ساختارهای دیاگرید استفاده شده است. علی رغم تمایلات مشترک آنها برای ساخت یک سیستم ساختاری فولادی مدولار و مثلثی، تصمیمات در حیطه ی طراحی ساختاری این برج نمی تواند متفاوت تر باشد.

چالش های مرتبط با طراحی با دیاگریدها تا حد زیادی متفاوت با نوع ساختمان، هندسه و اندازه، و... است که در انتخاب اندازه ی ماژول برای ساخت منعکس شده است. این فصل رابطه ی بین اندازه ی مدول، آرایش فیزیکی ساختمان، بهره وری و شکل را بررسی می کند. اینها براساس تحقیقاتی ساخته می شوند که پایه اش پژوهش های بهینه سازی فعلی است.



بیان ماژول دیاگرید در ستاد الدار در ابوظبی، امارات متحده ی عربی، طراحی شده توسط معماران برجسته TMZ روشی را که در برای بیان معماری ساختمان از ماژول و پیمانهای از سیستم ساختاری در دیاگرید استفاده شده است.



مرکز هنکاک جان و شکل و اندازه ی دیاگرید مدول برای یک ساختمان، باید الزامات ساختاری و همچنین مقاصد زیبایی پروژه را تأمین کند. مقیاس، یک مسئله ی حیاتی است. اگر به استفاده ی اولیه از قطرهای صریح در برج هسته ای بلند مورب مانند برج بانک چین نظر کنیم، میبینیم که قطرهای در مقطع خیلی بزرگی بودند و متمایز از الگوی بزرگ در نما ایجاد



شده اند. ستبری اعضاء در نقطه نظر آنها از تقاطع با ستون های عمودی قادر به نابود کردن دیدگاه قابل توجهی از مناطق زمین مجاور بود. با این حال، این وقفه با توجه به مقیاس کلی سیستم مهاربند قطری نادر بود. برج هسته ای مورب اغلب به بیان قطر بر روی سطح خارجی برجسته می پردازد، در حالی که تلاش برای به حداقل رساندن تأثیر داخلی با بهره گیری از اندازه ی بسیار زیاد اعضای ساختاری می باشد. این استراتژی به لطف توانایی مهاربند قطری برای شکل دهی استراتژی های بصری واضح در خارج از ساختمان استوار است در حالی که ظاهری پراکنده در داخل دارد. اعضای مورب برای استفاده ی قابل توجه در طراحی داخل ساختمان، به اندازه ی کافی در اختیار نیست.



اعضای پرانتز بزرگ در KK100 در شنزن، چین، توسط TFP معماران طراحی شده است، (بالا سمت چپ) در قاب گچی فریم شده اند. آنها یک ظاهر در فضا دارند بنابراین الگوی غالب در شرایط طراحی داخلی و یا در برنامه ریزی برای فضا را شکل نمی دهند. در پرانتز مورب بزرگ در مرکز هنکاک جان (بالا سمت راست) بخش های مهمی از پوشش شیشه ای مسدود شده است.

اعضای بزرگ دیاگرید در سطح لابی هتل (طبقه ی ۱۷۰م) از گوانگجو IFC (سمت چپ)، به دکوری یکپارچه تبدیل شده است. فرکانس، به عنوان یک تابع مدول انتخاب شده، به آنها اجازه می دهد تا به شکل برجسته در طرح داخلی تبدیل شوند.

از آنجایی که ساختمان های دیاگرید اغلب با در نظر گرفتن زیباشناسی رانده می شوند، در دیاگرید معمولاً در هر دو ظاهر بیرونی و داخلی برجسته می شود. مقیاس اعضای دیاگرید، شکل فیزیکی، رفتار و فرکانس می تواند به منظور افزایش تجربه فضاهای داخلی مورد استفاده قرار گیرد. صرف نظر از تصمیم گیری های مهندسی آتش که بر توانایی به افشای اعضای فولاد و یا نیاز آنها به پوشانده شدن تأثیر می گذارد، قطر معمولاً بخشی از زیبایی شناسی طراحی در داخل است.

از آن جایی که ساختمان های دیاگرید اغلب با در نظر گرفتن زیباشناسی طراحی می شوند، در دیاگرید معمولاً در هر دو ظاهر بیرونی و فضای داخلی برجسته می شود. مقیاس اعضای دیاگرید، شکل فیزیکی، رفتار و فرکانس می تواند به منظور افزایش تجربه فضاهای داخلی مورد استفاده قرار گیرد. صرف نظر از تصمیم گیری های مهندسی آتش که بر توانایی به افشای اعضای فولاد و یا نیاز آنها به پوشانده شدن تأثیر می گذارد، قطر معمولاً بخشی از زیبایی شناسی طراحی در داخل است.

### حوزه رفتاری سازه

سیستم دیاگرید، ساختاری است که ثباتش را از شکل مثلثی خود می گیرد. فرض بر این است که گره ها همانند خرپاهای مثلثی، به عنوان لولا یا پین اتصالات عمل می کنند و خمشی نیستند. این قابل استنتاج است که بارهای وارد بر اعضای دیاگرید، محوری (تنش یا فشرده سازی) هستند و تنها نیروهای برشی از طریق گره منتقل می شود. این ممکن است برای تجزیه و تحلیل های بسیار ساده صدق می کند، اما عملاً صحبت کردن، برای رسیدن به توانایی ساخت و ساز، نیاز به سختی کافی در ارتباط بین گره و عضو دیاگرید در جهت به حداقل رساندن نیاز به مهاربندی موقت در طول نصب و اجرا وجود دارد. در مورد سازه های کم طبقه، این نگرانی کمتر است؛ چرا که شمع زنی موقت یک ساختمان کوتاه نسبت به ساختمان های بلندتر آسان تر است، بدین جهت که اتصالات گره با سختی کمتری طراحی می شوند. این موضوع در فصل ۶ بیشتر مورد بحث قرار خواهد گرفت. گره و طراحی اعضا در فصل ۸: توانایی ساخت و ساز. عامل دیگر این است که بارگذاری واقعی در اعضای مورب به عنوان تابعی از شکل ساختمان تغییر خواهد کرد.

همان طور که در سوییچ ری مورد بحث قرار گرفت (صفحه ی ۳۹ را ببینید)، سمت داخل یا بیرون محیط لوله لاغر نیروهایی در "حلقه ها"، و یا حلقه های افقی، از تنش به فشرده سازی تغییر خواهد کرد.

معیارهای عملکرد ساختاری برای یک سیستم دیاگرید برای ساختارهای کم ارتفاع در برابر ساختارهای بلند کاملاً متفاوت خواهد بود. ساختارهای بلند با توجه به اقدامات باد و حوادث لرزه ای، باهای جانبی بسیار بالاتری را خواهد داشت. لوله دیاگرید برای یک ساختمان بلند مانند یک کنسول عمودی عمل می کنند و بسیار سفت است. به طور کلی سیستم دیاگرید برای یک ساختمان بلند نیاز به مقاومت در برابر نیروهایی در پایه و نیروهای برشی به سمت بالا دارد. ساختمان کم ارتفاع که از یک سیستم دیاگرید برای حمایت از بارهای کف استفاده می کند، همان شدت بارهای لحظه در شرایط پایه را ندارد. بنابراین برای طراحی ماژول برای یک ساختمان بلند، شرایط ساختاری نشان می دهد که آن را به همراه ارتفاع ساختمان با توجه به بارگذاری های مختلف جانبی متفاوت خواهد بود. در طراحی مدول نیز باید به افزایش طبیعی اندازه ی اعضا توجه کرد تا بتوان تجمع بارهای گرانش در طبقات پایین تر ساختار را با آن تطبیق داد. برج بلند گوانگژو IFC با ۱۰۳ طبقه، از لوله های فولادی پر از بتن با قطر ۲ متر/۶،۵۶ فوت برای طبقات پایین تر با ارتفاع ۱،۱ متر/۳،۶۱ فوت استفاده می کند تا طبقات فوقانی تفاوت شدید در بارگذاری را منعکس کنند.

### حوزه انتخاب مدول

یکی از وظایف اولیه که توسط تیم مشترک باید عنوان شود، مسائل مربوط به انتخاب مدول در دیاگرید است که عبارت اند از:

- تکرار در گره ها چگونه هستند؟

- طول قطر چه قدر است؟

- چه نوع زاویه فضایی مناسب است؟

- فاصله ی بین نقاط اتصال با لبه ی افقی تیر که سبب ایجاد مثلثی بین اعضای دیاگرید می شود چقدر است؟



انتخاب مدول و پیمانها به طور کلی در دیاگرید تا حد زیادی برای از انواع کم ارتفاع در مقایسه با انواع بلند آنها متفاوت است. در این دو نوع، سطح قوام هندسه بر طراحی دیاگرید و اندازه ی مدول تأثیر می گذارد. مدول، برای برنامه های کاربردی زاویه ای و منحنی متفاوت هستند.

ملاحظات زیر در طراحی سیستم دیاگرید و انتخاب مدول مؤثر است:

- هندسه ی ساختمان

- وقوع بارگذاری خارج از مرکز

- بهره وری ساختاری

- فاصله ی بین طبقات

- الزامات مورد نیاز برای الگوی روزنه و اندازه ی پنجره

- انتخاب AESS یا اسکلت فلزی پنهان

علاوه بر این موارد، معیارهای دیگری وجود دارند که در اندازه ی مدول برای ساختمان برج مؤثر است:

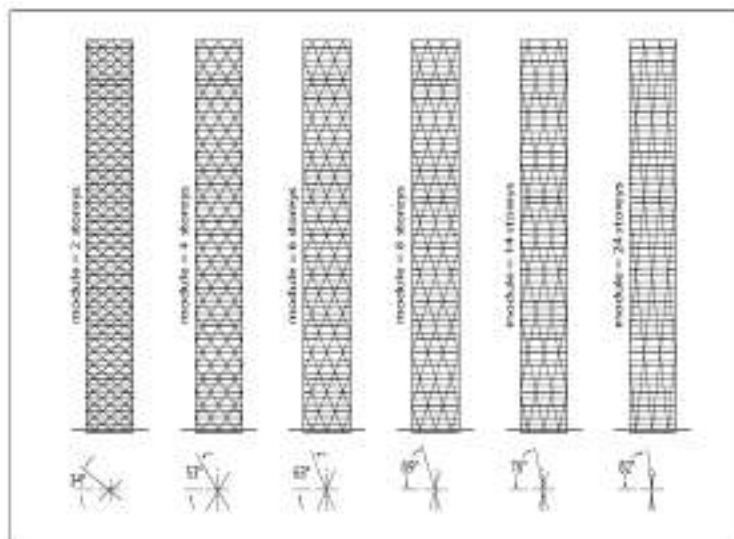
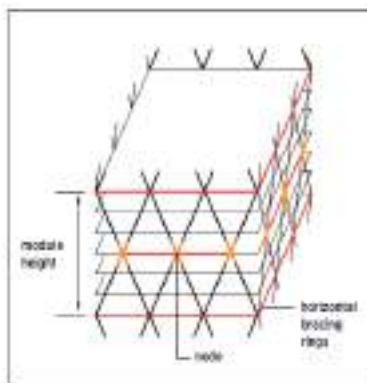
- ارتفاع / عرض و نسبت ساخت و ساز

- طراحی هسته (توانایی یا عدم توانایی برای کمک به مقاومت در برابر بار جانبی)

- بار باد و زمین لرزه

در یک برج، ماژول به تعداد طبقات به صورت عمودی بین اتصالات گره ها، نوک به نوک شکل الماس اشاره دارد.

اندازه و ترتیب مدول های طراحی سازه ای، اندازه ی عضو و طراحی گره برای ساختمان مؤثر است. این انتخاب به نوبه ی خود تأثیری مستقیم بر طراحی معماری دارد. اصطلاحات عمومی برای ساختارهای دیاگریدی و به طور معمول برای اعمال هندسه برای سازه های برج در ارتفاعات مختلف است. ارتفاع مدول برای این مثال، شش طبقه است.



در بسیاری از ساختمان های دیاگریدی، مانند موزه ی سلطنتی انتاریو در تورنتو، در کانادا، طراحی شده توسط دانیل لیبسکیند، از ماژول های نامنظم استفاده شده است. در اینجا نماهایی از "بلور" ها هستند که با توجه به هندسه قابل تقسیم هستند. دهانه و سقف سازی و یا دیوار پشتیبانی با توجه به ساختار دهانه اندازه گیری می شود.

این تصویر، پس از کار تحقیقاتی در دیاگرید از مدل ماه خورشید کیونگ، تأثیر بصری تغییر در شیب قطر در این نمونه برج ۶۰ طبقه را نشان می دهد. درهمه طرح های نمونه، حفظ ابعاد همان طرح به منظور به حداقل رساندن تغییر در طراحی و طول ملاحظات ساختار طبقه مؤثر است.

این طور فرض می شود که ساختمان خود را تابع برخی از پیمان های ذاتی و استفاده از یک ماژول به طور منظم می کند. با این حال، دیاگریدها به طور فزاینده ای در ساختمان هایی با هندسه ی نامنظم استفاده می شوند، چرا که دیاگرید یک راه بسیار عالی برای پاسخ به ارائه ی یک سیستم ثبات برای چنین پروژه هایی است. در این موارد، اندازه ی مدول در اصل مشتق به عنوان یک زیربخش شکل هندسی است.

### تعمیم مدول برای رفتار سازه ای ساختمان های بلند

تحقیقات مهندسی بسیاری در باب اندازه ی پنجره و قرار دادن و همچنین مقدار منابع مورد استفاده در این پروژه برای ایجاد اندازه ی بهینه ی مدول، که به طور مستقیم بر شکل دیاگرید اثر می گذارد، در حال انجام است. تأثیر شکل، از دیدگاه معماران و مهندسان متفاوت است - نگرانی های ساختاری نیز در باره ی مسائل باد و گردابه وجود دارد. دانشگاه کیونگ خورشید و ماه در بیل، پژوهش اولیه را که به مطالعه ی ساختمان هایی با ۴۰، ۶۰ و ۸۰ طبقه و نیز برج هایی پیچیده می پردازد را بر عهده گرفت. مطالعه ی نمونه، بر ساختمان ۶۰ طبقه به ارتفاع ۱ به نسبت ۶، در اندازه گیری ۳۶متر×۳۶متر (۱۱۸ فوت×۱۱۸ فوت) با ۱۸متر×۱۸متر (۵۹ فوت×۵۹ فوت) هسته ی گرانشی در مرکز و طبقاتی به فاصله ی ۳،۹متر/۱۲،۸ فوت انجام شد. این مطالعه، ۶۹ درجه را به عنوان مؤثر ترین زاویه برای دیاگرید یکنواخت تأیید کرد چرا که حداقل مقدار فولاد از لحاظ وزن است. این تغییرات زاویه به عنوان تابعی از ارتفاع ساختمان و نسبت عرض به ارتفاع ساختمان است.

مطالعات (سازمان) مون به این نتیجه رسیده است که در سازه های دیاگریدی با زوایای یکسان، با فرض اینکه یک پلان مربع شکل در سراسر ارتفاع ساختمان پایدار است، مناسب ترین زاویه ای که اعضای مورب با کف ایجاد می کنند، با افزایش ارتفاع ساختمان افزایش می یابد. ساختمان هایی که نسبت ارتفاع به عرض شان زیاد است، بیشتر همانند تیرهای خم رفتار می کنند. اعضای مورب با شیب تند، مقاومتری با بازده بهتر در برابر خمش نشان می دهند. برای سازه های بلند دیاگرید با نسبت ارتفاع به عرض ۱-۴ تا ۱-۹ زوایای بهینه از ۶۰ تا ۷۰ درجه متغیر است.

هم چنین مطالعات در یک سازه ی بلند به عنوان سازه (فونداسیون) عمودی نشان می دهد که عملکرد المان های (سازه) دیاگرید در پایه با المان هایی که در بالای ساختمان است بر اساس اینکه چقدر ساختمان بلند و باریک است تغییر می کند. همچنین مطالعات نشان می دهد که تنوع در زوایای سازه های مورب می تواند در کاهش مقدار فولاد و هم چنین در مقاومت مورد نیاز سازه

کمک به سزایی کند. به طور کلی اعضا و اتصالات در پایه ی ساختمان باید به منظور مقاومت در برابر خمش طراحی شوند در حالی که اعضا و اتصالاتی که در بالای ساختمان قرار دارند باید در برابر نیروی برش مقاوم باشند.

با ارجاع به مدول های ۲ تا ۲۴ که در صفحه ی بعد نمایش داده شده اند، مشخص می شود که اعضای سازه ی دیاگرید در ساختمان های کوچک به نسبت آن هایی که در ساختمان های بزرگ تر به کار می روند آسان تر حمل و کنترل می شوند. این موضوع به انطباق اتصالات در اعضا دیاگرید در مدل های بزرگ اشاره دارد. شدت اثر برای ایجاد اتصالات در اعضای دیاگرید برای سازه های نمایان یا پوشیده متفاوت است. انتخاب نوع اعضا و اتصالات تأثیر به سزایی در متر و برآورد پروژه می گذارد. بر اساس نتایج به دست آمده از مدل های بزرگ، اعضای بسیار

بلند می توانند به صورت پیش ساخته متصل و نصب شوند ولی تعادل سازه با چنین وزن زیادی ممکن است مانع انجام چنین روشی شود. در اینجا ارتباط خوب میان اعضای گروه به همنظور درک و فهم کل انشعابات واسط متصل کننده در اعضای بلند حیاتی است. در بخش ۸: ساخت و ساز با جزئیات بیشتری در این باره بحث شده است.

سازمان، مون همچنین مطالعاتی را بر برج هایی که زوایای (سازه) دیاگرید آنها در ارتفاعات متفاوت متغیر هستند انجام داده اند. لازم به ذکر است که این تغییرات با علم دقیق بر نیاز به تغییر در سازه از پایه تا بالا به همنظور مقاومت در برابر نیروی برشی است.

در طراحی ابربرج لوتنه توسط گروه سَم واقع در سئول، از تنوع در زوایا و ارتفاع به دلیل مقاومت در برابر نیروهای جانبی استفاده شده است. به دلیل غالب بودن نیروی جاذبه در نزدیکی زمین، زوایا تندتر و همچنین به علت وجود نیروی باد در بالای این برج ۵۵۵ متری/۸۲۱،۱ فوتی زوایا تندتر می شوند.



در (سازه دیاگرید) نسبت ۱-۷ یا بیشتر مشاهده شده است که نیاز به فولاد کمتری در مقایسه با سازه‌های یکپارچه وجود دارد. در این‌گونه سازه‌ها هر چه که به سمت بالا می‌رویم، زوایا تندتر و اعضا نازک‌تر می‌شوند. در ساختمان‌هایی که ارتفاع به عرض کمتر از ۱-۷ دارند، طراحی زوایای یکپارچه بازده بیشتری دارد.

کاهش در میزان مصرف فولاد به معنای صرفه‌جویی در تعداد اعضا فولاد و همچنین به منزله‌ی تعدیل هزینه‌های اقتصادی در طراحی فونداسیون است. خوشبختانه این اطلاعات در دسترس عموم قرار گرفته و نیازها بر اساس طراحی هر پروژه متفاوت خواهد بود.

بر اساس مطالعات (سازمان) مون، پروسه‌ی طراحی برج لوته که در سنول و توسط سم طراحی شده است تنوع قابل توجهی از مدول‌ها را نشان می‌دهد. تغییر هندسه‌ی ساختمان که با سازه‌ی دیاگرید ترکیب شده است نشان از کاهش ۲۷٪ فولاد نسبت به روش مرسوم تیر و ستون دارد. ستون‌ها در نزدیکی زمین به دلیل مقاومت بهتر در برابر نیروی جاذبه حدود ۸۰ درجه زاویه دارند. هرچه که به سمت بالا می‌رویم زوایا به تدریج کاهش و به نزدیکی ۵۰ درجه می‌رسد تا مقاومت بهتری در برابر نیروی باد داشته باشد. هم‌چنین پلان ۷۰متر / ۲۳۰ فوت مربع شکل به ۳۹متر / ۱۲۸ فوت دایره‌ای شکل تغییر پیدا می‌کند.

### تنیدن اعضای دیاگریدی

سه‌گوشه سازی دیاگرید که به اصلاح "تیوب" نام دارد به‌تنهایی استحکام سازه را تأمین نمی‌کند. تیرهای حلقه‌ای در لبه‌های افقی به‌هم‌نظر کامل کردن فعالیت سازه به تیوب‌ها متصل شده تا سازه را یکپارچه کند. همچنین تیوب‌ها را به کف متصل می‌سازد و سپس به هسته بازمی‌گردد. مدل‌هایی که ۴ طبقه یا بیشتر دارند چندین کف اعضا بلند و مورب شبکه‌ها را قطع می‌کنند. این تقاطع‌ها در طول سازه هم در گره‌ها و هم در یک یا چندین مورد رخ می‌دهد. بدین‌وسیله طول غیر باربر اعضای مورب کاهش پیدا می‌کند و سازه بار خود را تحمل می‌کردند و کماتش به وجود نمی‌آید.

استراتژی مهاربندی اعضای بلند مورب دیاگرید بر روی طراحی کلی عناصر جزئیات سازه تأثیر چشم‌گیری می‌گذارد. زاویه‌ی بین تیرهای آریب باعث انتقال طبیعی و مستقیم نیرو در سازه و انتقالش از ساختمان به زمین می‌شود. در بعضی موارد حلقه‌های افقی تیرها را تقویت می‌کند

و یا حلقه‌ها به دلیل سه‌گوشه سازی دیوارهای شیشه‌ای در نما دیده می‌شوند. در بقیه ی موارد، تیرهای لبه‌های کف به صورت یکپارچه به اعضای مورب بسته می‌شوند و حلقه‌های افقی در نما به عقب می‌روند. در نوع دوم الگوی الماسی بهتر در نما نمایش داده می‌شود ( به فصل ۹: طراحی نما مراجعه شود).

در برج با انکانا واقع در کالگری کانادا، توسط فاستر و شرکا و با مشارکت زیدلر طراحی شده است، از یک مدل ۱۲ طبقه استفاده شده است. اعضای مورب از صفحه ی فولادی پیش ساخته شدند تا بتوانند مقطع مثلثی شکلی را ایجاد کنند. همان طور که نواحی سفید رنگ اطراف گره ها نیز صدق می‌کند، اعضای مورب ۶ طبقه ای را می‌توان در قالب یک قطعه حمل کرد. این امر کار در سایت را بسیار آسان تر کرد. در این پروژه بدلیل فضای دو آتریومی پشت دیاگرید، قطرها به وسیله ی قطعات بین گره ها مهاربندی نشده‌اند.



در برج سوییس ری واقع در لندن انگلستان، توسط فاستر و گروه آرپ طراحی شده است، نقش‌های مختلف هر یک از اعضا در مقاطع ساختاری منعکس می‌شوند. اعضای مورب، از فولاد لوله ای و دایره ای شکل پیش ساخته شدند تا در مقابل فشار و تنش مقاوم باشند. قطرها در دو طبقه ی بین گره ها دهانه می‌زنند و بدین جهت بعضی از آنها در نقطه ی وسط مهاربندی می‌شوند. قطرهایی که از بدنه ی تهویه ی هوا می‌گذرند مهاربندی نشده‌اند و همچنان همانند اعضای مهاربندی شده در ابعاد خارجی مشابه نگهداری می‌شوند تا امکان استفاده از جزئیات مشابه برای پوشاندن و ایجاد اتصالات یکپارچه ی گره فراهم آید. در حلقه‌هایی که سبب ایجاد سیستم مهاربندی شده ی تنشی در اطراف برج ها می‌شوند، اتصال قطعات باریک تر لبه ها شکل می‌گیرد که نسبت به اتصالات اولیه ی گره ها به طریقه های مختلفی صورت می‌گیرد.



پروژه ی الدهر با سرعت بالایی برنامه ریزی شده بود. اتصال سازه های فولادی و رشد آن بر روی هسته بتنی پس افتادگی دارد و مدول های شیشه ای بر فراز این مجموعه و دیاگریدهای که اسپری ضد حریق سفید بر آن زده شده بود، بالا می رود. حضور مدوول های لوزی (الماس شکل) فولاد دیاگرید کاملا واضح است. طراحی و اجرای سازه ی فولاد توسط William Hare Limited انجام شد.



لبه ی تیرها در ساختمان گوانجو همگی به سازه ی دیاگریدی متصل است تا سیستمی یکپارچه بوجود آید.

این امر بعلت ارتفاع بلند ساختمان و طراحی ضد زلزله آن و بارهای شدید باد، امری حیاتی است.

تیرهای لبه کف در بنای الدهر به طور برابر به دیاگونال ها متصل می شود تا سیستمی یکپارچه ایجاد گردد. لبه ی طبقات به طوری است که حالت لوزی شکل در نما به وجود آید که به این لبه ها متصل نباشد.



در ساختمان های مشابه گوانجو و برج دوهه در قطر که با تیوب های دیاگریدی شکل گرفته است، هردوی آنها به تیرهای خارجی کف ساختمان متکی به سازه ی دیاگرید بیرونی هستند.

با نگاهی بر سازه ی اقتصادی برج لوتوس در سئول کره جنوبی، در می یابیم که دیاگرید ها به طور منظم به تیرهای بالایی پیچ خورده در کف طبقات متصل می گردند. بدین ترتیب این تیرها این امکان را می یابند تا در تحمل و انتقال بارهای مرده سازه ای به پی سهیم باشند.

### مدول ها و شرایط گوشه ها

نکته ی کلیدی در دیاگریدها، امتداد آن پیرامون سطح سازه و یکپارچگی آن در سطح و گوشه ها است. ایده ی قالب و اولیه ی دیاگریدها نیز همین عملی کردن ایده سیستم لوله های یکپارچه در ارتباط با عناصر عمودی نگهدارنده ی سازه است. ایده ای که در سازه با پلان مدور به نظر سهل و عملی می آید ولی در پلانی با گوشه های تیز قدری مشکل به نظر می رسد. با استناد به نمونه ی چهارگوشه ی ساختمانی مشاهده می شود در جایی که دیاگرید گوشه ها را احاطه می کردند، پشتیبان سازه ای خاصی میان آن و کف طبقات پیش بینی نشده است. کف های بیرون زده ی سگ دست در بناهایی با فضاهای افقی وسیع و مدول های بزرگ مشکل ساز خواهند بود. اما ساختمان های کوچکتر با گره های نزدیک به هم تر با مشکلات کمتری در نگهداری گوشه های طره مواجه است چراکه فواصل کوتاه تر است.

در یک بنای دیاگریدی با پلان ساده ی مربعی که در دوران معاصر ساخته شده باشد، چالش هایی در زمینه ی مواجهه با گوشه های کنسول و طره شده مطرح است. گوشه هایی که علاوه بر کنترل و تحمل وزن خود مسأله ی نیروی باد نیز راجع به آن چالش برانگیز است و برای طراحی اش باید یک مهندس باد نیز همکاری کند.

وارن و ماهوری معماران اوکلند - نیوزلند با استناد به سازه کامل شده دیاگرید ساختمان انجمن فناوری مانوکاو اینگونه شرح می دهند:

"یک ستون نمایان از قاب فولادی در شمال و شرق نقطه کلیدی نمای خارجی ساختمان است و اجرای آن بنحو احسن بالطبع همکاری معمار و مهندس سازه را می طلبد. مدیر پروژه، جرمی آستین از گروه Holmes Consulting، اینگونه می افزاید که: به دلیل هندسه و جایگاه خارجی

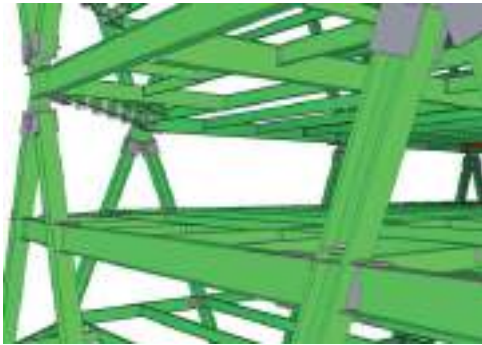


سازه ی اصلی، قاب های خمشی بارهای فشاری و کششی را تحمل می کند. اعضای این قاب ها به صورت باکس گونه ای هرکدام با یکی از سه نوع گره متصل می گردند: گره های Y شکل برای اتصال سازه به پایه هایش، گره های X شکل برای اتصال اعضا در ارتفاع متوسط و هم چنین گره های V برعکس برای گره های بالایی. در شرایطی که سازه نمایان باشد این گره ها بایستی در اوج سادگی و دقت طراحی، ساخته و اجرا شوند. جوشکاری صفحات فولاد صفحات ۴۰ میلی متری/۱،۶ اینچی برای اطمینان از انتقال کامل بارها لازم است که البته می بایست روی زمین جوشکاری دقیق انجام گیرد. اتصالات همگی اتصالات پیچی سایت هستند؛ جوشکاری سایت به دلیل زیبایی شناسی و عمر آن جلوگیری می شود. از پیچ هایی با اصطحکاک کافی برای نگه داشتن مهره ها درون مقاطع جعبه ای استفاده می شود."



استراتژی مرکز فناوری مانوکاو واقع در نیوزیلند که توسط وارن و ماهنوی طراحی شده، بوسیله ی نمای بیرونی سازه، چالشی را میان پشتیبانی ناپیوسته ی طبقات به وجود می آورد. در حالت فولادی سبک تر با ظاهری بهتر استفاده شد و در پس آن برخی موارد عناصر سازه فولادی دیاگریدی پشتیبان ثانویه را شکل دادند.

برج مجله هرست واقع در نیویورک، ایالات متحده ی آمریکا، که توسط فاستر و شرکا طراحی و توسط کانتور سینوک مهندسی شد، مشکل گوشه های معلق را با حذف آنها حل کرد. خطوط خارجی بنا، از دیاگرید پیروی می کند و شکلی شبیه "منقار پرنده" را ایجاد می کند که با گوشه های ساختمان برخورد می کند. این حرکت، ایستایی کل سیستم سازه را دوچندان می کردند و در قسمتهای طره شده امکان کنسول تا حدود ۶،۱ متر/۲۰ فوت را فراهم می آورد.



طراحی گوشه ها در ساختمان وان شلی واقع در استرالیا توسط فیتز پاتریک و همکاران و اروپا به تیرهای افقی سازه اجازه می دهد تا از آخرین اتصال به دیاگرید ها کنسول شوند. اعضای دیاگریدی که دور ساختمان را پوشش می دهند تا قاب خارجی ساختمان را تکمیل کند، در گوشه ها از اتصال با این کف خودداری می کنند.



### تأثیر مدول بر اتصالات

برای بررسی میزان کارایی یک سازه ی دیاگرید، مهم است که دیدگاهی بسیار جامع از پروژه داشته باشیم. گزارش شده است که در ساختمان های با سازه ی دیاگرید از قبیل برج مجله هرست و برج با انکانا مصرف فولاد ساختاری ۲۰ درصد کمتر از ساختمان های دارای قاب خمشی باشند است. از آنجایی که هزینه های تمام شده ی پروژه و هزینه های زیست محیطی اهمیت دارند، لازم به ذکر است که سازه ی دیاگرید هزینه های تولید را به دلیل اتصالات خاص (گره ها) افزایش می دهد، حتی با وجود اینکه معمولاً به صورت پیش ساخته استفاده می شوند. از نظر تولید و هزینه، اندازه و سازگاری مدول، تأثیر مستقیمی بر طراحی و ساخت اتصالات دارد. الگوهای بزرگ تر به اتصالات کمتری نیاز دارند. از آنجایی که هزینه های تولید گره ها احتمالاً به میزان قابل توجهی از هزینه ی پایه ی فولاد فراتر می رود، الگوهای بزرگ می توانند در صرفه جویی هزینه های ساخت و نصب و راه اندازی مؤثر باشند.

ساختمان هایی که هندسه ی منظمی دارند، به تنوع کمتری از اتصالات نیازمندند. یک مثال خوب برای این مورد می تواند برج مجله هرست باشد، که در پلان مستطیل شکل و همچنین دارای ارتفاعی متناسب است. اگر چه گره های مختلف همیشه در پایه و بالا با توجه به شرایط ساختمان

مورد نیاز است، دراکثر شرایط از طریق طراحی انواع اتصالات دیوار و گوشه‌های ساختمان مورد توجه قرار می‌گیرند.

یک برج که پلان گرد و با ابعاد متناسب با ارتفاع دارد، یک نوع اتصال با هندسه مشخص را برای کل ساختمان حفظ می‌کند - به طور طبیعی، یک تغییر در اندازه‌ی اعضای شبکه‌ی مورب و شرایط بارگیری که همیشه در پایه‌ی ساختمان نسبت به بالای آن بزرگ تر است محاسبه می‌شود. تناسب استراتژی، طراحی گره‌ها را از لحاظ ظاهر، اتصالات و فرایند ساخت ساده‌تر می‌کند. برج‌هایی که ابعاد پلان آنها در ارتفاع ساختمان متفاوت است، به گره‌های طراحی شده برای هر طبقه نیازمندند. مثالی برای این مورد سوییس ری است. شکل خیاری برج روی طراحی حلقه‌ها در طبقات نیز تأثیر گذاشت، همان طور که قطعات مشبک به سمت هسته حرکت می‌کنند، نیروها در دو سوم پایینی برج از کششی به فشاری تبدیل می‌شوند. با این حال، هندسه‌ی منظم طراحی مدول قطعات مورب، امکان حفظ شکل و ساختار متناسب گره‌ها را فراهم کرده است.

#### اندازه مدول برای ساختمان‌هایی با اندازه و شکل متفاوت

استفاده از مدول‌ها با توجه به اندازه‌ها و اشکال مختلف ساختمان‌ها به مقادیر مشخص نسبت به ارتفاع کلی مدول مربوط می‌شود. ارتفاع الگو تأثیر زیادی بر توانایی کف در مهاربندی شبکه‌ی مورب دارد. طول مدول‌ها بر ساخت، حمل و نقل و نصب تأثیر خواهد گذاشت. همان طور که بعداً در فصل ۹: "طراحی نما" مورد بررسی قرار می‌گیرد، اندازه‌ی الگوی مدول نتیجه‌ی انتخاب سیستم شیشه کاری و الگو است.



## مدول های کوچک تر: ۲ تا ۴ طبقه

مدول های کوچک تر با ارتفاع ۲ تا ۴ طبقه معمولاً برای ساختمان های با ارتفاع کمتر و یا ساختمان هایی که هندسه یا نیروی گریز از مرکز خیلی غیر معمول دارند استفاده می شوند.

مدولی که در برج کپیتال گیت واقع در ابوظبی امارات متحده ی عربی استفاده شده است، طراحی شده توسط RMJM، یکی از کوچک ترین مدول ها تا به امروز است. این مدول لوزی شکل از گوشه ی پایین تا گوشه ی بالایی ۲



طبقه را شامل می شود. این ناشی از فقدان پشتیبانی اضافی در امتداد اعضای مورب و در وسط آنهاست. دلیل این نوع ساختار قرار گرفتن در معرض فشارهایی است که در ۱۸ درجه پایینی برج به وجود می آیند. مقدار خیلی کمی از نیروهای جانبی توسط ساختار دیاگراید مهار می شوند. یک هسته ی مرکزی از بتن پیش ساخته و پیش تنیده در مرکز

برج برای به تعادل رساندن بارهای غیر عادی قرار گرفته است. با اینکه زاویه ی اعضای مورب با کف طبقات در طبقات مختلف تغییر می کند، در حدود ۴۵ درجه متغیر اند که نهایتاً یک الگو به شکل لوزی "متساوی الاضلاع (مربع)" را تشکیل می دهد. در نتیجه ی شکل پیچ خورده ی ساختمان، هرکدام از این ۸۲۵۰ عضو مورب این ساختمان ضخامت متفاوتی دارند، طول، جهت و هرکدام از ۸۲۲ گره ی این دیاگراید منحصر به فرد است. اندازه ی مدول آتریوم داخلی در متناسب با مدول خارجی است. با این حال انتخاب و جزئیات اعضا بسیار متفاوت هستند. یک مدول لوزی شکل دیگر با ارتفاع ۴ طبقه در برج سوییس ری استفاده شده است. در این مورد، قرار بود که تکرار این الگوی کوچک بدون نیاز به خم شدن اعضای مورب شکل منحنی نهایی را ایجاد کند.

مدول های کوچک تر همچنین به منظور چرخاندن شافت تهویه به سمت بالای حجم ساختمان به رنگ آبی تیره هستند. شکل متغیر ساختمان منجر به تندتر شدن زاویه ی گریدها می شود.

دیاگراید ساختمان فناوری مانوکاو بسیار غیر معمول است چرا که نه تنها در خارج از پوسته ی ساختمان نصب شده است، بلکه گره ها هم در ارتفاع نیم طبقه قرار گرفته اند. الگوی این دیاگراید دارای ارتفاع ۵ طبقه است. این ساختمان با وجود ابعاد کوچک از مدولی با زاویه ی تند استفاده می کردند است که باعث می شود بیننده انتظار دیدن ساختمان بلندتری را نسبت به ظاهر معماری آن داشته باشد. در این ساختار به جای تیرهای حلقوی افقی در مراکز گره ها، از یک

سیستم تنشی برای اتصال دیاگریدها به هم استفاده شده است. قطرهای آن در دو قسمتی که از کف طبقات می گذرند مهاربندی شده اند.

برج تورنادو در دوحه، قطر، از یک مدول با ارتفاع ۴ طبقه روی نما استفاده می کند. ابعاد کوچک مدول به برج اجازه می دهد که شکلش را به راحتی تغییر دهد و هذلولی گونش را ایجاد کند که یادآور برخی طرح های اصلی شخوف است.

دیاگرید ساختمان وان شلی در سیدنی، استرالیا، طراحی شده توسط فیتز پاتریک و همکاران در نوع استفاده ی آن در بخش خارجی بسیار غیر معمول است. این مدول فقط ۲ طبقه ارتفاع دارد و اتصالشان با کف و تیرهای کف فقط در

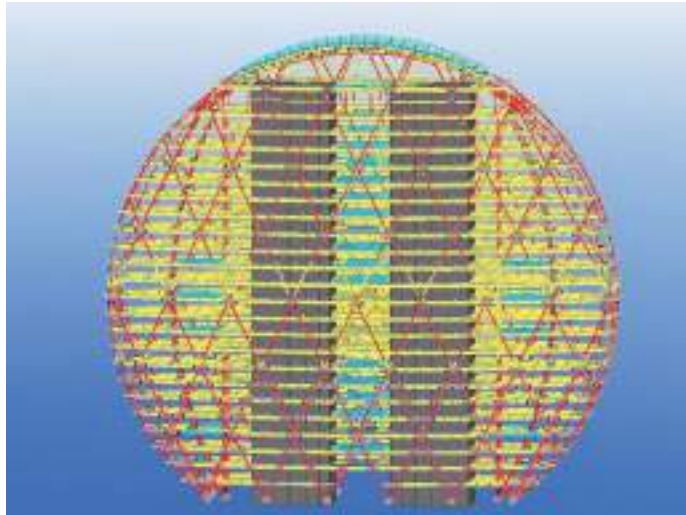
گره هاست تا از نفوذ به دیوار شیشه ای جلوگیری کند. این امکان مهاربندی اعضای مورب را در طول آن ها کاهش می دهد. زاویه ی گره تا الان کمترین زاویه باشد که ۳۸ درجه از خط افق است. نحوه ی اتصال اعضای مورب در گوشه های ساختمان نیز بسیار غیرمعمول است. زاویه ی کم، مدول های لوزی شکل را مسطح می کند و بجای ارتفاع آنها، عرض بلوک را افزایش می دهد.



#### مدول های متوسط: ۶ تا ۸ طبقه:

مدول های متوسط برای ساختمان های بزرگ تر و آنهایی که شکل یکپارچه ای دارند مناسب تراند. از آنجایی که طول اعضای دیاگرید بین ۳ تا ۴ طبقه است، حمل و نقل و نصب معمولاً مسئله ی راحتی نیست. اعضای دیاگرید با این طول معمولاً در محل استقرار با گره نصب می شوند، تا یک مونتاژ به شکل V

معکوس را ایجاد کنند. این روش کار، اتصال را برای آهن کاران در ارتفاع زیاد کم می کند و در هزینه و زمان صرفه جویی می شود.



یک مدول ۸ طبقه در ساختمان Aldar Headquarters استفاده شده است. با وجود اینکه این مدول نسبت به یک ساختمان ۲۳ طبقه بزرگ محسوب می شود و زاویه ای که اعضای مورب با کف می سازند زاویه ی تندی است، صفحات خیلی نازک کف، بار وارد بر سازه ی دیاگرید را کاهش می دهند. تیرهای افقی در نما دیده می شوند و لوزی هایی را تشکیل می دهند.

برج مجله ی هرست از یک مدول ۶ طبقه در سازه اش استفاده می کند. زاویه ی اعضای مورب با خط افق ۶۹٫۷ درجه است. این یک خط عمودی ذهنی را ایجاد می کند که باعث می شود ارتفاع ساختمان بیشتر به نظر برسد. دیوار خارجی دیاگرید از آخرین سقف بالاتر رفته است تا تجهیزات مکانیکی را مخفی کند.



برج دوحه در دوحه ی قطر، طراحی شده توسط Ateliers Jean Nouvel، از یک صفحه ی مشبه در نما به عنوان پوشش بیرونی برج استفاده می کند و مدول های ۸ طبقه فقط در شب از پشت نما دیده می شوند. برج تورنادو که پشت این برج است (و با رنگ آبی نورپردازی شده است) از یک مدول ۴ طبقه استفاده می کند. بسیاری از برج ها برای هایلایت کردن سازه ی دیاگرید در شب از نورپردازی استفاده می کنند.

### مدول های بزرگ: ۱۰+ طبقه

مدول هایی که ۱۰ طبقه یا بیشتر اندازه گیری می شوند تنها برای استفاده در ساختمان های بسیار بلند از ملاحظات مقیاس مناسب هستند. از آنجایی که نقاط پشتیبانی برای اتصال گره ها به لبه های کف (حلقه های افقی) نمی تواند بیش از حد بزرگ باشد و باید با قابلیت های تیرهای کف و دال بتنی ارتباط برقرار کند، این به طور طبیعی یک مدول شبکه ی موربی ایجاد می کند که نسبت



به پهنای مدول ارتفاع بیشتری دارد. بنابراین ارتفاع ساختمان به این ترتیب تشدید می شود، و این باعث می شود که آنها حتی بیشتر از آنچه که هستند بلند و باریک به نظر برسند. طول کلی اعضای مورب نیاز به هماهنگی ویژه‌ای با مسائل مربوط به حمل و نقل دارد. همیشه شرایط مطلوب، به حداقل رساندن اتصال با جوش در محل است. اگر این اعضا با توجه به طول مدول خود بزرگ شوند، ممکن است هزینه‌ی نصب را بیشتر کنند. استفاده از لوله‌های فولادی پر شده با بتن که در چین و بخش‌هایی از خاورمیانه رایج است، همیشه نیاز به جوشکاری در محل دارد زیرا اتصالات باید مهر و موم شوند. این سیستم در حال تبدیل شدن به یک انتخاب معمول برای شبکه‌های مورب با مدول‌های بزرگ است. این مورد در IFC گوانگژو و برج دوحه دیده می شود.

اندازه‌ی مدول‌های استفاده شده در IFC گوانگجو، ۱۲ طبقه در سه چهارم پایین برج و ۱۶ طبقه در بالاست.

بخش پایین‌تر به عنوان فضای اداری استفاده می شود، و ارتفاع کف تا سقف در طبقه‌های بالای هتل متفاوت است. ارتفاع مدول به طور مداوم ۵۴ متر/۱۷۷ فوت است. اعضای مورب طولانی به طور کامل توسط هر اسلب طبقه مهار می شوند، به طوری که باعث ضعف مثلث‌هایی می شود که معمولاً توسط حلقه‌های افقی بین گره‌ها در سطح کف، ایجاد می شود. ترکیبی از شکل منحنی و تنگ شدن برج



به سمت بالا باعث شده است که زاویه شبکه‌ی

مورب در پایه کمی تندتر (که بیشتر برای مقاومت خمشی مفید است) و در بالای آن کمی مایل تر باشد (که بیشتر برای مقاومت برشی مفید است).



برج با انکانا از یک مدول ۱۲ طبقه برای نمای جنوبی اش استفاده می کند. از آنجایی که اعضای شبکه ی مورب در این ضلع توسط فضای خالی ایجاد شده با آتریوم بین نمای دوپوسته از کف طبقات جدا هستند، به ناچار باید بسیار بزرگ می بودند چون هیچ مهاربندی امکان پذیر نبود.

### مدول های بی قاعده

ساختمان هایی که زاویه ی زیادی دارند از مدول های بی قاعده و گاهی بی نظم استفاده می کنند. ابعاد مدول با توجه به شکل مورد نظر ساختار با دقت محاسبه می شود و به معیارهای کاملاً متفاوت به عنوان یک نتیجه مستقیم از ماهیت منحصر به فرد استفاده از قالب بندی دیاگرید پاسخگو خواهد بود.

در بعضی از نمونه ها که دیاگرید برای تأمین پشتیبانی نماهایی طراحی شده است که قرار نیست کاملاً شیشه ای باشند، ساختار مدولار (نبودن آن) دیاگرید به عنوان روکش بیان نمی شود. در این موارد، بیشتر از اینکه هدف بیان الگوی دیاگرید به عنوان یک راه حل طراحی نمای معمارانه

باشد، تقسیم بندی مدول ها بر اساس پوشاندن فاصله ها و انحراف باد به عنوان یک سیستم ثانویه مد نظر است.

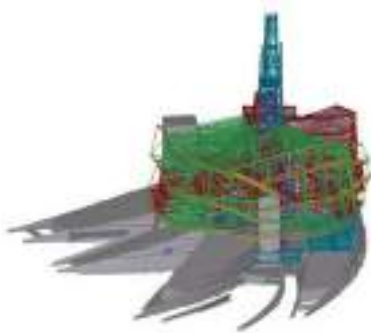


در طراحی موزه ی سلطنتی انتاریو، در تورنتو، کانادا، طراحی شده توسط دنیل لیبسکیند، برای بلوری کردن اشکال از یک ساختار دیاگرید استفاده شد. این دیاگرید بسیار غیرعادی است و هیچ کدام از اعضای آن شبیه به هم نیستند. پروژه های مثل این برای مدیریت پیچیدگی آن بسیار وابسته به نرم افزارهای دیتیلینگ BIM-based می باشد. ظاهر این دیاگرید در بیرون و داخل ساختمان بسیار متفاوت از دیاگرید های منظم در برجهاست.

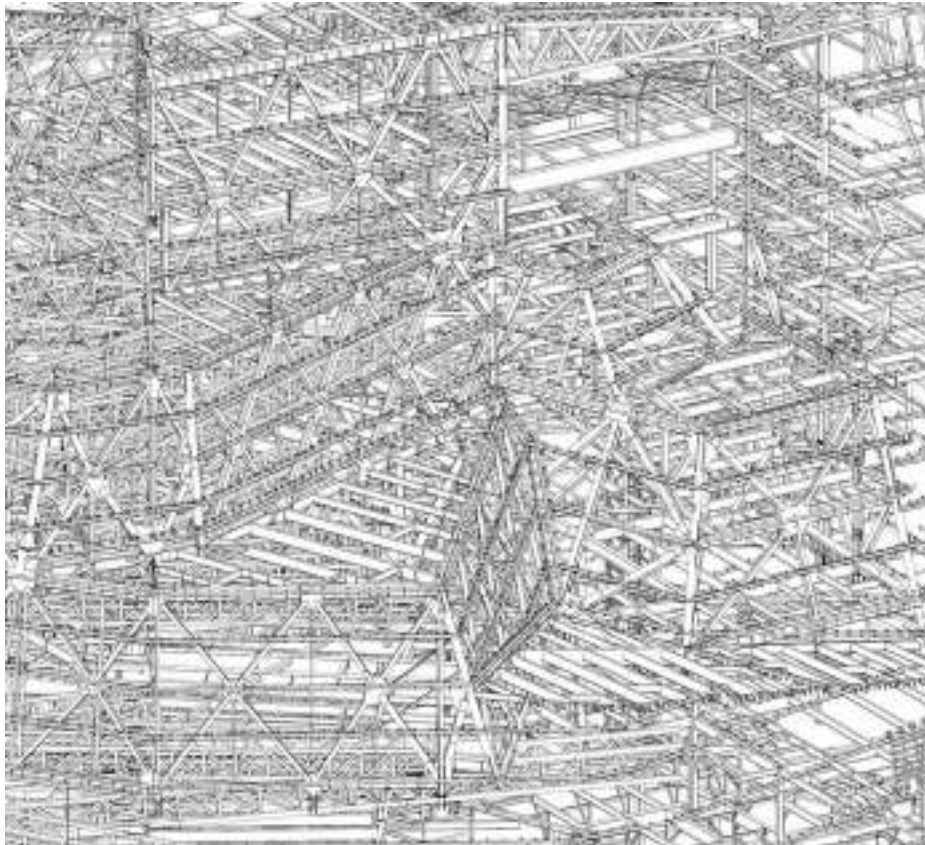


مدولی که در ساختمان CCTV در پکن، چین، طراحی شده توسط OMA و با مهندسی اروپا به کار رفته، بسیار نامنظم است. الگوی ایجاد شده با تصدیق روی نما به جانمایی دیاگرید بر اساس موقعیت تنش ها مربوط می شود. عناصر عمودی برای هایلایت کردن بیشتر الگوی مورب، کوتاه شده اند. بارگذاری بسیار غیرعادی ساختمان و تصمیم به عدم استفاده از هسته برای کمک به مقاومت باربری جانبی، تمام نیازهای بارگیری را در ساختار فولاد اولیه قرار داده است.

مدول های نامنظم معمولاً در بخش طراحی سازه‌ای و مسائل ساخت و نصب چالش بیشتری را برای پروژه ایجاد می‌کنند. نبود الگوی مدولار هندسه‌ها و شرایط منحصر به فرد بسیاری را ایجاد می‌کند. کاربرد فناوری‌های دیجیتال در استفاده از این نوع سازه‌ی فلزی اهمیت بسیار زیادی پیدا می‌کردند است. قبل از ظهور این نرم افزارها، این حد از پیچیدگی امکان پذیر نبود.



برای ساختمان موزه‌ی حقوق بشر (CMHR) در وینیپگ، کانادا، یک ساختار دیاگرید توسط **Antonie Predock** طراحی شده است. این سازه در سمت چپ ساختمان شامل سازه‌ی فولادی نمایان می‌شود که کاملاً هم شیشه است. در سمت راست، سازه دیاگرید اشکال زاویه‌دار را پشتیبانی می‌کند و از سنگ پوشیده شده است. مدول مربوط به این بخش از سازه در همه جای آن تعداد طبقات یکسانی دارد ولی زاویه‌های متفاوتی دارد تا بتواند با تغییر هندسه در شکل برج هماهنگ شود.



در طراحی سازه‌ی فلزی با هندسه‌ی نامنظم استفاده از مدل BIM الزامی است. این تصویر مدل تکلا از CMHR را نشان می‌دهد که توسط سازنده‌ی فولاد، والترز، آماده شده است. قالب فولادی پشت ساختمان که با رنگ قرمز مشخص شده است، به‌عنوان یک دیاگراید پنهان برای پشتیبانی کردن پوشش سنگی طراحی شده است.

تصویر نزدیک از مدل سه‌بعدی سازه‌ی موزه حقوق بشر کانادا، آماده‌شده توسط سازنده، والترز، شدت و تراکم فولاد را نشان می‌دهد که مشخص می‌کند پیچیدگی اعضای سازه‌ی دیاگراید به همان اندازه‌ی اعضای فولادی اضافه‌ی موردنیاز برای قالب‌بندی چنین ساختار پیچیده‌ای است.



## ۶- طراحی اعضا و گره ها

گره چیست؟  
انتخاب مصالح  
پیش فرضهای طراحی گره ها  
(نمونه برج مجله هرست و سوییس  
ری)

تأثیر گسترش بر اعضا و گره ها

سیستم های پنهان  
سیستم نمایان معماری  
تطبیق گره ها با سیستم پنهان

تطبیق گره ها با سیستم نمایان  
معماری

## گره چیست؟



برای پیکربندی اتصالات برج کپیتال گیت واقع در ابوظبی امارات که توسط RMJM طراحی شد، از مدل سه بعدی استفاده شد. جف اسکوفیلد، یکی از طراحان این پروژه، تکامل طراحی آن به طور متعدد تکرار کرد. حتی در مرحله ی نهایی ساخت ساختمان، می توان آن را با همکاری با تهیه کنندگان پروژه تغییر داد. اتصالات اعضای ورودی دیاگرید در نهایت به جای شبکه ی به شکل X آن، به شکل های موازی مبدل شد.

سیستم شبکه ای مورب که از دیوار شیشه‌های منحنی در ساختمان مرکزی واقع در اوتاوا کانادا پشتیبانی می کند و توسط معماران Beynon طراحی شده است، از ساختار فولادی برای استانداردهای AESS استفاده می کند. در این نوع از ساختمان، ستون ها از بارهای افقی پشتیبانی می کنند. اجزای مثلثی شکل HSS که سیستم شبکه ای را تشکیل می دهند، به وسیله ی گره هایی متصل می شوند تا بتوانند مونتاژ را آسان تر انجام دهند. مقیاس و فنون نصب برای این نوع سیستم، بسیار متفاوت از یک سیستم دیاگرید است.

یک ساختار دیاگرید، از اتصال اعضای مورب به یک سری از گره ها در یک الگوی مشخص و معمولاً مثلثی شکل که از مدول ها ساخته شده، تشکیل شده است. تا کنون رابطه ی مدول ها را با شکل، اندازه و ساختار مورد نیاز ساختمان بررسی می کردند.

مقیاس، اندازه ی اعضا و طراحی گره از جمله مواردی هستند که حمایت از بارهای طبقات را از سیستم شبکه‌ای متفاوت می سازد. زمانی که یک سیستم شبکه‌ای برای حمایت از سیستم شیشه و عناصر مات طراحی شده است، میزان بار برای پشتیبانی افقی، ساختار و اندازه اعضای دیاگرید به شدت افزایش می یابد و علاوه بر آن اندازه‌ی گره‌هایی که به آنها وصل می شوند نیز تغییر می کند. سیستم‌های شبکه‌ای، با مسطح کردن جزئیات برای دست یافتن به مساحت بیشتر، طراحی و نشانه‌های مونتاژ خود را از سیستم‌های سه بعدی سازه های فضاکار می گیرند.



سیستم شبکه‌ای باید برای پیوستگی مستقیم سیستم‌های شیشه‌ای طراحی شود و از این رو سطوح تحمل کمتری داشته است. با این حال، ماهیت مثلثی شبکه، آن را کاملاً برای استفاده در ارتباط با سیستم‌های دیاگرید مناسب می‌کردند، است. به ویژه اگر اندازه ی مدول دیاگرید بزرگ بوده و الگوی نمادین مثلثی است. لبه های ساختمانی می‌تواند به طور مؤثر برای تقسیم کردن قطر و پشتیبانی مناسب برای سیستم‌های شیشه‌ای استفاده شود (در فصل ۹ بحث خواهد شد: طراحی نما).

### انتخاب مصالح

اکثر گره‌های سیستم‌های دیاگرید، از صفحات جوش داده شده سفارشی ساخته می‌شوند. به نظر می‌رسد که این مواد برای ساخت بسیاری از اشکال مفصل‌ها که قادر به پذیرش چهار تا هشت عضو ورودی هستند مناسب است. روش مورد استفاده برای برش فولاد، بر سطح جزئیات و نیز بر میزان اصلاحات مورد نیاز اثر می‌گذارد. مصالح بسته به ضخامت شان، مراحل مختلفی را می‌طلبند که در نهایت می‌تواند منجر به ایجاد یک لبه با سطح صاف یا خشن شود. تجهیزات نوین برای برش فولاد برای دقتی بالاتر، با کنترل عددی کامپیوتری (CNC) به انجام می‌رسد. برش دستی بسته به مهارت اپراتور و سطح AESS، به تمیزکاری بیشتری نیاز دارد. گزینه های مرتبط با فناوری های برش، به دلیل ضخامت صفحه ی فولادی محدود است.

روش‌ها شامل موارد زیر می‌شوند:

- برش با پلاسما: ضخامت فلز در این روش معمولاً بین ۶ تا ۳۰ میلی‌متر (۱،۴ اینچ تا ۱۱،۴ اینچ) است.
- برشکاری اکسیژنی: این روش رایج‌ترین روش است و محدودیتی در ضخامت مصالح ندارد.
- برش واتر-جت: این روش زیاد رایج نیست و ضخامت فولاد قائل برش با این روش مشخص نیست.
- برش لیزری: این روش برای مصالحی با ضخامت بین ۱/۵ تا ۲۰ میلی‌متر (۲،۱۶ اینچ تا ۳،۲ اینچ) قابل استفاده است.

با وجود اینکه ریخته‌گری به عنوان روشی جایگزین برای حل مسئله‌ی انتقال بار در اتصالات پیچیده تکامل یافته است، تابه الان در سازه‌های دیاگرید استفاده نشده است. برای اطلاعات بیشتر در رابطه با ریخته‌گری به فصل ۱۰: درک طراحی فولاد، ریخته‌گری رجوع کنید.



## پیش فرض طراحی گره

### برج سوییس ری و برج مجله هرست

این دو برج پیشینه‌هایی را برای طرح‌های بعدی سیستم‌های ساختمانی دیاگرید ارائه کردند. برج سوییس ری از ساختار منحنی‌ها و اعضای ساختار لوله‌ای استفاده کرد. هرست یک پلان مستطیلی داشت و از لبه‌های پهن جوش داده شده یا از مقاطع بین‌المللی استفاده کرد. با اینکه هیچ کدام از این سیستم‌ها در طراحی از سازه‌ی فولادی نمایان معمارانه استفاده نمی‌کردند (AESS)، قواعد زیبایی‌شناسی حکم می‌کرد که به منظور کاهش بخش عمده‌ی اعضای پوششی، اتصالات بسیار فشرده طراحی شوند.

زمانی که این پروژه‌ها در مرحله‌ی جزئیات بودند، نرم افزارهای مدل سازی براساس اطلاعات ساختمان (BIM)، مانند Xsteel (که هم اکنون از نرم افزار ساخت ای تکلا استفاده می‌شود) وجود داشتند. از آن جایی که این نرم افزارها به اندازه‌ی امروز پیشرفته نبودند، نیاز به خرید گره‌ها و اعضای دیاگرید یک پیش نیاز برای هر دو پروژه محسوب می‌شد، به طوری که می‌توانستند راحت‌تر در محل نصب شوند. اتصالات گره‌ها خود کامل جوش داده شده بودند. تمام اتصالات انجام شده در محل توسط پیچ صورت گرفتند. فروشگاه ساخت اتصالات، امکان استفاده‌ی مفید از ماشین آلات را فراهم می‌کند تا از موقعیت دقیق و تراز بودن عناصر اطمینان حاصل شود.

گره‌ی پیش‌ساخته برای برج سوییس ری واقع در لندن، انگلستان، طراحی شده توسط فاستر و همکاران و بامهندسی اروپ، چهار محل اتصال شبیه به هم برای نصب اعضای دیاگرید و همچنین سیستمی جایگزین برای نصب مهاربندی‌های حلقوی دارد که در این مورد در تنش عمل می‌کنند.



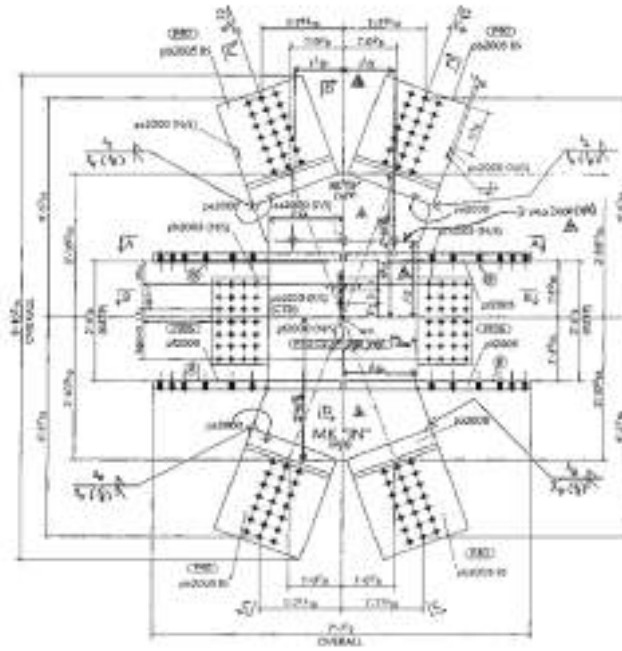
فروشگاه همچنین مجهز به جرثقیل و سایر وسایل نوآورانه است که می‌توانند بلند کنند، بپیچند و اعضا را بچرخانند تا جوش دادن و سایر عملیات مربوط به نصب و اصلاح با بهترین کیفیت انجام شود. زمانی که قرار است سازه‌ی دیاگرید نمایان باشد، کنترل این کیفیت الزامی می‌شود.



گره‌ی پیش‌ساخته برای برج مجله هرست، نیویورک، آمریکا، توسط فاستر و همکاران و با مهندسی کانتور سینوک، با اتصالات از نوع صفحات پیچ شده طراحی شده است که اعضای مورب دیاگرید را می‌پذیرند. همان طور که این تصویر دیده می‌شود، این گره در یک گوشه قرار گرفته است که صفحاتی روی آن وجود دارد که محل اتصال سیستم مهاربندی افقی در گوشه‌ها است تا بتواند با شرایط هندسی گوشه‌ها سازگار باشد.

در سنجش گره‌ها در سازه‌ی سوییس ری و برج هرست مسئله‌ی مهم این است که حتماً نیروها به آکس گره‌ها منتقل شوند. نحوه‌ی قرارگیری و هماهنگی در گره‌های سوییس ری بیشتر دیده می‌شود زیرا پوشش صفحات در مرکز گره قابل مشاهده است. باوجوداینکه اتصال گره و اعضای دیاگرید به دلایل ساختاری اتصالی محکم است، قرار نیست که علاوه بر کمک در مراحل نصب و راه‌اندازی مقاومت در برابر نیروهای چرخشی داشته باشد و انتقال نیرو باید شبیه به طراحی از نوع خرپا باشد.

در سازه‌ی سوییس ری یرو از اعضای دیاگرید به گره از پلیت‌های خیلی ضخیم استفاده شده است. در سوییس ری واضح است که صفحات دارای اندازه‌های یکسان اند و به هم پیچ شده‌اند و اعضای مورب دیاگرید که تیوبی شکل هستند در انتها به صفحات استوانه‌ای جوش داده شده‌اند. در این سازه به انتقال بار به‌طور یکنواخت به‌عنوان امری مهم اشاره شده بود. در گره سازه‌ی هرست صفحه‌ی اصلی انتقال نیرو به گره متصل شده است ولی هیچ صفحه‌ی متصل به اعضای موربی وجود ندارد. این صفحه روی گره و در انتهای لبه‌ی پهن کار شده است و بخشی از انتقال نیرو از طریق آن صورت می‌گیرد و بخش دیگر نیرو نیز از طریق صفحات جوش داده شده به صفحه‌ی اصلی با زاویه‌ی قائمه منتقل می‌شود. این صفحات از طریق پیچ به لبه‌های پهن متصل می‌شوند. در طراحی پوشش نهایی مهم بود که صفحات جانبی به پروفیل لبه‌های پهن به خوبی متصل شده باشند.



این تصویر جزئیاتی از گره سازه ی برج مجله هرست است و روش کاملاً استاندارد تنظیم زوایا در سازه ی دیاگرید را نشان می دهد. این سازه توسط کانتور سینوک با استفاده از نرم افزار BIM طراحی شده است.

### تأثیر گسترش بر اعضا و گره

انتخاب معمارانه به افشا یا پنهان کردن سازه ی قاب دیاگرید تأثیر زیادی بر گزینه های طراحی و جزئیات برای هر دو نوع عضو و گره دارد. ممکن است در بعضی موارد نیاز به استفاده از غالب بصری سازه کمتر از نیاز به استفاده از فضا باشد، با این حال، دیاگرید چه به صورت نمایان و چه پوشیده همیشه تأثیر زیادی بر روی طراحی دارد. نمایان کردن سازه ی دیاگرید همیشه یک گزینه برای ما نیست، چرا که الزامات ایمنی آتش نشانی در ساختمان ها و ساختار های فضایی مختلف متفاوت است و ممکن است اجازه ی استفاده از دیاگرید به صورت بخش جدایی ناپذیر از طراحی به ما داده نشود. یک بررسی مهندسی ایمنی آتش نشانی مناسب باید انجام شود تا صلاحیت نمایان کردن سازه اثبات شود. نوع سیستم اطفاء حریق استفاده شده برای سازه تأثیر زیادی بر هزینه ی این سازه خواهد داشت. بررسی سیستم پوشش، نتیجه ی پایانی و سیستم حفاظت از آسیب در طراحی جزئیات فولاد امری حیاتی است.



کپیتال گیت (در سمت راست) قادر است دیاگرید قدرتمند خود را به عنوان بخشی حیاتی از بیان داخلی ساختمان نمایان کند. اما موزه ی سلطنتی اونتاریو (در سمت چپ) باید اعضای سازه را تحت سیستم اطفاء حریق ببوشاند. این روکش تخته گچی نمای مصالح فولاد در فضا را تغییر می دهد. با داشتن پوشش طرز کار و حتی وجود سیستم سازه ای وضوح کمتری دارد. با این حال، در سازه های دیاگرید حتی اعضای پوشیده نیز تأثیر زیادی بر طراحی سیستم های عمودی باربری که پوشیده می شوند دارند.

### سیستم های پنهان

نگرانی اصلی که سیستم های دیاگرید پنهان را متأثر می کنند مشکلات باربری و نصب آن است. استفاده از گره های کاملاً پیش ساخته به یک استاندارد در این صنعت تبدیل شده است. از آن جایی که این عناصر معمولاً بزرگ و از پیش جوش خورده هستند، برای جابه جایی، چرخش و جوش دادن آنها به یکدیگر به جرثقیل نیاز است. برای اتصال اعضا (قطر ها) به گره ها استفاده از پیچ به دلیل سهولت کار در کارگاه، محتمل تر است. با این حال، این کار از استفاده از جوش در کارگاه برای اتصال اعضا به گره ها جلوگیری نمی کند. این کار برای لوله های پر از بتن، استاندارد است. برای آماده سازی اعضا و گره هایی که باید در کارگاه جوش بخورند، آنها با پیش اتصالات برای جوش (مخروطی) و با قابلیت پیچ شدن ساخته می شوند تا در کارگاه بتوان به طور موقت اعضا و گره را پیچ می کردند و از جرثقیل جدا کرد. زمانی که جوش کامل شد، این مخروطی بریده خواهند شد. اما در سیستم های پنهان احتیاجی به ترمیم این نواقص نیست.

سازه های دیاگرید اغلب به جای استفاده از بتن، از برش های معمول فولادی مانند لبه های پهن و مقاطع یونیورسال برای اعضا استفاده می کنند. کار با آنها در کارگاه بسیار ساده است و در اتصال آنها با گره ها می توان از صفحات پیچ شده استفاده کرد. ساختمان سوییس ری واقع در لندن را می توان یکی از تنها نمونه های استفاده از بتن به عنوان عضو دیاگرید تا به حال نام برد؛ دلیل آن هم هماهنگ شدن دیاگرید با هندسه ی منحنی خاص ساختمان است. جایی که بار در

ارتفاع زیاد قرار دارد صفحه های مخصوص در محل جوش داده شده است. انتخاب دقیق نوع عضو دیاگرید، با توجه به نوع ساختمان و شرایط بارگذاری انتخاب می شود.

در مواردی که دیاگرید صرفاً به خاطر فواید سازه ای آن انتخاب شده و آشکار نیست، و یا بخش عمده ای از آن در زیر تخته های گچی پنهان شده است، جزئیات اتصال دغدغه ی کمتری برای معمار ایجاد خواهد کرد. اما اگر دیاگرید به عنوان بخشی از نمای معماری آشکار باشد، پس اتصالات باید تا حد ممکن ناملموس باشد تا ضخامت اعضا به کمترین میزان برسد.

### سیستم های نمایان معمارانه

تصمیم برای آشکار کردن معمارانه دیاگرید، به شدت ماتریس تصمیم گیری پروژه را تحت تأثیر قرار می دهد. هرچند دیاگریدها به طور طبیعی نیازمند تولیدات خاص زیادی هستند، نسخه های AESS به احتمال بیشتر نیازمند تولید خاص اعضای دیاگرید و همچنین گره ها هستند که این امر سبب افزایش هزینه ی ساخت خواهد شد.

دیاگریدهای آشکار نیازمند اتصالات کاملاً پیوسته هستند - هم در گره ها و هم میان اتصالات گره ها و اعضای مورب. این امر فشار بیشتری بر تولید وارد می کند تا از بی نقص بودن هم پوشانی سطوح جوش خورده که با فاصله ی کم در کنار یکدیگر قرار می گیرند، اطمینان حاصل شود. جوشکاری در محل نیز ممکن است نیازمند پیش گرم شدن مصالح باشد، بنابراین استفاده از داربست و محافظت در مقابل آب و هوا نیز ضرورت می یابد. حلقه های متصل کننده که امکان پیچ شدن موقت اعضا در حین برپاسازی را فراهم می کند باید برداشته شوند و سطوح اتصال نیز باید کاملاً سوهان بخورند و صیقلی شوند تا اثری از اتصالات موقت فولادی دیده نشود.

در دیاگریدهای AESS که جوشکاری بیشتری نیاز دارند، باید اکثر جوشکاری ها در کارخانه تحت شرایط کنترل شده انجام شود تا جوشکاری در محل به حداقل برسد. از آنجا که اندازه ی قطعات پس از جوشکاری در کارخانه بزرگ تر خواهد بود، حمل و نقل نیاز به چینش دقیق تری خواهد داشت.

برای جلوگیری از آسیب دیدن قطعات در هنگام برپاسازی، نیز فراهم می کند (این انبار کردن قطعات در کارگاه نیز بسیار مهم خواهد بود. محل انبار وسیع تر امکان اتصال قطعات قبل از بلند کردن آن ها را پوشیده نیز صادق است).

می کند. از آنجا که این سطوح در لابی آشکار هستند، جوشکاری، سوهان می خورند و صیقلی شده اند تا فواصل شان پس از رنگ آمیزی غیرقابل رؤیت باشند. حلقه های پیچ شده ی موقت برای تثبیت اعضا قبل از جوش خوردن استفاده می شود. این اتصالات نیز صیقلی شده تا همپوشانی بدون درزی در ظاهر داشته باشند.



در مورد دیاگریدهای AESS مهم ترین مسئله اطمینان حاصل کردن از تأثیر ضوابط آتش نشانی محل مربوطه است. این ملزومات در کشورها متفاوت باشند و آنچه که در چین مجاز باشند ممکن است در آمریکای شمالی مجاز نباشد. رایج ترین روش حفاظت در مقابل آتش برای فولاد آشکار، استفاده از پوشش عایق است (با سیستم های اطفای حریق و یا بدون آنها). این پوشش ها بر اساس میزان حفاظت مورد نیاز، ضخامت های متفاوتی خواهند داشت. به طور کلی، فولادهای نازک تر به پوشش ضخیم تری نیاز دارند. در تمام موارد، سطح خارجی پوشش عایق بافتی همچون پوست پرتغال دارد و بخش زیادی از جزئیات اتصال ها و جوشکاری را می پوشاند. در مکان های عمومی که امکان تماس مردم با فولاد وجود دارد، پوشش بیرونی با دوام برای محافظت از عایق پیشنهاد می شود.

دیاگریدهای AESS بزرگ تر که ممکن است از اعضای توخالی با قطر بالا استفاده کنند، به روش پر کردن با بتن در برابر حریق مقاوم می شوند.

دیاگرید AESS برج بو انکانا در کالیاری کانادا، اثر فاستر و همکاران و شرکت زیلدر، از یک مفصل جوش خورده میان گره ها و عضوها استفاده

### تطبیق گره ها برای سیستم های پنهان

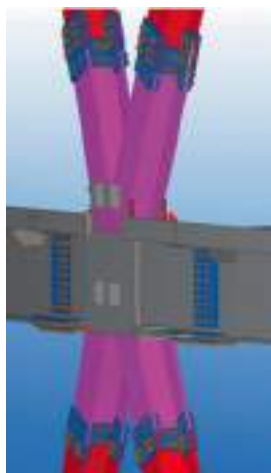
همان طور که در طراحی گره ها برای سیستم پنهان در برج ری سویس و برج هرست مشخص شد، ترکیبی از اتصالات پیش ساخته در کارخانه و اتصالات پیچ شده در کارگاه، این سیستم پیچیده ی هندسی را کنترل پذیر تر کرد. طراحی گره های استفاده شده در این دو برج به عنوان الگویی برای دیاگریدها در ساختمان های جدیدتر استفاده شد. سیستم های پنهان اکثراً از اعضای با لبه ی پهن استفاده می کنند (مقاطع استاندارد)، هرچند که در مواردی نیز از سیستم های با ساخت کاملاً خاص استفاده شده است.

طراحی گره ها و اعضای دیاگرید مشخصاً منطبق بر شرایط بارگذاری هستند. با مقایسه‌ی ظاهر کلی گره ها در برج ۴۶ طبقه‌ی هرست، با گره های برج ۵۷ طبقه‌ی بو انکانا واضح است که گره های برج بو انکانا برای تنش های بالاتر طراحی شده است. اندازه‌ی اعضای دیاگرید در دفتر مرکزی الدار، با توجه به ارتفاع ۲۵ طبقه و تنش های مضاعف ناشی از شکل خمیده‌ی ساختمان، کاهش یافته است. در مقایسه با گره های مشابه از لحاظ هندسی در ساختمان وان شلی، واضح است که ارتفاع ۱۰ طبقه در این سازه طراحی گره ها را بسیار آسان تر می کردند است. مسلماً استفاده از گره ها محدود به سازه های دیاگرید خالص نیست. سازه های ترکیبی همچون قاب خرپایی در نمای شمالی برج بو انکانا یا سازه ی لانه زنبوری استفاده شده در برج های البهار از گره هایی استفاده می کند که اتصالاتی با شرایط مشابه را پوشش می دهد. فواید استفاده از قطعات پیش ساخته در این اتصالات پیچیده واضح است.

انجام می شود. صفحه موقت برای پیچ کردن عناصر به یکدیگر استفاده می شود که امکان باز کردن جرثقیل و آماده سازی برای جوشکاری را فراهم می کند.



گره ها در نمای شمالی برج بو انکانا، که بخشی از یک قاب خرپایی هستند، از صفحات پیچ شده‌ی کناری برای اتصال اعضا به گره استفاده می کنند. این روش در برج هرست معرفی شده بود. از آنجا که قاب خرپایی باید عناصر عمودی را پیوند دهد، هر گره باید برای هشت عضو فولادی اتصال فراهم کند. بنابراین، انتقال بار هم از طریق پیچ و مهره و هم از طریق جوش دادن مفاصل



که در زیر گره قرار گرفته اند قبل از بلند شدن به گره پیچ شده اند تا فرآیند برپا سازی سریع تر شود.



جزئیات این سازه ی تکلا تهیه شده توسط ویلیام هیر، نشان می دهد که گره طراحی شده در دفتر مرکزی الدار در ابوظبی امارات، اثر گروه معماری MZ، مشابه راه حل استفاده شده در برج هرست است. گره از اعضای لبه پهن و اتصالات پیچ شده استفاده می کند تا پذیرای عناصر الحاقی باشد.

دیاگریدهای خارجی در ساختمان شماره یک خیابان شلی در سیدنی، اثر فیتزپاتریک و همکاران، با استفاده از پروفیل های استاندارد لبه پهن (یونیورسال) ساخته شده است. به خاطر شرایط معتدل جوی در سیدنی، طراحان تصمیم به استفاده از دیاگرید در خارج از فضای سرپوشیده گرفتند. اما با وجود اینکه شرایط محیطی خوردگی فلزات را تشدید می کند، برای جلوگیری از خوردگی و ظاهری تمیز تر، اعضا با پوشش گالوانیزه آب دیده شده اند. با این که حلقه ی مهاربندی عمودی ایجاد شده توسط طبقات در پشت فلزکاری پنهان شده اند، شکل ضربدری گره به وضوح پیداست. دو عضو دیاگرید

منظره ی پشت یک گره از ساختمان شماره یک خیابان شلی، نشان دهنده ی عنصر اتصالی بین تیرهای طبقات در فضای داخلی ساختمان است. تمام اتصالات ساخته شده در کارگاه پیچ شده اند. اندازه ی اعضا متناسب با ظرفیت دیگ گالوانیزه کننده (اندازه ی مخزن) تنظیم شده است. گالوانیزه کردن نیازمند دسترسی به تمام سطوح در هنگام فروبردن عضو درون دیگ است و ضخامت فولاد نیز برای جلوگیری از احتمال تغییر شکل در اثر گرمای دیگ تنظیم شده است.





سازه ی لانه زنبوری در برج های البهار واقع در ابوظبی، اثر گروه معماری آنداس و آروپ، از گره های فلزی استفاده می کند، که مکمل اتصالات و انتقال بار در نقاط تقاطع ستون های عمودی و اعضای مورب است. گره ها امکان اتصالی تمیز و پیچ شده در محل و صرفه جویی در هزینه با پیش ساخته شدن گره ها را فراهم می کند، که همچنین به داشتن کنترل دقیق بر روی زوایای اتصالات اعضای شیب دار کمک می کند.

برخی از سیستم های پنهانی وجود دارند که فاقد سیستم یکپارچه ای از گره ها و اعضا هستند. این حالت در ساختمان هایی با بارگذاری شدیداً نامتعارف و یا شکل های غیر عادی پیش می آید. با وجود اینکه راهکارهای هماهنگی برای مهندسی اتصالات پیش گرفته می شود، پیش تولید عمده ی قطعات، با وجود متفاوت بودن شکل و نحوه نصب هر عضو، امکان پذیر نیست. هرچند نرم افزارهای پیش رفته بی ای ام و طراحی جزئیات فولاد، امکان تولید نقشه ی ساخت برای تک تک عناصر و اتصالاتشان را فراهم می کند. این به معنی دقت و صرفه جویی در چیدمان و تناسب این اعضای پیچیده است.



سازه ی دیاگرید استفاده شده به عنوان مکمل سیستم تیر و ستون در ساختمان CCTV در پکن (چین)، طراحی شده توسط OMA. صفحات پروانه ای شکل که به عنوان مفاصل بار عناصر مورب را به ستون ها منتقل می کند، در تمام ساختمان متفاوت هستند. پروفیل های قوطی که عناصر مورب را تشکیل می دهند، به مفاصل پروانه ای جوش می دهند. صفحات اتصال موقت همچنان کارا هستند و از آنجا که این قسمت از سازه در نهایت پوشیده خواهد شد، نیازی به پنهان کردن این اتصالات نیست.



حتی در یک ساختمان، سیستم های دیاگرید پوشیده بر اساس کاربری موقعیت و بارگذاری، می توانند شکل ها و نقش های متفاوتی بگیرند. این تصاویر از بخش الحاقی به موزه ی سلطنتی اونتاریو در تورنتو کانادا، طراحی شده توسط دنیل لیبسکیند، اتصالات استاندارد تری را که در میانه ی " نمای " یکی از بلور ها می نشیند نشان می دهد (سمت راست)، و شرایطی در نقطه ای از یکی از شکل های بلوری که اعضای متقاطع و صفحات متفاوتی را با یکدیگر پیوند می دهد (سمت چپ).

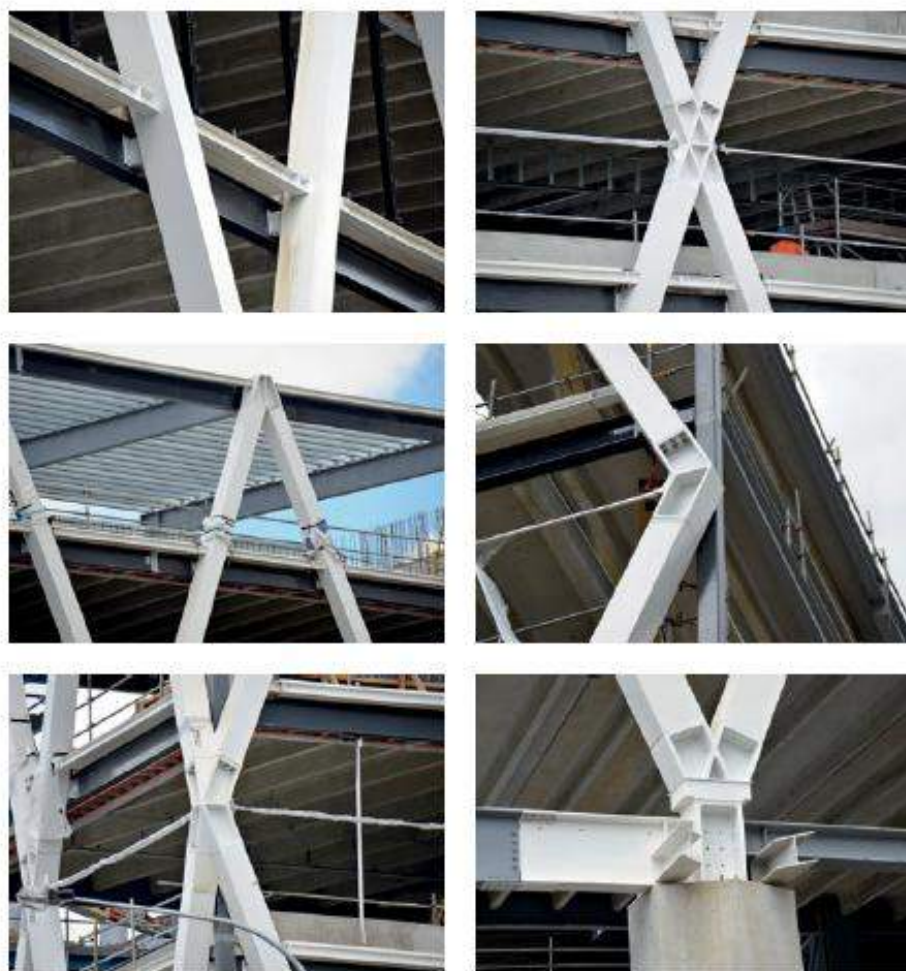
به وضوح مواردی هستند که در آن ها استراتژی عضو-گره برای دیاگرید جوابگو نباشد، مثلاً برای مواردی با سازه های غیر معمول و نامنظمی که از هیچ مدولی بهره نمی برند، بنا براین تمام اتصالات منحصر به فرد هستند. بخش الحاقی به موزه سلطنتی آنتاریو در تورنتو نمونه ای از این موارد است. بسیاری از گره ها به صورت پیش ساخته بر روی اعضا ساخته شده اند و به صورت یک پارچه به کارگاه ارسال شده اند. فرآیند ساخت همچنین شامل اتصال اعضای مستقیم به این گره ها باشند است. این عناصر به عنوان بخشی از فرایند اتصال کارگاهی به سازه ی اصلی متصل شده اند. در بسیاری از پروژه ها، اتصالات بزرگ تر در محل نگهداری و قبل از بلند کردن اعضا انجام می شود تا حمل و نقل و تعداد دفعات استفاده از جرثقیل کاهش یابد. بحث های تکمیلی در مورد این روش در فصل هشتم: قابلیت ساخت انجام می شود.

### تطبیق گره ها برای سیستم های آشکار

تصمیم برای آشکار کردن معمارانه ی دیاگرید فولادی میزان زیادی عملیات به نیازهای قبلی اضافه خواهد کرد. برای اطلاعات بیشتر در مورد دیاگریده های AESS لطفاً به فصل های ۵ و ۶، درک طراحی فولاد: دستورالعمل طراحی معماری و همچنین سیستم های سازه ای فولادی آشکار مراجعه کنید.

طراحی گره ها و اعضا در یک سیستم آشکار بخشی حیاتی از بیان معمارانه ی فضا هستند. دیاگریدهای AESS که تا به حال ساخته شده اند، به دلایل مختلفی همچون مقیاس، ارتفاع، کاربری ساختمان و بودجه، راهکارهای متفاوتی برای طراحی سیستم پیش گرفته اند.

هنگامی که گره ها در ساختمانی که شرایط مختلفی را تجربه می کند، آشکار باشند، ابداع زبان جامعی برای جزئیات که در شرایط متنوع مورد استفاده قرار گیرد، اهمیت پیدا خواهد کرد. این شرایط می توانند به سادگی شرایطی عادی همچون میانه ی نما و بالای ساختمان باشند. از آنجا که ساختمان های مکعبی می توانند شرایط متفاوت داخلی و خارجی در گوشه ها داشته باشند، چالش های بیشتری را بر می انگیزند. پلان ها و مقاطع دوار و یا منحنی نیز نیازمند طراحی خاصی برای گره ها است، اما به ندرت شرایط ویژه ای برای هندسه ی گوشه های خارجی ایجاد می کنند. طراحان دیاگرید خارجی ساختمان انستیتوی فناوری مانوکاو در اوکلند، نیوزلند، دنباله ی جامعی از جزئیات ایجاد کردند تا به طراحی دیاگرید وابستگی ببخشند. برای مثال، با وجود اینکه سازه ی دیاگرید فولادی آشکار است، اتصالات ساده ی پیچ و مهره، جایگزین جوشکاری پر هزینه در کارگاه برای اتصال اعضا به گره ها می شود.



سیستم دیاگرید خارجی در ساختمان انستیتو فناوری مانوکا در اوکلند نیوزیلند، طراحی شده توسط گروه معماری مهونی، از زبانی پیوسته برای طراحی جزئیات گره های با شرایط متفاوت در تمام ساختمان استفاده می کند. تمام گره ها، حالت های مختلف ضربداری شکلی دارند و به صورت ویژه از پروفیل های قوطی ساخته شده اند. صفحات و پلیت های مخصوص معمولاً بر اعضای

استاندارد HSS ارجعیت دارند. به این دلیل که در اعضای استاندارد HSS گوشه های گرد شده دقت و تناسب گوشه های تیز را ندارند. مهار بندی افقی در سطح طبقات از پروفیل های بال پهن کوچک استفاده می کند که از لحاظ بصری با گره ها سازگاری دارند.

ایده ی دنباله ای از گره های متنوع برای ساختمان لیدنهای که طراحی غیر متقارنش آن به ایجاد شرایط سازه ای متفاوت در چهار طرف ساختمان منجر می شود نیز پر اهمیت بودند. راهکار ساده ی طراحی ممکن است مشابه ساختمان انستیتوی فناوری مانوکاو به نظر برسد، اما طراحی و مهندسی مورد نیاز برای گره ها، بسیار پیچیده هستند. شکل دوزنقه ای ساختمان منجر به ایجاد دیاگرامهای استاندارد الماسی در نمای جلوی ساختمان، سیستم دیاگرید و ستون در کناره ها و سیستم ستونی و مهاربندی مورب با هشت عضو متقاطع در یک گره در پشت ساختمان شده است. ارتفاع ۵۰ طبقه ی آن در مقایسه با پنج طبقه ی مانوکاو، تنش قابل توجهی به گره ها اضافه می کند. بارهای زیاد که باید توسط این گره ها و اعضا منتقل شوند، نیازمند صفحات مقاوم کننده هستند. هرچند که طراحی مانوکاو نیازمند در نظر گرفتن بار زلزله های متعدد نیوزلند، و بار مضاعف باد در ساختمان های بلند مرتبه است. بار جانبی باد در لیدنهای، همراه با بارهای تصاعدی طبقات و شکل غیرعادی، استراتژی های طراحی گره ها را تحت تاثیر قرار داد. در حالی که دیاگرامهای کم ارتفاع مانوکاو می توانستند از اتصالات ساده ی پیچ و مهره استفاده کنند، لیدنهای از اتصالات پیچ شده ی پیش تنیده استفاده می کند که در حین ساخت، با احتمال تغییر شکل در اثر تغییر در بار و ستون گذاری، تنظیم می شود. در برخی موارد ظاهر لبه ی پهن اعضا، وجود دو شبکه برای مقاومت بیشتر سیستم را پنهان می کند. حتی در هنگامی که سیستم دیاگرید با مهاربندی هشتی در پشت ساختمان متصل می شوند، ثبات زبان جزئیات حفظ می شود. این موضوع با جزئیات بیشتر در فصل بعد بحث شده است.



زبان طراحی جزئیات پیوسته ای برای گره های ساختمان لیدنهایل استفاده شده است. شکل ضربدری گره ها بر اساس موقعیت و شرایط هندسی متغیر است. زبان جزئیات در مورد مهاربندی هشتی در لبه های پشتی ساختمان، با کمی ویرایش اعمال شده اند.

بسیاری از دیاگریدهای بزرگ تر AESS، به دلیل مقاصد معماری که توسط پروفیل های استاندارد فراهم نمی شود، از اعضا و گره های مخصوص ساخته شده از صفحات فولادی تولید شده اند. گرانش بالا و بارهای جانبی نیز ممکن است نیازمند اعضای بسیار بزرگ تری باشند که با ظرفیت بارگذاری پروفیل های لبه پهن یا HHS حاصل نمی شود؛ همان طور که در ساختمان لیدنهایل، پروفیل ها از صفحات جوش خورده ساخته شدند. این اعضا از اعضای قالب گیری شده ی استاندارد ظاهر تمیز تری نیز دارند.



سیستم دیاگرید در ساختمان لیدنهایل در لندن انگلستان، طراحی شده توسط راجرز استریک هاربور و شرکا و گروه آروپ از زبان زنده ای از جزئیات برای سیستم دیاگرید استفاده می کند. چرا که این سیستم، نمایی دوپوسته تشکیل می دهد که در خارج و داخل ساختمان آشکار خواهد بود.

مثالی دیگر، گره ها و اعضای دیاگرید برج بو انکانا است که به صورت خاص از صفحات فولادی ساخته شده اند و مقاطع مثلثی شکل دارند. از آنجا که دیاگرید فولادی قرار بود به عنوان یک سازه ی AESS نمای دو پوسته تشکیل شده و در لابی آشکار باشد، تمام اتصالات جوش داده شدند. در نتیجه، برای ایجاد شرایط محیطی مناسب در هنگام جوشکاری در آب و هوای بسیار سرد، برفی و طوفانی کالیاری، نیازمند ایجاد پوشش های محافظ در فصل سرد سال است و فراهم کردن داریست ها و محافظت در برابر شرایط جوی، از الزامات مهم این پروژه ها است.



ملاحظات انجام شده برای تولید گره ها و اعضای دیاگرید ساختمان بو انکانا، شامل پیش ساخته شدن تا حد ممکن و افزایش میزان حمل و نقل است. نمای پشتی این گره نشان دهنده ی سطحی است که در نهایت توسط فلزکاری های نهایی پوشیده خواهد شد. این دیاگرید فلزی خاص توسط کارخانه ی والترز تولید شد.



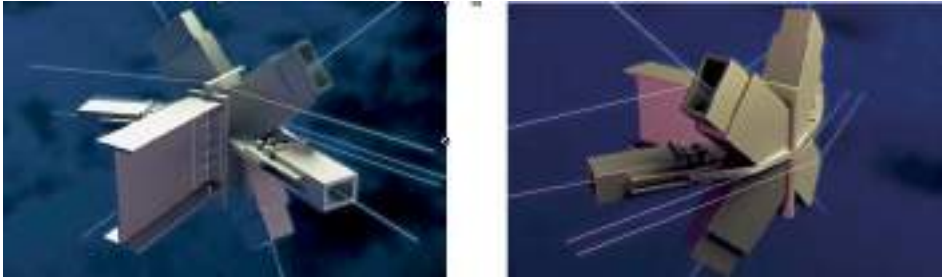
با انکانا در حال ساخت، تصویر نشانگر نمای پشتی دیاگرید است که پنهان خواهد شد است. این موضوع انتظارات برای کیفیت سطوح فولاد را کاهش می دهد و موجب صرفه جویی در هزینه ی پروژه می شود.

جهت صرفه ی اقتصادی در سیستم های بزرگ تر، ممکن است که پرداخت نهایی اعضا بر اساس کاربریشان انجام شود. بدین صورت که طرف های نمایان با استانداردهای AESS، و طرف های پنهان با استانداردهای اولیه ی سازه ای پرداخت شود. با اینکه این راهکار احتمالاً در بیشتر موارد استفاده نمی شود، دانستن این که دفعات معدودی انجام شده و امکان این صرفه جویی وجود دارد، می تواند مفید واقع شود. از آنجا که سطوح داخلی دیاگرید بزرگ نمای برج بو انکانا در معرض دید عموم قرار می گیرد، با سطوح بالای استاندارد AESS (AESS4) بر اساس سیستم

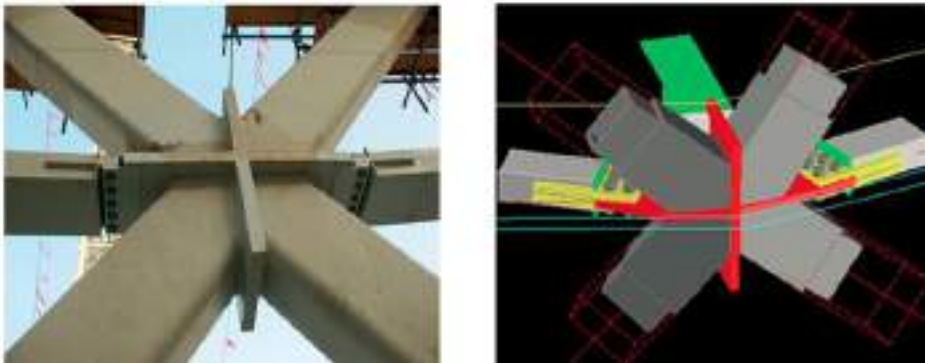


کانادا) پرداخت شده است. در حالی که پرداخت سطوح خارجی که توسط سیستم دیوار پرده ای پوشیده شده اند، با سادگی بیشتری تمام شده اند.

روش اصلی تولید و اتصال گره ها و اعضای رابط عمدتاً ثابت است. حتی در مواردی که هر گره منحصر به فرد است، مانند ساخت گره های شدیداً چالش برانگیز در سیستم دیاگرید کپیتال گیت ابوظبی. به خاطر هندسه ی خم شونده ی برج، لازم بود جهت مهار کردن بار غیرعادی آن، سیستم دیاگرید کاملاً صلب باشد. هسته ی بتنی ساختمان نقش بزرگی در این زمینه ایفا کرد، اما همچنان نیاز بود تا دیاگرید از مدول کوچک دو طبقه ای تبعیت کند.



این مدل های سه بعدی از گره های کپیتال گیت ابوظبی، ساخته شده توسط جف اسکوفیلد از ADNEC، طبیعت بصری اتصالات و چینش ها را بررسی می کند. این پروژه، بیش از ۸۰۰ گره منحصر به فرد داشت که اهمیت مدل سازی دیجیتال برای بررسی بازه ی طراحی و مشکلات ساخت را بسیار بالا می برد.



در سیستم های دیاگرید پیچیده، استفاده از نرم افزارهای طراحی جزئیات فولادی بسیار حیاتی است. این تصاویر رندر شده توسط نرم افزار تکلا از سازه ی گره ها در کپیتال گیت نشان دهنده ی نحوه ی چینش هر یک از اعضا است. مهاربندی های افقی توسط پیچ و مهره در سایت متصل شده اند. اکثر گره ها از صفحات ضربدری شکل برای اتصال با اعضا استفاده می کنند.



در مکان هایی که دیاگرید کپیتال گیت در معرض دید عموم از فاصله ی نزدیک قرار داشتند، طراحی جایگزینی باید انجام می شد. در طبقه ی همکف لابی (چپ)، پوشش مخصوصی برای پوشاندن اتصالات پیچ شده ی مهاربندی های افقی استفاده شده است. در رستوران طبقه ی هجدهم، اعضای دیاگرید به خاطر شرایط ویژه ی بارگذاری در این قسمت بسیار بزرگ تر هستند.



اهمیت یک زبان جزئیات پیوسته در حیاط مرکزی کپیتال گیت، روشن می شود. استفاده از صفحات ضربدری در مفاصل حفظ شده است، اما اعضا به خاطر بارگذاری سبک تر، به پروفیل های استاندارد لوله ای تبدیل شده اند. صفحات عمودی گرد شده اند تا با پروفیل های لوله ای هم خوانی داشته باشند. از آنجا که امکان پر کردن پروفیل ها با بتن وجود نداشت، برای مقاومت بیشتر در مقابل آو درخشندگی بیشتر فولاد، از پوشش ضد حریق استفاده شده است.

مقاومت در برابر حریق در دیاگریدهای AESS نقش بزرگی در طراحی و جزئیاتشان ایفا می کند. با اینکه کپییتال گیت توانست با استفاده از پوشش رزین ضد حریق، دیاگریدها در فضای داخلی را کاملا آشکار کند، ساختمان آی اف سی گوانژو بر پر کردن لوله های بزرگ با بتن بسنده کرد. هر چند که مقاومت دو ساعته مورد نیاز در بخش هتل و اداری آی اف سی گوانژو با پرکردن بتن تامین نمی شد. بنابراین یک لایه ی اضافی از پوشش ضد حریق به صورت ماله کشی به لوله ها اضافه شد. همچنین، طبقات پناه، همچون سایر برج های بلند امروزی، تعبیه شد.



گره های بزرگ آی اف سی واقع در گوانژو چین، طراحی شده توسط معماران ویلکینسون آیر، شکل ضربدری دقیقی را ایجاد می کند. لوله هایی که به گره ها متصل می شوند، به صورت موقت به صفحات گیره ای پیچ شده اند. این صفحات پس از اتمام جوشکاری برداشته می شوند. خود گره را به تنهایی نمی توان جزئیات اصلی اتصال به حلقه های مهاربندی افقی در نظر گرفت. از آنجا که اعضای ۲۷ متری این دیاگرید در هر طبقه کاملا مهاربندی شده اند (همان طور که در تصویر سیستم فولادی طبقات مشاهده می شود)، نیازی به ایجاد حلقه های بزرگ تر در سطح گره ها نبود.

در برخی موارد غیرمعمول تر AESS، گره و اعضا در یک تکه ترکیب شده اند تا سیستم کامل تری را به وجود آورند. این روش در مواردی جهت ایجاد قطعات زیرمجموعه ی بزرگ تر که به صورت پیش ساخته جوش داده شوند، استفاده می شود. این روش همچنین اتصالات در سایت و زمان برپا سازی را کاهش می دهد.



برج کانتون در گوانژوی چین، طراحی شده توسط مارک همل، باربارا کوت و گروه معماری IBA، با صرف نظر از عناصر گره‌ای که تقاطع عناصر فولادی را هم راستا می‌کند و با روی هم قرار دادن اعضا جهت ایجاد عمق بصری در سازه، نگاهی مجسمه‌سازانه به دیاگریدها ایجاد می‌کند. عناصر لوله‌ای و مفاصل شان پیش ساخته بودند تا با اندازه‌های بزرگ‌تر منتقل شوند. به مقیاس کارگران بر روی داربست‌ها توجه کنید تا اندازه‌ی بسیار بزرگ این اعضا را بهتر درک کنید. بزرگ‌ترین لوله‌ها با تمام الحاقات و عناصر مفصلی، بدون عناصر واسط پیش ساخته شده‌اند، لوله‌های کوچک‌تر در محل متصل شده‌اند.



برج چرخنده‌ی مجسمه‌سان آرکلورمیتال، طراحی شده توسط آنیش کاپور و سیسیل بالموند برای المپیک ۲۰۱۲ لندن، از سیستم سازه‌ای مشابه دیاگرید استفاده می‌کند که در آن گره‌ها و اعضا به عنوان یک واحد از یک سیستم مدولار در نظر گرفته می‌شوند. هر چند که زوایای هر عنصر تا عنصر دیگر متفاوت است، اتصالات ساده‌ی پیچ و مهره در سایت امکان اتصال اعضا قبل از بلند شدن و برپا سازی سریع‌تر را فراهم می‌کند. جوش کاری سازه‌ی AESS کاملاً پیش ساخته و تمام عناصر رنگ آمیزی شده بود برای یک برپاسازی خیره‌کننده به سایت ارسال شده‌اند.





۷

### طراحی هسته سازه

مصالح رایج در طراحی ساختمان های بلند

تأثیر واقعه ی یازده سپتامبر بر طراحی هسته

کاربرد هسته در ساختمان های دیاگراید

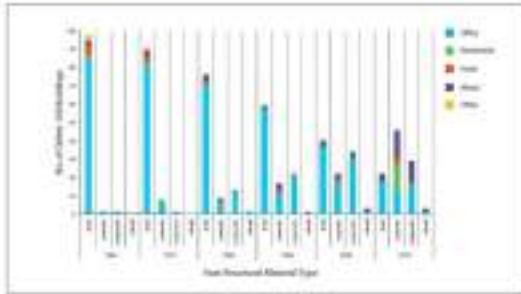
هسته های قاب فولادی

هسته های بتن مسلح

هسته‌ی خدماتی ساختمان لیدن‌هال لندن انگلستان، طراحی شده توسط راجرز استریک هاربر و شرکا به همراه اروپ، در پشت ساختمان واقع شده است. سازه‌ی زرد رنگ قاب فولادی، از لحاظ سازه‌ای نسبتاً مستقل بود و کاربرد هسته‌های سنتی در راستای خنثی کردن بارهای جانبی ساختمان را ندارد.

این فصل با تکیه به گونه‌شناسی برج‌ها، به بررسی طراحی هسته‌ی ساختمان‌های دیاگراید می‌پردازد. استفاده از سازه‌های دیاگراید پیرامونی، رایج‌ترین و واضح‌ترین روش مورد استفاده برای ساختمان‌های بلندتر است. هسته‌ها در ساختمان‌های بلند مرتبه هدف سازه‌ای بسیار واضحی در طول تاریخ داشته‌اند، تا در برابر بارهای جانبی مقاومت کنند. در مقابل، هسته‌ی ساختمان‌های کوتاه‌تر بسته به کاربری ساختمان، هندسه‌ی آن و مصالح بومی رایج، انواع مختلفی دارند. در حالی که انتخاب فولاد برای قاب دیاگراید کاملاً روشن است، انتخاب مصالح برای هسته همواره ثابت نیست، چرا که این تصمیم، بازه‌ی وسیعی از متغیرها را شامل می‌شود.

مقایسه‌ی مصالح سازه‌ای در ۱۰۰ ساختمان بلند مرتبه دنیا در هر دهه، از ۱۹۶۹ تا ۲۰۱۰.



این کردار، تهیه شده توسط انجمن ساختمان‌های بلند و مسکن شهری (CTBUH)، نشان‌دهنده‌ی تغییرات در انتخاب مصالح در شش دهه‌ی گذشته است. این تغییر نمایانگر کاهش در ساخت و ساز ساختمان‌های تمام فولادی است.

### مصالح رایج در طراحی ساختمان‌های بلند مرتبه

اگر به تاریخچه‌ی طراحی ساختمان‌های بلند مرتبه در پایگاه داده‌های انجمن ساختمان‌های بلند و مسکن شهری (CTBUH) بنگریم، متوجه روندهایی می‌شویم که شروع به تأثیرگذاری در مصالح انتخابی در طراحی برج‌ها می‌کردند:

- ساخت ساختمان های بلندمرتبه از سلطه ی آمریکای شمالی خارج شده و به تعداد بالاتر در آسیا و خاورمیانه رسیده است.
- مصالح اصلی سازه ای، از فولاد به ساخت ترکیبی تغییر می کردند، است (بتن در رتبه ی دوم قرار می گیرد).
- تمام ساختمان های بسیار بلند با مصالح ترکیبی ساخته می شوند.
- اکثر ساختمان ها از بتن مسلح برای ساخت هسته ی ساختمان استفاده می کنند.
- انتخاب مصالح سازه ای عموماً منطقه ای باشند و ساختمان های تماماً قاب فولادی عمدتاً در آمریکای شمالی (به خصوص نیویورک) و لندن ساخته شده و در سایر مناطق کمتر دیده می شوند.
- با افزایش تقاضا در چین، قیمت فولاد متغیر باشند در حالی که قیمت بتن با ثبات تر و قابل اعتماد تر باشند است.
- فولاد عموماً نیاز به نیروی کار ماهر تری دارد که ممکن است در دسترس نباشد.

اولین ساختمان های بلند مرتبه در ایالات متحده ی آمریکا ساخته شدند و سلطه ی استفاده از سازه های فولادی در ساخت قاب ها و هسته ها را ایجاد کردند. این ساختمان های بلند اولیه در تعریف راهکارهای سازه ای برای طراحی ساختمان های بلند نقش به سزایی داشتند. یاد آوری این نکته قابل توجه است که پیشرفت های سازه ای در طراحی آسمان خراش های فولادی، در اعتماد به فولاد با مقاومت بالا، مهندسی سازه ای و ساخت که منجر به حذف سیستم ها زائد شده است، بازتاب داشته است.

ساخت آسمان خراش ها تا هنگام ساخت مرکز ۱۰۰ طبقه ی جان هنکاک در شیکاگو، اثر سم در ۱۹۶۵، که سیستم مهاربندی لوله ای طره ای (یا سیستم هسته ی قطری) را معرفی کرد، تغییر محسوسی نداشت. در راستای افزایش وسعت شیشه ی قابل استفاده و کاهش ستون های عمودی، اعضای مورب بزرگی به شبکه های مستطیلی پنجره ها، پوشش ستون ها، و صفحات کنجی الحاق شد که تمام طول سازه را مقاوم می کرد.

گونه های مختلف هسته های قطری برای اشتراک بارهای جانبی، در سازه های پیرامونی به کار گرفته شدند. با افزایش ارتفاع ساختمان ها و نیاز به مقاومت در برابر بارهای جانبی بزرگ تر، این



سیستم پیشرفت مهمی محسوب می شد. بارهای جانبی همواره شامل بار باد و گاهی اوقات شامل بارهای متفاوت زلزله ای براساس موقعیت جغرافیایی و ریسک های تعیین شده می شود. از آنجا که ساختمان های بلند تاریخی، همانند طره های عمودی عمل می کنند، برای مقاومت در برابر بارهای جانبی بر استحکام هسته هایشان تکیه می کنند. هسته های مهاربندی شده ی فولادی، اعضای مورب تقویت کننده در عناصر مات مورد نیاز جهت جا دادن آسانسورها و راه پله ها را "پنهان" می کند، در حالی که بتن مسلح به طور طبیعی مقاوم و مستحکم است و به راحتی می توان از آنها برای تأمین نیازهای برنامه ریزی شده ی هسته استفاده کرد.

یک سیستم عمودی ستونی برای انتقال بارهای مطلقاً گرانشی بر سطح قابل استفاده کف ساختمان استفاده می شد. در طول سالیان، ترجیح فضاهای داخلی بدون ستون به برج های متشکل از هسته ها و سیستم های پیرامونی کمکی منجر شد. برج های جان هنگام و ویلیس در شیکاگو، و برج های تجارت جهانی در نیویورک، بلندترین برج های تمام فولادی در طول زمان باشند اند. این امر شامل استفاده از فولاد برای قاب بندی هسته نیز می شود.

### تأثیر حادثه ی یازده سپتامبر بر طراحی هسته

تمایل به استفاده از هسته های بتنی، از زمان حمله ی تروریستی که منجر به تخریب برج های تجارت جهانی در نیویورک شد، افزایش یافت. سؤال اصلی برخاسته از حادثه ی یازده سپتامبر، بر امکان ساخت آسمان خراش هایی مقاوم در برابر حملات مشابه متمرکز بود. تا این زمان، ساختمان ها غالباً برای مقاومت با نیروهای طبیعی همچون باد و زلزله طراحی می شدند، اما هیچ گاه "حملات جنگی" و عوامل انسانی در نظر گرفته نمی شد. با این که گزارش تهیه شده توسط انجمن ملی استانداردها و فناوری (NIST) پیشنهادات امنیتی متعددی برای طراحی آسمان خراش های آینده فراهم می کند، هر دوی این موارد بر پیشرفت آینده ی آمریکا در طراحی آسمان خراش ها تأثیر به سزایی خواهند داشت.

هندسه ی مورب برج  
جدید تجارت جهانی، طراحی  
شده توسط سم، بر قاب های  
فولادی و سیستم های  
مهاربندی فولادی تکیه می  
کند.



اولاً، مسئولین و مالکین ساختمان ها باید ملزومات اجرایی متناسب برای ساختمان هایی که به خاطر وضعیت نمادین، کاربری بحرانی و یا طراحی شان ریسک پذیر هستند، وضع کنند و دوماً، از راهبرد "قاب سازه ای" در مواردی که اعضای سازه ای متصل به ستون، مقاومت حریق بالای ستون ها را دارا هستند استفاده کنند. در جواب به این پیشنهاد، بندرداری نیویورک در مورد ساخت برج جدید تجارت جهانی این بیانیه را صادر کرد:

"ویژگی های امنیتی جدید، شامل دیوارهای بتن مسلح به ضخامت ۹۱ سانتی متر (۳ فوت) در اطراف تمام راه پله ها، چاله های آسانسورها، بالابرها و سیستم های آب پاشی است... این سازه، در اطراف قاب لنگری فولادی اضافه ای شامل تیرها و ستون های متصل شده توسط ترکیبی از جوشکاری و پیچ و مهره طراحی شده است. در ترکیب با یک دیوار برشی هسته ی بتنی، قاب لنگری استحکام و مقاومت بالایی به سازه ی کلی ساختمان اضافه می کردند و دهانه های داخلی بدون ستون برای انعطاف پذیری بیشتر را فراهم می کنند.

حرکت به سوی ساخت هسته های بتنی در اثر حادثه ی یازده سپتامبر (۹/۱۱) در ایالات متحده ی آمریکا چشمگیر تر از سایر کشورها بود. قبل از آن بسیاری از سازه های بلند آمریکا همچنان از فولاد ساخته می شدند. سایر نقاط جهان، به خصوص آسیا و خاورمیانه، شروع به توسعه می کردند و سازه های کامپوزیت (ترکیبی از فولاد و بتن) و سازه های بتنی را به عنوان متد انتخابی خود فرض می کردند. آنها لزوماً از فولاد روی بر نمی گردانند بلکه ترجیح می دادند که در توسعه های جدیدشان از ابتدا از متدهای ساختاری دیگری استفاده کنند.



تأثیر تخریب برج های مرکز تجارت جهانی (برج های دوقلو) بر روی ساخت و ساز سازه های بلند در شهر نیویورک و سایر نقاط چشمگیر باشند است. این مسئله به معنای تغییر جهت از هسته های قالب فولادی به هسته ای بود که در بیشتر موارد توسط بتن مقاوم شده بود. هسته ی تک برج مرکز تجارت جهانی جدید، از جنس فولاد ساخته شد و برای حفاظت بیشتر، تقریباً به اندازه ی ۳ فوت/۹۱ سانتی متر با بتن پوشانیده شد.



توجه جاری به ساخت (سازه های) بلند تر در انجمن سازه های بلند، تأثیر حقایق ۱۱ سپتامبر و توصیه و پیشنهادات مطالعات و گزارش ها مختلف، به این سو تمایل داشته اند که از گزینه ی مقاومت بتنی برای هسته ی سازه ها، و اغلب سازه های بدون قالب فولادی حمایت کنند.

جالب توجه است که دوتا از اولین سازه های بلند مرتبه با شبکه های مورب، برج سوئیس ری (۲۰۰۴) و برج مجله ی هرست (۲۰۰۶) دارای هسته های ساختمانی قالب فولادی هستند. بیشتر

تصمیمات طراحی برج سوئیس ری در زمان ۱۱ سپتامبر تکمیل شده بودند و بنابراین تحت تأثیر قرار نگرفتند. ارتفاع برج مجله ی هرست و موقعیت مکانی آن در شهر احتمالاً درک نشده بود که سازه را در یک مکان پرخطر قرار داده است. این برج اولین برجی در نیویورک بود که پس از حادثه ی ۱۱ سپتامبر ساخته شد.

### کاربرد هسته در یک ساختمان دیاگریدی

یکی از مزایای اولیه ی استفاده از سیستم شبکه ی مورب برای قاب محیطی ساختمان، توانایی آن در مقاومت در برابر بخش عمده ی بارهای قائم (گرانشی) و بارهای جانبی است. بارهای جانبی می توانند شامل بارهای باد و لرزه ای باشند. اندازه ی این بارها، همان طور که با جزئیات بیشتر در فصل ۴: *ملزومات فنی* موضوع قرار داده شده است، توسط کدهای سازه های محلی، اطلاعات آب و هوایی و آزمایش های خاص باد تعیین می شود. این کار وابستگی و عملکرد هسته را در ایجاد استحکام کل مورد نیاز سازه برای مقاومت در برابر بارهای جانبی کاهش می دهد.

یک برج با شبکه ی مورب لزوماً نیازی ندارد که برای استحکام به هسته اش وابسته باشد، در حالی که سازه های بلندی که دیگر متدهای ساختاری را به کار می برند، مانند یک سیستم سازه ای شبکه ی قطری<sup>۱</sup>، سیستم مهاربازویی<sup>۲</sup>، سیستم لوله های دسته بندی شده<sup>۳</sup>، یا یک قاب سازه ای پیرامونی<sup>۴</sup> به هسته ی خود برای استحکام جانبی وابسته خواهند بود. توزیع کامل مقاومت بارهای جانبی از هسته به شبکه ی مورب محیطی، در طراحی مهندسی برج سوئیس ری صورت گرفت. این نکته توسط دومینیک مونرو<sup>۵</sup> از شرکت آروپ<sup>۶</sup> و در یک مقاله ی نوشته شده برای مجله ی *Stålbyggnad* به دست آمده که در این مقاله نوآوری های طراحی سوئیس ری با جزئیات توضیح داده می شود. این ملاحظات منجر به این حقیقت می شود که یک سازه ی اصلی با شبکه ی مورب نیازمند یک هسته ی مقاوم بتنی نیست زیرا چنین هسته ای همواره مقاومت بار جانبی را به عهده می گیرد.

<sup>1</sup> Diagonalized core system

<sup>2</sup> outrigger system

<sup>3</sup> bundled tube system

<sup>4</sup> megaframe

<sup>5</sup> Dominic Munro

<sup>6</sup> Arup

اینکه مهندسی یک برج با شبکه ی مورب لوله ی محیطی تصمیم بگیرد که تمامی بارهای جانبی را به شبکه ی مورب بدهد و یا اینکه بارها را روی یک هسته ی مقاوم شده با فولاد یا بتن پخش کند، این مسئله یک تصمیم مختص پروژه ای خواهد بود که پاسخ گوی بارها، هندسه، ارتفاع، مواد موجود محلی، اولویت های منطقه ای و بودجه است. این مسئله به این معناست که ساخت و نقش هسته در یک برج با شبکه های مورب گزینه های مختلفی را درگیر می کند و مادیت آن نباید از پیش فرض شده باشد.

یکی از معضلات همراه با وابسته بودن یا نبودن به هسته برای استحکام، طراحی لرزه ای<sup>۱</sup> است. کدهای لرزه ای کنونی بر پایه ی عملی کردندای هسته در مستحکم کردن سازه در طول یک رویداد لرزه ای ایجاد شده اند. یک سازه با شبکه ی مورب محیطی که تمامی بارهای جانبی را متحمل می شود، به عنوان یک سیستم نوع دیوار باربر<sup>۲</sup> عمل می کند و بنابراین در کدها و پیاده سازی های کنونی لرزه ای مطرح نشده است. این مشکل با جزئیات بیشتر در فصل ۴: *ملزومات فنی* مورد بحث قرار داده شده است.

### هسته های قاب فولادی

در زمان نوشتن این متن، شش برج قابل توجه با شبکه های مورب و با هسته های قاب فولادی ساخته شده اند: ساختمان IBM، سوئیس ری، برج مجله ی هرست، ساختمان CCTV، برج با انکانا و ساختمان لیدنهال<sup>۳</sup>. هر سازه مورد کاملاً متفاوتی را با دلایل مختلفی برای گزینش هسته ی قاب فولادی عرضه می کند. برای مثال ساختمان IBM، در پیتسبورگ<sup>۴</sup>، بخشی از آمریکا که به خاطر تولید فولاد مشهور است، ساخته شده است. سال ساخت ۱۹۶۳ بود و تروریسم به عنوان یک عامل مطرح نبود و این پروژه عملی کردندای استاندارد ساخت را در شمال شرق آمریکا دنبال کرد. هنگام تصمیم گیری برای انتخاب یک هسته ی قاب فلزی، معضلات متعددی وجود دارند که باید مطرح شوند:

<sup>1</sup> seismic design

<sup>2</sup> bearing wall type system

<sup>3</sup> The Leadenhall Building

<sup>4</sup> Pittsburgh

- **بارهای جانبی:** اگر از یک هسته ی فولادی غیر مهاربندی<sup>۱</sup> شده استفاده می شود، همانند هسته ای که در سوئیس ری استفاده شد، شبکه ی مورب محیطی باید به گونه ای طراحی شود که بتواند تمامی بارهای جانبی را متحمل شود.
- **ایمنی در برابر حریق<sup>۲</sup>:** مهندسی حریق باید حفاظت هسته و خروج ایمن ساکنین را فراهم کند. چون این مسئله یک لازمه ی آشکار ایمنی برای تمامی ساختمان ها است، حوزه های قضایی ای می توانند وجود داشته باشند که برای مثال بتن را لازم بدانند و استفاده از تخته ی گچی ضد حریق<sup>۳</sup> را ممنوع کند. به ویژه لازم است برخی از سازه ها دارای استراتژی های کاهش ریسک بلافاصله<sup>۴</sup> باشند.
- **قابلیت ساخت و ترتیب (ترتیب دهی) نصب<sup>۵</sup>:** ترتیب دهی نصب یک سازه ی تمام فولادی با ترتیب دهی نصب یک سازه با هسته ی بتنی متفاوت است. یک سازه ی تمام فولادی به طور معمول طبقه به طبقه، با در نظر گرفتن هسته، پیش خواهد رفت. اگر پیمانکار به طور معمول از یک جرثقیل بالا رونده که به دلایل مربوط به استحکام در هسته ی بتنی آسانسور مستقر شده است، استفاده کند، ممکن است لازم باشد مکان های جرثقیل تنظیم شوند.
- **اولویت ها یا شیوه های محلی:** ساختمان ها با شبکه های مورب غیرمعمول اند و می توان اولویت ها یا شیوه های محلی را کنار گذاشت. این مسئله می تواند شامل قیمت و در دسترس بودن مواد نیز شود.
- **بار گریز از مرکز<sup>۶</sup>:** اگر بارگذاری به شدت گریز از مرکز باشد، چون شبکه ی مورب محیطی می تواند از نظر ساختاری برای مقاومت در برابر بارهای اضافی ناکافی باشد، یک هسته ی مهاربندی شده لازم است. این مسئله در برج کپیتال گیت<sup>۷</sup> (دروازه ی پایتخت) مطرح بود (صفحه ی ۱۰۵ را مشاهده کنید). به هر حال، مورد ساختمان CCTV نشان خواهد داد که راه حل هسته ی تمام فولادی می تواند حتی در مواردی با پارامترهای هندسی بسیار زیاد، دوام آورد.
- **ارتفاع سازه:** شبکه های مورب محیطی که از هسته ی مهاربندی شده استفاده نمی کنند تمایل به ارتفاع محدود دارند. این عملکردی از ترکیب ارتفاع، تناسب و بارهای جانبی ساختمان است. حد دقیق آن هنوز باید مشخص شود.

## هسته ی مرکزی فولادی

<sup>1</sup> unbraced

<sup>2</sup> Fire protection

<sup>3</sup> fire-rated gypsum board

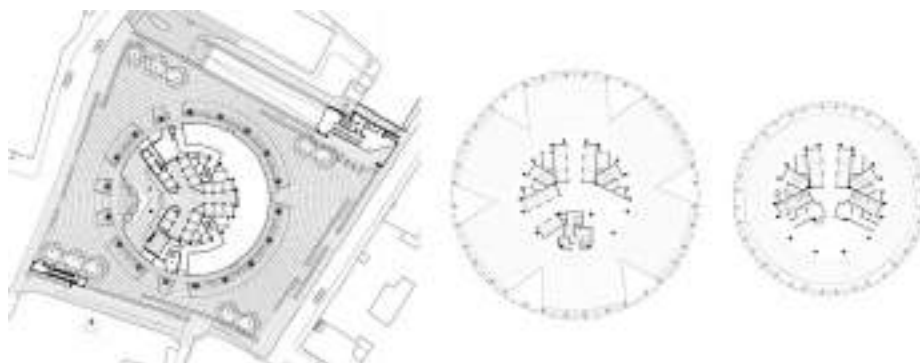
<sup>4</sup> disaster mitigation strategie

<sup>5</sup> Constructability and erection sequencing

<sup>6</sup> Eccentric loading

<sup>7</sup> Capital Gate

سوئیس ری از شبکه ی محیطی و هسته ی باز خود بیشترین استفاده را در طراحی اش برد. تمایلی به داشتن پلان آزاد<sup>۱</sup> یک عامل محرک برای تصمیماتش در مورد انتخاب یک راهکار کاملاً فولادی بود. همچنین فولاد یک ماده ی ساخت و ساز بسیار رایج در لندن است، بنابراین تخصص کافی برای طراحی و ساخت سازه های فولادی وجود دارد. و مورد آخر که از اهمیت فرقی با موارد قبلی ندارد، فاستر و همکارانش با شروع جنبش معماری های تک تاریخچه ی بلند بالایی در طرح فولادی خلاقانه دارند.



پلان طبقه ی همکف (تصویر چپ) برج سوئیس ری (تبر سینت ماری ۳۰<sup>۲</sup> (نام دیگر سوئیس ری)) در شهر لندن انگلستان که توسط فاستر و همکاران طراحی و توسط اروپ مهندسی شده است، هسته و متراکم ترین تکرارش را نشان می دهد. اگر کسی سازه را (تصویر میانی) به سمت بالا پیش برد (تصویر راست)، تعداد بالابرها کاهش یافته و به نقشه ی ساختمان اجازه داده می شود تا قابل مشاهده تر (آزادتر) شود. قاب فولادی که هسته را نگه می دارد، کمتر به طراحی و فضاهای اطراف نفوذ می کند.

### هسته ی فولادی دارای انحراف<sup>۳</sup>

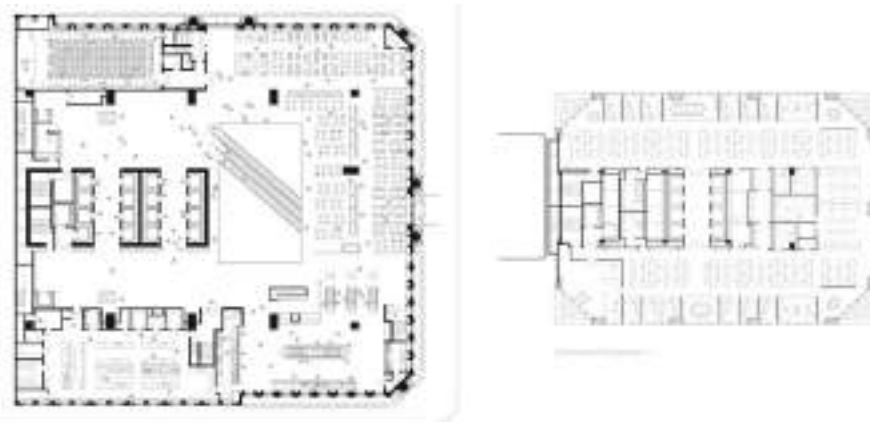
با واقع شدن در شهر نیویورک که در آن زمان سازه های تمام فولادی در آن نُرْم بود و در ادارات فاستر و همکاران که با طراحی های فولادی آشنایی داشتند طراحی شده بود و به تازگی سوئیس

<sup>۱</sup> Open Plan

<sup>۲</sup> 30 St. Mary Axe

<sup>۳</sup> Offset

ری را با استفاده از یک شبکه ی مورب به پایان رسانیده بودند، برج مجله ی هرست نیز دارای یک هسته ی فولادی است. به طور قابل ملاحظه ای، در مورد هرست، عملی کردند و هسته به پشت ساختمان فرستاده شد، چون سه سمت دیگر ساختمان دارای نما به سمت خیابان بودند که نما و پوشش شیشه ای، دید بهتری ایجاد می کرد و قسمت پشت ساختمان این نما را نداشت. این مسئله به این معنا بود که هسته به صورت گریز از مرکز قرار گرفته بود و برای تحمل بارهای جانبی قرار نگرفته است. گریز از مرکزی لازم برای هسته گزینیه ی استفاده از یک شبکه ی مورب محیطی را تقویت کرد، چون شبکه ی مورب می توانست بارهای جانبی را تحمل کند. در این مثال، هسته ی فولادی در سطوح پایینی سازه با بتن روکش شده (در میان بخش بازسازی و دوباره استفاده شده ی ساختمان قدیمی هرست) و تمامی دیگر طبقات بالایی تنها با قاب فلزی و بدون هیچ روکش بتنی ساخته شدند. در سطوح بالاتر فولاد، به همان گونه که در ساخت و سازهای شهر نیویورک رایج است، با فولاد مهاربندی شده تا در نقش آن در استحکام کلی سازه کمک کند.



بخشی از برج مجله ی هرست که دارای شبکه های مورب است، در پشت موقعیت نمای قدیمی قرار گرفت. ستون های پیرامونی که برج شبکه ی مورب را تقویت می کنند، همانند هسته ی بتنی در پلان طبقه ی همکف مشخص هستند. پلان معمول سطح بالایی، هسته ی قاب فولادی را نشان می دهد که سبب ایجاد پلان منعطف تری می شود.

### هسته ی فولادی در بیرون ساختمان

درحالی که هسته ی قاب فولادی ساختمان سوئیس ری در موقعیت معمول مرکزی و هسته ی ساختمان هرست با کمی انحراف قرار گرفته بودند، هسته ی ساختمان لیدنهال در واقع



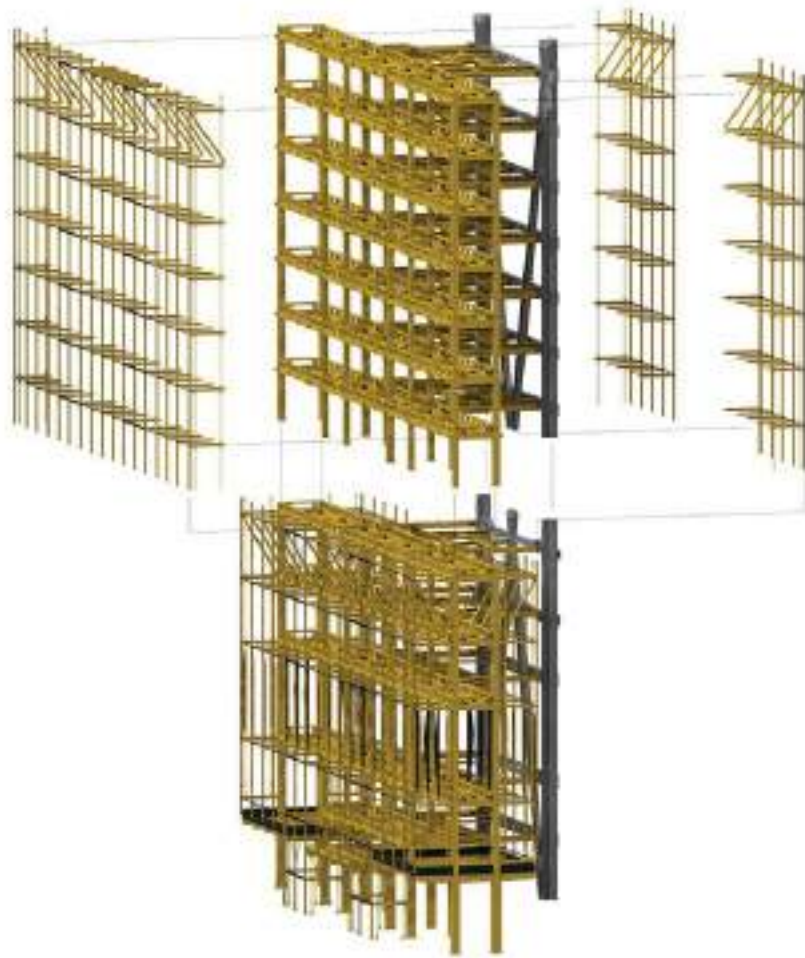
در پشت سازه ی برج اصلی شبکه ی مورب قرار گرفته است. این ساختمان احتمالاً بلندترین مثال از هسته ی ساختمانی است که کاملاً از سازه جدا شده است و به وضوح از "وظیفه ی معمولش" یعنی منبع اصلی مقاومت بودن در برابر بارهای جانبی رهایی یافته است. در این مثال، توانایی سازه ی شبکه ی مورب در تحمل بارهای جانبی، همان طور که به خوبی نمایش داده شد، کاملاً مورد استفاده نیز قرار گرفته است.

ساختمان لیدنهال پروژه ای است که در آن تیم معماری و مهندسی علاوه بر تاریخچه ی بلند بالا در طراحی جزئیات AESS، دارای سطح بالایی از تخصص و آسودگی در تجسس قراردادهای سازه ای جسورانه تر هستند. این ساختمان همچنین یک پروژه ی تیمی است که پیمانکاران و طراحان جزئیات<sup>1</sup> فولادی خود را برحسب مقدار خالص مواد و سیستم های سازه ای فولادی که از نظر معماری در معرض دید هستند، به کار می گیرد. این مسئله نیازمند هماهنگی ماهرانه و دقت بسیار بالایی در مدیریت است.

برخلاف برخی از سازه ها با شبکه ی مورب خالص تر، برج با انکانا دارای صفحه ی طبقات نسبتاً بزرگی است. این سازه تنها از شبکه ی مورب در نمای جنوبی اش استفاده می کند تا یک فضای آتریوم بزرگ چند طبقه را محصور کند. ستون ها و تیرها، بیشتر فضای داخلی را می سازند. برای استحکام جانبی بر روی هسته ی قاب فلزی تکیه نمی شود.

---

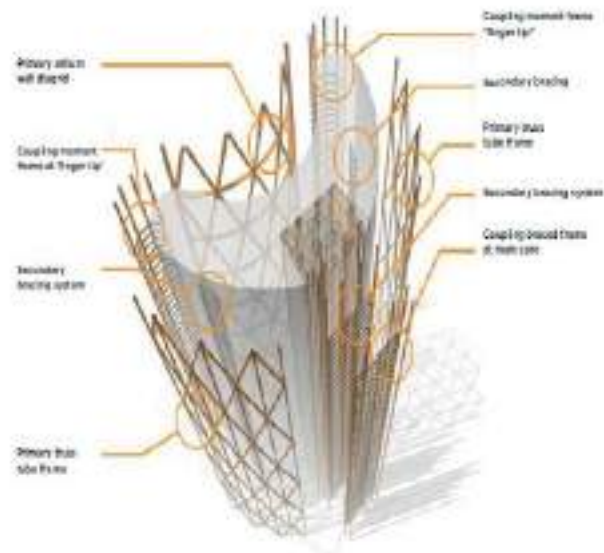
<sup>1</sup> detailers



هسته ی فولادی AEES زرد رنگ موبوط به ساختمان لیدنهال در پشت ساختمان قرار گرفته است. فضاهای آن توسط یک لابی قاب فولادی به طبقات اداری اصلی متصل شده است. هسته در مورد بارهای جانبی کمکی به سازه ی شبکه ی مورب اصلی نمی کند. دقت مدل دیجیتال و نرم افزار و متدهای ساخت و سازه ای موجود موجب سطح بالایی از ثبات در طرح و در طول مراحل ساخت می شود.



هسته ی قاب فولادی ساختمان لیدنهایل تیم AESS راجرز را برحسب استفاده از هسته ی خدماتی به عنوان یک ویژگی ی صریح ساختمان ادامه می دهد.



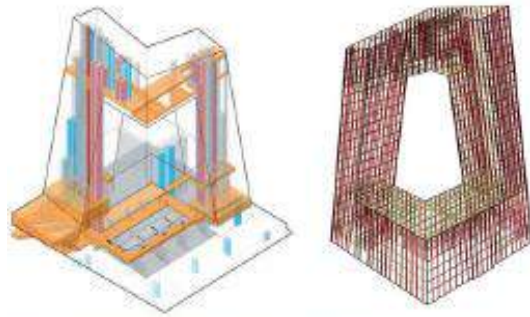
دیاگرام برج با انکانا در کالگری-کانادا، طراحی شده توسط فاستر و همکاران به همراه زیدلر پارتنرشپ، تعداد سیستم های ساختاری فولادی را نشان می دهد که برای مستحکم کردن ساختمان مورد استفاده قرار گرفته اند. برای هسته ی آن قابی فولادی است و مقاومت بارهای جانبی بر آن تکیه نشده است.

برج با انکنا از تعدادی راهکار قاب فولادی استفاده می کند. یک شبکه ی مورب خالص در نمای جنوبی برای ایجاد یک دیوار اصلی آتریوم استفاده شده است



سیستم ساختاری ساختمان CCTV در شهر پکن نتیجه ی تلاش خارق العاده ی از OMA و تیم اروپ بود: سازه ای با چنین هندسه و بارگذاری گریز از مرکزی هرگز قبلا امتحان نشده بود. از شبکه ی مورب در قسمتی از سازه استفاده شده بود تا امکان ساخت بخش های بزرگ چند طبقه و معلق برج را بدون نیاز به تقویت موقت ممکن سازد. همان طور که می توان از تصویر ساختاری کل مشاهده کرد، شبکه ی مورب بر روی یک سیستم قاب بندی معمول تر شامل تیرها و ستون های شیب دار ساخته شده است. چگالی و طرح سیستم قطری، مطابق با بارگذاری تغییر می کنند. هسته، قابی فولادی است و برای مقاومت بارگذاری جانبی استفاده نشده است، بخشی از آن به این علت است که وظایف خاص ایجاد شده توسط شکل سازه، از توانایی یک هسته ی فراتر است. موقعیت هسته ی سرویس<sup>۱</sup> به گونه ای که برای طرح سازه مناسب باشد، آن را در موقعیتی قرار نمی داد که بتواند برای بارهای جانبی ایجاد شده توسط قسمت های معلق بزرگ، کمکی به سازه کند.

<sup>1</sup> service core



دیاگرام ساختمان CCTV در پکن چین، طراحی شده توسط OMA با مهندسی اروپا، توزیع فضاهای عمومی و جریان را در ساختمان نشان می دهد. هندسه ی گریز از مرکز ساختمان استفاده از هسته ها را برای ایجاد تعادل میان بارها بسیار سخت می کند. روی هم گذاری شبکه های مورب یک ابزار بسیار خلاقانه برای حل مشکل بارگذاری بود. قاب شبکه ی مورب، بر روی سیستمی از تیرها و ستون های شیب دار قرار داده شده است. چون زیربنای صفحه ی طبقه ها بسیار زیاد است، سیستمی از ستون های داخلی نیز استفاده شده است. حجم برج CCTV اجازه نمی داد که یک سیستم هسته ی مرکزی معمول ایجاد شود.

### هسته های بتن مسلح

هسته های بتن آرمه به طور کلی بیش تر برای سازه های بلند معمول اند، اگرچه همان طور که قبلاً اشاره شد، یک سازه تنها با شبکه های مورب برای مقاومت بارهای جانبی لزوماً به کمک هسته نیازی ندارد. همان طور که با تعدادی مثال که در آنها از هسته های بتنی استفاده شده اند، نشان داده خواهد شد، برج های بلند می توانند نیازمند کمک هسته باشند. هسته های بتنی معمولاً به دلایل عملی دیگری انتخاب می شوند که این دلایل می توانند خارج از انگیزه های ناشی از طراحی باشند. زمانی که برای انتخاب یک هسته ی بتن آرمه تصمیم گیری می شود، معضلات متعددی وجود دارند که باید مطرح شوند

- بارهای جانبی: یک هسته ی بتن آرمه به خاطر ماهیتش، مقاومت بارهای جانبی را برعهده دارد. از این مسئله می توان برای کمک به شبکه ی فلزی محیطی استفاده کرد.
- ایمنی در برابر حریق: بسیاری از حوزه های قضایی و کدها می توانند سازندگان را مستلزم کنند که به دلایل اضطراری و ایمنی در برابر حریق، هسته ی خدماتی ساختمان، از بتن آرمه ساخته شود.
- قابلیت ساخت و ترتیب (ترتیب دهی) نصب: ترتیب دهی نصب یک سازه با هسته ی بتنی، بتن ریزی هسته را زودتر از قاب بندی فولادی مشاهده می کند. بنابراین هسته و چاه آسانسور<sup>۱</sup> می توانند امکان استفاده از یک جرثقیل بالابر را به جای جرثقیل های برجی<sup>۲</sup>، فراهم سازند. هسته دارای قطعات فولادی ای خواهد بود تا امکانات را برای اتصال قاب فولادی فراهم کند.
- اولویت ها یا شیوه های محلی: هسته های بتنی می توانند شیوه ی محلی برتر باشند. به دلیل موجودیت و هزینه ی مواد، می توان از بتن استفاده کرد.
- بارگذاری خارج از مرکز: اگر بارگذاری به شدت خارج از مرکز باشد، چون شبکه ی مورب محیطی می تواند از نظر ساختاری برای مقاومت در برابر بارهایی با خروج از مرکزیت زیاد، ناکافی باشد، به یک هسته ی مهاربندی شده نیاز است. مهاربندی می تواند به عنوان تابعی از بارگذاری و طرح ساختمان، اشکال مختلفی به خود بگیرد. این مسئله می تواند همان مورد ساختمان های بسیار باریک باشد، برای مثال ساختمان مرکزی الدار، که در آن شکل پلان سازه، کار شبکه ی مورب را برای مقاومت در برابر

<sup>1</sup> elevator shafts

<sup>2</sup> tower crane

بارهای باد مشکل می کند چون بارهای باد به نمای وسیع سازه برخورد می کنند. مثال دیگر کپیتال گیت است که در آن بارها، خارج از مرکز هستند و برج به نسبت دارای صفحات طبقه ی کوچکی است.

- حرکات متفاوت: در زمان ترکیب فولاد و بتن، باید تمایل بتن به لغزش یا کوچک شدن (جمع یا منقبض شدن) در طول زمان، با تمایل فولاد برای تأثیرپذیری از نرخ بالای انبساط گرمایی، متعادل شود.

- ارتفاع سازه: اشخاص تمایل دارند از هسته های بتن آرمه در ساختمان های بسیار بلند استفاده کنند که در آنها بارهای جانبی بسیار زیادند و به هسته به عنوان یک سیستم مقاومت در برابر بار جانبی نیاز است؛ برای مثال، شبکه ی مورب محیطی نمی تواند تمامی مقاومت لازم را فراهم کند.



موزه ی سلطنتی اونتاریو<sup>1</sup> طراحی شده توسط دنیل لیبسکیند، یک هسته ی بتنی را درون سازه جا داده است. اگرچه عناصر شبکه ی مورب در طول ساخت از هسته برای استحکام استفاده کردند اما بیشتر ساختار پیچیده ی کامل شده است، به هسته برای کمک به استحکام کل، متکی نیستند.

<sup>1</sup> The Royal Ontario Museum



صفحات متصل برای تیرهای فولادی، که محدوده ی هسته ی بتنی تا قاب محیطی را خالی می کنند، باید همان طور که عملیات ساخت به پیش می رود، با دقت به داخل بتن ریزی هسته ی بتنی وصل شوند. در اینجا مشاهده می کنید که شکل گرد برج البهار به جای خم کردن فولاد، از طریق تراش دادن ایجاد شده است. ساخت و نصب فولاد توسط شرکت ویلیام هر لیمیتد انجام شده است.

### هسته ی بتنی مرکزی

هسته ی مرکزی، رایج ترین حالت پلان است. این طرح منجر به بارگذاری کم خارج از مرکز می شود و هسته و قاب محیطی می توانند به صورت یکسان بارهای جانبی سازه را بین خود توزیع



کنند. تعدادی مثال می توانند وجود داشته باشند که در آن مطالعات باد بیان می کنند که بارها به صورت مساوی اعمال نشده اند. برج های البهار در ابوظبی دبی که توسط معمارهای آنداس (Aedas) طراحی و توسط آروپ مهندسی شده است، اگرچه از اقتباس لانه زنبوری یک شبکه ی مورب استفاده می کردند است، اما خصوصاً در مورد صفحه ی طبقات نسبتاً کوچک و تمایل به فضاهای بدون ستون بین هسته و سیستم تقویت محیطی، از هسته ی بتنی به شیوه ای که کاملاً نماینده ی این گونه از برج هاست، استفاده می کند. در مورد برج البهار کمی گریز از مرکزیت در بارگذاری و به دلیل استفاده از مشربیه ی<sup>1</sup> قابل حرکت وجود دارد که این مشربیه بر حسب قرار گرفتن در معرض نور خورشید باز و بسته می شود. این مشربیه ها وزنی اضافه بر روی نماهای شرق، غرب و جنوبی قرار می دهند و پوشش شیشه ای نمای شمالی خالی باقی می ماند. بتن آرمه و سازه های ترکیبی، مواد ساخت و ساز غالب در خاورمیانه هستند و این مسئله نیز می تواند عاملی در تصمیمات پیرامون ساخت این برج ها باشد.

**هسته ی بتنی برای یک پلان کم پهنا (باریک)**

یک صفحه ی افقی بسیار باریک، بارگذاری خارج از مرکز ایجاد خواهد کرد، به ویژه در مورد بارگذاری باد که به نماهای بزرگ تر سازه برخورد می کنند. این مسئله می تواند یک لنگر واژگونی ایجاد کند که ممکن است نتوان این مسئله را به سادگی و با استفاده از شبکه ی مورب محیطی سازه برای مقاومت در برابر بارهای جانبی حل کرد. ساختمان اصلی الدار در ابوظبی دبی، تنها سازه ی دیسک شکل (حلقوی) یا مدور در جهان است. با ۱۱۰ متر/۳۱۱ فوت ارتفاع، در ساختمان های بلند دسته بندی می شود، اگرچه مقیاس های این سازه آن را منحصرأ سازه ی بلندی معرفی نمی کنند. این سازه دارای شبکه ی مورب فولادی، برای قاب هر یک از نماهای مدور و بزرگ خود است. این سازه صفحه ی افقی بسیار باریکی دارد و از هسته های بتنی جفتی برای مقاومت در برابر بارهای جانبی استفاده می کند. الدار از شبکه ی مورب برای اتصال دو نمای ساختمان به هم استفاده نمی کند.

### هسته ی بتنی برای بارگذاری با گریز از مرکزیت زیاد

کپیتال گیت (دروازه ی پایتخت) واقع در ابوظبی دبی، با طراحی توسط RMJM و خود مهندسی شده، ساختمانی است که با ۱۸ درجه انحراف، بسیار از انحراف نهایی برج کج پیز/ فراتر رفته است و بیشترین کج شدگی به عقب را در جهان دارد. پیش از این، کج ترین سازه در عصر

<sup>1</sup> mashrabiya

مدرن، برج های پوئرتا دِ اروپا (دروازه های اروپا)<sup>۱</sup> در شهر مادرید، اسپانیا بودند که توسط فیلیپ جانسون (Philip Johnson) و جان بورگی (John Burgee) طراحی و توسط زلزلی ای.رابرتسون (Leslie E. Robertson) مهندسی شده بودند. این برج ها به صورت قطری مهاربندی شده اند تا انحراف (کجی) ۱۵ درجه ای خود را خنثی (موازنه) کنند. این برج ها همچنین به هسته های بتنی و سیستم های پس کششی<sup>۲</sup> خود متکی هستند. این برج ها به عنوان اولین برج های اداری کج در سال ۱۹۹۶ کامل شده و با ارتفاع ۱۱۴ متر/۳۷۴ فیت بر جای خود ایستاده اند.

مطابق مقاله ای که توسط جیف اسکوفیلد (Jeff Schofield) برای مجله ی CTBUH نوشته شده است، هسته ی بتنی، تنها فضای موجود در نقشه ی برش نمای برج را به صورت مداوم اشغال می کند. هسته به مقدار زیادی تقویت شده است، به ویژه در نقاطی که فولاد در هسته قاب بندی می شود تا از استحکام و توزیع بار اطمینان حاصل کند. در طول ساخت، هسته "پیش از خمیدگی"، تا ارتفاع ۳۵۰متری/۱،۱۲ فیت بتن ریزی شده بود تا زمانی که بارگذاری جانبی طبقات اضافه شد، هسته صاف باقی بماند. این مسئله ضروری بود تا برای آسانسورها، هم ترازای مناسب فراهم شود. همچنین هسته با کابل های عمودی که تنها به یک سمت وصل شده بودند، پس کشیده شده است تا با انحراف (کجی) سمت دیگر مقابله کند. این کابل های کششی به صورت قطعه های عمودی وصل شده اند که پس از هر ۷ طبقه روی هم می افتند. درحالتی که با هم کشیده شده اند، این کابل ها کل ارتفاع هسته را پوشش می دهند تا آن را در یک موقعیت کاملاً عمودی نگه دارند.

<sup>1</sup> Puerta de Europa Towers

<sup>2</sup> system of post-tensioning



طراحی ساختمان اصلی الدار در ابوظبی دبی، امارات متحده ی عربی، طراحی شده توسط معماران MZ با مهندسی آرپ، با ایجاد صفحه ی افقی بسیار کوچک، بسیار منحصر بفرد است، بویژه اگر به نسبت زیربنا به هسته ی سازه دقت شود. پلان باریک منجر به سطح بالایی از روشنایی روز در محیط های اداری می شود. هسته به دو بخش تقسیم شده است تا بهتر در پلان جای گرفته و بارگذاری را تحمل کند.



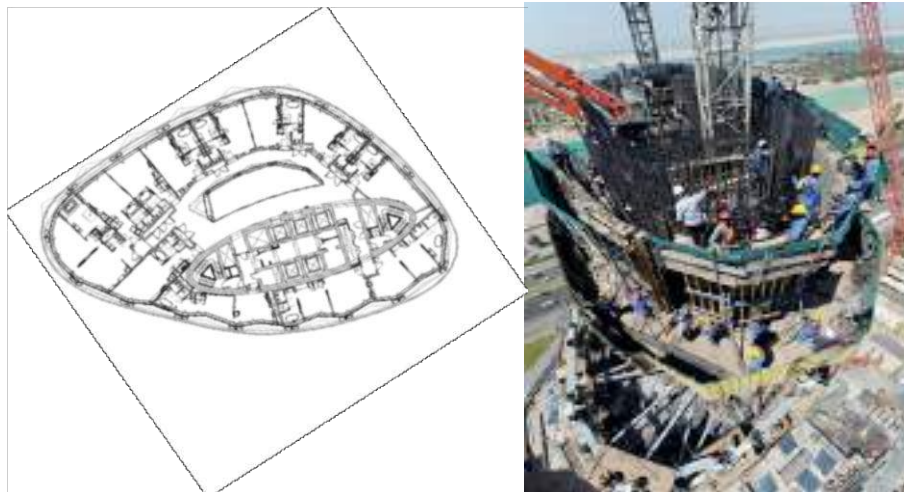
برج های دروازه ی اروپا در شهر مادرید، اسپانیا، طراحی شده توسط فیلیپ جانسون و جان برگگی، از کجی ۱۵ درجه ای مقابل هم (آینه وار) خود، برای قاب گرفتن ورودی مهمی از شهر استفاده می کنند. جزئیات مربوط به نما چون بر اساس مولین عمودی برجسته است، انحراف دقیق را واضح تر می کند.



هسته های سازه ای بتنی و قاب های فولادی، پس کششی شدند تا معلق بودن سازه ها را جبران کنند. یک وزنه تعادل بتنی که در زیر زمین سمت مخالف قسمت کج ساختمان قرار گرفته شد و با کابل به بالای سازه متصل شده است، مقاومت لازم را برای مقابله با نیروهایی که سعی در واژگونی سازه دارند، فراهم می کند. کپیتال گیت با ۱۶۵ متر/۵۴۰ فیت ارتفاع به عنوان ساختمان بلند دسته بندی می شود. کپیتال گیت توسط مرکز ملی نمایشگاه های ابوظبی (ADNEC)، که خواستار یک قطعه ی معرف بود، آغاز شده بود، سازه ای غیرمعمول است از این جهت که همانند یک شبکه ی مورب محیطی، از یک شبکه ی مورب داخلی نیز استفاده می کند، که این شبکه ی مورب داخلی، یک آتریوم سطح بالاتر ایجاد می کند. شبکه ی مورب و هسته ی بتن آرمه با دقت مهندسی شدند تا برای مقاومت در برابر بارها با هماهنگی هم عمل کنند .



بخش صلیبی کپیتال گیت در ابوظبی، امارات متحده ی عربی که توسط RMJM طراحی شده است، هم ترازوی هسته ی بتنی را نشان می دهد. هسته به صورت عمودی در داخل می ایستد، در حالی که قسمت بارهای طبقات به صورت چشم گیری از یک سمت برج، به سمت دیگر آن منتقل می شوند. طبقات بالایی، که عملکرد یک هتل های ایند را دارند، در مرکز خود دارای یک آتریوم با قاب شبکه ی مورب هستند. این به صورت ساختاری، شبکه ی مورب محیطی را از هسته جدا می کند. شبکه ی مورب داخلی که آتریوم سطح بالاتر را می کند، به صورت ساختاری توسط هشت عضو منحصر به فرد که از نظر ساختاری به هم وصل شده اند، به هسته متصل شده است.



در طول ساخت هسته در ساختمان کپیتال گیت، بتن ریزی هسته، پیش تر از نصب تیرهای فولادی افقی و شبکه ی مورب صورت گرفت. از هسته برای ایجاد تعادل متقابل برای تیر کنسول (طره) ی اصلی زیربنا و حجم سازه استفاده شد.

پلان افقی کپیتال گیت در سطح آلترایوم به خروج از مرکزیت سازه پاسخ می دهد. هسته شامل خطوط بسیار تمیزی باشند و عنصری است که با دقت سازماندهی شده است.

### هسته های بتنی برای ابرسازه ها

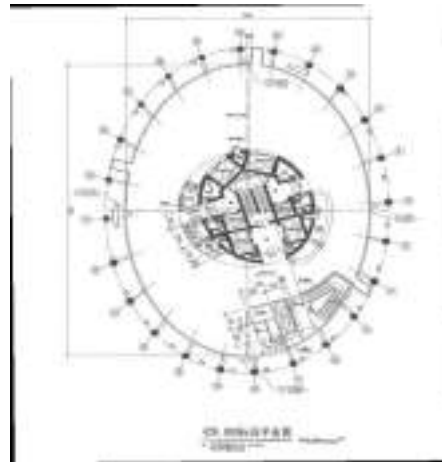
اگر سازه های بلند دارای بارهای جانبی بیشتر هستند تا با آن مقابله کنند، ابرسازه ها نیز باید دارای استحکام بیشتری باشند تا در مقابل بارهای باد و لرزه ای مقاومت کنند. انجمن سازه های بلند و منطقه شهری (CTBUH)، یک "ابرسازه" را سازه ای با ارتفاع بیش از ۳۰۰ متر/۹۸۴ فیت و یک سازه ی "آسمان خراش" را سازه ای با ارتفاع بیش از ۶۰۰ متر/۱،۹۶۹ فیت تعریف می کند. در زمان نوشتن این متن، هیچ سازه ای با شبکه ی مورب ساخته یا طرحشده بود که در دسته ی سازه های مگاتال جای گیرد. دو پروژه ی رویایی، ژانگو زون توسط معماران TFP (۵۲۸ متر/۱،۷۳۲ فیت) و ابربرج لاتِه طراحی شده توسط سَم (۵۵۵ متر/۱،۸۱۹ فیت) این معیار را تکمیل نمی کنند. برج کانتون<sup>۱</sup>، طراحی شده توسط مارک هِمِل (Mark Hemel)، باربارا کیت (Barbara Kuit) و معماران IBA و مهندسی شده توسط آروپ، دارای ارتفاع ۶۰۰ متر/۱۹۶۹

<sup>1</sup> The Canton Tower

فیت است اما به دلیل نسبت زیربنای قابل استفاده به هسته، به عنوان یک برج ارتباطات دسته بندی شده است، بنابراین به عنوان یک سازه ی مگا تال واجد شرایط نیست. این سازه از یک هسته ی بتن آرمه برای کمک به مقاومت بارهای جانبی استفاده می کند. از لحاظ شرایط بسیار متنوع اتصال بین لوله ها، شبکه ی مورب فولادی برج کانتون، بسیار پیچیده تر از سایر شبکه های مورب است. این مسئله، نتیجه ی این انتخاب است که به جای داشتن یک سیستم متوازن با اتصالات گره ای خطی، لوله ها را به شکل مارپیچ در آورده و روی هم بیندازیم.



پلان افقی سطح بازدید در ارتفاع ۴۲۸ متری/۱,۴۰۴ فیتی برج کانتون در شهر گوانجو، چین، طراحی شده توسط مارک همیل، باربارا کیت و معماران IBA و مهندسی شده توسط اروپا، ارتباط بین هسته ی بتن آرمه و زیربنای قابل استفاده را نشان می دهد. قاب شبکه ی مورب (لوله های پر شده از بتن)، در خارج هرگونه نرده های محیطی قرار می گیرد و در معرض جنبش حرارتی است.



مرکز تجارت جهانی گوانجو (IFC) در شهر گوانجو، بلندترین برج ساخته شده با شبکه های مورب موجود در جهان است. با ارتفاع ۴۳۹ متر/۱,۴۳۹ فیت به عنوان یک ابرسازه واجد شرایط است. این برج می بایست طراحی بسیار دقیقی را برای بارگذاری باد و همچنین پاسخ دهی به معضلات لرزه ای را تحمل می کرد. پلان به عنوان یک شکل محوری منحنی طراحی شده و از شبکه ی

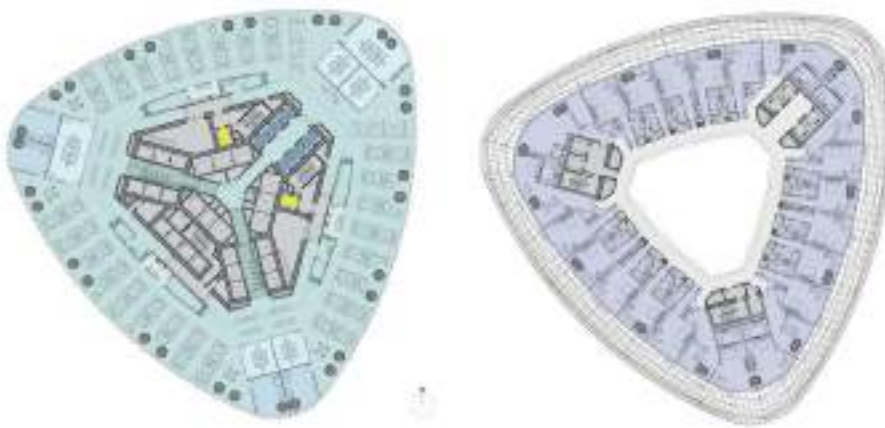
مورب محیطی با لوله های فولادی پر شده از بتن، به همراه یک هسته ی بتن آرمه استفاده می کند تا بارهای جانبی و قائم (گرانشی) را تحمل کند. کریس ویلکینسون (Chris Wilkinson) بیان کرد که این طرح برای سازگاری با بارهای لرزه ای و بادی آنقدر خوب عمل می کردند است که می توان آتریوم داخلی ۳۰ طبقه ای بزرگ در بالای سازه را بدون نیاز به هیچ گونه مهاربندی یا دستگاه های تعدیل کننده ی اضافی ساخت. این رویکرد برای به دست آوردن فضاهای خالی از ستون دلخواه، بسیار زیباتر از سیستم های مهاربازویی بود که به صورت معمول برای سازه هایی با این ارتفاع استفاده می شدند.

برج هایی با این ارتفاع نمی توانند از جرثقیل های برجی مستقل برای کمک به ساخت و ساز استفاده کنند. سیستم جرثقیل معمولاً همان طور که جلوتر از بالابرها فولادی عمل می کند، با ساخت و ساز هسته ی بتنی یکی می شود. هسته ی مرکزی IFC که به فضاهای اداری در ۷۰ طبقه ی پایینی ساختمان سرویس می دهد، با استفاده از یک سیستم "بالا رونده" ساخته شده است.

سازه های بلند باید دارای مقاومت لنگری و استحکام بیشتری در نیمه ی پایین تر سازه و دارای مقاومت لنگری و استحکام کمتری در سازه باشند، که در آن بارها بیشتر برشی هستند. این بدان معناست که هسته ی بتنی مرکزی حتی می تواند در نزدیکی بالای یک سازه ی بلند، دیگر ادامه نیابد. در مورد ساختمان IFC، هسته ی بتن آرمه ی اصلی در لابی هتل متوقف می شود، که در آن مرکز سازه به یک آتریوم خالی تبدیل می شود. آسانسورها و راه پله از هم جدا شد و از فضای مرکزی دور شدند.



سازه ای با ارتفاع IFC گوانجو از ترکیبی از شبکه ی مورب محیطی و هسته ی بتن آرمه برای مقاومت بارهای جانبی استفاده می کند. گزینش هسته ی بتنی برای هسته، برای استراتژی های مهندسی حریق سازه نیز به خوبی عمل می کند.



پلان محوری IFC گوانجو در سطح یک اداره ی معمولی (تصویر سمت چپ)، هسته ی بتن آرمه را در مرکز و فضای اداری خالی از ستون را بین هسته و شبکه ی مورب محیطی نشان می دهد. در سطح های بالاتر هتل (تصویر سمت راست)، عملی کردندای آسانسور و راه پله از هم جدا شده است و گوشه های پلان را اشغال می کردند و یک فضای آتریوم مرکزی ایجاد می کنند. آتریوم با استفاده از یک سیستم شبکه ی مورب داخلی ایجاد شده که از نظر مقیاسی سبک تر از سیستم شبکه ی مورب محیطی است.

هسته ها در سازه های بلند، بازدیدهای سختی را برای طراحی فضا متحمل می شوند چون هرگونه بی کفایتی سریعاً چند برابر خواهد شد و منجر به از دست رفتن سودهای مربوط به اجاره خواهد شد. در IFC میانگین زیربنای خالص به ناخالص، ۷۰٪ برای طبقات اداری و نمره ی کل

۶۸,۹٪ به دست آمده است. پلان مثلثی سازه امکان اجاره ی فرعی را به حداکثر سه مستاجر جداً در هر طبقه می دهد. می توان امکانات سرویس بهداشتی و حمام را کاملاً منظم به گوشه ها فرستاد. IFC دارای ۷۱ بالابر آسانسور است، که ۵۲ تای آنها در خدمت طبقات اداری، ۱۵ تا در خدمت هتل و چهارتا در خدمت پارکینگ زیرزمینی ماشین هستند.



در سطح بالای IFC گوانجو، هسته ی مرکزی تقسیم شده و آسانسورها و راه پله ها به اطراف برده شده اند تا فضای کافی را برای یک آتریوم بزرگ فراهم کنند.

به عنوان یک قانون، واقعیت های ارتفاع زیاد همیشه نیازمند استفاده از هسته ی ساختاری، معمولاً از جنس بتن هستند که به همراه مقاومت جانبی شبکه ی مورب محیطی، بارها را تحمل می کنند. این امر اساس طرح سازه ی پیشرفته ابربرج لات<sup>۱</sup> در سئول است که توسط سم طراحی شده است. یک سیستم دیوار هسته ی بتن آرمه داخلی، شبکه ی مورب فولادی سازه ای را از زیربنا تا طبقه ی ۱۱۲م کامل می کند. دیوارهای بتن آرمه ی هسته، به صورت کاربردی پیکربندی شده اند تا در مصرف مواد بهینه باشند، حوزه های انتقال را حذف کنند و انتقال آسان صفحه های مخروطی طبقه را فراهم کنند. به علاوه، سیستم دیوار هسته، میرایی بالایی را در سیستم کل ایجاد می کند تا حرکت و شتاب ناشی از باد را محدود کند.

<sup>1</sup> the Lotte Super Tower

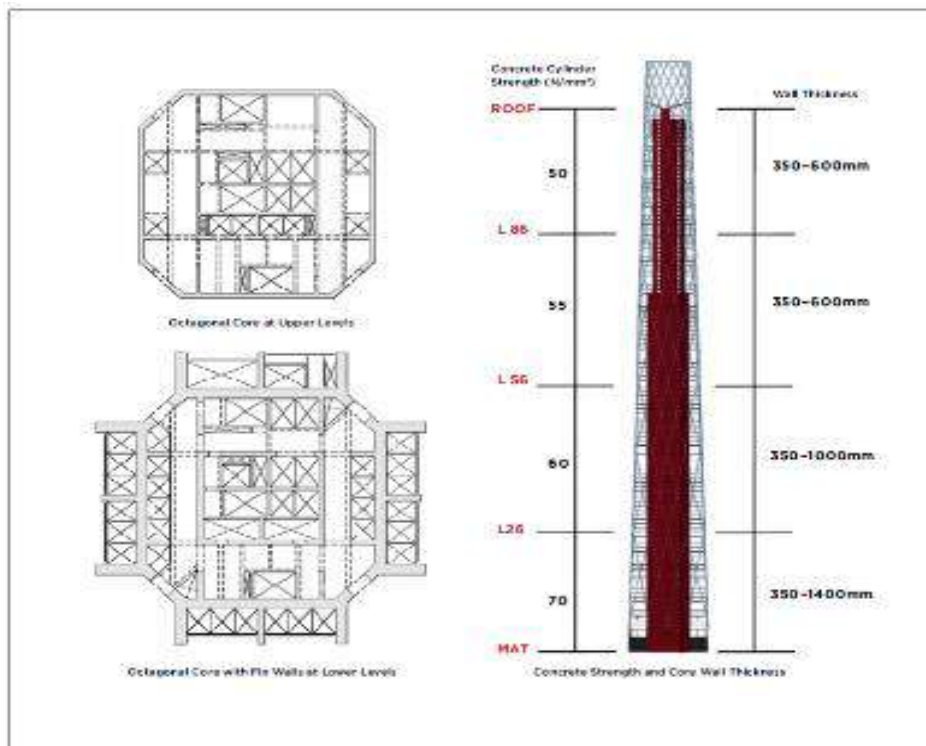
طرح ابربرج لاتِه هم چنین نقش مهمی را که طبقات در چنین رویکرد ترکیبی و از لحاظ نقش اتصال بین سیستم های خارجی و داخلی ایفا می کنند، برجسته می کند. مطابق با سم، از قاب کف دهانه بلند، استفاده شده است تا بار قائم (گرانشی) را بر روی قاب شبکه مورب خارجی افزایش دهد. ستون های قطری قاب شبکه ی مورب خارجی، به تیرهای محیطی افقی اصلی، به سختی متصل شده اند که در هر طبقه، شبکه ی مورب را دور می کردند و با انتقال بارهای جانبی بین شبکه ی مورب و دال کف، در سیستم بار جانبی شرکت می کنند.

دید از سطح باز، دید از ابربرج لاتِه در سنول، کره جنوبی، می توان از آزادی طرح لذت برد وقتی که ساخت هسته ی بتنی را در سطح پایین تر متوقف شده است.



سیستم قاب کف برای یک سطح معمول، شامل یک دال فلزی کف کامپوزیت با روکش بتنی با وزن نرمال است. دال توسط قاب کف فولادی لبه پهن تقویت می شود که بین دیوار هسته بتنی و شبکه ی مورب محیطی دهانه می زند. یک تیر فولادی کناری ساختاری محیطی به میله های مورب شبکه های مورب متصل شده و بارهای گرانشی را از زمین به شبکه ی مورب منتقل می کند. درون هسته، دال های بتن آرمه یک طرفه، بین تیرهای بتن آرمه و تیر آهن ها، دهانه می زند.

اگرچه این طرح ابربرج لاتِه برای ساخت نیست، از جزئیات کار روی این پروژه استفاده شده است تا دیگر برج های طراحی شده توسط سم را که در حال آماده سازی ساخت هستند آگاه کند.



استحکام ابربرج لاتِه در سنول، کره ی جنوبی، که توسط سم طراحی شده است، به طراحی دقیقی متکی است که از مزایای ترکیبی شبکه های مورب و هسته، برای به دست آوردن کاهش ۲۷٪ در مقدار فولاد سازه در پروژه، در مقایسه با یک رویکرد قاب لنگر محیطی و هسته ی مرسوم، استفاده می کند. مقدار مواد با حرکت به سمت بالای سازه کاهش یافته است.

چیزی که از طراحی سازه های IFC گوانجو و ابربرج لاتِه مشخص می شود این است که وجود هسته ی بتن الزامی نیست تا به شبکه ی مورب محیطی در فراهم کردن مقاومت بار جانبی لازم در نزدیکی بالای برج، کمک کند. از جنبه ی طراحی، این مسئله باعث می شود تا "اتفاق خاصی" در بالای برج رخ دهد، چون لازم نیست مرکز سازه صرف عملکرد هسته شود.



## ۸

### ساخت و ساز

معضلات امنیت  
نمایان بودن معمارانه در برابر  
پنهان بودن سازه

اقتصاد در زمینه پیش  
ساختگی

تأثیر انتخاب گره ها بر  
توسعه ی سازه

معضلات حمل و نقل  
معضلات سایت  
حفظ ایستایی در حین برپا  
سازی ساختمان

کپیتال گیت در ابوظبی، امارات متحده ی عربی، طراحی شده توسط RJM، پرسش های پیرامون قابلیت ساخت را تا بالاترین سطح چالش برای یک ساختمان دیاگرید، تا به امروز پاسخ داده است. پیچیدگی شدید و تنوع در هندسه، ناهنجاری های بسیاری را در روش نصب ایجاد می کردند است.

با هر انحراف از روش های قاب بندی استاندارد، قابلیت ساخت یک موضوع مهم در ساختارهای شبکه ی مورب به شمار می رود. در حالی که بیشتر پروژه های برج های منظم همراهی بیشتری با ساخت و ساز سازه های فولادی استاندارد خواهد داشت، ساختمان های دارای شبکه مورب نامتعارف موضوعات متفاوتی را درباره ی ساخت تجربه خواهند کرد. این ها باید به وسیله ی تیم پروژه در مرحله ی طراحی در جهت پیش بینی مناسب موضوعات اثر درباره ی زمان بندی و بودجه ی پروژه به وضوح مورد بحث قرار گیرد.

مهندسی و ساخت مفصل برای ساختار های شبکه ی مورب بسیار دشوار تر از یک سازه ی متعامد است بنابراین متعاقباً هزینه های اضافی را به دنبال دارد .

دقت هندسه ی گره های اتصال، بحرانی است. بنابراین به حد اکثر رسیدن ساخت فروشگاه برای کاهش مشکلات مربوط به کار و نصب هندسه های عجیب که مرتبط با طرح شبکه ی مورب مفید است.

آگاهی از اهمیت ایمنی در سایت های ساختمانی، موضوعی حائز اهمیت است. راه رفتن آهنگران روی فولاد بدون تجهیزات ایمنی کامل، به عنوان اقدامی رایج در ساخت آسمان خراش ها در نیویورک در دهه ی ۱۹۳۰، دیگر عملی قابل قبول نیست. سایت ساختمانی باید به عنوان محیطی ایمنی حفظ شود. کار با آهن بسیار دشوار است.

این تصویر آهنگرانی را در حال هماهنگ کردن یک بخش از ستون سبیدی دیاگراید برای ورودی جدید غرفه در مرکز مالی جهانی در شهر نیویورک ایالات متحده، طراحی شده توسط "پلی کلارک پلی" نشان



می دهد. ساخت و ساز تمام جوش نیازمند سطح بالایی از تناسب برای ایجاد تداوم در لوله های فولادی منحنی است. این پروژه توسط "مترو پولیتن والترز" از نیویورک برپا شد و ساخت آن توسط "Walters Inc. of Hamilton, ON" در کانادا به اتمام رسید.

کار بسیار ماهر است که باید به صورت یک تیم همکار کار کنند Brookfield Multiplex Australasia ، مالکان ساختمان وان شلی با پروفیسور Dennis Else در حال کارروی یک روش کاری به نام "ایمینی بیشتر با استراتژی طراحی" هستند. "ایمینی بیشتر با استراتژی طراحی" بر مبنای رشد یک فرهنگ ایمینی کامل ناشی از فعالیت های مدیریتی ارشد نشان داده شده استوار است. مدیران ارشد مایل اند تا با الگو سازی، رویکردی را رهبری کنند که ایمینی در پروسه های تجاری و تصمیم سازی آن وجود داشته باشد. این استراتژی چهار زمینه ی کلیدی دارد:

- ایمینی بیشتر با طراحی و برنامه ریزی
- اولویت تمرکز بر ریسک های مهم
- نشان دادن اقدامات، نه فقط کاغذبازی
- رشد یک فرهنگ ایمینی کامل

محرک آماری برای این استراتژی، در صدمات موارد و مرگ و میر بسیار زیاد در میان آهنگران در سایت های ساختمانی است. به ویژه در مقایسه با کارگران عمومی ساختمان و بخش تولید، علی رغم تمام حمایت ها در مقابل توقیف به خاطر سقوط، کار کردن بیش از حد در ارتفاعات زیاد-پیش از ساخت کف طبقات- باعث می شود آهنگران در خطر باشند. بنا بر "ایمینی بیشتر با طراحی"، آمارهای ۲۰۰۵-۲۰۰۶ مرگ و میر را در هر ۱۰۰ میلیون ساعت کار برای بخش تولید ۲ نفر، برابری ساخت و ساز ۴ نفر و برای آهنگران ساختمانی ۱۲ نفر اعلام می کردند.

در پروژه ی "One Shelley Street" ، استراتژی طراحی ساختار شبکه ی مورب کاربرد گسترده ی ساخت و ساز پیش ساخته را به عنوان یک موضوع ایمنی افزایش داد. این بدان معنی است که ۵۰۰۰۰ ساعت کار که می بایست در ارتفاع زیاد در سایت انجام شود، در جایی غیر از سایت یعنی کارخانه یا کارگاه انجام شد. محیط کارگاه کارگران را "روی زمین" نگه می دارد و یا به آنها اجازه می دهد تا از بالابر های هیدرولیکی کوتاه برای دسترسی به فولاد استفاده کنند. کارگاه دارای جرثقیل و مکانیسم های دیگری است که می تواند عناصر فولادی را بچرخاند یا حرکت دهد به طوری که قطعه ها در بهترین حالت برای دسترسی قرار گیرند. این به ویژه برای جوشکاری و سنگ کاری بسیار مهم است. "این روش" تنها ۳۵۰۰ ساعت کار در سایت برای برپاسازی باقی می ماند که به وسیله ی بالابرهای هیدرولیکی یا داربست انجام شده و منتج به ۷۵٪ کاهش در ریسک مرگ و میر می شود.

ایمنی بیشتر با طراحی و برنامه ریزی، بسیاری از تصمیمات استراتژیک را در یک پروژه ی پیچیده در بر دارد. ترتیب گذاری صحیح و حداکثر کارهای پیش سازی کارگاهی از بهترین مزایای تمام وجوه پروژه هستند. ایمنی و دسترسی به کار در سایت، در ارزیابی قابلیت ساخت پروژه حیاتی است و باید در طی فاز طراحی در نظر گرفته شود. این به ماهیت پیش سازی عناصر و به حداکثر رساندن اندازه ی مجموع عناصر در جهت به حداقل رساندن تعداد و ماهیت اتصالات درون سایت کمک می کند. اولویت ساخت اتصالات جوشکاری شده در کارگاه و اتصالات پیچ و مهره ای در سایت به موضوعات ایمنی و همچنین هدف ساده سازی پروژه برای ساخت می پردازد.



وان شلی در سیدنی استرالیا، طراحی شده توسط فیتز پاتریک + همکاران به همراه اروپ، با قابلیت ساخت و امنیت به عنوان نگرانی های عمده طراحی شده بود. بخش پیش ساخته ی کار به حداکثر رسید. اکثر اتصالات دیاگراید به صورت پیچ و مهره انجام شد و میزان کار انجام شده در ارتفاع به حداکثر رسید.





گره های X و دو عنصر دیاگرید برای وان شلی که در کارگاه مونتاژ شده بود عملیات نصب را ساده تر و کار در ارتفاع را محدود کرد. قطعات فولادی توسط Bluescope تکمیل شد.

در جایی که جوشکاری در سایت لازم است، اتصالات پیچ و مهره ای موقتی باعث خواهد شد تا نیازی به کار مداوم جرثقیل نباشد. افزایش هزینه، ناشی از نیاز به تأمین سکوها ایمن و موقت است که از طریق آن دسترسی به اتصالات برای کامل کردن پروسه های جوشکاری فراهم می آید. محوطه های جوشکاری و سکوها در پروژه های متفاوت، موقعیت اتصالات جوشکاری و اقلیم یا زمان سال متغیر هستند.

برای به حداقل رساندن کار در ارتفاع، توانایی در از پیش سر هم کردن عناصر شبکه ی مورب و گره ها در سایت مهم است. همچنین دسترسی به قطعه ها در حالی که در منطقه ی عملیاتی برای تکمیل اتصالات پیچ و مهره ای قرار دارند، برای آهنگران ساده تر و سریع تر است. این موقعیت گاهی الزامی می شود زیرا محدودیت هایی در اندازه های قابل حمل قطعات مجزا وجود دارد.



اتصال گره ای دیاگرید در برج با انکانا در کالگری کانادا. طراحی شده توسط فاستر و شرکا جوشکاری شده با بالا ترین استاندارد از (AESS4) استاندارد کانادایی از آن جایی که ساخت این پروژه در طول ماه های سخت زمستان ادامه پیدا کرد، سیستم عاملی محصور در اطراف گره برای یکی از گره های طبقه ی همکف در برج با انکانا یکی از مزایای خرید پیش ساخته سهولت دسترسی به قطعات فلزی برای جوشکاری است.



فولاد باید قبل از جوشکاری گرم شود. این عمل در سایت به دلایل دسترسی، آب و هوا و ایمنی بسیار مشکل تر است. اینگونه خرید، کنترل کیفیت بهتر و محیطی امن تر را برای کار فراهم می کند.

اتصالات تمام جوش در بخش های ساخته شده از لوله های بزرگ برای مرکز مالی بین المللی در گوانگ ژو چین نیازمند ساختار داربست یا سیستم عامل در هر جوش است تا دسترسی ایمن برای آهنگران را فراهم کند. انجام نمایان سازی معماری با کیفیت بالا نیازمند چنین رویکردی است. سیستم عامل باید به صورتی به اعضای دیاگرید متصل شود که به سطح خارجی فولاد آسیب نرساند.

## فولاد نمایان در مقابل فولاد پنهان از دیدگاه معماری

در هر صورت سازه و عناصر آن چه به صورت نمایان معماری (AESS) و چه به صورت پنهان، اثرات بسیار زیادی را روی پیش سازی، کار و نصب و اجرا خواهد گذاشت. اگرچه دقت اندازه ها و تفاوت های مجاز ممکن است برای فولاد نمایان معماری و سیستم های شبکه ی مورب پنهان یکسان باشد، که در نتیجه ی پیچیدگی هندسه ی یک پروژه ی خاص است، اما کار با فولاد نمایان معماری باید بسیار دقیق تر انجام گیرد. در جایی که فولاد سازه ای استاندارد می تواند با دستگاه هایی مانند "Come-A-Long" یا زنجیرهای سنگین برای انطباق های قطعات انجام پذیرد، فولاد اکسپوز معماری نیازمند استفاده از تسمه های بالشتک دار در نقاط بالا رونده است و در صورت وارد آمدن فشار بیش از حد برای قرار گرفتن قطعات در جای مناسب آسیب خواهد دید. به ویژه اکثر فولاد های نمایان معماری یا در کارگاه آستر شده اند و یا حتی آستر و رنگ خورده اند. در نتیجه کنترل کیفیت این پرداخت رنگ در کارگاه ساده تر است. حتی اگر فولاد نمایان معماری بدون پرداخت رنگ به سایت آورده شود، استفاده از فشار بیش از حد، سطح آن را خراب می کند و نیازمند درمان آن در سایت خواهد بود (که می تواند شامل سنگ زنی و پر کردن باشد). اگرچه انجام این کار در مواقع خاص به هیچ وجه مطلوب نخواهد بود.

برای اتصالات جوشکاری در سایت شده است، رنگ نهایی باید در فاصله ای اتصال به پایان برسد تا از فولاد سخت در برابر عملیات جوشکاری محافظت کند. این بدان معنی است که پس از عملیات سنگ کاری و رنگ نهایی، فولاد آستر خواهد شد و سپس رنگ نهایی آن زده خواهد شد. اگر عناصر شبکه ی مورب تحت جوش به صورت نمایان معماری طراحی شده باشند، دقت زیادی برای کامل کردن و رنگ کاری نهایی اتصالات جوشکاری شده لازم است. این شامل برداشت تمامی زائده های موقتی می شود که برای پیچ کردن عناصر پیش از جوشکاری استفاده شده اند.

اگر فولاد نمایان معماری مورد استفاده قرار گرفته باشد، باید برای دسته بندی نوع بصری نمایان در ابتدای پروژه تصمیم گیری شود. این کار بر طرح و انتخاب بین پیچ و مهره (ساده تر در سایت) و جوشکاری (بسیار دشوارتر و زمان بر در سایت)، اثر خواهد گذاشت. هنگام تصمیم گیری برای تعمیرات جوش در سایت، باید مقیاس پروژه و فاصله ی دید آن در نظر گرفته شود. اگر فاصله ی دید بیش از ۶ متر باشد، بیننده قادر به دیدن و تشخیص تعمیرات گسترده نخواهد بود. اگر این فاصله کمتر از ۶ متر باشد، تعمیرات کامل تر و جامع تری برای جوشکاری ها و اتصالات

جوش کاری شده معقول به نظر می رسد. این، اثر حائز اهمیتی بر هزینه ی پروژه و کار انجام شده در سایت خواهد گذاشت.

تشخیص تغییرها در اولویت های جهانی برای اشکال فولاد و پیش سازی آن بسیار مهم است. این می تواند بر انتخاب نوع اعضا در یک پروژه تأثیرگذار باشد که به نوبه ی خود در پروسه ی پیش سازی و برپا کردن مؤثر است. در حالی که پروژه های غربی تمایل به استفاده از بال گسترده ی نورد گرم شده یا بخش های یونیورسال برای فولاد سازه ای پنهان دارند، در آسیا و خاورمیانه کاربرد مربع خالی سفارشی ساخته شده یا بخش های مدور برای سازه های پنهان بسیار رایج است. به خاطر تفاوت ها در هزینه های کار و اقدامات و برتری کاربرد لوله های فولادی پر شده با بتن، گرایش به استفاده از سازه های کاملاً جوشکاری شده وجود دارد. این عملی رایج در ساختمان های قاب بندی شده ی استاندارد است و به نظر می رسد برای انواع دیگر پروژه ها مانند شبکه های مورب استفاده شود.



در ورزشگاه ملی پکن (آشیانه ی پرنده) واقع در پکن چین، طراحی شده توسط Herzog & de Meuron/All Weiwei/Arup از قطعات مکعبی پیش ساخته ی سفارشی استفاده شده که در کارگاه جوشکاری شده بود. زبانه های پیچ شده ی موقت جمع آوری شدند. اگرچه آثار اتصالات در برخی شرایط نورپردازی واضح هستند، مقیاس پروژه به گونه ای است که محصول نهایی از نظر کیفیت بیش از حد کافی است.

برج Chow Tai Fook واقع در گوانگژو چین از قطعات توخالی پیش ساخته استفاده می کند که با جوشکاری به هم متصل شده اند. از آنجایی که این ساختار به صورت پنهان خواهد بود، زبانه های موقت بریده شده اند، اما بیش از این زدوده نخواهند شد.



## اقتصاد در زمینه پیش ساختگی

در حالی که نوع شبکه های مورب سازه ها دارای هزینه ی ساخت بسیار زیادی هستند، صرفه جویی در زمان و هزینه می تواند تا اندازه ی زیادی به وسیله ی تکرار در طراحی و پیش سازی های گره ها انجام شود. محیط یک کارگاه مکان ایمن تری را برای تسهیل کار با کیفیت ایجاد می کند. با در نظر گرفتن ماهیت جذاب ساختمان های شبکه ی مورب تکرار مطلق یک اولویت به نظر نمی رسد، چرا که می تواند برای یک هندسه ی منظم در پلان و همچنین یکپارچگی در ارتفاع ساختمان ایجاد کند. برج مجله ی هرست واقع در نیویورک یکی از اندک سازه های شبکه ی مورب با یک پلان ساده ی مستطیلی و همچنین همراه با یک پلان یکپارچه برای تمام طبقات است که تعداد محدودی از انواع گره ها را دارد. طرح آن حالت نرم افزار به روز طراحی و ساخت فولاد را منعکس می کند. در طی ۱۰ سال گذشته تغییرات زیادی رخ داده است. توسعه ی نرم افزار های جدید برای جزئیات بر اساس نمونه سازی اطلاعات ساختمانی (BIM) باعث ایجاد تغییرات عمده ای در صنعت ساخت و ساز شده اند. نرم افزار های موجود قادر به رسیدگی به هندسه های بسیار متمایز و همچنین تولید ترسیمات کارگاهی برای هر عنصر شده اند. اگر روش ساخت و عملیات سطحی نسبتاً یکپارچه باشند، شخصی سازی گره ها دشوار نیست.



نکته ی دیگر در مورد موزه ی سلطنتی آنتاریو در تورنتو کانادا طراحی شده توسط دانیل لیبسکیند این است که هر قطعه از فولاد آن منحصر به فرد بود. این بدان معنی است که نصب هر قسمت نیز متفاوت بود. فولاد به خودی خود نیازمند مراقبت شدید نیست چون این یک سازه ی پنهان است، بنا بر این اگر تلاش دوچندان برای جاسازی قطعات نیاز باشد نتیجه ی آن تأخیر زمانی است، اما ضرورتاً آسیبی به سطح خارجی فولاد نمی رساند. این پروژه در استاندارد AESS جای گرفته است. هندسه ی پیچیده ی آن به خوبی زمان و ارزش پروژه را توسعه می دهد. پیش سازی فولاد و نصب توسط شرکت والترز.

فناوری های دیجیتال فعلی، سطح بالایی از پیش سازی های متمایز شده را ممکن ساخته است. در حالی که ساختار های اولیه ی شبکه ی مورب مانند سوییس ری و هرست هندسه و پلان های کاملاً منظمی داشتند که تعداد تغییرات منحصر به فرد گره ها را محدود می کرد، پروژه هایی مانند کپیتال گیت به نداشتن حتی دو گره مشابه می بالند. Jeff Schofield، یکی از طراحان کپیتال گیت در ابوظبی، پیچیدگی آن را به عنوان نتیجه ی مستقیم " مکان و زمان " آن توضیح می دهد. این نرم افزارها و فناوری ها قادر به ساخت طرح مورد نظر مشتری بودند. یک ساختمان بی مانند و نمادین. این بسیار مهم تر از هزینه ی این گونه ساخت غیر تکراری است. در هر صورت قابلیت همکاری نرم افزار های BIM، سطح بالایی از ارتباط دقیق را میان مهندس، سازنده، فولاد و مهندسان نما تأمین می کند.

اگر بودجه نسبتاً کم باشد، اهداف کلی طرح باید در مسیر به حداقل رساندن تعداد متغیرهای گره ها و اتصالات حرکت کند. این به طور مثبتی بر برنامه ی زمانی برپاسازی اثر می گذارد چرا که کارگران آهنکار قادر به ساخت برخی مهارت ها در کار با هندسه های زاویه دار اتصالات خواهند بود. نقاط بالابر و زوایای بالارو پایدار و بنابراین کار با آنها ساده تر خواهد بود.

### تأثیر انتخاب گره ها بر توسعه سازه

دو دیدگاه برای صلبی ساختن خود گره ها وجود دارد. به صورت نظری، اگر یک ساختار مثلثی ساده با بارهای محوری مطلق طراحی می شود، در منطق خرپا، مرکز گره نباید صلب باشد و می تواند به عنوان یک اتصال مفصلی یا لولایی ساخته شود، در حالی که نیروهای محوری فشاری و کششی را منتقل می کند. در حالی که این به صورت نظری ممکن است عملی باشد اما برای حفظ اعضای شبکه ی مورب در موقعیت به شمع زنی نیاز است تا زمانی که مثلث بندی به لحاظ فیزیکی کامل شود. حتی برای سازه های هندسی با بارهای توزیع شده ی مطلوب و همچنین سازه های دارای بارهای غیر معمول، صلبیت در گره برای کمک به اتکا به خود در پروسه ی ساخت ضروری است. در بسیاری از پروژه های شبکه ی مورب ساخته شده تا به امروز، گره ها در کارگاه به عنوان عناصر صلب پیش سازی شده اند تا به اعضای مستقیم ورودی، چه پیچ و مهره ای و چه جوشکاری، اجازه دهند تا به سادگی و بدون حمایت اضافی تا زمان اتصال گره بعدی استوار بمانند.



اگر برای برخی اتصالات پنهان می شد از پیچ و مهره استفاده کرد، نصب می توانست در یک استاندارد AESS دیاگرید تمام جوش بهبود پیدا کند. در سازه ی دیاگرید در کپیتال گیت دیده شده که میله های حلقه ها در گره ها پیچ کاری شده در حالی که مخفی خواهد بود. رنگ مایل به خاکستری در قطرها نشان می دهد که در آن منطقه اتصالات جوشکاری انجام شده است. این منطقه از مرکز ثقل گره فاصله گرفته تا کار جوشکاری را آسان تر کند.

استفاده از یک گره سخت، نقطه ی اتصالات را از مرکز گره دور می کند و اغلب به نقاطی می برد که ممکن است بیش از یک متر دورتر باشد. این دسترسی آسان تری را برای کامل کردن اتصالات روی سازه در کارگاه ممکن می کند، زیرا برای کارگران فضای بیشتری را برای کار فراهم می آورد. از دیدگاه عملی، در استفاده از پیچ و مهره بیش از یک آهن کار می تواند در تکمیل کار گره، در مواردی که نقطه ی اتصال به طور گسترده ای از هم دور هستند، کمک کند.

اگر ساختاری همانند برج مجله ی هرست مزین شده یا پنهان باشد، عناصر دیاگرید می توانند برای سریع تر شدن برپاسازی در کارگاه پیچ شوند. در مواردی که دیاگرید به عنوان معماری نمایان طراحی شده است اتصالات ممکن است نیاز به جوش دادن باشند. این به طور قابل توجهی بر هزینه ی برپایی می افزاید، زیرا در جوشکاری برای دسترسی به گره ها به داربست با دوام تری نیاز است. با توجه به محدودیت زاویه ی دسترسی رسیدن به کیفیت بالای جوشکاری در سایت

سخت تر است. ترکیبی از جوش ها و پیچ ها یک گزینه است. در کاپیتال گیت اتصالات از اعضای مورب به گره که معماری نمایان بودند، جوش کاری شده اند و اتصالات گره به میله ی حلقه در لبه ی طبقه که پنهان است پیچ شده اند.



اگرچه اعضای مورب در گوانگژو IFC در چهار طبقه از اتصال گره به گره دهانه می زند، توسط هر طبقه مهاربندی می شوند. این به قابلیت ساخت کمک می کند و همچنین به اتصالات جوشکاری اجازه می دهد تا کمتر آشکار باشند. اعضای گره در تراز لابی جوشکاری می شوند. در جایی که این اتصالات برای عموم آشکار هستند، بیشتر نیز مورد توجه هستند.

حتی در جایی که مدول های بزرگ استفاده شده اند، مانند IFC گوانگ ژو و برج با انکانا، اعضای مورب به عنوان واحدی برای افزایش پایداری ساخته شده اند. اعضای مورب در سایت به هم متصل نشده اند. در مورد IFC گوانگ ژو، جایی که گستردگی گره به گره به اندازه ی چهار طبقه است، اندازه ی بزرگ اعضا در طول تا ۲ متر/۶،۶ فوت می رسد، همچنین ارتفاع کل دو طبقه ای گره خود پیش سازی اتصال گره به اعضای مورب در سایت را غیر ممکن می ساخت. استفاده از تیرهای کناری طبقه ی میانی، برای تقویت اعضای مورب، به تأمین حمایت دائمی برای اعضای مورب کمک کرد. این امر نیاز به پشتیبانی موقت را کاهش داد.

### معضلات حمل و نقل

موضوعات حمل و نقل برای سازه های شبکه مورب شبیه به ساختمان های فولادی استاندارد است. اندازه ی عناصر حمل شده باید با دقت محاسبه شود تا حمل راحت آنها از کارگاه های



ساخت تا سایت تضمین شود. محدودیت های عرضی و ارتفاعی در راه ها و پل ها، شامل ارتفاع رو گذر ها، باید شناخته شوند و سازگار باشند. بنابر موقعیت دقیق سایت، عرض خیابان و شعاع های گردش نیز باید شناخته شوند. این ممکن است منتج به طی فواصل قابل توجهی برای حمل قطعات ساخته شده به سایت ساختمانی شود. استفاده از یک سازنده ی بسیار با تجربه و با کیفیت در زمینه ی فولاد در پروژه های شبکه ی مورب ضروری است.

محدودیت های حمل و نقل به حداکثر اندازه های عناصر حمل شونده بر می شود. بنابراین تعیین این مسئله آغاز می شود که در چه نقاطی اتصالات برای قطعات بزرگ تر باید انجام پذیرد که به نوبه ی خود نشان می دهد چگونه اتصالات باید انجام شوند. ستون های سیدی شبکه ای مورب در عمارت ورودی مرکز تجاری بین المللی نیویورک به صورتی اجباری با تعدادی از قطعات برای حمل و نقل عناصر طراحی شدند. این حالت باعث دشواری کار سر هم بندی در سایت شد. سبد ها در کارگاه سرهم شدند تا از درستی آنها اطمینان حاصل شود. سپس به خاطر حمل و نقل دوباره باز شدند. درحالی که اندازه ی سبد ها از پایین به بالا بیشتر می شد، جداکردن حلقه ی بالایی به ۶ تکه ضروری بود. از آن جایی که ذره های سبد به صورت نوعی از الگوی بافته شده با هم همپوشانی داشتند، اتصالات نمی توانستند مرتب باشند. عناصر اضافی دیگری به شکل X برای کامل کردن شکل اصلی نیاز بودند.

کامیون های ویژه ای برای قطعات بیش از حد بزرگ از یک عنصر فولادی برای پل زدن بین قسمت های جدا و انتهای پستی استفاده کردند. این به کامیون اجازه می دهد تا به صورت مفصلی در پیچ ها گردش کند. با این وجود، این روش نیاز دارد تا این عناصر به گونه ای طراحی شوند که تحت انحراف دائمی در نتیجه ی حمل و نقل قرار بگیرند. این موضوعی مهم برای اعضای شبکه ای مورب است که برای تحمل نیروهای محوری و فشاری و تنشی و قرار نگرفتن تحت خمش طراحی شده اند. این نوع از وسایل نقلیه اغلب نیازمند اسکورت رسمی هستند و زمان حرکت آنها در بزرگراه های عمومی محدود است.

عنصر پایه ای برای ستون های ورودی جدید غرفه مرکز مالی جهانی واقع در شهر نیویورک ایالات متحده، طراحی توسط پلی کلارک است در یک قطعه روانه ی بازار شد. وجود عناصر منحنی که به پایه متصل می شوند، ضروری هستند. آنها برای چرخش قطعه به حالت عمودی بدون آسیب رساندن به صفحه ی پایه نیاز هستند.





تدارکات و هزینه ی حمل و نقل فولاد باید در نظر گرفته شود. این یکی از عناصر دیاگرید در برج با انکانا است که باید از همیلتون تا کالگری به مسافت ۳۳۴۰ کیلومتر / ۲۰۷۵ مایل حمل شود. فقط یک عنصر در تریلر مناسب است. آن در یک قطعه ساخته شده است بنا براین نیازی نیست که در کارگاه متصل شود و می تواند در یک قطعه برداشته شود. این بدان معناست که جوش ها تنها در اتصالات گره رخ می دهند. شرکت والترز، سازنده ی فولاد پیش ساخته در برج با انکانا و غرفه ی مرکز مالی، به عنوان یک متخصص در طراحی سازه های بزرگ در حمل و نقل و نصب و راه اندازی توسعه پیدا کرد.

### مسائل مربوط به سایت

تأمین دسترسی مناسب به فولاد برای آهنگران در جهت تکمیل اتصالات، به ویژه در مورد اتصالات جوشکاری شده، یک موضوع مهم در سایت به شمار می رود. در حالی که کارهای سطوح پایین تر می توانند با لیفتراک کامل شوند، کارهای سطوح بالاتر نیازمند ساخت سکوهای مطمئن هستند. سکوهای ایجاد شده توسط داربست ها ممکن است باعث ایجاد مانع برای دسترسی حرفه های دیگر شوند. این معمولا مسئله ای برای فضاهای آتریوم با ارتفاع زیاد است که دسترسی به آنها بسیار سخت و اغلب نیازمند ساخت داربست های زیادی است. ستون های بزرگ شبکه ی مورب (عنصر مورب بدون سطح داخلی مانند ستون عمل می کند) که برای نگه داشتن سقف عمارت ورودی مرکز تجارت جهانی در نیویورک ایجاد شده بودند، برای کامل شدن جوشکاری نیاز به داربست های زیادی داشتند. این تضمین حائز اهمیت است که هزینه ی این نوع از داربست در زمان پروسه ی طراحی در نظر گرفته شده باشد.



ساخت و ساز ستون های دیاگراید برای ورودی جدید غرفه از مرکز مالی جهانی واقع در شهر نیویورک، در کارگاه شرایط بسیار سختی داشت. استفاده از لیفتراک با ظرفیت بارگزاری منطقه ی کوچک شروع عملیات محدود شد که این به خودی خود یک قالب از بتن را بالای درب ورودی مترو قرار داد. تعداد زیادی از اتصالات جوشکاری شده، نیازمند آماده سازی فشرده و اصلاح برای آماده سازی برای نقاشی است. این به نوبه ی خود نیازمند ساخت یک طبقه ی چندگانه ی داربست است تا وضعیت آهنگران را با دسترسی خوب جهت تکمیل کار بهبود دهد. کار فولادی در کارگاه توسط مترو پولیتن والترز انجام شد.

در Chow Tai Fook Tower واقع در گوانگژو چین، از جوشکاری استفاده ی گسترده ای شد. این نیازمند ساخت بسیاری از سیستم های عامل برای پرهیز از دسترسی به اتصالات است.

توانایی در تأمین فضایی عملیاتی در سایت برای سر هم



بندی مؤلفه بسیار مهم است. بر اساس اندازه ی اعضا و محدودیت های حمل و نقل، برای ساخت مجموعه های سر هم بندی شده ی بزرگ تر برای بالا بردن در سایت، می تواند به ترتیب برپاسازی کمک کند. همچنین شامل گره های بالا رونده همراه با برخی اعضای متصل به آنها می شود که به صورت جاری در برج سوییس ری و وان شلی انجام گرفت. بهترین شکل بندی برای سرهم بندی یک گره با اعضای قطری (مورب) به صورت ۷ وارونه است. این شکل بندی، خمیدگی در اعضای بلند را محدود می کند، انطباق قطعات را ساده تر می کند و نیاز به حمایت موقت یا مهاربندی را به حداقل می رساند.



آهنکاران در موزه ی سلطنتی انتاریو در حال مونتاژ کردن اعضا قبل از اجرا. این روش به دلیل ناهماهنگی بالای طبیعت مونتاژ کردن و بالا بردن برای موفقیت پروژه حیاتی بود. ترکیب گره ها و اعضای دیاگرید بزرگ تر از آن

هستند که بتوان آنها را به عنوان یک واحد در کارگاه حمل و نقل کرد.

عناصر برج Arcelor Mittal Orbit، توسط آنیش کاپور و سسیل بالموند به همراه آروپ برای بازی های المپیک لندن در سال ۲۰۱۲ طراحی شده که از پیش ساخته و رنگ شده بود. سوار کردن گره ها و قطعات دیاگرید به شکل ستاره ای، به صورت زیر در سایت مونتاژ شده، و بالا بردن به صورت قطعات جمع آوری شده برای صرف جویی در زمان است. در حالی که جوشکاری عناصر گره ای در فروشگاه انجام شده، اتصالات در کارگاه عمدتاً پیچ شده بود. سطح پایانی پیچ ها به عنوان ویژگی های طراحی براق و برجسته است. فولاد ساخته و اجرا شده توسط سازه های فولادی واتسون.



### حفظ ایستایی طی برپا سازی

در حالی که اکثر ساختمان های شبکه مورب به ساخت با فولاد به عنوان مصالح کاربردی برای شبکه مورب پیرامون و سازه های کف گرایش دارند، در نظر گرفتن این نکته حائز اهمیت است که یک ساختمان تمام فولادی از بتن مسلح برای پایداری جانبی اضافی همانند یک هسته استفاده نمی کند و تا زمانی که طبقات بتنی ریخته شوند و عمل دیافراگم را تأمین کنند، کاملاً پایدار نخواهند بود.



اتصالات اعضا و گره برای موزه ی سلطنتی انتاریو طراحی شده بودند تا اساساً خودکفا باشند و به برج های تقویتی نیاز نداشته باشند. تحکیم با استفاده از کابل ولتا تا زمانی که کف تکمیل شد به دست آمد. این سرهم سازی خطرانی در سایت ایجاد می کند ولی دخالت یا هزینه ی زیاد برای تقویت توده ایجاد نمی کند.



تقویت و تثبیت سیستم به طور موقت در مؤسسه ی فناوری مانوکا واقع در اوکلند، نیوزلند، طراحی شده توسط وارن و معماران ماهونی. سیستم مورد استفاده در طبقه ی کامل شده، از دو سه راهی های پیش ساخته ی بتنی و قالب های فولادی در ترکیب با یک بتن مسلح با شکوه قابل توجه استفاده کردند. ثبات موقتی سیستم باید تا زمانی که ساختار کلی کامل شود سالم و دست نخورده باقی بماند. موقعیت یک منطقه ی لرزه ای بالا، در طراحی هر سیستم ایستایی موقتی اثرگذار است.



سیستم پشتیبان موقت برای تیرهای کف در وان شلی نیاز است تا زمانی که سیستم کف کامل شود و توانایی ایجاد ثبات در ساختار را داشته باشد، باقی بماند.

این یکی از دلایل اصلی برای این مسئله است که چرا گره های یک ساختار شبکه مورب نوعاً خشک ساخته شده است. در سازه های برج، گره از پیش سرهم بندی شده و عناصر شبکه ی مورب اغلب می توانند به صورت V وارونه نصب شوند تا عناصر پیش آمدگی روی عناصر شبکه ی مورب را به حداقل برسانند. اگر عناصر شبکه ی مورب پیش از اتصال به گره بعدی خمیده شوند، برپاسازی آنها دشوار خواهد شد.

در جایی که شمع زنی موقت لازم است، درک اثر آن بر جریان ترافیک در سایت ساختمانی حائز اهمیت است، می تواند هرچیزی باشد از یک خطر عبور گرفته تا مانع شدن.

قابلیت ساخت، بخشی از منطق پشت استفاده از دیاگرید در ساختمان CCTV در پکن چین است که توسط OMA طراحی و توسط آروپ مهندسی شده است. دیاگرید در حفظ ثبات بخش های معلق، قبل از اتصال ضروری بود. کار جوشکاری ویژه که باید در ارتفاع انجام می شد، نیازمند ساخت داربست و ضمامی در جوشکاری است. زمان اتصال نهایی دو بخش معلق بر اساس عملیات طراحی شده ی برج های جدا از هم است تا هم انحراف و هم تأثیر درجه ی حرارت را منعکس کند. حرکت نسبی برج ها در طول روز حدود  $10\pm$  میلی متر اندازه گیری شد. پیمانکار دقیقاً از ۲۴ ساعت قبل، اندازه گیری نهایی شکاف را انجام می دهد (در شرایط محیطی یکسان)، بنا براین تنظیمات نهایی می تواند در طول ۷ عنصر ارتباطی انجام شود در حالی که آنها هنوز روی زمین اند. قبل از این که برج شروع به حرکت نسبی به طرفین کند، عناصر به جایگاه خود منتقل می شوند-با تاب ۱۰ میلی متر- و موقتاً با کدهایی ثابت می شوند. کدها مجاز هستند که بارهای حرارتی اضافه شده را تا بعد از گذشت ۴۸ ساعت حمل کنند، تا زمانی که که مفاصل به طور کامل جوشکاری شوند.







### دیوار پرده ای و طراحی نما

مرکز مالی بین المللی در گوانگجو چین، طراحی شده توسط "معماران ویلکینسون ایر" از الگوی دیوار پرده ای دارای مسیر مستقیم در ترکیب با پوشش شیشه ای شفاف زیگ زاگ استفاده میکنند، تا ساختار دیاگرید در ساختمان را آشکار سازند.

اگرچه کاربرد یک شبکه ی مورب همیشه به هندسه های عجیب و شکل های نامتعارف مربوط نمی شود، بسیاری از ساختمان های شبکه مورب عمداً از این سیستم سازه ای در پیوند با تمایلی برای ساخت ساختمان های بلندی استفاده می کنند که از هندسه و شکل به عنوان بخشی از زیبایی شناختی سازه بهره می برند. این اغلب نیازمند به کار گرفتن سیستم های پرده ای غیر استاندارد، به ویژه در رابطه با هندسه های منحنی و تراش دار خواهد بود.

### در طراحی نما باید به موارد زیر توجه شود:

- \_ هندسه ی ساختمان
- \_ مقیاس و اندازه ی ساختمان
- \_ اندازه ی مدول
- \_ شکل نواحی افقی ساختمان
- \_ منحنی ها
- \_ قرارگیری شبکه ی مورب سازه ای درون یا بیرون پوشش، تأثیر الزام فیزیکی با دیوار پرده ای
- \_ بیان شبکه ی مورب
- \_ شبکه ی مورب تأکید شده در طرح دیوار پرده ای و قرار گیری جرز
- \_ دیوار پرده ای در مقابل سازه عدم بیان مستقیم شبکه ی مورب در پوشش خارجی
- \_ استفاده از فضا/ عملکرد ساختمان
- \_ فضای باز طبقات (جرزها نیاز به هماهنگی با دیوارهای جداساز مجاور ندارند)
- \_ پارتیشن های مجاور شیشه کاری شده (موضوعات هماهنگی بین شبکه مورب ، جرزها و دیوارهای جداساز)
- \_ بودجه برای دیوار پرده ای
- \_ اندازه ی واحدها
- \_ نوع شیشه (تعداد قطعات)
- \_ نمای تکی یا دوگانه

\_ استراتژی های سایه اندازی (به ویژه هماهنگی نقاط کور و پنجره ها با طرح های مثلث بندی)  
 \_ موضوعات مربوط به تهویه ی طبیعی  
 \_ سیستم مثلث در برابر سیستم مستقیم خطی به عنوان زیبایی شناختی مطلوب  
 \_ رسیدگی های نظافتی و نگهداری

اگر هنوز سازه های شبکه مورب خود بر هندسه های مثلث بندی استواراند، تمام این پارامترها به یک انتخاب میان الگوی مثلثی یا خطی در سیستم و همچنین تنوعی از روش های بیان الگوی مدولار شبکه ی مورب در نما منتج می شوند. اگرچه شبکه های مورب یک انتخاب سازه ای به شمار می روند، این انتخاب اغلب با تلاش برای رسیدن به یک ظاهر مشخص یا زیبا تحریک می شود، از این رو تمایل فعلی در طراحی برای بیان شبکه ی مورد در ساختمان در جهت نمایش کاربری آن نیز برانگیخته خواهد شد.

تصمیم برای تأکید یا عدم تأکید بر قاب های شبکه ی مورب در نما و اندازه ی شبکه ی مورب در پوشش بیرونی اساساً یک انتخاب زیباشناسانه است. انتخاب برای بیان موقعیت شبکه ی مورب سازه ای در دیوار پرده ای در هر پروژه متفاوت است. این از معماری یک سازه مشتق می شود نه از مهندسی ساخت آن.

تصمیم برای استفاده از یک سیستم دیوار پرده ای مثلثی یا مستقیم خطی، اندازه ی کل ساختار شبکه ی مورب را مانند شکل خود ساختمان در نظر خواهد گرفت. مدولار بودن دیوار پرده ای معمولاً ابعاد شکل های لوزی یا مثلث را برای تناسب ارتفاع طبقات و الزامات برای پنجره های ثابت و متغیر، به صورتی تدریجی کاهش می دهد.

ساختمان هایی با شکل های منحنی خطی بیشتر، تمایل به استفاده از دیوار پرده ای مثلثی دارند که با سادگی بیشتری با شکل انطباق می یابد. شبکه های مورب با مدول های بزرگ می توانند به صورتی ساده تر سیستم های دیوار پرده ای استاندارد مستقیم خطی را به عنوان پرکننده مورد استفاده قرار دهند و بنابراین با سادگی بیشتری با نما انطباق می یابند. انتخاب ها هم چنین میل به بیان شبکه نوری- در مواردی که مولفه های سازه ای افقی عمداً بیان نشده اند- در مقابل یک الگوی مثلثی را منعکس می کنند که موقعیت تیرهای هم بند افقی را بیان می کند.

## شیشه بندی مثلثی

بسیاری از ساختمان های شبکه ی مورب، به ویژه آنهایی که دارای شکل منحنی خطی هستند، گرایش به تقسیم بندی شبکه مورب به شیشه کاری مثلثی دارند. هندسه ی مثلثی، چیزی مانند یک شبکه را برای تقریب شکل منحنی از طریق عناصر مستقیم می کند. این بسیار اقتصادی تر از استفاده از منحنی های خالص است، حتی اگر سیستم شیشه کاری خود بسیار گران تر از یک سیستم دیوار پرده ای سنتی باشد. با این وجود استفاده از شکل های منحنی می تواند در برخی از قابلیت های همکاری میان نرم افزارهای طراحی و دیتیل های اجرایی که برای معماری، مهندسی سازه، سازنده های فولاد و مهندسی نما استفاده می شوند، مفید باشد. توسعه ی مهندسی نما به عنوان یک مشاوره ی کارشناسی در دهه ی گذشته ناشی از تقاضای رو به افزایش به عملکرد برای پوشش ها در ارتباط با موضوعات انرژی و همچنین تغییرات در شکل ساختمان ها است که بسیاری از آنها استفاده از سیستم های دیوار پرده ای سنتی ناشی از هندسه های عجیب را بد جلوه می دهند.

علی رغم عدم حضور عناصر خمیده، مقیاس رویه سازی (Faceting) باید برای ساخت شکل منحنی ساختمان مناسب باشد. اندازه ی خاص یا تقسیم بندی جزئی مثلث بندی شبکه ی مورب سازه ای به عناصر شیشه ای (یا مات) نیز بستگی دارد به اینکه آیا همه ی واحد های شیشه ای شفاف، پنل هایی ثابت هستند یا اینکه واحد های متغیر باید در نما به کار گرفته شوند. این می تواند عملکردی از کاربری



مش های مثلثی که روی فرم خانه ی اپرا ی گوانگژو، طراحی شده توسط زاها حدید، آویخته شده است، دیده می شود. فرم های منحنی به خوبی با هندسه ی مثلثی هماهنگ شده اند.

تهویه ی طبیعی اغلب برای ملک های مسکونی مانند هتل ها استفاده می شود. پنجره های متحرک با استفاده از شیشه های مثلث در تعدادی از ساختمان های شبکه ی مورب به کار گرفته شده اند. انواع سایبان های پارچه ای برای پنجره به نظر انتخاب غالب می آیند، زیرا باعث عبور جریان هوا می شوند. اما برای جلوگیری از نفوذ باران، جهت دار هستند.



طراحی نما ی سویس ری واقع در لندن انگلستان، طراحی شده توسط فاستر و شرکا به همراه آروپ، با استفاده ی ساده از دیوار شفاف و رنگی از شیشه، باعث نمایان شدن شبکه ی مورب می شود. از ترکیب لوزی و شیشه ی مثلثی رنگی در نما استفاده شده است. مورد دوم اجازه می دهد که پنجره روی آن دایر شود.

برج نظارتی الدار واقع در ابوظبی، با توجه به پوشش خارجی ساختمان، داخل ساختمان دیاگرید فولادی با صفحات سنگ گچ پوشیده شده است. در عین حالی که طراحی به انتخاب زیبایی برای بیان جایگاه عناصر دیاگرید در نمای بیرونی منجر می شود، یک الگوی برجسته ی الماس شکل را ایجاد می کند که مدول های دیاگرید را به عنوان یک عنصر در طراحی به وضوح نشان می دهد. بیان یک مدول هشت طبقه یک الگو با وضوح بالا را در نما ایجاد می کند.

برج



شبکه ی مورب در ساختمان نظارتی الدار ( Aldar Headquarters) واقع در ابوظبی عمارات، که توسط معماران MZ طراحی شده است، با استفاده از عنصر یک الگوی الماس شکل برجسته با سیستم رو کش فولادی نشان داده می شود.



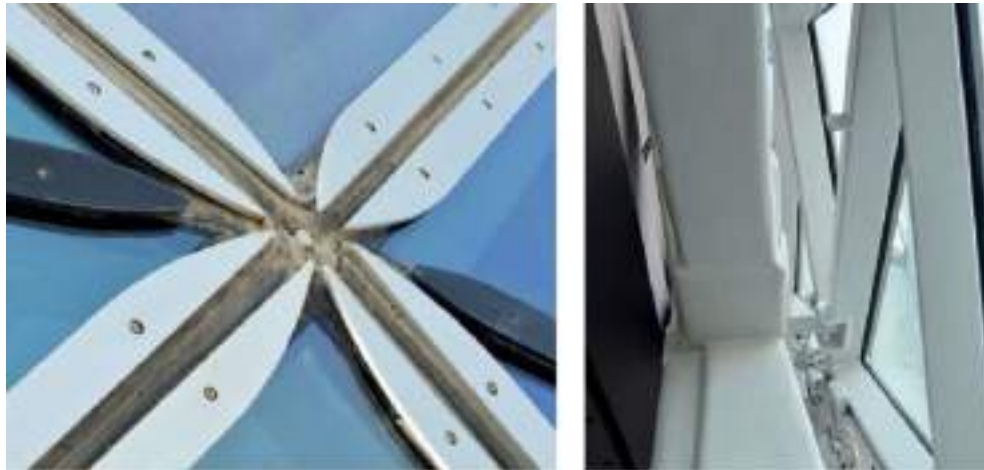
نحوه ی نصب سیستم دیواره ای پرده ای و پوشش ستون های الدار. الگو های مثلثی با مدول های بزرگ الماس شکل از الگو های مجاور خود مستقل هستند. این امر موجب می شود که جرزهای افقی در یک صف و راستا قرار نگیرند. پلان باز فضای اداری از هرگونه مسائلی با هماهنگی دیواره های جداسازی پرهیز می کند. برای کاهش دریافت انرژی خورشیدی شیشه های انعکاسی انتخاب شده است.

طراحی کپیتال گیت واقع در ابوظبی موجب حرکتی خیلی ملایم در نما با توجه به موقعیت دیاگرید در پشت پوشش شیشه ای مثلثی می شود در حالی یک مدول دو طبقه برای پشتیبانی از انحراف ۱۸ درجه ی ساختمان طراحی شده است، یکی از کوچک ترین مدول های روز که ابعاد اعضای آن بزرگ هستند را بر می گزینند و برای تفسیر کردن این به ظهور بصری در نما باید کاملاً غالب باشد. در عوض، یک رنگ صیقلی شبکه های مرئی را که الگوی ساختاری دیاگرید را اذعان دارد تغییر می دهد. به طور کلی، این گونه از ساختمان هایی با شکل پیچ خورده، به اطاعت کردن از خواندن مدول در نما گرایش دارند.

سیستم نمای کپیتال گیت پیش ساخته باشند و به صورت الماس شکل به اندازه ی ۸متر×۸متر/۲۶ فوت×۶ فوت است. از آن جایی که هر یک از این واحدها منحصر به فرد بودند، گسترش تخصصی سیستم BIM در ساختار برای طراحی نما به کار گرفته شد.



صفحه ها در ارتفاع طبقات میانی برای مقاومت در برابر باد آماده هستند. واحد های عملیاتی در سیستم های نمای دابل درهتل ثبت شده هستند. نمای کپیتال گیت توسط Hyder مهندسی شده و ساخت آن توسط Waagner Biro به اتمام رسید. صفحه های پوشش شیشه ای در شبکه های فولادی پیش ساخته جای می گیرند تا از عضو بزرگ دیاگراید فاصله بگیرند و منحنی های ساختمان خیلی هموارتر به نظر بیایند.



سیستم دیواره ی کپیتال گیت (سمت چپ) قسمت کمی از نما را مورد توجه قرار می دهد. کلاهک فشار نقره ای در عضو های دیاگرید واقع شده است. یک سیستم روشنایی LED به صورت یکپارچه در نما موجود است. لامپ ها در تقاطع دیوارها واقع شده اند.

قاب فولادی پیش ساخته برای سیستم شیشه ای کپیتال گیت (سمت راست) به شبکه های مورب و گره ها متصل است. مکانیسم این اتصال از دید پنهان است.

### شیشه های راست گوشه

دیوار های پرده ای شیشه ای اغلب برای پروژه هایی با شکل نسبتاً مسطح انتخاب می شود. معمولاً این حالت نسبت به شیشه های مثلثی سفارشی هزینه ی کمتری دارد. برای ساختمان های تجاری ، اگر یک زیر مجموعه از داخل ساختمان نیاز به گسترش در سطح داشته باشد این پنجره ها یک راه حل کاربردی برای تدارک پرده و سایه و همچنین برای دیوار های متحرک ارائه می کنند. به کار گرفتن پنجره هایی با ارتفاعی به اندازه ی کف تا سقف، اغلب راه حلی برای ساختمان های دیاگرید، برای مثال مرکز بین المللی مالی گوانجو و برج کمان انکانا، است. پنجره هایی با واحد بزرگ تر بسیار اقتصادی تر از سیستم های شامل واحدهای کوچک است. انتخاب نسبت و نوع پنجره ها تأثیر بسزایی در نمای ساختمان خواهد داشت.



در نمای عقبی این برج (پایین) نیز از سیستم دیوارشیشه ای مشابه به گونه استفاده شده است که بازتابی از دفترکار پشت آن بدهد. زبان طراحی یکسان و پایدار بوده و بیانگر الگوی ساختاری چارچوب خرپا-لوله ای است. مقیاس این ساختمان نیز به گونه ای است که اجازه ی استفاده از برشکاری برای ایجاد ظاهری خمیده و منحنی شکل را می دهد.

در برج تورنادو واقع در دوحه قطر که توسط تیم مهندسین و مشاورین معمار CICO طراحی و سیستمی استفاده شده است که بدون نمایش نواره های افقی در ساختار شبکه ی مورب، اریب ها را با لامپ های LED نصب شده در نقاط گره ای برای نورپردازی در شب نشان می دهد. همچنین از سیستم شیشه کاری مستقیم الخطی نیز استفاده شده است که به طور پیوسته پشت نواره های مورب قرار دارد.





برج هرست در شهر نیویورک آمریکا توسط تیم فوستر و شرکا طراحی و توسط تیم وی اس پی کاتورتور سینوک مهندسی و در مدول های شبکه ی مورب آن از سیستم دیوارشیشه ای با خطوط مستقیم درون نواحی سه گوشه استفاده شده است. این نوع طراحی امکان استفاده از دیوارهای تیغه ای حایل و سایه اندازی پنجره ها را فراهم می کند. استفاده از سیستم عظیم دیوارشیشه ای در پوش دار، وجود شبکه ی مورب بر نمای خارجی را بیشتر به نمایش می گذارد.



شمایی دقیق تر از نمای شمالی برج با انکانا، که برش عمودی پوشش های استفاده شده بر روی ستون ها را نشان می دهد که برای گسترش شبکه مورب در الگوی شیشه کاری مستقیم الخط استفاده شده است. برج با انکانا در شهر کالگری در جنوب استان آلبرنای کانادا نیز توسط تیم فاستر و با مشارکت تیم زیدلر طراحی شده است که طراحی مشابه با برج هرست دارد.

در نمای جنوبی خمیده (بالا) به جای صرف هزینه های گزاف برای خمش از تراش بیشتر استفاده شده است. از آنجایی که فضای پشت این نما بخشی از نمای دوگانه ی سیستم آتریوم است، نگرانی از بابت هم ترازای دیوارهای تیغه ای داخلی وجود ندارد.

این تصویر از ساختمان در حال ساخت برج تورنادو (سمت چپ) نشان می دهد که دیوارشیشه ای مستقیم الخط به طور پیوسته نصب شده است و نوارهای براقی که نشانگر محل قرارگیری شبکه مورب هستند روی این دیواره ها قرار گرفته اند. تصویر سمت راست برج در حال ساخت دوحه است. شبکه مورب توسط صفحه ی مشربیه پوشانیده شده که در سرتاسر دیوارشیشه ای برای سایه اندازی نصب شده است.



در برج تورنادو واقع در دوحه قطر که توسط معماران و مهندسان مشاوران CICO طراحی و از سیستمی استفاده شده است که بدون نمایش نوارهای افقی در ساختار شبکه مورب، اریب ها را با لامپ های ال ای دی نصب شده در نقاط گره ای برا نورپردازی در شب نشان می دهد. همچنین از سیستم شیشه کاری مستقیم الخطی نیز استفاده شده است که به طور پیوسته پشت نوارهای مورب قرار دارد.



عامل مهم دیگر در انتخاب یا طراحی سیستم دیوارشیشه ای فراوانی یا تناوب و حفظ طبیعت قابل بازوبسته شدن پنجره هاست. نیاز به سیستم تهویه ی طبیعی در ساختمان ها، حتی در انواع بلندمرتبه ی آن رو به افزایش است. استفاده ی همزمان از ساختمان ها برای دوکاربرد مختلف مانند استفاده اداری و هتل نیز گاهی منجر به استفاده از شیشه کاری های مجزا می شود که هم شفافیت داشته و هم قابل بازوبسته شدن باشند.



نمای خارجی شبکه‌ی مورب One Shelley Street واقع در سیدنی استرالیا که توسط تیم فیتزپاتریک با مشارکت آروپ طراحی شده است، امکان استفاده از سیستم شبکه‌ی مورب خارجی در ساختمان دیوارشیشه‌ای مستقیم الخط و کرکره‌ای داخلی را فراهم می‌کردند است.



دیوار شیشه‌ای مستقیم الخط برج البهار به صورت پیوسته نصب شده است. نواره‌هایی که نشانگر محل قرارگیری ساختار لانه زنبوری هستند نیز بر روی دیوارشیشه‌ای قرار دارند. همچنین از سیستم نورپردازی ال‌ای دی برای نمایش ساختار برج در شب استفاده شده است.

در طراحی برج موسسه مالی گوانگجو از ترکیب شیشه های بسیار شفاف با دیوار شیشه ای مستقیم الخط استفاده شده است. شبکه های مورب به شکل مدور به وضوح از پشت شیشه قابل رؤیت هستند و نورپردازی برای افزایش دید در شب انجام شده است. ابعاد عناصر دیوار شیشه ای در کنج های مدور به نحوی تغییر یافته است تا امکان مخروطی شدن برج را فراهم آورد. سیستم تهویه ی مخصوصی برای طبقات پناهگاهی طراحی شده است. همچنین از شیشه های شفاف استفاده شده است تا شبکه ی مورب در شرایط کنترل بهره ی خورشیدی نیز قابل رؤیت باشند.



از یک سیستم شیشه ای در طبقه ی همکف مناطق سرسرا در برج گوانجو برای مشخص کردن لوله هایی به قطر ۲ متر/۶ فوت استفاده شده است.

### تمیز کردن و نگهداری

ساختمان هایی که اشکال نامنظم و شبکه های مورب دارند با مشکل تمیزکاری و نگهداری مواجه اند. روش های معمول شست و شوی پنجره ها که با استفاده از طناب و جرنقیل دیوارهای شیشه ای را تمیز می کند برای ساختمان های با منحنی های درونی و بیرونی بسیار و یا شیب و خم های عجیب و نامنظم کاربردی ندارند. همچنین شرایط آب و هوایی و مشکلات منطقه ای نیز بر تعداد دفعات شست و شوی ساختمان مؤثر هستند.



جزئیات برج Bank of China واقع در هنگ کنگ که توسط I.M.Pei طراحی و توسط مؤسسه ی زلزلی ای رابرتسون مهندسی شده است، شمایی از شبکه ی مورب را در میان سطحی با الگوی دیوار پرده ای مستقیم الخط نشان می دهد. این نمای گوشه ای و همتراز نیاز مبرمی به تراز بودن، هماهنگی و تطابق دارد. گسترش عمودی دیوار پرده ای نیاز به استفاده از تجهیزات تمیزکاری استاندارد را ایجاد می کند. پنجره هایی با قابلیت باز و بسته شدن با طرح دیوار شیشه ای در هم آمیخته شده است.

یک سیستم شست و شو به صورت اختصاصی برای شیب ۱۵ درجه ی برج پورتا د اروپا واقع در مادرید ساخته شده است. ساختار شست و شوی خطی با الگوی پوششی ساختمان ترکیب شده است که محل قرارگیری شبکه های مورب را مشخص می کند.



در لندن، جرثقیلی قابل امتداد و چرخشی برای ساخت بالای برج طراحی شده است. جرثقیل بر روی مجموعه ای از ریل های موازی سوییس ری برای نشان دادن شکل خیاری برج که به پشت ساختمان متصل هستند حرکت می کند. حرکت بازوهای جرثقیل در جهات مختلف امکان ایجاد قطرهای متفاوت برای ساخت برج را فراهم می کند. ریل های جرثقیل به عنوان مشخصه ی طراحی بخش بالایی برج طراحی شده اند.



برای تمیز کردن این برج از کابل هایی استفاده شده که در نقاط مشخص و مستحکمی از دیوارشیشه ای در سرتاسر ساختار برج به آن متصل شده اند. همچنین از حلقه های جوشی نیز برای جلوگیری از آسیب رساندن کابل ها به شیشه و یا دیواره های مابین پنجره ها استفاده شده است. برای متوقف کردن فرآیند تمیزکاری از بازویی جرثقیل شکل استفاده می شود. مجموعه ای از ریل ها در بخش بالایی برج قرار گرفته اند که به بازو امکان حرکت روی محیط ساختمان را می دهد.

ساختمان هایی که به اشکال عجیب و متفاوت ساخته می شوند نیازمند طراحی و تولید تجهیزات تمیزکاری ویژه ای هستند. تصویر زیر ساختمان مرکزی الدار در ابوظبی را نشان می دهد. شکل دیسکی این ساختمان امکان فرود بر بخش های منحنی شکل خارجی را می دهد، اما در بخش های کم پهنای دیسک این چنین نیست. بالابری مخصوص برای تمیزکردن این ساختمان طراحی شده است که در جهات مختلف حرکت کرده و کار شست و شو را انجام می دهد. ماشین طوری تنظیم شده است که دور تا دور ساختمان را پوشش می دهد.



تجهیزات به خصوصی برای تمیز کردن شیشه کاری های انجام شده در اطراف و بالای ساختمان مرکزی آلدار طراحی شده است. این دستگاه به گونه ای طراحی شده که مبتنی بر خمیدگی ها چرخش دارد و در همه ی جوانب به شکل حرکت می کند.

ساختمان CCTV واقع در

بیجینگ چین که توسط OMA طراحی و توسط اروپ مهندسی شده است رویکردی کاملاً متفاوت به شبکه های مورب در سیستم های پوششی دارد. پنل های عقب نشینی مجزا محل قرارگیری بست ها را نشان می دهد. از یک سیستم شیشه کاری



مستقیم الخط استفاده شده است تا امکان استفاده از جداسازی و سایبان پنجره استاندارد فراهم آید. با پوشانده شدن سطح زیرین مقطع طره ای توسط سیستم شیشه کاری، شبکه ی مربعی ایجاد می شود. بخش طره ای بزرگ ساختمان برای تمیزی نیاز به رویکردی کاملاً متفاوت دارد، چرا که از دسترس لیفت تراک های استاندارد خارج است. تصویر بالا نشان دهنده ی سیستم آویزان کردن تجهیزات تمیزکاری است.

گزینه ی دیگر برای تمیز کردن نما فرود آمدن و حرکت در نمای ساختمان به سمت پایین به صورت آویزان است. در ساختمان کپیتال گیت واقع در ابوظبی، تجهیزات موجود برای تمیز کردن بر اساس طراحی خاص نامناسب باشند و لذا از روش ذکر شده برای تمیز کردن بخش خارجی شیشه ها استفاده شده است. قلاب هایی بر روی نما قرار داده می شدند که افراد می توانند به اندازه ی کافی به سطح شیشه نزدیک شده و کار شست و شو را انجام دهند. این روش در مناطق مرطوب و پرگرد و غبار ایالات متحده ی عربی و برای ساختمان ها با چنین هندسه ای رایج است.



تصویری که از برج کپیتال گیت واقع در امارات متحده ی عربی، در دوران ساخت مشاهده می شود نشان دهنده ی شدت مشکلات مرتبط با تمیزکاری سطح در این منطقه به دلیل رطوبت محیط و زیادی گرد و غبار است. لذا طراحی برنامه ی نگهداری امری حیاتی است.

این تصویر نمای خارجی کپیتال گیت واقع در ابوظبی که توسط **RMJM** طراحی شده است را نشان می دهد که توسط تیم نظافت در حال تمیز شدن است.

بخشی از نمای برج کپیتال گیت که بین آفتاب گیر و دیوارپرده ای قرار دارد، توسط افراد معلق در حال تمیز شدن است.





خلاصه‌ی مطالب مطرح شده در ارتباط با انتخاب و طراحی سیستم دیوارپرده‌ای بدین قرار است که این سیستم شدیداً تحت تأثیر ابعاد مدول‌های پایه برای شبکه‌ی مورب و همچنین هندسه‌ی ساختمان است. مدول‌های بزرگ‌تر انعطاف‌پذیری را در انتخاب دیوار پرده‌ای بالا می‌برند. مدول‌های کوچک محدودکننده هستند و همواره منجر به ایجاد سیستم‌های شیشه‌کاری پیچیده و اغلب مثلثی می‌شوند. این سیستم‌ها بر هزینه‌ی نیروی کار تأثیر می‌گذارند، چرا که پیچیدگی سیستم زمان بیشتری برای نصب و نگه‌داری نیاز داشته و با تجهیزات شستشوی شیشه‌ی استاندارد سازگاری ندارد.



۱۰

### دیاگرایدهای خارجی و سیستم دولایه دیاگراید

دیاگراید خارجی  
وان شلی، سیدنی، استرالیا

برج کانتون، گوانجو، چین  
او-۱۴، دبی، امارت  
کاربرد سیستم دولایه  
ساختمان لیدنهال، لندن،  
انگلیس

برج دوحه، قطر  
برج البهار، ابوظبی، امارات  
کپیتال گیت، ابوظبی، امارات

### دیاگرید خارجی

استفاده از بست های خارجی پیشینه ای غنی در معماری پیشرفته و ساختارهای فولادی نمایان معماری ( AESS ) ( به فصل پنچ و شش، درک طراحی فولاد مراجعه کنید) دارد. لذا ترکیب آنها با سازه های شبکه ای مورب در اقلیم های معتدل دور از انتظار نیست. استفاده از بست خارجی در فناوری های سطح بالا و AESS به عنوان سیستم مکمل برای تقویب جانبی کاربرد داشته و شبکه های مورب خارجی نقش اصلی برای تحمل بار جانبی دارد.

قرارگیری شبکه ی مورب خارج از محفظه حرارتی در ساختمان وان شلی واقع در سیدنی استرالیا که توسط تیم فیتزپاتریک با مشارکت آروپ طراحی شده است، این ساختمان را بی همتا می نماید. این نوع از جایگیری شبکه های مورب تنها در مناطق آب و هوایی قابل استفاده است که مسئله ی پل حرارتی امری کلیدی نباشد.





پروژه ی مسکن Neo Bankside واقع در لندن توسط راجرز استریک هاربر و شرکا طراحی شده است. در این پروژه از بست AEES خارجی و سیستم ساختاری اصلی بدون شبکه استفاده شده است. در این دستگاه مهاربندی از لوله های بیضی شکل استفاده شده است. این طرح می تواند مشکلاتی چون مسئله حفاظت خوردگی، انبساط دمایی مختلف و اتصال به ساختار اصلی را رفع کند.



در مؤسسه ی فناوری مانوکا واقع در شهر اوکلند، نیوزلند، که توسط گروه معماری وارن و ماهونی طراحی شده است، کارگرانی در حال نصب قاب های حفاظتی مشاهده می شوند. این قاب ها در میان شبکه های مورب خارجی و سیستم شیشه کاری قرار می گیرند. کم ارتفاع بودن ساختمان پنج طبقه و شرایط آب و هوایی معتدل احتمال ایجاد مشکلات مرتبط با انبساط دمایی را کاهش می دهند.

### ساختمان وان شلی، سیدنی، استرالیا

قابل توجه ترین شبکه ی مورب خارجی در ساختمان وان شلی مشاهده می شود. قرارگیری در اقلیم معتدل اجازه ی استفاده از دیوار شیشه ای در نمای خارجی را می دهد و منجر به بیشینه شدن فضای مفید داخلی می شود. با اینکه طراحان در ابتدا برنامه ی ساخت اجزا با استفاده از فولاد بدون پوشش معماری را داشتند، بنا به دلایل اقتصادی تصمیم گرفته شد که بخش های متداول یونیورسال که امکان گالوانیزه شدن را داشته اند پوشانده شوند. این روش جزئیات تزئینی شبکه مورب را ساده سازی کرده است و امکان استفاده از اتصالات پیچی در طرفین را فراهم می کند. از آنجایی که مقاومت در برابر خوردگی در استرالیا مسئله ی مهمی است، این تصمیم محتاطانه است. نمای خارجی مثلث بندی ضروری شبکه ی مورب را نشان نمی دهد، چرا که عناصر عمودی موردنیاز توسط تیرهای لبه ی زمین کامل می شوند که در بخش داخلی دیوارپرده ای و خارج از دید قرار داده شده اند. استفاده از الگوی شیشه کاری مستقیم الخط به پنهان کردن این مثلث بندی کمک می کند.



بخش های فولادی ساختمان وان شلی واقع در سیدنی استرالیا همگی گالوانیزه گرم شده اند. این سطح از حفاظت در برابر خوردگی در منطقه ی دریایی بسیار ضروری است. از آنجایی که بخش ها نیاز به پوشش دارند، ایجاد این سطح از حفاظت برای جلوگیری از خوردگی پنهان از اهمیت بالایی برخوردار است. گوشه های شناور آزاد به طور خلاقانه ای طراحی شده اند و این ظریف کاری ویژه را به ارمغان آورده اند.

شبکه ی مورب گالوانیزه شده ی خارجی به تیر گوشه ی زمین متصل می شود. از آنجایی که این تیر باید در فضای داخلی ساختمان جای گیرد، به شکل کامل عمل آوری نشده است. نفوذ به فضا باید به دقت تحت نظر قرار گیرد تا مانع از ورود رطوبت به داخل شود.



اتصال بین شبکه ی مورب و نما نیازمند افزودن جزئیات سفارشی به دیوار شیشه ای در نقاطی است که امکان نفوذ وجود دارد. فاصله ی بین شبکه ی مورب و دیوار پرده ای باید برای تمیز کردن پنجره ها مناسب و کافی باشد. این نوع ساختار، نیاز به استفاده از تجهیزات شستشو برای تمیز کردن را نفی می کند.



شبكة ی مورب خارجی بالای سطح سقف سبز به پایان می رسد. سقف ساختمان قابل دسترسی نباشند و نیازی به استفاده از شبکه ی مورب به عنوان محافظ در برابر سقوط نمی باشد.

در جایی که شبکه ی مورب خارجی برای در میان قرار دادن فضای خارجی در بخش ورودی مورد استفاده قرار می گیرد، مقاطع ساختمانی توخالی مدور برای محکم کردن گره ها بر ساختار طبقه مورد استفاده قرار می گیرند، برخلاف موقعیت سایر گره ها که مستقیماً روی سیستم طبقه تنظیم شده است.



شبكة ی مورب خارجی با سبکی ساده تا سطح زمین ادامه می یابد و فضایی را برای محاط کردن منطقه ی ورودی مجموعه در اختیار قرار می دهد.

### برج کانتون، گوانگجو، چین

ساختار خارجی و شبکه ی مورب با ستون های فولادی پر شده با بتن در برج کانتون وضعیتی پویا را ایجاد می کند. با توجه به عملکرد این برج به عنوان یک برج مخابراتی و دیده بانی که دربردارنده ی فضاهای داخلی غیریکنواخت بسیار و چند منطقه ی باز می باشد، نیازی به محافظ پیوسته طبقات نباشد و این امکان وجود دارد که شبکه ی مورب به عنوان یک عنصر مجزا نصب شود. استفاده ی خارجی از ستون های فولادی پر شده با بتن برای این اقلیم دمایی مناسب است. با این درجه از آشکاری، اطمینان از اینکه سیستم پوششی بر روی فولاد نمایان، بادوام و پایا باشد امری ضروری است. این سازه نیاز به نگهداری، بازرسی و پاک سازی مداوم و پیوسته دارد.



سیستم شبکه ی مورب مارپیچی نیازمند برنامه ریزی های دقیق است تا عناصر متصل به زمین را در بخش های حفاظتی همسان کند. استفاده از نرم افزارهای پیشرفته برای تهیه ی نقشه های کارگاهی منحصربه فرد برای تولید کلیه ی این عناصر ضروری است.





شبکه ی مورب خارجی برج کانتون واقع در گوانگجو چین که توسط IBA و آروپ طراحی شده، به عنوان یک سیستم ساختاری، کاملاً از فضاها ی ناپیوسته ی برج مجزا است.

این نما از برج نشان دهنده ی اجزای مارپیچی ساختار شبکه ی مورب و عبور آنها از پنجره هاست. آن ها به عنوان عناصر افقی مثلث بندی عمل می کنند. سیستم نما، به الگوی شبکه ی مورب وابسته نیست. برعکس اتصالات محافظ طبقه بر روی اجزای عمودی تر شبکه مورب قرار می گیرند. این اجزا برای انتقال بار مناسب تر باشند و مسیر بار را مستقیم می کنند.



جای گیری ساختار شبکه ی مورب در بخش خارجی نیازمند مجزا شدن کامل شبکه مورب از سیستم طبقه است که پشتیبان بخش محصور شده ی برج است. برخلاف سایر ساختارهای شبکه ی مورب که از سیستم طبقه برای مثلثی کردن ساختار استفاده می کنند، برج کانتون مجموعه ای از عناصر مارپیچی برای تکمیل این عملکرد را داراست. یکی از دلایل استفاده از این راه حل ماهیت ناپیوسته ی بخش های ساختمان است. بخش های بازی در ساختمان وجود دارد که امکان مثلث بندی را از بین می برد.

تیرها ساختار طبقه را به اجزای شبکه ی مورب عمودی متصل می کنند. اتصالات جوشکاری شده بر روی لوله به خوبی وصل شده اند



در تصویر روبرو نمایی از اتصال بین طبقه و شبکه ی مورب خارجی را طی دوران ساخت بنا را مشاهده می کنید. هندسه ی مورب لوله های پر شده با بتن با دینامیک مارپیچ این ساختار شبکه ی مورب هماهنگ است. بخش های فولادی مثلی محافظ طبقه هستند. اتصالی به شکل یک پین طراحی شده است که انتقال فیزیکی و هندسی بین دو سیستم را ممکن می کند.

#### ۱۴-۰، دبی، ایالت متحده ی عربی

شمای کلی ساختمان ۵-۱۴ در دبی که توسط معماران RUR (ریسر و اوموتو) طراحی شده و آ. سینوک اسرائیلی مهندسی شده است، نشاندهنده ی تنوع در پوسته های سوراخ دار خارجی مستحکم بتنی می باشد.

این ساختمان غیرمعمول، برجی ۲۲ طبقه ی تبلیغاتی است با دو طبقه بالکن در بالا که سیستم حفاظتی خارجی مستحکمی دارد که وضعیت ساختاری آن مشابه با سیستم شبکه ی مورب محیطی است که به نظر می رسد کل بار جانبی را حمل می کند. طراحان برج 0-

14 با طراحی آن قصد بهینه سازی فضای آزاد و طراحی نمای خارجی را داشتند به طوری که هم سازه و هم پوسته و ابزاری برای سایه اندازی باشد. با اینکه این اسکلت بندی خارجی بتنی نمونه ی بارزی از یک شبکه مورب با استفاده از گره ها و اجزای فولادی نیست، یک سازه ی جانبی و عمودی اساسی برای ساختمان است. این اسکلت بندی هسته را از بار اعمالی از طرف نیروهای جانبی رها می سازد و منجر به ایجاد فضاهای کارآمد و بدون ستون می شود. هسته ی مرکزی که عموماً برای دریافت بار جانبی در اکثر دیوارهای شیشه ای برج های اداری بسط داده می شود، برای کنترل مقادیر اندکی بار عمودی، سودمندی و حمل و نقل تا حد ممکن کوچک شده است. به علاوه از آنجایی که پیکربندی برج های دیوار پرده ای منجر به ایجاد ورق کفپوش می شود که برای انتقال بار جانبی به هسته باید از ضخامت آن کاسته شود، مقادیر ورق های کفپوش تاحدی که فقط به چرخش و لرزش پاسخ دهد کمینه شده است.



طرح باز شده ی اسکلت بندی خارجی برای الحاق به طرح اولیه ی جاهای خالی آماده شده است تا به خوبی با سطح طبقات و سیستم حفاظت طبقات تطبیق داده شود.

جای گیری میله های فولادی تقویت کننده در دیوار محیطی از الگوی قطری پیروی می کند که منجر به هدایت مسیر بار به سمت سوراخ ها و جاهای خالی می شود.



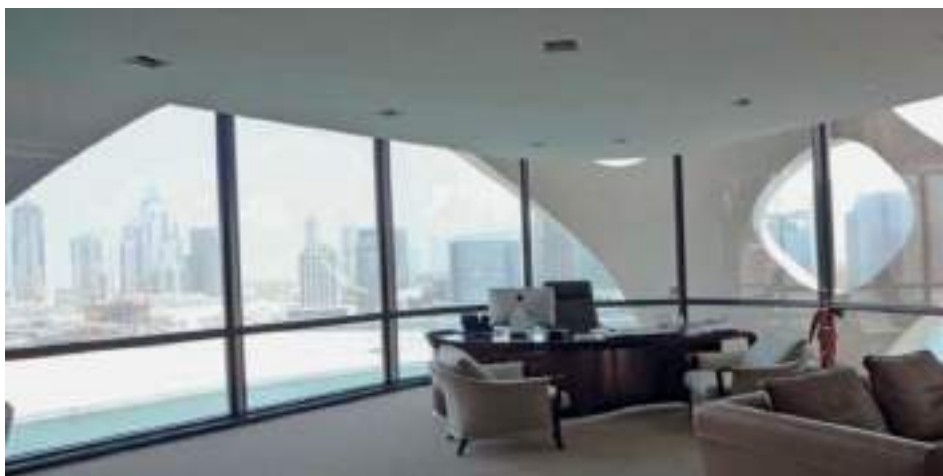
پوسته ی اصلی که به شکل شبکه ی مورب سازمان یافته است و بازدهی و کارایی آن پی رو تنوع متوالی سوراخ هاست همواره فاصله ی ساختاری کمینه ای را مابین سوراخ های مجاور حفظ می کند و مواد را هرجا که لازم باشد اضافه و هرجا که ممکن باشد حذف می کند. این کارایی و مدولاسیون پوسته را قادر می سازد تا طیف وسیعی از افکت های بصری و جوی در ساختار بدون تغییر در شکل اصلی و پایه ای آن خلق کند و لذا امکان تحلیل های سیستماتیک ساختاری و ساخت پایدار را فراهم می آورد. این پروژه در اصل یک سیستم نمای دیواری دوگانه خلق کرده است که اسکلت بندی بیرونی شبکه مورب بتنی آن توانایی ایجاد سایه برای فضای داخلی ساختمان را نیز دارد.



با اینکه به نظر می رسد طراحی به صورت تصادفی باشد، می توان از قالب های متحرک برای قالب بندی در ارتفاع ساختمان استفاده کرد.



نمایی از بالای برج و از محل بالکن که داخل شدن پل پیاده رو را به یکی از بزرگ ترین سوراخ ها مشاهده می کنید.



اسکلت بندی خارجی ساختمان نقش سایبان را دارد و مانع از ورود گرمای شدید دبی شده است و همچنین منظره ی خیابان های اطراف را به خوبی به نمایش می گذارد.

### کاربردهای سیستم دو پوسته ای

شاهد افزایش استفاده از سیستم های دو پوسته ای به عنوان پوششی برای ساختمان ها در بسیاری از طراحی های متأثر از لحاظ محیط زیستی هستیم. مزایای این روش شامل موارد زیر است:

- کاهش مصرف انرژی که با حفاظت بیشتر تأمین می شود.

- حفاظت از قطعات سایبان

- حذف آلودگی صوتی شهری

- امکان ورود هوای (تهویه شده) محافظت شده

معمولاً سیستم های دو پوسته ای شامل یک دیوار شیشه ای دو جداره، بر طبق سنت دیوار پرده ای همراه با یک لایه ی تک جداره می شود. معمولاً لایه ی تک جداره در بخش بیرونی قرار می گیرد، اگرچه این موضوع به شرایط آب و هوایی وابسته است. فضای خالی به تنهایی می تواند تهویه و یا محکم چسبیده شود.

سیستم های با ساختار دیاگرید با کاربردهای دو پوسته ای در چند روش به کار می روند:

- فضای خالی دو پوسته ای می تواند پشت / قرار گیرد.

- محیط اولیه ی ساختار دیاگرید می تواند یک دستگاه نمایش بیرونی را پشتیبانی کند که راه حلی است که نیازمند جزئیات بیشتری در مورد ارتباطات و سیستم های پوسته ای خاص است.

- یک ساختار دیاگرید سبک وزن می تواند در بخش بیرونی یک سیستم با ساختار استاندارد استفاده شود و پوسته ی دوم، لایه ی بیرونی جداره را پشتیبانی کند.



فضای آتریوم در بخش نمای دو پوسته برج با انکانا در کالگری، البرتا، کانادا، طراحی شده توسط فاستر و شرکا با مشارکت Zeidler نامایی از طبقه بالا (تصویر چپ) به وضوح عدم پشتیبانی ساختاری برای ساختار دیاگرید را نشان می دهد. نمایی از یک سطح پایین تر (تصویر راست) محدود بودن ارتباط بین سیستم کف دفتر و ساختار دیاگرید را نشان می دهد.

در مثال آخر، اگرچه دیاگرید به صورت سازه ای برای پشتیبانی از ساختمان استفاده نشده است، اما ساختمان مسلماً از کمک سازه ای آن سود می برد. این مزایا شامل پایداری ماندگار ناشی از مثلث بندی دیاگرید، زیبایی در نما و طراحی پوشش شیشه ای، همچنین اثربخشی پیش سازی عناصر می شود. برج با انکانا در نمای جنوبی اش از قدرت ساختار دیاگرید برای ایجاد فضاهای بیش از حد بزرگ آتریوم در ترکیب با نمای دو پوسته استفاده می کند. ساختار دیاگرید دارای وضعیت غیر معمولی است که در آن از حمایت سازه ای ارائه شده به وسیله ی سیستم طبقاتی بهره نمی برد که دلیل آن نیاز به محصور کردن یک فضای آتریوم چند طبقه ای با نمای دو پوسته است. در حالی که فضای خارجی نمای دو پوسته به علت شدت زمستان در این اقلیم دو جداره است، پوشش شیشه ای تک پوسته حفره های نمای دو پوسته و فضای آتریوم را از کاربری اداری مجزا می کند. بخش داخلی دیاگرید مثلث بندی شده از یک لایه تمام شده AESS سطح بالا به خاطر دسترسی بصری به آتریوم سود می برد. این در حالی است که به منظور صرفه جویی در هزینه ها می توان در بخش پشتی پنهان از روکش های ساده تری استفاده کرد.

یک نمای نزدیک از نصب و راه اندازی سیستم نمای دو پوسته دیاگرید در کلینیک کلیولند در ابوظبی، امارات متحده ی عربی، طراحی شده توسط معماران HDR. اتصالات ویژه ی پیچ برای نصب و راه اندازی سریع و با جزئیات طراحی شده اند. این اتصال برای حفظ خطوط بصری تمیز دیاگرید سفید در عقب واقع شده است. این سیستم به ساختار اصلی برای تکمیل سه گوش سازی، محکم بسته شده است. نتیجه ی این کار یک واحد لوزی شکل دو طبقه است. شبکه های مورب به منظور ایجاد دسترسی برای تمیز کردن از طریق راه باریک و تک گذر که همچنین به عنوان یک استراتژی سایه عمل می کند از ساختمان جدا شده است. یک سیستم دیوار پرده ای نسبتاً استاندارد در پشت لایه بیرونی نمای دو پوسته قرار دارد.



ساختمان لیدنهال، لندن،

انگلستان

در ساختمان لیدنهال، یک ساختار دیاگرید از یک نوع قاب بزرگ در یک سیستم دو پوسته ای ساخته شده است. ساختار دیاگرید بین لایه های درونی و بیرونی شیشه ای واقع شده است. در این مورد، لایه ی دو جداره بین ساختار دیاگرید و فضاهای اداری داخلی قرار دارد، در حالی که پوشش شیشه ای تک پوسته در سطح بیرونی استفاده شده است. لایه ی شیشه ای تک پوسته بیرونی

حائلی برای حرارت و سر و صدا و همچنین برای حفاظت از سیستم سایه فراهم می کند. پرداخت خارجی شامل منافذی در سطوح گره است که اجازه می دهد هوای بیرون وارد شود و از حفره تخلیه شود. پرده کنترل شده در حفره به طور خودکار برای محدود کردن دریافت خورشیدی ناخواسته و تابش خیره کننده تنظیم می شود.



این دید عقب از ساختار دیاگرید، که بین لایه های نمای دو پوسته را در بر می گیرد، ارتباط کشویی ویژه ای با سیستم پشتیبانی طبقه نشان می دهد که به منظور تطبیق حرکت دیفرانسیلی دیاگرید با توجه به محل آن در حفره داخل نمای دو پوسته ای، مورد نیاز است.

سیستم طارمی که بین هر طبقه ردیف شده، در بین قطرها قرار داده شده است. پشتیبانی عمودی برای پوشش شیشه ای بیرونی نصب شده اند. کارگران در حال نصب یک پنل شیشه ای بیرونی با استفاده از یک سیستم بالابر هستند. نازکی پشت نما باعث می شود که این کار سخت تر از نصب پوشش شیشه ای در سطح عمودی باشد.





تیرهای افقی در دیاگرید ساختمان لیدنهایل واقع در لندن، انگلستان، طراحی شده توسط Rogers Stirk Harbour + Partners و آروپ، جداسازی سیستم نمای دو پوسته ای بر روی سطح خارجی را بیان می کنند. بالا و پایین تیرها بیشتر از قطرهای منبسط می شود، به طوری که پوشش شیشه ای می تواند از عناصر عمودی و مورب بگذرد. تخلیه در جایی که در آن پوشش شیشه ای با تیرهای افقی برخورد دارد رخ می دهد.



این جزئیات گوشه بیرونی از سیستم نمای دو پوسته ای رابطه ی میان اجزا را مشاهده می کنید. یک عضو لوله ای فولادی تا گوشه اجرا می شود تا پشتیبانی فیزیکی برای قاب داخلی بسیار نازک پوشش شیشه ای که سطح خارجی تک پوسته ای را حمایت می کنند، فراهم آورد.

### برج دوحه، دوحه، قطر

قطر ۴۵ متری (۱۴۸ فوتی) حجم استوانه ای برج دوحه توسط یک دیاگرید از لوله های فولادی پر شده از بتن به صورت محیطی پشتیبانی می شود. یکی از مفاهیم اصلی طراحی، استفاده از یک سیستم دو پوسته برای کنترل نور خورشید در آب و هوای داغ بیابانی بود. سیستم قابی کف به منظور ایجاد یک تفکیک مشخص بین ساختار دیاگرید و سیستم پشتیبانی نما، معلق است. سیستم های دیوار شیشه ای یک الگوی راست خطی را دنبال می کنند. پوسته ی بیرونی از چهار عنصر آلومینیومی "پروانه" ای شکل با مقیاس های مختلف تشکیل شده است که در حالی که به عنوان محافظی از نور خورشید عمل می کنند، پیچیدگی مشربیه اسلامی (نوعی پنجره) را ایجاد می کند. الگو و تراکم پوسته بیرونی با توجه به جهت گیری و نیازهای مربوطه برای حفاظت از انرژی خورشیدی متفاوت است: ۲۵٪ به سمت شمال، ۴۰٪ به سمت جنوب، ۶۰٪ در شرق و غرب. لایه ی داخلی، پوسته ی شیشه ای کم بازتاب دهنده است که حفاظت از انرژی خورشیدی را کامل می کند. علاوه بر این، در صورت نیاز از یک سیستم کرکره ای می تواند استفاده شود.



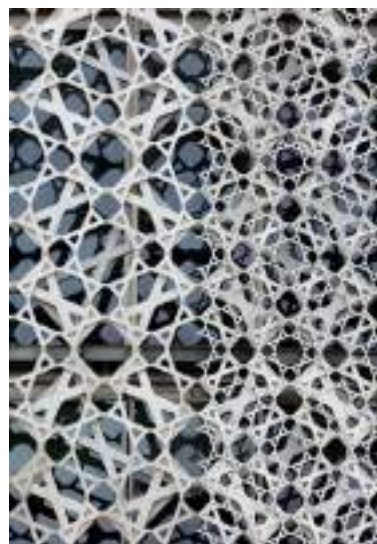
برج دوحه در قطر، که توسط Ateliers Jean Nouvel با مهندسی Terrell Group و China Design

Construction International طراحی شده است؛ ساختار دیاگرید را از سیستم پشتیبانی نمای دو پوسته جدا می کند، همان طور که در این تصویر از یکی از طبقات اداری به وضوح قابل مشاهده است.



مشاهده از طریق مشربیه (پنجره یاسلامی).

این تصویر از طبقه ی بالا با سیستم قابی فولادی سبک تر گنبد نشان می دهد که چگونه پوسته، مفصل بیرونی سایه را برای فضای داخلی فراهم می کند.



## برج البهار، ابوظبی، امارات متحده ی

### عربی

در برج های دایره ای البهار از ساختار دیاگرید لانه زنبوری متنوعی استفاده شده است. به وضوح بر روی دیوارهای پرده ای در نمای شمالی ساختمان ها قابل مشاهده است که بدون سایه طراحی شده است، زیرا افزایش گرما به دلیل هدایت کردن دریافت خورشیدی، کمتر از یک موضوع برای این جهت گیری و مناظر شهر حفظ شده است.

برج البهار چندین جایزه، از جمله جایزه ی نوآوری را ۲۰۱۲ CTBUH برای سیستم نمای خارجی "واکنش نوری"، از آن خود می کردند است. نمای پویا به عنوان یک تفسیر معاصر از مشربیه ی اسلامی سنتی، یک شکل بومی از صفحه های شبکه ای چوبی به عنوان یک وسیله برای دستیابی به حریم خصوصی و در عین حال کاهش تابش خیره کننده و دریافت خورشیدی استفاده می شود. مشربیه در برج البهار از یک سری قطعات نیمه شفاف چتر مانند که در پاسخ به مسیر خورشید باز و بسته می شوند تشکیل شده است. هر یک از دو برج شامل بیش از ۱۰۰۰ دستگاه سایه که از طریق سیستم مدیریت ساختمان برای ایجاد یک نمای دوم هوشمند کنترل می شوند است.



این نما از پنل های مشربیه در موقعیت کاملاً باز خود (بالا سمت چپ) قبل از راه اندازی ساختمان گرفته شده است. سیستم هوشمند در سطح بالای یکنواختی، باز و بسته شدن خودکار صفحه نمایش به عنوان یک تابع از زمان روز و شرایط نور نتیجه می دهد.

وقتی مشربیه در موقعیت کاملاً بسته خود است (بالا سمت راست)، از جذب اکثریت نور خشن خورشید کویر به نمای شیشه ای جلوگیری می شود. اگر چه ممکن است مشربیه بسیار سخت به نظر برسد، ولی از مواد صفحه PTFE تشکیل شده است که اجازه می دهد کمی نور وارد فضای داخلی شود.



این دید که از فاصله بین صفحه و نمای دیوار شیشه ای (سمت چپ)، نزدیک به اتمام ساخت و ساز گرفته شده است، ماهیت شفافیت صفحه و سیستم پشتیبانی را نشان می دهد. سطح بالایی از گرد و غبار و ذرات موجود در ابوظبی، همراه با رطوبت بالا، اهمیت مسائل نگهداری نما را نشان می دهد. فضای بینابینی به اندازه ای گذاشته شده است که دسترسی برای تمیز کردن را فراهم کند.

برج البهار واقع در ابوظبی، امارات متحده ی عربی، طراحی توسط معماران آنداس و مهندسی آروپ طراحی شده است و از یک سیستم سایه مشربیه "واکنش نوری" برای ایجاد آنچه که در اصل یک نمای دوم در همه به جز نمای شمالی که بدون پوشش رها شده است، استفاده می کند.

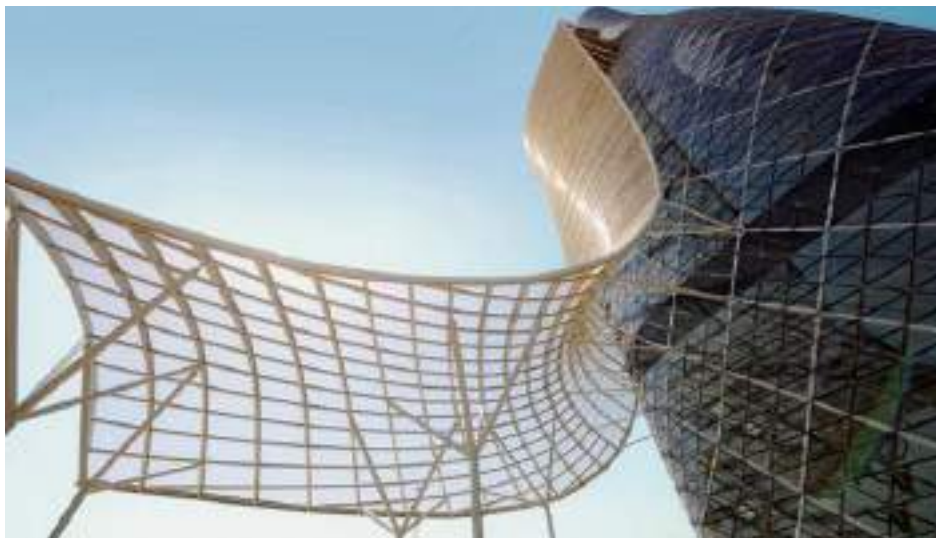


توجه به معماران آنداس ، هر واحد از یک سری پنل های PTFE (پلی تترافلورواتیلن) کشیده و تشکیل شده است و توسط یک محرک خطی رانده شده است، که به تدریج در یک توالی روزانه ی محاسبه شده باز و بسته خواهد شد تا از تابش مستقیم نور خورشید به نما جلوگیری و دریافت خورشیدی را به حداکثر ۴۰۰ وات در هر متر خطی محدود کند. کل تاسیسات توسط انواع سنسورها که باعث باز شدن واحدها در شرایط ابری و یا بادهای تند می شوند، محافظت می شود. از مزایای این سیستم عبارت اند از: کاهش تابش خیره کننده، بهبود نفوذ نور روز، تکیه ی کمتر به نور مصنوعی، و بیش از ۵۰٪ کاهش در دریافت خورشیدی، که منجر به کاهش پیش بینی شده از انتشار گاز CO<sub>2</sub> توسط ۱۷۵۰ تن در سال می شود.

باغ های آسمانی، واقع در امتداد نماهای جنوبی بین دیوار پرده ای فضاهای اداری و لایه ی مشربیه، اثرات ناشی از قرار گرفتن در معرض خورشید را کاهش می دهند.



قسمت زیرین "ریزش" زمانی که از برج جریان می یابد تا به سایه برای ورودی تبدیل شود. این صفحه سایه خورشیدی مش فلزی به نقاط گره ای دیاگرید با لوله های HSS گرد، گره خورده است.



### کپیتال گیت، ابوظبی، امارات متحده ی عربی

ساختمان های دیاگرید نمادین واقع در امارات متحده ی عربی ممکن است در ذهن مترادف با پایداری نباشند، اما طراحی پایدار یکی از ملاحظات مهم در طراحی کاپیتال گیت بود. در حالی که هزینه ی ساخت و نصب برای چنین ساختار پیچیده ای ممکن است بالاتر باشد، اما شکل ارگانیک و منحنی، آیرودینامیک تر است و مقاومت کمتری در برابر باد نشان می دهد و در نتیجه الزامات ساختاری مربوطه کاهش می یابد. محیط گرد قادر به محصور کردن بهتر حجم نسبت صفحه ی

طبقه مستطیل شکل در مساحت برابر بود. این هر دو مواد ساختاری و نما و هزینه های کربن در برداشته ی خود را نجات داد.

به طور خاص، تمایل به استفاده از نما برای کاهش نفوذ خورشیدی به منظور کاهش بار سرمایش وجود داشت. یک AESS اضافی و مش فلزی صفحه، به نام "ریزش"، در سمت ورودی برج برای کاهش دریافت خورشیدی به زیر سطوح اداری، استفاده شد. مش سیم فولادی ضد زنگ ۹۰٪ باز است. این صفحه برای تبدیل شدن به یک سایبان بزرگ که سایه را برای منطقه با شیب تند فراهم می کند، ادامه می یابد. این سیستم انعطاف پذیر طوری طراحی شده است که از منحنی های برج پیروی کند. این سیستم به برج در هر پنج طبقه، با میله های نیروبخش اضافی در هر طبقه، محکم بسته شده است. مش حدود ۳۰٪ از حرارتی را که به نما برسد، از بین می برد.



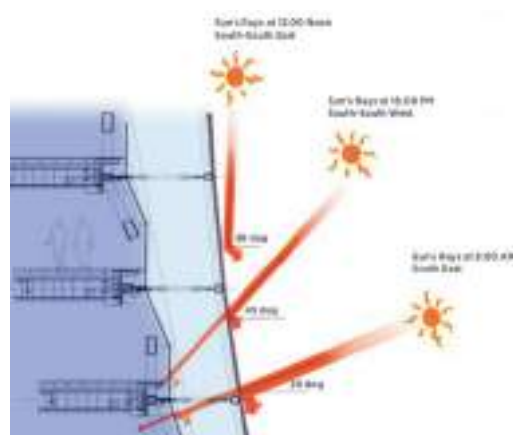
پشتیبانی ساختاری برای "ریزش" به طور مستقیم به ساختار دیاگرید از طریق سیستم روکش فلزی، گره می خورد.

جزئیات پشتیبانی برای سیستم "ریزش" در راه اختصاصی ورودی اصلی.



نیمه ی فوقانی برج، خانه ها و هتل به منظور کاهش دریافت خورشیدی، دارای نمای دو پوسته اصلاح شده است. این سیستم هوای داخلی را از اتاق مهمان به حفره ی داخل نما به چرخش می اندازد. این حفره یک عایق بین گرمای شدید بیرونی و هوای خنک داخلی ایجاد می کند. هوا در یک اتاق خالی مورد استفاده مجدد قرار می گیرد و با ۱۰۰٪ هوای بیرون جایگزین می شود. پوشش شیشه ای کم تشعشع در کم کردن دریافت گرما از طریق لایه ی بیرونی نما و در عین حال حفظ درجه ی بالایی از شفافیت کمک می کند.

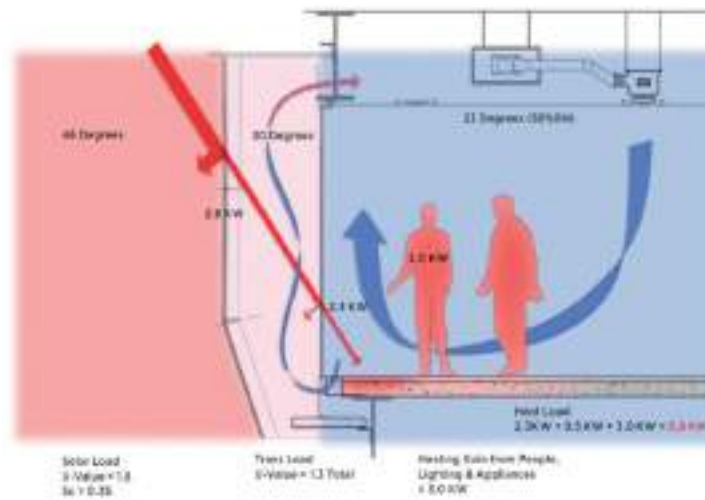
این بخش از طریق سطح ضد آفتاب "ریزش" اختلاف در کاهش پیش بینی شده در دریافت خورشیدی به عنوان تابعی از زاویه ی برخورد بر روی مش فولادی ضد زنگ را توصیف می کند.







این رندر سیستم نمای دو پوسته در طبقات هتل، فاصله ی بین لایه های شیشه ای را نشان می دهد که دسترسی برای تمیز کردن را فراهم می کند. دیوار پرده ای که اتاق های هتل را از نمای خارجی جدا می کند، از یک سیستم جرز دار ساده تر، ارزان تر و راست خطی استفاده می کند.



این دیاگرام از سیستم نمای دو پوسته، جزئیات ذخیره ی پیش بینی شده را بر اساس کاهش دریافت خورشیدی و جریان های تهویه نشان می دهد.



۱۱

## مدارک پروژه ها

، لندن.

ساختمان LEADENHALL انگلستان

CAPITAL GATE، ابوظبی، امارات متحده عربی

مرکز مالی بین المللی گوانگ جو، گوانگ جو، چین

برج دوحه، دوحه، قطر

ZHONGGOU ZUN، پکن، چین

برج LOTTE SUPER، سئول، کره جنوبی

در فصل ۳: اصول دیاگرید معاصر ثابت می کند که چگونه پروژه های اولیه از جمله شهرداری لندن، سوییس ری و برج مجله ی هرست به طور مؤثر سوابقی را ایجاد می کردند اند که توسط ساختمان های بعدی در توسعه ی یک رویکرد نسبتاً نظام مند برای ساختارهای دیاگرید استفاده شده است، این فصل برخی از نمونه های قابل توجه اخیر را بررسی خواهد کرد.

ساختمان لیدنهال، کپیتال گیت، گوانجو و برج دوحه یک نظم محرک از طراحی و ساخت و ساز را نشان می دهد. علاوه بر اطلاعات قیاسی و موضوع محوری که در فصل های قبلی داده شد، این بخش در نظر گرفته شده تا به خواننده اجازه دهد که

درک بهتری از روش های جامع برای طراحی این نوع ساختمان ها بر اساس یک بحث مفصل و با جزئیات داشته باشد. این طرح های در حال حاضر به گسترش اطلاعات که قبلاً در "درک طراحی فولادی" ارائه شده، در باب طراحی دقیق و ساخت و ساز موزه ی سلطنتی اونتاریو توسط دنیل لیبسکیند و برج با انکانا توسط فاستر و شرکا با مشارکت زیدلر، که پایه ای برای اکتشاف اولیه ساخت و ساز در دیاگرید را شکل دادند کمک می کنند.

این فصل همچنین شامل اطلاعات جامع تری در مورد دو پروژه ی رویایی است که ساخته نشده باقی می ماند است. تا به امروز، بلندترین برج دیاگرید ساخته شده گوانجو در ۴۳۹ متر (۱۴۳۹ فوت) و ۱۰۳ طبقه است. طرح های پیشنهادی برای برج سوپر لوته در سنئول که توسط سم و ژانگو زون در پکن و معماران TFP طراحی شده است، بر این هدف بودند تا از این رکورد تجاوز کنند. ژانگو زون در حال حاضر در دست ساخت است، اما مسابقه طراحی دیاگرید به نفع یک برج ابرستون و هسته ی بتنی برج زیر نظر معماران KPF و اروپا رها شده است. اگرچه نسخه ی سم از برج سوپر لوته ساخته نخواهد شد، اما توسعه ی فنی دقیق طراحی آن سهم قابل توجهی در اساس دانش استفاده از دیاگرید تا ساختمان های بسیار بلند را ایجاد می کردند است.

این پروفایل ها با کمک های سخاوتمندانه در گردآوری اطلاعات و تصاویر با شیوه های معماری و مهندسی ممکن شده است.

### ساختمان لیدنهل، لندن، انگلستان

|  |  |
|--|--|
| <p>معمار: ROJERS STRIK<br/>HARBOUR و همکاران</p> <p>مهندس سازه: ASUP</p> <p>مهندس یاد: RWDI</p> <p>پیمانکار: LAING O'ROURKE</p> <p>پیمانکار سازه های فولادی:<br/>WATSON STEEL STRUCTURES</p> <p>اتمام پروژه: ۲۰۱۳</p> <p>ساختمان لیدنهل، پروژه ای<br/>چشمگیر در تاریخ ساخت و ساز<br/>لندن است.</p> | <p>طراحی ساختمان لیدنهل ترکیبی از ایده هایی در مورد رابطه ی الزامات متنی در باب یک راه حل ساختاری جزئیات سازه های فلزی آشکار معماری با بهترین کیفیت است. شکل مثلثی مشخص که تحت نام مستعار "Cheesegrater" است، در پاسخ به نیازهای دید راه رو برای کلیسای جامع در نزدیکی توسعه داده شده است. این ساختمان ۵۰ طبقه برای ارتفاع ۲۲۵ متری (۷۳۵ فوتی) برنامه ریزی شده است. استفاده از سیستم سازه ای دیاگرید منحصر به فرد و بی نهایت منسجم است به طوری که هیچ هسته ی مرکزی وجود ندارد. در عوض هسته در پشت ساختمان قرار داده شده است. ساختار پشتیبانی از برج، که عمدتاً بر روی سطح خارجی قرار گرفته است، از ترکیب یک سیستم دیاگرید بر روی سطح شیبدار خیابان آن با ساختار مورب اصلاح شده در دو سمت ساختمان استفاده می کند. آروپ به سیستم کلی به عنوان یک "ابر چارچوب" اشاره می کند، چارچوبی که با استفاده از ستون های محیطی بزرگ و پهن مشخص شده است؛ این چارچوب با دیاگرید ترکیب شده است تا از بهترین ویژگی های هر دو سیستم بهره برد. ۸۵ درصد ارزش ساخت و ساز ساختمان متشکل از عناصر ساخت و ساز پیش ساخته و خارج از سایت است، که از توانایی ساختاری کلی و همچنین دانش مسائل مربوط به دسترسی دشوار سایت و محدودیت های عملی در منطقه در این مکان متراکم شهری استفاده می کند.</p> |
|--|--|

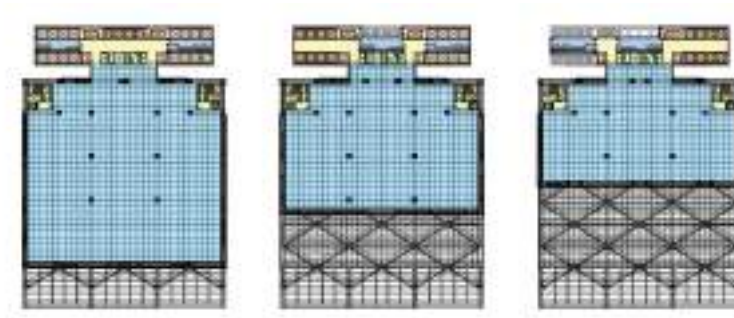


طبقات اداری با پلان مستطیلی در پایین ترین طبقه ی کاملاً اداری (طبقه پنجم) دارای ۴۸ متر عرض و ۴۳ متر طول هستند. این سطح وسیع نیازمند کاربرد ستون های داخلی برای پشتیبانی از دهانه ها است. به همین ترتیب این شبکه ی کاملاً بزرگ در ابعاد ۱۶متر در ۱۰/۵ متر است تا تعداد ستون ها را به حداقل برساند، در نتیجه میزان مطلوب فضای باز برای انعطاف پذیری حداکثر در طراحی فضای کار به دست می آید.

مقطع مثلثی شرق و غرب برج به مدول های هفت طبقه ای تقسیم می شود. در حالی که یک مدول شبکه مورب در حالت نرمال به وسیله ی اندازه گیری راس به راس اشکال لوزی بزرگ تر تعریف شده است که ۱۴ طبقه در نمای جنوبی را در بر می گیرد، تخصیص هفت طبقه ای اهمیت بیشتری از ساختار کلی دارد زیرا نمای شبکه مورب جنوبی در یک سیستم ابرفریم یکپارچه شده است. هفته طبقه ی ۴ متری در یک ارتفاع ۲۸ متری قرار گرفته است که مدول هفت طبقه ای را تعریف می کند و در آن هر طبقه، ۷۵۰ میلی متر کوچک تر از حالت قبلی است.

ساختار مشخص هر طبقه شامل دال بتنی پیش ساخته ی ۱۵۰ میلی متری روی تیر های فولادی ۷۰۰ میلی متری است. یک سیستم کف مرتفع برای خدمات استفاده شده است. آرپ یک سیستم میرایی غیر فعال را برای کاهش فنریت طبقات معرفی کرد.

پلان های طبقات ۵، ۲۲ و ۳۱ قرارگیری بخش های مرکزی و خدماتی خارج از برج و ترتیب فضای باز برای دفاتر را نشان می دهد. این حالت نیازمند استفاده از ستون ها در سطح است که در ترتیبات استاندارد ی که در آنها بخش های مرکزی و خدماتی درون طبقات قرار دارند معمول نیست.



عناصر اصلی ستون ها یک قاب بزرگ فولادی را برای سازه ایجاد می کنند که بر اساس یک مدول هفت طبقه ای است. طبقات اداری به اعضای بلند هفت طبقه ای متصل شده اند تا مهاربندی جانبی را تأمین کنند. هیچ ستون جانبی اضافی میان این اعضای بزرگ هفت طبقه ای وجود ندارد تا از طبقات یا سیستم دیوار پرده ای پشتیبانی کند.



این ساختمان شامل هفت مدول هفت طبقه ای کامل است. این طبقات روی یک پایه ی پنج طبقه ای قرار گرفته اند که از ترتیب سازه ای تعدیل شده ای برای پاسخ به نیازهای برنامه ای متفاوت در فضای گالری استفاده می کند. در این جا طبقات سوم و چهارم از طبقه پنجم معلق شده اند و درون این فضا آویزان هستند. در حالی که عناصر قطری پیرامونی و ستون های تشکیل دهنده ی پایه ای که نمی توانند با طبقات بسته شوند، به طور ماهرانه ای تقویت شده اند. تراز زمین برای عموم قابل دسترس خواهد بود.

سیستم نمای دوپوسته ی تهویه شده، طبقه به طبقه بسته شده است و به وسیله ی تیرهای کف طبقات پشتیبانی می شود. اعضای شبکه مورب به وسیله ی اعضای دو جداره در داخل و یک جداره در خارج احاطه شده اند. قرار دادن قاب سازه ای در خارج از پوشش گرمایی باعث می شود که دماهای متفاوت با هم تطبیق یابند. اتصالات تیر های کف طبقات به قاب سازه ای به وسیله ی تکیه گاه های کشویی اجازه ی حرکت های انبساطی افقی اندکی را بدون انتقال به طبقات می دهد. پرده های کنترل شده توسط کامپیوتر در حفره در معرض دریافت انرژی خورشیدی به صورت اتوماتیک تنظیم می شوند و برای ممانعت از گرم شدن شیشه می درخشند. در نتیجه هوای گرم شده در سطوح گره ها از طریق تهویه ها تخلیه می شود. اتصالات گرمایی در ناحیه ی مرکزی که فقط عملکرد خدماتی دارند خیلی مورد توجه قرار نگرفته اند.

اگرچه سیستم سازه ای اولیه به صورت بخش های یونیورسال یا نیم رخ بال پهن نشان داده خواهد شد، اما همه ی اعضا از پلیت جوش داده و تنظیم شده اند. این امر به آروپ اجازه داده است تا شکل های بخش ها را تغییر دهد تا الزامات اتصالات را مرتفع سازد. این روش سازه ای منتج به ایجاد یک ظاهر بسیار دقیق تر از اعضای AESS می شود. درحالی که جزئیات اعضای عمودی و شبکه ی مورب در سراسر سازه استاندارد شده اند، تغییرات قابل توجهی در طراحی گره ها به منظور تطبیق هندسه های متفاوت در این سه نوع از نما وجود دارد. این گره ها تقریباً ۶ متر در ۳ متر هستند و وزنشان به ۳۰ تن می رسد. اتصالات به اعضا از نقاط اصلی انتقال بار در گره دور هستند تا در مکانی قرار بگیرند که فشارها کمتر و هندسه ساده تر است و دسترسی بهتری به باکس های بلند که دارای پیچ های تنشی هستند وجود دارد.

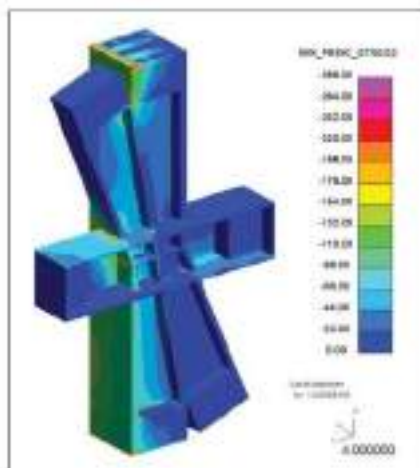
یک مدل دیجیتال از نوع گره در نمای شرقی/غربی جعبه هایی را ایجاد می کند که باعث ایجاد اتصالات پیچی پیش تنش می شود. نسخه ی ساخته شده به دقت مدل سازی را دنبال می کردند است و تأثیر گردش کار را از طریق استفاده از مدل دیجیتال در پروسه ی طراحی و ساخت ساختمان فولادی پیچیده به خوبی مشاهده می کنید.



اتصالات گره ها، از میله های دارای استحکام بالا به جای پیچ های استاندارد استفاده می کنند. نیروی هیدرولیک برای القای تنش در این میله ها استفاده شد تا تضمین شود که فشار کافی در اتصالات وجود دارد. قطر میله ها به ۷۶ میلیمتر و پیش تنیدگی به ۲۰۰ تن می رسند.

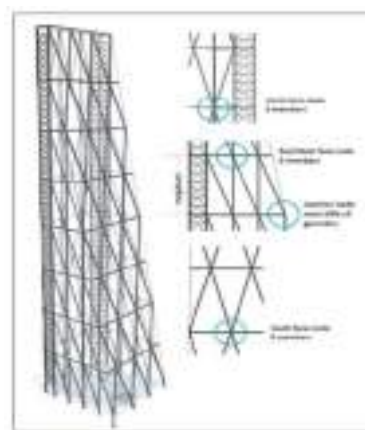
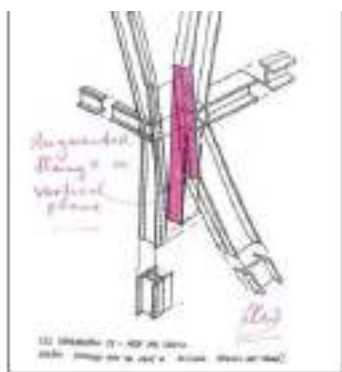


این پیچ ها، پیش تنش خود به وسیله ی "جعبه های پیچ" را به پایانه های اعضای داخلی و گره ها انتقال می دهند، یعنی صفحات جوش داده شده میان تیر آهن ها در بخش های ابرفریم هفت طبقه ای. این همچنین ظاهر اتصالات را تمیز تر نشان می دهد. پوشش ها در انتهای میله های دارای استحکام فرار گرفتند تا اتصالات را به استاندارد AESS برسانند.

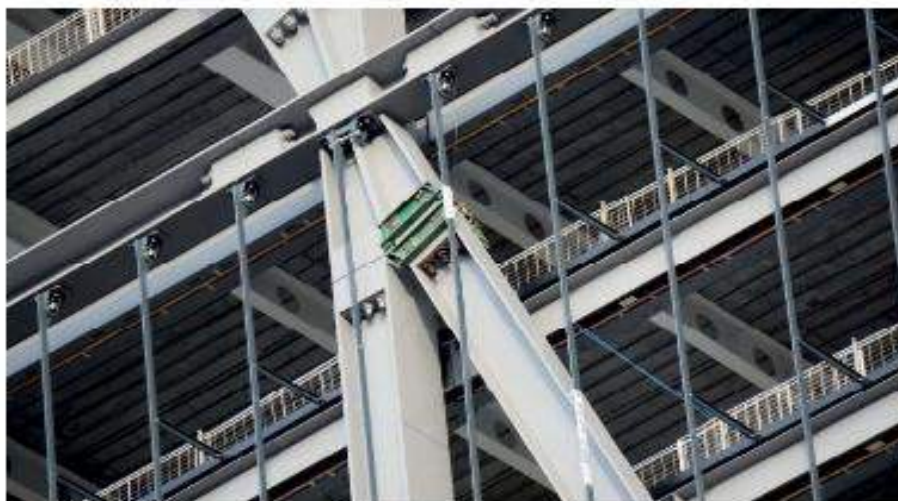


یک مدل تحلیلی متناهی یک گره در نماهای شرقی/غربی اعتبار مسیر های انتقال بار را مجاز می کند و به تصمیم گیری درباره ی اندازه و قرارگیری فولاد کمک می کند. گره ها باید به طور هم زمان بار بالای ۶۰۰۰ تن را در دست کم سه مسیر متفاوت انتقال دهند.

ابر فریم ساختمان لیدنهل به سه نوع اولیه از گره ها برای ایجاد اتصال میان اعضای قطری نیازمند است. گره های پیچیده تر هندسی زمانی به دست می آیند که سطوح قاب هم دیگر و سیستم قاب بندی پشتی را قطع کنند.



گره هایی که انتقال بین نمای شیب دار جنوبی و عمودی طرفین را تأمین می کنند دارای هندسه ی بسیار پیچیده ای هستند. اسکیس طراحی چگونگی تنوع صفحات داخلی اعضای جوش داده شده در امتداد خود برای مرتفع سازی نیازمندی انتقال بار نشان می دهد. برخی از اعضا دارای دو صفحه ی شبکه ای هستند تا انتقال بار را منطبق کنند و امتدادی را با شبکه ی آن عضوی بسازند که باید به آن متصل شوند. ظاهر آن ها با اعضای که یک شبکه مجزای سنتی را اتخاذ می کنند مطابقت دارد.



نمایی از یک گره در نمای غربی در حالی که قاب خارجی برای سیستم نمای دو پوسته در حال نصب است. عضو قطری با اتصالات موقتی (به رنگ سبز) ثابت شده است که همراه با جک های خارجی برای باز کردن مفصل در جهت برداشتن شیم ها طی هم ترازای فعال استفاده می شود. بستن مفاصل بعد از برداشتن شیم ها به وسیله ی بستن جک های اصلی به پیچ ها انجام شده است. بیشتر مفاصل در طی ساخت تحت تنش هستند که ناشی از تکیه گاه پشته تحمیلی است که در نتیجه ی کاهش ستون ها ناشی از گرانش در نماهای شرقی/غربی به دست می آید و بنا براین در بسیاری از موارد انجام این کارهای موقتی لازم نیست. در حالی که این سیستم AESS است، اتصالات پیچ و مهره ای برای مجاز کردن حالت اکسپوز آنها طراحی شده اند. تیرهای کف سفید ۷۰۰ میلی متری مستحکم که دهانه ی ستون های داخلی را می بندند نیز قابل دید هستند.

نوع گره که در نمای جنوبی استفاده شده است، یک گره خاص شبکه مورب می باشد که چهار عضو قطری و اعضای افقی که مرزهای مدول های هفت طبقه ای را تعریف می کنند باید در آن قرار بگیرند. نوع گره استفاده شده در نمای شمالی، برخلاف هسته ی خارجی، باید هشت عضو را در بر بگیرد و ساخت آن به خاطر شکل غیر معمول مقطع آن بسیار چالشی تر بود.

گره ها در کنج ها میان نمای شیب دار جنوبی و نماهای دوزنقه ای طرفین شرق و غرب باید پیچیده ترین هندسه ها را حل کنند. در همه ی آن ها ۱۲ نوع گره وجود دارد که از یک برنامه ی هم سان بر مبنای تطابق انتقال بار و اتصالات اکسپوز به دست آمده اند.

گره ها در نماهای عمودی شرقی و غربی طی ساخت برج نیازمند تعدیل بودند. طراحی اتصالات این گره ها به قاب، نیاز به در برگرستن کوتاه شدگی ستون تحت بار در طی ساخت هستند. ستون های عمودی در طرفین ساختمان همه ی بارهای گرانشی را تحمل می کنند. در مقابل، شبکه مورب در نمای جنوبی دارای عضو عمودی نیست و در حالی که این هندسه در اطراف کنج های شیب دار پنهان می شود تا یک انتقال یکپارچه میان حالت را تأمین کند، عناصر عمودی به وسیله ی عناصر قطری از ترتیب خارج می شوند که با طول مشابه نصب شده اند. این اثر، سازه را حدوداً تا ۱۶۰ میلی متر به جهت پشتی شمالی هل می دهد. برای صاف کردن برج عناصر قطری به صورت دوره ای کوتاه می شوند تا ساختمان را به حالت عمودی برگردانند. این کار از طریق راه کاری به نام مرتب سازی فعال انجام می پذیرد. این حالت با شل کردن پیچ های تنیده شده ی طولانی در اتصال عناصر قطری به گره ها و حذف بعضی از پلیت های شمیم انجام می شود. این پروسه نیز باید در پاسخ به تغییر بارهایی تطبیق یابد که ناشی از کاهش اندازه ی صفحات کف طبقات برج در حال ساخت است.

قاب بندی بادبندها واقع در شمالی ترین بخش دهانه ی برج برای محکم کردن ساختمان میان سطوح گره ها طراحی شده است. طرح معماری برای قاب بندی بادبند جزئیات اعضای شبکه مورب را کامل می کند. اتصالات اصلی پایانه های بادبندی باید دقیقاً مانند اتصالات پین دار محاسبه شوند. اتصالات پیچ و مهره ای که در پاکت های عقب نشسته می نشینند برای سرهم بندی زیگزاگ ها در سایت مجاز هستند. خطوط بصری در این نوع از جزئیات برای دستیابی به یک سطح AESS تمیز باقی می ماند.



به خاطر پیچیدگی سازه، پیمانکار فولاد، ویلیام هایپر، در طی طراحی سیستم سازه ای، تحت قرارداد خدمات پیش از ساخت وارد پروژه شد تا درباره ی موضوعات سازه ای مشاوره دهد و در مدل سازی گره ها کمک کند. هر نوع از گره ها با استفاده از یک تحلیل ساده ی مدل سازی برای آغاز بهینه سازی جریان نیروها توسعه یافت. اگرچه این قرارداد در نهایت به شرکت سازه های فولادی واتسون اعطا شد، کار اولیه ی مدل سازی باعث ادامه یافتن پروسه های ساخت شد.

فولاد واتسون قادر بود تا اتصالات ماشینی بسیار دقیقی را برای اتصال بهتر ایجاد کند، در نتیجه نیاز به جوشکاری در گره ها کاهش یافت و استراتژی پر کردن لایه ها ساده تر شد.



نمای جنوبی ساختمان از یک قاب شبکه مورب کلاسیک استفاده می کند. هیچ ستونی عمودی در آنجا وجود ندارد. اعضای قطری بلند در گره مربوطه به تیر های محکم بسته شده اند که همچنین به نقاط انتهایی سیستم نمای دوپوسته ای کمک می کنند که دهانه ی هر سطح بزرگ هفت طبقه ای سازه را در بر می گیرد. تیر های مستحکم در قسمت داخلی به ستون ها متصل هستند. این تیر ها گوشه ای از سطوح درون شبکه ای را تشکیل می دهند و برای تأمین قاب بندی جانبی به وسیله ی کاهش طول پشتیبانی نشده ی آن ها به اعضای قطری متصل می شوند. این هنده در اطراف کنج ها، جایی که این سیستم به سیستم ستون و قاب قطری تغییر می یابد، بسته می شود.

مقیاس بزرگ مدول ها و قرارگیری هسته در شمال برج مستلزم معرفی یک سیستم پایداری اضافه است تا سازه را بین سطوح گره ها محکم سازد. یک سیستم Chevron یا مهاربندی K در شمالی ترین دهانه ها در نما های شرق و غرب معرفی شد. این موارد دو طرف کنج های آتش نشانی را که می بایست درون سطح طبقه ی اول قرار گیرند در بر می گیرند. سیستم Chevron انتخاب شد زیرا می تواند بدون جذب نیرو های بزرگ، به علت کوتاه شدگی ستون ها در طرفین و پشت سازه را در طی ساخت در بر بگیرد.



سیستم قاب بندی بادبندی در کنج های برج بسته می شوند. اتصالات هسته به خاطر کاربرد جامع پیش سازی مؤلفه ها در بیرون از سایت می توانند نسبتاً سریع پیش روند.



هسته ی خدماتی از یک مجموعه عناصر پیش ساخته با مهندسی دقیق ساخته شده است. این سازه از لحاظ ظاهر و نوع اتصالات می تواند بسیار سبک باشد و نیاز به تقویت جانبی نداشته باشد.

حفاظت از آتش در سازه ی فولادی نمایان، از طریق یک پوشش اپوکسی متورم استاندارد دریایی روی قاب فولادی نمایان به دست آمد. ضخامت این پوشش از ۳ میلی متر تا ۱۲ میلی متر نسبت به ضخامت فولاد متغیر است - فولاد نازک تر به حفاظ ضخیم تری برای دستیابی به نتیجه ی مشابه نیازمند است. این پوشش نهایی در ۹۰ دقیقه به دست خواهد آمد. پوشش های اپوکسی متورم معمولاً فروشگاهی هستند و این لزوماً نیازمند حمل و نقل و نصب دقیق تری است.

با این حال هنوز بعضی از آسیب ها اجتناب ناپذیر هستند، بنابراین یک فرد کاملاً حرفه ای باید در سایت در صورت وقوع حادثه ای به آن رسیدگی کند.

با تشکر ویژه از دامین الی، مهندس سازه ی اروپ بابت کمک در تأمین اطلاعات فنی برای این پروژه.



سایت ساختمان لیدنهال در مجاورت برج ها در شهر لندن (سمت راست)، این مجموعه تعریف جدیدی از سازه های بلند مرتبه برای شهر را ارائه داده است.

نصب دیوار پرده ای (سمت چپ) در نمای شمالی در هسته ی خدماتی. پیش سازی مؤلفه ها برای این ساختمان بسیار سودمند بود.

### کپیتال گیت، ابوظبی، امارات متحده ی عربی

برج کپیتال گیت به عنوان بلندترین برج کج ساخت بشر با زاویه ی ۱۸ درجه ای در کتاب رکوردهای جهانی گینس ثبت شده است. تیم طراحی برای مواجهه با مشکلاتی که در طراحی نمادین این برج ۱۶۵ متری و ۳۵ طبقه ای داشتند، رویکرد خلاقانه و اکتشافانه ای را در نظر گرفتند تا توانستند کارفرمایان خود را راضی کنند. به گفته ی جف اسکافیلد، عضو سابق RMJM و یکی از طراحان بنا: «ما برای اینکه این پروژه امکان پذیر شود، در زمانه ی درستی از تاریخ قرار داشتیم و فناوری مناسب آن موجود بود». استفاده از دیاگرید فولادی برای رسیدن به ثبات سازه ای بنا به اندازه نمای ظاهری آن بسیار با اهمیت

بود. ۱۸ دیاگرید مثلثی هر طبقه‌ی ساختمان را احاطه می کردند است. با رفتار پوسته مانند آن، دیاگرید، سازه‌ای محیطی که با انواع شکل‌های هندسی عمودی سازگارپذیر است را ارائه می دهد. این ویژگی نیاز به وجود ستون‌ها را از بین می برد که در صورت نبود آن، طراحی فضاهای داخلی دست‌خوش تغییر می شد. قاب های مرسوم می که قبل از این وجود داشت، نمی توانستند مناسب این کار باشند.

معماریها: RMJM

مهندسين سازه: RMJM

توسعه‌دهنده‌ی پروژه: ADNEC

مدیر پروژه: MACE

پیمانکار اصلی:

AL HABTOOR ENGINEERING  
ENTERPRISES

پیمانکار فولاد: EVERSENDAL

مشاور نمای بنا: HYDER CONSULTING

پیمانکار نما: WAAGNER BIRO

پایان پروژه: ۲۰۱۱

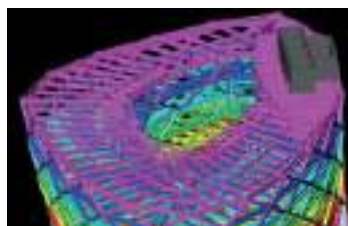
کپیتال گیت از توانایی دیاگرید برای رسیدن  
به ذات نمادین خود استفاده می کردند.



پیچیدگی همه جانبه‌ی طراحی، ساخت و راه اندازی این پروژه بدون مدل سازی دیجیتالی امکان پذیر نبود. توانایی تبدیل هندسه‌ی پیچیده در طراحی مدل، تا مهندسی و ساخت آن، در

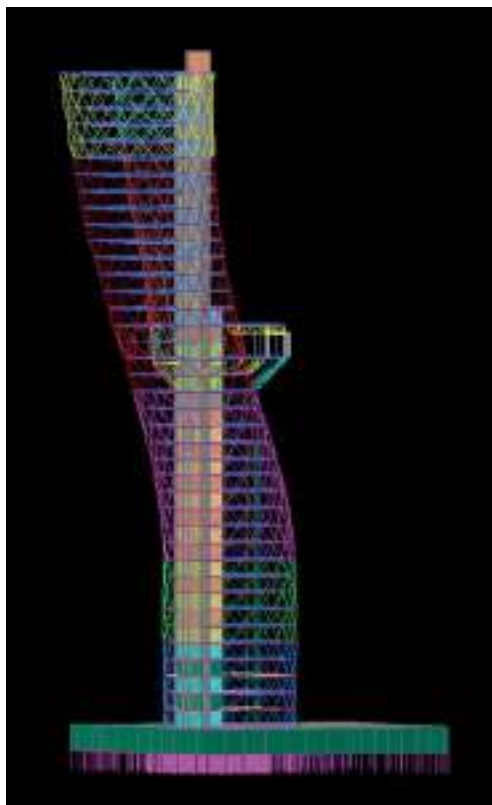


سطح بسیار بالایی در این پروژه انجام شد. فایل های استخراج شده از نرم افزار تکلا ساخت سریع تر و دقیق تر را تسهیل کرد. برای ساخت اعضای دیاگرید، قطعاتی موقت با کمک مدل کامپیوتری و مختصاتی مشخصی به هم وصل می شوند. سر هم کردن قطعات منحصر به فرد در نقاط اتصال از طریق مختصات سه بعدی گرفته شده از مدل انجام پذیر شد. محل مرکز ثقل و وزن هر بخش سازه از گزارش های تولید شده توسط نرم افزار گرفته شده است.



یک نمای نزدیک تر از مدل نرم افزار تکلا که برای طراحی تمام سازه های فلزی از آن استفاده شده است. این نما از آتریوم بالایی بنا گرفته شد و خمیدگی طبقه ی هتل را در مرکز نشان می دهد. مدل های دیجیتالی از رنگ های مختلفی برای کمک به خوانایی مدل و در مواردی برای تفکیک ترتیب بخش های ساختمان استفاده می کند.

از سیستم مدل سازی فولادی تکلا به طور گسترده ای در این سیستم استفاده شد. این تصویری از کل مدلی است که موقعیت هسته را با در نظر گرفتن شبکه های مورب نشان می دهد.





این رندر دیجیتال، موقعیت هسته ی بتنی را در ارتباط با خطوط منحنی شکل بیرونی دیاگرید را نشان می دهد. دکل های فولادی در میانه های ارتفاع به مقابله با وزن گریز از مرکز هتل معلق در طبقه ی بالا کمک می کند.



این جزئیات یکی از گره ها (اتصال سازه به فونداسیون) را نشان می دهند. اتصال گره به دیالگید با اعضای موقت هستند بعد از تایید اتصال دائمی با پیچ و مهره (بولت ها) اینها باید حذف شوند. و همچنین علامت های جوش، اگر ساختار باید در معرض نمایش قرار گیرد باید خطوط جوش صاف شود و در نهایت با مواد ضد انفجار برای حفاظت در مقابل آتش سوزی پوشش داده شده است، که می تواند به رفع نواقص ظاهری جوش کمک کند.



پوشش فلزی سفارشی برای مخفی کردن اتصال پیچ بین حلقه تنش افقی و گره ها استفاده می شود. پوشش پر شده و سمباده می خورد و در پایان نما بیا گره ها پوشش داده می شود. تمام اعضای دیاگرید بار سازه ای یکسان را تحمل نمی کنند. همان طور که در تصویر دیده می شود برخی از اعضا بار بیشتری را به کمک تقویت مصالح و سازه متحمل می شوند. استفاده از صفحات در اتصال اعضای متصل به گره کمک بسیار زیادی به حل هندسه این اتصالات به عنوان یک جزییات جذاب، می کند.

عناصر سازه ای دیاگرید توسط شرکت Eversendai در شارجه امارات با فولاد اروپایی ساخته شد. برش اعضای دیاگرید براساس مدل سازی اولیه در مرحله ابتدایی اجرایی بنا، موجب کاهش اتلاف مواد اولیه شد. برای حفظ مشخصات سطح منحنی مورد نیاز، هر سطح پانل با کمی انحراف نسبت به سطوح پانل مجاور قرار می گیرد. اعضای خارجی دیاگرید مقاطعی توخالی به مشخصات ۶۰۰ میلی متر  $\times$  ۶۰۰ میلی متر هستند. ضخامت دیاگرید از ۸۰ میلی متر / ۳،۲ اینچ در پایه های برج شروع و در بالای آن که بارگذاری کمتر شده به ۴۰ میلی متر / ۱،۶ اینچ می رسد. لوله های استاندارد HSS به سمت بالا استفاده می شود که در آن بارهای سبک تر و مقاطع مورد نیاز آن از مصالح استاندارد هست که از لحاظ اقتصادی به نفع پروژه است.



قاب های دیاگرید لابی مجموعه در سطح زمین با ارتفاع دو برابر طبقات ، به وضوح بیان کننده تمایز در شکل حلقه های افقی و تمایز در میزان تنش وارده بر گره ها هستند، که از قاب های سه گوش های قطری ( لوزی شکل) استفاده کرده است.



بیشترین شدت خم شدن سازه ی دیاگرید در طبقه ۱۱۸م و هم تراز با رستوران واقع شده است. اعضای مورب دیاگرید به طور مشخص تقویت شده است. سیستم پوششی نما قبلا نصب شده و کار برای تمیز کردن اتصالات جوش داده شده ادامه داشت.



لبه‌های عریض استفاده شده در داخل تیرها (اتصالات فلنچ)، دیاگرید را به هسته مرکزی متصل می‌کند. این سیستم با استفاده از اسپری ضد حریق در برابر آتش محافظت خواهد شد. تیرهای سفارشی ساخته شده برای اتصال پشت دیاگرید به هسته بتنی استفاده می‌شود. در انتهای تیر از اتصال نقطه‌ای استفاده شده است.

اعضای دیاگرید آتریوم داخلی از لوله‌های تو خالی روکش دار و به صورت عناصر بزرگ X شکل ساخته شده است؛ به همراه اتصالات افقی اکسپوز در نما در محوطه کارگاه به هم متصل شده اند. این مورد به سطح بالایی از دقت در انتقال اطلاعات از مدل دیجیتال به فولاد ساخته شده نیاز دارد. این سازه که به عنوان دیاگرید داخلی و خارجی شکل گرفته شده و به وسیله تیرهای فولادی کف متصل شده، نیاز به مقاومت بسیاری دارد زیرا به وسیله فضای خالی آتریوم از هسته جدا شده است.

آتریوم هتل از زبان سازه‌ای متفاوتی برای دیاگرید استفاده می‌کند. متریال HSS مدور از صفحات فولادی صلیبی شکل برای انتقال هندسه استفاده می‌کنند. این جزئیات بهره و همچنین سبب برطرف شدن مشکل چهار لوله در زوایای مختلف به یک اتصال می‌شود. مناطق خاکستری که در لوله‌ها دیده می‌شود، به اتصال عناصر X شکل دیاگرید اشاره دارد. استفاده از سیستم عناصر X شکل در مقایسه با نقطه‌ای و دیاگریدی، جوش بر روی سایت را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد



از خرپاهای بزرگ فولادی برای پشتیبانی از تراز استخر در طبقه ۱۱۹م که در خدمت دستگاه سایه زنی "Splash" در سمت ورودی برج است استفاده می‌شود.

طراحی هسته‌ی مرکزی، نیازمند خلاقیت به منظور تطبیق دقیق بارگذاری خارج از مرکز، نیازمند خلاقیت است. در طول ساخت و ساز، هسته‌ی آن خم نشده بود، به این معنی که آن را حدود ۳۵ سانتی متر عمودی ریخته و زمانی که طبقات در طرف مقابل شکل تنظیم شدند، بار اضافی مستقیم به هسته برسد، همچنین هسته در کشش با کابل‌های عمودی در یک طرف برای مقابله با خم شدگی طرف دیگر قرار دارد. کابل‌ها در بخش‌های عمودی که در هر هفت طبقه روی هم دیگر هم پوشانی داشتند، نصب شده‌اند.

در یک پروژه ی بسیار پیچیده، توالی ساخت و ساز به دقت برگزار می شود تا سرعتی معقول به پیشرفت ساخت و ساز بدهد. در اینجا نصب روکش فلزی در بعضی سطوح پشت جوشکاری نهایی دیاگرید انجام می شود، این در حالی است که چند طبقه در حال بتن ریزی هسته مرکزی است.



هر گره برای ساختمان منحصر به فرد بوده است؛ به این منظور که با هندسه ی همیشه در حال تغییر تطبیق پیدا کند. اینجا یک گره بعد از بلند شدن توسط جرثقیل هنوز به آن متصل است. چنین ارتباطات جوش داده ی گسترده ای، نیازمند آن است برای هر اتصال، با ساخت و تجهیز نما به داربست وضعیت امنی را برای کار در ارتفاع فراهم آورد.



کپیتال گیت موفق به گسترش محدودیت های سازه ی دیاگرید توسط هندسه ی غیرمعمول خود شد. این پروژه بدون ابزار طراحی دیجیتال پیشرفته و یک تیم بسیار ماهر امکان پذیر نبود. همچنین طیف وسیعی از استراتژی های پایدار را کشف کرد.

با تشکر فراوان از جک اسکوفیلد از اعضای ADNEC بابت همکاری در این پروژه.



## مرکز دارایی بین‌المللی گوانگجو، گوانگجو، چین

این برج که در منطقه تجاری مرکزی گوانگجو در سال ۲۰۱۰ کامل شد، ۱۰۳ طبقه دارد و به ارتفاع ۴۳۷/۵ متر با پلانی به شکل مثلث منحنی است. از سال ۲۰۱۳، این بنا بلندترین ساختمانی است که سازه‌ی دیاگراید را شامل می‌شود. ۶۹ طبقه‌ی پایینی فضای اداری انعطاف پذیر و ۳۴ طبقه‌ی بالایی هتل چهار فصلی را در بر می‌گیرد. پذیرش هتل در طبقه‌ی ۱۷۰م به آتریوم مرکزی باز می‌شود.

معمارها:

WILKINSON EYRE  
ARCHITECTS

معمارهای وابسته:

ARCHITECTURE DESIGN  
INSTITUTE OF SOUTH CHINA  
UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY

ARUP, مهندسين سازه:  
ARCHITECTURE DESIGN  
INSTITUTE OF SOUTH CHINA  
UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY

YUEXIU GROUP مدیر پروژه:  
(FOR FOUR SEASON HOTEL)

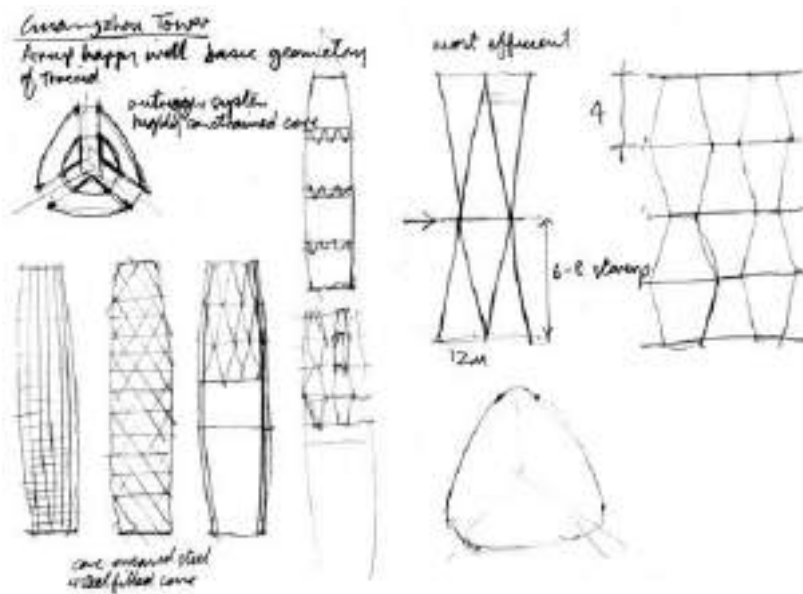
پیمانکار اصلی:

CHINA STATE  
CONSTRUCTION,  
GUANGZHOU MUNICIPAL  
CONSTRUCTION GROUP,  
JOINT VENTURE



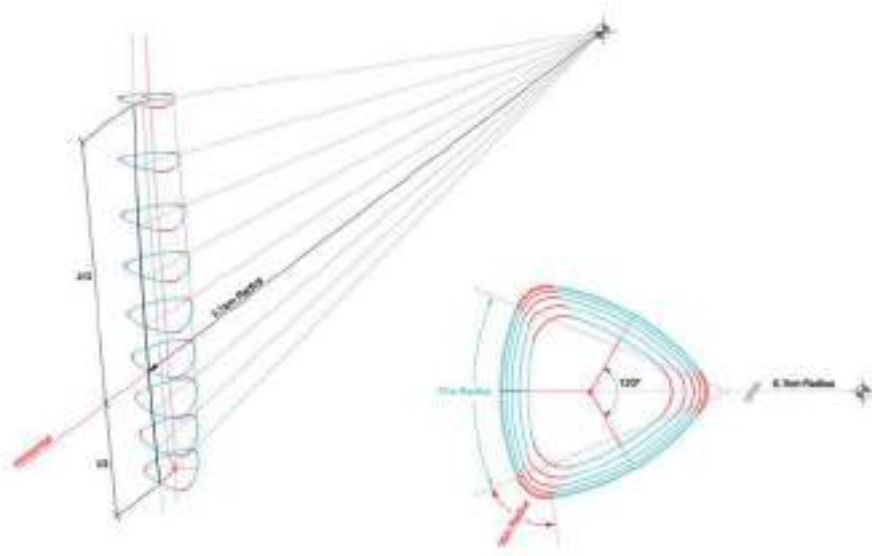
طراحی مرکز مالی بین‌المللی گوانگجو مسئله‌ی زیبایی در عین سادگی را مد نظر داشت، در صورتی که بیانگر عملکرد، ساختار و اجزای سازنده ساختمانی به طور واضحی باشد (کریس ویلسون).

طرح این بنا، یک تلاش مشترک بین Wilkinson Eyre Architects و آروپ برای خلق سازه ای سبک بود که از سطح زمین شروع می‌شد. توسعه ی این ابرساختمان در اقلیم طوفانی ساحل جنوبی چین، چالش‌های بزرگی را برای مهندسان طراحی آروپ ایجاد کرد. تجزیه و تحلیل کامپیوتری برای یافتن بهینه‌ترین هندسه‌ی قطرهای دیاگرید و و طرح طبقه در رابطه با نمای منحنی و مقطع آن انجام می‌شود. طراحان به دنبال ایجاد یک تضاد بصری بین سازه ی نمایان دیاگرید و نمای تمام شیشه‌ی با شکل منحنی بودند.



اسکیس‌های تکاملی، فرآیند طراحی را که شامل شکل برج و انتخاب مدولار سیستم سازه‌ی دیاگرید می‌شود را توصیف می‌کنند.

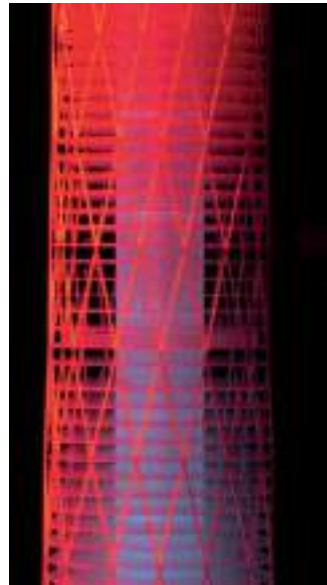
در مقطع، دیوارهای خارجی از طبقه ی همکف تا حداکثر در حدود یک سوم ارتفاع کشیده می‌شوند، سپس در بالا به آرامی مخروطی شکل می‌شوند. با توجه به گفته ی Wilkinson، "شکل حاصل به طرز فریبنده‌ای ساده به نظر می‌آید، اما بر اساس هندسه ی حلقوی پیچیده‌ای قرار دارد؛ با هر یک از سه نماهایی که بر شعاع ۵,۱ کیلومتر عمودی و شعاع ۷۱ متر پلانی و ۱۰ متر در گوشه ها قرار دارد." این اصلاحات طراحی، با استفاده از ساخت سریع نمونه، چه مدل فیزیکی و چه مدل کامپیوتری انجام شد.



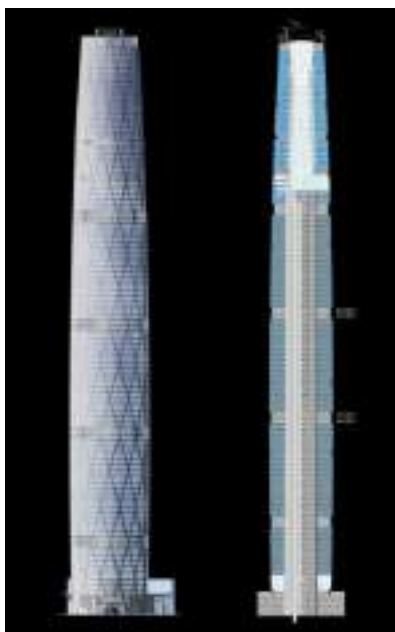
این برج در منطقه‌ی بادهای موسمی واقع شده است، بنابراین مسئله‌ی باد در بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها مؤثر است. پلان که به صورت یک شکل مارپیچی مثلثی است، برای مقابله‌ی مؤثر با نیروهای وزش باد خارجی طراحی شده است. زیبایی این سطح منحنی نتیجه‌ی استفاده از شعاع بزرگ است.

سادگی زیبای سیستم قابی دیاگراید در مدل دیجیتالی به وضوح دیده می‌شود. طبقات به جای تکیه‌ی تنها بر روی سیستم حلقه‌ای که در درجه‌ی اول گره‌ها را به هم متصل می‌کنند، استحکام لازم قطرهای را در طول خود فراهم می‌کنند. این به عنوان نتیجه‌ی اندازه‌ی بزرگ مدول به دست می‌آید.

ارتفاع، هندسه‌ی ظریف منحنی را به خوبی مشاهده می‌کنید. به این صورت که قسمت‌های میانی برج متورم بوده و قسمت‌های بالایی آن باریک‌تر است. تغییرات قابل توجهی را در طبقات بالایی برج به نمایش گذاشته می‌شود که به وسیله‌ی جا به جایی هسته‌ی بتنی فراهم می‌آورد.



شبکه های مورب ابتدایی، نیاز به فولاد را به میزان چشم گیری کاهش می دهد، و بنا به گفته ی مهندسین برای طراحی لرزه ای نیز بسیار مناسب است. دیاگرید مثل یک لوله ی خارجی که کاملاً محکم است رفتار می کند؛ به طوری که اکثر نیروها به عنوان نیروی محوری منتقل می شود، که باعث می شود آن را از قاب لحظه ای کارآمدتر کند. بهینه سازی هندسه برای بهره وری و ظاهر بصری مناسب، به شکل های بزرگ لوزی مانند به ارتفاع ۵۴ متر ختم می شود، که بین ۱۲ طبقه ی اداری و ۱۶ طبقه ی هتل را پوشش می دهد (ارتفاع طبقه به طبقه در هتل، کمتر از ساختمان اداری است). ابعاد این مدول و ارتفاع طبقه به طبقه طوری طراحی شده است تا ارتفاع مدول با ارتفاع برج هم گام و سازگار باشد.



آتریوم مثلثی شکل در طبقات هتل به سمت نورگیر سقفی حرکت می‌کند. این فضای روشن مرکزی مستقیماً به توانایی ساختاری هسته در طبقه ۷۰ام یا همان لابی هتل بستگی دارد و این عمل بار را به سمت گوشه های پلان مثلثی حرکت می‌دهد.

لوله‌های فولادی پر شده از بتن در طبقه همکف به اندازه‌ای در نظر گرفته شده‌اند تا در برابر بار تجمعی برج ۱۰۳ طبقه‌ای مقاومت کنند. آنها به سادگی طراحی داخلی لابی را تکمیل کردند.



دیباگرید، ترکیب شده با هسته‌ی بتن مسلح مرکزی، مقاومت در برابر نیروی جاذبه و نیروهای جانبی را فراهم می‌کند. به طوری که به کمک فنرهای تقویتی برای کاهش حرکت افقی نیازی نیست. هسته‌ی مرکزی که در اختیار ادارات است، به صورت "climbform" ساخته شد. شکل آن توسط پیکربندی آسانسوری و برای ارائه‌ی دسترسی انعطاف پذیر به چند فضای اداری تعیین شد.

این انعطاف پذیری ایجاد آتریوم مرکزی در تراز هتل، بدون نیاز به هیچ سازه ی نگهدارنده بزرگ اضافی را تسهیل می کردند.



آتریوم در لابی هتل در طبقه ی ۷۰م برای ایجاد زبان مشترک طراحی توسط سازه ی دیگری از دیاگرید پشتیبانی می شود. اعضای دیاگرید به میزان قابل توجهی در ابعاد کاهش یافته است. دیاگرید در پیش زمینه، از لبه های داخلی طبقات در بالای آتریوم پشتیبانی می کند.

### برج دوحه، دوحه، قطر

برج ۲۳۸ متری دوحه، حجمی استوانه ای به قطر ۴۵ متر است. این برج دارای ۴۶ طبقه، به یک گنبد در بالا و یک برج نورافکن در ارتفاع ۲۳۱ متری ختم شده است. سازه ی لوله ی فولادی پر شده با بتن، یک شبکه ی لوزی شکل که در امتداد سطح عمودی استوانه خم شده است را دنبال می کند. دیاگرید خارجی در داخل شکل استوانه ای نیز آفست شده است و از دیوار کاذب عقب تر قرار دارد، در شمال نزدیک تر و در جنوب با فاصله ی دور تر. اعضای دیاگرید در قطرشان تفاوت دارند؛ از ۱٫۶ متر در طبقه ی ۱۴م تا ۸۰۰ میلی متر در طبقه ی ۲۷م، که نشان دهنده ی تفاوت در بارگذاری است.

معمار

ATELIERST JEAN  
NOUVEL

مهندسی سازه

TERREL GROUP  
CHINA DESIGN  
CONSTRUCTION  
INTERNATIONAL

پیمانکار اصلی

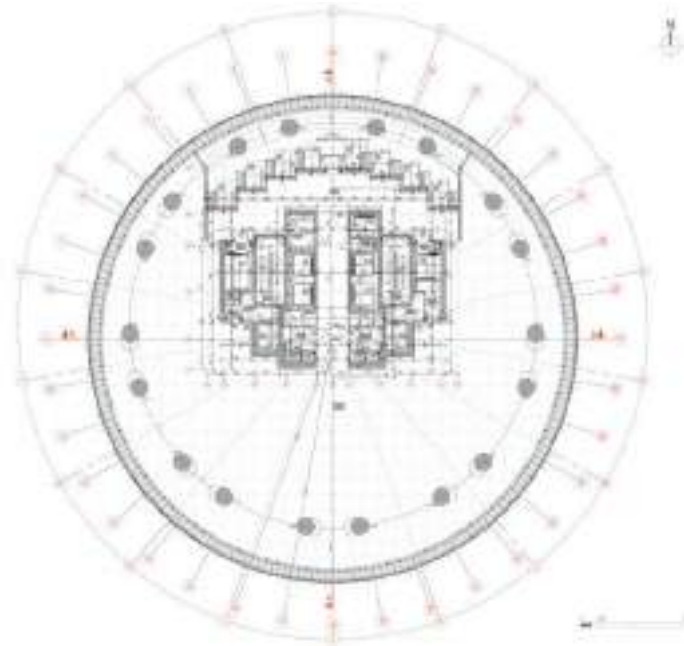
CHINA STATE  
CONSTRUCTION  
ENGINEERING  
COOPERATION

نمای جنوبی برج دوحه پوسته  
خارجی نمای دو لایه را با  
جزئیات زیاد نشان می دهد.  
مشربیه در این نما متراکم تر  
است تا نفوذ نور خورشید را  
محدود کند.

۲۰۱۲ تمام پروژه



نما از یک سیستم دو پوسته استفاده می کند. نصب سیستم دیاگرید در این بنا کاملاً خاص است، به این صورت که سیستم سایه اندازی مشربیه در نمای دو پوسته، دیدن سیستم دیاگرید در طول روز در نما را مبهم می کند، اما زمانی که نور از سیستم روشنایی که در طبقات کار شده از لابه لای حفره های نمای دو پوسته خارج شود، دیدن آن را در طول ساعات شب ممکن می کند. تصاویر زیر توسط Ateliers Jean Nouvel، نگاه دقیق تری به ویژگی شاخص این برج می اندازد.



پلان طبقه چهارده آفست هسته برای خلق فضاهای قابل توجه تلفیقی بیشتری را نشان می دهد. قطر ۱,۶ متری اعضای دیاگرید به ۸۰۰ میلی متر در طبقه ی بیست و هفت کاهش می یابد. همچنین دیاگرید در نمای جنوبی برج، غیر عادی و به طور گسترده ای از نما جدا تر است، تا به عناصر دیاگرید اجازه دهد که در داخل به طور شکل پذیرتر عمل کنند.

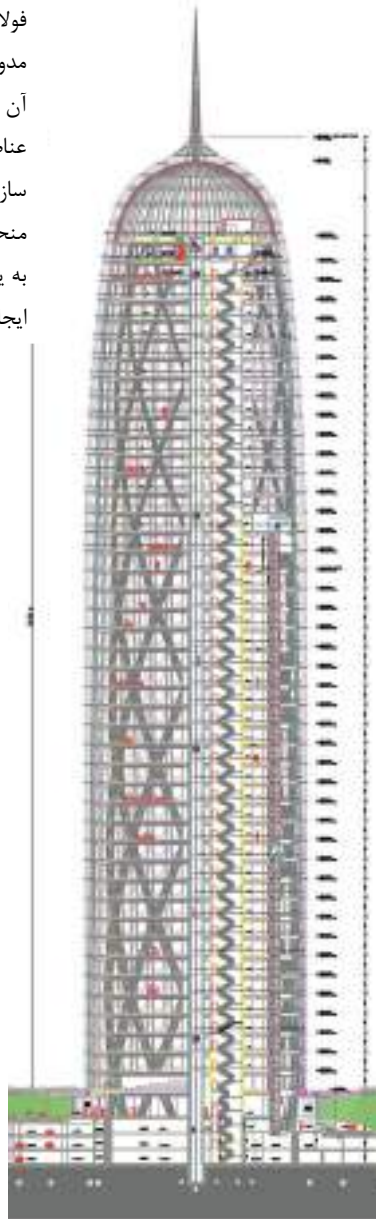


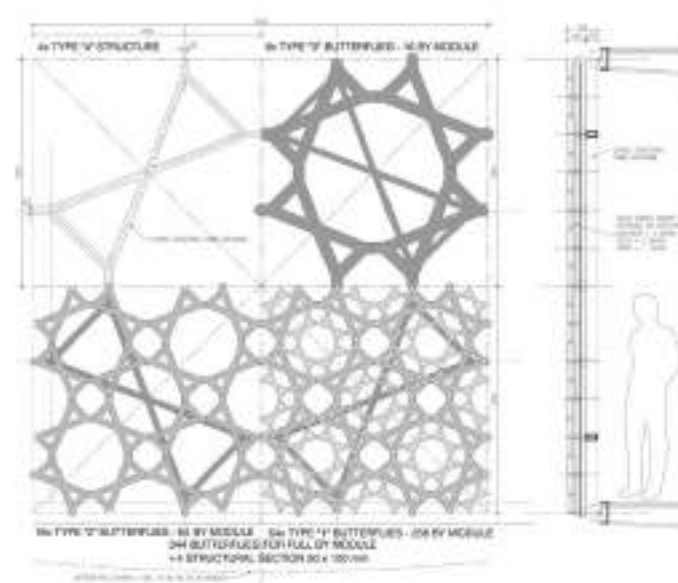
سیستم پشتیبانی بزرگ دیاگرید در تضاد با بافت خوب نور آفتاب که از لایه لای سیستم سایه اندازی مشربیه به داخل می آید، نمایان است. استحکام قطر سیستم دیاگرید به هسته اجازه ی آفست شدن می دهد، که باعث به وجود آمدن سطح بزرگی از طبقه می شود. بنابراین استنتاج می شود که دیاگرید حداکثر بارگذاری جانبی برای دیاگرید در نظر گرفته شده باشد.



جزئیات ایزومتریک از صفحه‌ی مشربیه، متشکل از چند لایه آلومینیوم است. علاوه بر این، لایه‌ها باعث ایجاد صفحه‌ی متراکم‌تر و افزایش سایه اندازی می‌شوند.

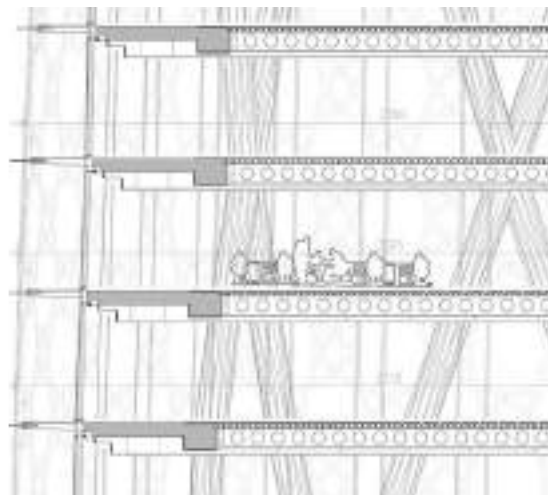
برش شمالی-جنوبی سیستم دیاگرید لوله‌ی فولادی پر شده با بتن را نمایش می‌دهد. از یک مدول هشت طبقه‌ای استفاده شده که زاویه‌ی آن به تدریج به سمت بالای برج می‌رود. اگرچه عناصر دیاگرید راست هستند، سیستم نما که به سازه‌ی دیاگرید متصل شده است، به برج ظاهر منحنی داده است. سازه‌ی بنا از سازه‌ی دیاگرید به یک ساختار شبکه‌ای سبکتر AESS برای ایجاد گنبد سقفی در بالای برج تغییر می‌کند.





جزئیات سیستم صفحه‌ی پوششی (چپ) در نمای بیرونی برج استفاده شده است. یک نمای مقطعی (راست)، سیستم پشتیبانی و مقیاس را نشان می دهد.

نمایی مقطعی از ناحیه طبقات اداری رابطه‌ی صفحه‌ی نمای خارجی را مشاهده می کنید. عناصر دیاگرید، در دور محیط و در فواصل مختلف برای عملکرد جهت‌گیری و همچنین در طول ارتفاع برج عقب‌تر از نما نصب شده است. فضای کافی بین صفحه‌ی مشربیه و دیوار کاذب برای تمیز کردن قرار داده شده است. یک سیستم شبکه فولادی در هر طبقه برای این دسترسی فراهم شد و همچنین سیستم روشنایی را برای به نمایش در آمدن برج در شب، در خود جای داده است.



## ژانگو زون، پکن، چین

طرح برنده مسابقه توسط معماران TFP برای برج Z15 یا ژانگو زون در شهر پکن، از یک دیاگراید محیطی را برای خلق شکل غیرمتعارف این بنا بهره برده است. ۱۰۸ طبقه پلان شده است، این برج ۵۲۸ متری/۱۷۳۲ فوتی پس از اتمام ساخت، بلندترین برج پکن خواهد شد. شکل شبیه ساعت شنی برج از شکل جام شراب زون در چین باستان الهام گرفته شده است. با در دست گرفتن رهبری پروژه توسط KPF و ارائه ی یک طرح اصلاح شده که از سیستم پشتیبانی دیاگراید محیطی استفاده نمی کرد، ساخت و ساز پروژه در سال ۲۰۱۳ آغاز شد. مهندسی حریق به ویژه با توجه به بار ساکن پیش بینی شده در سطح بالای ساختمان یک موضوع اساسی به شمار می رفت.

این طرح KPF که برای اجرا انتخاب شد بر اساس یک سیستم دوگانه ی مقاومت بار جانبی است که از یک ابر قاب کاملاً محکم و یک هسته ی بتنی تشکیل شده است. مصالح کامپوزیت فولاد-بتن، برای به حداقل رساندن سائز اعضای سازه ای و افزایش سطح قابل استفاده ی طبقه به طور عمده استفاده می شود. این بنا برای ثبت رکورد جدید ارتفاع در منطقه زلزله خیز طراحی شده است.

معماران مسابقه

TFP ARCHITECTS

معماران پروژه

KOHN PEDERSON FOX ASSOCIATES

مهندسی سازه و مهندسی آتش

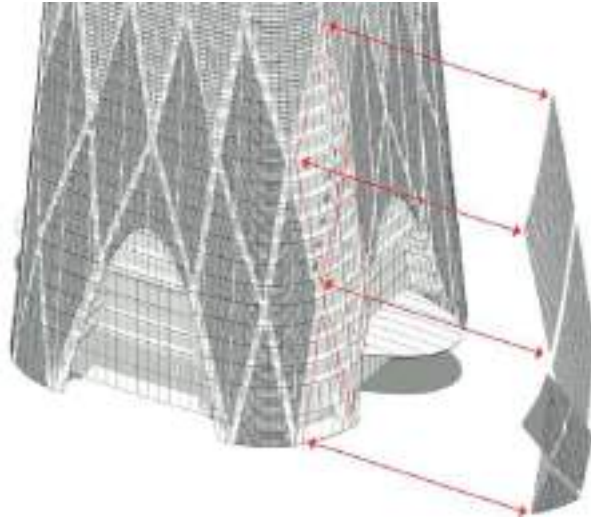
ARUP

توسعه ی پروژه

WHARF HOLDINGS CITIC PACIFIC GROUP

یک رندر هوایی از طرح برنده مسابقه برای برج Z12، که برج را به عنوان یک نقطه ی کانونی برای توسعه های قابل توجه جدید در منطقه چائویانگ در پکن نشان می دهد.





نمایی از طرح پای برج، مفهوم طرح مدولار بودن دیاگرید در ترکیب با سیستم سایه اندازی که الگوی دیاگرید را برجسته کرده است.

پیشنهادی برای فضای داخلی برج، که پتانسیل سازه ی دیاگرید در یکی از مناطق لابی را مشاهده می کنید.



### برج سوپر لوته ، سوول، کره جنوبی

|   |   |
|---|---|
| <p>معماران</p> <p>SAM SKIDMORE. OWINGS &amp; MERRILL</p> <p>مهندسان سازه</p> <p>SAM SKIDMORE. OWINGS &amp; MERRILL</p> <p>تیم طراحی :</p> <p>WILLIAM BAKER. CHARLES BESJAK.<br/>BRIANMCEL HATTEN. PREETAM<br/>BISWAS. BONGHEANKIM. ARK<br/>ADIUSZ MAZUREK.</p> <p>مهندسی باد:</p> <p>RWDI</p> | <p>اگر چه این پیشنهاد برای برج سوپر لوته به ارتفاع ۵۵۵ متر طراحی شده است و ساخته شده است ولی نشان دهنده یک گام ضروری برای توسعه جزئیات سازه با سیستم دیاگرید است. این شکل شبیه به شکل های دیگر طرح داده شده برای این ساختمان نبوده است و یک تیم تحقیقاتی برروی پتانسیل فنی و مهندسی سیستم دیاگرید مطالعات عمیقی را انجام داده اند ، این ساختمان قابلیت این را دارد تا به عنوان مرتفع ترین برج دیاگریدی جهان شناخته شود. در بین ۱۱۲ طرح برای این برج، این طرح منحصر به فرد بوده است، که مربعی به ابعاد ۷۰ متر تشکیل دهنده فوندانسیون است ک به دایره ای به قطر ۳۹ متر در بالای آن می رسد.</p> |
|---|---|

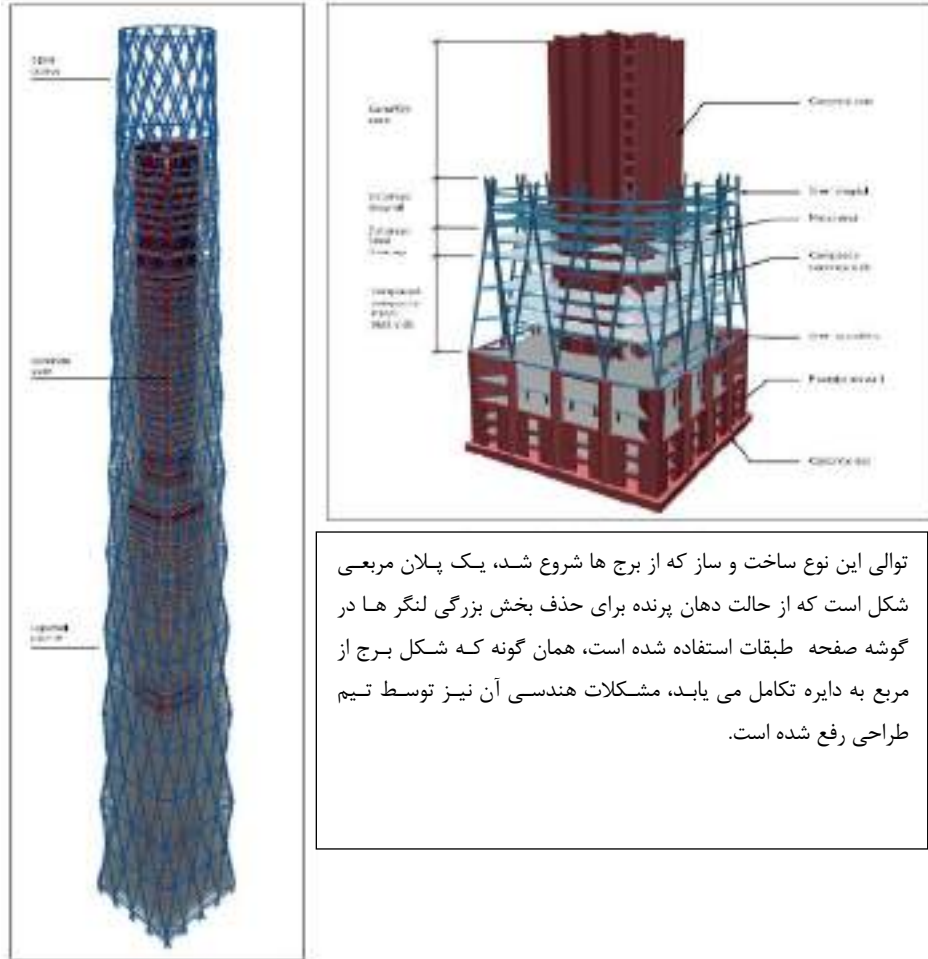
شکل هندسی آن از یک پایه مربعی تا یک دایره ، چالش فنی قابل توجهی را برای ساختار سازه ساختمان مطرح می کند، اما تیم مهندسی نیز مزایای قابل توجهی از این طرح را ارائه می کند. شکل ساختمان به گونه ای طراحی شده است که بتواند فشار ناشی از باد را به بدنه بنا کاهش داده است. تغییر در هندسه بنا در طول ارتفاع برج باعث شیب تند در گوشه ها شده است. این که تیم طراحی در رابطه با چگونگی طراحی برج صادقانه صحبت می کردند، بسیار مهم بود. شکل گرد صفحات بالایی برج باعث شده مشکل طراحی فشار باد ، با حذف شرایط گرداب گونه در گوشه ها، پاسخ داده شود. پاسخ دادن

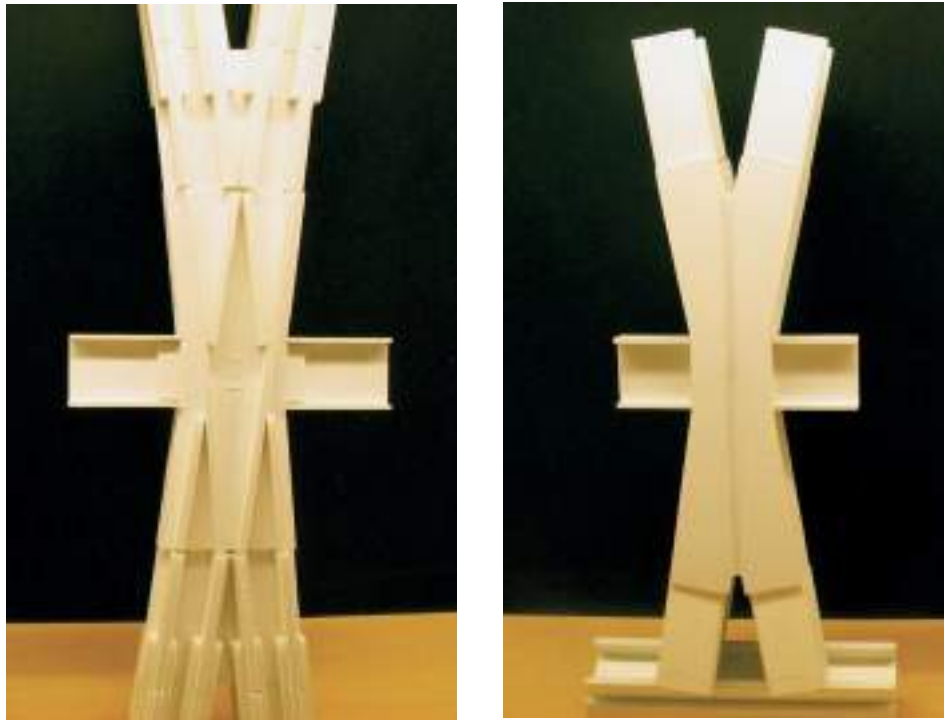
به مشکل به وجود آمدن گرداب باد در طراحی با یک شبکه باز دیاگرید در بالای برج همراه با بوده است.



این مدل مقطعی را مشاهده می کنید که شبکه دیاگرید بالای برج برای کاهش حالت انفجاری گرداب بادی در بالای برج طراحی شده است. حلقه های تنش افقی از نوع خاصی انتخاب شده اند که دارای مقطع متفاوت از سایر اجزا دیاگرید هستند. مزیت یک برج دیاگریدی کاهش وابستگی به هسته بتنی در بالای برج برای قرار گیری در مقابل باربری است، که اجازه ایجاد یک فضای معماری با کیفیت بالا را می دهد.

یک سیستم دوگانه شامل یک دیاگرید فولادی بیرونی و یک هسته بتنی مسلح داخلی، برای مقاومت جانبی در برابر اثرات باد و لرزه ای طراحی شده است. هسته بتن مسلح وزن ساختمان را افزایش می دهد تا در مقابل باد مقاومت کند. مقایسه ها بین دیاگرید و قاب خمشی به عنوان یک راه حل فوری و معمولی مشخص می کند که کل مقدار فولاد ساختاری می تواند تقریباً ۲۷ درصد کاهش یابد. یکی از مزایای دیاگرید محدود کردن تعداد اتصالات فیزیکی قاب های خمشی از حدود ۹۶۰۰ تا ۴۳۲ است، که باعث صرفه جویی بیشتر در حین ساخت و ساز می شود.





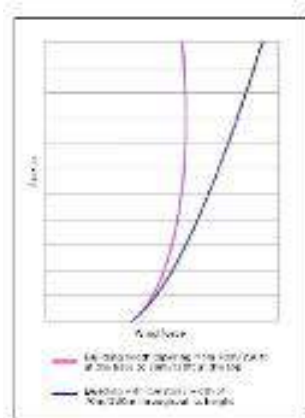
پیکربندی گره ها با مدل های چوبی تست شده اند. پیکربندی با اتصالات مورب (سمت چپ) در یک خط استفاده نشده است. پیکربندی انتخاب شده است که با عضوهای مورب با چرخش ۹۰ درجه اجازه طراحی فشرده تر را به ما داده است.

این پروژه استفاده از مدل سازی دیجیتال را به عنوان پاسخی به تغییرات هندسی در سراسر ارتفاع برج توسعه داده است. این تیم ابزارهای خاصی را برای مدیریت اتصالات قسمت های مختلف شبکه ی مورب به وسیله ی ساختن یک مدل دقیق سه بعدی توسعه داده اند. این تیم از میکرو استیشن و نرم افزار ((بنتلی استراکچر)) برای تهیه ی رابط اصلی نرم افزار جهت توصیف و مدیریت اتصالات استفاده کردند. این مدل سه بعدی، ساخت نقشه های دو بعدی و سه بعدی و شرایط دقیق اطلاعات دیجیتالی را برای تأمین کنندگان و تولید کنندگان مقاطع فولادی پشتیبانی می کند.

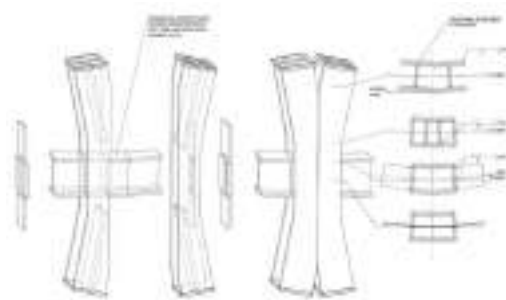
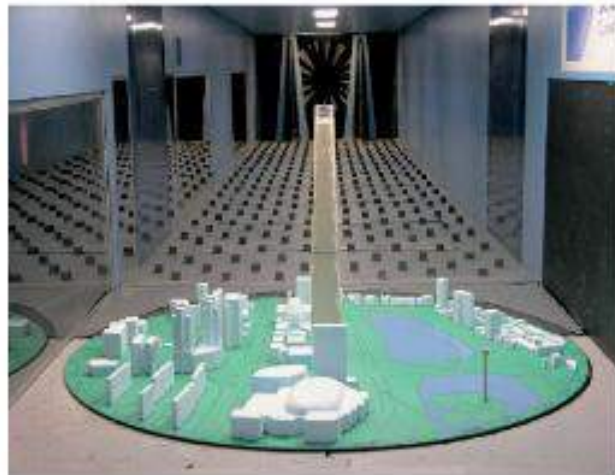


آزمایش تونل باد، تصمیم گیری برای اریب کردن برج را تأیید کرد؛ زیرا اریب کردن، تأثیر بار باد را در ارتفاع برج کاهش داده است.

طراحی نهایی برج، که با آزمایش تونل باد در RWDI در گوتلف کانادا آزمون شده است.

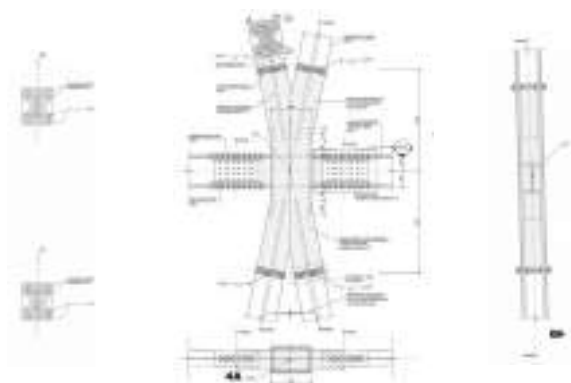


Wind tunnel testing validated the decision to taper the tower as the evidence the effect of the wind load over the height of the tower.

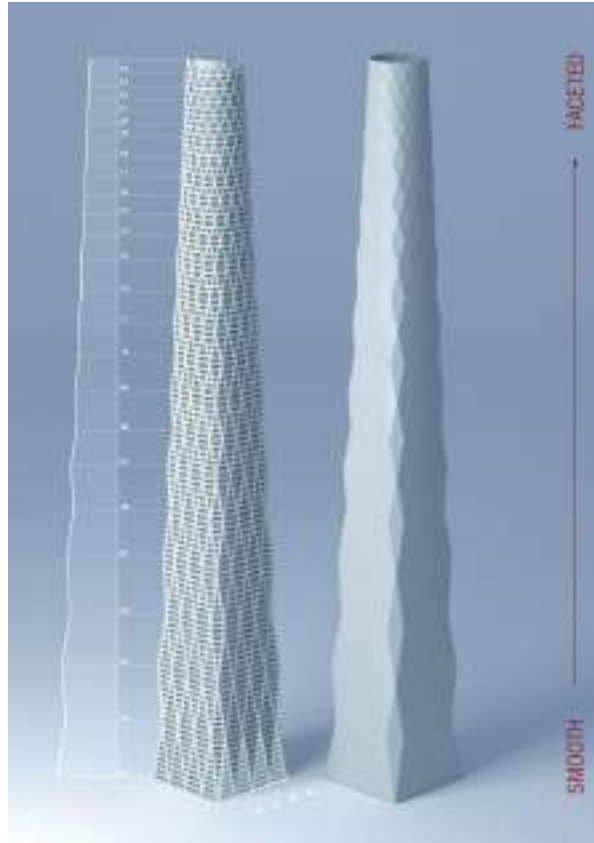


نمای گسترده از یک نوع اتصال معمولی، که نحوه‌ی استفاده از صفحاتی را که با جوش متصل می شوند، مشاهده می شود، این جزئیات یک استاندارد سازی تکامل یافته از نوع اتصال گره که از اعضای به شکل H استفاده می کند را بیان می کند، چه سفارشی ساخته شده باشند و چه از طریق استفاده از اشکال استاندارد گرم نورد شوند.

در طراحی سیستم اتصالات، از مدل‌های فیزیکی و دیجیتالی استفاده شده است. در هر سطح اولیه ۲ یا ۳ نقطه ی خاص وجود دارد، بسته به اینکه اتصالات در کنار هم وجود داشته باشند یا جدا از هم یا در گوشه‌های ساختمان قرار داشته باشند. این به ۶۸ طراحی منحصر به فرد اتصالات برای شرایطی که ۶ اتصال مهم در کنار هم قرار می‌گیرند، احتیاج داشت. هر اتصال خاص نیازمند دو تغییر زاویه و چرخش برای هر عضو است. این مهم به تمام وجوه هندسی برج این امکان را می‌دهد که بر روی فقط، ۴۳۲ اتصال تمام زوایا اعمال و تغییرات را به منظور ساده سازی طراحی و ساخت عملی کند. سازه هر اتصال به علت نصب با جرثقیل به ۳۵ تن محدود می‌شود. این اتصالات از صفحات مخصوص همراه با اتصالات پیچی برای بهبود سازگاری اجرا می‌شوند. با توجه در دسترس بودن محصولات محلی در کره ی جنوبی می‌توان از حداکثر ضخامت ۸۰ میلی متر/ ۳،۱۵ اینچ که برای هر صفحه استفاده کرد.



این تصویر، تبدیل هندسه‌های کاربردی را که در بالای این صفحه ارائه شده است، به طراحی گره بسیار منطقی تبدیل می‌کند که با در نظر گرفتن سازگاری است. گره که با رنگ خاکستری سایه خورده است با صفحات آسیاب شده در انتهای فوقانی و پایین آن نصب شده است که به پیچ و مهره‌ها اجازه می‌دهد تا به اعضای مورب متصل شوند. اتصالات پیوندی به تیرهای افقی، هندسه‌ای متفاوت را می‌پذیرد که از اتصال نوع خمشی سایت پیچ شده استفاده می‌کند. اگر چه عناصر ساختاری مثل لبه ی گسترده‌ای به نظر می‌رسند، اعضای آن به دلیل هندسه‌های خاص و ضخامت صفحات مورد نیاز از صفحه ی سفارشی ساخته می‌شوند. این سیستم به دلیل مقررات آتش سوزی در ارتباط با ارتفاع شدید برج، برای قرار گرفتن در معرض معماری طراحی نشده است. پوشش های پف به تنهایی برای حفاظت کافی نیست.

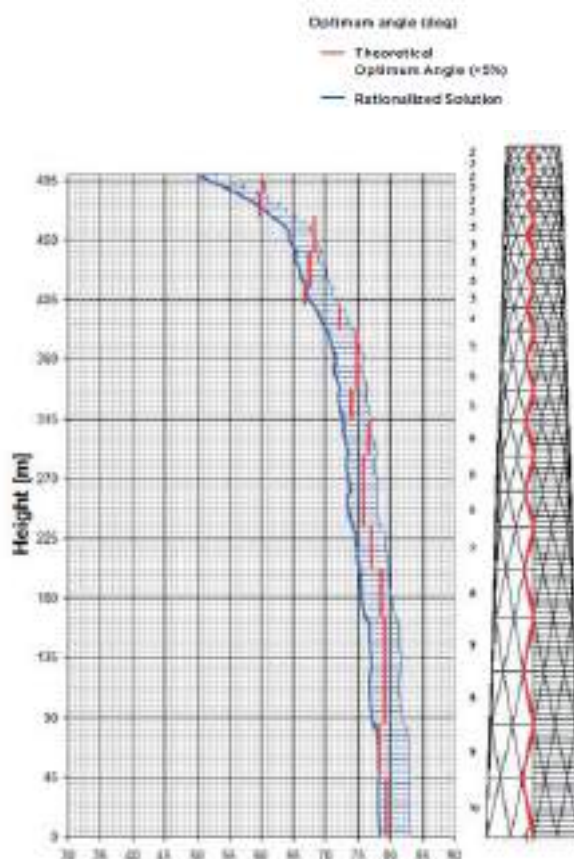


هندسه‌ی برج سوپر لوته در طبقات مختلف متفاوت است. طول یک عضو مورب از پایین به بالای برج از ۱۰ طبقه به ۲ طبقه تغییر می‌کند. این باعث می‌شود که در پایین برج که بیشترین مقاومت نسبت به ممان را داشته باشند زاویه‌ی آنها حدود ۷۸ درجه باشد و در بالای برج که بیشترین نیروهای جانبی وجود دارند زاویه تا ۶۰ درجه کم شود.

هریک از اجزای سیستم ساختمان با بالا بردن بهره‌وری مواد و نیز توجیه عقلانی هندسه‌ی ساختمان که جهت افزایش سازگاری هستند، بهینه‌سازی شده است. این سازه‌ی مشبک شکل بالا تا پایین را نشان می‌دهد. "مثلث‌های مسطح و مستقل دیاگرید به وسیله شیشه‌های محکم سطحی پوشانده شده است که از سطح شیشه‌ی مجاور قابل مشاهده می‌باشد. صفحه‌گذاری ساختار دیاگرید در یک تعریف هندسی به این صورت است که سطوح مسطح به بهتر شدن تبدیل سطح هندسی از یک سطح نسبتاً صاف بر اساس شکل مربعی آن به شکلی پیچیده‌تر با ظاهری ثابت به شکل تاج کمک می‌کند. این اتحاد ساختار و شکل در خلق تصاویر ساختمان طبیعی است."



پلی اینترنشنال - ۳۱ طبقه -  
پلازا در پکن - چین . طراحی  
شده توسط سام-۲۰۱۳



مدول ها و زوایای دیاگرید برج سوپر لوته برای مقابله با نیروهای جانبی متفاوت در ارتفاع تغییر می‌کنند. زوایا در پایین تندتر و در بالا بازتر می باشند. همان طور که در ارتفاع کمتر نیروهای گرانش و نیروهای گشتاور چرخشی بیشتر است و نیروهای باد و نیروهای جانبی در بالای این برج ۵۵۵ متری شدیدتر است. خط قرمز در دیاگرام راه حل منطقی برای به دست آوردن زوایای نهایی و خط آبی زوایای نظری به دست آمده از محاسبه‌ی بار را مشاهده کنید.

گرچه برج سوپر لوته که برای شهر سنول طراحی شده بود ولی ساخته نشده است، جزئیات کار جهت آگاهی در طراحی‌های دیگر سم که در حال ماده سازی یا ساخت هستند استفاده می شود.

این طراحی‌ها شامل ۳۱ طبقه ی بین‌المللی پلازا در پکن است که انتظار می‌رود در سال ۲۰۱۵ به اتمام برسد. این دیاگرید یک طرح بیضوی شکل دارد، یک مدل ۴ طبقه و زوایای نسبتاً خالی برای عضوهای دیاگرید که مناسب لحظات محدود نیرو به وسیله ی یک برج کوتاه‌تر است.

تعدادی از موارد مهمی در طی بررسی طراحی به وسیله سم مشخص شده‌اند که می‌تواند در پروژه‌های متعاقب مؤثر باشند که عبارت‌اند از:

- جایی که دیاگرید کوچک‌تر برج‌ها نیازی به همکاری و کمک، بتن و هسته ساختاری، مقاومت بار پهلویی ندارد، برج‌های بلندتر باید مقاومت بیشتری را در لحظه از خود نشان بدهند و نیازمند هسته ی ساختاری خواهند بود.
- در ارتباط با قسمت بالای برج بلند، جایی که برش عرضی غالب می‌شود، هسته ی ساختاری می‌تواند حذف شود و منطقه ی مرکزی به آتریوم‌ها یا موارد خاص اختصاص داده شود.
- زوایای تند باید در اعضای دیاگرید به منظور بیس تاور استفاده شوند چون این‌ها در مواقع لازم در برابر نیروهای برشی بهتر عمل می‌کنند.
- زاویه‌های کمتر می‌توانند در در اعضای دیاگرید در مسیر بالای تاور استفاده شوند زیرا برای نیروهای برش افقی مناسب‌تر هستند.
- اشکالی با پلان‌های منحنی و با شرایط نمای‌های خارجی برای ساختمان‌های بلند تر جهت کاهش مشکلات گرد باد استفاده می‌شوند.
- نرم افزار پیشرفته طراحی ساختار فلزی و پروسه ساخت برای موفقیت این پروژه بسیار حیاتی است.
- بهینه سازی ساختار و طراحی اتصالات لزوماً نیازمند یکنواختی سخت‌گیرانه نیست، اما ترجیح این است با طراحی با دقت بالایی انجام شود.

ساختارهای دیاگرید، پیشنهادهای زیادی به عنوان شکل ساختاری می‌دهد که ذاتاً به یک دامنه ی وسیع از جزئیات طراحی و تصمیمات متصل است. آنها اطمینان زیادی، جهت خلق و ویژگی‌های مختلف پروژه می‌دهد.





ILLUSTRATION CREDITS

Drawings and photographs, photographs have been taken by the author

Cover: The Leadenhall Building  
Isometric, Anas

- 4 The Leadenhall Building  
isometric, Anas
- 10 Toronto Tower, Alexey  
Sergayev
- 11 Delta Tower, Aveliers Jean  
Houzeau CSCDC
- 12 Lotte Super Tower, KOM  
Architects
- 13 Bow Excess diagrams,  
Walters Inc
- 14 EOH diagrams, Walters Inc
- 15 Delta Tower, Sergei  
Kuznetsov
- 23 Tower facade screens,  
Western Hall
- 24 Kiosk at China construction,  
Leslie E. Robertson  
Associates
- 25 EOH Building construction,  
Leslie E. Robertson  
Associates
- 26 EOH Building construction,  
Leslie E. Robertson  
Associates
- 27 Module forms, Vincent Hall  
London City Hall diagrams,  
Anas
- 28 London City Hall  
construction, Anas
- 35 London City Hall section,  
Foster + Partners
- 38 Delta facade construction,  
Anas
- 39 Delta facade floor plan,  
Foster + Partners
- 40 Delta facade diagrams,  
Foster + Partners
- 41 Delta facade wind diagrams (2),  
Foster + Partners
- 41 Delta facade wind diagrams (2),  
Anas
- 41 Delta facade construction,  
Ngill Young, Foster +  
Partners
- 44 Heavit wind node, WSP  
Canada Kiosk
- 45 Heavit Kiosk construction (2),  
WSP Canada Kiosk
- 47 Heavit node lift, Ngill  
Young, Foster + Partners
- 48 Carbon Tower seismic  
nodes, Anas
- 51 Delta facade wind diagrams (2),  
Foster + Partners
- 52 The Leadenhall Building  
wind testing (2), FWH
- 53 Carbon Tower wind test,  
Anas
- 55 Carbon Tower shaft section,  
Anas
- 56 Delta facade IPC model,  
Anas
- 56 Capital Gate construction,  
Hirokazu Murata
- 57 Carbon Tower construction,  
Anas
- 66 Diagrams (2), Vincent Hall

- 69 Lotte Super Tower  
diagram, SOH
- 68 Delta facade construction,  
Anas
- 67 Delta Headquarters  
construction (2),  
William Hare
- 67 Georgetown IPC  
construction, Anas
- 68 Heavit construction, WSP  
Canada Kiosk
- 68 One Shelley Street  
construction, Brookfield  
Multiple Architects
- 71 Materials website of  
technology, Warren and  
Maloney Architects
- 71 Toronto Tower, Alexey  
Sergayev
- 72 Delta Headquarters  
model and images,  
William Hare
- 72 Delta and Toronto Towers,  
Alexey Sergayev
- 74 CCTV construction, Anas
- 74 Canadian Museum for  
Human Rights construction,  
Walters Inc
- 75 Canadian Museum for  
Human Rights building  
drawing, Walters Inc
- 76 Capital Gate node digital  
construction, Jeff Schofield
- 78 Heavit node section, Ngill  
Young, Foster + Partners
- 78 Delta facade, Anas
- 79 Heavit diagrams, WSP  
Canada Kiosk
- 82 One Shelley Street  
construction, Brookfield  
Multiple Architects
- 83 Delta Headquarters node  
construction, William Hare
- 83 One Shelley Street node,  
Brookfield Multiple  
Architects
- 83 Al Basher Towers nodes,  
Peter Christophers
- 83 Al Basher Towers construction,  
William Hare
- 83 CCTV construction, Anas
- 88 Capital Gate node digital  
construction (2), Jeff  
Schofield
- 88 Capital Gate section construction,  
Hirokazu Murata  
construction (2), Anas
- 90 Carbon Tower construction  
(2), Anas
- 91 Al Basher Tower Tower  
(2), Anas for Hare
- 92 Materials diagrams, CSTUM  
Foster + Partners
- 92 Delta facade, Foster + Partners
- 98 The Leadenhall Building  
case isometric, Anas
- 100 Bow Excess diagram  
upper, Mak Eshvaki, Walters  
Inc
- 100 Bow Excess diagram  
lower, Walters Inc
- 101 CCTV diagrams (2), Anas
- 105 Al Basher Towers  
construction (lower level),  
William Hare
- 106 Delta Headquarters construction,  
William Hare

- 109 Heavit de Bureau construction  
(2), Leslie E. Robertson  
Associates
- 105 Capital Gate plan and  
section, SOH
- 105 Capital Gate construction  
plans and view, Jeff Schofield
- 105 Capital Gate aerial shot,  
SOH
- 106 Carbon Tower section plan  
(2), Anas
- 106 Carbon Tower plan, Anas
- 107 Georgetown IPC construction,  
Anas
- 107 Guangzhou IPC plans,  
William Hare Architects
- 109 Lotte Super Tower isometric  
SOH
- 108 Lotte Super Tower  
diagram, SOH
- 110 Capital Gate construction,  
Hirokazu Murata
- 112 One Shelley Street construction  
(4), Brookfield  
Multiple Architects
- 116 Guangzhou IPC  
construction, Anas
- 119 Capital Gate construction,  
Hirokazu Murata
- 118 Guangzhou IPC  
construction, Anas
- 119 Architectural Grid Tower,  
Architectural
- 120 One Shelley Street  
construction, Brookfield  
Multiple Architects
- 121 CCTV construction upper  
and lower, Anas
- 125 Delta Headquarters construction,  
William Hare
- 126 Capital Gate glazing  
section, Jeff Schofield
- 126 Toronto Tower (left),  
Alexey Sergayev
- 128 Delta and Toronto Towers,  
Patrick Dragneau
- 131 Capital Gate building  
under attack, Jeff  
Schofield
- 134 One Shelley Street construction  
(2), Brookfield  
Multiple Architects
- 137 Carbon Tower construction  
upper and lower, Anas
- 138 D-14 all images, SOH  
Architecture PC
- 138 D-14 all images, SOH  
Architecture PC
- 140 Bow Excess interior (2),  
Steven Hollenale
- 137 The Leadenhall Building  
section construction,  
Anas
- 142 Delta Tower all images,  
Aveliers Jean Houzeau  
CSCDC
- 144 Capital Gate winter  
section, SOH
- 145 Capital Gate double facade  
diagram (2), Jeff Schofield
- 146 Capital Gate rendering,  
SOH
- 148 The Leadenhall Building  
street view, Paul Hafferty
- 148 The Leadenhall Building  
plans, Warren Stark, Foster  
+ Partners
- 150 The Leadenhall Building  
node rendering, Anas

- 151 The Leadenhall Building  
diagram (3), Anas
- 155 The Leadenhall Building  
overall construction show  
section, Delta Tower
- 158 The Leadenhall Building  
street view, John Saha
- 159 Capital Gate aerial,  
Jeff Schofield
- 157 Capital Gate screen shots  
(2), Anas
- 158 Capital Gate digital model,  
Jeff Schofield
- 159 Capital Gate lower node,  
Hirokazu Murata
- 158 Capital Gate node with  
cover, Hirokazu Murata
- 160 Capital Gate lobby construction,  
Jeff Schofield
- 160 Capital Gate MIA Beer  
construction, Jeff Schofield
- 160 Capital Gate diagram  
construction to core (2),  
Hirokazu Murata
- 160 Capital Gate stream construction,  
Hirokazu Murata
- 161 Capital Gate wingger  
plans, Hirokazu Murata
- 161 Capital Gate crane shot,  
SOH
- 161 Capital Gate node string,  
Hirokazu Murata
- 163 Guangzhou IPC diagrams  
(2), William Hare  
Architects
- 164 Guangzhou IPC digital  
model (2), William Hare  
Architects
- 165 Delta Tower, Aveliers Jean  
Houzeau CSCDC
- 167 Delta Tower plan, Aveliers  
Jean Houzeau
- 167 Delta Tower interior  
Aveliers Jean Houzeau and  
CSCDC
- 168 Delta Tower section diagrams (2),  
Aveliers Jean Houzeau
- 168 Delta Tower diagrams (2),  
Aveliers Jean Houzeau
- 170 Zhongnan Zhai rendering (2),  
TPP Architects
- 171 Zhongnan Zhai rendering (2),  
TPP Architects
- 172 Lotte Super Tower  
renderings (2), SOH
- 173 Lotte Super Tower  
diagram (2), SOH
- 174 Lotte Super Tower  
diagram, SOH
- 174 Lotte Super Tower wind  
tunnel, SOH
- 175 Lotte Super Tower node  
diagram (2), SOH
- 176 Lotte Super Tower  
rendering, SOH
- 177 Building Poly Building,  
Steven O. Swick
- 184 Photo of author, Ian  
Quahay











---

University of Guilan Press

---

# **Diagrid structures : systems, connections, details**

Edited by:

**Boake, Terri Meyer**

Translated by:

**Dr. Amir Reza Karimi Azari**

# **DIAGRID STRUCTURES**

## **systems/connections/details**

by:

**Terri Meyer Boake**

Translated by:

**amir reza karimi azeri, Ph. D**

**University of Guilan Press**



ISBN: 978-600-153-187-3