



موسسه آموزش و مهندسی ۸۰۸
آموزش‌های تخصصی عمران و معماری

طراحی سقفهای متحرک

SLIDING ROOF DESIGN

Frida Restaurant in
Torrance, California

By Dilip Khatri, Ph.D., S.E.



Figure 1. Architectural rendering of front corner elevation of Frida Restaurant.

موسسه آموزش مهندسی ۸۰۸
آموزش تخصصی عمران و معماری

Educational and Engineering Institute 808
Specialized training in Civil and Architecture

پیاپی
۱۳۹۵
۲۰۱۶-۱۷

یکی از جنبه های رضایتبخش برای مهندس سازه این است که بتواند پروژه تکمیل شده به دست خود را مشاهده کند. حتی هنگامی که با همکاری دیگران موارد خاصی را در پروژه ایجاد می کند و از نظر خلاقیت و زیباشناسی و مقبولیت اجتماعی شرایط مطلوبی را بدست می آورد. افکار و ایده های خوب و الهام بخش و برتر، به ندرت در کارهای حرفه ای دیده می شود و مولف اظهار رضایت و خوشحالی می کند که عضو تیمی است که قرار است یکی از این کارهای خاص و مهم را عملیاتی کند. رستوران FRIDA قطعاً نمونه بارزی از محلهایی است که حس هنری و زیبایی را به عنوان کار اجرا شده توسط مهندس، و حاصل تلاش و کار بی وقفه و خستگی ناپذیر با گروه معماری است که توسط گروه TAG FRONT DESIGN طراحی شده است. در این مقاله که در نوامبر ۲۰۱۵ تدوین شده است، پیمانکار در تاریخ ۱۵ دسامبر ۲۰۱۵ در حال اجرای فاز نهایی این رستوران، که دارای سقفی متحرک و باشکوه می باشد، است. همچنین در تاریخ انتشار مقاله، رستوران در حال بهره برداری و سرویس دهی به مشتریان، در تفرجگاه عمومی مدرن در تورنس کالیفرنیا می باشد.



Figure 2. Interior rendering showing the hanging bar design.



Figure 3. Interior views showing full glass openings with no shear walls.

سوال اصلی این است که چرا همگان از این پروژه هیجان زده و سرشار از غرور شده اند؟ دلایل بسیاری به ذهن می رسد، اما یکی از ویژگی های برجسته این شاهکار مهندسی معماری، سقف متحرک اجرا شده در این پروژه می باشد. این بخش سازه به این دلیل طراحی شده است که مانند سقف اتومبیلهای کروک، بسته به میل مالک و مشتریان باز یا بسته باشد. شکلهای ۱ تا ۵ به خوبی مفهوم طراحی توأم با خلاقیت آرشیتک پروژه را به نمایش گذاشته اند. سقف دارای پنجره های سقفی پیرامونی می باشد که اجازه می دهد نور طبیعی، فضای داخلی رستوران را به خوبی روشن کند و فضای گرم و صمیمانه ای را ایجاد کند، که تجربه ی به یاد ماندنی و بخصوصی را برای مشتریان آن فراهم می کند. پنجره های پیرامونی که در سراسر طول دیافراگم سقف (در هر دو سمت) اجرا شده است، باعث ایجاد موضوع جدیدی در مورد انتقال برش می شود که باعث مطرح شدن چالشی جدید در طرح مهندس سازه می گردد. نظر کارفرما این بوده است که فضای داخلی بدون هیچگونه ستونی اجرا شود و مملو از بازشوهای گوناگون، در جهات مختلف باشد که با شیشه و سایر دیتایلهای معماری پوشش داده می شود. این نظرات امکان استفاده از سیستم دیوار برشی استاندارد را نیز از مهندس سازه سلب می کند. همچنین کارفرما سفارش طراحی یک لژ ویژه داخلی را به صورت معلق از سقف و بدون هیچگونه تکیه گاه قابل مشاهده ای را نیز داده است (شکل ۲). در طرح معماری TAG FRONT DESIGN یک سقف مسطح که عاری از هرگونه ستون قابل مشاهده ای باشد را شاهد هستیم، که البته هیچ گونه شبکه بندی استاندارد هم نمی باشد. این طرح حتی دارای سیستم شبکه بندی مستطیلی استاندارد هم نبوده که بتوان ستونها را در آن جانمایی کرد. سیستم تکیه گاهی نیز دچار نامنظمی می باشد و ستونها مشخصاً دارای بارگذاری های معمول خود به همراه مولفه ناشی از خروج از محوری و پیچش روی تیرهای جانبی می باشد.

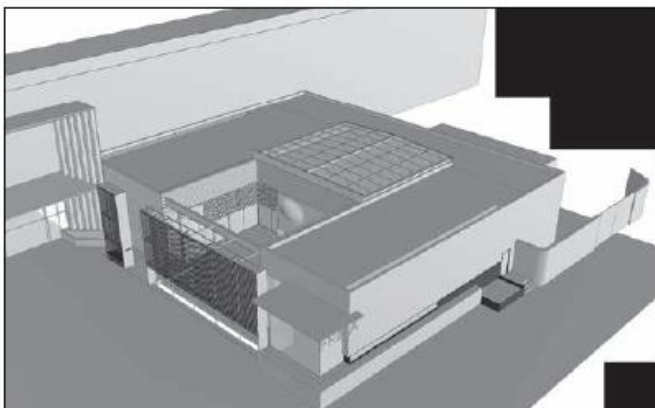


Figure 4. 3D isometric showing sliding roof over garden area.



Figure 5. Interior rendering with open space and no column interference.

راهکار طراحی سازه ای

سیستم باربر جانبی قاب خمشی فولادی (LFRS) همراه با ستونهای تیوب تو خالی فولادی (HSS) بعنوان ستونها و تیرهای تیوبی در دو راستا که به وسیله اتصالات متداول قاب خمشی اجرا می شود. ستونهای HSS نقش تأمین ظرفیت خمشی برابر در هر دو محور را دارند که به طراح این مجوز را می دهد که تعادل و ایستایی را در طرح خود برقرار کند که باعث می شود بتوان شبکه نامنظمی را نیز اجرا کرد. محل دقیق ستونها به نحوی است که خروج از محوریت بارهای ناشی از سقف و تکیه گاه ها و تیرها را در آنها شاهد هستیم و باعث می شود که تمهیداتی اضافی را در طراحی اعمال کنیم تا بتوانیم این سیستم را اجرا کنیم. طراحی فنداسیون به نحوی است که از پای ستونهای وسیعی با اتصالات قاب خمشی همراه با ستونهای کوتاه و شاهتیرهای بینابینی در این پروژه استفاده شده است. ملاحظات لرزه ای از اهمیت بالایی برخوردار هستند زیرا سایت احداث پروژه در رده بندی D لرزه ای قرار دارد. خوشبختانه، هیچ اثری از روانگرایی و شرایط نامساعد خاکی در سایت پروژه وجود ندارد. طراحی سقف متحرک باعث می شود که نیاز بار مرده نیز افزایش یابد، که همین امر باعث شده است سطح مقطع ستونهای HSS به ۱۶ اینچ مربع برسد که خود به خود دهانه هایی بیش از ۲۰ فوت را به شاهتیرها تحمیل می کند، تا بتوانند خواسته های کارفرما را برای ایجاد فضایی عاری از ستون، با مشخصات ذکر شده در قبل را تأمین کنند. بار مرده اضافی باعث استفاده از پای ستونها و شاهتیرهای بزرگی می شود، زیرا لنگر پایه بسیاری، ناشی از همین بار مرده تولید خواهد شد (در مقایسه با سازه های یک طبقه متداول) و همچنین باعث بوجود آمدن دهانه های بزرگ برای تیرهای تکیه گاهی می گردد. دیرپفت جانبی در سختی بحرانی LFRS می باشد چرا که بایستی باعث کاهش هر چه بیشتر اثرات به سازه های مجاور تفرجگاه شود.

در فضای داخلی، طراحی فضایی باز برای تمام مساحت رستوران، امکان اجرای لژ ویژه را به سقف متصل و از آن معلق باشد را ما می دهد. این لژ ویژه نیز دارای تیرهای سازه ای می باشد که به یکدیگر جوش شده اند و از تیرهای سقف آویزان شده است و هیچ گونه تکیه گاهی از فنداسیون به آن متصل نمی باشد (با آنالیز لژ ویژه در برابر بارهای جانبی، بایستی نتایج به گونه ای حاصل شود که دیرپفت از یک حد مشخصی تجاوز نکند) تا مشتریان از خطر سقوط بطریها در امان باشند. مشابه لژ ویژه، کارفرما سفارش آتشگاه و شومینه ای کاملاً معلق و بدون هیچ گونه تکیه گاه مستقیم از فنداسیون را نیز داده است تا طراحی و اجرا گردد. یک تیر تکیه گاهی با مقطع ساخته شده از ورق نیز برای آن طراحی شده است تا بتواند نقش تکیه گاه را برای آن ایفا کند.

طراحی سقف متحرک

برجسته ترین مشخصه این پروژه سقف متحرک آن می باشد که مالک رستوران به راحتی می تواند فضا را بر اساس شرایط آب و هوایی مسقف یا بدون سقف نگه دارد. سقف متحرک این پروژه تقریباً حدود ۴ فوت بالاتر از صفحه سقف قرار گرفته است، که این موضوع چالشهایی را در انتقال برش و دیافراگم ایجاد خواهد کرد و باعث بوجود آمدن لنگر خمشی پیچشی در تیرهای تکیه گاهی می شود. سازه سقف دارای دو تیر ریلی تکیه گاهی می باشد (دو تیوب سازه ای) در هر دو طرف که بدین وسیله بارها را از طریق ستونهای تیوبی قائم منتقل می کند که بر روی تیرهای دیافراگم سقف قرار گرفته اند. در این پروژه بارهای لرزه ای غالب نخواهند شد، اما بارهای باد اساساً از بار مرده بیشتر خواهند شد. تحلیل با در نظر گرفتن انتقال بارهای پیچشی توسط تیوبهای قائم به تکیه گاه سیستم قاب خمشی ساختمان می باشد. مشخصاً این یکی از بهترین طراحی هایی بوده است که مؤلف در سالهای اخیر در این مجموعه داشته است.

بدلیل مسائل زمانی و جدول پیشرفت پروژه، سقف متحرک بایستی پس از تاریخ افتتاح رستوران در دسامبر ۲۰۱۵ نصب شود و در سه ماهه نخست ۲۰۱۶ تکمیل و قابل بهره برداری شود.

همکاری آرشیوتکت، کارفرما و پیمانکار

برنامه زمانی فشرده، قدرت مانور و انعطاف کم و آخرین زمان بحرانی، تمام مشخصه‌هایی هستند که باعث می‌شود سطح تنشها در این پروژه بیشتر باشد. طراحی سازه ای این پروژه قطعاً بصورت مجزا قابل اجرا نبوده است و توسط تیم مهندسان سازه با همکاری گروه معماری و پیمانکار بوده است که به صورت گروهی بر روی جزئیات پروژه متمرکز شده اند. در حین ساخت، پیشنهادات و راهکارها مداماً تغییر می‌کرد و گزینه‌های جدید پیش روی طراحان قرار می‌گرفت که بایستی در حین طراحی و ساخت سریعاً مورد بررسی قرار می‌گرفت. گاهی اوقات جلسات سه جانبه، چهره‌ی درگیری به خود می‌گرفت که البته در پایان روز قطعاً مسئله حل می‌شد. مؤلف پس از ۳۳ سال تجربه کار حرفه‌ای، گاهی اوقات ناچار به قبول راهکارهای بهتر بود. ما مهندسان همیشه دانشجویان مهندسی سازه هستیم. هر پروژه درسهای جدیدی را به همراه دارد که امید است ما را به مهندسی با هوش تر برای پروژه‌های آتی تبدیل کند. پروژه FRIDA قطعاً به ما راهکارهای جدیدی را برای حل مسائل قدیمی به همراه داشت و تأکیدی مجدد را بر روی موضوع رابطه میان کارفرما، آرشیتکت و پیمانکار داشته است. شاید بیشترین و مهمترین همکاری در این پروژه این بوده که گروه مهندسان سازه با این کار گروهی توانستند ایده‌ها و راهکارهای جدیدی را پیدا کنند. اغلب، واکنش اولیه را به طرح معماری به دلیل نقش بر آب کردن نقشه‌های سازه‌ای نشان می‌دهیم! در حالیکه، پروژه‌هایی به این سبک دارای مسائل جالب چالش برانگیزی برای حل می‌باشند. از این تجربیات استفاده کنید و خوشحال باشید. مؤلف به این موضوع پی برد که همکاری فقط مهندس خوب بودن نیست، بلکه پذیرا بودن ایده‌ها و پیشنهادات خوب دیگران است.

DILIP KHATRI دکتری سازه، از موسسه KHATRI و کمپانی ساخت و ساز KHATRI در پاسادنا کالیفرنیا می‌باشد. او کارشناس رسمی مسائل حقوقی بیمه‌های سرمایه‌گذاری در بخش شکست سازه‌ها می‌باشد. او عضو سر مقاله STRUCTURE نیز بوده و ایمیل وی dkhatri@aol.com می‌باشد.

Project Team

Structural Engineer: Khatri International Inc., Pasadena, CA
Owner: Frida Restaurant, Beverly Hills, CA
Architect: Tag Front Design, West Hollywood, CA
Contractor: Ck2d Construction
Roof Manufacturer: Rollamatic Roofs, Inc.
Roof Structural Design: Ficcadenti, Waggoner, & Castle