مؤسسه انتشارات سری عمران
www.serieomran.ir

مقدمه مولفان

آیا تا کنون به عنوان یک مهندس فکر کرده‌اید که خسارت‌های وارد بر سازه‌ها در هنگام وقوع بلایای طبیعی، ناشی از اشتباه چه کسی است؟ تجربیات نشان می‌دهد که به‌طور کلی خسارت‌های وارد بر سازه‌ها در زمان رخ دادن پدیده‌هایی نظیر زلزله، ناشی از سه دسته اشتباه زیر می‌باشند:

- اشتباهات در روند طراحی سازه توسط مشاور (یا مهندس محاسب)
- اشتباهات در روند اجرای سازه توسط پیمانکار
- اشتباهات در زمان بهره‌برداری سازه توسط کارفرما (یا بهره‌بردار)

حال، نظر ما در رابطه با نقش مهندسان محاسب چیست؟

بسیاری از مهندسان علاقه دارند که درک خود را از روند طراحی سازه بالا برده و توانایی این را داشته باشند که یک طرح بدون ایراد را برای اجرای سازه ارائه دهند. آن‌ها از طرفی تمایل دارند که به‌عنوان یک موضوع بسیار مهم، بتوانند با کمک تحلیل مهندسی از نتایج طرح خود دفاع کنند. اما مشکل آن است که به‌دلیل نبود منابعی که آیین‌نامه‌ها و نرم‌افزارهای جدید را به خوبی پوشش دهند، انجام این مهم برای آن‌ها سخت و دشوار است. هم‌چنین مهندسان باتجربه نیز به راحتی اطلاعات خود را در اختیار مهندسان تازه کار قرار نمی‌دهند. از سوی دیگر بسیاری از مهندسان، روند انجام طراحی را با نگاهی کاملاً محدود بررسی می‌کنند و صرفاً به نرم‌افزارهایی نظیر ETABS و SAFE اتکا دارند. این مهندسان بدون آن‌که درک درستی از توانایی‌ها و محدودیت‌های این نرم‌افزارها داشته باشند، طراحی را به‌گونه‌ای انجام می‌دهند که چندان صحیح و اجرایی نمی‌باشد. شاید بتوان نتیجه این نوع طراحی را، همان تأثیر مهندسان محاسب در خسارت‌های وارد بر سازه‌ها دانست.

ما اعتقاد داریم که حلقه گم شده مهندسان عزیز در بعد طراحی، عموماً از سه موضوع زیر ناشی می‌شود:

۱- نداشتن اطلاعات کاربردی و کافی از آیین‌نامه‌های جدید کشور که خصوصاً در بحث‌های لرزه‌ای بسیار دقیق‌تر و منطبق بر آیین‌نامه‌های بین‌المللی جدید شده‌اند.
۲- نداشتن دید مهندسی مناسب و بیگانه بودن با تحلیل‌های دستی، که این موضوع آن‌ها را به شدت به نرم‌افزارها وابسته کرده است.
۳- نداشتن دید مناسب از توانایی‌ها و محدودیت‌های نرم‌افزارها و نکاتی که باید برای طراحی درست سازه در آن‌ها رعایت کنند.

و اما هدف مؤسسه سری عمران از انتشار مجموعه کتاب‌های زیر ذره‌بین چه بوده است؟

مجموعه کتاب‌های زیر ذره‌بین سری عمران به‌منظور ارتقاء سطح دانش طراحی در کشور تألیف شده‌اند. ما در این سری کتاب‌ها به دنبال راهکاری منحصر به فرد هستیم که دانش و تفکر مهندسی را در کنار نرم‌افزارهای کاربردی نظیر ETABS و SAFE به شما آموزش دهیم تا در نهایت کمک کند که با انجام طراحی‌های حرفه‌ای، در کشورمان سازه‌هایی امن‌تر ساخته شود. این مجموعه کتاب‌ها که در فاز اول خود شامل پنج کتاب می‌باشند، طیف گسترده‌ای از مطالب مورد نیاز دانشجویان و مهندسان عزیز در شرکت‌های مشاور را پوشش می‌دهند. طراحی انواع ساختمان‌های فولادی و بتنی موضوعی است که در چهار جلد اول این مجموعه بحث می‌شود و شما با مطالعه آن‌ها قادر خواهید بود تا از این پس، هم‌چون طراحان حرفه‌ای و با سابقه راجع به طراحی سازه‌ها اظهارنظر کرده و انواع ساختمان‌ها را طراحی کنید. مطالب ارائه شده در این چهار کتاب شامل اطلاعات بسیار کاربردی است که اغلب مهندسان عزیز تمایل به داشتن همه آن‌ها در کنار هم و در قالب یک مجموعه واحد دارند. بحث طراحی حرفه‌ای پی‌های ساختمانی نیز دیگر کتاب این مجموعه محسوب می‌شود.

مهم‌ترین موضوعاتی که برای نگارش این کتاب مدنظر مؤلفان بوده است عبارتند از:

- این کتاب روند اصولی طراحی ساختمان‌ها را به‌صورت مرحله به مرحله به شما می‌آموزد به‌گونه‌ای که پس از یادگیری این روند، قادر خواهید بود دیدگاه‌های ایجاد شده ناشی از آن را به سایر پروژه‌ها نیز تعمیم دهید.
- اغلب دانشجویان و مهندسانی که قصد یادگیری و تسلط بر طراحی سازه و نرم‌افزار ETABS را دارند، همواره از این موضوع گلایه می‌کنند که بیشتر کتاب‌های موجود در این زمینه به‌صورت اصولی بحث‌ها را پوشش نداده‌اند. ما برای پاسخ به این نیاز شما، سبک تألیف و ارائه مطالب در این کتاب را به‌گونه‌ای انتخاب کرده‌ایم که شما در کنار یادگیری نرم‌افزار ETABS، طراحی را به‌صورت مفهومی آموخته و قابلیت تبدیل شدن به یک طراح حرفه‌ای را پیدا می‌کنید.
- با توجه به تغییرات ایجاد شده در نسخه‌های جدید ETABS، در این کتاب از نسخه ETABS 2015 استفاده شده است. شایان ذکر است که نسخه ETABS 2013 در بحث طراحی ساختمان‌ها کاملاً با نسخه استفاده شده در این کتاب منطبق است و از سوی دیگر اکثر مطالب ارائه شده در این کتاب، قابل استفاده در نسخه ETABS 9 نیز می‌باشد که در حال حاضر بسیاری از مهندسان با آن کار می‌کنند.
- یکی از اهداف مهم این کتاب، آموزش طراحی سازه‌های فولادی براساس جدیدترین ویرایش مقررات ملی ساختمان و آیین‌نامه‌های داخلی بوده است.

به همین منظور در نگارش این کتاب از موارد زیر استفاده شده است:

- ✓ **مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۱۳۹۲)**: بارهای وارد بر ساختمان
- ✓ **آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (ویرایش ۱۳۹۳)**: ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰
- ✓ **مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۱۳۹۲)**: طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی

- یکی از مشکلات مهندسان برای کار با نسخه‌های جدید نرم‌افزار ETABS ، موضوع تعریف مقاطعی نظیر دوبل I شکل، دوبل ناودانی و مقاطع تقویت شده با ورق است. باید گفت که برای انجام صحیح‌تر طراحی، این مقاطع باید توسط رویکردی به نام مقطع معادل به ETABS معرفی شوند که توضیحات مفصلی راجع به آن‌ها را در هر دو پروژه کتاب خواهید دید. از سوی دیگر بر روی سایت مؤسسه سری عمران، آرشیو کاملی از اغلب مقاطع مورد نیاز به روش مقطع معادل وجود دارد که برای کمک به شما عزیزان آماده شده‌اند.

خلاصه مطالب ارائه شده در این کتاب چیست؟

در این کتاب نحوه طراحی دو پروژه ساختمانی بررسی شده است که پروژه اول را پروژه پایه‌ای و پروژه دوم را پروژه حرفه‌ای نامگذاری کرده‌ایم. پروژه پایه‌ای که طراحی یک ساختمان ۳ طبقه با مهاربند در یک طرف و قاب خمشی در طرف دیگر را پوشش می‌دهد، بیشتر حجم کتاب را به خود اختصاص داده است. این پروژه مخصوص دانشجویان و مهندسانی می‌باشد که تجربه کافی در طراحی سازه و کار با محیط ETABS ندارند، ولی از سوی دیگر شامل نکات زیادی است که بسیاری از آن‌ها حتی برای مهندسان با سابقه نیز می‌تواند جالب و جدید باشد. قابل ذکر است که اصول ارائه شده در این پروژه کتاب، مانند شالوده‌ای است که ما چهار جلد اول مجموعه زیر ذره‌بین سری عمران را بر روی آن بنا کرده‌ایم. پروژه حرفه‌ای این کتاب، مربوط به طراحی یک ساختمان ۸ طبقه فولادی با قاب خمشی متوسط در هر دو راستا می‌باشد. در این ساختمان که دارای هندسه‌ای پیچیده‌تر و حاوی نکات طراحی بسیار بیشتر نسبت به پروژه پایه‌ای است، آموزش طراحی را با روندی سریع‌تر برای شما بازگو می‌کنیم. شایان ذکر است که موضوعات مهمی در خلال انجام این پروژه به شما یاد داده خواهد شد که شاید جالب‌ترین آن‌ها، ارائه روشی کاربردی، ساده و جدید برای انتخاب مقاطع اولیه در یک پروژه و همچنین مرور کاملی بر روی نکات استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد. در این پروژه روند استفاده از تحلیل طیفی در ETABS را نیز به‌صورت اصولی به شما یاد خواهیم داد که بسیاری از مهندسان عزیز نسبت به انجام صحیح آن دچار مشکل هستند. هم‌چنین در این پروژه روند کنترل‌های خاصی در سازه بحث شده که در منابع کمی موجود می‌باشد. از جمله این کنترل‌ها می‌توان به بحث کنترل پارامترهای مرتبط با پایداری در یک سازه فولادی، کنترل مقاومت برشی تیرهای قاب خمشی در محل اتصال به ستون، کنترل دستک‌های کششی برای اثرات ناشی از ضربه و کنترل اعضای سازه با فرض دیافراگم غیرصلب اشاره نمود.

- فایل‌های مرتبط با این دو پروژه، بر روی سایت مؤسسه سری عمران برای شما مهندسین عزیز قرار گرفته است.

و اما حرف آخر ...

هدف ما در این کتاب ارائه روشی مبتنی بر تفکر بوده تا شما روند طراحی سازه را به‌صورت حرفه‌ای یاد بگیرید و دید مهندسی بسیار قوی نسبت به این موضوع پیدا کنید. در ادامه برای تکمیل یادگیری شما، در جلد دوم این کتاب با بررسی دو پروژه حرفه‌ای، قابلیت‌های طراحی شما در زمینه سازه‌های فولادی را بسیار بالاتر برده و نکاتی ناب را به شما یاد خواهیم داد که به جرأت می‌توان گفت در کمتر کتابی ارائه شده است. مهم‌ترین موضوعات مورد بحث در جلد دوم این کتاب شامل مواردی نظیر طراحی حرفه‌ای قاب‌های مهاربندی همگرای ویژه، قاب‌های مهاربندی واگرا، سازه‌های فولادی با سیستم سازه‌ای مختلط و قاب‌های خمشی فولادی با شکل‌پذیری زیاد می‌باشد. هم‌چنین بحث‌های طراحی اتصالات، طراحی سقف‌های کامپوزیت ساده، عرشه فولادی و تیرچه کرمیت و طراحی‌های دیوارهای حائل و نکات طراحی دیوارهای برشی بتنی در سازه‌های فولادی نیز به‌طور مبسوط آورده شده است.

برای نگارش این کتاب افراد زیادی در کنار ما بوده‌اند که در این جا از زحمات و کمک‌های تک تک این عزیزان کمال تشکر را داریم، به ویژه آقایان پویا زکیان و محمد حسین اخوان و خانم‌ها الهام طاهر شمس و زهرا آهنگر که بی‌هیچ منتی باعث بهبود روند تألیف این اثر شده‌اند. هم‌چنین از صبوری و متانت خانواده‌ها و به‌ویژه همسران عزیزمان که همواره یار و یاور ما بوده‌اند، قدردانی می‌کنیم.

در پایان یادآوری می‌کنیم که این اثر، اولین کتاب از مجموعه چهار جلدی آموزش طراحی ساختمان‌ها با نرم‌افزار ETABS است که تحت عنوان «مجموعه کتاب‌های زیر ذره‌بین سری عمران» منتشر می‌شوند.

اطلاعات مربوط به کتاب‌های در دست انتشار این مجموعه و فایل‌های تکمیلی مرتبط با آنها را می‌توانید از طریق سایت سری عمران به نشانی www.serieomran.com پیگیری نمایید. هم‌چنین از طریق این سایت می‌توانید نظرات و پیشنهادات خود را در مورد این کتاب در اختیار ما قرار داده و سؤالات احتمالی خود را نیز با ما در میان بگذارید.

باشد که با تألیف این کتاب‌ها به شما کمک کنیم تا بتوانید قدم به قدم از این مفاهیم در طراحی صحیح سازه‌ها استفاده کنید.

«محسن حیدری ـ رضا کامرانی‌راد»

فهرست

پیش‌فصل در این کتاب چه خواهیم خواند؟

قسمت اول: چگونگی آموزش مطالب در این کتاب ۸
قسمت دوم: شناسنامه پروژه پایه‌ای ۱۳

فصل اول سیستم‌های باربر جانبی در ساختمان‌های فولادی

قسمت اول: سیستم‌های باربر ثقلی و جانبی در ساختمان‌های فولادی ۲۲
قسمت دوم: آشنایی با سیستم‌های باربر جانبی در ساختمان‌های فولادی ۲۶
قسمت سوم: نگاه مفهومی‌تر به سیستم‌های سازه‌ای ۳۹
قسمت چهارم: مقایسه سیستم‌های باربر جانبی در ساختمان‌های فولادی ۴۷
قسمت پنجم: اصول انتخاب سیستم سازه‌ای در یک پروژه و بررسی دیگر جزئیات آن ۵۴
قسمت ششم: سیستم سازه‌ای و جزئیات تیرها، ستون‌ها و مهاربندها در پروژه پایه‌ای ۶۴

فصل دوم اصول بارگذاری ثقلی در پروژه‌های ساختمانی

قسمت اول: آشنایی با انواع بارهای وارد بر ساختمان ۶۸
قسمت دوم: محاسبات بار مرده، بار زنده و بار برف در ساختمان‌ها ۷۵
قسمت سوم: آشنایی با انواع سقف‌ها، جزئیات و بارگذاری آن‌ها ۸۷
قسمت چهارم: آشنایی با انواع دیوارها، جزئیات و بارگذاری آن‌ها ۹۷
قسمت پنجم: بررسی پله و بارگذاری آن در ساختمان‌های فولادی ۱۰۱
قسمت ششم: محاسبات بارگذاری ثقلی ساختمان در پروژه پایه‌ای ۱۰۷

فصل سوم اصول بارگذاری لرزه‌ای در پروژه‌های ساختمانی

قسمت اول: مفاهیم اولیه مرتبط با تأثیر زلزله بر ساختمان‌ها ۱۲۰
قسمت دوم: آشنایی با پارامترهای مورد نیاز در روش تحلیل استاتیکی معادل ۱۲۵
قسمت سوم: آشنایی با مراحل روش تحلیل استاتیکی معادل ۱۳۴
قسمت چهارم: مباحث تکمیلی مرتبط با محاسبات نیروی زلزله ۱۳۹
قسمت پنجم: محاسبات نیروی زلزله در پروژه پایه‌ای ۱۴۴

فصل چهارم تحلیل و طراحی تقریبی سازه

قسمت اول: مروری بر روش‌های تحلیل تقریبی سازه ۱۵۲
قسمت دوم: روابط کاربردی برای طراحی اولیه اعضای سازه فولادی ۱۵۶
قسمت سوم: تحلیل و طراحی تقریبی سازه در پروژه پایه‌ای ۱۶۱

فصل پنجم تهیه قالب اولیه فایل ETABS

قسمت اول: تنظیمات اولیه و تهیه فایل خام ETABS ۱۸۰
قسمت دوم: معرفی مصالح مورد استفاده در مدل ساختمان فولادی ۱۹۶
قسمت سوم: معرفی مقاطع مورد استفاده در مدل ساختمان فولادی ۲۰۵
قسمت چهارم: رویکرد مقطع معادل برای معرفی برخی از مقاطع در ETABS ۲۲۵

فصل ششم مدل‌سازی هندسه سازه در ETABS

قسمت اول: ترسیم اعضای سازه ۲۳۸
قسمت دوم: اصلاح و اختصاص ویژگی‌های تکمیلی به اعضای سازه ۲۶۳

فصل هفتم بارگذاری سازه در مدل ETABS

پیش فصل: روند مفهومی انجام بارگذاری در پروژه‌های ETABS ۲۸۰
قسمت اول: معرفی انواع الگوهای بار ۲۸۱
قسمت دوم: اختصاص بارگذاری به مدل سازه ۲۹۴
قسمت سوم: ترکیب بارهای ساختمان‌های فولادی و ساخت آن‌ها در ETABS ۳۲۰
قسمت چهارم: ساخت ترکیب بارهای خودکار در ETABS ۳۳۵

فصل هشتم تحلیل سازه در ETABS

قسمت اول: تنظیمات پیش از تحلیل سازه از منوی Define ۳۴۲
قسمت دوم: تنظیمات پیش از تحلیل سازه از منوی Analyze ۳۵۱
قسمت سوم: تحلیل سازه و بررسی گرافیکی خروجی‌ها در ETABS ۳۵۵

فصل نهم طراحی و کنترل اولیه سازه در ETABS

پیش فصل: مروری بر مراحل طراحی و کنترل سازه ۳۷۰
قسمت اول: تنظیمات پنجره Preferences در منوی Design ۳۷۱
قسمت دوم: تنظیمات پنجره Overwrites در منوی Design ۳۸۳
قسمت سوم: طراحی اولیه سازه و بررسی نتایج طراحی ۳۹۱
قسمت چهارم: کنترل‌های اولیه بر روی مدل سازه ۴۰۹

فصل دهم طراحی نهایی سازه در ETABS

قسمت اول: تیپ‌بندی تیرها براساس ملاحظات سازه‌ای و اجرایی ۴۳۶
قسمت دوم: تیپ‌بندی ستون‌ها و مهاربندها براساس ملاحظات سازه‌ای و اجرایی ۴۵۱
قسمت سوم: تحلیل و طراحی نهایی مدل سازه در ETABS ۴۶۲
قسمت چهارم: طراحی دستی اعضای سازه و مقایسه با نتایج ETABS ۴۷۷

فصل یازدهم کنترل‌های نهایی سازه در ETABS

پیش فصل: مروری بر کنترل‌های نهایی در پروژه پایه‌ای ۴۹۶
قسمت اول: کنترل نهایی ستون‌های سازه ۴۹۷
قسمت دوم: کنترل زمان تناوب تحلیلی، دریفت، نظم پیچشی و لنگر واژگونی ۵۰۸

پروژه حرفه‌ای طراحی ساختمان ۸ طبقه فولادی با سیستم قاب خمشی متوسط

قسمت اول: شناسنامه پروژه
A-۱- فاز اول: مشخصات کلی پروژه ۵۲۴
A-۲- فاز دوم: جزئیات بارگذاری پروژه ۵۳۱
قسمت دوم: نکات فنی پروژه
B-۱- فاز اول: آشنایی با سیستم سقف کرمیت ۵۴۷
B-۲- فاز دوم: معرفی روش تحلیل طیفی ۵۴۹
B-۳- فاز سوم: بررسی ترکیب بارهای ۳۰-۱۰۰ در ETABS ۵۵۹
قسمت سوم: تهیه قالب اولیه فایل ETABS
C-۱- فاز اول: تنظیمات اولیه و تهیه فایل خام ETABS ۵۶۴
C-۲- فاز دوم: معرفی مصالح مورد استفاده در ساختمان فولادی ۵۶۸
C-۳- فاز سوم: معرفی مقاطع ستون‌های سازه ۵۷۰
C-۴- فاز چهارم: معرفی مقاطع تیرهای سازه ۵۸۳
C-۵- فاز پنجم: معرفی مقاطع دستک‌ها ۵۸۸
C-۶- فاز ششم: معرفی المان‌های سطحی ۵۹۱
قسمت چهارم: ترسیم هندسه مدل در ETABS
D-۱- فاز اول: ترسیم ستون‌های سازه ۵۹۲
D-۲- فاز دوم: ترسیم تیرهای سازه ۵۹۳
D-۳- فاز سوم: ترسیم دستک‌ها ۵۹۷
D-۴- فاز چهارم: ترسیم المان‌های کف ۵۹۹
D-۵- فاز پنجم: اصلاحات هندسه سازه از منوی Assign ۶۰۱
قسمت پنجم: بارگذاری سازه در ETABS
E-۱- فاز اول: معرفی الگوهای بار ۶۰۵
E-۲- فاز دوم: اعمال بارهای سطحی وارد بر کف‌های سازه ۶۰۸
E-۳- فاز سوم: اعمال بارهای خطی وارد بر تیرهای سازه ۶۱۲
E-۴- فاز چهارم: معرفی حالت‌های بار تحلیل طیفی ۶۱۵
E-۵- فاز پنجم: تعریف ترکیب بارهای طراحی ۶۲۰
قسمت ششم: تحلیل سازه در ETABS
F-۱- فاز اول: تنظیمات پیش از تحلیل سازه از منوی Define ۶۲۸
F-۲- فاز دوم: تنظیمات پیش از تحلیل سازه برای کاهش بار زنده و اثر $P\text{-}\delta$ ۶۳۲
F-۳- فاز سوم: تنظیمات پیش از تحلیل سازه از منوی Analyze ۶۳۴
F-۴- فاز چهارم: تحلیل سازه و بررسی اولیه نتایج آن ۶۳۵
F-۵- فاز پنجم: همپایه کردن برش پایه تحلیل طیفی با استاتیکی ۶۳۹
قسمت هفتم: طراحی و کنترل اولیه سازه در ETABS
G-۱- فاز اول: تنظیمات طراحی سازه فولادی از پنجره Preferences ۶۴۳
G-۲- فاز دوم: تنظیمات طراحی اعضای فولادی از پنجره Overwrites ۶۴۶
G-۳- فاز سوم: طراحی اولیه سازه و بررسی نتایج طراحی ۶۴۸
G-۴- فاز چهارم: تهیه فایل سازه با سختی کاهش نیافته و کنترل زمان تناوب تحلیلی ۶۵۰
G-۵- فاز پنجم: کنترل نظم پیچشی سازه در پلان ۶۵۲
G-۶- فاز ششم: کنترل تغییر مکان‌های جانبی نسبی سازه (کنترل دریفت) ۶۵۶
G-۷- فاز هفتم: کنترل ضریب درجه نامعینی سازه ۶۵۸
قسمت هشتم: طراحی و کنترل نهایی سازه در ETABS
H-۱- فاز اول: طراحی نهایی و تیپ‌بندی اعضای سازه ۶۶۱
H-۲- فاز دوم: کنترل ستون‌ها برای ترکیب بارهای تشدید یافته ۶۶۷
H-۳- فاز سوم: کنترل زمان تناوب و دریفت سازه ۶۷۲
H-۴- فاز چهارم: کنترل نظم پیچشی سازه ۶۷۵
H-۵- فاز پنجم: کنترل واژگونی ساختمان ۶۷۸
H-۶- فاز ششم: بررسی پارامترهای مرتبط با پایداری سازه ۶۷۹
H-۷- فاز هفتم: کنترل مقاومت برشی تیرهای قاب خمشی ۶۸۳
H-۸- فاز هشتم: کنترل دستک‌های کششی برای اثرات ناشی از ضربه ۶۸۸
H-۹- فاز نهم: کنترل اعضای سازه با فرض دیافراگم غیرصلب ۶۸۹

مروری بر این کتاب

هر چند برای خسارت‌های وارد بر سازه‌ها در هنگام وقوع زلزله می‌توان دلایل مختلفی را برشمرد، اما خیلی از اوقات انگشت اتهام به‌سوی مهندسان محاسب نشانه می‌رود. البته شاید این موضوع چندان هم غیرواقع نباشد، زیرا متأسفانه بسیاری از مهندسان طراح درک صحیحی از اصول طراحی سازه ندارند و تنها با اتکا به نرم‌افزارهایی نظیر *ETABS* و بدون آنکه نقاط ضعف و قوت آنها را بدانند، طراحی را انجام می‌دهند. باید گفت که در بسیاری از موارد مهندس طراح خود تصمیم گیرنده است و نباید صرفاً نتایج طراحی نرم‌افزار را ملاک قرار دهد، زیرا نرم‌افزاری مانند *ETABS* در کنار قابلیت‌های فراوان خود، هنوز ضعف‌های بسیاری نیز دارد. در راستای بهبود این شرایط، ما اعتقاد داریم که مهندسان عزیز کشور، نیازمند دسترسی به منابع و اطلاعات کاربردی و دقیقی هستند که در کنار بالا بردن توانایی آنها در استفاده از نرم‌افزارها و آیین‌نامه‌های جدید، دید مهندسی و درک سازه‌ای آنها را نیز بالا ببرد.

ما در این کتاب به دنبال راهکاری هستیم که در روند طراحی سازه‌ها، دید و تفکر مهندسی را در کنار نرم‌افزار *ETABS* قرار دهد و در نهایت به شما کمک کند که با انجام یک طراحی مناسب، سازه‌ای امن ایجاد کنید.

جهت رسیدن به این هدف و رفع حلقهٔ گم شدهٔ مهندسان عزیز، این کتاب را با یک تفکر ویژه نوشته‌ایم. این کتاب شامل یک پیش‌فصل و سه بخش اصلی است که در ادامه خلاصه‌ای از مطالب ارائه شده در هر یک را برای شما عزیزان بازگو می‌کنیم.

پیش فصل

در این بخش از کتاب، پس از ارائه برخی توضیحات اولیه، مشخصات معماری یک ساختمان مسکونی را برای مهندسان گرامی آورده و نام آن را **پروژهٔ پایه‌ای** گذاشته‌ایم. این پروژه، مبنای اصلی کار ما در بخش‌های اول و دوم کتاب است.

بخش اول کتاب

هدف اصلی ما از آوردن این بخش در کتاب، آشنایی خوانندگان عزیز با اصول و تئوری‌هایی است که بدون دانستن و درک دقیق آنها، عملاً کار کردن با نرم‌افزار *ETABS* بی‌معنا بوده و سبب می‌شود که اطلاعات بعضاً نادرستی به نرم‌افزار داده شود که نتایج کل طراحی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این بخش از کتاب شامل فصل‌های زیر می‌باشد:

فصل اول (سیستم‌های باربر جانبی در ساختمان‌های فولادی): در این فصل از کتاب می‌خواهیم از یک سو درک شما عزیزان را از انواع سیستم‌های سازه‌ای در ساختمان‌های فولادی بالاتر ببریم و از سوی دیگر، دیدگاه‌های جالبی را در مورد انتخاب سیستم باربر جانبی در یک پروژه، چگونگی تیرریزی در سقف‌های پروژه و همچنین چگونگی ستون‌گذاری، به شما منتقل کنیم. در انتهای این فصل نیز پروژهٔ پایه‌ای معرفی شده در پیش فصل را از لحاظ انتخاب سیستم سازه‌ای، چگونگی تیرریزی و ستون‌گذاری به‌طور کامل تجزیه و تحلیل می‌کنیم تا مطالب ارائه شده در این فصل را بهتر درک کنید.

فصل دوم (اصول بارگذاری ثقلی در پروژه‌های ساختمانی): در این فصل از کتاب، ابتدا یک دیدگاه مهندسی در مورد انواع بارهای ارائه شده در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۱۳۹۲) به شما داده و سپس بیان می‌کنیم که کدام‌یک از این بارها در طراحی ساختمان‌ها حائز اهمیت می‌باشند و در ادامهٔ فصل مرور سریعی بر شیوهٔ محاسبهٔ این بارها بر مبنای ویرایش جدید مبحث ششم خواهیم داشت. در ویرایش جدید مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، محاسبهٔ بار برف وارد بر بام دارای پیچیدگی‌هایی بوده که در این کتاب سعی شده است با فرض‌های سادهٔ مهندسی برای محاسبهٔ بار انباشتگی برف، روند محاسبهٔ این بار را ساده‌تر کند. همچنین اطلاعات بسیار مفیدی در قالب جداول کاربردی برای محاسبهٔ بار برف تهیه شده است که می‌تواند در تسریع روند بارگذاری ثقلی سازه مؤثر باشد. علاوه بر این موارد، بحث‌های کاربردی دیگری در مورد بار باران، انواع سقف‌های کاربردی در ساختمان‌های فولادی، چگونگی انجام بارگذاری پله و ... در این فصل ارائه می‌شود که از ویژگی‌های منحصر به فرد آن است. در انتهای این فصل نیز پروژهٔ پایه‌ای معرفی شده در پیش فصل را به‌صورت دستی بارگذاری کرده و قدرت شما را در انجام این کار به شدت بالا می‌بریم. این فصل، اولین قدم برای آشتی دادن مجدد شما مهندسان عزیز با محاسبات دستی می‌باشد.

فصل سوم (اصول بارگذاری لرزه‌ای در پروژه‌های ساختمانی): در این فصل از کتاب، ابتدا مروری سریع بر اصلی‌ترین مطالب لازم جهت تحلیل سازه در برابر نیروی زلزله مطابق ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ خواهیم داشت (این آیین‌نامه در اواخر سال ۱۳۹۳ منتشر شده و از مهر ماه ۱۳۹۴ لازم‌الاجراست). توضیحات کاربردی دربارهٔ روش استاتیکی معادل، نحوهٔ محاسبهٔ مؤلفهٔ قائم نیروی زلزله، بررسی قاعدهٔ ۳۰-۱۰۰ در ساختمان‌ها، بحث در مورد ضرایب Ω_0 و ρ و ... ، از موارد جالب و کاربردی می‌باشد که در این فصل به آنها پرداخته شده است. در انتهای فصل نیز نیروهای زلزلهٔ پروژهٔ پایه‌ای را به‌صورت دستی و با توجه به مطالب ارائه شده در این فصل، محاسبه کرده‌ایم. گفتنی است که این فصل، دومین قدم ما برای آشتی دادن شما مهندسان عزیز با محاسبات دستی سازه‌ها می‌باشد.

فصل چهارم (تحلیل و طراحی تقریبی سازه): در این فصل از کتاب، ابتدا یادآوری کوتاهی از روش‌های تقریبی تحلیل سازه‌ها در برابر نیروهای ثقلی و جانبی داشته و سپس مرور سریعی بر روابط طراحی تیرها، ستون‌ها و مهاربندها از مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۱۳۹۲) داریم. در انتهای فصل نیز قسمت‌هایی از پروژهٔ پایه‌ای را به‌صورت دستی تحلیل تقریبی کرده و سپس با کمک روابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، برخی از اعضاء را طراحی می‌کنیم. این فصل، یک قدم بسیار مهم برای توانمند کردن شما مهندسان عزیز در طراحی دستی سازه‌ها می‌باشد. دقت کنید که این توانمندی به شما کمک می‌کند که پس از طراحی سازه با *ETABS*، نتایج آن را به‌صورت کورکورانه قبول نکرده و خود نیز بتوانید صحت آنها را بررسی کنید.

بخش دوم کتاب

بخش دوم کتاب، عملاً شروع کار با نرم‌افزار *ETABS* می‌باشد. ما در فصول این بخش، شیوهٔ درست مدل‌سازی، تحلیل و طراحی سازه در *ETABS* را به شما یاد می‌دهیم و از طرفی، تئوری‌هایی که برای درک بهتر پنجره‌های *ETABS* نیاز دارید را بیان می‌کنیم. همچنین مفاهیم و دیدهای مهندسی و کاربردی بسیاری را ارائه می‌کنیم که توانایی شما را به‌عنوان یک مهندس طراح ارتقاء می‌دهد. بخش دوم کتاب، در قالب فصل‌های زیر ارائه شده است:

فصل پنجم (تهیهٔ قالب اولیهٔ فایل *ETABS*): در این فصل همزمان با کمک گرفتن از پروژهٔ پایه‌ای، به شما راه‌اندازی نرم‌افزار *ETABS*، ساختن خطوط شبکه، تعریف مصالح، تعریف مقاطع فولادی و تعریف سقف‌ها را با یک روند فازی و مفهومی آموزش می‌دهیم. آشنایی با محیط *Section Designer* و روش مقطع معادل که دو روش مورد استفاده برای تعریف مقاطع رایج در ایران می‌باشند نیز از مطالب مهمی است که در طی این فصل یاد خواهید گرفت.

فصل ششم (مدل‌سازی هندسهٔ سازه در *ETABS*): در این فصل می‌خواهیم چگونگی ترسیم هندسهٔ سازه در *ETABS* را به شما آموزش دهیم. برای این منظور در یک روند فازی، ابتدا ستون‌ها و تیرهای سازه و سپس مهاربندها و کف‌ها را برای پروژهٔ پایه‌ای رسم کرده و شما همزمان با انجام این کار، به تدریج درک بهتری از محیط *ETABS* پیدا خواهید کرد.

فصل هفتم (بارگذاری سازه در مدل *ETABS*): در این فصل می‌خواهیم نحوهٔ بارگذاری در *ETABS* را با کمک پروژهٔ پایه‌ای به‌صورت کاملاً مرحله به مرحله یاد بگیریم. برای رسیدن به این منظور، در یک روند فازی شیوهٔ تعریف *Load Patterns*، *Load Cases* و *Load Combinations* را به شما آموزش می‌دهیم. از نقاط بسیار برجستهٔ این فصل، توضیحات منحصر به فردی است که در مورد ترکیب بارهای ساختمان‌های فولادی ارائه شده که در بین مراجع و کتاب‌های موجود، مشابهی ندارد.

فصل هشتم (تحلیل سازه در *ETABS*): در این فصل ابتدا در مورد تنظیمات مربوط به تحلیل سازه در *ETABS* بحث کرده و سپس روند تحلیل را انجام می‌دهیم. در ادامه نتایج تحلیل نرم‌افزار را با نتایج تحلیل تقریبی در فصل چهارم مقایسه کرده و عملاً قدرت شما عزیزان را در بررسی صحت نتایج *ETABS* بالا می‌بریم.

فصل نهم (طراحی و کنترل اولیهٔ سازه در *ETABS*): در این فصل ابتدا شما را با چگونگی تنظیم پارامترهای طراحی سازه در *ETABS* آشنا کرده، به‌گونه‌ای که نتایج طراحی در *ETABS* با نتایج مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (ویرایش ۱۳۹۲) یکسان شود. سپس طراحی اولیهٔ سازه را با رویکرد مقاطع *Auto Select* انجام می‌دهیم و با این کار، نرم‌افزار *ETABS* مقاطع اولیه‌ای که برای اعضای سازه نیاز داریم را به ما پیشنهاد می‌دهد. در ادامه چگونگی انجام کنترل‌هایی اولیه نظیر کنترل دریفت، کنترل زمان تناوب سازه و ... را نیز با کمک نتایج *ETABS* به شما یاد خواهیم داد تا با تقریب مناسبی متوجه شوید که مقاطع انتخابی که از لحاظ مقاومتی در *ETABS* تأیید شده‌اند، آیا از لحاظ کنترل‌های لرزه‌ای استاندارد ۲۸۰۰ نیز مورد قبول هستند یا خیر؟

فصل دهم (طراحی نهایی سازه در *ETABS*): در این فصل بسیار مهم که با توجه به تجربهٔ بسیار زیاد مؤلفین نگارش شده و در کتاب قرار گرفته است، ابتدا به شما یاد می‌دهیم که چگونه با توجه به مقاطع اولیهٔ به‌دست آمده در فصل نهم، تیرها و ستون‌ها و مهاربندهای سازه را در پروژهٔ پایه‌ای تیپ‌بندی کنید. در ادامهٔ این فصل، تحلیل و طراحی سازه مجدداً انجام می‌شود تا روند محاسبات سازه نهایی شود. همچنین برای برخی از اعضای سازه، نتایج طراحی *ETABS* را با نتایج طراحی دستی مقایسه می‌کنیم تا عملاً قدرت دفاع از نتایج نرم‌افزار به مهندسان عزیز منتقل گردد.

فصل یازدهم (کنترل‌های نهایی سازه در *ETABS*): در این فصل نتایج طراحی نهایی سازه را کنترل خواهیم کرد. نحوهٔ دقیق کنترل دریفت، کنترل زمان تناوب و کنترل نظم پیچشی سازه از مواردی است که در این فصل به آن می‌پردازیم. همچنین با روندی جذاب و مفهومی، ستون‌های سازه را برای ترکیب بارهای تشدید یافته کنترل کرده و موضوع زلزلهٔ ۳۰-۱۰۰ برای ستون‌های محل تلاقی قاب‌های خمشی و دهانه‌های مهاربندی شده را نیز بررسی می‌کنیم. شایان ذکر است که کنترل واژگونی سازه را نیز با ذکر نکاتی جدید به شما آموزش خواهیم داد.

تا فصل یازدهم، شما مهندسان عزیز پروژهٔ پایه‌ای را طراحی کرده‌اید و گام بلندی را برای تبدیل شدن به یک طراح خوب با دید مهندسی کافی برداشته‌اید. شایان ذکر است که هر چند پروژهٔ پایه‌ای یک پروژه با ابعادی کوچک می‌باشد، ولی اصولی که در طول انجام آن یاد گرفته‌اید در پروژه‌های بزرگتر نیز تفاوتی نداشته و کاربردی خواهند بود.

بخش سوم کتاب

در بخش سوم این کتاب، نحوهٔ طراحی **یک ساختمان ۸ طبقهٔ فولادی با سیستم قاب خمشی متوسط** در هر دو جهت را در دستور کار خود قرار داده‌ایم. در حقیقت شما پس از گذراندن مراحل طراحی یک پروژهٔ کوچک به نام پروژهٔ پایه‌ای، حال به این قابلیت رسیده‌اید که در بخش سوم کتاب، چگونگی طراحی یک پروژهٔ بزرگ‌تر را یاد بگیرید که ما نام آن را **پروژهٔ حرفه‌ای** گذاشته‌ایم. این پروژه به گونه‌ای انتخاب شده است که بسیاری از سؤالات و ابهامات مهندسان عزیز را پاسخ داده و راهکارهای خوبی برای بررسی الزامات ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ به شما نشان دهد. مراحل کلی انجام این پروژه تقریباً مشابه با پروژهٔ پایه‌ای است که در ۹ قسمت به شما ارائه می‌شود. این قسمت‌ها و مطالب گفته شده در هر یک به شرح زیر می‌باشند:

قسمت اول (شناسنامهٔ پروژه): در این قسمت مواردی نظیر مشخصات معماری پروژه و بررسی نقشه‌های معماری، اصلاح ستون‌گذاری سازه و تعیین جهت تیرچه‌ریزی سقف‌ها، تعیین بارهای ثقلی شامل بار مردهٔ کف‌ها و دیوارها، بار زندهٔ کف‌ها و بار برف بام، تعیین ضریب زلزله و ... بحث خواهند شد.

قسمت دوم (نکات فنی پروژه): قسمت نکات فنی پروژه که در جلد دوم این کتاب نیز در هر پروژه آن را خواهید دید، شامل چند موضوع مهمی است که در آن پروژه مورد بحث قرار می‌گیرد. در این پروژه از سیستم سقف کرمیت استفاده شده که برخی از مهندسان آشنایی کافی با آن ندارند و به همین دلیل قصد داریم توضیحات مختصر و مفیدی در رابطه با این نوع سقف ارائه کنیم. همچنین از آنجاکه در این پروژهٔ حرفه‌ای قصد داریم از روش تحلیل طیفی و نیز ترکیب بارهای شامل اثرات زلزلهٔ ۳۰-۱۰۰ استفاده کنیم، مفاهیم مرتبط با این دو موضوع را در قسمت دوم برای شما بیان می‌کنیم تا دید مناسبی نسبت به آنها پیدا کنید.

قسمت سوم (تهیهٔ قالب اولیهٔ فایل *ETABS*): مراحل انجام گرفته در این قسمت در حقیقت مشابه با مراحلی است که در فصل پنجم برای پروژهٔ پایه‌ای انجام دادیم. این مراحل شامل تنظیمات اولیهٔ فایل *ETABS*، معرفی مصالح و همچنین معرفی مقاطع مورد نیاز برای مدل‌سازی می‌باشد.

مشکلی که بسیاری از مهندسان در ابتدای مراحل طراحی یک ساختمان با آن مواجه می‌شوند، نحوهٔ انتخاب مقاطع اولیه برای سازه می‌باشد. در حقیقت هر چند پس از طراحی ده‌ها سازه و کسب تجربهٔ کافی، شما می‌توانید تخمین خوبی از مقاطع اولیهٔ سازه داشته باشید، ولی پیش از تبدیل شدن به یک طراح حرفه‌ای، انجام این تخمین برای شما اندکی دشوار است. برای رفع این مشکل اساسی که در بین بسیاری از مهندسان عزیز وجود دارد، ما راهکاری مفید در این قسمت پروژه به شما ارائه خواهیم کرد. راهکار ما روشی جالب و ساده است که به‌صورت انحصاری در این کتاب بیان شده است. این راهکار که حاصل بررسی و ارتقاء یک روش تقریبی مورد استفاده در چند شرکت خارجی است، به شما این امکان را می‌دهد که از این به بعد مقاطع تیرها و ستون‌های مورد نیاز در پروژه‌های خود را به‌سرعت تخمین زده و از سردرگمی انتخاب مقطع خارج شوید.

قسمت چهارم (ترسیم هندسهٔ مدل در *ETABS*): هندسهٔ پروژهٔ دوم کتاب پیچیده‌تر از پروژهٔ پایه‌ای است و به همین دلیل برای ترسیم آن در *ETABS* باید نکات خاصی را استفاده کنید. این نکات شامل استفاده از محورهای مورب، ترسیم نقاط خارج از نقاط تقاطع گریدها، ترسیم اعضای خطی با فاصله از نقاط کلیک و ترسیم دستک‌ها می‌باشد که آنها را به شما یاد خواهیم داد. پس از رسم هندسهٔ سازه نیز باید ویژگی‌های اعضای سازه با استفاده از قابلیت‌های منوی *Assign* اصلاح شوند.

نکتهٔ جالب و خاصی که در سازهٔ این پروژه دیده می‌شود، استفاده از تیرهایی در قاب خمشی است که تنها یک سر آنها گیردار می‌باشد. در واقع اتصال یک سمت این تیرها به یک تیر دیگر می‌باشد که در این سمت از اتصال مفصلی استفاده شده است.

قسمت پنجم (بارگذاری سازه در *ETABS*): هر چند در روند انجام پروژهٔ پایه‌ای در فصل هفتم، نحوهٔ بارگذاری سازه را به‌صورت مفهومی بررسی کردیم، ولی در این قسمت فصل توضیحات جدیدی به شما ارائه خواهیم داد. در این قسمت به منظور تسریع در روند بارگذاری ثقلی پروژه، از یک ویژگی جدید و کاربردی نرم‌افزار *ETABS* به نام *Load Sets* استفاده شده است. علاوه بر این همان‌طورکه در توضیحات قسمت دوم این پروژه نیز گفتیم، در اینجا قصد داریم نحوهٔ تحلیل طیفی سازه را به شما یاد دهیم و به همین دلیل در این قسمت نحوهٔ تعریف حالت‌های بار تحلیل طیفی و سپس تشکیل ترکیب بارهای طیفی را به شما یاد می‌دهیم. شایان ذکر است که ترکیب بارهای این پروژه شامل اثرات ۳۰-۱۰۰ نیز می‌باشند و شما این موضوع مهم را نیز یاد خواهید گرفت.

علاوه بر بحث تحلیل طیفی و ترکیب بارهای ۳۰-۱۰۰، موضوع مهم دیگری که در این پروژه پوشش داده خواهد شد، بحث بارهای قائم زلزله است. از آنجاکه این پروژه در شهری با خطر نسبی بسیار زیاد واقع است، موضوع بار قائم زلزله روی کل سازه در آن مطرح می‌شود (براساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰). همچنین به‌دلیل استفاده از قسمت‌های طره‌ای در ساختمان که البته با دستک‌هایی مهار می‌شوند، به‌صورت محافظه‌کارانه بار قائم وارد بر طره نیز در پروژه اعمال شده است که نحوهٔ انجام این موضوع را نیز یاد خواهید گرفت.

قسمت ششم (تحلیل سازه در *ETABS*): جهت انجام تحلیل یک سازه در *ETABS*، ابتدا لازم است تنظیماتی از طریق منوهای *Define* و *Analyze* انجام گرفته و پس از تکمیل روند تحلیل، کنترل‌هایی روی نتایج تحلیل انجام گیرد. در این پروژه این تنظیمات را انجام خواهیم داد که البته مفاهیم آنها را در فصل هشتم از پروژهٔ پایه‌ای یاد گرفتیم. دو موضوع مهم دیگری که در این قسمت به آن می‌پردازیم، یکی بحث اصلاح ضرایب کاهش بار زنده در *ETABS* است که بسیاری از مهندسان از آن بی‌اطلاع هستند و دیگری موضوع همپایه کردن برش پایهٔ تحلیل طیفی است که بسیاری از مهندسان عزیز در انجام آن دچار مشکل می‌شوند.

قسمت هفتم (طراحی و کنترل اولیهٔ سازه در *ETABS*): تنظیم پارامترهای طراحی سازه و سپس طراحی آن با رویکرد مقاطع *Auto Select* موضوعی است که در این قسمت انجام می‌شود. همچنین کنترل‌های اولیهٔ سازه که در فصل نهم آنها را یاد گرفتیم، برای سازهٔ این پروژه انجام خواهد شد. یکی از دیگر موارد جالب در این فصل، بحث دربارهٔ کنترل ضریب درجهٔ نامعینی سازه است که موضوع جدیدی در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد.

قسمت هشتم (طراحی و کنترل نهایی سازه در *ETABS*): تیپ‌بندی و نهایی کردن مقاطع اعضای سازه از موارد مهمی است که باید با در نظر گرفتن ملاحظات سازه‌ای و اجرایی انجام گیرد. همچنین کنترل‌های نهایی نظیر کنترل دریفت و نظم پیچشی سازه باید به‌صورت دقیق انجام گیرد که در این قسمت به آنها خواهیم پرداخت. قابل ذکر است که در این پروژه برای کنترل ستون‌های سازه تحت ترکیب بارهای تشدید یافته، از قابلیت‌های خودکار *ETABS* استفاده خواهیم کرد. در انتهای این قسمت، کنترل‌های مربوط به پایداری سازه براساس بند (۱۰-۲) مبحث دهم مقررات ملی ساختمان نیز انجام گرفته است.

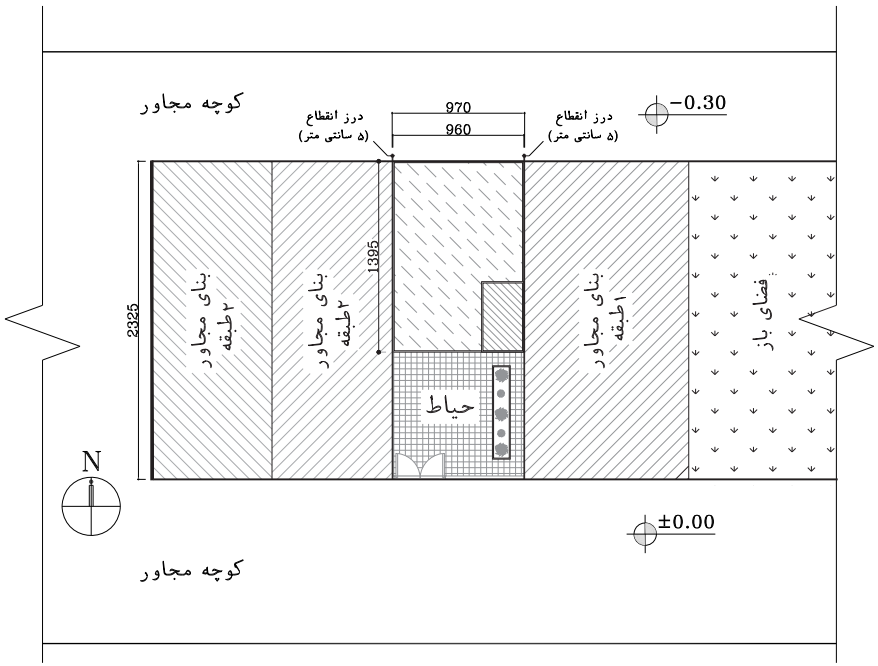
در ادامه می‌خواهیم در قسمت دوم پیش فصل، مشخصات پروژهٔ پایه‌ای را که عملاً در بخش‌های اول و دوم کتاب (فصل‌های اول تا یازدهم) با آن سر و کار داریم، برای شما عزیزان بررسی کنیم.

در این قسمت از فصل، چه خواهیم خواند؟

به‌طور کلی اولین مرحله در روند انجام محاسبات یک پروژهٔ ساختمانی، دریافت نقشه‌های فاز یک معماری و کسب اطلاعات اولیه مرتبط با سازهٔ ساختمان می‌باشد. در این قسمت می‌خواهیم با نقشه‌های معماری پروژهٔ پایه‌ای که در اختیار ما قرار گرفته است آشنا شویم و همچنین مروری بر اطلاعات قابل استخراج از آنها داشته باشیم.

B-۱- تعریف مشخصات کلی پروژه

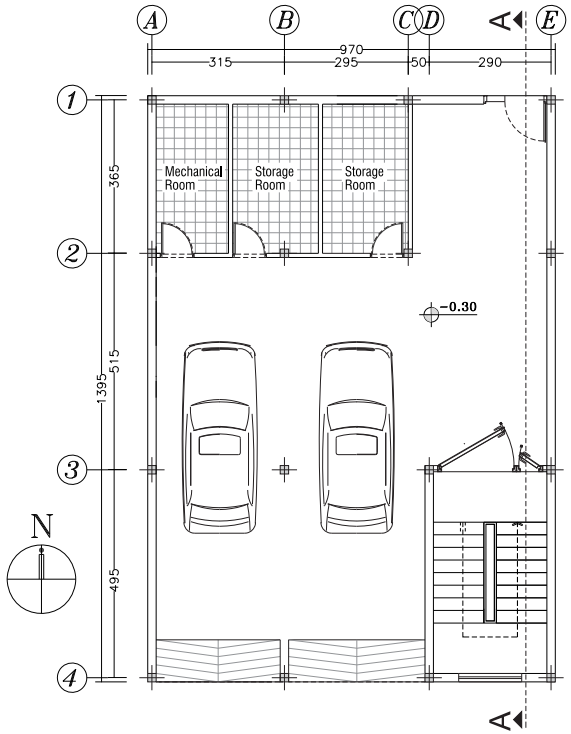
در پروژهٔ پایه‌ای کتاب، طراحی یک ساختمان ۳ طبقه با کاربری مسکونی در بندر ماهشهر (استان خوزستان) مورد نظر می‌باشد. طبقهٔ پیلوت[۱] این ساختمان به‌عنوان پارکینگ و انباری استفاده شده و در هر یک از دو طبقهٔ دیگر، یک واحد مسکونی با مساحت ۱۲۰ مترمربع وجود دارد. نقشه‌های معماری پروژه شامل نقشهٔ موقعیت ساختمان، پلان طبقات، نماها و برش ساختمان می‌باشد که در ادامه آنها را مشاهده می‌کنید.



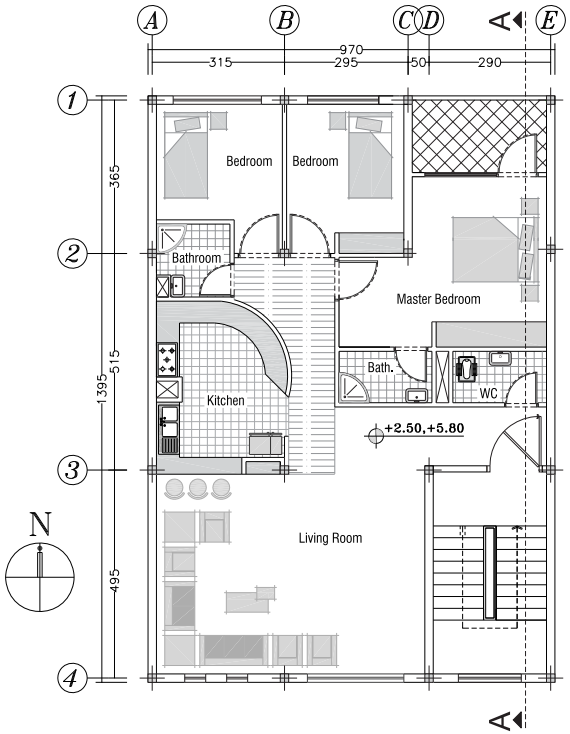
شکل ۱: نقشهٔ موقعیت ساختمان پروژهٔ پایه‌ای

زیر شاخه‌های اصلی قسمت دوم
B-۱- تعریف مشخصات کلی پروژه
B-۲- تفسیر معماری پروژه

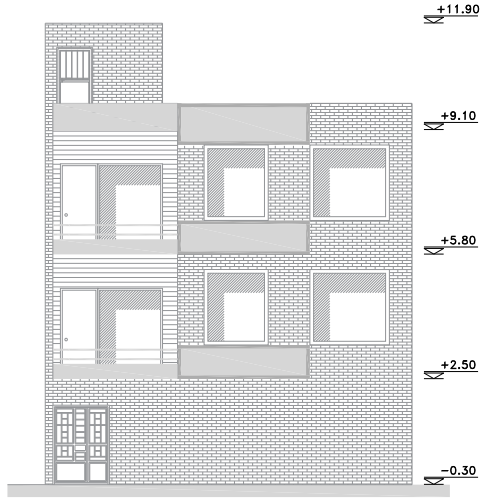
۱- پیلوت، اصطلاحاً به معنی طبقهٔ همکف در ساختمان‌های چند طبقه است که معمولاً ارتفاع آن از سایر طبقات کمتر بوده و به عنوان پارکینگ، موتورخانه، انباری و یا واحد سرایداری استفاده می‌شود.



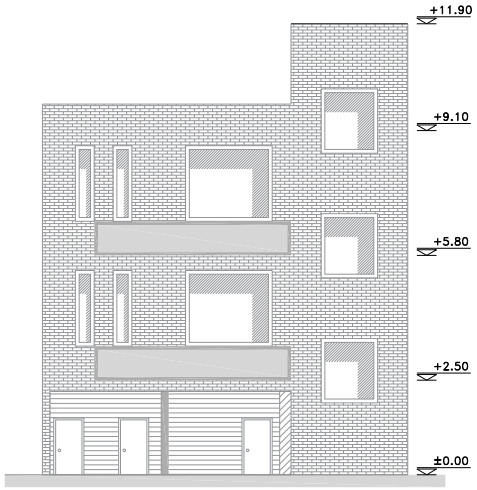
شکل ۲: نقشهٔ پلان طبقهٔ همکف



شکل ۳: نقشهٔ پلان تیپ طبقات



شکل ٤: نقشهٔ نمای شمالی ساختمان



شکل ٥: نقشهٔ نمای جنوبی ساختمان

مشخصات اولیهٔ پروژه

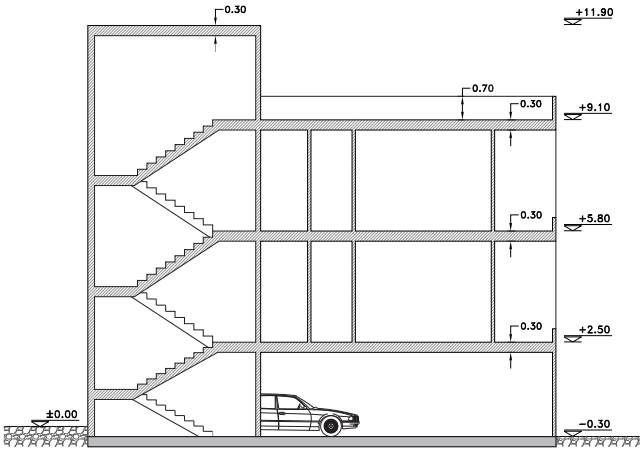
در پروژهٔ پایه‌ای، مشخصات اولیهٔ مورد نیاز برای طراحی به شرح زیر است:

۱- زمین محل احداث ساختمان دارای خاک تیپ III می‌باشد و تنش مجاز خاک برابر ۱/۲ kgf/cm^2 است.

۲- برای احداث این ساختمان، استفاده از اسکلت فولادی با توجه به شرایط اجرایی در محل، ترجیح داده شده است.

۳- مقاطع مورد استفاده برای سازه از انواع متداول در ایران با مصالح $ST37$ هستند و برای اجرای سقف از بتن $C21$ استفاده می‌شود.

۴- پیشنهاد اولیه برای سیستم باربر جانبی سازه، قاب مهاربندی شدهٔ همگرا می‌باشد و سقف‌های از نوع تیرچه بلوک به‌دلیل سهولت اجرا مطلوب هستند.



شکل ٦: نقشهٔ برش (A-A) ساختمان

سازهٔ فولادی یا بتنی

قبل از اینکه وارد ادامهٔ بحث در مورد پروژهٔ پایه‌ای شویم، می‌خواهیم یک سؤال اساسی که در ذهن بسیاری از مهندسان مطرح می‌شود را بررسی کنیم. سؤال آن است که اصلی‌ترین معیار یک مهندس برای انتخاب مصالح فولادی یا بتنی در سازه چیست؟ به‌عنوان اولین نکته باید بدانید که از دیدگاه مهندسی، چنانچه طراحی یک ساختمان با اسکلت فولادی یا بتنی براساس اصول آیین‌نامه‌ای انجام گیرد، تفاوت خاصی در بحث پایداری آنها در برابر نیروهای ثقلی و جانبی وجود نداشته و هر دوی آنها سازه‌هایی امن محسوب می‌شوند. به‌همین دلیل شاید بتوان گفت که ملاک‌های اجرایی و اقتصادی، تعیین‌کننده‌ترین موضوعات برای انتخاب فولادی یا بتنی بودن سازهٔ یک پروژه می‌باشد که در ادامه در قالب چند مورد، آن را بررسی می‌کنیم:

۱ با توجه به اهمیت مباحث اقتصادی در هر پروژه، معمولاً هزینهٔ مصالح و اجرای یک ساختمان با اسکلت فولادی، درصدی بیشتر از اسکلت بتنی است. از سوی دیگر باید توجه کرد که برای اجرای اسکلت فولادی، قسمت زیادی از حجم آهن مصرفی به یکباره خریداری می‌شود که لزوم داشتن سرمایهٔ اولیه را مشخص می‌کند، ولی در اسکلت‌های بتنی که به‌صورت طبقه به طبقه اجرا می‌شوند، می‌توان سرمایه را به‌صورت تدریجی و در طول زمان به پروژه تزریق کرد. اما این نکته را نباید به‌صورت تک بعدی نگاه کرد، زیرا زمان ساخت پروژه‌های فولادی به‌طور معمول کمتر بوده و سرمایه‌گذاری شما زودتر به نتیجه می‌رسد.

۲ از لحاظ کیفیت اجرای سازه در پروژه باید گفت که در مناطق مختلف کشور، اکیپ‌های اجرایی متفاوتی وجود دارند، به‌طور مثال ممکن است در یک شهر مجریان اسکلت فولادی ماهرتر از مجریان اسکلت بتنی باشند یا بالعکس. دقت شود که اجرای اتصالات و فرایند جوشکاری در سازه‌های فولادی و همچنین قالب‌بندی و آرماتوربندی در سازه‌های بتنی هر دو نیاز به تخصص کافی دارد و اهمیت این موارد، بیشتر باید مورد توجه قرار گیرد.

۳ اسکلت‌های فولادی مقاطع ستون و تیر کوچکتری نسبت به اسکلت‌های بتنی دارند که این موضوع از نظر معماران مطلوب‌تر می‌باشد. ابعاد مقاطع بتنی، اغلب به‌عنوان یکی از معایب این سازه‌ها تلقی می‌شود، زیرا می‌تواند باعث تداخل آنها با فضاهای مورد علاقهٔ معماران شود و سطح مفید ساختمان را کاهش دهد.

۴ سازه‌های فولادی غالباً در برابر اثرات آتش‌سوزی حساس‌تر هستند و برای مقاوم کردن آنها، توصیه می‌شود که از پوشش‌های ضد حریق روی مقاطع استفاده شود. از سوی دیگر مقاطع بتنی تحمل حرارت‌های بالاتری را دارند، هر چند که آیین‌نامه‌های بتنی نیز ضوابطی را برای افزایش مقاومت آنها پیشنهاد می‌دهند.

۵ در دسترس بودن مصالح مورد نیاز برای اسکلت سازه نیز از دیگر معیارهای انتخاب می‌باشد، هر چند که در حال حاضر در اغلب نقاط کشور امکان دسترسی به هر دو نوع مصالح فولاد و بتن وجود دارد.

در جمع‌بندی مطالب ارائه شده باید گفت که علاوه بر موارد ذکر شده، عوامل دیگری نیز وجود دارند که می‌توانند بر نحوهٔ انتخاب سازهٔ پروژه تأثیرگذار باشند و لازم است مهندسان طراح با در نظر داشتن جمیع این موارد، نوع سازهٔ خود را برگزینند. به‌عنوان مثال نیازهای کارفرما و خواست او همواره یکی از مهمترین ملاک‌های انتخاب است که می‌تواند تمامی نکات گفته شده در این بخش را تحت تأثیر خود قرار دهد (به‌طور مثال شاید کارفرما قصد داشته باشد موادی را در سازه ذخیره کند که با بتن سازگاری بیشتری نسبت به فولاد دارند، یا به‌دلیل ارتباط کارفرما با صنف آهن‌فروشان، استفاده از اسکلت فولادی برای او جذاب‌تر است).

در این پروژه، کارفرما متناسب با موارد ارائه شده، استفاده از اسکلت فولادی را برای سازه ترجیح داده است.

B-۲- تفسیر معماری پروژه

اولین قدم در شروع روند محاسبات سازهٔ یک ساختمان، شناخت و درک مناسب از معماری آن است که در اصطلاح تفسیر معماری گفته می‌شود. برای این منظور، در این بخش نگاهی اولیه به نقشه‌های معماری پروژهٔ پایه‌ای خواهیم داشت که شامل نقشهٔ موقعیت ساختمان، نقشهٔ پلان طبقات، نقشهٔ برش ساختمان و نقشهٔ نماهای ساختمان می‌باشد.

بررسی نقشهٔ موقعیت ساختمان

در مورد ساختمان این پروژه، با بررسی نقشهٔ موقعیت (سایت پلان) می‌توان گفت که زمین محل ساخت مستطیلی به ابعاد ۹/۷۰×۲۳/۲۵ متر است و ابعاد کل ساختمان ۹/۶۰×۱۳/۹۵ متر می‌باشد (مساحت ساختمان ٪۶۰ مساحت زمین است). ساختمان در شمال یک گذر و در جنوب یک گذر دیگر است و می‌توان آن را ساختمانی شمالی - جنوبی محسوب کرد. همچنین زمین محل ساخت از سمت شرق و غرب به ملک همسایه (بنای مجاور) محدود شده است. از سوی دیگر برای این ساختمان در هر دو سمت شرق و غرب، درز انقطاع با عرض ۵ cm در نظر گرفته شده که به‌عنوان مهندس طراح سازه باید آن را کنترل کنیم.

کنترل درز انقطاع

می‌دانیم که در هنگام وقوع زلزله، سازه‌ها دچار ارتعاش و تغییرمکان جانبی می‌شوند و به همین دلیل توصیه می‌شود که برای جلوگیری از برخورد دو سازهٔ مجاور به یکدیگر، فاصله‌ای بین آنها در نظر گرفته شود. این فاصله که اصطلاحاً **درز انقطاع** گفته می‌شود، باید مطابق ضوابط بند (۱-۴-۱) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ تعیین شده و با نقشه‌های معماری کنترل شود. بر این اساس برای ساختمان‌های تا هشت طبقه (مانند سازهٔ سه طبقهٔ پروژهٔ پایه‌ای)، فاصلهٔ هر طبقه از مرز زمین مجاور حداقل باید برابر پنج هزارم ارتفاع آن طبقه از روی تراز پایه باشد. حال برای اینکه این شرط در بالاترین طبقهٔ ساختمان (بام) برقرار باشد، باید عرض درز انقطاع را در هر طرف ساختمان برابر پنج هزارم ارتفاع بام از تراز پایه در نظر بگیریم و به همین دلیل داریم:

عرض درز انقطاع در نقشهٔ معماری : $5\ cm > 0/005\ h = 0/005 \times 970 = 4/85\ cm$

توجه: در رابطهٔ فوق، فاصلهٔ بین تراز بام ساختمان تا تراز پایه (تراز روی شالوده) برابر ۹/۷۰ m در نظر گرفته شده که دربارهٔ نحوهٔ تعیین آن، در بررسی نقشهٔ برش ساختمان بحث خواهیم کرد.

بررسی نقشهٔ پلان طبقات

برای ساختمان این پروژهٔ سه طبقه، دو پلان معماری ارائه شده است. یکی از این پلان‌ها مربوط به پیلوت (طبقهٔ اول ساختمان) و دیگری مربوط به پلان طبقات دوم و سوم ساختمان است (طبقات دوم و سوم ساختمان با هم تیپ هستند)[۱]. حال به‌عنوان مهندس طراح باید با دقت در این پلان‌ها، به نکات صفحهٔ بعد توجه کنیم:

۱- در عرف مهندسی سازه، اولین طبقهٔ روی زمین را با شمارهٔ یک (طبقهٔ اول) مشخص کرده و برای طبقات بالاتر به شمارهٔ طبقات اضافه می‌کنیم. این در حالی است که در عرف معماری، طبقه‌ای که تقریباً هم تراز با زمین است را طبقهٔ همکف گفته و شماره‌گذاری را برای طبقات بعدی انجام می‌دهند. با توجه به این موضوع یک مهندس سازه، پروژهٔ پایه‌ای را سازه‌ای سه طبقه و یک مهندس معمار آن را ساختمانی دو طبقه به اضافهٔ همکف می‌داند.

۱- کاربری طبقات دوم و سوم به‌صورت مسکونی است و طبقهٔ اول (پیلوت) به‌عنوان پارکینگ، انباری و اتاق تأسیسات به‌کار می‌رود.

۲- جزئیات کاربری هر فضای ساختمان مانند اتاق‌های عمومی، اتاق‌های خصوصی، بالکن و راه پله، می‌تواند به‌عنوان معیاری برای تعیین بار زندهٔ هر فضا استفاده شود که در فصل‌های بعد کاربرد دارد.

دقت: از آنجاکه در این ساختمان، پیلوت اولین طبقهٔ سازه محسوب می‌شود، بارهای ناشی از پارکینگ و انباری به تیر و ستون‌های سازه وارد نمی‌شوند و تنها ممکن است مقداری از آنها به‌طور مستقیم به شالوده رسیده و در طراحی آن مؤثر باشند.

۳- محورها (آکس‌های) پیشنهادی مهندس معمار شامل پنج محور A تا E در راستای عرض ساختمان و چهار محور ۱ تا ۴ در راستای طول ساختمان می‌باشد. از طرفی فاصلهٔ محورهای پیشنهادی، حداکثر برابر $5/15\,m$ است که برای اجرای سقف‌های متداول نظیر سقف تیرچه بلوک مناسب می‌باشد.

۴- ستون‌گذاری پیشنهادی منطبق بر معماری بوده و به‌گونه‌ای است که اکثر ستون‌ها در دیوارها یا گوشهٔ اتاق‌ها پنهان شده‌اند. همچنین در اطراف اتاق پله، چهار ستون می‌باشد که برای پایداری قسمت پله بسیار مناسب است.

در مجموع می‌توان ستون‌گذاری پیشنهادی توسط مهندس معمار این پروژه را یک ستون‌گذاری مناسب دانست که به‌عنوان پایهٔ کار مهندس سازه قابل استفاده است و البته در طول طراحی سازه ممکن است نیاز به اصلاح داشته باشند.

بررسی نقشهٔ برش ساختمان

نقشهٔ برش یک ساختمان بیانگر نحوهٔ تغییرات پارامترهای مختلف در ارتفاع ساختمان است، به‌طوری‌که کدهای ارتفاعی معماری و ضخامت سقف‌ها در آن دیده می‌شود. در جدول زیر جمع‌بندی کدهای معماری، کدهای سازه‌ای و سایر اطلاعات به‌دست آمده از برش ساختمان پروژهٔ پایه‌ای بیان شده است.

جدول ۱: جمع بندی اطلاعات ارتفاعی به‌دست آمده از نقشهٔ برش ساختمان

ارتفاع دیوار قرار گرفته روی کف مورد نظر	ارتفاع طبقه (از طبقهٔ پایین)	ارتفاع طبقه از روی شالوده (تراز پایه)	کد سازه‌ای	کد معماری	تراز مورد نظر
–	$2/80\,m$	$12/50\,m$	+۱۱/۹۰	+۱۱/۹۰	سقف خرپشته
$2/5\,m$ (دیوار خرپشته)	$3/30\,m$	$9/70\,m$	+۹/۱۰	+۹/۱۰	سقف طبقهٔ سوم (بام)
$0/7\,m$ (دیوار جان پناه)					
$3/0\,m$	$3/30\,m$	$6/40\,m$	+۵/۸۰	+۵/۸۰	سقف طبقهٔ دوم
$3/0\,m$	$3/10\,m$	$3/10\,m$	+۲/۵۰	+۲/۵۰	سقف طبقهٔ اول (پیلوت)
$2/8\,m$	–	–	−۰/۶۰	−۰/۳۰	روی شالوده

دربارهٔ محاسبات انجام شده در جدول فوق، باید به نکات زیر دقت شود:

۱) طبقهٔ پیلوت در کد معماری $-0/30\,m$ قرار دارد که با توجه به استفاده از ۳۰ سانتی‌متر کفسازی در اولین طبقهٔ ساختمان (که مقدار متعارفی برای ساختمان‌های تا ۵ طبقه است)، کد سازه‌ای آن $-0/60\,m$ می‌باشد.

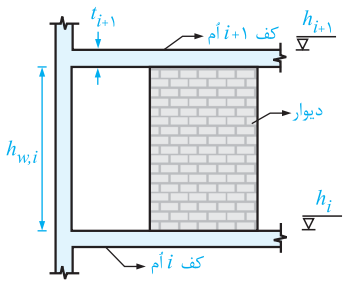
۲ در دیگر طبقات ساختمان، ضخامت سقف برابر ۳۰ cm نشان داده شده که از نظر معماران، به‌عنوان کف تمام شدهٔ ساختمان محسوب می‌شود. در این حالت می‌توان رویکردهای مختلفی را برای تعیین کد سازه‌ای طبقات در نظر گرفت. در یک حالت می‌توان به اندازهٔ ضخامت کف‌سازی روی سقف‌ها (مثلاً ۱۰ سانتی‌متر) از تراز معماری پایین آمد تا تراز روی بتن سقف به‌دست آید و آن را تراز سازه‌ای در نظر گرفت. در یک حالت دیگر نیز می‌توان وسط هر یک از سقف‌ها را به‌عنوان تراز سازه‌ای منظور کرد. در این دو روش و یا هر روش دیگری، همواره ارتفاع طبقات مختلف (به جز طبقهٔ روی شالوده) ثابت است و تفاوتی نمی‌کند، به‌عبارتی اختلاف کدهای سازه‌ای همان اختلاف کدهای معماری است. تنها تفاوت این روش‌ها در آن است که هر چه تراز سازه‌ای طبقات را پایین‌تر بیاوریم، ارتفاع طبقهٔ روی شالوده کمتر می‌شود. پس می‌توان گفت که بهتر است کد سازه‌ای طبقات همان کد معماری آنها باشد تا در این حالت ارتفاع طبقهٔ روی شالوده حداکثر شود (این موضوع در بحث‌های سازه‌ای، رویکردی محافظه‌کارانه‌تر است).[۱]

۳ برای بررسی نحوهٔ به‌دست آوردن ارتفاع طبقه از روی شالوده و طبقهٔ پایین خود، به‌طور مثال داریم:

ارتفاع طبقهٔ دوم از روی شالوده = کد سازه‌ای طبقهٔ دوم − کد سازه‌ای روی شالوده $= ۵/۸۰ - (-۰/۶۰) = ۶/۴۰\ m$

ارتفاع طبقهٔ دوم از طبقهٔ اول = کد سازه‌ای طبقهٔ دوم − کد سازه‌ای طبقهٔ اول $= ۵/۸۰ - ۲/۵۰ = ۳/۳۰\ m$

۴ ارتفاع دیوارهای پیرامونی ساختمان، پارامتری است که در فصل‌های بعد برای محاسبات بار مردهٔ ناشی از آنها نیاز می‌باشد. براساس شکل زیر، می‌توان ارتفاع دیوارها را برابر اختلاف ترازهای معماری طبقات منهای ضخامت سقف در نظر گرفت.[۲]



شکل ۷: مفهوم ارتفاع دیوار براساس ترازهای معماری

ارتفاع دیوار قرار گرفته روی کف i ام : $h_{w,i} = (h_{i+1} - h_i) - t_{i+1}$ ← ضخامت کف $i+1$ ام که در برش ساختمان دیده می‌شود.

به‌طور مثال برای محاسبهٔ ارتفاع دیوارهای طبقهٔ اول داریم:

$$h_{w,1} = (h_2 - h_1) - t_2 = (۵/۸۰ - ۲/۵۰) - ۰/۳ = ۳/۰\ m$$

از آنجاکه معمولاً مدل‌سازی کف‌های ساختمان در نرم‌افزار *ETABS* با استفاده از فواصل محور به محور ستون‌ها انجام می‌شود، عملاً در اغلب موارد حاشیه‌ای نازک از کف ساختمان مدل نشده و بار کف آن در نظر گرفته نمی‌شود. به همین دلیل می‌توان برای جبران این موضوع، در محاسبهٔ ارتفاع دیوارهای پیرامونی تنها از اختلاف ترازهای طبقات استفاده کرده و از کم کردن ضخامت سقف صرف‌نظر نمود.

۵ دیوارهایی که بر روی سقف بام قرار می‌گیرند، شامل دو مورد زیر می‌باشند:

- دیوار جان‌پناه که در محیط بام قرار می‌گیرد و با توجه به نقشهٔ برش ساختمان، ۰/۷ m ارتفاع دارد.[۳]
- دیوارهای چهار طرف خرپشته که نحوهٔ تعیین ارتفاع آنها مانند ارتفاع دیوار سایر طبقات می‌باشد:

ارتفاع دیوار اطراف خرپشته = تراز معماری خرپشته − تراز معماری بام − ضخامت کف خرپشته $= (۱۱/۹۰ - ۹/۱۰) - ۰/۳ = ۲/۵\ m$

۱- شایان ذکر است در نقشه‌های معماری که با دقت فراوانی ترسیم شده باشند، ضخامت سقف به صورت دقیق ارائه می‌شود و در این موارد می‌توان رویکرد دقیق‌تری برای تعیین کدهای سازه‌ای در نظر گرفت.

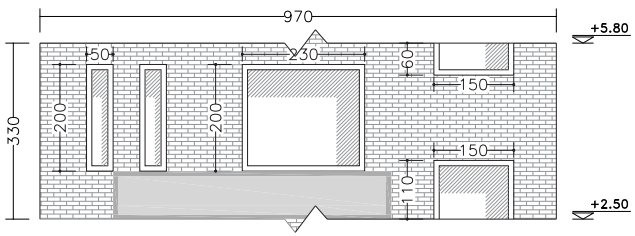
۲- دیوارهای پیرامونی روی شالوده، اغلب بین تراز سازه‌ای روی شالوده تا زیر کف طبقهٔ بالای خود ساخته می‌شوند.

۳- البته دیوارهای جان‌پناه ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر همپوشانی با کف‌سازی داشته و بنابراین ارتفاع آنها بیشتر است که البته در اینجا از این موضوع صرف‌نظر شده است.

بررسی نقشهٔ نماهای ساختمان

در پروژهٔ پایه‌ای، دو نقشه برای نمای شمالی و نمای جنوبی ساختمان رسم شده است. بررسی این نقشه‌ها برای مهندس طراح سازه بیشتر جنبهٔ درک بهتر از وضعیت ساختمان دارد و چندان کاربردی نیست. اما یک موضوع که از نماهای ساختمان باید برداشت شود، آن است که در دیوارهای پیرامونی ساختمان که در سمت نما می‌باشند، نسبت مساحت بازشوها (درها و پنجره‌ها) به مساحت دیوارها چقدر است؟ دقت کنید که این موضوع در تخمین بار ناشی از دیوارها کاربرد دارد، زیرا هر چه ابعاد بازشوها نسبت به ابعاد دیوارها بزرگ‌تر باشد، بار ناشی از دیوارها کمتر خواهد بود.

در شکل مقابل، به‌طور نمونه قسمت مربوط به طبقهٔ دوم سازه از نمای جنوبی آن نشان داده شده است. همان‌طور که در این قسمت مشاهده می‌کنید، کل دیوار پیرامونی در این ناحیه، مستطیلی به ابعاد ۹/۷×۳/۳ متر است که در آن تعدادی بازشوی پنجره وجود دارد. حال با استفاده از رابطهٔ زیر می‌توان نسبت مورد نظر را محاسبه نمود:



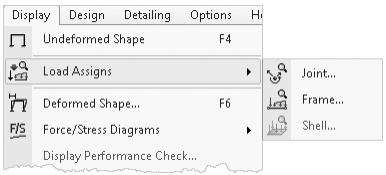
شکل ۸: قسمتی از دیوار نمای جنوبی ساختمان برای تعیین درصد بازشوها

$$\frac{\text{مساحت بازشوها}}{\text{مساحت کل دیوار}} = \frac{۲\times(۰/۵\times۲/۰)+۲/۳\times۲/۰+۱/۵\times۱/۱+۱/۵\times۰/۶}{۹/۷\times۳/۳} = \frac{۹/۱۵}{۳۲/۰۱} = ۰/۲۸۶ \ (۲۸/۶٪)$$

با بررسی سایر دیوارهای نما متوجه می‌شوید که نسبت مورد نظر برای آنها بیش از مقدار فوق است. در نهایت با قضاوت مهندسی می‌توان گفت که در نظر گرفتن ۳۰ درصد بازشو برای دیوارهای نمای این پروژه، مقداری منطقی می‌باشد.

ابزارهای نمایش بارگذاری در منوی Display

تا اینجای استفاده از *ETABS* برای مدل‌سازی پروژهٔ پایه‌ای، هنوز نحوهٔ دقیق استفاده از منوی *Display* را به شما یاد نداده‌ایم. باید گفت که این منو برای مهندسان حرفه‌ای بسیار کاربردی است و در بیشتر مراحل مدل‌سازی و طراحی استفاده می‌شود. هر چند قسمت‌های مختلف این منو را به تدریج و در طول انجام پروژه‌ها خواهید آموخت، ولی در این فاز می‌خواهیم اولین گزینه‌های آن را بررسی کنیم. در قسمت بالایی منوی *Display* ، مواردی مشابه شکل مقابل دیده می‌شود:



شکل ۵۳: ابزارهای مشاهدهٔ بارهای وارد بر سازه

همان‌طورکه مشاهده می‌کنید، در این قسمت از منوی *Display* چهار انتخاب وجود دارد که در جدول زیر بیان شده‌اند و در ادامهٔ بحث مروری بر قابلیت‌های آنها خواهیم داشت:

جدول ۱۱: گزینه‌های کاربردی منوی *Display* برای نمایش بارگذاری‌های وارد بر سازه

ردیف	کاربرد	موضوع	آیکن مربوطه در نوار ابزار
۱	نمایش هندسهٔ سازه بدون بارگذاری	*Undeformed Shape*	
۲	نمایش بارهای وارد بر گره‌ها	*Load Assigns > Joint*	
۳	نمایش بارهای وارد بر المان‌های میله‌ای (مانند تیرها)	*Load Assigns > Frame*	
۴	نمایش بارهای وارد بر سطوح (مانند کف‌های طبقات)	*Load Assigns > Shell*	

دقت: برای انتخاب هر یک از گزینه‌های چهارگانهٔ مذکور، می‌توانید روی آیکن‌های آنها در نوار ابزار کلیک کنید (مجموعه آیکن‌های). دقت شود که این آیکن‌ها به‌صورت پیش‌فرض در نوار ابزار بالایی *ETABS* وجود دارند، ولی در غیر این‌صورت باید روی ناحیه‌ای خالی در نوار ابزار بالایی کلیک راست کنید و از منوی کوچک باز شده، گزینهٔ *Standard* را انتخاب نمایید.

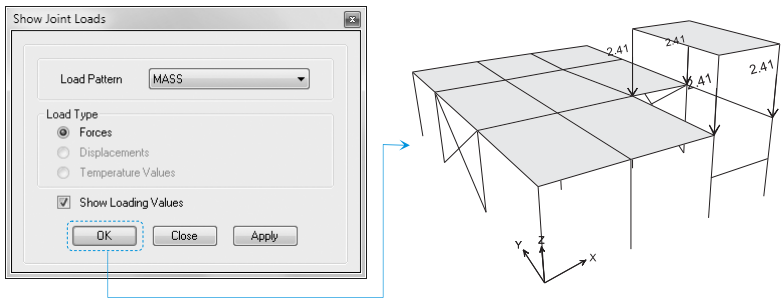
گزینهٔ *Undeformed Shape*: چنانچه در پنجرهٔ فعال مدل، بارگذاری وارد بر اعضای سازه نشان داده شده باشد، با کلیک روی این گزینه (یا به‌طور ساده‌تر، با فشردن کلید *F4*)، حالت بدون بارگذاری اعضاء نشان داده می‌شود.

شکل ۵۴: نحوهٔ مشاهدهٔ حالت بدون بارگذاری سازه

توجه: عبارت *Undeformed Shape* به معنی «حالت تغییرشکل نیافتهٔ سازه» است و کاربرد آن در مرحلهٔ مدل‌سازی و حتی مراحل بعد از تحلیل و طراحی سازه نیز می‌باشد. به‌طور کلی این گزینه در حالتی استفاده می‌شود که یک سری اطلاعات مانند بارگذاری وارد بر سازه، حالت تغییرشکل یافتهٔ سازه تحت نیروها یا خروجی‌های طراحی روی اعضای سازه در پنجرهٔ مدل نشان داده شده و می‌خواهیم با حذف این اطلاعات، تنها حالت هندسهٔ سازه را مشاهده کنیم.

گزینهٔ *Joint*: با استفاده از مسیر *Display > Load Assigns > Joint* پنجره‌ای با عنوان *Show Joint Loads* که به معنی «نمایش بارهای وارد بر گره‌ها» می‌باشد باز می‌شود. دربارهٔ این پنجره موارد زیر قابل ذکر است:

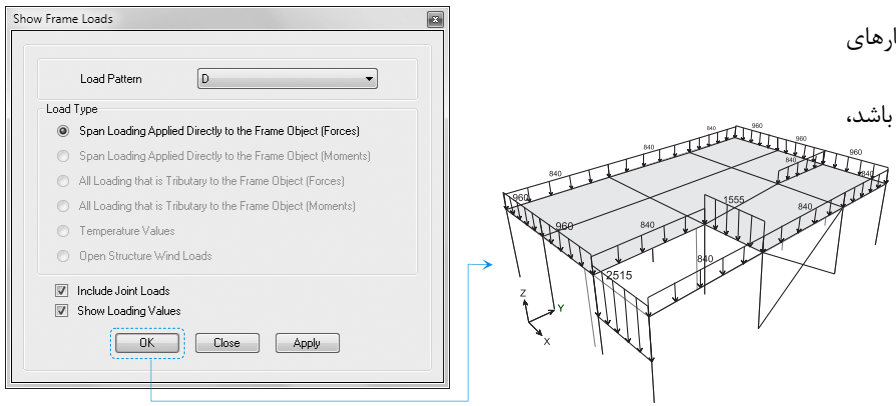
- نوع الگوی باری که می‌خواهید بارگذاری آن را مشاهده کنید، از منوی *Load Pattern* انتخاب می‌شود.
- چنانچه در الگوی بار انتخاب شدهٔ شما، باری به گره‌های سازه اعمال نشده باشد، هیچ یک از گزینه‌های بخش *Load Type* و نیز هیچ‌یک از دکمه‌های *OK* و *Apply* روشن نخواهد شد. دقت شود از آنجاکه در پروژهٔ پایه‌ای تنها بارهای گره‌ای مربوط به الگوی بار *MASS* هستند (بار اصلاح جرم خرپشته)، در صورت انتخاب آن، حالت *Forces* فعال می‌شود، زیرا در این الگوی بار نیرو اختصاص داده‌ایم.
- حالت‌های دیگر در بخش *Load Type*، مربوط به مواردی است که بارگذاری وارد بر گره‌های سازه به‌صورت نشست تکیه‌گاهی (*Displacements*) یا بارگذاری حرارتی (*Temperature Values*) بوده است. دقت کنید که در پروژه‌های معمول ساختمانی، این نوع بارگذاری‌ها مدنظر نمی‌باشند.
- در صورتی‌که گزینهٔ *Show Loading Values* انتخاب شده باشد، مقدار نیروی اعمالی در کنار بردار آن نشان داده می‌شود. در غیر این صورت، تنها بردار نیروی وارد بر گره‌های سازه روی مدل دیده خواهد شد.



شکل ۵۵: استفاده از پنجرهٔ *Show Joint Loads* برای نمایش بارهای گره‌ای با الگوی *MASS* (در تراز بام)

گزینهٔ *Frame*: در صورتی‌که مسیر *Display > Load Assigns > Frame* انتخاب شود، پنجره‌ای با عنوان *Show Frame Loads* باز می‌شود که به معنی «نمایش بارهای وارد بر المان‌های میله‌ای (مانند تیرها)» می‌باشد. دربارهٔ تنظیمات این پنجره موارد زیر قابل ذکر است:

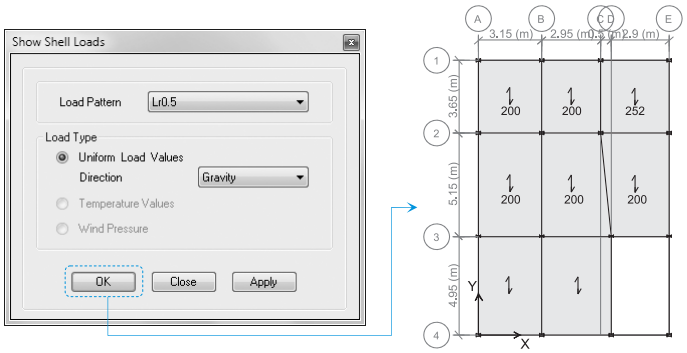
- نوع الگوی باری که بارگذاری آن مدنظر می‌باشد، از منوی *Load Pattern* انتخاب می‌گردد.
- در بخش *Load Type*، نوع بارگذاری وارد بر اعضای سازه در الگوی مورد نظر مشخص می‌شود. دقت شود از آنجا که در اغلب موارد، بارها به صورت نیروی خطی در طول عضو وارد می‌شوند، تنها گزینهٔ اول روشن خواهد شد.
- چنانچه گزینهٔ *Include Joint Loads* انتخاب شده باشد، بارهای گره‌ای نیز همزمان با بارهای وارد بر اعضا نشان داده می‌شوند.
- در صورتی‌که گزینهٔ *Show Loading Values* انتخاب شده باشد، مقدار بارگذاری‌ها در کنار بردار آنها درج می‌شود.



شکل ۵۶: استفاده از پنجرهٔ *Show Frame Loads* برای نمایش بارهای خطی با الگوی *D* (در تراز طبقهٔ دوم)

گزینهٔ *Shell* : اگر مسیر *Display > Load Assigns > Shell* را طی کنید، پنجره‌ای به نام *Show Shell Loads* باز می‌شود که به معنی «نمایش بارهای وارد بر سطوح (مانند کف‌های طبقات)» می‌باشد. در این پنجره تنظیمات زیر را انجام دهید:

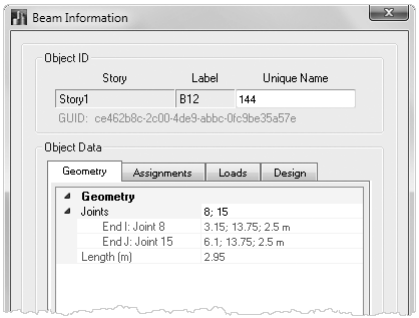
- الگوی بار مورد نظر برای نمایش نیروی سطحی را از منوی قسمت *Load Pattern* انتخاب کنید.
- نوع بارگذاری اعمال شده تحت الگوی بار را در قسمت *Load Type* تنظیم کنید. دقت شود که در عمدهٔ پروژه‌ها، بارگذاری‌های سطحی از نوع *Uniform Load* (بارگذاری گستردهٔ یکنواخت) هستند که در جهت ثقلی (*Gravity*) وارد می‌شوند.



شکل ۵۷: استفاده از پنجرهٔ *Show Shell Loads* برای نمایش بارهای سطحی با الگوی *Lr* 0.5 (در تراز طبقهٔ اول)

استفاده از پنجرهٔ Information برای کنترل بارگذاری

یکی از قابلیت‌های بسیار کاربردی نرم‌افزار *ETABS* آن است که می‌تواند انواع اطلاعاتی که یک طراح دربارهٔ هر المان سازه نیاز دارد را در پنجره‌ای به نام پنجرهٔ *Information* نشان دهد. برای دسترسی به این پنجره کافی است روی عضو مورد نظر که می‌تواند تیر، ستون، مهاربند یا کف باشد، راست کلیک کنید. دربارهٔ این پنجره که نمای کلی آن مشابه شکل مقابل می‌باشد، نکات اولیهٔ زیر را می‌توان بیان نمود:



شکل ۵۸: مشاهدهٔ مشخصات عضو در پنجرهٔ *Information*

۱. هنگامی‌که روی عضوی راست کلیک می‌کنید و پنجرهٔ *Information* برای آن باز می‌شود، آن عضو در پنجره‌های مدل با یک رنگ زرد و به صورت چشمک‌زن از بقیه اعضاء متمایز می‌شود تا بتوانید به راحتی آن را تشخیص دهید.

۲. در عنوان پنجرهٔ *Information* واژه‌ای مانند *Beam*، *Column*، *Brace* یا *Slab* دیده می‌شود که نشان دهندهٔ نوع عضوی است که روی آن راست کلیک کرده‌اید.

۳. در بالای پنجرهٔ *Information*، قسمتی به نام *Object ID* وجود دارد که اطلاعات اولیه‌ای شامل طبقهٔ قرارگیری عضو (*Story*)، برچسب مربوط به عضو (*Label*) و نام یکتای عضو (*Unique Name*) در آن بیان شده است.

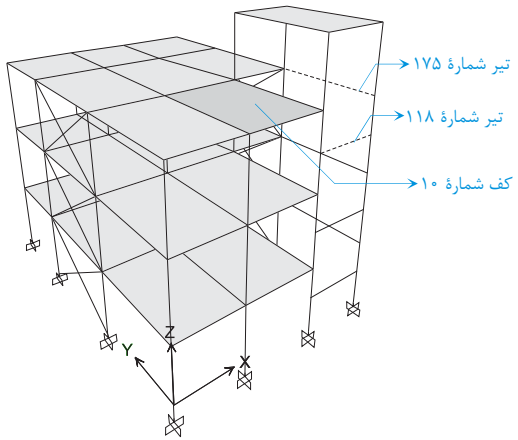
۴. قسمت اصلی پنجرهٔ *Information*، تحت عنوان *Object Data* (اطلاعات مربوط به عضو) می‌باشد که شامل چهار سربرگ اصلی است. توضیحات مربوط به هر یک از این سربرگ‌ها در جدول زیر بیان شده است.

جدول ۱۲: معرفی سربرگ‌های پنجرهٔ *Information*

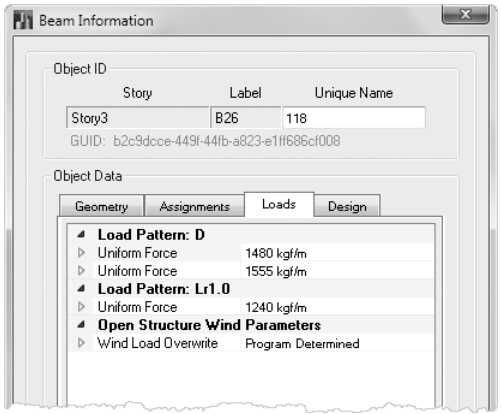
سربرگ	توضیحات
Geometry	شمارهٔ گره‌های تشکیل‌دهندهٔ عضو (*Joints*) و مختصات آنها را نشان می‌دهد. همچنین در اعضای خطی مانند تیرها، طول عضو و در اعضای سطحی مانند کف‌ها، مساحت، محیط و مرکز سطح کف نیز در این سربرگ بیان می‌شود.
Assignments	ویژگی‌هایی که به‌صورت پیش‌فرض و یا در هنگام ترسیم عضو به آن اختصاص داده شده، در این سربرگ بیان می‌شود. دقت کنید که این ویژگی‌ها از طریق امکانات منوی *Assign* قابل تغییر است (برخی از این ویژگی‌ها را در قسمت دوم فصل ششم اصلاح کرده یا تغییر داده‌ایم).
Loads	اطلاعات مربوط به انواع بارهای وارد بر عضو مورد نظر در این سربرگ بیان شده است.
Design	رویکرد *ETABS* در طراحی عضو مورد نظر در این سربرگ نشان داده می‌شود. دقت کنید از آنجاکه سقف‌ها در *ETABS* طراحی نمی‌شوند، سربرگ *Design* برای آنها وجود ندارد.

با توجه به توضیحاتی که دربارهٔ پنجرهٔ *Information* دادیم، حال می‌توانید نحوهٔ بارگذاری به هر عضو مورد نظر مانند تیرها یا کف‌های سازه را کنترل نمایید. به‌طور مثال در شکل‌های زیر اطلاعات بارگذاری مربوط به دو تیر و یک کف سازه را مشاهده می‌کنید.

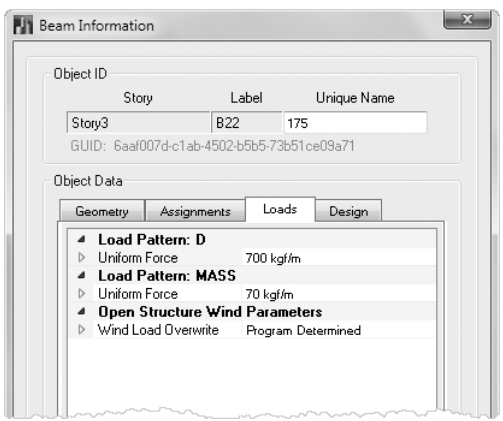
تذکر: نحوهٔ شماره‌گذاری اعضای سازه که در شکل زیر آن را مشاهده می‌کنید، ممکن است با فایل *ETABS* که خود ساخته‌اید متفاوت باشد. این موضوع اهمیتی ندارد و به این دلیل ایجاد شده که ترتیب ترسیم اعضای سازه توسط شما (در فصل ششم) متفاوت بوده است.



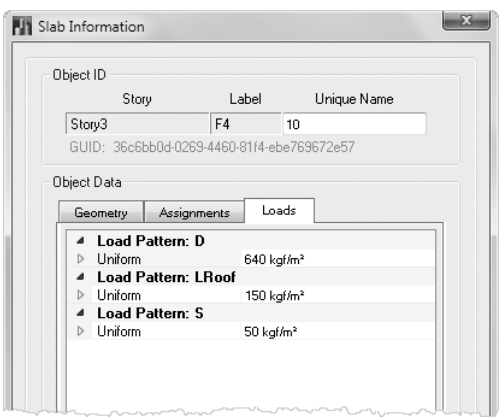
(نمایش اعضای انتخاب شده برای بررسی بارگذاری وارد بر آنها از پنجرهٔ *Information*)



(بارهای وارد بر تیر شمارهٔ ۱۱۸ شامل بارهای مردهٔ $۱۴۸۰\ kgf/m$ ناشی از دیوارهای پیرامونی، بار مردهٔ $۱۵۵۵\ kgf/m$ ناشی از راه پله و بار زندهٔ با الگوی $Lr1.0$ به میزان $۱۲۴۰\ kgf/m$ ناشی از راه پله)



(بارهای وارد بر تیر شمارهٔ ۱۷۵ شامل بار مردهٔ $۷۰۰\ kgf/m$ ناشی از دیوارهای اطراف خرپشته و بار اصلاح جرم از نوع *MASS* به شدت $۷۰\ kgf/m$)



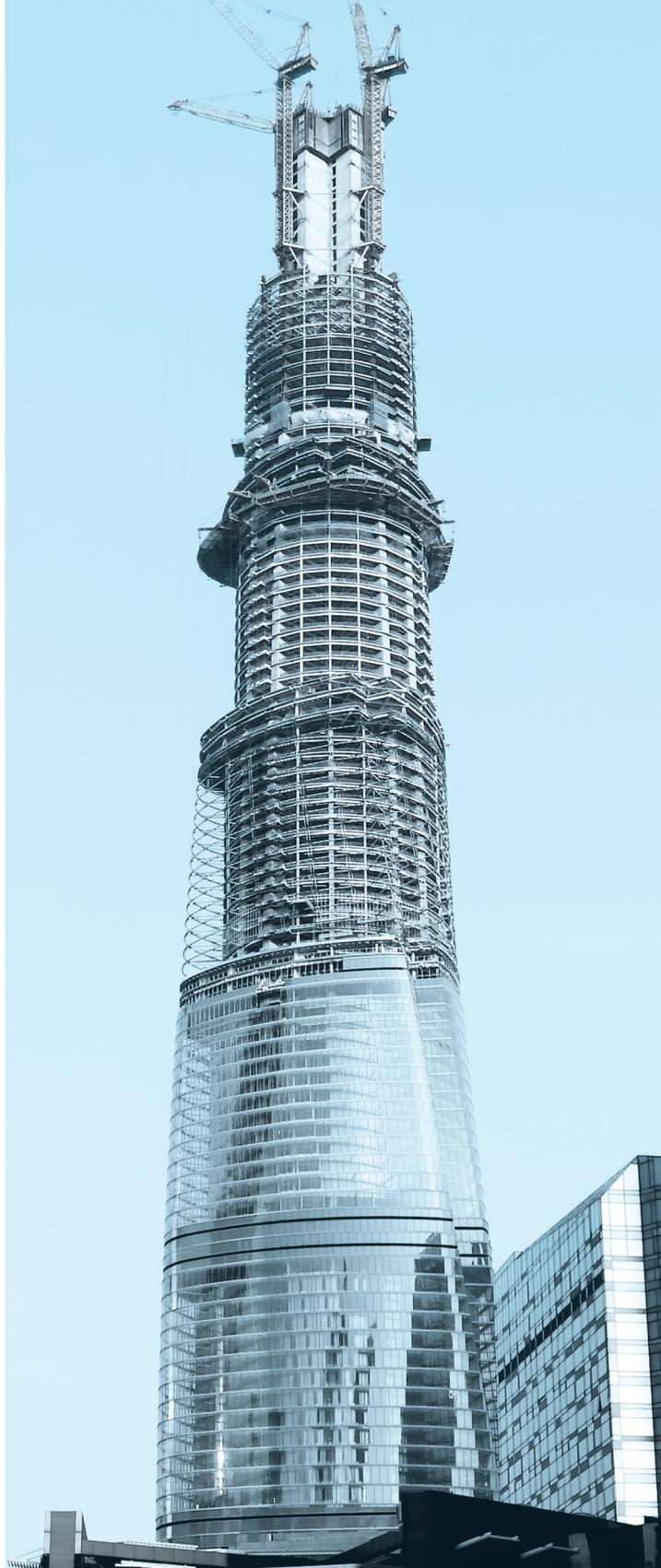
(بارهای وارد بر کف شمارهٔ ۱۰ شامل بار مردهٔ کف بام به شدت $۶۴۰\ kgf/m^2$، بار زندهٔ بام به شدت $۱۵۰\ kgf/m^2$ و بار برف به شدت $۵۰\ kgf/m^2$)

شکل ۵۹: بررسی بارهای وارد بر اعضای مورد نظر از طریق پنجرهٔ *Information*

سری عمران

پروژهٔ حرفه‌ای

طراحی ساختمان ۸ طبقهٔ فولادی
با سیستم قاب خمشی متوسط



قسمت اول: شناسنامهٔ پروژه

قسمت دوم: نکات فنی پروژه

قسمت سوم: تهیهٔ قالب اولیهٔ فایل ETABS

قسمت چهارم: ترسیم هندسهٔ مدل در ETABS

قسمت پنجم: بارگذاری سازه در ETABS

قسمت ششم: تحلیل سازه در ETABS

قسمت هفتم: طراحی و کنترل اولیهٔ سازه در ETABS

قسمت هشتم: طراحی و کنترل نهایی سازه در ETABS

بررسی روند فازی در قسمت اول

به‌عنوان اولین قسمت از انجام این پروژه، ابتدا می‌خواهیم مشخصات کلی طرح را با استفاده از نقشه‌های معماری آن بررسی کنیم تا درک اولیهٔ مناسبی از سیستم سازه‌ای مورد نیاز به‌دست آوریم. همچنین در ادامه قصد داریم جزئیات بارگذاری ثقلی پروژه که شامل بارهای مرده، زنده و برف است را تعیین کرده و پارامترهای بارگذاری لرزه‌ای را نیز مشخص کنیم. این قسمت از فصل در دو فاز به شرح زیر ارائه شده است:

روند فازی قسمت اول ←
- فاز اول: مشخصات کلی پروژه
- فاز دوم: جزئیات بارگذاری پروژه

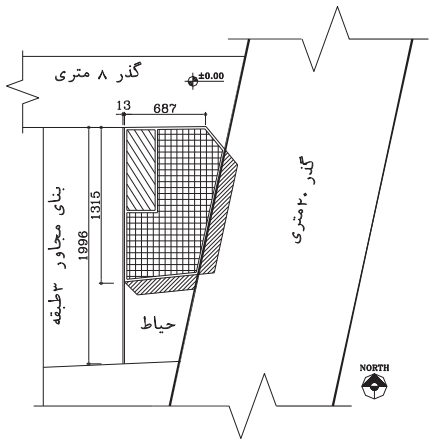
A-۱- فاز اول: مشخصات کلی پروژه

هدف از فاز اول

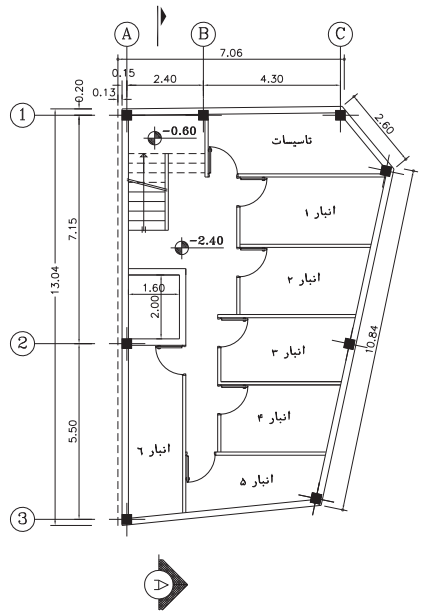
در فاز اول این پروژه می‌خواهیم مشخصات کلی پروژه شامل اطلاعات اولیهٔ ساختمان و نقشه‌های معماری را بررسی کرده و در ادامهٔ بحث، سیستم سازه‌ای مناسب این ساختمان را مشخص کنیم. همچنین مشخصات مصالح مصرفی و آیین‌نامه‌های مورد استفاده جهت طراحی این ساختمان را نیز مرور خواهیم کرد.

A-۱-۱- اطلاعات اولیهٔ ساختمان

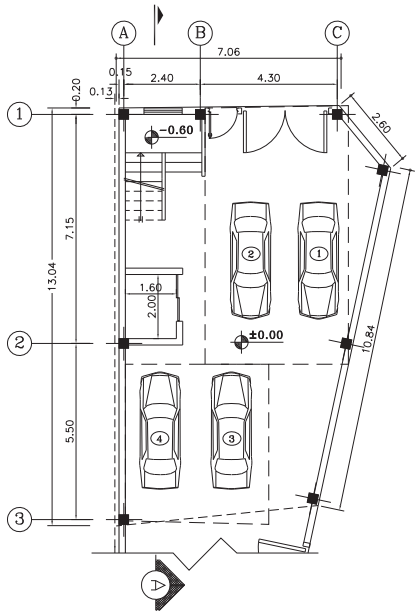
پروژهٔ مورد بررسی، یک ساختمان مسکونی ۸ طبقه در تهران می‌باشد. نقشه‌های معماری این پروژه شامل نقشهٔ موقعیت ساختمان، پلان طبقات زیرزمین، همکف، اول و تیپ طبقات دوم تا ششم است. همچنین دو نما از ساختمان و یک برش از آن ارائه شده که در ادامه آنها را مشاهده می‌کنید.



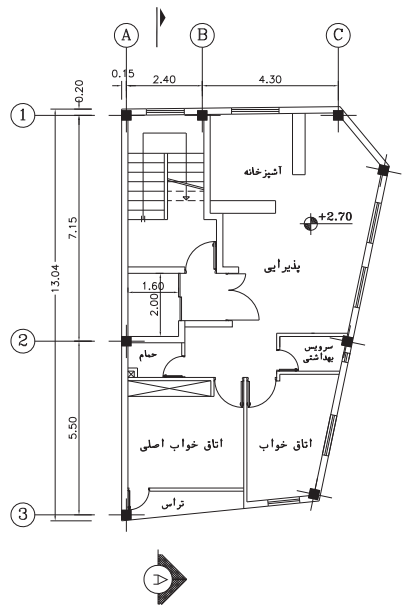
شکل ۱: پلان موقعیت ساختمان



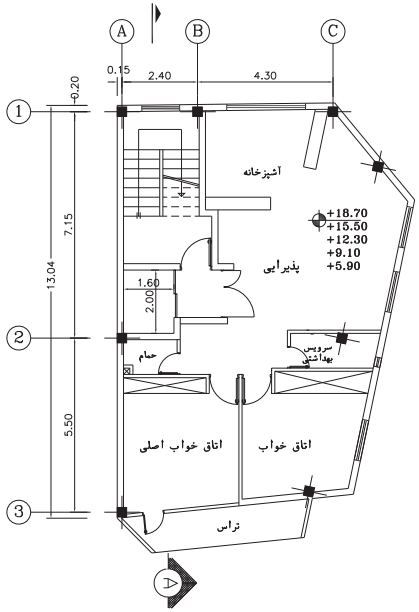
شکل ۲: پلان زیرزمین در تراز $-۲/۴۰\ m$



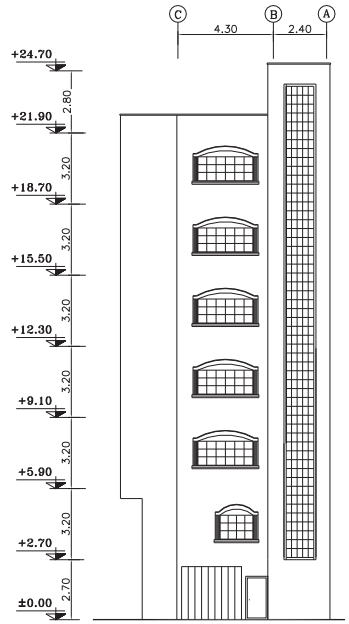
شکل ۳: پلان طبقهٔ همکف در تراز $\pm ۰/۰۰\ m$



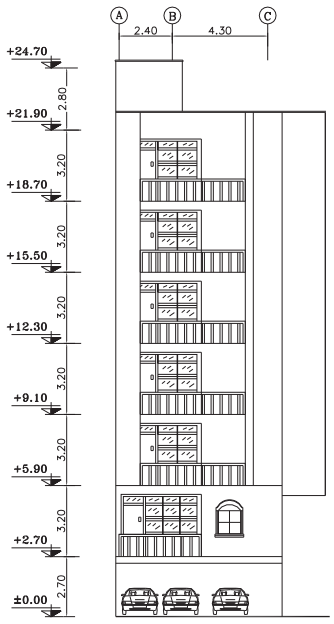
شکل ٤: پلان طبقهٔ اول در تراز $+۲/۷۰\ m$



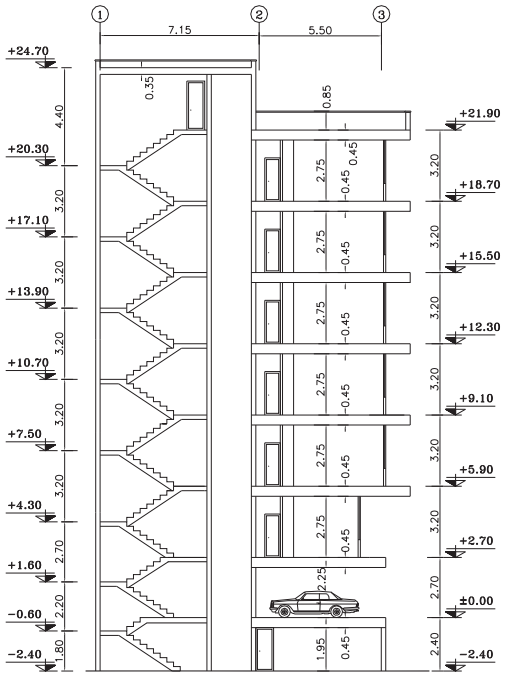
شکل ۵: پلان تیپ طبقات در ترازهای $+۵/۹۰\ m$ تا $+۱۸/۷۰\ m$



شکل ۶: نمای شمالی ساختمان



شکل ۷: نمای جنوبی ساختمان



شکل ۸: نقشهٔ برش A

اطلاعاتی دیگر

دانستن کاربری‌های طبقات مختلف ساختمان و اطلاعات کلی در مورد محل احداث آن، از ضروریات هر پروژهٔ ساختمانی می‌باشد. در رابطه با این موارد، در این پروژه می‌توان به نکات زیر اشاره کرد:

۱- همان‌طورکه از پلان‌های معماری دیده می‌شود، این ساختمان ۸ طبقه شامل ۶ طبقهٔ مسکونی، یک طبقهٔ پارکینگ در همکف و یک طبقهٔ انباری در زیرزمین است.

۲- با توجه به اینکه عمق گودبرداری این پروژه کم است (تقریباً ۳/۵ متر با احتساب شالوده)، نیازی به استفاده از دیوار حائل در اطراف طبقهٔ زیرزمین نیست و می‌توان با دیوار آجری، پایداری خاک مجاور ساختمان را تأمین کرد. شایان ذکر است که این ساختمان روی خاک تیپ II قرار دارد.

۳- براساس بند (۱-۴-۱) از ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، ساختمان‌ها باید با پیش‌بینی درز انقطاع از یکدیگر جدا شوند تا عملاً احتمال برخورد آنها به یکدیگر در اثر تغییرشکل‌های جانبی ناشی از ارتعاشات زلزله از بین برود. براساس همین بند، در ساختمان‌های با هشت طبقه و کمتر، فاصلهٔ هر طبقه از مرز زمین مجاور، حداقل باید برابر پنج هزارم ارتفاع آن طبقه از روی تراز پایه باشد. با توجه به پلان موقعیت ساختمان، در این پروژه در قسمت غربی سازه باید درز انقطاع تعبیه شود. عرض درز انقطاع در این سمت از سازه با توجه به ارتفاع بلندترین طبقه یعنی بام از روی شالوده ($۲۴/۶\ m$ که در جدول صفحهٔ بعد تعیین شده است) برابر است با:

عرض درز انقطاع $= ۰/۰۰۵ \times ۲۴/۶ = ۰/۱۲۳\ m = ۱۲/۳\ cm$

دقت: همان‌طورکه در پلان موقعیت ساختمان مشاهده می‌کنید، مهندس معمار ساختمان این مقدار را برابر $۱۳\ cm$ در نظر گرفته است که مناسب می‌باشد.

تذکر: در روال مهندسی، غالباً از وجود خرپشته در هنگام محاسبهٔ عرض درز انقطاع صرف‌نظر می‌شود. البته از نظر آیین‌نامه‌ای، بهتر است اگر وزن خرپشته بیشتر از ۲۵ درصد وزن بام باشد، آن را در این محاسبات منظور کنیم (البته در این پروژه چنین حالتی وجود ندارد).

مروری بر کنترل نظم پیچشی سازه در پلان

یکی از مهمترین کنترل‌هایی که باید پس از تحلیل و طراحی اولیهٔ سازه صورت گیرد، کنترل نظم پیچشی سازه است که در مورد مفاهیم آن در فصل نهم بحث کردیم. اهمیت این موضوع از آن جهت است که اگر سازه در پلان نامنظم پیچشی باشد، طراحی آن سخت‌گیرانه‌تر شده و ضوابط بیشتری باید کنترل شود که مهمترین آنها براساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ شامل موارد زیر است:

۱) براساس بند (۳-۱-۴)، سازه باید برای اثر همزمان زلزله‌های متعامد طراحی شود.

۲) براساس بند (۳-۳-۷-۳)، برون مرکزی اتفاقی حداقل باید در ضریب بزرگ‌نمایی A_j ضرب شود.

۳) براساس بند (۳-۵-۴)، در کنترل دریفت سازه به‌جای استفاده از دریفت مرکز جرم، باید دریفت محورهای کناری ساختمان مدنظر قرار گیرد.

براساس بند (۱-۷-۱) از ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، در صورتی‌که حداکثر تغییرمکان جانبی نسبی در یک انتهای ساختمان در هر طبقه (با احتساب پیچش تصادفی و با در نظر گرفتن $A_j=1$) بیشتر از ۲۰ درصد متوسط تغییرمکان جانبی نسبی در دو انتهای ساختمان در آن طبقه باشد، سازه دارای نامنظمی پیچشی است. در این حالت اصطلاحاً می‌گوییم سازه نامنظم زیاد پیچشی است ولی اگر این اختلاف بیش از ۴۰ درصد باشد، می‌گوییم سازه نامنظم شدید پیچشی است. براساس این بند، برای کنترل نامنظمی پیچشی ساختمان، تغییرمکان‌های جانبی نسبی باید ملاک عمل قرار گیرد، ولی همان‌طورکه در پروژهٔ پایه‌ای نیز مشاهده کردیم، نرم‌افزار *ETABS* مقدار تغییرمکان حداکثر، میانگین و نسبت این دو مقدار را فقط برحسب تغییرمکان‌های مطلق گزارش می‌دهد. با توجه به این موضوع، در فصل یازدهم روش اصولی و دقیق انجام این کنترل را بیان کردیم و دیدیم که نتایج این روش تفاوت چندانی با خروجی‌های نرم‌افزار ندارد. بنابراین در این پروژه نیز برای سرعت بخشیدن به روند کار، در مراحل اولیهٔ طراحی و کنترل سازه از روش تقریبی (با استفاده از خروجی‌های مستقیم نرم‌افزار) برای این کنترل استفاده می‌کنیم و در کنترل نهایی، از روش دقیق نیز این موضوع را بررسی خواهیم کرد.

بررسی یک نکتهٔ بسیار مهم

هر چند در این پروژه برای بارگذاری لرزه‌ای سازه از روش تحلیل طیفی استفاده کردیم، ولی باید دقت کنید که استفاده از حالت‌های بار طیفی برای کنترل نظم پیچشی سازه دارای خطا می‌باشد. در توضیح بیشتر این مطلب باید گفت که نرم‌افزار *ETABS* برای محاسبهٔ تغییرمکان هر نقطه در روش تحلیل طیفی، آثار مودها را با استفاده از روش‌های ترکیب آماری (مثلاً روش *CQC*) ترکیب می‌کند. بنابراین تغییرمکان نقاط، مقادیری مثبت خواهد بود و این موضوع باعث می‌شود که مقدار تغییرمکان میانگین نقاط، مقداری دقیق نباشد. به‌عنوان مثال اگر تغییرمکان دو نقطهٔ کف ۱۲ *mm* و ۶− *mm* باشد، میانگین تغییرمکان این دو نقطه $\frac{12+(-6)}{2}=3\ mm$ است، در حالی‌که در روش تحلیل طیفی مقدار تغییرمکان‌ها، اعدادی مثبت است (۱۲ *mm*، ۶ *mm*) و به همین دلیل میانگین تغییرمکان این دو نقطه به‌صورت $\frac{12+6}{2}=9\ mm$ گزارش می‌شود. با توجه به بحث ارائه شده، حتی اگر از روش تحلیل طیفی در *ETABS* استفاده می‌کنید، باید ۴ الگوی بار *EXP*، *EXN*، *EYP* و *EYN* را برای کنترل نظم پیچشی تعریف کرده و نسبت تغییرمکان حداکثر به تغییرمکان متوسط را در این حالت‌های بار کنترل کنید. در این پروژه این الگوهای بار را تعریف کرده‌ایم و در اینجا قصد داریم از نتایج آنها برای کنترل نظم پیچشی بهره بگیریم.

توجه: کنترل نظم پیچشی با استفاده از حالت‌های بار تحلیل طیفی نیز امکان‌پذیر است، ولی نیازمند محاسبات پیچیده و وقت‌گیری می‌باشد که در این کتاب از بیان آن صرف‌نظر شده است.

توضیحات نرم‌افزاری فاز پنجم

برای کنترل نظم پیچشی سازه باید از فایل اصلی مدل (*Steel Project 2.EDB*) استفاده کنیم که ضرایب کاهش سختی در آن وجود دارد. برای به‌دست آوردن نسبت تغییرمکان حداکثر به تغییرمکان متوسط سازه، می‌توان از گزینهٔ *Show Tables* در منوی *Display* استفاده کرد. در شکل زیر این نسبت برای طبقات مختلف و در ۴ حالت بار *EXP*، *EXN*، *EYP* و *EYN* نشان داده شده است. همان‌طورکه در این شکل مشاهده می‌کنید، در همهٔ طبقات و همهٔ حالت‌های بار، این نسبت کمتر از ۱/۲ است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این سازه در پلان مشکل نامنظمی پیچشی ندارد.

Story Max/Avg Displacements

Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum mm	Average mm	Ratio
Ridge	EXP	X	230.4	213.8	1.077594
Roof	EXP	X	217.8	186.3	1.169133
Story 6	EXP	X	194.5	166.3	1.169305
Story 5	EXP	X	165.4	140.9	1.174025
Story 4	EXP	X	131.7	112	1.17606
Story 3	EXP	X	96.5	82.2	1.173547
Story 2	EXP	X	65	55	1.181682
Story 1	EXP	X	33.7	28.4	1.187365
Ground Floor	EXP	X	11.5	9.8	1.169052
Base	EXP	Y	0	0	
Ridge	EXN	X	204	192.6	1.059449
Roof	EXN	X	201.7	185.9	1.085059
Story 6	EXN	X	180.8	165.8	1.089977
Story 5	EXN	X	152.9	140.3	1.090104
Story 4	EXN	X	121.9	111.5	1.092686
Story 3	EXN	X	90	81.9	1.098974
Story 2	EXN	X	60.1	54.7	1.096915
Story 1	EXN	X	31	28.3	1.097615
Ground Floor	EXN	X	10.9	9.8	1.114083
Base	EXN	Y	0	0	

Story Max/Avg Displacements

Story	Load Case/Combo	Direction	Maximum mm	Average mm	Ratio
Ridge	EYP	Y	203.4	200.5	1.014488
Roof	EYP	Y	202.9	194.9	1.040797
Story 6	EYP	Y	182.6	174.9	1.04365
Story 5	EYP	Y	154.9	149.2	1.04517
Story 4	EYP	Y	122.3	116.8	1.047409
Story 3	EYP	Y	89	84.4	1.054853
Story 2	EYP	Y	59.2	55.6	1.063546
Story 1	EYP	Y	30.8	28.5	1.080981
Ground Floor	EYP	Y	10.7	9.8	1.100794
Base	EYP	Y	0	0	
Ridge	EYN	Y	216.6	213.2	1.016194
Roof	EYN	Y	205.5	193.7	1.061103
Story 6	EYN	Y	184.3	173.9	1.059726
Story 5	EYN	Y	156.3	147.4	1.060715
Story 4	EYN	Y	123.2	116.1	1.06104
Story 3	EYN	Y	88.6	83.8	1.056997
Story 2	EYN	Y	58.1	55.2	1.052455
Story 1	EYN	Y	29.3	28.2	1.038566
Ground Floor	EYN	Y	9.8	9.6	1.01906
Base	EYN	Y	0	0	

شکل ۱۲۱: بررسی مقدار ستون *Ratio* جهت کنترل نظم پیچشی سازه

برای کنترل نظم پیچشی سازه مراحل زیر را طی کنید:

۱- در فایل اصلی مدل سازه، از منوی *Display* گزینهٔ *Show Tables* را انتخاب کنید.

۲- در پنجرهٔ باز شده، مسیر زیر را در نمودار درختی انتخاب کرده و پنجره را *OK* کنید.

Tables > Analysis > Results > Displacements > Story Max/Avg Displacements

۳- با طی مرحلهٔ دوم، پنجرهٔ *Story Max/Avg Displacements* در پایین صفحه باز می‌شود. برای حذف اطلاعات غیر ضروری این جدول، بر روی سربرگ ستون *Load Case/Combo* راست کلیک کرده و فقط ۴ حالت بار *EXP*، *EXN*، *EYP* و *EYN* را انتخاب کنید.

۴- پس از فیلتر کردن حالت‌های بار، در ستون آخر (*Ratio*) نسبت تغییرمکان حداکثر به تغییرمکان متوسط در هر حالت بار ارائه شده است که مقدار آن در همهٔ طبقات از ۱/۲ کمتر است.

نحوهٔ اعمال ضریب A_j

هر چند در این پروژه سازه منظم پیچشی می‌باشد، ولی در اینجا می‌خواهیم به شما توضیح دهیم که اگر در پروژه‌ای مقدار ستون *Ratio* بیش از ۱/۲ شده و سازه نامنظم پیچشی شود، چگونه باید تأثیر ضریب A_j را در نظر بگیرید.

برای درک بهتر این مطلب، فرض کنید به‌طور مثال مقدار ستون *Ratio* برای حالت بار *EXP* در برخی از موارد بیش از ۱/۲ شده است. از آنجاکه مقدار ستون *Ratio* بیانگر نسبت $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{ave}}$ است و مقدار ضریب A_j از رابطهٔ $1 \le A_j = (\frac{\Delta_{max}}{1/2\,\Delta_{ave}})^2 \le 3$ به‌دست می‌آید، می‌توان به‌سادگی A_j را محاسبه کرد. در جدول (۴۷) با استفاده از اعداد فرضی، این کار را برای شما انجام داده‌ایم.

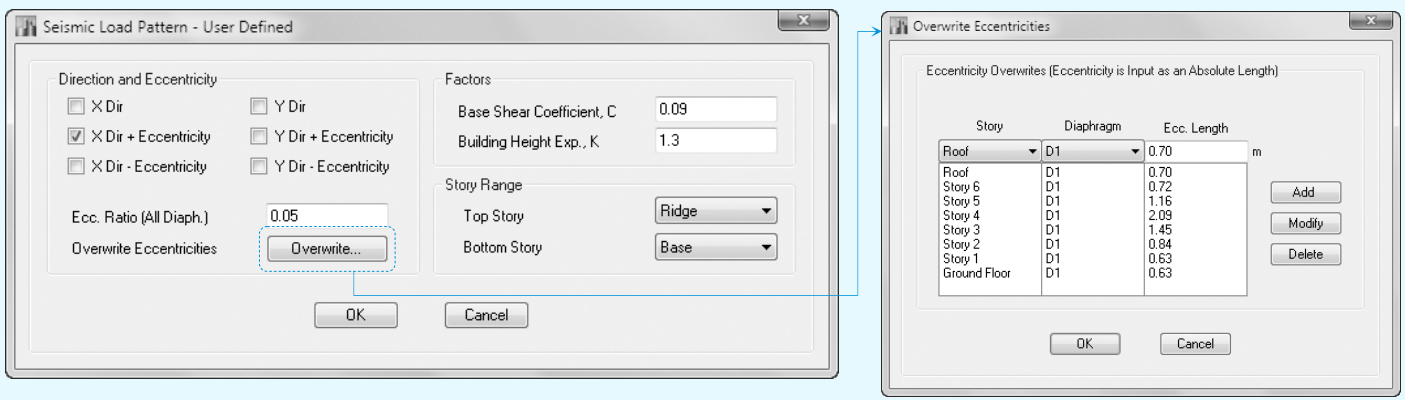
توجه: در جدول (۴۷)، ستون «ضریب برون مرکزیت اتفاقی» بیانگر حاصل‌ضرب پارامتر A_j در ضریب برون مرکزیت اتفاقی حداقل (۰/۰۵) است. از طرفی چون زلزلهٔ جهت X سازه در این حالت مدنظر بوده است، ضریب برون مرکزیت اتفاقی باید در بُعد دیافراگم جهت Y ضرب شود تا مقدار برون مرکزیت اتفاقی به‌دست آید. به همین دلیل ستون «بُعد دیافراگم» در جدول زیر، همان مقدار حداکثر بُعد پلان در راستای Y است.

جدول ۴۷: نحوهٔ تعیین مقدار ضریب A_j از مقدار ارائه شده در ستون *Ratio* (به‌صورت فرضی)

طبقه	مقدار ستون *Ratio*	مقدار ضریب A_j	ضریب برون مرکزیت اتفاقی	بُعد دیافراگم (m)	مقدار برون مرکزیت اتفاقی (m)
Roof	۱/۰۶	۱/۰۰	۰/۰۵	۱۳/۹۱	۰/۷۰
Story 6	۱/۲۲	۱/۰۳	۰/۰۵۱۷	۱۳/۹۱	۰/۷۲
Story 5	۱/۵۵	۱/۶۷	۰/۰۸۳۴	۱۳/۹۱	۱/۱۶
Story 4	۲/۱۱	۳/۰۰	۰/۱۵	۱۳/۹۱	۲/۰۹
Story 3	۱/۷۳	۲/۰۸	۰/۱۰۳۹	۱۳/۹۱	۱/۴۵
Story 2	۱/۳۲	۱/۲۱	۰/۰۶۰۵	۱۳/۹۱	۰/۸۴
Story 1	۱/۱۱	۱/۰۰	۰/۰۵	۱۲/۶۵	۰/۶۳
Ground Floor	۱/۰۲	۱/۰۰	۰/۰۵	۱۲/۶۵	۰/۶۳

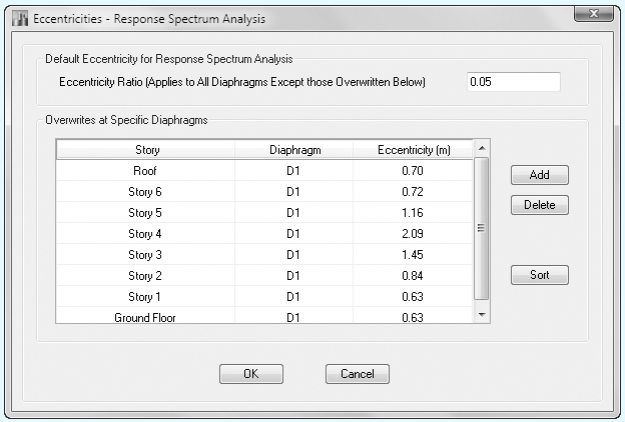
حال برای اعمال این ضرایب در مدل *ETABS* باید بارهای لرزه‌ای را اصلاح کنید. برای این منظور دو حالت زیر اتفاق می‌افتد:

۱) اگر در ترکیب بارهای طراحی سازه از حالت‌های بار زلزلهٔ استاتیکی نظیر *EXP* و *EXN* استفاده می‌کنید، تنها باید این موارد اصلاح شوند. برای این منظور از طریق گزینهٔ *Load Patterns* در منوی *Define*، الگوهای بار زلزلهٔ استاتیکی (الگوی بار *EXP* در این مثال) را انتخاب کرده و روی دکمهٔ *Modify Lateral Load* کلیک کنید. سپس در پنجرهٔ باز شده، روی دکمهٔ *Overwrite* کلیک کنید تا پنجرهٔ *Overwrite Eccentricities* باز شود. در این پنجره باید مطابق شکل زیر، مقدار برون مرکزیت اتفاقی برای طبقات مختلف تنظیم گردد.



شکل ۱۲۲: نحوهٔ تنظیم برون مرکزیت اتفاقی در الگوهای بار زلزلهٔ استاتیکی (به‌صورت فرضی)

۲ اگر در ترکیب بارهای طراحی سازه از حالت‌های بار زلزلهٔ طیفی نظیر *SXPN* استفاده می‌کنید، باید مقدار برون مرکزیت اتفاقی را در این حالت‌های بار تنظیم کنید. برای این منظور از طریق گزینهٔ *Load Cases* در منوی *Define*، حالت‌های بار زلزلهٔ طیفی (حالت بار *SXPN* در این مثال) را انتخاب کرده و روی دکمهٔ *Modify/Show Case* کلیک کنید. سپس در پایین پنجرهٔ باز شده و در جلوی عبارت *Diaphragm Eccentricity* روی دکمهٔ *Modify/Show* کلیک کرده و جدولی مطابق شکل مقابل را تکمیل کنید.



شکل ۱۲۳: نحوهٔ تنظیم برون مرکزیت اتفاقی در حالت‌های بار زلزلهٔ طیفی (به صورت فرضی)

G-۶- فاز ششم: کنترل تغییرمکان‌های جانبی نسبی سازه (کنترل دریفت)

هدف از فاز ششم

کنترل دریفت، از مهمترین کنترل‌های سازه پس از طراحی مقاومتی اعضاء است که می‌تواند نتایج طراحی را دستخوش تغییر کند. در این فاز با یک رویکرد ساده و با استفاده از قابلیت‌های کاربردی *ETABS*، نحوهٔ انجام این کنترل را به شما یاد خواهیم داد.

پس از طراحی اعضاء تحت ترکیب بارهای طراحی و تأمین مقاومت کافی در آنها، سختی جانبی سازه نیز باید توسط محدود کردن تغییرمکان جانبی سازه کنترل شود. همان‌طورکه در فصل نهم نیز بحث کردیم، برای کنترل این معیار باید از ضوابط ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ استفاده کنیم که در ادامه آنها را بررسی خواهیم کرد.

۱ براساس بند (۳-۵-۱)، تغییرمکان جانبی نسبی غیرخطی طرح با استفاده از رابطهٔ $\Delta_M = C_d \Delta_{eu}$ به‌دست می‌آید. در این رابطه Δ_M تغییرمکان غیرخطی یا همان تغییرمکان واقعی طرح، Δ_{eu} تغییرمکان حاصل از تحلیل خطی و C_d ضریب بزرگ‌نمایی تغییرمکان می‌باشد. دقت کنید که مقدار پارامتر Δ_{eu} از طریق تحلیل سازه در *ETABS* به‌دست می‌آید و مقدار پارامتر C_d از طریق جدول (۳-۴) استاندارد ۲۸۰۰ تعیین می‌گردد.

در این سازه که در هر دو طرف سیستم قاب خمشی فولادی متوسط استفاده شده است، مقدار C_d برابر ۴ می‌باشد.

۲ براساس بند (۳-۵-۲)، مقدار مجاز تغییرمکان جانبی نسبی طبقه برای ساختمان‌های با بیش از ۵ طبقه به‌صورت زیر است:

$$\Delta_M < \Delta_a = ۰/۰۲\,h \Rightarrow C_d\,\Delta_{eu} < ۰/۰۲\,h \Rightarrow \frac{\Delta_{eu}}{h} < \frac{۰/۰۲}{C_d} \xrightarrow{C_d = ۴} \frac{\Delta_{eu}}{h} < ۰/۰۰۵$$

نتیجه می‌گیریم که در این پروژه، مقدار نسبت دریفت طبقه در هر دو راستای X و Y باید به ۰/۰۰۵ محدود شود.

دقت: مهندسان عزیز، به تفاوت بین دریفت (Δ_{eu}) و نسبت دریفت $(\frac{\Delta_{eu}}{h})$ توجه داشته باشید. همان‌طور که می‌دانید، دریفت از جنس تغییرمکان است، ولی نسبت دریفت پارامتری بدون بُعد می‌باشد. از سوی دیگر پیش‌تر نیز گفته بودیم که در عرف مهندسی، نسبت دریفت را با نام دریفت نیز یاد می‌کنند.

۳ در ساختمان‌های منظم پیچشی برای کنترل تغییرمکان جانبی نسبی طبقات، می‌توان از دریفت مرکز جرم طبقات استفاده کرد. همان‌طورکه در پروژهٔ پایه‌ای نیز اشاره کردیم، نرم‌افزار *ETABS* مستقیماً دریفت مرکز جرم طبقات را محاسبه نمی‌کند و محاسبهٔ این پارامتر زمانبر است. بنابراین در مراحل اولیهٔ کنترل سازه، دریفت دیافراگم را کنترل می‌کنیم که مقدار آن همواره از دریفت مرکز جرم بیشتر است و بنابراین در جهت محافظه‌کاری قرار دارد.

۴ براساس ضوابط بند (۳-۵-۳)، در هنگام کنترل دریفت می‌توان محدودیت $T_{\text{تجربی}}$ ۱/۲۵ را برای تعیین نیروهای زلزله و برش پایه در نظر نگرفت و از زمان تناوب تحلیلی (T_m) استفاده کرد. حال برای استفاده از این تخفیف آیین‌نامه، ضریب زلزله را در دو راستای X و Y با توجه به زمان تناوب تحلیلی سازه به‌دست می‌آوریم. محاسبات مربوط به این موضوع در جدول زیر ارائه شده است.

توجه: از فاز چهارم به یاد دارید که زمان تناوب تحلیلی سازه برای هر دو جهت X و Y به‌صورت محافظه‌کارانه برابر $1/818\ s$ تعیین شد.

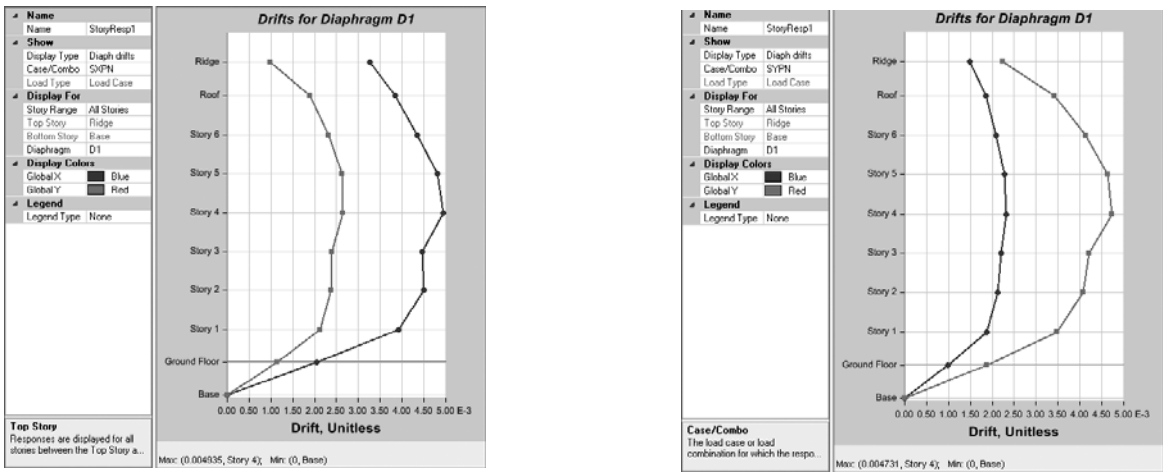
جدول ۴۸: محاسبهٔ ضریب زلزله با استفاده از زمان تناوب تحلیلی سازه

ضریب زلزله (C)	ضریب بازتاب ساختمان (B)	زمان تناوب تحلیلی (T_m)	جهت زلزله
$C=\frac{ABI}{R_u}=\frac{0/35\times0/869\times1}{5}=0/0608$	$T_s<T<4s \Rightarrow B=(S+1)(\frac{T_s}{T})(\frac{0/7}{4-T_s}(T-T_s)+1)$ $B=(1/5+1)(\frac{0/5}{1/818})(\frac{0/7}{4-0/5}(1/818-0/5)+1)=0/869$	$T_X=T_Y=1/818\ s$	X یا Y

حال با توجه به بندهای مذکور از استاندارد ۲۸۰۰، برای کنترل معیار دریفت در نرم‌افزار، ابتدا لازم است ضریب برش پایه را در دو الگوی بار EX و EY اصلاح کنیم و پس از تحلیل مدل، برش پایهٔ تحلیل طیفی را نیز براساس برش پایهٔ استاتیکی اصلاح شده همپایه کنیم.

دقت: با توجه به اینکه می‌خواهیم از حالت‌های بار طیفی برای کنترل دریفت سازه استفاده کنیم، لزومی به محاسبهٔ پارامتر K و اصلاح آن در الگوهای بار زلزلهٔ استاتیکی نیست. دقت کنید که پارامتر K تنها نحوهٔ توزیع برش پایه را در ارتفاع سازه تغییر می‌دهد و به مقدار برش پایه ارتباطی ندارد. از طرفی می‌دانیم که برای همپایه کردن برش‌های پایه، تنها مقدار آنها مهم است و نحوهٔ توزیع نیروها در ارتفاع سازه اهمیتی ندارد.

پس از همپایه کردن برش پایهٔ تحلیل طیفی، دریفت دیافراگم طبقه (*Diaph Drifts*) را از طریق گزینهٔ *Story Response Plots* در منوی *Display* به‌دست آورده و آن را با مقدار مجاز دریفت کنترل می‌کنیم. در شکل (۱۲۴) مقادیر دریفت در حالت‌های بار طیفی در طبقات مختلف نشان داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌کنید، همهٔ مقادیر از مقدار مجاز (۰/۰۰۵) کمتر هستند.



شکل ۱۲۴: مقدار دریفت به‌دست آمده در طبقات مختلف تحت حالت‌های بار تحلیل طیفی

برای کنترل دریفت در این سازه، مراحل زیر را در فایل *Steel Project 2-Period & Drift.EDB* طی کنید:

۱- پس از باز کردن قفل نرم‌افزار، ضریب برش پایهٔ دو الگوی *EX* و *EY* را از طریق گزینهٔ *Load Patterns* در منوی *Define* اصلاح کرده و با فشردن کلید *F5* مدل را دوباره تحلیل کنید.

۲- پس از اتمام تحلیل سازه، با استفاده از منوی *Display* و گزینهٔ *Show Tables*، برش پایهٔ تحلیل استاتیکی و تحلیل طیفی را به‌دست آورده و ضریب همپایگی (ضریب مقیاس) برش پایهٔ طیفی را محاسبه کنید. به یاد دارید که نحوهٔ انجام این مرحله را به‌طور کامل در قسمت ششم بررسی کردیم.

ضریب همپایگی جهت X : $۰/۹\frac{(V_{st})_{EX}}{(V_{Dyn})_{SX-Base\ Shear}}=۰/۹\times\frac{۴۲/۹۴۸}{۳۱/۰۴۳}=۱/۲۴۵۲>۱$ OK

ضریب همپایگی جهت Y : $۰/۹\frac{(V_{st})_{EY}}{(V_{Dyn})_{SY-Base\ Shear}}=۰/۹\times\frac{۴۲/۹۴۸}{۳۰/۹۵۲}=۱/۲۴۸۸>۱$ OK

۳- برای اعمال ضرایب مقیاس برش پایه، ابتدا قفل تحلیل *ETABS* را باز کرده و با استفاده از گزینهٔ *Load Cases* در منوی *Define*، ضرایب (*Scale Factor*) حالت‌های بار طیفی *SXPN* و *SYPN* را اصلاح کنید و دوباره مدل را تحلیل نمایید.

Scale Factor برای جهت X : $(\frac{AI}{R_u}g)\times X$ ضریب همپایگی جهت $=(\frac{۰/۳۵\times۱}{۵}\times۹/۸۱)\times۱/۲۴۵۲=۰/۸۵۵۰$

Scale Factor برای جهت Y : $(\frac{AI}{R_u}g)\times Y$ ضریب همپایگی جهت $=(\frac{۰/۳۵\times۱}{۵}\times۹/۸۱)\times۱/۲۴۸۸=۰/۸۵۷۶$

۴- برای به‌دست آوردن دریفت طبقات، از منوی *Display* گزینهٔ *Story Response Plots* را انتخاب کنید.

۵- در پنجرهٔ باز شده در قسمت *Display Type* گزینهٔ *Diaph Drifts* را انتخاب کنید.

۶- در قسمت *Case/Combo* برای مثال *SXPN* را انتخاب کنید. با انجام این کار، نحوهٔ تغییر دریفت طبقات به‌صورت نمودار نشان داده می‌شود که در زیر آن، مقدار ماکزیمم دریفت طبقات نیز آورده شده است. برای مثال در حالت بار *SXPN*، مقدار ماکزیمم دریفت برابر ۰/۰۰۴۹۳۵ بوده که در *Story* 4 ایجاد می‌شود و کمتر از مقدار حدی ۰/۰۰۵ است. مقدار ماکزیمم دریفت در حالت بار *SYPN* را نیز می‌توانید به همین شیوه کنترل کنید.

کنترل دریفت سازه در صورت وجود نامنظمی پیچشی

در این فاز گفتیم که برای پروژهٔ حاضر که در پلان منظم پیچشی می‌باشد، باید دریفت مرکز جرم کنترل شود، ولی برای سریع‌تر شدن روند کار در این مرحله، دریفت دیافراگم را کنترل می‌کنیم که محافظه‌کارانه‌تر از دریفت مرکز جرم است. حال فرض کنید با پروژه‌ای مواجه هستیم که در آن نامنظمی پیچشی وجود دارد. در این شرایط براساس بند (۳-۵-۴) از ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، باید برای کنترل دریفت سازه، محورهای کناری ساختمان را مدنظر قرار دهیم. در حقیقت چون در محورهای کناری ساختمان مقدار دریفت بیشتر از دریفت مرکز جرم است، آیین‌نامه می‌خواهد محافظه‌کاری بیشتری در مورد ساختمان‌های نامنظم پیچشی به خرج دهیم. جالب است بدانید که مقدار دریفت دیافراگم در *ETABS* که آن را در این فاز بررسی کردیم، همان دریفت در محورهای کناری ساختمان است و همان‌طورکه گفتیم، مقدار آن بیش از دریفت مرکز جرم است. پس اگر سازه در پلان نامنظم پیچشی باشد، با کنترل دریفت دیافراگم آن، عملاً کنترل دریفت را به‌صورت دقیق انجام داده‌ایم.

G-۷- فاز هفتم: کنترل ضریب درجهٔ نامعینی سازه

هدف از فاز هفتم

بحث ضریب درجهٔ نامعینی سازه موضوعی است که برای اولین بار در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ مطرح شده است. به همین دلیل نحوهٔ تعیین این ضریب برای بسیاری از مهندسان نقطهٔ مبهمی است که در این فاز به بررسی آن می‌پردازیم.