محاسبات پروژه‌های ساختمان‌های فولادی با استفاده از ETABS و SAFE

تألیف:
حسن باجی

نشر علم عمران

www.elme-omran.com
Info@elme-omran.com

عضو:

انجمن فرهنگی ناشران کتاب دانشگاهی

این اثر مشمول قانون حمایت مولفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر و مؤلف، نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

سرشناسه: : باجی، حسن، ۱۳۵۶-
عنوان و پدید آورنده : محاسبات پروژه‌های ساختمان‌های فولادی با استفاده از ETABS و SAFE/ تالیف حسن باجی.
مشخصات نشر : تهران : علم عمران ، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری : دوازده، ٦٩٦ ص.: مصور، جدول، نمودار؛ ۲۲ × ۲۲ س‌م.
فهرستنویسی : فیپا
شابک : ٤٥٠٠٠٠ ریال 978-600-5176-30-8 :
موضوع : اتبز (برنامه کامپیوتر)، نرم‌افزار سیف، SAFE، ساختمان‌های فلزی -- طرح و ساختمان
موضوع : ساختمان‌های فلزی -- داده‌پردازی، مهندسی سازه -- برنامه‌های کامپیوتری
رده‌بندی کنگره : TA684 ۱۳۹۵ ۳م۱۵ب/
رده‌بندی دیویی : ٦٢٤/١٨٢١
شمارهٔ کتابخانهٔ ملی : ٤٣١٥٢٩٠

محاسبات پروژه های ساختمانهای فولادی با استفاده از ETABS و SAFE
تالیف: حسن باجی

ناشر	علم عمران
چاپ اول	تابستان ۱۳۹۵
تعداد و قطع صفحات	٦٩٦ صفحهٔ خشتی
شمارگان	۱۰۰۰
بهای کتاب	٤٥٠٠٠٠ ریال
شابک ۸-۳۰-۵۱۷٦-٦۰۰-۹۷۸	ISBN 978-600-5176-30-8

نشر علم عمران: تهران، یوسف آباد، جهان آرا، بین خیابانهای شانزدهم و هجدهم، پلاک ۳۳، واحد ۱۱، تلفن ۸۸۳۵۳۹۳۰، دورنگار ۸۸۳۵۳۹۳۲

حقوق چاپ و نشر برای نشر علم عمران محفوظ است.

مقدمه
نویسنده

پیدایش نرم‌افزارهای مهندسی سازه در دهه‌های اخیر رشد چشم‌گیری در زمینه تحلیل و طراحی سازه‌ها ایجاد کرده است. اکنون تحلیل و طراحی سازه‌های پیچیده و حجیم از طریق نرم‌افزارهای پیشرفته به راحتی امکان‌پذیر است. تقریباً به جز محدودیت حافظه رایانه، هیچ محدودیتی در بزرگی و پیچیدگی مدلهای سازه‌ای وجود ندارد. سرعت و دقت از مهمترین مزیت‌های استفاده از نرم‌افزار هستند. اما نباید این نکته را فراموش کرد که نرم‌افزار و تمام قابلیت‌های آن در سرعت و دقت تنها یک ابزار محاسباتی بوده و انبوهی از خروجی‌های نرم‌افزار به هیچ وجه جانشین مهارت و تجربه مهندسی نمی‌شوند.

در دو دهه گذشته که استفاده از نرم‌افزارهای مهندسی سازه در کشور رایج شده است، نرم‌افزارهای متعددی توسط مهندسین طراح مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اما در بین آنها نرم‌افزارهای شرکت CSI محبوبیت ویژه‌ای بین مهندسین محاسب سازه یافته‌اند. دو نرم‌افزار مشهور این شرکت ETABS و SAFE صرفاً برای تحلیل و طراحی سازه‌های ساختمانی ارائه شده و به عنوان یک بسته نرم‌افزاری قدرتمند در تحلیل و طراحی اسکلت، دال و پی شناخته می‌شوند. نرم‌افزار ETABS برای تحلیل و طراحی اسکلت و نرم‌افزار SAFE در تحلیل و طراحی دال و پی کاربرد دارد.

تاکنون مراجع متعددی برای استفاده بهینه از قابلیت‌های نرم‌افزارهای شرکت CSI در کشور ترجمه یا تالیف شده‌اند. اساس تمام این کتاب‌ها مراجع اصلی ارائه شده توسط شرکت CSI بوده است. با این حال مراجع ارائه شده توسط شرکت CSI جنبه عمومی داشته و جهت استفاده مؤثر و کارا، مناسب کاربران حرفه‌ای این نرم‌افزارها نیستند. با توجه به احساس نیاز به یک مجموعه حرفه‌ای در تحلیل و طراحی ساختمان بر اساس نرم‌افزارهای ETABS و SAFE، مؤلف این مجموعه بر آن شد تا با توجه به تجربیات گذشته در تالیف و ترجمه مراجع نرم‌افزار، مجموعه‌ای جدید با نگرشی نو تالیف کند. هدف اصلی از ارائه این مجموعه، آموزش حرفه‌ای تحلیل و طراحی ساختمان با استفاده از نرم‌افزارهای ETABS و SAFE است. تاکید اصلی بر شرح مراحل تحلیل و طراحی ساختمان است و از نرم‌افزار تنها به عنوان یک ابزار در مسیر ساخت، تحلیل و طراحی مدل استفاده شده است. مؤلف بر اساس تجربیات تدریس این نرم‌افزارها در نظام‌های مهندسی، دانشگاه‌ها و دیگر مراکز آموزشی سعی در تدوین مجموعه‌ای کامل در زمینه تحلیل و طراحی ساختمان با نگرشی کلاسیک و هوشمند به کمک دو نرم‌افزار ETABS و SAFE داشته است.

مجموعه‌ی حاضر چهارمین ویرایش کتاب «محاسبات پروژه‌های ساختمانی با استفاده از ETABE و SAFE» است. تغییر عمده این ویرایش با ویرایش‌های قبلی گنجاندن محاسبه‌های دستی مفصل در ابتدای هر پروژه است. تفاوت عمده دیگر استفاده از روش طراحی مقاومت نهایی، LRFD، برای

طراحی به جای روش تنش مجاز است. از آخرین ویرایش‌های برنامه‌های ETABS و SAFE برای مدلسازی استفاده شده است. درنهایت فصل جدیدی که ضوابط تحلیل غیرخطی استاتیکی و دینامیکی را بررسی می‌کند نیز به کتاب اضافه شده است. به علت حجم بالای ویرایش جدید، این ویرایش در دو جلد ارائه شده است. مجموعه‌ی حاضر اولین جلد این ویرایش است که طراحی ساختمان‌های فولادی را پوشش می‌دهد. جلد دوم که طراحی ساختمان‌های بتنی را پوشش می‌دهد به زودی بعد از این جلد چاپ خواهد شد. در این مجموعه که اولین جلد از ویرایش جدید کتاب «محاسبات پروژه‌های ساختمانی با استفاده از ETABS و SAFE» است، سه پروژه فولادی بر اساس نقشه‌های معماری اولیه بارگذاری، مدلسازی، تحلیل و طراحی شده‌اند. برای یک پروژه، نقشه‌های اجرایی نیز تهیه شده‌اند. اکثر خروجی‌های نرم‌افزارها به طور کامل تشریح و تفسیر شده‌اند. هدف اصلی در این مجموعه آشنا کردن کاربران این نرم‌افزارها با شگردهای مدلسازی ساختمان و کنترل و تغییر هوشمند خروجی‌ها است. همچنین انواع مختلف روش‌های مدلسازی بررسی و تشریح شده و خروجی‌ها به نحو مناسبی تفسیر شده‌اند. یک پروژه‌های مفصل تحلیل غیرخطی براساس پیوست دوم ویرایش چهارم استاندارد 2800 نیز به عنوان فصل چهارم این مجموعه اضافه شده است محتوی فصل‌های مختلف این مجموعه به صورت زیر است:

فصل اول: در این فصل نحوه‌ی طراحی سیستم‌های فولادی معمولی شرح داده می‌شود. یک ساختمان سه طبقه برای نمونه با سیستم قاب خمشی معمولی و مهاربندی همگرای X معمولی طراحی می‌شود. محاسبه‌های دستی برای هر نمونه از اعضاء (تیر، ستون، مهاربند، اتصال و پی) به صورت منفصل ارائه شده است.

فصل دوم: در این فصل یک ساختمان پنج طبقه با قاب خمشی فولادی متوسط و سیستم مهاربندی همگرای ویژه طراحی می‌شود. علاوه بر این تیرهای سقف مرکب نیز در این فصل طراحی می‌شوند. یک پی نواری نیز برای سازه طراحی می‌شود.

فصل سوم: طراحی قاب‌های خمشی ویژه و مهاربندی واگرای ویژه در این فصل بررسی می‌شود. تحلیل بارهای جانبی نیز براساس روش دینامیکی طیفی انجام می‌شود. تحلیل دینامیکی به صورت دستی نیز انجام می‌شود.

فصل چهارم: تحلیل‌های غیرخطی استاتیکی و دینامیکی در قالب تحلیل یک قاب خمشی ویژه براساس پیوست دوم ویرایش چهارم استاندارد 2800 برای اولین بار در ویرایش اخیر این کتاب اضافه شده‌اند.

نگارنده لازم می‌داند از زحمات جناب آقای بهنام نمینی که با دقت نظر و تجربیات ارزشمند خود عملیات ترسیم اصولی و دقیق نقشه‌های اجرایی را بر عهده داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی کند. همچنین از شرکت مهندسین مشاور عامر و جناب آقای مهندس محمدرضا ضیغمی به جهت در اختیار قرار دادن نقشه‌های معماری پروژه‌های این کتاب قدردانی می‌شود.

بی شک مساعدت همکاران محترم در انتشارات علم عمران به مدیریت آقای سید مهدی داودنبی نقش بسزایی در تهیه و تدوین این مجموعه داشته است. مؤلف بر خود لازم می‌داند از زحمات، مساعی و حسن دقت ایشان در بازخوانی و کنترل محاسبات دستی، ویرایش متن و ترسیم اشکال تشکر و قدردانی کند.

تمام سعی گروه در ارائه بی‌عیب و نقص این مجموعه بوده است. با این وجود امکان دارد علیرغم ویرایش‌های مکرر، نواقصی در کتاب وجود داشته باشد. از نظرها و پیشنهادهای مفید خوانندگان گرامی در بهبود مجموعهٔ حاضر استقبال کرده و آمادهٔ دریافت آن از طریق پست الکترونیکی ناشر هستیم.

حسن باجی

تابستان ۱۳۹۵

فهرست
مطالب

فصل اول: تحلیل و طراحی یک ساختمان سه طبقه با قاب خمشی و مهاربندی همگرای معمولی ۱

۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- کلیات پروژه ۲
۱-۳- مشخصات سازه‌ای ۱۱
۱-۴- ستون‌گذاری، تیریزی و تشکیل مدل ریاضی ۱۲
۱-۵- سیستم‌های باربر سازه‌ای ۱۳
۱-۶- جزئیات سقف‌ها و دیوارها و برآورد بار زنده ۱۴
۱-۶-۱- جزئیات سقف‌ها ۱۴
۱-۶-۲- جزئیات دیوارها ۱۵
۱-۶-۳- جزئیات پله ۱۸
۱-۶-۴- بارگذاری زنده ۱۹
۱-۶-۵- خلاصه‌ی بارگذاری ۱۹
۱-۷- توزیع بارگذاری ثقلی ۲۰
۱-۸- بارگذاری زلزله ۲۲
۱-۸-۱- محاسبه‌ی جرم و مرکز جرم طبقه‌ها ۲۲
۱-۸-۲- محاسبه‌ی ضریب زلزله ۲۷
۱-۸-۳- توزیع نیروی زلزله در ارتفاع ساختمان ۲۹
۱-۸-۴- توزیع نیروی زلزله بین قاب‌های جانبی ۲۹
۱-۸-۵- کنترل واژگونی ۳۱
۱-۹- تحلیل دستی قاب‌های 3 و D ۳۱
۱-۹-۱- تحلیل قاب خمشی محور 3 ..... ۳۲
۱-۹-۲- تحلیل قاب ساده محور D ۳۴
۱-۱۰- طراحی دستی اولیه ۳۵
۱-۱۰-۱- طراحی بادبند ۳۵
۱-۱۰-۲- طراحی تیر میانی قاب محور 3 در طبقه اول ۳۸
۱-۱۰-۳- طراحی ستون تقاطع C-3 در طبقه اول ۳۸
۱-۱۰-۴- طراحی ستون تقاطع D-3 در طبقه‌ی اول ۴۱
۱-۱۰-۵- طراحی پی نواری محور 3 ..... ۴۳
۱-۱۰-۵-۱- کنترل ضخامت پی ۴۵
۱-۱۰-۵-۲- کنترل برش یکطرفه ۴۸
۱-۱۰-۵-۳- طراحی میلگرد طولی ۴۸
۱-۱۱- مدلسازی سازه در نرم‌افزار ETABS ۴۹
۱-۱۱-۱- ایجاد طبقه‌ها و محورهای معماری ۴۹
۱-۱۱-۲- تعریف مشخصات مدل ۵۱
۱-۱۱-۲-۱- مصالح ۵۲
۱-۱۱-۲-۲- مقاطع اعضاء ۵۳
۱-۱۱-۲-۳- مقطع سقف ۵۹

۱-۱۱-۲-۴- الگوهای بار ۵۹
۱-۱۱-۲-۵- ترکیب بارها ۶۲
۱-۱۱-۲-۶- محاسبه‌ی جرم ساختمان ۶۵
۱-۱۱-۲-۷- اثرات P-Δ ۶۶
۱-۱۱-۲-۸- حالت‌های تحلیل ۶۷
۱-۱۱-۲-۹- تحلیل مودال ۶۸
۱-۱۱-۳- ترسیم مدل سازه ۶۹
۱-۱۱-۳-۱- ترسیم ستون‌ها ۷۰
۱-۱۱-۳-۲- ترسیم تیرها ۷۱
۱-۱۱-۳-۳- ترسیم بادبندها ۷۱
۱-۱۱-۳-۴- ترسیم سقف‌ها ۷۱
۱-۱۱-۴- اختصاص مشخصات به اعضا ۷۴
۱-۱۱-۴-۱- تکیه‌گاه ۷۴
۱-۱۱-۴-۲- آزادسازی لنگر انتهایی تیرهای جهت مهاربندی ۷۵
۱-۱۱-۴-۳- نواحی صلب انتهایی ۷۵
۱-۱۱-۴-۴- دیافراگم صلب کف‌ها ۷۷
۱-۱۱-۵- اختصاص بارها ۷۷
۱-۱۱-۵-۱- بار خرپشته ۷۸
۱-۱۱-۵-۲- بار پله ۷۹
۱-۱۱-۵-۳- بار دیوارها ۸۰
۱-۱۱-۵-۴- بار معادل‌سازی جرم و بار دیوارها ۸۱
۱-۱۱-۵-۵- بار سقف‌ها ۸۲
۱-۱۱-۶- تحلیل و طراحی سازه ۸۴
۱-۱۱-۶-۱- تحلیل سازه ۸۴
۱-۱۱-۶-۲- تنظیم آیین‌نامه و پارامترهای طراحی ۸۵
۱-۱۱-۶-۳- انتخاب ترکیب بارهای طراحی ۸۸
۱-۱۱-۶-۴- تنظیم پارامترهای طراحی ۸۹
۱-۱۱-۶-۵- ضریب کاهش سرباز ۹۱
۱-۱۱-۶-۶- انجام عملیات طراحی ۹۱
۱-۱۱-۷- کنترل خیز تیرها ۹۵
۱-۱۱-۸- کنترل جابجایی جانبی ۱۰۱
۱-۱۱-۹- طراحی صفحات زیر ستون ۱۰۲
۱-۱۱-۱۰- طراحی اتصال‌های گیردار تیر به ستون ۱۰۹
۱-۱۱-۱۰-۱- تعیین نیروهای طراحی اتصال‌های تیر به ستون ۱۱۰
۱-۱۱-۱۰-۲- طراحی اتصال گیردار ۱۱۳
۱-۱۱-۱۰-۲-۱- طراحی ورق جان ۱۱۵
۱-۱۱-۱۰-۲-۲- طراحی ورق‌های روسری و زیرسری ۱۱۷
۱-۱۱-۱۱- طراحی اتصال ساده تیر به ستون ۱۱۸
۱-۱۱-۱۲- طراحی اتصالات بادبندها ۱۲۱
۱-۱۱-۱۲-۱- تعیین نیروی طراحی اتصال مهاربند ۱۲۲
۱-۱۱-۱۲-۲- طراحی اتصال مهاربند ۱۲۵
۱-۱۱-۱۲-۲-۱- طراحی اتصال مهاربند به نقطه‌ی تقاطع تیر ـ ستون ۱۲۶
۱-۱۱-۱۲-۲-۲- طراحی وصله‌ی میانی ۱۲۶
۱-۱۱-۱۲-۲-۳- اتصال مهاربند به صفحه ستون ۱۲۶
۱-۱۱-۱۳- طراحی تیرچه‌ها ۱۲۸
۱-۱۱-۱۴- برخی خروجی‌های مفید برای دفترچه محاسبات ۱۲۹
۱-۱۱-۱۴-۱- نمایش توزیع بارهای ثقلی ۱۲۹
۱-۱۱-۱۴-۲- محاسبه‌های بار زلزله ۱۳۱
۱-۱۱-۱۴-۲-۱- وزن و مرکز جرم طبقات ۱۳۱
۱-۱۱-۱۴-۳- توزیع نیروی زلزله ۱۳۲
۱-۱۱-۱۴-۴- نمایش وزن اسکلت سازه ۱۳۵
۱-۱۱-۱۴-۵- جزئیات طراحی اعضاء ۱۳۵
۱-۱۲- تحلیل و طراحی پی ۱۳۷
۱-۱۲-۱- ایجاد خروجی عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی در برنامه‌ی ETABS ۱۳۹
۱-۱۲-۲- شروع ساخت مدل ۱۴۰
۱-۱۲-۳- ترسیم هندسه‌ی پی ۱۴۰
۱-۱۲-۳-۱- ترسیم عناصر سطحی پی ۱۴۱
۱-۱۲-۳-۲- ترسیم عناصر سطحی صلب محل ستون‌ها ۱۴۲
۱-۱۲-۴- تعریف مشخصات مدل پی ۱۴۳
۱-۱۲-۴-۱- مصالح ۱۴۴
۱-۱۲-۴-۲- مقطع پی ۱۴۵
۱-۱۲-۴-۳- تکیه‌گاه خاک ۱۴۵

۱-۱۲-۴-۴- الگوهای بار ۱۴۵
۱-۱۲-۴-۵- ترکیب بارها ۱۴۷
۱-۱۲-۴-۶- حالت‌های تحلیل غیرخطی ۱۴۷
۱-۱۲-۵- نسبت دادن مشخصات پی ۱۵۰
۱-۱۲-۵-۱- مقطع ۱۵۰
۱-۱۲-۵-۲- تکیه‌گاه خاک ۱۵۰
۱-۱۲-۵-۳- بارگذاری کف پی ۱۵۰
۱-۱۲-۶- پارامترهای طراحی ۱۵۱
۱-۱۲-۶-۱- ترسیم نوارهای طراحی ۱۵۲
۱-۱۲-۶-۲- تنظیم آیین‌نامه‌ی طراحی ۱۵۲
۱-۱۲-۶-۳- انتخاب ترکیب بارهای طراحی ۱۵۴
۱-۱۲-۶-۴- پارامترهای طراحی نوارهای طراحی ۱۵۵
۱-۱۲-۶-۵- پارامترهای طراحی برش منگنه‌ای ۱۵۶
۱-۱۲-۷- انجام عملیات تحلیل و طراحی ۱۵۸
۱-۱۲-۸- کنترل فشار خاک زیر پی ۱۵۹
۱-۱۲-۹- نیروی داخلی نوارهای طراحی ۱۶۰
۱-۱۲-۱۰- نمایش میلگردهای طولی مورد نیاز ۱۶۲
۱-۱۲-۱۱- کنترل برش منگنه‌ای ۱۶۲

فصل دوم: تحلیل و طراحی یک ساختمان پنج‌طبقه با قاب خمشی متوسط و مهاربندی همگرای ویژه ۱۷۷

۲-۱- مقدمه ۱۷۷
۲-۲- معماری ساختمان ۱۷۸
۲-۳- مشخصات سازه‌ای ۱۷۸
۲-۳-۱- سیستم باربر سازه ۱۸۶
۲-۳-۲- مصالح و مقاطع اعضا ۱۸۸
۲-۴- بارگذاری ثقلی ۱۹۰
۲-۴-۱- سقف طبقات ۱۹۰
۲-۴-۲- سقف بام و خرپشته ۱۹۱
۲-۴-۳- دیوارها و پارتیشن‌ها ۱۹۱
۲-۴-۴- پله‌ها ۱۹۳
۲-۴-۵- بار زنده ۱۹۳
۲-۴-۶- خلاصه‌ی بارگذاری ۱۹۴
۲-۵- بارگذاری زلزله ۱۹۵
۲-۵-۱- محاسبه‌ی وزن ساختمان ۱۹۵
۲-۵-۲- ضریب زلزله ۱۹۸
۲-۵-۳- توزیع نیروی جانبی زلزله ۱۹۹
۲-۵-۴- پیچش اتفاقی ۲۰۰
۲-۵-۵- ضریب نامعینی سازه P ۲۰۰
۲-۵-۶- زلزله‌ی قائم ۲۰۱
۲-۵-۷- اثر زلزله‌های متعامد ۲۰۱
۲-۶- طراحی دستی قاب خمشی ۲۰۲
۲-۶-۱- تحلیل تقریبی دستی قاب خمشی ۲۰۲
۲-۶-۱-۱- تحلیل تحت اثر بار زلزله ۲۰۲
۲-۶-۱-۲- تحلیل تحت اثر بارهای ثقلی ۲۰۶
۲-۶-۲- طراحی یک تیر نمونه از قاب خمشی متوسط ۲۰۸
۲-۶-۳- طراحی یک نمونه ستون از قاب خمشی متوسط ۲۱۱
۲-۷- طراحی دستی مهاربندی همگرایی ویژه ۲۱۴
۲-۷-۱- تحلیل مهاربندی همگرا ۲۱۵
۲-۷-۲- طراحی مهاربندها ۲۱۸
۲-۷-۳- طراحی تیر ۲۲۰
۲-۷-۴- طراحی ستون ۲۲۴
۲-۷-۵- طراحی اتصال مهاربندها ۲۲۷
۲-۷-۶- طراحی اتصال تیر به ستون ۲۳۰
۲-۸- طراحی سقف مرکب ۲۳۲
۲-۸-۱- طراحی تیر ۲۳۳
۲-۸-۲- کنترل خیز تیر ۲۳۵
۲-۸-۳- کنترل لرزش تیر ۲۳۷
۲-۸-۴- طراحی برش‌گیرها ۲۳۸
۲-۹- مدلسازی سازه در برنامه‌ی ETABS ۲۳۹
۲-۹-۱- شروع ساخت مدل ۲۳۹
۲-۹-۲- معرفی مشخصات مدل ۲۴۱

۲-۹-۲-۱- مصالح ۲۴۱
۲-۹-۲-۲- مقاطع اعضای فولادی ۲۴۳
۲-۹-۲-۳- مقطع سقف مرکب ۲۴۷
۲-۹-۲-۴- الگوهای بار استاتیکی ۲۴۹
۲-۹-۲-۵- اثرات ثانویه P-Δ ۲۵۲
۲-۹-۲-۶- حالت‌های تحلیل ۲۵۳
۲-۹-۲-۷- ترکیب بار محاسبه جرم ۲۵۵
۲-۹-۲-۸- ترکیب بارها ۲۵۵
۲-۹-۲-۹- تحلیل مودال ۲۵۹
۲-۹-۲-۱۰- تنظیم الگوی بارهای سطحی ۲۶۰
۲-۹-۳- ترسیم هندسه مدل ۲۶۲
۲-۹-۳-۱- ترسیم ستون‌ها ۲۶۲
۲-۹-۳-۲- ترسیم تیرهای اصلی ۲۶۲
۲-۹-۳-۳- ترسیم تیرهای فرعی (اطراف داکت‌ها) ۲۶۵
۲-۹-۳-۴- ترسیم تیرهای مرکب ۲۶۷
۲-۹-۳-۵- ترسیم سقف مرکب ۲۶۹
۲-۹-۳-۶- ترسیم مهاربندها ۲۷۱
۲-۹-۳-۷- اتمام عملیات ترسیم ۲۷۴
۲-۹-۴- اختصاص مشخصات مدل ۲۷۵
۲-۹-۴-۱- آزادسازی انتهایی ۲۷۶
۲-۹-۴-۲- نواحی صلب انتهایی ۲۷۷
۲-۹-۴-۳- بازشوها ۲۷۹
۲-۹-۴-۴- تنظیم جهت بارگذاری سقف‌ها ۲۸۰
۲-۹-۴-۵- دیافراگم صلب ۲۸۱
۲-۹-۵- اختصاص بارها ۲۸۱
۲-۹-۵-۱- بار سقف‌ها ۲۸۲
۲-۹-۵-۲- بار دیوارها ۲۸۲
۲-۹-۵-۳- بار پله‌ها ۲۸۷
۲-۹-۵-۴- بار خرپشته ۲۸۸
۲-۹-۵-۵- بارگذاری زلزله‌ی قائم ۲۸۹
۲-۹-۵-۶- تنظیم محاسبه‌ی ضریب کاهش سربار ۲۸۹
۲-۹-۶- انجام عملیات تحلیل ۲۹۰
۲-۹-۷- طراحی سازه ۲۹۲
۲-۹-۷-۱- تنظیم‌های آیین‌نامه ۲۹۲
۲-۹-۷-۲- تغییر پردازنده طراحی ۲۹۴
۲-۹-۷-۳- انتخاب ترکیب‌بارهای طراحی ۲۹۵
۲-۹-۷-۴ پارامترهای طراحی ۲۹۵
۲-۹-۷-۵- انجام عملیات طراحی ۲۹۸
۲-۹-۸- طراحی تیرهای مرکب ۳۰۶
۲-۹-۸-۱- تنظیم آیین‌نامه ۳۰۶
۲-۹-۸-۲- انتخاب ترکیب بارها ۳۰۷
۲-۹-۸-۳- پارامترهای طراحی تیرهای مرکب ۳۰۸
۲-۹-۸-۴- انجام عملیات طراحی تیرهای مرکب ۳۱۰
۲-۹-۹- کنترل خروجی‌های برنامه ۳۱۱
۲-۹-۹-۱- کلیات طراحی اعضای فولادی ۳۱۲
۲-۹-۹-۲- کنترل ضریب کاهش سربار ۳۱۴
۲-۹-۹-۳- طراحی تیر بین تقاطع‌های C-3 و C-4 ..... ۳۱۴
۲-۹-۹-۴- طراحی ستون تقاطع C-3 ..... ۳۱۶
۲-۹-۹-۵- طراحی مهاربندها ۳۱۹
۲-۹-۹-۶- طراحی تیر مرکب ۳۲۰
۲-۹-۹-۷- وزن اسکلت ساختمان ۳۲۳
۲-۹-۹-۸- وزن ساختمان ۳۲۴
۲-۹-۹-۹- نیروی زلزله ۳۲۶
۲-۹-۹-۱۰- کنترل جابجایی جانبی ۳۲۹
۲-۹-۱۰- ایجاد خروجی برای SAFE ۳۳۱
۲-۱۰- تحلیل و طراحی پی در برنامه‌ی SAFE ۳۳۲
۲-۱۰-۱- شروع ساخت مدل ۳۳۴
۲-۱۰-۲- معرفی مشخصات ۳۳۴
۲-۱۰-۲-۱- مصالح ۳۳۴
۲-۱۰-۲-۲- دال بتنی ۳۳۴
۲-۱۰-۲-۳- تکیه‌گاه خاک ۳۳۶
۲-۱۰-۲-۴- خطوط شبکه ۳۳۶

۲-۱۰-۲-۵- الگوهای بارگذاری ۳۳۸
۲-۱۰-۲-۶- ترکیب بارها ۳۳۹
۲-۱۰-۲-۷- ایجاد حالت‌های تحلیل غیرخطی ۳۴۲
۲-۱۰-۳- ترسیم هندسه‌ی مدل ۳۴۴
۲-۱۰-۳-۱- ترسیم عناصر سطحی پی ۳۴۴
۲-۱۰-۳-۲- ترسیم نوارهای طراحی ۳۴۴
۲-۱۰-۴- اختصاص تکیه‌گاه خاک ۳۴۶
۲-۱۰-۵- اختصاص بار سطحی مرده و زنده ۳۴۷
۲-۱۰-۶- معرفی اندازه‌ی ناحیه‌ی کنترل برش منگنه‌ای ۳۴۷
۲-۱۰-۷- تنظیم‌های طراحی ۳۴۸
۲-۱۰-۷-۱- انتخاب آیین‌نامه ۳۴۹
۲-۱۰-۷-۲- انتخاب ترکیب بارهای طراحی ۳۴۹
۲-۱۰-۷-۳- پارامترهای طراحی نوارهای طراحی ۳۵۱
۲-۱۰-۷-۴- پارامترهای طراحی برش منگنه‌ای ۳۵۲
۲-۱۰-۸- تحلیل و طراحی پی ۳۵۳
۲-۱۰-۹- کنترل فشار خاک ۳۵۴
۲-۱۰-۱۰- کنترل برش منگنه‌ای ۳۵۸
۲-۱۰-۱۱- طراحی مجدد پی ۳۶۰
۲-۱۰-۱۲- نمایش میلگردهای طولی مورد نیاز ۳۶۵

فصل سوم: تحلیل و طراحی یک ساختمان هفت طبقه با قاب خمشی ویژه و مهار بندی واگرای ویژه ۳۶۷

۳-۱- مقدمه ۳۶۷
۳-۲- معماری ساختمان ۳۶۸
۳-۳- مشخصات سازه‌ای ۳۷۵
۳-۳-۱- انتخاب سیستم‌های باربر سازه ۳۷۵
۳-۳-۲- مصالح و مقاطع اعضاء ۳۷۸
۳-۴- بارگذاری ثقلی ۳۷۹
۳-۴-۱- وزن سقف طبقه‌ها ۳۷۹
۳-۴-۲- دیوارها و پارتیشن ۳۸۱
۳-۴-۳- بارهای زنده ۳۸۳
۳-۴-۴- بار اتاق پله و خرپشته ۳۸۳
۳-۵- بارگذاری زلزله استاتیکی ۳۸۳
۳-۵-۱- محاسبه‌ی وزن ساختمان ۳۸۳
۳-۵-۲- ضریب زلزله ۳۸۵
۳-۵-۳- توزیع نیروی زلزله بین طبقات ۳۸۷
۳-۵-۴- توزیع نیروی زلزله در پلان ۳۸۸
۳-۵-۵- ضرایب لرزه‌ای ۳۸۹
۳-۵-۶- اثر زلزله‌های متعامد ۳۹۰
۳-۶- تحلیل و طراحی دستی قاب خمشی ویژه ۳۹۱
۳-۶-۱- تحلیل قاب تحت بار ثقلی ۳۹۲
۳-۶-۲- تحلیل قاب تحت بار زلزله ۳۹۵
۳-۶-۳- طراحی تیر بین تقاطع‌های 2-C و 2-D در طبقه‌ی سوم ۳۹۷
۳-۶-۴- طراحی ستون تقاطع 2-D در طبقه سوم ۴۰۰
۳-۶-۵- کنترل ضابطه ستون قوی تیر ضعیف ۴۰۳
۳-۶-۶- طراحی اتصال گیردار تیر به ستون ۴۰۴
۳-۶-۷- طراحی ورق‌های پیوستگی ۴۰۹
۳-۶-۷-۱- کنترل خمش موضعی بال ستون ۴۱۰
۳-۶-۷-۲- تسلیم موضعی جان ۴۱۰
۳-۶-۷-۳- لهیدگی جان ستون در مقابل نیروی فشاری ۴۱۱
۳-۶-۷-۴- کمانش فشاری ۴۱۱
۳-۶-۷-۵- ضوابط ویژه‌ای لرزه‌ای ۴۱۱
۳-۶-۷-۶- طراحی ورق پیوستگی ۴۱۲
۳-۶-۷-۷- طراحی ورق مضاعف ۴۱۴
۳-۷- تحلیل و طراحی دستی مهاربندی واگرای ویژه ۴۱۵
۳-۷-۱- تحلیل قاب مهاربندی واگرا تحت بار ثقلی ۴۱۷
۳-۷-۲- تحلیل قاب مهاربندی واگرا تحت بار زلزله ۴۱۸
۳-۷-۳- طراحی تیر ۴۲۲
۳-۷-۴- طراحی مهاربند ۴۲۴
۳-۷-۵- طراحی ستون ۴۲۶
۳-۷-۶- کنترل دوران تیرهای پیوند ۴۲۸
۳-۷-۷- طراحی سخت‌کننده تیر پیوند ۴۳۲

۳-۸- تحلیل و طراحی تیرهای دو سر ساده ۴۳۳
۳-۸-۱- تیرهای تیپ T_1 ۴۳۴
۳-۸-۲- تیرهای تیپ T_2 ۴۳۵
۳-۸-۳- تیرهای تیپ T_3 ۴۳۶
۳-۸-۴- تیرهای تیپ T_4 ۴۳۶
۳-۹- بارگذاری طیفی (شبه دینامیکی) ۴۳۷
۳-۹-۱- مدل جرم و فنر سازه ۴۳۸
۳-۹-۲- تعیین مدهای ارتعاشی سازه ۴۳۸
۳-۹-۳- طیف پاسخ ۴۴۱
۳-۹-۴- تحلیل طیفی ۴۴۲
۳-۹-۵- ضرایب مشارکت و جذب جرم ۴۴۵
۳-۹-۶- ترکیب نتایج مدها ۴۴۶
۳-۹-۷- اصلاح نتایج تحلیل طیفی ۴۴۷
۳-۱۰- مدلسازی سازه در برنامه‌ی ETABS ۴۴۸
۳-۱۰-۱- شروع ساخت مدل ۴۴۸
۳-۱۰-۲- معرفی مشخصات مدل ۴۵۱
۳-۱۰-۲-۱- مصالح ۴۵۱
۳-۱۰-۲-۲- مقاطع اعضای فولادی ۴۵۲
۳-۱۰-۲-۳- مقطع سقف مرکب ۴۵۷
۳-۱۰-۲-۴- دیوار حایل ۴۵۸
۳-۱۰-۲-۵- چشمه‌ی اتصال ۴۵۹
۳-۱۰-۲-۶- دیافراگم صلب ۴۶۱
۳-۱۰-۲-۷- طیف پاسخ زلزله ۴۶۲
۳-۱۰-۲-۸- الگوهای بار ۴۶۴
۳-۱۰-۲-۹- الگوی بارگذاری سطحی ۴۶۶
۳-۱۰-۲-۱۰- الگوی محاسبه‌ی جرم سازه ۴۶۸
۳-۱۰-۲-۱۱- تنظیم اثرات P-Δ ۴۶۹
۳-۱۰-۲-۱۲- حالت‌های تحلیل ۴۷۰
۳-۱۰-۲-۱۳- حالت تحلیل مودال ۴۷۳
۳-۱۰-۲-۱۴- ترکیب بارها ۴۷۵
۳-۱۰-۳- ترسیم مدل سازه ۴۷۸
۳-۱۰-۳-۱- ترسیم ستون ۴۷۹
۳-۱۰-۳-۲- ترسیم تیرها ۴۸۰
۳-۱۰-۳-۳- ترسیم مهاربندها ۴۸۲
۳-۱۰-۳-۴- ترسیم سقف‌ها ۴۸۳
۳-۱۰-۳-۵- ترسیم دیوارهای حایل ۴۸۵
۳-۱۰-۴- اختصاص مشخصات ۴۸۷
۳-۱۰-۴-۱- تکیه‌گاه ۴۸۷
۳-۱۰-۴-۲- آزادسازی انتهایی اعضاء ۴۸۸
۳-۱۰-۴-۳- نواحی صلب انتهایی ۴۹۰
۳-۱۰-۴-۴- ایستگاه‌های طراحی تیرها ۴۹۱
۳-۱۰-۴-۵- تقسیم خودکار اعضاء ۴۹۱
۳-۱۰-۴-۶- چشمه‌ی اتصال ۴۹۲
۳-۱۰-۴-۷- دیافراگم صلب ۴۹۳
۳-۱۰-۴-۸- جهت بارگذاری سقف ۴۹۴
۳-۱۰-۵- اختصاص بارها ۴۹۵
۳-۱۰-۵-۱- بارسطحی سقف‌ها ۴۹۵
۳-۱۰-۵-۲- بار دیوارهای جانبی ۴۹۶
۳-۱۰-۵-۳- بار اتاق پله ۴۹۹
۳-۱۰-۵-۴- بارگذاری اتاق پله ۵۰۱
۳-۱۰-۶- تحلیل سازه ۵۰۲
۳-۱۰-۷- طراحی سازه ۵۰۴
۳-۱۰-۷-۱- پردازنده‌ی طراحی اعضاء ۵۰۴
۳-۱۰-۷-۲- تنظیم‌های کلی طراحی ۵۰۵
۳-۱۰-۷-۳- پارامترهای طراحی ۵۰۷
۳-۱۰-۷-۴- انتخاب ترکیب بارهای طراحی ۵۱۰
۳-۱۰-۷-۵- تیپ‌بندی در طراحی مقاطع انتخاب خودکار ۵۱۱
۳-۱۰-۷-۶- اجرای عملیات طراحی ۵۱۲
۳-۱۰-۷-۷- نهایی‌کردن و تیپ‌بندی مقاطع ۵۱۵
۳-۱۰-۸- بررسی خروجی‌های طراحی ۵۲۶
۳-۱۰-۸-۱- ستون قاب خمشی در طبقه سوم ۵۲۶
۳-۱۰-۸-۲- تیر قاب خمشی در طبقه‌ی سوم ۵۲۸

۳-۱۰-۸-۳- تیر مهاربندی واگرا در طبقه سوم، نمای D..... ۵۳۱
۳-۱۰-۸-۴- مهاربند طبقه‌ی سوم در نمای D..... ۵۳۲
۳-۱۰-۸-۵- بررسی طراحی سیستم EBF..... ۵۳۳
۳-۱۰-۹- بررسی تحلیل طیفی..... ۵۳۵
۳-۱۰-۹-۱- خروجی‌های تحلیل دینامیکی..... ۵۳۵
۳-۱۰-۹-۲- برش پایه دینامیکی..... ۵۳۷
۳-۱۰-۹-۳- طراحی سازه براساس تحلیل طیفی..... ۵۳۹
۳-۱۰-۱۰- خروجی‌های تکمیلی طراحی..... ۵۴۰
۳-۱۰-۱۱- روش طراحی مستقیم..... ۵۴۳
۳-۱۰-۱۲- بررسی بعضی خروجی‌های برنامه‌ی ETABS..... ۵۴۶
۳-۱۰-۱۲-۱- وزن طبقه‌ها..... ۵۴۶
۳-۱۰-۱۲-۲- وزن اسکلت سازه..... ۵۴۷
۳-۱۰-۱۲-۳- مرکز جرم، مرکز سختی، سختی و برش طبقات..... ۵۴۸
۳-۱۰-۱۲-۴- جابجایی جانبی سازه..... ۵۵۱
۳-۱۰-۱۲-۵- دیاگرام‌های نیروی داخلی..... ۵۵۴
۳-۱۰-۱۲-۶- عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی..... ۵۵۶
۳-۱۰-۱۲-۷- شکل مدهای ارتعاشی..... ۵۵۷
۳-۱۰-۱۳- ایجاد ورودی برنامه‌ی SAFE..... ۵۵۹
۳-۱۱- طراحی پی..... ۵۶۱
۳-۱۱-۱- شروع ساخت مدل پی..... ۵۶۳
۳-۱۱-۲- تعریف مشخصات مدل..... ۵۶۳
۳-۱۱-۲-۱- مصالح..... ۵۶۳
۳-۱۱-۲-۲- مقاطع پی..... ۵۶۵
۳-۱۱-۲-۳- مقطع معادل دیوار حایل..... ۵۶۶
۳-۱۱-۲-۴- تکیه‌گاه خاک..... ۵۶۷
۳-۱۱-۲-۵- اضافه کردن خطوط شبکه..... ۵۶۷
۳-۱۱-۲-۶- الگوهای بار..... ۵۶۸
۳-۱۱-۲-۷- ترکیب بارها..... ۵۶۸
۳-۱۱-۲-۸- تحلیل بلندشدگی خاک..... ۵۷۱
۳-۱۱-۳- ترسیم مدل پی..... ۵۷۱
۳-۱۱-۴- ترسیم نوارهای طراحی..... ۵۷۵
۳-۱۱-۵- اختصاص مشخصات و بارگذاری سطحی پی..... ۵۷۹
۳-۱۱-۶- تنظیم‌های طراحی..... ۵۸۱
۳-۱۱-۷- تنظیم‌های تحلیل و انجام عملیات تحلیل و طراحی..... ۵۸۴
۳-۱۱-۸- کنترل فشار خاک..... ۵۸۴
۳-۱۱-۹- کنترل برش منگنه‌ای..... ۵۸۶
۳-۱۱-۱۰- مساحت میلگردهای طولی..... ۵۸۸

فصل چهارم: تحلیل غیر خطی استاتیکی و دینامیکی یک قاب خمشی ویژه..... ۵۹۱

۴-۱- کلیات..... ۵۹۱
۴-۲- معرفی پروژه..... ۵۹۴
۴-۳- مصالح و مقاطع..... ۵۹۵
۴-۴- بارگذاری ثقلی..... ۵۹۶
۴-۵- بارگذاری جانبی زلزله..... ۵۹۷
۴-۵-۱- تحلیل استاتیکی غیرخطی..... ۵۹۷
۴-۵-۲- تحلیل دینامیکی غیرخطی..... ۵۹۹
۴-۵-۳- ترکیب بارهای ثقلی و جانبی..... ۶۰۰
۴-۵-۴- محاسبه تغییر مکان هدف..... ۶۰۱
۴-۶- مشخصات غیرخطی تیرها و ستون‌ها..... ۶۰۳
۴-۷- مدلسازی در برنامه‌ی ETABS..... ۶۱۴
۴-۷-۱- شروع ساخت مدل..... ۶۱۶
۴-۷-۲- معرفی مشخصات مدل..... ۶۱۸
۴-۷-۲-۱- مصالح..... ۶۱۸
۴-۷-۲-۲- مقاطع..... ۶۱۹
۴-۷-۲-۳- مفاصل پلاستیک..... ۶۱۹
۴-۷-۲-۴- چشمه‌ی اتصال..... ۶۲۵
۴-۷-۲-۵- طیف طرح..... ۶۲۶
۴-۷-۲-۶- شتاب نگاشت..... ۶۲۸
۴-۷-۲-۷- روش محاسبه‌ی جرم..... ۶۳۱
۴-۷-۲-۸- اثرات P-Δ..... ۶۳۲
۴-۷-۲-۹- تحلیل مودال..... ۶۳۳

۴-۷-۲-۱۰- الگوهای بار ۶۳۴
۴-۷-۲-۱۱- حالتهای تحلیل ۶۳۵
۴-۷-۲-۱۲- ترکیب بار ۶۴۲
۴-۷-۳- ترسیم مدل سازه ۶۴۴
۴-۷-۴- اختصاص مشخصات اعضای مدل ۶۴۵
۴-۷-۴-۱- تکیه‌گاه و دیافراگم صلب ۶۴۵
۴-۷-۴-۲- جرم طبقات و چشمه‌ی اتصال ۶۴۶
۴-۷-۴-۳- نواحی صلب انتهایی ۶۴۷
۴-۷-۴-۴- مفاصل پلاستیک ۶۴۸
۴-۷-۵- بارگذاری ۶۴۸
۴-۷-۶- تحلیل مدل ۶۵۳
۴-۷-۷- کنترل‌های تحلیل مودال ۶۵۵
۴-۷-۸- کنترل‌های تحلیل غیرخطی استاتیکی ۶۵۸
۴-۷-۸-۱- چندخطی کردن منحنی ظرفیت و پارامترهای لرزه‌ای ۶۶۱
۴-۷-۸-۲- کنترل مقاومت در 120% تغییر مکان هدف ۶۶۵
۴-۷-۸-۳- حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات ۶۶۵
۴-۷-۸-۴- نیروی محوری ستون‌ها ۶۶۷
۴-۷-۸-۵- کنترل تغییر شکل مفاصل پلاستیک ۶۷۰
۴-۷-۸-۶- کنترل ضریب R_d ۶۷۳
۴-۷-۹- کنترل‌های تحلیل تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی ۶۷۳
۴-۷-۹-۱- مقاومت اعضا ۶۷۳
۴-۷-۹-۲- تغییر مکان نسبی طبقات ۶۷۶
۴-۷-۹-۳- تغییر شکل اعضا ۶۷۹
۴-۷-۹-۴- استفاده از گزارش‌های خروجی ۶۸۱
۴-۷-۹-۵- نمایش گرافیکی منحنی رفتاری مفاصل پلاستیک ۶۸۳

معرفی شرکت ابر سازه‌ها ـ نرم‌افزارهای طراحی و ترسیم جزئیات اسکلت فولادی، بتنی، پی و سوله ۶۸۵

معرفی شرکت مهندسین مشاور سازیران ۷۲۱

فصل اول

تحلیل و طراحی یک ساختمان سه طبقه با قاب خمشی و مهاربندی همگرای معمولی

۱-۱- مقدمه

برای ساختمان‌های با ارتفاع کم مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ می‌توان از سیستم‌های باربر جانبی با شکل‌پذیری کم استفاده کرد مشروط بر آن که ساختمان با اهمیت خیلی زیاد و زیاد نباشد. مطابق یادداشت (۱) جدول ۳-۴ استاندارد ۲۸۰۰، برای ساختمان‌های با اهمیت متوسط واقع در مناطق لرزه‌خیزی۱ و۲ نیز استفاده از سیستم‌های با شکل‌پذیری کم مجاز نیست. برای ساختمان‌های با اهمیت متوسط واقع در مناطق لرزه‌خیزی۳ و۴ نیز حداکثر ارتفاع ساختمان باید به ۱۵ متر محدود شود. قاب‌های خشمی فولادی معمولی جز سیستم‌های با شکل‌پذیری کم هستند. پروژه‌ی در نظر گرفته شده برای فصل حاضر ساختمانی فولادی با قاب خمشی معمولی است. نکات بارگذاری ثقلی و جانبی این سیستم‌ها در فصل حاضر بررسی می‌شوند. همچنین نکات اولیه‌ی طراحی این نوع ساختمان‌ها براساس روش حالت‌های حدی LRFD به صورت دستی و رایانه‌ای کنترل می‌شود.

محاسبه‌های دستی برای کنترل برخی از محاسبه‌های رایانه‌ای برنامه‌های ETABS و SAFE در نظر گرفته شده‌اند. این محاسبه‌ها نکات خاص آیین‌نامه‌ای را روشن می‌کنند و برخی خروجی‌های نرم‌افزارها را تشریح می‌کنند. سعی شده است علاوه بر طراحی دستی برخی تحلیل‌های دستی نیز انجام شوند. بارگذاری‌های کلی ثقلی مرده، زنده و زلزله به صورت کامل به طور دستی انجام می‌شوند. در نهایت برای آشنایی خوانندگان با نحوه‌ی تهیه نقشه‌های اجرایی براساس خروجی نرم‌افزار، نقشه‌های اجرایی ساختمان طراحی شده در انتهای فصل ارائه می‌شوند.

در فصل حاضر اهداف کلی زیر دنبال می‌شوند:

- ستون‌گذاری، تیرریزی و تشکیل سیستم‌های باربر ثقلی و جانبی
- تعیین جزئیات اجرایی سقف و دیوارها
- بارگذاری ثقلی و توزیع بارهای ثقلی مرده و زنده
- بارگذاری جانبی باد و زلزله
- تحلیل دستی برخی المان‌های سازه
- طراحی بعضی از المان‌های سازه به صورت دستی

- طراحی اتصالات به صورت دستی
- مدلسازی، تحلیل و طراحی ساختمان در ETABS
- مدلسازی پی در برنامه‌ی SAFE
- ترسیم و ارائه‌ی نقشه‌های اجرایی

در تحلیل و طراحی پروژه‌ی حاضر برای بارگذاری ثقلی از مبحث ششم مقررات ملی، برای بارگذاری زلزله از استاندارد ۲۸۰۰، برای طراحی اسکلت فولادی از مبحث دهم مقررات ملی و آیین‌نامه‌ی AISC 360 و در نهایت برای طراحی پی از آیین‌نامه‌ی ACI 318 استفاده خواهد شد. در این پروژه سعی می‌شود که تمامی مراحل ذکر شده به صورت مفصل مورد بحث و بررسی قرار گیرند.

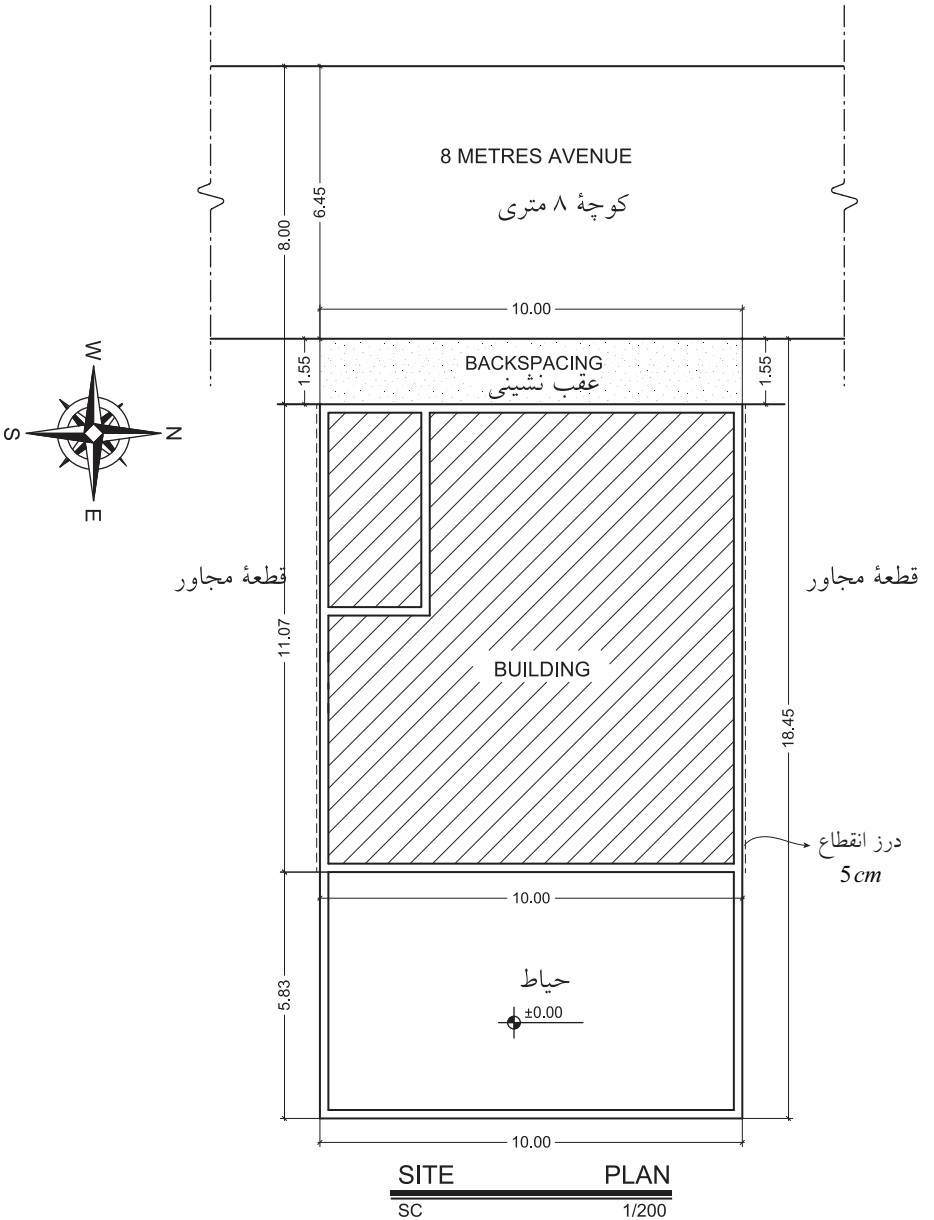
۱-۲- کلیات پروژه

برای آماده کردن محاسبه‌های دستی و مدلسازی نرم‌افزاری، ساختمانی با هندسه‌ای نسبتاً منظم برای پروژه‌ی فصل حاضر در نظر گرفته شده است. پلان‌های معماری، نماها، برش‌ها و دیگر جزئیات نقشه‌های معماری ساختمان در شکل ۱-۱ نشان داده شده‌اند. با توجه به محدودیت‌های اطراف ساختمان، دیوارهای امتداد شرقی- غربی ساختمان دارای نما و دیوارهای امتداد شمالی- جنوبی با توجه به مجاورت همسایه بدون نما هستند. ارتفاع خالص طبقه‌ها در برش نشان داده شده در شکل ۱-۱- ت دیده می‌شود. ضخامت سقف‌ها به صورت حدودی برابر $30cm$ فرض می‌شود. همان‌طور که در بخش بارگذاری مرده دیده خواهد شد، ضخامت سقف‌ها ممکن است کمی با این مقدار فرض شده تفاوت داشته باشد. در هر صورت ضخامت سقف سازه‌ای (دال به اضافه‌ی تیرچه) برابر $30cm$ است.

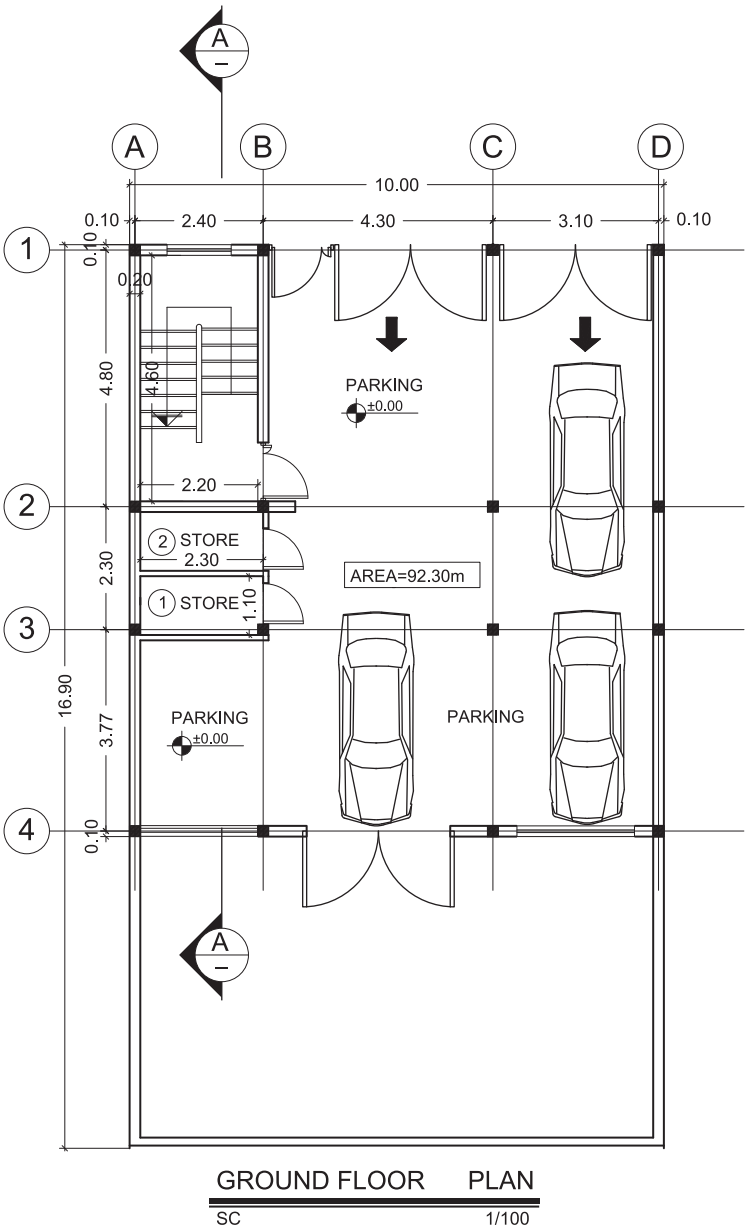
پلان طبقه‌ی همکف و همچنین سایر طبقات دارای کاربری مسکونی می‌باشد. با استفاده از برش نشان داده شده در شکل ۱-۱- ت و در نظر گرفتن ضخامت سقف می‌توان ارتفاع سازه‌ای طبقات را به دست آورد. کف‌سازی معماری روی دال باید در محاسبه‌ی ارتفاع طبقات در نظر گرفته شود. برای طبقه‌ی همکف کف‌سازی معماری نسبت به طبقات دیگر متفاوت است. به جهت قرارگیری لوله‌های تأسیسات مکانیکی و سایر جزئیات، ضخامت کف‌سازی روی پی از کف‌سازی طبقات بیشتر است. به صورت کلی ضخامت کف‌سازی روی پی در حدود $30cm$ می‌باشد. به جهت سادگی در پروژه‌ی حاضر کف‌سازی طبقه همکف برابر $30cm$ و کف‌سازی سایر طبقات $10cm$ فرض می‌شود. ضخامت سقف نشان داده شده در شکل ۱-۱- ت $(40cm)$ شامل ضخامت سقف سازه‌ای و ضخامت کف‌سازی است.

مطابق بند ۱-۴-۱ استاندارد ۲۸۰۰، درز انقطاع برای ساختمان‌های کمتر از هشت طبقه برابر 0.005 ارتفاع کل ساختمان است. با توجه به اینکه ارتفاع سازه‌ای از روی تراز پایه است، تراز پایه در پروژه‌های حاضر روی کف پی قرار دارد. به این ترتیب با توجه به ارتفاع روی سقف طبقه‌ی سوم از روی پی، درز انقطاع برابر $0.005 \times 920 = 4.6\ cm$ به دست می‌آید. بنابراین، درز انقطاع از طرفین شرقی و غربی ساختمان که برابر $5cm$ در نظر گرفته می‌شود مناسب است. درز انقطاع در شکل ۱-۱- الف نشان داده شده است.

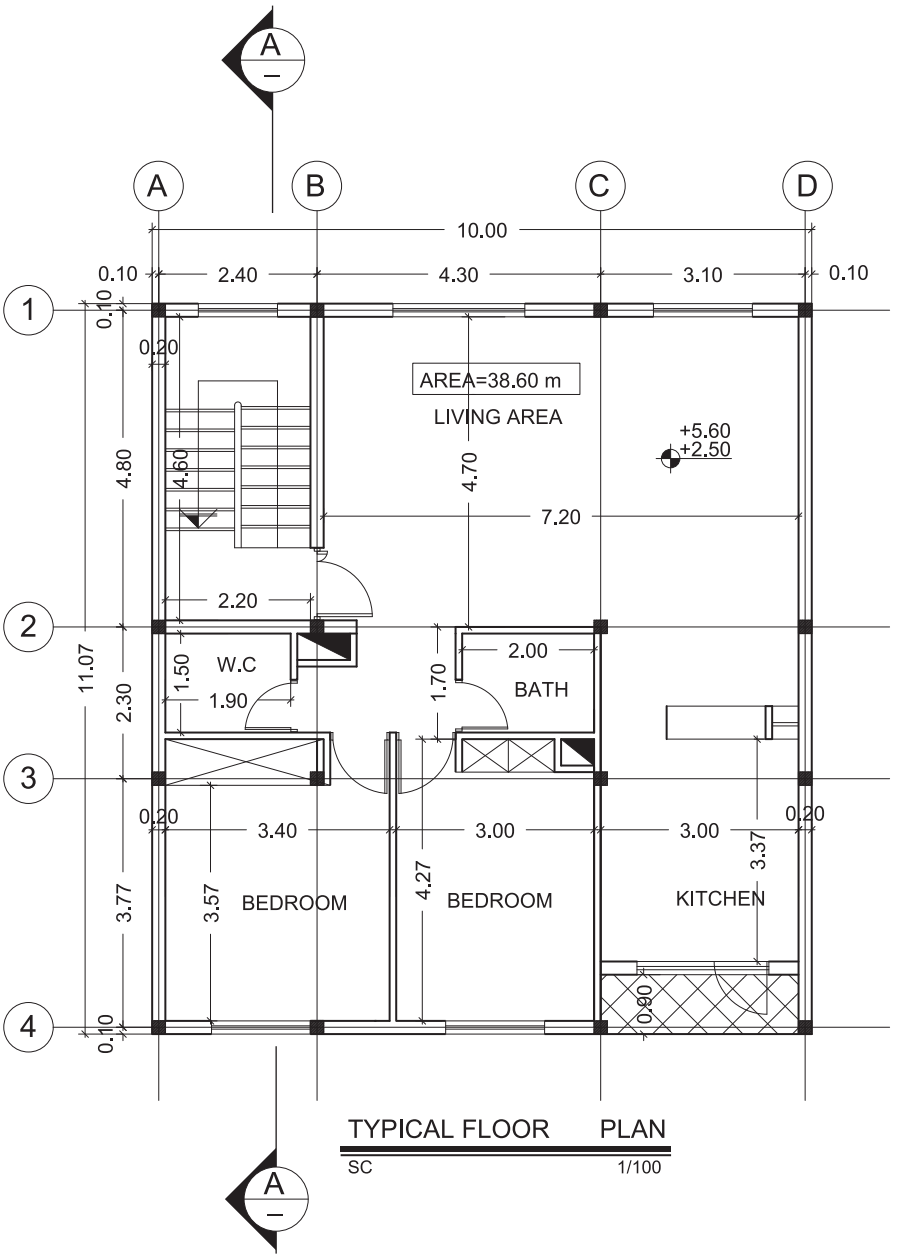
فرض می‌شود که ساختمان در منطقه‌ای با لرزه‌خیزی متوسط (منطقه ۳) قرار دارد. همچنین فرض می‌شود که سازه در زمینی با خاک تیپ II احداث شده است. ساختمان‌های با کاربری مسکونی براساس گروه‌بندی بند ۱-۶ استاندارد ۲۸۰۰، جزو ساختمان‌های با اهمیت متوسط هستند. با در نظر گرفتن محدودیت یادداشت (۱) از جدول ۳-۴ استاندارد ۲۸۰۰، قاب خمشی فولادی معمولی در نظر گرفته شده برای ساختمان نباید بیش از ۱۵ متر ارتفاع داشته باشد. ارتفاع ساختمان حاضر در حدود ۹ متر است. بنابراین استفاده از قاب خمشی فولادی معمولی در منطقه‌ی لرزه‌خیزی ۳ برای این ساختمان مجاز است.



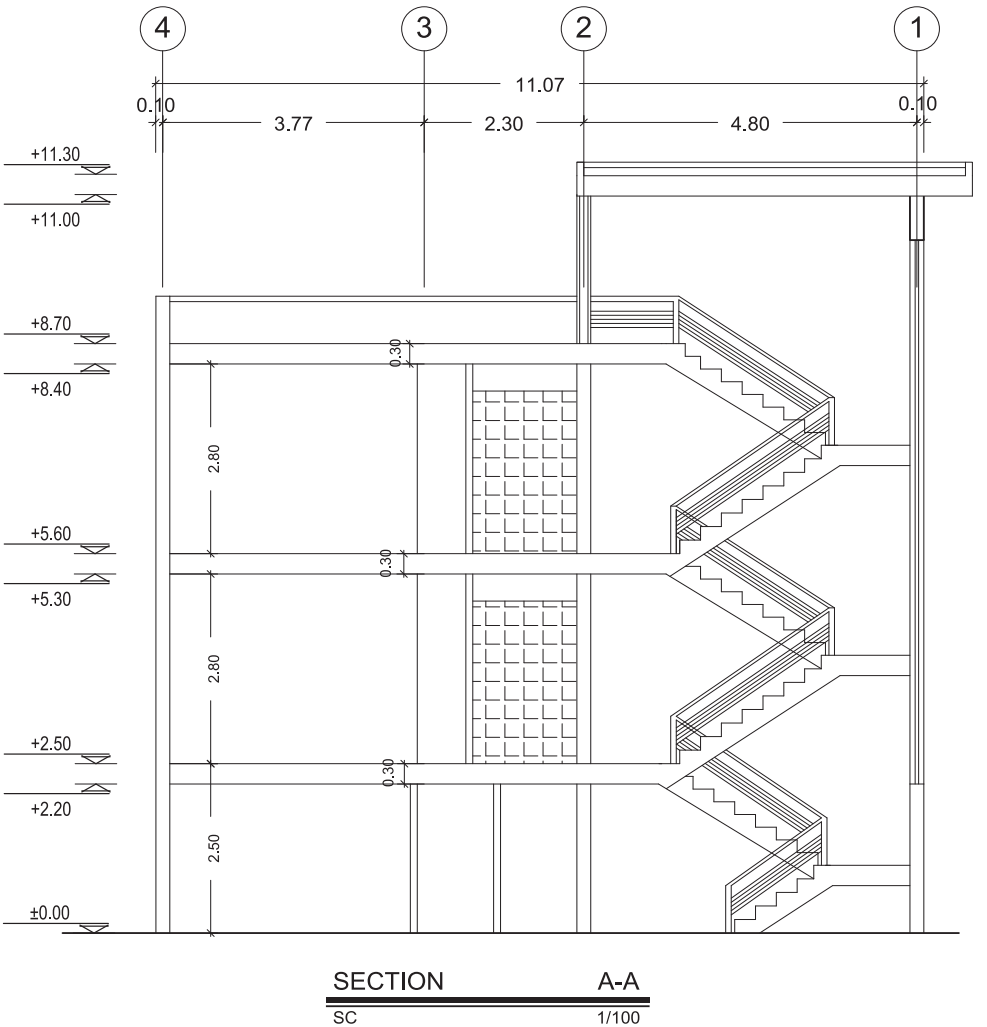
شکل ۱-۱- الف) پلان موقعیت ساختمان



شکل ۱-۱- ب) پلان طبقه همکف (کاربری پارکینگ)

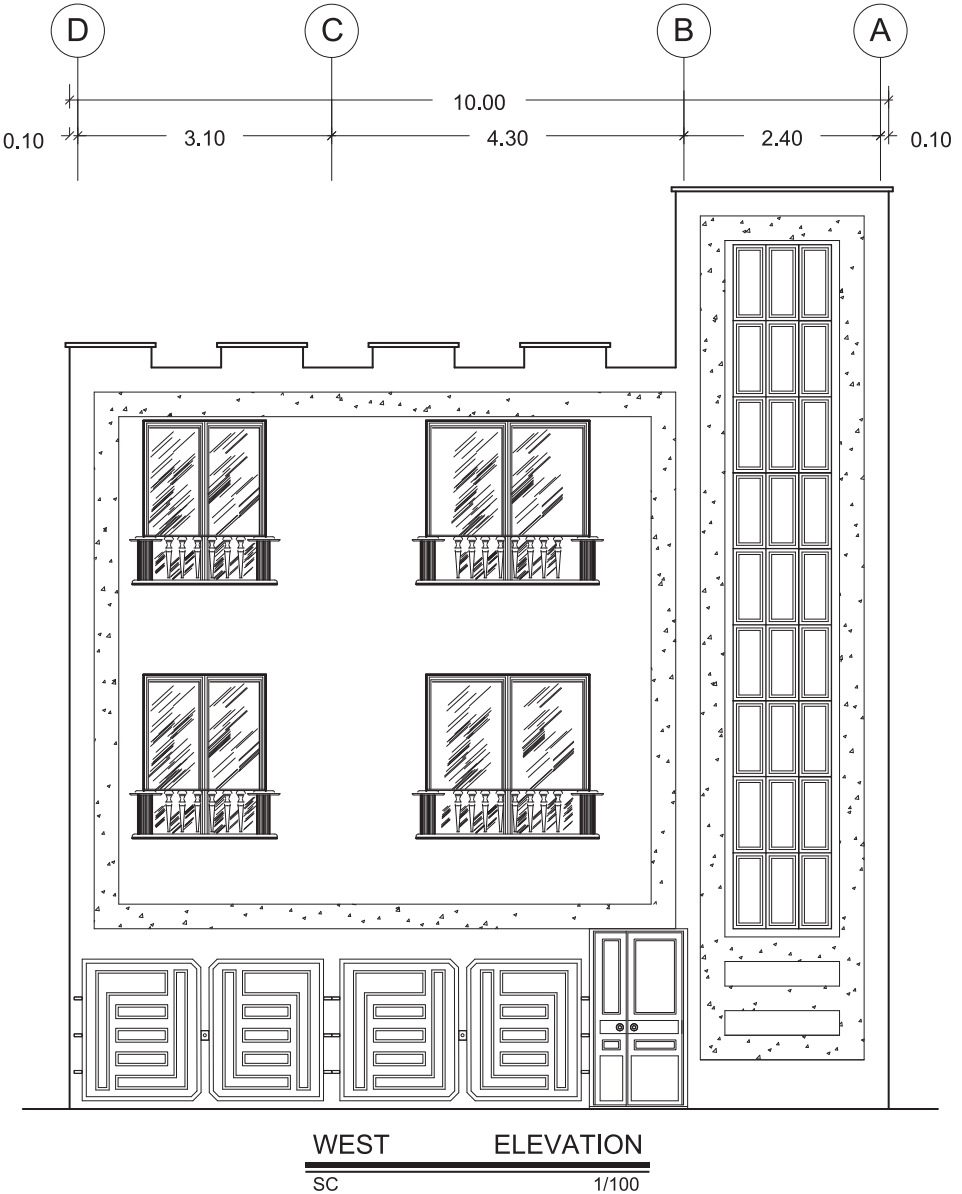


شکل ۱-۱- پ) پلان تیپ طبقات (کاربری مسکونی)

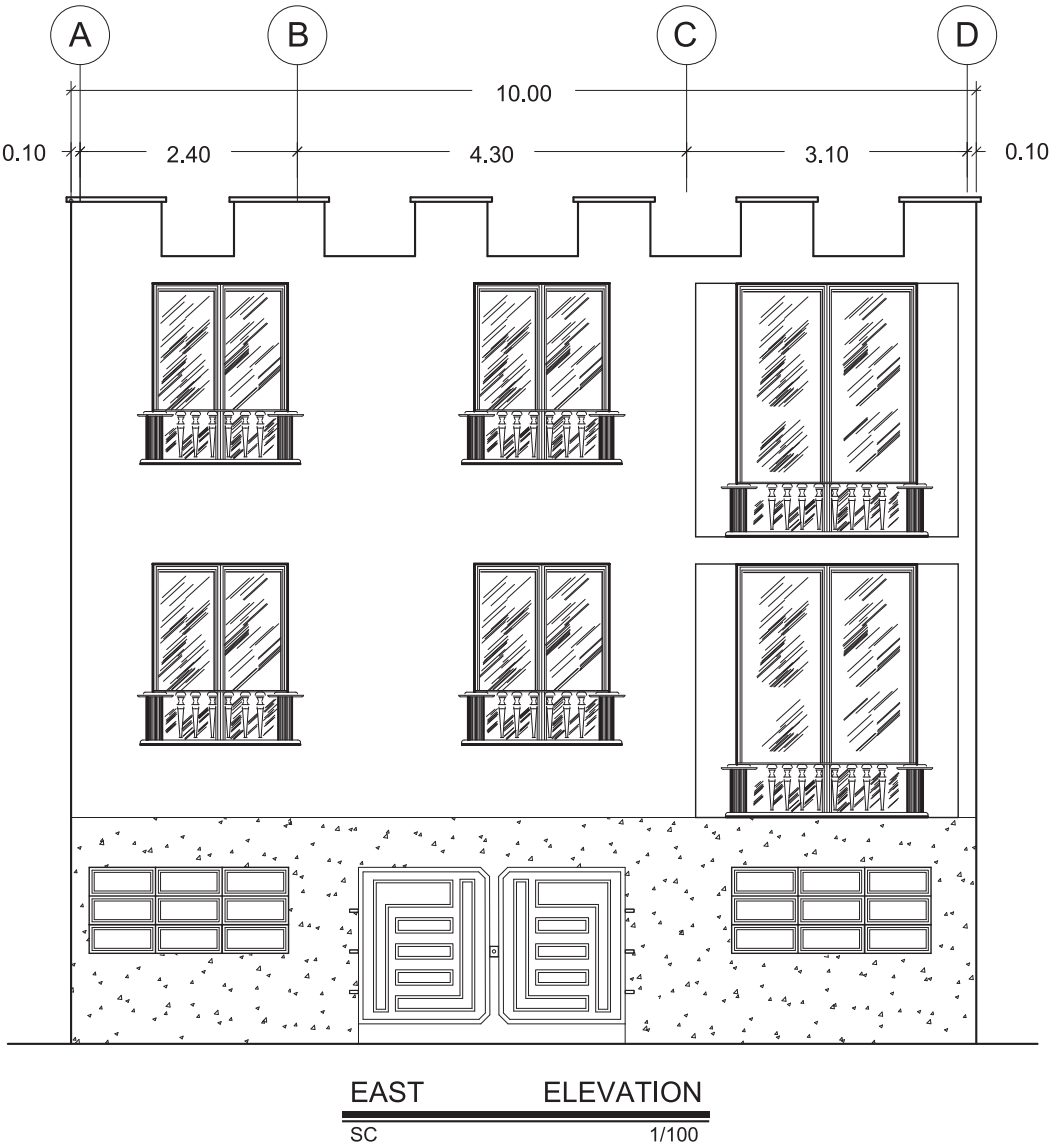


شکل ۱-۱- ت) برش A-A

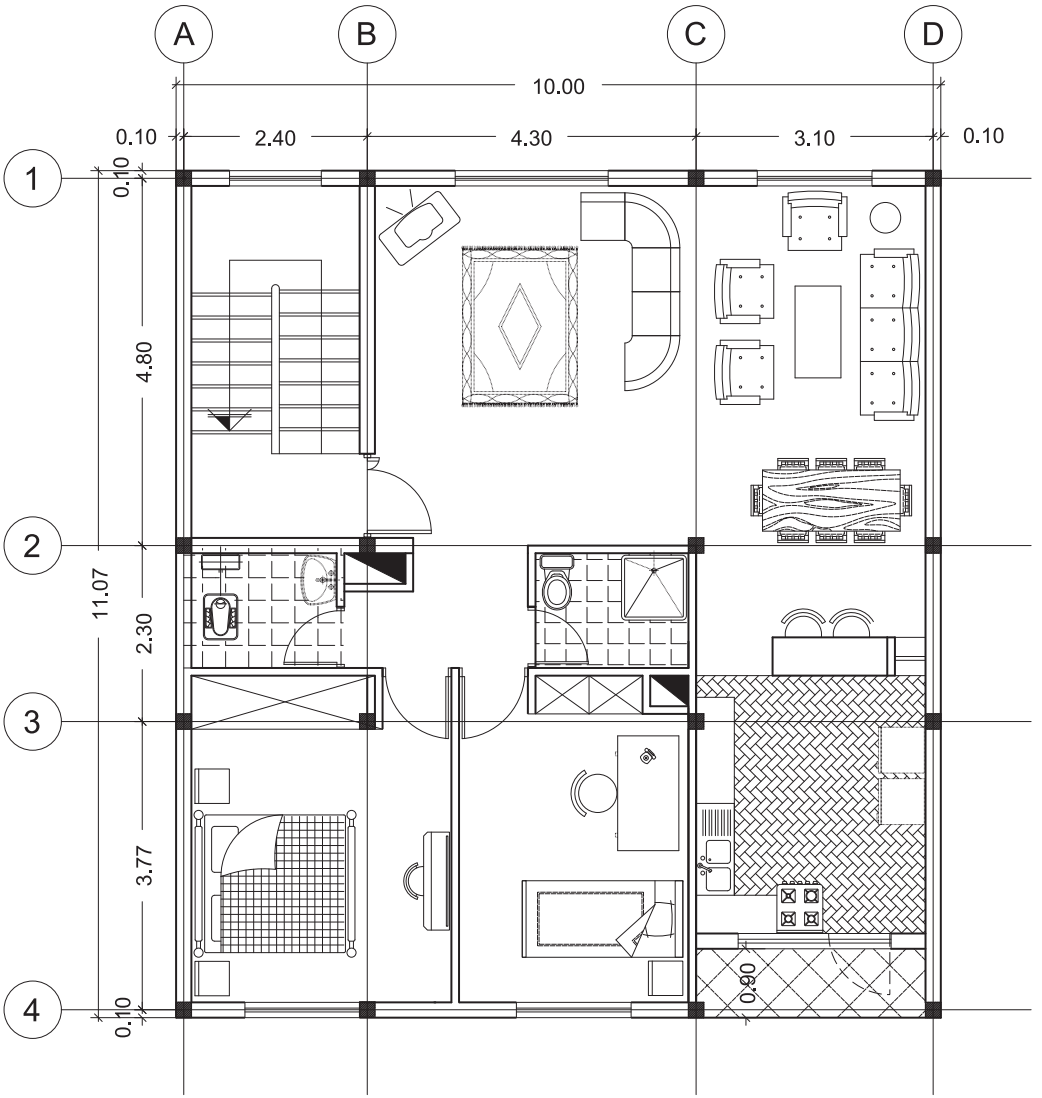
قابل توجه است که مهم‌ترین جزئیات معماری برای یک مهندس سازه، پلان‌ها و برش‌ها هستند. در اکثر نقشه‌های معماری، ستون‌گذاری اولیه توسط مهندس معمار انجام می‌شود. در این پروژه نیز ستون‌گذاری به همین صورت انجام شده است که با توجه به منظم بودن ساختمان مناسب است. در جهت شرقی غربی ساختمان امکان تعبیه مهاربند وجود ندارد. بنابراین استفاده از قاب خمشی در این جهت اجتناب‌ناپذیر است. اما در جهت شمالی جنوبی با توجه به مجاورت به همسایه در طرفین ساختمان امکان تعبیه مهاربند وجود دارد. انتخاب سیستم باربر جانبی ارتباط نزدیکی با چیدمان ستون‌ها و پلان‌های معماری دارد.



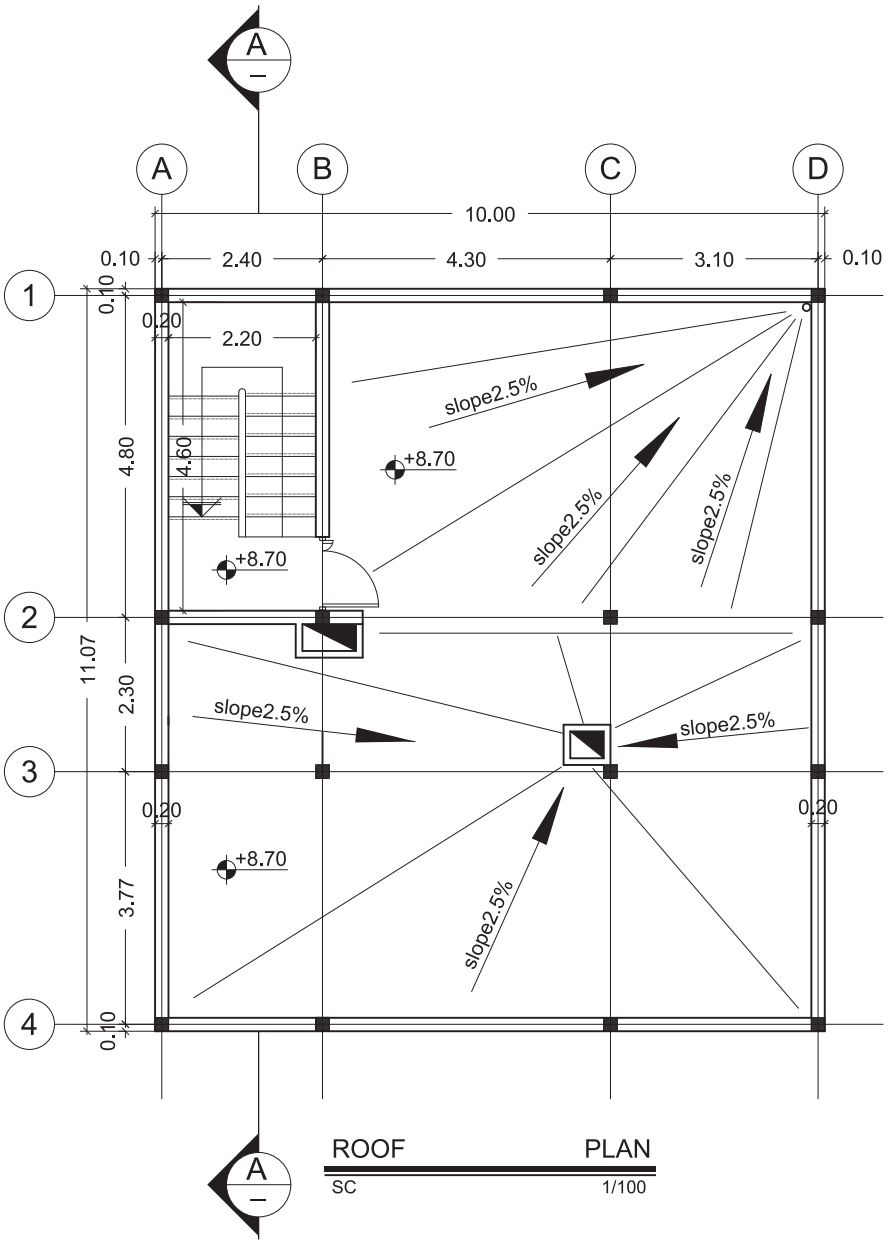
شکل ۱-۱- ج) نمای غربی ساختمان



شکل ۱-۱- چ) نمای شرقی ساختمان



شکل ۱-۱- ح) پلان مبلمان



شکل ۱-۱- خ) پلان شیب‌بندی پشت‌بام

۱-۳- مشخصات سازه‌ای

برای طراحی سازه به مشخصات مصالح و مقاطع نیاز است براساس یک عملیات سعی و خطا ابعاد مناسب برای اعضای سازه‌ی فولادی به دست می‌آید. در این پروژه سعی شده است که مشخصات مصالح به کار رفته مشابه مشخصات به کار رفته در طراحی رایج در کشور باشد. مشخصات فولاد نرمه به کار رفته در طراحی اسکلت فلزی، بتن به کار رفته در طراحی پی و مشخصات مکانیکی خاک به ترتیب در جدول‌های ۱-۱، ۱-۲ و ۱-۳ نشان داده شده است.

جدول ۱-۱- مشخصات مصالح فولادی

وزن واحد حجم، W	$7850\ kg/m^3$
مدول ارتجاعی، E_s	$2.1\times10^6\ kg/cm^2$
ضریب پواسون، υ	0.30
تنش تسلیم، F_y	$2400\ kg/cm^2$
تنش گسیختگی، F_u	$4000\ kg/cm^2$

جدول ۱-۲- مشخصات مصالح بتنی

وزن واحد حجم، W	$2500\ kg/m^3$
مدول ارتجاعی، E_c	$2.1\times10^5\ kg/cm^2$
ضریب پواسون، υ	0.20
مقاومت فشاری، f'_c	$210\ kg/cm^2$
تنش تسلیم میلگرد طولی، f_y	$3000\ kg/cm^2$
تنش تسلیم میلگرد عرضی، f_{ys}	$2300\ kg/cm^2$

جدول ۱-۳- مشخصات خاک

تیپ خاک طبق آیین‌نامه	تنش مجاز، q_a	ضریب بستر، k_s
Type II	$1.5\ kg/cm^2$	$1.8\ kg/cm^3$

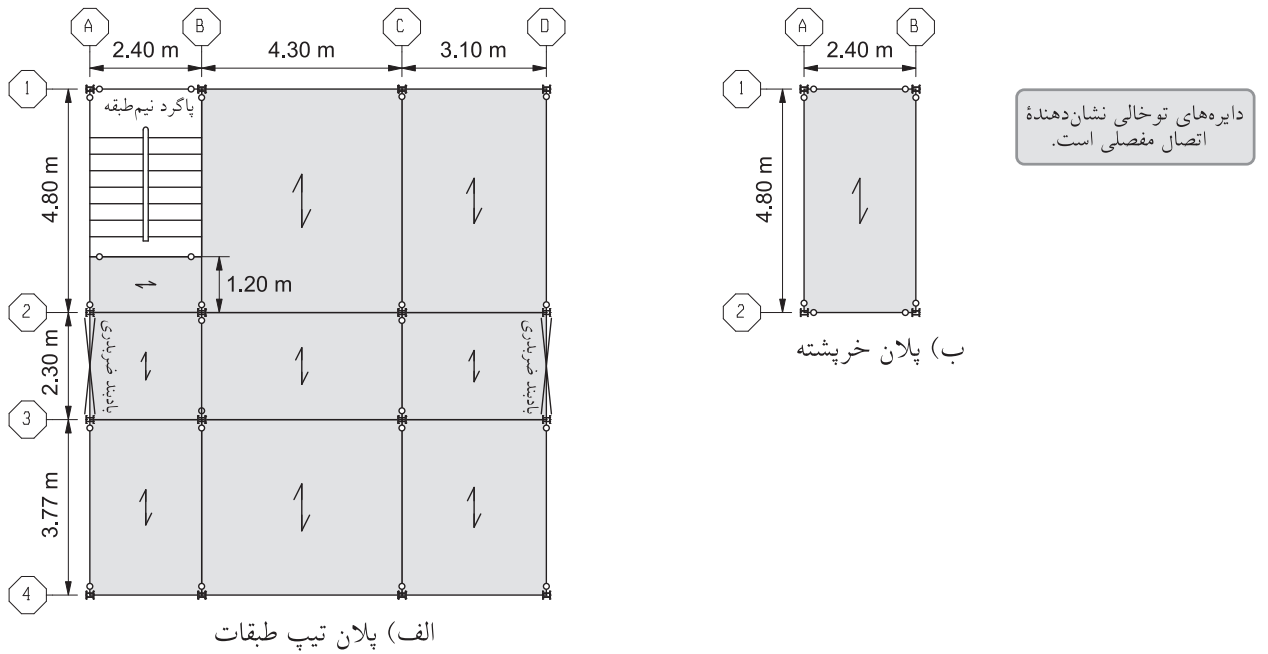
بیشتر مشخصات مکانیکی نشان داده شده در جدول‌های ۱-۱، ۱-۲ و ۱-۳ از طریق آزمایش به دست می‌آید. مشخصات مکانیکی فولاد به نوع فولاد به کار رفته بستگی دارد. در ایران استفاده از فولاد نرمه با مقاومت تسلیم $240\,MPa$ رایج است. مشخصات بتن نیز به عیار بتن بستگی دارد. معمولاً برای

پی‌ها نیازی به استفاده بتن با عیار بالا وجود ندارد. حداقل مقاومت فشاری بتن سازه‌ای مطابق مبحث نهم مقررات ملی و آیین‌نامه‌ی ACI برابر با $20\,MPa$ است. شایان ذکر است که در طراحی‌های فولادی و بتنی از مشخصات اسمی مصالح برای طراحی استفاده می‌شود. مشخصات اسمی مصالح از مقادیر میانگین کمتر هستند. مشخصات اسمی به گونه‌ای تعیین می‌شوند که 95% مصالح مقاومتی بیش از مقدار اسمی تعیین شده داشته باشند.

در طراحی سازه، برای ستون‌ها، تیرها و بادبندها به ترتیب از مقاطع جفت IPE، IPE و جفت ناودانی استفاده می‌شود. مقاطع به کار رفته در اکثر ساختمان‌های فولادی حاضر رایج هستند. انتخاب مقاطع اعضای فولادی به محدودیت‌های اجرایی و عوامل اجرایی بستگی دارد. در بخش لرزه‌ای استاندارد ۲۸۰۰ محدودیت‌هایی برای نوع مقاطع اعضای فولادی قرار داده شده است. برای تیرچه‌ها نیز ارتفاع $25\,cm$ در نظر گرفته می‌شود. در بخش طراحی، تیرچه‌ها نیز طراحی خواهند شد.

۱-۴- ستون‌گذاری، تیرریزی و تشکیل مدل ریاضی

به توجه به پلان معماری نشان داده شده، مدل ریاضی پلان ساختمان پس از مشخص کردن محل ستون‌ها و تیرها و انتخاب جهت تیرچه‌ها در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، در ساختمان پروژه‌ی حاضر پلان طبقه‌ها مشابه است.



الف) پلان تیپ طبقات

ب) پلان خرپشته

شکل ۱-۲- پلان مدل سازه‌ای، ستون‌گذاری و تیرریزی

جهت تیرچه به گونه‌ای انتخاب شده است که تیرهای باربر جهت X، بار را از تیرچه‌ها گرفته و به ستون‌ها انتقال دهند. جهت ستون‌ها نیز به گونه‌ای قرار داده می‌شود که محور قوی مقطع ستون در جهت عمود بر قاب خمشی (شمالی- جنوبی) باشد. به جهت این که از لحاظ اجرایی اتصال تیرها به جان ستون‌های جفت IPE مشکل است، ترجیح داده شده است که بار تیرچه‌ها روی تیرهای شمالی- جنوبی قرا رداده نشوند. تیرهای حمال جهت X باید بارهای ثقلی را علاوه بر بار جانبی تحمل کنند. اتصال تیرهای حمال قاب خمشی به ستون‌ها به صورت گیردار است؛ در حالی که کلیه‌ی تیرهای جهت Y با مهاربندی به صورت مفصلی است. اتصال تیرهای پاگرد پله نیز به صورت مفصلی است. شکل ۱-۲ اتصال‌های مفصلی تیرها را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود اتصال تیرهای طبقه‌ی خرپشته به ستون‌ها مفصلی است.

۱-۵- سیستم‌های باربر سازه‌ای

در ساختمان پروژه‌ی حاضر در جهت عرضی (شرقی- غربی) ساختمان نما وجود دارد. با این که در جهت نمادار امکان استفاده از مهاربندی واگرا وجود دارد، اما همانطور که در پلان طبقه‌ی پارکینگ مشاهده می‌شود، در ورودی پارکینگ امکان قرار دادن مهاربندی وجود ندارد. عدم قرار دادن بادبند در دهانه‌ی پارکینگ باعث عدم تقارن در سیستم باربر جانبی می‌شود. به همین دلیل تنها گزینه برای سیستم باربر جانبی ساختمان در جهت شرقی- غربی، قاب خمشی است. همانطور که در بخش‌های قبلی بحث شد، به دلیل این که ساختمان دارای اهمیت متوسط است و در منطقه‌ای با لرزه‌خیزی متوسط قرار دارد و ارتفاع آن کمتر از 15 متر است می‌توان از قاب خمشی معمولی برای ساختمان استفاده کرد.

در جهت شمالی- جنوبی ساختمان امکان تعبیه‌ی هر گونه مهاربند در طرفین ساختمان وجود دارد. روی محورهای A و D و در دهانه‌ی میانی بادبند ضربدری قرار داده می‌شود. علت قرار دادن مهاربند در دهانه‌ی میانی کاهش نیروهای بلندشدگی ستون است. زیرا در این حالت ستون‌ها بار ثقلی بزرگتری خواهند داشت. در واقع سیستم باربر جانبی ساختمان در جهت طولی (شمالی- جنوبی) قاب ساده (اتصال مفصلی) با مهاربندی ضربدری معمولی است. مطابق جدول ۳-۴ استاندارد ۲۸۰۰ حداکثر ارتفاع ساختمان‌های با سیستم باربر جانبی مهاربندی همگرای معمولی 15 متر است و چون ارتفاع ساختمان حاضر کمتر از 15 متر است استفاده از این نوع سیستم در جهت طولی بلامانع است. اتصال مهاربندی‌ها به نقطه‌ی اتصال تیر- ستون به صورت مفصلی خواهد بود. به نظر می‌رسد که قرار دادن دو دهانه‌ی مهاربند برای ساختمان سه‌طبقه‌ی پروژه‌ی حاضر کافی باشد. در جریان عملیات طراحی در صورت نیاز می‌توان تعداد دهانه‌های مهاربندی را افزایش داد. قابل توجه است که در ویرایش جدید استاندارد ۲۸۰۰ ضریبی به نام ضریب نامعینی سازه، ρ، قرار داده شده است. این ضریب برای اطمینان از کفایت درجه‌ی نامعینی سازه‌ای در سیستم باربر به کار رفته طراحی شده است. اعتقاد بر این است که افزایش درجه‌ی نامعینی، اطمینان به سیستم باربر جانبی برای تحمل بارهای زلزله را افزایش می‌دهد، زیرا در این صورت برای رسیدن به خرابی سیستم باربر به تشکیل مفاصل پلاستیک بیشتری نیاز است و شکل‌پذیری سیستم بیشتر خواهد بود. در ساختمان‌هایی که درجه‌ی نامعینی کافی وجود ندارد ضریب ρ برابر 1.2 توصیه شده است. یعنی بار جانبی زلزله 20% افزایش داده می‌شود. در بخش بارگذاری زلزله توضیحات بیشتری در مورد نحوه‌ی محاسبه‌ی این ضریب داده خواهد شد.

برای سیستم باربر ثقلی از سقف تیرچه بلوک با ارتفاع بلوک $25cm$ استفاده می‌شود. سایر مشخصات سقف تیرچه- بلوک در جزئیات مربوط به بارگذاری نشان داده شده است. در بخش قبلی ذکر شد که بار تیرچه‌ها روی قاب‌های خمشی قرار داده می‌شود. دلیل چنین انتخابی، جوش دادن تیرهای

حمال روی بال ستون است که از لحاظ اجرایی ساده‌تر و مناسب‌تر از جوش دادن به جان ستون IPE است. در این حالت تیرهای جهت Y (طولی) تنها نقش رابط بین قاب‌های خمشی را ایفا خواهد کرد. البته تیرهای کناری بار دیوارهای جانبی را نیز تحمل می‌کنند. در شکل ۱-۳ سیستم‌های باربر ثقلی و جانبی ساختمان نشان داده شده‌اند.

اتصال‌های تیر در جهت عرضی با قاب خمشی به صورت گیردار است؛ به جز برای تیر پاگرد پله که در پلان نیم‌طبقه اجرا می‌شود. به جهت پیشگیری از ایجاد لنگر خمشی در اتصال نیم‌طبقه این تیر مفصلی می‌شود. در ضمن در صورتی که تیرها در یک تراز به ستون وصل نشوند سختی خمشی قابل توجهی ایجاد نمی‌شود. در جهت طولی به دلیل استفاده از مهاربندی و قاب ساده تمام اتصال‌ها مفصلی هستند. اتصال‌های تیرهای پله همگی به صورت مفصلی هستند. به جهت جلوگیری از ایجاد پیچش، اتصال‌های تیر به تیر به صورت مفصلی در نظر گرفته می‌شوند.

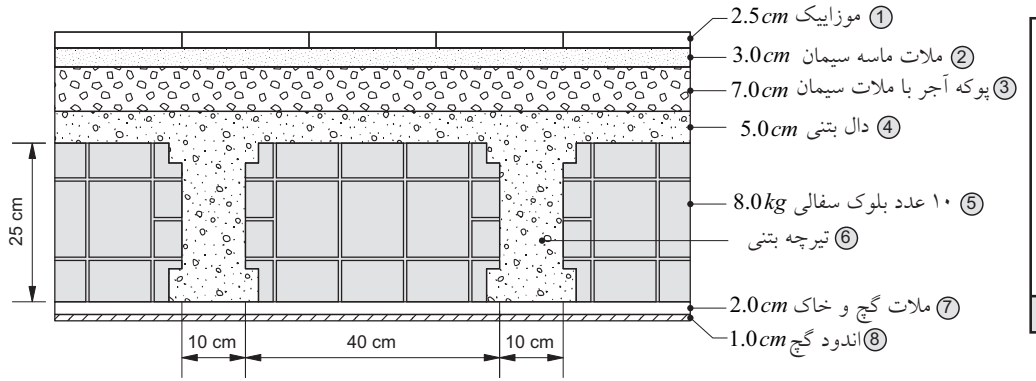
به منظور کاهش جابه‌جایی قاب‌های خمشی و طراحی اقتصادی قاب خمشی، اتصال ستون به صفحه‌ی ستون به صورت گیردار در نظر گرفته می‌شود. در جهت طولی با قاب ساده اتصال ستون به صفحه ستون به صورت مفصلی در نظر گرفته می‌شود. در این جهت به دلیل وجود مهاربندها جابه‌جایی جانبی سازه کوچک بوده و حتی در صورت گیردار بودن اتصال‌های پای ستون‌ها لنگر قابل توجهی در پای ستون ایجاد نمی‌شود. به صورت خلاصه اتصال ستون‌ها به صفحه‌ی ستون در جهت عرضی گیردار و در جهت طولی مفصلی است. لبه‌ی صفحه‌ی ستون از لبه‌های غرب و شرق ساختمان به دلیل وجود درز انقطاع به اندازه‌ی $5cm$ فاصله دارد.

۱-۶- جزئیات سقف‌ها و دیوارها و برآورد بار زنده

محاسبه‌های مربوط به وزن واحد سطح سقف‌ها و دیوارهای داخلی و بیرونی در این بخش انجام می‌شود. همچنین با استفاده از مبحث ششم مقررات ملی بار زنده واحد سطح طبقات تعیین می‌شود. قابل توجه است که دو نوع جزئیات سقف مربوط به پلان تیپ طبقه‌ها و بام باید به صورت جداگانه محاسبه شوند. همچنین وزن دیوارهای جانبی و پارتیشن‌ها نیز به صورت جداگانه محاسبه می‌شود. در وزن‌های مصالح موجود در پیوست شماره ۶-۱ مبحث ششم همچنان از واحد کیلوگرم استفاده شده است. به همین دلیل وزن جزئیات در این بخش با استفاده از واحد کیلوگرم محاسبه می‌شود. اما در بارگذاری نهایی نتیجه به کیلونیوتن تغییر داده می‌شود.

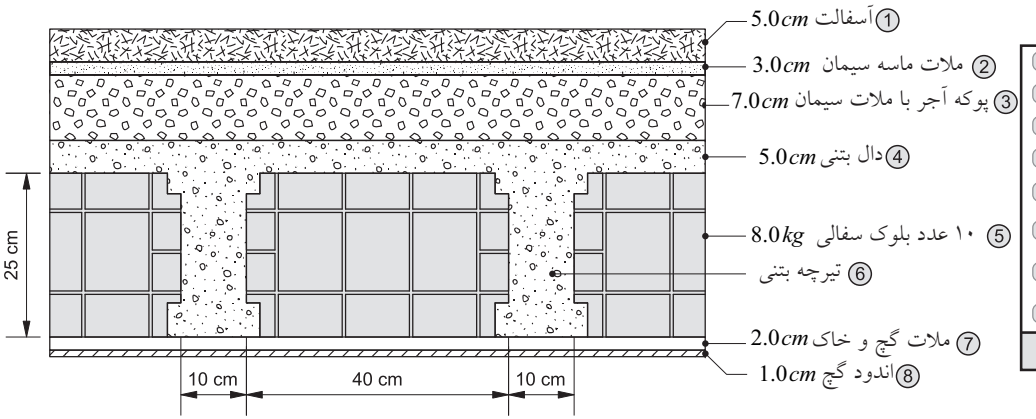
۱-۶-۱- جزئیات سقف‌ها

در دو شکل ۱-۴ و ۱-۵ به ترتیب جزئیات اجرایی سقف طبقات و بام نمایش داده شده است. در این شکل‌ها فرض شده است که پوکه‌ریزی با ملات ماسه‌سیمان معادل آجرکاری با آجر مجوف و ملات ماسه سیمان است. توجه داشته باشید که به مقادیر فوق باید وزن اسکلت سازه‌ی فولادی نیز اضافه شود. معمولاً وزن معادل واحد سطح اسکلت سازه‌ی فولادی حدود 50 کیلوگرم برمتر مربع است. برنامه ETABS وزن واحد سطح اسکلت سازه‌ی فولادی را در خروجی‌ها اعلام می‌کند. مقدار فرض شده در ادامه با خروجی‌های برنامه ETABS مقایسه خواهد شد. قابل توجه است که برنامه‌ی ETABS قادر است وزن اسکلت سازه فولادی را به صورت دقیق محاسبه کرده و با بار مرده جمع کند. مقدار معادل فرض شده تنها برای محاسبه‌های دستی به کار می‌رود.



①	$(0.025)(2250) = 56.25$
②	$(0.03)(2100) = 63.00$
③	$(0.07)(850) = 59.50$
④	$(0.05)(2500) = 125.00$
⑤	$(10)(8) = 80.00$
⑥	$(\frac{100}{50})[(0.10)(0.25)(2500)] = 125.00$
⑦	$(0.02)(1600) = 32.00$
⑧	$(0.01)(1300) = 13.00$
	$\sum = 553.75 \approx 555\ kg/m^2$

شکل ۱-۴- جزئیات سقف طبقات



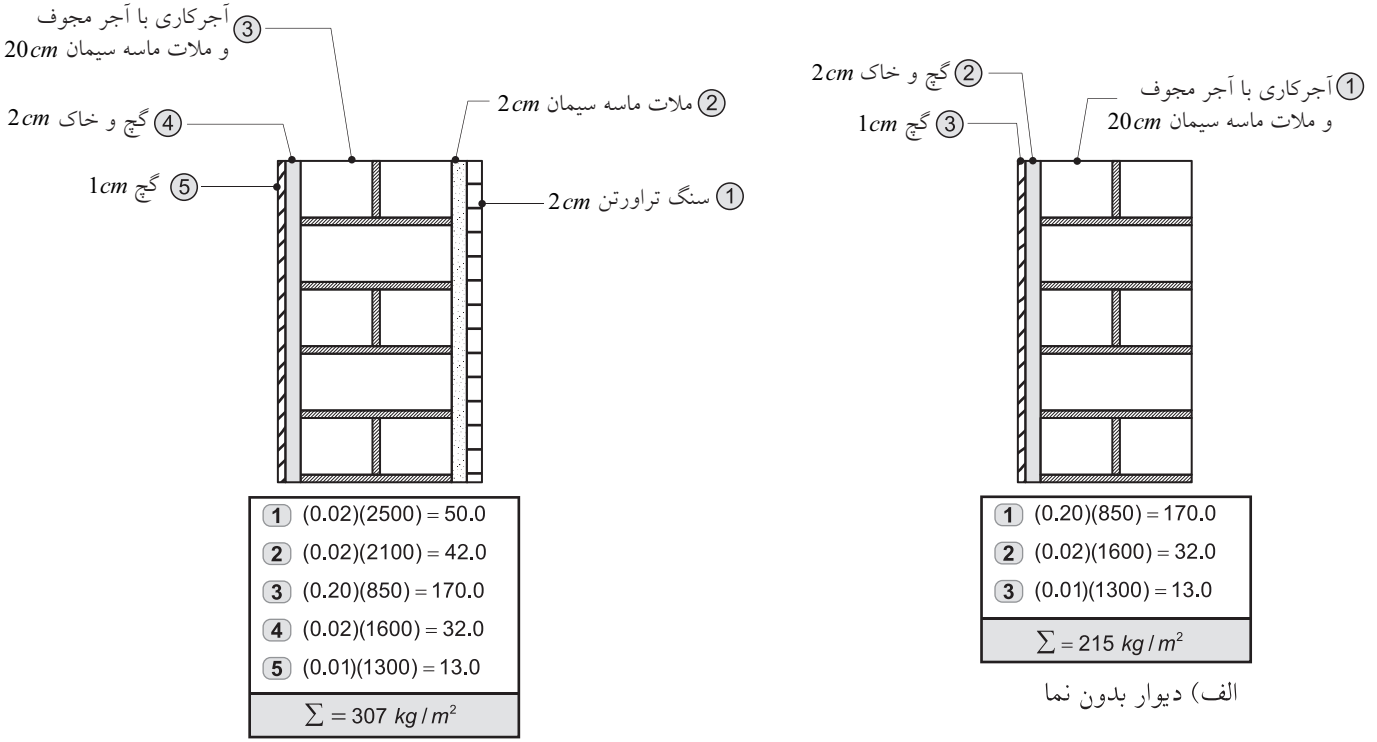
①	$(0.05)(2200) = 110.00$
②	$(0.02)(2100) = 42.00$
③	$(0.10)(850) = 85.0$
④	$(0.05)(2500) = 125.00$
⑤	$(10)(8) = 80.00$
⑥	$(\frac{100}{50})[(0.10)(0.25)(2500)] = 125.00$
⑦	$(0.02)(1600) = 32.00$
⑧	$(0.01)(1300) = 13.00$
	$\sum = 612\ kg/m^2 \cong 615\ kg/m^2$

شکل ۱-۵- جزئیات سقف بام

۱-۶-۲- جزئیات دیوارها

در شکل ۱-۶ جزئیات اجرایی دیوارهای جانبی نمادار و بدون نما نشان داده شده است. محاسبه‌ی وزن واحد سطح دیوار نیز در جدول‌هایی کنار هر شکل نشان داده شده است. در محاسبه‌ی بار وارد بر تیرهای محیطی از این وزن واحد سطح دیوار استفاده خواهد شد.

برای بارگذاری دیوارهای نمادار، با توجه به وجود بازشو می‌توان به صورت حدودی 30% وزن دیوار را کاهش داد. به این ترتیب وزن واحد سطح دیوار جانبی با نما برابر $0.7 \times 3.0 = 2.1\ kN/m^2$ به دست می‌آید. چنانچه مشاهده می‌شود پس از اعمال کاهش مربوط به اثر بازشوها وزن واحد سطح دیوارهای با نما و بدون نما تقریباً یکسان می‌شود.

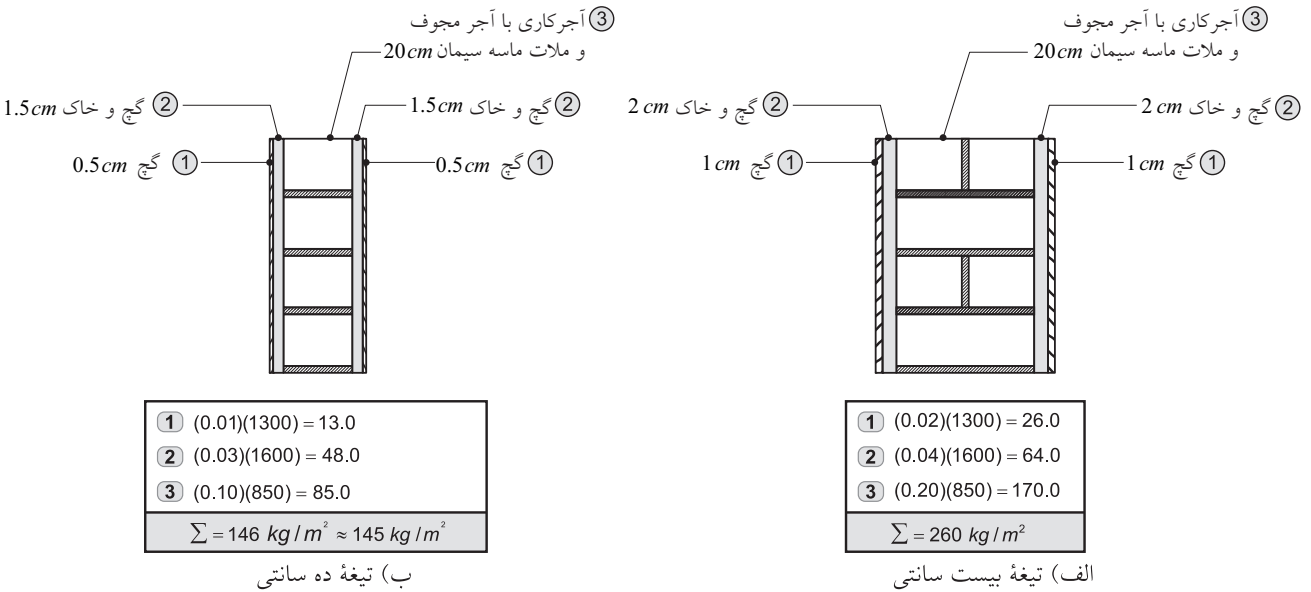


شکل ۱-۶- جزئیات دیوارهای خارجی

در پروژه‌ی حاضر دو نوع تیغه با ضخامت $10cm$ و $20cm$ وجود دارد. محاسبه‌های مربوط به وزن واحد سطح این دیوارها در شکل ۱-۷ نشان داده شده است.

معمولاً بار پارتیشن‌های داخلی به صورت معادل گسترده محاسبه می‌شود. مطابق مبحث ششم جدید بار پارتیشن‌ها باید جزء بارهای زنده محسوب شود. در این پروژه فرض می‌کنیم که احتمال جابجایی پارتیشن‌ها در آینده وجود داشته باشد. مطابق مبحث ششم، بار پارتیشن‌های با وزن واحد سطح بیش از $2kN/m^2$ باید به صورت بار مرده در نظر گرفته شده و در موقعیت واقعی خود اعمال گردد. از پلان‌های معماری طبقه‌ی همکف (پارکینگ) و طبقات برای محاسبه‌ی طول پارتیشن‌های داخلی استفاده می‌شود. مطابق محاسبه‌های انجام شده در شکل ۱-۷ وزن تیغه‌های $20cm$ از $2kN/m^2$ بیشتر است. بنابراین بار این تیغه‌ها باید به صورت بار مرده لحاظ شده و در محل واقعی خود اعمال گردد. وزن پارتیشن‌های داخلی $10cm$ از $2kN/m^2$ کمتر است و برای آن‌ها می‌توان از سربار معادل استفاده کرد. طبق استثناء ذکر شده در بند ۶-۵-۲-۲ مبحث ششم، اگر بار زنده کف از $4kN/m^2$ بزرگتر باشد نیازی به در نظر گرفتن بار زنده دیوار تقسیم‌کننده نیست. با فرض این که خودروهایی با وزن کمتر از $40kN$ در پارکینگ پارک می‌شوند، براساس جدول ۶-۵-۱

بار زنده کف پارکینگ برابر $3\ kN/m^2$ و مشمول این استثناء نیست. شایان ذکر است که سر بار معادل پارکینگ تنها برای محاسبه‌ی جـرم طبقـه‌ی اول لازم است و نقشی در بارگذاری ندارد.



شکل ۱-۷- جزئیات تیغه‌های داخلی ساختمان

با استفاده از پلان معماری تیپ طبقات که در شکل ۱-۱- پ نشان داده شده است، طول کل پارتیشن‌های $10cm$ طبقات برابر $27.64m$ به دست می‌آید. برای طبقه‌ی پارکینگ طول پارتیشن‌های $10cm$ برابر 7.4 متر است. در این محاسبه طول درها نیز لحاظ شده است. در ضمن طول جداکننده آشپزخانه نیـز بـه صـورت پارتیشن لحاظ شده است. ارتفاع پارتیشن‌ها با احتساب ضخامت $10cm$ کف‌سازی طبقات طبق شکل ۱-۱- ت برابر $2.90m$ است. مساحت طبقه بدون احتسـاب اتاق پله (چون پارتیشن در اتاق پله وجود ندارد) حدود $95m^2$ است. با استفاده از اندازه‌گیری‌ها و محاسبه‌های انجام شده، وزن سربار معادل تیغـه‌هـای $10cm$ بـه صورت زیر به دست می‌آید. برای طبقه‌ی پارکینگ ارتفاع کل پارتیشن برابر 2.5 متر است (با احتساب $30cm$ کف‌سازی پارکینگ).

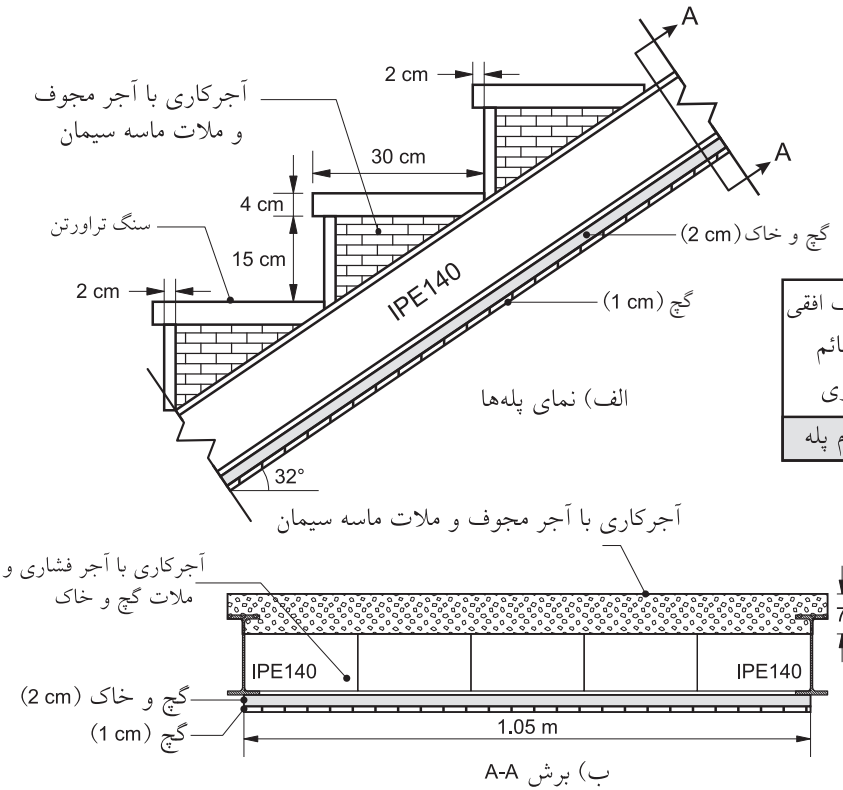
طبقات ..... $\frac{27.64\times 2.9\times 1.46}{95}=1.23\ kN/m^2>1\ kN/m^2$

پارکینگ ..... $\frac{7.4\times 2.5\times 1.46}{95}=0.25<1 kN/m^2$

محدودیت $1kN/m^2$ براساس مبحث ششم مقررات ملی است. سر بار معادل پارتیشن‌ها به مقدار $1.25\ kN/m^2$ رند شـده و بـه صـورت بـار زنـده لحـاظ خواهد شد. برای پارتیشن‌های $20cm$ وزن جزء بارهای مرده محسوب شد به صورت مستقیم روی تیرهای زیر دیوار اعمال می‌شود. برای طبقه‌ی پارکینگ بار معادل $1\ kN/m^2$ استفاده می‌شود.

۱-۶-۳- جزئیات پله

شکل ۱-۸ جزئیات اجرایی پله‌ها را نمایش می‌دهد. عرض دو طرف پله (رفت و برگشت) برابر $1.05m$ است. ارتفاع هر گام پله به طور تقریبی برابر $19cm$ در نظر گرفته شده است. ممکن است این گام فرض شده با مقدار دقیق نقشه معماری یکسان نباشد. اما در هر صورت خطای قابل توجهی در اثر این تقریب حاصل نمی‌شود.



سنگ کف افقی	$(0.30)(1.05)(0.04)(2500) = 31.50$
سنگ قائم	$(0.15)(1.05)(0.02)(2500) = 7.88$
آجرکاری	$\frac{1}{2}\times[(0.26)(0.26)(\tan 32)(1.05)(2100)] = 46.60$
وزن گام پله	$\cong 85.95 \approx 86.0$

تیرآهن	$(2)(12.9) = 25.8$
آجرکاری	$(0.10)(1.05)(1750) = 183.75$
پوکه‌ریزی	$(0.07)(1.05)(850) = 62.48$
گچ	$(0.01)(1300)(1.05) = 13.65$
گچ و خاک	$(0.02)(1600)(1.05) = 33.6$
	$\sum = 319.28\ kg/m \approx 320\ kg/m$

شکل ۱-۸- جزئیات اجرایی پله‌ها

بار پله بر واحد طول تصویر شده‌ی افقی اثر می‌کند. با احتساب زاویه‌ی پله نسبت به افق می‌توان بار افقی پله را محاسبه کرد. زاویه‌ی پله براساس ارتفاع گام پله به دست می‌آید. براساس شکل ۱-۸ این زاویه برابر $32°$ است. بار مرده واحد طول افقی پله به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$(0.86)(\frac{100}{30}) + \frac{3.20}{\cos 32} = 6.65 kN/m^2$$

برای سادگی فرض می‌شود که وزن واحد سطح کف پاگرد نیم‌طبقه نیز برابر $6.65\ kN/m^2$ فرض می‌شود.