

# محاسبات پروژه‌های ساختمان‌های بتنی با استفاده از SAFE و ETABS

تالیف:

حسن باجی



نشر علم عمران

[www.elme-omran.com](http://www.elme-omran.com)

[Info@elme-omran.com](mailto:Info@elme-omran.com)

عضو:



انجمن مهندسان کتابخانه‌ای

این اثر مشمول قانون حمایت مولفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هر کس 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	باچی، حسن، ۱۳۵۶ -
عنوان و پدیدآورنده	محاسبات پروژه‌های ساختمان‌های بتنی با استفاده از ETABS و SAFE / تالیف حسن باچی.
مشخصات نشر	تهران: علم عمران، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	۶۰۷ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۰-۴۹-۵۱۷۶-۶۰۰-۹۷۸-۵۵۰۰۰۰ ریال
موضوع	اتبز (برنامه کامپیوتر)، (ETABS (computer program)، نرم‌افزار سیف، SAFE، ساختمان‌های بتنی -- طرح و ساختمان، Concrete construction -- Design and construction، تحلیل سازه --
موضوع	داده‌پردازی، Structural analysis (Engineering) -- Data processing، مهندسی سازه -- برنامه‌های کامپیوتری، Structural engineering -- Computer programs
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۷ ۳م۳ب/۶۴۷/TA
رده‌بندی دیویی	۶۲۴/۱۷۱۰۲۸۵
شماره کتابخانه ملی	۵۱۴۱۰۰۲



نشر علم عمران

محاسبات پروژه‌های ساختمان‌های بتنی با استفاده از ETABS و SAFE

تالیف: حسن باچی

چاپ اول بهار ۱۳۹۷  
تعداد و قطع صفحات ۶۰۸ صفحه خشتی  
حروف‌چینی و صفحه‌آرایی علم عمران  
شمارگان ۱۰۰۰  
بهای کتاب ۵۵۰۰۰۰ ریال  
شابک: ۰-۴۹-۵۱۷۶-۶۰۰-۹۷۸-۵۵۰۰۰۰  
ISBN:978-600-5176-49-0

نشر علم عمران: تهران، یوسف آباد، خیابان جهان آراء، بین خیابانهای ۱۶ و ۱۸، پلاک ۳۳، طبقه دوم، واحد ۱۱،

تلفن: ۸۸۳۵۳۹۳۰ دورنگار: ۸۸۳۵۳۹۳۲

حقوق چاپ و نشر برای نشر علم عمران محفوظ است.

## مقدمه

## نویسنده

پیدایش نرم افزارهای مهندسی سازه در دهه های اخیر رشد چشم گیری در زمینه تحلیل و طراحی سازه ها ایجاد کرده است. اکنون تحلیل و طراحی سازه های پیچیده و حجیم از طریق نرم افزارهای پیشرفته به راحتی امکان پذیر است. نرم افزارهای تحلیل سازه می توانند هر نوع سازه ای را تحلیل کنند و تنها محدودیت مربوط به حافظه رایانه است. با وجود پیشرفت قابل توجه این نرم افزارها و امکانات وسیع آنها، نباید از این نکته غافل شد که این نرم افزارها تنها ابزاری محاسباتی هستند و نمی توانند به عنوان جایگزین یک مهندس سازه استفاده گردند. مهمترین قابلیتی که استفاده از نرم افزارهای تحلیل و طراحی سازه را جذاب می کند، سرعت و دقت بالای آنها است. اما انبوه خروجی ایجاد شده توسط این نرم افزارها باید توسط یک مهندس آگاه و با تجربه تحلیل و تفسیر شود.

در دو دهه گذشته که استفاده از نرم افزارهای مهندسی سازه در کشور رایج شده است، نرم افزارهای متعددی توسط مهندسين طراح مورد استفاده قرار گرفته اند، اما در بین آنها نرم افزارهای شرکت CSI محبوبیت ویژه ای بین مهندسين محاسب سازه یافته اند. دو نرم افزار مشهور این شرکت ETABS و SAFE هستند که صرفاً برای تحلیل و طراحی سازه های ساختمانی ارائه شده و به عنوان یک بسته نرم افزاری قدرتمند در تحلیل و طراحی اسکلت، دال و پی شناخته می شوند. نرم افزار دیگر شرکت CSI، نرم افزار SAP2000 است که برای تحلیل و طراحی سازه های عمومی کاربرد دارد. قابلیت های ویژه نرم افزارهای ETABS و SAFE در تحلیل و طراحی ساختمانها بر قابلیت های نرم افزار SAP2000 در تحلیل و طراحی این نوع سازه ها ارجحیت دارد.

تاکنون مراجع متعددی برای استفاده بهینه از قابلیت های نرم افزارهای شرکت CSI در کشور ترجمه یا تالیف شده اند. 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 اصلی مدلسازی ساختمان با اشاره مستقیم به استانداردها و آیین‌نامه‌های مختلف طراحی 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 حرفه‌ای و مهندسی به کمک دو نرم‌افزار ETABS و SAFE داشته است.

این مجموعه ویرایش‌هایی مختلفی داشته است. کتاب حاضر چهارمین ویرایش کتاب «محاسبات پروژه‌های ساختمانی با استفاده از ETABS و SAFE» است. این کتاب جلد دوم این مجموعه است. جلد اول تحت عنوان "محاسبات پروژه‌های ساختمانی فولادی با استفاده از ETABS و SAFE" حدود یک سال پیش به چاپ رسید. جلد حاضر مربوط به طراحی سازه‌های بتنی است. در ویرایش چهارم که در دو جلد فولادی و بتنی چاپ شده است تغییرات عمده‌ای نسبت به ویرایش سوم ایجاد شده است. مثالهای بیشتری در این ویرایش استفاده شده است. در جلد طراحی ساختمانی فولادی از آیین‌نامه LRFD و مبحث دهم جدید استفاده شده است. در هر دو جلد کتاب، از آخرین ویرایش‌های نرم‌افزارهای ETABS و SAFE استفاده شده است. مهمترین تفاوت این ویرایش و ویرایشهای قبلی گنجاندن محاسبه‌های مفصل دستی است. امید است اضافه کردن محاسبه‌های دستی و مقایسه آنها با نتایج بدست آمده از نرم‌افزار دید بهتری به مهندسين طراح دهد.

در این مجموعه که جلد دوم ویرایش چهارم کتاب "محاسبات پروژه‌های ساختمانی با استفاده از ETABS و SAFE" است، سه فصل گنجانده شده است. سه پروژه بتنی کاربردی بر اساس نقشه‌های معماری اولیه بارگذاری، مدلسازی و تحلیل و طراحی شده‌اند. در هر سه پروژه محاسبات دستی برای اعضای نمونه بتنی و پی انجام شده است. اکثر خروجی‌های نرم‌افزار به طور کامل تشریح و تفسیر شده‌اند. انواع مختلف روشهای مدلسازی بررسی و تشریح شده‌اند. محتوی این سه فصل کتاب به شرح ذیل است:

فصل اول: در این فصل سیستم قاب خمشی بتنی معمولی بررسی شده است. یک ساختمان بتنی چهار طبقه با سیستم سقف تیرچه بلوک در این فصل در نظر گرفته شده است. محاسبات دستی برای اسکلت سازه و پی انجام شده است. تحلیل و طراحی اسکلت سازه در برنامه ETABS و پی آن در نرم‌افزار SAFE انجام شده است.

فصل دوم: در این فصل قابلیت‌های برنامه در تحلیل و طراحی قابهای خمشی بتنی متوسط و ویژه مورد توجه قرار گرفته‌اند. یک ساختمان بتنی هشت طبقه با سیستم سقف دال بتنی در این فصل استفاده شده است. در محاسبه‌های دستی علاوه بر طراحی معمولی، تمام

ضوابط ویژه‌ی قابهای خمشی متوسط و ویژه بر اساس آیین‌نامه ACI و مبحث نهم مقررات ملی در نظر گرفته شده‌اند. علاوه بر این پی سازه در برنامه ETABS تحلیل و طراحی شده است. یکی از قابلیت‌های جدید نرم‌افزار ETABS، قابلیت این نرم‌افزار در طراحی پی‌ها است.

فصل سوم: طراحی دیوارهای برشی و سیستم‌های دوگانه در این فصل مورد توجه بوده است. ساختمان بتنی پروژه این فصل هشت طبقه است. انواع مختلف دیوارهای برشی مستطیلی، کویله و سه بعدی مدلسازی و طراحی شده‌اند. جزئیات طراحی لرزه‌ای دیوارهای برشی به صورت کامل در این فصل شرح داده شده است. از برنامه ETABS برای طراحی اسکلت و دیوار برشی استفاده شده و نرم‌افزار SAFE نیز در طراحی پی و دال استفاده شده است.

تمام محاسبات دستی و نرم‌افزاری ارائه شده بر اساس آخرین ویرایش‌های آیین‌نامه‌های بارگذاری و طراحی هستند. به طور ویژه استاندارد چهارم ۲۸۰۰ استفاده شده است.

بی شک مساعدت همکاران محترم در نشر علم عمران به مدیریت آقای سید مهدی داودنوبی نقش بسزایی در تهیه و تدوین این مجموعه داشته است. همچنین از همکاران محترم در شرکت مهندسی مشاور عامر بخصوص جناب آقای مهندس محمدرضا ضیغمی به جهت در اختیار قرار دادن نقشه‌های معماری پروژه‌های فصل اول و دوم این مجموعه تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از جناب آقای مهندس خانلو برای در اختیار قراردادن نقشه‌های معماری فصل سوم تشکر و قدردانی می‌شود.

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 مجموعه حاضر استقبال کرده و آماده دریافت آن از طریق پست الکترونیکی ناشر هستیم.

حسن باجی

بهار ۱۳۹۷



## فهرست

## مطالب

۲۲	..... طبقه‌ی سوم ۳-۱-۵-۱
۲۳	..... طبقه‌ی چهارم (بام) ۴-۱-۵-۱
۲۴	..... طبقه خریشته ۵-۱-۵-۱
۲۵	..... محاسبه‌ی ضریب زلزله ۲-۵-۱
۲۵	..... توزیع بار زلزله بین تراز طبقه ۳-۵-۱
۲۶	..... توزیع بار زلزله بین قاب‌های خمشی ۴-۵-۱
۲۸	..... ضریب نامعینی سازه، $\rho$ ۵-۵-۱
۲۸	..... طراحی دستی ۶-۱-۶-۱
۲۹	..... تحلیل قاب محور 4 تحت اثر بار ثقلی ۱-۶-۱
۳۶	..... تحلیل قاب محور 4 تحت اثر بار زلزله ۲-۶-۱
۳۷	..... طراحی تیرها ۳-۶-۱
۳۹	..... طراحی خمشی ۱-۳-۶-۱
۴۳	..... طراحی برشی ۲-۳-۶-۱
۴۷	..... طراحی ستون‌ها ۴-۶-۱
۵۰	..... طراحی پی ۵-۶-۱
۵۶	..... مدلسازی سازه در برنامه‌ی ETABS ۷-۱
۵۷	..... شروع ساخت مدل ۱-۷-۱
۵۹	..... معرفی مشخصات مدل ۲-۷-۱

## فصل اول. تحلیل و طراحی یک ساختمان چهار طبقه با قاب خمشی

معمولی	..... ۱
۱-۱- کلیات	..... ۱
۲-۱- معرفی پروژه	..... ۱
۳-۱- مشخصات سازه	..... ۱۰
۱-۳-۱- مصالح	..... ۱۰
۲-۳-۱- مقطع سقف	..... ۱۱
۳-۳-۱- مقطع اعضاء	..... ۱۱
۴-۳-۱- سیستم‌های باربر	..... ۱۳
۴-۱- بارگذاری ثقلی	..... ۱۴
۱-۴-۱- سقف‌ها	..... ۱۵
۲-۴-۱- دیوارها	..... ۱۵
۳-۴-۱- پله	..... ۱۸
۴-۴-۱- بارگذاری زنده	..... ۱۹
۵-۱- بارگذاری زلزله	..... ۱۹
۱-۵-۱- محاسبه‌ی وزن طبقه‌ها	..... ۱۹
۱-۱-۵-۱- طبقه‌ی اول	..... ۲۰
۲-۱-۵-۱- طبقه‌ی دوم	..... ۲۱

- ۹۸.....۱-۲-۷-۱- مصالح ..... ۵۹
- ۹۸.....۱-۲-۷-۱- مقطع تیر و ستون ..... ۶۰
- ۱۰۶.....۱-۲-۷-۱- مقطع سقف ..... ۶۴
- ۱۱۷.....۱-۲-۷-۱- الگوهای بار ..... ۶۴
- ۱۱۷.....۱-۲-۷-۱- جرم ساختمان ..... ۶۷
- ۱۲۲.....۱-۲-۷-۱- حالت‌های تحلیلی ..... ۶۷
- ۱۲۳.....۱-۲-۷-۱- ترکیب بارها ..... ۶۸
- ۱۲۶.....۱-۲-۷-۱- تحلیل P-Δ ..... ۷۰
- ۱۲۷.....۱-۲-۷-۱- ترسیم مدل ..... ۷۱
- ۱۲۹.....۱-۲-۷-۱- نسبت دادن مشخصات اعضا ..... ۷۵
- ۱۳۱.....۱-۲-۷-۱- تکیه‌گاه ..... ۷۵
- ۱۳۱.....۱-۲-۷-۱- مقطع تیرها و ستون‌ها ..... ۷۵
- ۱۳۱.....۱-۲-۷-۱- آزادسازی انتهایی تیرها ..... ۷۶
- ۱۳۱.....۱-۲-۷-۱- نواحی صلب انتهایی ..... ۷۷
- ۱۳۲.....۱-۲-۷-۱- ایستگاه‌های طراحی ..... ۷۹
- ۱۳۴.....۱-۲-۷-۱- جهت بارگذاری سقف‌ها ..... ۸۰
- ۱۳۴.....۱-۲-۷-۱- دیافراگم صلب ..... ۸۱
- ۱۳۵.....۱-۲-۷-۱- نسبت دادن بارها ..... ۸۲
- ۱۳۶.....۱-۲-۷-۱- بار سقف‌ها ..... ۸۲
- ۱۴۰.....۱-۲-۷-۱- بار دیوارهای جانبی ..... ۸۳
- ۱۴۴.....۱-۲-۷-۱- بار پله ..... ۸۵
- ۱۴۵.....۱-۲-۷-۱- بار طبقه خرپشته ..... ۸۵
- ۱۵۰.....۱-۲-۷-۱- تحلیل مدل ..... ۸۷
- ۱۵۱.....۱-۲-۷-۱- کنترل صحت مدل سازی ..... ۸۹
- ۱۵۱.....۱-۲-۷-۱- وزن طبقات ..... ۸۹
- ۱۵۴.....۱-۲-۷-۱- توزیع نیروی زلزله ..... ۹۰
- ۱۵۹.....۱-۲-۷-۱- بار و نیروی داخلی تیرها ..... ۹۱
- ۱۶۱.....۱-۲-۷-۱- طراحی اسکلت بتنی ..... ۹۱
- ۱۶۱.....۱-۲-۷-۱- تنظیم‌های طراحی ..... ۹۲
- ۱۶۲.....۱-۲-۷-۱- پارامترهای طراحی ..... ۹۴
- .....۱-۲-۷-۱- ترکیب بارهای طراحی ..... ۹۷
- .....۱-۲-۷-۱- اجرای عملیات طراحی ..... ۹۸
- .....۱-۲-۷-۱- خروجی‌های طراحی تیرها ..... ۹۸
- .....۱-۲-۷-۱- خروجی طراحی ستون‌ها ..... ۱۰۶
- .....۱-۲-۷-۱- مرور نتایج مفید برای دفترچه محاسبات ..... ۱۱۷
- .....۱-۲-۷-۱- کنترل جابجایی جانبی ..... ۱۱۷
- .....۱-۲-۷-۱- مرکز جرم و سختی ..... ۱۲۲
- .....۱-۲-۷-۱- کنترل نامنظمی پیشگی ..... ۱۲۳
- .....۱-۲-۷-۱- سختی طبقات ..... ۱۲۶
- .....۱-۲-۷-۱- دیاگرام نیروی داخلی ..... ۱۲۷
- .....۱-۲-۷-۱- ایجاد خروجی برنامه SAFE ..... ۱۲۹
- .....۱-۲-۷-۱- تحلیل و طراحی پی ..... ۱۳۱
- .....۱-۲-۷-۱- شروع ساخت مدل ..... ۱۳۱
- .....۱-۲-۷-۱- تعریف مشخصات مدل پی ..... ۱۳۱
- .....۱-۲-۷-۱- مصالح ..... ۱۳۱
- .....۱-۲-۷-۱- مقطع پی ..... ۱۳۲
- .....۱-۲-۷-۱- تکیه‌گاه خاک ..... ۱۳۴
- .....۱-۲-۷-۱- دستگاه مختصات ..... ۱۳۴
- .....۱-۲-۷-۱- الگوهای بار ..... ۱۳۵
- .....۱-۲-۷-۱- حالت‌های تحلیل و ترکیب بارها ..... ۱۳۶
- .....۱-۲-۷-۱- ترسیم مدل پی ..... ۱۴۰
- .....۱-۲-۷-۱- نسبت دادن مشخصات و بارها ..... ۱۴۴
- .....۱-۲-۷-۱- مشخصات و پارامترهای طراحی ..... ۱۴۵
- .....۱-۲-۷-۱- اجرای عملیات تحلیل و طراحی ..... ۱۵۰
- .....۱-۲-۷-۱- خروجی‌های طراحی ..... ۱۵۱
- .....۱-۲-۷-۱- فشار خاک ..... ۱۵۱
- .....۱-۲-۷-۱- برش منگنه‌ای ..... ۱۵۴
- .....۱-۲-۷-۱- میلگردهای طولی ..... ۱۵۹
- .....۱-۲-۷-۱- خروجی‌های تحلیل ..... ۱۶۱
- .....۱-۲-۷-۱- نیروی داخلی نوارهای طراحی ..... ۱۶۱
- .....۱-۲-۷-۱- نیروی داخلی المان‌های پوسته‌ای ..... ۱۶۲



## فصل دوم. تحلیل و طراحی یک ساختمان هشت طبقه با قاب خمشی

### ویژه ..... ۱۶۵

- ۱-۲- کلیات ..... ۱۶۵
- ۲-۲- معرفی پروژه ..... ۱۶۶
- ۳-۲- مشخصات سازه‌ای ..... ۱۷۱
- ۱-۳-۲- مصالح ..... ۱۷۱
- ۲-۳-۲- مقطع سقف ..... ۱۷۲
- ۳-۳-۲- مقطع اعضا ..... ۱۷۲
- ۴-۳-۲- سیستم‌های باربر ..... ۱۷۲
- ۴-۲- بارگذاری ثقلی ..... ۱۷۳
- ۱-۴-۲- وزن سقف‌ها ..... ۱۷۴
- ۲-۴-۲- دیوارها ..... ۱۷۵
- ۳-۴-۲- بار پله‌ها ..... ۱۷۶
- ۴-۴-۲- بارگذاری زنده ..... ۱۷۸
- ۵-۲- بارگذاری زلزله ..... ۱۷۸
- ۱-۵-۲- وزن مؤثر طبقه‌ها ..... ۱۷۸
- ۲-۵-۲- ضریب زلزله ..... ۱۸۳
- ۳-۵-۲- توزیع بار زلزله ..... ۱۸۴
- ۴-۵-۲- توزیع بار زلزله بین تراز طبقه‌ها ..... ۱۸۴
- ۵-۵-۲- زلزله‌ی قائم ..... ۱۸۵
- ۶-۵-۲- ضریب نامعینی سازه  $\rho$  ..... ۱۸۶
- ۶-۲- تحلیل و طراحی دستی ..... ۱۸۶
- ۱-۶-۲- بارگذاری و تحلیل تیرها تحت اثر بار ثقلی ..... ۱۸۷
- ۲-۶-۲- تحلیل تحت اثر بار زلزله ..... ۱۹۱
- ۳-۶-۲- تعیین نیروی محوری ستون‌ها ..... ۱۹۳
- ۴-۶-۲- ترکیب بارهای طراحی ..... ۱۹۶
- ۵-۶-۲- طراحی براساس شکل پذیری متوسط ..... ۱۹۶
- ۱-۵-۶-۲- طراحی تیر ..... ۱۹۶
- ۲-۵-۶-۲- طراحی ستون ..... ۲۰۳
- ۶-۶-۲- طراحی براساس شکل‌پذیری زیاد (ویژه) ..... ۲۱۰
- ۱-۶-۶-۲- طراحی تیر ..... ۲۱۰
- ۲-۶-۶-۲- طراحی ستون ..... ۲۱۵
- ۳-۶-۶-۲- ضابطه‌ی ستون قوی - تیر ضعیف ..... ۲۱۹
- ۴-۶-۶-۲- کنترل برش چشمه اتصال ..... ۲۲۲
- ۷-۶-۶-۲- طراحی پی ..... ۲۲۴
- ۱-۷-۶-۲- کنترل فشار خاک ..... ۲۲۵
- ۲-۷-۶-۲- کنترل برش مگنه‌ای ..... ۲۲۷
- ۷-۲-۷- مدلسازی نرم افزاری در ETABS ..... ۲۳۰
- ۱-۷-۲- شروع ساخت مدل ..... ۲۳۰
- ۲-۷-۲- معرفی مشخصات مدل ..... ۲۳۲
- ۱-۲-۷-۲- مصالح ..... ۲۳۲
- ۲-۲-۷-۲- مقطع تیر و ستون ..... ۲۳۴
- ۳-۲-۷-۲- مقطع دال ..... ۲۳۷
- ۴-۲-۷-۲- الگوهای بار ..... ۲۳۸
- ۵-۲-۷-۲- جرم ساختمان ..... ۲۴۱
- ۶-۲-۷-۲- تحلیل  $P-\Delta$  ..... ۲۴۲
- ۷-۲-۷-۲- حالت‌های تحلیل ..... ۲۴۲
- ۸-۲-۷-۲- ترکیب بارها ..... ۲۴۴
- ۹-۲-۷-۲- الگوهای بار سطحی ..... ۲۴۶
- ۳-۷-۲- ترسیم اعضای سازه ..... ۲۴۸
- ۱-۳-۷-۲- ترسیم ستون‌ها ..... ۲۴۸
- ۲-۳-۷-۲- ترسیم تیرها ..... ۲۴۸
- ۳-۲-۷-۲- ترسیم سقف‌ها ..... ۲۵۰
- ۴-۷-۲- نسبت دادن مشخصات ..... ۲۵۲
- ۱-۴-۷-۲- تکیه‌گاه ..... ۲۵۲
- ۲-۴-۷-۲- مقطع تیرها و ستون‌ها ..... ۲۵۲
- ۳-۴-۷-۲- مقطع سقف‌ها ..... ۲۵۳
- ۴-۴-۷-۲- دیافراگم صلب ..... ۲۵۵
- ۵-۴-۷-۲- آزادسازی انتهایی تیرها ..... ۲۵۵
- ۶-۴-۷-۲- نواحی صلب انتهایی ..... ۲۵۶
- ۷-۴-۷-۲- ایستگاه‌های طراحی ..... ۲۵۸
- ۵-۷-۲- نسبت دادن بارها ..... ۲۵۸

۳۱۶-۷-۱۰-۱۲- تنظیم پارامترهای طراحی نوارهای طراحی.....  
 ۳۱۷-۷-۱۰-۱۳- تنظیم پارامترهای کنترل برش منگنه ای.....  
 ۳۱۸-۷-۱۰-۱۴- انجام عملیات تحلیل.....  
 ۳۱۹-۷-۱۰-۱۵- کنترل فشار خاک.....  
 ۳۲۱-۷-۱۰-۱۶- نمایش دیاگرام نیروی داخلی نوارهای طراحی.....  
 ۳۲۱-۷-۱۰-۱۷- نمایش داخلی المان‌های پوسته‌ای پی.....  
 ۳۲۳-۷-۱۰-۱۸- انجام عملیات طراحی.....  
 ۳۲۴-۷-۱۰-۱۹- کنترل برش منگنه ای.....  
 ۳۲۷-۷-۱۰-۲۰- مساحت مورد نیاز میلگردهای طولی.....

### فصل سوم. ساختمان بتنی با سیستم دوگانه دیوار برشی و قاب

#### خمشی در دو جهت ..... ۳۲۹

۳۲۹-۱-۳- کلیات.....  
 ۳۳۰-۲-۳- معماری پروژه.....  
 ۳۳۶-۳-۳- مصالح و جزئیات اجرایی سقف و دیوارها.....  
 ۳۳۶-۱-۳-۳- مصالح.....  
 ۳۳۶-۲-۳-۳- جزئیات اجرایی دیوارها.....  
 ۳۳۸-۳-۳-۳- جزئیات سقف طبقه‌ها و بام.....  
 ۳۳۸-۴-۳-۳- جزئیات پله‌ها.....  
 ۳۳۹-۵-۳-۳- محاسبه و برآورد بار زنده.....  
 ۳۳۹-۶-۳-۳- خلاصه بارگذاری ساختمان.....  
 ۳۴۱-۴-۳- سیستم‌های باربر و مقاطع اعضا.....  
 ۳۴۱-۱-۴-۳- سیستم باربر.....  
 ۳۴۵-۲-۴-۳- مقاطع اعضای سازه.....  
 ۳۴۷-۳-۴-۳- نکات مدل‌سازی در نرم‌افزار.....  
 ۳۴۸-۵-۳- محاسبه وزن اسکلت.....  
 ۳۵۶-۶-۳- محاسبه وزن سازه.....  
 ۳۵۶-۷-۳- بارگذاری جانبی زلزله.....  
 ۳۶۳-۸-۳- سختی و توزیع بار در دیوارهای برشی.....  
 ۳۶۳-۱-۸-۳- سختی دیوار برشی.....

۲۵۹-۱-۵-۷-۲- بارگذاری سقف‌ها.....  
 ۲۶۰-۲-۵-۷-۲- بار دیوارهای جانبی.....  
 ۲۶۱-۳-۵-۷-۲- بارگذاری پله.....  
 ۲۶۲-۴-۵-۷-۲- بار اتاق خرپشته.....  
 ۲۶۵-۶-۷-۲- تحلیل مدل.....  
 ۲۶۵-۷-۷-۲- کنترل‌های صحت مدل.....  
 ۲۶۶-۱-۷-۷-۲- کنترل وزن ساختمان.....  
 ۲۶۷-۲-۷-۷-۲- وزن اسکلت سازه.....  
 ۲۶۸-۳-۷-۷-۲- بار زلزله.....  
 ۲۶۸-۴-۷-۷-۲- کنترل توزیع بار زلزله توزیع شده بین قاب‌ها.....  
 ۲۷۳-۵-۷-۷-۲- نیروی داخلی اعضاء.....  
 ۲۷۷-۸-۷-۲- طراحی قاب خمشی متوسط.....  
 ۲۷۷-۱-۸-۷-۲- تنظیم‌های طراحی.....  
 ۲۷۸-۲-۸-۷-۲- پارامترهای طراحی.....  
 ۲۸۰-۳-۸-۷-۲- ترکیب بارهای طراحی.....  
 ۲۸۰-۳-۸-۷-۲- خروجی‌های طراحی بتنی.....  
 ۲۸۶-۴-۸-۷-۲- جزئیات طراحی تیرها.....  
 ۲۹۰-۵-۸-۷-۲- جزئیات طراحی ستون.....  
 ۲۹۷-۹-۷-۲- طراحی قاب خمشی ویژه.....  
 ۳۰۲-۱۰-۷-۲- طراحی پی.....  
 ۳۰۲-۱-۱۰-۷-۲- شروع ساخت مدل پی.....  
 ۳۰۲-۲-۱۰-۷-۲- معرفی مقطع پی.....  
 ۳۰۲-۳-۱۰-۷-۲- تکیه‌گاه خاک.....  
 ۳۰۴-۴-۱۰-۷-۲- حالت‌ها و ترکیب بارها.....  
 ۳۰۷-۵-۱۰-۷-۲- ترسیم هندسه پی.....  
 ۳۱۰-۶-۱۰-۷-۲- اعمال تکیه‌گاه‌ها.....  
 ۳۱۰-۷-۱۰-۷-۲- اعمال بار سطحی روی پی.....  
 ۳۱۲-۸-۱۰-۷-۲- ترسیم نوارهای طراحی.....  
 ۳۱۴-۹-۱۰-۷-۲- تنظیم تقسیم بندی خودکار المان‌های پوسته‌ای.....  
 ۳۱۴-۱۰-۱۰-۷-۲- تنظیم آیین‌نامه طراحی.....  
 ۳۱۶-۱۱-۱۰-۷-۲- تنظیم ترکیب بارهای طراحی.....

۳-۱۰-۲- ترسیم دیوارهای برشی..... ۴۳۵  
 ۳-۱۰-۳- تقسیم‌بندی دیوارهای برشی..... ۴۳۸  
 ۳-۱۰-۴- ترسیم تیرها..... ۴۴۱  
 ۳-۱۰-۵- ترسیم سقف‌ها..... ۴۴۳  
 ۳-۱۰-۶- اصلاح هندسه طبقه همکف..... ۴۴۴  
 ۳-۱۰-۴- نسبت دادن مشخصات به اعضا..... ۴۴۵  
 ۳-۱۰-۱- تکیه‌گاه..... ۴۴۶  
 ۳-۱۰-۲- مقطع اعضا..... ۴۴۶  
 ۳-۱۰-۳- آزادسازی انتهایی تیرها..... ۴۴۸  
 ۳-۱۰-۴- نسبت دادن نواحی صلب انتهایی..... ۴۵۰  
 ۳-۱۰-۵- نسبت دادن دیافراگم صلب..... ۴۵۲  
 ۳-۱۰-۶- نامگذاری دیوارهای برشی..... ۴۵۴  
 ۳-۱۰-۵- بارگذاری..... ۴۵۷  
 ۳-۱۰-۱- بارگذاری سقف‌ها..... ۴۵۹  
 ۳-۱۰-۲- بارگذاری دیوارهای جانبی..... ۴۶۰  
 ۳-۱۰-۳- بارگذاری سقف پله..... ۴۶۱  
 ۳-۱۰-۴- بارگذاری سقف خرپشته..... ۴۶۲  
 ۳-۱۰-۵- صفر کردن وزن سقف‌ها..... ۴۶۴  
 ۳-۱۰-۶- تحلیل سازه و اعمال ترک‌خوردگی اعضا..... ۴۶۴  
 ۳-۹-۱- تنظیم پارامترهای تحلیل..... ۴۶۵  
 ۳-۱۰-۲- کنترل ترک خوردگی مقطع دیوارها..... ۴۶۶  
 ۳-۱۰-۳- اعمال ترک‌خوردگی اعضا..... ۴۶۷  
 ۳-۱۰-۷- کنترل و بررسی خروجی‌ها..... ۴۷۰  
 ۳-۱۰-۱- جرم گره‌ها و دیافراگم..... ۴۷۲  
 ۳-۱۰-۲- مرکز جرم و مرکز سختی..... ۴۷۳  
 ۳-۱۰-۳- توزیع بار زلزله..... ۴۷۳  
 ۳-۱۰-۴- برش، پیچش و لنگر وازگونی..... ۴۷۴  
 ۳-۱۰-۵- کنترل لزوم اثر  $P-\Delta$ ..... ۴۷۵  
 ۳-۱۰-۶- نیروی داخلی دیوارهای برشی..... ۴۷۷

۳-۸-۲- توزیع بارهای زلزله و ثقلی بین دیوارهای برشی جهت Y..... ۳۶۵  
 ۳-۸-۳- توزیع بارهای زلزله و ثقلی بین دیوارهای جهت X..... ۳۶۹  
 ۳-۹-۹- طراحی دستی دیوارهای برشی و تیرهای عمیق..... ۳۷۸  
 ۳-۹-۱- طراحی دیوار مستطیلی جهت Y..... ۳۷۸  
 ۳-۹-۱-۱- طراحی خمشی- محوری..... ۳۷۹  
 ۳-۹-۱-۲- طراحی برشی..... ۳۸۳  
 ۳-۹-۱-۳- طراحی المان لبه‌ای..... ۳۸۴  
 ۳-۹-۲- طراحی دیوارهای باشودار (کوپله)..... ۳۹۲  
 ۳-۹-۲-۱- طراحی خمشی- محوری..... ۳۹۵  
 ۳-۹-۲-۲- طراحی برشی..... ۳۹۷  
 ۳-۹-۲-۳- طراحی المان مرزی..... ۳۹۸  
 ۳-۹-۲-۴- طراحی ویژه دیوارهای کوپله..... ۴۰۱  
 ۳-۹-۳- طراحی تیرهای عمیق..... ۴۰۴  
 ۳-۹-۳-۱- طراحی خمشی..... ۴۰۵  
 ۳-۹-۳-۲- طراحی برشی..... ۴۰۶  
 ۱۰-۳-۱- ساخت مدل در ETABS..... ۴۱۰  
 ۱۰-۳-۱-۱- شروع مدل‌سازی..... ۴۱۰  
 ۱۰-۳-۲- معرفی مشخصات مدل..... ۴۱۴  
 ۱۰-۳-۲-۱- مصالح..... ۴۱۴  
 ۱۰-۳-۲-۲- مقاطع تیر و ستون..... ۴۱۶  
 ۱۰-۳-۲-۳- مقاطع سقف و دیوار برشی..... ۴۱۹  
 ۱۰-۳-۲-۴- بارهای استاتیکی..... ۴۲۲  
 ۱۰-۳-۲-۵- بارگذاری شبه دینامیکی..... ۴۲۴  
 ۱۰-۳-۲-۶- ترکیبات بار..... ۴۲۸  
 ۱۰-۳-۲-۷- محاسبه جرم یا وزن ساختمان..... ۴۲۹  
 ۱۰-۳-۲-۸- تحلیل  $P-\Delta$ ..... ۴۳۰  
 ۱۰-۳-۲-۹- تحلیل مودال..... ۴۳۲  
 ۱۰-۳-۳- ترسیم سازه..... ۴۳۳  
 ۱۰-۳-۱- ترسیم ستون‌ها..... ۴۳۴

۳-۱۱-۵-۳- ترسیم نوارهای طراحی ..... ۵۴۰  
۳-۲۲-۵-۴- پارامترهای طراحی نوارهای طراحی ..... ۵۴۴  
۳-۱۱-۵-۵- پارامترهای طراحی کنترل برش منگنه‌ای ..... ۵۴۶  
۳-۱۱-۶- تحلیل پی ..... ۵۴۷  
۳-۱۱-۷- بررسی خروجی‌ها ..... ۵۴۸  
۳-۱۱-۷-۱- کنترل فشار خاک ..... ۵۴۸  
۳-۱۱-۶-۲- نیروی داخلی نوارهای طراحی ..... ۵۵۰  
۳-۱۱-۶-۳- میلگرد مورد نیاز در نوارهای طراحی ..... ۵۵۱  
۳-۱۱-۶-۴- کنترل برش منگنه‌ای ..... ۵۵۲  
۳-۱۱-۶-۵- میلگرد مورد نیاز در واحد طول ..... ۵۵۳  
۳-۱۲- طراحی دال طبقه دوم ..... ۵۵۴  
۳-۱۲-۱- کنترل خیز دالها ..... ۵۵۴  
۳-۱۲-۱-۱- ضخامت حداقل دالها (بند 8.3.1 آیین‌نامه ACI) ..... ۵۵۴  
۳-۱۲-۱-۲- خیز حداکثر دالها (بند 8.3.2 آیین‌نامه ACI) ..... ۵۵۵  
۳-۱۲-۱-۳- کنترل ضخامت دال پروژه حاضر ..... ۵۵۷  
۳-۱۲-۲- فرستادن دال طبقه دوم به SAFE ..... ۵۵۸  
۳-۱۲-۳- تعریف مشخصات دال ..... ۵۶۰  
۳-۱۲-۳-۱- مصالح ..... ۵۶۰  
۳-۱۲-۳-۲- مقطع دال ..... ۵۶۱  
۳-۱۲-۳-۳- مقطع تیر ..... ۵۶۲  
۳-۱۲-۳-۴- تکیه‌گاه ستونی ..... ۵۶۳  
۳-۱۲-۳-۵- تکیه‌گاه دیوار ..... ۵۶۴  
۳-۱۲-۳-۶- دستگاه مختصات و ارتفاع طبقه‌ها ..... ۵۶۵  
۳-۱۲-۳-۷- حالت‌های بار ..... ۵۶۵  
۳-۱۲-۳-۸- حالت‌های تحلیل ..... ۵۶۶  
۳-۱۲-۳-۹- ترکیب بارها ..... ۵۶۹  
۳-۱۲-۴- ترسیم هندسه دال ..... ۵۷۱  
۳-۱۲-۴-۱- ترسیم عناصر جدید دال ..... ۵۷۱  
۳-۱۲-۴-۲- حذف عناصر اضافی ..... ۵۷۳

۳-۱۰-۷- توزیع بار ثقلی از دال به تیرها ..... ۴۷۸  
۳-۱۰-۸- طراحی دیوارهای برشی و تیرهای عمیق ..... ۴۷۹  
۳-۱۰-۸-۱- طراحی دیوارهای برشی ..... ۴۸۰  
۳-۱۰-۸-۱-۱- طراحی خمشی - محوری دیوار ..... ۴۸۱  
۳-۱۰-۸-۱-۲- طراحی برشی دیوار ..... ۴۹۷  
۳-۱۰-۸-۱-۳- طراحی المان مرزی ..... ۵۰۰  
۳-۱۰-۸-۱-۴- جزئیات خروجی متنی دیوار برشی ..... ۵۰۷  
۳-۱۰-۸-۲- طراحی تیرهای عمیق ..... ۵۱۲  
۳-۱۰-۸-۲-۱- تهیه خروجی تیرهای عمیق ..... ۵۱۲  
۳-۱۰-۸-۲-۲- طراحی خمشی و برشی تیرهای عمیق ..... ۵۱۴  
۳-۱۰-۸-۲-۳- طراحی تیرهای عمیق در برنامه ETABS ..... ۵۱۶  
۳-۱۰-۹- کنترل قاب‌ها تحت 25% بار زلزله ..... ۵۲۰  
۳-۱۱- تحلیل و طراحی پی در SAFE 14 ..... ۵۲۴  
۳-۱۱-۱- فرستادن عکس العمل‌های تکیه‌گاهی به SAFE ..... ۵۲۶  
۳-۱۱-۲- تعریف مشخصات پی ..... ۵۲۸  
۳-۱۱-۲-۱- مصالح ..... ۵۲۸  
۳-۱۱-۲-۲- مقطع پی ..... ۵۲۹  
۳-۱۱-۲-۳- تکیه‌گاه خاک ..... ۵۳۰  
۳-۱۱-۲-۴- الگوهای بار ..... ۵۳۰  
۳-۱۱-۲-۵- ترکیب بارها ..... ۵۳۰  
۳-۱۱-۲-۶- تبدیل ترکیب بارها به حالت‌های تحلیلی غیرخطی ..... ۵۳۲  
۳-۱۱-۳- ترسیم هندسه ..... ۵۳۴  
۳-۱۱-۴- اختصاص مشخصات ..... ۵۳۶  
۳-۱۱-۴-۱- تکیه‌گاه خاک ..... ۵۳۷  
۳-۱۱-۴-۲- آزادسازی لبه‌ای ..... ۵۳۷  
۳-۱۱-۴-۳- بارگذاری سطحی ..... ۵۳۸  
۳-۱۱-۵- تنظیم‌های طراحی ..... ۵۳۸  
۳-۱۱-۵-۱- تنظیم آیین‌نامه ..... ۵۳۹  
۳-۱۱-۵-۲- ترکیب بارهای طراحی ..... ۵۳۹

۵۸۳.....۱۱-۷-۲- پارامترهای تحلیل ترک خوردگی دال  
۵۸۴.....۱۲-۷-۳- تنظیم درجات آزادی  
۵۸۵.....۱۲-۷-۳- انجام تحلیل و طراحی  
۵۸۵.....۱۲-۸-۱- مشاهده و کنترل خروجی ها  
۵۸۵.....۱۲-۸-۱- خیز دال  
۵۸۷.....۱۲-۸-۲- عکس العمل های تکیه گاهی  
۵۸۸.....۱۲-۸-۳- میلگردهای طولی دال  
۵۸۹.....۱۱-۸-۴- میلگردهای طولی تیر

۵۷۴.....۱۲-۴-۳- اصلاح هندسه ی دال  
۵۷۵.....۱۲-۵- نسبت دادن مشخصات و بارها  
۵۷۶.....۱۲-۶- مشخصات طراحی  
۵۷۶.....۱۲-۶-۱- ترسیم نوارهای طراحی  
۵۷۹.....۱۲-۶-۲- تنظیم آیین نامه و پوشش میلگردها  
۵۸۱.....۱۱-۶-۳- انتخاب ترکیب بارهای طراحی  
۵۸۱.....۱۲-۶-۳- پارامترهای طراحی نوارها  
۵۸۲.....۱۲-۷- تحلیل و طراحی  
۵۸۲.....۱۲-۷-۱- تقسیم بندی خودکار اجزای محدود



## فصل اول

### تحلیل و طراحی یک ساختمان چهار طبقه با قاب خمشی معمولی

#### ۱-۱- کلیات

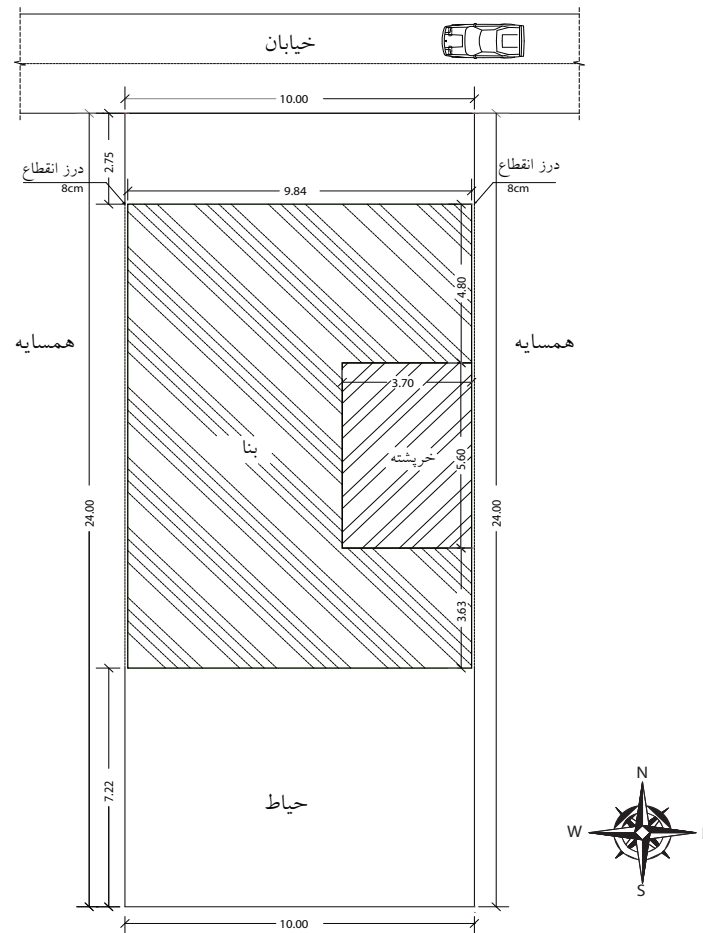
قاب‌های خمشی بتنی مطابق استاندارد 2800 به سه دسته‌ی قاب‌های خمشی معمولی، متوسط و ویژه تقسیم می‌شوند. اختلاف این قاب‌ها در شکل‌پذیری لرزه‌ای است. قاب‌های خمشی معمولی دارای شکل‌پذیری محدودی هستند و فقط برای ساختمان‌های کوتاه واقع در مناطق لرزه‌ای با خطر نسبی کم و متوسط با اهمیت متوسط مجاز هستند. طبق یادداشت [۱] جدول ۳-۴ استاندارد 2800 برای ساختمان‌های با اهمیت متوسط واقع در پهنه‌های لرزه‌ای متوسط و کم ( $A=0.20, 0.25$ ) ارتفاع ساختمان‌های با قاب خمشی معمولی به 15 متر محدود می‌شود. این محدوده ارتفاعی معمولاً ساختمان‌های کمتر از 4 طبقه را شامل می‌شود. در این فصل یک ساختمان بتنی چهار طبقه واقع در منطقه‌ای با لرزه‌خیزی متوسط با قاب خمشی معمولی طراحی می‌شود. ضوابط مربوط به قاب‌های خمشی متوسط و ویژه در فصل‌های بعدی این مجموعه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

ضوابط بارگذاری ثقلی و لرزه‌ای بر اساس مبحث ششم و استاندارد 2800 اعمال می‌شوند. طراحی قاب خمشی بر اساس آیین‌نامه‌ی ACI 318 انجام می‌شود. تمام محاسبه‌های بارگذاری به صورتی دستی انجام می‌شوند. علاوه بر این، عملیات تحلیل و طراحی دستی برای یکی از قاب‌های خمشی انجام می‌شود. پاسخ‌های حاصل از محاسبه‌های دستی بعداً با نتایج حاصل از نرم‌افزار مقایسه می‌شوند. برای تحلیل و طراحی اسکلت ساختمان از نرم‌افزار ETABS ویرایش 16 استفاده می‌شود. تحلیل پی سازه نیز با استفاده از نرم‌افزار SAFE ویرایش 14.1.0 انجام می‌شود.

#### ۱-۲- معرفی پروژه

ساختمان چهار طبقه بتنی در نظر گرفته شده دارای سه کف مسکونی و یک کف پارکینگ است. محل قرارگیری ساختمان منطقه‌ای با خطر لرزه‌ای متوسط است. ساختمان از دو جهت شرقی و غربی به همسایه محدود است. در سمت شمال ساختمان نیز خیابان وجود دارد. محدوده‌ی زیربنای ساختمان از جنوب به حیاط محدود می‌شود. در شکل ۱-۱ الف پلان موقعیت ساختمان دیده می‌شود. پلان‌های پارکینگ، مسکونی و خرپشته نیز در شکل‌های ۱-۱ ب تا ۱-۱ د دیده می‌شوند. برش‌های طولی و عرضی ساختمان در شکل ۱-۱ ج تا ۱-۱ چ نشان داده شده‌اند. نماهای شمالی و جنوبی هم در شکل ۱-۱ ح و ۱-۱ خ نمایش

داده شده‌اند. در دو سمت مجاور همسایه به درز انقطاع نیاز است. مطابق بند ۱-۴-۱ استاندارد 2800 در ساختمان‌های با هشت طبقه و کمتر، فاصله‌ی هر طبقه از مرز زمین مجاور حداقل باید برابر پنج هزارم ارتفاع آن طبقه از تراز پایه باشد. شکل ۱-۱-۱ پ نشان می‌دهد که کد ارتفاعی طبقه‌ی چهارم 12.60 متر است. با در نظر گرفتن کف سازی 10cm و 30cm برای طبقه‌ها و کف پی، ارتفاع طبقه‌ی بام از روی پی سازه‌ای برابر 12.80 cm بدست می‌آید. بدین ترتیب عرض درز انقطاع دو سمت شرقی و غربی برابر  $1280 \times 0.005 = 6.4 \text{ cm}$  بدست می‌آید. در جهت اطمینان می‌توان این فاصله را به 7.5 cm رند کرد.

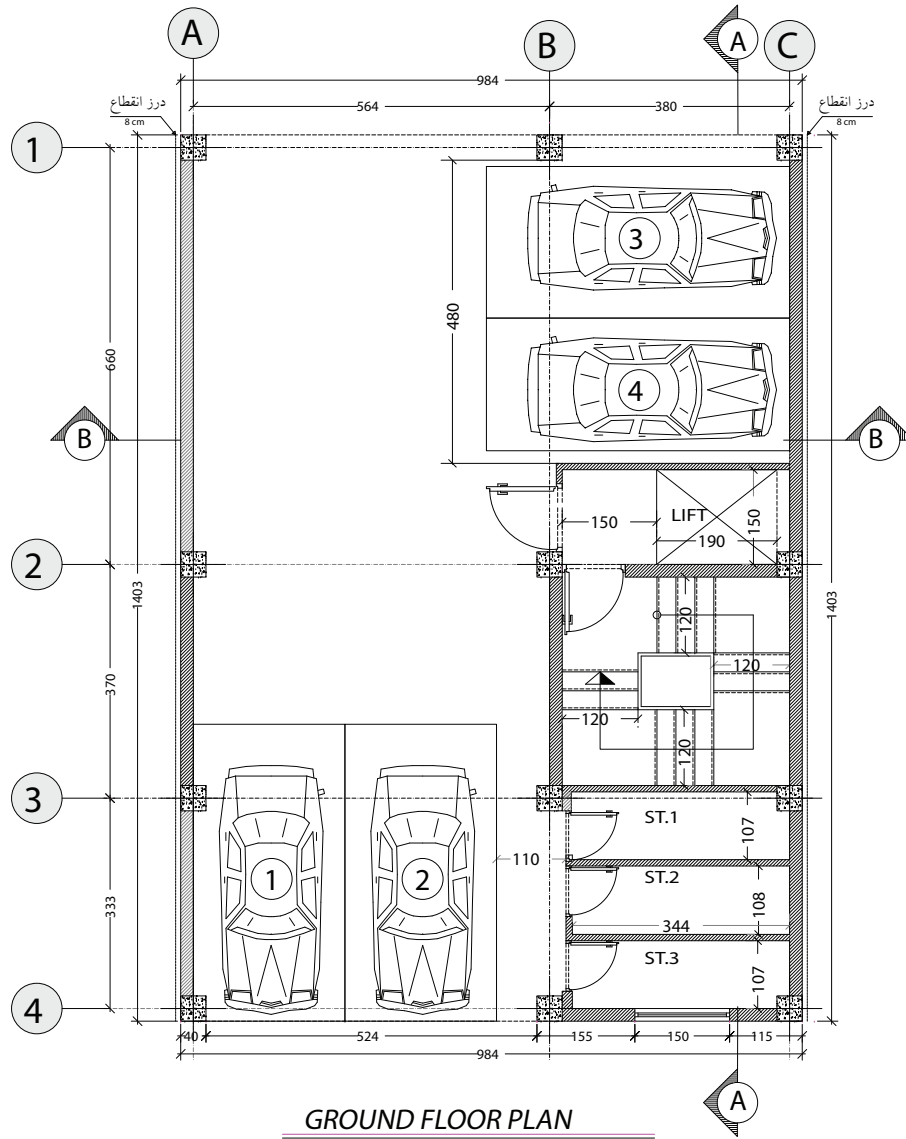


### SITE PLAN

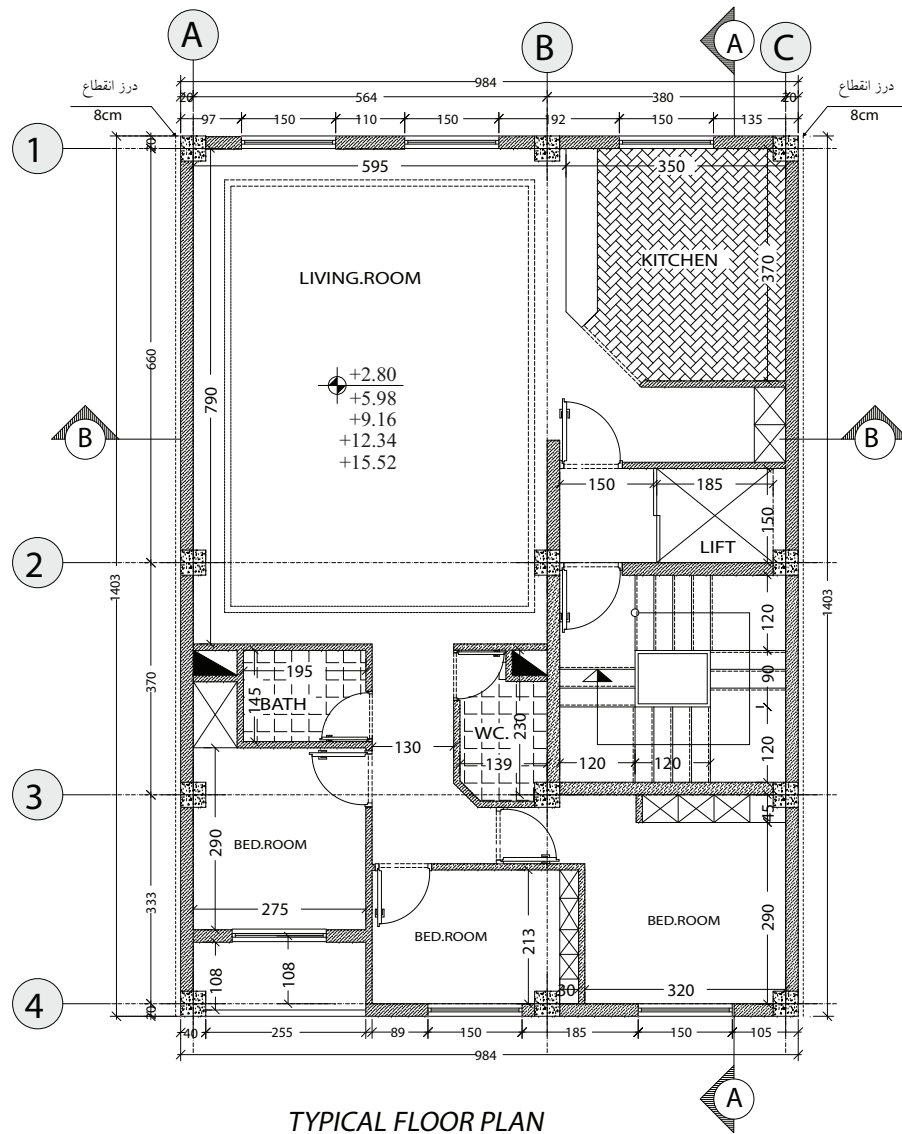
SC. 1:200

شکل ۱-۱-الف - سایت پلان (پلان موقعیت)





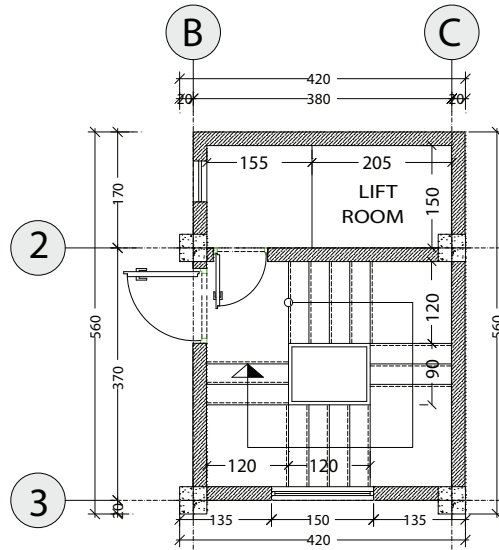
شکل ۱-۱-ب- پلان کف پارکینگ



TYPICAL FLOOR PLAN

SC. 1:100

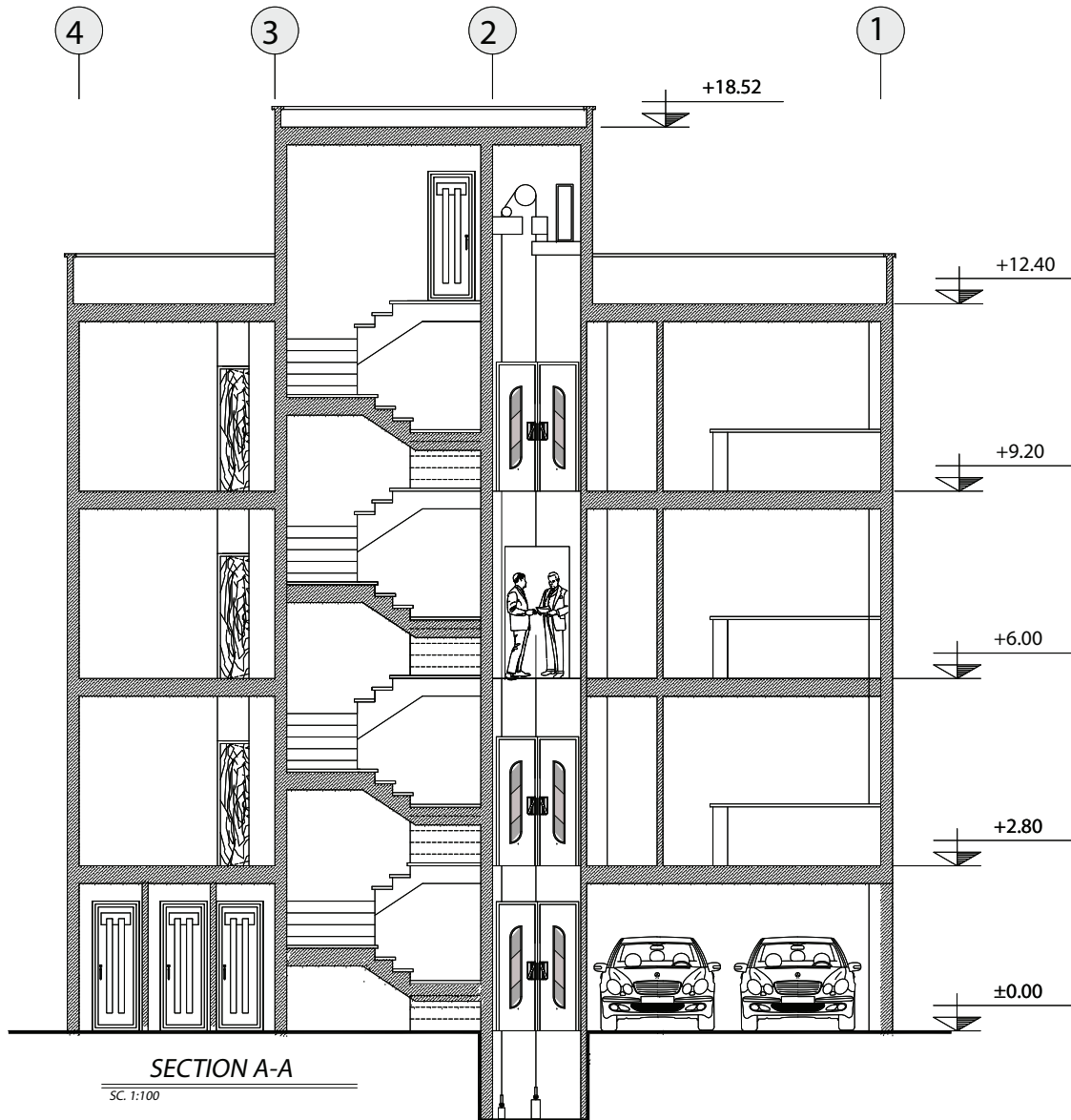
شکل ۱-۱-ب- پلان طبقات



**PENT PLAN**

SC. 1:100

شکل ۱-۱-ت- پلان خربشته



شکل ۱-۱-ج- برش A-A