مقدمه مؤلف

مهندسی عمران یکی از گسترده‌ترین شاخه‌های مهندسی است که در حال حاضر محدوده فعالیت بسیار گسترده‌ای در ساخت بناها و سازه‌های ساخت بشر دارد. مهندسان و فارغ‌التحصیلانی که از دانشگاه وارد حرفه طراحی در شرکت‌های مشاور می‌شوند، به‌طور معمول در ابتدای کار در زمینه‌های رایج مهندسی عمران و مهندسی سازه از قبیل ساخت و سازهای شهری و ساختمانی ورود پیدا می‌کنند. در حال حاضر با توجه به تعداد بسیار زیاد مهندسان طراح در زمینه فعالیت‌های ساختمانی و همچنین عدم وجود ثبات در زمینه ساخت و سازهای شهری، امکان فعالیت و کسب درآمد در زمینه‌های فوق کمی کاهش پیدا کرده است. یکی از شاخه‌های بسیار وسیع گرایش‌های مهندسان مشاور، حیطه طراحی سازه‌های غیرساختمانی می‌باشد.

ورود به طراحی سازه‌های غیر ساختمانی اعم از پل‌ها، تونل‌ها، دکل‌های انتقال نیرو، سازه‌های حائل خاکی، سازه‌های نگهدارنده خطوط لوله، مخازن، سازه‌های فراساحلی و ... نیازمند تخصص و تجربه در زمینه‌های فوق می‌باشد. لذا در این مجموعه بر آن شدیم تا در کنار آموزش مفاهیم کاربردی و تخصصی، الفبای طراحی سازه‌های صنعتی و غیر ساختمانی را به مخاطبان و مهندسان این مرز و بوم آموزش دهیم. در این مجموعه کتاب، با تکیه بر دانش مهندسی، از نرم‌افزار SAP 2000 به‌عنوان یکی از قوی‌ترین ابزارهای تحلیل و طراحی عمومی سازه‌ها استفاده خواهیم کرد و علاوه بر آشنایی خوانندگان محترم با قابلیت‌های نرم‌افزار، تجربیات مهندسی را که حاصل سال‌ها فعالیت در حوزه‌های تخصصی فوق بوده است، برای ارتقای سطح آموزش کشور، به‌طور کامل در اختیار مهندسان و فارغ‌التحصیلان قرار می‌دهیم.

به‌طور کلی در این جلد از کتاب، در قالب سه پروژه، با قابلیت‌های نرم‌افزار SAP 2000 آشنا خواهیم شد. از آنجایی که مخاطبان این کتاب غالباً مهندسان و فارغ‌التحصیلانی هستند که کمی با نرم‌افزار ETABS آشنایی دارند، لذا در این کتاب سعی شده است که مفاهیم مشترک میان نرم‌افزار ETABS و SAP 2000 به اختصار بیان شوند و تمرکز مطالب بر روی انتقال مفاهیم و تجربیات طراحی باشد. پروژه‌هایی که در این جلد از کتاب در مورد آنها به‌طور مفصل بحث خواهیم کرد، به شرح زیر هستند:

۱- طراحی سازه و اتصالات سالن صنعتی (سوله)

در این پروژه با جزئیات طراحی حرفه‌ای سالن‌های صنعتی (سوله) به‌طور کامل آشنا خواهید شد و تمامی اتصالات مربوطه را نیز طراحی خواهید کرد. همچنین طراحی المان‌های غیرمنشوری نیز در دستور کار قرار خواهد گرفت.

۲- طراحی سازه و اتصالات سالن صنعتی دارای جرثقیل

در این پروژه با نحوه طراحی و محاسبات مربوط به جرثقیل‌های صنعتی آشنا خواهید شد. برای سهولت کار و جلوگیری از تکراری شدن مطالب، به سوله طراحی شده در پروژه (۱) جرثقیل سقفی اضافه کرده و با ذکر تغییرات موردنیاز، اقدام به طراحی مجدد سازه و اجزای جرثقیل خواهیم کرد.

۳- طراحی سازه و جزئیات تابلوهای تبلیغاتی و علائم صلب

هدف از طرح این پروژه، علاوه بر آشنایی خوانندگان محترم با جزئیات طراحی تابلوهای تبلیغاتی، آشنایی مهندسان با مفاهیم بار باد می‌باشد که متأسفانه هیچ واحد درسی اختصاصی در دانشگاه ندارد و اغلب مهندسان عمران در فهم مفاهیم حاکم بر آن دچار نقص هستند. در این بخش با مرجع ASCE 7 و روش طراحی خرپا در نرم‌افزار SAP 2000 آشنا خواهید شد.

تألیف کتاب حاضر نتیجه فعالیت و تجربه اساتید و همکارانی است که در طول این سال‌ها در محضرشان کسب علم کرده‌ام. لذا در ابتدا از تمامی اساتید و دوستانی که در طول تحصیل و در دوران فعالیت کاری از ایشان یاد گرفته‌ام، تشکر و قدردانی می‌نمایم. سپاس بی‌کران از زحمات جناب آقای دکتر محمد علی جعفری صحنه سرایی از اعضای هیئت علمی پژوهشگاه نیرو که از پیشنهادات ارزنده ایشان در بخش طراحی سازه تابلوی تبلیغاتی و مفاهیم بار باد استفاده کردم. از جناب آقایان دکتر محمد زمان و دکتر احسان کیانفر که زحمت بازخوانی پروژه سوله را کشیدند در اینجا تشکر می‌کنم. از زحمات فراوان سرکار خانم مهندس مینا نیکنژاد که با دقت بالا زحمت مدلسازی مجدد پروژه‌های سوله و بازخوانی متن را کشیدند، تشکر می‌نمایم. سپاس ویژه از جناب آقای دکتر علیرضا غفوری که در مدت دوره تألیف کتاب، از نظرات ایشان در بخش‌های مختلف استفاده کردم. بی‌تردید در نبود راهنمایی‌های ارزنده جناب آقای دکتر محمد آهنگر مدیر تألیف مؤسسه سری عمران، تألیف کتاب حاضر میسر نبوده است. در اینجا از زحمات بی‌دریغ ایشان تشکر و قدردانی می‌نمایم. در نهایت از پدر و مادرم که همواره حامی و مشوق من بوده‌اند، سپاسگزاری می‌نمایم.

امید است که اثر حاضر بتواند باعث ارتقای دانش مهندسی در کشور عزیزمان ایران گردد.

«امیرحسین نامی»

فهرست

بخش اول: پروژه‌های سوله

فصل اول آشنایی با سوله از منظر معماری و سازه

قسمت اول: آشنایی با کلیات معماری سوله‌ها ۸
A-۱- فاز اول: ملاحظات عمومی معماری در سوله‌ها ۸
نگاه کلی بر سوله‌ها ۸
ملاحظات عمومی معماری در سوله‌ها ۹
۱- کلیات ظاهری سوله‌ها ۹
۲- انتخاب دهانه‌های مفید در سوله‌ها ۱۰
۳- جزئیات سقف سوله‌ها ۱۱
۴- جمع‌آوری آب باران در سوله‌ها ۱۲
۵- انتخاب دیوارهای خارجی سوله ۱۳
۶- عمق استقرار پی در سوله‌ها ۱۵
قسمت دوم: آشنایی با کلیات سازه‌ای در سوله‌ها ۱۷
B-۱- فاز اول: بارهای وارد بر سوله‌ها و اصطلاحات هندسی ۱۷
B-۲- فاز دوم: شرحی بر اجزای سازه‌ای مورد استفاده در سوله‌ها ۱۸
B-۳- فاز سوم: تحلیل مکانیزم انتقال بار در سوله‌ها ۲۰

فصل دوم معرفی سوله مورد بررسی و بارگذاری سازه

قسمت اول: بررسی پروژه سوله مورد بحث ۳۰
A-۱- فاز اول: مشخصات پروژه مورد بررسی ۳۰
A-۲- فاز دوم: بررسی معماری پروژه ۳۱
بررسی نقشه‌های معماری پروژه ۳۱
بررسی سیستم‌های گرمایشی سوله ۳۴
قسمت دوم: بارگذاری ثقلی سوله موردنظر ۳۷
B-۱- فاز اول: محاسبهٔ بارهای مرده ۳۷
جزئیات سقف مورد بررسی ۳۸
جزئیات دیوارهای سبک ساندویچی ۳۹
جزئیات دیوار خارجی سنگین ۳۹
B-۲- فاز دوم: محاسبهٔ بارهای زنده ۳۹
B-۳- فاز سوم: محاسبهٔ بار برف ۴۱
بار برف متوازن ۴۲
بار برف نامتوازن ۴۵
بارگذاری جزئی برف ۴۶
انباشتگی برف در بام پایین‌تر ۴۶
بار برف لغزنده ۴۷
خلاصه بارگذاری ثقلی (بار گسترده یکنواخت بر واحد سطح) ۴۶
قسمت سوم: محاسبه بارهای جانبی وارد بر سوله مورد بررسی ۴۸
C-۱- فاز اول: نگاه مفهومی به بارهای باد و زلزله در سوله‌ها و انتخاب دقیق سیستم باربر مناسب ۴۸
نگاهی دقیق و آیین‌نامه‌ای به انتخاب سیستم باربر جانبی در سوله‌ها ۵۰
تعیین سیستم باربر جانبی در جهت طول سوله ۵۰
تعیین سیستم بار جانبی در جهت عرض سوله ۵۲
C-۲- فاز دوم: بارهای ناشی از زلزله ۵۶
C-۳- فاز سوم: بارگذاری ناشی از باد ۵۷
تعیین فشار و مکش داخلی باد ۶۱
قسمت چهارم: بارگذاری حرارت و نشست تکیه‌گاهی ۶۵
D-۱- فاز اول: بارگذاری حرارتی در سوله‌ها ۶۵
مفاهیم اولیه ۶۵
بررسی حرارت در آیین‌نامه‌ها ۶۶
تخمین میزان اختلاف دما در بارگذاری حرارتی ۶۷
نتیجه‌گیری در مورد پروژه سوله ۶۸
D-۲- فاز دوم: بررسی بار نشست تکیه‌گاهی ۶۸

فصل سوم تحلیل و طراحی اولیه

قسمت اول: مرور بر مفاهیم تحلیل اولیه در سوله‌ها ۷۰
A-۱- فاز اول: تحلیل تقریبی تحت بار ثقلی ۷۰
A-۲- فاز دوم: تحلیل تقریبی تحت بار جانبی ۷۴
قسمت دوم: مفاهیم طراحی اولیه اعضاء ۷۷
B-۱- فاز اول: ترکیبات بارگذاری و مراجع طراحی ۷۷
B-۲- فاز دوم: طراحی اولیه قاب اصلی سوله (تیرهای مورب، ستون‌ها) ۷۸
B-۲-۱- طراحی تیرهای شیبدار (Rafter) ۷۸
مروری بر روش طراحی اجزای غیرمنشوری ۷۹
تعیین مقاومت خمشی یک عضو غیر منشوری ۸۰
B-۲-۲- طراحی ستون سوله (Column) ۸۵
مروری بر طراحی المان غیر منشوری تحت بار محوری ۸۶
B-۳- فاز سوم: طراحی مهاربندهای طولی ۸۹
B-۴- فاز چهارم: طراحی استرات‌ها (Struts) و مهاربندهای سقفی (Ceiling Braces) ۹۱

فصل چهارم تنظیمات اولیه، ترسیم و اختصاص مشخصات به المان‌ها

قسمت اول: مراحل اولیه مدلسازی در نرم‌افزار SAP 2000 ۹۶
A-۱- فاز اول: آشنایی با نرم‌افزار SAP 2000، انواع روش‌های مدل‌سازی و قابلیت‌ها ۹۶
شناسنامه هر Object ۹۷
مروری بر قابلیت‌های SAP 2000 ۹۸
سوله، مدلسازی دو بعدی یا سه بعدی ۹۸
A-۲- فاز دوم: شروع کار در نرم‌افزار، تعریف تنظیمات اولیه و خطوط راهنمای ترسیم ۱۰۰
آشنایی با محیط نرم‌افزار و تنظیمات اولیه ۱۰۰
تعریف خطوط راهنمای ترسیم (Grid Lines) ۱۰۲
آشنایی با تنظیمات صفحه، ذخیرهٔ خودکار وذخیره فایل محاسباتی ۱۰۷
قسمت دوم: تعریف مصالح و مقاطع در نرم‌افزار SAP 2000 ۱۱۰
B-۱- فاز اول: تعریف مصالح مورد استفاده در مقاطع ۱۱۰
تعریف مصالح بتن ۱۱۰
تعریف مشخصات مصالح آرماتورها ۱۱۲
تعریف مشخصات مصالح فولاد ساختمانی ۱۱۴
B-۲- فاز دوم: تعریف مقاطع موردنیاز سازه ۱۱۶
یادآوری مقاطع اولیه از بخش طراحی اولیه سازه ۱۱۶
تعریف مقاطع I شکل تیر و ستون ۱۱۷
تعریف مقاطع غیر منشوری ستون ۱۲۰
تعریف مقطع غیرمنشوری تیر مورب ۱۲۳

تعریف مقطع استرات‌ها ۱۲۴
تعریف مقطع مهاربندها ۱۲۵
تعریف مقاطع پداستال بتنی ۱۲۷
قسمت سوم: ترسیم هندسه سازه ۱۳۰
C-۱- بررسی روند مفهومی و کلی نحوهٔ ترسیم هندسه مدل ۱۳۰
C-۲- فاز دوم: ترسیم قاب‌های اصلی سوله و پداستال بتنی ۱۳۳
C-۳- فاز سوم: ترسیم استرات‌ها ۱۴۱
C-۴- فاز چهارم: ترسیم مهاربندهای قائم، سقفی و وال‌پست‌ها ۱۵۲
قسمت چهارم: اختصاص مشخصات تکمیلی المان‌ها ۱۶۲
D-۱- فاز اول: مروری بر مشخصات قابل اختصاص به المان‌ها ۱۶۲
D-۲- فاز دوم: اختصاص تکیه‌گاه‌ها و شرایط مرزی المان‌های میله‌ای ۱۶۲
اختصاص تکیه‌گاه‌های سازه ۱۶۳
اختصاص شرایط تکیه‌گاهی وال پست‌ها ۱۶۵
اختصاص شرایط مرزی المان‌های میله‌ای ۱۶۷
D-۳- فاز سوم: اختصاص مقاطع و تعیین جهت‌گیری المان‌ها ۱۷۳
اختصاص مقطع المان‌های میله‌ای ۱۷۳
اختصاص و اصلاح جهت‌گیری المان‌های میله‌ای ۱۷۵
D-۴- فاز چهارم: اختصاص رفتار صرفاً کششی در مهاربندها و مش‌بندی المان‌ها ۱۸۰
مش‌بندی و تأثیر آن بر پاسخ‌ها ۱۸۰
اختصاص رفتار صرفاً کششی به المان‌های مهاربندی سقفی و قائم ۱۸۳

فصل پنجم آشنایی با بارگذاری، ترکیبات بارگذاری و رشوهای تحلیل

قسمت اول: آشنایی با فرآیند بارگذاری در SAP 2000 ، تعریف تنظیمات بارها و ترکیبات بارگذاری ۱۸۶
A-۱- فاز اول: مروری بر فرآیند تعریف بار، روش حل و ترکیب بارها ۱۸۶
A-۲- فاز دوم: تعریف الگوهای بارگذاری (Load Pattern) ۱۸۷
تعریف الگوهای بار (Load Pattern) ۱۹۲
A-۳- فاز سوم: تعیین نوع تحلیل و آشنایی با Load Case ۱۹۶
تعیین نوع روش تحلیل بارها ۱۹۶
تعریف Case تحلیل مودال ۲۰۲
A-۴- فاز چهارم: تعریف ترکیبات بارگذاری (Load Combination) ۲۰۴
اثر قائم زلزله و بسط ترکیب بارهای لرزه‌ای ۲۰۶
قسمت دوم: اختصاص بارها به المان‌های سازه‌ای ۲۱۲
B-۱- فاز اول: مروری بر خلاصه بارگذاری و روند کلی بارگذاری سازه سوله ۲۱۲
مروری بر خلاصه بارگذاری ۲۱۲
بررسی روند کلی بارگذاری سوله ۲۱۲
B-۲- فاز دوم: اختصاص بارهای ثقلی ۲۱۳
B-۳- فاز سوم: اختصاص بار جانبی باد و زلزله ۲۳۵
B-۴- فاز چهارم: اختصاص بار نشست تکیه‌گاهی و بار حرارتی ۲۴۹
قسمت سوم: تنظیمات پیش از تحلیل سازه در نرم‌افزار SAP 2000) ۲۵۴
C-۱- فاز اول: تعریف الگوی محاسبه جرم در SAP 2000 ۲۵۴
لزوم تعریف جرم در نرم‌افزار ۲۵۴
تعریف جرم در نرم‌افزار SAP 2000 ۲۵۶
C-۲- فاز دوم: تنظیمات مربوط به قیود و درجات آزادی سازه ۲۵۷
C-۳- فاز سوم: اختصاص ناحیه صلب انتهایی ۲۵۸
قسمت چهارم: تحلیل مدل و تفسیر نتایج خروجی ۲۶۳
D-۱- فاز اول: انجام تحلیل سازه و بررسی نتایج خروجی مودها و اشکال مودی ۲۶۳
انجام تحلیل سازه ۲۶۳
D-۲- فاز دوم: بررسی نمایش نیروهای داخلی اعضاء ۲۶۸
D-۳- فاز سوم: بررسی و نمایش وضعیت تغییرشکل یافتهٔ یک سازه تحت بارگذاری خاص ۲۷۴
D-۴- فاز چهارم: کنترل برش پایه بار زلزله و برآیند نیروهای باد ۲۷۷

فصل ششم طراحی اعضای سوله

قسمت اول: مروری بر مفاهیم اصلی روش LRFD و طراحی اعضای غیر منشوری در SAP 2000) ۲۸۲
A-۱- فاز اول: طراحی المان‌های فشاری غیرمنشوری ۲۸۲
A-۲- فاز دوم: طراحی قطعات غیرمنشوری تحت اثر لنگر خمشی ۲۸۶
A-۳- فاز سوم: روش‌های لحاظ پایداری در طراحی براساس AISC 360-10 ۲۸۹
اثرات ثانویه مرتبه دوم در SAP 2000 ۲۹۱
قسمت دوم: طراحی اعضای فلزی و بتنی در نرم‌افزار SAP 2000 ۲۹۴
B-۲- فاز دوم: تعریف تنظیمات اختصاصی المان‌ها ۲۹۹
B-۳- فاز سوم: تنظیم ترکیبات بارگذاری طراحی، ایستگاه‌های طراحی و جزئیات خروجی ۳۰۸
B-۴- فاز چهارم: طراحی ستونک (پداستال) بتنی ۳۱۳
قسمت سوم: طراحی دستی، کنترل زلزله تشدید یافته و تشریح نتایج خروجی طراحی در نرم‌افزار SAP 2000 ۳۱۸
C-۱- فاز اول: بررسی و کنترل نتایج خروجی طراحی یک تیر مورب (Rafter) ۳۱۹
کنترل نتایج خروجی یک تیر مورب ۳۱۹
C-۲- فاز دوم: بررسی و کنترل نتایج خروجی طراحی یک مهاربند قائم (Vertical Brace) ۳۳۲
بررسی جزئیات خروجی مهاربندهای قائم ۳۳۲
C-۳- فاز سوم: کنترل زلزله تشدید یافته در ستون‌ها ۳۳۵
کنترل جداگانه زلزله تشدید یافته در سازه ۳۳۷
قسمت چهارم: کنترل‌های حالات حدی بهره‌برداری ۳۴۰
D-۱- فاز اول: کنترل تغییرشکل‌های سازه تحت بار بهره‌برداری ثقلی ۳۴۰
کنترل خیز تیرها ۳۴۱
D-۲- فاز دوم: کنترل تغییرشکل سازه تحت بار جانبی باد ۳۴۲
D-۳- فاز سوم: کنترل تغییرشکل جانبی سازه تحت بار زلزله ۳۴۷

فصل هفتم طراحی اتصالات و کنتل‌های خارج از نرم‌افزار

قسمت اول: طراحی اتصالات فلنجی Rafter به ستون و اتصال فلنجی رأس ۳۵۲
A-۱- فاز اول: طراحی اتصالات فلنجی Rafter به ستون (اتصال شانه) ۳۵۲
کلیات اتصالات شانه ۳۵۲
A-۲- فاز دوم: طراحی اتصال تاج سوله ۳۷۰
قسمت دوم: طراحی اتصالات مهاربندی قائم و سقفی ۳۷۲
B-۱- فاز اول: بررسی گام به گام طرح اتصال مهاربند قائم (جانبی) ۳۷۲
B-۲- فاز دوم: طراحی گام به گام و نکات طراحی اتصال مهاربند سقفی ۳۷۸
قسمت سوم: طراحی کف ستون‌ها و کنترل مهارشدگی کف ستون در پداستال بتنی ۳۸۰
C-۱- فاز اول: کنترل بخش فلزی (جسم کف ستون) - انتقال نیرو از ستون به کف ستون ۳۸۱
C-۲- فاز دوم: کنترل مهارشدگی کف ستون در بتن ۳۹۰
قسمت چهارم: طراحی لاپه‌ها، گیرت‌ها و اتصالات مربوطه ۴۰۰

D-۱- فاز اول: طراحی و جزئیات‌بندی لاپه‌های سقفی ۴۰۰
D-۲- فاز دوم: طراحی و جزئیات‌بندی گیرت‌های دیوار پانلی ۴۱۱
طراحی گیرت‌ها ۴۱۱
قسمت پنجم: طراحی اتصالات مهارهای دیوار (Wall Post) ۴۱۷
E-۱- فاز اول: طراحی اتصالات Wall Post ۴۱۷
قسمت ششم: طراحی اتصالات استرات‌ها ۴۲۲
F-۱- فاز اول: طراحی اتصالات استرات‌ها ۴۲۲
قسمت هفتم: طراحی میل مهارهای سقفی، دیواری و اتصالات مربوطه ۴۲۸
G-۱- فاز اول: طراحی میل‌مهارهای سقفی ۴۲۸
G-۲- فاز دوم طراحی میل مهار دیواری ۴۲۹
قسمت هشتم: طراحی سینه‌بندهای تیرهای شیبدار
H-۱- فاز اول: طراحی سینه‌بندهای مهاری بال پایین تیرهای شیبدار ۴۳۱
قسمت نهم کنترل پایداری قاب تکی سوله‌ها در حین نصب ۴۳۷
I-۱- فاز اول: بررسی پایداری یک قاب سوله در حین عملیات نصب ۴۳۷

فصل هشتم بررسی مسائل خاص در طرح سوله‌ها و سالن‌های صنعتی

قسمت اول: طرح و بررسی اثرات جرثقیل‌های موجود در سالن‌های صنعتی) ۴۴۴
A-۱- فاز اول: آشنایی با جرثقیل‌ها و اثرات آنها بر سازه ۴۴۴
جرثقیل بازویی (jib cranes) ۴۴۴
جرثقیل‌های خطی ۴۴۵
تأثیر جرثقیل بر روی سازه ۴۴۵
A-۲- فاز دوم: آشنایی با بارهای وارد بر جرثقیل و سازه ۴۴۷
آشنایی با جزئیات بارگذاری جرثقیل خطی ۴۴۹
بررسی وضعیت باربری ثقلی جرثقیل ۴۵۱
بررسی وضعیت بار زلزله جرثقیل ۴۵۳
بار رانش طولی و جانبی جرثقیل ۴۵۴
خلاصه بارهای ناشی از جرثقیل بر سازه ۴۵۵
A-۳- فاز سوم آشنایی با ترکیبات بارگذاری طراحی سازه در برابر بار جرثقیل ۴۵۵
قسمت دوم: طراحی اجزای باربر جرثقیل و جزئیات اتصال ۴۵۹
B-۱- معرفی جرثقیل مورد استفاده در این پروژه ۴۵۹
B-۲- فاز دوم: طراحی تیرهای Crane Beam و Rail Beam ۴۶۰
طراحی تیر جرثقیل (Crane Beam) ۴۶۰
طراحی تیر ریل (Rail Beam) ۴۶۱
B-۳- طراحی اتصالات سازه‌های نگهدارندهٔ جرثقیل و ریل ۴۷۲
قسمت سوم: طراحی سوله تحت بار جرثقیل در نرم‌افزار SAP 2000 ۴۷۴
C-۱- فاز اول: آشنایی با بارها و نحوهٔ اختصاص بار جرثقیل در مدل و محاسبه بار ضربه انتهایی ۴۷۴
بار ضربه انتهایی (Bumper Impact) ۴۷۵
C-۲- فاز دوم: اصلاح هندسه مدل سازه‌ای، مقاطع مورد استفاده و اختصاص بارها ۴۷۶
اصلاح هندسه سازه و سیستم سازه‌ای ۴۷۶
C-۳- فاز سوم: اصلاح بارگذاری، تعریف و اختصاص بارهای جرثقیل ۴۸۰
C-۴- فاز چهارم: تعریف ترکیبات بارگذاری اختصاصی جرثقیل در مدل ۴۸۶
C-۴- فاز چهارم: تحلیل و طراحی سوله تحت بار جرثقیل ۴۸۸
قسمت چهارم: بررسی نحوه مدلسازی سوله‌های با سقف قوسی شکل در نرم‌افزار SAP 2000 ۴۹۳
D-۱- فاز اول: ترسیم هندسه قوسی سقف‌ها در نرم‌افزار SAP 2000 و جزئیات اجرایی ۴۹۳

فصل نهم طراحی تابلوی تبلیغاتی

قسمت اول: آشنایی با سازه‌های تابلوی تبلیغاتی، استانداردها و ضوابط طراحی ۵۰۶
A-۱- فاز اول: آشنایی با انواع تابلوها، جزئیات و اجزای تشکیل‌دهنده ۵۰۶
A-۲- فاز دوم: آشنایی با استانداردهای طراحی ابعادی ۵۱۰
قسمت دوم: معرفی پروژه مورد بررسی و مشخصات طراحی ۵۱۳
B-۱- فاز اول: معرفی مشخصات هندسی و طراحی پروژه مورد بررسی ۵۱۳
قسمت سوم: مدلسازی سازه در نرم‌افزار SAP 2000 و تعاریف اولیه ۵۱۴
C-۱- فاز اول: ساخت هندسه مدل در نرم‌افزار Autocad و ارجاع آن به نرم‌افزار SAP2000 ۵۱۴
ترسیم هندسه سازه در Autocad ۵۱۴
ورود هندسه سازه به SAP 2000 ۵۱۶
C-۲- فاز دوم: انجام تنظیمات اولیه و تعریف مصالح موردنیاز ۵۲۲
C-۳- فاز سوم: تعریف مقاطع مورد نیاز المان‌های سازه‌ای ۵۲۴
C-۴- فاز چهارم: اختصاص شرایط تکیه‌گاهی، شرایط مرزی المان‌ها و ناحیه صلب انتهایی ۵۲۹
C-۵- فاز پنجم: اختصاص مقاطع اولیه به المان‌های میله‌ای ۵۳۴
قسمت چهارم: بارگذاری سازه و اعمال آن در مدل سازه‌ای ۵۴۲
D-۱- فاز اول: تعریف بارهای وارد بر سازه ۵۴۲
D-۲- فاز دوم: اختصاص بارهای ثقلی ۵۴۳
D-۳- فاز سوم: بار زلزله و اعمال آن در مدل ۵۴۶
تعیین سیستم باربر جانبی ۵۴۶
D-۴- فاز چهارم: آشنایی با بار باد و نحوهٔ اختصاص آن در نرم‌افزار SAP 2000 ۵۴۸
مفاهیم پایه‌ای بار باد ۵۴۸
سرعت باد طراحی ۵۵۱
مروری بر بار باد آیین‌نام ASCE 7-10 ۵۵۴
قسمت پنجم: تحلیل، کنترل و طراحی اجزای سازه ۵۷۹
E-۱- فاز اول: بررسی اثر و و اعمال آن در مدل ۵۷۹
E-۲- فاز دوم: تعریف ترکیبات بارگذاری و جرم در نرم‌افزار ۵۸۱
E-۳- فاز سوم: تنظیمات تحلیل سازه و کنترل نتایج خروجی ۵۸۴
E-۴- فاز چهارم: طراحی اجزای سازه ۵۸۹

پیوست بررسی مفهومی تحلیل غیرخطی هندسی در SAP 2000

در این قسمت از فصل، می‌خواهیم اطلاعات کلی در مورد یک سوله به‌دست آوریم و اجزاء مرتبط با معماری که برای ما مهندسین عمران در بحث طراحی حائز اهمیت است را نیز بشناسیم. زیر شاخه‌های این قسمت عبارتند از:

روند فازی قسمت اول ← فاز اول: ملاحظات عمومی معماری در سوله‌ها

A-۱- فاز اول: ملاحظات عمومی معماری در سوله‌ها

هدف از فاز اول

برای آشنایی اولیه با سوله‌ها و کلیهٔ سازه‌های با بهره‌برداری داخلی مثل ساختمان‌ها، ابتدا باید اجزای معماری و جزئیات اجرای آنها را بشناسیم تا بتوانیم به‌صورت مناسبی از کفایت باربری اجزاء اطمینان حاصل نماییم. لذا در این فاز می‌خواهیم مبانی معماری سوله را به زبان ساده بیان نماییم.

نگاه کلی بر سوله‌ها

یکی از رایج‌ترین و پرکاربردترین سازه‌های مورد استفاده در زمینه‌های مختلف صنعتی، ورزشی، انبارها و ... ، سیستم‌های سازه‌ای قابی شکل با استفاده از سقف‌های شیبدار (که عمدتاً سبک هستند) می‌باشد که اصطلاحاً به آنها سوله گفته می‌شود. سوله‌ها امروزه با کاربردهای بسیار زیاد و هزینهٔ اجرایی معقول (در مقایسه با سازه‌های ساختمانی) مورد استفاده قرار می‌گیرند. از کاربردهای سازه‌های مذکور به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

۱- انبارها و محل دپوی مواد غذایی از قبیل غلات، دانه‌های روغنی و ... .

۲- تعمیرگاه‌ها و سرویس‌دهنده‌های نگهداری در بخش‌های مختلف صنعت خودرو، ریلی، هواپیمایی و ... .

۳- سازه‌های صنعتی، کارخانه‌ها و تولیدی‌ها با اهداف مختلف.

۴- سالن‌های بزرگ ورزشی، فرودگاه‌ها، ترمینال‌های ورودی - خروجی و ... .

۵- به‌طور کلی در موارد نیاز به سازه‌های عموماً یک طبقه با اهداف عمدتاً صنعتی .

چند نمونه سوله احداث شده با کاربری‌های مختلف

دقت: با توجه به عدم سکونت و عدم نیاز به بهره‌برداری از بام چنین سازه‌هایی و همچنین بلند بودن دهانه‌ها، سوله‌ها عمدتاً به‌صورت سقف شیبدار و با مصالح پوشش‌دهنده سبک در دیواره‌ها و سقف احداث می‌گردند. شیبدار کردن سقف سوله از لحاظ سازه‌ای به کاهش خیز سقف بسیار کمک خواهد کرد.

نمای کلی سازه سوله

ملاحظات عمومی معماری در سوله‌ها

به طور کلی در بحث ملاحظات معماری سوله، دو دیدگاه زیر وجود دارد:

۱ **دیدگاه‌های عمومی معماری:** این ملاحظات در اکثر سوله‌ها رعایت می‌شود و به‌کاربری سوله وابسته نمی‌باشد (مانند شکل ظاهری، شیب‌بندی سقف و ...).

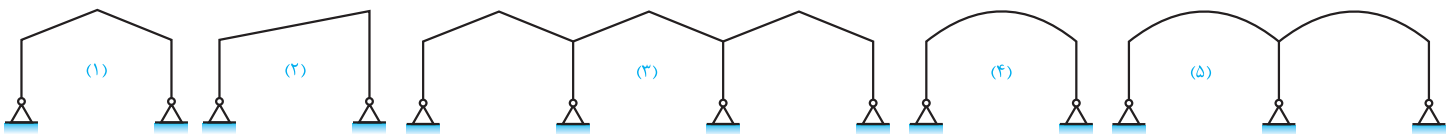
۲ **دیدگاه‌های اختصاصی معماری:** این ملاحظات به کاربری سوله وابسته می‌باشد و چندان مورد بحث این کتاب نمی‌باشد (مانند ضوابط تقسیم‌بندی داخلی سوله، ارتفاع مفید و ...).

در ادامهٔ بحث در رابطه با موارد زیر، اطلاعات مفیدی را در اختیار شما مهندسین عزیز، قرار می‌دهیم:

۱- کلیات ظاهری سوله‌ها
۲- انتخاب دهانه‌های مفید در سوله‌ها
۳- جزئیات سقف در سوله‌ها
۴- جمع‌آوری آب باران در سوله‌ها
۵- انتخاب دیوارهای خارجی سوله
۶- عمق استقرار پی در سوله‌ها

۱- کلیات ظاهری سوله‌ها

همانطورکه در بخش گذشته اشاره شد، سقف سوله‌ها عموماً شیبدار هستند و از سوی دیگر، می‌توانند به‌صورت تک دهانه با یک یا دو شیب و یا به‌صورت چند دهانه با توجه به فضای موردنیاز مورد استفاده قرار بگیرد. در شکل‌های زیر، چند نمونه از انواع رایج سوله‌ها ارائه شده است:

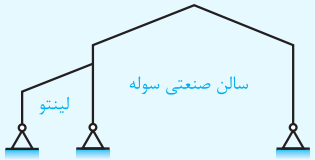


سوله تک دهانه دو شیب | سوله تک دهانه تک شیب | سوله سه دهانه دو شیب | سوله قوسی تک دهانه | سوله قوسی چند دهانه

بررسی یک موضوع رایج

از آنجایی‌که ممکن است در طرح توسعهٔ سوله نیاز به فضای جداگانه دیگری برای الحاق به سازه باشد و یا در مواردی‌که سوله کاربرد صنعتی داشته و تولید آلودگی‌هایی از قبیل صوتی و ... می‌نماید، برای الحاق نمودن یک بخش جداگانه به سوله، در کنار آن اقدام به ساخت سازه تک دهانه تک شیب می‌گردد که به آن اصطلاحاً «بچه سوله» و یا «لینتو» گفته می‌شود. در شکل زیر یک نمونه سوله حاوی لینتو قابل مشاهده می‌باشد.

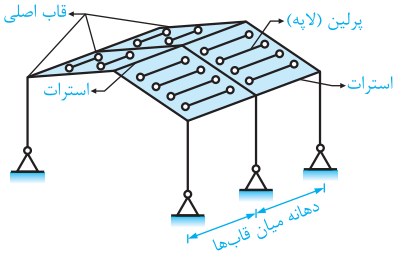
یک نمونه سوله اجرا شده با لینتو



نمای سوله دارای لینتو

۲- انتخاب دهانه‌های مفید در سوله‌ها

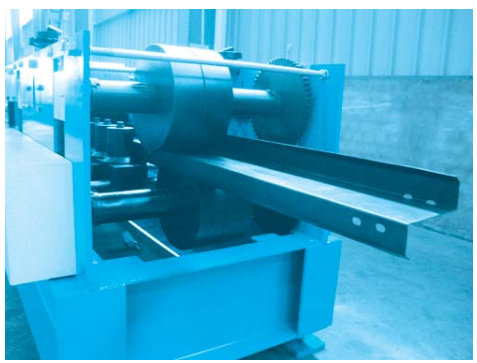
شکل مقابل را در نظر بگیرید:

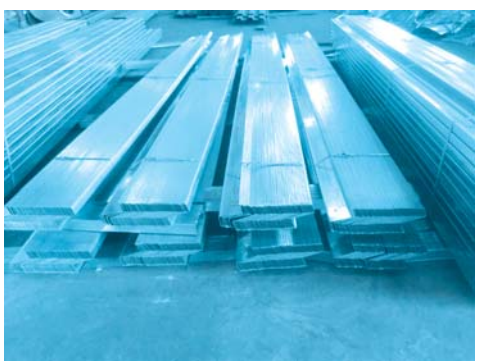


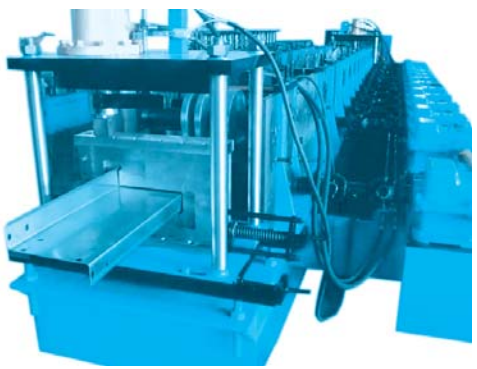
با توجه به این شکل، سوله از یک سری قاب اصلی (*Main Frame*) تشکیل شده است که با کمک المان‌هایی (مانند پرلین واسترات) به یکدیگر متصل شده‌اند. در این قسمت می‌خواهیم کمی در مورد فاصلهٔ اجرایی این قاب‌های اصلی، بحث کنیم.

فاصلهٔ بین قاب‌های اصلی سوله در غالب موارد برابر ۶ متر در نظر گرفته خواهد شد. انتخاب این فاصله، در اختیار طراح معماری پروژه می‌باشد و توجه به نکات زیر در مورد آن حائز اهمیت می‌باشد:

۱ سازهٔ نگهدارندهٔ سقف سوله‌ها، متشکل از تیرهای طولی (پرلین) می‌باشد که بر روی قاب‌های اصلی تکیه کرده است. مقاطع این المان‌ها به‌صورت رایج از ورق‌های با ضخامت کم (به‌صورت سرد نورد شده) ساخته شده است که طول این ورق‌ها در بازار عمدتاً ۶ متر است. این مسئله بدین معناست که حداکثر طول اجرایی پرلین‌های سرد نورد شده نیز به ۶ متر محدود می‌گردد. با توجه به این موضوع، فاصلهٔ ۶ متری بین قاب‌های اصلی، انتخاب منطقی در بعد معماری محسوب می‌شود.







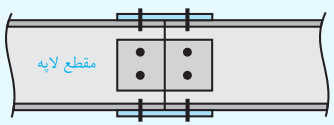
فرآیند ساخت لاپه‌های سرد نورد شده

بررسی یک تجربه

اگر بخواهیم فاصله‌های بین دهانه‌ها بیش از ۶ متر شود، دو راهکار زیر موجود است:

۱- استفاده از پروفیل‌های گرم نورد شده ۱۲ متری: این موضوع ما را به سمت استفاده از پروفیل‌های ضخیم گرم نورد شده (همانند ناودانی، مقطع جعبه‌ای، I شکل و ...) پیش می‌برد که نسبت به مقطع معادل سرد نورد شده سنگین‌تر هستند و وزن اسکلت را بالا می‌برد. در این حالت ممکن است طرح غیراقتصادی گردد.

۲- استفاده از وصلهٔ پرلین‌های سرد نورد شده: این موضوع تعداد سوراخ‌کاری و حجم اتصالات را به شدت افزایش می‌دهد (با توجه به تعداد زیاد پرلین‌ها در سازه) که اقتصادی نمی‌باشد.



توجه: با توجه به ضخامت کم مقاطع سرد نورد شده، استفاده از جوش، دشوار است.

۲ فاصله‌های کمتر از $۶m$ در بین قاب‌های اصلی نیز، پروژه را غیر اقتصادی می‌کند. استفاده از فاصله‌های غیرمتعارف بین آکس‌های طولی نیز ممکن است منجر به پرت شدن حجم بالایی از فولاد مصرفی گردد. بدین صورت که با توجه به طول ورق‌های موجود در بازار، در صورت استفاده از فاصله‌های کمتر از ۶ متر (مثلاً $۵m$)، باقی‌ماندهٔ ورق ($۱m$ باقی‌مانده) عملاً پرت می‌شود. این ورق‌های پرت شده، عمدتاً ضخامت حدود ۲ الی ۴ میلی‌متر دارند و در بخش‌های دیگر سوله نظیر اتصالات و ... استفاده نخواهند شد. لذا توصیه می‌گردد حتی‌الامکان از ارائهٔ فاصله‌هایی که موجب پرت شدن اوراق مورد استفاده در پرلین‌ها می‌گردد، اجتناب شود.

دید مهندسی

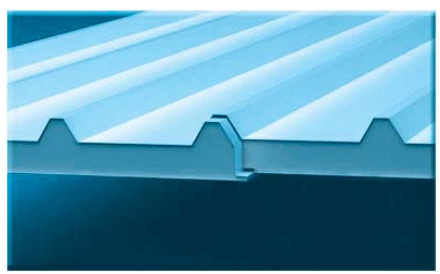
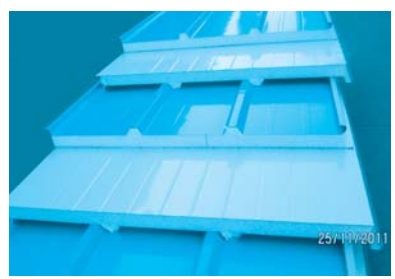
طول دهانهٔ سوله‌ها در جهت قاب اصلی سوله، تابع شرایط و نیازهای معماری می‌باشد. اما به‌عنوان یک تخمین کلی، طول دهانهٔ سوله‌ها از دهانه‌های بسیار کوچک که نیاز به شیب یک‌طرفه دارند (در حدود ۵ متر) تا دهانه‌های بلند (حتی تا ۶۰ متر) متغیر می‌باشد. به‌عنوان یک اصل کلی، هر چه دهانه طول یک قاب افزایش پیدا کند، وزن واحد سطح اسکلت سوله نیز تحت تأثیر افزایش طول دهانه‌ها، افزایش پیدا خواهد کرد. لذا توصیه می‌گردد حتی‌الامکان در مواردی‌که معماری طرح امکان اجرای ستون در میانهٔ سوله را فراهم می‌آورد (چند دهانه کردن سوله)، از رو آوردن به دهانه‌های بسیار بلند خودداری گردد.

دو نمونه سوله تک و دو دهانه

۳- جزئیات سقف سوله‌ها

از لحاظ معماری، انواع سقف‌های متداول مورد استفاده در سوله‌ها عبارتند از:

۱- ساندویچ پانل‌های سقفی ۲- ورق‌های کنگره‌ای

شکل جزئیات ساندویچ پانل‌های سقفی

دقت شود که از لحاظ سازه‌ای، در سوله‌ها به دنبال سقف سبک با سرعت اجرای قابل قبول می‌باشیم که بتواند بارهای ناشی از باد و ثقل را به پرلین‌های سوله منتقل کند.

بررسی چند موضوع:

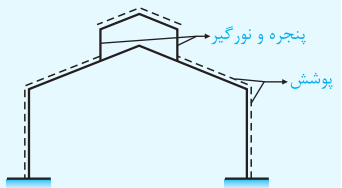
۱ در گذشته از پشم شیشه، ورق و پوشش‌های آب‌بند کننده، به همراه توری‌های سیمی جهت احداث سقف‌های سوله بر روی پرلین‌های سازه‌ای استفاده می‌شد. امروزه با توجه به لزوم سرعت در اجرای سقف و استفاده از سقف‌های نوین، اینگونه پوشش‌ها چندان کاربرد ندارد.

۲ ساندویچ پانل‌ها متشکل از ورق‌های نازک (ضخامت‌های ۰/۵ تا یک میلی‌متر) که به‌صورت کرکره‌ای، ذوزنقه‌ای و یا سفالی شکل در بالا و پایین یک لایه عایق حرارت و صوت (پلی استایرن، پشم شیشه و یا پلی اورتان) می‌باشند. عمدهٔ پوشش‌های فوق از جنس عایق پلی اورتان (برای نسوز بودن) بوده و وزن ناچیزی خواهند داشت.

۳ به‌دلیل تابش مستقیم آفتاب بر روی ورق فوقانی سوله‌ها، دمای ورق فوقانی افزایش یافته و در صورت نبود عایق پلی اورتان منجر به گرم شدن محیط داخل سوله خواهد شد. از طرف دیگر گرم کردن محیط داخلی سوله نیز در روزهای سرد زمستانی در صورت نبود عایق حرارتی کار بسیار سختی خواهد بود. لذا در مناطق سردسیر و در شرایطی که دمای هوا نیاز به کنترل دارد (نظیر مرغداری‌ها و ...) به استفاده از ساندویچ پانل و یا دتایل‌ها و سیستم‌های مشابه توصیه می‌گردد.

مانیتور سقفی در سوله‌ها

در برخی از سوله‌های با دهانهٔ بلند، به جهت استفاده از نور طبیعی علاوه بر پنجره‌های جانبی سوله، از شکافی در سقف استفاده می‌گردد که می‌تواند محل نصب دوربین و دیگر تجهیزات کنترلی سوله نیز باشد. به این بخش از سازه که به‌صورت سراسری از خارج نورگیری می‌کند، اصطلاحاً مانیتور سقفی گفته می‌شود. در شکل زیر یک نمونه از جزئیات مانیتور سقفی ارائه شده است:



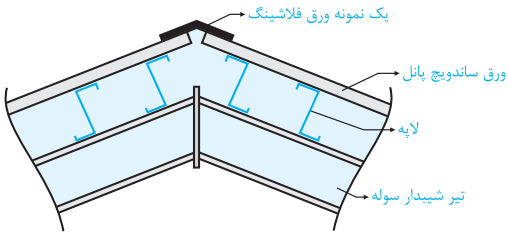
شکل اجرایی مانیتور سقفی در سوله‌ها

۴- جمع‌آوری آب باران در سوله‌ها

یکی از مسائل مهم در طراحی معماری سوله‌ها، جمع‌آوری آب‌های باران در سقف آن می‌باشد. برای این منظور در انتهای شیب سوله‌ها یک کانال فلزی سراسری قرار می‌گیرد و با شیبی در جهت طول سوله، آبهای جمع‌آوری شده سطحی را به لوله‌های قائم دفع آب (در محل‌های مشخص) هدایت می‌کند. در بخش‌های اجرایی به کانال فلزی نصب شده در انتهای شیب سوله اصطلاحاً آبرو یا « گاتر» (*Gutter*) اطلاق می‌گردد. همچنین برای جلوگیری از کنده شدن آبروها و همچنین پوشاندن نقاط مختلف سقف از ورق‌های پوشاننده استفاده می‌شود که اصطلاحاً به آن فلاشینگ گفته می‌شود.

جزئیات اجرایی آبروهای سقفی سوله‌ها

یک نمونه فلاشینگ



نمای اجرایی سقف

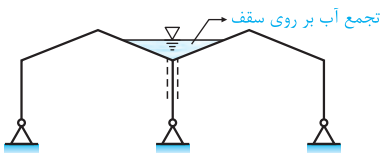
انواع فلاشینگ در سوله‌ها

جزئیات جمع‌آوری آب سطحی از سقف

دقت: نصب آبروهای قابل اطمینان و جلوگیری از عدم گرفتگی معابر آب، در سوله‌های چند دهانه از اهمیت مضاعفی برخوردار است. این موضوع از دو دیدگاه قابل توجه می‌باشد:

۱ در صورت وجود هرگونه عیب و نقص در سیستم تخلیه و جمع‌آوری آب باران، آب بر روی سقف سوله جمع شده و در مواردی که باران شدید است می‌تواند منجر به ازدیاد وزن سقف و آسیب رساندن به کل سازه شود. مواردی از تخریب چنین سازه‌هایی تحت اثر جمع‌شدگی آب در دهانه‌های بلند چند شیبه، در مناطق پر باران کشور گزارش شده است.

۲ جمع شدن آب باران، موجب صدمه رساندن به تأسیسات شده و از طرفی نفوذ آب به داخل سوله، به کالاهای انبار شده خسارت می‌زند.



۵- انتخاب دیوارهای خارجی سوله

دیواره‌های خارجی با توجه به نوع کاربری سازه، متفاوت خواهند بود. امروزه سیستم‌های سنتی سنگین، جای خود را به دیوارهای سبک جدید داده است. از اقسام دیوارهایی که در سوله ها به‌صورت رایج مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- دیوارهای آجری سنگین
۲- دیوارهای ساندویچ پانل
۳- دیوارهای تری دی پانل
۴- دیوارهای بتنی
۵- دیوارهای ورقی موجدار
۶- ترکیب دیوارهای فوق

ترکیب دیوار آجری و ساندویچ پانل

ترکیب آجر و شیشه

دیوار آجری سنگین

استفاده از دیوار آجری سنگین در کل ارتفاع

استفاده از بلوک سیمانی در دیوارها

امروزه عمدتاً از ساندویچ پانل دیواری به جهت احداث دیواره سوله استفاده می‌شود. در صورتی‌که عبور و مرور ماشین‌آلات سنگین و دستگاه‌ها در داخل و یا خارج سوله مدنظر باشد، دیوار آجری سنگین تا ارتفاع محدود (مثلاً ۲ متر) اجرا شده و در ادامه از مصالح سبک نظیر ساندویچ پانل دیواری استفاده می‌گردد. دلیل این امر آن است که اولاً سوله‌ها از داخل و خارج در معرض برخورد ماشین‌الات و عوامل متحرک هستند که در صورت استفاده از مصالح مقاوم در برابر ضربه (مثل دیوار آجری)، دوام بیشتری نسبت به دیوارهای سبک ساندویچ پانلی خواهند داشت. ثانیاً درزبندی و آب‌بند کردن دیواره‌های مصالح بنایی ساده‌تر خواهد بود.

استفاده از ساندویچ پانل جهت سبک‌تر شدن طرح

دیوار آجری سنگین برای بالا بردن مقاومت ضربه خوردگی و عایق‌بندی

استفاده ترکیبی از دیوار سنگین و دیوار سبک ساندویچ پانل در ارتفاع سوله

استفاده از دیواره بتنی در سوله‌ها

در مواردی‌که سوله جهت انبار کردن غلات، مصالح ساختمانی نظیر شن و ماسه، سیمان و دیگر مصالح دانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از دیوار بتنی برای تحمل فشار جانبی غلات و دانه‌های انبار شده توصیه می‌گردد.

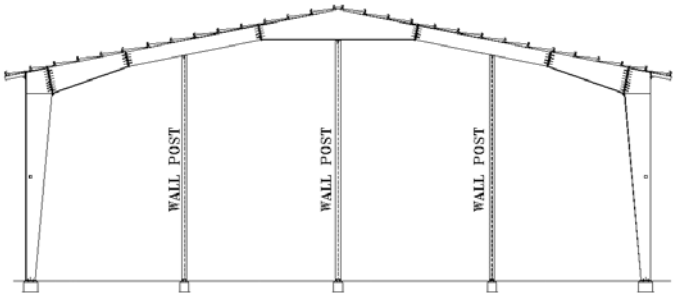
کلاف‌بندی دیوارها:

براساس بند ۷-۵-۳ استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، دیوارهای غیرسازه‌ای باید در برابر بارهای جانبی طراحی شوند. ملاحظات محاسباتی نیز باید براساس فصل چهارم استاندارد ۲۸۰۰ انجام گردد که در فصل بعد، در مورد آن صحبت خواهد شد. براساس بند مذکور، ضوابط زیر در مورد دیوارهای غیرسازه‌ای اعمال می‌گردد:

۱) حداکثر طول مجاز هر دیوار غیرسازه‌ای بین دو کلاف قائم، نباید از ۶ متر یا ۴۰ برابر ضخامت دیوار بیشتر باشد. لذا با فرض حداقل ضخامت ۲۰ سانتی‌متر برای دیوار سوله‌ها در حالت اجرای دیوار آجری، طول دیوار به ۶ متر محدود خواهد شد. در غیر این‌صورت استفاده از کلاف‌های نگهدارندهٔ قائم ضروری می‌باشد. به المان‌های قائم نگهدارنده دیوارها در سوله‌ها اصطلاحاً «وال پست» (*Wall Post*) گفته می‌شود.

۲ حداکثر ارتفاع دیوار غیرسازه‌ای آجری از تراز کف ۳/۵ متر می‌باشد. در صورت تجاوز ارتفاع دیگر از مقدار فوق، باید دیوار غیرسازه‌ای با تعبیه عناصر افقی و قائم (کلاف افقی و قائم در لبه دیوار) مقید گردد.

چیدمان واقعی وال پست‌ها در سوله



چیدمان مهارهای دیوارها در یک قاب سوله

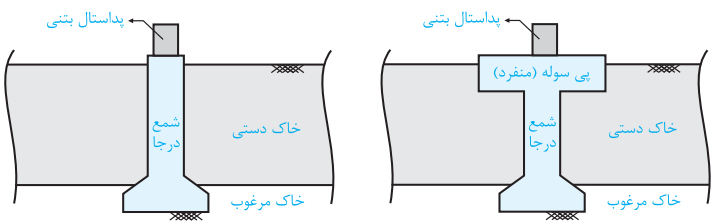
۶- عمق استقرار پی در سوله‌ها

در مورد عمق استقرار پی در سوله‌ها، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

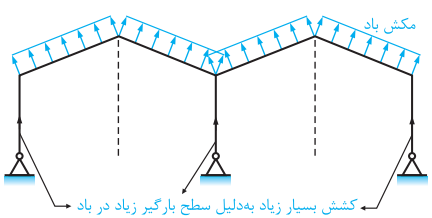
حداقل عمق یخزدگی منطقه $\geq d$

۱ به‌دلیل در نظر گرفتن ملاحظات یخزدگی خاک زیر پی، عمق استقرار پی باید به نحوی در نظر گرفته شود که رقوم خاک زیر پی در عمقی بیشتر از عمق یخزدگی منطقهٔ ساخت سوله باشد. عمق یخبندان خاک در مناطق مختلف متفاوت بوده، ولی به‌عنوان یک محدودهٔ معقول، برحسب نوع شرایط محیطی از ۳۰ سانتی‌متر تا ۱ متر متغیر می‌باشد.

۲ در تعیین عمق استقرار پی، مقاومت برشی خاک و بحث‌های مرتبط با ظرفیت باربری پی نیز مطرح می‌باشد. در صورت عدم وجود شرایط مناسب برای احداث پی بر روی خاک، ناچار به افزایش عمق دفن پی خواهیم بود. البته بحث ظرفیت باربری پی، معمولاً به‌دلیل کم بودن وزن سوله‌ها موضوع دردسرسازی نخواهد بود ولی در صورت وجود خاک نامناسب دستی، نباتی و ... ناچار به خاکبرداری و افزایش عمق استقرار پی و یا در موارد خاص احداث شمع در زیر فونداسیون خواهیم بود.

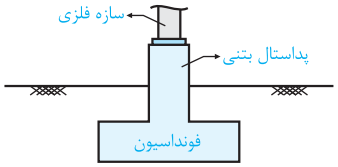


۳ در برخی از موارد، به‌دلیل بزرگ بودن طول دهانه و وزن کم سوله، در طراحی پی‌ها دچار مشکل بلندشدگی (*Uplift*) پی خواهیم شد. این موضوع، معمولاً به‌دلیل نیروی *Uplift* ناشی از باد می‌باشد. در اینگونه موارد نیز برای غلبه بر مشکل بلندشدگی پی‌ها، عمق استقرار پی و نتیجتاً وزن خاک روی پی را اضافه کرده و بر بلندشدگی غلبه می‌نماییم.



۴ در صورت استقرار پی در تراز زیر خاک و قرار گرفتن ستون فلزی سوله بر روی آن، مشکل خوردگی سازهٔ فلزی یکی از معضلاتی است که دوام سوله را کاهش خواهد داد. در این موارد با اضافه کردن یک سکوی کوتاه بتنی (ستون کوتاه بتنی) بر روی پی، از مجاورت ستون فلزی با عوامل محیطی موجود در خاک نظیر سولفات، کلرید و ...، جلوگیری می‌کنیم. به المان‌های بتنی فوق‌الذکر ستونک و یا «پداستال» (*Pdestal*) گفته می‌شود.

اجرای ستونک‌های بتنی (پداستال)



نمای وضعیت استقرار پداستال بتنی

در این قسمت از فصل، کلیهٔ المان‌های سازه‌ای را با استفاده از قابلیت‌های مختلف نرم‌افزار ترسیم خواهیم کرد. در نرم‌افزار $SAP2000$ روش‌های متفاوتی برای ترسیم هندسه المان‌های مختلف موجود می‌باشد که کاربر می‌تواند از هر کدام از این روش‌ها استفاده نماید. در این قسمت المان‌های مختلف را با استفاده از روش‌های متفاوتی ترسیم خواهیم کرد. سعی شده است بواسطهٔ استفاده از روش‌های متفاوت ترسیم، آشنایی نسبی خوانندگان محترم با قابلیت‌های ترسیمی مختلف در $SAP2000$، فراهم گردد.

روند فازی قسمت سوم ←
- فاز اول: بررسی روند مفهومی و کلی نحوهٔ ترسیم هندسه مدل
- فاز دوم: ترسیم قاب‌های اصلی سوله و پداستال بتنی
- فاز سوم: ترسیم استرات‌ها
- فاز چهارم: ترسیم مهاربندهای قائم، سقفی و وال پُست‌ها

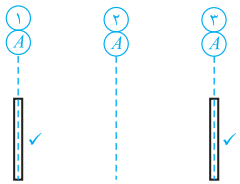
C-۱- بررسی روند مفهومی و کلی نحوهٔ ترسیم هندسه مدل

هدف از فاز اول

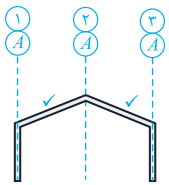
در این فاز پیش‌زمینه‌ای از نحوهٔ ترسیم المان‌های سازه‌ای در مدل پیدا خواهیم کرد. در این فاز قبل از آن که جزئیات نحوهٔ ترسیم در نرم‌افزار بیان شود، به سراغ بررسی روند ترسیم المان‌های سازه‌ای خواهیم رفت.

مراحل گام به گام ترسیم سازه سوله به‌صورت زیر می‌باشد:

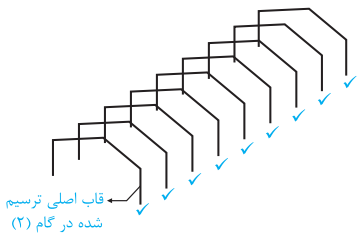
گام ۱: ترسیم ستون‌های یک قاب (قاب محور A):



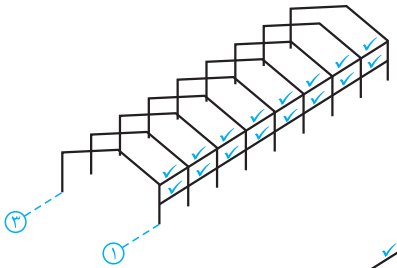
گام ۲: ترسیم تیرهای شیبدار و پداستال بتنی قاب گام ۱:



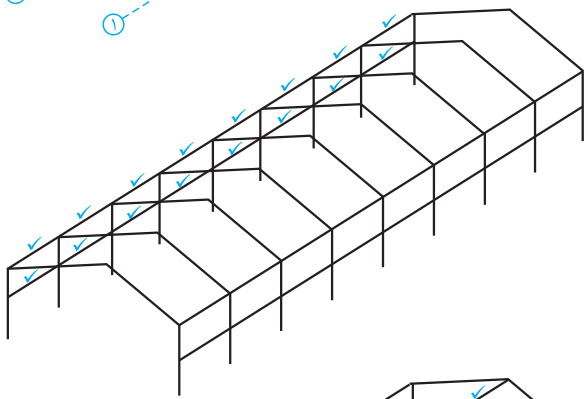
گام ۳: کپی‌کردن قاب ترسیم شده گام (۲) در محورهای $B \sim I$:



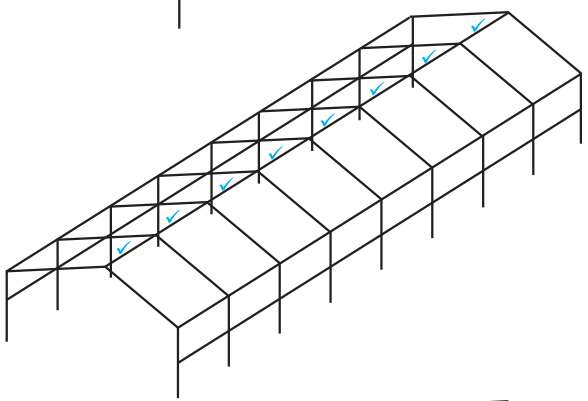
گام ۴: ترسیم استرات‌های محور (۱):



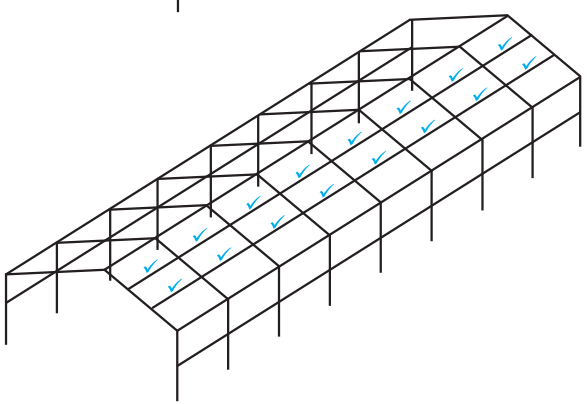
گام ۵: کپی کردن استرات‌های محور (۱) در محور (۳):



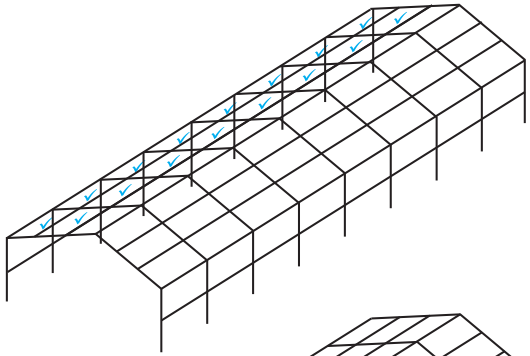
گام ۶: ترسیم استرات‌های رأس سوله:



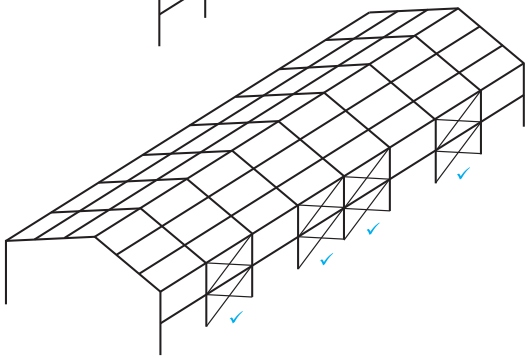
گام ۷: ترسیم استرات‌های ما بین رأس و شانه:



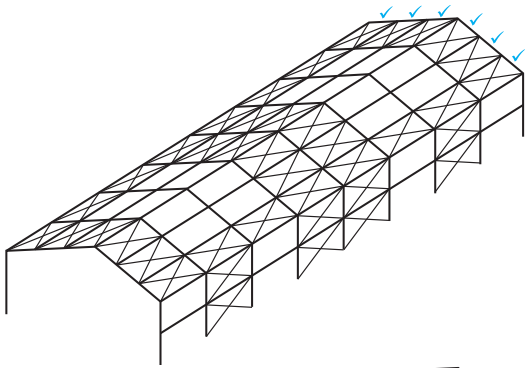
گام ۸: کپی کردن استرات‌های میانی به وجه مقابل:



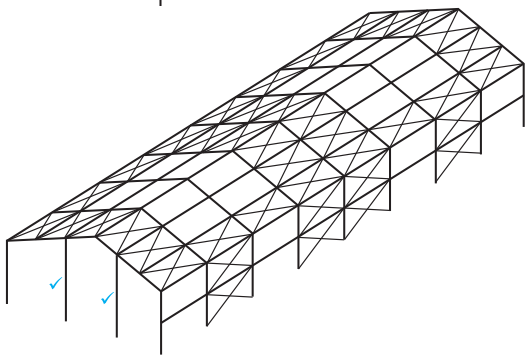
گام ۹: ترسیم بادبندهای قائم محور (۱) و (۳):



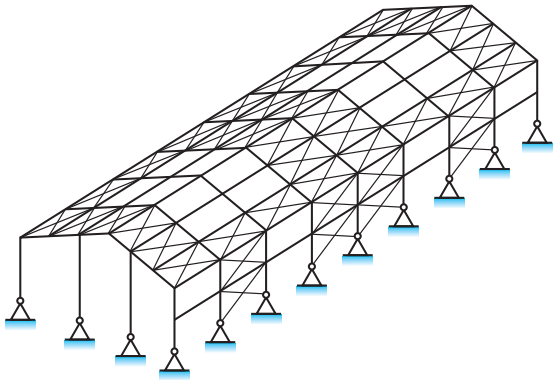
گام ۱۰: ترسیم مهاربندهای سقفی:



گام ۱۱: ترسیم وال پست‌ها:



نهایتاً هندسه مدل به‌صورت مقابل خواهد بود:



C-۲- فاز دوم: ترسیم قاب‌های اصلی سوله و پداستال بتنی

هدف از فاز دوم

در این فاز قاب‌های عرضی اصلی سوله به همراه پداستال بتنی ترسیم گردیده و در طول سازه کپی خواهد شد. در این فاز با ترسیم المان‌ها در *SAP 2000* و نحوهٔ استفاده از قابلیت کپی کردن در آن آشنا خواهیم شد.

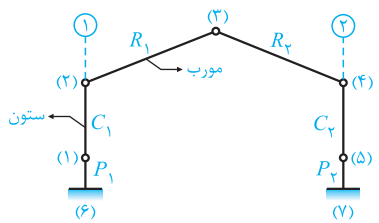
به‌طور کلی جهت ترسیم قاب اصلی سوله از المان میله‌ای استفاده خواهد شد. در ترسیم المان‌های میله‌ای سه عامل زیر تعیین‌کننده هستند:

۱. نقاط ابتدا و انتهای ترسیم خطوط (j,i)
۲. مقطع المان
۳. شرایط مرزی المان ها

برای ترسیم قاب‌های عرضی، بر روی یکی از پنجره‌های فعال در نرم‌افزار کلیک نمایید.

از آنجایی‌که قاب در محور عرضی قرار گرفته است (صفحهٔ yz)، از نوار ابزار *Display* بر روی گزینه *Set View* کلیک نمایید.

در این حالت در نمایی از محور A با $x=0$ خواهیم داشت:



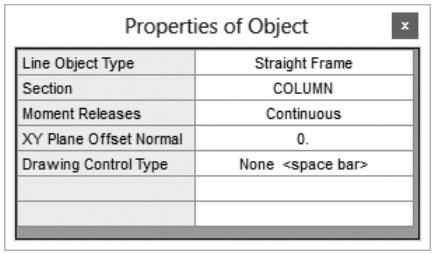
در ادامه هندسهٔ سازه را به‌صورت گام به گام ترسیم خواهیم کرد.

گام ۱: ترسیم ستون‌های یک قاب (قاب محور A)

برای ترسیم ستون $C1$ بر روی گزینه *Draw Frame/Cable* از نوار ابزار *Draw* کلیک نمایید و یا در منوی *Draw* بر روی گزینه *Draw Frame/Cable* کلیک نمایید.

در پنجرهٔ *Properties of Object*، مطابق شکل صفحهٔ بعد در بخش *Section*، مقطع *Column* را انتخاب نمایید. در بخش *Moment Release* شرایط تکیه‌گاهی مرزی المان را بر روی *Continuous* قرار دهید تا المان به‌صورت گیردار ترسیم گردد.

با توجه به آنکه در تعریف مقطع غیر منشوری ستون (*Column*)، مقطع ابتدایی (*Start Section*) مربوط به بخش تحتانی ستون بوده است، در این بخش نقطهٔ *i* (کلیک اول) نیز در بخش تحتانی ستون در نظر گرفته خواهد شد.



پارامترهای ترسیمی ستون C1

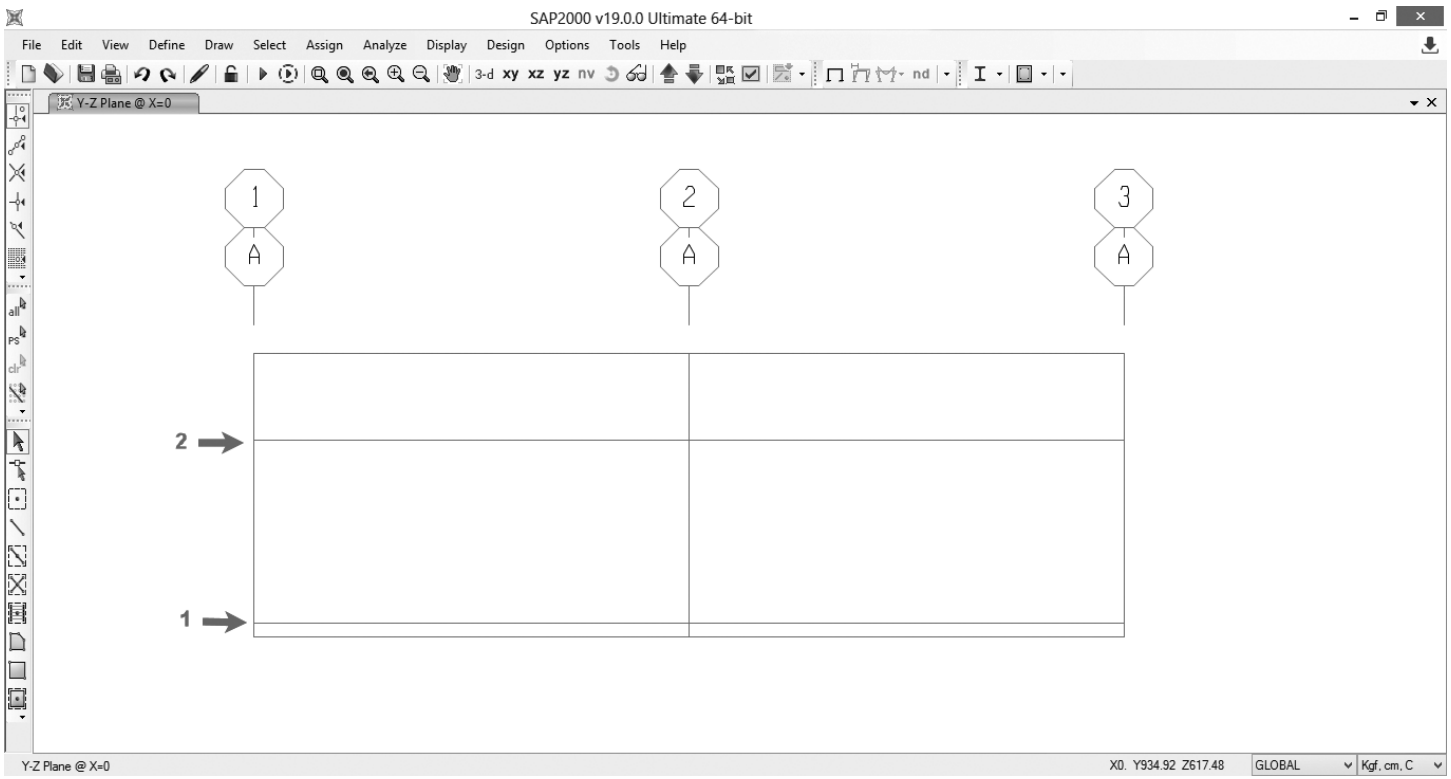
Line Object Type ⇒ شکل المان ترسیمی

Section ⇒ مقطع المان ترسیمی

Moment Release ⇒ شرایط مرزی المان ترسیمی

XY Plane Offset Normal ⇒ فاصله افقی محل کلیک کردن

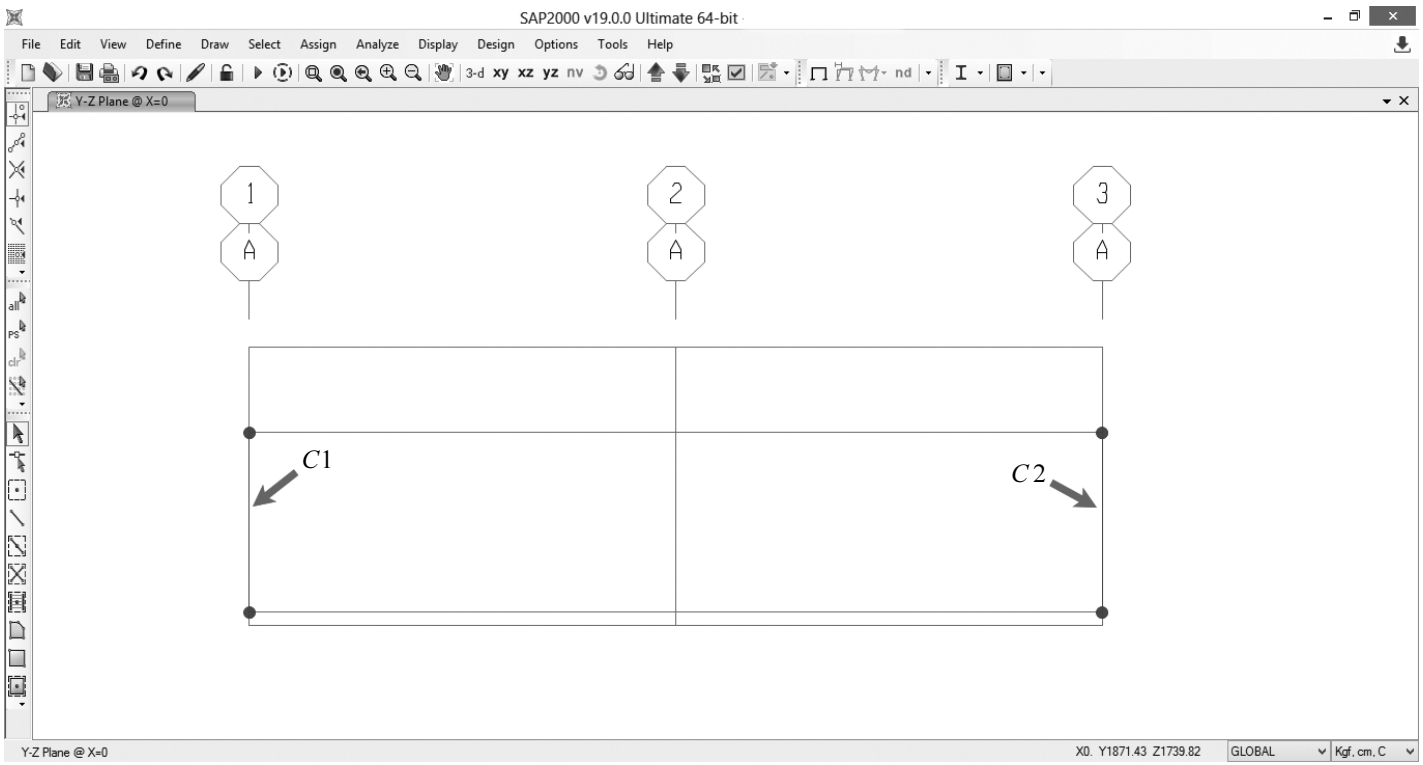
Drawing Control Type ⇒ شرایط جهتی خاص در حین ترسیم



نقاط ابتدایی و انتهایی ترسیم ستون C1

با توجه به شکل بالا، بر روی نقطهٔ ۱ با مختصات (۰/۳ و ۰ و ۰) کلیک نمایید تا نقطه اول ترسیم مشخص شود. سپس بر روی نقطه ۲ کلیک نمایید و سپس با زدن کلید *Esc* از صفحه کلید و یا کلیک راست کردن بر روی محیط نرم‌افزار، فرآیند ترسیم ستون را خاتمه دهید.

همین فرآیند را برای ستون *C*2 نیز انجام دهید تا ترسیم المان‌ها به‌صورت شکل صفحهٔ بعد کامل گردد. (*Endj* = ۴ , *Endi* = ۵)



ترسیم ستون‌های *C1* و *C2*

بررسی یک نکته

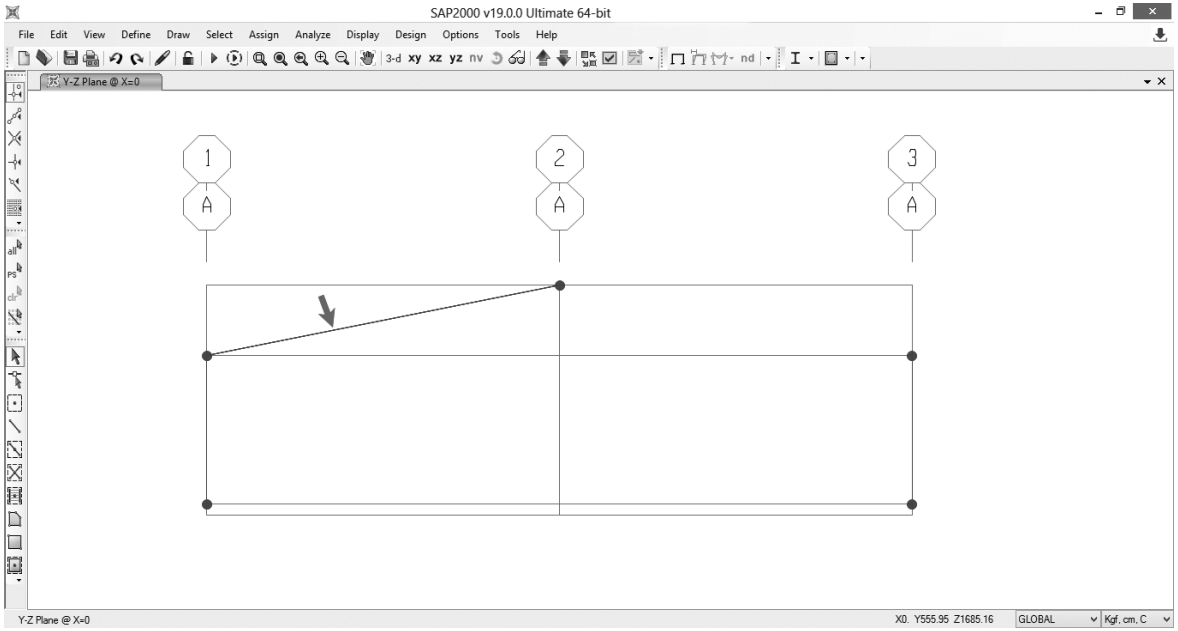
در صورتی‌که نقاط ابتدایی و انتهایی در حین ترسیم برعکس ترسیم شود، کاربر می‌تواند به راحتی پس از ترسیم المان‌های فوق از مسیر زیر، اقدام به اصلاح جهت‌گیری المان‌های فوق‌الذکر نماید.

Assign/Frame/Reverse Commectivity/Keep Assigns in Same Global Orientation

گام ۲: ترسیم تیرهای شیبدار و پداستال بتنی قاب گام ۱

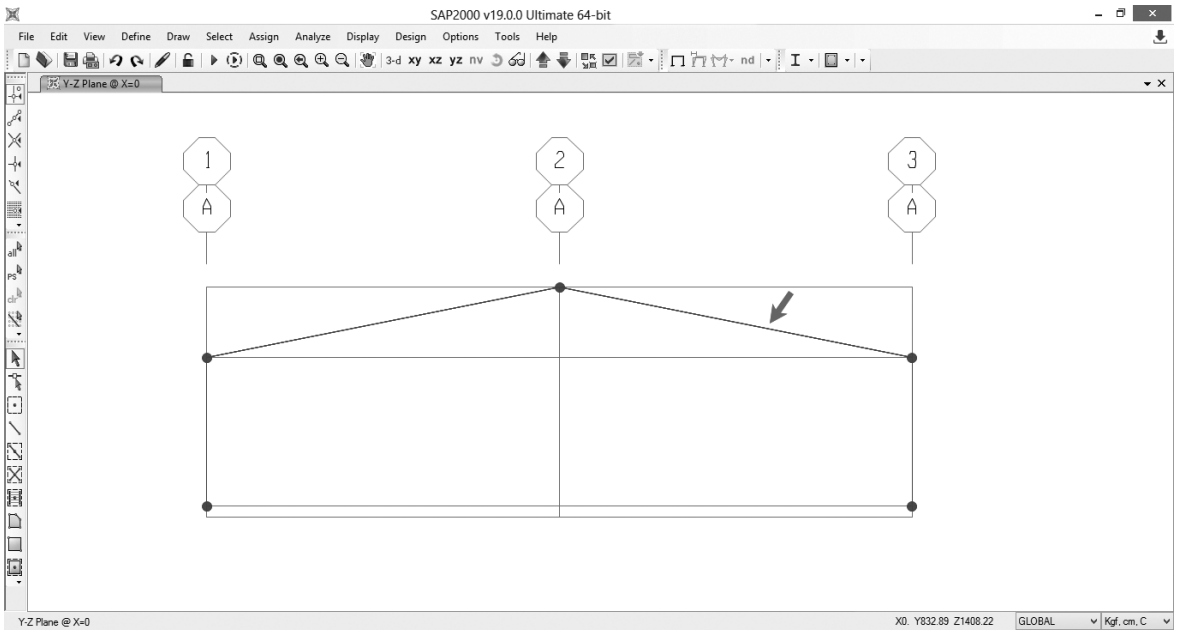
برای ترسیم تیرهای مورب، بر روی گزینه *Draw Frame/Cable* از نوار ابزار *Draw* کلیک نمایید. در پنجرهٔ *Properties of objects*، مقطع *Rafter* را انتخاب نمایید. از قسمت *Moment Release* گزینه *Continuous* را انتخاب نمایید.

از آنجایی‌که در تعریف مقاطع غیر منشوری *Rafter*، مقطع ابتدایی (*Start Section*) در محل شانه سوله تعریف شده است، نقطه ابتدایی (*i*) ترسیم بر روی نقطه ۲ و نقطه انتهایی ترسیم (*j*) بر روی نقطه ۳ می‌باشد.



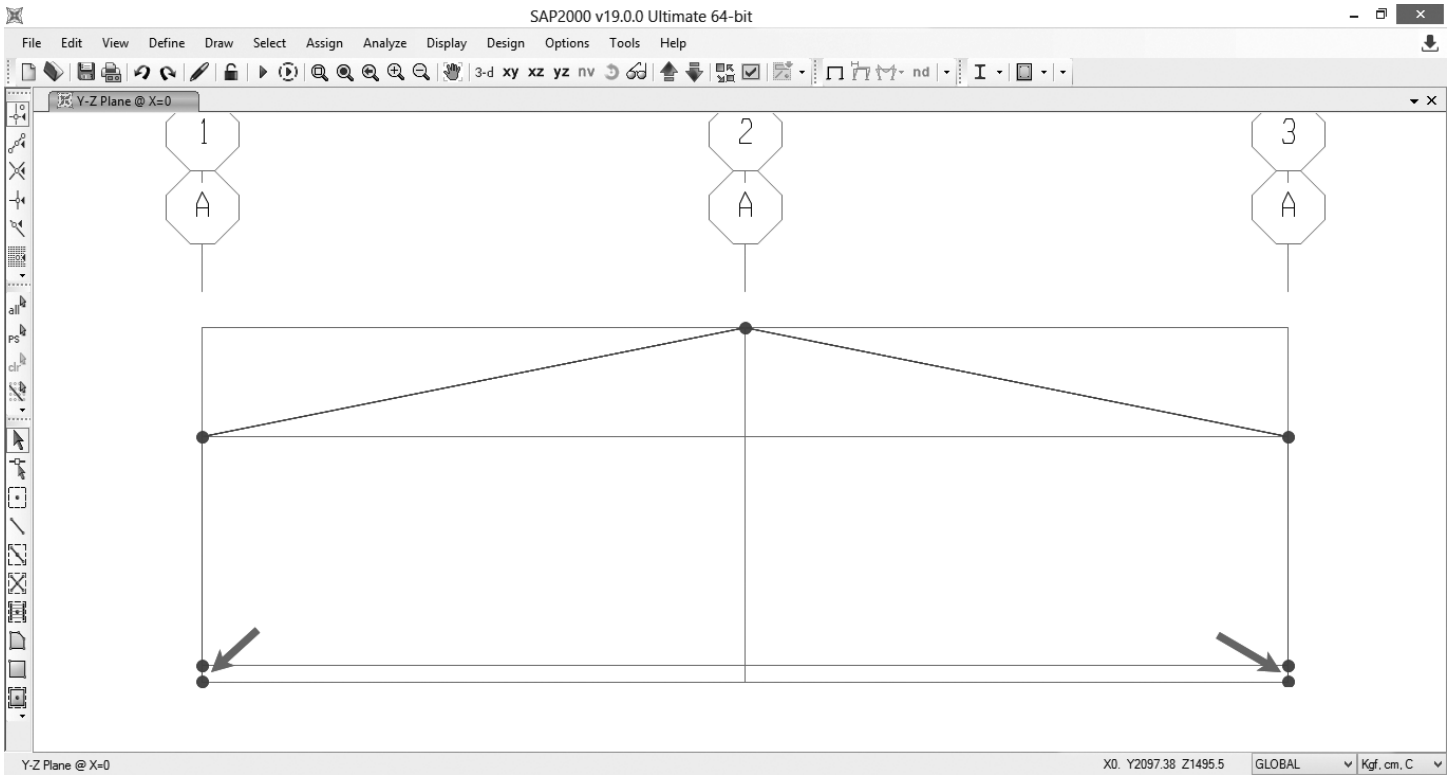
ترسیم تیر شیبدار محور A حد فاصل محورهای ۱ و ۲

همین فرآیند را برای تیر سمت راست با نقطه‌های ($End\ i = ۴$) و ($End\ j = ۳$) نیز انجام دهید تا تیر شیبدار بین محورهای ۲ و ۳ نیز مطابق شکل زیر ترسیم شود.



ترسیم تیر شیبدار محور A حد فاصل محورهای ۲ و ۳

برای ترسیم پداستال‌های بتنی نیز در همین مرحله بر روی منوی *Draw* رفته و گزینه *Draw Frame/Cable* را انتخاب نمایید. در پنجره *Properties of objects* مقطع $C\,600\times400-12\Phi16$ را انتخاب نمایید سپس با نقاط ابتدایی و انتهایی ۶ و ۱ برای پداستال سمت چپ و نقاط ۷ و ۵ برای پداستال سمت راست اقدام به ترسیم پداستال‌های بتنی نمایید (توجه نمایید که شرایط مرزی المان‌های فوق از نوع *Continous* یا گیردار باشند).



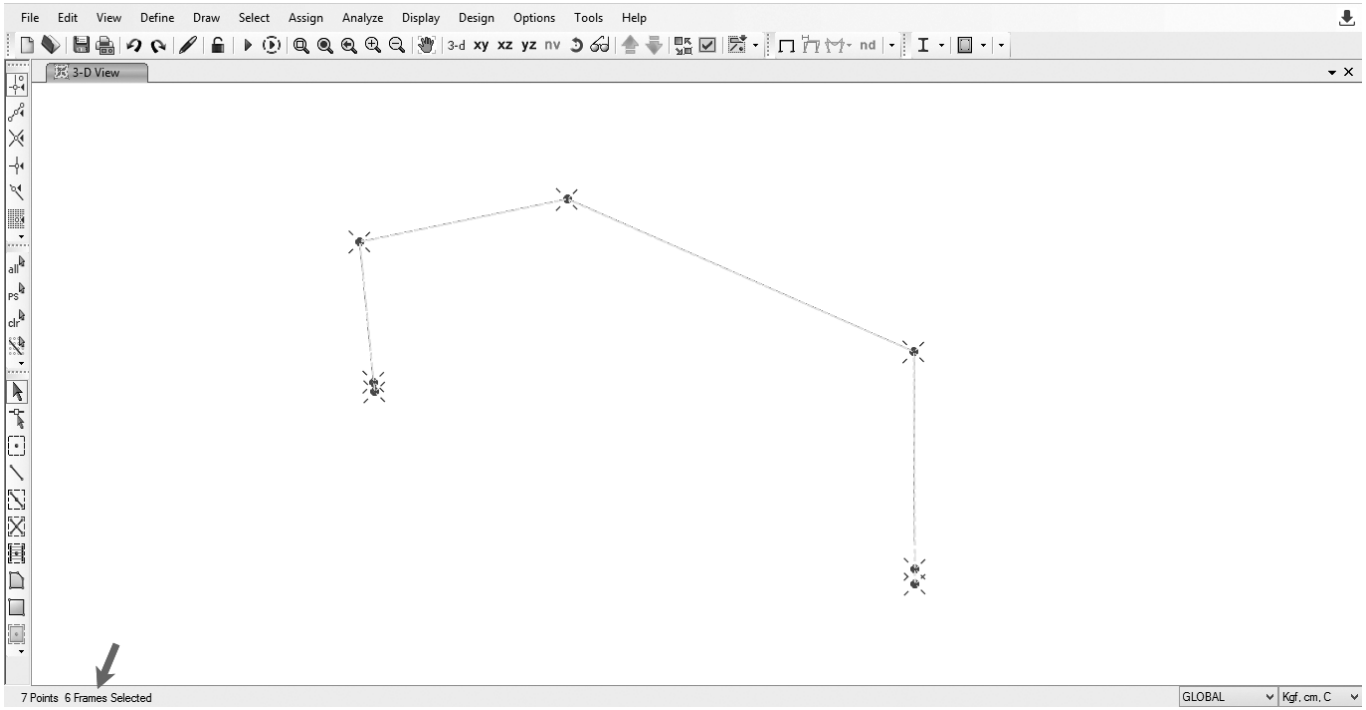
ترسیم پداستال‌های بتنی قاب محور *A*

گام ۳: کپی کردن قاب ترسیم شده گام ۲ در محورهای *B ~ I*

پس از ترسیم یک قاب عرضی سوله در موقعیت $x=0$ (محور *A*)، کلیهٔ المان‌های موجود در قاب را توسط کشیدن پنجره از سمت راست به چپ و با نگهداشتن کلیک چپ، انتخاب نمایید (و یا از کلید میانبر *Ctrl + A* استفاده کنید). پس از انتخاب کلیهٔ المان‌ها، در سمت چپ و پایین تصویر، عبارت *7 Points 6 Frames Selected* که حاکی از انتخاب ۷ نقطه و ۶ المان میله‌ای می‌باشد، گزارش خواهد شد.

ایجاد پیش‌زمینه

- شرایط مرزی کلیهٔ المان‌های تیر شیبدار و پد استال از نوع گیردار در نظر گرفته می‌شود.
- المان‌های مهاربندی سقف، مهاربندهای قائم، استرات‌ها، پای ستون‌ها، لاپه‌ها و گیرت‌ها از نوع مفصل خمشی در نظر گرفته می‌شود.
- وال پست‌ها نیز همانطورکه در ادامه اشاره خواهد شد، با شرایط دو انتهای مفصل خمشی و مفصل محوری در نقطهٔ فوقانی در نظر گرفته خواهد شد.



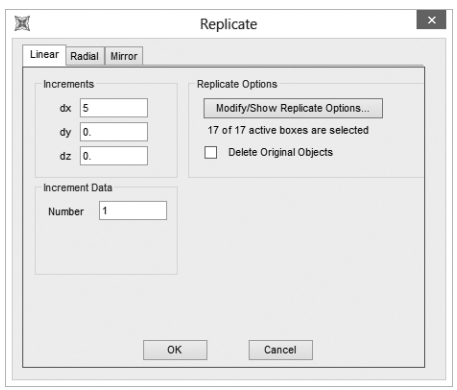
انتخاب المان‌های قاب محور A

در این حالت به منوی *Edit* رفته و بر روی گزینه *Replicate* کلیک نمایید.

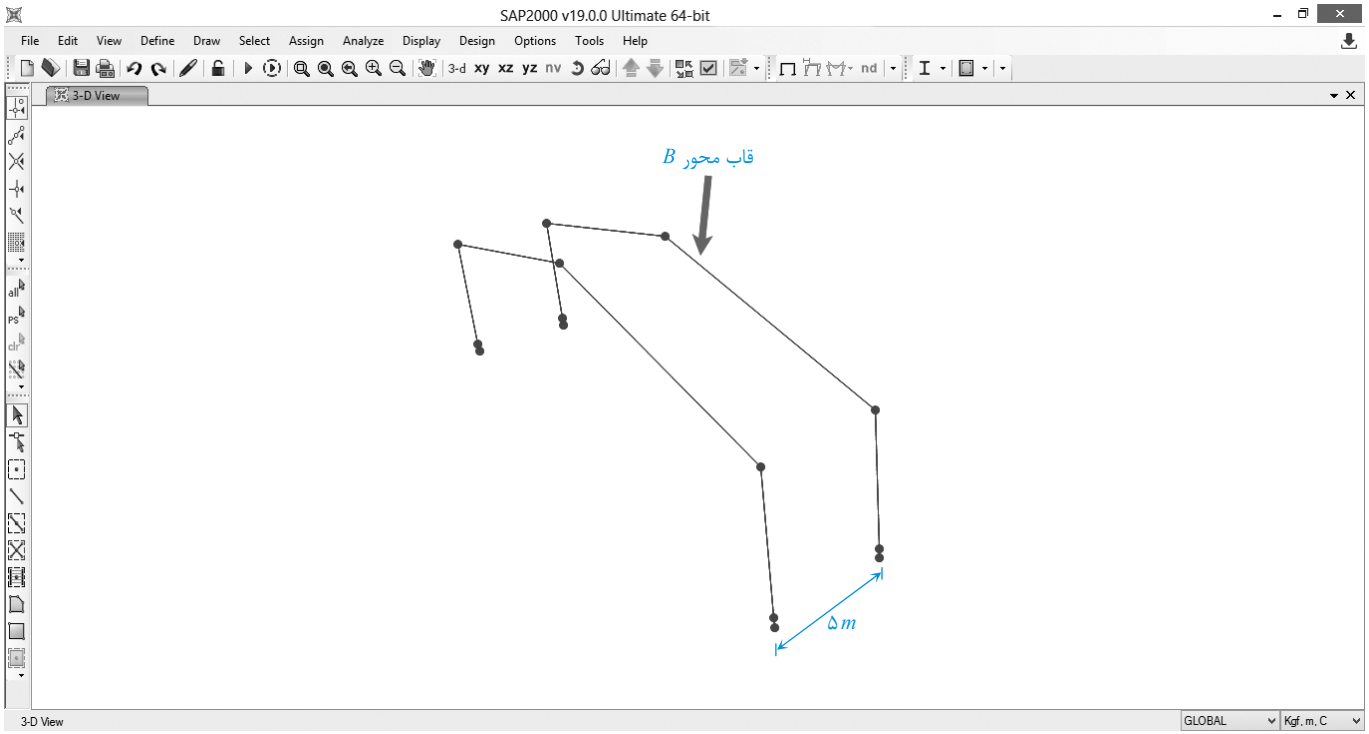
در پنجرهٔ *Replicate* در زبانه *Linear*، از بخش *Increment*، فاصلهٔ راستای مدنظر جهت کپی شدن المان‌های انتخاب شده مشخص می‌گردد. با توجه به اینکه محور x ها در جهت طول سوله می‌باشد و قاب بعدی (قاب محور B) در فاصلهٔ ۵ متری از قاب محور A می‌باشد، عدد ۵ را در بخش dx وارد نمایید. (توجه داشته باشید که واحد جاری بر روی متر قرار داشته باشد، در صورتی‌که واحد cm می‌باشد، عدد ۵۰۰ را وارد نمایید).

در بخش *Increment Data*، تعداد کپی‌ها را برابر واحد قرار دهید ($Number = 1.0$).

بر روی *OK* کلیک نمایید تا قاب محور B از روی قاب محور A کپی گردد.



تنظیم پارامترهای مربوط به کپی کردن قاب A به B

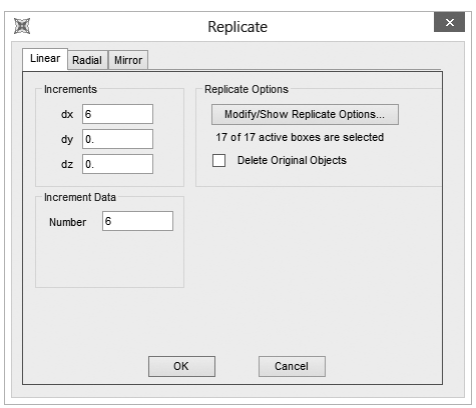


کپی شدهٔ قاب محور A بر روی محور B

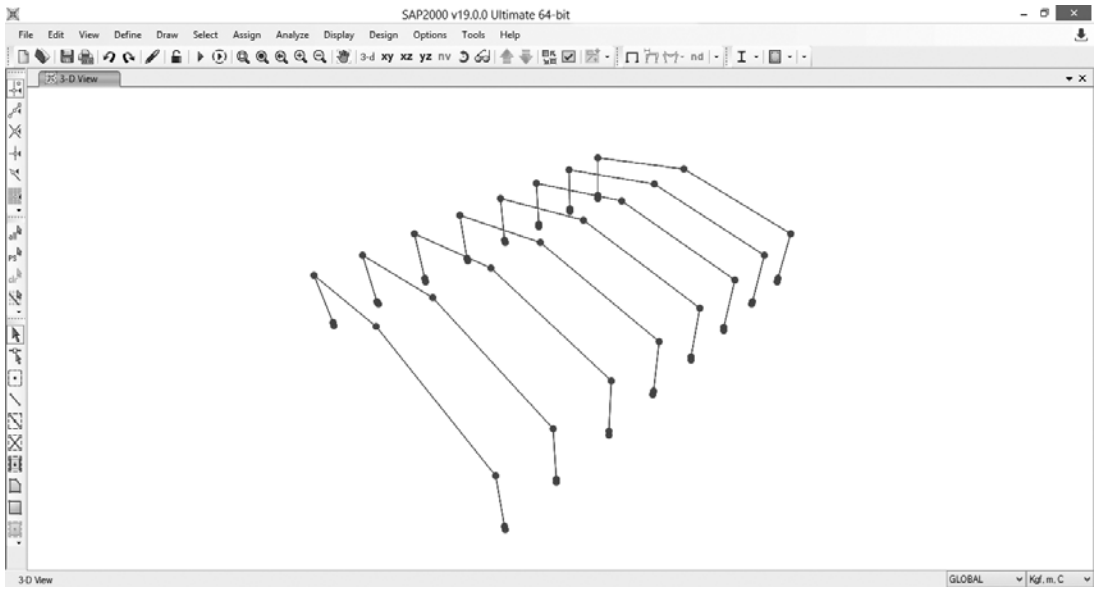
در مرحله بعد برای کپی کردن محورهای میانی $(C \sim H)$ با فاصله‌های ۶ متر، در فضای سه بعدی کلیه المان‌های قاب محور B را انتخاب نمایید (می‌توانید جهت راحتی در انتخاب و تنظیم زاویه دید، در حالت سه بعدی از ابزار *Rotate 3DVeiw* جهت چرخاندن زاویه دید استفاده نمایید و یا از دکمه‌های *Arrow* صفحه کلید جهت چرخاندن استفاده نمایید)

مجدداً $Ctrl + R$ را فشرده و در پنجره *Replicate*، $dx = ۶$ را وارد نمایید.

با توجه به ثابت بودن فاصله دهانه‌ها تا محور H، تعداد کپی‌ها را در بخش *Increment Data* برابر ۶ وارد نمایید و بر روی *OK* کلیک نمایید تا قاب‌های میانی C تا H نیز ترسیم گردد.

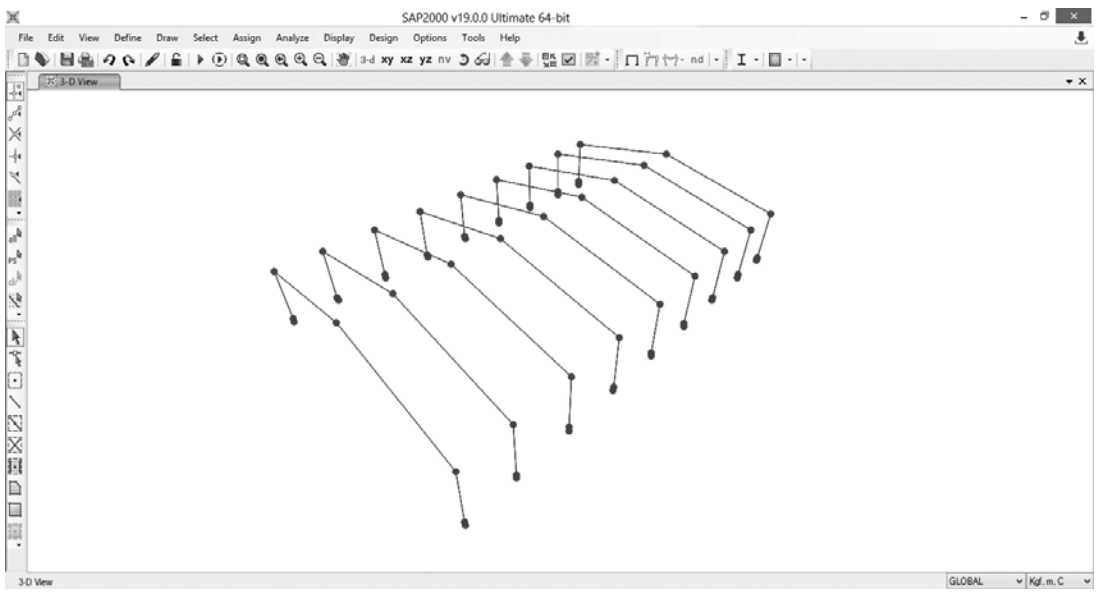


تنظیم پنجرهٔ *Replicate* برای کپی کردن قاب‌های میانی



هندسهٔ قاب‌های A تا H

در مرحله آخر با انتخاب اعضای قاب H و کپی کردن مجدد این قاب با فاصلهٔ ۵ متر در جهت X $(Number = 1.0)$، قاب محور I را ترسیم کرده و به کار ترسیم قاب‌های عرضی سوله و پداستال خاتمه می‌دهیم.



هندسهٔ نهایی قاب‌های A تا I

در این مرحله مدل را ذخیره نمایید.