

استفاده از صفحات کامپوزیت تقویت شده با پارچه سه بعدی بافته شده با نخ شیشه

در سقف ساختمان

تشریح عملکرد اقتصادی سیستم، بهره‌وری و کارایی

دکتر مسعود شفیعی

ویرایش ۱۰۰
شهریورماه ۱۳۹۴

استفاده از صفحات کامپوزیت تقویت شده با پارچه سه بعدی بافته شده با نخ شیشه در سقف ساختمان

تشریح عملکرد اقتصادی سیستم، بهره‌وری و کارایی

فهرست مطالب

فصل اول - مقدمه و کلیات	۳
فصل دوم - نتایج تحلیل برای مدل‌های سه‌گانه پیشنهادی	۵
۲-۱ طراحی سازه با مصالح معمول	۵
پریود ارتعاشی حاکم ساختمان	۱۰
اهمیت ساختمان	۱۱
گروه‌بندی ساختمان‌ها بر حسب شکل	۱۱
پارامترهای لرزه‌ای سیستم سازه‌ای	۱۱
راستای اثر زلزله	۱۱
محدوده کاربرد روش‌های تحلیل لرزه‌ای	۱۲
دوره تناوب تحلیلی ساختمان	۱۲
نیروی برش پایه بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران	۱۲
محاسبه ضریب زلزله استاتیکی در فایل اصلی (Main)	۱۳
کنترل لزوم تشدید برون از مرکزی تصادفی	۱۴
کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات برای زلزله طرح	۱۶
کنترل ستون‌ها ترکیب بارهای ویژه در فشار محوری	۱۷
کنترل ستون‌ها ترکیب بارهای ویژه در کشش محوری	۱۷
پریود ارتعاشی حاکم ساختمان	۲۰
اهمیت ساختمان	۲۰
گروه‌بندی ساختمان‌ها بر حسب شکل	۲۰
پارامترهای لرزه‌ای سیستم سازه‌ای	۲۰
راستای اثر زلزله	۲۱
محدوده کاربرد روش‌های تحلیل لرزه‌ای	۲۱
دوره تناوب تحلیلی ساختمان	۲۱
نیروی برش پایه بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران	۲۱
محاسبه ضریب زلزله استاتیکی در فایل اصلی (Main)	۲۲

۲۲.....	محاسبه ضریب زلزله استاتیکی در فایل Drift.....
۲۳.....	کنترل لزوم تشدید برون از مرکزی تصادفی.....
۲۵.....	کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات برای زلزله طرح.....
۲۶.....	کنترل ستون‌ها ترکیب بارهای ویژه در فشار محوری.....
۲۶.....	کنترل ستون‌ها ترکیب بارهای ویژه در کشش محوری.....
۲۷.....	۲-۲ طراحی با سقف پیشنهادی.....
۳۰.....	پریود ارتعاشی حاکم ساختمان.....
۳۰.....	اهمیت ساختمان.....
۳۰.....	گروه‌بندی ساختمان‌ها بر حسب شکل.....
۳۱.....	پارامترهای لرزه‌ای سیستم سازه‌ای.....
۳۱.....	راستای اثر زلزله.....
۳۱.....	محدوده کاربرد روش‌های تحلیل لرزه‌ای.....
۳۱.....	دوره تناوب تحلیلی ساختمان.....
۳۲.....	نیروی برش پایه بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران.....
۳۲.....	محاسبه ضریب زلزله استاتیکی در فایل اصلی (Main).....
۳۳.....	محاسبه ضریب زلزله استاتیکی در فایل Drift.....
۳۳.....	کنترل لزوم تشدید برون از مرکزی تصادفی.....
۳۳.....	کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات برای زلزله طرح.....
۳۴.....	کنترل ستون‌ها ترکیب بارهای ویژه در فشار محوری.....
۳۴.....	کنترل ستون‌ها ترکیب بارهای ویژه در کشش محوری.....
۳۵.....	۲-۳ جمع بندی.....
۳۷.....	فصل سوم- مدل سازی و ارزیابی اقتصادی فونداسیون‌ها.....
۳۷.....	۳-۱ معرفی، کلیات و روش کار.....
۳۹.....	۳-۲ نتایج تحلیل.....
۴۰.....	فصل چهارم- مقایسه سقف پیشنهادی با سقف‌های موجود.....
۴۰.....	۴-۱ معرفی و طراحی سیستم‌ها.....
۴۷.....	۴-۲ جمع بندی.....

به نام خدا

استفاده از صفحات کامپوزیت تقویت شده با پارچه سه بعدی بافته شده با نخ شیشه در سقف ساختمان

تشریح عملکرد اقتصادی سیستم، بهره‌وری و کارایی

ویرایش ۱.۰
شهریورماه ۱۳۹۴

فصل ۱ فصل اول - مقدمه و کلیات

صنعت ساختمان و پروژه‌های عمرانی به گواهی آمار و ارقام، از لحاظ سرمایه و حجم نیروی انسانی درگیر، بزرگترین صنعت در کشور است. رشد سریع جمعیت و افزایش تقاضا، نیاز به کاهش زمان تحویل پروژه‌های عمرانی و کاهش زمان برگشت سرمایه سرمایه‌گذاران و عواملی از این قبیل باعث شده‌اند تا ضرورت ایجاد تحول در شیوه‌های سنتی صنعت ساختمان روزبه‌روز بیشتر شود. به نسبت سرمایه و نیروی کار درگیر در صنعت ساختمان، این صنعت پویایی لازم را در دهه‌های اخیر نداشته است. ایستایی و اینرسی در صنعت ساختمان بیش از هر مساله دیگری جامعه مهندسی و البته مصرف کنندگان را آزرده است. برای برون رفت از وضعیت موجود، ایجاد تحول‌های اساسی در این صنعت اجتناب ناپذیر است.

از نظر نگارنده یکی از این تحولات جدی می‌تواند استفاده از سقف‌های ساخته شده از صفحات پارچه سه بعدی با نخ شیشه باشد. محققین کشور در سال‌های اخیر به تکنولوژی تولید این متریل دست یافته‌اند. لازم است برای معرفی این تکنولوژی به اقشار مختلف صنعت ساختمان، تمهیدات متفاوتی اندیشیده شود. از نقطه نظر ایجاد جذابیت برای بازار، قطعاً مهم‌ترین جاذبه برای سرمایه‌گذاران صرفه اقتصادی است. این مساله در کنار اطمینان خاطر در عملکرد سازه، می‌تواند در گرایش بازار به این محصول راه‌گشا باشد.

برای مقایسه اقتصادی بین سیستمها، سازه هفت طبقه در نظر گرفته شده است. هدف این بخش تخمین مترتال مصرفی در سازه است. برای نیل به این هدف سازه برای سه حالت در نظر گرفته شده است.

جدول ۱ مدل‌های منظور شده برای مقایسه سازه ها

نوع سازه	سیستم باربر جانبی سازه معمول		سیستم باربر جانبی سازه پیشنهادی		پارامتر مقایسه
	در جهت طولی	در جهت عرضی	در جهت طولی	در جهت عرضی	هزینه
هفت مرتبه	قاب خمشی	قاب خمشی	قاب خمشی متوسط	قاب خمشی متوسط	هزینه
منظم	مهاربند ضربدری	قاب خمشی			

برای سازه های در دست بررسی، شرایط متداول ساخت و ساز شهری در نظر گرفته شده است. از جمله این شرایط می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- ❖ فرض خاک نوع ۳ در استاندارد ۲۸۰۰
- ❖ یک طبقه پارکینگ و ۶ طبقه مسکونی
- ❖ تیغه ها با وزن معادل ۱۰۰ کیلوگرم بر متر مربع
- ❖ دیوارهای پیرامونی از جنس لیکا (یا دیواری با همین حدود وزن)
- ❖ تراز پایه در فنداسیون

بدیهی است که نتایج بررسی برای شرایط تشریح شده برای سایر شرایط با کمی تقریب قابل تعمیم خواهد بود. لازم است اشاره شود که برای سازه با سقف پیشنهادی بدترین شرایط در هندسه دیده شده است. بدیهی است که در شرایطی، این سازه می‌تواند به وزنهای پایین‌تر هم برسد. برای هر سه سیستم، مقایسه صرفاً برای المانهای اسکلت مورد نظر است. در واقع در این گزارش در فصل ابتدایی، سیستم سقف (کامپوزیت، عرشه فولادی یا پارچه سه بعدی با نخ شیشه) مورد بررسی نیست. در ادامه و در بخشهای جداگانه مقایسه یاد شده انجام خواهد شد و نتایج مقایسه ارائه خواهد شد.

فصل ۲ فصل دوم - نتایج تحلیل برای مدل‌های سه‌گانه پیشنهادی

طراحی سازه با مصالح معمول

برای طراحی سازه در شرایط معمول، با توجه به اینکه مصالح مصرفی بیش از هر پارامتر دیگری به سیستم باربر جانبی وابسته است، دو نوع سازه در نظر گرفته شده است. در ادامه دو سازه مورد اشاره معرفی، طراحی و بررسی خواهند شد.

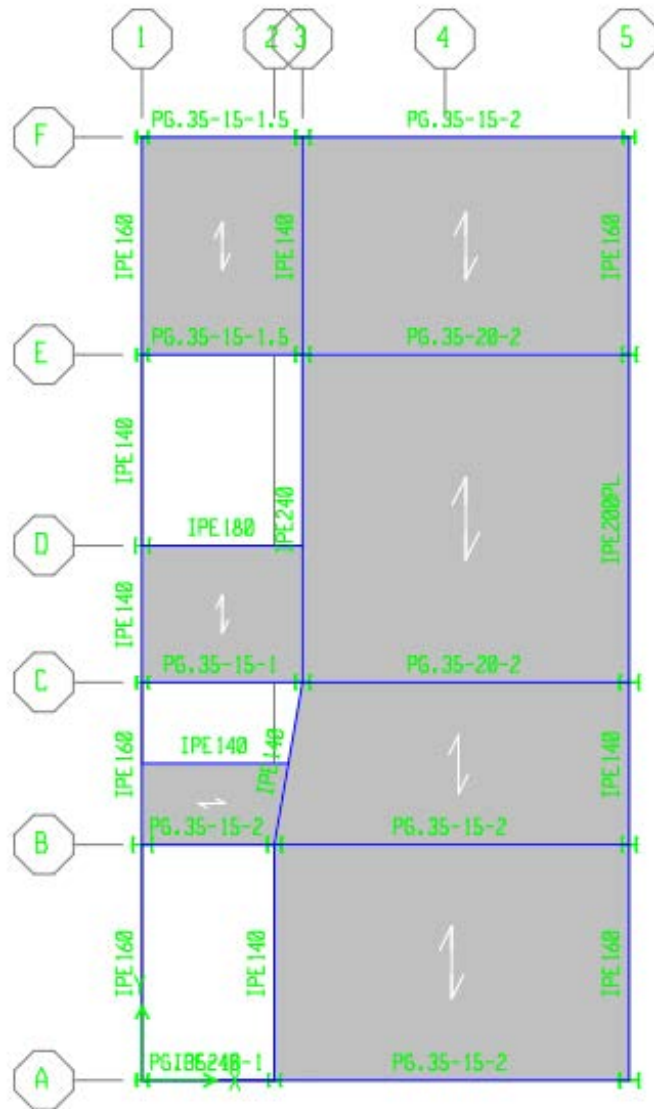
طراحی سازه با قاب خمشی متوسط و مهاربند همگرا

مشخصات کلی مصالح و خاک مطابق جدول ۲ است.

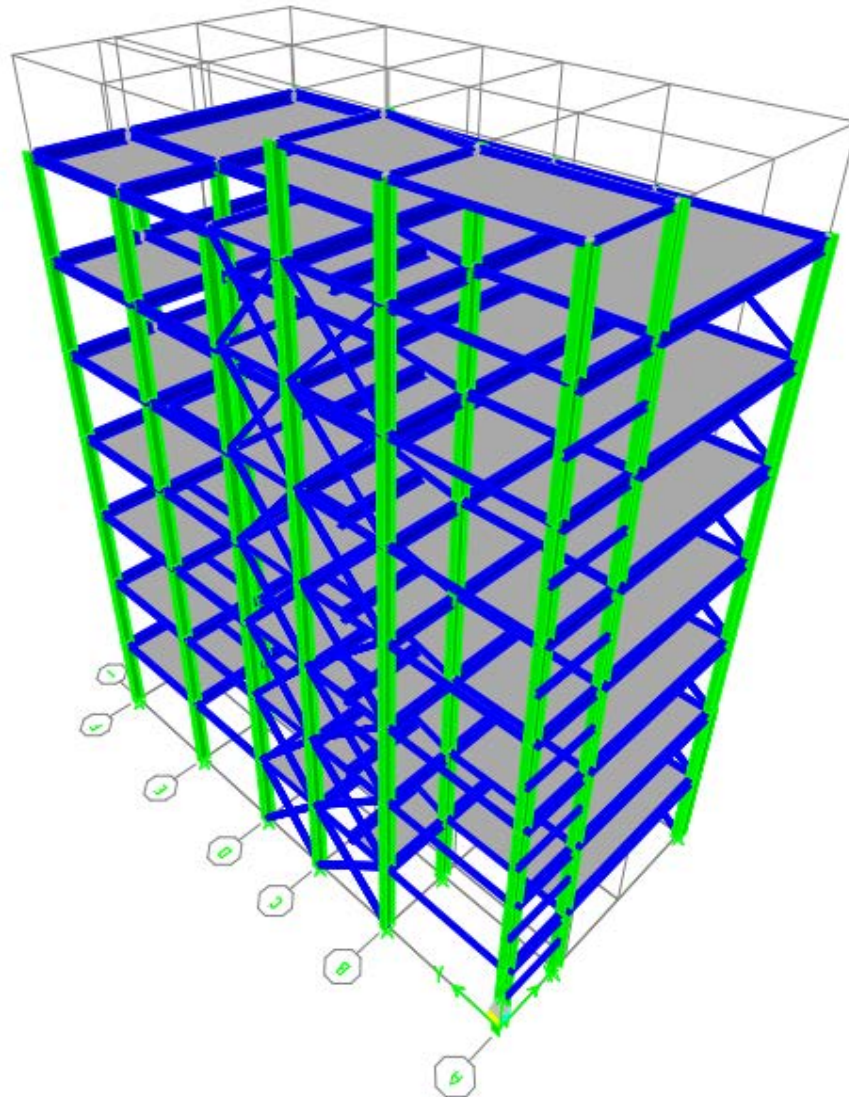
جدول ۲- مشخصات کلی ساختمان

محل احداث ساختمان:	تهران
کاربری:	مسکونی
نوع خاک:	تیپ III
مقاومت ۲۸ روزه بتن مصرفی در سقف‌ها:	210 kg/cm^2
فولاد مصرفی:	ST-37

پلان طبقات ساختمان در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین در شکل ۲، مدل سه‌بعدی سازه مشاهده می‌شود.



شکل ۱- پلان تیپ طبقات



شکل ۲- مدل سه بعدی سازه

منابع و آیین نامه ها

به منظور بارگذاری، تحلیل و طراحی سازه از آیین نامه های به شرح

جدول ۳ استفاده می‌شود.

جدول ۳- منابع و آیین‌نامه‌ها

ردیف	نام مرجع	موارد استفاده از مرجع
۱	مبحث ششم مقررات ملی ساختمان	بارگذاری بار مرده، بار زنده و بار باد
۲	مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۸۷	طراحی سازه فولادی
۳	استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم	بارگذاری زلزله

نرم‌افزارها

به منظور مدل‌سازی، تحلیل و طراحی سازه از نرم‌افزارهای ارائه شده در جدول ۴ استفاده می‌گردد.

جدول ۴- نرم‌افزارهای مورد استفاده

ردیف	نام نرم‌افزار	موارد استفاده از نرم‌افزار
۱	CSI-ETABS 9.7.4	مدل‌سازی، تحلیل و طراحی سازه

انواع حالات بارگذاری

بارهای وارد بر ساختمان مطابق جدول ۵ در نظر گرفته شده است.

جدول ۵- بارهای وارد بر ساختمان

ردیف	نوع بارگذاری	نشانه
------	--------------	-------

D	بار مرده	۱
L	بار زنده	۲
E	اثر زلزله	۳

ترکیبات بار

ترکیبات بار استفاده شده در طراحی، مطابق با آیین‌نامه AISC-ASD89 می‌باشد که در جدول ۶ ارائه شده است. این ترکیبات بار مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان نیز هستند و با توجه به عدم استفاده از ضریب ۰/۷۵ در ترکیبات بار شامل اثر زلزله، تنش‌های مجاز طراحی، تا ۳۳٪ افزایش داده می‌شود.

جدول ۶- ترکیبات بار AISC-ASD-89 در روش تنش مجاز

ردیف	ترکیب بار
1	$D+L$
2	$D+L \pm Ex$
3	$D+L \pm Ey$
4	$D \pm Ex$
5	$D \pm Ey$

بار مرده

بارهای مرده عبارتند از وزن اجزای دائمی ساختمان‌ها مانند تیرها، ستون‌ها، دیوارها، کف‌ها، راه‌پله و نما. وزن تاسیسات و تجهیزات ثابت که سیال در آن‌ها وجود ندارد و یا دبی سیال عبوری از آن‌ها ثابت است مانند چیلر، فن کوئل، ژنراتور، هواساز، آگزاست فن و... نیز در این ردیف بارها محسوب می‌شوند.

در این پروژه، میتوان سقف‌ها از نوع کرومیت یا عرشه فرض نمود و با توجه به جزئیات کفسازی رایج، وزن سقف به میزان 550 کیلوگرم بر مترمربع منظور شده است.

بار زنده

بار زنده کف‌ها به منظور طراحی، عمدتاً بار گسترده یکنواختی است که در سراسر کف اثر داده می‌شود. علاوه بر آن، کف‌ها باید بتوانند بارهای متمرکز تعیین شده را به صورت موضعی تحمل نمایند. بارهای متمرکز در سطحی مربعی با بعد

۱۵ سانتی متر وارد می شود و محل آن باید طوری در نظر گرفته شود که بیشترین اثر را در عضو ایجاد نماید. این بار، نباید همزمان با بار یکنواخت به کف اثر داده شود.

بر مبنای مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، در مواردی که کاربری بخشی از ساختمان با مواد مندرج در جدول شماره ۱-۳-۶ این آیین نامه، تطابق نداشته باشد، مقادیر بار کفها باید با در نظر گرفتن نکات زیر تعیین گردند ولی در هر حال مقادیر این بارها نباید کمتر از 150 kg/m^2 در نظر گرفته شود.

- وزن افرادی که احتمالا در آنجا تجمع خواهند نمود.
 - وزن تجهیزات و دستگاه هایی که احتمالا در آنجا قرار خواهند گرفت.
 - وزن موادی که احتمالا در آنجا انبار خواهد شد.
- بارهای زنده ارائه شده در این آیین نامه برای بخش های مختلف ساختمان با کاربری های متفاوت در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- مقادیر بار زنده برای کاربری های مختلف بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان

ردیف	کاربری	بار گسترده kg/m^2
۱	اتاق های مسکونی	۲۰۰
۲	بام	۱۵۰

اثر زلزله

در این بخش، نحوه لحاظ نمودن اثرات ناشی از زلزله مورد بررسی قرار می گیرد. بارهای تعیین شده در این قسمت با استفاده از تحلیل های خطی و با در نظر گیری ظرفیت جذب انرژی سازه در اثر رفتار غیرارتجاعی آن به دست می آید.

پریود ارتعاشی حاکم ساختمان

با توجه به اینکه ارتفاع لرزه ای ساختمان $23/10$ متر است، زمان تناوب اصلی نوسان، بسته به مشخصات ساختمان، مطابق آیین نامه ۲۸۰۰، تعیین می گردد. این مقدار برای سیستم قاب خمشی فولادی و قاب ساده مهاربندی بر حسب ارتفاع ساختمان H ، از روابط زیر محاسبه می گردد.

$$T = 0.08H^{0.75} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$T = 0.05H^{0.75} \quad \text{رابطه ۲}$$

به جای استفاده از رابطه تجربی فوق می‌توان زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان را با استفاده از روش‌های تحلیلی محاسبه نمود، ولی مقدار آن نباید از ۱/۲۵ برابر مقدار محاسبه شده از روابط تجربی بیشتر باشد.

اهمیت ساختمان

بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰، ساختمان مورد نظر در رده ساختمان‌های با اهمیت متوسط قرار می‌گیرد و ضریب اهمیت ۱ به آن اختصاص می‌یابد.

گروه‌بندی ساختمان‌ها بر حسب شکل

بر مبنای آیین نامه ۲۸۰۰، ساختمان‌ها به دو دسته منظم و نامنظم تقسیم می‌شوند. منظمی و یا نامنظمی هر ساختمان هم در پلان و هم در ارتفاع بررسی می‌شود. این ساختمان از نوع منظم در پلان و ارتفاع طبقه‌بندی شده است.

پارامترهای لرزه‌ای سیستم سازه‌ای

بر مبنای آیین نامه ۲۸۰۰ ایران، ضریب رفتار سیستم‌های سازه‌ای بر اساس سطح مقاومت R_u تعریف شده است که برای سیستم قاب خمشی فولادی متوسط برابر با ۵ و برای مهاربند هم‌محور فولادی برابر با ۳/۵ در نظر گرفته شده است. همچنین ضریب بزرگنمایی تغییرمکان‌های ارتجاعی سیستم به ترتیب برابر با ۴ و ۳/۵ تعریف شده است. ضریب اضافه مقاومت نیز به ترتیب ۳ و ۲ می‌باشد.

با توجه به استفاده از روش تنش مجاز در طراحی، ضرایب رفتار فوق در ضریب ۱/۴ ضرب شده و در تحلیل و طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین به منظور کنترل تغییرمکان نسبی جانبی طبقات، ضرایب بزرگنمایی تغییر مکان در ۱/۴ ضرب می‌شوند.

راستای اثر زلزله

✓ در این پروژه، اثر همزمان نیروی زلزله (با استفاده از روش ۱۰۰-۳۰) برای ستون‌های مجاور بادبندها در نظر گرفته شده است.

محدوده کاربرد روش‌های تحلیل لرزه‌ای

الف- روش استاتیکی معادل را تنها در موارد ذیل می‌توان به کار برد:

- ساختمان‌های منظم با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از تراز پایه
- ساختمان‌های نامنظم تا ۵ طبقه و یا با ارتفاع کمتر از ۱۸ متر از تراز پایه

ب- روش‌های تحلیل دینامیکی را در مورد کلیه ساختمان‌ها می‌توان به کار برد ولی به کارگیری آن‌ها برای ساختمان‌هایی که مشمول شرایط استفاده از روش استاتیکی معادل نمی‌شوند، الزامی است.

بنابراین، در این پروژه، از روش تحلیل استاتیکی معادل استفاده شده است.

دوره تناوب تحلیلی ساختمان

در این پروژه به منظور محاسبه دوره تناوب تحلیلی ساختمان از آنالیز مودال استفاده می‌شود. نتایج حاصل از آنالیز مودال نشان می‌دهد، دوره تناوب سازه در راستای قاب خمشی برابر با ۱/۳۶ ثانیه و در راستای مهاربندی برابر با ۰/۶۲ ثانیه است.

نیروی برش پایه بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران

بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ ایران، حداقل نیروی برشی پایه یا مجموع نیروهای جانبی زلزله در هر یک از امتدادهای ساختمان، از رابطه زیر و به صورت نسبتی از وزن موثر ساختمان به دست می‌آید.

$$V = CW \quad \text{رابطه ۳}$$

W : وزن موثر ساختمان که برابر است با کل بار مرده به اضافه درصدی از بار زنده

C : ضریب زلزله که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$C = \frac{ABI}{R} \quad \text{رابطه ۴}$$

A : شتاب نسبی طرح بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زلزله که برای تهران برابر است با ۰/۳۵ شتاب ثقل.

B : ضریب بازتاب ساختمان که با توجه به دوره تناوب حاکم ساختمان در هر راستا، از طیف طرح به دست می‌آید.

I : ضریب اهمیت ساختمان که بر اساس توضیحات قبل برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود.

R : ضریب رفتار ساختمان، که بر مبنای شکل پذیری و قابلیت جذب انرژی سیستم سازه‌ای تعریف می‌شود و برای سیستم قاب خمشی فولادی با شکل پذیری متوسط برابر با ۵ و برای مهاربند هم‌محور فولادی برابر با ۳/۵ می‌باشد.

محاسبه ضریب زلزله استاتیکی در فایل اصلی (Main)

در این قسمت دوره تناوب ارتعاشی حاکم ساختمان در دو راستا، با استفاده از روابط تجربی برابر با مقدار ذیل به دست می‌آید. در هیچ حالتی مقدار دوره تناوب به دست آمده از روابط زیر نباید بیشتر از دوره تناوب حاکم حاصل از آنالیز مودال باشد.

$$T_x = 0.08H^{3/4} = 0.84 \rightarrow 1.25 * 0.84 = 1.05 \text{ sec} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$T_y = 0.05H^{3/4} = 0.53 \rightarrow 1.25 * 0.53 = 0.65 \text{ sec} \quad \text{رابطه ۶}$$

$$B_x = 2.75 \left(\frac{T_s}{T} \right) \left(\frac{0.7}{4 - T_s} (T - T_s) + 1 \right) = 2.75 \left(\frac{0.7}{1.05} \right) * 1.075 = 1.97 \quad \text{رابطه ۷}$$

$$B_x = 2.75 \left(\frac{0.7}{4 - T_s} (T - T_s) + 1 \right) = 2.75 * 1 = 2.75 \quad \text{رابطه ۸}$$

$$C_x = \frac{ABI}{R} = \frac{0.35 * 1.97 * 1}{5 * 1.4} = 0.1 \quad \text{رابطه ۹}$$

$$C_y = \frac{ABI}{R} = \frac{0.35 * 2.75 * 1}{3.5 * 1.4} = 0.2 \quad \text{رابطه ۱۰}$$

۲-۱-۱ محاسبه ضریب زلزله استاتیکی در فایل Drift

محاسبه تغییرمکان جانبی نسبی طبقات بر اساس این فایل انجام می‌شود. تفاوت اصلی این فایل با فایل اصلی در عدم رعایت محدودیت ۱/۲۵ برابر دوره تناوب اصلی می‌باشد. بدین منظور از مقادیر دوره تناوب حاصل از آنالیز استفاده می‌شود که برای راستای X برابر با ۱/۵۹ و برای راستای Y، ۰/۶۸ ثانیه به دست آمده است.

$$C_x = 0.08 \text{ \& } C_y = 0.2$$

رابطه ۱۱

کنترل لزوم تشدید برون از مرکزی تصادفی

طبق آیین نامه ۲۸۰۰ می‌بایست حداقل برون مرکزی در هر دو راستا برابر با ۵ درصد بعد ساختمان در آن طبقه، در امتداد عمود بر نیروی جانبی، اختیار شود. در صورتی که بیشینه تغییر مکان هر طبقه بزرگتر از ۱/۲ برابر متوسط تغییر مکان دو انتهای ساختمان در آن طبقه باشد می‌بایست برون مرکزی تصادفی در ضریب تشدید A_z ضرب شود. همانطور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود این نسبت، در همه طبقات و برای کلیه بارهای لرزه‌ای در محدوده قابل قبول قرار داشته و نیاز به تشدید برون از مرکزی اتفاقی نمی‌باشد.

جدول ۸- کنترل لزوم تشدید خروج از مرکزیت تصادفی

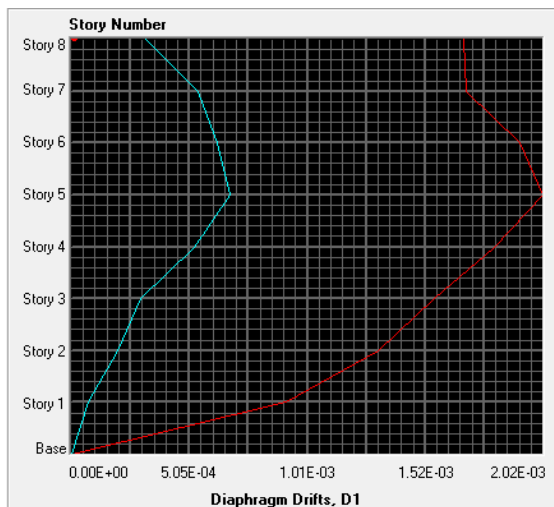
STORY	Load Case	Direction	Max	Avg.	Ratio
STORY7	EXP	X	8.9769	8.913	1.007
STORY6	EXP	X	8.2506	8.2306	1.002
STORY5	EXP	X	7.3303	7.32	1.001
STORY4	EXP	X	6.2445	6.2119	1.005
STORY3	EXP	X	5.0418	5.0085	1.007
STORY2	EXP	X	3.776	3.741	1.009
STORY1	EXP	X	2.3337	2.2991	1.015
STORY7	EXN	X	10.013	9.0008	1.112
STORY6	EXN	X	9.1476	8.3038	1.102
STORY5	EXN	X	8.0446	7.3778	1.09
STORY4	EXN	X	6.7465	6.2544	1.079
STORY3	EXN	X	5.3791	5.0404	1.067
STORY2	EXN	X	3.9556	3.7632	1.051

STORY	Load Case	Direction	Max	Avg.	Ratio
STORY1	EXN	X	2.3829	2.3114	1.031
STORY7	EYP	Y	3.2965	3.175	1.038
STORY6	EYP	Y	2.7701	2.6826	1.033
STORY5	EYP	Y	2.191	2.1358	1.026
STORY4	EYP	Y	1.6319	1.6071	1.015
STORY3	EYP	Y	1.0989	1.0953	1.003
STORY2	EYP	Y	0.6368	0.6257	1.018
STORY1	EYP	Y	0.2792	0.2607	1.071
STORY7	EYN	Y	3.7635	3.2467	1.159
STORY6	EYN	Y	3.1728	2.7407	1.158
STORY5	EYN	Y	2.5194	2.1799	1.156
STORY4	EYN	Y	1.8834	1.6378	1.15
STORY3	EYN	Y	1.2745	1.114	1.144
STORY2	EYN	Y	0.7193	0.6342	1.134
STORY1	EYN	Y	0.2879	0.2615	1.101
STORY7	EX	X	9.495	8.9569	1.06
STORY6	EX	X	8.6991	8.2672	1.052
STORY5	EX	X	7.6772	7.3489	1.045
STORY4	EX	X	6.4629	6.2332	1.037
STORY3	EX	X	5.1771	5.0244	1.03
STORY2	EX	X	3.8307	3.7521	1.021
STORY1	EX	X	2.3237	2.3052	1.008
STORY7	EY	Y	3.53	3.2108	1.099
STORY6	EY	Y	2.9714	2.7117	1.096

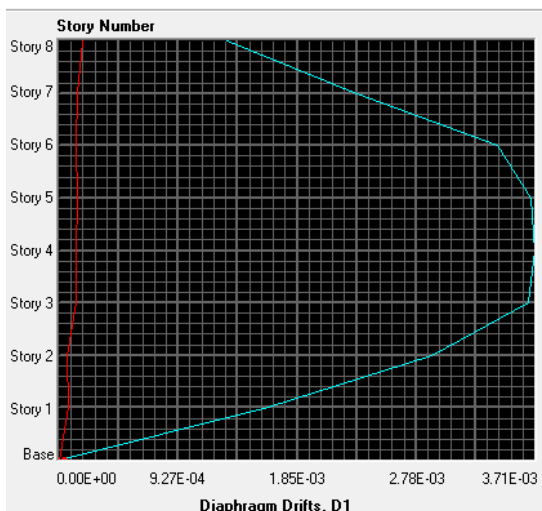
STORY	Load Case	Direction	Max	Avg.	Ratio
STORY5	EY	Y	2.3552	2.1578	1.091
STORY4	EY	Y	1.7577	1.6224	1.083
STORY3	EY	Y	1.1867	1.1047	1.074
STORY2	EY	Y	0.667	0.63	1.059
STORY1	EY	Y	0.265	0.2611	1.015

کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات برای زلزله طرح

طبق آیین نامه ۲۸۰۰، تغییر مکان جانبی نسبی واقعی طرح طبقات برای سازه‌های دارای بیش از ۵ طبقه به مقدار 0.02 برابر ارتفاع طبقه محدود می‌گردد. لذا باید مقادیر حاصل از تحلیل خطی، در ضریب بزرگنمایی تغییرمکانها ضرب شود و با مقدار مجاز مقایسه گردد. بدین منظور می‌توان مقدار 0.02 را بر $4 \times 1/4$ برای جهت قاب خمشی (X) و بر $3/5 \times 1/4$ برای جهت مهاربندی (Y) تقسیم نمود و با مقادیر حاصل از تحلیل خطی در نرم‌افزار مقایسه نمود. بنابراین، مقادیر حاصل نباید از مقدار 0.036 برای قاب خمشی و از 0.041 برای مهاربندی بیشتر باشد. در اشکال ۷ و ۸ مقادیر حاصل از تحلیل نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که برای همه طبقات و تحت اثر تمامی حالات بار زلزله، تغییرمکان جانبی نسبی طبقات در محدوده مجاز قرار گرفته است.



شکل ۴- تغییرمکان نسبی طبقات تحت اثر زلزله در راستای y



شکل ۳- تغییرمکان نسبی طبقات تحت اثر زلزله در راستای x

کنترل ستون‌ها ترکیب بارهای ویژه در فشار محوری

مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بار محوری ستون بدون در نظر گرفتن لنگر خمشی وارد بر آن می‌بایست در فشار محوری برای ترکیبات بار زلزله تشدید یافته به صورت زیر کنترل شود:

$$0.75P_D + 0.75P_L + 0.75\Omega_0P_E \leq F_a A \quad \text{رابطه ۱۲}$$

مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، ضریب افزایش مقاومت Ω_0 برای قاب‌های خمشی فولادی برابر با ۳ و برای مهاربند همگرای فولادی برابر با ۲ در نظر گرفته شده است. برای کنترل ترکیب بار فوق، فایلی جداگانه به نام OmegaP.EDB ساخته شده و ستون‌های ساختمان برای بار محوری فشاری حاصل از این ترکیب بار طراحی شده‌اند.

کنترل ستون‌ها ترکیب بارهای ویژه در کشش محوری

مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بار محوری ستون بدون در نظر گرفتن لنگر خمشی وارد بر آن می‌بایست در فشار محوری برای ترکیبات بار زلزله تشدید یافته به صورت زیر کنترل شود:

$$0.75P_D + 0.75\Omega_0P_E \leq 0.6f_y A \quad \text{رابطه ۱۳}$$

مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، ضریب افزایش مقاومت γ_{Rd} برای قاب‌های خمشی فولادی برابر با ۳ و برای مهاربند همگرای فولادی برابر با ۲ در نظر گرفته شده است. برای کنترل ترکیب بار فوق، فایلی جداگانه به نام OmegaT.EDB ساخته شده و ستون‌های ساختمان برای بار محوری کششی حاصل از این ترکیب بار طراحی شده‌اند.

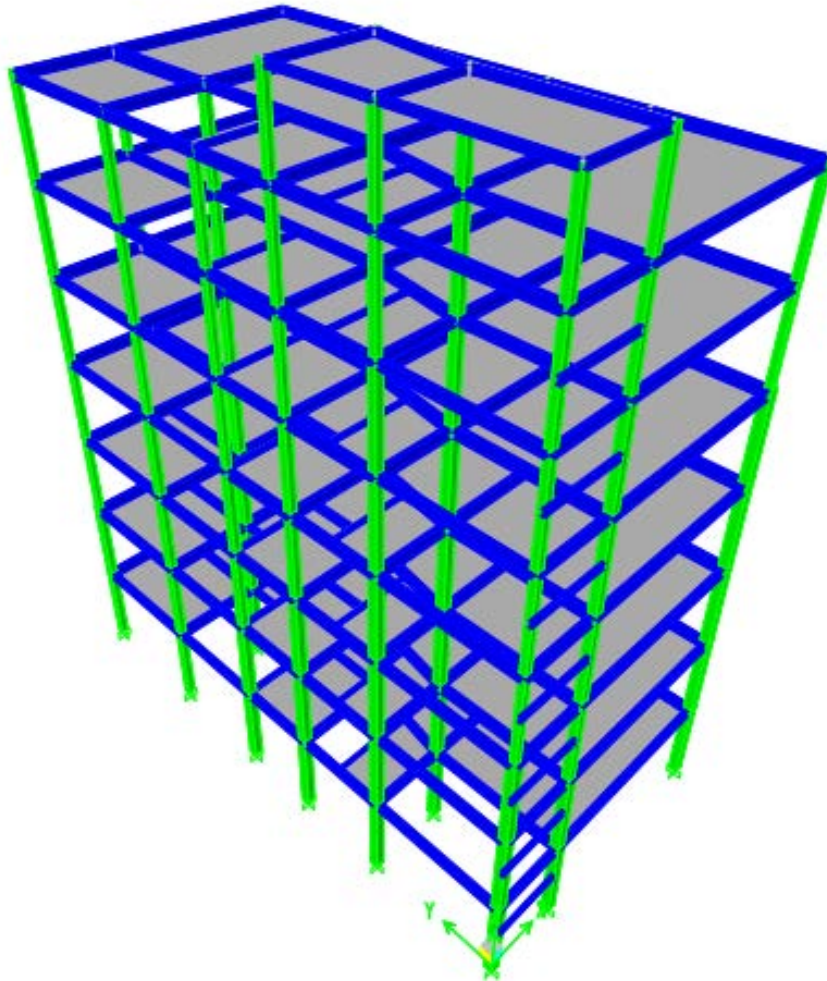
طراحی سازه با سیستم باربر جانبی قاب خمشی در دو جهت (مصالح معمول)

در این مساله نیز فرضیات مساله تفاوتی با حالت پیشین ندارد. مشخصات کلی مصالح و خاک مطابق جدول ۹ می‌باشد.

جدول ۹- مشخصات کلی ساختمان

محل احداث ساختمان:	تهران
کاربری:	مسکونی
نوع خاک:	تیپ III
مقاومت ۲۸ روزه بتن مصرفی در سقف‌ها:	210 kg/cm^2
فولاد مصرفی:	ST-37

مدل سه بعدی سازه در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵- مدل سه بعدی سازه

منابع و آیین نامه ها

به منظور بارگذاری، تحلیل و طراحی سازه از آیین نامه هایی که در بخش پیشین اشاره شده استفاده شده است.

نرم افزارها

برای تحلیل و طراحی از نرم افزار Etabs ویراست 9.7.4 استفاده شده است.

بار مرده و زنده

بارهای مرده و زنده مطابق با فرضیات سازه اول به سازه اعمال شده است.

اثر زلزله

در این بخش، نحوه لحاظ نمودن اثرات ناشی از زلزله مورد بررسی قرار می‌گیرد. بارهای تعیین شده در این قسمت با استفاده از تحلیل‌های خطی و با در نظرگیری ظرفیت جذب انرژی سازه در اثر رفتار غیرارتجاعی آن به دست می‌آید.

پریود ارتعاشی حاکم ساختمان

با توجه به اینکه ارتفاع لرزه‌ای ساختمان ۲۳/۱۰ متر است، زمان تناوب اصلی نوسان، بسته به مشخصات ساختمان، مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰، تعیین می‌گردد. این مقدار برای سیستم قاب خمشی فولادی و قاب ساده مهاربندی بر حسب ارتفاع ساختمان H ، از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$T = 0.08H^{0.75} \quad \text{رابطه ۱۴}$$

به جای استفاده از رابطه تجربی فوق می‌توان زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان را با استفاده از روش‌های تحلیلی محاسبه نمود، ولی مقدار آن نباید از ۱/۲۵ برابر مقدار محاسبه‌شده از روابط تجربی بیشتر باشد.

اهمیت ساختمان

ضریب اهمیت ۱ به سازه اختصاص داده شده است.

گروه‌بندی ساختمان‌ها بر حسب شکل

این ساختمان از نوع منظم در پلان و ارتفاع طبقه‌بندی شده است.

پارامترهای لرزه‌ای سیستم سازه‌ای

بر مبنای آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، ضریب رفتار سیستم‌های سازه‌ای بر اساس سطح مقاومت R_u تعریف شده است که برای سیستم قاب خمشی فولادی متوسط برابر با ۵ در نظر گرفته شده است. همچنین ضریب بزرگنمایی تغییر مکان‌های ارتجاعی سیستم برابر با ۴ تعریف شده است. ضریب اضافه مقاومت نیز ۳ می‌باشد.

با توجه به استفاده از روش تنش مجاز در طراحی، ضرایب رفتار فوق در ضریب ۱/۴ ضرب شده و در تحلیل و طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین به منظور کنترل تغییر مکان نسبی جانبی طبقات، ضرایب بزرگنمایی تغییر مکان در ۱/۴ ضرب می‌شوند.

راستای اثر زلزله

✓ در این پروژه، اثر همزمان نیروی زلزله برای کلیه ستون‌های مجاور بادبندها در نظر گرفته شده است.

محدوده کاربرد روش‌های تحلیل لرزه‌ای

الف- روش استاتیکی معادل را تنها در موارد ذیل می‌توان به کار برد:

- ساختمان‌های منظم با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از تراز پایه
- ساختمان‌های نامنظم تا ۵ طبقه و یا با ارتفاع کمتر از ۱۸ متر از تراز پایه

ب- روش‌های تحلیل دینامیکی را در مورد کلیه ساختمان‌ها می‌توان به کار برد ولی به کارگیری آن‌ها برای ساختمان‌هایی که مشمول شرایط استفاده از روش استاتیکی معادل نمی‌شوند، الزامی است. بنابراین، در این پروژه، از روش تحلیل استاتیکی معادل استفاده شده است.

دوره تناوب تحلیلی ساختمان

در این پروژه به منظور محاسبه دوره تناوب تحلیلی ساختمان از آنالیز مودال استفاده می‌شود. نتایج حاصل از آنالیز مودال نشان می‌دهد، دوره تناوب سازه در راستای عرضی برابر با ۱/۴۳ ثانیه و در راستای طولی برابر با ۱/۳۸ ثانیه است.

نیروی برش پایه بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران

بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ ایران، حداقل نیروی برشی پایه یا مجموع نیروهای جانبی زلزله در هر یک از امتدادهای ساختمان، از رابطه زیر و به صورت نسبتی از وزن موثر ساختمان به دست می‌آید.

$$V = CW$$

رابطه ۱۵

W: وزن موثر ساختمان که برابر است با کل بار مرده به اضافه درصدی از بار زنده

C: ضریب زلزله که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$C = \frac{ABI}{R} \quad \text{رابطه ۱۶}$$

A: شتاب نسبی طرح بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زلزله که برای تهران برابر است با ۰/۳۵ شتاب ثقل.

B: ضریب بازتاب ساختمان که با توجه به دوره تناوب حاکم ساختمان در هر راستا، از طیف طرح به دست می‌آید.

I: ضریب اهمیت ساختمان که بر اساس توضیحات قبل برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود.

R: ضریب رفتار ساختمان، که بر مبنای شکل‌پذیری و قابلیت جذب انرژی سیستم سازه‌ای تعریف می‌شود و برای سیستم قاب خمشی فولادی با شکل‌پذیری متوسط برابر با ۵ می‌باشد.

محاسبه ضریب زلزله استاتیکی در فایل اصلی (Main)

در این قسمت دوره تناوب ارتعاشی حاکم ساختمان در دو راستا، با استفاده از روابط تجربی برابر با مقدار ذیل به دست می‌آید. در هیچ حالتی مقدار دوره تناوب به دست آمده از روابط زیر نباید بیشتر از دوره تناوب حاکم حاصل از آنالیز مودال باشد.

$$T_x = T_y = 0.08H^{3/4} = 0.84 \rightarrow 1.25 * 0.84 = 1.05 \text{ sec} \quad \text{رابطه ۱۷}$$

$$B_x = B_y = 2.75 \left(\frac{T_s}{T} \right) \left(\frac{0.7}{4 - T_s} (T - T_s) + 1 \right) = 2.75 \left(\frac{0.7}{1.05} \right) * 1.075 = 1.97 \quad \text{رابطه ۱۸}$$

$$C_x = C_y = \frac{ABI}{R} = \frac{0.35 * 1.97 * 1}{5 * 1.4} = 0.1 \quad \text{رابطه ۱۹}$$

محاسبه ضریب زلزله استاتیکی در فایل Drift

محاسبه تغییرمکان جانبی نسبی طبقات بر اساس این فایل انجام می‌شود. تفاوت اصلی این فایل با فایل اصلی در عدم رعایت محدودیت ۱/۲۵ برابر دوره تناوب اصلی می‌باشد. بدین منظور از مقادیر دوره تناوب حاصل از آنالیز استفاده می‌شود که برای راستای X برابر با ۱/۴۳ و برای راستای Y، ۱/۳۸ ثانیه به دست آمده است.

$$C_x = 0.078 \text{ \& } C_y = 0.08$$

رابطه ۲۰

کنترل لزوم تشدید برون از مرکزی تصادفی

طبق آیین نامه ۲۸۰۰ می‌بایست حداقل برون مرکزی در هر دو راستا برابر با ۵ درصد بعد ساختمان در آن طبقه، در امتداد عمود بر نیروی جانبی، اختیار شود. در صورتی که بیشینه تغییر مکان هر طبقه بزرگتر از ۱/۲ برابر متوسط تغییر مکان دو انتهای ساختمان در آن طبقه باشد می‌بایست برون مرکزی تصادفی در ضریب تشدید A_z ضرب شود. همانطور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود این نسبت، در همه طبقات و برای کلیه بارهای لرزه‌ای در محدوده قابل قبول قرار داشته و نیاز به تشدید برون از مرکزی اتفاقی نمی‌باشد.

جدول ۱۰- کنترل لزوم تشدید خروج از مرکزیت تصادفی

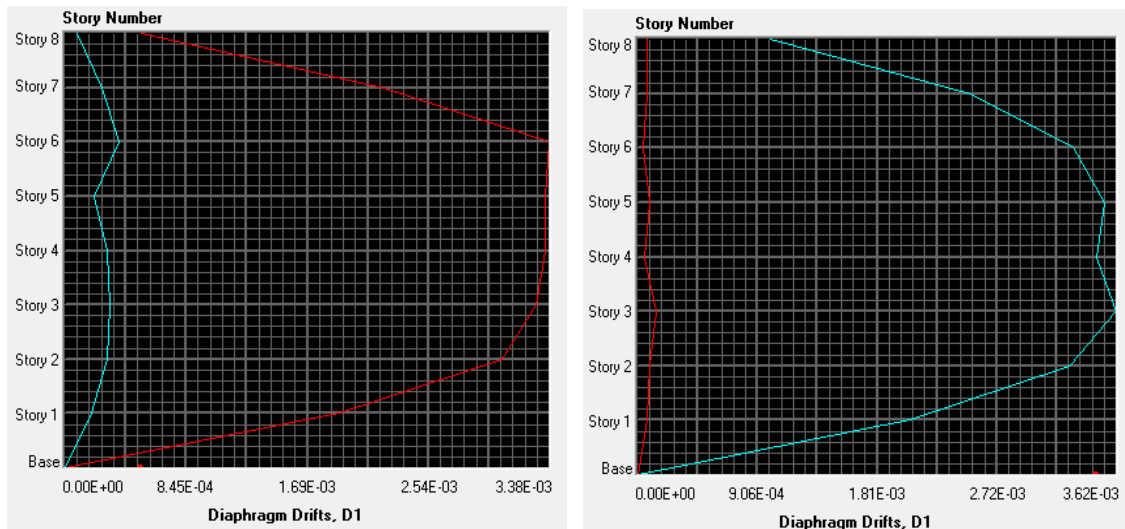
Story	Case	Direction	Max	Avg.	Ratio
STORY7	EX	X	9.3537	9.185	1.018
STORY6	EX	X	8.3218	8.11	1.026
STORY5	EX	X	6.8679	6.6588	1.031
STORY4	EX	X	5.3241	5.1523	1.033
STORY3	EX	X	3.8224	3.6575	1.045
STORY2	EX	X	2.2678	2.1811	1.04
STORY1	EX	X	0.8738	0.832	1.05
STORY7	EPX	X	10.709	9.2187	1.162
STORY6	EPX	X	9.5279	8.1451	1.17
STORY5	EPX	X	7.8471	6.6902	1.173
STORY4	EPX	X	6.073	5.1773	1.173
STORY3	EPX	X	4.3517	3.6789	1.183
STORY2	EPX	X	2.5772	2.1927	1.175
STORY1	EPX	X	0.9944	0.8373	1.188

Story	Case	Direction	Max	Avg.	Ratio
STORY7	ENX	X	10.3043	9.1513	1.126
STORY6	ENX	X	9.0341	8.0749	1.119
STORY5	ENX	X	7.3663	6.6275	1.111
STORY4	ENX	X	5.6795	5.1273	1.108
STORY3	ENX	X	3.9792	3.6361	1.094
STORY2	ENX	X	2.3808	2.1695	1.097
STORY1	ENX	X	0.9001	0.8267	1.089
STORY7	EY	Y	8.7077	8.345	1.043
STORY6	EY	Y	7.743	7.4334	1.042
STORY5	EY	Y	6.2871	6.0515	1.039
STORY4	EY	Y	4.8572	4.6576	1.043
STORY3	EY	Y	3.4397	3.2939	1.044
STORY2	EY	Y	2.0621	1.9725	1.045
STORY1	EY	Y	0.7936	0.7584	1.046
STORY7	EPY	Y	9.0854	8.3708	1.085
STORY6	EPY	Y	8.0764	7.455	1.083
STORY5	EPY	Y	6.5554	6.0674	1.08
STORY4	EPY	Y	5.064	4.6717	1.084
STORY3	EPY	Y	3.5854	3.3044	1.085
STORY2	EPY	Y	2.148	1.9791	1.085
STORY1	EPY	Y	0.8269	0.761	1.087
STORY7	ENY	Y	8.3299	8.3191	1.001
STORY6	ENY	Y	7.414	7.4119	1

Story	Case	Direction	Max	Avg.	Ratio
STORY5	ENY	Y	6.0523	6.0355	1.003
STORY4	ENY	Y	4.6504	4.6436	1.001
STORY3	ENY	Y	3.294	3.2834	1.003
STORY2	ENY	Y	1.9762	1.9659	1.005
STORY1	ENY	Y	0.7603	0.7558	1.006

کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات برای زلزله طرح

طبق آیین نامه ۲۸۰۰، تغییر مکان جانبی نسبی واقعی طرح طبقات برای سازه‌های دارای بیش از ۵ طبقه به مقدار 0.2% برابر ارتفاع طبقه محدود می‌گردد. لذا باید مقادیر حاصل از تحلیل خطی، در ضریب بزرگنمایی تغییرمکانها ضرب شود و با مقدار مجاز مقایسه گردد. بدین منظور می‌توان مقدار 0.2% را بر $4/1 \times 4$ تقسیم نمود و با مقادیر حاصل از تحلیل خطی در نرم‌افزار مقایسه نمود. بنابراین، مقادیر حاصل نباید از مقدار 0.0036% بیشتر باشد. در اشکال ۷ و ۸ مقادیر حاصل از تحلیل نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که برای همه طبقات و تحت اثر تمامی حالات بار زلزله، تغییرمکان جانبی نسبی طبقات در محدوده مجاز قرار گرفته است.



شکل ۶- تغییر مکان نسبی طبقات تحت اثر زلزله در راستای x شکل ۷- تغییر مکان نسبی طبقات تحت اثر زلزله در راستای y

کنترل ستون‌ها ترکیب بارهای ویژه در فشار محوری

مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بار محوری ستون بدون در نظر گرفتن لنگر خمشی وارد بر آن می‌بایست در فشار محوری برای ترکیبات بار زلزله تشدید یافته به صورت زیر کنترل شود:

$$0.75P_D + 0.75P_L + 0.75\Omega_0 P_E \leq F_a A \quad \text{رابطه ۲۱}$$

مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، ضریب افزایش مقاومت Ω_0 برای قاب‌های خمشی فولادی برابر با ۳ در نظر گرفته شده است.

کنترل ستون‌ها ترکیب بارهای ویژه در کشش محوری

مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بار محوری ستون بدون در نظر گرفتن لنگر خمشی وارد بر آن می‌بایست در فشار محوری برای ترکیبات بار زلزله تشدید یافته به صورت زیر کنترل شود:

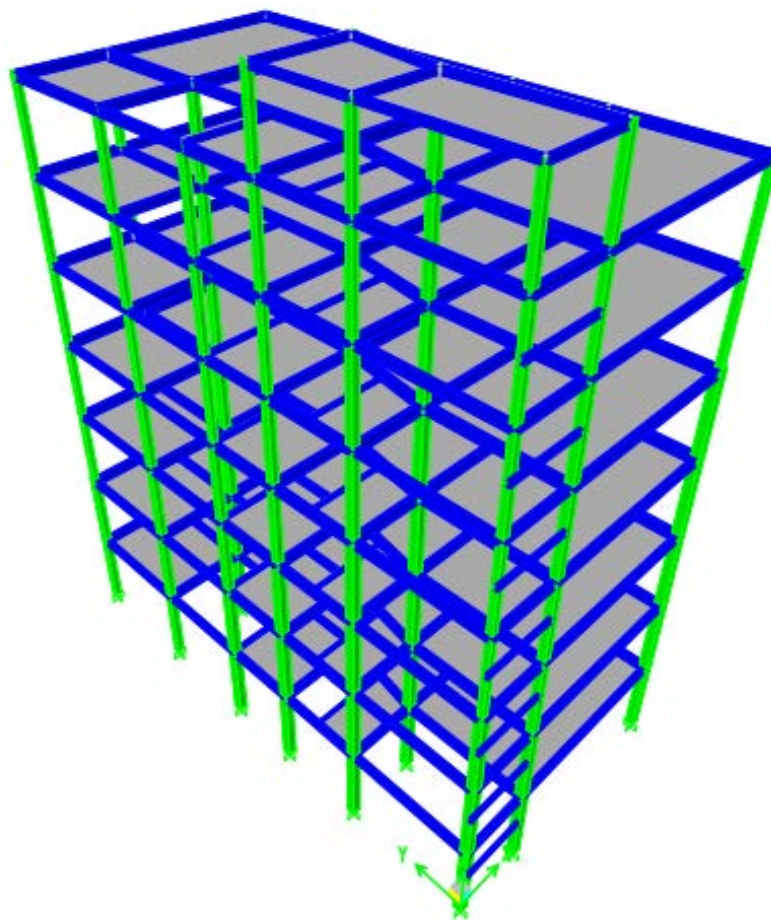
$$0.75P_D + 0.75\Omega_0 P_E \leq 0.6f_y A \quad \text{رابطه ۲۲}$$

مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، ضریب افزایش مقاومت Ω_0 برای قاب‌های خمشی فولادی برابر با ۳ در نظر گرفته شده است.

طراحی با سقف پیشنهادی

برای سقف پیشنهادی هم بدترین حالت ممکن منظور شده است. سیستم باربر جانبی برای این حالت در دو راستا قاب خمشی فولادی متوسط در نظر گرفته شده است. مشخصات کلی مصالح و خاک همانند دو مساله دیگر است. با این تفاوت که در سازه با سقف پیشنهادی بتن بکار گرفته نخواهد شد.

نکته مهم در مدلسازی این سازه آنست که سقف این ساختمان از نوع پارچه بافته شده با نخ شیشه است و لذا دیافراگم سقف از نوع انعطاف پذیر انتخاب خواهد شد. در شکل ۸، مدل سه بعدی سازه مشاهده می شود.



شکل ۸- مدل سه بعدی سازه

منابع و آیین نامه‌ها

به منظور بارگذاری، تحلیل و طراحی سازه از آیین نامه‌های به شرح

جدول ۳ استفاده می‌شود.

جدول ۱۱- منابع و آیین نامه‌ها

ردیف	نام مرجع	موارد استفاده از مرجع
۱	مبحث ششم مقررات ملی ساختمان	بارگذاری بار مرده، بار زنده و بار باد
۲	مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ۱۳۸۷	طراحی سازه فولادی
۳	استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم	بارگذاری زلزله

نرم افزارها

به منظور مدل سازی، تحلیل و طراحی سازه از نرم افزارهای ارائه شده در جدول ۳ استفاده می‌گردد.

جدول ۱۲- نرم افزارهای مورد استفاده

ردیف	نام نرم افزار	موارد استفاده از نرم افزار
۱	CSI-ETABS 9.7.4	مدل سازی، تحلیل و طراحی سازه

انواع حالات بارگذاری

حالات محتمل بارهای وارد بر ساختمان مطابق جدول ۵ در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۳- حالات محتمل بارهای وارد بر ساختمان

ردیف	نوع بارگذاری	نشانه
۱	بار مرده	D
۲	بار زنده	L
۳	اثر زلزله	E

ترکیبات بار

ترکیبات بار استفاده شده در طراحی، مطابق با آیین نامه AISC-ASD89 می باشد که در جدول ۶ ارائه شده است. این ترکیبات بار مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان نیز هستند و با توجه به عدم استفاده از ضریب ۰/۷۵ در ترکیبات بار شامل اثر زلزله، تنش های مجاز طراحی، تا ۳۳٪ افزایش داده می شود.

جدول ۱۴- ترکیبات بار AISC-ASD-89 در طراحی به روش تنش مجاز

ردیف	ترکیب بار
1	$D+L$
2	$D+L\pm Ex$
3	$D+L\pm Ey$
4	$D\pm Ex$
5	$D\pm Ey$

اثر زلزله در جدول ۶ بر اساس سطح تنش مجاز تعیین شده است.

بار مرده

در این پروژه، سقف ها از نوع نخ شیشه می باشند و با توجه به جزئیات کف سازی رایج، وزن آن به میزان 300 کیلوگرم بر مترمربع منظور شده است (این مقدار در جهت ضریب اطمینان خواهد بود).

بار زنده

بار زنده نسبت به دو مثال قبل تغییری نخواهد داشت.

جدول ۱۵- مقادیر بار زنده بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان

ردیف	کاربری	بارگسترده kg/m^2
۱	اتاق‌های مسکونی	۲۰۰
۲	بام	۱۵۰

اثر زلزله

در این بخش، نحوه لحاظ نمودن اثرات ناشی از زلزله مورد بررسی قرار می‌گیرد. بارهای تعیین شده در این قسمت با استفاده از تحلیل‌های خطی و با در نظرگیری ظرفیت جذب انرژی سازه در اثر رفتار غیرارتجاعی آن به دست می‌آید.

بر یود ارتعاشی حاکم ساختمان

با توجه به اینکه ارتفاع لرزه‌ای ساختمان ۲۳/۱۰ متر است، زمان تناوب اصلی نوسان، بسته به مشخصات ساختمان، مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰، تعیین می‌گردد. این مقدار برای سیستم قاب خمشی فولادی و قاب ساده مهاربندی بر حسب ارتفاع ساختمان H ، از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$T = 0.08H^{0.75} \quad \text{رابطه ۲۳}$$

به جای استفاده از رابطه تجربی فوق می‌توان زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان را با استفاده از روش‌های تحلیلی محاسبه نمود، ولی مقدار آن نباید از ۱/۲۵ برابر مقدار محاسبه‌شده از روابط تجربی بیشتر باشد.

اهمیت ساختمان

بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰، ساختمان مورد نظر در رده ساختمان‌های با اهمیت متوسط قرار می‌گیرد و ضریب اهمیت ۱ به آن اختصاص می‌یابد.

گروه‌بندی ساختمان‌ها بر حسب شکل

بر مبنای آیین‌نامه ۲۸۰۰، ساختمان‌ها به دو دسته منظم و نامنظم تقسیم می‌شوند. منظمی و یا نامنظمی هر ساختمان هم در پلان و هم در ارتفاع بررسی می‌شود. این ساختمان از نوع منظم در پلان و ارتفاع طبقه‌بندی شده است.

پارامترهای لرزه‌ای سیستم سازه‌ای

بر مبنای آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، ضریب رفتار سیستم‌های سازه‌ای بر اساس سطح مقاومت R_u تعریف شده است که برای سیستم قاب خمشی فولادی متوسط برابر با ۵ در نظر گرفته شده است. همچنین ضریب بزرگنمایی تغییرمکان‌های ارتجاعی سیستم برابر با ۴ تعریف شده است. ضریب اضافه مقاومت نیز ۳ می‌باشد.

با توجه به استفاده از روش تنش مجاز در طراحی، ضرایب رفتار فوق در ضریب $1/4$ ضرب شده و در تحلیل و طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین به منظور کنترل تغییرمکان نسبی جانبی طبقات، ضرایب بزرگنمایی تغییر مکان در $1/4$ ضرب می‌شوند.

راستای اثر زلزله

✓ در این پروژه، اثر همزمان نیروی زلزله برای کلیه ستون‌های مجاور بادبندها در نظر گرفته شده است.

محدوده کاربرد روش‌های تحلیل لرزه‌ای

الف- روش استاتیکی معادل را تنها در موارد ذیل می‌توان به کار برد:

- ساختمان‌های منظم با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از تراز پایه
- ساختمان‌های نامنظم تا ۵ طبقه و یا با ارتفاع کمتر از ۱۸ متر از تراز پایه

ب- روش‌های تحلیل دینامیکی را در مورد کلیه ساختمان‌ها می‌توان به کار برد ولی به کارگیری آن‌ها برای ساختمان‌هایی که مشمول شرایط استفاده از روش استاتیکی معادل نمی‌شوند، الزامی است.

بنابراین، در این پروژه، از روش تحلیل استاتیکی معادل استفاده شده است.

دوره تناوب تحلیلی ساختمان

در این پروژه به منظور محاسبه دوره تناوب تحلیلی ساختمان از آنالیز مودال استفاده می‌شود. نتایج حاصل از آنالیز مودال نشان می‌دهد، دوره تناوب سازه در راستای عرضی برابر با $1/46$ ثانیه و در راستای طولی برابر با $1/52$ ثانیه است.

نیروی برش پایه بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران

بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ ایران، حداقل نیروی برشی پایه یا مجموع نیروهای جانبی زلزله در هر یک از امتدادهای ساختمان، از رابطه زیر و به صورت نسبتی از وزن موثر ساختمان به دست می‌آید.

$$V = CW \quad \text{رابطه ۲۴}$$

W : وزن موثر ساختمان که برابر است با کل بار مرده به اضافه درصدی از بار زنده

C : ضریب زلزله که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$C = \frac{ABI}{R} \quad \text{رابطه ۲۵}$$

A : شتاب نسبی طرح بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زلزله که برای تهران برابر است با ۰/۳۵ شتاب ثقل.

B : ضریب بازتاب ساختمان که با توجه به دوره تناوب حاکم ساختمان در هر راستا، از طیف طرح به دست می‌آید.

I : ضریب اهمیت ساختمان که بر اساس توضیحات قبل برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود.

R : ضریب رفتار ساختمان، که بر مبنای شکل‌پذیری و قابلیت جذب انرژی سیستم سازه‌ای تعریف می‌شود و برای سیستم قاب خمشی فولادی با شکل‌پذیری متوسط برابر با ۵ می‌باشد.

محاسبه ضریب زلزله استاتیکی در فایل اصلی (Main)

در این قسمت دوره تناوب ارتعاشی حاکم ساختمان در دو راستا، با استفاده از روابط تجربی برابر با مقدار ذیل به دست می‌آید. در هیچ حالتی مقدار دوره تناوب به دست آمده از روابط زیر نباید بیشتر از دوره تناوب حاکم حاصل از آنالیز مودال باشد.

$$T_x = T_y = 0.08H^{3/4} = 0.84 \rightarrow 1.25 * 0.84 = 1.05 \text{ sec} \quad \text{رابطه ۲۶}$$

$$B_x = B_y = 2.75 \left(\frac{T_s}{T} \right) \left(\frac{0.7}{4 - T_s} (T - T_s) + 1 \right) = 2.75 \left(\frac{0.7}{1.05} \right) * 1.075 = 1.97 \quad \text{رابطه ۲۷}$$

$$C_x = C_y = \frac{ABI}{R} = \frac{0.35 * 1.97 * 1}{5 * 1.4} = 0.1 \quad \text{رابطه ۲۸}$$

محاسبه ضریب زلزله استاتیکی در فایل Drift

محاسبه تغییر مکان جانبی نسبی طبقات بر اساس این فایل انجام می‌شود. تفاوت اصلی این فایل با فایل اصلی در عدم رعایت محدودیت ۱/۲۵ برابر دوره تناوب اصلی می‌باشد. بدین منظور از مقادیر دوره تناوب حاصل از آنالیز استفاده می‌شود که برای راستای X برابر با ۱/۴۶ و برای راستای Y، ۱/۵۲ ثانیه به دست آمده است.

$$C_x = 0.076 \text{ \& } C_y = 0.074 \quad \text{رابطه ۲۹}$$

کنترل لزوم تشدید برون از مرکزی تصادفی

طبق آیین نامه ۲۸۰۰ در سازه‌های با دیافراگم انعطاف‌پذیر، نیازی به لحاظ نمودن اثرات پیچش نیست.

کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات برای زلزله طرح

طبق آیین نامه ۲۸۰۰، تغییر مکان جانبی نسبی واقعی طرح طبقات برای سازه‌های دارای بیش از ۵ طبقه به مقدار ۰/۰۲ برابر ارتفاع طبقه محدود می‌گردد. لذا باید مقادیر حاصل از تحلیل خطی، در ضریب بزرگنمایی تغییر مکانها ضرب شود و با مقدار مجاز مقایسه گردد. بدین منظور می‌توان مقدار ۰/۰۲ را بر ۴*۱/۴ تقسیم نمود و با مقادیر حاصل از تحلیل خطی در نرم‌افزار مقایسه نمود. بنابراین، مقادیر حاصل نباید از مقدار ۰/۰۳۶ بیشتر باشد.

در این حالت با توجه به عدم وجود دیافراگم صلب، دریافت هر قاب به صورت جداگانه کنترل می‌شود. به عنوان نمونه، دریافت دو قاب نشان داده شده است.

جدول ۱۶ مقادیر تغییر مکان جانبی نسبی برای قاب شماره ۵

STORY	DISP-X	DISP-Y	DRIFT-X	DRIFT-Y
PENT	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
STORY7	0.228730	7.177229	0.000141	0.002803
STORY6	0.182231	6.252095	0.000126	0.003110
STORY5	0.140744	5.225789	0.000121	0.003650
STORY4	0.100699	4.021255	0.000105	0.003532
STORY3	0.065988	2.855823	0.000094	0.003684
STORY2	0.035089	1.640254	0.000072	0.003017
STORY1	0.011291	0.644572	0.000034	0.001953

جدول ۱۷ مقادیر تغییر مکان جانبی نسبی برای قاب C

	Y			
PENT	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
STORY7	6.685994	0.057881	0.002080	0.000022
STORY6	5.999727	0.050492	0.002738	0.000026
STORY5	5.096337	0.041763	0.003014	0.000036
STORY4	4.101612	0.029963	0.003536	0.000031
STORY3	2.934689	0.019860	0.003812	0.000027
STORY2	1.676578	0.010831	0.003164	0.000021
STORY1	0.632492	0.004029	0.001917	0.000012

کنترل ستون‌ها ترکیب بارهای ویژه در فشار محوری

مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بار محوری ستون بدون در نظر گرفتن لنگر خمشی وارد بر آن می‌بایست در فشار محوری برای ترکیبات بار زلزله تشدید یافته به صورت زیر کنترل شود:

$$0.75P_D + 0.75P_L + 0.75\Omega_0 P_E \leq F_a A \quad \text{رابطه ۳۰}$$

مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، ضریب افزایش مقاومت Ω_0 برای قاب‌های خمشی فولادی برابر با ۳ در نظر گرفته شده است.

کنترل ستون‌ها ترکیب بارهای ویژه در کشش محوری

مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، بار محوری ستون بدون در نظر گرفتن لنگر خمشی وارد بر آن می‌بایست در فشار محوری برای ترکیبات بار زلزله تشدید یافته به صورت زیر کنترل شود:

$$0.75P_D + 0.75\Omega_0 P_E \leq 0.6f_y A \quad \text{رابطه ۳۱}$$

مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، ضریب افزایش مقاومت Ω_0 برای قاب‌های خمشی فولادی برابر با ۳ در نظر گرفته شده است.

جمع بندی

در پایان بررسی برای شرایط تشریح شده، برای هر مدل، فایل Etabs از نقطه نظر مصالح مصرفی بررسی شده است. پارامتر مقایسه در این شرایط میزان فولاد مصرفی برای واحد سطح زیر بنا است. جدولی که در ادامه آمده است، میزان مصرف فولاد برای شرایط بررسی شده را نشان می‌دهد.

جدول 18 میزان مصرف فولاد در قاب خمشی-مهاربندی با مصالح متعارف

ElementType	Material	TotalWeight (kg)	NumPieces
Column	ST37	40740.794	118
Beam	ST37	32068.245	189
Brace	ST37	7842.688	56
		80651.727	

جدول 19 میزان مصرف فولاد در قاب خمشی در دو جهت با مصالح متعارف

ElementType	Material	TotalWeight (kg)	NumPieces
Column	ST37	50846.569	118
Beam	ST37	42124.942	189
		92971.511	

جدول 20 میزان مصرف فولاد در قاب خمشی در دو جهت با سقف پیشنهادی

ElementType	Material	kg)(TotalWeight	NumPieces
Column	ST37	33689.688	118
Beam	ST37	29989.962	189
		63679.65	

میزان مصرف فولاد برای واحد سطح بنا (کیلوگرم)	
66.6	ترکیب قاب خمشی و مهاربند (مصالح معمول)
76.77	قاب خمشی در هر دو جهت (مصالح معمول)
52.5	قاب خمشی در هر دو جهت (سقف پیشنهادی)

با توجه با داده‌های حاصل از تحقیق، اگر سیستم مهاربندی با سیستم پیشنهادی جایگزین گردد حدود ۲۵ درصد صرفه جویی در فولاد خواهیم داشت. لازم است به دو نکته در این راستا اشاره شود. اول اینکه سیستم قاب خمشی از نقطه نظر لرزه ای بسیار مناسبتر است و ثانياً اینکه سیستم قاب خمشی از نقطه نظر معماری ارجح است.

اگر سیستم قاب خمشی با سیستم پیشنهادی جایگزین گردد حدود ۴۵ درصد صرفه جویی در فولاد خواهیم داشت.

برای محاسبه درصد صرفه جویی، سیستم پیشنهادی بعنوان مبنای محاسبه انتخاب شده است.

فصل ۳ مدل سازی و ارزیابی اقتصادی فونداسیون ها

معرفی، کلیات و روش کار

برای مقایسه اقتصادی بین فونداسیونهای سیستمها، سازه هفت طبقه در سه حالت در نظر گرفته شده است.

جدول ۲۱ مدل های منظور شده برای مقایسه سازه ها

نوع سازه	سیستم باربر جانبی سازه معمول		سیستم باربر جانبی سازه پیشنهادی		پارامتر مقایسه
	در جهت طولی	در جهت عرضی	در جهت طولی	در جهت عرضی	هزینه
هفت مرتبه	قاب خمشی	قاب خمشی	قاب خمشی متوسط	قاب خمشی متوسط	
منظم	مهاربند ضربدری	قاب خمشی			

برای سازه های در دست بررسی، شرایط متداول ساخت و ساز شهری در نظر گرفته شده است. بدیهی است که نتایج بررسی برای شرایط تشریح شده برای سایر شرایط با کمی تقریب قابل تعمیم خواهد بود.

منابع و آیین نامه ها

به منظور بارگذاری، تحلیل و طراحی فونداسیون از آیین نامه های به شرح زیر استفاده می شود.

جدول ۲۲ - منابع و آیین نامه ها

ردیف	نام مرجع	موارد استفاده از مرجع
۱	مبحث ششم مقررات ملی ساختمان	ترکیب بارها
۲	مبحث نهم مقررات ملی ساختمان	طراحی فونداسیون (برخی ضوابط)
۳	آیین نامه ACI-318.02	طراحی فونداسیون (طراحی)

نرم افزارها

به منظور مدل سازی، تحلیل و طراحی سازه از نرم افزارهای ارائه شده در جدول ۳ استفاده می گردد.

جدول ۲۳- نرم افزارهای مورد استفاده

ردیف	نام نرم افزار	موارد استفاده از نرم افزار
۱	CSI-SAFE- 8.1.0	مدل سازی، تحلیل و طراحی سازه

انواع حالات بارگذاری

بارهای وارد بر فونداسیون بصورت زیر در نظر گرفته شده است.

جدول ۲۴- بارهای وارد بر فونداسیون

ردیف	نوع بارگذاری	نشانه
۱	بار مرده	D
۲	بار زنده	L
۳	اثر زلزله	E

ترکیبات بار

ترکیبات بار استفاده شده در طراحی، سازگار با آیین نامه ACI-318.02 می باشد.

بارهای وارد بر فونداسیون

بارهای وارد بر فونداسیون با استفاده از نرم افزار Etabs به نرم افزار SAFE منتقل شده اند.

نتایج تحلیل

- با توجه به اینکه در سیستم پیشنهادی از سیستم قاب خمشی در هر دو سو استفاده می‌شود و بار مرده سقفها تقریباً نصف بار مرده در حالت معمول است، ضخامت فونداسیون برابر ۶۰ سانتیمتر منظور شده است. در فونداسیونی با این مشخصات، مشکل برش پانچ وجود ندارد.
 - خروجی نرم افزار آرماتور محاسباتی و بتن مورد نیاز برای فونداسیون را به ترتیب برابر با ۲۱۸۳ کیلوگرم و ۷۴ متر مکعب برآورد کرده است. مقدار بتن دقیق است لیکن در محاسبات مربوط به آرماتور رواداریهای اجرایی باید منظور شوند. به هر ترتیب، با توجه به اینکه قرار است مدلها با یکدیگر مقایسه شوند، مساله تقریب در برآورد آرماتور نمی‌تواند جدی باشد.
 - برای سیستم قاب خمشی فونداسیون با ضخامت ۹۰ سانتیمتر مورد نیاز خواهد بود. برای این فونداسیون بتن مورد نیاز ۱۱۰ متر مکعب و آرماتور محاسباتی حدوداً ۲۵۵۰ کیلوگرم است.
 - لازم است اشاره شود که در صورتی که ضخامت فونداسیونها برابر در نظر گرفته شود، میزان آرماتور محاسباتی در سازه با سقف پیشنهادی به ۱۸۰۰ کیلوگرم خواهد رسید. به هر ترتیب طراحی منطقی برای هر سه سازه معیار مقایسه است.
 - برای سیستم مهاربندی با منظور کردن ۱ متر ارتفاع برای فونداسیون مساله برش پانچ به قوت خود باقیست. در این سیستم استفاده از شمع اجتناب ناپذیر است.
 - برای سیستم مهاربندی بتن مصرفی برای فونداسیون (غیر از شمعها) برابر با ۱۲۳ متر مکعب خواهد بود. میزان آرماتور محاسباتی در این سیستم ۴۰۰۰ کیلوگرم است.
- نتایج این گزارش بصورت ملموس در یک جدول مقایسه ای در گزارش پایانی ارائه خواهند شد.

فصل ۴ - مقایسه سقف پیشنهادی با سقف‌های موجود

مقدمه

در این گزارش سعی شده است تا شناخت کاملی از سیستم سقف با ترکیب پارچه سه بعدی و المانهای سرد نورد شده بدست داده شود. این سیستم سقف متشکل از تیرهای اصلی سازه‌ای و تیرچه‌هایی است که روی آنها با پارچه سه بعدی در ماتریسی از رزین به ضخامت ۳۰ میلیمتر پوشانده شده است. روش طراحی برای تیرهای سازه‌ای با حالت معمول تفاوتی ندارد. برای تیرچه‌ها المانهای سرد نورد شده در نظر گرفته خواهد شد. توزیع بار روی تیرچه‌ها همانند تیرچه‌های کامپوزیتی انجام می‌شود و البته عملکرد کامپوزیت برای تیرچه‌ها مورد نظر نخواهد بود.

تیرهای سازه‌ای (متصل به قابها) از مقاطع معمول هستند اما تیرچه‌های مورد استفاده با مقطع ناودانی سرد نورد شده طرح خواهند شد. روشن است که این تیرچه‌ها صرفاً برای تحمل بارهای ثقلی طراحی خواهند شد. استفاده از ناودانی سرد نورد شده از جهات متعددی مزیت دارد. اول اینکه وزن فولاد مصرفی در نهایت ناچیز خواهد بود. ثانیاً اینکه فرآیند تولید با پرسهای سرد ساده و بی دردسر است و سوم اینکه فرآیند پیچ کردن پارچه سه بعدی به تیرچه‌ها در این حالت بسادگی انجام می‌شود. همچنین اتصال این المانها با تیرهای اصلی بصورت پیچی خواهد بود.

معرفی و طراحی سیستم‌ها

در این گزارش، سه نوع سقف متداول در صنعت ساختمان معرفی و بررسی خواهند شد.

سقف کامپوزیت

این نوع سقف به صورت ترکیبی از فولاد و بتن می‌باشد. در این سقف‌ها با نصب برشگیر که اغلب از پروفیل نبشی یا ناودانی است. پیوستگی و انسجام لازم بین سقف و سازه ایجاد میشود. تیر فرعی در این سقف‌ها می‌تواند لانه زنبوری و یا ساده باشند که با توجه به طراحی و محاسبات فواصل متفاوتی دارد، اغلب این فاصله حدود یک متر است.

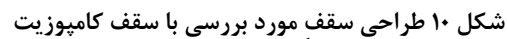


شکل ۹ نمایی از اجرای سقف کامپوزیت

روش کار در این نوع سقف به این صورت است که پس از اتمام سازه و نصب تیرهای فرعی و اتصال برشگیرها، بین تیرهای فرعی قالب بندی شده سپس میلگردهای خمشی و افت و حرارت اجرا می شود. اجزاء تشکیل دهنده سقف کامپوزیت:

۱- تیرفرعی ۲- برشگیر ۳- آرماتورهای دال ۴- دال بتنی

برای پروژه نمونه سقف کامپوزیت طراحی شده است. در ادامه نتایج طراحی برای این نوع سقف ارائه خواهد شد.

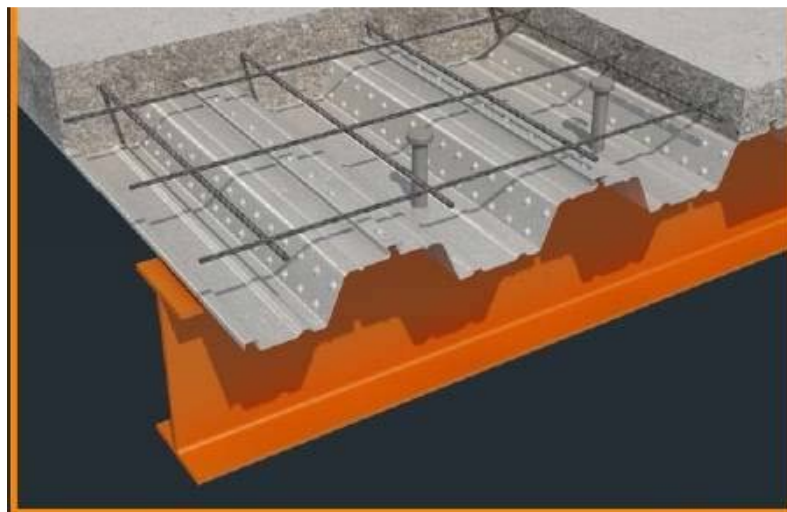


Section	ElementType	TotalLength (cm)	TotalWeight (kg)
IPE180	Beam	4149	778.415
IPE200	Beam	3500	783.038
IPE160	Beam	340	52.069
IPE140	Beam	3883	498.288
IPE240	Beam	4170	1217.226
Total Steel			3329.036
Weight per unit Area			19.24

همچنین برای این نوع سقف، آرماتورهای دال فوقانی برای هر متر مربع حدود ۸ کیلوگرم خواهند بود. لازم است توجه شود که هزینه بتن و قالب بندی برای این پروژه به سایر هزینه ها افزوده خواهد شد.

سقف عرشه فولادی

سقف عرشه فولادی با ورق های گالوانیزه دوزنقه ای شکل آجدار و بدون نیاز به قالب بندی اجرا می شود. سرعت اجرای این سقف نسبت به سقف کامپوزیت بیشتر است. برای این سقف هم عملکرد کامپوزیت مورد نظر خواهد بود. در این سقف برشگیرهایی تعبیه می شود (نگاه کنید به شکلی که در ادامه آمده است) که عملکرد کامپوزیت را تضمین می کنند



شکل ۱۱ نمایش شماتیک از اعضای تشکیل دهنده سقف عرشه فولادی

شکل زیر نمایش شماتیک از اجزای این سقف را نشان می دهد.

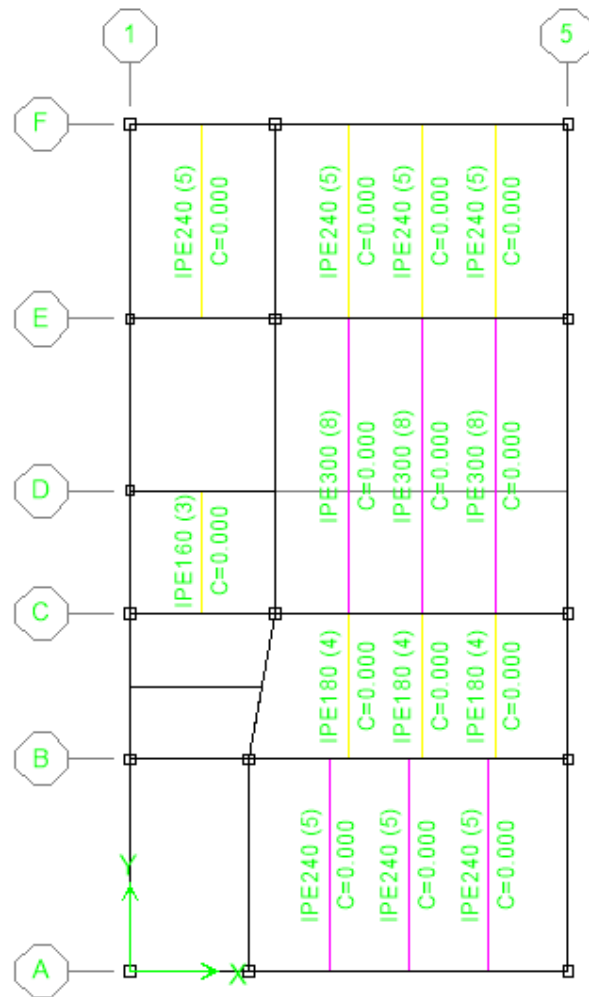


شکل ۱۲ اجرای سقف عرشه فولادی

سازه مورد بررسی با استفاده از این سقف نیز طرح شده است. نتایج حاصل از طراحی در ادامه ارائه خواهند شد.

جدول ۲۶ نوع و میزان استفاده از مقاطع در سقف عرشه فولادی

Section	ElementType	NumPieces	TotalLength (cm)	TotalWeight (kg)
IPE180	Beam	3	1032	193.619
IPE160	Beam	2	630	97.827
IPE140	Beam	1	310	39.909
IPE240	Beam	7	3344	976.116
IPE300	Beam	3	2085	880.558
Total Steel				2188.029
Weight per unit Area				12.645

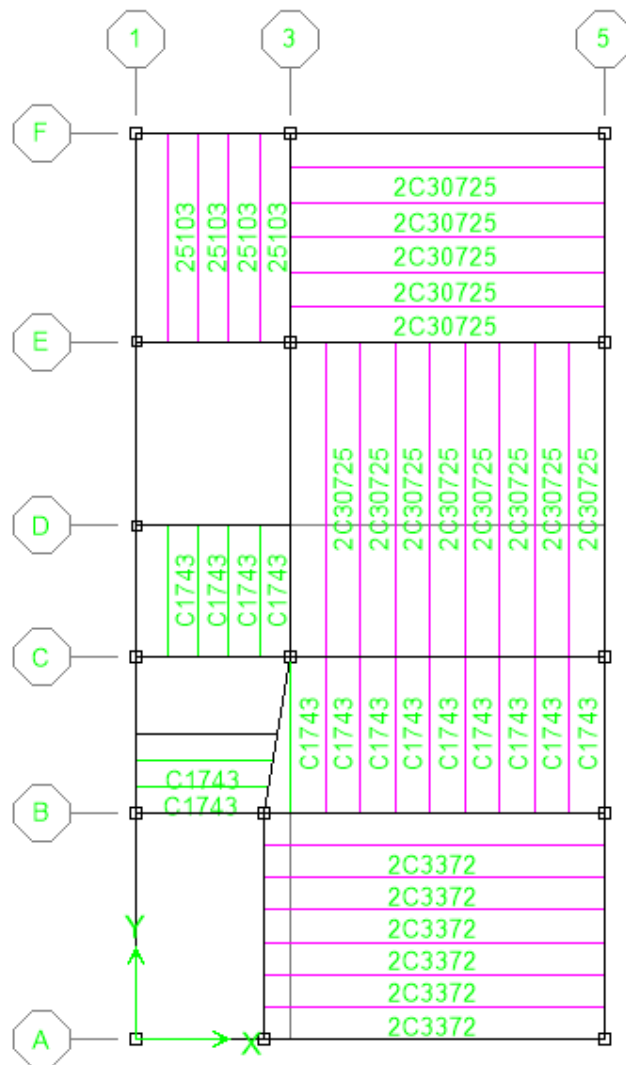


شکل ۱۳ طراحی با سقف عرشه فولادی

هزینه ورق گالوانیزه با برشگیرها به هزینه‌های سقف افزوده خواهد شد. همچنین برای این نوع سقف، آرماتورهای دال فوقانی برای هر متر مربع حدود ۶ کیلوگرم خواهند بود.

سقف پیشنهادی

سیستم سقف پیشنهادی شامل تیرچه‌های ناودانی یا ناودانی دبل سرد نورد شده است. برای پوشش روی ناودانی‌ها از پارچه سه بعدی با نخ شیشه در ماتریسی از رزین استفاده شده است. شکل زیر نمایی از سقف با اجزای تشکیل دهنده را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۴ طراحی با مقاطع سرد نورد شده

جدول ۲۷ میزان مصرف آهن برای سقف پیشنهادی

Section	ElementType	NumPieces	TotalLength	TotalWeight
2C30725	Beam	13	9020	1263.197
C1743	Beam	15	4846	239.8
25103	Beam	4	1844	114.645
2C3372	Beam	6	4512	681.465
Total Steel				2299.107
Weight per unit Area				13.28

برای اتصال صفحات معرفی شده به تیرهای سرد نورد شده، از ترکیب پیچهای خودرو و واشر استفاده می‌شود. هزینه این پیچها به نسبت هزینه کل قابل چشم پوشی است. بدیهی است که برای این سقف آرماتور و آرماتوربندی و همچنین قالب بندی نخواهیم داشت.

جمع بندی

مطالب ارائه شده در رابطه با سه سقف بررسی شده و البته مزایا و معایب شناخته شده سقفها را می‌توان در جداول زیر خلاصه کرد.

سقف آیتم	بار مرده کیلوگرم برای واحد سطح	فولاد مصرفی	بتن مصرفی (مترمکعب)	قالب بندی	آرماتوربندی	لرزش و ارتعاش	سرعت اجرا	تجهیزات ویژه و استادکار
کامپوزیت	240	$19.24+8=27.24$	0.08-0.1	دارد	دارد	نامناسب	نامناسب	ندارد
عرشه فولادی	240	$12.64+6+8=26.64$	0.08-0.1	ندارد	دارد	آزار دهنده	مناسب	دارد
پیشنهادی	3	13.28	ندارد	ندارد	ندارد	مناسب	مناسب	ندارد

تذکر: مزیت سقف پیشنهادی قطعا و یقینا به سقف محدود نمی‌شود. علاوه بر مزایایی که در جدول اخیر به آنها اشاره شد، نباید مزیت اصلی سقف که تاثیر آن بر اقتصادی و مقاوم شدن کل سازه است مغفول واقع شود. برای هزینه های سقفها نیز می‌توان برآوردی داشت. کوشش بر این است که آیتها و قیمتها برای سقفهای مختلف بصورت همخوان اختیار شوند.

تذکر: قطعا و یقینا هزینه تنها پارامتر تصمیم گیری نیست، سرعت کار، نحوه ادامه کار و چگونگی نصب Finishing، نظافت و قابلیت اعتماد، تعدد پرسنلهای مجری، تعدد مصالح و ... پارامترهایی هستند که انتخاب سقف را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

جدول ۲۸ آنالیز قیمت برای سقف کامپوزیت

سقف کامپوزیت		
آیتم	مقدار در قیمت واحد (تومان)	قیمت (تومان)
مقاطع فولادی با دستمزد	19.24x3000	57720
آرماتور با دستمزد	8x2200	17600
بتن با دستمزد	0.1x120000	12000
قالب بندی	1x1000	1000
مجموع	88320	

جدول ۲۹ آنالیز قیمت برای سقف عرشه فولادی

سقف عرشه فولادی		
آیتم	مقدار در قیمت واحد (تومان)	قیمت (تومان)
مقاطع فولادی با دستمزد	12.64x3000	37920
آرماتور با دستمزد	6x2200	13200
بتن با دستمزد	0.1x120000	12000
ورق گالوانیزه با گل میخ	-	28500
تسمه مهار و فلاشینگ	88320	1700
رول فرمینگ و دستمزدها	-	6000
مجموع	99320	

جدول ۳۰ آنالیز قیمت برای سقف پیشنهادی

سقف پیشنهادی		
آیتم	مقدار در قیمت واحد (تومان)	قیمت (تومان)
مقاطع فولادی سرد دستمزد	13.28x2500	37920
صفحات کامپوزیت سقف	-	60000
وسایل اتصال و دستمزد	-	2000
مجموع	99920	

با توجه به توضیحات ارائه شده، سقف پیشنهادی (صرفاً سقف) هزینه‌ای برابر با سایر سقفهای مورد مطالعه دارد. بنابراین مزیتی که سقف در کل سازه ایجاد می‌کند، سود سرمایه‌گذاران را تضمین می‌کند. میزان سود حاصل در انتها برای این پروژه خاص برآورد می‌گردد. همچنین کوشش این است که برآوردی از سود در پروژه‌های دیگر نیز به‌دست داده شود.