نوآوران صنعت سیلک

مقایسه عملکردی صفحات کامپوزیت تقویت‌شده با پارچه سه‌بعدی بافته‌شده با نخ شیشه با مصالح متداول در سقف ساختمان‌های عرف شهری

دفتر فنی سازه

ویرایش ۱,۱
تیرماه ۱۳۹۸

این دستورالعمل یکی از اسناد شرکت نوآوران صنعت سیلک و متعلق به این شرکت می‌باشد. استفاده از این جزوه و نقل از آن با ذکر ماخذ و شماره ویرایش آن مجاز می‌باشد.

این دستورالعمل به‌طور مستمر در حال تکمیل و ویرایش است. دفتر فنی شرکت نوآوران صنعت سیلک این دستورالعمل را بر اساس بهترین آگاهی، دانش و تجربه خود تهیه و تنظیم نموده است و مانند هر سند مشابه دیگری ادعا ندارد که کامل و بدون نقص می‌باشد. لذا از هرگونه نظرات اصلاحی استقبال کرده و ارج می‌نهد.

www.sialk-co.ir

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... ب
فهرست شکل‌ها ..... ج
فهرست جدول‌ها ..... خ
دیباچه **۱**
مقدمه و کلیات **۳**
خصوصیات مشترک برای ساختمانهای فولادی ٤
خصوصیات مشترک برای ساختمانهای بتنی ٤
نتایج تحلیل برای مدل‌های پیشنهادی **٦**
طراحی سازه برای ساختمانهای فولادی ٦
منابع و آیین‌نامه‌ها ٨
نرم‌افزارها ٩
انواع حالات بارگذاری ٩
ترکیبات بار ٩
بار مرده ١٠
بار زنده ١١
اثر زلزله ١٢
پریود ارتعاشی حاکم ساختمان ١٢
اهمیت ساختمان ١٣
گروه‌بندی ساختمان‌ها بر حسب شکل ١٣
پارامترهای لرزه‌ای سیستم سازه‌ای ١٣
راستای اثر زلزله ١٣
محدوده کاربرد روش‌های تحلیل لرزه‌ای ١٤
دوره تناوب تحلیلی ساختمان ١٤

نیروی برش پایه بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران ۱۵
محاسبه ضریب زلزله استاتیکی در فایل اصلی ۱۶
روش تحلیل طیفی (مودال) خطی ۱۶
ترکیب آثار مودها ۱۷
اصلاح مقادیر بازتاب‌ها ۱۷
کنترل لزوم تشدید برون از مرکزی تصادفی ۱۷
کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات برای زلزله طرح ۱۹
طراحی سازه برای ساختمانهای بتنی ۲۶
منابع و آیین‌نامه‌ها ۲۸
نرم‌افزارها ۲۸
انواع حالات بارگذاری ۲۹
ترکیبات بار ۲۹
بار مرده ۲۹
بار زنده ۳۰
اثر زلزله ۳۱
پریود ارتعاشی حاکم ساختمان ۳۱
اهمیت ساختمان ۳۲
گروه‌بندی ساختمان‌ها بر حسب شکل ۳۲
پارامترهای لرزه‌ای سیستم سازه‌ای ۳۲
راستای اثر زلزله ۳۲
محدوده کاربرد روش‌های تحلیل لرزه‌ای ۳۲
دوره تناوب تحلیلی ساختمان ۳۳
نیروی برش پایه بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران ۳۳
محاسبه ضریب زلزله استاتیکی در فایل اصلی ۳۴
روش تحلیل طیفی (مودال) خطی ۳۴
ترکیب آثار مودها ۳۵

اصلاح مقادیر بازتاب‌ها ۳۵
کنترل لزوم تشدید برون از مرکزی تصادفی ۳۵
کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات برای زلزله طرح ۳۶
جمع بندی ۳۸
مبنای گزارش برای مدلهای فولادی ۳۸
مبنای گزارش برای مدلهای بتنی ۳۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱- پلان تیپ طبقات ۷
شکل ۲- نمای سه بعدی از مدلهای ارائه شده ۸
شکل ۳- تنظیمات مربوط به سقف پیشنهادی ۱۰
شکل ٤- تنظیمات مربوط به سقف کامپوزیت ۱۰
شکل ٥- تنظیمات مربوط به سقف عرشه فولادی ۱۰
شکل ٦- تنظیمات مربوط به سقف کرومیت یا تیرچه بلوک ۱۰
شکل ۷- دریفت مدل ۳ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف پیشنهادی، جهت X ۲۰
شکل ۸- دریفت مدل ۳ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف پیشنهادی، جهت Y ۲۰
شکل ۹- دریفت مدل ۳ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف کامپوزیت، جهت X ۲۰
شکل ۱۰- دریفت مدل ۳ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف کامپوزیت، جهت Y ۲۰
شکل ۱۱- دریفت مدل ۳ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهت X ۲۱
شکل ۱۲- دریفت مدل ۳ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهت Y ۲۱
شکل ۱۳- دریفت مدل ۳ طبقه، خمشی، سقف کامپوزیت، جهت X ۲۱
شکل ١٤- دریفت مدل ۳ طبقه، خمشی، سقف کامپوزیت، جهت Y ۲۱
شکل ۱٥- دریفت مدل ٥ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف پیشنهادی، جهت X ۲۲
شکل ١٦- دریفت مدل ٥ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف پیشنهادی، جهت Y ۲۲
شکل ۱۷- دریفت مدل ٥ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف عرشه فولادی، جهت X ۲۲
شکل ۱۸- دریفت مدل ٥ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف عرشه فولادی، جهت Y ۲۲
شکل ۱۹- دریفت مدل ٥ طبقه، خمشی، سقف عرشه فولادی، جهت X ۲۳
شکل ۲۰- دریفت مدل ٥ طبقه، خمشی، سقف عرشه فولادی، جهت Y ۲۳
شکل ۲۱- دریفت مدل ٥ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهت X ۲۳
شکل ۲۲- دریفت مدل ٥ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهت Y ۲۳
شکل ۲۳- دریفت مدل ۷ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف پیشنهادی، جهت X ۲٤
شکل ٢٤- دریفت مدل ۷ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف پیشنهادی، جهت Y ۲٤
شکل ۲٥- دریفت مدل ۷ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف عرشه فولادی، جهت X ۲٤
شکل ٢٦- دریفت مدل ۷ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف عرشه فولادی، جهت Y ۲٤

شکل ۲۷- دریفت مدل ۷ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهت X ۲۵
شکل ۲۸- دریفت مدل ۷ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهت Y ۲۵
شکل ۲۹- دریفت مدل ۷ طبقه، خمشی، سقف عرشه فولادی، جهت X ۲۵
شکل ۳۰- دریفت مدل ۷ طبقه، خمشی، سقف عرشه فولادی، جهت Y ۲۵
شکل ۳۱- پلان تیپ طبقات ۲۷
شکل ۳۲- مدلهای سه بعدی گروه ساختمانهای بتنی ۲۸
شکل ۳۳- تنظیمات مربوط به سقف پیشنهادی ۳۰
شکل ۳٤- تنظیمات مربوط به سقف کرومیت یا تیرچه بلوک ۳۰
شکل ۳۵- دریفت مدل ۵ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهت X ۳۷
شکل ۳٦- دریفت مدل ۵ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهت Y ۳۷
شکل ۳۷- دریفت مدل ۵ طبقه، خمشی، سقف تیرچه بلوک، جهت X ۳۷
شکل ۳۸- دریفت مدل ۵ طبقه، خمشی، سقف تیرچه بلوک، جهت Y ۳۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱ – مدلهای منظور شده برای مقایسه سازه ها ۵
جدول ۲– طبقه بندی مدلهای گروه ساختمانهای فولادی ٦
جدول ۳– مشخصات کلی ساختمان ٦
جدول ٤– منابع و آیین‌نامه‌ها ۸
جدول ۵– نرم‌افزارهای مورد استفاده ۹
جدول ٦– بارهای وارد بر ساختمان ۹
جدول ۷– ترکیبات بار AISC360-10 در طراحی به روش حالت حدی ۹
جدول ۸– مقادیر بار کف سازی ۱۱
جدول ۹– مقادیر بار زنده برای کاربری‌های مختلف بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ۱۲
جدول ۱۰– زمان تناوب تجربی مدلهای ارائه شده ۱۳
جدول ۱۱– زمان تناوب تحلیلی مدلهای ارائه شده ۱۵
جدول ۱۲– ضرائب زلزله برای مدلهای ارائه شده ۱٦
جدول ۱۳– کنترل لزوم تشدید خروج از مرکزیت تصادفی ۱۸
جدول ۱٤– مقادیر دریفت مجاز برای مدلهای ارائه شده ۲۰
جدول ۱۵– طبقه بندی مدلهای گروه ساختمانهای بتنی ۲٦
جدول ۱٦– مشخصات کلی ساختمان ۲٦
جدول ۱۷– منابع و آیین‌نامه‌ها ۲۸
جدول ۱۸– نرم‌افزارهای مورد استفاده ۲۸
جدول ۱۹– حالات محتمل بارهای وارد بر ساختمان ۲۹
جدول ۲۰– ترکیبات بار ACI در طراحی به روش حالت حدی ۲۹
جدول ۲۱– مقادیر بار کف سازی ۳۰
جدول ۲۲– مقادیر بار زنده بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ۳۰
جدول ۲۳– زمان تناوب تجربی مدلهای ارائه شده بتنی ۳۱
جدول ۲٤– زمان تناوب تحلیلی مدلهای ارائه شده بتنی ۳۳
جدول ۲۵– ضرائب زلزله برای مدلهای ارائه شده بتنی ۳٤
جدول ۲٦– کنترل لزوم تشدید برون از مرکزی تصادفی ۳٦

جدول ۲۷- مقادیر دریفت مجاز برای مدلهای ارائه شده ۳۶
جدول ۲۸- مقایسه وزن فولاد مصرفی در ساختمانهای اسکلت فلزی ۳۸
جدول ۲۹- مقایسه وزن فولاد مصرفی در ساختمانهای اسکلت بتنی ۴۰
جدول ۳۰- مقایسه هزینه احداث اسکلت و سقف در ساختمانهای اسکلت فلزی ۴۰
جدول ۳۱- مقایسه مزایا و معایب سقفهای رایج در کشور ۴۱

به‌نام خدا

مقایسه عملکردی

صفحات کامپوزیت تقویت‌شده با پارچه سه‌بعدی بافته‌شده با نخ شیشه

با مصالح متداول در سقف ساختمان‌های عرف شهری

تیرماه ۱۳۹۸

دیباچه

صفحات کامپوزیتی تقویت شده با پارچه سه‌بعدی بافته شده با نخ شیشه

صفحات کامپوزیتی تقویت شده با پارچه سه بعدی شیشه ای، ماحصل بافت سه‌بعدی نخ شیشه با مقاومت کششی بسیار زیاد، و سپس تبدیل آن با کمک رزین به پانل‌های سبک، مقاوم، عایق صدا، حرارت و رطوبت، در ابعاد و ضخامت های مختلف جهت مصارف سقف و دیوار ساختمانی و برخی مصارف دیگر می‌باشد.

پارچه‌های سه‌بُعدی در هر سه راستای x و y و z ، مُد تخریب تورق (Delamination) در آن‌ها منتفی و همچنین امکان دور کردن حداکثری جرم از مرکز و تحمل حداکثری مُمان خمشی و همچنین امکان افزایش حداکثری نسبت استحکام به وزن در آن‌ها وجود دارد.

در کاربردهای ساختمانی این محصول به ویژه با توجه به گواهی نظریه فنی دریافتی از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی می‌تواند به طور وسیعی به عنوان جایگزین دال‌های بتن آرمه، سقف‌های کامپوزیت، سقف‌های آجری، سقف‌های عرشه فولادی، سازه‌های L.S.F، و همچنین جای‌گزین انواع تیغه‌ها، دیوارهای جدا کننده و . . . مورد استفاده قرار گیرد. در تمام سقف‌های مورد اشاره، صفحات کامپوزیتی تقویت شده با پارچه سه‌بعدی بافته شده با نخ شیشه می‌تواند جای‌گزین همه لایه‌هایی گردد که بر روی تیرها قرار می‌گیرند. در این حالت صفحه کامپوزیتی مستقیماً بر روی تیرچه‌ها پیچ شده و نقش همه لایه‌های روی تیر را بازی می‌کند (تحمل خمش، عایق صوتی و حرارتی).

این گواهی که مربوط به پانل‌های توخالی شرکت می‌باشد، در وب‌سایت شرکت و همچنین در وب‌سایت مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی با لینک‌های زیر قابل دسترس می‌باشد:

http://bhrc.ac.ir/Portals/0/PDF-Word/engservis/fani/-4-8.pdf

http://bhrc.ac.ir/درباره-ما/معاونت-ها/معاونت-تحقیقات-و-فناوری/مدیریت-خدمات-مهندسی-و-آزمایشگاهی/نظریه-فنی/-سیستمهای-مورد-تایید-مرکز

http://www.sialk-co.ir/fa/wp-content/uploads/Documents%20for%20DL/1397_03_23_BHRC_Technical_Aproval_Main_Body_S.pdf

هم‌زمان با دریافت گواهی نظریه فنی مورد اشاره، محصول تکمیلی دیگری نیز بر پایه همین صفحات کامپوزیت سه‌بعدی شرکت به‌صورت پرشده با ملات بتن سبک (که متر مربعی حدود ۲۲,۵ کیلو وزن دارد) در دست انجام آزمایشات مرکز تحقیقات راه، مسکن وشهرسازی و اخذ گواهی نظریه فنی قرار دارد. آزمون‌های انجام‌شده تاکنون در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی بر روی این صفحات کامپوزیت پرشده با ملات بتن سبک نشان داده است که بسیاری از قیدهای ذکر شده در نظریه فنی دریافتی برای صفحات کامپوزیت توخالی منتفی خواهد شد.

علاوه‌بر ملات بتن سبک، این صفحات کامپوزیت سه‌بعدی با ملات سیمان معولی نیز پر می‌شوند. وزن این صفحات متر مربعی حدود۴۵ کیلوگرم می‌شود. این صفحات پرشده با ملات بتن سنگین نیز از مشخصات قابل توجهی برخوارند و در بسیاری موارد انتخاب مناسبی برای عنصر سازه‌ای سقف ساختمان می‌باشند و به لحاظ مشخصات فنی برتر آن مورد استقبال بسیار زیاد از سوی بازار برای سقف ساختمان‌های بلندمرتبه قرار می‌گیرد.

در جزوه حاضر، به مقایسه عملکردی صفحات کامپوزیت تقویت‌شده با پارچه سه‌بعدی بافته‌شده با نخ شیشه (پرشده با ملات سیمان) با مصالح متداول در سقف ساختمان‌های عرف شهری می‌پردازیم. ۳۰ مدل ساختمانی متعارف با تعداد طبقات ۳، ۵ و ۷ ، در دو سیستم باربر لرزه‌ای قاب خمشی و مهاربندی- خمشی در قالب ۳ تیپ سقف رایج به علاوه سقف پیشنهادی برای هر دو گروه ساختمانی (فولادی و بتنی) مورد ارزیابی قرار گرفته است. از جمله اهداف جزوه پژوهشی حاضر دست‌یابی به موارد ذیل است:

۱- بررسی تاثیر سقف پیشنهادی مبتنی‌بر **صفحات کامپوزیتی تقویت شده با پارچه سه‌بعدی بافته شده با نخ شیشه پرشده با ملات سیمان سنگین** بر روی وزن فولاد مصرفی در دو گروه ساختمان اسکلت فولادی و بتنی
۲- توجیه اقتصادی استفاده از سقف پیشنهادی
۳- بررسی مزایا و معایب شناخته شده در سقف‌های موجود و مقایسه آن با سقف پیشنهادی

نظر به این‌که هرسه نوع پانل‌های کامپوزیتی شرکت در زمره سقف‌های بسیار سبک ساختمانی به‌حساب می‌آیند، و نظر به این‌که الزامات مقرراتی در زمینه حداقل قطر ستون‌های ساختمان مانع از کاهش اندازه ستون‌ها از حد معینی می‌شود، و هم‌چنین به لحاظ قید حداکثر ارتفاع در مستندات مورد رجوع گواهی نظریه فنی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی برای پانل‌های سه‌بعدی توخالی شرکت؛ به‌همین لحاظ در مقایسه عملکردی صفحات کامپوزیت تقویت‌شده با پارچه سه‌بعدی بافته‌شده با نخ شیشه با مصالح متداول در سقف ساختمان‌های عرف شهری؛ در این گزارش مبنا بر مقایسه **صفحات کامپوزیتی تقویت شده با پارچه سه‌بعدی بافته شده با نخ شیشه پرشده با ملات سیمان سنگین** با مصالح متداول در سقف ساختمان‌ها گذاشته شده است.

* * * * *

مقدمه و کلیات

کشور ایران جزء مناطق با لرزه خیزی بسیار بالا محسوب می‌شود. درطول سالیان گذشته صدمات انسانی و اقتصادی جبران ناپذیری ناشی از فعالیت گسل‌ها رخ داده است. نیروی زلزله نیروی غالب در تحلیل‌ها و طراحی‌های سازه‌ها بوده و آیین نامه‌های مختلف مبنای طراحی را بر اساس مقاومت اعضا در برابر این نیروی جانبی معرفی می‌کنند. این نیرو در ارتباط مستقیم با جرم سازه بوده و به‌صورت ضریبی از وزن لرزه‌ای، که ترکیبی از بار مرده و زنده است، تعریف می‌شود. از این رو اگر بتوان به‌گونه‌ای وزن سازه را کاهش داد، نیروی جانبی زلزله نیز کاهش می‌یابد و در میزان مصرف مصالح و هزینه تمام‌شده پروژه صرفه‌جویی صورت می-پذیرد. از این رو محققان همواره در پی ابداع راه‌های جدیدی برای کاهش این وزن می‌باشند. از جمله عوامل تاثیر گذار بر روی جرم سازه، سقف‌ها هستند که بیشترین سهم از بار لرزه‌ای را به خود اختصاص می‌دهند. از این رو استفاده از سیستم نوین صفحات کامپوزیت تقویت‌شده با پارچه سه‌بعدی بافته‌شده با نخ شیشه می‌تواند نقش بسزایی در کاهش وزن لرزه‌ای داشته باشد. این نوع سقف می‌تواند با ایجاد تدابیری در گروه سقف‌های صُلب دسته بندی شده و در مقایسه با سیستم‌هایی از جمله تیرچه بلوک، کرومیت، کامپوزیت و عرشه فولادی دارای مزایای قابل توجهی از جمله عملکرد لرزه‌ای بهتر به واسطه کاهش وزن لرزه‌ای، کاهش ابعاد مقاطع اِلمان‌های سازه‌ای، صرفه‌جویی در مصالح مصرفی و سرعت اجرای بالاتر می‌باشد. از جمله اهداف این پژوهش دست‌یابی به موارد ذیل است:

۱- بررسی تاثیر سقف پیشنهادی بر روی وزن فولاد مصرفی در دو گروه ساختمان اسکلت فولادی و بتنی

۲- توجیه اقتصادی استفاده از سقف پیشنهادی

۳- بررسی مزایا و معایب شناخته شده در سقف‌های موجود و مقایسه آن با سقف پیشنهادی

به منظور دستیابی به این هدف، ۳۰ مدل ساختمانی متعارف (۲۴ مدل فولادی و ۶ مدل بتنی) با تعداد طبقات ۳، ۵ و ۷ ، در دو سیستم باربر لرزه‌ای قاب خمشی و مهاربندی- خمشی در قالب ۳ تیپ سقف رایج به علاوه سقف پیشنهادی برای هر دو گروه ساختمانی (فولادی و بتنی) مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این ارزیابی در ادامه ارائه شده است. بدیهی است که برای همه مقایسه‌ها ساختمان ساخته شده بر اساس استانداردهای جاری کشور مورد بررسی است.

خصوصیات مشترک برای ساختمان‌های فولادی

الف) سیستم باربر جانبی

- سیستم باربر جانبی قاب خمشی متوسط (در دو یا یک جهت)
- سیستم مهاربندی معمولی در ساختمان ۳ و ۵ طبقه و سیستم مهاربندی ویژه در ساختمان ۷ طبقه

ب) خاک و لرزه‌خیزی (برای همه مدل‌ها)

- خاک نوع ۳
- لرزه خیزی بسیار زیاد A=0.35

ج) مصالح

- فولاد مصرفی ST-37
- آرماتور S400

خصوصیات مشترک برای ساختمان‌های بتنی

الف) سیستم باربر جانبی

- سیستم باربر جانبی قاب خمشی متوسط (در هر دو جهت)

ب) خاک و لرزه‌خیزی (برای همه مدل‌ها)

- خاک نوع ۳
- لرزه خیزی بسیار زیاد A=0.35

ج) مصالح

- آرماتور S400
- بتن C25

جدول ۱ - مدل‌های منظور شده برای مقایسه سازه‌ها

مدل‌های ۳ طبقه اسکلت فلزی					مدل‌های ۵ طبقه اسکلت فلزی					مدل‌های ۷ طبقه اسکلت فلزی				
ردیف	سیستم	سقف	زیر بنا		ردیف	سیستم	سقف	زیر بنا		ردیف	سیستم	سقف	زیر بنا	
۱	قاب خمشی (در دو جهت)	پنل سه بعدی سیلک	۳۹۰		۹	قاب خمشی (در دو جهت)	پنل سه بعدی سیلک	۶۵۱		۱۷	قاب خمشی (در دو جهت)	پنل سه بعدی سیلک	۹۱۲	
۲		کاپوزیت			۱۰		کاپوزیت			۱۸		کاپوزیت		
۳		عرشه فولادی			۱۱		عرشه فولادی			۱۹		عرشه فولادی		
۴		کرومیت			۱۲		کرومیت			۲۰		کرومیت		
۵	مهاربندی (در جهت عرضی)	پنل سه بعدی سیلک			۱۳	مهاربندی (در جهت عرضی)	پنل سه بعدی سیلک			۲۱	مهاربندی (در جهت عرضی)	پنل سه بعدی سیلک		
۶		کاپوزیت			۱۴		کاپوزیت			۲۲		کاپوزیت		
۷		عرشه فولادی			۱۵		عرشه فولادی			۲۳		عرشه فولادی		
۸		کرومیت			۱۶		کرومیت			۲۴		کرومیت		
مدل‌های ۳ طبقه اسکلت بتنی					مدل‌های ۵ طبقه اسکلت بتنی					مدل‌های ۷ طبقه اسکلت بتنی				
ردیف	سیستم	سقف	زیر بنا		ردیف	سیستم	سقف	زیر بنا		ردیف	سیستم	سقف	زیر بنا	
۲۵	قاب خمشی (در دو جهت)	پنل سه بعدی سیلک	۳۹۰		۲۷	قاب خمشی (در دو جهت)	پنل سه بعدی سیلک	۶۵۱		۲۹	قاب خمشی (در دو جهت)	پنل سه بعدی سیلک	۹۱۲	
۲۶		تیرچه بلوک			۲۸		تیرچه بلوک			۳۰		تیرچه بلوک		

نتایج تحلیل برای مدل‌های پیشنهادی

طراحی سازه برای ساختمان‌های فولادی

در این بخش ۲۴ مدل سازه‌ای برای گروه ساختمان‌های فولادی بر مبنای نوع سقف، سیستم باربر جانبی و تعداد طبقات مطابق با جدول ۲ دسته بندی شده که در ادامه مدل‌های مورد اشاره معرفی، طراحی و بررسی خواهند شد.

جدول ۲- طبقه بندی مدل‌های گروه ساختمان‌های فولادی

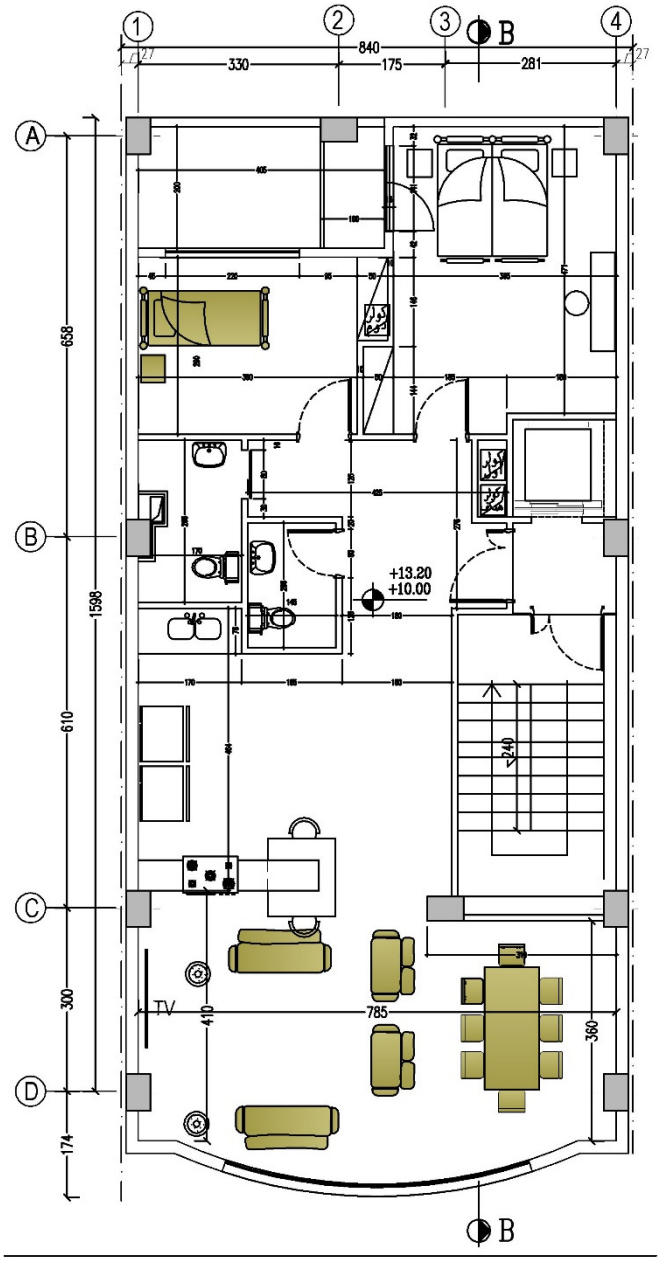
مدل‌های ۳ طبقه اسکلت فلزی				مدل‌های ۵ طبقه اسکلت فلزی				مدل‌های ۷ طبقه اسکلت فلزی			
ردیف	سیستم	سقف	زیر بنا	ردیف	سیستم	سقف	زیر بنا	ردیف	سیستم	سقف	زیر بنا
۱	قاب خمشی (در دو جهت)	پنل سه بعدی سیلک	۳۹۰	۹	قاب خمشی (در دو جهت)	پنل سه بعدی سیلک	۶۵۱	۱۷	قاب خمشی (در دو جهت)	پنل سه بعدی سیلک	۹۱۲
۲		کاپوزیت		۱۰		کاپوزیت		۱۸		کاپوزیت	
۳		عرشه فولادی		۱۱		عرشه فولادی		۱۹		عرشه فولادی	
۴		کرومیت		۱۲		کرومیت		۲۰		کرومیت	
۵	مهاربندی (در جهت عرضی)	پنل سه بعدی سیلک		۱۳	مهاربندی (در جهت عرضی)	پنل سه بعدی سیلک		۲۱	مهاربندی (در جهت عرضی)	پنل سه بعدی سیلک	
۶		کاپوزیت		۱۴		کاپوزیت		۲۲		کاپوزیت	
۷		عرشه فولادی		۱۵		عرشه فولادی		۲۳		عرشه فولادی	
۸		کرومیت		۱۶		کرومیت		۲۴		کرومیت	

مشخصات کلی مصالح و خاک مطابق جدول ۳ است.

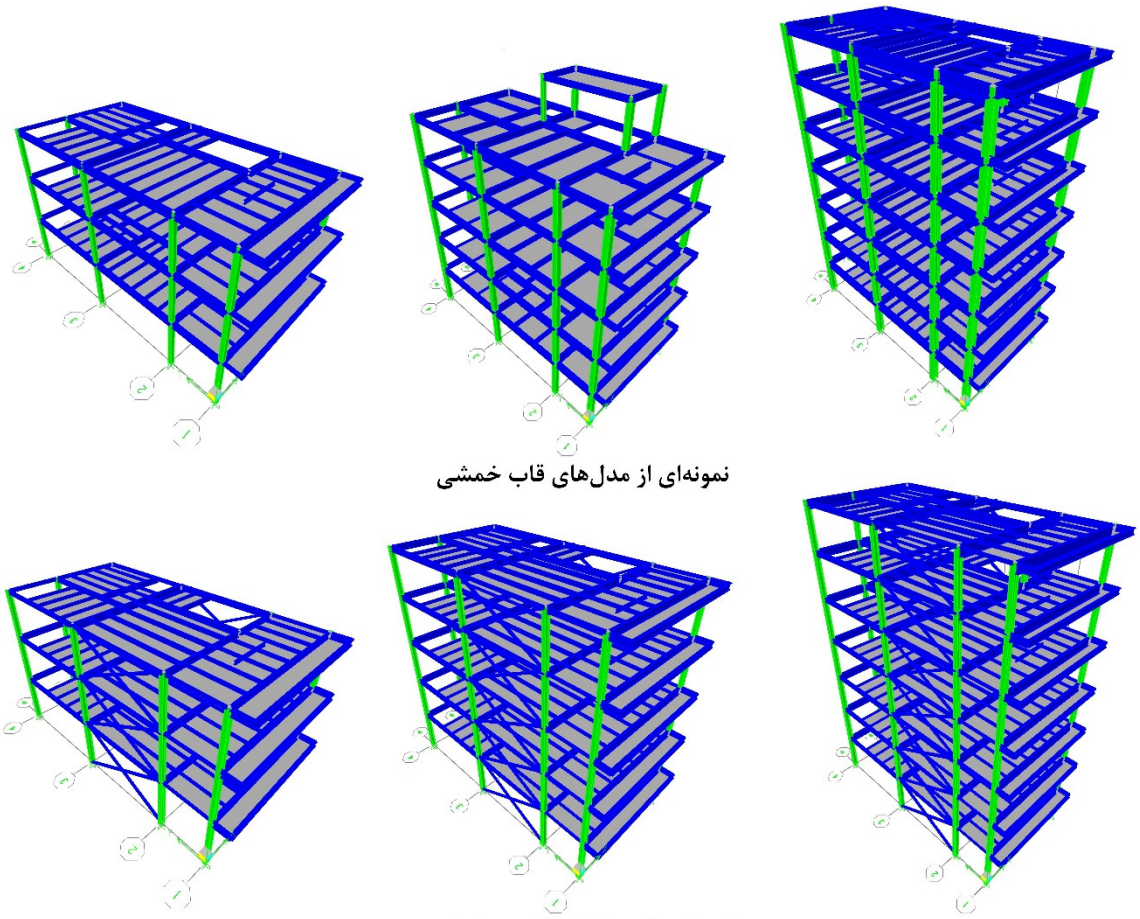
جدول ۳- مشخصات کلی ساختمان

محل احداث ساختمان:	تهران
کاربری:	مسکونی
نوع خاک:	تیپ III
مقاومت ۲۸ روزه بتن مصرفی در سقف‌ها:	۲۱۰ kg/cm^2
فولاد مصرفی:	ST-37

از یک تیپ پلان در ابعاد ۷/۸*۱۶/۷ در همه‌ی مدل‌ها اعم از بتنی و فولای مطابق با شکل ۱ استفاده شده است. هم‌چنین در شکل ۲، مدل سه‌بعدی سازه مشاهده می‌شود.



شکل ۱- پلان تیپ طبقات



شکل ۲- نمای سه بعدی از مدل‌های ارائه شده

منابع و آیین‌نامه‌ها

به منظور بارگذاری، تحلیل و طراحی سازه از آیین‌نامه‌های به شرح جدول ۴ استفاده می‌شود.

جدول ۴- منابع و آیین‌نامه‌ها

ردیف	نام مرجع	موارد استفاده از مرجع
۱	مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۲	بارگذاری بار مرده، بار زنده و بار باد
۲	مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۲	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 ۵ استفاده می‌گردد.

جدول ۵- 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 ۶ در نظر گرفته شده است.

جدول ۶- 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 آیین‌نامه AISC 360-08 می‌باشد که در جدول ۷ ارائه شده است.

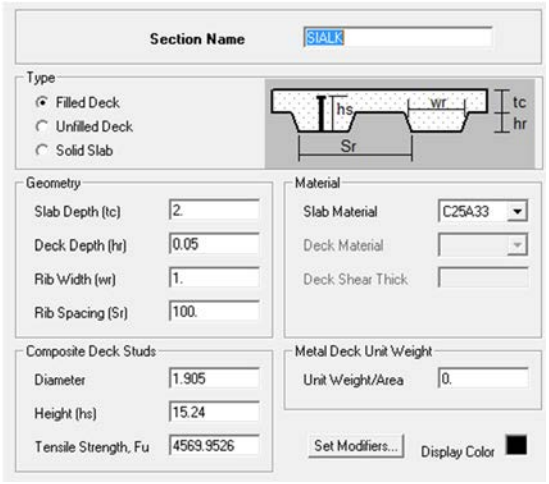
جدول ۷- ترکیبات بار AISC360-10 در طراحی به روش حالت حدی

Load Combinations	
Combination	Combination
Definition	Name
0.210*DEAD	EZD
1.400*DEAD	C1
1.200*DEAD + 1.600*LIVE20 + 1.600*PART + 1.600*LR	C2
1.200*DEAD + 1.000*LIVE20 + 1.000*PART + 1.200*SPX + 1.000*EZ + 1.000*EZD + 1.000*LR	C3
1.200*DEAD + 1.000*LIVE20 + 1.000*PART + 1.200*SPY + 1.000*EZ + 1.000*EZD + 1.000*LR	C4
0.900*DEAD + 1.200*SPY + 1.000*EZ + 1.000*EZD	C5
0.900*DEAD + 1.200*SPX + 1.000*EZ + 1.000*EZD	C6

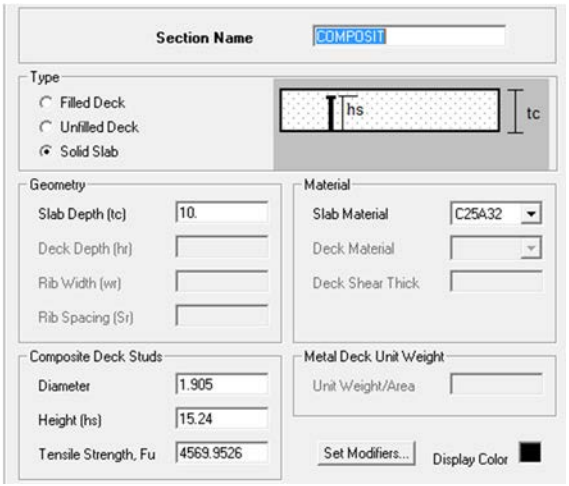
بار مرده

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 دِبی سیال عبوری از آن‌ها ثابت است، مانند چیلر، فن کوئل، ژنراتور، هواساز، اگزاست‌فن و... نیز در این ردیف بارها محسوب می‌شوند.

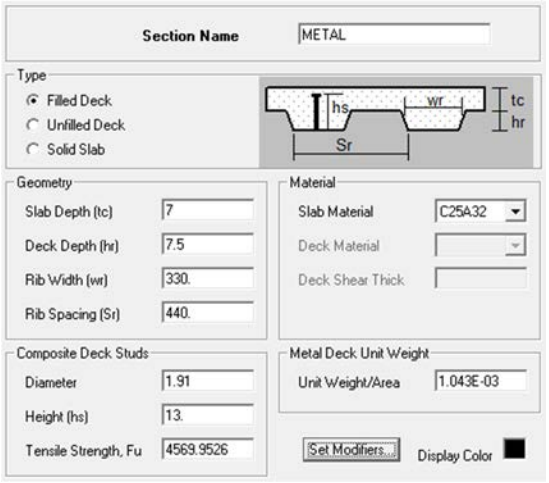
در این بخش از پروژه، ۴ تیپ سقف با عناوین کامپوزیت، عرشه فولادی، کرومیت و صفحات کامپوزیتی تقویت شده با پارچه سه‌بعدی بافته شده از نخ شیشه (پنل سه‌بعدی سیلک) استفاده شده است. برای این منظور از تنظیمات شکل ۳ الی شکل ۶ برای تعریف سقف‌های مذکور در نرم افزار استفاده شده است.



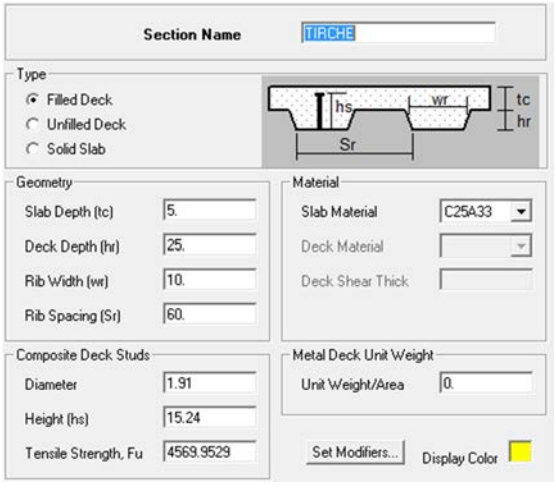
شکل ۳- تنظیمات مربوط به سقف پیشنهادی



شکل ۴- تنظیمات مربوط به سقف کامپوزیت



شکل ۵- تنظیمات مربوط به سقف عرشه فولادی



شکل ۶- تنظیمات مربوط به سقف کرومیت یا تیرچه بلوک

به منظور اعمال بار کف سازی در این پروژه از مقادیر جدول ۸ استفاده شده است.

جدول ۸- مقادیر بار کف سازی

ردیف	سقف	بار کف سازی(kg/m2)	
		بام	طبقات
۱	کاپوزیت	۳۰۰	۲۰۰
۲	عرشه فولادی	۳۰۰	۲۰۰
۳	کرومیت	۳۰۰	۲۰۰
۴	پنل 3D سیلک	۲۰۰	۱۰۰

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 بُعد ۱۵ سانتی‌متر وارد می‌شود 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 ۶-۵-۱ این آیین‌نامه، 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 kg/m^2 ۱۵۰ در نظر گرفته شود.

- وزن افرادی که احتمالا در آن‌جا تجمع خواهند نمود.
- وزن تجهیزات و دستگاه‌هایی که احتمالا در آن‌جا قرار خواهند گرفت.
- وزن موادی که احتمالا در آن‌جا انبار خواهد شد.

بارهای زنده ارائه شده در این آیین‌نامه برای بخش‌های مختلف ساختمان با کاربری‌های متفاوت در جدول ۹ ارائه شده است.

جدول ۹- مقادیر بار زنده برای کاربری‌های مختلف بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان

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

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 درنظرگیری ظرفیت جذب انرژی سازه در اثر رفتار غیرارتجاعی آن به دست می‌آید.

پریود ارتعاشی حاکم ساختمان

با توجه ارتفاع لرزه‌ای ساختمان، 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 روابط زیر محاسبه می‌گردد.

رابطه ۱ $T = 0.08H^{0.75}$

رابطه ۲ $T = 0.05H^{0.75}$

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.

نتایج پریود با احتساب افزایش ۲۵ درصدی به مقادیر حاصله از روابط آیین‌نامه‌ای به شرح جدول ۱۰ است.

جدول ۱۰- زمان تناوب تجربی مدل‌های ارائه شده

زمان تناوب تجربی با احتساب افزایش ۲۵ درصدی		
مدل	قاب خمشی	قاب مهاربندی
مدل‌های ۳ طبقه اسکلت فلزی(ارتفاع ۹,۷)	0.55	0.34
مدل‌های ۵ طبقه اسکلت فلزی(ارتفاع ۱۶,۱)	0.80	0.50
مدل‌های ۷ طبقه اسکلت فلزی(ارتفاع ۲۲,۵)	1.03	0.65

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 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.

راستای اثر زلزله

بر اساس بند ۳-۱-۴ آیین‌نامه ۲۸۰۰، به‌طور کلی جز در موارد ذیل اثر زلزله در هر یک از دو راستای عمود بر هم به صورت مجزا در نظر گرفته می‌شود.

- ساختمان‌های نامنظم در پلان
- کلیه ستون‌هایی که در محل تقاطع دو و یا چند سیستم باربر جانبی قرار دارند و بار محوری ناشی از زلزله در آن ستون، در هر یک از دو امتداد مورد نظر بیشتر از ۲۰٪ بار محوری مجاز آن باشد.

در موارد فوق امتداد اعمال نیروی زلزله باید با زاویه مناسبی که حتی‌المقدور بیشترین اثر را ایجاد می‌کند، انتخاب شود. برای منظور نمودن بیشترین اثر زلزله، می‌توان ۱۰۰٪ نیروی زلزله هر امتداد را با ۳۰٪ نیروی زلزله در امتداد عمود بر آن ترکیب نمود. در این حالت بحرانی‌ترین حالت ممکن از نظر علائم نیروهای داخلی حاصل از زلزله باید منظور گردد.

با توجه با الزام آیین‌نامه اثر ۱۰۰-۳۰ در صورت نیاز در ستون‌های مهاربندی کنترل 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.

در این پروژه، به منظور دقت بالا از روش تحلیل دینامیکی طیفی 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 به شرح جدول ۱۱ است.

جدول ۱۱- زمان تناوب تحلیلی مدل‌های ارائه شده

سیستم	سقف	مدل‌های ۳ طبقه اسکلت فلزی(ارتفاع ۹,۷)		مدل‌های ۵ طبقه اسکلت فلزی(ارتفاع ۱۶,۱)		مدل‌های ۷ طبقه اسکلت فلزی(ارتفاع ۲۲,۵)	
		پریود تحلیلی X	پریود تحلیلی Y	پریود تحلیلی X	پریود تحلیلی Y	پریود تحلیلی X	پریود تحلیلی Y
قاب خمشی (در دو جهت)	پنل 3D سیلک	0.97	1	1.19	1.24	1.2	1.39
	کاپوزیت	0.98	0.93	1.30	1.28	1.24	1.4
	عرشه فولادی	0.96	0.92	1.29	1.28	1.22	1.39
	کرومیت	0.95	0.9	1.28	1.26	1.21	1.37
مهاربندی (در جهت عرضی)	پنل 3D سیلک	1	0.39	1.41	0.64	1.02	0.67
	کاپوزیت	0.91	0.44	1.25	0.63	1.32	0.79
	عرشه فولادی	0.89	0.43	1.26	0.64	1.3	0.78
	کرومیت	0.98	0.42	1.24	0.65	1.29	0.76

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 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.

$$C = \frac{ABI}{R}$$ رابطه ٤

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 و برای مهاربند هم‌محور فولادی برابر با ۳/۵ می‌باشد.

محاسبه ضریب زلزله استاتیکی در فایل اصلی

در این قسمت ضریب بازتاب و ضریب زلزله براساس ۱/۲۵ برابر زمان تناوب تجربی در جدول ۱۲ ارائه شده است.

جدول ۱۲- ضرائب زلزله برای مدل‌های ارائه شده

سیستم	سقف	مدل‌های ۳ طبقه اسکلت فلزی (ارتفاع ۹,۷)				مدل‌های ۵ طبقه اسکلت فلزی (ارتفاع ۱۶,۱)				مدل‌های ۷ طبقه اسکلت فلزی (ارتفاع ۲۲,۵)			
		Bx	Cx	By	Cy	Bx	Cx	By	Cy	Bx	Cx	By	Cy
قاب خمشی (در دو جهت)	پنل 3D سیلک	2.75	0.19	2.75	0.19	2.45	0.17	2.45	0.17	2	0.14	2	0.14
	کاپوزیت	2.75	0.19	2.75	0.19	2.45	0.17	2.45	0.17	2	0.14	2	0.14
	عرشه فولادی	2.75	0.19	2.75	0.19	2.45	0.17	2.45	0.17	2	0.14	2	0.14
	کرومیت	2.75	0.19	2.75	0.19	2.45	0.17	2.45	0.17	2	0.14	2	0.14
مهاربندی (در جهت عرضی)	پنل 3D سیلک	2.75	0.19	2.75	0.27	2.45	0.17	2.75	0.27	2	0.14	2.75	0.17
	کاپوزیت	2.75	0.19	2.75	0.27	2.45	0.17	2.75	0.27	2	0.14	2.75	0.17
	عرشه فولادی	2.75	0.19	2.75	0.27	2.45	0.17	2.75	0.27	2	0.14	2.75	0.17
	کرومیت	2.75	0.19	2.75	0.27	2.45	0.17	2.75	0.27	2	0.14	2.75	0.17

لازم به ذکر است در محاسبه تغییرمکان جانبی نسبی طبقات می‌توان محدودیت ۱/۲۵ برابر دوره تناوب اصلی را رعایت نکرد و از مقادیر دوره تناوب حاصل از آنالیز، جهت محاسبه نیروی زلزله کنترل دریفت استفاده نمود.

روش تحلیل طیفی (مودال) خطی

مبنای این روش، به دست آوردن پاسخ‌های سازه در هر مود و به دست آوردن پاسخ کل سازه با استفاده از پاسخ‌های مودی است.

ترکیب آثار مودها

در روش تحلیل طیفی، حداکثر پاسخ هر مود ارتعاشی محاسبه می‌شود. اما ماکزیمم پاسخ‌های مودی هم‌زمان اتفاق نمی‌افتد. بنابراین لازم است برای به دست آوردن پاسخ‌های سازه از روی پاسخ‌های مودی، با استفاده از مفاهیم ارتعاشات تصادفی، از روش‌های ترکیب آماری مانند روش جذر مجموع مربعات (SRSS) و یا روش ترکیب مربعی کامل (CQC) استفاده نمود.

اصلاح مقادیر بازتاب‌ها

در مواردی که برش پایه به دست آمده از روش تحلیل طیفی کمتر از برش پایه به دست آمده از روش استاتیکی معادل باشد، مقدار برش پایه به مقادیر زیر افزایش داده شده و بازتاب‌های سازه متناسب با آن‌ها اصلاح می‌شود. برش پایه استاتیکی معادل عنوان‌شده در بندهای ذیل، با استفاده از مشخصات طیف استاندارد به دست می‌آید.

با توجه به این‌که در این پژوهش از طیف طرح استاندارد استفاده می‌شود، برش پایه دینامیکی در همه‌ی مدل‌ها به مقدار ۸۵٪ برش پایه استاتیکی معادل هم‌پایه می‌شود.

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 صورتی‌که بیشینه تغییرمکان 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_j ضرب شود. 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. به‌صورت تصادفی مدارک تعدادی مدل‌ها به شرح زیر ارائه شده است. در صورتی‌که سقف پیشنهادی را به‌صورت انعطاف پذیر تعریف شود نیازی به در نظر گرفتن پیچش نیست. در پروژه حاضر سقف پیشنهادی در حالت قاب خمشی به صورت انعطاف پذیر در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۳- کنترل لزوم تشدید خروج از مرکزیت تصادفی

مدل ۷ طبقه مهاربندی-خمشی سقف عرشه فولادی

STORY	LOAD	DIR	MAXIMUM	AVERAGE	RATIO
ROOF	EX	X	10.8990	10.3532	1.053
ST-6	EX	X	9.9747	9.4779	1.052
ST-5	EX	X	8.3331	7.9051	1.054
ST-4	EX	X	6.5286	6.1502	1.062
ST-3	EX	X	4.6911	4.4002	1.066
ST-2	EX	X	2.8035	2.6386	1.062
ST-1	EX	X	1.0696	1.0135	1.055
ROOF	EY	Y	3.9907	3.9411	1.013
ST-6	EY	Y	3.4803	3.4309	1.014
ST-5	EY	Y	2.9099	2.8646	1.016
ST-4	EY	Y	2.2894	2.2501	1.017
ST-3	EY	Y	1.6527	1.6210	1.020
ST-2	EY	Y	1.0417	1.0198	1.022
ST-1	EY	Y	0.4600	0.4502	1.022
ROOF	EXN	X	11.5623	10.3137	1.121
ST-6	EXN	X	10.5729	9.4436	1.120
ST-5	EXN	X	8.8354	7.8767	1.122
ST-4	EXN	X	6.9268	6.1317	1.130
ST-3	EXN	X	4.9815	4.3885	1.135
ST-2	EXN	X	2.9836	2.6301	1.134
ST-1	EXN	X	1.1442	1.0087	1.134
ROOF	EXP	X	10.5499	10.3927	1.015
ST-6	EXP	X	9.6478	9.5122	1.014
ST-5	EXP	X	8.0363	7.9336	1.013
ST-4	EXP	X	6.2069	6.1687	1.006
ST-3	EXP	X	4.4232	4.4120	1.003
ST-2	EXP	X	2.6707	2.6470	1.009
ST-1	EXP	X	1.0416	1.0183	1.023
ROOF	EYP	Y	4.1840	3.9345	1.063
ST-6	EYP	Y	3.6556	3.4257	1.067
ST-5	EYP	Y	3.0582	2.8608	1.069
ST-4	EYP	Y	2.4070	2.2476	1.071
ST-3	EYP	Y	1.7388	1.6196	1.074
ST-2	EYP	Y	1.0960	1.0192	1.075
ST-1	EYP	Y	0.4830	0.4500	1.073
ROOF	EYN	Y	4.0981	3.9477	1.038
ST-6	EYN	Y	3.5671	3.4361	1.038
ST-5	EYN	Y	2.9751	2.8683	1.037
ST-4	EYN	Y	2.3333	2.2526	1.036
ST-3	EYN	Y	1.6783	1.6224	1.034
ST-2	EYN	Y	1.0535	1.0205	1.032
ST-1	EYN	Y	0.4639	0.4505	1.030

مدل ۵ طبقه مهاربندی-خمشی سقف عرشه فولادی

STORY	LOAD	DIR	MAXIMUM	AVERAGE	RATIO
ROOF	EX	X	11.4182	11.3716	1.004
ST-4	EX	X	9.8249	9.7610	1.007
ST-3	EX	X	7.2458	7.2290	1.002
ST-2	EX	X	4.4590	4.4361	1.005
ST-1	EX	X	1.7354	1.7279	1.004
ROOF	EY	Y	1.9337	1.8664	1.036
ST-4	EY	Y	1.6144	1.5581	1.036
ST-3	EY	Y	1.1588	1.1185	1.036
ST-2	EY	Y	0.7610	0.7350	1.035
ST-1	EY	Y	0.3562	0.3447	1.033

مدل ۳ طبقه خمشی سقف کامپوزیت

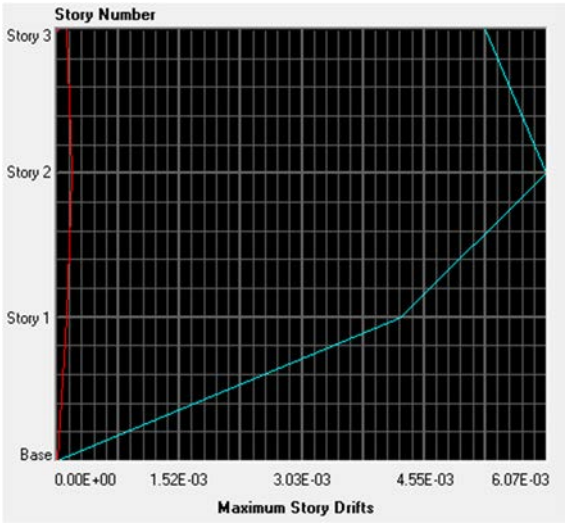
STORY	LOAD	DIR	MAXIMUM	AVERAGE	RATIO
ROOF	EX	X	7.0023	6.7858	1.032
ST-2	EX	X	4.9918	4.8932	1.020
ST-1	EX	X	2.1080	2.0639	1.021
ROOF	EY	Y	6.3319	6.1704	1.026
ST-2	EY	Y	4.4482	4.3399	1.025
ST-1	EY	Y	1.8934	1.8508	1.023

کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات برای زلزله طرح

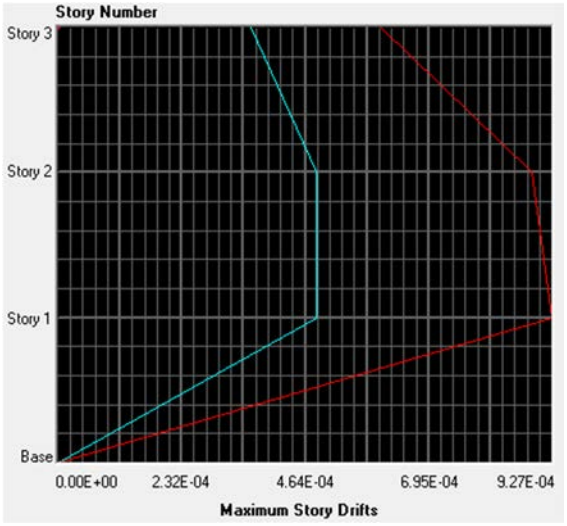
طبق آیین نامه ۲۸۰۰، تغییر مکان جانبی نسبی واقعی طرح طبقات برای سازه‌های تا ۵ طبقه به مقدار ۰/۰۲۵ برابر ارتفاع و برای سازه‌های بیش از ۵ طبقه به مقدار ۰/۰۲ برابر ارتفاع طبقه محدود می‌گردد. لذا باید مقادیر حاصل از تحلیل خطی، در ضریب بزرگ‌نمایی تغییرمکان‌ها ضرب شود و با مقدار مجاز مقایسه گردد. بدین منظور بایستی مقادیر مجاز دریفت حاصل از جدول ۱۴ با مقادیر حاصل از تحلیل خطی در نرم‌افزار مقایسه نمود. بنابراین مطابق بر اشکال ذیل مشاهده می‌شود که برای همه طبقات و تحت اثر تمامی حالات بار زلزله، تغییرمکان جانبی نسبی طبقات در محدوده مجاز قرار گرفته است.(شکل ۷ الی شکل ۳۰)

جدول ۱۴- مقادیر دریفت مجاز برای مدل‌های ارائه شده

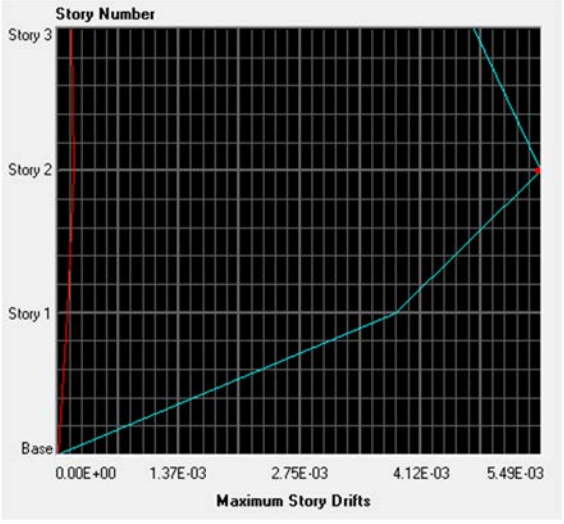
دریفت مجاز مطابق با ۰/۰۲۵ برابر ارتفاع			دریفت مجاز مطابق با ۰/۰۲ برابر ارتفاع		
نوع سیستم	ضریب بزرگ‌نمایی	دریفت مجاز	نوع سیستم	ضریب بزرگ‌نمایی	دریفت مجاز
قاب خمشی	4	0.0062	قاب خمشی	4	0.0050
قاب مهاربندی	3.5	0.0071	قاب مهاربندی	3.5	0.0057



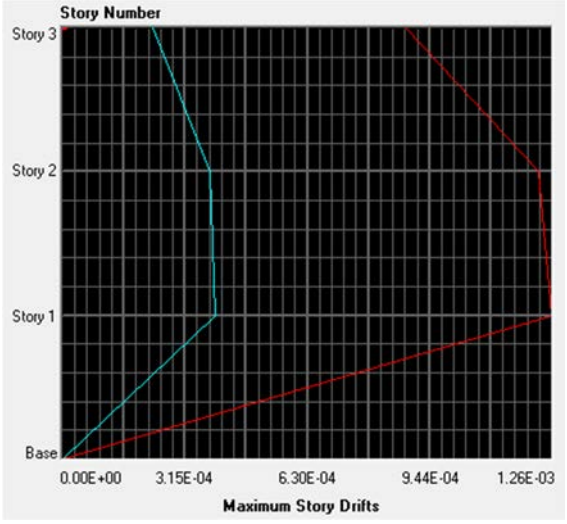
شکل ۷- دریفت مدل ۳ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف پیشنهادی، جهتX



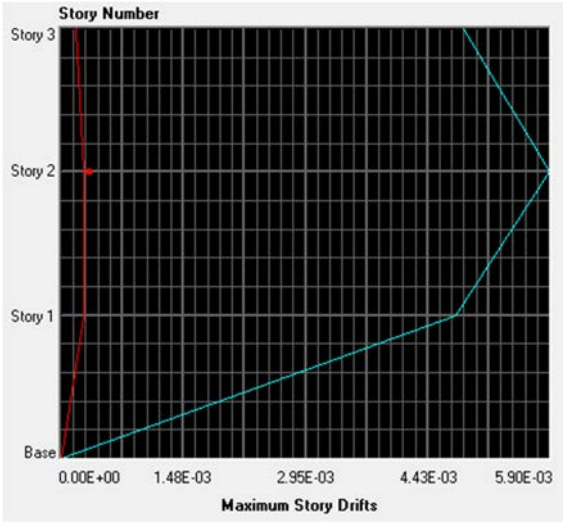
شکل ۸- دریفت مدل ۳ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف پیشنهادی، جهتY



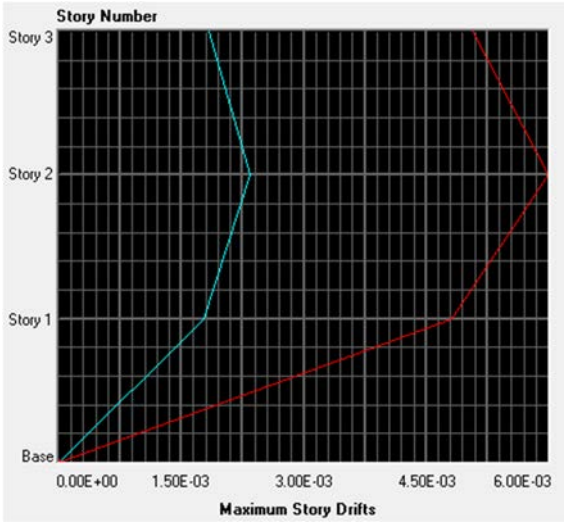
شکل ۹- دریفت مدل ۳ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف کامپوزیت، جهتX



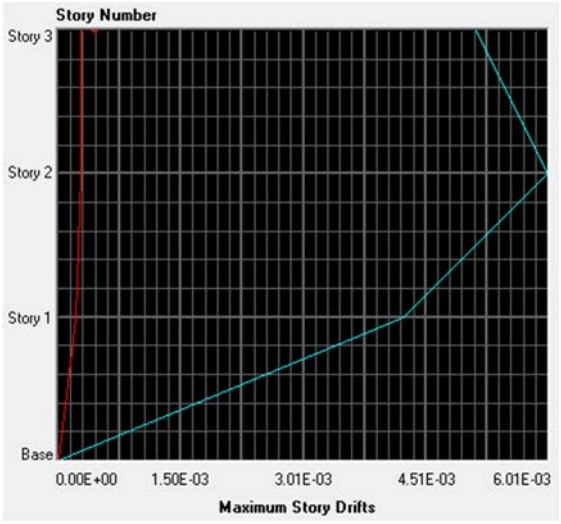
شکل ۱۰- دریفت مدل ۳ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف کامپوزیت، جهتY



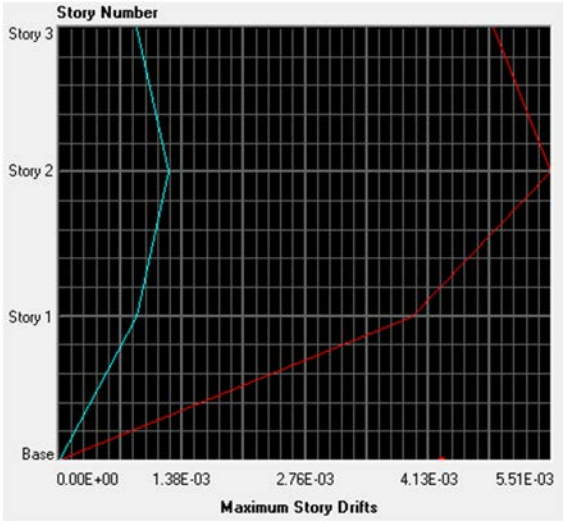
شکل ۱۱- دریفت مدل ۳ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهتX



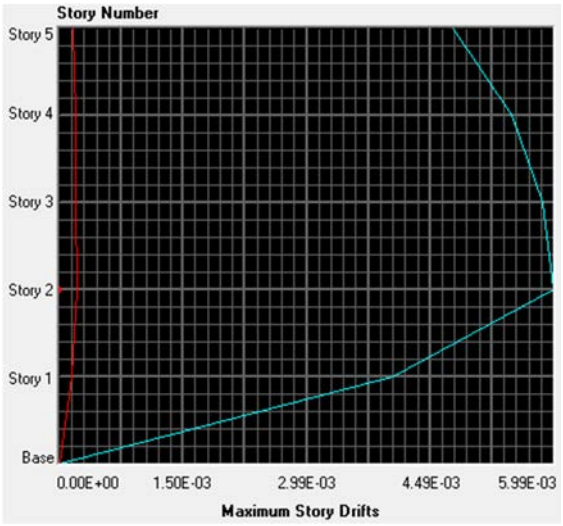
شکل ۱۲- دریفت مدل ۳ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهتY



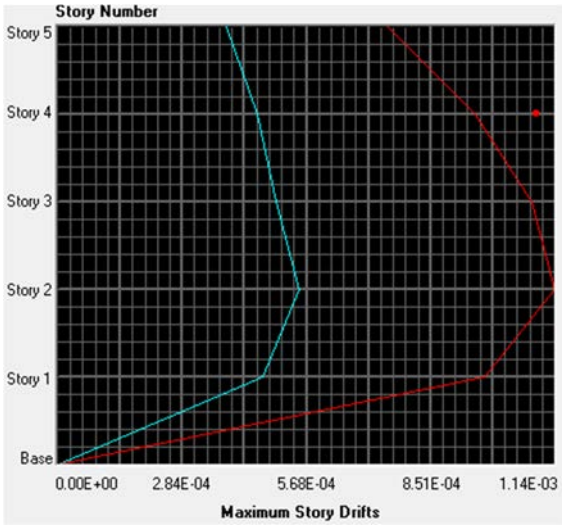
شکل ۱۳- دریفت مدل ۳ طبقه، خمشی، سقف کامپوزیت، جهتX



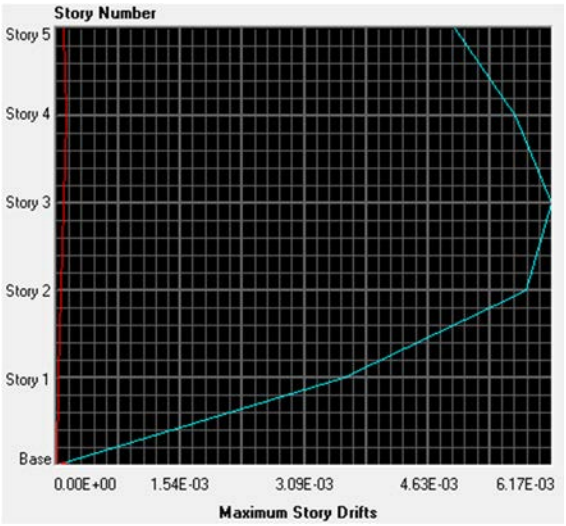
شکل ۱۴- دریفت مدل ۳ طبقه، خمشی، سقف کامپوزیت، جهتY



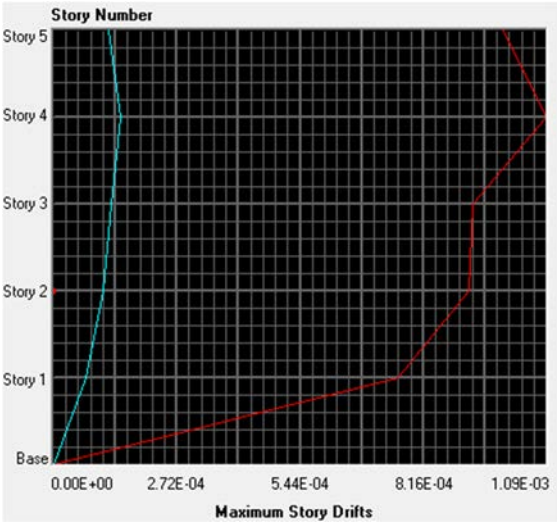
شکل ۱۵- دریفت مدل ۵ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف پیشنهادی، جهتX



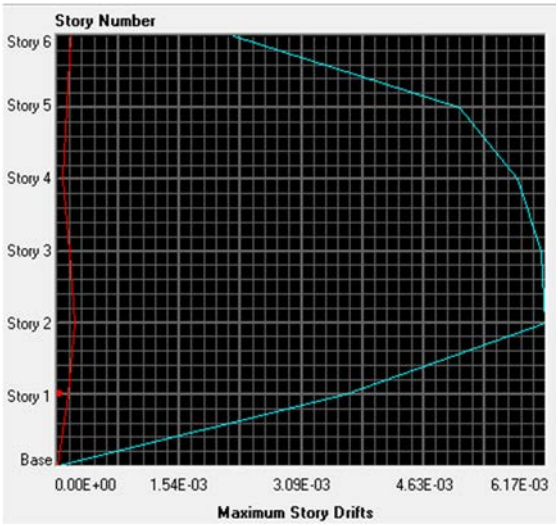
شکل ۱۶- دریفت مدل ۵ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف پیشنهادی، جهتY



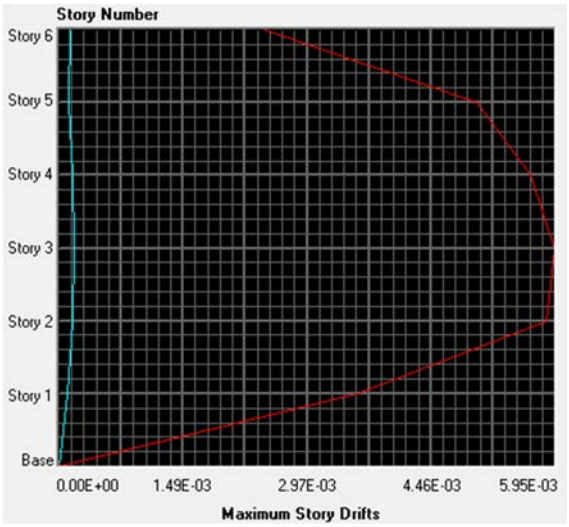
شکل ۱۷- دریفت مدل ۵ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف عرشه فولادی، جهتX



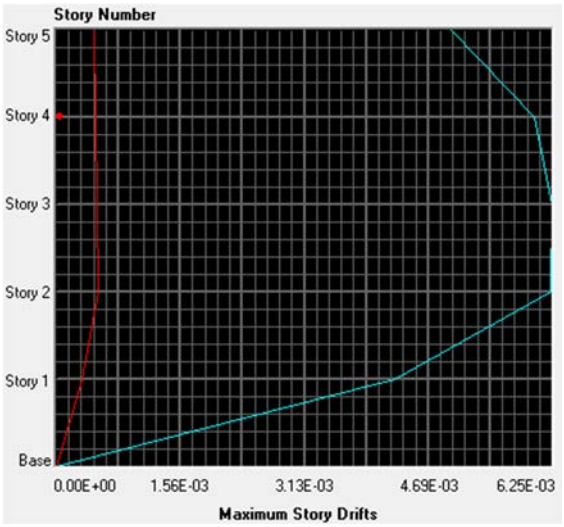
شکل ۱۸- دریفت مدل ۵ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف عرشه فولادی، جهتY



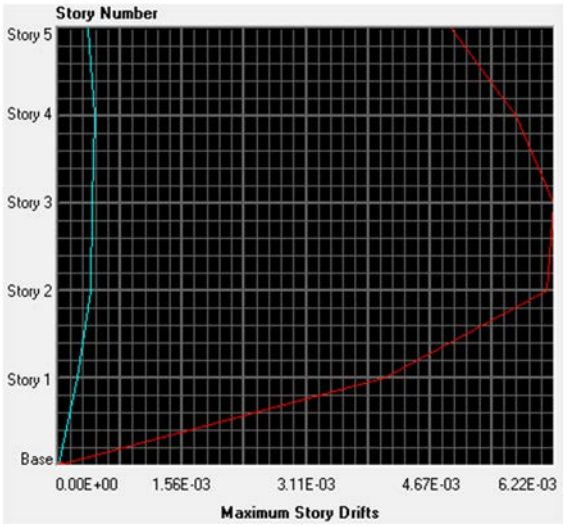
شکل ۱۹- دریفت مدل ۵ طبقه، خمشی، سقف عرشه فولادی، جهتX



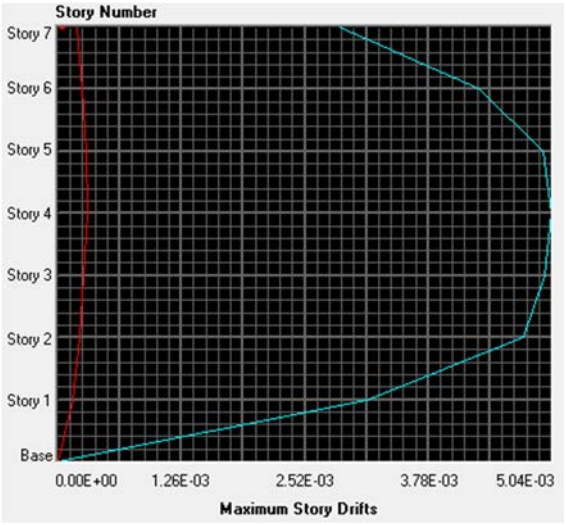
شکل ۲۰- دریفت مدل ۵ طبقه، خمشی، سقف عرشه فولادی، جهتY



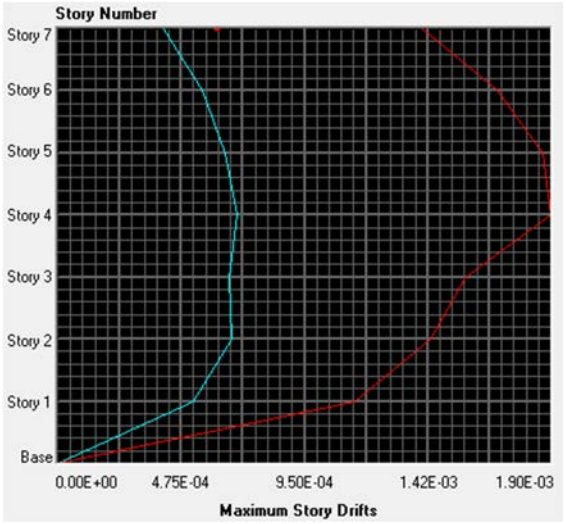
شکل ۲۱- دریفت مدل ۵ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهتX



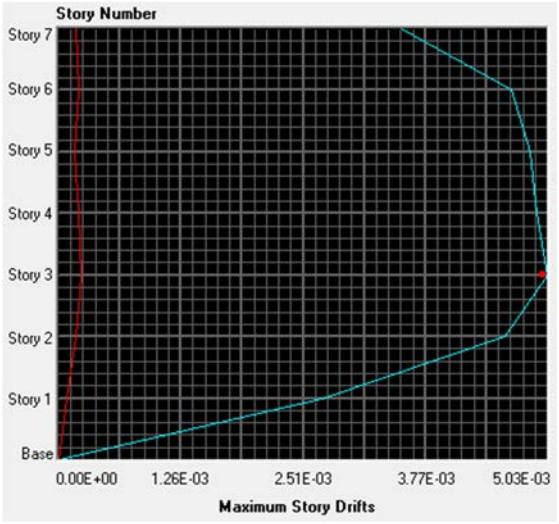
شکل ۲۲- دریفت مدل ۵ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهتY



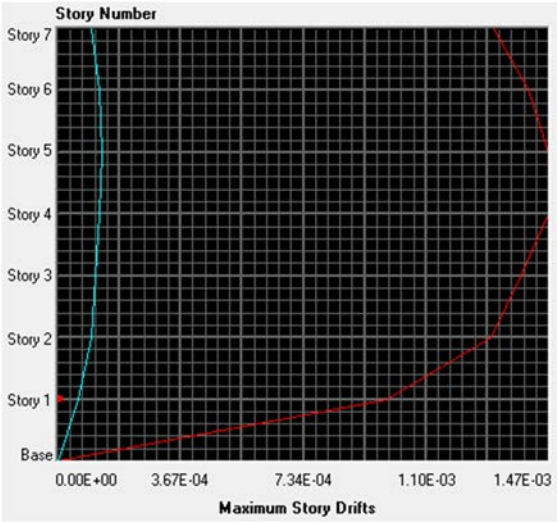
شکل ۲۳- دریفت مدل ۷ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف پیشنهادی، جهتX



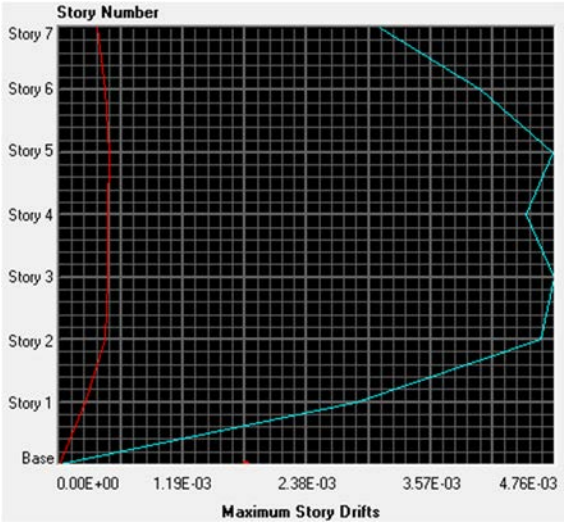
شکل ۲۴- دریفت مدل ۷ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف پیشنهادی، جهتY



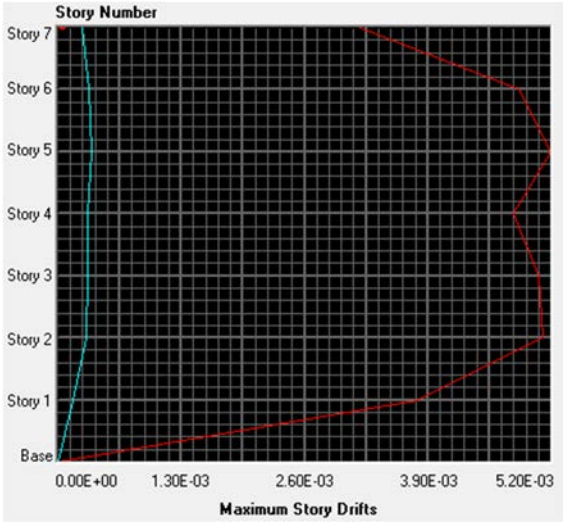
شکل ۲۵- دریفت مدل ۷ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف عرشه فولادی، جهتX



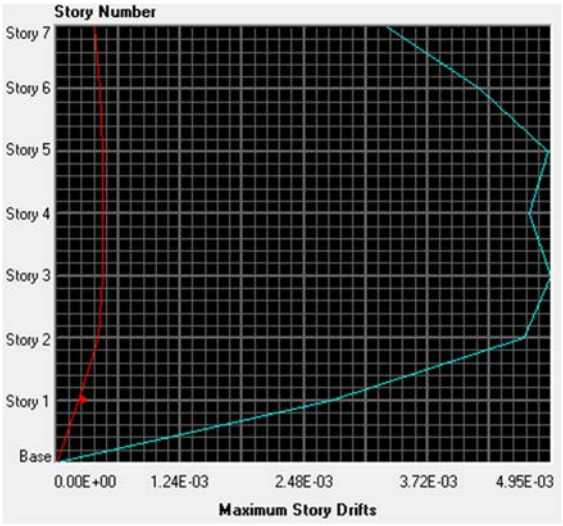
شکل ۲۶- دریفت مدل ۷ طبقه، مهاربندی-خمشی، سقف عرشه فولادی، جهتY



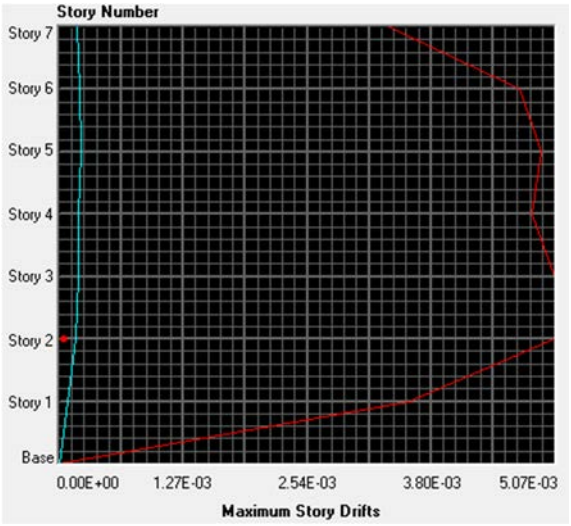
شکل ۲۷- دریفت مدل ۷ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهتX



شکل ۲۸- دریفت مدل ۷ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهتY



شکل ۲۹- دریفت مدل ۷ طبقه، خمشی، سقف عرشه فولادی، جهتX



شکل ۳۰- دریفت مدل ۷ طبقه، خمشی، سقف عرشه فولادی، جهتY

طراحی سازه برای ساختمان‌های بتنی

در این بخش ۶ مدل سازه‌ای برای گروه ساختمان‌های بتنی بر مبنای نوع سقف، سیستم باربر جانبی و تعداد طبقات مطابق با جدول ۱۵دسته بندی شده که در ادامه مدل‌های مورد اشاره معرفی، طراحی و بررسی خواهند شد.

جدول ۱۵- طبقه بندی مدل‌های گروه ساختمان‌های بتنی

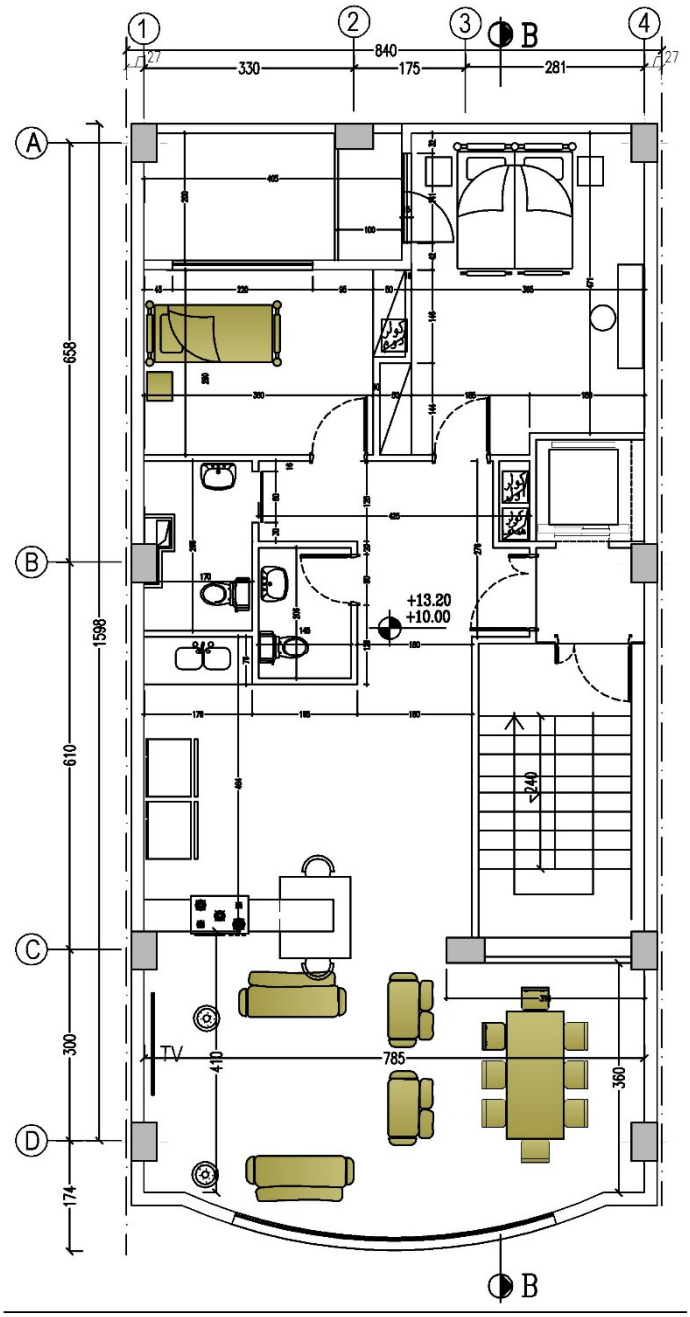
مدل‌های ۳ طبقه اسکلت بتنی				مدل‌های ۵ طبقه اسکلت بتنی				مدل‌های ۷ طبقه اسکلت بتنی			
ردیف	سیستم	سقف	زیر بنا	ردیف	سیستم	سقف	زیر بنا	ردیف	سیستم	سقف	زیر بنا
۱	قاب خمشی (در دو جهت)	پنل سه بعدی سیلک	۳۹۰	۳	قاب خمشی (در دو جهت)	پنل سه بعدی سیلک	۶۵۱	۵	قاب خمشی (در دو جهت)	پنل سه بعدی سیلک	۹۱۲
۲		تیرچه بلوک		۴		تیرچه بلوک		۶		تیرچه بلوک	

مشخصات کلی مصالح و خاک مطابق جدول ۱۶ است.

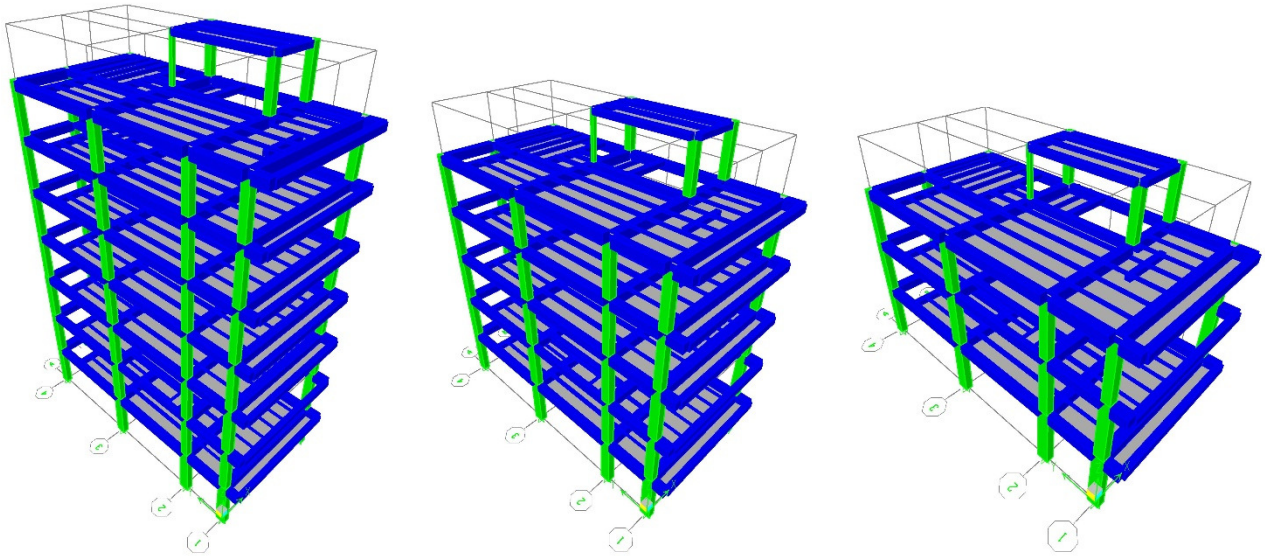
جدول ۱۶- مشخصات کلی ساختمان

محل احداث ساختمان:	تهران
کاربری:	مسکونی
نوع خاک:	تیپ III
نوع میلگرد مصرفی:	A-III
مقاومت ۲۸ روزه بتن:	۲۵ مگا پاسکال
مدول ارتجاعی بتن:	۲۶۳۵۵ مگا پاسکال

از یک تیپ پلان در ابعاد ۷/۸*۱۶/۷ در همه‌ی مدل‌ها اعم از بتنی و فولای مطابق با شکل ۳۱ استفاده شده است. همچنین در شکل ۳۲ مدل سه‌بعدی سازه مشاهده می‌شود.



شکل ۳۱- پلان تیپ طبقات



شکل ۳۲- مدل‌های سه بعدی گروه ساختمان‌های بتنی

منابع و آیین‌نامه‌ها

به منظور بارگذاری، تحلیل و طراحی سازه از آیین‌نامه‌های به شرح جدول ۱۷ استفاده می‌شود.

جدول ۱۷- 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	استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویراست چهارم	بارگذاری زلزله
۳	مبحث نهم مقررات ملی ساختمان	طراحی اعضای بتن‌مسلح
۴	آیین نامه ACI	طراحی اعضای بتن‌مسلح

نرم‌افزارها

به منظور مدل‌سازی، تحلیل و طراحی سازه از نرم‌افزارهای ارائه شده در جدول ۱۸ استفاده می‌گردد.

جدول ۱۸- نرم‌افزارهای مورد استفاده

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

انواع حالات بارگذاری

حالات محتمل بارهای وارد بر ساختمان مطابق جدول ۱۹در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۹- حالات محتمل بارهای وارد بر ساختمان

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

ترکیبات بار

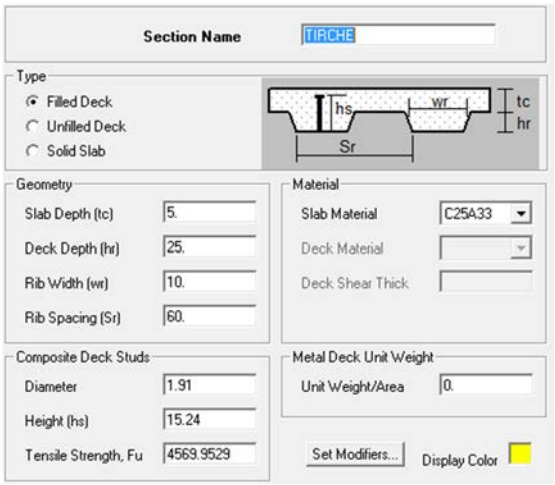
ترکیبات بار استفاده شده در طراحی، مطابق با آیین‌نامه ACI می‌باشد که در جدول ۲۰ ارائه شده است.

جدول ۲۰- ترکیبات بار ACI در طراحی به روش حالت حدی

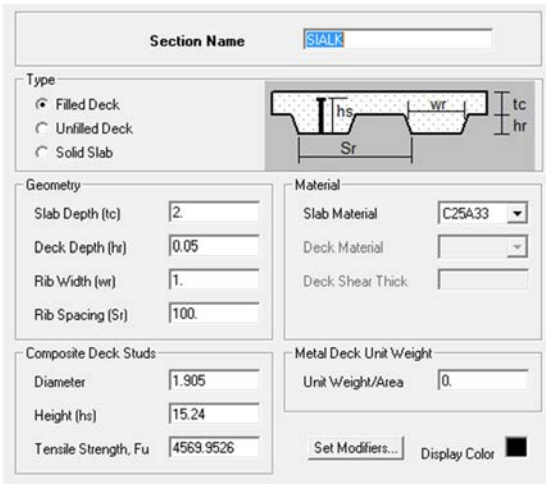
Load Combinations	
Combination	Combination
Definition	Name
0.210*DEAD	EZD
1.400*DEAD	C1
1.200*DEAD + 1.600*LIVE20 + 1.600*PART + 1.600*LR	C2
1.200*DEAD + 1.000*LIVE20 + 1.000*PART + 1.200*SPX + 1.000*EZ + 1.000*EZD + 1.000*LR	C3
1.200*DEAD + 1.000*LIVE20 + 1.000*PART + 1.200*SPY + 1.000*EZ + 1.000*EZD + 1.000*LR	C4
0.900*DEAD + 1.200*SPY + 1.000*EZ + 1.000*EZD	C5
0.900*DEAD + 1.200*SPX + 1.000*EZ + 1.000*EZD	C6

بار مرده

در این بخش از پروژه، از۲ تیپ سقف با عناوین تیرچه بلوک و صفحات کامپوزیتی تقویت شده با پارچه سه بعدی بافته شده از نخ شیشه (پنل سه بعدی سیلک) استفاده شده است. برای این منظور از تنظیمات شکل ۳۳ و شکل ۳۴ برای تعریف سقف‌های مذکور در نرم افزار استفاده شده است.



شکل ۳۳- تنظیمات مربوط به سقف پیشنهادی



شکل ۳۴- تنظیمات مربوط به سقف کرومیت یا تیرچه بلوک

به منظور اعمال بار کف سازی در این پروژه از مقادیر جدول ۲۱ استفاده شده است.

جدول ۲۱- مقادیر بار کف سازی

ردیف	سقف	بار کف سازی(kg/m2)	
		بام	طبقات
1	تیرچه بلوک	300	200
2	پنل 3D سیلک	200	100

بار زنده

بار زنده نسبت به حالت فولادی تغییری نکرده است.

جدول ۲۲- مقادیر بار زنده بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان

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

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 درنظرگیری ظرفیت جذب انرژی سازه در اثر رفتار غیرارتجاعی آن به دست می‌آید.

پریود ارتعاشی حاکم ساختمان

مطابق با استاندارد ۲۸۰۰، زمان تناوب اصلی نوسان، با توجه به مشخصات ساختمان و ارتفاع لرزه‌ای تعیین می‌گردد. این مقدار برای سیستم قاب خمشی بتنی بر حسب ارتفاع ساختمان H، از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

رابطه ۵ $T = 0.05H^{0.90}$

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. هم‌چنین در محاسبه دوره تناوب اصلی سازه‌های بتنی، به منظور در نظر گرفتن سختی موثر در اثر ترک‌خوردگی بتن، لازم است ممان اینرسی مقاطع قطعات برای تیرها 0.5Ig و برای ستون‌ها و دیوارها Ig منظور شود. پارامتر Ig، ممان اینرسی کل مقطع عضو بدون درنظر گرفتن فولاد است. نتایج زمان تناوب با احتساب افزایش ۲۵ درصدی به مقادیر حاصله از روابط آیین‌نامه‌ای به شرح جدول ۲۳ است.

جدول ۲۳- زمان تناوب تجربی مدل‌های ارائه شده بتنی

پریود تجربی با احتساب افزایش ۲۵ درصدی	
مدل	قاب خمشی
مدل‌های ۳ طبقه اسکلت بتنی(ارتفاع ۹,۷)	0.48
مدل‌های ۵ طبقه اسکلت بتنی(ارتفاع ۱۶,۱)	0.76
مدل‌های ۷ طبقه اسکلت بتنی(ارتفاع ۲۲,۵)	1.03

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 بتنی متوسط برابر با ۵ در نظر گرفته شده است. هم‌چنین ضریب بزرگ‌نمایی تغییرمکان‌های ارتجاعی سیستم برابر با ۴/۵ تعریف شده است. ضریب اضافه مقاومت نیز ۳ می‌باشد.

راستای اثر زلزله

با توجه به این‌که مدل‌های ارائه شده، اولا منظم هستند و ثانیا نیروی زلزله در آن تلاش محوری کمتر از ۲۰ درصد بار محوری مجاز ستون ایجاد می‌کند، پس می‌توان نتیجه گرفت همه مدل‌های بخش بتنی از اِعمال اثر ۱۰۰-۳۰ معاف می‌شوند.

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.

در این پروژه، به منظور دقت بالا از روش تحلیل دینامیکی طیفی 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 به شرح جدول ۲۴ است.

جدول ۲۴- زمان تناوب تحلیلی مدل‌های ارائه شده بتنی

سیستم	سقف	مدل‌های ۳ طبقه اسکلت بتنی (ارتفاع ۹,۷)		مدل‌های ۵ طبقه اسکلت بتنی (ارتفاع ۱۶,۱)		مدل‌های ۷ طبقه اسکلت بتنی (ارتفاع ۲۲,۵)	
		پریود تحلیلی X	پریود تحلیلی Y	پریود تحلیلی X	پریود تحلیلی Y	پریود تحلیلی X	پریود تحلیلی Y
قاب خمشی (در دو جهت)	پنل 3D سیلک	0.55	0.57	0.90	0.93	1.23	1.25
	کاپوزیت	0.60	0.58	0.97	0.93	1.26	1.28

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 ٦

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.

$$C = \frac{ABI}{R}$$ رابطه ٧

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

در این قسمت ضریب بازتاب و ضریب زلزله براساس ۱/۲۵ برابر زمان تناوب تجربی در جدول ۲۵ ارائه شده است.

جدول ۲۵- ضرائب زلزله برای مدل‌های ارائه شده بتنی

مدل	1.25T	B	C
مدل‌های ۳ طبقه اسکلت بتنی(ارتفاع ۹,۷)	0.48	2.75	0.193
مدل‌های ۵ طبقه اسکلت بتنی(ارتفاع ۱۶,۱)	0.76	2.56	0.172
مدل‌های ۷ طبقه اسکلت بتنی(ارتفاع ۲۲,۵)	1.03	2	0.14

لازم به ذکر است در محاسبه تغییرمکان جانبی نسبی طبقات می‌توان محدودیت ۱/۲۵ برابر دوره تناوب اصلی را رعایت نکرد و از مقادیر دوره تناوب حاصل از آنالیز، جهت محاسبه نیروی زلزله کنترل دریفت استفاده نمود.

روش تحلیل طیفی (مودال) خطی

مبنای این روش، به دست آوردن پاسخ‌های سازه در هر مود و به دست آوردن پاسخ کل سازه با استفاده از پاسخ‌های مودی است.

ترکیب آثار مودها

در روش تحلیل طیفی، حداکثر پاسخ هر مود ارتعاشی محاسبه می‌شود. اما ماکزیمم پاسخ‌های مودی هم‌زمان اتفاق نمی‌افتد. بنابراین لازم است برای به دست آوردن پاسخ‌های سازه از روی پاسخ‌های مودی، با استفاده از مفاهیم ارتعاشات تصادفی، از روش‌های ترکیب آماری مانند روش جذر مجموع مربعات (SRSS) و یا روش ترکیب مربعی کامل (CQC) استفاده نمود.

اصلاح مقادیر بازتاب‌ها

در مواردی که برش پایه به دست آمده از روش تحلیل طیفی کمتر از برش پایه به دست آمده از روش استاتیکی معادل باشد، مقدار برش پایه به مقادیر زیر افزایش داده شده و بازتاب‌های سازه متناسب با آن‌ها اصلاح می‌شود. برش پایه استاتیکی معادل عنوان‌شده در بندهای ذیل، با استفاده از مشخصات طیف استاندارد به دست می‌آید.

با توجه به این‌که در این پژوهش از طیف طرح استاندارد استفاده می‌شود، برش پایه دینامیکی در همه‌ی مدل‌ها به مقدار ۸۵٪ برش پایه استاتیکی معادل هم‌پایه می‌شود.

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 صورتی‌که بیشینه تغییرمکان 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_j ضرب شود. 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. در صورتی‌که سقف پیشنهادی را به‌صورت انعطاف پذیر تعریف شود نیازی به در نظر گرفتن پیچش نیست. در پروژه حاضر سقف پیشنهادی در حالت قاب خمشی به صورت انعطاف پذیر در نظر گرفته شده است.

جدول ۲۶- کنترل لزوم تشدید برون از مرکزی تصادفی

مدل ۵ طبقه خمشی سقف تیرچه بلوک

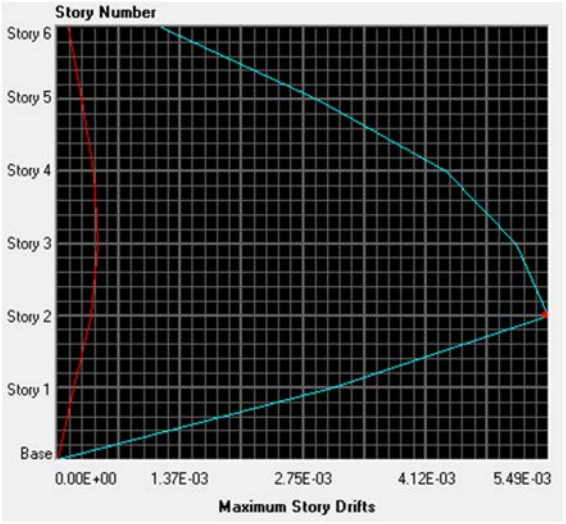
STORY	LOAD	DIR	MAXIMUM	AVERAGE	RATIO
PENT	EX	X	7.4824	7.1463	1.047
ROOF	EX	X	7.2467	6.2229	1.165
ST-4	EX	X	6.3934	5.5015	1.162
ST-3	EX	X	4.9543	4.2677	1.161
ST-2	EX	X	2.8798	2.5711	1.120
ST-1	EX	X	1.1601	1.0337	1.122
PENT	EY	Y	7.3906	7.3194	1.010
ROOF	EY	Y	6.5933	6.3519	1.038
ST-4	EY	Y	5.6654	5.4718	1.035
ST-3	EY	Y	4.2413	4.1050	1.033
ST-2	EY	Y	2.5134	2.4356	1.032
ST-1	EY	Y	0.8958	0.8686	1.031

کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات برای زلزله طرح

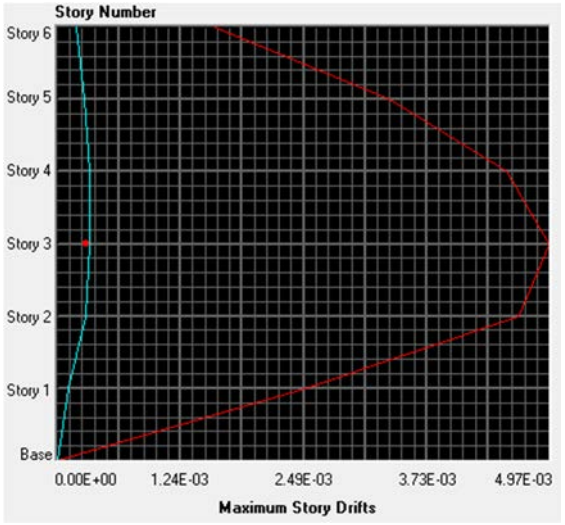
طبق آیین نامه ۲۸۰۰، تغییر مکان جانبی نسبی واقعی طرح طبقات برای سازه‌های تا ۵ طبقه به مقدار ۰/۰۲۵ برابر ارتفاع و برای سازه‌های بیش از ۵ طبقه به مقدار ۰/۰۲ برابر ارتفاع طبقه محدود می‌گردد. لذا باید مقادیر حاصل از تحلیل خطی، در ضریب بزرگ‌نمایی تغییرمکان‌ها ضرب شود و با مقدار مجاز مقایسه گردد. بدین منظور بایستی مقادیر مجاز دریفت حاصل از جدول ۲۷ با مقادیر حاصل از تحلیل خطی در نرم‌افزار مقایسه نمود. بنابراین مطابق بر اشکال ذیل مشاهده می‌شود که برای همه طبقات و تحت اثر تمامی حالات بار زلزله، تغییرمکان جانبی نسبی طبقات در محدوده مجاز قرار گرفته است. (شکل ۳۵ الی شکل ۳۸)

جدول ۲۷- مقادیر دریفت مجاز برای مدل‌های ارائه شده

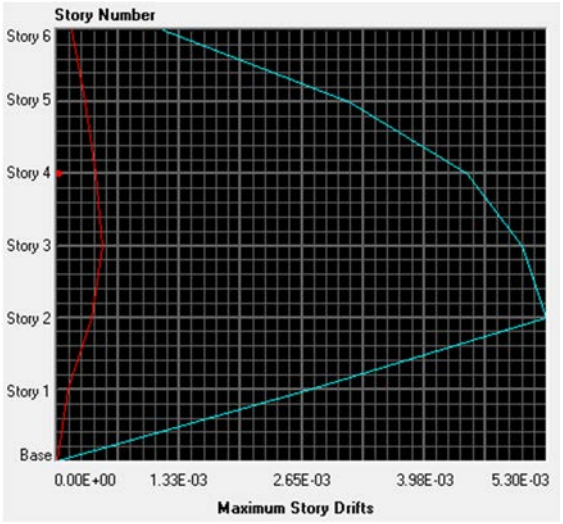
دریفت مجاز مطابق با ۰/۰۲۵ برابر ارتفاع			**دریفت مجاز مطابق با ۰/۰۲ برابر ارتفاع**		
نوع سیستم	ضریب بزرگ‌نمایی	دریفت مجاز	نوع سیستم	ضریب بزرگ‌نمایی	دریفت مجاز
قاب خمشی	4.5	0.0055	قاب خمشی	4.5	0.0044



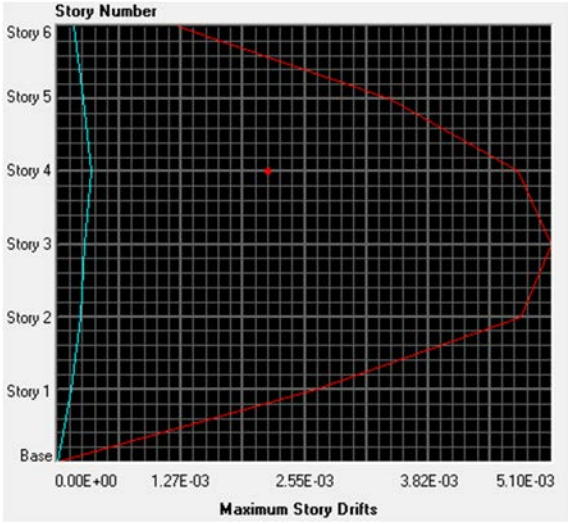
شکل ۳۵- دریفت مدل ۵ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهتX



شکل ۳۶- دریفت مدل ۵ طبقه، خمشی، سقف پیشنهادی، جهتY



شکل ۳۷- دریفت مدل ۵ طبقه، خمشی، سقف تیرچه بلوک، جهتX



شکل ۳۸- دریفت مدل ۵ طبقه، خمشی، سقف تیرچه بلوک، جهتY

جمع بندی

با توجه به شرایط تشریح شده، به منظور تحقق اهداف پژوهش حاضر، فایل Etabs مدل‌های ارائه شده از نقطه نظر مصالح مصرفی و برآورد هزینه اسکلت و سقف بررسی شده است. پارامتر مقایسه در تمامی مدل‌ها میزان فولاد مصرفی برای واحد سطح زیر بنا است که بر مبنای شرایط زیر برای گروه ساختمانی بتنی و فولادی متفاوت به‌دست می‌آید.

مبنای گزارش برای مدل‌های فولادی

۱. مصالح مصرفی گزارش شده بر اساس مدل Etabs است.
۲. شمشیری و اتصالات و پرت به اعداد گزارش اضافه می‌شود.
۳. هزینه اجرای هر کیلوگرم اسکلت (شامل رنگ آمیزی، حمل و نصب) ۱۰ هزار تومان منظور شده است

مبنای گزارش برای مدل‌های بتنی

۱. مصالح مصرفی گزارش شده بر اساس لیستوفر نرم افزارهای دتایلینک ارائه شده است.
۲. هیچ اِلمانی در سازه بتنی در طراحی با سقف پیشنهادی بزرگ‌تر نشده است.
۳. در کاهش ابعاد اِلمان‌ها و تامین پارکینگ سقف پیشنهادی می‌تواند بسیار موثر باشد.

جدول ۲۸- مقایسه وزن فولاد مصرفی در ساختمان‌های اسکلت فلزی

مدل‌های ۳ طبقه اسکلت فلزی								
سیستم	سقف	زیر بنا	وزن اسکلت (تیر و ستون)	وزن اسکلت بر واحد سطح	اختلاف وزن نسبت به سقف پیشنهادی	وزن تیرهای سقف	وزن فولاد تیرهای سقف بر واحد سطح	فولاد مصرفی کل بر واحد سطح
قاب خمشی (در دو جهت)	پنل سه بعدی سیلک	390	17532.8	44.9	0%	3380	8.7	53.6
	کامپوزیت	390	24147	61.9	38%	4074	10.4	72.3
	عرشه فولادی	390	25654	65.7	46%	1913	4.9	70.6
	کرومیت	390	24567	62.9	40%	3903.3	10.0	72.9

مهاربندی- خمشی	پنل سه بعدی سیلک	390	15284	39.2	3380	0%	8.7	47.9
	کامپوزیت	390	21299	54.6	4074	39%	10.4	65.0
	عرشه فولادی	390	21387	54.8	1913	40%	4.9	59.7
	کرومیت	390	21332	54.7	3903.3	40%	10.0	64.7

مدل‌های ۵ طبقه اسکلت فلزی

سیستم	سقف	زیر بنا	وزن اسکلت	وزن فولاد اسکلت بر واحد سطح	وزن تیرهای سقف	اختلاف وزن نسبت به سقف پیشنهادی	وزن فولاد تیرهای سقف بر واحد سطح	فولاد مصرفی کل بر واحد سطح
قاب خمشی (در دو جهت)	پنل سه بعدی سیلک	651	35333.7	54.3	5666.31	0%	8.7	63.0
	کامپوزیت	651	48596.5	74.6	6773.52	38%	10.4	85.0
	عرشه فولادی	651	50189.6	77.1	3187.43	42%	4.9	82.0
	کرومیت	651	49127	75.4	6513	39%	10.0	85.4
مهاربندی- خمشی	پنل سه بعدی سیلک	651	29599.7	45.4	5666.31	0%	8.7	54.1
	کامپوزیت	651	40404.7	62.0	6773.52	37%	10.4	72.4
	عرشه فولادی	651	40812.6	62.7	3187.43	38%	4.9	67.6
	کرومیت	651	40500	62.2	6513	37%	10.0	72.2

مدل‌های ۷ طبقه اسکلت فلزی

سیستم	سقف	زیر بنا	وزن اسکلت	وزن فولاد اسکلت بر واحد سطح	وزن تیرهای سقف	اختلاف وزن نسبت به سقف پیشنهادی	وزن فولاد تیرهای سقف بر واحد سطح	فولاد مصرفی کل بر واحد سطح
قاب خمشی (در دو جهت)	پنل سه بعدی سیلک	912	57799.2	63.4	7932.83	0%	8.7	72.1
	کامپوزیت	912	91066.1	99.9	9482.93	58%	10.4	110.3
	عرشه فولادی	912	94524	103.7	4467.92	64%	4.9	108.6
	کرومیت	912	92564	101.5	9118.2	60%	10.0	111.5
مهاربندی (در جهت عرضی)	پنل سه بعدی سیلک	912	49040.2	53.8	7932.83	0%	8.7	62.5
	کامپوزیت	912	68254	74.9	9482.93	39%	10.4	85.3
	عرشه فولادی	912	68789.1	75.4	4467.92	40%	4.9	80.3
	کرومیت	912	68541	75.2	9118.2	40%	10.0	85.2

جدول ۲۹- مقایسه وزن فولاد مصرفی در ساختمان‌های اسکلت بتنی

مدل‌های ۳ طبقه اسکلت بتنی					
سیستم باربر جانبی	سقف	زیر بنا	وزن آرماتور اسکلت	وزن آرماتور اسکلت بر واحد سطح	اختلاف وزن آرماتور نسبت به سقف پیشنهادی
قاب خمشی متوسط	پنل 3D سیلک	390	14045.6	36.0	0%
	تیرچه بلوک	390	17512	44.9	25%
مدل‌های ۵ طبقه اسکلت بتنی					
سیستم	سقف	زیر بنا	وزن آرماتور اسکلت	وزن آرماتور اسکلت بر واحد سطح	اختلاف وزن آرماتور نسبت به سقف پیشنهادی
قاب خمشی متوسط	پنل 3D سیلک	651	24540	37.7	0%
	تیرچه بلوک	651	34762	53.4	42%
مدل‌های ۷ طبقه اسکلت بتنی					
سیستم	سقف	زیر بنا	وزن آرماتور اسکلت	وزن آرماتور اسکلت بر واحد سطح	اختلاف وزن آرماتور نسبت به سقف پیشنهادی
قاب خمشی متوسط	پنل 3D سیلک	912	37368	41	0%
	تیرچه بلوک	912	54963	60.3	47%

جدول ۳۰- مقایسه هزینه احداث اسکلت و سقف در ساختمان‌های اسکلت فلزی

مدل‌های ۳ طبقه اسکلت فلزی							
سیستم	سقف	وزن اسکلت	هزینه اسکلت	هزینه اسکلت بر واحد سطح	هزینه سقف بر واحد سطح	هزینه سقف و اسکلت برواحد سطح	هزینه نسبت به سقف پیشنهادی
قاب خمشی	پنل 3D سیلک	17532.8	1,753,280,000	4,491,789	3,584,000	8,075,789	0%
	کامپوزیت	24147	2,414,700,000	6,186,304	2,627,000	8,813,304	9%
	عرشه فولادی	25654	2,565,400,000	6,572,387	3,310,000	9,882,387	22%
	کرومیت	24567	2,456,700,000	6,293,905	2,315,872	8,609,777	7%
مهاربندی	پنل 3D سیلک	15284	1,528,400,000	3,915,661	3,584,000	7,499,661	0%
	کامپوزیت	21299	2,129,900,000	5,456,665	2,627,000	8,083,665	8%
	عرشه فولادی	21387	2,138,700,000	5,479,210	3,310,000	8,789,210	17%
	کرومیت	21332	2,133,200,000	5,465,119	2,315,872	7,780,991	4%
مدل‌های ۵ طبقه اسکلت فلزی							
سیستم	سقف	وزن اسکلت	هزینه اسکلت	هزینه اسکلت بر واحد سطح	هزینه سقف بر واحد سطح	هزینه سقف و اسکلت برواحد سطح	هزینه نسبت به سقف پیشنهادی
قاب خمشی	پنل 3D سیلک	41000	4,100,000,000	6,295,102	3,584,000	9,879,102	0%
	کامپوزیت	48596.48	4,859,648,000	7,461,459	2,627,000	10,088,459	2%
	عرشه فولادی	50189.57	5,018,957,000	7,706,060	3,310,000	11,016,060	12%
	کرومیت	49127	4,912,700,000	7,542,914	2,315,872	9,858,786	0%
مهاربندی	پنل 3D سیلک	29599.69	2,959,969,000	4,544,709	3,584,000	8,128,709	0%

	کامپوزیت	40404.74	4,040,474,000	6,203,706	2,627,000	8,830,706	9%
	عرشه فولادی	40812.568	4,081,256,800	6,266,324	3,310,000	9,576,324	18%
	کرومیت	40500	4,050,000,000	6,218,333	2,315,872	8,534,205	5%
مدل‌های ۷ طبقه اسکلت فلزی							
سیستم	**سقف**	**وزن اسکلت**	**هزینه اسکلت**	**هزینه اسکلت بر واحد سطح**	**هزینه سقف بر واحد سطح**	**هزینه سقف و اسکلت برواحد سطح**	**هزینه نسبت به سقف پیشنهادی**
قاب خمشی	پنل 3D سیلک	57799.166	5,779,916,600	6,338,879	3,584,000	9,922,879	0%
	کامپوزیت	91066.072	9,106,607,200	9,987,286	2,627,000	12,614,286	27%
	عرشه فولادی	94524	9,452,400,000	10,366,520	3,310,000	13,676,520	38%
	کرومیت	92564	9,256,400,000	10,151,565	2,315,872	12,467,437	26%
مهاربندی	پنل 3D سیلک	49040.166	4,904,016,600	5,378,273	3,584,000	8,962,273	0%
	کامپوزیت	68254	6,825,400,000	7,485,469	2,627,000	10,112,469	13%
	عرشه فولادی	68789.082	6,878,908,200	7,544,151	3,310,000	10,854,151	21%
	کرومیت	68541	6,854,100,000	7,516,944	2,315,872	9,832,816	10%

با توجه با داده‌های حاصل از تحقیق، در گروه ساختمان‌های فولادی اگر سایر سقف با سقف پیشنهادی جای‌گزین گردد در حدود ۴۰ الی ۶۰ درصد صرفه جویی در مصرف فولاد داریم و هم‌چنین در گروه ساختمان‌های بتنی میزان صرفه جویی میلگرد مصرفی در حدود ۲۵ الی ۴۷ درصد است. در هر دو گروه ساختمان‌های فولادی و بتنی مقدار صرفه جویی فولاد مصرفی در اسکلت سقف پیشنهادی با افزایش تعداد طبقات بیشتر می‌شود.

برای محاسبه درصد صرفه جویی، سیستم پیشنهادی در دوحالت خمشی و خمشی-مهاربندی به‌عنوان مبنای محاسبه انتخاب شده است.

جدول ۳۱- مقایسه مزایا و معایب سقف‌های رایج در کشور

آیتم	بار مرده	بتن مصرفی	قالب بندی	آرماتور بندی	اجرای شمع	عمل آوری بتن	لرزش و ارتعاشات	سرعت اجرا	تجهیزات ویژه و استادکار
سقف	کیلوگرم بر واحد سطح	مترمکعب							
کامپوزیت	256	0.08	دارد	دارد	دارد	دارد	نامناسب	نامناسب	ندارد
عرشه فولادی	221	0.1	ندارد	دارد	ندارد	دارد	ازاردهنده	مناسب	دارد
کرومیت	255	0.07-0.08	ندارد	دارد	ندارد	دارد	نامناسب	نامناسب	ندارد
تیرچه بلوک	255	0.07-0.08	ندارد	دارد	دارد	دارد	نامناسب	نامناسب	ندارد
پنل 3D سیلک	50	0.02	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	مناسب	مناسب	ندارد

قطعاً و یقیناً 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. 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.

□

در پایان لازم است از جناب آقای دکتر مسعود شفیعی و جناب مهندس آرمان کامیابی تشکر وافر نماییم.

دفتر فنی سازه

شرکت نوآوران صنعت سیَلک