

یادداشت تحقیقاتی

بررسی رفتار ساختمان های بلند دوبلکسی فولادی دارای هسته مقاوم بتن مسلح تحت بارگذاری زلزله و باد

مهسا بهنام^۱، حسین نادرپور^{۲*}، علی خیرالدین^۳

۱- کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۳- استاد ممتاز، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

*naderpour@semnan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۲۷

چکیده

در این مقاله، به بررسی رفتار لرزه‌ای قاب‌های فولادی با هسته بتن آرمه در سازه‌های بلند معمولی و دوبلکسی پرداخته شده است. برای دست‌یابی به این هدف با انجام آنالیزهای خطی تحت ۳ نوع بارگذاری زلزله (استاتیکی معادل، دینامیکی طیفی و دینامیکی تاریخچه زمانی) و بار باد روی سازه ساختمان‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ طبقه به بررسی پارامترهای مختلفی مانند برش پایه سازه‌ها و اثر افزایش ارتفاع روی رفتار لرزه‌ای مورد بحث، پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهند، دوبلکسی شدن سازه باعث تغییراتی در شکل مدها و تغییر در درصد مشارکت جرمی مدها می‌شود؛ به همین دلیل در پاسخ‌های سازه‌های معمولی و سازه‌های دوبلکسی به روش‌های استاتیکی معادل و بار باد تغییری دیده نمی‌شود ولی در پاسخ‌های سازه برای ۱۲ رکورد زلزله دور و نزدیک پاسخ‌های متفاوتی مشاهده شده است.

واژگان کلیدی: ساختمان‌های بلند، سازه فولادی، دوبلکسی، تحلیل لرزه‌ای استاتیکی و دینامیکی، بار باد

۱. مقدمه

یک ستون، با هم برخورد می‌کنند (شکل ۱). نکته بسیار مهم احتمال ایجاد پدیده ستون کوتاه در محل اتصال دو کف سازه‌های با اختلاف تراز است (شکل ۲) [1-3]. یکی از پارامترهای مهم در خرابی ساختمان‌ها در زلزله‌های گذشته تشکیل ستون کوتاه بوده است. از عوامل متعددی که

ساختمان‌های با اختلاف تراز یا ترازهای دویخشی و یا دوبلکسی به گونه‌ای از ساختمان‌ها گفته می‌شود که سطح کف طبقات در آنها با اختلاف تراز Δh از هم فاصله دارند. در نوع ساختمان‌های دوبلکسی بدون فاصله دو سطح با اختلاف تراز به

به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. با وجود این، بعضی از پژوهشگران در تحقیقات خود نشان دادند که این نامنظمی‌ها تأثیر خیلی زیادی بر روی پاسخ دینامیکی ساختمان و نیروهای ایجاد شده در اعضا نداشته و محدودیت‌های آیین نامه‌ها در مورد این نوع نامنظمی‌ها و نیز استفاده از روش استاتیکی برای ساختمان‌های دارای چنین ناپیوستگی‌هایی تا حدی محافظه کارانه است [2].

خیرالدین و میرنظامی [1]، با آنالیز ۳ ساختمان فلزی ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه پارامترهای لرزه‌ای اعم از تغییرات پریرود، تغییر مکان و همچنین تشکیل ستون کوتاه و عوامل تشدید کننده آن را مورد بررسی و روشی برای بارگذاری استاتیکی معادل ساختمان‌های دوبلکسی پیشنهاد داده‌اند. خیرالدین و میرنظامی [7] با بررسی رفتار غیر خطی بیش از ۳۰ مدل سازه با اختلاف تراز طبقه فلزی با ۶ جزئیات مختلف و مقایسه آن‌ها در شرایط مختلف، اختلاف تراز طبقه‌ی دوبلکسی، آثار تقویت بال و جان، ورق پیوستگی و سخت کننده، مناسب ترین روش و جزئیات اجرایی را برای اتصالات خمشی قاب‌های با اختلاف تراز طبقه و دارای پدیده‌ی ستون کوتاه، پیشنهاد داده‌اند. خیرالدین و امیری [8] به آنالیز یک ساختمان ۱۵ طبقه فولادی بادبندی شده با ۵ مدل بادبندی و هر مدل در چهار حالت اختلاف تراز متفاوت پرداختند. پارامترهای لرزه‌ای اینگونه ساختمان‌ها اعم از تغییرات تغییر مکان و تشکیل ستون کوتاه مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با بررسی پارامترهای لرزه‌ای مقایسه‌ای بین سازه در حالت بدون اختلاف تراز و دارای اختلاف ترازهای متفاوت انجام شده است و از این بین بهترین محل بادبند به منظور کاهش نامنظمی و کنترل پدیده ستون کوتاه پیشنهاد شده است. خیرالدین و کارگران [9] به بررسی رفتار غیرخطی ستون‌های کوتاه بتن آرمه در قالب سازه‌های با اختلاف تراز (دوبلکسی)، ۴، ۸ و ۱۰ طبقه پرداختند، ستون‌های کوتاه و سازه‌های مورد نظر تحت دو رکورد زلزله طبرس و السنترو با شتاب‌های مختلف حداکثر زمین (PGA) با کمک نرم افزار IDARC v6.0 مورد تحلیل دینامیکی غیرخطی قرار گرفته‌اند. نورانیان [10] به بررسی ضریب رفتار R در ساختمان‌های دوبلکسی پرداخته و نشان داده است که در سازه‌های با دوره کوتاه، دوبلکسی شدن سازه عملکرد منفی دارد در حالیکه در ساختمان‌های قاب خمشی فولادی با زمان تناوب

ستون بلند را به ستون کوتاه تبدیل می‌کنند، می‌توان به اتصال سیستم پله، دیوارها و پارتیشن‌ها و اختلاف تراز در ساختمان‌های دوبلکسی اشاره کرد. در ساختمان‌های دوبلکسی به علت وجود اختلاف تراز در سازه، پتانسیل ایجاد ستون کوتاه به طرز چشمگیری وجود دارد.

شکل ۱. ساختمان دوبلکسی بدون فاصله [4]

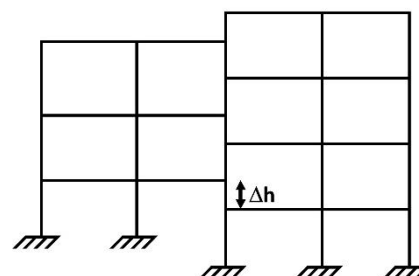


Fig. 1. A duplex building with no gap

۲. نگرشی بر تحقیقات انجام شده

آتاناسیادو در سال ۲۰۰۷ [6] به بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های نامنظم در ارتفاع پرداخت. تحلیل‌های او به دو روش استاتیکی غیر خطی (پوش‌آور) و دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی انجام شده است. او در این بررسی به این نتیجه رسید که آنالیز پوش آور در مقایسه با آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی، دقت مناسبی در تحلیل سازه‌های نامنظم در ارتفاع را ندارد.

شکل ۲. ستون‌های کوتاه سازه دوبلکسی [5]



Fig. 2. The short columns in a duplex building

به طور خلاصه، پژوهش‌های تحلیلی و آزمایشگاهی که توسط پژوهشگران پیشین انجام شده است، اختلافات موجود در پاسخ دینامیکی منظم و نامنظم را تا حدی شناسانده است. این پژوهش‌ها نشان داده است که در محل نامنظمی نیاز شکل پذیری اعضا

حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات پرداخته می‌شود. سرانجام به بررسی اثر سازه دوبلکسی در این سازه‌ها پرداخته می‌شود؛ بدین صورت که سازه‌های مذکور بدون هیچ تغییری در مقاطع اعضا، ضخامت و ابعاد هسته بتن‌آرمه، هر کدام به دو سازه دوبلکسی با اختلاف تراز متفاوت تبدیل می‌شوند و به بررسی تفاوت سازه‌های دوبلکسی و معمولی، اثر هسته در سازه‌های دوبلکسی و اثر مقدار اختلاف تراز در سازه دوبلکسی پرداخته می‌شود.

۳. مشخصات سازه‌های آنالیز شده

پلان ساختمان‌های نمونه در نظر گرفته شده، مربعی با ابعاد $40 \times 40 \text{ m}$ و قاب‌هایی به فاصله ۵ متر است، همچنین هسته بتن‌آرمه یک مربع $10 \times 10 \text{ m}$ در مرکز پلان قرار دارد. ساختمان‌های مورد مطالعه در سه تیپ ارتفاعی ۲۰ طبقه، ۴۰ طبقه و ۶۰ طبقه انتخاب شده‌اند که ارتفاع هر طبقه $3/6 \text{ m}$ است. نوع ساختمان، مسکونی با اهمیت متوسط و محل احداث تهران در نظر گرفته شده است. در کلیه ساختمان‌ها، سیستم مقاوم در برابر بار جانبی در هر دو راستا، قاب خمشی فولادی ویژه به همراه هسته بتن‌آرمه با شکل‌پذیری ویژه است و برای تحمل بار ثقیل طبقات در سقف‌ها از سیستم سقف مرکب (کامپوزیت) استفاده شده است، همچنین سقف‌ها صلب فرض شده و نیروی باد و زلزله تنها در جهت X به هر طبقه وارد می‌شود. اتصالات نیز از نوع صلب است. پلان ساختمان‌های معمولی مورد بررسی در شکل (۳) نمایش داده شده است.

در این مقاله روند کار بدین گونه است که ابتدا سازه‌های معمولی، طراحی و مورد بررسی قرار می‌گیرند، سپس به بررسی اثر سازه دوبلکسی در این سازه‌ها پرداخته می‌شود، بدین صورت که این ۳ نوع سازه بدون هیچ تغییری در مقاطع اعضا و ضخامت و ابعاد هسته بتن‌آرمه، هر کدام به دو سازه دوبلکسی با اختلاف تراز متفاوت تبدیل می‌شوند و به بررسی تفاوت سازه‌های دوبلکسی و معمولی و اثر مقدار اختلاف تراز در سازه دوبلکسی پرداخته می‌شود. پلان ساختمان‌های دوبلکسی مورد بررسی در شکل (۴) نمایش داده شده است. نمای سه بعدی سازه‌های معمولی و دوبلکسی ۲۰ طبقه نیز در شکل (۵) نمایش داده شده است.

زیاد دوبلکسی شدن سازه تأثیر مثبتی در رفتار سازه دارد و بر خلاف سازه‌های معمولی در سازه‌های دوبلکسی با افزایش ارتفاع سازه ضریب رفتار نیز افزایش می‌یابد. همچنین در کلیه سازه‌های دوبلکسی با افزایش اختلاف تراز بین طبقات، ضریب رفتار سازه افزایش می‌یابد. رحیمی درآباد و محمدی [11]، سه ساختمان اسکلت بتنی ۵، ۷ و ۹ طبقه با سیستم قاب خمشی متوسط در حالت دوبلکسی در نظر گرفتند و سپس مدل‌های طراحی شده را مورد تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار دادند و سطح عملکرد سازه‌ها با توجه به مبانی طراحی بر اساس عملکرد بررسی شده‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده در ساختمان‌های دوبلکسی درصد مشارکت جرم مودی در مود اول در امتداد قاب‌های با اختلاف تراز بیشتر از قاب‌های بدون اختلاف تراز هستند. طالعی و شربتدار [12]، به بررسی رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های بتن‌آرمه در سازه‌های دوبلکسی تقویت نشده و تقویت شده با CFRP پرداختند و با انجام آنالیزهای استاتیکی خطی و غیرخطی در نرم‌افزار SAP2000 روی ساختمان‌های ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه، به بررسی اثر تقویت و دوبلکسی شدن سازه و اثر افزایش ارتفاع و تعداد دهانه‌ها روی سطح عملکرد لرزه‌ای و پارامترهای متفاوت پرداختند. طبق پژوهش‌های انجام شده نیروی برشی ستون‌های کوتاه سازه دوبلکسی بیشتر از ستون‌های نظیر در سازه معمولی است. همچنین تأثیر دوبلکسی شدن، در سازه ۵ طبقه از لحاظ کمترین زمان تناوب مؤثر و جابه‌جایی طیفی و بیشترین شتاب طیفی رفتار مطلوب‌تری را از خود نشان می‌دهد، از طرفی سازه ۱۵ طبقه بیشترین میرایی مؤثر را نسبت به سازه منظم ایجاد می‌نماید.

در این پژوهش به بررسی اثر هسته بتن‌آرمه در سیستم قاب خمشی فولادی ویژه تحت بارگذاری زلزله (شامل سه نوع استاتیکی معادل، دینامیکی طیفی و دینامیکی تاریخچه زمانی تحت رکوردهای زلزله‌های دور از گسل و نزدیک گسل) و بار باد پرداخته می‌شود. بدین گونه که سه نوع سازه بلندمرتبه ۲۰، ۴۰ و ۶۰ طبقه با سیستم قاب خمشی فولادی ویژه تحلیل و طراحی می‌شوند و سپس به همین سازه‌ها یک هسته بتن مسلح اضافه می‌شود. سپس به بررسی اثر هسته روی مقدار زمان تناوب سازه، برش وارد بر طبقات، حداکثر جابه‌جایی طبقات و

در این مقاله از ۹ مدل سازه ای استفاده شده است که در جدول (۱) نامگذاری مدل های سازه ای معرفی شده اند. در این جدول حرف M معرف سازه معمولی و بدون اختلاف تراز، حرف D معرف سازه دوبلکسی و حرف BC مخفف واژه (Bending frame + concrete core) و معرف سازه با سیستم لرزه بر دوگانه قاب خمشی ویژه به همراه هسته بتن آرمه با شکل پذیری ویژه هستند، همچنین اعداد ۲۰، ۴۰ و ۶۰ معرف تعداد طبقات سازه است. اعداد ۱ یا ۲ که بعد از حرف BC آمده اند معرف میزان اختلاف تراز در سازه های دوبلکسی، بدین صورت که عدد ۱ معرف اختلاف تراز ۰/۹ متر (۲۵٪ ارتفاع طبقه) و عدد ۲ معرف اختلاف تراز ۱/۸ متر (۵۰٪ ارتفاع طبقه) هستند.

شکل ۳. پلان ساختمان های معمولی مورد بررسی

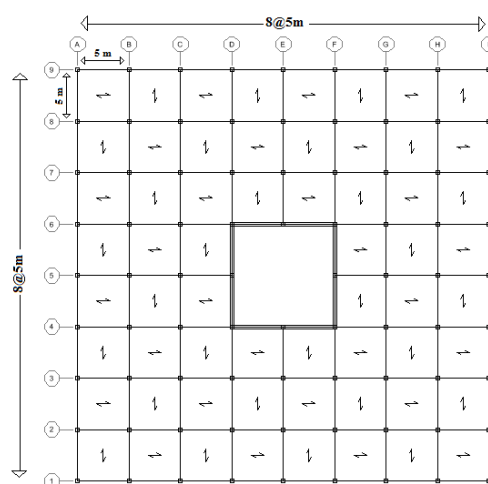


Fig. 3. The plan view of the studied typical buildings

شکل ۴. پلان ساختمان های دوبلکسی مورد بررسی

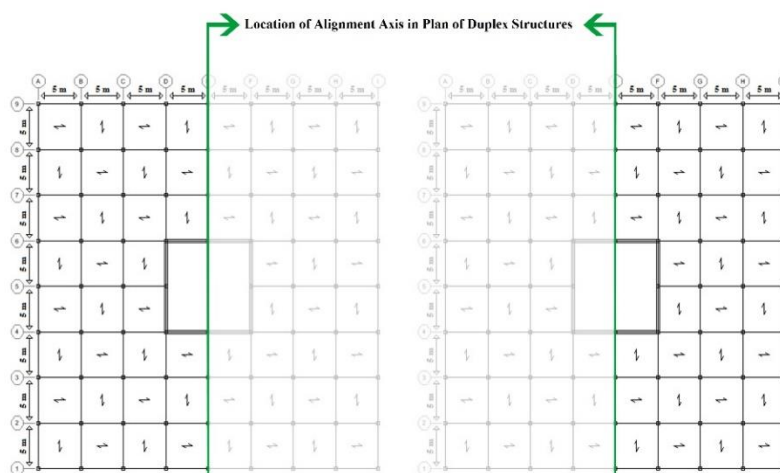


Fig. 4. The plan view of the studied duplex buildings

شکل ۵. نمای سه بعدی سازه ۲۰ طبقه، (الف) معمولی (ب) دوبلکسی

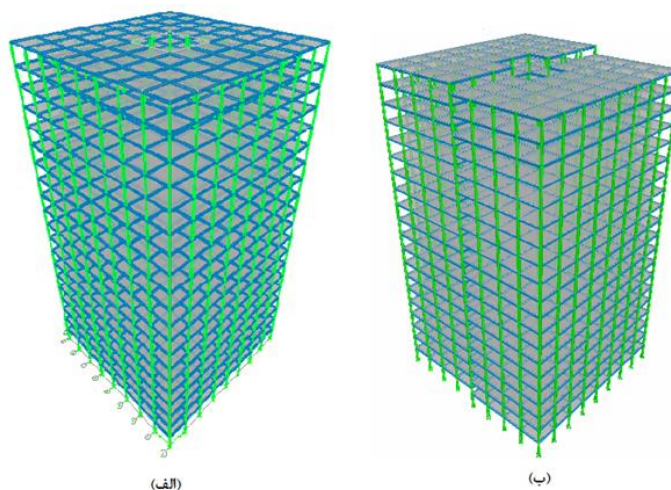


Fig. 5. The 3D view of (a) the 20-story typical building, (b) the 20-story duplex building

۴. مشخصات مصالح و نوع مقاطع اعضا

جنس فولاد مصرفی برای مقاطع فولادی سازه از نوع ST52 با تنش تسلیم 3600 kgf/cm^2 و تنش نهایی 5200 kgf/cm^2 و مقاومت فشاری بتن (نمونه استوانه‌ای) $f'_c = 400 \text{ kg/cm}^2$ در نظر گرفته شده است.

برای ستون‌ها مقاطع Box و برای اینکه در مقاطع بزرگ Box ضوابط فشردگی رعایت شود از یک صلیبی در داخل مقاطع Box استفاده شده است، و مقاطع انتخابی تیرها I شکل هستند، مقاطع مورد استفاده در مدل‌ها در شکل‌های (۶ و ۷) نشان داده شده است.

۵. نرم افزار تحلیل و طراحی

در این پژوهش سازه‌ها ابتدا با استفاده از آیین‌نامه AISC ASD89 طراحی شده‌اند و مقاطع مناسب تعیین شده‌اند سپس با استفاده از ضوابط کنترل تغییر مکان استاندارد ۲۸۰۰ کفایت سختی سازه ارزیابی شده است. در صورت عدم ارضای این ضوابط ابعاد مقاطع افزایش داده شده است و در این مقاله از نرم افزار ETABS2000 – VER 9.7.4 [13] در طراحی سازه‌ها و مدل‌های تحقیقاتی مورد نظر بهره گرفته شده است.

شکل ۶. مشخصات ستون‌های استفاده شده در مدل‌ها

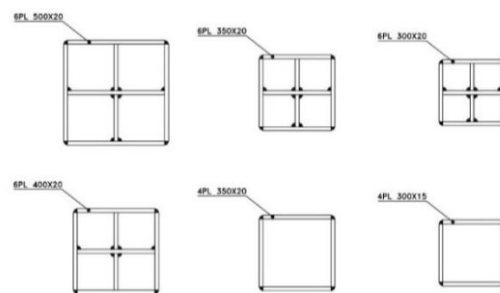


Fig. 6. The properties of the columns used in the models

شکل ۷. مشخصات تیرورق‌های استفاده شده در مدل‌ها

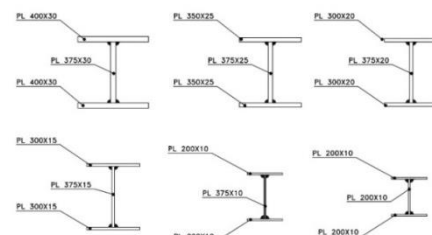


Fig. 7. The properties of the plate girders used in the models

۶. بارگذاری و طراحی بر اساس استاندارد

۲۸۰۰

بارگذاری ثقلی ساختمان‌های مورد بررسی بر مبنای مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران ویرایش سوم، (۱۳۸۴) [14] است به طوری که بارهای سطحی مرده و زنده و بار دیوارهای جانبی در مورد طبقات به ترتیب 600 kg/m^2 ، 200 kg/m^2 و 210 kg/m در نظر گرفته شده است. بارگذاری جانبی زلزله آن‌ها بر اساس آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش سوم، صورت گرفته است، همچنین برای آنالیز ساختمان تحت بار زلزله، از روش تحلیل استاتیکی، تحلیل دینامیکی طیفی و تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی استفاده شده است. در محاسبه ضریب زلزله (C) ساختمان‌ها بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، نوع زمین I و ضریب رفتار برای سیستم قاب خمشی فولادی ویژه برابر $R=10$ و برای سیستم دوگانه (قاب خمشی فولادی ویژه و دیوار برشی بتن‌آرمه ویژه) برابر $R=11$ انتخاب شده است و مطابق با استاندارد ۲۸۰۰، شتاب‌نگاشت‌هایی که در انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند باید حداقل سه شتاب‌نگاشت متعلق به زلزله‌هایی باشند که شرایط زلزله طرح را برآورده نمایند و به لحاظ ویژگی‌های زمین‌شناسی با زمین محل ساختمان تا حد امکان مشابهت داشته باشند و نیز مدت زمان حرکت شدید زمین در شتاب‌نگاشت‌ها حداقل برابر ۱۰ ثانیه و یا سه برابر زمان تناوب اصلی سازه، هر کدام که بیشتر است باشد. در این مقاله طیف وسیعی از شتاب‌نگاشت‌ها انتخاب شده است تا مقایسه‌ای بین پاسخ‌های مدل‌های مورد بررسی به شتاب‌نگاشت‌های دور و نزدیک گسل صورت گیرد. در جدول (۲) زلزله‌های استفاده شده در این مقاله و برخی از مشخصات این رکوردهای زلزله آورده شده است. همچنین بارگذاری جانبی باد مدل‌ها مطابق ضوابط آیین‌نامه ASCE7-05 [15] است، در جدول (۳) بارگذاری باد اعمال شده به مدل‌ها در نرم‌افزار ETABS2000 – VER 9.7.4 [11] نمایش داده شده است.

۷. آنالیز سازه

۷.۱. کلیات

با توجه به در نظر گرفتن آثار $P-\Delta$ و مدل نمودن صحیح هسته مرکزی بتنی، از برنامه ETABS-v9.7.4 در تحلیل و طراحی و بررسی نتایج استفاده شده است. برای انجام تحلیل $P-\Delta$ نیز از ضریب واحد برای بارهای مرده و زنده استفاده شده است [17,18].

در جدول های (۴، ۵ و ۶) مقاطع طراحی شده برای سازه های M40BC، M20BC و M60BC مشخص شده اند. لازم به ذکر است که برای تعیین ضخامت هسته بتن آرمه از رابطه پیشنهادی خیرالدین استفاده شده است [19]:

$$\rho_{\min} = \frac{\left(\frac{h_w}{l_w}\right)^2}{835 + 205 \frac{h_w}{l_w}} \quad (1)$$

که در آن، $\rho_{\min}$ حداقل نسبت مساحت دیوار به مساحت طبقه، h_w ارتفاع کل دیوار و l_w طول دیوار (متوسط طول دیوارهای برشی موجود در پلان ساختمان) است. با توجه به ضوابط مربوط به کنترل تغییر مکان جانبی سازه در استاندارد ۲۸۰۰ ایران [14] و نکات اجرایی و همچنین با توجه به نتایج بدست آمده در کار خیرالدین [17]، که نشان می دهد دستیابی به جذب برش ۲۵ درصدی قاب خمشی در طبقه اول عملاً غیر اقتصادی بوده و در بیشتر طبقات بعدی سهم برش جذب شده توسط قاب خمشی به شدت افزایش می یابد، بعد از آنالیزهای متعدد ضخامت بهینه دیوار در طبقات مختلف تعیین شده است.

همچنین با بررسی اندرکنش بین قاب و هسته مرکزی، مشخص شد که وضعیت اندرکنش هسته مرکزی و قاب خمشی در طبقات بالای سازه ها، بحرانی می شود و در واقع هسته مرکزی نه تنها باری که برای آن طراحی شده نمی برد بلکه بار اضافی را نیز به قاب خمشی تحمیل می کند. برای کاهش این اندرکنش نامطلوب، از راهکار حذف هسته مرکزی در طبقات بالایی سازه و طراحی قاب های خمشی برای تحمل کل بار در این طبقات در نظر گرفته شده است. به همین علت هسته مرکزی در سازه ۲۰ طبقه، در ۳ طبقه آخر، در سازه ۴۰ طبقه در ۵ طبقه آخر و در سازه ۶۰ طبقه در ۱۰ طبقه آخر حذف شده است. خاطر نشان می سازد که پس از مشخص نمودن ضخامت بهینه دیوار برشی بتن آرمه و تعیین نوع المان آن (shell-thin) در نرم افزار ایتبس، جزئیات میلگردهای داخل دیوار در هنگام طراحی در خود نرم افزار بدست آمد.

جدول ۱. مشخصات مدل های تحقیقاتی

Model Name	Number of Stories	ΔH (m)	Structure Type
M20BC	20	-	Typical
M40BC	40	-	Typical
M60BC	60	-	Typical
D20BC1	20	0.9	Duplex
D20BC2	20	1.8	Duplex
D40BC1	40	0.9	Duplex
D40BC2	40	1.8	Duplex
D40BC1	60	0.9	Duplex
D20BC2	60	1.8	Duplex

Table 1. The properties of the studied models

جدول ۲. لیست شتاب نگاشت های دور و نزدیک گسل [16]

Earthquake	Occurrence Year	M_s	Station	Record Type	Distance to Fault Rupture (km)	PGA (g)	PGV ($\frac{cm}{s}$)	PGD (cm)
Northridge	1994	6.7	Moorpark	Far-Fault	28.00	0.29	20.7	4.24
San Fernando	1971	6.6	Castaic	Far-Fault	29.90	0.27	25.90	4.67
Loma Prieta	1989	7.1	Presidio	Far-Fault	67.4	0.1	12.91	4.32
Whittier Narrows	1987	5.7	Glendora	Far-Fault	-	0.11	4.94	0.81
Kern county	1952	7.7	Santa Barbara Courtouse	Far-Fault	-	0.13	15.48	4.06
Imperial-Valley	1979	6.9	Calipatria	Far-Fault	-	0.13	15.4	10.91
ChiChi	1999	7.6	TCU068	Fling Step	1.09	0.57	176.60	324.11
Kocaeli	1999	7.4	Izmit	Fling Step	4.80	0.22	48.87	95.49
ChiChi	1999	7.6	TCU072	Fling Step	7.9	0.46	83.60	209.67
Northridge	1994	6.7	Jensen Filter Plant	Forward Directivity	6.2	0.424	106.2	43.06

Loma Prieta	1989	7.1	Gilroy Array	Forward Directivity	5.10	0.367	44.7	19.25
Kocaeli	1999	7.8	Duzce	Forward Directivity	12.7	0.312	58.8	44.11

Table 2. The properties of far and near earthquake records

جدول ۳. بارگذاری باد اعمال شده به سازه در نرم افزار ETABS مطابق ضوابط ASCE7-05

Exposure and Pressure Coefficient	Wind Exposure Parameters	Wind Coefficient
Exposure from Extents of Rigid Diaphragm	Wind angle relative to the axis x: 90°	Base speed of wind: 130 km/h
	Pressure coefficient of the surfaces facing the wind: 0.8	Environmental conditions: Region B
	Pressure coefficient of the surfaces behind the wind: 0.5	Importance factor: 1
	Load cases: Case1	Topographic factor: 1
	Eccentricity in direction 1: 0	Impact factor of wind: 0.85
	Eccentricity in direction 2: 0	Force and pressure factor applied to building: 0.85

Table 3. The properties of wind loading used in ETABS as per ASCE7-05 requirements

جدول ۴. مقاطع مورد استفاده برای سازه‌های ۲۰ طبقه معمولی و دوبلکسی

RC Core Thickness (cm)	Beam Sections	Column Sections	Story
25	TV375x15x300x15	BOX350x350x20	1-5
25	TV375x15x300x15	BOX350x350x20	5-10
25	TV375x25x350x25 TV250x10x200x10	BOX350x350x20	10-15
25	TV375x25x350x25 TV375x15x300x15 TV200x10x200x10	BOX300x300x15	15-17
-	TV375x25x350x25 TV375x15x300x15 TV200x10x200x10	BOX300x300x15	17-20

Table 4. The section properties of elements for 20-story typical and duplex buildings

با مقایسه سازه معمولی M20BC با سازه‌های دوبلکسی

D20BC1 و D20BC2 مشاهده می‌شود که دوبلکسی شدن سازه

تأثیر چندانی بر روی پارامترهای، جابه‌جایی طبقات، مقدار

دریافت طبقات، برش وارد بر طبقات تحت نیروهای زلزله

استاتیکی، دینامیکی طیفی و بار باد ندارد، اما برای این سازه

خاص پارامتر زمان تناوب سازه را به مقدار ۰/۰۵ ثانیه افزایش

می‌دهد (سازه را نرم‌تر می‌کند) و همچنین با دوبلکسی شدن

درصد مشارکت جرمی مودها تغییر می‌کند جدول (۷)، این

تغییرات باعث می‌شود سازه رفتار پیچیده‌ای تحت رکوردهای

زلزله مختلف از خود نشان دهد، به گونه‌ای که تحت برخی از

رکوردهای زلزله تغییر در برش پایه ایجاد نمی‌شود و در برخی

از زلزله‌ها شاهد اختلاف در برش پایه بوده ایم به طوری که

حداکثر افزایش در زلزله Kocaeli(Duzce) به مقدار ۱/۲ برابر

سازه معمولی و حداکثر کاهش در زلزله Loma Prieta

(Presidio) به مقدار ۰/۹۲ برابر سازه معمولی رخ داده است

(جدول ۸).

جدول ۵. مقاطع مورد استفاده برای سازه‌های ۴۰ طبقه معمولی و دوبلکسی

RC Core Thickness (cm)	Beam Sections	Column Sections	Story
60	TV375x25x350x25	6PL350x20	1-10
50	TV375x15x300x15 TV375x25x350x25	6PL350x20	10-20
40	TV375x15x300x15 TV375x25x350x25	6PL300x20	20-30
30	TV375x15x300x15 TV375x25x350x25	6PL300x20	30-35
-	TV375x15x300x15 TV375x25x350x25	6PL300x20	35-40

Table 5. The section properties of elements for 40-story typical and duplex buildings

* در نامگذاری مقاطع تیرها، TV به معنای مقطع تیرورق و

عدد اول اندازه خالص جان، عدد دوم ضخامت جان، عدد سوم

عرض بال و عدد آخر ضخامت بال است.

در ادامه همان‌گونه که در بخش ۳ توضیح داده شده است، هر

یک از سازه‌های معمولی، طراحی و مورد بررسی قرار گرفته

جدول ۶. مقاطع مورد استفاده برای سازه های ۶۰ طبقه معمولی و دوبلکسی

RC Core Thickness (cm)	Beam Sections	Column Sections	Story
70	TV375x30x400x30	6PL500x20	1-10
70	TV375x30x400x30	6PL500x20	10-20
70	TV375x30x400x30	6PL400x20	20-30
60	TV375x25x350x25 TV375x30x400x30	6PL400x20	30-40
50	TV375x30x400x30 TV375x25x350x25	6PL300x20	40-50
-	TV375x25x350x25	6PL300x20	50-60

Table 6. The section properties of elements for 60-story typical and duplex buildings

M20BC1، D20BC1، ۳/۲۵ برابر نیروی برشی ستون های سازه M20BC و نیروی ستون های سازه D20BC2، ۱/۴ برابر نیروی برشی ستون های سازه M20BC است. لازم به ذکر است که پرش ناگهانی در نمودارها در طبقه ۱۰ به خاطر تغییر در ضخامت هسته بتن آرمه و در طبقه ۱۷ به خاطر حذف هسته بتن آرمه در ۳ طبقه آخر است.

در شکل (۹) به بررسی اثر دوبلکسی شدن سازه بر هسته مقاوم پرداخته شده است، به طور میانگین تنش برای بار EXP در هسته سازه D20BC1، ۱/۲۲ برابر سازه M20BC می باشد در طبقات اول این اختلاف کمتر و در حدود ۱/۲ برابر و در طبقات بالا ۱/۳۴ برابر است، همچنین در سازه D20BC2 تنش در هسته به طور میانگین ۱/۳۲ برابر سازه M20BC و مانند سازه D20BC1 در طبقات اول این اختلاف کمتر و در حدود ۱/۱۴ برابر و در طبقات بالا ۱/۶ برابر است. پرش های موجود در نمودارها به خاطر تغییر ضخامت هسته بتن آرمه در ارتفاع سازه است.

شکل ۹. اثر دوبلکسی شدن بر روی ماکزیمم مقدار تنش وارد بر هسته

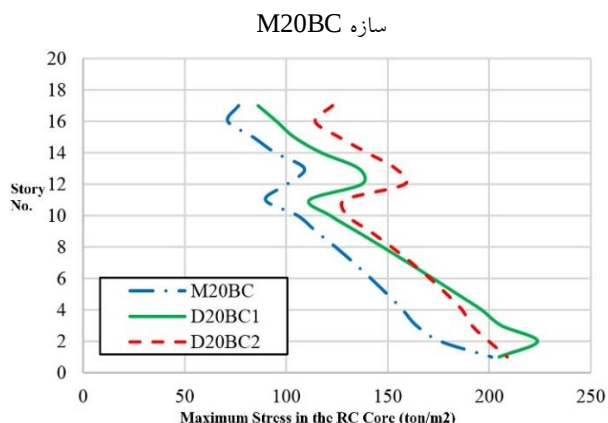


Fig. 9. The effect of duplexing the structure on maximum stress of the RC core in M20BC

همان گونه که از جدول (۷) مشاهده می شود با دوبلکسی شدن سازه درصد مشارکت مد اول ۱۰٪ بیشتر می شود و می توان گفت در سازه معمولی اثر مدهای بالاتر مهمتر است. در شکل (۸) به بررسی اثر ستون های کوتاه ایجاد شده در سازه دوبلکسی ۲۰ طبقه پرداخته شده است، بدین صورت که مقدار نیروی برشی وارد بر ستون E7 سازه دوبلکسی با سازه معمولی برای بار جانبی EXP مقایسه شده است، پرش موجود در نمودار سازه D20BC2 به علت اختلاف ارتفاع ستون های کوتاه است.

شکل ۸. اثر دوبلکسی شدن سازه بر روی نیروی برشی ستون های کوتاه در سازه M20BC

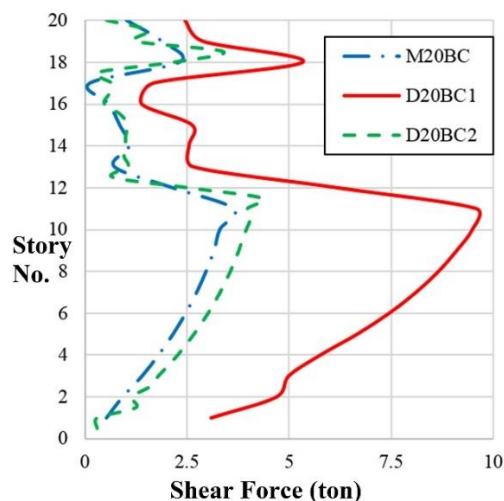


Fig. 8. The effect of duplexing the structure on shear force of the short columns in M20BC

همان گونه که از این نمودارها مشاهده می شود مقدار برش درستون های کوتاه سازه های دوبلکسی بیشتر است. همچنین وضعیت در ستون های سازه D20BC1 که ستون هایی با ارتفاع ۰/۹ متر دارد بحرانی تر از سازه D20BC2 که ستون های ۱/۸ متر دارد، است. به طور میانگین نیروی برشی ستون های سازه

محور اختلاف تراز سازه است، شکل (۱۰) این موضوع را در سازه M20BC2 نشان می‌دهد.

شکل ۱۰. محل بیشترین مقدار تنش در هسته بتن آرمه سازه دوبلکسی ۲۰ طبقه

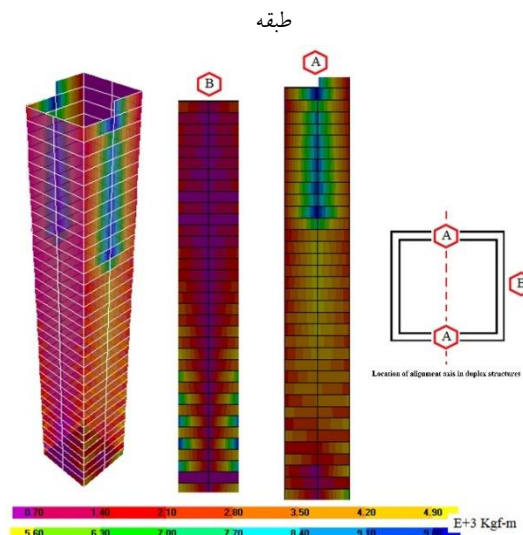


Fig. 10. The location of the maximum stress in the RC core of the 20-story duplex building

لازم به ذکر است که مکانی که در هسته مرکزی سازه‌های دوبلکسی تنش ماکزیمم رخ می‌دهد در محل برخورد هسته با

۳.۷. سازه M40BC و سازه‌های دوبلکسی متناظر آن

با مقایسه سازه معمولی M40BC با سازه‌های دوبلکسی D40BC1 و D40BC2 مشاهده می‌شود که دوبلکسی شدن سازه تأثیر چندانی بر روی پارامترهای جابه‌جایی طبقات، مقدار دریافت طبقات، برش وارد بر طبقات تحت نیروهای زلزله استاتیکی، دینامیکی طیفی و بار باد ندارد، اما برای این سازه خاص پارامتر زمان تناوب سازه را به مقدار ۰/۰۷ ثانیه افزایش می‌دهد (سازه را نرم‌تر می‌کند) و همچنین با دوبلکسی شدن درصد مشارکت جرمی مودها تغییر می‌کند (جدول ۹).

جدول ۷. اثر دوبلکسی شدن سازه بر روی زمان تناوب و درصد مشارکت مدها در سازه M20BC

3 rd Mode		2 nd Mode		1 st Mode		Model
Participation Percentage	Period Time	Participation Percentage	Period Time	Participation Percentage	Period Time	
8.03	0.36	10.69	0.63	57.65	2.1	M20BC
9.483	0.37	12.0775	0.58	67.178	2.16	D20BC ₁
8.6353	0.36	13.0074	0.56	66.8569	2.14	D20BC ₂

Table 7. The effect of duplexing the structure on the period time and the percentage of modes participation in M20BC

جدول ۸. مقایسه برش پایه سازه M20BC با سازه‌های دوبلکسی متناظر آن

Increase Percentage	V (ton)	Model	Increase Percentage	V (ton)	Model	V (ton)	Model	Lateral Load
0.98	802.88	D20BC2	0.98	802.73	D20BC1	816.36	M20BC	EXP
0.99	536.58	D20BC2	0.99	535.38	D20BC1	539.84	M20BC	SPXT
1.02	237.84	D20BC2	1.03	240.5	D20BC1	232.52	M20BC	Wind
0.99	1283.86	D20BC2	0.98	1275.05	D20BC1	1292.29	M20BC	Northridge (Moorpark)
1.01	1115.09	D20BC2	1.01	1109.86	D20BC1	1097.94	M20BC	San Fernando
0.92	888.76	D20BC2	0.98	947.94	D20BC1	965.8	M20BC	Loma Prieta (Presidio)
0.97	707.5	D20BC2	0.98	716.58	D20BC1	726.98	M20BC	Whittier Narrows
1.08	1295.2	D20BC2	1.03	1245.6	D20BC1	1201.79	M20BC	Kern county
1.04	741.3	D20BC2	1.07	758.3	D20BC1	709.7	M20BC	Imperial-Valley
1.02	1078.38	D20BC2	1.03	1086.891	D20BC1	1058.06	M20BC	ChiChi(TCU068)
0.95	1252.03	D20BC2	0.97	1283.5	D20BC1	1320.43	M20BC	ChiChi(TCU072)
1.02	1130.64	D20BC2	1.02	1140	D20BC1	1111.7	M20BC	Kocaeli (Izmit)
1.07	1259.7	D20BC2	1.09	1287.61	D20BC1	1178.15	M20BC	Northridge (Jensen Filter Plant)
1.09	1209.53	D20BC2	1.18	1312.68	D20BC1	1112.15	M20BC	Loma Prieta (Gilroy Array)
	1624.47	D20BC2		1546	D20BC1	1352.85	M20BC	Kocaeli(Duzce)

Table 8. The comparison of base shear of M20BC with corresponding duplex structures

ستون های کوتاه است. همان گونه که نمودارها مشاهده می شود، به طور میانگین به ستون های کوتاه سازه D40BC1، $2/83$ برابر ستون های سازه معمولی برش وارد می شود همچنین به ستون های کوتاه سازه M40BC2، $1/26$ برابر سازه معمولی نیرو وارد می شود. لازم به ذکر است که پرش موجود در گراف ها در طبقات ۱۰، ۲۰ و ۳۰ به علت تغییر در ضخامت هسته بتن آرمه و در طبقه ۳۵ به علت حذف هسته مرکزی است.

در شکل (۱۲) به بررسی اثر دوبلکسی شدن سازه بر هسته مقاوم پرداخته شده است، به طور میانگین تنش در هسته سازه D40BC1، $1/4$ برابر سازه M40BC است در طبقات اول این اختلاف کمتر و در حدود $1/14$ برابر و در طبقات بالا $2/55$ برابر است، همچنین در سازه D40BC2 تنش در هسته به طور میانگین $1/56$ برابر سازه M40BC و مانند سازه D40BC1 در طبقات اول این اختلاف کمتر و در حدود $1/11$ برابر و در طبقات بالا $2/82$ برابر است. لازم به ذکر است که پرش های موجود در نمودارها در طبقات ۱۰، ۲۰ و ۳۰ به خاطر تغییر ضخامت هسته بتن آرمه در ارتفاع سازه است.

شکل ۱۲. اثر دوبلکسی شدن بر روی ماکزیمم مقدار تنش وارد بر هسته

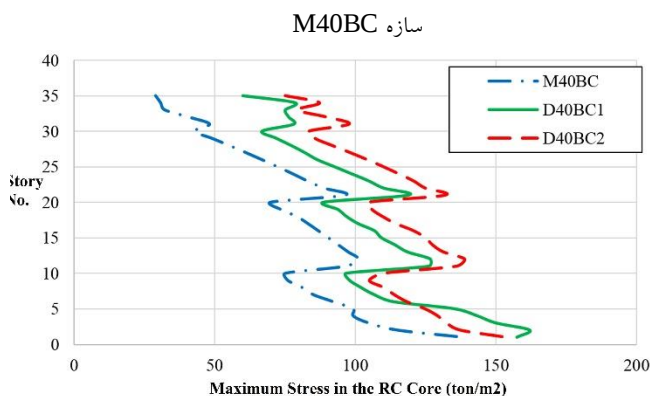


Fig. 12. The effect of duplexing the structure on maximum stress of the RC core in M40BC

این تغییرات باعث می شود سازه رفتار پیچیده ای تحت رکوردهای زلزله مختلف از خود نشان دهد، به گونه ای که تحت برخی از رکوردهای زلزله تغییر در برش پایه ایجاد نمی شود و در برخی از زلزله ها اختلاف در برش پایه رخ داده است، به طوری که بیشینه افزایش در زلزله Kocaeli(Duzce) به مقدار ۲۹۰ تن ($1/32$ برابر برش سازه معمولی) و بیشینه کاهش در زلزله Northridge (Jensen Filter Plant) به مقدار $13/65$ تن ($0/13$ برابر برش سازه معمولی) رخ داده است (جدول ۱۰).

همان گونه که از جدول (۹) مشاهده می شود با دوبلکسی شدن سازه درصد مشارکت مد اول ۱۶٪ بیشتر می شود و می توان گفت در سازه معمولی اثر مدهای بالاتر مهم تر است.

شکل ۱۱. اثر دوبلکسی شدن سازه بر روی نیروی برشی ستون های کوتاه در سازه M40BC

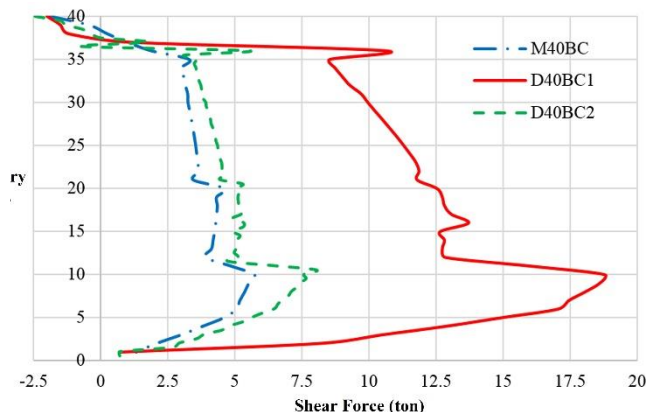


Fig. 11. The effect of duplexing the structure on shear force of the short columns in M40BC

در شکل (۱۱) به بررسی اثر ستون های کوتاه ایجاد شده در سازه دوبلکسی پرداخته شده است، بدین صورت که مقدار نیروی برشی وارد بر ستون E7 سازه دوبلکسی با سازه معمولی برای بار جانبی EXP مقایسه شده است، پرش موجود در نمودار سازه D40BC2 به علت اختلاف ارتفاع

جدول ۹. اثر دوبلکسی شدن سازه روی زمان تناوب و درصد مشارکت مدها در سازه M40BC

3 rd Mode		2 nd Mode		1 st Mode		
Participation Percentage	Period Time	Participation Percentage	Period Time	Participation Percentage	Period Time	Participation Percentage
2.9467	0.7	9.13	1.23	50.26	4.86	M40B
3.95	0.67	13.9	1.22	66.49	4.93	D40B1
4.02	0.66	14.13	1.22	66.29	4.93	D40B2

Table 9. The effect of duplexing the structure on the period time and the percentage of modes participation in M40BC

جدول ۱۰. مقایسه برش پایه سازه M40BC با سازه‌های دوبلکسی متناظر آن

Increase Percentage	V (ton)	Model	Increase Percentage	V (ton)	Model	V (ton)	Model	Lateral Load
1	1269.27	D40BC2	0.99	1269.35	D40BC1	1274.43	M40BC	EXP
1	729.7	D40BC2	1	729.93	D40BC1	723.08	M40BC	SPXT
1.01	578	D40BC2	1.02	581.34	D40BC1	571.3	M40BC	Wind
1.06	1159.87	D40BC2	1.03	1132.35	D40BC1	1097.27	M40BC	Northridge (Moorpark)
1.02	1036.15	D40BC2	0.99	1003.62	D40BC1	1014.42	M40BC	San Fernando
1.27	1191.57	D40BC2	1.15	1078.95	D40BC1	936.53	M40BC	Loma Prieta (Presidio)
1.03	529.36	D40BC2	1.03	528.46	D40BC1	513.49	M40BC	Whittier Narrows
1.17	816.49	D40BC2	1.15	804.62	D40BC1	698.96	M40BC	Kern county
0.99	1248.83	D40BC2	1	1252.65	D40BC1	1256.12	M40BC	Imperial-Valley
1.13	1527.72	D40BC2	1.09	1478.26	D40BC1	1353.03	M40BC	ChiChi(TCU068)
1	1391.2	D40BC2	1.02	1421.8	D40BC1	1388.55	M40BC	ChiChi(TCU072)
0.99	1426.03	D40BC2	1.04	1494.84	D40BC1	1430.37	M40BC	Kocaeli (Izmit)
0.99	1062.09	D40BC2	1	1074.71	D40BC1	1075.74	M40BC	Northridge (Jensen Filter Plant)
1.12	1091.8	D40BC2	1.16	1132.68	D40BC1	974.66	M40BC	Loma Prieta (Gilroy Array)
1.32	1201.67	D40BC2	1.28	1165.95	D40BC1	911.29	M40BC	Kocaeli(Duzce)

Table 10. The comparison of base shear of M40BC with corresponding duplex structures

۴.۷. سازه M60BC و سازه‌های دوبلکسی متناظر آن

آن

با مقایسه سازه معمولی M60BC با سازه‌های دوبلکسی D60BC1 و D60BC2 مشاهده می‌شود که دوبلکسی شدن سازه تأثیر چندانی بر روی پارامترهای جابه‌جایی طبقات، مقدار دررفت طبقات، برش وارد بر طبقات تحت نیروهای زلزله استاتیکی، دینامیکی طیفی و بار باد ندارد، اما برای این سازه خاص پارامتر زمان تناوب سازه را به مقدار حداکثر ۰/۰۲ ثانیه افزایش می‌دهد (سازه را نرم‌تر می‌کند) و همچنین با دوبلکسی شدن درصد مشارکت جرمی مودها تغییر می‌کند (جدول ۱۱)، این تغییرات باعث می‌شود سازه رفتار پیچیده‌ای تحت رکوردهای زلزله مختلف از خود نشان دهد، به گونه‌ای که تحت برخی از رکوردهای زلزله تغییری در برش پایه ایجاد نمی‌شود و در برخی از زلزله‌ها شاهد اختلاف در برش پایه بوده ایم به طوری که بیشینه افزایش در زلزله Kocaeli (Izmit) به مقدار ۳۹۵/۸۱ تن (۱/۳۱ برابر برش سازه معمولی) و بیشینه کاهش در زلزله San Fernando به مقدار ۲۱۸/۸۸ تن (۰/۸۳ برابر برش سازه معمولی) رخ داده است (جدول ۱۲). همان‌گونه که از جدول (۱۱) مشاهده می‌شود با دوبلکسی شدن سازه درصد مشارکت مد اول ۶٪ بیشتر می‌شود و

می‌توان گفت در سازه معمولی اثر مدهای بالاتر مهم‌تر است. در شکل (۱۳) به بررسی اثر ستون‌های کوتاه ایجاد شده در سازه دوبلکسی پرداخته شده است، بدین صورت که مقدار نیروی برشی وارد بر ستون E7 سازه دوبلکسی با سازه معمولی برای بار جانبی EXP مقایسه شده است، پرش موجود در نمودار سازه D60BC2 به علت اختلاف ارتفاع ستون‌های کوتاه است. همان‌گونه که از شکل (۱۲) مشاهده می‌شود به طور میانگین به ستون‌های کوتاه سازه D60BC1، ۲/۵۲ برابر ستون‌های سازه معمولی و به ستون‌های کوتاه سازه M60BC2، ۱/۱۶ برابر سازه معمولی نیروی برشی وارد می‌شود.

در شکل (۱۴) به بررسی اثر دوبلکسی شدن سازه بر هسته مقاوم پرداخته شده است، به طور میانگین تنش در هسته سازه D60BC1، ۱/۴ برابر سازه M60BC است در طبقات اول این اختلاف کمتر و در حدود ۱/۲۳ برابر و در طبقات بالا ۲/۲۳ برابر است، همچنین در سازه D60BC2 تنش در هسته به طور میانگین ۱/۵۲ برابر سازه M60BC و مانند سازه D60BC1 در طبقات اول این اختلاف کمتر و در حدود ۱/۰۹ برابر و در طبقات بالا ۲/۳۶ برابر است. پرش‌های موجود در نمودارها به خاطر تغییر ضخامت هسته بتن‌آرمه در ارتفاع سازه است.

شکل ۱۴. اثر دوبلکسی شدن بر روی ماکزیمم مقدار تنش وارد بر هسته

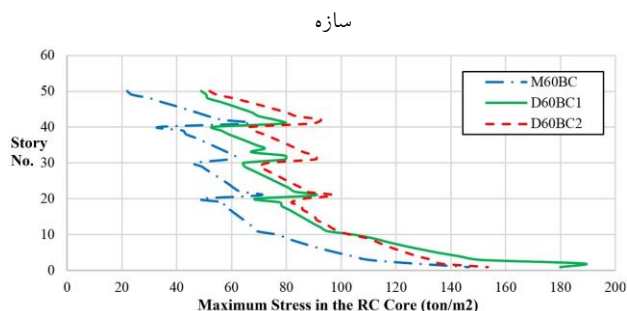


Fig. 14. The effect of duplexing the structure on maximum stress of the RC core in M60BC

شکل ۱۳. اثر دوبلکسی شدن سازه بر روی نیروی برشی ستون های کوتاه

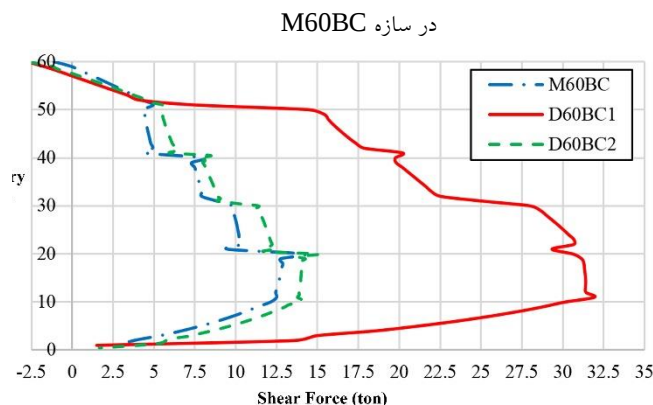


Fig. 13. The effect of duplexing the structure on shear force of the short columns in M60BC

جدول ۱۱. اثر دوبلکسی شدن سازه بر روی زمان تناوب و درصد مشارکت مدها در سازه M60BC

3 rd Mode		2 nd Mode		1 st Mode		Participation Percentage
Participation Percentage	Period Time	Participation Percentage	Period Time	Participation Percentage	Period Time	
4.53	1.13	7.28	2.04	61.18	7.39	M60B
4.39	1.11	14.78	2.04	67.67	7.41	D60B1
4.43	1.11	14.71	2.04	67.55	7.39	D60B2

Table 11. The effect of duplexing the structure on the period time and the percentage of modes participation in M60BC

جدول ۱۲. مقایسه برش پایه سازه M60BC با سازه های دوبلکسی متناظر آن

Increase Percentage	V (ton)	Model	Increase Percentage	V (ton)	Model	V (ton)	Model	Lateral Load
1	1692.66	D60BC2	1	1692.66	D60BC1	1690.6	M60BC	EXP
1.01	1089.72	D60BC2	1.01	1091.23	D60BC1	1076.53	M60BC	SPXT
1.02	972.2	D60BC2	1.02	976.02	D60BC1	953.5	M60BC	Wind
1.16	1129.6	D60BC2	1.17	1141.59	D60BC1	969.64	M60BC	Northridge (Moorpark)
0.87	1168.27	D60BC2	0.84	1125.97	D60BC1	1344.85	M60BC	San Fernando
0.96	1503.61	D60BC2	0.97	1518.68	D60BC1	1568.6	M60BC	Loma Prieta (Presidio)
1.03	583.17	D60BC2	1.05	597.31	D60BC1	567.48	M60BC	Whittier Narrows
1.07	2069.3	D60BC2	1	1926.24	D60BC1	1927.73	M60BC	Kern county
1.25	1269.48	D60BC2	1.18	1197.15	D60BC1	1016.38	M60BC	Imperial-Valley
1.05	1713.26	D60BC2	1.08	1756.26	D60BC1	1626.77	M60BC	ChiChi(TCU068)
0.92	2647.94	D60BC2	0.94	2729.33	D60BC1	2888.62	M60BC	ChiChi(TCU072)
1.31	1666.63	D60BC2	1.31	1667.68	D60BC1	1270.82	M60BC	Kocaeli (Izmit)
0.93	1069.17	D60BC2	0.97	1112.6	D60BC1	1147.4	M60BC	Northridge (Jensen Filter Plant)
1	1164.3	D60BC2	1.07	1239.44	D60BC1	1156.61	M60BC	Loma Prieta (Gilroy Array)
1.18	1785.64	D60BC2	1.22	1845.18	D60BC1	1514.2	M60BC	Kocaeli(Duzce)

Table 12. The comparison of base shear of M60BC with corresponding duplex structures

۸. نتیجه گیری

گسل مختلف، پاسخ های سازه شامل برش های طبقات و تغییر مکان های جانبی و نسبی در رفتار خطی محاسبه شده و با نتایج بدست آمده از تحلیل استاتیکی معادل مقایسه شده است. همچنین به بررسی اثر دوبلکسی شدن سازه ها روی پاسخ های سازه پرداخته شده است. در ادامه نتایج بدست آمده در مقاله شرح داده شده است:

در این مقاله، با بررسی سازه های فلزی به همراه هسته بتن آرمه، ۲۰ و ۴۰ و ۶۰ طبقه، تحت تحلیل های بار باد، دینامیکی طیفی و همچنین تحلیل های دینامیکی تاریخیچه زمانی تحت رکوردهای زلزله های دور از گسل و نزدیک

ایم. از عوامل موثر بر این پدیده می‌توان به تغییر دوره سازه‌های دوبلکسی و تغییر در درصد مشارکت جرمی مدهای سازه به ویژه در مد اول اشاره کرد.

References

۹. منابع

1. Mirnezami, A. Investigation the Behavior of Irregular Steel Buildings having Different Elevations, Master of Engineering Thesis, Semnan University, in Presian, (2003).
2. Naeim, F. The seismic design handbook. Springer Science & Business Media, (1989).
3. Kheyroddin, A., Anvari, A. Loading of Structures, Semnan University Press, Second Edition, in Presian (2010).
4. Kheyroddin, A., Naderpour, H., Hoseini Vaez, S.R. Investigation the Effect of FRP-Confinement in Ductility of RC Members, 4th National Congress on Civil Engineering, Tehran, Iran, May 6-8, in Persian, (2008).
5. Kheyroddin, A., Mirnezami, A. Seismic Behavior of Irregular Buildings having Different Elevations, Third National Conference on Seismic Building Code, Tehran, in Presian, (2002).
6. Athanassiadou, C.J., Seismic performance of R/C plane frames irregular in elevation, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Greece, Engineering Structures (2007).
7. Kheyroddin, A., Mirnezami, A. "Seismic behavior steel building with different floor". Proc., 3rd National conf. on Code of Practice for Seismic Design of Building, Tehran, Iran (2002).
8. Kheyroddin, A., Amiri, A., Determination of Bracing Location in Duplex Structures Considering Short Column Phenomenon, Research Bulletin of Seismology and Earthquake Engineering, Vol. 11, No. 3, in Presian (2008).
9. Kheyroddin, A., Kargaran, A., Seismic Nonlinear Behavior of Short Column in RC Structures, Engineering Journal, Vol. 22, No. 1, in Persian, (2010).
10. Nouranian, H., Investigation of R-Factor in Duplex Buildings, 6th National Congress on Civil Engineering (6NCCE), Semnan University, Semnan, Iran, April 26-27, in Persian, (2011).
11. Rahimi, A., Mohammadi, Y., Seismic Evaluation of Irregular RC Buildings By Nonlinear Static Analysis, First International Conference on Urban Construction in the Vicinity of Active Faults, September 3-5, Tabriz, Iran, in Persian, (2011).
12. Talei, F., Mechanical Characteristics of Tall Duplex RC Buildings Strengthened with FRP, Master of Engineering Thesis, Semnan University, in Presian, (2014).
13. "Integrated Building Design Software ETABS-Steel Frame Design Manual" "Computers And Structures, Inc., Berkeley, California , December

طبق پژوهش‌های انجام شده نیروی برشی ستون‌های کوتاه سازه دوبلکسی بیشتر از ستون‌های نظیر در سازه معمولی است. این اختلاف در سازه‌های دوبلکسی با ستون کوتاه ۰/۹ متر بیشتر از سازه‌های دوبلکسی با ستون کوتاه ۱/۸ متر است، به گونه‌ای که حداکثر افزایش در سازه D40BC1 تا ۳/۳ برابر سازه M40BC است ولی در سازه‌های دوبلکسی با ستون‌های کوتاه ۱/۸ متر بیشینه اختلاف در سازه D40BC2 تا ۱/۶۳ برابر سازه M40BC است.

تنش ماکزیمم در هسته بتن‌آرمه سازه‌های دوبلکسی بیشتر از تنش سازه‌های معمولی است، مقدار این اختلاف با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که برای سازه‌های ۲۰ طبقه ۱/۲، برای سازه‌های ۴۰ طبقه ۱/۴ و برای سازه‌های ۶۰ طبقه ۱/۶ برابر سازه‌های معمولی است. لازم به ذکر است که مکانی که در هسته مرکزی سازه‌های دوبلکسی تنش ماکزیمم رخ می‌دهد در محل برخورد هسته با محور اختلاف تراز سازه است.

با دوبلکسی شدن سازه‌ها زمان تناوب سازه‌ها تغییر می‌کند، در سازه‌های با سیستم لرزه بر دوگانه قاب خمشی به همراه هسته بتن آرمه افزایش زمان تناوب حداکثر تا ۰/۰۷ ثانیه رخ داده است.

با دوبلکسی شدن سازه‌ها درصد مشارکت جرمی مدهای سازه‌ها افزایش می‌یابد، به عبارت دیگر در سازه‌های دوبلکسی اثر مدهای بالاتر کمتر می‌شود. این افزایش در سازه‌های دوگانه ۲۰، ۴۰ و ۶۰ طبقه به ترتیب برابر ۱۰، ۱۶ و ۶ درصد بوده است.

دوبلکسی شدن سازه تأثیر چندانی بر برش پایه بدست آمده از تحلیل استاتیکی معادل، تحلیل دینامیکی طیفی و بار باد ندارد، اما نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی نشان داد که سازه‌های دوبلکسی تحت رکوردهای زلزله‌های مختلف رفتار پیچیده و غیر قابل پیش‌بینی از خود نشان می‌دهند به گونه‌ای که در بعضی از زلزله‌های اعمال شده شاهد افزایش برش پایه حداکثر تا ۳۳ درصد برش پایه سازه معمولی بوده ایم. در بسیاری از زلزله‌ها هم تغییری در برش پایه به وجود نیامده است و در بعضی از سازه‌ها هم شاهد کاهش برش پایه بوده

Displacement, 14th National Congress of Civil Engineering, Semnan, in Presian, (2008).

18. Esmaili, H., Kheyroddin, A., Naderpour, H., Seismic Behavior of Steel Moment Resisting Frames Associated with RC Shear Walls, Iranian Journal of Science & Technology, Vol. 37, No. C+, pp. 395-407 (2013).

19. Kheyroddin, A., Analysis and Design of Shear Walls, Semnan University Press, Second Edition, in Presian (2012).

(2001).

14. Road, Housing and Urban Development Research Center, Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings (Standard No. 2800) 3rd Edition, (2005).

15. ASCE 7-05, "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures," American Society of Civil Engineers/Structural Engineering Institute (2006).

16. <http://peer.berkeley.edu/>

17. Kheyroddin, A., Esmaili, H. Evaluation of Seismic Provisions Regarding the Lateral

Investigation on Duplex Steel Tall Building Structures having Reinforced Concrete Core-wall

M. Behnam¹, H. Naderpour^{*2}, A. Kheyroddin³

1. M.Sc., Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Iran

2. Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Iran

3. Distinguished Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Iran

naderpour@semnan.ac.ir

ABSTRACT

History of past earthquakes and the destruction caused by them show that irregular structures have the vulnerability potential more than other structures. Reinforced concrete (RC) walls are commonly used as the primary lateral-force-resisting system for tall buildings, although for buildings over 49 m (160 ft), IBC 2006 requires use of a dual system. Use of nonlinear response history analysis (NRHA) coupled with peer-review has become a common way to assess the expected performance of tall buildings at various hazard levels to avoid the use of a backup Special Moment Frame for tall buildings employing structural walls. Modeling of the load versus deformation behavior of reinforced concrete walls and coupling beams is essential to accurately predict important response quantities for NRHA. The design of tall buildings essentially involves a conceptual design, approximate analysis, preliminary design and optimization, to safely carry gravity and lateral loads. New developments of tall buildings of ever-growing heights have been continuously taking place worldwide. Consequently, many innovations in structural systems have merged. The design criteria are strength, serviceability, stability and human comfort. The strength is satisfied by limit stresses, while serviceability is satisfied by drift limits in the range of $H/500$ to $H/1000$. Stability is satisfied by sufficient factor of safety against buckling and P-Delta effects. The factor of safety is around 1.67 to 1.92. The human comfort aspects are satisfied by accelerations in the range of 10 to 25 milli-g, where g =acceleration due to gravity. The aim of the structural engineer is to arrive at suitable structural schemes, to satisfy these criteria, and assess their structural weights in weight/unit area in square feet or square meters. This initiates structural drawings and specifications to enable construction engineers to proceed with fabrication and erection operations. The weight of steel is often a parameter the architects and construction managers are looking for from the structural engineer. This includes the weights of floor system, girders, braces and columns. The premium for wind is optimized to yield drifts in the range of $H/500$, where H is the height of the tall building. In this paper, the seismic behavior of steel frames with reinforced concrete core in the duplex and common high rise building are investigated. In this research, linear analysis under 3 kind of earthquake loading (equivalent static, spectral dynamic and dynamic time history) and wind load on structures with 20, 40 and 60 stories have been accomplished and different parameters, such as structure's base shear and effect of increasing height on seismic behavior have been discussed. Based on results, making structures duplex, causes changes in modal shapes and mass participation percentage of modes. For this reason, there is no change in linear static methods and wind load of common structures and duplex structures response but it has seen changes in structure's response for 12 far and near earthquake records. In some earthquakes, base shear has been increased maximum 32 percent of common structure's base shear and also there is no change in base shear in some of them. In some structures, base shear has been decreased maximum 16 percent of common structure's base shear.

Keywords: Tall Buildings, Steel Structure, Duplex, Seismic Behavior, Dynamic Analysis, Wind.