بررسی محل قرارگیری بادبند بر روی رفتار سازه‌های دوبلکسی (با اختلاف تراز طبقات) با توجه به پدیده ستون کوتاه

علی خیرالدین، دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان
علی امیری، عضو هیأت علمی گروه عمران مؤسسه آموزش عالی اشراق بجنورد

۱- چکیده

یکی از مسائل مهمی که امروزه در آنالیز و بررسی رفتار سازه‌ها نقش مهمی ایفاء می‌کند و خود یکی از مهمترین عوامل خرابی ساختمانها در زلزله‌های گذشته به شمار می‌رود، بی‌نظمی در سازه‌ها می‌باشد. آیین‌نامه‌های معتبر دنیا، نامنظمی را به دو نوع نامنظمی در پلان و ارتفاع تقسیم‌بندی می‌نمایند. استاندارد ۲۸۰۰ ایران نامنظمی در ارتفاع را به سه نوع نامنظمی سختی، مقاومت و جرم تقسیم‌بندی کرده است. اما یکی دیگر از انواع نامنظمی در ارتفاع که در آیین‌نامه‌های دیگر همچون *SEOCK* به آن اشاره شده است و استاندارد ۲۸۰۰ ایران در آن مورد مسکوت است، نامنظمی به علت اختلاف تراز طبقات (ساختمانهای دوبلکسی) می‌باشد. در این مقاله با آنالیز یک ساختمان ۱۵ طبقه فولادی بادبندی شده (۵ مدل مختلف بادبندگذاری و هر مدل در چهار حالت اختلاف تراز متفاوت)، پارامترهای لرزه‌ای اینگونه ساختمانها اعم از تغییرات تغییرمکان و تشکیل ستون کوتاه مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین سعی شده است با بررسی پارامترهای لرزه‌ای مقایسه‌ای بین سازه در حالت بدون اختلاف تراز و دارای اختلاف ترازهای متفاوت انجام شود و از این بین بهترین محل بادبند به منظور کاهش نامنظمی و کنترل پدیده ستون کوتاه پیشنهاد گردد.

کلیدواژه‌ها: نامنظمی در ارتفاع، اختلاف تراز، ستون کوتاه، سازه دوبلکسی، بادبند فلزی

۲- مقدمه

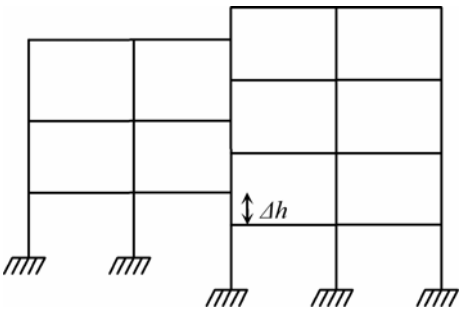
تاریخ زلزله‌های گذشته و ویرانیهای حاصله نشان می‌دهد که سازه‌های نامنظم دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به بقیه سازه‌ها، می‌باشند.

اکثر نامنظمی‌ها به علت مسائل معماری، زیبایی و گاهی مسائل فنی به سازه‌ها اعمال می‌شود. با بررسی آیین‌نامه‌های معتبر زلزله دنیا مشخص می‌شود که این آیین‌نامه‌ها، سازه‌های نامنظم را به دو دسته نامنظم در پلان و ارتفاع تقسیم بندی می‌کنند. با بررسی بیش از ۱۷ آیین‌نامه معتبر زلزله دنیا، می‌توان گفت، اکثر این آیین‌نامه‌ها در مورد نامنظمی در ارتفاع به نامنظمی سختی که منجر به پیدایش طبقه نرم می‌شود و به نامنظمی مقاومت که منجر به پیدایش طبقه ضعیف می‌شود و نیز به نامنظمی جرم، اشاره می‌کنند. در این راستا بعضی آیین‌نامه‌های معتبر دیگر به عواملی چون قطع اعضاء باربر جانبی، عدم توازن نسبت جرم به سختی طبقه، پس نشستگی‌های معمولی و معکوس، ساختمانهای ترکیبی و ساختمانهای با اختلاف تراز طبقه یا ساختمانهای با تراز دو بخشی و ساختمانهای دوبلکسی اشاره دارند.

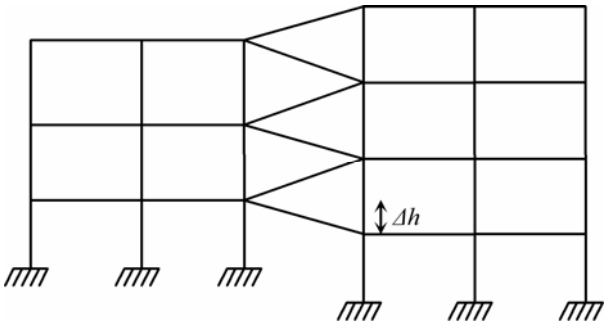
یکی دیگر از انواع سازه‌های نامنظم در ارتفاع که بعضی از آیین‌نامه‌ها همچون آیین‌نامه سیاک (انجمن مهندسان سازه کالیفرنیا) به آن اشاره کرده است، سازه‌های با اختلاف تراز طبقات می‌باشند.

ساختمانهای با اختلاف تراز یا ترازهای دو بخشی و یا دوبلکسی به گونه‌ای از ساختمانها گفته می‌شود که سطح کف طبقات در آنها با اختلاف تراز Δh از هم فاصله دارند و بر دو نوع با فاصله و بدون فاصله تقسیم می‌شوند، شکلهای (۱) و (۲).

در نوع ساختمانهای دوبلکسی بدون فاصله دو سطح با اختلاف تراز به یک ستون، برخورد می‌کنند، شکل (۱). در نوع ساختمانهای دوبلکسی با فاصله دو قسمت سازه دوبلکسی از همدیگر فاصله دارند که در این ناحیه اتصال، عموماً پله‌ها، آسانسورها و نورگیرها قرار می‌گیرند، شکل (۲).



شکل (۱): *ساختمان دوبلکسی بدون فاصله.*



شکل (۲): *ساختمان دوبلکسی با فاصله.*

متأسفانه آیین‌نامه زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰) در مورد این گونه ساختمانها کاملاً مسکوت بوده و هیچ توصیه‌ای برای بدست آوردن پریود ساختمانهای دوبلکسی و یا نحوه بارگذاری زلزله آنها به شیوه استاتیکی معادل، نکرده است و حتی این گونه سازه‌ها را به صورت نامنظم تلقی نمی‌نماید. لازم به تذکر است که این گونه ساختمانهای با اختلاف تراز طبقات اغلب به خاطر نیازهای معماری مانند ایجاد رامپ پارکینگ برای جلوگیری از تجمع ورودی طبقات مختلف و یا به علت عدم اشرافیت همسایه‌ها در واحدهای روبروی هم در آپارتمانهای مسکونی، ساخته می‌شوند.

نکته بسیار مهم دیگر احتمال ایجاد پدیده ستون کوتاه در محل اتصال دو کف سازه‌های با اختلاف تراز می‌باشند [۱-۲].

یکی از پارامترهای مهم در خرابی ساختمانها در زلزله‌های گذشته تشکیل ستون کوتاه بوده است. از عوامل متعددی که 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، و به نظر نمی‌رسد تحلیل خطی بتواند رفتار واقعی این ناحیه اتصال دوبلکسی(ستون کوتاه) را به طرز دقیقی به نمایش بگذارد.

در مورد عواملی که احتمال تشکیل ستون کوتاه را در سازه دوبلکسی بیشتر می‌کنند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- تغییر سیستم مقاومت لرزه‌ای دو جزء سازه دوبلکسی؛

۲- تمرکز بادبندها در یک جزء سازه دوبلکسی؛

۳- تمرکز دیوارهای برشی در یک جزء سازه دوبلکسی؛

۴- اختلاف سطح پلان در دو جزء سازه دوبلکسی؛

۵- اختلاف در کاربری هر یک از دو جزء سازه دوبلکسی؛

۶- اختلاف در بارگذاری هر یک از دو جزء سازه دوبلکسی؛

۷- عدم مقاومت اتصال دوبلکسی و نیز عدم رعایت شکل‌پذیری در آن [۱].

۳- بررسی تحقیقات گذشته

تاکنون در مورد ساختمانهای نامنظم تحقیقات زیادی انجام شده است که بحثی بسیار گسترده را شامل می‌شود که به همین دلیل، هنوز سؤالات زیادی در این مورد بدون پاسخ مانده است.

تحقیقات انجام گرفته که به طور خاص بر روی رفتار سازه‌های دوبلکسی متمرکز باشد، بسیار محدود می‌باشد. تنها تحقیق انجام شده که شاید آن را بتوان به نوعی مرتبط با سازه‌های دوبلکسی فرض کرد، تحقیق دانشگاه بوفالو بر روی رفتار ساختمانهای نامنظم در ارتفاع می‌باشد. این تحقیق به صورت آزمایشگاهی صورت گرفته است.

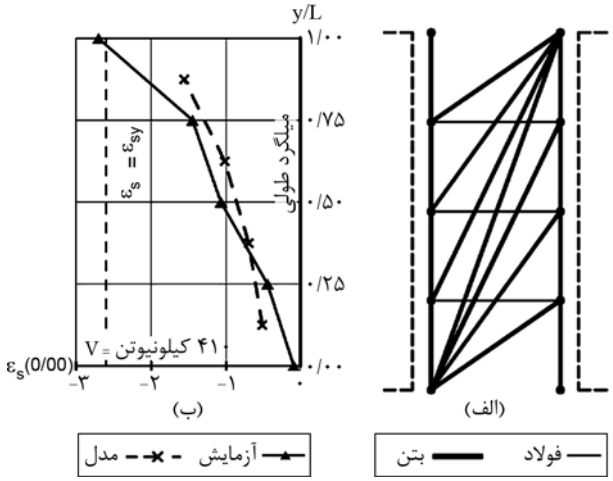
پس از ساخت مدل و انجام آزمایش تحریک لرزه‌ای نتایجی شامل نمودار تغییرمکانهای بام نسبت به برش پایه در شرایط مختلف از جمله اتصالات صلب و نیمه صلب و همچنین نمودار تغییرمکان سازه‌های نامنظم در ارتفاع، در طول مدت تحریک به دست آمد. متأسفانه در مقاله هیچ گونه اطلاعات مشخصی در مورد این نتایج ذکر نگردیده است. نتیجه بسیار مهمی که از تحقیق فوق به دست می‌آید و در مورد سازه‌های با اختلاف تراز طبقات هم مفهوم پیدا می‌کند آن است که، دو جزء سازه نامنظم در شرایطی به سمت یکدیگر حرکت می‌کنند و تنشهای زیادی را به اجزای ارتباط دهنده آن دو اعمال می‌کنند [۱].

آتاناسیادو در سال ۲۰۰۷ [۳] به بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های نامنظم در ارتفاع پرداخت. تحلیلهای او به دو روش استاتیکی غیرخطی (پوش آور) و دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی انجام شده است. او در این بررسی به این نتیجه رسید که آنالیز پوش‌آور در مقایسه با آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی، دقت مناسبی در تحلیل سازه‌های نامنظم در ارتفاع را ندارد.

به طور خلاصه، تحقیقات تحلیلی و آزمایشگاهی که توسط محققان پیشین انجام شده است، اختلافات موجود در پاسخ دینامیکی منظم و نامنظم را تا حدی شناسانده است. این تحقیقات نشان داده است که در محل نامنظمی‌ها و ناپیوستگی‌هایی مانند کاهش سطح پلان در ارتفاع ساختمان، که با کاهش همزمان جرم، سختی و مقاومت جانبی همراه است، و نیز انحراف دیوارهای برشی واقع در یک صفحه قائم و همچنین ایجاد طبقات نرم و ضعیف، جابه‌جایی نسبی طبقات و نیاز شکل‌پذیری اعضاء به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. با وجود این، بعضی از محققان در تحقیقات خود نشان دادند که این نوع نامنظمی‌ها تأثیر خیلی زیادی بر روی پاسخ دینامیکی ساختمان و نیروهای ایجاد شده در اعضاء نداشته و محدودیت‌های آیین‌نامه‌ها در مورد این نوع نامنظمی‌ها و نیز استفاده از روش استاتیکی برای ساختمانهای دارای چنین ناپیوستگی‌هایی تا حدی محافظه‌کارانه است [۱].

همانطور که اشاره شد یکی از پارامترهای مهم که در ارزیابی سازه‌های نامنظم و همچنین ساختمانهای دوبلکسی حائز اهمیت است، بررسی پدیده ستون کوتاه می‌باشد.

مورتی و تاسیوس در سال ۲۰۰۶ [۴]، آزمایشاتی را بر روی ۸ ستون کوتاه بتنی مسلح شده که در معرض بار ثابت محوری و بارگذاری استاتیکی جانبی قرار گرفته‌اند، انجام دادند. آنها با انجام آزمایشات بر روی نمونه‌ها گسیختگی شکننده و انعطاف‌پذیر نمونه‌ها را بررسی کردند. همچنین با پیشنهاد یک مدل خرپایی برای عضو ستون کوتاه مطابق شکل (۳الف)، کرنش‌ها را در میلگردهای طولی در آزمایشات و در مدل خرپایی مقایسه کردند. نتایج ارائه شده در شکل (۳ب) نشان می‌دهد دقت نسبتاً خوبی در مدل پیشنهاد شده وجود دارد.



شکل (۳): *الف) مدل خرپایی ب) کرنشها در میلگردهای طولی در آزمایشات و در مدل خرپایی.*

گالال و همکاران در سال ۲۰۰۵ [۵]، به بررسی افزایش عملکرد ستونهای کوتاه بتنی مسلح با فولاد کم و بالای عرضی که با استفاده از *FRP* های مرکب (*CFRP*) *Carbon Fibre-Reinforced Polymers* و مقاوم‌سازی *Glass Fibre-Reinforced Polymers (GFRP)* شده است، پرداختند. آنها به صورت عملی و تجربی نشان دادند که می‌توان مقاومت برشی ستونهای کوتاه را به کمک توسعه راهکارهایی جهت ایجاد مفاصل پلاستیک در دو انتهای ستون به منظور ایجاد گسیختگی نرم افزایش داد. آنها در آزمایشات خود به نتایجی از جمله موارد زیر دست یافتند:

۱- مقاوم‌سازی ستونهای کوتاه به کمک *FRP*، ظرفیت اتلاف انرژی و اتلاف نیروهای برشی در ستونها را افزایش می‌دهد.

۲- کرنشها در *FRP*، با افزایش میلگردهای عرضی ستون کاهش می‌یابد.

۳- *CFRP* در مقایسه با *GFRP*، ظرفیت بهتری برای اتلاف انرژی دارد.

کولمب و همکاران [۶] در سال ۲۰۰۷، در تحقیقات خود دریافتند که *FRP* به طور کامل مود گسیختگی را در ستونها تغییر می‌دهد. به طوری که برای ستونهایی که به طور کامل تقویت شده‌اند، مود گسیختگی از حالت شکننده به انعطاف‌پذیر خمشی تغییر می‌یابد و برای ستونهایی که با نوارهایی با فاصله مشخص مسلح شده‌اند، گسیختگی در حالت برشی- خمشی اتفاق می‌افتد.

۴- روشهایی جهت بارگذاری زلزله سازه‌های دوبلکسی

۴-۱- روش معمولی

در این روش ساختمان معمولی یا ساده بدون اختلاف تراز به روش استاتیکی معادل بارگذاری زلزله می‌شود. پس در این روش اصولاً اختلاف ترازی در نظر گرفته نمی‌شود و فرض بر این امر استوار می‌شود که اختلاف تراز در پاسخ انتهایی سازه نقش چندانی را بر عهده ندارد.

۴-۲- روش جداسازی

با توجه به آنکه هر ساختمان دوبلکسی (با اختلاف تراز دو بخشی) خود از دو ساختمان غیر دوبلکسی تشکیل شده است که در راستای قاب با اختلاف تراز به هم ملحق شده‌اند، در این روش ساختمان دوبلکسی به صورت فرضی به صورت دو ساختمان غیردوبلکسی، تصور می‌شود و بارگذاری زلزله در هر قسمت به صورت جداگانه انجام می‌شود.

۴-۳- روش فشرده‌سازی

در این روش ساختمان دوبلکسی یا با اختلاف تراز یا دو بخشی به صورت یک ساختمان غیردوبلکسی اما فشرده شده، تصور می‌شود. بدین صورت که اصولاً ساختمان به صورت غیر دوبلکسی فرض گشته با این تفاوت که ارتفاع طبقات در ساختمان یکسان نیست. به عبارتی دو قسمت دارای اختلاف تراز درون هم فشرده شده و سازه‌ای جدید را تشکیل می‌دهند، که در این سازه جدید ارتفاع طبقات نسبت به سازه اولیه به میزان دو سطح دارای اختلاف تراز کاهش یافته است.

۴-۴- روش تراز معادل

در این روش یک تراز معادل فرضی بین دو کف ساختمان دوبلکسی یا با اختلاف تراز یا دو بخشی در نظر گرفته می‌شود و معیار بارگذاری زلزله به روش استاتیکی معادل همان تراز معادل است.

۴-۵- روش طیفی

برای بررسی و صحت نتایج روشهای فوق‌الذکر می‌توان از آنالیز دینامیکی (شبه دینامیکی یا طیفی) مطابق آیین‌نامه زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰) بهره گرفت [۱، ۷].

نتایج تحقیقات خیرالدین و میرنظامی در سال ۱۳۸۱ [۸] حکایت از آن دارد که روش فشرده‌سازی و روش جداسازی نتایج بسیار مشابهی با یکدیگر دارند و روش تراز معادل توسط نرم‌افزار به صورت خودکار محاسبه می‌گردد. البته در روش تراز معادل، مقداری از نتایج روش فشرده‌سازی و جداسازی متفاوت بوده و گاهی تا ۱۰٪ اختلاف موجود می‌باشد.

در صورت هم پایه کردن نمودار مربوط به تحلیل طیفی طبق بند ۲-۵-۲-۳ آیین‌نامه زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰)، نشان داده می‌شود که روش جداسازی و همچنین فشرده‌سازی می‌توانند به صورت مناسبی جهت پخش نیروهای زلزله در سازه های دوبلکسی، کاربرد داشته باشند [۱، ۸].

در این جا ذکر این نکته لازم به نظر می‌رسد که اثرات طراحی ساختمانها و ادامه یافتن روند تحلیل و طراحی برای یکسان شدن مقاطع تحلیل و طراحی، به شدت نتایج حاصله را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به صورتی که اگر با مقاطع یکسان تیر و ستون در سه نوع ساختمان معمولی، دوبلکسی با فاصله و دوبلکسی بدون فاصله مجدداً بررسی تغییرمکانی صورت پذیرد، نتایج بدست‌آمده بسیار متفاوت خواهد بود. در صورت آن که تراز گیرداری سازه دوبلکسی در تراز پی، در یک راستا باشد، نتایج می‌تواند متفاوت باشد، یعنی آنکه تغییر مکان سازه دوبلکسی بیشتر شود [۱، ۸].

۵- روش تحقیق

این تحقیق بر روی یک ساختمان ۱۵ طبقه فلزی انجام گرفته است. سیستم مقاوم جانبی سازه‌ها در هر دو جهت قاب مهاربندی شده ساده می‌باشد. ساختمان در ۵ مدل مختلف مطابق شکلهای ۵ تا ۹ بادبندگذاری شده است و هر مدل در چهار حالت معمولی (بدون اختلاف تراز) و با اختلاف ترازهای ۱، ۲ و ۳ متر بررسی شده است.

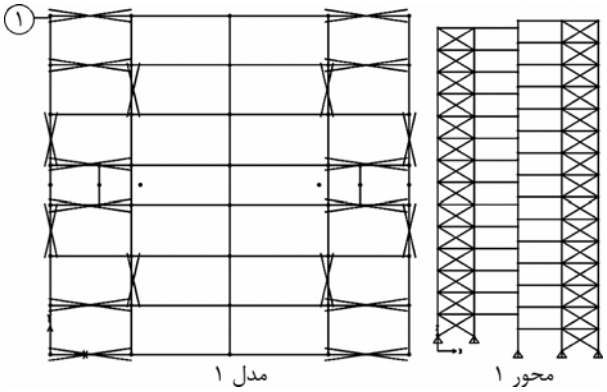
اختلاف ترازهای ۱، ۲ و ۳ متر در مدلها، در روسازه و هم در محل تکیه‌گاه (پی) اعمال شده است. ارتفاع کف تا کف طبقات ۳ متر می‌باشد. بنابراین با توجه به این مورد هنگامی که مدلی دارای اختلاف تراز ۳ متر می‌باشد، به این معنی است که روسازه دارای اختلاف تراز نیست و فقط پی دارای اختلاف تراز به میزان ۳ متر (۱ طبقه) است. بنابراین در این مقاله مدل با اختلاف تراز مدلی می‌باشد که دارای اختلاف ترازی

برابر ۱ و ۲ متر در روسازه و پی است و مدل بدون اختلاف تراز مدلی است که دارای هیچ اختلاف ترازی در پی و روسازه نیست و یا فقط در پی دارای اختلاف تراز ۳ متر می‌باشد.

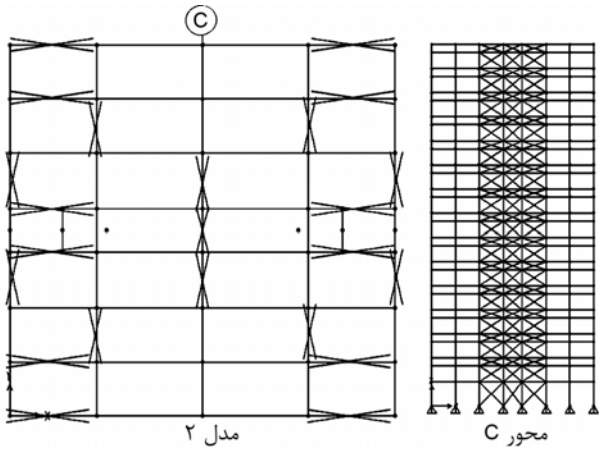
۲۰ مدل مورد بررسی مطابق با مبحث ششم مقررات ملی ایران و استاندارد ۲۸۰۰ بارگذاری شده‌اند. بارگذاری ساختمان به صورت استاتیکی معادل و از روش جداسازی دو بلوک جهت توزیع برش پایه استفاده شده است. همچنین از برنامه *SAP2000* به منظور تحلیل و طراحی استفاده شده است.

بارگذاری مرده همراه با بار معادل پارتیشن‌ها ۷۳۰ کیلوگرم بر متر مربع و بارگذاری زنده معادل با ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است. زمین محل نیز از تیپ ۱ می‌باشد.

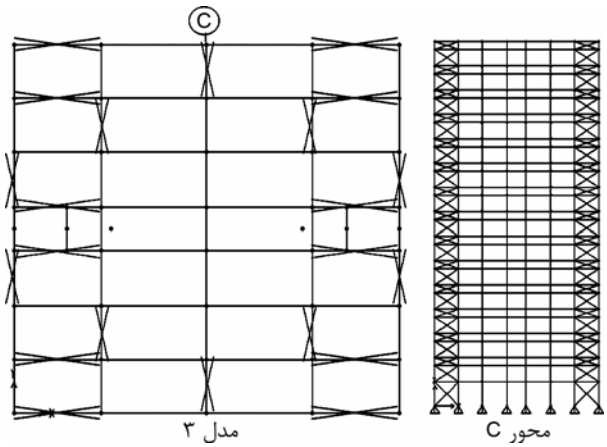
در این مقاله، منظور از محور اختلاف تراز محوری است که دو بلوک دارای اختلاف تراز را از یکدیگر جدا می‌کند و با توجه به شکلهای (۴) تا (۸)، محور اختلاف تراز محور C می‌باشد.



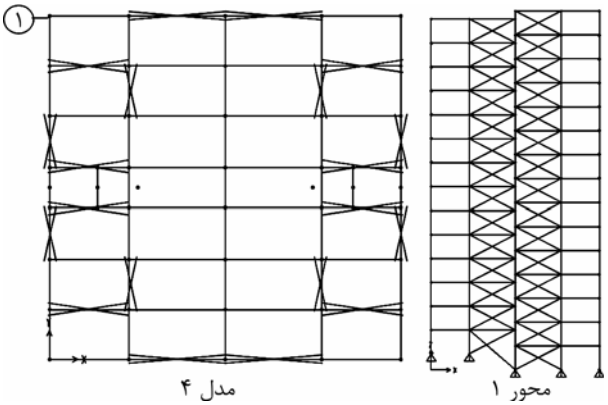
شکل (۴): *مدل ۱ (در محور اختلاف تراز بادبند وجود ندارد).*



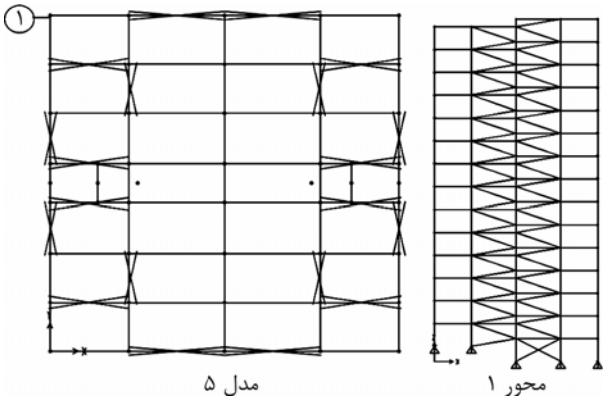
شکل (۵): *مدل ۲ (در دهانه‌های میانی محور اختلاف تراز بادبندگذاری شده است).*



شکل (۶): *مدل ۳ (در دهانه‌های کناری محور اختلاف تراز بادبندگذاری شده است).*

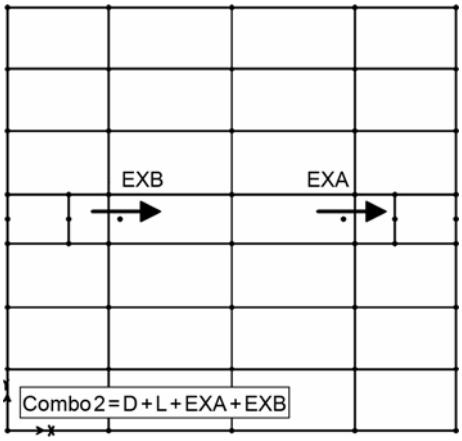


شکل (۷): *مدل ۴ (در دهانه‌های کناری عمود بر محور اختلاف تراز بادبندگذاری ضربدری انجام شده است).*

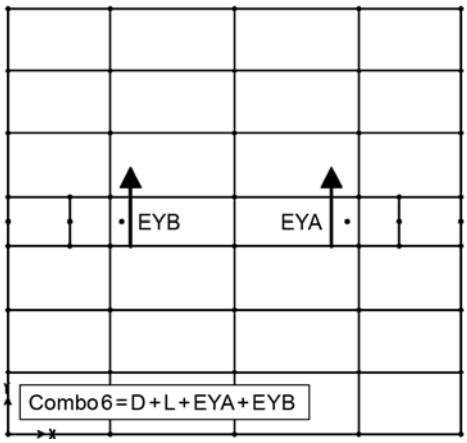


شکل (۸): *مدل ۵ (در دهانه‌های کناری عمود بر محور اختلاف تراز بادبندگذاری قطری انجام شده است).*

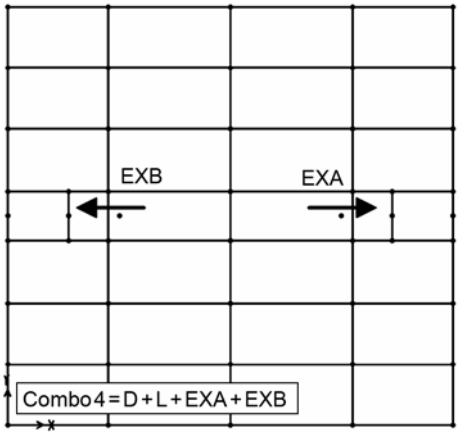
بررسیها در جهت x (جهت عمود بر محور اختلاف تراز) مطابق با دو ترکیب بار *Combo2* و *Combo4* انجام شده است، شکلهای (۹) و (۱۰) و در جهت y (در راستای محور اختلاف تراز) مطابق با دو ترکیب بار *Combo6* و *Combo8* انجام شده است، شکلهای (۱۱) و (۱۲).



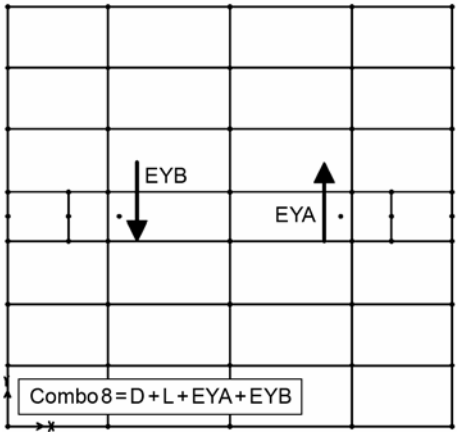
شکل (۹): *پلان سازه دوبلکسی با ترکیب بار Combo2. (مود اصلی تغییر مکان در جهت عمود بر محور اختلاف تراز).*



شکل (۱۱): *پلان سازه دوبلکسی با ترکیب بار Combo6 (مود اصلی تغییرمکان در جهت محور اختلاف تراز).*



شکل (۱۰): *پلان سازه دوبلکسی با ترکیب بار Combo4 (مود غیراصلی (تداخلی) تغییرمکان در جهت عمود بر محور اختلاف تراز).*



شکل (۱۲): *پلان سازه دوبلکسی با ترکیب بار Combo8 (مود پیچشی).*

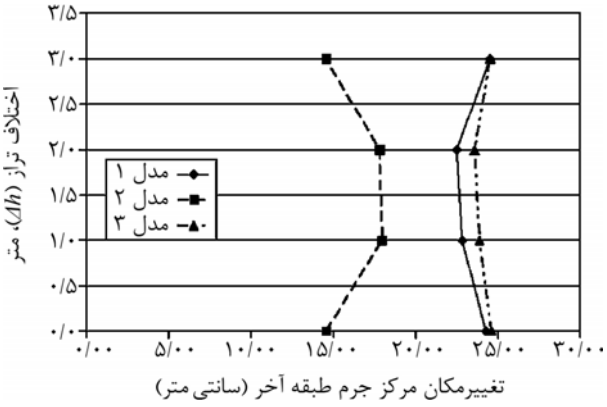
۶- بررسی و تحلیل نتایج

در *Combo2* و *Combo4*، *EXA* اثر نیروی زلزله در جهت x در بلوک A (بلوک سمت راست در شکلهای (۹) و (۱۰)) و *EXB* اثر نیروی زلزله در جهت x در بلوک B (بلوک سمت چپ در شکلهای (۹) و (۱۰)) می‌باشد و در *Combo6* و *Combo8*، *EYA* اثر نیروی زلزله در جهت y در بلوک A و *EYB* اثر نیروی زلزله در جهت y در بلوک B می‌باشد.

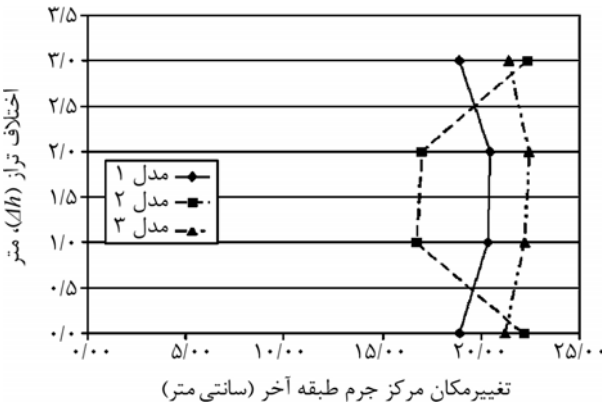
همچنین لازم به یادآوری است که *Combo2*، مود اصلی تغییرمکان در جهت x (عمود بر محور اختلاف تراز) و *Combo4*، مود غیراصلی تغییرمکان (تداخلی) در جهت x (عمود بر محور اختلاف تراز) و *Combo6*، مود اصلی تغییر مکان در جهت y (در راستای محور اختلاف تراز) و *Combo8*، مود پیچشی را ایجاد می‌کند. در نتایج، تأثیرات مود پیچشی در جهت تغییرمکانهای سازه مشهود است [۹].

۱- از شکلهای (۱۳) و (۱۴) ملاحظه می‌شود در مود اصلی تغییرمکان در جهت y، در صورتی که از مدل ۳ به جای مدل ۱ استفاده شود، تفاوت بین تغییرمکان سازه با اختلاف تراز و بدون اختلاف تراز در بلوک A در حدود ۷۰٪ و در بلوک B حدود ۱۶٪ کاهش پیدا می‌کند. این در حالی است که در هر دو مدل، هنگامی که سازه دارای اختلاف تراز است، تغییرمکانها در بلوک A و B کاهش دارد.

بنابراین می‌توان گفت که در این مود، بلوک A حالت محرک و بلوک B حالت مقاوم را در برابر تغییرمکان داشته است. برای کاهش این حالات در دو بلوک و نزدیک شدن رفتار دو بلوک به یکدیگر، همچنان که اشاره شد، می‌توان از مدل ۳ به جای مدل ۱ استفاده کرد.



شکل (۱۳): *بررسی تغییرات (تغییرمکان- اختلاف تراز) در بلوک A در جهت Y (Combo6).*

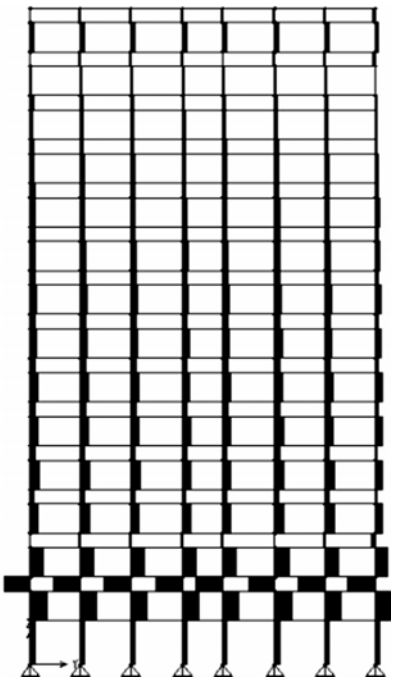


شکل (۱۴): *بررسی تغییرات (تغییرمکان- اختلاف تراز) در بلوک B در جهت Y (Combo6).*

در مقایسه مدل ۲ رفتار متفاوت و معکوسی را نسبت به مدل ۱ و ۳ از خود نشان می‌دهد، به طوری که بلوک A حالت مقاوم و بلوک B حالت محرک را دارند و تفاوت بین تغییرمکان سازه با اختلاف تراز و بدون اختلاف تراز در این حالت در مقایسه با مدل ۱، در بلوک A در حدود ۸۰٪ و در بلوک B حدود ۲۹۰٪ افزایش پیدا کرده است. البته تغییرمکانهای سازه در حالت با اختلاف تراز در هر دو بلوک، در مدل ۲ نسبت به مدلهای ۱ و ۳ کاهش پیدا کرده است، که قسمتی از این کاهش مربوط به افزایش سختی سازه در مدل ۲ نسبت به دو مدل دیگر است.

۲- با توجه به شکل (۱۵) در مود اصلی تغییرمکان در جهت y اختلاف حداکثر برشهای وارد به محور حدفاصل دو بلوک (برای بررسی پدیده ستون کوتاه) در دو حالت با و بدون اختلاف تراز، در مدل ۲ نسبت به مدل ۱ حدود ۴۷٪ کاهش و در مدل ۳ نسبت به مدل ۱، حدود ۷۰٪ کاهش نشان می‌دهد. همچنین با افزایش اختلاف تراز Δh، حداکثر برشهای وارده به ستونهای مورد بررسی افزایش می‌یابد. محل تشکیل ستون کوتاه در مود اصلی تغییرشکل در جهت y مطابق شکل (۱۶) در طبقات پایین صورت می‌گیرد.

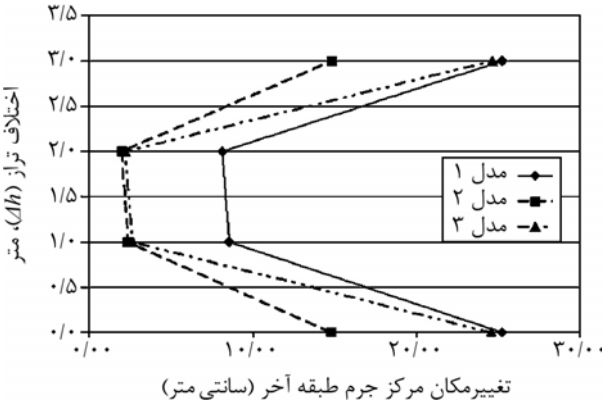
شکل (۱۵): *بررسی تغییرات (برش- اختلاف تراز) در جهت Y (Combo6).*



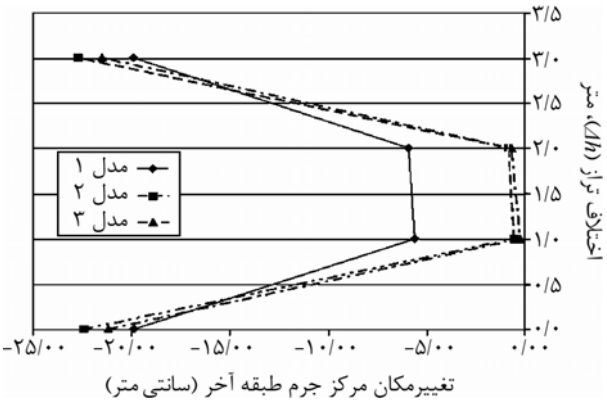
شکل (۱۶): *محل تشکیل ستون کوتاه در مود اصلی تغییرشکل در جهت y براساس دیاگرام برش در ستونهای محور C (محور اختلاف تراز) در ترکیب بار Combo6.*

۳- مطابق شکلهای (۱۷) و (۱۸) در مود پیچشی، تفاوت بین تغییرمکان سازه با اختلاف تراز و بدون اختلاف تراز، هنگامی که از مدل ۳ به جای مدل ۱ استفاده شود، در بلوک A در حدود ۳۱٪ افزایش و در بلوک B حدود ۴۹٪

افزایش داشته است. هنگامی که از مدل ۲ به جای مدل ۱ استفاده شود در بلوک A در حدود ۳۴٪ کاهش و در بلوک B حدود ۵۵ درصد افزایش مشاهده می‌شود.

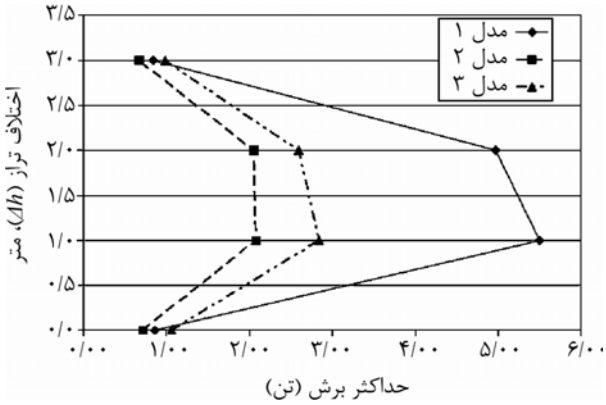


شکل (۱۷): *بررسی تغییرات (تغییرمکان- اختلاف تراز) در بلوک A در جهت Y (Combo8).*



شکل (۱۸): *بررسی تغییرات (تغییرمکان- اختلاف تراز) در بلوک B در جهت Y (Combo8).*

۴- با اینکه در نمودار تغییرمکان- اختلاف تراز در مود پیچشی، شکلهای (۱۷) و (۱۸)، در هر مدل تفاوت زیادی در حالت با اختلاف تراز و بدون اختلاف تراز دیده می‌شود، ولی هنگامی که سازه دارای اختلاف تراز است، تغییر- مکانهای سازه در هر دو بلوک به شدت کاهش پیدا می‌کند. تغییرمکانها در دو بلوک در دو جهت مختلف هستند. با این وجود کاهش تغییرمکانها به صورت مطلق تأثیر مثبتی در رفتار لرزه‌ای سازه ندارد، به طوری که این اثرات در شکل (۱۹) کاملاً مشهود است (افزایش برشها در هر مدل با ایجاد اختلاف تراز). اما با مقایسه مدلها در حالت با اختلاف تراز، می‌توان دریافت که مدلهای ۲ و ۳ تأثیر قابل توجهی در کاهش تغییرمکانها در حالت با اختلاف تراز دارند (در بلوک B به میزان ۱۰ برابر کاهش و در بلوک A به میزان ۴ برابر کاهش). تأثیر مثبت این کاهش در کنترل پدیده ستون کوتاه در شکل (۱۹) مشخص است.

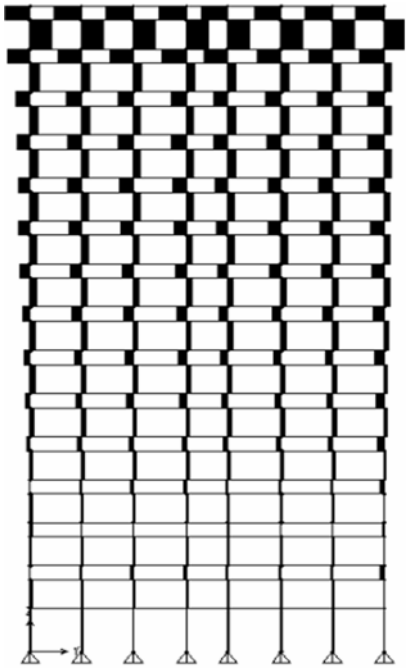


شکل (۱۹): *بررسی تغییرات (برش- اختلاف تراز) در جهت Y (Combo8).*

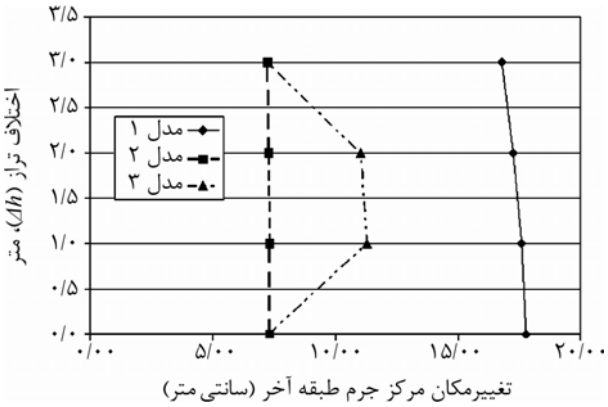
۵- با توجه به شکل (۱۹)، با اعمال مدل ۲ و ۳ به جای مدل ۱، اختلاف حداکثر برشهای وارد به محور حدفاصل دو بلوک (برای بررسی پدیده ستون کوتاه) در دو حالت با و بدون اختلاف تراز در مود پیچشی به شدت کاهش می‌یابد، به طوری که مدل ۳ در مقایسه با ۱ حدود ۳/۳ برابر کاهش و مدل ۲ در مقایسه با ۱ حدود ۲/۵ برابر کاهش را به دنبال دارد.

محل تشکیل ستون کوتاه در مود پیچشی مطابق شکل (۲۰) در طبقات بالا صورت می‌گیرد. نتایج بدست آمده از شکلهای (۱۶) و (۲۰) مشابه نتایج تیر طره‌ای معادل می‌باشد.

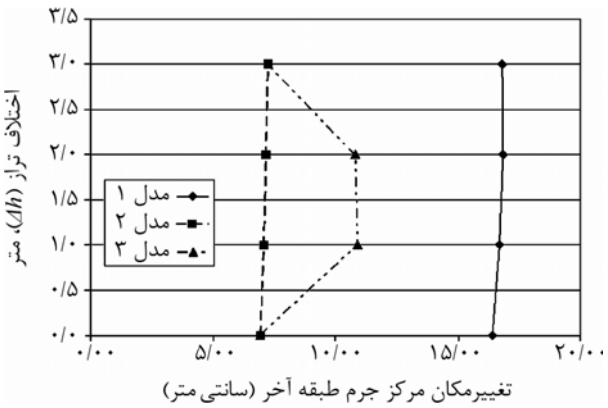
۶- همانطور که در شکلهای (۲۱) و (۲۲) ملاحظه می‌شود، در مود اصلی تغییرمکان در جهت x تفاوت قابل‌توجهی بین تغییرمکان سازه با اختلاف تراز و بدون اختلاف تراز در مدلهای ۱ و ۴ دیده نمی‌شود، ولی تغییرمکان سازه در مدل ۴ به نسبت مدل ۱ حدود ۲/۴ برابر کاهش یافته است. در این میان مدل ۵ رفتار سازه را پیچیده کرده است، به طوری که تغییرمکان سازه در حالت با اختلاف تراز نسبت به حالت بدون اختلاف تراز، حدود ۱/۵۷ برابر افزایش پیدا کرده است. این نتایج تقریباً برای دو بلوک یکسان است، یعنی می‌توان گفت که دو بلوک محرک برای یکدیگر یا مقاوم در برابر یکدیگر نبوده‌اند.



شکل (۲۰): *محل تشکیل ستون کوتاه در مود پیچشی بر اساس دیاگرام برش در ستونهای محور C (محور دارای اختلاف تراز) در ترکیب بار Combo8.*

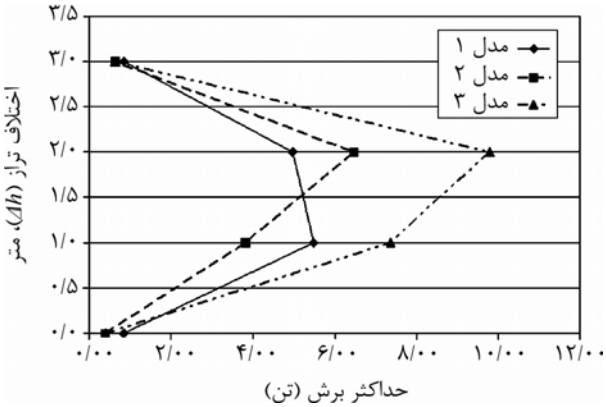


شکل (۲۱): *بررسی تغییرات (تغییرمکان- اختلاف تراز) در بلوک A در جهت X (Combo2).*



شکل (۲۲): *بررسی تغییرات (تغییرمکان- اختلاف تراز) در بلوک B در جهت X (Combo2).*

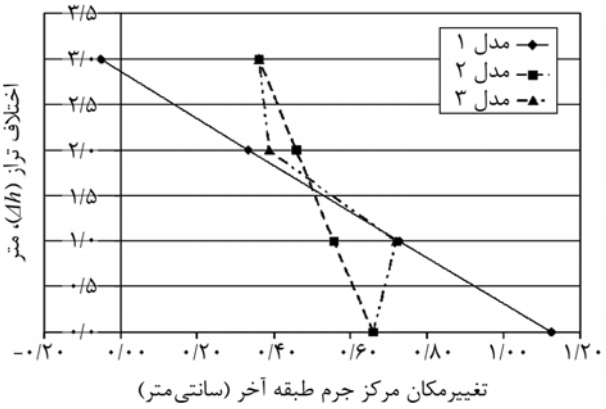
۷- مطابق شکل (۲۳)، در مقایسه بین دو مدل ۱ و ۴ برای بررسی پدیده ستون کوتاه در محور حد فاصل دو بلوک ناشی از تغییرمکانهای مود اصلی در جهت x نمی‌توان به دقت اظهار نظر کرد، ولی شاید بتوان گفت مدل ۱ در اختلاف ترازهای کم و مدل ۴ در اختلاف ترازهای زیاد برای مهار پدیده ستون کوتاه مناسبتر است. در این میان مدل ۵ نتایج مناسبی را ارائه نمی‌دهد، به طوری که مدل ۵ در مقایسه با مدل ۱ به طور متوسط برشها را در حدود ۱/۶۴ برابر افزایش داده است.



شکل (۲۳): *بررسی تغییرات (برش- اختلاف تراز) در جهت X (Combo2).*

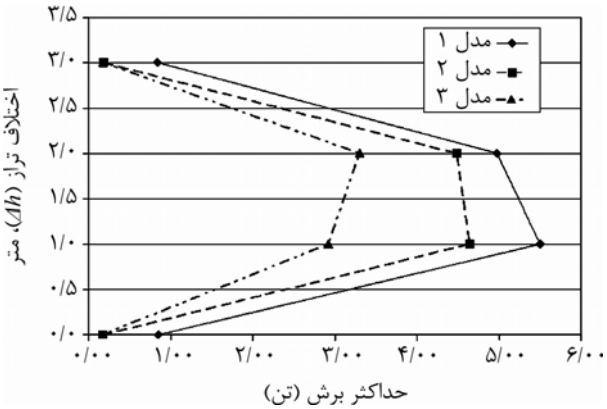
با توجه به شکل (۸)، مدل ۵ مشابه حالتی است که می‌تواند در سازه‌های دوبلکسی با فاصله، شکل (۲) استفاده گردد (راه‌پله در حد فاصل دو بلوک قرار می‌گیرد). همانطور که اشاره شد، این مدل می‌تواند رفتار سازه را پیچیده‌تر و نامنظم‌تر کند و برشها را در ستونهای مورد بررسی افزایش دهد.

۸- با توجه به شکلهای (۲۴) و (۲۵)، در مود غیراصلی تغییرمکان در جهت x، مدل ۴ رفتار مناسبتری را نسبت به دو مدل دیگر (۱ و ۵) دارد، به طوری که تفاوت تغییرمکانها در دو حالت با اختلاف تراز ۳ متر (فقط در پی) و بدون اختلاف تراز در مدل ۴ نسبت به مدل ۵ کمتر است و پیچیدگی رفتار مدل ۵ را ندارد. البته مطابق شکل (۲۶)، مدل ۵ در کنترل برشهای وارد بر ستونهای حدفاصل دو بلوک مؤثرتر است. مدل ۵ برشها را به میزان تقریباً ۷۰٪ نسبت به مدل ۱ و مدل ۴ فقط ۱۵٪ برشها را نسبت به مدل ۱ کاهش داده است.



شکل (۲۴): *بررسی تغییرات (تغییرمکان- اختلاف تراز) در بلوک A در جهت X (Combo4).*

شکل (۲۵): *بررسی تغییرات (تغییرمکان- اختلاف تراز) در بلوک B در جهت X (Combo4).*



شکل (۲۶): *بررسی تغییرات (برش-اختلاف تراز) در جهت X (Combo4).*

۹- با توجه به شکلهای (۱۳) الی (۲۳) و (۲۶)، هنگامی که سازه دارای اختلاف تراز نیست، در مقایسه‌ای بین دو سازه دارای اختلاف تراز ۳ متر (۱ طبقه) در پی و بدون اختلاف تراز در پی، مشاهده می‌شود که تقریباً تفاوتی بین این دو سازه در بررسی پارامترهای لرزه‌ای یا همچون تغییرمکان و اثر ستون کوتاه وجود ندارد و به عبارتی اختلاف تراز به میزان ۱ طبقه در پی تقریباً تأثیری در رفتار لرزه‌ای روسازه ندارد. البته مطابق شکلهای (۲۴) و (۲۵)، با ایجاد اختلاف تراز ۳ متر در پی تغییرمکانها در کلیه مدلها در هر دو بلوک کاهش یافته‌اند، اما با توجه به مشارکت کم این مود، این مورد حائز اهمیت نیست [۵].

۷- نتیجه‌گیری

با توجه به موارد بیان شده می‌توان گفت:

۱- مدل ۳ (سازه‌ای که در دهانه‌های کناری محور اختلاف تراز بادبندگذاری می‌شود)، بهترین رفتار را در مود اصلی تغییرمکان در جهت محور اختلاف تراز خواهد داشت و پدیده ستون کوتاه ناشی از این مود نیز بهتر کنترل می‌شود.

۲- برای ایجاد رفتاری مناسب و منظم در مود اصلی پیچشی، بادبندگذاری در دهانه‌های میانی و یا کناری محور اختلاف تراز (مدلهای ۲ و ۳) تفاوت چندانی با هم ندارند، ولی در کل بادبندگذاری در محور اختلاف تراز (بادبندگذاری در دهانه‌های میانی و یا کناری)، تغییرمکانهای ناشی از مود اصلی پیچشی را در مقایسه با حالتی که هیچ بادبندی در محور اختلاف تراز وجود ندارد، کاهش می‌دهد. با این وجود حالتی که بادبندگذاری در دهانه‌های کناری محور اختلاف تراز انجام می‌شود، بهترین گزینه برای کنترل برشهای وارد بر ستونهای محور اختلاف تراز (محور حدفاصل دو بلوک دارای اختلاف تراز) در مود پیچشی می‌باشد.

۳- هنگامی که از بادبندهای ضربدری در مقایسه با بادبندهای قطری در دهانه‌های کناری عمود بر محور اختلاف تراز استفاده می‌شود، کنترل تغییرمکانها (در مود اصلی و غیراصلی (تداخلی)) در جهت عمود بر محور اختلاف تراز بهتر انجام می‌گیرد و از رفتار نامنظم سازه کاسته می‌شود.

۴- برای کنترل پدیده ستون کوتاه ناشی از مود اصلی تغییرمکان در جهت عمود بر محور اختلاف تراز، نمی‌توان اظهارنظر خاصی کرد. همچنین مدل دارای بادبندهای قطری در دهانه‌های کناری عمود

بر محور اختلاف تراز، مدل مناسبی در کنترل این پدیده در مود اصلی نمی‌باشد، ولی از طرفی این مدل گزینه مناسبی برای کنترل این پدیده در مود غیراصلی است. البته با توجه به مشارکت کم مود غیراصلی در تغییرمکان سازه، مناسب بودن این مدل در کنترل پدیده ستون کوتاه حائز اهمیت نمی‌باشد.

۵- در مقایسه بین دو سازه: ۱- دارای اختلاف تراز ۳ متر (۱ طبقه) در پی و بدون اختلاف تراز در طبقات و ۲- بدون اختلاف تراز در پی و طبقات، مشاهده می‌شود اختلاف تراز به میزان ۱ طبقه در پی تقریباً تأثیری در رفتار لرزه‌ای روسازه ندارد.

۸- مراجع

۱. میرنظامی، علیرضا (۱۳۸۲). *بررسی رفتار ساختمانهای نامنظم فولادی با اختلاف تراز طبقات (ساختمانهای دوبلکسی)*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- گرایش سازه، دانشگاه سمنان.

۲. نعیم، فرزاد (۱۳۷۴). *طرح سازه‌ها در برابر زلزله*، کتاب مرجع، ترجمه اوشک سرائی، جلد اول، انتشارات دانشگاه گیلان.

3. Athanassiadou, C.J. (2007). Seismic performance of R/C plane frames irregular in elevation, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Greece, *Engineering Structures*.

4. Moretti, M. and Tassios, T.P. (2007). Behaviour of short columns subjected to cyclic shear displacements: experimental results, Dept. of Civil Engineering, University of Thessaly, Volos, Greece, *Engineering Structures*, **29**.

5. Galal, K., Arafa, A., and Ghobarah, A. (2005). Retrofit of RC square short columns, Department of Building, Civil and Environmental Engineering, Concordia University, Montreal, Canada, *Engineering Structures*, **27**.

6. Colomb, F., Tobbi, H., Ferrier, E., and Hamelin, P. (2008). Seismic retrofit of reinforced concrete short columns by CFRP materials, GTM Construction, DITC, 61 Av, Jules Quentin, 92730 Nanterre Cedex, France, *Composite Structures*, **82**.

۷. *آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰* (۱۳۸۴). مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش سوم.

۸. خیرالدین، علی و میرنظامی، علیرضا (۱۳۸۱). بررسی رفتار لرزه‌ای ساختمانهای فولادی با اختلاف تراز، *سومین همایش ملی نقد و بررسی آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله*، تهران.

۹. امیری، علی (۱۳۸۷). *بررسی سازه‌ای پی‌های سطحی با اختلاف تراز در برابر زلزله*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران (سازه)، دانشگاه سمنان، دانشکده عمران.