

بررسی تاثیر رفتار برشی-پیچشی در محاسبه درز انقطاع بین دو ساختمان همجوار با استفاده از روش تحلیل طیفی

نوید سیاه پلو^۱

کارشناس ارشد سازه، دانشگاه شهید چمران، مجتمع آموزش عالی بهبهان
n_siahpolo@yahoo.com

خلاصه

در ساختمانهایی که مرکز جرم بر مرکز سختی منطبق نمی باشد زوج پاسخهای جانبی - پیچشی ایجاد می شود. در چنین سازه هایی تعبیه درز انقطاع به منظور جلوگیری از برخورد دو ساختمان از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این مقاله برای تعیین درز انقطاع از روش تحلیل طیفی استفاده شده و برای دو ساختمان فرض رفتار برشی-پیچشی بکار برده می شود. رفتار برشی-پیچشی به دلیل عدم انطباق مرکز جرم بر مرکز سختی (به دلیل خروج از مرکزیت) حادث شده و در این حالت زوج پاسخ های جانبی - پیچشی بر پاسخ کلی سازه موثر هستند ، سپس تاثیر عوامل مختلفی چون میزان خروج از مرکزیت ، زمان تناوب و میرایی بر درز انقطاع مورد نیاز بررسی شده و در نهایت نتایج حاصل با ضوابط آیین نامه های استاندارد ۲۸۰۰ ایران، [۱۱]، IBC2006، [۱۰] و UBC97، [۹]، مقایسه می گردند. در کلیه مدل های تحلیلی از فرض رفتار خطی استفاده شده و به منظور معرفی طیف بازتاب سازه از ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ استفاده می شود.

کلمات کلیدی: درز انقطاع ، نیروی تنه ای، تحلیل طیفی، زوج پاسخ جانبی-پیچشی

مقدمه

عدم تعبیه فاصله مناسب بین دو ساختمان هم جوار (درز انقطاع) اعم از رفتار برشی یا برشی-پیچشی در اثر اعمال زلزله های مهیب منجر به برخورد دو ساختمان مجاور هم و در نهایت تشکیل نیروی دینامیکی به نام نیروی تنه ای می گردد. در این بین ساختمانهایی که دارای رفتار برشی - پیچشی هستند (ساختمانهایی که مرکز سختی طبقات آن بر مرکز جرم آن طبقه منطبق نمی باشد) نیازمند اعمال دقت نظر بیشتری برای تعیین درز انقطاع مورد نیاز در مقایسه با ساختمانهای برشی می باشند. در چنین ساختمانهایی زوج پاسخهای جانبی-پیچشی شکل گرفته که ممکن است منجر به کاهش یا افزایش جابجایی نسبی بین دو ساختمان گردد. از عمده ترین روشهای موجود در تعیین فاصله جداساز می توان به روشهایی چون ارتعاشات پیشا، روش تاریخیچه زمانی ، روش تفاضل طیفی و روش طیف پاسخ اشاره کرد.

همانگونه که اشاره شد اصلی ترین پدیده در صورت عدم تعبیه فاصله جداساز مناسب، شکل گیری نیروی تنه ای است. ساده ترین روش برای مقابله با پدیده نیروی تنه ای تعبیه درز انقطاع مناسب بین دو ساختمان به کمک ضوابط آیین نامه است. البته استفاده از روش فوق الذکر علی الرغم سادگی در کلان شهرها به دلیل محدودیت زمین دارای معایبی است. لازم به ذکر است که درز انقطاع مورد نیاز بین دو ساختمان هم جوار ، به عوامل مختلفی چون جرم ساختمان ، سختی طبقات ، میرایی ، ارتفاع طبقات ، بزرگی و مدت زمان تداوم زلزله و نوع رفتار ساختمان اعم از برشی یا برشی-پیچشی بستگی دارد.

به منظور تعبیه درز انقطاع آیین نامه های معتبر ضوابط مختلفی را ارائه داده اند که بطور مثال در آیین نامه UBC97، [۹]، این درز به کمک جمع جبری تغییر مکان نسبی غیر الاستیک آن دو ساختمان تعیین می گردد. در حالیکه مطابق ضوابط آیین نامه IBC2006، [۱۰]، جذر مجموع مربعات تغییر مکان نسبی بین دو ساختمان هم جوار به عنوان معیاری در تعیین درز انقطاع بیان می کند. بر این اساس درز محاسبه شده ، زمانی که دو ساختمان هم جوار خصوصیات ارتعاشی شبیه به همی داشته باشند، فراتر از حد نیاز است. در آیین نامه طرح لرزه ای چین SDCBS حداقل فاصله بین ساختمانها را بر اساس ارتفاع ساختمان و شدت تحریکات زمین در نظر می گیرد. در آیین نامه طراحی ساختمانهای مقاوم در برابر زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰) به منظور تعیین درز انقطاع مورد نیاز، ساختمانها را بر اساس تعداد طبقات و ضریب اهمیت ساختمان به دو دسته تقسیم شده اند. در دسته اول ساختمانها تا هفت طبقه با اهمیت کم و متوسط که در این دسته حداقل درز انقطاع را برابر پنج هزارم مجموع ارتفاع هر طبقه از دو ساختمان کنار هم نسبت به تراز زمین در نظر می گیرد و دسته دوم ساختمانهای با اهمیت زیاد و خیلی زیاد در هر تعداد طبقه و با اهمیت کم و متوسط هشت طبقه و یا بیشتر که در این دسته علاوه بر شرط قبل درز انقطاع مورد نیاز را جمع جبری تغییر مکان نسبی واقعی طرح طبقه دو ساختمان مجاور هم می داند.

در این مقاله سعی شده است که درز انقطاع مورد نیاز بین دو ساختمان مجاور هم با فرض وجود زوج پاسخ جانبی-پیچشی و به کمک روش تحلیل طیفی تعیین گردد. در فرآیند تحلیل سازه از فرض رفتار خطی استفاده شده است. همانگونه که ذکر شد زوج پاسخ جانبی-پیچشی در ساختمانهای

^۱مربی دانشکده مهندسی، مجتمع آموزش عالی بهبهان، دانشگاه شهید چمران ، اهواز

نامتقارن (عدم تقارن مرکز سختی بر مرکز جرم طبقه) شکل می گیرد، زیرا یکی از مهمترین عوامل موثر بر این پاسخها میزان خروج از مرکزیت دو ساختمان مجاور هم است. بنابراین یکی از پارامترهای که علاوه بر موارد ذکر شده در قسمت قبل به عنوان مجموعه عوامل موثر بر درز انقطاع بررسی می گردد تاثیر خروج از مرکزیت است. مدل مورد استفاده در این مقاله دو ساختمان هر یک با N و M طبقه که برای هر یک به ترتیب $3M$ و $3N$ درجه آزادی در تراز کف طبقه لحاظ شده است. این درجات آزادی عبارتند از 2 درجه آزادی انتقالی و یک درجه آزادی دورانی در هر طبقه. به دلیل فرض تقارن سیستم سازه ای در راستای x ، درجه آزادی انتقالی x از مجموعه معادلات همبسته حاکم بر حرکت دینامیکی سیستم مستقل شده و تنها درجات آزادی انتقالی y و دورانی به هم وابسته هستند. به منظور عمل طیف بازتاب زلزله بر اساس استاندارد 2800 ایران، [۱۱]، از طیف خاک نوع 4 با فرض خطر زلزله خیزی متوسط استفاده شده که در شکل (۴-۲) نمایش داده شده است. به منظور تحلیل دینامیکی طیفی از نرم افزار Etabs، [۱۲]، ستفاده شده است. علاوه بر اثر عواملی چون زمان تناوب، میرایی، میزان خروج از مرکزیت، میزان درز انقطاع محاسبه شده به روش ارتعاشات پیشا با ضوابط آیین نامه های $UBC97$ ، [۹]، $IBC2006$ ، [۱۰] و استاندارد 2800 ایران، [۱۱]، مقایسه شده و نتایج حاصله در قالب نمودارهایی ارائه شده است.

در خلال زلزله سال 1985 مکزیکو سیتی حدود 15% از مجموع 320 ساختمانی که تخریب شدند، بر اثر شکل گیری نیروی تنه ای در محل دارای پتانسیل شکل گیری صدمه جدی دیدند. در خلال زلزله 1989 لوماپریه تا حدود 200 مورد شکل گیری نیروی تنه ای مشاهده گردید. در این میان 79% از ساختمانها تحت اثر نیروی تنه ای دچار تخریب معماری شدند. به همین خاطر با مشاهده اثرات تخریبی ناشی از این پدیده مطالعات اولیه مبنی بر شناخت ویژگی های مختلف نیروی تنه ای آغاز گردید.

چهار جنبه اساسی تحقیقات صورت گرفته عبارتست از:

۱. بررسی خسارتهای صورت گرفته در گذشته، شناخت و ارائه راهکارهای مقابله با این پدیده مبهم و پیچیده.
۲. تلاش جهت درک دینامیک نیروی تنه ای (عمده رفتار نیروی تنه ای به صورت غیر خطی می باشد).
۳. ارائه زمینه تحقیقاتی در مورد این پدیده و تلاش برای فراهم کردن یکسری ضوابط طبقه بندی شده جهت آموزش به مهندسين و کاربرد آنها در آیین نامه های معتبر
۴. کاهش خسارتهای ناشی از نیروی تنه ای به کمک بکارگیری روش های مرسوم

از بین دانشمندانی که روی این پدیده به تحقیق و بررسی پرداختند $Anagnostopoulis$ [۱] پرچمدار این مسیر است. ایشان در سال 1988 با مدلسازی سیستم های ساختمانی چند درجه آزاد برشی در کنار هم به صورت زنجیر وار استفاده کرد. به منظور بررسی اثرات تخریبی ناشی از نیروی نه ای و عوامل موثر بر آن از یک سیستم فنر-میراگر جهت مدلسازی نیروی تنه ای بهره گرفت. عمده نتایج حاصل از تحقیق ایشان، بررسی اثر جرم، پیوند سازه و ارتباط این دو پارامتر در بین دو سازه مجاور هم، موقعیت قرار گیری ساختمان (از این نظر که ساختمان در ابتدای زنجیره ساختمانها قرار گرفته یا در میان آنها) و عدم برابری سختی و ارتفاع دو ساختمان کنار هم می باشد. $Westermo$ ، [۲]، به منظور کاهش خسارتهای ناشی از نیروی تنه ای، دو ساختمان برشی مجاور هم را از طریق یک تیر اتصال ($link\ beam$) به همدیگر متصل کرد تا بدین طریق پاسخ تغییر مکانی دو ساختمان یکی شود. ایشان به این نتیجه رسید که هرچه ویژگی های دینامیکی دو ساختمان مجاور هم نزدیک به هم باشد، وجود تیر اتصال سبب کاهش درز انقطاع مورد نیاز می گردد. البته نسبت سختی تیر اتصال به ستونی که تیر بدان متصل شده است نیز در تعیین این فاصله جداساز موثر است.

$Anagnostopoulis$ ، [۳]، مجدداً در سال 1991 تاثیر نیروی تنه ای را بر افزایش پاسخ نسبی دو ساختمان مجاور هم به چالش کشید. البته ایشان در مدل محاسباتی خود علاوه بر رفتار خطی، رفتار غیر خطی (دو خطی) را برای مدل خود در نظر گرفت. ایشان علاوه بر پارامترهایی که در تحقیق اولیه خود مورد بررسی قرار داد، اثر عواملی چون مقاومت گسیختگی اعضا، تاثیر میرایی، اندازه دهانه بین دو سازه را بررسی نمود. $Maison, kasai$ ، [۴]، درز انقطاع مورد نیاز بین دو ساختمان را به کمک روش تفاضل طیفی تعیین کردند. فرض رفتار خطی در تحلیل ایشان در نظر گرفته شده و روش مذکور را با روش تاریخچه زمانی مقایسه کردند. $Jeng-Hsiang\ lin$ ، [۵]، در تعیین حداقل درز انقطاع مورد نیاز بین دو ساختمان از روش ارتعاشات پیشا بهره گرفتند. در مدلسازی تحریکات زلزله نیز این فرض در نظر گرفته شد که تحریکات زلزله از نوع فرآیند پیشای گوسی با میانگین صفر می باشد. مدل محاسباتی از نوع ساختمان n درجه آزاد با جرم متمرکز و رفتار برشی در نظر گرفته شد. محل پتانسیل شکل گیری نیروی تنه ای را در تراز طبقه ساختمان کوتاهتر و تراز نظیر آن در ساختمان بلند تر در نظر گرفته شد. مهمترین نتیجه حاصل از تحقیق ایشان این است که چنانچه مشخصات دینامیکی دو ساختمان مجاور هم یکی باشد، براساس روش ارتعاشات پیشا نیازی به تعبیه درز انقطاع نمی باشد. همچنین روش مذکور برای ساختمانهایی که فرکانس مودی آنها به اندازه کافی نسبت به هم اختلاف داشته باشد در مقایسه با سایر موارد معتبر است. $Hong\ Hao\ \&\ Zhang$ ، [۶]، تاثیر تغییر در تحریکات زمین از هر نقطه به نقطه دیگر و تاثیر ویژگی های ارتعاشی دو ساختمان هم جوار بر تغییر مکان نسبی مورد بررسی قرار دادند. مهمترین نتیجه حاصل از تحقیقات ایشان این نکته است که در ساختمانهای بلند نادیده گرفتن اثر تغییرات حرکتی زمین (تغییرات مولفه شتاب از یک نقطه به نقطه دیگر) سبب می شود درز انقطاع محاسباتی 50% کمتر از حد مورد نیاز تخمین زده شود. $Hao\ \&\ Shen$ ، [۷]، اولین دانشمندانی بودند که با بررسی رفتار برشی-پیچشی دو ساختمان هم جوار به تعیین درز انقطاع پرداختند. در مدلسازی ایشان هر دو نوع رفتار خطی و غیر خطی رادر نظر گرفته و اثر خروج از مرکزیت، فرکانس جانبی، فرکانس پیچشی را مورد مطالعه قرار دادند. به منظور مدلسازی رفتار هیستریزیس غیر خطی ساختمان از روش معادل سازی خطی رفتار غیر خطی که توسط $Kasai$ ارائه شده است استفاده کردند. ایشان در تحقیق خود دریافتند که چنانچه فرکانس ارتعاشی دو سازه نسبت به هم خیلی فرق داشته باشد پاسخ سازه عمدتاً خارج از فاز عمل کرده و همین مسئله سبب افزایش تغییر مکان نسبی می شود. هم چنین چنانچه دو ساختمان مجاور نسبت به هم انعطاف پذیر باشند عمده تغییر مکان نسبی به خاطر تغییر مکان نسبی جانبی

آنهاست. پاسخ پیچشی زمانی اهمیت پیدا می کند که یکی از دو ساختمان سخت باشند. [۸]، Diego Lopez Garcia، به منظور محاسبه درز انقطاع مورد نیاز بین دو ساختمان هم جوار از روش مجذور مربعات پاسخ SRSS، روش ترکیب تفاضلی یا DDC و روش شبیه سازی با میز لرزه ای استفاده کرد. مدل مورد استفاده توسط ایشان دارای ویژگی های زیر است:

۱. یک سیستم یکدرجه آزاد SDOF در نظر گرفت.
 ۲. تابع شتاب زمین را تابع چگالی طیفی تاجیمی-کانای اصلاح شده منظور کرد.
 ۳. از تحریکات باند پهن و باند باریک به عنوان تحریکات القایی بهره جست
 ۴. به منظور محاسبه پاسخ سازه از روش ارتعاشات پیشا استفاده کرد.
- عمده نتایج حاصل از تحقیق ایشان در حوزه خطی این نکته است که هنگامیکه چربود دو ساختمان مجاور هم به هم نزدیک باشد نتایج حاصل از روش DDC در مقایسه با سایر روشها ی ترکیب آماری دقت بیشتری را ارائه می کند. همچنین در روش ترکیب آماری ABS در مقایسه با سایر روشها اغلب نتایج محافظه کارانه تری ارائه می کند. با بررسی مدل غیر خطی و نتایج حاصل از آن و مقایسه آنها با مدل خطی این نتیجه حاصل می شود که هیچکدام از روشهای فوق الذکر در تعیین درز انقطاع نتایج صحیحی را ارائه نمی کند. نتایج حاصل از روش SRSS و DDC متناسب ویژگی تحریکات وارده و مشخصات دینامیکی سیستم ها، در پاره ای موارد درز محاسباتی کمترودر پاره ای موارد درز بیشتری را ارزیابی می کنند. در نتیجه خطر وقوع نیروی تنه ای عملا ناشناخته است. در مقایسه با نتایج حاصل از روش های موجود، روش ABS در مدل غیر خطی خیلی فراتر از حد نیاز است.

فرمول نویسی محاسبه پاسخ سازه به روش تحلیل طیفی

• تحلیل سیستم های چند درجه آزاد به روش طیفی

معمولا در محاسبات، طراح همواره به دنبال محاسبه حداکثر پاسخهای سازه در هر مود و ترکیب آماری آنها به منظور حداکثر پاسخ محتمل سازه (تغییر مکانها، برش طبقات، برش پایه، نیروهای داخلی اعضاء) می باشد که با فرمول نویسی تحلیل طیفی، براحتی حداکثر پاسخ سازه در آن مود دلخواه به کمک طیف مورد نظر تعیین می گردد. در آیین نامه طراحی ساختمانهای مقاوم در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) متناسب با نوع خاک، ۴ نوع طیف طرح ترسیم شده است. به طور خلاصه در این روش، تحلیل دینامیکی سازه با فرض رفتار خطی آن انجام شده و مودهای نوسان در آن تعیین می گردد. سپس حداکثر بازتاب در هر مود با توجه به زمان تناوب آن مود از طیف طرح به دست آورده شده و با ترکیب آماری آنها بازتاب کلی سازه تعیین می گردد. در روش تحلیل طیفی تحت اثر نیروی خارجی زلزله وارد بر سازه معادله حرکت سیستم عبارتست از:

$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = [m]\{r\}\ddot{u}_g(t) \quad (1)$$

که در این رابطه $\{r\}$ ، اصطلاحا بردار تاثیر زلزله و $\ddot{u}_g(t)$ ، شتاب وارده بر سازه از طرف زمین که از طریق شتاب نگاشت بدست می آید. با استفاده از خاصیت تعامد مودها داریم:

$$\ddot{Y}_i + z\xi_i\omega_i\dot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = -\gamma_j\ddot{u}_g(t) \quad (2)$$

که در آن γ_j ، ضریب مشارکت مودی است. جواب عبارت فوق از طریق انتگرال دوهمامل که برای نیروی زلزله به فرم زیر نوشته می شود، بدست می آید:

$$y_i(t) = \frac{\gamma_j}{\omega_j} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi_j\omega_j(t-\tau)} \sin \omega_{D_j}(t-\tau) d\tau \quad (3)$$

مختصات نرمال سرعت نسبی سازه نیز از طریق مشتق گیری از رابطه فوق برابر است با:

$$v_i(t) = \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi_j\omega_j(t-\tau)} \sin \omega_{D_j}(t-\tau) d\tau \quad (4)$$

برای تعیین حداکثر پاسخ نسبی سازه در هر مود ارتعاشی پاسخ درجه آزادی n را ناشی از مود i ام برابر است با:

$$u_{ni} = \varphi_{ni} \times y_i(t) \quad (5)$$

حال اگر رابطه (۴) را در عبارت (۵) جایگذاری کنیم، خواهیم داشت:

$$y_i(t) = \frac{\gamma_j}{\omega_j} \times v_i(t) \quad (6)$$

بنابر این پاسخ سازه با استفاده از رابطه (۶) برابر است با:

$$u_{ni, \max} = \varphi_{ni} \frac{\gamma_j}{\omega_j} s_i(\omega_i, \xi_i) = \varphi_{ni} \frac{\gamma_j}{\omega_i} s_a(\omega_i, \xi_i) \quad (7)$$

که در رابطه فوق φ_{ni} ، γ_j/ω_i و $s_a(\omega_i, \xi_i)$ به ترتیب مولفه مود ارتعاشی درجه آزادی n در مود i ام، نسبت ضریب مشارکت مودی مود i ام به فرکانس ارتعاشی آن مود و شتاب وارده بر سازه بر اثر تحریکات زلزله ناشی از مشخصات دینامیکی مود i ام می باشند. بنابراین اگر حداکثر شتاب وارد بر سازه در هر پریود دلخواه معلوم باشد (طیف شبه شتاب سازه) محاسبه حداکثر پاسخ سازه با معلوم بودن ویژگی های دینامیکی سازه امکان پذیر

است. بنابراین با در دست داشتن حداکثر پاسخ جانبی در هر مود کافی است به کمک یکی از روشهای ترکیب مود که در ذیل می آید حداکثر پاسخ محتمل سازه تعیین گردد.

• قوانین ترکیب مودها

i. روش جمع مطلق پاسخها (ABS)

این روش بسیار دست بالا است. علت قدرمطلق نیز در نظر نگرفتن علامت $u_{n,max}$ در عبارتهاست. به بیان ساده تر، تغییر مکان ماکزیمم درجه آزادی n را در هر یک از مودها حساب کرده، قدر مطلق آنها را با هم جمع جبری می کنیم.

$$U = \left(\sum_{n=1}^N |u_n| \right) \quad (8)$$

ii. روش مجذور مجموع مربعات پاسخها (SRSS)

این روش اولین بار توسط Rosenbluth در تز دکترای خود در سال ۱۹۵۱ ارائه گردید. تمامی آئین نامه ها در بدست آوردن $u_{n,max}$ از روش SRSS استفاده می کنند.

$$U = \left(\sum_{n=1}^N u_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

البته استفاده از این روش مشروط بر وجود اختلاف کافی بین زمان تناوب هریک از مودهای ارتعاشی می باشد. هر یک از آیین نامه برای این اختلاف، معیاری را تعریف کرده اند که در باره ضوابط آیین نامه ۲۸۰۰ در بخش بعد بدان اشاره خواهد شد.

iii. روش ترکیب مربعی کامل پاسخها (CQC)

فرم کلی پاسخ به کمک این روش ترکیب آماری برابر است با:

$$u_{n,max} = \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \rho_{ij} u_{ni,max} u_{nj,max} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

اگر $i=j$ در این صورت $\rho_{ij} = 1$ است. بنابراین رابطه فوق به صورت زیر نوشته می شود:

$$u_{n,max} = \left[\sum_{i=1}^N u_{ni,max}^2 + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N \rho_{ij} u_{ni,max} u_{nj,max} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

که در آن:

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi_i^2(1+r)^2}{(1-r^2)^2 + 4\xi_i^2 r(1+r^2)} \quad (11)$$

• تاریخچه زمانی نیروی برش پایه

ماکزیمم نیروی وارد بر درجه آزادی n در مود i عبارتست از:

$$f_{ni,max} = m_n \omega_i \gamma_i \phi_{ni} s_v(\omega_i, \xi_i) \Rightarrow f_{ni,max} = m_n \gamma_i \phi_{ni} s_a(\omega_i, \xi_i) \quad (12)$$

با استفاده از تعریف فوق حداکثر نیروی برشی پایه ناشی از هر مود ارتعاشی برابر است با جمع جبری نیروی برش وارد بر هر یک از درجات آزادی در مود i نام:

$$v_{oj} = \sum_{n=1}^N f_{ni}(t) = \sum_{n=1}^N m_n \phi_{ni} \gamma_i \omega_i v_i(t) \quad (13)$$

بنابراین به بیانی ساده تر با استفاده تعریف ضریب مشارکت مودی حداکثر نیروی برش پایه مود i نام برابر است با:

$$v_{o,i}(t) = \gamma_i \omega_i L_i v_i(t) = \frac{L_i^2}{M_i} \omega_i v_i(t) \quad (14)$$

که در آن $\frac{L_i^2}{M_i} g$ و $\frac{L_i^2}{M_i}$ اصطلاحاً جرم موثر مود i نام و وزن موثر مود i نام گفته می شود.

• ترکیب پاسخها به کمک ضوابط استاندارد ۲۸۰۰، [۱۱]

در روش تحلیل مودی حداکثر بازتاب های مختلف سازه (نیروها ، تلاش ها و یا تغییرمکان ها) هنگامی که در یکی از مودهای طبیعی با اهمیت خود ارتعاش می کند به دست می آید. از آنجا که این حداکثر بازتابها برای مودهای مختلف در یک زلزله ، به طور همزمان اتفاق نمی افتد ، لازم است با روش های آماری مقداری بازتاب های کلی حداکثر در اعضای مختلف سازه تخمین زده شود . یکی از روش های آماری ترکیب مودها با یکدیگر روش جذر مجموع مربعات است. در این روش بازتاب کلی ، U ، از رابطه زیر به دست می آید:

$$U = \left(\sum_{n=1}^N u_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

بازتاب درجه آزادی موردنظر برای مود n بوده و N جمع تعداد مودهای تحت بررسی است. از این روش می توان در مواردی استفاده نمود که زمان تناوب مودهای مختلف با یکدیگر متفاوت بوده و از یکدیگر فاصله کافی داشته باشند به نحوی که رابطه زیر صادق باشد:

$$r = \frac{T_m}{T_n} \leq 0.67 \quad (T_n > T_m) \quad (16)$$

در رابطه فوق ، نسبت میرایی برابر ۵٪ فرض شده و به ترتیب زمان تناوب طبیعی برای مود n و m است. در صورتی که رابطه فوق صادق نباشد ، جوابهای به دست آمده از ترکیب جذر مجموع مربعات قابل اعتماد نبوده و بهتر است از روش دیگری که به نام ترکیب مربعی کامل موسوم است استفاده شود. این روش قابلیت کاربرد عمومی برای اکثر حالتها را دارد. در روش ترکیب مربعی کامل بازتاب کلی ترکیبی ، U از رابطه زیر به دست می آید:

$$U = \left(\sum_{n=1}^N u_n^2 + 2 \sum_{n=1}^{N-1} \sum_{m=n+1}^N \rho_{nm} u_n u_m \right)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

$$\rho_{nm} = \frac{8\xi^2(1+r)r^{\frac{3}{2}}}{(1-r^2)^2 + 4\xi^2r(1+r)^2} \quad (18)$$

• اصلاح مقادیر بازتابها بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، [۱۱]

در مواردی که برش پایه به دست آمده از روش تحلیل طیفی کمتر از برش پایه تحلیل استاتیکی معادل باشد ، مقدار برش پایه تحلیل طیفی باید به مقادیر زیر افزایش داد شده و بازتاب های متناسب با آنها اصلاح گردد .

الف - در سازه های نامنظم ، مقادیر بازتابها باید در نسب برش پایه استاتیکی معادل به برش پایه به دست آمده از تحلیل طیفی ضرب شوند.

ب - در سازه های منظم در صورتی که در تحلیل طیفی از طیف استاندارد استفاده شده باشد ، مقادیر بازتابها باید در ۹۰ درصد نسبت برش پایه استاتیکی معادل به برش پایه به دست آمده از تحلیل طیفی ضرب شوند.

پ - در سازه های منظم در صورتی که در تحلیل طیفی از طیف طرح ویژه ساختگاه استفاده شده باشد ، مقادیر بازتابها باید در ۸۰ درصد نسبت برش پایه استاتیکی معادل به برش پایه به دست آمده از تحلیل طیفی ضرب شوند.

در صورتی که برش پایه به دست آمده از تحلیل طیفی بیشتر از برش پایه استاتیکی معادل باشد ، مقدار برش پایه تحلیل طیفی و کلیه بازتابهای سازه و اعضای آن را می توان به نسبت برش پایه استاتیکی معادل به برش پایه تحلیل طیفی کاهش داد.

تبصره : مقادیر برش پایه تعدیل شده در بندهای ب و پ نباید از برش پایه به دست آمده از تحلیل طیفی کمتر باشد.

از آنجا که در تحلیل دینامیکی ساختمان ها ، مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران، [۱۱]، باید مقادیر بازتاب ساختمان ها اصلاح شوند بنابراین لازم است تمام ساختمان ها تحلیل استاتیکی معادل شوند

مدل تحلیلی

در این فصل فرضیات مورد استفاده در مدلسازی به همراه جزئیات کامل مدل های تحلیلی مورد استفاده در آنالیز تشریح خواهد شد. سپس مراحل گام به گام مدلسازی به کمک نرم افزار Etabs، [۱۲]، تشریح شده و در انتها نحوه استفاده از خروجی های Etabs، [۱۲]، در تعیین درز انقطاع به روش تحلیل طیفی بیان میگردد.

• تشریح مدل تحلیلی

به منظور بررسی و تعیین درز انقطاع مورد نیاز بین دو ساختمان هم جوار به کمک روش تحلیل طیفی به کمک طیف پاسخ آیین نامه ۲۸۰۰ ایران ، مدل تحلیل به فرم زیر است:

مدل تحلیل به شکل یک پلان مربع شکل به ابعاد ۱۰*۱۰ متر که از چهار طرف بر چهار ستون مربع شکل بتنی استوار است ، تشکیل شده است. سیستم کف سازه ای از نوع تیرچه بلوک به ضخامت ۳۰ سانتی متر و دارای رفتار مشابه دال یکطرفه است. تیرهای پیرامونی سقف نیز بتنی است. مطابق جدول ۱ شرح کامل ابعاد تیر و ستون مورد استفاده در تحلیل بیان شده است. جهت انطباق مدل تحلیل در نرم افزار با پلان مشابه در محیط عملی از بارگذاری مرسوم و رایجی که مهندسين در تحلیل و طراحی از آن استفاده می کنند استفاده شده است و شرح کامل آن در جدول شماره ۲ آمده است.

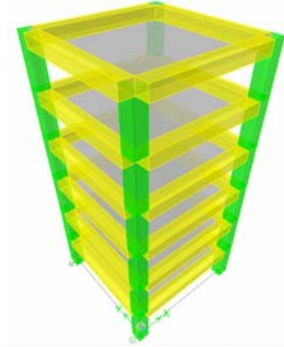
جدول- ۱: ابعاد تیر و ستون مورد استفاده در مدل‌های تحلیلی بر حسب سانتی متر

تعداد طبقات	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶
ابعاد تیر	۵۵*۵۵	۶۵*۶۵	۷۵*۷۵	۸۰*۸۰	۸۵*۸۵	۹۰*۹۰	۹۵*۹۵	۱۰۰*۱۰۰
ابعاد ستون	۶۰*۶۰	۷۰*۷۰	۷۵*۷۵	۸۰*۸۰	۸۵*۸۵	۹۰*۹۰	۹۵*۹۵	۱۰۰*۱۰۰

بطور مثال در شکل (۱) نمونه ای از یک مدل ۶ طبقه با خروج از مرکزیت ۱۰٪ بعد ساختمان ارائه شده است.

جدول-۲: بارگذاری اعمالی در مدل‌های تحلیلی

	DL(kg/m ²)	LL(kg/m ²)	Mass(kg/m ²)	Wall(kg/m ²)
طبقات	550	200	100	720
بام	550	150	50	168



شکل-۱- مدل تحلیلی ۶ طبقه مورد استفاده در Etabs

• مشخصات و ویژگی های مدل تحلیلی

سقف سازه ای تیرچه بلوک ۳۰ سانتی و دال بتنی به ضخامت ۵ سانتی متر می باشد. سقف سازه از چهار طرف بر روی چهار تیر بتنی پیرامونی و ۴ ستون مربع شکل واقع شده است. اسکلت ساختمان بتنی است. نوع سیستم باربر جانبی، قاب خمشی بتنی متوسط فرض شده است. در محل اتصال ستون به فونداسیون، اتصال گیر دار فرض شده است.

• مفروضات

ارتفاع تمامی طبقات ۳ متر فرض شده است. از فرض رفتار خطی در محاسبه تغییر شکل‌های جانبی استفاده شده است. به خاطر استفاده از نرم افزار Etabs، [۱۲]، تمامی مد های سازه ای در محاسبه تغییر شکل‌های جانبی در نظر گرفته شده است. میرایی برای تمامی مدها مساوی و برابر ۵ درصد لحاظ شده است. محل برخورد دو ساختمان در تراز سقف بام ساختمان کوتاهتر است. از اثر تغییر شکل های محوری و برشی صرف نظر شده است. ماتریس جرم قطری است و جرم هر طبقه در تراز سقف آن طبقه متمرکز است. همچنین نوع اسکلت ساختمان ها بتنی و سیستم باربر جانبی قاب خمشی بتنی متوسط فرض شده است. به منظور بررسی اثر خروج از مرکزیت، خروج از مرکزیت به صورت درصدی از بعد ساختمان در راستای y بیان شده است بدین منظور ۴ حالت در نظر گرفته شده است:

$$\text{حالت (۱): ساختمان بدون خروج از مرکزیت } \frac{e}{d} = 0$$

$$\text{حالت (۲): خروج از مرکزیت به اندازه } ۱۰\% \text{ بعد ساختمان در راستای } y: \frac{e}{d} = 0.1$$

$$\text{حالت (۳): خروج از مرکزیت به اندازه } ۲۰\% \text{ بعد ساختمان در راستای } y: \frac{e}{d} = 0.2$$

$$\text{حالت (۴): خروج از مرکزیت به اندازه } ۳۰\% \text{ بعد ساختمان در راستای } y: \frac{e}{d} = 0.3$$

در ترکیب پاسخ تغییر مکان جانبی سازه از روش ترکیب مودال CQC استفاده شده است. علی الرغم اینکه مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ نیازی به تحلیل دینامیکی ساختمان‌های با پلان منظم با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر نسبت به تراز پایه نمی باشد، ولی در مورد ساختمان‌های مورد استفاده در این تحقیق تحلیل دینامیکی در کنار تحلیلی استاتیکی صورت گرفته است.

• معرفی طیف بازتاب مورد استفاده در تحلیل

به منظور انجام محاسبات مربوط به روش تحلیل دینامیکی طیفی از طیف بازتاب استاندارد ۲۸۰۰ مطابق فرضیات زیر که استفاده شده است شکل طیف مذکور در شکل (۲-۴) قابل مشاهده است .

خاک منطقه از نوع IV فرض شده است. نوع کاربری ساختمان مسکونی در نظر گرفته شده لذا ضریب اهمیت مطابق بند ۲-۳-۳ برابر ۱ در نظر گرفته شده است. همچنین از آنجاکه سیستم باربر جانبی قاب خمشی بتنی متوسط فرض شده لذا مطابق جدول ۶، ضریب رفتار سازه، R، برابر ۷ در نظر گرفته می شود. محل احداث ساختمان (مدل تحلیلی) در منطقه با خطر زلزله خیزی متوسط فرض شده و به منظور محاسبه ضریب بازتاب B، مطابق جدول ۳ آیین نامه ۲۸۰۰ ایران برای خاک نوع IV پارامترهای زیر استخراج می گردد:

$$S = 2.25 \text{Sec} , T_s = 1.0 \text{Sec} , T_0 = 0.15 \text{Sec}$$

مطابق بند ۲-۳-۶ الف-۱ برای ساختمانهای با سیستم قاب خمشی چنانچه جداگرهای میانقابی مانعی برای حرکت قابها ایجاد نکند و چنانچه قاب مورد نظر بتنی باشد آنگاه زمان تناوب تجربی سازه برابر است با :

$$T = 0.07H^{\frac{3}{4}} \quad (19)$$

همچنین به منظور محاسبه زمان تناوب تحلیلی، معادله مشخصه سیستم نگارش شده و از حل آن، مقادیر ویژه که همانا فرکانسهای ارتعاشی هر مد می باشند بدست می آید. سپس پرپود تحلیلی هر مد به استفاده از فرکانس ارتعاشی آن مد از طریق رابطه (۲۰) بدست می آید.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (20)$$

که در آن ω فرکانس اصلی نوسان ساختمان بر حسب هرتز است. نکته مهم در این مورد تبصره ۱ در مورد زمان تناوب تحلیلی است که توسط آیین نامه ۲۸۰۰ بیان می گردد که در آن آیین نامه صراحتاً ذکر می کند مقدار زمان تناوب تحلیلی نباید از ۱/۲۵ برابر زمان تناوب بدست آمده از روابط تجربی بیشتر باشد. همچنین یا اور می شویم، در این تحقیق به منظور تطابق نتایج حاصل از تحلیل طیفی با نتایج آیین نامه ۲۸۰۰ ایران، سعی شده است که ماتریس سختی طبقات به گونه ای به نرم افزار Etabs، [۱۲]، تعریف شود که زمان تناوب تحلیلی مد اول ارتعاشی تقریباً با زمان تناوب تجربی یکی باشد. در نهایت از آنجا که محل احداث پروژه در منطقه با خطر زلزله خیزی متوسط فرض شده است لذا بر اساس بند ۲-۳-۳ نسبت شتاب مبنای طرح، A، با استفاده از مقادیر جدول ۲، ۰/۳۵، بدست می آید.

• توصیف گام به گام مراحل کار

گام ۱. ساخت مدل در Etabs

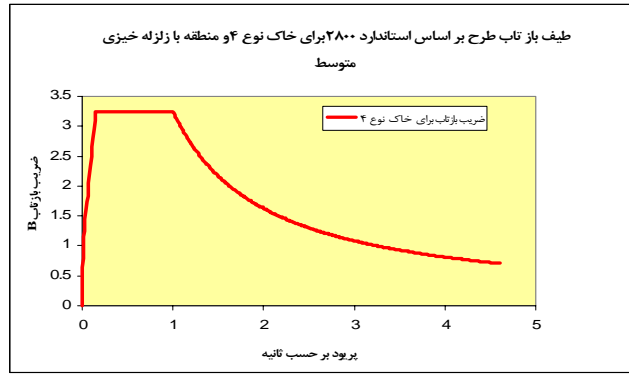
در این مرحله ۸ تیپ ساختمان که هر تیپ دارای ۴ نوع خروج از مرکزیت می باشد ساخته شد. همانطور که گفته شد پلان مربع بتنی، قاب خمشی بتنی متوسط به عنوان سیستم سازه ای که از چهار طرف بر چهار ستون مربع شکل استوار است، تشکیل شده است. مدل پس از انجام بارگذاری توسط Etabs تحلیل شد.

گام ۲. تطبیق پرپود تحلیلی با پرپود تجربی سازه

برای تعیین پرپود تجربی مدل‌های موجود و برای کاهش اتلاف وقت از یک نرم افزار کمکی تحت عنوان Edition 3-2800^{td} که محیطی کاملاً ساده دارد استفاده شده است. در این نرم افزار تمامی بند‌های موجود در آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم گنجانده شده است. عمده خروجی‌های این نرم افزار عبارتند از پرپود تجربی ساختمان در دو راستای X و Y، محاسبه ضریب برش پایه، محاسبه نیروی برش پایه استاتیکی، توزیع نیروی برش پایه استاتیکی در ارتفاع سازه. لذا در ابتدا پرپود طبیعی ساختمان به کمک نرم افزار مذکور به دست آمده و با پرپود تحلیلی حاصل از Etabs مقایسه می شود. بررسی پرپود تحلیلی و پرپود تجربی مقادیر ابعاد تیر و ستون را آنقدر تغییر می دهیم تا این دو پرپود تقریباً با هم برابر شود.

گام ۳. معرفی طیف بازتاب آیین نامه ۲۸۰۰

برای معرفی طیف بازتاب مطلوب ابتدا لازم است مقادیر عددی توسط نرم افزار Excell بدست آمده است ایجاد گردد. این مقادیر منطبق بر طیف با مشخصات خاک نوع ۴، منطقه زلزله خیزی متوسط میباشد. لازم است فایل مربوط به طیف بازتاب به صورت متن ذخیره شود تا امکان بازخوانی آن وجود داشته باشد. برای معرفی طیف بازتاب در Etabs از منوی Define گزینه Response Spectrum Function استفاده می گردد. بدین منظور از جدول باز شده در صفحه در قسمت Function File روی گزینه Browse کلیک کرده و فایل متنی حاوی اطلاعات مربوط به طیف بازتاب طرح را انتخاب می کنیم. از آنجا که در طیف بازتاب استاندارد محور افقی بر حسب پرپود است لذا در قسمت Values are گزینه Period & value را انتخاب می کنیم. می توان با کلیک بر گزینه Display graph شکل طیف بازتاب مورد نظر را که بشکل (۲-۴) می باشد، مشاهده کنیم.



شکل ۲- طیف بازتاب برای خاک نوع ۴ بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران

در مرحله بعدی باید راستایی که طیف بازتاب بر آن اعمال میشود را به برنامه معرفی کنیم. بدین منظور از منوی Define گزینه Response Spectrum cases را انتخاب می کنیم. با کلیک بر گزینه Add new Spectrum جدولی نمایان می شود که حاوی اطلاعات زیر است:

۱. نام طیف طرح : در این تحقیق B2800VI
۲. میرایی ساختمان: ۵ درصد برای تمام مودها
۳. روش ترکیب مودها : CQC
۴. روش ترکیب پاسخ : SRSS
۵. برای معرفی طیف پاسخ از آنجا که فرض کردیم زلزله تنها در راستای X اعمال میشود بنابراین طیف طرح را نیز تنها در راستای X در نظر می گیریم به این ترتیب که :

در قسمت u1:Direction ، نام تابعی را که به عنوان تابع طیف طرح معرفی کرده ایم را وارد می کنیم. نکته اصلی در این بخش ضریب همپایه scale factor، میباشد. همانطور که در روش تحلیل طیفی فصل سوم بیان شد، اصطلاحاً به ضریب $\frac{AgI}{R}$ ، ضریب همپایه گفته میشود. در این تحقیق

$$S_a = \frac{A \times g \times I}{R} = \frac{0.25 \times 9.81 \times 1}{1} = 2.4525$$

این ضریب برابر است با :

در بخش Eccentricity ، درصد خروج از مرکزیت طبقات را وارد میکنیم. چنانچه خروج از مرکزیت تک تک طبقات با هم یکی نباشد از گزینه Override، برای ویرایش آنها استفاده می کنیم. هدف اصلی از اعمال چهار نوع خروج از مرکزیت بررسی تاثیر خروج از مرکزیت در محاسبه درز انقطاع به روش تحلیل طیفی و همچنین درز انقطاع به کمک ضوابط آیین نامه ای است.

گام ۴. محاسبه ضریب برش پایه، نیروی برش پایه

نیروی برشی پایه، V

حدافل نیروی برشی یا مجموع نیروهای جانبی زلزله در هر یک از امتدادهای ساختمان با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$V = CW \quad (20)$$

در این رابطه V ، W و C به ترتیب عبارتند از نیروی برشی در تراز پایه ، وزن کل ساختمان به اضافه درصدی از بار زنده و ضریب زلزله. حال به طور نمونه نتایج مربوط به تغییر مکان نسبی تحت اثر نیروی استاتیکی معادل برای حالت دوم مندرج در بخش ۹-۲ ارائه شده است.

گام ۵. روش تحلیل دینامیکی

در این روشها نیروی جانبی زلزله ، با استفاده از بازتاب دینامیکی که سازه بر اثر «حرکت زمین» ناشی از زلزله ، از خود نشان می دهد ، تعیین می گردد. این روشها شامل روش «تحلیل طیفی» و روش «تحلیل تاریخچه زمانی» است. در این تحقیق از روش «تحلیل طیفی» برای تعیین نیروی جانبی زلزله استفاده می شود.

اصلاح مقادیر بازتابها

از آنجا که در تحلیل دینامیکی ساختمان ها ، مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران، [۱۱]، باید مقادیر بازتاب ساختمان ها اصلاح شوند بنابراین لازم است تمام ساختمان ها تحلیل استاتیکی معادل شوند. در این تحقیق بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ایران مقادیر باز تاب اصلاح شدند.

گام ۶. استخراج خروجی های مورد نیاز از برنامه

پس از انجام عملیات تحلیل مد لها سه خروجی جهت تعیین درز انقطاع استخراج می شود:

۱. تغییر مکان گره های ۴ و ۲ در تراز ساختمان کوتاهتر تحت اثر نیروی زلزله راستای X به طور مثال چنانچه ساختمان A دو طبقه و ساختمان B شش طبقه باشد، در این قسمت جایجایی گره های ۴ و ۲ در تراز طبقه ۲ ساختمان B قرائت می گردد.
۲. تغییر مکان گره های ۴ و ۲ در تراز ساختمان بام تحت اثر نیروی زلزله راستای X.
۳. تغییر مکان گره های ۴ و ۲ در تراز ساختمان کوتاهتر تحت اثر طیف طرح راستای X.
۴. تغییر مکان گره های ۴ و ۲ در تراز ساختمان بام تحت اثر طیف طرح راستای X.

نکته قابل ذکر اینکه از نتایج قسمت ۳ و ۱ برای تعیین درز انقطاع به روش تحلیلی طیفی و از مقادیر قسمتهای ۴ و ۲ برای تعیین درز انقطاع به روش آیین نامه استفاده میشود.

گام ۷. محاسبه درز انقطاع بروش تحلیل طیفی

در این مرحله ساختمان A، به صورت ثابت (تعداد طبقات ثابت) و ساختمان B به صورت متغیر از لحاظ تعداد طبقات فرض شده و درز انقطاع مربوط به هر حالت به صورت جداگانه از رابطه (۴-۱۶) بدست می آید.

$$\delta_{req} = |\bar{V}_B + \bar{V}_A| \quad (21)$$

که در آن:

$$\bar{V}_B = \max(V_{2B}, V_{4B}) \quad (22)$$

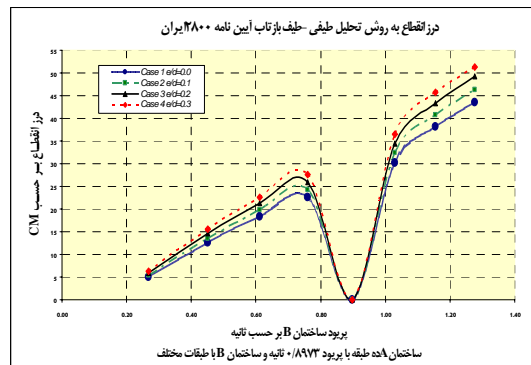
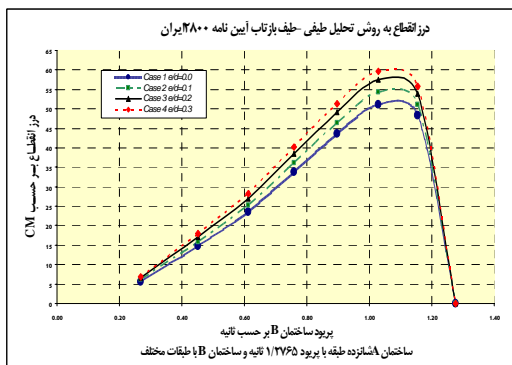
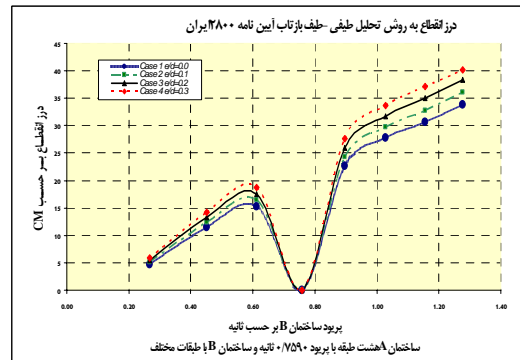
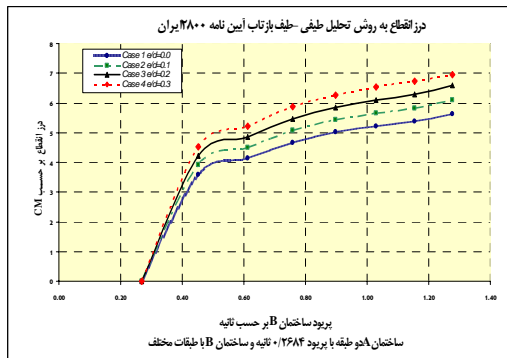
$$\bar{V}_A = \max(V_{2A}, V_{4A}) \quad (23)$$

V_{2A}, V_{4A} : به ترتیب تغییر مکان گره های شماره ۴ و ۲ مدل A در Etabs تحت بار استاتیکی و طیف طرح

V_{2B}, V_{4B} : به ترتیب تغییر مکان گره های شماره ۴ و ۲ مدل B در Etabs تحت بار استاتیکی و طیف طرح در تراز ارتفاعی ساختمان A

گام ۸. ترسیم نمودارها

در این بخش نتایج حاصل از گام ۶ در قالب نمودارهایی که محور افقی آن پیوند ساختمان و محور عمودی آن درز انقطاع محاسباتی به روش تحلیل طیفی است برای حالتیهای مختلف خروج از مرکزیت ترسیم شده است. در ادامه نمودار مربوط به درز انقطاع مورد نیاز به روش تحلیل طیفی برای چهار حالت مفروض ارائه می گردد.



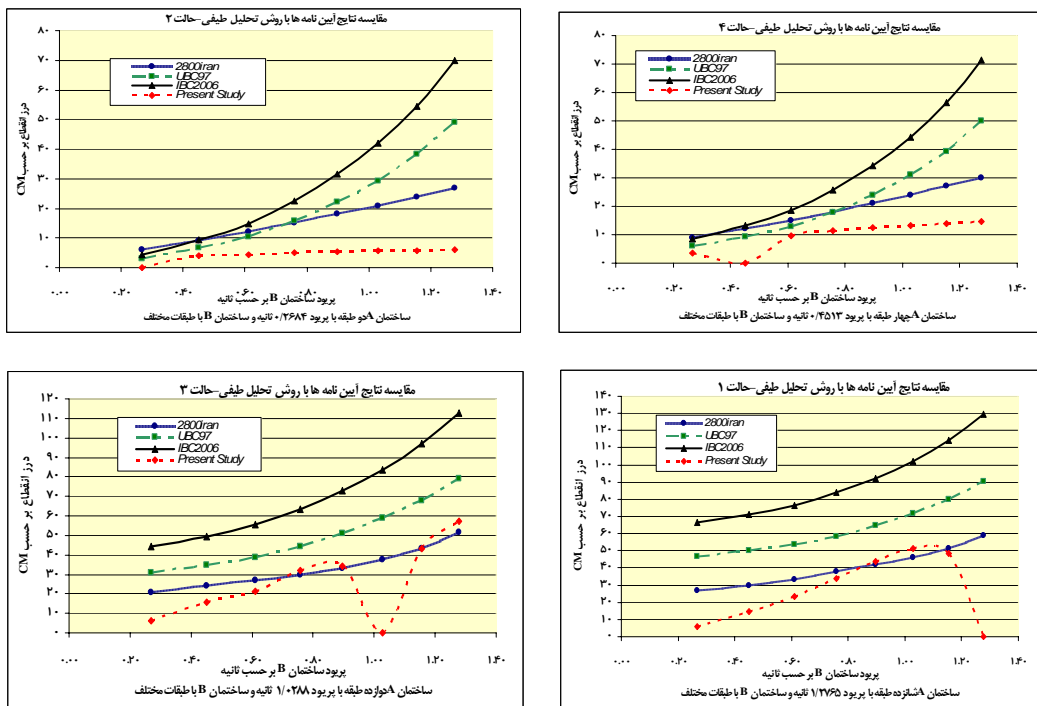
اشکال ۳ الی ۶- بررسی تاثیر خروج از مرکزیت در میزان درز انقطاع مورد نیاز بین دو ساختمان همجواریوش تحلیل طیفی

مقایسه نتایج حاصل از تحلیل طیفی با ضوابط آیین نامه ای

در این فصل ابتدا روابط آیین نامه های UBC1997، [۹]، IBC2006، [۱۰]، و استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۱۱] در مورد فاصله بین ساختمانهای مجاور آمده است. سپس فاصله بین ساختمان های در نظر گرفته شده در فصل چهارم با روابط آیین نامه های مذکور برای هر چهار حالت محاسبه شده به طور جداگانه در قالب نمودارهایی ارائه گشته و در انتها نتایج حاصل از مقادیر آیین نامه ای با نتایج محاسبات به روش تحلیل طیفی مقایسه شده اند.

مقایسه بین نتایج حاصل از آیین نامه ها با نتایج تحلیل طیفی

به منظور مقایسه نتایج حاصل از تحلیل طیفی با نتایج حاصل از آنالیز به کمک ضوابط آیین نامه ای تعداد طبقات ساختمان a به صورت ثابت و تعداد طبقات ساختمان b به ترتیب از ۲ الی ۱۶ طبقه در نظر گرفته شد. در اولین مدل ساختمان a دارای ۲ طبقه و ساختمان b از ۲ الی ۲۰ طبقه فرض شد. سپس در هر مرحله برای ۴ حالت خروج از مرکزیت نتایج آیین نامه با نتایج حاصل از تحلیل طیفی مقایسه گردید. سپس تعداد طبقات ساختمان a به ۴ طبقه افزایش و مجموعه ۴ نمودار برای این حالت نیز ترسیم گردید. این کار تا زمانی که تعداد طبقات ساختمان a به ۱۶ طبقه رسید ادامه پیدا کرد. جمعاً ۳۲ نمودار ترسیم گردید که به طور خلاصه نمونه هایی از این دسته نمودارها در اشکال ۷ الی ۱۰ نمایش داده شده است.



اشکال ۷ الی ۱۰-مقایسه نتایج حاصل از تحلیل طیفی با ضوابط آیین نامه های طرح لرزه ای

نتایج

روش تحلیل طیفی یکی از کاربردی ترین روشها در تعیین پاسخ های کلی سازه اعم پاسخ تغییر مکانی، نیروهای داخلی، تنشها و غیره کاربرد دارد. استفاده از این تحلیل در تعیین درز انقطاع مورد نیاز بین دو ساختمان هم جوار، یکی از شاهد مثالهای کاربر روش تحلیل طیفی می باشد. این روش در مقایسه با سایر روشهای موجود مثل روش تاریخچه زمانی، روش فرایندهای پیشا و غیره، ساده و در عین حال دقیق است به شرط آنکه روش انتخابی برای ترکیب مود های مختلف پاسخ اعم از CQC، SRSS، ABS یا DDC، صحیح انتخاب گردد. تنها نکته ای که به این روش خلل وارد می سازد این است در روش تحلیل طیفی حداکثر پاسخ متناسب با پریدود هر مود بدست می آید لذا در شرایط طبیعی و در هنگام وقوع زلزله احتمال ایجاد حداکثر پاسخ هر دو سازه مجاور در یک زمان کم است لذا روش تحلیل طیفی از این جنبه دارای اشکال است. در حالی که در روش تاریخچه زمانی این نقیصه مطرح نیست. در زیر عمده نتایج حاصل از این تحقیق عبارتست از:

۱. با افزایش پریدود سازه B یا افزایش نسبت پریدود دو ساختمان هم جوار، برای تمامی حالات خروج از مرکزیت، درز انقطاع مورد نیاز عموماً افزایش می یابد.
۲. چنانچه نسبت پریدود دو ساختمان هم جوار برابر (۱) گردد، نیازی به درز انقطاع مورد نیست. البته در شرایط واقعی این مسئله صادق نیست چون با اعمال زلزله، قسمتی از اعضای سازه ای وارد ناحیه غیر خطی شده لذا یکسری تغییر شکلهای ماندگار در آنها ایجاد میشود.

۳. با افزایش نسبت خروج از مرکزیت ، $\frac{e}{d}$ ، میزان درز انقطاع مورد نیاز بین دو ساختمان افزایش می یابد.
۴. میزان درز انقطاع بین دو ساختمان ، به روش آیین نامه IBC2006 در مقایسه با آیین نامه های UBC97 و استاندارد ۲۸۰۰ ایران همواره بیشتر است بجز در پروود های کم که تقریباً هر سه آیین نامه یک نتیجه میدهند.
۵. با افزایش تعداد طبقات ، برای تمامی حالت های خروج از مرکزیت ، درز انقطاع مورد نیاز بین دو ساختمان هم جوار افزایش می یابد.

پیشنهادات

برای تحقیق های آینده پیشنهاد می شود :

۱. بررسی تاثیر نوع تحریکات زلزله اعم از باند باریک و باند پهن بر درز انقطاع مورد نیاز
۲. محاسبه درز انقطاع مورد نیاز برای تحریکات اعمالی زلزله در یک زاویه دلخواه α بر ساختمان های مجاور
۳. مقایسه نتایج حاصل از مدل های تحلیل با یک مدل شبیه سازی شده به کمک میز لرزان
۴. بررسی رفتار غیر خطی ساختمان در محاسبه درز انقطاع بین دو ساختمان هم جوار
۵. بررسی اثر صلبیت پیچشی در محاسبه درز انقطاع مورد نیاز بین دو ساختمان همجوار

مراجع

1. Anagnostopoulos S.A. (1988). "Pounding of buildings in series during earthquakes." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics.*, Vol. 16, pp. 443-456.
2. Westermo, B.D. (1989). "The dynamics of interstructural connection to prevent pounding." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics.*, Vol. 18, pp. 687-699.
3. Anagnostopoulos S.A., Spiliopoulos K.V (1991). "An investigation of earth quake induced pounding between adjacent building." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics.*, Vol. 21, pp. 289-302.
4. Jeng V , Kasai K and Maison B. F. (1992). "A spectral difference method to estimate building separations to avoid pounding." *Earthquake Spectra.*, Vol. 8, pp. 201-223.
5. Lin J.H , (1997). "Separation distance to avoid seismic pounding of adjacent building ." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics.*, Vol. 26, pp. 395-403.
6. Hao H, SE-Rong Zhang , (1999). "Spatial ground motion effect on relative displacement of adjacent building structures ." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics.*, Vol. 28, pp. 333-349.
7. Hao H , Shen J (2001). "Estimation of relative displacement of two adjacent asymmetric structures." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics.*, Vol. 30, pp. 81-96.
8. Garcia D.L , (2005). "Critical building separation distance in reducing pounding risk under earthquake excitation." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics.*, Vol. 27, pp. 393-396.
9. 1997 Uniform Building Code ; UBC 1997
10. 15- 2006 International Building Code ; IBC 2006
۱۱. آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله ، استاندارد ۲۸۰۰ ، ویرایش سوم ، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، ۱۳۸۴
۱۲. برخورداری، محمد علی ، باجی ، حسن ، هاشمی ، جواد. (۱۳۸۲). *تحلیل و طراحی سازه های ساختمانی Etabs2000 ver.8* ، انتشارات دانشگاه هرمزگان .