

مدلسازی عددی اندرکنش خاک و سازه و اثر جانمایی بادبند بر روی نسبت تنش اعضای سازه

حسین ترکمان^۱، محمد امامی کورنده^۲، مهدی جلالی نژاد^۳

^۱ کارشناسی ارشد عمران گرایش سازه موسسه آموزش عالی آبا آبیک (نویسنده مسئول)

^۲ استادیار موسسه عمران گرایش سازه موسسه آموزش عالی آبا آبیک

^۳ مدرس موسسه عمران گرایش سازه موسسه آموزش عالی آبا آبیک

چکیده

تحلیل اندرکنش خاک و سازه از مواردی نیست که در آیین نامه ها به روشنی به آن پرداخته شده باشد. در این خصوص علل زیادی وجود دارد که مهمترین آن عدم شناخت دقیق این پدیده و مدلسازی صحیح آن است. در این تحقیق، سه نمونه سازه ۵ و ۱۰ و ۱۵ طبقه فلزی با سیستمهای مهاربندی مختلف انتخاب گردیده و در تمامی حالات تحلیل استاتیکی و دینامیکی انجام شده و نتایج بررسی و مقایسه می گردد تا تحلیل بهینه و سیستم مهاربندی بهینه در هر حالت مشخص گردد. در تمامی حالات سازه ها به صورت قاب و در شرایط دو بعدی و با اتصالات ساده تیر به ستون فرض می گردد. تحلیل استاتیکی و دینامیکی در شرایط بدون لحاظ اندرکنش خاک و سازه با استفاده از نرم افزار ETABS ۲۰۰۰ انجام می شود. فرضیاتی همچون تغییر آرایش بادبندی در ارتفاع و اصلاحاتی در اتصالات بادبندی و تاثیر آن بر عملکرد بادبند با استفاده از روش عددی المان محدود و نرم افزار ANSYS ارزیابی می گردد. سطوح اندرکنش و پارامترهای آن در تحلیل اندرکنش لحاظ می شود. همانطور که انتظار می رفت با لحاظ کردن اثر اندرکنش خاک و سازه تغییر مکان جانبی و نیروی طراحی بادبند و ستون ها به میزانی بسیار چشمگیر کاهش یافته است و سازه اقتصادی تر شده است. از طرفی اختلافی بین نتایج نیروهای ستون و بادبند در حالت لحاظ کردن اثر اندرکنش خاک و سازه برای زمین تیپ ۱ و ۴ مشاهده نمی شود. لذا اثرات سودمند لحاظ کردن این اثر برای سازه های کوتاه و متوسط و بلند دیده می شود.

واژه های کلیدی: مدل سازی، اندرکنش خاک و سازه، تنش، بادبند

مقدمه

تحلیل اندر کنش خاک و سازه از مواردی نیست که در آیین نامه ها به روشنی به آن پرداخته شده باشد. در این خصوص علل زیادی وجود دارد که مهمترین آن عدم شناخت دقیق این پدیده و مدلسازی صحیح آن است. در تعریف و تشریح اثرات اندر کنش خاک و سازه باید گفت که آنچه مسلم است این است که فرض اینکه مقدار نیروی زلزله به صورت درصدی از وزن سازه بوده و در ترازهای مختلف به سازه اعمال می شود درست نیست. در حقیقت امواج زلزله از درون زمین و با شدتی که بستگی به عمق کانونی زلزله دارد در زمین حرکت کرده و به سطح می رسد و به این ترتیب حرکات زمین ناشی از زلزله به سازه انتقال می یابد. عواملی چون میرایی خاک و سازه می تواند نیروهای زلزله را مستهلک و جذب نماید. لذا به بیان ساده می توان گفت که تنش ها و تغییر شکل های ایجاد شده در خاک و تنش ها و تغییر شکلهای ایجاد شده در سازه بر یکدیگر اثر گذارند و این به مفهوم اندرکنش خاک و سازه است. لذا به راحتی می توان دریافت که لحاظ اثرات اندر کنش خاک و سازه می تواند منجر به مقادیر بیشتر و یا کمتر پاسخ های سازه شود. در این حالت فرض تکیه گاه صلب که در طراحی های معمول در نظر گرفته می شود درست نیست و تکیه گاه ستون ها همان خاک زیر سازه با شرایط واقعی آن می باشد که مشخص است که در این حالت تکیه گاه انعطاف پذیر بوده و لذا تا حدودی تغییر شکلهای افزایش می یابد که این از نظر طراحی خوب نیست ولی در عوض به واسطه این تغییر شکل ها شکل پذیری اتصال پای ستون افزایش یافته و بواسطه جذب و استهلاک نیروی زلزله از مقدار نیروی داخلی اعضای اصلی کاسته می شود که مطلوب است. از طرف دیگر با انجام یک تحلیل اندر کنش خاک و سازه می توان طراحی سازه را کنترل کرد و به نوعی اقتصادی بودن یا عدم اقتصادی بودن آن را بررسی کرد و علاوه بر این اطلاعات مفیدی را در مورد تنش ها و نشست های ایجاد شده در خاک تحت بارهای وارده به دست آورد. این اثر به خصوص برای حالاتی که سازه و خاک دارای اختلاف سختی زیاد بوده مانند حالتی که سازه بلند واقع بر خاک نرم است و یا سازه دارای پی عمیق بوده و خاک شرایط خاصی را دارد بسیار حایز اهمیت است. حتی اندر کنش سیستم فونداسیون و خاک و شمع و اثرات اندرکنشی شمع ها نیز موضوعاتی می باشند که در این تحلیل مورد توجه محققین مختلف می باشد. در تمام آیین نامه های طراحی مقاوم ساختمان ها در برابر زلزله این فرض وجود دارد که در جریان رخداد زلزله های شدید، هر سازه ای طراحی شده ای باید قادر به اتلاف بخش عمده ای از انرژی ورودی از طریق تغییر شکل های غیرالاستیک باشد. ظرفیت اتلاف انرژی لرزه ای سازه بصورت ارائه ضرابی در کاهش طیف های الاستیک طراحی لحاظ می شوند بطوریکه مقادیر طیف طراحی واقعی به مراتب کوچکتر از طیف الاستیک آیین نامه است.

اهداف پژوهش

در این تحقیق سعی شده است تا اهداف زیر مورد بررسی قرار گیرد:

بررسی روش نرم افزاری در طراحی بهینه سازه ها و بررسی نتایج تحلیل استاتیکی و دینامیکی.

بررسی روش های عددی از جمله المان محدود و تفاضل محدود و نرم افزارهای مرتبط و مزیت ها و محدودیت های آنها.

بررسی تخصصی موضوع اندر کنش خاک و سازه و نرم افزارهای مربوط به این تحلیل و پارامترهای مورد لزوم این نوع تحلیل.

بررسی رفتار لرزه ای سازه های کوتاه و متوسط و بلند واقع بر خاک سست / نرم و سخت / متراکم.

توصیه هایی در خصوص مدلسازی عددی و نکات خاص مدلسازی این نوع مسایل و ترفندهای مربوط به مدلسازی و مدلسازی عددی اندرکنش خاک و سازه نمونه های بیان شده.

پیشنهاداتی در مورد طراحی و بهینه سازی سازه های فلزی با سیستم مهاربندی با لحاظ اندر کنش خاک و سازه و مقایسه نتایج با شرایط معمول که در آن اثرات اندرکنش لحاظ نشده است.

تحقیقات بر مبنای فرضیات زیر صورت می گیرد:

سه نمونه سازه ۵ و ۱۰ و ۱۵ طبقه فلزی با سیستمهای مهاربندی مختلف انتخاب گردیده و در تمامی حالات تحلیل استاتیکی و دینامیکی انجام شده و نتایج بررسی و مقایسه می گردد تا تحلیل بهینه و سیستم مهاربندی بهینه در هر حالت مشخص گردد. در تمامی حالات سازه ها به صورت قاب و در شرایط دو بعدی و با اتصالات ساده تیر به ستون فرض می گردد. تحلیل استاتیکی و دینامیکی در شرایط بدون لحاظ اندرکنش خاک و سازه با استفاده از نرم افزار ETABS2000 انجام می شود. فرضیاتی همچون تغییر آرایش بادبندی در ارتفاع و اصلاحاتی در اتصالات بادبندی و تاثیر آن بر عملکرد بادبند با استفاده از روش عددی المان محدود و نرم افزار ANSYS ارزیابی می گردد. مدل رفتاری خاک در همه حالات موهر کولمب می باشد که ساده ترین مدل رفتاری برای خاک می باشد البته می توان از مدلهای رفتاری پیشرفته استفاده نمود ولی به لحاظ سادگی کار و در دسترس بودن پارامترهای مدل موهر کولمب از این مدل رفتاری استفاده می شود. در تحلیل اندرکنش خاک و سازه از روش المان محدود و نرم افزارهای دو و سه بعدی PLAXIS 3D FOUNDATION, PLAXIS استفاده می شود. سطوح اندرکنش و پارامترهای آن در تحلیل اندرکنش لحاظ می شود. در تحلیل اندرکنش خاک و سازه ۲ تیپ خاک به قرار سست نرم و سخت /متراکم در نظر گرفته می شود ولی در تحلیل بدون لحاظ اندرکنش خاک و سازه از ۴ تیپ زمین آیین نامه ۲۸۰۰ استفاده می گردد.

پیشینه پژوهش

(پالیاو بادری و نلیما ساتیام، ۲۰۱۶) در مقاله ی تجزیه و تحلیل اندرکنش ساختار لرزه ای خاک با توجه به زلزله ۲۰۱۵ نپال برای ساختمان های نامتقارنی که بر روی شمع ها قرار دارند گفت تاثیرات صلب فرض نکردن خاک زیر پی را می توان به خوبی در تجزیه و تحلیل اندرکنش سازه- خاک تشریح نمود زیرا در آن حرکت زمین و حرکت سازه ای به دقت مورد بررسی قرار می گیرد. در این پژوهش، یک برنامه شی گرا در ++C ایجاد شد که از آن برای مدلسازی سیستم SSI با بهره گیری از روش المان محدود استفاده شد. در این پژوهش، تجزیه و تحلیل اندرکنش ساختار لرزه ای خاک برای ساختمان های واقع بر روی شمع های گسترده T، L و C در زلزله ۲۵ آوریل سال ۲۰۱۵ نپال ($M = 7.8$) مورد بررسی دقیق قرار گرفت. خواص خاک با استفاده از داده های مناسب خاک که از منطقه دره کاتماندو به دست آمده بود، در نظر گرفته شد. اثر عدم تقارن ساختمان بر روی پاسخ های روبنا با کارهای تحقیقاتی انجام گرفته توسط نویسنده مقایسه گشت. در نتیجه مشخص شد که شکل یا هندسه روبنا بر پاسخ روبنایی که در معرض بار زلزله قرار دارد، تاثیر گذار است. روش های کنترل غیرفعال با کاهش نیازلرزه ای و افزایش شکل پذیری میزان آسیب پذیری سازه ها را در برابر زلزله کاهش میدهند یکی از تاثیرگذارترین روشهای کنترل غیرفعال استفاده از تیرپیوند قائم می باشد که به عنوان یک عضو فرعی و فیوز شکل پذیر در سازه عمل می نماید تیرپیوند قائم به صورت قائم بین گروه دومهاریبند شورون و بال تیرکف نصب میشوند و با جاری شدن برشی جان انرژی زلزله را مستهلک می کند سایر عناصر سازه در این حالت در حد الاستیک باقی میمانند در این تحقیق به تحلیل دینامیکی غیرخطی سیستم باربرجانبی مهاربندی برون محور با تیر پیوند قائم در قاب تحت بارلرزه ای با تغییر طول تیرپیوند قائم و دهانه قاب مهاربندی شده پرداخته شده است هدف بررسی عملکرد سیستم باربرجانبی مهاربندی برون محور با تیرپیوند قائم تاثیر طول تیر پیوند قائم و طول دهانه قاب مهاربندی شده بر رفتار لرزه ای این سیستم به روش تحلیل دینامیکی غیرخطی می باشد نتایج نشان داد که استفاده از این نوع سیستم نسبت به سیستم مهاربند برون محور با تیرپیوند افقی باعث استهلاک بیشتر انرژی زلزله خواهد بود همچنین مشخص شد که در صورتی که طول لینک قائم کمتر و بیشتر از حد معینی انتخاب گردد جذب انرژی قاب کمتر شده بطوریکه در حالت اول به علت جاری شدن جان تیرپیوند قائم و در حالت دو سختی و شکل پذیری کل قاب کاهش قابل توجهی خواهد داشت با افزایش مقطع تیرپیوند قائم مقدار جذب انرژی قاب نیز افزایش یافت. (امیدی نسب، فریدون؛ سامان احمدی چگنی و کامران شرفی، ۱۳۹۲).

در روند معمول برای طراحی سازه ها معمولا از اندرکنش و تغییر مکان قائم تکیه گاه صرف نظر شده و تکیه ها صلب فرض می شوند، در حالی که حین وقوع زلزله، معمولا دچار حرکت گهواره ای شده و فرض گیردار بودن کف ستون، که از آن

برای آنالیز و طراحی استفاده می شود، زیر سوال می رود هدف این مطالعه بررسی اثر اندرکنش و حرکت گهواره ای به سبب تسلیم شدن کف ستون ها بر روی پاسخ سازه های فولادی می باشد که در این راستا پاسخ سازه های پنج طبقه فولادی مهاربندی شده همگرا و خمشی در دو حالت وجود و عدم حرکت گهواره تحت آنالیز دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است نتایج آنالیز مویید این امر هستند که تحلیل عملکرد سازه با لحاظ نمودن اثر اندرکنش و حرکت گهواره ای منجر به کاهش پاسخ های سازه از جمله برش پایه، نیروی محوری، انرژی کرنشی می شود. (هوایی، غلامرضا و احسان موبدی، ۱۳۹۳)

مطالعات زیادی جهت بررسی اثرات اندرکنش خاک سازه بر پاسخ سیستمهای سازه ای صورت گرفته است Prasad & Veletsos (۱۹۸۹) و نشان دادند که اثرات اندرکنش اینرسی خاک سازه تنها برای سازه های با زمان تناوب کم با اهمیت است اما در عین حال این اثرات در حالیکه زمان تناوب اصلی خاک محل زیاد است برای سازه های با زمان تناوب متوسط و زیاد مهم می شود. در همین راستا Aviles & Perez Roch (۱۹۹۷) اثرات اندرکنش خاک سازه بر پاسخ لرزه ای سازه ها را در زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیتهی مورد بررسی قرار دادند براساس مطالعات آنها برای سازه های با زمان تناوب متوسط و زیاد احداث شده بر روی خاک نرم اندرکنش خاک سازه اثرات مهم و قابل ملاحظه ای دارد. (علینژاد، مجید و علی شفیعی، ۱۳۹۰)

مسئله اندرکنش خاک و سازه به عنوان یک پدیدهی تأثیر گذار بر رفتار سازه ها در چند دهه ی گذشته مورد توجه مهندسان سازه قرار گرفته است. بررسی زلزله های گذشته مویید این مطلب است که تأثیر پدیده اندرکنش بر پاسخ لرزه ای سازه در قیاس با پاسخ سازه پایه ثابت بسته به خصوصیات خاک و سازه ممکن است فزاینده یا کاهشنده باشد. از این رو در مطالعه حاضر مقایسه ای بین پاسخهای لرزه ای سازه های پایه ثابت و سیستم خاک-سازه انجام شده است. بدین منظور چهار قاب خمشی فولادی دو، پنج، ده و بیست طبقه و یک نوع خاک سخت بر اساس استاندارد زلزله ایران انتخاب شد. پاسخهای لرزه ای، شامل جابجایی نسبی طبقات و توزیع برش طبقات ساختمانهای یاد شده با و بدون در نظر گیری اندرکنش سازه و خاک با استفاده از آنالیزهای تاریخچه زمانی غیرخطی و به ازای شدتهای لرزه ای (۲/۰ و ۶/۰ برابر شتاب گرانشی زمین) برای ساختمانهای کوتاه دو و پنج طبقه و شدتهای لرزه ای (۲/۰ و ۱ برابر شتاب گرانشی زمین) برای ساختمانهای بلند مرتبه محاسبه شدند. برای تحلیل سیستم خاک-سازه از روش مستقیم به همراه مرزهای اولیه برای خاک استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان میدهد که پاسخهای لرزه ای سیستمهای اندرکنش سازه و خاک سخت در شدتهای لرزه ای پایین در مقایسه با پاسخهای سیستم پایه ثابت مقادیر کمتری دارد ولی با افزایش شدت لرزه ای پاسخ سیستمهای اندرکنشی افزایش مییابد. همچنین نتایج حاکی از آن است که اثر اندرکنش خاک و سازه روی پاسخهای لرزه ای ساختمانها به مشخصات ساختمانها (پریود)، نوع خاک و شدت زلزله بستگی دارد. (رحیم زاده، مسعود؛ مهدی پورشاء و محمدرضا چنانقلو، ۱۳۹۲)

یکی از اصلی ترین مباحث در طراحی سازه های سنگین و سخت با پی های عمیق مثل سکوها ی ساحلی ساختمانهای بلند و نیروگاه های هسته ای مساله اندرکنش خاک و سازه می باشد با این وجود در تحلیل دینامیکی سازه ها اغلب فرض میشود که خاک زیرشالوده صلب است و از اثرات اندرکنشی میان خاک و سازه صرف نظر میشود در این حالت پاسخ سازه تنها متأثر از خواص دینامیکی خود سازه است و انعطاف پذیری خاک تأثیری در پاسخ سازه ندارد در واقعیت پاسخ سازه متأثر از خواص دینامیک خاک فونداسیون و سازه می باشد که با فرض صلب بودن خاک زیرشالوده در تناقض است اندرکنش خاک سازه در اثر عبور امواج زلزله از میان سیستم خاک سازه رخ میدهد بنابراین واضح است که نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک سازه جهت دستیابی به پاسخ های واقعی و پیش بینی رفتار سازه ضروری خواهد بود این تحقیق آثار اندرکنش خاک و سازه در پاسخ لرزه ای سازه ها مراحل انجام تحلیل اندرکنش خاک سازه و روشهای مختلف تحلیل اندرکنش خاک سازه مورد بررسی قرار گرفته است. (حسینی نسب، سیدهادی و مجتبی لزگی نظرگاه، ۱۳۹۳)

بررسی اثر اندرکنش خاک-سازه از جمله موضوعاتی است که در سالهای اخیر مورد توجه محققین و طراحان سازه قرار گرفته است. اثرات اندرکنش خاک-سازه میتواند از جنبه های متفاوتی مورد بررسی قرار گیرد. از جمله مواردی که از این موضوع تأثیر زیادی میگیرد نیروی برش پایه سازه و دریافت نسبی طبقات میباشد. همچنین مشخصات دینامیکی سازه از جمله پریود طبیعی و میرائی آن تحت تأثیر این پدیده قرار میگیرد. برای بررسی این مهم، تا کنون تحقیقات وسیعی در زمینه های مختلف

صورت گرفته‌است. نتایج این تحقیقات تئوری و آزمایشگاهی در بعضی از آییننامه‌های طراحی وارد شده‌است. هدف از این مقاله بررسی اثرات اندرکنش خاک-سازه در پاسخهای لرزه‌ای سازه‌های دو بعدی با استفاده از نتایج تحقیقات مذکور و مقایسه آنها با یکدیگر می-باشد. برای این کار، یک سیستم قاب خمشی دوبعدی که مدلی از یک سازه برشی می‌باشد مورد بررسی قرار گرفته‌است. خاک زیر پی به روشهای مختلفی مدل گردیده و سیستم خاک-سازه تحت رکورد زلزله ورودی قرار گرفته‌است. همانگونه که نتایج نشان می‌دهد، اندرکنش خاک-سازه موجب تغییر در میرایی و زمان تناوب اصلی سازه می‌شود و نیروی برش پایه و تغییر مکان نسبی طبقات را کاهش می‌دهد. همچنین از مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل دقیق با نتایج حاصل از استفاده از روش پیشنهادی آئین نامه ATC نشان می‌دهد که ضوابط این آییننامه محافظه کارانه می‌باشد. (پورا کبرشریفی، ناصر و محمدجواد نیکی رشیدی، ۱۳۹۰)

موضوع اندرکنش خاک و سازه همواره یکی از موضوعات مورد توجه مهندسين در چند دهه گذشته بوده است در سالهای اخیر مشاهداتی بدست آمده طی زلزله های بزرگ براهمیت این موضوع و بخصوص اندرکنش دینامیکی خاک و سازه بیش از پیش افزوده است در تحلیل های متداول دینامیکی سازه ها بطور معمول فرض می شود که خاک زیرشالوده صلب است در صورتیکه این فرض تنها برای سازه های ساخته شده بر روی سنگ یا زمین خیلی سخت درست است عامل تغییر شکل و انعطاف پذیری خاک باعث تغییر خصوصیات حرکات ازاد زمین که بیانگر پاسخ زمین در غیاب هرگونه اثرات ناشی از ارتعاش سازه ها می باشد در سطح شده و نیز تغییرات قابل ملاحظه ای رادر پاسخ لرزه ای سازه به وجود می آورد که مشخص ترین آنها تغییر شکل مدها و پیوند اساسی سازه است. (مرادی موفق، وحید و علیرضا مناف پور، ۱۳۹۰)

عموماً در تحلیل لرزه ای سازه ها با تکیه گاه صلب از اثرات اندرکنش خاک-پی-سازه و تاثیر آن بر روی تغییرمکان طبقات و نیروهای داخلی چشم پوشی می شود. نوع خاک و انعطاف پذیری پی از جمله عواملی می باشند که می توانند تا حدودی نتایج تحلیل استاتیکی سازه را تحت تاثیر قرار داده و اندرکنش خاک-پی-سازه را ایجاب نمایند. در این راستا مطالعاتی توسط محققین برای تعیین این اثرات انجام شده است. در این مقاله نیز در جهت بررسی این نتایج سعی شده است تاثیر نوع خاک در روند تحلیل لرزه ای مورد توجه قرار گیرد. برای این منظور از مدل های سه بعدی ساختمان های فولادی ۴ و ۸ طبقه در مجاورت سه نوع خاک نرم، متوسط و سخت استفاده شده است. مدل ها با استفاده از روش استاتیکی معادل در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش به کمک نرم افزار Abaqus تحلیل شده، و سپس با ارائه جداول و نمودارها، تغییرمکان طبقات و نیروی محوری ستون ها مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می دهد اندرکنش خاک-پی-سازه بر روی تغییرمکان طبقه اول تاثیر چشمگیرتری نسبت به سایر طبقات دارد و با افزایش ارتفاع سازه این تاثیر، تا طبقه آخر ادامه می یابد. (کلات جاری، وحیدرضا؛ علی نقی زاده؛ رضا نادری و محمدحسین طالب پور، ۱۳۹۰)

قابهای مهار بندی شده برون محور (Eccentric Braced Frame (EBF)) ترکیب موفقی از قابهای خمشی و قابهای مهار بندی هم محور می باشند. چنانچه این سیستمها به نحوی صحیح طراحی شوند مزایایی شامل شکل پذیری، قدرت جذب انرژی بالا و سختی الاستیک مناسب را در بر داشته و تحت بارهای چرخه‌ای در محدوده غیر الاستیک واکنشی پایدار از خود نشان می‌دهند. مزیت های منحصر به فرد این سیستم باعث محبوبیت هرچه بیشتر آن نزد مهندسين طراح گردیده است. باتوجه به شرایط لرزه خیزی کشورمان و وجود بناهای آسیب پذیر متشکل از قابهای مهاربندی شده برون محور، لازم است تا آسیب پذیری اینگونه ساختمانها مورد بررسی قرار گیرد. دربررسی وضعیت موجود این سازه‌ها لحاظ کردن اندرکنش خاک-سازه می تواند باعث ایجاد تقریب‌های محافظه‌کارانه یا غیر محافظه‌کارانه در تخمین مقادیر نیاز لرزه ای سازه گردد. اندرکنش خاک-سازه معمولاً افزایش زمان تناوب ساختمان را در پی خواهد داشت که سبب تغییر شتاب ها و تغییر مکانهای سازه می گردد. در این مقاله تاثیر اندرکنش خاک-سازه در محاسبه مقادیر نیاز سازه های EBF بررسی شده است. بدین منظور تعدادی قاب سه بعدی با ارتفاع های متفاوت و واقع در مناطق با خطرات نسبی مختلف زلزله در نظر گرفته شده است. این قابها که بر طبق ویرایش های اول، دوم و سوم آیین نامه ۲۸۰۰ طراحی شده‌اند بر اساس دستورالعمل بهسازی ساختمان های موجود، با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک-سازه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. بدین ترتیب با توجه به مطالب مذکور جداول و نمودارهایی

جهت مقایسه مقادیر پاسخ سازه‌ها در حالات مختلف تهیه شده است که می‌تواند به عنوان راهنمایی کاربردی برای مهندسين طراح مورد استفاده قرار گیرد. (فدایی، محمدجواد؛ مرتضی بهشتی فر و افشین محمدی، ۱۳۸۸)

به طور کلی در احداث هر گونه سازه ای روی خاک بایستی به لحاظ طراحی و اجرا به مسایل زیادی توجه نمود. در خصوص تحلیل و طراحی سازه و فونداسیون روش ها و نرم افزار های زیادی وجود دارد که اکثر مهندسين سازه با آن آشنایی کامل دارند که در این بین از نرم افزار های Etabs2000 به منظور تحلیل و طراحی سازه و Safe2000 به منظور تحلیل و طراحی فونداسیون سازه به دلیل سادگی و رایج بودن آنها به وفور استفاده می شود. نکته قابل توجه در خصوص این نرم افزارها روش تحلیلی مورد استفاده می باشد که بنا بر آیین نامه ۲۸۰۰ به دو گروه تحلیل استاتیکی و دینامیکی تقسیم می شود. تحلیل استاتیکی یا دینامیکی و یا هر دو آنها می توانند با توجه به شرایط سازه و بنا بر شرایط آیین نامه ها توسط مهندس طراح مورد استفاده قرار گیرند. در این مقاله ضمن بررسی روش های تحلیل سازه ها و نقاط ضعف و قوت آنها به یکی از مسایل پیچیده در مهندسی ژئوتکنیک پرداخته شده است. نکته قابل توجه در تمام این تحلیل ها حتی اگر هم درست و کامل انجام گیرند این است که به خصوصیات خاک زیر سازه و چگونگی مدلسازی آن در نرم افزارهای مذکور توجهی نشده و یا اینکه اگر هم شده این نرم افزارها توانایی انجام این تحلیل ها را به طور کامل ندارند و به عبارت ساده مساله تحلیل و طراحی سازه از دید ژئوتکنیکی کاملاً پنهان مانده است. لذا در این مقاله ضمن تشریح روندی کامل از تحلیل و طراحی سازه موضوع اندرکنش خاک و سازه به صورت مبسوط مورد بررسی قرار گرفته و در حالتی خاص مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از نرم افزار المان محدود ژئوتکنیکی این مساله به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفته است تا تاثیر لحاظ نمودن اندر کنش خاک و سازه و عدم لحاظ نمودن آن بر نیروهای داخلی اعضای سازه و تغییر مکان ها ی ایجاد شده تحت بارهای وارده مورد ارزیابی و مقایسه قرار گیرد. (حیدری، رضا، ۱۳۹۲)

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ابتدا ساختمان‌های فولادی با مهاربندی همگرای ضربدری با تعداد طبقات ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه با نسبت تنش‌های متفاوت برای تیر، ستون و بادبند بر اساس ضوابط آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران (ویرایش چهارم) تحلیل و طراحی می‌شوند سپس توسط یک تحلیل غیرخطی استاتیکی تحت اثر بارهای آیین‌نامه‌ای قرار گرفته و ضریب رفتار، ضریب ظرفیت نهایی سازه و ضریب کاهش شکل‌پذیری بدست می‌آید و از نتایج حاصله قضاوت مناسبی در مورد رفتار سازه خواهیم داشت. نرم‌افزار مورد استفاده در این تحقیق ETABS و SAP می‌باشد. آیین نامه های مورد استفاده شامل آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم و آیین نامه FEMA-356 می باشد. همچنین در ATC-19 و دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰) برای محاسبه ضریب رفتار، ضریب کاهش نظیر اضافه مقاومت و ضریب کاهش نظیر شکل‌پذیری در سازه توصیه شده است، شرح داده شده است. روشی که برای تحقیق حاضر استفاده شده است روش توصیه شده در نشریه ۳۶۰ می‌باشد. آیین نامه UFC برای محاسبه مشخصات مفاصل پلاستیک در تیرها، ستون ها و اتصالات، طراح را به استفاده از معیارهای آیین نامه FEMA356 توصیه می کند. مفاصل پلاستیک خمشی در تیرها به ابتدا، وسط و انتهایشان اختصاص داده شده اند و در ستون ها نیز مفاصل پلاستیک اندر کنشی نیروی محوری و لنگر خمشی به ابتدا و انتهایشان اختصاص داده شده اند. در بادبندها نیز مفاصل پلاستیک نیروی محوری به ابتدا و انتهایشان اختصاص داده شده است. تعداد طبقات، برای هر مدل در سه حالت ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه در نظر گرفته شده‌اند، دلایل انتخاب این حالت‌ها پرهیز از تغییر ناگهانی در ارتفاع می‌باشد که منجر به ایجاد خطا و ایجاد ناپیوستگی زیاد در نتایج مدل ها می‌شود.

روش های تحلیل اندرکنش خاک-سازه

فارغ از روش های مدرن امروزی نظیر "روش هیبرید" که هنوز عمومیت نیافته و با اقبال چندانی روبرو نشده است، دو روش برای تحلیل رفتار اندرکنش خاک-سازه وجود دارد:

روش مستقیم

که در آن تمام سیستم خاک - پی - سازه با هم مدل شده و در یک مرحله تحلیل می شود. در این روش اعمال اصل جمع آثار قوا لزومی ندارد، بنابراین می توان از تحلیل های غیرخطی استفاده نمود. در این پژوهش با توجه به اینکه اثر رفتار غیرخطی خاک و پیامدهای انعطاف پذیری تکیه گاه مورد نظر است، از این روش استفاده شده است. یکی از ویژگی های این روش، اعمال اثرات میرایی هندسی، عمق مدفون پی، فرورفتگی سازه در خاک و لایه بندی خاک در راستای افقی و قائم است.

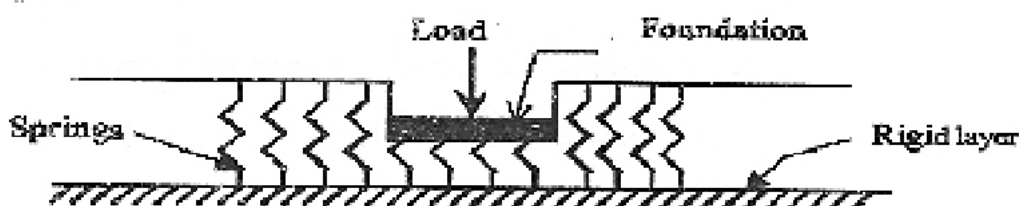
روش زیر سازه

که در آن مجموعه خاک-پی-سازه به طور جداگانه و هرکدام به عنوان یک زیرسازه مدل شده و مسائل مربوط به آنها با روش مناسب خود تحلیل شده، نتایج با استفاده از اصل جمع آثار قوا تجميع می شوند. این روش یک روش خطی محسوب شده و سبب می شود برای مجموعه خاک و سازه، رفتار خطی لحاظ گردد. برای لحاظ آثار رفتار غیر خطی، از روش خطی معادل می توان استفاده نمود. به بیانی دیگر روش اول شامل اصلاح حرکت میدان آزاد، ارزیابی پاسخ یک سازه مشخص به حرکت اصلاح شده پی و حل همزمان مساله با استفاده از معادلاتی اضافی که حرکت دو سیستم را تعریف می کنند می باشد. روش دوم، شامل اصلاح خواص دینامیکی سازه و ارزیابی پاسخ سازه اصلاح شده به حرکت میدان آزاد معین می باشد.

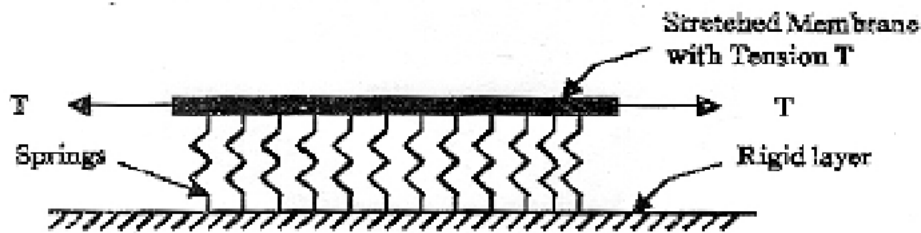
فهر وینکلر

برای آنالیز دقیق سازه لازم است که خاک در یک حالت مناسب مدل گردد. در بعضی مقالات خاک توسط فنرهای مجزا و مستقل مدل شده است که اصطلاحاً مدل وینکلر نامیده می شود.

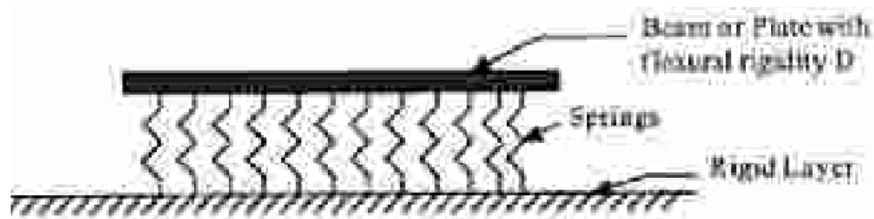
در مدل وینکلر به دلیل این که فنرها از هم مستقل اند لذا فقط در محل اثر بار تغییر شکل و تنش بوجود می آید. در صورتیکه خاک یک محیط پیوسته بوده و تغییر شکل و تنش در محل اثر بار و مجاور آن نیز بوجود می آید. به همین دلیل برخی دیگر از محققین برای رفع این مشکل، محیط خاک را به صورت ترکیبی از فنرهای وینکلر با یک عنصر سازه ای دیگر مدل نموده اند. به این مدلها اصطلاحاً مدل های چند پارامتری می گویند. از معروفترین این مدل ها می توان به مدل های فیلوننکو-بورودیچ، هیتنی و پاسترناک اشاره نمود. در مدل فیلوننکو-بورودیچ فنرهای وینکلر ارتباط بین فنرهای وینکلر در حالت دو بعدی بوسیله یک تیر الاستیک و در حالت سه بعدی بوسیله یک صفحه الاستیک انجام می گیرد. در مدل پاسترناک این فنرها بوسیله یک لایه برشی به هم مرتبط می شوند.



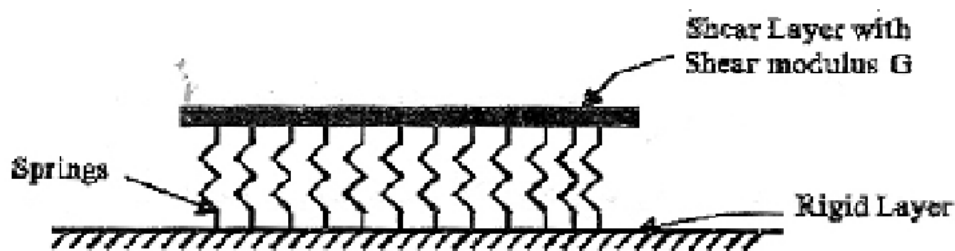
شکل ۱: مدل وینکلر



شکل ۲: مدل فیلونکو-بورودیچ



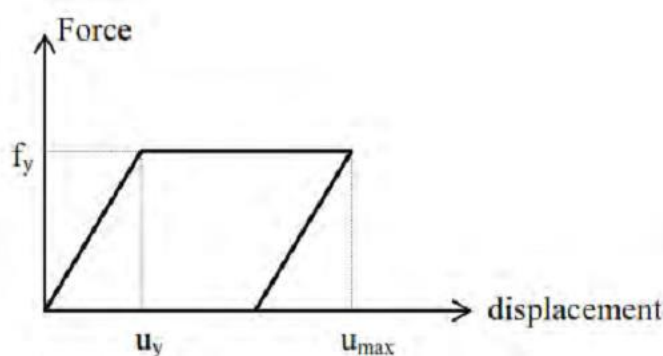
شکل ۳: مدل هیتنی



شکل ۴: مدل پاسترناک

مدل سازه- خاک

یک مدل الاستو پلاستیک SDOF به توسط جرم m و ارتفاع h برای مدل سازی سازه ای که در شکل ۵ نشان داده شده است استفاده شده است. مدل یک درجه آزادی همچنین می تواند معرف یک سازه چند درجه آزادی باید که به جای جرم از جرم مؤثر و بجای ارتفاع از ارتفاع مؤثر باید استفاده نمود.



شکل ۵: مدل یک سیستم الاستو پلاستیک

تحلیل دینامیکی اندرکنش خاک و سازه

تحلیل پدیده اندرکنش خاک - سازه در زمان وقوع زلزله از چالش های مهندسی زلزله می باشد. به طور کلی در انجام این تحلیل دو مشکل وجود دارد که عبارتند از:

الف- انتخاب مدل مناسب برای خاک. با توجه به دقت مورد نیاز و هزینه تحلیل، یکی از روشهای ذیل بدین منظور در نظر گرفته می شود.

در نظر گرفتن تأثیر خاک به صورت جرم و فنر و میرایی معادل در پی سازه به صورت مستقیم از تواتر خاک.

در نظر گرفتن تأثیر خاک به صورت تیر برشی یا جرم پیوسته یا متمرکز و سختی گسترده طبق پروفیل قائم خاک.

در نظر گرفتن خاک به صورت مدل نیم بی نهایت ارتجاعی.

مدل کردن خاک به صورت مدل عناصر محدود.

ب- تعیین حرکت مناسب زمین با تکیه بر خصوصیات زمین شناسی محل و حد پذیرش خطر (ریسک).

برای تحلیل پدیده اندرکنش، می توان حرکت زمین در سطح سنگ بستر را به سیستم اعمال نموده و سیستم خاک و سازه را به صورت یک مجموعه، مورد بررسی قرار داد. این کار لزوماً با تقریبات زیادی در مورد جهت انتشار امواج و رفتار دینامیکی خاک همراه است. روش مناسب تر، اعمال حرکت آزاد زمین در سطح پی سازه می باشد. این حرکت همان حرکت زمین، بدون حضور سازه است.^۱

سپس با انتخاب مدل مناسب خاک به صورت فنر و کمک فنر معادل و یا به روش زیر سازه ای (تقسیم مجموعه به سازه و خاک) به کمک مدل نیم بینهایت خاک در حالت کلی و یا مدل عناصر محدود، تحلیل انجام می شود.

چنانچه در مدل های پیشنهادی، پارامترها و متغیرها، وابسته به تواتر ω باشند، می باید مسئله را در حوزه فرکانس^۲ بررسی نمود. برای این منظور منحنی ثبت شده یا تهیه شده شتاب بر حسب زمان را با استفاده از روش تبدیل فوری به صورت منحنی شتاب بر حسب تواتر تبدیل نموده و محاسبات را انجام داد و سپس به کمک تبدیل معکوس فوری، واکنش سیستم را بر حسب زمان مشخص کرد.

بارگذاری

جدول ۱: مشخصات بارهای اعمالی طبق آیین نامه

۶۰۰ mm^2	بار مرده طبقات
۲۰۰ mm^2	بار زنده طبقات
۵۲۰ mm^2	بار مرده بام
۱۵۰ mm^2	بار زنده بام

با فرض اینکه طول دهانه در بعد سوم ساختمان ۶ متر باشد، بارگذاری خطی بر روی تیر در مدل ۲ بعدی به صورت زیر خواهد بود.

جدول ۲ مشخصات بارهای اعمالی به سازه قاب

۱۸۰۰ mm^2	بار مرده طبقات
۶۰۰ mm^2	بار زنده طبقات
۱۶۰۰ mm^2	بار مرده بام

^۱Half Space Modeling of the soil^۲Frequency Domain

۴۵۰ /m	بار زنده بام
--------	--------------

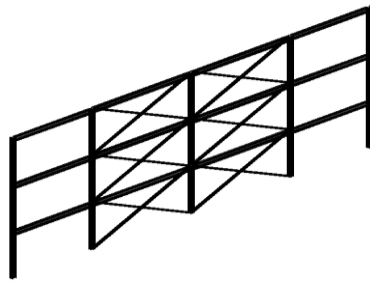
۱. بحث و نتیجه گیری

بررسی طرح بهینه سازه به روش استاتیکی

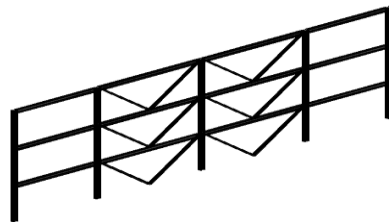
با توجه به مطالب بیان شده در ساختمان های فولادی سیستم مهاربندی نقش اساسی را در تامین ایمنی ساختمان بر عهده دارد. در این خصوص دو گروه بادبند هم محور و برون محور مورد استفاده قرار می گیرد. بادبندهای هم محور دارای سختی بالا و شکل پذیری کم می باشند و در برابر بارهای تناوبی چندان مناسب نیستند با این حال در عمل مورد استفاده قرار می گیرند. در مقابل بادبندهای برون محور دارای شکل پذیری بالایی می باشند و در مناطق با لرزه خیزی بالا مناسبند. انواع بادبند های هم محورو برون محور قطری و ضربدری و هفتی و هشتی در عمل مورد استفاده قرار می گیرند که در ادامه بررسی می شوند. بادبند نوع K به دلیل اعمال نیروی متمرکز در وسط ستون چندان مناسب نیست و در عمل در ساختمانهای یک و حداکثر دو طبقه شاید مجاز و مناسب باشد ولی به هر حال عملکرد مناسبی ندارد. در این شرایط می توان با استفاده از روش هایی محل تمرکز نیرو و در نتیجه تنش را از وسط ستون دور نمود. در بحث جانمایی بادبندها بهتر است از بادبند در دو دهانه مجاور استفاده شود و همچنین بادبند در دهانه های بزرگتر نتایج بهتری را در بر دارد و همچنین در طبقات پایین می توان تعداد دهانه های بیشتری را بادبندی نمود و در طبقات بالایی از تعداد دهانه های بادبندی کاست. همچنین براساس اصلی ساده می توان از تمرکز سختی قاب در یا ناحیه کاست و این به معنی آن است که بهتر است بادبند ها در ارتفاع سازه در دهانه های مختلف پخش شوند تا سختی در قاب توزیع شود و به این ترتیب عملکرد لرزه ای سازه بهتر شود. بادبند ضربدری بی شک متداولترین نوع بادبند است که سختی و صلبیت بسیار بالایی دارد و تغییر مکانهای سازه را به صورت قابل ملاحظه ای کاهش می دهد. عیب ذاتی این بادبند شکل پذیری کم آن است که بایستی رفع شود. بادبندهای هفتی و هشتی با هدف کاهش فولاد مصرفی مورد استفاده قرار می گیرند ولی تغییر شکلهای بیشتر سازه در این حالت شاید نیاز به استفاده از پروفیل قویتر را ایجاب کند و از طرفی طراحی و اجرای این نوع بادبند نیاز به دقت و ظرافت و جزییات خاصی دارد.

جدول (۳) بادبند هم محور و سازه سه طبقه

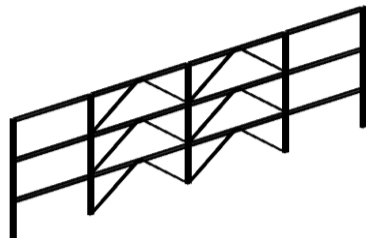
CASE NO	تعداد طبقات	تیپ خاک براساس آیین نامه ۲۸۰۰	سیستم لرزه بر جانی
۱	۳	II , I	بادبند ضربدری
۲	۳	III , IV	بادبند ضربدری
۳	۳	I , II	بادبند قطری
۴	۳	III , IV	بادبند قطری
۵	۳	I , II	بادبند هفتی
۶	۳	III , IV	بادبند هفتی
۷	۳	I , II	بادبند هشتی
۸	۳	III , IV	بادبند هشتی



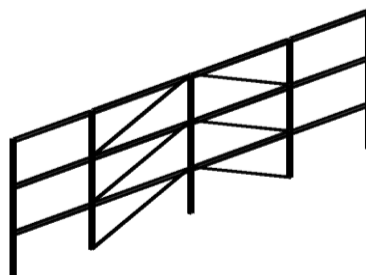
شکل (۶) قاب سه طبقه با بادبند ضربدری



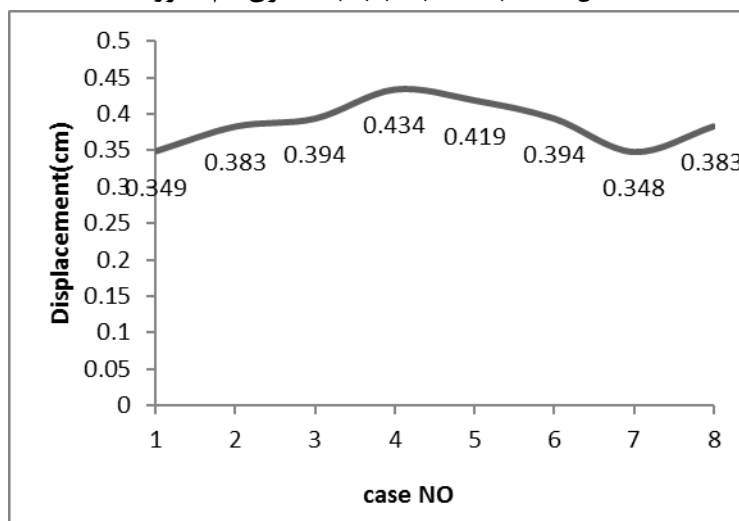
شکل (۷) قاب سه طبقه با بادبند هفتی هم محور



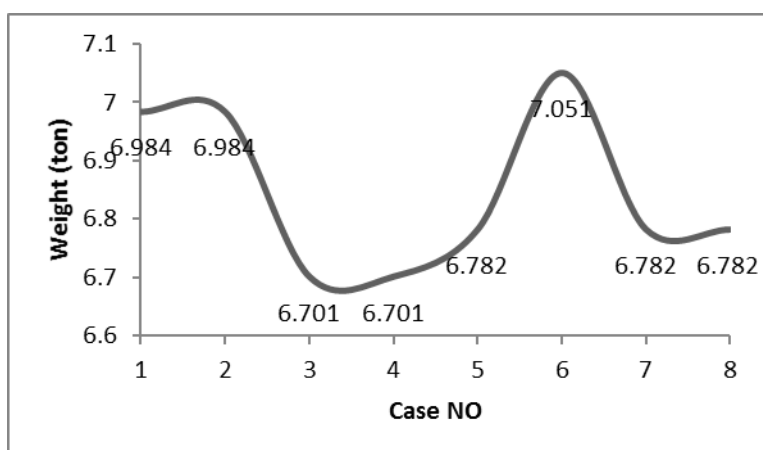
شکل (۸) قاب سه طبقه با بادبند هشتی هم محور



شکل (۹) قاب سه طبقه با بادبند قطری هم محور



شکل (۱۰) نمودار تغییر مکان جانبی در آخرین تراز برای هر حالت

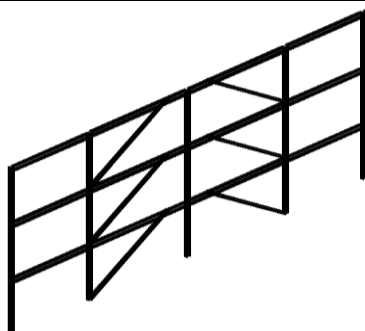


شکل (۱۱) نمودار وزن قاب برای هر حالت

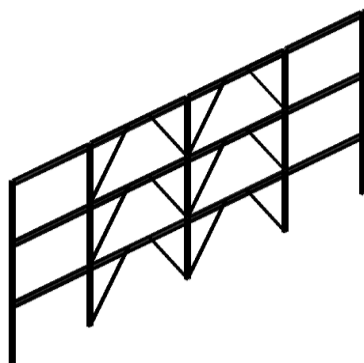
نتایج فوق مربوط به طرح نهایی و بهینه قاب ها است. با توجه به نمودارهای فوق و ناچیز بودن اختلاف تغییر مکان جانبی قاب در حالات مختلف معیار وزن اسکلت قاب مد نظر می باشد. در این خصوص سیستم قاب با بادبند قطری دارای کمترین وزن اسکلت و حدود ۶/۷۰۱ تن می باشد.

جدول (۴) بادبند برون محور و سازه سه طبقه

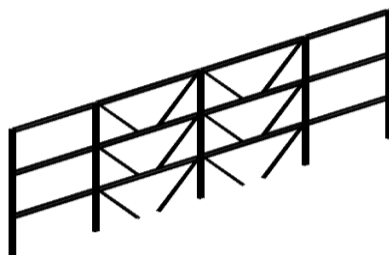
CASE NO	تعداد طبقات	تیپ خاک براساس آیین نامه ۲۸۰۰	سیستم لرزه بر جانی
۱	۳	I , II	بادبند قطری برون محور
۲	۳	III , IV	بادبند قطری برون محور
۳	۳	I , II	بادبند هفتی برون محور
۴	۳	III , IV	بادبند هفتی برون محور
۵	۳	I , II	بادبند هشتی برون محور
۶	۳	III , IV	بادبند هشتی برون محور



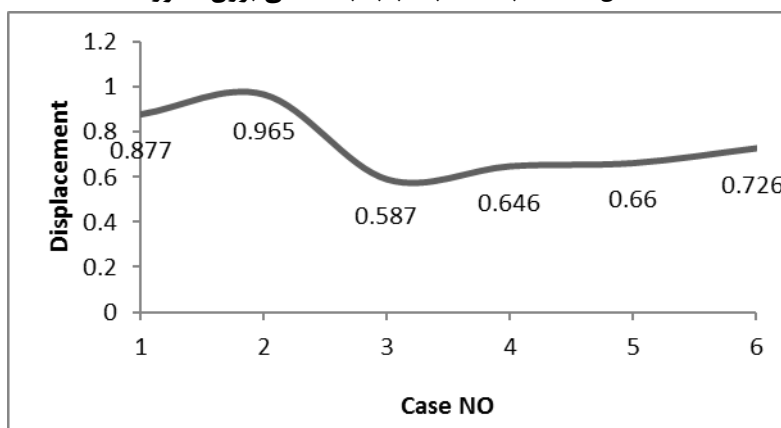
شکل (۱۲) قاب سه طبقه با بادبند قطری برون محور



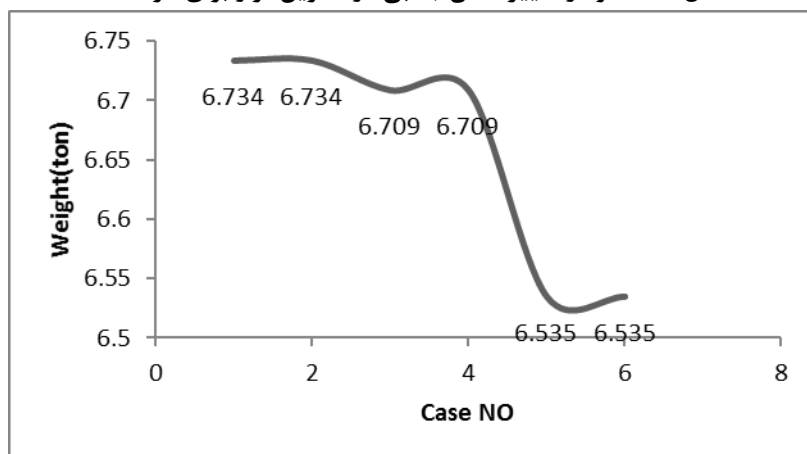
شکل (۱۳) قاب سه طبقه با بادبند هشتی برون محور



شکل (۱۴) قاب سه طبقه با بادبند هفتی برون محور



شکل (۱۵) نمودار تغییر مکان جانبی در آخرین تراز برای هر حالت



شکل (۱۶) نمودار وزن قاب برای هر حالت

نتایج فوق مربوط به طرح نهایی و بهینه قاب ها است. با توجه به نمودارهای فوق و ناچیز بودن اختلاف تغییر مکان جانبی قاب در حالات مختلف معیار وزن اسکلت قاب مد نظر می باشد. در این خصوص سیستم قاب با بادبند هشتی دارای کمترین وزن اسکلت و حدود ۶/۵۳۵ تن می باشد. محاسبات فوق برای تمامی مدلسازیها (۴ نوع طبقات مختلف) انجام شده است ولی در این بخش به عنوان نمونه سازه سه طبقه ارایه شده است.

بررسی توزیع سختی

یکی از نکات مهم در طراحی بهینه سازه ها توزیع مناسب سختی در تمام قاب است. این امر موجب تعدیل نیروها از یک سو و جلوگیری از تمرکز تنش از سوی دیگر می شود و عملکرد لرزه ای سازه را بهبود می بخشد. برای سه آرایش فوق

هیچگونه تغییری در نمره اعضا داده نشده و فقط آرایش بادبندها تغییر یافت. نتایج این بررسی نشان از کاهش قابل توجه تغییر مکان های جانبی برای چیدمان تیپ ۳ داشت که می تواند در طراحی ها و پروژه های عملی مورد توجه قرار گیرد. بررسی انجام شده نشان داد که در صورت استفاده از چیدمان تیپ ۳ علاوه بر کاهش تغییر مکان جانبی سازه، طرح سازه نیز تا حدود زیادی بهتر شده است و اطن موضوع باعث اقتصادی شدن طرح کف ستون ها و متعاقباً پی نیز می شود. لذا هم سختی مناسب سازه تامین می شود و هم اینکه به سازه به ازای وزن کمتر مقاومت مطلوب خود را نیز دارد. تنها مشکل در این حالت به تامین شکل پذیری بر می گردد که این مساله برای بادبندهای هم محور موضوعی مهم است ولی برای بادبندهای برون محور نیز اگر طول تیر پیوند به درستی طرح نشود این بادبند عملکرد مناسب و مورد انتظار را نخواهد داشت. در مورد بادبند های هم محور ضربدری و هشتی و هفتی و قطری تمرکز اصلی روی اتصالات است. پژوهش های انجام شده نیز موید این موضوع است که اگر بتوان اتصالات را شکل پذیر نمود می توان بادبندی را داشت که هم صلبیت بادبندهای هم محور را داشته باشد و هم شکل پذیری بادبند های برون محور را دارا باشد. یکی از روش های شکل پذیر نمودن اتصالات در بادبندها استفاده از فیوز ارتباطی است که به صورت یک پروفیل ناودانی یا IPE با نمره پایین به جای ورق اتصال بادبند در محل اتصال تیر به ستون قرار می گیرد تا در هنگام وقوع زلزله بادبند در آن نقطه دچار آسیب شود. به این ترتیب با ایجاد مفصل پلاستیک عمدی محل خرابی بادبند کنترل می شود و در صورت نیاز تعمیر و بهسازی می شود و به این ترتیب محل خرابی از محل اتصال تیر و ستون دور می شود. در مورد ورق اتصال وسط بادبند نیز می توان تغییراتی را اعمال نمود تا این اتصال شکل پذیر شود به این ترتیب که از یک حلقه مربعی و مثلثی و یا با سایر اشکال متشکل از چهار پروفیل ضعیف استفاده نمود و یا اینکه از ورق نازک و ضعیف استفاده نمود تا در هنگام وقوع زلزله به مانند مفصل پلاستیک عمل کرده و در صورت نیاز تعمیر و بهسازی شود. بررسی این روش شکل پذیر نمودن اتصالات بادبندی در مورد بادبندهای هشتی و هفتی نیز می تواند به صورت استفاده از یک فیوز ارتباطی قائم باشد تا محل خرابی از محل اتصال بادبند به تیر دور شود. تمام این بررسی منوط به کنترل تنش برشی ایجاد شده می باشد. روش های عددی چون روش المان محدود و تفاضل محدود ابزار مناسبی برای این بررسی می باشد.

بررسی نتایج پاسخ قاب دو بعدی در حالت با لحاظ اثرات اندرکنش خاک و سازه

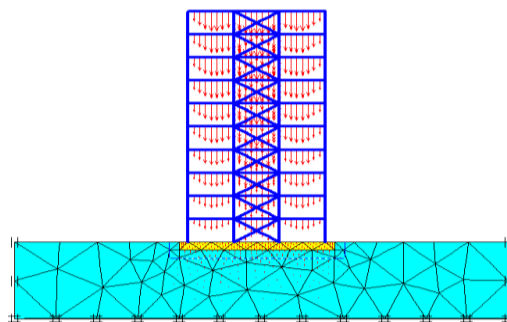
در حالت دوم و در شرایط دو بعدی مساله مجدداً مورد بررسی قرار می گیرد. در این شرایط مجدداً برای سازه ۳ تا ۱۰ طبقه سازه و خاک زیر آن در شرایطی که خاک سست / نرم و سخت / متراکم است با استفاده از مدلسازی عددی و نرم افزار PLAXIS 2D بررسی انجام می گیرد. مهمترین مساله در این شرایط انتخاب مناسب پارامترهای خاک است که به این منظور می توان از توصیه مراجع استفاده نمود. در این بررسی از خاک هایی با مشخصات جدول (۵) استفاده شده است. جهت تحلیل از المان PLATE به منظور مدلسازی تیر و ستون و بادبند استفاده می گردد و برای فونداسیون از ماده ای با رفتار الاستیک خطی استفاده شده و از المان INTERFACE برای مدلسازی سطح اندرکنش خاک و سازه استفاده می گردد. بارهای زلزله که از تحلیل سازه با نرم افزار ETABS به دست آمده از این نرم افزار استخراج گردیده و در نرم افزار PLAXIS وارد می شود. مدل عددی با فرض قاب صفحه ای فرض می شود که در نرم افزار مدل کرنش مسطح تقریب مناسبی از تحلیل است.

جدول (۵) مقادیر پارامترهای خاک جهت تحلیل اندرکنش خاک و سازه

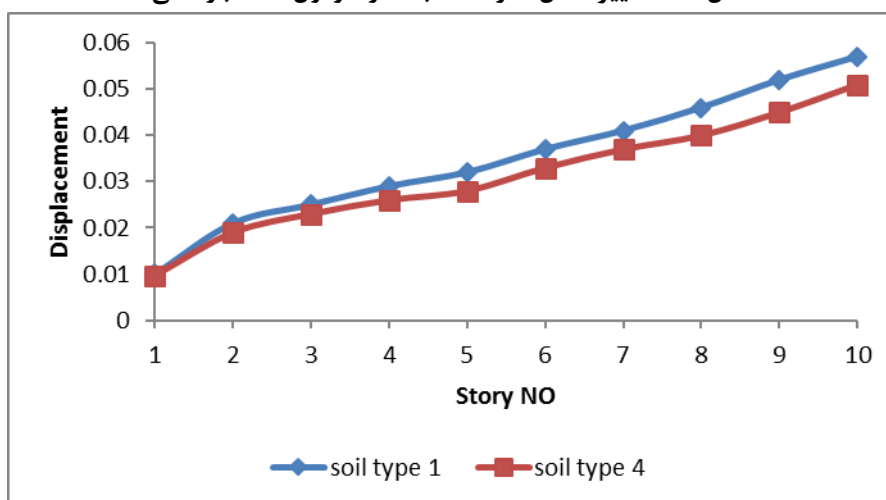
نوع خاک	نام پارامتر	مقدار پارامتر	واحد
سخت / متراکم	مدول الاستیسیته	۴۵۰۰۰	کیلونیوتن بر متر مربع
	ضریب پواسون	۰٫۴	-
	وزن مخصوص	۱٫۸	تن بر مترمکعب
	چسبندگی	۰	کیلونیوتن بر متر مربع
	زاویه اصطکاک داخلی	۴۰	درجه

نرم / سست	ضریب اثر اندرکنش خاک و سازه	۰,۷	
	مدول الاستیسیته	۱۰۰۰۰	کیلونیوتن بر متر مربع
	ضریب پواسون	۰,۳	-
	وزن مخصوص	۱,۶	تن بر مترمکعب
	چسبندگی	۰	کیلونیوتن بر متر مربع
	زاویه اصطکاک داخلی	۳۰	درجه
	ضریب اثر اندرکنش خاک و سازه	۰,۵	

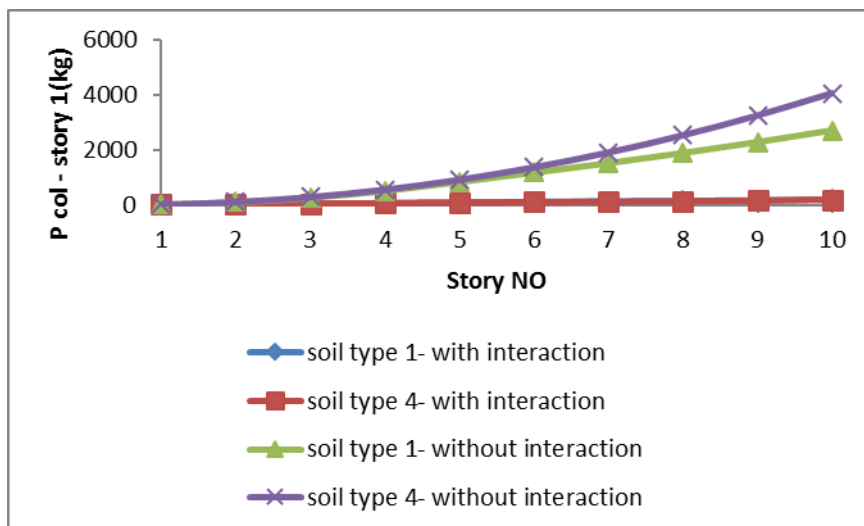
در تحلیل عددی در فاز اول بار مرده اعضا و در فاز دوم بار زلزله اعمال می شود و نتایج بررسی می گردد. یکی از مزایای مهم این تحلیل علاوه بر اینکه رفتار واقعی تری را سازه را به دست می دهد این است که نشست ها و تنش در هر نقطه دلخواه از خاک زیر سازه را نیز به دست می دهد. به این ترتیب تغییر شکلها و تنش های سازه متاثر از خاک و برعکس برای خاک ناشی از سازه می باشد. در مش بندی مدل عددی از مش با اندازه متوسط استفاده شده که نتایج مناسبی را به دست می دهد. در اشکال (۱۷) و (۱۸) مدل عددی سازه ها نشان داده شده است.



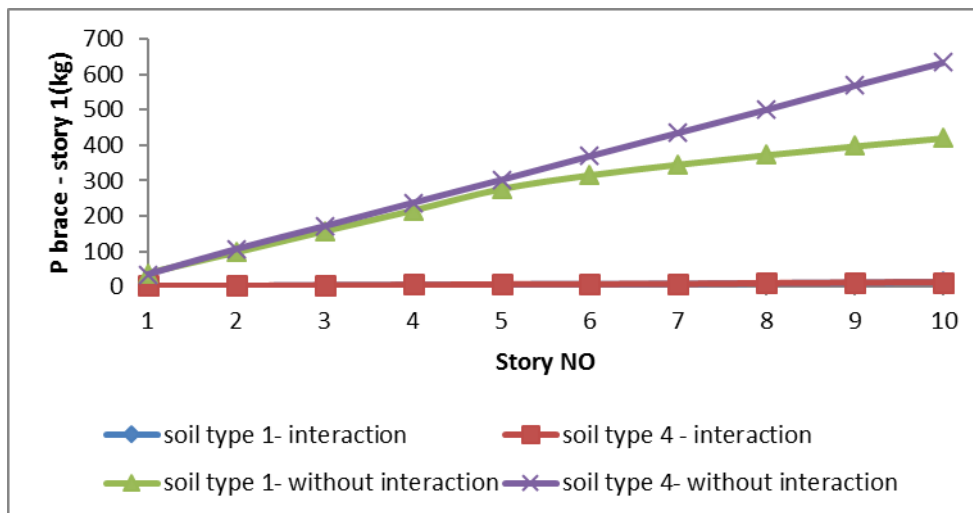
شکل (۱۷) تغییر شکل سازه ده طبقه در فاز اول تحت بار ثقلی



شکل (۱۸) تغییر مکان جانبی بالاترین تراز برای ساختمان ۱ تا ۱۰ طبقه بر حسب نوع خاک با لحاظ اثر اندرکنش خاک و سازه



شکل (۱۹) نیروی محوری ستون در طبقه اول برای ساختمان ۱ تا ۱۰ طبقه بر حسب نوع خاک با و بدون اندر کنش خاک و سازه



شکل (۲۰) نیروی محوری بادبند در طبقه اول برای ساختمان ۱ تا ۱۰ طبقه بر حسب نوع خاک با و بدون اندر کنش خاک و سازه
همانطور که انتظار می رفت با لحاظ کردن اثر اندر کنش خاک و سازه تغییر مکان جانبی و نیروی طراحی بادبند و ستون ها به میزانی بسیار چشمگیر کاهش یافته است و سازه اقتصادی تر شده است. از طرفی اختلافی بین نتایج نیروهای ستون و بادبند در حالت لحاظ کردن اثر اندر کنش خاک و سازه برای زمین تیپ ۱ و ۴ مشاهده نمی شود. لذا اثرات سودمند لحاظ کردن این اثر برای سازه های کوتاه و متوسط و بلند دیده می شود.

نتایج

یکی از نکات مهم در طراحی بهینه سازه ها توزیع مناسب سختی در تمام قاب است. این امر موجب تعدیل نیروها از یک سو و جلوگیری از تمرکز تنش از سوی دیگر می شود و عملکرد لرزه ای سازه را بهبود می بخشد. برای سه آرایش فوق هیچگونه تغییری در نمره اعضا داده نشده و فقط آرایش بادبندها تغییر یافت. نتایج این بررسی نشان از کاهش قابل توجه تغییر مکان های جانبی برای چیدمان تیپ ۳ داشت که می تواند در طراحی ها و پروژه های عملی مورد توجه قرار گیرد. بررسی انجام شده نشان داد که در صورت استفاده از چیدمان تیپ ۳ علاوه بر کاهش تغییر مکان جانبی سازه، طرح سازه نیز تا حدود

زیادی بهتر شده است و اطن موضوع باعث اقتصادی شدن طرح کف ستون ها و متعاقباً پی نیز می شود. لذا هم سختی مناسب سازه تامین می شود و هم اینکه به سازه به ازای وزن کمتر مقاومت مطلوب خود را نیز دارد. تنها مشکل در این حالت به تامین شکل پذیری بر می گردد که این مساله برای بادبندهای هم محور موضوعی مهم است ولی برای بادبندهای برون محور نیز اگر طول تیر پیوند به درستی طرح نشود این بادبند عملکرد مناسب و مورد انتظار را نخواهد داشت. در مورد بادبند های هم محور ضربدری و هشتی و هفتی و قطری تمرکز اصلی روی اتصالات است. همانطور که انتظار می رفت با لحاظ کردن اثر اندر کنش خاک و سازه تغییر مکان جانبی و نیروی طراحی بادبند و ستون ها به میزانی بسیار چشمگیر کاهش یافته است و سازه اقتصادی تر شده است. از طرفی اختلافی بین نتایج نیروهای ستون و بادبند در حالت لحاظ کردن اثر اندر کنش خاک و سازه برای زمین تیپ ۱ و ۴ مشاهده نمی شود. لذا اثرات سودمند لحاظ کردن این اثر برای سازه های کوتاه و متوسط و بلند دیده می شود.

منابع

- ۱- آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله-استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۴.
- ۲- نیکنام، احمد، میمندی پاریزی، علی، پاک نیت، شایان، (۱۳۹۱) "بهسازی لرزه ای سازه های فولادی و تحلیل بارافزون (Pushover) با استفاده از نرم افزارهای Sap2000 و Etabs، چاپ اول، نشر متفکران، تهران"
- ۳- Tremblay, R., (2004). "Testing and Design of Buckling Restrained Braces For Canadian Application."
- ۴- Galvez, P., (2004). "Investigation of Factors Affecting Web Fractures in Shear Links."
- ۵- Chao, S.H. and Goel, S.C., 2005. Performance-based criteria desing of EBF using target drift and yield mechanism as performance ceiteria . Ann Arbir, 1001, pp.48109-2125.
- ۶- Richards, P.W., and Uang, C.M., (2005) ."Development of testing protocol for short links in eccentrically braced frames."
- ۷- Chao, S., Khandelwal, K. and El-Tawil, S., (2006). "Ductile web fracture initiation in steel shear links."
- ۸- Mofid, M. and Lotfollahi, M. , 2006 . On the characteristics of new ductill knee bracing sistems. Journal of Constructional Steel Research 62(3), pp.271-281
- ۹- Prinz, G.S., Richards, P.W., (2009). "Eccentrically braced frame links with reduced web sections."
- ۱۰- FEMA P 695., (2009). "Quantification of Building Seismic Performance Factors"

- ۱۱- Berman, J.W., Okazaki T. and Hauksdottir, H.O., 2009. Reduced link sections for improving the ductility of eccentrically braced frame link-to-column connections. Journal of structural engineering, 136(5),pp.543-553
- ۱۲- Mansour, N., Christopoulos, C., Tremblay, R., (2011). "Experimental Validation of Replaceable Shear Links for Eccentrically Braced Steel Frames."
- ۱۳- Ohsaki, M., Nakajima, T., (2012) "Optimal Stiffeners Spacing for Intermediate Link in Eccentrically Braced Frame to Increase Energy Dissipation."
- ۱۴- Musmar, M.A., 2012 . , Effect of link on eccentrically braced frames. Journal of Engineering Sciences, Assiut University
- ۱۵- Najafi, L.H. and Tehranizadeh, M., 2017 . Equation for achieving efficient length of link-beams in eccentrically braced frames and its reliability validation . Journal of Constructional Steel Research, 130, pp.53-64