


به نام خدا



Market Code

**بررسی عملکرد سازه های بتنی ویژه در برابر خرابی با در نظر
گرفتن اندرکنش خاک و سازه**

	سعید حق اللهی: کارشناسی ارشد، عمران	توسعه دهنده:
	سعید حق اللهی	تهیه کننده مستند:
	۹۳ / ۰۶ / ۲۴	تاریخ تنظیم سند:

فهرست مطالب

۶	مقدمه	۱-۱
۷	اثرات کلی اندرکنش خاک و سازه	۱-۱
۸	اثرات فونداسیون‌های سطحی بر پاسخ سازه‌ها	۲-۱
۱۱	مروری بر روشهای مختلف مدل سازی اندرکنش	۳-۱
۱۳	انتخاب نحوه‌ی مدل سازی اندرکنش	۴-۱
۱۵	اندرکنش خاک و سازه در آیین نامه‌ها	۵-۱
۱۷	طراحی قابهای خمشی بتنی	۲-۲
۱۷	طراحی سازه	۱-۲
۱۹	نیروهای طراحی زلزله در آیین نامه ۷-۱۰ ASCE/SEI	۲-۲
۲۵	طراحی فونداسیون	۳-۳
۲۷	مروری بر مدل سازی غیر خطی	۴-۴
۲۷	انواع مدل‌های غیر خطی	۱-۴
۲۹	مدل فایبر	۲-۴
۳۱	اهمیت در نظر گرفتن زوال در آنالیز دینامیکی فزاینده	۴-۳
۳۲	مدل سازی تیرها و ستونها	۴-۴
۳۳	مدل مفصل پلاستیک	۵-۴
۳۹	نتایج آزمایشگاهی	۶-۴
۳۹	معادلات پیشنهادی برای تعیین رفتار تیرها و ستونها	۷-۴
۴۰	سختی موثر اولیه (EI_{stf}/EI_g و EI_y/EI_g)	۱-۷-۴
۴۲	ظرفیت مقاومت خمشی (M_y)	۲-۷-۴
۴۲	ظرفیت چرخش پلاستیک ($\theta_{cap,pl}$)	۳-۷-۴
۴۲	ظرفیت چرخش پس از نقطه‌ی اوج ($\rho_c\theta$)	۴-۷-۴
۴۳	ظرفیت ممان در نقطه‌ی سخت‌شدگی (M_c/M_y)	۵-۷-۴
۴۳	ظرفیت استهلاک انرژی چرخهای (λ)	۴-۷-۶
۴۴	مدل سازی نقطه اتصال تیر و ستون	۸-۴
۴۶	مدل سازی میرایی	۹-۴
۴۸	مدل سازی غیرخطی اندرکنش خاک و سازه (SSI)	۵-۵
۵۰	پارامترهای مورد نیاز برای مدل BNWF	۱-۵
۵۱	تعیین ظرفیت باربری فونداسیون‌ها	۵-۲

۵۲	..... ابعاد فونداسیون	۳-۵
۵۲	..... تعیین سختی قائم و جانبی فنرهای وینکلر	۴-۵
۵۶	..... فاصله و نحوه آرایش فنرهای قائم	۵-۵
۶۲	..... میرایی تشعشعی	۶-۵
۶۳	..... ظرفیت کششی	۷-۵
۶۳	..... مدل سازی فونداسیون وینکلر در Opensees	۵-۸
۶۷	..... مقایسه زمان تناوب قابها در حالت پایه صلب با پایه انعطاف پذیر	۶-
۶۹	..... تعیین و انتخاب رکوردها	۷-
۷۱	..... آنالیز دینامیکی فزاینده IDA و محاسبی نمودار شکنندگی	۸-
۷۱	..... ضریب مقیاس رکوردها	۱-۸
۷۲	..... معیارهای فروریزش قابها	۲-۸
۷۶	..... الگوریتم حل	۸-۳
۷۹	..... نمودار شکنندگی	۸-۴
۸۲	..... مقایسه بین نمودار شکنندگی برای قابهای خمشی با پایه گیردار و انعطاف پذیر	۹-
۸۶	..... نتایج	۱۰-
۹۰	..... مقایسه نتایج به دست آمده با تحقیقات دیگر	۱۱-
۹۴	..... نتیجه گیری	۱۲-
۹۶	..... مستندات کاربری	۱۳-
۹۶	..... برنامه mastersaeed	۱-۱۳
۱۰۰	..... ورودیهای برنامه	۲-۱۳
۱۰۱	..... خروجیهای برنامه	۳-۱۳
۱۰۱	..... چگونگی اجرای برنامه	۴-۱۳
۱۰۵	..... نرم افزارهای مورد نیاز برای اجرای برنامه	۵-۱۳
۱۰۸	..... TCLEditor و TCL و OpenSees.exe نصب نرم افزار	۶-۱۳
۱۰۹	..... مثال حل شده توسط برنامه	۷-۱۳
۱۱۱	..... مستندات آموزشی	۱۴-
۱۵۳	..... پیوست ۱ فهرست مطالب برنامه Mastersaeed	۱۵-
۱۵۵	..... پیوست ۲ فهرست برنامه های opensaeed	۱۶-
۱۵۶	..... پیوست ۳ برنامه Mastersaeed.m	۱۷-
۱۷۱	..... پیوست ۴ دستورات opensees	۱۸-
۱۸۰	..... مراجع	۱۹-

چکیده

اندرکنش خاک و سازه به‌عنوان یک پدیده‌ی پیچیده که می‌تواند اثرات مثبت یا منفی بر روی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها داشته باشد شناخته می‌شود، ولی با توجه به اعتقاد عمومی به اثرات مثبت آن در عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها، معمولاً از آن صرف‌نظر می‌شود. این در حالی است که اثرات اندرکنش خاک و سازه می‌تواند پاسخ‌های دینامیکی سازه را تغییر داده و این تغییرات، در نتیجه ارزیابی عملکرد سازه‌ها همانند فروریزش سازه‌ها می‌تواند نقش تعیین‌کننده داشته باشد. در گزارش FEMA-P695 فروریزش قاب‌های بتنی ویژه بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مطالعه قاب‌های بتنی خمشی ویژه ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ طبقه با مشخصات یکسان، برای خاک‌های سفت، متوسط و نرم در قالب طبقات خاک B، C و D طبق آیین‌نامه‌ی ASCE 7-10 توسط نرم‌افزار ETABS تحلیل و طراحی شده و سپس با استفاده از مدل‌های غیرخطی که بیشتر قابلیت را در شبیه‌سازی فروریزش سازه‌ها دارا می‌باشند، مدل‌سازی شده است. در مدل‌سازی سازه‌ها از نرم‌افزار OpenSees استفاده شده است. این نرم‌افزار علاوه بر مدل‌سازی انواع مدل‌های رفتاری برای سازه، قابلیت بالایی نیز در مدل‌سازی اندرکنش خاک و سازه به انواع روش‌های مختلف را دارا هست. پس از مدل‌سازی قاب‌ها در محیط OpenSees برای به دست آوردن ظرفیت فروریزش سازه از آنالیز دینامیکی فزاینده توسط یک دسته رکورد و رسم نمودارهای شکنندگی فروریزش سازه برای دو حالت پایه صلب و پایه انعطاف‌پذیر استفاده شده است. بعد از انجام آنالیز دینامیکی فزاینده به محاسبه منحنی‌های احتمالاتی شکنندگی با استفاده از تابع توزیع لوگ نرمال و مقایسه‌ی اثرات اندرکنش خاک و سازه در فروریزش قاب‌های بتنی با تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر در مقابل قاب‌های با تکیه‌گاه صلب پرداخته شده است. نتایج حاصله از این تحلیل‌ها نشان‌دهنده‌ی افزایش احتمال فروریزش برای قاب‌های قرار گرفته بر روی تکیه‌گاه انعطاف‌پذیر در شتاب طیفی یکسان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فروریزش، اندرکنش خاک و سازه، قاب بتنی ویژه، فنر وینکلر، آنالیز دینامیکی فراینده.

Market Code

۱- مقدمه

توجه به موضوع اندرکنش خاک و سازه در تحقیقات، از سال ۱۹۳۰ آغاز شده است. نیاز به طراحی ایمن نیروگاه‌های هسته‌ای را می‌توان انگیزه‌ی اصلی پیشرفت‌های اولیه در این زمینه دانست. در دهه‌ی هشتاد میلادی تحقیقات در رابطه با اثرات اندرکنش بر روی سازه‌ها رواج یافته است ولی سهم آن نسبت به کل تحقیقات مربوط به مهندسی زلزله ناچیز هست. این در حالی است که یک طرح لرزه‌ای بهینه و دقیق برای یک سازه مستلزم در نظر گرفتن اثرات زمین بر پاسخ‌های سازه هست. در حال حاضر، لحاظ کردن اثر ساختگاه از طریق ضرایب خاک در آیین‌نامه‌ها صورت می‌پذیرد. واقعیت این است که چنین ضرایبی هرگز نمی‌تواند اثر اندرکنش خاک و سازه را در یک زمین‌لرزه بیان نماید. بدین ترتیب تخمین واقعی اثرات آن به کمک روند موجود امکان‌پذیر نیست. امروزه با گسترش کاربرد طراحی بر اساس عملکرد ضرورت لحاظ نمودن اثرات اندرکنش پیش از پیش نمایان شده است و نسل جدید آیین‌نامه‌های مبتنی بر عملکرد بر در نظر گرفتن تمامی عوامل تأثیرگذار بر عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها از جمله اندرکنش خاک و سازه تأکید دارند [۱].

به دلیل عدم قطعیت‌ها در ارزیابی عملکرد سازه‌ها، از فرمول‌بندی احتمالاتی جهت ارزیابی عملکرد استفاده می‌شود. البته با پیشرفت در ارزیابی بر اساس سطوح عملکرد و توانایی در پیش‌بینی فروپاشی سازه‌ها این امکان وجود دارد که بین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد و سطح عملکرد سیستم ارتباط برقرار کرده و با توجه به آن به ارزیابی سازه بر اساس سطح عملکرد موردنظر پرداخت. یکی از این عوامل تأثیرگذار بر عملکرد سازه‌ها اثر اندرکنش خاک و سازه هست. پدیده‌ی فوق علت بسیاری از خرابی‌های سازه‌ای در زلزله‌ها بوده است. شاید بتوان مهم‌ترین عامل را در تأیید ضرورت لحاظ نمودن اثرات اندرکنش خاک و سازه در تحلیل

و طراحی سازه‌ها، درس‌های فراگرفته از زلزله‌های اخیر و پیامدهای ناشی از آن دانست. به‌عنوان مثال قسمت عمده‌ای از خرابی‌های زلزله Loma Prieta در سال ۱۹۸۹ مربوط به این پدیده هست [۲].

۱-۱ اثرات کلی اندرکنش خاک و سازه

همان‌طور که اشاره شد در گزارش FEMA P۶۹۵ به بررسی عملکرد خرابی سازه‌های بتنی (قاب خمشی ویژه) بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه پرداخته شده است. در این گزارش هیچ‌گونه راهنمایی مشخصی برای مدل کردن انعطاف پذیری پی و در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک و سازه در ارزیابی عملکرد سازه‌ها ارائه نداشته و در رابطه با موارد ذکر شده کاملاً مسکوت می‌باشد [۱].

اندرکنش خاک و سازه را می‌توان به‌عنوان پدیده‌ای اثرگذار بر روی پاسخ سازه، به دلیل انعطاف پذیری خاک و همچنین پاسخ فونداسیون به دلیل ننگه دارندگی ناشی از حضور سازه دانست. بررسی‌های صورت گرفته در زمینه‌ی اندرکنش خاک و سازه نشان می‌دهد که بسیاری از مطالعات تلاش خود را بر یافتن اثرات موضعی اندرکنش بر فونداسیون سطحی و عمیق متمرکز نموده‌اند و کمتر به جزئیات و چگونگی ظاهر شدن این اثرات در اعضای رو سازه پرداخته‌اند.

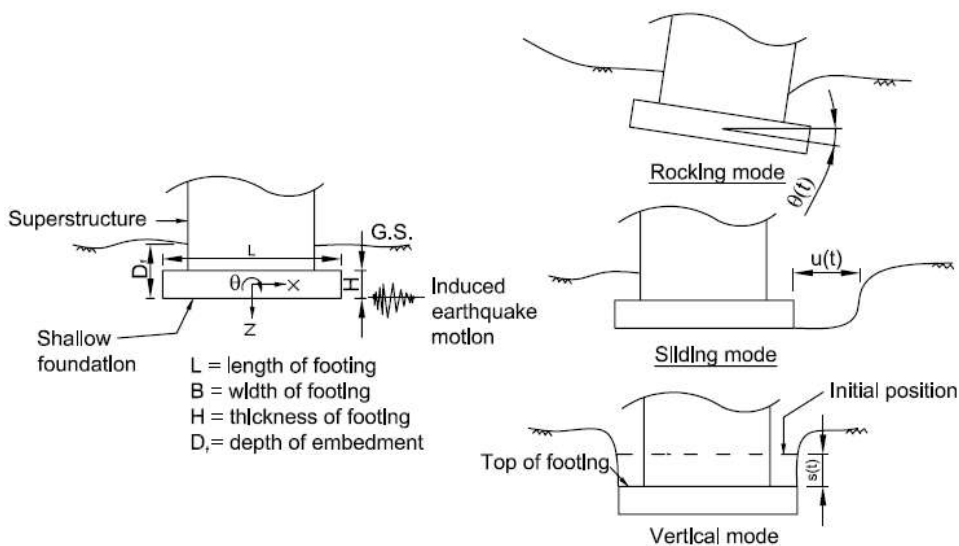
در بررسی اثرات اندرکنش بر رفتار دینامیکی سازه‌ها، می‌توان از دو مورد شناخته شده تر نسبت به آثار دیگر، یعنی افزایش دوره‌ی تناوب سازه و میرایی آن، اشاره کرد. این اثرات سبب ورود روابطی برای تعیین میزان این تغییرات به آیین‌نامه‌ها شده است. همچنین اثرات اندرکنش بر پاسخ سازه‌های سخت بسیار تعیین کننده است، تا جایی که می‌تواند سبب تغییر در توزیع نیروها در این نوع سازه‌ها شود. با توجه به مطالب گفته شده مطالعات محدودی را می‌توان یافت که به بررسی کیفی و کمی اثرات اندرکنش بر روی عملکرد

سازه‌ها اختصاص یافته باشد و نیاز به مطالعه‌ی دقیق‌تر اثرات اندرکنش خاک و سازه بر روی عملکرد سازه‌ها کاملاً احساس می‌شود.

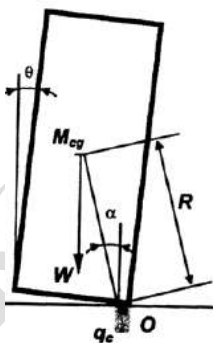
۲-۱ اثرات فونداسیون‌های سطحی بر پاسخ سازه‌ها

فونداسیون‌های سطحی با تحمل حرکات غیر الاستیک لغزشی، نشست و گهواره‌ای در اثر بارهای زلزله توان ایجاد مکانیزم استهلاک کردن انرژی را دارا می‌باشند (شکل ۱). این اتلاف انرژی سبب کاهش نیرو-های وارده به سازه خواهد شد. با این‌که تمام مدهای حرکت فونداسیون پتانسیل اتلاف انرژی را دارند، به صورت خاص مد گهواره‌ای دارای بیشترین اثر را می‌باشد. این موضوع برای اولین بار توسط Housner در سال ۱۹۶۳ با بررسی یک مدل بلوکی صلب دارای حرکت گهواره‌ای همانند شکل ۲ صورت پذیرفت و فرم بسته‌ی معادله‌ی آن برای تخمین کاهش انرژی به دست آمد. از این معادله برای بررسی پایداری سازه‌های صلب در برابر بارهای جانبی استفاده می‌شود [۳].

با توجه به بررسی‌های انجام شده، پیشنهاد داده شد این مقدار حرکت گهواره‌ای فونداسیون‌های سطحی سبب افزایش عملکرد ساختمان‌ها خواهد شد و کاهش نیرو به علت تلفات انرژی حرکت گهواره‌ای فونداسیون می‌تواند سبب کم شدن نسبی آسیب پذیری سازه‌ها شود.



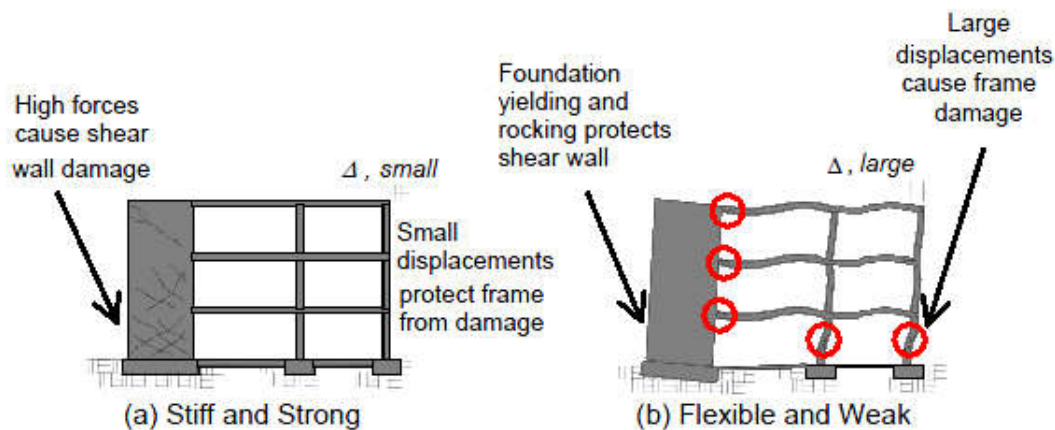
شکل ۱- مدهای متفاوت تغییر شکل فونداسیون [۳].



شکل ۲- مدل بلوکی صلب دارای حرکت گهواره‌ای [۴].

در حالی که تلاش‌های صورت گرفته در رابطه با اتلاف انرژی معطوف به دیوار برشی شده بود، این موضوع‌ها در رابطه با فونداسیون‌های سطحی قاب‌ها و پل‌ها نیز قابل کاربرد می‌باشد. در حال حاضر طراحی مدرن بر مبنای ترکیب سیستم‌های سازه‌ای مختلف قرار دارد و در یک ساختمان امکان به کارگیری چندین سیستم مقاوم لرزه‌ای وجود دارد. به عنوان مثال می‌توان سیستم قاب خمشی به همراه دیوار برشی را نام برد. در این حالت دیوار برشی حساس به بار جانبی و قاب خمشی حساس به جابجایی جانبی می‌باشد.

حرکت گهواره‌ای فونداسیون برای دیوار برشی عموماً سبب کاهش نیروهای جانبی خواهد شد در حالی که همزمان سبب جابجایی در قاب و به خصوص در محل اتصال قاب به دیوار خواهد شد. این جابجایی اضافی سبب افزایش نیروهای وارده به قاب و در نتیجه باعث خسارت در قاب به خصوص در محل اتصال تیر به ستون همانند شکل ۲ خواهد شد. بنابراین نکته‌ی مهم در طراحی برای بهره‌مند شدن از یک فونداسیون انعطاف پذیر، ایجاد توازن بین کاهش نیروی جانبی در دیوار و افزایش جابجایی در قاب می‌باشد. اگر بتوان آثار مثبت و منفی رفتار اندرکنشی خاک، فونداسیون و سازه را نظر گرفت هم طراحی سازه‌های جدید و هم بهسازی سازه‌های موجود تحت تأثیر قرار می‌گیرند. در ادامه به مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه‌ی اندرکنش خاک و سازه و انواع روش‌های مدل سازی آن می‌پردازیم [۳].



شکل ۳- اثر سختی فونداسیون بر روی سازه‌ها بر اساس گزارش ATC-۴۰ [۳].