

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این

پایان‌نامه / رساله متعلق به دانشگاه علم و فرهنگ است.

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – گرایش سازه

اثر ضریب اطمینان بالای ظرفیت باربری خاک، بر پاسخ لرزه‌ای ارتجاعی سازه‌های دارای فونداسیون سطحی

نگارش

فروه آقائی نژاد

استاد راهنما

دکتر حسین جهان خواه

شهریور ۱۳۹۳

تأییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع (فرم ز)

تقدیرم به محنتی بن و اثرها

پدر و مادر عزیزم

ارکاسکافی بهرتم که هر آواز تولد من بهر زندگی زاده مشوم و از دیکری جادو القمادی که سپیدی را بر تپینه زندگیم کاشت لاری که تار موی از اقلی من ریاه نماند.
تمام مرا حال نم نماند بدون دیدن پدر و مادرم بهرتم، که اگر همه آنان زود و دکلیم آلام برداشتن هیچ گامی در زندگی میسر نبود.

ریاسکزاری و قدردانی

مقصد ر عام به قدر کمال رسیدن ارست ز رنگ ترس و تردید، آسان پریدن ارست

در پیج و خرم یان راه سخت شهر وار ر نرج هر زست یار به جان کشیدن ارست

با حنفس، انبه بر جوی جاری زمان جام تلخ صبر مرا به مانع شدن ارست

دقت و شیا از دام و جادو کار بدیع دل و جان به برین چیکران بر مردن ارست

اگر نون که با ارتعاشات از دستگاه احدیت، تحقیق و نگارش این پایلیج به اتمام رسیده است، بر خود واجب می‌دانم که به رسم ادب و علاقه از جناب آقای دکتر جهانخواه برپاس زحمات و تلاش های بی دریغ ایشان که هر لحظه و بهنگامی در خلق و نمو تنی با سخاوت و روحی در تمام مراحل رشوق و پشیمان من بوده نهایت سپاسگاری و قدردانی را داشته باشم. از تمام معینین، اساتید بزرگوار و متواضعانم که بر ارادت، همت و شجاعتی که در تمام این راه پدید آمدند و در تمام این راه با من همگامی کردند و در تمام این راه با من همگامی کردند و در تمام این راه با من همگامی کردند، از محضرشان بهره بردم صریحاً سپاسگزارم این خردترین، بنفشه از زحمات آنان را پیش گوید.

چکیده

در این تحقیق به بررسی تأثیر افتادگی سازه پس از به وقوع پیوستن بر خاستگی شالوده تحت اثر بار زلزله، بر نیاز الاستیک سیستم‌های اندرکنش خاک و سازه پرداخته شده است. به همین منظور تحلیل اثر افتادگی بر روی قابهای فولادی چند درجه آزادی با اعمال کران بالا برای ضریب اطمینان ظرفیت باربری فونداسیون صورت پذیرفته است. شالوده مورد نظر به صورت صلب و سطحی در محیط نیم‌فضا با امکان بلندشدگی و رفتار خطی و غیرخطی خاک در نظر گرفته شده است. پاسخ غیرخطی مدل، در بردارنده رفتار توأم غیرخطی هندسی و المان‌های تماسی بوده تا نمایانگر تصویری نزدیک به واقعیت از بر خاستگی شالوده باشد. مدل سازه‌ای شامل تعدادی قاب الاستیک چند دهانه است که با نمایی دو بعدی ارائه شده و به منظور انعکاس رفتار واقعی سازه سه بعدی، به طور موازی به یکدیگر متصل شده‌اند. جهت انجام تحلیل‌ها از نرم‌افزار اجزا محدود آباکوس استفاده شده است. نیاز ایجاد شده در اثر افتادگی در زوایای مختلف بر خاستگی پیش از واژگونی مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق نتایج این تحقیق می‌توان بیان داشت که پدیده بلندشدگی - افتادگی نه تنها ممکن است موجب افزایش نیروی محوری ستون‌ها گردد، بلکه باعث تشدید نیاز لنگر در دهانه میانی المان‌های تیر شده که این موضوع در مطالعات پیشین کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: اندرکنش خاک و سازه، نیاز الاستیک، افتادگی، بر خاستگی، رفتار خطی و غیرخطی، ضریب اطمینان، اجزای محدود، شالوده.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول - کلیات و پیشینه تحقیق

۲	۱-۱- بیان مسأله، هدف و ضرورت انجام تحقیق.....
۳	۲-۱- ساختار تحقیق.....
۴	۳-۱- پیشینه تحقیق.....
۵	۱-۳-۱- ضرورت مطالعات لرزه‌ای اندرکنش خاک و سازه.....
۵	۲-۳-۱- تحقیقات انجام شده.....
۲۶	۳-۳-۱- جمع‌بندی.....

فصل ۲ - مبانی و تعاریف

۳۰	۱-۲- مقدمه.....
۳۱	۲-۲- اندرکنش خاک و سازه.....
۳۱	۳-۲- اثرات اندرکنش خاک و سازه بر روی پارامترهای سازه.....
۳۵	۴-۲- مولفه‌های مسأله اندرکنش خاک - سازه.....
۳۵	۱-۴-۲- اندرکنش سیستماتیک.....
۳۶	۲-۴-۲- اندرکنش اینرشیال.....
۳۶	۵-۲- روش‌های آنالیز اندرکنش خاک - سازه.....
۳۶	۱-۵-۲- روش مستقیم.....
۳۸	۲-۵-۲- روش زیر سازه.....
۴۰	۲-۶- اندرکنش غیرخطی خاک- سازه.....
۴۱	۱-۶-۲- غیرخطی مصالح.....
۴۲	۲-۶-۲- غیرخطی هندسی.....
۴۳	۷-۲- پارامترهای بی بعد در حوزه اندرکنش خاک و سازه.....
۴۴	۸-۲- جمع‌بندی.....

فصل سوم - مدل سازی

۴۶	۱-۳- مقدمه.....
۴۶	۲-۳- معرفی نرم‌افزار آباکوس.....
۴۶	۳-۳- مدل خاک.....
۴۶	۱-۳-۳- شرح مدل سازی خاک خطی.....
۴۷	۲-۳-۳- مشخصات مصالح.....
۴۸	۳-۳-۳- محاسبه پارامترهای خاک.....
۴۸	۱-۳-۳-۳- محاسبه مدول الاستیسیته.....
۴۸	۲-۳-۳-۳- ضرایب میراگر ویسکوز و ویسکو الاستیک.....
۴۹	۱-۲-۳-۳-۳- محاسبه ضرایب میراگر ویسکوز.....
۵۰	۲-۲-۳-۳-۳- محاسبه ضرایب میراگر ویسکو الاستیک.....

صفحه**عنوان**

۵۱	..... ۴-۳-۳- مدل سازی خاک غیر خطی
۵۲	..... ۴-۳- مدل فونداسیون
۵۲	..... ۱-۴-۳- شرح مدل سازی و فرضیات انجام شده
۵۳	..... ۲-۴-۳- مشخصات مصالح فونداسیون
۵۳	..... ۳-۴-۳- سیستم سه بعدی معادل دوبعدی
۵۳	..... ۱-۳-۴-۳- فونداسیون نواری معادل دایره ای
۵۶	..... ۵-۳- مدل سازه
۵۶	..... ۱-۵-۳- شرح مدل سازی و فرضیات انجام شده
۵۶	..... ۲-۵-۳- مشخصات مصالح
۵۷	..... ۳-۵-۳- مدل سازی در نرم افزار ETABS
۵۷	..... ۱-۳-۵-۳- شرح مدل سازی
۵۷	..... ۱-۱-۳-۵-۳- بار ثقلی
۵۷	..... ۲-۱-۳-۵-۳- بار زلزله
۵۸	..... ۳-۱-۳-۵-۳- کنترل جابجایی نسبی طبقات
۵۹	..... ۴-۱-۳-۵-۳- مقاطع به دست آمده
۶۰	..... ۴-۵-۳- مدل سازی در آباکوس
۶۰	..... ۱-۴-۵-۳- مشخصات مدل سازی و فرضیات انجام شده
۶۰	..... ۲-۴-۵-۳- بستر صلب و بستر انعطاف پذیر
۶۰	..... ۱-۲-۴-۵-۳- شرح مدل
۶۱	..... ۳-۴-۵-۳- نمایش مدل در نرم افزار آباکوس
۶۲	..... ۵-۵-۳- کنترل صحت نتایج در حالت استاتیکی
۶۲	..... ۱-۵-۵-۳- مقایسه مدل بستر صلب با نرم افزار ETABS
۶۳	..... ۲-۵-۵-۳- پارامترهای مورد مقایسه
۶۳	..... ۳-۵-۵-۳- شرح نتایج
۶۶	..... ۶-۳- مرز خاک و سازه
۶۶	..... ۱-۶-۳- مقدمه و شرح مدل
فصل چهارم- تحلیل و تفسیر نتایج	
۷۱	..... ۱-۴- تعیین و نحوه محاسبه ضریب اطمینان استاتیکی
۷۳	..... ۲-۴- بارگذاری
۷۳	..... ۱-۲-۴- بارگذاری ثقلی
۷۴	..... ۱-۱-۲-۴- بارگذاری ثقلی سازه
۷۵	..... ۲-۲-۴- بارگذاری لرزه ای
۷۵	..... ۱-۲-۲-۴- روش تحلیل استاتیکی معادل
۷۶	..... ۱-۱-۲-۲-۴- نحوه محاسبه نیروی برشی پایه (V) و ضریب زلزله (C)

صفحه**عنوان**

۷۹	..... ۲-۱-۲-۲-۴- توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع ساختمان
۸۰	..... ۳-۴- مدل سازه در حالت خاک خطی
۸۱	..... ۱-۳-۴- پارامترهای مورد بررسی
۸۱	..... ۲-۳-۴- تاریخچه زمانی جابجایی قائم پنجه قاب
۸۴	..... ۳-۳-۴- تاریخچه زمانی نیروهای نرمال شده در مقاطع قاب
۹۰	..... ۴-۳-۴- بیشینه لنگر نرمال شده نسبت به حالت بستر صلب
۹۳	..... ۴-۴- مدل سازه در حالت خاک غیرخطی
۹۴	..... ۱-۴-۴- پارامترهای مورد بررسی
۹۴	..... ۱-۴-۴- تاریخچه زمانی جابجایی قائم پنجه قاب
۹۶	..... ۲-۴-۴- تاریخچه زمانی نیروهای نرمال شده در مقاطع قاب
۱۰۲	..... ۳-۴-۴- بیشینه لنگر نرمال شده نسبت به حالت بستر صلب
۱۰۴	..... ۵-۴- نمایش کانتور توزیع تنش در حالت خاک خطی و غیر خطی
۱۰۴	..... ۶-۴- مقایسه نتایج سازه در دو حالت خاک خطی و غیرخطی
۱۰۶	..... ۱-۶-۴- نمودار پوش لنگر در حالت خاک خطی و غیرخطی

فصل پنجم - نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۰۹	..... ۱-۵- جمع‌بندی
۱۱۱	..... ۲-۵- نتایج کلی
۱۱۲	..... ۳-۵- پیشنهادات
۱۱۴	..... منابع و مراجع

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۶	شکل ۱-۱- حرکت گهواره‌های بلوک صلب.....
۱۰	شکل ۲-۱- حالت‌های مختلف تحلیل با فرض صلبیت کف طبقات و میرای به نسبت سختی.....
۱۱	شکل ۳-۱- جایگذاری خاک با فنرهای الاستیک خطی مجزا در روش وینکلر.....
۱۳	شکل ۴-۱- ساختمان چند طبقه قرار گرفته بر دو المان میراگر- فنر.....
۱۵	شکل ۵-۱- منحنی‌های چرخش- خمش محاسبه شده برای $x = 0.2$ (الف) برای Ψ کوچک (ب) برای Ψ بزرگ.....
۱۷	شکل ۶-۱- نمودار دوران سه بلوک با نسبت ظاهری یکسان $H/B=5$ ، تحت تحریک امواج ریکر.....
۱۸	شکل ۷-۱- منحنی چرخش- خمش تحت بار محوری.....
۲۰	شکل ۸-۱- سیستم‌های گهواره‌های (۱) بلوک صلب بر پی صلب (۲) بلوک صلب بر پی الاستیک.....
۲۵	شکل ۹-۱- کاهش برش پایه به سبب اندرکنش مطابق با آیین‌نامه 97-NEHRP.....
۳۰	شکل ۱-۲- مسأله اندرکنش خاک - سازه برای فونداسیون گسترده.....
۳۳	شکل ۲-۲- تغییرات شتاب نسبت به زمان تناوب.....
۳۴	شکل ۳-۲- تغییر مکان جانبی سازه بر اثر حرکات افقی و گهواره‌های پی.....
۳۴	شکل ۴-۲- سهم حرکات افقی و گهواره‌های پی در حرکت جانبی سقف بام سازه.....
۳۷	شکل ۵-۲- مدل اجزا محدود سه‌بعدی خاک سازه با مرزهای ویسکوز.....
۳۹	شکل ۶-۲- نمایش الگووار از روش زیرسازه برای حل مسأله اندرکنش خاک - پی - سازه : (۱) پی صلب یا (۲) پی انعطاف‌پذیر.....
۴۰	شکل ۷-۲- نمایش الگووار از سه مدل مورد استفاده در کاربرد مهندسی برای نمایش واقعی از مسئله اندرکنش خاک - پی - سازه.....
۵۰	شکل ۱-۳- مرز جدید بدون جرم متمرکز برای جذب امواج طولی.....
۵۴	شکل ۲-۳- پی نواری دو بعدی معادل سه‌بعدی.....
۵۷	شکل ۳-۳- مدل سه‌بعدی.....
۵۷	شکل ۴-۳- نمایی از پلان مدل قاب نشان داده شده.....
۶۱	شکل ۵-۳- (الف) بستر انعطاف‌پذیر (ب) بستر صلب.....
۶۱	شکل ۶-۳- مدل آباکوس.....
۶۲	شکل ۷-۳- نحوه مش بندی قاب.....
۶۷	شکل ۸-۳- تحلیل حرکت گهواره‌های برای هر سه نوع سیستم سازه‌ای.....
۶۸	شکل ۹-۳- دوران بلوک.....
۷۳	شکل ۱-۴- (الف) فاز یک (استاتیکی)، (ب) فاز دو (برخاستگی)، (پ) فاز سه (افتادگی).....
۷۹	شکل ۲-۴- نمایی از سازه نحوه توزیع نیرو در ارتفاع.....
۸۳	شکل ۳-۴- تاریخچه زمانی جابجایی قائم گره پنجه در زوایای مختلف برخاستگی: (الف) ۳۰ (ب) ۲۴ (ج) ۱۸ (د) ۱۲ (و) ۶.....
۸۵	شکل ۴-۴- نمودارهای نیروهای محوری نرمال شده ستون در زوایای مختلف برخاستگی.....
۸۶	شکل ۵-۴- نمودارهای نیروهای برشی نرمال شده ستون در زوایای مختلف برخاستگی.....

عنوان

صفحه

۸۷	شکل ۴-۶- نمودارهای لنگر خمشی نرمال شده ستون در زوایای مختلف بر خاستگی.....
۸۸	شکل ۴-۷- نمودارهای نیروی برشی نرمال شده تیر در زوایای مختلف بر خاستگی.....
۸۹	شکل ۴-۸- نمودارهای لنگر خمشی نرمال شده تیر در زوایای مختلف بر خاستگی.....
۹۰	شکل ۴-۹- نمایی از شماره گذاری قاب.....
۹۱	شکل ۴-۱۰- نمودار بیشینه لنگر نرمال شده در ستون‌ها به ازای زوایای مختلف بر خاستگی.....
۹۲	شکل ۴-۱۱- نمودار بیشینه لنگر نرمال شده در تیرها به ازای زوایای مختلف بر خاستگی.....
۹۵	شکل ۴-۱۲- تاریخچه زمانی جابجایی قائم گره پنجه برای زوایای : الف - ۳۰ درجه. ب- ۲۴ درجه ج- ۱۸ درجه د- ۱۲ درجه و- ۶ درجه
۹۷	شکل ۴-۱۳- نیروی محوری نرمال شده ستون در زوایای مختلف بر خاستگی.....
۹۸	شکل ۴-۱۴- نیروی برشی نرمال شده ستون در زوایای مختلف بر خاستگی
۹۹	شکل ۴-۱۵- لنگر خمشی نرمال شده ستون در زوایای مختلف بر خاستگی.....
۱۰۰	شکل ۴-۱۶- نیروی برشی نرمال شده تیر در زوایای مختلف بر خاستگی.....
۱۰۱	شکل ۴-۱۷- لنگر خمشی نرمال شده تیر در زوایای مختلف بر خاستگی
۱۰۲	شکل ۴-۱۸- نمودار بیشینه لنگر نرمال شده تیرها.....
۱۰۳	شکل ۴-۱۹- نمودار بیشینه لنگر نرمال شده ستون‌ها.....
۱۰۴	شکل ۴-۲۰- نمایش توزیع تنش در آستانه افتادگی : الف) خاک خطی ب) خاک غیر خطی
۱۰۵	شکل ۴-۲۱- نمودار پوش لنگر تیر : الف) خاک خطی. ب) خاک غیر خطی.....
۱۰۶	شکل ۴-۲۲- تاریخچه زمانی نیروی برشی، محوری و لنگر خمشی نرمال شده در ستون در دو حالت خاک خطی و غیر خطی.....
۱۰۷	شکل ۴-۲۳- نمودار پوش لنگر تیر : الف) خاک خطی. ب) خاک غیر خطی.....

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۴۸	جدول ۳-۱- مشخصات مصالح مورد استفاده در خاک خطی و غیرخطی.....
۵۸	جدول ۳-۲- مشخصات خاک و سازه.....
۵۸	جدول ۳-۳- پارامترهای لرزه‌ای.....
۵۹	جدول ۳-۴- کنترل جابجایی طبقات.....
۵۹	جدول ۳-۵- معرفی مقاطع قاب.....
۶۰	جدول ۳-۶- مشخصات مصالح مصرفی.....
۶۴	جدول ۳-۷- مقایسه مقادیر نیرو در ایتبس و آباکوس (قاب ۱ و ۴).....
۶۵	جدول ۳-۸- مقایسه مقادیر نیرو در ایتبس و آباکوس (قاب ۲ و ۳).....
۷۶	جدول ۴-۱- نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق با لرزه‌خیزی مختلف.....
۷۷	جدول ۴-۲- نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق با لرزه‌خیزی مختلف.....
۷۷	جدول ۴-۳- پارامترهای لرزه‌ای.....
۷۸	جدول ۴-۴- وزن‌ها در سازه.....
۷۹	جدول ۴-۵- نیروی برشی (V).....
۸۰	جدول ۴-۶- مقادیر نیروهای زلزله.....

فصل اول (۱)

کلیات و پیشینه

تحقیق

۱-۱- بیان مسأله، هدف و ضرورت انجام تحقیق

در طراحی‌ها عموماً سعی بر این است که در فونداسیون کشش ایجاد نشود و ابعاد آن به گونه‌ای طراحی می‌شود که اگر سیستم باربری سازه قوی‌تر طراحی شود، سبب می‌گردد که فونداسیون تحت بار جانبی به کشش بیفتد. بنابراین ممکن است نیروی تسلیم از نیروی برخواستگی بیشتر شود و برخواستگی فونداسیون اتفاق می‌افتد. سازه‌های بلوک صنعتی و پتروشیمی بصورت قوطی‌هایی هستند که در درون خود قاب‌های باربر با عملکرد صلبی دارند که پدیده برخواستگی تحت اثر بار زلزله در این سازه‌ها مورد توجه می‌باشد. مطابق تحقیقات گذشته پدیده برخواستگی پاسخ لرزه‌ای سازه را تغییر داده و با کاهش در صلبیت سازه منجر به افزایش پیرو و کاهش نیروی برش پایه می‌شود که اثر آن در سازه‌های قرار گرفته بر خاک نرم بیشتر و در نتیجه عملکرد مثبتی در کاهش آسیب‌های وارد بر سازه دارد [۱]. اگرچه اثرات برخواستگی در حوزه وسیعی از تحقیقات مورد توجه قرار گرفته، اما به بررسی اثر توالی برخواستگی- افتادگی سازه کمتر پرداخته شده است. همچنین تاکنون اثرات بلندشدگی- افتادگی تنها در ستون‌ها مد نظر محققین بوده و در تیرها به صورت جامع پرداخته نشده است. مطابق با آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) با توزیع مثلثی نیروی جانبی زلزله در روش استاتیکی معادل، در ارتفاع قاب‌های خمشی، لنگر در دهانه میانی تیرها اندک بوده و با اعمال بار جانبی زلزله تغییری در آن حاصل نمی‌گردد. این در حالی است که فرآیند افتادگی باعث تشدید نیاز لنگر در وسط تیرها شده که خود نیاز به بررسی اثرات افتادگی بیش از پیش نمایان می‌سازد. از این‌رو در تحقیق حاضر تنها اثر برخواستگی- افتادگی با احتساب رفتار غیرخطی هندسی و المان‌های تماسی دیده خواهد شد. رفتار سازه خطی و برای رفتار خاک دو حالت خطی و غیرخطی در نظر گرفته می‌شود. برآورد نیاز لرزه‌ای ارتجاعی حتی در حالتی که تحریک لرزه‌ای سازه را وارد حوزه غیرخطی می‌نماید، از جهت طراحی اهمیت بسیاری پیدا می‌کند. چراکه مبنای محاسبات لرزه‌ای ضریب کاهش مقاومت می‌باشد که در محاسبه آن هر دو بخش نیازهای ارتجاعی و غیر ارتجاعی مورد نیاز است.

در طول چند دهه اخیر در اکثر تحقیقات در زمینه اندرکنش خاک و سازه، رفتار خاک خطی یا معادل خطی در نظر گرفته شده است. اثر رفتار غیرخطی فونداسیون - بستر، بسته به ضریب اطمینان مورد استفاده در تعیین ابعاد پی جهت کنترل ظرفیت باربری بستر، متفاوت است. در این تحقیق رفتار غیر خطی فونداسیون - بستر با فرض ضریب اطمینان بالا برای ظرفیت باربری فونداسیون قرار گرفته است. در این حالت، افزایش بار جانبی می-تواند منجر به برخاستگی فونداسیون شود. همچنین سیستم خاک-پی - سازه به روش مستقیم با استفاده از نرم افزار اجزا محدود آباکوس به صورت دوبعدی تحت تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی قرار گرفته است. برای این منظور با توجه به توزیع مثلثی نیروی جانبی پیشنهادی آیین نامه ۲۸۰۰، سیستم خاک - فونداسیون - سازه در هر دو حالت تحت اثر نیروی زلزله در تراز طبقات قرار گرفته و تا آستانه واژگونی برخاسته و سپس رها می گردد. نیاز لرزه‌ای حاصل از فرآیند فوق نسبت به نیاز تحلیل ثقلی لرزه‌ای بستر صلب، نرمال شده و نمایش داده می-شود. تحلیل ثقلی - لرزه‌ای که مبنای مقیاس سازی قرار گرفته است تحت بارهای توام ثقلی و نیروهای لرزه‌ای پیشنهادی آیین نامه ۲۸۰۰ در حالت ارتجاعی بدون اعمال ضریب کاهش مقاومت بوده و بستر سازه در آن صلب فرض می شود. از نکات دیگری که در این حوزه کمتر مورد توجه قرار گرفته است، بررسی این اثر در تحقیقات گذشته عموماً قالب شاخص‌های عمومی مانند برش پایه و جابجایی بام صورت گرفته و شاخص‌های موضعی مانند لنگر در تیرهای نیروی محوری ستون کمتر مورد توجه بوده است. از این رو در نظر است منحصراً اثرات اندرکنش غیرخطی بستر - فونداسیون بر پاسخ لرزه‌ای ارتجاعی سازه‌ها در حالت وجود بستری با ضریب اطمینان طرح بالا، و با تمرکز بر شاخص‌های موضعی مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲-۱- ساختار تحقیق

در این بخش به معرفی مطالعات و مراحل که در فصل‌های مختلف پایان نامه انجام شده است، پرداخته می شود. در فصل اول به معرفی موضوع تحقیق، اهداف و ضرورت آن پرداخته و پیشینه تحقیق و مطالعات انجام شده در

این حوزه ارائه می‌گردد. در فصل دوم به مبانی و مروری بر مفاهیم کاربردی اندرکنش خاک و سازه پرداخته می‌شود. فصل سوم به سه بخش مدل‌سازی خاک، فونداسیون و سازه تقسیم می‌شود. در بخش مدل‌سازی خاک، به معرفی پارامترهای مورد نیاز خاک خطی و غیرخطی پرداخته و همچنین نحوه محاسبه ضرایب میراگرهای ویسکوز و ویسکو الاستیک توضیح داده شده است. همچنین به الگوی مدل رفتاری خاک غیرخطی با استفاده از نتایج کالیبره شده محققین پرداخته می‌شود. در بخش مدل‌سازی فونداسیون، تبدیل مدل سه‌بعدی به دوبعدی معادل شرح داده می‌شود و فونداسیون دایره‌ای به نواری معادل می‌گردد. در بخش مدل‌سازی سازه، به دو قسمت مدل‌سازی در نرم‌افزار ایتبس و آباکوس پرداخته شده و در نهایت صحت‌سنجی مدل استاتیکی ساخته شده در آباکوس با مقایسه با مدل ایتبس صورت می‌گیرد. در انتهای فصل به معرفی سطح تماس خاک و سازه با قابلیت برخاستگی بدن لغزش پرداخته می‌شود. فصل چهارم به چند بخش تقسیم می‌شود. در بخش اول به معرفی و تعیین ضریب اطمینان استاتیکی پرداخته شده است. در بخش دوم روش‌های بارگذاری انجام شده در تحلیل و نحوه محاسبه آن توضیح داده شده است. در بخش سوم نتایج تحلیل تاریخچه زمانی مدل سازه در حالت خاک خطی و غیرخطی ارائه گردیده است. پاسخ سازه با توجه به پارامترهای نیروی محوری، برشی و لنگر خمشی در مقاطع تیر و ستون مورد بررسی قرار می‌گیرد و پارامترها نسبت به مدل استاتیکی در بستر صلب نرمال شده و تغییرات نیاز سازه بررسی می‌شود. در انتها نتایج مدل خطی و غیرخطی مقایسه می‌گردد. نهایتاً در فصل پنجم جمع‌بندی و خلاصه نتایج و پیشنهادات ارائه می‌گردد.

۱-۳- پیشینه تحقیق

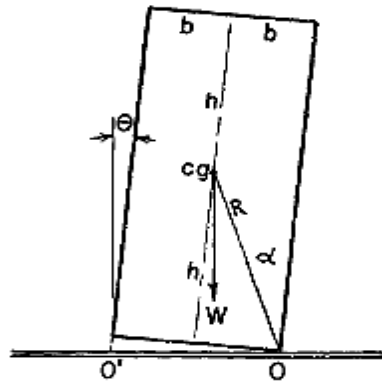
۱-۳-۱- ضرورت مطالعات لرزه‌ای اندرکنش خاک و سازه

هنگامی که صحبت از خرابی زلزله می‌شود، نمی‌توان نقش خاک را نادیده گرفت. برای اولین بار پروفسور وود در سال ۱۹۸۰ پس از زلزله مخرب سانفرانسیسکو (۱۹۰۶) نتیجه مطالعات خود را این‌گونه بیان کرد: "تحقیقات نشان می‌دهد که خسارت وارد بر ساختمان‌ها در ۱۸ آوریل، در نقاط مختلف منطقه، ارتباط عمیقی با مشخصات خاک محل دارد". در رکوردهایی که در زلزله ۱۹۵۷ سانفرانسیسکو ثبت گردید این صحبت وود مورد تأیید قرار گرفت. مدت‌ها حذف اثرات اندرکنش خاک و سازه از نگاه مهندسان در جهت اطمینان بیان می‌شد ولی با افزایش مقیاس پروژه‌ها و افزایش قیمت آن به دلیل ضرایب اطمینان از یک رو و مطالعات دقیق‌تر و رد فرضیه فوق از طرف دیگر، مطالعات اندرکنش از اهمیت بیشتری در علم مهندسی زلزله برخوردار شد. از دهه‌ی ۱۹۷۰ تاکنون گام‌های زیادی جهت حل دقیق مسئله اندرکنش خاک و سازه برداشته شده است اهمیت این موضوع بر همگان مشخص گردیده است. امروزه تأثیر اندرکنش خاک و سازه در آیین‌نامه‌های کشورهای مختلف دیده می‌شود. در ادامه به تحقیقات صورت گرفته توسط محققین پرداخته می‌شود.

۱-۳-۲- تحقیقات انجام شده

۱. هازنر [۲]

هازنر در سال ۱۹۶۳ برای اولین بار مطالعات تئوریک خود را بر حرکت گهواره‌ای سازه‌های پاندولی وارونه انجام داد. برای این منظور یک بلوک صلب که حول مرکز دوران خود حرکت گهواره‌ای دارد، در نظر گرفته و با فرض ضریب اصطکاک بزرگ بین بلوک و تکیه‌گاه از لغزش آن جلوگیری می‌شود. شکل (۱-۱) بلوک صلب را که حول نقطه O حرکت گهواره‌ای دارد نشان می‌دهد.



شکل (۱-۱). حرکت گهواره‌ای بلوک صلب [۲]

در طول حرکت گهواره‌ای واقعی بلوک، زمانی که بلوک در تکیه‌گاه ضربه می‌بیند، پخش انرژی وجود دارد. بنابراین در طول هر نیم‌سیکل، کاهش در انرژی ارتعاش وجود دارد. پریود هر نیم‌سیکل طولانی‌تر از ماقبل آن است. کاهش در انرژی جنبشی در طول ضربه با رابطه (۱-۱) بین سرعت قبل ضربه و بعد ضربه مشخص شده است: $\theta^{\circ 1}$ سرعت دورانی بلوک قبل از ضربه و برخورد به زمین، $\theta^{\circ 2}$ سرعت زاویه‌ای بلوک بعد از ضربه می‌باشد.

$$r = \left(\frac{\theta^{\circ 1}}{\theta^{\circ 2}} \right)^2 \quad (1-1)$$

هازنر واژگونی بلوک را تحت سه حالت شتاب ثابت، سینوسی و تحریک زلزله، با تحلیل معادلات حرکت بلوک مورد بررسی قرار داده است. رابطه (۲-۱) معادله حرکت کلی بلوک تحت شتاب ثابت را نشان می‌دهد:

$$I\theta - WR\theta = WR\left(\frac{\alpha}{g}\right) - WR\alpha \quad \text{شتاب ثابت} \quad (2-1)$$

که در رابطه (۲-۱)، وزن بلوک، $R = \sqrt{h^2 + b^2}$ و زاویه برخاستگی بلوک نسبت به محور قائم.

مطابق با رابطه بالا اگر نسبت شتاب بی‌بعد بزرگتر از زاویه بلوک باشد $\frac{\alpha}{g} > \alpha$ (شتاب ثابت و g شتاب گرانشی) و شتاب در طول کافی زمان اعمال شود، بلوک واژگون خواهد شد. این تحلیل برای حرکات زمین‌لرزه واقعی

نیست. چون در این تحلیل شتاب‌های ثابت زمین با طول محدود با یک سرعت ثابت فرض شده است. همچنین این محقق در حالتی دیگر تحت پالس شتاب و امواج نیم‌سینوسی معادله حداقل شتاب مورد نیاز برای واژگونی یک بلوک توسط پالس‌های منفرد را طبق رابطه (۳-۱) به دست آورده است:

$$\left(\frac{\alpha}{g\alpha}\right) = \sqrt{\left[1 + \left(\frac{\omega}{p}\right)\right]^2} \quad (3-1)$$

که در رابطه بالا $P^2 = WR/I_0$ می‌باشد.

با وجود این معادلات در شتاب‌های کوچک‌تر مشخص شده است که بلوک حرکت گهواره‌ای داشته ولی واژگون نمی‌شود. احتمال واژگونی بلوک با شتاب‌های کوچک‌تر زمانی وجود دارد که شماری از پالس‌ها به‌طور موفقیت آمیز عمل کنند.

بررسی‌های هازنر نشان داد که رفتار گهواره‌ای بلوک در معرض یک‌سری از پالس‌های تصادفی با سازه‌های الاستیک خطی با ضرباتی که متمایل به انرژی بالای ارتعاش و دامنه حرکت می‌باشند مشابه است. همچنین تحلیل ارتعاشات آزاد نشان داد که انرژی بلوک به فرکانس و دامنه بالای حرکت گهواره‌ای بستگی دارد. به علاوه اگر دامنه بلوک از مقدار محدود مجاز تجاوز کند، بلوک واژگون خواهد شد. و در نهایت پس از انجام تحلیل‌ها هازنر به نتایج کلی زیر دست یافته است:

۱. در تحلیل نوسان آزاد گهواره‌ای بلوک، پیوند حرکت گهواره‌ای و افت انرژی، پارامترهای مهمی می‌باشند.

۲. در مقایسه ۲ بلوک از نظر هندسی مشابه، بلوک بزرگتر پایدارتر از بلوک کوچکتر است.

۳. پایداری بلوک لاغر بلند در معرض تحریک زلزله، بیشتر از پایداری آن در برابر نیروی افقی ثابت است.

۲. سایچاریس [۳]

سایچاریس در سال ۱۹۹۱، اثر برخاستگی تکیه‌گاه بر پاسخ دینامیکی سازه‌های یک درجه آزادی را مورد بررسی قرار داد. بررسی پارامتریک برای حالت پی صلب و تحریک هارمونیک نشان می‌دهد که حداکثر تغییرشکل تحت تأثیر نسبت پریود سازه به پریود تحریک قرار می‌گیرد درحالی که اثرات دامنه تحریک، لاغری سازه و میرایی آن کمتر است. در واقع نسبت پریود سازه به پریود تحریک تعیین می‌کند که آیا برخاستگی باعث حداکثر تغییرشکل بزرگتر یا کوچکتر در مقایسه با سازه پایه ثابت می‌شود؟ بر این اساس روابط تجربی برای برآورد حداکثر پاسخ ارائه شده است و با استفاده از این روابط و طیف پاسخ برای سیستم پایه ثابت روش تقریبی برای تخمین حداکثر تغییرشکل زلزله با برخاستگی پایه پیشنهاد شده و نتایج زیر حاصل شده است:

۱. برای نسبت پریود سازه به پریود تحریک (T/T_0) نزدیک به ۱، برخاستگی برای سازه مفید است، ماکزیمم تغییرشکل به مقدار حداقلی می‌رسد.

۲. برای نسبت $T/T_0 < 1$ و $T/T_0 > 3$ برخاستگی منجر به ماکزیمم جابجایی بیشتری می‌شود. در مقابل، شدت تحریک، لاغری، سختی یا انعطاف‌پذیری سازه دارای اهمیت چندانی نیست.

۳. میرایی سازه منجر به کاهش حداکثر تغییرشکل می‌شود. درحالی که زاویه چرخش افزایش می‌یابد.

۴. برای پی‌های الاستیک تحت تحریک هارمونیک، اثر انعطاف‌پذیری بستر بر حداکثر تغییرشکل به جز برای خاک‌های خیلی نرم زیاد نیست. در چنین مواردی برخاستگی ممکن است منجر به جابجایی کوچکتر یا بزرگتر شود که آن هم بستگی به مقدار نسبت T/T_0 دارد.

بر اساس نتایج بررسی‌های پارامتریک و روابط تجربی، حداکثر تغییرشکل در حین برخاستگی سیستم برآورد شده است. اگرچه روابط برای تحریک هارمونیک نتیجه گرفته شده است ولی به عنوان یک روش، فرمول‌هایی