بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان‌نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش سازه

بهینه‌یابی موقعیت شمع‌ها در شالوده نواری دو طرفه با توجه به سطح عملکردی سازه

استاد راهنما :

دکتر عیسی سلاجقه

مؤلف :

نیما فرهادی

شهریورماه ۱۳۸۸

تقدیم به :

پدر و مادرم، آنهایی که با عطوفت و مهر خود و با رنج کشیدن بسیار، ناهمواری‌های روزگار را برای من هموار ساخته‌اند و همواره پشتیبان من بوده‌اند و به خواهر عزیزم و تقدیم به تمامی بندگان صالح خدا

تشکر و قدردانی :

به نام او که اولین آموزنده است.

ستایش خداوند مهربان را که به انسان آموخت آنچه را که نمی‌دانست (خدایا ما هیچ نمی‌دانیم، جز آنچه که تو به ما آموخته‌ای. سوره بقره، آیه ۳۲). درود بر پیامبران الهی که معلمان بزرگ بشریتند و امر تزکیه و تعلیم را در طول تاریخ بر عهده داشته‌اند و سپاس معلمین بزرگوار و اساتید ارجمند را که چراغ علم و معرفت فرا رویم افروخته و با تلاشی عاشقانه و خستگی ناپذیر، دریچه‌های باغ دانش را به رویم گشودند. خاضعانه در برابر یکایک آنها سرتعظیم فرود می‌آورم و بر دست‌های توانمندشان بوسه می‌زنم. در این‌جا بر خود واجب می‌دانم که از رهنمودهای ارزشمند و زحمات استاد ارجمندم جناب آقای پروفسور عیسی سلاجقه که در انجام این تحقیق به عنوان استاد راهنما روشنگر راهم بوده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. از درگاه پروردگار مهربان برای ایشان طول عمر همراه با سرافرازی و سربلندی آرزو می‌نمایم. همچنین از آقایان دکتر محمد جواد فدایی و دکتر سید مرتضی مرندی که زحمت داوری پایان‌نامه اینجانب را متحمل شدند، کمال تشکر را دارم.

در پایان از دوستان خوبم آقایان: حامد فرهادی، محسن خطیبی نیا، مهدی ملا زاده، میثم ترکمان زاده، عماد جواد زاده، حامد محمودیان، سید روح الله محمدی، سعید علیزاده و سید مصطفی شارع که همیشه همراه و یار من بوده‌اند کمال تشکر را دارم.

چکیده :

به جهت نقص آیین‌نامه‌های رایج، از نظر پیش‌بینی عملکرد سازه‌ها در برابر زلزله، در چند سال اخیر روش طراحی بر اساس عملکرد مورد توجه پژوهشگران و آیین‌نامه‌های جدید قرار گرفته است. هدف از طراحی بر اساس عملکرد این است که بتوان سازه‌ای ساخت که عملکرد آن در مقابل زلزله‌های مختلف قابل پیش‌بینی باشد و بتوان عملکرد مورد نظر را بسته به هدف سازه انتخاب نمود. تحلیل بار افزون در مقایسه با تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی، دارای دقت مناسبی می‌باشد.

در طراحی شالوده‌های نواری به همراه شمع، تخمین مناسب و کنترل نشست، به ویژه نشست نسبی دارای اهمیت می‌باشد. در طراحی یک شالوده همراه با شمع، معمولا محل شمع‌ها بر مبنای قضاوت مهندسی تعیین می‌شود. مدل‌هایی نیز برای چیدمان شمع‌ها به‌منظور به‌حداقل رساندن نشست‌های نسبی پیشنهاد شده‌اند. در این مدل‌ها، تمامی عوامل تاثیرگذار به‌طور همزمان در نظرگرفته نشده‌اند و به همین دلیل، در استفاده از آن‌ها محدودیت‌هایی وجود دارد.

در این پایان‌نامه، بهینه‌یابی موقعیت شمع‌ها در زیر شالوده نواری دو طرفه مطابق با ضوابط طراحی بر اساس عملکرد سازه بررسی شده است. برای این منظور، ابتدا عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی سازه مطابق عملکرد سازه تعیین می‌شود و سپس با اعمال این عکس‌العمل‌ها بر روی شالوده و با استفاده از الگوریتم جامعه پرندگان، نشست نسبی شالوده حداقل می‌شود.

کلید واژه: عملکرد، شمع، بهینه‌یابی، موقعیت، جامعه پرندگان

فهرست مطالب:

فصل اول: کلیات تحقیق ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- روش تحقیق ۴

۱-۳- ساختار پایان‌نامه ۴

فصل دوم: روش طراحی بر اساس سطوح عملکرد ۵

۲-۱- مفاهیم طراحی بر اساس سطوح عملکرد ۶

۲-۱-۱- مقدمه ۶

۲-۱-۲- نواقص روش طراحی لرزه‌ای آیین‌نامه‌های فعلی ۷

۲-۱-۳- اهداف و سطوح عملکرد ۹

۲ -۱-۳-۱- اهداف بهسازی ۹

۲-۱-۳-۲- سطوح عملکرد ساختمان ۱۰

۲-۱-٤- تحلیل خطر زلزله و طیف طراحی ۱۲

۲-۱-٤-۱- طیف طرح استاندارد ۱۲

۲-۲- تحلیل استاتیکی غیر خطی ۱۳

۲-۲-۱- مزایای تحلیل استاتیکی غیرخطی ۱٤

۲-۲-۲- محدودیت‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی ۱٤

۲-۲-۳- روش‌های تعیین تغییر مکان هدف یا نقطه عملکرد ۱۵

۲-۲-٤- روش طیف ظرفیت ۱۵

۲-۲-٤-۱- بدست آوردن منحنی ظرفیت ۱٦

۲-۲-٤-۲- الگوی بارگذاری ۱٦

۲-۲-٤-۳- تعریف مفاصل پلاستیک ۱۷

۲-۲-۴-۴- تبدیل منحنی ظرفیت به فرمت ADRS ۱۸

۲-۲-٤-۵- تعیین نقطه عملکرد طبق دستورالعمل ATC-40 ..... ۲۰

فصل سوم: معرفی سیستم شالوده گسترده همراه باشمع ۲۱

۳-۱- مقدمه ۲۲
۳-۲- مکانیزم انتقال بار توسط شالوده‌های عمیق ۲۳
۳-۳- استراتژی بکارگیری شالوده های عمیق ۲۴
۳-۴- تعیین توان باربری ژئوتکنیکی شمع‌ها ۲۵
۳-۵- تحلیل استاتیکی جهت تعیین توان باربری شمع ۲۷
۳-۵-۱- تعیین مقاومت واحد کف (r_t) ۲۷
۳-۵-۲- تعیین مقاومت واحد جداری (r_s) ۲۸
۳-۶- استفاده از روش‌های توصیه شده آیین‌نامه‌ای ۳۱
۳-۶-۱- روش متحد در تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها ۳۱
۳-۶-۲- روش API در تعیین توان باربری شمع‌ها ۳۱
۳-۶-۲-۱- خاک‌های چسبنده ۳۱
۳-۶-۲- خاک‌های اصطکاکی ۳۲
۳-۷- شمع تحت بار کششی ۳۴
۳-۸- شمع تحت بار جانبی ۳۶
۳-۸-۱- کلیات ۳۶
۳-۸-۲- بررسی رفتار و عملکرد شمع‌ها تحت بار جانبی ۳۷
۳-۸-۳- روش‌های ارزیابی ظرفیت باربری جانبی شمع ۳۹
۳-۸-۳-۱- آزمایش بارگذاری جانبی شمع ۴۰
۳-۸-۳-۲- تعیین توان باربری جانبی به روش صلب ۴۰
۳-۸-۳-۲-۱- روش تحلیل عمق گیرداری ۴۰
۳-۸-۳-۲-۲- روش استفاده از نتایج پرسیومتر PMT ۴۱
۳-۸-۴- تحلیل اندرکنش خاک و شمع به روش غیر صلب ۴۲
۳-۸-۵- روش غیر صلب Evan and Duncan (1982) ۴۲

۳-۹- سیستم شالوده گسترده همراه با شمع ۴۳
۳-۹-۱- معرفی ۴۳
۳-۹-۲- مفاهیم کلی طراحی ۴۴
۳-۹-۲-۱- ملاحظات طراحی ۴۴
۳-۹-۲-۲- روش‌های مختلف طراحی ۴۶
۳-۹-۲-۲-۱- روش سنتی ۴۶
۳-۹-۲-۲-۲- روش شمع خزشی ۴۶
۳-۹-۲-۲-۳- روش کنترل نشست غیر یکنواخت ۴۷
۳-۹-۲-۳- موارد مهم در طراحی شالوده گسترده همراه با گروه شمع ۴۸
۳-۹-۲-۴- روند طراحی ۴۹
۳-۱۰- مرحله اولیه طراحی ۵۰
۳-۱۰-۱- برآورد مقاومت ژئوتکنیکی سیستم ۵۰
۳-۱۰-۱-۱- بارهای قائم ۵۰
۳-۱۰-۱-۲- بارهای جانبی ۵۰
۳-۱۰-۱-۳- ممان‌های خمشی ۵۱
۳-۱۰-۲- بررسی رفتار بار- نشست شالوده گسترده به همراه گروه شمع ۵۲
۳-۱۰-۲-۱- نشست آنی و نشست نهایی ۵۶
۳-۱۰-۲-۲- نشست‌های غیر یکنواخت ۵۷
۳-۱۰-۳- نشست مجاز ۵۷
۳-۱۰-۴- برآورد نیروهای وارد بر شمع‌ها ۵۹
۳-۱۱- روش‌های تحلیل سیستم‌های رادیه- شمع ۶۰
۳-۱۱-۱- روش تیر بر بستر الاستیک (فنری) ۶۰
۳-۱۱-۲- روش‌های صفحه بر بستر الاستیک ۶۱
۳-۱۱-۳- روش المان‌های مرزی ۶۲
فصل چهارم: مدل‌سازی در نرم‌افزار OpenSees ۶۳
۴-۱- معرفی نرم‌افزار OpenSees ۶۴

۴-۱-۱- بررسی چگونگی تحلیل در نرم‌افزار OpenSees..... ۶۵
۴-۱-۲- امکانات نرم‌افزارOpenSees..... ۶۵
۴-۱-۳- انواع رفتار مصالح..... ۶۶
۴-۱-۴- انواع خروجی‌ها در نرم‌افزار OpenSees ۶۷
۴-۲- مدل‌سازی اندرکنش شمع- خاک..... ۶۷
فصل پنجم: آشنایی با مفاهیم الگوریتم بهینه سازی PSO ۸۷
۵-۱- مقدمه..... ۸۸
۵-۲- تاریخچه الگوریتم جامعه پرندگان..... ۸۸
۵-۳- مطالعه رفتار پرندگان و ایده اولیه PSO..... ۸۹
۵-٤- الگوریتم PSO..... ۸۹
۵-۵- مزیت‌های PSO در قیاس با سایر الگوریتم‌های جستجو..... ۹۱
۵-٦- کاربردهای PSO..... ۹۲
فصل ششم: مثال‌های عددی..... ۹٤
۶-۱- کلیات..... ۹۵
۶-۲- مثال اول..... ۹۵
۶-۳- مثال دوم..... ۹۷
٦-٤- مثال سوم..... ۹۹
٦-٤-۱- بررسی عملکرد سازه..... ۱۰۳
فصل هفتم: نتایج و پیشنهادها..... ۱۱۵
۷-۱- نتایج..... ۱۱٦
۷-۲- پیشنهادها..... ۱۱٦
منابع..... ۱۱۷

فهرست جداول:

جدول (۳-۱) پارامترهای طراحی برای خاک‌های اصطکاکی سیلیسی (API).....۳۳
جدول (۳-۲) مقادیر ε_{50} جهت طراحی شمع تحت بار جانبی.....۴۳
جدول (۳-۴) حداکثر نشست مجاز.....۵۸
جدول (۳-۵) حداکثر شیب مجاز دو نقطه مجاور هم.....۵۸
جدول (۴-۱) مقادیر پیشنهادی برای مدول الاستیسیته رس.....۶۹
جدول (۴-۲) مقادیر پیشنهادی برای ضریب n_h.....۶۹
جدول (۴-۳) مقادیر پیشنهادی برای δ در خاک‌های غیرچسبنده مختلف.....۷۸
جدول (۴-۴) اطلاعات مورد نیاز برای به‌دست آوردن z_{50} در منحنی‌های t-z.....۸۰
جدول (۴-۵) اطلاعات مورد نیاز برای به‌دست آوردن q_{50} در منحنی‌های q-z.....۸۰
جدول (۶-۱) حالات مختلف بارهای جانبی اعمال شده به سازه مورد بررسی.....۱۰۵

فهرست شکل‌ها:

شکل(۲-۱) منحنی برش پایه – تغییر مکان حاصل از تحلیل پوش‌آور.....۱۶
شکل (۲-۲) مفصل پلاستیک تیپ معرفی شده در دستورالعمل بهسازی.....۱۸
شکل (۲-۳) طیف پاسخ در فرمت‌های عادی.....۱۹
شکل(۲-٤) تقاطع طیف نیاز و ظرفیت.....۲۰
شکل (۳-۱) مقایسه رفتار شالوده‌های سطحی و عمیق در نحوه انتقال بار به زمین.....۲۲
شکل (۳-۲) تغییرات مقاومت جداری، انتهایی و مجموع ظرفیت شمع بر حسب جابجایی.....۲۴
شکل (۳-۳) تغییرات α بر حسب مقاومت زهکشی نشده C_u.....۲۹
شکل (۳-۴) تغییرات ضریب λ بر حسب عمق استقرار شمع (متر).....۲۹
شکل (۳-۵) شمایی از اجزای مربوط به مقاومت جداری شمع.....۳۰
شکل (۳-٦) مقاومت رو به بالای اضافی برای شمع با انتهای کوره‌ای.....۳۵
شکل (۳-۷) مقایسه رفتار شمع تحت بارهای قائم و لنگر.....۳۶
شکل (۳-۸) گروه شمع متشکل از شمع‌های قائم و مایل جهت تحمل بارهای افقی، قائم و لنگر.....۳۷
شکل (۳-۹) مقایسه رفتار شمع کوتاه و بلند.....۳۸
شکل (۳-۱۰) نیروها و تغییر شکل‌ها در شمع طویل تحت بار جانبی.....۳۹
شکل (۳-۱۱) روش عمق گیرداری جهت تشریح رفتار شمع تحت بار جانبی.....۴۱
شکل(۳-۱۲) سیستم شالوده رادیه و شمع.....۴۵
شکل (۳-۱۳) منحنی‌های بار- نشست برای سیستم‌های شالوده رادیه و شمع.....۴۸
شکل (۳-۱۴) منحنی‌های بار- نشست برای سیستم‌های مرکب رادیه و شمع.....۵۳
شکل (۳-۱۵) مدل‌سازی سیستم اندرکنشی رادیه- شمع- خاک.....۶۱
شکل (۳-۱۶) اندرکنش‌های رادیه- شمع- خاک.....۶۱
شکل (۴-۱) (الف) مدل معادل فنر p-y (ب) مدل معادل طره‌ای.....۶۸
شکل (۴-۲)-(a) اجزای تشکیل دهنده المان p-y (b) مدل رفتاری اجزای تشکیل دهنده.....۷۱
شکل (۴-۳) شمع به همراه فنرهای p-y در عمق آن.....۷۳
شکل (۴-۴)-نمودار تغییرات k در برابر ϕ در رابطه مربوط به مقاومت انتهایی ماسه.....۷۵

شکل (۴-۵)به‌دست آوردن ضرایب C_1 و C_2 و C_3 با استفاده از ϕ طبق آیین‌نامهAPI ۷۶

شکل (٤-٦) رفتار هیسترزیسی فولاد Steel02.....۸۱

شکل(٤-۷) منحنی تنش-کرنش Concrete01.....۸۲

شکل (۴-۸) نمایش چگونگی ایجاد مقطع در نرم‌افزار OpenSees.....۸۴

شکل (۴-۹) ایجاد مقطع دایروی در نرم‌افزار OpenSees.....۸۵

شکل (۴-۱۰) بردار مشخصه قرارگیری محورهای محلی نسبت به دستگاه مختصات سازه.....۸۶

شکل(۵-۱) نحوه تاثیر روابط PSO بر حرکت ذره.....۹۰

شکل (۶-۱) شالوده مدل‌سازی شده در نرم‌افزار SAFE به ابعاد $2^m \times 2^m$ ۹۵

شکل (۶-۲) شالوده مثال اول به همراه فنرهای معادل خاک در جهت قائم در زیر آن.....۹۶

شکل (۶-۳) جابجایی نقاط مثال اول و مقایسه آن‌ها در دو نرم‌افزار SAFE و OpenSees.....۹۶

شکل (۶-۴) شالوده مدل‌سازی شده در نرم‌افزار SAP به ابعاد $1.5^m \times 1.5^m$.....۹۸

شکل (۶-۵) شالوده مثال دوم به همراه فنرهای معادل خاک در سه جهت در زیر آن.....۹۸

شکل (۶-۶) جابجایی نقاط مثال دوم و مقایسه آن‌ها در دو نرم‌افزار SAP و OpenSees.....۹۹

شکل (۶-۷) شکل سه بعدی از سازه مدل شده در نرم‌افزار ETABS.....۱۰۰

شکل (۶-۸) نمایی از جهت y سازه مورد بررسی.....۱۰۱

شکل (۶-۹) نمایی از جهت x سازه مورد بررسی.....۱۰۲

شکل (۶- ۱۰) پلان ستون گذاری سازه مورد بررسی.....۱۰۳

شکل (٦-۱۱) منحنی نیرو- تغییرشکل اعضا.....۱۰٤

شکل (۶-۱۲) مفاصل پلاستیک تشکیل شده در یک قاب از سازه.....۱۰۷

شکل (۶-۱۳) منحنی برش پایه- تغییر مکان جانبی حالت بحرانی بارگذاری.....۱۰۷

شکل (۶-۱۴) چیدمان اولیه شمع‌ها (ابعاد برحسب متر).....۱۰۸

شکل (۶-۱۵) جزئیات یکی از شمع‌های مورد استفاده (ابعاد بر حسب متر).....۱۰۹

شکل (۶-۱۶) سیستم شالوده نواری دو طرفه به همراه شمع‌های قرار گرفته در زیر آن.....۱۰۹

شکل (۶- ۱۷) ایجاد مقطع دایروی در نرم‌افزار OpenSees.....۱۱۰

شکل (٦-١٨) مش بندی شالوده نواری دو طرفه سازه مورد بررسی به منظور مدل‌سازی آن.....١١١
شکل (۶-۱۹) مدل شالوده، شمع و خاک.....۱۱۲
شکل (۶-۲۰) چیدمان شمع‌ها بعد از بهینه‌یابی (ابعاد برحسب متر).....۱۱۳
شکل (۶-۲۱) تاریخچه همگرایی تابع هدف.....۱۱۴

فصل اول

کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

محققین بر اساس مطالعاتی که بر روی اثرات زمین‌لرزه‌های اخیر همچون زمین‌لرزه نورثریج[1] آمریکا در سال ۱۹۹۴ و زمین‌لرزه کوبه[2] ژاپن در سال ۱۹۹۵ و موارد دیگر انجام دادند، مشاهده کردند سازه‌هایی که با آیین‌نامه‌های متداول طراحی شده‌اند از لحاظ تامین امنیت و سلامت جانی ساکنین، عملکرد خوبی از خود نشان داده‌اند ولی میزان خسارت و آسیب وارده بر سازه‌ها، مخصوصا برای سازه‌هایی که از لحاظ اقتصادی و یا از لحاظ نوع کارایی آن‌ها مهم بوده‌اند، به‌طور قابل توجه بالا بوده است.

امروزه اعتقاد بر این است که تنها در نظر گرفتن سطح عملکرد ایمنی جانی برای طرح لرزه‌ای کافی نیست. هدف اصلی در روش طراحی بر اساس عملکرد، پیش‌بینی واقع‌بینانه عملکرد سازه‌ها در برابر زلزله‌هایی می‌باشد که در طول عمر سازه امکان وقوع دارند. طراحی بر اساس عملکرد، شامل کلیه عملیات مهندسی است به طوری‌که عملکرد سازه در برابر زلزله مشخص باشد. این عملیات شامل تعیین اهداف طراحی، مطالعات لرزه‌خیزی، تحلیل و طراحی لرزه‌ای اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، کنترل، ساخت و نگهداری سازه می‌باشد. تلاش‌های مهندسین سازه و زلزله در طراحی سازه‌هایی ایمن، مطمئن و اقتصادی، ترکیب روش‌های طراحی بر اساس عملکرد، قابلیت اعتماد و بهینه‌یابی را به‌دنبال خواهد داشت [۱].

در آیین‌نامه‌های موجود، ابزارهای مفیدی فراهم شده است که انتظار می‌رود حداقل معیارهای لازم جهت حفظ امنیت جانی ساکنین ساختمان در هنگام وقوع زلزله با اعمال این ابزارها تامین شود. این آیین‌نامه‌ها فاقد مکانیزم لازم جهت کنترل ساختمان‌ها در سطوح عملکرد متفاوت می‌باشند.

به‌طورکلی می‌توان گفت که در آینده روش طراحی سازه‌ها بهتر است به سمتی حرکت کند که نکات ذکر شده در بالا، مورد توجه واقع شوند. روش طراحی بر اساس عملکرد بیانگر این موضوع می‌باشد که در آن، دو اصل مهم اهداف عملکردی و روش‌های ارزیابی همواره مدنظر است.

در سال‌های اخیر، طراحی بر اساس عملکرد سازه‌ها رشد چشم‌گیری داشته و در این راستا، دستورالعمل‌هایی برای بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود FEMA-356، FEAM-273 و ATC-40 و نیز برای ساخت سازه‌هایی جدید بر اساس عملکرد FEMA-350 ارائه شده است.

---

[1] Northridge
[2] Kobe

برای احداث هر سازه بایستی از یک شالوده که بتواند بارهای وارده از طرف سازه فوقانی را به خاک انتقال دهد استفاده شود. شالوده یک سازه بخشی از یک سیستم مهندسی است که بارهای تحمیلی و وزن خود را به خاک یا سنگ زیرین و به درون آن انتقال می‌دهد. بدین ترتیب علاوه بر تنش‌های موجود در توده خاک که از وزن خود خاک و تاریخچه ژئوتکنیکی آن ناشی می‌شوند، تنش‌های دیگری نیز در توده خاک ایجاد می‌شود. شالوده‌ها علاوه بر وظیفه انتقال کامل بار به زمین، بایستی طوری طراحی شوند که نشست‌های حاصل (نشست‌های کلی و تفاضلی) از حد مجاز فراتر نروند. در زمان‌های گذشته بیشتر ساختمان‌ها بر شالوده نواری یا تکی بنا می‌شدند و چنانچه لایه سطحی زمین شل و تراکم‌پذیر بود در آن شمع چوبی کوبیده می‌شد [۲].

معمولا وقتی شالوده سطحی قادر به تحمل بارهای وارد بر آن و یا ارضای مقادیر مجاز نشست نباشد، از تعدادی شمع در زیر آن استفاده می‌کنند. استفاده از شالوده‌های شمع- رادیه، یکی از روش‌های کاهش نشست‌های کلی و نسبی و افزایش ظرفیت باربری شالوده‌های سطحی و کاهش تنش‌های داخلی و لنگرهای اعمالی در شالوده‌های رادیه می‌باشد. منظور از واژه شالوده‌های شمع- رادیه، ترکیب اندرکنشی دو نوع شالوده، رادیه و گروه شمع، به‌گونه‌ای است که هر دو در تامین باربری و کاهش نشست‌های کلی و نسبی ایفای نقش کنند[۳و۴].

در طراحی شالوده‌های گسترده یا نواری به همراه شمع، تخمین دقیق و کنترل نشست، به ویژه نشست نسبی از اهمیت زیادی برخوردار است. در طراحی یک شالوده همراه با شمع، معمولا محل شمع‌ها بر مبنای قضاوت مهندسی تعیین می‌شود این در حالی است که تاکنون مدل‌هایی نیز برای چیدمان شمع‌ها به‌منظور به‌حداقل رساندن نشست‌های نسبی پیشنهاد شده‌اند. بررسی‌های رندولف[1] نشان داد که با چیدمان چندین شمع پیرامون مرکز یک شالوده گسترده، نشست‌های نسبی کاهش محسوسی خواهند داشت و هندسه شالوده، بارگذاری و سختی خاک زیرین در میزان نشست‌های نسبی تاثیرگذار می‌باشند. در این مدل‌ها، تمامی عوامل تاثیرگذار به‌طور همزمان در نظرگرفته نشده‌اند و به همین دلیل، در استفاده از آن‌ها محدودیت‌هایی وجود دارد[۵]. کیم[2] و همکاران[۶] چیدمان بهینه شمع‌ها را برای حالت بارگذاری ثقلی بررسی نمودند و کمینه نمودن بیشینه نشست نسبی شالوده را به عنوان تابع هدف درنظر گرفتند. آن‌ها همچنین شمع و خاک را به‌صورت فنرهای ساده خطی مدل‌سازی نمودند.

[1] Randolph
[2] Kim

۱-۲- روش تحقیق

در این پایان‌نامه، بهینه‌یابی موقعیت شمع‌ها در زیر شالوده نواری دو طرفه مطابق با ضوابط طراحی بر اساس عملکرد یک سازه موجود بررسی شده است. برای این منظور، سازه در نرم‌افزار ETABS تحلیل شده و عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی سازه مطابق با ضوابط طراحی بر اساس عملکرد بدست آمده است. سپس با اعمال این عکس‌العمل‌ها بر روی شالوده، فرایند بهینه‌یابی انجام گرفته است. برای یافتن موقعیت بهینه شمع‌ها، از الگوریتم جامعه پرندگان (PSO)[1] استفاده شده است و حداقل نمودن بیشینه نشست نسبی شالوده به عنوان تابع هدف درنظر گرفته شده است. به منظور انجام عملیات بهینه‌یابی، از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. برای تحلیل دقیق سیستم شالوده با استفاده از نرم‌افزار OpenSees، سختی‌های محوری، خمشی، برشی و پیچشی هر شمع در مدل‌سازی لحاظ شده است.

۱-۳- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه، شامل هفت فصل می‌باشد:

فصل اول کلیات تحقیق شامل تاریخچه کوتاهی در مورد طراحی بر اساس عملکرد سازه‌ها، شالوده یک سازه، روش تحقیق و معرفی فصل‌های پایان‌نامه می‌باشد.

در فصل دوم به مواردی همچون سطوح عملکرد، سطوح خطرپذیری لرزه‌ای، اهداف عملکردی و انواع روش‌های تحلیل و همچنین مبانی روش طیف ظرفیت برای محاسبه نقطه عملکرد اشاره شده است.

در فصل چهارم، راجع به نرم‌افزار OpenSees[2] و همچنین مدل‌سازی در این نرم‌افزار، توضیحاتی بیان شده است.

در فصل پنجم، بهینه‌سازی و همچنین الگوریتم جامعه پرندگان (PSO) که در این پایان‌نامه از آن بهره گرفته شده است، تشریح شده‌اند.

در فصل ششم، به بررسی مثال‌های عددی خواهیم پرداخت.

سرانجام در فصل هفتم، نتایج و پیشنهادات بیان شده‌اند.

---

[1] Particle Swarm Optimization (PSO)
[2] Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSees)

فصل دوم

روش طراحی بر اساس سطوح عملکرد

۲-۱- مفاهیم طراحی بر اساس سطوح عملکرد

۲-۱-۱- مقدمه

در دهه‌های اولیه قرن بیستم واژه‌های مقاومت و عملکرد مترادف هم متصور می‌شدند و از حدود ۲۰ سال پیش بود که تفاوت این دو مشخص گردید و مشاهده شد که افزایش مقاومت لزوما به معنای ایمنی بیشتر و خرابی کمتر نیست. محققین نشان دادند که توزیع مقاومت در اجزا سازه، معیار با اهمیت‌تری از کل مقاومت می‌باشد. دست‌آوردهایی از این دست را می‌توان آغاز عصر طراحی بر اساس عملکرد نامید.

مفاهیم طراحی بر اساس عملکرد به صورت مطلوبی در آمریکا گسترش پیدا کرده و به صورت گسترده‌ای، پایه و اساس پروژه‌های آینده را شکل می‌دهد. به خصوص مطالبی که در غالب FEMA-273 جمع‌آوری شده است. این مفاهیم از این جهت با روش‌های آیین‌نامه‌ای تفاوت دارند که معیارهایی را برای رسیدن به عملکردهای مشخص سازه، ارائه می‌دهند.

بعد از چندین زلزله مخرب در دهه گذشته، این نتیجه حاصل شد که استانداردهای طراحی لرزه‌ای حاضر باید به‌صورت بنیادی اصلاح شوند به‌طوریکه بتوانند پاسخ‌های ساختمانی را پیشگویی کنند. محققین علم مهندسی سازه و زلزله به بررسی مفاهیم طرح و اجرای سازه‌ها و نقایص آن پرداختند. تلاش محققان در راستای حصول اطمینان از عملکرد ساختمانهای مقاوم در برابر زلزله باعث ارائه و به‌کارگیری روش نوین و مطمئنی تحت عنوان طراحی براساس‌عملکرد[1] شده که با جایگزینی این شیوه طراحی به‌جای طراحی بر اساس نیرو، رفتار سازه‌ها در مقابل زلزله بهبود چشمگری پیدا کرده و می‌توان اطمینان بیشتری نسبت به عمکرد آیین‌نامه‌های جدید داشت.

هدف طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد این است که سازه‌هایی طراحی شوند که عملکردشان قابل پیش بینی باشد. البته مفهوم طراحی بر اساس عملکرد چیز جدیدی نیست. آیین‌نامه‌های ساختمانی همیشه به این منظور شکل می‌گیرند که یک سطح مشخص از عملکرد را تحت یک بارگذاری طراحی ارائه نمایند.

در حال حاضر فلسفه کلی طراحی مقاوم لرزه‌ای برای سازه‌های معمول که در آیین‌نامه‌های طرح لرزه‌ای دنیا به آن اشاره می‌شود به‌صورت زیر است:

۱- سازه، زمین‌لرزه‌های کوچک وخفیف را بدون خسارت سازه‌ای و غیر سازه‌ای پشت سر بگذارد.

[1] Performance Based Design

۲- سازه، زمین‌لرزه‌های متوسط را بدون خسارت سازه‌ای و همراه با خسارت غیر سازه‌ای جزئی پشت سر بگذارد.
۳- سازه، زمین‌لرزه‌های شدید و نادر را بدون فروریزش پشت سر بگذارد.
با این حال، تعریف عملکرد برای ساختمان‌ها در این آیین‌نامه‌ها کاملاً مبهم و غیر دقیق است، زیرا اهداف عملکردی مثل توانایی تعمیر سازه، محدود کردن خسارات و تغییر مکان‌های جانبی به حدود دلخواه، به صورت دقیق در آیین‌نامه‌ها اشاره نشده و از طرفی دلایل زیر باعث شده‌اند که آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای متحول شوند:
۱- افزایش دانش درباره چگونگی وقوع زمین لرزه‌ها و حرکت‌های زمین وخصوصیات پاسخ سازه‌ای.
۲- نواقص روش‌های طرح آیین‌نامه‌ای موجود که اولا نه یک روش طراحی کارآمد و قوی برای ارزیابی عملکرد سازه طرح شده در اختیار قرار می دهند و نه کارفرما را برای انتخاب یک سطح عملکرد مناسب برای سازه و تصمیم گیری درباره هزینه آن در برابر سطوح مختلف تحریک لرزه‌ای یاری می‌دهند.
روش‌های طراحی در اکثر آیین‌نامه‌های فعلی بر اساس معیار مقاومت می‌باشد، در حالی که تحقیقات و رفتار ساختمان‌ها در برابرزلزله‌های اخیر نشان دادندکه مقاومت نمی‌تواند معیار مناسبی باشد و افزایش مقاومت لزوما به معنای افزایش ایمنی نمی‌باشد. بنابراین در آیین‌نامه‌های جدید به جای معیار مقاومت، از معیار رفتار برای طراحی سازه استفاده می‌کنند.
در اثر وقوع زلزله‌های شدید، خسارت‌های قابل ملاحظه‌ای به علت رفتار غیرالاستیک سازه‌ها به آن‌ها وارد می‌شود، زیرا با توجه به منحنی نیرو– تغییرمکان، سازه در اثر وقوع زلزله‌های شدید، پس از گذر از محدوده الاستیک وارد محدوده غیرالاستیک می‌شود. در این ناحیه تغییرات مقاومت ناچیز بوده و تغییر شکل‌های خمیری که ارتباط نزدیک‌تری با خسارت دارند حاکم می‌شوند. لذا در روش طراحی بر اساس عملکرد، عملکرد غیرخطی اجزای سازه مورد بررسی قرار می‌گیرند. به همین علت می‌توان رفتار واقعی‌تری از سازه را در صورت وقوع یک زمین‌لرزه مشخص به‌دست آورد.

۲-۱-۲- نواقص روش طراحی لرزه‌ای آیین‌نامه‌های فعلی

هدف اصلی طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد، دخیل کردن کارفرما در انتخاب میزان خطرپذیری برای طرح مورد نظر، در سطوح مختلف زمین‌لرزه است و این هدف مستلزم معلوم بودن نحوه عملکرد سازه در سطوح مختلف زمین‌لرزه‌ها است. برای رسیدن به این اهداف باید