بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی

بخش عمران

رساله برای دریافت درجه دکتری رشته عمران گرایش سازه

طرح بهینه سازه‌های بتنی براساس قابلیت اعتماد با درنظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک-سازه

مؤلف :

محسن خطیبی‌نیا

اساتید راهنما :

دکتر جواد سلاجقه

دکتر عیسی سلاجقه

دکتر محمد جواد فدایی

بهمن‌ماه ۱۳۹۱

این رساله به عنوان یکی از شرایط احراز درجه دکتری به

بخش مهندسی عمران

دانشکده مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو : محسن خطیبی‌نیا

استاد راهنما ۱ : دکتر جواد سلاجقه

استاد راهنما ۲ : دکتر عیسی سلاجقه

استاد راهنما ۳ : دکتر محمد جواد فدایی

داور ۱ : دکتر علی کاوه

داور۲ : دکتر حامد صفاری

داور ۳ : دکتر سعید شجاعی باغینی

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه : دکتر مجید رحیم‌پور

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر مریم احتشام زاده

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به :

تشکر و قدردانی :

اگرچه زبان از ذکر عنایات و الطاف الهی قاصر است اما خداوند متعال را سپاسگزارم که در کلیه مراحل انجام این تحقیق لطف و کرمش را شامل حالم نمود و آتش عشق به تحصیل علم را در وجودم شعله‌ور ساخت.

با تقدیم بهترین سپاس‌ها به محضر اساتید بزرگوارم آقای دکتر جواد سلاجقه، آقای دکتر عیسی سلاجقه و دکتر محمد جواد فدایی که در طول دوره تحصیل و به خصوص انجام این تحقیقات، همواره راهنما و حامی این حقیر بوده، از هیچ‌گونه لطف و مرحمتی در حق اینجانب مضایقه ننمودند.

از داوران گرامی، جناب آقایان دکتر علی کاوه، دکتر حامد صفاری و دکتر سعید شجاعی که قبول زحمت نموده و داوری این رساله را انجام دادند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از دکتر فوسچی استاد دانشگاه بریتیش کلمبیای کانادا که در مدت انجام این رساله، کمک‌ها و راهنمای‌های ایشان همواره یاریگر اینجانب بوده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از ریاست محترم بخش مهندسی عمران، جناب آقای دکتر بارانی و سایر استادان و کارکنان محترم این بخش، تقدیر و تشکر نموده و از درگاه خداوند متعال آرزوی توفیق برایشان دارم.

از پدر و مادر بزرگوار و مهربانم که تمامی زندگی خود را مرهون حمایت‌های عاشقانه ایشان هستم، بینهایت سپاسگزارم. همچنین از خواهراهایم و برادرم که همواره مشوق و امیددهنده در مراحل زندگی‌ام بوده‌اند، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

از تمام دوستان عزیزم جناب آقایان دکتر مصطفی مشایخی، دکتر امیر بذرافشان مقدم، دکتر مهدی ملازاده، دکتر سید صادق ناصرعلوی، علیرضا حاجی‌زاده، نیما فرهادی، سجاد قره‌باغی، پدرام سلاجقه، ایمان منصوری، احسان فیلی منفرد و سایر دوستانی که در طول دوره دکتری و انجام مراحل مختلف این رساله، بنده را مورد لطف و مرحمت خویش قرار دادند نیز صمیمانه قدردانی و تشکر می‌نمایم.

و در پایان، همه این تحقیق و تحصیل را مدیون شادروانان مهندس افضلی‌پور و همسر ایشان خانم فاخره صبا می‌دانم، انسان‌های بزرگ و با ایثار که کلمات در وصف آنها عاجز می‌باشند. روحشان شاد.

چکیده :

در این مطالعه، طرح بهینه سازه‌های بتنی براساس قابلیت اعتماد با درنظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک-سازه با استفاده از یک الگوریتم جستجوی گرانشی گسسته جدید و یک روش تقریب‌سازی موثر مطرح شده است. طرح بهینه سازه‌های بتنی براساس قابلیت اعتماد با درنظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک-سازه منطبق بر طراحی براساس عملکرد جستجو شده است. الگوریتم پیشنهادی جستجوی گرانشی گسسته بر مبنای الگوریتم جستجوی گرانشی استاندارد می‌باشد که هزینه سازه را تحت قیود قطعی و غیرقطعی بهینه می‌نماید. در این مطالعه، سطوح عملکردی قابل قبول طراحی براساس عملکرد را با تئوری قابلیت اعتماد آمیخته شده تا مقدار احتمال خرابی سالیانه غیرعملکردی با مقدار مجاز متناظر آن برای هر سطح عملکردی مقایسه گردد. روش شبیه‌سازی مونت کارلو بعنوان یک روش قابل اطمینان برای محاسبه احتمال‌های خرابی استفاده شده است. برای کاهش زمان محاسباتی روش شبیه‌سازی مونت کارلو، یک روش تقریب‌سازی پیشنهاد شده است که بطور قابل قبولی پاسخ‌های لرزه‌ای مورد نیاز سیستم اندرکنش خاک- سازه را در پروسه پیش‌بینی نماید. این روش پیشنهادی تقریب‌سازی شامل ترکیب ماشین بردار حداقل مربعات وزنی و تابع هسته موجکی می‌باشد. نتایج عددی بیانگر کارآمد بودن و عملکرد محاسباتی بسیار خوب روش پیشنهادی تقریب‌سازی و الگوریتم پیشنهادی جستجوی گرانشی گسسته در بهینه سازه‌های بتنی براساس قابلیت اعتماد می‌باشد.

فهرست مطالب:

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- کلیات بهینه‌سازی ۲
۱-۳- روش‌های بهینه‌سازی ۳
۱-٤- بهینه‌سازی و روش‌های تقریب‌سازی ٤
۱-۵- تاریخچه تحقیق ۵
۱-٦- روش و محتوای تحقیق ۷

فصل دوم: مقدمه‌ای بر طراحی سازه‌ها براساس عملکرد

۲-۱- مقدمه ۱۰
۲-۲- روش طراحی بر اساس عملکرد ۱۲
۲-۳- اهداف عملکردی ۱۳
۲-۴- سطوح عملکردی ۱٤
۲-۵- سطوح خطرپذیری لرزه‌ای ۱٤
۲-۶- شرحی برگسترش طراحی بر اساس عملکرد ۱٦
۲-۶-۱- طراحی براساس عملکرد مطابق با آیین‌نامه SEAOC ۱٦
۲-۶-۲- طراحی براساس عملکرد مطابق با آیین‌نامه FEMA -356 ۱۸
۲-۶-۲-۱- سطوح عملکرد سازه‌ای ۱۸
۲-۶-۲-۲- سطوح عملکرد سیستم غیرسازه‌ای ۲۰

فصل سوم: مبانی و مدل‌سازی اندرکنش خاک-سازه

۲-۱- مقدمه ۲۲
۳-۲- روش‌های مدل‌سازی اندرکنش خاک-سازه ۲٤
۳-۳- انتشار موج در یک میله نامحدود ۲٦
۳-٤- مدل‌سازی فضای نیمه بینهایت ۲۷
۳-٤-۱- روش‌های محلی ۲۸
۳-٤-۱-۱- روش اجزاء نامحدود ۲۸
۳-٤-۱-۲- روش مرز انتقالی ۳۰

۳-٤-۱-۳- روش لایه جاذب ۳۲
۳-٤-۲- روش‌های عمومی ۳۲
۳-٤-۲-۱- روش المان مرزی ۳۳
۳-٤-۲-۲- روش لایه نازک ۳۳
۳-٤-۲-۳- روش تلفیق المان محدود و اجزا مرزی ۳٤
۳-۵- مقایسه دو روش محلی و کلی ۳٤
۳-٦- معادله حاکم بر سیستم اندرکنش خاک-سازه ۳٦
۳-۷- مدل‌سازی سیستم اندرکنش خاک-سازه ۳۹
۳-۸- مثال سازه بتنی با درنظرگرفتن اندرکنش خاک-سازه ٤۳
۳-۸-۱- نتایج آنالیز سازه با درنظرگرفتن اندرکنش خاک-سازه ٤۵

فصل چهارم: مفاهیم قابلیت اعتماد در مهندسی سازه

٤-۱- مقدمه ٤۹
٤-۲- تحلیل احتمالاتی سازه‌ها ٤۹
٤-۲-۱- حالت حدی نهایی ۵۰
٤-۲-۲- حالت حدی قابلیت بهره‌برداری ۵۰
٤-۲-۳- احتمال خرابی ۵۱
٤-۲-٤- شاخص ایمنی ۵۱
٤-۲-۵- شاخص هاسفر و لیند ۵۲
٤-۳- سیستم‌های موازی و سری ۵٤
٤-٤- شبیه‌سازی مونت کارلو ۵۸
٤-۵- روش نمونه‌گیری LHS ٦۰

فصل پنجم: بهینه‌سازی سازه‌ها

۵-۱- مقدمه ٦۲
۵-۲- بهینه‌سازی قطعی سازه‌ها ٦۳
۵-۳- بهینه‌سازی سازه براساس قابلیت اعتماد ٦٤
۵-٤- تابع جریمه ٦۵
۵-۵- الگوریتم جستجوی گرانشی ٦٦

۵-۵-۱- نیروی گرانش در طبیعت ٦٦
۵-۵-۲- گام‌های الگوریتم جستجوی گرانشی ٦٩
۵-٦- الگوریتم جستجوی گرانشی باینری ٧٢
۵-٦- الگوریتم جستجوی گرانشی گسسته ٧٤

فصل ششم: روش‌های پیشرفته تقریب‌سازی

٦-١- مقدمه ٧٨
٦-٢- ماشین بردار پشتیبان ٧٩
٦-٣- روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان ٨٠
٦-٤- ماشین بردار پشتیبان کمترین مربعات برای تخمین توابع غیرخطی ٨٤
٦-۵- ماشین بردار پشتیبان حداقل مربعات وزن‌دار ٨٦
۶-۶- ماشین بردار پشتیبان حداقل مربعات وزن‌دار موجکی ٨٧
٦-٦-١- آنالیز موجک ٨٨
٦-٦-٢- هسته موجکی و ماشین بردار پشتیبان موجکی ٨٩
٦-٧- سیستم‌های استنتاج فازی ٩٢
٦-٧-١- مجموعه فازی ٩٢
٦-٧-٢- قوانین "اگر- سپس" فازی ٩٣
۶-٧-٣- سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی ٩۴
۶-٧-٣-١- ساختار ریاضی ANFIS ٩۴
٦-٨- الگوریتم گروه‌بندی فازی FCM ٩٧
٦-٩- الگوریتم ترکیبی FCM-FPSO ٩٩
٦-١٠- تعیین تعداد بهینه گروه‌ها با استفاده از SA ١٠٠
٦-١٠- الگوریتم اصلاح شده ANFIS ١٠٣

فصل هفتم: طرح بهینه سازه‌های بتنی براساس قابلیت اعتماد

٧-١- مقدمه ١٠۵
٧-٢- فرمول‌بندی مسئله بهینه‌سازی سازه‌های بتنی براساس قابلیت اعتماد ١٠۵
٧-٣- هزینه کل سازه‌های بتنی ١٠۶
٧-٤- تحلیل قابلیت اعتماد ١٠٧

۷-٤-۱- تولید شتاب‌نگاشت مصنوعی ۱۰۸
۷-٤-۲- تولید داده برای تحلیل قابلیت اعتماد ۱۱۰
۷-٤-۳- توابع حالت حدی ۱۱۳
۷-٤-٤- احتمال سالیانه غیرعملکردی ۱۱۵

فصل هشتم: مثال‌های عددی و نتیجه‌گیری

۸-۱- مقدمه ۱۱۷
۸-۲- بخش اول: قابلیت اعتماد لرزه‌ای سازه‌های بتنی با درنظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک-سازه ۱۱۷
۸-۲-۱- طراحی سازه‌ها و مدل‌سازی سیستم اندرکنش خاک-سازه ۱۱۸
۸-۲-۲- پارامترهای تصادفی ۱۲۰
۸-۲-۳- تولید داده برای تحلیل قابلیت اعتماد ۱۲۲
۸-۲-۴- پیش‌بینی فروریزش سازه‌ها ۱۲۳
۸-۲-۴-۱- الگوریتم FCM-FPSO ۱۲۴
۸-۲-۴-۲- آموزش و آزمایش الگوریتم اصلاح شده ANFIS ۱۲۵
۸-۲-۵- تقریب‌سازی پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌ها ۱۲۸
۸-۲-۶- ارزیابی قابلیت اعتماد لرزه‌ای ۱۳۲
۸-۳- طرح بهینه سازه‌های بتنی براساس قابلیت اعتماد با درنظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک-سازه ۱۳۵
۸-۳-۱- بهینه‌سازی قاب بتنی ۶ طبقه ۱۳۷
۸-۳-۱-۱- آموزش و آزمایش ماشین بردار پشتیبان موجکی ۱۳۷
۸-۳-۱-۲- طرح بهینه سازه براساس قابلیت اعتماد ۱۳۹
۸-۳-۲- بهینه‌سازی قاب بتنی ۹ طبقه ۱۴۰
۸-۳-۲-۱- آموزش و آزمایش ماشین بردار پشتیبان موجکی ۱۴۰
۸-۳-۲-۲- طرح بهینه سازه براساس قابلیت اعتماد ۱۴۲
۸-٤- خلاصه و نتیجه‌گیری ۱۴۳
۸-۵- پیشنهاد برای تحقیقات بعدی ۱۴۵

مراجع ۱۴۶

فهرست اشکال:

شکل۲-۱: سطوح عملکرد سازه‌ای مطابق با آیین نامه SEAOC [۲] ۱۷

شکل۲-۲: ماتریس اهداف عملکردی SEAOC [۲] ۱۷

شکل۲-۳: سطوح عملکرد سازه‌ای[۱] ۱۹

شکل۳-۱: اجزا خاک و سازه در روش زیرسازه ۲٤

شکل۳-۲: اجزا خاک و سازه در روش مستقیم ۲۵

شکل۳-۳: مدل متداول برای روش‌های مستقیم و زیرسازه ۲۵

شکل۳-٤: یک میله بینهایت با تحریک در یک انتها ۲٦

شکل۳-۵: یک میله نیمه بینهایت با تحریک در یک انتها ۲۷

شکل۳-٦: کاربرد دو روش اجزاء محدود در مساله اندرکنش: ۱- روش سنتی، ۲- اجزاء نا محدود[۵۵] ۲۹

شکل۳-۷: عملکرد نگاشت در اجزاءنامحدود[۵۵] ۲۹

شکل۳-۷: استفاده از مرزهای انتقالی در مدل اجزاء محدود اندرکنش خاک-سازه ۳۱

شکل٤-۸: یک بلوک روی ناحیه بینهایت[٦۰] ۳٤

شکل ۳-۹: بارگذاری مربوطه به مورد بررسی[٦۰] ۳۵

شکل۳-۱۰: مش بندی مربوط به روش المان مرزی[٦۰] ۳۵

شکل۳-۱۱: مش بندی مربوط به مرز جاذب[٦۰] ۳۵

شکل۳-۱۲: مش بندی مربوط به روش المان مرزی و اجزا محدود[٦۰] ۳٦

شکل۳-۱۳: مقایسه نتایج آنالیز با استفاده از روش‌های مختلف[٦۰] ۳٦

شکل۳-۱٤: شمای مدل سیستم اندرکنش خاک-سازه ۳۷

شکل۳-۱۵: شمای مدل اجزاء محدود سیستم اندرکنش خاک-سازه ٤۰

شکل۳-۱٦: المان غیرخطی forceBeamColumn ٤۱

شکل۳-۱۷: مدل رفتاری مصالح: (a) فولاد، (b) بتن ٤۱

شکل۳-۱۸: مدل غیرخطی J_2 با سطوح چندگانه[۶۷] ٤۳

شکل۳-۱۹: مدل سازه‌ای قاب بتنی برروی بستر انعطاف‌پذیر ٤۳

شکل۳-۲۰: (a) جابجایی نسبی طبقات، (b) انرژی جذب شده در هر طبقه نسبت به انرژی ورودی کل به ازای زلزله LomaPrieta ۴۶

شکل۳-۲۱: (a) جابجایی نسبی طبقات، (b) انرژی جذب شده در هر طبقه نسبت به ٤٦

انرژی ورودی کل به ازای زلزله Northridge
شکل۳-۲۲: (a) جابجایی نسبی طبقات، (b) انرژی جذب شده در هر طبقه نسبت به انرژی ورودی کل به ازای زلزلهImperial Valley ٤٧
شکل٤-۱: نمودار توزیع حاشیه اطمینان (g) [۷۱] ٥٠
شکل ٤-۲: تبدیل متغیر ها در روش هاسفر لیند [۷۱] ٥٣
شکل٤-۳: نحوه بروز خطا در روش هاسفرلیند[۷۲] ٥٤
شکل ٤-٤: سیستم‌های قابلیت اعتماد: (a) موازی، (b) سری ٥٥
شکل٤-٥: سیستم سری، یک عضو و m بار ٥٦
شکل٤-٦: سیستم سری، n عضو و یک بار ٥٦
شکل٤-۷: سیستم سری، n عضو و m بار ٥٧
شکل٤-۸: گام‌های روش LHS برای دو متغیر تصادفی[۷۱] ٦٠
شکل٥-۱: نیروها و شتابی که جسم تحت اثر نیروهای وارد شده می‌گیرد. ٦٨
شکل٥-۲: فلوچارت الگوریتم جستجوی گرانشی ۷۲
شکل٥-۳: تابع $S(V)$ ۷٤
شکل٥-٤: فلوچارت الگوریتم جستجوی گرانشی گسسته ۷٦
شکل ٦-۱: مرز خطی بهینه برای حالتی که دو کلاس کاملاً از یکدیگر جدا هستند. ۸۱
شکل٦-۲: موجک مختلط مورلت ۹۰
شکل٦-۳: فلوچارت روش پیشنهادی ماشین بردار پشتیبان موجکی ۹۱
شکل٦-٤: ساختار نمونه ANFIS در مدل فازی سوگنو [۱۰۷] ۹٥
شکل٦-٥: فلوچارت الگوریتم ترکیبی FCM-FPSO ۱۰۰
شکل٦-٦: فلوچارت مدل اصلاح شده ANFIS ۱۰۳
شکل ۷-۱: شتاب‌نگاشت مصنوعی ۱۱۰
شکل۸-۱: مدل اجزاء محدود سیستم اندرکنش خاک-سازه ۱۱۸
شکل۸-۲: قاب بتنی طراحی شده ۶ و ۹ طبقه ۱۱۸
شکل ۸-۳: تاریخچه همگرایی بهترین حل بدست آمده از الگوریتم‌های FCM، FPSO و FCM-FPSO ۱۲٥
شکل ۸-۴: تاریخچه همگرایی بهترین حل بدست آمده از الگوریتم‌های FCM، FPSO و FCM-FPSO ۱۲٦

شکل ۸-۵: قدرمطلق درصد خطا برای سازه ٦ طبقه ۱۲٦
شکل ۸-۶: قدرمطلق درصد خطا برای سازه ۹ طبقه ۱۲۷
شکل ۸-۷: قدرمطلق درصد خطا برای میانگین u_{max} متناظر با برای سازه ٦ طبقه ۱۲۹
شکل ۸-۸: قدرمطلق درصد خطا برای میانگین $DR_{\max}$ متناظر با برای سازه ٦ طبقه ۱۲۹
شکل ۸-۹: قدرمطلق درصد خطا برای میانگین $DI_{overall}$ متناظر با برای سازه ٦ طبقه ۱۳۰
شکل ۸-۱۰: قدرمطلق درصد خطا برای میانگین $DIL_{\max}$ تناظر با برای سازه ٦ طبقه ۱۳۰
شکل ۸-۱۱: تاریخچه همگرایی تابع هدف برای الگوریتم جستجوی گرانشی گسسته و جستجوی گرانشی باینری ۱٤۰
شکل ۸-۱۲: تاریخچه همگرایی تابع هدف برای الگوریتم جستجوی گرانشی گسسته و جستجوی گرانشی باینری ۱٤۳

فهرست جداول:

جدول۲-۱: سطوح عملکرد سازه‌ای مطابق با آیین نامه SEAOC ۱۶

جدول۲-۲: سطوح خطر مطابق با آیین نامه SEAOC [۲] ۱۷

جدول۲-۳: سطوح عملکرد متناظر با سطوح خطر برای هدف عملکردی برمبنای SEAOC [۲] ۱۸

جدول۳-۱: ابعاد مقاطع بهینه تیرها و ستون‌ها ٤٤

جدول۳-۲: مشخصات مصالح فولاد، بتن و خاک ٤٤

جدول ۳-۲: مشخصات زلزله‌های انتخاب شده ٤٥

جدول۳-۳: مقایسه مقادیر زمان تناوب سازه در دو حالت با و بدون اندرکنش ٤٥

جدول ۷-۱: پارامترهای مورد نیاز جهت شبیه‌سازی حرکت زمین ۱۰۹

جدول۷-۲: مقادیر شتاب حداکثر زمین برای سطوح خطرپذیری لرزه‌ای ۱۱۰

جدول ۷-۳: توابع حالت حدی هر سطح عملکردی ۱۱٤

جدول ۸-۱: مشخصات ابعاد مقاطع و بازه درصد فولاد مجاز برای طراحی مقطع اعضای سازه‌ها ۱۱۹

جدول ۸-۲: مقاطع طراحی شده برای سازه‌های ۶ و ۹ طبقه ۱۲۰

جدول ۸-۳: تابع چگالی احتمال، مقادیر متوسط و انحراف معیار برای فولاد، بتن و خاک ۱۲۱

جدول ۸-۴: متوسط و انحراف معیار شتاب حداکثر زمین ۱۲۲

جدول ۸-۵: تعداد نمونه‌های مورد نیاز برای آموزش و آزمایش روش الگوریتم اصلاح شده ANFIS ۱۲٤

جدول ۸-۶: نتایج بهینه‌تعداد گروه‌ها با استفاده ازروش SA ۱۲٤

جدول ۸-۷: عملکرد متناظر با پیش‌بینی احتمال فروریزش برای قاب ٦ و ۹ طبقه ۱۲۸

جدول ۸-۸: عملکرد متناظر با میانگین پاسخ‌های لرزه‌ای برای قاب ٦ طبقه ۱۳۱

جدول ۸-۹: عملکرد متناظر با انحراف معیار پاسخ‌های لرزه‌ای برای قاب ٦ طبقه ۱۳۱

جدول ۸-۱۰: عملکرد متناظر با میانگین پاسخ‌های لرزه‌ای برای قاب ۹ طبقه ۱۳۱

جدول ۸-۱۱: عملکرد متناظر با انحراف معیار پاسخ‌های لرزه‌ای برای قاب ۹ طبقه ۱۳۱

جدول ۸-۱۲: احتمال خرابی کل متناظر با سطوح عملکردی به ازای تعداد نمونه‌های مختلف برای سازه ٦ طبقه ۱۳۲

جدول ۸-۱۳: احتمال خرابی کل متناظر با سطوح عملکردی به ازای تعداد نمونه‌های ۱۳۳

مختلف برای سازه ۹ طبقه
جدول ۸-۱٤: مقایسه کل زمان مورد نیاز برای ارزیابی قابلیت اعتماد لرزه‌ای سازه ٦ طبقه ۱۳۳
جدول ۸-۱۵: مقایسه کل زمان مورد نیاز برای ارزیابی قابلیت اعتماد لرزه‌ای سازه ۹ طبقه ۱۳۳
جدول ۸-۱٦: احتمال سالیانه غیرعملکردی متناظر با هر سطح عملکردی ۱۳٤
جدول ۸-۱۷: مقایسه قابلیت اعتماد لرزه‌ای سازه‌های ٦ و ۹ طبقه در دو حالت با و بدون اندرکنش خاک-سازه ۱۳۵
جدول ۸-۱۸: پارامترهای مورد نیاز در الگوریتم‌های جستجوی گرانشی ۱۳٦
جدول ۸-۱۹: مقاطع درنظر گرفته شده برای طرح بهینه قاب‌های ۶ و ۹ طبقه ۱۳۷
جدول ۸-۲۰: مقادیر بهینه پارامترهای ماشین بردار پشتیبان موجکی متناظر با هر یک از پاسخ‌های لرزه‌ای ۱۳۸
جدول ۸-۲۱: عملکرد متناظر با میانگین پاسخ‌های لرزه‌ای برای قاب ٦ طبقه ۱۳۸
جدول ۸-۲۲: عملکرد متناظر با انحراف معیار پاسخ‌های لرزه‌ای برای قاب ٦ طبقه ۱۳۸
جدول ۸-۲۳: طرح بهینه براساس الگوریتم‌های جستجوی گرانشی گسسته و جستجوی گرانشی باینری ۱۳۹
جدول ۸-۲٤: مقادیر بهینه پارامترهای ماشین بردار پشتیبان موجکی متناظر با هر یک از پاسخ‌های لرزه‌ای ۱٤۱
جدول ۸-۲۵: عملکرد متناظر با میانگین پاسخ‌های لرزه‌ای برای قاب ۹ طبقه ۱٤۱
جدول ۸-۲۶: عملکرد متناظر با انحراف معیار پاسخ‌های لرزه‌ای برای قاب ۹ طبقه ۱٤۱
جدول ۸-۲۷: طرح بهینه براساس الگوریتم‌های جستجوی گرانشی گسسته و جستجوی گرانشی باینری ۱٤۲

فصل اول:

کلیات

۱-۱- مقدمه

هدف اصلی روش طراحی براساس عملکرد[1]، پیش‌بینی واقع بینانه عملکرد ساختمان بر حسب عوامل قابل تعریف در طول زلزله‌هایی با شدت مختلف می‌باشد که ممکن است در طول عمر سازه در محل احداث آن رخ دهد. این امر با طراحی ساختمان به گونه‌ای که محدوده وسیعی از اهداف عملکردی را محقق سازد، انجام می‌شود. یک هدف عملکردی خاص تشکیل شده است از یک سطح عملکردی براساس خرابی به علاوه سطح خطر زلزله تشکیل شده است. برای اینکه عملکرد سازه قابل پیش‌بینی باشد، ملاحظاتی در مورد میزان قابلیت اطمینان طرح نهایی باید صورت گیرد تا هدف عملکردی موردنظر برآورد شود. با توجه به اینکه طراحی و ساخت ساختمان‌ها در فضایی سرشار از عدم قطعیت‌ها انجام می‌گیرد، عملکرد سازه می‌تواند به صورت احتمالاتی بیان شود. طراحی عملکردی شامل کلیه عملیات مهندسی می‌باشد که بتوان سازه‌ای با عملکرد مشخص در برابر زلزله بدست آورد. این عملیات می‌تواند شامل تعیین اهداف طراحی، مطالعات لرزه‌خیزی، تحلیل و طراحی لرزه‌ای اعضا سازه‌ای و غیرسازه‌ای، کنترل ساخت و نگهداری سازه شود. فلسفه طراحی براساس عملکرد به منظور ارزیابی، مقاوم‌سازی و بهسازی ساختمان‌های موجود استفاده شده است. امروزه آئین‌نامه‌های معتبری براساس عملکرد تدوین شده است که آئین‌نامه FEMA، ATC-40 و SEAOC از مهمترین آنها می‌باشند[۱-۳].

در حالت کلاسیک برای تحلیل سازه‌ها فرض می‌شود حرکت اعمال شده بر پایه سازه، مساوی میدان آزاد زمین است. حرکت میدان آزاد زمین بدین مفهوم می‌باشد که حرکت زمین در تراز فونداسیون، وقتی سازه موجود نباشد. این فرض در مورد سازه‌های ساخته شده بر سنگ بستر یا زمین سخت صحیح می‌باشد. اما مشخصات دینامیکی خاک، پاسخ‌های دینامیکی سازه واقع بر روی خاک در معرض تحریک زلزله را تحت تاثیر قرار می‌دهد. مطالعات گذشته نشان داده است که وقتی سازه‌ای بر روی خاک نرم قرار دارد و در معرض تحریک زلزله قرار می‌گیرد پاسخ سازه تحت تاثیر حرکت‌های پایه سازه، خاک زیر آن و سختی‌های آنها قرار می‌گیرد[۴، ۵]. در هنگام وقوع زلزله، به دلیل تغییرشکل‌های ایجاد شده در خاک زیر پایه سازه، حرکت پایه ساختمان نسبت به حرکت زمین در میدان آزاد در فاصله‌ای دورتر از سازه، متفاوت می‌باشد و در نتیجه پاسخ سازه با توجه به خصوصیات فیزیکی خاک، متفاوت خواهد بود. این اختلاف در پاسخ‌های سازه نماینگر اثر اندرکنش خاک-سازه[2] می‌باشد.

1- Performance-Based Design (PBD)
2- Soil-structure interaction (SSI)

در فلسفه طراحی براساس عملکرد، سطح عملکردی یک سازه وابسته به پاسخ‌های لرزه‌ای و ظرفیت سازه در آن سطح عملکردی می‌باشد. از طرفی دیگر پاسخ‌های لرزه‌ای و ظرفیت سازه ذاتاً تصادفی می‌باشد. خصوصیات مصالح مصرفی در ساخت سازه، خصوصیات خاک زیر سازه و وقوع زلزله‌های محل ساخت سازه پارامترهای غیرقطعی (تصادفی) می‌باشند که بر پاسخ‌های لرزه‌ای سازه تاثیر می‌گذارند. از اینرو، نظریه قابلیت اعتماد[3] در ارتباط با فلسفه طراحی براساس عملکرد می‌تواند درنظر گرفته شود تا اثر این عوامل تصادفی را برآورد و ارزیابی نماید. همچنین تئوری قابلیت اعتماد می‌تواند عملکرد سازه را به صورت احتمالاتی بیان نماید.

۱-۲- کلیات بهینه‌سازی

یک تعریف کلی از فرآیند بهینه‌سازی عبارت است از دستیابی به بهترین نتیجه در شرایط داده شده. بهینه‌سازی سازه‌ها به دو دسته کلی تقسیم می‌شود:

- بهینه‌سازی قطعی سازه‌ها[4]
- بهینه‌سازی سازه‌ها براساس قابلیت اعتماد[5]

بهینه‌سازی قطعی سازه‌ها در ارتباط با کمینه نمودن وزن (هزینه) با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی می‌باشد. که بصورت یک مسئله غیرخطی توام با محدودیت فرمول‌بندی می‌شود. در این مسئله بهینه‌سازی، تابع هدف تابعی از متغیرهای طراحی می‌باشد. معمولا محدودیت‌ها شامل ابعاد، تنش‌ها و جابجایی در سازه می‌باشد[۶]. همچنین بهینه‌سازی براساس طراحی عملکرد توعی از بهینه‌سازی قطعی سازه‌ها می‌باشد که محدودیت‌ها شامل تنش‌ها و قیود عملکردی می‌باشد[۷، ۸]. طرح بهینه قطعی سازه‌ها منجر به طرح غیر قابل اعتماد می‌شود و نمی‌تواند تعادل بین هزینه و ایمنی سازه برقرار نماید. یک پروسه مناسب طراحی باید قادر باشد که اثر عوامل تصادفی و غیرقطعی را در سیستم سازه‌ای درنظر بگیرد[۹].

در بهینه‌سازی سازه‌ها، عملکرد غیرقطعی سازه‌ها توسط بهینه‌سازی براساس قابلیت اعتماد ازریابی می‌شود[۱۰-۱۳]. در بهینه‌سازی براساس قابلیت اعتماد سازه‌ها، پارامترهایی از قبیل بار و مقاومت بصورت متغیرهای تصادفی درنظر گرفته می‌شود. به این ترتیب می‌توان احتمال خرابی سازه را در محاسبات ایمنی درنظر گرفت و با بررسی رفتار اعضا و اندرکنش در سیستم سازه‌ای، علاوه بر کمترین وزن (هزینه)، بیشترین قابلیت اعتماد را برای سازه و اعضای تشکیل دهنده آن

3- Reliability theory
4- Deterministic structural optimization
5- Reliability-based structural optimization

بدست آورد. بدین منظور در فرایند بهینه‌یابی، احتمال خرابی بصورت تابع یا بخشی از آن و یا به عنوان محدودیت، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱-۳- روش‌های بهینه‌سازی

در حالت کلی مسائل بهینه‌سازی سازه‌ها را می‌توان بر حسب متغیرهای طراحی و کمیت‌های کنترل کننده رفتار سازه، به صورت مسائل ریاضی مورد بررسی قرار داد. روش‌های بررسی و حل چنین مسائلی بطور کلی به دو گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول، شامل روش‌های ریاضی[۶] مبتنی بر گرادیان است که مشتقات تابع هدف و محدودیت‌ها را به همراه مقادیرشان برای یافتن طرح بهینه بکار می‌گیرند. در برخی مسائل بهینه‌سازی در مهندسی عمران، می‌توان از روش‌های مبتنی بر گرادیان سود برد ولی در تعدادی از مسائل یا نمی‌توان از این روش‌ها استفاده نمود و یا بکارگیری آنها به سادگی امکان‌پذیر نخواهد بود. به طور مثال وقتی که فضای جستجوی مسئله گسسته[۷] است و یا با وجود پیوستگی این فضا بهینه‌های محلی مانع رسیدن روش‌های گرادیانی به بهینه کلی می‌شوند، نمی‌توان از روش‌های گرادیانی استفاده نمود.

در این موارد از روش‌های فرا ابتکاری[۸] برگرفته از طبیعت جاندار و بی‌جان استفاده می‌شود. این روش‌ها در بسیاری از دسته‌بندی‌ها تحت عنوان روش‌های بهینه‌سازی هوشمند، روش‌های بهینه‌سازی تکاملی و یا جستجوی هوشمند شناخته می‌شود[۱٤، ۱۵]. این روش‌های این مزیت را دارند که بدون نیاز به مشتق تابع هزینه به یافتن نقطه بهینه آن می‌پردازند. همچنین در مقایسه با روش‌های مبتنی بر گرادیان کمتر مشکل افتادن در دام کمینه محلی را دارند. در مقابل اگر هدف رسیدن به یک جواب بهینه محلی باشد، این روش‌ها بسته به کاربرد ممکن است سرعت کمتری در مقایسه با روش‌های مبتنی بر گرادیان داشته باشند.

اکثر روش‌های مبتنی بر طبیعت جاندار از فرآیند تکاملی جانداران در طبیعت ایده می‌گیرند. در این فرآیند، ویژگی‌های جانداران بهبود می‌یابد تا بهتر بتوانند با محیط سازگار شوند و در رقابت با سایر جانداران برای دست‌یابی به منابع محدود طبیعی پیروز گردند. دو گروه عمده این زیر مجموعه، الگوریتم‌های وراثتی و تکاملی می‌باشند. در الگوریتم‌های تکاملی ابتدا جمعیتی از نقاط بطور تصادفی از میان جواب‌ها انتخاب و سپس مقدار تابع هدف به ازای تک‌تک نقاط جمعیت محاسبه می‌شود. در مرحله تولید جمعیت نقاط جدید، با کمک جمعیت موجود و استفاده از تابع

6- Mathematical methods
7- Discrete problem
8- Metaheuristic methods

توزیع احتمال مشخص و یا هر عملگر تصادفی دیگر، جمعیت نقاط دیگری تولید و مقدار تابع هدف به ازای هریک از نقاط جمعیت بوجود آمده، محاسبه می‌شود. در اینجا جمعیت جدید با جمعیت مولد سنجیده شده و بر اساس این سنجش، جمعیت نقاط جدید برای مرحله بعد انتخاب می‌شوند. روش‌های برگرفته از طبیعت بی‌جان در فرآیندهای فیزیکی موجود در طبیعت ریشه دارند. شناخته شده‌ترین روش این زیرمجموعه، شبیه سازی بازپخت فلزات است.

اخیراً الگوریتم جستجوی گرانشی[9] بعنوان یک روش فرا ابتکاری با الهام از قانون گرانش در طبیعت و با استفاده از قوانین گرانش نیوتن ارائه شده است[۱۶]. قابلیت‌های این الگوریتم در مقایسه با روش‌های الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جامعه پرندگان نشان داده شده است[۱۶]. الگوریتم جستجوی گرانشی در دو مدل استاندارد و باینری ارائه شده است. مدل استاندارد الگوریتم جستجوی گرانشی برای بهینه‌سازی مسائل پیوسته و مدل باینری آن جهت بهینه‌سازی مسائل گسسته استفاده می‌شود. در این رساله، جهت بهینه‌سازی سازه‌ها براساس قابلیت اعتماد یک الگوریتم جستجوی گرانشی گسسته ارائه شده است. این الگوریتم جستجوی گرانشی گسسته بر مبنای مدل استاندارد و استراتژی جماعت تاثیرپذیر[10] [۱۷] می‌باشد.

۱-٤- بهینه‌سازی و روش‌های تقریب‌سازی

فرایند ارزیابی قابلیت اعتماد لرزه‌ای سازه‌ها و بهینه‌سازی قابلیت اعتماد سازه‌ها نیازمند به تعداد زیاد تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه‌ها می‌باشد. این مسئله زمانی تشدید می‌شود که تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه‌ها با روش شبیه‌سازی مونت کارلو همراه شود. به عنوان مثال در مطالعه اخیر که هدف طراحی بهینه قابلیت اعتماد لرزه‌ای سازه‌ها با درنظر گرفتن اندرکنش خاک-سازه است که شامل تحلیل دینامیکی غیرخطی سیستم اندرکنش خاک-سازه با تعداد درجات آزادی بسیار بالا در برابر تاریخچه زمانی شتاب حرکت زمین می‌باشد. اگر از تحلیل واقعی سیستم اندرکنش خاک-سازه در فرایند ارزیابی قابلیت اعتماد لرزه‌ای سازه‌ها و بهینه‌سازی قابلیت اعتماد سازه‌ها استفاده نماییم فرایند ارزیابی و بهینه‌سازی با کامپیوترهای شخصی موجود ممکن است چندین سال به طول انجامد. از طرف دیگر بهینه‌سازی یک سازه معمولا با یک بار اجرای برنامه بهینه‌سازی به اتمام نمی‌رسد بلکه در بیشتر موارد جهت انتخاب مناسب پارامترهای ورودی و کالیبره نمودن برنامه بهینه‌سازی مجبوریم چندین بار برنامه را اجرا نماییم.

9- Gravitational search algorithm
10- Passive congregation strategy