



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه

کنترل پاسخ سازه چند درجه آزادی برشی

با استفاده از جستجوی آشوبناک در روش بهینه سازی ازدحام ذرات

توسط:

احسان زنگوئی

استاد راهنما:

دکتر سعید اصیل قره باغی

زمستان ۹۰

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه خانم / آقای:

را با عنوان:

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی / کارشناسی ارشد
تأیید می کند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیئت داوران
			۱- استاد راهنما
			۲- استاد مشاور
			۳- استاد مشاور
			۴- استاد ممتحن
			۵- استاد ممتحن
			۶- نماینده تحصیلات تکمیلی

از تلاشهای پدر و مادرم که محبتشان همیشه تکیه‌گام بوده و هست، از صبر و شکیبایی همسر
مهربانم که پیمودن این راه را بر من آسان نمود و لبخندهای شیرین فرزندانم که گامهایم را
استوارتر کرد، سپاسگزارم. تقدیم به این عزیزان به پاس تمامی زحماتشان.

از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر اصیل قره باغی که نه تنها الگوی علمی و راهنمایم بود بلکه درس انسانیت و اخلاق را به من آموخت، با تمام وجود قدردانی می کنم.

چکیده

کاربرد سیستمهای کنترل فعال در حوزه مهندسی عمران روز به روز در حال افزایش و پیشرفت است. در خلال این پیشرفتهای الگوریتمهای مختلفی برای پیاده سازی کنترلگرها همچنین روشهای گوناگونی برای تعیین خروجی سیستم کنترل براساس این الگوریتمها بوجود آمده اند. در این تحقیق از روش بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO) برای تعیین نیروی کنترلی سیستم تاندون فعال به منظور کاهش پاسخهای سازه ای تحت تحریک زلزله استفاده شده است. برای جلوگیری از گرفتار شدن احتمالی الگوریتم مذکور در نقاط مینیمم موضعی و به حداقل رساندن فراوانی رسیدن نیروی کنترلی به حداکثر ظرفیت محرکها، نگاشتهای آشوبناک با PSO ترکیب شده اند. مساله کنترل پاسخ سازه چند درجه آزادی با تاندون فعال، بصورت یک مساله بهینه سازی مطرح و با استفاده از روش های PSO و CPSO حل شده است. دو ساختمان برشی سه و بیست طبقه برای تعیین کارایی روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی نتایج در بازه زمانی شبیه سازی و مقایسه آن با سایر روشها نشان می دهد که پاسخهای سازه به میزان قابل توجهی با استفاده از الگوریتمهای پیشنهادی کاهش یافته اند. علاوه بر این، نتایج نشان می دهد که فراوانی رسیدن نیروی کنترلی به ماکزیمم نیروی قابل اعمال از سوی سیستم کنترلی، با بکارگیری بهینه سازی ازدحام ذرات آشوبناک با نگاشت گاوسی (GPSO)، به مراتب کمتر از PSO است.

کلمات کلیدی: کنترل فعال، نگاشت آشوبناک، بهینه سازی ازدحام ذرات آشوبناک، ساختمان برشی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل ۱- مقدمه
۱-۱	۱-۱-۱ پیشگفتار
۱	۱-۲-۱ سیستم سازه ای هوشمند
۱-۲-۱	۱-۲-۱-۱ محدودیتهای روشهای سنتی طراحی سازه ها
۲-۲-۱	۲-۲-۱-۱ اهمیت فناوری سازه های هوشمند
۳-۱	۳-۱-۱ انواع روشهای کنترل سازه ها
۳-۱-۱	۳-۱-۱-۱ کنترل غیرفعال
۳-۱-۱	۳-۱-۱-۲ کنترل نیمه فعال
۳-۱-۱	۳-۱-۱-۳ کنترل فعال
۴-۱	۴-۱-۱ هدف پایان نامه
۵-۱	۵-۱-۱ مروری بر تحقیقات پیشین و ادبیات فنی
۵-۱-۱	۵-۱-۱-۱ تاریخچه ظهور فناوری سیستم هوشمند برای کنترل پاسخ لرزه ای
۵-۱-۲	۵-۱-۲-۱ کاربرد الگوریتمهای تکاملی در بهینه سازی
۶-۱	۶-۱-۱ فصل بندی پایان نامه
۲۰	فصل ۲- بهینه سازی
۲-۱-۲	۲-۱-۲-۱ مقدمه
۲-۲-۲	۲-۲-۲-۱ تعریف
۳-۲-۲	۳-۲-۲-۱ فرمول بندی مساله بهینه سازی
۴-۲-۲	۴-۲-۲-۱ انواع روشهای بهینه سازی
۴-۲-۲	۴-۲-۲-۱-۱ روشهای مبتنی بر ابزار کلاسیک
۴-۲-۲	۴-۲-۲-۲ روشهای مبتنی بر الگوریتمهای ابتکاری
۵-۲-۲	۵-۲-۲-۱ الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات
۵-۲-۲	۵-۲-۲-۱-۱ معرفی روش
۵-۲-۲	۵-۲-۲-۲ مزایا، معایب و نواقص نسبت به سایر روشها
۵-۲-۲	۵-۲-۲-۳ راهکارهای رفع معایب و بهبود کارایی

فصل ۳- آشوب و کاربردهای آن ۴۲

- ۱-۳- دینامیک آشوبناک و کاربردهای گسترده آن در پدیده های طبیعی ۴۲
- ۲-۳- شناخت رفتار آشوبناک ۴۳
- ۱-۲-۳- فضای فاز ۴۵
- ۲-۲-۳- نگاشت پوانکاره ۴۵
- ۳-۲-۳- نمودار دوشاخه شدگی ۵۲
- ۳-۳- جستجوی آشوبناک با استفاده از نگاشتهای آشوبناک ۵۴
- ۱-۳-۳- نگاشت لجستیک ۵۴
- ۲-۳-۳- نگاشت گاوسی ۵۸

فصل ۴- کنترل فعال سازه های چند درجه آزادی با استفاده از CPSO ۶۲

- ۱-۴- الگوریتم ازدحام ذرات آشوبناک (CPSO) ۶۲
- ۱-۱-۴- معرفی ۶۲
- ۲-۱-۴- انواع نگرشهای ترکیب PSO با نگاشتهای آشوبناک ۶۲
- ۲-۴- هدف سیستمهای کنترل ۶۶
- ۳-۴- مدل تحلیلی سازه های لرزه ای هوشمند با کنترل فعال ۶۷
- ۱-۳-۴- فرضیات ۶۷
- ۲-۳-۴- معادلات حرکت سازه تحت تحریک شتاب زمین ۶۸
- ۳-۳-۴- نمایش فضای حالت ۷۴
- ۴-۴- الگوریتمهای کنترل بهینه برای سازه های هوشمند ۷۶
- ۱-۴-۴- شاخص عملکرد ۷۷
- ۲-۴-۴- الگوریتم کنترل فعال بهینه ریکاتی ۷۷
- ۳-۴-۴- الگوریتم مکان قطب ۷۸
- ۴-۴-۴- الگوریتم کنترل فعال بهینه لحظه ای ۷۸
- ۵-۴- تابع هدف (هزینه) ۷۹
- ۶-۴- شبیه سازی عددی ۸۰
- ۱-۶-۴- کنترل پاسخهای ساختمان برشی سه طبقه ۸۴
- ۲-۶-۴- بررسی کفایت کنترل فعال با الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات ۹۵
- ۳-۶-۴- کنترل پاسخهای ساختمان برشی بیست طبقه ۹۶
- ۴-۶-۴- کنترل سازه بیست درجه آزادی با نصب سه محرک ۹۹
- ۵-۶-۴- کنترل سازه بیست درجه آزادی با نصب دو محرک ۱۱۹

فصل ۵ - نتیجه گیری، کاربردها و پیشنهادها.....	۱۲۳
۱-۵- بحث و بررسی روی نتایج بدست آمده.....	۱۲۳
۲-۵- کاربردهای تحقیق.....	۱۲۴
۳-۵- پیشنهادها.....	۱۲۵
ضمیمه أ - انتگرال گیری عددی به روش رانگ - کوتا.....	۱۲۸
فهرست مراجع.....	۱۳۰
واژه نامه فارسی به انگلیسی.....	۱۳۴
واژه نامه انگلیسی به فارسی.....	۱۳۶

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: مخزن آب با میراگر.....	۵
شکل ۲-۱: نمودار شماتیک سیستم کنترل فعال.....	۸
شکل ۳-۱: پیاده سازی کنترل حلقه باز بر روی سیستم تاندون فعال.....	۱۰
شکل ۴-۱: طرح شماتیک کنترل حلقه بسته.....	۱۱
شکل ۵-۱: پیاده سازی کنترل حلقه بسته بر روی سیستم تاندون فعال.....	۱۱
شکل ۶-۱: نمودار شماتیک کنترل حلقه باز - بسته.....	۱۲
شکل ۷-۱: پیاده سازی کنترل حلقه باز- بسته بر روی سیستم تاندون فعال.....	۱۲
شکل ۱-۲: سه مولفه اصلی برای محاسبه تغییر مکان بعدی یک ذره.....	۳۶
شکل ۱-۳: رفتار دوره ای و آشوبناک آونگ واداشته میرا.....	۴۳
شکل ۲-۳: حساسیت به شرایط اولیه به ازاء شرایط اولیه بسیار نزدیک در نگاشت لجستیک.....	۴۴
شکل ۳-۳: آونگ واداشته.....	۴۶
شکل ۴-۳: تصاویر فاز سه بعدی آونگ واداشته میرا برای شدتهای مختلف نیروی محرک.....	۴۸
شکل ۵-۳: صفحه فاز و مقطع پوانکاره برای $q = 2$ و دامنه محرک $g = 0.9$	۴۹
شکل ۶-۳: صفحه فاز و مقطع پوانکاره برای $q = 2$ و دامنه محرک $g = 1.07$	۵۰
شکل ۷-۳: صفحه فاز و مقطع پوانکاره برای $q = 2$ و دامنه محرک $g = 1.15$	۵۰
شکل ۸-۳: مقاطع پوانکاره در فازهای مختلف جمله محرک (φ)	۵۰
شکل ۹-۳: رباینده در مقطع پوانکاره با بزرگنماییهای مختلف.....	۵۱
شکل ۱۰-۳: رباینده ها در مقطع پوانکاره برای حالتهای آشوبناک با مقادیر متفاوت میرایی q	۵۱
شکل ۱۱-۳: نمودار دوشاخه شدگی (سرعت زاویه ای بر حسب دامنه نیرو).....	۵۲
شکل ۱۲-۳: نمودار دوشاخه شدگی برای آونگ واداشته میرا برای $q = 4$	۵۳
شکل ۱۳-۳: تحول نگاشت لجستیک به ازای $\mu = 2$. مقدار تعادل $x = 0.5$ است.....	۵۵
شکل ۱۴-۳: نگاشت لجستیک به ازای $\mu = 3.3$	۵۵
شکل ۱۵-۳: حرکت دوره ای نگاشت لجستیک بر حسب شماره تکرار به ازای $\mu = 3.3$	۵۶
شکل ۱۶-۳: تکرار نگاشت لجستیک در حالت آشوبناک و به ازای $\mu = 3.9$	۵۶
شکل ۱۷-۳: رفتار آشوبناک نگاشت لجستیک بر حسب شماره تکرار.....	۵۷

- شکل ۳-۱۸: نمودار دوشاخه شدگی در نگاشت لجستیک ۵۸
- شکل ۳-۱۹: تابع نگاشت گاوسی برای $b = 6, c = -0.2$ ۵۹
- شکل ۳-۲۰: نمودار دوشاخه شدگی نگاشت گاوسی به ازاء $x_0 = 0$ ۵۹
- شکل ۳-۲۱: نمودار دوشاخه شدگی نگاشت گاوسی به ازای $x_0 = 1$ ۶۰
- شکل ۴-۱: نمودار تعداد شکستها برای ضرایب وزنی مختلف ۶۳
- شکل ۴-۲: نمودار مقدار تابع هدف - شماره تکرار برای PSO ۶۵
- شکل ۴-۳: نمودار مقدار تابع هدف - شماره تکرار برای CPSO ۶۵
- شکل ۴-۴: مقایسه مقادیر تابع هدف در دو روش ۶۶
- شکل ۴-۵: سختی جانبی قاب برشی ۶۹
- شکل ۴-۶: سازه هوشمند با کنترل تاندون فعال ۷۱
- شکل ۴-۷: قطبهای ماتریس برپایی در صفحه مختلط برای سازه هوشمند ۷۶
- شکل ۴-۸: ساختمان برشی پنج طبقه یکنواخت ۸۱
- شکل ۴-۹: مولفه شمال - جنوب شتاب افقی زمین در زلزله ال سنترو، کالیفرنیا ۱۹۴۰ ۸۱
- شکل ۴-۱۰: جریمهای موثر مودی و ارتفاع موثر مودی ۸۲
- شکل ۴-۱۱: تغییر مکان سقف : مشارکتهای مودی $u_{5n}(t)$ و پاسخهای کل $u_5(t)$ ۸۲
- شکل ۴-۱۲: تغییر مکان بام سازه حاصل از نتایج تحلیل برنامه کامپیوتری ۸۳
- شکل ۴-۱۳: مدل ساختمان برشی سه طبقه با تاندون فعال ۸۴
- شکل ۴-۱۴: تغییر مکان کنترل نشده سازه سه درجه آزادی ۸۵
- شکل ۴-۱۵: سرعت کنترل نشده سازه سه درجه آزادی ۸۵
- شکل ۴-۱۶: دیگرامر جسم آزاد ساختمان برشی سه درجه آزادی ۸۶
- شکل ۴-۱۷: فلوجارت الگوریتم PSO برای کنترل فعال سازه برشی ۸۸
- شکل ۴-۱۸: تغییر مکان کنترل شده و کنترل نشده طبقه سوم ساختمان برشی سه طبقه ۹۳
- شکل ۴-۱۹: سرعت کنترل شده و کنترل نشده طبقه سوم ساختمان برشی سه طبقه ۹۳
- شکل ۴-۲۰: نیروی کنترلی وارد بر سازه بدست آمده از روش PSO ۹۳
- شکل ۴-۲۱: تغییر مکان طبقه اول ۹۵
- شکل ۴-۲۲: تغییر مکان طبقه دوم ۹۶
- شکل ۴-۲۳: تغییر مکان طبقه سوم ۹۶
- شکل ۴-۲۴: ساختمان برشی بیست طبقه کنترل نشده ۹۷
- شکل ۴-۲۵: تغییر مکان طبقات اول تا پنجم ساختمان برشی بیست طبقه ۹۸

- شکل ۴-۲۶: تغییر مکان طبقات ششم تا دهم ساختمان برشی بیست طبقه..... ۹۸
- شکل ۴-۲۷: تغییر مکان طبقات یازدهم تا پانزدهم ساختمان برشی بیست طبقه..... ۹۸
- شکل ۴-۲۸: تغییر مکان طبقات شانزدهم تا بیستم ساختمان برشی بیست طبقه..... ۹۹
- شکل ۴-۲۹: نمونه ای از ساختمان برشی چند درجه آزادی با سیستم کنترل تاندون فعال..... ۱۰۱
- شکل ۴-۳۰: تغییر مکان طبقه بیستم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۲
- شکل ۴-۳۱: تغییر مکان طبقه نوزدهم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۲
- شکل ۴-۳۲: تغییر مکان طبقه هیجدهم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۳
- شکل ۴-۳۳: تغییر مکان طبقه هفدهم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۳
- شکل ۴-۳۴: تغییر مکان طبقه شانزدهم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۳
- شکل ۴-۳۵: تغییر مکان طبقه پانزدهم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۴
- شکل ۴-۳۶: تغییر مکان طبقه چهاردهم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۴
- شکل ۴-۳۷: تغییر مکان طبقه سیزدهم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۴
- شکل ۴-۳۸: تغییر مکان طبقه دوازدهم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۵
- شکل ۴-۳۹: تغییر مکان طبقه یازدهم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۵
- شکل ۴-۴۰: تغییر مکان طبقه دهم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۵
- شکل ۴-۴۱: تغییر مکان طبقه نهم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۶
- شکل ۴-۴۲: تغییر مکان طبقه هشتم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۶
- شکل ۴-۴۳: تغییر مکان طبقه هفتم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۶
- شکل ۴-۴۴: تغییر مکان طبقه ششم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۷
- شکل ۴-۴۵: تغییر مکان طبقه پنجم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۷
- شکل ۴-۴۶: تغییر مکان طبقه چهارم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۷
- شکل ۴-۴۷: تغییر مکان طبقه سوم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۸
- شکل ۴-۴۸: تغییر مکان طبقه دوم در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۸
- شکل ۴-۴۹: تغییر مکان طبقه اول در حالت کنترل شده و کنترل نشده..... ۱۰۸
- شکل ۴-۵۰: تغییر مکان تراز بام سازه کنترل شده با استفاده از LPSO..... ۱۱۰
- شکل ۴-۵۱: تغییر مکان تراز بام سازه کنترل شده با استفاده از GPSO..... ۱۱۱
- شکل ۴-۵۲: نیروی کنترلی اعمالی از طرف تاندون نصب شده در طبقه ششم..... ۱۱۱
- شکل ۴-۵۳: نیروی کنترلی اعمالی از طرف تاندون نصب شده در طبقه دوازدهم..... ۱۱۲
- شکل ۴-۵۴: نیروی کنترلی اعمالی از طرف تاندون نصب شده در طبقه هیجدهم..... ۱۱۲

- شکل ۴-۵۵: مقایسه نیروی کنترلی در تراز طبقه ششم..... ۱۱۴
- شکل ۴-۵۶: مقایسه نیروی کنترلی در تراز طبقه دوازدهم ۱۱۴
- شکل ۴-۵۷: مقایسه نیروی کنترلی در تراز طبقه هیجدهم..... ۱۱۴
- شکل ۴-۵۸: نیروی کنترلی در تراز طبقه ششم ۱۱۵
- شکل ۴-۵۹: نیروی کنترلی در تراز طبقه دوازدهم ۱۱۵
- شکل ۴-۶۰: نیروی کنترلی در تراز طبقه هیجدهم ۱۱۵
- شکل ۴-۶۱: شتاب افقی زمین در زلزله کالیفرنیا ۱۹۵۲ ۱۱۶
- شکل ۴-۶۲: تغییر مکان طبقه بیستم ساختمان برشی در اثر زلزله کالیفرنیا..... ۱۱۶
- شکل ۴-۶۳: نیروی کنترلی وارد به سازه در طبقه ششم ۱۱۸
- شکل ۴-۶۴: نیروی کنترلی وارد به سازه در طبقه دوازدهم..... ۱۱۸
- شکل ۴-۶۵: نیروی کنترلی وارد به سازه در طبقه هیجدهم..... ۱۱۸
- شکل ۴-۶۶: تغییر مکان طبقه بیستم ساختمان برشی در حالت کنترل شده..... ۱۲۰
- شکل ۴-۶۷: مولفه افقی شتاب زمین در زلزله نورث ریج ۱۹۹۴ ۱۲۰

فهرست جدول ها

صفحه	عنوان
۸۴	جدول ۱-۴: مشخصات سازه ای ساختمان برشی
۹۴	جدول ۲-۴: نرخ کاهش پاسخهای سازه مورد مطالعه با روش PSO.....
۹۴	جدول ۳-۴: نرخ کاهش پاسخهای کنترل شده ساختمان سه درجه آزادی با روش LPNN.....
۹۷	جدول ۴-۴: مشخصات سازه ای ساختمان برشی بیست طبقه.....
۱۱۳	جدول ۵-۴: تغییرمکان ماکزیمم مطلق ساختمان برشی تحت زلزله ال سنترو.....
۱۱۷	جدول ۶-۴: تغییرمکان ماکزیمم مطلق ساختمان برشی تحت زلزله کالیفرنیا.....
۱۱۹	جدول ۷-۴: تغییرمکان ماکزیمم مطلق ساختمان برشی تحت زلزله ال سنترو.....
۱۲۱	جدول ۸-۴: تغییرمکان ماکزیمم مطلق ساختمان برشی تحت زلزله نورثریج.....

فصل ۱ - مقدمه

۱-۱ - پیشگفتار

امروزه بزرگترین چالش مهندسی سازه، طراحی بهینه سازه ها برای مقابله با خسارات ناشی از زمین لرزه و بادهای شدید است. علیرغم اینکه سیستمهای سازه ای هوشمند یک مفهوم تازه و نوین است ولی تاثیر و کارایی آن در حفاظت از سازه ها به اثبات رسیده است. این سیستمها باعث استهلاک انرژی در سازه می شوند. لذا پاسخهای سازه و خسارات احتمالی را کاهش می دهند. فناوری سازه هوشمند روز به روز در حال رشد و پیشرفت می باشد و با پیدایش شیوه ها و استراتژیهای جدید بهبود می یابد.

سازه مجموعه ای از اعضا است که برای تحمل یا انتقال بار مورد استفاده قرار می گیرد، بطوریکه در طول عمر مفید خود خسارات عمده و غیر قابل تعمیر را متحمل نشود. سازه ها در اشکال و انواع گوناگونی از قبیل ساختمانها، پلها، کشتی ها، هواپیماها و یا سفینه های فضایی وجود دارند. بارهای وارد بر سازه ها می تواند استاتیکی باشد مانند بارهای ثقلی و یا دینامیکی باشد مانند زمین لرزه.

اجزاء سازه ای از قبیل ستونها، تیرها، صفحات و پوسته ها سیستمهای باربر هستند و خودشان نیز به تعبیری سازه اند. رفتار یک سازه و اجزاء آن مانند تغییر شکل تحت بارهای استاتیکی و ارتعاش تحت بارهای دینامیکی، پاسخ سازه ای نامیده می شود. طراحی یک سازه به طور ساده به تعیین شکل و نحوه قرارگیری آن در فضای سه بعدی، مصالح و اندازه اجزاء و اتصالات بین این اجزاء اطلاق می شود به گونه ای که پاسخ سازه ای معیارهای مورد نظر از قبیل ایمنی سازه ای (مقاومت و پایداری)، خدمت پذیری (سختی) و یا معیار آسایش را برآورده کند.

۱-۲ - سیستم سازه ای هوشمند

۱-۲-۱ - محدودیتهای روشهای سنتی طراحی سازه ها

یک روش سنتی برای طراحی سازه ها این که سازه ای با مقاومت کافی برای تحمل بارها و توانایی تغییر شکل با رفتاری شکل پذیر طراحی شود.

این چنین سازه هایی ظرفیت محدودی دارند به این دلیل که :

۱. این سازه ها دارای میرایی ذاتی کوچکی هستند که برای جذب انرژی دینامیکی مورد استفاده قرار می گیرد. بعلاوه هیچ فناوری وجود ندارد که میرایی مصالح سازه ای رایج و مرسوم مانند بتن آرمه و فولاد را افزایش دهد.

۲. این سازه ها دارای یک ظرفیت ثابت و معین برای مقاومت در برابر بارها و جذب انرژی می باشند بنابراین آنها نمی توانند خود را با تحریکهای محیطی متغیر مانند باد یا زمین لرزه تطبیق دهند.

۳. بطور کلی قابلیت این سازه ها برای تحمل و مقاومت در برابر بارها به سختی جانبی آنها بستگی دارد.

محدودیتهای روش سنتی طراحی سازه ها زمینه ساز و انگیزه اصلی برای یافتن روشهای دیگر شده است. تحقیقات پیشرفته منجر به کشف مصالح طبیعی و مصنوعی با خواص نامتعارف شده است که مصالح هوشمند نامیده می شود. سیستمهایی که می توانند به طور خودکار خود را با تغییرات محیطی منطبق نمایند سیستمهای سازگار نامیده می شوند. این اختراعات منجر به مفهوم جدید سازه های هوشمند شده است. با سیستمهای سازگار و یا مصالح هوشمند و تجهیزاتی که به سازه ها افزوده می شود، سازه به یک سازه هوشمند تبدیل می شود چون که می تواند اطلاعات را نمایش داده و خود را با محیط وفق دهد. یک سیستم سازه ای هوشمند قابلیت احساس هر تغییر در محیط یا سیستم، تشخیص اشکالات در هر یک از موقعیتهای بحرانی، ذخیره و پردازش داده های اندازه گیری شده و صدور دستورات مناسب برای بهبود عملکرد سیستم و محافظت از ایمنی و خدمت پذیری سازه را دارد.

مفهوم سازه هوشمند در صنایع فضایی و مکانیک مانند سیستم های عیب یابی هواپیما و کمک فنرهای اتومبیل بکار رفته است. کاربرد این مفهوم برای کاهش پاسخ لرزه ای سازه های عمرانی بزرگ هنوز یک فناوری نو پا می باشد که در حال بررسی و پیشرفت است.

۱-۲-۲- اهمیت فناوری سازه های هوشمند

سازه های عمرانی از قبیل ساختمانها، پلها و برجها ممکن است هنگامی که در معرض تحریکهای شدید باد یا زمین لرزه قرار می گیرند به شدت ارتعاش کنند و یا حتی خراب شوند. طراحی سازه هایی که در برابر آسیب های لرزه ای مقاومت کند یکی از چالشهای مهندسی عمران می باشد.

علیرغم تلاشهای زیادی که برای طراحی های مقاوم در برابر باد و زلزله در آئین نامه های ساختمانی شده است، هنوز هم سازه ها در مقابل تحریکهای قوی زلزله و باد آسیب پذیر می باشند. این به دلیل استفاده از روشهای سنتی طراحی سازه هاست که منجر به طراحی سازه هایی با ظرفیت محدود تحمل

بار و جذب انرژی می شود. بطور کلی چنین سازه هایی برای مقاومت در برابر نیروهای ناشی از زلزله از سختی خود و برای جذب انرژی دینامیکی از میرایی نه چندان زیاد مصالح خود بهره می برند. این سازه ها غیرفعال هستند چرا که نمی توانند با هر تغییر و تحریک نامشخص زلزله و باد خود را وفق دهند چنانکه برای مقاومت در برابر تحریک قوی تر نیاز به مقاومت سازه ای و شکل پذیری بالاتری است، اما مصالح ساختمانی با مقاومت بالاتر و شکل پذیرتر معمولاً گران ترند.

طی سه دهه اخیر، اثبات عدم کارایی طراحی های سنتی مقاوم در برابر باد و زلزله، منجر به بکارگیری و استفاده از فناوری سازه های هوشمند در سازه های عمرانی شده است. این فناوری مقبولیت عمومی پیدا کرده بطوریکه نتایج و یافته های محققان و کاربردهای عملی دلیلی برای صحت این ادعا است که این روش یک راه حل امیدبخش و قابل اعتماد برای محافظت سازه ها در برابر تحریکهای لرزه ای و باد است.

در فناوری سازه هوشمند تجهیزات و یا سیستمهایی به سازه اضافه می شوند که ظرفیت مقاومت لرزه ای آن را افزایش می دهد. بنابراین سازه نه تنها از مقاومت خود برای مقابله با نیروی زلزله استفاده می کند بلکه از تجهیزات و سیستمهای اتلاف انرژی دینامیکی نیز بهره می برد. فناوری سازه هوشمند به یک روش جالب توجه برای افزایش ایمنی و خدمت پذیری سازه تبدیل شده است بطوریکه قادر است به میزان قابل توجهی عملکرد لرزه ای سیستمهای سازه ای را بهبود بخشد. هنگامی که یک سازه جدید بنا می شود و یا یک ساختمان موجود مقاوم سازی می گردد، برای برطرف کردن نیازهای ایمنی و یا خدمت پذیری، استفاده از سیستمهای سازه هوشمند می تواند موجب صرفه جویی در مصالح ساختمانی و حجم کار شود و در نتیجه منجر به کاهش وزن سازه و هزینه ساخت می شود.

امروزه چنین سیستمهایی در سازه های عمرانی زیر بیشتر بکار می روند :

- سازه هایی که تحت تحریکهای نامتعارف مانند بادهای شدید و یا زلزله های قوی قرار دارند.
- سازه هایی که دارای عملکرد حساس و یا نیاز ایمنی بالا هستند مانند بیمارستانها، آتش نشانی ها و کارخانه های تولید نیرو و ...
- سازه هایی که ملاحظات خدمت پذیری خاصی دارند مانند، برجها، ساختمانهای بلند، سقفهای با دهانه بزرگ یا پلها و سایر سازه های نرم تحت تحریک محیطی بزرگ. ارتعاشات سازه ای زیاد می تواند بر آسایش ساکنین یا ایمنی سازه ای اثرات نامطلوبی بگذارد.

۱-۳- انواع روشهای کنترل سازه ها

با توجه به شرایط مختلف به روشهای گوناگونی می توان ارتعاشات سازه را کاهش داد. معمول ترین روشها استهلاک و جداسازی می باشد. استهلاک شامل کاهش نقطه اوج تشدید با اتلاف انرژی تحریک است در حالیکه جداسازی جلوگیری از انتشار آشفتگی به قسمتهای حساس سیستم است. استهلاک ممکن است به صورت غیر فعال با میراگرهای مایع، جریانهای گردابی، الاستومرها، اجزایی با رفتار هیستریزیس یا با انتقال انرژی جنبشی به جاذبههای ارتعاشات دینامیکی انجام شود. یک روش دیگر هم استفاده از مبدلهایی است که انرژی ارتعاش را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند که در شبکه های الکتریکی تلف و یا ذخیره می شوند. نوع دیگری از وسایل کنترل، ابزارهای کنترل نیمه فعال هستند که شامل ابزارهای غیرفعال با مشخصات قابل کنترل می باشند [۱]. میراگرهای سیال مغناطیسی و مبدلهای پیزوالکتریک متصل به شبکه های الکتریکی نمونه هایی از این ابزارها می باشند. هنگامی که کارایی بالایی مورد نیاز است، کنترل فعال مورد استفاده قرار می گیرد که شامل مجموعه ای است از حسگرها (کرنش، سرعت، شتاب، نیرو و...)، محرکها (نیرو، لختی، کرنش و...) و یک الگوریتم کنترل (پس خور یا پیش خور). میراگر جرم فعال^۱، سیستم بادبند فعال^۲، سیستم تاندون فعال^۳ و سیستم مولد پالس^۴ از نمونه های ابزارهای کنترل فعال می باشند.

۱-۳-۱- کنترل غیر فعال

سیستمهای اتلاف غیرفعال انرژی از ابزارهای مکانیکی برای اتلاف بخشی از انرژی ورودی به سازه بهره می برند. بنابراین مقادیر پاسخهای سازه و احتمال بروز خسارت سازه ای کاهش می یابد. این ابزارها برای کم کردن ارتعاشات سازه ای ناشی از تحریکهای باد و زلزله بکار می روند. نمونه های بارز سیستمهای غیرفعال عبارتند از: میراگرهای جرمی تنظیم شده^۵، میراگرهای مایع تنظیم شده^۶، ابزارهای اصطکاکی^۷، ابزارهای تسلیم فلزی^۸، میراگرهای ویسکو الاستیک^۹ و میراگرهای مایع لزج^{۱۰}.

¹ Active mass damper

² Active brace system

³ Active tendon system

⁴ Pulse generation system

⁵ Tuned mass damper

⁶ Tuned liquid damper

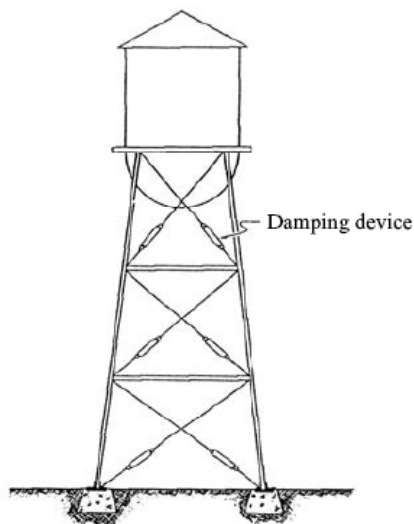
⁷ Friction device

⁸ Metallic yield device

⁹ Viscoelastic damper

¹⁰ Viscous liquid damper

این سیستمها نیازی به نیروی خارجی و اندازه گیری پاسخهای سازه ای ندارند. سیستمهای غیرفعال، در مواقعی که مقدار پاسخ سازه ای زیاد باشد، یک نیروی میرایی بزرگ را تولید می کند. بعضی از سیستمها مانند میراگرهای جرمی تنظیم شده و میراگرهای مایع تنظیم شده فقط در پهنای فرکانسی محدودی موثرند چرا که این سیستمها با فرکانس مود اول سازه تنظیم شده اند.



شکل ۱-۱: مخزن آب با میراگر

این میراگرها در سازه های تحت تحریک باد که مود اول آنها حاکم است برای جلوگیری از ارتعاش سازه بکار می روند، در صورتی که به دلیل تاثیرگذاری موده های بیشتر در تحریک زلزله، قابلیت کنترل پاسخ لرزه ای را ندارند. سازه هایی که سیستمهای غیرفعال بر روی آنها سوارند قادر به تطبیق خود با تحریک و پاسخ کلی سازه نمی باشند. سیستمهای غیرفعال برای تحریک مکانیسم اتلاف انرژی به حرکت نسبی سازه وابسته اند، و انرژی تلف شده فقط به پاسخ موضعی سازه (محلی که ابزارهای غیرفعال قرار گرفته اند) بستگی دارد.

۱-۳-۲- کنترل نیمه فعال

میراگرهای نیمه فعال^۱ برای اولین بار در دهه ۱۹۲۰ میلادی برای کنترل ارتعاشات اتومبیلها در کمک فنرها مورد استفاده قرار گرفتند ولی کاربرد آنها در کنترل ارتعاشات سازه های عمرانی به دهه ۱۹۸۰ برمی گردد. میراگرهای نیمه فعال نتیجه تکامل فناوری اتلاف کننده های غیرفعال می باشند که برای بهبود کارایی با سیستمهای سازگار ترکیب شده اند که گاهی اوقات میراگرهای کنترل پذیر^۲ نامیده

^۱ Semiactive damper

^۲ Controllable damper

می شوند. سیستم سازگار اطلاعات مربوط به تحریک و پاسخ سازه ای را جمع آوری کرده و رفتار میراگر را بر اساس این اطلاعات برای افزایش کارایی آن تنظیم می کند. یک سیستم کنترل نیمه فعال از حسگرها، کامپیوتر، محرک کنترلی و ابزار استهلاک غیرفعال تشکیل شده است. حسگرها میزان تحریک یا پاسخ سازه را اندازه گیری می کنند. کامپیوتر مقادیر اندازه گیری شده توسط حسگرها را پردازش کرده و یک سیگنال کنترلی را برای محرک تولید می کند. حال محرک برای تنظیم رفتار ابزار غیرفعال وارد عمل می شود. توجه شود که از محرک به جای اعمال نیروی مستقیم به سازه، برای کنترل رفتار ابزار غیرفعال استفاده می شود. بنابراین سیستم مذکور به منبع تغذیه کوچکی نیاز دارد. این یک مزیت بزرگ است زیرا ممکن است منبع انرژی اصلی ساختمان در هنگام وقوع زمین لرزه از کار بیفتد و محرک قادر به جلوگیری از ناپایداری سازه نباشد. علیرغم اینکه میراگرهای نیمه فعال کمی پیچیده تر از میراگرهای غیرفعال می باشند در عوض مطمئن تر بوده و توانایی عملکرد بهتری نسبت به میراگرهای غیرفعال دارند. قابلیت‌های کنترلی میراگرهای نیمه فعال هنوز به دلیل محدودیت ظرفیت ابزارهای غیرفعال، محدود است. سیستم‌های میراگر نیمه فعال عبارتند از : میراگرهای جرم تنظیم شده نیمه فعال^۱، میراگرهای مایع تنظیم شده نیمه فعال^۲، میراگرهای اصطکاکی نیمه فعال^۳، میراگر مایع لزج نیمه فعال^۴، میراگر سیال مغناطیسی نیمه فعال^۵، میراگر سیال الکتریکی نیمه فعال^۶، ابزارهای کنترل سختی نیمه فعال^۷ و لرزه گیر نیمه فعال^۸.

۱-۳-۳- کنترل فعال

۱-۳-۳-۱- معرفی

سیستم‌های کنترل فعال^۹ به طور گسترده ای برای جلوگیری از اغتشاش و ارتعاشات سازه ای در صنایع فضایی و مکانیکی مورد استفاده قرار می گیرد. کاربرد آنها در سازه های عظیم عمرانی یک عرصه جدید می باشد که در حال پیشرفت، تحقیق و بررسی است.

¹ Semi active Tuned Mass Dampers

² Semi active Tuned Liquid Dampers

³ Semi active Friction Dampers

⁴ Semi active Viscous Fluid Damper

⁵ Magnetorheological Dampers

⁶ Electrorheological Dampers

⁷ Semi active Stiffness Control Devices

⁸ Semi active Vibration Absorber

⁹ Active control system