


میراگرها


(مبانی و تئوری)

محل ضرب مهرهای تحت کنترل- منسوخ							۰۳
							۰۲
							۰۱
				امیر ساعدی	وحید پاچیده	میراگرها (مبانی و تئوری)	۰۰
	تاریخ انتشار	تصویب	تأیید	بررسی	تهیه	شرح	REV

میراگرها (مبانی و تئوری)										
صفحه: ۲		<i>DEP</i>	<i>PRJ</i>	<i>CAT</i>	<i>DIS</i>	<i>TYP</i>	<i>SEQ</i>	<i>REV</i>	پروژه:	
آذرماه ۹۴								۰۱		

فهرست مطالب

- ۱-مقدمه ۳
- ۲-فلسفه پیدایش سیستمهای جاذب انرژی..... ۳
- ۳-فلسفه استفاده از وسایل اتلاف انرژی از دیدگاه انرژی ۵
- ۴-روش های کاهش انرژی وارد شده به سازه ۶
- ۴-۱- سیستمهای کنترل غیرفعال (*Passive control systems*) ۶
- ۴-۲- سیستمهای کنترل فعال (*Active control systems*) ۷
- ۴-۳- سیستمهای کنترل ترکیبی (*Hybrid control systems*) ۸
- ۴-۴- سیستمهای کنترل نیمه فعال (*semi active control systems*) ۹

میراگرها (مبانی و تئوری)										
صفحه: ۳		<i>DEP</i>	<i>PRJ</i>	<i>CAT</i>	<i>DIS</i>	<i>TYP</i>	<i>SEQ</i>	<i>REV</i>		پروژه:
آذرماه ۹۴								۰۱		


۱- مقدمه

زلزله یکی از سهمناک‌ترین پدیده‌های طبیعت است که با خود مرگ و ویرانی به همراه دارد و حاصل تلاش‌های یک جامعه متمدن را به نیستی می‌کشد. بدیهی است که ضایعات و تلفات ناشی از زلزله، غالباً بر اثر تخریب ساختمان‌ها و ابنیه فنی حاصل می‌گردد. آشنائی و شناخت این پدیده و اثرهای آن و نیز تحقیق و مطالعه در ساخت و ساز صحیح، استفاده از سیستم‌های جدید و به کار گرفتن اطلاعات و نتایج حاصل از زلزله‌های گذشته، می‌تواند در تقلیل اثرهای آن مؤثر باشد. به همین دلیل علم مهندسی زلزله، که شاخه‌ای جدید از علوم مهندسی است که در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است؛ به ویژه در ۳۵ سال اخیر که مبانی و نظریات جدید و روش‌های محاسباتی با استفاده از سیستم‌های کامپیوتری مدرن معرفی شدند، پیشرفت قابل ملاحظه‌ای در مهندسی زلزله بوجود آمده است.

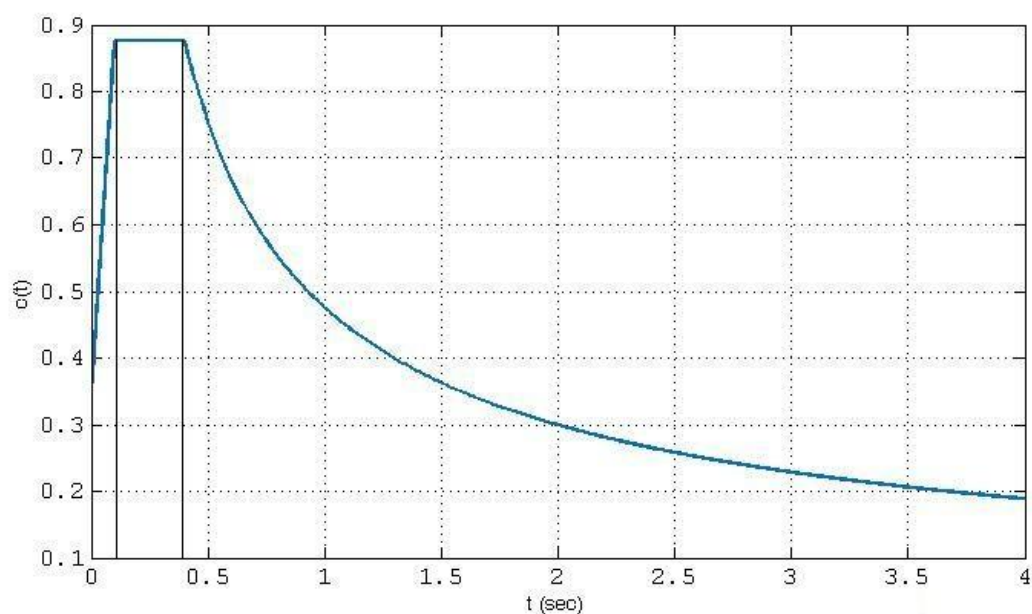
در سال‌های اخیر استفاده از سیستم‌های جاذب انرژی (میراگرها) به عنوان سیستم‌های قابل اعتماد در طرح مقاوم لرزه‌ای در بعضی از کشورها نظیر آمریکا، مکزیک، ایتالیا و نیوزلند مرسوم شده است. از دلایل عمده که باعث روند کند استفاده از این سیستم‌ها در دیگر کشورها شده است، مسکوت ماندن اکثر آئین‌نامه‌های این کشورهاست که تاکنون هیچ مقررات ویژه‌ای برای طرح ساختمان‌های مجهز به این میراگرها ارائه نداده‌اند. بعلاوه حق امتیاز انحصاری اغلب این میراگرها نیز عامل مهمی در عدم توسعه و پیشرفت کاربردی آنها است. سیستم‌های جاذب انرژی به چند گروه تقسیم می‌شوند که در این نوشتار به بررسی آنها پرداخته خواهد شد.

۲- فلسفه پیدایش سیستم‌های جاذب انرژی

نیروهای بوجود آمده در اعضای یک سیستم سازه‌ای به هنگام زمین‌لرزه، در محدوده‌ی الاستیک بستگی زیادی به زمان تناوب طبیعی سازه دارد. تحقیقات نشان داده است شتاب پاسخ سازه‌ای با زمان تناوب ۰,۲ ثانیه و میرایی ۵٪ تقریباً معادل با ۱,۹۶ برابر شتاب ثقل و در نتیجه نیروی زلزله ۱,۹۶ برابر وزن کل سازه خواهد بود. حال اگر زمان تناوب سازه از ۰,۲ ثانیه به ۰,۲۵ ارتقا یابد، شتاب پاسخ سازه‌ای ۲,۵ برابر شتاب ثقل خواهد شد. بنابراین حساسیت موضعی موجود در طیف‌های شتاب برای نسبت‌های میرایی کم می‌تواند نیروهای اعمال شده به اعضای یک سیستم را شدیداً تحت تأثیر قرار دهد. از طرفی افزایش میرایی همواره موجب کاهش نیروهای زلزله می‌شود و حساسیت موضعی در طیف‌های پاسخ با میرایی بالا خیلی ناچیز است و به عنوان یک اصل کلی، افزایش میرایی برای کاهش پاسخ لرزه‌ای همواره مطلوب و مدنظر است.

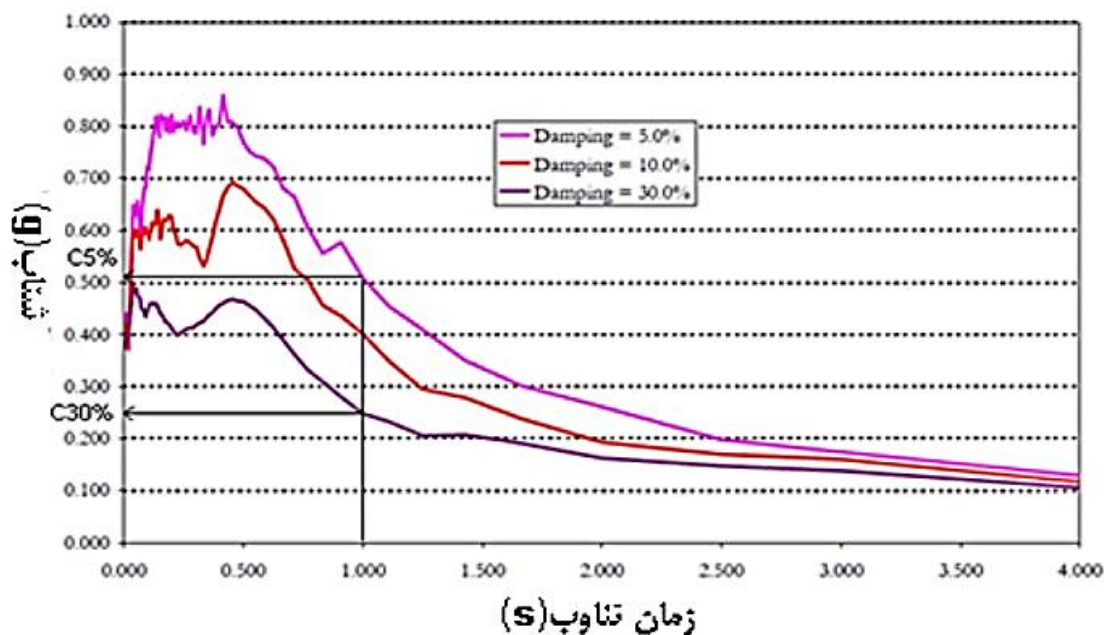
میراگرها (مبانی و تئوری)										
صفحه: ۴		<i>DEP</i>	<i>PRJ</i>	<i>CAT</i>	<i>DIS</i>	<i>TYP</i>	<i>SEQ</i>	<i>REV</i>		پروژه:
آذرماه ۹۴								۰۱		

عموماً برای یک طیف شتاب زلزله، سه ناحیه وجود دارد. مطابق شکل (۱) ناحیه سخت، ناحیه تشدید و ناحیه نرم. واضح است افزایش سختی موجب کاهش زمان تناوب طبیعی سازه می‌شود. بنابراین اگر سازه در ناحیه نرم باشد، افزایش سختی باعث می‌شود که سازه به ناحیه‌ی تشدید رفته و شتاب پاسخ افزایش یابد و به عکس، اگر سازه در ناحیه‌ی تشدید باشد و به ناحیه سخت برود، شتاب پاسخ مجدداً کاهش می‌یابد. بنابراین افزایش سختی علی‌رغم اینکه باعث کاهش زمان تناوب طبیعی سازه می‌شود، اما بر روی شتاب پاسخ تأثیر دوگانه دارد. زیرا نواحی سه گانه محل خاص و از قبل تعیین شده‌ای ندارد. بنابراین با صراحت نمی‌توان ادعا نمود که سخت کردن یک سازه باعث افزایش نیروی زلزله می‌شود و یا منجر به کاهش آن خواهد شد. اما اگر بتوان برای یک سازه شرایطی را فراهم آورد که علاوه بر افزایش سختی، مقدار میرایی آن نیز اضافه شود، آنگاه با قطعیت بیشتری می‌توان ادعا نمود که افزایش سختی باعث کاهش نیروی زلزله می‌شود. همانطور که در شکل (۲) ملاحظه می‌شود، با افزایش میرایی، منحنی طیف هموارتر می‌شود.



شکل ۱: شکل عمومی طیف پاسخ زلزله

صفحه: ۵		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:
آذرماه ۹۴								۰۱	



شکل ۲: اثر نسبت میرایی بر شکل طیف پاسخ زلزله


۳- فلسفه استفاده از وسایل اتلاف انرژی از دیدگاه انرژی

سهم هر سازه از انرژی محرک آن (مثل زلزله) بستگی به مشخصه‌های محرک یا زلزله (از قبیل دامنه، محتوای فرکانسی و...)، مشخصه‌های دینامیکی سازه (زمان تناوب طبیعی، میرایی و...) و مشخصه‌های خاک منطقه داشته و به محض رسیدن انرژی به سازه، از وحدت به کثرت می‌انجامد و به صورت‌های مختلف ظاهر می‌شود. این تعادل انرژی را که طراحی سازه‌ها باید بر آن استوار باشد را می‌توان با رابطه‌ی زیر نشان داد:

$$E_I = E_K + E_S + E_H + E_C$$

$$E_I = E_E + E_D$$

که در رابطه‌ی فوق E_I انرژی ورودی مطلق به سازه یا کار انجام شده توسط نیاز برش پایه اعمال شده به سازه در اثر تغییر مکان پی است. E_K انرژی جنبشی مطلق سازه، E_S انرژی کرنشی خطی سازه، E_H انرژی کرنشی غیرخطی سازه یا انرژی هیسترتیک و E_C انرژی جذب شده در سازه به علت میرایی پایه یا به طور اختصار انرژی میرایی است. مجموعه انرژی‌های جنبشی و کرنشی خطی، E_E ، انرژی الاستیک سیستم سازه را تشکیل می‌دهند و مجموع انرژی‌های هیسترتیک و انرژی میرایی کل، انرژی هدر رفته توسط سیستم سازه‌ای، E_D ، را تشکیل می‌دهند. اصولاً انرژی الاستیک باعث تغییر شکل‌های الاستیک اعضای سازه‌ای یا باعث بوجود آمدن انرژی جنبشی در اعضا می‌گردد. این انرژی‌ها به همدیگر تبدیل شده و قابل بازگشت می‌باشند. اما انرژی هدر رفته توسط

میراگرها (مبانی و تئوری)									 گروه مهندسين داروان
صفحه: ۶	<i>DEP</i>	<i>PRJ</i>	<i>CAT</i>	<i>DIS</i>	<i>TYP</i>	<i>SEQ</i>	<i>REV</i>	پروژه:	
آذرماه ۹۴							۰۱		

سیستم، بصورت تغییر شکل های دائمی اعضا یا کار تلف شده بواسطه ی میرایی، جذب سیستم می شود که در هر حال قابل بازیافت نیستند. بنابراین هرگاه انرژی ورودی به سازه ثابت فرض شود، هرچه مقدار انرژی جذب شده بیشتر شود، بواسطه ی تعادل از انرژی ارتعاشی الاستیک کاسته می شود، به عبارت دیگر هرگاه نسبت جذب انرژی به انرژی ورودی به سازه افزایش یابد، به معنای افزایش خسارت های سازه ای و غیرسازه ای در سیستم های متداول سازه ای خواهد بود که این پدیده مطلوب نبوده و تلاش مهندسين طراح، کنترل این خسارت ها می باشد. باتوجه به بحث فوق، هرگاه بتوان در سازه وسایلی را قرار داد که از طریق افزایش میرایی یا از طریق رفتار غیرخطی به صورت مستهلک کننده ی انرژی عمل کند، می توان به مقابله با انرژی ورودی به نفع سازه پرداخت که حاصل آن کاهش قابل توجه آسیب ها خواهد بود.


۴- روش های کاهش انرژی وارد شده به سازه

در تئوری مدرن کنترل سازه روش های کنترل ارتعاشات در چهار گروه عمده براساس عملکرد سیستم کنترلی، به شرح زیر طبقه بندی می شوند:

- سیستم های کنترل غیرفعال (*Passive control systems*)
- سیستم های کنترل فعال (*Active control systems*)
- سیستم های کنترل ترکیبی (*Hybrid control systems*)
- سیستم های کنترل نیمه فعال (*Semiactive control systems*)

۴-۱- سیستم های کنترل غیرفعال (*Passive control systems*)

در اینگونه روش ها، عامل کنترل کننده ی ارتعاش در محل مناسبی از سازه قرار می گیرد و عملاً تا قبل از تحریک سازه، به صورت غیرفعال رفتار می کند. با شروع تحریک (مثلاً زلزله) سیستم کنترلی به کار افتاده و عملکرد کنترلی خود (اعم از تغییر سختی، پیروید، میرایی و جرم) را در حین تحریک انجام می دهد و پس از خاتمه ی تحریک، مجدداً به حالت غیرفعال باز می گردد، که به دلیل جذب انرژی ورودی به سازه، احتمالاً شاهد خرابی جزئی یا کلی در آن خواهیم بود. تکنیک های زیادی از جمله تکنیک معروف و مرسوم جداسازی پایه، بخشی از میراکننده های جرم و مایع متوازن، و جداسازی غیرفعال پی های مرتعش در کنترل انرژی ورودی به


میراگرها (مبانی و تئوری)										
صفحه: ۷		<i>DEP</i>	<i>PRJ</i>	<i>CAT</i>	<i>DIS</i>	<i>TYP</i>	<i>SEQ</i>	<i>REV</i>		پروژه:
آذرماه ۹۴								۰۱		

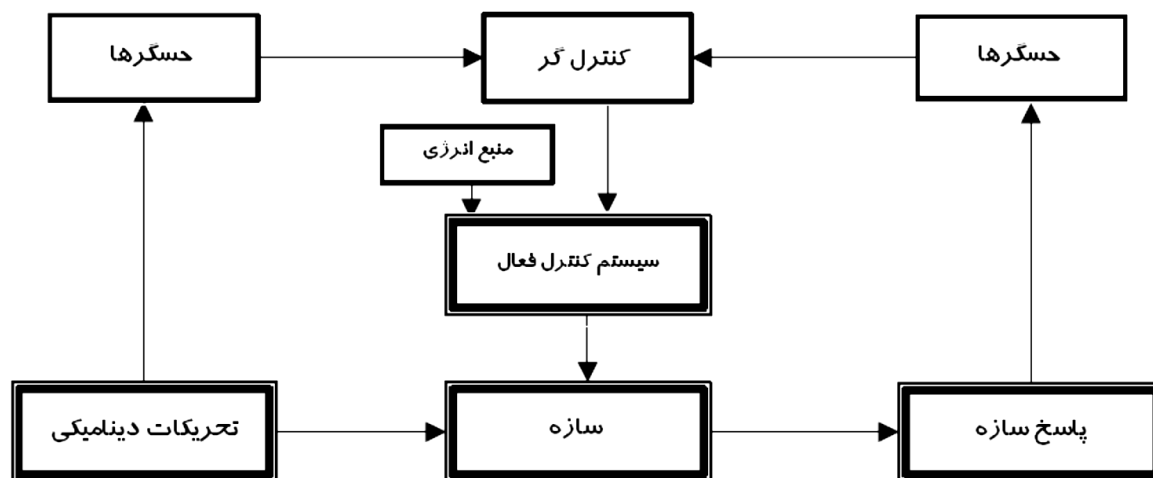
سیستم، از جمله‌ی روش‌های غیرفعال محسوب می‌شوند. در واقع مشخصه‌ی اصلی اینگونه سیستم‌ها آن است که عملاً در زمان تحریک سازه، نوع عملکرد سیستم کنترل غیرفعال تقریباً عوض نشده و خواص آن از خارج سیستم قابل تغییر نمی‌باشد.

مشاهده‌ی اینگونه سیستم‌ها، به دلیل ثابت بودن خواص دینامیکی از جمله سختی، میرایی، جرم و فرکانس، تاحدودی به فرکانس و دامنه‌ی تحریک ورودی به سازه حساس بوده که در میزان کارایی آن‌ها برای حالاتی مثل زلزله که تحریک ورودی به طور دقیق قابل پیش‌بینی نیست، تأثیر می‌گذارد. روش‌هایی از جمله استفاده از ترکیب این سیستم‌ها به منظور کاهش این حساسیت‌ها و به کار گرفته شده است و هم‌اکنون سازه‌های بسیاری به روش غیرفعال در دنیا کنترل ارتعاش می‌شوند.

۴-۲- سیستم‌های کنترل فعال (Active control systems)

در اینگونه روش‌ها، پاسخ سازه توسط اعمال نیروهایی در نقاط مختلف آن به صورت همزمان و با توجه به شرایط لحظه‌ای سازه کنترل می‌شود. این سیستم‌ها همواره آماده برای شروع فعالیت و کنترل ارتعاشات می‌باشند که اصطلاحاً فعال نامیده می‌شوند. نحوه‌ی کار در آن‌ها معمولاً به این صورت است که سنسورهای دریافت‌کننده‌ی ارتعاشات زمین در فاصله‌ای از سازه و در پای سازه و در طبقاتی از سازه قرار گرفته و همگی به یک پردازنده‌ی مرکزی متصل می‌باشند. شروع فعالیت سیستم کنترلی از مقایسه‌ی دامنه‌ی ارتعاشات ثبت شده توسط سنسورها با سطحی از ارتعاش است که عملاً سازه در آن سطح از ارتعاش نیاز به کنترل دارد که به آن لحظه‌ی شروع می‌گویند. مثلاً چنانچه شتاب زمین از مقدار معینی بیشتر شود، سیستم شروع به کار می‌کند. سپس پردازنده‌ی مرکزی با تجزیه و تحلیل اطلاعات و براساس برنامه‌ای که برای آن تعریف شده است، نیروهای بهینه را برای سیستم کنترل‌کننده‌ی ارتعاش تعیین و فرمان‌هایی را به محرک‌ها می‌دهد که فعالیت‌های خود را آغاز کنند. این محرک‌ها ممکن است جرمی را حرکت داده و یا کابلی را به کشش وادارند. دنیای ارتعاشات سازه در حالت ایده‌ال باید به صفر برسد. اما عملاً دستیابی به چنین سیستم کنترلی به دلیل عواملی مانند تأخیر زمانی یا اشکالات در تخمین صحیح نیروی کنترل‌کننده امکان‌پذیر نیست.

میراگرها (مبانی و تئوری)								 گروه مهندسیین دیاگن	
صفحه: ۸	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV		پروژه:
آذرماه ۹۴							۰۱		



شکل ۳: المان‌های سیستم کنترل فعال

به طور کلی عملکرد سیستم‌های فعال نسبت به سیستم‌های غیرفعال بخصوص در تحریک‌های تصادفی مانند زلزله، بهتر ارزیابی شده و این روش در چند سال اخیر در ژاپن و آمریکا در بسیاری از سازه‌ها بخصوص سازه‌های بلندمرتبه و سازه‌هایی که در زمین‌های با خاک نرم بنا شده و امکان استفاده از تکنیکی مثل جداسازی در آن‌ها وجود ندارد و همچنین برای کنترل ارتعاشات سازه‌ها در برابر باد استفاده شده و عملکرد مطلوبی از خود نشان داده است و بهینه کردن این روش‌ها همچنان ادامه دارد.

یکی از اشکالات روش کنترل فعال، وجود تأخیر زمانی است که ناشی از زمان لازم جهت دریافت و انتقال سیگنال‌ها توسط سنسورها به پردازنده‌ی مرکزی، پردازش اطلاعات، ارسال پیام‌ها به محرک‌ها و شروع بکار محرک‌ها می‌باشد. این اشکال بخصوص در ابتدای شروع به تحریک رخ می‌نماید و در این مرحله، کارایی سیستم کنترل فعال کاهش می‌یابد. به منظور رفع نسبی این نقص، از ترکیب دو سیستم کنترل فعال و غیرفعال استفاده می‌شود که در ادامه توضیح داده خواهد شد (روش‌های ترکیبی).

۴-۳- سیستم‌های کنترل ترکیبی (Hybrid control systems)

این روش شامل دو سیستم کنترل فعال و انفعالی بصورت توأم می‌باشد که در ابتدای تحریک، کاهش ارتعاشات سازه توسط سیستم غیرفعال صورت گرفته و سپس در صورت نیاز سیستم فعال نیز وارد عمل می‌شود. در اینجا سیستم غیرفعال ممکن است به فعالیت خود ادامه داده و یا در صورت عدم نیاز به آن از دور خارج شود. مقایسه نتایج نشان دهنده عملکرد بهینه سیستم کنترل توأم در کاهش ارتعاشات سازه می‌باشد.

هدف از این ترکیب افزایش کارایی سیستم کنترل غیرفعال و کاهش انرژی خارجی مورد نیاز سیستم کنترل فعال است. همچنین این سیستم‌ها در تحریک‌های با دامنه کوچک (یعنی تحریک سازه تحت زلزله‌های ضعیف تا


صفحه: ۹		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:
آذرماه ۹۴								۰۱	

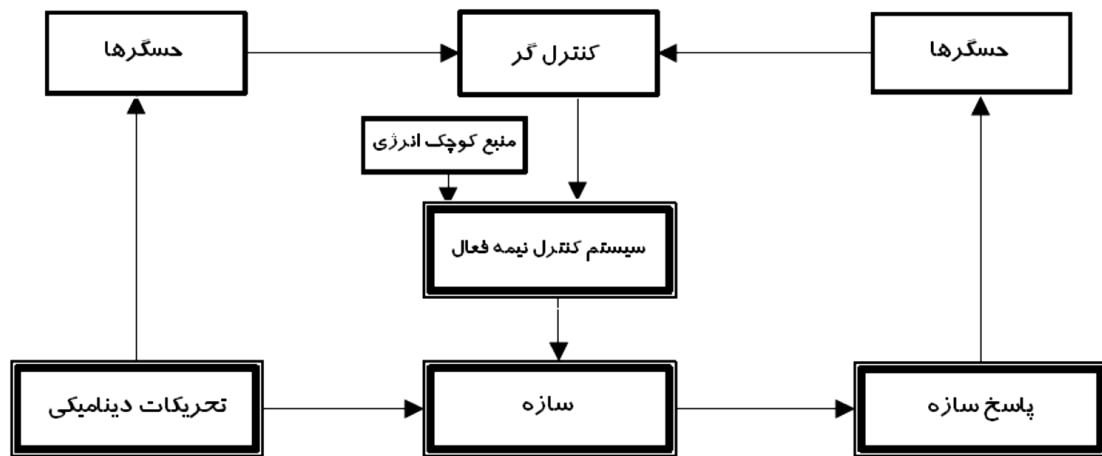
متوسط)، که تحریک خارجی به اندازه کافی برای عملکرد مناسب سیستم کنترل غیرفعال بزرگ نیست و سیستم کنترل فعال احتیاج به اعمال انرژی کمتری دارد، مثل سیستم کنترل فعال، و در تحریکهای با دامنه بزرگ (زلزله های شدید)، که کارایی سیستم کنترل غیرفعال بسیار مناسب بوده و سیستم کنترل فعال به دلیل وجود حد اشباع در تأمین نیروی کنترل مورد نظر دچار مشکل است، مانند سیستم کنترل غیرفعال عمل می نماید. مقایسه نتایج نشان دهنده عملکرد بهینه سیستم کنترل توام در کاهش ارتعاشات سازه میباشد. سیستم کنترل مختلط، به رغم عملکرد و کارایی مناسب تر (نسبت به سیستمهای کنترل فعال و غیرفعال)، از لحاظ اقتصادی، نیازمند هزینه بیشتری می باشد.

۴-۴- سیستمهای کنترل نیمه فعال (*semi active control systems*)

این سیستمها به منظور کاهش محدودیت های موجود در سیستمهای کنترل فعال و غیرفعال، ایجاد شده اند. در مقایسه با سیستمهای کنترل فعال، این سیستمها به انرژی کمتری جهت عمل نیاز دارند و در عین حال مانند سیستمهای کنترل فعال، قابلیت مطابقت با شرایط مختلف بارگذاری و کنترل مودهای مختلف ارتعاشی را دارا می باشند. در تجهیزات کنترل نیمه فعال، منبع انرژی خارجی جهت تغییر برخی خواص مکانیکی مانند سختی یا میرایی در وسیلهی کنترلی مورد استفاده قرار می گیرد، و نیروی کنترل از چنین منبعی بهره نمی گیرد. بنابراین در مقایسه با سیستمهای کنترل فعال، نیازمند منبع انرژی بسیار ناچیزی می باشند.

اساس عملکرد سیستمهای کنترل نیمه فعال به این صورت است که در نقاط مشخصی از سازه، حسگرهایی نصب می شوند که پاسخ سازه را ثبت می کنند. سپس براساس الگوریتمهای تعریف ده برای سیستم کنترل، سختی مورد نیاز یا نیروی میرایی بر طبق نتایج دریافت شده از پاسخ سازه محاسبه می شوند. پس از آن با استفاده از منبع انرژی خارجی، خواص مکانیکی وسیلهی کنترلی نیمه فعال تغییر می کند تا نیروی میرایی یا سختی مورد نیاز تأمین شود. میراگرهای MR^1 را می توان به عنوان مثالی برای این نوع سیستمها برشمرد. در شکل ۴ دیاگرام بلوکی سیستم کنترل نیمه فعال نشان داده شده است.

میراگرها (مبانی و تئوری)									
صفحه: ۱۰	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
آزمایش ۹۴							۰۱		



شکل ۴: المان‌های سیستم کنترل نیمه فعال