

کنترل فعال سازه‌ها با استفاده از تاندون فعال تحت زلزله‌های حوزه نزدیک

احمد ملکی*

استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، مراغه، ایران

رسول خدایاری

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مراغه، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، مراغه، ایران

حسین یوسف پور

مری دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، مراغه، ایران

malek_civil@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۵/۲۱ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۰۸/۳۰

چکیده:

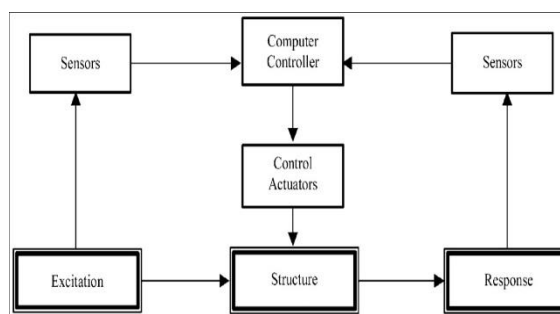
در این مقاله کنترل فعال سازه‌ها با استفاده از تاندون‌های فعال تحت زلزله‌های حوزه نزدیک مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور برای بررسی تاثیر زلزله بر روی سازه‌ها با فرکانس‌های مختلف، سازه‌های فولادی ۴، ۸ و ۱۵ طبقه که در بر گیرنده پریودهای طبیعی مختلف می‌باشند در نرم‌افزار ETABS به روش تنش مجاز طراحی گردیده و سپس با مقاطع بدست آمده از طراحی، در نرم‌افزار اجزا محدود Opensees به صورت سه بعدی مدل‌سازی شده و با توجه به تاثیر مخرب زلزله‌های حوزه نزدیک و پیچیدگی محتوای این قبیل زلزله‌ها، سازه‌های مذکور تحت شتاب نگاشت‌های زلزله با مشخصات حوزه نزدیک قرار گرفته‌اند. در تحقیق حاضر به منظور صحت‌سنجی مدل‌های سازه‌ای، پیروید ارتعاش اصلی سازه‌ها در دو نرم‌افزار با هم مقایسه شده که نتایج حاکی از تطابق نسبی خوب بین دو نرم‌افزار می‌باشد. در ادامه برای بررسی محتوای فرکانسی زلزله، تمامی رکوردها به 0.6g مقیاس شده و به سازه‌ها اعمال گردیده‌اند. پس از انجام آنالیزهای دینامیکی متعدد بر روی مدل‌ها تحت یازده رکورد زلزله حوزه نزدیک، نتایج حاصل با مدل کنترل نشده مقایسه شده و کارایی سیستم تاندون فعال در سازه‌های مورد بررسی نشان داده شده است.

کلید واژگان: کنترل فعال، تاندون فعال، زلزله حوزه نزدیک، جابجایی هدف، محتوای فرکانسی، Opensees

۱- مقدمه

موضوع کاهش پاسخ سازه تحت اثر بارهای دینامیکی در چند دهه اخیر مورد توجه شدید محققان قرار گرفته است. در این زمینه ایده‌های کنترل سازه متعددی بصورت کنترل فعال و یا غیرفعال ابداع و برخی از آنها نیز در عمل مورد استفاده قرار گرفته شده‌است. بطور کلی کنترل رفتار سازه به دو صورت کنترل غیرفعال (Passive Control) و کنترل فعال (Active Control) صورت می‌گیرد. در سال‌های اخیر دسته دیگری نیز به انواع سیستم‌های کنترل اضافه شده که سعی در کاهش نیاز سیستم‌های کنترل فعال به منبع انرژی خارجی دارد که به این دسته، سیستم‌های کنترل نیمه‌فعال (Semi-Active Control) گفته می‌شود. همچنین ترکیب انواع روش‌های کنترل ذکر شده، تحت عنوان کنترل ترکیبی (Hybrid Control) شناخته می‌شود. هر یک از این روش‌های کنترل دارای نقاط ضعف و قوت هستند. در این پژوهش با توجه به کنترل لحظه‌ای و دقت عمل بالای کنترل فعال و به منظور ارائه یک روش مناسب برای مدلسازی در نرم‌افزار اجزای محدود opensees که توانایی بالایی در مدلسازی و تحلیل‌های لرزه‌ای دارد، از روش کنترل فعال به وسیله تاندون‌های فعال استفاده گردیده است.

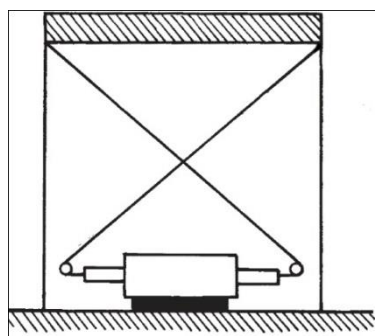
سیستم‌های کنترل فعال بر خلاف سیستم‌های غیرفعال، نیازمند انرژی خارجی برای بهره‌برداری می‌باشند. بطور کلی سیستم‌های کنترل فعال از دو بخش تشکیل می‌شوند که عبارتند از تعیین مکانیزم اعمال نیرو بر سازه و الگوریتم‌های محاسبه نیروی کنترل. در این سیستم‌ها، ابتدا در هر لحظه با اندازه‌گیری پاسخ سازه، که می‌تواند شامل شتاب، سرعت و یا تغییر مکان باشد و با استفاده از یک الگوریتم مناسب مطابق شکل ۱، نیروی کنترل مورد نیاز محاسبه شده و سپس با استفاده از یک منبع انرژی خارجی نسبت به اعمال نیروهای کنترل محاسبه شده به سازه اقدام می‌شود و این کار تا زمانی که پاسخ سازه به یک حد مورد نظر کاهش یابد، ادامه می‌یابد.



شکل ۱. نمودار عملکردی سازه همراه با کنترل فعال

سیستم تاندون فعال نوع خاصی از سیستم باندندی فعال می‌باشد. معمولاً این سیستم از یکسری تاندون‌های پیش تنیده متصل به سازه مطابق شکل ۲ تشکیل یافته که میزان کشش آنها توسط محرک‌های

هیدروالکتریکی کنترل می‌شود. یکی از دلایل اهمیت این مکانیزم کنترل این است که تاندون‌ها در اغلب سازه‌ها موجود هستند بنابراین سیستم تاندون فعال استفاده از تاندون‌های موجود را فراهم آورده و از ایجاد تغییر زیاد در سازه ساخته شده یا اضافه شدن الحاقات دیگر به سازه جلوگیری می‌کند. سیستم تاندون فعال بطور تئوریک برای استفاده در سازه‌های لاغر، ساختمان‌های بلند، پل‌ها و سازه‌های دریایی مورد مطالعه قرار گرفته و مدل‌های آزمایشگاهی بسیاری برای آن ساخته شده است.



شکل ۲. سیستم تاندون فعال

۲- پیشینه تحقیق

بر اساس تحقیقات Soong اولین تلاش‌ها در راستای کنترل فعال برای بهبود پاسخ سازه‌ها به دهه ۱۹۶۰ می‌گردد که پیشنهاد استفاده از تاندون‌های پیش تنیده برای کنترل و پایدارسازی سازه‌های بلند مطرح شد [۱].

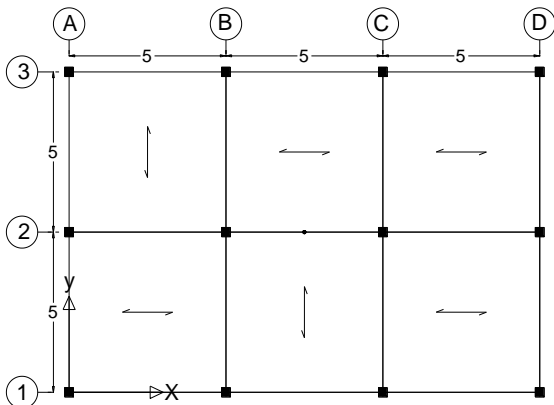
Abdel-Rohman و Leipholz در سال ۱۹۸۳ کنترل فعال یک سازه بلند را با استفاده از تاندون‌های فعال انجام دادند ایشان نشان دادند استفاده از تاندون‌های فعال در این سازه دارای قابلیت بهتر نسبت به سایر سیستم‌ها در برابر بار باد می‌باشد [۲].

در همان سال Yang و Samali یک عملگر تحلیلی جهت محاسبه مشخصات پاسخ‌های سازه کنترل شده با سیستم فعال تحت تحریک یک بار تصادفی را توسعه داده و نشان دادند کاهش در پاسخ شتاب هم در استفاده از میراگر جرمی فعال و هم در استفاده از سیستم تاندون فعال ممکن می‌باشد [۳].

Chung و همکاران در سال ۱۹۸۸ یک سازه یک درجه آزادی را با استفاده از تاندون‌های متصل به یک عملگر هیدرولیکی تحت فرمان کنترل نمودند [۴].

در سال ۱۹۹۳ Warnitchai و همکاران مطالعه تحلیلی و آزمایشگاهی تاندون‌های کنترلی فعال پل‌های کابلی را تحت یک بار قائم سینوسی انجام دادند. ایشان نشان دادند کنترل تاندون فعال در کاهش حرکت قائم عرشه بسیار موثر می‌باشد [۵].

Okubo در سال ۱۹۹۶ یک سیستم کنترل تاندونی جهت کنترل شکل سازه‌های فضاکار انعطاف‌پذیر و روش‌های موجود برای تعیین خیزهای سازه‌ای و سپس تولید نیروهای فعال جهت رسیدن به شکل مورد نظر را پیشنهاد داد [۶].



شکل ۳. پلان سازه‌های مورد بررسی

بارگذاری جانبی با توجه به ارتفاع سازه‌ها، با صرف نظر از بار باد و تنها با در نظرگیری بارگذاری زلزله و مطابق ویرایش سوم آیین‌نامه ۲۸۰۰ طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ایران انجام پذیرفته است. با توجه به ارتفاع مدل‌ها (حداکثر ۴۵ متر) که کمتر از حد مجاز آیین‌نامه برای تحلیل استاتیکی معادل (۵۰ متر) است، لذا در طراحی مدل‌ها از تحلیل استاتیکی معادل استفاده شده و برش پایه محاسبه و در طبقات توزیع گردیده است.

طراحی سازه به روش تنش مجاز (ASD) و بر مبنای آیین‌نامه UBC97 و در نرم‌افزار ETABS صورت گرفته است. [۱۱] شکل ۴ مقاطع حاصل از طراحی در یکی از قاب‌های سازه ۸ طبقه را نشان می‌دهد.

Minsili و همکاران در سال ۲۰۰۹ استراتژی کنترل تاندون فعال را برای یک سازه پل در برابر بارگذاری لرزه ای را به کار بردند که یک روش برای تامین الزامات مکانیزم کنترلی پیشنهاد گردید [۷].

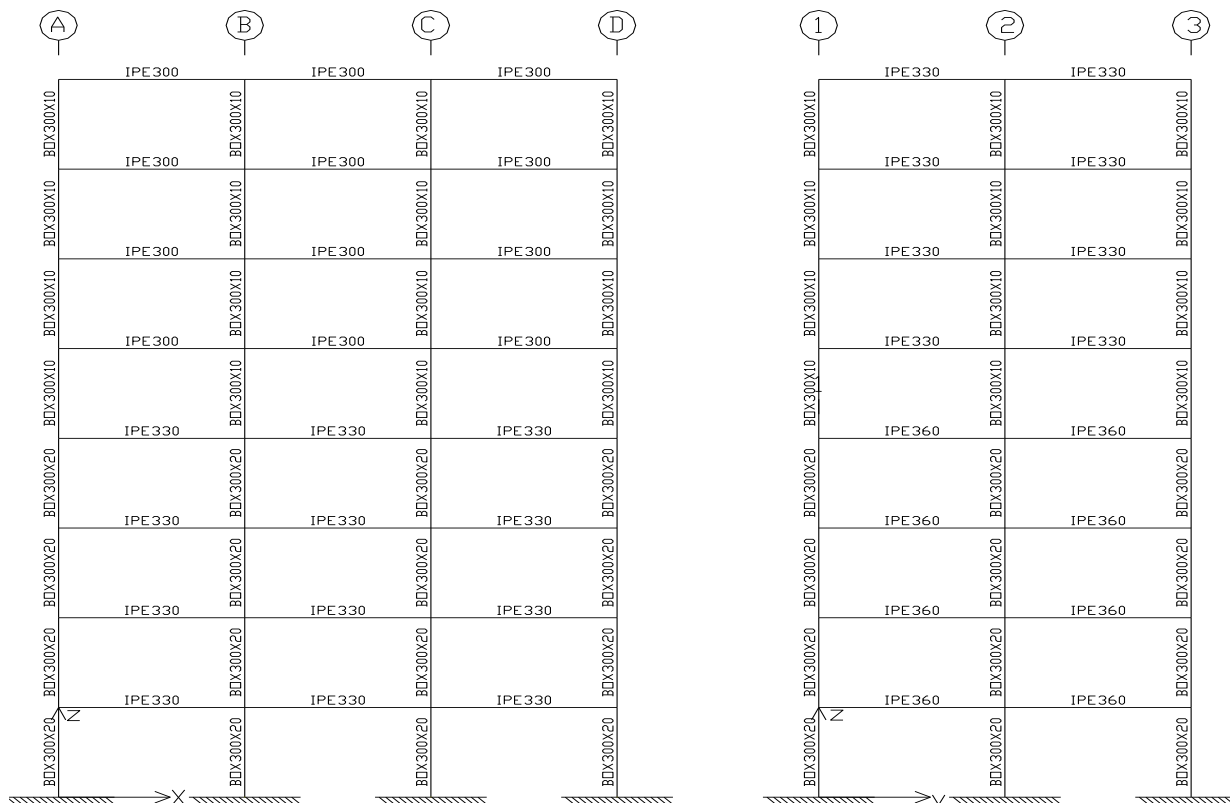
Lin و همکاران در سال ۲۰۱۰ تاثیر اندرکنش خاک و سازه روی کارایی کنترل ارتعاش سیستم‌های تاندون فعال را برای یک سازه غیر منظم تحت تحریکات پایه مانند زلزله مورد بررسی قرار دادند. ایشان نشان دادند الگوریتم بازخورد برای یک سازه با خروج از مرکزیت دو جهته با سیستم کنترلی تاندون فعال بسیار مناسب می باشد [۸].

Boduroglu و Nigdeli در همان سال به بررسی سیستم تاندون فعال در سیستم‌های یک درجه آزادی و چند درجه آزادی پرداختند. که پس از بدست آوردن معادلات حرکتی برای انواع سیستم‌ها، تحت زلزله سیستم‌های کنترل شده و کنترل نشده را تحلیل کرده و به این نتیجه رسیدند که مدل پیشنهادی قابل اعتماد می باشد [۹].

Boduroglu و Nigdeli در سال ۲۰۱۳ در مقاله‌ای به بررسی روش کنترل با تاندون‌های فعال برای سازه‌های نامنظم پیچشی تحت زلزله‌های حوزه نزدیک پرداختند. ایشان با استفاده از یک روش عددی در حوزه زمان با جهت‌های مختلف قرارگیری تاندون‌ها به آزمایش پرداخته و اثرات تاخیر زمانی را نیز در نظر گرفتند [۱۰].

۳- طراحی سازه‌ها

طراحی سازه‌های ۴، ۸ و ۱۵ طبقه مطابق پلان شکل ۳ در نرم‌افزار ETABS به صورت سیستم قاب خمشی فولادی با کف طبقات صلب انجام گرفته است. بارگذاری ثقلی بر مبنای مقادیر معمول برای کفسازی ساختمان‌ها و آیین‌نامه بارگذاری ایران (مبحث ششم مقرران ملی ساختمان) برای بار مرده تمام طبقات 600 kg/m^2 و بار زنده طبقات 200 kg/m^2 و بار زنده طبقه بام 150 kg/m^2 در نظر گرفته شده و بصورت شطرنجی در کف طبقات اعمال گردیده است.



شکل ۴. نمونه قاب‌های طراحی شده برای مدل ۸ طبقه

سپس جهت مدل‌سازی رفتار پیچشی مقطع، مشخصات پیچشی آن با استفاده از مقطع جمع کننده (Section Aggregator) به آن اضافه گردیده است. [۱۲] در این تحقیق جهت اعمال میرایی سازه از میرایی رایلی استفاده می‌شود. در این روش، ضرایب میرایی مدی با توجه به شواهد، تجربیات و یا نتایج آزمایشات برای دو مدلخواه تخمین زده می‌شود. در این قسمت دو مدل اول و سوم به عنوان مودهای موثر در نظر گرفته شده است. ضرایب میرایی رایلی محاسبه شده برای مدل‌های سازه‌ای در جدول ۱ آمده است. [۱۳]

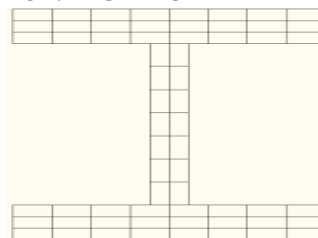
جدول ۱- ضرایب میرایی رایلی برای مدل‌های مختلف

Model	ω_1 [rad]	ω_2 [rad]	ξ	α	β
4 Story	6.89	7.47	0.05	0.1434	0.0028
8 Story	4.1	4.39	0.05	0.0852	0.0047
15 Story	2.3	2.43	0.05	0.0472	0.0084

۴- مدل‌سازی اجزا محدود

بر اساس مقاطع بدست آمده از طراحی سازه‌ها هر یک از این سازه‌ها در نرم‌افزار اجزا محدود Opensees به صورت سه بعدی مدل‌سازی گردیده است، سپس به منظور بررسی تاثیر مهاربندهای کنترل فعال در کاهش پاسخ‌های سازه‌ای، در دهانه‌های مربوط به مرکز جرم سه طبقه آخر، این مهاربند به صورت یک حلقه شرطی در نرم‌افزار نیز مدل شده است. بدین ترتیب که در صورت گذشتن تغییر مکان طبقه آخر که در اینجا هدف کنترل می‌باشد از حد تعیین شده، مهاربند فعال یک ضربه در خلاف حرکت به سازه وارد می‌نماید که باعث کاهش جابجایی می‌گردد و در دور های بعدی اگر جابجایی از جابجایی هدف کمتر بود مهاربند از چرخه محاسبات حذف می‌گردد.

برای تعریف مقاطع به این صورت عمل شده است که ابتدا برای مدل‌سازی رفتار خمشی مقطع، مقاطع تیرها و ستون‌ها مطابق شکل ۵ بصورت فایبر (Fiber Section) تعریف شده که این المان قادر به در نظرگیری تغییر شکل های غیرخطی در مقطع عضو می باشد [۱۲].



شکل ۵. مقطع المان فایبر

۵- صحت سنجی مدل

افزار ETABS با هم مقایسه گردیده‌اند که نتایج آنها با دقت بالایی با هم مطابقت داشتند. جدول ۳ پیوندهای طبیعی مد اول سازه‌ها را نشان می‌دهد.

پس از مدل‌سازی سازه‌ها در نرم‌افزار Opensees به منظور صحت سنجی مدل ایجاد شده پیوندهای طبیعی مد اول مدل حاصل از نرم افزار Opensees با پیوند طبیعی مد اول سازه طراحی شده در نرم

جدول ۲- پیوند طبیعی مد اول سازه

Model	$T_1(ETABS)[Sec]$	$T_1(OPENSEES) [Sec]$
4 Story	0.9119	0.8917
8 Story	1.5325	1.5508
15 Story	2.7318	2.6993

بالایی از ارتعاش هستند، در این پژوهش از مؤلفه‌های ۱۱ رکورد زلزله جهت انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی استفاده شده است که همگی مشخصات زلزله‌های حوزه نزدیک را دارند و فاصله ثبت آن‌ها کمتر از ۱۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. در **Error! Reference source not found.** مشخصات کامل این رکوردها آورده شده است.

۶- انتخاب و اصلاح شتابنگاشت‌های حوزه نزدیک

زلزله‌های حوزه نزدیک در دو مشخصه کلی جهت‌پذیری و پالس سرعت متمایز از زلزله‌های معمول هستند. با توجه به اینکه زلزله‌های حوزه نزدیک در طول سالیان گذشته باعث بوجود آمدن خسارات بسیار زیاد گردیده و از لحاظ محتوای فرکانسی دارای معمولاً فرکانس‌های

جدول ۳. مشخصات رکوردهای مورد استفاده

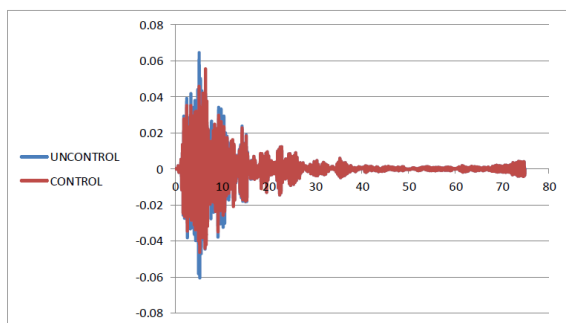
No.	Record Sequence Number	EQID	Earthquake Name	Year	Station Name	Earthquake Magnitude	Site condition		PGA [g]	
							USGS	Description	X Dir.	Y Dir.
1	830	P0810	Cape Mendocino	1992	Rio Dell Overpass - FF	7.1	B	Shallow (stiff) soil	0.549	0.385
2	753	P0548	Chalfant Valley	1986	Zack Brothers Ranch	5.9	D	Deep broad soil	0.285	0.207
3	450	P1136	Chi-Chi	1999	CHY029	7.6	B	Shallow (stiff) soil	0.277	0.238
4	143	P0140	Tabas, Iran	1978	Dayhook	7.4	B	Shallow (stiff) soil	0.406	0.328
5	396	P1054	Kobe	1995	Shin-Osaka	6.9	D	Deep broad soil	0.243	0.212
6	68	P0078	San Fernando	1971	Lake Hughes #12	6.6	B	Shallow (stiff) soil	0.366	0.283
7	6	P0166	Imperial Valley	1979	Chihuahua	6.5	C	Deep narrow soil	0.27	0.254
8	317	P0034	Parkfield	1966	Temblor pre-1969	6.1	B	Shallow (stiff) soil	0.357	0.272

9	178	P05 16	N. Palm Springs	198 6	Cabazon	6.0	D	Deep broad soil	0.217	0.216
10	808	P10 87	Kocaeli, Turkey	199 9	Arcelik	7.4	B	Shallow (stiff) soil	0.218	0.149
11	760	P08 89	Northridge	199 4	Beverly Hills - 12520 Mulhol	6.7	B	Shallow (stiff) soil	0.617	0.444

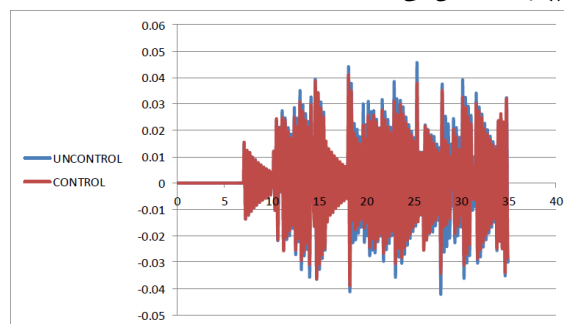
۶-ارائه نتایج

۶-۱-مدل چهار طبقه

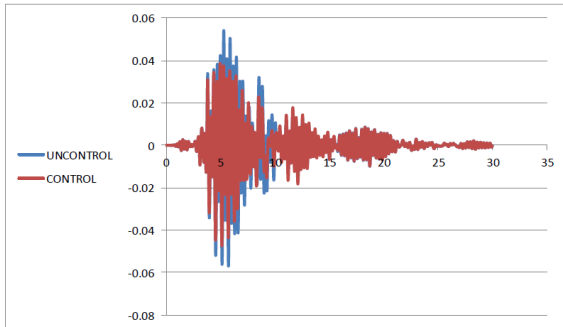
در این قسمت پاسخ جابجایی مرکز جرم طبقه بام در مدل‌های کنترل شده و کنترل نشده تحت یازده شتابنگاشت اعمالی که به بیشینه شتاب $0.6g$ مقیاس شده‌اند، با هم مقایسه گردیده‌اند. به منظور در نظرگیری هدف کنترل، جابجایی مرکز جرم بام به عنوان جابجایی هدف برای کنترل توسط عضو مهاربندی فعال انتخاب گردیده و عضو مهاربندی فقط در دهانه‌ی مرکزی طبقه آخر قرار گرفته است. اشکال ۵ تا ۱۴ مقایسه‌ی جابجایی حالت کنترل شده و کنترل نشده را برای مدل چهار طبقه نشان می‌دهند.



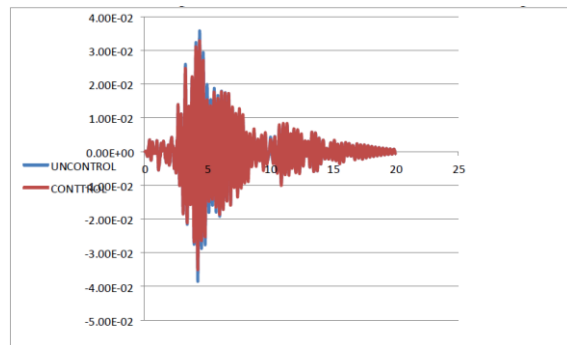
شکل ۶. مقایسه پاسخ جابجایی طبقه بام برای مدل کنترل شده و کنترل نشده تحت زلزله CHALFANT VALLEY



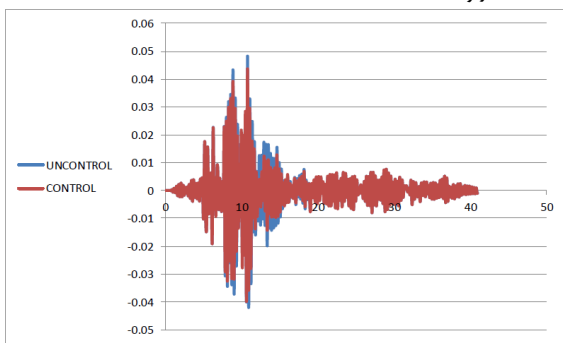
شکل ۵. مقایسه پاسخ جابجایی طبقه بام برای مدل کنترل شده و کنترل نشده تحت زلزله CAPE MENDOCINO



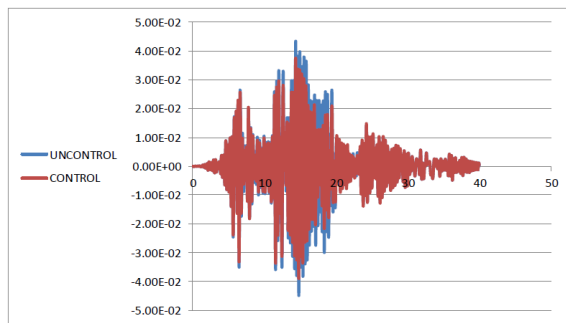
شکل ۱۰. مقایسه پاسخ جابجایی طبقه بام برای مدل کنترل شده و کنترل نشده تحت زلزله NORTH RIDGE



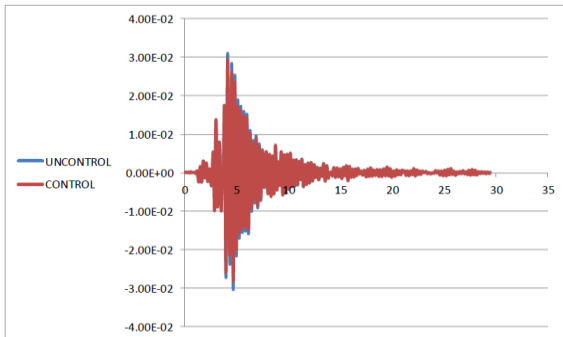
شکل ۷. مقایسه پاسخ جابجایی طبقه بام برای مدل کنترل شده و کنترل نشده تحت زلزله CHI-CHI



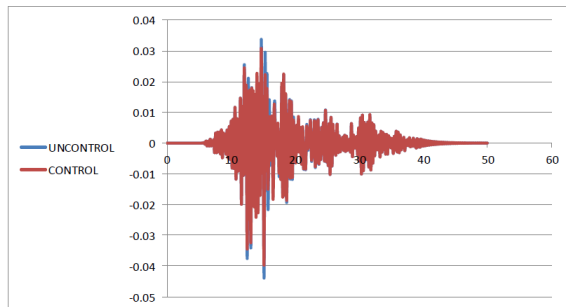
شکل ۱۱. مقایسه پاسخ جابجایی طبقه بام برای مدل کنترل شده و کنترل نشده تحت زلزله PALM SPRINGS



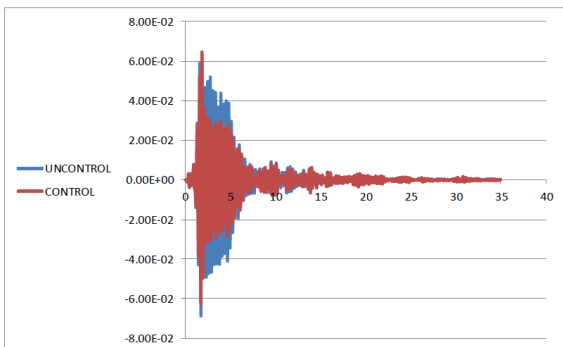
شکل ۸. مقایسه پاسخ جابجایی طبقه بام برای مدل کنترل شده و کنترل نشده تحت زلزله IMPERIAL VALLEY



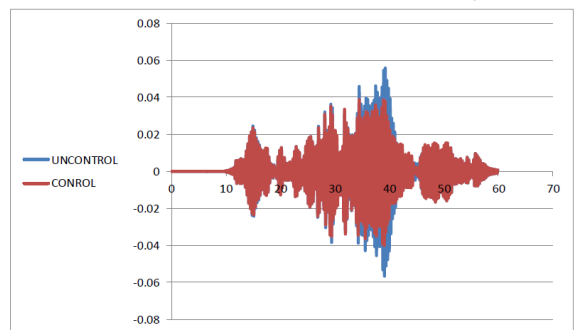
شکل ۱۲. مقایسه پاسخ جابجایی طبقه بام برای مدل کنترل شده و کنترل نشده تحت زلزله PARKFIELD



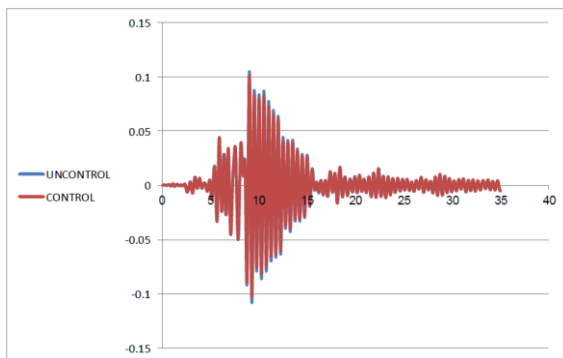
شکل ۸. مقایسه پاسخ جابجایی طبقه بام برای مدل کنترل شده و کنترل نشده تحت زلزله KOBE



شکل ۱۳. مقایسه پاسخ جابجایی طبقه بام برای مدل کنترل شده و کنترل نشده تحت زلزله SAN FERNANDO



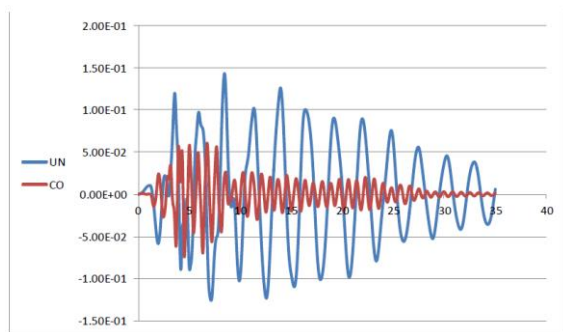
شکل ۹. مقایسه پاسخ جابجایی طبقه بام برای مدل کنترل شده و کنترل نشده تحت زلزله KOCAELI



شکل ۱۷. مقایسه پاسخ جابجایی طبقه بام برای مدل کنترل شده و کنترل نشده تحت زلزله PARKFIELD

۶-۳-مدل پانزده طبقه

در این بخش به منظور بررسی تاثیر مهارندهای کنترل فعال در کاهش پاسخهای سازه‌ای، در دهانه‌های مربوط به مرکز جرم سه طبقه آخر سازه پانزده طبقه سیستم تاندون فعال مدلسازی شده است. این مهارند به صورت یک حلقه شرطی در نرم افزار نیز مدل شده است که پس از گذشتن تغییر مکان طبقه آخر از تغییر مکان هدف، مهارند فعال یک ضربه در خلاف حرکت به سازه وارد می‌نماید که باعث کاهش جابجایی می‌گردد و در دور های بعدی اگر جابجایی از جابجایی هدف کمتر بود مهارند از چرخه محاسبات حذف می‌گردد. شکل ۱۸ مقایسه‌ی جابجایی حالت کنترل شده و کنترل نشده برای مدل پانزده را طبقه نشان می‌دهند.

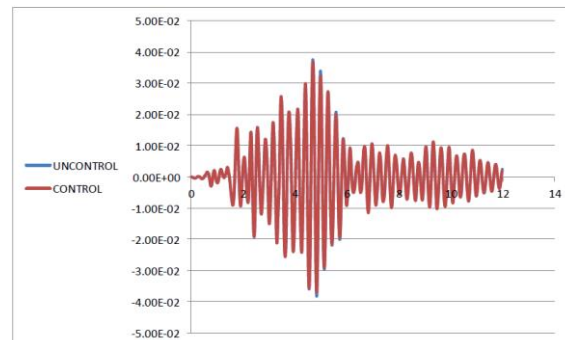


شکل ۱۸. مقایسه پاسخ جابجایی طبقه بام برای مدل کنترل شده و کنترل نشده تحت زلزله PARKFIELD

نتیجه گیری

در این پژوهش ساختمان‌های چهار، هشت و پانزده طبقه پس از طراحی به صورت سه بعدی مدلسازی شده و تحت شتابنگاشت‌های حوزه نزدیک قرار گرفتند که پس از تجزیه و تحلیل، نتایج زیر حاصل گردید:

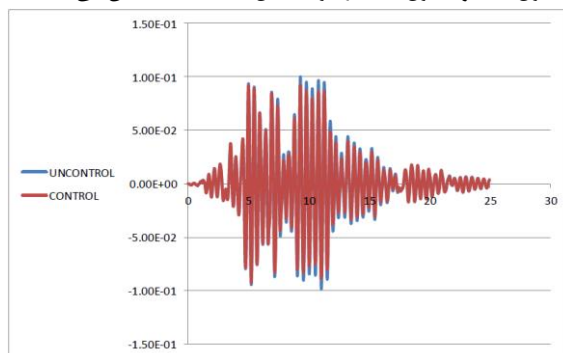
۱-مدل پیشنهادی کنترول فعال سازه‌ها با استفاده از مهارند کنترول به خوبی توانایی کاهش جابجایی‌های سازه‌ای تحت زلزله‌های حوزه



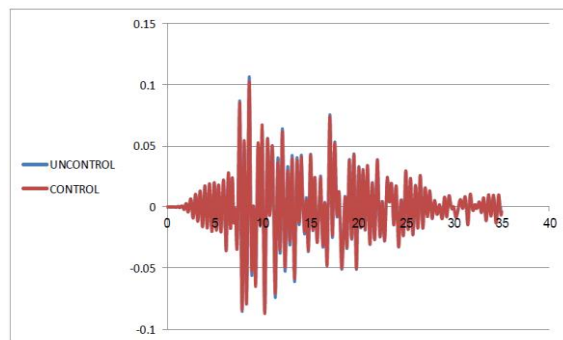
شکل ۱۴. مقایسه پاسخ جابجایی طبقه بام برای مدل کنترل شده و کنترل نشده تحت زلزله TABAS

۶-۲-مدل هشت طبقه

به منظور بررسی تاثیر و کارایی روش حاضر در این قسمت پاسخ جابجایی مرکز جرم طبقه بام در مدل‌های کنترل شده و کنترل نشده تحت یازده شتابنگاشت اعمالی با هم مقایسه شده‌اند. برای در نظرگیری هدف کنترول، جابجایی مرکز جرم بام به عنوان جابجایی هدف برای کنترول توسط عضو مهاربندی فعال انتخاب گردیده و عضو مهاربندی در دهانه‌ی مرکزی دو طبقه آخر قرار گرفته است. با توجه به اینکه اشکال حاصله زیاد هستند بنابراین برخی از این پاسخ‌ها در این قسمت آورده شده‌اند. اشکال ۱۵ تا ۱۷ مقایسه‌ی جابجایی حالت کنترول شده و کنترول نشده را برای مدل هشت طبقه نشان می‌دهند.



شکل ۱۵. مقایسه پاسخ جابجایی طبقه بام برای مدل کنترل شده و کنترل نشده تحت زلزله TABAS



شکل ۱۶. مقایسه پاسخ جابجایی طبقه بام برای مدل کنترل شده و کنترل نشده تحت زلزله NORTHRIDGE

2. Abdel-Rohman M, Leipholz HH. Active control of tall buildings. *J Struct Eng* 1983;109:628-45.
3. Yang JN, Samali B. Control of tall buildings in along-wind motion. *J Struct Eng* 1983;109:50-68.
4. Chung LL et al. Experiments on active control of seismic structures. *J EngMech* 1988;114:241-56.
5. Warnitchai P et al. An experimental study on active tendon control of cablestayedbridges. *Earthquake Eng Struct Dynam* 1993;22:93-111.
6. Okubo H et al. Tendon control system for active shape control of flexiblespace structures. *J Intell Mater Syst Struct* 1996;7:470-5.
7. Minsili LS et al. An active vibration control method of bridge structures by the linearization of feedback gain matrix. *Botswana J Technol* 2009;18.
8. Lin C-C et al. Active control of irregular buildings considering soil-structureinteraction effects. *Soil Dynam Earthquake Eng* 2010;30:98-109.
9. Nigdeli .S. M , Boguroglu. M. H, Active tendon for seismic control of buildings, (2010), *International journal of civil, environmental, structural construction and architectural engineering*.
10. Nigdeli .S. M , Boguroglu. M. H, Active tendon control of torsionally irregular structures under near fault ground motion excitation, (2013), *computer aided civil and infrastructure engineering*.
11. "EC3. Design of Steel Structures: Part I- Genaral Rules and Rules for Buildings", (1994).s.l. : Euro code edited draft. Vol. 1.
12. SilviaMazzoni, Frank McKenna, Michael H.Scott, Gregory L. Fenves,et al, (2006) , "OpenSees Command Language Manual".
13. Chopra, Anil K. (2007), "Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering". Third Edition.s.l. : Prentice Hall.

نزدیک که عموماً دارای محتوای فرکانسی بالا و اثرات پالس ضربه هستند را دارد که در تمامی اشکال ۳۷ تا ۵۱ این کاهش دامنه جابجایی مشهود است.

۲- میزان کاهش جابجایی بستگی مستقیم به تعیین میزان جابجایی هدف و تعداد و محل قرارگیری مهاربند کنترلی دارد. که تعیین میزان جابجایی هدف بستگی به هدف طرح و شرایط سازه دارد که این میزان می تواند برای ساختمان های با طبقات بالا مقدار بیشتری تعیین گردد. در خصوص محل بهینه قرارگیری و تعداد بهینه مهاربندهای کنترلی پیشنهاد می گردد در تحقیقات بعدی به طور ویژه به آن پرداخته شود.

۳- با توجه به اینکه تمامی شتابنگاشتها به بیشینه شتاب 0.6g مقیاس شده اند، از لحاظ حداکثر شتاب تفاوتی ندارند ولی سایر ویژگی های زلزله ها از جمله محتوای فرکانسی، مدت زمان موثر و انرژی با هم متفاوتند از اینرو نمی توان یک روند کلی در مقدار جابجایی های رخ داده تحت زلزله های مختلف به دست آورد.

۴- همانطور که در اشکال مربوط به نتایج مشخص است مهاربند کنترلی پس از یک گام زمانی به کار می افتد به عبارت دیگر زمان تشخیص گذشتن از جابجایی هدف و زمان اعمال مهاربند کنترلی حتی در عمل با هم برابر نیستند که پیشنهاد می گردد در تحقیقات بعدی اثرات این تاخیر زمانی و نحوه کاهش آن مورد بررسی قرار گیرد.

۵- اضافه نمودن مهاربند کنترلی باعث افزایش سختی سازه و کاهش جابجایی ها در سازه می گردد ولی این افزایش سختی همانطور که در شکل ۵۱ نشان داده شده است باعث افزایش فرکانس ارتعاشی نیز می گردد که در برخی موارد ممکن اثرات مخربی به همراه داشته باشد.

۷- تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی با عنوان " کنترل فعال سازه ها با استفاده از تاندون فعال تحت زلزله های حوزه نزدیک " می باشد که بودجه انجام این پژوهش توسط دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه تامین گردیده است. در انتها از زحمات مسوولین گرانقدر دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه که در تمام مراحل انجام طرح ما را یاری نمودند کمال تقدیر و تشکر را داریم.

۸- مراجع

1. Soong, T.T. (1990). 'Active Structural Control' Theory and practice, John Willey & Sons, Inc

Active Control of Structures Using Active Tendon Subjected to Near Field Earthquakes

Ahmad Maleki

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Maragheh Branch, Maragheh, Iran

Rasool Khodayari

Young Researchers and Elite Club, Islamic Azad University, Maragheh Branch, Maragheh, Iran

Hosein Yousefpour

Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Maragheh Branch, Maragheh, Iran

Abstract:

This paper studies on active control of structures subjected to near field earthquakes. In order to evaluation of effects of earthquakes with different frequencies three steel structures of 4, 8 and 15 floors with different natural period have been desined using ETABS software based on allowable stress method then opensees software have been used for three dimentional modeling of structures. Considering the impact and frequency content complexity of new field earthquakes, these structures subseetes to new field earthquakes. The different softwares have been used to verify of structures modelling. In order to evaluation of frequency content of earthquake, all of records scaled to 0.6 g then applied to structures. Different dynamic analysis conducted using eleven near field earthquake records and then the results compared to non-controlled model to indicate the effect of active tendons.

Keywords: Active Control, Active Tendon, Near field earthquake, Target displacement, Frequency Content, OpenSees