



مقایسه نتایج حاصل از روشهای تحلیل تاریخچه زمانی، طیفی و استاتیکی ساختمانها و بررسی تاثیر متغیرهای مختلف بر آن

سعید پورزینلی^۱، علی فصیحی^۲، رضا قوبدل^۳

گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان

pourzeynali@guilan.ac.ir

خلاصه

تحقیق حاضر به منظور ارزیابی روشهای تحلیل استاتیکی، طیفی و تاریخچه زمانی ساختمانها در برابر زلزله با هدف مقایسه نتایج حاصل از روشهای تحلیل فوق و بررسی تاثیر متغیرهای مختلف بر آن انجام شده است. بعد از انجام تحلیل با استفاده از نرم افزارهای متداول مشاهده شد که در ساختمانهای کم ارتفاع مقادیر بازتابهای بدست آمده از روش طیفی کمتر از تاریخچه زمانی است ولی با افزایش ارتفاع ساختمان، از میزان این اختلاف بتدریج کاسته می شود. این درحالیست که اختلاف نتایج حاصل از روش استاتیکی نسبت به روشهای دینامیکی مرتباً افزایش می یابد.

کلمات کلیدی: تحلیل استاتیکی، طیف طرح استاندارد، شتاب نگاشت، تحلیل تاریخچه زمانی، تحلیل طیفی

مقدمه

ارتعاشات زمین حین وقوع زلزله می تواند به ساختمانها و تاسیسات موجود آسیب شدیدی برساند. شتاب و سرعت جابجایی زمین در اغلب حالات وقتی به سازه ای انتقال می یابد تقویت می شود. حرکت تقویت شده می تواند نیرو و جابجاییهایی ایجاد کند که بیش از حد تحمل سازه باشد. عوامل بسیاری بر حرکت زمین و تقویت آن تاثیر می گذارند و فهم و درک چگونگی این تاثیر گذاری بر پاسخ سازه ها برای طراحی ایمن و اقتصادی آنها ضروری است. در این تحقیق، ساختمانهای متعددی با پلانهای منظم و نامنظم واقع در خاک تیپ II مورد مطالعه قرار گرفته اند.

انواع روشهای تحلیل

مطابق استاندارد ۲۸۰۰ [۱] ایران، تحلیل ساختمانها در برابر زلزله بطور کلی می تواند به دو روش استاتیکی معادل و دینامیکی انجام گیرد، که در زیر شرح مختصری از این دو روش آمده است.

۱- روش استاتیکی معادل

در این روش ابتدا نیروی برشی پایه، محاسبه و سپس در ارتفاع سازه توزیع می شود. آنگاه سهم عناصر لرزه بر به نسبت سختی مشخص می گردد و اعضای سازه بر اساس نیروی حاصل طرح می گردند [۲].

۲- روش دینامیکی

۱-۲- روش طیفی

در این روش، تحلیل دینامیکی با فرض رفتار خطی سازه و با استفاده از حد اکثر پاسخ کلیه مد های نوسانی سازه که در بازتاب کل سازه اثر قابل توجهی دارند انجام می گیرد. حد اکثر پاسخ در هر مد با توجه به زمان تناوب آن مد با استفاده از طیف طرح استاندارد یا طیف طرح ویژه ساختگاه بدست می آید. سپس پاسخ کلی سازه از ترکیب آماری پاسخهای حد اکثر هر مد تخمین زده می شود [۲]. از نکات قابل توجه در تحلیل طیفی می توان

^۱ دانشیار سازه

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه



به تعداد مدهای نوسان و ترکیب آثار مد ها اشاره کرد که در تحقیق حاضر تعداد مدهای منظور شده در هر دو روش تحلیل طیفی و تاریخچه زمانی ۱۵ مد بوده که با بررسی بند ۲-۴-۲ آیین نامه ۲۸۰۰ [۱] مبنی بر در نظر گرفتن حد اقل سه مد اول نوسان یا تمام مدهای نوسان با زمان تناوب بیشتر از ۰.۴ ثانیه و یا تمام مدهای نوسان که مجموع جرمهای موثر در آنها بیش از ۹۰ درصد جرم کل سازه، هر کدام که تعدادشان بیشتر باشد، کفایت آنها بررسی شده است.

۲-۲- روش تحلیل تاریخچه زمانی

در این روش سازه تحت تاثیر شتاب نگاشت زلزله، که به صورت تابعی از زمان در تراز پایه تاثیر داده می شود، تحلیل شده و مقادیر بازتابها بدست می آید [۳و۲]. لازم به ذکر است که جهت انجام تحلیل تاریخچه زمانی زوج شتاب نگاشت های انتخاب شده به طور همزمان در دو جهت عمود بر هم (امتداد های اصلی سازه) مطابق الزام بند ۲-۴-۳ آیین نامه ۲۸۰۰ [۱] بر سازه اعمال می گردند. همچنین با توجه به در نظر گرفتن رفتار سازه به صورت خطی، بر مبنای بند ۲-۴-۳-۱ آیین نامه ۲۸۰۰ [۱]، نسبت میرایی ۵ درصد منظور می گردد.

انتخاب شتاب نگاشتها

با توجه به اینکه در این تحقیق ساختمان های واقع در خاک تپ II مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرند، لذا کلیه شتاب نگاشت های مربوط به زلزله های مهم ایران در دهه های اخیر که در خاک تپ که در خاک تپ دو (مطابق با آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم [۱]) ثبت شده اند از پایگاه اطلاع رسانی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن تهیه شد. شتاب نگاشت های جمع آوری شده می بایست الزامات قسمت پ بند ۲-۴-۱ آیین نامه ۲۸۰۰ [۱] مبنی بر داشتن مدت زمان حرکت شدید زمین حداقل برابر ۱۰ ثانیه و یا سه برابر زمان تناوب اصلی سازه، هر کدام که بیشتر است، را بر آورده نمایند که این الزام در مورد کلیه شتاب نگاشت های جمع آوری شده مورد بررسی قرار گرفت که نهایتاً منجر به انتخاب تعداد ۱۰ شتاب نگاشت گردید. مشخصات کلیه شتاب نگاشت های جمع آوری شده در جدول ۱ آورده شده است. پس از تعیین مدت زمان حرکت شدید زمین، که با استفاده از نرم افزار Seismosignal [۴] انجام گرفته است، در نهایت شتاب نگاشت های ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۹، ۱۲، ۱۳، ۱۸ و ۱۹ جدول (۱) که شرایط قسمت پ بند ۲-۴-۱ آیین نامه ۲۸۰۰ [۱] را اقلع می نمودند، انتخاب شدند. شتاب نگاشتهای انتخاب شده، باید مطابق دستور العمل های موجود اصلاح شده و مقیاس شوند که در ادامه مراحل فوق آمده است.

جدول ۱ - مشخصات کلیه شتاب نگاشت های جمع آوری شده

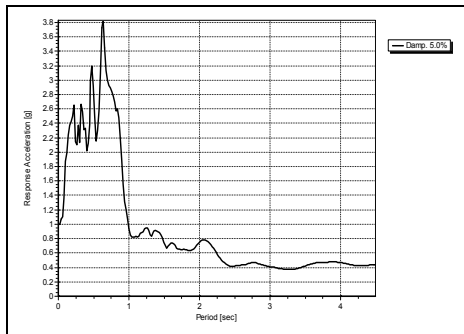
No	زلزله	مرکز زلزله		ایستگاه	موقعیت ایستگاه		AZIMUTE			UNCORRECTED PGA			EPICENTER		ALTITUDE	DATE
		طول	عرض		N	E	L	T	L	V	T	N	E			
1	GOLBAFT	57.6	30.15	SIRCH	30.19	57.56									1640	1376/12/23
2	KARA BAS	51.85	29.53	KAZERO ON	29.62	51.67	155	205	29.68	23.09	30.43	29.5	51.88	842	1378/2/17	
3	KARA BAS	51.85	29.53	KAVAR	29.2	52.68	75	165	11.09	7.48	9.8	29.5	51.88	1532	1378/2/18	
4	KARA BAS	51.85	29.53	ZARRAT	29.1	52.83	145	235	11.54	6.25	12.4	29.5	51.88	1508	1378/2/19	
5	KARA BAS	51.85	29.53	SHABAN KARE	29.471	50.988	303	33	11.22	4.54	10.13	29.5	51.88	47	1378/2/20	
6	POL ABGINE	51.81	29.49	NOOR ABAD MAMASS NI	30.11	51.53	197	287	15.17	4.2	8.15	28.41	51.81	940	1378/8/9	
7	POL ABGINE	51.81	29.49	KAZERO ON	29.62	51.67	115	205	72.38	58.71	100.18	28.41	51.81	842	1378/8/10	
8	POL ABGINE	51.81	29.49	GHAEMIY EH	29.87	51.58	110	200	54.17	22.91	36.3	28.41	51.81	886	1378/8/11	
9	CHAGORE AVG	48.93	35.63	KAKHK	36.12	49.75	122	122	22.86	6.56	18.92	35.67	48.93	1196	1381/4/1	
10	ZANJIRAN			ZARRAT	29.1	52.83	145	235	312.3	106.6	262.99	28.96	52.61	1508	1373/3/30	
11	ZANJIRAN			FIROOZA BAD	28.83	52.56	115	205	249.04	119.06	287.87	28.96	52.61	1325	1373/3/31	
12	ZANJIRAN			BAB ANAR	28.96	53.21	190	280	29.11	15.7	39.95	28.96	52.61	1302	1373/3/32	
13	ZANJIRAN			FARRASH BAND	28.87	52.07	247	337	15.6		23.21	28.96	52.61	797	1373/3/33	
14	ZANJIRAN			KAVAR	29.2	52.68	75	165	43.1	19.59	26.75	28.96	52.61	1532	1373/3/34	
15	ZANJIRAN			MEYMAND	28.87	52.75			441.53	182.6	503.26	28.96	52.61	1520	1373/3/35	
16	ZANJIRAN			ZANJIRA N	29.07	52.62			1006.2	983.5	1000.9	28.96	52.61	1690	1373/3/36	
17	GARMKHA N			FARROJ	37.23	58.22						37.56	57.29	1190	1375/11/16	
18	ARDAKOO L			FATH ABAD	34.116	58.388	45	135	13.55	8.12	11.72			1815	1386/2/20	
19	MANJIL			TONEKAB ON	36.81	50.78	126	216	132.57	35.02	87.54	36.96	49.41	-20	1369/3/31	



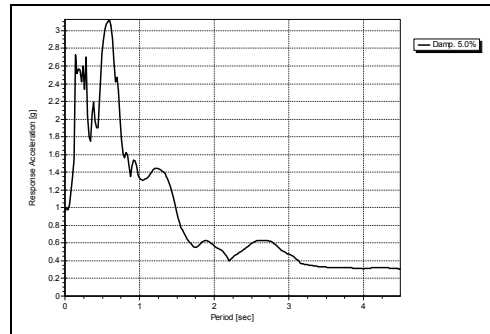
اصلاح شتاب نگاشت ها

ثبت شتاب حرکت زمین در هنگام زلزله توسط دستگاه های شتاب سنج آنالوگ و دیجیتال صورت می گیرد. در مقادیر شتاب های ثبت شده توسط هر دو دستگاه انواع مختلفی از خطا وارد می شوند که نیاز به اصلاح دارند [۲ و ۳ و ۵ و ۶] در اینجا به دلیل محدودیت در تعداد صفحات مقاله، موارد انجام شده فقط به صورت فهرست وار ارایه می گردد.

۱. اصلاح خط شتاب صفر: جهت انجام این کار از تابع چند جمله ای درجه دوم استفاده گردید.
۲. فیلتر نمودن شتاب نگاشت ها: برای این منظور از فیلتر Butterworth در محدوده فرکانسی ۰,۱ تا ۲۵ هرتز استفاده شده است.
۳. تعیین مدت زمان حرکت شدید زمین: جهت انجام این کار مطابق قسمت پ بند ۲-۴-۱-۴-۱ آیین نامه ۲۸۰۰ [۱] از روش توزیع تجمعی انرژی استفاده شد
۴. مقیاس نمودن: برای این کار حد اکثر شتاب ثبت شده پس از اصلاح را تعیین و کلیه مقادیر شتاب نگاشت به آن تقسیم شد تا شتاب حداکثر ۱g شود (بند ۲-۴-۱-۴-۲ آیین نامه ۲۸۰۰ [۱]).
۵. بدست آوردن طیف پاسخ شتاب نگاشت ها: طیف پاسخ هر یک از زوج شتاب نگاشت های مقیاس شده با منظور کردن نسبت میرایی ۵ درصد تعیین گردید. به عنوان نمونه طیف پاسخ مولفه طولی و عرضی شتاب نگاشت زلزله کره بس ثبت شده در ایستگاه کاور در اشکال ۱ و ۲ نشان داده شده است.



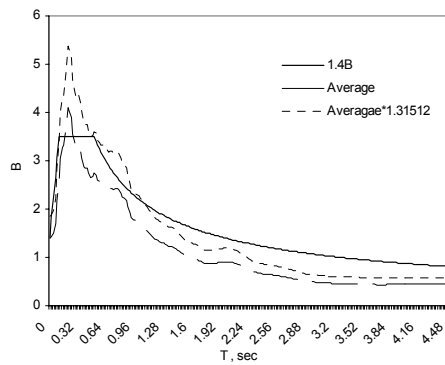
شکل ۲- طیف پاسخ مولفه طولی شتاب نگاشت زلزله کره بس ثبت شده در ایستگاه کاور



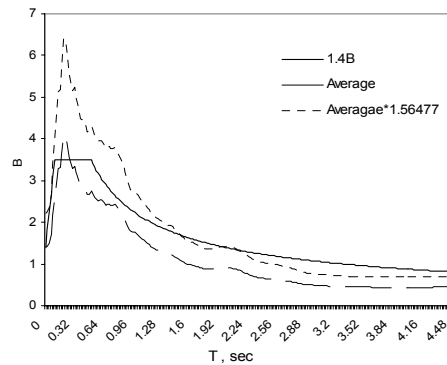
شکل ۱- طیف پاسخ مولفه عرضی شتاب نگاشت زلزله کره بس ثبت شده در ایستگاه کاور

۶. طیف پاسخ هر زوج شتاب نگاشت با استفاده از روش جذر مجموع مربعات با یکدیگر ترکیب شده و طیف ترکیبی واحد برای هر زوج ساخته می شود.
۷. طیف های پاسخ ترکیبی به دست آمده از مرحله قبل متوسط گیری شده و در محدوده زمان های تناوب 0.2T و 1.5T با طیف طرح استاندارد مقایسه می گردند و ضریب مقیاس آنچنان تعیین می گردد که در این محدوده مقادیر متوسط ها در هیچ حالت کمتر از 1.4B نباشد. (T زمان تناوب اصلی ساختمان است)
۸. ضرایب مقیاس تعیین شده با توجه به بند فوق، برای ساختمان هایی که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته اند به شرح زیر است:
 - ساختمان ۵ طبقه: ۱,۵۶۴۷۷
 - ساختمان ۱۰ طبقه: ۱,۳۱۵۱۲
 - ساختمان ۱۵ طبقه: ۱,۳۱۵۱۲

نمودارهای مقایسه طیف های پاسخ ترکیبی با طیف طرح استاندارد برای ساختمان های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه در اشکال ۳ و ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴ - نمودارهای مقایسه ای ساختمان ۱۰ و ۱۵ طبقه



شکل ۳ - نمودارهای مقایسه ای ساختمان ۵ طبقه

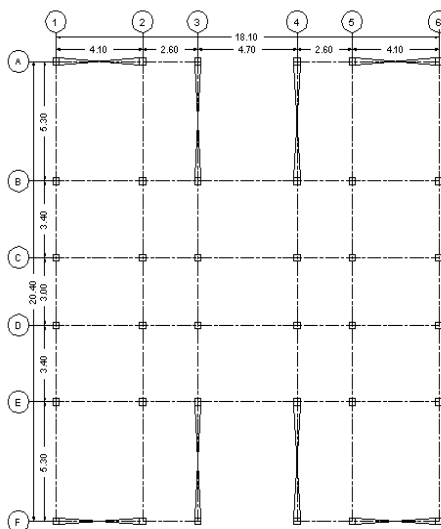
۹. ضریب مقیاس های تعیین شده در شتاب نگاشت های مقیاس شده ضرب شده و به عنوان شتاب نگاشت تحلیل تاریخچه زمانی مورد استفاده قرار گرفته است. ضمناً یادآوری می گردد که هر ساختمان در برابر هر زوج شتاب نگاشت اصلاح شده در دو مرحله به شرح زیر مورد تحلیل قرار گرفت:

الف) با در نظر گرفتن مولفه طولی زلزله در جهت X ساختمان و مولفه عرضی در جهت Y آن.

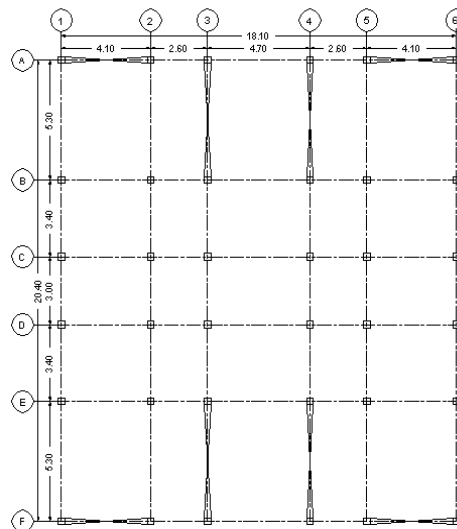
ب) با در نظر گرفتن مولفه طولی زلزله در جهت Y ساختمان و مولفه عرضی در جهت X آن.

مطالعات عددی

به منظور بررسی انواع روشهای تحلیل مذکور ساختمان های مختلفی مورد مطالعه قرار گرفتند که عبارتند از مدل های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه منظم به صورت بتنی و فولادی بر مبنای پلان واحد (شکل ۵-الف) و همچنین مدل های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه نامنظم به صورت بتنی و فولادی بر مبنای پلان واحد (شکل ۵-ب) که بر اساس آیین نامه های موجود (مباحث ۶ و ۹ و ۱۰ مقررات ملی ساختمان و استاندارد ۲۸۰۰ [۱] ایران) طراحی شده اند. سیستم سازه ای برای ساختمان های فولادی بصورت دوگانه، متشکل از قاب خمشی فولادی متوسط به همراه مهاربندی هم محور فولادی و برای ساختمانهای بتنی نیز سیستم دوگانه، متشکل از قاب خمشی بتنی متوسط به همراه دیوار برشی بتن مسلح متوسط در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که نامنظمی سازه ها بر مبنای بند ۱-۸-۱ الف آیین نامه ۲۸۰۰ [۱]، از نوع نامنظمی هندسی می باشد و بارگذاری مدل ها مطابق جدول ۲ انجام شده است.



شکل ۵-ب - پلان نامنظم



شکل ۵-الف - پلان منظم



جدول ۲- مشخصات بارگذاری و پارامترهای تعیین نیروی زلزله طبق آیین نامه ۲۸۰۰

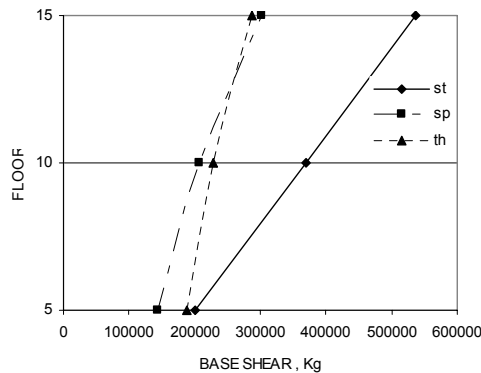
بار مرده کف طبقات	750(kg/m ²)	ساختمان فولادی			ساختمان بتنی		
		۵ طبقه	۱۰ طبقه	۱۵ طبقه	۵ طبقه	۱۰ طبقه	۱۵ طبقه
بار زنده طبقات	200(kg/m ²)						
بار مرده راه پله	700(kg/m ²)						
بار زنده راه پله	350(kg/m ²)	A=0.35	A=0.35	A=0.35	A=0.35	A=0.35	A=0.35
بار دیوار جانبی	700(kg/m ²)	I=1	I=1	I=1.2	I=1	I=1	I=1.2
ارتفاع کف تا کف طبقات (متر)	3(m)	R=7	R=7	R=7	R=8	R=8	R=8

پس از انجام تحلیل، مواردی از پاسخ سازه ها که با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته اند به شرح زیر می باشند:

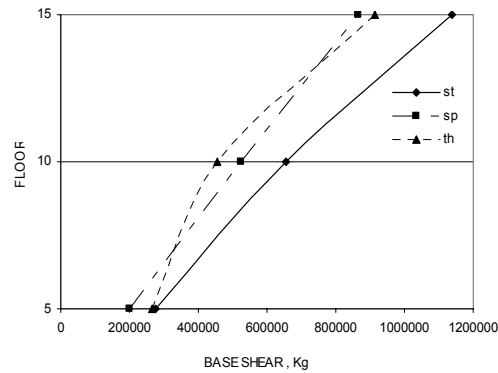
- برش پایه در هر دو جهت
 - نیروی محوری ستون میانی E3 و ستون کناری A1
- مقایسه نتایج فوق با یکدیگر، برای ساختمان های منظم و نامنظم در قسمت های بعدی انجام گرفته است.

ساختمان های منظم

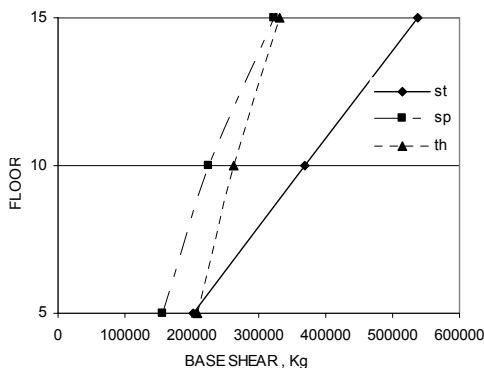
۱. برش پایه: در نمودارهای ۶ تا ۹ مقدار برش پایه حاصل از سه روش تحلیل فوق با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته اند. همانطور که مشاهده می شود چه در ساختمان بتنی و چه در فولادی، مقدار برش پایه حاصل از روش استاتیکی نسبت به روش های دینامیکی بطور قابل ملاحظه ای بیشتر بوده و با افزایش ارتفاع، این اختلاف مرتباً افزایش می یابد. همچنین اگرچه در ساختمان ۵ طبقه برش پایه حاصل از روش طیفی کمتر از تاریخچه زمانی است اما با افزایش ارتفاع از میزان این اختلاف به تدریج کاسته شده و برش پایه حاصل از روش های دینامیکی طیفی و تاریخچه زمانی بسیار به یکدیگر نزدیک می گردند. لازم به یاد آوری است که در کلیه اشکال علامت St بیا نگر روش تحلیل استاتیکی، علامت SP بیانگر روش تحلیل طیفی و علامت th بیانگر روش تحلیل تاریخچه زمانی می باشد.



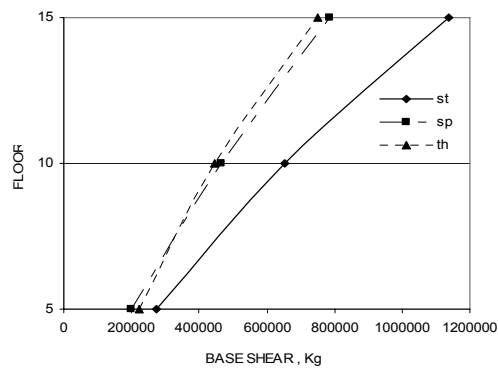
شکل ۷- برش پایه در جهت X- ساختمان فولادی



شکل ۶- برش پایه در جهت X- ساختمان بتنی



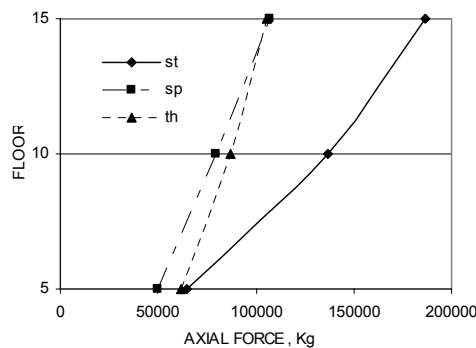
شکل ۹- برش پایه در جهت Y- ساختمان فولادی



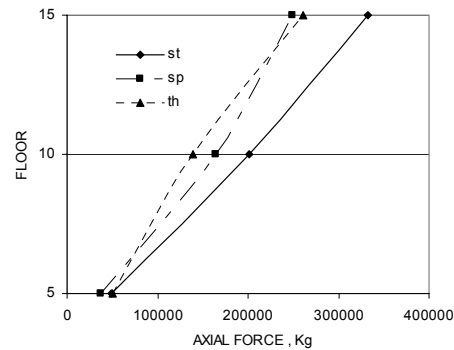
شکل ۸- برش پایه در جهت Y- ساختمان بتنی



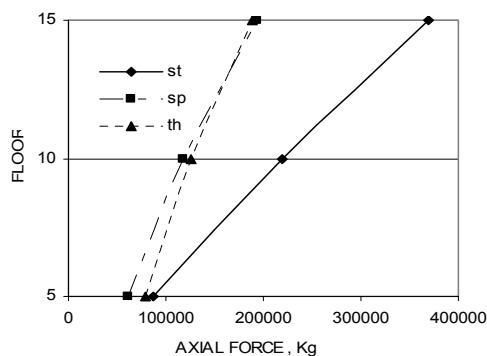
نیروی محوری ستون میانی E3 و ستون کناری A1: در این بخش، نیروی محوری یک ستون میانی (E3) و یک ستون کناری (A1) تحت اثر انواع روش های تحلیل فوق استخراج و بصورت نمودار هایی مستقل نمایش داده شده است. همان طور که در اشکال ۱۰ تا ۱۳ مشاهده می شود، نیروی محوری حاصل از تحلیل استاتیکی چه در ساختمان های بتنی و چه فولادی بسیار بیشتر از تحلیل های دینامیکی است. همچنین با افزایش ارتفاع، نیروی محوری ستونها، ناشی از روش های دینامیکی در هر دو حالت بتنی و فولادی به هم نزدیک می شوند.



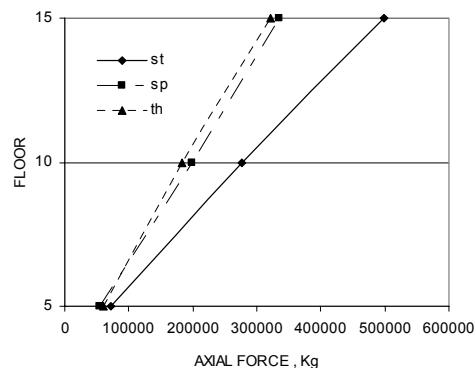
شکل ۱۱- نیروی محوری ستون میانی E3 - ساختمان فولادی



شکل ۱۰- نیروی محوری ستون میانی E3 - ساختمان بتنی



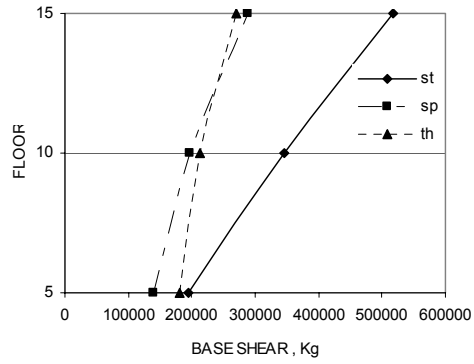
شکل ۱۳- نیروی محوری ستون کناری A1 - ساختمان فولادی



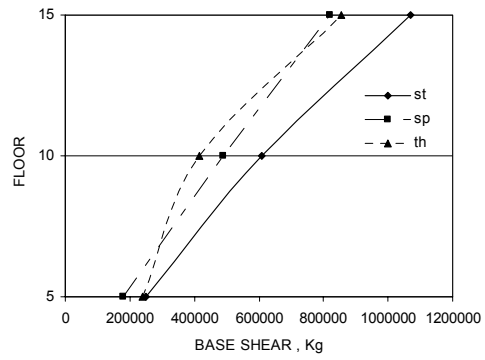
شکل ۱۲- نیروی محوری ستون کناری A1 - ساختمان بتنی

ساختمان های نامنظم

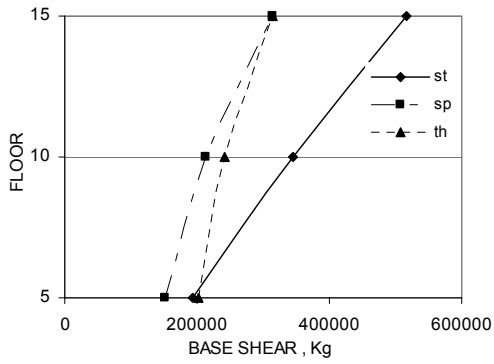
نتایج حاصل از تحلیل ساختمان های نامنظم نیز برای برش پایه در اشکال ۱۴ تا ۱۷ و برای نیروی محوری ستون های انتخابی در اشکال ۱۸ تا ۲۱ ارائه شده اند. بطوریکه در اشکال زیر مشاهده می شود بطور کلی می توان گفت نتایج بدست آمده از تحلیل ساختمانهای نامنظم تا حد زیادی مشابه ساختمانهای منظم می باشد. خصوصاً روند تغییرات نتایج روش استاتیکی نسبت به روش های دینامیکی کاملاً یکسان به نظر می رسد. نکته قابل توجه در این نمودار ها تشابه نتایج در ساختمانهای بتنی و فولادی می باشد که تقریباً در تمام موارد مورد مقایسه اعم از برش پایه در اشکال ۱۴ تا ۱۷ و نیروی محوری در اشکال ۱۸ تا ۲۱ مشاهده می شود. البته در اینجا لازم به ذکر است که نامنظمی در نظر گرفته شده، فقط مربوط به فرو رفتگی در ساختمان (نامنظمی هندسی) می باشد که تاثیری بر نتایج حاصل از روش های فوق نسبت به ساختمان های منظم نگذاشته است و امیدواریم در آینده نامنظمی های دیگری را نیز مورد بررسی قرار دهیم.



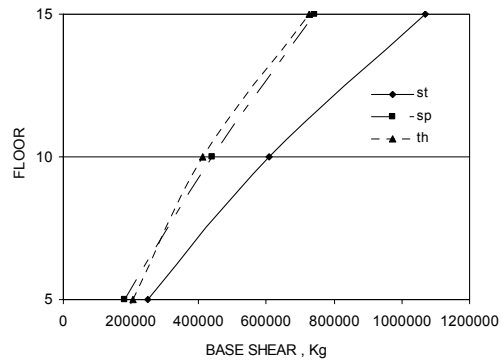
شکل ۱۵- برش پایه در جهت X - ساختمان فولادی



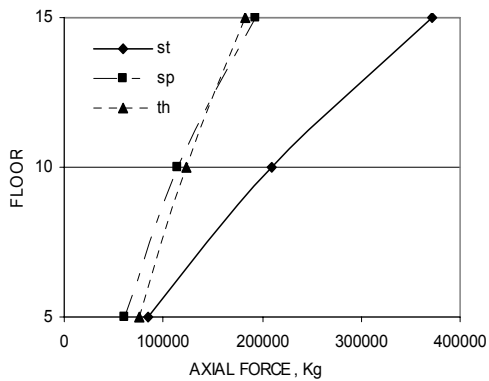
شکل ۱۴- برش پایه در جهت X - ساختمان بتنی



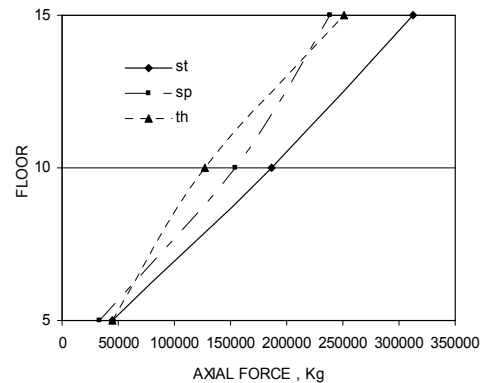
شکل ۱۷- برش پایه در جهت Y - ساختمان فولادی



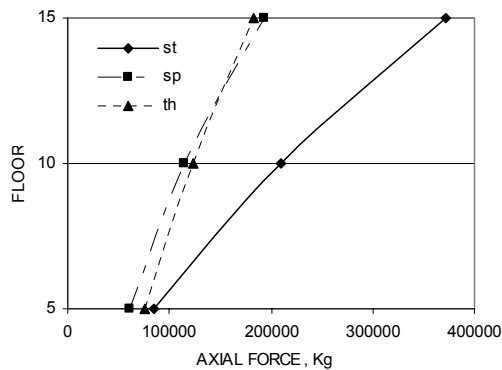
شکل ۱۶- برش پایه در جهت Y - ساختمان بتنی



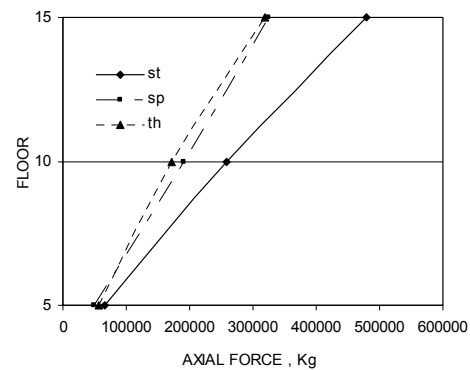
شکل ۱۹- نیروی محوری ستون میانی E3 - ساختمان فولادی



شکل ۱۸- نیروی محوری ستون میانی E3 - ساختمان بتنی



شکل ۲۱- نیروی محوری ستون کناری A1 - ساختمان فولادی



شکل ۲۰- نیروی محوری ستون کناری A1 - ساختمان بتنی

نتیجه گیری

در این تحقیق، روش های تحلیل استاتیکی معادل، طیفی و تاریخچه زمانی ساختمان های مختلف در برابر زلزله بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ [۱]، با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته اند. برای این منظور، سه مدل ساختمان با تعداد ۵، ۱۰، ۱۵ طبقه بتنی و فولادی انتخاب شده و مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج حاصل هم برای ساختمان های منظم و هم ساختمان های نامنظم هندسی ارایه شده اند. از مقایسه نتایج حاصل مشاهده می شود که مقدار بازتاب های حاصل از روش تحلیل استاتیکی معادل نسبت به روش های تحلیل دینامیکی طیفی و تاریخچه زمانی به طور قابل ملاحظه ای بیشتر بوده که با افزایش ارتفاع ساختمان این اختلاف مرتباً افزایش می یابد. این مطلب نشان می دهد که حصول به یک طرح بهینه و ایمن برای ساختمانهای بلند مرتبه مستلزم استفاده از روش های تحلیل دینامیکی در طراحی می باشد چرا که این تحقیق نشان داد استفاده از روش تحلیل استاتیکی معادل غیراقتصادی خواهد بود. همچنین اگر چه در ساختمان های کوتاه خصوصاً فولادی نتایج حاصل از تحلیل طیفی کمتر از تاریخچه زمانی است لکن با افزایش ارتفاع از میزان این اختلاف به تدریج کاسته شده و نتایج تا حد زیادی همگرا می گردند کما اینکه هیچ گاه یکسان نمی شوند. این مطلب نشان می دهد روش دینامیکی طیفی در عین سادگی و حجم محاسبات بسیار کمتر نسبت به روش دینامیکی تاریخچه زمانی کاملاً قابل اطمینان بوده و نتایج حاصل از آن نزدیک به نتایج روش تاریخچه زمانی می باشد که این مطلب موید بند ۲-۴ آیین نامه ۲۸۰۰ مبنی بر استفاده اختیاری از هر یک از دو روش تحلیل دینامیکی طیفی و تاریخچه زمانی نیز هست. با توجه به نامنظمی در نظر گرفته شده در تحقیق حاضر که از نوع نامنظمی هندسی با دو محور تقارن در پلان می باشد و نتایج حاصل می توان پیش بینی کرد که؛ ساختمان های نامنظم در پلان، که دارای دو محور تقارن هستند و محل مرکز سختی و مرکز جرم آنها با هم اختلاف زیادی ندارد رفتاری مشابه ساختمانهای منظم دارند.

مراجع

۱. آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۸۴ - ۲۸۰۰ (ویرایش ۳).
۲. مقدم، حسن. (۱۳۸۱) «مهندسی زلزله - مبانی و کاربرد»، انتشارات فراهنگ.
۳. برگی، خسرو. (۱۳۶۶) «مهندسی زلزله و محاسبه سازه ها در برابر زلزله»، دانشکده فنی، دانشگاه تهران.
4. [Http://seissoft.com/SeismoSignal/index.htm](http://seissoft.com/SeismoSignal/index.htm)
5. Trifunac, M.D. (1971) *Zero base line correction of strong motion accelerograms for instrument response*, BSSA Vol 62, No. 1
6. Trifunac, M.D. Udawadia, F.E. Brady, A.G. (1973) *Analysis of errors in digitized strong motion accelerograms*, BSSA Vol 63, No. 1