



بررسی اندرکنش دیوار برشی بتنی و تیرهای فولادی در اتلاف انرژی ورودی زلزله در اثر رفتار غیر خطی در سازه فولادی با دیوار برشی بتنی

ناصر شابختی^۱، محمدامین بیاری^۲، فاطمه السادات سیدیزدی^۳، وحید نیک طلب^۴

۱- استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه سیستان و بلوچستان

(Shabakhty@eng.usb.ac.ir)

۲- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه سیستان و بلوچستان

(Amin.bayari@yahoo.com)

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه سیستان و بلوچستان

(f.seyyedyazdi@gmail.com)

۴- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان

چکیده

زلزله با وارد کردن سازه به ناحیه غیرخطی و ایجاد تغییرشکل‌های پلاستیک باعث ایجاد خرابی در سازه شده و بدین طریق انرژی ورودی ناشی از زلزله را تلف می‌کند. در واقع سازه باید در اثر زلزله خراب شود و در اثر این خرابی‌ها انرژی ورودی زلزله را تلف کند تا بتوان از ظرفیت مصالح به نحو مطلوب استفاده شود. در این تحقیق به بررسی اندرکنش بین دیوارهای برشی بتنی و تیرهای فولادی سازه در میزان اتلاف انرژی ناشی از زلزله در اثر رفتار غیرخطی اعضای سازه‌ای پرداخته شده است. از سازه‌های ۵، ۱۰ و ۱۲ طبقه که با سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی و دیوار برشی بتنی تشکیل شده، جهت بررسی استفاده می‌شود. از نرم افزار PERFORM-3D برای انجام تحلیل‌های غیرخطی سازه‌ها استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش شدت زلزله سهم تیرهای فولادی در درصد اتلاف انرژی زلزله در اثر رفتار غیرخطی اعضا افزایش و سهم دیوار برشی بتنی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: اندرکنش، رفتار غیرخطی، اتلاف انرژی زلزله، سازه بتنی با دیواربرشی

1. مقدمه

در طول یک زلزله شدید مقدار زیادی انرژی دینامیکی به سازه اعمال می‌شود. دو روش متفاوت برای اتلاف انرژی ورودی به سازه در اثر زلزله وجود دارد. اولین روش، استفاده از سیستم‌های جداسازهای پایه و میراگرها در سازه است و روش دوم مکانیزم اتلاف انرژی توسط اعضای سازه است. اتلاف انرژی لرزه‌ای از طریق رفتار الاستیک اعضای سازه‌ای، روشی غیر اقتصادی است. یک روش معمول این است که اعضای سازه تسلیم



شده و وارد ناحیه غیرخطی شوند. اما این تسلیم باید کنترل شده باشد یعنی این که خرابی‌های سازه باید در چارچوب عملکردهای مورد نظر ما باشد. [1]

انواع مختلف سیستم‌های متداول مقاوم در برابر زلزله عبارتند از: سیستم مهاربندی جانبی، سیستم دیواربرشی، سیستم قاب مقاوم خمشی و سیستم دوگانه. جهت طراحی سیستم‌های مدرن، برای یک طرح مقاوم لرزه‌ای مناسب ابتدا باید سعی در حداقل نمودن مقدار انرژی هیسترتیک تلف شده در اعضای اصلی سازه نمود. دو دیدگاه مهم جهت رسیدن به این هدف وجود دارد. اولین دیدگاه شامل طرح‌هایی است که در آن سعی در کاهش انرژی ورودی به سازه داریم که به عنوان مثال، سیستم‌های جداسازی پایه از آن جمله‌اند. دومین دیدگاه بر روی مکانیزم‌های اتلاف انرژی در خود سازه متمرکز است. برای این منظور از یک سری تجهیزات استفاده می‌نماییم. این تجهیزات به گونه‌ای طراحی می‌شوند که بخشی از انرژی ورودی به سازه را تلف می‌نمایند و در نتیجه خسارت وارده به سازه اصلی که ناشی از اتلاف انرژی به صورت هیسترتیک می‌باشد، کاهش می‌یابد. [2]

2. انرژی مستهلک شده

انرژی اعمال شده به یک سیستم غیرالاستیک به وسیله زلزله، به علت هر دو مکانیزم تسلیم و میرایی کاهش می‌یابد.

معادله حرکت یک سیستم غیرالاستیک به شکل زیر بیان می‌شود

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u, \dot{u}) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (1)$$

با انتگرال‌گیری از جملات مختلف معادله حرکت یک سیستم غیرالاستیک، جملات مختلف انرژی به صورت زیر به دست می‌آید

$$\int m\ddot{u}(t)du + \int c\dot{u}(t)du + \int f_s(u, \dot{u})du = -\int m\ddot{u}_g(t)du \quad (2)$$

طرف راست معادله فوق، انرژی اعمال شده به سازه از شروع تحریک زلزله می‌باشد:

$$E_I(t) = -\int m\ddot{u}_g(t)du \quad (3)$$

اولین جمله رابطه (2) انرژی جنبشی جرم در حرکت نسبی نسبت به زمین می‌باشد

(4)

$$E_K(t) = \int m\dot{u}(t)du = \frac{1}{2}m\dot{u}^2$$

دومین جمله رابطه (2) انرژی مستهلک شده به علت میرایی می‌باشد.

$$E_D(t) = \int c\dot{u}(t)du \quad (5)$$

جمله سوم رابطه (2) مجموع انرژی مستهلک شده به واسطه تسلیم و انرژی کرنش قابل بازیابی سیستم می‌باشد

$$E_Y(t) + E_S(t) = \int f_s(u, \dot{u}) du \quad (6)$$

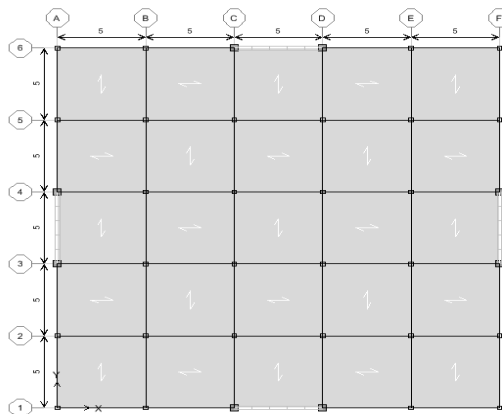
برپایه کمیات تعریف شده رابطه تعادل انرژی سیستم برابر است با

$$E_I(t) = E_K(t) + E_D(t) + E_Y(t) + E_S(t) \quad (7)$$

اما در انتهای زمین لرزه، تمام انرژی‌های جنبشی و کرنشی سیستم از بین می‌رود و در نهایت انرژی اعمال شده به علت دو مکانیزم میرایی و تسلیم مستهلک می‌شود. در سیستم‌های غیرالاستیک، میرایی نقش کمتری در استهلاک انرژی دارد و قسمت اعظم انرژی در اثر تسلیم جذب می‌شود. [3]

3. مشخصات مدل‌های مورد استفاده در تحقیق

در این تحقیق از سازه‌های 5، 10 و 12 طبقه که با سیستم قاب خمشی فولادی و دیوار برشی بتنی طراحی شده‌اند مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. برای تحلیل غیرخطی سازه‌های مورد نظر از نرم‌افزار PERFORM-3D استفاده شده است و سازه‌ها به صورت سه بعدی مدل شده‌اند.



شکل (1): پلان سازه‌های مورد استفاده

4. مشخصات شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده در این تحقیق

برای انتخاب رکوردهای زلزله از پایگاه داده‌های سایت PEER استفاده شده است. [4] شتاب‌نگاشت‌های مورد نظر باید با شرایطی تقریباً مشابه به لحاظ مکانیسم گسل، بزرگی زلزله، فاصله کانون زلزله تا ساختگاه و ویژگی‌های زمین‌شناسی و تکتونیکی باشند. شتاب‌نگاشت‌های استفاده شده در این تحقیق به لحاظ فاصله‌ای که

گسل از ایستگاه لرزه‌نگاری دارد، در طبقه‌بندی دور از گسل قرار گرفته و همچنین مطابق با خاک نوع B طبقه بندی USGS می‌باشند که بر اساس طبقه‌بندی استاندارد 2800، خاک نوع 2 با سرعت موج برشی بین 375 تا 750 متر بر ثانیه است. مولفه‌های زلزله در دو جهت به صورت توأم به سازه اعمال شده‌اند.

جدول (1): رکوردهای مورد استفاده در تحقیق

نام اختصاری	نام زلزله	مولفه های زلزله	PGA(g)	فاصله از گسل (km)
S1	Victoria-Mixico	VICT/CPE045	0.621	34.8
		VICT/CPE315	0.587	
S2	Northridge	NORTHR/MU2035	0.617	20.8
		NORTHR/MU2125	0.444	
S3	Northridge	NORTHR/ORR090	0.568	22.6
		NORTHR/ORR360	0.514	
S4	Northridge	NORTHR/STM090	0.883	27.6
		NORTHR/STM360	0.37	
S5	N. Palm Springs	PALMSPR/H08000	0.25	32
		PALMSPR/H08090	0.239	
S6	San Fernando	SFERN/ORR021	0.324	24.9
		SFERN/ORR291	0.268	

5. رسم منحنی‌های آنالیز دینامیکی غیرخطی افزایشی

آنالیز دینامیکی افزایشی شامل تعداد زیادی تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت شتاب‌نگاشت‌های زلزله است و این شتاب‌نگاشت‌ها به گونه‌ای مقیاس شده‌اند که بتوانند رفتار خطی، غیرخطی و در نهایت فروریزش سازه را تحت پوشش قرار دهند. هدف از این روش به دست آوردن پاسخ سازه تحت شدت‌های مختلف زمین‌لرزه می‌باشد. [5]

در این تحقیق پاسخ سازه انرژی جذب شده توسط تیرها و دیوارهای برشی سازه در اثر رفتار غیرخطی است. هر یک از شتاب‌نگاشت‌های معرفی شده به شدت‌های (0.4g, 0.6g, 0.8g, 1g, 1.2g, 1.4g) مقیاس می‌شوند. سپس سازه‌های موجود را تحت شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی می‌کنیم و پاسخ سازه که همان انرژی جذب شده در اثر رفتار غیرخطی در تیرها و دیوارهای برشی سازه است را به دست می‌آوریم.

6. بررسی مکانیزم اتلاف انرژی در سازه به کمک آنالیز دینامیکی افزایشی

همان‌گونه که می‌دانیم زلزله با وارد کردن سازه به ناحیه غیرخطی و ایجاد تغییر شکل پلاستیک در سازه، باعث ایجاد خرابی در سازه شده و بدین طریق انرژی ورودی زلزله را اتلاف می‌کند. در واقع سازه باید با زلزله خراب شود و از طریق این خرابی‌ها انرژی ورودی زلزله را اتلاف کند، تا بتوان از همه ظرفیت مصالح استفاده کنیم. اما چیزی که اهمیت دارد این است که این خرابی‌ها کنترل شده و در چارچوب عملکردهای مورد انتظار

باشد. [6]. در این تحقیق ما به تعیین سهم هر یک از گروه‌های المانی سازه (تیرهای فولادی و دیوارهای برشی بتنی) در میزان اتلاف انرژی وارده به سازه پرداخته شده است.

در جداول 2، 4 و 6 به بررسی سهم تیرهای فولادی در درصد اتلاف انرژی وارده در اثر زلزله بوسیله رفتار غیرخطی اعضای سازه، با افزایش شدت زلزله در سازه های 5، 10 و 12 پرداخته شده است.

در جدول 3، 5 و 7 به بررسی سهم دیوار برشی بتنی در درصد اتلاف انرژی وارده در اثر زلزله بوسیله رفتار غیرخطی اعضا، با افزایش شدت زلزله پرداخته شده است.

جدول (2) : سهم تیرهای سازه در درصد اتلاف انرژی وارده در اثر زلزله بوسیله رفتار غیر خطی اعضا در سازه 5

طبقه

PGA(g)	S1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	ave
0.4	0.00	0.50	0.85	0.19	0.00	0.47	0.33
0.6	0.31	1.13	2.42	0.62	0.00	0.97	0.91
0.8	0.66	1.91	5.18	0.67	0.45	1.97	1.81
1	1.29	3.38	8.32	1.02	0.64	3.32	2.99
1.2	2.53	4.24	11.50	2.22	0.61	5.02	4.36
1.4	3.70	5.05	13.70	3.99	0.95	6.59	5.66

جدول (3) : سهم دیواربرشی بتنی در درصد اتلاف انرژی وارده در اثر زلزله بوسیله رفتار غیر خطی اعضا در سازه 5 طبقه

PGA(g)	S1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	ave
0.4	100.00	99.50	99.15	99.82	100.00	99.53	99.67
0.6	99.69	98.87	97.58	99.38	100.00	99.03	99.09
0.8	99.34	98.09	94.79	99.33	99.55	98.03	98.19
1	98.71	96.62	91.57	98.98	99.36	96.67	96.99
1.2	97.45	95.75	88.18	97.78	99.39	94.95	95.58
1.4	96.27	94.92	85.74	96.01	99.05	93.31	94.22

جدول (4) : سهم تیرهای سازه در درصد اتلاف انرژی وارده در اثر زلزله بوسیله رفتار غیر خطی اعضا در سازه 10

طبقه

PGA(g)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	ave
0.4	18.89	19.49	25.33	23.70	33.21	18.74	23.23
0.6	26.89	25.07	29.80	24.31	35.68	26.44	28.03
0.8	31.20	31.74	34.51	27.82	34.71	32.32	32.05
1	34.41	34.32	38.35	30.91	33.63	35.22	34.47
1.2	36.53	34.54	40.31	33.70	34.74	36.90	36.12
1.4	38.69	34.23	41.20	36.87	35.34	36.81	37.19

جدول (5): سهم دیوار برشی در درصد اتلاف انرژی وارده در اثر زلزله بوسیله رفتار غیرخطی اعضا در سازه 10 طبقه

PGA(g)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	ave
0.4	81.04	80.51	74.36	76.30	66.79	81.26	76.71
0.6	72.86	74.82	69.51	75.45	64.32	73.01	71.66
0.8	68.09	67.25	64.22	71.60	65.00	66.75	67.15
1	64.44	63.54	59.75	68.26	65.79	63.14	64.15
1.2	61.89	62.79	57.23	65.23	64.64	60.95	62.12
1.4	59.46	62.67	55.69	61.55	63.90	60.82	60.68

جدول (6): سهم تیرهای سازه در درصد اتلاف انرژی وارده در اثر زلزله بوسیله رفتار غیرخطی اعضا در سازه 12

طبقه

PGA(g)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	ave
0.4	42.68	39.18	39.57	36.39	42.38	44.35	40.76
0.6	44.63	41.81	42.55	37.25	44.53	46.59	42.89
0.8	48.31	42.19	45.76	41.06	45.34	48.24	45.15
1	53.89	42.88	51.50	47.96	47.68	49.09	48.83
1.2	58.05	44.39	55.10	53.76	49.32	50.07	51.78
1.4	59.42	46.51	56.55	57.50	51.27	50.14	53.57

جدول (7): سهم دیوار برشی در درصد اتلاف انرژی وارده در اثر زلزله بوسیله رفتار غیرخطی اعضا در سازه 12 طبقه

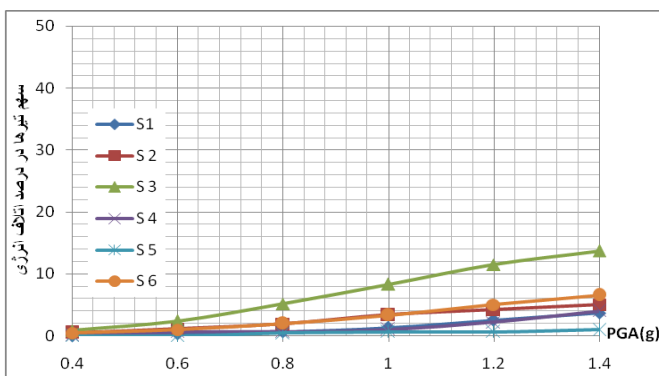
PGA(g)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	ave
0.4	57.32	60.82	60.43	63.61	57.62	55.65	59.24
0.6	55.61	60.19	57.01	62.77	55.38	54.26	57.53
0.8	51.48	57.36	53.51	60.10	54.65	50.11	54.53
1	46.12	55.28	47.43	52.01	53.05	49.19	50.51
1.2	41.63	51.57	43.17	45.38	49.77	47.17	46.45
1.4	39.93	48.77	41.18	41.73	47.12	46.52	44.21

در شکل 2، 4 و 6 منحنی‌های آنالیز دینامیکی افزایشی مربوط به سهم تیرهای فولادی در درصد اتلاف انرژی وارده

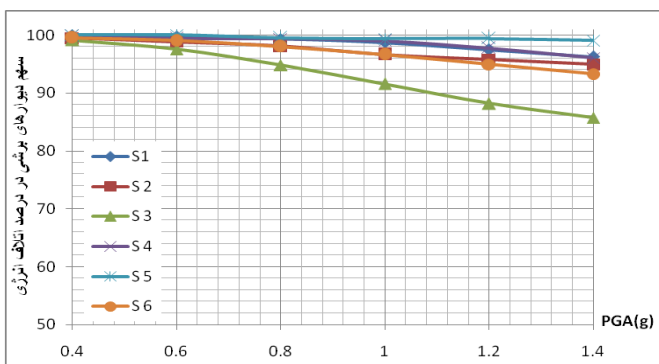
در اثر زلزله بوسیله رفتار غیرخطی اعضای سازه، با افزایش شدت زلزله در سازه‌های 5، 10 و 12 رسم شده است.

در شکل 3، 5 و 7 منحنی‌های آنالیز دینامیکی افزایشی مربوط به سهم دیوارهای برشی بتنی در درصد اتلاف انرژی

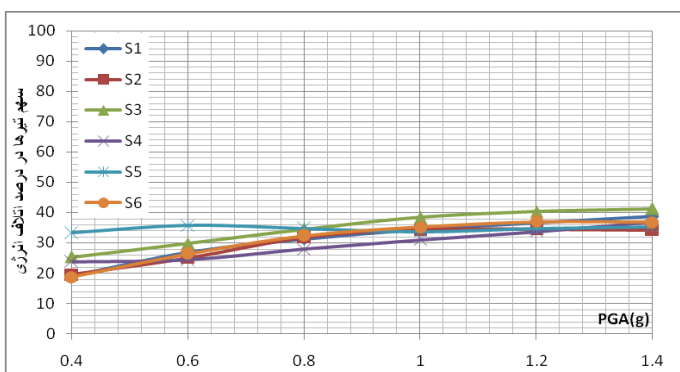
وارده در اثر زلزله بوسیله رفتار غیرخطی اعضای سازه، با افزایش شدت زلزله در سازه‌های 5، 10 و 12 رسم شده است.



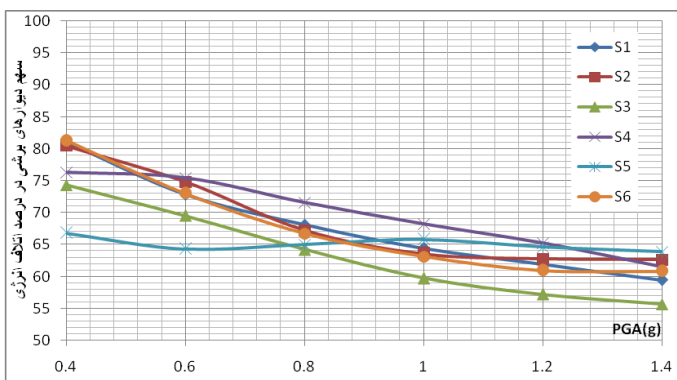
شکل (2): منحنی های آنالیز دینامیکی افزایشی بر حسب سهم تیرهای فولادی درصد اتلاف انرژی بوسیله رفتار غیر خطی اعضا در سازه 5 طبقه



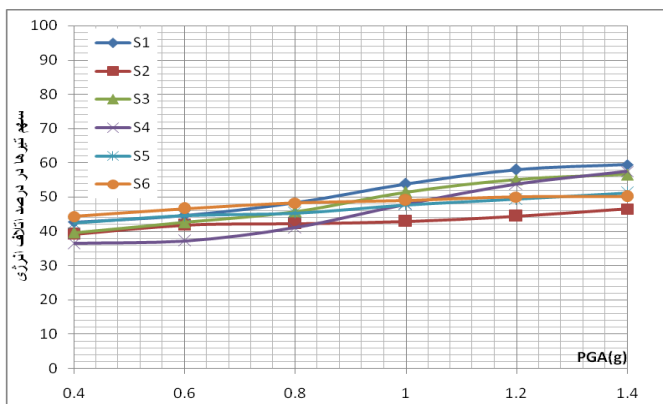
شکل (3): منحنی های آنالیز دینامیکی افزایشی بر حسب سهم دیوارهای برشی در درصد اتلاف انرژی بوسیله رفتار غیر خطی اعضا در سازه 5 طبقه



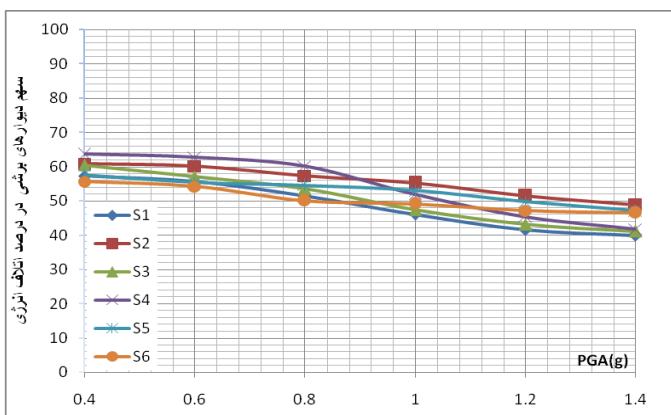
شکل (4): منحنی های آنالیز دینامیکی افزایشی بر حسب سهم تیرهای فولادی درصد اتلاف انرژی بوسیله رفتار غیر خطی اعضا در سازه 10 طبقه



شکل (5): منحنی های آنالیز دینامیکی افزایشی بر حسب سهم دیوار برشی در درصد اتلاف انرژی بوسیله رفتار غیرخطی اعضا در سازه 10 طبقه



شکل (6): منحنی های آنالیز دینامیکی افزایشی بر حسب سهم تیرهای فولادی در درصد اتلاف انرژی بوسیله رفتار غیرخطی اعضا در سازه 12 طبقه



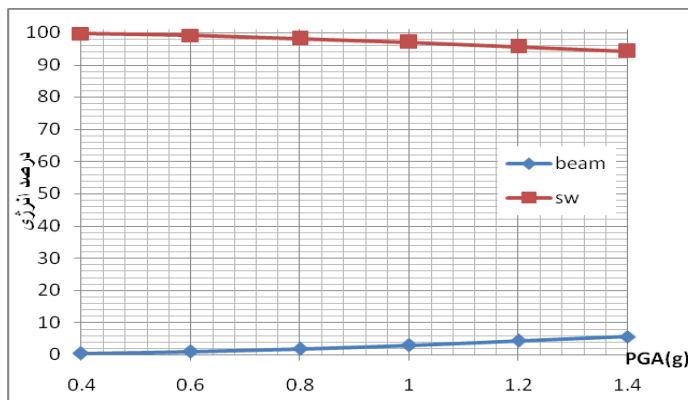
شکل (7): منحنی های آنالیز دینامیکی افزایشی بر حسب سهم دیوار برشی در درصد اتلاف انرژی بوسیله رفتار غیرخطی اعضا در سازه 12 طبقه

7. ترسیم منحنی های اندرکنش

در این مرحله به بررسی نتایج مربوط به اندرکنش بین تیرهای فولادی سازه و دیوارهای برشی سازه در اثر رفتار غیرخطی می پردازیم. برای رسم منحنی های اندرکنش تیرهای فولادی و دیوارهای برشی بتنی از میانگین درصد انرژی تلف شده توسط تیرهای فولادی و دیوارهای برشی بتنی حاصل از 6 زوج شتاب نگاشت مورد استفاده در این تحلیل استفاده می کنیم. که میانگین درصدها در جداول 2 تا 7 آورده شده است. در جداول 8، 9 و 10 و شکل های 8، 9 و 10 به بررسی اندرکنش بین تیرهای فولادی سازه و دیوارهای برشی بتنی در مستهلک کردن انرژی به وسیله رفتار غیرخطی در سه سازه 5، 10 و 12 طبقه پرداخته شده است.

جدول (8): اندرکنش بین تیرهای فولادی و دیوار برشی بتنی در استهلاک انرژی زلزله در اثر رفتار غیر خطی در سازه 5 طبقه

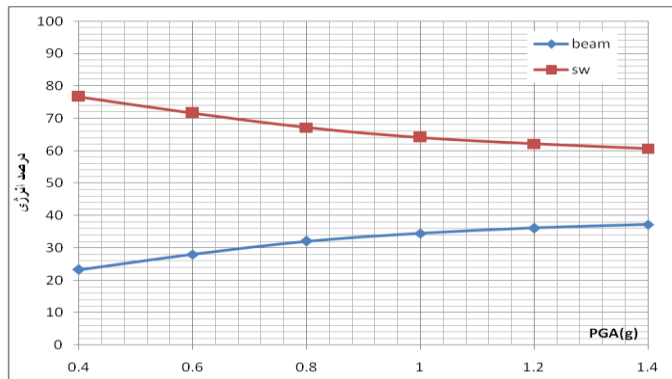
PGA(g)	beam	sw
0.4	0.33	99.67
0.6	0.91	99.09
0.8	1.81	98.19
1	2.99	96.99
1.2	4.36	95.58
1.4	5.66	94.22



شکل (8): اندرکنش تیرهای فولادی و دیوار برشی بتنی در درصد اتلاف انرژی ورودی ناشی از زلزله در اثر رفتار غیر خطی در سازه 5 طبقه

جدول(9): اندرکنش بین تیرهای فولادی و دیوار برشی بتنی در استهلاک انرژی زلزله در اثر رفتار غیر خطی در سازه 10 طبقه

PGA(g)	beam	sw
0.4	23.23	76.71
0.6	28.03	71.66
0.8	32.05	67.15
1	34.47	64.15
1.2	36.12	62.12
1.4	37.19	60.68

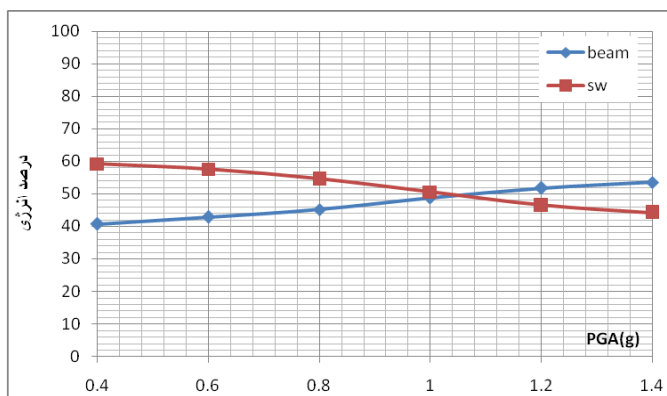


شکل (9): اندرکنش تیر و دیوار برشی در درصد اتلاف انرژی ورودی ناشی از زلزله برای رکورد زلزله شماره 3 در اثر رفتار غیر خطی در سازه 10 طبقه

جدول(10): اندرکنش بین تیرهای فولادی و دیوار برشی بتنی در استهلاک انرژی زلزله در اثر رفتار غیر خطی در سازه 12 طبقه

PGA(g)	beam	sw
0.4	40.76	59.24
0.6	42.89	57.53
0.8	45.15	54.53
1	48.83	50.51
1.2	51.78	46.45
1.4	53.57	44.21

طبقه



شکل (10): اندرکنش تیرهای فولادی و دیوار برشی بتنی در درصد اتلاف انرژی ورودی ناشی از اثر رفتار غیر خطی در سازه 12 طبقه

8. خلاصه و نتیجه گیری

با توجه به شکل های 8، 9 و 10 مشاهده می شود:

- 1- با افزایش شدت زلزله سهم تیرهای فولادی سازه در درصد جذب انرژی ناشی از زلزله در اثر رفتار غیر خطی، افزایش یافته است.
- 2- با افزایش شدت زلزله سهم دیوارهای برشی بتنی سازه در درصد جذب انرژی ناشی از زلزله در اثر رفتار غیر خطی، کاهش یافته است.
- 3- در شدت های پایین زلزله بیشتر اتلاف انرژی در اثر رفتار غیر خطی توسط دیوارهای برشی بتنی انجام می پذیرد و با افزایش شدت زلزله (افزایش PGA) درصد اتلاف انرژی وارد بر سازه در اثر زلزله بوسیله رفتار غیر خطی، در دیوارهای برشی بتنی کاهش و در تیرهای فولادی افزایش می یابد.
- 4- با افزایش تعداد طبقات سهم تیرهای فولادی سازه در جذب انرژی ناشی از زلزله در اثر رفتار غیر خطی افزایش می یابد.
- 5- با افزایش تعداد طبقات سهم دیوارهای برشی در جذب انرژی ناشی از زلزله در اثر رفتار غیر خطی در اعضا کاهش می یابد.

9. مراجع

- [1] قطبوعی، بابک و بابائیان، رضا؛ "انواع سیستم های مقاوم در برابر بار های لرزه ای و جانبی"، نشریه عمران، مقاوم سازی و بهسازی - شماره 20
- [2] قلعه نوی، منصور و پردل، محمد امین؛ "بررسی اثر میراگر های TADAS در رفتار لرزه ای سازه های فولادی"، همایش ملی زلزله و مقاوم سازی ساختمان 15 و 16 اسفند 1386 دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهبهان
- [3] Chopra , A . K , Dynamic of Structures : Theory and Applications to Earthquake , Prentice Hall , II nd Edition , 2001 Engineering
- [4] Peer Strong Ground Motion Database , [http : // peer . Berkeley . edu / smcats](http://peer.Berkeley.edu/smcats)
- [5] تابش پور ، محمد رضا ؛ " تحلیل غیر خطی سازه ها " ، دستنامه 25 مهندسی زلزله " ، انتشارات فدک ایساتیس ، چاپ اول 1390
- [6] ذوالفقاری ، محمد رضا و سالاریان ، مهرا ن ؛ " توسعه منحنی های تردی برای سازه های بتنی قالب تونلی با استفاده از تحلیل IDA " ، نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران ، دانشگاه صنعتی اصفهان ، اردیبهشت 1391