طراحی سازه ها با سیستم های میرایی

محمد حسام حدیدی عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد کرمانشاه

تلفن 09183391572 EMAIL essam777@ hotmail.com

چکیده :

نتیجه تحقیقات در توسعه فناوری میراگرها منجر به استفاده روزافزون از وسایل میراگر درخیلی از سازه های ساخته شده و یا در حال ساخت در دو کشور آمریکا و ژاپن شده است. این افزایش کاربرد، پژوهشگران آمریکایی را بر آن داشته که ضوابط و بندهای خاصی از موارد استفاده این سیستم ها را در غالب کدها و مشخصه های اجرایی در اختیار علاقه مندان قرار دهند. این مقاله به یک مطالعه موردی از نحوه استفاده از روند طراحی این سیستم های می پردازد.

یک ساختمان دو طبقه متعلق به مرکز فرماندهی پلیس در شهر واکاویل از توابع کالیفرنیا با مساحتی در حدود $3716m^2$ ***یا*** $40/000\,ft^2$ ***به طور اختصار مدنظر است.***

این سازه جدید توسط یک سیستم میرایی طراحی شده است و همانطور که در صفحات بعدی ذکر خواهد شد توسط نرم افزار 2000 NEHRP پشتیبانی شده است.

کلمات کلیدی *ضربه گیر ، سیال میراکننده انرژی، دامپرهای ویسکوزینه ای*

1- مقدمه:

در این متن به معرفی یک روش طراحی زلزله و یک نمونه مطالعاتی در مرکز پلیس واکاویل می پردازیم. طرح و اجرای این پروژه بر اساس زلزله طرحی که امکان رخ دادن آن هر 475 سال یک بار باشد انجام گرفته است. با این

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

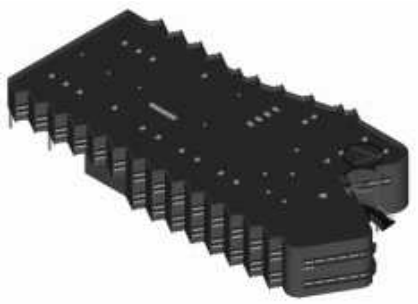
حال در پروژه نیاز به نگاه داشتن قیمت و هزینه در حدود سازه های متعارف وجود دارد. برای مقابله با نیروی جانبی از ترکیبی از قاب های خمشی ویژه (SMRF) و مواد میراگر یسال (FVDS) مورد استفاده اند. همانطور که آقایان Gimmei linford و Miyamoto در سال 2002 بیان کرده بودند، این پروژه دارای بازده اقتصادی بالا و سطح لرزه پذیری مطلوبی می باشد.

از آنجا که برای طرح مکان وسایل میراگر به خطوط راهنما نیاز داریم، از نرم افزار NEHRP (FEMA 2000) بهره گرفته ایم. این سازه اولین پروژه ای بود که در آمریکا با چنین تکنولوژی پیشرفته ای طراحی می شد.

2- **توصیف سازه**:

پروژه در شهر واکاویل از توابع کالیفرنیا واقع است که منطقه ای زلزله خیز می باشد و تا کنون گسل های زیادی در آن شناسایی شده است. سازه دارای اسکلت فلزی می باشد که در 2 طبقه و با زیربنای $(40000\,ft^2)3716m^2$ اجرا شده است. بام مرکب است از عرشه ای فلزی با تیرهای WF و طبقه زیرین از بتن سبک $2\frac{1}{2}$ اینچی (6.4 CM) که بر روی کف فلزی به ضخامت 3 اینچ (7.6 CM) و مشتمل بر تیرهای فولادی است، تشکیل شده است. بخش نهایی وسطحی جنبه تزئینی داشته و دارای عملکردی غیرسازه ای است که بر روی دیواره فلزی ستون ها واقع می گردد.

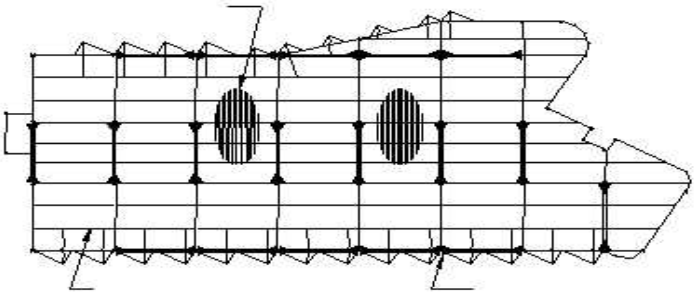
برای مشاهده نازک کاری های تزئینی به شکل 1 مراجعه کنید.



شکل 1 نازک کاری های تزئینی اثر Indigo آرشیتکت کارآزموده.

در شکل 2 شاهد پلان سازه ای طبقه دوم هستید.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل 2پلان سازه ای طبقه دوم.

در جهات طولی سازه از قاب های ویژه خمشی (SMRF) به صورت محیطی استفاده شده است. در جهت عرضی ما در هر آکس و محور ستون ها، یک دهانه را SMRF زده ایم. موقعیت SMRFها در بام نیز دارای پلانی مشابه است. در انتهای ستون های WF و در پی سازه از یک سری بالشتک های ضخیم به عمق CM 61 (24 اینچ) استفاده شده است.

3- خطر لرزه خیزی:

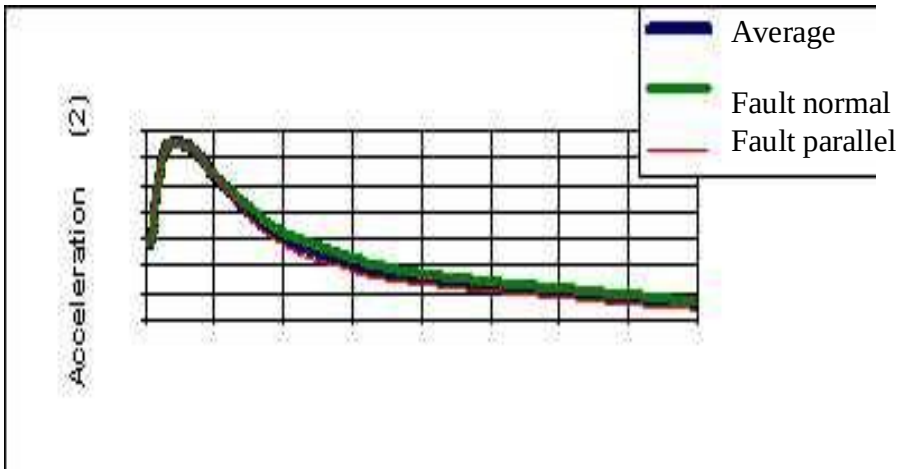
خاک محل سازه یک آبرفت به عمق 19008 متر است که بر روی سنگ های رسوبی واقع گردیده است. خاک این منطقه از نوع sd است که این مسئله د رضوابط سال 1997 انجمن UBC آمده است.

گسل Vaca که غیرفعال قلمداد شده است در فاصله 0.2 کیلومتری محل سازه قرار دارد و از این حیث نزدیکترین گسل است. نزدیکترین گسل های بعدی در نواحی 4 و 5 نقشه واقع شده اند که از سازه مذکور دارای فواصل 6.6 و 9.8 کیلومتر می باشند و به علت توجه به این گسل ها، سایر گسل ها نادیده گرفته می شوند.

نزدیکترین گسل با قابلیت ایجاد ترک های عمیق سطحی، گسل Greenvalley concrid است. از محل سازه ما تنها km 18 فاصله دارد. با اهمیت ترین زلزله ای که از این منبع ساطع گردیده است، زلزله ای با مرکالی 6.5 بوده که در سال 1892 رخ داده است. زلزله Antioch با مرکالی 6.3 به گسل Green vill نسبت داده می شود. در سال 1997 ضابطه متحد سازه (ICBO) اثرپذیری گسل های مرکزی از گسل های مجاور را به درستی ارزیابی نکرده و در تعیین طیف های پاسخ مورد استفاده قرار ندارند. بنابراین در طراحی این سازه اقدام به رسم طیف پاسخ مشخصه سازه نموده ایم. (singh/2002).

>> مراجعه شود به شکل 3 با دروه بازگشت 475 سال یک بار. <<

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل 3طیف مشخصه پاسخ زلزله با دوره بازگشت 475 سال (sing 2002)

4- طرح متداول سازه ای:

در ابتدای کار طرح سازه بر اساس قاب های خمشی ویژه صورت گرفت و برای تعیین هزینه اولیه و اجرای تمهیدات لرزه خیزه ای از یک سیستم با فناوری روز استفاده گردیده است. برای طراحی قاب های خمشی ویژه از نرم افزار NEHRR (2000) استفاده کرده ایم. برای لحاظ اثر بارهای جانبی از پارامترهایی به شرح زیر در طراحی ها استفاده گردیده است.

منطقه لرزه خیزی در ناحیه 3 ⟵ I=1.5

مشخصه محل S_{M_S} =10.5 g (در 0.3 ثانیه)

مشخصه محل S_{M_L} =10.5 g (در 1 ثانیه)

مشخصه محل S_{D_S} = 2/3× 1.95g=1.3g

مشخصه محل S_{D_L} =2/3 × 1.05g = 0.7 g

(بسته بندی فرمول های طراحی در ناحیه D لرزه خیزی)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$SMRF : R = 8/Cd = 5.5/c_s = \frac{S_{D_S}}{R}/I = 0.24g$$

$$C_S = \frac{SDL}{RTa}/I = 0.32g/Ta = 0.4$$

برای برش ناشی از زلزله از ضریب 0.24g باید استفاده گردد.

معادله بالا با ضابطه ubc(1997) مقایسه شده است.

$$Ca = 0.44 \times Na = 0.44 * C_V = 0.64 \times N_V = 0.64$$

نزدیک ترین ضریب منطقه ای 1 است زیرا اثر گسل های مجاور نادیده گرفته شده است.

$$V = \frac{2.5C_a I}{R} = 0.16g * R = 8.5 * I = 1.25$$

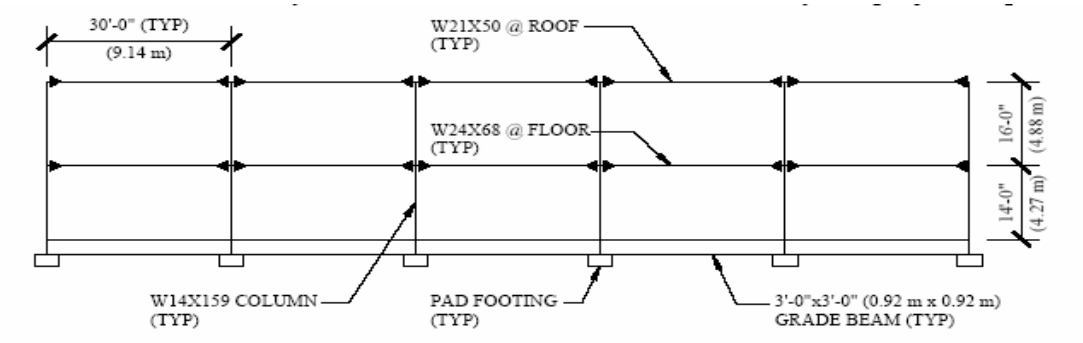
$$V = \frac{C_V I}{RT} = 0.24g$$

برای برش ناشی از زلزله باید از ضریب 0.16g استفاده کنیم. این مقدار کمتر از معدله مورد نظر در برنامه NEHRP2000 است. مقدار این ضریب تحت تأثیر پارامترهای I, R و سایر موارد وابسته به این دو قرار دارد. در صورتی که مقدار مؤثر کل میرایی، بزرگتر یا مساوی 14% باشد، برنامه NEHRP2000 به ما اجازه استفاده از 75% نیروی برشی زلزله را در قاب های میراگر می دهد.

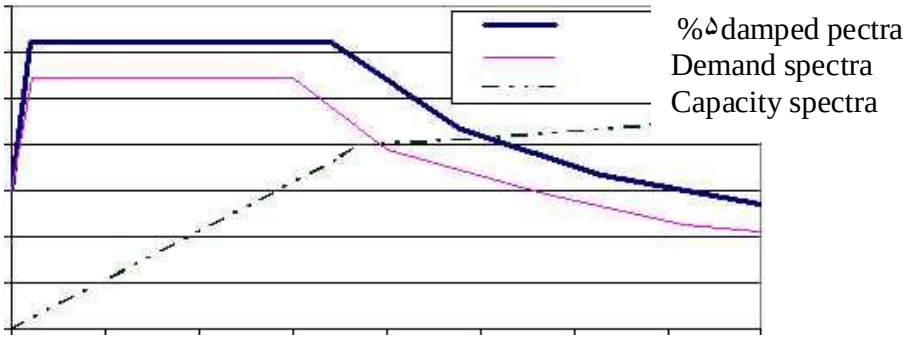
بنابراین : $0.75 \times 0.24g = 0.18g$

قاب های خمشی ویژه (SMRF) برای برش پایه 0.18g طراحی می شوند و این طراحی هم از لحاظ مقاومت است و هم از لحاظ میزان جابجایی. مشاهده می شود که مقدار 0.18g از مقدار 0.16g که در آئین نامه UBC(1997) آمده است بیشتر می باشد. بنابراین برای طرح این قاب ها از مقدار 0.18g استفاده می گردد که بعدا آنرا با مقادیر تشریح شده در این بند، مقایسه می کنیم. میزان کنترل کنندگی ضابطه تغییر مکان از ضابطه کنترل مقاومت بیشتر می باشد. مقدار مجاز تغییر مکان نسبی طبقات برابر 0.015 است که برای محاسبه ماکزیمم جابجایی صورت گرفته، آنرا در ضریب فاکتور $\frac{Cd}{I}$ ضرب می کنیم.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل 4) کدهای ارتفاعی و اندازه های قاب های طولی را نشان می دهد.



شکل 5طیف پاسخ / ظرفیت برای قابهای طراح داده شده آئین نامه ای

در جهت عرضی، قاب های خمشی ویژه (SMRFS) و میراگرها کار گذاشته شده اند (اجرا شده اند) که از لحاظ معیارها و متن دارای حداقل های جهت طولی می باشند. بنابراین در ادامه بحث ما فقط به بررسی قاب های جهت طولی می پردازیم. وزن پارامترهای غیر اصلی با هم (دست انداز بام, دودکش ها و ....) برابر (1.69.KN)380Kip وزن خود بام (سقف بام) معادل (4, 110KN)924KiR.

جدول 1 مقادیر آنالیزهای مدل شده را نشان می دهد:

میزان جرم مؤثر سازه	دوره	
84	0.69	مدل 1
16	0.27	مدل 2

جدول 1: نتایج آنالیز مدل های کامپیوتری

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

با دادن فشارهای غیرخطی استاتیلی به گیج ها یک زلزله را برای قاب ها بازسازی می کنیم.

شکل 5 طیف پاسخ ظرفیت و نیاز را با دوره بازگشت هر 475 سال یک بار، نشان می دهد.

طیف پاسخ و ظرفیت برای قاب های طرح داده شده آئین نامه ای (متداول).

توجه کنید که این طیف پاسخ برای یک قاب با 1 درجه آزادی مدل شده است. نتایج زیر برای فشارها و نیروهای وارده در طی دوره 475 ساله مطرح می شود که باید آن ها را برای سازه های چند درجه آزادی نیز تعمیم دهیم.

ماکزیمم جابجایی بام =5.6 اینچ (14.2cm)

برش پایه =0.8g

پریود مؤثر = 0.79 sec ثانیه

میزان میرایی مؤثر = 8.4%

ماکزیمم نسبت جابجایی =0.016

مقداری از تسلیم شدگی در انتهای ستون های طبقه اول و انتهای تیرهای طبقه دوم مشاهده می شود، مقدار جابجایی نسبی قابل حصول است، اما میزان برش پایه 0.8g ممکن است منجر به خسارات علیه سازه ای در تأسیسات طبقه دوم یا طبقات HVAC در بام گردد. و این ها محدودیت هایی هستند که در طرح های آئین نامه ایی اغلب وجود دارد. ما با به کارگیری آب های خمشی ویژه کاملا قوی سطوح پاسخ را در حد الاسیک (خطی) نگاه داشته ایم. با این حال باز هم مقدار شتاب بام و طبقه زیرین قابل توجه است. برای مقابله با حرکات و ارتعاشات ناشی از حرکات زمین، باید از سیستمی با تواتر و فرکانس بالا مثل دیوارهای برشی یا بادبندهای فولادی استفاده گردد.

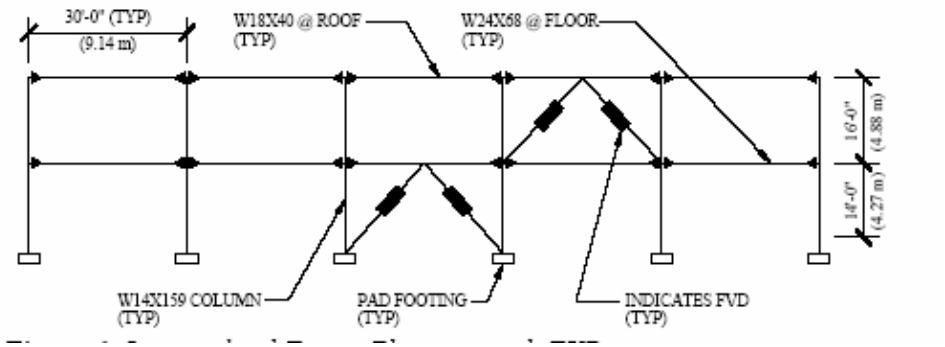
ما باید تا حد امکان شتاب ایجاد شده در زمین را در راه انتقال به سازه تعدیل دهیم. نیل به این هدف ما از بالشتک های ایزوله کننده (جدا کننده) استفاده کرده ایم.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

5- طراحی سیستم های پیشرفته و با تکنولوژی روز دنیا:

اکنون نوبت به طراحی مجدد سازه با استفاده از سیستم قاب های ویژه خمشی حاوی سیال میراکننده انرژی طبق برنامه NEHRP2000 است.

برای تعیین مجدد ابعاد المان ها از همان برش پایه 0.18g مطابق بندهای قبل استفاده می شود. طبقا این برنامه (نرم افزار) مقاومت اعضای طرح شده باید کمترین حد 0.18g را جوابگو باشند و کنترل میزان جابجایی ها نیز بر عهده FVn_S (سیال های میراگر) است.



شکل 6) آرایش جدید قاب ها را نشان می دهد.آرایش قاب های طولی حاوی دامپر ویسکوزینه ای.

تفاوت شکل (6) با شکل (4) در مفصلی شدن انتهای پی های منفرد و ابعاد تیرهای بام است.

برای مشاهده مقادیر مرتبط به قاب های دمپردار به جدول 2 مراجعه کنید.

مقدار ضریب میرایی C	
به ازاء هر عدد $60kir-\sec^2/in(105kn-\sec^2/cm)$	میراگر های طبقه 1
$30kir-\sec^2/in(52.5skn-\sec^2/cm)$	میراگرهای بام یا طبقه 2

جدول 2) مقدار میراگرها

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

نیروی میرایی به صورت زیر تعریف می شود:

$$F - CV^{a} \quad \begin{cases} \text{سرعت=V} \\ a = 0.6 \end{cases}$$

مقادیر میرایی بر حسب بیشترین کاهش جابجایی و خروجی نیروهای میراگرها انتخاب شده است.

جدول 3 مقادیر آنالیز مدل های کامپیوتری را نشان می دهد.

این نتایج نشان می دهد که زمان پریود غالب از 0.69 ناحیه در سازه های متداول به 1.2 ثانیه در سازه های SMRF تغییر پیدا کرده است.

این پریودهای متناوب طیف های پاسخ دینامیکی را در اختیار ما قرار می دهد که بر اساس مینیمم شتاب در طیف طرح محلی سامان یافته است.

میزان جرم مؤثر (درصد)	پریود	
96.5	9.2	مدل 1
03.5	0.08	مدل 2

جدول 3: نتایج مدل های طراحی در روش پیشرفته

با استفاده از برنامه ETABS7 مدل های غیر خطی المان های ناپیوسته میرایی ساخته می شود. ما سه مجموعه از داده های حرکت زمین را به وسیله طیف های زمانی همسازی کرده ایم. این همسازی برای دوره 475 ساله. با برنامه singh (2002) انجام شده است.

برنامه های غیر خطی طیف تارخچه زمانی به این شیوه عمل می کنند که یک طیف خطی را به گام ها و یا طیف های خطی بی شمار تبدیل می کند.

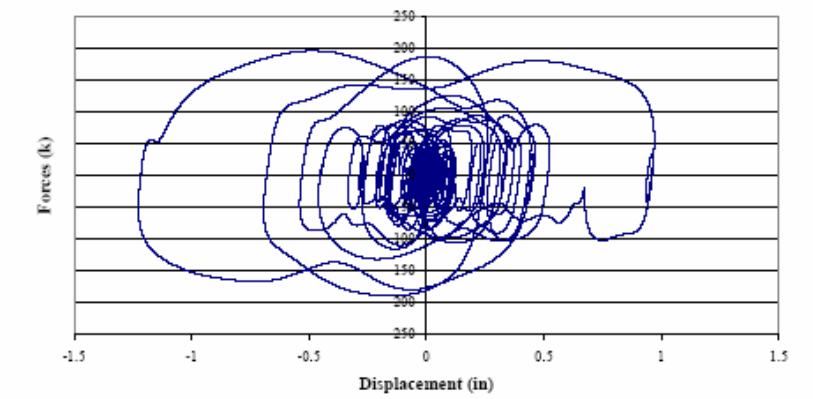
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

	SMRFW/ FVD	متداول SMRF
ماکزیمم بام جابجایی	$2.5''(6.4)cm$	$5.6''(14.2)cn$
ماکزیمم برش پایه	0.29g	0.8g
ماکزیمم (جابجایی نسبی طبقه)	0.010	0.016

جدول 4) برای طیف 475 به مقایسه نتایج پرداخته ایم.

آنالیزهای غیر خطی تاریخچه زمانی نشان داد که تمام المان های قاب های خمشی ویژه در حالت الاستیک و خطی باقی مانده اند. نسبت به طراحی های مرسوم، ماکزیمم جابجایی بام در این روش 55% کاهش نشان می دهد میزان کاهش برش پایه 65% است و ماکزیمم جابجایی نسبی هم 38% کمتر شده است.

در طبقه اول ماکزیمم نیروی واحد دامپرها برابر 206kir معادل 916KN است. و این آمار بیانگر ناچیز بودن خسارات سازه ای و غیر سازه ای از هنگام استفاده از دامپرها می باشد.

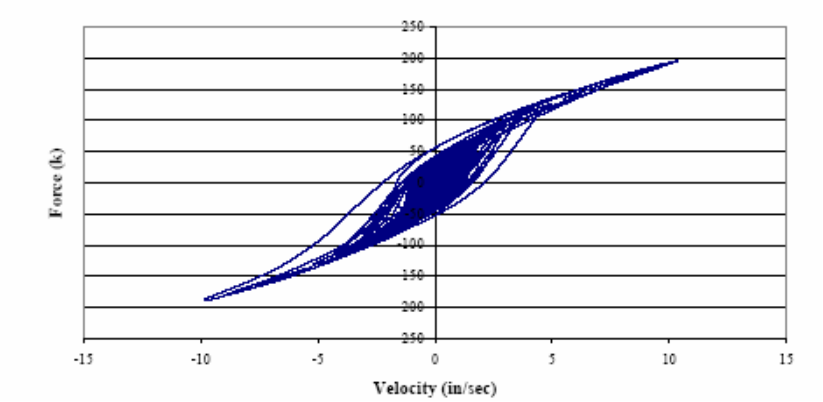


شکل 7 نیروی دامپرهای ویسکوزینه ای را نشان می دهد.رسم نیروی FVDها نسبت به جابجایی های طرح در 475 سال.

جابجایی دامپر برای یکی از اجزاء سیستم میرایی در طبقه اول و بیانگر اثر ×××××× بر روی تابع نمایی میرایی است. شکل حلقه های هیسترزیس حدود تخم مرغی شکل و مستطیلی شکل را طی می کند.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$T(a = 1.0)$ $(a < 0.1)$



شکل 8 نیروی دامپرها در طبقه دوم است. رسم برشی FVDها نسبت به سرعت طرح در 475 سال.

سرعت برای یکی از واحدهای سیستم میرایی در طبقه دوم. وحاکی از پاسخ غیر خطی میراگیرها به نیرو می باشد.

شکل 9 برش پایه SMRF با FVD و SMRF معمولی را در 20 ثانیه نشان می دهد.

مقایسه برش پایه SMRF با دامپر و بدون دامپر.

و بیانگر کاهش خیره کننده برش پایه می باشد. یک آنالیز خطی تاریخچه زمانی بر روی قاب های الاستیک متداول نیز صورت گرفته است. این قاب های الاستیک هنگامی مورد استفاده واقع شدند که پاسخ های این قاب های معمولی نیز در حدود خطی واقع شده بود. نتایج آنالیز خطی تاریخچه زمانی و نمودار برش مقداری جزئی با هم فرق دارند.

شکل 10 نشان دهنده میزان جابجایی بام سازه SMRF با دامپر و بدون دامپر در 20 ثانیه اول شروع زلزله است. که کاهش میزان جابجایی نیز قابل توجه است.

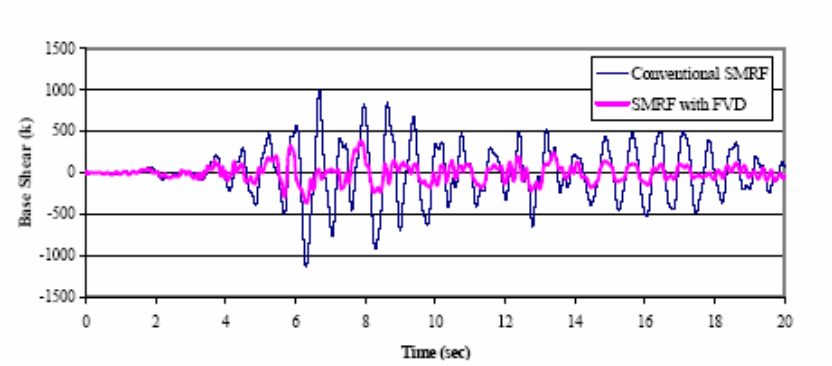
طیف 475 ساله سازه SMRF معمولی در قیاس با جابجایی بام در SMRF با FVD (دامپر).

شکل 11 تعدیل انرژی را نشان می دهد.

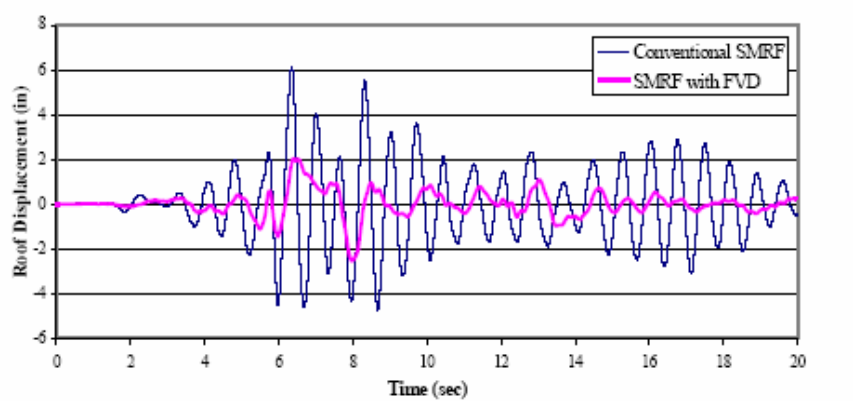
موازنه انرژی برای طیف طرح 475 ساله.

دامپرهای ویسکوزینه ای میزان زیادی از انرژی ورودی را هدر داده و میرا می کنند.

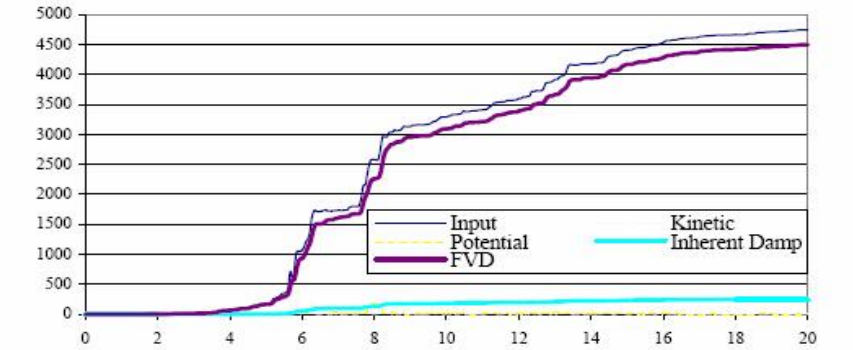
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل 9 برش پایه SMRF با FVD و SMRF معمولی را در 20 ثانیه نشان می دهد.



شکل 10 نشان دهنده میزان جابجایی بام سازه SMRF با دامپر و بدون دامپر در 20 ثانیه اول شروع زلزله است



شکل 11 تعدل انرژی را نشان می دهد. موازنه انرژی برای طیف طرح 475 ساله.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

6- بحث و نتیجه گیری:

نتایج این مطالعه نشان می دهد که برنامه NEHRP 2000 روش خوبی را برای طراحی سازه های میراگر انتخاب کرده است. فرکانس های الاستیک با کاهش به فرکانس های کوتاه تر موجبات کاهش جابجایی و شتاب طبقات را (که با میراگرها قابل کنترل است) فراهم می آورند.

اگر اعضاء از حالت خطی خارج نگردند، میزان ماکزیمم جابجایی نسبی کمتر از 1% خواهد بود. برای یک زلزله با دوره بازگشت 475 سال یک بار، ماکزیمم مقدار برشی پایه 0.29g خواهد بود.

مطالعات نهایی شامل نتایج یک دوره بازگشت2500 ساله هستند. در مقایسه با سیستم های معمولی مقابله با نیروهای جانبی، این سیستم ها کاهش قابل ملاحظه ای در میزان جابجایی ها و برش پایه و خسارات سازه ای و غیر سازه ای خواهند داشت.

هزینه FVD_S ها با صرفه جویی هایی که در هزینه ها و نیروهای سازه ای بام به عمل می آید قابل تأمین خواهد بود.

7. References

Gimmel, Lindorfar, and Miyamoto, "Design of a New Moment Frame Building Incorporating Viscous
Dampers Following the Guidelines of the 1999 SEAOC Blue Book," *Proceedings of ATC17-2*, May 2002,
Redwood City, California.
NEHRP, , 2000, Recommended Guidelines for the Seismic Design of Buildings and Other Structures, FEMA
368, Washington, DC
ICBO, 1997, Uniform Building Code, International Council of Building Officials, Whittier, California.
J.P. Singh and Associates, 2002, "Geotechnical and Seismological Findings and Recommendations,"

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com