

توزیع برش پایه در ارتفاع ساختمان های ایزوله شده

فرامرز خوشنودیان^۱، بهنام مهرپرور^۲

چکیده

در آئین نامه های معتبر فعلی از جمله UBC 97 و IBC 2000 توزیع برش پایه در ارتفاع ساختمان های ایزوله شده مشابه ساختمان های معمول، بصورت یک توزیع مثلثی پیشنهاد شده است. در این مقاله توزیع برش پایه در ساختمان های ایزوله شده توسط جداگرهای الاستومریک مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور مدل های مختلفی از سیستم های ایزولاسیون به نحوی که مقادیر مختلف معمول برای سختی و میرایی سیستم را شامل شوند در نظر گرفته شده است. نتایج تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی بر روی مدل ها نشان دهنده محافظه کارانه بودن روابط موجود در آئین نامه در مقایسه با توزیع برش محاسبه شده تحت رکوردهای مختلف زلزله می باشد. همچنین رابطه جدیدی به منظور تخمین بهتر برش طبقات پیشنهاد گردیده است که مقادیر نزدیکتری به توزیع واقعی برش نتیجه می دهد.

کلمات کلیدی:

جداسازی لرزه ای، سازه های ایزوله شده، توزیع برش پایه در ارتفاع، IBC2000، روش استاتیکی معادل.

Current Seismic Codes Assume A triangular Distribution of Base Shear

Abstract

Current seismic codes assume a triangular distribution of base shear for isolated buildings similar to their fixed-base counterparts. In this paper the validity of such distribution is investigated for isolated structures having electrometric isolators. So different models of isolation systems are selected that cover a wide range of electrometric isolators with low to high stiffness and damping. The results of non-linear time-history analysis on these models show some conservatism in code-specified distribution compared with the observed distribution of story forces. Also a new formula is proposed instead of the triangular distribution to make a better estimation of real behavior of seismic isolated buildings.

۱- استادیار گروه سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشجوی دوره دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۱- مقدمه

جداسازی لرزه ای (seismic isolation) روشی جدید برای طراحی ساختمان های مقاوم در برابر زلزله است. اساس این روش کاهش نیروهای وارده به سازه به جای افزایش مقاومت سازه برای تحمل بارهای زلزله می باشد. بنابراین جداسازی لرزه ای منجر به طراحی سازه هایی برای نیروهای کمتر و با سطح ایمنی بالاتر در مقایسه با سازه های معمول (پای فیکس) می گردد. فواید بالقوه ایزولاسیون لرزه ای و پیشرفتهای اخیر در سیستمهای ایزولاسیون لرزه ای، تاکنون منجر به طراحی و ساخت تعداد قابل توجهی ساختمان و پل ایزوله، در کشورهای پیشرفته شده است. در دو دهه گذشته تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است و پیشرفتهای زیادی در کاربرد این تکنولوژی بدست آمده است.

در اواسط دهه ۱۹۸۰ کاربردهای اولیه ایزولاسیون لرزه ای در برخی سازه ها نیاز اساسی به یک آیین نامه مدون در این مورد خاص را به روشنی آشکار کرد. کار بر روی چنین آیین نامه ای از اواخر دهه ۱۹۸۰ آغاز شد.

در اواخر سال ۱۹۸۹، انجمن مهندسی سازه کالیفرنیا (SEAOC) در آیین نامه خود ضمیمه ای تحت عنوان "ضوابط کلی برای طراحی و ساخت سازه های ایزوله شده" ارائه کرد. این ضوابط مورد پذیرش ICBO قرار گرفت و برای اولین بار در ضمیمه آئین نامه UBC91 منتشر شد. از آن زمان در ویرایشهای 94 و 97 آئین نامه UBC ضمیمه ای برای سازه های ایزوله شده اختصاص داده شده است [7,8]. از سال 2000 به بعد با ادغام ICBO با دو مؤسسه دیگر انتشار آیین نامه ای با عنوان UBC متوقف شده و آیین نامه IBC - که ویرایش اول آن در سال 2000 منتشر گردید- جایگزین آن شد. در آیین نامه IBC2000 طراحی سازه های ایزوله شده به یکی از بخشهای اصلی آیین نامه تبدیل شد. آیین نامه IBC2000 بیشتر بر اساس ضوابط آیین نامه NEHRP-97 تهیه شده است.

در این مقاله بررسی دقیقی بر روی توزیع برش پیشنهادی در آیین نامه های UBC91 و UBC97 و بنابراین

IBC2000 شده و رابطه جدیدی برای محاسبه برش طبقه بر مبنای نتایج تحلیل های غیرخطی انجام گرفته تحت رکورد زمین لرزه های مختلف پیشنهاد گردیده است.

۲- روش تحلیل استاتیکی معادل

نسخه های اولیه UBC تاکید بر یک روش ساده معادل استاتیکی برای طراحی داشتند که بر این واقعیت که در یک سازه ایزوله شده تغییر مکانها در سطح ایزولاسیون متمرکز بوده و لذا سازه فوقانی به مانند یک جسم صلب حرکت می کند، استوار است. طراحی تنها بر اساس یک مود ارتعاش انجام می گرفته و نیروهای طراحی برای المانهای سازه با استفاده از نیروهای موجود در ایزولاتورها تحت تغییر مکان طرح محاسبه می شد. در نتیجه یک روش بسیار ساده طراحی ایجاد شده بود. در نسخه های بعدی این آیین نامه مواردی که تحت آن آنالیز دینامیکی لازم شمرده می شد، افزایش یافت.

در طراحی کلیه سازه های ایزوله شده لازم است که یک آنالیز استاتیکی انجام شود. با استفاده از آنالیز استاتیکی مقادیر حداقلی برای جابجایی ها و نیروها به دست خواهد آمد. همچنین آنالیز استاتیکی برای طراحی اولیه سیستم ایزولاسیون و سازه، زمانی که طراحی بر اساس آنالیز دینامیکی انجام می شود نیز لازم است. تنها در شرایط خاصی آنالیز استاتیکی به تنهایی کافی خواهد بود. این شرایط بر طبق IBC عبارتند از:

۱- سازه در ساختمانی با S_1 کوچکتر از 0.6g قرار داشته باشد.

۲- سازه بر روی خاک نوع A، B، C و یا D (بر طبق بخش 1615.1.1 آیین نامه IBC) قرار داشته باشد.

۳- ارتفاع سازه بالاتر از سطح ایزولاسیون بیشتر از ۴ طبقه یا ۶۵ فوت (حدود ۲۰ متر) نباشد.

۴- زمان تناوب سازه ایزوله شده تحت جابجایی ماکزیمم (T_M) کمتر از ۳ ثانیه باشد.

۵- زمان تناوب سازه ایزوله شده تحت جابجایی طرح (T_D) بیشتر از ۳ برابر زمان تناوب سازه ایزوله نشده باشد.

۶- سازه بالای سیستم ایزولاسیون باید ویژگیهای ساختمان منظم را بر طبق آیین نامه داشته باشد.

۷- سیستم ایزولاسیون دارای شرایط زیر باشد:

۷-۱- سختی مؤثر سیستم ایزولاسیون تحت جابجایی طرح بزرگتر از یک سوم سختی مؤثر آن به ازای ۲۰٪ جابجایی طرح باشد.

۷-۲- سیستم ایزولاسیون قادر به تامین نیروی بازگرداننده باشد.

۷-۳- خواص نیرو-تغییر مکان سیستم ایزولاسیون مستقل از سرعت بارگذاری باشد.

۷-۴- خواص نیرو-تغییر مکان سیستم ایزولاسیون وابسته به بار قائم و بارگذاری دو مولفه ای نباشد.

۷-۵- جابجایی تحت زلزله ماکزیم D_M ، توسط سیستم ایزولاسیون به کمتر از S_{M1}/S_{D1} محدود نشود.

سه سطح جابجایی برای طراحی سازه ایزوله شده و سیستم ایزولاسیون باید مورد ملاحظه قرار گیرد.

جابجایی طرح (D_D): Design Displacement: تغییر مکان جانبی در اثر زلزله طرح در مرکز سختی سیستم ایزولاسیون (بدون در نظر گرفتن اثرات پیچش) که برای طراحی سیستم ایزولاسیون لازم است.

جابجایی کلی طرح (D_{TM}): Total Design Displacement: تغییر مکان جانبی یک ایزولاتور گوشه ای ساختمان و با در نظر گرفتن اثر پیچش واقعی و پیچش تصادفی در سازه. این پارامتر نیز در طراحی سیستم ایزولاسیون استفاده می شود.

جابجایی کلی ماکزیم (D_{IM}): Total Maximum Displacement: تغییر مکان جانبی در اثر زلزله ماکزیم با در نظر گرفتن پیچش واقعی و تصادفی؛ که در بررسی پایداری ایزولاتورها، طراحی درزهای انقطاع و آزمایش ایزولاتورها تحت بار قائم استفاده می شود.

اگرچه در حال حاضر تقریباً تمامی پروژه های ایزوله شده با استفاده از روش تحلیل دینامیکی (بر مبنای شتابنگاشت‌های مختلف) طراحی می شوند و برنامه های کامپیوتری زیادی برای این کار در دسترس است، لیکن هنوز انجام یک آنالیز استاتیکی برای اطمینان از اینکه مقادیر

طراحی کمتر از حداقل هایی - که از تحلیل استاتیکی بدست آمده است - در نظر گرفته نشود، لازم است.

بر طبق IBC 2000 دو تغییر مکان D_D ، جابجایی زلزله طرح و D_M ، جابجایی زلزله ماکزیم در مرکز سختی سیستم ایزولاسیون با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه می شوند.

$$D_D = \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) \frac{S_{D1}T_D}{B_D} \quad (1)$$

$$D_M = \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) \frac{S_{M1}T_M}{B_M} \quad (2)$$

در این روابط g شتاب ثقل زمین، S_{D1} و S_{M1} عبارت از شتاب طیفی در پرئود ۱ ثانیه و میرایی ۵٪ تحت زلزله طرح و ماکزیم هستند که از روی طیف طرح IBC بدست می آیند. B_D و B_M ضرایب میرایی می باشند که با توجه به مقدار نسبت میرایی بحرانی از روی جدول ۱ بدست می آیند. همچنین T_D و T_M به ترتیب زمان تناوب سازه ایزوله شده تحت زلزله های طرح و ماکزیم هستند که از روابط ۳ و ۴ محاسبه می شوند.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W_I}{k_{Dmin}g}} \quad (3)$$

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W_I}{k_{Mmin}g}} \quad (4)$$

در این روابط W_I وزن سازه ایزوله شده و k_{Dmin} و k_{Mmin} ، مینیمم سختی مؤثر سیستم ایزولاسیون در جهت افقی تحت تغییر مکانهای طرح و ماکزیم هستند. مقادیر k_{Dmin} و k_{Mmin} باید مطابق با بخش 1623.8 آئین نامه IBC و از طریق تستهای آزمایشگاهی بر روی ایزولاتورها بدست آیند.

B	میرایی موثر
0.8	2%
1.0	5%
1.2	10%
1.5	20%
1.7	30%
1.9	40%
2.0	>50%

جدول (۱): مقادیر ضریب میرایی B

غیرخطی تاریخچه زمانی استفاده شده است. تحلیل های تاریخچه زمانی توسط چند شتابنگاشت با محتوای فرکانسی متفاوت انجام گرفته است. بدین منظور از برنامه ETABS برای آنالیز مدل های سازه ایزوله استفاده گردیده است.

در این روش سازه با المانهای خطی معمولی مدل سازی شده است. این مدل خطی از سازه بر روی المان های غیرخطی جداگرا قرار گرفته است. طراحی سازه با استفاده از روش تحلیل استاتیکی معادل انجام می گیرد. در این روش نیروهای وارده بر سازه با استفاده از روش استاتیکی معادل آئین نامه IBC محاسبه شده و نیروهای طبقات به مدل فوق الذکر اعمال می شود. شایان ذکر است که در تحلیل استاتیکی معادل سازه، المان های جداگرا بصورت خطی رفتار می کنند. لذا در آنالیز استاتیکی سازه از سختی موثر جداگرا در تغییر مکانی به مقدار D_D استفاده می شود. پس از انجام تحلیل سازه، نیروهای داخلی المانهای مختلف بدست آمده و سازه تحت ضوابط آئین نامه AISC-ASD طراحی شده است. رفتار مدل های سازه ای طراحی شده با این روش با روش تحلیل دینامیکی تاریخچه-زمانی ارزیابی شده است. تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی انجام شده تا حدود زیادی می تواند نشان دهنده رفتار واقعی سازه تحت شتابنگاشت اعمال شده باشد، چرا که در این نوع تحلیل رفتار غیرخطی جداگرا به شکل واقعی آن مدل شده و اثر اندرکنش دو مولفه افقی زمین لرزه بر روی رفتار جداگرا نیز در نظر گرفته شده است.

۳-۱- مدل های سیستم روسازه

پلان مدل های مورد بررسی در شکل (۱) نشان داده شده است. کلیه مدل های مورد استفاده دارای پلان مشابه بوده ولی تعداد طبقات و نوع سیستم ایزولاسیون بکار رفته در آنها متفاوت می باشد.

عناصر واقع در سطح ایزولاسیون و پایین تر از آن باید برای مقاومت در برابر نیروی V_b بر طبق معادله ۵ طراحی شوند.

$$V_b = k_{Dmax} D_D \quad (5)$$

که در این رابطه K_{Dmax} ماکزیمم سختی مؤثر سیستم ایزولاسیون در جابجایی طرح در جهت افقی می باشد. اجزای بالاتر از سطح ایزولاسیون باید برای مقاومت در برابر برش پایه V_s مطابق معادله ۶ طراحی شوند.

$$V_s = \frac{k_{Dmax} D_D}{R_I} \quad (6)$$

در این رابطه R_I ضریب رفتار سازه ایزوله شده است که باید به اندازه $\frac{3}{8}$ مقدار R برای سازه های معمولی و بین 1.0 و 2.0 در نظر گرفته شود. بر طبق آئین نامه IBC برش پایه V_s مطابق رابطه زیر بایستی در ارتفاع سازه توزیع گردد.

$$F_x = V_s \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (7)$$

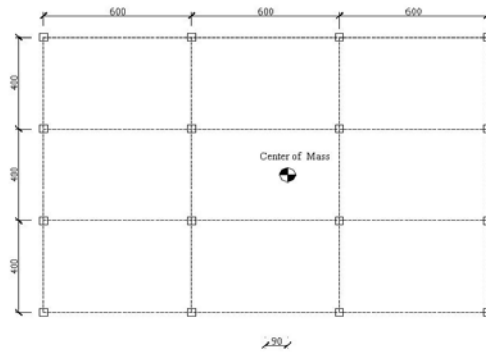
این رابطه منجر به یک توزیع مثلثی شکل همانند سازه های پای فیکس خواهد گردید. توزیع مثلثی برش برای سازه های ایزوله شده در حقیقت جایگزین توزیع یکنواخت برش می باشد که در نسخه های اولیه ضوابط سازه های ایزوله شده (از جمله UBC 91) پیشنهاد گردیده بود. در توزیع یکنواخت، برش پایه در ارتفاع با توجه به رابطه زیر توزیع می شود.

$$F_x = V_s \frac{w_x}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (8)$$

این رابطه که در آئین نامه های قدیمی مانند UBC 91 و SEAOC 1986 مطرح گردیده است، بر اساس شکل مود اول به دست آمده است که به دلیل برخی نگرانی ها در مورد امکان مشارکت مودهای بالاتر در پاسخ نهایی سازه ایزوله توسط یک توزیع مثلثی جایگزین گردید.

۳- ارزیابی توزیع برش مثلثی آئین نامه

در این تحقیق برای ارزیابی توزیع برش مثلثی پیشنهاد شده در آئین نامه ها برای سازه های ایزوله شده از تحلیل



شکل (۱): پلان مدل‌های سازه ای استفاده شده در بررسی در این مطالعه مدل‌های یک طبقه الی چهار طبقه به منظور بررسی توزیع برش پیشنهادی آئین نامه در محدوده کاربرد روش استاتیکی معادل مورد بررسی قرار گرفته اند. همچنین به منظور بررسی این توزیع برش در خارج از حیطه کاربرد روش استاتیکی، مدل‌های شش و هشت طبقه نیز آنالیز شده اند. پلان مدل‌های سازه ای منظم و متقارن بوده و یک خروج از مرکزیت تصادفی برای مرکز جرم به میزان ۵٪ در راستای بعد طولانی تر پلان در نظر گرفته شده است. کلیه کف ها صلب منظور شده اند و لذا درجات آزادی در هر طبقه به سه درجه آزادی (دو درجه آزادی انتقالی و یک درجه آزادی دورانی در مرکز جرم طبقه) تقلیل یافته است. مدل های مورد بررسی دارای سیستم سازه ای قاب خمشی فولادی معمولی بوده و برای ستونها از مقاطع BOX و برای تیرها از مقاطع IPE استفاده شده است.

۲-۳- مدل های سیستم ایزولاسیون

سیستم ایزولاسیون برای هر مدل از شانزده عدد جداگر الاستومریک مشابه که در زیر شانزده ستون ساختمان قرار گرفته اند تشکیل شده است. هشت تپ سیستم ایزولاسیون مورد مطالعه قرار گرفته اند؛ به گونه ای که هر تپ در ترکیب با هر شش تپ سازه فوقانی مورد بررسی (یک طبقه الی هشت طبقه) آنالیز شده اند. مشخصات سیستم‌های جداگر مورد بررسی در جدول ۲ آمده است. شایان ذکر است که سیستم های ایزولاسیون به دو صورت مدلسازی شده اند. در ابتدا و به منظور طراحی مدل‌های سازه های ایزوله، جداگرها به صورت فنرهای خطی و با استفاده از

مقادیر موثر سختی و میرایی محاسبه شده در جابجایی طرح D_D با استفاده از مدل دوخطی ایده آل نشان داده شده در شکل (۲) مدل سازی شده اند.

با توجه به شکل مدل ایده آل دوخطی جداگرها (شکل ۲) می توان نشان داد که مقادیر سختی و میرایی موثر در جابجایی های بزرگتر از D_y با استفاده از روابط (۹) و (۱۰) قابل محاسبه است. [1]

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{D} \quad (9)$$

$$\beta_{eff} = \frac{W_D}{2\pi K_{eff} D^2} \quad (10)$$

که در این روابط Q محل تلاقی حلقه هیستریزس با محور نیرو و W_D عبارت از مقدار انرژی تلف شده در هر سیکل بارگذاری می باشد که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$W_D = 4Q(D - D_y) \quad (11)$$

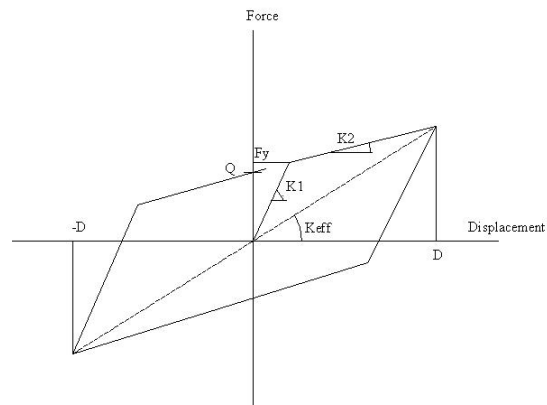
بنابراین مقدار میرایی موثر با استفاده از پارامترهای اصلی مدل دو خطی از رابطه (۱۲) محاسبه می شود.

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi(K_2 D + Q)D} \quad (12)$$

ISOLATION SYSTEM TYPE	T (s)	Effective Damping	Q	D_D (cm)	K_1	K_1 / K_2	F_y	$K_{eff} @ D_D$
1	2.0	6%	0.02W	20.5	0.065W	7.2	0.0236W	0.0100W
2	2.5	8%	0.02W	23.9	0.049W	7.2	0.0236W	0.0064W
3	3.0	11%	0.02W	26.1	0.025W	6.8	0.0236W	0.0044W
4	2.0	16%	0.04W	15.5	0.065W	8.8	0.0460W	0.0100W
5	2.5	21%	0.04W	17.5	0.049W	10.0	0.0460W	0.0064W
6	3.0	26%	0.04W	19.8	0.025W	10.4	0.0460W	0.0044W
7	2.0	27%	0.06W	13.0	0.065W	11.8	0.0650W	0.0100W
8	2.5	36%	0.06W	14.7	0.049W	18.2	0.0650W	0.0064W

جدول (۲): مشخصات مدل‌های سیستم‌های ایزولاسیون مورد بررسی

در نوعی از این المان که برای مدلسازی جداگرهای الاستومریک بکار می رود، المان دارای رفتار پلاستیک وابسته در دو درجه آزادی برشی و رفتار خطی در چهار درجه آزادی دیگر می باشد. مدل پلاستیک مورد استفاده در این المان بر مبنای مدل رفتاری پیشنهادی توسط ون، پارک و انگ (۱۹۸۶) می باشد که برای آنالیز سیستمهای جداسازی لرزه ای توصیه شده است. (شکل ۳) [2]

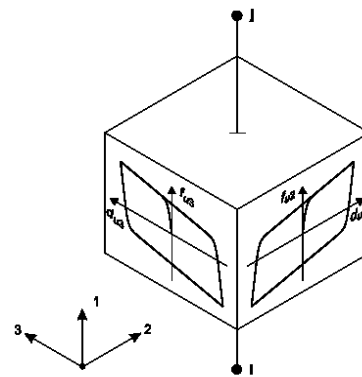


شکل (۲): مدل دوخطی و تعریف پارامترهای جداگرها

همانطور که در جدول (۲) مشاهده می شود مدل‌های انتخابی برای سیستم ایزولاسیون دارای زمان تناوب ۲ الی ۳ ثانیه و مقدار میرایی موثر ۶٪ تا ۳۶٪ میرایی بحرانی می باشند که مقادیر رایج در سیستم های الاستومریک غیرخطی را شامل می شوند.

برای تحلیل غیرخطی تاریخچه-زمانی از این مقادیر موثر استفاده نشده است بلکه جداگرها با رفتار واقعی خود مدلسازی گردیده اند. بدین منظور از المان های Nllink در برنامه ETABS - که برای مدلسازی سیستم های سازه ای دارای رفتار غیرخطی متمرکز در نقاط خاص بسیار مناسب است - استفاده شده است.

هر المان Nllink دارای دو گره می باشد که یکی از دو گره به زمین و گره دیگر به سازه متصل می باشد. هر المان از شش فنر مجزا به ازای شش درجه آزادی موجود در المان (محوری، برشی، در دو جهت، پیچشی و خشی در دو جهت) تشکیل می شود.



شکل (۳): خصوصیات المان Nllink در دو درجه آزادی برشی

۳-۳- تحلیل و طراحی مدلها توسط روش معادل استاتیکی

تحلیل و طراحی مدلها مطابق با آئین نامه IBC 2000 صورت پذیرفته است. گام اول در طراحی یک سازه تعیین مشخصات لرزه خیزی سایت می باشد. لذا منطقه ای با مشخصات زیر در نظر گرفته شده است.

$$S_S = 1.25 \text{ g} \quad \text{شتاب طیفی در پریود } 0.2 \text{ ثانیه}$$

$$S_I = 0.4 \text{ g} \quad \text{شتاب طیفی در پریود } 1 \text{ ثانیه}$$

این مشخصات نشان دهنده سائیتی با لرزه خیزی بالا می باشد که منطقه مناسبی برای کاربرد سیستم های جداسازی لرزه ای محسوب می شود. همچنین شرایط خاک سخت (Site Class D) مطابق با آئین نامه IBC برای محل در نظر گرفته شده است. با توجه به این موارد مقادیر شتاب طیف طرح به صورت زیر محاسبه می شوند.

$$F_a = 1.00$$

$$F_v = 1.60$$

$$S_{MS} = F_a \cdot S_S = 1.25 \text{ g} \quad S_{DS} = 2/3 \quad S_{MS} = 0.833 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_I = 0.64 \text{ g} \quad S_{D1} = 2/3 \quad S_{M1} = 0.427 \text{ g}$$

برای محاسبه برش پایه در سازه ایزوله لازم است که مقادیر موثر پارامترهای طراحی برای هر تیب سیستم ایزولاسیون محاسبه شوند. محاسبه این مقادیر نیاز به یک پروسه تکراری دارد چرا که مقدار جابجائی طرح D_D تابعی از سختی و میرایی موثر بوده و از طرف دیگر مقادیر سختی و میرایی موثر نیز بستگی به مقدار جابجایی دارند که تحت آن محاسبه می شوند. مقادیر نهایی سختی و میرایی موثر و نیز D_D در جدول (۲) آمده است. همانگونه که در جدول (۲) مشاهده می شود مقادیر سختی موثر بر حسب وزن سازه ایزوله بیان شده است. لذا این مقادیر

برای تمام انواع سیستم های روسازه مورد بررسی قابل کاربرد است. بر مبنای این مقادیر، جابجائی طرح و برش پایه برای هر مدل محاسبه گردیده و پس از انجام آنالیز استاتیکی، سازه ها طراحی شده اند.

۳-۴- آنالیز غیرخطی تاریخچه زمانی

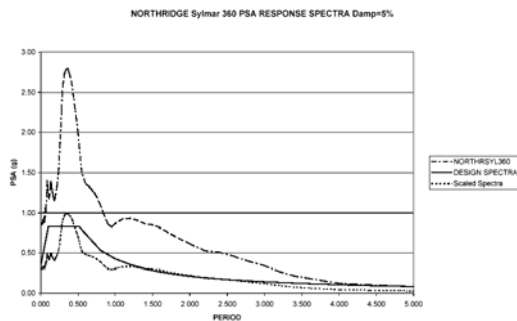
برای تعیین رفتار واقعی مدلها تحت زمین لرزه، مدل ها برای شتابنگاشت های مختلف تحلیل شده اند. در این آنالیز، سازه فوقانی بصورت خطی رفتار کرده اما جداگرها می توانند پاسخ های غیر خطی داشته باشند. لذا بدین ترتیب رفتار مدلها شبیه به رفتار واقعی ساختمانهای ایروله خواهد گردید.

بزرگترین مشکل این روش نامعلوم بودن شکل نوسانات زمین می باشد. بنابراین هر مدل برای سه رکورد زمین لرزه مختلف آنالیز شده و پاسخهای سازه تحت هر رکورد مورد بررسی قرار گرفته است. شتابنگاشتهای انتخابی در ساختمانی با شرایط یکسان با مدلهای طراحی به ثبت رسیده اند. واضح است که مقایسه نتایج آنالیز تاریخچه زمانی با مقادیر طراحی بدون هیچ گونه مقیاس سازی رکوردها منطقی نمی باشد. لذا شتابنگاشتها بایستی به گونه ای مقیاس گردند که سطح زمین لرزه ای معادل با زلزله طرح ایجاد نمایند. محققین گذشته از روشهایی مانند مقیاس کردن بر مبنای PGA و PGV استفاده کرده اند و به مقایسه این دو روش پرداخته اند. [3,4] در این مطالعه مقیاس کردن بر اساس مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب سیستم ایزولاسیون استوار است. لذا شتابنگاشتها به نحوی مقیاس گردیده اند که مقدار شتاب طیفی آنها در پرپود سیستم ایزولاسیون برابر با مقدار متناظر آن در طیف طرح شود. در شکلهای (۴)، (۵) و (۶) طیف مقیاس شده برای یکی از مولفه های هر یک از سه رکورد انتخابی که در پرپود 2.5 ثانیه مقیاس شده است نشان داده شده است.

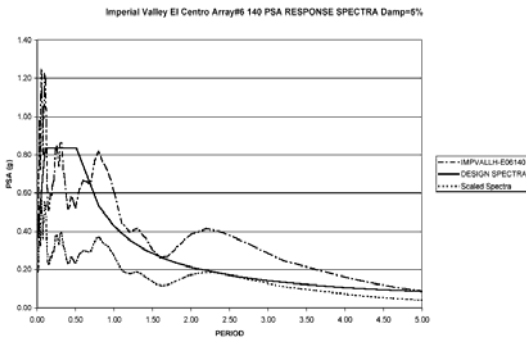
با توجه به این اشکال مشاهده می شود که نتیجه مقیاس کردن به میزان زیادی وابسته به محتوای فرکانسی شتابنگاشت مورد استفاده می باشد. به عنوان مثال در شتابنگاشت زلزله LomaPrieta که دارای مقادیر طیفی

کوچک در پرپودهای بزرگ می باشد، مقیاس سازی منجر به شتابهای طیفی بسیار بالا در پرپودهای کوتاه می گردد که وقوع آن محتمل به نظر نمی رسد. از سوی دیگر مقیاس سازی شتابنگاشت زمین لرزه Imperial Valley که دارای محتوای قابل توجه در پرپودهای بلند است منجر به شتابهای طیفی بسیار کوچک در پرپودهای کوتاه در مقایسه با طیف طرح می شود. اما طیف شتابنگاشت مقیاس شده زمین لرزه Northridge بسیار شبیه به طیف طرح بوده و لذا انتظار بر این است که نزدیکترین نتایج به مقادیر طرح را نتیجه دهد.

تحلیلهای تاریخچه- زمانی توسط اعمال همزمان دو مولفه هر یک از شتابنگاشتها انجام پذیرفته است. مدلهای خطی و غیرخطی به ترتیب برای روسازه و سیستم ایزولاسیون مطابق آنچه در قسمتهای ۳-۱ و ۳-۲ شرح داده شد، بکار رفته است.



شکل (۴): طیف شتابنگاشت Northridge Sylmar مقیاس شده در پرپود ۲/۵ ثانیه



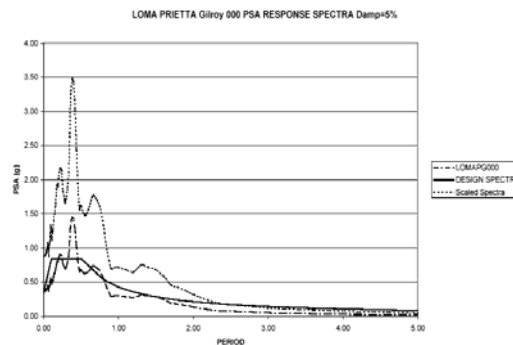
شکل (۵): طیف شتابنگاشت Imperial Valley Elcentro مقیاس شده در پرپود ۲/۵ ثانیه

توزیع برش در ارتفاع سازه ایزوله محاسبه گردیده است. در اشکال (۷)، (۸) و (۹) این توزیع برش در کنار توزیع برش آیین نامه برای یکی از مدلها و تحت سه شتابنگاشت مورد استفاده، نشان داده شده است. همانطور که پیشتر گفته شد، آیین نامه های فعلی یک توزیع مثلی را برای برش پایه همانگونه که در این اشکال نیز نشان داده شده است پیشنهاد می کنند؛ هر چند که شکل مود اصلی یک سازه ایزوله به گونه ای است که بیشترین تغییر مکانها در تراز Base متمرکز بوده و سازه فوقانی به مانند یک جسم صلب حرکت می کند. اما نتایج بررسی ما نشان داد که توزیع واقعی برش در بین این دو حد بالا و پائین می باشد.

در شکل (۷) ملاحظه می شود که توزیع برش برای شتابنگاشت زلزله Imperial Valley نزدیک به توزیع یکنواخت می باشد. به نظر می رسد که این مساله ناشی از محتوای قوی این شتابنگاشت در پریودهای بالا باشد که همانطور که ذکر شد در اثر مقیاس سازی این شتابنگاشت مقادیر شتاب طیفی کوچک در پریودهای کوتاه خواهیم داشت. لذا این مساله منجر به کاهش اثر مودهای بالاتر در پاسخ نهایی سیستم خواهد شد، لذا می توان انتظار داشت که توزیع برش عمدتا متاثر از مود اول باشد که این مساله به یک توزیع تقریبا یکنواخت منجر می شود.

شکل (۸) توزیع برش مربوط به شتابنگاشت زمین لرزه Northridge را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود توزیع برش در این مورد -که طیف مقیاس شده آن نزدیک به طیف طرح قرار داشت- یک توزیع دوزنقه ای شکل را نشان می دهد.

در شکل (۹) ملاحظه می گردد که توزیع برش برای شتابنگاشت Loma Prieta حتی بحرانی تر از توزیع برش مثلی می باشد. علت این مساله با توجه به طیف مقیاس شده این شتابنگاشت مشخص می گردد. با توجه به شکل (۶) مشخص می شود که طیف مقیاس شده این شتابنگاشت شامل شتابهای طیفی بالا (تا 3.5g) در محدوده پریودهای کوتاه بوده که این مساله ناشی از ضعیف بودن طیف این شتابنگاشت در پریود سیستم ایزولاسیون می باشد. لذا استفاده از چنین شتابنگاشتهایی



شکل (۶): طیف شتابنگاشت Loma Prieta Gilroy مقیاس شده در پریود ۲/۵ ثانیه

مقدار میرایی ویسکوز برای دو مود اول سازه ایزوله ۲٪، و به مقدار ۵٪ برای سایر مودها فرض شده است.

نکته مهم دیگر نحوه اعمال ضریب رفتار سازه ایزوله، R_1 در محاسبات می باشد. از آنجا که مدل‌های روسازه به صورت خطی مدلسازی شده اند، ضروری است که ضریب R_1 در محاسبات اعمال شود. اما به دلیل مدلسازی غیرخطی سیستم ایزولاسیون این ضریب به شتابنگاشتها اعمال نشده است بلکه نتایج نهایی بر ضریب R_1 تقسیم شده اند تا مقادیر طراحی بدست آیند.

۴- مقایسه نتایج

در این قسمت نتایج آنالیزهای غیر خطی تاریخچه زمانی با مقادیر بدست آمده از روش تحلیل معادل استاتیکی مقایسه شده اند. در ابتدا خوب است که مروری بر شرایط آیین نامه IBC برای استفاده از روش معادل داشته باشیم. بر طبق آیین نامه IBC2000 برای انجام این نوع تحلیل سازه فوقانی باید کمتر از چهار طبقه باشد. لذا مدل‌های شش و هشت طبقه در این مطالعه چنانچه پیش از این نیز ذکر شد، دارای شرایط لازم نمی باشند. همچنین در قسمت 1623.1.3.1، آیین نامه IBC شرایط سیستم ایزولاسیون را برای انجام تحلیل استاتیکی بیان کرده است. بر طبق این شرایط سیستم های تیپ ۳ و ۶ و ۸ حائز شرایط نبوده و نمی توان از روش معادل برای تحلیل مدل‌هایی که از این سیستمها استفاده کرده اند، سود برد.

۵- پیشنهاد یک رابطه جدید برای توزیع برش در سازه های ایزوله

نتایج آنالیز تاریخیچه زمانی غیرخطی بر روی مدل‌های انتخابی نشان دهنده نامناسب بودن توزیع برش مثلثی در مقایسه با توزیع برش مشاهده شده تحت شتابنگاشت‌های عملی می باشد. در اکثر موارد مشاهده گردید که توزیع برش در ارتفاع سازه ایزوله ما بین دو توزیع مثلثی و یکنواخت - که در آئین نامه های گذشته پیشنهاد شده بود - می باشد.

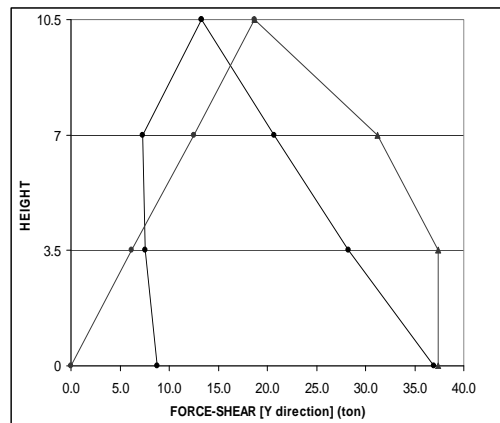
مشکل دیگر توزیع برش مثلثی آئین نامه در صرفنظر از جرم طبقه Base در محاسبات می باشد. چرا که در یک توزیع مثلثی نیروی برشی تخصیص داده شده به این تراز برابر صفر است. اما همانطور که در شکل‌های توزیع برش مشاهده می گردد، از آنجا که در این نوع سازه ها تراز Base نیز مانند سایر طبقات دارای جرم می باشد لذا قسمتی از برش پایه نیز به این طبقه اختصاص می یابد. بنابراین صرفنظر کردن از این نیروی برشی و اختصاص آن به سایر طبقات که در تراز بالاتری قرار دارند باعث محافظه کارانه شدن مقدار لنگر واژگونی سازه خواهد گردید.

با توجه به این دو موضوع، یک توزیع دوزنقه ای مطابق رابطه زیر برای توزیع برش پایه در ارتفاع ساختمانهای ایزوله شده پیشنهاد می گردد.

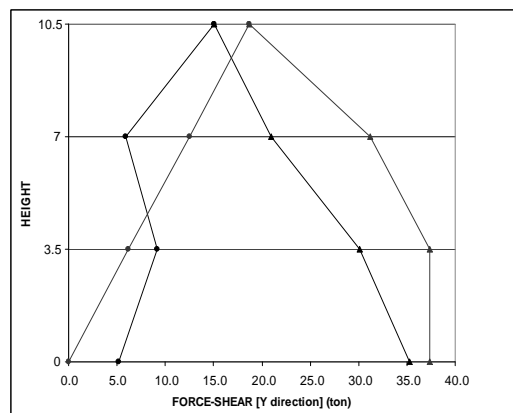
$$F_x = \alpha \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i} V_s + (1 - \alpha) \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} V_s \quad (13)$$

بر طبق این رابطه بخشی از برش پایه بصورت مثلثی و بخشی دیگر بصورت یکنواخت توزیع می گردد. ضریب α برابر با بخشی از برش پایه است که بصورت یکنواخت توزیع می شود. در نتیجه این رابطه منجر به یک توزیع دوزنقه ای شکل خواهد گردید و مشکلات موجود در توزیع مثلثی را مرتفع خواهد ساخت. از آنجا که نتایج این مطالعه محدود به سیستم ایزولاسیون الاستومریک و سیستم سازه ای قاب خمشی فولادی می گردد نمی توان مقدار جامعی برای α پیشنهاد کرد. اما مقدار $\alpha = 0.5$

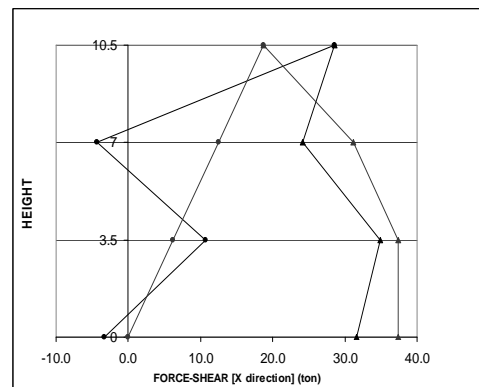
منجر به شتابهای بالای طیفی مانند مورد فوق خواهد گردید که وقوع آن محتمل به نظر نمی رسد. بنابراین در این بررسی از نتایج بدست آمده تحت این شتابنگاشت در نتیجه گیری های نهایی صرفنظر گردیده است.



شکل (۷): توزیع نیروی طبقه و برش طبقه برای شتابنگاشت زلزله Imperial Valley



شکل (۸): توزیع نیروی طبقه و برش طبقه برای شتابنگاشت زلزله Northridge



شکل (۹): توزیع نیروی طبقه و برش طبقه برای شتابنگاشت زلزله Loma Prieta

3. B. Lashkari, C.A. Kircher, "Evaluation of SEAOC/UBC analysis procedures, Part 1: Stiff superstructure", Proceedings of a Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control, ATC Report 17-1, Redwood City, California, 1993.
4. M.C. Constantinou, C.W. Winters, D. Theodossiou, "Evaluation of SEAOC and UBC analysis procedures, Part 2: Flexible superstructure, Proceedings of a Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control, ATC Report 17-1, Redwood City, California, 1993.
5. Y.J. Park, Y.K. Wen, A.H. Ang, "Random vibration of hysteretic systems under bi-directional ground motions", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 14, 1986.
6. International Conference of Building Officials, Uniform Building Code, Chapter 23, Whittier, CA, 1991.
7. International Conference of Building Officials, Uniform Building Code, Appendix Chapter 16, Whittier, CA, 1994.
8. International Conference of Building Officials, Uniform Building Code, Appendix Chapter 16, Whittier, CA, 1997.
9. International Code Council, International Building Code, Country Club Hills, Illinois, 2000.
10. PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) Strong Motion Database, University of California, Berkeley, <http://peer.berkeley.edu/>.

تطابق خوبی با نتایج بدست آمده در این تحقیق دارد و لذا رابطه پیشنهادی به شکل زیر در می آید.

$$F_x = \frac{1}{2} \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} V_S + \frac{1}{2} \frac{w_x}{\sum_{i=1}^n w_i} V_S \quad (14)$$

۶- نتیجه گیری

در این مقاله توزیع برش پیشنهادی آئین نامه در روش تحلیل استاتیکی معادل برای سازه های ایزوله شده، مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه این توزیع برش با نتایج بدست آمده از تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی نشان دهنده نکات زیر می باشد. شایان ذکر است که این نتایج تنها در مورد سازه های با سیستم قاب خمشی و سیستم های ایزولاسیون الاستومریک غیر خطی معتبر می باشد.

۱- توزیع مثلثی برش پایه با توزیع مشاهده شده در مدلها هماهنگی نداشته و در اکثر موارد محافظه کارانه می باشد. در عین حال توزیع یکنواختی که در آئین نامه های پیشین توصیه شده بود همواره حد پائین پاسخ را مشخص می کند.

۲- صرفنظر کردن از نیروی برشی تراز Base در توزیع مثلثی و توزیع آن در طبقات بالاتر باعث دست بالا شدن طراحی سازه بدلیل افزایش ممان واژگونی سازه خواهد گردید.

۳- روش پیشنهادی برای توزیع نیروی برشی در عین ساده بودن روش، باعث کاهش محافظه کاری موجود در توزیع مثلثی گردیده و دو مشکل فوق اشاره را برطرف می نماید.

مراجع :

1. F. Naeim, J.M. Kelly, "Design of Seismic Isolated Structures, From Theory to Practice", John Wiley & Sons, New York, USA, 1999.
2. Computers and Structures Inc., ETABS User's Manual, Berkeley, California, USA, 1999.