بررسی سطح عملکرد چلیک های فضاکار به روش طیف ظرفیت

محمود لایق رفعت[۱] ، داوود لایق رفعت[۲]، منصور قلعه نوی[۳]

۱- کارشناسی ارشد عمران ، دانشگاه آزاد واحد زابل

۲- دانشجویی کارشناسی ارشد عمران ، دانشگاه زاهدان

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران ، دانشگاه فردوسی

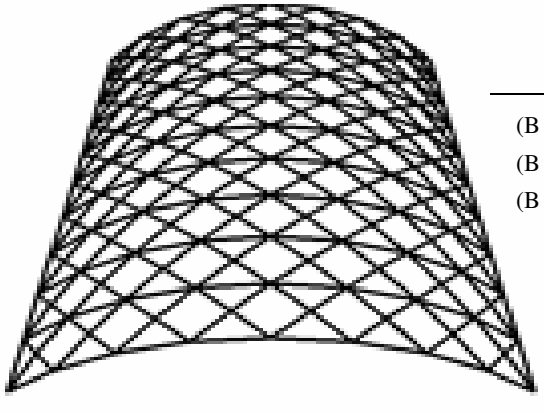
خلاصه

مدتها تصورمی شد که سازه های فضاکار ، به دلیل داشتن وزن کم در زلزله آسیب پذیر نیستند. با این حال رخداد زلزله درکوبه ژاپن به سال ۱۹۹۵ نشان داد که نباید آن ها را مصون پنداشت. با توجه به این مطلب در این مقاله برای ارزیابی اثر زلزله بر رفتارسازه های فضاکاراز روش طیف ظرفیت استفاده می شود. در این روش حداکثر پاسخ را با در نظرگرفتن ظرفیت سازه و نیاز سازه بر مبنا شتاب و تغیر مکان برآورد می کند لذا در این تحقیق مقایسه بین نتایج ، استفاده از طیف واقعی شتاب زلزله و روش طیف ظرفیت بروی این سازه ها می باشد و کارایی این روش در تخمین تغیرمکان ماکزیمم مورد ارزیابی قرار می گیرد برای رسیدن به این مقصود چندین سازه با دهانه ارتفاع های مختلف پس از مدل سازی ، بارگذاری وانتخاب پارامترهای مناسب در تحلیل استاتیکی و دینامیکی مورد بررسی قرار می گیرند. که نتایج نشان می دهید که طیف ظرفیت بر آورد قبل قبولی از تحلیل دینامیکی غیرخطی است.

۱. مقدمه

برای بررسی رفتار دقیق سازه ها تحت نیرویی زلزله،انجام تحلیل های غیر خطی ضروری می باشد. رفتار سازه ها بعد از محدوده ارتجاعی معمولا به صورت کلاسیک توسط روش های تحلیل دینامیکی غیر خطی بررسی می گردد.در این روش از چند شتاب نگاشت مربوط به زلزله های گذشته استفاده می شود. رفتار واقعی سازه ، با پذیرش برخی فرضیات مورد ارزیابی قرار می گیرد. تحلیل سازه ها با یک یا چند شتاب نگاشت خاص با توجه به شرایط منحصر بفرد هر منطقه مخصوصا از لحاظ ژئوتکنیکی برای قضاوت در مورد رفتار سازه ها کافی به نظر نمی رسد. گذشته از آن روش تحلیل دینامیکی غیر خطی بیشتر یک روش پژوهشی و تحقیقاتی می باشد واستفاده از آن در دفاتر مهندسی امکان پذیر نمی باشد.براساس این ضرورت موسسه های تحقیقاتی با ارائه سلسله گزارش هایی به معرفی روش طیف ظرفیت بر مبنای تحلیل استاتیکی غیر خطی پرداختند. با این روش می توان با بر آورد ظرفیت نهایی و نیاز لرزه ای سازه ، تغییرمکان و برش پایه سازه را در نقطه عملکرد(نقطه ای که بیانگر وضعیت نهایی سازه تحت اثر یک طیف زلزله خاص می باشد) را محاسبه کرد با داشتن مختصات نقطه عملکردطراح می تواند طراحی دقیق تر ارائه دهد. و اجزای مختلف سازه ، اعم از سازه ای و غیر سازه ای را به گونه طراحی کند که توانایی تحمل تغییرمکان متناظر نقطه مزبور را داشته باشند. در این مقاله ضمن تشریح مختصر روش طیف ظرفیت و نحوه محاسبه نقطه عملکردسازه آن پرداخته می شود.

در این مقاله چلیکی با دهانه ۱۰ متر و ارتفاع ۴ مترو طول اعضا آن ۱٫۵ متر ، را که تمامی اتصالات این سازه ها صلب می باشد.این سازه فاقد هرگونه تکیه گاه میانی است و تنها در امتداد محیط خارجی تگیه گاه دارد و تحت اثر بارهای مرده به شدت ۵۰کیلوگرم بر متر مربع که شامل وزن اعضا، اتصالات وپوشش روی سازه ، بار برف (زنده) به مقدار ۱۰۰ کیلو گرم بر متر مربع وبار باد به سرعت۱۰۰ کیلو متر بر ساعت قرارگرفته است وسپس توسط نرم افزار ۲۰۰۰ Sap آنالیز های استاتیکی ودینامیکی غیر خطی مورد بررسی قرار می گیرند..سازه در منطقه ای با لرزه خیزی خیلی زیاد با خاک نوع II که با آئین نامه فولاد و۲۸۰۰ویرایش سوم بصورت قاب خمشی مدل سازی شده است.



[۱] عنوان شغلی نویسنده اول (B Nazanin ۹pt)

[۱] عنوان شغلی نویسنده اول (B Nazanin ۹pt)

[۱] عنوان شغلی نویسنده اول (B Nazanin ۹pt)

شکل (۱): شکل چلیک فضاکار تک لایه

۲. آنالیز استاتیکی غیر خطی بار افزون

در زیربه انواع بارگذاری استفاده شده در آنالیزاستاتیکی غیر خطی و چگونگی تعریف مفاصل پلاستیک اشاره می گردد.

۳. بارگذاری

در آنالیز غیر خطی استاتیکی از چهار نوع بارگذاری زیراستفاده شده است :

بارگذاری ELF:این بارگذاری همان بارگذاری معرفی شده در آیین نامه ۲۸۰۰ویرایش دوم است که برش پایه ساختمان را به نسبت جرم و ارتفاع طبقات بر مرکز جرم طبقات وارد می کند.

بارگذاری SRSS:در این بارگذاری برش پایه حاصل از تحلیل شبه دینامیکی باتوجه به تعداد مودهایی که بیشتر از ۹۰٪در جرم مودی مشارکت داشته اند بر مرکز جرم طبقات وارد می کند .

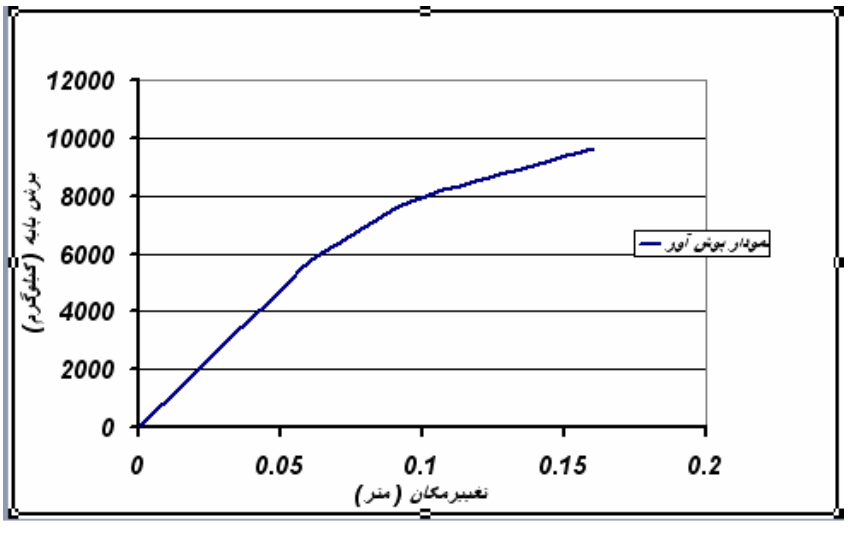
بارگذاری UNIFORM: در این بارگذاری برش پایه به طور یکسان بر مرکز جرم طبقات وارد می شود .

بارگذاری ۱ MODE :این بارگذاری که به طور خود کار توسط نرم افزار Sap۲۰۰۰ انجام می گیرد بر اساس شکل mode طبقات اعمال می شود

۴. تعریف مفاصل پلاستیک:

در این سازه ها به جهت حاکم بودن خمش دراعضا از مفصل خمشی استفاده شده است، علاوه بر آن به جهت وجود نیروی محوری به همراه نیروهای خمشی از منحنی اندر کنش نیروی محوری و نیروهای خمشی استفاده شده است . لذا در این مدلهااز مفاصل پلاستیک PMM استفاده شده است که معیارهای مدلسازی و قابل قبول بودن آن در دستور العمل بهسازی سازه های موجودآورده شده است.

در این گام سازه تحت آنالیز پوش آور قرار می گیرد و نمودار برش پایه در مقابل تغییرمکان بام را رسم می شود. که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل (۲): نمودار برش پایه - جا به جایی

۵. گام دوم : تبدیل منحنی ظرفیت به طیف ظرفیت

منحنی ظرفیت بصورت برش پایه در برابر جا به جایی رسم می گردد طیف ظرفیت در حقیقت بیان کننده منحنی ظرفیت سازه به صورت طیف پاسخ شتاب – جا به جایی (ADRS) است که بصورت Sa - Sd رسم می گردد. برای هر نقطه با مختصات (Δ, V) روی منحنی ، با استفاده از روابط زیر ، نقطه متناظر (S_a, S_d) روی طیف ظرفیت به دست می آید .

$$Sa = \frac{V/w}{\alpha_1}$$

$$Sd = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \times \phi_{roof,1}}$$

W : بار مرده به علاوه درصدی از بار زنده

V : برش پایه

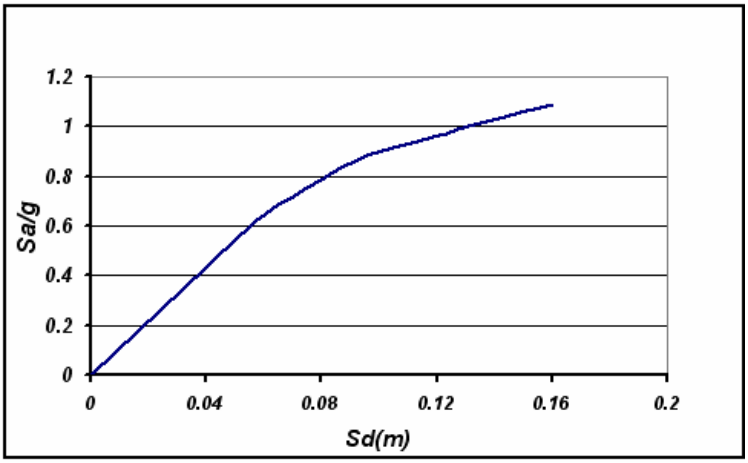
Δ_{roof} : تغییرمکان حداکثر نقطه بام سازه

α_1 , PE_1 : به ترتیب ضریب جرم مدی و ضریب مشارکت مدی برای اولین مد طبیعی سازه می باشند. این ضرایب به صورت زیر محاسبه می گردند:

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{N} (W_i \phi_{il}) / g\right]^2}{\left[\sum_{i=1}^{N} W_i / g\right]\left[\sum_{i=1}^{N} (W_i \phi^2{}_{il}) / g\right]} = 1$$

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N} (W_i \phi_{il}) / g}{\sum_{i=1}^{N} (W_i \phi^2{}_{il} / g}\right] \cong 1$$

همانطوری که از فرمول های بالا مشاهده می کنید به ترتیب ضریب جرم مدی و ضریب مشارکت مدی برای این سازه ها برابر یک می باشد. وزن سازه که از آنالیز مودال به دست آمده ۱۰۵۵۲ کیلوگرم می باشد . با توجه به فرمول بالا تمام اعداد برش پایه را تقسیم بر وزن سازه می کنیم . تا Sa حاصل شود . تغییرمکان نیز برابر Sd است . که در شکل زیر نمودار تبدیل یافته آن موجود می باشد.



شکل (۳): نمودار طیف ظرفیت در فرمت ADRS

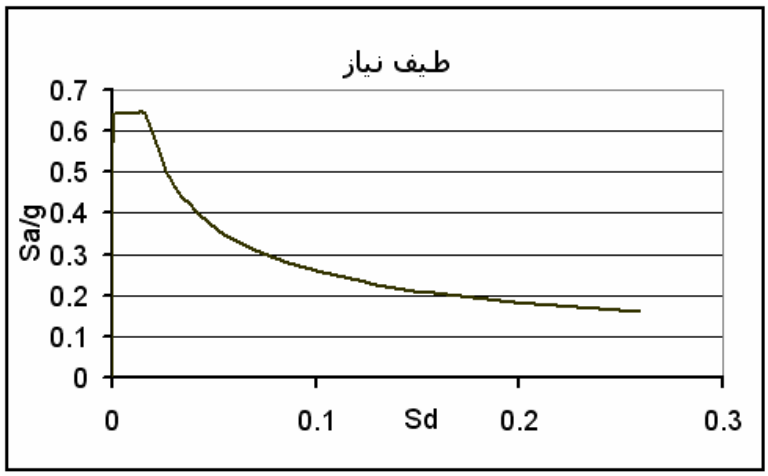
با استفاده از روابط زیر می توان با حذف پریود طیف طرح الاستیک با میرایی پنج درصدرا بصورت فرمت ADRS تبدیل کرد.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{S_d}{S_a}}$$

$$S_d = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 * S_a$$

$$Sa = AI * \begin{cases} (1+S)\left(\frac{T}{T_O}\right)^{0.667} & T \geq T_s \\ 1+S & T_O \leq T \leq T_S \\ 1+S\left(\frac{T}{T_O}\right) & 0 \leq T \leq T_O \end{cases}$$

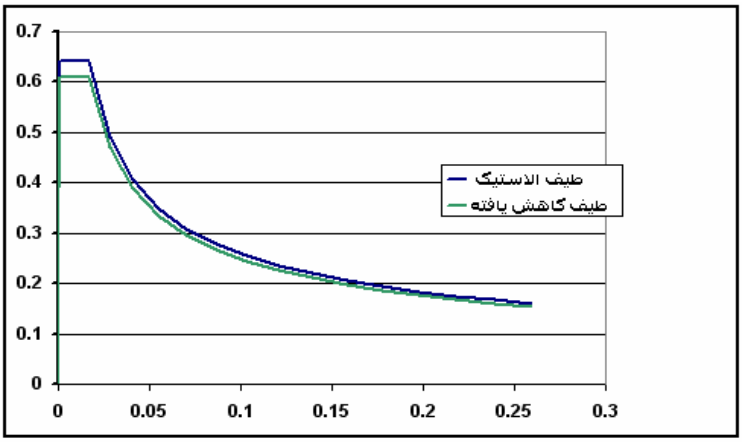
درشکل (۴) طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ برای یک منطقه لرزه ای با خطر نسبی بالا و خاک نوع چهار در فرمت ADRS رسم شده است.



شکل (٤): نمودار طیف نیاز الاستیک سازه

۶. طیف طرح ا،

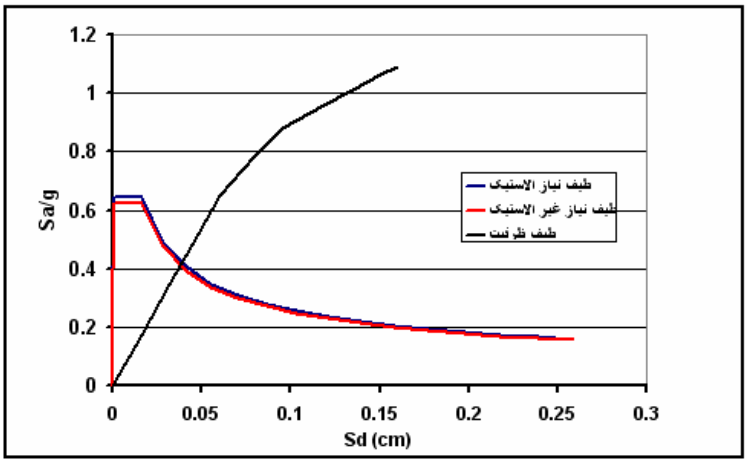
در این مرحله منحنی نیاز لرزه ای سازه با توجه به وضعیت غیر ارتجاعی سازه تهیه می شود. در آیین نامه های فعلی منحنی نیاز الاستیک سازه ها ارائه می شود، در حالی که در ناحیه غیر ارتجاعی به علت افزایش میرائی موثر ، نیاز لرزه ای سازه کاهش می یابد. برای تخمین میرایی مؤثر و در نتیجه به دست آوردن یک طیف نیاز کاهش یافته مناسب، نیاز به رسم یک فرم دو خطی برای طیف ظرفیت می باشد.



شکل (۵): نمودار طیف غیر الاستیک

۷. بررسی عملکرد سازه ها

همانطور که بیان شد برای بررسی عملکرد سازه هادر آنالیز های استاتیکی باید از بارگذاری مد اول استفاده گردد.باتوجه به معیارکنترل نقطه عملکرد سازه ها ما کزیمم تغییر مکان نسبی۰,۰۲ دهانه بدست می آید. که ما بین مجموع ماکزیمم تغییر مکان نسبی گذرا وماندگار ٪۰,۵و٪۱,۵می باشد لذا سازه در محدوده قابلیت استفاده بی وقفه(IO) می باشد



شکل (٦): نمودار طیف ظرفیت و شتاب در فرمت ADRS و نقطه عملکرد

یک هدف از تعیین سطح عملکرد برای یک سازه ، معین کردن میزان آسیب های قابل قبول ناشی از اثر زلزله می باشد. با داشتن مختصات نقطه عملکرد طراح می تواند طرح دقیق ارائه دهد و از اجزای مختلف ساختمان اعم از سازه ای و غیر سازه ای را به گونه طراحی کند که توانایی تحمل تغییرمکان های متناظر نقطه مزبور را داشته باشد.با توجه به معیارهای فوق ومقادیر ماکزیمم تغییر مکان نسبی نتایج برای سازه های دیگر بصورت خلا صه در جدول(۱) آمده است.

جدول(۱): سطح عملکرد سازه های فضاکار

شماره چلیک	دهانه	ارتفاع	$\Delta_{max\ bam}$	$\Delta_{max\ naghan}$	$\Delta_{max\ alcentro}$

شماره چلیک	دهانه (m)	ارتفاع (m)	Δ_{PP} نقطه عملکرد (cm)	Δ_{IO} (cm)	Δ_{CP} (cm)	نتیجه سطح عملکرد
۱	۵	۱	۱	۱,۲	٤	قابلیت استفاده بدون وقفه
۲	۵	۲,۵	۱,۳	۲,٤	۱۰	"
۳	۱۰	۱	۲,۰	۲	۳,۱۰	"
٤	۱۰	۳	۱,۹۰	۵,۱	۱۲	"
۵	۱۰	٤	۲	۵,٦	۱٦	"
٦	۱۰	۵	۱,٦۵	۸	۲۰	"
۷	۲۰	٤	٤	۱۲,۵	۲۵	"

۸. آنالیز دینامیکی غیر خطی:

آنالیز دینامیکی غیر خطی مدلهادر جهت zانجام گرفته است. عوامل مهم در این نوع آنالیز,انتخاب نرم افزار مناسب ,روش آنالیز دینامیکی ,شتاب نگاشت مناسب و مقیاس کردن مناسب آن وهمچنین تعریف مفاصل پلا ستیک مناسب می با شد.در این جا از نرم افزار SAP۲۰۰۰وبا استفاده از روش نیومارکβاستفاده شده است در روش آنالیز دینامیکی از سه نوع شتابنگاشت بم ، ناغان و السنترو استفاده شده است. برای مقیاس کردن این شتابنگاشت ها از طیف طرح ۲۸۰۰در فاصله 2T .تا۱/۵Tاستفاده شده است.که در جدول زیر نتایج آنها آمده است.

جدول (۲):نتایج آنالیز دینامیکی

۱	۵	۱	۲,۵	۰,۲۴۷	۰,۰۷۵
۲	۵	۲,۵	۱,۵۴	۰,۳۴۴	۰,۲۲
۳	۱۰	۱	۲,۳۳	۱,۳۴	۱,۳۰
۴	۱۰	۳	۱,۵۸	۰,۲۸۵	۰,۲۰۰
۵	۱۰	۴	۱,۷۸	۰,۶۹	۱,۴۸
۶	۱۰	۵	۱,۴۵	۰,۸۰	۱,۱۰
۷	۲۰	۴	۳,۵	۱,۲۰	۱,۶۵

۹. مقایسه ما کزیمم تغییر مکان نسبی در آنالیز غیر خطی استاتیکی و دینامیکی:

در این روش با تلاقی طیف ظرفیت و طیف پاسخ نیاز مناسبی که به علت اثرات غیر خطی، کاهش یافته است، نقطه عملکرد سازه تعیین می گردد. توجه اصلی این تحقیق بر روش طیف ظرفیت می باشد. بر اساس مطالعات اخیر انجام گرفته در دانشگاه بوفالوی نیویورک، جا به جایی به دست می آید از این روش با میانگین حداکثر جا به جایی های به دست آمده از چندین آنالیز تاریخچه زمانی، کمتر از ده درصد اختلاف دارد.

فلسفه انجام آنالیز های دینا میکی بررسی رفتار سازه های و کنترل جواب های آنالیز غیر خطی استاتیکی باجواب های غیر خطی دینامیکی می باشد.با توجه به شکل های فوق می توان نتیجه گرفت که نتایج آنالیز استاتیکی غیر خطی به جواب های دینامیکی غیر خطی نزدیک است واز طرفی طبق مواردی که دستور العمل بهسازی سازه های موجود برای تعیین نقطه عملکرد تعیین می کند

۱۰. نتیجه گیری :

روش طیف ظرفیت برای اولین بار در این پایان نامه برای بررسی رفتار سازه های فضاکار ،و محاسبه وضعیت نهایی سازه تحت یک طیف زلزله خاص معرفی شده است.این روش در مقایسه با روش تحلیل دینامیکی غیر خطی روش ساده وعملی می باشد. در قسمت قبل ضمن تشریح روش فوق، نحوه استفاده از آن برای محاسبه سطح عملکرد ارایه شده است. نتایج آن به شرح زیر می باشد:

الف :در چلیک های فضاکار برعکس گنبد ها مد اول سازه ، مد غالب می باشد.

ب :با بررسی بر روی ۱۵ مدل، مشخص شده که ضریب جرم مدی و ضریب مشارکت مدی در این سازه ها یک می باشد. برای کنترل روش از برنامه sap استفاده شد که باز هم ضریب واحد بدست آمد. به طور کلی دلیل این موضوع را می توان در وزن کم سازه ها و پخش جرم در قسمت های مختلف می باشد.

ج: در آیین نامه های فعلی منحنی نیاز الاستیک سازه ها ارائه می شود، در حالی که در ناحیه غیر ارتجاعی به علت افزایش میرائی موثر ، نیاز لرزه ای سازه کاهش می یابد.در سازه های فضاکار اتلاف انرزی عمدتا توسط خود مصالح فولادی انجام می گیردو نقش مصالح بنایی همچون آجر و بتن ناچیز است . به همین دلیل بر خلاف سازه های معمولی که در دامنه های ارتعاشی بالا (هنگامی که تنشها به تنش تسلیم نزدیک می شوند) می توان ضریب استهلاک را برابر ۰,۰۵ گرفت ، در سازه های فضاکار این عدد به زحمت به ۰,۰۱ میرسد.به همین دلیل طیف نیاز الاستیک و غیر الاستیک تقریبا نزدیک به هم می باشد.

د: نتیجه سطح عملکردی این مدل های قابلیت استفاده بدون وقفه می باشد. در این تراز عملکرد آسیب های سازه ای پس از زلزله، بسیار جزئی است به طوری که سیستم های باربر قائم و جانبی سازه تمام خصوصیات قبل از زلزله را حفظ می کنند. از این رو، احتمال صدمات جانبی ناشی از آسیب های سازه ای و غیر سازه ای قابل صرف نظر می باشد. در این تراز، بلافاصله بعد از وقوع زلزله ساختمان آماده اسکان و بهره برداری است و در صورت نیاز به تعمیرات، هیچ اختلالی در بهره برداری ساختمان ایجاد نمی گردد.

۱۱. منابع

۱- FEMA ۲۷۳, ۱۹۹۶, "NEHRP Guideline for the Seismic Rehabilitation of Buildings", Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington D.C., USA

۲- ATC-۴۰, Recommended Methodology for "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Concrete Building", Applied Technology Council, Redwood City, California, USA

: ۳-جلالی حمید رضا"بررسی لرزه ای ساختمان های نامتقارن بر مبنای روش طراحی براساس عملکرد" پایان نامه کاشناسی ارشد ;دانشکده فنی و مهندسی بابل ;دانشگاه مازندران(۱۳۸۳)

۴-"دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود" پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله, خردادماه ۱۳۸۱.

۵-" تفسیر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود" پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله, مهرماه ۱۳۸۱.

۶-SAP۲۰۰۰ Manual,"SAP۲۰۰۰ Nonlinear ۸,۲,۳", Computers and Structures, Inc.Berkeley, California, USA.

۷-Wilson Edward L., “Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures, A Physical Approach With Emphasis on Earthquake Engineering”, Computers and Structures, Inc.Berkeley, California, USA, Third Edition, Reprint January ۲۰۰۲.

۸-UBC, “Uniform Buildings Code”, International Conference of Building Officials, ۱۹۹۴ & ۱۹۹۷.

.