

ارزیابی عملکرد ساختمان‌های بنایی غیر مسلح بهسازی شده با شاکریت پیرامونی

شهاب فروتن

کارشناس ارشد مهندسی عمران، مهندسی زلزله، تهران، ایران

صادق دردائی

استاد یار، دانشکده فناوری‌های برتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

dardaei@modares.ac.ir

حمزه شکیب

استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

shakib@modares.ac.ir

کلید واژه‌ها: ساختمان بنایی غیرمسلح، بهسازی لرزه‌ای، پوشش بتن مسلح، ارزیابی عملکردی.

چکیده

ساختمان‌های بنایی غیرمسلح با گستردگی قابل توجه، دارای ضعف‌های شدید در عملکرد لرزه‌ای می‌باشند. برای بهسازی بسیاری از ساختمان‌های بنایی غیرمسلح موجود استفاده از مش فولادی به همراه پوشش بتن مسلح بسیار متداول می‌باشد. این مقاله به بررسی نتایج حاصل از بررسی عملکردی ساختمان مقاوم‌سازی شده با استفاده از مش فولادی به همراه پوشش بتن مسلح می‌پردازد. بدین منظور عملکرد ساختمان بنایی بهسازی شده با پوشش بتن مسلح با ساختمان بنایی غیرمسلح به عنوان ساختمان شاهد با استفاده از روش طیف ظرفیت مقایسه گردیده است. روش طیف ظرفیت یکی از روش‌های طراحی براساس عملکرد می‌باشد. تحلیل غیر خطی استاتیکی به روش طیف ظرفیت مستلزم تعیین سه عامل می‌باشد: ظرفیت، نیاز (تقاضا) و عملکرد. لذا در این مطالعه هر سه عامل ذکر شده برای ساختمان‌های در نظر گرفته شده استخراج گردیده است. بر این اساس نتایج حاصل از تعیین ظرفیت سازه نشان می‌دهد ساختمان بنایی بهسازی شده با استفاده از مش فولادی به همراه پوشش بتن مسلح تا حدود ۸۰ درصد ظرفیت سازه را افزایش داده است. در نهایت با استخراج طیف نیاز و تعیین عملکرد ارتقاء ظرفیت لرزه‌ای ساختمان بهسازی شده نسبت به ساختمان شاهد با استفاده از روش عملکردی نشان داده شده است.

مقدمه

یکی از قدیمی‌ترین و رایج‌ترین انواع سیستم‌های ساختمانی در جهان، ساختمان‌های بنایی می‌باشند. به طوری که بیش از ۳۰ درصد جمعیت جهان در ساختمان‌های مصالح بنایی ساکن هستند. علاوه بر این در کشور ما نیز استفاده از مصالح بنایی غالباً (بویژه نوع آجری آن) برای ساخت واحدهای مسکونی یک یا چند طبقه و یا واحدهای تجاری و تولیدی، مدارس و بیمارستان‌های شهرهای متوسط، کوچک، بخش‌ها و روستاها متداول است. طبق آمار ارائه شده توسط مرکز آمار ایران، در سال ۱۳۸۸، ۷۸ درصد ساختمان‌های کشور (بجز شهر تهران) از آجر ساخته شده‌اند که عمدتاً دارای دیوارهای آجری باربر و سقف‌های طاق ضربی می‌باشند، علت اصلی این کاربرد وسیع، آسان بودن تولید آجر، حمل و نقل متداول، پایین بودن هزینه‌ها، عدم نیاز به تکنولوژی برتر در مراحل ساخت و ساز، و همچنین تصور عمومی و کلی مبنی بر عدم نیاز به تخصص ویژه در همه مراحل فوق را می‌توان نام برد. نکته‌ای که باید در مورد ساختمان‌های بنایی به آن اشاره کرد این است که در احداث این گونه ساختمان‌ها در کشور، ضوابط و دستورالعمل‌های مربوط به فرآیند ساخت و ساز چندان مورد توجه قرار نگرفته است و ساختمان‌های موجود بنایی اکثرأ در برابر زلزله آسیب‌پذیرند. یکی از روش‌های کارآمد برای بهبود عملکرد این نوع ساختمان‌ها در هنگام وقوع زلزله بهبود عملکرد درون صفحه دیوارهای این ساختمان‌ها می‌باشد. در هنگام زلزله مودهای شکست نهایی درون صفحه‌ی دیوارهای برشی بنایی شامل: لغزش، واژگونی، ترک برشی (قطری) و شکست در پنجه می‌باشد (Rodriguez, M., 2004). در



سال‌های اخیر مطالعات زیادی توسط محققین برای بهبود عملکرد لرزه‌ای دیوارهای بنایی غیرمسلح انجام شده است. این تحقیقات سبب ارائه تکنیک‌های مختلفی برای مقاوم‌سازی این ساختمان‌ها شده است (Abrams et al., 2007). یکی از متداول‌ترین این روش‌ها استفاده از مش فولادی به همراه پوشش بتن مسلح یا عبارتی روش شاتکریت می‌باشد. در این روش یک شبکه فولادی روی دیوار نصب شده، سپس یک لایه ملات سیمانی یا بتنی روی دیوار شاتکریت می‌شود. به جهت عملکرد یکپارچه دیوار و لایه شاتکریت باید شبکه فولادی به طور کامل به دیوار مهار شود.

درخصوص روش‌های مناسب ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌های بنایی غیرمسلح تلاش‌های فراوانی صورت گرفته است که از جمله می‌توان به تحقیقات انجام‌گرفته توسط Durgesh C. Rai و همکاران (2004) برای ارائه روش ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های بنایی به روش تجویزی و تحقیقات انجام‌گرفته توسط Abrams برای ارائه روش‌های ارزیابی به روش عملکردی اشاره کرد (Abrams 1997). مدلسازی المان بنایی با رفتار غیرهمگن و غیرهمسان بسیار مشکل می‌باشد. به همین دلیل برای مدلسازی آن از تکنیک‌های اجزاء محدود استفاده می‌شود. یکی از متداول‌ترین این روش‌ها روش درشت‌مدلسازی (Macro modeling) می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی عملکردی رفتار درون صفحه ساختمان بنایی کلاف دار مقاوم‌سازی شده با استفاده از روش طیف ظرفیت می‌باشد. ساختمان انتخاب شده در این تحقیق عموماً با توجه به مطالعات انجام‌گرفته توسط شکیب و همکاران (۲۰۰۲) انتخاب گردیده است و دارای مساحت ۴۰ متر مربع می‌باشد. به همین منظور دو نمونه ساختمان مورد بررسی قرار می‌گیرد: ۱- نمونه اول، نشان‌دهنده ساختمان مرجع (شاهد) در حالت بدون مقاوم‌سازی و ۲- نمونه سوم، دیوار مقاوم‌سازی شده با استفاده از بتن مسلح.

مشخصات سازه و مصالح

ساختمان مورد نظر دارای طول ۸ متر، عرض ۵ متر و ارتفاع ۲/۵ متر می‌باشد. ساختمان مدنظر دارای ۶ کلاف قائم است که نحوه قرارگیری کلاف‌ها به این ترتیب است که هر گوشه ساختمان یک کلاف و در دیواری که طول آن ۸ متر می‌باشد یک کلاف در وسط آن نیز قرار دارد. دو نوع ابعاد دیوار در این ساختمان با توجه به فاصله کلاف‌ها از هم وجود دارد به این ترتیب که دیوارهایی که در جهت کوچکتر یعنی ۵ متر قرار دارند دارای ابعاد ۴/۶×۲/۵ متر و دیوارهایی که در جهت بزرگتر یعنی ۸ متر قرار گرفته‌اند دارای ابعاد ۳/۷×۲/۵ متر می‌باشند. ضخامت دیوارها ۲۰ cm می‌باشد. به عبارتی دیوارها با کلاف افقی و قائم بتنی بتنی به ابعاد ۲۰×۲۰ cm که دارای ۴ عدد آرماتور طولی به قطر ۱۲ و خاموتهای به قطر ۸ می‌باشند، محصور شده‌اند. برای نمونه‌های تقویت شده با پوشش بتن مسلح ایفافی از مش فولادی بدون آج با قطر ۸ میلیمتر و فواصل چشمه ۱۵ cm به صورت یک طرفه از بیرون استفاده شده است. این شبکه با فاصله‌ای حدوداً ۲۰ میلیمتر از سطح دیوار بر روی برشگیرهای عسایی شکل، که در فواصل حدوداً ۶۰ سانتیمتری روی دیوار نصب شده بود قرار می‌گیرد تا سبب یکپارچگی بیشتر بین لایه بتنی و دیوار و همچنین انتقال نیرو بین دیوار و لایه بتنی مسلح شود. عموماً در عمل و حین اجرا به منظور ایجاد اتصال کاملاً گیردار شبکه میلگرد و دیوار، انتهای آزاد شبکه میلگرد از طریق ایجاد سوراخ‌هایی به عمق ۶ سانتیمتر و قطری معادل دو برابر قطر میلگرد شبکه، در کلاف‌های پیرامونی مهار شده و سپس با استفاده از تزریق چسب اپوکسی کاملاً محکم می‌گردد و در نهایت لایه‌های بتن روی نمونه‌ها شاتکریت می‌شوند. در جدول ۱ مشخصات مصالح مورد استفاده در مدلسازی سازه‌های شاهد و بهسازی شده با شاتکریت ارائه شده است.

مدلسازی و تعیین ظرفیت سازه

ظرفیت کلی ساختمان وابسته به مقاومت و میزان تغییرشکل هریک از اجزای سازه‌ای آن می‌باشد. برای تعیین ظرفیت نهایی سازه، تحلیل‌های غیرخطی از جمله تحلیل غیرخطی استاتیکی با بار جانبی فزاینده لازم می‌باشد. در این تحلیل که مبنای روش طیف ظرفیت نیز می‌باشد با دنبال کردن تغییرات برش پایه برحسب تغییرمکان بام، ظرفیت سازه به صورت "منحنی ظرفیت" بیان می‌گردد. منحنی ظرفیت بدست آمده از تحلیل غیرخطی استاتیکی با بار فزاینده در مختصات برش پایه - تغییرمکان می‌باشد ولی برای استفاده در روش طیف ظرفیت لازم است که منحنی ظرفیت مشابه طیف پاسخ، در مختصات شتاب طیفی - تغییرمکان طیفی که به آن فرمت ADRS می‌گویند، بیان شود. در روش کلی تحلیل غیرخطی استاتیکی با بار فزاینده برای تعیین منحنی ظرفیت، تعدادی تحلیل الاستیک متوالی انجام می‌گیرد و نتایج هر مرحله با هم جمع می‌شوند. در هر مرحله مدل تحلیل می‌شود تا اینکه سازه ناپایدار شده یا به حد از پیش تعیین شده‌ای برسد، منحنی ظرفیت حاصل به تقریب، رفتار سازه بعد از جاری شدن را نشان می‌دهد. جهت مدلسازی استفاده از مدل‌های ریز در آنالیز سازه‌ها به دلیل هزینه و صرف وقت زیاد تنها جهت کارهای تحقیقاتی و نمونه‌های کوچک قابل استفاده می‌باشد.

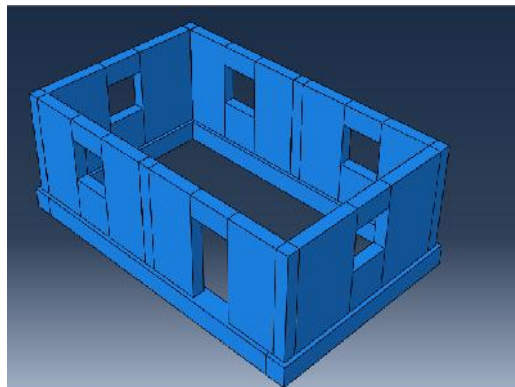
جدول ۱: مشخصات مکانیکی بتن

بتن	مقدار	اندیس	مشخصه
	2500 kg/m^3	W	وزن مخصوص
	10.95 GPa	E	مدول الاستیسیته
	0.15	€	ضریب پواسون
	12MPa	f'_c	مقاومت فشاری بتن کلاف
	1.06MPa	f_t	مقاومت کششی بتن کلاف
	25MPa	f'_c	مقاومت فشاری بتن شاتکریت
میلگرد	7850 kg/m^3	W	وزن مخصوص
	210 GPa	E	مدول الاستیسیته
	565 MPa	f	مقاومت کششی
المان بنایی	1200 kg/m^3	W	جرم حجمی
	1 GPa	E	مدول الاستیسیته
	0.15	€	ضریب پواسون
	9 MPa	f'_c	مقاومت فشاری
	0.5 MPa	f_t	مقاومت کششی

بنابراین جهت مدل سازی و بررسی رفتار لرزه ای کلی سازه ها (در مقیاس بزرگ) نیاز به مدل هایی است که هم فاقد ریزه کاری ها و پیچیدگی های روش های ریزمدل باشد و هم نمایش خوبی از رفتار کلی سازه ها ارائه دهد. مواد و مصالح مرکب، از دو یا چند ماده که معمولاً در سطوح خود با یکدیگر درگیر هستند، ترکیب می شوند و اغلب نواحی به اندازه بزرگی را تشکیل می دهند که می توان آنها را به عنوان یک ماده همگن تصور نمود. به نظر می رسد بسیاری از مواد طبیعی و یا مصنوعی مانند کامپوزیت های ورقه ای، بتن، چوب و غیره ... دارای چنین خاصیتی هستند. بسیاری از مصالح نیز مانند بتن به طور معمول همگن فرض می شوند. جهت به دست آوردن یک مدل همگن و یا متوسط از مصالح بنایی دو روش قابل استفاده می باشد. یکی آنکه نتایج و اطلاعات تعداد زیادی آزمایش انجام شده روی مصالح بنایی گردآوری، تحلیل و ارزیابی شود و از روی آنها منحنی های بی بعدی برای هر یک از خواص کلی مصالح بنایی استخراج شود و دیگر آنکه با استفاده از روش های تحلیلی روابطی برای خواص مصالح بنایی به دست آورده شود که تطبیق خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشته باشد. به عبارت دیگر در این روش استخراج مشخصات متوسط از روی خواص و مشخصات ریز مقیاس اجزای تشکیل دهنده مصالح بنایی، با استفاده از تکنیک های تقریبی و یا دقیق همگن سازی انجام می شود.

جهت مدلسازی سازه از نرم افزار ABAQUS استفاده گردیده است. المانهای به کار رفته در دیوار و کلاف از نوع C3D8R می باشند. میلگردهای پی و کلافها به صورت المان B31 مدل سازی شده اند. همانطور که عنوان شد، مشخصات مکانیکی مصالح در جدول ۱ ارائه شده است از مشخصات ارائه شده در این جدول جهت تعریف مشخصات مکانیکی مصالح استفاده گردیده است. مدلسازی انجام شده برای ساختمان شاهد در شکل ۱ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است راستای مورد مطالعه در این تحقیق راستای طولی سازه بوده و عملکرد لرزه ای دیوار در این راستا مورد ارزیابی قرار می گیرد.

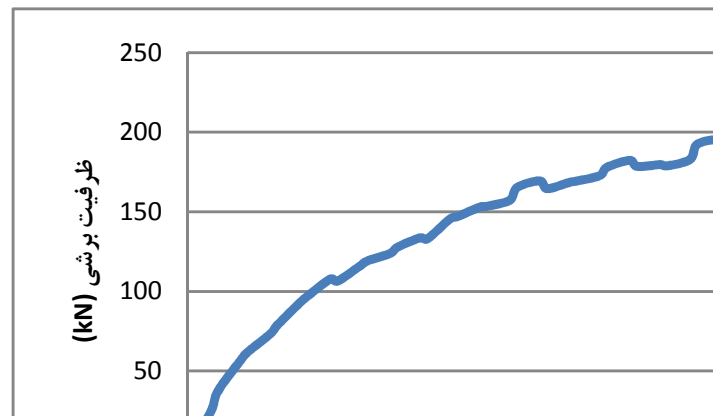
فرآیند انجام مطالعه بدین صورت است که مدل های در نظر گرفته شده شامل مدل مقاوم سازی شده نشده به عنوان مدل شاهد و مدل بهسازی شده با استفاده از روش شاتکریت در نرم افزار مدلسازی گردیده و نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی جهت تعیین ظرفیت سازه ها و مقایسه آن با پاسخ لرزه ای (نیاز) استخراج می گردد.



شکل ۱: مدل سه بعدی ساختمان مقاوم سازی نشده (شاهد)

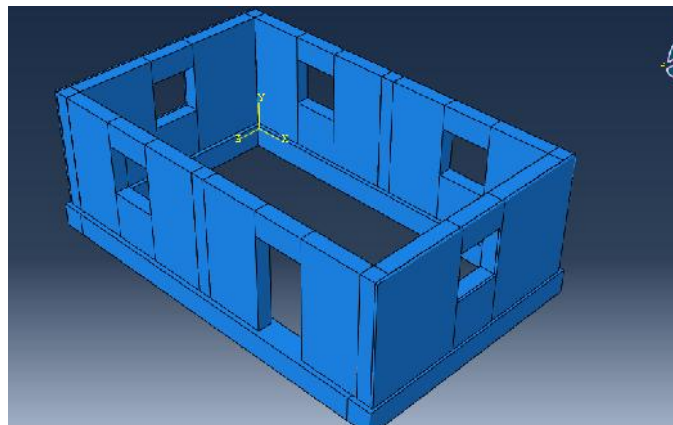


نوع آنالیز مورد استفاده جهت استخراج مشخصات لرزه ای سازه، آنالیز بار افزون می باشد. نتایج حاصل از بارگذاری جانبی با بار افزون که با استفاده از نرم افزار ABAQUS بدست آمده است در شکل ۲ ارائه می گردد. همانطور که ملاحظه می شود سازه مقاوم سازی نشده دارای ظرفیت برشی حدود ۲۱۰ kN و امکان جابجایی سازه تا حدود ۰/۱۵ متر مقذور بود.

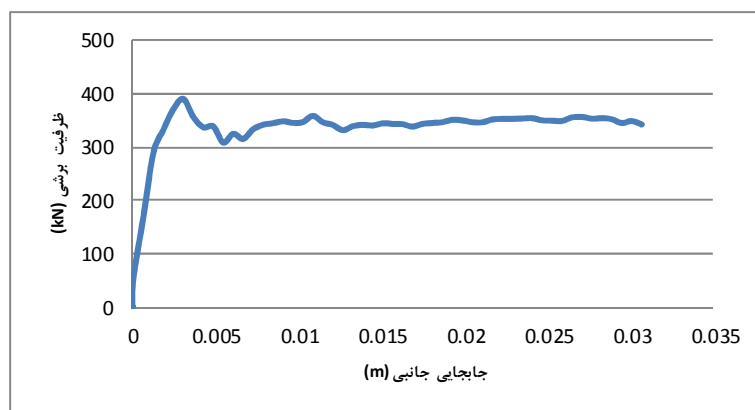


شکل ۲: منحنی ظرفیت مدل تحلیلی سه بعدی مقاوم سازی نشده

بررسی های کمی بر روی ساختمان شاهد بر اساس نشریه ۳۶۰ نشان می دهد دیوارهای ساختمان نیازمند انجام بهسازی جهت رسیدن به سطح عملکرد ایمنی جانی می باشند به عبارتی سازه نیازمند بهسازی جهت ارتقا سطح عملکرد می باشد. برای بهسازی از شبکه آرماتور و بتن پاشی (شاتکریت) استفاده می گردد. نتایج طراحی آرماتورهای شاتکریت برای تقویت دیوارها بیانگر استفاده از آرماتورهایی با قطر ۸ و فواصل ۱۵ سانتی متری می باشد. لذا مدلسازی سازه تقویت شده و استخراج منحنی ظرفیت آن در دستور کار قرار گرفت در ادامه مدلسازی سازه بهسازی شده در شکل ۳ و منحنی ظرفیت آن در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۳: مدل مقاوم سازی شده سه بعدی ساختمان به روش شاتکریت



شکل ۴: منحنی ظرفیت مدل تحلیلی سه بعدی بهسازی شده

جهت تعیین منحنی ظرفیت سازه برای ساختمان بهسازی شده با روش شاتکریت مشابه مدل قبلی، از روش بار افزون استفاده گردیده است، همانطور که مشاهده می‌گردد سازه بهسازی شده دارای ظرفیتی حدود ۳۹۵ kN بوده و مقایسه منحنی ظرفیت مربوط به سازه شاهد و سازه بهسازی شده نشان می‌دهد که بهسازی سازه با استفاده از شاتکریت ظرفیت برشی سازه را تا حدود ۸۰ درصد افزایش داده است.

طیف ظرفیت و تقاضا

یکی از روشهای طراحی براساس عملکرد، روش " طیف ظرفیت " می‌باشد. روش طیف ظرفیت در آغاز با هدف تهیه یک روش سریع برای ارزیابی سازه‌ها در سال ۱۹۷۵ توسط فریمن معرفی گردید. بعدها از این روش برای ایجاد ارتباط بین حرکات زمین در زلزله و عملکردهای مشاهده شده از ساختمانها توسط شورای تکنولوژی کاربردی (ATC) در سال ۱۹۸۲ استفاده گردید. تحلیل غیر خطی استاتیکی به روش طیف ظرفیت مستلزم تعیین سه عامل می‌باشد: ظرفیت، نیاز (تقاضا) و عملکرد. در ادامه هر کدام از این عوامل به اختصار شرح داده شده است:

الف) ظرفیت

منظور از ظرفیت، میزان توانایی باربری و مقاومت هر کدام از اعضای سازه یا مجموعه ای از آنها (مثلا یک قاب ساختمان) و یا کل سازه در برابر بارهای ثقلی یا جانبی و یا ترکیبی از آنها می‌باشد. ظرفیت به مصالح مصرفی و جزئیات اجرایی سازه بستگی دارد. در روش تحلیل غیرخطی استاتیکی، یک سری از تحلیل‌های منظم با استفاده از روی هم گذاری تقریبی دیاگرام ظرفیت (تغییرمکان- نیرو) سازه استفاده می‌شود. در این روش مدل ریاضی ساختمان به علت مقاومت کاهش یافته برخی اجزای تسلیم شده، اصلاح می‌شود. با افزایش تدریجی بار جانبی، نقاطی از سازه که در آنها تسلیم رخ می‌دهد را تعیین کرده، این مرحله تا رسیدن به یک حالت حدی نهایی ادامه خواهد یافت. حالت حدی ممکن است بر مبنای ناپایداری ناشی از اثر $P-\Delta$ یا تغییر شکل بیش از حد طبقات تعریف شود. در قسمت قبلی ظرفیت ساختمانهای در نظر گرفته شده در این مطالعه با استفاده از مدلسازی در نرم افزار تعیین گردید.

ب) تقاضا

حرکات زمین هنگام رخداد یک زلزله، تغییرمکان های افقی پیچیده که با زمان تغییر می‌کند را بوجود می‌آورد. این حرکت در هر زمان نیازهای طراحی سازه‌ها را مشخص می‌کند. بیان تقاضا برای ساختمان برحسب پارامترهای طراحی مانند نیروها و تغییر شکل‌ها انجام می‌گیرد.

ج) عملکرد

به محض اینکه منحنی ظرفیت و تغییر مکان مورد نیاز تعیین شد، بوسیله آن می‌توان یک کنترل عملکرد انجام داد. براساس کنترل عملکرد، سطح عملکرد ساختمان تعیین می‌شود و انتظار می‌رود که ساختمان در هنگام وقوع زلزله عملکردی مطابق سطح مورد نظر داشته باشد. در این روش ظرفیت باربری ساختمان با استفاده از منحنی ظرفیت به شکل برش پایه - تغییرمکان جانبی بام که از تحلیل غیرخطی استاتیکی با بار جانبی فزاینده بدست آمده، بیان می‌گردد و زلزله موردنظر توسط طیف پاسخ الاستیک با میرائی ۵ درصد بیان می‌گردد. با توجه به اینکه به علت بروز رفتار غیرخطی در سازه میرائی افزایش می‌یابد، با استفاده از ضرایب کاهش طیفی، طیف پاسخ با میرائی ۵ درصد به یک طیف کاهش یافته با میرائی بیشتر تبدیل می‌گردد. با تبدیل منحنی ظرفیت به شکل مشابه با طیف پاسخ و رسم آنها در یک دستگاه مختصات واحد، رابطه بین ظرفیت و نیاز مشخص می‌گردد. اگر طیف ظرفیت بالاتر از طیف پاسخ کاهش یافته (طیف نیاز) باشد، ساختمان در زلزله موردنظر دچار هیچگونه خرابی نخواهد شد. اگر دو طیف متقاطع باشند محل تلاقی بیانگر سطح عملکردی سازه در برابر زلزله موردنظر خواهد بود.

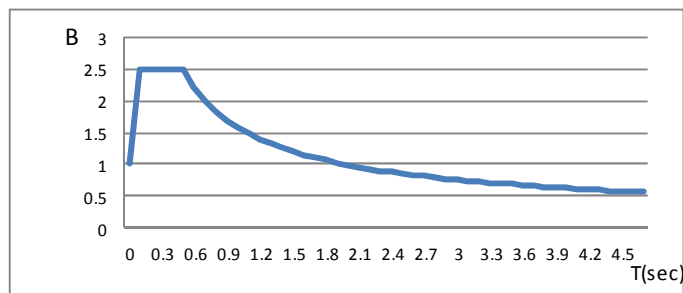
تهیه طیف نیاز (تقاضا)

با توجه به اینکه خاک موردنظر در این تحقیق نوع II می‌باشد مشخصات مربوط به آن عبارتند از: $I=1$ ، $S=1/5$ و $T_s=0/5$ و $T_0=0/1$ ؛ از طرفی S_d که شتاب طیفی می‌باشد و محور قائم طیف پاسخ را تشکیل می‌دهد از رابطه $S_d=A.B$ بدست می‌آید که A شتاب مبنای طرح می‌باشد که در این تحقیق برابر ۰/۳۵ است. مقدار S_d که تغییرمکان طیفی می‌باشد و محور افقی طیف پاسخ را تشکیل می‌دهد از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$S_d = \frac{S_a}{\xi^2} = \frac{S_a}{4f^2/T} = \frac{S_a T^2}{4f^2}$$



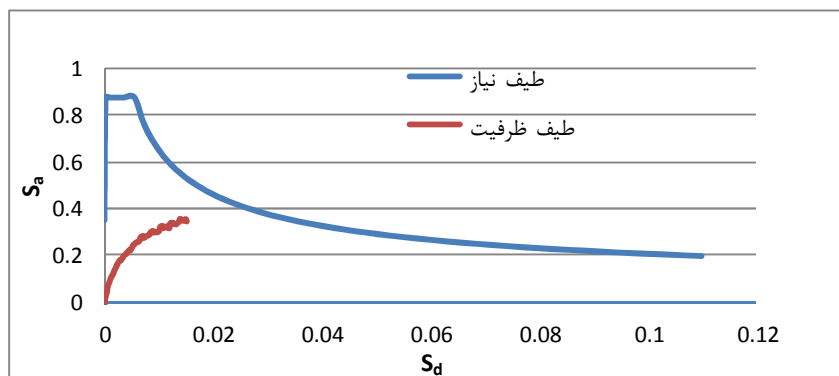
که T زمان تناوب اصلی ساختمان می باشد و با توجه به اینکه سازه مورد نظر در این تحقیق از نوع بنایی می باشد طیف پاسخ مطابق شکل زیر به دست می آید.



شکل ۵: طیف بازتاب خاک نوع II

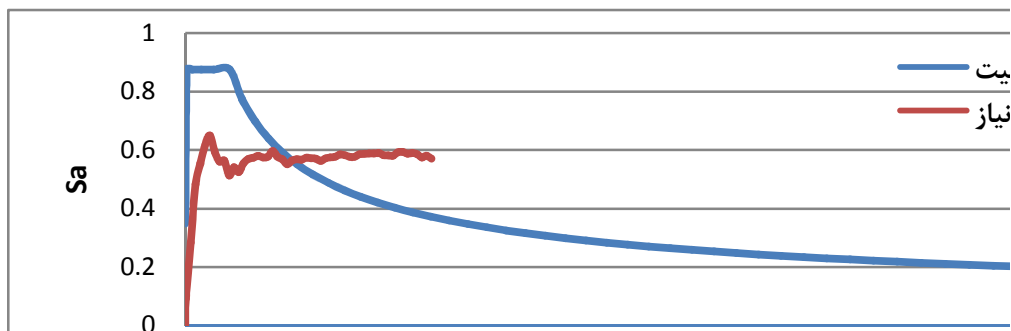
ترسیم طیف پاسخ کاهش یافته و تعیین نقطه عملکرد

همانطور عنوان شد با تبدیل منحنی ظرفیت به شکل مشابه با طیف پاسخ و رسم آنها در یک دستگاه مختصات واحد، رابطه بین ظرفیت و نیاز مشخص می گردد. اگر طیف ظرفیت بالاتر از طیف پاسخ کاهش یافته (طیف نیاز) باشد، ساختمان در زلزله مورد نظر دچار هیچگونه خرابی نخواهد شد. اگر دو طیف متقاطع باشند محل تلاقی بیانگر سطح عملکردی سازه در برابر زلزله مورد نظر خواهد بود. محاسبه مقدار مرتبط در خصوص تعیین طیف پاسخ کاهش یافته نشان می دهد که برای سازه های مورد نظر طیف پاسخ کاهش یافته ما همان طیف اولیه می باشد و دلیل عمده آن یک طبقه بودن و ارتفاع کم سازه می باشد که موجب می شود ارتعاشات زمین با همان مشخصات اولیه از خاک به سازه به ما اعمال می شود. منحنی طیف پاسخ و طیف نیاز برای ساختمان شاهد در شکل ۶ نشان داده شده است به این دلیل که طیف ظرفیت و طیف پاسخ یکدیگر را قطع نمی کنند، در نتیجه نقطه عملکرد برای سازه مقاوم سازی نشده وجود ندارد و این خود دلیلی جهت مقاوم سازی این سازه خواهد بود.



شکل ۶: طیف ظرفیت سازه مقاوم سازی نشده و طیف پاسخ

مقایسه طیف ظرفیت و نیاز سازه مقاوم سازی شده و تعیین نقطه عملکرد آن در شکل ۷ نشان داده شده است. محل تلاقی بیانگر سطح عملکردی سازه در برابر زلزله مورد نظر خواهد بود. بر اساس مشاهدات انجام گرفته در شکل ۷ و مقایسه نتایج آن با شکل ۶ مشخص گردید که بهسازی ساختمان با روش شاتکریت باعث ارتقای سطح عملکردی ساختمان بنایی غیرمسلح گردیده است.



شکل ۷: تقاطع طیف ظرفیت سازه مقاوم سازی شده و طیف پاسخ

نتیجه گیری

مطالعه تحلیلی ساختمانهای شاهد و تقویت شده با شاتکریت نشان می‌دهد که استفاده از روش شاتکریت تاثیر قابل ملاحظه ای در افزایش ظرفیت برشی و شکل پذیری ساختمان داشته است. بر اساس نتایج مستخرج در این مطالعه افزایش ظرفیت برشی با استفاده از بهسازی به روش شاتکریت تا حدود ۸۰ درصد می باشد. از طرفی در این مطالعه افزایش و ارتقا ظرفیت سازه بنایی غیرمسلح بهسازی شده به روش شاتکریت با استفاده از تحلیل غیرخطی بار افزون و استخراج طیفهای ظرفیت و نیاز ارائه و نشان داده شد که ساختمان بهسازی شده با روش شاتکریت دارای عملکرد به مراتب بالاتری از ساختمان بهسازی نشده است.

مراجع

نشریه شماره ۳۶۰ دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (۱۳۹۲) سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور ، تهران، ایران

Abrams D, Smith T, Lynch J and Franklin S (2007) Effectiveness of Rehabilitation on Seismic Behavior of Masonry Piers, *Journal of Structure Engineering*, 133(1), 32–43

Abrams D.P. (1997) *Response of unreinforced masonry buildings*, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 1, No. 1

Abrams DP and Lynch JM (2001) Flexural behavior of retrofitted masonry piers, KEERC-MAE Joint Seminar on Risk Mitigation for Regions of Moderate Seismicity, Illinois, USA

ATC (1980), *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Applied Technology Council, Redwood City, California

Durgesh C and Rai (2004) Seismic Evaluation and Strengthening of Existing Buildings, Indian Institute of Technology, Kanpur , Final Draft

Rodriguez M (2004) confined masonry construction, World Housing Encyclopedia summary publication, EERI

Shakib H and Ahmadizadeh M (2002) 3-D Analysis of One-Story Stone Masonry Buildings Subjected to Earthquake Excitation, *12th Symposium on Earthquake Engineering (Keynote Speaking)*, Roorkee, India

.