

بهبود پاسخ تحلیل‌های غیرخطی لرزه‌ای سازه‌های بتن مسلح بر مبنای تعیین جابه‌جایی تسلیم (مقایسه روش‌های طیف نقطه تسلیم و طیف ظرفیت)

معصومه وزیری وفا^۱، عباسعلی تسنیمی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد سازه، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

tasnimi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۱/۹/۲۹] تاریخ پذیرش: [۱۳۹۲/۱۰/۲۱]

چکیده- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های مختلف نیازمند انجام تحلیل‌های غیرخطی (استاتیکی و دینامیکی) است. از روش‌های تحلیل دینامیکی غیرخطی می‌توان به تحلیل تاریخچه زمانی (TH) و از روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی می‌توان به تحلیل طیف ظرفیت با استفاده از مفهوم طیف غیرخطی با شکل پذیری ثابت (CSA) و تحلیل طیف نقطه تسلیم (YPSA) اشاره کرد. در تعیین پاسخ به عنوان روش اصلی نسبت به روش TH به عنوان روش شاهده و دقیق، مورد مقایسه قرار گرفته است. به این منظور ۳ سازه ساختمانی سه بعدی با تعداد طبقات ۸ و ۱۵ با شکل پذیری متوسط که در یک جهت شامل سیستم دوگانه (قب-دیوار) و در جهت دیگر شامل سیستم مقاوم قاب خمسی است، انتخاب شده‌اند. هر یک از این سازه‌ها ابتدا بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ و آینه نامه بتن ایران تحلیل و طراحی و سپس با سه روش YPSA و CSA و TH تحلیل شدند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد روش YPS در زلزله‌هایی که سازه را تا حد زیادی وارد ناحیه غیرخطی می‌کند، دقت کافی ندارد. همچنین این روش برای تعیین پاسخ، حساسیت بالایی به جابه‌جایی تسلیم تعیین شده دارد. از این رو راهکارهایی برای رفع این کاستی‌ها ارائه شده است. در ادامه نشان داده شده است که بهترین بازه برای در نظر گرفتن جابه‌جایی تسلیم در سازه‌های دوگانه بتن مسلح تا حد اکثر ارتفاع ۵۰ متر ۰,۸٪ تا ۰,۷٪ ارتفاع سازه است.

واژگان کلیدی: طیف ظرفیت؛ طیف نقطه تسلیم؛ تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی؛ جابه‌جایی تسلیم؛ سازه دوگانه بتن مسلح.

شتاب نگاشت ورودی، عدم انطباق شرایط ساختگاهی محل ثبت شتاب نگاشت با محل سازه مورد بررسی، وجود پارامترهای متنوع مؤثر بر پاسخ سازه مانند محتوای فرکانسی، دوره تنابوب خاک، مدت زمان زلزله، رفتارهای کاهنده سازه و سایر موارد، منجر به لزوم تحلیل‌های متعدد و بهره‌گیری از نتایج آماری و صرف زمان زیادی است [۱]. به همین دلیل برای

۱- مقدمه

امروزه کاربرد روش‌های تحلیل غیرخطی استاتیکی و دینامیکی مبتنی بر عملکرد و تغییر مکان، برای تحلیل سازه‌ها توسعه قابل توجهی یافته است. روش‌های دینامیکی غیرخطی از جمله تحلیل تاریخچه زمانی در زمرة دقیق‌ترین روش‌های تحلیل قرار دارند اما به دلیل فرآیند پیچیده، حساسیت زیاد پاسخ‌ها به

مفهوم طیف غیرخطی با شکل پذیری ثابت، (CSM) و طیف نقطه تسليم، (YPS)، به عنوان روش اصلی و روش دینامیکی تاریخچه زمانی به عنوان روش شاهد بر روی سازه های دوگانه بتن مسلح با شکل پذیری متوسط است. همچنین در ادامه به بررسی میزان دقیق پاسخ های به دست آمده از روش YPS و ارائه راهکارهایی برای افزایش دقیق این پاسخ ها پرداخته خواهد شد. با توجه به اینکه جابه جایی تسليم یکی از مهمترین پارامترها در فرایند تحلیل و طراحی با استفاده از روش YPS است و تاکنون در سازه های دوگانه بتن مسلح راه حل ساده ای برای تخمین این مقدار ارائه نشده است، در فرایند بهبود روش YPS بیشترین تمرکز برای تعیین این پارامتر در شروع تحلیل و طراحی است.

تحلیل استاتیکی غیرخطی

۲-۱- مفاهیم کلی

در هر دو روش تحلیل CSM و YPS از منحنی ظرفیت سازه یک درجه آزاد معادل استفاده شد. برای ترسیم این منحنی باید تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی بر روی سازه انجام شود. بارگذاری ثقلی ۱۰٪ بیش از حاصل جمع بارهای مرده و بار موثر زنده اعمال شد. الگوی بارگذاری جانبی متناسب با نیروهای جانبی حاصل از تحلیل دینامیکی طیفی در نظر گرفته شد. برای این منظور تعداد مودهای ارتعاشی مورد بررسی باید چنان انتخاب شد که کمینه ۹۰ درصد جرم سازه در تحلیل مشارکت نماید [۶]. همچنین در دستورالعمل بهسازی و تفسیر آن در بند ۷-۲-۳ گفته شده است که در تحلیل استاتیکی غیرخطی اثر مولفه های مختلف زلزله از جمع آثار ناشی از تغییر شکل سازه به اندازه تغییر مکان هدف در یک امتداد با نیروهای ناشی از تغییر شکل سازه به اندازه ۰۳۰ تغییر مکان هدف در امتداد عمود بر آن در نظر گرفته شد [۷]. در این مقاله ابتدا الگوی بار در هر دو جهت افقی سازه با ضریب مقیاس ۰/۳ و ۱ اعمال شد. سپس در گامی که سازه در جهت اصلی به ۱۰۰٪ تغییر مکان هدف رسید، تغییر مکان نقطه کنترل جهت دیگر استخراج شد، چنانچه این تغییر مکان برابر ۳۰٪

انجام محاسبات لرزه های سازه ها، استفاده از روش های استاتیکی غیرخطی مورد توجه قرار گرفته است. از روش های استاتیکی غیرخطی، می توان به دو روش طیف ظرفیت یا به اختصار^۱ CSM و طیف نقطه تسليم یا به اختصار^۲ YPS اشاره کرد. روش CSM به وسیله جان آ بلوم^۳ مطرح شد. تا سال ۱۹۹۰ این روش برای میرایی و کاهش طیف تقاضا براساس میرایی چرخه ای معادل موثر انجام می شد. این فرایند همان روش مطرح شده در ATC^۴ است. [Error! Bookmark not defined.] چوپرا و گوئل عدم تطابق نتایج حاصل از روش های معرفی شده به وسیله ATC^۴ و یا عدم همگرایی تحلیل با این روش را برای سیستم هایی با مشخصات دینامیکی گوناگون نشان دادند. آن ها روش جایگزینی مطرح کردند که در آن طیف نیاز، با کاهش طیف الاستیک با میرایی ۵٪ به طیف غیراستاتیک با شکل پذیری ثابت حاصل می شد. این روش در اصطلاح روش طیف ظرفیت با استفاده از مفهوم طیف غیرخطی با شکل پذیری ثابت نامیده شد [۳]. در سال ۱۹۹۹ روش CSM توسعه یافت و با نام طیف نقطه تسليم به وسیله مارک اشیم^۵ ارائه شد [۴]. روش YPS مشابه روش CSM است با این تفاوت که در روش YPS از طیف نقطه تسليم سازه استفاده می شود. محورهای افقی و قائم در روش YPS به ترتیب جابه جایی و مقاومت را در حالت تسليم است [۳]. مزیت مهم طیف نقطه تسليم کاربرد مستقیم آن در طراحی است. یکی از پارامترهای مورد نیاز در انجام طراحی با استفاده از YPS تقریب اولیه جابه جایی تسليم سیستم است. مارک اشیم و همکاران در سال ۲۰۰۰ از طیف نقطه تسليم برای طراحی سازه های فولادی استفاده کردند. آنها قاب های خمی را با استفاده از سه روش YPS، CSM و T.H. تحلیل کردند و مشاهده کردند نتایج روش CSM در همه موارد دست پایین بود و نتایج بدست آمده از YPS از تقریب بهتری برخوردار بود [۵]. هدف از انجام این پژوهش بررسی دقیق دو روش طیف ظرفیت با استفاده از

۱. Capacity Spectrum Methode

۲. Yield Point Spectra

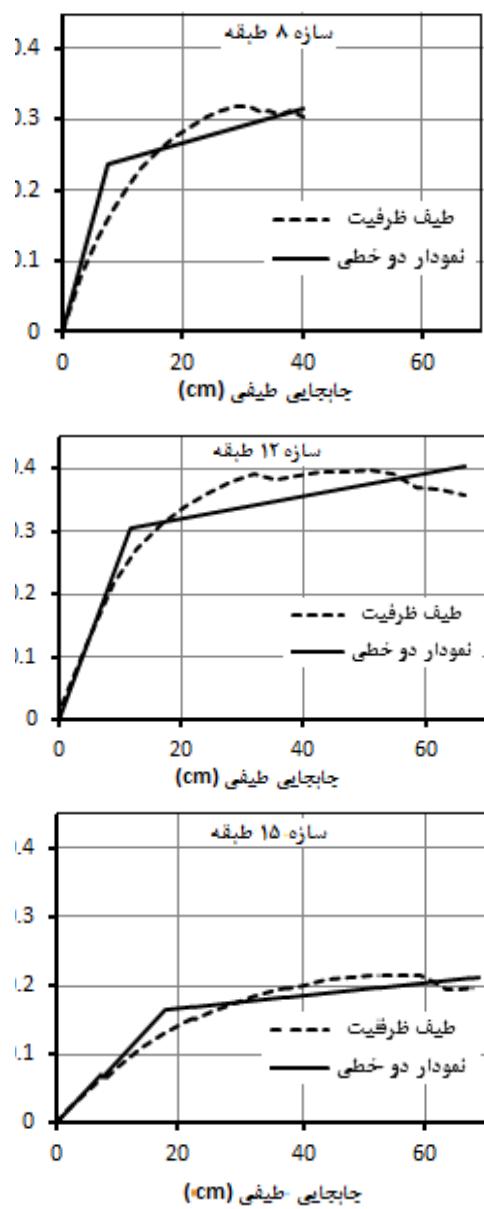
۳. John A Blume

۴. Mark Ascheim

۲-۳- نحوه انجام روش YPS

در روش YPS اگر از منحنی ظرفیت سازه استفاده شود با انجام فرایند دوخطی‌سازی منحنی، مقادیر تغییر مکان تسلیم و برش پایه سیستم چند درجه آزاد تعیین و سپس با استفاده از روابط (۶) تا (۱۰) به مقادیر مانند در سیستم یک درجه آزاد معادل تبدیل می‌شوند.

تغییر مکان هدف در این جهت باشد، تحلیل پایان یافته است ولی چنانچه این تغییر مکان متفاوت با میزان یاد شده باشد ضریب‌ها تغییر کرده و تحلیل دوباره انجام می‌شد [۸]. سرانجام طیف‌های ظرفیت به نمودارهای دوخطی تبدیل می‌شوند. در این مقاله برای دو خطی‌سازی طیف ظرفیت از روش تساوی سطوح انرژی استفاده شد. منحنی‌های ظرفیت سه سازه مورد مطالعه و نمودارهای سه خطی آنها در شکل ۱ ارائه شده‌اند.



شکل ۱- منحنی ظرفیت و نمودار دوخطی سازه‌ها

۲-۴- نحوه انجام روش CSM

برای تعیین پاسخ با استفاده از روش CSM ابتدا نمودار دو خطی طیف ظرفیت سازه با طیف پاسخی که شکل پذیری آن واحد فرض شده است، مقایسه شد. فرض شکل پذیری یک به معنای فرض رفتار خطی سازه در زلزله مورد نظر است. اگر طیف پاسخ فرض صحیح است و نقطه تقاطع این دو، پاسخ سازه یک درجه آزاد معادل است ولی اگر طیف پاسخ، نمودار دو خطی را در ناحیه غیرخطی قطع کند، رفتار سازه تحت زلزله مورد نظر وارد حوزه غیرخطی شده است و فرض رفتار الاستیک سازه نادرست است. در این حالت با فرض شکل پذیری جدید و بزرگتر از یک، که مقدار آن از تقسیم تغییر مکان حاصل از مرحله قبل بر تغییر مکان تسلیم سازه یک درجه آزاد به دست می‌آید، عملیات تکرار می‌شود. این فرایند تا جایی ادامه می‌یافتد که شکل پذیری به دست آمده با فرض اولیه یکسان باشد. سپس با داشتن جایه‌جایی سازه یک درجه آزاد معادل و رابطه (۵) تغییر مکان انتهایی سازه اصلی و جایه‌جایی نسبی طبقات تعیین شد.

(۵)

$$u_{r,j} = \Gamma_j \times \phi_{r,j} \times D$$

در این رابطه $u_{r,j}$ تغییر مکان انتهایی سازه با فرض تغییر شکل به صورت مود زام، Γ_j ضریب مشارکت مودی در مود زام، $\phi_{r,j}$ تغییر مکان انتهایی سازه در مود زام و D تغییر مکان نهایی حاصل از روش طیف ظرفیت برای سازه درجه آزاد معادل است.

(۶)

$$u_u^{mdof} = \frac{L_{eq}}{M_{eq}} u_u^{sdof} \quad (12)$$

در این رابطه $\frac{L_{eq}}{M_{eq}}$ ضریب مشارکت مودی است [۳].

۳- سازه‌های بررسی شده

در این مقاله ۳ سازه سه بعدی ۸ و ۱۵ طبقه با شکل پذیری متوسط، بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ و آین نامه بتن ایران تحلیل و طراحی شدند. در طراحی، منطقه با خطر نسبی زیاد، خاک نوع ۲ و کف طبقات به صورت دیافراگم صلب در نظر گرفته شده است. سیستم مهار جانبی سازه‌ها، در یک جهت سیستم دوگانه (قاب خمشی و دیوار برشی) و در جهت دیگر قاب خمشی بتن مسلح است. پلان طبقات و محل دیوار برشی در شکل ۲ نشان داده شده است. ارتفاع هر طبقه $3/2$ متر و طول هر دهانه در هر دو جهت ۴ متر اختیار شده است. بارگذاری ثقلی بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و با فرض کاربری مسکونی در جدول ۱ و در جدول ۲ مشخصات دینامیکی سازه‌ها را برای مود اول درجه شده از جهتی که سازه دارای سیستم دوگانه مود اول را درآورد.

۴- انتخاب زلزله‌های مورد استفاده

برای انجام تحلیل‌های YPS، CSM و T.H از هفت شتاب‌نگاشت استفاده شد. معیار خسارت در نظر گرفته شده برای همپایه کردن شتاب‌نگاشت‌های وارد بر سازه‌های ۱۲ و ۱۵ طبقه، بر طبق استاندارد ۲۸۰۰ تعیین شد [۶]. در واقع این معیار طوری تعیین شده که میانگین شاخص Sa در شتاب‌نگاشت‌ها، در بازه دوره تناوب $T/2$ تا $1/T_0$ بالاتر از شاخص Sa در طیف استاندارد آین نامه ۲۸۰۰ باشد. در سازه ۸ طبقه این معیار بر حسب بیشینه شتاب اعمال شده به سازه منظور شد. در این سازه بیشینه شتاب کلیه شتاب‌نگاشت‌ها به $g^{0.4}$ مقیاس شدند. در جدول ۳ نام اختصاری شتاب‌نگاشت‌ها به همراه تعداد طبقات هر سازه و مشخصات آنها آورده شده است. ضرایب مقیاس به دست آمده در سازه‌های ۱۲ و ۱۵ طبقه به ترتیب 0.89 و 0.95 است.

$$u_u^{sdof} = \frac{M_{eq}}{L_{eq}} u_u^{mdof} \quad (13)$$

$$C_y^{sdof} = \frac{V_y^{mdof}}{\alpha W_t} \quad (14)$$

$$M_n = \phi_n^T M \phi_n \quad (15)$$

$$L_n = \phi_n^T M \{1\} \quad (16)$$

$$\alpha_n = \frac{(L_n)}{W_t M_n} g \quad (17)$$

در روابط فوق u_y^{mdof} و V_y^{mdof} به ترتیب تغییر مکان و برش پایه سیستم اصلی، و به ترتیب تغییر مکان و ضریب برش پایه سیستم یک درجه آزاد معادل، ϕ_n شکل مودی در مود m ، W وزن کل سازه و α_n ضریب جرم موثر مودی در مود m است. در صورتی که حالت تغییر شکل سازه به صورت مودال نباشد، ϕ_n و α_n مربوط به مود غالب یا همان مود اول خواهد بود. در صورتی که از طیف ظرفیت سازه برای انجام تحلیل استفاده شود، با انجام فرایند دوخطی‌سازی منحنی، مقادیر تغییر مکان تسليم و برش پایه سیستم تک درجه آزاد معادل مستقیماً تعیین می‌شود. موقعیت این نقطه با طیف پاسخی که شکل پذیری آن واحد می‌باشد، سنجیده می‌شود. اگر نقطه جاری شدگی مورد نظر بیرون یا روی منحنی با شکل پذیری یک قرار بگیرد، سازه در زلزله مورد نظر وارد حوزه غیرخطی نشده است ولی اگر زیر آن قرار بگیرد، می‌توان با سمعی و خطا یا با درون یابی خطی مقدار شکل پذیری را در نقطه مورد نظر تعیین کرد. با تعیین مقدار شکل پذیری سازه یک درجه آزاد معادل می‌توان جابه‌جایی نهایی آن را با استفاده از رابطه (11) تعیین کرد.

$$u_u^{sdof} = \mu \times u_y^{sdof} \quad (18)$$

در این مرحله جابه‌جایی نهایی سیستم چند درجه آزاد معادل با استفاده از رابطه (12) به تغییر مکان انتهایی سازه اصلی تبدیل می‌شود:

این نرم افزار منحنی اندرکنشی P-M-M را با توجه به مقطع ستون و مصالح اختصاص داده شده به مقطع ارائه می کند. دیگر قابلیت آن مدل کردن کلیه مشخصات خمینی-محوری و برشی در دیوارها است به شکلی که هر المان دیوار چهار گره را به هم مرتبط کرده و دارای ۲۴ درجه آزادی است. برای هر المان دیوار برشی باید یک جزء مرکب دیوار برشی اختصاص داده و برای هر جزء مرکب دیوار برشی نیز باید مشخصات برشی و مشخصات خمینی-محوری با توجه به مراحل زیر تعیین شود.

(۱) مشخصات برشی

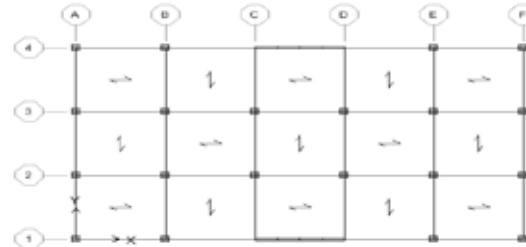
در برنامه مصالح برشی^۱ و ضخامت دیوار معرفی شده برای مراحل مراحل الاستیک یا غیرالاستیک تعریف شده است. با توجه به اینکه هر چه ارتفاع سازه بیشتر شود، از اهمیت تغییر شکل های برشی کاسته شده، و رفتار خمینی اهمیت بیشتری پیدا می کند و نیز با توجه به اینکه سازه های بکار رفته در این پژوهش بلند هستند، رفتار برشی مصالح به صورت خطی در نظر گرفته شده است. مقاومت برشی مصالح با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه می شود^[۱۰]:
(۱۳)

$$V_c = 1.0 \sqrt{f_c}$$

به منظور در نظر گرفتن اثرات ترک خوردگی در بتون مدول برشی مصالح به کار رفته $1/4$ برابر مدول برشی حالت ترک-خوردگی

جدول ۲- مشخصات دینامیکی سازه ها

ضریب مشارکت مودی	ضریب جرم موثر مودی	ضریب تناوب مودی	دوره تناوب	تعداد طبقات
۱/۴۶	۰/۶۴	۱/۲۳۰		۸
۱/۴۶	۰/۶۵	۱/۶۸۵		۱۲
۱/۴۸	۰/۶۴	۲/۰۷۶		۱۵

^۱. Shear material

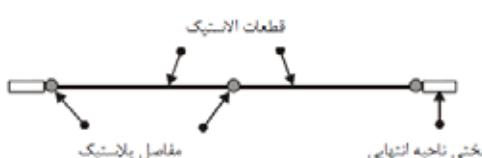
شکل ۲- پلان سازه ها

۵- مدل سازی

در این مقاله برای مدل سازی سازه ها و انجام تحلیل غیرخطی از نرم افزار PERFORM3D که در آن برای مدل سازی رفتار غیرخطی تیره ها و ستون ها از مدل مفصل پلاستیک متبرکز با مدل رفتاری سه خطی استفاده شد^{[۷] و [۹]}. یکی از مهم ترین ورودی ها برای مدل سازی مفاصل پلاستیک ستون ها، معرفی منحنی اندرکنشی نیروی محوری- لنگر خمینی مقطع برای سازه است. برای این منظور از نرم افزار SAP2000 استفاده شد.

جدول ۱- بارهای ثقلی وارد بر سازه ها

۶۷۰	بار مرده کف طبقات در واحد سطح (۲m)
۲۰۰	بار زنده کف طبقات در واحد سطح (۲m)
۶۰۰	بار مرده کف بام در واحد سطح (۲m)
۱۵۰	بار زنده کف بام در واحد سطح (۲m)
۳۰۰	وزن یک متر مربع دیوارهای خارجی
۱۷۶	وزن یک متر مربع دیوارهای جانپناه
۲۵۰۰	وزن مخصوص بتون



شکل ۳- مدل مفصل

پلاستیک در نرم افزار Perform^[۹]

باشد. به همین دلیل رفتار خمشی - محوری دیوار به صورت غیرالاستیک در نظر گرفته شده است. المان فایبر برای اعمال رفتار غیرخطی، تابع منحنی تنش-کرنش بتن و فولاد است [۹]. در این مقاله برای معرفی مصالح بتنی از مدل رفتاری مندر استفاده شده است. بیشینه مقاومت فشاری بتن ۲۵ مگاپاسکال و کرنش مانند این مقاومت ۰/۰۰۲ است. همچنین کرنش نهایی بتن محصور نشده ۰/۰۰۳۵ در نظر گرفته شده است. در آرماتور به کار رفته تنش جاری شدگی ۴۲۰ مگاپاسکال، مدول برشی ارجاعی ۲۰۰۰۰۰ مگاپاسکال و شیب سخت کرنشی ۰/۱ شیب ناحیه الاستیک در نظر گرفته شده است. همچنین سختی درجهت عرضی و سختی خمشی خارج از صفحه و نیز رفتار خارج از صفحه دیوار الاستیک در نظر گرفته شده اند [۹]. مدول ارجاعی در این حالت برابر ۰/۳۵ برابر مدول ارجاعی بتن در نظر گرفته می شود. دلیل این امر در نظر گرفتن کاهش سختی در اثر ترک خوردگی در بتن دیوار است [۱۰]. در برنامه PERFORM^{3D} مدل های مختلف رفتار چرخه ای لرزه ای مانند مدل تاکدا و امثال آن وجود ندارد و به جای آن از منحنی پوش استفاده می شود. برای کاهش سختی اعضا با افزایش چرخه ها از ضربی اتلاف انرژی استفاده می شود. برای این منظور در نقاط مختلف از منحنی پوش این ضربی تعریف می شود. این ضربی نسبتی از مساحت حلقه ای کاهش یافته به مساحت حلقه ای کاهش نیافته است [۹]. تاکدا (۱۹۷۰) مدلی برای رفتار چرخه ای لرزه ای ارائه داد. در این مدل منحنی نیرو تغییر مکان در هر سیکل به سمت نقطه اوج حلقه خارجی سیکل قبل حرکت می کند. همچنین در هر سیکل، سختی باربرداری از سختی بارگذاری در آن سیکل کمتر است. (شکل ۵) سختی باربرداری در هر سیکل با استفاده از رابطه (۱۴) بدست می آید.

$$K_u = K_0 \left(\frac{d_y}{d_m} \right) \alpha \quad (14)$$

که در این معادله K_u سختی باربرداری، K_0 سختی بارگذاری، d_y تغییر مکان جاری شدن، d_m ماکریزم تغییر مکان بعد از نقطه جاری شدن و α پارامتر

جدول ۳- زلزله ها و شتاب نگاشتهای منتخب برای تحلیل

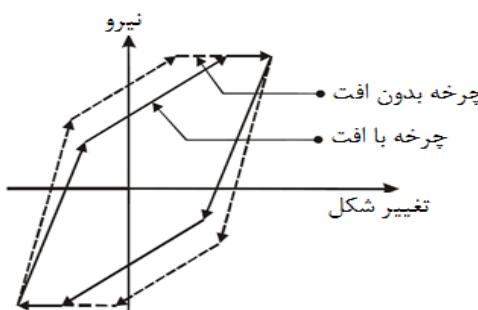
نام زلزله و ایستگاه آن	نماد زلزله و تعداد طبقه
Duzce-Sakarya	(۸) D-S
کوکالی-مکیدیکو Kocaeli- Mecidiyekoy	(۱۵ و ۱۲) K-M
لوماپریتا-اپل ۲E Loma Prieta -Apeel ۲E	(۱۵ و ۱۲، ۸) L-A-۳
لوماپریتا-اپل ۷- پولگاس Loma Prieta-Apeely Pulgas	(۱۵ و ۸) L-A-۷P
لوماپریتا-اپل ۱۰- اسکای لاین Loma Prieta-Apeel ۱۰ Skyline	(۸) L-A-۱۰S
شهرکرن- مدرسه نفت لینکلن Kern County-Taft Lincoln School	(۱۲ و ۸) K-T
Loma Prieta -Fremont Mission	(۱۵ و ۱۲، ۸) L-F
لوما پریتا- بارت هایوارد Loma Prieta-Hayward	(۸) L-H
نورتریج- اینگلیوود- اتحادیه نفت Northridge-Inglewood-Union Oil Yard	(۱۵ و ۱۲) N-I
نورتریج- بالدوین هیلز Northridge-Baldwin Hills	(۱۵ و ۸، ۱۲) N-B
کیپ مندوکینو- فرودگاه شلتر کرو Cape Mendocino (Shelter Cove Airport)	(۱۵) C-S

آنها لحاظ می شود. همچنین ضخامت موثر دیوار به منظور در نظر گرفتن سطح موثر در برش ۰/۸ برابر ضخامت دیوار در نظر گرفته شده است [۱۰].

(۲) مشخصات خمشی - محوری

به منظور معرفی مشخصات خمشی - محوری به دیوارها از المان فایبر با سطح مقطع الاستیک یا غیرالاستیک استفاده شده است. در دیوارهای برشی ممکن است بتن در کشش ترک برداشته و محور خشی به سمت ناحیه فشاری جابه جا شود که این اتفاق اندرکش بین خمش و کشش محوری بوجود می آورد. این جابه جایی محور خشی در قلمرو الاستیک در نظر گرفته نمی شود. اما در صورت وجود ترک خوردگی یا تسليم، جابه جایی محور خشی می تواند تاثیر مهمی روی رفتار داشته

به گونه‌ای که سازه ظرفیت پاسخ‌گویی به آن شتاب را ندارد، در بعضی از موارد نیز زلزله وارد شده سازه را تاحد زیادی غیرخطی می‌کند و پاسخ‌های به دست آمده از این روش بسیار دست بالا می‌شود. در واقع نتایج نشان می‌دهند این روش زمانی که سازه تحت رکورد اعمال شده، غیرخطی می‌شود، از دقت کافی برخوردار نیست. حتی میانگین‌گیری از پاسخ‌ها با توجه به این نتایج بی معناست. همچنین مشاهده می‌شود که تحلیل CSM در حالت کلی پاسخ‌ها را دست پایین تقریب می‌زند ولی از دقت خوبی برخوردار است.^{۱۲} طبقه آورده شده است. جابه‌جایی به دست آمده در این مرحله جابه‌جایی سازه یک درجه آزادی معادل است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که در تحلیل YPS در بعضی از موارد زلزله اعمال شده بسیار قوی است طوری که سازه ظرفیت پاسخ‌گویی به آن شتاب را ندارد، در بعضی از موارد نیز زلزله وارد شده سازه را تاحد زیادی غیرخطی می‌کند و پاسخ‌های به دست آمده از این روش بسیار دست بالا می‌شود. در واقع نتایج نشان می‌دهند این روش زمانی که سازه تحت رکورد اعمال شده، غیرخطی می‌شود، از دقت کافی برخوردار نیست. حتی میانگین‌گیری از پاسخ‌ها با توجه به این نتایج بی معناست. همچنین مشاهده می‌شود که تحلیل CSM در حالت کلی پاسخ‌ها را دست پایین تقریب می‌زند ولی از دقت خوبی برخوردار است.



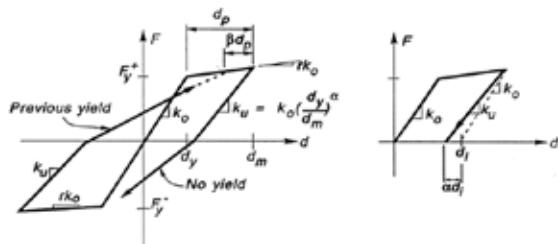
شکل ۴- حلقه‌های رفتار چرخه‌ای با کاهش سختی^[۲]

کاهش سختی باربرداری است. این مدل با استفاده از پارامتر β میزان جذب انرژی را در المان‌های مختلف متایز می‌کند (شکل ۵). هر چه میزان β بیشتر باشد، میزان جذب انرژی بیشتر است. این مدل برای سازه‌های بتمن مسلح کترل شونده به وسیله خممش و با جزئیات طراحی خوب، مناسب است^[۱۱]. با توجه به مرجع [۱۲] در سازه‌های پژوهش، این مدل استفاده شده است. برای المان‌های تیر $\alpha = 0$ ، $\beta = 0/6$ و در المان‌های ستون $\alpha = 0/5$ ، $\beta = 0$ بکار رفته است^[۱۲]. با توجه به این که سازه‌های مورد مطالعه، بر اساس آینه‌نامه طراحی شده و اعضای آن کترول شونده به وسیله خممش هستند، از این مدل برای رفتار چرخه‌ای استفاده شد. در المان‌های فایبر نیز به منظور لحاظ کردن رفتار چرخه‌ای لرزه‌ای در مصالح بتنی، پارامتر افت انرژی با توجه به قانون افت سختی در مدل مندر، در نظر گرفته شد. در حالی که در آرماتورها این ضریب ۱ منظور می‌شود^[۱۴].

۶- مقایسه دقت دو روش CSM و YPS در مقایسه با نتایج به دست آمده از تحلیل تاریخچه زمانی

برای مقایسه دقت دو روش مذکور با تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی، مقادیر خطای حاصل هر دو روش با روش تاریخچه زمانی مقایسه شده است. خطای مذکور برابر است با نسبت تفاضل نتیجه تحلیل مورد نظر با نتیجه تحلیل تاریخچه زمانی اعمال هر دو مولفه شتاب (به نتیجه تحلیل تاریخچه زمانی). مقادیر جابه‌جایی بام به عنوان پاسخ سازه با استفاده از هر یک از تحلیل‌های مذکور و میزان خطای پاسخ با میانگین‌گیری از پاسخ‌ها در جدول ۵ ارائه شده‌اند. همچنین به منظور مقایسه بهتر، نتایج در نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ۶ و ۷ نیز ارائه شده‌اند. در شکل ۸ یک نمونه از چگونگی انجام دو روش YPS و CSM در سازه ۱۲ طبقه آورده شده است. جابه‌جایی سازه یک درجه آزادی معادل است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که در تحلیل YPS در بعضی از موارد زلزله اعمال شده بسیار قوی است

مانند بیشینه مقاومت سازه در نظر گرفته شد. سپس در هر یک از نقاط مشخص شده تحلیل طیف نقطه تسليم انجام شده و میانگین نتایج هفت ستاد نگاشت با میانگین نتایج بدست آمده از تحلیل تاریخچه زمانی مقایسه شد. در پایان با توجه به خطای به دست آمده در هر نقطه بهترین بازه برای در نظر گرفتن جابه جایی تسليم تعیین شد. برای سازه ۸ و ۱۵ طبقه، بهترین بازه برای جابه جایی تسليم بر حسب درصدی از ارتفاع، به ترتیب ۰/۵۷ تا ۰/۹۴، ۰/۵۹ تا ۰/۸۰ و ۰/۵۶ تا ۰/۸۴٪ ارتفاع ساختمان به دست آمده که در شکل ۹ ارائه شده است. بنابراین در تحلیل YPS برای به دست آوردن نتایج مناسب بهتر است جابه جایی تسليم در بازه ۰/۶٪ تا ۰/۸٪ ارتفاع ساختمان و برش پایه تسليم، مانند بیشینه مقاومت سازه در نظر گرفته شود. قابل ذکر است که پاسخ های به دست آمده در دو سازه ۱۲ و ۱۵ طبقه به ترتیب برای شتاب های L-H و K-M غیر واقعی و بسیار دست بالا است. به همین دلیل این دو شتاب در فرایند میانگیری حذف شدند. علت این مساله را می توان در منظور نشدن افت مقاومت در تغییر مکان های بالا هنگام تعیین نمودار دو خطی دانست (شکل ۱۰). بنابراین تحلیل YPS فقط تا زمانی پاسخ های مناسبی ارائه می کند که سازه وارد ناحیه افت مقاومت نشده باشد.



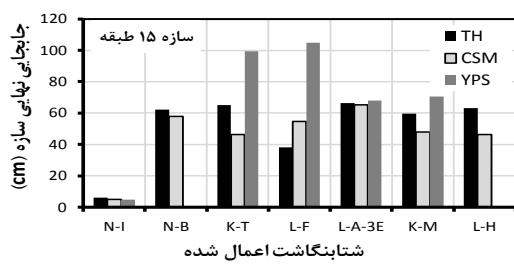
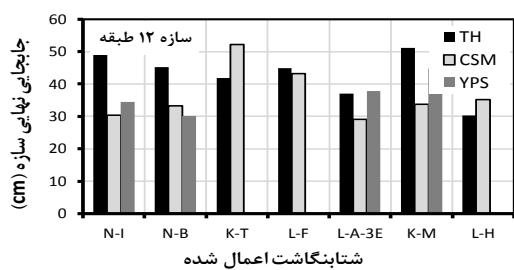
شکل ۵- مدل تاکدا برای منحنی چرخه ای [۱۳]

۷- تعیین بازه مناسب برای جابه جایی تسليم

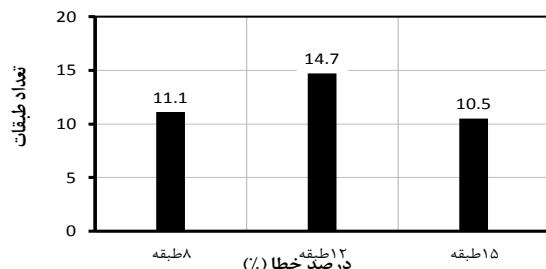
یکی از مهمترین عوامل موثر بر دقیق پاسخ به دست آمده از روش YPS، نحوه تعیین جابه جایی تسليم است. برای این منظور از سیستم ارجاعی - خمیری معادلی که در آن سختی کاهش یافته بر مبنای سختی و تری منظور شود استفاده شده است. در سازه های بتن مسلح رفتار ارجاعی غیرخطی قبل از Hu75/Hu۰ ناشی از ترک خوردن منظور می شود [۱۵]. ملاک تعیین بهترین بازه، بازه ای است که در آن بتوان دقیق ترین پاسخ -ها را از تحلیل YPS به دست آورد. به این منظور در کلیه سازه ها در بازه تقریبی ۰/۵٪ تا ۱/۰۵٪ ارتفاع ساختمان، نقاط مختلفی به عنوان جابه جایی تسليم و برش پایه تسليم سازه

جدول ۵- نتایج تحلیل سازه در سه روش CSM، YPS و T.H

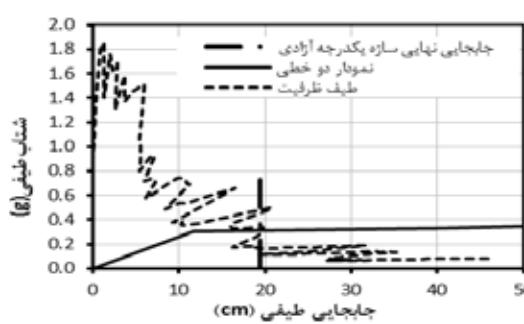
خطا	میانگین پاسخ	نام اختصاری زلزله های اعمال شده							نوع تحلیل	حداکثر جابه جایی نهایی (cm)
		L-A-1-S	L-A-7P	L-A-3E	L-F	K-T	N-B	D-S		
۱۹/۳۳	۳۲/۹۸	۱۲/۶۵	۱۱/۶۱	۱۹/۱۱	۱۹/۸۹	۱۷/۳۱	۲۱/۷۶	تاریخچه زمانی		
۰/۱۱۱	۱۷/۱۷	۲۰/۷۵	۱۸/۲۷	۱۴/۷۶	۲۲/۱۴	۱۵/۳۵	۱۲/۲۵	CSM	سازه ۸ طبقه	
-	-	بدون جواب	۲۲/۲۵	۱۴/۴۶	۲۲/۲۵	۳۶/۷۱	۱۲/۴۶	YPS		
		N-I	N-B	K-T	L-F	L-A-3E	K-M	L-H		
۴۳/۰۴	۵۱/۰۸	۴۵/۱۷	۴۱/۸۸	۴۴/۹	۳۶/۹۸	۵۱/۰۷	۳۰/۲۲	تاریخچه زمانی		
-۰/۱۴۷	۳۶/۷	۳۰/۳	۳۳/۲	۵۲/۱	۴۳/۲	۲۹/۱	۳۳/۸	CSM	سازه ۱۲ طبقه	
-	-	۳۴/۴۳	۳۰/۱۲	بدون جواب	بدون جواب	۳۷/۸۷	۴۴/۷۶	بدون جواب	YPS	
		C-S	K-M	L-F	L-A-3E	N-I	N-B	L-A-7P		
۵۱/۵	۶/۱۲	۶۲/۲۸	۶۴/۹۷	۳۸/۰۳	۶۶/۲۲	۵۹/۷	۶۳/۲۹	تاریخچه زمانی		
-۰/۱۰۵	۴۶/۱۱	۴/۹۰	۵۷/۷	۴۶/۳	۵۴/۵	۶۵/۳	۴۷/۹	۴۶/۲	CSM	سازه ۱۵ طبقه
-	-	۴/۸۹	بدون جواب	۹۹/۴۸	۱۰۴/۷۱	۶۸/۰۶	۷۰/۶۸	بدون جواب	YPS	



شکل ۶-نتایج تحلیل سازه در سه روش YPS، CSM و T.H



شکل ۷-میانگین خطای روش CSM نسبت به T.H در سازه‌ها



الف- نحوه تعیین پاسخ در روش CSM

۸- نتیجه‌گیری

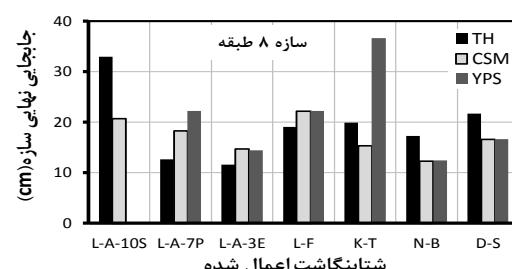
۱- به طور کلی روش تحلیل CSM نتایجی با تقریب خوب و دقت مناسب و محافظه کارانه به دست می‌دهد. نتایج تحلیل YPS حساسیت زیادی نسبت به چگونگی تعیین نقطه تسليم در سیستم دارد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد بهترین بازه برای در نظر گرفتن جایه‌جایی تسليم در سازه‌های بتن مسلح دوگانه دیوار- قاب، با ارتفاع حداقل ۵۰ متر، ۰/۰۸٪ ارتفاع سازه است. بر این اساس نظریه این جایه‌جایی تسليم برابر بیشینه مقاومت سازه است.

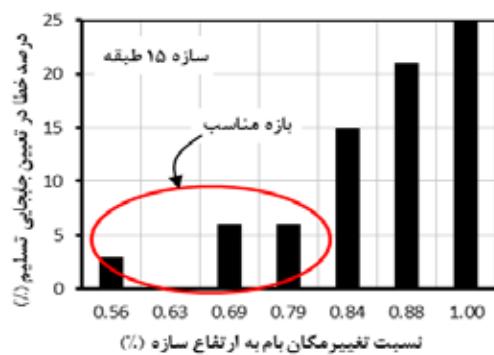
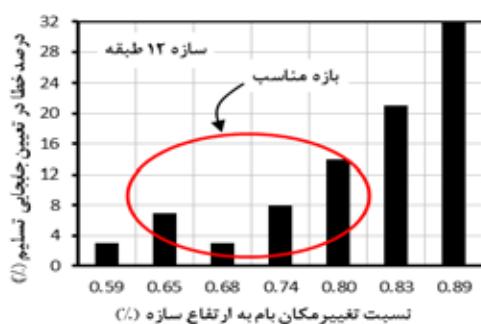
۲- از آنجا که استفاده از منحنی دوخطی، افت مقاومت در تغییر مکان‌های بالا را در نظر نمی‌گیرد، روش‌های استاتیکی غیرخطی (تحت زلزله شدید) پاسخ مناسبی به دست نمی‌دهند، ولی تحت شتاب‌نگاشتهایی که سازه را وارد ناحیه افت مقاومت نکنند، پاسخ‌ها مناسب است.

۳- نتایج به دست آمده از تحلیل YPS در مقایسه با نتایج به دست آمده از تحلیل CSM برای افت مقاومت مشابه در ظرفیت و تقاضا، حساسیت بیشتری نشان می‌دهند.

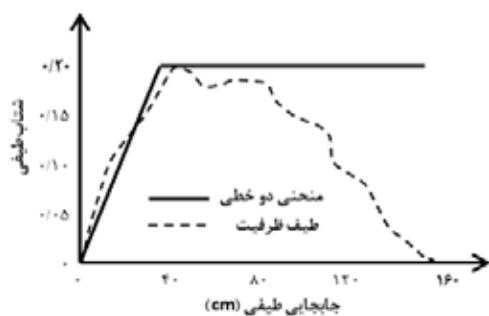
۹- مراجع

- [۱] تابش پور، محمدرضا، «کاربرد روش بارافزون (Pushover) و طیف ظرفیت در مقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌های موجود»، مجموعه مقالات اولین همایش بین‌المللی مقاوم سازی لرزه‌ای، تهران، ایران، ۵-۷ اردیبهشت، (۱۳۸۵).



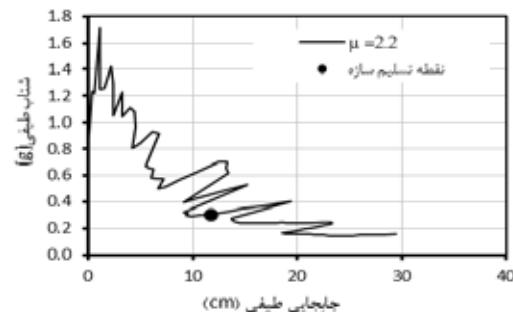


شکل ۹- تعیین بازه مناسب برای جابه جایی تسليم



شکل ۱۰- در نظر نگرفتن افت مقاومت در منحنی دو خطی

- [۶] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، «آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله: استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم»، (۱۳۸۴).
- [۷] سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، دستور العمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود، دفتر



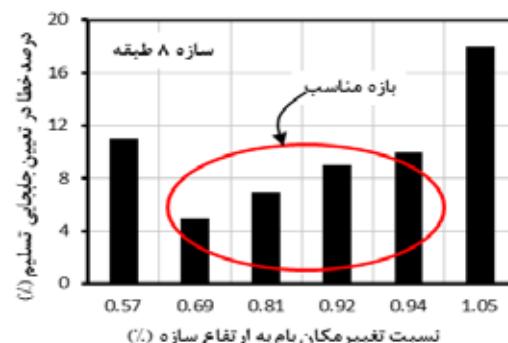
شکل ۸- نحوه تعیین پاسخ در دو روش YPS و CSM (سازه ۱۲ طبقه)

[2] Freeman, A , “Review of Development of the Capacity Spectrum Method”, ISET Journal of Earthquake Technology, Vol. 41, No.1, pp. 1-13., (2004).

[۳] نیک نهاد، دارا، «آنالیز سازه های پیچیده با استفاده از متد سپکتر پیوسته (YPS)»، پایان نامه کارشناسی ارشد، تهران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، (۱۳۸۲).

[4] Aschheim, M., “Yield Point Spectra: a simple alternative to the capacity spectrum method”, Proceedings of 1999 SEAOC Convention, Reno, Nevada, U.S.A.(Preprint),(1999).

[5] Aschheim, M., And Edgar F. Black, “Seismic Design and Evaluation of Multistory Building Using Point Spectra”, Report to University of Illinois at Urbana-Champaign Urbana, Illinois, Mid-America Earthquake Center, July (2000).



- School of The Ohio State University., (2007).
- [12] Dwairi, H.M., and Kowalsky, M.J., and Nau, J.M., "Equivalent Damping in Support of Direct Displacement-Based Design." Journal of Earthquake Engineering, Vol. 11, No .4, pp. 512-530, (2007).
- [13] Athol, J.Carr, "c", Department of Civil Engineering, University of CANTERBURY., (2005)
- [13] Athol, J.Carr, "Hysteresis Loop data for Programs PUAUMOKO2D", Department of Civil Engineering, University of CANTERBURY., (2005)
- [14] Xue Weichen, And Jia Xuan Li.,And Jack Cheang., "Seismic Performance Analysis Of Wenchuan Hospital Structure With Viscous Dampers" Journal of The Structural Design Of Tall Buildings, Vol. 19, No. 4, pp. 397-419, (2010).
- [15] معصومی، علی، «تغیین ضریب رفتار قاب‌های خمشی بتن مسلح با تأکید بر اثر مقاومت افزون و درجه نامعینی»، پایان نامه دکترا، تهران، دانشگاه تربیت مدارس، (۱۳۸۲).

امور فنی و تدوین معیارها، معاونت امور فنی و تدوین معیارها و کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله، (۱۳۸۵).

[۸] سروقد مقدم، عبدالرضا ، «برخی تجارب کاربرد آنالیز استاتیکی غیرخطی درپروژه‌های بهسازی»، یازدهمین کارگاه تبادل تجربیات بهسازی لرزه‌ای، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، (۱۳۸۵).

[۹] زرین قلم، یاشار، «تحلیل غیر خطی و ارزیابی عملکرد سازه‌های سه بعدی (راهنمای کامل PERFORM^{3D})»، موسسه فرهنگی هنری دیاگران تهران، (۱۳۸۸).

[10] Graham, H. Powell., "Detailed Example Of a Tall Shear Wall Building Using PERFORM 3D" Copyright Computers and Structure, Inc.,(2007).

[11] Chowdhury, T., "Hysteretic Modeling of Shear-Critical Reinforced Concrete Columns", MSc Thesis, Department of Civil Engineering, Graduate