Archive of SID

تغییر شکل پلاستیک تجمعی طبقه به عنوان شاخصی از خسارت موضعی قاب‌های خمشی فولادی در سطح طبقه*

محسن گرامی (1) فرهاد دانشجو (2)

چکیده دستورالعمل‌های FEMA273 حداکثر نیازهای تغییرشکل را به سطوح عملکرد، مرتبط می‌سازند، در صورتی که چنین ضوابطی در مورد نیازهای تغییر شکل تجمعی موضعی اعضاء وجود ندارد. از طرفی پارامتر نیاز تغییر شکل تجمعی، معیاری را برای میزان خسارت ارائه کرده و می‌تواند تصویر متفاوتی را از پاسخ سازه نسبت به پاسخ‌های حاصل از حداکثر نیازهای تغییر شکل ارائه نماید. به منظور مقایسه پارامترهای پاسخ حداکثر و تجمعی، و از مطالعه موردی بر روی سازه‌های 4، 10 و 25 طبقهٔ سه دهانه تحت رکورد زلزلهٔ منجیل، سه پارامتر حداکثر پاسخ با پارامتر drift تجمعی در هریک از طبقات قاب‌های یاد شده محاسبه و مورد ارزیابی قرار می گیرد. نتایج مربوط به خسارت تجمعی در سطوح ایمنی جان و جلوگیری از شکست، بسیار مهم بوده و ممکن است بر سطوح رفتاری بالاتری مانند خسارت‌های قابل تعمیر، نیز اثر بگذارند. خسارت وارده به سازه توسط شاخص‌های آسیب پذیری که تابعی از شکل پذیری سازه، انرژی مستهلک شده در سازه، دامنه، تعداد دوره‌های بارگذاری، محدوده حداکثر جابه‌جائی طبقه و... می باشند، معرفی و مقدار عددی حاصل از آن بر اساس طبقه بندی مشخصی به خسارت وارده به عضو یا کل سازه مرتبط می شوند. در این مطالعه‌از معرفی محدودهٔ حداکثر جا به جایی طبقه ($\Delta\delta_{Ps,i}$) به عنوان شاخصی از خسارت سازه‌ای در سطح طبقه، مشخص گردید که تخمین نیازهای تغییر شکل تجمعی در سازه‌های غیرارتجاعی (در معرض زمین لرزه‌های بلند مدت و با اثرات قابل توجه مودهای بالاتر و به علت افزایش تعداد چرخه‌های غیرارتجاعی) امری مهم و بحرانی در تخمین نیازهای قاب‌های خمشی فولادی محسوب می گردد. همچنین مشخص گردیدکه اختلاف میان پارامترهای حداکثر و تغییر شکل‌های تجمعی پلاستیک (ناشی از محل حداکثر نیازها در ارتفاع سازه و یا ناشی از بزرگی نیازهای نسبی بین طبقات مختلف) در طبقات فوقانی سازه‌افزایش قابل توجهی می‌یابد که آن را به افزایش تعداد سیکل‌های غیرارتجاعی در طبقات فوقانی و به اثر مودهای بالاتر نسبت می‌دهیم.

واژه‌های کلیدی رفتار لرزه‌ای، نیاز شکل پذیری موضعی و مقاومت، شاخص خسارت موضعی ، تغییر شکل پلاستیک تجمعی.

Cumulative Plastic Deformation as a Local Damage Index of Moment Resisting Frames in Story Level

M.Gerami F.Daneshjoo

Abstract *FEMA273 provisions relate maximum deformation demands to performance levels, while such relations have not been provided for cumulative deformation demands of the elements. On the other hand, the factor of cumulative deformation demand may be regarded as a criterion for damage level, which can present a different feature of the structure response under maximum deformation demands. In order to compare the parameters of maximum and cumulative demands, a case study was implemented on 4, 10 and 25 story and 3 bay frames under Manjil earthquake ground motion. In this study three maximum responses and cumulative drift response of the frames' stories have been measured and evaluated. The cumulative damage results, corresponding to Life Safety and Collapse Prevention levels, are of great importance and may affect higher performance levels, such as repairable damages. The rate of damage, applied to the structure, is evaluated by damage indexes (which are function of structure ductility, the energy dissipated in the structure, period, number of loading cycles, maximum story displacement limit and etc.) and its numerical value is related to the damage applied to an element or to whole the structure based on a certain classification. In this study maximum story displacement limit ($\Delta\delta_{ps,i}$) is presented as an index of structural damage in story level. It was resulted that the estimation of cumulative deformation demands in inelastic structures (subjected to long duration ground motions with considerable effects of higher modes and due to the increase in the number of inelastic cycles) is an important and critical factor in evaluation of Steel Moment Resisting Frames' demands. It was also seen that the difference between maximum values and cumulative plastic deformation (caused by maximum demand locations in height of the structure or due to the amplitude of relative demands between different stories) is considerably increased in top stories of the structure, which can be ascribed to the increase in number of inelastic cycles in top stories and to the higher mode effects.*

Key Word Seismic behavior, Strength and ductility demand, Damage index, Steel Moment Resisting Frames, Cumulative plastic deformation

---

* نسخه‌اولیه مقاله در تاریخ 83/4/1 و نسخه نهایی آن در تاریخ 85/3/27 به دفتر نشریه رسیده‌است.

(1) استادیار دانشگاه سمنان، پژوهشگر فوق دکترای سازه دانشگاه تربیت مدرس

(2) دانشیار دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش عمران

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

پیش‌بینی تغییرشکل (drift و شکل‌پذیری) طبقه‌ای در طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی به دلایل مختلفی حائز اهمیت است. تخمین drift برای تعیین حداقل فاصله با ساختمان‌های مجاور (درز انقطاع) به منظور ممانعت از ضربه به یکدیگر، لازم می باشد. این پیش‌بینی‌ها همچنین اطلاعات مهمی را برای تحلیل‌های PushOver که به عنوان معیارهای ساده‌ای جهت ارزیابی عملکرد سیستم‌های سازه‌ای پیشنهاد شده‌اند، فراهم می‌آورند. driftهای بین طبقه‌ای سهم قابل توجهی در ایجاد صدمه به‌اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای دارند. توجه روز افزون به هزینه‌های ناشی از خسارات لرزه‌ای و مشکلات ناشی از آن (در حوزهٔ ورود سازه به رفتار غیرخطی) به ضرورت کنترل میزان خسارت‌ها و قابلیت تعمیر سازه در مرحله طراحی تأکید می‌کنند. بررسی نیازهای تغییرشکل نشان می دهند که نیازهای شکل‌پذیری طبقه‌ای به پریود اولیه، مقاومت و مکانیزم شکست سازه‌ها بستگی زیادی دارند. اما نیاز شکل‌پذیری سراسری از مکانیزم تسلیم مستقل می‌باشد [1]. انتظار آن است که سازه‌هائی که عمدتاً در مود اول خود مرتعش می‌شوند، توزیع drift و شکل‌پذیری طبقه تقریباً یکنواختی در ارتفاع داشته باشند. می‌توان افزایش ناگهانی در تغییر شکل طبقات تحتانی را به‌اثرات P-Δ و افزایش ناگهانی در تغییر شکل طبقات فوقانی را به دخالت "مودهای بالاتر"، نسبت داد[2]. به طور کلی مقادیر شکل‌پذیری بین طبقه‌ای حاصل از آنالیزهای دینامیکی در ارتفاع سازه، تغییرات عمده‌ای می یابند و پیش بینی نسبت‌های drift بین طبقه‌ای در غیاب آنالیزهای دینامیکی غیرخطی (مثلاً از تحلیل Pushover) بایستی با احتیاط انجام گیرد، چرا که تخمین این مقادیر به نوع مکانیزم تسلیم و اثر "مودهای بالاتر" وابسته می باشد.

تعداد زیادی از تحقیقاتی که بر روی نیاز شکل پذیری تغییر مکانی حداکثر تکیه داشته‌اند، همانند [kawashima , macrae , 1997]، [shome ; 1998] و [farrow , kurama ; 2001] همگی بر این نکته تأکید نموده‌اند که فقط نیاز حداکثر شکل پذیری تغییر مکانی، جهت توصیف میزان آسیب وارده به سازه طی زمین‌لرزه، کافی نیست. به عبارت دیگر ارزیابی عملکرد سازه‌ها، تنها براساس پارامترهای حداکثر، تصویر کامل و صحیحی از نحوهٔ توزیع خسارت در سازه‌ها ارائه نمی‌دهد. مطالعات تجربی نیز نشان داده‌اند که خسارت سازه‌ای تنها تابع حداکثر مقادیر نبوده بلکه مقادیر تجمعی تغییر شکل‌های غیرارتجاعی نیز در آن نقش دارند. به عبارت دیگر، سازه دارای حافظه‌ای است که تغییرشکل‌های غیرارتجاعی تجربه شده را همواره حفظ می‌کند. بنابراین طی بارگذاری‌های سیکلی، تجمع در خسارت و صدمات وارده، به تنزل مقاومت و افت سختی منجر شده، ظرفیت‌های تغییر شکل اعضاء و سازه، دچار تنزل می‌گردند[3]. رابطهٔ میان نیاز drift تجمعی پلاستیک و نیاز حداکثر drift، به‌ارتفاع سازه، موقعیت طبقه و نوع زلزلهٔ مورد بررسی وابسته‌است. بنابراین در هرگونه‌ارزیابی عملکرد سازه، چشم‌پوشی کردن از اثرات تجمعی غیرارتجاعی می‌تواند تصویر نادرستی از ارزیابی رفتار سازه‌ها ارائه نماید[3].

فرضیات تحقیق و نحوه انجام آنالیزها

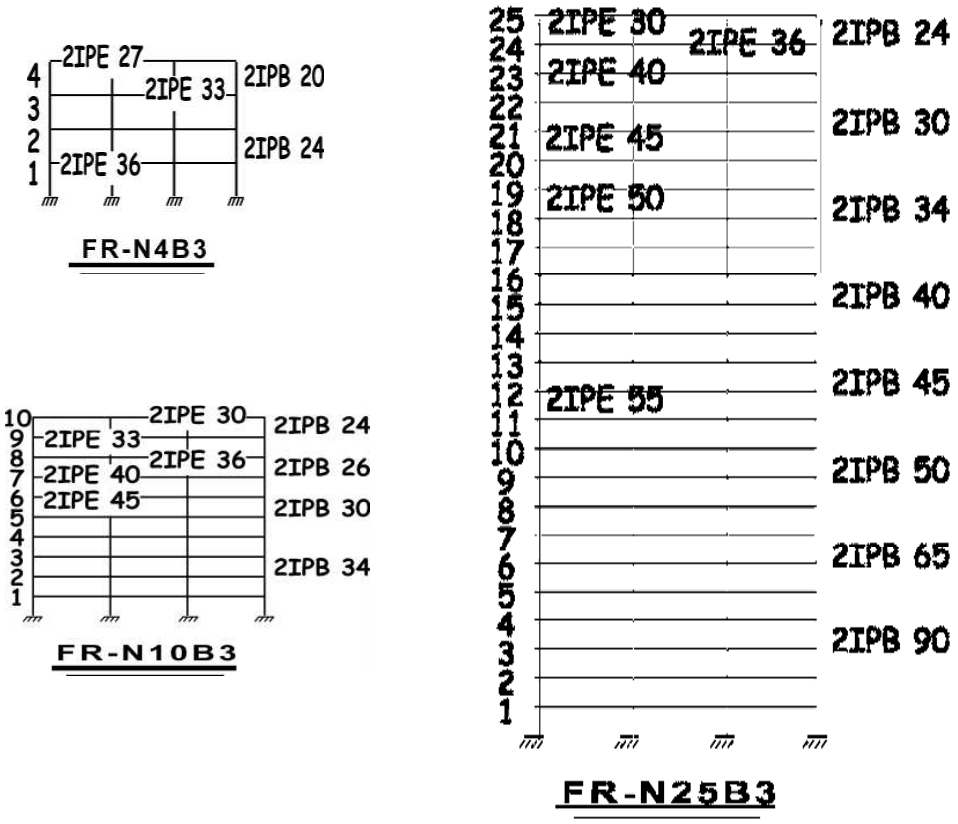
سازه‌های مورد استفاده در این تحقیق قاب‌های دو بعدی فلزی با سیستم قاب خمشی می‌باشند که در تعداد طبقات 4، 10 و 25 طبقه (سه دهانه) مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. ارتفاع کلیه طبقات ثابت و برابر 4 متر و طول دهانه‌ها 5 متر در نظر گرفته شده است. قاب‌های مورد نظر مطابق مبحث 6 مقررات ملی ساختمانی ایران بارگذاری ثقلی و براساس ضوابط آیین‌نامه 2800 ایران، بارگذاری لرزه‌ای شده‌اند. در بارگذاری ثقلی، بار مردهٔ طبقات، بار معادل تیغه‌بندی و بار متوسط زندهٔ طبقات به ترتیب مقادیر 550، 200 و 250 کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شد. در

www.SID.ir

Archive of SID

بارگذاری لرزه‌ای در محاسبهٔ جرم طبقات از بار مرده به علاوهٔ 20 درصد بار زنده‌استفاده شده‌است. خاک محل احداث، خاک نوع III، منطقه با خطرپذیری بسیار زیاد و نوع کاربری مسکونی با درجه‌اهمیت متوسط در نظر گرفته شده‌است. با توجه

به موارد فوق و براساس ضوابط آیین‌نامه‌ای، مشخصات طراحی قاب‌های یاد شده شامل زمان تناوب محاسباتی (T)، ضریب بازتاب (B)، ضریب برش پایه طراحی (C)، وزن مؤثر سازه (W_{eff}) و برش پایه طراحی (V) در جدول (1) ارائه گردیده است. کلیهٔ قاب‌های مذکور با استفاده‌از نرم‌افزار SAP2000 تحلیل استاتیکی معادل و به روش تنش مجاز، طراحی شده‌اند. نتایج طراحی قاب‌های مورد مطالعه در شکل (1) نمایش داده شده‌است.



شکل 1 معرفی قاب‌های مورد مطالعه

جدول 1 مشخصات طراحی قاب‌های مورد مطالعه

FRNiBj	تعداد طبقات	تعداد دهانه	زمان تناوب T(sec)	ضریب بازتاب B	ضریب برش پایه طراحی C	وزن مؤثر W_{eff}(ton)	برش پایه طراحی V(ton)
FRN4B3	4	3	0/6400	2/500	0/1500	240	35/00
FRN10B3	10	3	1/2724	2/129	0/1277	600	74/515
FRN25B3	25	3	2/5298	1/347	0/0808	1500	117/863

www.SID.ir

Archive of SID

براساس تحلیل‌های دینامیکی ارتجاعی قاب‌های مورد مطالعه، مشخصات مودال قاب‌های مورد مطالعه در 5 مود اول، شامل مشخصات هر مود که در آن، پریود اصلی قاب (T1)، ضریب مشارکت مود اول $\left(PF_1 = \phi_1^T MI / \phi_1^T M \phi_1\right)$، درصد مشارکت جرمی در مود اول (W_1^*/W که در آن W_1^* وزن مؤثر مود اول و W وزن کل سازه‌است) در جدول (2) ارائه شده‌اند.

در این تحقیق رکورد شتابنگاشت زمین‌لرزه منجیل در آنالیزهای تاریخچه زمانی غیرخطی توسط نرم افزار Drain2Dx [4] به قاب‌ها اعمال گردیده‌است.مدت زمان ثبت شتابنگاشت منجیل 53/52 ثانیه و در آن PGA معادل 0/5 g و پریود غالب زمین‌لرزه 0/556 ثانیه می‌باشد. در انجام تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی و برای بررسی سطح غیرارتجاعی، برای هر قاب (با توجه به ظرفیت شکل پذیری قاب‌های مورد مطالعه) ضرایب شکل پذیری هدف (μ_i) برابر 3، 5 و 7 در نظر گرفته شده‌اند. برای دستیابی به ضرایب شکل‌پذیری یاد شده با سعی و خطا بر روی ضریب مقیاس رکورد زلزله (S.F) شکل پذیری موجود را (با یک درصد خطای مجاز) به شکل پذیری هدف (μ_i) نزدیک می کنیم. با توجه به عدم وجود یک روش کامل و جامع در چگونگی مقیاس نمودن رکوردها، در این روش، مقیاس کردن رکورد زلزله به روش غیر مستقیم (با تنظیم شکل پذیری سازه به شکل پذیری هدف) صورت پذیرفته‌است. این روش دارای مزایای قابل توجهی است و به قابلیت کاربرد این روش در محاسبه نیازهای لرزه‌ای در مرجع [4,2] اشاره گردیده‌است. بنابراین برای اعمال نیروهای زلزله، به منظور تأمین شکل‌پذیری هدف، در هر مرحله تحلیل، روش گام به گام زیر استفاده می شود:

گام 1 – انتخاب سازهٔ MDOF مورد بررسی (FRNiBj)

گام 2 – انتخاب زمین‌لرزهٔ مورد بررسی

گام 3 – انتخاب شکل‌پذیری هدف مورد بررسی (μi)

گام 4 – آنالیز PushOver سازه و محاسبهٔ تغییر مکان تسلیم (Δy)

گام 5 – آنالیز تاریخچهٔ زمانی غیرارتجاعی سازه تحت رکورد زمین‌لرزهٔ گام 2 و محاسبهٔ تغییر مکان حداکثر (Δ_{max})

گام 6 – محاسبهٔ ضریب شکل‌پذیری سازه از رابطهٔ $\mu_{MDOF} = \Delta_{max}/\Delta_y$ (Δ_{max} از گام 5 و Δ_y از گام 4)

گام 7 – مقایسه μ_{MDOF} از گام 6 با μ_i از گام 3 و سعی و خطا بر روی ضریب مقیاس زلزله (S.F) و تکرار گام‌های 5 الی 7 تا هنگام برقراری رابطهٔ $\mu_{MDOF} = \mu_i$ (با یک درصد خطای مجاز) و تعیین S.F مناسب

گام 8 – آنالیز تاریخچهٔ زمانی غیرارتجاعی سازه تحت رکورد زمین‌لرزهٔ گام 2 و با اعمال ضریب مقیاس زلزله (S.F مناسب) از گام 7

گام 9– تعیین نیازهای تجمعی تغییر شکل پلاستیک (محاسبه چهار اندیس حد اکثر نیاز drift طبقه، حد اکثر محدوده نیاز drift طبقه، حد اکثر محدوده drift پلاستیک طبقه و drift تجمعی پلاستیک طبقه)

گام 10– تکرار گام‌های 3 الی 9 برای مقادیر مختلف μ_i (μ_i = 3، 5، 7)

گام 11– تکرار گام‌های 1 الی 10 برای قاب‌های مختلف مورد مطالعه

فلوچارت نحوه‌انجام آنالیزهای این تحقیق در شکل (2) نشان داده شده‌است.

www.SID.ir

Archive of SID

ارزیابی عملکرد سازه براساس نحوهٔ توزیع خسارت تجمعی

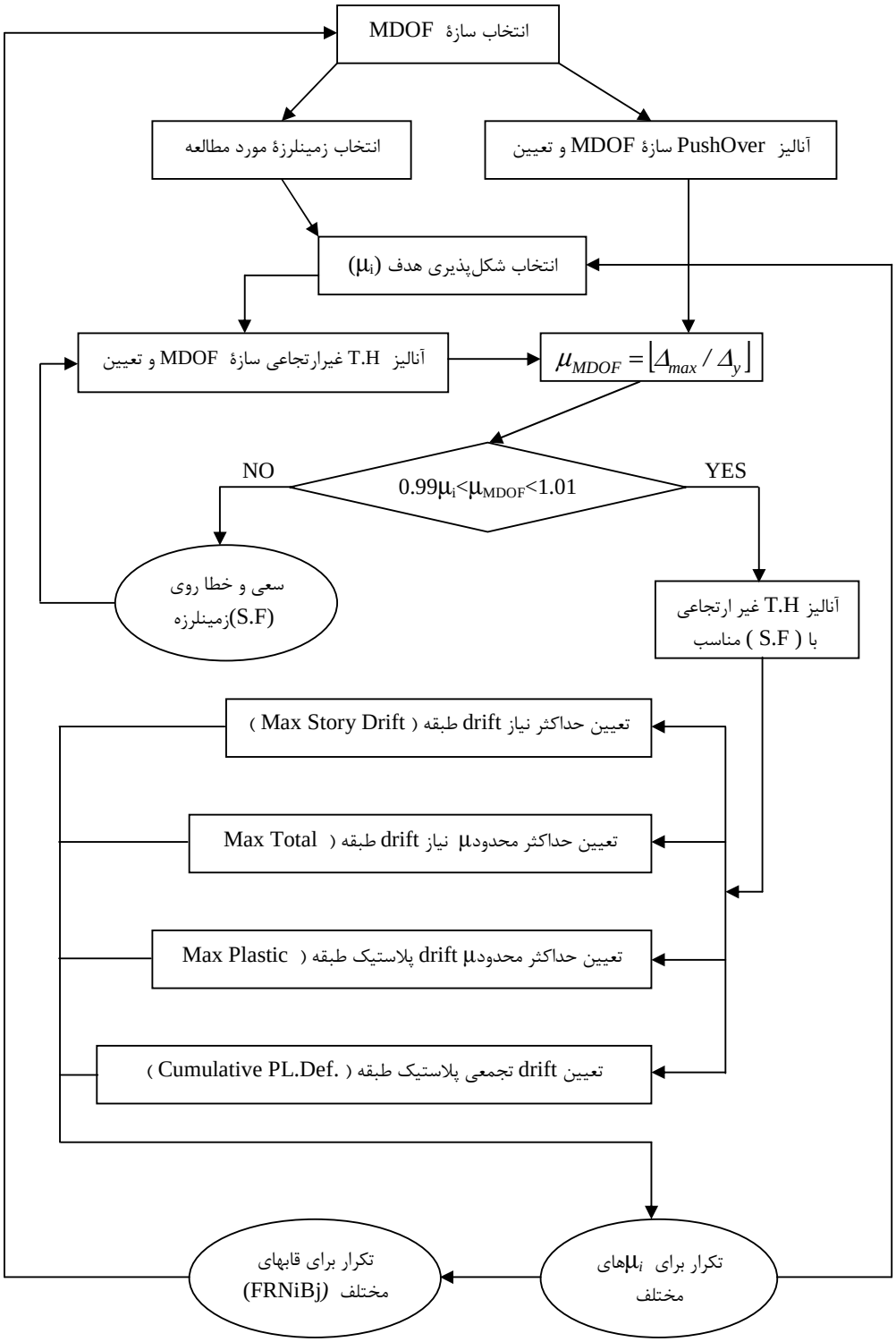
نیاز شکل‌پذیری تغییر مکان پلاستیک تجمعی (μ_p) و نیاز شکل پذیری تغییر مکان پسماند (μ_r) همچنین تعداد وقوع تسلیم (n_y)در مرجع[6] به عنوان اندیس‌های درخواست لرزه‌ای در سیستم‌های یک درجه آزادی بررسی و برای تخمین هر یک روابطی ارائه شده‌است. تخمین حداکثر نیاز سازهٔ MDOF با استفاده‌از نیازهای لرزه‌ای سیستم SDOF از طریق کاربرد ضرایب اصلاح، در مرجع [2] تشریح گردیده‌است. ارزیابی عملکرد سازه‌ها، تنها براساس پارامترهای حداکثر، می‌تواند تصویر کامل و صحیحی از نحوهٔ توزیع خسارت درسازه نباشد.

جدول 2 مشخصات مودال قاب‌های سه دهانهٔ مورد مطالعه در 5 مود اول

نوع قاب	N4B3	N10B3	N25B3
T_1(Sec)	1/24	1/95	3/70
T_2(Sec)	0/43	0/74	1/43
T_3(Sec)	0/26	0/43	0/86
T_4(Sec)	0/17	0/30	0/60
T_5(Sec)	---	0/23	0/45
PF_1	1/30	1/39	1/55
PF_2	-0/48	-0/58	-0/88
PF_3	0/28	0/30	0/50
PF_4	-0/10	0/21	0/31
PF_5	---	-0/18	-0/27
$W_1^*/W(\%)$	79/94	75/99	66/28
$W_2^*/W(\%)$	13/65	12/41	15/28
$W_3^*/W(\%)$	3/85	4/55	5/93
$W_4^*/W(\%)$	2/56	2/62	3/11
$W_5^*/W(\%)$	---	1/22	1/81

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 2 فلوچارت محاسبه پارامترهای پاسخ حداکثر و تجمعی به عنوان شاخص خسارت قاب‌های مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

ارزیابی لرزه‌ای و رویه‌های طراحی استاتیکی خطی و غیر خطی در کدهای مختلف ساختمانی مانند مقررات متحد ساختمان [ICBO,1997]، [FEMA302]، [BSSC,1997]،[ACCE2000]، [FEMA356] ومقررات بین المللی ساختمان [ICC , 2000] بر پایه روابطی است که بین مقاومت جانبی سازه و حداکثر نیاز تغییر مکان جانبی، ارتباط برقرار می‌کند. صرفنظر از روش طراحی به کار رفته، بسیاری از تحقیقات پیشین بر روی روابط اندیس درخواست لرزه‌ای با تکیه بر حد اکثر درخواست شکل پذیری تغییر مکانی (μ_{max}) متمرکز است. گرچه به نظر می رسد که تخمین μ_{max} برای طراحی لرزه‌ای بسیاری از سازه‌ها، کافی باشد لکن سایر اندیس‌های درخواست، به منظور تعیین آسیب کلی و انرژی چرخه‌ای پسماند، برای به کارگیری در روش طراحی بر اساس عملکرد مورد نیاز است [6]. برای طراحی و ارزیابی عملکرد سازه، نیازهای لرزه‌ای با ظرفیت‌های موجود اعضاء سازه، مورد مقایسه قرار می‌گیرند. پاسخ لرزه‌ای سازه با توجه به بارگذاری سیکلی، دارای طبیعت سیکلی بوده و از مطالعات تجربی مشخص شده که مقاومت، ویژگی‌های سختی، ظرفیت‌های تغییر شکل اعضاء و سازه، طی بارگذاری‌های سیکلی دچار تنزل می‌گردند[3]. خسارت ناشی از چرخه‌های ارتجاعی، ناچیز بوده و در رفتار لرزه‌ای نادیده گرفته می‌شود. هر چرخهٔ غیرارتجاعی، ایجاد خسارت کرده که با افزایش تعداد چرخه‌ها تجمع می‌یابند و این تجمع در خسارت و صدمات وارده، به تنزل مقاومت و افت سختی منجر شده و نهایتاً می‌تواند به بروز عملکرد نامطلوبی بیانجامد. بنابراین ظرفیت شکل‌پذیری سراسری و اعضاء، تابعی از خسارت تجمعی بوده و در نتیجه متأثر از بزرگی و تعداد سیکل‌هایی خواهند بود که‌اعضاء سازه تحت آنها قرار می‌گیرند. برای پیش‌بینی واقعی و دقیق از ظرفیت‌های سازه، نیاز به‌اطلاعات تکمیلی در مورد اثر خسارت تجمعی مورد انتظار در کلیه چرخه‌های غیرارتجاعی است. خسارت وارده به سازه را می توان با استفاده‌از شاخص‌های آسیب‌پذیری (که تابعی از شکل پذیری سازه، انرژی مستهلک شده در سازه، دامنه، تعداد دوره‌های بارگذاری و... می‌باشد) بیان کرد. مقدار عددی حاصل از این توابع، در روابط پیشنهادی توسط پژوهشگران، با حالت مشخصی از خسارات متناظر می‌باشد. مثلاً شاخص خسارت دو دویی به صورت (عدد0/0 برای عدم فروریختگی و عدد./1 برای فرو ریختگی) و شاخص خسارت گسسته کمّی (عدد 0/0 بدون خسارت، عدد 0/2 خسارت کم، عدد 0/4 خسارت قابل تعمیر، عدد 0/6 خسارت شدید و عدد 1/0 برای فروریختگی) می‌باشد. اغلب توابع آسیب پذیری که ممکن است به صورت محلی (برای اعضاء سازه) یا کلی (برای کل سازه) تعریف شوند، طبیعتاً تجمعی می باشند که وابستگی خسارت به دامنه و تعداد نوسان‌های بارگذاری را منعکس می کنند. از معایب اصلی بیشتر توابع محلی خسارت، نیاز آنها به هماهنگ کردن ضرائب برای انواع سازه‌ها و فقدان مقیاس مناسب برای درجات مختلف خسارات می باشد [7]. شاخص خسارت محاسبه شده توسط روابط خسارت بر اساس طبقه بندی مشخصی (جداول یا منحنی‌های تابع استفاده شده) به خسارت وارده به عضو یا کل سازه مرتبط می‌شوند (مقدار عددی شاخص خسارت معمولاً بین صفر تا یک تعریف می گردد). این تحقیق، اندازه‌گیری خسارت و همهٔ عوامل مؤثر در آن را مورد بحث قرار نمی‌دهد، بلکه با مطالعهٔ پارامترهای مهم آن به‌این موضوع که چشم‌پوشی کردن از اثرات تجمعی غیرارتجاعی می‌تواند تصویر نادرستی از ارزیابی رفتار

www.SID.ir

Archive of SID

سازه‌ها را ارائه دهد، می‌پردازد. نتایج مربوط به خسارت تجمعی در سطوح ایمنی جان (ایمنی در برابر خسارات جانی) و جلوگیری از شکست، بسیار مهم بوده و ممکن است بر سطوح رفتاری بالاتری مانند خسارت‌های قابل تعمیر نیز اثر بگذارند. بسیاری از مدل‌های مختلف، انواع خاصی از اعضاء و سازه‌ها را تحت حرکات زمین‌لرزه بررسی نموده و در مقالات مختلفی به منظور تخمین خسارت تجمعی پیشنهاد نموده‌اند [8,9,10,11]. این پیشنهادات مربوط به مصالح، اعضاء و مودهای شکست خاصی بوده وبنابراین دارای کاربرد عمومی نمی‌باشند. یکی ازاین مدل‌های پیشنهاد شده (توسط Krawinkler) به صورت زیر می‌باشد [12].

$$D = C\sum_{i}\left[\frac{\Delta\delta_{PL}}{\delta_y}\right]^c \qquad (1)$$

که در آن، D انـدیس خسارت، $\Delta\delta_{PL}$ محدودهٔ تغییر شکل پلاستیک در چرخهٔ i، δy تغییر شکل معادل تسلیم، C و c پارامترهای عملکرد سازه که در آن c متناسب با نوع مصالح بوده و برای اجزاء فولادی حدود 2 می‌باشد. این مدل، آزمایش شده و برای مودهای مختلف شکست در اعضای سازه‌های فولادی نتایج قابل قبولی را ارائه نموده‌است [12]. اغلب مدل‌های خسارتِ پیشنهاد شده را می‌توان به صورت نظری با یک تابع خسارت (شامل تعداد و بزرگی سیکلهای غیرارتجاعی یا براساس انرژی هیسترزیس جذب شده در هر سیکل) بیان نمود. این موضوع اهمیت مدت زمان تکان قوی و محتوای فرکانسی زمین‌لرزه و پریود سازه را آشکار می‌سازد. چرا که عوامل یاد شده بر تعداد و بزرگی چرخه‌های غیرارتجاعی که مشخص کنندهٔ خسارت تجمعی هستند، تأثیر بسزائی دارند. تخمین نیازهای تغییر شکل تجمعی در مورد سازه‌های غیرارتجاعی در معرض زمین‌لرزه‌های بلند مدت و با اثرات قابل توجه مودهای بالاتر، به علت افزایش تعداد چرخه‌های غیرارتجاعی، می‌تواند امری مهم و بحرانی در تخمین نیازهای سازهٔ فولادی محسوب گردد. در این تحقیق از مدل خسارت تجمعی پیشنهاد شده توسط Krawinkler و از "محدوده تغییر شکل پلاستیک" به عنوان پارامتر نیاز استفاده می شود. از رابطهٔ (1) ملاحظه می‌گردد که محدودهٔ تغییر شکل پلاستیک حداکثر، در میزان خسارت، سهم عمده‌ای خواهد داشت؛ بویژه هنگامی که توان c برای اکثر اجزای فولادی بین 1/5 تا 2 در نظر گرفته می‌شود.

نیازهای تجمعی تغییرشکل پلاستیک (محدودهٔ حداکثر جا به جائی پلاستیک طبقه‌ای)

از نتایج ارائه شده سایر محققان، ارزیابی رفتار سازه و تخمین نیازها، عمدتاً متکی بر حداکثر مقادیر نیاز، صورت پذیرفته‌است [2] و صرفاً استفاده از حداکثر مقادیر پارامترهای مختلف، می‌تواند به تصویری گمراه کننده‌از پاسخ سازه منجر شود؛ چرا که پارامترهای حداکثر، تنها قسمتی از واقعیت را روشن می‌سازند. دستورالعمل های FEMA273 [13] حداکثر نیازهای تغییرشکل را به سطوح عملکرد، مرتبط می‌سازند، در صورتی که چنین ضوابطی در مورد نیازهای تغییر شکل تجمعی اعضا، وجود ندارد. از طرفی پارامتر نیاز تغییر شکل تجمعی، برای میزان خسارت معیاری ارائه کرده و می‌تواند نسبت به پاسخهای حاصل از حداکثر نیازهای تغییر شکل تصویر متفاوتی را از پاسخ سازه ارائه نماید. این اختلافات می‌توانند ناشی از محل حداکثر نیازها در ارتفاع سازه و یا بزرگی نیازهای نسبی بین طبقات مختلف باشند. مدل خسارت تجمعی تعریف شده توسط رابطه (1) برای سازه‌های فولادی، از محدودهٔ تغییر شکل پلاستیک به عنوان پارامتر نیاز استفاده می‌کند [5]. در این مطالعه محدودهٔ حداکثر جا به جایی نسبی پلاستیک طبقه $\left(\Delta\delta_{ps}^{i}\right)$ به عنوان شاخصی از خسارت سازه‌ای در سطح

www.SID.ir

Archive of SID

طبقـه‌ای موردبحـث و بررسـی قـرار مـی‌گیـرد. نحـوهٔ محاسبه‌این پارامتر با رجوع به شکل(3) که برش طبقات را برحسب پاسخ هیسـترتیک drift طبقـه‌ای هریـک از طبقات نشان می‌دهد، در زیر ارائه شده‌اسـت. از شـکل یاد شده حداکثر محدودهٔ drift پلاستیک طبقـه $\left(\Delta\delta^{i}_{ps}\right)$ از رابطهٔ زیر قابل محاسبه می‌باشد.

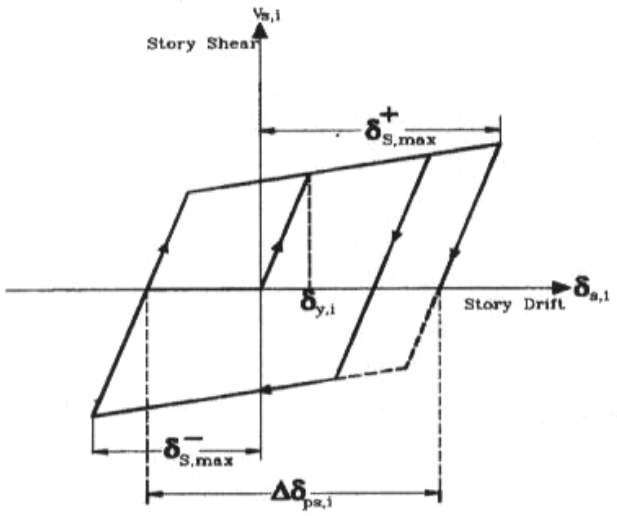
$$\Delta\delta^{i}_{ps}=\left(\delta^{+}_{s,max}+\left|\delta^{-}_{s,max}\right|-2\delta_{y,i}\right)(1-\alpha) \qquad (2)$$

در این رابطه $\delta^{+}_{S,max}$، $\delta^{-}_{S,max}$ و $\delta_{y,i}$ به ترتیـب driftهای طبقه‌ای حداکثر مثبت، حداکثر منفی و معـادل تسلیم بوده و α ضریب کرنش سختی مـی‌باشـد. بـرای نشان دادن این مطلب که چشم‌پوشی نمـودن از اثـرات تجمعی غیرارتجـاعی مـی‌توانـد تصـویر متفـاوتی را از ارزیابی رفتار سازه‌ها ارائه دهد، لازم اسـت پارامترهـای مختلف پاسخ، معرفـی و مـورد تجزیـه و تحلیـل قـرار گیرند. به منظور مقایسـه پارامترهـای پاسـخ حـداکثر و تجمعی، مطالعه موردی بر روی سـازه‌هـای فـولادی 4، 10 و 25 طبقهٔ سه دهانه و با استفاده‌از تعـاریف ارائـه شده در زیر صورت پذیرفت.

حداکثر نیاز drift طبقه (Max Story Drift): ایـن پارامترتوسط اکثر پژوهشگران به عنوان پارامتر اصلی در ارزیابی عملکـرد قـاب‌هـای خمشـی فـولادی، معرفـی گردیده‌است.

- حداکثر محدودهٔ نیـاز drift طبقـه (Max Total Range): این پارامتر، برابر با مجموع حداکثر drift مثبـت و قـدر مطلق حداکثر drift منفی، تعریف می‌گردد.
- حداکثر محدودهٔ drift پلاسـتیک طبقـه (Max Plastic Range): این پارامتر، برابر با حداکثر محدودهٔ نیـاز drift طبقـه، منهـای دو برابـر drift تسـلیم طبقـه، تعریـف می‌گردد.
- drift تجمعی پلاستیک طبقه (Cumulative Pl. Def.): این پارامتر، برابر با مجموع تمـام محـدوده‌هـای تغییـر شکل پلاستیک طبقـه در طـی تاریخچـه زمـانی زلزلـه، تعریف می‌گردد.

در این ارتباط سه پارامتر حداکثر پاسـخ و پـارامتر drift تجمعی پلاستیک در هریک از طبقات قاب‌های یاد شده مورد بررسی قرار می گیرد.

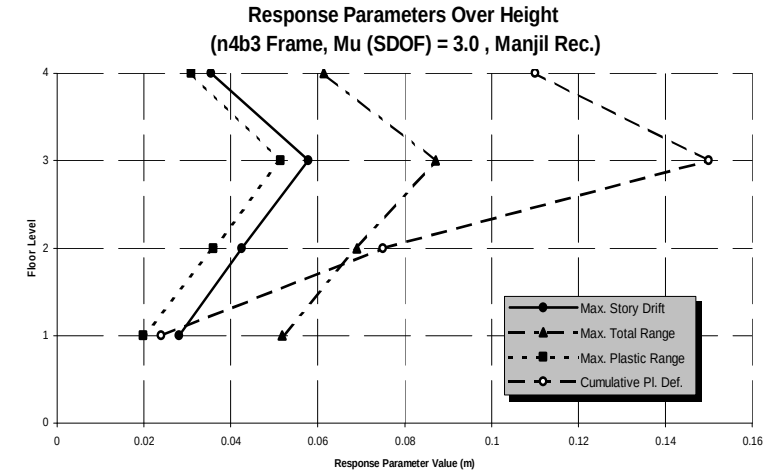


شکل3 مدل برش طبقه بر حسب drift طبقه

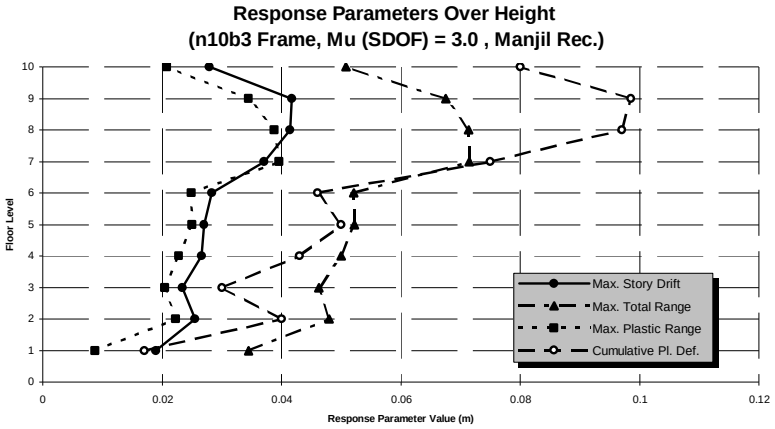
www.SID.ir

Archive of SID

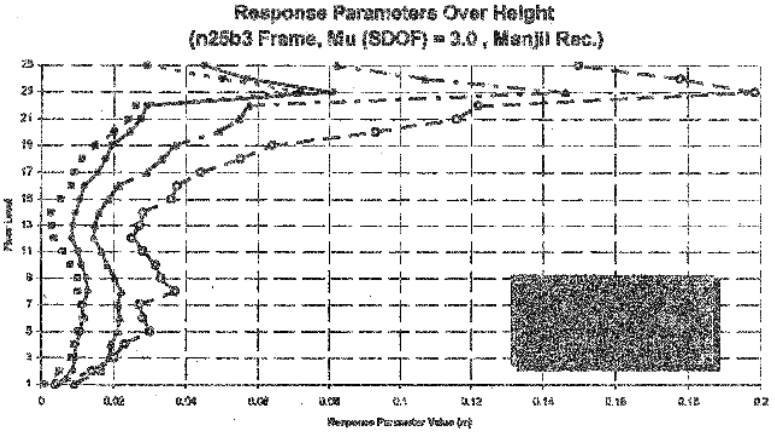
مقـادیر هریـک از پارامترهـای یـاد شـده در طبقـات مختلف قاب‌های مورد مطالعه و تحت رکورد زلزلهٔ منجیـل در حالت شکل‌پذیری هدف 3،5 و 7 محاسـبه شـده و نتایج در شکل‌های (4تا6) نشان داده شده‌است.



الف- قاب 4 طبقهٔ سه دهانه



ب – قاب 10 طبقهٔ سه دهانه



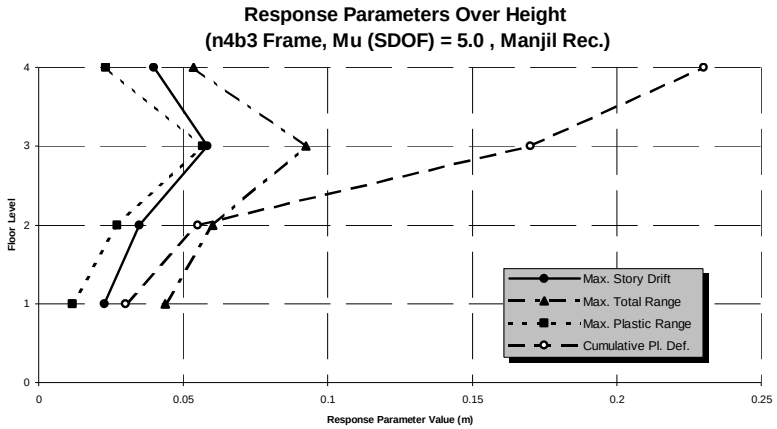
ج- قاب 25 طبقهٔ سه دهانه

شکل 4 پارامترهای پاسخ حداکثر و تجمعی در حالت شکل‌پذیری هدف ($\mu = 3$)

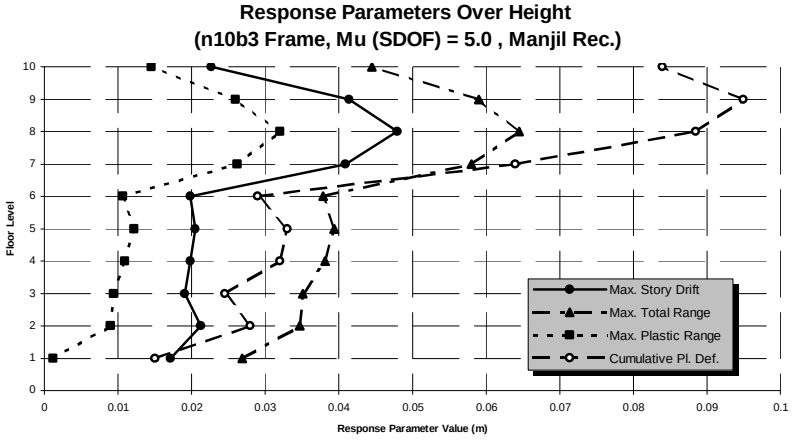
www.SID.ir

Archive of SID

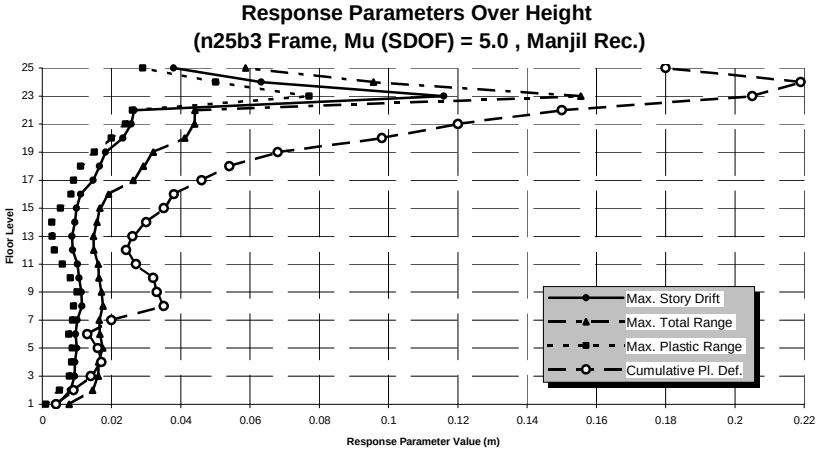
الف- قاب **4** طبقهٔ سه دهانه



ب – قاب **10** طبقهٔ سه دهانه



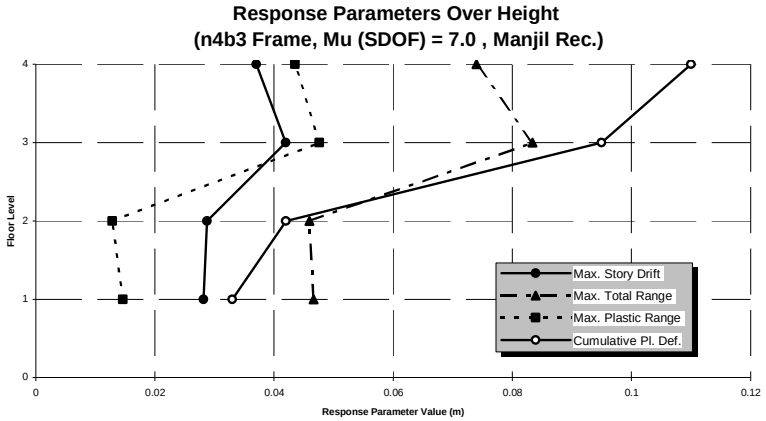
ج- قاب **25** طبقهٔ سه دهانه



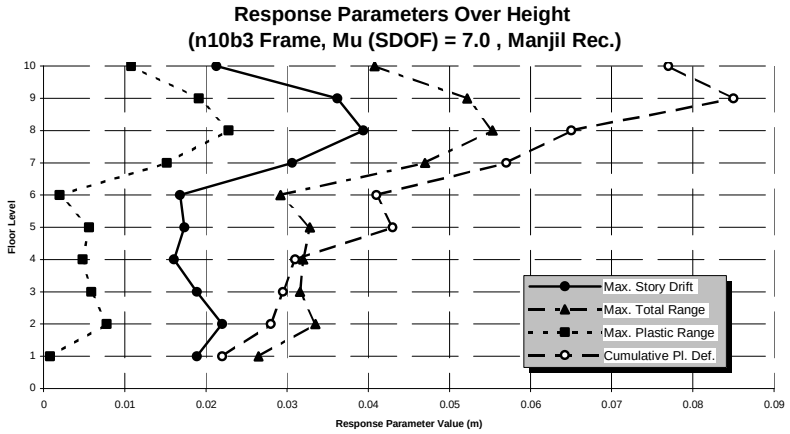
شکل 5 پارامترهای پاسخ حداکثر و تجمعی در حالت شکل‌پذیری هدف (μ=5)

www.SID.ir

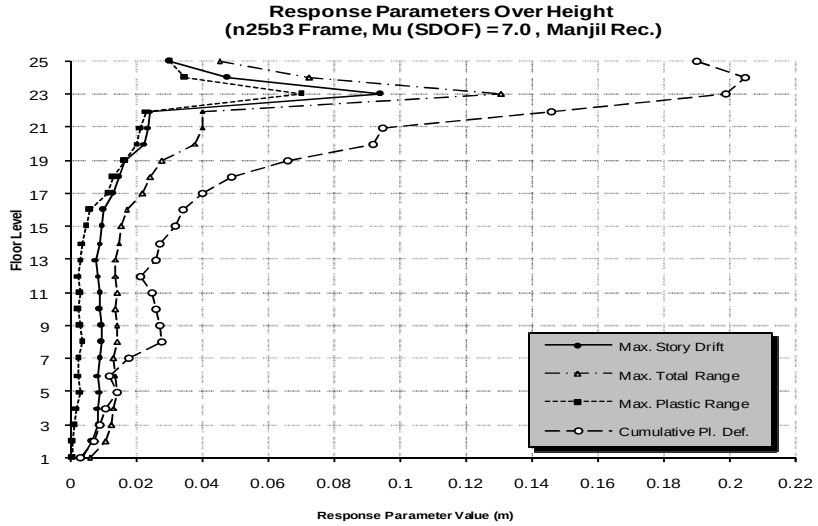
Archive of SID



الف- قاب **4** طبقهٔ سه دهانه



ب- قاب **10** طبقهٔ سه دهانه



ج- قاب **25** طبقهٔ سه دهانه

شکل 6 پارامترهای پاسخ حداکثر و تجمعی در حالت شکل‌پذیری هدف ($\mu=7$)

www.SID.ir

Archive of SID

چنانچه ملاحظه می‌گردد، کلیه پارامترهای حداکثر نیاز، دارای توزیع مشابهی در ارتفاع سازه می‌باشند. نیازهای drift تجمعی پلاستیک برای سه طبقهٔ فوقانی سازه، بزرگتر می‌باشند که آن را به‌افزایش تعداد سیکل‌های غیرارتجاعی در طبقات فوقانی، ناشی از اثر مودهای بالاتر نسبت می‌دهیم. در صورتی که ظرفیت حداکثر drift طبقه در کلیه طبقات سازه، یکسان باشد، سطوح عملکرد طبقات، متفاوت بوده و طبقات فوقانی بحرانی‌تر خواهند بود. بنابراین تعیین "طبقه بحرانی" در سازه به نوع پارامتر پاسخ، وابسته می‌باشد. چنانچه‌از شکل‌های یاد شده ملاحظه می‌گردد، اختلاف میان پارامترهای حداکثر و تغییر شکل‌های تجمعی پلاستیک، در طبقات فوقانی، افزایش می‌یابد. به عنوان مثال نیاز drift تجمعی پلاستیک در μ=5 در طبقهٔ ماقبل آخر در سازهٔ 10 طبقه، حدود 2/4 برابر نیاز مشاهده شدهٔ حداکثر drift طبقه می‌باشد. بنابراین ارزیابی عملکرد سازه‌از نوع انتخاب پارامتر پاسخ، متأثر می‌باشد. رابطهٔ میان نیاز drift تجمعی پلاستیک و نیاز حداکثر drift به‌ارتفاع سازه (تعداد بیشتر طبقات، بحرانی‌تر)، موقعیت طبقه (طبقات فوقانی، بحرانی‌تر) وابسته‌است. افزون بر این از نتایج پژوهش مراجع [3,6] مشخص گردیده‌است که نیازهای تجمعی پلاستیک می تواند ارتباط مستقیم با مدت زمین‌لرزه داشته باشد (معمولاً زمین‌لرزه طولانی تر، بحرانی تر). در مراحل ارزیابی عملکرد، نیازهای حاصل از تحلیل‌های سازه‌ای با ظرفیت‌های حاصل از مطالعات تجربی، مورد مقایسه قرار می‌گیرند. از این رو، در شیوهٔ تجربی ارزیابی ظرفیت بایستی اختلاف قابل توجه در نسبت نیازهای تجمعی به نیازهای حداکثر، مورد توجه قرار گیرد[11].

شکل پذیری سیکلی طبقه

برای مطالعات آماری، محدودهٔ حداکثر drift پلاستیک طبقه (رابطهٔ (2)) را به تغییر مکان تسلیم طبقه، نرمال نموده و شکل‌پذیری سیکلی طبقه $(\mu_{CS,i})$ را از رابطه زیر محاسبه می‌نماییم.

$$\mu_{cs,i}=\frac{\Delta\delta^{i}_{ps}}{\delta_{y,i}}=\left(\frac{\delta^{+}_{s,max}}{\delta_{y,i}}+\frac{\left|\delta^{-}_{s,max}\right|}{\delta_{y,i}}-2\right)(1-\alpha) \qquad (3)$$

از تعریف شکل‌پذیری طبقه‌ای $(\mu_{S,i})$ داریم:

$$\mu_{s,i}=\max\left(\frac{\delta^{+}_{s,max}}{\delta_{y,i}}\text{ و }\frac{\left|\delta^{-}_{s,max}\right|}{\delta_{y,i}}\right) \qquad (4)$$

از مقایسه دو رابطهٔ (3) و (4) خواهیم داشت:

$$\frac{\delta^{+}_{s,max}}{\delta_{y,i}}+\frac{\left|\delta^{-}_{s,max}\right|}{\delta_{y,i}}\le 2\mu_{s,i} \qquad (5)$$

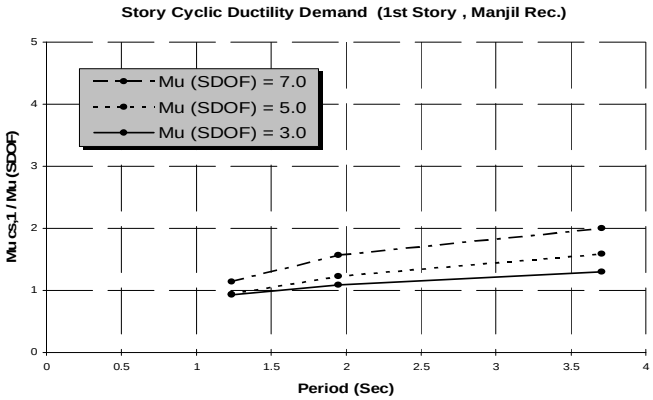
حالت تساوی در رابطهٔ فوق تنها هنگامی برقرار می‌گردد که پاسخ drift طبقه‌ای، متقارن باشد (شرایطی که حداکثر drift طبقه‌ای مثبت برابر با مقدار منفی آن باشد). با جایگزینی رابطه (5) دررابطه (3) تخمینی از حد بالای شکل‌پذیری سیکلی طبقه، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\mu_{cs,i}=\frac{\Delta\delta^{i}_{ps}}{\delta_{y,i}}\le(2\mu_{s,i}-2)(1-\alpha) \qquad (6)$$

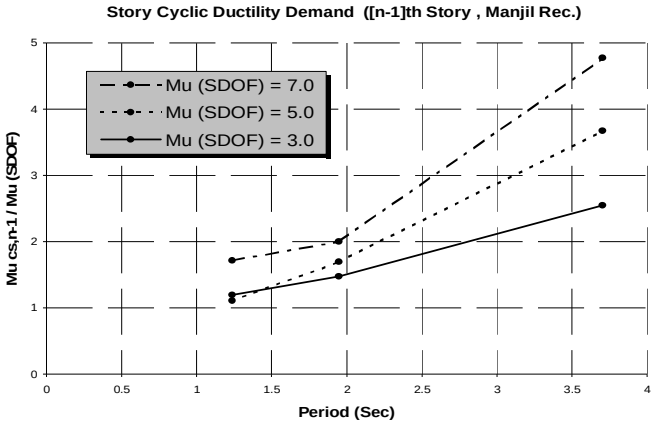
شکل (7) نتایج نیازهای شکل‌پذیری سیکلی طبقه‌ای نرمال شده را در طبقه‌اول و ماقبل آخر قاب‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. چنانچه ملاحظه می‌گردد تغییرات در شکل‌پذیری سیکلی طبقه‌ای چندان متفاوت با نیازهای شکل‌پذیری طبقه‌ای در طبقه‌اول نیستند، البته تفاوت بیشتر در شکل‌پذیری سیکلی طبقه‌ای با نیازهای شکل‌پذیری طبقه‌ای در طبقهٔ ماقبل آخر، کاملاً مشهود می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



الف- مربوط به طبقهٔ اول



ب- مربوط به طبقهٔ ما قبل آخر (n-1)

شکل7 شکل‌پذیری سیکلی طبقات اول و (n-1) قابهای 4، 10 و 25 طبقه

تکمیل نتایج این تحقیق (توسعه سازه‌های مورد بررسی و کاربرد سایر رکوردهای زمین‌لرزه در انجام تحلیل‌ها و...) می تواند بخش کوچکی از یک فعالیت پژوهشی بزرگ در توسعه مفاهیم ارزیابی لرزه‌ای موضعی سازه تلقی گردد. به کارگیری از سایر اندیس‌های نیاز لرزه‌ای (به غیر از نیازهای حداکثر) می‌تواند در روند طراحی بر اساس ارزیابی لرزه‌ای با اهداف پیشرفته، نظیر محدود کردن تغییر مکان‌های پسماند و یا محدود کردن خسارت‌های کلی، تحقق یابد. بدین منظور نیاز خسارت تجمعی نیز به عنوان قسمتی از روش طراحی بر اساس عملکرد برای دستیابی به سطح عملکرد هدف و با توجه به نیازهای موضعی قاب‌های خمشی فولادی، نیاز به‌انجام پژوهش‌های بعدی دارد [15] که طی آن مقادیر مجاز برای اندیس‌های نیاز موضعی سازه را تعریف تا امکان استفاده از آن در طراحی لرزه‌ای میسر گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج

از مطالعه برروی اختلاف میان پارامترهای حداکثر و تغییر شکل‌های تجمعی پلاستیک در سازه‌های مورد مطالعه، نتایج زیر استخراج می گردد :

• ارزیابی رفتار سازه (و اعضاء آن) براساس حداکثر مقادیر نیاز نمی‌تواند پاسخ کامل سازه را بیان کند. از طرفی میزان خسارت وارده به سازه (و اعضاء آن) تابعی از تمامی چرخه‌های غیرارتجاعی، تجربه شده توسط سازه‌است، بنابراین ظرفیت سازه (و اعضاء آن) به تعداد و بزرگی چرخه‌های غیرارتجاعی وابسته‌است.

• نیازهای تجمعی drift طبقه‌ای، در ارتفاع سازه نسبت به پارامترهای حداکثر مقادیر، توزیع یکسانی به دست نمی‌دهند، به طوری که از نتایج این تحقیق مشخص گردید، نیازهای تجمعی در طبقات فوقانی، معمولاً نسبت به نیازهای طبقات تحتانی افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهند. علت این امر، اثرات MDOF، تعداد بیشتر چرخه‌های غیرارتجاعی در طبقات فوقانی و مدت زمان تکان قوی زمین‌لرزه می‌باشد.

• رابطه بین نیازهای تجمعی drift پلاستیک طبقه با حداکثر نیاز drift، بستگی زیادی به‌ارتفاع سازه (تعداد طبقات) محل طبقه (طبقه فوقانی یا تحتانی) و نوع زمین‌لرزه (ضربه‌ای یا طولانی مدت) دارد. بنابراین در روش تجربی ارزیابی ظرفیت بایستی به تغییرات زیاد در نسبت نیازهای تجمعی به نیازهای حداکثر، توجه گردد.

مراجع

1. Veletsos ,A.S. and Vann, P., "Response of ground – excited elastoplastic systems", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.97., (1971).

2. گرامی، محسن.، "تاثیر درجات آزادی قاب‌های خمشی فولادی بر نیاز شکل پذیری و مقاومت لرزه‌ای"، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس ،. (1382).

3. Gupta , A., "Seismic demands for Steel Moment Resisting Frame Structures", Ph.D Dissertation to the Dept. Of Civil Engineering , Stanford University, (1998).

4. Prakash ,V. and Powell,G., "Drain-2DX ,Version 1.10", Department of Civil Engineering , University of California at Berkeley , Berkeley, California, (1993).

5. Seneviratna , G.D.P.K, "Evaluation of inelastic MDOF effects for Seismic design" Ph.D. Dissertation to the Dept. of Civil Engineering , Stanford University,(1995).

6. Farrow , k. and kurama , M.Y. and Eeri , M., " SDOF demand index relationships for performance – based seismic design " , Journal of Earthquake Spectra , Vol 19 , N0.4 , pp.799-838., (2003).

7. A.Ghobarah , H.Abou-Elfath , A.Biddah, " Response based damage assessment of structures " , Earthquake Engineering and Structural Dynamics , Vol.28 , pp. 76-104 (1999).

8. McCabe, S. L., and Hall, W. J., "Assessment of seismic structural damage", Journal of Structural Engineering, Vol. 115, No. 9, (1989).

9. Krawinkler, H., and Zohrei, M., "Cumulative damage in steel structures subjected to earthquake ground motions", Journal on Computers and Structures, Vol. 16, No. 1-4, (1983).

www.SID.ir

Archive of SID

10. Park, Y. J., Ang, A. H. –S., and Wen, Y. K., "Seismic damage analysis and damage-limiting design of R.C. buildings", Structural Engineering Research Series No. 516, Civil Engineering Studies, University of Illinois at Urbana-Champaign, (1984).
11. Chung, Y.S. et al., "A new damage model for reinforced concrete structures", Proc, of 9th World Conf. On Earthquake Engineering, Vol. V, Tokyo, Japan, (1988).
12. Krawinkler, H., Bertero, V. V., and Popov, E. P., "Inelastic behavior of steel beam-to-column sub-assemblages", Report No. UCB/EERC-71/07, Earthquake Engineering Research Center (EERC), University of California at Berkeley, (1971).
13. FEMA 273, "NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings", Federal Emergency Management Agency, (1997).
14. دانشجو، تهرانیزاده و گرامی، " اثر مودهای بالاتر در تغییر شکل‌های لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی MDOF "، نشریه دانشکده مهندسی، سال 15، شماره 2، صفحات 273 - 259، (1382).
15. گرامی، محسن و دانشجو، فرهاد "نیازهای لرزه‌ای موضعی قاب‌های خمشی فولادی"، پیشنهاد تحقیق فوق دکترای سازه Postdoctorate، دانشگاه تربیت مدرس، (1383).

www.SID.ir