



بررسی و طراحی سازه های بتن آرمه دوگانه بر پایه تغییر مکان سیستم یک درجه آزادی

مهدی کلهر^{1*}، محمد حسین وفايي²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، m.kalhoor2016@gmail.com

2- استادیار موسسه آموزش عالی پویش قم، m_h_vafae@yahoo.com

چکیده

تلاش های اخیر برای استفاده از نمایش سازه یک درجه آزادی در طراحی بر پایه تغییر مکان و ارزیابی سازه های بتن آرمه، نیاز به تعیین مشخصات معادل سیستم های یک درجه آزادی برای چنین سیستم هایی را به طور قابل ملاحظه ای افزایش داده است. اغلب، تحلیل های استاتیکی غیر خطی برای توصیف پاسخ سازه با توجه به حجم محاسبات کاهش یافته نسبت به تحلیل های دینامیکی غیر خطی استفاده می شوند. پارامترهای پاسخ مطلوب شامل مشخصات مکانیکی سازه یک درجه آزادی مثل دوره تسلیم، شکل تغییر یافته و غیره می شود. به هر حال، نامنظمی و عدم اطمینان ذاتی سازه های بتن آرمه موجود بیشتر نشان دهنده سیستم یک درجه آزادی است تا یک سیستم با سختی و تقاضای بالا. بررسی بر روی سازه های دوگانه (قاب-دیوار) است، 3 نمونه ساختمان بتنی با استفاده از یک نرم افزار المان محدود مبتنی بر فیبرها مدل شده اند. منحنی های ظرفیت برای استخراج دوره های تسلیم، شکل تغییر یافته و ارتفاعات موثر نمونه ساختمان های مورد مطالعه، به منظور تعیین مشخصات سیستمیک درجه آزادی سازه در ارزیابی مبتنی بر تغییر مکان، استفاده شده اند.

واژه های کلیدی: سازه های بتن آرمه، تحلیل استاتیکی غیر خطی، سازه یک درجه آزادی، پرپود غالب، تغییر مکان نسبی

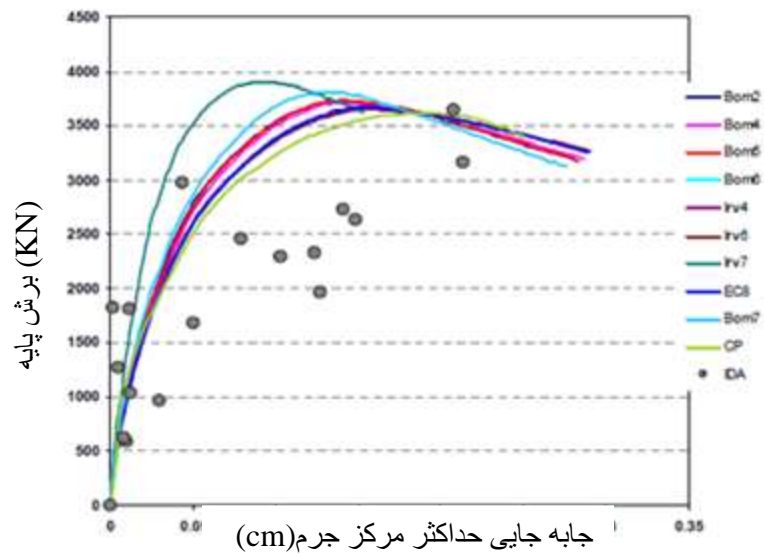


ساخت دیوارهای سازه ای (که معمولا با نام دیوارهای برشی شناخته می شوند)، در حال حاضر به صورت گسترده به عنوان یک طرح برای بهسازی ساختمان های بتنی استفاده می شود که این موضوع منجر به ایجاد سیستم دو گانه قاب و دیوار می شود.

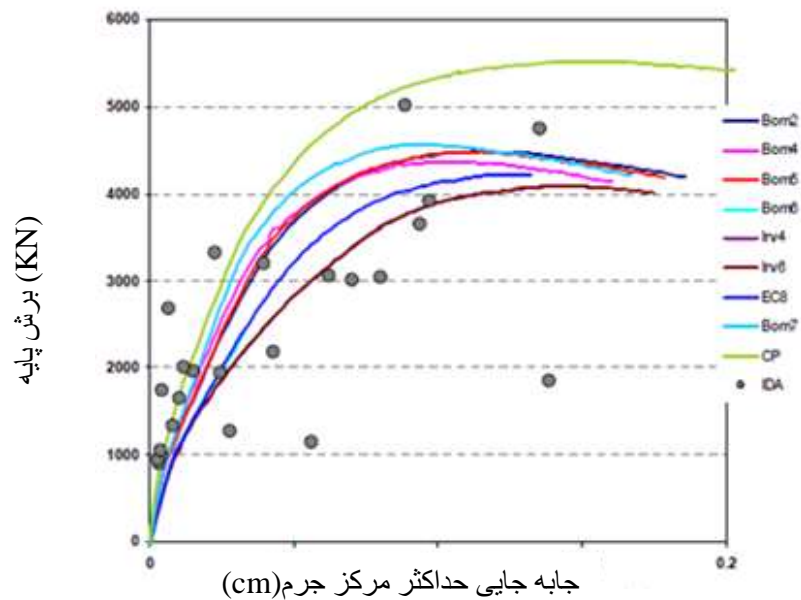
2- مدل سازی و آنالیز

در این جا از برنامه تحلیل المان محدود بر اساس المان های فیبر (SeismoSoft, 2015) [4] به منظور انجام تحلیل های پوش آور به هنگام شونده استفاده می شود. نوع مصالح ساختمان های مورد مطالعه از نقشه ها استخراج شد، در حالی که مشخصات میانگین مصالح که در این تحقیق برای آنالیز استفاده شده است. مقدار میانگین مقاومت بتن محصور نشده 16.7 مگا پاسکال در نظر گرفته شده است در حالی که مقاومت میانگین تسلیم میلگردهای S220 مقدار 371 MPa فرض می شود. ضریب محصور شدگی برای بتن مقدار 1.1 برای مقاطع با فواصل خاموت زیاد و 1.2 برای مقاطع بتنی با خاموت های نزدیک به هم در نظر گرفته شده است. جرم میانگین ساختمان 4 طبقه برای هر متر مربع 1.52 تن است، در حالی که این مقدار برای ساختمان 5 طبقه 1.38 تن، 1.37 تن برای ساختمان 6 است.

فلسفه روش پوش آور به هنگام شونده بر پایه تغییر مکان این است که تغییر مکانها به جای نیروها در هر گام تحلیل اعمال می شوند. مساله مقادیر ویژه در هر گام تحلیل بر اساس سختی متناظر سازه و با استفاده از تنظیم قانون ترکیب، حل می شوند. تاثیرات مدهای بالاتر می توانند به منظور به روز رسانی پروفیل تغییر مکان های اعمالی در نظر گرفته شوند. همچنین مقیاس سازی طیف مدها در تحلیل به هنگام شونده به وسیله معرفی طیف تغییر مکان که برای تشدید اثرات مودهای ارتعاش استفاده می شود، نیز می تواند در نظر گرفته و توصیه می شود. در این بررسی، از طیف تغییر مکان مربوط به 8 طیف رکورد سازگار شده، برای مقیاس کردن استفاده شده است. همچنین این 8 رکورد در تحلیل دینامیکی فزاینده نیز استفاده شده اند. (به Vamvatsikos Cornell, 2002) [5] که به ساختمان های نمونه اعمال شده است. این تحلیل های IDA می تواند برای صحت سنجی تحلیل های پوش آور استفاده شود (Elnashi, 2001; Gupta & Kunnath, 2000) [6-7] و برخی تحقیقات اولیه برای صحت سنجی روش DAP با استفاده از تعداد زیادی رکورد قبلا در تحقیق دیگری انجام شده است. یک مثال عملی برای برای نمونه تحقیقی 4 طبقه در شکل 2 (در جهت x) و در شکل 3 (جهت y) نشان داده شده است، جایی که منحنی ها بر روی این نمودارها برای هر رکورد با استفاده از مقیاس کردن طیفی، به همراه نتایج تحلیل IDA نشان داده شده اند. نتایج نشان می دهد که برخی تغییرات ذاتی در پاسخ که در تحلیل های غیرخطی مشاهده می شود، توسط تحلیل های مقیاس شده طیفی روش DAP ضبط می شود و همچنین نتایج مشاهده شده در جهت y ساختمان نزدیک ترند. هدف از این تحقیق صحت سنجی الگوریتم DAP با استفاده از تحلیل IDA نیست، چرا که همان طور که قبلا اشاره شد این تحقیقات در جای دیگری انجام شده است. در عملیات فعلی، از روش DAP برای تعریف مشخصات سازه یک درجه آزادی استفاده می شود، در حالی که تحقیقات آینده به تاثیرات تغییرات بر روی این مشخصات در پاسخ سازه تحت بار دینامیکی می پردازد.



شکل 2- نمودار IDA و DAP برای ساختمان 4 طبقه بتنی در جهت X



شکل 3- نمودار IDA و DAP برای ساختمان 4 طبقه بتنی در جهت Y

3- مشخصات سیستم یک درجه آزادی

شکل تغییر یافته یک پارامتر مهم است چون که مشخصات اکثر سیستم های SDOF (مثل ارتفاع موثر، جرم موثر و تغییر مکان هدف) از شکل تغییر یافته ساختمان به دست می آیند. در این تحقیق از شکل های تغییر یافته ای که برای قابها و سیستم های



دوگانه توسط Priestley و همکاران در سال 2007 [8] پیشنهاد شده است، استفاده می شود. برای قابهای ساختمانی منظم، معادلات زیر هر چند به طور تقریبی، برای نشان دادن شکل تغییر یافته برای اهداف طراحی بر پایه تغییر مکان کافی می باشد.

$$n \leq 4: \quad d_i = H_i / H_n \quad \text{and for } n > 4 \quad d_i = (4/3)(H_i / H_n)(1 - H_i / (4H_n)) \quad (1)$$

که H_n و H_i به ترتیب ارتفاع های موثر سطح i و سطح بام n هستند. پروفیل تغییر مکان سیستم های دوگانه نسبتا پیچیده هستند و توسط مجموعه ای از معادلات فرض شده توسط سولیوان و همکاران در سال 2006 داده شده است [9]. لازم به ذکر است که معادلات داده شده زیر پروفیل تغییر مکان را تعریف می کنند نه پروفیل شکل تغییر یافته، هر چند شکل تغییر یافته می تواند به آسانی با نرمال سازی مقادیر تغییر مکان هر کف نسبت به حداکثر تغییر مکان، به دست آید. پروفیل تغییر مکان تسلیم در معادله (2) و پروفیل تغییر مکان طراحی در معادله (3) نشان داده شده اند:

$$H_i \leq H_{CF} \quad D_{yi} = \phi_{yw}(H_i^2/2 - H_i^3/(6H_{CF})) \quad \text{and for } H_i > H_{CF} \quad D_{yi} = \phi_{yw}(H_{CF}H_i/2 - H_{CF}^2/6) \quad (2)$$

$$D_{Di} = D_{yi} + (\phi_{Is} - \phi_{yw}) L_p H_i \quad (3)$$

به طوری که L_p طول مفصل پلاستیک است، که در معادله (4) داده شده است، ϕ_{yw} انحنای تسلیم دیوار است، که در معادله (5) داده شده است و ϕ_{Is} انحنای کنترل خرابی حالت حدی است که در معادله (6) ارائه شده است.

$$L_p = kH_{CF} + 0.11l_w + L_{sp} \quad (4)$$

$$\phi_{yw} = 2.10 \varepsilon_y / l_w \quad (5)$$

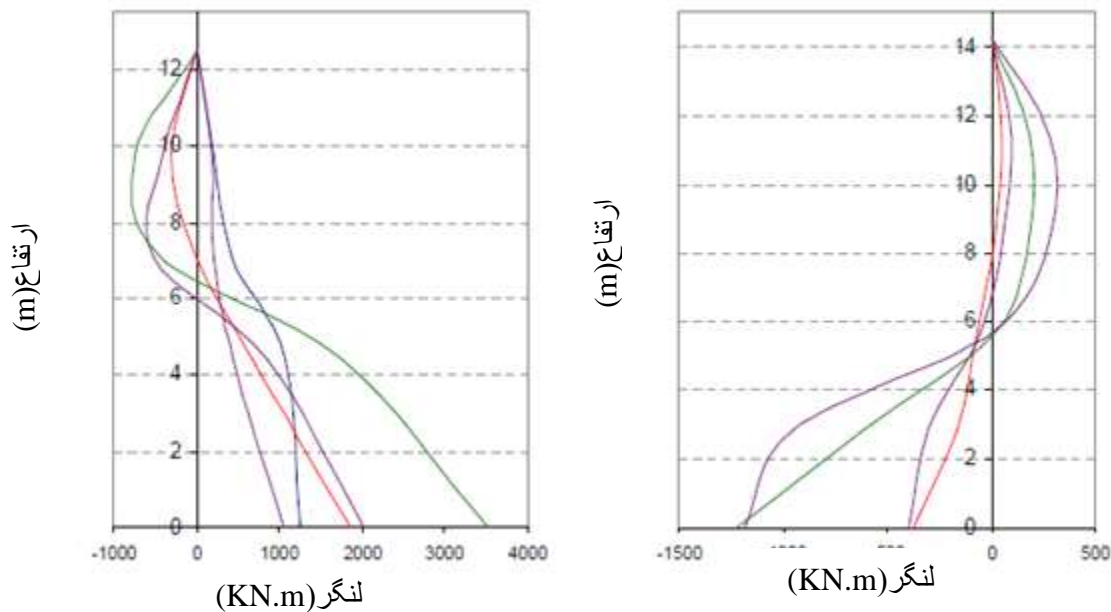
$$\phi_{Is} = 0.072 / l_w \quad (6)$$

به طوری که k برابر $0.08 \leq 0.2(f_u/f_y - 1) \leq 0.08$ است، H_{CF} ارتفاع عطف خمش است، همان گونه که در زیر شرح داده شده است، ε_y کرنش تسلیم فولاد است، l_w طول دیوار است و L_{sp} طول نفوذ کرنش است که در معادله (3.7) داده شده است، f_u مقاومت نهایی و f_y مقاومت تسلیم مصالح فولاد است (بر حسب MPa) و d_{pi} قطر میلگردهای عمودی است:

$$L_{sp} = 0.0022f_y d_{bl} \quad (7)$$

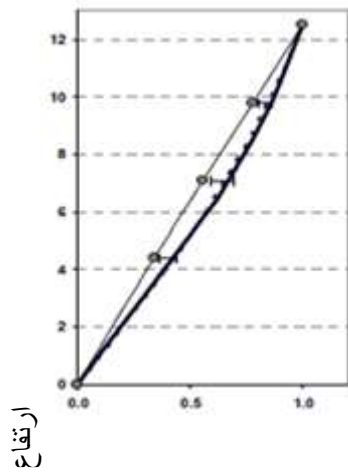
نقطه عطف خمش اساسا نقطه ای است که خمش در دیوار تغییر علامت می دهد. نقطه عطف خمش و پروفیل های تغییر مکان برای سیستم های دوگانه اغلب بر اساس مشخصات یک دیوار تنها می باشند. هر چند نمونه های تحقیقی مورد استفاده در این مقاله دارای دیوار با ابعاد مختلف هستند که موجب ایجاد مقادیر متفاوت برای پاسخ سیستم می شود، در اینجا میانگین وزن دار نسبت لنگر هر دیوار نسبت به ممان واژگونی در نظر گرفته شده است.

توزیع لنگر دو نمونه از ساختمان های مورد مطالعه در راستای ارتفاعشان در شکل 4 نشان داده شده است. از این شکل می توان مشاهده کرد که در برخی دیوارها علامت توزیع لنگر تغییر نمی کند پس ارتفاع نقطه عطف در این دیوارها برابر ارتفاع ساختمان فرض می شود، جایی که لنگر صفر است. با استفاده از تحلیل مشابه برای تمامی ساختمان ها، ارتفاع میانگین عطف برای هر ساختمان با میانگین گیری ارتفاع نقاط عطف در دیوارها که توسط توزیع لنگر وزن دار شده اند، محاسبه شده است. سپس نسبت ارتفاع عطف به ارتفاع کل سازه محاسبه شده و در جدول 1 نشان داده شده است.

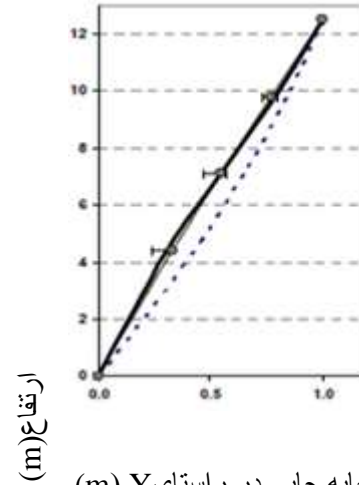


شکل 4- توزیع لنگر در راستای ارتفاع برای سازه 4 و 5 طبقه در جهت y

شکل تغییر یافته سازه ها بر اساس نتایج میانگین تمامی تحلیل های DAP ارائه شده توسط Priestley و همکاران [8] به طوری که در بالا در معادلات (1) تا (7) تعریف شد، ترسیم شده است. تغییر شکل های بدست آمده و مقایسه آنها در شکل 6، 5 و 7 مشاهده می شود. نسبت لنگرهای دیوار به کل لنگر واژگونی در هر جهت از هر ساختمان در گام شکست نیز محاسبه شده و در جدول 1 آمده است. از شکل ها می توان نتیجه گرفت که ساختمان 4 طبقه در جهت y، که دارای بیشترین نسبت توزیع لنگر در دیوارها می باشد، دارای نزدیکترین شکل تغییر یافته به شکل تغییر یافته پیشنهاد شده برای سیستم دوگانه قاب-دیوار می باشد.

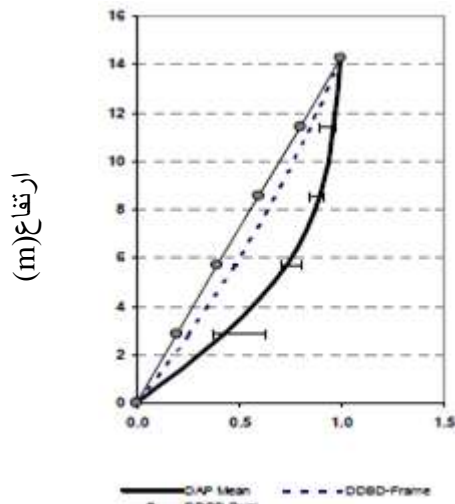


جابه جایی در راستای X (m)

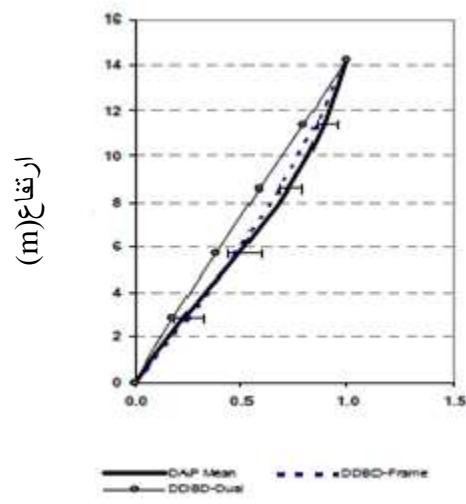


جابه جایی در راستای Y (m)

شکل 5- شکل تغییر یافته سازه 4 طبقه در دو جهت

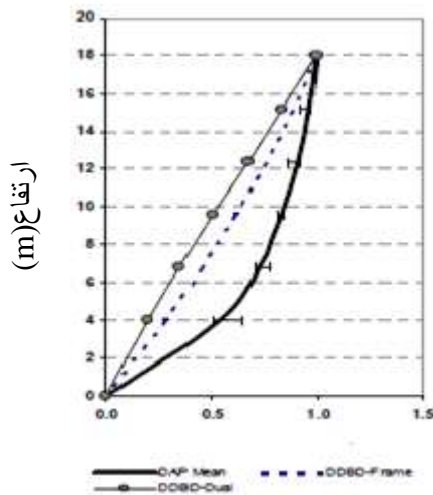


جابه جایی در راستای X (m)

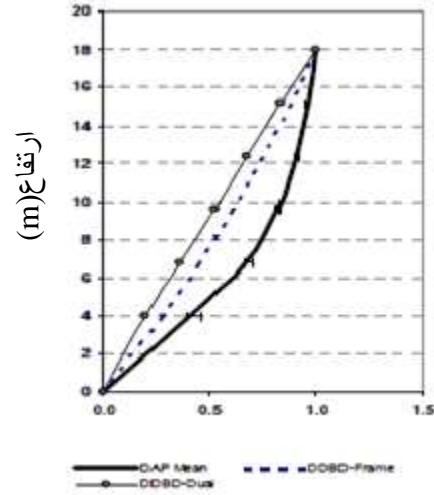


جابه جایی در راستای Y (m)

شکل 6- شکل تغییر یافته سازه 5 طبقه در دو جهت



جابه جایی در راستای X (m)



جابه جایی در راستای Y (m)

شکل 7- شکل تغییر یافته سازه 6 طبقه در دو جهت

ساختمان های 6 و 5 طبقه یک مکانیزم شکست را در طبقه اول و در جهت X گسترش می دهند و بنابراین از پروفیل تغییر مکان پیشنهادی تبعیت نمی کنند چون که این پروفیل تغییر مکان بر اساس این فرض استوار است که ساختمان یک مکانیزم خرابی تیر-دال (یا کلی) را موجب خواهد شد. نسبت ارتفاع موثر به ارتفاع کل سازه نیز با استفاده از شکل تغییر یافته محاسبه شده است. این نسبت ها در جدول 1 آمده اند. مشاهده می شود که ساختمان هایی که موجب مکانیزم شدن طبقه اول می شوند (یا به اصطلاح "مکانیزم ستون-تغییر مکان جانبی") دارای نسبت پایین H_{eff}/H_n می باشند که به سمت عدد 0.5 همگرا می شوند، که مقداری است که توسط Priestley و همکاران (2007) [8] برای ساختمان های ستون-تغییر مکان جانبی پیشنهاد شده است.

جدول 1- میانگین وزن، ارتفاع عطف دیوار، ارتفاع موثر و مشارکت هر دیوار برای هر مدل

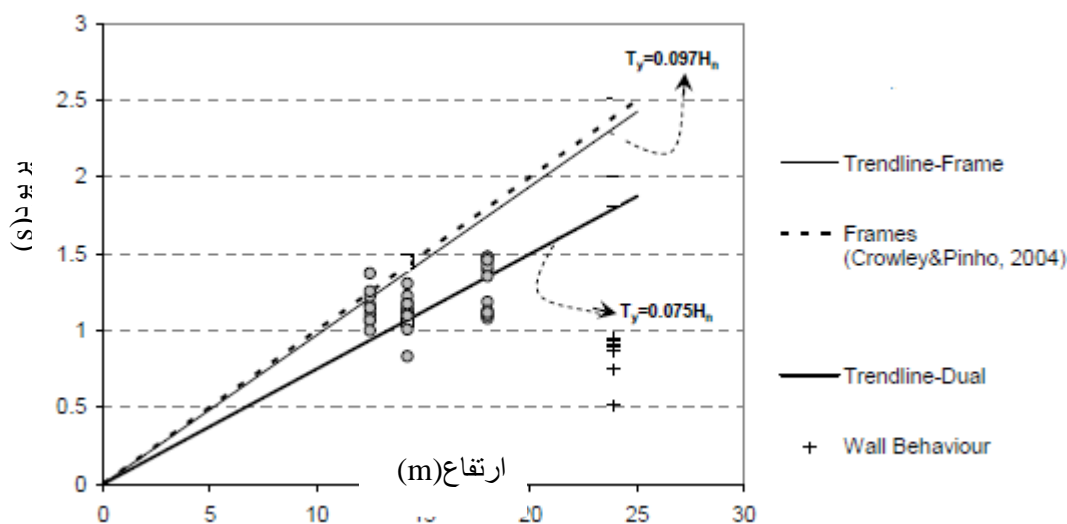
Building / Direction	H_{CF}/H_n	H_{eff}/H_n	$\Sigma M_{wall}/\Sigma M_{OVR}$
4-storey-x	0.38	0.65	0.071
4-storey-y	0.64	0.68	0.255
5-storey-x	0.40	0.61	0.055
5-storey-y	0.12	0.65	0.156
6-storey-x	0.85	0.52	0.081
6-storey-y	0.52	0.53	0.098

4- رابطه پریود-ارتفاع

پریود تسلیم ساختمانها با کاهش دادن کل سازه به یک سیستم یک درجه آزادی محاسبه می شود که دارای یک جرم موثر و ارتفاع موثر است، در حالی که سختی تسلیم برابر نسبت برش پایه به تغییر مکان تسلیم است. یک مطالعه جامع بر روی رابطه پریود-ارتفاع برای سازه های قابی موجود در سال 2004 توسط پینهو انجام شده است [2]. رابطه میان پریود تسلیم نمونه های مورد مطالعه استفاده شده در این تحقیق و ارتفاع کلی آنها نسبتاً پیچیده است چون تمامی سازه ها نشانگر رفتار ترکیبی قاب-دیوار در تمام جهات نیستند.

همان طور که از جدول 1 مشاهده می شود، توزیع لنگر در دیوارها حدود 5٪ برای برخی سازه ها کاهش می یابد، که نشان دهنده این موضوع است که سازه ها مشابه سازه های قابی شکل رفتار می کنند. با در نظر گرفتن شکل تغییر یافته داده شده در شکل 5 و مشارکت لنگر دیوار، سازه های نمونه مورد مطالعه به سه گروه رفتاری تقسیم می شوند:

"رفتار قابی" که شامل جهت X در ساختمان های 4 و 5 طبقه می شود، "رفتار دوگانه" جایی که جهت Y سازه های 4 و 5 طبقه و هر دو جهت در ساختمان 6 طبقه در نظر گرفته می شود و "رفتار دیواری" با در نظر گرفتن جهت Y ساختمان 6 طبقه، چون این سازه فقط شامل دیوار در جهت Y می باشد. پریودهای تسلیم لرزش ساختمانها در هر گروه محاسبه شده و در مقابل ارتفاع کل آنها در شکل 8 ترسیم شده اند.



شکل 8- رابطه پریود با ارتفاع

بهترین روش تطبیقی برای خط روند گروه قاب رابطه پریود-ارتفاع $0.097H$ را نتیجه میدهد به طوری که H برابر ارتفاع کل سازه بر حسب متر است، که این رابطه با رابطه فرض شده توسط پینهو که $0.1H$ است، سازگار است. بهترین روش تطبیقی برای خط روند برای سازه های دوگانه دارای رابطه $0.075H$ است و دوباره H ارتفاع بر حسب متر است. مطابق انتظار برای ارتفاع مفروض یک سازه، سیستم دوگانه به علت سختی زیاد دیوارها دارای پریود تسلیم پایین تری می باشد. مطابق انتظار سازه های دیواری که در این نمونه فقط شامل ساختمان 6 طبقه در جهت Y می شود، پریود ارتعاشی بسیار پایین تری دارد



5- نتیجه گیری

روش پوش آور به هنگام شونده بر پایه تغییر مکان (DAP) به سه نمونه مورد مطالعه دارای سیستم دوگانه اعمال شده است. منحنی های ظرفیت حاصل شده برای به دست آوردن مشخصات SDOF این گونه از سازه ها برای استفاده در ارزیابی سازه های موجود بر اساس تغییر مکان، استفاده شده اند. پروفیل های تغییر شکل یافته با معادلات موجود برای قابها و سیستم های دوگانه مقایسه شدند و مشاهده شد که وقتی که مشارکت دیوارها در لنگر مقاوم کل سازه پایین است، پروفیل با معادله قاب سازگار است، در حالی که پروفیل سازه دوگانه برای حالتی سازگار است که دیوارها دارای مشارکت بالا نسبت به ظرفیت کل باشند. در برخی موارد، ساختمان ها تشکیل یک طبقه مکانیزم را می دهند و بنابراین پروفیل های تغییر شکل یافته با معادلات موجود که برای طراحی ساختمان های جدید با مکانیزم خرابی کلی استخراج شده اند، سازگار نمی باشند. معادله مربوط به پیوند ارتعاش ساختمان دوگانه که در این مقاله استخراج شد برابر $0.075H$ می باشد.

6- مراجع

- [1] Priestley, M.J.N. (1997) Displacement-Based Seismic Assessment of Reinforced Concrete Buildings, 1:1, 157-192.
- [2] Antoniou, S. and Pinho, R. (2004). Development and verification of a displacement-based adaptive pushover procedure. Journal of Earthquake Engineering 8:5, 643-661.
- [3] Vuran, E. (2007). Comparison of Nonlinear Static and Dynamic Analysis Results for 3D Dual Structures. MSc
- [4] SeismoSoft (2015). SeismoStruct - A computer program for static and dynamic analysis for framed structures.
- [5] Vamvatsikos, D. and Cornell A.C. (2002). Incremental Dynamic Analysis. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31:3, 491-514.
- [6] Gupta, B. and Kunnath, S. K. (2000). Adaptive spectra-based pushover procedure for seismic evaluation of structures. Earthquake Spectra 16:2, 367-391.
- [7] Elnashai, A. S. (2001). Advanced inelastic static (pushover) analysis for earthquake applications. Structural Engineering and Mechanics 12:1, 51-69.
- [8] Priestley, M.J.N., Calvi, G.M., Kowalsky, M.J. (2007). Displacement-Based Seismic Design of Structures.
- [9] Sullivan T.J., Priestley M.J.N and Calvi G.M. (2006). Seismic Design of Frame-Wall Structures. ROSE Research Report 2006/02,