

ارزیابی روش تحلیل دینامیکی زمان دوام در سازه های فضاکار

سجاد حاجی نیا^۱، محمدرضا چناقلو^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، ایران

۲- عضو هیات علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، ایران

خلاصه

استفاده از روش های تحلیل دقیق ارزیابی سازه ها در مقابل زلزله، مسئله ایست که همواره با چالش هایی روبرو بوده است و کاربرد این روش ها بدلیل پیچیدگی های موجود در استفاده از آنها همواره با اشکالاتی روبرو بوده است. از این رو همواره تلاش برای یافتن روش هایی که بتوانند در عین سادگی، الزامات آیین نامه ها را برآورده نمایند، وجود داشته است. روش جدید بارگذاری و تحلیل دینامیکی فزاینده به نام روش زمان دوام^۲ از جمله این روش ها است. در این روش سازه تحت اثر یکسری توابع شتاب فزاینده با مشخصات خاص قرار گرفته و رفتار آن در زمان های مختلف و با سطوح تحریک مختلف مورد ارزیابی قرار می گیرد. سازه های فضاکار از جمله سازه هایی هستند که در سالیان اخیر اقبال بیشتری در جهت بررسی و طراحی آن وجود داشته است. در این پژوهش کارایی روش زمان دوام بر روی چلیک ها به عنوان خانواده ای متداولی از سازه های فضاکار، مورد بررسی قرار گرفته و کاربرد آن در تحلیل این نوع از سازه ها به بحث گذاشته خواهد شد. از بررسی چلیک های با شرایط متفاوت تحت روش زمان دوام، مشخص گردید که نتایج بدست آمده از این روش با صرف هزینه و محاسبات کمتر در مقایسه با روش های پیچیده دینامیکی، دارای انطباق بسیار مناسبی با این روش ها است.

کلمات کلیدی: تحلیل دینامیکی، روش زمان دوام، سازه های فضاکار، چلیک ها

۱. مقدمه

روش های تحلیل استاتیکی، تحلیل طیف پاسخ و تحلیل تاریخچه زمانی به عنوان روش های متداول در آیین نامه های طراحی سازه ها در برابر زلزله به کار برده می شوند. با توجه به آن که روش تاریخچه زمانی، زمان زیادی جهت هم پایش نمودن شتاب نگاشت ها نیاز داشته و از طرفی تعداد تحلیل ها در این روش فراوان است، از این رو روش زمان دوام (ET) که نقش اساسی در کاهش تعداد تحلیل های لازم دارد، بر پایه تحلیل تاریخچه زمانی ایجاد شد. در این روش توابع شتاب فزاینده که طیف خطی و غیر خطی آن ها متناسب با طیف زلزله های واقعی می باشد و به صورت یکنواخت با زمان افزایش می یابند، ایجاد می شوند [۱]. در واقع این روش یک روش تاریخچه زمانی براساس روند پوش آور دینامیکی برای آنالیز و طرح سازه ها است که در آن سازه ها در معرض یکسری شتاب نگاشت فزاینده طراحی شده خاص، قرار گرفته و رفتار سازه در شدت های مختلف تحریک مورد بررسی قرار می گیرد [۲]. توابع شتاب زمان دوام دارای طرح های افزایش تحریک

¹ Corresponding author: s_hajinia@sut.ac.ir

² Endurance Time

مختلفی هستند، برای بررسی های اولیه در روش زمان دوام یک طرح افزایش شدت خطی پیشنهاد شده است. در این طرح طیف پاسخ تابع شتاب زمان دوام متناسب با زمان افزایش می یابد. پاسخ هدف یک تابع شتاب زمان دوام به صورت رابطه ۱ تعریف می شود:

$$S_{aT}(T, t) = S_{ac}(T) \times \frac{t}{t_{Target}} \quad (1)$$

که در آن $S_{aT}(T, t)$ پاسخ شتاب هدف در زمان T, t دوره تناوب ارتعاش آزاد، $S_{ac}(T)$ طیف شتاب طرح آیین نامه به عنوان طیف الگو و t_{Target} زمان هدف و برابر با زمانی می باشد که در آن پاسخ برابر با مقادیر آیین نامه ای می شود [۲]. این رابطه بیانگر تناسب بین پاسخ شتاب ایجاد شده توسط تابع شتاب زمان دوام در زمان مشخص t و طیف الگوی در نظر گرفته شده می باشد.

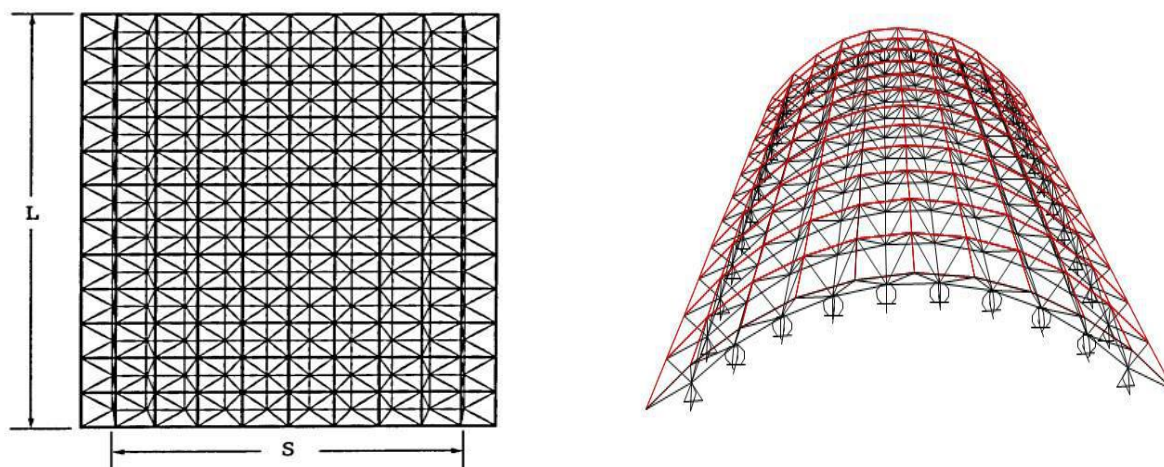
همانطور که اشاره شد توابع شتابی که برای تحلیل تاریخچه زمانی در روش زمان دوام مورد استفاده قرار می گیرند دارای دو ویژگی اساسی که آن ها را با سایر شتاب نگاشت ها متمایز می سازد هستند این دو ویژگی فزاینده بودن دامنه شتاب ها و کالیبره بودن این توابع با طیف آیین نامه می باشد [۴]. در زمینه کارایی روش زمان دوام تحقیقات زیادی صورت گرفته است نتایج تحقیقات انجام شده در این زمینه نشان دهنده توانایی عملی مناسب این روش می باشد [۳]. سازه های فضاکار به عنوان سازه هایی جهت پوشش دهانه های بزرگ مورد استفاده قرار می گیرند. سازه های فضاکار مشبک نسبت به سایر سازه های فضاکار مشابه بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند [۵]. بررسی روش های دینامیکی و اثرات زلزله روی این سازه ها با توجه به بررسی های محدود صورت گرفته در این زمینه، مورد نیاز می باشد. از جمله مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است می توان به بررسی چلیک های دولایه تحت زوایای مختلف بازشدگی دهانه [۶]، بررسی اثرات مولفه های زلزله بر رفتار خطی و غیر خطی چلیک های دولایه [۷] و رفتار لرزه ای این سازه ها [۸] اشاره کرد. همان طور که اشاره شد مطالعات فراوانی بر روی کارایی روش زمان دوام به خصوص در مورد قاب های ساختمانی انجام گرفته است. می توان گفت کارایی این روش برای سازه های پیچیده نیازمند تحقیقات بیشتری است. در این تحقیق کارایی این روش بر روی سازه های فضاکار که دارای رفتار مسلط سه بعدی [۵] هستند مورد ارزیابی قرار می گیرد و در ادامه رفتار چلیک های دولایه در مقابل توابع شتاب زمان دوام سری a که مناسب جهت تحلیل خطی است [۹] بررسی شده و کارایی این روش با توجه به نتایج روش های استاتیکی، طیفی و تاریخچه زمانی مقایسه شده است.

۲. مشخصات سازه فضاکار مورد استفاده

در این تحقیق چلیک های دولایه با نقش مربع روی مربع^۱ با نسبت خیز به دهانه های ۰/۱۵، ۰/۳ و ۰/۴۵ تحلیل و طراحی شده اند. در انتخاب اولیه هندسه و مقاطع سازه، نیاز به طراحی مناسب اعضا می باشد تا سازه جوابگوی بارهای وارده باشد. دهانه چلیک ۳۰ متر، طول آن ۴۲ متر و عمق چلیک ۱/۵ متر انتخاب شده است. مشخصات فوق یک محدوده میانه در این چلیک ها است. شکل ۱ یک نمونه از چلیک ها را نمایش می دهد. ساخت تاشه^۲ چلیک ها توسط نرم افزار FORMIAN صورت گرفته است. در ادامه مدلسازی در نرم افزار SAP2000 انجام شده است.

¹ Square on Square

² Configuration



شکل ۱ - تاشه چلیک با نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۱۵

۳. تحلیل و طراحی اولیه

مقاطع مورد استفاده در طراحی از نوع مقاطع PIPE می باشد. بارمرده مطابق با طرح های کاربردی بوده که شامل وزن المان ها، اتصالات، پوشانه ها و همه دیگر متعلقات آن است. این مقدار $0/5 \frac{kN}{m^2}$ در نظر گرفته شده است. بارگذاری چلیک ها بر طبق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران [۱۰] بوده است که در آن بارگذاری برف برای سقف های قوسی به دو صورت متقارن و نامتقارن انجام می شود. جهت بارگذاری زلزله از طیف پاسخ استاندارد ۲۸۰۰ [۱۱] استفاده شده است. لازم به ذکر است که ضریب رفتار ۴ برای چلیک ها مورد استفاده قرار گرفته است. مشخصات مصالح فولادی مورد استفاده در تحلیل ها به صورت زیر می باشد:

$$E \text{ (مدول یانگ): } 2/05 \times 10^5 \frac{N}{mm^2}$$

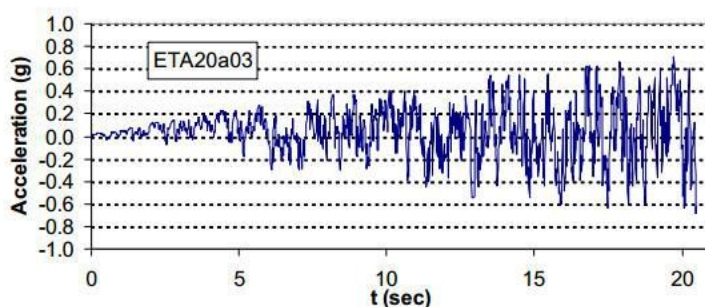
$$\gamma \text{ (ضریب پواسون): } 0/3$$

$$\rho \text{ (جرم واحد حجمی مصالح): } 785 \frac{kg}{m^3}$$

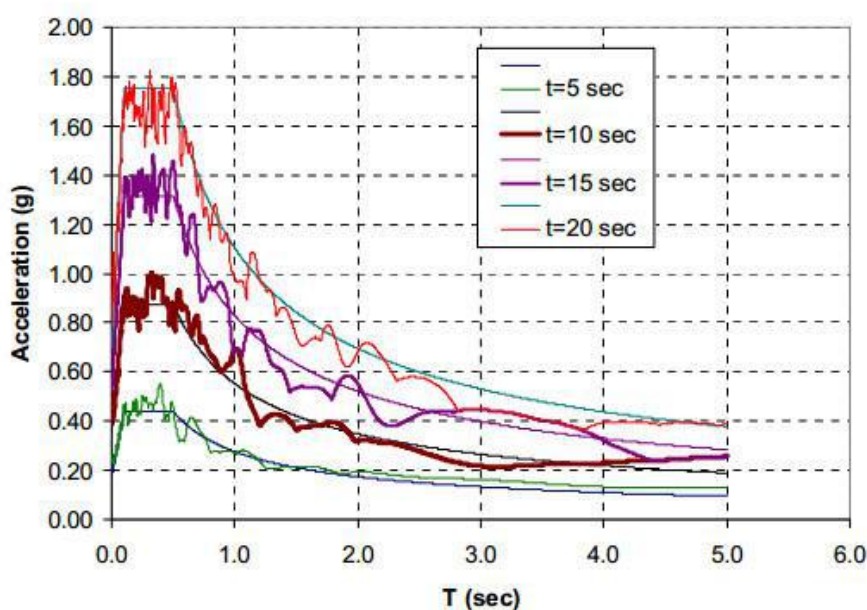
$$\sigma_Y \text{ (تنش تسلیم): } 275 \frac{N}{mm^2}$$

۴. توابع شتاب زمان دوام

همانطور که گفته شد سری مورد استفاده در این تحقیق سری a بوده که یک سری سه تایی است. این مجموعه ETA20a نام دارد [۹]. طول زمان این سری ۲۰ ثانیه است. این سری براساس طیف هدف خاک نوع II استاندارد ۲۸۰۰ تولید شده است. شکل ۲ شتابنگاشت رکورد ETA20a03 و شکل ۳ طیف پاسخ رکورد ETA20a02 را در زمان های مختلف نمایش می دهد:



شکل ۲ - شتاب نگاشت افزاینده ETA20a03 [۹]



شکل ۳ - طیف پاسخ تابع شتاب ETA20a02 در زمان های مختلف [۹]

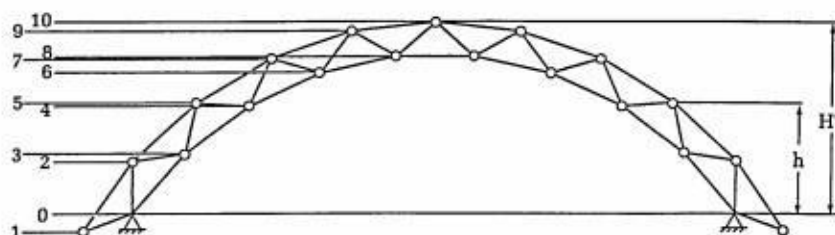
اطلاعات مربوط به زلزله های به کار رفته در تحلیل دینامیکی در جدول ۱ آمده است:

جدول ۱ - اطلاعات زلزله های به کار رفته در تحلیل دینامیکی

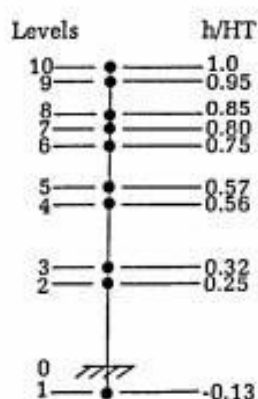
شماره رکورد	نام زلزله	ایستگاه	بزرگا	فاصله از گسل (کیلومتر)
۱	Imperial valley,usa,1979	El cento array#6	۶/۵	۱/۰
۲	Kobe,japan,1995	takarazuka	۶/۹	۱۱/۱
۳	Landers,usa,1992	lucerne	۷/۳	۱/۱
۴	Loma prieta,usa,1989	LGPC	۶/۹	۶/۱
۵	Northridge,usa,1994	Tarzan ,cedar hill	۶/۷	۱۷/۵
۶	San Fernando,usa,1971	Pacoima dam	۶/۶	۲/۸
۷	Tabas,iran,1978	tabas	۷/۴	N/A

۵. تحلیل زمان دوام و مقایسه آن با نتایج تحلیل‌های استاتیکی، طیفی و تاریخچه زمانی

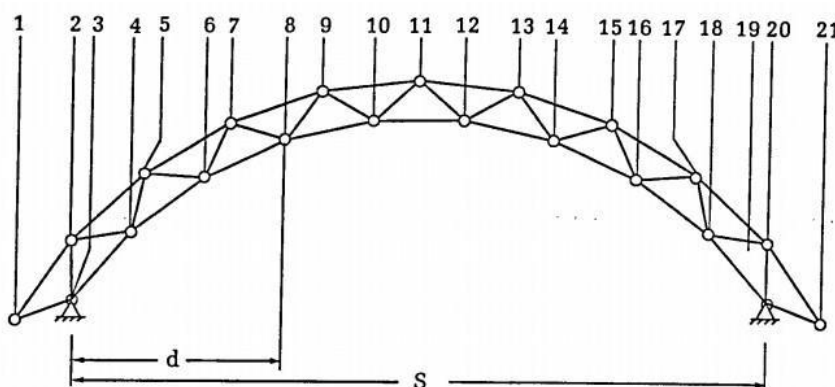
در این تحقیق هردو مولفه افقی و قائم توابع شتاب و نیز رکوردهای زلزله‌ای انتخابی مورد استفاده قرار گرفته است. باتوجه به خصوصیات یکسان توابع شتاب زمان دوام از ضریب $\frac{2}{3}$ برای رکوردهای مجموعه ETA20a به‌منظور در نظر گرفتن آن‌ها به‌عنوان رکورد قائم استفاده شده است [۱۲]. برای بررسی نتایج در گره‌ها ناشی از بارگذاری مولفه‌های زلزله، سطوح و ارتفاع نسبی متناظر برای نیروهای معادل مطابق شکل‌های ۴ تا ۷ بدست آمده است:



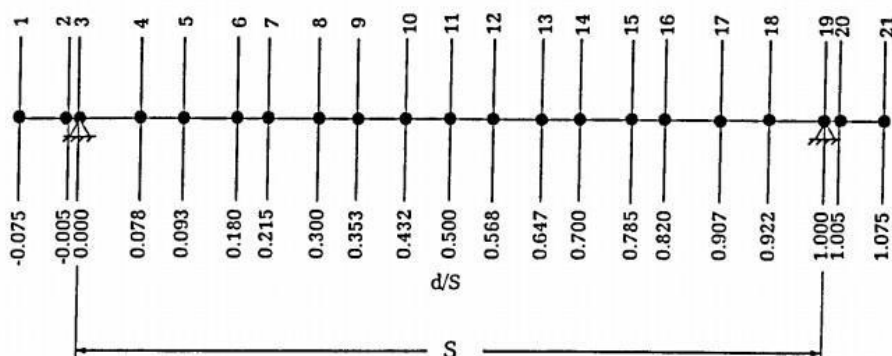
شکل ۴ - گره‌ها و سطوح در بارگذاری افقی در چلیک با نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۳ [۱۳]



شکل ۵ - ارتفاع نسبی در بارگذاری افقی برای نیروهای معادل در چلیک با نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۳ [۱۳]

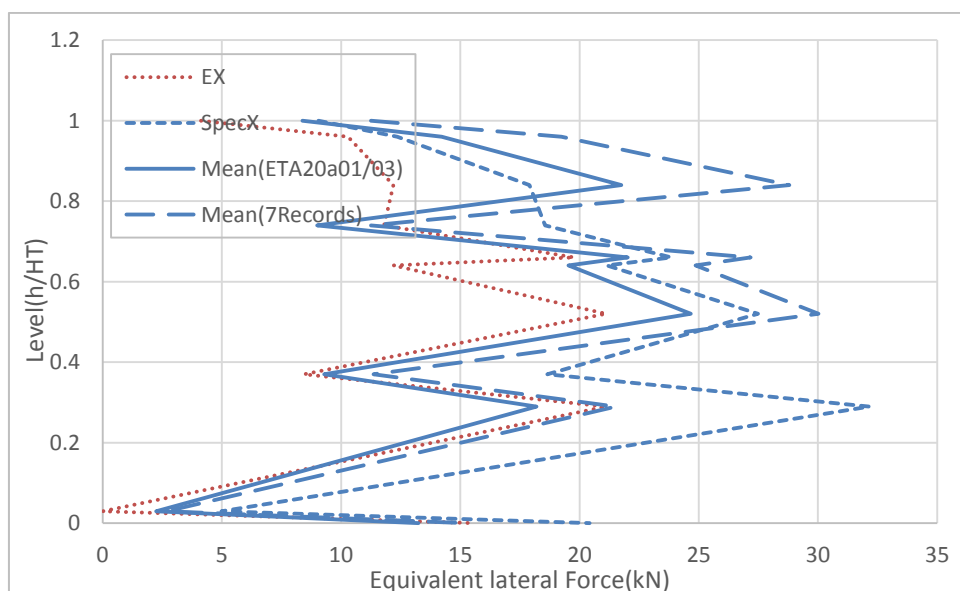


شکل ۶ - گره‌ها و سطوح در بارگذاری قائم در چلیک با نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۳ [۱۳]

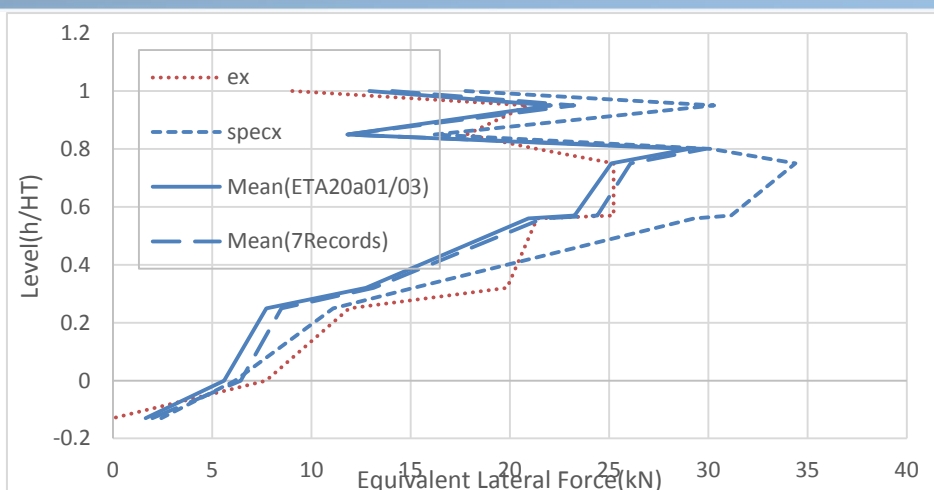


شکل ۷ - فواصل نسبی در بارگذاری قائم برای نیروهای معادل در چلیک با نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۳ تا ۱۳

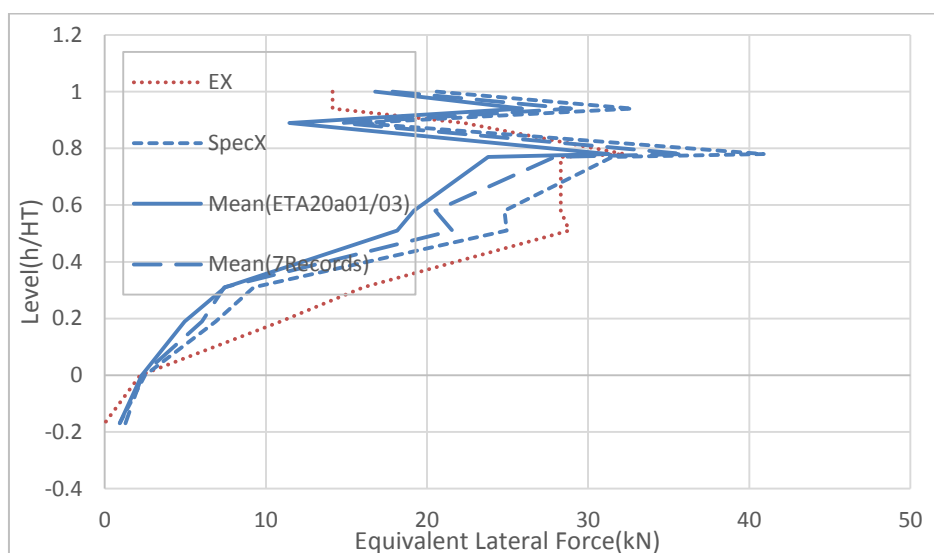
اشکال ۸، ۹ و ۱۰ نمودار مقایسه توزیع نیروی جانبی تحت مولفه افقی رکوردهای زلزله و نتایج روش زمان دوام را در چلیک های با نسبت ارتفاع به دهانه های ۰/۱۵، ۰/۳ و ۰/۴۵ نمایش می دهد. در چلیک با نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۱۵ مقادیر توزیع نیروی جانبی بدست آمده از روش زمان دوام با مقادیر بدست آمده از روش های استاتیکی، طیفی و تاریخچه زمانی دارای انطباق مناسبی است. همچنین از مقایسه مقادیر بدست آمده در روش زمان دوام برای چلیک های با نسبت ارتفاع به دهانه های ۰/۳ و ۰/۴۵ با مقادیر بدست آمده از روش های استاتیکی، طیفی و تاریخچه زمانی می توان به انطباق نتایج پی برد. همانطور که از بررسی اشکال بدست می آید هنگامی که اختلاف وجود دارد مقادیر روش زمان دوام به مقادیر تحلیل های طیفی و تاریخچه زمانی نزدیک تر است. در گره های با ارتفاع نسبی کمتر از ۰/۲ و یا بیشتر از ۰/۹ اختلاف روش ها به کمترین میزان خود می رسد.



شکل ۸ - مقایسه توزیع نیروی جانبی در برابر ارتفاع نسبی (خیز به دهانه ۰/۱۵) - مولفه افقی

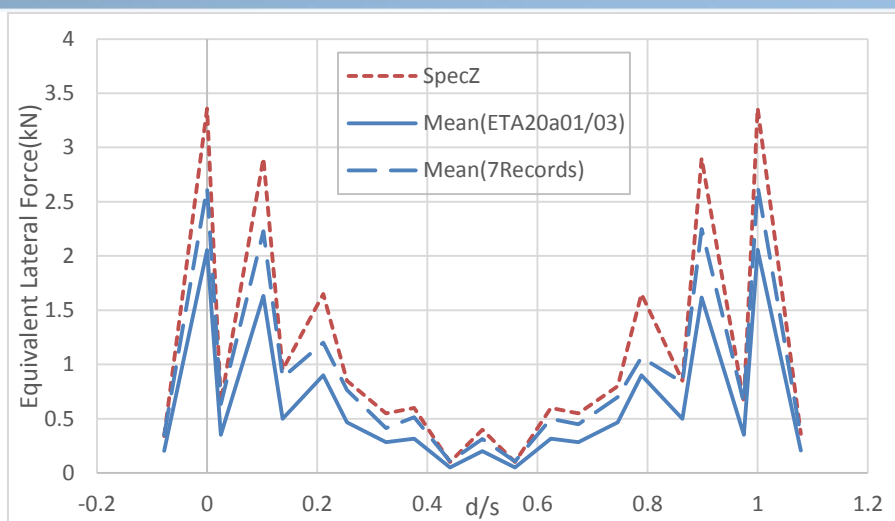


شکل ۹ - مقایسه توزیع نیروی جانبی در برابر ارتفاع نسبی (خیز به دهانه ۰/۳) - مولفه افقی

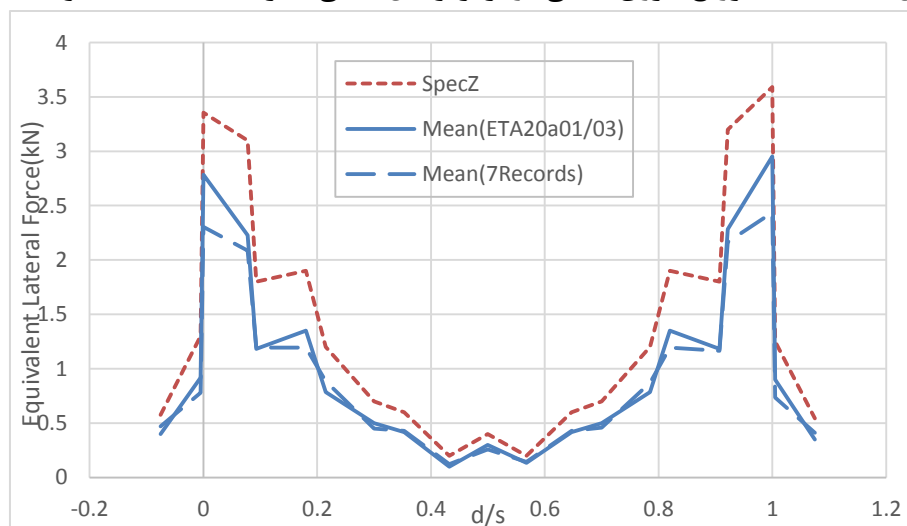


شکل ۱۰ - مقایسه توزیع نیروی جانبی در برابر ارتفاع نسبی (خیز به دهانه ۰/۴۵) - مولفه افقی

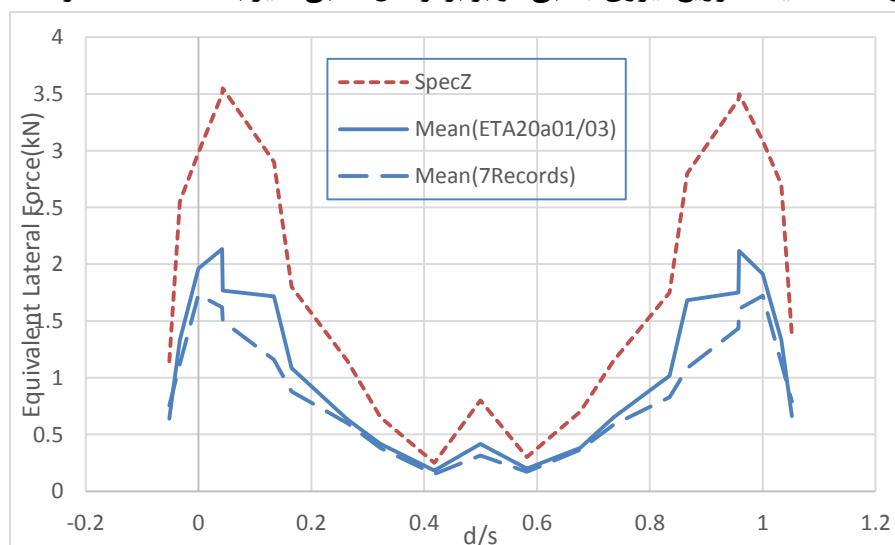
اشکال ۱۱، ۱۲ و ۱۳ نمودار مقایسه توزیع نیروی جانبی تحت مولفه قائم رکوردهای زلزله و نتایج روش زمان دوام را در چلیک های با نسبت ارتفاع به دهانه های ۰/۱۵، ۰/۳ و ۰/۴۵ نمایش می دهد. در چلیک با نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۱۵ مقادیر توزیع نیروی جانبی بدست آمده از روش زمان دوام کمتر از مقادیر بدست آمده در روش های طیفی و تاریخچه زمانی است. این اختلاف در گره های با فواصل نسبی بین ۰/۲ تا ۰/۸ بسیار ناچیز است. مقادیر بدست آمده در روش زمان دوام برای چلیک های با نسبت ارتفاع به دهانه ۰/۳ و ۰/۴۵ کمتر از مقادیر بدست آمده در روش طیفی است. در این چلیک ها نیز در گره های با فواصل نسبی ۰/۲ تا ۰/۸ اختلاف روش ها به کمترین میزان خود می رسد.



شکل ۱۱ - مقایسه توزیع نیروی جانبی در برابر فواصل نسبی (خیز به دهانه ۰/۱۵) - مولفه قائم



شکل ۱۲ - مقایسه توزیع نیروی جانبی در برابر فواصل نسبی (خیز به دهانه ۰/۳) - مولفه قائم



شکل ۱۳ - مقایسه توزیع نیروی جانبی در برابر فواصل نسبی (خیز به دهانه ۰/۴۵) - مولفه قائم

۶. نتیجه گیری

از بررسی نتایج روش زمان دوام و روش‌های تحلیل استاتیکی، طیفی و تاریخیچه زمانی برای مولفه افقی می‌توان گفت که مقادیر بدست آمده از روش زمان دوام دارای انطباق بسیار مناسبی با سایر روش‌هاست. هنگامی که اختلاف وجود دارد مقادیر روش زمان دوام به مقادیر روش‌های طیفی و تاریخیچه زمانی نزدیک‌تر است. علت اختلاف را می‌توان بیشتر در عدم انطباق طیف پاسخ با طیف الگو دانست. همچنین مقادیر بدست آمده در گره‌های با ارتفاع نسبی کمتر از $0/2$ و یا بیشتر از $0/9$ نشان‌دهنده یکسان بودن مقادیر بدست آمده در هر چهار روش است. از بررسی نتایج برای مولفه قائم، مقادیر بدست آمده از روش زمان دوام دارای انطباق نسبتاً قابل قبولی با روش‌های طیفی و تاریخیچه زمانی است. اختلاف مقادیر در گره‌های با فواصل نسبی $0/2$ تا $0/8$ به کمترین میزان خود می‌رسد. در انتها می‌توان گفت که نتایج به‌دست آمده از روش زمان دوام با دقت بسیار مناسبی به نتایج روش پیچیده تحلیل تاریخیچه زمانی نزدیک است. مزیت‌های ذکر شده در مورد روش زمان دوام در واقع به‌علت استفاده از روش تاریخیچه زمانی در روند تولید توابع و فزاینده بودن توابع شتاب زمان دوام است

۷. مراجع

1. Riahi, H.T. and Estekanchi, H.E. and Seyedain Boroujeni, S. (2011), "Application of Endurance Time Method in Nonlinear Seismic Analysis of Steel Frames," *Procedia Engineering*, 14, pp 3237-3244.
2. Estekanchi, H.E. and Valamanesh, V. and Vafai, A. (2007), "Application of Endurance Time Method in Linear Seismic Analysis," *Engineering Structures*, 29, pp 2551-2562.
3. Estekanchi, H.E. and Vafai, A. and sadeghazar, m. (2004), "Endurance Time Method for Seismic Analysis and Design of Structures," *Scientia Iarnica*, 11(4), pp 361-370.
4. Arjomandi, K. and Estekanchi, H.E. and Vafai, A. (2008), "Estimating Structural Damage of Steel Moment Frames by Endurance Time Method," *Journal of Constructural Steel Reaserch* 64(2), pp 145-155.
۵. معاونت نظام راهبردی دفتر نظام فنی اجرایی، (۱۳۸۹)، "آیین‌نامه سازه‌های فضاکار، نشریه شماره ۴۰۰".
6. Shin, J. and Lee, K. and Kim, G.C. and Jung, C.W. and Kang, J.W. (2012), "Analytical and Experimental Studies on Seismic Behavior of Double-Layer Barrel Vault Systems with Different Open Angels," *Journal Thin-Walled Structures* 54, pp 113-125.
7. Sadeghi, A. and Amani, S. (2012), "Investigation of the Benefits of Application of Earthquake Action on the Design of Double Layer Barrel Vaults," *Journal of Space Structures* 27(1), pp 15-21.

8. Moghaddam, H.A. (2000), "Seismic Behavior of Space Structures," Journal of Space Structures 15(2), pp 119-135.

9. Endurance Time Method, <https://sites.Google.com/etmethod/home>, 2013.

۱۰. دفتر امور مقررات ملی ساختمان، "بارهای وارد بر ساختمان"، مبحث ششم، ۱۳۹۲

۱۱. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، "آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله"، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم، ۱۳۹۲

12. Valamanesh, V. and Estekanchi, H.E. (2010), "A Study of Endurance Time Method in the Analysis of Elastic Moment Frames Under Three-Directional Seismic Loading," Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing) 11(5), pp 543-562.

13. Sadeghi, A. (2002), "Equivalent Earthquake Loads for Some Families of Barrel Vaults," ph.D Thesis, University of Surrey.