

ارزیابی معیار شدت زلزله‌ی FIV3 در برآورد ظرفیت فروریزش قاب‌های فولادی با شکل‌پذیری ویژه

سیما اصغرزاد دانش، جواد کاتبی

۱- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز simadanesh2024@gmail.com

۲- دانشیار گروه سازه، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز jkatebi@tabrizu.ac.ir

خلاصه

یک روش برای بیان شدت زلزله با استفاده از نگاشت‌های شتاب زلزله توجّه به پالس‌های شتاب می‌باشد. مطابقت نمودارهای شتاب و سرعت زمین‌لرزه و جابه‌جایی سیستم تک درجه آزاد نشان می‌دهد پالس‌های شتاب با دامنه‌ی کوتاه و دوره‌ی زمانی نزدیک به پریود پایه‌ی سازه، اثرات تخریبی قابل توجهی روی سازه‌ها دارند. بر این اساس یک معیار شدت برای زلزله با عنوان سرعت افزایشی فیلتر شده (FIV3) معرفی شده است. در تحقیق حاضر جهت مطالعه‌ی رفتار سازه‌ها از دو سازه‌ی ۴ و ۱۳ طبقه‌ی فولادی با شکل‌پذیری ویژه استفاده شد. ظرفیت فروریزش سازه‌ها با روش آنالیز IDA برآورد گردید و در این آنالیز از رانش بین طبقاتی ماگزیمم (MIDR) به عنوان پاسخ سازه به بار دینامیکی زلزله استفاده شد. سپس مقادیر FIV3 نظیر ظرفیت فروریزش سازه‌ها محاسبه و با استفاده از شاخص آماری ضریب همبستگی (R^2) کارایی این معیار شدت برآورد گردید.

کلمات کلیدی: معیار شدت زلزله، سرعت افزایشی، FIV3، آنالیز IDA

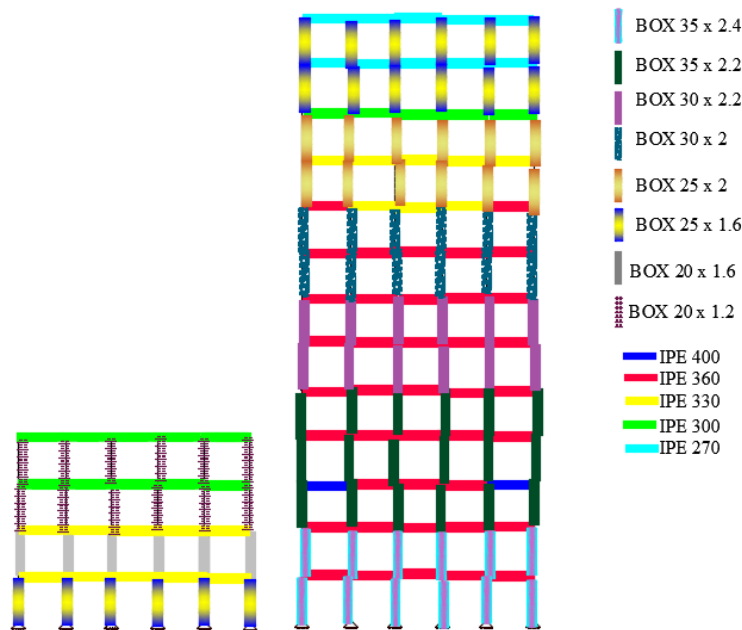
۱. مقدمه

پالس‌های شتاب متوالی از خصوصیات نگاشت‌های شتاب زلزله با شدت زیاد می‌باشند. در برخی موارد این پالس‌ها با دامنه‌های بزرگ و دوره‌ی زمانی کوتاه اتفاق می‌افتند در حالی که در برخی دیگر دامنه‌ی شتاب نسبتاً کوتاه و دوره‌ی زمانی بلند است. تحقیقات بر روی زلزله‌های 1971 San Fernando و California نشان داد که شتاب‌های با دوره‌ی زمانی طولانی که منجر به سرعت‌های افزایشی با مقادیر بزرگ می‌شوند موجب آسیب قابل توجه سازه‌ها می‌گردند. در نتیجه مساحت‌های بزرگ زیر پالس‌های شتاب که مقادیر سرعت افزایشی را برآورد می‌کنند نسبت به دامنه‌ی پیک پالس معیار بهتری برای بیان شدت زلزله می‌باشند. محققین جهت حذف اثر نوسانات شدید شتاب که موجب قطع مساحت‌های بزرگ پالس‌ها می‌شوند از روش فیلتر کم گذر Butterworth استفاده کردند. در این روش یک مقدار آستانه برای فرکانس نگاشت زلزله انتخاب و فرکانس‌های بزرگتر حذف می‌شوند. درجه‌ی فیلتر بستگی به نوع زمین لرزه و فرکانس آستانه بستگی به پریود پایه‌ی سازه دارد. پس از فیلتر، مجموع مساحت سه پالس شتاب هم جهت محاسبه و با عنوان سرعت افزایشی فیلتر شده (FIV3) جهت بیان شدت زلزله به کار می‌رود. محاسبه‌ی مساحت سه پالس نسبت به محاسبه‌ی یک و دو پالس مقادیر بهینه‌تری تولید می‌کند و بیش از سه پالس تفاوت قابل توجهی در ضریب همبستگی مقادیر FIV3 با رانش بین طبقاتی ماگزیمم سازه‌ها (MIDR) ایجاد نمی‌کند. در این مطالعه مقادیر FIV3 نگاشت‌هایی که برای ظرفیت فروریزش سازه مقیاس شدند برای دو

ارتفاع سازه‌ی ۴ و ۱۳ طبقه برآورد و مقایسه شد. ظرفیت فروریزش سازه‌ها با استفاده از آنالیز IDA و مقادیر MIDR حاصل محاسبه شد [۱].

۲. مشخصات سازه‌ها و نداشت‌های زلزله

سازه‌های فولادی با شکل‌پذیری ویژه در دو ارتفاع ۴ و ۱۳ طبقه به صورت دو بعدی در پلتفرم opensees مدل شدند. فولاد ST37 به عنوان مصالح اجزا انتخاب شد. مقدار مدول الاستیسیته و تنش تسلیم به ترتیب برابر $20055/66$ و $235/36$ مگاپاسکال می‌باشد. بارهای المان‌های تیر به صورت خطی برابر $DL=20$ KN/m و $LL=8$ KN/m و برای المان‌های پشت بام برابر $DL=20$ KN/m و $LL=6$ KN/m در نظر گرفته شد. مقاطع المان‌های تیر و ستون در شکل ۱ آورده شده است. این المان‌ها به روش پلاستیسیته‌ی متمرکز مدل شدند [۲].



شکل ۱- مقاطع تیر و ستون سازه‌های ۴ و ۱۳ طبقه‌ی مطالعه شده

۳۰ نداشت زلزله‌ی نزدیک گسل با مشخصات فاصله از مبدأ (Rjb) ۰-۱۲ کیلومتر و بزرگای (Mw) ۵/۸-۷/۶۲ از

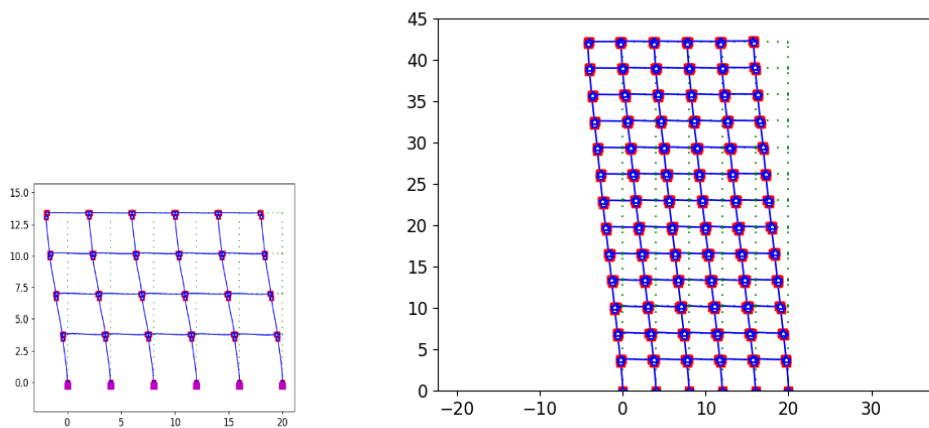
سایت PEER انتخاب شد.

۳. آنالیز مودال و آنالیز IDA

بعد از مدل سازی قابها در opensees و انجام بارگذاری های ثقلی، آنالیز مودال جهت برآورد پریود سازه ها و تغییر شکل سازه در مودها انجام شد. جدول ۱ مقادیر پریودها در سه مود سازه و شکل ۲ تغییر شکل مود اول را نشان می دهد.

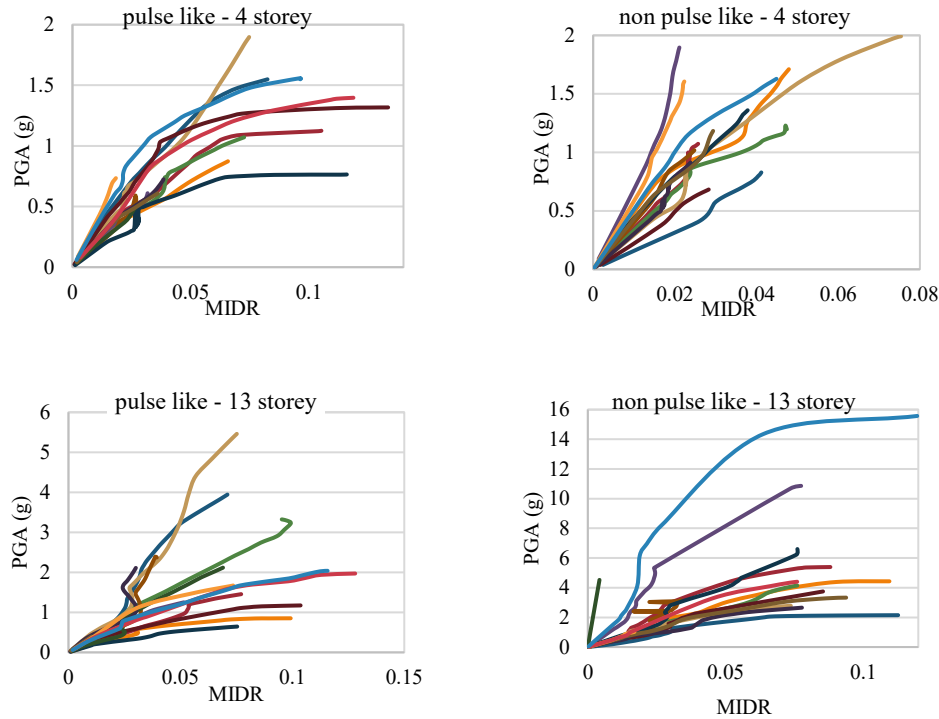
جدول ۱- پریود سازه ها

مود سوم	مود دوم	مود اول	
0.2	0.34	1.01	۴ طبقه
0.44	0.76	2.02	۱۳ طبقه



شکل ۲- تغییر شکل سازه ها در مود اول

جهت مطالعه ی رفتار خطی و غیر خطی سازه ها از آنالیز IDA [۳] با گام های ثابت افزایش شدت زلزله استفاده شد. مقادیر MIDR حاصل برای شدت های مختلف هر کدام از زلزله ها در شکل ۳ به تفکیک دو گروه سازه و دو گروه زلزله آورده شده است. نقطه ی انتهایی نمودار ظرفیت فروریزش سازه می باشد.



شکل ۳- نمودارهای IDA برای سازه‌های ۴ و ۱۳ طبقه و زلزله‌های با پالس و بدون پالس

۴. محاسبه‌ی معیار شدت زلزله‌ی FIV3

ابتدا نگاشت‌های زلزله برای ظرفیت فروریزش سازه مقیاس شدند و جهت محاسبه‌ی FIV3 مراحل زیر انجام یافت [۱]:

- نگاشت شتاب زلزله به روش butterworth, low pass فیلتر شد. در این روش یک فرکانس آستانه (fc) انتخاب می‌شود.
- شتاب فیلتر شده با استفاده از فرمول ۱ انتگرال گرفته شد.

$$V_s(t) = \left\{ \int_t^{t+\alpha.T_n} \ddot{u}_{gf}(\tau) d\tau, \quad \forall t < t_{end} - \alpha.T_n \right\} \quad (1)$$

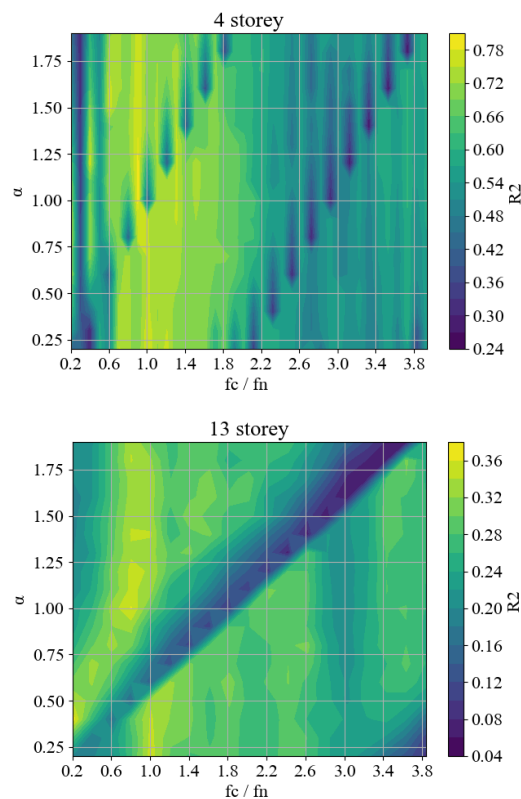
- جهت حل انتگرال یک پنجره به طول $\text{window_len} = \alpha.T_n / dt$ تعریف می‌شود. در گام i ام از ایندکس i تا $i + \text{window_len}$ شتاب فیلتر شده انتگرال گرفته می‌شود و نهایتاً بردار سرعت V_s حاصل می‌شود.
- از نمودار V_s حاصل سه نقطه از بزرگترین اکسترم‌های مثبت و سه نقطه از کوچکترین اکسترم‌های منفی انتخاب و با استفاده از فرمول ۲ مقدار FIV3 محاسبه می‌شود.

$$FIV3 = \max \{V_{s,max1} + V_{s,max2} + V_{s,max3}, |V_{s,min1} + V_{s,min2} + V_{s,min3}|\} \quad (2)$$

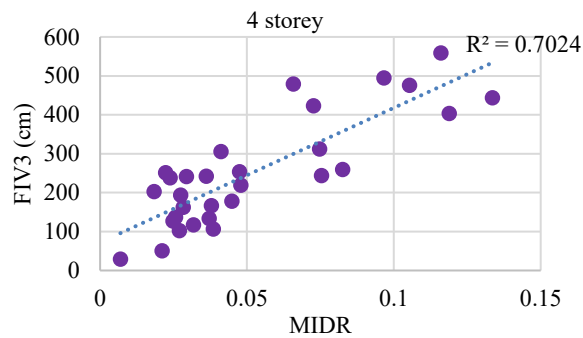
مقادیر α و f_c در این فرآیند مجهول است. با استفاده از روش بهینه سازی در جهت تولید FIV3 هایی که بالاترین ضریب همبستگی [۴] را با MIDR داشته باشند این مقادیر محاسبه می شود.

۵. کارایی FIV3

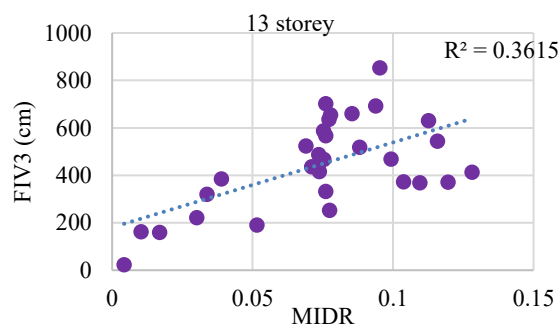
مقدار ضریب همبستگی بین مقادیر معیار شدت با مقادیر پاسخ سازه ها، معادل مقدار کارایی معیار شدت می باشد. در این تحقیق از روش بهینه سازی در فرآیند محاسبه ی معیار شدت مورد مطالعه استفاده شد به طوری که مقادیر بدست آمده بالاترین ضریب همبستگی را با مقادیر MIDR داشته باشند. شکل ۴ نمودار سطوح تراز برای مقادیر مختلف f_c/f_n و α می باشد. بر اساس نقطه ی بهینه ی بدست آمده از این شکل برای سازه های ۴ و ۱۳ طبقه، نمودارهای خط برازش بین مقادیر FIV3 و MIDR رسم شده است (شکل ۵).



شکل ۴- نمودارهای سطوح تراز برای مقادیر مختلف f_c/f_n و α

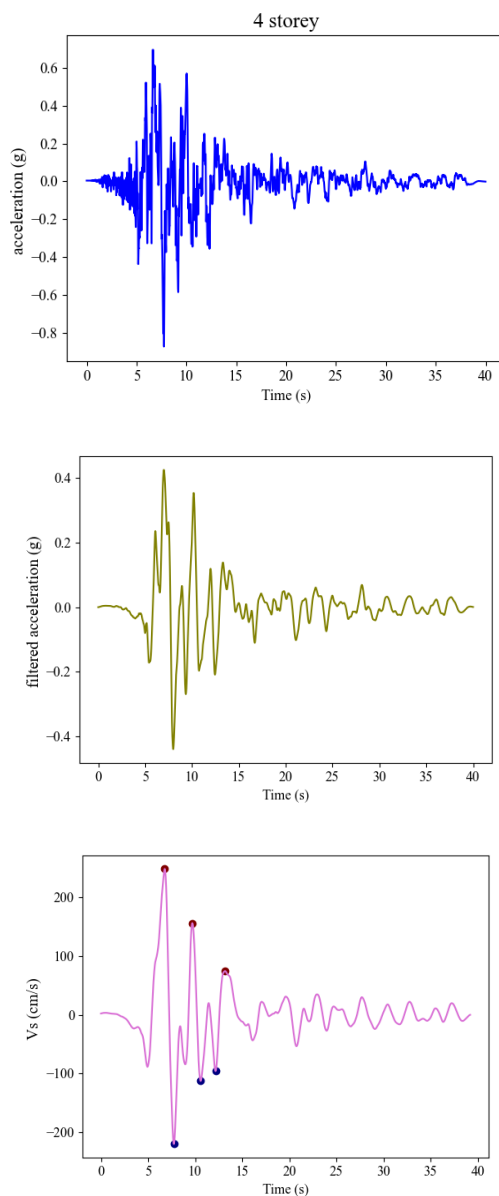


شکل ۵ الف- نمودار خط برازش بین FIV3 و MIDR ($\alpha=0.8$ و $f_c=0.9$)



شکل ۵ ب- نمودار خط برازش بین FIV3 و MIDR ($\alpha=0.5$ و $f_c=0.6$)

شکل ۶ نمودارهای فرآیند محاسبه‌ی FIV3 برای سازه‌ی ۴ طبقه و زلزله‌ی RSN170_IMPVAL.L.H_H-ECC092 می‌باشد. فاکتور مقیاس برای این زلزله برابر ۳/۷۱ است.



شکل ۶- نمودارهای شتاب، شتاب فیلتر شده و سرعت افزایشی برای سازه‌ی ۴ طبقه و زلزله‌ی RSN170_IMPVAL.L.H_H-ECC092

۶. نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت مطالعه‌ی رفتار خطی و غیر خطی سازه‌ها از آنالیز IDA استفاده شد و ظرفیت فروریزش سازه‌ها برآورد گردید. مقادیر FIV3 برای ظرفیت فروریزش سازه محاسبه و کارایی آن بررسی شد. برای MIDR کمتر از ۵ درصد کارایی FIV3 بیشتر است. همچنین کارایی برای سازه‌ی ۴ طبقه بیشتر از ۱۳ طبقه است.

۷. منابع

1. Dávalos, H., & Miranda, E. (2019). Filtered incremental velocity: A novel approach in intensity measures for seismic collapse estimation. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 48(12), 1384-1405.
2. NIST GCR 17-917-46v2. Guidelines for Nonlinear Structural Analysis for Design of Buildings. Part IIa - Steel Moment Frames.
3. He, X., & Lu, Z. (2019). Seismic fragility assessment of a super tall building with hybrid control strategy using IDA method. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 123, 278-291.
4. Pinzón, L. A., Vargas-Alzate, Y. F., Pujades, L. G., & Diaz, S. A. (2020). A drift-correlated ground motion intensity measure: Application to steel frame buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 132, 106096.