

## Investigation of Seismic Vulnerability of Kermanshah Concrete Schools affected by possible earthquakes

Amir hushang Akhaveissy

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Engineering Faculty, Razi University,  
Kermanshah, Iran.

(Corresponding Author). Ahakhaveissy@razi.ac.ir

### Abstract

Iran has witnessed earthquakes in recent decades that have caused numerous casualties and financial losses. In Kermanshah province, the earthquake of November 12, 2017 caused several damages. Therefore, compliance with technical criteria and standards in construction is of particular importance. Meanwhile, schools and buildings with educational use are more important due to their large student population. According to the Iranian Earthquake Regulations, the design of this type of building must be such that the safety of residents in the face of severe earthquakes is ensured. In recent years, concrete schools in Kermanshah province have a significant frequency due to economic considerations, availability of materials and proper execution speed. Therefore, considering the importance and frequency of concrete schools in the province, in this study, the structural performance of two repetitive types implemented from these schools under the influence of possible earthquakes in the province is investigated and their vulnerability is assessed by the method of increasing dynamic analysis (IDA). Also, probability failure curves of the studied samples of schools are presented which indicates the possibility of damage in these schools due to earthquakes of different intensities. The results show that the behavior and vulnerability of this structure is greatly affected by the type of land and the distance of the site from the fault causing the earthquake. This issue can be very useful and effective in selecting appropriate structural systems in future school renovation projects in the province.

**Keywords:** Vulnerability, probability, school, concrete structure, dynamic analysis

## بررسی احتمالاتی آسیب پذیری لرزه‌ای مدارس بتنی کرمانشاه تحت اثر زلزله‌های محتمل

امیر هوشنگ اخویسی

دانشیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

(نویسنده مسئول) Ahakhaveissy@razi.ac.ir

### چکیده

ایران در دهه‌های گذشته شاهد زلزله‌هایی بوده که باعث تلفات جانی و خسارات مالی متعددی شده‌اند. در استان کرمانشاه نیز زلزله ۲۱ آبان ۱۳۹۶ موجب بروز خسارت‌های متعددی گردید بنابراین رعایت ضوابط و معیارهای فنی در ساخت و سازها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این میان مدارس و ساختمان‌های با کاربری آموزشی، به دلیل جمعیت دانش‌آموزی زیاد در آنها، دارای اهمیت بیشتری هستند. مطابق آیین‌نامه زلزله ایران، طراحی این نوع ساختمان‌ها باید به گونه‌ای باشد که در مقابل زلزله‌های شدید، ایمنی جانی ساکنین تأمین گردد. در سال‌های اخیر مدارس اسکلت بتنی در استان کرمانشاه با توجه به ملاحظات اقتصادی، در دسترس بودن مصالح و سرعت اجرای مناسب، دارای فراوانی قابل توجهی هستند. لذا با توجه به اهمیت و فراوانی مدارس اسکلت بتنی استان، در این پژوهش عملکرد سازه‌های دو تپ پر تکرار اجرا شده از این مدارس تحت اثر زلزله‌های محتمل استان بررسی و آسیب پذیری آنها با روش تحلیل دینامیکی فراینده IDA ارزیابی می‌گردد. همچنین منحنی‌های احتمالاتی شکست نمونه‌های مورد بررسی مدارس ارائه گردیده است که نشان دهنده احتمال بروز خرابی در این مدارس تحت اثر زلزله‌های با شدت‌های مختلف می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد رفتار و آسیب پذیری این سازه به مقدار زیادی متأثر از نوع زمین و فاصله ساختگاه از گسل مسبب زلزله می‌باشد. این موضوع می‌تواند در انتخاب سیستم‌های سازه‌ای مناسب در طرح‌های آتی نوسازی مدارس استان بسیار مفید و مؤثر واقع گردد.

### کلیدواژه‌ها: آسیب پذیری، احتمال، مدرسه، سازه بتنی، تحلیل دینامیکی

سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان کرمانشاه

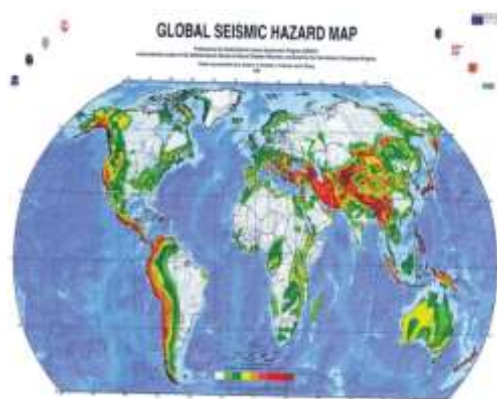
فصلنامه پیشرفت و توسعه استان کرمانشاه، دوره ۲، شماره ۱، ص ۶۲-۸۵.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۴

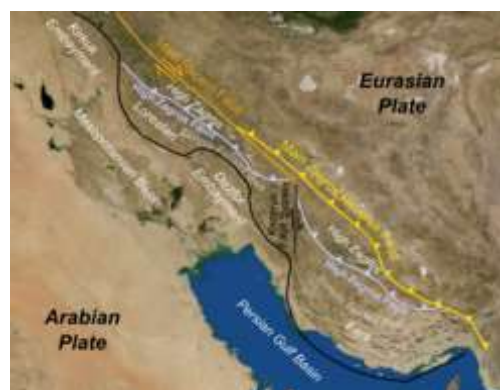
۱- مقدمه

یکی از بزرگترین چالش‌های طبیعی دنیا و علی‌الخصوص کشور ما زلزله است در شکل (a) نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای جهان نشان داده شده است (گیاردینی و همکاران، ۱۹۹۹). مطابق این نقشه بخش‌های وسیعی از جهان در معرض خطر زلزله هستند و در این میان کشور ایران در سطح وسیعی دارای خطر زیاد وقوع زلزله می‌باشد. در ایران به‌طور متوسط هر ۴ الی ۵ سال یکبار یک زلزله شدید با خسارات فراوان مالی و جانی رخ می‌دهد.

استان کرمانشاه نیز طبق مطالعات و شواهد علمی و نیز الزامات آیین‌نامه‌های لرزه‌ای، جزء مناطق با خطر نسبی زیاد و در بخش‌هایی جزء مناطق با خطر نسبی خیلی زیاد محسوب می‌گردد. در بین نواحی لرزه‌خیز فلات ایران کمربند چین- گسل زاگرس به‌عنوان قسمتی از کمربند کوه‌زایی آلپ - هیمالیا، یکی از فعال‌ترین و جوان‌ترین زون‌های برخوردی زمین است. این زون فعال که مرز شمال شرقی صفحه عربستان را تشکیل می‌دهد، جنوب غربی ایران، شمال عراق، شرق ترکیه و شمال سوریه را در بر می‌گیرد. اکثر زمین لرزه‌های زاگرس در عمق کمتر از ۲۰ کیلومتر رخ می‌دهند. گسل‌های اصلی زاگرس که عامل اصلی وقوع زلزله در این منطقه هستند، گسل زاگرس مرتفع (HZF) و گسل پیشانی یا جبهه کوهستان زاگرس (MFF) می‌باشند که در شکل (b) ۱ نشان داده شده است (پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۲۰۱۷).



(a)



(b)

شکل ۱. (a) نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای در جهان (b) موقعیت گسل‌های اصلی زاگرس

از این رو با توجه به پتانسیل لرزه‌خیزی استان کرمانشاه، روند ساخت و ساز کلیه ساختمان‌ها با هر نوع کاربری می‌بایستی به نحوی انجام شود که دارای استحکام، مقاومت و شکل‌پذیری مناسب برای مقاومت در برابر زلزله را داشته باشند و تمهیدات لازم برای جلوگیری از تخریب قسمت‌های مختلف سازه بایستی اندیشیده شود.

در اکثر آیین‌نامه‌های لرزه‌ای دنیا، مدارس و ساختمان‌های با کاربری آموزشی، به دلیل تراکم زیاد جمعیت آنها، به‌عنوان ساختمان‌های با اهمیت زیاد در نظر گرفته می‌شوند. در ایران نیز مطابق آیین‌نامه ملی طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، مدارس جزء ساختمان‌های با اهمیت زیاد دسته‌بندی شده‌اند. تجربیات زلزله‌های گذشته نشان داده است مدارس نه تنها به دلیل تراکم جمعیت و اهمیت آنها می‌بایست دارای عملکرد لرزه‌ای مناسبی باشند بلکه به این دلیل که معمولاً در ایام پس از وقوع زلزله به‌عنوان مکان‌های اسکان موقت و یا پایگاه‌های امداد و نجات مورد استفاده قرار می‌گیرند نیز حائز اهمیت هستند. لذا از این دیدگاه نیز می‌توان مدارس را برای سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه طراحی و اجرا نمود تا ضمن حفظ ایمنی جانی دانش‌آموزان، در مواقع بحران نیز به نحو مؤثری مورد استفاده قرار گیرند (شکل ۲).



شکل ۲. استفاده از مدارس برای اسکان و مراکز امدادرسانی در زلزله ۱۳۹۶ سرپل ذهاب

مشاهدات حاصل از بررسی فضاهای آموزشی پس از زلزله ۲۱ آبان ۱۳۹۶ نشان می‌دهد بسیاری از مدارس ساخته شده در سال‌های اخیر که طراحی و ساخت آنها منطبق بر آیین‌نامه‌های روز کشور هستند نیز به دلیل شدت قابل توجه زلزله، دچار آسیب و خسارت شده‌اند (شکل ۳). لذا این امر ضرورت بررسی آسیب پذیری لرزه‌ای مدارس موجود، مدارس در حال ساخت و مدارس پیش‌بینی شده برای ساخت در آینده، تحت اثر زلزله‌های محتمل استان را بیش از پیش مشخص می‌نماید.





شکل ۳. آسیب دیدگی تعدادی از مدارس در زلزله ۱۳۹۶ سرپل ذهاب

مدارس اسکلت بتنی با توجه به ملاحظات اقتصادی، در دسترس بودن مصالح و سرعت اجرای مناسب، دارای فراوانی قابل توجهی در استان کرمانشاه هستند. از طرفی ساختمان مدارس در مواردی همچون کاربری، اهمیت، فرم معماری، مصالح، نحوه ساخت و ضوابط و معیارهای طراحی، نظارت و اجرا دارای مشابهت‌های فراوانی هستند که تعمیم نتایج مطالعه تیپ‌های موردی به کل ساختمان‌ها را میسر می‌سازد.

با توجه به فراوانی مدارس اسکلت بتنی، بررسی عملکرد سازه‌ای تیپ‌های پرتکرار این مدارس در استان تحت اثر زلزله‌های محتمل و سنجش آسیب‌پذیری آنها به روش‌های دقیقی نظیر تحلیل دینامیکی فزاینده IDA می‌تواند برآورد مناسبی از نحوه عملکرد و میزان آسیب‌پذیری این نوع سازه‌ها ارائه نماید. همچنین با استفاده از منحنی‌های شکنندگی لرزه‌ای می‌توان ضمن مقایسه عملکرد هر یک از سیستم‌های سازه‌ای به کار رفته در مدارس بتنی استان، مطلوب‌ترین سیستم سازه‌ای را از نظر مشخصه آسیب‌پذیری معرفی نمود.

به این منظور در این پژوهش عملکرد سازه‌ای دو تیپ پرتکرار از مدارس بتنی استان تحت اثر زلزله‌های محتمل بررسی و آسیب‌پذیری آنها با روش‌های تحلیل غیرخطی و دینامیکی فزاینده IDA ارزیابی می‌گردد همچنین منحنی‌های شکست برای این تیپ از مدارس ارائه می‌شود.

## ۲- بررسی پیشینه پژوهش

طراحی بر اساس عملکرد و یا کنترل سازه‌های موجود بر اساس عملکرد، موضوعی است که در سال‌های اخیر مورد استقبال فراوان قرار گرفته است. در این نوع طراحی، با توجه به اهمیت بنا، سطحی از عملکرد سازه به عنوان

هدف تعیین و المان‌های سازه‌ای به نحوی طراحی می‌گردند که حداکثر پاسخ سازه به نیروهای وارده از سطح عملکرد مذکور تجاوز ننموده و میزان آسیب پذیری سازه کنترل گردد.

عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها در آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های ارزیابی آسیب پذیری و بهسازی لرزه‌ای نیز مورد توجه قرار گرفته است. از جمله این موارد می‌توان به آیین‌نامه (ASCE 41، ۲۰۱۳) و دستورالعمل‌های (ATC40، ۱۹۹۵) و (FEMA356، ۲۰۰۰) اشاره نمود. در ایران نیز دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۲) به این موضوع اختصاص دارد. به‌طور کلی موضوع و دیدگاه اصلی این دستورالعمل‌ها، تحلیل و طراحی بر اساس عملکرد می‌باشد.

از دهه ۱۹۹۰ میلادی تاکنون مطالعات بسیاری در خصوص آنالیز غیر خطی سازه‌ها انجام شده است (بازورو و کرنرل<sup>۱</sup>، ۱۹۹۴؛ شومی و کرنرل<sup>۲</sup>، ۱۹۹۹؛ کرنرل و همکاران، ۲۰۰۲). محققان زیادی به بررسی تحلیل دینامیکی غیرخطی فزاینده در تخمین عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها تحت اثر بارهای لرزه‌ای پرداخته‌اند. در این پژوهش‌ها روش تحلیل دینامیکی فزاینده به‌عنوان ابزاری مناسب در مهندسی زلزله که قابلیت همزمان تخمین نیاز و ظرفیت لرزه را دارد معرفی شده است. همچنین در این مطالعات به اصول و مفاهیم پایه روش IDA، پارامترهای مناسب برای انعکاس شدت لرزه‌ای و تقاضا، تعیین سطوح عملکردی و خلاصه کردن منحنی‌های IDA و ... پرداخته شده است.

محققان متعددی نیز به بررسی آسیب پذیری ساختمان مدارس با استفاده از تحلیل‌های غیرخطی دینامیکی پرداخته‌اند (کلانتری و همکاران، ۲۰۱۰؛ صمدیان و همکاران، ۲۰۱۹؛ پرون<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۰؛ مطلق و سایرین، ۲۰۲۰). در این مطالعات مواردی همچون آسیب پذیری ساختمان مدارس، انعطاف پذیری لرزه‌ای مبتنی بر منحنی‌های آسیب پذیری مدارس، مطالعه میدانی ریسک لرزه‌ای ساختمان‌های مدارس و شاخص انعطاف پذیری لرزه‌ای برای ساختمان‌های مدارس با استفاده از نمونه‌های عینی و مدل‌های عددی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

1 . Bazzurro and Cornell  
2 . Shome and Cornell  
3 . Perrone

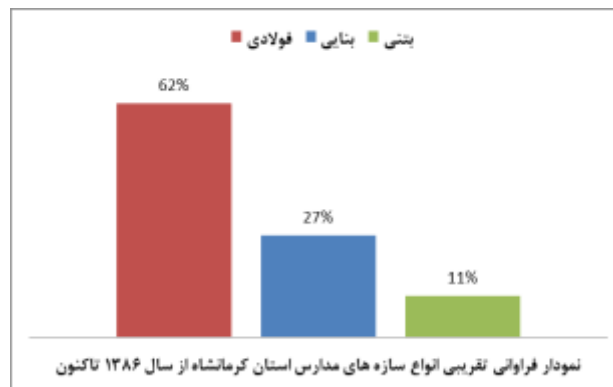
در سال‌های اخیر تیپ‌های مختلفی از مدارس با استفاده از سیستم‌های سازه‌ای مختلف و متداول در استان کرمانشاه طراحی و اجرا شده است. در میان مدارس اسکلت بتنی تعداد زیادی از این مدارس را به خود اختصاص داده است. از طرفی علی‌رغم اینکه مدارس، به دلیل ساختار جمعیتی و شرایط استفاده کنندگان آن جزء ساختمان‌های با اهمیت تلقی می‌گردند، اما تاکنون بررسی‌های دقیقی در خصوص عملکرد این سیستم سازه‌ای تحت اثر زلزله‌های محتمل استان انجام نشده است. لذا در این مطالعه با انجام آنالیزهای غیرخطی دقیق با استفاده از برداشت‌های میدانی و اطلاعات مدارس استان، عملکرد لرزه‌ای دو تیپ پر تکرار از مدارس بتنی استان بررسی و عملکرد این مدارس از نظر مشخصه آسیب‌پذیری تعیین می‌گردد.

### ۳- بررسی‌های میدانی و مطالعات آماری مدارس استان کرمانشاه

مطابق آمار و اطلاعات دریافتی از دفتر فنی اداره کل نوسازی مدارس استان کرمانشاه، از بدو تأسیس اداره کل نوسازی مدارس استان در سال ۱۳۵۴ تاکنون، از سیستم‌های سازه‌ای مختلفی در اجرای مدارس استفاده شده است. در ابتدا و تا اوایل دهه ۱۳۸۰ فقط از سیستم سازه‌ای دیوارهای باربر ماسونری در اجرای مدارس استفاده شده است و تعداد طبقات مدارس به حداکثر ۲ طبقه محدود بوده است. از اوایل دهه ۱۳۸۰، به تدریج از اسکلت فلزی با اتصالات جوشی در اجرای مدارس استفاده گردید و مدارس با تعداد طبقات ۳ و ۴ طبقه اجرا شده‌اند.

اولین مدرسه با اسکلت بتن مسلح، نخستین بار در سال ۱۳۸۶ طراحی و اجرا گردیده است. این مدرسه دارای یک سازه سه طبقه بتنی است که در یک امر خیر و با نام حاج احمد قبائیان در ده پهن کرمانشاه احداث گردیده است. با توجه به ملاحظات اقتصادی، در دسترس بودن مصالح و سرعت اجرای مناسب سازه‌های بتن آرمه، به مرور استفاده از این نوع سازه در اجرای مدارس گسترش یافته و امروزه تعداد قابل توجهی از مدارس استان را به خود اختصاص داده است. در شکل ۳ نمودار فراوانی تقریبی سازه‌های کل مدارس استان و نیز نمودار فراوانی سازه‌های مدارس از سال ۱۳۸۶ تاکنون به تفکیک نشان داده شده است.





شکل ۳. فراوانی انواع سازه‌های مدارس استان کرمانشاه

از سال ۱۳۸۶ تاکنون حدود ۴۰ تپ فضای آموزشی و پرورشی با استفاده از سیستم قاب‌های بتنی مسلح در مناطق مختلف استان طراحی و اجرا شده است. از این تعداد بخشی به صورت موردی و در یک فضای آموزشی یا پرورشی خاص اجرا گردیده و ۲ تپ نیز به صورت پرتکرار در موارد بیشتری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این مطالعه با هماهنگی دستگاه اجرایی، این دو تپ مهم و پرتکرار مورد بررسی قرار گرفته است.

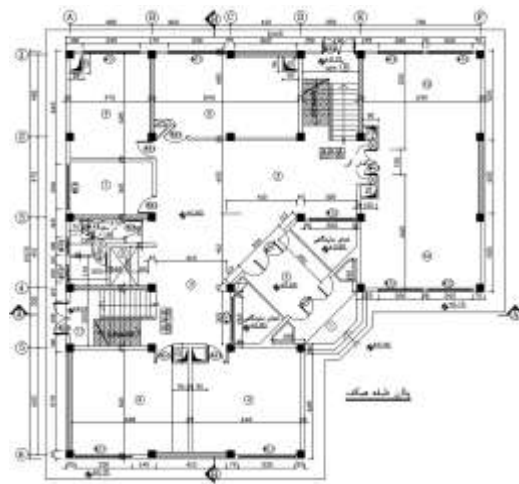
#### ۴- معرفی نمونه مدارس مورد بررسی

این دو تپ مدرسه با سازه بتن مسلح دارای بیشترین فراوانی اجرا در استان کرمانشاه می‌باشند. از جمله مدارس اجرا شده با این تپ نقشه می‌توان به هنرستان جابری و دبیرستان شهدای انقلاب ناحیه یک، هنرستان حافظ و اسماء ناحیه دو، دبیرستان قلم ناحیه سه، دبیرستان شهید خوشروان گیلان غرب، مدرسه بلوردی بیستون، دبیرستان شهرک شهداء سنقر، دبستان یاسر جوانرود و ... اشاره نمود. این تپ مدرسه در مواردی به صورت ۴ طبقه

(RCS1) و در مواردی نیز با حذف طبقه به صورت ۳ طبقه (RCS 2) اجرا شده است. در شکل ۴ پلان و نمای مدرسه مورد بررسی نشان داده شده است.



(a)



(b)

شکل ۴. (a) پلان مدرسه مورد بررسی (b) نمای مدرسه مورد بررسی

سازه این مدرسه از نوع بتن مسلح با سقف تیرچه و بلوک بوده و در هر دو جهت دارای دیوار پرشی بتن آرمه می‌باشد. دیوارهای مورد استفاده در این تیپ مدرسه، از نوع پانل سه بعدی (3DPanell) بوده که با استفاده از المان‌های فولادی قائم متصل به کف و سقف، از سازه اصلی جداسازی شده‌اند. در جدول ۱ مشخصات مقاطع مورد استفاده در ۲ نمونه مدرسه مورد مطالعه ارائه شده است. در این جدول ابعاد المان‌های مختلف سازه‌های بتنی مورد مطالعه اعم از تیر، ستون و بادبند نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات مقاطع سازه‌ای استفاده شده در نمونه مدارس مورد مطالعه

| ردیف | نمونه مدرسه مورد بررسی | طبقه | مقطع ستون (cm) | آرما تیر ستون | آرما تیر ستون طرفین دیوار برشی | مقطع تیر (cm) | آرما تیرهای بالا و پایین تیر | ضخامت دیوار برشی (cm) |
|------|------------------------|------|----------------|---------------|--------------------------------|---------------|------------------------------|-----------------------|
| ۱    | B1                     | همکف | ۴۵ * ۴۵        | ۱۸Ø۱۲         | ۲۲Ø۱۲                          | ۴۵ * ۴۵       | ۱۸Ø۳                         | ۲۵                    |
|      |                        | اول  | ۴۵ * ۴۵        | ۱۸Ø۱۲         | ۲۲Ø۱۲                          | ۴۵ * ۴۵       | ۱۸Ø۳                         | ۲۵                    |
|      |                        | دوم  | ۴۵ * ۴۵        | ۱۶Ø۱۲         | ۲۰Ø۱۲                          | ۴۵ * ۴۵       | ۱۸Ø۳                         | ۲۵                    |
|      |                        | سوم  | ۴۵ * ۴۵        | ۱۶Ø۱۲         | ۲۰Ø۱۲                          | ۴۵ * ۴۵       | ۱۸Ø۳                         | ۲۵                    |
| ۲    | B2                     | همکف | ۴۵ * ۴۵        | ۱۸Ø۱۲         | ۲۲Ø۱۲                          | ۴۵ * ۴۵       | ۱۸Ø۳                         | ۲۵                    |
|      |                        | اول  | ۴۵ * ۴۵        | ۱۸Ø۱۲         | ۲۲Ø۱۲                          | ۴۵ * ۴۵       | ۱۸Ø۳                         | ۲۵                    |
|      |                        | دوم  | ۴۵ * ۴۵        | ۱۶Ø۱۲         | ۲۰Ø۱۲                          | ۴۵ * ۴۵       | ۱۸Ø۳                         | ۲۵                    |

در جدول شماره ۲ نیز مشخصات مصالح مصرفی مدارس بر اساس نقشه‌های موجود نشان داده شده است.

جدول ۲. مشخصات مصالح مصرفی مدارس مورد مطالعه

| ردیف | جزء سازه                         | رده مصالح |       | مدول الاستیسیته (MPa) |        | ضریب پواسون |       |
|------|----------------------------------|-----------|-------|-----------------------|--------|-------------|-------|
|      |                                  | بتن       | فولاد | بتن                   | فولاد  | بتن         | فولاد |
| ۱    | ستون<br>تیر<br>دیوار برشی<br>سقف | C30       | S400  | ۲۵۷۴۳                 | ۲۰۰۰۰۰ | ۰/۲         | ۰/۳   |

## ۵ - مدل‌سازی و تحلیل مدارس نمونه مورد مطالعه

در این بخش دو نمونه مدرسه انتخابی، مدل‌سازی و بررسی می‌شوند. برای این منظور ابتدا سازه مدارس مورد نظر بر اساس نقشه و مشخصات اجرایی با استفاده از نرم افزار ETABS V 16.2.0 مدل‌سازی می‌شود سپس به منظور بررسی ارتباط میزان شدت لرزه‌ای و پاسخ سازه‌های مورد بررسی، از روش تحلیل دینامیکی افزاینده استفاده می‌شود. برای این منظور منحنی‌های تحلیل دینامیکی افزاینده با استفاده از شتاب طیفی متناظر با مود اول و میرایی ۵ درصد  $S_a(T1,5\%)$  به عنوان شاخص شدت و نسبت بی بعد ماکزیمم تغییر مکان نسبی طبقات (

$\theta_{max}$ ) به عنوان شاخص خسارت در طول زمان تحلیل تاریخچه زمانی رسم می‌گردد. با استفاده از نتایج حاصل شده منحنی‌های شدت - خسارت که بعنوان منحنی‌های IDA شناخته می‌شوند حاصل می‌گردد. در پایان با پردازش نتایج، منحنی‌های شکنندگی برای هر سازه ترسیم می‌گردد.

یکی از روش‌های دقیق تعیین اثر زلزله بر ساختمان‌ها، استفاده از رکوردهای زلزله (تغییرات شتاب حرکت زمین با زمان) در تحلیل دینامیکی است. به‌طور کلی پاسخ دینامیکی سازه، به شدت متأثر از رکوردهای زلزله می‌باشد لذا انتخاب تعداد رکورد مناسب زلزله جهت پوشش مناسب محدوده پاسخ سازه از اهمیت خاصی برخوردار است.

شتاب نگاشت‌ها با توجه به فاصله ثبت شدنشان از گسل به دودسته حوزه نزدیک و حوزه دور تقسیم می‌شوند. فاصله از حوزه گسل، به این دلیل که می‌تواند موجب تغییرات عمده‌ای در پاسخ سازه گردد، موضوع مهمی در انتخاب شتاب نگاشت است. (FEMA p695، ۲۰۰۹) رکوردهای ثبت شده در فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتر از گسل را به‌عنوان حوزه نزدیک و رکوردهای ثبت شده در فاصله بیش از ۱۰ کیلومتر از گسل را به‌عنوان حوزه دور طبقه‌بندی می‌نماید.

در این مطالعه ۶ رکورد زلزله حوزه نزدیک گسل و ۶ رکورد زلزله حوزه دور گسل که دارای ویژگی‌های زمین‌شناسی و مشخصات لایه‌های خاک شبیه به استان کرمانشاه هستند، از سایت پایگاه لرزه نگاری پیر (مرکز تحقیقات مهندسی زلزله اقیانوس آرام، ۲۰۰۶) برداشت شده و مورد استفاده قرار گرفته است. از میان ۶ رکورد هر حوزه ۳ رکورد مربوط به خاک تپ ۲ و ۳ رکورد مربوط به خاک تپ ۳ مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ می‌باشند. در جدول ۳ مشخصات لرزه‌ای رکوردهای انتخاب شده نشان داده شده است.

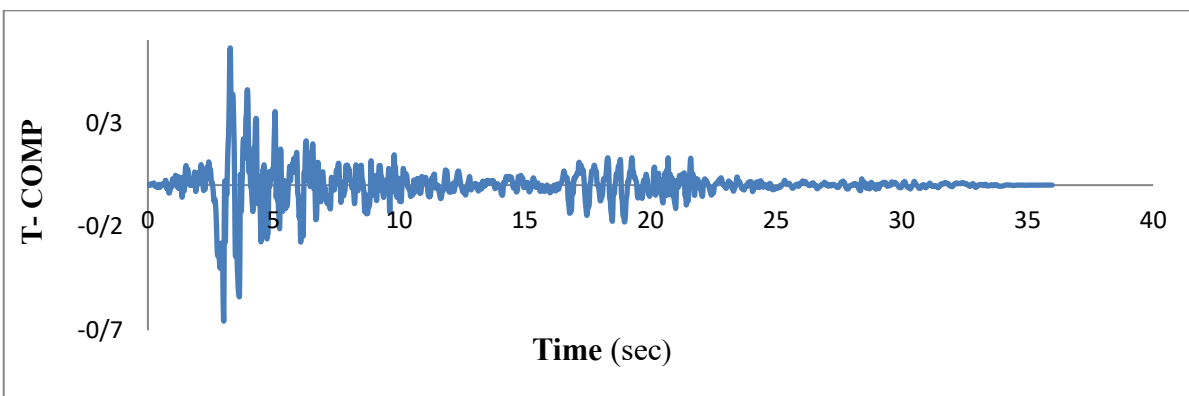
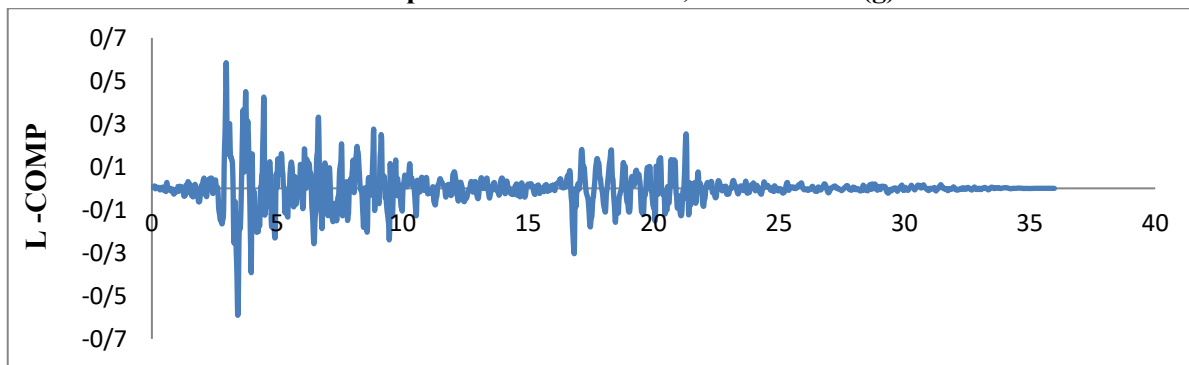
جدول ۳. مشخصات رکوردهای زلزله مورد استفاده در تحلیل مدارس مورد مطالعه

| ردیف | حوزه زلزله | نوع زمین | نام زلزله             | بزرگا ( $M_w$ ) | بیشینه شتاب ( $g$ ) |
|------|------------|----------|-----------------------|-----------------|---------------------|
| ۱    | نزدیک      | ۲        | Montenegro_Yugoslavia | 7.1             | 0.372<br>0.368      |
|      |            |          | Irpinia_Italy         | 6.9             | 0.13<br>0.19        |

|                |      |                          |   |     |   |
|----------------|------|--------------------------|---|-----|---|
| 0.59<br>0.66   | 7.01 | Cape<br>Mendocino        | ۳ | دور | ۲ |
| 0.27<br>0.254  | 6.53 | Imperial<br>Valley-06    |   |     |   |
| 0.119<br>0.259 | 7.14 | Duzce_ Turkey            |   |     |   |
| 0.257<br>0.237 | 7    | Darfield_<br>New Zealand |   |     |   |
| 0.112<br>0.151 | 6.61 | San Fernando             | ۲ |     |   |
| 0.064<br>0.078 | 6.93 | Loma Prieta              |   |     |   |
| 0.515<br>0.497 | 7.37 | Manjil_ Iran             |   |     |   |
| 0.163<br>0.203 | 6.5  | Northern Calif-<br>03    | ۳ |     |   |
| 0.106<br>0.085 | 7.35 | Tabas_ Iran              |   |     |   |
| 0.276<br>0.327 | 6.9  | Kobe_ Japan              |   |     |   |

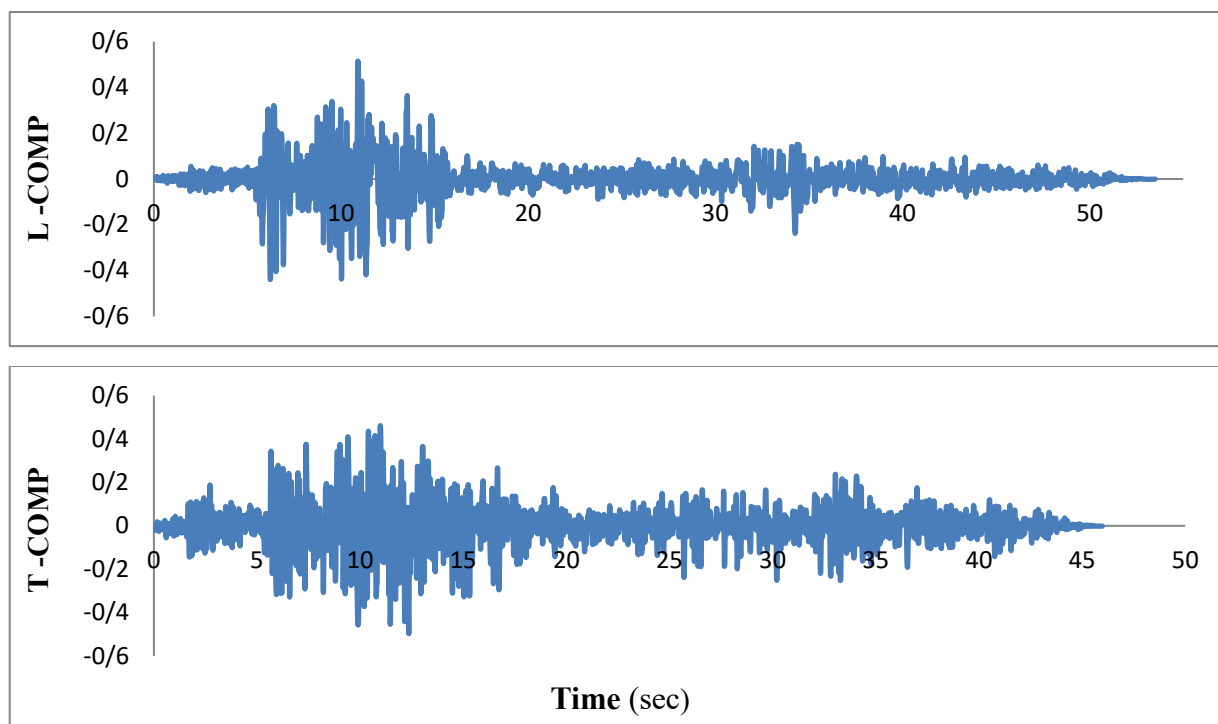
در شکل ۵ دو نمونه از رکوردهای مربوط به زلزله‌های مورد استفاده در تحلیل مدارس مورد مطالعه نشان داده شده است.

**Cape Mendocino Record, Acceleration (g)**



(1)

**Manjil\_ Iran Record, Acceleration (g)**



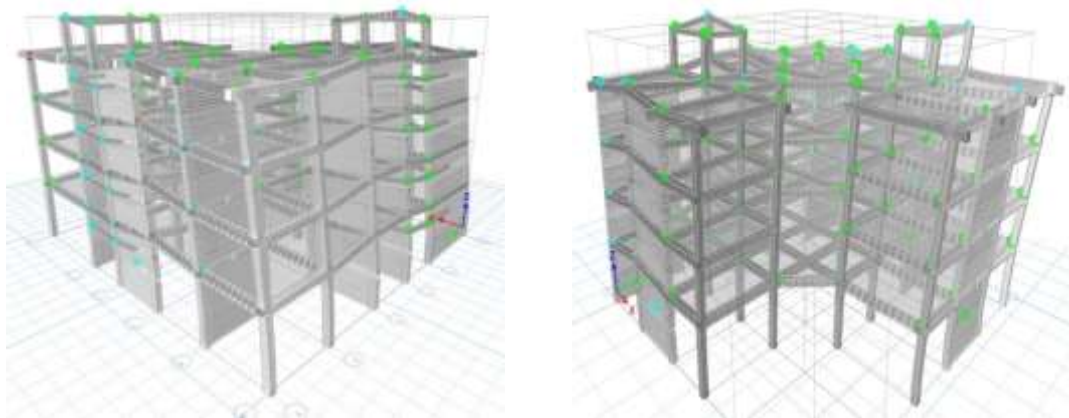
(2)

شکل ۵. دو نمونه از رکوردهای زلزله مورد استفاده در تحلیل مدارس مورد مطالعه

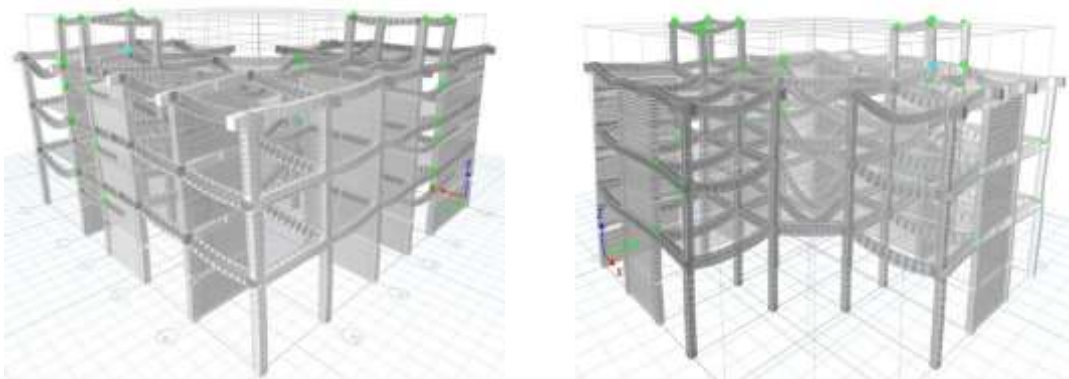
در این مطالعه تحلیل دینامیکی افزاینده و آنالیز شکنندگی برای سطوح مختلفی از PGA انجام می‌گردد. برای این منظور شتاب نگاشت‌های مقیاس شده به مقدار PGA خود همپایه می‌شوند به نحوی که بیشینه مقدار شتاب هر یک از شتاب نگاشت‌ها برابر ۱g شود سپس بیشینه شتاب ۰/۱g تا ۱g با گام‌های ۰/۱g به سازه اعمال می‌گردد. پارامتر تقاضای مهندسی در این آنالیز، تغییر مکان نسبی طبقات (دریفت) در نظر گرفته می‌شود که از خروجی تحلیل دینامیکی غیر خطی استخراج می‌گردد.

بر اساس دستورالعمل FEMA ۳۵۶، برای سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه (IO) حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات برای قاب بتنی با دیوار برشی بتن مسلح ۰/۰۵٪، برای سطح عملکرد ایمنی جانی (LS) مقدار ۰/۱٪، برای سطح عملکرد آستانه فروریزش (CP) مقدار ۰/۲٪ مشخص گردیده است. همچنین استاندارد ۲۸۰۰ ایران نیز مقدار حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات در سازه مذکور را ۰/۲۵٪ تعیین نموده است. در این مطالعه از این مقادیر حداکثر به عنوان معیار شکست استفاده می‌گردد.

همچنین مفاصل پلاستیک المان‌های سازه‌ای بتن مسلح مدارس مورد بررسی، براساس ضوابط نشریه ۳۶۰ در نظر گرفته شده‌اند. بر این اساس در تیرهای بتن آرمه، مفصل خمشی کنترل شونده توسط تغییر شکل منظور گردیده است. برای ستون‌های بتنی مفاصل پلاستیک حالت اندرکنش خمش و بار محوری، کنترل شونده توسط تغییر شکل در نظر گرفته شده است. برای دیوارهای برشی بتن آرمه نیز مفاصل پلاستیک از نوع فایبر منظور گردیده و به قسمت میانی دیوار اختصاص یافته است. در شکل ۶ شکل تغییر شکل یافته نمونه مدرسه ۴ طبقه B1 و در شکل ۷ شکل تغییر شکل یافته نمونه مدرسه ۳ طبقه B2 پس از اتمام اعمال یک نمونه رکورد از زلزله‌های اعمالی با گام‌های بیشینه شتاب مختلف، تشکیل مفاصل پلاستیک و تغییر شکل ماندگار سازه نشان داده شده است.

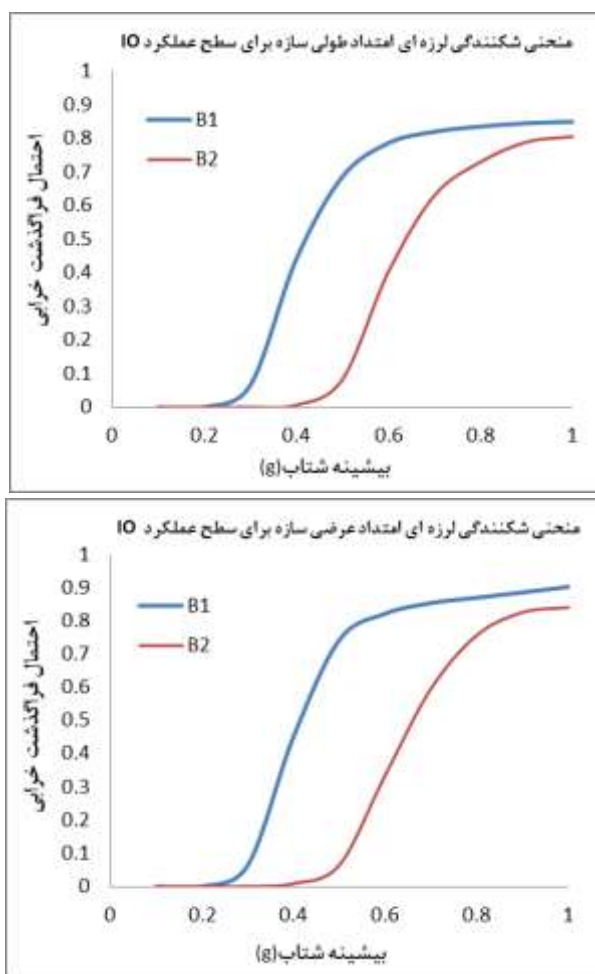


شکل ۶. شکل تغییر شکل یافته سازه مدل نمونه B1 پس از اعمال یک رکورد زلزله و نمایش تشکیل مفاصل پلاستیک و تغییر شکل‌های ماندگار سازه



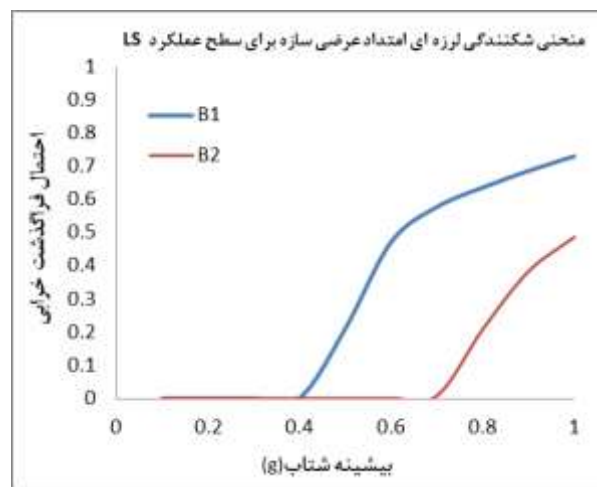
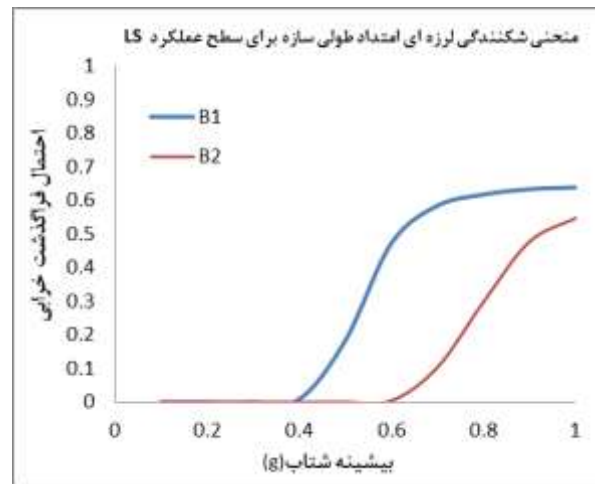
شکل ۷. شکل تغییر شکل یافته سازه مدل نمونه B2 پس از اعمال یک رکورد زلزله و نمایش تشکیل مفاصل پلاستیک و تغییر شکل‌های ماندگار سازه

برای بررسی و مقایسه رفتار سازه در سطوح عملکردی مختلف، منحنی‌های شکنندگی سازه بر این اساس ارائه شده است. این منحنی‌ها که بیانگر احتمال فراگذشت خرابی سازه با توجه به معیار دریفت مجاز در سطوح عملکردی مختلف هستند، به تفکیک سطوح عملکرد IO، LS، CP و استاندارد ۲۸۰۰ برای هر دو امتداد طولی و عرضی سازه‌های B1 و B2 در شکل ۸ نشان داده شده است.

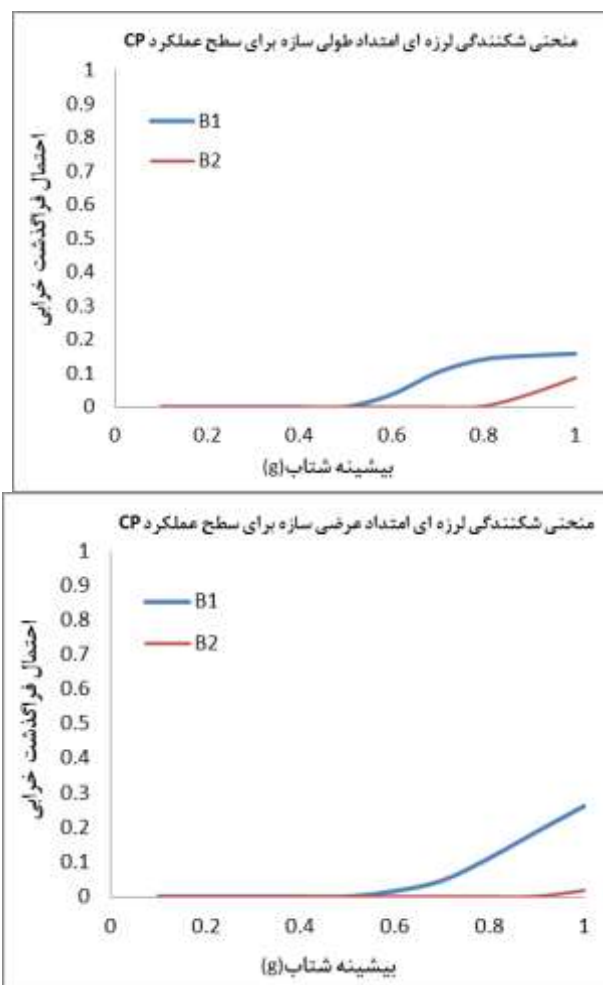


(a)

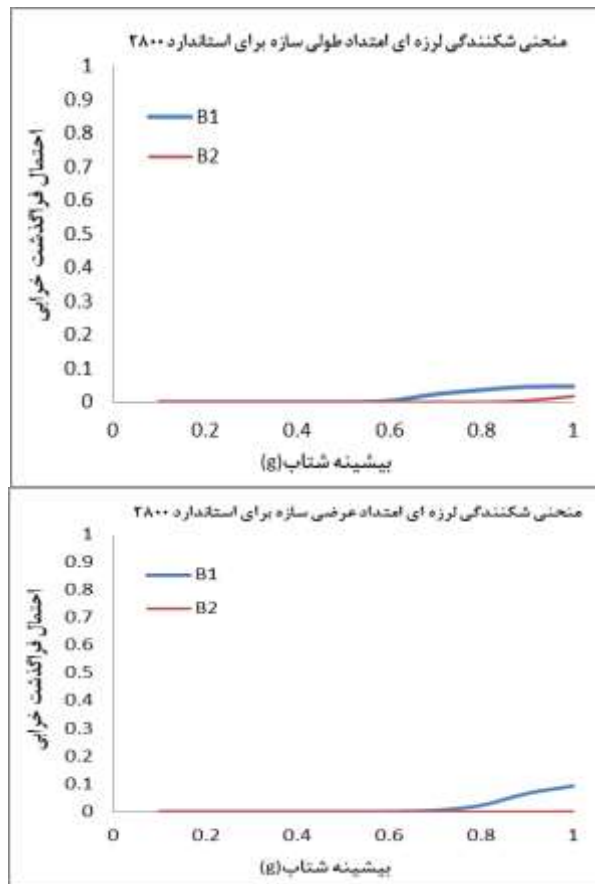




(b)



(c)



(d)

شکل ۸. منحنی‌های شکنندگی سازه با توجه به معیار دریافت مجاز در سطوح عملکردی مختلف برای هر دو امتداد طولی و

#### عرضی

بررسی منحنی شکنندگی سازه B1 نشان می‌دهد در شتاب  $0/3g$  که شتاب مبنای طرح استاندارد ۲۸۰۰ برای مناطق با خطر نسبی زیاد است، احتمال فراگذشت خرابی برای سطح عملکرد IO،  $6/4\%$  می‌باشد و برای سایر سطوح عملکردی صفر است. در شتاب  $0/35g$  که شتاب مبنای طرح استاندارد ۲۸۰۰ برای مناطق با خطر نسبی خیلی زیاد است، برای سطح عملکرد IO احتمال فراگذشت خرابی  $25/5\%$  و برای سطح عملکرد LS احتمال فراگذشت خرابی  $0/43\%$  است. در این شتاب احتمال فراگذشت خرابی در سطوح عملکردی CP و استاندارد ۲۸۰۰ صفر است. این نتایج نشان می‌دهد سازه از مقاومت بسیار بالایی نسبت به آیین‌نامه‌های طراحی برخوردار بوده و در حد شتاب مبنای طرح مطابق استاندارد ۲۸۰۰ عملاً هیچ‌گونه آسیبی در سازه ایجاد نخواهد شد.

همچنین منحنی شکنندگی سازه B1 نشان می‌دهد که این سازه برای شتاب‌های بیشتر از شتاب مبنای طرح که

در برخی زلزله های بزرگ ایران از جمله زلزله بم، سرپل ذهاب و ... رخ داده است، از آسیب پذیری کمی برخوردار است. بر این اساس در بیشینه شتاب  $g$   $0/7$  که تقریباً مشابه PGA زلزله های یاد شده است، مشاهده می گردد احتمال فراگذشت خرابی برای سطح عملکرد IO برابر  $0/85/5$ ، برای سطح عملکرد LS برابر  $0/58/4$ ، برای سطح عملکرد CP برابر  $0/10/2$  و برای استاندارد  $2800$  برابر  $0/2/4$  می باشد که این نتایج حاکی از مقاومت بالای سازه در برابر زلزله های شدید می باشد. بررسی سازه B1 تحت اثر زلزله های نادر با بیشینه شتاب  $g$  ۱ نشان می دهد احتمال بروز خرابی تحت اثر این شتاب برای سطح عملکرد IO برابر  $0/90/3$ ، برای سطح عملکرد LS برابر  $0/73$ ، برای سطح عملکرد CP برابر  $0/26/2$  و برای استاندارد  $2800$  برابر  $0/9/2$  می باشد که نشان دهنده مقاومت بسیار بالاتر از حد مورد انتظار آیین نامه های طراحی می باشد.

بررسی منحنی شکنندگی سازه B2 نشان می دهد در شتاب  $g$   $0/3$  که شتاب مبنای طرح استاندارد  $2800$  برای مناطق با خطر نسبی زیاد است، احتمال فراگذشت خرابی برای کلیه سطوح عملکردی صفر است. در شتاب  $g$   $0/35$  که شتاب مبنای طرح استاندارد  $2800$  برای مناطق با خطر نسبی خیلی زیاد است نیز احتمال فراگذشت خرابی برای کلیه سطوح عملکردی صفر است. این نتایج نشان می دهد سازه از مقاومت بسیار بالایی نسبت به آیین نامه های طراحی برخوردار بوده و در حد شتاب مبنای طرح مطابق استاندارد  $2800$  عملاً هیچگونه آسیبی در سازه ایجاد نخواهد شد.

همچنین منحنی شکنندگی سازه B2 نشان می دهد که این سازه برای شتاب های بیشتر از شتاب مبنای طرح که در برخی زلزله های بزرگ ایران از جمله زلزله بم، سرپل ذهاب و ... رخ داده است، از آسیب پذیری کمی برخوردار است. بر این اساس در بیشینه شتاب  $g$   $0/6$  که تقریباً مشابه PGA زلزله های یاد شده است، مشاهده می گردد احتمال فراگذشت خرابی برای سطح عملکرد IO برابر  $0/36/9$ ، برای سطح عملکرد LS برابر  $0/0/2$ ، برای سطح عملکرد CP و استاندارد  $2800$  صفر می باشد که این نتایج حاکی از مقاومت بالای سازه در برابر زلزله های شدید می باشد. بررسی سازه RCS2 تحت اثر زلزله های نادر با بیشینه شتاب  $g$  ۱ نشان می دهد احتمال بروز خرابی تحت اثر این شتاب برای سطح عملکرد IO برابر  $0/82/3$ ، برای سطح عملکرد LS برابر  $0/51/7$ ، برای سطح

عملکرد CP برابر ۰/۵/۲٪ و برای استاندارد ۲۸۰۰ برابر ۰/۹۳٪ می‌باشد که نشان دهنده مقاومت بسیار بالاتر از حد مورد انتظار آیین نامه های طراحی می‌باشد.

## ۶ - نتیجه گیری

در این پژوهش عملکرد لرزه‌ای دو تیپ پر تکرار از مدارس اسکلت بتنی کرمانشاه تحت اثر زلزله‌های محتمل بررسی و آسیب پذیری آنها با روش‌های تحلیل غیرخطی ارزیابی گردید. با انجام تحلیل دینامیکی افزایشی، نمودارهای ماکزیمم دررفت بام و منحنی‌های شکنندگی سازه تحت اثر رکوردهای مختلف و مقیاس شده، با شتاب افزایشی استخراج و بررسی گردید. برخی از مهمترین نتایج این مطالعه به شرح زیر هستند.

۱- تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه B1 نشان داد، سازه مدرسه در کلیه رکوردهای اعمالی تا شتاب  $0/3 g$  دارای رفتار الاستیک و به صورت میانگین تا شتاب  $0/55 g$  دارای سطح عملکرد IO، تا شتاب  $0/65 g$  دارای سطح عملکرد LS و نیز از شتاب  $0/75 g$  به بعد وارد محدوده CP خواهد شد. بررسی سازه B2 نیز نشان داد این سازه تا شتاب میانگین  $0/5 g$  دارای رفتار الاستیک است همچنین سازه B2 تا شتاب میانگین  $0/62 g$  دارای سطح عملکرد IO، تا شتاب میانگین  $0/9 g$  دارای سطح عملکرد LS و در شتاب میانگین بیش از  $1 g$  دارای سطح عملکرد CP می‌باشد.

۲- مقایسه مقادیر شتاب متناظر با سطوح عملکرد سازه B2 و سازه B1 نشان داد کاهش یک طبقه از سازه بدون اعمال تغییر در مقاطع و خصوصیات مصالح موجب تغییر رفتار قابل ملاحظه سازه می‌گردد. بر این اساس مقایسه نمونه B2 با نمونه B1 نشان داد با کاهش یک طبقه از سازه، حد الاستیک سازه به صورت میانگین از  $0/3 g$  به  $0/5$ ، سطح عملکرد IO از  $0/55 g$  به  $0/62 g$ ، سطح عملکرد LS از  $0/65 g$  به  $0/9 g$  و سطح عملکرد CP از  $0/75$  به بیش از  $1 g$  افزایش یافت.

۳- نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی سازه B1 و B2 نشان داد سازه در کلیه رکوردها تا شتاب  $0/3 g$  دارای رفتار الاستیک است و با توجه به اینکه این مقدار شتاب معادل شتاب نسبی طرح در مناطق با خطر زیاد زلزله مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که سازه از مقاومت بسیار بالایی نسبت به آیین

نامه‌های طراحی برخوردار بوده و در حد شتاب مبنای طرح مطابق استاندارد ۲۸۰۰ عملاً هیچ گونه آسیبی در سازه ایجاد نمی‌گردد.

۴- بررسی منحنی شکنندگی هر دو سازه نشان داد که این سازه برای شتاب‌های بیشتر از شتاب مبنای طرح که در برخی زلزله‌های بزرگ ایران از جمله زلزله بم، سرپل ذهاب و ... رخ داده است نیز از آسیب‌پذیری کمی برخوردار است. بر این اساس احتمال فراگذشت خرابی برای سطح عملکرد ایمنی جانی، در شتاب  $g/0.6$  برای سازه B1 مقدار  $47/2\%$  و برای سازه B2 مقدار  $0/2\%$  است.

۵- بررسی سازه تحت اثر زلزله‌های نادر با بیشینه شتاب  $g/1$  نشان داد احتمال بروز خرابی تحت اثر این شتاب برای سطح عملکرد ایمنی جانی در سازه B1 مقدار  $73\%$  و برای سازه B2 مقدار  $51/7\%$  است.

### سپاسگزاری

نویسنده از همکاری دفتر فنی اداره کل نوسازی مدارس استان کرمانشاه تشکر و قدردانی می‌نماید.

## فهرست منابع:

- کلانتری، افشین؛ بهار، امید؛ نجفی چالشتی، جعفر؛ صادقی، سیاوش (۲۰۱۰). **ارزیابی آسیب پذیری لرزه‌ای مدارس شهر کرد به کمک منحنی‌های شکنندگی لرزه‌ای**. پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳(۳-۴): ۲۱-۳۰.
- معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری (۱۳۹۲). **دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، نشریه شماره ۳۶۰**، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
- ASCE 41. (2013). **Seismic rehabilitation of existing buildings**. *American Society of Civil Engineers; Virginia: Reston*.
- ATC-40 Report (1995). **Performance based seismic engineering of buildings**. *Structural Engineers Association of California, Sacramento, CA*.
- Bazzurro, P., Cornell, C. A. (1994). **Seismic hazard analysis for non-linear structures. I: Metodology**. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 120(11): 3320–3344.
- Bazzurro, P., Cornell, C. A. (1994). **Seismic hazard analysis for non-linear structures. II: Applications**. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 120(11): 3345–3365.
- Cornell, C. A., Jalayer, F., Hamburger, R. O., & Foutch, D. A. (2002). **Probabilistic basis for 2000 SAC federal emergency management agency steel moment frame guidelines**. *Journal of structural engineering*, 128(4), 526-533.
- FEMA 356. (2000). **prestandardand commentary for the seismic rehabilitation of buildings**. *Federal Emergency Management Agency*.
- FEMA P 695. (2009). **Quantification of Building Seismic Performance Factors**. *Washington, D.C. Federal Emergency Management Agency, USA*.
- Giardini, D., Grünthal, G., Shedlock, K. M., & Zhang, P. (1999). **The GSHAP global seismic hazard map**. *Annals of Geophysics*, 42(6).
- International Institute for Earthquake Engineering, Seismology (IIEES). **Preliminary Report of Kermanshah Earthquake**. <http://www.iiees.ac.ir>. Accessed on 21 November 2017.
- Motlagh, Z. S., Dehkordi, M. R., Eghbali, M., & Samadian, D. (2020). **Evaluation of seismic resilience index for typical RC school buildings considering carbonate corrosion effects**. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 46, 101511.
- Pacific Earthquake Engineering Research Center (2006). **Next Generation Attenuation of Ground Motions (Nga) Project**. <http://peer.berkeley.edu/nga/> (Accessed 10 October 2006).
- Perrone, D., O'Reilly, G. J., Monteiro, R., & Filiatrault, A. (2020). **Assessing seismic risk in typical Italian school buildings: From in-situ survey to loss estimation**. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44, 101448.
- Road, Housing & Urban Development Research Center (2015). **IRANIAN CODE OF PRACTICE FOR SEISMIC RESISTANT DESIGN OF BUILDINGS, Standard No. 2800. 4th Edition**.
- Samadian, D., Ghafory-Ashtiany, M., Naderpour, H., & Eghbali, M. (2019). **Seismic resilience evaluation based on vulnerability curves for existing and retrofitted typical RC school buildings**. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 127, 105844.

Shome N., Cornell, CA. (1999). **probabilistic seismic demand analysis of nonlinear structures**. *Report No. RMS-35, RMS program, Stanford University.*