Journal of Structural and Construction Engineering, 8(7), 2021, pp. 182-194

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Performance Evaluation and Seismic Risk Assessment of Stadium Structures (Case Study: A Roofless Football Stadium)

Mahboobeh Pirizadeh[1]*, Farnood Saber Nikoopasand[2], Baitollah Badarloo[3]

1- Assistant Professor, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran
2 -M.Sc, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran
3-Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Qom University of Technology (QUT), Qom, Iran

ABSTRACT

The large-scale stadium structures as part of the urban elements with social and recreational functions can play a dual role in the seismic risk management of seismic-prone countries. Because of the possibility of human density and unsafely of the crowd during earthquake events, evaluating the seismic performance of these buildings both in terms of minimizing high human losses and ensuring financial investments could help to prevent and mitigate risks, significantly. For this purpose, the grandstand structure of a roofless sports stadium with concrete moment frame lateral system is designed according to the current seismic codes. Then, the seismic performance of the structure is assessed under two different crowd scenarios by applying nonlinear time-history incremental dynamic analysis method under bidirectional excitation of a set of site-compatible earthquake records. According to the results, the median IM capacity of the structure is decreased from 20% to 50% in the full crowded scenario compared to the empty scenario, over the various limit-states. The expected functional objectives of the current seismic codes are satisfied for the scenario of empty structure and it can be considered as backup emergency facilities for the first 72 hours after earthquake events with any intensity levels. However, by considering the most pessimistic scenario when the earthquake coincides with the stadium being full, the application of the seismic risk reduction strategies seems to be essential to the decision-making process to ensure the desired performance level during the earthquake events with return periods more than 475 years for emergency evacuation or emergency temporary accommodation.

ARTICLE INFO

Receive Date: 19 May 2020
Revise Date: 20 July 2020
Accept Date: 27 July 2020

Keywords:
Seismic Risk
Grandstand Structure
Sport Stadium
Crowd-Structure Interaction
performance-based Earthquake Engineering

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.231901.2144

*Corresponding author: Mahboobeh Pirizadeh.
Email address: Pirizadeh.mahboobeh@wtiau.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

ارزیابی عملکرد و بررسی خطرپذیری لرزه‌ای سازه‌های ورزشگاهی (مطالعه موردی: سازه غیرمسقف ورزشگاه فوتبال)

محبوبه پیری زاده[۱*]، فرنود صابر نیکوپسند[۲]، بیت‌الله بدرلو[۳]

۱-استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران گرایش زلزله، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران

۳- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران

چکیده

سازه‌های بزرگ مقیاس ورزشگاهی به عنوان بخشی از المان‌های شهری با کارکرد اجتماعی و تفریحی قابلیت ایفای نقش دوگانه‌ای را در برنامه‌ریزی مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای شهرهای لرزه‌خیز کشور دارند. با توجه به نوع کاربری سازه‌هایی از این قبیل که تجمع جمعیت انسانی در آنها در زمان وقوع زلزله محتمل است، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای این سازه‌ها هم از جنبه جلوگیری از تلفات زیاد و هم از جنبه حفظ سرمایه‌گذاری مالی می‌تواند به پیشگیری و کاهش خسارات وارده کمک قابل توجهی نماید. در این تحقیق، سازه جایگاه تماشاگران یک استادیوم روباز ورزشی با سیستم باربر جانبی از نوع قاب خمشی بتنی بر اساس ضوابط آیین نامه‌ای موجود کشور طراحی لرزه‌ای شده است. سپس عملکرد لرزه‌ای این سازه، با اعمال روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی فزاینده تحت اثر مولفه‌های افقی شتابنگاشت‌های لرزه‌ای سازگار با ساختگاه در دو حالت استادیوم پر وخالی از جمعیت در زمان زلزله ارزیابی شده است. نتایج ارزیابی حاکی از کاهش ۲۰ تا ۵۰ درصدی ظرفیت شدت لرزه‌ای میانه سازه در حالت استادیوم پر نسبت به حالت استادیوم خالی می‌باشد. در حالت ورزشگاه خالی در زمان وقوع زلزله، هدف عملکردی پیش بینی شده در آیین‌نامه لرزه‌ای برای ساختمان‌های با دسته‌بندی با اهمیت زیاد تامین شده و امکان استفاده از سازه به عنوان فضای پشتیبان مقابله با بحران در ۷۲ ساعت بعد از وقوع زلزله در تمام سطوح خطر احتمالی فراهم است لکن در بدبینانه‌ترین سناریو که همزمانی وقوع زلزله با پر بودن کامل ورزشگاه لحاظ شده است، افزایش قابلیت اطمینان به تامین سطح عملکرد مطلوب در زمان وقوع زلزله‌های با سطح خطر زلزله طرح و بالاتر از آن، از منظر برنامه های کاهش خطرپذیری لرزه‌ای و موضوعاتی مانند برنامه تخلیه اضطراری جمعیت مورد توجه قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: خطرپذیری لرزه‌ای، سازه جایگاه تماشاگران، استادیوم ورزشی، اندرکنش سازه و جمعیت، مهندسی زلزله عملکردی

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:	
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.231901.2144	doi:
۱۳۹۹/۰۲/۳۰	۱۳۹۹/۰۴/۳۰	۱۳۹۹/۰۵/۰۶	۱۳۹۹/۰۵/۰۶	۱۴۰۰/۰۷/۳۰	10.22065/jsce.2020.231901.2144	

*نویسنده مسئول: محبوبه پیری زاده

پست الکترونیکی: Pirizadeh.mahboobeh@wtiau.ac.ir

۱- مقدمه

در قرن اخیر مدیریت خطرپذیری شهری به عنوان رویکردی نظام‌مند مبتنی بر شناخت و پذیرش انواع مخاطرات طبیعی و غیرطبیعی در محیط شهری و اعمال راهبردهای لازم برای کاهش آسیب‌پذیری و کاهش اثرات مخاطرات بر جمعیت ساکن و شناور کلان-شهرها در حال تکمیل و توسعه است. مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای نیز به عنوان یکی از جنبه‌های پیچیده این رویکرد در شهرهای واقع در مناطق لرزه‌خیز جهان موردتوجه سیاستگذاران شهری بوده و بر مبنای شناسایی و تحلیل امکان وقوع آسیب و خسارت به کلیه المان‌های یک شهر اعم از شهروندان، ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی، متناسب با میزان خطر زلزله‌های محتمل به تصمیم سازی برای اجرای سیاست های کاهش خطرپذیری، حفظ یا انتقال خطرپذیری و یا گردش خطرپذیری لرزه‌ای منجر می‌گردد [۱،۲]. مدیریت خطرپذیری با کمّیت دادن به خطرپذیری ناشی از مخاطرات به صورت خسارت مالی و وضعیت آسیب باعث می‌شود که تصور شرایط محتمل برای بخش تصمیم‌گیر اعم از کارفرمای یک پروژه مشخص یا برنامه‌ریزان و مدیریت شهری در سطح کلان تسهیل شود. این قابلیت در خصوص مدیریت مخاطرات زلزله‌های بزرگ که احتمال وقوع خطر عمدتاً از فرکانس وقوع بسیار پایینی برخوردار است و در مقابل، امکان وقوع خسارات بزرگ مقیاس در محیط شهرهای لرزه خیز محتمل است از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا امکان از اولویت خارج شدن این مخاطرات در سیاستگذاری‌های مدیریت شهری در دوره بازگشت طولانی این مخاطرات وجود دارد. در حال حاضر در بخش کلان سیاستگذاری مدیریت شهری کشور، از استراتژی مدیریت و کاهش خطرپذیری لرزه‌ای، برای تدوین طرح‌های کلان مانند برنامه جامع کاهش خطرپذیری لرزه‌ای شهری برای کلانشهرهایی مانند تهران استفاده شده است [۳]؛ لکن عملیاتی شدن این سیاستگذاری‌ها، مستلزم توسعه کاربردی موضوع در سطوح مختلف اجرایی و استفاده از ابزارهای مهندسی مناسب برای تسهیل تصمیم‌سازی اجرای این سیاست‌ها به خصوص در مرحله پدیدآوری پروژه‌های عمرانی و زیرساخت‌های شهری می‌باشد. ورزشگاه‌ها و استادیوم‌های ورزشی به عنوان بخش مهمی از زیرساخت‌های فرهنگی و اجتماعی شهرها که از جذابیت لازم برای سرمایه‌گذاری بخش عمومی- خصوصی کشور برخوردار است قابلیت ایفای نقش دوگانه‌ای را در برنامه ریزی های مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای شهرهای لرزه‌خیز کشور دارند. از دیدگاه برنامه های کاهش خطرپذیری لرزه‌ای، پیشگیری از وقوع خسارت به سازه‌هایی از این قبیل که کانون نقطه‌ای جمعیت در زمان‌های برگزاری مسابقات ورزشی می‌باشند و هرگونه آسیب و خرابی آنها موجب تلفات زیاد می‌گردد در اولویت قرار دارد. از دیدگاه برنامه های گردش خطرپذیری لرزه‌ای نیز استفاده چندمنظوره از این سازه‌های دارای فضای باز بزرگ مقیاس به عنوان فضاهای پشتیبان مقابله با بحران و فضاهای اسکان اضطراری و موقت در دوره بازسازی و بارتوانی پس از وقوع زلزله های محتمل در شهرهای متراکم از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.

در این مقاله، با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌های ورزشگاهی بزرگ‌مقیاس (استادیوم‌ها) که بر مبنای ضوابط و مقررات ملاک عمل کشور در حال ساخت یا بهره‌برداری هستند، عملکرد لرزه‌ای یک نمونه موردی از سازه‌های جایگاه تماشاگران استادیوم‌های روباز ورزشی به روش تحلیل دینامیکی فزاینده[1] [۴] با استفاده از قابلیت‌های مهندسی زلزله عملکردی مورد بررسی قرار گرفته است و نحوه کاربرد نتایج در مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای، با هدف کاهش خسارات آتی و حفظ سرمایه از منظر بخش کلان سیاستگذار مدیریت شهری و همچنین بخش سرمایه گذاری زیرساخت‌های ورزشی موردبحث قرار گرفته است.

۲- مروری بر ضوابط و مقررات لرزه‌ای ساخت و بهره‌برداری سازه‌های ورزشگاهی

در زمینه تحلیل و طراحی لرزه‌ای سازه‌های استادیوم ورزشی، آیین‌نامه مستقلی در کشور موجود نیست ولی در ضوابط نظام فنی و اجرایی کشور مانند نشریه شماره ۳۷۳ [۵] و همچنین نشریه شماره ۱۳۲ [۶] اشاراتی به لزوم استفاده از مصالح سبک در ساخت سازه و سقف استادیوم‌های ورزشی از جنبه کاهش وزن لرزه‌ای سازه شده است. بر اساس بند ۱-۶ استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۷]، ساختمان‌هایی که خرابی آنها موجب تلفات زیاد می‌گردد مانند استادیوم‌ها و یا فضاهای سرپوشیده‌ای که محل تجمع بیش از ۳۰۰ نفر می‌باشند در دسته-بندی ساختمان‌های با اهمیت زیاد قرار می‌گیرند و لازم است در زمان وقوع زلزله طرح آسیب عمده نبینند به طوری که در زمان کوتاهی قابل مرمت باشند و درواقع بایستی سطح عملکردی بین سطح عملکرد ایمنی جانی (LS) و قابلیت استفاده بی‌وقفه (IO) یعنی سطح

[1] Incremental Dynamic Analysis (IDA)

عملکرد خرابی محدود مطابق تعریف نشریه ۳۶۰ [۸] در سازه تامین گردد. در مقررات ایمنی و امنیت ورزشگاه‌های فیفا [۹]، نیز توصیه‌هایی مبنی بر لزوم پیش‌بینی برنامه اقدام شرایط اضطراری در ساخت و بهره‌برداری استادیوم‌های فوتبال و همچنین پیش‌بینی و پیاده‌سازی نقشه پلان تخلیه اضطراری جمعیت به خصوص در شرایط حوادثی مانند آتش‌سوزی شده است اما اشاره خاصی برای اعمال ضوابط ویژه در طراحی ورزشگاه‌های واقع در مناطق لرزه‌خیز نشده است.

بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه عملکرد لرزه‌ای سازه‌های استادیوم ورزشی نشان می‌دهد که اکثر این تحقیقات بر روی عملکرد سقف سازه‌های مذکور که بر روی دهانه‌های بسیار بزرگ قراردارند متمرکز است و در زمینه ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های جایگاه تماشاگران استادیوم، تحقیقات بسیار کمی انجام شده است که از آن جمله می توان به تحقیقات جیکولوگیانیس [۱۰] مبنی بر لزوم جداسازی سازه سقف و سازه جایگاه تماشاگران جهت جلوگیری از اندرکنش لرزه‌ای بین دو سیستم در ورزشگاه‌های مسقف در زمان وقوع زلزله اشاره نمود. لیو و همکاران [۱۱] نیز در سال ۲۰۰۶ میلادی به بررسی پاسخ استادیوم ملی چین تحت اثر نیروی زلزله در سه جهت با استفاده از روش تحلیل تاریخچه زمانی پرداختند و نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اعمال تغییرات در محل تحریک تکیه‌گاه‌های سازه در پاسخ سازه طویل استادیوم موثر است. کیان و همکاران [۱۲] نیز در سال ۲۰۰۸ میلادی در خصوص اعتبار روش تحلیل استاتیکی غیرخطی برای تحلیل پاسخ سازه‌های پیچیده با دهانه‌های بلند مانند استادیوم‌های ورزشی در مقایسه با روش تحلیل تاریخچه زمانی نیروی زلزله پرداختند و نشان دادند که این روش برای انواع مشخصی از سازه‌های مزبور با در نظر گرفتن کلیه مدهای با ضریب مشارکت بیش از ۰/۶۵ از اعتبار لازم برخوردار است. الیس و همکاران [۱۳] نیز بر روی پاسخ سازه‌های جایگاه تماشاگران در برابر نیروی دینامیکی جمعیت با در نظر گرفتن سطوح بهره‌برداری مجاز برای ارتعاش سازه پرداختند و بر اساس خصوصیات دینامیکی سازه خالی و همچنین خصوصیات بارگذاری ضربه‌ای جمعیت در حین تماشای مسابقات ورزشی به ارائه پیشنهاداتی برای آیین‌نامه‌های خاص این سازه‌ها پرداختند.

تجارب موجود در زمینه استفاده چندمنظوره از فضاهای ورزشگاهی بعد از وقوع بحران‌های طبیعی نیز نشان می‌دهد که بهره-برداری از این فضاها به خصوص در مقیاس ورزشگاه‌های کوچک مسقف در حوادثی مانند سیلاب فروردین ماه سال ۱۳۹۸ کشور به عنوان فضای اسکان اضطراری موردتوجه بوده است لکن با توجه به اینکه استفاده چندمنظوره از این فضاها در طراحی مفهومی و پایه این سازه‌ها مدنظر نبوده است لذا برای تداوم استفاده در دوره اسکان موقت در چرخه مدیریت بحران از ویژگی‌های لازم برخوردار نمی‌باشند. البته سوابق موجود از دوره بازتوانی زلزله‌های بزرگ برخی کشورهای لرزه‌خیز نیز حاکی از توجه به استفاده از فضاهای داخلی و جنبی استادیوم-های بزرگ‌مقیاس ورزشی به عنوان فضای اسکان اضطراری و موقت به عنوان به فضای باز وسیع در شهرهای متراکم می باشد. از جمله این موارد می توان به اسکان موقت از نوع چادر متمرکز جنب ورزشگاه ورزشی شهر لوشان[۲] در زلزله ۲۰ آپریل ۲۰۱۳ میلادی چین با بزرگای گشتاوری ۶/۶ ریشتر (شکل ۱) و همچنین اسکان اضطراری و موقت پس از زلزله ۴ سپتامبر ۲۰۱۰ میلادی نیوزلند با بزرگای گشتاوری ۷/۳ ریشتر در استادیوم کاولس[۳] در زلزله دارفیلد[۴] اشاره نمود [۱۴،۱۵]. ضمن اینکه در برنامه‌ریزی‌های دهه اخیر اکثر کشورهای میزبان جام جهانی فوتبال، طراحی ورزشگاه‌ها به خصوص استادیوم‌های فوتبال جام جهانی ۲۰۲۲ میلادی به عنوان مراکز اسکان اضطراری و موقت در حوادثی مانند سیل، زلزله، تغییرات آب وهوایی و تغییر سطح آب دریا و طوفان‌های شدید موردتوجه قرار گرفته است [۱۶]. در شهر تهران نیز تجربه احداث ۱۲۰ پایگاه پشتیبانی مدیریت بحران شهر تهران در فضاهای اراضی ذخیره شهری در دهه اخیر با هدف حفظ و استفاده از فضای باز شهری برای زمان بحران و همچنین بهره‌برداری از این پایگاه‌ها به عنوان فضاهای کوچک مقیاس ورزشی در دوره‌های زمانی عادی (فاقد بحران) حاکی از توجه به رویکرد گردش خطرپذیری در برنامه‌ریزی مدیریت شهری بوده است (شکل ۲) لکن خلأهای موجود در برنامه نگهداری و بهره‌برداری فضاهای چندمنظوره مزبور با توجه به یکسان نبودن متولی بهره‌برداری در زمان بحران و غیربحران از چالش‌های موجود در برنامه‌ریزی مزبور می‌باشد. همچنین قابلیت اطمینان از تأمین هدف عملکردی قابلیت استفاده بی‌وقفه در سازه پایگاه‌های پشتیبانی مدیریت بحران شهر تهران در سطوح مختلف خطر لرزه‌ای نیاز به انجام تحقیقات کامل‌تری دارد.

[2] Lushan
[3] Cowles stadium
[4] Darfield earthquake

به‌این‌ترتیب، برای استفاده از ظرفیت‌های دوگانه سازه‌های ورزشگاهی بزرگ‌مقیاس در مراحل پیش، حین و بعد از وقوع بحران-هایی مانند زلزله‌های محتمل در کشور نیاز به تحقیقات کامل‌تری از منظر ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای با توجه به ویژگی‌های خاص سازه-های استادیوم‌های ورزشی مانند ساختار دایره‌ای شکل چیدمان قاب‌ها، شیب قابل توجه تیرها و دیافراگم زیر سکوهای نشیمن، تفاوت قابل توجه توزیع جرم در ارتفاع سازه جایگاه تماشاگران و امکان توزیع مختلف بارگذاری ثقلی جمعیت و اثر دینامیکی و ماهیت ضربه‌ای بارگذاری ثقلی جمعیت تماشاگران به منظور تکمیل ضوابط و دستورالعمل های طراحی سازه‌های جدید و یا مقاوم‌سازی سازه‌های موجود مطرح است. به همین لحاظ، با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در برآورد بار لرزه‌ای و در برآورد ظرفیت سازه، بررسی رنج کامل پاسخ یک گونه رایج از سازه‌های سکوی جایگاه تماشاگران استادیوم ورزشی کشور از مرحله الاستیک تا مرحله فروریزش تحت اثر سطوح مختلفی از شدت زلزله اعمالی به سازه با استفاده از قابلیت‌های مهندسی زلزله عملکردی مدنظر این تحقیق قرار گرفته است.

شکل ۱: اسکان موقت از نوع چادر متمرکز جنب ورزشگاه ورزشی شهر لوشان در زلزله ۲۰ آپریل ۲۰۱۳ میلادی چین [۱۴].

شکل ۲: نمونه بهره‌برداری ورزشی از پایگاه‌های چندمنظوره پشتیبانی مدیریت بحران در شرایط عادی.

۳- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای یک نمونه موردی استادیوم غیرمسقف فوتبال

در این تحقیق، ابتدا به بررسی سوابق موجود از انواع استادیوم‌های ورزشی موجود در کشور مطابق جدول ۱ پرداخته شده و سپس با توجه به اطلاعات استخراج شده از بازدید میدانی از یکی از استادیوم‌های در حال ساخت داخلی، نسبت به تهیه نقشه‌های معماری و سازه بر اساس شرایط خاص این تحقیق اقدام شده است. استادیوم مورد بررسی، از جمله استادیوم‌های درونگرای چهارطرفه با کناره‌ها و گوشه-های خمیده است که ظرفیتی معادل ۲۰،۰۰۰ نفر را در خود جای می‌دهد. با توجه به اینکه استفاده از فرم بیضی برای پلان سازه در شرایط محدودیت تامین زمین در شهرهای متراکم برای افزایش ظرفیت تماشاگران متداول بوده و امکان تامین دید کافی برای تماشاگران در همه زاویه‌ها را فراهم می‌کند لذا از فرم بیضی مطابق شکل ۳ در پلان معماری استادیوم موردنظر استفاده شده است. سازه جایگاه تماشاگران استادیوم دارای چهار تراز ارتفاعی مطابق شکل ۴-الف می‌باشد که در پایین‌ترین تراز ارتفاعی (۳/۲- متر) ورودی دو تیم رقابت کننده در فضای زیر سکوها قرار دارد. همچنین کلیه بخش‌های خدماتی تیم‌ها از جمله؛ رختکن، سرویس‌های بهداشتی، حمام‌ها، بخش ریکاوری، استراحت بازیکنان، سالن بدنسازی، رختکن مربیان، برخی از بخش‌های اداری و نیز رختکن داوران در این قسمت تعبیه گردیده است.

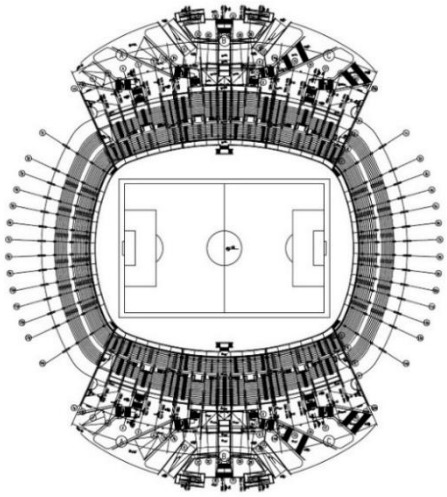
موقعیت زمین ورزشی با ابعاد ۱۱۱متر× ۷۳ متر در تراز ۰/۶+ متر قرار داشته و سری اول و دوم سکوهای نشیمن تماشاگران نیز به ترتیب از تراز ارتفاعی ۳/۶+ متر و ۷/۳۹+ متر شروع می‌شود.

جدول ۱: خلاصه مشخصات ورزشگاه‌های فوتبال کشور [۱۷]

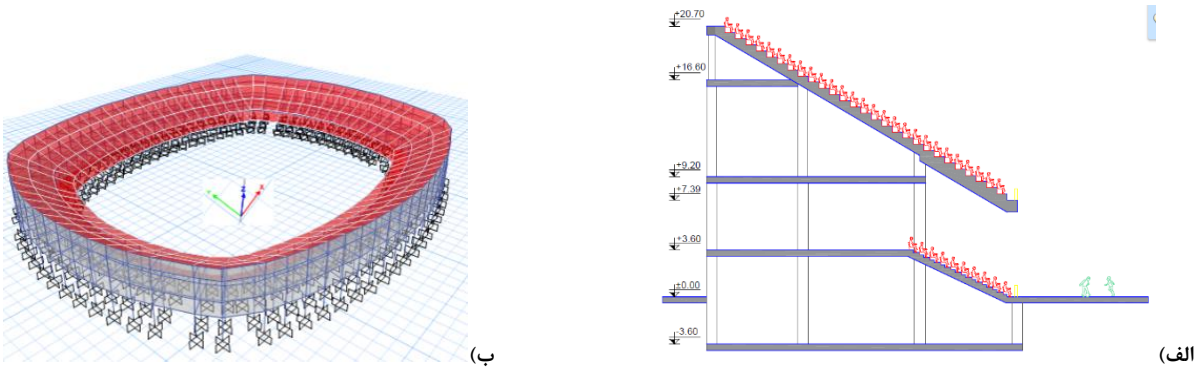
نام استادیوم	سال ساخت	نوع سازه جایگاه تماشاگر	گنجایش اسمی	فرم ورزشگاه	شکل ورزشگاه
استادیوم آزادی تهران	۱۳۵۰-۱۳۵۳	بتنی دو طبقه غیرمسقف	۷۸،۱۱۶ نفر	چهارطرفه بسته	
استادیوم نقش جهان اصفهان	فاز اول ۱۳۸۱ فاز دوم ۱۳۸۶-۱۳۹۵	بتنی دو طبقه مسقف (سقف فلزی قوسی با پوشش چادری)	۷۵،۰۰۰ نفر	چهارطرفه بسته	
استادیوم یادگار امام تبریز	۱۳۷۵	بتنی دو طبقه غیر مسقف فاقد ستون با تکیه گاه‌های سنگی	۶۶،۸۳۳ نفر	سه‌طرفه باز بیضی شکل	
استادیوم غدیر اهواز	۱۳۹۰-۱۳۷۵	بتنی دو طبقه غیرمسقف	۳۸،۶۹۰ نفر	چهارطرفه بسته	
استادیوم میانرود شیراز	۱۳۹۶-۱۳۷۶	بتنی دو طبقه مسقف (سقف فلزی قوسی با پوشش چادری)	۵۰،۰۰۰ نفر	چهارطرفه باز	
استادیوم فولاد آرنا خوزستان	۱۳۹۷-۱۳۸۸	بتنی دو طبقه مسقف (سقف فلزی قوسی با پوشش چادری)	۳۰،۶۰۵ نفر	چهارطرفه بسته	
استادیوم امام رضا (ع) مشهد	۱۳۹۶	بتنی دو طبقه مسقف (سقف فلزی قوسی با پوشش چادری)	۲۵،۸۰۰ نفر	چهارطرفه بسته	

سایت سازه مورد نظر در شهر تهران بر روی خاک تیپ سه واقع شده است که از لحاظ خطر نسبی زلزله جزو شهرهای با خطر نسبی بسیار زیاد می‌باشد. سیستم باربر جانبی در هر دو جهت سازه‌ای X (جهت طولی پلان بیضی شکل) و Y (جهت عرضی پلان بیضی شکل) مطابق شکل ۴-ب از نوع قاب خمشی بتن آرمه ویژه انتخاب شده است. با توجه به فرم سازه، یک نمونه از قاب‌های سازه که به صورت مدور حول پلان بیضوی شکل قرار دارد در شکل ۴-الف نمایش داده شده است. دیافراگم کف طبقات در قسمت اداری از نوع دال بتنی درجا بوده و در قسمت استقرار سکوهای تماشاگران نیز از اتصال قطعات سکویی پیش‌ساخته بر روی تیرهای مایل که به صورت شیبدار می‌باشند تشکیل شده است. تحلیل و طراحی سازه موردنظر بر اساس روش تحلیل دینامیکی طیفی مطابق با ضوابط استاندارد

۲۸۰۰ ایران [۷]، بر اساس ضوابط سازه‌های با اهمیت زیاد به نحوی انجام شده است که میزان نسبت نیاز به ظرفیت المان‌های سازه تا حد امکان نزدیک به یک بوده و بهینه بودن اقتصاد طرح تاحدامکان تامین شود. با توجه به شرایط خاص ارتفاع ستون‌ها در بخشی از سازه و همچنین وجود نامنظمی در ارتفاع سازه، میزان تغییرمکان نسبی سازه در زلزله طرح، فاصله اطمینان قابل توجهی با تغییرمکان نسبی مجاز آیین‌نامه داشته و در واقع سازه موردنظر رفتار صلبی بر اساس روش تحلیل دینامیکی خطی نشان داده است.



شکل ۳: پلان معماری استادیوم موردنظر.



ب) الف)

شکل ۴: الف) نمای سه بعدی سازه جایگاه تماشاگران، ب) یک نمونه از قاب‌های سازه که به صورت مدور حول پلان بیضوی شکل قرار دارد.

به منظور ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه موردنظر، مدلسازی رفتار غیرخطی اعضای سازه‌ای به صورت مدل رفتاری متمرکز در دو انتهای تیر و ستون‌ها بر اساس منحنی رفتاری روابط نشریه ۳۶۰ [۸] انجام شده است و تحت اثر ده شتابنگاشت لرزه‌ای سازگار با ساختگاه سازه (با بزرگای گشتاوری بین۶ تا ۷ ریشتر ثبت شده بر روی خاک نوع سه در فواصل ۱۵ تا ۱۸۰ کیلومتری از گسل مسبب مطابق جدول ۲)، تحلیل دینامیکی فزاینده به صورت اعمال همزمان دو مولفه افقی هر شتابنگاشت انجام شده است و رنج کامل پاسخ سازه تحت کلیه سطوح شدت لرزه‌ای به صورت منحنی شدت-پاسخ لرزه‌ای سازه (IDA) تحت اثر شتابنگاشت‌های لرزه‌ای استخراج و میانگین‌گیری شده است. در ارزیابی موردنظر، از اثرات جهت‌پذیری و تغییرمکان ماندگار در انتخاب شتابنگاشت‌های نزدیک گسل صرفنظر شده است. منحنی-های IDA بر اساس معیار شدت لرزه‌ای شتاب بیشینه شتابنگاشت (PGA) و معیار آسیب لرزه‌ای ماکزیمم نسبت تغییرمکان نسبی (دریفت ماکزیمم) طبقات ترسیم و خلاصه‌سازی شده و سطوح عملکرد لرزه‌ای قابلیت استفاده بی‌وقفه (IO) و آستانه فروریزش (CP) بر روی منحنی‌های IDA مشخص شده است. برای تعیین نقطه متناظر با سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه، نقطه‌ای از منحنی IDA که دریفت ماکزیمم طبقات آن متناظر با ۰/۵ درصد باشد، بر مبنای تغییر مکان نسبی مجاز حد بهره‌برداری استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۷] مشخص شده است. برای مشخص نمودن سطح عملکرد آستانه فروریزش، شروع نرم شدگی منحنی قبل از رسیدن به خط مستقیم منحنی

(متناظر با ناحیه ناپایداری دینامیکی کلی سازه) ملاک بوده و برای این منظور اولین نقطه‌ای از منحنی که شیب مماس بر آن ۲۰٪ شیب ناحیه الاستیک منحنی باشد مشخص شده است. در این تحقیق، احتمال عبور از سطوح عملکرد در سازه موردمطالعه بر اساس روابط مرجع [۱۸] با رویکرد مبتنی بر شدت لرزه‌ای (IM)، محاسبه شده است و در واقع احتمال اینکه شدت لرزه‌ای اعمالی به سازه بیش از ظرفیت شدت لرزه‌ای سطح عملکرد موردنظر باشد ارزیابی شده است. لازم به ذکر است که در انتخاب شتابنگاشت‌های لرزه‌ای سعی شده است که تنوع لازم در خصوصیات اصلی رکورد اعم از مدت زمان، شتاب پیک و توزیع انرژی رکورد در طول زمان و فرکانس غالب رکورد لرزه‌ای در دسته شتابنگاشت‌های انتخاب شده جهت تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی جهت کاهش حساسیت پاسخ به انتخاب رکوردهای لرزه‌ای مدنظر قرار گیرد لکن برای تعمیم نتایج ارائه شده در بخش‌های بعدی به رنج جامع‌تری از سازه‌های ورزشگاهی، تحقیقات کامل‌تری برای کاهش حساسیت پاسخ به انتخاب رکورد توسط محققان در حال انجام است.

جدول ۲: مشخصات شتابنگاشت‌های لرزه‌ای مورداستفاده در تحلیل دینامیکی فزاینده

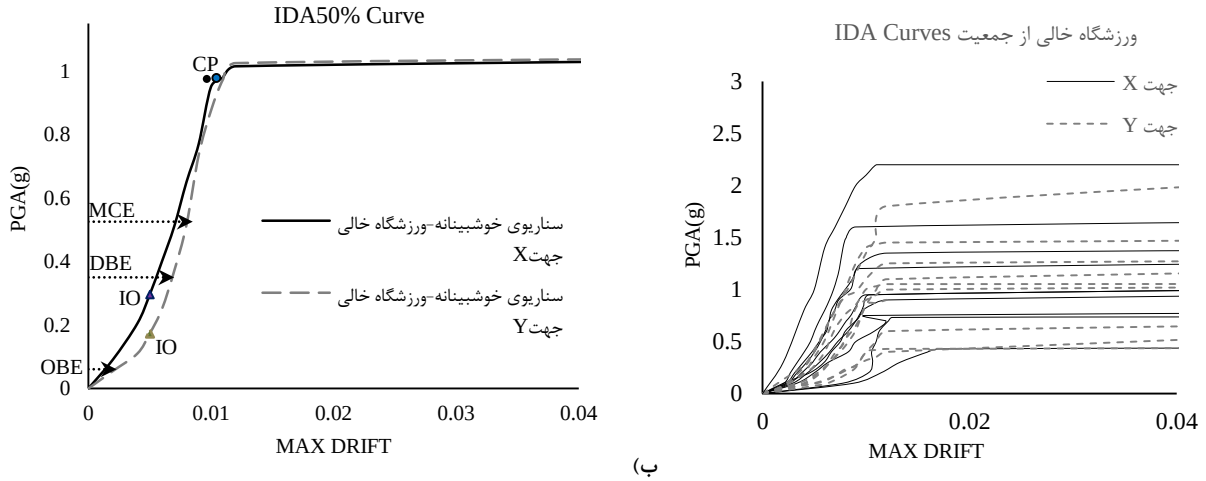
شماره رکورد	نام زلزله (ایستگاه)	بزرگای گشتاوری	فاصله رومرکز (کیلومتر)	مدت زمان کل (ثانیه)	مولفه اعمال شده به محورهای اصلی سازه	PGA (g)	دانسیته ویژه انرژی (cm^2/s)
۱	San Fernando, 1989 (Anza Post Office)	۶/۶	۱۷۳	۳۹/۴	جهت X	۰/۰۲۶	۳/۷
					جهت Y	۰/۰۳۸	۶/۱
۲	Northridge, 1994 (Huntington Beach - Lake St)	۶/۷	۷۴/۷	۴۵	جهت X	۰/۰۸۷	۷۱/۸
					جهت Y	۰/۰۷۳	۸۳/۲
۳	Kobe, Japan, 1995 (HIK)	۶/۹	۹۵/۷	۵۲	جهت X	۰/۱۴	۴۱۵/۹
					جهت Y	۰/۱۵	۲۶۹/۹
۴	Chi-Chi, Taiwan-04, 1999 (CHY032)	۶/۲	۵۰/۲	۳۶	جهت X	۰/۰۳۲	۳۷۲/۵
					جهت Y	۰/۰۴۶	۸۱۸/۲
۵	San Simeon, CA, 2003 (Hollister - Airport Bldg)	۶/۵	۱۳۴/۱	۸۶	جهت X	۰/۰۰۹	۲۸/۸
					جهت Y	۰/۰۱۱	۴۲/۶
۶	Bam, Iran, 2003 (Mahan)	۶/۶	۱۴۷/۳	۳۰	جهت X	۰/۰۱۳	۱/۷
					جهت Y	۰/۰۱۳	۱/۸
۷	Umbria Marche, Italy, 1997 (Rieti)	۶	۶۰/۹	۵۵	جهت X	۰/۰۱۶	۱۵/۵
					جهت Y	۰/۰۱۹	۱۵/۳
۸	L'Aquila, Italy, 2009 (Termoli)	۶/۳	۱۲۲	۸۷	جهت X	۰/۰۱۱	۱۶/۹
					جهت Y	۰/۰۰۹	۱۵/۷
۹	Chuetsu-oki, Japan, 2007 (Sanjo Shinbori)	۶/۸	۱۵/۹	۳۶	جهت X	۰/۲۶	۱۳۷۲/۱
					جهت Y	۰/۳	۲۵۷۶/۱
۱۰	Christchurch, New Zealand, 2011 (SKFS)	۶/۲	۳۱/۸	۹۵	جهت X	۰/۰۱۳	۸/۵
					جهت Y	۰/۰۱۶	۹/۴

۴- سناریوی خوش‌بینانه وقوع زلزله در استادیوم خالی بدون حضور جمعیت تماشاگران

با توجه به اینکه سازه جایگاه تماشاگران استادیوم موردبررسی در ساختگاهی با خطر نسبی لرزه‌ای بسیار زیاد واقع شده است. خوش‌بینانه ترین سناریوی ممکن برای زمان وقوع زلزله، حالتی است که سازه جایگاه کاملاً خالی از حضور جمعیت تماشاگر بوده و مسابقه ورزشی در حال انجام نباشد. برای ارزیابی عملکرد سازه در این سناریو تحت اثر سطوح مختلف شدت زلزله، نتایج تحلیل دینامیکی فزاینده بدون اعمال بار زنده حضور جمعیت به صورت منحنی‌های IDA و منحنی میانه در دو جهت X و Y مطابق شکل ۵-الف و ۵-ب استخراج شده است. بر روی شکل ۵-ب، سه سطح شدت لرزه‌ای متناظر با زلزله بهره‌برداری (OBE)، زلزله طرح (DBE) و زلزله بیشینه موردانتظار (MCE) نمایش داده شده است و موقعیت سطوح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه و آستانه فروریزش نسبت به این سطوح خطر زلزله مشخص شده است. مطابق این شکل، علیرغم ظرفیت شکل‌پذیری پایین سازه، قابلیت تحمل سطوح بالایی از ظرفیت شدت لرزه‌ای (زلزله-هایی تا شدت PGA حدود ۰/۹۵g) تا رسیدن به نقطه متناظر با سطح عملکرد آستانه فروریزش در سازه موردنظر مشاهده شده است. در

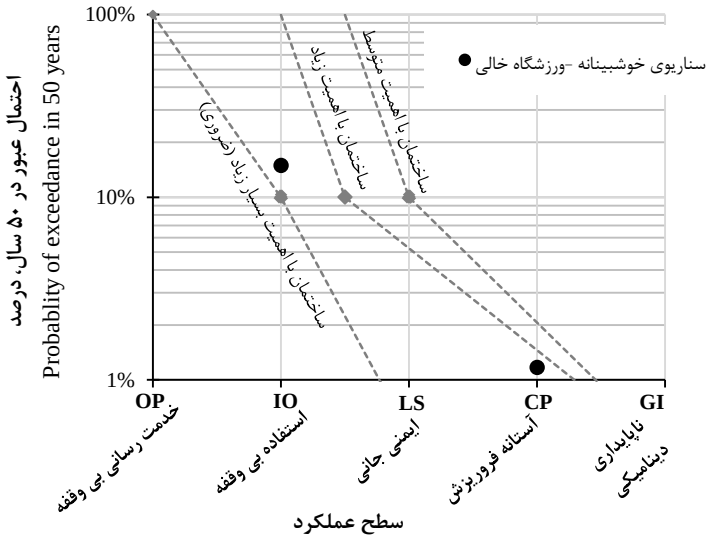
واقع سختی و نامعینی بالا و ساختار هندسی خاص سازه باعث شده است که از ورود سازه موردنظر به وضعیت فروریزش علیرغم ایجاد خرابی‌های موضعی در برخی ستون‌های واقع در قسمت کنسولی ورزشگاه جلوگیری شود.

احتمال عبور سازه موردنظر از سطوح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه و آستانه فروریزش نیز در شکل ۶ نمایش داده شده و با هدف موردانتظار آیین‌نامه [۷] مقایسه شده است. منحنی‌های رسم شده در این شکل برای هدف عملکردی موردانتظار آیین‌نامه برای سازه-های با اهمیت متوسط، زیاد و بسیار زیاد به صورت خطوط شماتیک رسم شده است ولی نقاط متناظر با سطوح عملکرد قابلیت استفاده بی-وقفه و ایمنی جانی به صورت دقیق برمبنای اهداف عملکردی آیین نامه [۷] مشخص شده است. برای مشخص کردن این نقاط، احتمال عبور از هر سطح عملکرد برای سازه‌ای که اهداف آیین نامه را به صورت ایده‌آل تامین می‌نماید متناظر با احتمال عبور زلزله از سطح خطر هدف عملکردی مربوطه لحاظ شده است. برای نمونه برای سازه با اهمیت متوسط و با اهمیت بسیار زیاد به ترتیب احتمال عبور از سطح عملکرد ایمنی جانی سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه در شرایط ایده آل برابر با ۱۰ درصد در طول عمر پنجاه ساله بهره‌برداری سازه تعیین شده است. به این ترتیب در صورتی که نقاط متناظر با احتمال عبور سازه استادیوم موردنظر از سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه و سطح عملکرد آستانه فروریزش در قسمت زیر منحنی شماتیک سازه با اهمیت زیاد مطابق شکل ۶ قرار بگیرد می توان گفت که هدف عملکردی آیین‌نامه‌ای قابل تامین می‌باشد. علاوه بر این، وضعیت عبور مفاصل پلاستیک اعضای سازه‌ای از سطح عملکرد ایمنی جانی در سطح خطر متناظر با زلزله طرح نیز در هریک از شتابنگاشت‌های لرزه‌ای اعمالی سنجیده شده و به عنوان معیاری برای ارزیابی عملکرد سازه موردنظر لحاظ شده است. مطابق این ارزیابی، سازه موردنظر در سناریوی خالی بودن در زمان وقوع زلزله، شرایط موردانتظار برای سازه با اهمیت زیاد را تامین می‌کند اما امکان تامین شرایط موردانتظار برای سازه با اهمیت بسیار زیاد را ندارد. به این ترتیب، مطابق با هدف تعریف شده آیین نامه برای عملکرد سازه با اهمیت زیاد، آسیب عمده در زمان وقوع زلزله طرح رخ نداده به طوری که در زمان کوتاهی قابل مرمت می‌باشد و در زمان وقوع زلزله بهره‌برداری نیز قابلیت استفاده بی‌وقفه از سازه وجود دارد. بنابراین از منظر رویکرد مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای، امکان استفاده از سازه به عنوان فضای پشتیبان مقابله با بحران در ۷۲ ساعت بعد از وقوع زلزله در تمام سطوح خطر زلزله محتمل فراهم است و از قابلیت‌هایی مانند فضای باز داخلی سازه جایگاه تماشاگران برای استقرار پد هلیکوپتر و انجام اقدامات لجستیک موردنیاز زمان بحران و همچنین از فضای داخلی جایگاه برای انجام خدمات موردنیاز نجات و امداد و یا فضاهای درمانی موقت برای زلزله‌های با سطوح خطر کمتر از زلزله طرح مشروط به عدم قرارگیری استادیوم در محدوده نزدیک گسل مسبب زلزله می‌توان استفاده نمود.



ب) الف)

شکل ۵: الف) نمودارهای IDA سازه تحت اثر شتابنگاشت‌های لرزه‌ای در سناریوی خوش‌بینانه، ب) نمودار IDA میانه برای سازه جایگاه تماشاگران استادیوم در سناریوی خوش‌بینانه.



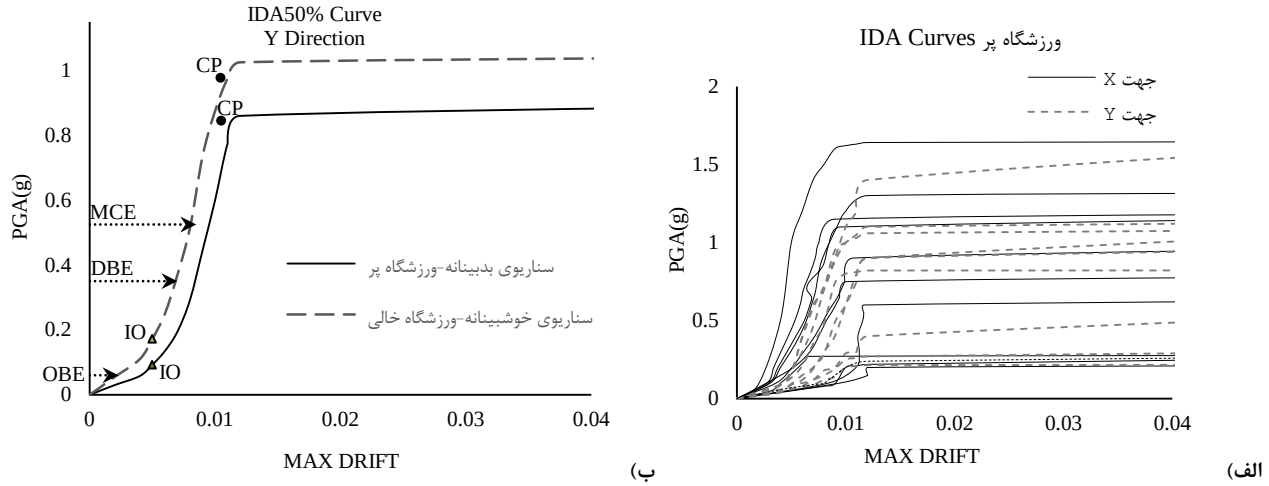
شکل ۶: وضعیت احتمال عبور سازه از سطوح عملکرد موردبررسی نسبت به اهداف عملکردی موردانتظار آیین‌نامه‌ای.

۵- سناریوی بدبینانه وقوع زلزله همزمان با حضور جمعیت کامل تماشاگران در استادیوم

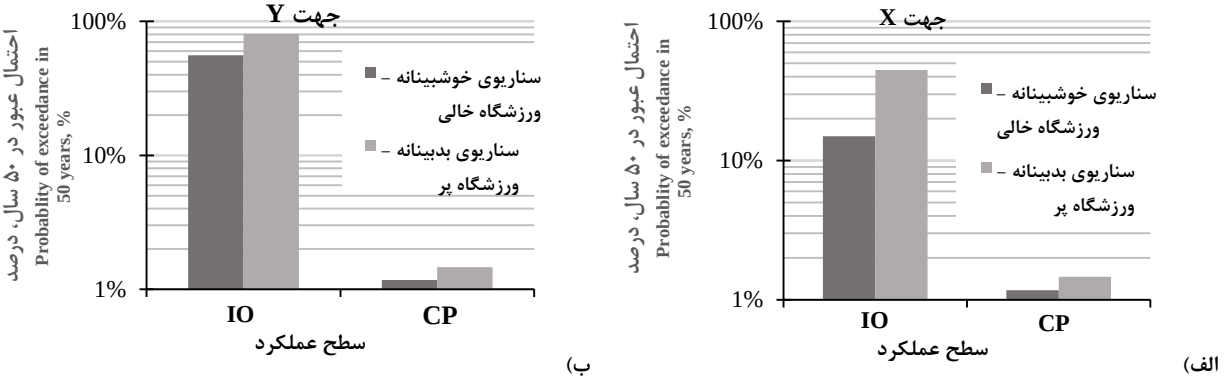
بدبینانه‌ترین سناریوی ممکن برای زمان وقوع زلزله، حالت همزمانی زمان انجام مسابقه ورزشی با زمان وقوع زلزله با سطوح شدت خطر مختلف با فرض پر بودن کامل جایگاه تماشاگران می‌باشد. برای ارزیابی عملکرد سازه در این سناریو تحت اثر سطوح مختلف شدت زلزله، نتایج تحلیل دینامیکی فزاینده با اعمال بار زنده تماشاگران در کل سکوها مطابق بارگذاری ورزشگاه‌های دارای صندلی ثابت که شامل اثر دینامیکی و ماهیت ضربه‌ای بارگذاری ثقلی جمعیت تماشاگران می‌باشد [۱۹،۲۰] استخراج شده است. در شکل ۷-الف، منحنی‌های IDA تحت کلیه شتابنگاشت‌های لرزه‌ای در هردو جهت سازه‌ای در این سناریو ارائه شده است. در شکل ۷-ب، منحنی میانه IDA سازه در این سناریو در مقایسه با سناریوی قبلی در جهت سازه‌ای Y مورد مقایسه قرار گرفته است. مطابق این شکل، مقدار میانه ظرفیت شدت لرزه‌ای سازه در حالت پر کاهش ۲۰ تا ۵۰ درصدی در سطوح مختلف عملکرد لرزه‌ای نسبت به حالت خالی داشته است لکن همچنان در سازه موردنظر قابلیت تحمل سطوح بالایی از ظرفیت شدت لرزه‌ای (زلزله‌هایی تا شدت PGA حدود ۰/۸g) تا رسیدن به نقطه متناظر با سطح عملکرد آستانه فروریزش در سازه موردنظر مشاهده می‌شود. میزان کاهش ظرفیت شدت لرزه‌ای قابل اعمال به سازه در دو سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه و آستانه فروریزش در این سناریو نسبت به سناریوی خوش‌بینانه در جدول ۳ ارائه شده است. مطابق این جدول، میزان کاهش ظرفیت در سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه بسیار قابل توجه‌تر نسبت به سطح عملکرد آستانه فروریزش می‌باشد. علاوه بر این، احتمال عبور سازه موردنظر از این سطوح عملکرد نیز در این سناریو نسبت به سناریوی خوش‌بینانه در شکل ۸-الف و ۸-ب در دو جهت سازه‌ای X و Y مورد مقایسه قرار گرفته است. مطابق این شکل، احتمال عبور از سطوح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه و آستانه فروریزش در این سناریو نسبت به سناریوی خوش‌بینانه به ترتیب افزایش ۲۰۰ درصدی و ۲۵ درصدی در راستای X و افزایش ۴۴ و ۲۵ درصدی در راستای Y نشان داده است اما با این وجود، در مقایسه با حدود هدف عملکردی آیین نامه برای ساختمان با اهمیت زیاد که در شکل ۶ نمایش داده شده است همچنان از حدود مجاز این هدف عملکردی عبور نکرده است.

به این ترتیب از منظر رویکرد مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای، سیاستگذاری‌های طراحی به روش عملکردی برای سازه‌های استادیومی برای کاهش خرابی‌های محدود در نقاط آسیب‌پذیر سازه در زمان وقوع زلزله‌های با سطوح خطر بالاتر از زلزله بهره‌برداری و زلزله طرح از جنبه کاهش خطرپذیری لرزه‌ای حایز اهمیت بوده و موضوعاتی مانند مدیریت تخلیه اضطراری جمعیت در زمان وقوع زلزله و بعد از آن که می‌تواند باعث مخاطرات ثانویه گردد نیازمند برنامه‌ریزی می‌باشد. بر مبنای نتایج این تحقیق، با توجه به اینکه در کلیه سطوح خطر لرزه‌ای، احتمال عبور سازه از سطح عملکرد آستانه فروریزش حتی در این سناریو در رنج کمتر از ۲٪ در ۵۰ سال قرار دارد و با توجه به اینکه همزمانی وقوع زلزله با زمان برگزاری مسابقه‌های پرتماشاگر از احتمال بسیار پایینی برخوردار است لذا به نظر می‌رسد ضمن اینکه اتخاذ

استراتژی آرام‌سازی و خروج تدریجی جهت استقرار جمعیت در فضای باز داخلی استادیوم قابل برنامه‌ریزی است لکن توجه به موضوعاتی مانند تامین تعداد خروجی‌های موردنیاز در طرح معماری برای تخلیه اضطراری و جلوگیری از تمرکز در پلان سازه و همچنین تجهیزاتی برای انتقال مستقیم بخشی از جمعیت به فضای باز داخلی استادیوم در حوادثی مانند مخاطرات زلزله و یا آتش‌سوزی و مانند آن به کاهش مخاطرات و تلفات ثانویه کمک قابل توجهی می‌کند.



شکل ۷: الف) نمودارهای IDA سازه تحت اثر شتابنگاشت‌های لرزه‌ای در سناریوی بدبینانه، ب) مقایسه نمودار IDA میانه برای سازه جایگاه تماشاگران استادیوم در سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه.



شکل ۸: مقایسه احتمال عبور سازه از سطوح عملکرد در سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه، الف) جهت X، ب) جهت Y.

جدول ۳؛ تاثیر حالت همزمانی حضور تماشاگران با زمان وقوع زلزله در کاهش ظرفیت شدت لرزه‌ای IM در سطوح عملکرد در جهت X و Y

سطح عملکرد لرزه‌ای سازه		ورزشگاه خالی از جمعیت	ورزشگاه پر از جمعیت	درصد کاهش ظرفیت در حالت پر نسبت به حالت خالی
قابلیت استفاده بی وقفه IO	جهت X	۰/۲۹۵ g	۰/۱۸۵ g	٪۳۷
	جهت Y	۰/۱۷۳ g	۰/۰۹۳ g	٪۴۶
آستانه فروریزش CP	جهت X	۰/۹۷۵ g	۰/۸۱ g	٪۱۷
	جهت Y	۰/۹۷۷ g	۰/۸۴۵ g	٪۱۳

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، سازه‌های ورزشگاهی بزرگ‌مقیاس کشور به عنوان بخشی از المان‌های شهری با کارکرد اجتماعی و تفریحی از دیدگاه مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای موردبررسی قرار گرفته است. برای این منظور، عملکرد لرزه‌ای یک نمونه سازه جایگاه تماشاگران استادیوم غیرمسقف که نماینده مناسبی از سازه‌های استادیومی کشور می‌باشد و بر اساس ضوابط آخرین آیین‌نامه‌های لرزه‌ای کشور از طراحی قابل قبولی برخوردار است مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای ارزیابی موردنظر از روش تحلیل دینامیکی فزاینده که قابلیت مناسبی برای بررسی رنج کامل پاسخ سازه از حد الاستیک تا فروریزش بر حسب سطوح مختلف خطر لرزه‌ای دارد استفاده شده است لکن برای تعمیم این نتایج به رنج وسیعی از سازه‌های ورزشگاهی نیاز به تحقیقات کامل‌تری از جنبه کاهش حساسیت نتایج به انتخاب رکوردهای لرزه‌ای و مشخصات و ابعاد سازه می‌باشد. نتایج حاصله به شرح ذیل خلاصه شده است:

۱) نتایج ارزیابی حاکی از این است که سناریوی نحوه بهره‌برداری از سازه در زمان وقوع زلزله تاثیر قابل توجهی در نوع برنامه مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای مدیریت ورزشگاه و مدیریت کلان شهری در شهرهای لرزه‌خیز دارد.

۲) در خوش‌بینانه‌ترین سناریو که مربوط به حالت ورزشگاه خالی از تماشاگر در زمان وقوع زلزله می‌باشد هدف عملکردی پیش بینی شده در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای برای ساختمان‌های با دسته بندی با اهمیت زیاد تامین می‌گردد و لذا امکان استفاده از سازه موردنظر به عنوان فضای پشتیبان مقابله با بحران در ۷۲ ساعت بعد از وقوع زلزله در تمام سطوح خطر زلزله محتمل به خصوص در شهرهای متراکم فاقد فضای عمومی باز شهری مشروط به عدم قرارگیری استادیوم در محدوده نزدیک گسل مسبب زلزله فراهم است و برنامه ریزی برای بهره‌برداری چندمنظوره از این فضاها برای اسکان اضطراری و موقت دوره بازتوانی و بازسازی چرخه مدیریت بحران در طراحی مفهومی استادیوم‌های جدید و توجیه اقتصادی بازسازی استادیوم‌های موجود در شهرهای لرزه‌خیز حایز اهمیت است.

۳) در بدبینانه‌ترین سناریو که همرمانی زمان وقوع زلزله با پر بودن کامل ورزشگاه لحاظ شده است علیرغم احتمال پایین رخداد این سناریو، لکن سیاستگذاری‌های طراحی به روش عملکردی برای سازه‌های استادیومی برای کاهش خرابی‌های موضعی در نقاط آسیب-پذیر سازه در زمان وقوع زلزله‌های با سطوح خطر بالانر از زلزله بهره‌برداری از جنبه کاهش خطرپذیری لرزه‌ای حایز اهمیت بوده و موضوعاتی مانند مدیریت تخلیه اضطراری جمعیت در زمان وقوع زلزله و بعد از آن که می‌تواند باعث مخاطرات ثانویه گردد نیازمند برنامه‌ریزی می‌باشد.

۴) بررسی عملکرد سازه موردنظر در هر دو حالت ورزشگاه پر و خالی حاکی از این است که علیرغم ظرفیت شکل‌پذیری پایین سازه، قابلیت تحمل سطوح بالایی از شدت لرزه‌ای (زلزله‌هایی تا شدت PGA حدود ۰/۹۵g) تا رسیدن به نقطه متناظر با سطح عملکرد آستانه فروریزش در سازه موردنظر مشاهده شده است. در واقع سختی و نامعینی بالا و ساختار هندسی خاص سازه باعث شده است که از ورود سازه موردنظر به وضعیت فروریزش علیرغم ایجاد خرابی‌های موضعی در برخی ستون‌های واقع در قسمت کنسولی ورزشگاه در سطوح خطر نزدیک به زلزله بیشینه دور از گسل جلوگیری شود.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از هم‌فکری تمام اعضای کمیته علمی **انجمن مهندسی سازه ایران** کمال سپاسگزاری را دارند.

مراجع

[1] Hoshia, M. and Takaaki, N. (Translated by Kalantari, A.) (2000). *Seismic Risk Management of Structures*. Tehran: International Institute of Earthquake Engineering and Seismology Press (in Persian).

[2] Cimellaro, G. P., Renschler, C., Reinhorn, A. M., and Arendt, L. (2016). PEOPLES: A framework for evaluating resilience. *Journal of Structural Engineering*, 142(10), 1-13.

[3] Shakib, H., Dardaei, S., and Pirizadeh, M. (2011). A proposed seismic risk reduction program for the mega city of Tehran, Iran. *Journal of Natural Hazards Review*, 12(3), 140-145.

[4] Vamvatsikos, D. and Cornell, C.A. (2002). Incremental dynamic analysis. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 31(3), 491-514.
[5] Iranian Management and Planning Organization (2015). *A Guide to Gymnasiums Architectural Design*, No. 373. (in Persian)
[6] Iranian Management and Planning Organization (1996). *Technical Standards of the Country's Stadiums*, No. 132. (in Persian)
[7] Building and Housing Research Center (2015). *Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings*. Standard No. 2800, Ed. 4, Iran. (in Persian)
[8] Iranian Management and Planning Organization (2014). *Instruction for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*, No. 360. (in Persian)
[9] Fédération Internationale de Football Association. (2013). *FIFA Stadium Safety and Security Regulations*.
[10] Gkologiannis, C., Gantes, C., Athanasiadis, A., Majowiecki, M., Zoulas, F., and Schmidt, H. (2010). *Structural Design of the New Football Stadium of Panathinaikos FC in Votanikos, Greece*. In IABSE Symposium Report (97(1), 63-70). International Association for Bridge and Structural Engineering.
[11] Liu, W. H., Yang Q. S., and Tian, Y. J. (2006). Response analysis of national stadium under spatially varying earthquake ground motions. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 47(3), 261-270.
[12] Qian, J. R., Zhang, W. J., and Ji, X. D. (2008). Application of pushover analysis on earthquake response predication of complex large-span steel structures. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 12-17).
[13] Ellis, B. R., Ji, T., and Littler, J. D. (2000). The response of grandstands to dynamic crowd loads. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 140(4), 355-365.
[14] Earthquake Engineering Research Institute (2013). *Learning from Earthquakes: The Mw 6.6 Earthquake of April 20, 2013 in Lushan, China*. EERI Special Earthquake Report.
[15] Giovinazzi, S., Stevenson, J. R., Mason, A., and Mitchell, J. (2012). Assessing temporary housing needs and issues following Christchurch Earthquakes, New Zealand Christchurch Earthquake, *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering Lisbon, Portugal.*
[16] Azzali, S. (2017). Mega sports events and public spaces: the case of Doha and the 2022 World Cup. *The 10th Conference of the International Forum on Urbanism (IFoU)* (pp. 453-463). International Forum on Urbanism.
[17] Iranian National Sports Facilities Development and Maintenance Company's Reports [Online]. Available at: http://www.tanavar.ir.
[18] Jalayer, F., and Cornell, C. A. (2003). *A Technical Framework for Probability-Based Demand and Capacity Factor Design (DCFD) Seismic Formats.* PEER Rep. No. 2003/08, Pacific earthquake engineering center, Berkeley, CA.
[19] Pirizadeh, M., Saber-Nikoopasand, F. and Badarloo, B. (2019). Seismic Performance Evaluation of Code-Designed Grandstand Structure of A Roofless Sport Stadium, *The 8th International Conference on seismology& Earthquake Engineering*, Tehran, Iran.
[20] Iranian National Building Codes Compilation Office (2014). Iranian national building code, part 6: Loads on building. Ministry of Housing and Urban Development (MHUD). (In Persian)