Journal of Structural and Construction Engineering, 11(07), 2024, pp. 244-259

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Comparison of the Iranian and European Codes in Modeling, Loading, and Analysis of Industrial pipe racks

Gholamreza Havaei

Assistant Professor, Department of Civil Engineering and Environmental, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

ABSTRACT

Abstract:

This study compares the analysis and modeling of existing steel pipe racks under various loading conditions using the European and Iranian Codes. The main goal is to evaluate the accuracy of results from these codes and their applicability to Iran's seismic conditions. Several steel pipe racks were modeled and analyzed under different loading scenarios. The results show that the Iranian Code, designed for Iran's seismic characteristics and based on American standards, provides more accurate analysis of structural behavior under seismic loads. This code uses more complex models to simulate behavior under earthquakes, offering better predictions and more conservative results. In contrast, the European Code, designed for low seismic risk areas, performed less effectively for Iran's seismic conditions. This discrepancy arises from the European Code's misalignment with Iran's seismic and geographic conditions, reducing accuracy in analysis and modeling. Additionally, site analysis and seismic hazard assessments for different regions of Iran were conducted, emphasizing the importance of considering local seismic and geological conditions in design. The study underscores the need for locally tailored codes and can improve the design and analysis of structures in seismic regions, especially in Iran.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 12 February 2024
Revise Date: 02 April 2024
Accept Date: 09 May 2024

Keywords:
Portal frame structure
industrial structure
seismic analysis
Iranian design code

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2025.523801.3729

*Corresponding author: Gholamreza Havaei
Email address: Havaei@aut.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

مقایسه آیین‌نامه ایران و اروپا در مدل‌سازی، بارگذاری و تحلیل سازه‌های پایپ‌رک

غلامرضا هوائی

استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

چکیده

چکیده:

این تحقیق به مقایسه تحلیل و مدل‌سازی پایپ رک‌های فولادی موجود تحت بارگذاری‌های مختلف با استفاده از دو آیین‌نامه معتبر بین‌المللی، آیین‌نامه اروپا و آیین‌نامه ایران، می‌پردازد. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی دقت نتایج تحلیل‌ها بر اساس این دو آیین‌نامه و مقایسه تطابق آنها با شرایط لرزه‌خیز ایران است. در این تحقیق، تعدادی از پایپ رک‌های فولادی موجود در شرایط مختلف بارگذاری مدل‌سازی و تحلیل شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که آیین‌نامه ایران، که به‌طور خاص با توجه به ویژگی‌های لرزه‌ای منطقه ایران و بر اساس استانداردهای آمریکایی طراحی شده، تحلیل دقیق‌تری از رفتار سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای ارائه می‌دهد. این آیین‌نامه با استفاده از مدل‌های پیچیده‌تر و دقیق‌تر برای شبیه‌سازی رفتار سازه‌ها تحت بارهای زلزله، قادر به پیش‌بینی دقیق‌تری از عملکرد پایپ رک‌ها در برابر زلزله و بارهای دینامیکی است و نتایج محافظه‌کارانه‌تری به‌دست می‌دهد. در مقابل، آیین‌نامه اروپا که بیشتر برای مناطق با خطر زلزله پایین طراحی شده، در تحلیل سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای در ایران عملکرد کمتری از خود نشان داد. این تفاوت‌ها ناشی از عدم تطابق کامل آیین‌نامه اروپا با شرایط لرزه‌ای و جغرافیایی ایران است که منجر به کاهش دقت در تحلیل و مدلسازی سازه‌ها می‌شود. علاوه بر این، در این تحقیق تحلیل ساختگاه و تحلیل خطر لرزه‌ای در مناطق مختلف ایران نیز انجام شده است. نتایج این تحلیل‌ها بر اهمیت توجه به ویژگی‌های خاص لرزه‌ای و شرایط زمین‌شناسی در طراحی سازه‌ها تأکید دارد. این تحقیق بر لزوم استفاده از آیین‌نامه‌های بومی و متناسب با ویژگی‌های محیطی و جغرافیایی تأکید دارد و نتایج آن می‌تواند به بهبود فرآیند طراحی و تحلیل سازه‌ها در مناطق لرزه‌خیز، به‌ویژه در ایران، کمک کند.

کلمات کلیدی: سازه پایپ‌رک، سازه صنعتی، تحلیل لرزه‌ای، آیین‌نامه طراحی ایران

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://doi.org/10.22065/jsce.2025.523801.3729
۱۴۰۲/۱۱/۲۳	۱۴۰۳/۰۱/۱۴	۱۴۰۳/۰۲/۲۰	۱۴۰۳/۰۲/۲۰	۱۴۰۳/۰۷/۳۰	doi: 10.22065/jsce.2025.523801.3729

*نویسنده مسئول: غلامرضا هوائی

پست الکترونیکی: Havaei@aut.ac.ir

۱- مقدمه

تحلیل و طراحی سازه‌ها از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین بخش‌های مهندسی عمران است که تأثیرات مستقیم بر ایمنی، عملکرد و طول عمر سازه‌ها دارد. فرآیند طراحی سازه‌ها به‌ویژه در شرایط خاص مانند مناطق لرزه‌خیز، نیازمند توجه ویژه به استانداردها و آیین‌نامه‌های مربوط به طراحی و تحلیل است. در این زمینه، آیین‌نامه‌های طراحی و استانداردها به‌طور عمده برای ارزیابی عملکرد سازه‌ها تحت بارهای مختلف از جمله بارهای زلزله، باد، برف و سایر نیروهای محیطی تدوین می‌شوند. این آیین‌نامه‌ها می‌توانند بسته به شرایط جغرافیایی و اقلیمی کشورها تفاوت‌های قابل‌ملاحظه‌ای داشته باشند. به طور خاص، در کشورهای در معرض خطرات طبیعی نظیر ایران که در منطقه‌ای لرزه‌خیز واقع شده، تحلیل و طراحی سازه‌ها باید با توجه به خطرات زلزله و سایر پدیده‌های طبیعی انجام شود [۱].

ایران به‌عنوان یکی از کشورهای لرزه‌خیز جهان، در معرض زمین‌لرزه‌های با شدت و دامنه‌های مختلف قرار دارد. به همین دلیل، طراحی سازه‌ها در این کشور نیازمند استفاده از آیین‌نامه‌هایی است که به‌طور ویژه برای شرایط لرزه‌ای این منطقه طراحی شده‌اند. در این راستا، آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران که به‌طور خاص بر طراحی سازه‌ها در برابر زلزله تأکید دارد، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آیین‌نامه‌های ملی در کشور شناخته می‌شود. این آیین‌نامه به‌طور ویژه با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی و خطرات لرزه‌ای ایران، تدوین شده است و هدف آن ارتقاء ایمنی سازه‌ها در برابر زلزله‌های احتمالی است [۱].

از سوی دیگر، در سطح جهانی، آیین‌نامه‌های مختلفی برای طراحی سازه‌ها وجود دارند که مهم‌ترین آن‌ها Eurocode 8 است. این آیین‌نامه توسط اتحادیه اروپا به‌منظور طراحی سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای و مقاوم‌سازی در برابر زمین‌لرزه‌ها تدوین شده است. با وجود آن‌که این استاندارد به‌طور گسترده‌ای در کشورهای مختلف پذیرفته شده است، اما ممکن است در برخی شرایط خاص، به‌ویژه در مناطقی که خطرات لرزه‌ای بیشتری دارند، نتواند تحلیل دقیقی از رفتار سازه‌ها تحت اثرات زلزله ارائه دهد. یکی از دلایل این موضوع این است که Eurocode 8 به‌طور کلی طراحی سازه‌ها را در سطح جهانی تنظیم کرده است و به الزامات خاص مناطق لرزه‌خیز توجه چندانی ندارد. در حالی‌که آیین‌نامه‌های ملی هر کشور، مانند آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، به‌طور خاص با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص زمین‌شناسی و خطرات زلزله هر منطقه تنظیم می‌شوند و در نتیجه می‌توانند تحلیل دقیق‌تری از رفتار سازه‌ها در برابر زلزله‌ها ارائه دهند [۲].

در این تحقیق، هدف اصلی مقایسه نتایج تحلیل‌های سازه‌ای که با استفاده از دو آیین‌نامه طراحی مختلف، آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و Eurocode 8اروپا، انجام شده‌اند، است. برای این منظور، پایپ رک‌های فولادی به‌طور همزمان مدلسازی و تحلیل شده‌اند. این تحلیل‌ها بر اساس هر یک از آیین‌نامه‌های مذکور انجام شده‌اند و نتایج آن‌ها به‌دقت مقایسه می‌شوند. این مقایسه به‌ویژه از این جهت حائز اهمیت است که نتایج آن می‌تواند به مهندسان کمک کند تا به‌طور آگاهانه‌تر از آیین‌نامه‌های مناسب برای طراحی سازه‌ها در مناطق لرزه‌خیز استفاده کنند.

در مناطق لرزه‌خیز مانند ایران، خطرات ناشی از زلزله می‌تواند تأثیرات جبران‌ناپذیری بر سازه‌ها و زیرساخت‌ها بگذارد. بنابراین، انتخاب استانداردهای طراحی مناسب که بتوانند رفتار سازه‌ها را تحت بارهای لرزه‌ای به‌طور دقیق پیش‌بینی کنند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا، آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران به‌عنوان یک آیین‌نامه طراحی خاص برای مناطق لرزه‌خیز، می‌تواند دقت بیشتری در تحلیل و طراحی سازه‌ها در این مناطق فراهم کند. در مقابل، استانداردهای جهانی مانند Eurocode 8 که به‌طور گسترده‌تری در کشورهای مختلف استفاده می‌شوند، ممکن است نتوانند به‌طور کامل به الزامات ویژه مناطق لرزه‌خیز توجه داشته باشند.

تحقیق حاضر با هدف مقایسه دقیق‌تر این دو رویکرد و تحلیل آن‌ها در شرایط خاص ایران، می‌تواند به‌طور مؤثر به بهبود روش‌های طراحی و ارزیابی سازه‌ها در این کشور کمک کند. این تحقیق به مهندسان و طراحان سازه‌ها این امکان را می‌دهد که تصمیم‌گیری‌های بهتری در مورد انتخاب آیین‌نامه‌های طراحی برای پروژه‌های ساختمانی در ایران داشته باشند و در نتیجه سازه‌هایی مقاوم‌تر در برابر زلزله طراحی کنند. همچنین، این تحقیق می‌تواند به‌عنوان یک مرجع مفید برای مقایسه و ارزیابی آیین‌نامه‌های مختلف در سایر کشورها با شرایط مشابه استفاده شود.

در زمینه طراحی سازه‌ها و به ویژه طراحی لرزه‌ای، بررسی عملکرد سازه‌ها تحت بارهای مختلف از جمله بارهای زلزله، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای طراحی متعددی در کشورهای مختلف تدوین شده‌اند که هر یک با توجه به شرایط خاص آن کشور و منطقه، الزامات متفاوتی را برای طراحی و تحلیل سازه‌ها در نظر می‌گیرند. به‌ویژه در مناطق لرزه‌خیز مانند ایران، انتخاب استاندارد مناسب برای طراحی سازه‌ها به‌طور ویژه‌ای حائز اهمیت است. این استانداردها نه‌تنها باید به تحلیل دقیق رفتار سازه‌ها در برابر نیروهای زلزله بپردازند بلکه باید توانایی پیش‌بینی آسیب‌ها و خسارات ناشی از زلزله‌ها را نیز داشته باشند.

یکی از مقالات مهم در این زمینه، مقاله‌ای است که به بررسی بهینه‌سازی طراحی سازه‌ها پرداخته و به‌ویژه به تحلیل‌های لرزه‌ای توجه دارد. در مطالعه‌ای که توسط زکیان و کاوه (2022) انجام شده، به اهمیت بهینه‌سازی در طراحی سازه‌ها و ارزیابی دقیق رفتار سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای اشاره شده است. این تحقیق به‌ویژه بر اهمیت استفاده از معیارهای بهینه برای طراحی سازه‌ها در مناطقی که خطرات لرزه‌ای دارند تأکید دارد. این مقاله نشان می‌دهد که به‌کارگیری روش‌های بهینه‌سازی در طراحی لرزه‌ای می‌تواند منجر به افزایش ایمنی سازه‌ها و کاهش هزینه‌ها شود. علاوه بر این، انتخاب استانداردهایی که برای مناطق خاص لرزه‌خیز مانند ایران طراحی شده‌اند، به‌طور قطع نتایج دقیق‌تری را در مقایسه با استانداردهای عمومی‌تر نظیر Eurocode 8 خواهد داشت [۳].

از سوی دیگر، ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه خود به بررسی روش طراحی مبتنی بر جابجایی در سازه‌های فولادی و بتنی پرداخته‌اند. در این تحقیق، از روش جابجایی برای طراحی سازه‌هایی که از لوله‌های فولادی پر شده با بتن بازیافتی استفاده می‌کنند، بهره برده شده است. این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از تحلیل‌های جابجایی می‌تواند به‌ویژه در شرایط لرزه‌خیز کمک‌کننده باشد، زیرا این روش می‌تواند به‌طور دقیق‌تر رفتار سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای را پیش‌بینی کند. به‌طور خاص، این مقاله به مزایای استفاده از تحلیل‌های جابجایی در طراحی سازه‌ها در مناطق لرزه‌خیز اشاره دارد و بر لزوم به‌کارگیری این روش‌ها در آیین‌نامه‌های طراحی تأکید می‌کند [۴].

یکی دیگر از مقالات برجسته در این زمینه، تحقیقی است که توسط هو و همکاران (۲۰۲۲) منتشر شده است. در این تحقیق، به بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های برشی خودمرکزی پرداخته شده است. این تحقیق به‌طور خاص از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای بهبود طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله استفاده کرده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سیستم‌های هیبریدی که شامل میراگرها و سیستم‌های خودمرکزی هستند، می‌توانند عملکرد لرزه‌ای بهتری داشته باشند و در برابر زلزله‌های شدید مقاوم‌تر عمل کنند. این مقاله نشان می‌دهد که استفاده از این سیستم‌ها به‌ویژه در طراحی سازه‌های با عملکرد بالا در برابر زلزله می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی رفتار سازه‌ها را بهبود بخشد [۵].

تحقیق دیگری در زمینه تحلیل رفتار سازه‌ها در برابر زلزله انجام شده است که این تحقیق بر اساس ارزیابی ریسک و احتمال فروریختگی در طراحی سازه‌ها انجام شده است. در این مطالعه، نحوه ادغام ارزیابی‌های ریسک با معیارهای عملکردی در طراحی سازه‌ها بررسی شده و نتایج نشان می‌دهند که این روش‌ها می‌توانند بهبود دقت تحلیل‌های لرزه‌ای را به همراه داشته باشند. استفاده از ارزیابی‌های ریسک و انتظار ضرر می‌تواند به طراحان کمک کند تا به‌طور دقیق‌تری عملکرد سازه‌ها را در برابر زلزله پیش‌بینی کنند و از بروز خسارات جانی و مالی در شرایط بحرانی جلوگیری کنند [۶].

در نهایت، وی و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه خود به بررسی عملکرد لرزه‌ای ستون‌های ترکیبی پر شده از بتن با کارایی فوق‌العاده بالا پرداخته‌اند. این تحقیق به‌ویژه بر استفاده از مصالح پیشرفته مانند بتن با کارایی بالا در طراحی سازه‌ها تأکید دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که استفاده از این مصالح می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی عملکرد سازه‌ها در برابر زلزله‌های شدید را بهبود بخشد و نیاز به استفاده از روش‌های دقیق‌تر در طراحی لرزه‌ای را برجسته می‌کند. علاوه بر این، این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از ستون‌های ترکیبی می‌تواند مقاومت سازه‌ها را در برابر بارهای لرزه‌ای به‌طور چشمگیری افزایش دهد و به‌ویژه در مناطق لرزه‌خیز به‌کارگیری این روش‌ها می‌تواند به بهبود ایمنی سازه‌ها کمک کند [۷].

این نتایج نشان می‌دهند که به‌کارگیری روش‌های دقیق‌تر در طراحی سازه‌ها، به‌ویژه در مناطق لرزه‌خیز، می‌تواند به بهبود عملکرد سازه‌ها در برابر زلزله کمک کند. همچنین، مقایسه و ارزیابی دقیق آیین‌نامه‌های مختلف نظیر آیین‌نامه‌های ایران و Eurocode 8 می‌تواند به

طراحان کمک کند تا تصمیمات بهتری در انتخاب استانداردهای طراحی برای پروژه‌های ساختمانی در مناطق لرزه‌خیز اتخاذ کنند. به‌ویژه در کشورهایی مانند ایران که در معرض زلزله‌های شدید قرار دارند، استفاده از آیین‌نامه‌هایی که به‌طور ویژه برای این مناطق طراحی شده‌اند، می‌تواند به کاهش خسارات ناشی از زلزله‌ها و افزایش ایمنی سازه‌ها کمک شایانی کند.

۲- روش تحقیق

روش تحقیق در این مطالعه به‌منظور مقایسه و ارزیابی تحلیل و مدلسازی پایپ رک‌های فولادی موجود تحت بارگذاری‌های مختلف با استفاده از دو آیین‌نامه معتبر، آیین‌نامه ایران و آیین‌نامه اروپا، طراحی شده است. این تحقیق در تلاش است تا عملکرد هر یک از این آیین‌نامه‌ها را در تحلیل و طراحی سازه‌ها تحت شرایط لرزه‌ای ایران بررسی کرده و به مقایسه نتایج حاصل از این دو رویکرد پرداخته شود. به همین منظور، فرآیند تحقیق به‌طور گام‌به‌گام و به‌صورت یکپارچه به شرح زیر انجام گردید:

در ابتدا، تعدادی از پایپ رک‌های فولادی موجود که در مناطق مختلف ایران، به‌ویژه در نواحی لرزه‌خیز این کشور، واقع شده‌اند، انتخاب شدند. انتخاب این سازه‌ها با توجه به نوع سیستم سازه‌ای و کاربردهای صنعتی آنها، به‌ویژه در نواحی با خطر زلزله بالا، انجام شد. این سازه‌ها از تنوع خوبی برخوردار بودند که این امکان را فراهم می‌آورد تا رفتار آنها تحت بارگذاری‌های مختلف به‌طور دقیق‌تر مورد بررسی قرار گیرد. استفاده از پایپ رک‌ها به‌عنوان سازه‌های صنعتی رایج در ایران، این تحقیق را از نظر کاربردی بسیار مفید و ارزشمند می‌سازد.

پس از انتخاب سازه‌ها، مدلسازی سه‌بعدی هر یک از آنها در نرم‌افزار SAP2000 انجام شد. در این مرحله، نقشه‌های موجود هر سازه به‌دقت بررسی و تمامی ابعاد هندسی، از جمله طول، عرض، ارتفاع، نوع سیستم باربر، نوع اتصالات، ویژگی‌های مصالح و شرایط مرزی به‌طور کامل وارد مدل شد. نرم‌افزار SAP2000 به‌دلیل توانمندی بالای آن در شبیه‌سازی رفتار سازه‌ها تحت بارهای استاتیکی و دینامیکی انتخاب گردید. این نرم‌افزار به‌طور خاص برای انجام تحلیل‌های پیچیده و دقیق در مهندسی سازه‌ها شناخته شده و قادر است تا تاثیر بارهای مختلف شامل بارهای استاتیکی (مانند بارهای مرده و زنده) و دینامیکی (مانند بارهای لرزه‌ای) را به‌دقت شبیه‌سازی نماید.

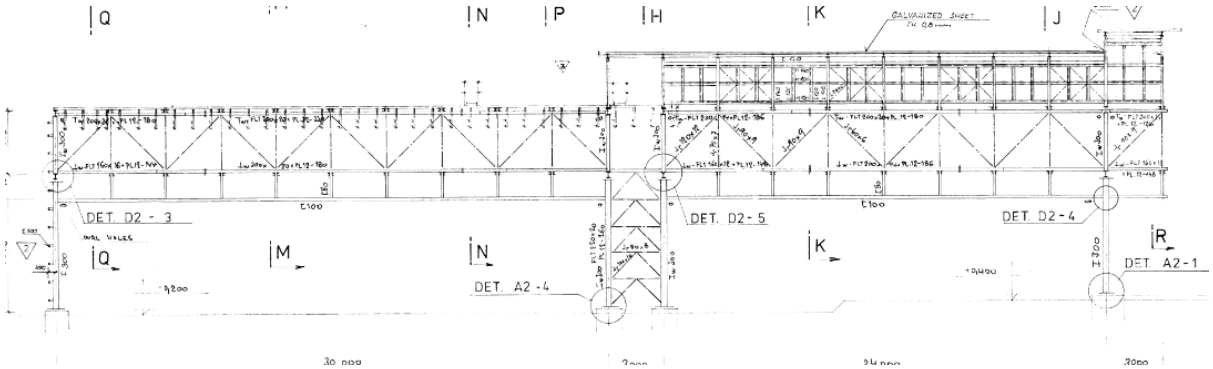
در مرحله بعد، بارگذاری‌ها بر اساس آیین‌نامه‌های ایران و اروپا انجام شد. بارگذاری‌های اعمال‌شده شامل بارهای مرده، زنده، برف، باد و بارهای لرزه‌ای بودند. در آیین‌نامه ایران، تحلیل‌های سازه‌ای با توجه به ویژگی‌های لرزه‌ای خاص کشور و بر اساس استانداردهای بین‌المللی همچون آیین‌نامه‌های آمریکایی طراحی شده، انجام گرفت. این آیین‌نامه به‌طور خاص برای شرایط لرزه‌ای ایران طراحی شده و از مدل‌های پیچیده‌تری برای شبیه‌سازی رفتار سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای بهره می‌برد. در مقایسه با آن، آیین‌نامه اروپا که عمدتاً برای شرایط کم‌خطر زلزله طراحی شده، در تحلیل سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای در ایران، دقت کمتری داشت و قادر نبود به‌طور دقیق رفتار سازه‌ها را در شرایط زلزله‌های شدید ایران شبیه‌سازی کند.

برای ارزیابی دقیق‌تر تأثیرات لرزه‌ای، تحلیل خطر ساختگاه برای هر یک از سازه‌ها انجام شد [۸]. این تحلیل با استفاده از داده‌های مربوط به ویژگی‌های زمین‌شناسی، نوع خاک، شتاب زلزله و احتمال وقوع زلزله در نواحی مختلف ایران صورت گرفت. تحلیل خطر ساختگاه به‌منظور شبیه‌سازی دقیق‌تر شرایط لرزه‌ای منطقه‌ای و بررسی تأثیر آن بر رفتار سازه‌ها، نقش مهمی در این تحقیق ایفا کرد. با استفاده از این تحلیل، تأثیرات بارهای لرزه‌ای در سازه‌ها شبیه‌سازی و تحلیل شدند تا تأثیرات زمین‌شناسی و شرایط جغرافیایی دقیق‌تر در تحلیل‌ها لحاظ شوند. این بخش از تحقیق به‌ویژه برای مناطق با ریسک بالا برای زلزله اهمیت فراوانی دارد.

پس از انجام مدلسازی و اعمال بارگذاری‌ها، تحلیل‌های سازه‌ها در برابر بارهای مختلف با استفاده از آیین‌نامه‌های ایران و اروپا انجام شد. در این بخش، نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌ها بر اساس هر آیین‌نامه به‌طور مجزا مورد بررسی قرار گرفت و سپس مقایسه‌ای بین این نتایج انجام شد. مقایسه نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌های لرزه‌ای و استاتیکی نشان داد که آیین‌نامه ایران به‌دلیل در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص لرزه‌ای این کشور، دقت بیشتری در پیش‌بینی رفتار سازه‌ها تحت بارهای زلزله‌ای دارد. در مقابل، آیین‌نامه اروپا به‌دلیل طراحی برای شرایط زلزله‌ای کم‌خطر، دقت کمتری در شبیه‌سازی رفتار سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای در ایران نشان داد.

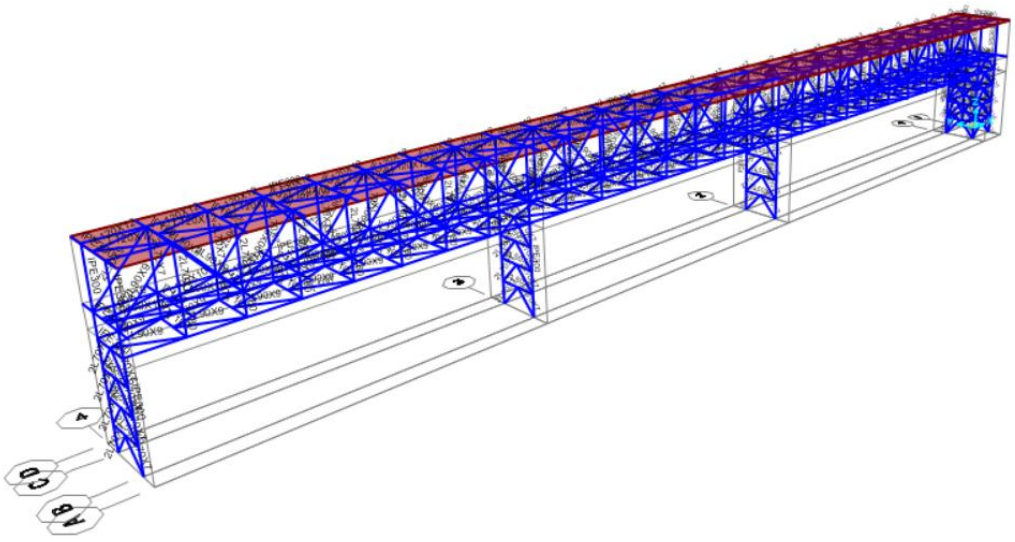
این تحقیق در نهایت با مقایسه دقیق نتایج تحلیل‌ها و ارزیابی شرایط لرزه‌ای نواحی مختلف ایران به بررسی و مقایسه عملکرد آیین‌نامه‌های ایران و اروپا پرداخته است. این مقایسه می‌تواند به مهندسان کمک کند تا با توجه به شرایط جغرافیایی و لرزه‌ای هر منطقه، آیین‌نامه‌های طراحی مناسب را انتخاب کنند و به‌طور دقیق‌تری سازه‌ها را در برابر خطرات لرزه‌ای طراحی و تحلیل نمایند.

نمونه نقشه سازه‌های مدل شده در شکل شماره یک آمده است. سایر سازه‌های پایپرک نیز با توجه به نقشه‌های سازه‌ای موجود مدل‌سازی شده است.



شکل ۱: نمونه نقشه پایپرک فولادی

در ادامه و در شکل شماره دو، نمونه‌ای از پایپ رک‌های مدل‌سازی شده در نرم افزار SAP 2000 آمده است. برای مدل‌سازی سازه پایپرک از المان‌های فولادی مطابق با نقشه‌های موجود استفاده شده است و سپس بارگذاری یک مرحله با استفاده از ضوابط آیین‌نامه‌های ایران و یک مرحله با استفاده از آیین‌نامه اروپا انجام شده است. با توجه به این‌که وظیفه اصلی سازه‌های پایپرک انتقال نیروی تاسیسات مکانیکی مانند تاسیسات برقی و لوله‌ها می‌باشد، محاسبات نیروی لوله‌ها و سیالات داخل آن با توجه به نقشه‌های اجرایی به دقت و به کمک نرم افزار Caesar II محاسبه شده است.

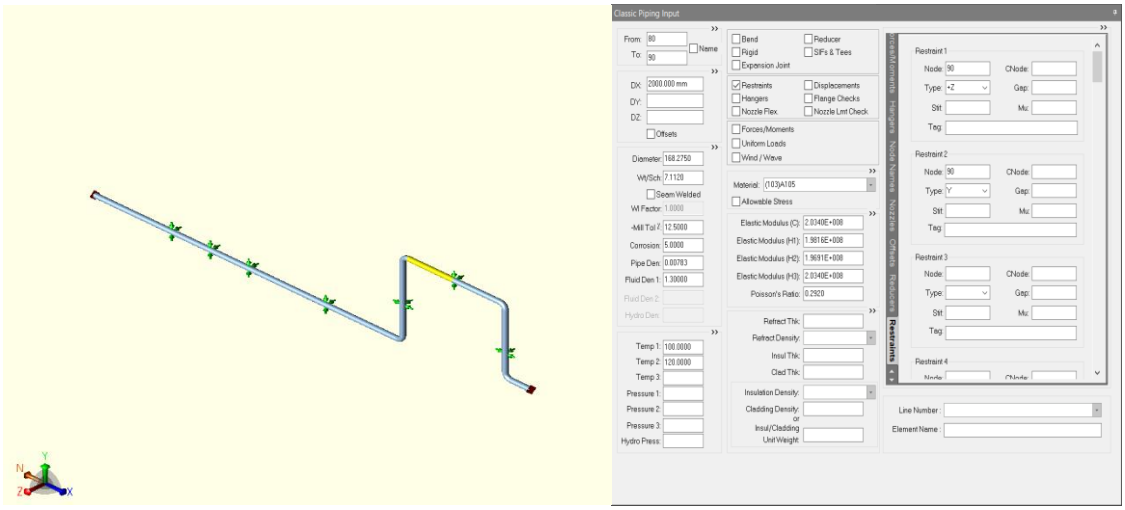


شکل ۲: نمونه پایپرک فولادی مدل‌سازی شده

برای ایجاد داده‌های ورودی مدل‌سازی، از اطلاعات استخراج شده از نقشه‌های داده شده توسط کارفرما و مشاهدات میدانی استفاده شده است. داده‌های ورودی شامل مشخصات مختلف المان‌های سیستم لوله‌کشی هستند که به هر المان اختصاص داده می‌شود. هر لوله با دو شماره گره (node) مشخص می‌شود که در صفحه گسترده داده‌های ورودی با گزینه‌های From و To مشخص می‌گردد.

یکی دیگر از ویژگی‌های مهم در این مدل‌سازی، اندازه طول لوله است که در کادرهای سری دوم در نرم‌افزار تحت عنوان DX ، DY و DZ نمایش داده می‌شود. این کادرها طول المان را در سه جهت مختصات مشخص می‌کنند. سایر اطلاعات مورد نیاز برای مدل‌سازی به سطح مقطع لوله مربوط هستند که در کادرهای سری سوم وارد می‌شوند. اطلاعات اصلی شامل قطر و ضخامت نامی دیواره لوله (Schedule) هستند که در نرم‌افزار تحت عنوان گزینه‌های diameter و Wt/Sch وارد می‌شوند.

برای مشخص کردن جنس لوله و ماده، از فهرست موجود در نرم‌افزار استفاده می‌شود. به عنوان مثال، برای لوله‌های A105 ، چگالی لوله به‌طور خودکار ۰.۰۰۷۸۳ کیلوگرم بر سانتی‌مترمکعب نمایش داده می‌شود. انتخاب جنس A105 برای لوله‌ها به دلیل شباهت چگالی آن با دیگر جنس‌های لوله‌ها است که این انتخاب تخمین دقیقی از چگالی لوله به‌دست می‌دهد. همچنین، با انتخاب جنس لوله، نرم‌افزار به‌طور خودکار اطلاعات مربوط به تنش‌های مجاز، دماها، کدها، مدول الاستیسیته، ضریب پوآسون و ضریب انبساط را برای ماده انتخابی نمایش می‌دهد. نمونه‌ای از مدل‌سازی لوله‌ها در این پروژه در شکل شماره ۳ آمده است.



شکل ۳: نمونه لوله‌های مدل‌سازی شده در نرم افزار Caesar II

۳- نتایج

در این تحقیق، مقایسه‌ای بین تحلیل‌های لرزه‌ای سازه‌های پایپ رک فولادی با استفاده از دو آیین‌نامه طراحی مختلف، یعنی آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و Eurocode 8 اروپا انجام شد تا به دقت عملکرد سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای ارزیابی شود. نتایج حاصل از این مقایسه نشان‌دهنده تفاوت‌های چشمگیری در نحوه برخورد با بارهای لرزه‌ای، تحلیل رفتار سازه‌ها تحت اثرات زمین‌لرزه، و تأثیرگذاری شرایط خاص مناطق لرزه‌خیز مانند ایران در مقایسه با استانداردهای جهانی بود.

۳-۱ تفاوت در تحلیل‌های لرزه‌ای

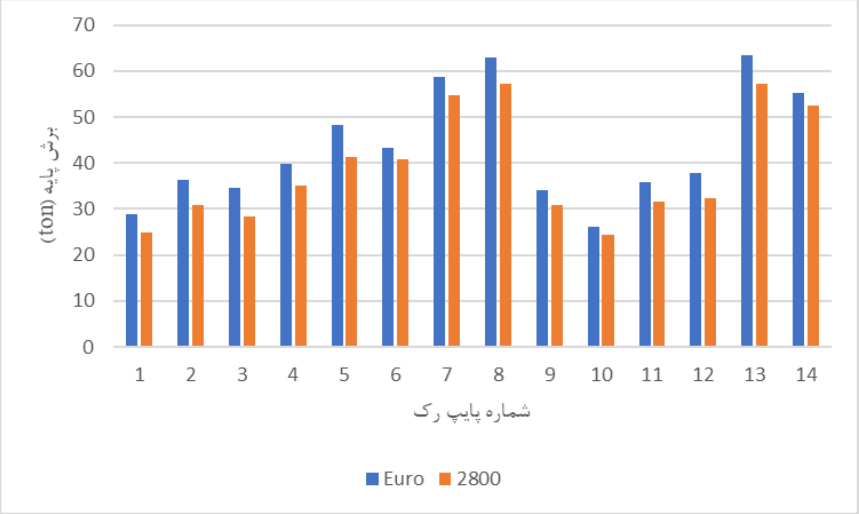
در این تحقیق، یکی از بخش‌های کلیدی مقایسه و ارزیابی دو آیین‌نامه طراحی سازه‌ها، آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و Eurocode 8 ، تحلیل‌های لرزه‌ای سازه‌های پایپ رک فولادی بود. این بخش به‌ویژه اهمیت زیادی دارد، چرا که در طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، درک دقیق رفتار سازه تحت بارهای لرزه‌ای برای حفظ ایمنی سازه‌ها در برابر زلزله‌های شدید ضروری است. به‌ویژه در کشورهایی مانند ایران

که در یک منطقه لرزه‌خیز قرار دارند، استفاده از آیین‌نامه‌ای که به‌طور خاص به شرایط جغرافیایی، زمین‌شناسی و لرزه‌ای منطقه توجه داشته باشد، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی عملکرد سازه‌ها را بهبود بخشد.

آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران برای طراحی و تحلیل سازه‌ها در برابر زلزله با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی و لرزه‌ای خاص ایران طراحی شده است. ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی و قرارگیری در محدوده فعال گسل‌ها، از مناطق بسیار لرزه‌خیز جهان محسوب می‌شود. در نتیجه، آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران برای شبیه‌سازی دقیق رفتار سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای شدید، پارامترهایی مانند شتاب‌های زمین، نوع خاک، فاصله از گسل، و تاریخچه زلزله‌ها را در نظر می‌گیرد. این آیین‌نامه همچنین از داده‌های شتاب‌سنجی محلی و تحقیقات علمی برای پیش‌بینی دقیق‌تر نیروهای لرزه‌ای استفاده می‌کند.

یکی از ویژگی‌های بارز آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، توجه به زلزله‌های نزدیک به گسل (near-fault earthquakes) است. زلزله‌های نزدیک به گسل، به دلیل شتاب‌های بالای زمین و ویژگی‌های خاص رفتار سازه‌ها تحت این بارها، نیازمند تحلیل‌های خاص و دقیق هستند. آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران این مسئله را در نظر گرفته و به‌طور ویژه نحوه برخورد سازه‌ها با نیروهای لرزه‌ای شدید و تغییرات ناگهانی شتاب‌های زمین را شبیه‌سازی می‌کند.

برای مقایسه بهتر نتایج دو آیین‌نامه در این قسمت، مقادیر برش پایه سازه‌های پایپ‌رک در حالت بارگذاری طبق آیین‌نامه ایران و اروپا در نمودار شکل ۴ آمده است. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که مقادیر برش پایه در سازه‌های پایپ‌رک بارگذاری شده مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ مقادیر برش پایه بیش‌تری را نتیجه داده است. مقادیر افزایش در سازه‌های مختلف متفاوت است، اما می‌توان گفت به صورت کلی مقدار برش پایه در حالت استفاده از آیین‌نامه اروپا بین ۱۰ تا ۲۰ درصد کم‌تر است. این کاهش مقدار برش پایه منجر به طراحی سازه ضعیف‌تر می‌شود. از طرفی می‌توان گفت که با افزایش وزن سازه و برش پایه آن، مقادیر اختلاف بین برش پایه در آیین‌نامه ایران و اروپا افزایش می‌یابد که این به معنی اختلاف بیش‌تر نتایج در سازه‌های بزرگ‌تر و با اهمیت بیش‌تر می‌باشد.



شکل ۳: مقادیر برش پایه سازه‌های پایپ‌رک در حالت استفاده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و اروپا

در این تحقیق، مشاهده شد که پایپ رک‌های فولادی که طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران طراحی شده‌اند، توانسته‌اند عملکرد بهتری در برابر زلزله‌های نزدیک به گسل و شتاب‌های بالای زمین از خود نشان دهند. این آیین‌نامه به‌ویژه در تحلیل تغییر شکل‌های غیرخطی، جابجایی‌ها و آسیب‌های سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای شدید، بسیار دقیق عمل کرده و توانسته است نقاط آسیب‌پذیر سازه‌ها را شبیه‌سازی کند. این ویژگی‌ها موجب شده که آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، از نظر پیش‌بینی رفتار سازه‌ها در برابر زلزله‌های شدید و شتاب‌های بالا، نتایج دقیق‌تری ارائه دهد [۹].

Eurocode 8 که به‌عنوان استاندارد طراحی لرزه‌ای اروپا شناخته می‌شود، به‌طور عمومی برای شرایط لرزه‌ای کشورهای مختلف طراحی شده است. این استاندارد به‌طور عمده برای شرایط مناطق با خطر لرزه‌ای متوسط و نه به‌طور ویژه برای مناطقی با زلزله‌های شدید و شتاب‌های بالا تدوین شده است. به همین دلیل، در مقایسه با آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، Eurocode 8 نتایج دقیق‌تری در مناطقی با خطرات لرزه‌ای کمتری دارد. این استاندارد به‌ویژه برای مناطق با شتاب‌های زمین متوسط، تحلیل‌های دقیق‌تری از رفتار سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای ارائه می‌دهد، اما در شرایط شدیدتر، به‌ویژه در مناطق لرزه‌خیز مانند ایران، از دقت کمتری برخوردار است.

یکی از ویژگی‌های Eurocode 8 این است که این استاندارد به‌طور عمده به طراحی عمومی سازه‌ها برای مقاومت در برابر زلزله پرداخته است و به تحلیل‌های دقیق‌تر برای شرایط خاص مانند زلزله‌های نزدیک به گسل، شتاب‌های زمین بالا و ویژگی‌های منطقه‌ای خاص توجه کمتری دارد. به‌ویژه در شرایطی که بارهای لرزه‌ای به‌طور ناگهانی تغییر می‌کنند، این استاندارد ممکن است نتایج دقیقی در پیش‌بینی رفتار سازه‌ها ارائه ندهد.

در این تحقیق، در تحلیل‌های انجام‌شده مشاهده شد که پایپ رک‌های فولادی طراحی‌شده طبق Eurocode 8 در برابر بارهای لرزه‌ای شدید، به‌ویژه در مناطقی که شتاب‌های زمین بالا و زلزله‌های نزدیک به گسل وجود دارند، عملکرد ضعیف‌تری از خود نشان دادند. به‌طور خاص، این استاندارد نتوانست به‌طور مؤثری اثرات شتاب‌های بالای زمین و تغییرات ناگهانی نیروهای لرزه‌ای را شبیه‌سازی کند.

در مقایسه‌ای که میان تحلیل‌های لرزه‌ای سازه‌ها با استفاده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و Eurocode 8 انجام شد، نتایج به وضوح نشان داد که آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران در تحلیل رفتار سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای دقیق‌تر عمل کرد. این امر به‌ویژه در تحلیل رفتار سازه‌ها در برابر شتاب‌های بالا و بارهای لرزه‌ای شدید که در زلزله‌های نزدیک به گسل رخ می‌دهند، مشهود بود. آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران توانست به‌طور مؤثری تغییرات شتاب‌های زمین را شبیه‌سازی کند و نقاط آسیب‌پذیر سازه‌ها را شبیه‌سازی نماید، در حالی که Eurocode 8 در این زمینه دقت کمتری از خود نشان داد.

نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط لرزه‌خیز ایران، که ویژگی‌های خاصی مانند شتاب‌های زمین بالا و زلزله‌های شدید و نزدیک به گسل وجود دارد، استفاده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران برای طراحی و تحلیل سازه‌ها ضروری است. این آیین‌نامه به‌طور مؤثری می‌تواند رفتار سازه‌ها تحت اثرات بارهای لرزه‌ای را پیش‌بینی کرده و نقاط ضعف و آسیب‌پذیری سازه‌ها را شبیه‌سازی کند. در مقابل، Eurocode 8، که استانداردی عمومی‌تر است و بیشتر برای شرایط با خطر لرزه‌ای متوسط طراحی شده است، نمی‌تواند به‌طور مؤثری شرایط ویژه ایران را در نظر گرفته و تحلیل‌های دقیقی از رفتار سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای شدید ارائه دهد.

۳-۲ تایج تحلیل بارگذاری لرزه‌ای

تحلیل بارگذاری لرزه‌ای یکی از مهم‌ترین بخش‌های این تحقیق بود که در آن عملکرد دو نوع سازه پایپ رک، یکی با سیستم فولادی و دیگری با سیستم بتنی، تحت بارهای لرزه‌ای بررسی شد. این تحلیل‌ها به‌ویژه در زمینه طراحی سازه‌ها با استفاده از آیین‌نامه‌های ایران و اروپا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بود، زیرا تحلیل‌های دقیق بارگذاری لرزه‌ای می‌توانند تأثیرات عمده‌ای بر ایمنی و عملکرد سازه‌ها در برابر زلزله‌ها داشته باشند.

برای ارزیابی بارهای لرزه‌ای، در ابتدا دو نوع سازه با سیستم‌های فولادی و بتنی تحت شبیه‌سازی‌های مختلف بارهای لرزه‌ای قرار گرفتند. در این شبیه‌سازی‌ها، بارهای لرزه‌ای که مطابق با ویژگی‌های شتاب‌های زمین ایران و الزامات آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران طراحی شده بودند، به سازه‌ها اعمال شد. سپس همین سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای محاسبه شده با استفاده از Eurocode 8 مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج نشان دادند که آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران بارهای لرزه‌ای را به‌طور مؤثری توزیع می‌کند و این امر باعث بهبود عملکرد سازه‌ها در برابر نیروهای لرزه‌ای شدید می‌شود. یکی از ویژگی‌های برجسته آیین‌نامه ایران این است که بارهای لرزه‌ای به‌طور دقیق‌تری با توجه به داده‌های شتاب‌سنجی محلی ایران محاسبه می‌شوند. این استاندارد برای هر ناحیه خاص ایران، شتاب زمین و ویژگی‌های خاص آن ناحیه را در نظر گرفته و به این ترتیب بارهای لرزه‌ای دقیق‌تری را تعیین می‌کند. از این رو، سازه‌های طراحی‌شده طبق این آیین‌نامه در برابر بارهای لرزه‌ای شدید، به‌ویژه در مناطق با شتاب‌های بالا، عملکرد بهتری از خود نشان دادند [۱۰].

برای نمونه، در تحلیل سازه‌های فولادی، به دلیل انعطاف‌پذیری بالای این سازه‌ها، آیین‌نامه ۲۸۰۰ توانست عملکرد مطلوبی در توزیع بارهای لرزه‌ای و تحلیل تغییرات شتاب‌های زمین در طی زلزله‌های شدید ارائه دهد. سازه‌های فولادی در این تحقیق نشان دادند که با توجه به خصوصیات ویژه فولاد و با استفاده از تحلیل‌های دقیق‌تر در آیین‌نامه ایران، توانستند در برابر تغییر شکل‌ها و جابجایی‌های شدید ناشی از بارهای لرزه‌ای مقاوم‌تر عمل کنند. این امر در حالی بود که سازه‌های فولادی مشابه طبق Eurocode 8 که در آن تحلیل‌های لرزه‌ای بیشتر بر شتاب‌های متوسط و شرایط عمومی تمرکز دارند، نتوانستند نتایج مشابهی را در شرایط شتاب‌های بالای زمین ارائه دهند.

در مورد سازه‌های بتنی، که مقاومت کمتری در برابر تغییر شکل‌های زیاد دارند، آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران با توجه به مقاومت زیاد سازه‌های بتنی در برابر نیروهای فشاری و همچنین ضریب شکل‌پذیری بیشتر در برابر بارهای لرزه‌ای، توانست تحلیل‌های دقیقی از نحوه توزیع بارهای لرزه‌ای و نحوه عملکرد بتن در برابر تغییرات لرزه‌ای ارائه دهد. نتایج نشان دادند که استفاده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران به‌طور مؤثری از خطر آسیب‌های جدی به سازه‌های بتنی در برابر زلزله‌های شدید جلوگیری کرده و موجب توزیع بهتر نیروهای لرزه‌ای در سازه‌ها می‌شود. در مقایسه، Eurocode 8 در تحلیل سازه‌های بتنی نتایج کمتری را ارائه داد، به‌ویژه در مناطقی با شتاب‌های بالای زمین و زلزله‌های نزدیک به گسل که نیاز به تحلیل دقیق‌تری داشتند [۱۱].

از سوی دیگر، یکی از دلایل تفاوت عملکرد در تحلیل‌های بارگذاری لرزه‌ای این است که Eurocode 8 عمدتاً برای طراحی در مناطقی با خطر لرزه‌ای متوسط و شرایط عمومی‌تر تدوین شده است. به همین دلیل، در مناطقی که زلزله‌های شدید و شتاب‌های بالای زمین وجود دارند، این استاندارد نمی‌تواند به‌طور مؤثری به پیش‌بینی عملکرد سازه‌ها پرداخته و تحلیل‌های دقیقی از رفتار سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای شدید به دست دهد. در حالی که آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران که با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص لرزه‌خیز ایران طراحی شده است، عملکرد بسیار بهتری در این زمینه ارائه می‌دهد.

در نهایت، نتایج این بخش از تحقیق نشان داد که استفاده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران باعث بهبود توزیع بارهای لرزه‌ای، کاهش آسیب‌پذیری سازه‌ها و افزایش ایمنی سازه‌ها در برابر زلزله‌های شدید در مقایسه با استفاده از Eurocode 8 می‌شود. به‌ویژه در شرایط ایران، که شتاب‌های بالای زمین و خطر زلزله‌های شدید نزدیک به گسل وجود دارد، استفاده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران به‌طور چشمگیری دقت تحلیل‌های لرزه‌ای را افزایش می‌دهد و عملکرد سازه‌ها را در برابر نیروهای لرزه‌ای بهبود می‌بخشد.

۳-۳ تحلیل تغییر شکل و آسیب‌پذیری سازه‌ها

تحلیل تغییر شکل‌ها و آسیب‌پذیری سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای یکی از جنبه‌های اساسی در ارزیابی عملکرد سازه‌ها تحت اثرات زلزله است. تغییر شکل‌های غیرخطی، که به‌ویژه در هنگام وقوع زلزله‌های شدید ایجاد می‌شوند، می‌توانند منجر به آسیب‌های ساختاری گسترده و حتی فروریختگی سازه‌ها شوند. بنابراین، پیش‌بینی دقیق این تغییرات و ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای یکی از مهم‌ترین ارکان طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله است. در این تحقیق، تغییر شکل‌ها و آسیب‌پذیری سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای و با استفاده از دو آیین‌نامه مختلف، آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و Eurocode 8، مورد بررسی قرار گرفت.

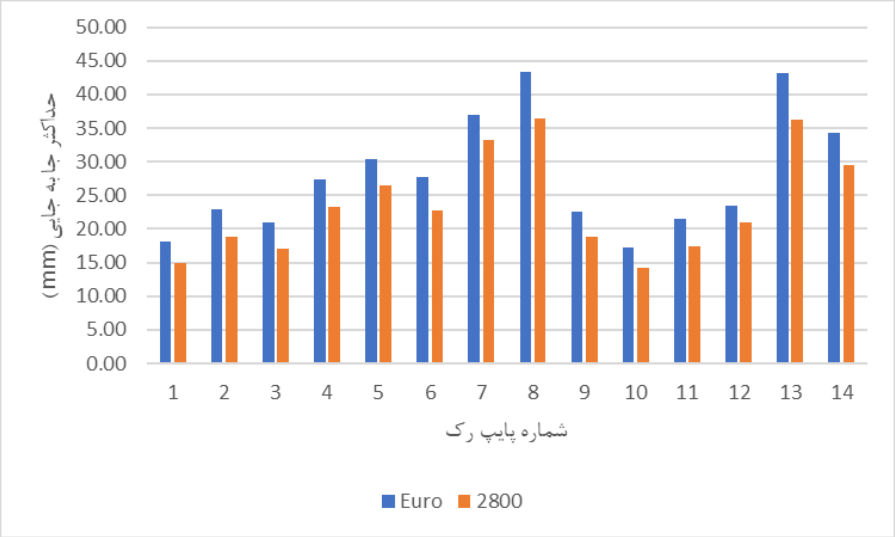
آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران به‌طور ویژه بر تحلیل تغییر شکل‌های غیرخطی در سازه‌ها و آسیب‌های ناشی از بارهای لرزه‌ای تأکید دارد. این آیین‌نامه با توجه به شرایط خاص ایران، که یکی از مناطق لرزه‌خیز جهان محسوب می‌شود، مدل‌های دقیقی برای ارزیابی تغییر شکل‌ها و پیش‌بینی نقاط آسیب‌پذیر سازه‌ها در برابر زلزله‌های شدید ارائه می‌دهد. در این تحقیق، سازه‌هایی که طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران طراحی شده بودند، تحت بارهای لرزه‌ای شدید و شبیه‌سازی‌های مختلف تغییر شکل و آسیب‌پذیری قرار گرفتند.

نتایج حداکثر جابه‌جایی سازه‌های پایپ‌رک در نمودار شکل شماره ۴ آمده است. حداکثر جابه‌جایی سازه‌های پایپ رک بارگذاری شده طبق دو استاندارد متفاوت، یعنی استاندارد ۲۸۰۰ ایران و آیین‌نامه اروپا، مقایسه و تحلیل شده است. نتایج حاصل از تحلیل این داده‌ها نشان می‌دهد که در اکثریت رک‌ها، مقدار جابه‌جایی طبق استاندارد ۲۸۰۰ ایران به طور قابل توجهی بیشتر از جابه‌جایی محاسبه‌شده طبق آیین‌نامه اروپا است. این تفاوت‌ها می‌تواند به تفاوت در نحوه محاسبات و رویکردهای مختلف هر استاندارد در تعیین جابه‌جایی‌ها و رفتار سازه‌ها در شرایط لرزه‌ای مربوط باشد.

در رک شماره ۷، بیشترین تفاوت مشاهده می‌شود؛ به طوری که جابه‌جایی طبق استاندارد اروپا به طرز چشمگیری بیشتر از استاندارد ۲۸۰۰ ایران است. این تفاوت عمده می‌تواند ناشی از فرضیات مختلف در تحلیل رفتار سازه تحت بارگذاری لرزه‌ای و همچنین تفاوت در الزامات حداکثر جابه‌جایی مجاز بین دو استاندارد باشد. همچنین، در برخی رک‌ها مانند رک شماره ۱۴، جابه‌جایی‌ها طبق استاندارد اروپا اندکی کمتر از جابه‌جایی‌های مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ ایران است که این امر نشان‌دهنده این است که استاندارد اروپا ممکن است پارامترهای طراحی دقیق‌تری را برای محدودیت جابه‌جایی‌ها در نظر گرفته باشد.

این نتایج بر اهمیت درک دقیق استانداردهای موجود و رعایت دقیق الزامات هر یک در طراحی سازه‌ها تأکید می‌کند. استاندارد ۲۸۰۰ ایران که به عنوان یکی از مهم‌ترین راهنماها برای طراحی سازه‌ها در برابر زلزله در ایران شناخته می‌شود، به نظر می‌رسد در مقایسه با آیین‌نامه‌های اروپایی جابه‌جایی‌های بیشتری را مجاز می‌شمارد. از طرف دیگر، آیین‌نامه‌های اروپایی ممکن است از نظر میزان مجاز جابه‌جایی، محدودیت‌های سخت‌گیرانه‌تری داشته باشند. این تفاوت‌ها باید در مراحل طراحی و تحلیل سازه‌ها مدنظر قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای به طور مؤثر و ایمن عمل می‌کنند.

نتایج نشان می‌دهد که مهندسان و طراحان باید با توجه به شرایط منطقه‌ای، نوع سازه و میزان بارگذاری‌ها، استاندارد مناسب را انتخاب کرده و دقت لازم را در محاسبه جابه‌جایی‌های مجاز اعمال کنند تا بتوانند سازه‌های مقاوم و ایمنی را در برابر زلزله طراحی نمایند.

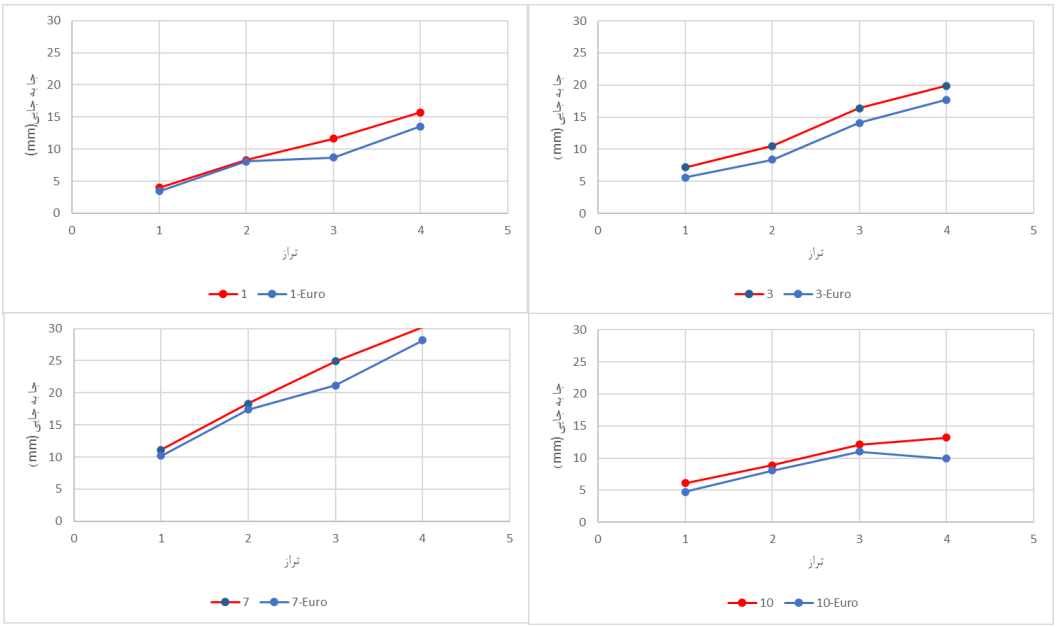


شکل ۴: مقادیر حداکثر جابه‌جایی سازه‌های پایپ‌رک در حالت استفاده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و اروپا

در این قسمت و در نمودار شکل شماره ۵، جابه‌جایی‌های ترازهای مختلف (۴ تراز تعریف شده در ارتفاع) سازه‌های پایپ رک مدل‌سازی و مقایسه شده‌اند. سازه‌ها طبق دو آیین‌نامه ایران و اروپا بررسی شده‌اند و نتایج در نمودارهایی به نمایش درآمده‌اند. در هر نمودار، جابه‌جایی‌ها (به میلی‌متر) در محور عمودی نشان داده شده و سازه‌های مختلف (سازه‌های شماره ۱، ۳، ۷، و ۱۰) در محور افقی قرار گرفته‌اند.

نتایج نشان می‌دهند که در سازه شماره ۱، جابه‌جایی‌ها در آیین‌نامه ایران بیشتر از آیین‌نامه اروپا بوده است. این تفاوت در سازه شماره ۳ نیز مشاهده می‌شود، به‌طوری‌که جابه‌جایی‌ها در آیین‌نامه ایران از مقادیر مشابه در آیین‌نامه اروپا بیشتر است. در سازه‌های شماره ۷ و ۱۰، تفاوت‌ها کمتر از سازه‌های دیگر مشاهده می‌شود، اما همچنان جابه‌جایی‌ها در آیین‌نامه ایران کمی بیشتر از آیین‌نامه اروپا هستند.

این تحلیل نشان می‌دهد که آیین‌نامه ایران به‌طور کلی جابه‌جایی‌های بیشتری را پیش‌بینی می‌کند، به‌ویژه در سازه‌های کوچکتر (۱ و ۳). این اختلاف می‌تواند به تفاوت‌های پارامتریک و فنی در روش‌های مدل‌سازی و تحلیل سازه‌ها طبق هر یک از آیین‌نامه‌ها مربوط باشد. در نهایت، استفاده از هر یک از آیین‌نامه‌ها می‌تواند تأثیرات قابل‌توجهی بر نتایج طراحی و تحلیل سازه‌های پایپ رک داشته باشد.



شکل ۵: مقادیر جابه‌جایی ترازهای مختلف سازه‌های پایپ‌رک در حالت استفاده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و اروپا

در نهایت نتایج نشان دادند که آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران به‌طور مؤثری تغییر شکل‌های غیرخطی ناشی از بارهای لرزه‌ای را شبیه‌سازی می‌کند. این آیین‌نامه با استفاده از مدل‌های پیچیده و دقیق، توانسته است تغییرات جابجایی در طبقات و سازه‌ها را در برابر زلزله‌های شدید و شتاب‌های بالا پیش‌بینی کند. به‌ویژه در سازه‌های بتنی، که مقاومت کمی در برابر تغییر شکل‌های بزرگ دارند، آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران به‌طور مؤثری نقاط آسیب‌پذیر را شبیه‌سازی کرده و نشان داده که کدام بخش‌ها در اثر نیروهای لرزه‌ای می‌توانند آسیب ببینند [۱۲].

در سازه‌های فولادی، که انعطاف‌پذیری بیشتری دارند، این آیین‌نامه توانسته است به‌طور دقیق‌تری عملکرد سازه‌ها را در برابر تغییر شکل‌های بزرگ و رفتار غیرخطی تحلیل کند. آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، با توجه به ویژگی‌های مصالح مختلف مانند فولاد و بتن، آسیب‌پذیری سازه‌ها را تحت شرایط شتاب‌های بالای زمین به‌طور مؤثری ارزیابی کرده و به طراحان کمک می‌کند تا در طراحی سازه‌ها، نقاط ضعف آن‌ها را شناسایی کنند و از آسیب‌های بیشتر جلوگیری نمایند.

Eurocode 8، که یک استاندارد طراحی لرزه‌ای عمومی است، بیشتر بر طراحی مقاوم در برابر زلزله در شرایط معمولی و برای مناطقی با خطر لرزه‌ای متوسط تمرکز دارد. این آیین‌نامه به‌طور کلی به طراحی سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای پرداخته است، اما به اندازه آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران به ویژگی‌های خاص مناطق لرزه‌خیز توجه ندارد. در تحلیل‌های انجام‌شده با استفاده از Eurocode 8 مشاهده شد که این استاندارد در پیش‌بینی تغییر شکل‌های غیرخطی و ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای شدید، به‌ویژه در شرایط شتاب‌های بالا و زلزله‌های نزدیک به گسل، نتایج دقیق‌تری ارائه نداد.

در مقایسه با آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، Eurocode 8 در تحلیل سازه‌ها در برابر تغییر شکل‌های شدید و آسیب‌های ناشی از بارهای لرزه‌ای عملکرد کمتری از خود نشان داد. این امر به‌ویژه در سازه‌های بتنی که در برابر تغییر شکل‌های شدید آسیب‌پذیرتر هستند، مشهود بود. به علاوه، Eurocode 8 بیشتر به الزامات عمومی طراحی پرداخته و تحلیل دقیق‌تری از تغییر شکل‌ها و آسیب‌پذیری سازه‌ها در شرایط خاص مناطق لرزه‌خیز ارائه نمی‌دهد. به‌ویژه در مقایسه با تحلیل‌هایی که با استفاده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران انجام شد، Eurocode 8 نتایج کمتری در شبیه‌سازی رفتار سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای شدید و شتاب‌های بالا ارائه داد.

نتایج مقایسه‌ای در این بخش به وضوح نشان داد که آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران به‌طور مؤثری توانسته است تغییر شکل‌های ناشی از زلزله‌های شدید را شبیه‌سازی کند و پیش‌بینی دقیقی از نقاط آسیب‌پذیر سازه‌ها ارائه دهد. به‌ویژه در سازه‌های فولادی و بتنی، این آیین‌نامه توانسته است تحلیل‌های دقیق‌تری از تغییر شکل‌های غیرخطی و جابجایی‌های بین طبقات در اثر بارهای لرزه‌ای شدید انجام دهد.

در مقایسه، Eurocode 8 نتوانست به‌طور مؤثری تغییر شکل‌های غیرخطی و آسیب‌پذیری سازه‌ها در برابر زلزله‌های شدید را شبیه‌سازی کند. این استاندارد، که بیشتر بر شرایط عمومی و طراحی مقاوم در برابر زلزله در کشورهای با خطر لرزه‌ای متوسط تمرکز دارد، در شرایط ویژه ایران که در معرض شتاب‌های بالای زمین و زلزله‌های شدید قرار دارد، از دقت کمتری برخوردار است.

۳-۴ تأثیر آیین‌نامه‌های مختلف بر عملکرد سازه‌ها در شرایط خاص ایران

تحقیق حاضر تأثیرات آیین‌نامه‌های طراحی مختلف، به‌ویژه آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و Eurocode 8 ، را بر عملکرد سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای در شرایط خاص ایران ارزیابی کرده است. در ایران، که در منطقه‌ای لرزه‌خیز با گسل‌های فعال و شتاب‌های بالای زمین قرار دارد، شرایط جغرافیایی و زمین‌شناسی نقش اساسی در طراحی و تحلیل سازه‌ها ایفا می‌کند. آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران به‌طور ویژه بر این شرایط تمرکز دارد و طراحی سازه‌ها را بر اساس شتاب‌های بالای زمین، خصوصیات خاک، و تاریخچه زلزله‌های شدید منطقه‌ای انجام می‌دهد.

نتایج نشان داد که در شرایط خاص ایران، آیین‌نامه ۲۸۰۰ عملکرد بهتری در طراحی سازه‌ها نسبت به Eurocode 8 دارد. این تفاوت‌ها به‌ویژه در تحلیل‌های لرزه‌ای و پیش‌بینی رفتار سازه‌ها در برابر زلزله‌های شدید، شتاب‌های بالا و زلزله‌های نزدیک به گسل مشهود بود. آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران که با توجه به داده‌های شتاب‌سنجی محلی و تجربیات تاریخی زلزله‌ها تنظیم شده است، می‌تواند به‌طور دقیق‌تری بارهای لرزه‌ای را محاسبه کرده و تغییرات شتاب زمین را در مدل‌های طراحی خود لحاظ کند. به این ترتیب، تحلیل‌های انجام‌شده بر اساس این آیین‌نامه به طرز مؤثری رفتار سازه‌ها را در برابر نیروهای لرزه‌ای شدید پیش‌بینی کرده و عملکرد بهتری در شرایط واقعی زلزله‌ها ارائه داد.

در مقایسه Eurocode 8 که به‌طور عمومی برای کشورهای مختلف اروپایی طراحی شده است، بیشتر بر الزامات عمومی برای طراحی سازه‌ها در برابر زلزله تمرکز دارد و به شرایط خاص مناطق لرزه‌خیز مانند ایران توجه کمتری دارد. در این تحقیق، مشاهده شد که در مناطق با شتاب‌های بالا و زلزله‌های شدید، آیین‌نامه Eurocode 8 نتایج کمتری را در تحلیل رفتار سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای شدید ارائه داد. این استاندارد بیشتر بر شرایط معمولی و متوسط لرزه‌ای تمرکز دارد و در شرایطی که بارهای لرزه‌ای به‌طور ناگهانی تغییر می‌کنند یا شتاب‌های زمین بسیار بالا هستند، دقت لازم را ندارد [۱۴-۱۳]

آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، به‌ویژه در شرایطی که نیاز به طراحی مقاوم‌تر در برابر زلزله‌های شدید و نزدیک به گسل است، قادر است تحلیل دقیق‌تری از سازه‌ها ارائه دهد. این آیین‌نامه علاوه بر در نظر گرفتن شتاب‌های زمین، ویژگی‌های خاص خاک در مناطق مختلف ایران و تأثیرات آن‌ها بر رفتار سازه‌ها را نیز مد نظر قرار می‌دهد. بر اساس این تحقیق، سازه‌هایی که با استفاده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران طراحی شده بودند، توانستند در برابر زلزله‌های شدید، به‌ویژه در مناطق با شتاب‌های زمین بالا، عملکرد بهتری از خود نشان دهند. این آیین‌نامه همچنین توانسته است تأثیرات زلزله‌های نزدیک به گسل و شتاب‌های بالا را به‌طور مؤثری شبیه‌سازی کند و آسیب‌های وارده به سازه‌ها را کاهش دهد.

در نتیجه، تأثیرات مثبت آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران در شرایط خاص ایران بر عملکرد سازه‌ها به وضوح قابل مشاهده بود. این آیین‌نامه با ارزیابی دقیق‌تر شرایط لرزه‌ای و شتاب‌های زمین، موجب بهبود عملکرد سازه‌ها در برابر زلزله‌های شدید می‌شود و همچنین در تحلیل‌های آسیب‌پذیری سازه‌ها، نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. بنابراین، استفاده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران در طراحی و تحلیل سازه‌ها در مناطقی با ویژگی‌های لرزه‌خیز مشابه ایران، به‌ویژه در مناطقی با شتاب‌های زمین بالا، ضروری است.

در مقابل، استفاده از Eurocode 8 در این شرایط ممکن است موجب تحلیل‌های نادرست یا عدم پیش‌بینی دقیق رفتار سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای شدید شود. این استاندارد به‌طور کلی‌تر طراحی شده است و در مناطقی که خطر زلزله‌های شدید و شتاب‌های بالا وجود دارد، قادر به پیش‌بینی دقیق رفتار سازه‌ها نیست. بنابراین، در مناطقی مانند ایران که ویژگی‌های خاص لرزه‌ای دارند، استفاده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران می‌تواند عملکرد بهتری در طراحی سازه‌ها فراهم کند و به ایمنی بیشتری در برابر زلزله‌های شدید منجر شود.

۳-۵ مقایسه آسیب‌پذیری و تحلیل ریسک

در این بخش از تحقیق، مقایسه‌ای میان دو آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و Eurocode 8 در زمینه تحلیل آسیب‌پذیری و ارزیابی ریسک سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای شدید انجام شد. تحلیل آسیب‌پذیری و ارزیابی ریسک از جنبه‌های کلیدی در طراحی مقاوم سازه‌ها هستند، زیرا این تحلیل‌ها می‌توانند پیش‌بینی کنند که سازه‌ها تحت تأثیر بارهای لرزه‌ای چگونه عمل خواهند کرد و احتمال آسیب‌دیدگی یا فروریختگی آن‌ها در شرایط مختلف چقدر است. آسیب‌پذیری به معنای حساسیت سازه به نیروهای لرزه‌ای است و تحلیل ریسک به ارزیابی احتمال وقوع آسیب‌ها و شدت آن‌ها در صورت وقوع زلزله‌های شدید پرداخته است.

آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، که به‌طور ویژه برای شرایط لرزه‌خیز ایران طراحی شده است، توانسته است ارزیابی‌های دقیق‌تری از آسیب‌پذیری سازه‌ها ارائه دهد. این آیین‌نامه به‌ویژه در شرایطی که شتاب‌های زمین بالا هستند و زلزله‌های شدید یا نزدیک به گسل رخ می‌دهند، عملکرد بهتری از خود نشان داده است. استفاده از مدل‌های دقیق برای پیش‌بینی نحوه توزیع نیروهای لرزه‌ای در سازه‌ها و ارزیابی دقیق اثرات آن‌ها باعث شده است که آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران در تحلیل ریسک و آسیب‌پذیری سازه‌ها عملکرد موثرتری داشته باشد. به‌ویژه در تحلیل‌هایی که به ارزیابی آسیب‌های ناشی از تغییر شکل‌های غیرخطی و پیش‌بینی رفتار سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای شدید پرداخته می‌شود، این آیین‌نامه توانسته است به‌طور مؤثری به پیش‌بینی مکان‌های آسیب‌پذیر و نقاط ضعف سازه‌ها در برابر زلزله‌های شدید بپردازد.

در مقایسه، Eurocode 8 که یک استاندارد طراحی عمومی است، نتایج دقیقی در ارزیابی آسیب‌پذیری و تحلیل ریسک در برابر زلزله‌های شدید و شتاب‌های بالای زمین نداشت. این استاندارد، به‌ویژه برای مناطقی با خطر لرزه‌ای متوسط و شرایط عمومی‌تر طراحی شده است و به همین دلیل نمی‌تواند به‌طور مؤثری به شرایط خاص مناطق لرزه‌خیز مانند ایران پاسخ دهد. به‌ویژه در تحلیل‌های مربوط به آسیب‌پذیری سازه‌ها در برابر زلزله‌های نزدیک به گسل و شتاب‌های زمین بالا، Eurocode 8 از دقت کمتری برخوردار بود. این آیین‌نامه به‌طور عمده بر شرایط عمومی و متوسط لرزه‌ای تأکید دارد و در مناطق با شتاب‌های بالای زمین، قادر به پیش‌بینی صحیح آسیب‌پذیری سازه‌ها و ارزیابی ریسک فروریختگی آن‌ها نبود.

نتایج تحقیق نشان داد که آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران با استفاده از داده‌های دقیق‌تر محلی، توانسته است ریسک آسیب‌دیدگی و فروریختگی سازه‌ها در شرایط خاص ایران را به‌طور مؤثری پیش‌بینی کند. این آیین‌نامه به‌ویژه در مناطقی که خطر زلزله‌های نزدیک به گسل و شتاب‌های بالای زمین وجود دارد، توانسته است پیش‌بینی‌های دقیقی از آسیب‌ها و تحلیل ریسک ارائه دهد. در مقابل، Eurocode 8 که بیشتر برای شرایط عمومی و مناطق با خطر لرزه‌ای متوسط طراحی شده است، در تحلیل ریسک و آسیب‌پذیری در برابر زلزله‌های شدید و شتاب‌های بالا ضعیف‌تر عمل کرده است.

در نهایت، این تحقیق نشان داد که در شرایط خاص ایران که در معرض زلزله‌های شدید و شتاب‌های بالای زمین قرار دارد، استفاده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران برای تحلیل آسیب‌پذیری سازه‌ها و ارزیابی ریسک فروریختگی آن‌ها ضروری است. این آیین‌نامه به طراحان کمک می‌کند تا در طراحی سازه‌ها نقاط آسیب‌پذیر را شبیه‌سازی کرده و خطرات ناشی از زلزله‌های شدید را به حداقل برسانند. از طرف دیگر، Eurocode 8 که به‌طور عمومی‌تر طراحی شده است، نتوانسته است به‌طور مؤثری شرایط خاص ایران را در نظر بگیرد و در تحلیل‌های ریسک و آسیب‌پذیری در این شرایط عملکرد ضعیف‌تری از خود نشان داد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، که به مقایسه عملکرد دو آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و Eurocode 8 در تحلیل و طراحی پایپ رک‌های فولادی پرداخته شد، نتایج نشان داد که آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران با توجه به ویژگی‌های خاص ایران و شرایط لرزه‌خیز این کشور، عملکرد بهتری در تحلیل سازه‌ها تحت بارهای لرزه‌ای شدید و شرایط خاص دارد. در این بخش، به‌طور مشخص به بررسی نتایج تحقیق در رابطه با مبحث ششم (آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران (پرداخته شده است.

آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران به‌طور خاص برای شرایط لرزه‌خیز کشور طراحی شده و توانسته است تحلیل‌های دقیق‌تری از رفتار سازه‌های پایپ رک در برابر بارهای لرزه‌ای در مقایسه با Eurocode 8 ارائه دهد. این آیین‌نامه با در نظر گرفتن شتاب‌های بالای زمین و ویژگی‌های

خاص منطقه ایران، مدل‌های دقیق‌تری برای محاسبه بارهای لرزه‌ای به‌کار می‌برد. از سوی دیگر، Eurocode 8به‌طور عمده برای شرایط عمومی‌تر و متوسط لرزه‌خیزی طراحی شده و به‌ویژه در مناطق با شتاب‌های بالای زمین، نتایج دقیقی ارائه نمی‌دهد.

آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران در تحلیل تغییر شکل‌های غیرخطی و ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ها عملکرد بهتری داشت. این آیین‌نامه توانست نقاط آسیب‌پذیر سازه‌های پایپ رک را در برابر نیروهای لرزه‌ای شبیه‌سازی کرده و رفتار سازه‌ها را تحت بارهای لرزه‌ای شدید پیش‌بینی کند. این در حالی بود که Eurocode 8 نتوانست به‌طور دقیق آسیب‌پذیری سازه‌ها را تحت بارهای شدید لرزه‌ای و شرایط خاص ایران ارزیابی کند.

در این تحقیق، نتایج تحلیل ریسک نشان داد که آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران به‌طور مؤثری ریسک آسیب‌دیدگی و فروریختگی سازه‌های پایپ رک را در برابر زلزله‌های شدید و شتاب‌های بالای زمین پیش‌بینی کرده است. به‌ویژه در مناطقی که در معرض زلزله‌های شدید و نزدیک به گسل قرار دارند، آیین‌نامه ۲۸۰۰ توانسته است تحلیل‌های دقیقی از آسیب‌ها و ریسک فروریختگی ارائه دهد. در مقابل، Eurocode 8 به‌ویژه در این شرایط خاص نتایج کمتری ارائه داد و تحلیل ریسک آن در برابر شتاب‌های بالا و زلزله‌های شدید نادرست بود [۱۵].

آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران برای طراحی سازه‌های پایپ رک در برابر زلزله‌ها در ایران و سایر مناطق مشابه با شتاب‌های بالا، ایمنی بیشتری را فراهم می‌آورد. سازه‌هایی که با استفاده از این آیین‌نامه طراحی شده بودند، در تحلیل‌های لرزه‌ای، تغییر شکل‌ها و آسیب‌پذیری عملکرد بهتری داشتند و خطرات ناشی از زلزله‌های شدید به حداقل رسید. از سوی دیگر، Eurocode 8 در این شرایط خاص نتوانست همان سطح ایمنی را فراهم کند و در تحلیل‌هایی که به ارزیابی رفتار سازه‌ها در برابر نیروهای لرزه‌ای شدید پرداخته شد، نتایج آن ضعیف‌تر بود.

نتیجه‌گیری این تحقیق نشان می‌دهد که در مناطق لرزه‌خیز ایران، که ویژگی‌هایی مانند شتاب‌های زمین بالا و زلزله‌های شدید و نزدیک به گسل وجود دارد، استفاده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران برای طراحی و تحلیل پایپ رک‌های فولادی ضروری است. این آیین‌نامه به‌طور مؤثری می‌تواند رفتار سازه‌ها تحت اثرات بارهای لرزه‌ای را پیش‌بینی کرده و نقاط ضعف و آسیب‌پذیری سازه‌ها را شبیه‌سازی کند. در مقایسه، Eurocode 8 که به‌طور عمومی برای شرایط با خطر لرزه‌ای متوسط طراحی شده است، قادر به پیش‌بینی دقیق رفتار سازه‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای شدید و شتاب‌های بالا نیست. بنابراین، برای بهبود ایمنی سازه‌ها در برابر زلزله‌های شدید، به‌ویژه در مناطقی مشابه ایران، استفاده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران به‌طور واضح نتایج بهتری را ارائه می‌دهد و ضروری است.

مراجع

[1] Jafari, H., & Shafiee, S. (2016). Comparison of Iranian seismic design code (IS 2800) with Eurocode 8 in terms of structural safety. *Structural Engineering and Mechanics, 58*(4), 729-745.
[2] Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. (2004). European Committee for Standardization.
[3] Zare, M., & Ahmadi, M. (2019). Seismic behavior of reinforced concrete structures based on Iranian Seismic Code 2800. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 48*(2), 453-469.
[4] Zakian, P., & Kaveh, A. (2022). Seismic design optimization of engineering structures: A comprehensive review. *Acta Mechanica, 234*, 1305-1330.
[5] Zhang, X., Liu, X., Zhang, S., Wang, J., Fu, L., Yang, J., & Huang, Y. (2023). Analysis on displacement-based seismic design method of recycled aggregate concrete-filled square steel tube frame structures. *Structural Concrete, 24*, 3461-3475.
[6] Hu, S., Qiu, C., & Zhu, S. (2022). Machine learning-driven performance-based seismic design of hybrid self-centering braced frames with SMA braces and viscous dampers. *Smart Materials and Structures, 31*.
[7] Shahnazaryan, D., & O'Reilly, G. (2021). Integrating expected loss and collapse risk in performance-based seismic design of structures. *Bulletin of Earthquake Engineering, 19*, 987-1025.
[8] Wei, J., Ying, H., Yang, Y., Zhang, W., Yuan, H., Zhou, J. (2023). Seismic performance of concrete-filled steel tubular composite columns with ultra high performance concrete plates. *Engineering Structures*.

[9] Harati, M., Hojjati, A., & Modaraei, A. (2019). An Investigation on the Effect of the Near-Fault Earthquakes on the Seismic Behavior of RC Moment Resisting Frames (MRFs) Designed Based on Iranian Seismic Code (Standard No. 2800). *Journal of Engineering and Applied Sciences*.
[10] Gholizad, A., & Safari, H. (2014). Seismic Fragility Curves for Mid-Rise RC Frames Designed According to Iranian Seismic Code. *Proceedings of the International Conference on Engineering*.
[11] Mrdak, I., & Rakočević, M. (2023). Nonlinear Seismic Assessment of Coupled Walls Designed in Accordance with Eurocode 8. *2nd Croatian Conference on Earthquake Engineering*.
[12] Pejović, J., & Serdar, N. (2023). Seismic Loss Assessment of RC High-Rise Buildings Designed According to Eurocode 8. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*.
[13] Wang, B., Chen, P., Zhu, S., & Dai, K. (2023). Seismic Performance of Buildings with Novel Self-Centering Base Isolation System for Earthquake Resilience. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 52*, 1360-1380.
[14] Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, IS 2800 (2018). *Standard No. 2800, Iranian National Building Regulations*.
[15] Iranian National Building Regulations, Part 6: Seismic Design. (2013). *Mabhashe Sheshom, Regulations for Seismic Design of Structures*.