



Probabilistic earthquake hazard Analysis with considering Risk-Based concept (Case study of olefin 14)

Kazem Nojavan¹, Amir Barzegari² & Milad Mohammadian^{3*}

1. Master of Earthquake Engineering, Institute of Housing and Construction, CEO of Tarh Afarinar Hezare Omid consulting engineers company (Taha), Tehran, Iran.
2. Ph.D. Geology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Manager of seismicity and seismotectonic section of Tarh Afarinar Hezare Omid consulting engineers company (Taha), Tehran, Iran.
3. Master of Earthquake Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (Corresponding Author).

Abstract

Background and objective: numerous seismic hazard analysis studies are conducted annually using probabilistic methods throughout the world and Iran, which are usually different from the initial assumptions of analysis or software used. On the other hand, many researches are presented every year about new methods of earthquake hazard zoning, but so far these studies have not computed earthquake hazard zoning maps for all regions of Iran. Therefore, it is essential to know the modern methods of seismic hazard maps for Iran based on the strategies presented in these sources.

Method: By comparing several national and international standards (ASCE 07, UBC-97, API650, IBC, and 038) comparable across Iran and the world, we compare the results of hazard analysis and related parameters in each of these sources. The results were compared with each other, by performing a hazard analysis on a specific site to the strengths and weaknesses of each standard by collecting seismic data from Site 2 of South Pars; Therefore, the basic prerequisites for doing so include reviewing the seismic status and distribution of projected earthquakes, tectonic conditions, active faults at the site, collecting, developing an integrated and comprehensive database of seismic sources within the study area, fault length mechanisms, geometry the maximum disruption and earthquake attributable to each source is.

Findings: Using geological and topographic maps, information about seismicity of the area was collected and field visits were carried out in several selected paths in the design range up to approximately 200 km. During field visits, faults in the area were identified and their characteristics determined based on fault maps, seismicity of the study site, seismic parameters and seismic hazard analysis using probabilistic method, maximum acceleration of the strong earth movement and design response spectrum for the surface designated.

Conclusion: The earthquake estimation in ASCE7-5 & 10, IBC, API650 for the return period is 2475 years (Probability of uniform collapse assuming that there is no uncertainty in the collapsing capacity of a structure), but in ASCE7-10 since earthquake estimation is based on the risk concept that leading to the design of structures at risk of collapse is the same (In fact, there is uncertainty in collapsing capacity). The design spectrum of this standard is affected by the risk integral (integration of the hazard curve with the fragility curve), different from the spectrum 2% probability of Exceedance in 50 years, so ASCE7 has a relative advantage over using the new concept in earthquake estimation than other standards.

Keywords: earthquake hazard Analysis, IBC standard, ASCE7 standard, UBC97 standard, API650 standard, Seismicity.

► **Citation (APA 6th ed.):** Nojavan K, Barzegari A, Mohammadian M. (2020, Spring). Probabilistic earthquake hazard Analysis with considering Risk-Based concept (Case study of olefin 14). *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 10(1), 74-90.

تحلیل خطر احتمالی زمین لرزه با در نظر گرفتن مفهوم ریسک محوری (مطالعه موردی الفین ۱۴)

کاظم نوجوان^۱، امیر برزگری^۲ و میلاد محمدیان^{۳*}

۱. کارشناس ارشد مهندسی زلزله، پژوهشکده ساختمان و مسکن، مدیرعامل مهندسی مشاور طرح آفرینان هزاره امید (طاه)، تهران، ایران. Kazem.nojavan@gmail.com
۲. دکتری زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، مدیر بخش لرزه خیزی و لرزه زمین ساخت شرکت مهندسی مشاور طرح آفرینان هزاره امید (طاه)، تهران، ایران. barzegaryamir@yahoo.com
۳. کارشناس ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران (نویسنده مسئول). milad.engeener@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: سالانه پژوهش های زیادی در رابطه با تحلیل خطر لرزه ای با استفاده از روش احتمالی در تمامی نقاط جهان و ایران انجام می شود که معمولاً در فرضیات اولیه تحلیل و یا نرم افزار مورد استفاده، متفاوت هستند. از سوی دیگر، هر ساله مقالات فراوانی حاوی روش های جدید پهنه بندی خطر زلزله ارائه می شود که البته تاکنون بررسی های مذکور به محاسبه نقشه های پهنه بندی خطر زلزله برای تمام مناطق ایران نپرداخته است. از این روی، شناخت روش های به روزی که بتوان بر اساس راهکارهای ارائه شده در این منابع نقشه های خطر لرزه ای را برای کشور ایران به روز کرد، ضروری است.

روش: با بررسی چندین استاندارد ملی و بین المللی (ASCE 07 UBC-97, API650, IBC, . 038) معتبر در سطح ایران و جهان به مقایسه آنها پرداخته و نتایج حاصل از برآورد تحلیل خطر و پارامترهای مربوط در هر یک از این منابع، مورد مقایسه قرار خواهد گرفت. بنابراین با اجرای تحلیل خطر بر روی ساختمانی مشخص به نقاط قوت و ضعف هر استاندارد با جمع آوری داده های مربوط به لرزه خیزی سایت ۲ پارس جنوبی، نتایج با یکدیگر مقایسه شده اند. از این رو برای اجرای این امر، پیش نیازها شامل مرور وضعیت لرزه خیزی و پراکندگی زمین لرزه های گسترده طرح، شرایط تکتونیکی و گسل های فعال ساختمانی، جمع آوری و توسعه یک بانک داده یکپارچه و جامع از چشمه های لرزه ای منطقه مورد مطالعه، تعیین سازوکار گسل ها، هندسه پهنه های لرزه ای، طول گسیختگی و حداکثر زلزله منتسب به هر چشمه است. یافته ها: با استفاده از نقشه های زمین شناسی و توپوگرافی، اطلاعات موجود در خصوص لرزه خیزی منطقه، جمع آوری گردید و بازدیدهای صحرایی در گستره طرح تا شعاع تقریبی ۲۰۰ کیلومتر در چندین مسیر انتخابی صورت گرفت. در طی بازدیدهای صحرایی، گسل های موجود در منطقه شناسایی و مشخصات آنها تعیین شده و بر اساس نقشه گسل ها و لرزه خیزی گستره مورد مطالعه ساختمانی، پارامترهای لرزه خیزی و تحلیل خطر زمین لرزه به روش احتمالی محاسبه و بیسینه شتاب جنبش نیرومند زمین و طیف پاسخ طراحی برای سطوح مختلف لرزه ای بر طبق دستورات هر یک از استانداردها تعیین شده است.

نتیجه گیری: برآورد زلزله در ASCE7-5 & 10, IBC, API650 برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال است (احتمال فروریزش یکنواخت با این فرض که هیچ گونه عدم قطعیتی در ظرفیت فروریزش یک سازه وجود نداشته باشد)، اما در ASCE7-10 چون برآورد زلزله بر اساس مفهوم ریسک محوری است (در حقیقت عدم قطعیت در ظرفیت فروریزش وجود دارد)، منجر به طراحی سازه های با خطر یکسان فروریزش می شود. طیف طرح این استاندارد تحت تأثیر انتگرال ریسک (ادغام منحنی خطر با منحنی شکنندگی)، متفاوت از طیف با احتمال فراگذشت ۲٪ در ۵۰ سال است. بنابراین استاندارد ASCE7 به دلیل استفاده از مفهوم جدید در ارتباط با برآورد زلزله نسبت به سایر استانداردها، از برتری نسبی برخوردار است.

کلیدواژه ها: تحلیل خطر زلزله، استاندارد IBC، استاندارد ASCE7، استاندارد UBC97، استاندارد API650، لرزه خیزی

► **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** نوجوان، کاظم، برزگری، امیر، محمدیان، میلاد. (بهار، ۱۳۹۹). تحلیل خطر احتمالی زمین لرزه با در نظر گرفتن مفهوم ریسک محوری (مطالعه موردی الفین ۱۴). *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*. ۱۰ (۱)، ۷۴-۹۰.

مقدمه

استانداردهای آمریکایی و نسخه‌های توسعه‌یافته از آن در دهه‌های گذشته و ویرایش‌های مختلف آنها دچار سردرگمی هستند. بنابراین، بررسی مقایسه‌ای بین آیین‌نامه‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار بوده چراکه با ارزیابی موارد مشابه و اختلاف آنها، به شناخت بیشتر پارامترهای لرزه‌ای خواهد انجامید و می‌تواند جنبه‌های تمایز و در برخی موارد نقاط ضعف و قوت را شناسایی کرد (شرودر و ویس^۳، ۲۰۱۴: ص ۲۳۹). همچنین، انعکاس جدیدترین روش‌های موجود در استانداردهای بین‌المللی و رهنمودهایی برای طراحان، به‌منظور هدایت آنها در گزینش پارامترهای لرزه‌ای با توجه به فرایند برآورد خطر زلزله با مقایسه استانداردهای مختلف جهت استفاده در دفاتر طرح و مشاوره مهندسی و همچنین افزایش هماهنگی بین کارفرمایان، طراحان و سازمان‌های مختلف درگیر برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت، در زمینه طراحی و ارزیابی عملکرد آنها از نظر جنبه‌های مرتبط با تحلیل خطر لرزه‌ای بر پایه مقتضیات ناشی از محل پروژه و خطر لرزه‌ای آن، به‌طوری‌که در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای آمده است، ابزاری بسیار ضروری برای برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین برای زمین‌لرزه محتمل در آینده در ساختگاه موردنظر می‌باشد.

برآورد خطر زمین‌لرزه

زمین‌لرزه بازتاب یک رویداد زمین‌شناختی است که بر روی زمین به شکل تکان دریافت می‌شود. دانش اندک بشر و بی‌توجهی به ویژگی‌های زمین از یک‌سو و نامناسب بودن مصالح ساختمانی و عدم رعایت اصول مهندسی در ساخت‌وسازها از سوی دیگر سبب شد تا زمین‌لرزه به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین پدیده‌های طبیعی قلمداد شود که وقوع آن ظرف مدت چند ثانیه توأم با خسارات جانی و مالی فراوان است (کرامر^۴، ۱۹۹۶: ص ۲۶۱).

یکی از راه‌های تفسیر و شناخت پدیده زلزله در هر منطقه، مطالعه زلزله‌های گذشته در آن منطقه است (گوپتا^۵، ۲۰۰۲). یافته‌های علمی نشان می‌دهند که با استفاده از روش‌های آماری و احتمالی تحت عنوان تحلیل خطر لرزه‌ای در ساختگاه موردنظر، می‌توان ایمن بودن

معمولاً عمده‌ترین تلفات انسانی زلزله ناشی از آسیب وارده به ساختمان‌ها و سازه‌ها بوده و طبق برآوردهای انجام شده در زلزله‌های به وقوع پیوسته در جهان، سهم بالایی از مرگ‌ومیرها در زلزله، ناشی از ریزش مستقیم ساختمان‌ها بوده و اگر حوادث ثانویه زلزله را هم به آن اضافه کنیم، کل مرگ‌ومیرها به ریزش ساختمان‌ها برمی‌گردد. در طی قرن بیستم بیش از ۱۱۰۰ زلزله مخرب در نقاط مختلف کره زمین روی داده که برآثر آن، بیش از ۱۵۰۰۰۰۰ نفر جان خود را از دست داده‌اند که ۹۰ درصد آنها عمدتاً ناشی از ریزش ساختمان‌هایی بوده که از ایمنی کافی برخوردار نبوده‌اند (لانتادا، پوجادس و باریات^۱، ۲۰۰۹). همواره مسائل فوق‌الذکر، لزوم توجه به زمین‌لرزه و برآورد دقیق خطرات ناشی از آن را برای سازه‌های ساخته‌ی دست بشر نشان می‌دهد که با شناخت دقیق خطر لرزه‌ای، طراحی متناسب با این خطر و اجرای مناسب سازه‌های طراحی‌شده، خطرپذیری لرزه‌ای و خسارات ناشی از زمین‌لرزه را به حداقل ممکن کاهش می‌دهد (بولت^۲، ۲۰۰۳: ص ۱۳۲).

هدف آیین‌نامه‌های زلزله، طراحی سازه‌ها با قابلیت اعتماد زیاد برای مقاومت در برابر زلزله است. با وجودی که آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌ها در برابر زلزله عمدتاً با هدف کاهش تلفات جانی ناشی از زلزله تدوین شده‌اند و تجارب به‌دست آمده از زمین‌لرزه‌های اخیر نیز نشان‌دهنده کارآمدی آنها در زمینه کاهش تلفات ناشی از زلزله بوده است، اما زلزله‌های بزرگ سال‌های اخیر نشان داده که میزان خسارت‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای وارد به ساختمان‌ها در برخی موارد بسیار شدید بوده و خسارات مالی سنگینی به دنبال داشته است. بنابراین محققان مهندسی زلزله به‌ضرورت تخمین مناسب ریسک ناشی از مخاطرات زلزله و ارائه راهکارهای منطقی برای کاهش آن پی بردند (جلایر، ۲۰۰۳).

آیین‌نامه‌های زلزله امروزه تنها متون قانونی هستند که به‌منظور یکسان‌سازی روش برخورد با مسئله زلزله در یک چارچوب مدون فراهم شده‌اند. لذا به‌صورت وسیعی مورد استفاده واقع می‌شوند. از جمله متداول‌ترین استانداردها، استانداردهای آمریکایی هستند. نکته قابل‌توجه این است که هنوز بسیاری از مهندس‌ها، بین

3. Shroder, Wyss
4. Kramer
5. Gupta

1. Lantada, Pujades, Barbat
2. Bolt

مقایسه و بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از این مقایسه به عنوان پیشنهادی کاربردی برای استفاده از این نتایج برای تهیه طیف طراحی، به جای طیف طراحی موجود در استانداردهای ایران معرفی شود.

038. API650. استاندارد های، UBC-97. IBC. ASCE-7

ارائه حداقل ضوابط لازم برای اطمینان از وجود یک دامنه ایمنی کافی در برابر خطرات زلزله، غالباً مشکل ترین مرحله در طرح یک آیین نامه با معیارهای ساده و عملی است که بتواند در عین سادگی و کارآمد بودن با داشتن پشتوانه علمی و تجربه کافی، یک دامنه ایمنی قابل پیش بینی را فراهم کند. از طرف دیگر، نظر به وجود مسائل و جزئیات بی شمار در بررسی رفتار یک سازه در اثر زلزله، ارائه یک آیین نامه که شامل تمام این جزئیات باشد عملاً غیرممکن است (شرودر و ویس، ۲۰۱۴: ص ۳۴۱).

تعیین زمین لرزه در نظر گرفته شده برای ساختگاه، اولین قدم برای تعریف پارامترهای شتاب و بار است. از حدود سال ۱۹۹۷، مفهوم تعریف زمین لرزه در نظر گرفته شده برای ایالات متحده شروع به تغییر کرد. این رویکرد جدید که با تکامل استاندارد UBC (۱۹۹۷) آغاز شد و با تلاش برنامه ملی کاهش خطر زلزله^۹ پیشرفت کرد، منبع اصلی استانداردهای جدید طراحی ساختمان بود. متعاقباً استاندارد بین المللی ساختمان انجمن مهندسان عمران آمریکا^{۱۰}، این روش ها را اتخاذ کرد و در حال حاضر مبنای استانداردهای طراحی ساختمان ایالات متحده شده است.

استاندارد API650

مخازن نگهداری نفت عموماً بر اساس استاندارد API650 طراحی می شوند. این استاندارد برای مخازن ذخیره عمودی، استوانه ای، روزمینی، سربسته و باز، جوش داده شده در اندازه ها و ظرفیت های مختلف برای فشارهای داخلی تقریبی برابر فشار اتمسفر برای صنعت نفت، به منظور تأمین مخازن با ایمنی کافی و صرفه معقول اقتصادی جهت نگهداری نفت، فرآورده های نفتی و مایعات دیگر تدوین گردیده است. الزامات تعیین جنبش زمین در این استاندارد از استاندارد انجمن مهندسان عمران آمریکا (ASCE-7) برگرفته شده

سازه ها در مقابل زمین لرزه را تا حد مطلوبی برآورد نمود. بنابراین به کمک تحلیل احتمالی خطر زمین لرزه، تصویری کامل تر از خطر زلزله ارائه می شود (زارع، ۱۳۸۸: ص ۱۱۷).

در سال های اخیر همواره مطالعات بسیاری در مناطق مختلف دنیا در مورد تحلیل خطر لرزه ای احتمالاتی انجام شده است. به عنوان مثال، گالن و ایسن^۱ (۲۰۱۶)، ویمر^۲ و همکاران (۲۰۰۹)، خان، الامام، ایرفان، ابدلا^۳ (۲۰۱۳)، تریانی، لای و پاسکوالینی^۴ (۲۰۱۴) و اشادی هارموکو، یولیانتو و کاکا^۵ (۲۰۱۵) تحلیل خطر لرزه ای احتمالاتی را انجام داده اند. همچنین تحقیقاتی چند در ارتباط با برآورد بیشینه شتاب افقی جنبش زمین برای ایران که همگی از روش احتمالاتی استفاده کرده اند صورت گرفته است که از جمله آنها می توان رضانی بشلی، زارع، رضانی اومالی و نخعی زاده^۶ (۲۰۱۵)، زارع و همکاران (۲۰۱۴)، قدرتی امیری، معتمد و رابت عشاقی^۷ (۲۰۰۳) و همزه لو، علیخانزاده، رحمانی و انصاری (۲۰۱۲)، اشاره کرد.

روش های متفاوتی برای برآورد خطر لرزه ای، مطالعه و طراحی های لرزه برتاب وجود دارد. این تفاوت ها به میزان محافظه کاری رعایت شده در این برآوردها مربوط است. لذا میزان مقاومت لرزه ای سازه ها با توجه به میزان اهمیت آنها متفاوت است. اینکه چه روشی از روش های بررسی خطر زمین لرزه باید به کار آید، موجب توسعه روش های تحلیل خطر لرزه ای ویژه ای شده است (بزرگنیا و برترو^۸، ۲۰۰۴: ص ۶۵۲). در این مقاله با توجه به اینکه استان بوشهر نقش بسیار مهمی در اقتصاد کشور از نظر اقتصادی، صنعتی، تجاری و سایر جنبه ها از جمله قرار داشتن نیروگاه هسته ای و بخش عظیمی از مهم ترین تأسیسات زیربنایی کشور ایران ایفا می کند، سعی شده در این ساختگاه با تعیین طیف ویژه ساختگاه برای احتمال فراگذشت ۲ و ۱۰ درصد تهیه و با استفاده از چند استاندارد مختلف، نحوه برآورد خطر زلزله مورد

1. Gullu and Iyisan
2. Wiemer
3. Khan, El-Emam, Irfan and Abdalla
4. Trianni, Lai and Pasqualini
5. Ashadi, Harmoko, Yuliyanto and Kaka
6. Ramezani Besheli,, ZARE, Ramazani Umali and Nakhaeezadeh
7. Rabet Eshaghi
8. Bozorgnia, Bertero

9. FEMA

10. ASCE 7



از این منبع به‌عنوان استاندارد پایه توسط اکثر حوزه‌های قانونی ایالات متحده پذیرفته شده است.

آیین‌نامه بین‌المللی ساختمان به بسیاری از استانداردهای طراحی شناخته شده ملی استناد داشته است؛ که یکی از این استانداردهای کلیدی، استاندارد حداقل بارهای طراحی جامعه مهندسان عمران آمریکا است. در بخش تعیین بارهای زمین‌لرزه آمده است که هر سازه و بخشی از آن، باید برای مقاومت در برابر اثرات زلزله مطابق با فصل‌های مختلف استاندارد انجمن مهندسان عمران آمریکا طراحی و ساخته شود. بنابراین طبقه‌بندی طراحی لرزه‌ای برای یک سازه زمانی مجاز است که طبق استاندارد انجمن مهندسان عمران آمریکا تعیین شود. از این رو مقادیر لرزه‌ای برآورد حرکت زمین این استاندارد، عیناً مطابق استاندارد انجمن مهندسان عمران آمریکا تعیین می‌شوند.

استاندارد انجمن مهندسان عمران آمریکا

انجمن تخصصی مهندسی عمران، انجمن مهندسان عمران آمریکا است که بسیاری از استانداردهای ارائه شده توسط این مجموعه، برگرفته از مدل استانداردهای ساختمانی است. استفاده از این مقررات جهت جلوگیری از سقوط و فروریزش در زلزله شدید و بسیار نادر است که حداکثر زمین‌لرزه در نظر گرفته شده^۲، جنبش زمین نامیده می‌شود.

در نسخه‌های پیشین استاندارد انجمن مهندسان عمران آمریکا، حداکثر زلزله در نظر گرفته شده حرکات احتمالی زمین از نظر جغرافیایی و در سراسر پریودهای ارتعاشی سازه‌ای، از خطری یکنواخت برخوردار بودند. با این حال اخیراً تشخیص داده شد که احتمال خرابی سازه‌ای با تلفات ناشی از آن موجب نگرانی است و توزیع جغرافیایی احتمالی آن لزوماً با توزیع احتمال فراگذشت از برخی حرکت زمین یکسان نیست (ATC 3-06، ۱۹۷۸: ص ۱۳۶). تفسیر نسخه‌های پیشین مقررات اثبات نموده که تعریف جنبش زمین بر اساس یک احتمال ثابت برای کل ایالات متحده نمی‌تواند به سطوح مشابه از ایمنی لرزه‌ای همه سازه‌ها منجر شود (NEHRP، ۲۰۰۳: ص ۱۵۹). تغییر در حرکات ریسک محور زمین با استفاده از اشکال مختلف منحنی‌های خطر برای تعیین خطر یکنواخت (۲٪

که بر این اساس، حداکثر زمین‌لرزه با احتمال فراگذشت ۲٪ در یک دوره زمانی ۵۰ ساله، بر اساس میرایی ۵٪ و ۰/۵٪ است.

در این استاندارد شتاب‌های طیفی افقی که برای طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرند، پارامترهای لرزه‌ای بر اساس سه روش، ۱- استفاده از نقشه‌ها، ۲- استفاده از روش ویژه ساختگاه و ۳- برای مناطق خارج از ایالات متحده، که تعریف جنبش زمین ممکن است بر اساس روش استاندارد انجمن مهندسان عمران آمریکا کاربردی نباشد، تعیین می‌شود. در روش اول و دوم حداکثر زلزله در نظر گرفته شده، جنبش زمین به‌عنوان حرکتی ناشی از رویدادی با احتمال فراگذشت ۲٪ در دوره زمانی ۵۰ ساله تعریف می‌شود (IS و SS موجود در نقشه‌ها) و در مناطقی خارج از ایالات متحده این مقدار برابر با احتمال ۱۰٪ در دوره زمانی ۵۰ ساله است.

استاندارد UBC-97

اولین آیین‌نامه لرزه‌ای آمریکا در سال ۱۹۲۷ میلادی با عنوان UBC منتشر شد و تا سال ۱۹۹۷ تقریباً هر سه سال یک‌بار ارتقا یافت. در سال ۲۰۰۰ میلادی، آیین‌نامه لرزه‌ای آمریکا با عنوان جدید آیین‌نامه بین‌المللی ساختمان (UBC، ۲۰۰۰) منتشر شد و روند اصلاح سه سالانه این آیین‌نامه، تاکنون ادامه دارد. در این استاندارد تعیین جنبش زمین به‌عنوان حداقل، باید برابر مقداری باشد که احتمال فراگذشت ۱۰ درصدی در ۵۰ سال را داشته باشد و به‌صورت یکی از موارد زیر باشد:

۱. طیف پاسخ طراحی، ساخته شده با استفاده از مقادیر Ca و Cv برای یک ساختگاه مشخص.
۲. طیف پاسخ الاستیک طراحی ویژه ساختگاه بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی، زمین‌ساختی، زلزله‌شناسی و مشخصات خاک، برای یک ساختگاه مشخص (میرایی ۵٪).
۳. تاریخچه زمانی جنبش زمین، نمونه حرکات واقعی زمین‌لرزه است که برای ساختگاه خاص تهیه می‌گردد.

استاندارد بین‌المللی ساختمان

آیین‌نامه بین‌المللی ساختمان^۱ یک نمونه استاندارد ساختمانی است که توسط شورای آیین‌نامه بین‌المللی^۲ تهیه شده است. استفاده

1. IBC
2. ICC

3. MCE

که S_1 و S_2 و F_a و F_v پارامتر پاسخ طیفی شتاب و ضرایب ساختگاه در دوره تناوب‌های 0.2 و 1 ثانیه است (این پارامترها برای کل آمریکا در شکل‌های مشخصی تعیین شده است)، T دوره تناوب اصلی سازه به ثانیه، TL دوره تناوب انتقالی پریود بلند نشان داده شده در شکل‌های مشخصی برای کل آمریکا (برای سایر نقاط این پارامتر برابر با 4 ثانیه است) ارائه شده است.

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (6)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

نشریه 038

با توجه به موقعیت پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای ایران و احتمال وقوع خسارات جبران ناپذیر انسانی، اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از زلزله در تأسیسات صنعت نفت، وزارت نفت با هدف افزایش ایمنی و کاهش خطرپذیری مجموعه‌ی صنعت نفت و ایجاد وحدت رویه و استانداردسازی در طراحی لرزه‌ای تأسیسات و تجهیزات صنعت نفت، اقدام به تدوین نشریه ۰۳۸ نموده است. مطالعه ویژه ساختگاه برای تمامی مجموعه‌های تأسیساتی صنعت نفت در تمامی نقاط کشور الزامی است و سطوح لرزه‌ای در فرایند تحلیل خطر در چند سطح تعریف می‌شوند. طیف طرح (S_a) این آیین‌نامه طبق الگوی استاندارد انجمن مهندسان عمران آمریکا (رابطه ۱) به دست می‌آید.

جدول ۱: سطوح خطر لرزه‌ای در طراحی بر پایه عمر مفید ۵۰ سال

(نشریه 038، ۱۳۹۵: ص ۴۳)

سطح خطر لرزه‌ای در طراحی	احتمال فراگذشت (%)	دوره بازگشت (سال)
زلزله سطح بهره‌برداری (OBL)	۷۰	۴۰
زلزله سطح طراحی (DBL)	۱۰	۴۷۵
حداکثر زلزله در نظر گرفته شده (زلزله نادر) (MCE)	۲	۲۴۷۵
حداکثر زلزله در نظر گرفته ریسک محور (MCER)	۲	۲۴۷۵

مواد و روش‌ها

برای دستیابی مهندس زلزله به طرحی مناسب و مقاوم در برابر زلزله در ساختگاهی مشخص، ضروری است که بارگذاری زلزله با ویژگی‌های مختلف برای ساختگاه مذکور صورت پذیرد. بنابراین؛ در این مقاله جهت مقایسه روش‌های پیشنهادی تحلیل خطر در هر

در ۵۰ سال) جنبش زمین استفاده می‌شود، به گونه‌ای که انتظار می‌رود هنگامی که در طراحی استفاده می‌شود، منجر به تکرار یکنواخت سالیانه خرابی یا سطح ریسک شود. بنابراین به منظور تعیین پاسخ شتاب طیفی احتمالاتی در این استاندارد انتظار می‌رود با استفاده از دو روش، طیف پاسخ شتاب با میرایی ۵ درصد به احتمال فروپاشی ۱٪ در یک دوره ۵۰ ساله برسد.

در روش اول، مختصات طیف پاسخ احتمالی جنبش زمین در هر دوره تناوب پاسخ طیفی که شتاب برای آن محاسبه شده است، باید با حاصل ضرب، ضریب ریسک (CR) و پاسخ شتاب طیفی از یک طیف پاسخ شتاب با میرایی ۵٪ که دارای احتمال فراگذشت ۲٪ در یک دوره ۵۰ ساله است، تعیین شود.

در روش دوم، طیف پاسخ احتمالاتی جنبش زمین در هر دوره تناوب پاسخ طیفی، باید از ادغام تکرار شونده یک منحنی خطر ویژه ساختگاه با یک تابع چگالی احتمالاتی لوگ‌نرمال که نشان‌دهنده شکنندگی فروپاشی (فروریزش) است، تعیین شود (احتمال فروپاشی به عنوان تابعی از پاسخ طیفی شتاب است). مختصاتی از طیف پاسخ احتمالاتی جنبش زمین در هر دوره تناوب باید به احتمال فروپاشی ۱٪ در طی یک دوره ۵۰ ساله برای یک شکنندگی فروپاشی دست یابد، با این فرض که (الف) احتمال مشروط ۱۰٪ فروپاشی بنا بر مشخصات گفته شده از طیف پاسخ احتمالاتی جنبش زمین را به دست آورد؛ و (ب) انحراف استاندارد لگاریتمی ۰/۶ است.

طیف پاسخ طراحی این استاندارد برای دوره تناوب‌های مختلف پاسخ شتاب طیفی طراحی (S_a)، مطابق با رابطه (۱) توسعه می‌یابد:

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (1)$$

$$S_a = S_{DS} \quad T < T_0$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad T_0 \leq T < T_s$$

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad T_s < T \leq T_L$$

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad T > T_L$$

پاسخ شتاب طیفی طراحی S_{D1} و S_{DS} ، برای دوره تناوب‌های

0.2 و 1 ثانیه توسط روابط ذیل تعیین می‌شود.

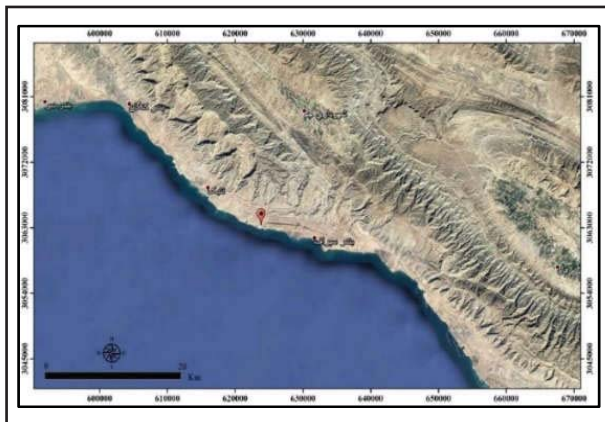
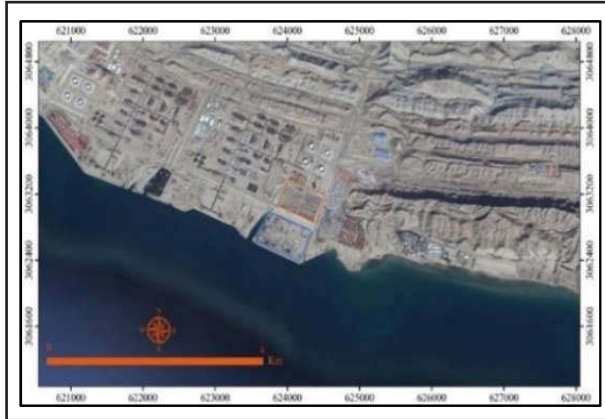
$$S_{MS} = F_a S_2 \quad (2)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (3)$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (4)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (5)$$

جنبش نیرومند زمین، سطوح مختلف لرزه‌ای در طراحی، از روش احتمالاتی با بررسی روابط مختلف کاهندگی (آمبرسیز^۴، کمپیل و بزرگنیا^۵، چپو و یانگس^۶، آبراهامسون و سیلوا^۷) استفاده شده است.



شکل ۱: تصویر ماهواره‌ای دسترسی به ساختگاه، بالن قرمز رنگ موقعیت الفین ۱۴ را نشان می‌دهد. نمای نزدیک از ساختگاه گستره پروسس با چهار گوش نارنجی و منطقه یوتلتی با چهار گوش مربع مشخص شده است.

چشمه‌های لرزه‌زا در گستره طرح

در مرحله اول جمع‌آوری زمین‌لرزه‌ها، گردآوری این داده‌ها در گستره‌ای به شعاع ۲۰۰ کیلومتر به مرکز ساختگاه طرح انجام شده است. پس از تعیین زمین‌لرزه‌های مستقل، زمین‌لرزه‌های اصلی به شعاع ۱۵۰ کیلومتر از گستره اولیه طرح جدا شده است. با استفاده از نگاره‌های ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی محدوده پیرامون گستره ساختگاه، مورد بررسی قرار گرفته و پس از تدقیق با مشاهدات میدانی صورت گرفته و استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی

استاندارد، با اجرای تحلیل خطر بر روی ساختگاهی مشخص به نقاط قوت و ضعف هر استاندارد پرداخته شده است. از این رو با جمع‌آوری داده‌های مربوط به لرزه‌خیزی سایت ۲ پارس جنوبی، نتایج با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

برای انجام این امر، پیش‌نیازهای بنیادین شامل مرور وضعیت لرزه‌خیزی و پراکندگی زمین‌لرزه‌های گستره طرح، شرایط تکتونیکی و محیط لرزه زمین‌ساختی و گسل‌های فعال موجود در ساختگاه، جمع‌آوری و توسعه یک بانک داده یکپارچه و جامع از چشمه‌های لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه، تعیین سازوکار گسل‌ها، هندسه پهنه‌های لرزه‌ای، طول گسیختگی و حداکثر زلزله منتسب به هر چشمه، است.

معرفی ساختگاه طرح

پروژه الفین ۱۴ (بخشی از سایت شماره ۲ پارس جنوبی)، حدفصل جنوب و جنوب غرب کشور و در محدوده استان بوشهر، در نزدیکی شهرکنگان واقع شده است. از منظر ژئومورفولوژی، محل ساختگاه دارای توپوگرافی هموار و دشتگون و از منظر استان‌های رسوبی-ساختاری ایران (میرزایی، گاوو و چن^۱، ۱۹۹۸)، در گستره زاگرس چین‌خورده، از منظر رخنمون گنبد‌های نمکی در حوضه هرمز و از منظر جغرافیایی، در گستره فارس قرار دارد (درویش زاده، ۱۳۷۰: ص ۸۴). از نظر ساختار لیتولوژی مهم‌ترین ساختمان زمین‌شناسی مربوط به تاقدیس کنگان است که این تاقدیس یکی از بزرگ‌ترین تاقدیس‌ها در میادین گازی جنوبی کشور است (افتخارنژاد، ۱۳۵۹). از گسل‌های نزدیک به ساختگاه که تأثیر بسیار زیادی در اثر زمین‌لرزه احتمالی دارد، می‌توان گسل پیشانی کوهستان (قطعه سوم) را نام برد. با توجه به پیچیدگی‌ها و تفاوت مشهود جنس زمین‌شناسی و تغییرات مورد انتظار سرعت موج‌برشی منطقه مورد مطالعه، تمامی بررسی‌ها در دو بخش پروسس^۲ و یوتلتی^۳ برای هر دو گستره مورد نظر انجام و ارائه شده است. به‌منظور بررسی زیرسطحی ساختگاه، تعداد ۱۰ حلقه گمانه اکتشافی در بخش پروسس و ۱۲ حلقه در بخش یوتلتی حفر شده است که نتایج آنها بیانگر قرارگیری بخش پروسس در خاک نوع II و یوتلتی در خاک نوع III، براساس استاندارد ۲۸۰۰ است. به‌منظور برآورد بیشینه مقادیر پارامترهای

4. Ambraseys(2005)
5. Campbell & Bozorgnia (2008)
6. Chiuo & Youngs (2008)
7. Abrahamson & Silva (2008)

1. Mirzaei, Gao and Chen
2. Process
3. Utility



جدول ۲: چشمه‌های لرزه‌زا خطی در گستره مورد مطالعه به همراه طول و سازوکار

Row	Faults Name	Mechanism	Dip Direction	Fault Length	Row	Faults Name	Mechanism	Dip Direction	Fault Length
1	Ahmadi	R	NE	41	40	Mahmale 2	S	-	35
2	Ab garm	R	N	40	41	Manian1	R	NE	89
3	Akbar Abad	R	N	13	42	Manian2	R	NE	75
4	Behjan Syncline	R	NE	48	43	MFF 1	R	NE	59
5	Bolgkan	R	S	37	44	MFF 2	R	NE	107
6	Borazjan 1	R	NE	51	45	MFF 3	R	NE	15
7	Borazjan 2	R	NE	26	46	MFF 4	R	NE	46
8	Borus	R	NE	9	47	MFF 5	R	NE	30
9	Darbast	R	N	13	48	MFF 6	R	NE	12
10	Dehrood1	R	NE	26	49	MFF 7	R	NE	109
11	Dehrood2	R	NE	44	50	MFF 8	R	NE	65
12	Didehban	R	N	32	51	Mozafari 1	S	-	20
13	Farashband	R	NE	47	52	Mozafari 2	R	NE	30
14	Fishvar	R	N	23	53	Mymand	R	NE	31
15	Gazdan	R	S	23	54	Nadvan	S	-	16
16	Ghir	R	NE	9	55	Narreh	R	NE	22
17	Harm 1	S	-	14	56	Nezam Abad 1	N	Nw	58
18	Harm 2	S	-	53	57	Nezam Abad 2	S	-	13
19	Harm 3	R	SW	37	58	North Fishvar	R	N	60
20	Harm 4	R	SW	27	59	North Khazeyad	R	SW	22
21	Hasan Abad	R	N	33	60	Pazanan	R	NE	108
22	Hegan 1	R	NE	9	61	Roodyal 1	R	NE	21
23	Hegan 2	R	N	11	62	Roodyal2	R	NE	36
24	Hosein Abad	R	N	13	63	Roshanaei	R	NE	17
25	Jahrom 1	S	-	29	64	Safid	S	-	13
26	Jahrom 2	S	-	37	65	Sapiddar 1	R	N	19
27	Kalagh 1	R	NE	87	66	Sapiddar 2	R	N	20
28	Kalagh 2	S	-	28	67	Sarvestan	R	NE	25
29	Karebas	S	-	54	68	Sefidar	S	-	28
30	Khafar	R	NE	57	69	Sepidar Anticline	S	-	12
31	Khavaran	S	-	38	70	Shahini 1	S	-	17
32	Khonj	R	NE	22	71	Shahini 2	S	-	11
33	Kuh-e-Seya	R	N	31	72	Siakh 1	S	-	14
34	Lar	R	NE	15	73	Siakh 2	S	-	40
35	Lineament 1	S	-	68	74	South Farrashband	S	-	46
36	Lineament 2	S	-	54	75	South Khazeyad	R	N	33
37	Lineament 3	S	-	39	76	Surmeh	R	NE	21
38	Mahleche	S	-	21	77	Takhteh	S	-	39
39	Mahmale 1	R	NE	38					



منتشر شده توسط سازمان زمین‌شناسی ایران و شرکت ملی نفت ایران، نتایج حاصل ارائه گردیده است (آقانباتی، ۱۳۸۳: ص ۴۸۱). چشمه‌های لرزه‌زا خطی موجود در گستره مورد مطالعه، عموماً دارای روند شمال غرب-جنوب شرق بوده و عملکرد آنها، شیب‌لغز معکوس با مؤلفه امتدادلغز راست‌گرد است (جدول ۲) (آقانباتی، ۱۳۸۳: ص ۳۹۲). با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، ۳ خطواره مورد شناسایی قرار گرفته‌اند که بر پایه هندسه گسل، از نوع گسل‌های امتدادلغز محسوب می‌شوند. از این میان خطواره‌های ۱ و ۲ با راستای شمال-شمال غرب، جنوب-جنوب شرق، به صورت موازی با یکدیگر قرار گرفته‌اند و

خطواره شماره ۳ دارای روند شمال غرب-جنوب شرق است. همچنین با توجه به قرارگیری ساختگاه در استان لرزه‌زمین‌ساختی زاگرس و وجود گسل‌های پنهان و چین‌های مرتبط با فعالیت این نوع گسل‌ها در گستره طرح، ۱۰ چشمه لرزه‌زا سطحی مورد بررسی قرار گرفته‌اند (جدول ۳).

زمین‌لرزه‌های روی داده در گستره طرح از نوع کم‌عمق بوده که با توجه به لرزه‌خیزی زاگرس، اعماق ۶ تا ۲۰ کیلومتر را به‌عنوان لایه لرزه‌زا^۱، ۴ تا ۶ کیلومتر را به‌عنوان منطقه انتقالی فوقانی^۲ و ۲۰ تا ۲۲ کیلومتر را به‌عنوان منطقه انتقالی تحتانی^۳ در نظر گرفته شده است.

جدول ۳: چشمه‌های لرزه‌زای سطحی در گستره مورد مطالعه

Area Name	MMAx	مشخصات
Area Source 1	4.3	این پهنه در منتهی‌الیه جنوب غرب گستره قرار دارد که دو زمین‌لرزه در آن به ثبت رسیده است
Area Source 2	6.0	این پهنه بزرگ‌ترین پهنه لرزه‌ای موجود در گستره مورد مطالعه است که به سبب رخداد زمین‌لرزه‌ها، در داخل دریا و خشکی ترسیم شده است. این پهنه در بخش شمال غربی خود، بخشی از گسل برازجان و در بخش جنوب شرقی، تاقدیس خلفانی را در بر می‌گیرد.
Area Source 3	5.3	این پهنه در برگیرنده تاقدیس کاکي و بخشی از گسل برازجان است
Area Source 4	5.1	این پهنه دربردارنده تاقدیس وروی است
Area Source 5	4.3	این پهنه دربردارنده محورهای دو تاقدیس خورموج و سیاه است
Area Source 6	5.5	این پهنه دربردارنده محورهای تاقدیس دشت پلنگ و گردان است
Area Source 7	5.7	این پهنه لرزه‌ای دربردارنده محور تاقدیس‌های سفید کرده، باجون، کوه سیاه، مز و ناودیس پیر غیب است
Area Source 8	5.8	این پهنه دربردارنده محور تاقدیس‌های هکان، دریایی و ناودیس زین‌آباد است
Area Source 9	6.0	این پهنه دربردارنده محور تاقدیس‌های امیر، دالان و بهار است
Area Source 10	5.3	این پهنه دربردارنده محور تاقدیس بوشکان است

لرزه‌خیزی گستره طرح

مشخصات و ویژگی‌های زمین‌لرزه‌ها، با توجه به داده‌های موجود و استفاده از منابع مختلف، گردآوری شده است (بزرگای گشتاوری ۶ و بالاتر). یکی از کامل‌ترین مراجع مدون از زمین‌لرزه‌های تاریخی ایران که برای داده‌های تاریخی در این پژوهش از آن استفاده شده است، کتاب تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران (آمبرسیز و ملویل^۴، ۱۹۹۱-ترجمه ابوالحسن رده) است. زمین‌لرزه‌های تاریخی روی داده در این گستره شامل زمین‌لرزه ۱۷ ژوئن ۹۷۸ میلادی (سیراف)، زمین‌لرزه ۱۰۰۸ میلادی سیراف و زمین‌لرزه ۱۴۴۰ میلادی قیر-کارزین است.

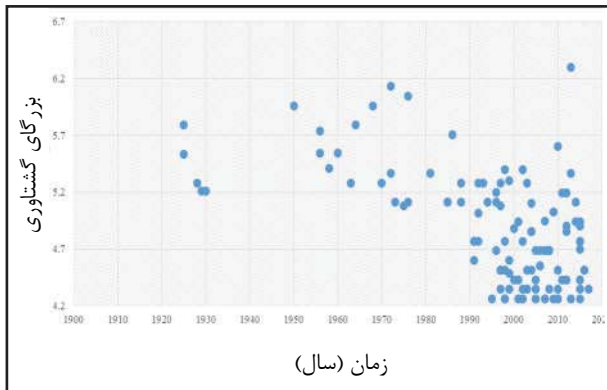
میلادی، زمین‌لرزه‌های بزرگی در فاصله کمتر از ۱۵۰ کیلومتری ساختگاه روی داده، بنابراین زمین‌لرزه‌های دستگاهی روی داده در این گستره شامل زمین‌لرزه ۹ آوریل ۲۰۱۳ با بزرگای گشتاوری ۶/۳، زمین‌لرزه ۱۹۷۲ قیر-کارزین با بزرگای ۶/۹، زمین‌لرزه ۱۴ ژانویه ۲۰۰۴ با شتاب ثبت شده برابر با ۳۰ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه، زمین‌لرزه ۱۷ فوریه ۲۰۰۲ میلادی به بزرگی ۵/۴ در مقیاس بزرگای گشتاوری است.

لازم به توضیح می‌باشد که بزرگای مختلف، حاصل از

1. Seismogenic layer
2. Upper Transition Zone
3. Lower Transition Zone

از آنجایی که در گستره مورد نظر طرح پس از سال ۱۹۰۰

4. Ambraseys, Melville



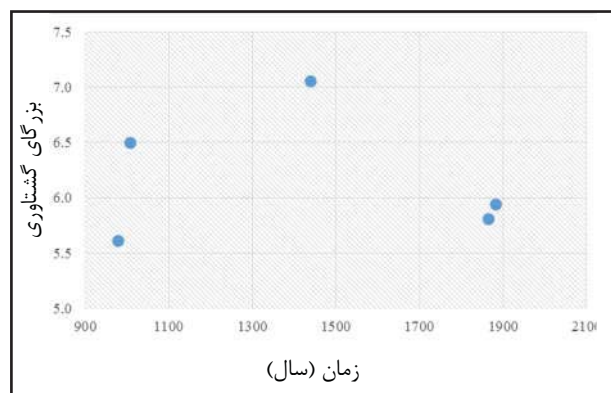
ادامه شکل ۲: پراکندگی زمین لرزه‌های اصلی دستگاهی و تاریخی نسبت به بزرگا و زمان، در گستره مورد مطالعه

یافته‌ها

بر اساس نقشه گسل‌ها و لرزه‌خیزی گستره ساختگاه، پارامترهای لرزه‌خیزی و تحلیل خطر زمین‌لرزه به روش احتمالی محاسبه و به هر یک از چشمه‌های لرزه‌زا به صورت مناسب، با موقعیت و لرزه‌خیزی آن نسبت داده شده است. همچنین با در نظرگیری شرایط درخت منطقی، هر دو آهنگ لغزش و آهنگ لرزه‌خیزی با وزن یکسان به کار گرفته شده است. میزان مشارکت هر یک از چشمه‌های زمین‌لرزه‌ای در شکل‌گیری خطر کلی زمین‌لرزه بررسی شده است (مشارکت قطعه سوم گسل پیشانی کوهستان در خطر کل حاصل، بیش از دیگر چشمه‌هاست) و پارامترهای بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین و طیف پاسخ طرح، برای سطوح مختلف لرزه‌ای در طراحی تعیین شده است.

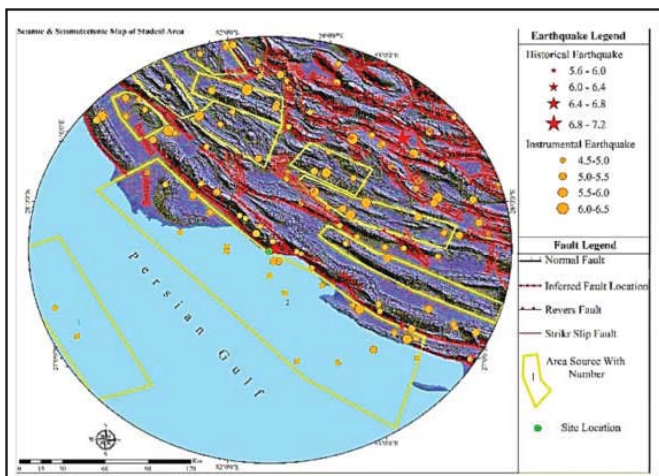
جمع‌آوری داده‌های این بخش با استفاده از روابط EMME (۲۰۱۱)، اسکوردیلِس^۱ (۲۰۰۶)، شجاع‌طاهری، ناصریه و غفرانی^۲ (۲۰۰۷) به بزرگای گشتاوری تبدیل شده است.

برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی جهت برآورد بیشینه بزرگای منتسب به گسل‌های موجود در گستره طرح، با توجه به درازای چشمه‌های لرزه‌زا در این گستره می‌توان، $Ms = 7/1$ را به عنوان بیشینه بزرگای پذیرفتنی پیشنهاد کرد. بیشینه بزرگای منتسب به هر گسل توسط پنج رابطه (اشجعی و نوروزی^۳، ۱۹۷۹، آمبرسیز و جکسون^۴، ۱۹۹۸، ولز و کاپراسمیت^۵، ۱۹۹۴، نوروزی، ۱۹۸۵، سلمونز^۶، ۱۹۷۷؛ ص ۲۲) محاسبه شده است که پس از میانگین‌گیری (به تمامی روابط ارزش یکسان داده شده است)، اعداد نهایی به عنوان بیشینه بزرگای پذیرفتنی برای هر یک از چشمه‌های زمین‌لرزه‌ای، ارائه گردیده است. همچنین جهت حذف پیش‌لرزه و پس‌لرزه از رویدادهای اصلی، روش پنجره‌های متغیر در حوزه زمان و مکان با اعمال دآوری کارشناسی برای حذف یا اضافه نمودن دستی زمین‌لرزه‌های خاص، از پنجره زمانی گاردنر و نوپوف (۱۹۷۴) و روش نظام‌مندتر (گرانثال^۷، ۱۹۹۸؛ ص ۵۳) استفاده شده است.

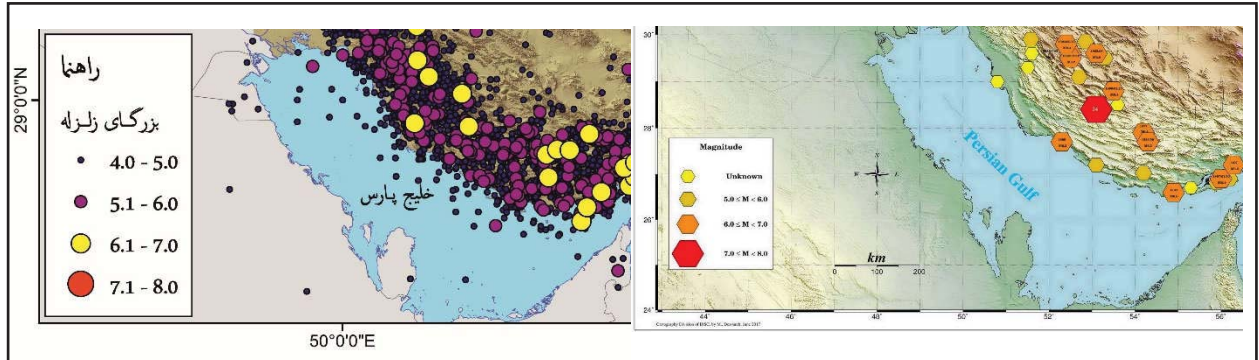


شکل ۲: پراکندگی زمین لرزه‌های اصلی دستگاهی و تاریخی نسبت به بزرگا و زمان، در گستره مورد مطالعه

1. Scordilis
2. Shoja-Taheri, Naserieh, Ghofrani
3. Ashjai & Nowroozi
4. Ambraseys & Jackson
5. Wells & Coppersmith
6. Slemmons
7. Grünthal

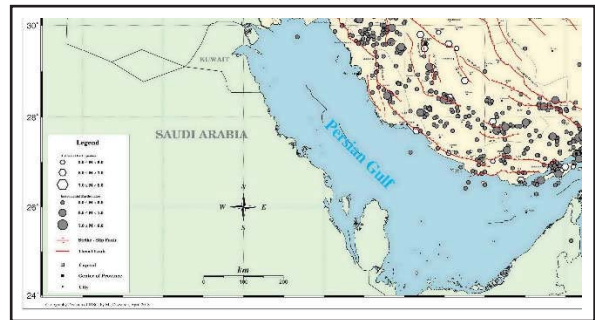


شکل ۳: نقشه‌های لرزه‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساختی گستره مورد مطالعه



شکل ۴: وضعیت لرزه‌خیزی دستگاهی و تاریخی ساختگاه و محدوده اطراف آن

تخمین بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین^۱ بیشینه مقادیر شتاب برای مؤلفه افقی، یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد نظر جنبش نیرومند زمین در کنترل طراحی ساختگاه و سازه‌های وابسته به آن در مقابل خطر زمین‌لرزه است. از نتایج مربوط به روش احتمالی مدل چشمه‌های خطی لرزه‌زا برای انتخاب پارامترهای سطوح لرزه‌ای در طراحی، سطح بهره‌برداری، سطح طراحی و حداکثر زلزله در نظر گرفته شده، استفاده گردیده است. کلیه نتایج حاصل از روش‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده و نتایج زیر به‌عنوان پارامترهای نهایی ساختگاه ارائه می‌گردد (جدول ۴).

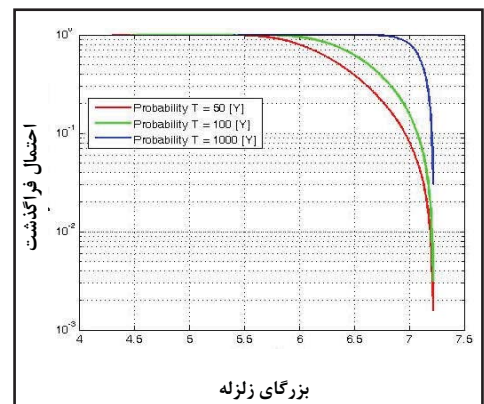
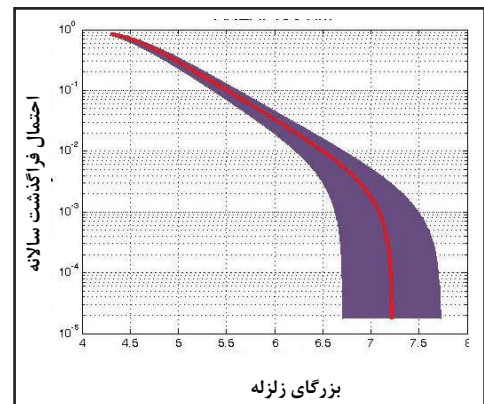


شکل ۵: چشمه‌های لرزه‌زایی خطی و رو مرکز زمین لرزه‌های بزرگ ساختگاه و محدود اطراف آن

جدول ۴: شتاب‌های حاصل شده برای سطوح مختلف لرزه‌ای بر پایه عمر مفید ۵۰ سال در سطح زمین و سنگ‌بستر لرزه‌ای

منطقه یوتلی		منطقه پروسس		سطح طراحی
حداکثر شتاب‌های افقی		حداکثر شتاب‌های افقی		
سنگ‌بستر لرزه‌ای	سطح زمین	سنگ‌بستر لرزه‌ای	سطح زمین	
۰/۰۷	۰/۱	۰/۰۷	۰/۰۹	سطح بهره‌برداری (OBL)
۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۳۰	۰/۳۴	سطح طراحی (DBL)
۰/۵۹	۰/۷۵	۰/۶۱	۰/۶۸	زلزله نادر (MCE)

طیف پاسخ طرح برای سطوح مختلف لرزه‌ای در طراحی در این پژوهش، طیف پاسخ ویژه ساختگاه با احتمال فراگذشت ۲ و ۱۰ درصد در ۵۰ سال و طیف پاسخ طراحی مؤلفه افقی برای سطوح لرزه‌ای مختلف، بر طبق استانداردهای مذکور تعیین گردیده است. با توجه به تفاوت‌های موجود بین آیین‌نامه‌های 038, API650, UBC-97, IBC, ASCE-7، طیف‌های پاسخ طراحی به تفکیک بر طبق جدول‌های ذیل ارائه شده است.



نمودار ۱: آهنگ رویداد سالیانه و احتمال رویداد زمین‌لرزه‌ها برحسب بزرگا سطحی در گستره ۱۵۰ کیلومتری

جدول ۵: پارامترهای مورد نیاز جهت طراحی بر پایه آیین نامه UBC-97 برای بخش یوتلتی و پروسس در سطح حداکثر زلزله منظور شده

استاندارد UBC-97 (دوره بازگشت ۴۷۵ سال)							
منبع لرزه‌ای	NV	Na	Cv	Ca	Z	نوع خاک	ناحیه
B	1.6	1.3	0.54	0.36	0.3	SD	یوتلتی
B	1.6	1.3	0.45	0.33	0.3	SC	پروسس

جدول ۶: پارامترهای مورد نیاز جهت طراحی بر پایه آیین نامه ASCE 07-05 برای بخش یوتلتی و پروسس در سطح حداکثر زلزله منظور شده

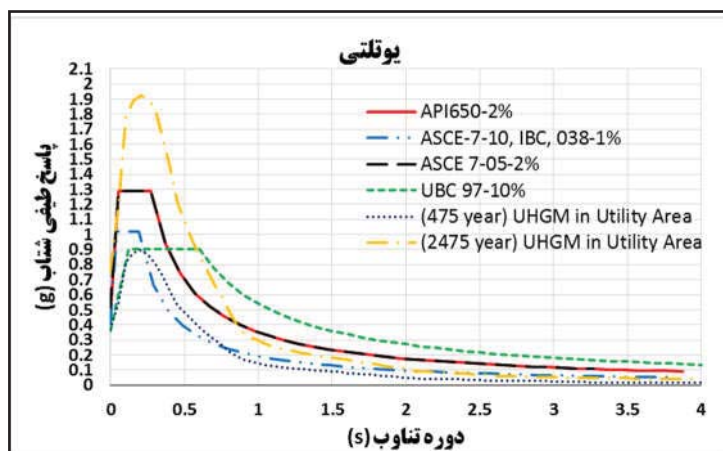
استاندارد ASCE 07-05 (دوره بازگشت ۴۷۵ سال)									
SM1	SMs	Fv	Fa	S1	SS	SDI	SDs	نوع خاک	ناحیه
0.52218	1.921	1.8	1	0.2901	1.921	0.34812	1.2806	D	یوتلتی
0.37968	1.795	1.6	1	0.2273	1.795	0.2531	1.197	C	پروسس

جدول ۷: پارامترهای مورد نیاز جهت طراحی بر پایه آیین نامه 038 و IBC و ASCE 07-10 برای بخش یوتلتی و پروسس در سطح حداکثر زلزله منظور شده

دوره بازگشت ۴۷۵ سال (IBC, ASCE 07-10, 038 استانداردهای)					
Fv	Fa	Ss	S1	نوع خاک	ناحیه
2	1	1.524	0.1596	III or D	یوتلتی
1.60	1	1.573	0.1646	II or C	پروسس

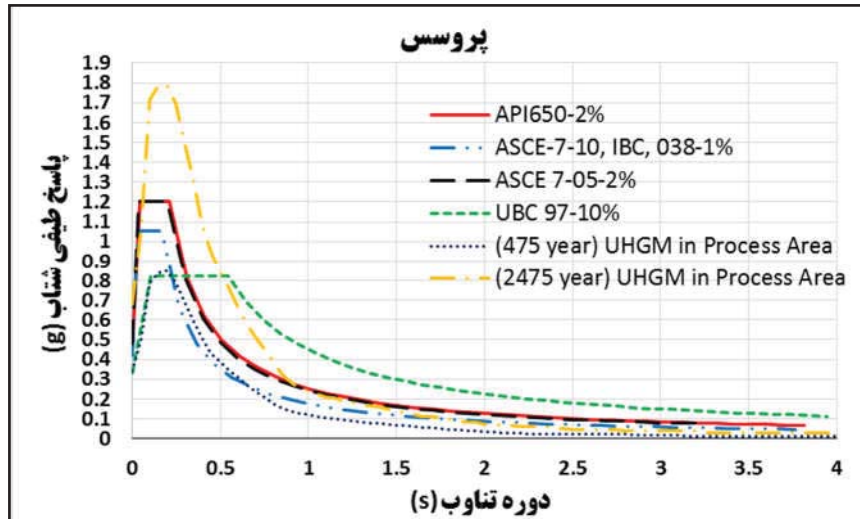
جدول ۸: پارامترهای مورد نیاز جهت طراحی بر پایه آیین نامه API650 برای بخش یوتلتی و پروسس در سطح حداکثر زلزله منظور شده

استاندارد API650 (دوره بازگشت ۴۷۵ سال)								
I	گروه لرزه‌ای	Fv	Fa	S0	S1	SS	نوع خاک	ناحیه
1.5	III	1.8	1	0.75	0.2901	1.921	D	یوتلتی
1.5	III	1.6	1	0.68	0.2373	1.795	C	پروسس



نمودار ۲: طیف ویژه ساختگاه با دوره بازگشت ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال و طیف طراحی بر اساس آیین نامه UBC-97, API650, IBC, ASCE 07

038 و در سطح حداکثر زلزله منظور شده برای بخش یوتلتی



نمودار ۳: طیف ویژه ساختگاه با دوره بازگشت ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال و طیف طراحی بر اساس آیین‌نامه ASCE 07 UBC-97, API650, IBC, 038 و در سطح حداکثر زلزله منظور شده برای بخش پروسیس

بحث و تحلیل

یکنواخت، برابر مقدار مرتبط نگاشته شده در محل سازه بدون عدم قطعیت تعیین شده که احتمال فروریزش و خرابی آن در ۵۰ سال نیز یکنواخت است. اما از آنجاکه در ظرفیت فروریزش یک سازه عدم قطعیت وجود دارد، این امر صحیح نیست و در این صورت، تغییر از محلی به محل دیگر در شکل منحنی خطر لرزه‌ای منجر به غیریکنواختی احتمال فروریزش می‌شود.

بنابراین؛ حداکثر زلزله در نظر گرفته شده ریسک محور حرکات لرزه‌ای زمین^۱ در استاندارد انجمن مهندسان عمران آمریکا، ویرایش سال ۲۰۱۰ نسبت به ویرایش سال ۲۰۰۵، شامل سه تغییر فنی به صورت ۱- استفاده از حرکات ریسک محور زمین، ۲- استفاده از حداکثر راستای حرکت زمین و ۳- استفاده از ۸۴٪ حرکات تعیینی زمین در حوزه نزدیک است.

در مقایسه استاندارد انجمن مهندسان عمران آمریکا (ASCE7-05) و UBC تخمین احتمال فروریزش در ۵۰ سال، در سازه‌ای که برای زمین‌لرزه‌هایی با احتمال فراگذشت ۲٪ در ۵۰ سال طراحی شده با اعمال ضریب ۲/۳ در آن، به لحاظ جغرافیایی یکنواخت‌تر است تا سازه‌ای که برای زمین‌لرزه‌هایی با احتمال فراگذشت ۱۰٪ در ۵۰ سال طراحی شده و ضریبی به آن اعمال نمی‌گردد.

نشریه 038 برای طراحی همه سازه‌ها و تأسیسات صنعت نفت

در مطالعه حاضر، با مقایسه نتایج تحلیل خطر لرزه‌ای ویژه ساختگاه برای احتمال فراگذشت ۲ و ۱۰ درصد در ۵۰ سال عمر مفید سازه و مقایسه بر اساس استانداردهای مختلف (ASCE 07 UBC-97, 038 و API650)، به بررسی وضعیت لرزه‌خیزی در سایت ۲ پارس جنوبی الفین ۱۴ (استان بوشهر)، با استفاده از رهیافت احتمالی و با انتخاب گستره طرحی به شعاع ۱۵۰ کیلومتر از ساختگاه، با مختصات جغرافیایی مشخص پرداخته شده است.

در مقایسه با نقشه‌های طراحی لرزه‌ای در ویرایش‌های قدیمی‌تر، مقررات UBC، ASCE 07، API650 و استانداردهای ایالات متحده که مقادیر زمین‌لرزه‌ای تا حدودی مبتنی بر احتمال فراگذشت ۱۰٪ در ۵۰ سال بوده‌اند، اخیراً بخش احتمالاتی حداکثر زلزله منظور شده (MCE) نقشه‌های زمین‌لرزه‌ای، مقررات انجمن مهندسان عمران آمریکا (ASCE7-05) و تمام ویرایش‌های آیین‌نامه بین‌المللی ساختمان (IBC) برابر احتمال فراگذشت ۲٪ در ۵۰ سال هستند. این افزایش در مقادیر حرکت زمین، ناشی از تغییر در هدف عملکردی از ایمنی جانی به ممانعت از فروریزش است که منجر به معرفی ضریب ۲/۳ شده و در حداکثر زلزله منظور شده حرکت زمین اعمال گشته است.

این بخش‌های احتمالاتی با این فرض که ظرفیت در برابر فروریزش سازه‌های طراحی شده برای زمین‌لرزه‌هایی با خطر

1. MCE_R

بهره گرفته شد تا نخست به محاسبه تخمین احتمالات فروریزش برای سازه‌های طراحی شده با استفاده از حرکات احتمالاتی زمین MCE در مقررات NEHRP سال ۲۰۰۳ پرداخته و سپس این اصلاحات را با محاسبه بازگشتی به این زمین‌لرزه‌ها اعمال نموده تا منجر به احتمال فروریزش یکنواخت گردد.

در ASCE7-10 برای تعیین پارامترهای لازم جهت تعیین طیف طراحی (S1 و Ss) با عملی ساختن چندین تکرار مربوط به بهینه‌سازی، تابع برازش شده برای یافتن شتاب طیفی ریسک محور مربوط به خطر لرزه‌ای با احتمال فراگذشت ۲٪ در ۵۰ سال، با به‌کارگیری روش‌های معکوس‌سازی و الگوریتم برازش بهینه‌سازی غیرخطی، مقادیر پارامترهای مجهول طیف شتاب طراحی یعنی Ss و S1 محاسبه نموده است.

مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار در برآورد خطر لرزه‌ای در استاندارد ASCE7-10 با توجه به اینکه مفهوم آن به‌طور کامل مورد تغییر قرار گرفته، مربوط به ضرایب ریسک است که به تغییرات منحنی‌های خطر حرکت زمین، حساسیت کمتری نشان میدهند چرا که این ضرایب به شکل منحنی بستگی دارند (نه دامنه منحنی‌های خطر).

در نمودارهای شماره ۲ و ۳، طیف‌های ویژه ساختگاه برای دوره بازگشت ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال در مقایسه با طیف آیین‌نامه‌های 038- ASCE7-97UBC-IBC- API650 با فرض خاک نوع او II، نشان داده شده است.

همان‌طور که دیده می‌شود، طیف پاسخ ویژه ساختگاه برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال مقدار بزرگی را به دست آورده است. بنابراین طیف آیین‌نامه 038 و API650 و IBC و ASCE7-05 & 10 پایین‌تر از طیف پاسخ ویژه ساختگاه و طیف پاسخ آیین‌نامه ۰۳۸ و IBC و ASCE7-10 به دلیل مفهوم جدید ریسک محوری (در نظر گرفتن احتمال فروریزش یکسان برای مناطق مختلف جغرافیایی) با استفاده از انتگرال ریسک، پایین‌تر از طیف استاندارد ASCE7-05 و 97UBC است.

از این‌رو، در زمانه‌ای تناوب متوسط و بلند، طیف‌های ویژه ساختگاه با احتمال ۲٪ به‌دست آمده و طیف استاندارد ASCE7-10، به نحو محسوسی از یکدیگر فاصله گرفته و مقادیر دامنه طیفی این طیف‌ها، اختلاف قابل توجهی با هم پیدا می‌کنند. بنابراین علت این

از سطح خطر دوم (طیف با احتمال فراگذشت ۱۰٪ در ۵۰ سال) بهره می‌گیرد. همچنین در بخشی دیگر بیان داشته، در مواردی که انجام مطالعه‌ی ویژه ساختگاهی الزامی نیست، می‌توان از طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ برای زلزله‌ی طرح استفاده نمود. این در حالی است که استاندارد API650 و ASCE7-10 به ترتیب از مقادیر طیف با احتمال فراگذشت ۲٪ در ۵۰ سال و احتمال فروریزش ۱٪ در ۵۰ سال بهره گرفته‌اند.

اگرچه استاندارد UBC از سال ۱۹۹۷ میلادی با آیین‌نامه بین‌المللی ساختمان جایگزین شد و این استاندارد در آخرین ویرایش خود برای تعیین شاخص‌های حرکتی جنبش زمین از استاندارد ASCE 07 بهره می‌گیرد، بنابراین استفاده از استاندارد UBC برای برآورد جنبش زمین توصیه نمی‌گردد.

اگرچه استاندارد API650 برای تعیین جنبش زمین در آمریکا از طیف طراحی با احتمال ۲٪ در ۵۰ سال بهره می‌گیرد و در مناطق خارج از آمریکا، طیف ۱۰٪ در ۵۰ سال را معرفی می‌نماید، اما توصیه می‌گردد برای این مناطق نیز از طیف ۲٪ در ۵۰ سال استفاده شود.

تفاوت تحلیل ریسک احتمالاتی که به‌عنوان روشی برای تصمیم‌گیری کلی در زمینه ایمنی لرزه‌ای و نشان دادن رویدادهای محتمل و گزینه‌های تصمیم‌گیری پیش‌رو برای تصمیم‌گیرندگان که برای پیش‌بینی میزان خسارات وارد بر سازه، در اثر رویداد زمین‌لرزه در یک ناحیه خاص تعریف می‌شود و هدف آن محاسبه احتمال اثرات ناگوار اقتصادی و اجتماعی زمین‌لرزه محتمل در یک منطقه خاص است، با تحلیل خطر لرزه‌ای ریسک محور و با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در ساخت و عوامل مؤثر بر فروریزش سازه، شاخص‌های حرکتی زمین مرتبط با برآورد زمین‌لرزه جهت جلوگیری از فروریزش تعیین می‌شود.

زمین‌لرزه‌های احتمالاتی با خطر یکنواخت در نقشه‌های طراحی ASCE7-05، تنها منجر به احتمال فروریزش یکنواخت با این فرض می‌شوند که هیچ‌گونه عدم قطعیتی در ظرفیت فروریزش یک سازه وجود نداشته باشد (زمین‌لرزه‌ای که می‌شود بدون فروریزش تحمل گردد)، اما با علم بر اینکه در حقیقت عدم قطعیتی در ظرفیت فروریزش وجود دارد، در ASCE7-10 از اصطلاح انتگرال ریسک



استانداردها از برتری نسبی برخوردار است.

- با توجه به اینکه در اغلب نقاط دنیا آیین‌نامه‌های مختلف در برآورد زلزله به آیین‌نامه انجمن مهندسان عمران آمریکا اعتماد نموده و از روش یا مفهوم جدید معرفی شده توسط این استاندارد بهره می‌گیرند، پیشنهاد می‌شود روش برآورد خطر زلزله در ایران نیز هم‌سو با این استاندارد اصلاح شود.
- طیف استانداردها و نشریه‌های کشور ایران (از جمله استاندارد ۲۸۰۰) نیازمند اصلاح و مطالعه است. لذا تا قبل از به‌روز شدن طیف طراحی این آیین‌نامه‌ها، با استفاده از روش‌های موجود استانداردهای معتبر از جمله ASCE7 که در آنها تعیین و برآورد زلزله به‌خوبی انجام شده است، باید نسبت به اصلاح طیف در این آیین‌نامه‌ها اقدام شود. بنابراین طیف‌های طراحی باید حاوی موارد زیر باشد:

✓ همانند نقشه‌های ASCE7-10 برای مناطق مختلف ایران نیز شتاب طیفی در هر منطقه به‌صورت خطوط هم‌شدت زلزله ارائه شود.

✓ برای مناطق با اهمیت زیاد و خیلی زیاد، با توجه به وجود خطر زلزله و وقوع خسارت‌های جبران‌ناپذیر، حتماً از طیف طراحی به روش ریسک محور بر طبق ASCE7-10 استفاده شود.

تقدیر و تشکر

پژوهش حال حاضر حاصل یک طرح تحقیقاتی است که با حمایت شرکت مهندسين مشاور طرح آفرینان هزاره امید (طاها) و دلگرمی‌های آقایان، جناب مهندس کاظم نوجوان مدیرعامل و جناب دکتر امیر برزگری مدیر بخش لرزه‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساخت شرکت مهندسين مشاور طرح آفرینان هزاره امید (طاها) به سرانجام رسیده. لذا از صمیم قلب از حمایت‌های شرکت و این عزیزان کمال تشکر را به عمل می‌آوریم.

قضیه را باید در ماهیت طیف ویژه ساختگاه برآورد شده و عدم توانایی آن در ایجاد یک سطح خطر یکنواخت فروریزش، به علت در نظر نگرفتن عدم قطعیت‌های موجود در طراحی که می‌تواند از شکل منحنی خطر تأثیرگذار باشد، در تمام زمانه‌ای تناوب جستجو کرد.

استان بوشهر از نظر اقتصادی، صنعتی، تجاری و سایر جنبه‌ها از جمله، قرار داشتن نیروگاه هسته‌ای و بخش عظیمی از مهم‌ترین تأسیسات زیربنایی کشور، نقش بسیار مهمی در اقتصاد کشور ایران ایفا می‌کند. لذا از کار افتادن هر کدام از این سازه‌های حیاتی در اثر زلزله، می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری بر پیکره اقتصاد و صنعت کشور وارد نماید. از طرف دیگر آیین‌نامه ۲۸۰۰، مؤید سطح نسبی خطر لرزه‌ای بالا در استان بوشهر است در حالی که، شاخص‌های حرکتی جنبش زمین برای این مناطق بر اساس تحلیل خطر لرزه‌ای با احتمال فراگذشت ۱۰٪ در ۵۰ سال عمر مفید سازه تعیین شده است. این در حالی است که در استانداردهای API650 و ASCE7-10 آیین‌نامه بین‌المللی ساختمان، سطح خطر بالاتری را جهت تعیین شاخص‌های حرکتی جنبش زمین برای این مناطق حساس توصیه نموده‌اند.

نتیجه‌گیری

نتایج کلی به‌صورت ذیل قابل بیان است:

- استاندارد انجمن مهندسان عمران آمریکا از جمله پیشروترین و مناسب‌ترین استانداردها در سطح بین‌الملل است (به دلیل مطرح ساختن مفهوم جدید ریسک محوری) که در اغلب موارد سایر استانداردها به آن استناد نموده و به ترجمه مفاد این استاندارد یا ارجاع به آن پرداخته‌اند.
- برآورد زلزله در ASCE7-05 & 10, IBC, API650 دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال است، اما در ASCE7-10 چون برآورد زلزله بر اساس مفهوم ریسک محوری است، منجر به طراحی سازه‌های با خطر یکسان فروریزش می‌شود. طیف طرح این استاندارد تحت تأثیر انتگرال ریسک (ادغام منحنی خطر با منحنی شکنندگی)، متفاوت از طیف با احتمال فراگذشت ۲٪ در ۵۰ سال است. بنابراین استاندارد ASCE7 به دلیل استفاده از مفهوم جدید در ارتباط با برآورد زلزله نسبت به سایر



منابع

- ASCE Standard ASCE/SEI 7-5. (2005). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE Standard 7-05, Including Supplement No. 1). American Society of Civil Engineers, Reston, VA. <https://doi.org/10.1061/9780784408094> <https://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780784408094>
- ASCE Standard ASCE/SEI 7-10. (2010). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Published by American Society of Civil Engineers, Alexander Bell Drive, Reston, Virginia. <https://doi.org/10.1061/9780784412916> <https://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780784412916>
- Bolt, B. A. (2003). Earthquakes. Fifth Edition, W. H. Freeman and Co., New York, 320 p. <https://www.deepdyve.com/lp/springer-journals/bruce-a-bolt-earthquakes-5th-edition-w-h-freeman-new-york-2003-isbn-0-djVv2grJUZ>
- Bozorgnia, Y., Bertero, V. V. (2004). EARTHQUAKE ENGINEERING: From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering. CRC PRESS, 976 p. <https://www.crcpress.com/Earthquake-Engineering-From-Engineering-Seismology-to-Performance-Based/Bozorgnia-Bertero/p/book/9780849314391>
- FEMA 356. (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Report No. FEMA 356, prepared by Applied Technology Council, prepared for Federal Emergency Management Agency, Washington, DC. <https://www.nehrp.gov/pdf/fema356.pdf>
- Gardner, J. K., Knopo, L. (1974). Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?. Bull. Seis. Soc. Am., 64(5), 1363-1367. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.467.2509&rep=rep1&type=pdf>
- Grünthal, G. (Ed.). (1998). European Macroseismic Scale 1998 EMS-98, (Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie; 15). Luxembourg: Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 101 p. http://www.franceseisme.fr/EMS98_Original_english.pdf
- Gullu, H. and Ilyan, R. (2016). A seismic hazard study through the comparison of ground motion prediction equations using the weighing factor of logic tree. J. Earthq. Eng., 20, 861-884. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13632469.2015.1104752?journalCode=ueq20>
- Gupta, I. D. (2002). The state of the art in seismic hazard analysis. ISET Journal of Earthquake Technology, 39(4), pp. 311- 346. <http://home.iitk.ac.in/~vinaykg/iset428.pdf>
- Gutenberg, B., Richter, C. F. (1944). Frequency of earthquakes in California. Bulletin of the Seismological Society of America, 34 (4), pp. 185-188. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/34/4/185/101140/Frequency-of-earthquakes-in-California?redirectedFrom=fulltext>
- Gutenberg, B., Richter, C. F. (1954). Seismicity of the Earth and associated phenomena. second ed., Princeton Press, pages 310. <https://catalogue.nla.gov.au/Record/2276307>
- Gutenberg, B., Richter, C. F. (1956). Magnitude and energy of earthquakes. Annals of Geophysics, 9 (1), pp. 1-15. <https://>
- افتخارنژاد، ج. (۱۳۵۹). تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی. نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، صفحه ۲۸-۱۹. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=38314>
- آقائباتی، ع. (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۵۸۷ صفحه. http://opac.nlai.ir/opac-prod/search/briefListSearch.do?command=FULL_VIEW&id=720297&pageStatus=1&sortKeyValue1=sortkey_title&sortKeyValue2=sortkey_author
- آمرسیز، ن. ن.، ملویل، ج. پ. (۱۳۷۰). تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران. ترجمه ابوالحسن رده، انتشارات آگاه، تهران، ۶۷۴ صفحه. http://opac.nlai.ir/opac-prod/search/briefListSearch.do?command=FULL_VIEW&id=545942&pageStatus=1&sortKeyValue1=sortkey_title&sortKeyValue2=sortkey_author
- درویش زاده، ع. (۱۳۷۰). زمین‌شناسی ایران. تهران، امیرکبیر، ندا، ۹۰۱ صفحه. http://opac.nlai.ir/opac-prod/search/briefListSearch.do?command=FULL_VIEW&id=499590&pageStatus=1&sortKeyValue1=sortkey_title&sortKeyValue2=sortkey_author
- زارع، م. (۱۳۸۸). مبانی تحلیل خطر زمین‌لرزه. تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۵۲ ص. http://opac.nlai.ir/opac-prod/search/briefListSearch.do?command=FULL_VIEW&id=1934151&pageStatus=1&sortKeyValue1=sortkey_title&sortKeyValue2=sortkey_author
- معاونت مهندسی، پژوهش و فناوری وزارت نفت. (۱۳۹۵). آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت (نشریه شماره ۰۳۸) - ویرایش سوم، ۲۶۷ صفحه. http://opac.nlai.ir/opac-prod/search/briefListSearch.do?command=FULL_VIEW&id=4425303&pageStatus=1&sortKeyValue1=sortkey_title&sortKeyValue2=sortkey_author
- Ashadi, A. L., Harmoko, U., Yuliyanto, G. and Kaka, S. I. (2015). Probabilistic Seismic-Hazard Analysis for Central Java Province, Indonesia. Bulletin of the Seismological Society of America, 105(3), 1711-1720. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/105/3/1711/332294/Probabilistic-Seismic-Hazard-Analysis-for-Central?redirectedFrom=fulltext>
- Ambraseys N. N., Jackson J. A. (1998). Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. Geophysical Journal International, 133(2), 390-406. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.1998.00508.x> <https://academic.oup.com/gji/article/133/2/390/578275>
- API Standard 650. twelfth edition. (2013). Welded Tanks for Oil Storage. Published by American Petroleum Institute. <http://www.kianaco.net/download/ebook/API%20650%20-%20Welded%20Steel%20Tanks%20for%20Oil%20Storage.PDF>
- Applied Technology Council (ATC3-06). (1978). Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings. ATC Publication. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nbsir80-2111-11.pdf>



- Current Seismic Design Maps for the Conterminous United States. in Proceedings of the SEAO 76th Annual Convention. Structural Engineers Association of California, Sacramento, California. <https://pdfs.semanticscholar.org/66e3/dff597f2b652177b6b33706170e1d432d1ad.pdf>
- Mirzaei, N., Gao, M., Chen, Y. T., (1998). Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: Major seismotectonic provinces. *J. Earthquake Prediction Research*, 7, 465–495. https://www.researchgate.net/publication/290796328_Seismic_source_regionalization_for_seismic_zoning_of_Iran_Major_seismotectonic_provinces
- Mohajer-Ashjai, A., Nowroozi, A. A. (1979). The Tabas earthquake of September 16, 1978 in East-Central Iran, a preliminary field report. *Geophysical Research Letters*, 6(9), 689-692. doi: 10.1029/GL006i009p00689. issn: 0094-8276. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/GL006i009p00689>
- Nowroozi, A. A. (1985). Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquakes in Iran. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75 (5), pp. 1327-1338. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/75/5/1327/102181>
- Ramezani Besheli, P., ZARE, M., Ramazani Umali R. and Nakhaezadeh, G. (2015). Zoning Iran based on earthquake precursor importance and introducing a main zone using a data-mining process. *Natural Hazards*, 78 (2), pp. 821–835. 10.1007/s11069-015-1745-3. <https://ideas.repec.org/a/spr/nathaz/v78y2015i2p821-835.html>
- Scordilis, E. M. (2006). Empirical Global Relations Converting MS and mb to Moment Magnitude. *Journal of Seismology*, Volume 10, Issue 2, pp 225–236. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10950-006-9012-4>
- Shinozuka, M., Feng, M. Q., Lee, J. and Naganuma, T. (2000). Statistical Analysis of Fragility Curves. *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 126(12), pp. 1224–1231. <https://pdfs.semanticscholar.org/6e42/e06e4ff11f87692a1877d55548945d5f8ea9.pdf>
- Shoja-Taheri, J., Naserieh, S., Ghofrani, H. (2007). ML and MW Scales in the Iranian Plateau Based on the Strong-Motion Records. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 97, No. 2, pp. 661–669, doi: 10.1785/0120060132. https://www.researchgate.net/publication/228616513_ML_and_MW_Scales_in_the_Iranian_Plateau_Based_on_the_Strong-Motion_Records
- Shroder, J. F., Wyss, M. (2014). *Earthquake Hazard, Risk and Disasters*. 1st Edition, Academic Press, 606 p. <https://www.elsevier.com/books/earthquake-hazard-risk-and-disasters/shroder/978-0-12-394848-9>
- Slemmons, D. B. (1977). *Faults and earthquake magnitude*. U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Misc. Paper S-73-1, Report 6, 129 p. <https://searchworks.stanford.edu/view/1649787>
- Trianni, S. C. T., Lai, C. G. and Pasqualini, E. (2014). Probabilistic www.annalsofgeophysics.eu/index.php/annals/article/view/4588
- Hamzehloo, H., Alikhanzadeh, A., Rahmani, M., Ansari, A. (2012). Seismic hazard maps of Iran. Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal. https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_3018.pdf
- ICC, International Code Council, Inc. (2018). *International Building Code*. (USA), pages 757. <https://codebookdownload.com/2018-ibc-international-building-code-download/>
- International Code Council, Inc. (ICC), (2000). *International Building Code*, Building Officials and Code Administrators International, Inc., International Conference of Building Officials, and Southern Building Code Congress International, Inc., Birmingham, AL. <https://archive.org/details/gov.law.icc.ibc.2000/page/n9/mode/2up>
- Jalayer, F. (2003). *Direct Probabilistic Seismic Analysis: implementing non-linear dynamic assessments*. Ph.D. thesis, Stanford University. https://www.researchgate.net/publication/234174752_Direct_Probabilistic_Seismic_Analysis_Implementing_Non-Linear_Dynamic_Assessments
- Kijko, A. and Sellevoll, M. A. (1989). Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files. Part I. Utilization of Extreme and Complete Catalogues with Different Threshold Magnitudes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 79, pp. 645-654. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/79/3/645/119227>
- Kijko, A., and Sellevoll, M. A. (1992). Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files. Part II. Incorporation of Magnitude Heterogeneity, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 82, p.p120–134. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/82/1/120/119509/Estimation-of-earthquake-hazard-parameters-from?redirectedFrom=fulltext>
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, Upper Saddle River, N. J. 653. <https://www.biblio.com/geotechnical-earthquake-by-kramer-steven-/work/1321216>
- Khan, Z., El-Emam, M., Irfan, M., Abdalla, J. (2013). Probabilistic seismic hazard analysis and spectral accelerations for United Arab Emirates. *Natural hazards*, 67(2), 569-589. DOI 10.1007/s11069-013-0586-1 https://www.researchgate.net/publication/257633155_Probabilistic_seismic_hazard_analysis_and_spectral_accelerations_for_United_Arab_Emirates
- Lantada, N., Pujades, L., Barbat, A. (2009). Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation. A comparison, *Net Hazards*, 51, 501- 524. https://www.researchgate.net/publication/225800075_Vulnerability_index_and_capacity_spectrum_based_methods_for_urban_seismic_risk_evaluation_A_comparison
- Luco, N., Ellingwood, B. R., Hamburger, R. O., Hooper, J. D., Kimball, J. K., Kircher, C. A. (2007). Risk-Targeted versus



- seismic hazard analysis at a strategic site in the Bay of Bengal. *Natural Hazards*, 74(3), pp. 1683-1705. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11069-014-1268-3>
- Uniform Building Code (UBC-97). (1997). *Structural Engineering Design Provisions*, International Conference of Building Officials, Whittier, 492 p. https://www.najah.edu/media/cms_page_media/482/UBC_Volume2.pdf
- Wells, L. D., Coppersmith, K. J. (1994). New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84 (4), pp. 974-1002. <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/84/4/974/119792/New-empirical-relationships-among-magnitude?redirectedFrom=fulltext>
- Wiemer, S., Giardini, D., Fäh, D., Deichmann, N. and Sellami, S. (2009). Probabilistic seismic hazard assessment of Switzerland: best estimates and uncertainties. *Journal of Seismology*, 13(4), 449-478. DOI 10.1007/s10950-008-9138-7. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10950-008-9138-7>
- Zare, M., Amini, H., Yazdi, P., Sesetyan, K., Demircioglu, M. B., Kalafat, D., Erdik, M., Giardini, D., Khan, M. A., Tseriteli, N. (2014). Recent developments of the Middle East catalog. *Journal of Seismology*, Vol. 18, pages749–772. DOI 10.1007/s10950-014-9444-1. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10950-014-9444-1>