

M. Sharifi *

Assistant Professor,
Department of Civil
Engineering, Faculty of
Engineering, University of
Qom.

e-mail: m.sharifi@qom.ac.ir

A. Moezi

Lecturer, Department of
Civil Engineering, Faculty of
Engineering, University of
Qom.

e-mail: moezi@qom.ac.ir

N. Sobati

MSc Student, Department of
Civil Engineering, Faculty of
Engineering, University of
Qom.

e-mail: sobati.nasim@yahoo.com

The Seismic Fragility Curve of Atmospheric Steel Storage Tanks on a Pile

Fluid storage tanks, especially above ground tanks, are categorized as important and essential in energy infrastructure. These storages, which are mostly used to store petroleum fluids and fire water supplies, are therefore of great importance to the exploitation of tanks after the earthquakes. Fragility or vulnerability curve is one of the most effective tools for estimating the damage caused by the earthquake. Preparing the seismic fragility curve of above ground tanks on a pile is the aim of this research. This fragility curve is achieved regardless of tank body damage and only by focusing on the structural behavior of the foundation. These tank types are primarily built on low load bearing areas. In this study, three tank types that have been designed in accordance with API650-13 have been investigated in a practical project. For this purpose, using the static nonlinear analysis method, the structural capacitance curve of tanks was first obtained. Then, the seismic performance of these tanks was obtained for 12 spectra from different records with different accelerations. After calculating the damage indexes on the structure, the appropriate statistical distribution for the failure criteria was chosen. Finally, the calculation of the probability of failure for the fracture curve of the required tanks was obtained.

Keywords: Atmospheric Steel Storage Tank, Fragility Curve, Pile, Damage.

* Corresponding author

Received 28 June 2019, Revised 23 August 2019, Accepted 13 October 2019.

DOI: 10.22091/cer.2019.3804.1136

منحنی شکنندگی مخازن ذخیره‌سازی فولادی اتمسفریک

متکی بر شمع

مخازن ذخیره سیال به‌ویژه مخازن روزمینی، از جمله سازه‌های مهم و حیاتی در زیرساخت‌های انرژی به‌شمار می‌آیند. این مخازن بیشتر برای ذخیره فرآورده‌های سیالات نفتی و ذخیره آب آتش‌نشانی استفاده می‌شود و لذا بهره‌برداری از مخازن پس از وقوع زمین‌لرزه دارای اهمیت بسزایی است. منحنی شکنندگی یا آسیب‌پذیری یکی از ابزارهای مؤثر جهت تخمین خسارت‌های وارده ناشی از رخداد زلزله است. در این تحقیق، هدف تهیه منحنی شکنندگی لرزه‌ای مخازن روزمینی متکی بر شمع می‌باشد. این منحنی شکنندگی بدون در نظر گرفتن آسیب‌دیدگی‌های بدنه مخزن و تنها با تمرکز بر رفتار سازه‌ای فونداسیون به‌دست‌آمده است. این تیپ مخازن عمدتاً در زمین‌های با ظرفیت باربری پایین ساخته می‌شوند. در این تحقیق، دو تیپ مخزن که مطابق با API650-13 در یک پروژه عملی طراحی شده است، به‌عنوان مطالعه موردی تحت بررسی قرار گرفته است. به همین منظور، نخست با استفاده از روش تحلیل غیرخطی استاتیکی، منحنی ظرفیت سازه‌ای مخازن استخراج شده است. سپس عملکرد لرزه‌ای سازه‌ای این مخازن برای ۱۲ طیف از رکوردهای مختلف در شتاب‌های متفاوت به‌دست‌آمده است. در ادامه با در نظر گرفتن شاخص‌های خرابی سازه و انتخاب توزیع آماری مناسب برای معیارهای خرابی انتخاب شده، احتمال خرابی در سطوح مختلف محاسبه و منحنی شکنندگی سازه‌ای برای مخازن موردنظر به‌دست‌آمد. نتایج به‌دست‌آمده با منحنی شکنندگی مخازن که با در نظر گرفتن آسیب‌دیدگی‌های اجزای مکانیکی تهیه شده است، مقایسه گردیده است. این مقایسه نشان می‌دهد خرابی‌های اجزای مکانیکی زودتر از خرابی‌های سازه‌ای حادث می‌شود و رفتار لرزه‌ای مخازن عمدتاً با این خرابی‌ها کنترل می‌گردد.

واژگان کلیدی: مخازن فولادی اتمسفریک، منحنی شکنندگی، شمع، خرابی.

مه‌دی شریفی*

استادیار، دانشکده فنی
مهندسی، دانشگاه قم.
پست الکترونیک:
m.sharifi@qom.ac.ir

ابوالقاسم معزی

مربی، دانشکده فنی مهندسی،
دانشگاه قم.
پست الکترونیک:
moezi@qom.ac.ir

نسیم ثباتی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه،
دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه
قم.
پست الکترونیک:
sobati.nasim@yahoo.com

۱- مقدمه

فرآورده‌های سیالات نفتی و ذخیره آب آتش‌نشانی استفاده می‌شود، لذا بهره‌برداری از مخازن پس از وقوع زمین‌لرزه دارای اهمیت بسزایی است. پیش‌بینی میزان خرابی‌های مخازن ذخیره از مهمترین مسائل مدیریت بحران زلزله به‌شمار می‌رود. منحنی شکنندگی یا آسیب‌پذیری یکی از ابزارهای مؤثر جهت تخمین خسارت‌های وارده از رخداد زلزله است. این منحنی‌ها براساس سطوح عملکردی احتمال فراگذشت خرابی یا خسارت را بیان می‌کنند و به‌عنوان ابزار اولیه در تحلیل

مخازن ذخیره سیال به‌ویژه مخازن روزمینی، از جمله سازه‌های مهم و حیاتی در زیرساخت‌های انرژی به‌شمار می‌آیند. این مخازن بیشتر برای ذخیره

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۸/۰۴/۰۷، بازنگری ۱۳۹۸/۰۶/۰۱، پذیرش ۱۳۹۸/۰۷/۲۱.
DOI: 10.22091/cer.2019.3804.1136 شناسه دیجیتال

ابتدا مدل سه‌بعدی از سازه که در آن مخزن به همراه فونداسیون مدل‌سازی شده، تهیه گردیده است. با توجه به اثرات قابل‌توجه اندرکنش خاک و سازه، رفتار خاک با استفاده از فنرهای غیرخطی در مدل وارد شده است. جهت اعمال نیروی هیدرودینامیک سیال از نتایج مدل ایده‌آل دو جرمی هازنر [۶] استفاده گردید. در این تحقیق، دو تیپ مخزن که مطابق API650-13 در یک پروژه عملی طراحی شده است، به‌عنوان مطالعه موردی تحت بررسی قرار گرفته است. به‌همین منظور نخست با استفاده از روش تحلیل غیرخطی استاتیکی، منحنی ظرفیت سازه‌ای مخازن به‌دست آمده است. سپس عملکرد لرزهای سازه‌ای این مخازن برای ۱۲ طیف رکورد مختلف در شتاب‌های متفاوت محاسبه شده است. در ادامه، بعد از انتخاب شاخص‌های خرابی بر روی سازه و انتخاب توزیع آماری مناسب برای معیارهای خرابی انتخاب شده، احتمال فراگذشت خرابی در سطوح مختلف و منحنی شکنندگی سازه‌ای برای مخازن مورد نظر به‌دست‌آمده است.

در حالت کلی چارچوب اصلی برای توسعه منحنی‌های شکنندگی به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- تهیه مدل سازه و به‌دست‌آوردن منحنی ظرفیت سازه مورد نظر.
- ۲- انتخاب مجموعه‌ای از رکوردهای زلزله برای تجزیه و تحلیل شکنندگی و به‌دست‌آوردن طیف تقاضا.
- ۳- تعیین پاسخ لرزهای سازه مورد مطالعه در زلزله‌ای انتخاب شده براساس سطوح مختلفی از شدت حرکت زمین.
- ۴- تعیین معیارهای خسارت و تولید منحنی‌های شکنندگی.
- ۵- استفاده از توابع پیوسته لگاریتم نرمال و فرمول‌های منحنی شکنندگی جهت تولید منحنی شکنندگی ساده شده.

ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرند. محققان منحنی‌های شکنندگی را در زمینه‌های مختلف توسعه داده‌اند. به‌طور مثال، کندی^۱ و همکاران، منحنی‌های شکنندگی را برای نیروگاه هسته‌ای رسم کردند [۱]. فقیه ملیک^۲ و همکاران، تأثیر ارتفاع ساختمان در منحنی شکنندگی را در قاب خمشی بتنی ۳، ۵ و ۷ طبقه مورد مطالعه قرار دادند [۲]. گودرزی با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی ارزیابی عملکرد لرزهای یک قاب بتنی با در نظر گرفتن تأثیر تغییرات سختی و میلگرد بر عملکرد لرزهای قاب بتنی را مورد ارزیابی قرار داد [۳]. درخشنده و همکاران، منحنی شکنندگی را برای ارزیابی عملکرد لرزهای مخازن در مناطق لرزه‌خیز بررسی کردند [۴]. پائولوچی^۳ و همکاران، مخازن ذخیره‌سازی سیال صنعتی متکی روی ستون کوتاه RC را مورد مطالعه قرار دادند [۵].

هدف اصلی در این تحقیق، تهیه منحنی شکنندگی لرزهای مخازن روزمینی متکی بر شمع می‌باشد که تاکنون انجام نشده است. این مخازن عمدتاً در زمین‌های با ظرفیت باربری پایین ساخته می‌شوند. منحنی‌های شکنندگی در این پژوهش، بدون در نظر گرفتن آسیب‌دیدگی‌های بدنه مخزن و تنها با تمرکز بر رفتار سازه‌ای به‌دست‌آمده است. جزئیات و مراحل انجام کار در ادامه بیان شده است.

۲- روش انجام کار

۲-۱- مراحل انجام کار

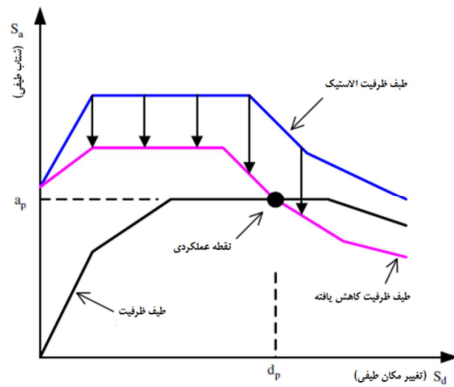
با توجه به هدف اصلی در این تحقیق که تهیه منحنی‌های شکنندگی مخازن ذخیره سیالات روزمینی متکی بر شمع است؛ فرضیات و روش‌های زیر در نظر گرفته شده است.

¹- Kennedy

²- Faghimaleki

³- Paolacci

است. این مخازن، به‌عنوان مخازن آب آتش‌نشانی در پروژه‌های عملی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که با توجه به ظرفیت پایین باربری خاک این مخازن، فونداسیون بر روی شمع قرار داده شده‌اند.



شکل ۱- تحلیل به روش طیف ظرفیت

در جدول ۲، ابعاد مقاطع شمع‌ها مشاهده می‌شود. در این نامگذاری، C نشان‌دهنده ابعاد شمع مربعی، عدد کنار C نشان‌دهنده بعد شمع‌ها، عدد قبل از T نشان‌دهنده تعداد آرماتورها، و عدد بعد از T نشان‌دهنده شماره آرماتورها می‌باشد. همچنین در شکل ۲، نمایی کلی از جزئیات فونداسیون مخزن شماره ۲ نشان داده شده است.

۲-۳- جزئیات مدل‌سازی و نتایج تحلیل

مدل‌سازی به‌صورت سه‌بعدی انجام شده که در آن بدنه مخزن به‌همراه فونداسیون آن مدل‌سازی گردیده است. جهت مدل‌سازی از نرم‌افزار Sap2000-Ver14 استفاده شده است. جزئیات کلی این مدل‌سازی در شکل ۳ مشاهده می‌شود. در این مدل، بدنه مخزن و سرشمع‌ها با استفاده از المان خطی shell مدل‌سازی شده، شمع‌ها با استفاده از المان frame و اندرکنش خاک و سازه با استفاده از فنرهای غیرخطی^۹ مدل شده‌اند. بدنه تانک نقش مؤثری در رفتارهای غیرخطی سازه‌ای ندارند و به همین دلیل با المان صفحه‌ای خطی مدل‌سازی شده‌اند.

^۹- Non Linear link

جزئیات کامل از مراحل فوق در مرجع [۷] ارائه شده است که برای اطلاعات بیشتر می‌توان به آن مراجعه نمود.

۲-۲- روش تحلیل لرزه‌ای

در تولید منحنی‌های شکنندگی، روش‌های مختلفی برای به‌دست آوردن پاسخ‌های لرزه‌ای سازه استفاده شده‌اند که شامل روش انرژی برابر، روش طیف غیرارتجاعی و روش طیف ظرفیت (CSM^۴) می‌باشد [۸-۱۲]. در این مطالعه، منحنی‌های پاسخ سازه‌ها، با استفاده از روش تحلیلی استاتیکی غیرخطی و طیف ظرفیت استفاده شده است. مبانی روش طیف ظرفیت در آیین‌نامه ATC-40 ارائه شده است [۱۲]. در این روش برای ارزیابی لرزه‌ای، با استفاده از روابطی منحنی ظرفیت سازه و منحنی طیف لرزه‌ای، در یک دستگاه مختصات که شامل طیف پاسخ شتاب (S_a^۵) در مقابل جابه‌جایی (S_d^۶) است و به آن فرمت ADRS^۷ گفته می‌شود، مطابق با شکل ۱، تبدیل می‌گردد. سپس طیف ظرفیت با توجه به میرایی ایجاد شده در سازه، با اعمال ضریب اصلاح که تابع میرایی مؤثر در حداکثر پاسخ سازه است، کاهش داده می‌شود. محل تقاطع طیف نیاز کاهش یافته و طیف ظرفیت که بیانگر نقطه عملکرد سازه می‌باشد تعیین می‌گردد.

۳- مدل‌سازی و جزئیات

۳-۱- هندسه و جزئیات مخازن

در این پژوهش، دو مدل مخزن روزمینی فولادی متکی بر شمع بتنی در نظر گرفته شده است. در جدول ۱، مشخصات هندسی و سایر جزئیات آن ارائه گردیده

^۴- Capacity Spectrum Method

^۵- Spectral acceleration

^۶- Spectral displacement

^۷- Acceleration-Displacement Response Spectral

جداره‌های شمع و مقاومت نوک شمع تأمین می‌شود و رفتار آن در ادبیات فنی رایج با سه نوع فتر P-Y, Q-Y و T-Z شبیه‌سازی می‌شوند. مشخصات فنرها براساس ضوابط API-RP2A تعیین شده است (شکل ۴ و ۵).

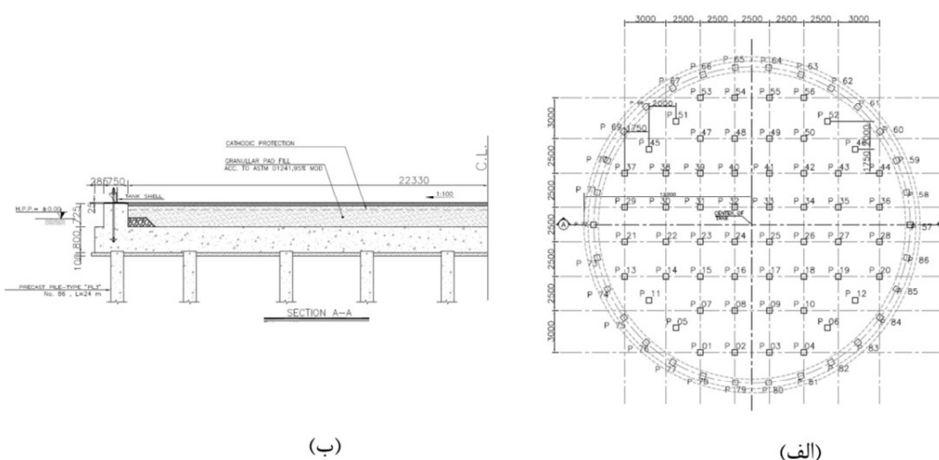
رفتار اصلی سازه توسط شمع‌ها، رفتار پلاستیک آنها و اندرکنش آن با خاک اطراف شمع‌ها تعیین می‌گردد. رفتار بار- تغییر مکان خاک با استفاده از فتر مدل‌سازی شده است. مقاومت محوری و جانبی شمع‌ها براساس ترکیبی از چسبندگی بین خاک و شمع یا انتقال بار در طول

جدول ۱- مشخصات کلی مخازن مورد مطالعه

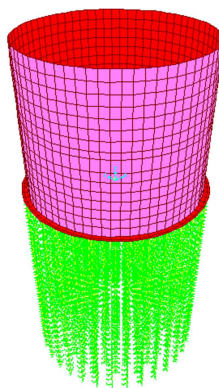
نام مدل	محل ساخت	قطر مخزن	ارتفاع مخزن	تعداد شمع‌ها	نوع شمع‌ها
مخزن ۱	بندر ماهشهر	۴/۵	۱۵	۷	پیش ساخته
مخزن ۲	اهواز	۲۵	۱۴	۸۶	پیش ساخته

جدول ۲- مشخصات شمع‌های مورد استفاده

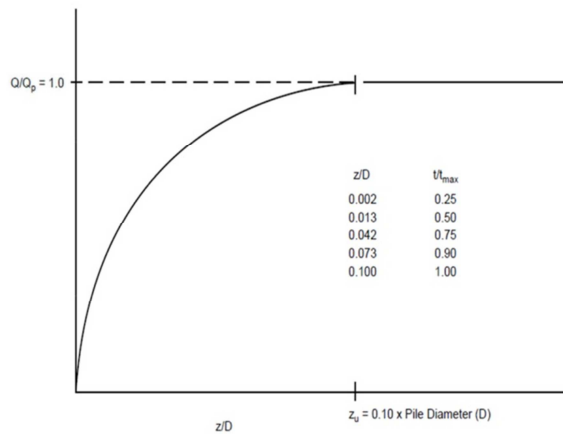
نوع مخازن	مقطع شمع در اعماق (متر)	مقاطع شمع در اعماق مختلف
مخزن ۱	۵	C40*40-8T20+8T25
	۷	C40*40-8T25
	۱۲	C40*40-8T20
مخزن ۲	۵	C40*40-16T25
	۶	C40*40-8T25
	۱۳	C40*40-8T20



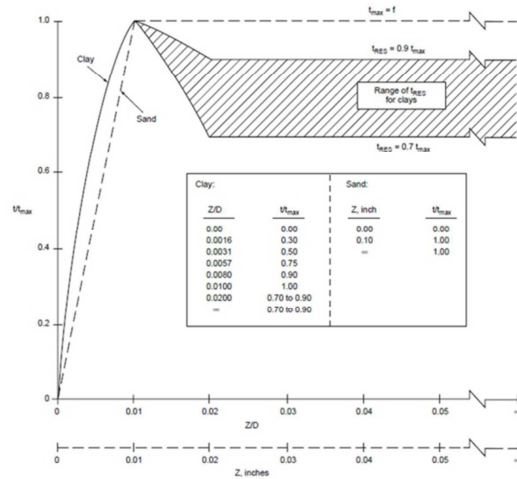
شکل ۲- (الف) پلان و (ب) مقطع شمع‌ها در مخزن ۲



شکل ۳- نمای کلی از مدل‌سازی مخزن ۲ در برنامه تحلیلی

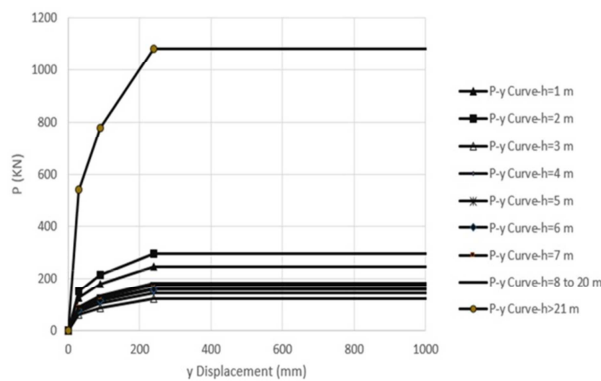


(ب)

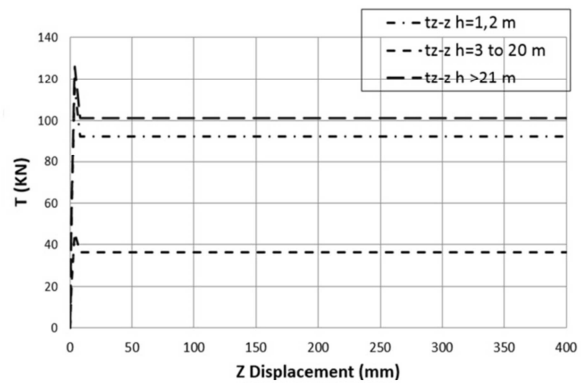


(الف)

شکل ۴- منحنی‌های رفتاری فنرهای خاک پیشنهادی در API-RP2A (الف) منحنی رفتاری T-Z و (ب) منحنی رفتاری P-Y [۱۳]



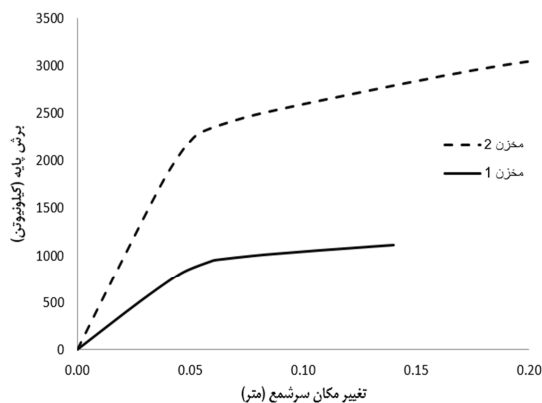
(ب)



(الف)

شکل ۵- نمونه‌ای از منحنی‌های رفتاری اعمال شده در مخزن شماره ۲، (الف) منحنی رفتاری T-Z و (ب) منحنی رفتاری P-Y

جهت برآورد پاسخ سازه در زلزله‌های مختلف، ۱۲ رکورد از سایت PEER استفاده شده است که مشخصات رکوردهای انتخاب شده در جدول ۳ آمده است



شکل ۶- منحنی پوش‌آور مخزن ۱ و ۲

همچنین رفتار غیرخطی سازه‌های شمع‌ها با اعمال مفاصل اندرکنشی نیروی محوری و لنگر خمشی (P-M-M) براساس ضوابط Fema356 در نظر گرفته شده است. در حالت کلی برش ناشی از نیروهای هیدرودینامیک مخزن از طرف میل‌مه‌ارهای بدنه به سرشمع و از طریق سرشمع به شمع‌ها منتقل می‌گردد. با توجه به انعطاف‌پذیری بدنه و به‌منظور برآورد صحیح رفتار سازه‌ای در این تحلیل‌ها، مرکز فونداسیون به‌عنوان تغییرمکان هدف در نظر گرفته شده است. منحنی پوش‌آور به‌دست آمده مخازن در شکل ۶ آورده شده است.

۳-۳- معرفی رکوردهای زلزله

۴- منحنی‌های شکنندگی

انتخاب شده است. برای هر ۱۲ رکورد، طیف زلزله در ۱۰ شدت مختلف بین ۰/۱g تا ۲g مقیاس و محاسبه می‌گردد. همچنین برای هر سطح PGA، نقطه عملکرد سازه با توجه به رکورد و شدت آن محاسبه می‌شود.

۴-۱- روش انجام کار

در این تحقیق، PGA (بیشینه دامنه شتاب نگاشت) به‌عنوان یک پارامتر برای نشان دادن شدت حرکات زمین

جدول ۳- مشخصات رکوردهای زلزله

نام زلزله	بزرگی (Ms)	حداکثر شتاب زلزله (g)	مدت زمان زلزله (ثانیه)
Imperial valley-06	۶/۵۳	۰/۲۰۱۹	۲۸
Hecormine	۷/۱۳	۰/۰۸۷۶	۷۰
Tabas,Iran	۷/۳۵	۰/۱۰۴۸	۴۰
Montenegro,Yagoslavi	۷/۱	۰/۲۵۳	۴۸
Mammath Lakes	۶/۰۶	۰/۴۳۰۲۹	۳۰
Lytte creek	۵/۳۳	۰/۰۲۱۵	۱۳
Whittier Narrows-01	۵/۹	۰/۱۳۳۹	۳۲
Cape Mendocino	۷/۰۱	۰/۲۲۸	۳۶
Chalfant Vally	۶/۱۹	۰/۱۱۴۲	۴۰
Northridge	۶/۶۹	۰/۳۱۶	۴۰
Lome Prieta	۶/۹۳	۰/۵۵۹	۴۰
Fruli,Italy-01	۷	۰/۱۱۵	۱۶

با استفاده از روابط (۲) تا (۵) محاسبه می‌گردد [۱۳] و [۱۴]:

$$\lambda = \ln \mu - \frac{1}{2} \zeta^2 \quad (2)$$

$$\zeta^2 = \ln[1 + \delta^2] \quad (3)$$

$$\delta = \sigma / \mu \quad (4)$$

$$p[S > s | PGA] = \quad (5)$$

$$P[X > x_i | PGA] = 1 - \phi \left[\frac{\ln(x_i) - \lambda}{\zeta} \right]$$

برای استفاده راحت‌تر، منحنی‌های شکنندگی معمولاً به‌عنوان توابع توزیع تجمعی لاگ نرمال بیان شده است [۱۶-۱۸]. به این ترتیب، منحنی‌های شکنندگی را می‌توان با تنها دو پارامتر به شرح زیر نشان داد:

با محاسبه مقادیر نقطه عملکرد برای رکوردهای انتخاب شده در سطوح مختلف PGA، یک ماتریس ۱۲ در ۱۰ پاسخ تولید شده است. برای هر ستون ماتریس با استفاده از توزیع لاگ نرمال با تابع چگالی احتمال (PDF^{۱۱}) به صورت رابطه (۱) استفاده شده است:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta x} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \lambda}{\zeta} \right)^2 \right] \quad 0 \leq x < \infty \quad (1)$$

که در رابطه‌ی فوق، λ و ζ دو پارامتر از توزیع لاگ نرمال از جابه‌جایی متغیر تصادفی x هستند. این دو پارامتر را می‌توان از اطلاعات دو پارامتر توزیع نرمال محاسبه کرد. میانگین (μ) و انحراف استاندارد (σ) نمونه مورد مطالعه

^{۱۱} - Probability Density Function

$$z = \phi^{-1}[F_A(a)] \quad (۸)$$

بنابراین، منحنی‌های شکنندگی به صورت رابطه (۹) بیان می‌شود:

$$F_A(a) = \begin{cases} 0 \rightarrow \text{for } a < a_t \\ \int_0^{a-at} \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta_A(a-a_t)} \times \exp\left[-\frac{1}{2} \times \left(\frac{\ln(a-a_t) - \ln m_A}{\zeta_A}\right)^2\right] \right] da \\ \rightarrow \text{for } a \geq a_t \end{cases} \quad (۹)$$

در جداول ۴ و ۵ پارامترهای مربوط به منحنی‌های شکنندگی، جداول ۶ و ۷ تغییرمکان‌های هدف مخازن تحت اثر زلزله‌های متفاوت و در شکل‌های ۷ و ۸ منحنی‌های شکنندگی حاصله نشان داده شده است.

جدول ۴- پارامترهای توزیع لگاریتم نرمال مخزن ۱

m_A (g)	$\ln(m_A)$	$A\zeta$	سطح خرابی
۰/۳۷۷۹	-۰/۹۷	۱/۱۱	(I)
۱/۰۲۰۲	۰/۰۲	۰/۸۹۹	(II)
۳/۸۵۷۴	۱/۳۵	۰/۷۳۸	(III)
۹/۷۷۶۶	۲/۲۸	۱/۰۹۰	(III)

جدول ۵- پارامترهای توزیع لگاریتم نرمال مخزن ۲

m_A (g)	$\ln(m_A)$	$A\zeta$	سطح خرابی
۰/۴۱۰۶	-۰/۸۹	۰/۷	(I)
۰/۹۶۷۵	-۰/۰۳۳	۰/۷۵	(II)
۴/۰۵۰۳	۱/۴۰	۰/۷۷	(III)
۲۴/۵۲۷	۳/۲۰	۱/۲۰	(III)

می‌باشد. به عبارت دیگر، در یک سطح خطر زلزله، احتمال فراگذشت خرابی‌های بدنه و اجزای مخزن بیشتر از احتمال فراگذشت خرابی اجزای سازه‌ای است. لذا آسیب دیدگی‌های محتمل بدنه و اجزای مکانیکی، کنترل کننده پاسخ لرزه‌ای بوده و پیامدهای خرابی بدنه و اجزای مکانیکی، کنترل کننده ریسک اولیه در مجتمع‌های صنعتی می‌باشند.

$$F_A(a) = \int_0^a \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta_A a} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln a - \ln m_A}{\zeta_A}\right)^2\right] da \quad (۶)$$

در رابطه فوق، که a متغیر تصادفی PGA است، m_A معادل میانگین a و ζ_A انحراف استاندارد لگاریتمی A می‌باشد. معادله (۶) می‌تواند به تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد با آرگومان z مطابق با رابطه (۷) باشد که در آن Z متغیر نرمال استاندارد است و به صورت $z = [\ln(a) - \ln(m_A)] / \zeta_A$ تعریف شده است:

$$F_A(a) = \phi[z] \quad (۷)$$

در منحنی شکنندگی، برای احتمال شکنندگی $F_A(a)$ در سطح PGA از a ، متغیر نرمال مربوطه را می‌توان با استفاده از رابطه (۸) محاسبه کرد:

با توجه به اینکه خرابی در تانک‌ها شامل خرابی در بدنه و اجزای مکانیکی و اجزای سازه‌ای می‌باشد، نتایج به دست آمده با منحنی شکنندگی مخزن ارائه شده توسط سالزانو و همکاران [۱۹] (شکل ۹) که با در نظر گرفتن خرابی‌های بدنه مخزن ارائه شده است، مقایسه گردید. با مقایسه شکل‌های ۸ و ۹ می‌توان گفت انتظار مشاهده آسیب دیدگی‌های اجزای مکانیکی زودتر از خرابی سازه‌ای

جدول ۶- نقاط عملکردی به‌دست آمده در مخزن ۱ (سانتی متر)

PGA (g)											نام زلزله
۲	۱/۸	۱/۶	۱/۴	۱/۲	۱	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۰/۲	۰/۱	
۶/۸۳	۶/۴۸	۶/۱۱۷	۵/۷۶	۵/۳۴۴	۴/۸۵	۴/۱۶	۳/۲۲	۲/۱۹	۱/۱۰	۰/۵۵	Chalfant Vally
۹/۸۸	۹/۵۱	۹/۰۱۸	۸/۳۶	۷/۵۶۱	۶/۵۰	۵/۷۲	۵/۰۴۲	۴/۰۸	۲/۲۲	۱/۱۲	Hecormine
۴/۹۵	۴/۵۱	۴/۰۴	۳/۵۳	۳/۰۳	۲/۵۲	۲/۰۲	۱/۵۱	۱/۰۱	۰/۵۰	۰/۲۵	Imperial valley-06
۱۰/۳۹	۹/۸۳	۹/۲۳۳	۸/۷۳	۸/۱۶۳	۷/۵۳	۶/۸۱	۵/۷۶	۳/۹۵	۱/۹۷	۰/۹۸	Lome Prieta
۱۲/۹	۱۲/۱۹	۱۱/۳۸۹	۱۰/۳۱	۸/۹۷۲	۸/۳۰	۷/۴۱	۶/۲۳	۵/۰۷	۲/۸۵	۱/۴۳	Lytte creek
۳/۵۶	۳/۲۴	۲/۹۱۸	۲/۵۷	۲/۲۱	۱/۸۵	۱/۴۸	۱/۱۱	۰/۷۴	۰/۳۷	۱/۸۶	Cape Mendocino
۱۲/۸۶	۱۲/۰۴	۹/۰۸	۸/۵۹	۸/۰۲۶	۷/۳۶	۶/۵۷	۵/۹۸	۴/۲۴	۲/۲۲	۱/۱۲	Mammath Lakes
۱۲/۰۲	۱۱/۵۴	۱۰/۹۹۳	۱۰/۳۵	۹/۶	۸/۷۳	۷/۶۸	۶/۳۱	۵/۰۸	۳/۱۸	۱/۶۶	Montenegro, Yagoslavi
۱۰/۵۱	۱۰/۲۰	۹/۸۴۳	۹/۴۳	۸/۷۹۱	۷/۹۸	۵/۶۲	۴/۸۷	۳/۴۰	۱/۷۰	۰/۸۵	Northridge
۱۰/۶۶	۱۰/۱۳	۹/۵۶	۸/۹۱	۸/۱۶۵	۷/۴۷	۶/۷۶	۵/۷۱	۴/۵۱	۲/۵۲	۱/۲۷	Tabas, Iran
۷/۹۵	۷/۴۰	۶/۸۷۶	۶/۳۱	۵/۹۵۲	۵/۵۵	۵/۰۵	۴/۲۵	۲/۹۸	۱/۵۲	۰/۷۶	Whittier Narrows-01
۱۲/۵۰	۱۰/۶۹	۸/۹۰۶	۸/۲۱	۷/۲۸	۶/۲۲	۵/۵۰	۴/۷۳۶	۳/۵۶	۱/۸۸	۰/۹۵	Fruili, Italy-01

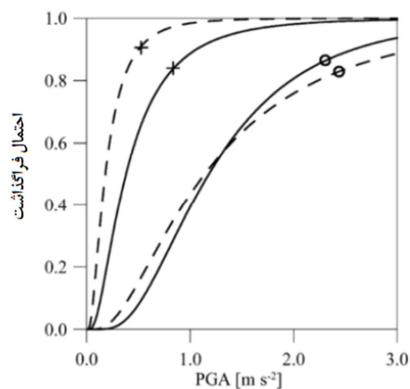
جدول ۷- نقاط عملکردی به‌دست آمده در مخزن ۲ (سانتی متر)

PGA (g)											نام زلزله
۲	۱/۸	۱/۶	۱/۴	۱/۲	۱	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۰/۲	۰/۱	
۱۴/۸۴	۱۳/۹۱	۱۲/۳۵	۱۰/۷۱	۹/۳۲	۷/۹۵	۶/۵۲۵	۴/۹۰۷	۳/۲۲	۱/۶۶	۰/۸۴۵	Chalfant Vally
۱۶/۸۹	۱۵/۸۵	۱۴/۹۶	۱۴/۱۴	۱۳/۱	۱۱/۹۴	۱۰/۳۲	۸/۴۱	۶/۱۴	۳/۱۰	۱/۵۶	Hecormine
۱۶/۷۰	۱۵/۷۰	۱۴/۶	۱۳/۱	۱۱/۳	۹/۶۹	۸/۰۳	۶/۲۹	۴/۲۲	۲/۱۳	۱/۰۸	Imperial valley-06
۱۵/۶۸	۱۴/۸۳	۱۴/۰۱	۱۲/۹۷	۱۱/۵	۹/۶۷۵	۷/۵۸	۵/۸۳	۳/۸۹	۱/۹۷	۱/۰۰	Lome Prieta
۱۲/۷۸	۱۲/۲۶	۱۱/۶۸	۱۱/۱۳	۱۰/۴	۹/۶۸	۸/۵۵۱	۷/۰۴	۴/۷۸	۲/۴۱	۱/۲۲	Lytte creek
۷/۷۷	۷/۳۱	۶/۸۱	۶/۰۳۴	۵/۱۹	۴/۳۳	۳/۴۷۵	۲/۶۱۴	۱/۷۵	۰/۸۹	۰/۴۶	Cape Mendocino
۱۸/۵۵	۱۶/۷۲	۱۵/۰۴	۱۳/۲۲	۱۱/۲	۹/۴۵	۷/۶۹	۵/۸۸	۳/۹۳	۱/۹۸	۱/۰۱	Mammath Lakes
۱۳/۱۰	۱۲/۵۴	۱۱/۹۲	۱۱/۱۴	۱۰/۲	۹/۱۰	۷/۸۰	۶/۱۷	۴/۱۷	۲/۰۹	۱/۰۶	Montenegro, Yagoslavi
۱۸/۰۰	۱۶/۹۹	۱۵/۸۳	۱۴/۱۶	۱۱/۸	۹/۸۲	۸/۰۸	۶/۴۲	۴/۳۰	۲/۱۷	۱/۱۰	Northridge
۲۰/۳۵	۱۵/۳۶	۱۴/۷۵	۱۴/۰۶	۱۳/۲	۱۲/۳	۱۱/۰۵	۸/۷۵	۵/۹۴	۲/۹۹	۱/۵۱	Tabas, Iran
۹/۰۸	۸/۳۸	۷/۶۴	۶/۸۷	۵/۹۴	۴/۹۶	۳/۹۸	۲/۹۹	۲/۰۰	۱/۰۲	۰/۵۳	Whittier Narrows-01
۲۲/۸۷	۲۱/۵۴	۱۸/۲۴	۱۶/۷۰	۱۵/۴	۱۳/۷۵	۱۱/۱۷	۸/۵۶	۵/۸۸	۲/۹۶	۱/۵۰	Fruili, Italy-01

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، منحنی شکنندگی مخازن روزمینی ذخیره‌سازی سیال استخراج شده است. نتایجی که از این تحقیق می‌توان به آن اشاره نمود عبارتند از:

برآورد های خسارت های مجتمع های صنعتی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۹- منحنی شکنندگی اجزای مکانیکی مخزن [۱۸]

۱- مقایسه نتایج حاصله با منحنی های شکنندگی مخازن که با در نظر گرفتن خرابی های بدنه و اجزای مکانیکی به دست آمده اند، نشان می دهد در زلزله انتظار مشاهده آسیب دیدگی های بدنه و اجزای مکانیکی زودتر از خرابی سازه ای بوده و پیامدهای خرابی بدنه و اجزای مکانیکی، کنترل کننده ریسک اولیه در مجتمع های صنعتی می باشند.

۲- منحنی های شکنندگی تولید شده می تواند به عنوان ابزار کمی اولیه در تحلیل ریسک و

مراجع

- [1] Kennedy, R. P., Cornell, C. A., Campbell, R. D., Kaplan, S., & Perla, H. F. (1980). "Probabilistic seismic safety study of an existing nuclear power plant", *Nuclear Engineering and Design*, 59(2), 315-338.
- [2] Faghihmaleki, H., Abdollahzadeh, G., & Jamnani, H. H. (2014). "Effect of Structure Height in Seismic Fragility Curve", *Journal of Applied Mathematics in Engineering, Management and Technology*, 2(6), 498-503.
- [3] Goudarzi. (2013). "Evaluation Of Seismic Performance, Dynamic In-Stability And Preparing IDA And Fragility Curve Of Concrete Regular Moment Frame Considering Beam and Column Strength Variation", Ms.C Thesis.
- [4] Derakhshandeh, H. (2014), "Fragility Curve of Elevated Concrete Storage", *International on Civil Engineer Conferences*, No. ICCE10-0863
- [5] Paolacci, F., Phan, H. N., Corritore, D., Alessandri, S., Bursi, O. S., & Reza, M. S. (2015). "Seismic fragility analysis of steel storage tanks", In *Proceedings of the 5th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, 2054-2065.
- [6] Housner, G. W. (1957). "Dynamic pressures on accelerated fluid containers", *Bulletin of the seismological society of America*, 47(1), 15-35.
- [7] Chiou, J. S., Chiang, C. H., Yang, H. H., & Hsu, S. Y. (2011). "Developing fragility curves for a pile-supported wharf", *Soil dynamics and earthquake engineering*, 31(5-6), 830-840.
- [8] International Navigation Association (PIANC). (2001). *Seismic design guidelines for port structures*. A.A.Balkema Publish.
- [9] Luo, X., Murono, Y., & Nishimura, A. (2002). "Verifying adequacy of the seismic deformation method by using real examples of earthquake damage", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(1), 17-28.
- [10] Fajfar, P. (1999). "Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 28(9), 979-993.
- [11] Chopra, A. K., & Goel, R. K. (2000). "Evaluation of NSP to estimate seismic deformation: SDF systems", *Journal of Structural Engineering*, 126(4), 482-490.
- [12] Council, A. T. (1996). "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings", *Report No. SSC 96-01: ATC-40, 1*.
- [13] API Recommended Practice 2A-WSD. (2002). "Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms—Working Stress Design", *American Petroleum Standard*.
- [14] Haldar, A., & Mahadevan, S. (2000). *Reliability assessment using stochastic finite element analysis*. John Wiley & Sons.
- [15] Hwang, H. H., & Jaw, J. W. (1990). "Probabilistic damage analysis of structures", *Journal of Structural Engineering*, 116(7), 1992-2007.
- [16] HAZUS99, F. E. M. A. (1999). *Earthquake Loss Estimation Methodology: User's Manual*. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- [17] Yeh, C. H. (2003). "Taiwan earthquake estimation system—TELES", *National Center for Research on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan (in Chinese)*.

[18] Cimellaro, G. P., & Reinhorn, A. M. (2010). "Multidimensional performance limit state for hazard fragility functions", *Journal of engineering mechanics*, 137(1), 47-60.

[19] Salzano, E., Iervolino, I., & Fabbrocino, G. (2003). "Seismic risk of atmospheric storage tanks in the framework of quantitative risk analysis", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 16(5), 403-409.