



Research Article

The Effect of Modeling the Piles of Foundation Bridges on the Seismic Fragility Curve for Far and Near Field Earthquakes

Sepehr Salehi^{1*}, Panam Zarfam², Komeil Karimi Maridani³

1*- Student of Master Civil Engineering, Science and Research University , Tehran, Iran

2- Assistant Professor of Master Civil Engineering, Science and Research University, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran,

Received: 27 November 2022; Revised: 31 December 2022; Accepted: 16 January 2023; Published: 21 January 2023

Abstract

Assessment of vulnerability of bridges are important because when earthquake happen, the bridge must be safe for transporting people. For reaching that purpose civil engineering has made experimental and fundamental way to access result to having the best judge and modeling the bridge to have the best seismic response. For reaching damage of bridge, fragility curve is a useful tool and best way for it. Seismic response of bridge from analyzing is way for drawing fragility curve. In this research, fragility curve will present for three concrete span bridge. All part of bridge such as column and abutment have created by correct elements and materials that has shown in here. Different response will show here such as abutment response and deformation of pile and response of seismic for fragility curve. IDA test will use in this research and for reaching that need earthquake record.

Keywords:

Fragility Curve, Limit State, Seismic response, vulnerability Assessment, Bridge

Cite this article as: Salehi, S., Zarfam, P., Karimi Maridani, K., (2023). The Effect of Modeling the Piles of Foundation Bridges on the Seismic Fragility Curve for Far and Near Field Earthquakes. Civil and Project Journal, 4(9), 38-52. <https://doi.org/10.22034/cpj.2023.381102.1178>

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2022 by the author.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

تاثیر مدل سازی شمع های فوندانسیون پل ها در منحنی شکنندگی لرزه ای در ازای زلزله های دور و نزدیک

سپهر صالحی^{۱*}، پنام زرفام^۲، کمیل کریمی مریدانی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲- استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

تاریخ دریافت: ۰۶ آذر ۱۴۰۱؛ تاریخ بازنگری: ۱۰ دی ۱۴۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۲۶ دی ۱۴۰۱؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ بهمن ۱۴۰۱

چکیده

ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای پل ها امری ضروری است. به این منظور لازم است میزان خرابی سازه ی پل ناشی از زلزله تعیین گردد. یک ابزار مناسب جهت تخمین حد خرابی پل، منحنی های شکنندگی بوده که برای تهیه این منحنی ها، پاسخ های لرزه ای حاصل از تحلیل پلها، مورد استفاده قرار می گیرد. در این مطالعه منحنی های شکنندگی لرزه ای برای یک مدل پل سه دهانه بتنی ارایه می شود. حالت های پاسخی گوناگونی از قبیل پاسخ های تکیه گاه کناری و شکل پذیری تغییر مکانی پایه و پاسخ های پایه پل را در تعیین منحنی های شکنندگی در نظر گرفت. به منظور تحلیل دینامیکی غیر خطی پل، نیاز به مجموعه ای از زمین لرزه ها است که خصوصیات آنها منطبق با پژوهش باشد. مدلسازی پل به صورت سه بعدی با استفاده از نرم افزار المان محدود Opensees انجام گرفته است. ارزیابی ان بدینگونه است که تهیه مدل های سه بعدی در نرم افزار اپنسیس جهت تحلیل های دینامیکی غیر خطی پل ها در وضعیت چون ساخت و مقاوم سازی شده، با مشخصات متنوعی از طول دهانه ها، ارتفاع پایه ها، عرض عرشه، تعداد ستون پایه ها، شعاع انحنا عرشه و ... منحنی های شکنندگی تحلیلی بر اساس میزان جزییات و دقت مدل های تحلیلی در نظر گرفته شده از درجه اطمینان متفاوتی برخوردار هستند. مدل های تحلیلی سه بعدی پل ها به همراه اعمال اثرات غیر خطی مصالح با استفاده از تحلیل غیرخطی دینامیکی (بهترین و دقیق ترین روش تحلیل سازه ها) جهت تشکیل منحنی های شکنندگی مورد استفاده قرار گرفته اند.

کلمات کلیدی:

منحنی شکنندگی، آسیب پذیری لرزه ای، حالات حدی، تحلیل اجزا محدود غیرخطی، تکیه گاه کناری

۱- مقدمه

برای ارزیابی لرزه ای احتمالاتی پل ها و تعیین منحنی های شکنندگی آنها نیاز به یک مجموعه اطلاعات جامع از مشخصات پل ها بوده است. ارزیابی آن بدینگونه است که تهیه مدل های سه بعدی در نرم افزار اپنسیس جهت تحلیل های دینامیکی غیر خطی پل ها در وضعیت چون ساخت و مقاوم سازی شده، با مشخصات متنوعی از طول دهانه ها، ارتفاع پایه ها، عرض عرشه، تعداد ستون پایه ها، شعاع انحنا عرشه و ... پیشرفت روش های مدلسازی در کنار فقدان اطلاعات خرابی حاصل از زلزله های گذشته منجر به استفاده از روشهای تحلیلی در تهیه منحنی های شکنندگی شده است. منحنی های شکنندگی تحلیلی بر اساس میزان جزییات و دقت مدل های تحلیلی در نظر گرفته شده از درجه اطمینان متفاوتی برخوردار هستند. مدل های تحلیلی سه بعدی پل ها به همراه اعمال اثرات غیر خطی مصالح با استفاده از تحلیل غیرخطی دینامیکی (بهترین و دقیق ترین روش تحلیل سازه ها) جهت تشکیل منحنی های شکنندگی مورد استفاده قرار گرفته اند.

۲- مطالعه موردی پل

پل مورد بررسی یک پل سه دهانه پیوسته با مقطع جعبه ای و از نوع بتنی با ارتفاع یکسان در پایه ها میباشد. طول کلی پل برابر ۹۱.۹۸ و عرض دهانه ۱۶.۲ است. تعداد ستون ۴ عدد و ارتفاع آن برابر ۸.۲ و مفصل میانی در فاصله ۶۷.۴۵ است. محل اتصال بالای ستون به عرشه و پای ستون به شالوده با استفاده از المان های صلب مدل شده است تا امکان انتقال لنگر و نیرو بیت این اعضا فراهم گردد. در محل اتصال عرشه بر کوله ها از تکیه گاه های که الاستو- پلاستیک و یکبار نیز از تکیه گاهی ساده که رفتار هایپر بولیک دارد مدل شده اند. هر پایه از تعدادی ستون تشکیل شده که این برحسب عرض عرشه محاسبه میگردد. ستونها فاقد سرستون در بالا و در پایین بر روی فونداسیون که فونداسیون نیز بر روی شمع هایی واقع شده و در محل کوله و عرشه و یا پایه و عرشه کلیدهای برشی جهت جلوگیری از حرکت عرضی عرشه قرار میگیرد. در این مدل چون ستون مستقیماً به عرشه متصل میگردد قسمت بالای ستون از نوع گیردار بوده و فونداسیون از نوع مفصلی بوده است.

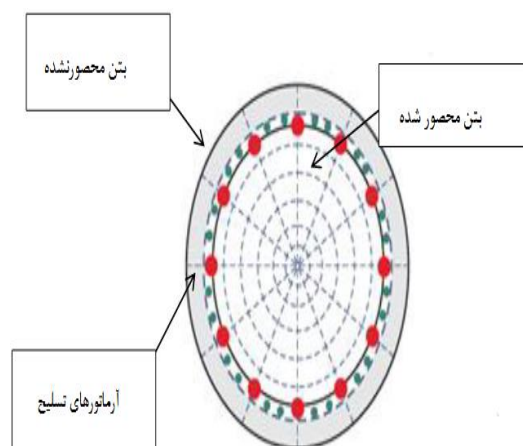
جدول ۱- مشخصات پل مورد مطالعه

ردیف	قسمت	وضعیت
۱	عرض پل	۱۶.۲
۲	تعداد ستون	۴
۳	ارتفاع ستون	۸.۲
۴	محل ستون	در فاصله ۳۰.۶۶ و در فاصله ۶۱.۳۲ است
۵	عرشه	طول عرشه در مدلسازی ۹۱.۹۸ میباشد
۶	مفصل میانی	در فاصله ۶۷.۴۵
۷	دهنه	سه دهنه بتنی

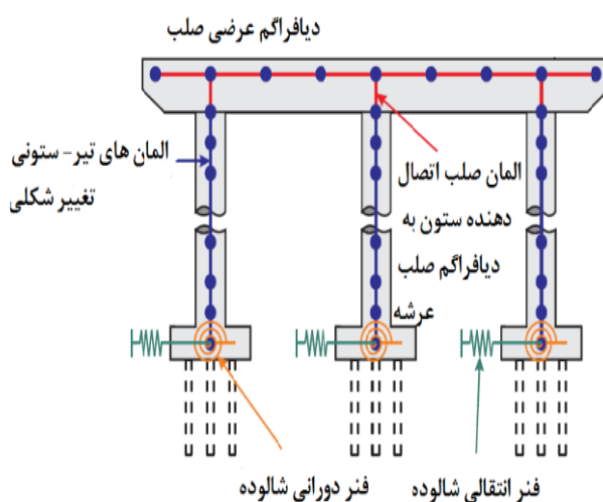
۱-۲- مدل اجزا محدود

پل ها دارای گونه های مختلفی از پایه شامل: پایه دیوار ها، پایه سرچکشی، پایه های قابهای صلب تک ستونه و چند ستونه می باشد، که قابهای تک ستونه و قابهای چند ستونه متداول ترین آنها می باشند. این قابها با استفاده از ترکیب المانهای تغییر شکلی تیر- ستون با جرم متمرکز، معرف المان های طولی عرشه بوده که به المان های صلب در امتداد عرضی عرشه متصل می شوند. المان های تغییر شکلی غیر خطی تیر- ستون با سطح مقطع فایبر به ستونها اختصاص داده شده است. بمنظور اعمال رفتار فوندانسیون های ستون از فنرهای انتقالی و دورانی در پای ستون ها استفاده می شود (شینوزوکا، ۲۰۰۰).

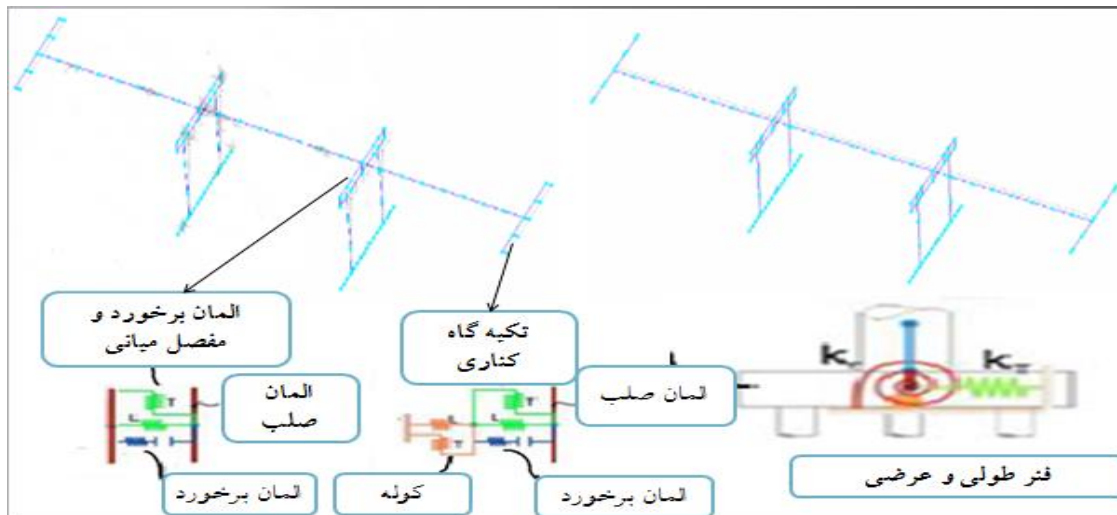
در محل درزهای میانی و همچنین کوله ها (کوله های نشیمن دار مدنظر است)، المان های صفر طولی مربوط به تکیه گاه های الاستومریک و المانهای ضربه بین قابهای مجاور و همچنین بین کوله و عرشه (در نقاط انتهایی عرشه) بصورت موازی به یکدیگر متصل شده و با المانهای صلب عرشه در امتداد عرضی اتصال می یابند. به منظور رسیدن به رفتار معقولی از سیستم کوله، این مجموعه المان ها به فنرهای خاک - شمع بصورت سری بسته می شوند. با توجه به اینکه کلاس پل های جعبه ای رو سازه و قابهای ستونها بصورت یکپارچه طراحی میشوند، برای اتصال قسمت بالایی ستون به المان های عرضی عرشه از یکسری اتصال دهنده های صلب استفاده می شود. شکل های ۱ و ۲ مقاطع و المان های پل را نشان می دهد (کرنل، ۲۰۰۰).



شکل ۱- مقطع بتن آرمه ستون



شکل ۲- مدل گسسته اجزای محدود قاب پل

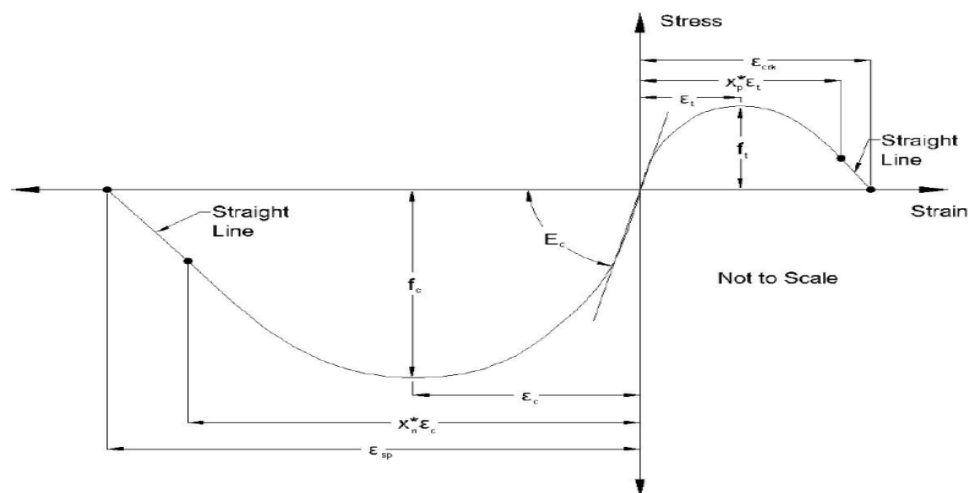


شکل ۳- نمایی کلی از مدل المان محدود پل سه دهانه بتنی

۲-۱-۱- مدل مصالح

یکی از مزیت های مصالح فایبر این است که اجازه اختصاص مصالح متفاوت درمختصات های مختلفی از یک سطح مقطع را نشان می دهند. در پل های بتنی با مقطع عرشه ای جعبه ای به دلیل عدم وجود سر ستون و اتصال صلب عرشه و ستونها محل اتصال ستون به عرشه به صورت یک المان صلب مدلسازی شده است. برای مدل کردن ستون از مقطع فایبر برای اینکه بتوان مقطع بتن ارمه تشکیل داد. در مدلسازی ستون ها نیز اثر پی دلتا نیز لحاظ شده است اعمال شده است. رفتار بتن مسلح با استفاده از مصالح بتن ۰۷ در اپنسیس مدلسازی می شود. منحنی رفتاری این مصالح در شکل ۴ می توان دید (آویرام و صدروالسادات زاده ۲۰۰۷).

محل اتصال بالای ستون به عرشه و پای ستون به شالوده با استفاده از المان های صلب مدل شده است تا امکان انتقال لنگر و نیرو بین این اعضا فراهم گردد. برای ساخت المان صلب از المان از Elastic beam column استفاده شده است.



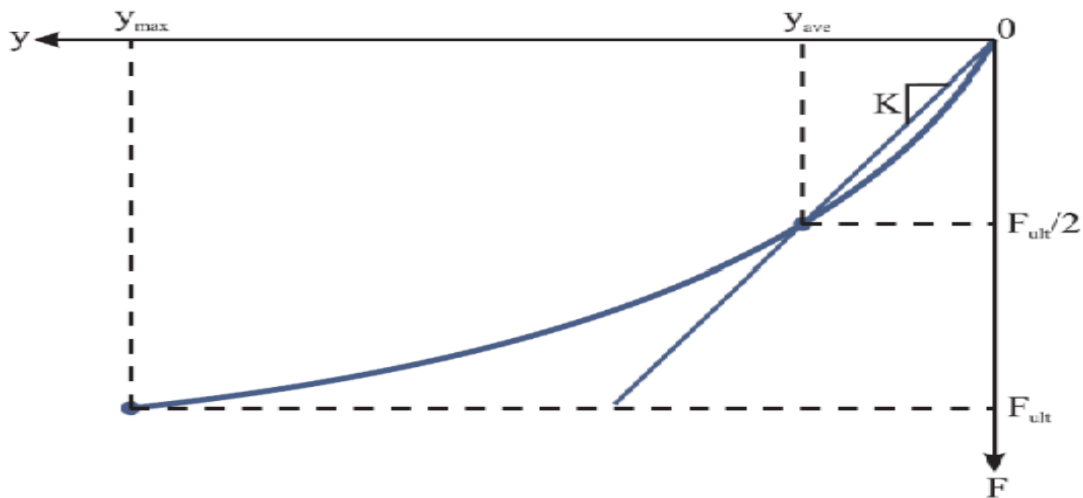
شکل ۴- مدل رفتاری بتن ۰۷

۲-۱-۲- فرضیات سختی برای اعضا الاستیک خطی

عرشه پل شامل شاه تیرها و دال بتنی در روسازه به صورت الاستیک و مقطع ترک نخورده در نظر گرفته شده است و با خصوصیات مقطع کلی مدل شده است. همچنین در مدلسازی پی سطحی از خصوصیات مقطع الاستیک استفاده شده است.

۲-۱-۳- مدلسازی رفتار تکیه گاه کناری و خاک

مشاهدات زلزله های گذشته حاکی از پتانسیل بالای آسیب پذیری بالای کوله در مقابل بارهای لرزه ای می باشد. این حساسیت را میتوان به فشارهای خاک روی کوله که ممکن است به سبب پاسخ طولی عرشه پل باشد نسبت داد، که این فشار در اثر پدیده ی برخورد عرشه به کوله (در موارد کوله نشیمن دار) تشدید می شود. پاسخ کوله در جهت طولی نسبت به جهت عرضی متفاوت است. پاسخ طولی ترکیبی از دو مکانیزم است، در واقع زمانیکه خاک پشت کوله تحت فشار است عملکرد مقاوم بوده و زمانیکه کوله در حال دور شدن از خاک پشت دیوار است مکانیزم محرک ایجاد می شود. در رفتار مقاوم هم خاک پشت دیوار و هم شمع ها در هردو وارد عمل می شوند در حالیکه در جهت محرک، خاک مقاومتی نداشته و تنها اثر شمع ها در نظر گرفته می شود (مزونی، ۲۰۰۷). همچنین در جهت عرضی نیز تنها شمع های کوله هستند که مدنظر قرار می گیرند. برای مدل کردن کوله، از دو گره ی منطبق برهم استفاده شده است که یکی به عنوان زمین کاملاً گیردار و دیگری تنها در درجه آزادی ۱ و ۲ آزاد و در جهات دیگر بسته است. رابطه ۱-۱ معرف شکل بسته ای از پاسخ نیرو - تغییر شکل دو نوع خاک چسبنده و دانه ای پشت کوله می باشد. مطالعات نیلسون در سال ۲۰۰۷ به برآورد آسیب پذیری پلهای بزرگراهی در ایالت متحده منتهی شد (نیلسون، ۲۰۰۸).



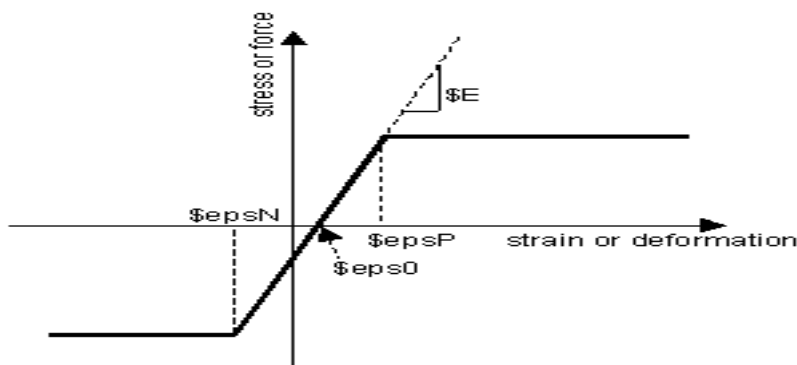
شکل ۵- پاسخ نیرو - تغییر شکل خاک پشت کوله

$$F = \begin{cases} \frac{410.6y}{1.867 + \left(\frac{H}{1m}\right)} \left(\frac{H}{1m}\right)^{1.56}, & y < 0.05H \text{ خاک دانه ای} \\ \frac{249.1y}{0.805y + \left(\frac{H}{1m}\right)} \left(\frac{H}{1m}\right)^{1.05}, & y < 0.10H \text{ خاک چسبنده} \end{cases} \quad (1)$$

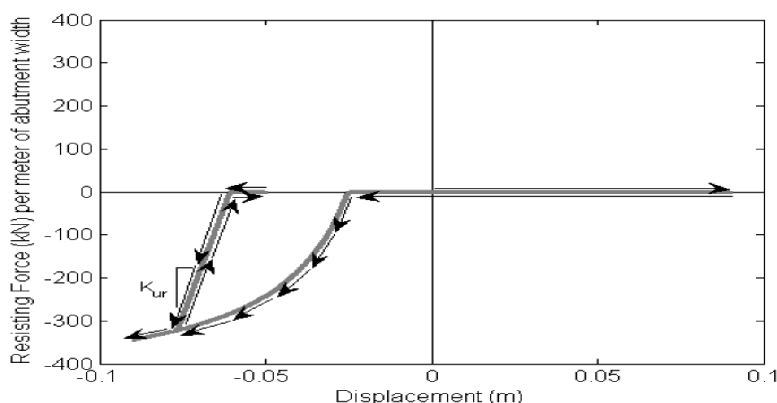
این مدل مبتنی برنتایج آزمایشگاهی کوله پلها با ارتفاع تیپ ۱/۶۵ متری برای خاک های دانه ای و چسبنده می باشد. در شکل ۵ نشان دهنده ی یک نمونه معمول رابطه ی نیرو - جابجایی برای خاک پشت کوله می باشد. ماکزیمم جابجایی خاک

پشت کوله برای خاک های دانه ای و چسبنده به ترتیب برابر ۰.۵ و ۰.۱ ارتفاع دیوار پشتی می باشد و بدیهی است که حد نهایی نیروی کوله ها با این مقادیر جابجایی رخ خواهد داد.

در این مطالعه علاوه بر مدلسازی کوله به صورت هایپربولیک، با در نظر گرفتن تکیه گاه های کناری به صورت یک مدل الاستو پلاستیک مدلسازی را انجام شده است. در رفتار پلاستیک کامل شاخه دوم رفتار به صورت کاملاً افقی خواهد بود. با استفاده از این مصالح یک رفتار دو خطی پلاستیک کامل مدل سازی می شود، که برای مدل کردن مصالح الاستو پلاستیک (Elastic Perfectly Plastic) استفاده شده است.



شکل ۶ - منحنی رفتار مدل الاستوپلاستیک



شکل ۷ - منحنی رفتار مدل هایپربولیک

در نتیجه پاسخ طولی پل، فشار خاک در پشت دیواره ی کوله افزایش می یابد که با برخورد عرشه به کوله این فشار تشدید می شود. پاسخ طولی به دو قسم مقاوم و محرک است که نوع مقاوم آن توسط خاک و شمع و نوع محرک آن فقط به کمک شمع تحمل می شود و در جهت عرضی نیز تنها شمع ها مقاومت می کنند. این مدل رفتاری با استفاده از این مصالح برای ایجاد رفتار پلاستیک کامل کاربرد دارد که در شکل ۶ منحنی این مدل رفتار دیده میشود.

۲-۱-۴- مدلسازی شالوده پل ها

نحوه آرایش شمع ها و مشخصات آنها و همچنین سختی انتقالی و دورانی آنها با توجه به کلاس پل متغیر بوده است. در این مطالعه همانطور که در شکل پایین مشاهده می شود، در هر دو جهت طولی و عرضی سختی انتقالی شالوده توسط فنرهایی با رفتار سه خطی، سختی دورانی آن به صورت فنرهای ساده خطی مدل می شوند و سپس به المان های صفر طولی

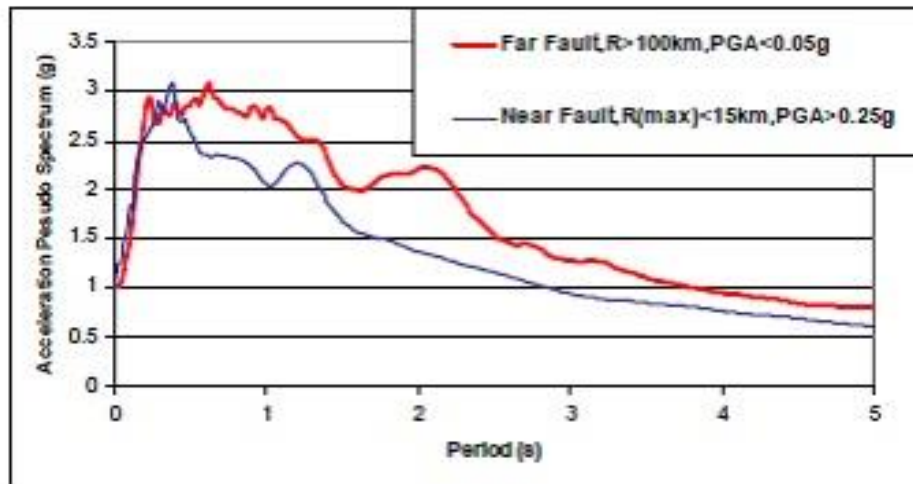
در پایه ستون ها اختصاص داده می شوند. لازم به ذکر است که ستون های قابهای چند ستونه در پلهای جعبه ای به صورت شبه مفصلی به شالوده متصل هستند و لذا برای آنها سختی دورانی منظور نمی گردد.

شالوده کوله ها نیز مطابق مدل های ارائه شده برای شالوده ستون ها مدل سازی شده اند. برای محاسبه پی بر اساس مدول برشی اولیه خاک، وزن مخصوص خاک و سرعت موج برشی مدول برشی محاسبه می شود. ضریب پواسون خاک ۰.۲۵ در نظر گرفته شده است. بنابراین سختی خاک و سختی شالوده روابط زیر محاسبه می شود اگر رابطه دستورالعمل بهسازی ارضا شود؛ لزومی به مدل سازی پی نیست (مارانو، ۲۰۱۱).

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{sv}B = \frac{1.3 \times 224500}{1 - 0.25} = 389100 \frac{KN}{m^2} \\ \frac{2}{3}K_{sv}B = 259400 \\ E_f = 2 \times 10^7 \frac{KN}{m^2} \\ I_f = \frac{11 \times 0.8^3}{12} = 0.46933333m^4 \\ l = 3.67 m, \frac{E_f I_f}{l^4} = \frac{2 \times 0.46933333 \times 10^7}{3.67^4} = 51742 \\ \left\{ \begin{array}{l} A_{corner-node} = B \times l_1 = 33 \times 0.34375 = 1.134375 m^2 \\ A_{mid-node} = B \times l_2 = 3.3 \times 0.6875 = 2.26875 m^2 \\ A_{foundation} = B \times L = 3.3 \times 11 = 36.3 m^2 \\ Kx_{corner-node} = \frac{A_{corner-node}}{A_{foundation}} \times Kx = \frac{1.134375}{36.3} \times 8138434 = 2546285 KN/m \\ Ky_{corner-node} = \frac{A_{corner-node}}{A_{foundation}} \times Ky = \frac{1.134375}{36.3} \times 7358370 = 2299491 KN/m \\ Kz_{corner-node} = \frac{1.3 \times G}{B(1 - \nu)} \times A_{corner-node} = \frac{1.3 \times 224500}{3.3 \times (1 - 0.25)} \times 1.134375 = 133764 KN/m \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (2)$$

۳- بارگذاری لرزه ای

تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی یکی از کاملترین تحلیل می باشد که در آن هم بارگذاری سازه تا حد امکان به واقعیت نزدیک بوده و هم رفتار سازه غیرخطی بوده و با توجه علم حال حاضر تا حد امکان نزدیک رفتار واقعی مصالح، مقطع، المان و کل سازه می باشد. به دلیل تغییرشکل های بزرگ و عدم وجود رفتار خطی مصالح دیگر اصل جمع آثار قوا در این تحلیل برقرار نبوده لذا در این تحلیل استفاده از ترکیب بارهای طراحی با همان مفاهیم قبلی بی معنی خواهد بود. با توجه با اینکه در اینجا هدف تحلیل تحلیل دینامیکی غیر خطی است، در این گام باید شتاب نگاشتی را به صورت سری زمانی به مدل معرفی کنیم. ۲۰ زوج مولفه تاریخچه زمانی حداکثر شتاب زمین پس از نرمالایز شدن به، به ۰.۱ شتاب گرانش زمین با گام زمانی ۰.۱ مقیاس گردید (مندر، ۲۰۰۳).



شکل ۸- خصوصیات زلزله های حوزه دور و نزدیک

۴- انتخاب رکورد زلزله

جمع آوری این زمین لرزه ها به طوری که بیانگر خطر زلزله در کل منطقه مورد بررسی باشند، امری مهم است. رکوردهایی که در فاصله کمتر از ۲۰ کیلومتری از گسل باشد، رکوردهای حوزه نزدیک می باشد. رکوردهایی که در فاصله ۲۰ الی ۷۰ کیلومتری از گسل باشد، رکوردهای حوزه دور می باشد. همچنین شتاب نگاشت مذکور به شتاب گرانش نرمال شده است. در این مطالعه جهت تحلیل دینامیکی غیر خطی، ۱۰ رکورد حوزه دور و ۱۰ رکورد حوزه نزدیک انتخاب شده است. در جداول ۱ و ۲ مشخصات زلزله های انتخاب شده لیست شده اند.

جدول ۲- مشخصات زلزله حوزه نزدیک به گسل در تحلیل دینامیکی فزاینده

ردیف	نام زلزله	نام ایستگاه	بزرگای زلزله	PGA(g)
1	CHI- CHI	TCU065	7.6	0.44
2	DUZCE	BOLU	7.1	0.82
3	IMPERIAL VALLEY 1	Delta	6.5	0.35
4	KOCAELI	YARIMCA	7.5	0.9
5	NORTHRIDGE -01	HUNTINGTON	6.7	0.48
6	CAPE MENDOCINO	PETROLIA	7.0	0.45
7	Denali	TAPS PUMP	7.9	0.51
8	ERIZCAN turkey	ERZINCAN	6.7	0.48
9	FRIULI Italy	TOLMEZZO	6.5	0.35
10	Loma PRIETA	RICHMOND CITY HALL	6.9	0.105

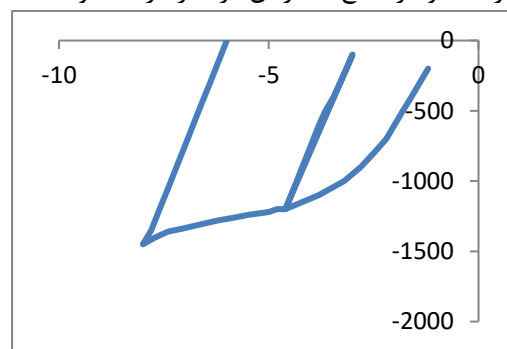
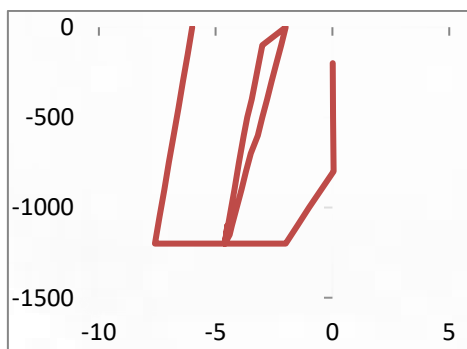
جدول ۳- مشخصات زلزله حوزه دور از گسل در تحلیل دینامیکی فزاینده

ردیف	نام زلزله	نام ایستگاه	بزرگای زلزله	PGA(g)
1	CHALFANT VALLEY	LONG VALLEY DAM	6.2	0.46
2	TABAS	FERDOWS	7.4	0.87
3	LANDERS	BAKER FIRE STATION	7.3	0.107
4	IMPERIAL VALLEY 1	COACHELLA CANAL	6.5	0.115
5	COALINGA	PARKFIELD-CHALOME	6.4	0.039
6	DUZCE, Turkey	BOLU	7.1	0.82
7	FRIULI Italy	TOLMEZZO	6.5	0.35
8	MANJIL	ABBAR	7.4	0.51
9	SAN FERNANDO	2516 VIA TEJON PV	6.6	0.25
10	SUPERSTITION HILL	EL CENTRO	6.5	0.45

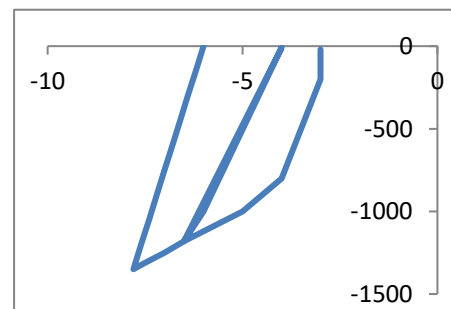
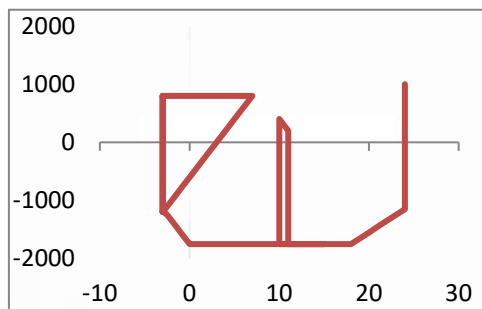
۵- پاسخ لرزه ای

۵-۱- پاسخ خاک پشت دیوار کوله و شمع ها برای حوزه نزدیک و دور نیز به ترتیب بشکل زیر است:

مدلسازی شمع های زیر ستون با تخصیص فنر های انتقالی و دورانی با در نظر گرفتن تکیه گاه های کناری به صورت ترکیب اثر خاک و اثر شمع ها در آن در نظر گرفته شود.



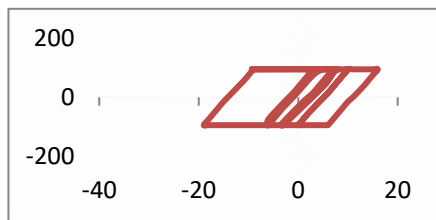
شکل ۹- پاسخ خاک پشت دیوار کوله برای زلزله حوزه نزدیک



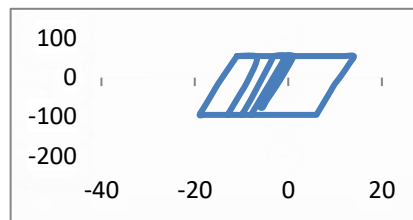
شکل ۱۰- پاسخ شمع کوله و فونداسیون برای زلزله حوزه نزدیک

شکل ۱۱- پاسخ خاک پشت دیوار کوله برای زلزله حوزه دور

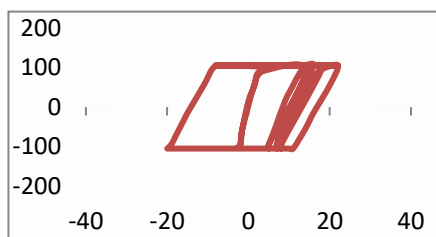
پاسخ بدست آمده برای تکیه گاه های الاستوپلاستیک به ترتیب در هر دو امتداد طولی و عرضی برای حوزه نزدیک و دور به شکل زیر است. مدلسازی شمع های زیر ستون با تخصیص فنر های انتقالی و دورانی با در نظر گرفتن تکیه گاه های کناری به صورت یک مدل الاستو پلاستیک در نظر گرفته شود.



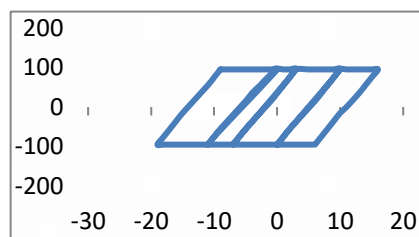
شکل ۱۴- پاسخ تکیه گاه الاستومریک در امتداد عرضی



شکل ۱۳- پاسخ تکیه گاه الاستومریک در امتداد طولی



شکل ۱۶- پاسخ تکیه گاه الاستومریک در امتداد عرضی



شکل ۱۵- پاسخ تکیه گاه الاستومریک در امتداد طولی

شکل ۱۳ و ۱۴ پاسخ بدست آمده به ازای زلزله حوزه نزدیک و شکل ۱۵ و ۱۶ پاسخ بدست آمده به ازای زلزله حوزه دور

۶- توابع شکنندگی

یک تابع شکنندگی، یک احتمال شرطی است؛ از این رو احتمال اینکه سازه به سطح معینی از خرابی برسد یا از آنکه تجاوز کندرا در یک شدت زلزله معین بیان می کند. این احتمال مشروط در معادله دو داده شده است.

$$p[LS | IM = Y] \quad (3)$$

شرط Y واحد شدت زمین لرزه و IM حالت حدی و یا میزان آسیب وارده شده به عضو و یا سیستم، LS که مشخصی از واحد شدت زمین لرزه است که معمولاً به صورت ماکزیمم شتاب زمینو یا شتاب طیفی در یک تناوب غالب بیان می گردد. این تابع شکنندگی بیان کننده توانایی یک عضو و یا سیستم مهندسی را نشان می دهد. در روش های تحلیلی، خصوصاً تحلیل تاریخچه زمانی، نیاز لرزه ای از میان مدل های نیاز لرزه ای احتمالاتی که برحسب اندازه شدت معینی داده شده اند؛ توصیف می شود. یک روش مناسب جهت بررسی میزان شکنندگی یک سیستم سازه ای مانند پل تعیین احتمال تجاوز نیاز سازه ای با بیان ریاضی زیر است. مدل نیاز لرزه ای از رابطه ۵ بدست می آید (نیلسون، ۲۰۰۳). P_f احتمال تجاوز و یا فراگذشت از یک سطح آسیب مشخص، D مبین نیاز سازه ای و C مبین ظرفیت سازه ای است.

$$P_f(C|IM = im) = P\left[\frac{D}{C} \geq 1\right] \quad (4)$$

$$P = [EDP \geq d | IM] = 1 - \varphi\left(\frac{\ln(d) - \ln(aIM^b)}{\beta_{EDP|IM}}\right) \quad (5)$$

۷- حالات حدی

حالات حدی معمولاً به صورت کیفی، تجویزی و توصیفی ارائه می شوند. حالات حدی کیفی ارائه شده توسط هزوس در فماد در سال ۲۰۰۳ به روند خرابی کم تا شکست را در پل تشریح می کند (نیلسون، ۲۰۰۳). حالات حدی تجویزی براساس آزمایشگاهی و تفسیر مولفه های پل، تعدادی حالات حدی تجویزی برای مولفه های پل ارائه شده است در این مطالعه از میانگین حالت حدی پیشنهادی توسط پژوهشگران در شکل پذیری انحنای پایه استفاده گردید (سیکواپرا، ۲۰۱۴ و سانگ، ۲۰۰۷).

جدول ۳- تعریف حالات خرابی شکل پذیری انحنایی ستون (داتا، ۲۰۰۳ و مندر، ۲۰۰۰)

حالت خرابی	خرابی کم	خرابی متوسط	خرابی گسترده	خرابی کلی
ستونها (μ)	$\mu > 1 < 2$	$\mu > 2 < 4$	$\mu > 4 < 7$	$\mu > 7$

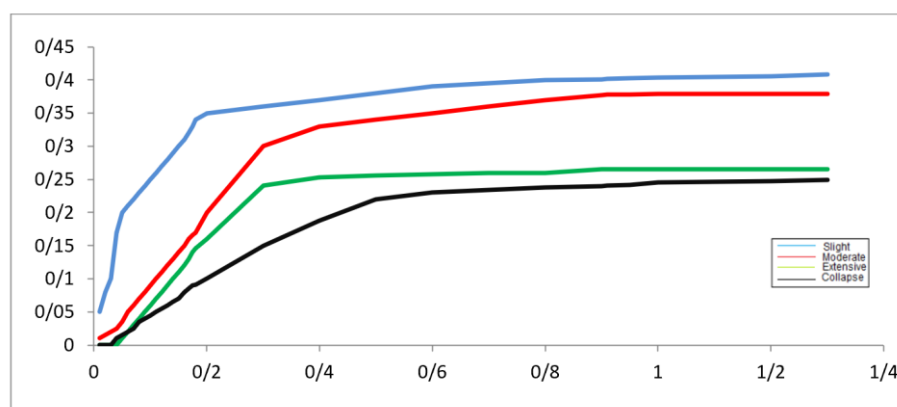
فنگ و همکاران مقادیر حالات حدی شکل پذیری تغییر مکانی را برای جاری شدن، ترک خوردگی، خرد شدگی و کمانش آرماتور ها به ترتیب برابر ۱ و ۱.۲ و ۱.۷۶ و ۴.۷۶ پیشنهاد کردند (سیکواپرا، ۲۰۱۴). آیین نامه های بهسازی لرزه ای پلهای بزرگراهی به علت فقدان محصور شدگی بتن، شکل پذیری تغییر مکانی را در کمانش آرماتور طولی مقدار ۳ در نظر گرفته شده است.

جدول ۴- حالات حدی

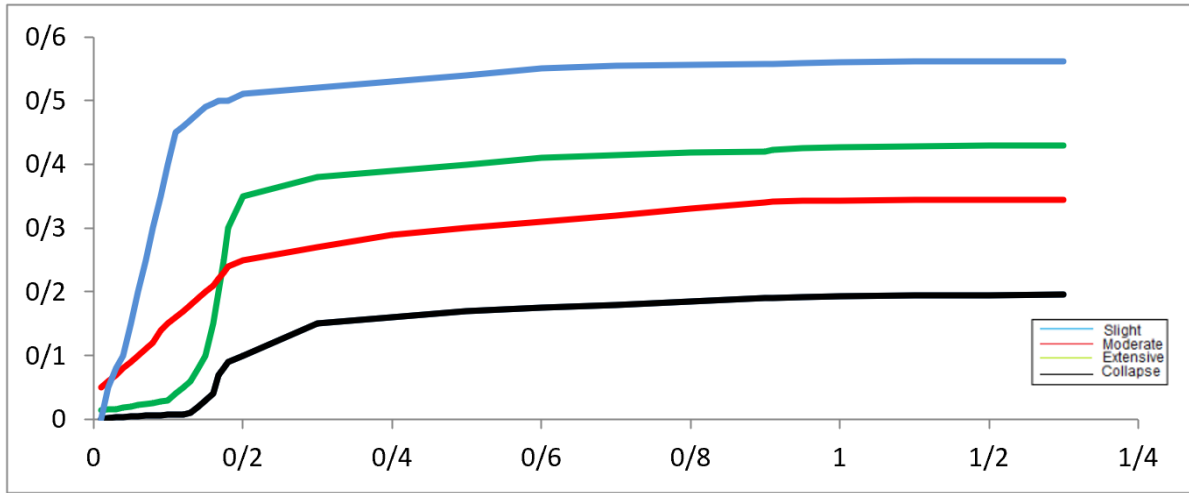
حالت خرابی	تغییر شکل	انحراف معیار	خرابی	شتاب نگاشت Sa
قابلیت استفاده بی وقفه IO(M)	0.101487859	0.43	-2.01	0.13
ایمنی جانی LS(M)	0.247254825	0.43	-0.65	0.52
آستانه فروریزش CP(M)	0.70135296	0.38	-0.08	0.92

۸- منحنی شکنندگی

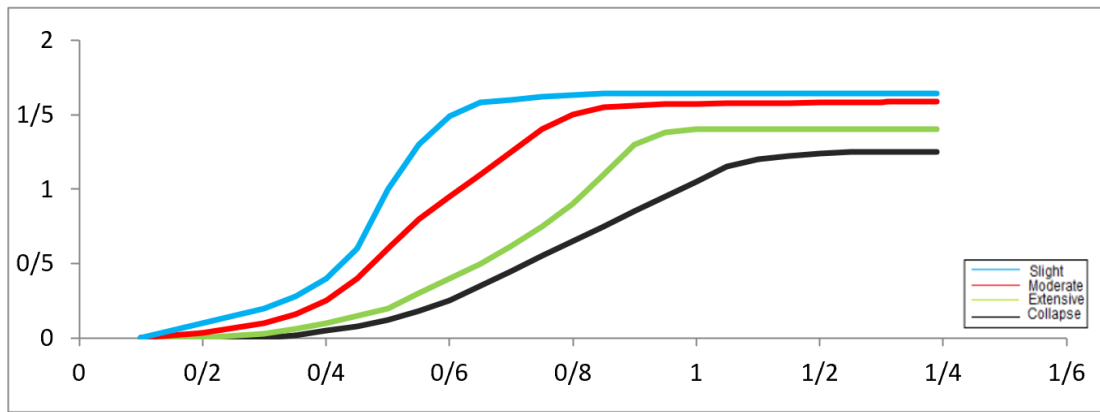
ارزیابی سطح عملکرد سازه به کمک منحنی های شکنندگی بهترین راه برای محاسبه میزان خسارت احتمالی می باشد. با استفاده از این داده ها می توان راهکار مناسب جهت رفع نقاط ضعف احتمالی ارائه داد.



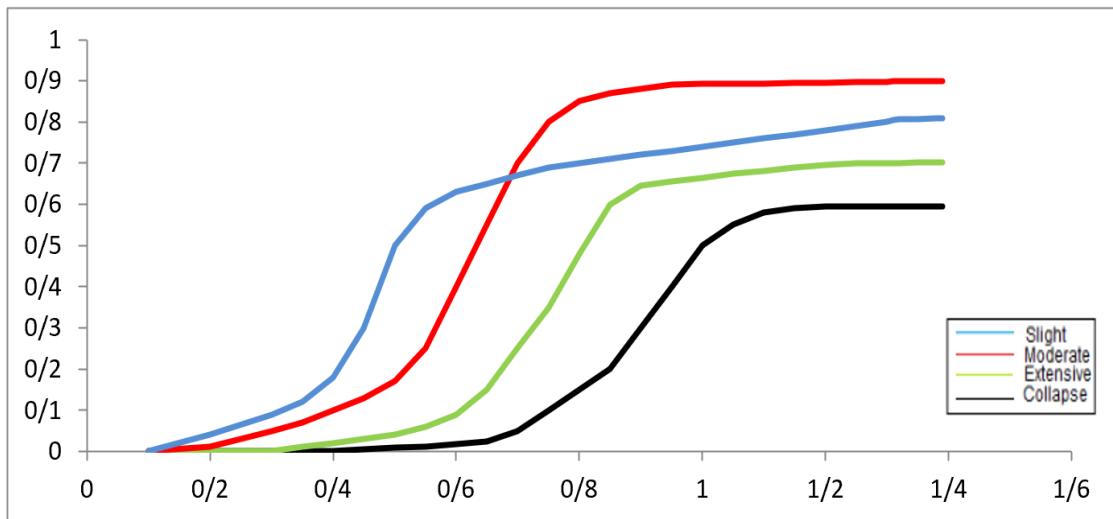
شکل ۱۷- منحنی شکنندگی مولفه تکیه گاه کناری در جهت طولی در حالات حدی



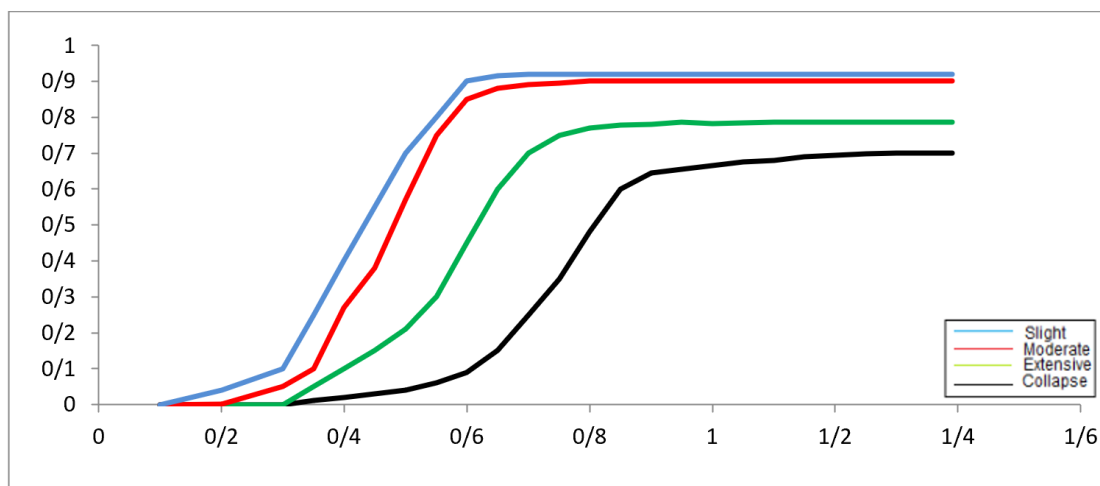
شکل ۱۸- منحنی شکنندگی مولفه تکیه گاه کناری در جهت عرضی در حالات حدی



شکل ۱۹- منحنی شکنندگی پایه پل در جهت طولی



شکل ۲۰- منحنی شکنندگی پایه پل در جهت عرضی



شکل ۲۱- منحنی شکنندگی در حالات حدی شکل پذیری تغییر مکانی

۹- نتایج تحلیل

بر اساس نتایج مطالعه عددی و مقادیر شکنندگی لرزه ای مولفه های مورد نظر که در نمودار های لرزه ای منعکس شده اند، نتایج کلی زیر به شرح زیر میباشد:

۱- آسیب پذیری المان پایه با در نظر گرفتن رفتار تکیه گاه کناری بسیار زیاد نیست این مساله در برآورد ارزیابی خرابی های آینده از این نوع پل، متحمل هزینه های اقتصادی بالانخواهد بود.

۲- نتایج تحلیل شکنندگی نشان میدهد که آسیب پذیری که آسیب پذیری پل با در نظر گرفتن معیار آسیب در المان پایه و همچنین تحلیل های صورت گرفته کم برآورد می شود.

۳- مقدار شکنندگی و احتمال وقوع خرابی در وضعیت رفتار تکیه گاه های مدل شده در نظر گرفته میشود از حالات دیگر بیشتر است.

۴- همچنین مشاهده میشود احتمال خرابی این نوع پل ها در جهت طولی بیشتر از احتمال خرابی در جهت عرضی است و با توجه به شاخص خسارت انتخابی احتمال خرابی کم ارزیابی می شود.

۵- با مقایسه نسبت نیاز به ظرفیت در مولفه پایه میانی میتوان فهمید که هر چند ظرفیت مقطع ابتدایی بیشتر از مقطع میانی میباشد؛ اما مقطع ابتدایی نیاز بیشتری را طلب کرده است بطوریکه نسبت نیاز به ظرفیت در مقطع میانی بیشتر شده است. این روند نشان میدهد که محدوده تشکیل مفصل پلاستیک در المان پایه به مقطع میانی نزدیکتر است.

منابع

- 1- Country Management and Planning Organization - Office of Technical Affairs, development of criteria and reduction of earthquake risk, matching maps of bridges and decks Road bridges (span 10 to 25 meters) - Publication No. 1386-294(in Persian)
- 2- Sang-Hoom Kim, Masanobo Shinozuka, Development of fragility curves of bridges retrofitted by column jacketing, Probabilistic Engineering Mechanics 19, 2004.
- 3- Shinozuka, M., Feng, Maria, Q., Lee, J., and Naganuma, T. (2000). "Statistical Analysis of Fragility Curves." Journal of Engineering Mechanics.

- 4- Bryant G. Nielson, Analytical Fragility Curves for Highway Bridges in Moderate Seismic Zones, A Thesis.
- 5- A. C. Cornell , F. Jalayer, R O. Hamburger, " Probabilistic Basis for 2000 SAC Federal Emergency Management Agency Steel Moment Frame Guidelines", Structural Engineering, No.128(4), pp.526-532.
- 6- M. Sadrossadat Zadeh, M. Saiid Saiidi, " Pre-test Analytical Studies of NEESR-SG 4-Span Bridge Model Using Opensees", Department of Civil Engineering/258, 2007, University of Nevada, Reno, Reno, Nevada 89557, Report No. CCEER-07-3.
- 7- Silvia. Mazzoni, OpenSees Command Language Manual, 2007.
- 8- Ady. Aviram, Kevin R. Mackie, Božidar Stojadinović, " Guidelines for Nonlinear Analysis of Bridge.
- 9- Structures in California, , 2008, Pacific Earthquake Engineering Research Center, No 2008/03
- 10- Shinozuka, M., Feng, Maria, Q., Lee, J., and Naganuma, T. (2000). "Statistical Analysis of Fragility Curves." Journal of Engineering Mechanics.
- 11- siqueira GH, Sanda AS,Paultre P, Padgett JE (2014): Fragility curves for isolated bridges in eastern Canada using experimental results. Engineering Structures 74 (2014) 311–324.
- 12- Country Management and Planning Organization - Office of Technical Affairs, Compilation of Criteria and Earthquake Risk Reduction, Guidelines for Seismic Improvement of Existing Buildings - Publication No. 360(in Persian)
- 13-Pacific Earthquake Engineering Research, database strong motion.
- 14-John B. ManderUniversity at Buffalo, State University of New York, Fragility Curve Development for Assessing the Seismic Vulnerability of Highway Bridge.
- 15-Federal Highway Administration's (FHWA).
- 16- Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSees)
- 17- Rezaul Karim K, Yamazaki F (2007): Effect of isolation on fragility curves of highway bridges based on simplified approach. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 27, 414–426.
- 18- carlo Marano G, Greco R, Morronea E, (2011): Analytical evaluation of essential facilities fragility curves by using a stochastic approach. Engineering Structures 33(2011), 191–201.
- 19-CALTRANSSEISMIC DESIGN CRITERIAVERSION 1.3,FEBRUARY 2004.