

An Analytical Model to Consider Local and Global Effects of Solid Infills on Building Structures

Majid Mohammadi

Professor, Structural Engineering Research Center
m.mohammadigh@iiees.ac.ir

Mohammadreza Pashaei

Masonry infill panels are regular in building construction all over the world. They have considerable influences on the seismic behavior of the frames, but they are normally ignored in the analysis and designing phases. Research on this subject has started in the 1950s and still is an attractive topic for new experimental and analytical studies. Up to now, many analytical models have been proposed to consider effects of infills on the structures. However, few of them consider both local and global influences of infills on the surrounding frames.

In this study, a three strut model shown in Figure (1) has been proposed to consider local and global influences of the infill panels. For this purpose, a sensitivity analysis has been carried out on many parameters including infill aspect ratio, friction coefficient and relative stiffness of infill to the frames. Finite element method (FEM) by Abaqus program has been applied for the analyses, after being verified by two experimental test results.

Comparison between numerical and experimental results shows that the model estimates the local effects of infills and element internal forces, with high accuracy, Figure (2).

The proposed three strut model is capable of considering stiffness degradation, strength deterioration as well as nonlinear hysteric behavior of masonry infilled frames, Figure (3). The model considers local and global effects of infill panels on the frame and thus can be applied in common engineering structural analysis software.

Finally, it can be concluded that the proposed model is capable of estimating both local and global influences of infill panels with high accuracy and gives hysteresis behavior of a masonry infilled steel frame precisely.

Keywords: Infilled steel frame, Connection rigidity, Vertical load, Multi-bay infilled frame, Shotcrete

ارائه مدل تحلیلی برای در نظر گیری اثر موضعی و کلی میانقاب توپر در سازه‌های ساختمانی

مجید محمدی

استاد پژوهشکده مهندسی سازه m.mohammadigh@iiees.ac.ir

محمد رضا پاشائی

امروزه در بسیاری از نقاط لرزه خیز جهان، استفاده از میانقاب متشکل از مصالح بنایی در قابهای ساختمانی، امری رایج است. پژوهش‌های زیادی از دهه پنجاه میلادی بر روی اثر سازه‌ای این المان انجام شده است که نقش قابل توجه آن را در تغییر رفتار سازه گواهی می‌دهند. برای در نظر گرفتن اثرات این المان سازه‌ای، مدل‌های زیادی ارائه شده که به دلیل پیچیدگی و مشکلات، تاکنون نتوانسته‌اند نظر طراحان را به خود جلب کنند و باعث شده که در تحلیل و طراحی عملاً از اثر میانقاب صرف نظر شود و همین امر موجب آسیبهای جدی مالی و جانی در زمان وقوع زلزله شده است.

در این پژوهش، به منظور رفع بسیاری از ابهامات و مشکلات، با بکارگیری روش اجزاء محدود، به مدلسازی دو نمونه آزمایشگاهی در نرم افزار آباکوس پرداخته شد و پس از صحت سنجی این دو نمونه، مطالعه‌ای پارامتریک بر روی قاب میان پر فولادی تحت بار یکطرفه، انجام گرفت. در این مطالعه، سه پارامتر نسبت ابعادی، ضریب اصطکاک و سختی نسبی میانقاب به قاب، مورد بررسی قرار گرفتند. در تحقیق حاضر اتصال تیر به ستون و همینطور اتصال پای ستون، کاملاً گیردار در نظر گرفته شده است.

با توجه به مشخص شدن تأثیر پارامترهای در نظر گرفته شده، سه دستک، شکل (۱) برای مدل میانقاب، پیشنهاد و روابطی برای مشخصات آنها ارائه شد تا بتوان هر دو رفتار یکطرفه و چرخه‌ای قاب میان پر را پیش بینی کرد.

مقایسه نتایج حاصل از مدل پیشنهادی با نتایج آزمایشگاهی و عددی نشان داد که علاوه بر سختی و مقاومت قاب میان پر، نیروهای داخلی اعضای قاب نیز به خوبی تخمین زده شده‌اند که یک نمونه آن در شکل (۲) نشان داده شده است.

از جمله مزایای دیگر این مدل، در نظر گرفتن زوال سختی و مقاومت و تعیین منحنی رفتاری برای هر یک از دستک‌های فشاری بر مبنای پارامترهای فیزیکی و تخمین دقیق منحنی‌های هیسترسیس است که نمونه‌ای از آن در شکل (۳) آمده است.

با توجه به ارزیابی‌های انجام شده می‌توان نتیجه گرفت، مدل پیشنهاد شده، مدلی کاربردی بوده که می‌تواند اثرات موضعی و کلی میانقاب را در قاب میان پر فولادی، تحت بار یکطرفه و چرخه‌ای با دقت خوبی تخمین بزند.

واژه‌های کلیدی: میانقاب، قاب فولادی میان پر، اتصال مفصلی، بار قائم، قاب چند دهانه، بتن پاششی

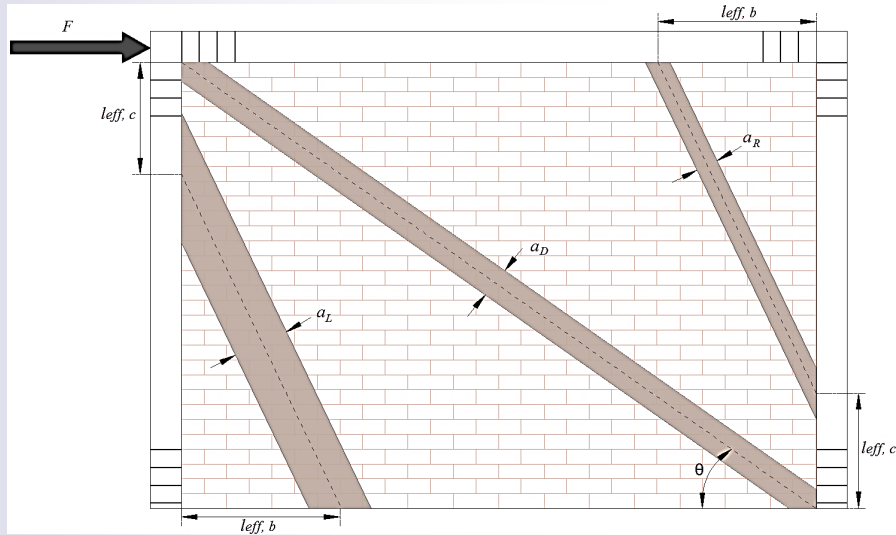


Figure 1: Infill equivalent three strut model

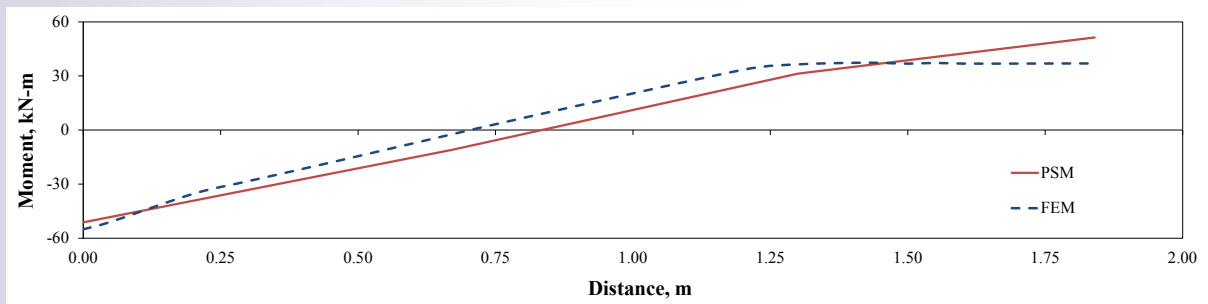


Figure 2: Beam moment distribution diagram of a model

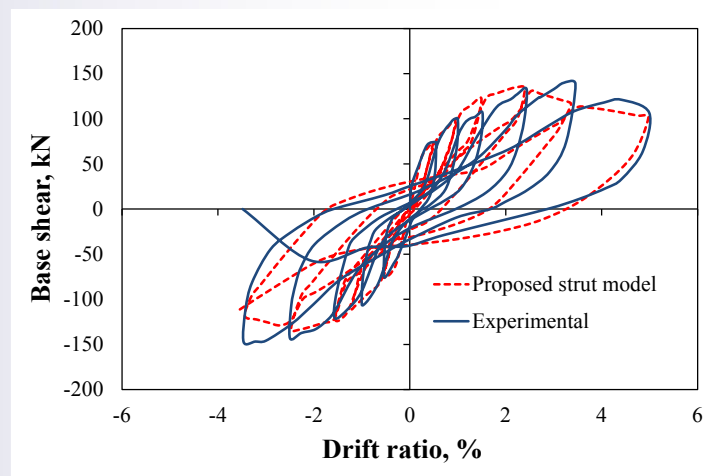


Figure 3: Comparing the results of an experimental rest and proposed strut model

Analyzing the Seismic Behavior of Secondary Systems and Proposing Floor Design Response Spectra, Considering Primary Structure Inelastic Behavior and the Dynamic Interaction between Primary and Secondary Systems

Mohsen Ghafory-Ashtiany

Professor, Structural Engineering Research Center
ashtiany@iiees.ac.ir

Mehrdad Sadeghzadeh Nazari

Secondary Systems (Nonstructural Components) are the mechanical, electrical, telecommunications, and architectural systems as well as building contents connected to the main supporting structural framework. These systems are not considered as part of the load-bearing body of the main structure; yet, they may experience considerable seismic excitations. Tanks and chillers are examples of industrial secondary systems on an oil platform. Fuel piping in such facilities should remain operational in an earthquake to prevent fire. Hospital equipment and devices are other types of important secondary systems whose steady and continuous operation is critical during and after an earthquake event. The three major characteristics of these systems are their high vulnerability, their ability to cause damages (injuries and/or financial losses), and their ability to hamper the overall performance of important structures. Meanwhile, the economic losses due to damages to these systems can significantly surpass those caused by the main structure's damages.

In this report, following the identification of various parameters that affect the seismic responses of secondary systems based on a comprehensive study of related theoretical backgrounds and methodologies, the effect of each of the influential parameters is quantitatively determined through numerical modeling and analyses. For this purpose, seven multi-story Special steel moment-resisting buildings with 4, 6, 8, 12, 16, 20, and 25 floors have been designed. The frames have been numerically modeled and subjected to 8 Strong Ground Motions (SGMs) selected from worldwide earthquake events. For each analysis, the frame floor response has been monitored in order to obtain the corresponding Floor Response Spectra (FRS). The effects of the variations of secondary system dynamic characteristics like damping ratio and mass, as well as the primary structure damping ratio have been investigated. Moreover, the influence of the primary system material nonlinearity and its shear-type or

بررسی رفتاری سیستم‌های ثانویه و ارائه طیف طرح طبقه با توجه به رفتار غیرخطی سازه و اندرکنش سیستم اولیه (سازه) با سیستم ثانویه

محسن غفوری آشتیانی

استاد پژوهشکده مهندسی سازه ashtiany@iiees.ac.ir

مهرداد صادق‌زاده نظری

سیستم‌های ثانویه (اجزای غیرسازه‌ای) سیستم‌ها و اجزای مکانیکی، برقی و مخابراتی، معماری و محتویات ساختمانها هستند که به نوعی به سازه اصلی متصل هستند. این سیستم‌ها جزئی از سیستم سازه باربر اصلی در نظر گرفته نمی‌شوند، ولی می‌توانند تحت نیروهای لرزه‌ای بزرگی قرار گیرند. مخازن و چیلرها نمونه‌هایی از سیستم‌های ثانویه صنعتی موجود در تأسیسات یک سکوی نفتی هستند. لوله‌کشی‌های مواد سوختی در این گونه تأسیسات از نمونه‌های سیستم‌های ثانویه می‌باشند که باید به منظور کاهش خطر آتش‌سوزی پس از زلزله کارایی خود را حفظ کنند. تجهیزات و دستگاه‌های بیمارستانی از دیگر نمونه‌های سیستم‌های ثانویه با اهمیت هستند که حفظ کارایی آنها در هنگام و پس از زمین‌لرزه‌ها حیاتی است. این سیستم‌ها دارای سه ویژگی اصلی یعنی آسیب‌پذیری بالا، آسیب‌رسانی (صدمات جانی و صدمات اقتصادی) و قابلیت مختل کردن عملکرد ساختمانهای مهم هستند، و خسارات اقتصادی ناشی از آسیب دیدن آنها می‌تواند بسیار بیشتر از خسارات اقتصادی سازه‌ای باشد.

تاکنون تحقیقات انجام گرفته بر روی رفتار لرزه‌ای اجزای ثانویه نسبت به مطالعات صورت گرفته روی سیستم‌های سازه‌ای بسیار کمتر بوده و در عمل تأثیر بسزایی بر روند طراحی‌ها نداشته‌اند. تنها در مورد تأسیسات نیروگاهی که سرمایه‌گذاری‌های قابل توجهی برای انجام آزمایش‌ها و تحلیل‌های مختلف در این بخش انجام گرفته است می‌توان شاهد اثرات مثبت مطالعات بود. علیرغم وجود روابط تحلیلی با دقت بالا برای محاسبه پاسخ سیستم‌های ثانویه، محققان همچنان در پی دستیابی به روابطی ساده و در عین حال قابل اطمینان برای اعمال در آیین‌نامه‌ها جهت استفاده طراحان هستند. در گزارش حاضر، پس از شناسایی عوامل مختلف تأثیرگذار بر روی پاسخ سیستم‌های ثانویه بر اساس بررسی جامع مبانی نظری و روش‌های محاسبه نیروهای وارد بر این سیستم‌ها، تأثیر هر یک از این عوامل بطور کمی از طریق مدل‌سازی‌ها و تحلیل‌های عددی تعیین شده است. برای این منظور، هفت ساختمان چند طبقه با تعداد طبقات ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۵ از نوع قاب خمشی فولادی ویژه طراحی شده‌اند. از هر ساختمان یک قاب میانی معادل برای انجام تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه زمانی انتخاب شده است. این قابها به صورت عددی مدل‌سازی و تحت اثر ۸ شتابنگاشت از زلزله‌های جهانی تحلیل شده‌اند. این انتخاب برای هر ساختمان به صورت منحصربفردی از یک بانک شتابنگاشتی مرجع ۷۰ تایی و به گونه‌ای انجام شده است که انتظار می‌رود پاسخ‌های لرزه‌ای غیرارتجاعی حاصل از آنها معادل با پاسخ‌های متناظر تحت اثر کل شتابنگاشت‌های بانک باشند. در تحلیل قابها، پاسخ هر طبقه ثبت شده است تا از این طریق بتوان به طیف‌های پاسخ متناظر در آن طبقه (Floor Response Spectra, FRS) دست

combined-flexural-and-shear behavior have been studied as well as the dynamic interaction between the primary and the secondary systems. The exact spectral responses have also been compared to those proposed in three major seismic design codes: The *International Building Code (IBC)*, the *Eurocode 8*, and the *Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings (Standard No. 2800)*.

Results indicate that damping ratios of the primary and the secondary systems, secondary-to-primary-system mass ratio, dynamic interaction between the primary and the secondary systems, nonlinear behavior of the primary structure, and building floor rigidity are the key factors that should be considered in the seismic analysis and design of secondary systems. While taking them into account would significantly help improve the accuracy of decisions, they are often disregarded in studies and seismic design codes. Following, a summary of the outcomes of this research within the scope of the report assumptions will be presented.

Comparing the simplified seismic design spectral responses proposed in the *International Building Code (IBC)*, the *Eurocode 8*, and the *Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings* to those obtained through numerical analyses in this research revealed some major shortcomings of these codes. The proposed codes provisions are based upon the dominance of the fundamental vibration mode of the primary structure, which can be approximated by a linear distribution, in secondary system responses. Based on this assumption, a term including a linear distribution of floor acceleration response along the building height is introduced to the design relations in these codes. However, such an assumption holds true only for secondary systems whose natural vibration periods are close enough to that of the primary structure. Considering the effect of higher vibration modes would change the floor design acceleration distribution along the building height into a modified nonlinear shape. In addition, not always does the fundamental vibration mode of the primary structure produce the highest spectral acceleration responses on every floor; in many cases, resonance of the secondary system with higher modes of the supporting structure could lead to stronger acceleration responses. Therefore, this research recommends that seismic design forces should be revised so as not to depend merely on the fundamental vibration period of the primary structure.

Keywords: Secondary system, Nonstructural component, Nonlinear (inelastic) behavior, Dynamic interaction, damping ratio, Floor flexibility, Seismic design code, Floor Design Response Spectra (FDRS)

یافت. این روند برای طبقات مختلف تمامی ساختمانها انجام شده است. بدین ترتیب تأثیر تغییرات خصوصیات دینامیکی مختلف سیستم‌های اولیه و ثانویه از جمله نسبت جرم و میرایی مورد بررسی قرار گرفته است. به علاوه، نقش عواملی چون رفتار غیرارتجاعی سازه اولیه، رفتار واقعی یا برشی سیستم اولیه (صلبیت کف طبقات ساختمان)، و نیز اندرکنش دینامیکی سیستم‌های اولیه و ثانویه مورد مطالعه قرار گرفته است. علاوه بر این، پاسخ‌های طیفی دقیق با مقادیر طیفی روش‌های ساده‌سازی شده در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای «یوروکد ۸» (Eurocode 8)، «آیین‌نامه بین المللی ساختمان» (International Building Code, IBC) و «آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)» ایران مقایسه شده‌اند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که میرایی سیستم‌های اولیه و نیز ثانویه، نسبت جرم، اندرکنش دینامیکی سیستم‌های اولیه-ثانویه، رفتار غیرارتجاعی سازه اولیه، و میزان صلبیت کف طبقات از فاکتورهای اساسی هستند که عمدتاً در مطالعات و ضوابط آیین‌نامه‌های نادیده گرفته می‌شوند، اما باید در تحلیل و طراحی لرزه‌ای سیستم‌های ثانویه به آنها توجه شود و در نظر گرفتن آنها کمک قابل توجه‌ای به افزایش دقت مطالعات خواهد کرد.

مقایسه طیف‌های طراحی لرزه‌ای پیشنهاد شده در روابط ساده‌سازی شده موجود در آیین‌نامه‌های «یوروکد ۸»، «آیین‌نامه بین‌المللی ساختمان» و «استاندارد ۲۸۰۰ ایران» با مقادیر حاصل از تحلیل‌های عددی در این تحقیق، برخی از کاستی‌های عمده این آیین‌نامه‌ها را آشکار ساخت. آیین‌نامه‌های مورد بررسی بر اساس فرض غالب بودن مود اول نوسانی سازه اصلی، که شکل آن را می‌توان با یک توزیع خطی تقریب زد، در پاسخ سیستم ثانویه استوارند و در نتیجه یک عبارت شامل توزیع خطی شتاب در ارتفاع سازه به روابط طراحی وارد شده است. اما این فرض تنها در مورد اجزای غیرسازه‌ای که دوره تناوبی نزدیک به دوره تناوب اصلی سازه اولیه داشته باشند، برقرار است. در نظر گرفتن اثر مودهای بالاتر در تحلیل باعث اصلاح و غیرخطی شدن نحوه توزیع شتاب طرح در ارتفاع سازه خواهد شد. به علاوه، حداکثر مقدار پاسخ‌های شتاب طیفی در هر طبقه، الزاماً در نواحی اطراف دوره تناوب اصلی سیستم اولیه به وقوع نمی‌پیوندد و در بسیاری از مواقع هم فرکانسی سیستم ثانویه با پیوند نوسانی سایر مودهای سازه اولیه منجر به بروز پاسخ‌های شتاب شدیدتری می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سیستم ثانویه، اجزای غیرسازه‌ای، رفتار غیرخطی (غیر-ارتجاعی)، اندرکنش دینامیکی، رفتار برشی، نسبت میرایی، صلبیت طبقه، نسبت جرم، آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای، طیف پاسخ طرح طبقه

Experimental Study on the Behavior of a Retractable Viscous Dashpot and a Hydraulic Isolator

Mansour Ziyaeifar

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
mansour@iiees.ac.ir

Shakiba Mousavi

New approaches in seismic design of structures are based on adding to the flexibility and damping characteristics of the system using seismic-isolator and energy-dissipater devices. In this study, experimental studies have been conducted on two new devices that can be used in such structural systems (a viscous dashpot and an elastomeric isolator).

A new viscous damper in which the main body of the device has been made of retractable steel bellows (developed earlier in IIEES) is chosen for experimental studies. The nominal force capacity of the dashpot is 500 KN and its stroke is around ± 150 mm. Experimental studies were carried out to determine certain characteristics of the device including displacement and velocity nonlinearities, internal friction, axial stiffness (due to compressibility of fluid and elasticity of bellows) and its sensitivity to the excitation frequency. Figure (1) shows the device concept and the dashpot specimen that was tested.

The study was based on using direct results from force and displacement time histories of the device during various types of harmonic excitations (in terms of frequency and amplitude). Using the results of this experiment, some of the main characteristics of the device such as internal friction and its velocity nonlinearity have been identified. Later an analytical model for the dashpot that is a combination of Maxwell and Kelvin models is introduced to cover the velocity nonlinearity and internal friction characteristics of the device. According to the results of this experiment, the dashpot has a constant internal friction at about 10 KN that can be considered as a lock barrier switch for the device in case of low amplitude vibrations in the structural system. This level of internal friction can be easily enlarged to 50 KN using shrink fit operation on certain parts of the device during manufacturing process. In addition, the results of the experiment have shown a secondary type of internal friction in the device that appears in terms of high velocity in the system. The level of this friction force was about 50 KN when the dashpot reaction has reached to 310 KN. This feature was due to expanding of compressed oil camber and rubbing its outer body to the covering metal jacket. This

طراحی و ساخت ایزولاتورهای هیدرولیکی و میراگرهای انقباض محوری در مقیاس واقعی

منصور ضیایی فر

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه mansour@iiees.ac.ir

شکبیا موسوی

در این تحقیق، به معرفی دو ابزار جدید، یک میراگر ویسکوز ۵۰۰ کیلو نیوتنی و یک ایزولاتور هیدرولیکی، که در روش‌های نوین طراحی لرزه‌ای سازه‌ها کاربرد دارند پرداخته شده و نمونه‌های ساخته شده آنها مورد آزمایش قرار داده شده است. همچنین برای میراگر ویسکوز گفته شده مدل رفتاری ارائه گردیده و نقش استفاده از آن در کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌های هفت طبقه از طریق از روش‌های عددی بررسی گردیده است.

استفاده از میراگرهای ویسکوز در روش‌های نوین طراحی لرزه‌ای متداول است و سهم زیادی از هزینه‌های تحقیقات صنعتی را در راستای ارائه میراگری با عملکرد مناسب و هزینه‌های پایین به خود اختصاص داده است. با این وجود اطلاعات مناسبی در خصوص مشخصه‌های عملکردی و پارامترهای مؤثر در عملکرد آنها در دسترس نیست. رفتار این میراگرها تنها با ظرفیت، ثابت میرایی و یا میزان رفتار غیرخطی سرعتی آنها قابل بیان نیست و عواملی همانند سختی محوری و اصطکاک داخلی نیز از عوامل تأثیرگذار در رفتار این تجهیزات هستند. علاوه بر آن تحریکات در فرکانس‌های مختلف، انعطاف‌پذیری غلاف محصورکننده مایع درون میراگر، تراکم‌پذیری مایع درون سیلندر و سیستم ذخیره تراکم درون آن، تغییر در رفتار غیرخطی سرعتی در جهت محور طولی میراگر، اثرات حرارت و غیره نیز در تعیین مشخصه‌های رفتاری این میراگرها مؤثرند. در مطالعاتی که تاکنون بروی این میراگرها صورت پذیرفته ارتباط تعریف شده‌ای بین موارد ذکر شده با رفتار این میراگرها به صورت یک مدل رفتاری مشخص کمتر دیده شده است. در تحقیق حاضر، نمونه‌ای از یک میراگر انقباض محوری گفته شده با دامنه تغییر مکانی ± 150 mm که در مطالعات پیشین طراحی شده بود تحت آزمایشات چرخه‌ای قرار داده شد. شکل (۱)، مدل عملکردی این میراگر و همچنین نمونه ساخته شده آن را نشان می‌دهد.

در آزمایشات انجام پذیرفته از نتایج تاریخچه زمانی حاصل شده برای میراگر در بازه‌های فرکانسی مختلف تحریک به طور مستقیم استفاده گردید و نتیجتاً پارامترهای مؤثر در رفتار میراگر از جمله اصطکاک داخلی آن در دامنه‌های مختلف نیرو-تغییر مکان و سختی محوری میراگر تعیین شد. از این طریق مدل رفتاری خاصی برای این میراگر ارائه گردید که در عمل تلفیق مدل کلوین و ماکسول با رفتار غیرخطی سرعتی و با لحاظ کردن اثرات اصطکاک داخلی تلقی می‌شود. در آزمایشات انجام پذیرفته مشخص شد که میراگر مورد نظر دارای اصطکاک داخلی ثابت اولیه ۱۰ کیلو نیوتنی است که وابسته به بارگذاری نیست و می‌تواند به عنوان فیوز عملیاتی برای جلوگیری از حرکت نسبی دو سر میراگر در ارتعاشات کم دامنه مورد استفاده قرار گیرد. این نیروی اصطکاک می‌تواند براحتی تا ۵۰ کیلو نیوتن نیز افزایش یابد (از طریق پیش گرم کردن قطعات میراگر قبل از اتصال آنها به یکدیگر). همچنین آزمایشات نشان داد که میراگر ساخته شده

is considered a promising feature in the device and lead to improve in its capacity amplitude and behavioral aspects. Figure (2) compares the behavior of the dashpot using actual test results and those from the analytical model.

Later, a seven story building that was equipped with above mention viscous device were studied using numerical models. According to the result of this study, adding to the frictional characteristics of the device (internal and secondary friction) can improve seismic performances of the structural system.

Also in this study, some experimental studies on a new type of elastomeric seismic isolator have been conducted. This device is called Hydraulic Isolator and was designed and manufactured in another project. Hydraulic isolator is lighter and less expensive than typical elastomeric isolators. They are also capable of behaving as three dimensional isolators needed for some industrial application. They can also be used for custom made energy dissipation using different type of viscous materials. Figure (3) shows the device concept and the specimen that was tested.

This isolator is consisted of fiber reinforced natural rubber in the form of thick shell connected to its metal caps. In this experiment, the viscous materials is chosen as a clay mixture. In this test, some of the defects that have been detected in previous experiment were solved (leakage of liquid in low amplitude of lateral deformation) and isolator has reached to a new milestone in its capacity of carrying vertical force and lateral deformation. A few changes have been done on design and assemblage process of the device for further investigation.

Keywords: Retractable viscous dashpot, Hydraulic isolator, Seismic design

دارای نیروی اصطکاک ثانویه‌ای در شرایط بارگذاری سریع است که ناشی از انبساط محفظه‌های روغن و تماس آنها با جداره بدنه است. این نیروی اصطکاک متغیر بوده و تا میزان ۵۰ کیلونیوتن در حین انجام آزمایش رسیده است و سبب افزایش ظرفیت میراگر و بهبود منحنی رفتاری آن شده است. نمونه‌ای از منحنی‌های عملکردی این میراگر در آزمایشات انجام گرفته در مقایسه با مدل رفتاری پیشنهادی در شکل (۲) نشان داده شده است.

در ادامه، رفتار یک سازه هفت طبقه مجهز شده به میراگرهای لرزه‌ای توسط یک مدل عددی مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق با استفاده از چندین نوع از میراگرهای ویسکوز با خصوصیات رفتاری متفاوت به انجام رسید. نتایج حاصله مبین آن بود که اختصاص دادن درصدی از ظرفیت میراگر به رفتار اصطکاک می‌تواند با بهبود بخشی به عملکرد این وسیله در کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه مؤثر باشد.

در تحقیق حاضر به بررسی رفتار نمونه‌ای از جداسازهای هیدرولیکی که قبلاً طراحی و ساخته شده بود، پرداخته شد. این جداسازها قابلیت ساخت کم‌هزینه‌تری را داشته و همچنین امکان طراحی آنها برای ایزولاسیون لرزه‌ای همزمان افقی و قائم در مصارف خاص صنعتی فراهم است. جداسازهای گفته شده دارای توان اتلاف انرژی لرزه‌ای بالایی بوده و تنظیم میزان و نوع میرایی در آنها به سهولت صورت می‌پذیرد. شکل (۳) نمونه جداساز مورد آزمایش قرار داده شده را نشان می‌دهد.

این جداساز از لاستیک مسلح به الیاف تشکیل شده و در مدل آزمایش شده مایع هیدرولیکی داخل آن رس اشباع انتخاب شده بود. در آزمایش انجام شده بروی این جداساز بسیاری از مشکلات نمونه‌های قبلی مرتفع شده بود و نمونه مورد نظر دارای عملکرد پیش‌بینی شده در این مرحله از کار بود. برخی از نقاط ضعف جدید این جداساز در جریان آزمایش انجام شده مشخص گردید که در طراحی نمونه‌های آتی بایستی مد نظر قرار داده شوند.

واژه‌های کلیدی: ایزولاتورهای هیدرولیکی، میراگرهای انقباض محوری، میراگرهای ویسکوز، طراحی لرزه‌ای

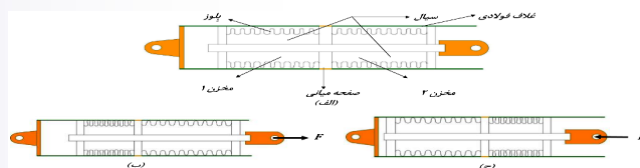


Figure 1: Axial retractable viscous dashpot

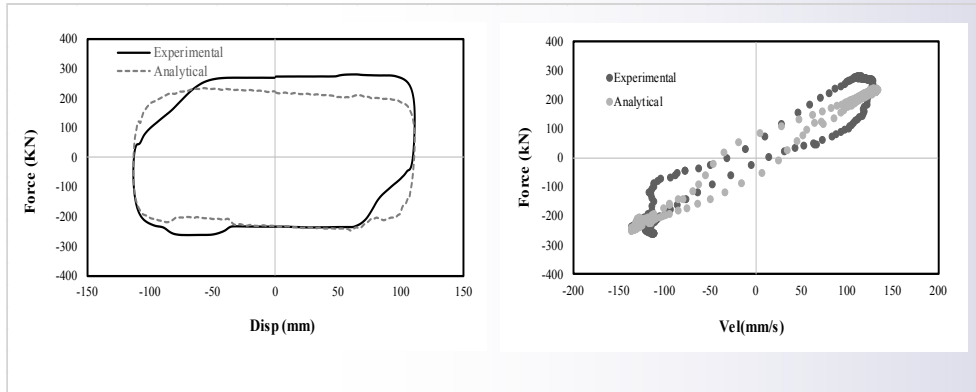


Figure 2: Force-displacement and force-velocity behavior at 0.25 Hz excitation frequency

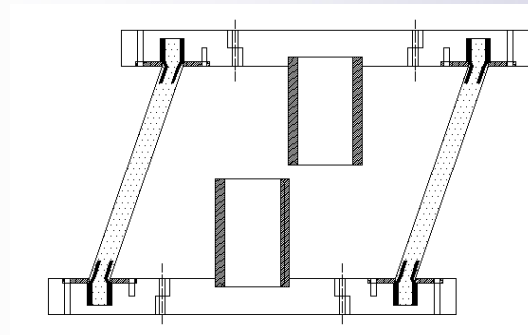


Figure 3: Hydraulic Elastomeric Isolator

A New Methodology for Seismic Collapse Risk Assessment of Mid-Rise Concrete Buildings

Sassan Eshghi

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
eshghi@iiees.ac.ir

Mazdak Zahedi

The lessons learned from past destructive earthquakes in recent decades reveal that, mostly, human fatalities and injuries during and after the earthquake are due to the collapse of buildings. Therefore, collapse is the important performance level of seismic risk assessment of these buildings. This study presents a new method for the collapse assessment of RC buildings. The new method is proposed according to the basis of the modern seismic guidelines (FEMA-P695 and FEMA-P2018). Through this new method, seismic collapse risk assessment are carried out for the existing mid-rise reinforced concrete buildings. Some buildings containing 7-story and 10-story frames were selected for demonstrating the proposed methodology. These frames, named archetype, exhibit configuration of identical buildings in urban areas in Iran. The archetype buildings are selected in a way that flexural failure mode under seismic loads would be dominant for them, as well as the occurrence of other failure modes are assessed for them. Several nonlinear analyses, under far-field records, were performed to evaluate structural responses of this archetype. All nonlinear analytical models were implemented in the OpenSees (2016) structural analysis software. A simulation model for the structural system and its components capable of capturing flexural collapse modes are used. This model comprises of a concentrated plasticity model that can detect severe deterioration, which may result in sideway collapse. Several parameters, as calibrated in FEMA-P695, are adopted in this model. In this methodology, pushover analysis has been performed up to collapse of the structure. Then, the matrix of critical drifts (MCD) is extracted from pushover analysis for an archetype RC building to distinguish between the partial collapse of each story and the conventional collapse detection through IDA curves. The matrix of critical drifts (MCD) affects the collapse capacity of the reinforced concrete buildings intensely. One of the ambiguities of IDA curves is that the location of structure in which the maximum of EPD (engineering demand parameter) occurred is not identified. This ambiguity could limit the application of IDA curves. The framework of this new methodology deal

توسعه روش برآورد ریسک فروریزش لرزه‌ای ساختمانهای بتنی موجود

ساسان عشقی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه
eshghi@iiees.ac.ir

مزدک زاهدی

تجربه‌های زلزله‌های مخرب در دهه‌های اخیر نشان می‌دهند که، تلفات و صدمات جانی انسانها که در زلزله‌ها اتفاق می‌افتد، به طور عمده، ناشی از فروریزش ساختمانها می‌باشند. بنابراین فروریزش مهم‌ترین سطح عملکردی برای ارزیابی لرزه‌ای ساختمانها می‌باشد. این مطالعه روش جدید برای ارزیابی فروریزش ساختمانهای بتن مسلح ارائه می‌کند. روش جدید بر اساس مبانی دستورالعمل‌های نوین لرزه‌ای (FEMA-P695) و (FEMA-P2018) پیشنهاد شده است. بر اساس روش جدید ارائه شده در این مطالعه می‌توان فروریزش لرزه‌ای ساختمانهای میان مرتبه موجود را ارزیابی نمود.

این مطالعه، بر قله‌های ساختمانی ۷ و ۱۰ طبقه بتن مسلح اعمال شده است. این ساختمانها که در این تحقیق سرنمونه (Archetype) نامیده شده‌اند، مشخصات ساختمانی مشابه در مناطق شهری ایران را نشان می‌دهند. ساختمانهای سرنمونه به گونه‌ای انتخاب شده‌اند، که مود غالب شکست آنها تحت اثر بارهای لرزه‌ای موجود مود خمشی باشد. همچنین احتمال وقوع سایر مودهای تخریب از جمله خمشی-برشی نیز در آنها بررسی شده است. تعداد زیادی تحلیل‌های غیرخطی با نرم‌افزار OpenSees (۲۰۱۶) تحت اثر شتاب نگاشتهای حوزه دور، برای ارزیابی پاسخ‌های سازه‌ای این سر نمونه‌ها انجام شد. مدل استفاده شده برای سیستم سازه‌ای و اجزای آن به گونه‌ای انتخاب شدند که قابلیت در نظر گرفتن مودهای تخریب خمشی را داشته باشند. این مدل ماکرو از مدل پلاستیسته متمرکز تشکیل شده است که قابلیت اثر دادن زوال را داشته باشد؛ به طوری که این زوال ممکن است به فروریزش جانبی منجر شود. تعدادی از پارامترهای این مدل در FEMA-P695 کالیبره شده‌اند که از نتایج آنها در این تحقیق استفاده شده است.

در این مطالعه، تحلیل پوش‌آور (Pushover) تا مرحله فروریزش سازه ادامه پیدا کرده است. پس از انجام تحلیل پوش‌آور، ماتریسی تحت عنوان ماتریس دریفت‌های بحرانی (Matrix of critical drifts) برای ساختمان بتن مسلح سرنمونه بدست آمده است. ماتریس بدست آمده تفاوت فروریزش جزئی هر طبقه و تعریف فروریزش، که بر مبنای منحنی IDA به دست می‌آید، را مشخص می‌کند. ماتریس دریفت‌های بحرانی، ظرفیت فروریزش ساختمانهای بتن مسلح را به شدت تغییر می‌دهد. همان‌طور که در ادبیات فنی نیز در مورد منحنی‌های IDA آمده است، این منحنی‌ها، موقعیت طبقه‌ای از سازه که در وقت بیشینه در آن اتفاق می‌افتد را مشخص نمی‌کند، بنابراین این ابهام برای استفاده از منحنی IDA در ارزیابی فروریزش سازه‌ها، محدودیت ایجاد می‌کند. روش ارائه شده در این تحقیق، به گونه‌ای است که نقص منحنی‌های IDA را برای ارزیابی فروریزش سازه‌ها را برطرف می‌کند. در این پژوهش، محدودیت روش پیشنهادی و عدم قطعیت‌های آن نیز مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از این روش به حصول نتایج قابل اطمینان

with the deficiency of IDA curves for collapse assessment of structures. Also, the existing limitations and uncertainties of this proposed methodology are summarized and discussed. An attempt is made to achieve reliable results for the studied archetype structures. The new method, as mentioned before, has been conducted for two 7-story and 10-story archetype sets. Each set has four archetypes. Archetype frames are all engineered buildings constructed in urban areas in Iran's seismic prone area during the past 25 years. Whereas it would be better if the shaking table tests were conducted to assess seismic demands on stories, the experimental tests are cost demanding and not beneficial for the simplified method. Hence, the demands on the structures conducted through IDA analyses. It is worth mentioning that the primary advantage of this method is its simple model and its simplicity to be used by practicing engineers. Therefore, the proposed method would provide more safety in terms of building collapse possibility. However, it can be acceptable because of the destructive consequences of the probable collapse. This method can mark 'killer RC buildings' in a residential area. Adopting suitable policies of emergency management requires detecting killer buildings essentially. Thus, the first the casualties and the second, economic loss will be decreased remarkably through retrofitting and detecting or evacuating 'killer buildings'.

In this study, seismic collapse assessments are conducted for two 7-story and 10-story archetype sets and a low-rise of damaged buildings set of Sar-e-Pole Zahab (earthquake in Iran, 2017). The achievements of these study are categorized into five sections as following below (A, B, C, D and E):

A. Seismic collapse assessment for three sets of residential building in urban area:

A-1: Empirical analytical relations are calibrated through full scale model on shaking table;

A-2: Setting uncertainties parameter of records for the buildings, previously mentioned according to the Iranian existing buildings;

A-3: Including uncertainties of buildings configurations and proportioning of columns and beams for seismic collapse assessment;

A-4: Verification of the new method through Sar-e-Pole Zahab (2017) real earthquake for one set buildings.

B. Presenting a more accurate method for detecting collapse state in residential buildings:

B-1: Determining of the Matrix of critical drifts as collapse criteria;

برای سازه‌های سرنمونه، مورد مطالعه منجر شد. این روش به دو مجموعه ساختمان هفت و ده طبقه، که هر مجموعه نیز از چهار سرنمونه تشکیل شده است، اعمال گردید. قابهای سرنمونه نیز، قابهای مهندسی ساخته شده در مناطق شهری ایران با خطر نسبی خیلی زیاد هستند، که ظرف ۲۵ سال گذشته ساخته شده‌اند.

دقیق‌ترین ارزیابی فروریزش از طریق آزمایش ساختمان با مقیاس واقعی بر روی میز لرزان خواهد بود، اما از آنجایی که این روش زمانبر و هزینه بر است؛ بنابراین در پژوهش حاضر روشی پیشنهاد شده است، که در عین سادگی دارای دقت قابل قبول نیز هست. نتایج بدست آمده در ارزیابی فروریزش در روش جدید نشان می‌دهند که ظرفیت فروریزش با حاشیه اطمینان بالاتری، برآورد می‌شود. این ظرفیت‌های محاسبه شده برای فروریزش با توجه به تبعات زیانبار فروریزش، قابل قبول خواهند بود. با استفاده از روش پیشنهادی ساختمانهای مرگ آفرین (Killer Buildings) در مناطق مسکونی قابل شناسایی خواهند بود. اتخاذ سیاستهای مناسب در برنامه‌های مدیریت بحران به طور اساسی نیازمند شناسایی ساختمانهای مرگ آفرین می‌باشد؛ چراکه با شناسایی و بهسازی این ساختمانها یا عدم استفاده از این ساختمانها، تلفات انسانی در وهله اول و در الویت بعدی زیانهای اقتصادی به طور چشمگیری کاهش می‌یابد.

در این تحقیق برای دو دسته از ساختمانهای بتنی ۷- طبقه و ۱۰- طبقه و همچنین یک دسته ساختمانهای کوتاه مرتبه آسیب‌دیده در زلزله سرپل ذهاب (۱۳۹۶) ارزیابی فروریزش انجام شد. دستاوردهای این تحقیق را در پنج بخش الف، ب، ت، ث و ج به شرح ذیل می‌توان ارائه نمود:

الف- ارزیابی فروریزش برای سه دسته ساختمانها با کاربری مسکونی در مناطق شهری:

۱- انجام صحت‌سنجی برای کاربرد روابط تجربی عددی در یک مدل واقعی آزمایشی بر روی میز لرزه؛

۲- بدست آوردن پارامتر عدم قطعیت رکورد برای ساختمانهای مورد مطالعه بر اساس وضع موجود ساختمانهای کشور؛

۳- در نظر گرفتن عدم قطعیت مشخصات ساختمان و تناسب‌بندی تیر و ستون در ارزیابی فروریزش ساختمانهای مورد مطالعه؛

۴- ارزیابی فروریزش برای یک دسته از ساختمانها در زلزله واقعی کرمانشاه و بررسی روش ارائه شده در این تحقیق.

ب- ارائه روش دقیق‌تر در کاربرد منحنی IDA برای تعیین حالت فروریزش در ساختمان:

۱- معرفی ماتریس دریافت‌های بحرانی به عنوان معیار فروریزش؛

۲- بررسی اثر مودهای بالاتر نیز در تحلیل استاتیکی غیر خطی در نظر گرفته شده است؛

۳- بررسی اثر اتصال گره اتصال نیز در نظر گرفته شده است.

ت- ارتباط عدم قطعیت و تعریف فروریزش در ساختمانهای مورد مطالعه؛

ث- مقایسه عدم قطعیت‌های بدست آمده در این تحقیق با عدم قطعیت دستور العمل FEMA-P695؛

ج- بدست آوردن ریسک فروریزش سالیانه برای ساختمانهای مورد مطالعه. از نتایج تحقیقات انجام شده، نمودار و جدول ذیل به عنوان نمونه آورده شده است.

- B-2: Taking into account of higher modes effects in Nonlinear static Analysis;
 - B-3: Implementation of panel zone effect in analyses.
 - C. Determining the correlation between uncertainties and detecting of collapse in studied buildings.
 - D. Comparison between calculated uncertainties of this research and FEMA-P695 uncertainties.
 - E. Evaluation of annual collapse risk for studied buildings of this study.
- Some of the calculated results of this study are tabulated and illustrated in Figure (1) and Table (1).

واژه‌های کلیدی: ارزیابی فروریزش لرزه‌ای، ساختمانهای بتن مسلح، تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی، تحلیل استاتیکی غیرخطی، ماتریس دریافت‌های بحرانی (MCD).

Keywords: Seismic collapse assessment, Reinforced-concrete buildings, Nonlinear Dynamic Analysis (IDA), Nonlinear static analysis, Matrix of Critical Drifts (MCD)

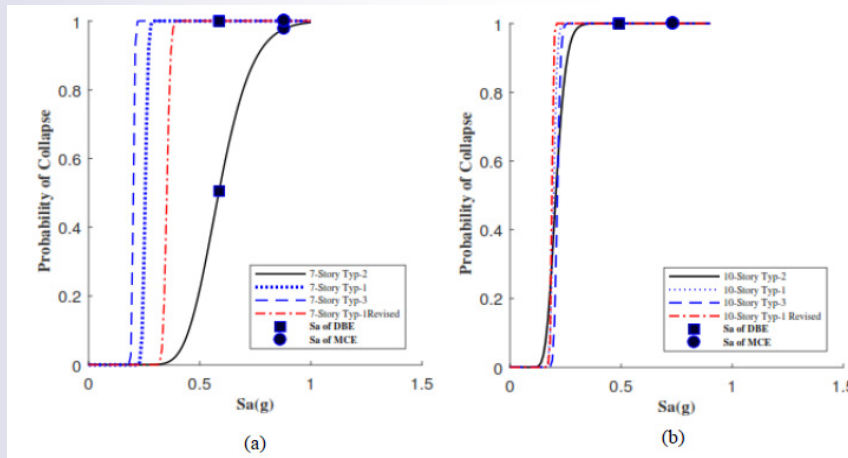


Figure 1: Collapse probability curves (Approach #2): (a) 7-story frame; (b) 10-story frame

No. of stories	7				10			
	1	2	3	1 (revised)	1	2	3	1 (revised)
μ_{lnx}^*	-0.4945	-0.2460	-0.4975	-0.2665	-0.8396	-0.5805	-0.8384	-0.4651
σ_{lnx}^*	0.0821	0.2397	0.0982	0.1215	0.1094	0.2843	0.1236	0.1069
μ_{lnx}^{**}	-1.3682	-0.5352	-1.6039	-1.0448	-1.6296	-1.5808	-1.5470	-1.6690
σ_{lnx}^{**}	0.0420	0.2041	0.0297	0.0382	0.0646	0.1752	0.0555	0.0314
mean CD*	0.0461	0.0561	0.0477	0.0564	0.0553	0.0539	0.0494	0.0586
mean CD**	0.0233	0.0338	0.0185	0.0309	0.0228	0.0191	0.0201	0.0187
standard deviation of CD*	0.000042	0.000073	0.000016	0.000060	0.000004	0.000071	0.000020	0.000061

μ_{lnx}^* = mean; σ_{lnx}^* = standard deviation of x (x denotes S_a with a log-normal distribution evaluated according to approach #1)
 μ_{lnx}^{**} = mean; σ_{lnx}^{**} = standard deviation of x (x denotes S_a according to the approach #2)
 CD* = collapse drift for approach #1; CD** = collapse drift for approach #2

Table 1: Mean and standard deviation of collapse limit states for both methods from IDA curves

Developing a Methodology for Seismic Collapse Probability Assessment of Midrise Steel Moment Resisting Frames

Sassan Eshghi

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
eshghi@iiees.ac.ir

Mohammad Mahdi Maddah

The urban construction have been developed in three recent decades in Iran and the seismic risk is considerably increased. The structural collapse is the major reason of mortality, economic losses, and increasing the seismic risk in the severe earthquakes. Therefore, the collapse can be one of the most important problems of the seismic risk management centers and the decision makers. Mid-rise steel structures constitute a significant part of conventional buildings in Iran. Moment resisting frames with intermediate ductility (IMRFs), and ordinary concentrically braced frames (OCBFs) with X configuration are two principle seismic resisting systems which are widely used in the mid-rise steel structures. Therefore, the seismic collapse risk assessment of these types of structures has great importance. In this research, a methodology is developed for the seismic collapse risk assessment of these groups of structures. Also, the effects of two important analytical modeling parameters are investigated on their collapse risk.

Incremental dynamic analysis (IDA) is one of the most accurate and reliable methods of seismic structural analysis which has been widely used in the collapse assessment process. However, this method needs a significant number of nonlinear dynamic analysis to reach the collapse performance level, which conducts it to a time-consuming with high calculation cost method. In the proposed methodology, an approximate pushover-based method is developed in order to determine the collapse capacity of the structures. In this process, a collapse prevention (CP) criterion is proposed to be used in the pushover analysis, and the SPO2IDA program is utilized to determine the collapse capacity. Furthermore, a new modal pushover analysis is proposed to calculate the displacement-based responses of the IMRFs up to the CP performance level. This method is named optimized modal pushover analysis (OMPA). In this presented methodology, a novel approach is suggested to detect the collapse prevention (CP) performance level in the IDA process using the OMPA results. This approach is named pushover-based IDA (P-IDA). Moreover, this research investigates the effects of autoclaved aerated concrete (AAC) infill and

توسعه متدولوژی ارزیابی ریسک فروریزش لرزه‌ای ساختمانهای فولادی میان مرتبه

ساسان عشقی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه eshghi@iiees.ac.ir

محمد مهدی مداح

ساخت و ساز شهری در ایران در طی سه دهه اخیر توسعه زیادی پیدا کرده و ریسک لرزه‌ای به میزان قابل توجهی افزوده شده است. فروریزش سازه‌های دلیل اصلی تلفات جانی و خسارات مالی و افزایش ریسک لرزه‌ای در زلزله‌های شدید است. لذا فروریزش لرزه‌ای یکی از مهم‌ترین ذغدغه‌های مراکز مدیریت ریسک و کانونهای تصمیم‌گیری است. سازه‌های فولادی میان مرتبه بخش مهمی از ساختمانهای متداول در ایران را تشکیل می‌دهند. قابهای خمشی با شکل‌پذیری متوسط و قابهای مهاربندی ضربدری معمولی دو سیستم لرزه بر اصلی هستند که در سازه‌های فولادی میان مرتبه رایج هستند. لذا ارزیابی ریسک فروریزش لرزه‌ای این نوع از سازه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش، یک متدولوژی به منظور ارزیابی ریسک فروریزش لرزه‌ای این ساختمانها توسعه داده می‌شود و دو پارامتر مهم مؤثر بر ریسک فروریزش آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تحلیل‌های دینامیکی افزایشی یکی از دقیق‌ترین و قابل اعتمادترین روش‌های تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها هستند که به صورت متداول در فرایند ارزیابی فروریزش مورد استفاده قرار می‌گیرند. هرچند این روش نیاز به تعداد زیادی تحلیل دینامیکی غیرخطی دارد تا به سطح فروریزش برسد. این امر مستلزم یک فرایند زمان بر با هزینه محاسباتی بالا است. در متدولوژی ارزیابی فروریزش توسعه داده شده، یک روش تقریبی مبتنی بر پوش اور به منظور برآورد پتانسیل فروریزش توسعه داده می‌شود. در این فرایند، یک معیار تعیین سطح آستانه فروریزش برای تحلیل‌های پوش اور ارائه شده و از برنامه SPO2IDA برای تعیین پتانسیل فروریزش استفاده می‌شود. همچنین یک روش جدید پوش اور نیز به منظور تخمین پارامترهای تقاضای مهندسی (EDP) مبتنی بر جابه‌جایی قابهای خمشی متوسط در سطوح مختلف عملکردی پیشنهاد شده است. این روش، پوش اور مودال بهینه شده نامگذاری گردیده است. با استفاده از نتایج این روش در سطح آستانه فروریزش، رهیافتی نیز به منظور کاهش تعداد گام‌های مورد نیاز برای برآورد پتانسیل فروریزش در تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA) ارائه گردیده است. علاوه بر موارد ذکر شده، تأثیر دال بتن آرمه در سقف عرشه فولادی و تأثیر میانقاب با مصالح بتن سبک اتوکلاو شده (AAC) بر ریسک فروریزش لرزه‌ای قابهای مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه، تعدادی قاب خمشی فولادی متوسط و قاب مهاربندی ضربدری معمولی طبق ضوابط لرزه‌ای ایران طراحی و به عنوان ساختمانهای نمونه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این ساختمانها روی خاک سخت و دور از گسل در شهر تهران واقع شده‌اند. همچنین تعدادی از ساختمانهای فولادی فروریخته در زلزله سرپل ذهاب نیز به عنوان ساختمان نمونه استفاده گردیده‌اند. این ساختمانها به صورت دو بعدی در نرم‌افزار OpenSEES مدل شده‌اند.

نتایج و دستاوردهای این پژوهش شامل موارد ذیل می‌باشد:

the composite action of the concrete slab and steel beams on the collapse risk parameters of the steel structures. In this study, a series of mid-rise IMRFs and OCBFs are designed according to Iranian seismic code and are used as case studies. These frames are located on the stiff soil and far from active faults in Tehran. Also, a series of collapsed steel buildings in the Sarpol-e Zahab earthquake is selected as case studies for implementation of the method. These framed are two-dimensionally modeled condition by the OpenSEES program.

The main results obtained from this study are presented below:

- 1) The proposed SPO2IDA-based methodology can evaluate the collapse capacity of the IMRFs and OCBFs by 4% to 7% and 8% to 10% errors, respectively. Also, the proposed methodology can predict the collapse risk of the mid-rise steel frames with high precision (about 5% to 8% errors) and reasonable speed.
- 2) The OMPA procedure can accurately estimate the displacement-based EDPs of the IMRFs in different performance level (about 4% to 6% disparity). Also, the results show that it is sufficient to consider only two modes in utilizing the suggested pushover method.
- 3) The suggested collapse prevention criterion can detect this performance level precisely. This criterion only depends on the MDoF structural characteristics and is related to occur severe failure in the structure.
- 4) The P-IDA approach is accurate enough to evaluate the collapse capacity of the IMRFs. This method can limit the required nonlinear dynamic analysis steps to 3 to 5, and can decrease the analysis time and calculation costs by simplify the IDA process.
- 5) The composite action of the concrete slab and the steel beams and panel zones increase the collapse risk of the steel IMRFs and must be considered in the analytical modeling.
- 6) The AAC infill walls increase the collapse risk of the IMRFs and should be considered in the collapse risk assessment process. However, the AAC infill decreases the collapse risk of the OCBFs.
- 7) The collapse assessment of two damaged buildings in Sarpol-e Zahab earthquake shows that the approximate collapse assessment methods could predict the collapse of these buildings before earthquake occurrence.

Some of the investigation results are presented in the following tables and figures.

Keywords: Seismic collapse probability assessment, Mid-rise steel moment resisting frames, Intermediate ductility, Collapse prevention level, Incremental Dynamic Analysis (IDA), OpenSEES

۱) متدولوژی پیشنهادی مبتنی بر SPO2IDA می‌تواند پتانسیل فروریزش قابهای خمشی و مهاربندی را به ترتیب با دقت ۴٪ تا ۷٪ و ۸٪ تا ۱۰٪ ارائه کند. این روش می‌تواند ریسک فروریزش را با دقت مناسب ۵٪ تا ۸٪ تخمین بزند.

۲) معیار تعیین سطح آستانه فروریزش پیشنهادی می‌تواند این سطح را با دقت بالایی تخمین بزند. این معیار تنها به مشخصات سازه چنددرجه آزاد و وقوع خرابی شدید در سازه مرتبط است.

۳) روش پوش اور مدال بهینه شده می‌تواند پاسخ‌های مبتنی بر جابه‌جایی قابهای خمشی متوسط را با دقت ۴٪ تا ۶٪ برآورد کند. همچنین نتایج نشان داد که در نظرگرفتن دو مد نیز در تحلیل پوش‌اور پیشنهادی کفایت می‌کند.

۴) روش IDA مبتنی بر پوش اور پتانسیل فروریزش قابهای خمشی را با دقت خوبی تخمین می‌زند. این روش تعداد گامهای تحلیل IDA در فرایند ارزیابی فروریزش را به ۳ تا ۵ گام محدود کرده و زمان و هزینه محاسباتی را کاهش می‌دهد.

۵) عملکرد کامپوزیت دال بتن آرمه سقف‌های عرشه فولادی با تیرها و چشمه‌های اتصال در قابهای خمشی سبب افزایش ریسک فروریزش لرزه‌ای شده و باید در مدل نرم‌افزاری در نظرگرفته شوند.

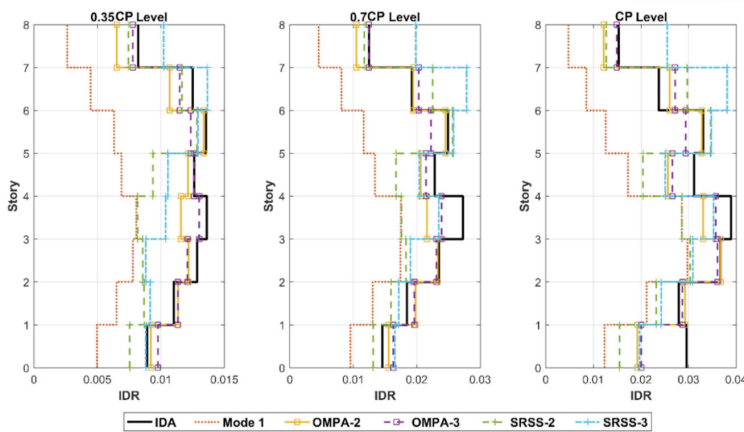
۶) میانقاب AAC در قابهای خمشی ریسک فروریزش لرزه‌ای قابهای خمشی را افزایش می‌دهد و باید در فرایند ارزیابی فروریزش در نظرگرفته شوند. هرچند وجود این میانقاب‌ها ریسک فروریزش قابهای مهاربندی ضربدری را کاهش می‌دهد.

۷) ارزیابی فروریزش دو ساختمان فروریخته در زلزله ۱۳۹۶ سرپل ذهاب نشان می‌دهد روش‌های تقریبی ارزیابی فروریزش می‌توانستند فروریزش این ساختمانها را قبل از وقوع زلزله پیش‌بینی کنند. تعدادی از نتایج تحقیقات صورت گرفته در اشکال و نمودارهای ذیل ارائه گردیده‌اند.

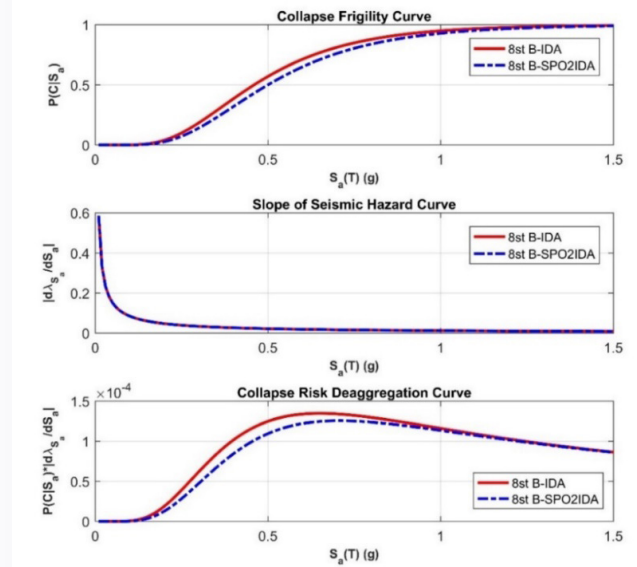
واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک فروریزش لرزه‌ای، ساختمانهای فولادی میان مرتبه، سطح آستانه فروریزش (CP)، تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA)، نرم‌افزار OpenSEES، زلزله ۱۳۹۶ سرپل ذهاب

جدول (۱): ریسک فروریزش قابهای خمشی ۵، ۸ و ۱۱ طبقه حاصل از متدولوژی در مقایسه با روش IDA

		T_1 (s)	S_c (g)	λ_c	$R(t)_{50}$	t_R	Error%
5st M	IDA	1.20	0.81	0.00014	0.67%	74.36	0.8%
	SPO2IDA	1.20	0.80	0.00014	0.68%	73.79	
8st M	IDA	1.75	0.48	0.00016	0.81%	61.80	6.8%
	SPO2IDA	1.75	0.54	0.00015	0.75%	66.33	
11st M	IDA	2.02	0.47	0.00015	0.76%	65.88	5.0%
	SPO2IDA	2.02	0.51	0.00014	0.72%	69.36	
Average Error							4.2%



شکل (۲): پروفیل دررفت طبقات قاب خمشی ۸ طبقه



شکل (۱): مثالی از فرایند تعیین ریسک فروریزش برای قاب مهاربندی ۸ طبقه مورد مطالعه

جدول (۲): ریسک فروریزش قابهای مهاربندی ۵ و ۸ طبقه حاصل از متدولوژی در مقایسه با روش IDA

		T_1 (s)	S_c (g)	IDR_M	λ_c	$R(t)_{50}$	t_R
5st B	IDA	0.46	1.29	0.009	0.00010	0.49%	103
	SPO2IDA		1.16	0.012	0.00011	0.56%	90
8st B	IDA	0.94	0.46	0.012	0.00021	1.04%	48
	SPO2IDA		0.50	0.013	0.00020	0.99%	50

جدول (۳) مقادیر خطا در برآورد پروفیل دررفت و جابه‌جایی طبقات قابهای خمشی در مقایسه با تحلیل IDA

EDP	Level	Mode 1	SRSS-2	SRSS-3	OMPA-2	OMPA-3
Interstory Drift Profile	0.35 CP	18.4%	9.0%	9.5%	2.9%	2.0%
	0.70 CP	16.8%	11.7%	15.2%	5.0%	4.3%
	CP	17.1%	15.3%	18.8%	5.7%	5.0%
	Total Error	17.4%	12.0%	14.5%	4.5%	3.8%
Story Displacement Profile	0.35 CP	16.6%	9.5%	11.4%	4.5%	4.0%
	0.70 CP	15.3%	13.5%	18.9%	5.8%	5.6%
	CP	15.5%	17.0%	22.7%	7.2%	6.4%
	Total Error	15.8%	13.3%	17.7%	5.8%	5.3%

Study on Seismic Performance of Typical Highway Bridges in Iran Using Precast Bents and Accelerated Bridge Construction (ABC)

Akbar Vasseghi

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
vasseghi@iiees.ac.ir

Babak Mansouri, Sadaf Rointan

In seismic regions, highway bridges are usually designed using capacity design principles by enforcing formation of plastic hinges in the columns. The columns are expected to undergo major inelastic deformations during severe earthquakes, leading to significant residual drift. The residual drift is one of the decisive seismic serviceability parameters, and it defines whether a bridge can be used after the earthquake or not. For example, after the Kobe earthquake in 1995, more than 100 bridges with residual drift of more than 1.75% had to be demolished, although most of these bridges were sufficiently stable [1]. The residual drift is also an important parameter for estimating the post-earthquake resistance and the stability of the bridge structure against aftershocks [2]. The effects of residual drift on post-earthquake performance have led the scientific communities to develop self-centering structural systems with low residual drift and limited potential damage. In this system, the bridge bents are constructed using precast cap-beams and columns. The precast members are connected to each other and to the foundation by unbounded tendons as shown in Figure (1). The tendons and the superstructure weight provide the self-centering forces for the bridge bend. Internal or external energy dissipation devices are also commonly used at the joints to absorb the seismic energy.

In this project, the seismic performance of a self-centering system proposed by Guerrini et al. [3, 4] is compared with the conventional system for three typical bridges in Iran. An analytical model that simulates the rocking motion of a self-centering system is first developed and validated by test results. Then, typical bents of the three bridges are analyzed as a conventional system and a self-centering system, and the seismic performance of these two systems is compared with each other.

An analytical model is developed for simulation of rocking motion and the self-centering column tested by Guerrini et al., Figure (2) is selected to verify the model. The rocking motion is simulated by using a combination of gap and nonlinear spring elements in order to model the mortar bed underneath the column, Figure (3).

The hysteresis response of the test specimen is compared with the results of the analysis in Figure (4). This figure shows that the hysteresis curves of the analytical model are

بررسی عملکرد لرزه‌ای پل‌های متداول بزرگراهی کشور با استفاده از پایه‌های پیش‌ساخته و روش ساخت پرسرعت

اکبر وائقی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه vasseghi@iiees.ac.ir

بابک منصور، صدف رویین تن

اخیراً در کشورهای پیشرفته انواع سیستم‌های سازه‌ای مرکزگرا با استفاده از پایه‌های پیش‌ساخته و روش ساخت پرسرعت (Accelerated Bridge Construction) با هدف کاهش زمان ساخت، افزایش ایمنی، کاهش خسارت لرزه‌ای، کاهش هزینه‌های تعمیر و بازسازی و کاهش زمان بازیابی سیستم به حالت اولیه توسعه داده شده‌اند. عملکرد لرزه‌ای این نوع سیستم مبتنی بر حرکت گهواره‌ای برگشت‌پذیر پایه پل می‌باشد. در این نوع سیستم سازه‌ای، ستونها و تیر سرستون پایه میانی به صورت پیش‌ساخته آماده می‌شوند و با استفاده از کابل‌های پیش‌تنیده به یکدیگر و به فونداسیون متصل می‌گردند، شکل (۱). در این سیستم، تاندون‌های پس‌کشیده در طول ستون به صورت غیرچسبیده (Unbonded) و داخل غلاف قرار می‌گیرند و به همراه بارهای ثقلی (وزن عرشه پل) باعث برگشت پایه پل به حالت اولیه می‌شوند. برای جذب انرژی لرزه‌ای معمولاً در محل اتصالات از میراگرهای داخلی و یا خارجی استفاده می‌شود.

در این مقاله، عملکرد لرزه‌ای یک نوع سیستم مرکزگرا با سیستم متداول سازه‌ای برای سه پل موجود در کشور با یکدیگر مقایسه می‌شوند. برای این منظور، ابتدا مدل تحلیلی برای شبیه‌سازی رفتار غیرخطی ناشی از حرکت گهواره‌ای در سیستم مرکزگرا توسعه داده شده و با نتایج آزمایشگاهی صحت‌سنجی می‌شود. سپس پایه‌های بتنی سه پل موجود در کشور به صورت سیستم متداول و سیستم مرکزگرا مدل‌سازی و تحلیل شده و عملکرد لرزه‌ای این دو سیستم با یکدیگر مقایسه می‌شوند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در سیستم مرکزگرا با وجود افزایش بیشینه تغییرمکان نسبت به سیستم متداول، تغییرمکان پسماند به شدت کاهش می‌یابد. کاهش قابل توجه تغییرمکان پسماند باعث کاهش خسارات لرزه‌ای می‌شود و امکان بهره‌برداری از پل را بلافاصله پس از زلزله فراهم می‌کند. برای توسعه مدل تحلیلی و شبیه‌سازی حرکت گهواره‌ای سیستم مرکزگرا، سیستم پیشنهادی گیورینی و همکاران [۳] و نتایج آزمایشگاهی یک نمونه ستون مرکزگرا با میراگر خارجی جهت صحت‌سنجی مدل تحلیلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه آزمایشگاهی نیمه پایین یک ستون از پایه پل تحت بار جانبی چرخه‌ای مورد آزمایش قرار گرفته است. نمای کلی نمونه آزمایشگاهی و ابزاربندی آزمایش در شکل (۲) ارائه شده است. در مدل تحلیلی برای شبیه‌سازی حرکت گهواره‌ای، لایه ملات زیر ستون با استفاده از دو المان گپ و فنر غیرخطی به صورت سری مدل‌سازی شده است، شکل (۳). در شکل (۴)، منحنی هیستریزس نمونه آزمایشگاهی با نتایج تحلیل مقایسه شده است که نشان می‌دهد منحنی‌های هیستریزس مدل تحلیلی تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد.

پایه‌های بتنی سه پل موجود در کشور با دو سیستم متداول و سیستم مرکزگرا مدل‌سازی شده و عملکرد لرزه‌ای این دو سیستم با یکدیگر مقایسه

in good agreement with the test results.

Three different bridges with various span lengths constructed in Iran are selected for this study. Typical concrete bends of the three bridges are modeled and analyzed once as a conventional system and once as a self-centering system, and the seismic performance of these two systems is compared with each other. Nonlinear response history analyses are conducted for each bridge bend using seven earthquake records. Figure (5) shows the typical displacement responses of the two systems. As shown in this figure, the residual displacement of the self-centering system is very small, but the peak displacement is higher compared to the conventional system. The residual drift ratios in one of the bridges are shown in Figure (6). In the conventional system, the residual drift ratio is between 0.9% and 1.9% and the potential seismic damage would be severe. The residual drift in self-centering system is less than 0.4% and thus the potential damage would be negligible.

In this project, typical bends of three bridges in Iran were modeled with the conventional system and the self-centering system, and the seismic performance of these two systems was compared. Seismic response of each system was evaluated by nonlinear time history analyses using seven earthquake records. The results of this study show that the peak lateral drift in the self-centering system increases significantly. However, due to the lack of displacement sensitive non-structural items on highway bridges, the increase in the peak drift is not expected to cause serious problems. In this system, despite the increase in the peak drift, the residual drift is greatly reduced. In some cases, the residual drift ratios of the conventional system are more than the critical level of 1.75%. In these cases, the potential damage will be severe and based on previous experience, the bridges need to be demolished. The residual displacement of the self-centering system in all cases is less than 0.4 percent and the potential damage is negligible. The significant reduction of the residual displacement in the self-centering system drastically reduces the repair costs and allows for the operation of the bridge immediately after the earthquake.

References:

- [1] Kawashima, K. (2000). Seismic design and retrofit of bridges. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 33(3), 265-285.
- [2] Mackie, K. and Stojadinovic, B. Residual Displacements and Post-Earthquake Capacity of Highway Bridges, Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, August, 2004. Paper No. 1550.
- [3] Guerrini, G., Restrepo, J. I., Massari, M., & Vervelidis, A. (2015). Seismic behavior of posttensioned self-centering precast concrete dual-shell steel columns. Journal of Structural Engineering, 141(4), 04014115.

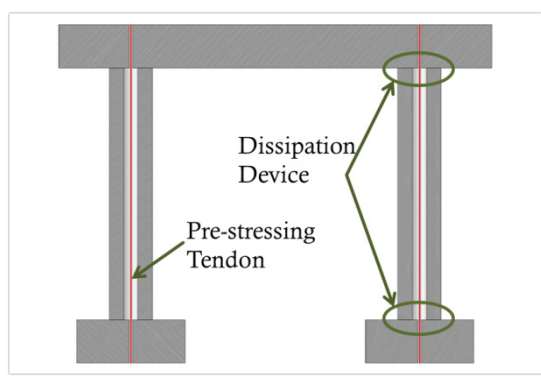
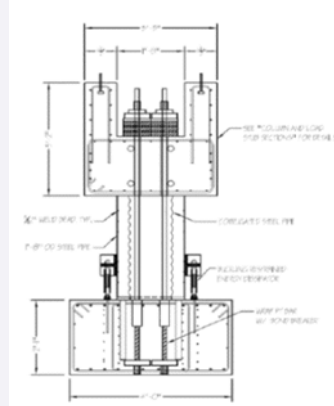
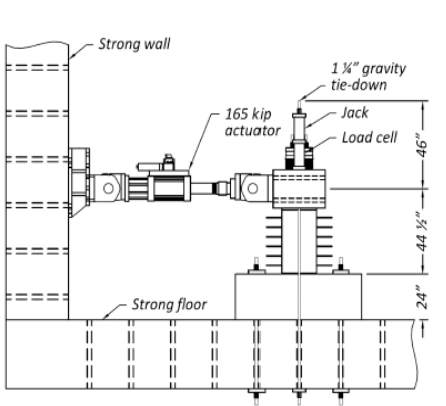
شدند. در سیستم مرکزگرا، قطر ستونها از ۱۲۰ سانتی متر به ۸۰ سانتی متر کاهش یافته و برای هر ستون از ۴ عدد تاندون با نیروی مؤثر پیش تنیدگی ۱۶۰۰ کیلو نیوتن جهت تامین مرکزگرایی سیستم و ۱۲ عدد میراگر BRB جهت استهلاک انرژی زلزله استفاده شده است. ارزیابی عملکرد لرزه‌ای پایه میانی این پلها با دو سیستم متداول و سیستم مرکزگرا، با انجام تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی برای هفت شتابنگاشت دور و نزدیک گسل با بزرگای بیش از ۶٫۵ انجام شد. نمودار جابه‌جایی بالای پایه برای یکی از موارد در شکل (۵) ارائه شده است. مرکزگرایی و برگشت‌پذیری سیستم مرکزگرا در منحنی هیستریزیس کاملاً مشهود است. نمودار جابه‌جایی پایه پل نشان می‌دهد که جابه‌جایی پسماند در سیستم مرکزگرا بسیار ناچیز است ولی بیشینه جابه‌جایی در مقایسه با سیستم متداول بیشتر است. در شکل (۶) جابه‌جایی نسبی پسماند دو سیستم سازه‌ای برای ۷ رکورد زلزله با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در سیستم متداول، جابه‌جایی نسبی پسماند بین ۰٫۹ تا ۱٫۹ درصد است و در دو مورد این جابه‌جایی بیشتر از حد بحرانی ۱٫۷۵ درصد می‌باشد. در این موارد خسارت احتمالی شدید خواهد بود و بر اساس تجربیات قبلی لازم است پل تخریب و بازسازی گردد. در حالی که جابه‌جایی نسبی پسماند سیستم مرکزگرا در تمام موارد کمتر از ۰٫۴ درصد است و خسارت احتمالی ناچیز می‌باشد.

در این مقاله، پایه‌های بتنی سه پل موجود در کشور با دو سیستم متداول و سیستم مرکزگرا مدل‌سازی شده و عملکرد لرزه‌ای این دو سیستم با یکدیگر مقایسه شدند. در سیستم مرکزگرا، قطر ستونها از ۱۲۰ سانتی‌متر به ۸۰ سانتی‌متر کاهش یافته و برای هر ستون از ۴ عدد تاندون با نیروی مؤثر پیش‌تنیدگی ۱۶۰۰ کیلو نیوتن جهت تأمین مرکزگرایی سیستم و ۱۲ عدد میراگر BRB جهت استهلاک انرژی زلزله استفاده شده است. ارزیابی عملکرد لرزه‌ای پایه میانی این پلها با دو سیستم متداول و سیستم مرکزگرا، با انجام تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی برای هفت شتابنگاشت دور و نزدیک گسل با بزرگای بیش از ۶٫۵ انجام شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در هر دو نوع زلزله دور و نزدیک، بیشینه جابه‌جایی جانبی در سیستم مرکزگرا به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. حداکثر مقادیر بیشینه جابه‌جایی نسبی در سیستم متداول و سیستم مرکزگرا به ترتیب ۸٫۴ درصد و ۱۰٫۶ درصد می‌باشند ولی به دلیل عدم وجود اقلام غیرسازه‌ای حساس به جابه‌جایی در پلهای بزرگراهی، انتظار نمی‌رود که افزایش جابه‌جایی جانبی در سیستم مرکزگرا منجر به خسارت جدی به پل شود. در این سیستم با وجود افزایش بیشینه جابه‌جایی جانبی نسبت به سیستم متداول، جابه‌جایی پسماند به شدت کاهش می‌یابد. جابه‌جایی نسبی پسماند پایه هر سه پل با سیستم متداول در چند مورد بیشتر از حد بحرانی ۱٫۷۵ درصد می‌باشد. در این موارد خسارت احتمالی شدید خواهد بود و بر اساس تجربیات قبلی لازم است پل تخریب و بازسازی گردد. در حالیکه جابه‌جایی نسبی پسماند سیستم مرکزگرا در تمام موارد کمتر از ۰٫۴ درصد است و خسارت احتمالی ناچیز می‌باشد. کاهش قابل توجه تغییرمکان پسماند در سیستم مرکزگرا، هزینه‌های بازسازی را به شدت کاهش می‌دهد و امکان بهره‌برداری از پل را بلافاصله پس از زلزله فراهم می‌سازد.

[4] Guerrini, G., Restrepo, J. I., Vervelidis, A., & Massari, M. (2015). Self-centering precast concrete dual-steel-shell columns for accelerated bridge construction: seismic performance, analysis, and design. Report No. PEER 2015, 13.

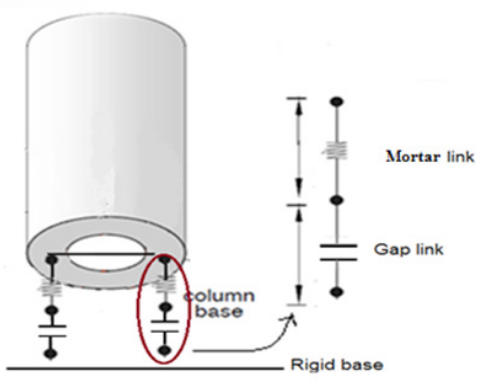
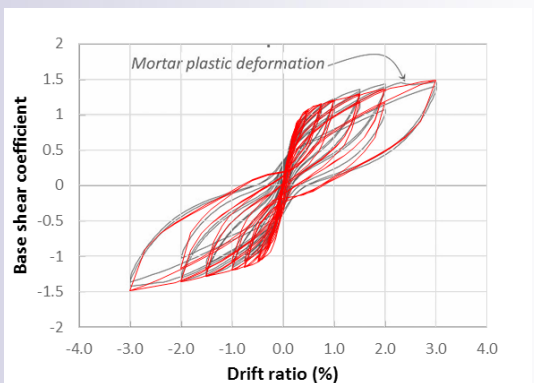
واژه‌های کلیدی: پیش‌ساخته، ساخت پرسرعت، سیستم هیبریدی، کابل پیش‌تنیده، جابه‌جایی پسماند

Keywords: Bridge, Earthquake, Self-centering system, Resilient structure, Residual displacement



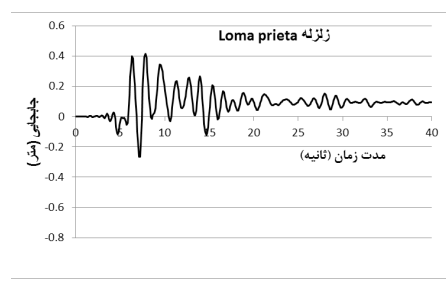
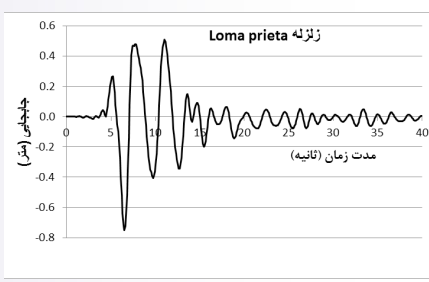
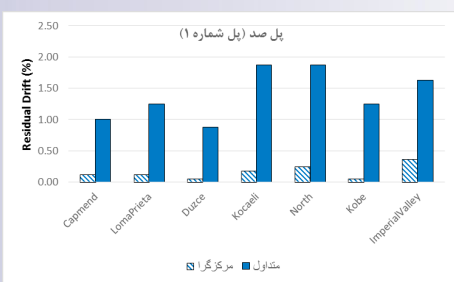
شکل (۲): نمای کلی نمونه آزمایشگاهی و ابزاربندی آزمایش [۴]

شکل (۱): سیستم سازه‌ای مرکزگرا مبتنی بر حرکت گهواره‌ای



شکل (۴): مقایسه منحنی هیستریزس مدل تحلیلی با آزمایش

شکل (۳): نحوه مدلسازی لایه ملات زیر ستون



شکل (۶): جابه‌جایی نسبی پسماند در پل شماره ۱

ب) سیستم مرکزگرا

الف) سیستم متداول

شکل (۵): نمونه نمودار جابه‌جایی پایه پل

Design and Manufacture of Hybrid Two-phase Damper with SMA and Brake Pad

Mohammad Ghasem Vetr

Assistant Professor, Structural Engineering Research Center
vetr@iiees.ac.ir

Mehdi Saeedian

Structural Control is a new method to enhance the behavior of structure. The performance of these systems to reduce damage and improve the behavior of structures in earthquakes is based on reducing the structural demand and absorb the energy of earthquake in additive damping system. Poor performance in earthquakes with seismic level less than design basis earthquake is a defect in conventional dampers. Since the dampers are considered for design basis earthquake, they have the best performance in that seismic level. However, if the structure is designed for a seismic level less than DBE, the design will undergo acceptable limit deformations. This defect in passive dampers is the main reason for using multi-stage dampers, which makes the structure to be able to absorb the energy of structure in different seismic level. In a dual-stage system, the first fuse works in the first seismic level and the second fuse remains undamaged for better performance in high seismic levels. This behavior is shown in Figure (1).

This study aimed to investigate a combined passive damper, which is a combination of two friction and alloy dampers in order to achieve an acceptable level in seismic performance. The alloy damper has superelasticity according to Figure (2).

The minimum damage level is expect to happen in the damper because of using a shape memory alloy damper, meanwhile in stronger earthquakes, the second fuse start to work simultaneously with the first fuse and increase the performance of the structure. The most advantage of proposed damper in compare to other two-phase dampers is that the first fuse remains undamaged in average level earthquakes because of using shape memory alloy and super-elasticity property which maintain the performance of the structure in future earthquakes without needing repairs. A two-stage performance is provided by horizontal slotted hole. The schematic of the proposed design is shown in Figure (3) and the multi-linear behavior of this system is expected to be obtained as shown in Figure (4).

In order to ensure the correct operation of the proposed damper, an experimental model is designed and evaluated in the structural laboratory of IIEES, Figure (5). One of the results of this test can be seen in Figure (6).

Moreover, the results obtained from the experiment were matched to the model created in the opensees software and a satisfactory adaptation was achieved. The desired

طراحی و ساخت میراگر دوسطحی SMA و اصطکاکی

محمد قاسم وتر

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه vetr@iiees.ac.ir

مهدی سعیدیان

کنترل سازه روش پیشنهادی نوینی در بهبود رفتار سازه است. نحوه عملکرد این سیستم‌ها برای کاهش خسارت و رفتار بهتر سازه‌ها در زلزله، کاهش تقاضای سازه و جذب انرژی زلزله در سیستمی الحاقی می‌باشد. یکی از کاستی‌های میراگرهای معمول، عملکرد نامناسب آنها در زلزله با سطح خطر کمتر از زلزله طرح می‌باشد. از آنجا که میراگرها برای زلزله طرح طراحی می‌شوند، بهترین رفتار را در آن سطح خطر خواهند داشت. با این وجود، اگر طراحی برای عملکرد مناسب در زلزله‌های با شدت کمتر از زلزله طرح، طراحی شود، در زلزله طرح تغییرشکل‌های بیش‌ازحد مجاز در سازه رخ خواهد داد. این کاستی در میراگرهای غیرفعال دلیل اصلی به وجود آمدن میراگرهای غیرفعال چند سطحی است که سیستم را قادر به اتلاف انرژی در سطوح مختلفی از زلزله می‌کند. در سیستم دوسطحی، در سطح اول زلزله فقط فیوز اول (فیوز فرعی) وارد عملکرد می‌شود و فیوز دوم (فیوز اصلی) بدون آسیب برای عملکرد هرچه بهتر در زلزله‌های شدیدتر باقی می‌ماند. این رفتار در شکل (۱) نمایش داده شده است.

در این طرح، میراگر ترکیبی غیرفعال که حاصل ترکیب دو میراگر آلیاژی و اصطکاکی می‌باشد، جهت تأمین دو سطح عملکرد در سازه معرفی شده است. میراگر آلیاژی رفتار فرا ارتجاعی مطابق شکل (۲) دارد و از این رو انتظار می‌رود در سطح اول میراگر، حداقل آسیب متحمل میراگر شود. این در حالی است که در زلزله شدید، فیوز دوم نیز به عملکرد سازه اضافه شده و به‌صورت موازی با فیوز اول کار خواهد کرد.

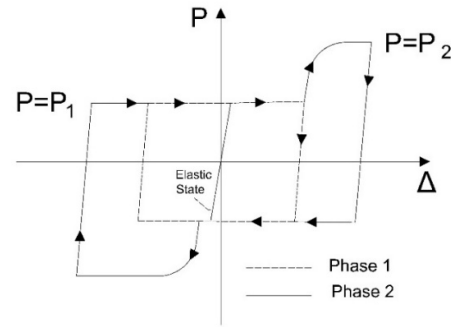
برای اطمینان از صحت عملکرد میراگر پیشنهادی، به‌صورت آزمایشگاهی با دستگاه یونیورسال در آزمایشگاه سازه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله مورد بررسی قرار گرفته است، شکل (۵). یک نمودار از نتایج این آزمایش در شکل (۶) قابل مشاهده است.

همچنین رفتار به‌دست‌آمده از آزمایش، با مدل ایجادشده در نرم‌افزار opensees مطابقت داده‌شد و انطباق قابل قبولی حاصل شد. با گردآوری و بررسی نتایج در کلیه آزمایش‌ها هدف اصلی یعنی عملکرد دوسطحی میراگرها محقق شده است و شاهد میرایی معادلی در حدود ۲۰٪ بوده‌ایم. همچنین اگر اثر اصطکاک ناخواسته ایجادشده در سطح اول صرف‌نظر شود، نمونه‌ها در فاز اول رفتار بازگشت‌پذیر بسیار خوبی داشته و بدون آسیب بوده‌اند. در نهایت، با مطالعه پارامتریک و مدلسازی ۱۵ حالت مختلف از میراگر FD-SMA2 با مشخصه‌های مختلف، مشخص شد که میراگر با مقدار مساوی نیروی جاری شدن سیم SMA و لغزش صفحات اصطکاکی، بهترین رفتار را داشته است.

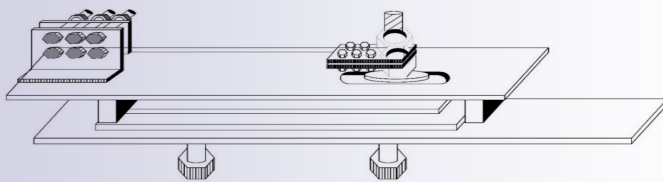
واژه‌های کلیدی: میراگر ترکیبی غیرفعال، سیستم دوسطحی، آلیاژ حافظه‌دار شکلی، میراگر اصطکاکی

performance for dual-stage dampers are achieved in all laboratory tests and in all tests, 20% equivalent damping coefficients are obtained. However, if unwanted friction is not considered, the entire specimen have an acceptable elastic behavior and remain undamaged. Finally, with the parametric study and modeling of 15 different models of FD-SMA2 damper, optimal damper was identified

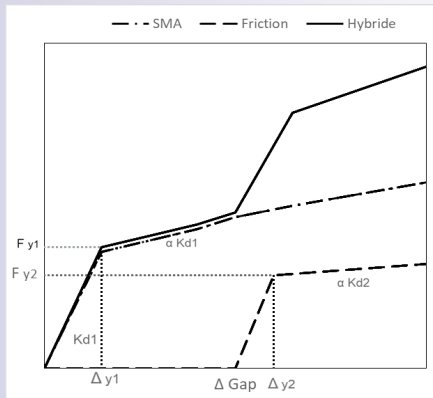
Keyword: Hybrid passive damper, Two-phase system, Shape memory alloy, Friction damper



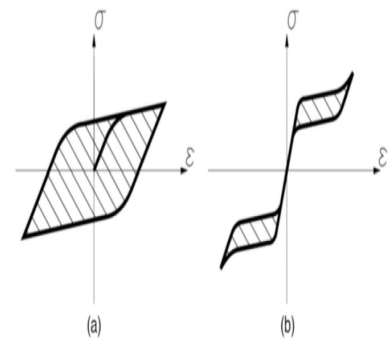
شکل (۱): منحنی رفتاری ایده‌آل برای یک سیستم دوسطحی



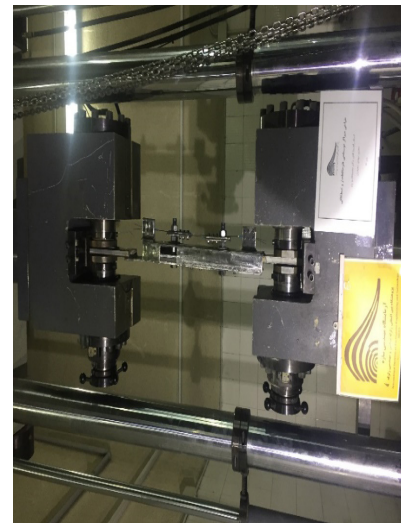
شکل (۳): هندسه میراگرهای ترکیبی



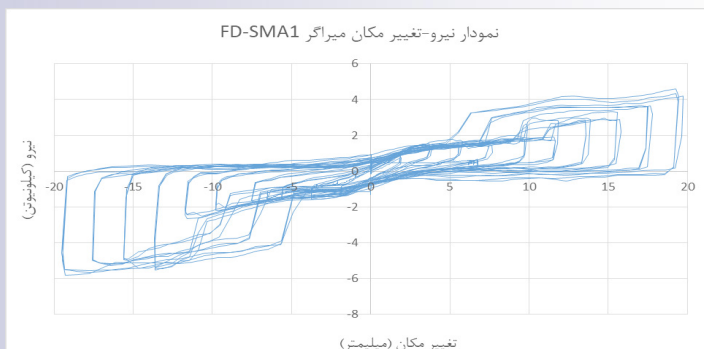
شکل (۴): منحنی چندخطی نیرو و تغییر مکان برای میراگر ترکیبی



شکل (۲): نمودار تنش- کرنش رفتار فرا ارتجاعی آلیاژ حافظه‌دار برتری اصلی میراگر پیشنهادی با سایر میراگرهای دوسطحی، آسیب ندیدن فیوز اولیه در مقابل زلزله‌های متوسط به دلیل استفاده از آلیاژ حافظه‌دار شکلی و خاصیت فرا ارتجاعی آن است که منجر به حفظ عملکرد و عدم نیاز به تعمیر آن برای زلزله احتمالی آینده می‌شود. قابلیت عملکرد دوسطحی با تعبیه یک تأخیر فاز تغییر مکانی توسط سوراخ‌های لوبیایی افقی فراهم شده است. شمای کلی طرح پیشنهادی در شکل (۳) آورده شده است و انتظار می‌رود رفتار چندخطی این سیستم، مطابق شکل (۴) حاصل شود



شکل (۵): قرارگیری میراگر FD-SMA در دستگاه یونیورسال



شکل (۶): نمودار نیرو-تغییر مکان میراگر FD-SMA

An Innovative Isolation System for Improving the Seismic Behavior of Liquid Storage Tanks

Mohammad Ali Goodarzi

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
m.a.goodarzi@iiees.ac.ir

In this study, the base isolated liquid storage tanks are considered. Common isolation systems horizontally separate a structure from its base, Figure (1). The proposed isolation system is vertically detached from the shell of the tank shell, Figure (5). In order to isolate the rocking motion of a tank, it is necessary to disconnect the tank shell from the base plate and support it on vertical isolators. In this manner, the base plate of the tank does not contribute to the rocking motion and only isolation is required under the tank shell. Eliminating the isolation of the tank base plate can eliminate the need for a solid base for isolation of the entire base plate. The number of isolation elements required decreases significantly with respect to the common horizontal isolation in which the total base area must be covered by isolation elements. These differences can significantly reduce the cost of implementation of base isolation in practice. Since the base plate is not attached to the tank wall, the hydrodynamic pressure at the base plate will not be transferred to the foundation. Therefore, plastic rotations, which are a common problem in conventional tanks, will not occur at the tank wall-base plate connections and base plate rupture will be avoided. Because the connection between the tank shell and the base plate is detached in vertical shell isolation, leakage can occur at the intersection. This problem can be solved using a flexible membrane (such as synthetic membranes) between the shell and the base plate. This prevents the leakage of fluid from the tank and allows the wall to move freely in the vertical direction. Figure (5) schematically illustrates the vertical isolation system (VIS). A filling replaceable material is placed between the soil and tank shell to prevent horizontal movement but it permits the rocking motion in tank shell wall. This filling material can be chosen from Styrofoam material.

The seismic behavior of horizontally base isolated tanks under various seismic excitations is investigated and compared with corresponding tanks without isolation system. For this purpose, the numerical simulation with finite element model is used, Figure (2).

Numerical model is validated by comparing its results with experimental measurements of sloshing wave height. As can be seen in Figure (3), the numerical model can

پیشنهاد تکنیک‌هایی برای جداسازی لرزه‌ای مخازن ذخیره مایع

محمد علی گودرزی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه m.a.goodarzi@iiees.ac.ir

در این تحقیق، به بررسی اثر جداسازها بر مخازن ذخیره مایع پرداخته شده است. برای این کار لازم است که میزان بکارگیری جداسازها بر کاهش پاسخ لرزه‌ای مخازن مورد ارزیابی قرار گیرد. دو نوع جداساز مورد توجه قرار گرفته است. نوع اول مربوط به جداسازهای افقی و معمول است که در اکثر سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، شکل (۱).

در رابطه با جداسازهای افقی معمول، پیشنهاد شده است که این جداسازها در زیر دیواره مخزن قرار گیرند. با اینکار لزومی به ایجاد کف صلب برای مخازن نیست، و دیواره مخزن می‌تواند آزادانه و جدا از کف حرکت کند. برای جلوگیری از خروج مایع، می‌توان از غشاهای انعطاف‌پذیر استفاده نمود. رفتار این مخازن با جداساز افقی با شبیه‌سازی رایانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است، شکل (۲).

مدل عددی ساخته شده در حالت بدون جداساز لرزه‌ای و تحت بارهای هارمونیک و لرزه‌ای مورد صحت‌سنجی قرار گرفته است. در شکل (۳)، نمونه‌ای از نتایج سطح آزاد مایع برای بارهای هارمونیک ورودی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است که بیانگر دقت بسیار خوب مدل عددی ایجاد شده است.

بکارگیری جداسازی لرزه‌ای می‌تواند به طور چشمگیری نیروهای مهم طراحی لرزه‌ای مخازن را کاهش دهد و حتی تا مقدار بیش از نصف مقدار بدون جداساز، در کاهش پارامترهای اصلی طراحی تأثیر داشته باشد. اما جداسازها عمدتاً بر روی ارتفاع آزاد امواج سطحی مایع تأثیر خاصی ندارند. همچنین امکان استفاده از مدل‌های ساده شده جرم و فنر در مخازن ذخیره مایع مجهز به سیستم جداساز بررسی شد و نتیجه‌گیری شد که مدل‌های جرم و فنر کاملاً می‌توانند برای مخازن دارای جداساز لرزه‌ای نیز بکار گرفته شوند.

نوع دوم استفاده از جداسازهای قائم است که در این تحقیق برای مخازن پیشنهاد شده است، شکل (۵). در رابطه با جداسازی قائم جداره مخزن، در بخش پایانی تحقیق یک روش نوین و کارآمد مقاوم‌سازی مخازن، مبتنی از استفاده از ایزولاتورهای قائم برای افزایش جذب انرژی و بهبود کلی عملکرد لرزه‌ای پیشنهاد شده است. در این روش نیز برخلاف روش‌های مرسوم جداسازی لرزه‌ای که نیروی برشی سیستم را در جهت افقی ایزوله می‌نمایند، دیواره مخزن از ورق کف جدا شده و جداسازها قائم لرزه‌ای در زیر دیواره قرار می‌گیرند. این در حالی است که ورق کف، همچنان روی زمین قرار دارد. بدین ترتیب در این سیستم، مستقیماً نیروهای قائم ناشی از لنگر واژگونی مخزن ایزوله می‌شوند. حذف جداسازها از زیر ورق کف نیاز به ایجاد یک بستر صلب در کل محدوده زیر کف مخزن را مرتفع ساخته و به لحاظ اقتصادی هزینه اجرای جداسازی پایه را در عمل به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد.

برای بررسی میزان اثربخشی روش پیشنهادی با کمک مطالعات تحلیلی از مدل ساده شده نشان داده شده در شکل (۶) استفاده شده است.

مطالعات عددی اجزای محدود تحت رکوردهای واقعی زلزله مورد

properly predict the time history of liquid motion observed in experiment.

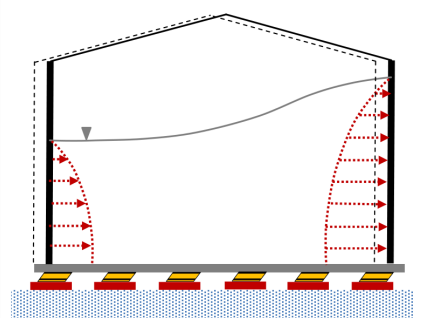
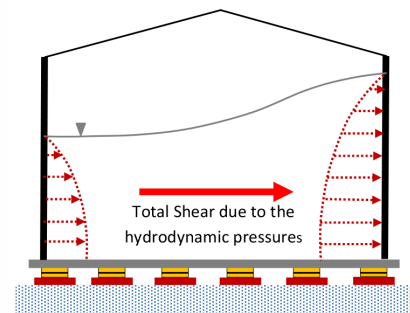
The verified numerical model has been used for parametric study on real scale tanks. The results show that the isolation of liquid tanks can significantly reduce the seismic responses in terms of overturning moment or base shear forces, Figure (4). However, it cannot affect the sloshing wave height significantly.

In order to investigate the efficiency of the proposed Vertically Isolating System (VIS) which is schematically presented in Figure (5), the governing equations of dynamic motion were extracted from a mechanical model of the proposed system. Figure (6) and a comprehensive parametric study was performed on a range of liquid storage tanks geometry. The aspect ratios and the height of the liquid were varied to cover most practical ranges. The results showed that the proposed VIS can reduce the overturning moment up to 90%, shown in Figure (7) which will seismically protect the liquid tanks from failure, including shell buckling, under strong ground shaking.

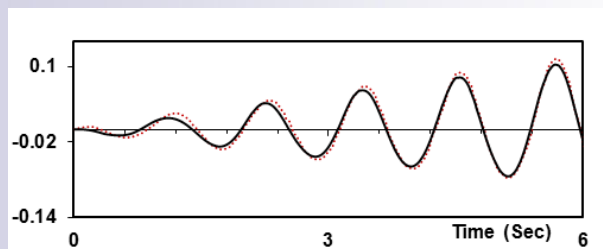
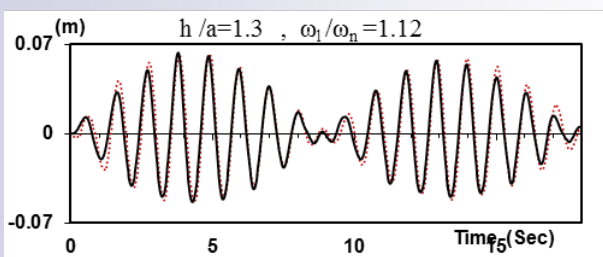
Keywords: Liquid tanks, Buckling in the shell, Vertically isolating system, Horizontally isolating system, Mass-Spring model, Numerical simulation

بررسی قرار گرفته است. نتایج مطالعات عددی اجزای محدود و مطالعات تحلیلی انجام شده، دارای انطباق مناسبی با یکدیگر می‌باشند. هر دو روش بر کاهش میزان پاسخهای لرزه‌ای مخازن در صورت استفاده از سیستم پیشنهادی اذعان داشته و میزان کارایی سیستم را در مخازن لاغر بیشتر از مخازن پهن برآورد می‌نمایند.

واژه‌های کلیدی: مخازن ذخیره، کماتش جداره مخزن، جداسازهای لرزه‌ای افقی، جداسازهای لرزه‌ای قائم، مدل‌های جرم - فنر، شبیه‌سازی رایانه‌ای

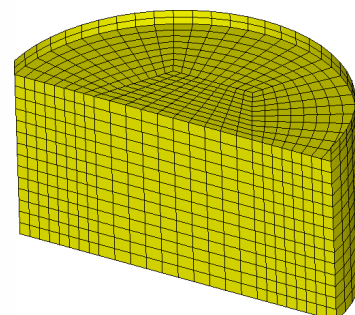


شکل (۱): تصویر شماتیکی از جداسازهای متداول افقی

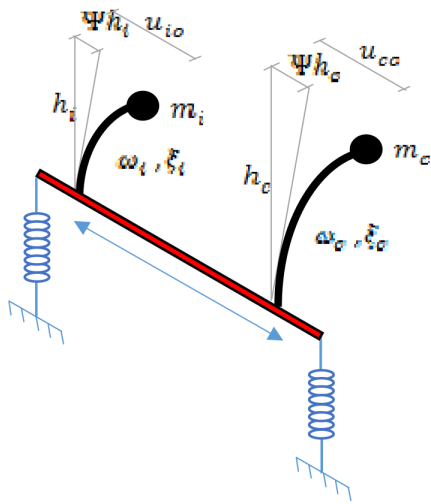


..... Experimental Results — Numerical Results

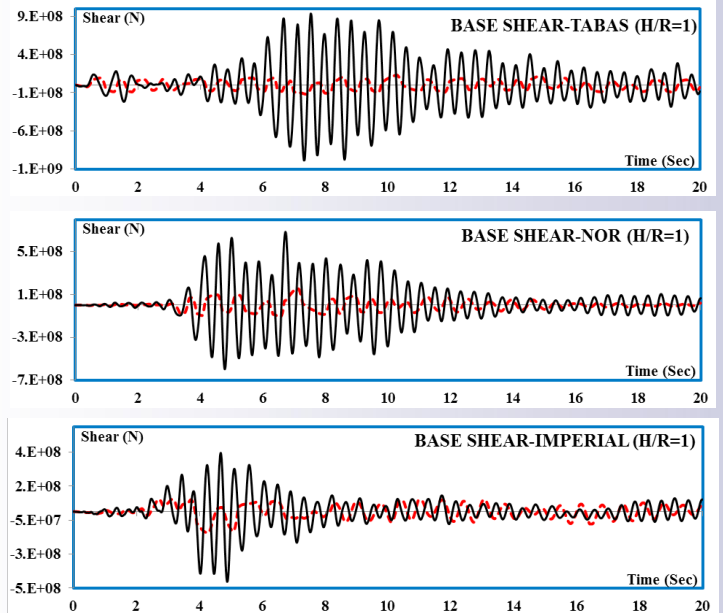
شکل (۳): مقایسه نتایج حاصل از اندازه‌گیری آزمایشگاهی و نتایج حاصل از حل عددی تحت بارهای هارمونیک با فرکانس‌های مختلف



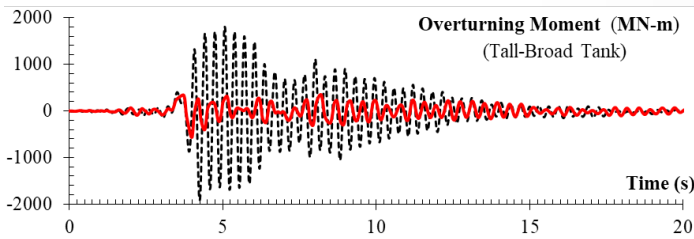
شکل (۲): شبکه‌بندی مدل اجزای محدود مورد استفاده برای مخازن مورد بررسی



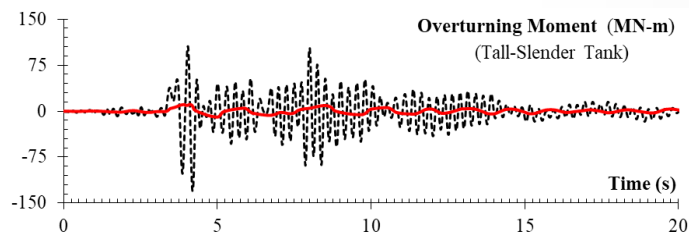
شکل (۶): مدل ساده شده معادل سیستم جداسازی پیشنهادی



شکل (۴): نمونه‌ای از نمودار تاریخچه زمانی نیروی برشی مربوط به مخزن با ابعاد متوسط تحت سه زلزله مختلف

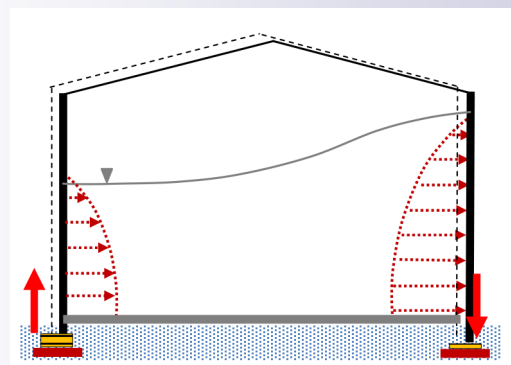
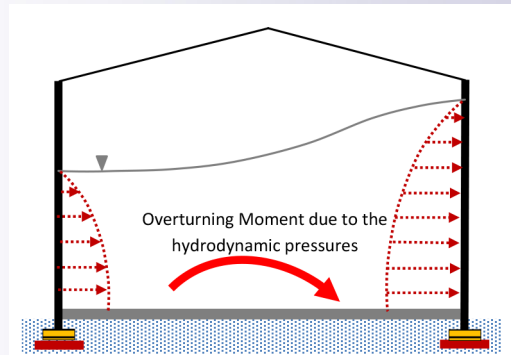


مخزن بلند-پهن {H=16.8m, H/D=0.3, N=72}



مخزن بلند-لاغر {H=16.8m, H/D=1.5, N=24}

شکل (۷): بررسی کارایی سیستم پیشنهادی ایولاتور قائم در مخازن منتخب: میزان تأثیر هندسه مخزن در کاهش لنگر واژگونی تحت زلزله 1994 Northridge و مقیاس شده به $(T_{iso} = 2.0s, \xi_b = 0.10)$ 0.6g



شکل (۵): تصویر شماتیکی از جداسازهای نوین پیشنهاد شده در این تحقیق که به جای نیروی برشی، لنگر خمشی را ایزوله می‌کنند

Strengthening of Masonry-Infilled Reinforced Concrete Frame Using Prefabricated Engineered Cementitious Composites Panels

Fariborz Nateghi Elahi

Professor, Structural Engineering Research Center
nateghi@iiees.ac.ir

Ayub Dehghani, Mohammad Hossein Ahmadi

Masonry-Infilled frames, vulnerable under earthquakes, are one of the most widely used in Iran. Thus, to mitigate their vulnerability they should be evaluated under earthquakes well. Although there are many experimental and analytical studies on this matter, few studies work on masonry infill walls. Also, representation of applicable and safe approach of retrofit of buildings is needed due to new codes. In strengthening of infills, composite materials are widely used. In this research, Engineered Cementitious Composites (ECCs), recently developed, are used to retrofit masonry-infilled frames. There are many problems and challenges in retrofit procurement. Therefore, using prefabricated ECC panels in masonry-infilled frames is evaluated by considering interaction of frames and panels as well as their design and procurement. 8 different mixtures are proposed to develop the tensile behavior of ECC and find the best mixture. Then, 9 masonry panels are evaluated before and after retrofit in diagonal-compression test to assess the proposed connections. In the next step, 5 masonry-infilled RC frames in 1:2 scale are tested under cyclic loading with various conditions. Different ECC panels were used with different thicknesses and connections and one sided or two sided. Finally, finite element modeling is developed to be used in analysis and design of these buildings before and after retrofit using ECC materials. The results show that the best mixture improved the tensile behavior of ECC and using prefabricated ECC panels increase the strength of masonry infilled RC frames 100% and the cumulative energy dissipation about 175%.

Keywords: Infilled RC frames, Strengthening, Prefabricated ECC panels, Micro modeling

مقاوم سازی قابهای بتن آرمه میانبر با استفاده از پانل های پیش ساخته کامپوزیت های سیمانی

فریبرز ناطقی الهی

استاد پژوهشگر مهندسی سازه nateghi@iiees.ac.ir

ایوب دهقانی، محمدحسین احمدی

کامپوزیت های سیمانی مهندسی نوع منحصر به فردی از کامپوزیت های مسلح الیافی توانمند است که بر اساس علم میکرومکانیک مواد طراحی شده است. از آنجا که این مصالح در دهه های اخیر طراحی و توسعه داده شده برخی از جنبه های وابسته به استفاده از این مصالح در صنعت همچنان مجهول است. مهم ترین نکته مبهم استفاده از این مصالح بررسی رفتار باند لغزش میلگرد به کار رفته در این کامپوزیت است که نقش اساسی در عملکرد سازه ای دارد و باید به این مهم پاسخ داده شود. هدف از این پژوهش، ارزیابی رفتار باند لغزش میلگردهای فولادی تعبیه شده در کامپوزیت های سیمان مهندسی تحت بارگذاری یکنواخت با قطر میلگردهای متفاوت و توسعه نمودارهای تنش لغزش به منظور بررسی رفتار چسبندگی میلگرد به کامپوزیت سیمانی مهندسی می باشد. جهت ارزیابی رفتار باند بین میلگرد و کامپوزیت های سیمانی مهندسی و مقایسه آن با رفتار باند بین میلگرد و بتن متعارف، نمونه های بیرون کشیدگی شامل ۱۲ نمونه های بتن متعارف و نمونه کامپوزیت سیمانی مهندسی با میلگردهای متغیر به قطرهای ۱۰، ۱۲ و ۱۶ و ۲۰ میلی متر با عمق مدفون پنج برابر قطر میلگرد تهیه گردید. در این تحقیق، آزمایش بیرون کشیدگی توسط دستگاه کشش بر اساس استاندارد ASTM C900-15 صورت می پذیرد. آزمایش ها به این صورت است که بعد از قرارگیری نمونه ها داخل چیدمان دستگاه و نصب LVDT ها بر روی میلگرد و بتن و جک دستگاه، دستگاه کشش را با نیروی مشخصی راه اندازی کرده و تغییرات نیرو-لغزش و جابه جایی توسط LVDT ها به دیتالاگر منتقل شده و سپس در سیستم داده ها ذخیره می شود. اطلاعات حاصله با استفاده از نرم افزار پردازش شده و نمودارهای تنش-لغزش بین آرماتور و کامپوزیت های سیمانی مهندسی با بتن متعارف مقایسه می گردد. نتایج تجربی نشان داد که استفاده از الیاف PVA در نمونه های کامپوزیت سیمانی مهندسی باعث بهبود ناحیه باند در میلگردهای شماره ۱۶ و ۲۰ در مقایسه با نمونه های بتن متعارف گردید. همچنین با افزایش قطر میلگرد در بتن متعارف رفتار باند کاهش یافت.

واژه های کلیدی: رفتار چسبندگی، لغزش، آزمون بیرون کشیدگی، کامپوزیت سیمانی مهندسی، شکل پذیری، محصور شدگی، جذب انرژی

Evaluation of Progressive Collapse Potential of a Steel Building Subjected to Two Columns Failure After Earthquakes

Fariborz Nateghi Elahi

Professor, Structural Engineering Research Center
nateghi@iiees.ac.ir

Mehran Seyed Razzaghi, Niloofer Parsaei

Progressive collapse is a kind of failure in which the collapse of one or several load bearing elements is ended in partial or total collapse of structures. If earthquakes induce progressive collapse, seismic and gravity loads cause initial failure propagating to other parts of structures. Therefore, seismic progressive collapse can occur in structures regardless the number of stories. In this paper the behavior of a one story steel building is studied to investigate the effect of initial damaged column position on the seismic progressive collapse. In this regard, the critical position of damaged column has been identified first and then, the effect of damaged column is studied. Accordingly, nonlinear dynamic analysis has been used to obtain the fragility curves of the structure and investigate its failure probability. A damage index has also been used to validate the results. Based on the results obtained in this research, the initial failure of a middle column can increase the failure probability of structures during earthquakes. Besides, among the evaluated design parameters, the failure probability is changed significantly in the columns in accordance with their axial loads.

Keywords: Progressive damage, Steel framed buildings, Probability, Column, Failure, Earthquake

ارزیابی پتانسیل خرابی پیشرونده در ساختمان فولادی تحت اثر از دست دادن دو ستون بعد از وقوع زلزله

فریبرز ناطقی الهی

استاد پژوهشکده مهندسی سازه nateghi@iiees.ac.ir

مهران سیدرزاقی، نیلوفر پارسایی

خرابی پیشرونده از مباحث مهم در تخریب سازه‌ها در برابر نیروهای آتی بخصوص زلزله و برخورد ناشی از انواع نیروهای محرکه می‌باشد. در این تحقیق، برای بررسی سازه‌های فولادی در اثر از دست دادن دو ستون بعد از زلزله‌ها لاشی صورت گرفته است. قسمت اول این تحقیق به تئوری حاکم بر خرابی پیشرونده و سپس طی مراحل آزمایشگاهی با ضعیف‌سازی ستونها به ترتیب نتایج حاصل شده است که در گزارش به روش دقیق تحلیل اشاره شده است. همان‌گونه که از نتایج این بررسی آزمایشگاهی مشخص است، اهداف تحقیق به شرح ذیل بوده که برای هر یک از مبانی مطرح شده و نتایج قابل توجه‌ای بدست آمده است. نظر به امکان تخریب ستونها در سازه‌ها به هنگام زلزله و یا سایر موارد، اهداف مد نظر این رساله عبارتند از:

- شناسایی رفتار سازه (اعم از تغییر شکل‌ها و جابه‌جایی‌ها) در صورت وجود ضعف اولیه به صورت تحلیلی و آزمایشگاهی؛
 - بررسی اثر موقعیت ستون ضعیف در رفتار سازه؛
 - ارزیابی تأثیر تعداد دهانه‌ها در دو جهت اصلی سازه بر روی رفتار سازه؛
 - ارزیابی تأثیر نسبت طول دهانه‌ها در دو جهت اصلی سازه بر روی رفتار سازه؛
 - ارزیابی احتمال خرابی ستونهای مختلف بر اساس تئوری منحنی شکنندگی؛
 - ارزیابی الگوی خرابی سازه به هنگام وقوع زلزله.
- با جمع‌بندی نتایج بدست آمده از مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی می‌توان نتیجه گرفت که در ساختمان فولادی یک طبقه در صورت وجود ضعف در یکی از ستونهای سازه:
- رفتار غیرخطی سازه با آنچه در سازه‌های بدون ضعف اولیه انتظار می‌رود، متفاوت خواهد بود. به عبارتی، مشابه سازه‌های معمول خرابی در سازه به صورت یکنواخت توزیع نشده و در مجاورت ستون ضعیف متمرکز می‌گردد؛
 - به هنگام وقوع زلزله سازه دچار پیچش شده و تغییر شکل‌های غیرخطی اعضای سازه‌ای مجاور ستون ضعیف بیشتر از المان‌های دورتر می‌باشد؛
 - با افزایش نسبت تعداد و طول دهانه‌های سازه در راستای عمود بر اعمال بار به تعداد آنها در راستای دیگر رفتار سازه بحرانی‌تر خواهد بود؛
 - موقعیت ستون ضعیف بحرانی در حالتی که خرابی پیشرونده ناشی از بارهای ثقلی باشد کاملاً متفاوت از موقعیت آن به هنگام وقوع خرابی پیشرونده ناشی از اثر توأم بارهای لرزه‌ای و ثقلی می‌باشد؛
 - علی‌رغم اینکه مطالعات خرابی پیشرونده در سازه‌ها به صورت مستقل از علت وقوع خرابی اولیه انجام می‌شوند، در این مطالعات، علت وقوع خرابی یا نیروی زلزله باید در نظر گرفته شود. بنابراین خرابی پیشرونده لرزه‌ای را نمی‌توان به صورت مستقل از علت وقوع خرابی اولیه مورد بررسی قرار داد.

واژه‌های کلیدی: خرابی پیشرونده، ساختمانهای فولادی، آزمایشگاه، خرابی ستون، انفجار، زلزله

Seismic Risk Assessment of Lifeline Networks Using Extreme Value Theory

Morteza Bastami

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
m.bastami@iiees.ac.ir

Afshin Fallah, Shahin Borzoo

Lifeline networks are systems with a wide range of service levels, that their optimal performance in extreme events ensures the reduction of direct and indirect losses to the society. The seismic assessment of lifeline networks is based on two methods: user-defined scenarios and conventional Monte Carlo simulation of earthquake scenarios. The biggest criticism of the method of user-defined scenarios are the selection of the number of scenarios and its magnitude according to the change of the type and dimensions of the desired network. In the face of a new network, the effect of selecting the number and magnitude of scenarios on the results of the seismic analysis of the desired network is unclear and the user is insufficiently aware of the consequences of his choosing.

In the simulation of seismic scenarios using simulation methods such as Monte Carlo, a large number of scenarios are generated for network analysis, which has a high computational cost, and also many of them have low affect intensity. Therefore, instead of using all scenarios, those that are more important in network analysis must be used. These scenarios are named as extreme scenarios with a low probability of exceedance and large return period. Therefore, in this study, the use of extreme value theory is proposed to select extreme scenarios. This theory focuses on observations with a low probability of exceedance and large return periods. In the family of extreme values, there are two common distributions: generalized extreme value (GEV) distribution for maximum values of blocks with the same time interval and the generalized Pareto distribution (GPD) for values above a determined threshold. In this study, a novel method to select extreme scenarios for seismic assessment of lifeline networks is proposed. This method using the selection of extreme scenarios reduces the computational expenses of the seismic assessment of lifeline networks. The proposed method is applied on a hypothetical example with three bridges, two real networks with 26 and 77 bridges in Tehran. This method is investigated using bridge damage index and hazard curve. Results show the prosperity of the proposed method to select extreme scenarios from 100000 simulated scenarios for the intended network. In a part of the

ارزیابی لرزه‌های شبکه‌های شریان حیاتی بر مبنای نظریه مقادیر کرانگین

مرتضی بسطامی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه m.bastami@iiees.ac.ir

افشین فلاح، شاهین برزو

شبکه‌های شریان حیاتی سامانه‌هایی با سطح خدمت‌رسانی گسترده هستند که عملکرد مطلوب آنها در بحران‌های شدید، متضمن کاهش خسارات مستقیم و غیرمستقیم در کل جامعه است. ارزیابی لرزه‌های شبکه‌های شریانی مبتنی بر دو روش، سناریوهای انتخابی توسط کاربر یا سناریوهای تولیدشده با روش مونت‌کارلو است. بزرگترین مشکل روش سناریوهای انتخابی توسط کاربر، انتخاب تعداد سناریوها و بزرگی آن با توجه به مشخصات شبکه موردنظر است. به این نحو که در مواجهه با شبکه جدید، تأثیر انتخاب تعداد و بزرگی سناریوها بر نتایج تحلیل شبکه موردنظر نامشخص است و کاربر از پیامدهای انتخاب خود آگاهی کافی ندارد.

در تولید سناریوهای لرزه‌ای با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی هم‌چون مونت‌کارلو، تعداد زیادی سناریو برای تحلیل شبکه تولید می‌شود که هزینه محاسباتی زیادی به همراه دارد و علاوه بر آن بسیاری از سناریوهای تولیدی دارای شدت اثر کمی هستند. از این‌رو به جای استفاده از همه سناریوها، می‌بایست برای تحلیل شبکه از سناریوهایی استفاده نمود که دارای درجه اهمیت بیشتری در تحلیل شبکه هستند. این سناریوهای لرزه‌ای که از آنها به‌عنوان سناریوهای بحرانی یاد می‌شود، اصولاً سناریوهایی هستند که دارای احتمال وقوع پایین‌تر و دارای دوره بازگشت‌های طولانی‌تر هستند. به همین منظور در این پژوهش، برای انتخاب سناریوهای بحرانی، استفاده از نظریه مقادیر کرانگین پیشنهاد شده است. این نظریه به تحلیل مجموعه مشاهدات با احتمال رخداد پایین و دوره بازگشت طولانی می‌پردازد. در خانواده مقادیر کرانگین از دو توزیع رایج مقادیر کرانگین تعمیم‌یافته (GEV)، برای ماکسیمم‌های انتخاب‌شده از دسته‌های با بازه زمانی یکسان و توزیع پارتو تعمیم‌یافته (GPD)، برای مقادیر بالاتر از یک آستانه خاص، می‌توان نام برد. در پژوهش حاضر، با استفاده از توزیع GPD، یک روش انتخاب سناریوهای بحرانی در تحلیل لرزه‌های شبکه‌های شریانی ارائه شده است. این روش با انتخاب سناریوهای بحرانی، هزینه‌های محاسباتی در تحلیل شبکه‌های شریانی را کاهش داده است. روش ارائه شده بر روی یک شبکه فرضی با ۳ پل، دو شبکه ۲۶ تایی و ۷۷ تایی از پل‌های تهران اعمال و بررسی شده است. روش ارائه شده از طریق بررسی شاخص خرابی پلها و منحنی خطر ارزیابی شده است.

در بخش آخر پژوهش، با استفاده از مدل‌های چندجمله‌ای به مدلسازی همبستگی فضایی احتمالات خرابی در شبکه‌های شریانی پرداخته شده است. علاوه بر همبستگی در شدت‌های جنبش زمین، همبستگی متقاطع احتمالات خرابی در گره‌های یک شبکه شریانی و همبستگی متقاطع مابین پنج سطح خرابی (بدون خرابی، کم، متوسط، شدید و کامل) در هر گره (پل) در نظر گرفته شده است. نتایج در دو حالت همبسته و مستقل بررسی شده است. در این بررسی، میزان افزایش زمان سفر (زمان تاخیر) به عنوان پارامتر عملکردی شبکه انتخاب شده است. بررسی مقادیر افزایش زمان سفر موردنظر برای

proposed method, 24 ground-motion model using GPD and Bayesian theory are developed and used. The use of GPD distribution is based on studies performed in selecting the appropriate distribution for ground-motion data.

The appropriate distribution of large intensities of ground-motion is investigated and determined using the extreme value theory. For this purpose, normal, lognormal and GEV distributions are investigated. The results show by using the GEV distribution, the root mean square error and standard deviation of residuals are reduced about, 19% and 18%, respectively than lognormal distribution. Moreover, a method to use block maxima in seismic data is presented. Also, the ground motion model is used to evaluate the most appropriate distribution for PGA data.

In the last section of the study, using logistic multinomial models, the spatial correlation of damage probabilities in lifeline networks is modeled and the extreme scenario selection method is applied to a network of 77 bridges in Tehran. In addition to the correlation in the intensities of ground-motion, the cross-correlation of damage probabilities of nodes of a lifeline network and cross-correlation between five damage states (no damage, slight, moderate, extensive and complete) in each node are considered. Using the proposed extreme scenarios selection method, 68 extreme scenarios are yielded (for 2475 return period). The results are investigated in two different cases: correlated and uncorrelated. The results show that the values of damage probabilities are increased by about 19% at complete damage state using damage correlation. Also, the values of damage probabilities in moderate and extensive damage states are reduced respectively, about 18% and 14%. In this study, the extra daily traffic time (EDTT) is selected as a functional parameter of the network. The EDTT values for all nodes (each node to other nodes) are investigated. To select the path between two nodes, the shortest path algorithm is used. Based on the results, including damage correlation will increase the EDTT in the network. The highest increase in travel time in the correlated case than to the uncorrelated are 13.5% and 57%. Finally, the model of the spatial correlation of damage probabilities using Monte Carlo scenarios is applied to a network of 26 bridges in Tehran. The results show including damage correlation will decrease the EDTT in the network. Using two travel time models, the average of the decrease in travel time in the correlated case than to the uncorrelated are 53% and 71%, respectively.

Keywords: Risk Assessment, Lifeline Networks, Extreme Value Theory

کلیه ایستگاه‌ها (از هر ایستگاه به سایر ایستگاه‌ها) صورت گرفته و از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر برای انتخاب مسیر بین دو گره استفاده شده است. در انتها مدل همبستگی احتمالات خرابی بر روی یک شبکه ۲۶ تایی از پل‌های تهران اعمال شده است. برای این مدل از سناریوهای مونت کارلو استفاده شده است و تحلیل‌های همبستگی و نقشه‌های شدت اعمال شده است.

نتایج مهم حاصله از پژوهش صورت گرفته:

- کاهش هزینه محاسباتی تحلیل شبکه با استفاده از نظریه مقادیر کرانگین؛
- استفاده از نظریات مختلف آماری با قابلیت کاربرد در تحلیل ریسک لرزه‌ای شبکه‌های شریانی به منظور کاهش هزینه محاسباتی تحلیل شبکه؛
- ارتقای مدل‌های جنبش زمین به خصوص در شدت‌های بالا با استفاده از توزیع GEV به جای لگ‌نرمال؛
- شکل‌گیری نسل جدید مدل‌های جنبش زمین بر مبنای توزیع‌های مقادیر کرانگین؛
- ارائه روش دو مرحله‌ای برای کاهش سناریوهای اضافه و انتخاب سناریوهای بحرانی؛
- تفوق روش پیشنهادی با استفاده از نظریه مقادیر کرانگین، در انتخاب ۶۰ سناریوی بحرانی از میان ۱۰۰۰۰۰ سناریو؛
- استفاده از توزیع GEV برای قسمت‌های میانی داده‌ها و استفاده از توزیع GPD در قسمت دم داده‌ها؛
- مدل‌سازی همبستگی فضایی احتمالات خرابی در شبکه‌های شریانی با استفاده از مدل‌های چندجمله‌ای؛
- همبستگی متقاطع احتمالات خرابی گره‌های یک شبکه شریانی و همبستگی متقاطع مابین پنج سطح خرابی (بدون خرابی، کم، متوسط، شدید و کامل) در هر گره؛
- عملکرد مناسب مدل همبسته در محاسبه احتمالات خرابی. جمع‌بندی نتایج حاکی از برتری توزیع‌های خانواده کرانگین در مدل‌سازی شدت‌های بزرگ جنبش زمین است.
- استفاده از توزیع GEV در مدل‌سازی شدت‌های جنبش زمین مربوط به یک زلزله؛
- روش دو مرحله‌ای ارائه شده، با استفاده از توزیع GPD، قابلیت انتخاب سناریوهای بحرانی در تحلیل لرزه‌ای شبکه‌های شریانی را دارد و هزینه‌های محاسباتی آن را کاهش داده است؛
- در نظر گرفتن همبستگی خرابی‌ها، منجر به تغییر مقادیر احتمال خرابی در سطوح مختلف خرابی شبکه شده است که در نتایج عملکرد شبکه و زمان سفر مؤثر است. این موضوع، ضرورت در نظر گرفتن همبستگی احتمالات خرابی در تحلیل لرزه‌ای شبکه‌های شریانی را نشان می‌دهد. در انتها، می‌توان به سه موضوع اساسی زیر جهت پژوهش‌های آتی اشاره نمود:
 - ۱- توسعه نسل نوین مدل‌های جنبش زمین با استفاده از توزیع GPD؛
 - ۲- استفاده از نظریه مقادیر کرانگین در تعیین نقاط با اهمیت شبکه به منظور کاهش ریسک آن؛
 - ۳- برآورد ماتریس کواریانس برای احتمالات خرابی در سطوح مختلف و برای نقاط مختلف از شبکه.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی لرزه‌ای، شبکه‌های شریان حیاتی، نظریه مقادیر کرانگین

Estimating Earthquake Intensity Measures Considering Spatial Correlations for Seismic Assessment of Lifeline Networks

Morteza Bastami

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
m.bastami@iiees.ac.ir

Alireza Garakaninejad

Considering spatial correlation of multiple earthquake intensity measures is of particular importance in loss assessment of spatially distributed assets. Previous studies have been shown that ignorance of the spatial correlation of earthquake intensity measures causes significant impacts on the results of seismic hazard and risk assessment of spatially distributed systems. Although this subject has been investigated in previous studies, the assumption of isotropy is the main basis for existing studies. Considering the fact that the assumption of isotropy is not valid in general, the present study aims to investigate the assumption of isotropy of intra-event residuals of peak ground velocity PGV and peak ground displacement PGD. Moreover, this study focuses on considering anisotropy on the modeling of the multivariate random field of earthquake intensity measures.

In this study, the assumption of isotropy of intra-event residuals of PGV and PGD is investigated implementing a nonparametric statistical test. Using recorded data of nine earthquake events, it is concluded that there is no sufficient evidence to support the assumption of isotropy and in general, the set of intra-event residuals of PGV and PGD should be considered as the realization of anisotropic random fields. Moreover, this study employs a non-separable covariance model based on latent dimensions to investigate anisotropic properties of spatial correlations and cross-correlations of intra-event residuals of multiple earthquake intensity measures (IMs). Two sets of IMs are considered in the second stage of this study. The first set consists of peak ground acceleration, velocity, and displacement values and the second set consists of spectral accelerations at three different periods. Data of ten earthquake events in California and Japan are utilized in the second stage of the current study to estimate the parameters of marginal and cross-covariance models. Moreover, parameters of the covariance model of regional site condition, which is considered as average shear wave velocity of the top 30 meters of the soil profile (V_{s30}), are obtained in order to investigate the effect of local sited conditions on spatial correlations of IMs.

Investigations show that anisotropy properties of intra-

تخمین فضایی جنبش نیرومند زمین برای ارزیابی لرزه‌ای شبکه‌های شریان حیاتی

مرتضی بسطامی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه m.bastami@iiees.ac.ir

علیرضا گرکانی‌نژاد

همبستگی فضایی متغیرهای شدت زمین‌لرزه تأثیرات قابل‌توجهی بر نتایج تحلیل خطر لرزه‌ای و ارزیابی ریسک لرزه‌ای سیستم‌ها یا مجموعه‌های دارای پراکندگی فضایی دارد. اگرچه این موضوع در مطالعات قبلی مورد بررسی قرار گرفته است، اما فرض همسانگردی همبستگی فضایی، اساس اصلی مطالعات موجود را تشکیل می‌دهد. با توجه به این واقعیت که فرض همسانگردی همبستگی فضایی متغیرهای شدت زمین‌لرزه به‌طور کلی معتبر نیست، مطالعه حاضر در گام نخست، به بررسی این فرض در باقیمانده‌های درون رخدادی متغیرهای شدت PGD و PGV پرداخته است. همچنین، این مطالعه درصدد است تا موضوع ناهمسانگردی را در مدلسازی میدان‌های تصادفی چند متغیره شدت زمین‌لرزه مورد بررسی قرار دهد.

در این پژوهش، با استفاده از یک آزمون آماری ناپارامتری، فرض همسانگردی باقیمانده‌های درون رخدادی PGV و PGD بررسی شده است. با استفاده از داده‌های ثبت‌شده از ۹ رویداد زلزله، نتیجه گرفته شد که فرض همسانگردی همبستگی فضایی باقیمانده‌های درون رخدادی متغیرهای شدت PGD و PGV به‌طور کلی فرض پذیرفته شده‌ای نیست. علاوه بر این، در این مطالعه از یک مدل کوواریانس تفکیک‌ناپذیر مبتنی بر روش ابعاد مجازی برای بررسی ناهمسانگردی همبستگی فضایی چند متغیره باقیمانده‌های درون رخدادی شدت زمین‌لرزه استفاده شده است. بدین منظور، میدان‌های تصادفی چند متغیره باقیمانده‌های درون رخدادی دو گروه از متغیرهای شدت زمین‌لرزه (گروه اول شامل PGA، PGV و PGD و گروه دوم شامل SA در سه زمان تناوب ۰/۵، ۱ و ۲ ثانیه) مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های ۱۰ رویداد زلزله در کالیفرنیا و ژاپن برای تخمین پارامترهای مدل‌های کوواریانس پیشنهادی استفاده شده است. علاوه بر این، پارامترهای مدل کوواریانس مشخصات خاک (V_{s30}) برای بررسی تأثیر این متغیر در همبستگی فضایی متغیرهای شدت زمین‌لرزه مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج نشان می‌دهد مشخصات ناهمسانگردی باقیمانده‌های درون رخدادی متغیرهای شدت زمین‌لرزه به خصوصیات ناهمسانگردی ساختگاه وابسته است. همچنین با استفاده از روش ابعاد مجازی که منجر به تولید ماتریس کوواریانس معتبر برای مدلسازی میدان‌های تصادفی چند متغیره ناهمسانگرد می‌شود، نشان داده شده است که حداکثر دامنه و نسبت ناهمسانگردی مدل‌های کوواریانس باقیمانده‌های درون رخدادی متغیرهای شدت زمین‌لرزه با مشخصات همبستگی ناهمسانگرد مقادیر V_{s30} ارتباط دارند. علاوه بر این، راستای ناهمسانگردی باقیمانده‌های درون رخدادی متغیرهای شدت زمین‌لرزه با راستای ناهمسانگردی مقادیر V_{s30} سازگار است. درنهایت، مدل‌هایی برای به دست آوردن توابع کوواریانس حاشیه‌ای و مقاطع متغیرهای مختلف زمین‌لرزه با در نظر گرفتن ناهمسانگردی ارائه

event residuals of PGV and PGD are related to anisotropy properties of site condition. In this regard, predictive models are proposed based on obtained results in order to simulate the correlated values of PGV and PGD considering anisotropy. Moreover, using latent dimensions method, it is shown that the maximum range and anisotropy ratio of marginal and cross-covariance models of intra-event residuals of IMs are correlated with those of Vs30 values. Also, it is observed that the anisotropy direction of the residuals of IMs is consistent with the anisotropy direction of Vs30 values. Finally, predictive models are proposed to obtain marginal and cross-covariance functions for different sets of earthquake IMs considering anisotropy. Besides, the effect of considering or ignorance of the anisotropy of spatial correlations of earthquake IMs on the result of seismic risk assessment and seismic resiliency assessment of spatially distributed assets are investigated.

In the final step of this research, new deterministic resilience metrics has been developed to overcome the drawbacks of existing indices. Then using Bayesian Network, the proposed resilience metrics are utilized along with the proposed seismic hazard models in order to develop a probabilistic resilience assessment methodology.

Keywords: Spatial correlation, Anisotropy, Seismic hazard assessment, Latent dimensions, Resilience, Bayesian Network

شده است.

در ادامه پژوهش، تأثیر در نظر گرفتن ناهمسانگردی همبستگی فضایی متغیرهای شدت زمین‌لرزه یا صرفنظر کردن از آن، با استفاده از مدل همبستگی فضایی ارائه شده در این تحقیق و نیز مدل‌های ارائه شده در سایر مطالعات مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، مجموعه‌ای از ساختمانهای مسکونی در یک محدوده شهری مفروض و همچنین، یک شبکه حمل و نقل از طریق ارزیابی ریسک و تاب‌آوری بررسی شده‌اند و نتایج بررسی‌ها گزارش شده است. این نتایج حاکی از تأثیر قابل ملاحظه ناهمسانگردی همبستگی فضایی متغیرهای شدت زمین‌لرزه بر نتایج ارزیابی ریسک و تاب‌آوری و وجود خطا در برخی مدل‌های موجود است.

در فصل آخر، چارچوب ارزیابی تاب‌آوری سیستم‌ها و مجموعه‌های دارای گستردگی فضایی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، اندیس‌های تعینی و احتمالاتی موجود مرور شده و نقاط ضعف اندیس‌های موجود شناسایی شده است. سپس با هدف برطرف کردن نقاط ضعف اندیس‌های موجود، اندیسی تعینی جدیدی مبتنی بر خسارت‌های اقتصادی، عملکرد سیستم و زمان، پیشنهاد شده است. در گام بعد، اندیس تعینی پیشنهادی به همراه مدل‌های همبستگی فضایی متغیرهای شدت زمین‌لرزه در قالب روش شبکه بیزی آورده شده تا یک چارچوب احتمالاتی برای کمی‌سازی تاب‌آوری با در نظر گرفتن همبستگی فضایی ناهمسانگرد حاصل شود.

واژه‌های کلیدی: همبستگی فضایی، ناهمسانگردی، تحلیل خطر زمین‌لرزه، ابعاد مجازی، تاب‌آوری، شبکه بیزی

Risk-Targeted Design Spectrum for Iran

Afshin Kalantari

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
a.kalantari@iiees.ac.ir

Amirreza Taherian

توسعه طیف‌های طراحی ریسک محور برای ساختمانها در ایران

افشین کلانتری

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه a.kalantari@iiees.ac.ir

امیررضا طاهریان

Iran is located in a very high seismic zone. The current national code of design of buildings referred as Standard No. 2800 (STD-2800) employs the Design Basis Earthquake (DBE) based on the uniform hazard philosophy. New generations of seismic codes and related researches have used a uniform risk philosophy instead, where the parameters are defined in order to provide a tool for designing the buildings with equal or at least harmonized collapse probability across the country. In this project, a risk targeted seismic design map has been developed for Iran. Seismic hazard model developed by EMME14 project was used for this purpose. A generic collapse fragility function was used, the parameters of which, were selected based on sensitivity analyses. Taking into account the seismic hazard model from EMME14 project, the risk of collapse of the buildings in Iran were calculated once for DBE values provided by STD-2800 and again with the DBE values resulted from the EMME14 model. An acceptable risk level of 1% in 50 years were considered then in order to estimate the map of distribution of risk coefficients as well as map of collapse risk for the buildings in the country. The results show a large dispersion in the risk of collapse across the country in both cases. Finally, the risk targeted seismic design map for the country is presented.

Keywords: Building collapse assessment, Risk-targeted design base, Seismic vulnerability, Seismic risk map

در ویرایش فعلی اکثر آیین‌نامه‌های لرزه‌ای دنیا از جمله آیین‌نامه طراحی ساختمانهای ایران در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) شتاب مبنای طرح با خطر یکنواخت (به عنوان مثال بیشینه شتاب زمین با ۱۰٪ احتمال فراگذشت در ۵۰ سال عمر مفید سازه) در سراسر کشور ارائه شده است. با ارائه چارچوب مهندسی زلزله عملکردی می‌توان احتمال فراگذشت سالانه از یک حالات خرابی مشخص برای سازه را محاسبه کرد که این امر با داشتن منحنی‌های خطر لرزه‌ای و منحنی شکنندگی سازه امکان‌پذیر می‌باشد. در سال‌های اخیر مطالعات متعددی نشان داده است که ارائه شتاب مبنای طرح بر اساس فلسفه خطر یکنواخت لزوماً به طراحی سازه‌هایی با ریسک فروریزش یکنواخت منتهی نمی‌شود. این امر به دو دلیل عدم قطعیت در ظرفیت فروریزش سازه‌ها و تفاوت در شکل منحنی‌های خطر لرزه‌ای در نقاط مختلف قابل توجیه می‌باشد. با توجه به موارد گفته شده، در سال‌های اخیر نسل جدید آیین‌نامه‌های لرزه‌ای دنیا از طراحی سازه‌ها برای خطر لرزه‌ای یکنواخت، به سمت طراحی برای ریسک فروریزش یکنواخت جهت‌گیری کرده‌اند. به عنوان یک نمونه، برای اولین بار در ASCE7-10 طیف‌های شتاب ریسک محور با هدف طراحی ساختمانها با ریسک فروریزش ۱٪ در ۵۰ سال، برای تمام نواحی ایالات متحده آمریکا ارائه شده است. پس از آن پروژه‌های مختلفی در اروپا با هدف ارائه شتاب طرح ریسک محور انجام شدند و تحقیقات برای بکارگیری این روش در ویرایش بعدی Eurocode8 ادامه دارد. در این پژوهش، با استفاده از تعریف یک تابع شکنندگی عمومی برای ساختمانهای طراحی شده با استفاده از استاندارد ۲۸۰۰، توزیع ریسک فروریزش این ساختمانها در کل کشور محاسبه شده است. بدین منظور از منحنی‌های خطر لرزه‌ای حاصل از مدل خطر لرزه‌ای خاورمیانه (EMME14) استفاده شده است.

در مرحله اول با استخراج منحنی‌های خطر EMME14 مقادیر شتاب با احتمال فراگذشت ۱۰٪ در ۵۰ سال در کل کشور بدست آمده و مقایسه آماری این نتایج با مقادیر شتاب مبنای طرح ارائه شده توسط استاندارد ۲۸۰۰ انجام شده که نتایج در شکل (۱) ارائه شده‌اند.

در مرحله بعدی با استفاده از انجام تحلیل‌های حساسیت، یک تابع شکنندگی عمومی برای ساختمانهای ایران مطابق رابطه (۱) تعریف شده است.

$$P(C|im) = \Phi \left[\frac{\ln im - (\ln DBE + 2.325\beta)}{\beta} \right] \quad (1)$$

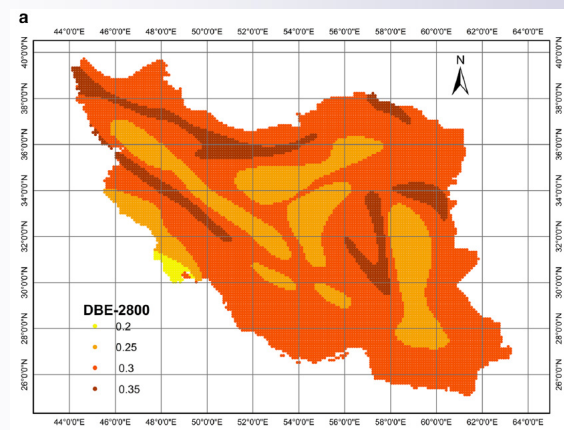
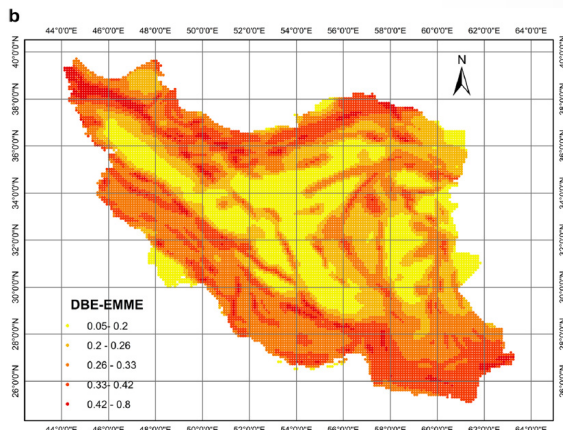
در ادامه، توزیع ریسک فروریزش ساختمانها در سراسر کشور در دو حالت، یک بار با فرض طراحی ساختمانهای ایران با استفاده از شتاب طرح استاندارد ۲۸۰۰ و بار دیگر با فرض طراحی ساختمانها با استفاده از مقادیر شتاب بدست آمده از منحنی خطرهای EMME14، محاسبه شده و نتایج

دو حالت در شکل (۲) مقایسه شده است.

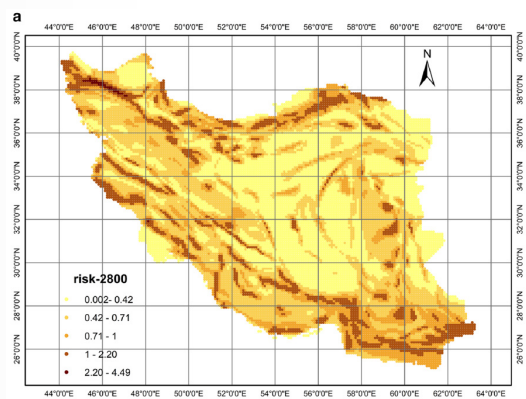
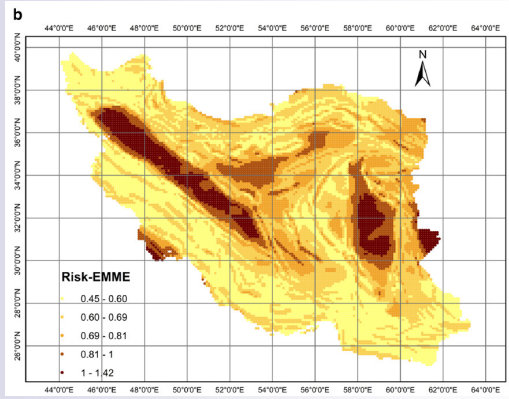
نتایج بیانگر پراکندگی بسیار زیاد (ضریب پراکندگی ۵۷٪) ریسک فروریزش ساختمانهای طراحی شده با استفاده از آیین نامه ۲۸۰۰ می باشد، اما در حالت دوم در صورت طراحی ساختمانها با استفاده از شتاب طرح EMME14 پراکندگی ریسک فروریزش بسیار کمتر است (ضریب پراکندگی ۲۲٪).

در ادامه با فرض ریسک فروریزش ۱٪ در ۵۰ سال به عنوان ریسک فروریزش قابل قبول (ریسک هدف) برای ساختمانهای ایران، با استفاده از محاسبات تکرار شونده مقادیر شتاب طرح ریسک محور برای کل کشور محاسبه شده شکل (۳) و در نهایت نقشه شتاب طرح ریسک محور مطابق شکل (۴) برای ایران ارائه شده است. طراحی ساختمانها با استفاده از این نقشه می تواند به توزیع منظم ریسک فروریزش در کشور منجر شود.

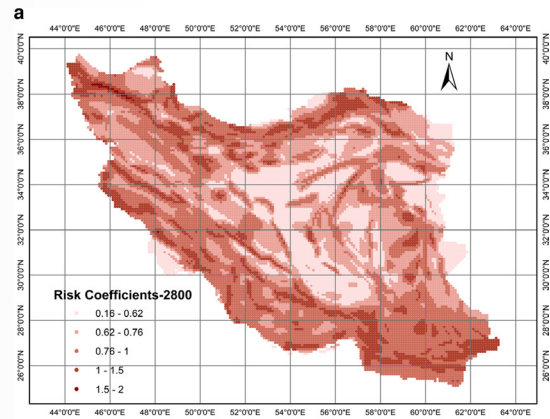
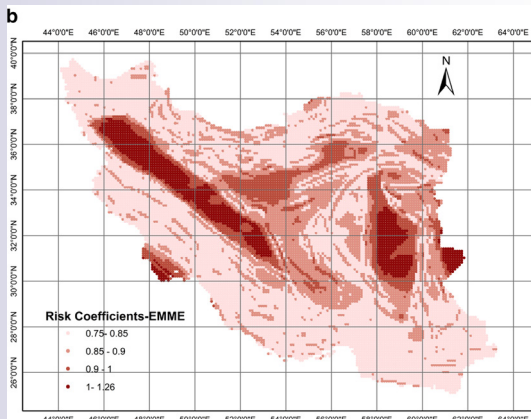
واژه های کلیدی: شتاب ریسک محور، منحنی شکنندگی، ریسک فروریزش، تحلیل خطر لرزه ای، شتاب طرح



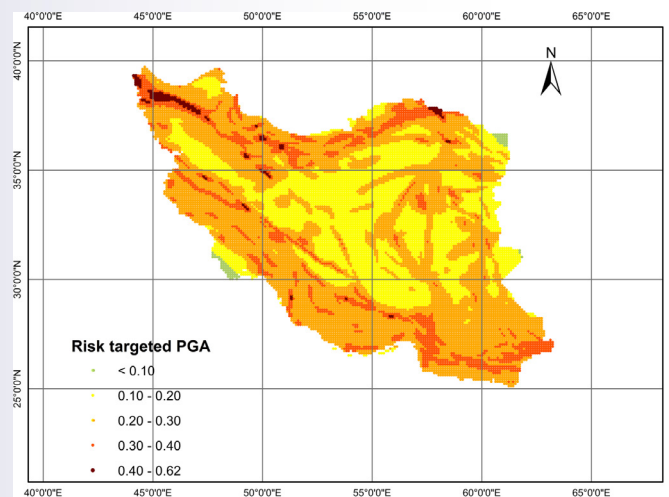
شکل (۱): نقشه خطر لرزه ای ایران با نمایش مقدار بیشینه شتاب برآورد شده بر روی سنگ بستر برای رویدادی با دوره بازگشت ۴۷۵ سال، (الف) بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ ایران، (ب) بر مبنای مطالعه صورت گرفته در پروژه EMME14



شکل (۲): توزیع ریسک فروریزش (٪) در طول ۵۰ سال
الف) بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ ایران، ب) بر مبنای مطالعه صورت گرفته در پروژه EMME14



شکل (۳): توزیع ضریب ریسک
الف) بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ ایران، ب) بر مبنای مطالعه صورت گرفته در پروژه EMME14



شکل (۴): نقشه طراحی لرزه‌ای بر مبنای ریسک در ایران

Design and Construction of New Electromagnetic Variable Friction Damper for Semi-active Control of Structures

Mohammad Ghasem Vetr

Assistant Professor, Structural Engineering Research Center
vetr@iiees.ac.ir

Mohsen Tehranizadeh

In this research, a new friction damper has been introduced that has the ability to change its sliding force. The damper uses magnetic force generators to create a force perpendicular to the level required for friction. For this purpose, the design and fabrication of a small-scale damper with a target force of 1000 N was considered and by considering the magnetic behavior of materials, computer modeling was used in addition to verifying the analytical results. The behavior of magnetic generators was also examined parametrically. In order to change the force perpendicular to the surface of the electric magnets, electronic circuits were used. The current passing through them was changed from zero to 1.5 amps, and the maximum power produced by the attenuator reached about 1200 Nm. The electrical power required to generate a maximum power capacity of 8.5 watts was measured. Also, the response time of the power generators to current changes was measured as a maximum of 56 milliseconds in order to reach the maximum capacity and 68 milliseconds to reset the damping force. In addition, it has been shown that by using a constant current driver, the response time of the damper can be increased to 9 milliseconds. The results of this study showed that this type of power generators has the ability to be used to control the semi-active structure. Advantages such as simple mechanism, reasonable price, accurate behavior, short and predictable response time, relatively simple control, low energy requirements, stability of behavior over time and being indigenous can use this type of power generator justified in friction dampers.

Keywords: Semi active control, Electric magnetic, Magnetic damper, Magnetic force

طراحی و ساخت نوع جدیدی از میراگرهای اصطکاکی متغیر الکترومغناطیسی برای کنترل نیمه فعال سازه‌ها

محمد قاسم وتر

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه
vetr@iiees.ac.ir

محسن تهرانی‌زاده

در این پژوهش، میراگر اصطکاکی جدیدی معرفی شده است که توانایی تغییر نیروی لغزشی خود را دارد. میراگر یاد شده از مولدهای نیروی مغناطیسی برای ایجاد نیروی عمود بر سطح لازم برای اصطکاک استفاده می‌کند. به این منظور طراحی و ساخت میراگر کوچک مقیاسی با نیروی هدف ۱۰۰۰ نیوتن مد نظر قرار گرفت و با در نظر گرفتن رفتار مغناطیسی مواد، با استفاده از مدل‌سازی کامپیوتری علاوه بر صحت‌سنجی نتایج تحلیلی، رفتار مولدهای مغناطیسی به صورت پارامتریک نیز مورد بررسی قرار گرفت. برای تغییر نیروی عمود بر سطح آهن رباهای الکتریکی، با استفاده از مدارهای الکترونیکی جریان عبوری از آنها از صفر تا ۱.۵ آمپر تغییر کرد و حداکثر نیروی تولید شده میراگر به حدود ۱۲۰۰ نیوتن رسید. توان الکتریکی مورد نیاز برای ایجاد حداکثر ظرفیت نیروی ۸.۵ وات اندازه‌گیری شد. همچنین زمان پاسخگویی مولدهای نیرو به تغییرات جریان، حداکثر ۵۶ میلی‌ثانیه برای رسیدن به حداکثر ظرفیت و ۶۸ میلی‌ثانیه برای بازنشانی نیروی میراگر اندازه‌گیری شد. علاوه بر این نشان داده شد با استفاده از درایور جریان ثابت می‌توان زمان پاسخگویی میراگر را به ۹ میلی‌ثانیه رساند. نتایج مطالعات این پژوهش نشان داد این نوع مولدهای نیرو توانایی بکارگیری در جهت کنترل نیمه‌فعال سازه‌ای را دارا هستند. مزایایی همچون مکانیزم ساده، قیمت مناسب، رفتار دقیق، زمان پاسخگویی اندک و قابل پیش‌بینی، کنترل نسبتاً ساده، انرژی مورد نیاز اندک، پایداری رفتار نسبت به زمان و بومی بودن می‌تواند استفاده از این نوع مولد نیرو را در میراگرهای اصطکاکی توجیه نماید.

واژه‌های کلیدی: کنترل نیمه فعال، آهن‌ربای الکتریکی، میراگر اصطکاکی، نیروی مغناطیسی

More Accurate Simulation of Seismic Performance of Water Network and its Effect on Calculation of Hydraulic Stability Time Based on Correction of Discharge Caused by Pipe Cracks due to Earthquake Load

Mahmood Hosseini

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
hosseini@iiees.ac.ir

Aram Soroushian, Abdolreza Astaraki, Mohammadreza Jalili

Lifelines are systems such as transportation systems, energy transmission systems, and communication systems, that are essential for human life and urban functions. Without lifelines many large metropolitan areas will be paralyzed. Lifeline systems are highly sensitive to natural disasters such as earthquakes, floods, tsunamis, storms, and heavy snows. Therefore, determining the current status of critical lifelines and making them palpable is crucial for the country's major decision makers so that they can make the right, quick, and economical decisions.

One of the most important lifelines in any city is the water supply network. Damage to the urban water supply system directly and indirectly causes lots of human and economic damages to the community, including inadequate access to safe drinking water and increased likelihood of contagious and fatal diseases, inability to extinguish fires. Since the 1970s, with the advent of urbanization and the transformation of cities into metropolises, attention has been paid to vital lifelines, including the water supply network. Initially, research on the components of this network has involved the modeling of various types of pipe failures, soil and pipe interactions, and facial joints. But in the recent years, more attention has been paid to the overall performance of the system.

In this research, different types of rectangular cracks in the water network have been tested. The laboratory model was prepared with five rectangular cracks with identical opening cross-sectional area and six circular and square cracks with variable opening cross-sectional area. Steel pipes were used in these experiments. The influence of cross-sectional area, pipe diameter, and aspect ratios of the rectangular cracks was discussed. The results showed that, in high Reynolds numbers, the pressure and Reynolds number have no effect on the amount of discharge coefficient, and besides, for low and moderate viscosities, the more the aspect ratio of rectangular crack, the more is the discharge. In view of the considerable number of tests, and after studying the consistence of the results with the separate results reported

شبیه‌سازی دقیق‌تر عملکرد لرزه‌ای شبکه آب و تأثیر آن بر محاسبه زمان پایداری هیدرولیکی بر اساس اصلاح دبی ناشی از ترک‌های لوله‌ها تحت اثر بار زلزله

محمود حسینی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه hosseini@iiees.ac.ir

آرام سروشیان، عبدالرضا آسترکی، محمدرضا جلیلی قاضی زاده

شریان حیاتی به سیستم‌هایی مانند سیستم‌های حمل و نقل، انتقال انرژی و سیستم‌های ارتباطی گفته می‌شود که برای زندگی انسان‌ها و عملکردهای شهری ضروری است و بدون آنها زندگی یک ناحیه شهری فلج می‌شود. این سیستم‌ها در هنگام حوادث طبیعی مانند زلزله، سیل، سونامی، طوفان، و برف‌های سنگین، بسیار حائز اهمیت و از طرفی معمولاً بسیار آسیب‌پذیر هستند. در واقع در رخداد بلایای طبیعی نجات جان انسان‌ها و کاهش خسارات مالی و برگشت به زندگی عادی و خدمت‌رسانی به جامعه به این شریان‌های حیاتی وابستگی شدیدی دارد.

از این رو، تعیین وضعیت کنونی شریان‌های حیاتی و بیان آن به صورت قابل لمس برای تصمیم‌گیرندگان کلان کشور از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است تا در زمان لازم مسؤولین مربوطه بتوانند تصمیماتی صحیح، سریع و اقتصادی بگیرند.

یکی از مهم‌ترین شریان‌های حیاتی شبکه آبرسانی هر شهر می‌باشد. آسیب به شبکه آبرسانی شهری به صورت مستقیم و غیرمستقیم خسارات جانی و اقتصادی زیادی را به جامعه وارد می‌کند که از آن جمله می‌توان به عدم دسترسی مردم به آب آشامیدنی سالم و افزایش احتمال بیماری‌های مسری و مرگبار، عدم امکان اطفای حریق در هنگام آتش‌سوزی و مختل شدن شبکه‌های خدمات‌رسانی شهری اشاره کرد. از دهه ۷۰ میلادی و با گسترش شهرنشینی و تبدیل شهرها به کلانشهرها، توجه به شریان‌های حیاتی و بخصوص شبکه آبرسانی شهری اهمیت یافت. در ابتدا، تحقیقات بر روی اجزاء این شبکه شامل مدلسازی‌های شکست انواع لوله‌ها، اندرکنش خاک و لوله و انواع اتصالات صورت می‌گرفت ولی در سالیان اخیر توجه محققان بیشتر به عملکرد کلی سیستم معطوف شده است.

در تحقیق حاضر، انواع مختلفی از نشت ناشی از ترک‌های مستطیلی در لوله‌های شبکه آب شهری مورد بررسی قرار گرفته است. مدل آزمایشگاهی با تعداد پنج نمونه بازشدگی با مقطع مستطیلی و با سطح مقطع یکسان و همچنین سه نمونه بازشدگی مربعی با سطح مقطع متغیر تهیه گردید. در این آزمایش‌ها، لوله‌های فولادی در سه قطر مختلف مورد استفاده قرار گرفت. تأثیر تغییرات سطح مقطع، قطر لوله، نسبت ابعادی ترک‌های ایجاد شده مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که در اعداد رینولدز بالا، پارامتر هیدرولیکی فشار و عدد رینولدز تأثیری بر مقدار ضریب دبی بازشدگی ندارد و بر این اساس رابطه‌ای برای ضریب دبی نشت بر پایه مشخصات فیزیکی لوله‌ها شامل قطر لوله، سطح مقطع لوله و نسبت ابعادی نشت از ترک مستطیلی ارائه گردید. این رابطه از این نظر حائز اهمیت است که می‌توان شبکه آبرسانی آسیب دیده را مستقل از پارامترهای هیدرولیکی بررسی نمود. در پایان، از رابطه محاسبه شده برای تحلیل شبکه آسیب‌دیده

in the literature, a relationship for the leakage coefficient based on physical characteristics, including pipes diameters, cracks' cross sectional area and rectangular cracks' aspect ratio was presented. This relationship is important in that the damaged water supply network can be investigated independent from the hydraulic parameters.

Finally, the proposed empirical relation was used to analyze the damaged network of Mashhad Zone 3 region. Based on the region's seismic parameters, six failures were predicted for the investigated water network. An optimization program was developed based on the genetic algorithm and considering resiliency as the objective function, and the locations of the fractures in the pipes was determined by minimizing the objective function. Finally, the damaged network was analyzed and the network status was determined. The results of this research are summarized as follows:

- 1- Accuracy of the values of leakage coefficient and leakage exponent allocated to failures are of considerable importance in more detailed study of seismic vulnerability of water network. In more detail, changes of about fifteen percent in leakage coefficient can lead to changes up to twenty-five percent in estimation of the pressure at the water network nodes.
- 2- In calculations related to seismic vulnerability of water networks, 0.64 and 0.5 are in general appropriate values for the leakage coefficient and leakage exponent, respectively.
- 3- With increasing in the aspect ratio of the rectangular cracks on the steel pipes, the discharge increases, when the viscosity is low or moderate. This is theoretically explained.
- 4- An empirical relation for the discharge coefficient of rectangular openings based on the physical parameters: pipe diameter, opening area, and opening aspect ratio, is presented.
- 5- Hydraulic Endurance Time (HET) parameter of the water supply network is a new parameter that shows the seismic vulnerability of water networks after the earthquake.
- 6- Installation of pressure reduced valves (PRV) is very effective in increasing the networks HST. For increasing the HST, however, the locations of PRV s may be considerably more important compared to the number of PRVs.

Keywords: Water network, Leakage, Rectangular cracks, Seismic performance, Hydraulic endurance time (HET), Resiliency

منطقه ۳ مشهد استفاده گردید. با استفاده از پارامترهای لرزه‌ای منطقه، تعداد شش شکست برای شبکه آب مورد بررسی پیش‌بینی گردید. تابع هدف کمترین مقدار تاب‌آوری شبکه به یک برنامه بهینه‌سازی بر پایه الگوریتم ژنتیک افزوده شده و محل شکست‌ها در لوله‌ها با توجه به کمینه کردن تابع بهینه تعریف شده مشخص گردید. در نهایت شبکه آسیب‌دیده از نظر هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج این تحقیق در قسمت‌های مختلف بدین‌گونه جمع‌بندی می‌گردد:

- ۱- مقادیر دقیق‌تر ضریب و توان نشت اختصاص داده شده به شکست‌ها در بررسی دقیق‌تر آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه آب از اهمیت قابل توجهی برخوردار است و تغییر حدود پانزده درصدی در ضریب نشت می‌تواند تا بیست و پنج درصد در برآورد فشار گره‌های شبکه مؤثر باشد؛
- ۲- در محاسبات مربوط به بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه آب اعداد ۰.۶۴ و ۰.۵ مقادیر مناسبی به ترتیب برای ضریب و توان نشت می‌باشند؛
- ۳- بررسی عددی و آزمایشگاهی تأثیر نسبت ابعادی بازشدگی‌های مستطیلی بر میزان دبی خروجی نشان داد که با افزایش نسبت ابعادی دبی آب خروجی افزایش می‌یابد (که علت این پدیده برای اولین بار توضیح داده شد)؛
- ۴- رابطه‌ای جهت ضریب دبی بازشدگی‌های مستطیلی بر اساس پارامترهای فیزیکی قطر لوله‌ها، مساحت بازشدگی و نسبت ابعادی بازشدگی ارائه گردید؛
- ۵- پارامتر زمان دوام هیدرولیکی (Hydraulic Endurance Time) شبکه آبرسانی به عنوان پارامتری که آسیب‌پذیری لرزه‌ای شبکه‌های آب را پس از زلزله نشان می‌دهند، ارائه گردید؛
- ۶- نشان داده شد که تعبیه شیرهای فشارشکن در افزایش پارامتر زمان پایداری هیدرولیکی شبکه‌ها بسیار اثر بخش است. با این وجود محل شیرهای فشارشکن بیش از تعداد آنها در میزان این افزایش و تقویت لرزه‌ای شبکه آب مؤثر است.

واژه‌های کلیدی: شبکه آب، نشت، ترک مستطیل شکل، عملکرد لرزه‌ای، زمان پایداری هیدرولیکی، تاب‌آوری

Cyclic Behavior Modelling of High Strength Concrete Columns with Micro Silica

Abdolreza Sarvghad Moghadam

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
moghadam@iiees.ac.ir

Abbasali Tasnimi, Ali Taheri

High strength concrete usually referred to as HSC in the literature. The use of HSC has increased in developed countries in the past three decades, due to economic benefits in using it in such applications as tall buildings, bridges, and oil-platforms. However, due to many ambiguities related to the seismic performance of members made by HSC, especially regarding their axial deformation capacity and their ductility, its use in regions with high or very high seismicity have been employed with caution and suffers from many limitations. In Iran, as the industrial use of HSC has been started recently, there are no comprehensive research reported about the seismic performance of HSC. Specifically, it has been emphasised in the literature that the properties of the base material being used in the HSC have an important effect on its performance. Therefore, a direct use of the results obtained in other countries in Iran, due to the differences in construction and building traditions which can be misleading.

In the first phase of the present study, data related to experimental investigations on columns made of HSC are collected and a database of the physical properties of those columns and the results of studies is established. Then, a statistical investigation is carried out on the key parameters affecting the ductile behaviour of the columns made of HSC. In the second phase of this study, eight scaled columns are constructed and tested in order to study their cyclic behaviour. Important results are derived by processing the results of the experimental study regarding the seismic behaviour of columns made of HSC. Finally, in the last phase, a model is developed to predict the nonlinear behaviour of this type of columns.

This research showed that well confined columns made of HSC can exhibit ductile behaviour. It is also shown that they have a more reliable behaviour in Immediate Occupancy (IO) and damage control performance range compared to other performance levels.

Keywords: High Strength Concrete (HSC), Ductility, Reinforced concrete column, Nonlinear model

مدل رفتار چرخه‌ای ستون بتن پرمقاومت مسلح حاوی میکروسیلیس تحت بار تناوبی

عبدالرضا سروقدمقدم

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه moghadam@iiees.ac.ir

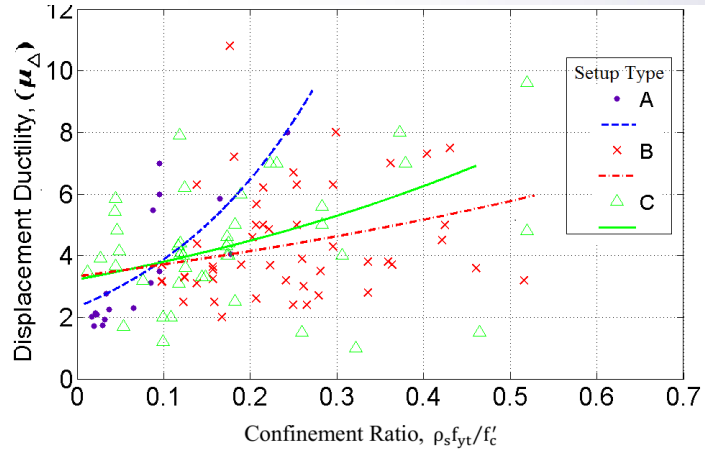
عباسعلی تسنیمی، علی طاهری

بتن پرمقاومت واژه‌ای است که با عبارت لاتین High Strength Concrete و با کلمه اختصار HSC در ادبیات فنی شناخته می‌شود. استفاده از HSC به علت صرفه‌های اقتصادی که در سازه‌های بلند و همچنین در برخی از سازه‌های خاص نظیر پل و سکوها‌ی نفتی دارد، منجر به آن شده که از سه دهه گذشته استفاده از آن در کشورهای بیشتر توسعه یافته رو به گسترش باشد. لیکن وجود برخی ابهامات در چگونگی رفتار لرزه‌ای اعضای بتنی مسلح ساخته شده با این مصالح، خصوصاً قابلیت تغییرشکل محوری و شکل‌پذیری جانبی آن در هنگام وقوع زلزله، منجر به آن شده است که استفاده از اعضای مسلح با بتن پرمقاومت در ساختگاه‌ها با خطر لرزه‌ای زیاد و خیلی زیاد با احتیاط و یا الزامات خاص همراه شود. از طرفی در کشور ایران ضمن آنکه ورود HSC در حوزه طرح و فروش صنعتی تنها به سال‌های اخیر محدود می‌شود، هیچ تحقیق مشخصی به منظور بررسی رفتار لرزه‌ای آن مشاهده نشده است. از طرفی همان‌طور که در ادبیات فنی موضوع به آن اشاره شده است؛ مصالح پایه در ساخت HSC در نوع رفتار و عملکرد لرزه‌ای آن تأثیر بسزایی دارد و لذا استفاده از نتایج سایر کشورها در اجرا و ساخت این گونه سازه‌ها بدون انجام تحقیقات مبتنی بر مصالح بومی، ممکن است به نتایج نامطلوبی منجر شود.

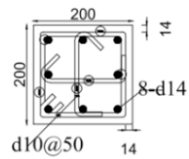
در گام اول این تحقیق، با جمع‌آوری مشخصات فیزیکی و نتایج مطالعات تجربی دیگر محققین در این حوزه اقدام به تهیه بانک اطلاعاتی ستونهای ساخته شده با HSC شده است و متعاقب آن با مطالعه آماری برخی از پارامترهای کلیدی اثرگذاری آن بر رفتار شکل‌پذیر ستونها شناسایی شد. در گام دوم، با مدلسازی آزمایشگاهی هشت نمونه ستون مقیاس شده اقدام به مطالعه تجربی نوع مشخصی از ستونها گردید و با پردازش داده‌های بدست آمده نتایجی در خصوص چگونگی رفتار لرزه‌ای این ستونها بدست آمد و در گام آخر اقدام به ارائه یک مدل برای پیش‌بینی رفتار غیرخطی نوع ستونهای مورد آزمایش شد.

در این تحقیق، مشخص گردید که انتظار شکل‌پذیری زیاد در ستونهای ساخته شده با HSC به شرط محصورشدگی زیاد امکان‌پذیر است، همچنین رفتار این ستونها در سطوح استفاده بی‌وقفه و کنترل خسارت از قابل اطمینان بیشتری نسبت به سطوح دیگر برخوردار است.

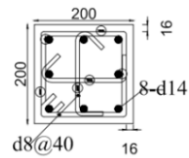
واژه‌های کلیدی: بتن پرمقاومت HSC، شکل‌پذیری، ستون بتن مسلح، مدل غیرخطی



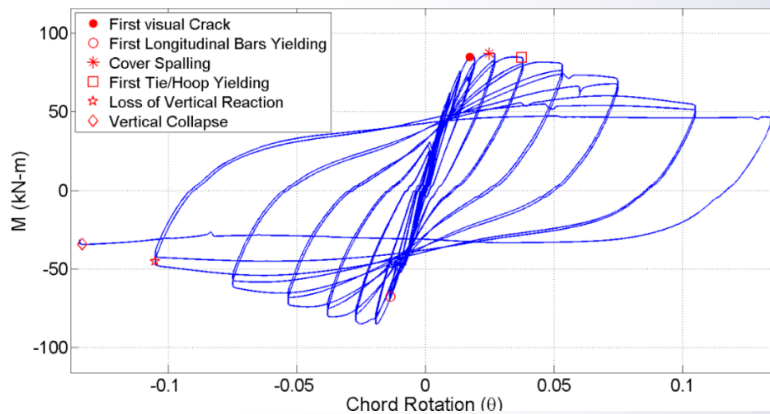
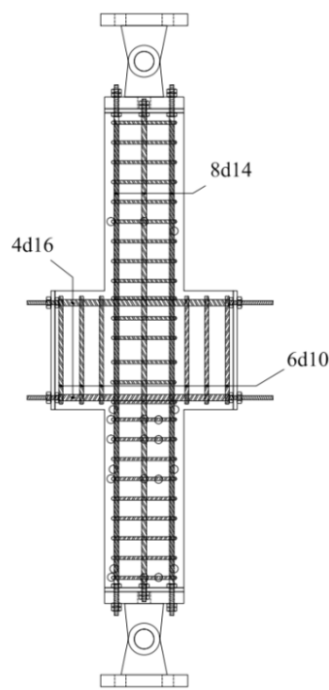
General Section Type I



General Section Type II



Strain Gauge



Seismic Behavior and Mechanism of Load Transfer in the Connection of Studed Steel Coupling Beam to RC Shear Walls

Abdolreza Sarvghad Moghadam, Abbasali Tasnimi
Associate Professor, Structural Engineering Research Center
moghadam@iiees.ac.ir
Professor, Structural Engineering Research Center
tasnimi@iiees.ac.ir

Mohamadali Nahviniya

Nowadays, the concrete coupled walls are effective lateral resistance system for medium to the high-rise buildings in seismic prone areas. The proper stiffness, resistance and reducing the moment of individual walls are among the interesting features of this system. Great energy absorption through hinges over total height of building is the main advantage of this system. Steel coupling beam (SCB) has higher energy absorption and less limits regarding the depth of section comparing with reinforced concrete coupling beam. Despite the benefits of SCB, usage of this option has limitations as well. Gaps and cracks in the face of connection reduces the stiffness of the system and thus reducing the coupling ratio. Damages in the connection due to cycle loading usually has been severe as reported by previous studies. On the other hand, in practical cases, required embedment length of SCB into the walls is long which makes constructional challenges especially when special boundary reinforcement is needed.

Steel studs are commonly used in composite members to transfer load between steel and concrete. However, the performance of studs in the connection of the coupling beam is not properly understood. In this research, performance of studs is investigated through experimental and numerical methods. The results indicate that studs tolerate shear and bending forces rather than axial loads. On the other hand, studs function in the connection increases the capacity of bending moment of the connection rather than shear. Based on damage observation, a concrete pry-out failure in the connection was detected. Regarding this failure, a mechanism of load transfer is added and a model is proposed in order to predict the strength of the connection considering the function of the studs.

Generally, two methods for cycle loading are used to simulate seismic loads on coupling beams. The first method is half assemble (half length of the coupling beam and one of the coupled walls) and the second method includes both coupled walls and full-length of coupling beam called total assemble. The latter method has more conformation to the real boundary conditions of coupled walls. A numerical study shows that half assemble method has conservative results in comparison with the results of the total assemble

رفتار لرزه‌ای و ظرفیت تیر همبند فولادی در دیوار برشی بتن مسلح بر مبنای جزئیات پیشنهادی اتصال

عبدالرضا سروقدمقدم، عباسعلی تسنیمی
دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه moghadam@iiees.ac.ir
استاد پژوهشکده مهندسی سازه tasnimi@iiees.ac.ir

محمدعلی نحوی‌نیا

امروزه سامانه دیوارهای همبند بتنی، گزینه‌ای مؤثر و مناسب برای ساختمانهای متوسط تا بلندمرتبه در مناطق با لرزه‌خیزی زیاد محسوب می‌شود. سختی مناسب، مقاومت کافی، کاهش لنگر داخلی دیوارهای همبند و جذب انرژی از طریق تشکیل مفاصل خمیری در تیرهای همبند در کل ارتفاع ساختمان، مزیت اصلی این سامانه به شمار می‌رود. تیر همبند فولادی به دلیل قدرت جذب انرژی زیاد، شکل‌پذیری بیشتر و عدم محدودیت هندسی در خصوص عمق آن نسبت به تیر همبند بتنی موجب شده است که کاربرد آن در سامانه دیوارهای همبند افزایش یابد. استفاده از این گزینه به‌رغم مزایای آن، دارای محدودیت‌هایی نیز هست. ایجاد شکاف و ترک در وجه اتصال موجب کاهش سختی اتصال و در نتیجه کاهش درجه همبستگی دیوارهای همبند می‌شود. در موارد عملی معمولاً طول مدفون مورد نیاز تیر همبند فولادی در دیوار برشی زیاد بوده که این موضوع محدودیت‌هایی در دیوار ایجاد می‌کند؛ به ویژه زمانی که در ناحیه اتصال آرماتورگذاری عرضی و ویژه‌المان مرزی نیاز باشد. گلمیخ‌های فولادی به‌طور رایج در اعضا مرکب به‌عنوان اتصال‌دهنده بتن و فولاد مورد استفاده قرار می‌گیرند، لیکن عملکرد این گلمیخ‌ها در اتصال تیر همبند به درستی شناسایی نشده است.

در این تحقیق، اتصال تیر همبند فولادی به دیوار برشی با جزئیات اتصال گلمیخ به‌طور آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که گلمیخ‌های فولادی بیش از آن‌که تحت تأثیر نیروی محوری باشند، تحت تأثیر نیروی برشی و خمشی قرار می‌گیرند. علاوه بر این، عملکرد گلمیخ‌ها در اتصال، موجب تقویت ظرفیت خمشی (انتقال نیروی خمشی به اتصال) تا ۵۰ درصد و در برش تا ۲۵ درصد شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که نمونه‌ای که دارای آرماتورگذاری عرضی و ویژه در ناحیه اتصال بوده است خرابی بسیار محدودی در ناحیه اتصال داشته است. لذا پیشنهاد شده است که حداقل در ناحیه اتصال، آرماتورگذاری عرضی متوسط استفاده شود.

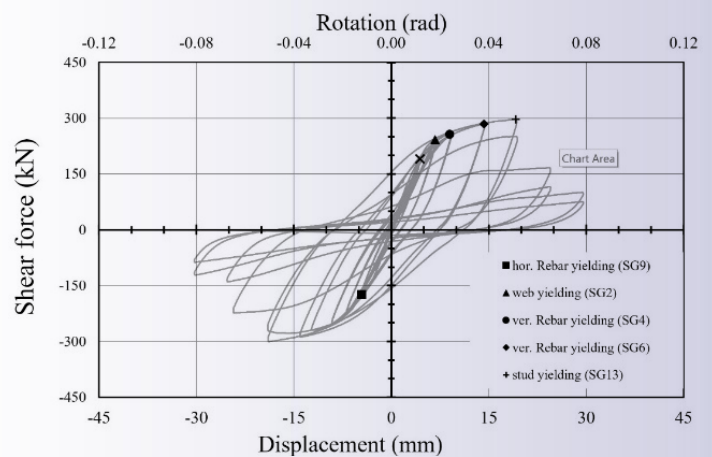
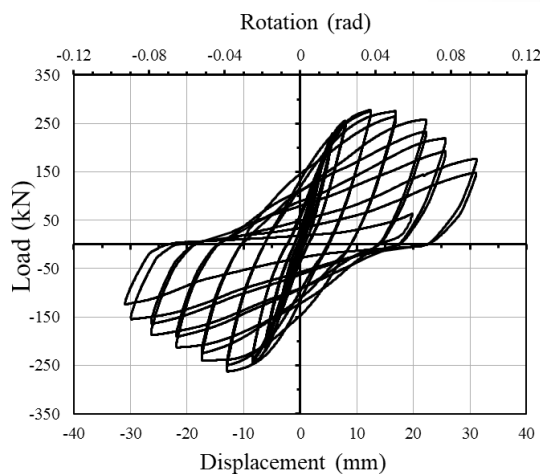
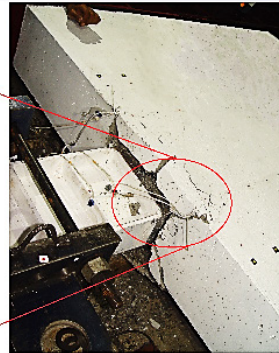
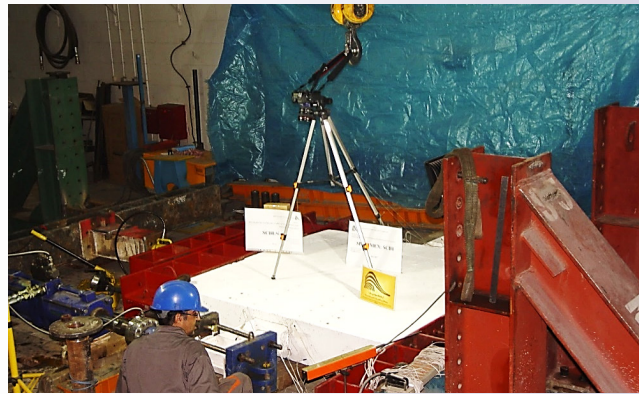
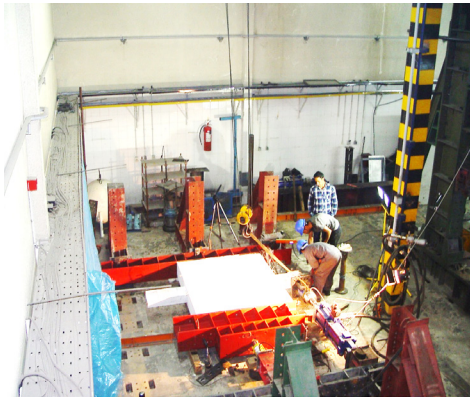
در نمونه‌های با گلمیخ، الگوی مشابهی از خسارت و خرابی به صورت شکست اهرمی بتن شناسایی شده است که در مطالعات عددی نیز تأیید شده است. بر اساس این الگوی خرابی، مکانیزم انتقال بار در اتصال توسعه داده شده و بر اساس آن یک مدل تحلیلی برای لحاظ نمودن اثر گروه گلمیخ در ظرفیت برشی اتصال نیز پیشنهاد شده است. این مدل سازگاری مناسبی با نتایج آزمایشگاهی در این گزارش و همچنین نمونه‌های آزمایشگاهی پیشین داشته است. این مدل نشان داده است که می‌توان با در نظر گرفتن اثر گلمیخ‌ها در اتصال تا ۳۰ درصد از طول مدفون مورد نیاز تیر در اتصال کاست.

method, particularly when it comes to the deformation capacity and ductility.

Keywords: Coupled walls, Steel coupling beam, Cyclic loading, Seismic resistance system, Headed studs

همچنین مطالعه عددی در این تحقیق نشان می‌دهد که نتایج سامانه نیمه در مقایسه با نتایج روش سامانه کامل پاسخ‌های محافظه کارانه‌تری داشته‌اند، به ویژه در میزان ظرفیت دورانی و شکل‌پذیری این موضوع چشم‌گیرتر بوده است.

واژه‌های کلیدی: دیوارهای همبند، تیر همبند فولادی، بارگذاری چرخه‌ای، سامانه لرزه‌بر، اتصالات گلمیخ



Time Delay Effect on Seismic Performance of Active Structural Control Systems

Omid Bahar

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
omidbahar@iiees.ac.ir

Behrooz Rajabi

تأثیر تأخیر زمانی بر عملکرد لرزه‌ای سیستم‌های کنترل فعال سازه‌ای

امید بهار

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه
omidbahar@iiees.ac.ir

بهروز رجبی

A successful design of a structure is a design that in addition to providing safety and stability of the structure, guarantees the expected performance of the structure and its important equipment and protects them from all kinds of possible damages may cause during seismic excitations. Hence, we need a smart system built in any structure to be activated during any extra loading when structural responses pass the safe limits. Structural control can do this.

Today, due to technological advances in new instruments, and also the development of regulations and guidelines for employing passive control systems such as isolators and dampers, it has become a common tool in buildings and bridges. But the introduction of intelligent systems in human life and the expansion of its influence in all aspects of our life, continuous to lead some ingenious engineers to apply more and more intelligent active systems in structures. These systems have proven their value in many industries, including the automotive and aircraft industries, over the years. But because of the kind of expectations that exist in the construction industry (such as: always stand by over the years, the need for high energy consumption at the time of operation when all conventional systems go out of circuit, moving or accelerating much heavy floors, delays in responding to the instantaneous needs of structures during unexpected events), until the general application of these systems, many challenges must be addressed.

One of the most basic limitations for active structure control systems is the existence of time delays in its performance, which includes measuring structural responses, processing the measured data and calculating the control forces to be applied to the structure, sending commands to actuators, and finally the time required for the actuators to respond and apply control forces to the structure. Existence of time delay can greatly decrease high performance of the active control system, and also may cause structural instability.

Many researchers have tried to identify the source of time delays and use special computational processes to overcome that part related to the software processing. In this study, exposure to time delays is examined in two stages. Initially, for a typical structure equipped with an active control system, the sensitivity to time delays is evaluated, recognizing when the performance of the control system is poor and when an instability may occur. This is the limit of time delay and named *the critical time delay*. In the next step, the sensitivity of *the critical time delay* with

از دیدگاه علم مهندسی زلزله، طرح موفق یک سازه، طرحی است که علاوه بر تأمین ایمنی و پایداری سازه، عملکرد قابل انتظار از سازه و تجهیزات مهم درون آن را تضمین نموده و از آنها در برابر انواع آسیبهای احتمالی ناشی از تحریکات لرزه‌ای حفاظت نماید. برآوردن این نیاز توسط دانش کنترل سازه‌ها امکان‌پذیر است. امروزه به دلیل پیشرفتهای تکنولوژی در تولید و بکارگیری تجهیزات نوین و تدوین آیین‌نامه‌ها و راهنماهای مبانی کاربردی برای این تجهیزات در سازه‌ها و در دسترس قرارگرفتن آنها، استفاده از سیستم‌های کنترل غیرفعال مانند انواع جداسازها و میراگرها در سازه‌های ساختمانی و پلها به امری متداول تبدیل شده است. اما ورود سیستم‌های هوشمند در زندگی بشر و گسترش دامنه نفوذ آن در تمامی زوایای زندگی، همچنان عده‌ای از مهندسين را به سمت کاربردی کردن هرچه بیشتر سیستم‌های هوشمند کنترل فعال سازه‌ها سوق می‌دهد. این سیستم‌ها، سال‌ها است که جایگاه و ارزشمندی خود را در بسیاری از صنایع از جمله صنعت اتومبیل و هواپیما اثبات نموده است. اما به دلیل نوع انتظاراتی که از آنها در صنعت ساختمان وجود دارد و محدودیت‌های ذاتی آنها (مانند: همواره آماده پاسخگویی طی سال‌ها، نیاز به انرژی مصرفی بالا در زمان عملکرد درست هنگامی که تمامی سیستم‌های متعارف از مدار خارج می‌شوند، ایجاد حرکت یا افزایش سرعت در بخش‌هایی از سازه‌های بسیار وزین، تأخیر در پاسخگویی به نیازهای لحظه‌ای سازه‌ها در هنگام رویدادهای بیش از حد انتظار)، تا کاربرد عمومی شدن این سیستم‌ها چالش‌های بسیاری را باید برطرف نمود.

یکی از اساسی‌ترین محدودیت‌ها برای سیستم‌های کنترل فعال سازه‌ای، وجود تأخیرهای زمانی در روند فعالیت آن است. این تأخیرهای زمانی شامل موارد ذیل است، از جمله: برداشت اطلاعات سازه، پردازش داده‌های برداشت شده و محاسبه مقدار نیروی کنترل اعمالی به سازه، ارسال دستور انجام عملیات، و بالاخره زمان لازم برای پاسخ بازوی عملگر و اعمال نیروی کنترل به سازه. تأخیرهای زمانی می‌توانند در عملکرد کنترل فعال سازه‌ای اختلال ایجاد نموده باعث کاهش سطح عملکرد سازه و افزایش پاسخ‌های آن گردند. در مواردی که افزایش تأخیر زمانی به صورت تعلل در اعمال نیروی کنترل به سازه باشد می‌تواند ناپایداری سازه را به دنبال داشته باشد. محققین بسیاری تلاش نموده‌اند تا منشأ این تأخیرهای زمانی را شناسایی نموده و با بهره‌گیری از روندهای خاص محاسباتی بخشی از آن که به پردازشهای نرم‌افزاری مربوط می‌شود را برطرف نمایند. بخشی از تأخیرهای زمانی هم که به فرآیندهای الکترونیکی و مکانیکی مربوط می‌گردد با پیشرفتهای تکنولوژی به مرور زمان برطرف خواهد شد. در این پژوهش، مواجهه با تأخیرهای زمانی در دو مرحله بررسی می‌گردد. در ابتدا، برای یک سازه متعارف مجهز به سیستم کنترل فعال حساسیت به تأخیرهای زمانی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و حد

respect to the structural characteristics and excitation loads is investigated.

In the second stage, it tries to reduce the sensitivity of the system by increasing the damping in order to solve this problem. Extensive analysis shows that increasing the damping of the structural system despite the presence of time delay in the control loop, not only greatly reduces the responses of the structure, but also greatly improves the structural stability margins. In other words, increasing the damping of the structure has enabled the structural system to withstand subsequent delays in the active control system without disturbing its performance.

Keywords: Structural vibration, Active structural control, Seismic excitations, Time delay, Structural instability, Seismic performance

بحرانی تأخیر زمانی که عملکرد سیستم کنترل را تضعیف نموده و می تواند باعث ناپایداری در سازه شود، برآورد می گردد. در ادامه، حساسیت این مقدار حدی نسبت به مشخصه های سازه و بارهای تحریک مورد بررسی قرار می گیرد. در مرحله دوم، برای رفع این مشکل، با افزایش میرایی سعی در کاهش حساسیت سیستم می شود. با بررسی تحلیل های انجام شده و نتایج بدست آمده می توان اظهار نمود: افزایش میرایی سیستم سازه ای نه تنها پاسخ های سازه را با وجود تأخیرهای زمانی در حلقه کنترل، بسیار کاهش می دهد بلکه پایداری آن را به مراتب بهبود بخشیده است. افزایش میرایی سازه باعث گردیده سیستم سازه ای بتواند تأخیرهای زمانی بیشتری در سیستم کنترل فعال را تحمل نماید بدون اینکه خللی در کارایی سیستم کنترل فعال بوجود آید.

واژه های کلیدی: ارتعاشات سازه ای، کنترل فعال سازه ای، تحریکات لرزه ای، تأخیر زمانی، ناپایداری سازه، عملکرد لرزه ای

Study of the Confinement of the Reinforced High-Strength Concrete Columns with Hexagonal Chicken Wire

Morteza Bastami

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
m.bastami@iiees.ac.ir

Seyed Ahmad Mousavi

In recent years, High-Strength Concrete (HSC) has significantly drawn engineer attention to implement it in construction of bridges and high-raised buildings. This is because it has more compressive strength in comparison with ordinary concrete and lead to less use of reinforced bars in structural elements.

Although compression strain related to maximum strength in HSC is higher than the normal concrete, its ductility decreases by increasing the strength. Therefore, HSC has a brittle behavior which leads to sudden failure during the loading. Providing ductility in structural elements like columns is requisite in seismic design of structures since it increases the energy absorption during the earthquake. In columns constructed by HSC, ductility is improved by increasing the confinement of core concrete using transverse bars. On the other hand, by enhancing the volumetric ratio of reinforcement bars in structural elements the construction process become harder, as little space provided for equipment for fabrication. Self-Consolidating concrete (SCC) is a great way to solve this problem because it is highly flow able, and no segregating concrete can spread into place, fill the formwork, and encapsulate the reinforcement without any mechanical consolidation. Several methods have been proposed to improve the ductility of the concrete by providing confinement for core concrete. In this study, we investigated the effect of Hexagonal Chicken Wire (HCW) on ductility of reinforced concrete columns which wrapped around the concrete core and lateral ties.

In the experimental program, eight double-ended RC column specimens that were reinforced laterally with various volumetric ratios of ties for three level of ductility have been tested. The confinement of column specimens was enhanced by warping double HCW around the ties. They were tested under lateral cyclic displacements and uniform axial load. The results are compared in terms of ultimate capacity, axial displacement, lateral displacement, ductility, energy absorption and crack propagation. The main objective of this study is to evaluate the effect of the HCW on seismic performance of HSC RC columns.

Ductility of the structural elements is requisite in design of structures in seismic regions and using confining HCW is one of the best ways to enhance ductility and energy absorption of the RC columns; because it is cheaper and easier to be fabricated

بررسی شکل‌پذیری ستونهای بتن آرمه مقاومت بالا محصور شده توسط شبکه توری فلزی

مرتضی بسطامی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه m.bastami@iiees.ac.ir

سیداحمد موسوی

تحقیق پیش رو با هدف بهبود شکل‌پذیری ستونهای بتنی مقاومت بالا خودمتراکم صورت گرفته است. در سال‌های اخیر، مهندسی سازه تمرکز بالایی بر روی بهره بردن از مصالحی با کارایی بالا دارد که بتن‌های مقاومت بالا یکی از این مصالح به شمار می‌رود. در کنار مزایای متعددی که بتن‌های مقاومت بالا فراهم می‌نمایند مهم‌ترین عیب موجود در شکنندگی بالا و خاصیت شکل‌پذیری کم به نسبت بتن‌های معمولی می‌باشد. از آنجایی که ستونها نقش اساسی را در حفظ جان و مال مردم ایفا می‌کنند، تردی بالا و شکل‌پذیری کم ستونهای بتنی مقاومت بالا بیشتر نمود پیدا می‌کند. یکی از مهم‌ترین عوامل پایداری سازه‌ها در هنگام زلزله، شکل‌پذیری، جذب انرژی و اهمیت حفظ محصورشدگی هسته بتن برای جلوگیری از گسیختگی المان‌ها و در نهایت فروریزش ساختمان می‌باشد. مهم‌ترین مسأله استفاده از موادی در بتن است که با داشتن معیارهایی همچون قابلیت اجرا، هزینه کم و در دسترس بودن آن را جایگزین و یا کاهش‌دهنده آرماتورها و خاموت‌ها به کار برد به صورتی که عملکرد سازه همچنان حفظ شود.

در این تحقیق، جهت بهبود شکل‌پذیری ستونهای بتنی مقاومت بالا خودمتراکم از دو نوع شبکه توری فلزی با قطر چشمه ۲،۵ و ۴ سانتی‌متر و با ضخامت مفتول یکسان به عنوان عامل تقویت‌کننده محصورشدگی هسته بتن استفاده شده است. هر دو نوع شبکه توری فلزی به صورت دو لایه به دور شبکه آرماتوربندی و خاموت‌ها پیچیده می‌شود و جهت تسهیل فرآیند بتن‌ریزی از بتن‌های خودمتراکم استفاده شده است. آزمایش‌های رئولوژی از جمله جریان اسلامپ، جی-رینگ، ال-باکس، جریان اسلامپ تی ۵۰، جی-رینگ تی ۵۰، ال-باکس تی ۲۰ و تی ۴۰ بر روی بتن‌های متراکم صورت گرفت. همچنین متوسط مقاومت فشاری استوانه‌ای استاندارد ستونهای بتنی در روز تست بین ۷۵ الی ۸۲ مگاپاسکال می‌باشد.

جهت ارزیابی شکل‌پذیری ستونهای بتنی مقاومت بالا خود متراکم تقویت شده توسط شبکه توری فلزی از سه سطح شکل‌پذیری کم، متوسط و ویژه استفاده شده است. در هر سطح از شکل‌پذیری، یک نمونه به صورت شاهد و بدون تقویت و دو نمونه به صورت تقویت شده می‌باشد و در نهایت نمونه‌ها تحت بارگذاری لرزه‌ای ساده شده قرار داده شدند.

نتایج آزمایش‌های لرزه‌ای ساده شده بر روی نمونه‌های آزمایشگاهی نشان داد که به طور کلی تقویت نمونه‌ها به کمک شبکه توری فلزی تأثیر چندانی بر روی افزایش یا کاهش مقاومت نمونه‌ها نداشته ولی به طور کلی استفاده از این تقویت تأثیر مثبت در افزایش شکل‌پذیری و جذب انرژی به نسبت نمونه‌های شاهد خود داشته است. بیشترین تأثیر در افزایش شکل‌پذیری و جذب انرژی مربوط به نمونه‌های با حد شکل‌پذیری کم می‌باشد و تقویت شده توسط توری چشمه ۲،۵ سانتی‌متر می‌باشد که توانسته است به نسبت نمونه شاهد خود شکل‌پذیری را ۲۰،۵٪ افزایش دهد و همچنین بیشترین تأثیر در افزایش جذب انرژی مربوط به نمونه با حد شکل‌پذیری کم و

in compare with other types of metal meshes. Since HCW increases the number of cracks and decreases their depth in specimens, it prevents the sudden collapse of the members and improves their ductility. HCW raises the ultimate deformation capacity by restraining rebars to buckle and confining the core concrete. So, more residual capacity has been anticipated for this type of columns after earthquake events.

Tests have been conducted under deformation-control cyclic loading. Following major results have been obtained:

- Implementation of HCW enhances the ductility and energy absorption of columns in all specimens.
- Strength of columns which have been confined by HCW has not significantly changed compared with non-confined specimens.
- In specimens which HCW have been wrapped around the lateral ties, since more cracks were propagated along the samples in plastic hinge area, much portion of the concrete is contributed in failure of the columns and more energy has been absorbed by the specimens while the depths of the cracks have been decreased.
- HCW prevents sudden failure of the specimens by enclosing the longitudinal bars and damaged core concrete. So more deformation could be applied to the specimens and this is a considerable merit of the use of HCW to improve the performance level of buildings.
- In confined specimens with HCW, the numbers of loading cycles have been enhanced, so the energy absorbed by the specimens increased. Moreover, HCW confined the core of the columns and prevent the abrupt failure of the specimens in the final steps of loading.
- Once the plastic hinges have been formed, the HCW stretched and prevented the buckling of the longitudinal rebars. So it can be concluded that HCW mostly acts after the yielding point.
- With regard to the construction costs, HCW only increases 2% of the cost to the construction in comparison to non-confined samples. So it could be concluded that HCW is an appropriate approach to improve the ductility and performance of the RC columns and it also can be proposed as an economical option for retrofitting of the existing RC elements.
- The use of HCW improves the performance of the structure at the level of collapse prevention and this leads to reduction in human and economic losses in earthquakes.

Following figures show fabrication of RC columns confined by HCW, test setup and Hysteresis for specimens.

Keywords: High-strength concrete, Hexagonal chicken wire, Self-consolidating concrete, RC column, Ductility, Confinement, Energy dissipation

تقویت شده توسط توری چشمه ۴ سانتی متر می باشد که توانسته است به نسبت نمونه شاهد خود جذب انرژی را ۳۰۸٫۸٪ افزایش دهد.

واژه های کلیدی: بتن مقاومت بالا، بتن خودمتراکم، ستونهای بتنی، شبکه توری فلزی، گابیون، محصورشدگی، شکل پذیری، جذب انرژی

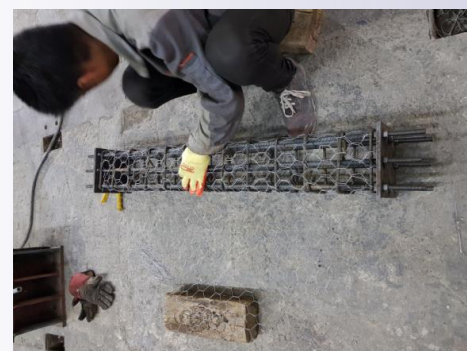


Figure 1: Fabrication of RC columns confined by HCW

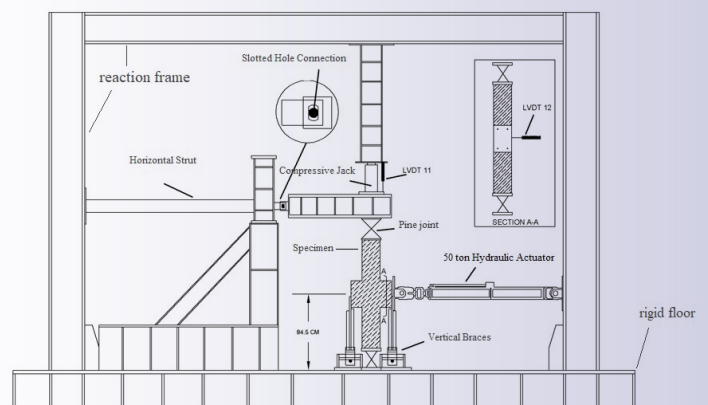


Figure 2: Test Setup

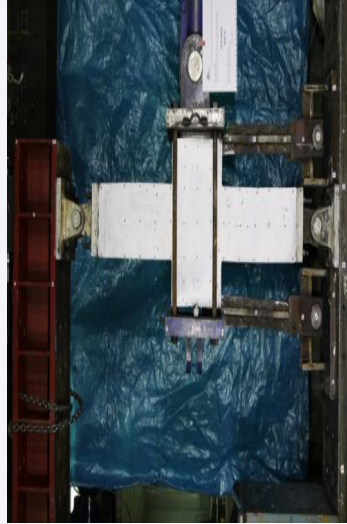


Figure 3: Rigid connection of the vertical braces to the beam and pine connection of hydraulic actuator

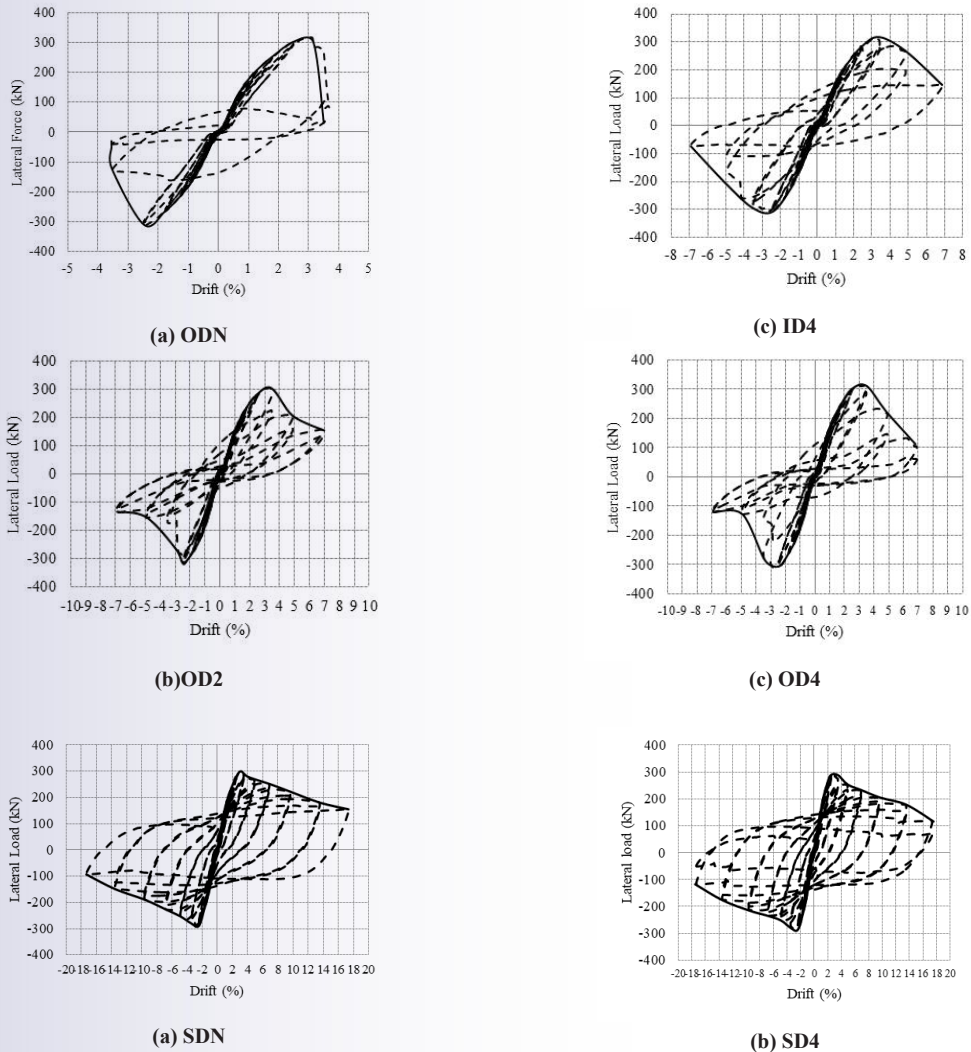


Figure 4: Hysteresis for specimens

Development of Seismic Fragility Functions for Typical Highway Bridges in Iran

Akbar Vasseghi

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
vasseghi@iiees.ac.ir

Aram Soroushian,

Mohammad Khanmohammadi, Arash Taghinia

Fragility functions were developed for typical highway bridges in Iran. The decks of such bridges are integrally connected to bridge bents. The recent experimental studies carried out on typical Iranian multi-column bents indicated major damage at the cap beam-column joint under cyclic loading, Figure (1).

Tests results also demonstrated that the exterior joints were more vulnerable than interior joints. In this study, the nonlinear behavior of the exterior and interior joints was modeled with zero length rotational springs with backbone curves and the Ibarra-Krawinkler Pinching (IKP) model, Figure (2).

The parameters for the backbone curves and the IPK model were proposed based on the experimental data. The analytical models simulating the test specimens were verified with experimental results as shown in Figure (3).

Seismic demand of the cap beam-column joints was considered as an engineering demand parameter (EDP) for development of fragility functions. Three main types of bridge deck including concrete slab-girder, simple slab, and void slab with various configurations relevant to number of span, construction date, column shape and abutment types were analyzed using OpenSees software. Nonlinear incremental dynamic analyses were performed for the development of the fragility functions assuming a probabilistic log-normal distribution. Fragility parameters (λ : mean, ξ : dispersion) were evaluated at four damage levels for each type of bridges. The fragility parameters for each bridge type are listed in Tables (1-3). Type of bridge in these tables is labeled based on number of spans (2, 3, 4), construction date (A: old, B: New), column section (C: circle, O: oval), and abutment type (D: diaphragm, S: seat).

Keywords: Fragility function, Cap beam-column joint, Exterior and interior joints, Backbone curve, Incremental dynamic analysis

توسعه توابع شکنندگی پلهای بزرگراهی رایج در ایران

اکبر واسغی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه vasseghi@iiees.ac.ir

آرام سروشیان، محمد خان محمدی، آرش تاقینا

در این پژوهش، توابع شکنندگی پلهای بزرگراهی کشور با سیستم سازه‌های عرشه یکپارچه با زیرسازه توسعه داده شده است. آزمایش‌های دهه اخیر انجام شده در ایران بر روی پایه بتنی چند ستونی پلها (مربوط به دهه‌های ۷۰ و ۸۰) آسیبهای عمده‌ای را در محل اتصال تیر سرستون به ستون در برابر تحریک جانبی به دلیل تسلیح نامناسب ناحیه اتصال نشان دادند، شکل (۱). این آزمایش‌ها همچنین نشان دادند که اتصالات خارجی، نسبت به اتصالات داخلی آسیب پذیرترند. مدلسازی رفتار غیرخطی اتصالات داخلی و خارجی با فنرهای غیرخطی دورانی به طول صفر و منحنی رفتار چرخه‌ای مطابق شکل (۲) انجام شد و نتایج مدل تحلیلی نمونه‌های آزمایشگاهی با نتایج آزمایش‌ها راستی‌آزمایی شد، شکل (۳).

برای توسعه توابع شکنندگی پلهای یکپارچه میزان تقاضای لرزه‌ای اتصال تیر سرستون به ستون به عنوان پارامتر نیاز لرزه‌ای در نظر گرفته شد. سه تیپ اصلی از این پلها با سیستم عرشه تیر و دال، دال مجوف و دال ساده با مشخصات متنوعی از جمله تعداد دهانه، قدمت پل، شکل مقطع ستون و نوع کوله (شامل ۷۲ تیپ فرعی)، در نرم‌افزار OpenSees مدلسازی و تحلیل شدند. تعداد ۱۰۰ زلزله کم عمق و دور از گسل به منظور تحلیل دینامیکی غیر خطی فزاینده (Incremental Dynamic Analysis, IDA) انتخاب و توابع شکنندگی اعضا و سیستم پل به روش تحلیلی توسعه داده شدند. منحنی‌های شکنندگی اعضا و سیستم پل در چهار سطح خرابی با فرض توزیع احتمالاتی لوگ نرمال توسعه داده شدند. پارامترهای توابع شکنندگی (میانگین: λ و انحراف معیار: ξ) سیستم پلها با عرشه تیر و دال بتنی، دال ساده بتنی، و دال مجوف بتنی به ترتیب در جداول (۱ تا ۳) ارائه شده است. ردیف دوم این جداول تیپ پل را بر مبنای تعداد دهانه (۲، ۳، ۴)، قدمت پل (A: قدیمی، B: جدید)، شکل مقطع ستون (C: دایره‌ای، O: لوبیایی) و نوع کوله (D: یکپارچه، S: نشیمن) مشخص می‌کند.

واژه‌های کلیدی: توابع شکنندگی، اتصال تیر سرستون به ستون، اتصال خارجی و داخلی، تحلیل دینامیکی فزاینده

Table 1: Fragility parameters for concrete slab and girder bridge

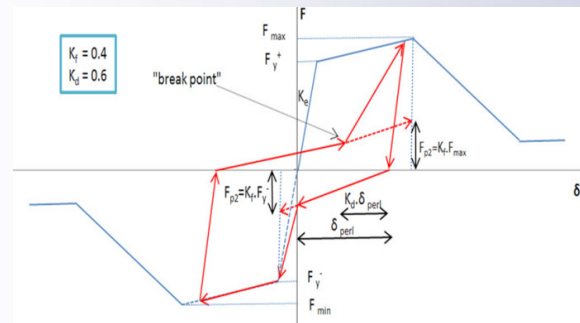
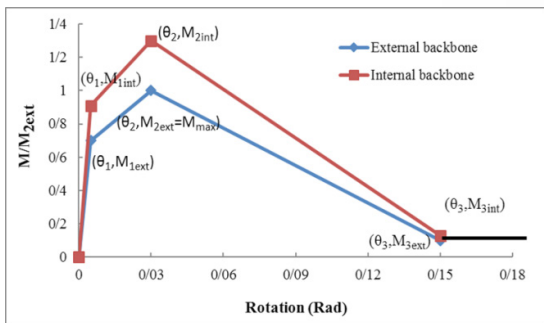
Average Dispersion	State of Damage								Bridge type	Number of Span
	Complete		Extensive		Moderate		Slight			
ξ^*	ξ	λ	ξ	λ	ξ	λ	ξ	λ		
0.78	0.78	1.17	0.78	0.85	0.78	0.55	0.78	0.25	2ACD	2
0.8	0.79	1.5	0.79	1.2	0.79	0.85	0.84	0.44	2BCD	
0.84	0.85	1.5	0.79	1.02	0.85	0.88	0.85	0.54	2AOD	
0.78	0.78	0.76	0.78	0.57	0.78	0.38	0.78	0.19	2ACS	
0.83	0.80	1.3	0.80	0.98	0.85	0.77	0.85	0.53	2BOS	
0.85	0.85	1.27	0.85	0.95	0.85	0.74	0.85	0.46	2AOS	
0.80	0.80	0.98	0.80	0.77	0.80	0.56	0.80	0.24	2BCS	
0.72	0.70	2.8	0.70	1.90	0.7	0.95	0.80	0.69	2BOD	
0.99	0.99	0.73	0.99	0.53	0.99	0.33	0.99	0.15	3ACD	3
0.98	0.98	0.96	0.98	0.72	0.98	0.50	0.98	0.18	3BCD	
0.82	0.80	0.83	0.80	0.65	0.8	0.47	0.87	0.23	3AOD	
0.89	0.87	0.56	0.87	0.43	0.9	0.30	0.90	0.15	3ACS	
0.83	0.82	0.66	0.82	0.53	0.82	0.40	0.87	0.23	3BOS	
0.85	0.84	0.63	0.84	0.49	0.84	0.36	0.87	0.18	3AOS	
0.87	0.87	0.58	0.87	0.46	0.87	0.34	0.87	0.23	3BCS	
0.89	0.89	0.94	0.89	0.73	0.89	0.53	0.89	0.26	3BOD	
0.83	0.83	0.43	0.83	0.32	0.83	0.23	0.83	0.15	4ACD	4
0.84	0.83	0.46	0.83	0.39	0.83	0.29	0.87	0.17	4BCD	
0.91	0.95	0.80	0.95	0.66	0.92	0.45	0.83	0.26	4AOD	
0.83	0.83	0.41	0.83	0.31	0.83	0.21	0.83	0.13	4ACS	
0.83	0.88	0.88	0.8	0.70	0.80	0.55	0.85	0.29	4BOS	
0.91	0.91	0.71	0.91	0.61	0.91	0.44	0.91	0.27	4AOS	
0.72	0.72	0.44	0.72	0.37	0.72	0.30	0.72	0.22	4BCS	
0.82	0.82	1.35	0.82	1.13	0.82	0.90	0.82	0.50	4BOD	



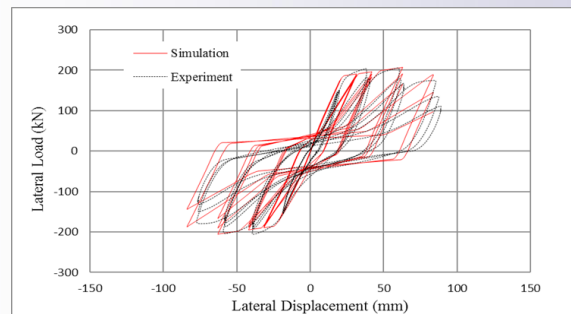
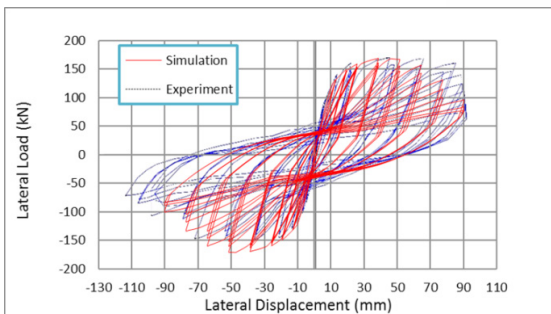
شکل (1): خسارت وارد به اتصالات در آزمایش‌های داخل کشور

Table 2: Fragility parameters for concrete slab bridge

Average Dispersion	State of Damage								Bridge type	Number of Span
	Complete		Extensive		Moderate		Slight			
ξ^*	ξ	λ	ξ	λ	ξ	λ	ξ	λ		
1.04	0.88	1.68	0.95	1.05	1.13	0.52	1.20	0.18	2sACD	2
1.09	0.92	2.30	1.00	1.77	1.15	1.05	1.30	0.19	2sBCD	
0.74	0.68	1.90	0.68	1.25	0.68	0.92	0.89	0.50	2sAOD	
0.75	0.69	0.43	0.69	0.29	0.69	0.17	0.92	0.10	2sACS	
0.99	1.05	1.15	1.10	0.78	0.90	0.58	0.90	0.34	2sBOS	
1.02	1.01	1.15	1.10	0.78	1.00	0.53	0.95	0.27	2sAOS	
0.74	0.69	0.56	0.69	0.43	0.69	0.28	0.86	0.11	2sBCS	
0.82	0.82	1.99	0.82	1.60	0.82	1.20	0.82	0.90	2sBOD	
0.99	0.83	1.16	0.85	0.73	1.15	0.36	1.15	0.13	3sACD	3
1.08	0.95	1.50	1.06	1.10	1.08	0.70	1.24	0.14	3sBCD	
0.83	0.8	1.25	0.80	0.90	0.83	0.66	0.90	0.25	3sAOD	
0.73	0.67	0.49	0.67	0.33	0.67	0.20	0.92	0.11	3sACS	
0.74	0.75	1.05	0.75	0.78	0.75	0.55	0.70	0.28	3sBOS	
0.89	0.87	0.93	0.87	0.72	0.90	0.49	0.95	0.25	3sAOS	
0.71	0.59	0.62	0.59	0.48	0.59	0.31	0.84	0.13	3sBCS	
1.19	1.19	2.50	1.19	1.70	1.19	1.05	1.19	0.42	3sBOD	
0.84	0.76	1.00	0.76	0.67	0.85	0.38	0.97	0.18	4sACD	4
0.84	0.77	1.3	0.77	1.00	0.84	0.65	0.96	0.20	4sBCD	
0.83	0.80	1.25	0.80	0.90	0.83	0.66	0.90	0.25	4sAOD	
0.80	0.74	0.52	0.74	0.34	0.74	0.20	0.98	0.11	4sACS	
0.60	0.60	1.16	0.60	0.93	0.60	0.69	0.60	0.41	4sBOS	
0.83	0.85	1.10	0.85	0.83	0.83	0.59	0.80	0.30	4sAOS	
0.74	0.71	0.66	0.71	0.51	0.71	0.34	0.84	0.14	4sBCS	
0.90	0.90	2.29	0.90	1.58	0.90	0.93	0.90	0.37	4sBOD	



شکل (۲): مدل رفتاری اتصالات تیرستون به ستون



شکل (۳): صحت سنجی مدل تحلیلی

Table 3: Fragility parameters for concrete void slab bridge

Average Dispersion	State of Damage								Bridge type	Number of Span
	Complete		Extensive		Moderate		Slight			
	ξ	λ	ξ	λ	ξ	λ	ξ	λ		
ξ^*										
0.80	0.73	1.20	0.73	0.85	0.79	0.52	0.96	0.30	2vACD	2
0.79	0.69	1.49	0.69	1.19	0.8	0.79	0.99	0.31	2vBCD	
0.89	0.80	1.35	0.80	1.10	0.95	0.75	0.99	0.39	2vAOD	
0.73	0.69	0.39	0.69	0.26	0.69	0.16	0.82	0.10	2vACS	
0.83	0.85	1.12	0.85	0.90	0.80	0.65	0.80	0.39	2vBOS	
0.83	0.85	1.07	0.85	0.85	0.80	0.60	0.80	0.35	2vAOS	
0.74	0.70	0.51	0.70	0.39	0.70	0.26	0.87	0.11	2vBCS	
0.88	0.88	1.70	0.88	1.20	0.88	1.00	0.88	0.50	2vBOD	
0.97	0.80	0.84	0.82	0.53	1.13	0.35	1.13	0.14	3vACD	3
0.88	0.87	1.05	0.87	0.80	0.87	0.52	1.1	0.17	3vBCD	
0.83	0.80	1.25	0.80	0.90	0.87	0.63	0.85	0.26	3vAOD	
0.75	0.68	0.43	0.68	0.28	0.68	0.17	0.95	0.10	3vACS	
0.66	0.66	0.98	0.66	0.78	0.66	0.56	0.66	0.32	3vBOS	
0.86	0.86	0.98	0.86	0.76	0.86	0.53	0.86	0.28	3vAOS	
0.72	0.64	0.54	0.64	0.41	0.64	0.27	0.95	0.10	3vBCS	
0.93	0.93	1.50	0.93	1.20	0.93	0.82	0.93	0.54	3vBOD	
0.75	0.67	0.80	0.67	0.56	0.74	0.34	0.91	0.19	4vACD	4
0.71	0.65	0.99	0.65	0.78	0.70	0.52	0.89	0.20	4vBCD	
0.77	0.72	0.82	0.72	0.67	0.80	0.50	0.85	0.28	4vAOD	
0.71	0.68	0.45	0.68	0.30	0.68	0.18	0.80	0.12	4vACS	
0.71	1.09	0.69	0.89	0.69	0.80	0.61	0.80	0.39	4vBOS	
0.81	0.80	0.96	0.80	0.73	0.80	0.53	0.80	0.31	4vAOS	
0.72	0.67	0.59	0.67	0.45	0.67	0.30	0.87	0.13	4vBCS	
0.86	0.86	0.94	0.86	0.80	0.86	0.65	0.87	0.48	4vBOD	

Assessment of the Sufficiency and Necessity of the Conventionally Accepted Proposed Time Step for Nonlinear Structural Dynamic Analysis

Aram Soroushian

Assistant Professor, Structural Engineering Research Center
a.soroushian@iiees.ac.ir

The actual behavior of structural systems subjected to severe earthquakes is dynamic and nonlinear. Time history analysis using a step-by-step direct time integration method and an iterative method for nonlinear solution is the most powerful method to analyze the initial value problems defining the dynamic nonlinear behavior of structural systems, especially when the external load is because of a severe earthquake. After discretization in space by methods such as finite or boundary elements, the ordinary initial value problem defining the above-mentioned nonlinear dynamic behavior can be expressed as:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{f}_{\text{int}} &= \mathbf{f}(t) & 0 \leq t < t_{\text{end}} \\ \mathbf{u}(t=0) &= \mathbf{u}_0 \\ \dot{\mathbf{u}}(t=0) &= \dot{\mathbf{u}}_0 \\ \mathbf{f}_{\text{int}}(t=0) &= \mathbf{f}_{\text{int}_0} \\ \mathbf{Q} &\leq \bar{\mathbf{O}} \end{aligned} \quad (1)$$

In Eq. (1), \mathbf{M} is the mass matrix, \mathbf{u} is the vector of unknown displacements, \mathbf{f}_{int} is the vector of unknown internal forces, $\mathbf{f}(t)$ is the vector of external forces, t implies the independent variable (time), t_{end} is the time duration of the dynamic behavior, each top dot implies once differentiation with respect to time, and '0' as a right subscript implies that the argument is at its initial condition, i.e. the status at $t=0$. As implied above, together with an iterative method for nonlinear solution, time integration defines the most versatile approach for analyzing Eq. (1), and the parameter with most effectiveness on the results of this analysis, especially on the accuracy of the response, the analysis run-time, and the computational effort, is the integration step. The broadly accepted relation suggesting a value for the integration step is as follows:

$$\Delta t = \text{Min} \left(\Delta t_{\text{cr}}, \frac{T}{\chi}, f \Delta t \right) \quad (2)$$

$$\chi = \begin{cases} 10 & \text{When the behavior is linear} \\ 100 & \text{When the behavior is nonlinear but not involved in impact} \\ 1000 & \text{When the behavior is nonlinear and involved in impact} \end{cases}$$

where, Δt_{cr} is the upper-bound to preserve numerical stability,

ارزیابی کفایت و نیاز به اندازه گام زمانی رایج پیشنهاد شده برای تحلیل دینامیکی غیر خطی

آرام سروشیان

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه a.soroushian@iiees.ac.ir

رفتار واقعی سیستم‌های سازه‌ای در برابر زلزله‌های بخصوص قوی دینامیکی و غیرخطی است. تحلیل تاریخچه زمانی با استفاده از یکی از روش‌های انتگرالگیری مستقیم گام به گام و یکی از روش‌های حل تکراری غیرخطی توانمندترین روش بررسی مسائل مقدار اولیه متناظر رفتار دینامیک سازه غیرخطی بخصوص در حالتی است که بار دینامیکی خارجی ناشی از زلزله باشد. رابطه حاکم بر رفتار دینامیکی غیرخطی سیستم‌های سازه‌ای تحت اثر زلزله را، پس جداسازی مدل پیوسته با استفاده از روش‌هایی مثل اجزاء محدود، اجزاء مرزی ... می‌توان به شکل زیر بیان نمود:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{f}_{\text{int}} &= \mathbf{f}(t) & 0 \leq t < t_{\text{end}} \\ \mathbf{u}(t=0) &= \mathbf{u}_0 \\ \dot{\mathbf{u}}(t=0) &= \dot{\mathbf{u}}_0 \\ \mathbf{f}_{\text{int}}(t=0) &= \mathbf{f}_{\text{int}_0} \\ \mathbf{Q} &\leq \bar{\mathbf{O}} \end{aligned} \quad (1)$$

در رابطه فوق، \mathbf{M} ماتریس جرم سیستم چند درجه آزاد، \mathbf{u} بردار تغییر مکان‌های درجات آزاد مختلف سیستم چند درجه آزاد، هر نقطه بالای یک متغیر نشان دهنده یک بار مشتق‌گیری از آن متغیر نسبت به زمان، \mathbf{f}_{int} بردار نیروهای داخلی اعضای سیستم سازه‌ای چند درجه آزاد، $\mathbf{f}(t)$ بردار نیروهای دینامیکی وارده از خارج از سیستم سازه‌ای بر درجات آزاد سیستم چند درجه آزاد، علامت 0 به عنوان زیرنویس سمت راست یک متغیر به مفهوم اولیه بودن زمانی متغیر دارای زیرنویس، t بیانگر متغیر زمان، و نهایتاً، t_{end} مؤید طول زمانی بررسی رفتار دینامیکی است. انتگرالگیری مستقیم گام به گام، به همراه اعمال روش تکراری غیرخطی (در موارد لازم)، کارآمدترین طریقه حل مسأله بیان شده طی رابطه (1) است. گام زمانی تحلیل یا Δt ، پارامتری با بیشترین تأثیر بر ویژگی‌های مختلف تحلیل بخصوص دقت پاسخ‌ها و زمان تحلیل است. پیشنهاد مورد اقبال عمومی برای انتخاب مقداری مناسب برای Δt به صورت زیر است:

$$\Delta t = \text{Min} \left(\Delta t_{\text{cr}}, \frac{T}{\chi}, f \Delta t \right) \quad (2)$$

$$\chi = \begin{cases} 10 & \text{وقتی رفتار غیر خطی است ولی برخوردی وجود ندارد} \\ 100 & \text{وقتی رفتار غیر خطی است برخورد هم وجود دارد} \\ 1000 & \end{cases}$$

که در آن، Δt_{cr} حد بالای گام انتگرالگیری برای حفظ پایداری (و حتی سازگاری) عددی، T کوچکترین پریود حائز اهمیت در تاریخچه زمانی پاسخ هدف، و $f \Delta t$ گام زمانی عددی شدن زلزله است. طی بررسی عددی و نظری انجام شده و توجه به مشاهدات عددی

as well as consistency, T is the smallest period with notable contribution in the target response, and Δt implies the step at which the external forces (the $\mathbf{f}(t)$ in Eq. (1)) is digitized.

This study has shown through various numerical tests, that the results of Eq. (2) can be insufficient and unnecessary for the accuracy of the target response. The numerical observations are compared with the scattered data reported in the literature. In view of the consistency between the tests and the existing data, the phenomenon is studied theoretically and its reason is explained. In brief, though the main parameter affecting the results of analysis of Eq. (1) is the integration step, for nonlinear analyses, there are other contributors, with considerable effects, as well; e.g. the tolerance of nonlinear iterations.

The consequence of studying the existing nonlinearity using an iterative nonlinear solution method is nonlinearity residuals at the integration stations where nonlinearity is detected. This is regardless, of using implicit/explicit, single-/multi-step, single-/multi-stage unconditionally/conditionally stable . . . integration method, the method used for nonlinear solution, and the tolerance of the iterative nonlinear solution. Therefore, at the steps after the detection of nonlinearity, the computed response is under the influence of the problem's actual parameters, the characteristic of the time integration specifically the integration step, and also the nonlinearity residual at the last step. As a result, Eq. (2) cannot be correct because of not considering all the influencers in the accuracy of the response. The incorrectness can appear as insufficiency or lack of necessity of the integration step for the accuracy of the target response. The reason is the fact that the two sources of error originated in time integration and iterative nonlinear solution are independent. Still, for problems with the nonlinearity of the piece-wisely linear type, when the time step is sufficiently small, the effect of the residuals disappear, and more accuracy is obtainable for the target response, when using smaller integration steps. The "sufficiently small" in the previous sentence however depends on the problem and potentially even on the integration method.

Considering the explanation above, a good way to use Eq. (2) for assigning an appropriate value to Δt , is to pay attention to the comments in structural dynamics and numerical analysis of ordinary initial value problems, regarding repetition of the analyses with smaller steps, and comparing the computed responses till convergence of the responses. This is somehow materialized in the analysis procedure presented for nonlinear response history analysis in the seismic code of New Zealand, NZS 1170.5:2004. The procedure can to some extent guarantee the sufficiency, but cannot guarantee the necessity, of the integration step, for the response accuracy. This can be explained on the basis

متفرق گزارش شده در ادبیات فنی، گام زمانی پیشنهاد شده در رابطه (۲) از نظر برقراری دقت، برای پاسخهای هدف مورد نظر از تحلیل تاریخچه زمانی، کافی نیست، و حداقل برای بسیاری از روشهای انتگرالگیری مثالهایی قابل تبیین بوده بعضاً در گزارش این پروژه و یا ادبیات فنی آمده است که تحلیل با گامهایی که رابطه (۲) را ارضا می کنند منجر به پاسخهایی غلط در حد ناپایداری عددی شده است. حالت های برعکس نیز که رابطه (۲) منجر به گامهایی بسیار کوچکتر از حد لازم برای دقت و لذا صرف زمان و هزینه محاسباتی بیش از مقدار لازم است نیز قابل تصور و تعریف بوده ارائه شده است.

از عمده ترین دلایل منجر به این دو پدیده، یعنی عدم کفایت یا عدم لزوم گام زمانی حاصل از رابطه (۲)، در نظر گرفته نشدن صحیح رفتار غیرخطی و جزئیات پارامترهای تحلیل تکراری غیرخطی در تعیین اندازه گام زمانی انتگرالگیری است. به طور خلاصه و در عمل، خطاهای بازمانده در گامهای درگیر با رفتار غیرخطی دارای تأثیری بر دقت محاسبات منجر به پاسخ مسأله است که در رابطه (۲) کلا دیده نشده است. به عنوان قاعده ای کلی، بخصوص در مسائل با رفتار غیرخطی از نوع تکه تکه خطی، هر چه اندازه گام انتگرالگیری کوچکتر باشد، تأثیر دیگر عوامل بر ویژگی های پاسخ و تحلیل کاهش می یابد، و نهایتاً به ازای مقادیر به میزان کافی کوچک گام انتگرال گیری این تأثیرها قابل صرف نظر هستند (مقادیر به میزان کافی کوچک در مسائل مختلف متفاوت است).

بهترین نحوه استفاده از رابطه (۲) برای انتخاب گام زمانی تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، توجه به پیشنهاد های متعدد موجود در مراجع دینامیک سازه و حل عددی مسائل مقدار اولیه، مبتنی بر تکرار محاسبات انتگرالگیری گام به گام مستقیم با گامهای کوچکتر تا همگرایی پاسخها، و نهایتاً استفاده از روند ارائه شده در آیین نامه لرزه ای کشور نیوزیلند (NZS 1170.5:2004) است، که تا اندازه ای، کفایت و نه لزوم پیشنهاد انتخاب گام زمانی را برای دقت پاسخها تضمین می کند. با توجه به اهمیت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی در مهندسی سازه و زلزله و بسیاری رشته های دیگر علوم و مهندسی نتایج این تحقیق حائز اهمیت بالایی است، و لذا پیشنهاد های مختلفی برای ادامه تحقیق بخصوص به سمت ضوابطی مناسب تر برای انتخاب گام تحلیل در استانداردهای لرزه ای مطرح شده است.

کلمات کلیدی: تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، دقت پاسخ هدف، سرعت محاسبات، انتگرالگیری مستقیم گام به گام، تحلیل تکراری غیرخطی، استاندارد لرزه ای کشور نیوزیلند

of convergence of responses obtained from analyses carried out with sufficiently small steps, and the ending steps of the analysis procedure presented in NZS 1170.5:2004.

In view of the importance of response history analysis in structural engineering, earthquake engineering, and many other fields, and that time integration is the only versatile method for analyzing nonlinear dynamic behaviors, the results of this research are very important. Several suggestions have therefore been made to continue the research, especially towards more appropriate step selection criteria in seismic regulations.

Keywords: Nonlinear response history analysis, Accuracy of the target response, Analysis speed, Step-by-step direct time integration, Seismic code of New Zealand

Seismic Behavior of Reentering Steel Shear Wall

Abdolreza Sarvghad Moghadam

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
moghadam@iiees.ac.ir

Behrokh Hosseini Hashemi, Soror Arjomand

Self-Centering Steel Plate Shear Walls (SC-SPSW) are a new generation of seismic resisting frames which recently introduced into structural engineering world. The primary concept of SC-SPSW is based on implementing steel plate shear walls as an energy dissipating system paired with post tensioned strands as a self-centering system in the structures. Steel plate shear walls absorb the seismic lateral load, concentrating the likely damage within themselves in order to make the main structural elements such as beam and column, remain almost undamaged and post tension strands bring the structure back to its pre earthquake position to eliminate or reduce residual drift after an earthquake. This project presents a numerical simulation of self-centering steel plate shear wall based on strip model proposed by AISC Steel Design Guide 20 and attempts to modify the method to more accurately match with experimental results. According to this study, it is found that compression resistance of shear wall strips, realistic pinching behavior and energy dissipation of bolts in post tensioned connections are key aspects to develop a reliable simulation of a self-centering frames with steel plate shear walls and neglecting either of these issues, could disturb evaluation of self-centering capability and dissipated energy in the frame. In addition, deterioration in shear wall material due to web plate tearing needs to be considered in the modeling to achieve more realistic assessment of ultimate stiffness and strength of the system upon significant seismic loads.

In addition, collapse potential, seismic performance and the impact of aspect ratio on the seismic parameters of SC-SPSWs were studied in this project. Nine archetypes selected for this study which are 5, 7 and 10 story structures with three aspect ratio of 0.8, 1.5 and 2.5 for SC-SPSW frames in order to examine the impact of aspect ratio on the SC-SPSW behavior. The results of archetypes design suggest that the SC-SPSW frames with panel aspect ratio of 1.5 have less weight in comparison with the other archetypes.

Besides, nonlinear static and incremental dynamic analysis results of the archetypes demonstrate that the seismic performance criterion of FEMA P695 could be passed in the archetypes with aspect ratio of 1.5 and the other archetypes need to be redesigned with less R-factor. It could be concluded that best aspect ratio for SC-SPSW panel is around 1.5 which results in lower structural weight and better seismic performance.

بررسی رفتار لرزه‌ای دیوار برشی فولادی بازگشت‌پذیر

عبدالرضا سروقدمقدم

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه moghadam@iiees.ac.ir

بهرخ حسینی هاشمی، سرور ارجمند

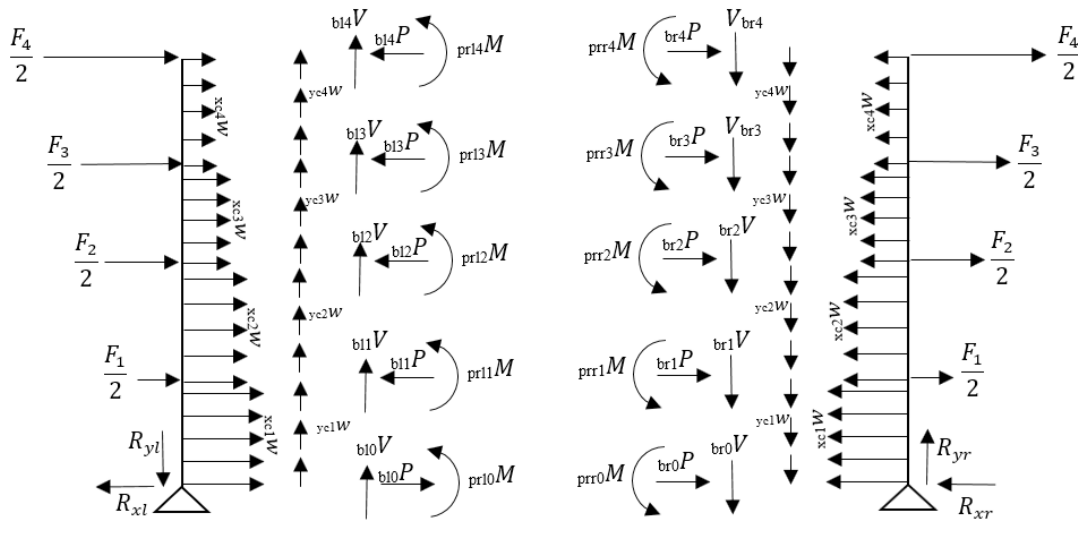
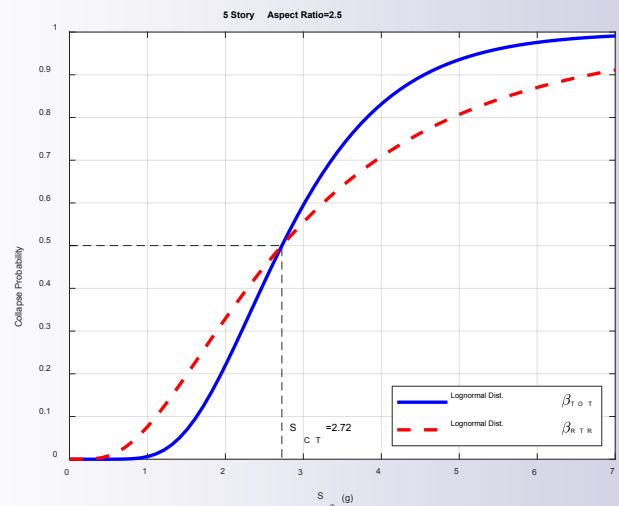
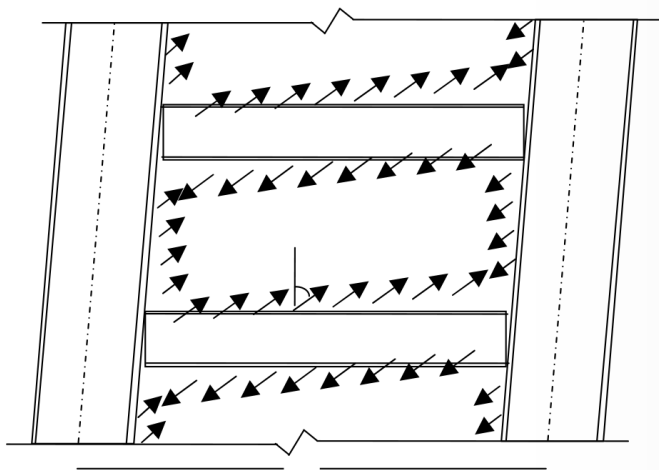
با توجه به زلزله‌خیز بودن ایران، نیاز به استفاده از روش‌های نوین جهت ساخت سازه‌های لرزه‌ای مقاوم قابل ترمیم، جهت پیشگیری و یا کاهش هزینه‌های جانی و اقتصادی رو به افزایش است. در این راستا، بررسی و توسعه سیستم‌های لرزه‌ای جدید با قابلیت استهلاک انرژی و بازگشت‌پذیری، مورد توجه ویژه پژوهشگران سازه قرار گرفته است. در سازه‌های مجهز به سیستم لرزه‌ای بازگشت‌پذیر، ترکیب مستهلک‌کننده لرزه‌ای با سازوکارهای بازگرداننده، در کاهش خسارات و بالا بردن امکان تعمیرپذیری سازه پس از زلزله، نقش مؤثری ایفا میکند. در پژوهش حاضر، رفتار لرزه‌ای قابهای فولادی مجهز به دیوار برشی فولادی و اتصالات بازگرداننده مورد بررسی قرار گرفته است. در این قابها اتصالات صلب خمشی با اتصالات پس‌تنیده کابلی جایگزین شده‌اند. سختی بازگرداننده این اتصالات پس از اتمام زلزله، باعث بازگشت سازه به موقعیت اولیه می‌شود. نقش اصلی مقابله در برابر نیروهای جانبی در این قابها بر عهده دیوارهای برشی فولادی است که با تشکیل میدان‌های کششی، نیروی لرزه‌ای وارد به سازه را مستهلک می‌کنند. در این تحقیق، ابتدا مکانیک رفتار این سیستم دیوار برشی فولادی بازگشت‌پذیر مورد مطالعه قرار گرفته و روابط نیرویی و روش طراحی آن استخراج شده است. گفتنی است در روش طراحی میزان نیروی پس‌تنیدگی اولیه به گونه‌ای تنظیم می‌شود که تحت نیروهای گرانشی و باد، اتصالات پس‌تنیده رفتاری مشابه با اتصالات صلب داشته باشند و در حین اعمال نیروی لرزه‌ای با ایجاد بازشدگی میان تیر و ستون در عین تأمین لنگر اضافه برای مقابله با نیروی لرزه‌ای، سختی بازگرداننده اتصال را فراهم کرده و از تشکیل مفاصل پلاستیک در تیر جلوگیری کنند. مدل‌سازی قابهای بازگشت‌پذیر با دیوار برشی در نرم‌افزار اپن‌سیز شده انجام شده و صحت مدل بر اساس نتایج آزمایشگاهی، راستی‌آزمایی شده است. در این راستا، مقاومت فشاری و همچنین رفتار پینچینگ اصلاح شده برای دیوارهای برشی فولادی منظور شده است. برای ارزیابی پارامترهای لرزه‌ای سیستم دیوار برشی فولادی بازگشت‌پذیر، نه سازه ۷، ۵ و ۱۰ طبقه که هر یک دارای سه ضریب منطری ۰/۸، ۱/۵ و ۲ هستند به عنوان سازه‌های نمونه طراحی شده و تحت تحلیل دینامیکی افزایشی قرار گرفته‌اند. بررسی این تحلیل، منجر به شناسایی و پیشنهاد ضریب رفتار ۷، برای طراحی سیستم دیوار برشی بازگشت‌پذیر با قابهایی با ضریب منطری در حدود ۱/۵، شده است که می‌تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی رفتار لرزه‌ای این سازه‌ها مد نظر قرار گیرد.

ضمناً، تحلیل تاریخچه زمانی انجام شده بر روی سازه‌های نمونه دو سطح لرزه‌ای طراحی و ماکزیمم زلزله محتمل، ارتقای عملکرد لرزه‌ای سیستم دیوار برشی بازگشت‌پذیر را نسبت به سطح عملکرد ارائه شده در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای، تأیید می‌کند. در سطح لرزه‌ای طراحی، اعضای اصلی تیر و ستون و کابلهای پس‌تنیده به صورت الاستیک عمل کرده و

Keywords: Ductility, Nonlinear Model, Self-centering steel shear wall, Repairable system

بازگشت پذیری سازه پس از اتمام زلزله تا حدود زیادی محقق می شود. در سطح ماکزیمم زلزله محتمل، کابل ها در محدوده الاستیک باقی می ماند؛ اما مفاصل پلاستیک در بعضی از اعضای اصلی ایجاد شده و مقداری تغییر شکل ماندگار پس از حذف نیروی جانبی در سازه وجود می آید. به صورت کلی، رفتار لرزه ای قاب های فولادی مجهز به دیوار برشی فولادی و اتصالات بازگشت پذیر در کاهش خسارات لرزه ای، مناسب ارزیابی شده است و به کار بردن آن در سازه هایی که برای عملکرد لرزه ای ارتقاء یافته است، هدف گذاری شده، و از نگاه هزینه فایده موجه هستند.

واژه های کلیدی: شکل پذیری، مدل غیر خطی، دیوار برشی فولادی برگشت پذیر، سیستم تعمیر پذیر



Design of Mass Isolated Systems Based on Stability Margin and Recurrent Switching Technique

Mansour Ziyaeifar

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
mansour@iiees.ac.ir

Mohammad Boojari

The purpose of this research was to increase the efficiency of mass isolated structures by increasing their flexibility and damping characteristics. In the mass isolation approach, the structure is divided into two stiff and soft substructures where the lateral displacement of the soft substructure is controlled by the stiff one with the help of energy dissipaters located between them. In the first step of this work, the goal was to increase the flexibility of the soft substructure without stability problems by controlling its lateral displacement using stiff substructure. In the next step, in order to improve the performance of the structure and reduce its seismic responses, the idea of recurrent switching is used to reduce the level lateral forces on the structural system. Further, by transferring the induced vibrational effects on the system to the higher modes of the structure, seismic responses of the system have been reduced.

Increase in the flexibility of soft substructure is dependent on ensuring its lateral stability in mass isolated structures. Assuming the possibility of restriction in lateral displacements for mass subsystem through the stiff substructure, the required stability of mass subsystem can be provided. This causes increase in flexibility of the soft substructure to a level much higher than conventional structures. In this study, the stability margin of soft substructure has been investigated through a series of push over analyses by taking into account the effects of restriction in its lateral displacement through stiff substructure. In this approach, analytical relationships have been proposed to relate flexibility of the structure to its stability margin while its lateral deformation is restricted by a stiff subsystem.

In the next step, the idea of the recurrent switching is used to reduce seismic induced lateral forces to the structure in mass isolated system. In this method, the level of dashpot forces connecting the two subsystems is continually cuts off and connects in a certain level of frequency.

In the last part of this research, it has been tried to switch the force flow between the two subsystems in the range of the natural periods of higher modes of the system. This has been done to transfer earthquake input energy to higher

طراحی سیستم‌های جداسازی شده جرمی بر مبنای محدوده پایداری و بهبود عملکرد آنها با استفاده از تکنیک اهرم فرکانسی

منصور ضیایی فر

دانشیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک
mansour@iiees.ac.ir

محمد بوجاری

هدف از انجام این پژوهش، افزایش کارایی سازه‌های جداسازی جرمی از طریق افزایش انعطاف‌پذیری و میرایی آنها بوده است. در روش جداسازی جرمی، سازه به دو زیرسازه سخت و نرم تقسیم می‌شود که تغییرمکان‌های جانبی زیرسازه نرم توسط زیرسازه سخت، با کمک میراگرهای واسط کنترل می‌شود. در گام نخست این تحقیق، هدف افزایش انعطاف‌پذیری زیرسازه نرم تا حد تأمین پایداری جانبی آن به شرط کنترل تغییرمکان توسط زیرسازه سخت بوده است. در مرحله بعد برای بهبود عملکرد سازه و کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای آن از ایده اهرم فرکانسی برای کاهش نیروهای اعمالی به زیرسازه سخت استفاده به عمل آمده است. در ادامه با انتقال ارتعاشات حاصله در سیستم به مودهای بالاتر، سعی در کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه و کاستن از بارهای طراحی آن گردیده است.

افزایش انعطاف‌پذیری زیرسازه نرم معطوف به تأمین پایداری جانبی آن می‌باشد که در سازه‌های جداسازی جرمی، با فرض کنترل تغییرمکان‌های جانبی این زیرسازه از طریق زیرسازه سخت این محدوده پایداری قابل تأمین بوده و افزایش انعطاف‌پذیری زیرسازه نرم تا حد بالاتری نسبت به سازه‌های متعارف ساختمانی امکان‌پذیر خواهد بود. در این تحقیق، مسأله پایداری زیرسازه نرم از طریق روش بار افزون با در نظر گرفتن اثرات $P - \Delta$ و محدود نمودن دامنه تغییرمکانی زیرسازه سخت مورد بررسی قرار گرفته و از این طریق روابطی تحلیلی برای مرتبط نمودن انعطاف‌پذیری با پایداری در سازه‌های جداسازی جرمی با دامنه تغییرمکانی تعیین شده حاصل شده است. در ادامه با استفاده از ایده اهرم فرکانسی برای کاهش نیروی لرزه‌ای انتقال یافته به زیرسازه سخت در سازه‌های جداسازی شده جرمی پرداخته شده است. در این روش، از طریق مکانیزم قطع و وصل سریع جریان نیرو در میراگرهای کنترلی واسط مابین دو زیرسیستم از میزان نیروی وارده به سازه کاسته شده است.

در بخش انتهایی این تحقیق نیز سعی شده تا قطع و وصل جریان نیرو در مکانیزم اهرم فرکانسی متناسب با پریودهای طبیعی مودهای بالاتر سازه صورت پذیرد تا با انتقال انرژی به آن مودهای از میرایی ذاتی آنها برای کاهش دامنه نیروهای لرزه‌ای استفاده شود.

در بحث افزایش انعطاف‌پذیری سازه، با استفاده از روابط بدست آمده در مثال مورد مطالعه مشخص شد که ضریب پایداری ایمن زیرسازه نرم یک سازه جداسازی شده جرمی ۷ طبقه با دامنه تغییرمکان آستانه فروریزش 2% در محدوده قابل قبول تجربیات مهندسی قرار دارد و انعطاف‌پذیری این سازه در محدوده $T = 3.9 \text{ sec}$ قابل تأمین خواهد بود. در رابطه با مسأله اهرم فرکانسی نیز نشان داده شد که می‌توان از طریق قطع و وصل سریع جریان نیرو در میراگرهای واسط (با فرکانس 15 Hz در یک سازه نمونه)،

modes of the structure in order to use their inherent damping for reducing seismic forces on the structure.

According to the results this study, in an example for a 7-story mass isolated building, its stability margin with a restricted drift limit of 2% (for collapse prevention) was arranged to be within the acceptable range of engineering practices. In this case, the flexibility of the mass subsystem in quite higher than a typical 7-story buildings ($T_1 = 3.9 \text{ Sec.}$). Considering recurrent switching technique, it was shown that by rapid switching in the level of transferring force between the two subsystems, the level of lateral displacement in the stiff substructure has been reduced to about 25% less than that compared with the case of using normal force flow between them.

Later, it was shown in the same example by switching the force flow in the frequency range of the higher modes of the structure, the level of force transferring to the stiff substructure has been reduced by about 10% with respect to the previous case without affecting the response of the soft substructure. Also according to these results, in this case the displacement of stiff substructure has been reduced by more than 35% compared with the case where normal force flow between the two subsystems was used.

In this study, a method for designing flexible structures with restricted lateral displacement has been introduced. At the end, using the idea of recurrent switching and seismic energy transfer to the higher modes of the system seismic performances of the mass isolated structures were improved.

Keywords: Mass isolation, Structural stability, Structural control, Semi-active systems, Logical algorithm, Skyhook algorithm, Recurrent switching, Energy transfer to higher modes

تغییرمکان زیرسازه سخت را تا حدود 25% نسبت به حالت متداول استفاده از میراگرها کاهش داد. در ادامه نشان داده شد که در مسأله مورد مطالعه با قطع و وصل جریان نیرو در میراگرهای واسط، متناسب با فرکانس مودهای بالاتر سازه، تغییرمکان‌های زیرسازه سخت با حفظ نسبی پاسخ زیرسازه نرم کاهش حدود 15% نسبت ایده‌آهرم فرکانسی اولیه داشته است. همچنین تغییرمکان زیرسازه سخت بیش از 35% نسبت به حالت متداول استفاده از میراگرها، کاهش داشته است.

در این تحقیق، در ابتدا روشی برای طراحی سازه‌های انعطاف‌پذیر با تغییرمکان محدود ارائه شد و سپس با استفاده از ایده آهرم فرکانسی و انتقال انرژی مودی، پاسخ‌های سازه تحت اثر بار لرزه‌ای بهبود داده شد و در نهایت روشی مؤثر برای کاهش بارهای لرزه‌ای سازه‌ها بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: سیستم جداسازی جرمی، پایداری سازه، کنترل ارتعاش سازه‌ها، کنترل نیمه‌فعال، الگوریتم منطقی، الگوریتم اسکای‌هوک، تکنیک آهرم فرکانسی، انتقال انرژی مودی

Damage Detection in Three-Dimensional Frames by Use of Rotational Components of Mode Shapes

Omid Bahar

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
omidbahar@iiees.ac.ir

Zahra Torang

Damage in structural elements causes obvious changes in their physical properties such as stiffness and damping. These changes affect the stiffness and damping matrices of whole building so its mode shapes change. Therefore, mode shapes of existing building are widely used in damage detection methods. This paper focused on considering the importance of using some rotational/translational components of the mode shapes to detect damages in structural frames. In order to analysis the frames and update them, an automatic iterative model updating program is developed in MATLAB software which works with OpenSees for conducting finite element analysis. The iterative program evaluates a set of objective functions in each step and tries to optimize them by means of nonlinear least square method. Objective functions are defined based on combination of two criteria of these four items: comparison between frequencies and/or mode shapes of two situations, the modal assurance criteria (MAC), and the modal flexibility matrices. In order to verify the effectiveness of the developed program, some three-dimensional steel structures are modeled and evaluated. It has been considered that these frames suffered damages which are defined by different scenarios for each of them. Actually, in this study damages are defined by reduction in elements' stiffness. Mode shape components and natural frequencies of damaged structures are the only needed input data for the program. In order to investigate the influence of rotational components in model updating, frames have been analyzed with three types of data in each scenario, all translational/ or rotational components, and all components of mode shapes. Extensive analyses show that among employed objective function, the one which compares mode shapes is the most successful one in damage detection. The findings indicated that the translational components of mode shapes are not capable of detecting damages accurately. It can be concluded that using rotational data leads to more precise results in determining both locations of damage and their intensities. Real data which are extracted from existing building always are polluted by noises due to human or machine faults or sometimes errors in numerical methods

تشخیص آسیب در قابهای سه بعدی با بکارگیری مؤلفه های دورانی شکل های مودی

امید بهار

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه omidbahar@iiees.ac.ir

زهرا تورنگ

هنگامی که سازه ها تحت بارهای متوسط تا شدید محیطی آسیب می بینند، مشخصات فیزیکی آنها مانند سختی، میرایی و در نتیجه شکل مودهای ارتعاشی آنها تغییر می نماید. مرور ادبیات فنی و بررسی نتایج تحقیقات مذکور، حاکی از مؤثر بودن استفاده از اطلاعات مودی در تشخیص آسیب سازه ها می باشد. در حالت کلی، بردارهای شکل مودی در سازه ها شامل مؤلفه های دورانی و انتقالی در درجات آزادی سازه می باشند. با توجه به اینکه اندازه گیری مؤلفه های شکل مودی در درجات آزادی دورانی کار آسانی نیست، در اکثر تحقیقات انجام شده فقط از مؤلفه های انتقالی شکل مود در تشکیل توابع هدف استفاده شده است. در این تحقیق، تأثیر مؤلفه های دورانی شکل مود در افزایش کارایی روش های به روزرسانی و تدقیق موقعیت و میزان آسیب در قابهای سه بعدی مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا، یک برنامه اتوماتیک به روزرسانی سازه که به روش تکرار شونده عمل می کند در فضای نرم افزار MATLAB ایجاد گردید که از نرم افزار اجزای محدود OpenSees برای تحلیل سازه، بهره می گیرد. به منظور شناسایی آسیب در این تحقیق توابع هدف مختلفی مورد استفاده قرار گرفتند که در تعریف آنها شکل های مودی تجربی و تحلیلی به کار گرفته شده است. این توابع ترکیبی از معیار ارزیابی مودی، تفاضل اشکال مودی، تفاضل ماتریس نرمی مودال و تفاضل فرکانس های طبیعی سازه آسیب دیده موجود و مدل تحلیلی می باشند. توابع هدف مورد نظر توسط روش کمترین مربعات غیرخطی بهینه یابی گردیدند. برای بررسی عملکرد هر دسته از مؤلفه های مودی در به روزرسانی مدل سه روش داده برداری مختلف شامل: الف) مؤلفه های انتقالی اشکال مودی، ب) مؤلفه های دورانی اشکال مودی و ج) تمامی مؤلفه های مودی در درجات آزادی سازه در نظر گرفته شده است.

جهت ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی، سازه های فلزی مختلف با سناریوی متفاوت آسیب آنالیز گردیدند. آسیب در این تحقیق به صورت کاهش سختی المان تعریف شده است. در واقع درصد کاهش سختی المان نسبت به المان سالم به عنوان میزان آسیب لحاظ گردیده است. در هر یک از سناریوهای مورد بررسی فرض شده که چند المان مختلف سازه که در موقعیت های پراکنده وجود دارند، دچار آسیب گردیده است. نتایج تحلیل های گسترده نشان می دهد که استفاده از مؤلفه های دورانی در افزایش دقت شناسایی آسیب تأثیر به سزایی دارد به نحوی که با استفاده از این مؤلفه ها هم موقعیت المان های آسیب دیده به خوبی شناسایی می گردد و هم میزان آسیب موجود در آنها به درستی تخمین زده می شود. به علاوه، گزارش خطا در المان های سالم به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. همچنین بررسی نتایج تحلیل حاکی از کارآمدی روش در شناسایی آسیب حتی با داده های آغشته به نویز می باشد. با توجه به اینکه برداشت داده های دورانی در سازه های واقعی دشوار می باشد در ادامه با بکارگیری روش های گسترش مودال و استفاده

lead to inexact input data. Since the data which has been employed in this study are exact numerical data, to consider the effects of these errors, analytical modal data has been polluted by some noises. Surprisingly, the results show that even with noisy data, the proposed method can detect damages precisely. Since measuring rotational components of mode shapes still is not very convenient, modal dynamic expansion technique is applied to generate rotational components from measured translational ones. The findings indicated that the developed model updating program is really efficient in damage detection even with generated data and considering noise effects. Moreover, methods which use rotational components of mode shapes can predict damage's location and its intensity more precisely than the ones which only work with translational data. At the end, experimental data that has been extracted from a full-scale model of a steel frame are used to detect damaged elements and the intensity of their damage, that the results were acceptable.

The purpose of the current study was to determine the influence of rotational components of mode shapes in enhancing the accuracy of damage detection analysis. This paper has two main parts where the first parts focused on introduction of a new algorithm that uses optimization method in an iterative manner with an objective function for model updating. This program has been developed in MATLAB that uses OpenSees as its finite element analysis engine. Two three-dimensional steel frames have been analyzed and the results confirmed that this algorithm can precisely detect damages in different scenarios. Also, the results show that using rotational components of mode shapes is a great help for damage detection. The most obvious finding to emerge from this study is that, when only rotational or both rotational and translational components of mode shapes are employed in composition of objective function, damages' location can be detected more accurately and reported intensity of damages are very closer to the actual ones. Since in most of the experimental cases measuring rotational components is not convenient, the second part of the study uses a data expansion method to produce the rotational components of mode shapes. In order to generate the unmeasured component of mode shapes, Kammer expansion method has been used in an iterative manner where in each stage the updated model's mode shapes have been used for data expansion in experimental case. Two mentioned frames have been investigated and only their translational components of mode shape have been measured. By expanding modal data to generate rotational components and using them in model updating algorithm, damaged elements have

از داده‌های انتقالی یا همان مؤلفه‌های انتقالی شکل مود، به تولید مؤلفه‌های دورانی و به‌روزرسانی مدل پرداخته شد. شایان ذکر است، در این مسیر ماتریسهای تبدیل مورد استفاده برای بازتولید داده‌های دورانی، در گامهای مختلف با داده‌های سازه به روز شده در آن گام، اصلاح می‌گردند تا نتایج تدقیق گردد. آنالیزهای متعددی روی سازه‌های سه بعدی با سناریوهای مختلف آسیب انجام گرفت که نتایج حاکی از کارآمدی روش ارائه شده در تشخیص موقعیت المان‌های آسیب دیده و برآورد میزان آسیب وارد به آنها بودند. سپس آنالیزها با استفاده‌های برداشت داده‌های انتقالی در برخی از درجات آزادی سازه، یا به عبارتی داده‌های ناکامل نیز تکرار شدند که نتایج نشان دادند در این حالات نیز شناسایی آسیب به درستی صورت گرفته است. در انتها، با استفاده از داده‌های آزمایش صورت گرفته روی یک سازه سه طبقه فولادی با مقیاس واقعی، آسیبهای وارد به آن از طریق الگوریتم پیشنهادی شناسایی گردیدند. نتایج این تحلیل نیز عملکرد مناسب روش را در بازتولید داده و شناسایی آسیبهای سازه تأیید نمود.

نتایج تحلیل‌های انجام شده حاکی از این است که تابع هدف تعریف شده با استفاده از معیار ارزیابی شاخص مودی در هیچ یک از موارد قادر به شناسایی دقیق موقعیت و میزان آسیب نبوده است.

◆ استفاده از داده‌های انتقالی در الگوریتم تعریف شده با توابع هدف مورد نظر، به تنهایی تقریباً در هیچ موردی منجر به شناسایی دقیق محل و میزان آسیب نمی‌گردد و حتی در مواردی که المان‌های آسیب‌دیده تشخیص داده می‌شوند، میزان آسیب گزارش شده در المان‌های سالم نیز قابل ملاحظه است.

◆ به طور کلی بررسی تحلیل‌های انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از داده‌های دورانی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نتایج شناسایی آسیب دارد به نحوی که میزان و موقعیت آسیب با دقت بیشتری مشخص می‌گردد و در المان‌های سالم نیز آسیب بسیار کمی گزارش می‌شود که قابل چشم‌پوشی می‌باشد.

◆ برنامه ارائه شده با تابع هدف اول که تفاضل شکل‌های مودی را نشان می‌دهد در همه سناریوها عملکرد خوبی در شناسایی آسیب داشته است.

◆ همچنین نتایج تحلیل‌های انجام شده روی داده‌هایی که نوفه به آنها وارد شده، حاکی از توانایی روش ارائه شده در شناسایی آسیب حتی با وجود استفاده از داده‌های اولیه غیردقیق می‌باشند.

◆ بررسی‌های صورت گرفته روی نتایج تحلیل‌های گسترده، نشان می‌دهد که روش ارائه شده برای شناسایی آسیب با تابع هدف تفاضل شکل‌های مودی از همگرایی بسیار خوبی برخوردار است.

◆ نتایج تحلیل‌های صورت گرفته با داده‌های دورانی بازتولید شده با تکنیک‌های گسترش مودال بیانگر سازگاری روش انتخابی با الگوریتم کلی به روزرسانی سازه می‌باشد که منجر به نتایج دقیقی در شناسایی آسیب گردیده است.

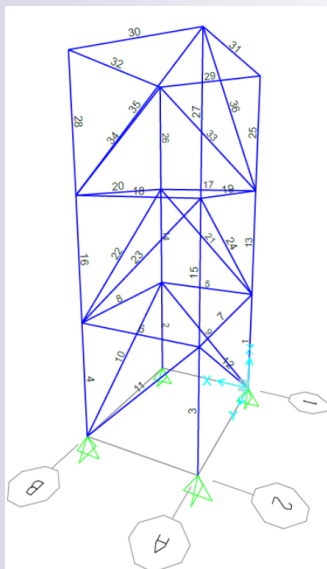
◆ تحلیل‌های که با داده‌های برداشت شده از نیمی از درجات آزادی انتقالی هر طبقه انجام گرفته نشان می‌دهد که با این تعداد داده‌ها و گسترش آنها نیز آسیب به خوبی شناسایی گردیده که حاکی از عملکرد بسیار خوب برنامه توسعه یافته می‌باشد.

been detected and the severity of their damage have been estimated accurately. Actually, almost all damaged elements are detected and some minor false damages are reported in undamaged elements. It is clear that in damage detection, overestimation of damages or reporting false damage in undamaged elements puts the plan in the safe side.

Generally speaking, investigating all analyses results in this research, it can be concluded that when the developed model updating program works with rotational components of mode shapes, the outcomes are more precise in comparison to using only translational components.

Besides, analysis confirmed that even in cases that data is contaminated with noise, results are acceptable. Although the study has successfully demonstrated that using rotational components of mode shapes is efficient in model updating, it has certain limitations. For instance, only two frames have been investigated here, and for generalization more analysis on different frames is needed. This study provided an appropriate program for model updating and damage detection of existing structure by use of experimental data. Besides, these findings enhanced our understanding of the role of rotational degree of freedom in health monitoring and proved the efficiency of used expansion method in generating valid rotational data. To extend our research, we intend to analyze more complicated structures, with the hope that these planned tests can confirm our findings.

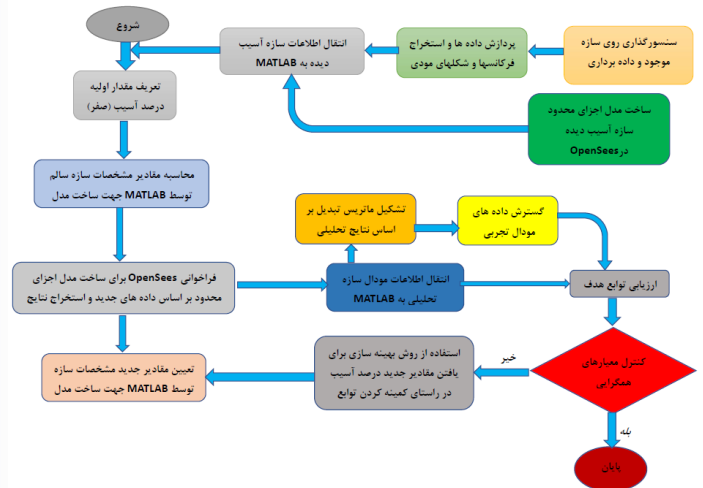
Keywords: Model updating method; Iterative optimization method; Damage detection method; Rotational DOFs; translational DOFs; Modal dynamic expansion method



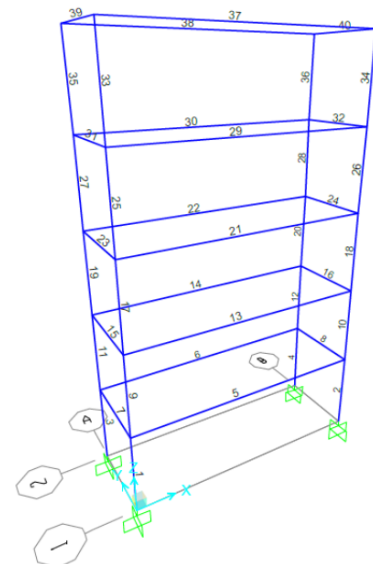
نتایج شناسایی آسیب قاب مهاربندی برای سناریوی آسیب دوم با داده‌های بازتولید شده

♦ تحلیل‌های انجام شده بر روی سازه آزمایش شده که در آن نیز برداشت داده به صورت ناکامل صورت گرفته و توسط برنامه گسترش داده و شناسایی آسیب انجام شده نیز از دقت خوبی برخوردار می‌باشد.

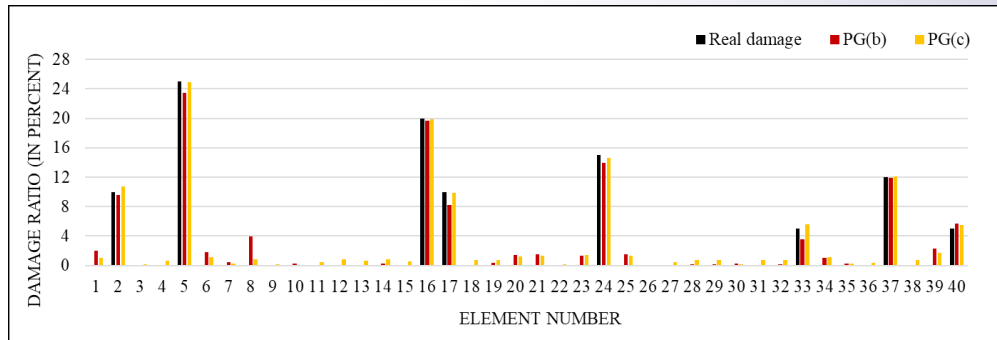
واژه‌های کلیدی: روش به‌روزرسانی، بهینه‌سازی تکرارشونده، روش شناسایی آسیب، درجات آزادی انتقالی، درجات آزادی دورانی



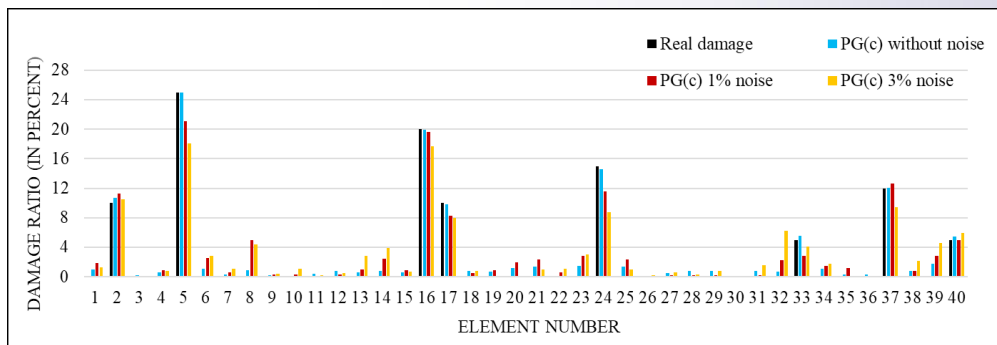
فلوچارت نحوه عملکرد برنامه شناسایی آسیب با بازتولید داده‌ها



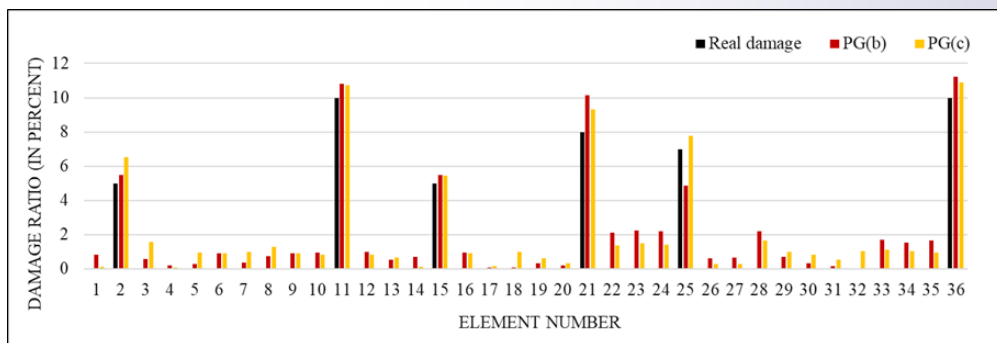
قاب خمشی پنج طبقه مورد بررسی



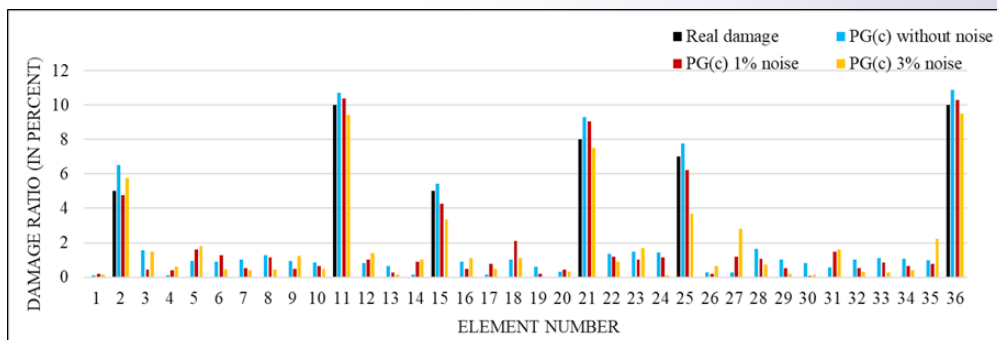
نتایج شناسایی آسیب قاب خمشی برای سناریوی آسیب سوم با داده‌های بازتولید شده



نتایج شناسایی آسیب قاب خمشی برای سناریوی آسیب سوم با داده‌های بازتولید شده و اثر نوفه



قاب مهاربندی سه طبقه فولادی



نتایج شناسایی آسیب قاب مهاربندی برای سناریوی آسیب دوم با داده‌های بازتولید شده و اثر نوفه

Development of an Analytical and Experimental Model to Estimate Human Casualty Due to the Collapse of Non-Engineering Buildings in an Earthquake

Morteza Bastami

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
m.bastami@iiees.ac.ir

Asad Mavalizadeh, Mohammadreza Soghrat

In this research, the collapse process of masonry structures under earthquake is simulated in three dimensions by the combined methods of finite elements and discrete elements. The discrete elements method is a numerical analysis method that determines the position and location of each element at any moment by solving the equations of motion. In this method, a masonry structure is modeled by a set of separate components (i.e. bricks) that are connected by virtual springs and dampers. First, the validity of this method is verified by results of experiment on a laboratory sample. Then, we modelled a masonry building under different earthquakes and evaluated the damage caused to the structure by a damage index.

We presented the damage caused to the internal parts by a score, named w-score 1 criterion and the injuries caused to the human body through falling of structural components by the casualty criteria provided in biomechanics and automotive engineering. In the last stage of this method, relationships between the intensity of the earthquake, structural damage, damage to internal parts and casualties are determined and compared. The above steps are presented in the form of following chapters:

In chapter 1, there is a review of the past statistics regarding the amount of casualties caused by masonry buildings, and then the vulnerability of these buildings in the country's past earthquakes has been examined, and according to the field visits, the different states of damage of this building has been discussed. In chapter 2, the following topics are discussed: tricks of modeling masonry structures, methods of analyzing structures of masonry buildings, including continuous and discrete methods that includes rigid body and spring method, discontinuous deformation method, non-smooth contact dynamics method, extended distinct element method, combined finite-discrete element method, method of limit analysis models and applied element method. In the following, LS-DYNA software is introduced and techniques of crack formation including undetermined crack techniques and predetermined crack techniques are discussed. In

توسعه مدل تحلیلی و تجربی برای برآورد تلفات انسانی ناشی از فروریزش ساختمانهای غیر مهندسی در زلزله

مرتضی بسطامی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه m.bastami@iiees.ac.ir

اسعد موالی زاده، محمدرضا سقراط

در این تحقیق، فرایند فروریزش سازه‌های مصالح بنایی تحت زلزله توسط روش ترکیبی اجزاء محدود و اجزاء گسسته به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی می‌شود. روش اجزاء گسسته یک روش تحلیل عددی است که موقعیت و مکان هر جزء در هر لحظه توسط حل معادلات حرکت مشخص می‌شود. در این روش سازه توسط مجموعه‌ای از اجزای مجزا که توسط فنرها و میراگرهای مجازی به هم متصل شده‌اند، مدل می‌شود. ابتدا با مدلسازی نمونه آزمایشگاهی کاربرد این روش صحت‌سنجی می‌شود. سپس به مدلسازی یک ساختمان آجری تحت زلزله‌های مختلف می‌پردازیم و خرابی وارده به سازه توسط شاخص خرابی ارزیابی می‌شود. خرابی وارده به قسمت‌های داخلی توسط معیار w -score 1 و جراحات وارده به جسم انسان که از سقوط اجزای سازه‌های ناشی می‌شود، توسط معیارهای تلفات ارائه شده در دانش بیومکانیک و مهندسی خودرو، بیان می‌گردد. در مرحله آخر از این روش، ارتباط بین شدت زلزله، خرابی سازه‌ای، خرابی قسمت‌های داخلی و تلفات را مشخص و با یکدیگر مقایسه می‌شوند. مراحل فوق در قالب فصل‌های زیر ارائه می‌شوند:

در فصل اول سازه‌های مصالح بنایی، مروری بر آمارهای گذشته در خصوص میزان تلفات ناشی از ساختمانهای مصالح بنایی می‌شود و در ادامه آسیب‌پذیری این ساختمان‌ها را در زلزله‌های گذشته کشور بررسی شده است و با توجه به بازدیدهای میدانی صورت گرفته، حالات مختلف آسیب این ساختمانها مورد بحث قرار گرفته است. در فصل دوم با عنوان تکنیک‌های موجود در مدلسازی سازه‌های مصالح بنایی، به مباحث زیر پرداخته می‌شود: ترفندهای مدلسازی سازه‌های بنایی، روش‌های آنالیز سازه‌های مصالح بنایی شامل روش‌های پیوسته و گسسته از جمله روش جسم صلب و فنر، روش تغییر شکل ناپیوسته، روش برخورد دینامیکی غیر هموار، روش المان‌های مجزای اصلاح شده، روش ترکیبی اجزاء محدود و اجزاء گسسته، روش مدل‌های آنالیز محدود و روش المان کاربردی مورد بحث قرار می‌گیرند. در ادامه، نرم‌افزار LS-DYNA معرفی می‌شود و روش‌های تشکیل ترک شامل روش‌های ترک نامعین و روش‌های ترک از پیش تعیین شده در این نرم‌افزار مورد بحث قرار می‌گیرند. در فصل سوم، مراحل ساخت مدل و انتخاب پارامترهای مناسب و همچنین شیوه صحت‌سنجی نتایج بر اساس نتایج آزمایشگاهی بیان می‌شود. صحت‌سنجی‌ها با نتایج بارهای استاتیکی و دینامیکی انجام شده‌اند. در چهارمین فصل، عوامل تأثیرگذار بر میزان تلفات در زلزله شامل متغیرهای وابسته به افراد یا ساکنین، متغیرهای وابسته به ساختمان، متغیرهای لرزه‌ای، میزان آگاهی و آمادگی مردم و شرایط جستجوی افراد تحت ساختمان خراب شده در زلزله و نجات آنها و کمک‌های اولیه پزشکی بررسی می‌شوند. در ادامه، معیارهای سنجش خرابی ساختمان شامل ایندکس خرابی، خرابی وارده به به قسمت

chapter 3, steps of making a model for a masonry building is explained and choosing the appropriate parameters, as well as the method of verifying the results based on the laboratory results, are given in detail. Verifications have been done with the results of static and dynamic tests. Chapter 4 discusses the factors affecting the amount of casualties in an earthquake including variables related to residents, seismic variables, variables related to the building, the level of awareness and preparedness of the people, and conditions of searching for people under the destroyed building in the earthquake and rescuing them, as well as first medical aids. Then, the criteria for measuring building damage, including the damage index and the damage to the interior parts (i.e. infills) are discussed. In the next section, the criteria for measuring human injuries caused by structural damage due to an earthquake are stated, and the criteria for measuring injuries to the head area, the criteria for measuring skull fractures, casualties caused by a direct impact on the chest, casualties caused by chest compression, pelvic area injury criteria, abdominal area injuries and arm and leg area injury criteria, have been discussed. At the end of this chapter, a method is developed to establish a relationship between the collapse of masonry structures and losses caused by it is explained by presenting a numerical example. This method includes the following four steps:

First step: Choosing a building model and analyzing its collapse under earthquake load;

Second step: Calculate the amount and level of damage to the building;

Third step: Calculation of parameters related to casualties;

Fourth step: Calculating the probability of casualties due to failure and loss criteria.

For example, Figure (1) shows a correlation between probability of casualties due to skull fracture and W-Score.

In chapter 5, an empirical relationship based on data from the dual Ahar-Varzaqan earthquakes occurred on 11 August 2012 at 16:53 (Iran standard time) in East Azerbaijan province of Iran is developed. The two earthquakes measured 6.3 and 6.4 on the moment magnitude scale with the second quake occurring 11 minutes after the first. Local reports estimated at least 306 deaths, although official reports stated 229, with more than 3000 injured. Most casualties occurred in rural and mountainous areas. The fatalities from the Ahar-Varzaqan earthquakes have been analyzed and a model is proposed for estimation of fatalities. The model correlates the fatality count and intensity measures or distance parameters. The peak ground acceleration (PGA) in the village was selected as the intensity measure; thus, the recorded or predicted PGA

داخلی بحث می‌شوند. در بخش بعدی، معیارهای سنجش صدمات وارده به انسان ناشی از خرابی سازه‌ای در اثر زلزله بیان شده است و معیار سنجش صدمات ناحیه سر، معیار سنجش شکستگی مجسمه سر، تلفات ایجاد شده در اثر ضربه مستقیم وارده بر قفسه سینه، تلفات ایجاد شده در اثر فشردن قفسه سینه، معیار سنجش صدمات ناحیه لگن، صدمات ناحیه شکمی و معیار سنجش صدمات ناحیه دست و پا بررسی شده‌اند. در انتهای این فصل، روش توسعه داده شده برای ایجاد ارتباط بین فروریزش سازه‌های بنایی و تلفات ناشی از آن با ارائه یک مثال عددی تشریح شده است. این روش شامل چهار مرحله زیر است:

گام اول: انتخاب یک مدل ساختمان و آنالیز فروریزش آن تحت بار زلزله؛

گام دوم: محاسبه مقدار خرابی وارده به ساختمان؛

گام سوم: محاسبه پارامترهای مرتبط با تلفات؛

گام چهارم: محاسبه احتمال تلفات بر اثر معیارهای خرابی و تلفات.

به عنوان مثال شکل (۱)، ارتباط بین احتمال تلفات بر اثر شکستگی مجسمه و W-Score را نشان می‌دهد.

در ادامه و در فصل پنجم، به ارائه یک روش تجربی برای تخمین تعداد تلفات در اثر زلزله پرداخته شده است. روش ارائه شده برای زلزله سال ۱۳۹۱ اهر-ورزقان اعمال گردید و بر اساس نتایج بدست آمده یک مدل برای برآورد تلفات انسانی ارائه گردید. زلزله‌های دوگانه با بزرگای گشتاوری ۶/۴ و ۶/۳ رخ داد که زلزله دوم یازده دقیقه بعد از زلزله اول رخ داده است. گزارش‌های محلی در حدود ۳۰۶ کشته و بیش از ۳۰۰۰ مجروح را مخابره کردند (اگرچه گزارش‌های رسمی ۲۲۹ نفر کشته را گزارش کرده‌اند). تعداد کشته شده‌های اهر-ورزقان در این مطالعه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند و یک مدل برای تخمین تعداد کشته شده‌ها پیشنهاد می‌شود. مدل پیشنهادی به بررسی ارتباط بین تعداد تلفات و سنجش شدت (در این مطالعه بیشینه شتاب) و یا فاصله می‌پردازند. بنابراین، نیاز به بیشینه شتاب ثبت شده و تخمین زده شده در موقعیت‌هایی که تلفات داریم، می‌باشد. برای تخمین بیشینه شتاب ابتدا از روابط کاهندگی موجود برای تخمین شتاب استفاده می‌شود و نتایج نشان می‌دهد که روابط موجود از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد و بنابراین، یک رابطه ساده در این مطالعه برای تخمین بیشینه شتاب توسعه داده می‌شود. رابطه بین تعداد کشته شده‌ها و بیشینه شتاب یا فاصله با توجه به جنسیت افراد ارزیابی می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد که تعداد کشته شده‌ها دارای ارتباط بهتری با بیشینه شتاب نسبت به فاصله می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خرابی سازه‌ای، خرابی قسمت‌های داخلی، تخمین تلفات انسانی، روش اجزاء گسسته، شبیه‌سازی فرایند فروریزش، دانش بیومکانیک، زلزله اهر-ورزقان

in the locations suffering fatalities was required. Available ground motion prediction equations (GMPEs) were first used. Because the GMPEs did not fit the recorded data, a simple GMPE was developed using the equation best fitted to the recorded data. The correlations between the number of fatalities and the PGA or distance from epicenter to village were assessed by gender. The results show that the number of fatalities has a stronger relationship with PGA than distance.

Keywords: Analytical model, Human casualty, Collapse, masonry buildings, Experimental relationship, Earthquake

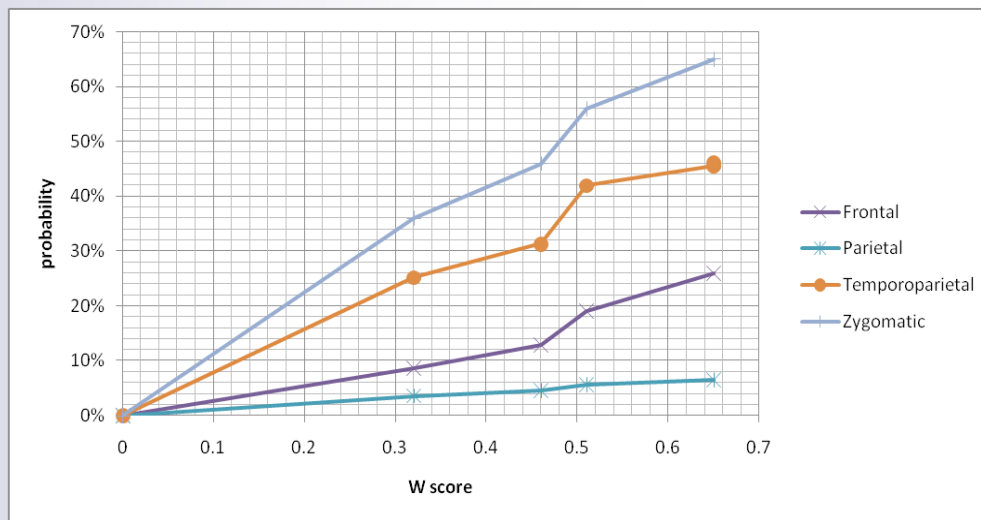


Figure 1: Correlation between probability of casualties due to skull fracture and W-Score

Experimental Evaluation of Cyclic Behavior of Concrete Filled Steel Battened Columns

Majid Mohammadi

Professor, Structural Engineering Research Center
m.mohammadigh@iiees.ac.ir

Mehrdad Zare Dastjerdian

Steel battened columns have been widely used in some countries such as I.R Iran in last decades. Such elements may have been applied in many existing buildings with saddle connections (having low rigidity) or some structures which are in lack of sufficient lateral systems. In past earthquakes, severe failure under lateral actions was observed in residential and industrial buildings with such structural system. They experienced intensive shear failure especially in columns near staircases or close to infills. Based on previous studies and observations, this type of column is more vulnerable in loadings perpendicular to their sections' web, where the battens (in shear) or their welding may fails. Many retrofitting/repairing methods have been proposed including adding some steel plates to the columns in order to change them into box. These methods are not only expensive and hard but also did not strengthen the columns at their connections with beams. Therefore, this project has focused on a new innovative method; filling the battened columns with concrete, which has already been applied for steel tubes.

The present study has three main parts: first, the literature on battened columns and the obtained experiences, especially in previous earthquakes are reviewed. In the second step, an experimental and analytical program has been carried out on seven specimens, in which axial load level and batten spacing intervals were considered as the key variables. In each test, a single battened column specimen is tested under cyclic lateral displacement protocol when it has constant axial load. The results depicts that concrete filled battened columns can provide a stable cyclic response with enhanced lateral strength, higher dissipated energy and ductility, in comparison with similar hollow one. The average improvement in the lateral strength and energy dissipation were recorded as about 30% and 300%, respectively. Furthermore, it is shown that capacity modification factor of a concrete-filled specimen was up to 47% higher than that of the similar hollow one. The filled battened columns are categorized in ductile or semi-ductile elements, specified in ASCE 41-17. Their modification factors for LS performance level are between 2 and 2.5. The study on concrete filled battened columns has been improved by finite element

بررسی رفتار چرخه‌ای ستون دابل پر شده با بتن

مجید محمدی

استاد پژوهشکده مهندسی سازه m.mohammadigh@iiees.ac.ir

مehرداد زارع دستجردیان

مقاطع دابل با بست افقی در ستونهای سازه‌های فولادی موجود در ایران به‌وفور مشاهده می‌گردند. این اعضا، اغلب در اسکلت‌های فاقد سیستم لرزه بر جانی استاندارد یا با اتصالات خورجینی (با صلبیت خمشی ناچیز) بکار رفته‌اند. استفاده از این ستونها به صورت اتصال به تیر میان طبقه و ستون کوتاه مجاور دیوار مصالح بنایی نیز منجر به شکستهای برشی شدید تحت بار لرزه‌ای شده است. از این رو پرمودن این ستونها با بتن، که طبق پژوهش‌های متعدد در سایر مقاطع فولادی مانند قوطی بسیار قابل قبول بوده، شیوه‌ای مؤثر در بهسازی ساختمانهای موجود یا آسیب دیده از زلزله خواهد بود. مطالعه رفتار ستونهای دابل، اغلب به بررسی رفتار فشاری، محاسبه بارکمانش و اثرات برون محوری معطوف بوده و عملکرد آنها تحت کنشهای برشی عمود بر جان مغفول مانده است. حال آنکه مشاهدات حاکی از آن است که تحت بار جانی عمود بر جان، با رخداد تنش برشی قابل توجه در بسته‌ها و در نهایت گسیختگی جوش یا بست افقی، عملکرد مطلوبی حاصل نگردیده است. از این رو در این پژوهش، رفتار ستونهای دابل بستاندار تحت تغییرشکل جانی عمود بر محور جان، با ایده پرمودن با بتن مورد توجه قرار گرفته است. این پژوهش را می‌توان به سه بخش اصلی تقسیم نمود که در گام نخست، تاریخچه مطالعه رفتار ستونهای دابل فولادی بستاندار مورد بررسی قرار گرفته و در گام دوم، نمونه‌های واقعی دابل فولادی (توخالی) و پر شده با بتن تحت بار محوری ثابت و تغییرمکان جانی چرخه‌ای آزمایش می‌شوند. نتایج حاکی از آن است که نمونه‌های پر شده با بتن دارای رفتاری با بیشینه مقاومت تا ۳۰ درصد بالاتر از نمونه توخالی نظیر و با شکل‌پذیری تا ۵۰ درصد بیشتر می‌باشند. منحنی پوش نمونه‌های پر شده با بتن طبق ضوابط ASCE41-17 در گروه اجزای شکل‌پذیر و نیمه شکل‌پذیر قرار می‌گیرند و ضرایب شکل‌پذیری (m) بین ۲ تا ۲.۵ را در سطح ایمنی جانی (LS) برای خود ثبت نموده‌اند. ستونهای دابل پر شده با بتن دارای بار محوری زیاد (تا ۴۰ درصد ظرفیت محوری ستون)، رفتاری ترد را به نمایش گذاشته و بدون زوال مقاومت، جابه‌جایی نسبی تا ۷ درصد را تحمل نموده‌اند. مود کمانشی در ستونهای پر شده با بتن به صورت کمانش به سمت بیرون بالها و در ستونهای فولادی نظیر، کمانش به سمت داخل و همراه باکمانش پیچشی شدید می‌باشد. در ادامه، با استفاده از مدل‌های صحت‌سنجی شده، اثر متغیرهایی مانند فاصله جان، شدت بارمحوری و تقویت موضعی پای ستون با بتن یا ورق فولادی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ای از ستون دابل پر شده با بتن و نحوه اعمال بار به آن در شکل (۱) نشان داده شده است:

هر یک از نمونه‌های آزمایشگاهی ابتدا تحت بار محوری ثابت قرار می‌گرفت و سپس بار جانی با پروتکل بار مشخص، به صورت رفت و برگشتی به آن اعمال می‌شد. همان‌گونه که در شکل (۲) نشان داده شده، مود خرابی ستون دابل معمولی و نمونه مشابه که با بتن پر شده، متفاوت است.

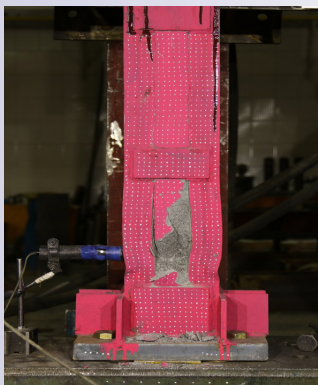
analyses, after being verified by experimental results. In this stage, influences of batten section distances, axial load, etc., are studied. Regarding that filling with concrete improves mechanical properties of the specimens, especially the ductility and strength. This method is highly recommended to strengthen fragile hollow battened columns. Test setup of the specimens is shown in Figure (1).

During the testing, axial load is applied firstly, then lateral load, based on a loading protocol, is applied. Failure modes of the regular and filled battened specimens are completely different, as shown in Figure (2). Their load-displacement behavior is also different which is shown in Figure (1). Based on this figure, the filled specimen has higher strength and greater ductility. Figures (2 and 3) are for specimens having batten plate distance of 35 cm and with axial load of 0.15 P_y , where P_y is the maximum compression strength of the sections.

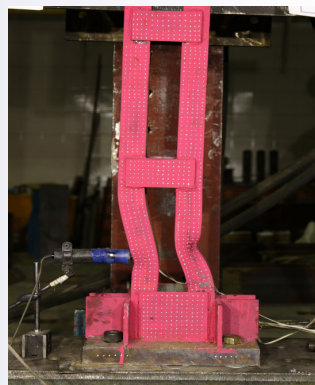
In the last part of the study, behavior of the filled battened columns is experimentally studied in 1/2 scale braced frames. The loading condition of these specimens is very similar to a real building columns, in which the axial load of the columns are varied by lateral displacements. The results show that the filled battened columns, contrary to hollow battened one, not only had no local buckling or strength downfall up to 6% drift, but also raise the lateral strength up to 20%. Figure (4) shows two braced frame specimens, with regular battened column and with filled one, as well as their load-displacement behavior.

Consequently and based on the experimental and analytical results of the present study, filling the battened columns with concrete can be applied in existing buildings having such elements as robust rehabilitation.

Keywords: Battened columns, Concrete core, Ductility, Dissipated energy, Earthquake, Cyclic loading



ب) نمونه ستون دوبل معمولی

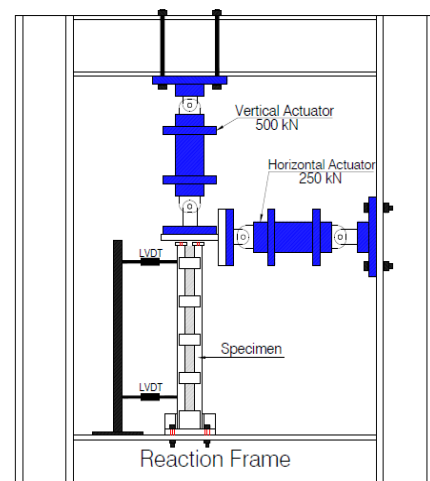


الف) نمونه ستون دوبل پر شده با بتن

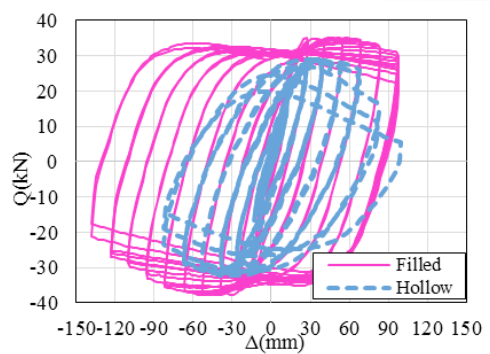
شکل (۲): نمونه ستون دوبل معمولی و نمونه مشابه پر شده با بتن

به همین ترتیب، رفتار دو نمونه توخالی و توپر با هم متفاوت هستند که نمونه‌ای از آن در شکل (۳) نشان داده شده است. در این شکل رفتار نیرو- تغییرمکان نمونه‌های ستون دوبل توپر (که فاصله بست‌های افقی آن ۳۵ سانتی‌متر و مقدار نیروی محوری آن معادل ۱۵٪ مقاومت فشاری جاری شدن مقطع است) آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود پر کردن مقطع با بتن باعث می‌شود نه تنها مقاومت بلکه شکل‌پذیری افزایش یابد. در گام سوم، رفتار این ستونها در قاب مهاربندی شده با مقیاس 1/2 به صورت آزمایشگاهی بررسی گردیده است. در قاب مهاربندی شده تحت بارگذاری لرزه‌ای، ستون مجاور مهاربند علاوه بر نیروی جانبی، نیروی محوری ثقیلی (ثابت) و چرخهای حاصل از بارجانبی (متغیر) را تحمل می‌نماید که آزمایش ستونهای منفرد، قادر به لحاظ کردن این شرایط نمی‌باشند. مود خرابی قاب مهاربندی شده با ستون دوبل فولادی آشکار ساخت که عدم فشردگی مقطع ستون، کمناش موضعی شدید در پای ستون قبل از گسیختگی مهاربند را به همراه داشته درحالی که در قابهای مهاربندی شده با ستون دوبل پر شده با بتن، تا جابه‌جایی نسبی بیش از ۶٪، هیچ‌گونه کمناش موضعی و کاهش باربری در ستون مشاهده نمی‌گردد و از سوی دیگر ستونهای پر شده با بتن، مقاومت جانبی سیستم کلی را تا ۲۰ درصد افزایش داده و پس از گسیختگی مهاربند، با مقاومت پسماند ۳۵ درصد مقاومت حداکثر به باربری خود ادامه داده‌اند. شکل (۴)، تصویر نمونه قاب مهاربندی شده دارای ستون دوبل معمولی و ستون دوبل پر شده با بتن و رفتار نیرو- تغییرمکان آنها را نشان می‌دهد.

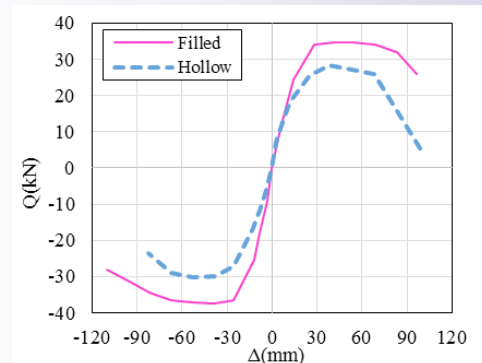
واژه‌های کلیدی: ستونهای دوبل، اتصالات خورجینی، شکست‌های برشی شدید، زلزله، بررسی رفتار فشاری



شکل (۱): ستون دوبل پر شده با بتن و نحوه اعمال بار به آن



ب) نمودار پوش



الف) رفتار هیسترسیس

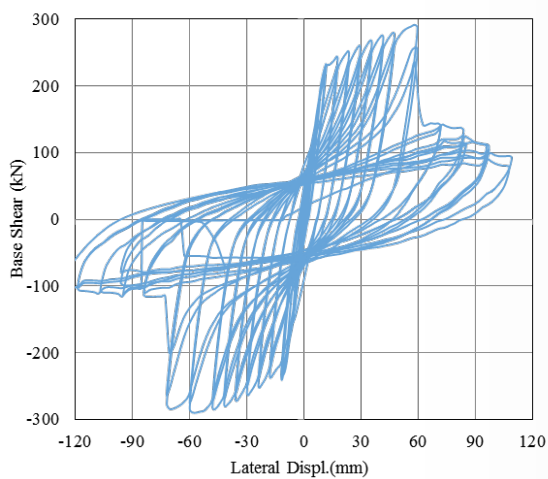
شکل (۳): رفتار نیرو-تغییر مکان نمونه معمولی و توپر ستون دابل



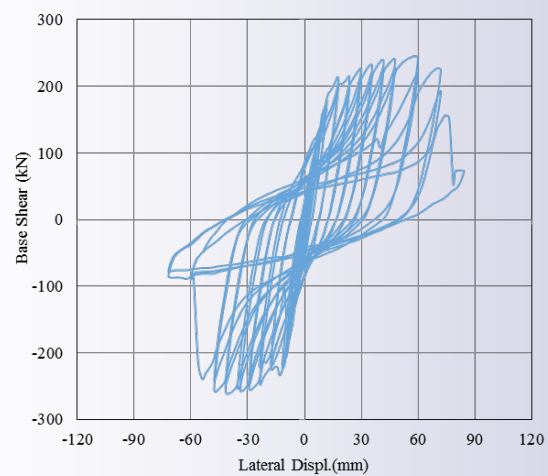
ب) قاب مهاربندی شده دارای ستون دابل توپر



الف) قاب مهاربندی شده دارای ستون دابل معمولی



د) رفتار نمونه قاب دارای ستون دابل پر شده با بتن



ج) رفتار نمونه قاب دارای ستون دابل معمولی

شکل (۴): نمونه قاب مهاربندی شده دارای ستون دابل معمولی و ستون دابل پر شده با بتن و رفتار نیرو-تغییر مکان آنها

Investigation on Dynamic Transfer Functions to Estimate Internal Strains Imposed on Rectangular Cross-Section Underground Structures Due to Shear Wave Free Field Motions

Omid Bahar

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
omidbahar@iiees.ac.ir

Meysam Ramezani

Model updating technique is defined as the process of modifying the parameters value in the finite-element model of a structure such that the updated model more correctly describes the dynamic properties obtained from an experimental structure. In this project, a promising and efficient method is presented based on finite element model updating and focusing on the type and method of data extraction. According to this method, the dynamic parameters of the damaged structure such as translational and rotational mode shapes and frequency of the structure are extracted. Next, the finite-element model is updated using improved metaheuristic algorithms. During this process, structural damage identification is carried out indirectly. In fact, by identifying healthy elements and removing them from the search space, the location and severity of the damage in other elements are more accurately estimated. In order to evaluate the performance of the proposed method, the damage identifications for a simple beam and two determinate and indeterminate truss are numerically investigated, and a simple beam is also experimentally studied as shown in Figures (1 to 4).

The results show that the rotational mode shapes extracted by the innovative method of this dissertation provide valuable information that enables this method to identify the location and severity of damage with high accuracy using the first mode information. Then, the ASCE benchmark structure and two other 10 and 12-story 3D structures are studied in order to evaluate the proposed methodology in 3D structures with incomplete modal shapes.

Another element that can affect the dynamic characteristics of the structure is the connections, which are mostly ignored. In order to evaluate the efficiency of the proposed method in determining the stiffness and fixity factor of connections, experimental tests are performed on a cantilever beam with welded seat angle connection, two cantilever columns with bolted angle connection, and a single-bay single-story frame with bolted angle connections as shown in Figures (5 to 7).

To compare and evaluate the accuracy of stiffness and fixity factors obtained by this method, the stiffness of the connections is also obtained through static loading method.

شناسایی آسیب در اعضا و اتصالات سازه‌های فولادی با تکنیک به‌روزرسانی مدل به‌وسیله الگوریتم‌های فراکاوشی

امید بهار

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه omidbahar@iiees.ac.ir

میثم رameزانی

روش به‌روزرسانی مدل عبارت است از اصلاح پارامترها در مدل المان محدود سازه، به نحوی که مدل به‌روزشده بتواند معرف سازه واقعی باشد و مشخصات دینامیکی به‌دست آمده از آزمایش روی سازه را به خوبی نشان دهد. در این تحقیق، روشی کارآمد بر اساس به‌روزرسانی مدل المان محدود و با تمرکز بر روی نوع و نحوه استخراج داده‌ها ارائه شده است. مطابق این روش در ابتدا، پارامترهای دینامیکی سازه آسیب‌دیده همچون اشکال مودی انتقالی، دورانی و فرکانس سازه استخراج می‌گردد. در ادامه با استفاده از الگوریتم‌های فراکاوشی ارتقاء یافته، مدل المان محدود به‌روز می‌گردد. در طی این فرآیند اعضای آسیب‌دیده به روش غیر مستقیم شناسایی می‌گردند؛ درواقع با شناسایی اعضای سالم و حذف آن‌ها از فضای جست‌وجو، موقعیت و شدت آسیب در اعضای دیگر با دقت بیشتری تخمین زده می‌شود. به منظور بررسی عملکرد روش ارائه‌شده در این مطالعه، به شناسایی آسیب یک سازه تیر شکل و دو سازه خرپایی معین و نامعین به صورت عددی و یک سازه تیر شکل به صورت آزمایشگاهی که تصاویر آن در اشکال زیر نمایش داده شده است، پرداخته شد، شکل‌های (۱ تا ۴).

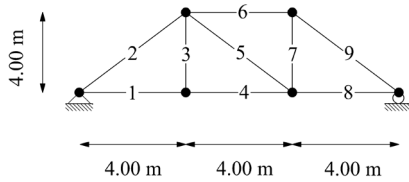
نتایج این بررسی‌ها نشان داد که استفاده از مؤلفه‌های دورانی شکل مود که با روش ابتکاری این رساله استخراج شده است، دارای اطلاعات بسیار ارزشمندی است که این روش را قادر می‌سازد تا موقعیت و شدت آسیب را با دقت بالا با استفاده از اطلاعات مود اول شناسایی کند. در ادامه، سازه معیار ASCE و دو سازه ۱۰ و ۱۲ طبقه سه‌بعدی دیگر نیز مورد مطالعه قرار گرفتند تا مشخص شود که این روش در سازه‌های سه‌بعدی حتی با در اختیار داشتن اشکال مودی ناکامل نیز کارآمد است. یکی دیگر از اعضای که می‌تواند مشخصات دینامیکی سازه را تحت تأثیر قرار دهد اتصالات است که عمدتاً نادیده گرفته می‌شود. در این مطالعه، از روش ارائه‌شده برای شناسایی آسیب، تعیین سختی و ضریب گیرداری اتصالات مدل‌های آزمایشگاهی یک تیر و دو ستون طره و یک قاب یک طبقه یک دهانه نیز استفاده شد که در شکل‌های (۵ تا ۷) نمایش داده شده است.

برای انجام مقایسه و بررسی دقت سختی و ضرایب گیرداری به‌دست‌آمده توسط این روش، سختی اتصالات این مدل‌ها با روش بارگذاری استاتیکی نیز به دست آمد. نتایج این مقایسه نشان داد که مدل معرف سازه واقعی که توسط این روش به دست می‌آید دارای دقت بسیار بالایی است و می‌تواند جایگزین روش‌های سنتی و پرهزینه گردد.

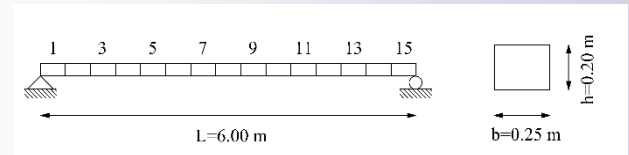
واژه‌های کلیدی: شناسایی آسیب غیرمستقیم، سختی اتصالات، مؤلفه دورانی شکل مود، الگوریتم ژنتیک ارتقاء یافته، الگوریتم تکامل تفاضلی ارتقاء یافته، به‌روزرسانی مدل

The results show that the structural properties obtained by this method are highly accurate and this method can replace traditional and costly methods.

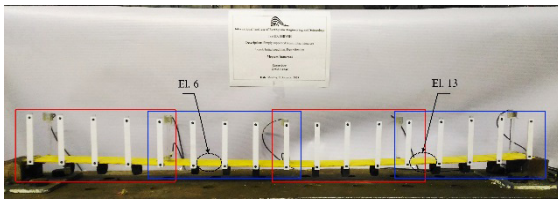
Keywords: Indirect damage detection, Connection stiffness, Rotational mode shapes, Improved genetic algorithm, Improved differential evolution algorithm, Model updating



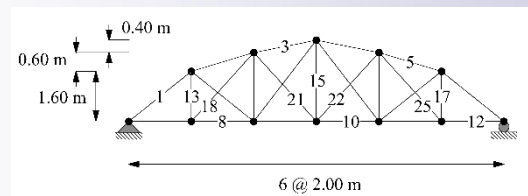
شکل (۲): مدل تحلیلی خرپای دوبعدی معین



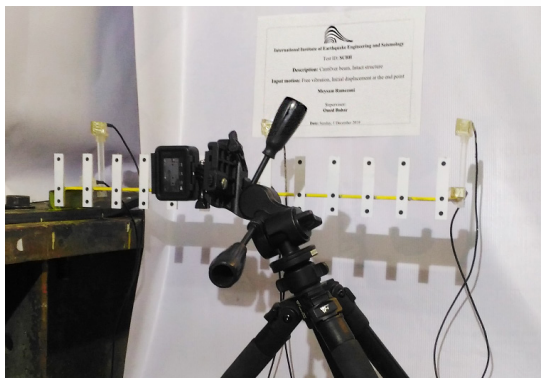
شکل (۱): مدل تحلیلی تیر ساده



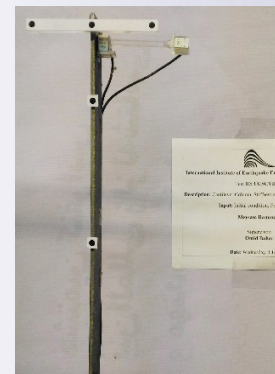
شکل (۴): مدل آزمایشگاهی تیر ساده



شکل (۳): مدل تحلیلی خرپای دوبعدی نامعین



شکل (۶): مدل آزمایشگاهی تیر طره



شکل (۵): مدل آزمایشگاهی ستون طره



شکل (۷): مدل آزمایشگاهی قاب یک طبقه و یک دهانه

Passive Control of an Arch Steel Bridge Under Severe Moving Loads and Strong Ground Motions with Vertical Components

Omid Bahar

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
omidbahar@iiees.ac.ir

Mohammadreza Kazerunian, Mohammad Banan

Bridges are the most important structures of road and rail routes, which always have aesthetic and load-bearing concerns for structural and architectural designers; issues such as magnificent design, correct transfer of different static and dynamic loads, fatigue problem caused by service loads, and control of deformations, especially during severe earthquake motions. The construction and development of the road and railway network of any country is considered as its progress criterion, which allocates an important part of its annual budget every year. The majority of the world's population lives in seismic areas that experience a major earthquake at least once every year. Therefore, in these countries, the maintenance and management system of bridges, including the inspection network, as well as the maintenance and repair of bridge structures, has a very high priority.

In past events, observations show that in earthquake-affected areas, bridges and roads have suffered localized or extensive damage, and sometimes they have been completely destroyed. In such cases, it is very important that the bridges perform their serviceability in order to help people to access the earthquake affected areas. This is especially very important in the early hours of an earthquake, when the access of emergency forces to the area for crisis management, rapid treatment of injured people, taking people out of debris, collecting corpses and most importantly preventing from the spread of infectious diseases, in order to reduce the loss of life in that area.

Preservation and maintenance of road infrastructures, and their continuous repair and improvement is one of the most important budget challenges of many industrialized and semi-industrialized countries. The use of basic separation systems is one of the relatively new solutions that researchers and engineers have provided to meet this important and comprehensive need. But lack of proper attention to the correct principles of design and fail in paying full attention to the real behavior of new and complex systems will result in many problems, so that the minimum risk is the occurrence of damage or even the fall of the bridge deck.

In addition to this issue, one of the important incoming loads on bridges that can have a significant effect on their performance over time is moving loads. In some cases, the continuous passing vehicles over the bridges and the variety

کنترل غیر فعال یک پل قوسی فلزی در مقابل بارهای متحرک سنگین و جنبش‌های قوی زمین با احتساب مؤلفه قائم زلزله

امید بهار

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه omidbahar@iiees.ac.ir

محمد رضا کازرونیان، محمد بنان

پلها مهم‌ترین سازه‌های مسیره‌های جاده‌ای و ریلی هستند که همواره برای طراحان سازه و معماری، دغدغه‌های زیبایی شناختی و باربری مناسب را دارد؛ مواردی مانند طراحی باشکوه، انتقال صحیح بارهای استاتیکی و دینامیکی مختلف، مشکل خستگی ناشی از بارهای سرویس و کنترل تغییر شکل‌ها به ویژه در هنگام وقوع تحركات شدید زمین لرزه. ساخت و توسعه شبکه راه و راه‌آهن هر کشوری یکی از معیارهای پیشرفت محسوب می‌گردد که هر ساله بخش مهمی از اعتبارات سالانه آن کشور را به خود اختصاص می‌دهد. اکثریت جمعیت جهان در مناطق لرزه خیز زندگی می‌کنند که در هر سال حداقل یک بار یک زلزله بزرگ را تجربه می‌کنند. از این رو، در این کشورها، سیستم نگهداری و مدیریت پلها شامل شبکه بازرسی و همچنین تعمیر و نگهداری سازه‌های پل از اولویت بسیار بالایی برخوردار است.

در رویدادهای گذشته مشاهدات نشان می‌دهد که در مناطق زلزله‌زده، پلها و جاده‌ها دچار آسیبهای موضعی یا گسترده شده‌اند و گاهی به طور کامل تخریب شده‌اند. در چنین مواردی، بسیار مهم است که به منظور کمک به مردم برای دسترسی به مناطق زلزله‌زده، پلها قابلیت سرویس‌دهی خود را انجام دهند. این موضوع به ویژه در ساعات اولیه وقوع زلزله، زمانی که دسترسی نیروهای اضطراری به منطقه مورد نظر برای مدیریت بحران، درمان سریع افراد آسیب دیده، بیرون آوردن افراد از زیر آوار، جمع‌آوری اجساد و از همه مهم‌تر جلوگیری از شیوع بیماری‌های واگیردار برای کاهش تلفات جانی در آن منطقه، بسیار مهم است.

حفظ و نگهداری زیرساخت‌های راه و تعمیر و بهسازی مستمر آنها یکی از مهم‌ترین چالش‌های بودجه‌ای بسیاری از کشورهای صنعتی و نیمه صنعتی است. استفاده از سیستم‌های جداسازی پایه یکی از راهکارهای به نسبت جدیدی است که محققان و مهندسان برای پاسخگویی به این نیاز مهم و جامع ارائه کرده‌اند. اما عدم توجه مناسب به اصول صحیح طراحی و عدم توجه کامل به رفتار واقعی سیستم‌های جدید و پیچیده، مشکلات زیادی را به همراه خواهد داشت به طوری که حداقل خطر آن، بروز آسیب یا حتی سقوط عرشه پل می‌باشد.

علاوه بر این موضوع، یکی از بارهای وارده مهم بر روی پلها که می‌تواند در طول زمان تأثیر بسزایی در کارایی آنها داشته باشد، بارهای متحرک است. عبور مداوم وسایل نقلیه از روی پلها و تنوع بارهای وارده باعث می‌شود که پلها در برخی موارد خیلی زودتر از پایان عمر مفیدشان خراب شوند. این موضوع به خودی خود باعث کاهش ظرفیت و کارایی سازه پل شده است که در اثر حوادث طبیعی خاص مانند بادهای شدید و زلزله می‌تواند منجر به آسیب جدی و حتی تخریب پل شود. به همین دلیل توجه ویژه به آسیب‌های سازه‌ای، حصول اطمینان از عملکرد بهینه و عدم کاهش ظرفیت سازه پل در زمان مدیریت نگهداری ضروری است. در صورت مشاهده چنین مواردی باید طرح مشخصی

of incoming loads cause the bridges to be damaged much earlier than the end of their useful life. This issue in itself has reduced the capacity and efficiency of the bridge structure, which can lead to serious damage and even destruction of the bridge due to natural events such as strong winds and earthquakes. For this reason, it is necessary to pay special attention to structural damage, ensure optimal performance and not reduce the capacity of the bridge structure during maintenance management. If such cases are observed, a specific plan for the improvement and strengthening of the bridge must be developed and implemented. Also reliable, efficient and affordable methods should be used as much as possible.

This research is focused on the practical application of basic separator systems in engineering and industrial applications, with the aim of showing the detailed design and modeling steps. Nonlinear dynamic time-history responses under different conditions have been investigated, and it has been tried to accurately discuss the challenges faced by design engineers in selecting various types of base isolation systems against seismic loads and also moving loads. Two types of base isolation systems for an arched steel bridge are investigated: lead rubber Bearing (LRB) and friction pendulum system (FPS). The results show that the properly designed system to improve the seismic performance of the bridge may be completely different from the best vibration control system caused by moving loads.

Keywords: Arch steel bridge, Passive control, Base isolation, Nonlinear time history analysis, Moving loads, Vertical ground motion

برای بهسازی و مقاوم سازی پل تدوین و اجرا شود. و تا حد امکان از روش های قابل اعتماد، کارآمد و مقرون به صرفه استفاده گردد.

واژه های کلیدی: پل قوسی فولادی، کنترل غیرفعال، جداسازی پایه، تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی، بارهای متحرک مؤلفه قائم جنبش زمین لرزه

A New Finite Element Model Updating Method Using Combination of Direct and Iterative Method

Omid Bahar

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
omidbahar@iiees.ac.ir

Mehdi Delpazir, Behzad Rahimi

To evaluate the real behavior of a structural system against possible future events, using a detailed analytical model is needed. This model is usually built based on the characteristics and features of the structure and their materials. But for building a correct analytical model for a structure, an engineer should know many detailed information about structural configuration, real model of members' connection, and real or nominal material characteristics. These information cannot necessarily be accessible and so reaching to a suitable model structure as a representative of seismic performance against possible events, may not be possible. In many engineering problems, making sure that the analytical model is correct is a necessary part of structural analysis and design activities. Of course, very little importance has been given to this issue so far. As a solution for the modification of dynamic models, the method of updating the analytical model using laboratory information is a powerful method for correcting the analytical finite element models that is widely used today.

Model Updating aims to change or modify some characteristics of the analytical model of a structure in such a way that the updated model shows the real behavior of that structure. In this way, the dynamic characteristics of the analytical model should be in good agreement with the values obtained from measured responses of the real structure during a proper tuned vibration tests. These characteristics include the following:

1. Modification of the geometry, configuration, or behavior of connections;
2. Modification of the numerical values defined for structural or material characteristics; and
3. Modification of structural support conditions and its transfer parameters.

In this research, the evaluation of three powerful methods was considered and finally a new method based on cyclic modification of structural parameters was proposed. The first method is based on the algorithm presented by Wu and Lee in 2006. The second method is presented by Yang and Chen in 2009. And the third method is the method proposed by Ho, Li and Wang in 2007 under the title of cross model cross mode, named CMCM. The last two methods belong to the group of direct methods. One of these methods was used to identify the structural parameters of the ASCE benchmark steel model building, whose analytical model was developed based on

روش جدید به روزرسانی مدل اجزاء محدود با ترکیب روش‌های مستقیم و تکرار شونده

امید بهار

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه omidbahar@iiees.ac.ir

مهدی دلپزیر، بهزاد رحیمی

برای ارزیابی رفتار حقیقی یک سیستم سازه‌ای در مقابل رویدادهای احتمالی در آینده، نیاز به استفاده از یک مدل تحلیلی دقیق می‌باشد. این مدل، به طور معمول بر اساس مشخصه‌ها و ویژگی‌های سازه و مصالح به کار رفته در آن، ساخته می‌شود. اما مدل تحلیلی که حتی به درستی بر اساس پیکربندی سازه، ارتباط ظاهری اعضا و مشخصه‌های مصالح آن ساخته شده باشد، لزوماً نمی‌تواند نماینده مناسبی برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه در برابر رویدادهای احتمالی در آینده باشد. در بسیاری از مسائل مهندسی نیز، اطمینان یافتن از صحیح بودن مدل تحلیلی، بخش ضروری فعالیت‌های تحلیل و طراحی سازه است. البته تاکنون اهمیت بسیار کمی به آن داده شده است. به عنوان یک راه حل برای اصلاح مدل‌های دینامیکی، روش به هنگام‌سازی مدل تحلیلی با بکارگیری اطلاعات آزمایشگاهی، روش توانمندی برای تصحیح مدل‌های اجزاء محدود تحلیلی است که امروزه به طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به هنگام‌سازی مدل تحلیلی یک سازه، عبارت است از تغییر یا اصلاح برخی مشخصه‌های تشکیل‌دهنده مدل اجزاء محدود آن سازه به نحوی است که مدل به هنگام شده نشانگر رفتار حقیقی آن سازه باشد. به این ترتیب، مشخصه‌های دینامیکی مدل تحلیلی باید با مقادیر بدست آمده از آزمایش‌های واقعی بر روی سازه حقیقی همخوانی مطلوبی داشته باشد. این مشخصه‌ها شامل موارد زیر است:

- (۱) اصلاح هندسه، پیکربندی، یا نحوه ارتباط میان اعضا؛
- (۲) اصلاح مقادیر عددی تبیین شده برای مشخصه‌های مدل سازه و مصالح؛
- (۳) اصلاح شرایط تکیه‌گاهی و پارامترهای انتقال آن.

در این پژوهش، ارزیابی سه روش به هنگام‌سازی مورد توجه قرار گرفته و در نهایت روش جدیدی بر مبنای اصلاح چرخه‌ای پارامترهای سازه‌ای پیشنهاد شده است. روش اول بر اساس الگوریتم ارائه شده توسط وو و لی در سال ۲۰۰۶ می‌باشد. روش دوم، توسط یانگ و چن در سال ۲۰۰۹ ارائه شده است. و روش سوم، روش پیشنهادی هو، لی و وانگ تحت عنوان مدل و مد ترکیبی، با علامت اختصاری CMCM است که در سال ۲۰۰۷ ارائه شده است. دو روش انتهایی متعلق به گروه روش‌های مستقیم است. از این روش‌ها برای شناسایی پارامترهای سازه‌ای ساختمان فولادی الگو ASCE که مدل تحلیلی آن بر اساس اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی بسط داده شده به کار گرفته شد. سازه الگوی مورد نظر، یک ساختمان چهار طبقه دو دهانه است که الگوهای متنوعی از آسیب برای آن قابل تعریف است. در این پژوهش تغییرات سختی اعضا به عنوان معیاری از وقوع آسیب در اعضای سازه‌ای مد نظر قرار گرفته و فرض شده است که اطلاعات دینامیکی یک یا چند مود اول سازه از طریق آزمایش در اختیار قرار دارد.

laboratory measurements. The considered model structure is a four-story building for which various patterns of damage can be defined. In this research, change in member stiffness are considered as a measure of damage parameters that may occur in structural members. It is assumed that information of the dynamic modal characteristics of one or more first modes of the structure is available through vibration testing.

Evaluation of results show that these methods cannot well captured the case of 3D structures especially when damages are scattered during whole structure. Therefore, in this research activity, a method has been proposed to determine the real stiffness matrix of the structure using the information of the first few modes of the structure which can be obtained by conducting dynamic tests on the real structure. It uses the advantages of both direct and iterative methods and does overcome their disadvantages. Also, in the proposed method, by using the obtained coefficients to modify the stiffness matrix, it is possible to estimate the damage position and severity of the structural members with high accuracy.

Keywords: Structural matrix modification, Model updating, direct and iterative methods, ASCE benchmark building, Structural damage detection, Dynamic nonlinear time history analysis

ارزیابی‌ها نشان می‌دهد، این روش‌ها در مورد سازه‌های سه بعدی با آسیبهای پراکنده به خوبی عمل نمی‌کند. از این رو، در این فعالیت پژوهشی برای تعیین ماتریس سختی حقیقی سازه با استفاده از اطلاعات چند مود اول سازه که می‌تواند از طریق انجام آزمایش‌های دینامیکی بر روی سازه واقعی بدست آمده باشد، روشی پیشنهاد شده است که از مزایای هر دو روش مستقیم و تکرارشونده بهره گرفته و معایب آنها را نیز ندارد. همچنین در روش پیشنهادی با استفاده از ضرایب بدست آمده برای اصلاح ماتریس سختی، می‌توان موقعیت و شدت آسیب اعضای سازه را نیز با دقت بسیار بالایی برآورد نمود.

واژه‌های کلیدی: اصلاح ماتریس‌های سازه‌ای، به روزرسانی مدل، روش مستقیم و تکرارشونده، سازه الگوی ASCE، تشخیص آسیب سازه‌ای تحلیل تاریخچه زمانی دینامیکی غیرخطی

Evaluation of the Mechanical Properties of Polymer Concrete Under Monotonic and Cyclic Loadings Used in Polymer Concrete Pipes

Morteza Bastami

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
m.bastami@iiees.ac.ir

Morteza Abbasnejad Fard, Seyyed Abdolreza Hashemi

The use of polymer concrete (PC) in construction requires the development of an accurate stress-strain relationship which can accurately predict the mechanical properties of PC. Given that no constitutive equation for cyclic loading of unsaturated polyester PC (UPPC) is available in the literature, the goal of the current research has been to propose a rational analytical model for estimating the mechanical characteristics of UPPC under tensile and compressive loading. Compressive and tensile cyclic and monotonic tests were performed on specimens which had been cured for 28 days and the average monotonic stress-strain curve was obtained for the monotonic tests. The average maximum stress and strain were determined for both the compressive and tensile tests and the elastic modulus and energy absorption capacity were computed and compared with the values for normal concrete (NC) and high strength concrete (HSC) materials. Analytical models for the monotonic and skeleton curves for both tensile and compressive tests have been provided, and the proposed models were compared to experimental findings and other research results for validation. Stress-strain relationships have been proposed for the unloading and reloading paths and were compared with the cyclic test results. The ultimate stress and strain for the UPPC were three and five times higher, respectively, than for the NC in tension testing. The ultimate strain for UPPC was almost 150% greater than the final strain of HSC in compression. Under compressive loading, the UPPC absorbed to 2.33 and 5.3 times more energy, respectively, than the HSC and NC. The results showed that the skeleton curves agreed well with the monotonic curves for the compressive and tensile tests. All of the proposed models agreed well with the available experimental data and previous study results.

The other object of this study was to investigate the effect of sulfuric acid on the mechanical characteristics of unsaturated polyester PC (UPPC), which is the common type of acidic solution that exists in sewer pipelines. Therefore, 45 cubic specimens were fabricated and cured for 28 days. Thirty specimens were immersed in 5%vol and 15%vol of sulfuric acid, and uniaxial compressive tests were conducted in intervals of 7, 28, 56, 84, and 180 days. Moreover, monotonic and cyclic tests were performed on cylindrical and dumbbell-shaped specimens for compressive and tensile

تعیین خواص مکانیکی بتن پلیمری تحت بارهای یکنواخت و چرخه‌ای مورد استفاده در لوله‌های بتن پلیمری

مرتضی بسطامی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه m.bastami@iiees.ac.ir

مصطفی عباس‌نژاد فرد، سید عبدالرضا هاشمی

بتن پلیمری ترکیبی است که از اختلاط سنگ‌دانه‌ها با رزین و بدون حضور سیمان به وجود می‌آید. مقاومت در برابر خوردگی و مقاومت فشاری و کششی بالای این نوع بتن باعث گسترش روزافزون لوله‌های بتن پلیمری در توسعه شبکه‌های فاضلاب شده است. در کشور ایران نیز لوله‌های بتن پلیمر در شبکه فاضلاب در برخی نواحی مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به اینکه تاکنون رفتار این نوع لوله‌ها در برابر زلزله مورد بررسی قرار نگرفته است، لازم دیده شد تا عملکرد این نوع لوله مورد ارزیابی قرار بگیرد. استفاده از بتن پلیمر (PC) در ساخت‌وساز مستلزم ایجاد یک رابطه تنش-کرنش دقیق است که به بتواند به طور دقیق خواص مکانیکی PC را پیش‌بینی کند. با توجه به اینکه هیچ معادله تنش-کرنشی برای بارگذاری چرخه‌ای بتن پلیمر پلی‌استر غیراشباع (UPPC) در ادبیات موجود نیست، هدف تحقیق حاضر ارائه یک مدل تحلیلی منطقی برای تخمین ویژگی‌های مکانیکی UPPC تحت اثر بارهای کششی و فشاری است. در گام اول این پژوهش، آزمایش‌های چرخه‌ای و یکنواخت فشاری و کششی بر روی نمونه‌هایی که به مدت ۲۸ روز نگهداری شده بودند، انجام شد و منحنی‌های تنش-کرنش میانگین برای آزمایش‌های یکنواخت کششی و فشاری به دست آمد. نمودارهای میانگین تنش-کرنش برای هر دو آزمایش فشاری و کششی تعیین شد و مدول الاستیسیته و ظرفیت جذب انرژی محاسبه شده با مقادیر بتن معمولی (NC) و بتن با مقاومت بالا (HSC) مقایسه شد. روابط تحلیلی برای منحنی‌های یکنواخت و پوش برای آزمایش‌های کششی و فشاری ارائه شده‌اند و مدل‌های پیشنهادی با یافته‌های تجربی و نتایج سایر تحقیقات مقایسه شدند. همچنین، روابط تنش-کرنش برای مسیرهای بارگذاری و بارگذاری مجدد پیشنهاد شده است و با نتایج آزمایش چرخه‌ای مقایسه گردید. تنش و کرنش نهایی برای UPPC به ترتیب سه و پنج برابر بیشتر از تنش و کرنش نهایی NC در آزمایش کشش بود. کرنش نهایی برای UPPC تقریباً ۱۵۰ درصد بیشتر از کرنش نهایی HSC در آزمایش فشاری بود. تحت بارگذاری فشاری، انرژی جذب شده UPPC به ترتیب ۲/۳۳ و ۵/۳ برابر بیشتر از HSC است. نتایج نشان داد که منحنی‌های پوش به خوبی با منحنی‌های یکنواخت برای آزمایش‌های فشاری و کششی مطابقت دارند. همه مدل‌های پیشنهادی با داده‌های تجربی موجود و نتایج مطالعات قبلی به خوبی انطباق داشتند.

بتن پلیمری در ساخت ابنیه زیرساختی استفاده می‌شوند که در طول زمان بهره‌برداری خود در معرض محیط‌های خورنده قرار می‌گیرند. در قسمت دوم این پژوهش، اثر اسیدسولفوریک بر مشخصات مکانیکی UPPC مورد بررسی قرار گرفت که نوع رایج محلول اسیدی موجود در خطوط لوله فاضلاب است. بدین منظور، ۴۵ نمونه مکعبی ساخته شده و به مدت ۲۸ روز عمل‌آوری شد. ۳۰ نمونه در محلول ۵ درصد و ۱۵ درصد حجم

tests, respectively, to describe the stress-strain curves of UPPC specimens exposed to a sulfuric acid environment for 180 days. The elastic modulus, energy absorption capacity, and stiffness degradation ratio were computed and compared with the corresponding values for controlling specimens as well as normal concrete (NC) and high strength concrete (HSC) materials. Results indicated that the maximum decreases of the compressive and tensile strength were observed in those specimens which immersed in 15%vol of sulfuric acid; these reductions were 33% (70 MPa) and 21% (8 MPa), respectively, compared to the controlling specimens. Although the specimens in 15% sulfuric acid showed the most reductions in maximum strength and peak strain when compared to those in 5% sulfuric acid, they still have significantly higher compressive strength, tensile strength, energy absorption ratio, and energy dissipation than the NC and HSC results. The average envelope curves of compressive and tensile cyclic tests for controlling specimens and those specimens which submerged in 5% and 15% acid were depicted. Comparison between the envelope curves and monotonic results indicated that the envelope curves traced the monotonic stress-strain responses very well. Also, appropriate stress-strain relationships were proposed for tension and compression for specimens exposed to sulfuric acid.

In the final section of this study, the effect of dip angle and pipe diameter was investigated during the finite element analysis of buried segmented Polymer Concrete subjected to fault displacement. The ABAQUS software was used to create a detailed pipeline model. The structural response and damage failure performance of the pipe barrels and joints were examined and discussed. The results revealed that as the fault's displacement increased, the rotation angle of the middle pipe enhanced (pipe number 9). As the dip angle increases, the relative displacement of middle pipe increases due to the enhancement of the vertical displacement of the pipes. Increasing the pipe diameter reduces pipe rotation caused by damage to the pipe body. The equivalent bending moment at the occurrence of the first failure was calculated in respect to the fault angles and the pipe diameters. Due to the increase of the elastic modulus of the section and the occurrence of more strains in pipes with a larger diameter, the highest bending moments were observed in these pipes.

Keywords: Unsaturated polyester polymer concrete (UPPC), Chemical resistance, Monotonic and cyclic tests, Constitutive equation, Energy dissipation, Buried Pipelines, Fault dislocation

اسیدسولفوریک غوطه‌ور شدند و آزمایش‌های فشاری تک‌محوری در فواصل زمانی ۷، ۲۸، ۵۶، ۸۴ و ۱۸۰ روز انجام شد. علاوه بر این، آزمایش‌های یکنواخت و چرخه‌ای بر روی نمونه‌های استوانه‌ای و دمبل‌شکل برای آزمایش‌های فشاری و کششی انجام شد تا بتوان منحنی‌های تنش-کرنش نمونه‌های UPPC در معرض محیط اسیدسولفوریک را به مدت ۱۸۰ روز توصیف کنند. مدول الاستیسیته، ظرفیت جذب انرژی و نسبت افت سختی محاسبه و با مقادیر مربوطه برای نمونه‌های شاهد و همچنین بتن معمولی و بتن با مقاومت بالا مقایسه شد. نتایج نشان دادند که حداکثر کاهش مقاومت فشاری و کششی در نمونه‌هایی مشاهده شد که در محلول اسیدسولفوریک ۱۵ درصد غوطه‌ور شدند. این کاهش‌ها به ترتیب ۳۳ درصد (۷۰ مگاپاسکال) و ۲۱ درصد (۸ مگاپاسکال) در مقایسه با نمونه‌های کنترل‌کننده بودند. اگرچه نمونه‌های موجود در اسیدسولفوریک ۱۵ درصد بیشترین کاهش حداکثر مقاومت و کرنش را در مقایسه با نمونه‌های اسیدسولفوریک ۵ درصد نشان دادند، اما همچنان مقاومت فشاری، استحکام کششی، نسبت جذب انرژی و اتلاف انرژی قابل‌توجهی نسبت به NC دارند. منحنی‌های پوش متوسط بدست آمده از آزمایش‌های چرخه‌ای فشاری و کششی برای نمونه‌های کنترل و نمونه‌هایی که در اسید ۵ درصد و ۱۵ درصد غوطه‌ور شده‌اند با یکدیگر مقایسه شدند. مقایسه بین منحنی‌های پوش و نتایج تنش-کرنش یکنواخت نشان دادند که این دو منحنی به خوبی برهم دیگر منطبق هستند. همچنین، روابط تنش-کرنش مناسب برای کشش و فشار برای نمونه‌های در معرض اسیدسولفوریک پیشنهاد شدند.

لوله‌های بتن پلیمر در سال‌های اخیر در ساخت لوله‌های فاضلاب مورد استفاده قرار گرفتند. دلیل استفاده از این لوله‌ها مقاومت بالای فشاری و کششی بتن پلیمر و دوام این نوع بتن در برابر محیط خورنده فاضلاب است. در قسمت پایانی مطالعه، پاسخ مکانیکی لوله بتن پلیمر در برابر جابه‌جایی ناشی از گسل تحت زوایای مختلف گسل و قطرهای مختلف لوله بررسی شدند. بدین منظور ابتدا آزمایش‌های کششی، آزمایش فشاری و آزمایش دوران لوله که در قسمت قبل توصیف شده بود، با کمک نرم‌افزار اجزای محدود مدل‌سازی و صحت‌سنجی شدند. سپس مدل‌های گسلش با زوایای مختلف و لوله‌های با قطر متفاوت تحت نرم‌افزار مدل‌سازی شدند و نتایج بدست آمده با یکدیگر مقایسه شدند.

واژه‌های کلیدی: بتن پلیمر، مقاومت کششی و فشاری، لوله‌های بتن پلیمر، آزمایش‌های یکنواخت و چرخه‌ای، محیط خورنده، لوله مدفون در خاک، جابه‌جایی گسل

Development of Physical Vulnerability, Risk and Resilience Model of Electricity Grid Network Subjected to Earthquake (Case Study: Qom Power Grid Network)

Mohsen Ghafory-Ashtiany

Professor, Structural Engineering Research Center
ashtiany@iiees.ac.ir

Babak Mansouri, Morteza Bastami, Mahban Arghavani

Resilience analysis of power grids requires their performance assessment during threatening hazards. However, the diverse connections among various constituent components make studying power grids' network behavior complicated. This study aims to present a practical framework with appropriate computational speed and acceptable accuracy in estimating the seismic physical performance of power grids, such that both electrical and earthquake experts can easily use it. The framework has provided a performance indicator by implementing the system's component-based analysis in the network-based graph model. This indicator has been calculated based on distinguishing the components under power service, failed components by direct physical damage, and failed components by indirect physical damage from each other (network-based). The proposed indicator has also considered the physical capacity lost/remaining in both under-service and out-of-service components (component-based). Consequently, it can distinguish among the network components beyond the binary classification of performance and failure. In other words, while maintaining the positive features of binary connectivity analysis, higher accuracy has been obtained for a preliminary estimation of the system's physical performance. The variety of seismic scenarios for the selected case study provided the possibility of examining and comparing different network performance states in three levels: physical blackout, physical outage, and no physical interruption. The practical functionality of the indicator, verified by a prototype graph, and the merits such as higher accuracy than commonly used connectivity analysis, simplicity, and rapidity make it a user-friendly method in interdisciplinary studies of electricity and earthquake engineering.

Keywords: Power transmission grid, Earthquake, Resilience, Recovery, Physical vulnerability, Performance indicator, Physical outage/blackout, Direct/Indirect outage

توسعه آسیب‌پذیری فیزیکی، ریسک و مدل تاب‌آوری عملکرد شبکه برق در برابر زلزله (مطالعه موردی: شبکه انتقال برق قم)

محسن غفوری آشتیانی

استاد پژوهشگر مهندسی سازه
ashtiany@iiees.ac.ir

بابک منصوری، مرتضی بسطامی، مه‌بان ارغوانی

تحلیل تاب‌آوری شبکه‌های برق مستلزم ارزیابی عملکرد آنها در مواجهه با خطرات تهدیدکننده در طی زمان بازیابی است. با این حال، اتصالات متنوع بین اجزای مختلف تشکیل‌دهنده سیستم، مطالعه رفتار شبکه‌ای سیستم‌های قدرت را پیچیده می‌کند. این تحقیق با هدف ارائه چارچوبی کاربردی با سرعت محاسباتی مناسب و دقت قابل قبول در برآورد تاب‌آوری، زمان بازیابی، و عملکرد فیزیکی شبکه‌های برق در برابر زلزله به گونه‌ای تدوین شده است که هر دوی کارشناسان برق و زلزله بتوانند به راحتی از آن استفاده کنند. رویکرد این چارچوب در ارزیابی تاب‌آوری، سنجش عملکرد لرزه‌ای شبکه تا پایان بازیابی عملکرد از دست رفته است. چارچوب ارائه شده با پیاده‌سازی تحلیل مؤلفه-محور سیستم در مدل گراف شبکه-محور آن، یک شاخص عملکرد لرزه‌ای ارائه کرده است. این شاخص بر اساس تفکیک اجزای تحت سرویس برق، قطعات از مدار خارج شده در اثر آسیب فیزیکی مستقیم و قطعات از مدار خارج شده با آسیب فیزیکی غیرمستقیم محاسبه شده است (تحلیل شبکه-محور). شاخص پیشنهادی همچنین ظرفیت فیزیکی از دست رفته/باقی‌مانده در هر دوی بخش‌های تحت سرویس و خارج شده از سرویس برق را در نظر گرفته است (مؤلفه-محور). در نتیجه، می‌تواند بین اجزای شبکه فراتر از طبقه‌بندی دوگانه عملکرد و خرابی تمایز قائل شود. به عبارت دیگر، در این مطالعه با حفظ ویژگی‌های مثبت تحلیل دودویی اتصال، دقت بالاتری برای تخمین اولیه از عملکرد فیزیکی سیستم بدست آمده است. تنوع سناریوهای لرزه‌ای برای مطالعه موردی انتخاب شده، امکان بررسی و مقایسه حالت‌های مختلف عملکرد شبکه را در سه سطح خاموشی فیزیکی مطلق، خاموشی فیزیکی جزئی، و عدم خاموشی فیزیکی فراهم می‌کند. این چهارچوب همچنین بر مشکل عدم تمایز سناریوهای لرزه‌ای مختلفی که با وجود مقادیر متفاوتی از تاب‌آوری، عملکرد، آسیب فیزیکی، و زمان بازیابی، دارای نتایج یکسانی از نظر شاخص‌های الکتریکی سنجش عملکرد شبکه هستند نیز غلبه نموده و آنها را از یکدیگر تفکیک می‌نماید. کارایی عملی چهارچوب، تأیید شده توسط یک مدل گراف ساده از شبکه، در کنار مزایایی مانند دقت بالاتر نسبت به تحلیل اتصال رایج، سادگی و سرعت، می‌تواند آن را به روشی کاربرپسند در مطالعات بین رشته‌ای برق و مهندسی زلزله تبدیل کند.

واژه‌های کلیدی: شبکه انتقال برق، زلزله، تاب‌آوری فیزیکی، بازیابی، شاخص عملکرد، خاموشی فیزیکی مطلق/جزئی

Investigating the Behavior of Non Structural Components in the Bam Earthquake

Mahmood Hosseini

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
hosseini@iiees.ac.ir

Mohammad Javad Jabbarzadeh

Regarding the importance of nonstructural elements in the vulnerability of buildings and their seismic safety level, on one hand, and the extensive damage to some of these elements in the 26 December 2003 Bam earthquake, on the other, this report first reviews briefly the particular features of nonstructural elements in Iranian buildings, and then presents the results of a thorough survey of their behavior and the damage they sustained in the city of Bam. Finally, based on the results of this survey, some recommendations are made that will be useful for modification of the "Guidelines for the Seismic Retrofit of Existing Buildings," which is the only official reference on this topic used currently in Iran.

Architectural features in buildings in Iran differ significantly from those in seismically active developed countries, and are the most problematic group among the nonstructural elements in Iran. The particular features of this group are:

- Heavy weight;
- Low inherent integrity;
- Weak connection to supporting structure.

Examples of architectural components having all the above characteristics are external walls and internal separating walls and partitions made of massive brick masonry, as well as stone façade or cladding, particularly the 3-cm brick finishing of the external walls. Internal veneer, such as ceramic tiles, and internal walls and ceiling finishings are examples of components that have the second and the third characteristics. The top wall and the parapet cornices are components that have the first and the third characteristics. Finally, window frames are components that have the third characteristic in Iranian buildings.

This group of nonstructural elements can be considered as the second problematic group because they have various manufacturing standards, and they are mostly installed without any specific standard. In fact, most of the major mechanical and electrical equipment, such as Heating, Ventilating, Air Conditioning facilities (HVAC), are imported from abroad. In many cases, equipment comes from northern European countries, which are not earthquake prone, and consequently do not have any specific seismic provisions. Furthermore, although these countries usually have high installation

بررسی رفتار اجزاء غیرسازه‌ای در زلزله بم

محمود حسینی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه hosseini@iiees.ac.ir

محمدجواد جبارزاده

با توجه به اهمیت عناصر غیرسازه‌ای در آسیب‌پذیری ساختمانها و سطح ایمنی لرزه‌ای آنها از یک سو و آسیبهای فراوان برخی از این عناصر در زلزله ۲۶ دی ۱۳۸۲ بم، از سوی دیگر، این گزارش ابتدا به بررسی مختصر ویژگی‌های عناصر غیرسازه‌ای در ساختمانهای ایرانی می‌پردازد. سپس نتایج بررسی دقیق رفتار آنها و آسیبهای وارده به آنها در شهر بم ارائه می‌گردد. در نهایت، بر اساس نتایج این بررسی، توصیه‌هایی ارائه شده است که برای اصلاح «راهنمای مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود» که تنها مرجع رسمی در این زمینه در حال حاضر در ایران است، مفید خواهد بود. ویژگی‌های معماری در ساختمانهای ایران به طور قابل توجهی با کشورهای توسعه‌یافته لرزه‌خیز متفاوت است و مشکل‌سازترین گروه در میان عناصر غیرسازه‌ای ساختمانها در ایران است. ویژگی‌های خاص این گروه عبارتند از:

- وزن زیاد؛
- یکپارچگی ذاتی پایین؛
- اتصال ضعیف به سازه نگهدارنده.

نمونه‌هایی از اجزای معماری که تمام ویژگی‌های فوق را دارند، دیوارهای خارجی و دیوارهای جداکننده داخلی و پارتیشن‌های ساخته شده از آجر، و همچنین نمای سنگی یا روکش کاری، به‌ویژه نمای آجر ۳ سانتی دیوارهای خارجی است. روکش داخلی مانند کاشی و سرامیک و دیوارهای داخلی و نازککاری سقف نمونه‌هایی از اجزایی هستند که ویژگی دوم و سوم را دارند. دیوار جان پناه بام و قرنیزهای آنها اجزایی هستند که ویژگی اول و سوم را دارند. در نهایت قاب پنجره‌ها اجزایی هستند که در ساختمانهای ایرانی سومین ویژگی را دارند.

این گروه از عناصر غیرسازه‌ای را می‌توان دومین گروه مشکل ساز دانست زیرا دارای استانداردهای ساخت متنوعی هستند و اکثراً بدون استاندارد خاصی نصب می‌شوند. در واقع عمده تجهیزات مکانیکی و الکتریکی مانند تجهیزات تهویه مطبوع (HVAC) از خارج وارد می‌شود. در بسیاری از موارد، تجهیزات از کشورهای اروپای شمالی می‌آیند، که زلزله‌خیز نیستند و در نتیجه هیچ‌گونه مقررات لرزه‌ای خاصی ندارند. علاوه بر این، اگرچه این کشورها معمولاً استانداردهای نصب بالایی دارند، نصب در ایران بیشتر توسط افراد غیر متخصص انجام می‌شود که دستورالعمل‌های نصب را به درستی رعایت نمی‌کنند و بنابراین حتی اگر تجهیزات مربوط به کشور زلزله‌خیز باشد و نصب مورد نیاز را داشته باشد، این دستورالعمل‌ها معمولاً در واقع اجرا نمی‌شوند.

این گروه از عناصر غیرسازه‌ای نیز دارای تفاوت‌هایی با سایر کشورهای لرزه‌خیز به ویژه ایالات متحده است. این تفاوت‌ها به شرح زیر است:

- عناصر یا شامل اشیاء شکننده هستند، به ویژه در مورد تزئینات داخلی خانه.
- المان‌ها عمدتاً سنگین بوده و به صورت اجسام آویزان از سقف در بسیاری از قسمت‌های ساختمان نصب می‌شوند.

standards, the installation in Iran is done mostly by non-experts who do not follow the installation instructions properly, and therefore, even if the equipment is from a seismically-active country and has the required installation instructions, those measures usually are not actually implemented.

This group of nonstructural elements also has some differences from those in other seismic countries, particularly the United States. These differences are as follows:

- Elements either are or they contain fragile objects, particularly in the case of a house's internal ornaments;
- Elements are mostly heavy and are installed as hanging objects from the ceilings in many parts of the building.

These two features have cultural roots. For example, it is an Iranian tradition to have several old glass or ceramic jars or other similar objects and big, heavy chandeliers in almost all rooms, particularly in luxury houses.

The earthquake hit the city of Bam, the town of Baravat, and several surrounding villages in Kerman province, destroying more than 70% of the buildings in the stricken area, and causing extensive nonstructural damage to the buildings that remained structurally intact. The observed cases of nonstructural damage were mainly architectural. There was also some damage related to building contents, and a few cases of damage to electrical or mechanical components. In the main body of this report, the damage to nonstructural elements is reviewed.

It can be concluded that:

- Almost all of the nonstructural elements in the existing buildings of the country are vulnerable when subjected to earthquakes;
- Infill walls and staircases are the most vulnerable architectural elements;
- Weakness of connections and lack of integrity are known to be the main causes of almost all nonstructural damage in Bam city. This fact should be taken into consideration both in the retrofit of existing buildings and in the design and construction of new ones;
- To prevent breakage of glass in buildings, either it should be a resistant type, laminated or similar, or the glass sheets should have some kind of very soft and thick strip around them to accommodate the relative movement between the glass sheets and their frames;
- The use of lightweight materials and integrated sheet veneers should be encouraged in the country. This will be a very effective way of reducing the seismic vulnerability of these nonstructural elements.

Keywords: Iranian buildings, Architectural components, Mechanical and electrical elements, Building content

این دو ویژگی ریشه فرهنگی دارند. به عنوان مثال، داشتن چندین کوزه قدیمی شیشه‌ای یا سرامیکی یا دیگر اشیاء مشابه و لوسترهای بزرگ و سنگین تقریباً در همه اتاق‌ها، به ویژه در خانه‌های مجلل، یک سنت ایرانی است.

این زلزله شهر بم، شهرستان براوات و چندین روستای اطراف آن در استان کرمان را لرزاند و بیش از ۷۰ درصد ساختمانهای منطقه آسیب‌دیده را تخریب کرد و خسارت‌های غیرسازه‌ای زیادی به ساختمانهایی که از نظر سازه‌ای سالم باقی مانده بودند، وارد کرد. موارد مشاهده شده از آسیبهای غیرسازه‌ای عمدتاً معماری بودند. همچنین برخی از آسیبهای مربوط به محتویات ساختمان و چند مورد آسیب به قطعات الکتریکی یا مکانیکی وجود دارد. در متن اصلی این گزارش، آسیب وارده به عناصر غیرسازه‌ای بررسی شده است.

بر اساس این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که:

- تقریباً تمامی عناصر غیرسازه‌ای ساختمانهای موجود در معرض زلزله آسیب‌پذیر هستند؛
- دیوارهای پرکننده و راه پله‌ها آسیب‌پذیرترین عناصر معماری هستند؛
- ضعف اتصالات و عدم یکپارچگی به عنوان عوامل اصلی تقریباً تمامی آسیبهای غیرسازه‌ای در شهرستان بم شناخته شده است. این واقعیت هم در مقاوم‌سازی ساختمانهای موجود و هم در طراحی و ساخت ساختمانهای جدید باید مورد توجه قرار گیرد؛
- برای جلوگیری از شکستن شیشه در ساختمانها، یا باید از نوع مقاوم، لمینت یا مشابه باشد و یا ورق‌های شیشه‌ای باید نوعی زهوار بسیار نرم و ضخیم در اطراف خود داشته باشند تا حرکت نسبی بین ورق‌های شیشه و قاب آنها را در خود جای دهد؛
- استفاده از مواد سبک وزن و روکش‌های ورق یکپارچه در کشور تشویق شود. این یک روش بسیار مؤثر برای کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای این عناصر غیرسازه‌ای خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت واکنش اضطراری، آسیب‌پذیری، ساختمانهای عمومی تأثیرگذار، ارزیابی سریع لرزه‌ای

Analytical-Technical and Economic Evaluation of Seismic Retrofit Techniques for an Existing Highway Bridge

Mahmood Hosseini

Associate Professor, Structural Engineering Research Center

hosseini@iiees.ac.ir

Seyyed Reza Khavari

The seismic vulnerability of an existing two span reinforced concrete slab bridge with round columns as piers was studied for making decision about its retrofit design, and after realizing that it is highly vulnerable, three different techniques were proposed for its seismic retrofit, and were compared with both technical and cost aspects. First, the bridge design was checked by the seismic provisions of American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), showing that the bridge is seismically weak in bending resistance and particularly shear resistance of its piers' columns. Next, a push over analysis (POA) was performed, for which the target displacement was calculated by shear-displacement relationship at the center of gravity of the bridge deck. The rotations of plastic hinges in columns, obtained by POA were compared with the FEMA 356 acceptance levels, which confirmed the high vulnerability of the bridge. Finally, three various retrofit designs, including: 1) adding the strength and stiffness of pier columns by R/C jackets, 2) adding some steel diagonal elements in both lateral and longitudinal directions, and 3) fixing the deck to abutments connections in lateral direction to make it possible to use the abutment walls as shear walls, were considered and checked by POA as well as Nonlinear Time History Analyses (NLTHA), through applying the three-component accelerograms of a set of selected appropriate earthquakes.

The bridge was modeled using the CSI Bridge software assuming the average values for mechanical properties of concrete as well as steel bars. The bridge specifications for POA and NLTHA were defined according FEMA 356 regulations according to the AASHTO design spectra. Several selected three-component accelerograms, with the peak ground acceleration values compatible with the level of seismic hazard in the site, and the frequency contents compatible with the conditions of the bridge site soil, were used for NLTHA. Seismic excitations were applied with various incident angles to make sure that the maximum seismic responses of the bridge are obtained. The response values considered for comparison of the proposed retrofit techniques included shear force and bending moment in the bridge piers and abutments, resulting in maximum combined

ارزیابی تحلیلی-فنی و اقتصادی روش‌های بهسازی لرزه‌ای برای یک پل بزرگراهی موجود

محمود حسینی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه hosseini@iiees.ac.ir

سید رضا خاوری

در این پروژه پژوهشی، آسیب‌پذیری لرزه‌ای یک پل دالی بتنی مسلح دو دهانه موجود با ستون‌های گرد در بخش پایه‌ها برای تصمیم‌گیری در مورد طراحی مقاوم‌سازی آن مورد مطالعه قرار گرفت و پس از پی بردن به اینکه پل مورد نظر بسیار آسیب‌پذیر است، سه تکنیک مختلف برای مقاوم‌سازی لرزه‌ای آن پیشنهاد شدند و از جنبه‌های فنی و اقتصادی مورد مقایسه قرار گرفتند. ابتدا، طرح پل توسط مقررات لرزه‌ای انجمن بزرگراه‌های ایالتی و حمل‌ونقل آمریکا (AASHTO) بررسی شد و نشان داد که پل از نظر مقاومت خمشی و به ویژه مقاومت برشی ستونهای پایه‌های آن در برابر زلزله ضعیف است. سپس، یک تحلیل بارافزایی (POA) انجام شد که برای آن جابه‌جایی هدف با رابطه برش-جابه‌جایی در مرکز عرشه پل محاسبه شد. چرخش لولاهای پلاستیک در ستونها، بدست آمده توسط POA با سطوح پذیرش FEMA 356 مقایسه شد که آسیب‌پذیری بالای پل را تأیید می‌کند. در نهایت، سه طرح مختلف مقاوم‌سازی شامل: (۱) افزودن استحکام و سختی ستونهای پایه توسط جاکت‌های بتنی مسلح، (۲) افزودن برخی عناصر مورب فولادی در هر دو جهت جانبی و طولی، (۳) تثبیت عرشه به اتصالات تکیه‌گاه‌های کناری پل در جهت جانبی برای ایجاد امکان استفاده از دیوارهای تکیه‌گاه به عنوان دیوار برشی. این سه روش توسط POA و همچنین تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی (NLTHA)، با اعمال شتابانگشت‌های سه مؤلفه‌ای مجموعه‌ای از زلزله‌های مناسب انتخاب شده بررسی شدند.

پل مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار CSI Bridge با فرض مقادیر متوسط برای خواص مکانیکی بتن و همچنین میلگردهای فولادی مدلسازی شد. مشخصات پل برای POA و NLTHA بر اساس مقررات FEMA 356 بر اساس طیف طراحی AASHTO تعریف شد. از شتابانگشت سه مؤلفه‌ای انتخاب شده، با مقادیر اوج شتاب زمین سازگار با سطح خطر لرزه‌ای ساختگاه پل و محتوای فرکانسی سازگار با شرایط خاک ساختگاه پل، برای NLTHA استفاده شد. پاسخ‌های لرزه‌ای با زوایای برخورد مختلف اعمال شد تا اطمینان حاصل شود که حداکثر پاسخ‌های لرزه‌ای پل به دست می‌آید. مقادیر پاسخ در نظر گرفته شده برای مقایسه تکنیک‌های مقاوم‌سازی پیشنهادی شامل نیروی برشی و لنگر خمشی در پایه‌های پل و تکیه‌گاه‌ها بود که منجر به حداکثر تنش ترکیبی و همچنین جابه‌جایی نسبی عرشه پل در هر دو جهت طولی و جانبی برای بررسی برخورد بین عرشه و تکیه‌گاه‌های پل بود.

نتایج تجزیه و تحلیل بدست آمده توسط هر دو روش POA و NLTHA

در هر دو مدل اصلی و مقاوم‌سازی شده پل نشان می‌دهد که:

• پل موجود در شرایط فعلی در برابر زلزله‌های احتمالی منطقه بسیار آسیب‌پذیر است؛

• هر سه روش مقاوم‌سازی پیشنهادی از نظر فنی قابل قبول هستند، اما

stress, and also the relative displacement of the bridge deck in both longitudinal and lateral directions, in order to check if collision occurs between deck and abutments of the bridge.

The analyses results obtained by both POA and NLTHA on both original and retrofitted models of the bridge show that:

- The existing bridge in its current condition is highly vulnerable against the probable earthquakes in the region;
- All three proposed retrofit methods are technically acceptable, however, the third method, namely fixing the deck to abutments connections in lateral direction to make it possible to use the abutment walls as shear walls, seems to be practically and economically more feasible;
- It should be noted that in this study the soil-structure-interaction (SSI) was not taken into consideration, and for more reliable results it is recommended to consider SSI in seismic analysis as well;
- It should also be notified that in this study the effect of corrosion of the steel reinforcing bars was not taken into consideration, and therefore, it is recommended to repeat the corresponding analyses with reduced values of the cross-sectional areas of steel reinforcing bars for taking the corrosion effect into account;
- Finally, it is notified that, since in this study there were no sampling possibility of the bridge concrete and steel materials for testing, and obtaining their mechanical properties, only some average values were used. However, it is highly recommended to conduct the required test on the materials and use more realistic values in the corresponding analysis.

Keywords: Reinforced concrete bridges, Flexural and shear strengths, Pushover and nonlinear time history analyses, Retrofitting techniques, Jacketing

روش سوم یعنی تثبیت عرشه به اتصالات تکیه‌گاه در جهت جانبی برای امکان استفاده از دیوارهای تکیه‌گاه به عنوان دیوار برشی، از نظر عملی و اقتصادی امکان پذیرتر به نظر می‌رسد؛

• لازم به ذکر است که در این مطالعه اندرکنش خاک-سازه (SSI) در نظر گرفته نشده است و برای حصول نتایج قابل اطمینان‌تر پیشنهاد می‌شود SSI در تحلیل لرزه‌ای نیز در نظر گرفته شود؛

• همچنین لازم به ذکر است که در این مطالعه اثر خوردگی میلگردهای فولادی مورد توجه قرار نگرفته است، و لذا توصیه می‌شود تحلیل‌های مربوطه با در نظر گرفتن اثر خوردگی از طریق کاهش مقادیر سطوح مقطع میلگردهای فولادی تکرار شود؛

• در انتها، از آنجایی که در این تحقیق امکان نمونه‌برداری از مصالح بتن و فولاد پل برای آزمایش و به دست آوردن خواص مکانیکی آنها وجود نداشت، تنها از مقادیر متوسط استفاده شد. از این رو، قویاً توصیه می‌شود که آزمایش‌های مورد نیاز بر روی مواد انجام شود و از مقادیر واقعی‌تر در تجزیه و تحلیل مربوطه استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: پلهای بتن مسلح، مقاومت خمشی و برشی، تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی، تحلیل بارافزایی، روش‌های مقاوم‌سازی، جاکتینگ

Development of Analytical Seismic Fragility Functions for the Common Buildings in Iran

Mohsen Ghafory-Ashtiany

Professor, Structural Engineering Research Center
ashtiany@iiees.ac.ir

Afshin Kalantari, Zarin Karimzadeh

One of the main components for the development of regional seismic risk models is the fragility functions for common building types. Due to the differences between the national design codes, construction practices, and construction materials, it is necessary to develop specific fragility functions for the common building types which are constructed in each region. One of the existing challenges is the lack of classified, reliable, and cogent local seismic fragility functions for common buildings in Iran. For this reason, the present study is devoted to fill this essential gap. Therefore, at the first step, a comprehensive study was performed on the existing building types in the country. Finally, the Iranian common buildings are classified into 35 categories regarding material, lateral-load-resisting system, age, height, and seismic design level. Also, by conducting comprehensive studies on all previously performed researches in the country, structural and dynamic parameters have been collected for buildings in each class. This information was used to compute a large set of backbone curves for Iranian buildings taxonomy. In the next steps, a large set of ground motion records were selected. Non-linear time-history analyses were performed on the generic backbone curve for each type of buildings, and the structural responses were used to derive fragility functions for building classes. Then, nearly three hundred appropriate fragility functions were generated for Iranian common buildings considering both record-to-record and building-to-building response variability using cloud analysis. Based on the existing empirical data from past earthquakes in the country, the validation of the resulting fragility functions was carried out. The resulted fragility functions can be utilized in seismic risk assessment studies in the country.

Keywords Earthquake, Iran, Iranian buildings, Taxonomy, Fragility functions, Seismic risk

توسعه توابع شکنندگی تحلیلی - قضاوتی برای ساختمانهای متداول در ایران

محسن غفوری آشتیانی

استاد پژوهشکده مهندسی سازه ashtiany@iiees.ac.ir

افشین کلانتری، زارین کریمزاده

امروزه در اکثر کشورهای لرزه خیز مطالعات ریسک لرزه‌ای با هدف تخمین خسارات و تلفات ناشی از زلزله برای کمک به مدیریت بحران و پاسخ سریع به سانحه، انجام می‌شود. توابع شکنندگی ابزار توانمندی برای بررسی احتمال وقوع خسارت در ساختمانها در برابر سطوح مختلف زمین لرزه می‌باشند. استفاده از توابع شکنندگی به پیش‌بینی رفتار لرزه‌ای ساختمانهای موجود یک منطقه هنگام وقوع زلزله‌های مختلف، کمک خواهد نمود. این توابع در واقع احتمال فراگذشت یک شاخص خسارت از یک مقدار حدی را بر اساس شدت‌های مختلف، مشخص می‌سازند. این تابع کاربردهای فراوانی قبل و بعد از وقوع زلزله دارد، به طوری که ضمن ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در مواردی دیگر از جمله تعیین اولویت‌ها در مقاوم‌سازی و همچنین برنامه‌ریزی مدیریت بحران مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای ارزیابی ریسک لرزه‌ای در کشور نخست نیاز است که در کنار تحلیل خطر لرزه‌ای اجزای در معرض زلزله و میزان آسیب‌پذیری آنها را شناخت. می‌توان گفت که ساختمانهای شهری با توجه به فراوانی زیاد آنها و همچنین به علت جمعیت انسانی بسیاری که در آنها سکونت یافته، مهم‌ترین اجزای در معرض زلزله در شهرها به حساب می‌آیند. از این رو، مطالعه گونه‌های مختلف ساختمانی موجود در ایران و ارزیابی آسیب‌پذیری هر کدام از آنها اهمیت بسیار بالایی در فرآیند ارزیابی ریسک لرزه‌ای دارد. لذا در پژوهش حاضر در ابتدا، با نگاهی به مطالعات مرتبط انجام شده در ایران و جهان و بررسی الگوی دسته‌بندی به کار رفته در هر یک از آنها و با توجه به نظر متخصصین همکار در طرح کلان پژوهشگاه با عنوان "پروژه ملی منحنی شکنندگی"، یک گونه‌شناسی جامع برای ساختمانهای شهری و روستایی موجود در ایران ارائه شده است. در گونه‌شناسی ارائه شده ساختمانهای متداول در کشور بر اساس نوع مصالح، سیستم باربر جانبی، ارتفاع و کیفیت ساخت به ۳۵ دسته تقسیم شده‌اند. از طرفی به علت تفاوت بین آیین‌نامه‌های طراحی، شرایط ساخت و ساز محلی و مصالح ساخت، همچنین نداشتن مدل‌ها و توابع شکنندگی و آسیب‌پذیری لرزه‌ای بومی جامع برای همه ساختمانهای متداول در کشور، ضرورت توسعه توابع شکنندگی و آسیب‌پذیری برای ساختمانهای متداول در ایران احساس می‌شود. لذا در این پژوهش، پس از ارائه یک گونه‌شناسی جامع برای ساختمانهای متداول در ایران، به توسعه توابع شکنندگی برای هرگونه ساختمانی پرداخته شده است. در این پژوهش، جهت توسعه توابع شکنندگی از روش ارزیابی خسارت بر مبنای جابه‌جایی (DBELA) استفاده شده است. بنابراین در ابتدا، با انجام مطالعات گسترده بر روی همهی تحقیقات پیشین صورت گرفته در کشور، منحنی‌های پوش‌آور از این مطالعات جمع‌آوری گردیده و مشخصات دینامیکی و سازه‌ای موردنیاز برای هرگونه ساختمانی از آنها اقتباس گردیده است. در ادامه، از این مشخصات دینامیکی و سازه‌ای جهت توسعه

منحنی‌های ظرفیت عمومی برای هر گونه ساختمانی استفاده شده است. در مرحله بعد بانک جامعی از رکوردهای زلزله انتخاب شده است و با استفاده از این بانک جامع رکورد، تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی (NLTHA) بر روی منحنی‌های ظرفیت عمومی برای هر گونه ساختمانی انجام شده و پاسخ‌های سازه‌ای برای هر گونه ساختمانی محاسبه شده‌اند. در نهایت، بیش از ۳۰۰ تابع شکنندگی با استفاده از آنالیز کلود (جلایر و همکاران ۲۰۱۵) برای گونه‌های ساختمانی متداول در ایران توسعه داده شده است. در مرحله آخر نیز با انجام مقایسه‌ای، نشان داده شده است که توابع شکنندگی توسعه داده شده در این پژوهش، با داده‌های خرابی حاصل از وقوع زلزله‌های پیشین در ایران مطابقت خوبی دارند. از توابع شکنندگی توسعه داده شده، می‌توان در مطالعات ارزیابی ریسک لرزه‌ای کشور، استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: ریسک لرزه‌ای، گونه‌شناسی، توابع شکنندگی، ارزیابی آسیب‌پذیری

Vulnerability Study of Gas Transmission Pipelines Subjected to Landslides

Akbar Vasseghi

Associate Professor, Structural Engineering Research Center
vasseghi@iiees.ac.ir

Ebrahim Haghshenas, Soheil Hemmati

Natural gas transmission pipelines have a vital role in human life, and thus they are classified as lifelines. These lines are susceptible to failures when they cross potential landslide regions. Such failures have substantial economic and environmental consequences and usually result in significant service interruptions. Since landslides in Iran are classified as very high-risk natural hazards, which have caused catastrophic damages in recent years, and also the extensive network of gas pipelines in this country, the possibility of damage to gas pipelines due to landslides is inevitable. During a landslide, the active length of the pipe is highly stressed, and it is prone to failure. The vulnerability of the gas transmission lines in areas prone to landslides should be investigated according to the influential factors, and also, the length of the pipeline affected by the landslide is unknown. The active length is considered a protected length, and in order to reduce the risk of pipe rupture, the construction of bents, joints, and equipment should be avoided within this length. Thus, an accurate estimate of this length is essential in the design process. This research aims to investigate the vulnerability of gas transmission pipelines in landslide-prone areas, provide fragility curves based on landslide displacement, and suggest solutions to increase pipelines' reliability.

Therefore, nonlinear static analyses were carried out to evaluate the response of the pipelines under landslide-induced ground displacements. The finite element analyses are performed using the Ansys software platform. The pipe is modeled by nonlinear pipe elements, and the pipe-soil interaction is modeled by Winkler springs. Buried pipes with diameters of 12, 20, 30, and 48 inches under various internal pressure in two different soils are analyzed. The effects of pipe wall thickness and steel grade on the pipeline vulnerability were also evaluated.

The results of the analyses indicate that the anchor length increases with increasing pipe diameter. The soil properties also significantly affect the anchor length, but the internal pressure has only a marginal effect on the anchor length. The relevant equation of the anchor length provided by the PRCI guidelines is about 35% less than that obtained from the analyses. A more accurate equation for the anchor length is proposed in this study. Moreover, based on the results of the analyses, landslide fragility functions were developed for the pipelines at the operation (OP) and pressure integrity (PI)

مطالعه آسیب‌پذیری خطوط لوله انتقال گاز در برابر زمین‌لغزش

اکبر واسعی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه vasseghi@iiees.ac.ir

ابراهیم حق‌شناس، سهیل همتی

در صورت رخداد زمین‌لغزش در محل عبور خطوط انتقال گاز، تغییر شکل لوله و خاک اطراف آن اجتناب‌ناپذیر بوده و بررسی آسیب‌پذیری خطوط انتقال گاز در مناطق مستعد زمین‌لغزش با در نظرگیری پارامترهای تأثیرگذار بر آن، ضرورت می‌یابد. علاوه بر این، مشخص شدن احتمال آسیب به خطوط لوله‌ی انتقال گاز در مناطق مستعد لغزش به جهت برنامه‌ریزی برای کاهش خطرات احتمالی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از اجرای این تحقیق، بررسی آسیب‌پذیری خطوط لوله انتقال گاز در نواحی مستعد زمین‌لغزش و ارائه‌ی منحنی‌های شکنندگی بر اساس جابه‌جایی زمین‌لغزش و پیشنهاد راهکارهایی جهت کاهش ریسک شکست خط لوله عبوری از مناطق مستعد زمین‌لغزش می‌باشد.

بدین منظور، با در نظر گرفتن خط لوله‌ای به طول ۱۵۰۰ متر، علاوه بر بررسی طولی از خط لوله‌ی انتقال گاز که تحت تأثیر زمین‌لغزش قرار می‌گیرد (طول فعال)، مطالعه پارامتریک جامعی نیز با تغییر پارامترهای قطر، ضخامت جداره‌ی لوله، مقاومت فولاد لوله، فشار داخلی لوله، جنس خاک، ابعاد و میزان جابه‌جایی توده‌ی لغزشی برای بررسی احتمال آسیب به خط لوله‌ی انتقال گاز انجام شده است. این مطالعه با بکارگیری روش اجزای محدود و انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی به کمک نرم‌افزار ANSYS انجام شده است. روش مدلسازی نیز استفاده از مدل تیر و فنر وینکلر بوده که خط لوله به صورت تیر تیموشنکو و خاک نیز به صورت فنرهای غیرخطی در راستاهای محوری، جانبی و قائم در نظر گرفته شده است. صحت مدل ساخته شده با نتایج بدست آمده از زمین‌لغزشی واقعی و مطالعه‌ی آزمایشگاهی سنجیده شده و به کمک نتایج بدست آمده از تحلیل و محاسبات عددی، طول فعال مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه، توابع شکنندگی در دو سطح عملکردی سرویس‌دهی و عدم نشت گاز که به ترتیب معادل کرنش کششی طولی ۲ درصد و ۴ درصد هستند، در برابر جابه‌جایی زمین‌لغزش توسعه داده شده‌اند. در نهایت، اثر پارامترهای مختلف در آسیب‌پذیری خط لوله بررسی و منحنی‌های شکنندگی بر اساس جابه‌جایی ماندگار زمین در هر دو سطح عملکردی ترسیم گردیده است. در آخرین گام نیز راهکارهایی جهت کاهش ریسک شکست خط لوله در برابر زمین‌لغزش ارائه شده است.

نتایج نشان می‌دهد که طول فعال خط لوله بر اساس آئین‌نامه‌های طراحی، به دلیل تخمین کم نیروی محوری ایجاد شده در مقطع لوله، ۳۵٪ کمتر از طول فعال حاصل از تحلیل بوده و رابطه جایگزینی برای آن پیشنهاد گردیده است. همچنین نتایج تحلیل شکنندگی حاکی از آن است که با افزایش قطر لوله، آسیب‌پذیری خط لوله کاهش یافته و با افزایش عرض زمین‌لغزش احتمال آسیب خط لوله افزایش می‌یابد. این افزایش احتمال آسیب برای لوله‌های مدفون در خاک نرم در هر قطر لوله تا عرض مشخصی از زمین‌لغزش ادامه داشته و سپس تغییری نمی‌کند. آسیب‌پذیری

limit states. The results indicate that pipeline vulnerability decreases significantly as the pipe diameter increases. For a specific pipe diameter laid in soft soil, the vulnerability increases with increasing landslide width up to a threshold width where the effect of the landslide width becomes negligible. Landslide width does not have significant effect on pipelines laid in hard soil. In addition, the pipeline in hard soil is more vulnerable than in soft soil. Moreover, internal pressure is found to have no significant effect on the vulnerability of various pipelines. The results also show that the risk of pipeline failure can be reduced significantly by increasing the pipe wall thickness and using a higher-grade steel material in the potential landslide regions.

Keywords: Gas transmission pipelines, Landslide, Active length, Vulnerability, Fragility curve

خط لوله مدفون در خاک نرم به طور میانگین ۶۰ درصد کمتر از خاک سخت می‌باشد. فشار داخل لوله تأثیر زیادی بر آسیب‌پذیری خطوط ندارد. اما افزایش فشار داخلی موجب کاهش اندک آسیب‌پذیری می‌گردد. افزایش ضخامت جداره و مقاومت فولاد نیز موجب کاهش چشمگیر آسیب‌پذیری می‌شود.

واژه‌های کلیدی: خطوط انتقال گاز، زمین‌لغزش، طول فعال، آسیب‌پذیری، منحنی شکنندگی

Improve the Seismic Behavior of Connections in Pre-fabricated Concrete Structures with Side Plates

Mohammad Ghasem Vetr

Assistant Professor, Structural Engineering Research Center
vetr@iiees.ac.ir

In order to improve the performance of welded bending joints after the Northridge earthquake, various joints were proposed. The Side Plate Connection (SPC) system is one of these technologies introduced by the Sideplate Systems Inc. company (1998). By using the new geometry, the direct connection of the beam to the column is eliminated, and there is no more concern about the brittleness of the penetration weld of the beam-to-column connection and the weakness of the joint panel zone that occurs in common connections. The side plate connection is more suitable than its other competitors, namely the other ductile connections proposed after the Northridge earthquake, both in terms of behavior and cost of construction, Figures (1 and 2).

Connection idea with full-depth SPC side plates was presented in 1998 by Houghton, D.L.. In this connection, the plastic joint of the beam is formed in a place far from the column face. Due to the geometry of the connection, many problems such as the tearing off of the column flange, the triaxial stresses of the beam-to-column flanges welding and the buckling of the panel zone area are solved. This connection causes the plastic joint to move away from the joint, and the structure that has this connection must have the ability endure the nonlinear displacement resulting from lateral forces, which is provided under a parameter called plasticity. Due to the high ductility of the connection with the side plates, this connection is able to provide a behavior factor greater than 8 for the structure. Also, this connection will be able to withstand the drift of the AISC.

The most important issue in the pre-fabricated industry, especially in earthquake-prone areas, is the design and construction of connections that withstand various forces and movements caused by vertical loads, cyclic loads, forces caused by drop, shrinkage and creep, temperature changes and periodic lateral forces such as wind and earthquakes, Figures (3 and 4).

The purpose of this research is to use various types of steel joints with SPC side plates in the connection of prefabricated concrete beams and columns, which should be designed in such a way that plastic concrete joints are formed only at the ends of the concrete beams of seismic, Figures (3 and 4).

Keywords: Concrete Structures, Seismic behavior, Connections, Pre-fabricated, Side plates

بهبود رفتار لرزه‌ای اتصالات سازه‌های بتنی پیش ساخته با صفحات کناری

محمد قاسم وتر

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه vetr@iiees.ac.ir

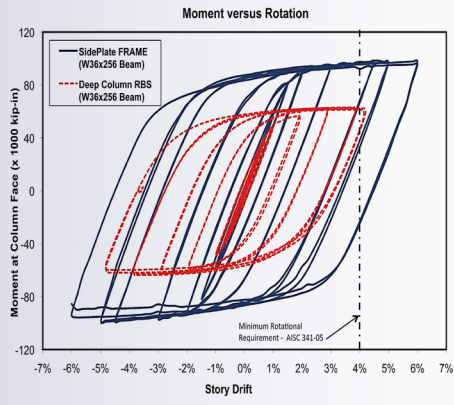
به منظور بهبود عملکرد اتصالات خمشی جوشی بعد از زلزله نورثریج، اتصالات مختلفی پیشنهاد شد. سیستم اتصال صفحات کناری (Side Plates Connection (SPC یکی از این فناوریهاست که توسط شرکت (Sideplate Systems Inc.) معرفی شده است. با استفاده از هندسه جدید، اتصال مستقیم تیر به ستون حذف می‌شود و دیگر نگرانی از بابت تردشکنی جوش نفوذی اتصال بال تیر به ستون و ضعف چشمه اتصال که در اتصالات رایج به وجود می‌آید، وجود ندارد. اتصال صفحه کناری نسبت به رقبای دیگر خود، یعنی اتصالات شکل‌پذیر دیگری که پس از زلزله نورثریج پیشنهاد شدند، هم به لحاظ رفتار و هم به لحاظ هزینه ساخت، مناسب‌تر است.

ایده اتصال با صفحات کناری SPC تمام عمق، توسط Houghton, D.L. در سال ۱۹۹۸ ارائه شد. در این اتصال، مفصل پلاستیک تیر در محلی دور از بر ستون به وجود می‌آید. با توجه به هندسه اتصال، مشکلات زیادی از جمله کنده شدن بال ستون، تنش‌های سه‌محوره جوش بال تیر به بال ستون و کمانش ناحیه پانلی برطرف می‌گردد، شکل‌های (۱ و ۲). این اتصال باعث دور شدن مفصل پلاستیک از محل اتصال می‌شود و سازه‌ای که دارای این اتصال می‌باشد، باید توانایی تغییر شکل‌های حاصل از نیروهای جانبی را داشته باشد که این توانایی تحت پارامتری به عنوان شکل‌پذیری تأمین می‌شود. با توجه به شکل‌پذیری بالای اتصال با صفحات کناری، این اتصال قادر می‌باشد ضریب رفتاری بزرگتر از ۸ را برای سازه فراهم نماید. همچنین این اتصال قادر خواهد بود میزان دررفت طبقات تا ۷ درصد را تحمل نماید که میزان دررفت مورد نیاز طبق AISC، برابر ۴ درصد می‌باشد.

مهم‌ترین مسأله در صنعت پیش‌ساختگی خصوصاً در مناطق زلزله‌خیز، طراحی و ساخت اتصالاتی است که در برابر نیروها و حرکات مختلفی که توسط بارهای قائم، بارهای متناوب، نیروهای ناشی از افت، انقباض و خزش، تغییرات درجه حرارت و نیروهای جانبی دوره‌ای مانند باد و زلزله اعمال می‌شود، مقاومت کند.

هدف از انجام این پژوهش، استفاده از انواع اتصالات فولادی با صفحات کنار گذر SPC در اتصال تیر و ستونهای بتنی پیش‌ساخته می‌باشد که می‌بایست طوری طراحی شود که مفاصل پلاستیک بتنی فقط در انتهای تیرهای قابهای لرزه بر تشکیل شود، شکل‌های (۳ و ۴).

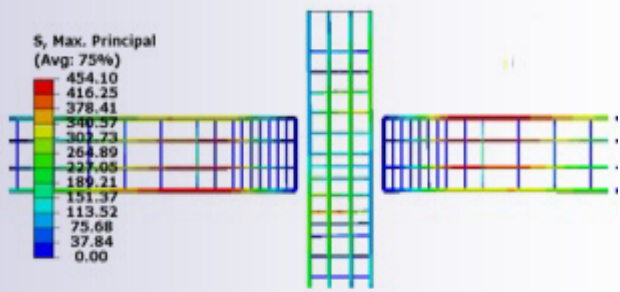
واژه‌های کلیدی: سازه‌های بتنی، رفتار لرزه‌ای، اتصالات، پیش‌ساخته، صفحات کناری



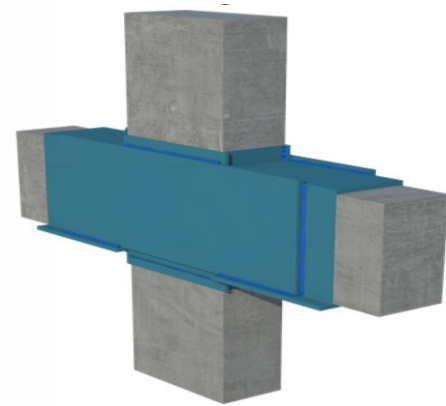
شکل (۲): مقایسه منحنی هیستریزس دو اتصال RBS و SPC



شکل (۱): اتصال با صفحات کناری SPC



توزیع ماکزیمم تنشهای کششی و فشاری در آرماتورهای طولی تیر در اتصالات تیر-ستون بتنی به کمک اتصال صفحات کنارگذر SPC-



شکل (۳ و ۴): طرح مفهومی ایده اتصال SPC در سازه‌های بتنی پیش ساخته