



Islamic Republic of Iran  
Ministry of Science, Research and Technology



# **Summary of Research Reports 2009 - 2013**



**International Institute of  
Earthquake Engineering and Seismology**

In the name of God

# Summary of Research Reports 2009-2013

**Editors:**

**Abbas Ali Tasnimi  
Yasamin O. Izadkhah  
Yaser Jafarian**



**International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES)**

Summary of Research Reports 2009 - 2013/ editors Abbas Ali Tasnimi, Yasamin O. Izadkhah, Yaser Jafarian	: عنوان و نام پدید آور
تهران: پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۹۳ = ۲۰۱۴ م.	: مشخصات نشر
۱۹۹ ص.: مصور، نقشه (بخشی رنگی)، نمودار (بخشی رنگی).	: مشخصات ظاهری
978-964-6490-51-2	: شابک
فیپا	: وضعیت فهرست‌نویسی
انگلیسی - فارسی.	: یادداشت
سامری...	: آوانویسی عنوان
پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله -- فعالیت‌های پژوهشی -- چکیده‌ها	: موضوع
تسنیمی، عباسعلی، ۱۳۳۰ -، ویراستار	: شناسه افزوده
Tasnimi, Abbas Ali	: شناسه افزوده
استوار ایزدخواه، یاسمین، ۱۳۴۴ -، ویراستار	: شناسه افزوده
O. Izadkhah, Yasamin	: شناسه افزوده
جعفریان، یاسر، ۱۳۵۹ -	: شناسه افزوده
Jafarian, Yaser	: شناسه افزوده
پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله	: شناسه افزوده
International Institute of Earthquake Engineering and Seismology	: شناسه افزوده
۵۳۷/۲ QE ۱۳۹۳ ۲س۹الف/	: رده‌بندی کنگره
۳۶۳/۳۴۹۵۰۹۵۵	: رده‌بندی دیویی
۳۴۷۸۶۲۳	: شماره کتابشناسی ملی

### Summary of Research Reports 2009-2013

**Editors:** A. A. Tasnimi, Y. O. Izadkhah, Y. Jafarian

**Design & Layout:** M. Salari

**First Edition:** Spring 2014

**Circulation:** 1000

**Publisher:** International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES)

**Lithography & Print:** Narvan



No. 21, Arghavan, North Dibaji, Dr. Lavassani St.

Tehran, Islamic Republic of Iran

Tel: + 98 21 22830830

Fax: + 98 21 22299479

Email: iiees@iiees.ac.ir

Printed in the Islamic Republic of Iran

All rights reserved. No part of this book may be reproduced, in any form or by any means, without permission from IIEES.

## Preface

The International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), affiliated to the Ministry of Science, Research and Technology (MSRT) of I.R. Iran, was established in November 1989, following the suggestion of 24<sup>th</sup> UNESCO General Conference and approval of Iranian government. According to its Constitution, IIEES is engaged in implementation of relevant researches and projects in different areas of seismology, earthquake engineering and disaster risk mitigation and management in order to reduce the potential impacts of earthquakes in the country and region. Promoting international scientific collaboration and conducting joint research projects with other countries (especially in the region) are among the main missions of IIEES. Accordingly, producing educational and scientific materials such as books, conference pamphlets and journals and distributing them to scientific institutions, experts and students, is an important goal of IIEES. Publication of a Persian magazine of “Seismology and Earthquake Engineering” since 1991 and the international “Journal of Seismology and Earthquake Engineering (JSEE)” since 1998 in English are among these activities.

IIEES as an international research center has also made wide and close cooperation with worldwide organizations and centers such as UNESCO and UNDP, as well as many other international scientific associations in the field of seismology and earthquake engineering including TWAS, FDSE, and ASCE. In addition, IIEES has also established joint research projects with some other universities and research centers in various countries such as China, France, Indonesia, Japan, Malaysia, Russia and Syria.

Organizing six successful International Conferences on Seismology and Earthquake Engineering (SEE1 to 6) since 1991, and joint workshops with cooperation of reputable universities are among other activities of IIEES. IIEES is now known as a reputable center having special position among international research centers in the world who work in the field of seismology and earthquake engineering.

This bulletin covers the extended abstracts of the main research projects carried out by IIEES during the last five years (2009-2013) in order to inform the research subjects related to seismology, earthquake engineering and disaster risk management in the country. It contains 101 research abstracts. I sincerely hope that this bulletin contributes to progress of disaster mitigation in Iran and neighboring countries.





**Abbas Ali Tasnimi**  
**Prof. in Structural Engineering**  
**IIEES President**  
**Tehran, I.R. Iran**





## Table of Contents

### Summary of Research Reports:

-  Seismology Research Center /1
-  Geotechnical Engineering Research Center /71
-  Structural Engineering Research Center /103
-  Risk Management Research Center /169



# Seismology Research Center







## Active Fault Studies in the Zanzan District

**Khaled Hessami-Azar**

Assistant Professor, Seismology Research Center  
hessami@iiees.ac.ir

**Hadi Tabassi, Shahryar Soleymani**

## مطالعه گسل‌های فعال استان زنجان

خالد حسامی آذر

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی  
hessami@iiees.ac.ir

هادی طبسی، شهریار سلیمانی

The Zanzan region is an area of intense deformation situated between two thrust belts of the Alborz to the north and the Zagros Mountains to the south. Offset geomorphic features along the major faults of the region suggest that the convergence between Arabia and Eurasia has been accommodated mainly through NW-trending right-lateral strike-slip faults in this region. These strike-slip faults appear to be the southeastern continuation of the North Tabriz fault and other right-lateral faults in SE Turkey.

This report uses geomorphic features to constrain active structural deformation at the Zanzan region, north-west-central Iran. Offset stream beds indicate right-lateral strike slip motion along the NW-trending Soltanieh, Mahneshan and Manjil fault zones. The fact that the WNW trending active sinistral Rudbar, Ipak, North Tehran, Moshā and Taleghan faults run sub-parallel to the active right-lateral strike slip faults suggests that shortening across the northwest part of central Iran is accommodated by eastward relative motion of several crustal wedges bounded by conjugate dextral and sinistral strike-slip fault systems. This scenario is very similar to the proposed westward motion of the west-central Alborz.

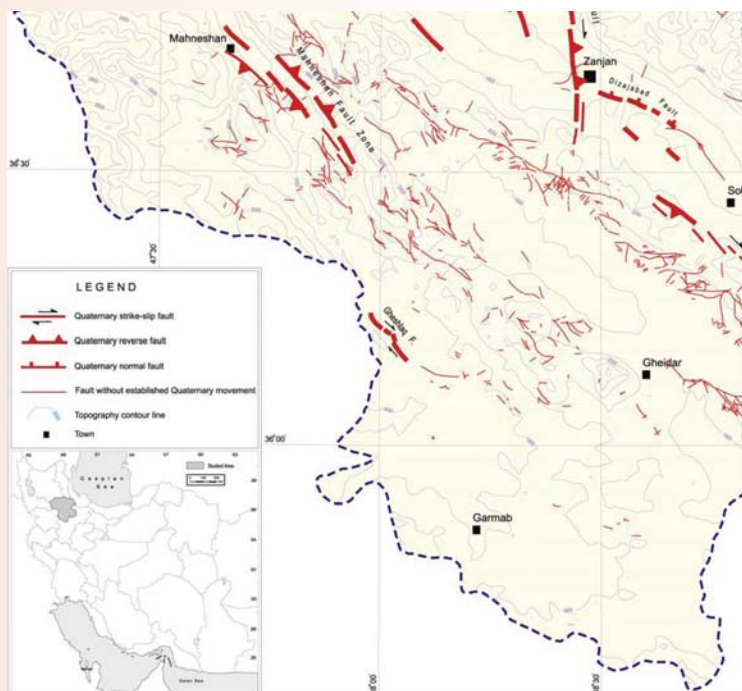
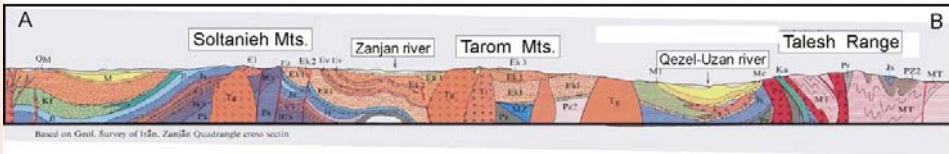
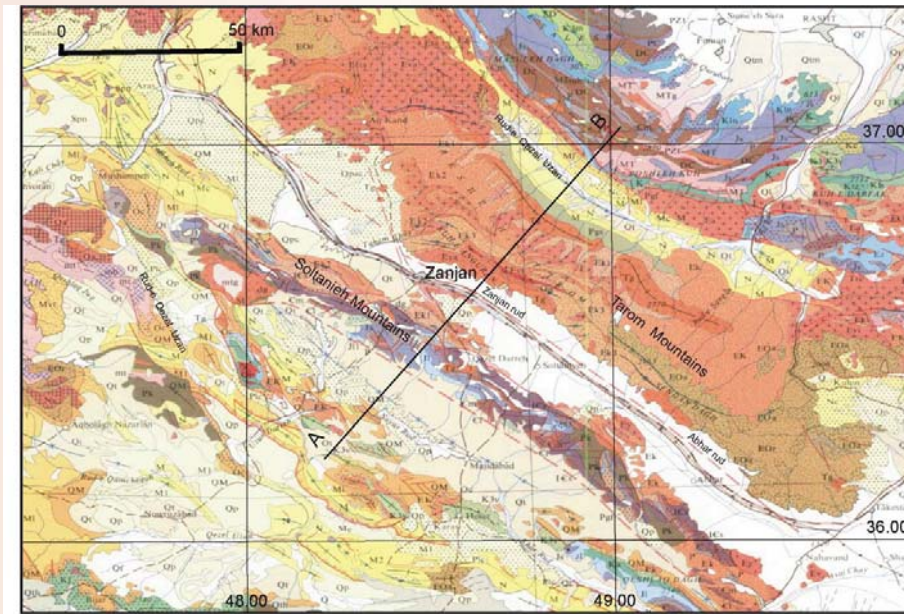
The existence of several active faults implies that this region contains an important seismic potential in spite of the fact that the Zanzan region has been seismically inactive during the last millennium.

**Keywords:** Active faults, Tectonics, Seismicity, Zanzan, Iran

ناحیه بشدت تغییر شکل یافته زنجان در بین دو کمربند چین خورده -رانده البرز در شمال و زاگرس در جنوب واقع است. جابه‌جایی عوارض ریخت‌شناختی در طول گسل‌های اصلی این ناحیه نشانگر آن است که همگرایی بین عربستان و اوراسیا عمدتاً توسط گسل‌های امتدادلغز راست‌گرد با روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق مستهلک گردیده است. همچنین به نظر می‌رسد این گسلها ادامه جنوب شرقی گسل شمال تبریز و دیگر گسل‌های امتدادلغز راست‌گرد در شمال غرب ایران و جنوب شرق ترکیه باشند.

در این گزارش، با استفاده از شواهد مورفولوژیکی، به تفسیر تغییر شکل فعال ساختاری در ناحیه زنجان می‌پردازیم. جابه‌جایی منظم آبراهه‌ها در طول گسل‌های سلطانیه، ماهنشان و منجیل با راستای شمال‌غرب- جنوب شرق بر حرکات امتدادلغز راست‌گرد در طول آنها دلالت دارد. از آنجا که گسل‌های امتدادلغز چپ‌گرد نظیر رودبار، ایپک، شمال تهران، مشا و طالقان با راستای متمایل به شرقی- غربی با گسل‌های امتدادلغز راست‌گرد مذکور تشکیل گوه‌های ساختاری متعددی می‌دهند، به نظر می‌رسد کوتاه‌شدگی در این ناحیه با حرکات جانبی بلوک‌های ساختاری همراه باشد. سازوکارهای مشابه با آنچه در اینجا ذکر شد، توسط محققین پیشین برای بخش‌های غربی البرز مرکزی ارائه گردیده است. وجود گسل‌های فعال در ناحیه زنجان بیانگر آن است که علی‌رغم عدم مشاهده زمین‌لرزه‌های فراوان در سده‌های اخیر، این منطقه از پتانسیل لرزه‌خیزی نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** گسل فعال، تکتونیک، لرزه‌خیزی، زنجان، ایران



Geological setting and active faults of Zanjan province

## Seismic Hazard Analysis in the Tabas Region

Mehdi Zare

Associate Professor, Seismology Research Center

mzare@iiees.ac.ir

Mohammad Aryamanesh

In order to recognize the earthquake source zones in Tabas area, first the ETM landsat satellite images were processed. The combination of ETM landsat satellite bands 3, 2 and 5 was prepared as a proper combination in order to assess the neotectonics problems via morphotectonic indications. Structural lineaments of satellite images were extracted in manual and automatic ways, and finally with the combination of the obtained results, digital structural lineaments map of the region was prepared. Digital aeromagnetic data was also processed to prepare the magnetic lineaments map. Then, the morphotectonic indexes of the region were evaluated after the calculation of the quantitative indexes and finally 11 active fronts were recognized and classified. The digital map of the location for each active front was prepared separately. Then, the results of the interpretation of satellite images, magnetic data, digital elevation model, morphotectonic indications, such as the drainage pattern, meanders, alluvial fans, explorations trenches, and some other field works and seismic data were assembled in GIS. The geographical condition of 57 new faults was mapped afterward. Considering the above-mentioned method, the geographical condition of the active folds was also classified. The seismicity of the area was studied according to the instrumental and historical seismic data, the identified faults and the folds. Finally, seismic zones of Tabas area were identified on the basis of mentioned criteria (structural and magnetic lineations, quantitative morphotectonic indexes, active faults and folds, and the location of instrumental and historical earthquakes) as well as integrating all these digital layers in geographic information system. The results show that the active tectonic zone of Tabas is not limited to the fractured zone by 1978 Tabas earthquake, but all Tabas plain is active. It can be stated that from the tectonic point of view, east parts are more active than the west parts of the plain. The results have also shown that in addition to several active faults in this zone, the active folds play an important role on the seismicity of the area. Then, 18 seismic sources zones were recognized as the most important seismic areas which have been applied to analysis of earthquake hazard. At last, seismic hazard map of the study area was mapped.

## تحلیل خطر زمین لرزه در منطقه طبس

مهدي زارع

دانشيار پژوهشكده زلزله شناسي mzare@iiees.ac.ir

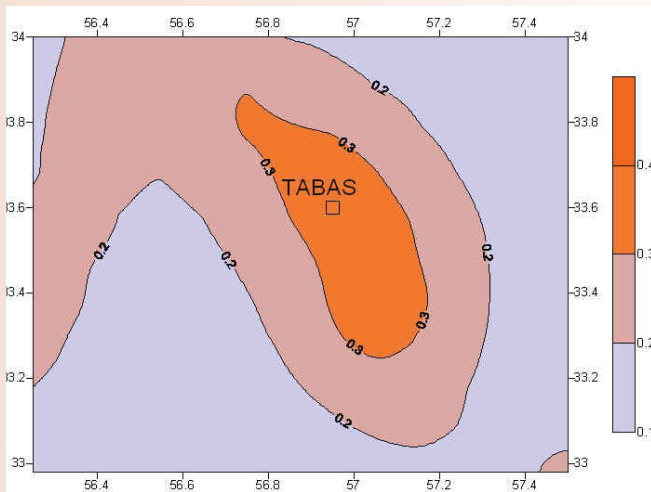
محمد آريامنش

گستره مورد مطالعه در منطقه طبس در شرق ايران و شمال شرق استان يزد به مختصات ۵۶ درجه و ۱۵ دقيقه تا ۵۷ درجه و ۳۰ دقيقه طول شرقی و ۳۳ درجه تا ۳۴ درجه عرض شمالی واقع شده است. به منظور تحليل خطر زمین لرزه در سايت مورد مطالعه، ابتدا تصاویر ماهواره ای لندست ETM پردازش و با ترکیب باندهای ۳، ۲ و ۵ ماهواره لندست ETM خطواره‌های از تصاویر ماهواره‌ای به دو روش خودکار و دستی استخراج گردید. داده‌های مغناطیسی هوایی نیز جهت تهیه نقشه خطواره مغناطیسی مورد پردازش قرار گرفت. شاخصه‌ای ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه ارزیابی و ضمن محاسبه کمی برخی شاخص‌ها، ۱۱ جبهه فعال شناسایی و رده‌بندی شده‌اند. سپس نتایج حاصل از تغییر تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های مغناطیسی، مدل رقومی ارتفاع، شاخصه‌ای ریخت‌شناسی از جمله الگوی زهکشی رودخانه‌ها، مئاندرها، مخروط افکنه‌ها، حفر ترانشه و سایر برداشت‌های صحرایی و داده‌های لرزه‌ای با همدیگر در محیط GIS تلفیق و موقعیت جغرافیایی ۵۷ گسل جدید به صورت رقومی ترسیم و جدول پارامترهای فیزیکی آنها ارائه شد. وضعیت لرزه‌خیزی منطقه بر اساس داده‌های لرزه‌ای تاریخی و دستگامی مطالعه و موقعیت گسلها و چینهای شناسایی شده با موقعیت زمین‌لرزه‌های گزارش شده کنترل شد. نهایتاً بر اساس معیارهای نامبرده شده و تلفیق لایه‌های رقومی مذکور در محیط GIS پهنه‌های لرزه‌زا در منطقه طبس تعریف شدند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که پهنه زمین ساخت فعال طبس فقط به پهنه گسلیده زمین‌لرزه سال ۱۳۵۷ محدود نمی‌شود و سراسر دشت طبس از نظر زمین ساختی فعال می‌باشد. ولی بخش شرقی طبس نسبت به بخش غربی آن، فعالیت بیشتری از خود نشان داده است. همچنین نتایج بدست آمده حاکی از آن است که علاوه بر وجود گسلهای فعال متعدد در این پهنه، چینهای فعال نقش مهمی در فعالیت‌های زمین ساختی منطقه دارند. با توجه به مطالعات انجام شده تعداد ۱۸ ناحیه لرزه‌زا به عنوان چشمه‌های لرزه‌ای تعریف شدند که در ارزیابی تحلیل خطر زمین‌لرزه در منطقه طبس بهره‌برداری و با توجه به پهنه‌های تعریف شده نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه برای منطقه طبس تهیه شد.

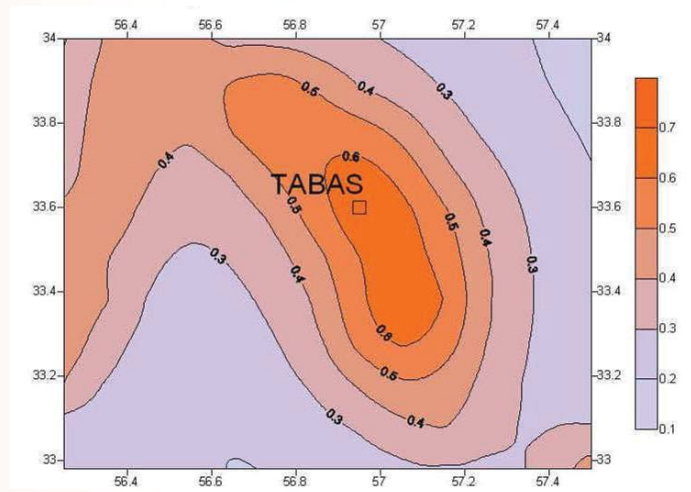
واژه‌های کلیدی: طبس، پهنه‌بندی، چشمه‌های لرزه‌زا، تحلیل خطر، روابط کاهندگی



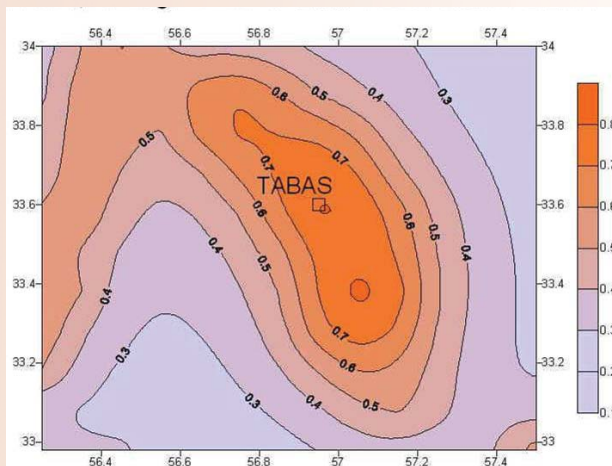
**Keywords:** Tabas, Zoning, Seismic sources, Seismic hazard, Attenuation relationships



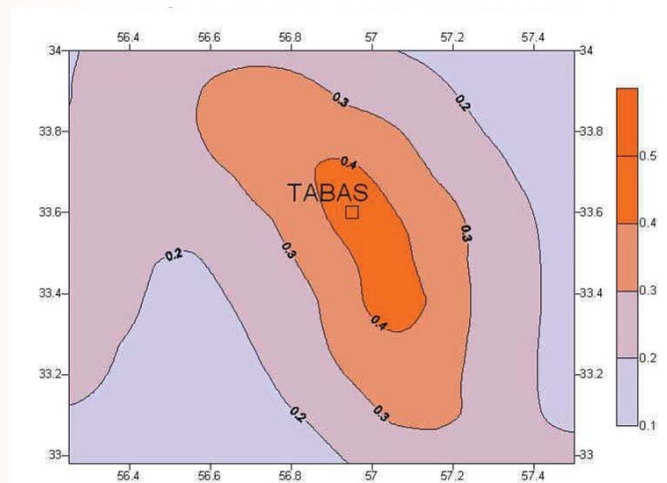
PHSA, Average PGA for 975 Years Return Period-V



PHSA, Average PGA for 975 Years Return Period-H



PHSA, Average PGA for 2475 Years Return Period-H



PHSA, Average PGA for 2475 Years Return Period-V

## Hidden Faults Detection Using Electrical Tomography

Gholam Javan Doloei

Assistant Professor, Seismology Research Center  
javandoloei@iiees.ac.ir

Asghar Azadi, Khaled Hessami- Azar

Electrical noises have important role in the accuracy of geoelectrics data. These noises can be originated from geology conditions, self-potential, induction polarization, power electrical cable, and underground railway, pumping engines and different electromagnetic fields. In the first step, most noises have been identified and the effects of important noises have been investigated which can be reduced using different field array and processing data. One of the most important ways to decrease the gain of noise is recording of electric data in digital way. For considering this subject, electrical data have been measured in digital waveforms in different part of Iran for the first time. Then, we applied different filtering tools to increase gain of signal to noise ratio. The results of this research showed that using electrical waveforms leads the precise of measurements to increase from 1mv (in analogue measurements) to 0.01 mv with our new designed facilities during the process of this study.

The NW-SE trending, Tus fault is one of the active faults in northeast of Iran. Geomorphologic evidences indicate that this fault is active and passes through Mashhad city from near Tus town. Since the population and pilgrim dwell in this city are high, the study of Tus fault is of significant importance. Hence, a new investigation have been undertaken to evaluate the hazardous potential of this fault. This study includes analysis of integrated geophysical surveys. After revising and correlating the previous studies, supplementary study with electrical resistivity method has been done in the area along the Tus fault. Results show that this fault is a reverse fault and has a dip direction to southwest. The activity of this fault during quaternary time is evident from displaced alluvial deposits. Due to these findings and results, it is necessary to prepare a suitable legality order for limiting construction near this fault. In addition, the existing buildings are recommended to be retrofitted as well.

**Keywords:** Geoelectrical waveform data, Integrated geophysical survey, Iran, Tus fault

## روش توموگرافی مقاومت سنجی الکتریکی برای شناسایی گسل‌های پوشیده

غلام جوان دولویی

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی [javandoloei@iiees.ac.ir](mailto:javandoloei@iiees.ac.ir)

اصغر آزادی، خالد حسامی آذر

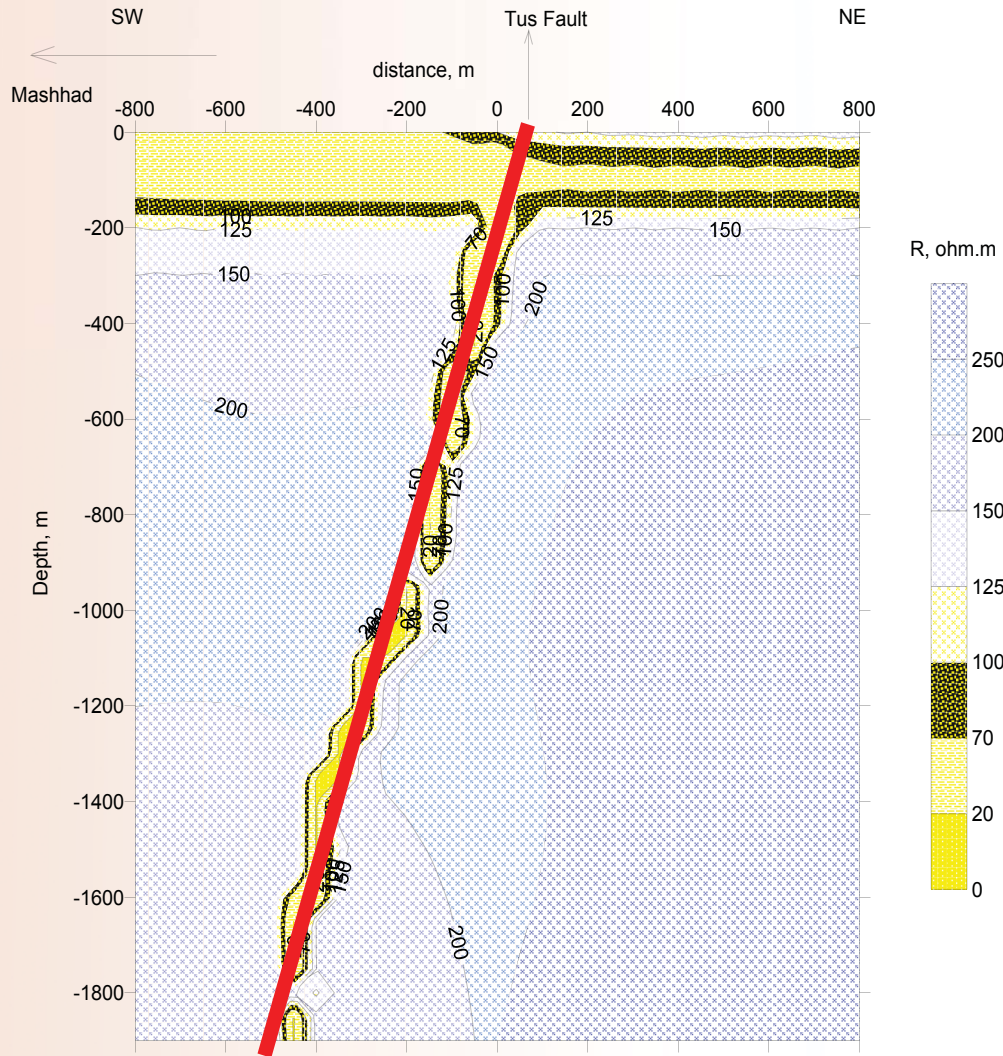
یکی از راه‌های تعیین هندسه گسل‌ها استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی می‌باشد. با تلفیق نتایج روش‌های ژئوفیزیکی و اطلاعات لرزه‌زمین‌ساختی و زمین‌شناسی، می‌توان توان لرزه‌زایی گسل‌ها را مورد ارزیابی قرار داد. از میان روش‌های ژئوفیزیکی، ژئوالکتریک نسبت به دیگر روش‌ها ارزان‌تر و در عین حال دارای تنوع بیشتری در آرایش برداشت می‌باشد. هدف از این پژوهش توسعه و بهبود روش ژئوالکتریک جهت تعیین هندسه گسل‌ها مخصوصاً گسل‌های پوشیده است.

این پژوهش شامل سه مرحله می‌باشد؛ مرحله اول ساخت و طراحی فرستنده و گیرنده جریان الکتریکی و مرحله دوم مطالعه نوفه‌های الکتریکی و روش‌های پردازش نگاشت رقمی سیگنال میدان الکتریکی را شامل می‌شود. در مرحله سوم، استفاده از این تکنیک بر روی دو گسل مهم در نقاط مختلف کشور و مقایسه و تلفیق نتایج با دیگر روش‌های ژئوفیزیکی انجام شده است.

این تکنیک بر روی دو گسل مهم (توس در شمال مشهد و رازک در شمال شرق بندر مقام) مورد استفاده قرار گرفت و برای اطمینان بیشتر، نتایج بدست آمده با نتایج سایر روش‌های ژئوفیزیکی (شامل لرزه‌نگاری، مغناطیس سنجی و مشاهدات زمین‌شناسی) مقایسه گردید که مورد تأیید قرار گرفت.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که روش ژئوالکتریک با توجه به تنوع در آرایش و ارزیابی آن می‌تواند مورد توجه ویژه قرار گیرد و نقش مهمی در تعیین مشخصات گسل‌های پوشیده مخصوصاً تعیین امتداد گسل‌های پوشیده در مناطق مسکونی که امکان انجام اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی وجود ندارد، می‌تواند ایفا نماید. علاوه بر آن تجهیزات طراحی و ساخته شده در این پژوهش می‌توانند سیگنال‌های میدان الکتریکی زمین را به صورت پیوسته و رقمی ثبت نمایند که این امر زمینه لازم برای مطالعه تغییرات میدان الکتریکی زمین در راستای مطالعه پیش‌نشانه‌های زمین‌لرزه‌های بزرگ محتمل آینده را فراهم نموده است.

**واژه‌های کلیدی:** توموگرافی الکتریکی، الکتروگراف، گسل‌های پوشیده، نویز الکتریکی، گسل توس



The final result of the TUS fault's geometry in the North of Mashhad. Resolution of fault detection down to 2km with dip direction towards south-west indicates the reliability of the designed equipment in present research.

## Strong Ground Motion Modeling Based on SH-wave Analysis and Green Function for Silakhor, Dahoe-ye-Zarand and Firoozabad-Kojoor

**Hoessein Hamzeloo**

Associate Professor, Seismology Research Center  
hhamzehloo@iiees.ac.ir

**Mehrdad Mostafazadeh**

## مدلسازی جنبش نیرومند زمین بر اساس تجزیه و تحلیل موج SH و تابع گرین برای زمین لرزه‌های سیلاخور، داهوئیه زرنده و فیروزآباد کجور

**حسین حمزه‌لو**

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی  
hhamzehloo@iiees.ac.ir

**مهداد مصطفی‌زاده**

The strong ground motion is the result of convolution of source, path and site effects at recording station. One of the simulation methods, which consider the effects of source, path and site, is the Empirical Green's Function (EGF) method. In order to estimate the source parameters and focal mechanism, the hybrid method of SHE-waves and EGF has been introduced. We considered SH-waves, because they are minimally affected by the crustal heterogeneities. Moreover, corrections for mode conversion at the free surface for SH-waves were not necessary and therefore, a full space representation for the earthquake source region could be adopted. The new hybrid method has been applied on foreshock, mainshock, and aftershocks of Dahoe-ye-Zarand, Firozabad-Kojoor, and Silakhor earthquakes considering Brune model, similarity law and EGF. Comparing the observed and simulated strong ground motion for Dahoe-ye-Zarand earthquake, it was seen that the rupture started at a depth of 14 km and propagated unilaterally from east to west. The near field estimates of the strike, dip and rake of the causative fault of the Dahoe-ye-Zarand earthquake are  $100^\circ$ ,  $47^\circ$ , and  $226^\circ$ , respectively. Our estimated fault plane solutions suggested a reverse faulting mechanism. The estimated strike, dip and rake are  $110^\circ$ ,  $32^\circ$  and  $71^\circ$ , for Firozabad-Kojoor earthquake, respectively. The estimated fault plane solutions suggested a reverse faulting mechanism with minor left lateral component and rupture started at a depth of 29 km and propagated unilaterally from east to west. The comparison between observed and simulated records for Silakhor showed that rupture started at a depth of 14 km and propagated unilaterally from southeast toward northwest. The near field estimates of the strike, dip and rake of the causative fault of the Darb-e-Astaneh (Silakhor earthquake) were  $370^\circ$ ,  $70^\circ$ , and  $-166^\circ$ , respectively. The estimated fault plane solutions suggested a right lateral strike slip mechanism. Our analysis showed that the new hybrid method can estimate the source parameters suitably.

**Keywords:** Green's function, SHE-waves, Silakhor earthquake, Strong ground motion

جنبش نیرومند زمین حاصل از چشمه زمین لرزه هم‌امیخت اثرات چشمه، مسیر، سایت و دستگاه ثبت کننده می‌باشد. یکی از روش‌های شبیه سازی که اثرات چشمه، مسیر و سایت را به شکل مناسب در نظر می‌گیرد روش شبیه سازی با استفاده از تابع تجربی گرین می‌باشد. به منظور برآورد پارامترهای چشمه زمین لرزه و تعیین سازو کار، روش مرکب امواج SH و تابع تجربی گرین ترکیب گردید. در این پروژه پژوهشی برای اولین بار روش مرکب امواج SH و تابع تجربی گرین معرفی گردید. تحلیل داده‌ها مربوط به امواج SH می‌باشد زیرا این امواج کمتر تحت تاثیر ناهمگنی پوسته قرار می‌گیرند. به علاوه، استفاده از این امواج تصحیحات لازم برای تبدیل مد و دیگر ناهمگنی‌های نادیده گرفته شده در این مدل در نظر گرفته شده را به حداقل می‌رساند. دامنه طیف فوریه مولفه SH در ایستگاه‌های مختلف در بلندترین طول موج (کمترین فرکانس) سنجیده می‌گردد تا فرض نقطه ای بودن چشمه در نظر گرفته شود. با استفاده از مدل برون و تابع تجربی گرین و قانون تشابه روش مرکب SH و تابع تجربی گرین ارائه گردید. با توجه به ثبت شتابنگاشت‌های مربوط به پیش لرزه‌ها، زمین لرزه اصلی و پس لرزه‌ها زمین لرزه‌های داهوئیه زرنده، فیروزآباد کجور و درب آستانه سیلاخور روش فوق بر روی این زمین لرزه‌ها مورد آزمایش قرار گرفت.

از مقایسه شتابنگاشت‌های مشاهده و شبیه‌سازی شده برای این سه زمین لرزه با استفاده از روش مرکب معرفی شده مشخص گردید که برای زمین لرزه داهوئیه زرنده گسیختگی از شرق در عمق ۱۴ کیلومتری شروع و به صورت یک طرفه به سمت غرب انتشار یافته است. راستا، شیب و ریک گسل مسبب زمین لرزه به ترتیب  $47^\circ$ ،  $266^\circ$  و  $100^\circ$  درجه وسازوکار بدست آمده معکوس با مولفه کوچک راستالغز راستگرد می‌باشد. برای زمین لرزه فیروزآباد کجور گسیختگی از شرق در عمق ۲۹ کیلومتری شروع و به صورت یک طرفه به سمت غرب انتشار یافته است. راستا، شیب و ریک گسل زمین لرزه به ترتیب  $110^\circ$ ،  $32^\circ$  و  $71^\circ$  درجه و سازوکار بدست آمده معکوس با مولفه کوچک راستالغز چپگرد می‌باشد.

برای زمین لرزه درب آستانه سیلاخور گسیختگی از جنوب شرقی شروع در عمق ۱۴ کیلومتری شروع و به صورت یک طرفه به سمت شمال غرب انتشار یافته است. راستا، شیب و ریک گسل زمین لرزه به ترتیب  $370^\circ$ ،  $70^\circ$  و  $-166^\circ$  درجه و سازوکار بدست آمده راستالغز راستگرد می‌باشد. آنالیز داده‌های شتابنگاری با استفاده از روش مرکب معرفی شده نشان می‌دهد که روش ارائه شده به خوبی پارامترهای چشمه زمین لرزه را در حوزه نزدیک تخمین می‌زند.

**واژه‌های کلیدی:** تابع گرین، امواج SH، جنبش نیرومند زمین، زمین لرزه سیلاخور



## Active Tectonics Investigation of NE-Iran, Binalud and KopehDagh

Mohammad Reza Abbassi

Associate Professor, Seismology Research Center  
abbassi@iiees.ac.ir

## بررسی زمین ساخت فعال در شمال خاور ایران-بینالود و کپه داغ

محمد رضا عباسی

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی  
abbassi@iiees.ac.ir

The KopehDagh and Allah Dagh-Binalud (NE Iran) deformation domains, accommodate a large portion of the northward motion of central Iran with respect to Eurasian. This study focuses on several studies in order to gain information about kinematics, stress evolution and slip rates of faults in northeast Iran.

By inversion of fault data and focal mechanisms, evidences for drastic temporal changes in the state of stress was presented by inversion of both geologically and seismically determined fault slip vectors. The inversions of fault kinematics data revealed three distinct states of stress during the Plio-Quaternary (since ~5 Ma), whereas, each stress state has been spatially homogenous during corresponding activity time span. The paleostress field was characterized by a regional mean of  $N140 \pm 10^\circ E$  trending horizontal maximum stress axis, and a transpersonal tectonic regime. The modern state of stress showed two distinct strike-slip and compressional tectonic regimes with a regional mean of  $N030 \pm 15^\circ E$  trending horizontal  $\sigma_1$ .

The change from the paleostress to modern stress states has been occurred through an intermediate stress field characterized by a mean regional N trending  $\sigma_1$ .

The estimation of late Quaternary slip rates along two major strike-slip faults (The Baghan and Quchan faults) in this fault system, using in-situ produced  $^{36}Cl$  nuclide to date two offset alluvial fan surfaces. The cumulative offset revealed values of  $940 \pm 100$  and  $360 \pm 50$  m of the fan surfaces along the Baghan and Quchan faults, respectively. A total of 12 carbonate boulders from the fan surfaces were collected and dated. This yields minimum age of two episodes of fan abandonment at  $280 \pm 16$  (Baghan fault) and  $83 \pm 4$  ka (Quchan fault). Age estimates and measured offsets of the fans are consistent with respective maximum long-term fault slip rates of  $2.8 \pm 1$  and  $4.3 \pm 0.6$  mm/yr for the Baghan and Quchan faults over the Middle-Late Pleistocene.

At the regional scale, the sum of total cumulative strike-slip offsets is about 35-40 km, which implies a total maximum slip rate of  $9 \pm 2$  mm/yr in the Central-Eastern KopehDagh. This is resolved to average northward and westward slip rates of  $\sim 8$  and  $\sim 4$  mm/yr, for the western KopehDagh with respect to Eurasia.

کوه‌های کپه‌داغ و آلا‌داغ در شمال خاوری ایران بخش مهمی از دگرشکلی اعمال شده از سوی ایران مرکزی (با جهت کوتاه شدگی شمالی) را جذب می‌کند. در این پژوهش تمرکز مطالعات بر روی موضوع‌هایی چون سینماتیک، تحول میدان تنش و آهنگ جابه‌جایی گسلها قرار گرفته است. با کمک وارونه‌سازی داده‌های صفحه گسلی و ساز و کار کانونی چگونگی تغییرات وضعیت تنش مشخص شده است. داده‌های به دست آمده از داده‌های گسلی سه وضعیت تنش را در طی پلیوکواترنری (پنج میلیون سال پیش) آشکار کرد. این سه وضعیت شامل بیشینه تنش دیرینه با روند  $N140 \pm 10^\circ E$  در یک رژیم زمین‌ساختی ترافشارشی و وضعیت تنش عهد حاضر با جهت بیشینه  $ND30 \pm 15^\circ E$  در یک رژیم زمین‌ساختی ترافشارشی است. در تغییر تنش از وضعیت دیرینه به جهت کنونی جهت تنش بیشینه شمالی - جنوبی حاکم بوده است.

برآورد آهنگ جابه‌جایی بر روی گسلهای امتدادلغز باغان و قوچان که به باری پرتوهای کیهانی در سنگ‌های کربناتی ( $^{36}Cl$ ) انجام گرفت برای این کار جابه‌جایی‌های  $940 \pm 100$  و  $360 \pm 50$  متر که بر روی مخروطه افکنه‌های گسلهای یاد شده ثبت شده مورد بررسی قرار گرفتند. از ۱۲ نمونه قلوه‌های کربناتی داده‌های به دست آمده مؤید سن ترک شده مخروطه‌افکنه‌ای است که توسط گسل باغان باسن  $280 \pm 16$  هزار سال و مخروطه‌افکنه دیگری که توسط گسل قوچان بریده شده است سنی معادل  $83 \pm 4$  هزارسال نشان می‌دهد. با محاسبه این داده‌ها آهنگ جابه‌جایی در راستای گسل باغان  $2.8 \pm 1$  و گسل قوچان  $4.3 \pm 0.6$  میلی‌متر در سال به دست آمد.

در ابعاد منطقه‌ای جابه‌جایی تجمعی به صورت امتدادلغز نزدیک به ۳۵ تا ۴۰ کیلومتر به دست می‌آید که این مقدار باید در برگیرنده  $9 \pm 2$  میلی‌متر در برگیرنده جابه‌جایی همه گسلها در بخش مرکزی - خاوری کپه داغ باشد این اندازه با داده‌های به دست آمده از آهنگ جابه‌جایی گسلها به اندازه نزدیک به ۸ و ۴ میلی‌متر در سال به نسبت اوراسیا در همخوانی کامل قرار دارد.

**واژه‌های کلیدی:** نوزمین ساخت، ریخت‌زمین‌ساخت، کپه داغ، وضعیت تنش، مهاجرت جبهه کوهستان، گسلهای مشهد و نیشابور

**Keywords:** Neotectonics, Morphotectonics, KopehDagh, Stress state, Mountain front migration, Neyshabur fault, Mashhad fault

## A Study of Spectral Attenuation of Strong Ground Motions for Iran Using Empirical Method (1977-2004)

Mehdi Zare

Associate Professor, Seismology Research Center  
mzare@iiees.ac.ir

Hadi Ghassemi

The purpose of this study concentrates on the assessment of the attenuation functions of Iranian strong ground motion. Hence, the first step is to prepare a basic data source of response spectra and maximum ground parameters. In this study, the development of attenuation relations mainly refers to the evaluation of spectral accelerations in a vast range of frequencies or periods of vibration, obtained from the response spectra of modified ground motions. Furthermore, selecting a preliminary relationship among seismological parameters (eg. magnitude, distance,...), and accomplishing some regression analyses, a proper attenuation relation is suggested. The values of the residual standard deviations and their functions due to the seismological parameters such as magnitude and distance can be interpreted as the accidental and systematic errors, which may be quantitatively estimated by different statistical procedures. At the end, the effects of some other parameters, such as geotechnical site conditions on the design spectrum are investigated. It is evident from the achievements of this study that application of the mean spectral H/V ratio in assessment of the soil site class is vital, specifically in the regions which lack recorded shear wave velocity. In this regard and based on the optimized methods, the spectral attenuation parameters have been presented in this study for Iran.

**Keywords:** Attenuation, Spectral acceleration, Zagros, Central Iran, Site effect

## مطالعه کاهندگی طیفی جنبش شدید زمین در ایران براساس روش تجربی (۱۳۸۳-۱۳۵۶)

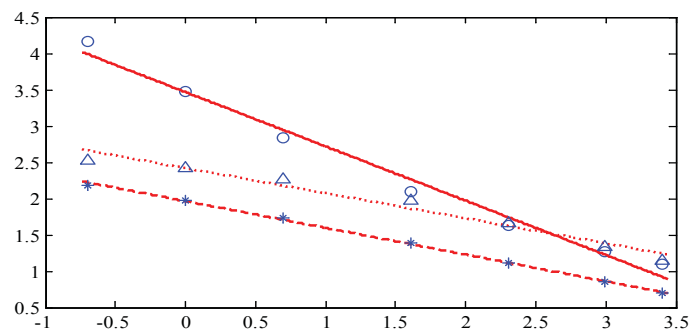
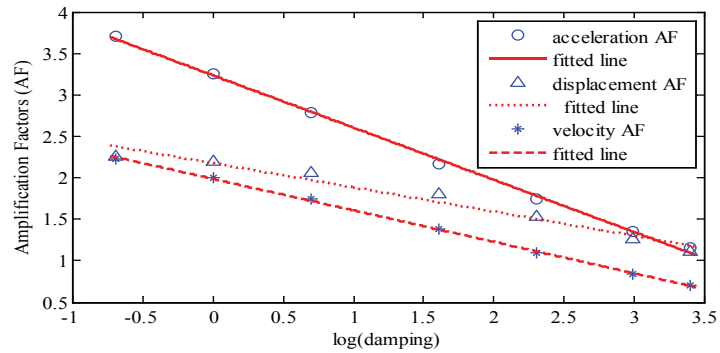
مهدی زارع

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی  
mzare@iiees.ac.ir

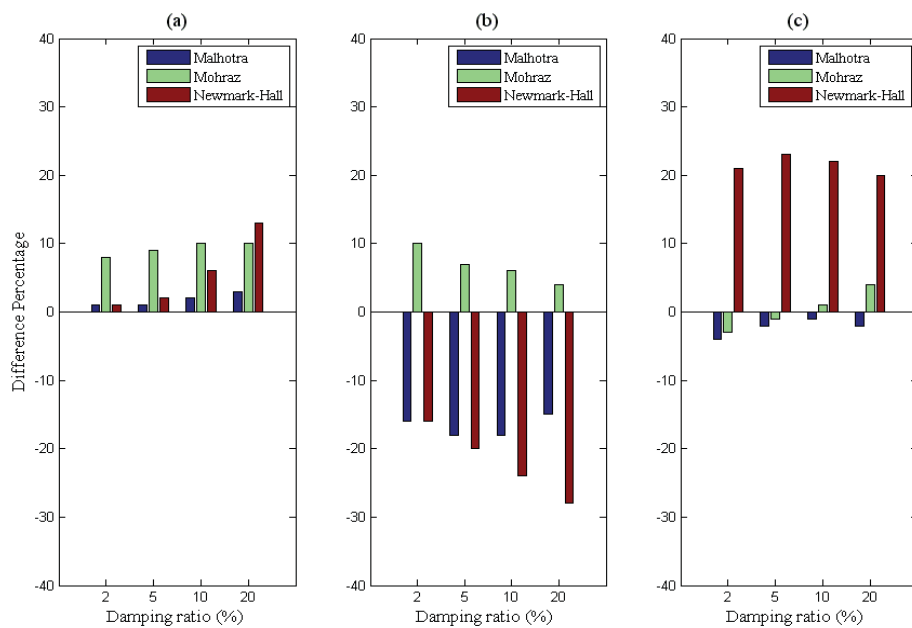
هادی قاسمی

هدف از انجام مطالعه در پیشرو، بررسی کاهندگی طیفی جنبش شدید زمین در ایران می‌باشد. بدین منظور در ابتدا می‌بایست بانک داده‌های جنبش نیرومند زمین جمع‌آوری و اطلاعات پایه مانند طیف پاسخ و مقادیر بیشینه حرکت از روی نگاشت‌های موجود، تعیین گردد. منظور از توسعه روابط کاهندگی طیفی پارامتر حرکت نیرومند زمین، برآورد مقادیر شتاب طیفی در فرکانس‌های مختلف بوده که از روی طیف‌های پاسخ بدست آمده برای رکوردهای تصحیح شده حرکت زمین، به دست می‌آید. سپس یک مدل اولیه در راستای بیان ارتباط بین پارامتر حرکت زمین با پارامترهای زلزله‌شناسی مانند بزرگا، فاصله، ... انتخاب و با انجام آنالیز رگرسیون، رابطه کاهندگی پیشنهاد می‌شود. مقدار انحراف از معیار باقیمانده و نیز رفتار آنها براساس پارامترهای زلزله‌شناسی مانند بزرگا و فاصله به ترتیب می‌تواند معیاری برای خطاهای تصادفی و سیستماتیک باشد که به منظور ارزیابی کمی آن می‌توان از تست‌های آماری گوناگونی بهره گرفت. در خاتمه این پژوهش کوشش شده است تا با بررسی آماری نگاشت‌های حرکت نیرومند زمین، چگونگی تأثیر عوامل دیگر مانند شرایط ساختگاهی نیز، بر طیف طراحی نیز ارائه گردد. همچنین برپایه یافته‌های این پژوهش، کاربرد میانگین نسبت طیفی H/V در تخمین نوع ساختگاه، به ویژه در مناطق فاقد میزان سرعت موج برشی در عمق ۳۰ متری سطح زمین، VS30، می‌تواند راهکاری مناسب قلمداد گردد. بدین ترتیب و بر مبنای بکارگیری روش‌های بهینه، برآورد پارامترهای کاهندگی طیفی جنبش زمین برای ایران ارائه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** کاهندگی، شتاب طیفی، زاگرس، ایران مرکزی، اثر ساختگاه



تغییرات فاکتورهای تقویت افقی (بالا) و قائم (پائین) با میرایی. خطوط برازش یافته بر روی فاکتورهای تقویت شتاب، سرعت و جابه‌جایی به ترتیب به صورت خط، خط چین و نقطه چین نشان داده شده‌اند



مقایسه فاکتورهای تقویت شتاب (چپ)، سرعت (وسط) و جابه‌جایی (راست) تعیین شده در این مطالعه با فاکتورهای مشابه به دست آمده در مطالعات مال هوترا، محرز و نیومارک و هال

## Recognition of Seismic Pattern in the Central Alborz Region Using Morphostructural Zoning (Nodes) for Earthquake of Magnitude 6 or Larger

Mohammad Mokhtari

Assistant Professor, Seismology Research Center  
mokhtari@iiees.ac.ir

Alexander Gorshkov, Madjid Shaahpassandzadeh

The Alborz region specially the Tehran area as earthquake prone zone has been studied using the Morphostructural zoning (MZ) method. The study conducted at the National Center for Earthquake Prediction - IIEES in a joint project with IIEPT RAS from October 1, 2004 till May 2005. The methodology has been developed by IIEPT&MG. In this study, an earthquake with magnitude of 6 or larger has been taken into consideration. The applied method is based on the fact that the large earthquakes occur within seismogenic nodes (lineament/fault intersections). For the first time in Tien Shien region, the correspondence between the node and the earthquake location has been reported. The result achieved in this study shows that the Alborz mountain region has high potential for the earthquake occurrence. This information can play an important role in seismic hazard study in the region. Some nodes are located in the area that can have potential for earthquake occurrence, therefore it has been suggested that this area should be studied in further detail in any future investigations using for example geophysical data as well as intensive geological field work.

**Keywords:** Seismic pattern, Nodes, Precursory, Central Alborz, Moving boundaries

## شناسایی الگوی لرزه‌های البرز مرکزی با بکارگیری روش نقشه ساختاری زمین‌شناسی برای زمین‌لرزه‌های با بزرگای ۶ و یا بیشتر

محمد مختاری

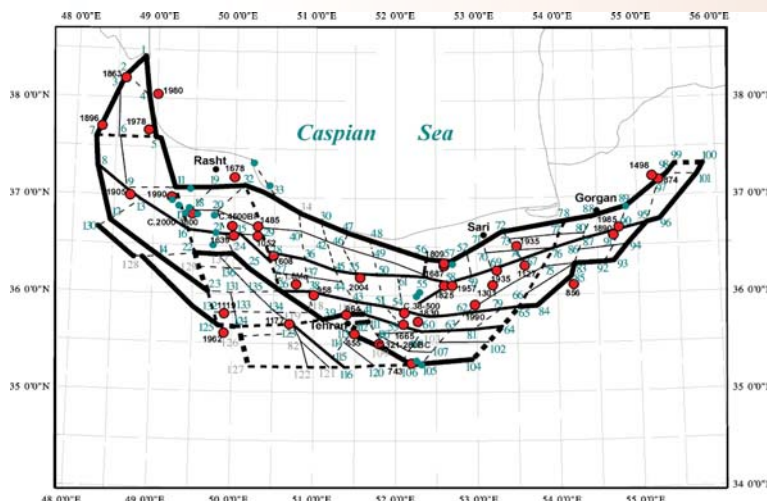
استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی mokhtari@iiees.ac.ir

الکساندر گورشکوف، مجید شاه پسندزاده

در راستای شناسایی مناطق مستعد زمین‌لرزه در ناحیه البرز با تأکیدی ویژه بر منطقه تهران، طرح پژوهشی مشترکی بین مرکز ملی پیش‌بینی زلزله پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و مؤسسه بین‌المللی پیش‌بینی‌های ژئوفیزیک نظری و ریاضی زمین‌لرزه فرهنگستان علوم روسیه (IIEPT RAS) از تاریخ اول اکتبر ۲۰۰۴ تا مه ۲۰۰۵ در پژوهشگاه به انجام رسیده است. هدف اصلی این طرح، آزمایش قابلیت عملکرد روش‌های ارائه شده توسط IIEPT & MG RAS می‌باشد. در این مطالعه، وقوع زمین‌لرزه‌های قوی با بزرگای برابر یا بیش از ۶ در ناحیه البرز مدنظر بوده است. در این روش، می‌توان زمین‌لرزه‌های بزرگ را به گره‌ها (محل تلاقی خطوطاره‌ها-گسلها) و مرز ساختارهای ویژه‌ای که در پهنه مرزهای متحرک قرار دارند و بلوک‌های مختلفی از پوسته زمین را از هم جدا می‌سازند، نسبت داد. این حقیقت که زمین‌لرزه‌ها در گره‌ها ایجاد می‌شوند برای اولین بار در پامریس و تین‌شان مشاهده شد.

شدت پتانسیل لرزه‌های کمربند کوه‌های البرز، فراهم نمودن اطلاعات مهمی برای ارزیابی احتمال خطر لرزه‌های شناسایی تعدادی از گره‌های رویدادهای قوی ثبت نشده مستعد زمین‌لرزه‌های بزرگ، از اهم نتایج این تحقیق است. پیشنهاد شده است که در این مکانها مطالعات بیشتری نظیر استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی و مطالعات زمین‌شناسی صحرایی صورت گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** الگوی لرزه‌ای، گره‌ها، پیش‌نشانگرها، البرز مرکزی، مرزهای متحرک



انطباق بین گره‌ها (نشان داده شده بوسیله اعداد آبی رنگ و زمین‌لرزه‌های (دوایر قرمز رنگ) با بزرگای بیش از ۶ (زمان وقوع زمین‌لرزه‌ها با اعداد نشان داده شده‌اند که شامل زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی می‌باشد).



## Determination of PGA Attenuation Relationships Using Adaptive Neuro-fuzzy Inference Systems (ANFIS)

Anooshiravan Ansari

Assistant Professor, Seismology Research Center  
a.ansari@iiees.ac.ir

## تعیین ضرایب روابط کاهندگی PGA بر اساس داده‌های شتابنگاری موجود ایران با استفاده از شبکه‌های عصبی فازی (ANFIS)

انوشیروان انصاری

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی a.ansari@iiees.ac.ir

Strong ground motion attenuation relations are considered as a main connection between source and distance. These relationships have important role in seismic hazard analysis. These equations, which indicate the simplified attenuation of seismic waves in the earth, are usually computed by means of statistical regression methods based on the available recorded earthquake data. As a result, it is necessary to consider a functional form for these relationships. The aim of this project is to extract the behavior and characteristics of the seismic data from the attenuation point of view by means of a general approximator called "adaptive neuro-fuzzy inference system". Moreover, in the conventional attenuation relationships, the effect of soil condition and faulting mechanism are usually considered as deterministic parameters. However, these effects can be considered more realistically as fuzzy numbers. Hence, the second objective of this research plan is to model such parameters as fuzzy numbers and to make comprehensive comparisons between the results of such analysis and those obtained by conventional relationships. The analysis in this research project is performed using seismic catalog of Iran.

**Keywords:** Neuro-fuzzy inference system, Attenuation relationships, Iran plateau

از آنجا که فلات ایران بر روی کمربند زلزله خیز آلپ-همیالیا قرار گرفته و تاکنون زلزله‌های مخرب بسیاری باعث از بین رفتن جان و مال افراد شده است، لازم است فرم‌های مناسبی از روابط کاهندگی در این منطقه را در اختیار داشت. همچنین چون روابط موجود غالباً برای همان مناطقی که ضرائب مجهول از داده‌های رویدادها در همان مناطق بدست آمده به درستی جواب می‌دهد و برای مناطق دیگر عمدتاً مناسب نیستند به همین علت نیاز به روابط کاهندگی بر پایه شرایط محلی منطقه را چند برابر می‌کند.

در این تحقیق، یک رابطه جدید جهت تخمین حرکات قوی زمین در راستای افق برای ایران ارائه شده است که با استفاده از رکوردهایی با بزرگای گشتاوری بین ۵/۰ تا ۷/۵ و در فاصله کانونی کمتر از ۱۰۰ کیلومتر که در ناحیه فلات ایران به ثبت رسیده‌اند، بدست آمده است. این رابطه با استفاده از روش نروفازی بدست آمده و همانند دیگر روابط کاهندگی از روش‌های معمول رگرسیون استفاده نمی‌شود. از مزایای استفاده از این رابطه نسبت به روابط قبلی حذف فرم تابعی و بهبود توزیع باقی مانده‌ها می‌باشد.

برای رسیدن به این هدف در فصل اول ابتدا با انواع روابط کاهندگی آشنا می‌شویم و روابط کاهندگی موجود در ایران معرفی می‌گردند. در فصل دوم ابتدا با مدل‌های خطی آشنا خواهیم شد و به نحوه خطی‌سازی مدل‌های غیرخطی نیز اشاره خواهد شد. سپس انواع روش‌های آنالیز رگرسیون بر حسب نوع ماتریس واریانس-کواریانس ارائه می‌شود و در نهایت این روابط با یکدیگر مقایسه می‌شوند. فصل سوم به اصول روش شبکه‌های سازگار فازی پرداخته و در فصل چهارم روش‌های مقایسه روابط مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل پنجم رابطه فازی برای فلات ایران استخراج می‌گردد.

مقایسه آماری بین رابطه بدست آمده با سایر روابط موجود حاکی از این واقعیت است که رابطه فازی دارای شاخص‌های آماری مناسب‌تری در مقایسه با سایر روابط موجود می‌باشد. همچنین روابط فازی اثر اشباع شدگی رابطه کاهندگی به همراه اثر انعکاس امواج از روی لایه موهو و افزایش دامنه شتاب در فواصل دو برابر عمق موهو را نشان داده است.

**واژه‌های کلیدی:** شبکه‌های تطبیقی عصبی-فازی، روابط کاهندگی، فلات ایران

## Seismicity Study and Probabilistic Prediction of Seismic Hazard in Relation to Volcanic Activity of Damavand

Mehdi Zare

Associate Professor, Seismology Research Center  
mzare@iiees.ac.ir

Reza Mehrnia

Damavand Volcano is an active system from the geological point of view and has great importance in Iran. This importance refers to the vicinity of this system to crowded populated megapoles such as Tehran. The extrusion of gases in period of December 2006 to May 2007 caused the special situation for this volcanic system. Therefore, it was important to know the geological situation of the system in order to understand whether the condition is critical or not. This study focused on the compilation of different geophysical information in order to understand the present situation of Damavand volcano. It was aimed to compile different available information to understand the criticality of the situation. The author has studied the geological, geophysical and seismological data in this project. The Q factor was studied in order to show the anomalies in attenuation of seismic waves in the region. Then, the geothermal conditions around Damavand were studied, and finally the magnetic model of the region was reviewed. The information has shown that this volcanic system is active, but there is no indication that an immediate possible explosion could be found. There is also an attempt to study the impression of this volcanic activity in central Alborz tectonic situation.

**Keywords:** Damavand, Seismicity, Volcano, Tehran, Central Alborz, GIS., Magnetic, Seismotectonic, Attenuation

## بررسی مقدماتی وضعیت کنونی آتشفشان دماوند با توجه به لرزه خیزی و سایر پارامترهای ژئوفیزیکی

مهدی زارع

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی  
mzare@iiees.ac.ir

رضا مهرنیا

آتشفشان دماوند در شمال ایران در استان مازندران قرار گرفته است و در فاصله ۶۰ کیلومتر (فاصله هوایی) از تهران قرار دارد. این آتشفشان در بخش مرکزی رشته کوه البرز بصورت مخروط آتشفشانی مرکب شواهدی از خروج بخار و گازهای آتشفشانی را نشان می‌دهد که قرارگیری در میان روندهای ساختاری موجود حاکی از اهمیت دماوند در این بخش از البرز دارد. علاوه بر این خروج گازهای فراوان در بازه زمانی آذرماه سال ۱۳۸۵ تا اردیبهشت ۱۳۸۶ شرایط خاصی را برای این آتشفشان نشان می‌داد. از سوی دیگر قرارگیری دماوند در نزدیکی مناطق پرجمعیتی مانند تهران اهمیت بررسی و مطالعه این سیستم را صد چندان می‌کند. به عبارتی دیگر، روشن شدن این مسئله که فوران آتشفشان دماوند چه خطری را برای شهر تهران و نواحی مجاور به همراه دارد نکته‌ای با اهمیت است. از این رو در این گزارش به بررسی جنبه‌های مختلف مطالعه بر روی آتشفشان دماوند خواهیم پرداخت تا شرایط آرامی یا ناآرامی امروزی آن را نشان دهیم. به عبارت دیگر در این بررسی به دنبال آنومالی‌هایی هستیم تا بتوان احتمال بحرانی بودن یا نبودن دماوند را مطالعه کرد. از این رو به بررسی ویژگیهای زمین‌شناسی، زمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی منطقه پرداخته و اقدام به تعیین فاکتور Q، جایگاه آتشفشان دماوند در مطالعات زمین گرمایی و در نهایت الگوی مغناطیسی در منطقه کرده‌ایم.

به منظور بررسی رابطه متقابل بین داده‌های موجود، نرم‌افزار GIS مورد استفاده قرار گرفت تا امکان مقایسه داده‌ها فراهم شوند. در نهایت نقشه‌های موجود ناهنجاری خاصی را در ارتباط با هم در مورد آتشفشان دماوند نشان ندادند. اما نکته مهمی که از بررسی اطلاعات موجود قابل مشاهده است توزیع تغییر شکل در گستره‌ای وسیع‌تر از قله آتشفشانی دماوند می‌باشد. وجود چشمه‌های آب گرم با روند شمالی- جنوبی و روندهای شمالی- جنوبی مغناطیسی (خطواره‌های پایا) می‌تواند نشانه توزیع تغییر شکل در گستره‌ای وسیع‌تر از آتشفشان دماوند باشد. بنابراین بر اساس شرایط موجود اطلاعاتی یافت نشد که نمایانگر احتمال وقوع انفجار فوری و شرایط اضطراری برای آتشفشان دماوند باشد. با این وجود پایش همیشگی آتشفشان دماوند برای شناخت بیشتر تغییرات آن لازم به نظر می‌رسد.

**واژه‌های کلیدی:** دماوند، لرزه‌خیزی، آتشفشان، تهران، البرز مرکزی، سامانه اطلاعات مکانی، مغناطیس، ژئوترمال، القایی، خطر زلزله، لرزه‌زمین‌ساخت، کاهندگی

## Seismotectonic and Upper Crust Seismic Structure of Lorestan Province based on Micro-earthquake Survey

Farzam Yaminifard

Associate Professor, Seismology Research Center  
faryam@iiees.ac.ir

## مطالعه لرزه‌زمین‌ساخت و ساختار پوسته در استان لرستان بر اساس تحلیل زمین‌لرزه‌های ثبت شده در شبکه متراکم لرزه‌نگاری موقت

فرزام یمینی‌فرد

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی faryam@iiees.ac.ir

Mohammad Reza Abbassi, Mohammad Reza Sepahvand

محمد رضا عباسی، محمد رضا سپهوند

Seismotectonics and velocity structure of the Lorestan province was studied in this project based on local temporary seismic networks data. This region, included Doroud and Boroujerd cities located in the high Zagros, is the place where 1909 Doroud earthquake with magnitude  $M_s$ , 7.4 occurred, where there is no instrumental record of this earthquake. The 2006 Silakhor earthquake with magnitude  $M_w$ , 6.1 provided an opportunity to study Doroud segment of the Main Recent Fault in detail and to install a dense local seismic temporary network. Data was collected from two separate networks, one installed after 2006 Silakhor event including 5 stations for the period of 3 months, and the other was installed a year later which included 33 stations again for 3 months.

In order to locate the recorded events precisely, one dimensional velocity model was calculated by the inversion method. The resulted velocity model included 6 layers with 5.5, 5.9, 6, 6.2, 6.4 and 6.7 km/s velocities and 2, 4, 6, 2, 2 thicknesses and a semi space, respectively.

Epicentral distribution obviously showed a south-east north-west trend of seismicity along Main Recent Fault zone. The depth distribution was verified due to the existence of fault zone including individual parallel faults with dips between 60-80 degrees. Associated seismic activity was limited between 2 and 11 km which were consistent with the Teleseismic and InSAR results for 2006 Silakhor earthquake. This depth interval was very close to that in Boroujen region and shallower than the one in central Zagros.

The calculated focal mechanisms are not limited to one kind and imply no simple deformation mechanism in this region. A majority of the focal mechanisms are left-lateral strike-slip and furthermore, important component of extension is clearly deduced from determined focal mechanisms which most probably belongs to Main Recent Fault zone due to the movements on parallel strike-slip faults. A small number of the thrust mechanisms with east-west strike and low dip were observed between the calculated mechanisms.

در این پروژه، لرزه‌زمین‌ساخت و ساختار سرعتی پوسته فوقانی در استان لرستان بر اساس داده‌های شبکه‌های لرزه‌نگاری موقت محلی مورد بررسی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در حد فاصل دورود بروجرود واقع در زاگرس بلند محل وقوع یکی از بزرگترین زمین‌لرزه‌های دستگاهی زاگرس در سال ۱۹۰۹ میلادی با بزرگای  $M_s = 7/4$  بوده است که از آن داده دستگاهی در دسترس نمی‌باشد. با وقوع زمین‌لرزه ۱۱ فروردین سال ۱۳۸۵.ش با بزرگی  $M_w = 6/1$  در این منطقه فرصت استثنائی برای مطالعه دقیق قطعهای از گسل عهد حاضر با نصب شبکه متراکم لرزه‌نگاری محلی فراهم گردید. داده‌ها ترکیبی از داده‌های دو عملیات مجزای ۳ ماهه بلافاصله بعد از زمین‌لرزه ۱۱ فروردین سال ۱۳۸۵.ش با شبکه لرزه‌نگاری ۵ ایستگاهی و یک سال بعد با شبکه لرزه‌نگاری ۳۲ ایستگاهی می‌باشد.

در این مطالعه جهت بالا بردن دقت تعیین محل زمین‌لرزه‌ها مدل‌سازی یک بعدی پوسته، توسط برگردان یک بعدی انجام گرفت. مدل نتیجه شامل ۶ لایه با سرعت‌های ۵/۵، ۵/۹، ۶، ۶/۲، ۶/۴ و ۶/۷ کیلومتر بر ثانیه با ضخامت‌های ۲، ۴، ۶، ۲ و نیم فضا می‌باشد.

توزیع رومرکز وقایع در این ناحیه بوضوح پهنه‌ای با روند کلی جنوب شرق-شمال غرب در امتداد گسل عهد حاضر را نشان می‌دهد. توزیع عمق وقایع، وجود پهنه گسلی متشکل از گسله‌های منفرد با شیب ۶۰ تا ۸۰ درجه که فعالیت لرزه‌ای آنها به عمق‌های ۲ تا ۱۱ کیلومتر فوقانی پوسته محدود می‌شود را تأیید می‌کند که با نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌های دور و رادار برای زمین‌لرزه ۱۳۸۵ سیلاخور سازگار است. عمق رویدادها در این منطقه قابل مقایسه با عمق‌های تعیین شده در منطقه بروجن و کم‌عمق‌تر از زاگرس مرکزی است. سازوکارهای حل شده بسیار متنوع هستند و به نوع خاصی محدود نمی‌شود که حکایت از پیچیدگی سازوکار تغییرشکل در این منطقه دارد. سازوکارهای کانونی حل شده غالباً امتداد لغز چپگرد و علاوه بر آن حکایت از وجود مؤلفه قابل توجه کششی در منطقه دارد که به احتمال قوی نتیجه لغزش امتداد لغز روی قطعات گسلی موازی با شیب نسبتاً زیاد می‌باشد. مشاهده سازوکارهای معکوس با امتداد تقریباً شرق غرب و صفحات کم شیب شمالی نیز از نتایج قابل توجه این مطالعه می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: زاگرس، لرزه‌زمین‌ساخت، گسل عهد حاضر، شبکه لرزه‌نگاری محلی

**Keywords:** Local seismic network, Main recent fault, Seismotectonics, Zagros



## Study of the March 25, 2006 Fin Earthquake (Mw=5.9) in Hormozgan Province Based on Aftershock Analysis

Farzam Yaminifard

Associate Professor, Seismology Research Center  
faryam@iiees.ac.ir

Hossein Ilaghi, Mohammad Tatar, Khaled Hessami-Azar

In March 25th, 2006 at 7:29 (UTC) 10:59, local time, an earthquake with - magnitude of MW=5.7 occurred in the Fin region in southeast of the Zagros Mountains. This earthquake has been followed by four moderate aftershocks at 9:55, 10:00, 11:02 and 12:13 UTC, respectively. The purpose of this research is to study the aftershocks of this earthquake, recorded by a local seismic network in the region and to find the relation between faulting and folding in the region.

The calculated velocity model for Fin region showed two discontinuities in 12 and 13 kilometer depths. P wave velocity has been obtained 5.65km/s, 5.9km/s and 6.25km/s for the first layer, second layer and half space, respectively. In the next step, the aftershocks using double difference method was relocated using the obtained velocity model. A number of selected aftershocks that have been located by double difference method versus depth, indicates that most earthquake depths in this region are limited in the range of 9 to 25km.

The epicentral distribution of aftershocks showed an east-west trend which indicates that the causative fault is in the east-west direction. Both focal mechanism solution reported by CMT catalog and body wave modeling results were also in agreement with it. Cross section view in north-south direction showed a northward dip for the fault plane. There is no incidence between the strike of depth distribution of aftershocks on the surface and the known folds of the region. By using these results, it was concluded that there is no direct relationship between faulting at depth and surface folding. Aftershocks were distributed lower than 5km depth which indicates that the Cretaceous Gurpi marls would not allow the faulting to reach the surface.

**Keywords:** Zagros, Aftershocks, Fin, Folding, Seismotectonics

## مطالعه چشمه زمین لرزه ۶ فروردین ۱۳۸۵ فین در استان هرمزگان بر اساس تحلیل پس لرزه‌ها

فرزام یمینی فرد

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی  
faryam@iiees.ac.ir

حسین ایلاقی، محمد تاتار، خالد حسامی آذر

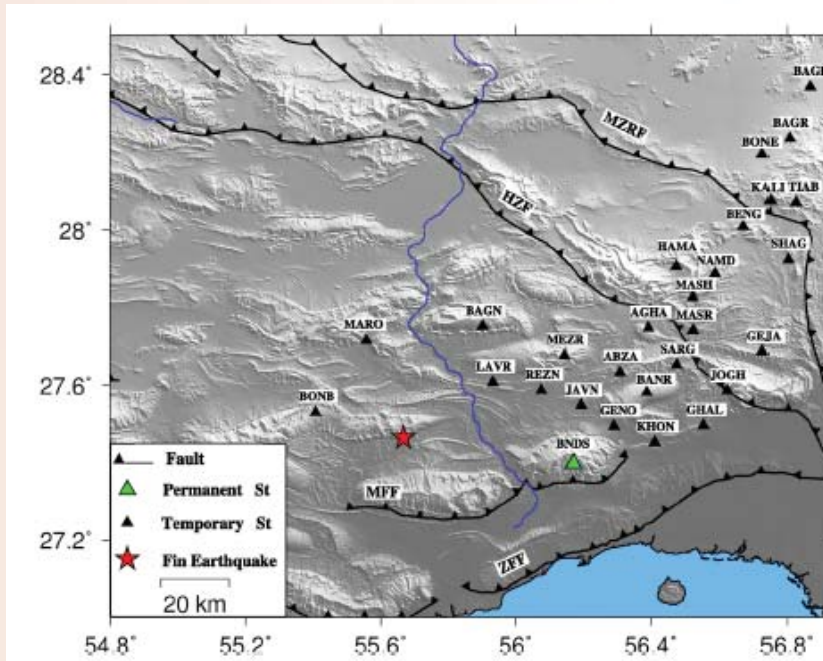
فعالیت تکتونیکی در ایالت لرزه‌زمین‌ساختی زاگرس به گونه‌ای است که در عمق، گسل خوردگی و در سطح زمین چین خوردگی رسوبات وجود دارد که ارتباط بین این دو مشخص نیست. از این رو مطالعه زمین لرزه‌های بزرگ در زاگرس می‌تواند کمک زیادی در درک بهتر ارتباط بین چین خوردگی در سطح و گسلش عمقی، در این منطقه به ما کند.

در ۲۵ مارس سال ۲۰۰۶ در ساعت (UTC) ۷:۲۹ و ۱۰:۵۹ به وقت محلی، زمین لرزه‌ای با بزرگای  $MW=5/5$  در ناحیه فین در جنوب شرق کمر بند چین خورده ساده زاگرس روی داد. این زمین لرزه توسط پس - لرزه‌هایی در  $(MW=5/5) 9:55$ ،  $(MW=5) 10:00$ ،  $(MW=5) 11:02$  و  $(MW=5) 12:13$  پس لرزه‌های این زمین لرزه (ثبت شده توسط یک شبکه لرزه‌نگاری محلی نصب شده در منطقه) و بررسی ارتباط بین گسلش در عمق و چین خوردگی در سطح زمین، در ناحیه فین می‌باشد.

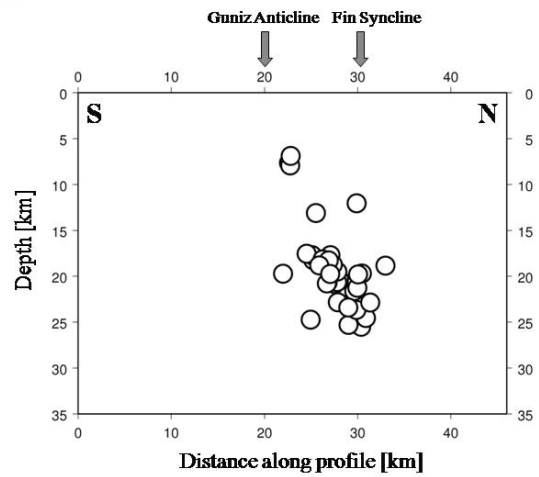
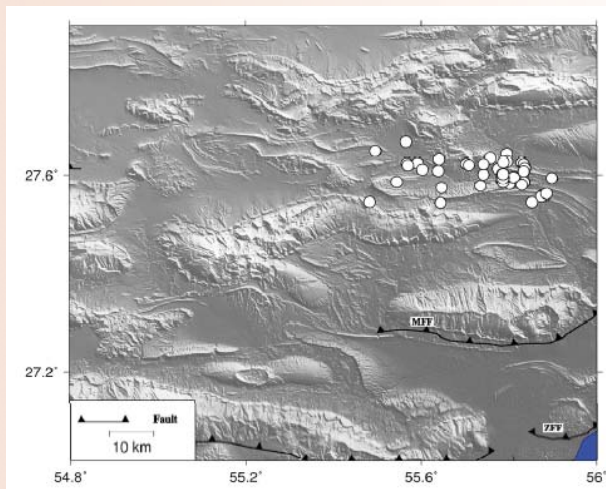
ساختار سرعتی محاسبه شده برای منطقه حاکی از وجود دو ناپیوستگی در عمق‌های ۱۲ و ۱۸ کیلومتر بوده و همچنین سرعت امواج تراکمی در لایه اول ۵/۶۵ کیلومتر بر ثانیه، لایه دوم ۵/۹ کیلومتر بر ثانیه و نیم فضا ۶/۲۵ کیلومتر بر ثانیه بدست آمد. فراوانی پس لرزه‌های انتخابی تعیین محل شده به روش اختلاف دوتایی با مدل محاسبه شده، بر حسب عمق، نشان دهنده این است که زمین لرزه‌ها در این ناحیه در محدوده عمقی بین ۵ تا ۲۶ کیلومتر رخ می‌دهند.

توزیع رومرکزی پس لرزه‌ها دارای روندی شرقی-غربی بوده، که تا حدودی حاکی از آن است که گسل مسبب زمین لرزه دارای امتداد شرقی-غربی است که سازگار با حل سازوکارهای کانونی گزارش شده در کاتالوگ CMT و همچنین نتایج حاصل از مدل کردن امواج حجمی می‌باشد. مقطع عمقی در راستای شمال-جنوب نشان دهنده شیبی به سمت شمال برای صفحه گسل مسبب زمین لرزه فین می‌باشد. امتداد توزیع عمقی پس لرزه‌ها در سطح زمین با هیچ کدام از چین‌های شناخته شده در منطقه تلاقی ندارد و ارتباط مستقیمی بین گسلش در عمق و چین خوردگی در سطح زمین را نشان نمی‌دهد. همچنین پس لرزه‌ها از عمق ۵ کیلومتر به پایین توزیع شده‌اند که می‌تواند مبنی بر این موضوع باشد که مارل‌های گورپی در بخش رسوبی بالایی مانع از رسیدن گسلش به سطح زمین شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: زاگرس، پس لرزه، چین خوردگی، فین، لرزه‌زمین ساخت



Configuration of the seismic stations installed to study March 25, 2006 Fin earthquake aftershocks



Epicentral distribution of located aftershocks by double-difference method and depth distribution in the south-north direction

## Seismotectonic and Velocity Structure of Qeshm Island Based on Local Data Recorded by a Temporary Dense Seismic Network

**Farzam Yaminifard**

Associate Professor, Seismology Research Center  
faryam@iiees.ac.ir

**Khaled Hessami-Azar, Mohammad Tatar,  
Abbas Gholamzadeh**

In order to record the aftershocks, a temporary network included 17 stations was established in the Qeshm Island in January 2, 2005, after the November 27, 2005 Qeshm earthquake (Mw, 6.0). This network remained in the area until February 25, 2006.

Results showed that the upper crust structure of the southern edge of the Zagros in Qeshm includes a sedimentary layer of thickness (8km) and speed around 5.5 km/s on another layer with 4km thickness and about 5.9 km/s speed and again on another layer with 6.2km/s. The calculated ratio between  $V_p$  and  $V_s$  was 1.85.

The epicentral distribution of the aftershocks revealed the east-west and northwest-southeast - seismicity trends. An aftershocks depth between 11 and 18km implied that they were located beneath the sedimentary layer. The depth distribution is diffused and a trend of seismicity with 40 degrees dip to north is observed in eastern end of the aftershock zone. An epicentral distribution and strike-slip mechanism for November 27, 2005 Qeshm earthquake revealed that the main shock with reverse mechanism activated the strike-slip basement faults. It implies that besides the reverse faults, basement strike-slip faults are also involved in the deformation of this part of Zagros.

**Keywords:** Aftershocks, Fault, Qeshm, Seismotectonics, Zagros

## لرزه زمین ساخت و ساختار سرعتی پوسته در منطقه قشم بر اساس داده‌های شبکه لرزه نگاری متراکم موقت

فرزام یمینی فرد

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی faryam@iiees.ac.ir

خالد حسامی آذر، محمد تاتار، عباس غلام زاده

در این پژوهش، لرزه‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساخت منطقه قشم مورد مطالعه قرار گرفته است. به این منظور از داده‌های شبکه موقت متراکم محلی که از ۱۲ آذر ۱۳۸۴ به مدت ۲/۵ ماه پس از زمین‌لرزه ۶ آذر ۱۳۸۴ جزیره قشم با بزرگی  $M_w = 6.0$  در منطقه نصب شده، استفاده گردیده است.

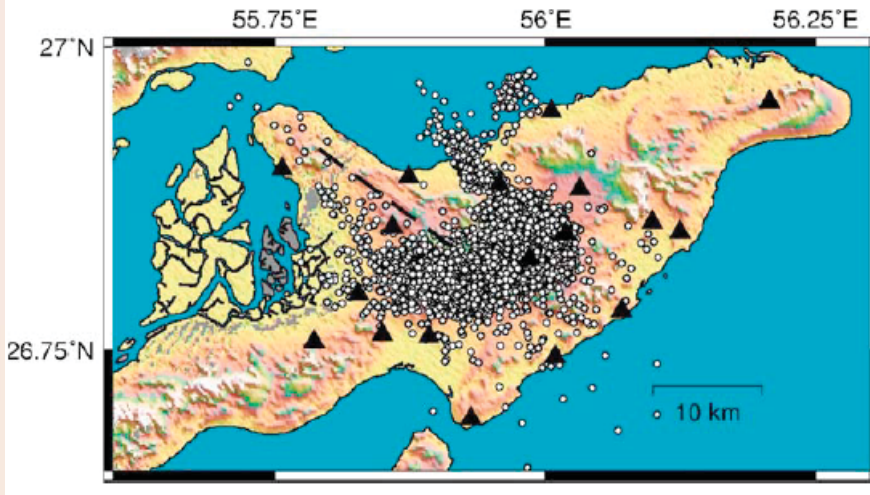
نتایج بیانگر این است که ساختار پوسته فوقانی لبه جنوبی زاگرس در جزیره قشم شامل لایه‌ای رسوبی به ضخامت ۸ کیلومتر و با سرعت ۵/۵ کیلومتر بر ثانیه که بر روی لایه‌ای با سرعت ۹/۵  $kms^{-1}$  به ضخامت ۴ کیلومتر دارد که خود بر روی لایه‌ای با سرعت ۲/۶  $kms^{-1}$  واقع شده است می‌باشد. نسبت  $V_p/V_s$  محاسبه شده برابر ۱/۸۵ می‌باشد.

توزیع رومرکز پس‌لرزه‌ها دو روند شمال غرب-جنوب شرق و شرق-غرب را نمایش می‌دهند. اغلب پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۶ آذر ۱۳۸۴ در اعماق بین ۱۱ تا ۱۸ کیلومتر رویداده‌اند که بیانگر این مطلب می‌باشد که این پس‌لرزه‌ها در بخش بالایی پوسته بلورین و زیر لایه رسوبی روی داده‌اند. توزیع پس‌لرزه‌ها در عمق بسیار پراکنده است و روندی با شیب تقریبی ۴۰° به سمت شمال در بخش شرقی زون پس‌لرزه‌ها قابل مشاهده است.

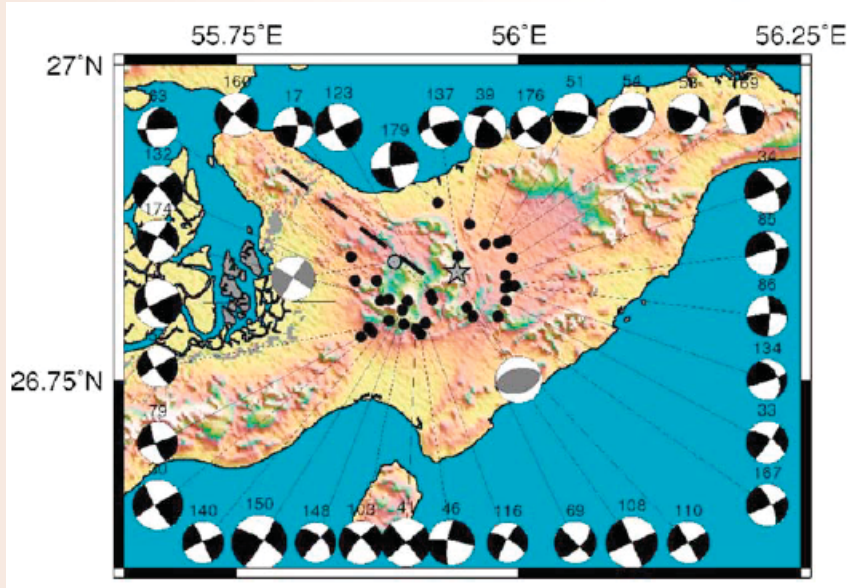
لرزه‌خیزی پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۶ آذر ۱۳۸۴ جزیره قشم و وجود سازوکار غالب امتداد لغز نشان‌دهنده آن است که گسیختگی اصلی ساختارهای امتداد لغز پی‌سنگی را فعال نموده است. این نشان‌دهنده آن است که گسل‌های امتداد لغز پی‌سنگی نیز همانطور که قبلاً توسط بعضی محققین به آن اشاره شده است در بخشی از تغییر شکل این بخش از زاگرس نقش دارند.

**واژه‌های کلیدی:** پس‌لرزه، زاگرس، قشم، لرزه‌زمین‌ساخت، گسل





Configuration of the seismic network installed in the Qeshm Island from December 2, 2005 to February 26, 2006. Triangles are seismic stations. Gray circles show the epicentral distribution of all 2617 located aftershocks. Dashed line shows the Laft anticline axis.



Focal mechanisms for aftershocks,  $M_s \geq 3$ , indicating dominantly strike-slip mechanisms. Gray focal mechanisms are for mainshock (reverse) and the largest aftershock (strike-slip).

## Realistic Strong Ground Motion Modeling for Tehran

**Hossein Hamzehloo**

Associate Professor, Seismology Research Center  
hhamzehloo@iiees.ac.ir

**Francesco Vaccari, Giuliano F. Panza**

## مدلسازی واقع گرایانه جنبش نیرومند زمین برای شهر تهران

**حسین حمزه‌لو**

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی، hhamzehloo@iiees.ac.ir

**فرانچسکو وکاری، جولیانو پنزا**

A hybrid method for the calculation of realistic synthetic seismograms in laterally heterogenous, anelastic media has been used to model the ground motion in city of Tehran. The computation of synthetic seismograms has been carried out by the hybrid method. In this method, synthetic signals are first computed by the modal summation along the bedrock (1D) model, which is defined as a stack of horizontal layers, each characterized by its thickness, longitudinal and transversal wave velocity, density, and Q-factor, controlling the anelastic attenuation. Then, these signals are numerically propagated through the laterally varying local structure by the finite-difference scheme. The resulting signals are used for the seismic microzoning, using as zoning criteria the "Response Spectra Ratio" (RSR).

The satisfactory comparison between the observed and synthetic waveforms allowed us to propose a possible pattern of amplification of seismic waves along a representative north-south profile in the west part of Tehran. The high amplification in Tehran clearly indicates that a seismic microzonation map, based on the described methodology, is necessary for sound and sustainable land use planning and for the specifications of building codes and practice to be used by city planners and civil engineers. Our results indicated that this very important preventive planning tool can be readily implemented for Tehran city, with a background of large historical earthquakes in the past, simply by extending the analysis, made so far, in space and to different earthquake scenarios, consistent with the local and regional tectonics.

**Keywords:** Realistic ground motion, Site amplification, Tehran

جنبش نیرومند زمین در فاصله R از چشمه زمین لرزه تحت تاثیر پارامترهای مختلفی قرار می‌گیرد. این پارامترها عبارتند از اثر چشمه، مسیر و سایت. به منظور برآورد واقع گرایانه پارامترهای جنبش نیرومند زمین و تاریخچه زمانی، اثرات چشمه، مسیر و سایت باید تا حد امکان به صورت واقع گرایانه مدل‌سازی گردد. روش ترکیبی جمع‌بندی مدها و اختلافات تفاضلی با در نظر گرفتن این اثرات شرایط برآورد واقع گرایانه پارامترهای جنبش نیرومند زمین را در مناطق شهری فراهم می‌نماید. در این پروژه پژوهشی، شهر تهران با توجه به اهمیت آن از نظر سیاسی، اقتصادی، علمی، فرهنگی، نظامی برای برآورد واقع گرایانه جنبش نیرومند زمین با در نظر گرفتن چشمه نقطه‌ای در نظر گرفته شده است. به منظور برآورد واقع گرایانه جنبش نیرومند زمین در شهر تهران، سناریو زمین لرزه‌های اخیر رویداده در اطراف تهران در نظر گرفته شده است. این زمین لرزه‌ها عبارتند از زمین لرزه فیروزآباد کجور، زمین لرزه کهک-قم و زمین لرزه تهران-ری. با توجه به سناریو زمین لرزه فیروز آباد کجور، و مقایسه با شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده، همخوانی مناسبی بین بیشینه شتاب، سرعت و تغییر مکان بین رکوردهای شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در ایستگاه‌های شتاب‌نگاری که رکورد زمین لرزه فیروز آباد کجور را ثبت کرده‌اند، مشاهده می‌شود. با توجه به سناریو زمین لرزه تهران-ری، و مقایسه با شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده، همخوانی مناسبی بین بیشینه شتاب، سرعت و تغییر مکان بین رکوردهای شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در ایستگاه‌های حرم مطهر امام خمینی (ره) و استادیوم آزادی دیده می‌شود. بر اساس مدلسازی روش مرکب جمع‌بندی مدها و تفاضلهای متناهی و با در نظر گرفتن زمین لرزه‌های فیروزآباد کجور، کهک قم و تهران-ری نتایج ذیل ارائه می‌گردد: همخوانی مناسبی بین مقادیر بیشینه دامنه و طیف پاسخ براساس زمین لرزه‌های فیروزآباد کجور و تهران ری بین رکوردهای مشاهده و شبیه‌سازی شده مشاهده می‌گردد. بزرگنمایی بدست آمده بین ۶-۹ در امتداد پروفیل‌های انتخابی می‌باشد، که با مقادیر بدست آمده از مطالعات آزمایشگاهی تطابق دارد. بزرگنمایی بالا در تهران، نشان می‌دهد که نقشه بزرگنمایی سایت برای تهران بر اساس روش فوق برای ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای ضروری می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** جنبش واقع گرایانه، ریزپهنه‌بندی، بزرگنمایی، تهران



## Evaluation of Crustal Deformation Using Earthquakes Data in Alborz Region Belt and Surrounding Area

Mehrdad Mostafazadeh

Assistant Professor, Seismology Research Center  
mehrdad@iiees.ac.ir

Anooshiravan Ansari, Shobeyr Ashkpoor

## ارزیابی دگر شکلی پوسته زمین حاصل از زمین لرزه‌های نوار البرز و مناطق هم جوار

مهرداد مصطفی‌زاده

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی [mehrdad@iiees.ac.ir](mailto:mehrdad@iiees.ac.ir)

انوشیروان انصاری، شبیر اشک‌پور

In this research, crustal deformation is evaluated using instrumentally seismic data which occurred in the western margin of the Caspian Sea, Alborz and KopehDagh. The study area is divided into seven seismogenic zones and seismic strain tensors with symmetric and asymmetric components which are calculated for each area. Based on the density of seismicity and mechanism of seismic source of earthquake data, this area has been selected. Some researchers have studied the crustal deformation in this region in the past. In this research, this has been done by dividing the total area to smaller areas, with a special focus to the seismicity in the host zones; and focus has been on areas that other researchers have not mentioned so far.

These results show that the western margin of the Caspian Sea, with the compression axis tilt of 40 degrees Azimuth N75W almost perpendicular to the folding axis, caused Caspian crust being pushed under the Azerbaijan-Talesh mountain belt. This phenomenon, according to the rotation of counterclockwise of north axis of the host blocks also has to be interpreted. The folding in the Western side of Alborz, in southern Caspian Sea, and the phenomenon of significant is counterclockwise vertical axis rotated. In Central Alborz, rotational axis was calculated using asymmetric tensor of vertical axis around 0.84 per million years. Compression axis (P) in the region, with Azimuth has 43 degrees and tilt 17 degrees which can be interpreted as the causes of sinistral strike slip movement with east-west direction and reverse in north-south direction.

In the eastern fringe of the Caspian Sea, a compression axis oriented N18W with a dip and neutral axis is almost vertical. In the northern part of KopehDagh, shortening crust almost north-south while for the transition in the eastern side of this area, the compression axis to the north side is divergent to the east. Calculations carried out in parts of KopehDagh shows that drooping vertical elongation is observed along the east-west direction. In the northeast corner of the study area and adjacent common borders with Afghanistan and Iran, Tajikistan, P axis is horizontally and it is continually in the N39E direction.

در این پژوهش، با استفاده از رویدادهای لرزه‌ای دستگاهی که در محدوده حاشیه غربی دریای خزر، البرز و کپه‌داغ به وقوع پیوسته‌اند، دگرشکلی پوسته را مورد ارزیابی قرار داده‌ایم. منطقه مورد مطالعه به ۷ ناحیه تقسیم و برای هر ناحیه تانسور کرنش لرزه‌ای و مؤلفه‌های متقارن و نامتقارن آن محاسبه شده است. اساس تقسیم‌بندی نواحی، تراکم لرزه‌خیزی و مکانیزم زمین‌لرزه‌ها می‌باشد. در زمینه دگرشکلی کل منطقه قبلاً توسط محققین مطالعاتی انجام شده است، در این کار با تقسیم کل ناحیه به زیر نواحی کوچکتر، توجه ویژه خود را به چرخش زون‌های میزبان رویدادهای لرزه‌ای متمرکز نموده که در کارهای دیگر پژوهشگران به آن پرداخته نشده است.

محاسبات نشان می‌دهند که در حاشیه غربی دریای خزر محور تراکمی با شیب ۴۰ درجه و آزیموت  $N75W$  تقریباً عمود بر راستای چین‌خوردگی هاست و موجب رانده شدن پوسته خزر به زیر کوه‌های تالش آذربایجان می‌گردد. این پدیده با توجه به چرخش پاد ساعتگرد بلوک میزبان حول محور شمال نیز قابل تفسیر است.

در یال غربی چین‌خوردگی البرز واقع در جنوب دریای خزر، پدیده قابل توجه چرخش ساعتگرد حول محور قائم است. در بخش مرکزی البرز با استفاده از تانسور نامتقارن لرزه‌ای حول محور قائم چرخش حدود  $0/84$  در میلیون سال محاسبه شد. در این ناحیه محور تراکمی P، دارای آزیموت ۴۳ درجه و شیب ۱۷ درجه است که می‌توان آن را موجب ترکیب حرکت‌های راستالغز چپگرد شرقی-غربی و معکوس شمالی-جنوبی تفسیر نمود.

در حاشیه شرقی دریای خزر، محور تراکم دارای جهت‌گیری  $N18W$  با شیب کم و محور خنثی تقریباً قائم است. در بخش شمالی کپه‌داغ، کوتاه‌شدگی پوسته تقریباً شمالی-جنوبی است در حالی که در انتقال به طرف شرق این ناحیه، محور تراکمی نسبت به شمال به طرف شرق واگرا می‌شود. محاسبات انجام شده در بخش‌هایی از کپه‌داغ نشان می‌دهد که در راستای شرقی-غربی کشیدگی همراه با افتادگی قائم مشاهده می‌شود. در گوشه شمال شرقی منطقه مورد مطالعه و مجاور مرزهای مشترک ایران با افغانستان و تاجیکستان، محور P، افقی و در راستای  $N39E$  ممتد است.

واژه‌های کلیدی: دگرشکلی پوسته، تانسور کرنش، ممان لرزه‌ای، منطقه البرز

**Keywords:** Crustal deformation, Strain tensor, Seismic moment, Alborz region

## Prediction the Location of Large Events (>6.5) From 2003-2008 Using Statistical Method

**Mostafa Allamezadeh**

Assistant Professor, Seismology Research Center  
mallam@iiees.ac.ir

In this research, various seismicity patterns before major earthquakes have been reported. Foreshocks, preseismic quiescence, precursory swarms, and doughnut patterns are discussed. For many earthquakes, seismic patterns appear with clusters, and therefore, the actual pattern is often complicated.

In this regard, the advanced statistical models such as artificial neural networks and unsupervised models need seismic patterns recognition.

Artificial neural networks, which are inspired from human brain, consist of several artificial neurons which are connected with some weight vectors to each other. Artificial neural networks are able to classify a large volume of input data (i.e. earthquake catalogue) simultaneously and in parallel can recognize seismic patterns very well.

Artificial neural networks have two useful properties (i.e. Abbreviation and Generalization) for learning earthquake catalogues. The combination of associative and competitive learning rules results in formation of self-organizing artificial neural networks. Self-organizing feature map (SOFM) neural network consists of several neurons that are placed at the nodes of a lattice that is usually one- or two-dimensional. These neurons effect mutually on each other to satisfy the principal goal of the SOFM which is to transform input continuous space into a one- or two-dimensional discrete map. SOFM algorithm has converged and the feature map computed by the SOFM algorithm displays important statistical characteristics of the input space.

Pattern recognition of aftershocks distribution and aftershocks clustering is an important and complicated issue in seismology. It is difficult because of un-uniform structure in the interested region and stochastic nature of seismic signals.

In this research, Kohonen artificial neural network is used to predict the concentrations and the trend of aftershocks of 2003 Bam Iran and 2008 Chengdu Sichuan China earthquakes. The method is based on inputting first aftershocks to Kohonen artificial neural network. Kohonen artificial neural network algorithm has converged and weight vectors of artificial neurons indicated the concentrations and the trend of aftershocks precisely.

## پیش‌یابی مکانی زمین‌لرزه‌های ایران و کشورهای همسایه با بزرگای بیش از ۶/۵ از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸

مصطفی علامه‌زاده

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی mallam@iiees.ac.ir

الگوهای لرزه‌ای مختلفی شامل پیش‌لرزه‌ها، سکوت لرزه‌ای، فوج لرزه‌ای و الگوی دونات قبل از وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ گزارش شده است. در مورد بسیاری از زمین‌لرزه‌ها، این الگوهای لرزه‌ای ابتدایی در غالب خوشه‌هایی ظاهر می‌شوند، به طوری که الگوی واقعی در اغلب موارد بسیار پیچیده است. بنابراین نیاز به مدل‌های آماری پیشرفته نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل‌های بدون سرپرستی جهت شناسایی الگوهای لرزه‌ای، انکارناپذیر است.

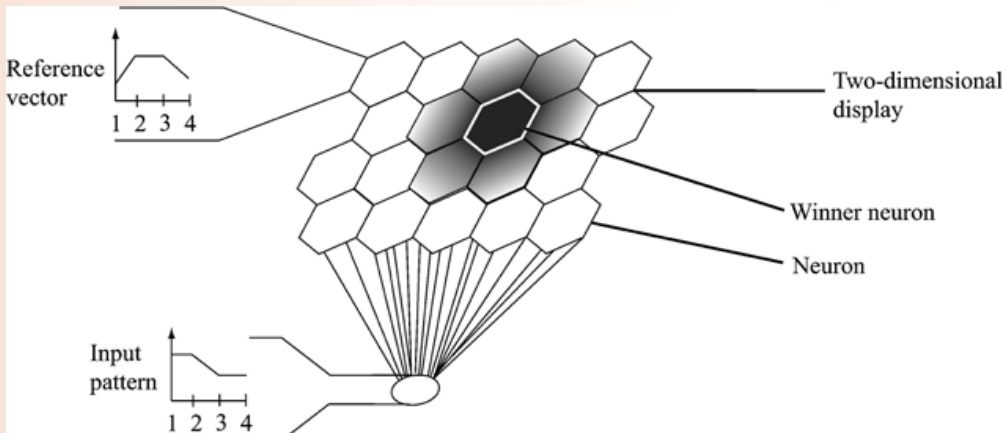
شبکه‌های عصبی مصنوعی که الهام گرفته شده از مغز انسان می‌باشند، از تعدادی نرون مصنوعی تشکیل شده‌اند که این نرون‌های مصنوعی توسط تعدادی بردار وزن به هم متصل می‌شوند. شبکه‌های عصبی مصنوعی قادرند حجم زیادی از اطلاعات ورودی (مانند کاتالوگ زمین‌لرزه) را به طور همزمان و به صورت موازی دسته‌بندی کنند و الگوهای لرزه‌ای را خوبی تشخیص دهند. شبکه‌های عصبی مصنوعی برای یادگیری کاتالوگ زمین‌لرزه که داده‌های آماری با ابعاد زیاد است، دارای دو خاصیت خلاصه‌سازی و تعمیم هستند.

ترکیب قوانین یادگیری رقابتی و انجمنی، به پیدایش شبکه‌های عصبی رقابتی بدون ناظر (خود سازمانده) منجر می‌شود. در تعدادی نرون عصبی که معمولاً دریکتوپولوژیم سطح کنار یکدیگر چیده، (SOFM) شبکه عصبی خودسازمانده کوهون می‌شوند، با رفتار متقابل روی یکدیگر، هدف اساسی شبکه خودسازمانده کوهون را انجام می‌دهند. هدف اساسی شبکه خودسازمانده کوهون، تبدیل الگوی ورودی با ابعاد اختیاری به یک نقش هگسسسته‌یکیا دوبعدی است. هنگامی که الگوریتم شبکه عصبی کوهون همگرا شد، نقشه مشخصات محاسبه شده بوسیله این الگوریتم، مشخصات آماری مهم فضای ورودی را نشان می‌دهد. به خاطر وجود این خاصیت، شبکه خودسازمانده کوهون، قادر به خوشه‌یابی زمین‌لرزه‌های مشابه در یک طبقه یا دسته است.

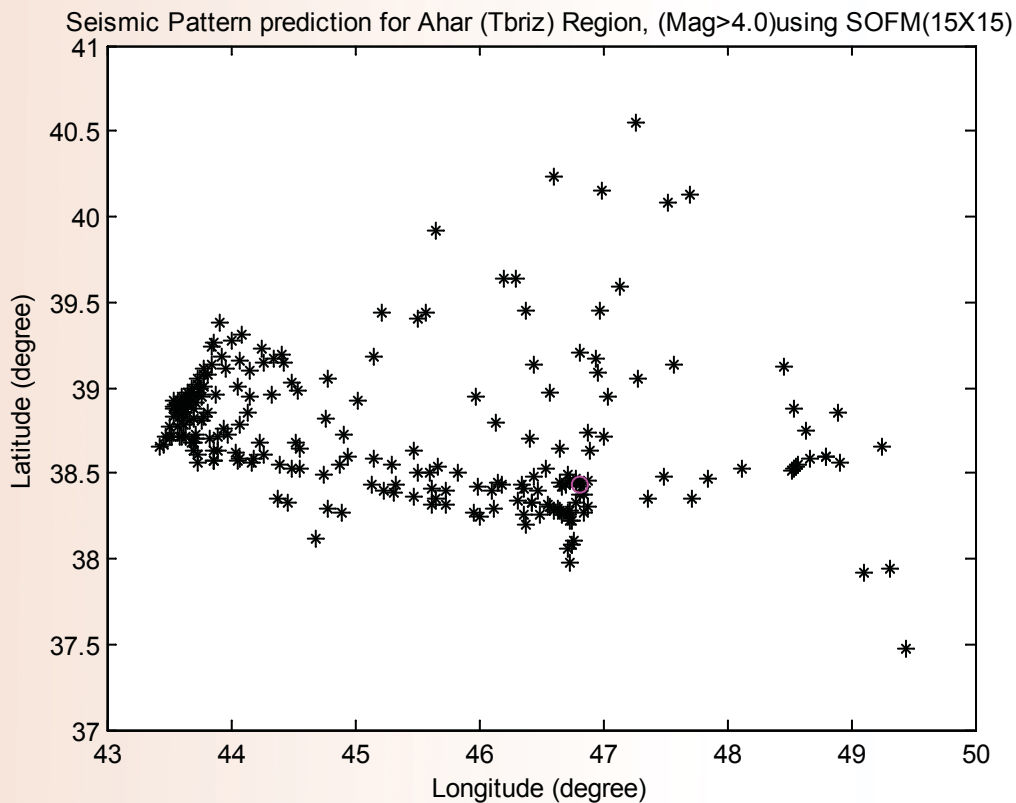
در این گزارش، برای پیش‌یابی توزیع مکانی پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۲۶ دسامبر ۲۰۰۳ بم ایران و زمین‌لرزه ۱۲ می ۲۰۰۸ چنگ دو سیچوان چین و برای تشخیص الگوهای لرزه‌ای از شبکه عصبی کوهون استفاده خواهیم کرد، به طوری که با اعمال کاتالوگ لرزه‌خیزی منطقه می‌توان مکان زمین‌لرزه‌های آینده در ایران را پیش‌یابی نمود.

**واژه‌های کلیدی:** تشخیص الگوهای لرزه‌ای، شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل‌های بدون سرپرستی، تجزیه و تحلیل خوشه، مناطق پر خطر لرزه‌ای، زمین‌لرزه‌های بزرگ، پیش‌یابی زلزله

**Keywords:** Seismic patterns recognition, Artificial neural networks, Unsupervised models, Clustering, Earthquake prone areas, Large earthquakes, Earthquake prediction



Idea of the SOM. All neurons contain a reference vector, whose dimension is the same as the dimension of the input data. Earthquake location expression pattern is compared to all reference vectors and the neuron containing the closest reference (black with white boundaries) is permitted to update with neurons belonging to the neighborhood region (shaded).



Pattern recognition using SOFM predicted a large earthquake in Ahar (Tbriz) earthquake of Iran



## Determination of Source, Path, and Site Effects in the Central Iran and Alborz from General Inversion of Strong-Motion Records

**Hamid Zafarani**

Assistant Professor, Seismology Research Center  
h.zafarani@iiees.ac.ir

**Anooshiravan Ansari**

## تعیین خصوصیات چشمه، مسیر و ساختگاه در ناحیه ایران مرکزی و البرز به کمک روش معکوس سازی تعمیم یافته با بررسی شتابنگاشت‌های ثبت شده در این ناحیه

حمید زعفرانی

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی h.zafarani@iiees.ac.ir

انووشیروان انصاری

The Iranian plateau located along the Alpine-Himalayan orogenic belt, is one of the most highly seismic regions in the world and consequently, several disastrous earthquakes have occurred in this area (e.g., Manjil, 1990, M 7.4; Tabas, 1978, M 7.4). Therefore, the necessity of having more precise seismic hazard studies in this region has become a key issue in earthquake engineering applications. Considering the limited number of studies about seismic sources, wave motion characteristics and site effects and also as well as the lack of enough high-quality strong motion records in some parts of Iran, a physical methodology is used in this research to deal with the this issue.

In this study, for estimating seismic parameters, the northern region as one of the most active seismic zones in Iran, is selected. To perform a reliable estimation of seismic hazard by using physical modeling approach, the study of region-specific source and wave propagation parameters, as well as seismic-site responses, is a priority for research. In this study, a generalized inversion of the S-wave amplitude spectra from the strong-motion network data in the northern Iran region is used in order to estimate the above mentioned parameters.

By gathering events form from 1990 to 2009, almost all significant earthquakes were selected. These earthquakes were recorded in different stations, which are located in a vast area in the northern Iranian region and cover a wide range of hypocentral distances. This study is one of the first attempts to evaluate region-specific seismic parameters in the Iranian plateau. The results contain seismic source parameters, S-wave attenuation and site responses from analysis of strong motion data and are verified with similar studies which have been done in the region so far.

**Keywords:** General inversion, Strong ground motion, Q factor, Stress drop, Iran

با توجه به قرار گرفتن کشور ایران در ناحیه‌ای لرزه‌خیز و واقع شدن بسیاری از شهرهای بزرگ و سازه‌های مهم (نظیر پالایشگاه‌ها، مخازن سوخت، شریانهای حیاتی و...) در مجاورت گسلها، لزوم شبیه‌سازی دقیق حرکات ناشی از فعال شدن گسلها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در این گزارش با رویکرد به روش معکوس‌سازی تعمیم‌یافته به برآورد پارامترهای اساسی روش‌های شبیه‌سازی برای ناحیه لرزه‌خیز شمال ایران مرکزی و البرز پرداخته شده است. برای انجام این کار یک روش دو مرحله غیرمقید استفاده شده است. در مرحله اول اثرات مسیر، چشمه و ساختگاه با اعمال فرض یا قید اضافه اثرات معلوم ساختگاه در ایستگاه مرجع بدست آمده است. در این مرحله هیچ فرضی در مورد شکل طیف چشمه صورت نگرفته است. در مرحله دوم بهترین مقادیر فرکانس گوشه، سطح طیف در فرکانس پایین و مقدار شیب طیف در فرکانسهای بالا با یک روش جستجوی شبکه تعیین شده است. نتایج حاصل از اعمال روش بر روی داده‌های منتخب ارائه شده است و صحت نتایج حاصل از معکوس‌سازی که شامل طیف کاهندگی مسیر، طیف چشمه لرزه‌زا و طیف پاسخ ساختگاه می‌باشد، با مقایسه و تحلیل‌های مختلف انجام شده، مورد بررسی قرار گرفته است. پارامتر کیفیت امواج برشی برابر بدست آمده است. برای تمامی ۲۹ زلزله موجود بانک داده‌های مسئله؛ ممان لرزه‌ای، فرکانس گوشه و افت تنش روی صفحه گسل بدست آمده است. با استفاده از پارامترهای بدست آمده برای هر طیف چشمه لرزه‌زا، صحت قانون تشابه بین زلزله‌های یک منطقه لرزه‌زا بررسی شده است، همچنین با استفاده از قانون مقیاس براون، افت تنش متوسط منطقه محاسبه شده که برابر با ۱۳۵ بار می‌باشد. نتایج بدست آمده کاربرد زیادی در شبیه‌سازی حرکات زلزله به روش واقع‌گرایانه و فیزیکی دارد و با توجه به اهمیت تهران به عنوان پایتخت کشور و واقع شدن آن در این ناحیه، این نتایج در برآورد و پیش‌بینی حرکات سناریوهای محتمل زلزله‌های آینده تهدید کننده این شهر کاربرد بسیار زیادی دارد. با انجام این پروژه امکان استفاده از این روش در بررسی مشخصات پس‌لرزه‌ها و زلزله اصلی و تفاوت‌های احتمالی خصوصیات چشمه آنها فراهم شده است. این کار در مطالعات پیش‌بینی زلزله نقش بسزایی در تفکیک حادثه اصلی و فرعی دارد.

**واژه‌های کلیدی:** معکوس‌سازی تعمیم‌یافته، جنبش نیرومند زمین، پارامتر کیفیت، افت تنش، ایران

## Slip Rates Along the Active Faults in Central Alborz Using GPS Measurements

**Khaled Hessami-Azar**

Assistant Professor, Seismology Research Center  
hessami@iiees.ac.ir

**Fatemeh Khorrami**

A present-day kinematics of northern Iran (the Alborz range and northern part of Central Iranian Block (CIB)) is showed using continuous GPS measurements. This study presents active deformations of the region by estimating velocity field and geodetic strain rate of 30 GPS stations from 2005 to 2009. The obtained velocity field suggests that western and central parts of the Alborz mountains accommodate the convergence between Arabia and Eurasia mainly through shortening at a rate of  $\sim 5$  mm/yr and 2 mm/yr left-lateral strike slip motion, while the eastern Alborz accommodates the differential motion on either side of the range by left-lateral strike slip faults at  $\sim 5$  mm/yr, as well as 2 mm/yr shortening across the range. It can be deduced from the velocity vectors that the main portion of shortening in the western and central Alborz is mainly taken up along the North Alborz and western Khazar faults. It is also evident from the site velocities that  $\sim 3$  mm/yr shortening is occurring in CIB, i.e.  $\sim 1.5$  mm/yr on northern side of CIB (along the Parchin-Pishva-Robatkarim faults) and  $\sim 1.5$  mm/yr along the Tafresh fault. These observations strongly suggest that CIB is not a rigid block. Principal axes of geodetic strain-rate tensor show that compressional deformation mainly occurs in western Alborz while transpressional deformation is dominant in eastern Alborz. Strain rate decreases in south and south-western parts of the belt, as it approaches the CIB. The compressional deformation in northern margin of CIB was also observed. Finally, we indicate that the present-day kinematics of the Alborz mountains is consistent with geological evidence and active tectonics of the region.

**Keywords:** Continuous GPS network, Alborz, Kinematics, Velocity field, Geodetic strain rate, Central Iran

## تعیین نرخ لغزش در طول گسلهای جنبای البرز مرکزی با استفاده از اندازه‌گیری‌های GPS

خالد حسامی آذر

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی hessami@iiees.ac.ir

فاطمه خرمی

از آنجایی که سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) یک تکنیک ژئودتیک بسیار قوی و دقیق در مطالعه حرکات و تغییر شکل‌های پوسته زمین محسوب می‌گردد، بنابراین در این تحقیق سعی شده است با استفاده از اندازه‌گیری‌های شبکه دائمی GPS ایران، کینماتیک کنونی شمال ایران (بخش شمالی ایران مرکزی و پهنه البرز) در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۰۹ مورد مطالعه قرار گیرد و چگونگی دگرشکلی و زمین‌ساخت جنبای این منطقه با استفاده از میدان سرعت و نرخ استرین ژئودتیک بررسی شود. میدان سرعت حاصل از توزیع کنونی ایستگاه‌های دائمی GPS نشان می‌دهد در البرز شرقی  $\sim 5$  mm/yr حرکت امتدادلغز چپگرد و  $\sim 2$  mm/yr کوتاه شدگی وجود دارد، در حالیکه در البرز مرکزی- غربی مقدار حرکت امتدادلغز چپگرد و کوتاه شدگی به ترتیب برابر  $2$  mm/yr و  $\sim 5$  mm/yr می‌باشد. قابل توجه است که  $80\%$  کوتاه شدگی موجود در البرز مرکزی- غربی ( $\sim 4$  mm/yr) روی گسل‌های شمال البرز و خزر غربی و مابقی ( $\sim 1$  mm/yr) در دامنه‌های جنوبی رخ می‌دهد. بنابراین میدان سرعت حاصل به خوبی نشان می‌دهد که در البرز مرکزی و غربی تغییر شکل عمدتاً از نوع فشارشی و در البرز شرقی از نوع امتدادلغز می‌باشد.

همچنین به نظر می‌رسد که  $\sim 3$  mm/yr کوتاه شدگی در بلوک ایران مرکزی در حال وقوع است که مقداری از آن ( $\sim 1.5$  mm/yr) در بخش شمالی بلوک ایران مرکزی یعنی در حد فاصل گسل‌های پارچین-پیشوا-رباط کریم و بقیه آن ( $\sim 1.5$  mm/yr) روی گسل تفرش توزیع شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بلوک ایران مرکزی کاملاً صلب نیست. محورهای استرین ژئودتیک بدست آمده نیز نشان می‌دهند که دگرشکلی البرز شرقی از نوع فشارشی- برشی و دگرشکلی البرز غربی غالباً فشارشی می‌باشد. قابل توجه است که نرخ استرین در نواحی جنوب و جنوب غربی پهنه البرز، بدلیل قرارگیری روی بلوک ایرن مرکزی کاهش می‌یابد. با توجه به راستای محورهای استرین، در حاشیه شمالی بلوک ایران مرکزی (جنوب و جنوب غرب پهنه البرز) سازوکار فشارشی مشاهده می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** شبکه دائمی GPS، البرز، کینماتیک، میدان سرعت، نرخ استرین ژئودتیک، ایران مرکزی

## Q- Velocity Model in Iran Using Surface Waves For Simulation of SGM

**Hossein Hamzehloo**

Associate Professor, Seismology Research Center  
hhamzehloo@iiees.ac.ir

**Habib Rahimi, Francesco Vaccari, Giuliano F. Panza**

In this study, it is proposed that first elastic and anelastic structure of the lithosphere and asthenosphere of the Iranian Plateau is derived by means of tomographic techniques applied to local phase, group velocities and local attenuation coefficients of Rayleigh wave fundamental mode. We used commonly known as Hedgehog nonlinear inversion method to evaluate the velocity structure. The Hedgehog was improved in order to derive attenuation structure using attenuation coefficients of Rayleigh wave fundamental mode. For this goal, a tomographic inversion of Rayleigh wave dispersion and attenuation coefficient was conducted to obtain, two-dimensional (2-D) phase, group velocity and attenuation coefficient tomographic images in the period range from 10 s to 100 s for the Iranian Plateau. An automated regionalization of a reduced domain of the Earth's surface, without a-priori seismotectonic information, is achieved by means of the slope and zero-frequency intercept of dispersive and attenuative linearized frequency dependence relations used as an input to a fuzzy logic clustering algorithm. For this purpose, the fundamental mode of Rayleigh waves, recorded along 1586 paths by 29 broad-band stations, has been identified by applying the frequency time analysis (FTAN) to each epicenter-station path which, at the same time, satisfies the two-station method conditions. The fundamental modes, identified by FTAN, were used to determine the inter-station path average phase, group velocities and attenuation coefficient at selected periods. With this procedure, more than 240 group and phase velocity dispersion curves and 150 attenuation coefficient curves have been processed to obtain tomographic maps by applying the Yanovskaya-Ditmar formulation, for periods in the range between 10 and 100 s. Each tomographic map has been discretized with a grid of  $0.5^\circ$  of latitude per  $0.5^\circ$  of longitude. In such a way, it has been possible to divide the Iranian Plateau into five homogeneous regions in terms of slope and zero-frequency intercept of attenuation and dispersion relations. The regionalization is based upon the optimum number of clusters estimated by calculation of validation indexes. The dense path coverage in the Iranian Plateau permits to produce images that have substantially higher lateral resolution than is currently available from

## بررسی مدل Q-Velocity برای ایران با استفاده از امواج

سطحی به منظور شبیه‌سازی جنبش نیرومند زمین

حسین حمزه‌لو

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی  
hhamzehloo@iiees.ac.ir

حبیب رحیمی، فرانچسکو وکاری، جولیانو پنزا

هدف این مطالعه تهیه نقشه‌های توموگرافی دوبعدی سرعت‌های فاز، گروه و ضرایب جذب برای اولین بار به روش معکوس‌سازی خطی؛ کلاس‌بندی منحنی‌های پراکندگی و جذب به منظور پهنه‌بندی فلات ایران به روش الگوریتم منطق فازی و تعیین ساختارهای الاستیک و غیرالاستیک پوسته و گوشته بالایی در پهنه‌های مختلف فلات ایران به روش معکوس‌سازی غیرخطی است. برای دستیابی به اهداف مذکور، مطالعه حاضر در سه بخش اساسی انجام شده است. در اولین بخش، منحنی‌های پراکندگی و جذب محلی با استفاده از داده‌های مناسب ثبت شده در ۲۹ ایستگاه باند پهن شبکه‌های لرزه‌نگاری پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و ایستگاه‌های دانشگاه فردوسی مشهد برآورد گردیدند. برای این منظور، مدهای اساسی امواج ریلی، که در طول ۱۵۸۶ مسیر که شرایط دو ایستگاهی را دارا بودند، با استفاده از روش آنالیز فرکانس-زمان (FTAN) از لرزه‌نگاشت‌های مورد نظر جدا شدند. مدهای اساسی امواج ریلی جدا شده به وسیله FTAN و سرعت‌های گروه تک ایستگاهی بدست آمده توسط آن، با استفاده از کد نوشته شده در این مطالعه برای محاسبه مقادیر سرعت‌های فاز، گروه و ضرایب جذب بین ایستگاهی در پرپودهای مدنظر به روش واهمامیخت بهینه‌واینر مورد استفاده قرار گرفتند. شایان ذکر است برنامه نوشته شده، قبل از این مرحله با استفاده از داده‌های مصنوعی اعتبارسنجی گردید. بدین طریق بیش از ۲۴۰ منحنی پراکندگی سرعت گروه و فاز و بیش از ۱۵۰ منحنی ضرایب جذب بین ایستگاهی برآورد شدند که اکثر مناطق فلات ایران بجز ناحیه جنوب شرقی را به خوبی پوشش داده‌اند. این منحنی‌ها با استفاده از روش معکوس‌سازی خطی یانوسکایا-دیتمار و شکل بهبود یافته آن در این مطالعه به ترتیب برای برآورد نقشه‌های توموگرافی دوبعدی سرعت‌های فاز، گروه و ضرایب جذب استفاده گردید، که در بازه پرپودی ۱۰ تا ۱۰۰ ثانیه ابزار اساسی برای بررسی تغییرات ناهمگنی‌های جانبی پوسته و گوشته بالایی به شمار می‌روند. پوشش خوب مسیرهای دو ایستگاهی امکان برآورد نقشه‌های توموگرافی دوبعدی با قدرت تفکیک جانبی بالاتر از مطالعات جهانی و منطقه‌ای موجود را فراهم و مقادیر پایین نسبی سرعت فاز، گروه و ضرایب جذب بالا را در پهنه فلات ایران ارائه گردید. نقشه‌های توموگرافی دوبعدی در فرکانس‌های بالا با ساختارهای پوسته بالایی و به خصوص با لایه‌های رسوبی و فرکانس‌های متوسط و پایین با ناهمگنی‌های گزارش شده برای پوسته و گوشته بالایی همخوانی خوبی را نشان می‌دهند. همچنین، یک روش پهنه‌بندی اتوماتیک برای پهنه‌بندی فلات ایران بر اساس دسته‌بندی پارامترهای مورد مطالعه و بدون استفاده از اطلاعات لرزه‌زمین‌ساختی به کار گرفته شد. بر این اساس



global and regional group velocity studies. Our results demonstrate that the Iranian Plateau is characterized by low crustal and uppermost-mantle group and phase velocities and high attenuation coefficient. Tomographic maps at high frequencies are well correlated with the upper crust structure and especially with sediments layers thickness. The regionalization of the areas is well correlated with the main tectonic features of the study area and mimics a recently proposed tomographical sketch. Our results are comparable with existing group velocities and other local body wave attenuation studies in different parts of Iran. Averaged dispersion curves of phase, group velocities and attenuation coefficients representing each rather homogeneous region are computed. The regions defined in such a way were compared with known seismotectonic domains. Finally, we used a fully non-linear inversion procedure, commonly known as Hedgehog (Valyus et al., 1969; Valyus, 1972; Knopoff, 1972; Panza, 1981; Panza et al., 2007) to derive tomographic images of the elastic and anelastic structure of the lithosphere and asthenosphere of the Iranian Plateau.

**Keywords:** Anelastic, Elastic structures, Surface waves, Iran plateau

از روش الگوریتم منطق فازی و با استفاده از شیب و عرض از مبدأ روابط خطی برازش شده به منحنی‌های توابع سرعت فاز، گروه، و ضریب جذب امواج ریلی، فلات ایران به پنج ناحیه همگن تقسیم‌بندی گردید. ناحیه‌های بدست آمده برای فلات ایران با روند مذکور، با ساختارهای مهم تکتونیکی و تا حدود زیادی با ایالت‌های لرزه‌زمین‌ساختی اساسی ارائه شده برای فلات ایران منطبق می‌باشد.

در مرحله دوم با توجه به اینکه برآورد منحنی‌های سرعت‌های فاز، گروه و جذب تئوری برای مدل‌های زمین بخش اساسی در معکوس‌سازی ساختارهای عمقی سرعت و جذب امواج برشی در زمین را تشکیل می‌دهد، به مدلسازی منحنی‌های تئوری پرداخته شده‌است. بدین منظور از روش تجمیع مدها برای مدلسازی اطلاعات پراکندگی فاز و سرعت گروه برای مدل‌های ساختاری زمین استفاده شده‌است. برای برآورد منحنی‌های تئوری ضرائب جذب برای مدل زمین غیرالاستیک از کد نوشته شده در این مطالعه بر اساس روش اندرسون استفاده شده‌است. برای این منظور نیاز به برآورد مشتقات جزئی نسبت به پارامترهای ساختار زمین می‌باشد، که با استفاده از روش تحلیلی و ارتقاء کدهای موجود محاسبه گردیدند. کدهای نوشته شده برای برآورد مشتقات جزئی به صورت عددی و پارامترهای غیرالاستیک با استفاده از داده‌های مصنوعی مختلف اعتبارسنجی شدند. در مرحله سوم، منحنی‌های تئوری و مشاهده‌ای بدست آمده در دو مرحله قبل با استفاده از روش معکوس‌سازی غیرخطی هدجگ برای برآورد ساختار سرعت و جذب امواج برشی بکار برده شدند. کد روش غیرخطی هدجگ برای برآورد ساختارهای سرعت امواج برشی موجود بوده و در این مطالعه کد مذکور برای برآورد ساختارهای جذب امواج ارتقاء یافته و مورد استفاده قرار گرفت. برای محاسبه ساختارهای عمقی، مقادیر میانگین منحنی‌های سرعت فاز، گروه و ضرایب جذب برای کلیه سلولهای قرار گرفته در هر پهنه بدست آمده از توموگرافی دو بعدی محاسبه و با استفاده از روش معکوس‌سازی غیرخطی هدجگ، ساختارهای عمقی الاستیک و غیرالاستیک پوسته و گوشته بالایی برآورده گردید. ساختارهای سرعتی و جذب بدست آمده در نواحی مذکور با ساختارهای سرعتی ارائه شده برای مناطق مختلف پهنه ایران مقایسه گردید. ساختارهای سرعتی و جذب بدست آمده در این مطالعه علاوه بر این که در مطالعات زلزله‌شناسی، برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین و برآورد واقع‌گرایانه خطر زلزله دارای اهمیت ویژه‌ای است با فرایندهای تکتونیکی و ژئودینامیکی ارائه شده در ناحیه زاگرس، کپه داغ، ایران مرکزی و البرز سازگاری خوبی را نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** ساختارهای الاستیک و غیرالاستیک پوسته و گوشته بالایی، امواج سطحی، فلات ایران

## Continental Lithosphere Structure Beneath the Iranian Plateau Based on Receiver Function and Surface Wave Analysis

**Mohammad Tatar**

Associate Professor, Seismology Research Center  
mtatar@iiees.ac.ir

**Afsaneh Nasrabadi**

Lithosphere structure of the Iranian Plateau which is located between two convergent Arabian and Eurasian plates is studied. More than 3 years of teleseismic earthquakes recorded by 12 broadband stations of Iranian National Seismic Network (INSN) from 2004 to 2007 are used to investigate the structure and thickness of the crust and uppermost mantle in different parts of Iran by joint inversion of the receiver function and surface wave phase velocity dispersion data.

Receiver functions are primarily sensitive to shear-wave velocity contrasts, whereas surface-wave dispersion measurements are sensitive to average shear-wave velocity. A combined inversion of Rayleigh wave phase velocities and body wave receiver functions increases the uniqueness of the solution over separate inversions and facilitates explicit parameterization of layer thickness in the model space.

The time-domain iterative deconvolution procedure, which has higher stability with noisy data compared to frequency-domain methods, was employed to deconvolve the vertical component of the teleseismic P waveforms from the corresponding horizontal components and obtained radial and transverse receiver functions for twelve broadband stations of INSN network. More than one year of teleseismic waveforms, recorded at INSN stations from June 2004 to August 2005, were selected in order to obtain receiver function curves for the station. The waveforms were corrected from the instrument response before proceeding with the receiver function deconvolution. High-frequencies were filtered using a Gaussian filter, at 1.0, which gives an effective high-frequency limit of about 0.5 Hz.

Rayleigh wave phase velocity dispersion curves were estimated employing the two-station method, which is one of the most classical techniques to determine regional variations of surface-wave phase velocities. The desired part of the waveform is isolated from the seismogram using FTAN. The fundamental mode of Rayleigh wave is selected by constructing energy versus period diagram of the surface wave. This curve is used to construct a time-variable filter, whereby the desired fundamental mode surface wave

## مطالعه ساختار لیتوسفر قاره‌ای در زیر فلات ایران بر اساس تحلیل توابع گیرنده و پاشندگی امواج سطحی

محمد تاتار

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی mtatar@iiees.ac.ir

افسانه نصرآبادی

ساختار سرعتی پوسته و گوشته فوقانی در قسمت‌های مختلف ایران، و بویژه ضخامت پوسته در زیر ایستگاه‌های لرزه‌نگاری باند وسیع شبکه ملی لرزه‌نگاری کشور (INSN)، بر اساس برگردان همزمان منحنی پاشندگی سرعت فاز امواج سطحی حاصل از سه سال داده دور لرزه، و توابع گیرنده بدست آمده از یک سال داده دور لرزه ثبت شده در این ایستگاهها، مورد مطالعه قرار گرفته است. توابع گیرنده به تغییر سرعت موج برشی و زمان سیر عمودی حساس بوده و می‌توانند تباین سرعت را در لایه‌های ساختار زیر گیرنده نشان دهند، ولی بین سرعت بدست آمده و عمق مورد نظر هماهنگی وجود ندارد. منحنی پاشندگی امواج سطحی هم ابزار مناسبی جهت تعیین متوسط سرعت موج برشی در محدوده وسیعی از عمق بین دو ایستگاه لرزه‌ای می‌باشد، ولی به ناپیوستگی‌های سرعت و تباین سرعت نسبت به تابع گیرنده حساسیت کمتری دارد. ترکیب این دو و برگردان همزمان توابع گیرنده و اطلاعات پاشندگی امواج راییلی، می‌تواند مدل دقیق‌تر و با کیفیت بالاتری از عمق ناپیوستگی موهو و تغییرات سرعت موج برشی در سنگ کره را به ما بدهد.

جهت تعیین توابع گیرنده از روش تکرار واهمامیخت در حوزه زمان که پایداری بالاتری با داده‌های نوفه‌دار در مقایسه با روش حوزه فرکانس دارد، استفاده گردید. پس از تصحیح اثرات دستگاهی (بهره و پاسخ دستگاهی)، مؤلفه‌های افقی لرزه‌نگاشت به دو جهت شعاعی و مماسی چرخش داده شدند و جهت حذف اثر چشمه و مسیر و اثر دستگاهی از روش واهمامیخت مؤلفه عمودی از مؤلفه‌های افقی لرزه‌نگاشتها استفاده شد. جهت حذف نوفه‌های با فرکانس بالا، بر روی توابع گیرنده فیلتر گوسی با پارامتر پهنای  $a$  برابر با مقدار ۱ اعمال گردید. این فیلتر در حقیقت یک فیلتر پایین‌گذر می‌باشد که اجازه عبور فرکانسهای کمتر از ۰/۵ هرتز را می‌دهد.

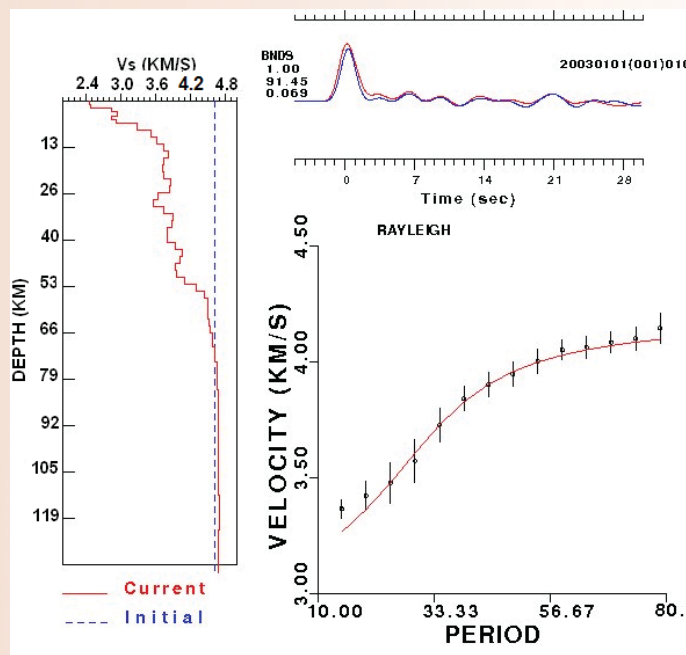
منحنی پاشندگی سرعت فاز امواج راییلی بین جفت ایستگاهها، با تعیین سرعت گروه امواج راییلی و استخراج مد اصلی این امواج بروش انجام آنالیز حوزه زمان - فرکانس (FTAN) و کاربرد فیلتر چندگانه تعیین گردید. در این مرحله با تعیین اختلاف طیف فاز در دو نقطه از مسیر دایره بزرگ، سرعت فاز با معلوم بودن فاصله بین دو ایستگاه و اختلاف زمان رسید یک فاز به این دو ایستگاه محاسبه گردید.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که ضخامت پوسته در زیر فلات ایران از یک کمینه ۴۰ (±۲) کیلومتر در جنوب شرق ایران (ایستگاه زاهدان) تا یک بیشینه ۵۸ (±۲) کیلومتر در زیر زون سنندج - سیرجان (ایستگاه نایین) تغییر می‌کند. یک ضخامت پوسته ۴۷ (±۲) کیلومتر در زیر زاگرس مرکزی (ایستگاه قیر) مشاهده شد که به طرف بخش‌های

signal can be extracted from the observed waveform. Phase velocity dispersion data is obtained for each pair of stations using Winner filter.

Our result indicates that the crustal thickness differs from a minimum of  $40 \pm 2$  km in southeast of Iran, (ZHSF) to a maximum of  $56 \pm 2$  km beneath the Sanandaj-Sirjan zone (SNGE). A thickening of the crust was observed from  $47 \pm 2$  km beneath the central Zagros (GHIR) to  $52 \pm 2$  km below the eastern most of Zagros (BNDS), then to  $47 \pm 2$  km beneath the northwestern part of the Zagros (SHGR). Crust of the central Iran (KRBR) has a thickness of  $48 \pm 2$  km while the average Moho depth in southern parts of the Central Alborz (DAMV and THKV stations) is  $54-56 \pm 2$  km. Our analysis shows a thinning of the crust to  $43 \pm 2$  km beneath the northwest of Iran (MAKO) and western part of the Caspian basin (GRMI). Our observations also indicated that S-wave velocity of Iranian platform lithosphere varies from 4.5 km/s beneath the Zagros which is in good agreement with Arabian platform shear wave velocity, to 4.2 km/s toward NE beneath the central Iran and Alborz.

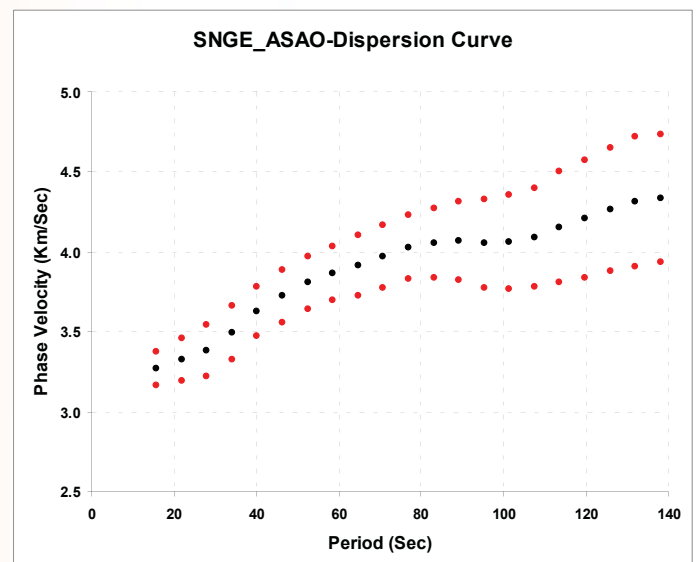
**Keywords:** Continental lithosphere, Receiver function, Doispersion of surface wave, Phase Velocity, Rayleigh wave



Joint inversion of stacked receiver function for backazimut of 105-115 degrees to BNDS station with Rayleigh wave phase velocity dispersion curve. Moho is located at  $52 (\pm 2)$  km depth.

شرقی (ایستگاه بندرعباس) به  $52 (\pm 2)$  کیلومتر افزایش می یابد و به سمت شمال شرق و پس از عبور از زون زاگرس، عمق موهو به  $56 (\pm 2)$  کیلومتر در زیر زون سنندج - سیرجان (ایستگاه سنندج) می رسد. متوسط عمق موهو در قسمت های جنوبی البرز مرکزی (ایستگاههای دماوند و کاوش)  $54-56$  کیلومتر می باشد و سازگار با نتایج تحقیقات پیشین نشان می دهد که رشته کوه البرز فاقد ریشه عمیق می باشد. ضخامت مشاهده ای برای پوسته مربوط به ایران مرکزی (ایستگاه کرمان) به  $46-50$  کیلومتر می رسد. تغییرات سرعت موج برشی مشاهده ای در بخش تحتانی سنگ کره، دلالت بر یک سرعت بیشینه  $4/5$  کیلومتر بر ثانیه در زیر زاگرس، مشابه سرعت این امواج در زیر صفحه عربی دارد که به سمت شمال شرق از مقدار آن کاسته شده و به  $4/2$  کیلومتر بر ثانیه در زیر زون ایران مرکزی و البرز می رسد.

**واژه های کلیدی:** لیتوسفر قاره ای، توابع انتقال گیرنده، پاشندگی امواج سطحی، سرعت فاز، امواج ریلی



Final Rayleigh wave phase velocity dispersion curve for SNGE-ASAO path with its standard deviation.



## Three Dimensional Structure Study of the Bam Region from Local Earthquake Tomography

**Mohammad Tatar**

Associate Professor, Seismology Research Center  
mtatar@iiees.ac.ir

**Zeynab Jeddy**

The December 26, 2003 Mw 6.6 Bam earthquake is one of the most disastrous earthquakes in Iran. This earthquake attracted much attention, and has been far more studied than could be expected from a moderate magnitude earthquake. Nevertheless, there are doubtful results related to geometry and location of the causative fault that produced the Bam earthquake. As very little is known about the 3D structure of the region and in order to define the 3D velocity structure and the geometry of the active fault in the Bam area, travel time data from aftershock series of the Bam earthquake are inverted simultaneously for both hypocenter locations and 3D Vp structure. The data used for this purpose are 6201 P-wave arrival times from 544 selected local earthquakes recorded by 23 temporary short-period seismic stations. Thurber's simultaneous inversion method (1983) was applied to the arrival time data to obtain a 3D velocity structure, and hypocentral locations. 3D P-wave velocity variations down to 20 km depth were obtained. The acquired tomographic images show that the 3D velocity structure beneath the region is heterogeneous, in which low velocity appears throughout the region down to ~10 km depth, and high velocities occur in the western part from ~14 km depth. The inverse problem of 3-D local earthquake tomography is formulated as a linear approximation to a non-linear function. This process helps in determination of geometry of the Bam-Baravat escarpment and its role as causative fault during the Bam earthquake. Special efforts were made to access the solution quality including resolution estimates and synthetic tests. Velocity structure of seismogenic region are well resolved to a depth of 20 km. Difference in observed velocities in two sides of the Bam fault in depth of 10-20 km is clear in tomographic images and on cross sections. We relate this difference in velocity to the effect of the reverse Bam-Baravat fault which seems to have influenced the deeper layer down to 20 km depth. This implies that the pre-existing reverse Bam-Baravat fault is a major active structure in the region that could cause the December 2003 Bam earthquake.

**Keywords:** Travel time tomography, Bam earthquake, Local earthquakes, Reverse faulting, Bam-Baravat fault

## تعیین ساختار سه بعدی پوسته در منطقه بام به روش توموگرافی زمین لرزه های محلی

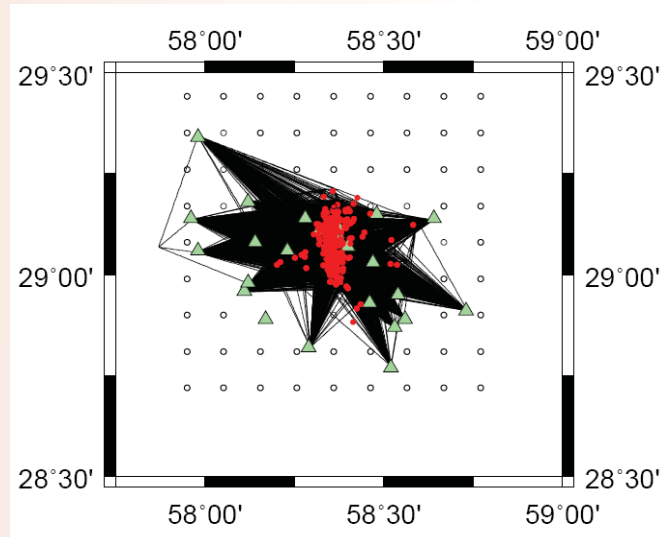
محمد تاتار

دانشیار پژوهشکده زلزله شناسی، mtatar@iiees.ac.ir

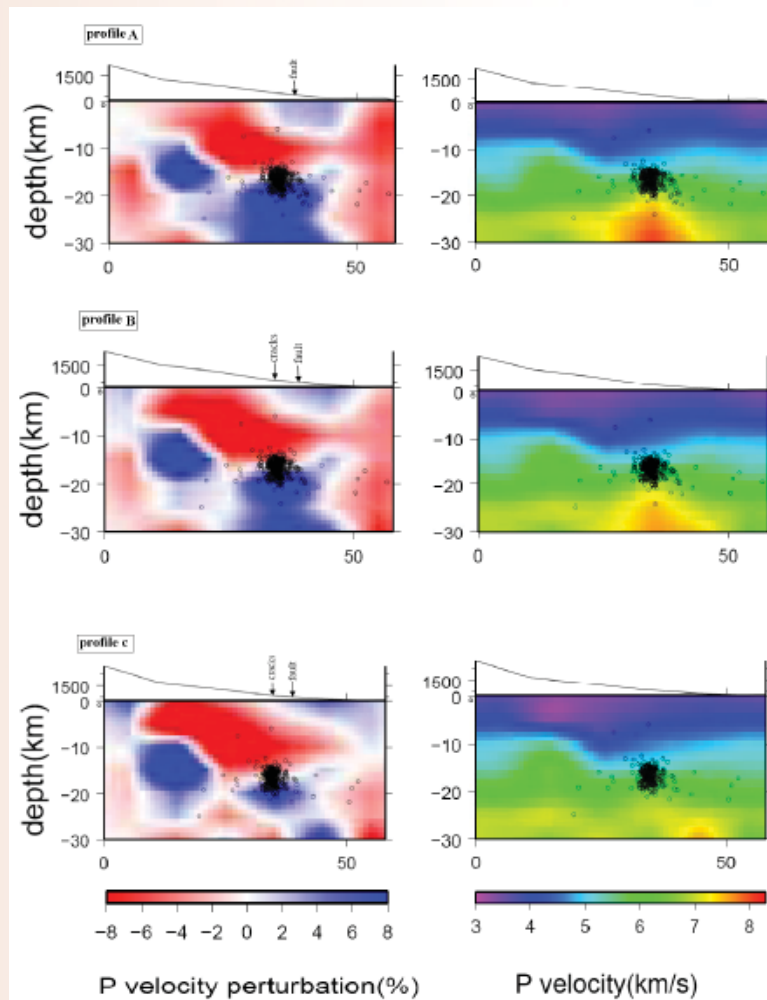
زینب جدی

در تاریخ ۵ دی ماه ۱۳۸۲ (۲۶ دسامبر ۲۰۰۳) زمین لرزه ای با بزرگی  $MW = 6.6$  بخش وسیعی از جنوب استان کرمان را به لرزه در آورد. با توجه به تلفات زیاد این رویداد توجه زیادی روی این زمین لرزه معطوف شد. علیرغم مطالعات گسترده، ابهامات زیادی در مورد هندسه و محل گسل مسبب زمین لرزه بام باقی مانده است. در تحقیق حاضر، سعی بر این است تا با به نقشه در آوردن تصویر سه بعدی ساختار سرعتی منطقه، تصویر این گسل در عمق و در صورت امکان نقش آن در ایجاد زمین لرزه دیماه ۱۳۸۲ مورد بررسی قرار گیرد. افزاز گسلی بام-بروات در شرق شهر بام با امتداد شمالی-جنوبی از سه بخش اصلی تشکیل شده است. فعالیت لرزه خیزی تاریخی و دستگامی مربوط به گسل بام بسیار کم و بیشتر زمین لرزه ها در ارتباط با گسلهای ناپبند، گوک، شهداد و جیرفت می باشد. برای تعیین ساختار سه بعدی منطقه و هندسه گسل فعال بام، داده های زمان سیر پس لرزه های زمین لرزه بام به طور همزمان برای ساختار سرعت سه بعدی و کانون زمین لرزه ها با استفاده از نرم افزار Simulps ۱۴ و روش وارون سازی همزمان تربر (۱۹۸۳)، وارون سازی شده اند. در این مطالعه، ۶۲۰۱ زمان رسید موج P از ۵۴۴ زلزله محلی ثبت شده در ۲۳ ایستگاه موقت نصب شده پس از زمین لرزه بام، مورد استفاده قرار گرفته اند. تغییرات سرعت سه بعدی موج P برای اعماق کمتر از ۲۰ کیلومتر در این مطالعه به دست آمده است. در زیر اعماق ۱۰ کیلومتر سرعت کمی در منطقه حاکم است و در عمق ۱۴ کیلومتری در قسمت غربی یک آنومالی با سرعت بالا دیده می شود. تفاوت در سرعت مشاهده ای در دو طرف گسل بام در اعماق ۱۰-۲۰ کیلومتری در تصاویر توموگرافی و مقاطع عرضی ترسیمی به طور واضح دیده می شود. این تفاوت سرعتی به گسل معکوس بام-بروات نسبت داده می شود. به نظر می رسد گسل بام-بروات ساختار فعال اصلی منطقه طی زمین لرزه مخرب ۵ دیماه ۱۳۸۲ بوده است.

**واژه های کلیدی:** توموگرافی زمان سیر، زمین لرزه بام، زمین لرزه های محلی، گسلش معکوس، گسل بام - بروات



Ray coverage for the Bam area. Ray paths (solidline), seismological stations (Triangle), recorded aftershocks (red circles) and network nodes (empty circles) are presented in the figure.



Relative velocity (left) and absolute velocity (right) cross sections perpendicular to the fault trend



## Study of the b-value Variation in Two Tectonic Settings of Iran

**Khaled Hessami-Azar**

Assistant Professor, Seismology Research Center  
hessami@iiees.ac.ir

The b-value, as one of the most commonly used parameters in seismology, provides a suitable scale of seismic rate at a given region. From Gutenberg-Richter relation i.e.  $\log N = a - bM$ , we have the "b-value" representing dip angle of frequency-magnitude relation of the region earthquakes.

In this study, the map of b-value variations was used across two tectonic regions in Iran namely; Alborz and Azarbaijan. Separate catalogues and different time windows were used in this study to investigate and process the seismic data of the two regions. To process the data and produce the b-value map, we have invoked the ZMap 6.0 program which can be run under MATLAB software.

The map of b-value variations in the Alborz region (1996-2010) indicates that within the time window 1996-2004, both western and eastern parts of the Alborz suffer from high stress values. While, after the Kojur earthquake (i.e. the 2004-2010 period), the stress level in the eastern part of the Alborz has relatively decreased. Within this time window, however, in the western half across the Rudbar, North Qazvin and Alamastrud faults, which were highly stressed during 1996-2004, the stress level has also decreased.

The map of b-value variations in the Azarbaijan region (1996-2010) indicates the b-value in the range of 0.6 to 1.8 throughout the region. There is no earthquake larger than  $M=5$  in the time period 1996-2010 to be used as a reference event to interpret the stress distribution of the region. The b-value changes from 0.8 to 1.0 along the North Tabriz fault so that in the eastern part, the b map shows lower values – in comparison to the central and western parts.

**Keywords:** The b-value, North Tabriz fault, Alborz, Seismicity, Prediction

## بررسی تغییرات پارامتر b در دو ناحیه زمین ساختی ایران

خالد حسامی آذر

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی hessami@iiees.ac.ir

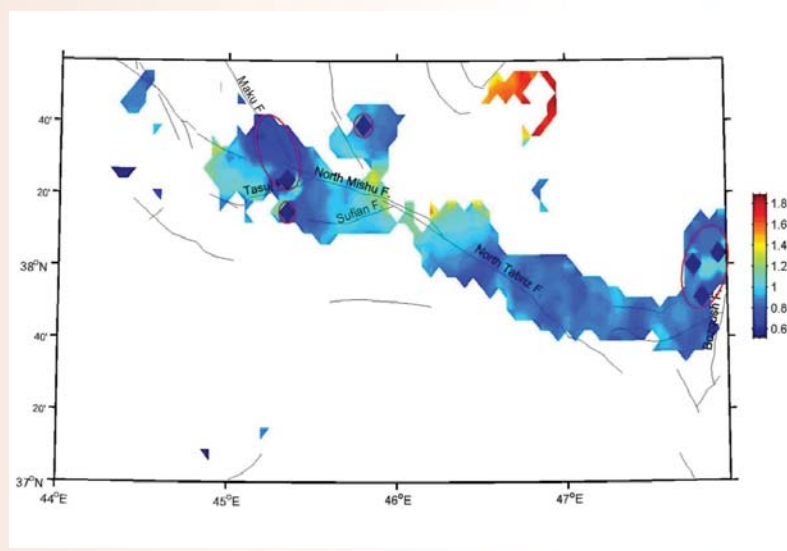
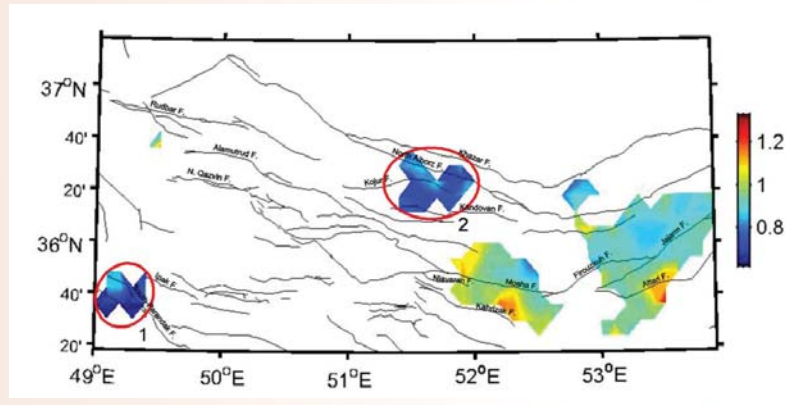
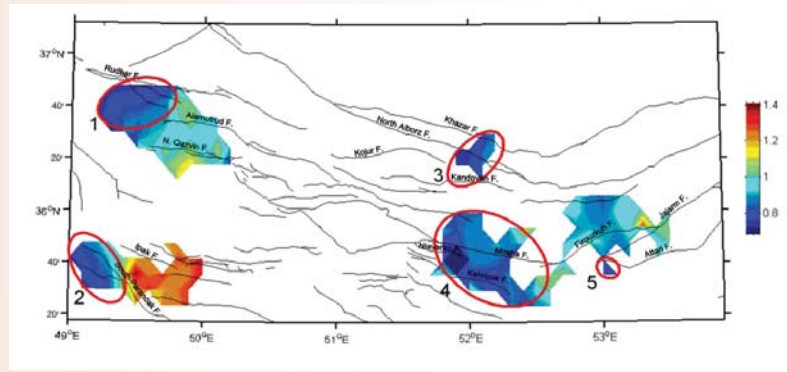
پارامتر مقدار b (b-value) به عنوان یکی از پارامترهای بسیار متداول در مطالعات زلزله‌شناسی مقیاس مناسبی از نرخ لرزه‌خیزی یک منطقه به دست می‌دهد. b-value که از رابطه گوتنبرگ-ریشتر ( $\log N = a - bM$ ) بدست می‌آید معرف شیب نمودار فراوانی-بزرگای زمین‌لرزه‌هاست. آنچه در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته است، نقشه تغییرات مقدار b در دو ناحیه زمین ساختی البرز و آذربایجان است.

کاتالوگ‌های مجزا و بازه‌های زمانی متفاوتی برای دو ناحیه البرز و آذربایجان انتخاب و پردازش گردیده است. برای پردازش و تهیه نقشه پارامتر b از برنامه ZMAP 6.0 که تحت نرم‌افزار MATLAB اجرا می‌گردد، استفاده شده است.

نتیجه حاصل از نقشه تغییرات پارامتر b در البرز (بازه ۲۰۱۰-۱۹۹۶) بیانگر آن است که در بازه زمانی ۲۰۰۴-۱۹۹۶ نیمه شرقی و غربی البرز توأماً میزان تنش بالایی را نشان می‌دهند. در حالیکه بعد از زمین‌لرزه کجور و در بازه ۲۰۱۰-۲۰۰۴ نیمه شرقی البرز توزیع تنش متفاوتی به خود گرفته و مقدار تنش به طور نسبی کاهش یافته است. در این بازه زمانی مقدار تنش در نیمه غربی البرز در محدوده گسل‌های رودبار-شمال قزوین و الموت‌رود نیز کمتر شده است، در حالی که این مناطق در بازه ۲۰۰۴-۱۹۹۶ از تنش بالایی برخوردار بودند.

نتیجه حاصل از نقشه تغییرات پارامتر b در آذربایجان (بازه ۲۰۱۰-۱۹۹۶) بیانگر آن است که مقدار b از ۰/۶ تا ۱/۸ در کل منطقه تغییر می‌کند. در محدوده مورد بررسی زمین‌لرزه‌ای با بزرگای بیشتر از ۵ در بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۹۶ رخ نداده است که بتوان از آن به عنوان زمین‌لرزه مرجع در تفسیر توزیع تنش در منطقه استفاده نمود. مقدار b در طول گسل شمال تبریز از ۱-۰/۸ متغیر بوده به طوری که در بخش شرقی خود میزان b کمتری را نسبت به بخش مرکزی و غربی نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** b-value، گسل شمال تبریز، البرز، لرزه‌خیزی، پیش‌بینی



## Discrimination Between Artificial Events (Explosions) and Earthquakes Using ARMA Filters

**Mostafa Allamezadeh**

Assistant Professor, Seismology Research Center  
mallam@iiees.ac.ir

**Sayeh Mirzaie**

In this paper, the problem of seismic source classification is considered at regional distances. The neural network classifier is fed by Nonlinear Autoregressive Moving Average (NARMA) coefficients extracted from raw data as feature set. We have devised a supervised neural system to discriminate between earthquakes and chemical explosions applying filter coefficients obtained from the windowed P-wave phase (15 sec). First, the recorded signals are preprocessed to cancel out instrumental and attenuation site effects and obtain a compact representation of seismic records. Then, a Quadratic Neural Network (QNN) system was used to extract nonlinear ARMA coefficients for feature extraction in the discrimination problem. These coefficients were then applied to a probabilistic network for the purpose of training and classification. The results have shown that the overall combination of this feature extraction and classifier structure leads to a suitable seismic discrimination performance. The events tested includes 36 chemical explosions at the Semipalatinsk test site in Kazakhstan and at test site in China as well as 61 earthquakes ( $m_b=5.0-6.5$ ) recorded by the Iranian National Seismic Network (INSN).

**Keywords:** Discrimination, Earthquakes, Explosions, Neural network, ARMA model coefficients

## تشخیص انفجار از زمین لرزه در کاتالوگ شبکه لرزه نگاری باند پهن با استفاده از فیلتر ARMA

مصطفی علامه زاده

استادیار پژوهشکده زلزله شناسی mallam@iiees.ac.ir

سایه میرزایی

ARMA روشی پارامتری برای مدلسازی سیگنال است. این روش برای مسایلی که در آنها سیگنال با یک تابع منبع صریح معلوم و دارای پارامترهای قابل تنظیم، مناسب می باشد. نتایج بدست آمده نشان می دهند که شبکه عصبی مصنوعی به طور موثر و دقیق، ضرایب ARMA را محاسبه می کند. شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با سایر روش های موجود، کارکرد بهتری در محاسبه ضرایب ARMA از خود نشان می دهد که به خاطر طبیعت غیرخطی شبکه عصبی مصنوعی است. در سایر روش های مدلسازی پارامتری، فرض خطی بودن در نظر گرفته شده است در حالی که با استفاده از شبکه عصبی، می توان مدل غیرخطی ARMA را برای سیگنال بدست آورد که در مورد داده های زلزله در نظر گرفتن مدل غیرخطی مناسب تر است و ضرایب بدست آمده در امر تفکیک زلزله و انفجار به کار می آیند. شبکه مربعی QNN برای این منظور به کار گرفته می شود چرا که بررسی ها نشان داده این شبکه جهت حصول مجموعه ویژگی های انتخاب شده در این پژوهش (ضرایب مدل ARMA غیرخطی)، با تعداد بسیار کمتری از نرون ها و همچنین تکرارهای کمتر قادر به یادگیری و شناسایی فضای ورودی است. ضمناً خاصیت مربعی نرون ها در این حالت، یکی از نقاط قوت این شبکه ها در تحقق سخت افزاری آنها می باشد.

داده ها، شامل ۲۳ سیگنال زلزله و ۲۵ سیگنال انفجار به طول ۴۰۹۶ نمونه و نرخ نمونه برداری 20Hz می باشد. در ابتدا، داده ها از فیلتر پایین گذر 4Hz~0.5 طراحی شده، عبور داده می شوند و سپس نرخ نمونه برداری آنها به 10Hz کاهش می یابد. جهت استخراج ویژگی ها، ابتدا پنجره ای به طول دلخواه (تأثیر تغییر طول پنجره بر روی عملکرد طبقه بندی، در شبیه سازی ها مورد بررسی قرار گرفته است) روی نمونه ها اعمال می کنیم و به این ترتیب، ضرایب مدل ARMA برای هر بخش از نمونه ها به صورت جداگانه حاصل می شوند و مجموع این ضرایب، به عنوان ویژگی های سیگنال در طبقه بندی مورد استفاده قرار می گیرند. (پنجره ها می توانند هم پوشانی داشته باشند) نتایج عملی، نشان داده اند که استفاده از یک پنجره و بکارگیری درجه مدل  $ARMA(p=14)$ ، منجر به عملکرد بهتری می شود چرا که با افزایش تعداد پنجره ها ضرایب بدست آمده تغییر محسوسی ندارند و فقط به صورت تناوبی تکرار می شوند. شبکه عصبی به کار گرفته شده برای تفکیک داده های زلزله و انفجار، شبکه PNN می باشد که برای فضای ویژگی انتخاب شده در این مسأله مناسب می باشد.

بررسی نتایج این پژوهش نشان می دهد که به کارگیری شبکه عصبی هم در حصول ویژگی های استخراج شده از سیگنال ها و هم در طبقه بندی داده ها ساختار مناسبی جهت تفکیک در مسأله پیش رو بدست می دهد. به نظر می رسد که به کار گرفتن این ساختار، روشی مناسب برای طبقه بندی سیگنال های لرزه ای باشد.

**واژه های کلیدی:** تشخیص، انفجار، شبکه عصبی، ضرایب، فیلتر ARMA



## Seismic Wave Velocity Anisotropy in the Upper Crust of Bam Area

Gholam Javan Doloei

Assistant Professor, Seismology Research Center  
javandoloei@iiees.ac.ir

## تعیین ناهمسانگردی سرعت موج لرزه‌ای در پوسته بم و ارتباط آن با خطواره‌های ساختاری منطقه

غلام جوان دولویی

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی javandoloei@iiees.ac.ir

The seismic anisotropy is a subject of interest for seismologists and geologists. Less well-known information of seismic anisotropy has a key role in geology interpretations. An anisotropic material is one whose properties vary with axis along which they are considered. Seismic anisotropy is a ubiquitous feature of most geological materials. This is because rocks generally exhibit fabric or order, which leads to a directional dependence in seismic velocities. In anisotropic medium, one component of the shear wave travels faster than the orthogonal component. These differences in speed cause the waves to separate.

The characterization of anisotropy in the Earth provides a great progress in understanding Earth's structures and dynamic evolutions. It is often believed that the vast majority of crustal anisotropy is caused by cracks and microcracks in the upper 10-15 km of the crust, which produce 0.04 to 0.25s for anisotropy magnitude. Microcracks in rocks are aligned parallel to the minimum principle stress. The influence of these cracks is in such a way that the lower velocities propagate normal to the average crack plane. In this study, the upper crust anisotropy in Bam area has been investigated by means of shear wave splitting sg phase. More than three hundred aftershocks have been selected from IIEES local temporary seismic network which has been installed after 2003/12/26 Bam earthquake. The aim of this study is to calculate the magnitude ( $\delta t$ ) of anisotropy and direction ( $j$ ) of fast wave as main parameters of seismic wave anisotropy in Bam area in south east of Kerman province. For measuring the anisotropy parameters, we have used the Teanby et al. (2004) shear wave splitting technique. The results for 15 seismic stations show one main direction for shear wave anisotropy with value of 39 to 79 Degree. The size of anisotropy is about 0.034 to 0.1 sec. which indicates that the anisotropy belongs to the uppermost crust of Bam area.

**Keywords:** Bam, Geology, Local seismic net, Seismic wave anisotropy, Seismology, Shear wave splitting

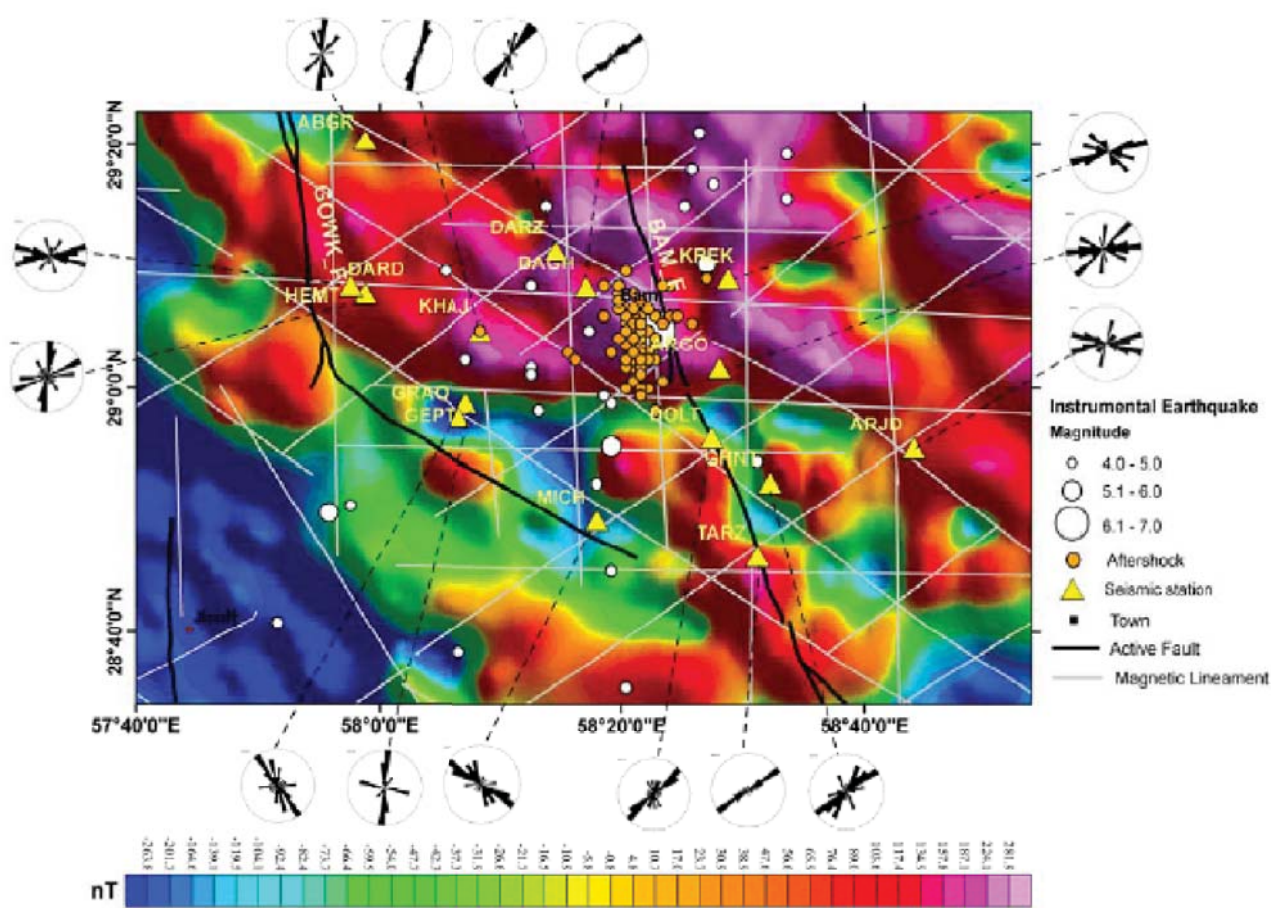
رفتار موج هنگام عبور از محیط ناهمسانگرد کاملاً متفاوت با عبور از یک محیط همسانگرد است. در یک محیط ناهمسانگرد یک مؤلفه از موج سریع‌تر از مؤلفه متعامد آن طی مسیر می‌کند. اطلاع از خواص ناهمسانگردی سرعت انتشار امواج لرزه‌ای و بررسی علل زمین‌شناختی آن در لایه‌های مختلف زمین اهمیت ویژه‌ای در زلزله‌شناسی و زمین‌شناسی دارد، زیرا که از طریق مطالعه آن امکان دستیابی به راستای درز و ترک‌ها، درجه شکستگی‌ها، چگونگی میدان‌های تنش در منطقه و احتمال حضور سیال در پوسته، فراهم می‌گردد. مهم‌ترین عامل ناهمسانگردی در پوسته بالایی، وجود درز و ترک‌های جهت یافته و فضای خالی موجود در سنگهاست.

در حالت کلی ناهمسانگردی سرعت امواج لرزه‌ای با دو پارامتر بزرگی و راستا که به ترتیب با  $\delta t$  و  $j$  نمایش داده می‌شود، معرفی می‌گردد که بزرگی بر حسب ثانیه و راستا بر حسب درجه می‌باشد. بزرگی، اختلاف زمان رسید بین دو مؤلفه سریع و کند موج لرزه‌ای است در حالیکه راستای ناهمسانگردی، راستای مؤلفه سریع موج فاز مورد نظر از شمال جغرافیایی در جهت ساعتگرد می‌باشد.

برای بررسی ناهمسانگردی سرعت امواج لرزه‌ای منطقه بم، از ۳۱۰ لرزه‌نگاشت سه مؤلفه‌ای ثبت شده در شبکه موقت ۲۳ ایستگاهی مربوط به زمین‌لرزه ۵ دیماه ۱۳۸۲ بم استفاده شده است. پس از بررسی نگاشت‌های موجود ۱۵ ایستگاه از بین ۲۳ ایستگاه که لرزه‌نگاشت‌های آنها دارای کیفیت بهتری بودند، انتخاب گردیدند. سپس با انجام کنترل‌های اولیه متوجه شدیم که ناهمسانگردی موج تراکمی (P) در داده ثبت شده تقریباً صفر است بنابراین در پژوهش حاضر از روش جدایش فاز Sg موج برشی و نرم‌افزار جدایش موج برشی تینبای و همکاران (۲۰۰۴)، استفاده شد.

تحقیق انجام گرفته نشان‌دهنده این است که در منطقه بم راستای غالب ناهمسانگردی بین ۳۹ تا ۷۹ درجه می‌باشد یعنی تقریباً از یک روند شمال شرق - جنوب غرب تبعیت می‌کند. لازم به ذکر است در سه ایستگاه از مجموع پانزده ایستگاه مورد مطالعه راستای ناهمسانگردی بین ۱۳۹ تا ۱۶۶ درجه حاصل شد. علاوه بر آن بزرگی ناهمسانگردی به دست آمده حدود ۰.۳۴ تا ۰.۱ ثانیه می‌باشد. این نتایج ضرورت استفاده از مدل‌های بهینه سرعت برای مطالعات زلزله‌شناسی منطقه را ایجاب می‌نماید که در این مدل‌های بهینه سرعت، در نظر گرفتن تغییرات جانبی سرعت موج برشی ضروری است.

**واژه‌های کلیدی:** ناهمسانگردی، جدایش موج برشی، خطواره، بم، شبکه لرزه‌نگاری، موج برشی Sg



Extraction of major lineament zones from magnetic anomaly distribution. Rose diagrams showing the fast polarization directions of the fast shear wave as recorded by each station. These directions parallel to the nearest major magnetic lineaments.



## Background Noise Study of Broadband Seismic Network of Iran in 2009

**Anooshiravan Ansari**

Assistant Professor, Seismology Research Center  
a.ansari@iiees.ac.ir

**Farzam Yaminifard**

## مطالعه نوفه پس‌زمینه برای کلیه ایستگاههای مرکز ملی شبکه لرزه‌نگاری باند پهن در سال ۲۰۰۹ میلادی

**انوشیروان انصاری**

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی a.ansari@iiees.ac.ir

**فرزام یمینی فرد**

Seismology is one of the most important fields of science among geosciences which mainly relies on observations from earth. Among different kinds of seismological observations, continuous broadband data plays a significant role in seismological researches and is one of the most important sources of seismological interpretations.

The subject of monitoring and quantifying the quality of seismic data has gained much attention during the last decade since the utility of seismic data is greatly increased when noise levels are reduced. A good quantification and understanding of seismic noise is a first step at reducing noise levels in seismic data. Taking into consideration that the main function of a seismic station is to provide high-quality data for earthquake monitoring, source studies and Earth structure research, the utility of seismic data is greatly increased when noise levels are reduced. The characteristics and nature of background seismic noise are different in various frequency ranges. At frequencies above 1 Hz, sources of noise are human activities while at frequencies around 1 Hz, wind effects and local meteorological conditions govern the noise levels. At frequencies below 0.5 Hz, noise sources are natural (oceanic and large-scale meteorological conditions). However, at frequencies of 0.01–0.06 Hz, horizontal components of noise differed more from NLNM of Peterson (1994) than vertical components. This is attributed to the sensitivity of surface-mounted broadband seismometers to local, dynamic tilting caused by thermal and barometric induced surface displacements. In this frequency range, which is of great importance in seismic source studies, background noise is sensitive to diurnal and seasonal variations of temperature. McNamara and Buland (2004) presented an example where noise at 0.01–0.02 Hz was stronger in the spring and summer, which was attributed to the larger amplitude of daily thermal variations compared to winter.

In this study, the background noise of broadband stations of the International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES) has been analyzed and power spectral densities (PSD) of every one hour of continuous data are calculated for all data recorded in 2009 in all stations. Accordingly, the probability density functions (PDF) of background noise were constructed and mode curves of noise in each station were derived. Using the PDFs, the diurnal and seasonal variation of noise in each station was studied and

علم زلزله‌شناسی از مهمترین شاخه‌های علوم زمین است که براساس داده‌های ثبت شده از رویدادهای لرزه‌ای بنا گردیده است. داده‌های لرزه‌نگاری باند پهن ابزاری بسیار قدرتمند جهت تحقیقات مختلف در عرصه زلزله‌شناسی می‌باشد. در طول دهه‌های گذشته، اکثر داده‌های لرزه‌ای ثبت شده در سراسر دنیا تنها قسمتی از طیف لرزه‌ای زلزله را ثبت کرده‌اند در صورتی که با استفاده از دستگاههای لرزه‌نگاری باند پهن امکان ثبت قسمت وسیعی از طیف لرزه‌ای فراهم شده و دریچه‌های تحقیقاتی بسیاری بر روی محققین گشوده می‌گردد.

موضوع کیفیت داده‌های لرزه‌ای و کنترل آن در یک دهه اخیر در مراکز تحقیقاتی مختلف و مراکز تجزیه و تحلیل داده‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است. علت اصلی این توجه جهانی استفاده از حداکثر توان ایستگاههای لرزه‌ای جهت ثبت داده‌های می‌باشد. به بیان دیگر، در بسیاری از ایستگاههای لرزه‌ای در سطح دنیا، علیرغم صرف هزینه زیاد احداث ایستگاه، به دلیل وجود منابع نوفه لرزه‌ای در نزدیکی ایستگاه، امکان استفاده از حداکثر توان آن ایستگاهها وجود ندارد. از این رو مبحث کنترل کیفیت داده‌های لرزه‌ای و توجه به نحوه ساخت و نصب ایستگاههای لرزه‌ای در دهه گذشته از اهمیت بسیاری برخوردار بوده است.

در پژوهش حاضر خصوصیات نوفه پس‌زمینه ثبت شده در سال ۲۰۰۹ میلادی در ایستگاههای مختلف مرکز ملی شبکه لرزه‌نگاری باند پهن ایران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. انجام چنین مطالعاتی برای هر ایستگاه، اطلاعات بسیار ارزشمندی از ساختار و منشاء نوفه موجود در هر ایستگاه در اختیار محققین قرار می‌دهد. این اطلاعات در کنترل سطح کیفی داده‌های لرزه‌نگاری باند پهن کشور نقش بسزایی دارند. همچنین نتایج این تحقیقات کمک شایانی به برنامه‌ریزی بهسازی ایستگاههای مرکز ملی شبکه لرزه‌نگاری باند پهن و تعیین اولویتهای لازم می‌نماید. در این تحقیق، با استخراج طیف توان ساعتی نوفه پس‌زمینه در هر ایستگاه اقدام به تعیین تابع توزیع احتمالی سطح نوفه در پروده‌های مختلف گشته است. نوفه با پریود کم معمولاً ناشی از فعالیت‌های انسانی یا وزش باد می‌باشد در حالی که نوفه با پریود بلند مربوط به نحوه ساخت ایستگاهها و تاثیر تغییرات درجه حرارت محیط بر روی محل نصب سنسور می‌باشد. در این پژوهش، علاوه بر استخراج منحنی‌ها تابع توزیع احتمالی نوفه پس‌زمینه سعی گردیده است عوامل بوجود آورنده نوفه در هر ایستگاه مورد بررسی قرار گیرد. همچنین تمامی ایستگاههای لرزه‌نگاری باند پهن مرکز بر اساس کیفیت داده‌های بدست آمده در بازه‌های پریودی مختلف طبقه‌بندی شده‌اند.

the sources of noise in each station were pursued. Moreover, based on the power of noise in each station, the ranking of different stations were also proposed in this study.

In the figure below, the ranking of different stations of Broadband Iranian Network (BIN) in different frequency bands is presented.

According to the results, the following issues were pointed out:

- Being close to the sources of cultural noise such as villages and roads had the most impact in increasing the levels of background noise in the period range of 0.1 to 1.0 seconds.
- In the period range of microseism, the minimum level of noise in some stations was less than NLNM.
- Almost in all stations, the horizontal components of motion were greatly influenced by thermal fluctuations.

**Keywords:** Noise study, Seismic network, Broadband

شکل زیر، رتبه‌بندی ایستگاهها را از لحاظ کیفیت داده‌های لرزه‌نگاری مشخص نموده است.

بر اساس نتایج بدست آمده در این گزارش پژوهشی می‌توان مطالب زیر را به عنوان جمع‌بندی ذکر نمود:

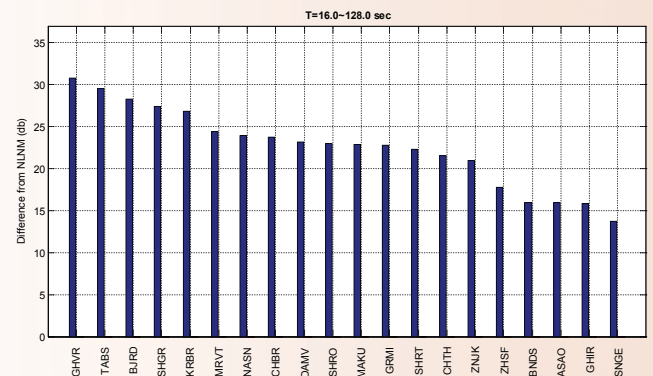
• نزدیکی به منابع نوفه انسانی از قبیل روستاهای یا جاده‌های دارای رفت و آمد عامل مهمی در افزایش سطح نوفه پس‌زمینه در محدوده پریودی ۰/۱ تا ۱/۰ ثانیه می‌باشد.

• در محدوده پریودی ریزلرزه‌های اقیانوسی، سطح نوفه پس‌زمینه برخی ایستگاههای مرکز شبکه لرزه‌نگاری باند پهن از سطح منحنی NLNM کمتر است.

• مؤلفه افقی تقریباً تمامی ایستگاههای باند پهن متأثر از تغییرات درجه حرارت محل نصب سنسور بوده و لذا انحراف معیار نوفه در محدوده پریودی بزرگتر از ۶۰ ثانیه برای این مؤلفه‌ها بسیار زیاد می‌باشد.

نزدیکی به رودخانه‌های بزرگ نقش بسزایی در افزایش سطح نوفه با پریود کم دارد. این موضوع در خصوص ایستگاه شوشتر به خوبی قابل مشاهده می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** مطالعه نوفه، شبکه لرزه‌نگاری، باند پهن



Ranking of broadband stations based on mean difference of mode curves of noise

## Evaluation of Stress Change in Zagros Belt using Earthquakes Fractal Concept

**Mehrdad Mostafazadeh**

Assistant Professor, Seismology Research Center  
mehrdad@iiees.ac.ir

**Khaled Hessami- Azar**

## بررسی تغییرات تنش در نوار زاگرس بر اساس ویژگی فرکتال زمین لرزه‌ها

**مهرداد مصطفی زاده**

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی  
mehrdad@iiees.ac.ir

**خالد حسامی آذر**

Coulomb stress transfer is an interaction criterion that promises a deeper understanding of earthquake occurrence, and a better description of probabilistic hazard. When an earthquake reduces the average value of the shear stress on the fault that slipped, shear stress will rise at sites in addition to the fault tips. This discovery laid in waiting for 20 years, when lobes of off-fault aftershocks were seen to correspond to small calculated increases in shear or Coulomb stress.

Structural and seismological features of Zagros folded belt were studied by a new approach (Fractal). For this purpose, fundamental data of faulting and seismicity, distribution of magnitudes, epicenters, and faults, were analyzed.

In this study, the belt is subdivided from northeast to southwest into five morphotectonic units which step down as five prominent levels to the southwest with different degrees of thrusting, folding, uplift, erosion, and sedimentation. Structural geology, morpho and seismotectonics of the Zagros are therefore, dominated by these five compressional uplift units which contain (1) Main Zagros Reverse fault; (2) the High Zagros Thrust Belt; (3) Main Recent Fault; (4) High Zagros fault; (5) Mountain Front Fault.

The parameters of fractal are fractal dimension (correlation dimension  $D_c$  and capacity dimension  $D_0$ ) and seismic  $b$  value. These parameters were computed from earthquake epicentral distribution (correlation dimension) - using the correlation integral method, from magnitude distribution ( $b$  value) by maximum likelihood method. Temporal and spatial variations of these parameters computed from different techniques are related with clustering properties of seismicity (correlation dimension), density and complexity of faulting and tectonic stress rate ( $b$  value). In computing these parameters from different international agency, data files from 1900 to 2011 were used. The correlation dimension ( $2.15 < D < 2.47$ ) and  $b$  value ( $0.3 < b < 1.6$ ), respectively computed from the earthquake epicenter and magnitude distributions show significant temporal and spatial variation related to seismotectonic feature of fault zones. Besides, some parameters of fault zones were determined to have bifractal properties. Our results showed that the fractal dimension ( $D$ ) in the Zagros thrust belt is changed between 2.1 to 2.47. The fractal dimension along the thrust zone showed a significant variation for the different fault segments. This might be

در دهه‌های گذشته علی‌رغم وجود اطلاعات کافی از سازوکار زلزله‌ها، همچنان اطلاعات مربوط به توزیع تنش در منطقه در خصوص ارتباط آنها با یکدیگر اطلاعات دقیق و مبسوطی ارائه نمی‌شد. به عبارتی دیگر علی‌رغم در دسترس بودن اطلاعات لازم در خصوص شرایط مکانیکی - فیزیکی برای بروز یک زلزله جزئیات امر ناشناخته باقی مانده بود. نحوه شکل‌گیری پس‌لرزه‌ها در فواصل دور از محل وقوع زلزله، تغییرات تنش برشی و مرتبط ساختن آن با یکدیگر تحت بررسی قرار می‌گرفت. سپس پارامترهایی همچون تنش نرمال، ضریب اصطکاک که عوامل کنترل‌کننده شکستگی می‌باشند در غالب آزمایشات آزمایشگاهی تحت قوانین کولومب (Columb) مورد ارزیابی قرار می‌گرفت. بعضی از محققین با بکارگیری همین قوانین در خصوص داده‌های زلزله، نحوه شکل‌گیری پس‌لرزه‌ها را در تغییرات شکستگی کولومب ارزیابی نمودند. بعدها با استفاده از همین قوانین بررسی حوزه تنش، مکانیزم کنترل‌کننده آنها بر گسل‌های مجاور و تأثیرپذیری آنها بر یکدیگر به گونه‌ای که وقوع زلزله و یا عدم وقوع آن را در زمان  $t$  به همراه داشته باشد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نوار زاگرس از مناطق فعال لرزه‌خیز ایران است که عمده این لرزه‌خیزی حاصل فعالیت گسل‌های معکوس و امتدادلغز می‌باشد. در این مطالعه تقسیم‌بندی نوار زاگرس بر اساس مرزهای تفکیک‌کننده مورفوتکتونیک لحاظ گردیده که شامل موارد ذیل می‌باشد - گسل معکوس اصلی زاگرس (Main Zagros Reverse Fault) - گسل اصلی اخیر (Main Recent Fault) - کمربند تراسه زاگرس مرتفع (High Zagros Thrust Belt) - گسل زاگرس مرتفع (High Zagros Fault) - گسل جبهه کوهستان (Mountain Front Fault).

در طبیعت ویژگی شکستگی‌های فاقد ساختار هندسی منظم را می‌توان با استفاده از مفاهیم ارائه شده فرکتالی تشریح نمود. مطالعات گسترده‌ای در خصوص تشریح ساختار گسلی سان آندراس در آمریکا همچنین بررسی نحوه تقسیم‌بندی لیتوسفر زمین با استفاده از مفاهیم فرکتال ارائه شده که می‌توان از آنها نام برد. در این مطالعه ارتباط بین پارامترهای لرزه‌ای موجود در رابطه گوتبرگ - ریشتر که به صورت یک رابطه فرکتالی ارائه گردیده، استفاده شده است. توزیع لرزه‌خیزی در لیتوسفر زمین امری تصادفی نبوده بلکه این امر ارتباط مستقیم با ضخامت پوسته لرزه زا در لیتوسفر دارد. علاوه بر این ویژگی زمین لرزه‌ها متناسب با قانون قدرت دارای ویژگی توزیع فضایی و یا به عبارتی از ویژگی چگالی توزیع برخوردار می‌باشند.

$$P(R \leq r) = r^{D^2}$$

در اینجا  $P$  میزان احتمال وجود کانون زمین‌لرزه در میان دو نقطه که به



encouraging that the fractal analysis can be used to identify structural variations in a seismotectonically complex area.

The study also revealed that there is a significant correlation between the areas of stress change and fractal parameters. Considering the amount of  $b$  value at each point stress change was also calculated along this belt.

**Keywords:** Zagros belt, Fractal concept, Earthquakes

فاصله کانونی  $r$  از یکدیگر می‌باشند دارد و  $D$  معرف بعد همبستگی آنها است. درجه تراکم لرزه‌خیزی با  $D^2$  معرفی می‌شود. در اینجا توان معرف بعد فرکتال سیستم است. معرفی ویژگی فرکتال در لرزه‌خیزی ابتدا توسط کنوپوف و کاگان انجام پذیرفت. سپس در مطالعات آزمایشگاهی انجام گرفته توسط دیگران نمونه‌های استوانه‌ای از سنگهای مختلف تحت تأثیر فشار ثابت قرار گرفته شد.

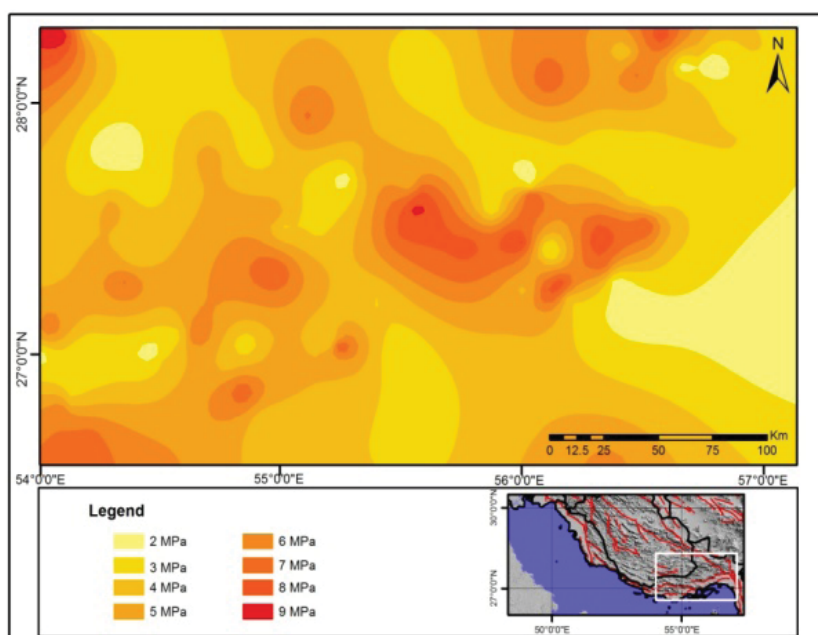
نتیجه این آزمایشات نشان داد که نمونه‌های آزمایشگاهی هنگامی که تحت تأثیر فشار ثابت قرار داده می‌شوند رفتار کارکترستیک خزشی (Creep) که تابعی از زمان می‌باشد در آنها ظاهر گردیده است. در این مطالعه به منظور تعیین پارامتر  $(b)$  از روش ارائه شده توسط آکی یعنی روش بیشینه احتمال استفاده شده است.

$$b = \frac{\log \dot{\sigma}_0}{\langle m \rangle - m_c}$$

در اینجا  $\langle m \rangle$  معرف مقدار متوسط پارامتر بزرگ و  $m_c$  بالاترین سطح آستانه بزرگای زمین لرزه (threshold magnitude) در کاتالوگ می‌باشد که در یک واحد زمانی معین تعریف می‌شود.

در روش آکی مرز اعتماد تا حدود ۹۵٪ برای تعداد زمین لرزه‌ها ( $n$ ) در نظر گرفته شده که براساس رابطه  $\pm 1.0 b \sqrt{n}$  تعیین می‌شود. با در نظر گرفتن مقدار  $b$  در هر نقطه مقدار تنش مؤثر  $(\sigma_{effective}) = -6.6 + 0/b$  بر حسب مگا پاسکال ( $MP_a$ ) محاسبه گردیده است. (واحد اندازه‌گیری تنش در دستگاه SI پاسکال بوده و برابر است با:  $1 Pa = 10^{-7} N/m^2 = 1 kg/m \cdot s^2$  = متر = N = نیوتن = kg = کیلوگرم = S = ثانیه.

**واژه‌های کلیدی:** نوار زاگرس، ویژگی فرکتالی، زمین لرزه





## Lateral Velocity Variation of Upper Mantle in Northeast Iran Continental Collision Zone

Mohammad Tatar

Associate Professor, Seismology Research Center  
mtatar@iiees.ac.ir

Seyed Khalil Motaghi, Ayoub Kaviani

In this study, the upper mantle structure beneath the NE Iran continental collision zone is studied using ACH damped least square method of Aki et al. (1977). Our goal in this experiment was to acquire a seismic data which could constrain the seismic structure beneath NE Iran in order to better understand the mechanisms of collision in this area. The  $\sim 25 \text{ mma}^{-1}$  of northward motion of Arabia with respect to Eurasia is accommodated at a rate ranging from 4 to 11  $\text{mma}^{-1}$  in NE Iran and formed the KopehDagh Mountains as a NW-SE trending active belt separating Central Iran (a micro-continent caught between Arabia and Eurasia) from Eurasia (Turan Platform). The KopehDagh range which corresponds to the main deformation zone at the northeastern boundary of the Arabia-Eurasia collision is limited in the north by an abrupt linear range front trending  $120^\circ$ . This linear range coincides with a southward thrust fault which seems to be the eastern part of Ashkabad Fault (ASF), a prominent, linear right-lateral strike-slip fault to the NW of the city Ashkabad. The flat lowland of the Turan Platform is located north of the KopehDagh. All well-located earthquakes in the NE of Iran have focal depths shallower than 15 km, and thus are restricted to the upper crust. There is no evidence for subcrustal seismicity. To the south of the Kopeh Dagh lies a parallel mountain range, the Binalud, which structurally and geologically is an eastward continuation of the Alborz Mountains. The boundary between the Binalud and the KopehDagh Mountains runs along the Atrak Valley (ATR) where it closely parallels the Kashafrud reverse fault (KRF). Atrak Valley is considered as the suture between the Iranian Plateau and Eurasian plate. However, in some maps the ASF is still represented as the suture zone in NE Iran.

The data for this study were recorded by 17 three component broadband stations operated from August 2006 to February 2008 along a profile from the center of Iranian Plateau, near Yazd, to the northeastern part of Iran on the Turan Platform just north of the KopehDagh Mountains. During the operation of seismic profile, 389 teleseismic earthquakes were recorded with magnitude 5.5 or greater and epicentral distances between  $25^\circ$  and  $95^\circ$ . These recordings provided 3775 relative P wave arrival times for this study.

For optimal inversion of the travel-time residuals, we used the 1-D crustal models beneath all stations calculated by applying joint inversion of receiver function and surface wave dispersion method. The teleseismic relative arrival-time residuals were corrected for the travel-time perturbations

## تغییرات جانبی سرعت در گوشته بالایی در منطقه تصادمی شمال شرق ایران

محمد تاتار

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی mtatar@iiees.ac.ir

سید خلیل متقی، ایوب کاویانی

در این مطالعه، ساختار سرعتی گوشته فوقانی در زیر زون قاره‌ای شمال شرق ایران به روش حداقل مربعات وزن داده شده (ACH) آکی و همکاران (۱۹۷۷) مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، هدف جمع‌آوری داده‌های لرزه‌ای و تعیین ساختار سرعتی در زیر منطقه شمال شرق ایران به منظور درک بهتر سازوکار تصادم در این بخش از فلات ایران است. حدود ۴ تا ۱۱ میلی‌متر در سال از مجموع ۲۵ میلی‌متر در سال حرکت رو به شمال صفحه عربی نسبت به اوراسیا در شمال شرق ایران تعدیل می‌گردد که منجر به تشکیل رشته کوه کپه‌داغ با روند شمال غربی - جنوب شرقی به عنوان جداکننده خرد بلوک ایران مرکزی از صفحه توران شده است. رشته کوه کپه‌داغ که معرف منطقه‌ای با بیشترین تغییر شکل در مرز شمالی زون تصادمی عربی - اوراسیا است، در شمال خود به یک رشته با روند  $120^\circ$  درجه که دارای جبهه خطی مشخصی است، محدود می‌گردد. این رشته کوه خطی با گسلی تراستی که رو به سمت جنوب شیب دارد و به نظر می‌رسد بخش شرقی گسل امتدادلغز راستالغز عشق آباد واقع در شمال غرب شهری با همین نام باشد، برخورد می‌کند. سرزمین پست توران، در شمال کپه‌داغ واقع می‌شود. تمام زمین‌لرزه‌های مکانیابی شده، با دقت خوب در منطقه کپه‌داغ، دارای عمق کانونی کمتر از ۱۵ کیلومتر و لذا محدود به پوسته فوقانی هستند. هیچ‌گونه شواهدی مبنی بر وجود لرزه‌خیزی در زیر پوسته وجود ندارد. در جنوب کپه‌داغ و به موازات آن، رشته کوه بینالود قرار می‌گیرد که بلحاظ ساختمانی و زمین‌شناسی، ادامه شرقی رشته کوه البرز است. مرز میان رشته‌های کپه‌داغ و بینالود در دره اترک واقع شده است که خود به موازات گسل معکوس کشف رود است. دره اترک، به عنوان زمین درز میان فلات ایران و اوراسیا در نظر گرفته می‌شود. اگرچه در بعضی نقشه‌ها، هنوز گسل عشق‌آباد به عنوان زمین درز در شمال شرق ایران معرفی شده است.

داده‌های مطالعه حاضر، توسط ۱۷ ایستگاه باند پهن سه مؤلفه‌ای که از اوت ۲۰۰۶ تا فوریه ۲۰۰۸ در امتداد یک پروفیل طولی در حدفاصل ایران مرکزی، نزدیک یزد تا شمال شرق ایران واقع در شمال کپه‌داغ و بر روی صفحه توران نصب بوده‌اند، جمع‌آوری شده‌اند. در حین کارکرد ایستگاه‌ها، ۳۸۹ رویداد دورلرز با بزرگی بالای ۵/۵ ریشتر و فواصل کانونی ۲۵ تا ۹۵ درجه ثبت شدند. این نگاشت‌ها، ۳۷۷۵ قرائت نسبی موج P را برای مطالعه حاضر فراهم نمودند. جهت برگردان بهینه باقیمانده‌های زمان سیر، ما از مدل‌های پوسته یک بعدی محاسبه شده به روش برگردان هم‌زمان تابع انتقال گیرنده و منحنی پاشندگی امواج سطحی در زیر هر ایستگاه استفاده کردیم. باقیمانده‌های زمان رسید نسبی رویدادهای دورلرز قبل از انجام برگردان برای ساختمان گوشته، برای اغتشاشات مربوط به زمان سیر در پوسته، مورد

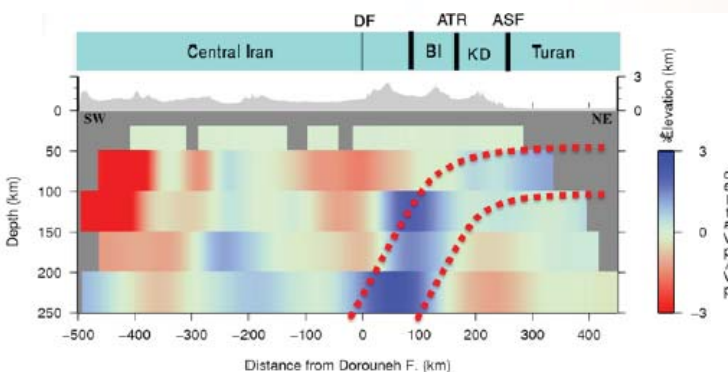
caused by the crust prior to inverting for mantle structure.

The P-wave teleseismic relative residuals (3775 picks) were then inverted for upper mantle structures using the ACH damped least square inversion method. This linear method is particularly suitable for restricted regional network recording of teleseismic body phases. The starting model for the inversion was the IASP91 travel-time model of Kennett & Engdahl (1991).

For the reliability assessment of features observed in the inverted models, two different measures of model resolution are presented including the hit-count cross-section and the diagonal elements of the resolution matrix. The later indicates that only a large scale anomaly can be resolved in central part of the model, while the higher resolution beneath BI and KD represents a better resolution. In addition, synthetic tests were performed by investigating a number of different synthetic models. Our various synthetic tests show that the lateral resolution is high along the profile especially for the northeastern part. The lateral resolution in the southern part of the profile is limited by the inter-station spacing (~ 100 km).

The results of this study indicate significant P-wave velocity lateral variations beneath a S44oW trending profile in NE Iran. There is a sharp velocity contrast in uppermost mantle which separates an anomalously low velocity area in the southwestern part of the profile beneath Central Iran, from a high velocity zone in the NE of profile beneath the Kopeh-Dagh and Binalud ranges. The results confirm the previously known low velocity upper mantle beneath Central Iran. Our tomographic model reveals a deep high velocity anomaly. The surficial expressions of this anomaly are between the Ashkebad and Doruneh faults, where the resolution and ray coverage are good. A transition zone in uppermost mantle is recognized under the Binalud foreland that we interpreted as suture zone between Iran and Turan platform. The results also indicate that Atrak Valley which is the boundary between the Binalud and KopehDagh Mountains can be considered as the northeastern suture of the Iranian Plateau where the Eurasia and Turan Platform underthrust beneath the Binalud range and Central Iran.

**Keywords:** ACH method, Teleseismic tomography, NE Iran, Continental collision zone



تصحیح قرار گرفتند. تعداد ۳۷۷۵ باقیمانده نسبی امواج P دور لرز، جهت تعیین ساختمان گوشته فوقانی به روش حداقل مربعات وزن داده شده ACH تحت برگردان قرار گرفتند. این روش خطی برای شبکه‌های لرزه‌نگاری ناحیه ای محدود که برای ثبت فازهای پیکری امواج دور لرز نصب شده‌اند، بسیار مناسب است. به عنوان مدل شروع برگردان، از مدل زمان سیر IASP91 ارائه شده توسط کنت و انگدال (۱۹۹۱) استفاده شده است.

جهت ارزیابی اعتمادپذیری اشکال مشاهده‌ای در مدل‌های حاصل از برگردان، دو اندازه‌گیری متفاوت از قابلیت تفکیک مدل شامل تعداد پرتوهای عبوری و عناصر قطری ماتریس قدرت تفکیک استفاده شد. عناصر قطری ماتریس قدرت تفکیک بر این واقعیت دلالت دارند که فقط ناهنجاری‌های بزرگ مقیاس در بخش مرکزی مدل قابل ارزیابی می‌باشند. همچنین تست‌های مدلسازی مصنوعی را با جستجوی تعدادی مدل مصنوعی مختلف انجام شده است. تست‌های مصنوعی گوناگون انجام شده نشان می‌دهد که قابلیت تفکیک افقی در طول پروفیل و بویژه در بخش‌های شمال شرقی آن بالا می‌باشد.

قدرت تفکیک در بخش‌های جنوبی پروفیل به وسیله فاصله بین ایستگاهی (حدود ۱۰۰ کیلومتر) محدود می‌شود.

نتایج ما بر وجود تغییرات جانبی سرعت موج P در زیر پروفیل نصب شده با امتداد ۴۴ درجه جنوب غرب در شمال شرق ایران دلالت دارد. یک تباین سرعتی واضح در بخش فوقانی گوشته بالایی به گونه‌ای که یک منطقه با سرعت کم در جنوب غرب پروفیل واقع در زیر ایران مرکزی را از یک زون پرسرعت در شمال شرق پروفیل واقع در زیر رشته کوه‌های کپه‌داغ و بینالود جدا می‌سازد، مشاهده می‌گردد. نتایج ما وجود زون کم‌سرعت در گوشته بالایی واقع در زیر ایران مرکزی را که در کارهای قبلی شناسایی شده بود را تأیید می‌کند. نتایج توموگرافی همچنین یک آنومالی سرعت بالای عمیق را آشکار می‌سازد. بروز سطحی این آنومالی، بین گسل‌های عشق‌آباد و درونه، جایی که قدرت تفکیک نتایج و پوشش پرتوها خوب است، قرار می‌گیرد. در گوشته فوقانی زیر بینالود، یک زون گذر مشاهده می‌گردد که به عنوان زمین درز میان صفحه‌های ایران و توران تفسیر می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد دره اترک که خود مرز میان رشته کوه‌های کپه‌داغ و بینالود است، می‌تواند به عنوان زمین درز شمال شرق صفحه ایران، جایی که صفحه توران به زیر رشته کوه بینالود و ایران مرکزی زیر رانده می‌شود، در نظر گرفته شود.

**واژه‌های کلیدی:** روش ACH، توموگرافی امواج دور لرز، شمال شرق ایران زون تصادم قاره‌ای



## Revised Version of Active Faults of Iran

Khaled Hessami-Azar

Assistant Professor, Seismology Research Center  
hessami@iiees.ac.ir

Parisa Mobayen, Hadi Tabassi

## نسخه جدید نقشه گسلهای جنوب در ایران

خالد حسامی آذر

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی hessami@iiees.ac.ir

پریسا مبین، هادی طبسی

Active faulting in Iran is a direct indicator of active crustal deformation due to the convergence between the Arabian plate in the south and the Eurasia plate to the north which occurs at 2.1-2.5 cm/yr.

The study of active faults based on strong scrutiny of available earthquake data is difficult when studying structurally complex and inhomogeneous collision regions such as the Iranian Plateau. This is because seismicity is not the result of the activity of a few faults in these areas but it is due to the fault activity in zones that are one hundred kilometers wide. Due to the high density of active faults in Iran and the inaccuracy of the macroseismic data of the area, the source for some of earthquakes have been related to more than one fault. Additionally lack of accurate fault and epicentral maps result in the inability to correlate seismic data with the active faulting in the area. Obviously, even the assumption of highly accurate seismic data, will not solely suffice to locate all existing active faults. This is mainly due to 1) the fact that many earthquakes are caused by blind faults such as earthquakes occurring in the Zagros region; 2) some damaging earthquakes with magnitude less than 6.5 may not leave ruptures on the ground surface and, 3) the gradual movement along many active faults over a long period of time is the result of a creep regime which does not result in a large earthquake.

Since, the accuracy of available fault maps are low as they are published in very small scales (1:2,500,000) and thus cannot be used in applied projects and, on the other hand, they do not provide seismic parameters of active faults, it is obviously essential to update the available fault maps using new information and produce a larger scale map for active faults of Iran in which information such as geometry pattern, slip rates and mechanism of active faulting are shown.

The old version of the map of Major Active Faults of Iran (Hessami et al., 2003) was prepared in adobe illustrator environment and was digitized later after its publication. The accompanied error due to digitizing is inevitable. The estimated error is about 1-3 kilometer which is considerable when invoking it for calculating near field seismic hazard. In this new version, the fault locations have been corrected using satellite images, SRTM, digital elevation model (DEM), and geological maps.

گسلهای فعال ایران را می‌توان به عنوان شواهد مستقیم تغییر شکل کنونی پوسته در ایران دانست که حاصل برخورد قاره‌ای بین صفحه عربستان در جنوب و صفحه اوراسیا در شمال با آهنگ  $2/5-2/1$  سانتیمتر بر سال می‌باشد. شناسایی گسلهای فعال براساس داده‌های لرزه‌ای در مناطق برخورد قاره‌ای نظیر ایران که از نظر ساختاری پیچیده و ناهمگن می‌باشد، بسیار دشوار است. این موضوع از آنجا ناشی می‌شود که لرزه‌خیزی در چنین مناطقی به تعداد معدودی گسل فعال منفرد و مجزا محدود نمی‌باشد بلکه در نتیجه فعالیت پهنه‌های گسلی به پهنای چند صد کیلومتر روی می‌دهند. به این ترتیب، به دلیل تراکم زیاد گسلهای فعال در ایران و همچنین دقت پایین داده‌های لرزه‌ای، گاهی سرچشمه بعضی از زمین‌لرزه‌ها به بیش از یک گسل نسبت داده شده است. لازم به ذکر است که حتی با فرض داشتن نقشه‌های بسیار دقیق از کانون سطحی زمین‌لرزه‌ها قادر به شناسایی تمام گسلهای فعال ایران نمی‌باشیم. به این دلیل که ۱) بسیاری از زمین‌لرزه‌ها در نتیجه فعالیت گسلهای پنهان ایجاد می‌شوند که در زیر رسوبات مدفون بوده و مستقیماً به سطح زمین نمی‌رسند؛ مانند زمین‌لرزه‌هایی که در منطقه زاگرس روی می‌دهند. ۲) بعضی از زمین‌لرزه‌های مخرب با بزرگای کمتر از  $6/5$  در بسیاری موارد با گسیختگی سطحی همراه نیستند. و ۳) حرکات تدریجی زمین در طرفین گسلهای فعال در یک دوره زمانی طولانی (که از یک رژیم خزش ناشی شده است) با ایجاد زمین‌لرزه بزرگ همراه نمی‌باشد.

از آنجایی که نقشه‌های موجود در مقیاس  $1:2,500,000$  از دقت کافی جهت استفاده در پروژه‌های کاربردی برخوردار نبوده و از سوی دیگر به دلیل اینکه فاقد جزئیات ساختاری (سازو کار و نرخ لغزش) لازم جهت درک وضعیت زمین‌ساخت جنوب در ایران نمی‌باشند، تهیه نقشه دقیق از موقعیت، آرایش، سازوکار و نرخ جا به جایی گسلهای فعال ایران در مقیاس بزرگتر نه تنها مفید بلکه به دلیل گسترش کارهای عمرانی ضروری می‌باشد.

نسخه قدیمی گسلهای فعال (حسامی و همکاران، ۱۳۸۲) نقشه‌ای است که در محیط adobe illustrator تهیه شده و بعدها رقومی گردید. خطای مکانی ایجاد شده در فرایند رقومی کردن از روی تصویر اجتناب‌ناپذیر است. این خطا حدود ۱-۳ کیلومتر برآورد گردیده که در مطالعات محلی، تحلیل خطر حوزه نزدیک و ... خطایی قابل توجه ایجاد می‌نماید. در نسخه فعلی، محل گسلها به دقت و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، توپوگرافی SRTM، مدل های ارتفاعی رقومی (DEM) و نقشه‌های زمین‌شناسی اصلاح گردیده است. در ابتدا، کل ایران در طول نصف‌النهار  $54$  درجه شرقی و مدار  $32$  درجه شمالی به چهار ناحیه تفکیک شده که در نتیجه در  $4$  نقشه کل ایران را می‌توان پوشش داد. به منظور کاهش حجم فایل‌ها و بالا بردن دقت

We first subdivided Iran into four regions along the Longitude 54oE and across the latitude 32oN. In order to minimize the file sizes and boost the accuracy in different regions, using available data and information of each region has been divided into four smaller areas limited by UTM boundaries of 38, 39, 40 and 41 zones.

ARC GIS software v. 9.3 is used to make the new map. The topography data (SRTM) were quite consistent with the Landsat images and both were used to trace the fault lines. We also used the geological maps in a geo-reference system to segregate geological units of quaternary age. However, Spot and Cosmus satellite images which are available for some areas at the IIEES library, have been also used to precisely locate the active faults. The fault characteristics have been registered contemporaneously along with finalizing fault locations and specifications in an Excel format. In the next step, the excel table of fault data was joined with a similar table in the GIS environment so that by selecting each fault segment, the relevant information could be displayed. Fault segmentation is based mainly on strike change of the fault. Segmentation, segment length, strike and coordinates of end points of each segment were calculated automatically using Arc GIS software capabilities. Regarding the surface fault ruptures associated with large earthquakes, original published maps of earthquake faults were used to place them to the fault category. The table of surface fault ruptures was also added into the final file.

**Keywords:** Active Faults, GIS, Iran, Seismology

مطالعه نواحی مختلف، هر یک از بخش‌ها نیز با توجه به اطلاعات و داده‌های موجود به چهار پهنه کوچک‌تر بر اساس تقسیم‌بندی سیستم تصویری (UTM) تقسیم‌بندی زون ۳۸-۳۹-۴۰-۴۱ به دو بخش شمالی و جنوبی که هر کدام نیز به ۴ بخش تقسیم شده‌اند) تقسیم‌بندی شده است. برای تهیه نقشه جدید از نرم‌افزار Arc GIS ۹.۳ استفاده شده است. داده‌های توپوگرافی SRTM در تطابق کامل با تصاویر ماهواره‌ای Landsat هستند و این دو مبنای ردیابی گسل‌ها قرار گرفتند. از نقشه‌های زمین‌شناسی ژئورف شده به عنوان لایه‌ای دیگر در محیط Arcgis برای تفکیک واحدهای زمین‌شناسی کواترنر استفاده شده است. در صورت لزوم از تصاویر Spot و کاسموس موجود در پژوهشگاه نیز استفاده شده است. همزمان با نهایی کردن گسل‌ها، ثبت مشخصات آنها در جدول‌های ضمیمه (در محیط Excel) صورت گرفته است. جدول اطلاعات گسل‌ها که در محیط Excel تهیه شده با جدول مشابه آن در محیط GIS مشترک گردید و نهایتاً با انتخاب هر گسل، می‌توان اطلاعات کامل آن را نیز مشاهده نمود. قطعه‌بندی گسل‌ها با توجه به تغییر امتداد آنها صورت گرفته است. قطعه‌بندی، محاسبه طول، امتداد، مختصات ابتدا و انتهای گسل‌ها با استفاده از امکانات نرم‌افزار Arc GIS صورت گرفته است. در ارتباط با گسیختگی‌های سطحی ایجاد شده بر اثر زمین‌لرزه (Surface fault rupture)، تصاویر مرجع گسیختگی‌ها، مختصات دار گردید و در لایه گسل‌ها اضافه شد و محل آنها با دقت ترسیم گردید. جدول اطلاعات گسیختگی‌ها نیز در نهایت به فایل اصلی اضافه گردید.

**واژه‌های کلیدی:** گسل‌های فعال، سیستم اطلاعات جغرافیایی، ایران، لرزه‌خیزی



## Geomorphological Investigations and Tectonics along the Doruneh Fault

Mohammad Reza Abbassi

Associate Professor, Seismology Research Center  
abbassi@iiees.ac.ir

Parisa Mobayen, Khaled Hessami- Azar

This study focuses on the analysis of geomorphic, structural, and behavioral characteristics along the Doruneh Fault System (DFS), east of longitude  $56^{\circ}45'E$ . Detailed geomorphic and structural analyses of different scale satellite images and digital topographic data, accompanied with field surveys allowed us to establish a fault segmentation model in which three discrete fault zones have been recognized: (1) the western fault zone (WFZ) characterized by reverse left-lateral mechanism with left-handed step-over geometry, (2) the central fault zone (CFZ) which is pure left-lateral strike-slip and comprises nearly parallel faults, and (3) the eastern fault zone (EFZ) that is a trailing imbricate fan fault-termination characterized by reverse faulting and fault-related folding. Detailed geomorphic and structural investigations revealed the presence of the NNW-trending dextral strike-slip faults within the EFZ. Each fault zone showed discrete geometry and kinematics implying that deformation is not uniformly accommodated along the DFS.

The surface trace of the DFS is marked by geomorphic features such as Quaternary alluvial fans and their associated streams that have been laterally and/or vertically offset along the whole length of the fault system. Detailed geomorphic mapping based on SPOTS satellite images complemented by field observations allowed to subdivide multiple generations of alluvial fans, which are abandoned and entrenched, into Q3, Q2 and Q1 geomorphic surfaces, from upper to lower. Each geomorphic surface exhibits specific geomorphology such as geomorphic terracing (stepping), incision pattern, and the state of preservation.

Sixty-seven offsets recorded by the Q1, Q2 and Q3 alluvial fans and their associated geomorphic markers, displaced along the WFZ and CFZ, were reconstructed. The ages of  $\sim 12$ ,  $\sim 36$  and  $\sim 120$  ka were determined using in situ produced  $^{10}Be$  and  $^{36}Cl$  cosmogenic nuclides for the Q1, Q2 and Q3 abandonment surfaces, respectively. These ages allowed determining three sets of individual left-lateral slip rates and consequently describing the distribution of slip along the fault zones. The slip rates averages over time intervals of  $\sim 12$ ,  $\sim 36$  and  $\sim 120$  ka reveal: (1) that the long-term slip behavior along CFZ and probably WFZ, is characteristic and (2) that the overall slip rates of the

## بررسی ریخت زمین ساخت و زمین ساخت جنبا در راستای گسل درونه

محمد رضا عباسی

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی  
abbassi@iiees.ac.ir

پریسا مبین، خالد حسامی آذر

این پژوهش، تحلیل‌های ژئومورفیک، ساختاری و رفتار سرشتی سامانه گسل درونه را در بخش خاوری طول جغرافیایی  $56^{\circ}45'$  (ایران مرکزی) بررسی می‌کند. تحلیل‌های ساختاری و ژئومورفیکی در مقیاس‌های متفاوت با یاری جستن از عکس‌های ماهواره‌ای و داده‌های رقومی توپوگرافی و بازدیدهای صحرایی صورت گرفته است. بررسی مجموعه داده‌های یاد شده منجر به شناسایی سامانه گسل درونه به سه بخش (segment) شد.

۱- بخش باختری با روند  $N3^{\circ} \pm 5^{\circ} E$  با طول ۸۵ کیلومتر که دارای سازوکار فشاری اریب لغز چپ‌گرد است. این بخش دارای آرایش پله‌ای است با فواصلی که میان آنها حوضه‌های کششی ایجاد شده‌اند.  
۲- بخش مرکزی گسل با روند خاوری- باختری با طول ۱۴۰ کیلومتر و سازوکار امتدادلغز چپ‌گرد است. پهنه برشی این گسل تا ۴۰۰ متر می‌رسد که شامل شاخه‌های موازی می‌شود.

۳- بخش خاوری با روند  $N115^{\circ} \pm 5^{\circ} E$  با طول ۱۴۰ کیلومتر بیشتر تمایل به سازوکار فشاری نشان می‌دهد. در راستای گسل‌های این بخش چین‌های مرتبط با گسلش دیده می‌شود که به صورت صورت شاخه‌ای با آرایش به شکل بادبزن بر روی زمین نمایان می‌شود.

هر کدام از پهنه‌های گسلی دارای هندسه ویژه سینماتیکی هستند که نماینده جذب ناهمگن دگرشکلی در راستای گسل درونه است. انحنای سامانه گسل درونه نتیجه عملکرد و تحول این روند گسلی است. مطالعات دقیق‌تر ژئومورفیک و ساختاری بر روی بخش خاوی مشخص کرد که گسل‌های امتدادلغز راست‌گرد با راستای شمال شمال باختری در این پهنه گسلی قرار می‌گیرند. هر کدام از پهنه‌های گسلی در این بخش دارای هندسه و سینماتیکی خاص است که دلالت بر جذب ناهمگن دگرشکلی در راستای سامانه گسل درونه می‌کند. در راستای سامانه گسل درونه پدیده‌های ژئومورفیک مانند مخروط افکنه‌های کوتاه‌تری و شبکه‌های زهکشی مرتبط با آنها وجود دارند که به صورت افقی و یا شاقولی به طور منظم جایجا شده‌اند. با به نقشه در آوردن دقیق پدیده‌های ژئومورفیکی که به یاری عکس‌های ماهواره‌ای SPOT و بازدیدهای صحرایی صورت گرفت مشخص شد که مخروطه افکنه‌ها را می‌توان بر اساس عمق آبراهه‌ها و سیمای کلی آنها به سه سطح ژئومورفیک  $Q_1$ ،  $Q_2$  و  $Q_3$  از قدیم به جوان تقسیم و به نقشه درآورده شده است. هر کدام از این سطوح دارای ویژگی‌هایی چون نوع شبکه زهکشی و سیمای آنها می‌شود. تعداد ۶۷ جا به جایی در شبکه‌های زهکشی و مخروطه‌افکنه‌ها در سطوح ژئومورفیک  $Q_1$ ،  $Q_2$  و  $Q_3$  در راستای بخش باختری و مرکزی گسل درونه در این بررسی مشخص شدند. با روش سن سنجی برلیوم ده ( $^{10}Be$ ) و کلر ۳۶ ( $^{36}Cl$ ) که حاصل پرتوهای کیهانی در

CFZ remain nearly constant during the past 120 ka with a maximum rate of  $\sim 8.2$  mm/yr accommodated along the mid-length of the CFZ. The CFZ is divided into two independent segments with roughly but symmetrical slip distribution. These segments are separated by a persistent boundary which has not been ruptured over the last  $\sim 12$  ka. A maximum Holocene slip rate of  $\sim 5.3$  mm/yr is estimated for left-lateral faulting along the CFZ. The maximum length of independent seismogenic fault segments varies from 70 to 100 km, which produce characteristic earthquakes with a magnitude of  $M_w = 7.2-7.4$ .

Fault slip data comprising fault slip families belonging to two separations was done on the basis of geological field data using relative chronology of the striation (crosscutting relationship). The modern stress state was determined using the youngest striae sets measured in pre-Quaternary rock units and Pleistocene conglomerates. The modern stress state is characterized by a  $N45 \pm 15^\circ E$ -trending  $\sigma_1$  and shows a predominated strike-slip tectonic regime. The inversion analysis is individually performed for the oldest striae sets in pre-Quaternary rock units. The calculated paleostress tensors represented a  $N 150 \pm 20^\circ E$ -trending  $\sigma_1$ , with a compressional tectonic regime. Applying the average  $N45 E$ -trending horizontal  $\sigma_1$  (modern stress) to average geometry ( $N95 \pm 5^\circ E$ ) of the CFZ implied dominant left-lateral strike-slip faulting, which is consistence with late Quaternary geomorphic expression of the fault zone. The modern state computed in this study is compatible with corresponding stresses axes in NE Iran, which were deduced from the inversion of seismically determined fault slip vectors.

We proposed a new kinematic model to explain how the DFS accommodates the Arabia-Eurasia convergence normal to the overall fault orientation. According to this model, the DFS takes up the northward motion between central Iran-Lut block relative to Eurasia by a complex kinematics varying from pure reverse to pure left-lateral strike-slip faulting. The kinematics of the WFZ and EFZ corresponds to the direction of the NE-trending regional compression. While, the partitioning of slip into strike-slip and reverse component of faulting on parallel faults (strain partitioning) allows the CFZ to remain pure left-lateral strike-slip. Such a model proposes a way to explain how large strike-slip faults such as the DFS accommodate tectonic block motions perpendicular to strike of the faults.

**Keywords:** Dorouneh fault, Morphotectonic, Fault segmentation, Fault kinematics, Slip rate

سنگ‌ها هستند برای سه سطح ژئومورفیک یاد شده سن‌های ۱۲ هزار سال، ۳۶ هزار سال و ۱۲۰ هزار سال مشخص شدند. این تعیین سن‌ها در بازه‌های زمانی ۱۲ هزار سال، ۳۶ هزار سال و ۱۲۰ هزار سال نکات زیر را مشخص کردند:

- ۱- آهنگ جا به جایی در طولانی مدت در راستای بخش مرکزی و باختری سامانه گسل درونه سرشتی است.
- ۲- آهنگ جا به جایی در راستای تمام طول بخش مرکزی در ۱۲ هزار سال گذشته به طور ثابت برابر با  $8/2$  میلی‌متر در سال بوده است. بخش مرکزی گسل درونه خود به دو بخش دیگر مستقل می‌شود که هر دو دارای جا به جایی مساوی و متقارن هستند. این بخش‌های گسلی که مجزا با مرزهای مشخص هستند در ۱۲ هزار سال گذشته متحمل هیچ گسیختگی نشده‌اند. آهنگ جا به جایی ثبت شده در نهشته‌های هولوسن اندازه  $5/3$  میلی‌متر در سال را نشان می‌دهند که به صورت امتدادلغز چپ‌گرد در بخش مرکزی گسل درونه قابل پیگیری است. قطعات گسلی با طول ۷۰۰ تا ۱۰۰ کیلومتر در راستای بخش مرکزی گسل درونه می‌توانند زمین‌لرزه‌های سرشتی با بزرگای  $7/4 - M_w = 7/2$  تولید کنند. صفحه‌های گسلی به همراه خش لغزهایی که متعلق به دونسل دگرشکلی بودند به کمک داده‌های صحرائی و رابطه تقدم- تأخر درخش لغزها مشخص شدند. جوان‌ترین سری خش لغزها که در نهشته‌های قبل از کواترنری و کنگلومرای پلاستوسن اندازه‌گیری شده بودند به روش معکوس حل شدند. حل این تانسورها بیانگر جهت تنش عهد حاضر  $\sigma_1$  با اندازه  $5^\circ \pm N45$  است که در یک رژیم زمین ساختی امتدادلغز کارسازی کرده است. سری‌های قدیمی‌تر خش لغزها که به طور عمده در سنگ‌های قبل از کواترنری اندازه‌گیری شدند جهت تنش اصلی  $\sigma_1$   $150 \pm 0$  N را به کمک روش معکوس نشان می‌دهد. این جهت تنش در رژیم زمین‌ساختی فشاری کارسازی کرده است. چنانچه جهت تنش عهد حاضر تعیین شده ( $N45 E$ ) به بخش مرکزی گسل درونه با روند ( $N95 \pm 5^\circ E$ ) اعمال شود حرکت چپ‌گرد بر روی این روند انتظار می‌رود که با سازوکار امروزی این گسل و مشاهدات انجام شده در هماهنگی است. نتیجه به دست آمده از جهت تنش عهد حاضر در این مطالعه با جهت‌های تنش به دست آمده در شمال خاوری ایران که به یاری معکوس کردن داده‌های لرزه‌ای (سازوکار کانونی) به دست آمده همخوانی دارد. برای روشن شدن نقش گسل درونه در جذب و انتقال دگرشکلی که از جنوب به پهنه خاوری ایران اعمال می‌شود در این مطالعه یک مدل پیشنهاد شده است که براساس آن گسل درونه در جذب دگرشکلی اعمال شده و انتقال آن از طریق بلوک‌های ایران مرکزی به صورت امتدادلغز راست گرد از جنوب تا شمال خاوری ایران امتداد دارد عمل می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** گسل درونه، ریخت زمین‌ساخت، قطعه‌بندی گسلی، کینماتیک گسل، نرخ لغزش



## Probabilistic Forecast Model Based on the Earthquake Catalogue of Iran

Mehdi Zare

Associate Professor, Seismology Research Center  
mzare@iiees.ac.ir

Aref Bali Lashak

## مدل پیش‌بینی احتمالاتی زمین‌لرزه براساس کاتالوگ زمین‌لرزه‌های ایران

مهدی زارع

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی  
mzare@iiees.ac.ir

عارف بالی لاشک

According to the earthquake records in Iran, which imply a great risk for such events in highly populated areas, there is an attempt in this study to discuss the short-term, mid-term and long-term events predictability through logical prospects and via well-organized approaches.

First, the main framework of forecasting procedure is discussed which includes forecasting trees and selection, state space, time series, stochastic, chaotic, periodic, and semi-periodic processes. This section also includes notes about predictability of a typical phenomenon and different views on earthquake forecasting by means of precursors and through a probabilistic-statistical prospect. Next, the ground surface is divided into four different sub-regions according to different seismicity rates of the regions. This has been done by means of a time coefficient for changes that have occurred between different subsequent earthquake events in Iran. Then, according to the amount of this coefficient, an appropriate random distribution pattern, rather high or low in frequency of changes, has been picked and used for the probabilistic prediction of a future earthquake event.

In addition, the new innovative approach BZEFM is introduced which works mainly on clustering of the earthquakes and improvement of the clusters as well as the definition of new zones namely dual seismic zones and, through this, a new model for short-term and mid-term event forecasting is introduced based on statistical and probabilistic tools.

It has also been proved from this survey that the long-term clustering does exist both in the main and in the remained catalogues. Kagan's forecasting model for long-term probabilistic predictions has been used later as the algorithm running on Iran's data (available via the past earthquake events catalogue) and the setting parameters and regional coefficients needed in this method were further calculated and optimized through genetic algorithm and with a look at the data gathered on Iran's seismic activity. Calculation of the tensor momentum for some big earthquakes in Iran has also been considered and finally the forecasting probability density plans is outlined for different time intervals and different regional coefficients, amongst which the best plan has been chosen as the one with two equal halves in the catalogue. Short-term, mid-term, and long-term forecasting procedures yielded genuine results when applied to Iran's earthquake event catalogue.

**Keywords:** Probabilistic forecasting (prediction), Coefficient of variations, Dual seismic zones, Genetic algorithm, Tensor moment

به دلیل بالا بودن احتمال خطر وقوع زمین‌لرزه در مناطق پر جمعیت کشور، در این پژوهش تلاش می‌گردد تا با ارایه روش‌هایی منطقی و هدفمند، پیش‌بینی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت زمین‌لرزه در ایران مورد بررسی قرار گیرد.

در آغاز مفهوم کلان پیش‌بینی شامل درختهای پیش‌بینی و انتخاب، فضای حالت، سری‌های زمانی معین، فرایندهای تصادفی، آشوبناک، متناوب و شبه تناوبی، پیش‌بینی‌پذیری و نگرش‌های متفاوت به پیش‌بینی زمین‌لرزه با رویکرد پیش‌نشانگری و رویکرد آماری - احتمالی ارائه می‌گردد. سپس با استفاده از ضریب تغییرات زمان بین وقوع زمین‌لرزه‌های متوالی در ایران، کشور به چهار منطقه از نظر نرخ لرزه‌خیزی تقسیم می‌گردد که در هر منطقه بسته به مقدار این کمیت می‌توان از الگوهای توزیع تصادفی، کند تغییر یا تند تغییر، برای پیش‌بینی احتمالاتی زمین‌لرزه استفاده نمود.

در ادامه با معرفی روشی ابداعی به نام BZEFM، از طریق بهینه‌سازی مفهوم خوشه‌بندی زمین‌لرزه‌ها و با تعریف مناطق دوگان لرزه‌ای، مدلی نوین برای پیش‌بینی میان‌مدت و کوتاه‌مدت زمین‌لرزه‌ها به روش آماری - احتمالی ارائه می‌شود.

در ادامه این پژوهش اثبات می‌گردد که خوشه‌بندی بلندمدت هم در کاتالوگ اصلی و هم در کاتالوگ باقیمانده وجود دارد. سپس مدل پیش‌بینی احتمالاتی بلندمدت کاگان برای کاتالوگ زمین‌لرزه‌های بوقوع پیوسته در محدوده ایران اجرا و پارامترهای قابل تنظیم و ضرایب منطقه‌ای مورد نیاز در این روش با توجه به اطلاعات لرزه‌ای ایران و استفاده از الگوریتم ژنتیک محاسبه و بهینه‌سازی می‌شوند. همچنین محاسبه تانسور ممان مربوط به چند زمین‌لرزه بزرگ در ایران مورد توجه قرار می‌گیرد و در آخر نقشه‌های چگالی احتمال پیش‌بینی برای بازه‌های زمانی متفاوت و به‌ازای ضرایب مختلف منطقه‌ای رسم می‌گردد که با توجه به نتایج به دست آمده بهترین حالت مربوط به دوره‌ای است که کاتالوگ به دو نیمه مساوی تقسیم می‌شود. صحت‌سنجی انجام گرفته نشان داد که روش‌های پیش‌بینی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت ارایه شده، وضعیت قابل قبولی در ایران دارند.

**واژه‌های کلیدی:** پیش‌بینی احتمالاتی، ضریب تغییرات، مناطق دوگان لرزه‌ای، تانسور ممان، الگوریتم ژنتیک

Determination of Earthquake Source Parameters by Near Field Data Using Multimodal Summation Method (February 22, 2005 Dahuiyeh, Zarand Earthquake)

**Farzam Yaminifard**

Associate Professor, Seismology Research Center  
faryam@iiees.ac.ir

**Rahmatollah Rouhollahi, Mohammad Reza Ghayamghamian, Mohammad Tatar**

On February 22, 2005, at 05:55 (local time), an Mw 6.5 earthquake hit south-central Iran, east of Zarand in Kerman province. The epicentre, located at the Kuhbanan fault zone ruptured an intramountain reverse fault striking EW and dipping to the north (Talebian et al. 2006). This earthquake caused considerable damage, especially to Dahuiyeh and Hotkan villages, and killed more than 500 people.

We used the time-domain inversion method introduced by Das & Kostrov (1990) and Das & Suhadolc (1996) using near-source strong motion data. The S-wave part of the waveforms was inverted to retrieve the source parameters and slip of the Dahuiyeh-Zarand Earthquake. Different fault scenarios are examined to find the best fit between synthetic and observed waveforms recorded at the six strong motion stations, which are located within 50 km from the epicenter.

To determine the spatial and temporal distributions of the slip over the fault area, the representation theorem is used, so that the acceleration record at a surface station can be expressed in terms of the slip distribution over a fault surface as an integral equation. By dividing the fault into square cells and the source time function into steps, the problem can be discretized assuming the form of a system of linear equations:  $Ax \approx b$ . Each column of the matrix A is the appropriate discretized set of the impulse response of the medium for all stations corresponding to different cells and time instants, ordered in the same way as the observations in the b vector and x is the vector of unknown seismic moments released at each cell at each time step. The Green's functions are determined using the multimodal summation method for layered anelastic media, and they are computed for a frequency range of 0.2–1.0 Hz. The extended fault is modeled as a grid of point sources, and the synthetic seismogram at each station because of the moment release on the fault is computed by summing the contributions from each point source with appropriate delays and weights (e.g. Panza & Suhadolc 1987; Das & Suhadolc 1996). The average slip and A is the total area, as well as assuming an average with a fixed time step chosen as an integer number

**تعیین پارامترهای چشمه زمین لرزه با استفاده از داده‌های حوزه نزدیک و روش جمع مدهای شکست (مطالعه موردی زمین لرزه ۴ اسفند ۱۳۸۳ داهوئیه، زرنند)**

فرزام یمینی فرد

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی faryam@iiees.ac.ir

رحمت‌اله روح‌الهی، محمدرضا قائم‌مقامیان، محمد تاتار

در مورخه ۴ اسفند ۱۳۸۳ (۲۲ فوریه ۲۰۰۵) در ساعت ۵:۵۵ به وقت محلی (۲:۲۵ به وقت GMT) زلزله‌ای با بزرگی Mw = ۶/۵ در جنوب ایران مرکزی، شرق شهر زرنند و نزدیکی روستای داهوئیه از استان کرمان بوقوع پیوست. رومرکز این زلزله در گستره گسله کوهبنان واقع شده که باعث شکستگی میان کوهی گسل معکوس با روند شرقی-غربی و شیب به سمت شمال (گسل داهوئیه) شده است (طالبیان و همکاران، ۲۰۰۶). در اثر این زلزله به چندین روستای اطراف آسیب وارد شده و از جمله دو روستای داهوئیه و حتکن به طور کامل تخریب و بیش از ۵۰۰ نفر از اهالی این دو روستا کشته شدند. در این مطالعه، داده‌های شتابنگاری ثبت شده زلزله ۱۳۸۳ داهوئیه-زرنند در شش ایستگاه حوزه نزدیک زرنند، سد قدرونی، چترود، سد شیرین رود، دشت خاک و حورجند متعلق به مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن که در فاصله رومرکزی کمتر از ۵۰ کیلومتر قرار دارند برای بدست آوردن مدل لغزش سطح گسل مسبب به روش برگردان در حوزه زمان شکل موج شتاب مورد بررسی قرار گرفت.

برای تعیین توزیع زمانی و مکانی لغزش روی سطح گسل از قضیه بازنمایی استفاده شده است که شکل موج شتاب در یک ایستگاه واقع در سطح زمین را می‌توان بر حسب توزیع لغزش روی سطح گسل با استفاده از معادله انتگرالی بدست آورد. توابع گرین از روش تجمع مدهای چندگانه برای محیط لایه‌ای الاستیکی بدست آمده و برای محدوده فرکانسی ۰/۲-۱ هرترتز محاسبه شده است. سطح گسل به عنوان مجموعه‌ای از چشمه‌های نقطه‌ای در نظر گرفته شده و لرزه‌نگاشت مصنوعی در هر ایستگاه ناشی از گشتاور آزاده شده روی گسل را می‌توان از تجمع سهم هر چشمه نقطه‌ای با تأخیر زمانی مربوطه بدست آورد. برای حل سیستم خطی از روش برنامه‌نویسی خطی استفاده شده است که در آن کمینه بردار باقیمانده‌ها با استفاده از فرمول توسعه یافته و بکار گرفته شده برای مسائل گسلس توسط داس و کاستروف (۱۹۹۰) بدست می‌آید. برای پایدارسازی حل، قیده‌های اضافی دیگری نیز استفاده شده است، همانند: قید عدم لغزش به عقب، قید علیت، و قید گشتاور لرزه‌ای.

مدل چشمه نهایی بدست آمده از فرایند وارون‌سازی بیانگر یک گسل معکوس با ابعاد  $18\text{km} \times 14\text{km}$ ، امتداد ۲۶۰، شیب ۶۰ درجه به سمت شمال از نقطه شروع شکستگی در عمق ۹ km است. ممان لرزه‌ای کل برابر  $1.8 \times 10^{18} \text{Nm}$  و معادل  $Mw = 6.5$  است. سرعت شکست بدست آمده در حدود ۷۰٪ سرعت امواج برشی در محل است. مدل لغزش حاصل از وارون‌سازی مدل نهایی گسلس نشان‌دهنده دو اسپریتی قابل توجه در دو سمت



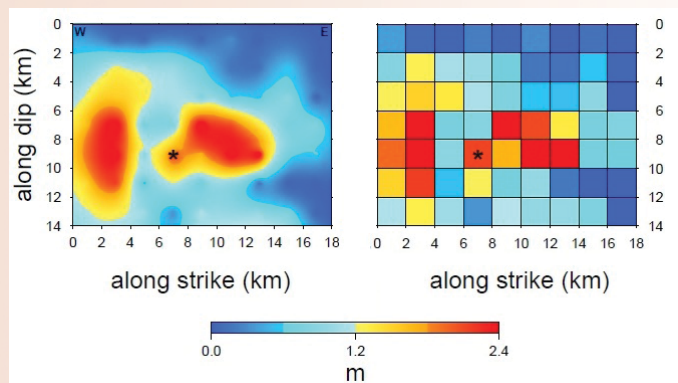
of the sampling interval of the waveforms. The sampling interval is fixed at about 0.1 s both for the computation of the Green's function and for the waveforms.

Acceleration strong motion data recorded during the 2005 Dahuiyeh-Zarand earthquake was inverted for the slip distribution on the causative fault. The lack of absolute timing has been successfully overcome by estimating the propagation times of P and S waves in the velocity model of the region. The synthetic tests, carried out for a linear programming problem of dimensions equal to those of our real inverse problem, allowed us to conclude that the obtained results can be considered significant with a resolution of at least  $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ . Acceleration waveforms and Fourier amplitude spectra were successfully reproduced at six three-component stations of ZAR, QAD, CHA, SHI, DAS and HOR.

The final source model, estimated from the inversion procedure, revealed a single reverse fault model with dimensions of  $18 \text{ km} \times 14 \text{ km}$ , strike  $260^\circ$ , dip  $60^\circ$  to the north with a nucleation point located at 9 km depth. The total seismic moment is  $7 \times 10^{18} \text{ Nm}$  corresponding to  $M_w 6.5$ . The rupture velocity is found to be approximately 70 percent of the local shear wave velocity.

The inverted slip model showed two deep asperities located to the west and east of the nucleation point extended at depths of 6–12 km with the maximum slip of about 2.4 m. It was found that the observed forward directivity pulse at ZAR and SHI stations can be successfully reproduced by the two asperities located in the west and east sides of nucleation point.

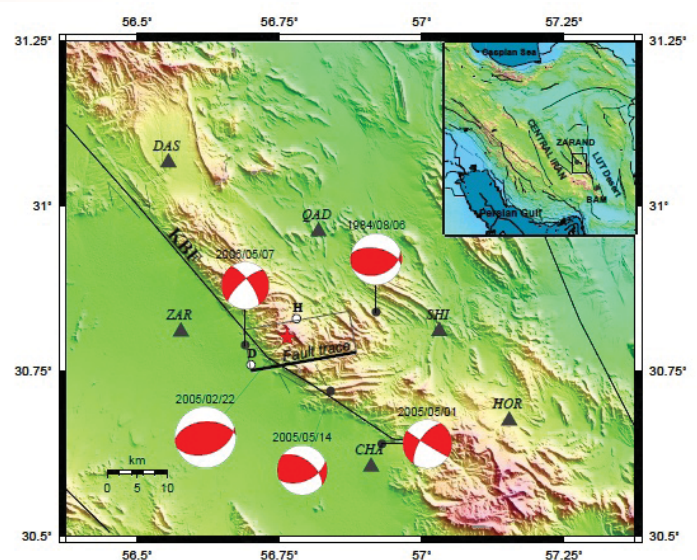
**Keywords:** Dahuiyeh-Zarand earthquake, Source parameters, Slip model, Strong motion inversion



مدل نهایی لغزش شامل دو اسپیریته

غرب و شرق نقطه کانونی و در عمق ۶ تا ۱۲ کیلومتری روی سطح گسل است که دارای مقدار بیشینه لغزش  $2/4$  متر می‌باشد. گسترش شکستگی به سمت غرب به گسل کوهبنان با راستای شمال غربی-جنوب شرقی برخورد کرده و محدود شده است که می‌تواند ایجاد کننده یک اسپیریته در این محدوده از سطح گسل باشد که به نظر می‌رسد در طی این زلزله رخ داده و در مدل لغزش بدست آمده از وارون سازی نیز مشاهده می‌گردد. علاوه بر این، روستای داهوئیته که در روی این تقاطع گسلی و تقریباً در بالای این اسپیریته در غرب نقطه شروع شکست قرار دارد، در اثر زلزله کاملاً تخریب شده و می‌تواند تأییدی بر وجود این اسپیریته باشد. پالس‌های جهت‌پذیری پیش رونده مشاهده شده در دو ایستگاه زرنند و شیرین رود نشان‌دهنده این است که شکستگی به صورت دوطرفه بوده و در هر دو سمت شرق و غرب نقطه شروع شکست از دو اسپیریته بزرگ گسترش یافته است. حضور اسپیریته بزرگ در سمت غرب کانون که از وارون سازی مدل نهایی بدست آمده است در نزدیکی روستای حتکن واقع شده و باعث تخریب کامل این روستا گردیده است.

**واژه‌های کلیدی:** زلزله داهوئیته زرنند، پارامترهای چشمه، مدل لغزش، برگردان جنبش نیرومند زمین



تصویر مدل نهایی گسل

## Geological Modeling and Geometrical Identification of Hendijan Fault Using Seismic Reflection Data and Ray Tracing Method

**Mohammad Mokhtari**

Assistant Professor, Seismology Research Center  
mokhtari@iiees.ac.ir

**Mohammad Montazeri**

Study of faults is important from different viewpoints within the earth sciences discipline. In this regard, the fault identification in seismicity study is vital. The study area is located in the Hendijan area with the Abadan plain. The Hendijan structure has been influenced by the Arabian plain fault system with north-south trending smooth folding, which begins from Khafji field (Saudi Arabia) to the Rag-e-Safid structure.

To study the Hendijan Fault system, the earthquake and seismic reflection data and well log data have been used. The seismic data was loaded to SMT software and is being interpreted. The earthquake data for the Hendijan and its surroundings has been gathered from seismological bulletins and websites of national and international agencies. The seismic reflection data has been provided by the National Iranian Oil Company. Based on detection of 21 seismic events within 10 km radius of the Hendijan Fault system, it has been observed that the fault system is active. Based on the results of seismic reflection data analysis, it was concluded the focal mechanism of the fault system varies along the fault.

The Hendijan structure has been influenced by a system of Arabian plate fault with a fold of north-south trend which has been extended from the Khafji field (Saudi Arabia) to the Rag-e-Safid structural feature with north-northeast – south-southwest trend and is located on the structural features of Hendijan and Bahregansar which has been affected by them.

The Hendijan fault in the vicinity of the Kazeroun, Razak and Zendan faults are the main and deep faults within the Persian Gulf that have created several paleo-highs.

The earthquake events that are shown in Figure 1 most likely belong to the Hendijan and Rag-e-Safid faults within the Hendijan region, but the earthquake events that are located close to the Hendijan fault are presumably related to this fault.

To increase the accuracy - of fault geometry, the seismic reflection data within offshore area of the Hendijan which was consisted of a grid of data, has been utilized, but in this

## مدلسازی گسل هنديجان و شناسایی شکل هندسی با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی و روش ردیابی پرتو

محمد مختاری

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی mokhtari@iiees.ac.ir

محمد منتظری

مطالعه گسلها در علوم زمین از جهات مختلف دارای اهمیت است. شناخت گسلها در زلزله‌شناسی برای تعیین مناطق با پتانسیل بالای لرزه‌خیزی دارای اهمیت فوق‌العاده می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در ناحیه هنديجان که در زیر پهنه به تقریب چین‌خورده دشت آبادان قرار دارد. ساختمان هنديجان تحت تأثیر یک سیستم گسلی صفحه عربی با چین‌های ملایم با روند شمالی-جنوبی که از میدان خفجی (عربستان) تا ساختمان رگ سفید گسترش دارد و با امتداد شمال-شمال شرقی، جنوب-جنوب غربی در غرب ساختمانهای هنديجان و بهرگانسر واقع است و آنها را تحت تأثیر قرار داده است.

برای مطالعه سیستم گسلی هنديجان از داده‌های زمین لرزه رخ داده، داده‌های لرزه‌ای بازتابی که توسط نرم‌افزار SMT تفسیر شده است و نیز نتایج چاه‌پیمایی استفاده شده است. رویدادهای رخ داده در منطقه هنديجان و اطراف سیستم گسلی هنديجان از کاتالوگها، بولتن‌ها و وب‌سایت‌های ملی و بین‌المللی جمع‌آوری شده و مورد بررسی واقع شده است. داده‌های لرزه‌نگاری مورد استفاده مربوط به لرزه‌نگاری انجام شده توسط شرکت نفت در منطقه‌ی هنديجان می‌باشد. یکی از نتایج حاصله با توجه به مشاهده ۲۱ رویداد رخ داده در فاصله ۱۰ کیلومتری از این سیستم گسلی این است که علیرغم نبود رخنمون سطحی این گسل فعال است. براساس داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی ساز و کار این گسل متفاوت است.

ساختمان هنديجان تحت تأثیر یک سیستم گسلی صفحه عربی با چین‌های ملایم با روند شمالی-جنوبی که از میدان خفجی (عربستان) تا ساختمان رگ سفید گسترش دارد و با امتداد شمال-شمال شرقی، جنوب-جنوب غربی در غرب ساختمانهای هنديجان و بهرگانسر واقع است و آنها را تحت تأثیر قرار داده است.

گسل هنديجان در کنار گسلهای کازرون، رازک و زندان از جمله گسلهای بنیادین و عمیق خلیج فارس به حساب می‌آید که در پی سنگ باعث به وجود آمدن چندین بلندای دیرینه شده‌اند.

داده‌های زمین‌لرزه مربوط به این منطقه مربوط به طول جغرافیایی ۴۸،۵ تا ۵۰ و عرض جغرافیایی ۲۸،۷ تا ۳۰،۴ می‌باشد، است. شکل ۱ موقعیت گسل هنديجان و رویدادهای اطراف آن را نشان می‌دهد.

زلزله‌هایی که در شکل ۱ مشاهده می‌شود به دلیل وجود دو گسل هنديجان و رگ سفید در اطراف منطقه هنديجان می‌تواند به یکی از این دو گسلها مرتبط باشد. ولی زلزله‌های (در مجاورت گسل) روی داده در خلیج فارس با توجه به موقعیت گسل هنديجان می‌تواند به این گسل متعلق باشد. برای شناخت بهتر گسل (دست‌یابی به شکل هندسی آن)، داده‌های



report only 2 seismic sections which has been interpreted have been - presented. Figure 2 shows the location of these lines, which are selected such that are orthogonal to the fault. Based on the interpretation, the Hendijan fault penetraed into the Gachsaran formation but did not cut through this formation.

Integrating the seismic reflection and the earthquake events in the vicinity of the Hendijan fault shows some interesting results. First, the Hendijan faults clearly could be interpreted on the seismic data. The seismic data has fair to good quality and acquired using air gun and streamers. The data has been processed using state-of-technology. As this data shows, the fault stops within the Gachsaran formation but do not cut the sea floor, while the faults can be seen in deeper part of the seismic section which can indicate that this fault might reach the basement.

Based on the above, it was concluded that the combination of seismic reflection data and earthquake events is a powerful tool in increasing the accuracy of fault identification especially if the fault could not be observed at the surface (Hidden faults). This can be used in future seismic hazard studies.

**Keywords:** Earthquake events, Hendijan fault, Seismic reflection data

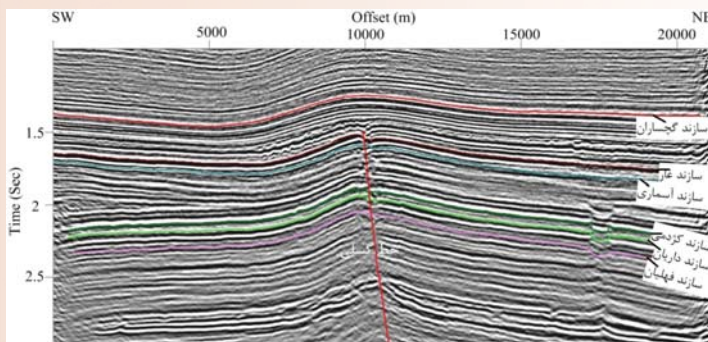


Figure 2. Seismic reflection data along the profile1 within the study area, for the location of the seismic profile see the map shown in the left bottom corner.

مربوط به لرزه نگاری دو بعدی در آبهای خلیج فارس نیز مورد مطالعه قرار می گیرد. در این مطالعه، از یک شبکه خطوط لرزه نگاری استفاده شد، ولی در اینجا از تفسیر مربوط به دو خط برداشت استفاده و ارائه شده است. در شکل ۲، نیمرخ لرزه ای مربوط به یکی از خطوط برداشت (تقریباً عمود بر این گسل) مشاهده می شود. آنچه در این شکل دیده می شود این است که گسل وارد سازند گچساران شده است ولی آن را به طور کامل برش نداده است. از تلفیق زلزله های رخ داده در اطراف سیستم گسلی هنديجان و نتایج داده های لرزه نگاری می توان به استنباط خوبی در مورد گسل هنديجان رسید. گسل هنديجان به شکل واضحی در نیمرخ های لرزه ای نمایان است. همانطور که داده های لرزه ای نشان می دهد حرکت گسل در سازند گچساران متوقف می شود و به کف دریا نمی رسد، یعنی گسل رخنمون سطحی ندارد از طرفی گسل تا انتهای نیمرخ های لرزه ای ادامه یافته است و این احتمال وجود دارد که حتی تا سنگ بستر نیز ادامه یافته باشد که در این صورت گسل پی سنگی محسوب می شود.

شایان ذکر است تلفیق داده های لرزه نگاری بازتابی و رویدادهای زمین-لرزه ها ابزاری است جهت تدقیق مطالعات ساختاری به ویژه شناسایی گسل های فعال مدفون.

**واژه های کلیدی:** رویداد زلزله، گسل هنديجان، داده های لرزه ای

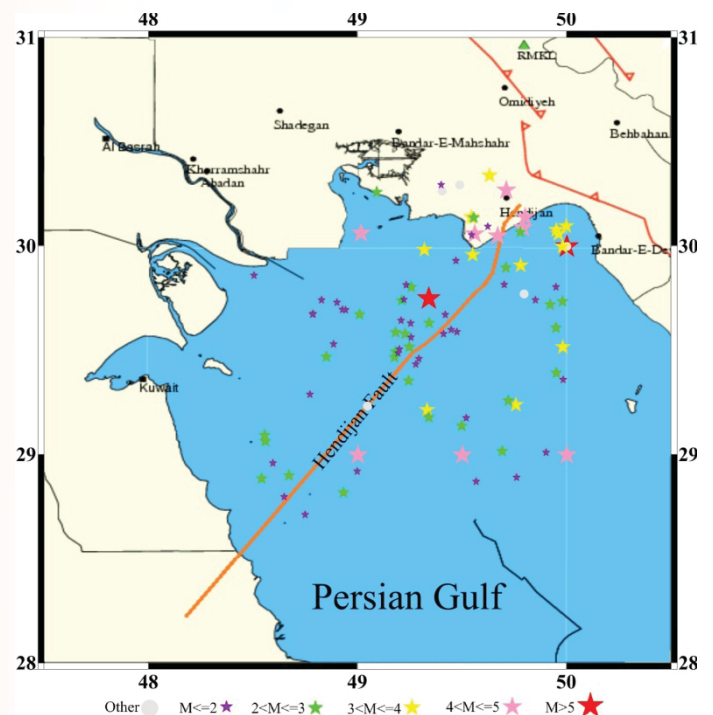


Figure 1. Locations of the earthquake events based on the national and international seismological networks.

## Iran Spectral Acceleration Map in Scale of 1:2/500/000 in Rock Level for Different Return Periods

**Hossein Hamzehloo**

Associate Professor, Seismology Research Center  
hhamzehloo@iiees.ac.ir

**Anooshiravan Ansari, Alireza Alikhanzadeh,  
Mohsen Rahmani**

Ground motion estimation for the purpose of earthquake hazard analysis may eventually be carried out in some routine and accurate empirical or theoretical manners. Earthquake hazard analysis requires the use of knowledge from disciplines other than Seismology. Geology is needed to help define the location, configuration, and potential of seismic sources, particularly, known as active faults. Geophysical techniques are needed to help define those seismic sources not readily observable at the earth's surface. Mathematics, particularly an understanding of probability and statistics, is important in the increasingly prevalent probabilistic evaluations. Geotechnical engineering is very useful in estimating the effect of local site conditions on ground motion.

The basis for earthquake hazard analysis is the analysis of seismicity or the occurrence of earthquake in space and time. The historic record may contain reports of earthquakes that occurred during hundreds and, in some cases, thousands of years of recorded human history. The instrumental record yields information about those earthquakes for which actual instrumental evidence exists.

For this study, the IIEES and Engdhal catalogue, which is based on the reports from the International seismological institutes, and reports from Ambraseys and Melville (1982) have been used. The available earthquake catalogs usually contain two type of information: historical and instrumental data. We used Kijko method to estimate seismicity parameters and the return period for different earthquake magnitudes. Based on the seismicity and seismotectonics provinces of Iran, 25 zones have been considered for Iran.

A reliable assessment of seismic risk in a region requires knowledge and understanding of both the seismicity and the attenuation of strong ground motion. Four attenuation relationships have been considered. These are Boore et al, (1997), Abrahamson and Silva (1997, Ghasemi et al., (2009) and Campbell and Bozorgnia (2003).

Finally, the effects of all earthquakes of different sizes, occurring at different locations in various earthquake sources at different probabilities of occurrence are integrated into maps which show the probability of exceeding of different

## نقشه‌های شتاب طیفی ایران در مقیاس ۱:۲/۵۰۰/۰۰۰ در سطح سنگ بستر برای دوره بازگشت‌های مختلف

**حسین حمزه‌لو**

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی  
hhamzehloo@iiees.ac.ir

**انوشیروان انصاری، علیرضا علیخان‌زاده، محسن رحمانی**

جنبش نیرومند زمین ناشی از زمین‌لرزه براساس پارامترهای مختلفی که توصیف کننده اثرات ناشی از یک زمین‌لرزه می‌باشند، بیان می‌شود. مهمترین پارامترهای جنبش نیرومند زمین که در ارزیابی‌های خطر زمین-لرزه و رفتار سازه‌های مختلف در برابر آنها مورد نظر بوده و دارای کاربرد مهندسی است، شامل بیشینه مقادیر شتاب، سرعت، تغییر مکان و همچنین طیف پاسخ شتاب یا سرعت در میرایی‌های مختلف می‌باشد. به طور کلی در انجام تحقیقات مربوط به تحلیل خطر زمین‌لرزه، دو رهیافت اساسی وجود دارد. به منظور برآورد خطر لرزه‌ای، لرزه‌زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی گستره فلات ایران مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی در مطالعات تحلیل خطر زمین‌لرزه دارای اهمیت ویژه‌ای است، کاتالوگ زمین‌لرزه‌های رخ داده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. مبنا و پایه تحلیل خطر لرزه‌ای آنالیز لرزه‌خیزی یا رویداد زمین‌لرزه‌ها در حوزه زمان و مکان می‌باشد.

بدین منظور مجموعه اطلاعات از پایگاه‌های اطلاع‌رسانی جهانی مثل ISC, NEIC و کاتالوگ Engdhal برای تجزیه و تحلیل آماری زمین‌لرزه‌ها به منظور برآورد ویژگی‌های لرزه‌خیزی در گستره مورد مطالعه جمع‌آوری شده است. یکی از مراحل اساسی در تحلیل خطر زمین‌لرزه، تعریف چشمه یا چشمه‌های لرزه‌زا می‌باشد. تعریف چشمه‌های لرزه‌زمین‌ساختی اغلب نیاز به دانشی از زمین‌شناسی، لرزه‌خیزی و زمین‌ساخت محلی و منطقه‌ای دارد. استان لرزه‌زمین‌ساختی، منطقه یا بخشی از یک منطقه است که از دیدگاه زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و زلزله‌شناسی دارای شرایط یکسان می‌باشد. با توجه به مدل لرزه‌زمین‌ساخت بربریان و لرزه‌خیزی ۲۵ ناحیه لرزه‌زمین‌ساختی در نظر گرفته و ضرایب رابطه گوتنبرگ-ریشتر برای هر ناحیه برآورد گردیده است.

در این تحقیق برای تحلیل خطر زمین‌لرزه ناحیه مورد مطالعه به شبکه‌ای به صورت  $0.1 \times 0.1$  درجه برای برآورد بیشینه شتاب و شتاب طیفی در پیروید مورد نظر تقسیم‌بندی گردید. با استفاده از روابط کاهندگی بور و همکاران؛ کمپیل و بزرگ‌نیا، آبراهامسون و سیلوا و قاسمی و همکاران، بیشینه شتاب افقی برای احتمال وقوع ۵۰٪، ۱۰٪، ۵٪ و ۲٪ در ۵۰ سال برآورد گردیده است. سپس با استفاده از درخت منطقی نتایج حاصل از روابط کاهندگی مختلف ترکیب شده، که نتیجه این محاسبات ارائه چهار نقشه PGA و ارائه ۸ نقشه طیفی برای پیرویدهای ۰/۲ و ۱ ثانیه برای دوره بازگشت‌های ۷۵، ۴۷۵، ۹۷۵ و ۲۴۷۵ می‌باشد.

طیف خطر یکنواخت، طیف پاسخی است که احتمال وقوع یکسانی در تمام دامنه‌های آن در پیرویدهای مختلف برقرار می‌باشد. در حقیقت، طیف



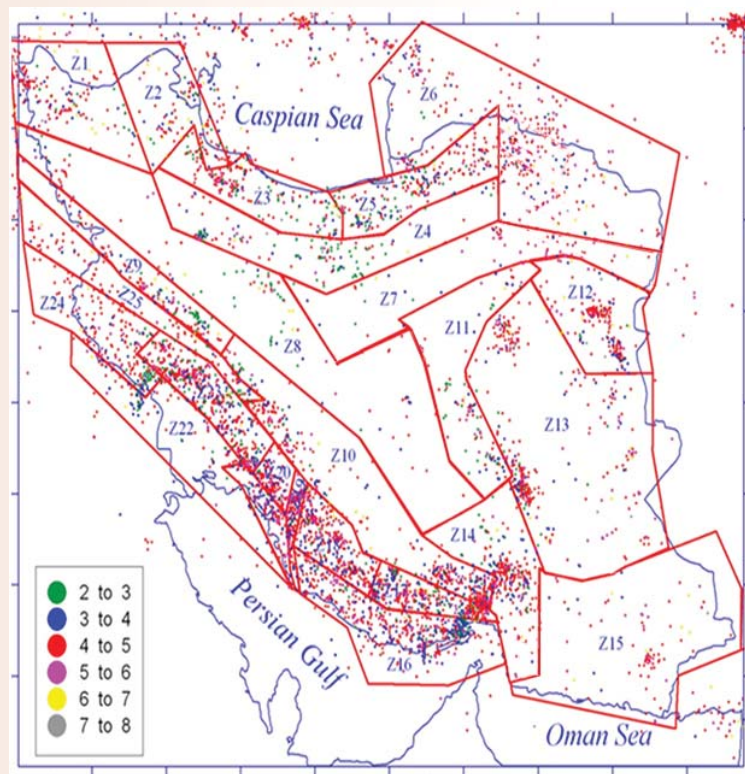
levels of ground motion levels for Iran during a specified period of time.

Then, source zones and attenuation have been used to estimate the horizontal peak ground acceleration maps and spectral acceleration maps for period of 0.2 sec. and 1 sec. for return periods of 75, 475, 975 and 2475 for Iran. This is the first time that the spectral acceleration maps have been developed for Iran.

**Keywords:** Earthquake hazard analysis, Uniform hazard spectra, Spectral map, Deaggregation

خطر یکنواخت از مجموعه‌ای از نقاط که برای یک احتمال وقوع یکسان (مثلاً ۱۰٪ در ۵۰ سال) محاسبه شده‌اند تشکیل شده است. طیف خطر یکنواخت برای دوره بازگشت‌های ۷۵، ۴۷۵، ۹۷۵ و ۲۴۷۵ سال با استفاده از روابط کاهش‌دهنده برای مراکز استانها محاسبه شده است. جدایش لرزه‌ای ابزار مفیدی در تعیین بزرگا و فاصله متوسط و همچنین محتمل‌ترین چشمه که بیشترین مشارکت را برای خطر لرزه‌ای در یک نقطه دارد، می‌باشد. با توجه به جدایش لرزه‌ای زمین‌لرزه‌های کنترل‌کننده برای دوره بازگشت‌های ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال برای پرپوده‌های ۰.۲ و ۱ ثانیه برای مراکز استانها تخمین زده شده است.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل خطر زمین‌لرزه، نقشه‌های شتاب طیفی، طیف خطر یکنواخت، جدایش لرزه‌ای



Seismic source zones

## Investigation of Time-dependent Earthquake Forecasting Methods, Case Study: The Greater Tehran

Hamid Zafarani

Assistant Professor, Seismology Research Center  
h.zafarani@iiees.ac.ir

Mehdi Zare, Seyed Mahdi Ghafouri

The regional time and magnitude predictable model has been applied successfully in diverse regions of the world to describe the occurrence of mainshocks. In the current study, the model has been calibrated against the historical and instrumental catalogue of Iranian earthquakes.

The Iranian plateau is divided into 13 seismogenic provinces; then the interevent times for strong mainshocks have been determined for each one. The results have been used to determine the following empirical relations:

$$\log T_t = 0.19M_{\min} + 0.33M_p - 0.39 \log \dot{M}_0 + t$$

$$M_f = 0.66M_{\min} - 0.29M_p + 0.61 \log \dot{M}_0 + m$$

where  $t$  and  $m$  are empirical constants determined separately for each source. On the basis of these relations and using the occurrence time and magnitude of the last main shocks in each seismogenic source, the probabilities of occurrence of the next main shocks during the next  $t$  years as well as the magnitude of the expected main shocks could be determined. In the second part, repeat times of strong shallow mainshocks have been determined by the use of instrumental and historical data for 15 seismogenic sources in the Iranian plateau. The seismogenic sources have been adopted and modified from Nowroozi (1976). At least five interevent times (six mainshocks) are available for each source. By using the renewal times for these 15 sources, empirical relation has been determined for the repeat time and the magnitude of the following mainshock.

The Alborz mountain ranges extend from the north central Iran to the eastern border of the country is seismically active and is characterized by the occurrence of several moderate and large earthquakes. Some of the very important cities e.g. the capital city of Tehran are located in this seismically active region and therefore, performing accurate and reliable seismic hazard studies and prediction/estimation of future ground motion parameters is a crucial and important issue. Different time dependent seismic hazard analysis schemes differ mainly in the statistical distribution of time interval between successive earthquakes. Contrary, in the traditional time independent probabilistic seismic hazard analysis

## بررسی پیش‌یابی تابع زمان زلزله وامکان سنجی استفاده از آن در منطقه تهران بزرگ

حمید زعفرانی

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی h.zafarani@iiees.ac.ir

مهدی زارع، سید مهدی غفوری

در این گزارش مروری بر مدل‌های تکرار تابع زمان صورت گرفته و موارد کاربرد آن در نقاط مختلف جهان ارائه شده است. سپس کاتالوگ زلزله‌های ایران آماده شده است. این کاتالوگ از دو قسمت تاریخی و دستگامی تشکیل شده است. کاتالوگ مزبور برای حذف حوادث وابسته و فرعی مورد بررسی قرار گرفته است. در گام بعدی مدل زمان قابل پیش‌بینی و مدل بزرگای قابل پیش‌بینی که توسط پاپازاخو (۱۹۹۲، ۲۰۰۰) ارائه شده، بر روی کاتالوگ فوق اعمال شده است.

پارامترهای مدل برای هر یک از نواحی پانزده‌گانه محاسبه شده است. برای این کار با توجه به حد کامل بودن کاتالوگ و با عنایت به اینکه زلزله‌های بزرگتر در این گزارش مدنظر است، در هر ناحیه دوره کامل بودن مشخص شده است. جهت تشخیص نواحی تکرارپذیر در فلات ایران مدل‌های ساینموتکتونیک معرفی شده توسط نوروزی (۱۹۷۶) بررسی و در نهایت نسخه اصلاح شده‌ای از این مدل به عنوان گزینه برتر انتخاب شده است. این نسخه اصلاح شده از پانزده ناحیه لرزه‌زمین‌ساختی تشکیل شده است. روابط بدست آمده برای بزرگا و زمان زلزله بعدی به صورت زیر است

$$\log T_t = 0.19M_{\min} + 0.33M_p - 0.39 \log \dot{M}_0 + t$$

$$M_f = 0.66M_{\min} - 0.29M_p + 0.61 \log \dot{M}_0 + m$$

در قسمت بعدی، انواع مدل‌های تکرار تابع زمان شامل: مدل ویبال، مدل لگاریتم-نرمال، مدل گامبل و مدل BPT به کاتالوگ هر یک از این مناطق برآزش شده و مدل تکرار تابع زمان بدست آمده است. تفاوت این مدل‌های تکراری با مدل زمان قابل پیش‌بینی در آن است که در مدل مزبور فرض می‌شود که زمان وقوع هر زلزله به بزرگی زلزله قبل از آن وابسته است. اما در مدل‌های تکرار این وابستگی وجود ندارد و زمان زلزله بعدی مستقل از زمان زلزله قبلی است. با کالیبره کردن مدل‌های تابع زمان فوق، محاسبات احتمال وقوع زلزله بزرگ بعدی در زمانهای ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ سال از آخرین زلزله هر منطقه محاسبه شده است. با توجه به محدوده ضریب تغییرات (COV) مدل در مناطق مختلف، نواحی که زلزله‌ها الگوی تکرار شونده دارند، از نواحی که الگوی خوشه‌ای یا تصادفی حاکم است، تفکیک شده است. شهر تهران در ناحیه البرز تقسیم بندی فوق (ناحیه ۱۳) واقع شده است و احتمال وقوع یک زلزله بزرگ در زمان‌های آتی برای این منطقه نیز محاسبه شده است. برای آشنایی با نحوه محاسبات به صورت نمونه در توزیع BPT داریم:

تابع چگالی احتمال برای متغیر (T) عبارت است از:

(PSHA), the occurrence of earthquakes is assumed to be independent and therefore, can be specified by a Poisson distribution. Here, as a first attempt to implement our knowledge of occurrence of past earthquakes in the region, using three statistical models, namely, Gamma, Lognormal and the Brownian Passage Time (BPT), as well as the earthquake recurrence intervals by the use of instrumental and historical data for 15 seismogenic sources in the Iranian plateau, was investigated. The seismogenic sources have been adopted and modified from Nowroozi (1976). Source number 13 included the Tehran metropolitan area. The renewal model parameters have been estimated using the maximum likelihood method.

For example, the formula for the likelihood function of the BPT model is as follows:

$$L = f_T(t_1, t_2, t_3, \dots, t_n \setminus \mu, \alpha) = \prod_{i=1}^n \left( \frac{\mu}{2\alpha^2 t_i^3} \right)^{\frac{1}{2}} \exp\left( \frac{-(t_i - \mu)^2}{2\alpha^2 \mu t_i} \right)$$

where, n is number of earthquakes in sequence. Taking the logarithm of equation (6), it was found that the maximum of the likelihood function using the partial derivatives with respect to the model parameters (i.e.  $\mu$  and  $\alpha$ ) is:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \mu} = \frac{n}{2} \left( \frac{1}{\mu} \right) + \left( -\frac{1}{2} \right) \left[ \sum_{i=1}^n \frac{-2(t_i - \mu)}{\alpha^2 \mu t_i} - \sum_{i=1}^n \frac{-(t_i - \mu)^2}{\alpha^2 \mu^2 t_i} \right]$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \alpha} = -\frac{n}{\alpha} + \left( \frac{1}{\alpha^3} \right) \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(t_i - \mu)^2}{t_i} \right]$$

The maximum likelihood estimates of model parameters  $\mu$  and  $\alpha$  are is that values for which  $\partial \ln L / \partial \mu$  and  $\partial \ln L / \partial \alpha$  are equal to zero.

Also, conditional probabilities of the occurrences of strong earthquakes during a specified interval of time have been estimated on the basis of various statistical models.

Our attempt was not to distinguish between the employed models using the statistical approaches (e.g. Kolmogorov-Smirnov statistics). However, since the value of likelihood function (L) is an indicator of how well the model fits data, additional to the best estimated model parameters, we also reported the corresponding values of the logarithm of the likelihood function (ln L). In other words, the logarithmic of likelihood function (ln L) has been used to compare the suitability of models and it was found that the lognormal model represents the best results in regions with intermittent occurrence characteristics.

**Keywords:** Time- and magnitude-predictable model, Time-dependent, Seismic hazard, Gamma model, Lognormal

$$f(T) = \left( \frac{\mu}{2\alpha^2 T^3} \right)^{\frac{1}{2}} \exp\left( \frac{-(T - \mu)^2}{2\alpha^2 \mu T} \right)$$

در عبارات فوق T متغیر نشان دهنده بازه زمانی بین رویدادهای موفق است. همان گونه که در عبارت فوق مشاهده می‌شود  $\alpha$  و  $\mu$  پارامترهای توزیع BPT هستند که با توجه به داده‌های ارائه شده در بخش قبل می‌بایست برای هر منبع لرزه‌خیز به صورت جداگانه محاسبه شوند. برای محاسبه پارامترهای مجهول توزیع برونین از روش حداکثر درست‌نمایی (Maximum likelihood) استفاده شده است. با توجه به تابع چگالی احتمال، تابع حداکثر درست‌نمایی مدل BPT به صورت زیر است:

$$L = f_T(t_1, t_2, t_3, \dots, t_n \setminus \mu, \alpha) = \prod_{i=1}^n \left( \frac{\mu}{2\alpha^2 t_i^3} \right)^{\frac{1}{2}} \exp\left( \frac{-(t_i - \mu)^2}{2\alpha^2 \mu t_i} \right)$$

در این رابطه، n تعداد زلزله در یک رشته تکرار زلزله‌های منطقه یا گسل است. با گرفتن لگاریتم از رابطه فوق، می‌توان مقدار بیشینه آنرا به کمک مشتق پاره‌ای نسبت به پارامترهای مدل (یعنی  $\alpha$  و  $\mu$ ) محاسبه کرد.

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \mu} = \frac{n}{2} \left( \frac{1}{\mu} \right) + \left( -\frac{1}{2} \right) \left[ \sum_{i=1}^n \frac{-2(t_i - \mu)}{\alpha^2 \mu t_i} - \sum_{i=1}^n \frac{-(t_i - \mu)^2}{\alpha^2 \mu^2 t_i} \right]$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \alpha} = -\frac{n}{\alpha} + \left( \frac{1}{\alpha^3} \right) \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(t_i - \mu)^2}{t_i} \right]$$

برای محاسبه پارامترهای مجهول می‌بایست دستگاه معادلات فوق را حل کنیم که بدین منظور نیز برنامه‌ای در نرم‌افزار Matlab نوشته شده که این دستگاه را با استفاده از داده‌های ورودی که در بخش قبل ارائه شد، حل کرده و بهترین پارامترهای توزیع BPT را محاسبه می‌کند.

تحقیقات پیشین نشان داده است که با توجه به محدودیت داده‌ها نمی‌توان به کمک آزمون‌های آماری (نظیر آزمون کولمگروف-اسمیرنوف) بین مدل‌های تکرار مختلف تمایز قابل شد. لذا با توجه به اینکه مقدار تابع تمایل شاخصی از کیفیت برآزش مدل به داده‌ها است، در اینجا با بررسی مقدار لگاریتم تابع حداکثر تمایل (ln L) مشخص شده است که تابع تکرار لگاریتم-نرمال بهترین کارایی را در مناطقی که زلزله‌های آن از الگوی تکرارپذیر پیروی می‌کند، داشته است.

**واژه‌های کلیدی:** مدل زمان و بزرگی قابل پیش‌بینی، مدل تابع زمان، تحلیل خطر، توزیع گاما، توزیع لگاریتم نرمال، توزیع BPT



## Development of Automatic P Phase Detection Methods for Seismic Events

**Gholam Javan Doloei**

Assistant Professor, Seismology Research Center  
javandoloei@iiees.ac.ir

**Nasim Karamzadeh**

The development of seismic networks around the world is leading to generate large amount of digital and real time seismic data. Manual reviewing of seismograms within a huge seismic data mine is very time consuming, boring and also may be influenced by personal opinion or human experiences. Therefore, using automatic methods is unavoidable for preprocess, fast identification and detection, arrival time calculation, magnitude estimation and finally rapid announcement of a seismic event from real time data or within a huge seismic data quarry.

In this research, common methods of automatic seismic phase picking are investigated. Then, a new method for automatic detection of seismic P phase is presented based on continuous wavelet transform. Obviously, earthquake signals and background noise often differ in energy and frequency contents, and since the wavelet transform is consistent in revealing the boundary of the main signal from background noise for almost noisy condition, therefore, our new algorithm is developed based on the wavelet transform. To accomplish this, a characteristic function is established using envelopes of wavelet coefficients. Also applying a threshold value and detection rules P-phase onset time is determined.

Verification of the new algorithm is evaluated by means of a local dataset, including different sampling rate seismograms. Moreover, the results are compared with the manually picked onsets in the database. The presented figures are examples deduced from the results. These figures show the comparison of the proposed algorithms with the manual pickings at the Broadband Iranian National Seismic Network (BIN) which belongs to the International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES).

A comparison of the new proposed method and the well-known AR-AIC method indicated the efficiency of the proposed scheme and its ability to accurately determine the earthquake signal onset. It should be noted that the original AR-AIC algorithm uses STA/LTA scheme to provide a first estimation for the P-phase onset time. As it can be seen in many cases, the STA/LTA algorithm usually fails to determine acceptable estimation especially in low SNR conditions. However, we provided such initial estimates

## توسعه روش‌های خودکار فاز P رویدادهای لرزه‌ای

غلام جوان دولویی

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی javandoloei@iiees.ac.ir

نسیم کرم زاده

توسعه شبکه‌های لرزه‌نگاری و فرابینی لرزه‌ای مناطق مختلف جهان، منجر به افزایش روز افزون حجم و ابعاد داده‌ها در مراکز لرزه‌نگاری شده است. پردازش اولیه‌ی حجم وسیعی از داده‌ها شامل تشخیص و استخراج سیگنال اصلی رویداد لرزه‌ای، تعیین زمان رسید فازهای اصلی، تعیین بزرگی و سایر پارامترهای کانونی رویداد زلزله و در صورت نیاز اطلاع‌رسانی به صورت لحظه‌ای، استفاده از روش‌های خودکار و اتوماتیک را اجتناب‌ناپذیر نموده است.

در این پژوهش، روش‌های رایج پردازش خودکار داده‌های لرزه‌ای و تشخیص به صورت خودکار فاز اصل P مورد مطالعه قرار گرفته است. سپس روش جدیدی برای تشخیص و تعیین زمان رسید فاز P به صورت اتوماتیک ارائه شده است. در روش جدید از تبدیل موجک به صورت پیوسته استفاده شده است. تبدیل موجک امکان مطالعه‌ی تغییرات محتوای فرکانسی سیگنال را با زمان فراهم می‌سازد.

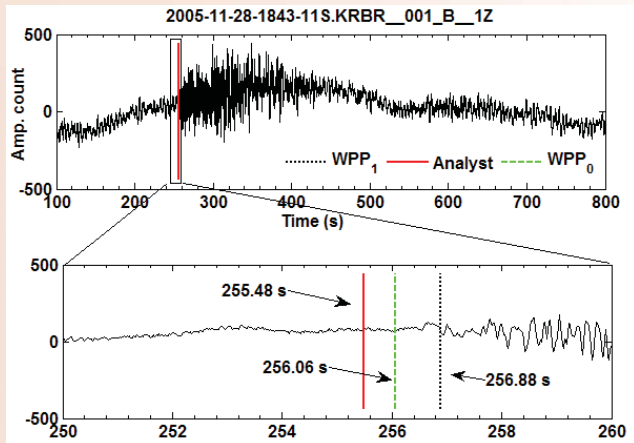
استفاده از تبدیل موجک پیوسته، سیگنال در هر مقیاس با موجکی که از نظر گسترش زمانی و باند فرکانسی متناسب با ویژگی‌های آن است مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این روش برای تشخیص خودکار فاز P از تابع پوش چند مقیاسی سیگنال که از ضرائب تبدیل موجک پیوسته به دست آمده است، به عنوان تابع مشخصه استفاده شده است. با به کار بردن چند قانون ساده، زمان رسید فاز با دقت بالاروی تابع مشخصه، به طور خودکار تعیین شده است. نتایج به دست آمده علاوه بر اینکه با روش‌های مطرح و دقیق تشخیص اتوماتیک فاز مورد مقایسه قرار گرفته است، با فازهای تعیین شده به صورت دستی نیز ارزیابی شده است (به عنوان نمونه شکل‌های ۱، ۲ و ۳). نتایج این ارزیابی‌ها به دقت و کارایی روش ارائه شده تأکید دارد. از این روش معرفی شده قابلیت تعیین زمان رسید فاز اصلی P را با دقتی قابل مقایسه با دقت کارشناس و در خیلی از موارد بهتر از آن را دارد و نسبت به روش‌های خودکار موجود، حداقل دربانک داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، برتری دارد. بنابراین تجاری‌سازی الگوریتم‌های تدوین شده می‌تواند به عنوان یک پیشنهاد منطقی مورد توجه قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم تشخیص خودکار فاز، تبدیل موجک پیوسته، رویداد لرزه‌ای، فاز P.

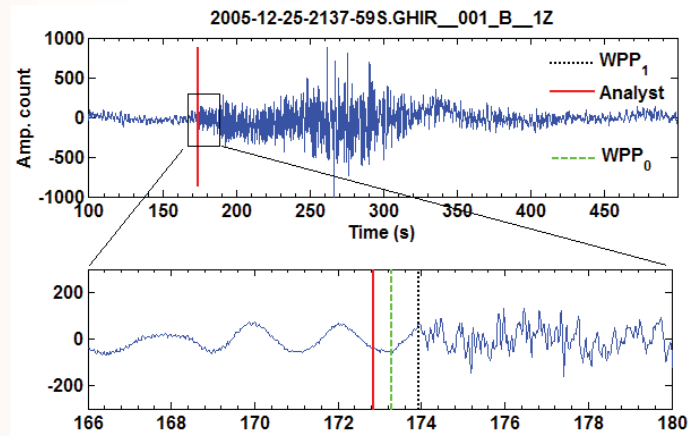


by means of picks obtained from new proposed algorithm. The results showed that the proposed new method works successfully for low SNR and emergent arrivals of broad-band and medium-band data as well.

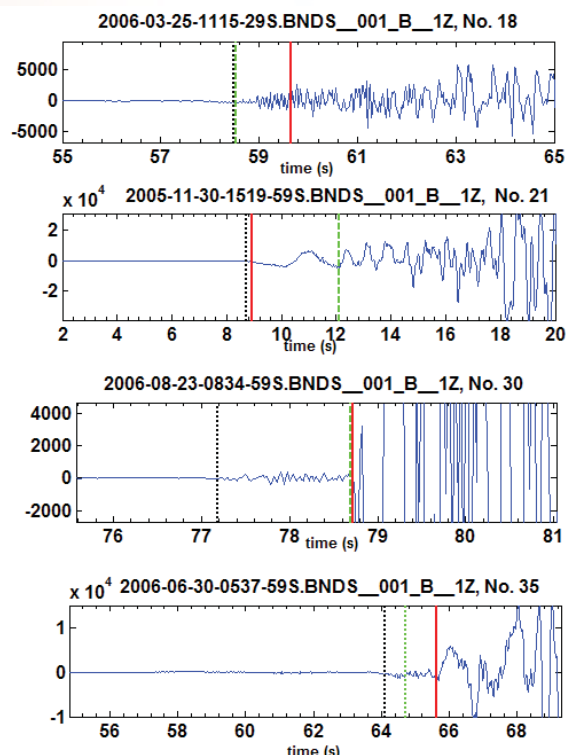
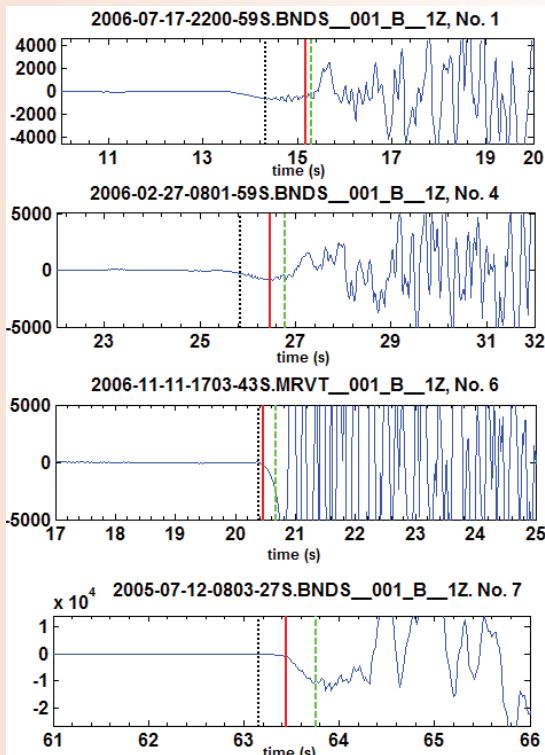
**Keywords:** Automatic detection, Automatic P-phase picking, Continuous and discrete wavelet transform, Seismic events, Seismic network



Seismogram of 2005-11-28 earthquake with  $2 \leq M < 3$  &  $\Delta > 100$  km was recorded at KRBR broad-band seismic station which is identified and detected with Automatic techniques WPP0, WPP1 and by means of analyst.



Seismogram of 2005-12-25 earthquake with  $4 \leq M < 5$  &  $\Delta > 100$  km was recorded at GHIR broad-band seismic station which is identified and detected with Automatic techniques WPP0, WPP1 and by means of analyst.



Seismograms of eight earthquakes with  $4 \leq M < 5$  &  $\Delta < 100$  km was recorded at different broad-band seismic stations of BIN seismological center of IIEES which is identified and detected with Automatic techniques WPP0, WPP1 and by means of analyst.

## Developing Pattern Recognition to Forecast Earthquakes in Alborz Region

**Mostafa Allamezadeh**

Assistant Professor, Seismology Research Center  
mallam@iiees.ac.ir

**Mehrdad Mostafazadeh, Lila Mahshadnia**

This project presents a new simulation network model by self-organizing neural networks model and Copulas dependence structure on earthquake prediction with application to risk in Alborz region. In this report, we will cover the theoretical aspects of clustering, including error and learning, followed by an overview of popular clustering algorithms named SOM and Monte Carlo classical simulation indices. We also discuss the relative performance of these algorithms and indices and conclude with examples of the application of clustering to computational seismology to identify active fault in Alborz region.

The shape of clustered earthquake provides an initial feature of short-term forecast, which is very sensitive to the variations in mechanical properties of the fault zone. SOFM models in real earthquake catalog observe some of these precursory phenomena, but some of them are not. The SOFM method does not predict earthquakes; rather it forecasts the regions (hot spots) where earthquakes are most likely to occur in the relatively near future.

In this report, the SOFM neural networks identify regions with historic seismicity data to produce a map of probabilities for future large events by pattern recognition techniques. The SOFM training does not aim to learn past earthquakes from earthquake catalogs, but rather to build a statistical model of the process, which generates the earthquake epicenters. We apply the data of Iran and Afghanistan to find possible locations where future large earthquakes are expected to cluster particularly earthquake prone area. A hazard alarm for a large earthquake is raised when many earthquakes with high clustering (a topological feature of networks) connect to the network of events linked by high generation rates. SOFM neural networks model for short-term forecasting earthquakes have been developed that could capture more of the clustering effect by giving more weight to more recent earthquakes.

This approach has been tested in many seismic regions of IRAN. The results have been confirmed by subsequent occurrence of strong events that can yield results with around 90% predictive accuracy of subsequent events took place at some nodes recognized to be potential sites for strong earthquakes prior to their occurrence. Although

## توسعه روش‌های شناسایی الگوهای پیچیده مکانی زمین‌لرزه‌ها در کمربند لرزه‌خیز البرز

مصطفی علامه‌زاده

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی mallam@iiees.ac.ir

مهرداد مصطفی زاده، لیلا مهشادنیا

روش تشخیص الگو در پیش‌بینی خوشه‌های لرزه‌ای پس‌لرزه‌ها، مسأله‌ای مهم در مطالعات زلزله‌شناسی است. با توجه به این که چنین رویدادی دارای سرشت کاملاً تصادفی است، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، راهکاری مناسب برای جداسازی خوشه‌ها محسوب می‌شود. الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی کوهون که الهام گرفته از عملکرد مغز انسان است برای تشخیص تمرکز پس‌لرزه‌های آینده، جایگاه مناسبی را در داده‌پردازی زلزله‌شناسی باز کرده است. در این مقاله، جزئیات الگوهای لرزه‌ای در البرز باختری با استفاده از کاتالوگ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله بررسی شده است. اگر چه بسیاری از زلزله‌ها همگی و یا برخی از الگوها نظیر پیش‌لرزه‌ها، سکوت لرزه‌ای و الگوی دونات را قبل از وقوع نشان می‌دهند، اما جزئیات این الگوها از زلزله‌ای به زلزله دیگر به طور قابل توجهی تغییر می‌کند. در این پژوهش پس از شناسایی گره‌های زمین ریخت ساختاری البرز باختری، با به کارگیری شبکه‌های عصبی خود سازمانده کوهون و تحلیل کاتالوگ لرزه‌ای در محل گره‌ها، خوشه‌های لرزه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت و محل رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ شناسایی شد. بر اساس نتایج بدست آمده الگوی سکوت لرزه‌ای و الگوی دونات برجسته‌ترین الگوهای لرزه‌ای تشخیص داده شده است. از آنجا که الگوهای لرزه‌خیزی از یک زلزله به زلزله دیگر تغییر می‌کنند به همین دلیل نمی‌توان از آنها به تنهایی در پیش‌بینی زلزله و اندازه‌گیری دیگر پارامترهای فیزیکی استفاده کرد. بر اساس مطالعات جونز و مولنار حدود ۴۴ درصد از زلزله‌های کم عمق در جهان بعد از افزایش نرخ لرزه‌خیزی در مقیاسهای مکانی مختلف اتفاق افتاده‌اند. این شواهد نشانگر این است که فعالیت‌ها را می‌توان به عنوان پیش‌لرزه‌هایی در نظر گرفت که در محل گره‌های ساختاری رخ می‌دهند.

الگوی لرزه‌خیزی در ظاهر برای کار پیش‌بینی زلزله کارایی ندارند، اما برای شناسایی سازوکار فیزیکی مفید هستند. هنگامی که سازوکار فیزیکی شناخته شده باشد، سایر ابزار مانند تغییرات سازوکار چشمه، طیف و شکل موج رکوردی لرزه‌ای می‌توانند برای اهداف پیش‌بینی به کار گرفته شوند. به دلیل غیر یکنواختی کاتالوگ‌های لرزه‌خیزی موجود روش‌هایی که مبتنی بر استدلال تقریبی است برای تصمیم‌گیری رفتار فرآیندهای پیچیده کمک می‌نماید. عمل شبیه‌سازی‌هایی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تحلیل این الگوها، توزیع لرزه‌خیزی در صفحه گسل را برجسته‌تر خواهد کرد. در این پژوهش تغییرات ناحیه‌ای الگوها در طول پهنه‌های زمین‌ساختی البرز بررسی شده است، به طوری که یک دوره سکوت لرزه‌ای در این ناحیه همراه با خوشگی لرزه‌ای و غیر یکنواختی لرزه‌خیزی در طول گسل‌های منطقه قابل مشاهده است. در این راستا، پهنه‌های با توان لرزه‌خیزی بالا با استفاده از معیارهای زمین ریخت ساختاری استخراج شده‌اند. این روش بر تشخیص شواهد حرکات زمین‌ساختی عهد حاضر در مرز بلوک‌های

earthquakes are obviously complex phenomena, acquiring knowledge by example may be the only solution. For many real-world problems, precise solutions do not exist. In such case, acquiring knowledge by example may be the only solution. When it is not possible to describe the logic of a problem or to predict behavior with analytical or numerical solutions to governing equations, traditional predictive analysis is difficult.

A neural network analysis does not rely on prescribed relation, but rather seeks its own relation and thus may have an advantage over traditional predictive analysis. The self-organization behavior of earthquakes is not a consequence of a given geometrical structure like the fractal structure in the earth system. This algorithm has shown the results of SOM and Copulas numerical simulations as a complex dynamical process to find new seismotectonic framework. Tehran and Ghom and Saveh regions are two examples in this project. In this study, we have presented several observables, the spatial seismic distribution after the Varzeghan mainshock, the geomorphology patterns, and the magnitude distribution.

**Keywords:** Simulation, Self-organizing, Copulas structure, Earthquake prediction

لیتوسفر و تشخیص غیرمستقیم بخش‌هایی با تمرکز تنش بالا (در مقیاس زمانی دهها تا هزاران سال) در طول گسلها استوار است. بنابراین اهمیت بالایی در تحلیل خطر و ارزیابی ریسک زمین‌لرزه دارد.

استفاده از پیش‌نشانگرهای زلزله در پیش‌بینی زمین‌لرزه‌ها، به عنوان پدیده‌های ناشی از تجمع تنش‌های زمین‌ساختی در سنگ کره زمین تاکنون به نتیجه متقاعد کننده‌ای نرسیده است، زیرا جدا کردن علائم پیش‌نشانگر از آشفتگی‌های طبیعی به علت فقدان ثبت منظم و بلند مدت یک پیش‌نشانگر مطمئن تاکنون امکان پذیر نبوده است. در حال حاضر، هدفی که واقع‌گرایانه به نظر می‌رسد پیش‌بینی میان مدت زلزله‌های بزرگ با عدم قطعیت زمانی چند سال و عدم قطعیت مکانی چند کیلومتر است، این فعالیت‌ها سبب بهینه نمودن اقدامات لازم جهت آماده‌سازی و ایمنی جامعه و به تعریف اولویت‌های مطالعات خطر لرزه‌ای و مشاهدات پیش‌نشانگرهای کوتاه مدت منجر می‌شود.

پیش‌بینی زلزله به عنوان تعیین احتمال وقوع زلزله در یک گستره مکانی، زمانی و بزرگی با دقت کافی جهت ارزیابی آن می‌باشد. جهت ارزیابی نیاز است که تعداد کافی موفقیت‌ها و شکست‌ها با ثبت دقیق تجزیه تحلیل شوند تا بتوان سطح اعتماد به پیش‌بینی را تعیین نمود. میزان موفقیت‌ها به حدی باشد که پژوهشگران را متقاعد سازد که یک حدس اتفاقی نبوده است، به ویژه مقدار بزرگ-زمان-مکان مورد نظر برای اعلام هشدار بایستی برای نیازهای جامعه مناسب باشد تا مسئولین را قادر سازد که برای یک زلزله قریب‌الوقوع اقدامات لازم را به عمل آورند. به طور کلی سه گرایش یا تلفیقی از آنها را جهت پیش‌بینی زلزله می‌توان پیشنهاد کرد:

از مهمترین اهداف بررسیهای شبیه‌سازی داده‌های "جهت پیش‌یابی زلزله" می‌توان به تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی گسل‌ها (نظیر: زمان رخداد و بزرگی زمین‌لرزه‌های بزرگ رویداده دوره بازگشت زلزله‌های بزرگ  $(M_w \geq 6.5)$ ، زمان سپری شده از آخرین رویداد زمین‌لرزه بزرگ اشاره کرد. یکی از عناصر مهم ارزیابی خطر زمین‌لرزه تعیین سرشت سرچشمه زمین‌لرزه یا تعیین بزرگی و دوره بازگشت زلزله‌های بزرگی است که در اثر فعالیت گسل ایجاد می‌شوند. اگرچه سوابق تاریخی حاوی اطلاعات ارزشمندی در مورد زمین-لرزه‌های رویداده در یک منطقه است، ولی فاقد داده‌های مورد نیاز جهت برآورد خطر زمین‌لرزه و پیش‌بینی دراز مدت زلزله‌های ناشی از جنبش یک گسل لرزه‌زا است. بنابراین ضرورت بررسیهای شبیه‌سازی جهت تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی گسلها، بررسی رفتار لرزه‌ای گسلها در برآورد بلند مدت احتمال رویداد زلزله و همچنین مطالعات دراز مدت پیش‌بینی زلزله‌ها لازم است. دانش کافی از پارامترهای لرزه‌خیزی گسلهای یک منطقه، برآورد دقیقی از احتمال خطر رویداد زلزله را برای آن منطقه به همراه خواهد داشت. در این پژوهش جهت پیش‌یابی زلزله‌های آتی با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو و شبکه عصبی SOFM می‌توان داده‌های جدیدی از کاتالوگ زلزله تولید کرد به طوری که ساختار مدل حفظ شده و در صورت محدود بودن داده‌ها می‌توان حالت‌های تحقق یافته بیشتری (تولید کاتالوگ مصنوعی جهت پیش‌یابی) را تولید نمود.

**واژه‌های کلیدی:** تشخیص الگو، احتمال وقوع زلزله، گستره مکانی، پیش‌لرزه‌ها



## Crustal Structure and Moho Depth of the Western Alborz (Iran)

**Mohammad Tatar**

Associate Professor, Seismology Research Center  
mtatar@iiees.ac.ir

**Samira Mousavian, Farzam Yaminifard**

Crustal velocity structure of a seismically active region such as the Alborz located in North of Iran, has a great influence on precisely locating of earthquakes, attributing the seismicity to the active faults, and improving the reliability of the seismic hazard assessment. In spite of several researches on Central Alborz crustal structure, very little is known about the structure and thickness of the crust beneath the Western Alborz which is significant due to the occurrence of the 1990 Manjil-Tarom earthquake with  $M_s=7.3$ . In this paper, We intend to study the thickness and structure of the crust beneath three stations of Zanjan, Roudbar and Ghazvin located on Western Alborz by joint inversion of the receiver functions and Rayleigh wave group velocity dispersion measurements. A combined inversion of Rayleigh wave group velocities and body wave receiver functions increases the uniqueness of the solution over separate inversions and also facilitates explicit parameterization of layer thickness in the model space. The time-domain iterative deconvolution procedure, which has higher stability with noisy data compared to frequency-domain methods, was employed to deconvolve the vertical component of the teleseismic P waveforms from the corresponding horizontal components and obtain radial and transverse receiver functions for two broadband stations of ZNJK and RUD, and one short period station of GZV. The waveforms were corrected from the instrument response before proceeding with the receiver function deconvolution. High-frequencies were filtered using a Gaussian filter, at 2.5, 1.6, and 1.0, which gives an effective high-frequency limit of about 1.2, 0.8 and 0.5 Hz, respectively. As the structure may vary with azimuth and with epicentral distance, all the observations were grouped by azimuth ( $< 10^\circ$ ) and distance ( $\Delta < 10^\circ$ ). To increase the signal-to-noise ratio of the deconvolved traces, the individual receiver functions were aligned according to the P-wave arrival and point-to-point stacked waveforms. The stacked receiver function was then allocated the average slowness and back-azimuth of every event included in the stack. Rayleigh wave group velocity dispersion comes from tomographic images between 10 s and 70 s period produced by a study of regional fundamental modes of Rayleigh waves propagating across Iran and surrounding regions.

## تعیین ساختار پوسته‌ای و عمق موهو در البرز غربی

محمد تاتار

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی mtatar@iiees.ac.ir

سمیرا موسویان، فرزاد یامینفرد

آگاهی از ساختار سرعتی و عمق موهو در یک منطقه فعال از نظر لرزه‌خیزی چون زون البرز واقع در شمال ایران، فاکتور مهم و مؤثری در مکانیابی دقیق زمین‌لرزه‌های آن منطقه، نسبت دادن لرزه‌خیزی به گسل‌های فعال و در نهایت بهبود نتایج تحلیل خطر زمین‌لرزه می‌باشد. اگرچه پژوهش‌های معتبر متعددی در راستای تخمین عمق موهو در البرز مرکزی صورت گرفته است، اما در البرز غربی که به دلیل رخداد زمین‌لرزه سال ۱۳۶۹ رودبار-منجیل با بزرگی  $M_s=7.3$  اهمیت فراوانی دارد، هنوز تخمین دقیقی از ساختار و ضخامت پوسته در دست نیست. در تحقیق حاضر، تلاش بر این است تا با استفاده از داده‌های مربوط به زمین‌لرزه‌های دور ثبت شده در سه ایستگاه قزوین، زنجان و رودبار واقع در زون البرز غربی، ضخامت و در صورت امکان ساختار سرعتی پوسته در این زون به روش برگردان همزمان توابع انتقال گیرنده و اطلاعات پاشندگی سرعت گروه امواج ریلی تعیین گردد.

برای هر ایستگاه توابع گیرنده مربوطه با روش واهمامیخت تکراری لیگوریا و آمون (۱۹۹۹) انجام گرفت و در هر مورد از سه پهنای باند فیلتر گوسی  $2/5$ ،  $1/6$ ،  $1$  استفاده شد. سپس در هر ایستگاه و برای هر فیلتر گوسی، برگردان همزمان توابع گیرنده با منحنی‌های پاشندگی با استفاده از روش جولیا و همکاران (۲۰۰۰) بدست آمد. به منظور تطبیق مدل بدست آمده با اطلاعات پاشندگی و توابع گیرنده، پارامتر  $p$  از  $1$  تا  $9$  تغییر داده شد تا بهترین همخوانی ایجاد گردد. در اکثر موارد با مقادیر  $2$  و  $1/5$  برای  $p$  مدل مناسبی حاصل شد.

در تحقیق حاضر به منظور برگردان همزمان، از منحنی‌های سرعت گروه موج ریلی حاصل از مطالعات سه‌بعدی صورت گرفته در زیر فلات ایران (رام ۲۰۰۹) استفاده شده است. رام (۲۰۰۹) برای این تحقیق بیش از ۵۰۰۰ پرتو میان چشمه‌ها و گیرنده‌های متفاوت را جهت محاسبه منحنی پاشندگی سرعت گروه مورد استفاده قرار داد. سپس تمامی منحنی‌های پاشندگی جهت تهیه یک تصویر سه‌بعدی تحت عمل برگردان یا به عبارتی توموگرافی قرار گرفتند. منحنی پاشندگی استفاده شده در این تحقیق، اطلاعات پاشندگی استخراج شده از مدل سه‌بعدی نهایی سرعت گروه موج ریلی و از نزدیکترین نقطه به محل ایستگاه‌های لرزه‌نگاری می‌باشد.

به منظور نتیجه‌گیری و حصول اطمینان از مقادیری که برای عمق پوسته در هر ایستگاه تخمین زده شده است، برای هر نتیجه برگردان توابع انتقال گیرنده و اطلاعات پاشندگی امواج سطحی، از تکنیک ساده‌سازی مدل‌های بدست آمده به روش مدلسازی پیشرونده استفاده گردید. در این مدلسازی، مدل اولیه، همان مدل حاصل از برگردان همزمان توابع انتقال گیرنده و پاشندگی امواج سطحی می‌باشد. سپس این مدل با یک مدل ساده تخمین زده شد و در ادامه سعی گردید نمودار متناظر پاشندگی امواج ریلی



Fundamental-mode Rayleigh wave group velocities to each station are taken from the corresponding tomographic cell containing the station.

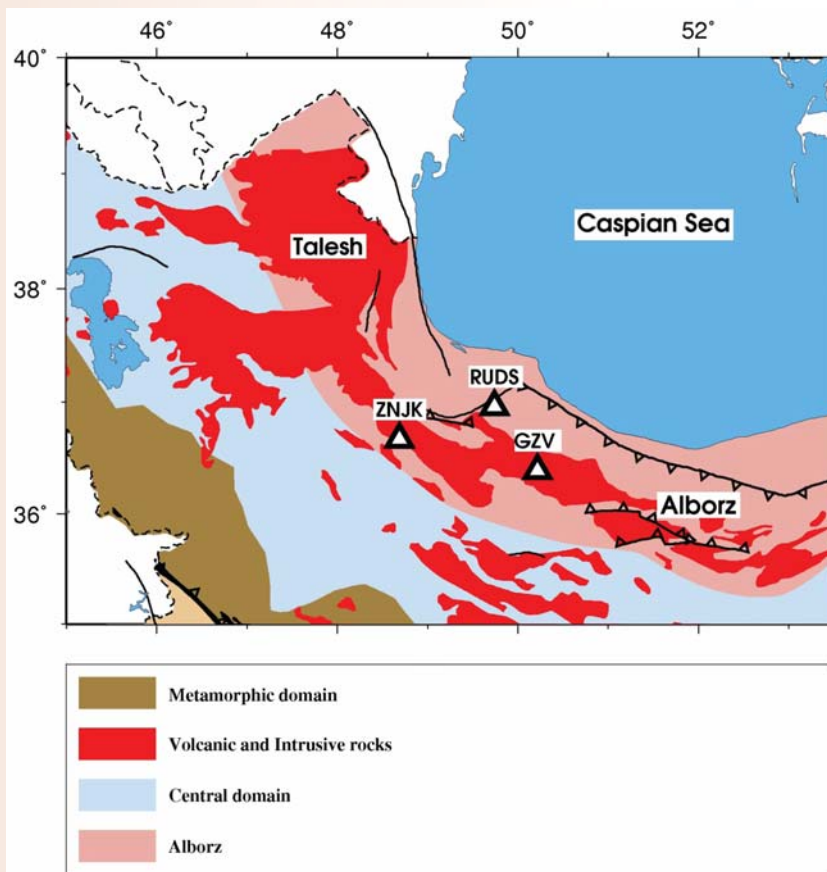
The results show that the crust beneath the Roudbar station has a thickness of  $36 \pm 3$  km. A shallow low velocity sedimentary layer, about 3 km thick, and a velocity discontinuity at depth of  $\sim 13$  km is observed on crustal model of this station. Beneath the Zanzan station, the Moho depth varies from 38 to 42 km. We observe the same sedimentary layer as beneath the Roudbar station and an interface at about 15 km depth. Toward east, beneath the Ghazvin station, the thickness of the crust increase up to 52 km which is close to what was proposed for the crustal thickness of the Central Alborz. Our seismological results show that the Western Alborz have moderate crustal root but of insufficient thickness to compensate the elevation of the range.

**Keywords:** Western Alborz, Receiver function, Joint inversion, Moho, Dispersion

و سری زمانی توابع گیرنده برای این مدل از روی به روش پیش رونده ساخته شود و با منحنی‌های مشاهده‌ای پاشندگی و تابع گیرنده مقایسه شود.

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که ضخامت پوسته در زیر ایستگاه رودبار  $36 (\pm 3)$  کیلومتر می‌باشد. یک لایه رسوبی کم سرعت با ضخامت حدود ۳ کیلومتر و یک سطح ناپیوستگی درون پوسته‌ای در عمق حدود ۱۳ کیلومتری قابل تشخیص است. در زیر ایستگاه زنجان، عمق موهو بین ۳۸ تا ۴۲ کیلومتر متغیر می‌باشد. لایه‌ای کم سرعت مشابه با ایستگاه رودبار به ضخامت ۳ کیلومتر و یک ناپیوستگی درون پوسته‌ای در عمق ۱۵ کیلومتری در زیر این ایستگاه مشاهده می‌شود. در حرکت به سمت شرق، در زیر ایستگاه قزوین، ضخامت پوسته تا  $52 (\pm 3)$  کیلومتر افزایش می‌یابد که در واقع به نتایج بدست آمده در البرز مرکزی نزدیک می‌شود. نتایج فوق کماکان بر نبود هرگونه ریشه در زیر زون البرز غربی دلالت دارند و نشان می‌دهند که این منطقه در تعادل ایزوستازی نمی‌باشند.

**واژه‌های کلیدی:** البرز غربی، عمق موهو، توابع گیرنده، اطلاعات پاشندگی، برگردان همزمان



## Seismotectonics of the Western Alborz (Iran) Based on Regional-local Waveform Modeling

Farzam Yaminifard

Associate Professor, Seismology Research Center  
faryam@iiees.ac.ir

Sajad Ansari, Mohammad Tatar

## لرزه زمین ساخت البرز غربی (ایران) بر اساس مدل سازی امواج محلی و ناحیه ای

فرزام یمنی فرد

دانشیار پژوهشکده زلزله شناسی faryam@iiees.ac.ir

سجاد انصاری، محمد تاتار

Moment tensor solution using regional-local waveform modeling is considered from various points of view. Availability of the regional-local data for real time purposes like its application in production of the shakemaps and their application in Quick Damage and Loss Estimation systems is one of its advantages. Calculation of the focal mechanism parameters of small and medium earthquakes where there is not any information about big instrumentally recorded seismic event is another application of regional waveform modeling that help us better understanding of the seismotectonics in that region. Because of seismic hazards in the western Alborz, seismotectonics unknowns and relatively good distribution of the broadband stations around this region, it is selected for further studies.

In this study, 25 focal mechanisms were calculated by moment tensor inversion of small regional-local earthquakes in the Western Alborz recorded by Broadband Iranian National Seismic Network. Compiling those focal mechanisms by previous ones, we studied the seismotectonics of the Western Alborz and surrounding areas. Calculated focal mechanisms around Khazar and Alborz Faults in the Central Alborz, considering south dipping nodal plane as the fault plane, is consistent with the pure low dip thrusts. Moving to west close to 1990 Rudbar-Tarem earthquake region is different from left-lateral strike-slip mechanism of this large earthquake which shows complex fault system in the middle of the Western Alborz. In the Talesh located in the west of the South Caspian, strike-slip mechanisms are dominant and shows left-lateral motion in this region. The only calculated focal mechanism close to western segment of the North Tehran fault, considering the strike of the this fault as the fault plane, implies left-lateral motion around this fault. In the south of the Alborz mountains approaching Central Iran, close to the 2002 Changureh earthquake, except for two mechanisms similar to reverse mechanisms of this large earthquake, the rest of the mechanisms are consistent with a strike-slip zone. This is consistent with right-lateral motion around Kushk-eh Nosrat and Soltanieh Faults, implies slip-partitioning in this region.

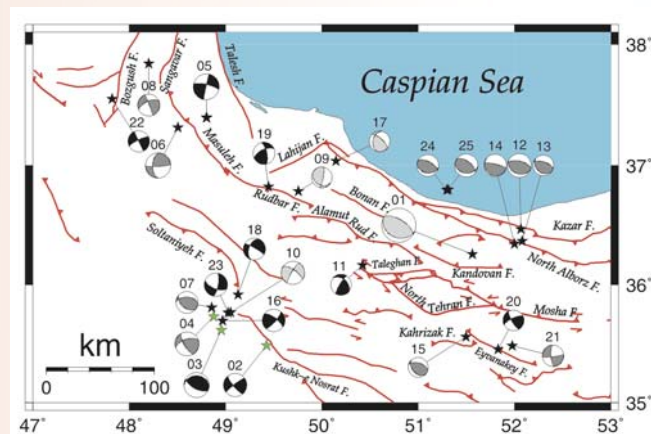
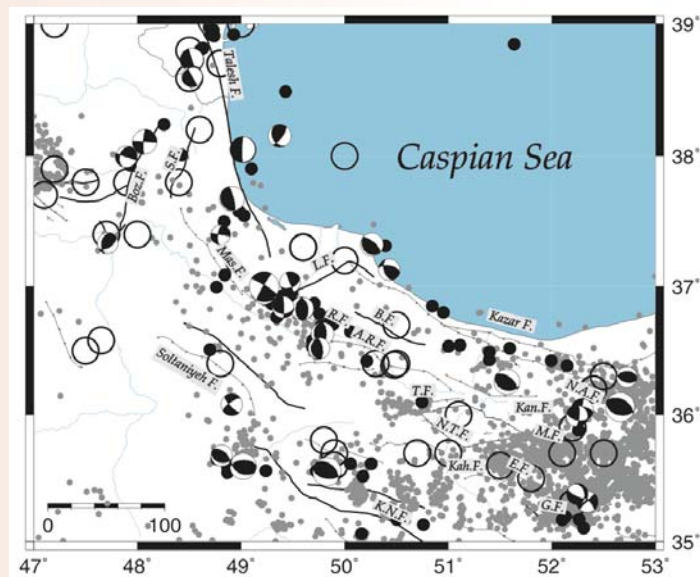
**Keywords:** Modeling, Local Waves, Seismotectonics, Western Aborz

حل تانسور ممان محلی و ناحیه ای زمین لرزه های بزرگ، با توجه به امکان دسترسی سریع به داده های محلی و استفاده از آن در سیستم های تخمین سریع خسارت مورد توجه قرار گرفته است. مزیت دیگر مدل سازی شکل موج محلی و ناحیه ای امکان تعیین سازوکارهای کانونی زمین لرزه های کوچک و متوسط می باشد که به علت انرژی لرزه ای کمتر آنها نسبت به زمین لرزه های بزرگ، در فواصل دور ثبت نمی شوند. حل تانسور ممان زمین لرزه های محلی و ناحیه ای در شناخت لرزه زمین ساخت مناطقی که سازوکار کانونی زمین لرزه ها در آن مناطق به علت عدم ثبت زمین لرزه های دستگاهی بزرگ قابل محاسبه و تعیین نمی باشد، بسیار حائز اهمیت می باشد. با این حال پیچیدگی های ساختار پوسته و گوشته فوقانی و میدان امواج فرکانس بالا در مقایسه با امواج حجمی عبوری از گوشته، مدل سازی امواج ناحیه ای را دشوار می سازد. با توجه به اهمیت منطقه البرز غربی از لحاظ خطر زمین لرزه، ناشناخته های لرزه زمین ساختی و توزیع نسبتاً مناسب ایستگاههای شبکه لرزه نگاری باند پهن ایران در اطراف آن، این منطقه جهت تعیین سازوکار کانونی زمین لرزه ها با استفاده از وارون سازی تانسور ممان انتخاب گردید.

در این پژوهش، با استفاده از لرزه نگاشتهای ثبت شده در شبکه لرزه نگاری باند پهن پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله تانسور ممان ۲۵ زمین لرزه در منطقه البرز غربی و مجاور آن با روش وارون سازی محاسبه و سازوکارهای کانونی استخراج شده است. در پایان با کنار هم قرار دادن سازوکارهای حل شده در این پژوهش و دیگر سازوکارهای موجود از مطالعات پیشین لرزه زمین ساخت منطقه بررسی شده است. در حاشیه جنوبی خزر سازوکارهای معکوس با عمق کم (کمتر از ۸ کیلومتر) در مجاورت گسلهای خزر و البرز محاسبه شده است که با در نظر گرفتن صفحه با شیب به سمت جنوب این گسلها به عنوان صفحه اصلی معرف راندگی های کم شیب به سمت جنوب است که می تواند تأییدی دیگر بر غالب بودن مؤلفه فشاری در شمال البرز مرکزی و تقسیم لغزش در البرز باشد. به سمت غرب در مجاورت منطقه زمین لرزه ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ رودبار سازوکارهای محاسبه شده متفاوت از سازوکار امتداد لغز چپگرد این زمین لرزه و حکایت از یک زون گسلی پیچیده دارد. در عبور از البرز غربی به سمت تالش در مجاورت گسلهای ماسوله، سنگاور و بزقوش سازوکارهای حل شده غالباً امتداد لغز می باشند که تأییدی دیگر بر وجود زون امتداد لغز مهم در این منطقه است. به نظر می رسد مؤلفه های امتداد لغز در این منطقه متأثر از حرکت انتقالی بلوک خزر به سمت شمال غرب باشد. تنوع سازوکارهای امتداد لغز در این زون گسلی نیز نشانگر پیچیدگی های ساختاری در این

منطقه است. تنها سازوکار حل شده در حاشیه جنوبی البرز غربی با در نظر گرفتن امتداد قطعه غربی گسل شمال تهران به عنوان صفحه اصلی، معرف حرکت امتداد لغز چپگرد در این منطقه خواهد بود. در حاشیه جنوبی البرز غربی دو سازوکار به دست آمده با مؤلفه غالب معکوس در منطقه زمین-لرزه‌های یک خرداد و ۱۱ شهریور ۱۳۸۱ آوج سازوکاری مشابه با سازوکار این زمین‌لرزه‌ها دارند اما ۵ سازوکار دیگر حل شده در مجاورت گسل‌های کوشک نصرت و سلطانیه با در نظر گرفتن امتداد این گسل‌ها به عنوان صفحه اصلی معرف حرکت امتداد لغز راستگرد در شمال شرق زون گسلی معکوس مذکور می‌باشند که تقسیم لغزش بین گسل‌های امتداد لغز و معکوس در این منطقه را نشان می‌دهند.

**واژه‌های کلیدی:** مدل‌سازی، امواج محلی، لرزه‌زمین‌ساخت، البرز غربی





## Strain Analysis and Slip Rate Determinations Along Active Faults of North West Iran Using GPS Measurements

**Khaled Hessami-Azar**

Assistant Professor, Seismology Research Center  
hessami@iiees.ac.ir

**Hamidreza Nankali, Akramsadat Alijanzadeh**

GPS measurements are the most accurate and commonly used methods for strain analysis and determining present-day slip rates along active faults. The recent GPS measurements which have recently been used to determine the velocity field in Iran generally suffer from one of the following shortcomings; 1) the GPS networks have been deployed with small number of stations than to be used for determining fault slip rates but have served mainly as a mean for documenting regional deformation. 2) On the other hand, most of the published results for the NW Iran either have processed the data obtained from the campaign measurements or have not determined the rate of strain in the region. In this study, we use the dense, permanent GPS network deployed in the NW Iran since 6 years ago to calculate strain rates as well as fault slip rates along active faults of the region.

This study uses six-year long continuous GPS observations over the time period 2005-2010 to estimate geodetic velocity vectors in NW Iran. The velocity vectors across the NW Iran indicates a dominant right lateral movement along the North Tabriz Fault as well as other faults to the northwest including the Maku, Khoy and Naxchivan faults so that the rate of right lateral displacements increases from southeast to the northwest. However, an extensional motion along with a right lateral component occurs along the southeastern segment of the North Tabriz Fault which seems to have accommodated along the north and south Bozqush faults. East of Urmieh Lake in southern Azarbaijan, an extensional component along with right lateral motion can be detected between the BNAB and MNDB stations. Furthermore, at the same longitude, between the SKOH and BNAB stations a compressional component with a left lateral motion is detected. An extensional motion along with a right lateral component occurs between the North Tabriz Fault and the Caucasus region.

In the next step, we invoked the velocity vectors calculated from continuous GPS observations, for the first time, to estimate geodetic strain rates in NW Iran shown in rightside Figure. The strain axes calculated from velocity vectors indicate right lateral strike-slip motions associated with a small compressional component along the North Tabriz Fault and other NW-SE trending faults in the region. The strain rate reduction observed northeast and southwest of the North Tabriz fault can be attributed to the relative stability

## محاسبه استرین و تعیین نرخ لغزش در طول گسل‌های جنبای شمال باختر ایران (ناحیه تبریز) با استفاده از اندازه‌گیری‌های GPS

خالد حسامی آذر

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی  
hessami@iiees.ac.ir

حمیدرضا نانکلی، اکرم السادات علیجان زاده

امروزه یکی از دقیق‌ترین و متداول‌ترین روش‌های تعیین استرین ناحیه‌ای و نرخ لغزش در طول گسل‌های فعال استفاده از روش‌های ژئودتیک به ویژه استفاده از اندازه‌گیری شبکه‌های GPS است. در این رابطه اندازه‌گیری‌های GPS انجام شده در طی سال‌های گذشته در ایران از یکی از دو نقطه ضعف زیر برخوردار بوده است: ۱) یا شبکه‌های اندازه‌گیری از تراکم کمی برخوردار بوده به طوری که با استناد به نتایج حاصل از آنها تنها تغییرشکل‌های ناحیه‌ای قابل استنباط بوده و سرعت جابه‌جایی بر روی گسل‌های منفرد امکان‌پذیر نبوده است. ۲) از سوی دیگر در مقالات و گزارش‌های موجود از داده‌های شبکه‌های دائمی که از دقت بسیار بالایی برخوردار می‌باشند برای تعیین استرین استفاده نگردیده بلکه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های موردی که از دقت کمتری برخوردارند اکتفا شده است. از این رو در این مطالعه با استفاده از شبکه متراکم و دائمی GPS مستقر در ناحیه تبریز (شمال باختر ایران) می‌توان به تعیین استرین ناحیه‌ای و آهنگ لغزش در طول گسل‌های فعال منطقه شمال غرب ایران پی برد.

در این مطالعه با استفاده از حدود ۶ سال مشاهده دائمی داده‌های GPS که در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ اندازه‌گیری‌های شده، بردارهای سرعت ناحیه شمال باختر ایران محاسبه گردیده است. نتایج حاصل از میدان سرعت ژئودتیک در منطقه شمال باختر نشانگر یک حرکت راست‌الغز راستگرد غالب در اطراف گسل شمال تبریز است که با حرکت به سمت شمال باختر و گسل‌های ماکو، خوی و نخجوان نرخ این جابه‌جایی افزایش می‌یابد. همچنین یک حرکت کششی با مؤلفه راستگرد در انتهای جنوب‌خاوری گسل شمال تبریز مشاهده می‌شود که در طول گسل‌های شمال و جنوب بزرگوش مستهلک می‌گردد. در خاور دریاچه ارومیه و جنوب بلوک آذربایجان حرکت کششی با مؤلفه راستگرد بین دو ایستگاه BNAB و MNDB وجود دارد در حالیکه در همان طول جغرافیایی (در شمال آن) بین دو ایستگاه BNAB و SKOH مکانیسم فشارشی با مؤلفه چپگرد همراه است. حرکات راستگرد و کششی در شمال منطقه بین کوه‌های قفقاز و گسل شمال تبریز هم مشاهده شده است.

در مرحله بعد، با استفاده از بردارهای سرعت حاصل از مشاهدات دائمی داده‌های GPS، برای نخستین بار نرخ استرین ژئودتیک شمال باختر ایران نیز محاسبه گردید. محورهای نرخ استرین بدست آمده از بردارهای سرعت بیانگر مکانیسم غالب امتداد لغز راستگرد در راستای گسل شمال تبریز و دیگر گسل‌های منطقه با امتداد شمال باختر-جنوب خاور است که با یک مؤلفه کوتاه‌شدگی در طول گسل‌های مزبور همراه است. کاهش نرخ استرین

of Azarbaijan and central Iran. However, a NE extensional component as well as strike slip motion is seen in west of Ahar and Kaleibar which can be attributed to subduction of Caspian plate beneath NW Iran.

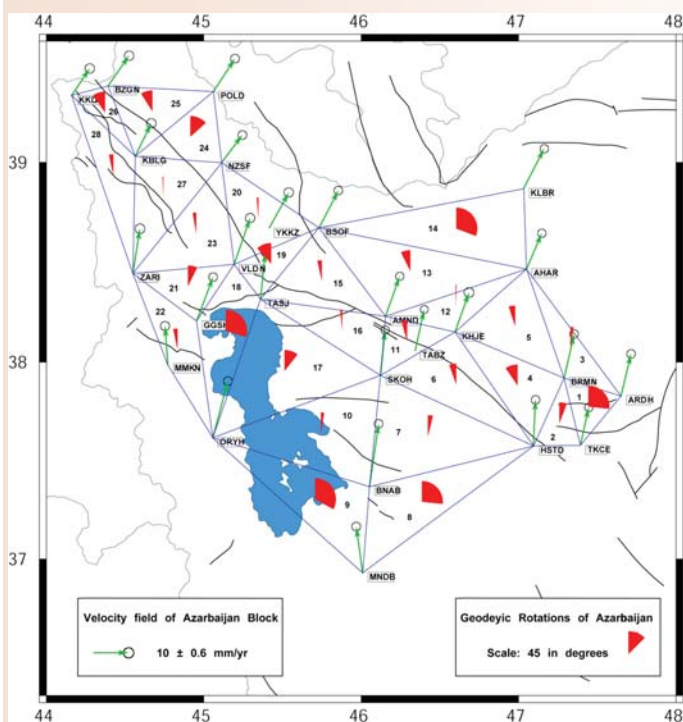
As it can be seen from the leftside Figure, along the North Tabriz fault and its northwestern continuation, azimuthal angles of strain polygons (triangles) changes (rotate) anticlockwise. Since the magnitude of maximum shortening vectors are similar to the magnitude of lengthening strain vectors, we conclude that the right lateral strike slip motion is dominant along the North Tabriz fault. West and northwest of the region (west of longitude 45.5 degree) show a clockwise rotation with respect to eastern part of the Azarbaijan block as a result of convergence of central Iran with respect to Eurasia. This rotation seems to be accommodated by subduction of oceanic crust of Caspian beneath Azarbaijan.

**Keywords:** Strain, Active fault, slip rate, GPS, Tabriz, NW Iran

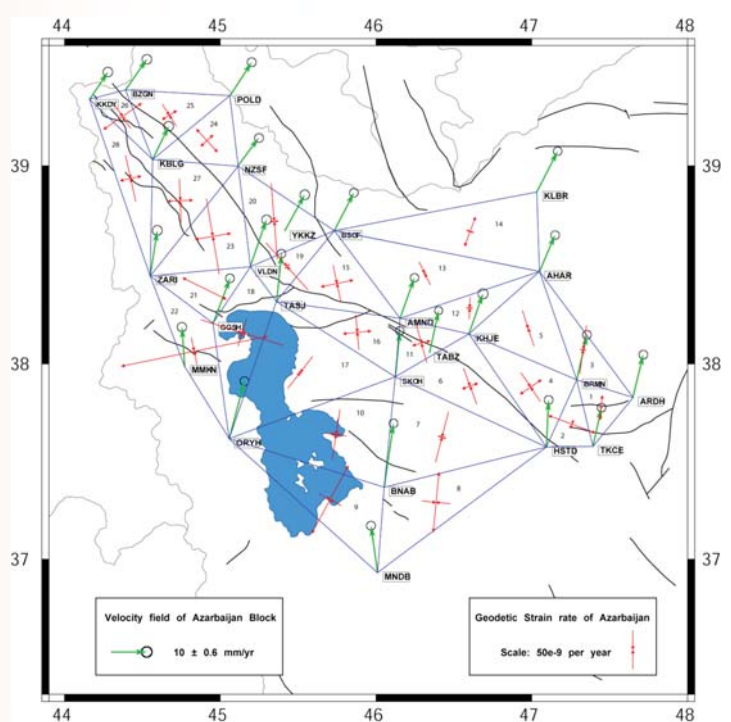
در نواحی جنوب باختری و شمال خاوری گسل شمال تبریز را می توان به قرارگیری این نواحی بر روی بلوک های نسبتاً پایدارتر ایران مرکزی و آذربایجان نسبت داد. همچنین مناطق باختر اهر و کلیبر علاوه بر حرکات راستالغز از یک مؤلفه کششی با روند شمال خاوری نیز برخوردار می باشد که به نظر می رسد ناشی از فرورانش صفحه خزر جنوبی به زیر ناحیه شمال باختر ایران باشد.

در اطراف گسل شمال تبریز و امتداد آن در شمال باختر منطقه، زوایای آزمون مثلث های استرین به صورت پاد ساعتگرد در چرخش است. با توجه به اینکه در تمام این مثلث ها بردار بیشینه کوتاه شدگی (فشارش) تقریباً برابر با بردارهای بیشینه طولیل شدگی (کشش) است، بنابراین حرکت در دو طرف گسل شمال تبریز به صورت یکنواخت راستگرد خواهد بود. از این رو، این رژیم در امتداد شمال باختر جنوب خاور در سرتاسر منطقه صادق است. در بخش باختر و شمال باختر منطقه (باختر طول جغرافیایی ۴۵/۵ درجه) یک دروان ساعتگرد نسبت به بخش خاوری بلوک آذربایجان مشاهده می شود که تحت اثر فشارش صفحه ایران مرکزی به صفحه اوراسیا ایجاد می شود. چنین به نظر می رسد که این دوران ساعتگرد در فرورانش صفحه خزر به زیر بلوک آذربایجان مستهلک می گردد.

**واژه های کلیدی:** استرین، گسل فعال، آهنگ لغزش، GPS، تبریز، شمال غرب ایران



نمایش تغییرات آزمون (چرخش) پلیگون - مثلث های استرین در منطقه شمال باختر ایران



نمایش بلوک های در نظر گرفته در منطقه شمال باختر ایران و محورهای استرین هر یک از آنها به همراه بردارهای سرعت ژئودتیکی ایستگاه ها

## The Map of Quaternary Deposits of the Central Alborz

**Mohammad Reza Abbassi**

Associate Professor, Seismology Research Center  
abbassi@iiees.ac.ir

This study deals with the extension of early and middle Pleistocene deposits in south Central Alborz situated between cities, Qazwin in west and Semnan in east of Tehran. The Alborz range in Northern Iran developed due to closure of the Paleothetys ocean. The Central Alborz is an arcuate fold and thrust belt, consisting of two major distinct structural trends: a NW-SE-trend characterizing the west-central Alborz and a NE-SW-trend marking the east-central Alborz. The two structural trends join roughly at longitude of Tehran. The Quaternary deposits in this part of Alborz is cropped out in intermountain basin as well as in frontal part of range.

The alluvial deposit of Early Pleistocene is the result of uplifting of Alborz mountain, named after Hezardarreh Hill in northeastern Tehran. The surface of this deposit is densely incised by dendritic drainage network, differing totally from the younger overlaying deposit of Middle Pleistocene in age. In sections, it appears as well sorted and densely compacted alluvium showing regular bedding.

The subsequent deposit is a glacial deposit of Middle Pleistocene with an N-S-running drainage pattern of less density than the one in the Hezardarreh formation. On the aerial photography it appears as moderately to deeply dissect alluvial deposits. Topography often consists of gently rolling hills with none of the original planar alluvial surface preserved. It is in sections, it is a loose deposit composed of a mixed sequence of gravel, silts, sands and boulder-gravels lacking a clear stratification.

The city of Tehran is studied in detail because of its excellent outcrops. For example, in Sohanak (NE-Tehran) are the structures such as folding and its relation to faulting is studied in detail. It is shown that folding in Quaternary deposits is closely related to faulting.

The area under study is divided in two branches namely East and West. A detailed mapping of two mentioned deposits in East and West branches of the Central Alborz have revealed differences in tectonics and sedimentary basin especially of Hezardarreh Formation (Early Pleistocene in age). This Formation appears in eastern branch of Central Alborz (between Rey and Semnan) in three successive straits from south (Boundary between rock and piedmont) inward to the mountain. The western branch of Central

## نقشه نهشته‌های دوران چهارم البرز مرکزی

محمد رضا عباسی

دانشیار پژوهشکده زلزله‌شناسی [abbassi@iiees.ac.ir](mailto:abbassi@iiees.ac.ir)

نهشته‌های کواترنری لبه جنوبی البرز مرکزی گستره‌ای میان قزوین تا سمنان را در بر می‌گیرد. در این گستره شهرهای مهم و پر جمعیتی چون تهران، کرج، قزوین و سمنان همچون سایر شهرهای بزرگ دنیا، همگی بر روی آبرفته‌های دوران کواترنری بنا شده‌اند. آنچه در سازمانهای مربوطه برای به نقشه در آوردن این سازندهای صورت گرفته هنوز رضایت‌بخش نیستند زیرا از یک سو با تعیین سن این نهشته‌ها روبرو هستیم و از سوی دیگر شناسایی گسل در آبرفت است. در بسیاری از نقشه‌های زمین‌شناسی که توسط سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شده است، گسلهایی که آبرفت‌های کواترنری را می‌برند به صورت خط ناپیوسته که علامت عدم قطعیت گسل است آورده شده است. در این پژوهش، تلاش بر این است تا با بررسی و به نقشه در آوردن آبرفته‌های کواترنری در درجه نخست یک تقسیم‌بندی یکسان از سن از این آبرفتها ارایه شود. ضرورت این کار بیشتر وقتی مشخص شد که با رجوع به نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی و شرکت نفت مشخص شد که نظر یکسانی برای آبرفتها در نقشه‌ها رعایت نشده است. افزون بر این گاهی دو نقشه برای تفکیک آبرفتها از دو رویه متفاوت بهره برده‌اند و در نتیجه حاصل کار یک سر درگمی در سن آبرفت مربوطه می‌شود. در درجه دوم چنانچه به توان با یکسان‌سازی و به کار بردن یک رویه در تفکیک آبرفتها به نتیجه رسید آسان‌تر می‌توان در مورد سن گسلهایی که آنها را متأثر می‌کند، اظهار نظر کرد. در این کار سعی بر این بوده که با بکارگیری شاخص‌های سطوح ژئومورفیک از یک رویه یکسان پیروی شود و از سوی دیگر گسلهایی که می‌توانند با توجه به سن آنها دارای خطر زمین‌لرزه باشند، مورد بررسی قرار بگیرند.

حاصل جداسازی سطوح ژئومورفیک و ساختاری دو شاخه باختری (از کرج تا قزوین) و خاوری (از شهر ری تا سمنان) البرز مرکزی را می‌توان در نکات زیر خلاصه کرد:

سازند هزار دره در شاخه خاوری در سه نوار از مرز کوه و دشت به درون کوهستان قابل شناسایی است. بیشترین حجم این سازند را بخش میانی در بر می‌گیرد.

سازند هزار دره اما در شاخه باختری البرز مرکزی تنها محدود به مرز کوه و دشت می‌شود که مهمترین آن در دشت قزوین برونزد دارد.

سازند یخچالی در شاخه خاوری از گستردگی بیشتری به نسبت شاخه باختری حضور دارد.

محل تغذیه سازندهای یخچالی برعکس سازند هزار دره قابل بازیابی و شناسایی است.

در شاخه خاوری البرز مرکزی می‌توان پهنه‌گذار ساختاری تعریف کرد با روند شمال خاوری-جنوب باختری با انتهای جنوبی منطبق بر گرمسار و انتهای شمالی تا کیاسر و بهشهر. در دو سوی این پهنه نحوه گستردگی هزار دره به طور محسوس متغییر است. در خاور این پهنه سازند هزار دره



Alborz (Karaj to Qazwin) however shows a narrow restricted area of this formation cropping out on the mountain front. The deformation of this deposit is manifested by folding of different degree, those with vertical or/and overturned bedding is found close to the rock-alluvium boundary in Tehran area. As a general roll it is impossible to recognize the feeding sources of Hezardarreh formation, whereas the Middle Pleistocene deposits have preserved their feeding sources. The distinction of geomorphic surfaces in Middle Pleistocene deposits show two different surfaces related to different ages, which needs to be dated.

The eastern branch of Central Alborz (Rey to Semnan) is divided by a NE-SW-trending transitional zone coinciding with Hablehrud valley in Garmsar in South to Kiassar and Behshahar to the north. The west of this zone is Hezardarreh formation represented by folded shallow hills (200 m above the surrounding level) located on the mountain front. To the east of the transitional zone diminishes the amount of Hezardarreh formation showing an increase of uplifting rate relative to the western part. This behavior is also supported by superposing of at least three generations of alluvial fans in mountain front indicating an active vertical movement higher than the eastern part of transitional zone.

As a general rule, in two branches of south Central Alborz one can conclude that the Hezardarreh formation is intensely deformed especially in northern part of Tehran comparing to the western and eastern branch of the Central Alborz. This deformation is manifested by vertical to overturned bedding of folded Hezardarreh formation.

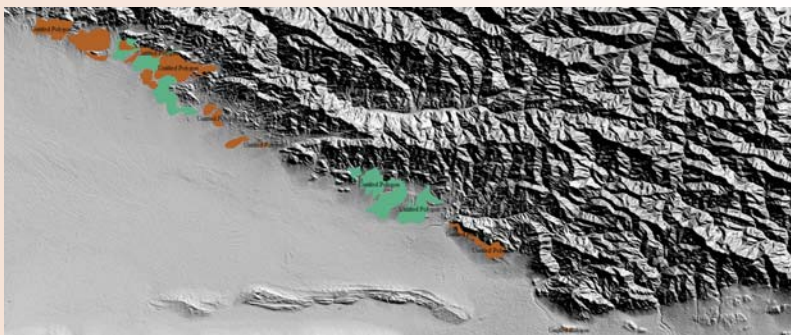
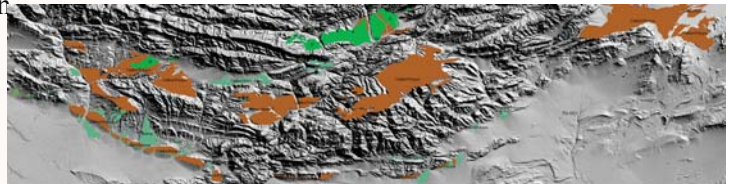
The eastern branch of south Central Alborz based on SRTM-topography, Hezardarreh formation is shown in brown and Middle Pleistocene deposits in green.

The western branch of south Central Alborz based on SRTM-topography, Hezardarreh Formation is shown in brown and Middle Pleistocene deposits in green.

**Keywords:** Central Alborz, Quaternary Deposits, Tehran

به خصوص در لبه کوهستان به ضخامت‌های بسیار کمی می‌رسد که حرکت شاقولی بیشتری را نسبت به بخش باختری همان پهنه پیشنهاد می‌کند. در بخش خاوری پهنه‌گذار زمین‌ساختی که در محور حبله رود قرار می‌گیرد شواهد زیر دلالت بر جنبش‌های شاقولی چیره می‌کنند: الف- انباشتگی نسل‌های مختلف مخروطه‌افکنه‌ها در یکدیگر؛ ب- کاهش برونزدهای سازند هزار دره در مرز کوه و دشت. تغییر ناگهانی و به نسبت جوان جهت تنش و برهم نهاده شدن دو مؤلفه افقی چپ‌گرد و راست‌گرد در راستای روندهای گسلی خاوری-باختری می‌تواند در برآورد واقعی اندازه‌های جابه‌جایی و شناسایی آنها اثرگذار باشد. با توجه به نحوه متفاوت برونزد هزار دره در دو شاخه باختری و خاوری البرز مرکزی می‌توان دو محیط متفاوت از دیدگاه زمین‌ساختی و تاریخچه تحولاتی در هنگام رسوب‌گذاری برای این سازند قائل شد. بررسی سازند یخچالی در تهران نشان می‌دهد که امکان جداسازی دو سطح ژئومورفیک با دو سن متفاوت در البرز مرکزی امکان‌پذیر است.

**واژه‌های کلیدی:** البرز مرکزی، آبرفت‌های کواترنری، تهران



## Statistical Investigation of Seismicity Patterns Before Earthquakes in the Iranian Plateau for Mid-Term Earthquake Prediction

**Hamid Zafarani**

Assistant Professor, Seismology Research Center  
h.zafarani@iiees.ac.ir

**Hessam Vahidifard**

Investigation of seismicity pattern before large earthquakes usually reveals the precursory activities. The seismic precursors have some advantage with respect to the non-seismic ones, including the wide range of their spatial and temporal domains. Two phases in seismicity change before a forthcoming, major earthquake are widely observed, which are the seismic quiescence and activation. The RTL (Region–Time–Length) analysis is a statistical method developed by Sobolev and Tyupkin (1996, 1997) to detect seismic anomalies preceding isolated large earthquakes. The RTL algorithm has been successfully used to detect precursory seismic activation and quiescence in different seismotectonic region around the world. The RTL algorithm is based on the analysis of the RTL parameter, which is designed such that it has a negative value, when in comparison with long-term background, there is a deficiency of events in the time–space vicinity of the examined site. On the other hand, the RTL parameter increases if activation of seismicity takes place.

We, therefore, consider the RTL algorithm a helpful technique to reveal the significantly precursory activity occurred before large earthquakes of Iranian plateau. The precursory seismicity in and around the epicentral zone of the 2012 Ahar-Varzaghan (Iran) dual earthquakes and five other moderate to large earthquakes have been investigated by applying the RTL algorithm—to earthquake catalogues derived from that for the period 2006–2012. The applicability of the method in terms of quiescence detection of the anomalies has been evaluated with respect to earthquake magnitudes. First, we have determined the completeness magnitude ( $M_c$ ) for the selected region around the desired events. We also analyzed the temporal variations of  $M_c$  using the ZMAP software. The RTL algorithm codes have been written using the Matlab software. By applying the RTL prognostic parameter, a clear quiescence stage followed by a period of foreshock activation is observed before two events of Ahar-Varzaghan, 2012. This earthquake is preceded by a time interval of at least seven years of available data in the catalogue adopted for RTL analysis. However, for three

## بررسی آماری الگوهای لرزه‌خیزی پیش از زلزله‌های فلات ایران جهت کاربرد در پیش‌بینی میان مدت زلزله

حمید زعفرانی

استادیار پژوهشکده زلزله‌شناسی h.zafarani@iiees.ac.ir

حسام وحیدی‌فرد

بررسی روند وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ نشان می‌دهد که در اکثر موارد فعالیت‌های پیش‌آگاهی‌دهنده، قبل از وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ مشاهده می‌شود. از جمله پیش‌آگاهی‌دهنده‌ها، پیش‌نشانگرهای لرزه‌ای هستند. مزیت عمده این پیش‌نشانگرها گستره وسیع مکانی و زمانی آنها است که قابلیت رؤیت در فواصل دور را امکان‌پذیر می‌کند. از معتبرترین الگوریتم‌های پیش‌نشانگر لرزه‌ای الگوریتم RTL است. پارامتر آماری RTL در واقع مرحله سکوت و فعال‌سازی لرزه‌ای را به شکل فیزیکی قابل قبولی به فرمول (رابطه) تبدیل کرده و کمیت‌های وزنی مرتبط با سه پارامتر (زمان، مکان و بزرگی) زلزله را بیان می‌کند. در قسمت ابتدای این گزارش، روش آماری RTL بر روی تعدادی از زلزله‌های فلات ایران که سابقه لرزه‌خیزی نسبتاً خوبی در اطراف آن موجود بوده، اعمال شده است. به این منظور، ابتدا حد کامل بودن کاتالوگ با گذشت زمان تعیین شده، و سپس زلزله‌هایی که بزرگایی بیش از پنج داشته و از سوی دیگر تعداد قابل قبولی از زلزله‌ها در اطراف آنها ثبت شده است (پس از حذف پس‌لرزه و پیش‌لرزه‌ها)، جهت بررسی تغییرات الگوی لرزه‌خیزی با پارامتر مذکور انتخاب شده است. به این ترتیب، نتایج مربوط به استفاده از الگوریتم RTL، در ۷ زلزله متوسط تا بزرگ (Mn 5.1~6.1) ایران در این گزارش مورد بررسی قرار گرفته است. این زلزله‌ها عبارتند از: زلزله شنبه استان بوشهر در تاریخ ۹ آوریل ۲۰۱۳ بزرگای ۶/۱، زمین‌لرزه کازرون استان فارس در تاریخ ۲۷ سپتامبر ۲۰۱۰ و با بزرگای ۶/۱، زلزله سپیدان استان فارس در تاریخ ۱ می ۲۰۱۱ و با بزرگای ۵/۴، زمین‌لرزه بابامنیر استان فارس در تاریخ پنجم مارس ۲۰۱۱ و با بزرگای ۵/۲، زمین‌لرزه تربت حیدریه در تاریخ سی‌ام جولای ۲۰۱۰ و با بزرگای ۵/۷، زمین‌لرزه استان بوشهر در تاریخ ۲۶ نوامبر ۲۰۱۱ و بزرگای ۵/۱ و زمین‌لرزه اهر-ورزقان در تاریخ ۱۱ اوت ۲۰۱۲ و بزرگای ۶/۱ در این میان دو زلزله اهر-ورزقان آذربایجان و شنبه در استان بوشهر به دلیل رخداد در دو سال اخیر از سابقه لرزه‌خیزی ثبت شده مناسب‌تری برخوردار بوده است. سکوت لرزه‌ای با کاهش تابع RTL و فعالیت لرزه‌ای با افزایش در مقدار آن نشان داده می‌شود. بهبودهای مختلفی روی روش صورت گرفته است و تفاسیر گوناگون از نتایج پیشنهاد شده است. به عنوان مثال چن، وو، جیانگ و همکاران، هم کاهش و هم افزایش مقدار RTL را به عنوان پیش‌نشانگر زلزله در نظر گرفته‌اند اما دیگر محققین (برای مثال هوانگ و سوبولوف) فقط کاهش مقدار آن را (یعنی سکوت لرزه‌ای را) به عنوان یک پیش‌نشانگر قابل اعتماد لحاظ کرده‌اند. در این گزارش، به منظور مطالعه تغییرات پارامتر RTL در زلزله‌های فوق، ابتدا زلزله‌هایی که در فاصله ۸۰ کیلومتری از رومرکز آنها رخ داده‌اند از کاتالوگ موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران از سال ۲۰۰۶ به بعد استخراج شده و کاتالوگ زلزله‌های مربوط همگن و حوادث وابسته حذف می‌شوند. سپس پارامترهای مربوط

earthquakes examined here, there is not any sign of RTL decrease in the time period before the main shock.

RTL performances are sensitive to the choice of spatial and temporal parameters. Following the method for automatic parameters selection developed by Chen and Wu, we calculated many sets of the RTL functions with various combinations of  $r_0$  and  $t_0$ , then computed the correlation coefficients over pairs of the RTL functions. It is expected that high correlation between two RTL functions could be found when their values of  $r_0$  and  $t_0$  approach the optimal values mostly stabilizing the pattern of the RTL function. Even if the results found in this project are encouraging, we should also emphasize which are the limits of the method: First, the time shift between the detection of quiescence and the earthquake can be long and therefore it has been necessary to select a long time analysis for the RTL. Also, the area covered by the quiescence zone can be large, especially in regions with low seismic activity, which does not allow us to perform a reasonable economic planning of construction, timely preparation for potential damage and correct land use.

**Keywords:** RTL algorithm, Seismic patterns, mid-term earthquake prediction, Iran

به محاسبه RTL استخراج گردیده و تغییرات RTL در طول زمان محاسبه می‌گردد. با انتخاب محدوده‌ای حدود یک درجه در یک درجه در اطراف هر یک از زلزله‌ها، بزرگای کامل بودن آنها به کمک روش حداکثر انحنای (maximum curvature) موجود در نرم‌افزار (zmap) تعیین شده است. اندازه نمونه برابر با ۸۰ زلزله (sample window size) و حداقل تعداد داده در نمونه پنجاه و همپوشانی (overlap) نمونه‌ها چهار عدد و تعداد (bootstrap) برابر ۲۰۰ و دسته‌های بزرگ ۰/۱ واحد انتخاب شده است. به دلیل اجتناب از خطای اضافه تبدیل بزرگای از بزرگای گزارش شده مؤسسه ژئوفیزیک (Mn) استفاده شده است. بعد از انجام آنالیز تعیین حدکامل بودن با زمان، بزرگای کامل بودن برای منطقه اهر-ورزقان با کمی تسامح انتخاب شده است. بعد از تهیه کاتالوگ داده‌های لازم، الگوریتم نوشته شده روش RTL در محیط نرم‌افزار Matlab به این داده‌ها اعمال شد. پارامتر  $e$  که بیان‌گر دقت در تعیین محل رومرکز در کاتالوگ مورد استفاده است، ایتالیا ۷/۵ km لحاظ شده است. در اینجا با فرض دقت کمتر شبکه موسسه ژئوفیزیک، مقدار پارامتر  $e$  در محاسبه همانند برخی از مطالعات قبلی برابر ۱۰ کیلومتر فرض شده است. مقدار بزرگای حداکثر در محاسبات معمولاً دو واحد کمتر از بزرگای رویداد اصلی منظور می‌شود. ولی در این مطالعه با توجه به تعداد کمتر داده‌ها، از مقادیر به نسبت بالاتری برای  $M_{max}$  استفاده شده است. علاوه بر این، RTL‌ها در گامهای زمانی یکماه محاسبه شده است. از آنجا که مقادیر RTL با استفاده از زلزله‌های واقع در پنجره یا بازه زمانی ( $t-T_{max}$ ,  $t$ ) محاسبه می‌شود، امکان محاسبه آن در زمان‌های کمتر از  $tcs+T_{max}$  وجود ندارد؛ که در اینجا  $tcs$  زمان شروع و آغاز کاتالوگ (اول سال ۲۰۰۶ میلادی) و  $T_{max}=2t_0$  است. بنابر این با توجه به این نکته، زمان نقطه آغاز محاسبات ابتدای سال ۲۰۰۸ میلادی بوده است. یکی از چالش‌های کاربرد روش RTL در ایران نیاز الگوریتم به داشتن یک پیشینه مناسب از لرزه‌خیزی محل مورد بررسی است. این داده‌ها برای پایدار شدن الگوریتم نیاز است. برای مثال در ایتالیا حداقل هفت سال ثبت داده پیش از رویداد اصلی به عنوان پیش‌شرط کاربرد منظور شده است. اما با توجه به کوتاه بودن عمر شبکه در ایران و اصرار بر انتخاب قسمت همگن کاتالوگ (از سال ۲۰۰۶)، این زمان در بهترین حالت، (برای زلزله اهر-ورزقان) حدود هفت سال است. محاسبات صورت گرفته، در مورد زلزله اهر-ورزقان به روشنی کاهش مقدار RTL را در دو سال پیش از زلزله نشان می‌دهد. همچنین در خصوص زلزله تربت حیدریه و زلزله شنبه در استان بوشهر نیز کاهش RTL در بازه زمانی دو سال قبل از زلزله مشهود است. اما در خصوص سه زلزله کازرون، بابامینیز و سپیدان فارس روند قطعی دیده نمی‌شود. این امر می‌تواند به دلیل کوتاه بودن دوره مشاهده برای این سه زلزله (که در سالهای ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ رخ داده است) باشد. همچنین قرار گرفتن این سه زلزله در شعاع تأثیر یکدیگر عامل بعدی پیچیدگی رفتار این پارامتر در این منطقه است. در قسمت آخر گزارش، با انجام آنالیز همبستگی بهترین بازه زمانی و مکانی برای روش RTL در فلات ایران بدست آمده است. در تفسیر نتایج RTL باید به یاد داشت که هنوز در سطح دنیا اینکه فعالیت پیش‌لرزه‌ای کاهش یا افزایش می‌یابد، مورد مناقشه است.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم RTL، الگوهای لرزه‌ای، پیش‌بینی میان مدت زلزله، ایران



# Geotechnical Engineering Research Center



## Evaluating Dynamic Characteristics and Seismic Behavior of Masjed Soleiman Rock-fill Dam Using Recorded Signals and Numerical Models

**Mohammad Davoodi**

Assistant Professor, Geotechnical Engineering Research Center  
m-davood@iiees.ac.ir

**Mohammad Kazem Jafari, Masoud Amelsakhi**

Following previous investigations in IIEES on seismic response of earth dams, the current research aim was to improve the numerical procedures engaged in analysis of these types of dams. Consequently, signals of the recorded earthquake and explosion on Masjed Soleiman embankment dam were used as a powerful tool. The earthquake signals were recorded in the gallery, mid-height and the crest of the dam during local earthquakes; whereas the explosion signals were recorded on the crest and downstream faces of the dam during synthetic site explosions. Since the amplitude and frequency content of earthquake and explosion time histories vary with time, the classical and modern signal processing methods were used to extract fundamental frequencies of the dam. Comparison between the results of these two methods confirmed high accuracy of the modern signal processing method in evaluating modal frequencies of earth dams. Besides evaluating the modal parameters of the dam body, the seismic response of the dam-foundation system was estimated. The recorded earthquake acceleration time histories in the gallery station were used as an input motion. By assuming different masses for foundation, the seismic response of the dam-foundation interaction was evaluated. The calculated responses were compared with the recorded accelerograms on the mid-height and the crest of the dam using modern signal processing methods. Totally, the analysis results indicated that the mass-less foundation assumption, as the usual one in the available computer programs, is not acceptable. On the other hand, assuming foundation with maximum 50% mass can lead to more acceptable results in comparison with recorded responses of dam body.

**Keywords:** Embankment dam, Dynamic analysis, TFD method, Mass-less foundation

## ارزیابی مشخصات و پاسخ دینامیکی سد خاکی - سنگریزه‌ای مسجد سلیمان با استفاده از نگاشت‌های ثبت شده و تحلیل‌های عددی

محمد داودی

استادیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک m-davood@iiees.ac.ir

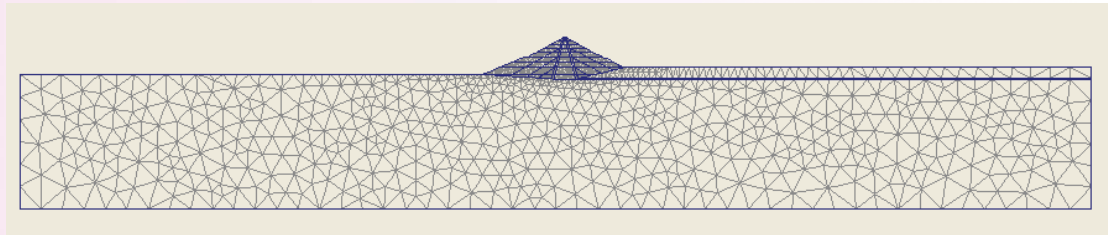
محمد کاظم جعفری، مسعود عامل سخی

در ادامه مطالعات قبلی صورت گرفته در پژوهشگاه در زمینه برآورد رفتار لرزه‌ای سدهای خاکی، گزارش حاضر بر مبنای استفاده از نگاشت‌های زلزله و انفجار ثبت شده بر روی سد خاکی مسجد سلیمان پایه‌گذاری شد تا بتواند ضمن ارائه راهکار مناسبی جهت افزایش دقت برآورد مشخصات دینامیکی، برخی چالش‌های مطرح در زمینه تحلیل دینامیکی سدهای خاکی را نیز مورد ارزیابی قرار دهد. بدین منظور، فرکانس‌ها و اشکال مودی سد با استفاده از روش‌های کلاسیک و مدرن پردازش سیگنال استخراج گردیده و پاسخ‌های حاصل با نگرش ویژه به روش‌های مختلف پردازش مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در ادامه تحقیق و با استفاده از شتاب‌نگاشت ورودی ثبت شده در گالری، تحلیل‌های عددی بدنه و پی سد مسجد سلیمان در محدوده دو بعدی انجام شد. در این بخش، تکیه اصلی تحقیق بر روی به چالش کشیدن فرض خطادار پی بدون جرم در نرم‌افزارهای مبتنی بر روش اجزای محدود و ارائه راهکار در مورد آن می‌باشد. بر این اساس، پاسخ‌های بدست آمده از تحلیل‌های عددی با استفاده از توزیع زمان-فرکانس با پاسخ‌های ثبت شده مورد مقایسه قرار گرفت و در خصوص میزان در نظرگیری جرم پی با استفاده از معیارهای مختلف بحث شد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که صرف نظر نمودن از جرم پی الزاماً منجر به بهترین پاسخ دینامیکی برای سد خاکی نمی‌گردد. با توجه به معیارهای مختلف در نظر گرفته شده در این تحقیق و با توجه به ضعیف بودن محرک ورودی ثبت شده و فرض رفتار خطی سد، به نظر می‌رسد پی با جرم کمتر از ۵۰ درصد نزدیکترین پاسخ به رفتار ثبت شده سد را به همراه داشته باشد.

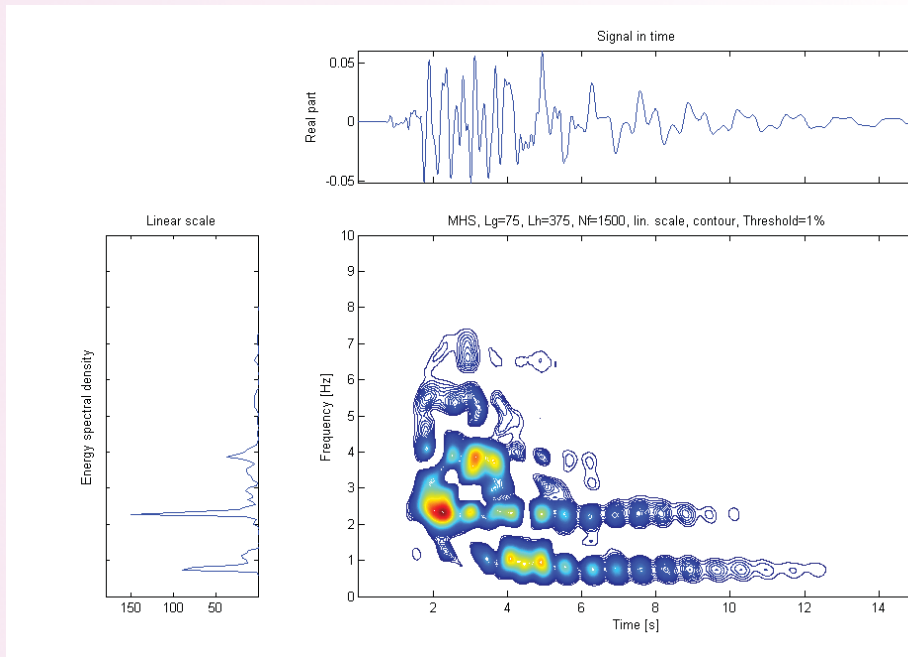
در مجموع، نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های نوین پردازش سیگنال ابزاری قدرتمند جهت تدقیق شناسایی مشخصات دینامیکی سدهای خاکی و نیز وسیله‌ای مناسب به منظور تدقیق مدل‌های عددی (مخصوصاً در بررسی یکی از مهمترین چالش‌های مطرح در زمینه سدهای خاکی یعنی اثرات اندرکنش سد-پی) در زمان زلزله می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** سد خاکی، تحلیل دینامیکی، روش TFD، نگاشت زلزله، فونداسیون بدون جرم





The finite element modeling of the Masjed Soleiman dam-foundation system



The calculated earthquake acceleration time history of the Masjed Soleiman dam crest in U-D direction for 50% of foundation mass (top); corresponding PSD (left); related TFD contour plot (right)

## مطالعه رفتار لرزه‌ای سازه‌های ژئوتکنیکی با استفاده از روش پردازش سیگنال در حوزه زمان - فرکانس

محمد داودی

استادیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک [m-davood@iiees.ac.ir](mailto:m-davood@iiees.ac.ir)

محمد کاظم جعفری

## Studying the Seismic Behavior of Geotechnical Structures Using Advanced Signal Processing Techniques in Time - Frequency Domain

Mohammad Davoodi

Assistant Professor, Geotechnical Engineering Research Center  
[m-davood@iiees.ac.ir](mailto:m-davood@iiees.ac.ir)

Mohammad Kazem Jafari

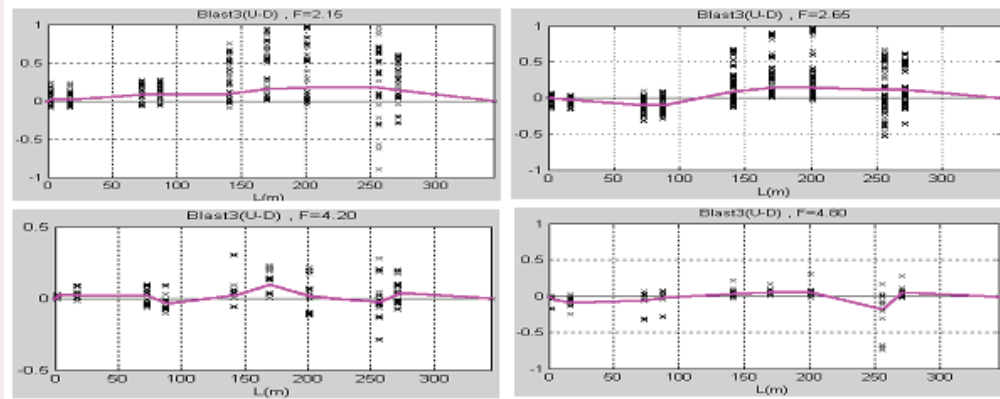
Based on previous investigations in IIEES, there were some problems in evaluating dynamic characteristics (including resonant frequencies, mode shapes and modal damping values) of earth dams. These experiences indicated that the identification of dynamic characteristics becomes difficult and cumbersome not only when non-stationary signals are recorded on dam body, but also if PSD functions include closely spaced or overlapped peaks. In fact, the classical signal processing methods provided reasonable results as long as the amplitude and frequency contents of the recorded signal did not vary with time and natural frequencies of the structure and were well separated and well defined. To overcome this problem, the main purpose of this experimental research is to introduce the advanced TFD (Time Frequency Distribution) method. The TFD method maps a one-dimensional signal into a two-dimensional function of time and frequency and describes how the spectral content of the signal changes with time. The basic concept in this experimental study was to excite the dynamic response of the two highest earth dams in Iran namely Masjed Soleiman and Marun by detonating explosive charges. The recorded signals were processed by classical 4-spectra and modern TFD methods and the obtained modal frequencies of the dam body were compared. Differences between the two methods were described and the benefits of the modern signal processing method were discussed. The overall results indicated that non-stationary in-situ tests on earth dams such as explosion tests are an excellent method of exciting the dam-foundation system, and that it is possible to evaluate the dynamic characteristics of this kind of dams more accurately using modern TFD method. Besides, the in-situ dynamic tests on earth dams and the non-stationary recorded signals on the machinery foundations were also analyzed by classical and modern signal processing methods and then compared with permissible vibrations. Totally, the results indicated that it is possible to evaluate the amplitude of the non-stationary vibrations in the interest frequency more rapidly and accurately using TFD method.

بر اساس تحقیقات صورت گرفته در پژوهشگاه در زمینه ارزیابی مشخصات دینامیکی سدهای خاکی با استفاده از آزمایش‌های ارتعاشی درجا، برآورد فرکانس‌ها و اشکال مدی سدهای خاکی با بکارگیری روش‌های کلاسیک پردازش سیگنال (به ویژه در سیگنال‌های نامانا و یا در شناسایی مدهای نزدیک هم) با مشکلاتی همراه بوده است. در تحقیق حاضر، استفاده از روش‌های پردازش سیگنال در حوزه زمان - فرکانس (Time Frequency Distribution) به عنوان راه‌حل ارائه شده است تا با مقایسه بین نتایج روش پردازش سیگنال در حوزه فرکانس و نتایج روش TFD، ارزیابی نقاط قوت دو روش مذکور در پردازش نگاشت‌های نامانا، نرم‌افزار کامپیوتری برآورد اشکال مدی در آزمایش‌های درجای سدهای خاکی نیز تهیه شود. در این راستا، با جمع‌آوری مبانی TFD، انواع روش‌های پردازش سیگنال در حوزه زمان - فرکانس و سوابق استفاده از روش TFD در مهندسی زلزله آغاز و الگوریتم پردازش نگاشت‌های ثبت شده در آزمایش ارتعاش سدهای خاکی بر اثر انفجارهای مختلف سائیتی پیشنهاد گردید. در ادامه و با معرفی آزمایش‌های انفجار صورت گرفته در دو سد خاکی، نگاشت‌های ثبت شده در آزمایش بر اساس الگوریتم پیشنهادی پردازش شد. به منظور افزایش دقت برآورد مشخصات دینامیکی سدهای مورد مطالعه، نرم‌افزار کامپیوتری تحلیل و ترسیم انیمیشن اشکال مدی در فرکانس‌های مورد نظر در حالت پردازش نگاشت‌های نامانا در حوزه زمان - فرکانس تهیه شد. همچنین بر اساس آزمایش‌های صورت گرفته بر روی پی ماشین آلات صنعتی و احساس نیاز به استفاده از روش‌های پردازش سیگنال در حوزه زمان - فرکانس به منظور افزایش دقت و سرعت پردازش، نمونه‌ای از نگاشت‌های نامانای ثبت شده بر روی پی ماشین آلات صنعتی پردازش شد. با استفاده از روش مذکور، با سرعت و دقت مناسب می‌توان مقدار دامنه ارتعاش در فرکانس مورد نظر در هر لحظه دلخواه را محاسبه و با مقادیر حد مجاز مقایسه کرد. نتایج حاصل از این تحقیق عبارتند از:

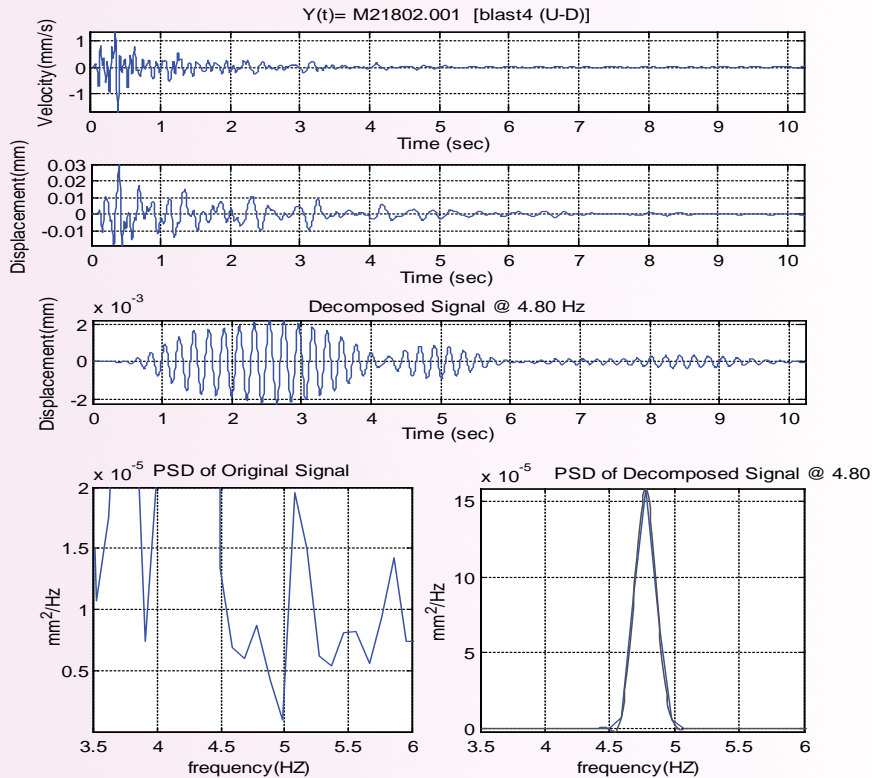
- پردازش نگاشت‌های نامانای انفجار ثبت شده در سدهای مورد مطالعه با روش TFD برای شناسایی مشخصات دینامیکی سدها از دقت بیشتری نسبت به روش‌های کلاسیک پردازش سیگنال برخوردار است؛
- قابلیت زیاد روش TFD در استخراج نحوه تغییر دامنه و محتوای فرکانسی نگاشت‌های نامانای ثبت شده بر روی پی ماشین آلات صنعتی در طول زمان آشکار می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پردازش سیگنال، توزیع زمان - فرکانس، رفتار لرزه‌ای، سد خاکی، پی ماشین آلات

**Keywords:** Signal processing, Time frequency distribution, Seismic behavior, Earth dam, Machinery foundation



The evaluated mode shapes of Marun dam in U-D direction based on signal processing of explosion records in Time-Frequency Distribution



Estimate of modal damping ratio for second anti-symmetric mode of vibration of Marun dam in U\_D direction. From top to bottom: velocity and displacement time history, decomposed displacement time history at 4.80 Hz, PSD plots for original and decomposed signals



## Effect of Fine Contents on Liquefaction Resistance of Silty Sands Using Shear Wave Velocity

Farajollah Askari

Assistant Professor, Geotechnical Engineering Research Center  
askari@iiees.ac.ir

Ali Shafiee, Roozbeh Dabiri

A lot of damage during earthquakes are due to the instabilities occurrence in soils. Liquefaction of loose and saturated soils is one of the most dangerous type of them. During an earthquake, loose and saturated sands tend to decrease in volume, which need the water in soil to be drained rapidly. If the water cannot be drained, pore water pressure increases and may become equal to the total stress, so that the effective stress will become zero. In this condition, soil does not have any shear strength and it develops into a liquefied state.

Based on the research during the last four decades, liquefaction has been observed in clean sands, silty sands, clayey sands, sand-gravel soil mixtures and even, in special cases, in clays. Liquefaction resistance of soils can be evaluated by experimental methods such as cyclic simple shear and triaxial tests, or by field tests such as standard penetration test (SPT), cone penetration test (CPT), Becker hammer penetration test (BPT) and shear wave velocity (Vs). The latter in situ method, (Vs), can be considered as applied tests in areas where penetration tests results may be unreliable.

The assessment of liquefaction potential of soils in laboratory by shear wave velocity have been performed mainly on clean sands, but the effects of fines content on liquefaction resistance using shear wave velocity have not been investigated in depth. Whereas most of field studies show that soil liquefaction resistance increases with fines content, both decrease and increase of soil liquefaction resistance are observed in experimental researches.

In this research, effects of nonplastic fines contents on evaluation of liquefaction resistance by shear wave velocity are investigated by laboratory tests and the correlation of the results to field tests are discussed.

**Keywords:** Liquefaction potential evaluation, Silty sands Liquefaction, Shear wave velocity, Field tests

## بررسی تأثیر ریزدانه غیرپلاستیک بر مقاومت روانگرایی ماسه‌ها با استفاده از سرعت موج برشی

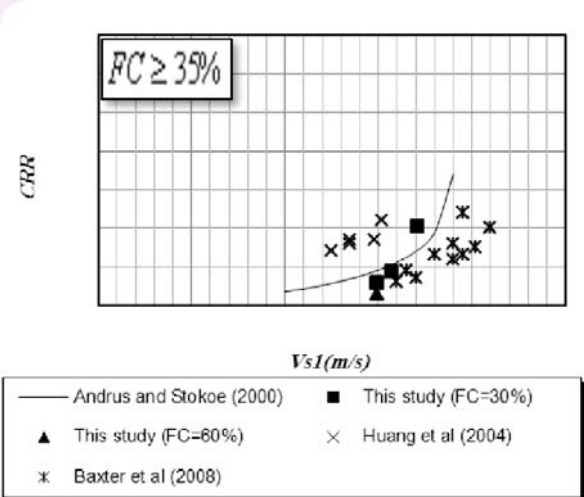
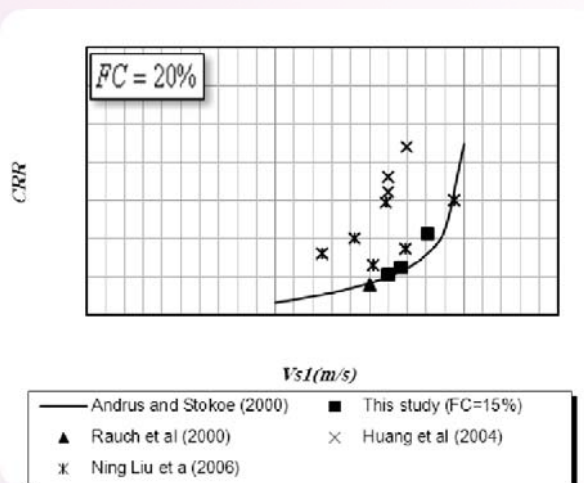
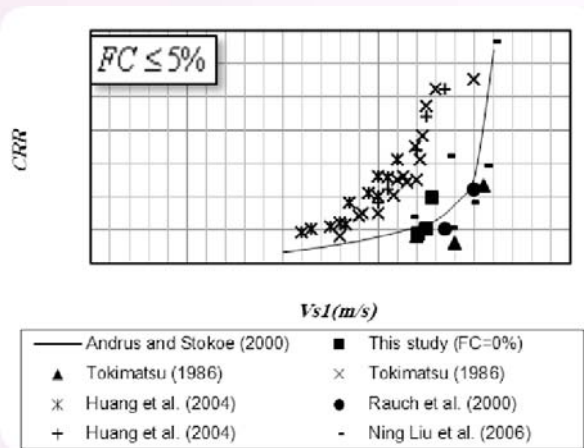
فرج‌الله عسکری

استادیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک  
askari@iiees.ac.ir

علی شفیعی، روزبه دبیری

بخش وسیعی از خسارات زمین‌لرزه، ناشی از وقوع ناپایداری‌های مختلف در خاک می‌باشد. در میان پدیده‌های مختلف، روانگرایی خاک‌های دانه‌ای سست و اشباع اهمیت ویژه‌ای دارد. پس از وقوع این پدیده، حجم خاک‌های دانه‌ای سست و اشباع بر اثر ارتعاشات لرزه‌ای کاهش و فشار آب موجود در حفره‌ها به علت عدم امکان زهکشی، تا حدی افزایش می‌یابد که با تنش همه جانبه برابر می‌شود. در نتیجه، مقدار تنش مؤثر کاهش می‌یابد و به صفر نزدیک می‌شود. خاک، مقاومت برشی و توانایی باربری ندارد و به صورت روان در می‌آید. در تحقیقات انجام شده بر روی زلزله‌های رخ داده در چهار دهه گذشته، مشاهده شده که پدیده روانگرایی نه تنها در خاک‌های ماسه‌ای تمیز، بلکه در خاک‌های مخلوط ماسه-لای، ماسه-رس، ماسه-شن و رسها (در شرایط خاص) به وقوع پیوسته است. برای تعیین مقاومت روانگرایی خاک‌ها می‌توان از آزمایش‌هایی نظیر برش ساده تناوبی، سه محوری تناوبی، برش پیچشی تناوبی و آزمایش‌های صحرایی مانند مقاومت نفوذ استاندارد (Standard Penetration Test)، مقاومت نفوذ مخروط (Cone Penetration Test)، مقاومت نفوذ چکش بیکر (Becker Penetration Test) و اندازه‌گیری سرعت موج برشی بهره گرفت. از میان روش‌های مختلف صحرایی، از روش ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از اندازه‌گیری سرعت موج برشی به عنوان یک روش سریع و کم‌هزینه در ساختگاه‌هایی که امکان گسترده انجام آزمایش‌های مقاومت نفوذ استاندارد یا مقاومت نفوذ مخروط وجود ندارد، استفاده می‌شود. امروزه تحقیقات مختلفی به منظور برآورد پتانسیل روانگرایی با استفاده از اندازه‌گیری سرعت موج برشی در آزمایشگاه بر روی نمونه‌های ماسه تمیز، مخلوط شن-ماسه، مخلوط ماسه-لای کمتر از ۱۵ درصد صورت گرفته است که نتایج به شرایط صحرایی پتانسیل روانگرایی تعمیم یافته و مقایسه شده‌اند. در حالی که اکثر مطالعات میدانی افزایش ریزدانه‌ها را عاملی بر افزایش مقاومت روانگرایی می‌دانند، بررسی‌های آزمایشگاهی افزایش مقاومت روانگرایی، کاهش مقاومت روانگرایی و یا کاهش و سپس افزایش مقاومت روانگرایی را گزارش کرده‌اند. هدف این تحقیق، بررسی آزمایشگاهی اثر میزان درصد ریزدانه غیرپلاستیک بر روی سرعت موج برشی و نسبت مقاومت تناوبی (Cyclic Resistance Ratio) و امکان‌سنجی تعمیم نتایج به مطالعات صحرایی برآورد پتانسیل روانگرایی با استفاده از سرعت موج برشی می‌باشد. نتایج به دست آمده از این تحقیق، مبین مقاومت روانگرایی بیشتری برای ماسه‌های کمتر از ۱۵٪ لای نسبت به نمودارهای ارائه شده توسط محققان قبلی است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی پتانسیل روانگرایی، روانگرایی ماسه‌های سیلت‌دار، ریزدانه، سرعت موج برشی، آزمایش‌های صحرایی



Comparison of CRR of sand-silt mixtures with different fines percent (FC) based on laboratory data

## بررسی رفتار مکانیکی رس‌های مخلوط متراکم تحت مسیرهای مختلف بارگذاری با نگرش ویژه به تغییرات فشار آب منفذی

Effect of Loading Path on the Mechanical Behavior of Composite Clays with Especial View to Pore Pressure Build-up

Ali Shafiee

Assistant Professor, Geotechnical Engineering Research Center

Mohammad Kazem Jafari, Hamidreza Tavakoli

علی شفیعی

استادیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک

محمد کاظم جعفری، حمید رضا توکلی

A quite wide spectrum of cohesive and granular materials is found in natural deposits and soil structures. Composite clays that may be considered as a branch of composite materials are broadly graded and may encompass clay, sand, gravel and cobbles. Clay constitutes the main material of these soils, since they are used as the impervious cores of embankment dams. Using cyclic triaxial tests, Jafari and Shafiee (2004) showed that more pore pressure is generated in composite clays with respect to pure clays. Thus, in composite clays, the possibility for the stress path to touch failure envelope increases.

The main goal of this research is to investigate the mechanical behavior of compacted composite clays with special view to pore pressure build-up under different loading paths including: monotonic triaxial compression and extension, stress and strain-controlled cyclic triaxial and stress and strain-controlled cyclic torsional shear. The torsional shear apparatus of the International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES) was also commissioned during this study. The tests were performed on the pure clay and the specimens containing 40% and 60% sand, respectively.

The results of this study revealed that in the strain-controlled tests, pore pressure increases with sand content, while in the stress-controlled tests the trend is vice versa. In addition, more pore pressure is generated in cyclic triaxial tests with respect to cyclic torsional tests with identical initial conditions. The difference accounts for the values of the strains and stresses and the rotation of principal axes.

**Keywords:** Composite materials, Pore pressure, Cyclic triaxial, Cyclic torsional shear

در رسوبات طبیعی و سازه‌های ژئوتکنیکی، طیف وسیعی از خاک‌های چسبنده تا دانه‌ایی به مقدار فراوان وجود دارد. رس‌های مخلوط که در زمره مصالح مخلوط به شمار می‌آیند دارای دانه‌بندی گسترده‌ای بوده و در برگیرنده مصالحی مانند رس، ماسه، شن و حتی قلوه سنگ می‌باشد. به علت کاربرد رس‌های مخلوط به عنوان مصالح با نفوذپذیری خیلی کم در هسته سدهای خاکی، بافت اصلی این نوع مصالح را بخش چسبنده رسی تشکیل می‌دهد. جعفری و شفیعی (۲۰۰۴) با استفاده از آزمایش‌های سه محوری تناوبی انجام شده بر روی مصالح مخلوط نشان دادند که فشار آب منفذی بیشتری در بارگذاری‌های تناوبی کنترل کرنش در مصالح مخلوط نسبت به رس خالص ایجاد می‌گردد که این امر به رسیدن سریع‌تر تنش مؤثر در مصالح مخلوط به حد مقاومت نهایی منجر می‌شود.

هدف اصلی از تعریف و انجام این تحقیق، مطالعه رفتار مکانیکی رس‌های مخلوط متراکم به ویژه از دیدگاه تغییرات فشار منفذی تحت بارگذاری سه محوری استاتیکی فشاری و کششی، بارگذاری سه محوری تناوبی کنترل کرنش و کنترل تنش، بارگذاری برش پیچشی تناوبی کنترل کرنش و کنترل تنش بود. برای انجام آزمایش‌های برش پیچشی تناوبی، دستگاه آزمایش برش پیچشی پژوهشگاه تکمیل و راه‌اندازی شد و بررسی تأثیر چرخش محور تنش‌های اصلی بر رفتار مکانیکی رس‌های مخلوط متراکم با این دستگاه میسر گردید. آزمایش‌ها بر روی نمونه‌هایی از رس خالص، مخلوط ۶۰٪ رس و ۴۰٪ ماسه و مخلوط ۴۰٪ رس و ۶۰٪ ماسه انجام شده است.

نتایج این تحقیق نشان داد که در انواع بارگذاری‌های کنترل کرنش در یک کرنش برشی ثابت، با افزایش حجم ماسه در رس‌های مخلوط، فشار منفذی افزایش می‌یابد ولیکن در آزمایشات کنترل تنش، با افزایش حجم ماسه در رس‌های مخلوط، مقدار فشار منفذی کاهش می‌یابد. همچنین فشار منفذی تولید شده در رس‌های مخلوط متراکم تحت بارگذاری سه محوری تناوبی بیشتر از فشار منفذی تولید شده در بارگذاری برش پیچشی تناوبی تحت شرایط اولیه یکسان است. این اختلاف متأثر از شرایط تا حدی متفاوت بارگذاری از جهات مقادیر کرنش یا تنش اعمالی در شرایط بارگذاری‌های کنترل کرنش و تنش در هر دو دستگاه و همچنین چرخش محورهای تنش اصلی حین بارگذاری تناوبی است.

واژه‌های کلیدی: مصالح مخلوط، فشار آب منفذی، سه محوری تناوبی، برش پیچشی تناوبی



## Attenuation Relationship for Arias Intensity Based on Iranian Data

**Mohammad Reza MahdaviFar**

Assistant Professor, Geotechnical Engineering Research Center  
mahdaviFar@iiees.ac.ir

**Ali Mohammad Rajabi**

## تعیین رابطه کاهندگی شدت آریاس برای ناحیه زاگرس براساس داده‌های موجود ایران تا پایان سال ۲۰۰۳

محمد رضا مهدویفر

استادیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک [mahdaviFar@iiees.ac.ir](mailto:mahdaviFar@iiees.ac.ir)

علی محمد رجبی

Arias intensity is considered as a shaking parameter suitable for characterizing earthquake impact on ground stability. Within the framework of a study aimed at providing tools for the assessment of hazards related to earthquake induced slope failures, Arias intensity attenuation relations were determined for the Zagros Mountains region, an active tectonic belt elongated NW-SE in the western and south-western parts of Iran. Coefficients of the relationship were determined based on strong-motion data of earthquakes in the Zagros area recorded by Iranian stations and managed by BHRC (Building and Housing Research Center of Iran).

Five models of attenuation relations were considered and their coefficients were estimated through a least square regression analysis. The resulting relations were then applied to a data sample different from that used for regression and the RMS (Root Mean Square) of residuals was examined in order to compare the effectiveness of different relations in probabilistic estimates. Furthermore, a comparison made with attenuation relations obtained for the Alborz and central part of Iran, showed significant differences possibly related to the structural differences.

شدت آریاس به عنوان یکی از پارامترهای مهم حرکت قوی زمین، نقش مهمی در تخمین میزان انرژی دریافتی و در نتیجه تخمین مقدار پایداری شیب‌ها در اثر زلزله دارد. در این مطالعه سعی شده است رابطه کاهندگی این پارامتر در ارتباط با بزرگی زلزله، فاصله از منشأ و همچنین نوع ساختگاه برای محدوده زاگرس به دست آید. محاسبه ضرایب این رابطه بر اساس داده‌های حرکت قوی زمین بدست آمده از بانک داده‌های شتاب نگاری ایران بوده است. در این ارتباط، پنج مدل مختلف در نظر گرفته شده و ضرایب آنها با استفاده از تحلیل رگرسیونی حداقل مربعات بدست آمده است؛ سپس روابط بدست آمده، برای داده‌هایی غیر از داده‌های استفاده شده برای ضرایب روابط، بکار برده شده و مقدار انحراف هر رابطه از میزان واقعی آنها بدست آمده و رابطه بهینه انتخاب شده است. مقادیر شدت آریاس حاصل از این رابطه با آنچه که از رابطه مهدویفر و دیگران (۲۰۰۷) بدست آمده است، تفاوت دارد که می‌تواند ناشی از اختلاف ساختمانی ناحیه زاگرس با ناحیه‌ای که مهدویفر و دیگران (۲۰۰۷) رابطه خود را بر اساس داده‌های آن استخراج کرده‌اند (البرز و ایران مرکزی)، باشد.

واژه‌های کلیدی: شدت آریاس، رابطه کاهندگی، زاگرس

**Keywords:** Arian intensity, Attenuation relationship, Seismic data, Iran

## Dynamic Analysis of 3D Saturated Poroelastic Media in Time-Domain by BEM

**Mohsen Kamalian**

Associate Professor, Geotechnical Engineering Research Center  
kamalian@iiees.ac.ir

**Mohammad Kazem Jafari, Morteza Jiriayi Sharhi**

Analysis of wave propagation in saturated porous media is a very important problem of soil dynamics and earthquake geotechnical engineering. The boundary element method (BEM) is known as a preferable numerical technique for solving wave propagating problems in unbounded poroelastic media. In this project, an advanced formulation of time-domain 3D BEM is presented in order to solve poroelastodynamic problems, using the well known u-p formulation and neglecting the compressibility of fluid and solid particles. The needed full space fundamental solutions are derived in the time domain and thereupon the corresponding elastodynamic convoluted kernels is derived. Some numerical examples have been solved which demonstrate the accuracy, efficiency and applicability of the presented algorithm.

**Keywords:** Saturated porous media, Boundary element Method, Fundamental solution, Elastodynamic kernel, Time domain

## تحلیل دینامیکی محیط‌های متخلخل اشباع سه بعدی در فضای زمان با استفاده از روش اجزای مرزی

محسن کامالیان

دانشیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک kamalian@iiees.ac.ir

محمد کاظم جعفری، مرتضی جیریای شرهی

حل مسائل انتشار امواج در محیط‌های متخلخل اشباع یکی از مهمترین موضوعات ژئوتکنیک لرزه‌ای و مهندسی زلزله است. تحلیل دقیق پاسخ لرزه‌ای یک آبرفت اشباع، مستلزم استفاده از معادلات کوپله حاکم بر تعادل دینامیکی محیط‌های دو فازه، مدلسازی صحیح رفتار اسکلت خاک و همچنین انتخاب شرایط مرزی مناسب جهت تأمین پدیده تشعشع امواج است. خاک متخلخل اشباع را می‌توان یک محیط دو فازه شامل اسکلت متشکل از ذرات جامد و نیز سیال موجود در درون حفرات بهم پیوسته در نظر گرفت که رفتار دینامیکی هر دو فاز و نیز رفتار ترکیب آنها، از اصول حاکم بر مکانیک محیط‌های پیوسته تبعیت می‌کند. در بسیاری از موارد می‌توان از تراکم‌پذیری ذرات جامد و سیال در برابر تراکم‌پذیری اسکلت خاک صرف‌نظر نمود و آنها را تراکم‌ناپذیر فرض کرد. از طرفی در پدیده‌های با سرعت متوسط، از قبیل زلزله نشان داده شده است که می‌توان از مؤلفه اینرسی نسبی سیال نسبت به اسکلت صرف‌نظر و فرم ساده‌تری از معادلات دیفرانسیل کوپله حاکم که u-p نام دارد، اختیار نمود. روش اجزاء مرزی یکی از روش‌های کارآمد تحلیل عددی مسائل انتشار امواج در محیط‌های خطی محدود و نامحدود است. از مزایای این روش آن است که ضمن کاهش تعداد درجات آزادی مورد نیاز در مقایسه با روش‌های حجمی چون اجزاء محدود، با تأمین کامل میرایی تشعشعی هرگونه نیاز به کاربرد مرزهای جاذب انرژی و مدل‌های حجیم را برطرف می‌سازد. هدف اصلی این تحقیق، ارائه یک الگوریتم اجزاء مرزی و تدوین یک نرم افزار عددی مناسب جهت تحلیلی دینامیکی محیط‌های متخلخل اشباع سه بعدی در فضای زمان، بر اساس فرضیات ساده کننده فوق‌الذکر است.

**واژه‌های کلیدی:** محیط متخلخل اشباع، روش مقدار مرزی، حوزه زمان



## Numerical Investigation of the Seismic Behaviour of Adjacent Topographic Structures by Boundary Element Method

Mohsen Kamalian

Associate Professor, Geotechnical Engineering Research Center  
kamalian@iiees.ac.ir

Mohammad Kazem Jafari, Abdollah Sohrabi

In the first chapters of this report, the 3D time-convoluted elastodynamic traction kernels are derived and an advanced time stepping BEM algorithm is presented that enables one to carry out site response analysis of three-dimensional topographic structures in time domain. The accuracy of the kernels and the applicability of the presented boundary element algorithm have been demonstrated through some examples of site response analysis, including half-plane, canyon and ridge sections subjected to incident P and S waves.

The next chapters of this report presents the results obtained by an extensive numerical parametric analysis on seismic behavior of 2D and 3D canyons and hills subjected to vertically propagating P and S waves. Based on these results, the length of the incident wave, the hill's shape ratio and its dimension ratio, constitute the most important parameters that governs the seismic behavior of topographic structures. The dominant behavior of hills and canyons are amplification and de-amplification, respectively. The amplification potential of topographic structures increase by their shape ratio. 3D topographic hills have a major amplification potential compared to that of the 2D ones. However, in the case of 3D topographic hills with a dimension ratio of more than 4, the seismic behaviors are almost the same. The 3D canyons show almost the same seismic behavior as the 2D ones, irrespective of the dimension ratio. The amplification potential of topographic structures subjected to incident S waves is much more than if subjected to incident P waves.

Finally, some preliminary simple equations and tables are presented which could be used as useful starting estimates to account for topography in seismic microzonation studies.

**Keywords:** Topography, Time domain, Boundary element method

## بررسی رفتار لرزه‌ای عوارض توپوگرافی سطحی با استفاده از روش اجزای مرزی سه‌بعدی در حوزه زمان

محسن کامالیان

دانشیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک kamalian@iiees.ac.ir

محمد کاظم جعفری، عبدالله سهرابی

امروزه تجربیات به دست آمده از زمین‌لرزه‌های گذشته و نیز مطالعات صورت گرفته در این زمینه تأثیر قابل ملاحظه عوارض توپوگرافی و نامنظمی‌های سطحی بر پاسخ لرزه‌ای سطح زمین را نمایان ساخته است. علی‌رغم مشخص شدن اهمیت این مسأله، تنها محدودی از آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های طراحی مقاوم در برابر زلزله به صورت محدود و بازدارنده اثرات ساختگاهی ناشی از توپوگرافی را مد نظر قرار داده‌اند. این مسأله ناشی از عدم وجود دانش کافی درباره نحوه و میزان تأثیر توپوگرافی بر پاسخ لرزه‌ای است. طبیعت چندبعدی عوارض توپوگرافی و محدودیت روش‌های تحلیلی و تجربی، ضرورت استفاده از روش‌های عددی جهت حل مسأله انتشار امواج و برآورد پاسخ لرزه‌ای را ایجاب می‌نماید.

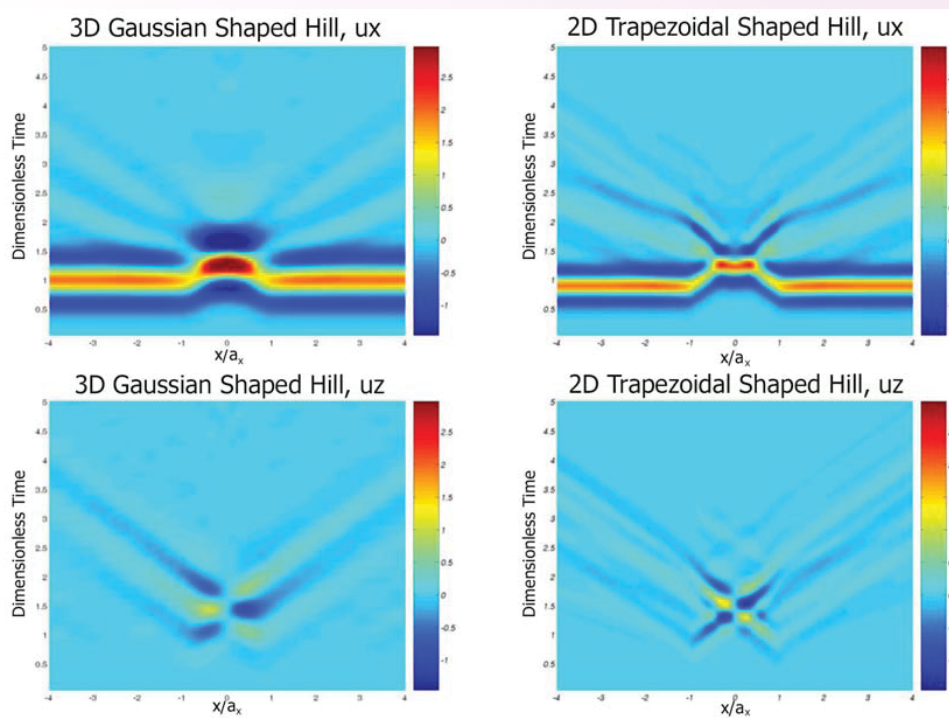
در بین روش‌های عددی، روش اجزای مرزی (BEM) در حل مسائل انتشار امواج در محیط‌های خطی نامحدود کارایی فراوانی دارد. چراکه از یک سو ابعاد دستگاه معادلات را کاهش داده و از سوی دیگر با ارضاء ذاتی شرط مرزی تشعشع در بی‌نهایت، نیاز به مش‌بندی حوزه دور را به حداقل ممکن کاهش می‌دهد. طبیعی است که فرمول‌بندی مسأله در حوزه زمان، امکان ترکیب الگوریتم اجزای مرزی با روش‌های عددی دیگر جهت حل مسائل غیرخطی را فراهم خواهد نمود. در این پژوهش برنامه کامپیوتری بمسا به یک نرم افزار اجزای مرزی جهت تحلیل پاسخ لرزه‌ای عوارض توپوگرافی سطحی سه‌بعدی در حوزه زمان است، توسعه داده شد. بدین منظور، یک الگوریتم اجزای مرزی جهت تحلیل دینامیکی عوارض توپوگرافی سطحی سه‌بعدی در حوزه زمان تدوین و سپس هسته‌های الاستودینامیک محیط‌های سه‌بعدی جهت حل تحلیلی انتگرالهای کانولوشن استخراج گردید. این هسته‌ها همراه با الگوریتم مذکور در برنامه بمسا به کار رفته و اعتبار و دقت آنها با حل چند مثال عددی شامل نیم فضا، تپه و دره نشان داده شد. در ادامه یک مطالعه پارامتریک جامع جهت بررسی رفتار لرزه‌ای عوارض توپوگرافی دوبعدی و سه‌بعدی، شامل تپه‌ها و دره‌های منفرد همگن دارای رفتار ارتجاعی خطی در مقابل امواج مهاجم قائم انجام گرفت. با تحلیل نتایج مطالعات پارامتریک دوبعدی و سه‌بعدی رفتار لرزه‌ای عوارض توپوگرافی مورد بررسی واقع شد. نتایج مطالعات نشان داد، پدیده غالب در تپه‌ها بزرگنمایی و در دره‌ها کوچک‌نمایی است. همچنین طول امواج مهاجم و پارامترهای هندسی شامل نسبت شکل، نسبت بعد و شکل عوارض توپوگرافی بیشترین تأثیر را بر پاسخ لرزه‌ای تپه و دره دارند. به طور کلی با افزایش نسبت شکل بزرگنمایی و کوچک‌نمایی در نقاط مختلف عوارض توپوگرافی، چه تپه و چه دره، افزایش می‌یابد. تپه‌های سه‌بعدی در مقایسه با تپه‌های دوبعدی دارای توان تقویت بیشتری هستند؛ با این حال



اگر نسبت بعد تپه‌های سه‌بعدی بیش از ۴/۰ باشد، رفتار لرزه‌ای آنها به تپه‌های دوبعدی بسیار نزدیک خواهد بود. پاسخ لرزه‌ای دره‌های سه‌بعدی با پاسخ لرزه‌ای دره‌های دوبعدی تفاوت‌های کمی نشان می‌دهد؛ به نحوی که می‌توان رفتار لرزه‌ای آنها را یکسان در نظر گرفت. اثر شکل عارضه چه در دره‌ها و چه در تپه‌ها، از الگوی مشترکی تبعیت می‌نماید. به گونه‌ای که بزرگنمایی نقاط مختلف عارضه با اشکال مختلف در غالب محدوده‌های پریودیک تابعی از ارتفاع یا عمق آن می‌باشد. در مقابل ضریب پواسون داری اثر محدود بر پاسخ لرزه‌ای عوارض توپوگرافی بوده و در غالب نقاط و محدوده‌های پریودیک قابل صرف‌نظر کردن است. نوع موج مهاجم نیز الگوی بزرگنمایی عوارض توپوگرافی را تغییر نمی‌دهد، بلکه تنها بزرگنمایی و کوچک‌نمایی امواج مهاجم برشی در نقاط مختلف عوارض توپوگرافی، چه تپه و چه دره، در مقایسه با امواج مهاجم فشاری بیشتر است.

به منظور کاربردی نمودن نتایج به دست آمده، برخی روابط و جداول ساده مهندسی ارائه گردیده است که ارزیابی پارامترهای لرزه‌ای در روی عوارض توپوگرافی را تسهیل می‌نماید. روابط ارائه شده، با برآورد پریود مشخصه، پریود حادی و بیشینه بزرگنمایی یا کوچک‌نمایی قله تپه‌ها و قعر دره‌ها در تدقیق مطالعات ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای قابل استفاده هستند؛ جداول ضرایب بزرگنمایی متوسط تپه‌های دوبعدی و سه‌بعدی نیز ضمن تدقیق نتایج مطالعات ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای و برآورد بزرگ‌نمایی بیشینه پارامترهای جنبش شدید زمین، امکان برآورد ضرایب اصلاح طیف طراحی بر روی تپه‌های دوبعدی و سه‌بعدی را فراهم نموده است.

**واژه‌های کلیدی:** توپوگرافی، حوزه زمان، روش اجزای مرزی سه‌بعدی



Samples of historical displacement contours in x and vertical directions of 2D and 3D hills

## Determination of Pseudo Static Coefficients in Seismic Slope Stability Analysis in a Selected Zone of Iran Based on the Performance

Farajollah Askari

Assistant Professor, Geotechnical Engineering Research Center  
askari@iiees.ac.ir

Orang Farzaneh, Masood Mir Abutalebi

In this report, the effect of bedrock inclination on seismic performance of slopes is investigated. The study was conducted based on dynamic analysis of different slopes, evaluation of the earthquake acceleration in sliding mass, and calculating the permanent displacement of the slope, using Newmark sliding block method. The investigation indicates that variation of the bedrock inclination, which results in a change in the predominant period of the slope ( $T_s$ ), in conditions that the mean period of the time history of the acceleration on critical sliding surface ( $T_{mt}$ ) and  $T_s$  are close to each other, changes the sliding displacement and it may reach its maximum level. Typical results are presented and discussed.

A two dimensional model of a typical slope was considered and by conducting a dynamic analyses, the slope performance was studied for different geometries, strength parameters and shear wave velocities. Such a performance has been studied through assessing the record of acceleration in sliding mass (the mass above the critical sliding surface) and calculating the slope displacement using Newmark method.

It is shown that neglecting the effect of bedrock inclination would lead to non-real results in assessing the seismic slope performance.

**Keywords:** Permanent displacement, Seismic slope performance, Acceleration of the sliding mass

## تعیین ضرایب شبه استاتیکی در تحلیل پایداری لرزه‌ای شیروانیها در کشور بر اساس عملکرد

فرج‌الله عسکری

استادیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک askari@iiees.ac.ir

اورنگ فرزانه، مسعود میرابوطالبی

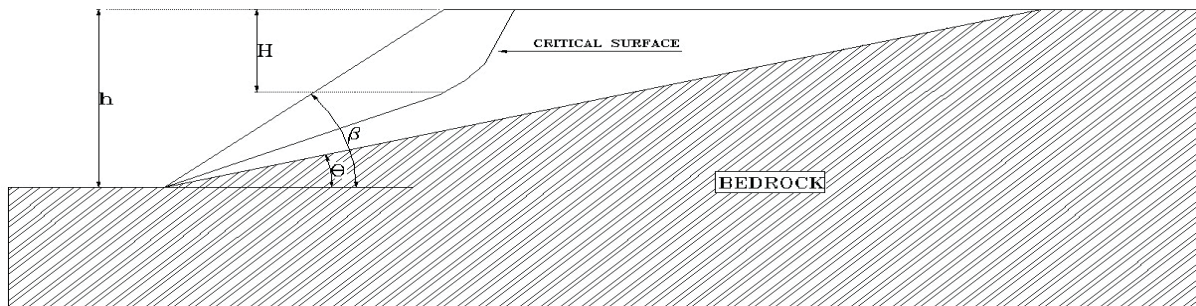
پایداری شیب‌ها با توجه به گستردگی مواجهه با آنها در بسیاری از طرح‌های مهندسی، همواره مورد توجه محققان بوده است. در این میان پایداری لرزه‌ای شیب‌ها در مناطق لرزه‌خیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. به طور کلی، روش‌های ارزیابی پایداری لرزه‌ای شیب‌ها در دو گروه روش‌های شبه استاتیکی و روش‌های مبتنی بر محاسبه تغییر مکان طبقه‌بندی می‌شوند. ارزیابی پایداری شیب‌ها در روش‌های شبه استاتیکی شبیه روش‌های استاتیکی بر اساس ضریب اطمینان انجام می‌شود، لیکن این ارزیابی در روش‌های مبتنی بر محاسبه تغییر مکان با برآورد تغییر مکان‌ها در زمان وقوع زلزله و مقایسه آنها با مقادیر مجاز صورت می‌پذیرد. در سال‌های اخیر، روش طراحی بر اساس عملکرد مورد توجه خاصی قرار گرفته و در همین راستا، ترکیبی از روش‌های شبه استاتیکی و تغییر مکان تحت عنوان تحلیل غربالی (Screening Analysis) مورد توجه آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای قرار گرفته است.

در این پروژه، اثر شیب سنگ بستر بر عملکرد لرزه‌ای شیروانیها مورد مطالعه قرار گرفته است. این بررسی بر اساس تحلیل دینامیکی شیروانیهای مختلف، برآورد شتاب زلزله در توده لغزنده و محاسبه تغییر مکان ماندگار این توده با استفاده از روش بلوک لغزشی نیومارک صورت پذیرفته است.

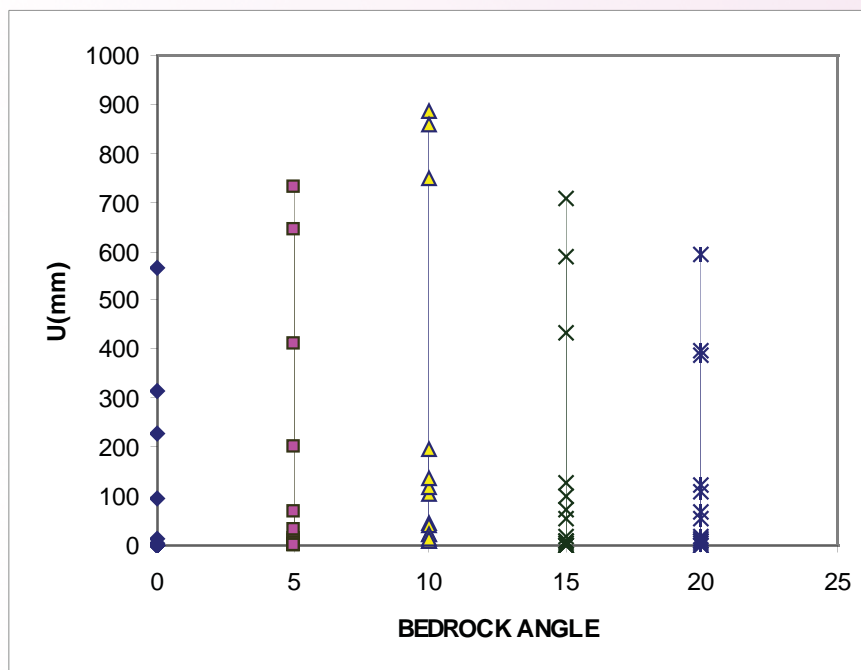
در تحقیق حاضر بر اساس روش غربالی و با استفاده از روابط لرزه‌خیزی کشور، راهکاری برای تعیین شتاب لرزه‌ای توده لغزش (یا ضریب شبه استاتیکی) ارائه شده است و همچنین روابط یا نمودارهای مربوط به ارتباط تغییر مکان با خصوصیات لرزه‌ای در ناحیه مزبور بدست آید. با استفاده از راهکار مزبور و با انتخاب عملکرد مورد انتظار از یک گروه شیروانی، ضریب شبه استاتیکی و ضریب اطمینان مناسب برای ارزیابی غربالی این گروه شیروانیها در ناحیه در نظر گرفته شده، پیشنهاد خواهد شد.

بررسیهای انجام یافته بیانگر آن است که با تغییر زاویه سنگ بستر با افق و در نتیجه تغییر پریرود طبیعی اصلی شیروانی ( $T_s$ )، در شرایطی که پریرود میانگین تاریخیچه زمانی شتاب بر روی سطح لغزش بحرانی ( $T_{mt}$ ) و  $T_s$  به یکدیگر نزدیک باشند، بزرگنمایی شتاب در توده لغزش به حداکثر مقدار خود خواهد رسید. در این حالت، تغییر مکان ماندگار شیروانی نیز بیشترین مقدار را خواهد داشت.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر مکان ماندگار، عملکرد لرزه‌ای شیروانی، شتاب توده لغزش، روش غربالی، طراحی بر اساس عملکرد



Geometry of the model used in this study



Permanent displacement of the sliding mass for different bedrock inclinations



## Extension and Application of Shakedown Theory in Evaluation of Seismic Stability of Slopes

**Farajollah Askari**

Assistant Professor, Geotechnical Engineering Research Center  
askari@iiees.ac.ir

**Mohammadreza Arvin**

Methods for evaluating the stability of slopes can be classified into two major groups, namely direct and indirect methods. Direct methods have more application in practice due to their simplicity and shorter time of analysis compared to indirect methods. Unlike indirect methods, it is not necessary for direct methods to follow the loading path from the initial stage of loading to the structural crisis. In fact, direct methods only characterize the critical state of systems under the available loads.

In this study, shakedown method as a direct method with the ability to consider variable repeated loads is employed to assess the seismic stability of slopes. Shakedown method specifies a safe domain in the load space which is a portion of a load domain and involves all loads that can possibly be applied on the structure. Under the shakedown load domain, permanent strains in the structures cease to develop and system behaves elastically at the end. The applied theory in this study is the lower bound dynamic shakedown theory. Therefore, the obtained safety factor is smaller than the actual one.

To apply the above mentioned method, a numerical method, which has been used previously to find the shakedown limit of pavements under traffic loads, was employed herein. The forgoing numerical method was modified in order to find the dynamic shakedown limit of structures. Some illustrative examples of slopes and appropriate earthquake records occurred in Iran were opted and analyses were made by the shakedown method. Results indicate the ability of dynamic shakedown method, compared to the other direct methods in order to consider the dynamic properties of slope and load at the limit state. Besides, the effects of strength parameters of soil and geometrical properties of slopes on the shakedown limit were evaluated through some analyses.

The comparison between the results of shakedown method and Newmark displacement method showed that if stability of slopes under repeated loads is obtained, the application of Newmark approach, along with the methods which consider the repeated variable loads, may be useful. Comparing the results of shakedown method and pseudostatic method suggested that putting together the results of both methods in a single diagram; one can reach an idea for seismic zonation of slopes in terms of their stability against monotonic and

## توسعه و کاربرد روش سازواری (shakedown) در بررسی پایداری لرزه‌ای شیروانیها

**فرج‌الله عسکری**

استادیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک askari@iiees.ac.ir

**محمد رضا آروین**

روش‌های بررسی پایداری شیروانیها را می‌توان در دو گروه روش‌های مستقیم و غیرمستقیم گنجانید. روش‌های مستقیم به دلیل سادگی و صرفه جویی در هزینه و زمان محاسبه دارای کاربرد بیشتری هستند. در روش‌های مستقیم بر خلاف روش‌های غیرمستقیم، کل مسیر بارگذاری تا رسیدن سیستم به حالت بحرانی پیموده نمی‌شود بلکه تنها وضعیت سیستم در حالت بحرانی مشخص می‌گردد.

در این پژوهش از روش سازواری که گونه‌ای روش مستقیم است و توانایی در نظر گرفتن بارهای متغیر تکراری را داراست برای بررسی پایداری لرزه‌ای شیروانیهای خاکی استفاده شده است. روش سازواری دامنه‌ای ایمن را در فضای بارها بدست می‌آورد که ضریبی از دامنه بارهای محتمل وارد بر سیستم است به گونه‌ای که این اطمینان وجود دارد که تحت این دامنه بار، جا به جاییهای ماندگار سیستم در نهایت متوقف شده و رفتار سیستم در برابر بارهای وارده رفتاری کاملاً کشسان خواهد بود. تئوری بکار گرفته شده در این پژوهش، تئوری حد پایین سازواری دینامیکی است، یعنی ضریب اطمینان بدست آمده از این روش کوچکتر از ضریب اطمینان واقعی و در جهت اطمینان است.

برای بکارگیری تئوری یاد شده از روشی عددی که پیش از این در بدست آوردن حد سازواری روسازی راهها تحت بارهای متغیر تکراری ایستا استفاده شده، بهره گرفته شده است. به روش یاد شده با اعمال تغییراتی، توانایی حل مسائل دینامیکی داده شده است.

برای بکارگیری تئوری و روش عددی یاد شده، مثالهایی مشخص از شیب و نکاشت‌هایی از زلزله‌های رخ داده در ایران برگزیده شده و تحلیل‌های سازواری در مورد آنها به اجرا در آمده است. نتایج نشان دهنده توانایی روش سازواری در مقایسه با دیگر روش‌های مستقیم در لحاظ کردن ویژگیهای دینامیکی بار و شیب در وضعیت حدی سیستم است.

همچنین برای بررسی تأثیر پارامترهای هندسی شیب و پارامترهای مقاومتی خاک تحلیل‌های گوناگونی انجام گردیده است. مقایسه نتایج روش سازواری با نتایج تحلیل جا به جایی ماندگار نیومارک نشان داد که اگر پایداری شیبها تحت اثر تکرار بار مورد نظر باشد، کاربرد نتایج روش نیومارک باید در کنار روش‌هایی مانند روش سازواری که پایداری شیب را تحت بارهای متغیر تکراری در نظر می‌گیرند سودمند خواهد بود.

مقایسه نتایج روش سازواری با روش شبه استاتیکی نشان داد که می‌توان از کنار هم قرار دادن نتایج این دو روش در یک دیاگرام، به ایده‌ای برای پهنه‌بندی لرزه‌ای شیروانیها از دیدگاه پایداری در برابر بارهای مونوتونیک و تکراری دست یافت.

ضریب اطمینان سازواری معمولاً به صورت ضریبی از دامنه بارهای

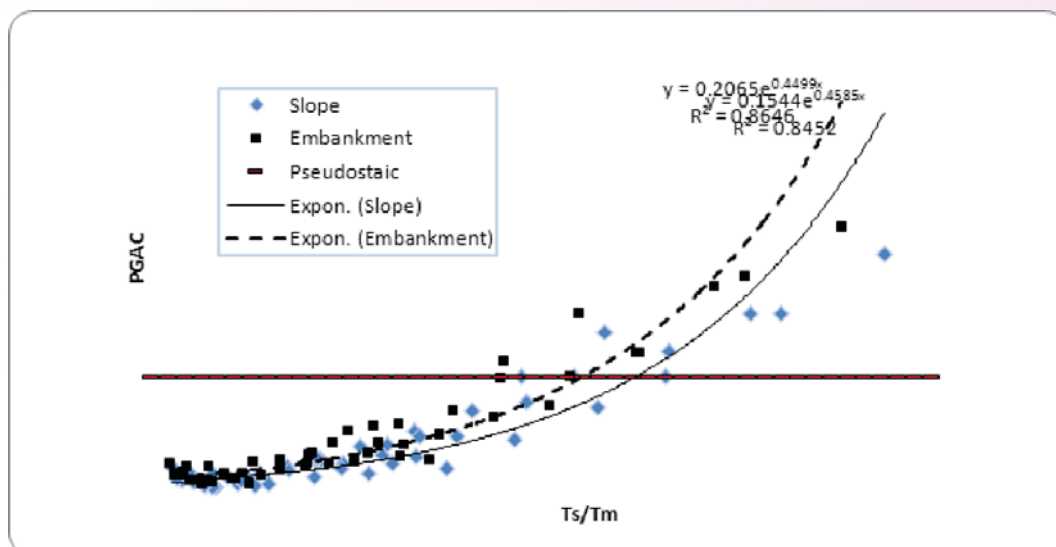
repeated loadings.

Typically, shakedown safety factor is represented as a multilayer of the actual load domain of the slope. In this study, in addition to the safety factor on the applied loads, a type of safety factor which typically is used in slope stability analyses associated with the strength parameters and soil was considered as well. This kind of safety factor which is analogous to the pseudostatic safety factor was then compared to its pseudostatic counterpart through some illustrative examples.

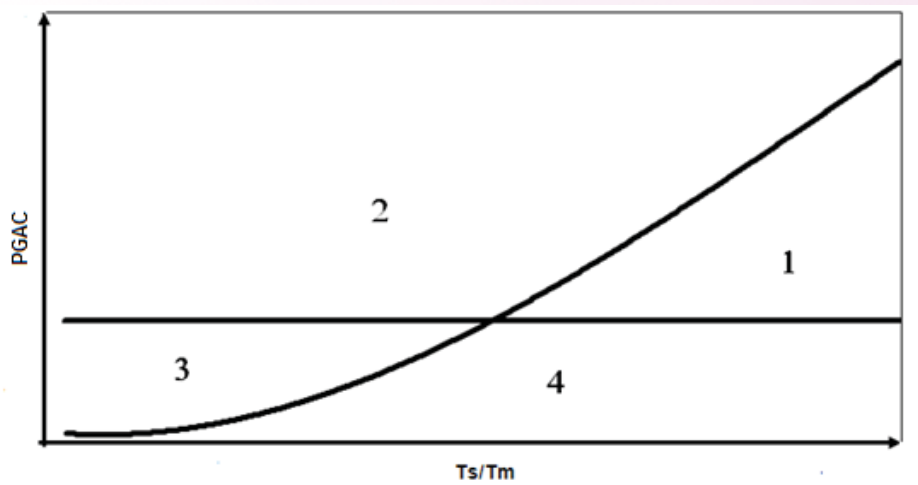
**Keywords:** Slope, Lower bound dynamic shakedown, Residual stress, Optimization, Shakedown safety factor

واقعی وارد بر سیستم مطرح می‌شود. در این پژوهش علاوه بر در نظر گرفتن ضریب اطمینان بر بارهای وارده، نوعی دیگر از ضریب اطمینان نیز که به صورت متداول در تحلیل‌های پایداری شیروانی بر پارامترهای مقاومتی خاک اعمال می‌شود، مورد استفاده قرار گرفته و روش بدست آوردن آن تشریح شده است. این گونه ضریب اطمینان که مشابه ضریب اطمینان روش شبه استاتیکی است با حل مثالهایی با نتایج روش شبه استاتیکی مقایسه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** شیب، حد پایین سازواری دینامیکی، تنش پسماند، بهینه‌یابی، ضریب اطمینان سازواری



Schematic variation of Pseudostatic and shakedown critical PGAC against variation in  $T_s/T_m$  for slopes and embankments



Independent zones on shakedown-pseudostaic diagram



## Development of the Earthquake Induced Landslides Risk System

**Mohammad Reza Mahdavifar**

Assistant Professor, Geotechnical Engineering Research Center  
mahdavif@iiees.ac.ir

**Vahid Tajik, Masoumeh Rakhshandeh,  
Shaghayegh Hassanzadeh**

Earthquake-induced landslides have caused tens of thousands of deaths and billions of dollars economic losses worldwide during the last century. In many earthquakes, the resulting landslides have caused as much or more damage than the other effects of seismic shaking. Predicting where and in what shaking conditions earthquakes are likely to trigger landslides is a key element in regional seismic hazard assessment.

The most common information available immediately following a damaging earthquake is its magnitude and epicentral location. However, the damage pattern is not a simple function of these two parameters alone, and more detailed information must be provided to ascertain the situation properly (Wald et al. 1999). Mahdavifar (2006) generated a primary version of a GIS-base system which can provide the map of Arias intensity, as well as a map for seismic landslide hazard zonation, based on simplified Newmark's displacement method in a short time after an earthquake. These maps provide a rapid portrayal of the extent of potentially damaging shaking following an earthquake and can be used for emergency response efforts, loss estimation models, and for public information through the media. Generation of such maps is fully automatic, triggered by any significant earthquake. The platform is calibrated using data from the 1990 Manjil earthquake,  $M_w=7.1$ , and its application is demonstrated in the area covered by Cholkasar and Chaharmahal quadrangles, on the southeast of the earthquake epicenter.

In this study, the system, which had been developed by Mahdavifar (2006) is completed to apply in the Central Alborz, Iran. For this purpose, the dynamic performance of slopes is modeled using the permanent-displacement analysis developed by Newmark (1965). Critical acceleration of the slope (above which permanent displacement occurs), was determined from the static factor of safety (FS) and the slopes geometry. To estimate the strength parameter for calculating FS in medium scale, the Hoek and Brown failure criteria was used.

Firstly, the geological and topographical data of Central-

## توسعه سامانه نرم‌افزاری ریسک زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله

**محمد رضا مهدویفر**

استادیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک mahdavif@iiees.ac.ir

**وحید تاجیک، معصومه رخشنده، شقایق حسن‌زاده**

زمین‌لغزش‌هایی که در اثر زلزله ایجاد می‌شوند در قرن اخیر موجب دهها هزار کشته و میلیاردها دلار خسارات در دنیا شده‌اند. در ایران نیز این گروه از زمین‌لغزش‌ها موجب تلفات و خسارات زیادی شده‌اند. شاید اولین قدم برای کاهش خطر زمین‌لغزش ناشی از زلزله همانند سایر پدیده‌ها، شناسایی مناطقی باشد که در معرض این خطر قرار دارند. در این ارتباط داشتن نقشه‌هایی که بلافاصله بعد از زلزله تهیه می‌شوند نقش ویژه‌ای در راهنمایی امداد رسانیان دارد.

در کشورهای آمریکا و ژاپن سیستم‌هایی تهیه شده است که به صورت اتوماتیک نقشه هم شدت بلافاصله بعد از زلزله تهیه و در اختیار عموم قرار می‌گیرد. در ایران نیز مهدویفر (۱۳۸۵) چنین سیستمی را با استفاده از GIS تهیه نمود. سیستم تهیه شده توسط وی نه تنها نقشه هم شدت بلکه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله را نیز تهیه و در اختیار قرار می‌دهد. بدین منظور در ابتدا مهدویفر (۱۳۸۵) روابطی تجربی را برای پیش‌بینی شدت آریاس و جا به جایی نیومارک در البرز و ایران مرکزی ارائه نمود سپس سیستم تهیه شده را بر اساس داده‌های حاصل از سه زلزله مختلف قبلی (منجیل، ۱۳۶۹، آوج، ۱۳۸۱، و فیروزآباد کجور، ۱۳۸۳) مورد آزمایش قرار داده و تصحیح نمود. چند سال بعد در ادامه مطالعات فوق، رجبی و همکاران (۲۰۱۱) این مطالعه را برای سایر مناطق ایران (زاگرس) تکمیل نمودند. با انجام این دو مطالعه روابط مذکور برای کل ایران تهیه و آماده بهره‌برداری گردید.

در مطالعه حاضر سیستم تهیه شده توسط مهدویفر (۱۳۸۵) به صورت اجرایی برای بخش مهم و لرزه‌خیزی از ایران (البرز مرکزی) مورد آزمایش قرار گرفته است. در این راستا در ابتدا برنامه‌ای نوشته شده است که امکان اتصال سیستم نرم‌افزاری ریسک زمین‌لغزش‌ها را به سرویس‌دهنده فراهم آورده است. این برنامه قابلیت آن را دارد که اطلاعات زلزله را بلافاصله از سرویس‌دهنده اخذ و در اختیار سیستم قرار دهد و پس از تهیه نقشه‌های هم شدت و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله، آنها را از سیستم اخذ و به سرویس‌دهنده برگرداند.

به طور همزمان با تهیه برنامه مذکور و جهت تکمیل اطلاعات مورد نیاز سیستم، کار ورود اطلاعات رقومی زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه انجام شده است. این کار با ورود اطلاعات رقومی تهیه شده از نقشه‌های مذکور که بوسیله سایر سازمان‌ها تهیه شده، انجام گردیده است. برای تکمیل اطلاعات مورد نیاز از پارامترهای ژئوتکنیکی (چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی واحدهای زمین‌شناسی) از معیار هوک و براون (هوک و همکاران، ۱۹۹۸) و GSI استفاده گردیده است. استخراج پارامترهای مقاومتی توده سنگ، با استفاده از روش هوک و براون مستلزم انجام عملیات صحرایی و



Alborz area were entered into the system. To complete the data needed for Hoek and Brown failure criteria, the appropriate locations for data gathering in the field were determined. The stations and routes were selected so that the strength parameters of all geological formations could be determined. During the field work, information related to strength parameters of rock masses were recorded, and then by using attributes tables, the information were analyzed and GIS parameter were determined for each station. In the next step, using Hoek and Brown relationships and Rocklab and Excell softwares, the value of all rock mass parameters,  $\phi'$  and  $c'$ , were calculated. For those geological formations which their data were determined in more than one station, the minimum value was considered. After completing the information, the system was successfully executed for four different earthquakes which occurred during past decades in the area. The earthquakes were selected, so that they covered a wide range of earthquake magnitudes.

Upon completing the project, the system can simultaneously provide iso-seismic map and seismic-landslides hazard map after any earthquake greater than 5, and will automatically locate them in IIEES website after a short time.

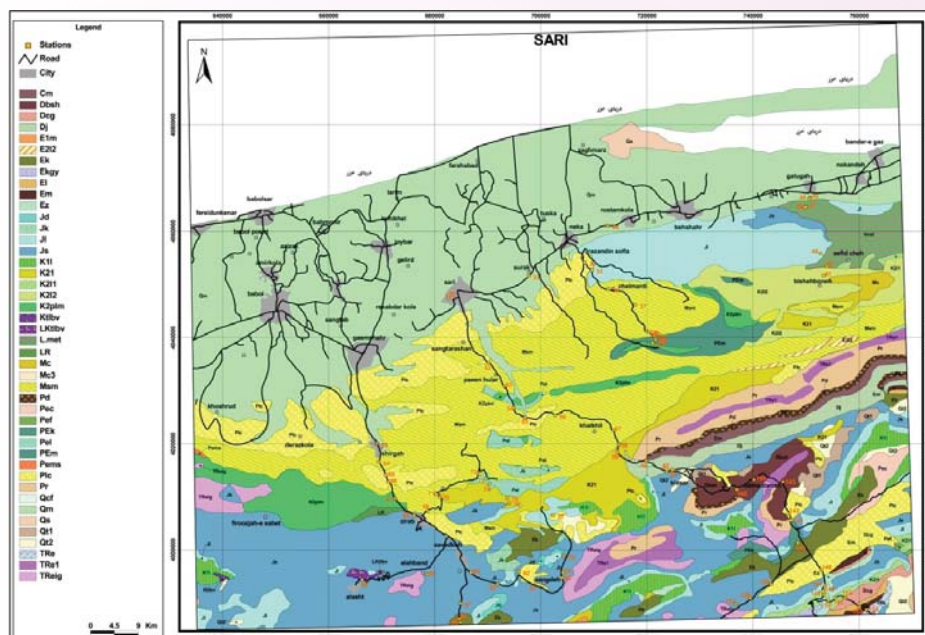
**Keywords:** Landslides, Earthquake, Risk system

بدست آوردن پارامتر GSI است. به این منظور، بعد از تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، مسیرها و محل ایستگاهها برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز تعیین گردیده است. مسیرها و ایستگاهها طوری انتخاب شده‌اند که علاوه بر پوشش کامل منطقه، تا حد امکان، واحدهای زمین‌شناسی در شرایط مختلف ساختاری ارزیابی گردند. شکل زیر مسیرها و ایستگاههای تعیین شده برای یکی از مناطق نمونه را نشان می‌دهد. طی عملیات صحرایی اطلاعات مربوط به مقادیر پارامترهای مقاومتی توده سنگ در هر ایستگاه اندازه‌گیری و ثبت گردیده است. سپس اطلاعات مذکور بوسیله جداول مربوطه مورد تحلیل قرار گرفته و پارامتر GSI برای هر واحد در هر ایستگاه تعیین گردیده است. در مرحله بعد، با استفاده از روابط هوک و براون و نرم‌افزارهای Excel و Roclab، مقدار  $\phi'$  و  $c'$  برای توده سنگ تعیین گردیده است. در مورد مصالحی که اطلاعات آنها در چند ایستگاه برداشت شده است، حداقل آنها به عنوان پارامترهای مقاومتی در نظر گرفته شده است.

پس از تکمیل اطلاعات، سیستم مورد نظر برای چهار زلزله مختلف اجرا گردیده و انجام بدون وقفه آن با موفقیت مورد آزمایش قرار گرفته است. چهار زلزله مذکور به نحوی انتخاب گردیده‌اند که بازه‌ای از بزرگای مختلف را دربر داشته باشند.

در حال حاضر با اتمام پروژه، این امکان فراهم شده است که چنانچه در البرز مرکزی زلزله‌ای رخ دهد، نقشه‌های هم‌شدت و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله تهیه و در زمان کوتاهی بعد از اخذ داده‌ها (در حدود یک دقیقه) به صورت کاملاً خودکار در سایت پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله قرار داده شود.

**واژه‌های کلیدی:** زمین لغزش، زلزله، سامانه ریسک



The map of stations and routes for determining GIS, Quadrangle of Sari.

## Estimation of Seismic Bearing Capacity of Strip Foundation on Slopes by the Stress Characteristic Method

Mohsen Kamalian

Associate Professor, Geotechnical Engineering Research Center  
kamalian@iiees.ac.ir

## برآورد ظرفیت باربری لرزه‌ای پی نواری متکی بر شیب با روش خطوط مشخصه تنش

محسن کامالیان

دانشیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک  
kamalian@iiees.ac.ir

All buildings rest on soil. Therefore, bearing capacity of foundations is one of the most important topics in soil mechanic and foundation engineering. Assessment of seismic bearing capacity of strip foundations has been the concern of many researchers in the field of geotechnical earthquake engineering during the last decades. Some important works reported in the literature showed that the bearing capacity of strip foundations reduce considerably during earthquakes compared to the static loading.

The stress characteristic method is one of the most attractive computational methods for assessing the static as well as the seismic bearing capacity of strip foundations. Especially in problems which are statically definitive and do not need considering the strain field, all calculations could be executed simply and very rapidly. One important advantage of the stress characteristic method over the well-known limit analysis methods is that the first method is able to present an idea of the contact stress distribution beneath the foundation.

In solving the bearing capacity problem of strip foundations by the stress characteristic method, one is concerned with a perfectly plastic material under conditions of plane strain. As in classical plasticity, it is necessary to have some concept of the location and nature of plastic zones beneath the foundation before solutions can be attempted. In order to solve the bearing capacity problem using the characteristic method, the soil beneath the foundation is divided into a central plastic and a surrounding rigid region. Combining the equilibrium equation with the Mohr-Coulomb failure law, a pair of quasilinear hyperbolic equation will be developed that are associated with two families of lines known as characteristics. These characteristics have two important properties. Two stress fields which are continuous but analytically different may be joined along the characteristic lines. If the field quantities are known on one side of a characteristic, they cannot be extended beyond that characteristic without additional information. These governing equations should be re-written in terms of the field quantities derivatives along the characteristic lines. This new representation proved to be very useful in developing numerical solution for these equations. A sequence of three fundamental problems must be solved: the initial value or Cauchy problem; the characteristic initial value or Goursat

همه بناها بر روی خاک قرار دارند. بنابراین موضوع ظرفیت باربری پی یکی از مهم‌ترین عناوین حوزه مکانیک خاک و مهندسی پی است. برآورد ظرفیت باربری لرزه‌ای پی نواری دغدغه‌ی بسیاری از محققین طی دهه‌های گذشته بوده است. نتایج برخی تحقیقات مهم و ثبت شده در ادبیات فنی گویای آن است که ظرفیت باربری پی نواری به هنگام وقوع زلزله در قیاس با شرایط بارگذاری استاتیک کاهش قابل توجهی می‌یابد.

روش خطوط مشخصه تنش یکی از جذاب‌ترین روش‌های محاسباتی به منظور برآورد ظرفیت باربری استاتیک و لرزه پی نواری است. خصوصاً در مسائلی که به جهت استاتیکی معین هستند و به دانستن میدان کرنش نیازی ندارند، عملیات محاسبات به سهولت و سرعت بسیار انجام می‌پذیرد. از امتیازات مهم روش خطوط مشخصه تنش بر روش معروف آنالیز حدی آن است که این توانایی را دارد که ایده‌ای از چگونگی توزیع فشار تماس در زیر پی ارائه دهد.

در مسأله حل ظرفیت باربری پی نواری با خطوط مشخصه تنش، فرض بر آن است که رفتار مصالح خمیری کامل و شرایط کرنش صفحه‌ای برقرار است. همانند اغلب مسائل کلاسیک پلاستیسیته، ضروری است تا قبل از حل مسأله ایده‌ی اولیه‌ای از چگونگی آرایش مناطق خمیری شده در زیر پی وجود داشته باشد. برای حل مسأله ظرفیت باربری پی نواری با روش خطوط مشخصه، خاک زیر پی به دو ناحیه خمیری در مرکز و صلب در پیرامون تقسیم می‌شود. ترکیب دستگاه معادلات تعادل با معیار گسیختگی موهر-کولمب یک دستگاه معادله شبه خطی هذلولوی را به دست خواهد داد که با دو دسته منحنی موسوم به مشخصه‌ها مرتبط است. این مشخصه‌ها دو ویژگی مهم دارند: دو میدان تنشی که هر کدام پیوسته اما به جهت تحلیلی متفاوت و از یکدیگر کاملاً متمایز هستند، در امتداد یک خط مشخصه می‌توانند به یکدیگر متصل شوند. اگر متغیرهای مسأله در یک طرف خط مشخصه معلوم باشند، بدون اطلاعات تکمیلی نمی‌توانند به طرف دیگر آن خط مشخصه تمیم داده شوند. دستگاه معادلات شبه خطی هذلولوی بدست آمده باید بر حسب مشتقات پاره‌ای متغیرهای مسأله در امتداد خطوط مشخصه بازنویسی شود. معادلات جدیدی را که بدین ترتیب حاصل می‌گردد، به راحتی می‌توان به صورت عددی حل نمود. برای این منظور سه مسأله اساسی زیر را باید به ترتیب و یکی پس از دیگری حل نمود: مسأله مقدار اولیه کوشی؛ مسأله مشخصه مقدار اولیه گورسات و مسأله مختلط.

پاسخی را که روش خطوط مشخصه تنش بدست می‌دهد، می‌توان یک حد پایین برای پاسخ دقیق تلقی نمود، اگر و تنها اگر بتوان در ناحیه صلب چنان میدان تنشی را حاکم نمود که هم معادلات تعادل را تأمین کند و هم معیار گسیختگی را نقض ننماید.



problem, and the mixed problem.

The solution obtained by the stress characteristic method provides a lower bound to the correct load, only if it is possible to find an equilibrium stress field which does not violate the failure criterion in the rigid regions.

This research investigates the seismic bearing capacity factors of strip foundations on slopes and adjacent to the top of the slopes obtained by the stress characteristic method. It has been shown that the more the slope, the less the seismic bearing capacity factors would be. It has also been shown that in weighty media, the seismic bearing capacity of foundations adjacent to a slope is less compared to the one on a similar infinite slope. Some graphs and tables are presented that could be used in order to assess the seismic bearing capacity factors of strip foundations on slopes and adjacent to the slopes obtained by the stress characteristic method.

**Keywords:** Bearing capacity, Strip foundation, Stress characteristic method, Earthquake, Slope

تحقیق حاضر موضوع ظرفیت باربری استاتیکی و لرزه‌ای پی‌های نواری متکی بر شیب و مجاور بالای شیروانی را با استفاده از روش خطوط مشخصه تنش مورد بررسی قرار داده است. نتایج بررسیها بیانگر آن است که اولاً هر قدر شیب شیروانی بیشتر باشد، ضرایب ظرفیت باربری استاتیکی و لرزه‌ای پی‌های نواری مستقر در مجاور شیروانی کمتر خواهد بود. ثانیاً در محیط وزین، ظرفیت باربری پی نواری مستقر در مجاور شیروانی، از ظرفیت باربری پی مشابه متکی بر شیب کمتر است. برخی نمودارها و جدولهای کاربردی ارائه شده‌اند که ضرایب ظرفیت باربری استاتیکی و لرزه‌ای پی‌های نواری متکی بر شیب و مجاور شیروانی را بر اساس روش خطوط مشخصه تنش بدست می‌دهند.

**واژه‌های کلیدی:** ظرفیت باربری، پی‌نواری، روش خطوط مشخصه تنش، زلزله، شیب، شیروانی



## Boundary Integral Equation and 2D & 3D Fundamental Solutions of Unsaturated Poroelastodynamics in Laplace and Time Domains

Mohsen Kamalian

Associate Professor, Geotechnical Engineering Research Center  
kamalian@iiees.ac.ir

## معادله انتگرالی و پاسخ‌های اساسی دینامیکی محیط‌های دو و سه‌بعدی متخلخل غیراشباع ارتجاعی خطی در فضاها و لاپلاس و زمان

محسن کامالیان

دانشیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک kamalian@iiees.ac.ir

Ground surface response analysis necessitates solving the wave propagation problem. To solve such problems, the governing equations of the media, constitutive relations and boundary conditions should be defined and satisfied correctly in the numerical method. Domain type numerical methods like finite element method have the ability of modeling nonlinear and plastic behaviour of the materials, but they have shown shortcomings in modeling the semi-infinite media and could not satisfy exactly the important boundary conditions of the outgoing waves from the boundaries to the infinite media. On the other hand, boundary type method like boundary element method has the ability to model the semi-infinite media properly, but has shortcoming in modeling the stress induced anisotropic non-linear elastoplastic behaviour of materials. Hence, the combination of these two methods as new hybrid method has the abilities of both methods. The aim of this research is to provide the required mathematical building blocks of 2 & 3 dimensional boundary element codes which have the ability of solving elastic wave propagation problem in an unsaturated porous media. These necessary mathematical building blocks consist of:

- Boundary Integral Equations (BIE) governing the dynamic equilibrium of the media in transformed and time domains.
- Fundamental Solutions (FS) corresponding to the above mentioned governing BIE in transformed and time domains.

**Keywords:** Unsaturated porous media, Time domain, Laplace

حل مسأله انتشار امواج در آبرفت لازمه یافتن پاسخ لرزه‌ای سطح زمین و لذا یکی از مهمترین موضوعات ژئوتکنیک لرزه‌ای است. زیرا طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله و نیز مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌های موجود و همچنین به‌سازی لرزه‌ای ساختگاه‌ها، تنها با شناخت پاسخ لرزه‌ای سطح زمین به زلزله طرح است که امکان می‌یابد. حل صحیح این مسأله مستلزم بذل دقت در انتخاب معادلات دیفرانسیل حاکم، انتخاب مدل رفتاری مناسب و نیز تأمین شرایط مرزی است. لایه‌های تشکیل دهنده آبرفت بسته به خصوصیات فیزیکی خود و نیز سطح آب زیرزمینی، به صورت خشک، اشباع یا غیراشباع هستند. طبیعتاً هر یک از این سه محیط، بسته به تعداد فازهای تشکیل دهنده آن، معادلات دیفرانسیل کوپله (Coupled) حاکم متفاوتی دارد. همچنین رفتار خاک با نگاهی مسامحه‌آمیز، در زلزله‌های ضعیف ارتجاعی خطی، در زلزله‌های متوسط ارتجاعی غیرخطی ویسکوز و در زلزله‌های قوی ارتجاعی خمیری است. و بالأخره میرایی تشعشی یا عدم بازگشت امواج انعکاس یافته و متفرق شده و جذب آنها توسط محیط نیمه بی‌نهایت، یکی از مهم‌ترین شرایط مرزی مسأله است. نتیجه آنکه چند فازه بودن و رفتار غیرخطی محیط، چندبعدی بودن مسأله و نیز ضرورت تأمین شرایط مرزی آن، کاربرد روش‌های عددی را در حل مسأله انتشار امواج در آبرفت اجتناب‌ناپذیر ساخته است. روش‌های عددی حجمی مثل اجزاء محدود (FEM) در فضای زمان ظرفیت حل مسائل غیرخطی را به شکل مناسبی دارا هستند. روش‌های عددی مرزی مثل اجزاء مرزی (BEM) نیز ظرفیت تأمین شرط میرایی تشعشی را برای محیط‌های نیمه بی‌نهایت به شکلی مناسب دارا هستند. ترکیب روش‌های عددی حجمی و مرزی در فضای زمان این امکان را فراهم می‌کند که بتوان مسأله انتشار امواج در محیط‌های چند فازه و چند بعدی غیرخطی را حل نمود. هدف پروژه پژوهشی حاضر آن است تا پیش نیازهای ریاضی لازم را برای طراحی سامانه نرم‌افزاری که بتواند مسأله انتشار امواج در محیط‌های مرکب غیراشباع و چندبعدی را با استفاده از روش BEM در فضای زمان حل کند، فراهم آورد. سامانه نرم‌افزاری مورد نظر نه تنها حل مسأله انتشار امواج در هر نوع آبرفت خطی را میسر خواهد ساخت، بلکه ترکیب آن با روش‌های حجمی مناسب امکان حل مسأله در آبرفتهای غیرخطی را نیز فراهم خواهد نمود.

واژه‌های کلیدی: محیط متخلخل غیراشباع، حوزه زمان، لاپلاس

## Effect of Near-Field Ground Motions on Seismic Behavior of Embankment Dams

Mohammad Davoodi

Assistant Professor, Geotechnical Engineering Research Center  
m-davood@iiees.ac.ir

## ارزیابی تأثیر زلزله‌های حوزه نزدیک بر روی رفتار لرزه‌ای سدهای خاکی

محمد داودی

استادیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک  
m-davood@iiees.ac.ir

The characteristics of near-fault ground motion and their influence on civil structures have been the interest of researchers for a long time. Recent significant earthquakes have provided unprecedented research opportunities to advance the state of knowledge on near-fault issues. The distinguishing characteristics of near-fault ground motion are the pulses generated by the forward directivity and fling-step effects. The present study will compare the near-fault and far-field ground motion effects and investigates the consequence of well-known characteristics of near-fault ground motion on the nonlinear dynamic response of embankment dams.

For this purpose, nonlinear dynamic analysis was performed on two- and three-dimensional models of MasjedSoleiman and two-dimensional models of Marun and Success embankment dams. The ground motion database compiled for nonlinear analyses constituted a representative number of far-fault and near-fault ground motion. These records cover a wide range of frequency contents, durations, amplitudes and distances. They were divided into four subsets, each containing 20 records: 1- The near-fault records with pulse periods 1.5 times smaller than the natural period of the dam (Benign records); 2-The near-fault records with pulse periods 1.5 times larger than the natural period of the dam (Aggressive records); 3- The near-fault pulse-like records which generate permanent ground displacement (Fling-Step records); 4- The ordinary far-field ground motion without pulse characteristics (Far-Field records). In the present study, simple pulse records were used in addition to real ground motions. Moreover, to investigate the effects of magnitude of earthquake on the results, the near-fault and far-field ground motions were normalized at different intensity levels.

The results of this study shows that, the seismic responses of embankment dams such as crest settlement and slip surface displacement resulting from aggressive near-fault ground motions are higher than that resulting from far-field ground motions or benign ones. The larger seismic response of embankment dam for near-fault shaking is associated with fewer reversed cycles of loading. This effect is due to the presence of high-amplitude velocity pulses in the aggressive near-fault records that caused dissipation of sudden energy in a short period of time in a single or few excursions. On the other hand, the energy demand on an embankment dam

خصوصیات زلزله‌های حوزه نزدیک گسل و تأثیر آنها بر روی سازه‌های عمرانی از موضوعات چالش برانگیز و مورد علاقه محققین است. در دوره اخیر وقوع چندین زلزله نیرومند، اطلاعات بسیار ارزشمندی را برای توسعه دانش در رابطه با زلزله‌های حوزه نزدیک فراهم نموده است. بر اساس این اطلاعات، مهمترین خصوصیت زلزله‌های حوزه نزدیک وجود پالس‌هایی در تاریخچه زمانی سرعت می‌باشد که در اثر دو پدیده "جهت‌پذیری پیش رونده" و "حرکت پرتابی زمین" ایجاد می‌گردد. تحقیق حاضر به مقایسه اثرات زلزله‌های حوزه نزدیک و دور با یکدیگر می‌پردازد و مهمترین پاسخ‌های غیرخطی سدهای خاکی تحت زلزله‌های حوزه نزدیک را بررسی می‌کند. بدین منظور، تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی بر روی مدل‌های دو بعدی و سه‌بعدی سد مسجد سلیمان و مدل‌های دو بعدی سدهای مارون و ساکس انجام گرفته است. در تحلیل‌های مذکور، از چهار گروه نگاشت مختلف به تعداد ۲۰ نگاشت در هر گروه با مشخصات زیر استفاده شده است: ۱- نگاشتهای حوزه نزدیک پالس مانند- پیروید کوتاه که پیروید پالس سرعت موجود در آنها کوچکتر یا مساوی ۱/۵ برابر پیروید طبیعی سد باشند (زلزله‌های "آرام" یا Benign)؛ ۲- نگاشتهای حوزه نزدیک پالس مانند- پیروید بلند که پیروید پالس آنها بزرگتر از ۱/۵ برابر پیروید طبیعی سد باشد (زلزله‌های "تهاجمی" یا Aggressive)؛ ۳- نگاشتهای پالس مانند با تغییر مکان ماندگار در سطح زمین (Fling-Step)؛ ۴- نگاشتهای حوزه دور فاقد پالس (Far-Field). این نگاشتها شامل طیف گسترده‌ای از زلزله‌های حوزه دور و نزدیک می‌باشد و محدوده وسیعی از محتوای فرکانسی، مدت زمان، بزرگی و فاصله تا محل گسلش را در بر می‌گیرند. در تحقیق حاضر، علاوه بر نگاشتهای واقعی، از نگاشتهای مصنوعی و پالس‌های ساده نیز استفاده شده است. همچنین، به منظور بررسی تأثیر شدت زلزله‌ها در نتایج تحلیل، نگاشتهای حوزه نزدیک و دور در چند سطح شدت مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، پاسخ‌های لرزه‌ای سدهای خاکی نظیر نشست تاج سد و یا تغییر مکان بلوک مستعد لغزش، در زلزله‌های گروه دوم بزرگتر از زلزله‌های گروه اول و زلزله‌های حوزه دور می‌باشد. این در حالی است که پاسخ بزرگتر لرزه‌ای سدهای خاکی در زلزله‌های حوزه نزدیک با تعداد کمتر سیکل بارگذاری اتفاق می‌افتد. در این حالت انرژی موجود در زلزله‌های حوزه نزدیک نوع تهاجمی، توسط پالس سرعتی که دامنه بزرگی دارد به سد اعمال شده و این انرژی باید در مدت زمان کوتاهی و توسط تعداد کمی سیکل، مستهلک شود. بر خلاف زلزله‌های حوزه نزدیک، در زلزله‌های حوزه دور انرژی زلزله به تدریج به سد اعمال می‌گردد. یکی از کلیدی‌ترین عوامل بحرانی‌تر شدن زلزله‌های حوزه نزدیک نسبت به زلزله‌های حوزه دور در این نکته نهفته است که بین تاریخچه تنش برشی و



subjected to a far-fault motion tends to gradually increase over a longer duration, causing an incremental build-up of input energy. It is noteworthy that, shear stress time history has a direct relationship to velocity and no direct relationship to acceleration or displacement. This fact is one of the most important keys to aggressive near-fault ground motion which creates larger inelastic displacement than far-field motion. Generally, aggressive near-fault ground motion has a larger peak ground velocity than far-field ground motion, which leads to a greater shear stress level that can reach the yield surface. In this situation, materials may undergo plastic deformation. Therefore, it is normal for the profile of median acceleration amplification for far-field ground motion to be greater than near-fault motion. Moreover, it is clear that the PGV is a better predictor for nonlinear behavior than the PGA.

Based on the results of this study, one of the most important parameters that affect the response of embankment dams was the ratio of velocity pulse period of near fault ground motions to natural period of the embankment dam. For scaled ground motions with same level of pseudo spectral acceleration  $PSa(T_0)$ , response of aggressive ground motions was relatively large compared to that of the other ground motions. This is because the  $PSa(T_0)$  ground motion intensity index only measures the intensity of the ground motion at  $T_0$ . Since the embankment dam behaved nonlinearly and its effective period lengthened, it was greatly affected by velocity pulses at longer periods. Conversely, the lowest responses were associated with records having  $T_p/T_0$  values of approximately 1. In this case, the  $PSa(T_0)$  value is large because the energy from a pulse with a period of approximately  $T_0$  implies that the record is intense as measured by  $PSa(T_0)$ . However, as the embankment dam began to behave nonlinearly, its period lengthened into a range where there is comparatively less energy. Finally, for  $T_p/T_0$  values from 0.2 to 0.3, the pulse excited higher modes of the embankment dam, while  $PSa(T_0)$  did not detect it.

Totally, this research shows the significant effects of near fault ground motions on seismic responses of embankment dams. Consequently, it is recommended to consider pulse-like near-fault ground motions in analysis and design of embankment dams.

**Keywords:** Seismic behaviour, Near-field, Embankment dams

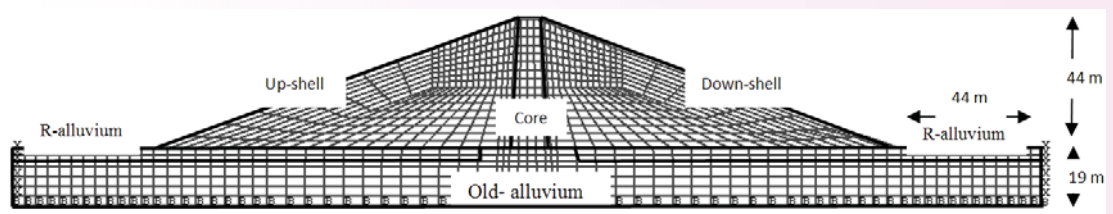
تاریخچه زمانی سرعت، ارتباط مستقیم وجود دارد در حالیکه چنین ارتباط مستقیمی بین تاریخچه تنش برشی و تاریخچه زمانی شتاب و تغییر مکان موجود نمی‌باشد. به طور معمول زلزله‌های حوزه نزدیک نوع تهاجمی دارای حداکثر سرعت زمین بزرگتری نسبت به زلزله‌های حوزه دور می‌باشند که می‌توانند تنش‌های برشی بزرگتری ایجاد کنند. در این شرایط، مصالح امکان بیشتری برای رسیدن به سطح تسلیم و تغییر شکل پلاستیک دارند که در نتیجه، به دلیل رفتار غیرخطی سد، مقدار بزرگنمایی شتاب در زلزله‌های حوزه دور بزرگتر از زلزله‌های حوزه نزدیک می‌گردد. همچنین مشخص می‌گردد حداکثر سرعت زمین نسبت به حداکثر شتاب زمین، معیار مناسب‌تری برای پیش‌بینی رفتار غیرخطی می‌باشد و با افزایش بزرگای زلزله، میزان همبستگی بین پاسخ‌های سد و حرکات زمین وابسته به سرعت افزایش می‌یابد.

بر اساس نتایج مطالعات حاضر، نسبت پریود پالس سرعت زلزله‌های حوزه نزدیک به پریود طبیعی سد، از مهمترین عوامل مؤثر بر پاسخ لرزه‌ای سدهای خاکی می‌باشد. در صورتی که تمامی نگاهت‌ها به نحوی همپایه شوند که دارای مقدار یکسان طیف شبه شتاب در پریود طبیعی سد ( $PSa(T_0)$ ) باشند، زلزله‌های حوزه نزدیک نوع تهاجمی موجب پاسخ‌های بحرانی‌تری نسبت به سایر نگاهت‌ها می‌گردند. علت این موضوع آن است، که پارامتر شدت ( $PSa(T_0)$ ) تنها نمایانگر شدت زلزله در پریود طبیعی سد می‌باشد. با توجه به آنکه سدهای خاکی تحت زلزله‌های نیرومند دچار رفتار غیرخطی می‌شوند، مقدار پریود طبیعی سد افزایش می‌یابد و سد تحت تأثیر پالس‌های بلند پریود موجود در نگاهت‌های نوع تهاجمی قرار می‌گیرد. از طرف دیگر، کمترین میزان پاسخ زمانی حادث می‌شود که پریود پالس در حدود پریود طبیعی سد باشد، در این حالت مقدار  $PSa(T_0)$  به دلیل نزدیک بودن پریود پالس به پریود سد، بزرگتر از مقدار  $PSa$  در سایر پریودها می‌باشد. با ایجاد رفتار غیرخطی در سد و افزایش پریود طبیعی سد، سد در محدوده‌ای از طیف شبه شتاب قرار می‌گیرد که دارای انرژی کمتری می‌باشد و لذا پاسخ‌های کوچکتری را ایجاد می‌کند. در آخرین حالت در صورتی که نسبت پریود پالس به پریود طبیعی سد در محدوده ۰/۲ تا ۰/۳ باشد، پالس سرعت موجود در نگاهت موجب تحریک مودهای بالاتر سد می‌شود که این پاسخ‌ها دیگر تحت تأثیر پارامتر شدت ( $PSa(T_0)$ ) نخواهند بود.

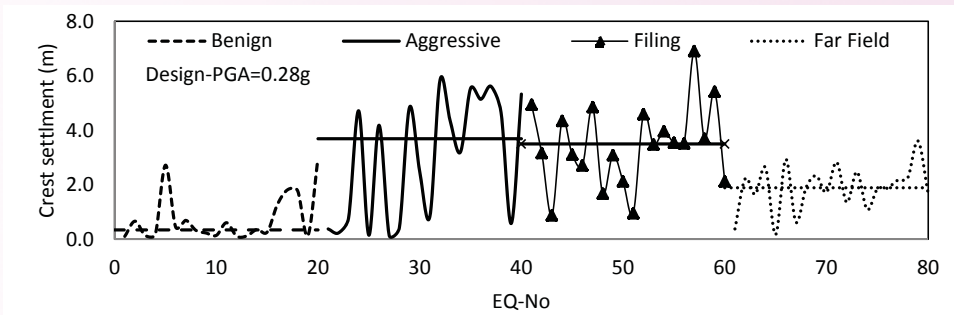
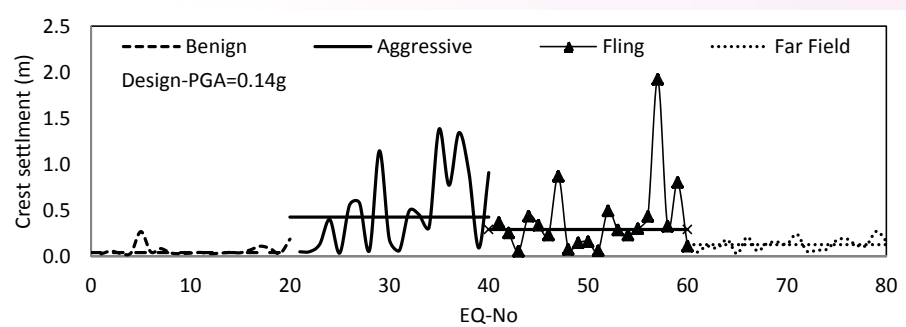
در مجموع، نتایج این تحقیق به روشنی تأثیر شدت زلزله‌های حوزه نزدیک بر روی پاسخ لرزه‌ای سدهای خاکی و اهمیت در نظر گرفتن آنها در طراحی سدهای خاکی را نشان می‌دهد. بر این اساس، توصیه می‌شود در طراحی لرزه‌ای سدهای خاکی واقع در حوزه نزدیک گسل، علاوه بر نگاهت‌های معمول و عادی، از نگاهت‌های پالس مانند نیز استفاده شود.

**واژه‌های کلیدی:** رفتار لرزه‌ای، حوزه نزدیک، سدهای خاکی

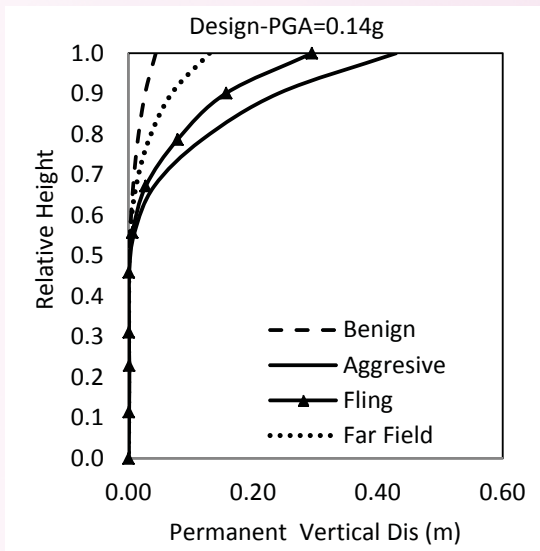
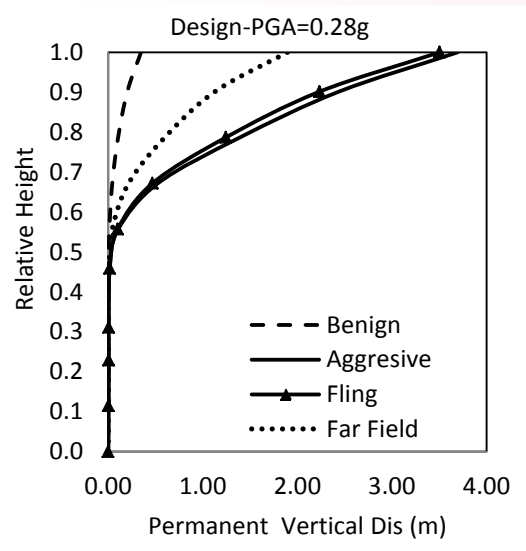




Mesh pattern of two-dimensional numerical model of Success embankment dam



Crest settlement of Success embankment dam at two different intensity levels



Median permanent vertical displacement profiles of each subset of Success embankment dam at two different intensity levels

## An Investigation on Heterogeneous Pore Water Pressure Distribution in Clay - Aggregate Mixtures

**Mohammad Kazem Jafari**

Professor, Geotechnical Engineering Research Center  
jafari@iiees.ac.ir

**Javad Jalili, Ali Shafiee, Mohsen Kamalian**

## بررسی توزیع غیر همگن فشار آب حفره ای در مصالح مخلوط رس - سنگ دانه

محمد کاظم جعفری

استاد پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک jafari@iiees.ac.ir

جواد جلیلی، علی شفیعی، محسن کامالیان

پروژه حاضر تحقیقی پیرامون توزیع فشار آب حفره ای در مصالح مخلوط رس-سنگ دانه اشباع و اثر سنگ دانه ها بر این توزیع می باشد. در ابتدا مرور مختصر و جامعی از ادبیات فنی در زمینه مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی بر روی این مصالح صورت پذیرفته است. در ادامه آزمایشات متعددی با بهره بردن از تجهیزات پیشرفته جهت اندازه گیری فشار آب حفره ای درون نمونه صورت پذیرفته اند. این آزمایشات به صورت کیفی بیانگر ایجاد ناهمگنی در توزیع فشار آب حفره ای در اثر حضور دانه ها در مصالح رسی می باشند. در آزمایشات صورت گرفته، قرار گرفتن دانه ها در کنار سنسورهای درون نمونه ای منجر به افزایش فشار آب حفره ای اندازه گیری شده توسط این سنسورها در مقایسه با نمونه های خالص رسی می باشند. تجربیات آزمایشگاهی این رساله حاکی از وجود محدودیت های فنی فراوان برای اندازه گیری دقیق این ناهمگنی به صورت کمی می باشد.

در ادامه تحقیق، تحلیل های عددی دو و سه بعدی جامعی بر روی رفتار این مصالح در بارگذاری های مونوتونیک و سیکیلی صورت پذیرفته است که به روشنی اثر وجود دانه ها را در ایجاد ناهمگنی در توزیع فشار آب حفره ای نشان می دهد. در تحلیل های سه بعدی صورت گرفته، فضای محصور بین دانه های قرار گرفته در امتداد بارگذاری (مسیر فشار)، فضای محصور بین دانه های قرار گرفته عمود بر امتداد بارگذاری (مسیر کشش) و فضای دور از دانه ها (نقاط آزاد) مورد مطالعه قرار گرفته اند. تحلیل های دو بعدی نیز نشان داد که در مسیر فشار، فشار آب حفره ای بیش از نقاط آزاد، و در مسیر کشش، فشار آب حفره ای کمتر از نقاط آزاد می باشند. این تفاوت فشار آب حفره ای با گذشت زمان به سمت تعادل پیش می رود که سرعت این بازتوزیع به نفوذپذیری مصالح و فرکانس بارگذاری بستگی دارد.

نمونه هایی از نتایج تحلیل های انجام شده ذیلا ارائه شده اند: نمودارهای فوق بیانگر آنست که با افزایش تعداد سیکل های بارگذاری، در تمامی نقاط نمونه افزایش کرنش حجمی پلاستیک رخ می دهد؛ اما افزایش کرنش حجمی پلاستیک در مصالح محصور میان دانه هایی که در امتداد بارگذاری سیکلی قرار دارند، نسبت به کرنش حجمی سایر نقاط نمونه بیشتر است و این اختلاف با افزایش سیکل ها روند افزایشی دارد. عکس این روند برای مصالح محصور در میان دانه های قرار گرفته در امتداد عمود بر امتداد بارگذاری سیکلی صادق است، به گونه ای که افزایش کرنش حجمی پلاستیک در مصالح محصور بین دانه های افقی نسبت به دیگر نقاط نمونه کمتر است و اختلاف آن با سایر نقاط، با افزایش سیکل ها افزایش می یابد. با توجه به اهمیت نحوه قرارگیری دانه ها نسبت به امتداد بارگذاری، در بخش های آتی از ناحیه محصور بین دانه هایی که در امتداد بارگذاری قرار دارند به عنوان مسیر فشار (compression path) و از ناحیه محصور بین دانه هایی که عمود بر امتداد بارگذاری آرایش یافته اند به عنوان مسیر کشش (extension path) یاد می شود.

A series of tests and numerical analyses were conducted to explore the heterogeneity of excess pore water pressure distribution in a mixture of coarse gravel-size particles floating in a matrix of clay. The research is a step forward in an ongoing investigation on behavior of composite clay, which is used as the core material of some large embankment dams in Iran.

This study focuses on a predominant feature of the composite clay behavior: increase of non-deformable solid inclusions in a mixture leads to formation of heterogeneity of stress field, excess pore water pressure and strain distribution along the specimens. Despite the effective stress and strain which only change with loading situation, the excess pore water pressure is continuously redistributed to reach a uniform situation, with a rate dependant mainly on permeability of the clay. This study mainly probes formation of such heterogeneity during experiments utilizing some miniature pressure transducers inside relatively large hollow cylinder and also cyclic triaxial specimens.

The same triaxial specimen geometry is also modeled by finite element code to explore such trend of behavior, results of which are included in the last part of the report. Cyclic tests on triaxial specimens containing miniature pressure transducers near an inclusion showed increase of excess pore water pressure in areas near the inclusion, compared with inclusion-free areas of the specimen. Similar trend was observed in numerical simulation of the experiments, making use of material models which parameters were calibrated by monotonic and cyclic tests on specimens of pure clay. This trend of behavior is in agreement with previously findings in this regard: Increase of measured excess pore water pressure in specimens of composite clay from magnitudes of pure clay specimens not only originate from the highly deformed clayey portion of the mixture compared with pure clay specimens, but also occurs because of the heterogeneously compacted clay areas captured among the inclusions.

Though in high magnitudes of permeability (i.e. higher than  $10^{-10}$  m/s), the excess pore water pressure is redistributed in few seconds or less, in lower levels, considerable increase of pore water pressure is observed among inclusions, and

the redistribution takes up to even some minutes, which is a matter of concern in stability analysis of structures including such materials. Based on numerical analyses in this study, a rough estimation of the excess pore water pressure increase among inclusions is provided, which could be useful in stability analysis of the composite clay structures.

Finally, based on experimental and numerical investigations, the formation of local heterogeneities of stress, excess pore water pressure and strain among inclusions, as a trend of behavior of composite soils, are observed. Concluding remarks are as follows:

1. Heterogeneity of stress and strain distribution in dry specimens was observed in numerical analyses results. Position of the inclusions relative to loading direction, and the distance between inclusions would lead to formation of "compression path" (positive deviatoric stress) and "extension path" (negative deviatoric stress) among inclusions. In "compression path" higher magnitudes of volumetric strain and mean stress were observed, compared with the magnitude in pure specimens, while in "extension path", lower magnitudes were observed.
2. Heterogeneous excess pore water pressure distribution in saturated specimens was formed during undrained numerical analyses. However, as qualitatively observed in these analyses, the heterogeneous excess pore water pressure induced among inclusions during loading is redistributed with a rate proportional to material hydraulic conductivity.
3. With current available miniature sensors, it seems impossible to capture a clear trend of pore pressure distribution in mixed-clay specimens. Smaller sensors should be positioned in different parts of the relatively small specimens of the mixed material to achieve reliable results, which require high tech and costly instruments.

**Keywords:** Clay aggregate mixtures, Pore water pressure, Numerical analysis, Laboratory investigations

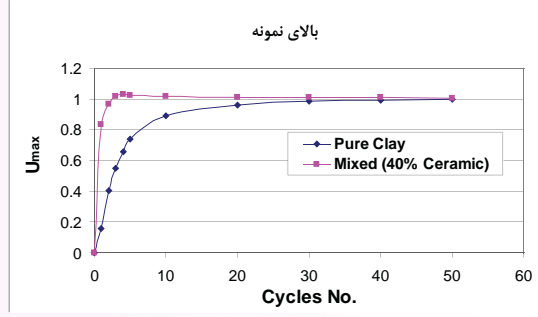
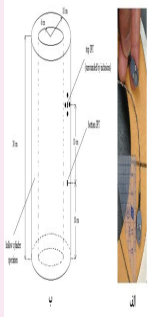
نمونه‌ای دیگر از نتایج این تحقیق تحلیل دو بعدی کرنش صفحه‌ای برای بررسی توزیع فشار آب منفذی در بارگذاریهای تناوبی (با تنش موثر پیرامونی ۳۰۰ کیلو پاسکال) است که یک مورد از نتایج بدست آمده در نمودار ذیل قابل مشاهده است:

تحلیل‌های صورت گرفته همگی موید تأثیر حضور دانه‌ها بر توزیع تنش/ فشار آب حفره‌ای و کرنش در مصالح مخلوط می‌باشند. مشاهدات صورت گرفته در این مطالعه دلالت دارند بر این که:

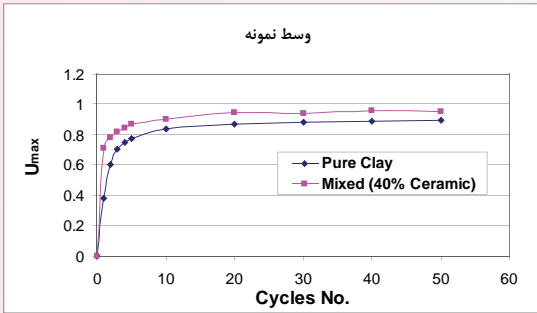
- یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر توزیع تنش و کرنش در مصالح مخلوط، "امتداد" یک بارگذاری (فشاری) و امتداد قرارگیری دانه‌ها نسبت به یکدیگر می‌باشد. در صورت هم راستایی این دو امتداد، مصالح محصور در بین دانه‌ها در مسیر فشار، و در صورت تعامد این دو امتداد، در مسیر کشش واقع می‌شوند. زاویه‌های دیگر بین این دو امتداد در محدوده رفتاری بین این دو حالت حدی واقع می‌شوند. نقاط دورتر از دانه‌ها نیز که متأثر از حضور آنها نیستند نقاط آزاد می‌باشند.
- در یک بارگذاری تناوبی، در مسیر فشار افزایش مقادیر کرنش حجمی و فشار آب حفره‌ای بیش از نقاط آزاد مجاور، و در مسیر کشش کمتر از آن می‌باشند.
- فشار آب حفره‌ای ناهمگن ایجاد شده در نمونه‌های حاوی سنگ دانه، با گذشت زمان باز توزیع شده و با نرخ متناسب با ضریب نفوذپذیری مصالح به سمت یکنواختی پیش می‌رود. در نفوذپذیری‌های بالا این امر در ثانیه‌های نخستین بارگذاری رخ می‌دهد که نشان‌دهنده کم اهمیت بودن ناهمگنی فشار آب حفره‌ای در این مصالح می‌باشد.
- دامنه کرنش اعمالی، نفوذپذیری مصالح، فرکانس بارگذاری و فاصله دانه‌ها (درصد حجمی مصالح) از پارامترهای تأثیرگذار بر میزان افزایش فشار آب حفره‌ای در مسیر فشار در مقایسه با نقاط آزاد مجاور می‌باشند.
- با توجه به محاسبات متعدد صورت گرفته، در صورت داشتن تخمینی از این پارامترها می‌توان تخمینی از میزان افزایش فشار آب حفره‌ای در مسیر فشار را بدست آورد. در هر حال این محاسبات به دلیل در نظر گرفتن مسیرهای کشش محافظه کارانه می‌باشند.
- با توجه به نامعلوم بودن توزیع هندسی مسیرهای فشار در یک سازه واقعی، بهره بردن از تخمین‌های بدست آمده از این محاسبات در تأمین پایداری سازه مورد بررسی نیاز به قضاوت مهندسی دارد.

**واژه‌های کلیدی:** مصالح مخلوط رس - سنگ دانه، فشار آب حفره‌ای، تحلیل عددی، بررسی آزمایشگاهی

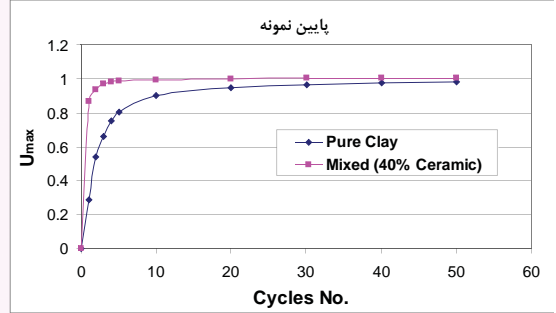




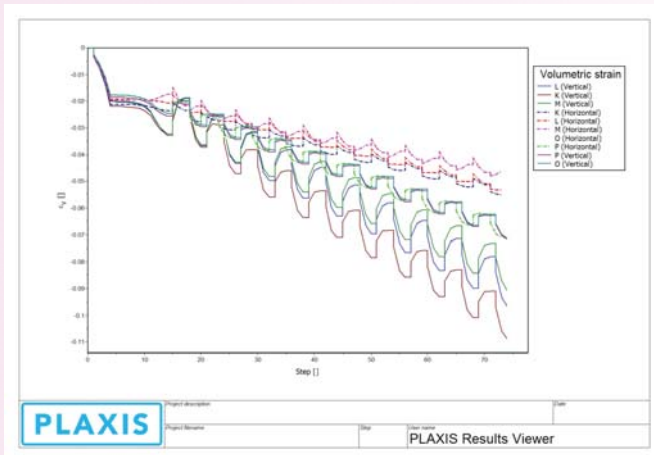
Top of the sample



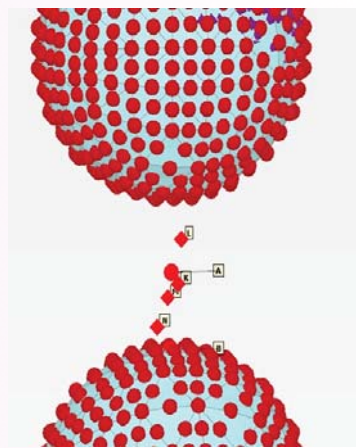
Middle of the sample



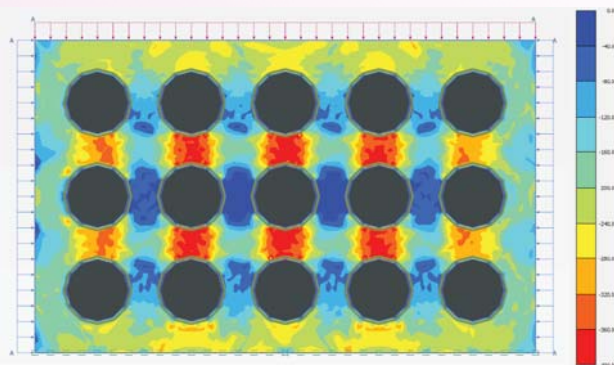
Bottom of the sample



3D analysis with UBC3D Model: Volumetric Strain Variation in 10 cycles of loadings



3D analysis with UBC3D Model: Selected points for evaluation of Volumetric Strain Variation



## Shear Modulus and Damping Ratio of Unsaturated Materials in Cyclic Loading and Suction Control Condition

Ali Shafiee

Assistant Professor, Geotechnical Engineering Research Center

Mahnoosh Biglari, Mohammad Kazem Jafari

In this research, the shear modulus and damping ratio of compacted Zenoz kaolin are evaluated in suction controlled condition. The initial shear modulus and damping ratio in small strain level has been measured by suction-controlled resonant column device, developed in university of Federico II and the shear modulus and damping ratio in medium to large strain levels have been measured by the new suction-controlled cyclic triaxial device, developed at IIEES.

The soil used for experimental study was a commercial Iranian kaolin named Zenoz kaolin (ZK), from a mine in northeast Iran. The soil had a clay fraction of about 18% and a silty fraction of about 60%. This material with liquid limit of 29%, plastic limit of 17%, and therefore, a plasticity index of 12%, was classified as lean clay (CL) according to Unified Soil Classification System.

An experimental study has been carried out to investigate the effects of isotropic compression, wetting and drying on the initial shear stiffness of Zenoz kaolin, unsaturated lean clay, both in normally consolidated and overconsolidated conditions. Unsaturated resonant column tests were performed using the RCTS-ns at UNINA: a suction-controlled device comprising several modification of an earlier version used for saturated soils.

Five resonant column tests were carried out: one saturated test using RCTS-DTC158 and four suction-controlled tests using the RCTS-ns. During the tests, after a preliminary equalization stage (in the saturated test after the saturation process), samples were consolidated isotropically at constant suction (in two cases with both loading and unloading), measuring the initial shear stiffness almost continuously along the entire stress path. Two tests also included stages of wetting at a constant mean net stress ( $p - u_a$ ), with measurements of the initial shear modulus at suction equalization. Overall, four levels of suction (0, 50, 150, and 300 kPa) and mean net stresses ranging from 50 to 450 kPa were investigated.

Initial shear stiffness was measured along isotropic stress paths including an isotropic compression stage at a constant suction condition and wetting and (or) drying stages at a constant mean net stress. The behavior observed on compression is qualitatively similar to that of saturated

## تعیین مدول برشی و میرایی مصالح ریزدانه غیر اشباع در بار گذاری تناوبی و شرایط کنترل مکش

علی شافیعی

استادیار پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک

مهنوش بیگلری، محمد کاظم جعفری

در این پروژه، مدول برشی و نسبت میرایی کاتولینیت زنوز متراکم در شرایط کنترل مکش ارزیابی شده است. مدول برشی و نسبت میرایی اولیه در سطح کرنش کوچک با استفاده از تجهیزات ستون تشدید مکش کنترلی دانشگاه فدريكو دوم ناپل ایتالیا بدست آمده و مقادیر این پارامترها در سطوح کرنش متوسط تا بزرگ نیز با استفاده از تجهیزات سه محوری مکش کنترلی ارتقاء یافته در پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله تعیین شده اند.

مصالح منتخب جهت انجام آزمایش در این پروژه یک نوع کاتولینیت تجاری با نام کاتولینیت زنوز (ZK) مستخرج از یک معدن واقع در شمال شرقی ایران می باشد. این خاک دارای ۱۸ درصد رس و حدود ۶۰ درصد سیلت است. حد روانی این خاک ۲۹ درصد، حد پلاستیک آن ۱۷ درصد و شاخص خمیری آن ۱۲ درصد تعیین شده است. همچنین مطابق طبقه بندی سیستم متحد مصالح مذکور در رده CL قرار می گیرد.

اثرات فشردگی همسان، تر شدگی و خشک شدگی بر سختی برشی اولیه کاتولینیت زنوز غیر اشباع در شرایط عادی تحکیم یافته و پیش تحکیم یافته مورد مطالعه قرار گرفته است. به این منظور از ابزار ستون تشدید غیر اشباع دانشگاه فدريكو دوم ناپل جهت انجام تست ها استفاده شده است. پنج آزمایش ستون تشدید انجام شده است. یک آزمایش در شرایط اشباع و چهار آزمایش نیز در شرایط کنترل مکش صورت پذیرفته است. حین انجام تست ها پس از مرحله به تعادل رسانی اولیه (در تست اشباع پس از پرورده اشباع)، نمونه ها به صورت همسان در شرایط مکش ثابت (در دو مورد با بار گذاری و بار برداری)، سختی برشی اولیه به طور پیوسته در طول مسیرهای تنش اندازه گیری شده است. دو مورد از آزمایشها نیز شامل مراحل تر شدگی در تنش میانگین خالص ثابت و اندازه گیری مدول برشی اولیه در تعادل مکش بوده است. در مجموع چهار سطح مکش (صفر، ۵۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلو پاسکال) در محدوده تنش میانگین خالص ۵۰ تا ۴۵۰ کیلو پاسکال مورد بررسی قرار گرفته است.

سختی برشی اولیه در مسیرهای تنش همسان شامل مرحله فشردگی همسان در شرایط مکش ثابت و تر - خشک شدگی در تنش میانگین خالص اندازه گیری شده است. رفتار مشاهده شده در فشردگی به طور کیفی شبیه خاکهای اشباع است در صورتی که در مسیر تر شدگی داده ها حاکی از وابستگی مشخص  $G$  به رفتار حجمی نمونه می باشد. در نمونه های عادی تحکیم یافته که تر شدگی همراه با فروریزش است، کاهش در مکش تأثیر قابل توجهی بر  $G$  نداشته است. کاهش حجم ویژه از یک طرف و کاهش مکش از سوی دیگر بر سختی برشی اولیه تأثیر متقابل گذاشته و آنرا تقریباً ثابت نگه می دارد. برعکس در نمونه های پیش تحکیم یافته با کاهش



soil, while on the wetting path, data clearly indicate that  $G_0$  depends significantly on volumetric behavior. In normally consolidated samples, where wetting is accompanied by collapse, reduction in suction has no remarkable effect on  $G_0$ . Specific volume reduction on one hand and suction reduction on the other interact on the initial shear stiffness of Zenoz kaolin, keeping it almost constant. Conversely, in overconsolidated samples  $G_0$  reduces significantly as suction decreases. On the drying path, because of both volume reduction and suction increase,  $G_0$  of Zenoz kaolin increases. The cyclic stress-strain behavior of unsaturated kaolin was investigated in a medium-to-large strain range ( $10^{-4} < \gamma < 10^{-2}$ ). For this purpose, a new cyclic triaxial device working in suction-controlled conditions has been developed at the International Institute of Earthquake Engineering and Seismology.

The experimental program in this part includes the triaxial tests on three specimens: one tested in saturated condition and the other two subjected to a suction of 150 and 300 kPa. During the tests and after a preliminary suction equalization stage (in the case of the saturated test after the saturation), the samples were isotropically consolidated at constant suction up to a mean net stress of 100 kPa. A series of cyclic loading at various maximum deviatoric stresses (12, 18, 42, and 81 kPa) were then carried out simultaneously keeping the mean net stress and suction constant. Finally, isotropic compression stages were performed at constant suction and up to a mean net stress high enough to recover a normally consolidated state.

Considering the test results of measuring suction effects on E, G, and D of unsaturated Zenoz kaolin's specimens by constant suction isotropic compression and cyclic loading test, the following conclusions were drawn:

1. The effect of the strain amplitude on Young's modulus, shear modulus, and damping ratio of unsaturated kaolin is qualitatively similar to that of saturated kaolin. An increase in strain amplitude leads to a decrease in E and G and an increase in D.
2. The cyclic properties of the unsaturated specimens were considerably affected by suction. At similar strain level and number of cycle, E and G increase and D decreases by increasing suction.
3. The results suggest that the  $G/G_0$  relations should involve unsaturated soils behavior for equivalent linear ground response analyses.

**Keywords:** Shear modulus, Suction control condition, Cyclic loading, Unsaturated materials

مکش،  $G$  به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. در مسیر خشک‌شدگی به دلیل کاهش حجم و افزایش مکش،  $G$  کاتولینیت زنوز افزایش یافته است. رفتار تنش-کرنش کاتولینیت زنوز در سطوح کرنش متوسط تا بزرگ ( $10^{-2} < \gamma < 10^{-4}$ ) مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور، یکی از دستگاه‌های سه محوری سیکلی موجود در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله-شناسی و مهندسی زلزله به شرایط تجهیزات غیراشباع ارتقا یافته و مورد استفاده قرار گرفته است.

آزمایش‌های سه محوری شامل سه تست (یک تست در شرایط اشباع یا مکش صفر و دو تست دیگر در مکش‌های ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوپاسکال) می‌باشد. حین تستها و پس از مرحله تعادل مکش اولیه (در تست مکش صفر، پس از اشباع)، نمونه‌ها به صورت همسان در مکش ثابت، تا تنش میانگین خالص ۱۰۰ کیلوپاسکال تحکیم شده‌اند. یک سری بارگذاری سیکلی در دامنه‌های تنش انحرافی ۱۲، ۱۸، ۴۲ و ۸۱ کیلوپاسکال، ضمن ثابت نگه داشتن مکش و تنش میانگین خالص، انجام گرفته است. در نهایت نمونه‌ها تا رسیدن به تنش میانگین خالصی که به اندازه کافی برای رسیدن به شرایط تحکیم عادی بزرگ باشد، در مکش ثابت به صورت همسان تحکیم شده‌اند. با در نظر گرفتن نتایج تست‌های تعیین اثرات مکش بر E، G و D نمونه‌های کاتولینیت زنوز غیراشباع در مکش ثابت و بارگذاری سیکلی، نتایج ذیل حاصل شده است:

الف- اثرات دامنه کرنش بر مدول یانگ، مدول برشی و نسبت میرایی کاتولینیت زنوز غیراشباع به طور کیفی مشابه شرایط اشباع است. با افزایش سطح کرنش منجر به کاهش E و G و افزایش D شده است. ب- مشخصات سیکلی نمونه‌های غیراشباع به طور مشخصی از مکش تاثیر پذیرفته است. در سطح کرنش و تعداد سیکل یکسان، با افزایش مکش E و G افزایش و D کاهش یافته است.

ج- نتایج حاصله نشان داده است که به منظور تحلیل معادل خطی پاسخ زمین، لازم است اثرات شرایط غیراشباع بر روابط  $G/G_0$  در نظر گرفته شود.

**واژه‌های کلیدی:** مدول برشی، شرایط کنترل مکش، بارگذاری تناوبی، مصالح ریزدانه غیراشباع

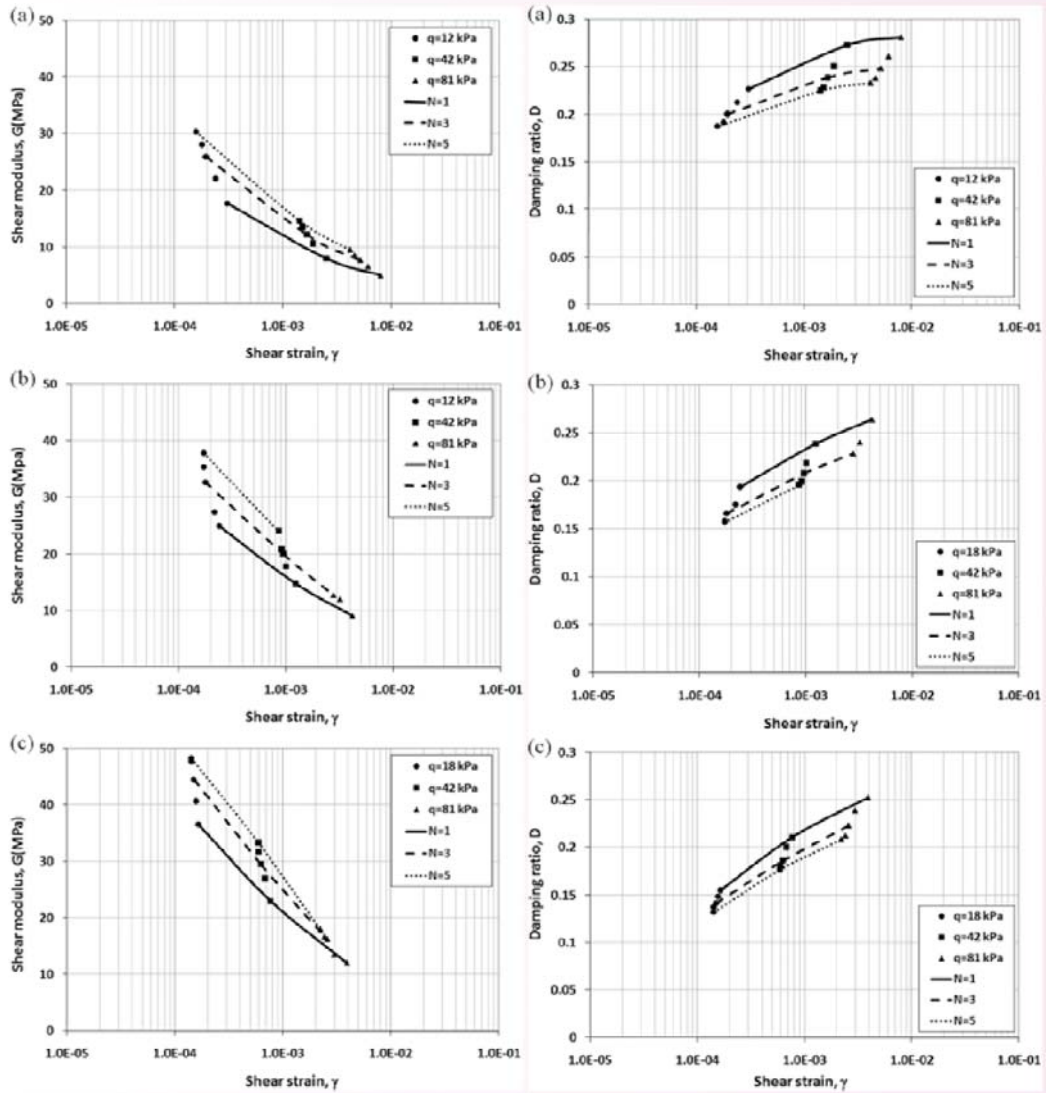




Unsaturated resonant column device of UNINA



Unsaturated triaxial device of IIEES



Variations of shear modulus and damping ratio with shear strain



# Structural Engineering Research Center





## A Study on Nonlinear Behaviour of Piers in Skewed Bridges During Earthquakes

**Afshin Kalantari**

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

**Mohsen Amjadian**

Due to the irregular configuration of special bridges such as “c-bent bridges”, “curved bridges”, and “skewed bridges”, special considerations should be assigned to their analysis and design procedure. Rotation of the deck in skewed bridges during seismic vibrations and colliding deck to the abutments may cause severe damage to the structure.

On the other hand, the torsional moment induced in the piers due to the rotation of the deck, which is combined with shear force, bending moment and axial force, reduces the capacity of the piers as shown in the previous studies. In this research, nonlinear seismic response of the piers in skewed bridges is computed by modeling the structures in OpenSees. Also, variation of stiffness in the structure due to nonlinear response was evaluated. Furthermore, the effect of bilateral loading and direction of excitations was investigated through this study. The results of time history nonlinear analysis indicated the effectiveness of torsional response of the deck on the damage occurred during the earthquake.

In addition, a brief study on the direction of incidence was carried out. The results showed that, although in some cases, the maximum time history response of the piers occurred when TetaSkew angle=00, more further study is required to investigate the skewness effects and input seismic motions with different frequency contents.

**Keywords:** Skewed bridge, Torsional response, Nonlinear analysis, Piers

## بررسی رفتار غیر خطی پایه‌ها در پلهای دارای پایه مورب

افشین کلانتری

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

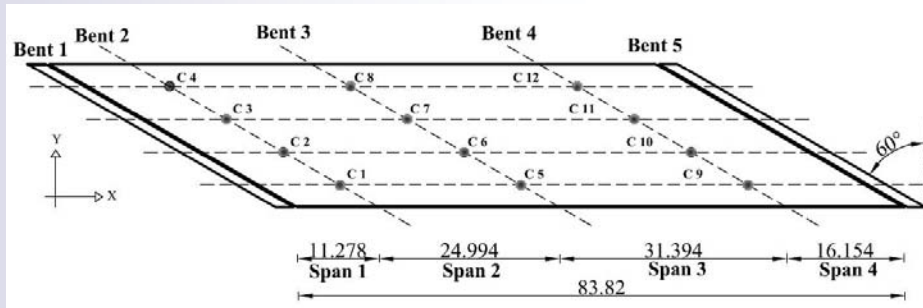
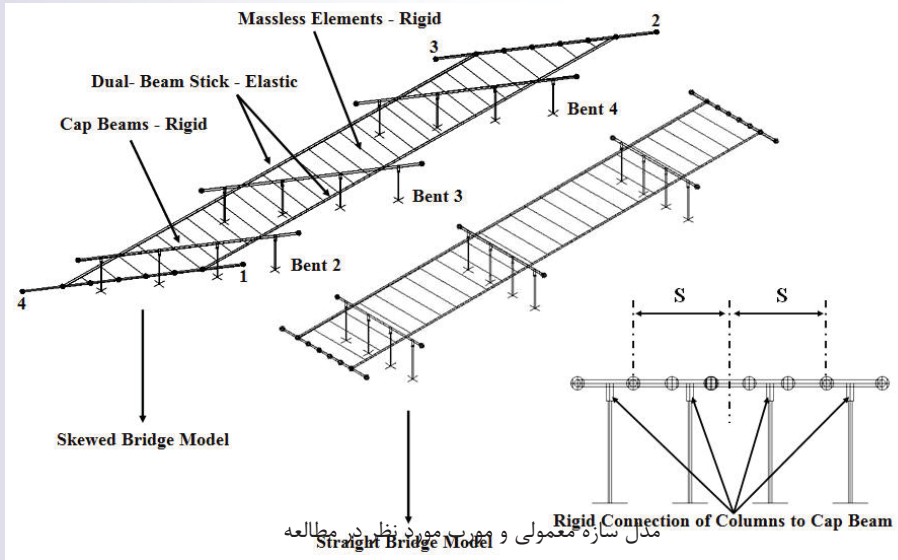
محسن امجدیان

در این مطالعه تحلیل غیر خطی یک پل مورب با هدف شناسایی رفتار دینامیکی آن در زمان زلزله و تحقیق در مورد عوامل خرابی در آن مدنظر است. پلهای مورب به دلیل وضعیت هندسی ویژه رفتار پیچیده‌ای در زمان وقوع زلزله از خود نشان می‌دهند. بروز پاسخ‌های همزمان پیچشی و انتقالی در این سازه‌ها به همراه در دسترس نبودن یا پرهزینه بودن استفاده از نرم‌افزارهای مناسب تحلیل دینامیکی غیر خطی، تعیین عوامل خرابی و نقاط ضعف احتمالی این پلها را با دشواری رو به رو می‌سازد. مشاهده خرابی این پلها در زمین‌لرزه‌های گذشته حاکی از رفتار خاص و متفاوت آنها با پلهای معمولی بوده و از این رو محققین مختلفی در طول چند دهه گذشته رفتار دینامیکی این نوع از پلها را مورد بررسی قرار داده‌اند.

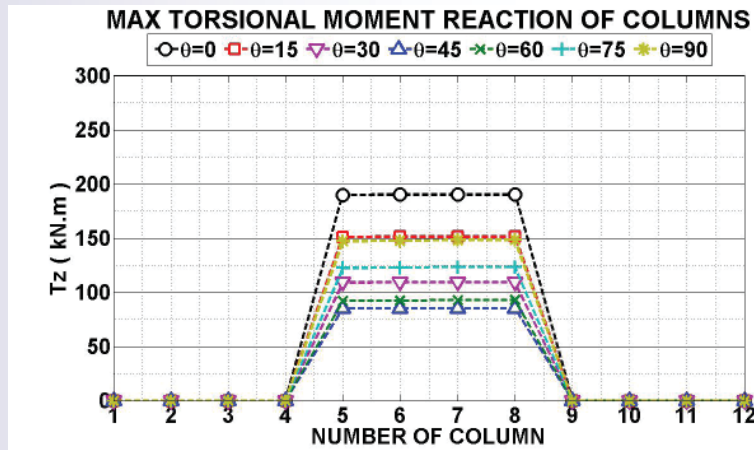
در طی مطالعه و پس از بررسی‌های اولیه، رفتار دینامیکی غیر خطی پل مورب بتن مسلح Foothill با طراحی مدل دینامیکی سه‌بعدی آن در نرم‌افزار المان محدود OpenSees محاسبه و تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی تحت اثر دو مؤلفه طولی و عرضی زمین‌لرزه صورت گرفت. انتخاب این پل در اولین گام از پروژه‌های مرتبط با پلهای مورب وجود پیشینه مطالعاتی و اطلاعات قابل توجه از سازه پل، رفتار آن در زمان زلزله سان فرناندو در سال ۱۹۷۹ و همچنین مطالعات تحلیلی صورت گرفته است که امکان ساخت مدل و صحت‌سنجی نتایج را به وجود خواهد آورد. نتایج بدست آمده برای پل مورب با پل معمولی مورد مقایسه قرار گرفته است. همچنین منحنی‌های تاریخچه زمانی جابه‌جایی گره‌های گوشه عرشه، نیروی محوری و لنگر پیچشی همراه با مقادیر حداکثر نیروی برشی و لنگر خمشی مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است.

نتایج عددی تأثیر قابل توجه تورب پایه‌ها در نحوه پاسخ دینامیکی پل مورب Foothill و کاهش ظرفیت باربری آن بر اثر عمل همزمان پیچش و نیروی محوری بر روی ستونهای بحرانی را نشان می‌دهد. وجود مودهای رفتاری با فرکانس‌های ارتعاشی نسبتاً نزدیک به هم از مشخصه‌های نمونه مورد مطالعه بوده است. در مطالعه، این گونه نتیجه‌گیری شد که پیوند مودهای پل مورب تحلیل شده بیشتر از پل معمولی متناظر با آن بوده است. تغییر مکان جانبی گوشه‌های عرشه که ناشی از پاسخ مود چرخشی در آن است امکان وقوع ضربه در زمان ارتعاش در محل تکیه‌گاه‌ها را به وجود می‌آورد. همچنین مطالعه نشان می‌دهد که بار محوری در کنار پیچش قابل توجه اعمال شده در پایه‌های پل موجب وقوع شکست‌های مشاهده در پایه پس از زلزله شده است.

**واژه‌های کلیدی:** پلهای مورب، پاسخ پیچشی، تحلیل غیر خطی، پایه‌ها



پل مورب مورد مطالعه در پلان



بیشینه لنگر پیچشی واقع در ستونهای پایه پل



## Engineering Infill Panels, Behavior and Adjusting Methods

**Majid Mohammadi**

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

**Vahid Akrami**

An experimental investigation was conducted to study a new type of infills, proposed here, to meet high ductile, engineered infilled frames, with high damping ratio, well-defined failure mode, and stable post-peak behavior. The study focuses on enhancing seismic behavior of infills in both in-plane and out of plane directions. The specimens had Frictional Sliding Fuses (FSF) at their mid-heights. Three 1/3 scale single-storey single-bay engineered infill wall with different FSF regulations were tested by displacement controlled cyclic loading. Results demonstrated that applying FSF improves infill behaviors in both perpendicular directions. The infilled frames of this study had more appropriate hysteresis cycles, higher ductility and much lower deteriorations in strength and stiffness in comparison with regular ones. According to the results, such infills demonstrated high out of plane strength which is true even after the wall was damaged by in-plane loadings.

To study the influence of retrofitting on behavior of engineered infilled frames, one specimen was retrofitted after being failed by in-plane loadings. The retrofitted specimen showed higher ultimate strength and deformation capacity but lower initial stiffness, compared to the original specimen.

Furthermore, the method to adjust the FSF for a definite sliding strength is explained. The influence of some parameters, including duration, corrosion, welding on the constitutive plates, and on the behavior of the FSF, has been investigated as well. It is worth noting that according to the proposal, the main objective of this project is to study the behavior of fused infilled frames and to find methods to adjust them. However, their behavior in out of plane direction is also studied as well as the behavior of the retrofitted specimen, repaired by grout.

Based on the results of this study, infills with the proposed configuration can be regarded as an engineered element.

**Keywords:** Engineered infill, Frictional sliding fuse, Stiffness, Strength, Damping, Ductility, Out of plane strength.

## بررسی رفتار و راههای تنظیم میانقاب مهندسی

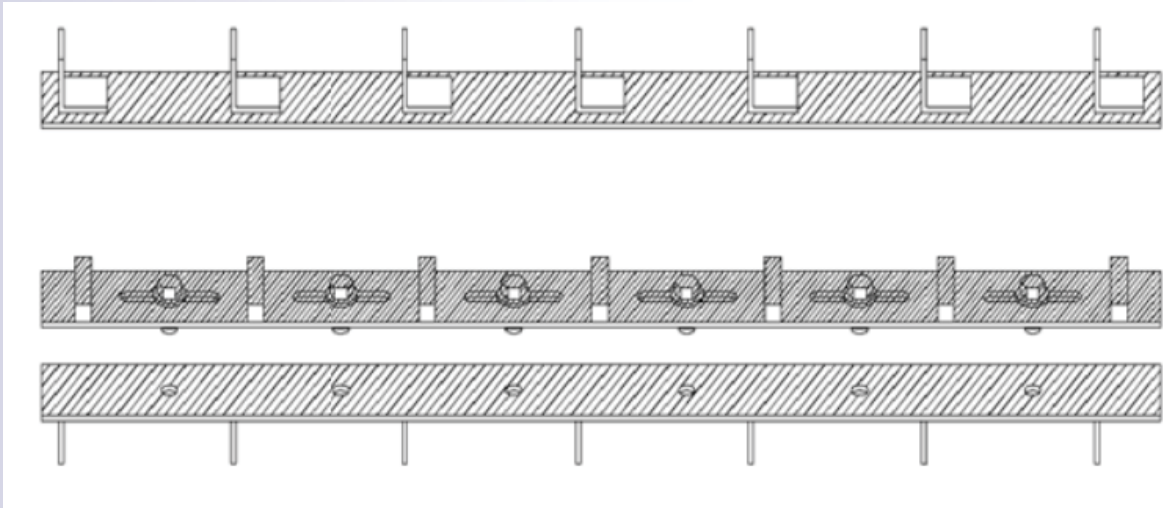
مجید محمدی

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

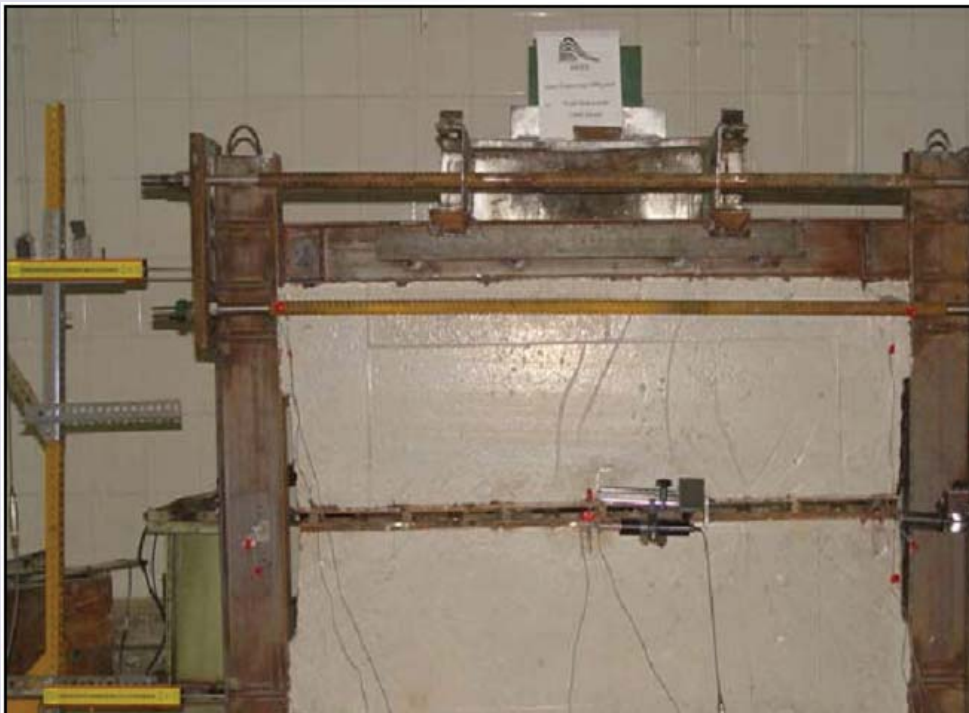
وحید اکرمی

این تحقیق شامل مطالعات تجربی و تحلیلی برای دستیابی به یک میانقاب مهندسی با شکل پذیری زیاد، ضریب میرایی قابل توجه، مدهای خرابی مشخص و رفتار پایدار پس از شکست در دو جهت موازی صفحه و عمود بر آن انجام پذیرفته است. اگر چه هدف از این تحقیق، تنها بررسی رفتار میانقاب مهندسی و راههای تنظیم آن است، لیکن برای غنای بیشتر، رفتار این نوع میانقاب در جهت عرضی، رفتار نمونه تعمیر شده، برخی عوامل مؤثر بر فیوز نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. در این راستا، سه نمونه میانقاب مهندسی تک دهانه یک طبقه در مقیاس ۱:۳ مورد آزمایش قرار گرفت که در ارتفاع میانی آنها فیوز لغزان اصطکاکی برای مقاومتهای لغزشی متفاوت تنظیم شده بود. این نمونه‌ها با بارگذاری کنترل تغییر مکان آزمایش شدند. نتایج نشان داد که بکارگیری فیوز لغزان اصطکاکی، در رفتار هر دو جهت میانقاب، بهبود قابل توجهی ایجاد می‌کند. میانقاب پیشنهادی در مقایسه با میانقاب معمولی، حلقه‌های پسماند مناسب‌تر، میرایی، شکل پذیری و مقاومت عرضی بیشتر، مقدار کاهش سختی و مقاومت به مراتب کمتر است. این نوع دیوارها، حتی پس از خرابی ناشی از نیروهای موازی صفحه، باز پایداری خود را در جهت متعامد حفظ می‌کند. برای بررسی رفتار نمونه تعمیر شده، یکی از نمونه‌هایی که قبلاً در بارگذاری موازی صفحه به حد تخریب رسیده بود با گروت تعمیر و بارگذاری شد که این نمونه در مقایسه با نمونه اصلی، مقاومت و شکل پذیری بیشتر و سختی کمتری داشت. روش تنظیم فیوز نیز با آزمایش‌های متعددی بررسی و اثر برخی عوامل مؤثر مانند گذر زمان، خوردگی و جوشکاری بر روی صفحات تشکیل دهنده آن مطالعه شد. بر اساس نتایج می‌توان میانقاب پیشنهادی را یک عضو مهندسی تلقی نمود.

**واژه‌های کلیدی:** میانقاب مهندسی، فیوز اصطکاکی لغزشی، سختی، مقاومت، میرایی، شکل پذیری، مقاومت خارج از صفحه



The sliding fuse, applied at the mid-height of the engineered infill panel



An engineered infilled frame with the sliding fuse

## Study of Box- Column Connection Using Side Plates

**Fariborz Nateghi Elahi**

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

**Zahrasadat Tabatabaie**

## بررسی اتصالات اشکل به ستون قوطی با استفاده از صفحات کناری در سازه‌های فولادی قاب خمشی

فریبرز ناطقی الهی

استاد پژوهشکده مهندسی سازه nateghi@iiees.ac.ir

زهرا السادات طباطبایی

In ordinary rigid connections in steel structures, usually the most concentrated stresses occur in and around the panel zone; place where the beam to connection is located. Since this area usually carries a lot of welds, it therefore becomes the most problematic location during earthquakes. Usually cracks start around these welds and connecting holes. To this point, Northridge earthquake showed many problems with these connections.

This report looks into the earthquake behavior of end plated connection to the boxed columns which can be easily used in Iranian steel frames. One of the most important benefits of this connection is the fact that this connection does not require horizontal continuity plates which in turn makes construction cost cheaper and also easier to construct.

For this matter, 20 analytical models were constructed and studied based on pushover analysis. Results indicate great improvements in comparison to the ordinary steel connections. In this report, modeling, loading and results are presented and also a complete detailed design for this connection is provided.

**Keywords:** Rigid connection, Earthquake behavior, Slide-plated connection, Pushover analysis

در اتصالات صلب متعارف، بیشترین تنشها در محل اتصال تیر به ستون رخ می‌دهد. این نقطه ضعیف‌ترین قسمت مجموعه می‌باشد و در نتیجه تنش‌ها به طور موضعی در این قسمت تشدید می‌شوند. وجود معایب جوش از جمله عدم پیوستگی‌های جدی و وجود تفاله می‌تواند باعث آغاز ترک در این ناحیه و شکست‌های ترد شود. همچنین لازم به ذکر است که وجود سوراخ‌های دسترسی در اتصالات متعارف جهت اجرای جوش‌ها باعث تشدید مسأله فوق می‌شود. مشاهدات زلزله نورتریج حاکی از آسیب‌پذیری بسیار شدیدی در این نوع اتصالات است.

این گزارش مطالعه‌ای بر روی اتصالات خمشی با استفاده از ورق کناری به ستون قوطی که مورد استفاده زیادی در کاربردهای سازه‌ای در داخل کشور وجود دارد، را برای استفاده در قاب‌های خمشی فولادی ارائه می‌دهد. یکی از مهمترین مزیت‌های این اتصال عدم نیاز به ورق‌های پیوستگی افقی در داخل ستون قوطی است. این موضوع باعث صرفه‌جویی زیادی در هزینه‌های اجرائی اتصالات خمشی می‌شود. برای دسترسی به رفتار این نوع اتصال از تحلیل اجزای محدود ۲۰ مدل مدد گرفته شده است. روش تحلیل بر مبنای تحلیل استاتیکی غیرخطی تحت اثر بارهای افزایش‌یابنده قرار دارد. نتایج تحلیل نشان‌دهنده تشکیل مفصل پلاستیک در تیر و در فاصله‌ای دور از بر ستون که یکی از شروط اساسی در فلسفه طراحی لرزه‌ای است، می‌باشد. منحنی‌های هیستریزیس لنگر- دوران استخراج شده از نتایج تحلیل نشان‌دهنده رفتار قابل قبول لرزه‌ای برای این اتصال پیشنهادی می‌باشد. این اتصال کاملاً مقاوم است و قابلیت استفاده در قاب‌های خمشی ویژه را دارا می‌باشد. در این گزارش مزایای برجسته‌ای از این اتصال بیان شده است. علاوه بر آن ضوابط طراحی لرزه‌ای این اتصال به طور کامل شرح داده شده است.

**واژه‌های کلیدی:** سازه‌های فولادی، اتصالات، قاب خمشی، ستون قوطی



## Analytical Study on Seismic Behavior of Multi-span Concrete Bridges with Link Slabs

**Akbar Vasseghi**

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

Simply supported beam-slab bridges are frequently constructed in Iran. At each end of simply span a joint is usually provided for deck movement due to temperature, shrinkage, and creep. Bridge deck joints are expensive and pose many problems with regard to bridge maintenance. Elimination of deck joints at support of multi-span bridges has been the subject of recent studies. Recent research has led to the development of a design concept and design approach for jointless bridges, where the locations for expansion joints are replaced with continuous link slabs. Further studies have indicated proper performance of such bridges under service loading conditions. However, seismic behavior of these bridges has not been fully studied. This paper presents the results of study on seismic behavior and response of long multi-span concrete bridges connected by link slabs.

**Keywords:** Bridge, Structure, Concrete, Earthquake, Link slab

## مطالعات تحلیلی بر رفتار لرزه‌ای پلهای بتنی چند دهانه با سیستم دال پیوند

اکبر واثقی

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه [vasseghi@iiees.ac.ir](mailto:vasseghi@iiees.ac.ir)

پلهای تیر و دال چند دهانه با تکیه‌گاه‌های ساده از متداول‌ترین پلهای بزرگراه‌های کشور می‌باشند. در این پلها معمولاً درزهای انبساط در پایه‌های میانی و کوله‌ها به منظور تأمین حرکت طولی ناشی از تغییرات دما تعبیه می‌گردد. در هنگام بهره‌برداری از پل، وجود درزهای انبساط باعث مشکلات فراوانی از قبیل پرشدن فاصله درز، اختلاف تراز دو طرف درز و خسارت جدی به پایه‌های میانی به واسطه نشست آبهای سطحی از میان درز و در نتیجه خوردگی آرماتورها می‌شوند. این خسارات در بسیاری از پلهای چند دهانه کشور به دلیل تعمیر و نگهداری نامناسب بسیار شدید می‌باشد. در سالهای اخیر به منظور کاهش مشکلات ناشی از وجود درز انبساط از سیستم جدیدی بنام دال پیوند استفاده می‌شود که در آن تیرهای تابلیه دو سر ساده محاسبه و اجرا می‌گردند ولی دال عرشه در محل پایه‌های میانی به صورت یکسره اجرا می‌شود. مطالعات فراوانی در رابطه با رفتار این سیستم تحت بارهای بهره‌برداری انجام شده است ولی تحقیقات در رابطه با رفتار لرزه‌ای این سیستم محدود به پل‌های دو دهانه می‌باشد. در این تحقیق، رفتار لرزه‌ای پلهای طویل و چند دهانه مورد مطالعه قرار می‌گیرد و تغییرات رفتار لرزه‌ای در اثر کاهش، حذف و یا تغییر چیدمان درزهای انبساط بررسی می‌گردد.

فصل اول این گزارش به تشریح عوامل ایجاد درز انبساط در پلها می‌پردازد و در فصل دوم انواع درز انبساط رایج در ایران و مشکلات حاصل از وجود آنها در پلها بررسی می‌گردد. در فصل سوم استفاده از دال پیوند جهت حذف و یا کاهش درز انبساط در پلها به همراه روش‌های متداول دیگر ارائه می‌گردد. در فصل چهارم روش طراحی و نتایج تحقیقات قبلی در ارتباط با رفتار لرزه‌ای پلها با دال پیوند تشریح می‌گردد. مشخصات فنی پلهای مورد مطالعه و مدلسازی آنها در فصل پنجم و نتایج تحلیل‌ها در فصل ششم ارائه می‌گردد. در فصل هفتم نیز نتیجه‌گیری کلی حاصل از کار و پیشنهادات ادامه کار ارائه می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** پل، سازه، بتن، زلزله، دال پیوند

## Performance of Concrete Buildings in Bam Earthquake

**Abdolreza Sarvghad Moghadam**

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

**Armin Azimnejad**

This report consists of two main parts: In the first section, some general information on concrete, concrete structural systems and their code related provisions are presented. Also, in this part, the performance of reinforced concrete buildings in some important earthquakes, as well as the reasons for their poor performances including design and construction errors are studied. In the second section of this report, the performance of reinforced concrete buildings in Bam earthquake is studied and the reasons for different damages that these buildings have experienced, are discussed.

**Keywords:** Reinforced concrete, Bam earthquake, Seismic performance of buildings, design errors, construction errors

## بررسی کیفی عملکرد ساختمانهای بتنی در زلزله بم

عبدالرضا سروقد مقدم

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه moghadam@iiees.ac.ir

آرمین عظیمی نژاد

گزارش حاضر مشتمل بر دو بخش اصلی می باشد. بخش اول شامل اطلاعات کلی درباره سازه های بتنی و روال های طراحی متداول این نوع ساختمانها می باشد. در این بخش رفتار سازه های بتن مسلح در زلزله های مشهور و عوامل مؤثر طراحی و اجرایی که منجر به عملکرد نامناسب آنها می گردد، مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش دوم گزارش به طور خاص به بررسی عملکرد سازه های بتنی در جریان زلزله بم پرداخته شده است و عوامل مؤثر که سبب عملکرد ضعیف آنها شده مورد مطالعه قرار گرفته است.

**واژه های کلیدی:** سازه های بتن مسلح، زلزله بم، عملکرد ساختمانها، اشکالات محاسباتی، اشکالات اجرایی

## Effect of High Performance Martial Filled in Accordion Metallic Dampers

**Fariborz Nateghi Elahi**

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

**Esmail Izadi**

## مطالعه تأثیر مواد پرکننده بر عملکرد میراگر فلزی آکاردئونی

فریبرز ناطقی‌الهی

استاد پژوهشکده مهندسی سازه nateghi@iiees.ac.ir

اسماعیل ایزدی

During the last decades, many researchers have been concerned about the supplemental passive energy absorption devices especially hysteretic metallic dampers and different types of them with various capacities and potentials. The idea of buckling of thin-walled tubes and the use of this property has lead to the development of an accordion metallic damper (AMD). This damper utilizes the capability of accordion thin-walled tube for excitation of axisymmetric concertina buckling mode as a damping mechanism, while increasing the amount of the energy absorption.

In this research, filled accordion metallic dampers (FAMD) were suggested and the behavior of AMD's and FAMD's under axial cyclic loading were investigated and compared analytically and experimentally. For this purpose, firstly, analytical studies based on finite element method and nonlinear dynamic analysis was performed on FAMD's for the determination of the approximate preliminary specifications of the different polymers for the potential use. After specifying the preliminary material properties, 12 specimens include 10 FAMD's filled by polymeric foam and 2 corresponding AMD's were subjected to dynamic tension and compression actuator and the effect of filling AMD's by this polymeric foam on some of the important specification of damper, were studied. It was tried to use this method for improving and developing the AMD's. Based on the results obtained, using the appropriate filling inside the AMD's is a suitable technique for the purpose of increasing some of the important specifications, such as the number of cycle before failure, amount of dissipated energy, and plastic capacity. In low capacity specimens, filling the specimens is efficient to increase some characteristic of damper such as amount of dissipated energy and also plastic capacity in tension and compression as far as the amount of dissipated energy and plastic capacity of system in tension increased about 100% and its plastic capacity increased between 2 until 6 times based on the amplitude of loading. While in high capacity specimens, filling is an efficient method to increase the strength of AMD's against low cycle fatigue.

Separation between filler foams and accordion thin-walled tubes, due to the stress concentration and generation

در طول چند دهه اخیر تحقیقات بسیاری مرتبط با قطعات مستهلک کننده انرژی خصوصاً میراگرهای فلزی هیستریسیس صورت گرفته و نمونه‌های متنوع از آن با قابلیت‌های مختلف توسعه یافته است. ایده استفاده از کماتش سیستم‌های جدار نازک لوله‌ای در سالیان اخیر نظر محققان را به خود جلب نموده و منجر به توسعه میراگر فلزی آکاردئونی گردیده است.

در این تحقیق، میراگر فلزی آکاردئونی پر شده با فوم پلیمریک با الگوهای هندسی و پارامترهای پرشوندگی مختلف پیشنهاد و به کمک مدل‌سازی تحلیلی بوسیله نرم‌افزار اجزاء محدود Abaqus و همچنین انجام تست آزمایشگاهی روی میراگر فلزی آکاردئونی در دو حالت توخالی و پر شده، رفتار میراگر تحت بارگذاری محوری چرخه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور، ابتدا به کمک مطالعات تحلیلی مقدماتی اجزاء محدود، مشخصات تقریبی پلیمر پرکننده مؤثر تعیین و سپس تعداد ۱۲ نمونه آزمایشگاهی شامل ۱۰ نمونه پر شده با فوم و همچنین ۲ نمونه توخالی متناظر در دو فاز تست‌های مقدماتی و اصلی، با استفاده از جک هیدرولیکی کشش و فشار مورد آزمایش قرار گرفته است. در ادامه تأثیرات پرشوندگی میراگر بوسیله این فوم پلیمری بر شاخصه‌های مهم میراگر مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد استفاده از ماده پرکننده متناسب به لحاظ نوع، الگوی هندسی پرشوندگی و همچنین مقدار سختی از مود کماتشی مخرب الماسی و همچنین تمرکز تغییر شکل در حلقه‌های آکاردئونی جلوگیری نموده و بدین ترتیب شاخصه‌های مهم میراگر همچون میزان جذب انرژی، ظرفیت پلاستیک کشش و فشار و بالآخره مقاومت خستگی کم چرخه میراگر را بهبود می‌بخشد. در نمونه با ظرفیت باربری کمتر (نمونه با ضخامت ۰/۶ میلیمتر) پرکنندگی میراگر عمدتاً بر میزان جذب انرژی میراگر و همچنین ظرفیت پلاستیک کشش و فشار آن تأثیرگذار بوده است به نحوی که میزان جذب انرژی و همچنین ظرفیت پلاستیک میراگر در کشش در حدود ۱۰۰٪ در تمامی دامنه‌های تغییر شکلی افزایش نشان می‌دهد ضمن اینکه ظرفیت پلاستیک میراگر در فشار بین ۲ تا ۶ برابر بسته به دامنه تغییر شکل محوری افزایش یافته است. اما در نمونه‌های با ظرفیت باربری بالاتر (نمونه‌های با ضخامت جداره ۲ میلیمتر) پرکنندگی میراگر عمدتاً بر مقاومت خستگی کم چرخه میراگر تأثیرگذار بوده است به نحوی که در بهترین حالت عملکردی در نمونه تمام پر تعداد سیکل‌های تحمل شده نسبت به نمونه توخالی از ۲۲ سیکل به ۲۸ سیکل افزایش یافته است. جدایش فوم از جداره آکاردئونی به دلیل ایجاد تمرکز تنش و همچنین ایجاد نیروهای تماسی که منجر به بروز مود کماتش الماسی در لوله‌های آکاردئونی می‌گردد، یک عامل تعیین‌کننده در شکست میراگر می‌باشد و البته احتمال جدایش فوم از جداره آکاردئونی برای نمونه‌های تمام پر کمتر



of contact force was an important parameter of failure in FAMD's. Of course this separation occurs less for full fill FAMD's. Interaction effects between thin-walled tubes and filler foams played an important role specially in increasing the amount of dissipated energy and the plastic capacity of dampers.

**Keywords:** Experimental study, Filled accordion metallic damper, Finite element, Foam

می‌باشد. آثار اندرکنش بین فوم و جداره آکاردئونی در افزایش میزان جذب انرژی، افزایش ظرفیت پلاستیک سیستم خصوصاً برای نمونه‌های جدار نازک آکاردئونی با ظرفیت باربری پایین، چشمگیر می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** مطالعه آزمایشگاهی، میراگر فلزی آکاردئونی پر شده، المان محدود، فوم

## Time Integration with Step-sizes Less Depending on the Steps of Excitation: I. SDOF Systems

Aram Soroushian

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

Concentrating on single-degree-of-freedom systems subjected to digitized excitations, the research reported here introduces a method for arriving at the capability of time integration with steps larger than the steps of excitation. In view of some simplifying assumptions, the objective is materialized, without additional errors. The computational costs are reduced, specifically when the steps of excitation are much smaller than the basic restrictions because of numerical stability, accuracy, etc. The claims made are validated via several numerical examples. Meanwhile, considering single step integration as an assumption, a starting procedure to be implemented in analyses with integration methods having multi-step schemes, is also proposed.

**Keywords:** Dynamic behavior, Structural analysis, SDOF systems, Step-by-step integration, Accuracy, Computational cost

## انتگرال گیری گام به گام با وابستگی کمتر به گام زمانی اعمال تحریک خارجی برای سیستم‌های یک درجه آزاد

آرام سروشیان

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

تحلیل تاریخچه زمانی با استفاده از روش انتگرال گیری گام به گام از کارآمدترین ابزار شناخت رفتار لرزهای است. به عنوان روشی تقریبی، مهمترین مباحث در انتگرال گیری گام به گام، دقت و هزینه محاسباتی است، که هر دو، به اندازه گام زمانی انتگرال گیری بستگی دارند. در این طرح پژوهشی، با توجه به حالت خاص، ولی کاربردی در مهندسی زلزله، تحلیل سیستم‌های سازه‌ای تحت تأثیر تحریک‌های خارجی ثبت شده در لحظات مجزا، روشی برای کاهش هزینه محاسباتی، با دقت لازم پیشنهاد شده است. ایده اصلی، ترکیب تحلیلی محاسبات چندین گام، در یک گام، و بزرگتر کردن اندازه گام انتگرال گیری تا حدی است که از نظر عوامل، مستقل از تحریک خارجی مجاز باشد. بر اساس این ایده، روابط و روندی محاسباتی تنظیم شده است. با توجه به فرضیات به کار گرفته شده و نیازهای احتمالی روند محاسباتی پیشنهاد شده، روند دیگری نیز برای رفع نواقص احتمالی اطلاعات معادله حرکت در لحظه آغازین رفتار دینامیکی تنظیم شده است. حل چندین مثال عددی، مؤید دستیابی نسبی به هدف اصلی طرح (کاهش هزینه محاسباتی) است. با توجه به عرف تحقیقات دینامیک سازه، بررسی انجام شده مختص سیستم‌های سازه‌ای یک درجه آزاد است.

**واژه‌های کلیدی:** رفتار دینامیکی، تحلیل سازه، سیستم‌های یک درجه آزاد، انتگرال گیری گام به گام، دقت، هزینه محاسباتی

## A Study on the Possibility of Using Orthogonal Cylindrical Rollers for Seismic Isolation of Buildings

**Mahmood Hosseini**

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

**Amir Hossein Soroor, Mohammad Ghassem Vetr**

Using seismic isolators is a new method for earthquake resistant construction with the philosophy of reducing the earthquake input energy, which in recent years has made the construction authorities to think about using more efficient systems in order to minimize the life and economic losses of earthquakes. In this report, a somehow new isolating device for short- to mid-rise buildings is introduced and studied, which does not need high technology for manufacturing, and is not costly contrary to other existing devices like lead-rubber bearing, or friction pendulum bearing systems. The device is consisted of two sets of Orthogonal Pair of Rods on Concave Beds (OPRCB) and an interface plate between orthogonal rollers. Rolling rods installed in two orthogonal directions make the movement of the superstructure possible in all horizontal directions. The concave beds, in addition to giving the system both restoring and re-centering capabilities, make the stiffness of the isolators to be of hardening type, which is useful for controlling the maximum lateral displacement and absolute acceleration of the isolated building.

The results of numerical investigations on the OPRCB devices, presented in part (I), included the lateral load-displacement relationship of the rollers pair under various vertical loads, obtained by a finite element analysis program (by ABAQUS Software) and was verified by experimental results. The experimental results are related to tests conducted using two actuators in horizontal and vertical directions for obtaining the lateral load-displacement relationship of the prototype devices of the proposed isolating system under vertical loads up to 70.0 to nf. In addition to verification of numerical results by the tests' results, the von mises stresses have been calculated by the finite element model of the prototype sample to check that yielding does not occur in any part of the isolation system. The analytical studies include the derivation of equation of motion governing the vibration of SDOF system installed on a set of the OPRCB device using Lagrange equation in the state of large displacements. This derivation required deliberate mathematical elaborations due to the difference between the motion of the rollers and

## بررسی امکان بکارگیری غلتک‌های استوانه‌ای متعامد جهت جداسازی لرزه‌ای ساختمانها

سید محمود حسینی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه hosseini@iiees.ac.ir

امیر حسین سرور، محمد قاسم وتر

استفاده از جداسازهای لرزه‌ای روشی نوین در ساخت سازه‌های مقاوم در برابر زلزله با فلسفه کاهش انرژی ورودی زلزله می‌باشد که در سال‌های اخیر دست‌اندرکاران امر ساختمان را به فکر واداشته که با ارائه سیستم‌های کارا و مؤثر بتوانند تلفات جانی و مالی حاصل از زلزله را به حداقل برسانند. در راستای این هدف در این گزارش با تحلیل‌های نظری، محاسبات عددی و مدلسازی آزمایشگاهی به بررسی یک نوع از جداسازهای غلتشی مرکب از زوج غلتک‌های متعامد بر بستر کاو با قوس دایره‌ای شکل (Orthogonal Pairs of Rods on Concave Beds (OPRCB)) پرداخته شده است. ابتدا رفتار نیرو-جابجایی این سیستم در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله تحت اثر بار قائم ثابت با مقادیر متفاوت تا ۷۰ تن مورد آزمایش قرار گرفته و منحنی‌های رفتاری آن بدست آمده است. نتایج آزمایشگاهی، نظری و عددی (به کمک روش اجزاء محدود با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS) تطبیق مناسب بین آنها را نشان می‌دهد، سپس حداکثر بار قابل تحمل توسط غلتک‌ها بدست آمده است. پس از ارائه فرمول‌های تحلیلی، با توجه به فقدان مدل‌های غیرخطی سخت‌شونده در نرم‌افزارهای تجاری موجود، اقدام به نوشتن برنامه‌ای در محیط MATLAB گردیده که با استفاده از روش عددی رونگه-کوتا (Runge-Kutta) معادلات دینامیکی حاکم بر سیستم جداسازی شده را حل می‌نماید.

با توجه به تأثیر تغییرات نسبتاً قابل توجه بار قائم در رفتار جانبی غلتک‌ها، با استفاده از نرم‌افزار SAP به کمک مدل دو خطی Wen (که نزدیکترین مدل به رفتار واقعی جداسازها می‌باشد) میزان تغییرات نیروی محوری ستونهای یک ساختمان چهارده طبقه جداسازی شده با عرض پانزده متر بررسی گردیده است. نتیجه روشنگر آن بود که به واسطه وجود جداسازها، این تغییرات نیروی محوری ناچیز می‌باشد و در نتیجه بر روی رفتار جداسازها تأثیر بسزایی نمی‌گذارند.

پس از حصول اطمینان از صحت عملکرد برنامه نوشته شده در محیط MATLAB با راستی سنجی‌های مختلف، چند ساختمان برشی با اسکلت فلزی منظم از ۳ تا ۱۴ طبقه در نظر گرفته شده است، سپس این ساختمانهای منتخب، تحت اثر توأم مؤلفه‌های افقی و قائم (مجموعه‌ای متشکل از زلزله‌های منتخب) یک بار در حالت جداسازی شده و یک بار در حالت جداسازی نشده با کمک برنامه نوشته شده در محیط MATLAB، مورد تحلیل تاریخچه زمانی قرار گرفته و نتایج حاصله مقایسه شده‌اند. زلزله‌های منتخب به سه دسته با حوزه فرکانسی پایین، متوسط و کوتاه تقسیم شده‌اند. همچنین توجه ویژه‌ای به زلزله‌های دارای یک تک موج با دامنه قابل توجه (عموماً زلزله‌های حوزه نزدیک) که معمولاً جداسازها



the mass above them and also because of the existence of rolling resistance.

Some of fine points discussed in the project have not been addressed in the published works so far. Based on the numerical calculations, performed by using a computer program developed in MATLAB environment, for solving the nonlinear governing equation of motion by fourth order Runge-Kutta method, it is observed that the oscillation period of the isolated SDOF system is independent of its mass and the amplitude of its free vibration response and the value of rolling resistance coefficient. Rolling resistance has an effect similar to damping. Results of the Time History Analysis (THA) showed that the amount of absolute accelerations in the isolated SDOF systems can be reduced drastically in comparison with the fixed-base systems. Results also revealed that if the rollers and cylindrical beds are made of high-strength steel materials (for example, MO40 alloy), the system can be used effectively under the vertical loads of about the axial forces of columns in ordinary buildings having up to 14 stories.

**Keywords:** Elastomeric bearings, Base isolation, Viscous dashpots



a



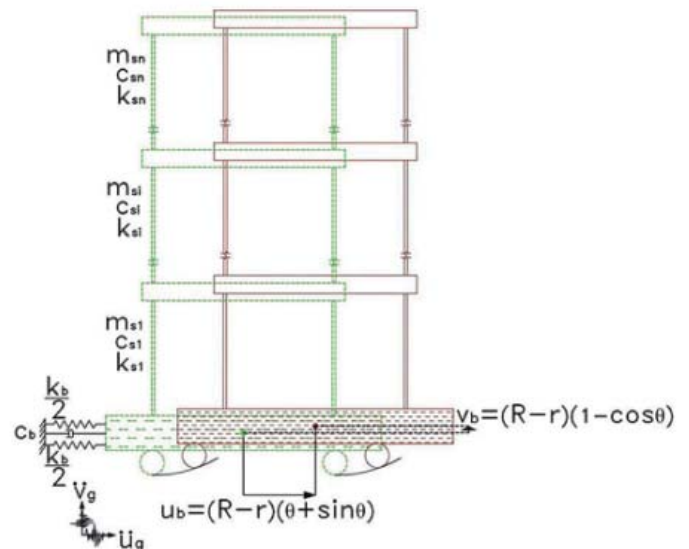
b

The prototype sample of the OPRCB isolator. (a) The set of the prototype OPRCB. (b) One pair of rolling rods on their concave beds

را دچار مشکل می‌نمایند، شده است که آیا جداساز مطالعه شده در برابر این‌گونه زلزله‌ها به نحو مطلوب عمل می‌کند یا خیر. تمامی زلزله‌ها با حداکثر شتاب زمین به سه مقدار ۰،۱۵ و ۰،۳۵ و ۰،۷ برابر شتاب ثقل مقیاس شده‌اند. از موارد مطالعه شده در رفتار جداساز پیشنهادی می‌توان به بررسی لهیده نشدن غلتک‌ها تحت بار قائم، معادله حرکت، رابطه بین پیروید سیستم با شعاع غلتک‌ها و انحناء بسترشان، مقاومت غلتشی و سختی جانبی مؤثر سیستم و تأثیر بار قائم در آن اشاره نمود، که هر یک به صورت جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

برنامه نوشته شده در محیط MATLAB ابزاری مناسب جهت بررسی و طراحی ساختمانهای جداسازی شده با استفاده از غلتک‌های متعامد می‌باشد. به کمک این نرم‌افزار با در نظر گرفتن تعداد طبقات ساختمان و مقادیر مطلوب جابه‌جایی و شتاب مطلق طبقات می‌توان با انتخاب مقادیر مناسب برای شعاع بستر، شعاع غلتک و همچنین ضریب اصطکاک مقاومت غلتشی به یک طراحی بهینه دست یافت. نتایج تحلیل‌ها حاکی از کارایی مطلوب سیستم مطالعه شده در طراحی ساختمانهای منظم با ارتفاع کوتاه تا متوسط نسبت به ساختمانهای مشابه که فاقد این سیستم هستند، می‌باشد به نحوی که از هر دو جنبه اقتصادی و ایمنی طراحی، می‌توان به نتایج مطلوبتری دست یافت.

**واژه‌های کلیدی:** جداسازی پایه، جداسازهای الاستومری، جداگر هیدرولیکی، میراگرهای ویسکوز، میراگر غیرخطی کنترلی



Schematic planar model of multi-story shear-type building on OPRCB isolators

## Identification of Basic Features of Structural Systems Using Enhanced Huang Transformation

Omid Bahar

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

Soheil Ramezani

The Hilbert-Huang transform (HHT) was introduced by Huang in 1998 as a powerful adaptive signal processing method for analyzing non-stationary and nonlinear signals. The HHT consists of two main parts; the empirical mode decomposition (EMD) for obtaining intrinsic mode functions (IMFs), and the Hilbert spectral analysis for analyzing the IMFs. The latter part itself needs two requirements which allow the Hilbert Transform of the IMFs to be formed. In many applications, these two requirements are not met.

In order to improve the HHT performance, considerable researches have been done. However, most of them have focused on EMD and less work has been carried out on the Hilbert transform part. In this research, a five-step procedure is proposed instead of the Hilbert spectral analysis. To verify the new method, named the Enhanced Hilbert-Huang Transform (EHHT), six numerical cases are analyzed. Results show that EHHT offers more benefits in frequency resolution and tracking ability than HHT. Also, EHHT is more capable of extracting non-stationary and nonlinear features of signals than HHT.

Additionally, based on the EHHT method a new identification procedure for extracting dynamic characteristics of structures is proposed. Using this method, two different structural systems are examined; an arch bridge (Beichuan) and a 15-story building (Factor). For the 1<sup>st</sup> case, a set of ambient vibration data and for the 2<sup>nd</sup> case two sets of ambient and earthquake (Parkfield) vibration data are analyzed. For each case, a few natural frequencies and mode shapes of early modes of the structures are clearly identified. In both cases, results of the proposed procedure are in agreement with other identification methods (PP and SSI methods).

**Keywords:** Enhanced Hilbert-Huang transform (EHHT), Hilbert-Huang transform (HHT), Non-Stationary and nonlinear signals, System identification, Beichuan bridge

## شناسایی خصوصیات بنیادین سیستم‌های سازه‌ای با استفاده از تبدیل ارتقاء یافته هیلبرت - هوانگ

امید بهار

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه omidbahar@iiees.ac.ir

سهیل رمانی

روش تبدیل هیلبرت- هوانگ (Hilbert-Huang Transform) در سال ۱۹۹۸ توسط نوردن هوانگ به عنوان یک روش قوی و سازگاری پذیر برای پردازش سیگنال‌های نامانا و غیرخطی پیشنهاد شد. روش هیلبرت- هوانگ شامل دو بخش اصلی تفکیک تجربی مدی (Empirical Mode Decomposition) برای دستیابی به توابع مدی ذاتی (Intrinsic Mode Function) و تحلیل طیفی هیلبرت (Hilbert Spectral Analysis) برای تحلیل توابع مدی ذاتی است. برای استفاده از تحلیل طیفی هیلبرت، توابع مدی ذاتی باید دارای دو شرط باشند، که در اکثر موارد این شرایط وجود ندارند. به منظور بهبود روش HHT تحقیقات بسیاری انجام شده است؛ اما اکثریت آنها بر روی قسمت EMD متمرکز بوده‌اند.

هدف این پژوهش، ارائه روشی پایدار و منسجم برای جایگزینی قسمت HSA، به منظور حل مشکلات موجود در روش کلاسیک HHT و دستیابی به پاسخ‌هایی با قابلیت اعتماد بیشتر است. برای این منظور، یک رهیافت پنج مرحله‌ای پیشنهاد و برای اطمینان از صحت پاسخ‌های روش مذکور که روش ارتقاء یافته هیلبرت- هوانگ (Enhanced Hilbert- Huang Transform) نامیده شده، شش حالت مختلف تحلیل شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، از دیدگاه وضوح فرکانسی و توانایی در تشخیص رفتار سیستم، روش جدید EHHT نسبت به HHT توانایی بیشتر و در شناسایی خصوصیات نامانا و غیرخطی سیگنال‌ها در مقایسه با HHT توانمندی بیشتری دارد. علاوه بر این، براساس EHHT، یک روش جدید شناسایی سیستم برای استخراج پارامترهای دینامیکی سازه‌ها برای دو سیستم سازه‌ای کاملاً متفاوت (پل قوسی بی‌چوآن با استفاده از داده‌های ارتعاش محیطی و ساختمان ۱۵ طبقه فاکتور با استفاده از زلزله پارکفیلد) ارزیابی و برای هر حالت، فرکانس‌ها و اشکال مدی برای چندین مد ابتدایی سازه با دقت بسیار زیادی شناسایی شدند. در هر دو حالت، نتایج با روش‌های کارآمد و قابل اعتماد شناسایی سیستم‌ها مانند جستار قله (Peak Picking) و شناسایی زیرفضای تصادفی (Stochastic Subspace Identification) مقایسه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** روش ارتقاء یافته هیلبرت- هوانگ (EHHT)، روش تبدیل هیلبرت- هوانگ (HHT)، سیگنال‌های نامانا و غیرخطی، شناسایی سیستم، پل قوسی بی‌چوآن، ساختمان فاکتور

## Evaluation of Reinforced Concrete Columns with Poor Confinement and their Retrofitting by Thermal Post Tension Steel Jacketing

**Abdolreza Sarvghad Moghadam**

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

**Mohammad Javad Makarem Rahm Del**

Nowadays, natural resources, in particular those which are used to build industrial, commercial and residential projects are on the decline. In this regard, one of the most important challenges in front of the researchers and engineers is to conserve, update and enhance the quality of construction. Therefore, current research was defined in order to improve the seismic performance of reinforced concrete columns with insufficient confinement. Confinement is one of the most effective parameters which in most cases results in ductility reduction of reinforced concrete structures. Confinement increases maximum compressive strength and considerably enhances compressive failure strain.

In this study, RC columns with insufficient confinement are assessed, and confined columns with steel jackets with and without temperature post-tensioned have been investigated experimentally. Some tests have been carried out on scaled specimens in order to obtain information about compressive behavior of confined concrete with steel jacket. In addition, an equation has been developed for confined compressive strength. The results from this equation are highly in agreement with the experimental results.

**Keywords:** Experimental results, RC columns, Steel jacket, Insufficient confinement

## شناسایی ارتقاء خصوصیات سختی، مقاومت و شکل پذیری ستونهای بتن مسلح غیر شکل پذیر

عبدالرضا سروقدمقدم

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه moghadam@iiees.ac.ir

محمدجواد مکارم رحمدل

امروزه منابع طبیعی به ویژه آنچه برای ساخت پروژه‌های صنعتی، تجاری، مسکونی، ... مورد استفاده قرار می‌گیرد رو به کاهش و اتمام می‌باشد. از این رو یکی از چالش‌های مهم فراروی محققین و مهندسين حفظ و بروز نمودن و ارتقاء عمر بهره‌وری مستحذات می‌باشد. لذا تحقیق حاضر به منظور ارتقاء و بهبود عملکرد لرزه‌ای ستونهای بتن مسلح با محصورشدگی ناکافی (توسط آرماتورهای عرضی) تعریف گردید. یکی از پارامترهای بسیار مؤثر که در اکثر موارد منجر به افت شکل پذیری در سازه‌های بتنی مسلح می‌شود محصور شدگی می‌باشد، که تأمین آن از یکسو می‌تواند مقاومت فشاری ماکزیمم محصور شده را افزایش دهد و از سوی دیگر کرنش گسیختگی فشاری را به طرز قابل توجهی بهبود می‌بخشد. در این تحقیق، علاوه بر ارزیابی ستونهای بتن مسلح با محصور شدگی ناکافی، به ارائه و ارزیابی ستونهای محصور شده با جاکت فولادی در حالت با و بدون پس‌تنیدگی حرارتی پرداخته شده است. اساس این ارزیابی‌ها را روش آزمایشگاهی تشکیل می‌دهد. برای داشتن اطلاعات از رفتار محوری، فشاری بتن محصور شده با جاکت فولادی آزمایشاتی روی نمونه‌های با مقیاس کوچکتر انجام و رابطه‌ای برای فشار محصور کنندگی در این حالت ارائه گردید، که نتایج بدست آمده از این رابطه با خروجی‌های آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفت، و همگرایی خوبی نشان می‌داد.

**واژه‌های کلیدی:** نتایج آزمایشگاهی، ستون‌های بتنی، غلاف فلزی، سخت کننده‌ها



## Comparison of Seismic Performance of Eccentric (Y) and Concentric (X) Bracings in Steel Frames

**Naghdali Hosseinzadeh**

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

**Mahmood Hosseini**

## مقایسه رفتار لرزه‌ای مهاربندهای دروازه‌ای با مهاربندهای هم مرکز در قابهای فولادی

**نقدعلی حسین‌زاده**

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه hosseinz@iiees.ac.ir

**محمود حسینی**

Earthquake effect is important in structural design which needs special attention. In this regard, steel bracings have extensive application to earthquake resistance. Therefore, special attention is needed to understand the performance of bracing systems. One common bracing system used in recent years is Y type. There is no discussion in Iranian Standard 2800 about this kind of bracing, but its application is increasing and designers consider this bracing type similar to X bracing type.

In this research, bracing type Y and YY have been studied and compared with Z and K types in different bays of frames. Nonlinear static and dynamic analyses were performed on 2D frames with different bracing arrangements and several number of bays and floors. Based on the analyses, pushover curves, hysteretic behavior, ductility, initial stiffness, over strength, energy absorption, and plastic hinges have been studied. Results indicated that ductility and initial stiffness of Y bracings are very lower than X bracings. Also, hysteretic curves of Y bracings indicated low energy absorption with more nonlinear behavior of frames. Irregular behavior of Y bracing is more than other types especially in high story frames.

Based on the research finding, it is suggested that the application of Y bracings should be stopped until reaching to the confirmation of standards such as 2800. Generally, stiffness and ductility of Y bracings is lower than 1/3 and 3/4 of concentric bracings respectively, and plastic hinges and nonlinear deformations appear quicker which indicates the unsuitable hysteretic behavior of Y bracings.

**Keywords:** Dynamic analyses, Pushover curves, Hysteretic behavior, Ductility, Initial stiffness, Over strength

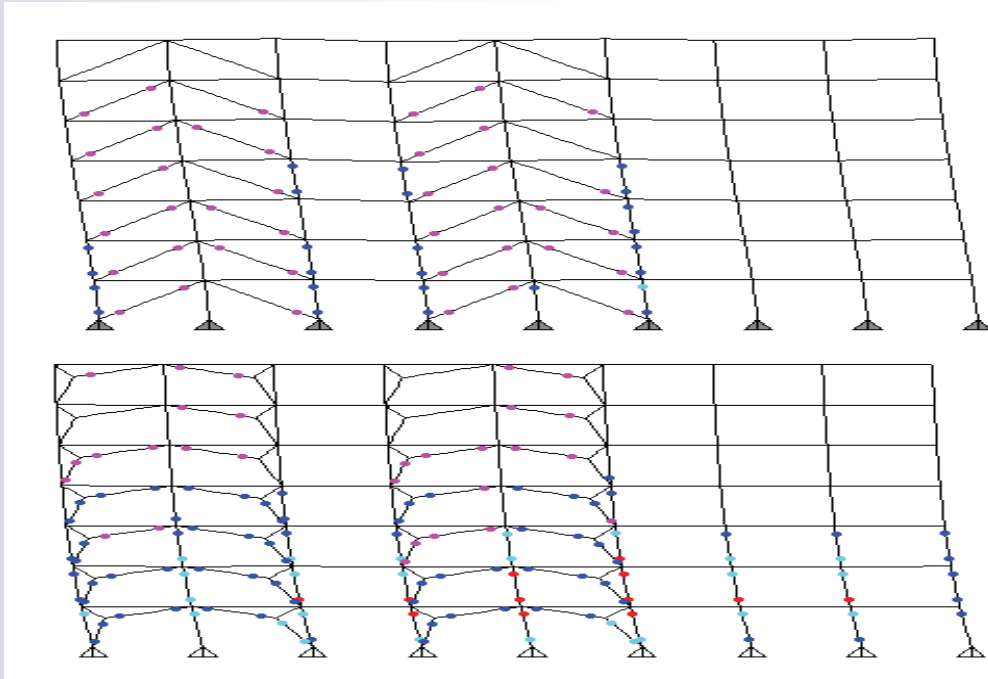
در حال حاضر زلزله یکی از مهمترین مسائل در طراحی سازه‌ها می‌باشد که باید توجه خاصی به آن معطوف ساخت. در این میان، استفاده از مهاربندهای فولادی کاربرد روزافزونی برای مقابله با نیروهای زلزله پیدا نموده‌اند که باید به نوع سیستم مهاربندی و عملکرد آنها توجه بیشتری نمود و با شناخت بیشتری از مهاربندها استفاده کرد. یکی از انواع مهاربندهایی که در سالهای اخیر استفاده از آن بسیار رایج شده است مهاربندهای دروازه‌ای می‌باشد. با اینکه در استاندارد ۲۸۰۰ در مورد قابهای دروازه‌ای بحثی نشده است با این حال استفاده از مهاربندهای دروازه‌ای رو به افزایش می‌باشد و اکثر طراحان مهاربندهای دروازه‌ای را همانند مهاربندهای هم مرکز فرض نموده و به طراحی آن می‌پردازند.

در این تحقیق نیز با هدف بررسی و شناخت مهاربندهای دروازه‌ای (Y و YY شکل) و مقایسه عملکرد آنها با مهاربندهای هم مرکز (Z و K شکل) به تحلیل و آنالیز انواع قابهای مهاربندی شده پرداخته شده است که در آنها از چشمه‌های مختلف مهاربندی استفاده شده است. قابهای فولادی مورد بررسی به صورت دوعبدهای بوده که مهاربندهای دروازه‌ای و هم مرکز در دهانه‌های مختلف قرار داده شده و تحت تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی غیرخطی قرار گرفته‌اند، تعداد دهانه‌ها و طبقات قابها متنوع بوده و سعی شده است که از انواع متداول استفاده گردد. پس از تحلیل به بررسی عملکرد قابها از جمله منحنی‌های pushover و هیسترسیس، ضریب شکل پذیری، سختی اولیه، ضریب اضافه مقاومت قابها و همچنین جذب انرژی و نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک و... پرداخته شده است. پس از انجام بررسی‌های مختلف مشخص گردید که شکل‌پذیری و سختی اولیه قابهای دروازه‌ای در مقایسه با مهاربندهای هم مرکز بسیار کمتر می‌باشند. همچنین منحنی‌های چرخه‌ای پسماند قاب‌های دروازه‌ای نسبت به قابهای هم مرکز، خمیده‌تر و دارای نامنظمی‌های بیشتری می‌باشند که نشان‌دهنده جذب انرژی کمتر و رفتار نامناسب‌تر آنها نسبت به قابهای هم مرکز است و در حالتی که اعضاء قاب وارد مرحله غیرخطی شده‌اند، نامنظمی‌های قابهای دروازه‌ای بسیار بیشتر می‌باشد. این مسأله در قابهای با تعداد طبقات زیادتر کاملاً مشهود است.

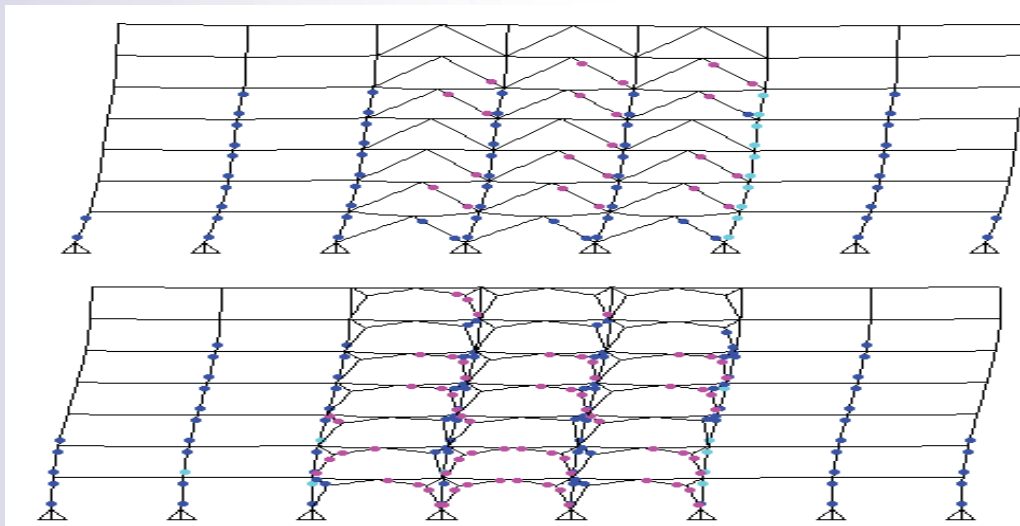
بر اساس یافته‌های این تحقیق پیشنهاد می‌شود تا انجام تحقیقات تکمیلی و تأیید آیین‌نامه‌ها همچون استاندارد ۲۸۰۰ زلزله، از بکارگیری آنها در ساختمانها جلوگیری به عمل آید. به طور کل باید برای طراحی این گونه مهاربندها (دروازه‌ای) توجه داشت که سختی آنها کمتر از حدود یک

سوم و شکل پذیری آنها کمتر از حدود سه چهارم قابهای مهاربندی شده هم مرکز می باشد و تشکیل مفاصل پلاستیک یا تغییر شکل های خمیری در آنها نیز سریع تر اتفاق می افتد و باعث نا منظم شدن منحنی های پسماند در آنها می شود که نشان دهنده عملکرد نامناسب قابهای مهاربندی شده دروازه ای خواهد بود.

**واژه های کلیدی:** مهاربندهای دروازه ای، مهاربندهای هم مرکز، قابهای فولادی، تحلیل دینامیکی غیرخطی، جذب انرژی



Comparison of Seismic Performance of Eccentric (Y) and Concentric (X) Bracings in Steel Frames



هندسه قابهای مهاربندی شده دروازه ای Y و YY

## Effects of Top Gap on the Behavior of Engineered Infill Panels

**Majid Mohammadi**

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

**Reza Mohammadi**

The efficiency of the sliding fuse on the seismic behavior of infilled frames was confirmed in our previous project. In this project, other subjects of such infill panels are studied. In this regard, effects of a gap between the infill and top beam are investigated. For ordinary infill panels, it was shown that such gap decreased the stiffness and strength considerably. The minimum required gap for excluding the normal load of the frame on the infill, is firstly determined. Then, some experimental tests were carried out. In order to investigate the influences of the gap, the results of the present project specimens are compared with those of previous one (Engineering Infill panels, Behavior and adjusting methods-code 7352).

Furthermore, out of plane strength of the specimens were measured in the worst scenario. In order to achieve this, the specimens were loaded in plane and after going over the ultimate strength, they were loaded in out of plane direction, after turning back to the initial position (zero drift). The results showed that the top gap affects the fused infill behavior, but here the deterioration is less than the regular infill panels. Also, transversal loading showed that the out of plane strength of the fused infill panels in the presence of the top gap was high enough to prevent jumping out of the frame in earthquakes, even after being collapsed by in-plane loads. To complete the research on such infills, the influence of the number and situation of the sliding fuse on the behavior of the infill is also investigated. The results showed that applying the fuse at lower levels will raise the ductility more.

**Keywords:** Engineered infilled frame, Frictional sliding fuse, Stiffness, Strength, Damping, Ductility

## اثر وجود درز فوقانی بر رفتار میانقاب دارای فیوز لغزان

مجید محمدی

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

رضا محمدی

میانقاب‌ها به دلایل گوناگون از جمله پیچیدگی رفتار مصالح، اندرکنش بین قاب و میانقاب، ضعف مدل‌های تحلیلی و ... یکی از بحث برانگیزترین موضوعات روز مهندسی هستند. یکی از زمینه‌های موجود برای تحقیق بر روی میانقاب چگونگی دستیابی به یک میانقاب مهندسی دارای شکل‌پذیری بالا است. در این راستا مجری پروژه حاضر در تحقیق قبلی خود سعی نمود به میانقابی دست یابد که مقاومت آن مانند سایر اعضای سازه‌ای قابل تنظیم بوده و دارای مقاومت و شکل‌پذیری مورد نیاز برای تحمل زلزله باشد. بدین منظور در وسط ارتفاع میانقاب از عضوی که در این پروژه فیوز لغزان (Frictional Sliding Fuse (FSF)) نامگذاری شده است، استفاده می‌شود.

پس از اطمینان از کارایی فیوز لغزان در تحقیق قبلی، در پروژه حاضر تأثیر درزی که معمولاً در حین اجرا بین میانقاب و تیر بالای آن به وجود می‌آید، با دو نمونه آزمایشگاهی مطالعه می‌گردد. ضمناً اثر تعداد و موقعیت فیوز بر رفتار میانقاب نیز در این پروژه بررسی شده است، هرچند که این موضوع جزو تعهدات پروژه اخیر نبود ولی به دلیل اهمیت و همچنین وجود بودجه باقیمانده از محل صرفه‌جویی‌هایی که در ساخت و آزمایش نمونه‌ها صورت گرفت، انجام شد.

نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر نشان می‌دهد که در میانقاب دارای فیوز لغزان نیز وجود درز بین تیر فوقانی قاب و دیوار باعث کاهش مقاومت می‌گردد ولی سختی اولیه را تغییر نمی‌دهد. البته مقدار کاهش مقاومت بر اثر وجود این درز در این نوع میانقاب‌ها نسبت به میانقاب‌های معمولی بسیار کمتر است و هرچه مقاومت لغزشی فیوز کمتر باشد این کاهش باز کمتر می‌شود. نتایج آزمایش بارگذاری نمونه‌های در جهت عرضی نیز نشان می‌دهد که میانقاب دارای فیوز لغزان، حتی پس از تحمل شکست ناشی از نیروهای در صفحه، از مقاومت بسیار خوبی در جهت عمود بر صفحه خود برخوردار است. نتایج آزمایش نمونه‌های دیگر نشان می‌دهد که با تغییر موقعیت فیوز از وسط ارتفاع به یک سوم پایین می‌توان مقدار شکل‌پذیری نمونه را افزایش داد.

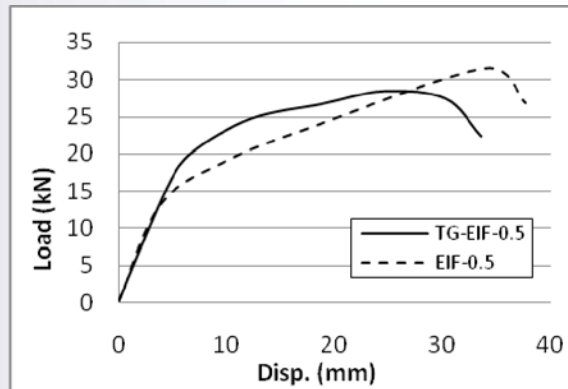
این گزارش در ۵ فصل تهیه شده است که در فصل نخست، کلیات پروژه و مشخصات کلی نمونه‌ها و در فصل دوم مطالعات قبلی انجام شده در زمینه میانقاب آمده است. در فصل ۳، مشخصات مصالح و چگونگی انجام و نتایج به دست آمده از آزمایش نمونه‌های اصلی ارائه می‌گردد. در فصل ۴، فرضیات و نتایج تحلیل المان محدود نمونه‌های آزمایش شده آمده است. در فصل ۵ که در واقع نتیجه‌گیری کار انجام شده در این تحقیق است نتایج حاصل به طور کاملاً خلاصه و بر اساس یافته‌هایی که در فصول قبلی به تفصیل بیان شده ارائه می‌گردد.



واژه‌های کلیدی: میانقاب مهندسی، فیوز اصطکاکی لغزشی، سختی، مقاومت، میرایی، شکل پذیری، درز فوقانی



Corner crushing at corner of an engineered infill panel, with top gap



Comparison of envelopes of engineered infill panel, with and without top gap (TG-EIF-0.5 and EIF-0.5, respectively)

## Investigation on the New Techniques in Seismic Design of Structures Based on Semi-active Approach

**Mansour Ziyaeifar**

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

**Masood Nekoie**

The new techniques in seismic design of structural systems are usually based on elastic behavior of the system. In such cases, natural period and damping ratio of the system are considered as the main design parameters. Mass isolation is one of the practical techniques in this category of structural design approach. In this study, a structural system based on mass isolation technique is chosen for further investigation on different aspect of the design. The structural system is consisted of a mass and a stiffness subsystem. These two subsystems are connected together with viscous energy dissipating devices. A dual mass simplified model is used for representing the system in theoretical studies. These dashpots are chosen either passive or controllable via a simple control algorithm to investigate the possibility of having a higher performance in the structural system.

The theoretical work on the dual mass model reveals an important parameter of the system in defining the level of Isolation ratio for the system. In the numerical phase of the study, the model was subjected to different earthquake records and a comparative study between the mass isolated structure and a system without isolation, have been performed. In these studies, the controllable dashpot is designed with a new logical control algorithm to solve a series of problems in having higher level of structural performances for mass isolated structural systems. The algorithm is based on logical decisions in separate layers of decision making tree based on the required performance platform for the system.

The result of a large number of studies on different configurations of the system indicates a suitable performance for the mass isolated system in all cases. The result also indicates much lower sensitivity in responses of the mass isolated system with respect to the changes in system parameters when it is equipped with controllable devices.

**Keywords:** Mass isolation, Semi-active structural control, Logical algorithm, Dual mass model

## بررسی مقایسه‌ای روش‌های جداسازی جرمی طراحی لرزه‌ای سازه‌ها با استفاده از ابزار کنترل نیمه فعال

منصور ضیائی‌فر

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه mansour@iiees.ac.ir

مسعود نکویی

روش‌های متداول طراحی سازه‌ها در مقابل زلزله عملاً تحت عنوان روش‌های طراحی بر اساس مقاومت و شکل‌پذیری سازه‌ها معرفی می‌شوند که فلسفه عمومی این روش‌ها بر دو اصل ایجاد سختی و مقاومت در سازه جهت کنترل تغییرمکان جانبی و جلوگیری از تخریب اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای تحت اثر زلزله‌های کوچک و بزرگ از طریق ایجاد شکل‌پذیری و قدرت جذب انرژی در سازه بنا شده است. در این روش‌های طراحی، سازه در مقابل زلزله‌های متوسط و شدید رفتاری غیرارتجاعی دارد و از این رو شکل‌پذیری و جذب انرژی ناشی از زلزله سبب تغییر شکل خمیری و ایجاد مفاصل پلاستیک در سازه می‌گردد. این مفاصل محل تجمع خسارت بوده و اغلب قابل تعمیر نیستند. در مقابل، روش‌های نوین طراحی لرزه‌ای اغلب توصیه به حفظ رفتار ارتجاعی سیستم با افزایش میرایی و پیوند سیستم دارند که از جمله این روش‌ها می‌توان به روش جداسازی جرمی اشاره نمود. در این روش، در عین‌بالاترین عملکرد لرزه‌ای، سیستم سازه‌ای به لحاظ سهولت اجرا و اقتصادی بودن قابل رقابت با روش‌های متداول طراحی لرزه‌ای سازه‌ها به نظر می‌رسد. سازه‌های جداسازی شده جرمی مورد بررسی در این تحقیق از یک زیرسیستم جرمی و یک زیرسیستم سختی تشکیل شده‌اند. زیرسیستم جرمی شامل جرم اصلی سازه قرار گرفته بر روی قابی با سختی کم می‌باشد که از طریق میراگرهای ویسکوز به زیرسیستم سختی سازه که شامل قاب مهار شده با سختی زیاد می‌باشد، متصل شده است. وظیفه اصلی زیرسیستم جرمی، بالا بردن پیوند سازه و در نتیجه کاهش نیروها و انرژی ورودی ناشی از زلزله می‌باشد. از آنجایی که سختی کم این زیرسیستم می‌تواند سبب تغییرمکانها و نیروهای نامتناسب در سازه گردد، زیرسیستم سختی نقش کنترل نیرو و تغییر شکل را در زیرسیستم جرمی از طریق ایجاد تکیه‌گاه برای نیروهای عکس‌العمل میرایی را ایفا می‌نماید. استفاده از میراگرهای ویسکوز به عنوان ادوات جداساز در این سازه‌ها باعث افزایش میرایی سیستم و کاهش انرژی ورودی ناشی از زلزله می‌شود. مدل تحلیلی مورد استفاده در این تحقیق یک مدل دو جرم - فنر می‌باشد که حالتی کلی‌تر از مدل سه‌المانی ماکسول می‌باشد. در این بررسی، همچنین از سیستم‌های کنترل نیمه فعال که عملکرد مناسبتری را در هنگام زلزله دارا می‌باشند، برای کنترل سازه‌های جداسازی شده جرمی در برابر زلزله نیز استفاده شده است. در این تحقیق، قابلیت روش جداسازی جرمی در کاهش اثرات ناشی از زلزله با دو رویکرد پارامتری و عددی مورد بررسی قرار گرفته است. در رویکرد پارامتری با تعریف ضریب جداسازی و به دست آوردن مشخصات دینامیکی سیستم، مقدار بهینه ثابت میرایی به صورت پارامتری بدست آورده شده و رابطه ضریب جداسازی با حداکثر میرایی

سیستم نشان داده شده است. در رویکرد عددی پاسخ سازه‌های جداسازی شده جرمی در برابر زلزله در دو حالت غیرکنترلی و تحت تاثیر کنترل نیمه فعال مورد بررسی قرار گرفته است و با پاسخ سازه‌های جداسازی نشده جرمی مقایسه شده است. کنترل سازه‌های جداسازی شده جرمی نیز یکی از محورهای اصلی این تحقیق به شمار می‌رود. در همین راستا یک الگوریتم کنترلی جهت کنترل نیمه فعال سازه‌های جداسازی شده جرمی در برابر زلزله ارائه شده است. الگوریتم کنترلی ارائه شده در این تحقیق یک الگوریتم منطقی باز و بسته با لایه‌های تصمیم‌گیری مختلف می‌باشد. نتایج عددی، نشان دهنده کاهش قابل توجه نیروهای ورودی زلزله در سازه‌های جداسازی شده نسبت به سازه‌های جداسازی نشده جرمی می‌باشند. همچنین این نتایج عملکرد مطلوبتر سازه‌های جداسازی شده جرمی و حساسیت کمتر آنها به مقادیر ثابت میرایی میراگر در برابر زلزله را در حالت کنترلی نشان می‌دهند.

**واژه‌های کلیدی:** جداسازی جرمی، کنترل نیمه‌فعال سازه‌ها، الگوریتم کنترل منطقی، مدل دو جرمی



## Analytical Investigation of Masonry Infill Walls in Moment-resisting Steel Frames

**Fariborz Nateghi Elahi**

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

**Ayoub Dehghani**

## بررسی تحلیلی اثر میانقاب‌های آجری در رفتار لرزه‌ای قابهای خمشی فولادی

فریبرز ناطقی‌الهی

استاد پژوهشکده مهندسی سازه nateghi@iiees.ac.ir

ایوب دهقانی

Many of buildings in our country contain steel and concrete structures with masonry in-fill panels. Based on previous researches, which are carried out on these masonry panels in the recent 5 decades, it has been shown that many major parameters have significant effects on the behavior and collapse mechanism of the masonry panels. In spite of these researches, there is no unique method for design of frames with panels and yet these panels are considered as nonstructural elements and are not taken into account in analyses and design of structures.

In this research, in-fill panels are modeled via equivalent diagonal element. The SAP 2000 software is used to model the building analytically. After model calibration, based on experimental and other analytical results, the effects of in-fill panels on the behavior of steel moment frame buildings are studied.

It should be mentioned that analytical models are different in height and type of in-fill panels. These models have 1, 3, 5 and 7 stories and their in-fill panels are different in material type. The frames are analyzed and designed based on Iranian building codes. In order to investigate the effect of in-fill panels on the behavior of frames, nonlinear static and dynamic analyses are carried out on the models. As a result of research, ignoring the in-fill panels at the models with the mediocre height (5 and 7 stories), has no undesirable effect. But because of increasing the frame performance level and limiting the number of hinges at the frame components, the strength of frames are increased at the models with panels to the frames without panels. It is also observed that the frames with in-fill panels have less story drifts.

**Keywords:** Masonry, Steel framed, infill, Nonstructural elements, Dynamic analysis

درصد بالایی از ساختمانهای شهری در کشور ما شامل یک سازه بتن آرمه یا اسکلت فلزی می‌باشند که در آنها فضای بین قابها به طور کامل و یا بخشی از آن، با دیوارهای مصالح بنایی پر می‌شوند. در ادبیات فنی به این دیوارها میانقاب می‌گویند. بر اساس مطالعاتی که طی ۵ دهه‌ی گذشته در مورد رفتار قابهای میانپر، انجام گرفته عوامل زیادی شناخته شده است که همگی تأثیر مهمی روی رفتار و شکل خرابی قابهای میانپر دارند. با وجود این سابقه مطالعاتی تاکنون هیچ اتفاق نظری در ارائه یک روش یکتا برای طراحی سیستم‌های قابی میانپر حاصل نشده است و علی‌رغم وجود ایده‌های مختلفی که برای مدلسازی میانقاب مصالح بنایی مطرح شده ولی هیچ‌کدام از این مدل‌ها نتوانسته‌اند وارد حوزه عملی و کاربردی طراحی سازه‌های قاب‌دار شوند؛ در نتیجه هنوز هم به طور معمول میانقاب‌ها را به عنوان اعضای غیرسازه‌ای در نظر گرفته از آنها در آنالیز و طراحی سازه اغماض می‌شود.

در این پژوهش، روش سه‌دستک معادل به‌عنوان یکی از آخرین تکنیک‌های ارائه شده برای مدلسازی میانقاب‌های مصالح بنایی، معرفی شد. سپس ضمن کالیبره کردن مدل پیشنهادی در نرم‌افزار SAP2000 و مقایسه نتایج با مدارک آزمایشگاهی و تحلیلی موجود، اثر میانقاب‌های مصالح بنایی در رفتار قابهای خمشی فولادی مورد مطالعه قرار گرفت. قابهای میانپر مطالعه شده از دو جنبه ارتفاع (تعداد طبقات) و نوع مصالح میانقاب، متفاوت انتخاب شده‌اند. قابها ۱، ۳، ۵ و ۷ طبقه بودند که با میانقاب‌هایی از بلوک‌های بتنی توخالی و واحدهای آجر فشاری پر شده بودند. این قابها بر مبنای آیین‌نامه‌های ۵۱۹ و ۲۸۰۰ ایران، بارگذاری، تحلیل و مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان طراحی گشته، سپس بر اساس روش‌های تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی و دینامیکی غیرخطی در دو حالت با و بدون میانقاب به کمک نرم‌افزار SAP2000 مورد آنالیز قرار گرفته، میزان تأثیر میانقاب مصالح بنایی در رفتار قاب مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج در محدوده این مطالعه نشان داد که همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد، میانقاب‌ها به شکل قابل‌توجهی افزایش مقاومت و سختی قابها شدند. میزان افزایش سختی در اثر حضور میانقاب‌ها با افزایش ارتفاع قابها کمتر می‌شود. همچنین در قابهای کوتاه‌تر (۱ و ۳ طبقه) میانقاب‌ها موجب جذب نیروی بیشتر، افزایش تعداد مفاصل خمیری تشکیل شده در اعضای قاب و نیز افزایش Drift طبقه‌ای شدند. بر این اساس نادیده گرفتن میانقاب‌ها در قابهای کوتاه‌تر می‌تواند به یک طراحی نادرست بیانجامد.

با مدل نکردن میانقابها در قابهای متوسط مطالعه شده (۵ و ۷ طبقه) حالتی که برای سازه نامطلوب باشد، مشاهده نمی شود ولی با توجه به افزایش سطح عملکرد قاب و محدود شدن تعداد مفاصل ایجاد شده در اعضای قاب در مدل های میانپر نسبت به قابهای توخالی، با مدلسازی دیوارها می توان از پتانسیل مقاومتی میانقابها (رفتار واقعی تر) برای افزایش ظرفیت سازه استفاده کرد. همچنین در این قابها میانقابها به شکل قابل ملاحظه ای باعث کاهش مقادیر Drift طبقه ای شدند به طوری که با آوردن دیوارها در مدل قاب مقادیر آیین نامه ای تأمین شده و نیازی به کنترل Drift مشاهده نگردید.

**واژه های کلیدی:** میانقاب های آجری، قابهای خمشی فولادی، تحلیل دینامیکی، اجزای غیرسازه ای

## A Study on Seimi-active Control of Skewed Bridges Using OpenSees Software

**Afshin Kalantari**

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

**Mohsen Amjadian**

In this research, the application of the passive and semi-active control methods is investigated in order to reduce the responses of superstructure and substructure of skewed highway bridge affected by collision of the deck with the abutments. The study of skewed highway bridges shows that the coupling of longitudinal and transverse translational movements and the seismic pounding are two important and effective factors on dynamic behavior of this type of bridge during the ground excitation. Based on this, a 3DOFs dynamic model considering the coupling effects is presented to study the dynamic behavior of skewed highway bridges. Moreover, for simulation of collision of the deck with the abutments, eight contact points are considered at two sides.

In order to model the impact force at each point, a nonlinear viscoelastic model is employed based on the linear and straight contact assumption. Then, the influence of collision of the deck with the abutments on the displacement response of superstructure and the torsional response of substructure for a sample skewed highway bridge is evaluated. The results of analysis showed that seismic pounding causes a noticeable increase in torsional moment of columns at the intermediate pier as well as an increase in displacement of the acute corners of the sample bridge under the ground excitation. A seismic isolation system including 10 lead rubber bearings (LRB) is employed to reduce the torsional response of the substructure. In this case, the results show a remarkable decrease in torsional moments of columns, but the displacement of deck corners especially the acute corners is amplified by the seismic pounding. A semi-active control system, by adding 24 variable viscose dampers to the isolation system, is designed to control the displacement response of the isolated deck. The results of analysis showed that the shear forces of columns are increased by damping action of the dampers. It was found that by keeping the shear forces in an allowable range, the displacement of the deck can be reduced by regulating the dampers. This will prevent the deck from colliding with the abutments.

**Keywords:** Skewed highway bridge, Seismic pounding, Substructure torsion, Superstructure displacement, Seismic isolation, Semi-active control

## کنترل نیمه فعال پلهای مورب به روش عددی

**افشین کلانتری**

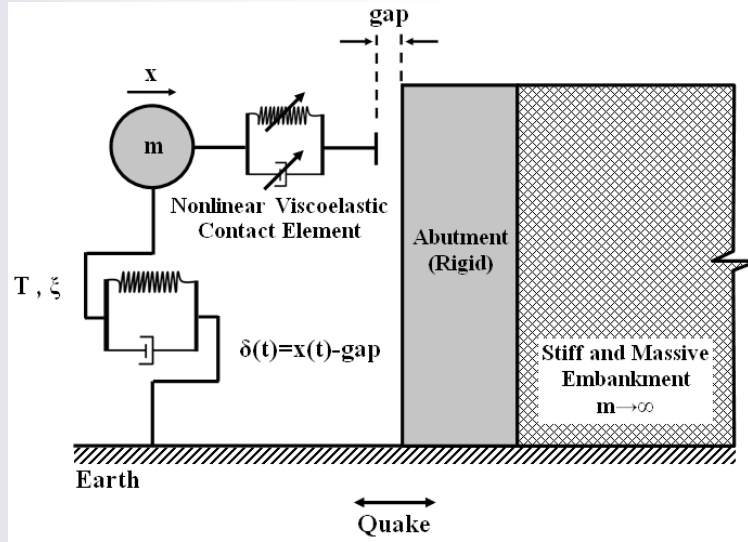
استادیار پژوهشکده مهندسی سازه a.kalantari@iiees.ac.ir

**محسن امجدیان**

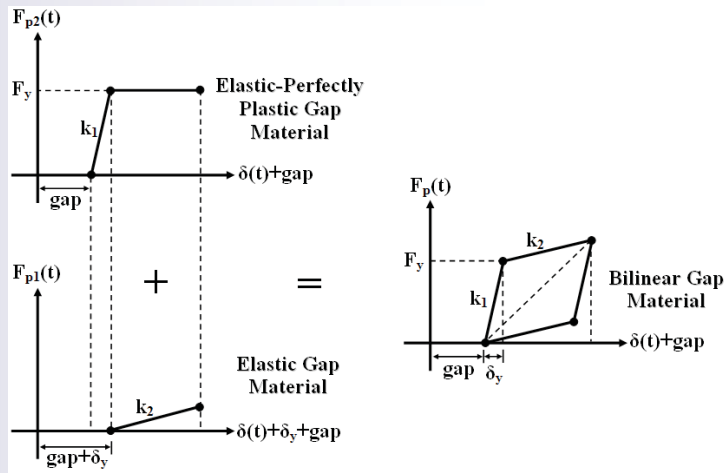
در این تحقیق، تأثیر بکارگیری روش‌های کنترل غیرفعال و نیمه فعال بر کاهش پاسخ روسازه و زیرسازه پلهای بزرگراهی مورب تحت اثر برخورد عرشه با کوله‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. مطالعه رفتار لرزه‌ای پلهای مورب نشان می‌دهد که همبستگی حرکات انتقالی طولی و عرضی و کوبش لرزه‌ای دو عامل اصلی و تأثیرگذار بر رفتار دینامیکی پلهای بزرگراهی مورب در هنگام تحریک زمین لرزه هستند. بر این مبنای، برای تحلیل رفتار دینامیکی این نوع از پلهای بزرگراهی یک مدل دینامیکی سه درجه آزاد ارائه شده که در آن تأثیر همبستگی مودهای انتقالی طولی و عرضی لحاظ می‌شود. برای شبیه‌سازی برخورد بین عرشه و کوله‌ها در مدل مورد نظر هشت نقطه برخورد در هر طرف در نظر گرفته می‌شود. برای مدل کردن نیروی برخورد در هر نقطه از مدل ویسکوالاستیک غیرخطی با فرض یک برخورد خطی و مستقیم استفاده می‌شود. در ادامه، تأثیر برخورد بین عرشه و کوله‌ها روی پاسخ‌های جابه‌جایی عرشه و لنگر پیچشی زیرسازه یک پل مورب نمونه مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج تحلیل نشان می‌دهند که کوبش لرزه‌ای موجب افزایش قابل توجه در لنگر پیچشی ستونهای پایه میانی و افزایش جابه‌جایی گوشه‌های کند عرشه پل مورب مورد مطالعه تحت اثر شتاب زمین می‌شود. برای کاهش پاسخ پیچشی زیرسازه یک سیستم جداسازی لرزه‌ای شامل ۱۰ عدد جداساز LRB پیشنهاد می‌شود. نتایج تحلیل مدل در این حالت حاکی از کاهش قابل توجه لنگر پیچشی ستونها بوده اما جابه‌جایی گوشه‌های عرشه به خصوص گوشه‌های کند به علت برخورد بین عرشه و کوله‌ها تشدید می‌یابد. برای کنترل پاسخ جابه‌جایی عرشه جداسازی شده یک سیستم کنترلی نیمه فعال با اضافه کردن ۲۴ عدد میراگر ویسکوز متغیر به سیستم جداسازی لرزه‌ای طراحی می‌شود. نتایج تحلیل نشان می‌دهند که نیروی برشی ستونها به علت کنش میرایی میراگرها افزایش می‌یابد. با این حال نشان داده می‌شود که با تنظیم صحیح میرایی میراگرها ضمن ثابت نگه داشتن مقدار نیروی برشی در یک سطح مجاز می‌توان جابه‌جایی عرشه را به یک مقدار قابل قبول برای مانع شدن از برخورد عرشه با کوله‌ها کاهش داد.

**واژه‌های کلیدی:** پل بزرگراهی مورب، همبستگی حرکات انتقالی، کوبش لرزه‌ای، پیچش زیرسازه، جابه‌جایی روسازه، جداسازی لرزه‌ای، کنترل نیمه فعال

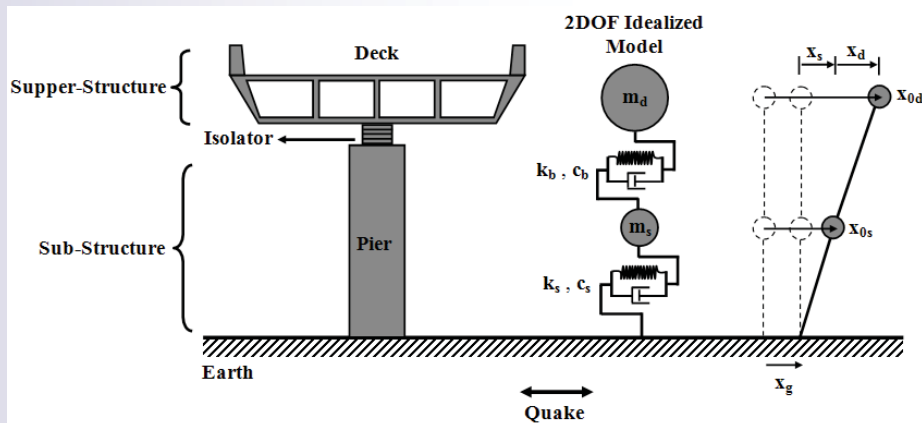




مدل مفهومی مورد نظر برای سازه با در نظر گرفتن اثر کوبش



مدل رفتاری به کار رفته برای نیرو-جا به جایی در طی وقوع کوبش



مدل سازه‌های پل جداسازی شده

## Foundation Embedment Effects in Soil-Structure-Interaction (SSI)

**Naghdazli Hosseinzadeh**

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

**Ebrahim R. Rokhnabadi**

In this report, dynamic soil-structure interaction effects on the seismic response of building structures with surface and embedded mat foundations have been studied using shake table tests on scaled models. For this purpose, four structural models with 5, 10, 15 and 20 floors, as common representative buildings in urban area, are designed and constructed for dynamic tests on the soft and relatively soft soil media. These models subjected to El Centro 1940 (USA) and Tabas 1981 (Iran) earthquakes were recorded on the International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES) shaking table. Also, results were obtained from dynamic tests compared with Opensees model responses. The results indicated that the analytical model is capable to demonstrate SSI effects.

In addition, different parameters have been studied in this research which includes: building aspect ratio, shear wave velocity, frequency content, damping, and acceleration of structural models. The results indicated that SSI effects reduce in embedded buildings and this reduction has increased by increasing of the embedment depth.

**Keywords:** Soil-structure interaction, embedded foundations, Dynamic tests, Rocking mode, Surface foundations

## اثر مدفون بودن پی بر اندرکنش دینامیکی خاک-سازه

نقدعلی حسینزاده

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه hosseinz@iiees.ac.ir

ابراهیم رعیت رکن آبادی

در این گزارش، آثار اندرکنش دینامیکی خاک - سازه در پاسخ لرزه‌ای ساختمانهای با پی‌های سطحی و مدفون در خاک به کمک آزمایش‌های میز لرزان روی مدل‌های مقیاس شده مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور چهار مدل سازه‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه به عنوان نماینده ساختمانهای متداول در یک محیط شهری و دو مدل خاک نرم و نسبتاً نرم به عنوان نماینده زمین‌های نوع III و II مطابق طبقه‌بندی آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران با ضریب مقیاس هندسی ۰.۰۱ طراحی و ساخته شده‌اند. این مدل‌ها تحت زلزله‌های ۱۹۴۰ السنترو آمریکا و ۱۹۸۱ طبس ایران روی میز لرزان پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. همچنین مطالعات آزمایشگاهی با نتایج نرم‌افزار این سیز مقایسه شده‌اند.

مقایسه نتایج تجربی و تحلیلی نشان می‌دهند که مدل رفتاری ساخته شده در نرم‌افزار قابلیت مدلسازی تأثیرات اندرکنش خاک-سازه را دارا می‌باشد. پارامترهای مختلف نظیر نسبت ابعادی ساختمان، سرعت موج برشی، محتوای فرکانسی، میرایی و شتاب مدل‌های سازه‌های مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که مدفون بودن سازه باعث کاهش اثرات اندرکنش خاک-سازه در سازه‌ها می‌گردد و این کاهش در سازه‌های با عمق مدفون شدگی بیشتر شدیدتر است.

**واژه‌های کلیدی:** اندرکنش خاک - سازه، پی‌های مدفون، آزمایشهای دینامیکی، پی‌های سطحی



## An Investigation of the Effect of Vertical Component of Earthquakes on Structural Buildings

**Behrokh Hosseini Hashemi**

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

The effects of simultaneous excitation of horizontal and vertical components of near-fault earthquake motions on the nonlinear responses of moment resistant structures are investigated using a time domain nonlinear finite element program (SAP 2000 nonlinear). Three steel structures and 9 recorded earthquakes motions are considered. It is found that the effect of vertical component of earthquake on the displacement of all three structures is quite negligible. It is also shown that the largest effects of vertical component of earthquake occur in interior base joints and interior columns and the smallest effects occur in corner base joints and corner columns. It is also found that the effect of vertical ground acceleration on axial forces of columns is independent of story level and story number. In addition, the effects of the vertical component on the moment of beams and columns are also negligible.

**Keywords:** Nonlinear analysis, Vertical component of earthquakes, Nonlinear response

## بررسی اثرات مؤلفه شتاب قائم زلزله بر قابهای خمشی فولادی ساختمانی

بهرخ حسینی هاشمی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه behrokh@iiees.ac.ir

وقوع زمین‌لرزه بم در کشور که دارای مؤلفه قائمی بالاتر از 1.0g بود این مسأله که اثر مخرب این مؤلفه از زلزله در آیین‌نامه بارگذاری کشور (استاندارد ۲۸۰۰) و همچنین دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود مورد کم توجهی قرار گرفته است را بیش از پیش در کانون توجه محققان قرار داد. از آنجا که هنوز ضابطه خاصی برای در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم زلزله در آیین‌نامه بارگذاری کشور ارائه نشده است، پروژه حاضر برای بررسی بعضی از اثرات این مؤلفه از زلزله بر ساختمانهای موجود فولادی و همچنین بررسی کفایت ضوابط پیشنهادی استانداردهای بارگذاری تعریف و انجام گردیده است.

اثرات تحریک همزمان مؤلفه‌های افقی و قائم حوزه نزدیک زلزله بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌های قاب خمشی فولادی با به کار بردن برنامه تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی (SAP2000 nonlinear) بررسی گردید. سه سازه فولادی و ۹ رکورد زلزله متناسب با خاک نوع III استاندارد ۲۸۰۰ در نظر گرفته شد. در این تحقیق نشان داده شد که بزرگترین اثرات مؤلفه قائم زلزله در ستونهای داخلی اتفاق می‌افتد و کمترین اثرات در ستونهای گوشه ساختمان رخ می‌دهند. همچنین مشخص شد که تأثیر مؤلفه قائم شتاب زلزله بر نیروی محوری ستونها از تراز طبقه و تعداد طبقات مستقل می‌باشد. به علاوه اثرات مؤلفه قائم زلزله بر مقدار لنگر خمشی تیرها و ستونها ناچیز است.

همچنین کفایت الگوی بارگذاری پیشنهادی استاندارد ASCE7-05 برای در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم زلزله مورد ارزیابی مجدد قرار گرفت. مشاهده شد که استفاده از معادله استاندارد ASCE7-05 برای تخمین مقدار بار مؤلفه قائم زلزله تقریب مناسبی را ارائه می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** تحلیل غیرخطی سازه‌ها، مؤلفه قائم زلزله، تحریک چند مؤلفه‌ای لرزه‌ای، پاسخ غیرخطی



## Design and Manufacturing of Elastomeric Rubber Bearings for Application in Structures Subjected to Seismic Hazards

**Mansour Ziyaeifar**

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

**Hossein Pezeshki**

The use of elastomeric bearings in seismic design of structural systems is rapidly growing. However, these devices are considered expensive due to their complicated manufacturing processes. Extending the use of elastomeric bearings in buildings requires new technologies for the bearings to be manufactured with ease and lower cost. In this study, a new type of elastomeric bearings is introduced with the capability to be manufactured with much lower cost in the form of mass production. The isolator is called the "Hydraulic Isolator" and possesses much higher flexibility and energy dissipation potential with respect to other elastomeric isolators.

The proposed devices can be manufactured with much lower cost with respect to usual ones. They are also durable and need less maintenance if compared with other technologies.

**Keywords:** Elastomeric bearings, Base isolation, Viscous dashpots

## شناسایی، طراحی و ساخت ایزولاتورهای الاستومری برای مقاوم سازی و طراحی سازه های مقاوم در برابر زلزله

منصور ضیایی فر

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه mansour@iiees.ac.ir

حسین پزeshکی

امروزه سیستم های جداسازی لرزه ای یکی از روش های توسعه یافته در محافظت ساختمانها در برابر زلزله است. سیستم جداگرهای الاستومری که عموماً از لاستیک طبیعی بوده و به کمک صفحات فولادی تقویت شده است به عنوان یک روش جداسازی لرزه ای، مدت زمان طولانی است که در جداسازی سازه ها مورد استفاده قرار می گیرند لکن به دلیل اینکه این جداگر از یک فرایند ساخت پر زحمت و طولانی است قیمت تمام شده بالایی داشته و تولید انبوه آن دشوار محسوب می گردد.

اگر بخواهیم از مزایای با ارزش روش جداسازی لرزه ای به طور گسترده در ساختمانهای معمول استفاده کنیم ناچار باید به تولید انبوه و ارزان قیمت آن روی آورد. در این مطالعه، ضمن توجه به فعالیت هایی که در این زمینه صورت گرفته است، جداگر الاستومری جدیدی تحت عنوان جداگر هیدرولیکی مطرح گردیده است که قابلیت ساخت ارزان آن در مقیاس انبوه قابل توجه است. مراحل طراحی و ساخت این جداگر و آزمایش های اولیه بر روی آن در این پروژه ارائه شده است.

نتایج حاصله از مراحل مختلف ساخت نمونه های ایزولاتور عنوان شده و نتایج حاصله از تست های مختلف انجام گرفته شده بر روی نمونه های مختلف ایزولاتور پیشنهادی مبین آن است که پتانسیل مناسبی برای استفاده از این ایزولاتور در آینده قابل پیش بینی است، ولی هنوز جزئیات طراحی ایزولاتور مربوطه حل نشده است و مسائل و مشکلات زیادی در پیش رو است که امید می رود با حل آنها ایزولاتور مربوطه تمامی مشخصات مورد نیاز یک ایزولاتور لرزه ای را بدست آورد.

با توجه به آنکه در سیستم های جداسازی لرزه ای اغلب بایستی میرایی بالایی نیز تأمین شود، در برخی از این سیستم ها نیاز به وجود میراگرهای با ظرفیت بالا وجود دارد. در این ارتباط در پروژه حاضر، میراگر ویسکوزی با توجه به تجربیات قبلی، طراحی و ساخته شده است. این میراگر نیز مورد آزمایش قرار گرفته و رفتار آن بررسی شده است.

مطالعات انجام گرفته شده بر روی میراگر ساخته شده مبین موفقیت نسبی در دستیابی به مشخصه های مورد نیاز میراگرهای ویسکوز است و طرح بدست آمده در این تحقیق در عمل چنانچه در فرم صنعتی و با جزئیات جدید در ارتباط با کاهش هزینه های تراشکاری و نصب قطعات به کار گرفته شود جایگزین مناسبی در مقایسه با انواع موجود میراگرهای ویسکوز با سیستم های متداول سیلندر و پیستونی خواهد بود.

هر دو قطعه دارای این مزیت می باشند که توانایی تولید آنها در داخل کشور و با قیمت های بسیار کمتر از نمونه های با کارایی مشابه وجود دارد. امید است که روزی دستاوردهای این پروژه و پروژه های مشابه در داخل کشور کاربرد داشته باشند و جایگاه خود را بیابند.

**واژه های کلیدی:** جداسازهای الاستومری، جداسازی پایه، میراگرهای ویسکوز

## Control of Torsion in Asymmetric Structures Using Damper Distribution

Abdolreza Sarvghad Moghadam

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

## کنترل پیچش سازه‌های نامتقارن با استفاده از توزیع میراگر

عبدالرضا سروقد مقدم

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه moghadam@iiees.ac.ir

The behavior of structures in the past earthquakes shows that torsion due to asymmetry was one of the main reasons of structural vulnerabilities. The studies performed on the issue of controlling torsional effects by suitable stiffness and strength distributions show that in the nonlinear range of structural behavior, elimination of torsional effects on multiple governing responses of structures is not possible. Such reason made the researchers to apply optimal distributions of energy dissipating devices for controlling the torsion of structures. Past studies show that viscous dampers have suitable and simple behavior which can be distributed in the structures to control asymmetry effects. In this research, suitable distributions of viscous dampers are proposed for decreasing the effects of torsion on structural and non-structural elements. Additionally, the possibility of controlling multiple responses of buildings by specific distribution of dampers is studied. In this regard, the effects of plan wise and height wise distribution of dampers are studied on dynamic specifications of structures in the elastic ranges. Also, analytical nonlinear studies have been performed on one-story and multi-story buildings with different distributions of stiffness and strength and damping under several ground motions. The sensitivity of the results has been studied on different governing parameters such as torsional stiffness of the structures, different damping coefficients of the dampers, stiffness versus mass asymmetry and two-way asymmetry with bi-directional excitation. The results show that by using a suitable damper distribution, the effects of torsion can be decreased on important structural responses, but controlling multiple responses are possible in specific cases. For verification of the analytical results, an experimental setup including a 1/6 scaled one-story structure with two viscous dampers has been tested on the shaking table. The comparison of the analytical and experimental results shows an acceptable similarity in many of the responses. Finally, suitable plan wise and height wise distribution of viscous dampers have been proposed for controlling torsion of the structures with different stiffness and strength properties.

**Keywords:** Asymmetric structures, Viscous damper distribution, Torsional balance, Lateral acceleration, Damping eccentricity, Experimental model

بررسی رفتار سازه‌ها در زمین‌لرزه‌های گذشته نشان می‌دهد که پیچش حاصل از نامتقارنی یکی از دلایل آسیب‌پذیری‌های شدید بوده است. بررسی‌های فراوانی که بر روی رفتار این‌گونه سازه‌ها در حوزه الاستیک و غیرالاستیک و همچنین روش‌های کنترل پیچش از طریق توزیع مناسب سختی و مقاومت اعضای باربر جانبی صورت گرفته، نشان داده‌اند که با تمهیدات طراحی نمی‌توان به طور همزمان اثر پیچش را روی چند پارامتر پاسخ خطی و غیرخطی کاهش داد. با توجه به مزیت‌های روش‌های نوین طراحی لرزه‌ای که در آنها از تجهیزات الحاقی استهلاک انرژی نظیر میراگرها به منظور کنترل پاسخ‌ها در زلزله استفاده می‌شود، ایده استفاده از توزیع مناسب این تجهیزات برای کاهش اثرات نامتقارنی با توجه به مزایای آن در رفع محدودیت‌های توزیع سختی و مقاومت المان‌های باربر جانبی و همچنین مقاوم‌سازی سازه‌های موجود، مطرح شده است. در این میان استفاده از میراگرهای ویسکوز با توجه به سادگی و مزیت‌های رفتاری به عنوان یکی از روش‌های مناسب مدنظر بوده‌اند. در این گزارش، سعی شده تا توزیع‌های مناسب میراگرهای ویسکوز به منظور کاهش اثرات منفی پیچش بر روی عناصر سازه‌ای و تجهیزات غیر سازه‌ای ارائه گردد و امکان کاهش همزمان چند پاسخ که بر رفتار آنها حاکم هستند، بررسی گردد. بدین منظور در حالت الاستیک اثرات توزیع پلانی میراگر ویسکوز بر مشخصات دینامیکی مدل‌های یک طبقه و اثرات توزیع ارتفاعی این تجهیزات در سازه‌های چندطبقه مورد بررسی قرار گرفته که نشان‌دهنده تأثیر زیاد چیدمان میراگر بر برخی پارامترهای دینامیکی نظیر درصد میرایی موده‌های سازه می‌باشد. بررسی سازه‌های یک طبقه نشان داده است که در مدل‌های سخت پیچشی انتقال مرکز میرایی به سمت لبه نرم موجب افزایش میرایی مود غالب جانبی می‌گردد. همچنین بررسی سازه‌های چند طبقه نیز نشان داده است که توزیع ارتفاعی میراگرها تأثیر کمتری بر پاسخ‌های سازه دارد و در این بین توزیع ارتفاعی بر حسب اختلاف تغییرمکان مود اول مناسب‌ترین حالت است. همچنین مطالعات تحلیلی غیرخطی با استفاده از شتابنگاشت‌های مختلف بر روی مدل‌های یک طبقه و چند طبقه با توزیع‌های مختلف سختی، مقاومت و میراگر در پلان و ارتفاع صورت گرفته است. تغییرات پارامترهای مختلف نظیر نرمی و سختی پیچشی سازه‌ها، مقادیر مختلف ضریب میرایی میراگرها، خروج از مرکزیت سختی و جرمی و خروج از مرکزیت دو طرفه با زمین‌لرزه‌های دو مؤلفه‌ای نیز بررسی و اثرات آنها بر نتایج ذکر شده است. بر اساس نتایج بدست آمده با توزیع میراگر می‌توان اثرات پیچش را بر پاسخ‌های مهم سازه‌ای در بسیاری از حالات کاهش داد ضمن اینکه با تغییر برخی از پارامترهای ذکر شده در سازه یا سیستم میراگر امکان کنترل بهینه یک پاسخ یا کنترل همزمان چند پاسخ فراهم می‌شود که نتایج آن به تفصیل ذکر شده‌اند. به طور کلی نتایج نشان داده‌اند که برای کنترل پاسخ تغییرمکان جانبی و چرخش دیافراگم توزیعی از میراگرها باید انتخاب شود

که مرکز میرایی در سمت مخالف مرکز سختی باشد در صورتی که برای کنترل شتاب جانبی نتایج مختلف می‌باشد. از طرفی خروج از مرکزیت دو طرفه تأثیر کمی بر نتایج داشته در صورتی که با افزایش مجموع میرایی جانبی و یا نرمی پیچشی محل مرکز میرایی بهینه به سمت لبه سخت حرکت می‌کند. به منظور اعتبارسنجی مطالعات تحلیلی و بررسی عملی رفتار میراگرهای ویسکوز مطالعه آزمایشگاهی بر روی مدل یک طبقه با مقیاس  $1/6$  با چیدمان‌های متفاوت دو میراگر، بر روی میز لرزان انجام شده و نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی برای پاسخ‌های مؤثر بر رفتار پیچشی با هم مقایسه شده‌اند که تطبیق قابل قبولی را نشان داده‌اند. در نهایت توزیع‌های مناسب میراگر ویسکوز در پلان و ارتفاع ساختمان به منظور کنترل اثرات پیچش بر روی پاسخ‌های حاکم بر رفتار عناصر مختلف برای سازه‌های با مشخصات سختی و مقاومت متفاوت تعیین شده است. نتایج نشان داده‌اند که می‌توان برای کاهش اثر پیچش بر پاسخ‌های سازه‌های چند طبقه از تعمیم نتایج کلی حاصل از سازه‌های یک طبقه استفاده نمود به طوری که از برهم کنش پارامترهای طبقات مختلف برهم استفاده کرد.

**واژه‌های کلیدی:** سازه نامتقارن، توزیع میراگر ویسکوز، تعادل پیچشی، شتاب جانبی، خروج از مرکزیت میرایی، سازه چندطبقه، مدل آزمایشگاهی



## Influence of Vertical Loads and Behavior of Retrofitted Specimens (by grout) in the Engineered Infilled Frames, Having Sliding Fuses

**Majid Mohammadi**

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

**Reza Mohammadi**

## بررسی اثر بار قائم و رفتار نمونه تعمیر شده با گروت در میانقاب مهندسی دارای فیوز لغزان

مجید محمدی

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

رضا محمدی

Study on infills is one the most controversial issues of today's civil engineering because of complication in its material behavior, interaction between frame and infill, weakness of analytical models, etc. Proposing a method to improve the ductility of infills is an important subject in this area. For this purpose, the author of this study has proposed a new kind of engineered infilled frame by an innovative use of an element called "Frictional Sliding Fuse (FSF)". The resultant infill not only has higher strength and ductility in comparison with its corresponding infills without FSF, but also has got the capability of being adjusted to a desirable ultimate strength. The detail of FSF and how it performs, infill's ideal behavior with FSF, and some other phenomena such as the effect of top gap or fuse position on the behavior of infilled frame, has been studied experimentally in previous projects. Another important factor which considerably affects the behavior of infilled frames is the axial load in the columns of the frame that always exists in actual cases. Since, none of specimens have been tested with vertical loading on their columns before, the first phase of this project deals with identification of the effects of this parameter.

Having the capability of being repaired after earthquakes or to be used in rehabilitating process of an existing structure, are the other objectives of proposing this novel infilled frame. For such usage of engineered infilled frame with FSF, its behavior after repair should be taken into consideration. Thus, repaired specimens with and without top gap have been tested in the second phase of the project. The effect of top gap on repaired specimens is of more significance than on usual ones, since in most cases, it is inevitable to have top gap when repairing the infill.

The obtained results show that vertical load on the fused infilled frames improves their deformation capacities and ultimate strengths, but decreases their damping. Furthermore, such infill panels can be repaired by grout easily. The repaired specimen showed even better behavior, regarding the ultimate strength and deformation capacity. It is worth noting that the top gap, between the infill and the top beam, should be avoided during repair.

میانقاب‌ها به دلایل گوناگون از جمله پیچیدگی رفتار مصالح، اندرکنش بین قاب و میانقاب، ضعف مدل‌های تحلیلی و ... یکی از بحث برانگیزترین موضوعات روز مهندسی هستند. یکی از زمینه‌های تحقیقاتی موجود، چگونگی دستیابی به یک میانقاب مهندسی دارای شکل‌پذیری بالا است. در این راستا مجری پروژه حاضر در تحقیقات قبلی خود سعی نمود به میانقابی دست یابد که مقاومت آن مانند سایر اعضای سازه‌ای قابل تنظیم بوده و در عین حال دارای مقاومت و شکل‌پذیری مورد نیاز برای تحمل زلزله باشد. بدین منظور در وسط ارتفاع میانقاب از عضوی که در این پروژه فیوز لغزان نامگذاری شده است استفاده می‌شود. کارایی فیوز لغزان، رفتار میانقاب دارای فیوز لغزان و همچنین مطالعه اثراتی همچون وجود درز فوقانی و یا موقعیت فیوز در تحقیقات قبل مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این پروژه، به بررسی بارگذاری قائم بر رفتار چنین میانقابی پرداخته می‌شود تا اثر وجود بار محوری در ستونهای سازه نیز مورد مطالعه قرار گیرد. از دیگر اهداف ارائه چنین طرحی، معرفی نوع جدیدی از میانقاب بود که پس از وقوع زلزله به راحتی قابل تعمیر باشد. بنابراین پس از آزمایشات مربوط به نمونه‌های دارای بارگذاری قائم، به آزمایش و بررسی نحوه عملکرد نمونه‌های تعمیر شده عادی و تعمیر شده دارای درز فوقانی پرداخته می‌شود. در تعمیر این نمونه‌ها از گروت استفاده شد.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بارگذاری قائم شکل‌پذیری و مقاومت نهایی نمونه را افزایش می‌دهد اما موجب کاهش میرایی می‌شود. دلیل افزایش شکل‌پذیری و مقاومت نهایی، دورگیری بیشتر بتن میانقاب توسط قاب به دلیل وجود بار قائم است.

نتایج آزمایش نمونه‌های تعمیر شده با گروت نشان می‌دهد که میانقاب‌های دارای فیوز از قابلیت تعمیرپذیری خوبی برخوردارند. به گونه‌ای که نمونه تعمیر شده نسبت به نمونه اصلی دارای مقاومت و شکل‌پذیری بیشتری است هر چند که سختی اولیه کمتری دارد. البته نکته مهم در تعمیر این نوع میانقاب آن است که تا حد ممکن باید از ایجاد درز بین میانقاب و تیر فوقانی جلوگیری نمود.

**واژه‌های کلیدی:** قاب میانپیر، فیوز لغزان، درز فوقانی، تعمیر، گروت

**Keywords:** Infilled frame, Sliding fuse, Top gap, Retrofitting, Grout



Loading the specimen in vertical direction



Repaired specimen (with Grout)

## Selection of Ground Motion Records for Nonlinear Time-history Analysis

**Mohsen Ghafory Ashtiany**

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

**Mehdi Moussavi**

## انتخاب شتابنگاشت‌هایی برای تحلیل لرزه‌ای غیر خطی بر اساس مشخصات طیفی

محسن غفوری آشتیانی

استاد پژوهشگر مهندسی سازه ashtiany@iiees.ac.ir

مهدی موسوی

The ground motion intensity measure (IM) parameter, as a link between the site hazard and the structural response, plays a significant role in the seismic risk analysis. One of the most fundamental characteristics of an IM is its "sufficiency". That means the applied IM can completely represent a ground motion record. The acceleration response spectra in the dominant period of structure,  $S_a(T_1)$ , is the most well-known intensity measure which is used today by the structural engineers. It is shown that the  $S_a(T)$  can not be accounted as a sufficient IM, because of the obvious influence of the spectral shape of a ground motion record on the nonlinear response. Consequently, if a structure be analyzed with considering the  $S_a(T)$ , the event of bias in the calculated response, is a reasonable expect.

The major objective of this research is to study the influence of the spectral shape on the bias of the structural response. The statistical analysis of SDOF systems under excitation of a variety of ground motion records is the applied methodology in this report. Also, the collapse capacity is considered as the structural response, here.

As one of the most significant findings of this study, the filtration of the ground motion records based on the target hazard level is an effective way to reduce the structural response bias. For this objective, an innovative indicator of spectral shape is proposed. This indicator, named "eta ( $\eta$ )", is a linear combination of the acceleration response epsilon,  $\epsilon_{sa}$ , and the peak ground velocity epsilon,  $\epsilon_{pgv}$ . By determination of the target  $\eta$  corresponding to the desired hazard level and filtration of records based on this  $\eta$ , the bias of structural response decreases.

The frequent selection of records for each hazard step is not practically convenient, especially for risk assessment procedure that requires integrating the fragility and hazard functions in different hazard steps. As a solution to this challenge, a simplified approach is proposed that considers the spectral shape in response assessment without need to repeating the selection procedure in different hazard levels.

The introduction of appropriate ground motion records for analysis of different structures is a practical need for development of performance based earthquake engineering. With this aim, the effects "period" and "ductility", as the

سنجه شدت جنبش زمین، به عنوان حلقه واسط وضعیت خطر ساختگاه و پاسخ سازه، از اهمیت ویژه‌ای در تحلیل خطرپذیری سازه‌ها برخوردار است. ویژگی کلیدی مورد انتظار از یک سنجه ایده‌آل، «کفایت» آن است. این گزاره بدین معناست که سنجه بکارگرفته شده به تنهایی توصیف کننده کاملی از یک شتابنگاشت است. مقدار طیف پاسخ شتاب در پیوند غالب سازه،  $S_a(T_1)$ ، ساده‌ترین و رایج‌ترین سنجه شدتی است که در کاربردهای مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. علیرغم شهرت، این سنجه شدت از کفایت لازم برخوردار نیست چرا که پاسخ سازه علاوه بر  $S_a(T_1)$  به صورت آشکاری متأثر از شکل طیف شتابنگاشت‌هاست. بنابراین، اگر سازه صرفاً بر اساس  $S_a(T_1)$  تحلیل شود آنگاه به احتمال فراوان پاسخ حاصل «اریب» خواهد بود. بررسی نظام‌مند تأثیر شکل طیف بر اریبی پاسخ برآورد شده و آرایه راهکاری برای کاهش این اریبی هدف اصلی این مطالعه قرار گرفته است. روش تحقیق در این پروژه، تحلیل آماری نمونه‌های متنوع یک‌درجه آزادی تحت تحریک مجموعه‌های متنوع شتابنگاشت است. ظرفیت فروریزش نیز به عنوان شاخص پاسخ غیر خطی منظور شده است.

یکی از مهمترین یافته‌های این تحقیق آن است که پالایش شتابنگاشت‌های سازگار با تراز خطر مطلوب، راهی عملی برای کاهش اریبی پاسخ است. برای تحقق این هدف، شاخص نوآورانه‌ای به نام اتا ( $\eta$ ) به صورت ترکیب خطی اپسیلون طیف پاسخ شتاب در پیوند غالب سازه،  $\epsilon_{sa}$  و اپسیلون سرعت بیشینه،  $\epsilon_{pgv}$ ، آرایه شده است. با تعیین  $\eta$  هدف بر اساس تراز مطلوب خطر ساختگاه و پالایش شتابنگاشت‌های سازگار با آن، اریبی پاسخ برآورد شده کاهش می‌یابد. از آنجا که پالایش‌های پی در پی شتابنگاشت‌ها در سطوح مختلف خطر به منظور کاهش اریبی از دیدگاه مهندسی چندان مطلوب و به نوعی عملی نیست، برای غلبه بر این چالش راه حل ساده‌ای آرایه شده تا ضمن منظور نمودن شکل طیف در برآورد پاسخ سازه نیازی به پالایش‌های متعدد نباشد. از آنجا که معرفی شتابنگاشت‌های مناسب برای تحلیل انواع سازه‌ها با مشخصات رفتاری گوناگون یک پیش شرط مهم برای عمومیت بخشی به تحلیل غیر خطی سازه‌ها است، مطالعه‌ای نظام‌مند برای بررسی تأثیر پارامترهای رفتاری سازه (پیروید و شکل‌پذیری) بر انتخاب شتابنگاشت‌های معرف صورت پذیرفته است. بر این اساس سازه‌ها صرفاً بر مبنای پیروید به شش گروه سازه تقسیم و برای هر گروه هشت شتابنگاشت معرفی شده است.



most significant structural parameters, on the selection of representative records were studied. Finally, the structures were classified in six structure groups and for dynamic analysis of each group, eight ground motions records were proposed.

**Keywords:** Seismic reliability, Intensity measure, Bias in the response assessment, Record filtration, Spectral shape, Spectral shape indicator, Seismic collapse capacity

**واژه‌های کلیدی:** قابلیت اطمینان لرزه‌ای، سنجش شدت، ارزیابی در برآورد پاسخ، پالایش، شکل طیف، شاخص شکل طیف، ظرفیت فروریزش لرزه‌ای

## Development of Seismic Fragility Curves for Quick Seismic Assessment of Typical Three Span Highway Bridges in Tehran

Afshin Kalantari

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

Seismic assessment and retrofitting of bridges is one of the major activities which may reduce the probable seismic loss during and after earthquakes. Seismic fragility curves have been introduced as a necessary tool for this purpose. In this study, analytical seismic fragility curves were developed for one type of highway bridges in Iran. For the modeling purpose, the typical technical detailing of a three-span-highway-bridge provided in the publication No. 294 of Management and Planning Organization of Iran was employed. A nonlinear model of the bridge was developed in OpenSEES software. The seismic demand on the bridge piers and their capacity was considered to define the failure of the structure. 20 pairs of seismic records were selected from the PEER ground motion data bank. The results of the fragility analysis have been provided as seismic fragility curves.

**Keywords:** Highway bridges, Nonlinear analysis, Damage index, Seismic fragility curves

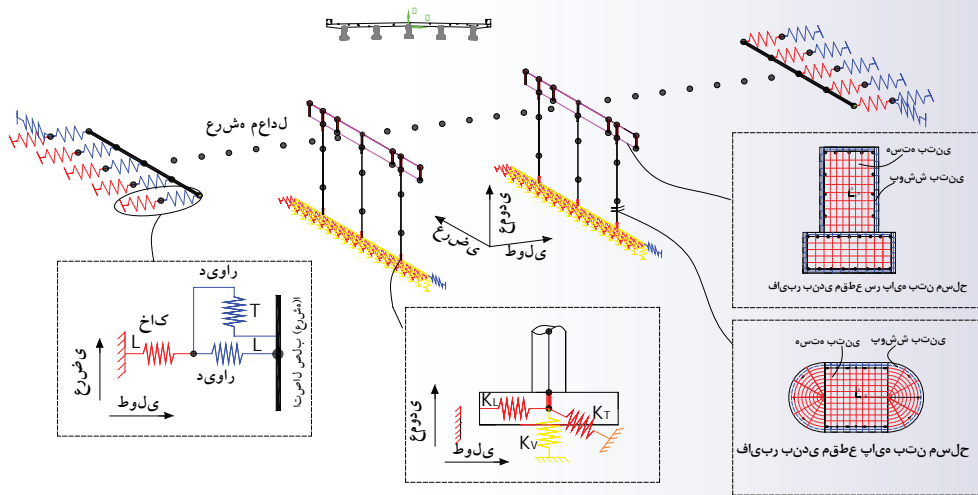
## توسعه منحنی‌های شکنندگی تحلیلی یک گروه از پلهای بزرگراهی سه‌دهانه همسان در تهران

افشین کلانتری

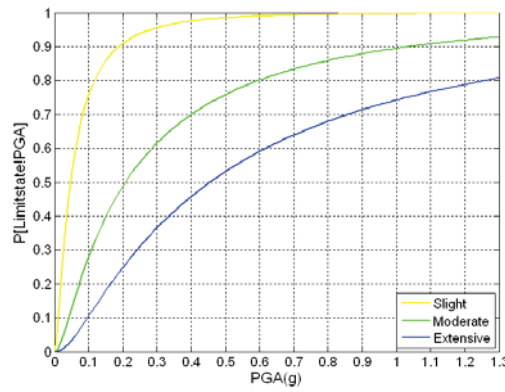
استادیار پژوهشکده مهندسی سازه a.kalantari@iiees.ac.ir

منحنی‌های شکنندگی احتمال فراگذشت میزان تقاضای لرزه‌ای سازه از مقدار ظرفیت تعیین شده برای مقادیر مختلف شدت زلزله را بیان می‌نمایند. منحنی‌های شکنندگی به صورت کارشناسی، تجربی و تحلیلی صورت می‌گیرد. در حال حاضر، اطلاعات مطلوب و کافی از شدت آسیب‌های وارده به پلها در کشور تاکنون در دسترس نیست و به این دلیل امکان ایجاد منحنی‌ها شکنندگی به روش تجربی برای پلهای مشابه در حال خدمت وجود ندارد. در محاسبه منحنی‌های شکنندگی لرزه‌ای به روش تحلیلی، پاسخ‌ها یا تقاضای لرزه‌ای حاصل از تحلیل عددی پلها، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه منحنی شکنندگی لرزه‌ای برای یک مدل پل سه دهانه با شاه تیرهای بتنی پیوسته (برگرفته از نشریه ۲۹۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی) به روش تحلیلی محاسبه و ارائه می‌شود. در طی مطالعه، لزوم مدلسازی تکیه‌گاه کناری و تأثیر مدلسازی رفتار آن و شدت زلزله بر روی منحنی‌های شکنندگی نیز بررسی می‌شود. میزان تقاضای لرزه‌ای بر روی ستونها به عنوان معیار اصلی برآورد شکنندگی لرزه‌ای مورد توجه قرار گرفته است. به منظور تحلیل دینامیکی غیرخطی پل، نیاز به مجموعه‌ای از زمین لرزه‌ها است که خصوصیات آنها با شرایط خاک محل، سازوکار گسله‌های منطقه و سایر خصوصیات ساختگاه مطابقت داشته باشد. در این زمینه پس از انتخاب ویژگیهای مشترک برای زلزله‌ها بر اساس ساختگاه مورد نظر برای سازه، رکوردهای متناسب از بانک رکوردهای سایت PEER برگزیده شده‌اند. مدلسازی رفتار دینامیکی غیرخطی پل با استفاده از نرم‌افزار Openness به صورت سه‌بعدی انجام گردیده است. نتایج، شامل منحنی‌های شکنندگی لرزه‌ای سازه یادشده و احتمال وقوع آسیب در اثر شدت زلزله‌های متفاوت می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** پلهای بزرگراهی، تحلیل غیرخطی، شاخص‌های آسیب‌پذیری، منحنی‌های شکنندگی



مدل سازه پل مورد مطالعه



نمونه منحنی شکنندگی حاصل از مطالعه



## Analytical Study on Seismic Behavior of Offshore Platforms in Persian Gulf Designed for Float-over Installation

**Akbar Vasseghi**

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

**Yusef Javadi Sina**

## مطالعه تحلیلی رفتار لرزه‌ای سکوه‌های دریایی در خلیج فارس با سیستم سازه‌ای ویژه نصب به روش شناوری

اکبر واثقی

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه vasseghi@iiees.ac.ir

یوسف جوادی سینا

Fixed offshore platforms are usually constructed for development of oil and gas fields in relatively shallow water depth. Water depth in the Persian Gulf is less than 100 meters and many fixed platforms have been installed there. Recently in Persian Gulf and other places with relatively calm environmental conditions, a special method called "float-over" is used to install very large platforms. In this method, the substructure called "jacket" is first installed at the desired location. The barge carrying the topside passes through the jacket legs and the topside which usually weighs more than 5000 tons is placed on top of the jacket. The jacket is a pace structure with 4 or 6 legs and horizontal and diagonal members which connect the legs at different levels. The float-over installation requirement for the barge to pass through the jacket dictates no framing members from 8 meter below to 12 meter above the sea level in one of the major directions. Such framing configuration would significantly affect seismic behavior of the platform. This report presents the results of an analytical study on seismic behavior of two platforms which have been installed in the Persian Gulf using float-over method. The seismic behavior of the platforms is studied using nonlinear static and dynamic analyses.

**Keywords:** Offshore platform, Structure, Earthquake, Seismic behavior

سکوه‌های ثابت دریایی از بدو پیدایش به دلیل نقش مهم و حیاتی خود در صنایع بخصوص صنعت نفت و گاز همواره مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند. هزینه‌های هنگفت طراحی، ساخت و نصب این سکوها موجب گردیده تا محققان و شرکت‌های نفتی از روش‌های جدیدی که ضمن حفظ اطمینان از رفتار سازه، کاهش هزینه‌ها را در پی داشته باشد، استقبال نمایند.

نصب قسمت فوقانی سکوه به روش شناوری یا Float Over که در سال‌های اخیر در نصب سکوها با وزن زیاد در قسمت فوقانی مورد توجه قرار گرفته و روز به روز نیز بر محبوبیت آن افزوده می‌گردد، یکی از این روش‌ها می‌باشد که به علت تغییراتی در قسمت فوقانی جاکت نیازمند بررسی‌های دقیق‌تری در تحلیل‌های دینامیکی بخصوص در هنگام وقوع زلزله می‌باشد.

از طرفی تفاوت قابل ملاحظه سکوها با سازه‌های واقع در خشکی و شرایط محیطی و بارگذاری متنوع هرگونه مطالعه بیشتر را مستلزم استفاده از نرم‌افزارهای گران قیمت با صرف وقت و هزینه زیادی در پی دارد.

در این تحقیق، سعی بر این است که با استفاده از نرم‌افزار متداول مهندسی سازه SAP2000 و با انتخاب مدل مناسب جهت مدلسازی رفتار خاک و سازه، رفتار لرزه‌ای دو سکوی ثابت دریایی طی یک تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی با ملحوظ نمودن رفتار اندرکنش شمع و خاک و رفتار غیرخطی مصالح سازه بررسی گردد. روش پیشنهادی قابلیت استفاده در کلیه سکوه‌های ثابت دریایی را دارد.

اهم نتایج حاصله به شرح ذیل می‌باشد:

نتایج حاصله از روش‌هایی نظیر شمع معادل منتهی به جواب‌هایی کمتر از واقع می‌گردند، ولی تحلیل غیرخطی استاتیکی این روش تقریب نسبتاً مناسبی از ترتیب تشکیل مفاصل پلاستیک و روند غیرخطی شدن المان‌های جاکت ارائه می‌دهد.

در سکوه‌های مورد مطالعه پتانسیل تسلیم در پایه‌های فوقانی زیر تراز عرشه‌ها وجود دارد و نیز تبعات استفاده از شمع Skirt، احتمال وقوع پدیده ستون کوتاه در پایه‌های طبقه پایین وجود دارد و نیز به علت تفاوت هندسه جاکت در دو سمت، جاکت از ایمنی یکسانی در دو جهت برخوردار نیست و سمت ضعیف طی زلزله‌های با شتاب ماکزیمم یکسان سریع‌تر به مرحله غیرخطی می‌رسد.

**واژه‌های کلیدی:** سکوه‌های ثابت دریایی، روش Float Over، رفتار لرزه‌ای، اندرکنش شمع و خاک، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

## Evaluation of Influence of Earthquake Rotational Components on the Behavior of Structures

**Mohsen Ghafory Ashtiany**

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

**Mohammad Reza Falamarz Sheikhabadi**

The objective of this report is to evaluate the influences of the rotational components on the dynamic behavior of structures. To achieve this, after reviewing common methods for obtaining the rotational components in earthquake-engineering applications, new formulations in order to evaluate the rotational motion corresponding to a point on the ground surface, and foundation input motions are derived. A procedure is also presented to estimate all foundation input motions, and the influence of the geometrical shape of foundation on the structural excitation is parametrically studied. Next, to investigate the importance of the rotational components in ordinary structural analyses, the contribution of the foundation input rocking component relative to the corresponding foundation input translational components to the dynamic responses of a set of vertically irregular and regular structures is evaluated. Numerical results show that the seismic loading of the rocking component is more dependent on the distribution of mass, stiffness and geometrical shape of structures in height in comparison to the translational ones. This contribution of the rocking components in structural responses can be detrimental and in the especial cases can achieve to 60%; however, this contribution is 15% in average. Finally, reviewing the provisions of seismic design codes shows that the effects of the rocking and torsional components have not been considered by current codes. In addition, the accidental eccentricity presented by these codes cannot consider the influence of torsional components, effectively. Therefore, a new method for evaluating the accidental eccentricity of structures due to torsional loading has also been derived and its application has been shown. However, further study is still necessary to verify the application of the proposed method.

**Keywords:** Rotational components; Principal axes; Phase velocity; Coherency; Vertically irregular structure; Accidental eccentricity

## بررسی نحوه ملحوظ نمودن اثر مؤلفه‌های دورانی ناشی از زلزله بر پاسخ سازه‌های ساختمانی

محسن غفوری آشتیانی

استاد پژوهشکده مهندسی سازه / ashtiany@iiees.ac.ir

محمد رضا فالامرز شیخ‌آبادی

هدف مطالعه حاضر بررسی اثر مؤلفه‌های دورانی زلزله بر رفتار سازه‌هاست. از این رو، ابتدا با بررسی روش‌های رایج محاسبه مؤلفه‌های دورانی زلزله در میدان آزاد، معادل‌هایی به منظور محاسبه این مؤلفه‌ها ارائه گردیده، بر اساس آن، تأثیر شکل هندسی پی‌ها بر مؤلفه‌های ورودی سازه‌ها به صورت پارامتری بررسی و ارزیابی شده است. در ادامه، به منظور بررسی اهمیت ملحوظ نمودن مؤلفه‌های دورانی زلزله در تحلیل‌های سازه‌ای رایج، درصد مشارکت مؤلفه گهواره‌ای ورودی پی نسبت به مؤلفه انتقالی ورودی پی در پاسخ مجموعه‌ای از سازه‌های منظم و نامنظم در ارتفاع نشان داده شده است. نتایج به دست آمده، مبین آن است که مؤلفه گهواره‌ای زلزله بیش از مؤلفه انتقالی متناظر به نحوه توزیع جرم، سختی و شکل هندسی سازه در ارتفاع وابسته و در شرایط خاصی، درصد مشارکت این مؤلفه در پاسخ‌های سازه‌ای قابل توجه است و می‌تواند به حدود ۶۰٪ برسد. اگرچه، این درصد مشارکت به طور میانگین حدود ۱۵٪ به دست آمد.

در پایان نیز با بررسی آیین‌نامه‌های لرزه‌ای موجود، مشاهده شد که نه تنها هیچ یک از این آیین‌نامه‌ها اثر مؤلفه گهواره‌ای زلزله را در نظر نگرفته‌اند، بلکه نقایص عمده‌ای نیز در خروج از مرکزیت تصادفی ارائه شده در آنها به منظور در نظر گرفتن اثر مؤلفه پیچشی زلزله وجود دارد. از این رو، رابطه‌ای جدید برای تعیین خروج از مرکزیت تصادفی ناشی از بارگذاری مؤلفه پیچشی زلزله ارائه شد.

**واژه‌های کلیدی:** مؤلفه‌های دورانی، محورهای اصلی تحریک، سرعت فاز، همگرایی، سازه نامنظم در ارتفاع

## Numerical Investigation on the Behavior of Multilayer Frictional Bases, Considering Vertical Components of Earthquakes

Majid Mohamamdi

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

Majid Kashani, Morteza Kianian

Influence of sliding layers in foundation is investigated in this research, regarding influences of the vertical component of earthquakes. For this, the behavior of a stiff building constructed on such foundations is numerically investigated under some real earthquakes. The building is assumed as a rigid block, which can be a short masonry building, in order to facilitate the calculations and to focus more on the efficiency of the sliding layers. In addition to the vertical component of earthquakes, the number of sliding layers as well as restitution factor of the foundation is also considered here. Based on the obtained results, the following conclusions can be drawn:

If the vertical component of an earthquake is ignored, the ground accelerations which are equal to or less than  $\mu g$  will be applied to the structure. However for the larger earthquakes, the applied acceleration will be restricted to  $\mu g$ , because of the foundation sliding ( $m$  is coefficient of friction of the sliding layer and  $g$  is natural ground acceleration). For real earthquakes, with vertical component, the acceleration applied to the structure depends not only on  $m$  and  $g$ , but also on the instantaneous vertical acceleration ( $\ddot{y}_g$ ). The foundation will slide when the horizontal acceleration exceeds  $\mu(g + \ddot{y}_g)$ .

Additionally, contact between the layers is modeled by a damper and a spring, in each horizontal and vertical direction, shown in the following figure. Stiffness of the spring depends on the layer thickness and material. Separation of foundation layers is also modeled in this research.

To summarize the efficiency of the foundations, with sliding layers, earthquakes are categorized in two groups: 1- Earthquakes with considerable vertical component, having PGAs greater than  $g$  and 2- Others.

In the first group, which includes near source earthquakes, the layers of the considered foundations will separate when the vertical accelerating is greater than  $g$ . During the separation time, no horizontal acceleration will be transmitted to the structure. In this regard, the separation may be repeated because of the restitution factor of the layers and there will be more intervals with no horizontal transmission. Increasing number of the sliding layers raises

## بررسی عددی عملکرد پایه اصطکاکی دو یا چند لایه با در نظر گیری اثر مؤلفه قائم زلزله

مجید محمدی

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

مجید کاشانی، مرتضی کیانیان

تحقیق حاضر به بررسی عملکرد پی دارای یک یا چند لایه لغزان در انتقال نیروهای لرزه‌ای به سازه پرداخته است. بدین منظور، رفتار یک ساختمان سخت که روی پی لغزان یک یا چند لایه احداث شده در چند زلزله واقعی مورد مطالعه قرار گرفته است. به منظور تسهیل در انجام محاسبات و تمرکز بیشتر روی رفتار پی لغزان، ساختمان مورد نظر به گونه‌ای در نظر گرفته شده است که می‌توان آن را با یک بلوک صلب مدل نمود (مانند ساختمان آجری یک طبقه). در تحلیل‌های انجام شده، مؤلفه قائم زلزله منظور و تأثیر پی دارای یک لایه لغزان با پی چند لایه مقایسه شده است. علاوه بر این اثر ضریب بر جهندگی در مصالح پی نیز بررسی شده است. با توجه به مطالعات و تحلیل‌های انجام شده در این گزارش، می‌توان نتایج زیر را بیان نمود:

در ساختمان مورد نظر که دارای پی یک یا چند لایه لغزان است اگر از مؤلفه قائم زلزله صرف‌نظر شود، شتاب‌های افقی کمتر از حاصل ضرب ضریب اصطکاک ( $m$ ) در شتاب ثقل زمین ( $g$ ) بدون تغییر به سازه منتقل می‌گردد، ولی برای شتاب‌های بزرگتر از این مقدار، لغزش پی باعث می‌شود که مقدار حداکثر شتاب منتقل شده به سازه برابر  $\mu g$  باشد.

هر چند که تاکنون اثر مؤلفه قائم بر رفتار پی لغزان به صورت دقیق بررسی نشده است ولی بر اساس نتایج این تحقیق اثر مؤلفه قائم زلزله به هیچ وجه قابل صرف‌نظر نیست و این مؤلفه تأثیر بسیار زیادی بر شتاب وارد به بنای روی پی لغزان دارد. در حالت کلی حداکثر مقدار شتاب افقی که به سازه منتقل می‌شود علاوه بر  $g$  به مؤلفه قائم زلزله نیز وابسته و برابر  $\mu(g + \ddot{y}_g)$  است که  $\ddot{y}_g$  شتاب مؤلفه قائم زلزله می‌باشد.

در مدل‌سازی پی‌های لغزان دو یا چند لایه، امکان جداسازی لایه‌ها از یکدیگر نیز منظور و چنین فرض شده است که لایه‌های مختلف پی در هر یک از جهت‌های افقی و قائم با یک فنر که سختی آن متناسب با ضخامت و مصالح لایه‌ها است و همچنین یک میراگر به یکدیگر متصل شده‌اند. شکل زیر یک پی دارای یک لایه لغزان را نشان می‌دهد:

در بررسی عملکرد پی‌های دارای لایه لغزان و از منظر مؤلفه قائم، می‌توان زلزله‌ها را به دو دسته عمده تقسیم نمود:

- ۱) زلزله‌هایی که در آنها مقدار شتاب حداکثر قائم در جهت ثقل از مقدار شتاب ثقل زمین بیشتر باشد
- ۲) زلزله‌های دیگر

در پی‌های دارای یک یا چند لایه لغزان وجود ضریب جهندگی در حالتی که مقدار شتاب حداکثر قائم در جهت ثقل از مقدار شتاب ثقل زمین بیشتر باشد (دسته اول) در کاهش شتاب وارد به بلوک بسیار مؤثر است



the efficiency of the foundation in restricting the horizontal earthquake applied to the structure. For the second group of earthquakes, the difference between foundations with single or multi sliding layer was not the same as the first group. However, the spectrum of the acceleration applied to the structure showed that multi layer foundation is still more efficient, as shown for San Fernando Earthquake in the following figure.

It is worth noting that Iran has the potential of having a near source earthquake considering the abundance and scattering of faults all over the country. For such earthquakes, the foundation with many sliding layers can be very efficient in raising the security of structures, by restricting the applied horizontal accelerations.

**Keywords:** Frictional bases, Vertical components of earthquakes, Sliding layers

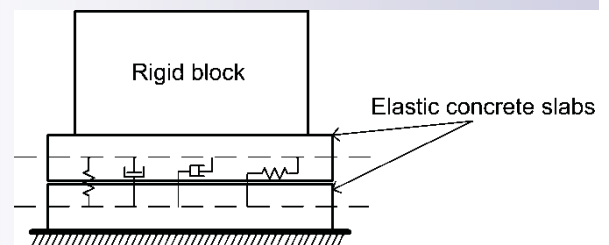
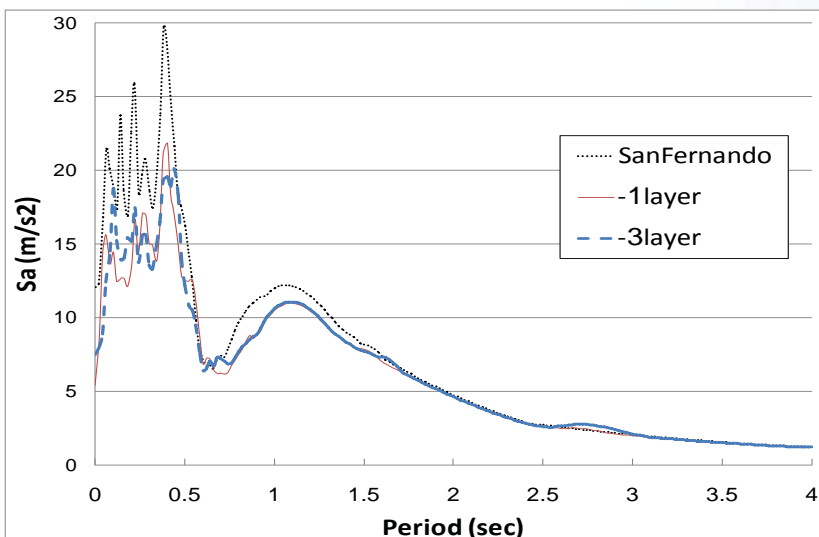
و هر چه تعداد لایه‌ها بیشتر باشد این تأثیر زیادتر خواهد بود. در چنین رکوردهایی که در آنها یک یا چند لایه در لحظاتی از یکدیگر جدا می‌شوند، خاصیت جهندگی لایه‌ها باعث می‌گردد که این جداسدگی چندین بار دیگر نیز روی دهد. جداسدگی هر یک از لایه‌ها از دیگری، باعث می‌شود که هیچ شتاب افقی به سازه منتقل نگردد.

بررسیهای این تحقیق نشان می‌دهد که در زلزله‌هایی که مؤلفه قائم قوی ندارند (زلزله‌های دسته دوم که غالباً زلزله‌های حوزه دور هستند) و عملاً جداسدگی بین لایه‌های پی روی نمی‌دهد، پاسخ طیفی شتاب وارد به سازه روی پی دارای چند لایه لغزان از سازه روی پی دارای یک لایه لغزان کمتر است ولی میزان تفاوت عملکرد این دو نوع پی به اندازه زمانی که زلزله دارای مؤلفه قائم قوی است، نمی‌باشد.

لازم به ذکر است با توجه به فراوانی گسل در مناطق مختلف کشور هر ساختمان را می‌توان تحت مخاطره زلزله حوزه نزدیک دانست که در آن احتمال وقوع زلزله شدید با مؤلفه قائم قابل توجه (بزرگتر از  $g$ ) وجود دارد. همان گونه که در بالا بیان شد در این گونه زلزله‌ها، پی‌های لغزان چند لایه کارایی بسیار خوبی در کاهش شتاب افقی وارد به سازه دارند و می‌توانند در کاهش مخاطرات زلزله مؤثر باشند.

در پایان، برای مقایسه اثر پی لغزان و همچنین بررسی اثر تعداد لایه‌ها، طیف شتاب وارد به بلوک در سه حالت زیر محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده‌اند: ۱- زمانی که بلوک کاملاً به زمین متصل باشد ۲- بلوک روی پی با یک لایه لغزان ۳- بلوک روی پی با سه لایه لغزان که نمونه‌ای از آن برای رکورد زلزله Sanfernando در شکل زیر مشاهده می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پایه اصطحکاک، مؤلفه قائم زلزله، لایه لغزان



## Analytical and Experimental Study on Diagonally Stiffened Steel Plate Shear Walls

**Fariborz Nateghi Elahi**

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

**Erfan Alavi**

## بررسی تحلیلی و آزمایشگاهی دیوارهای برشی فولادی تقویت شده قطری

فریبرز ناطقی الهی

استاد پژوهشکده مهندسی سازه nateghi@iiees.ac.ir

عرفان علوی

Upon the recent studies, steel plate shear walls, SPSWs, have been introduced as an economic and appropriate seismic resisting system, which have been used in structural design and retrofitting of existing buildings with different configurations and philosophies, stiffened, un-stiffened, or with openings. However, the non-linear behavior complexities of the steel shear walls such as buckling, post buckling and tension field action of infill steel plate, out-of-plane large deformation of the thin steel plate, hysteresis loops, interaction between the infill plate and the surrounding frame, ductile or brittle fractural modes of the wall, in addition to absence of comprehensive provisions for design of steel shear walls, have still demanded more investigations on this system.

On the other side, the recent investigations on stiffened steel plate shear walls have demonstrated that stiffening of a thin steel plate with the horizontal and vertical stiffeners improves its non-linear behavior. However, application of the conventional stiffeners, which have been usually used for precluding of the shear elastic buckling occurrence in the infill plate, is very time consuming and causes high-fabrication cost. Hence, in this study, stiffening of the infill steel plate with diagonal stiffeners is proposed as an alternative, and non-linear behavior of the new system has been analytically and experimentally investigated. In this regard, and for the analytical study, several finite element models of un-stiffened and diagonally stiffened steel plate shear walls have been generated. Multi-linear kinematic hardening plasticity model is used for modeling of steel materials, and non-linear large-displacement analyses under monotonic and cyclic loadings have been carried out. In addition, the pushover and hysteresis curves of the models and other responses are acquired and verified.

For the experimental study, a number of tests on six  $\frac{1}{2}$  scaled one-story SPSWs with the dimensions of  $2\text{m} \times 1.5\text{m}$  and the infill plate thickness between 0.8 mm to 1.5 mm are conducted at IIEES laboratory, and the quasi-static cyclic tests were performed on the specimens in the presence of the gravity loads. Two numbers of the specimens have been un-stiffened and the three others had diagonal stiffeners;

بر مبنای تحقیقات انجام شده در دهه‌های اخیر، دیوار برشی فولادی به عنوان یک سیستم مناسب باربر جانبی و اقتصادی در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها و مقاوم‌سازی ساختمانهای موجود شناخته شده است که به صورت تقویت شده یا نشده و یا سوراخ‌دار بکار می‌رود. از طرفی، پیچیدگی رفتار غیرخطی این سیستم به دلایلی از قبیل لاغری نسبتاً زیاد ورق نازک فولادی و اثرات موده‌های کمانشی ورق، عملکرد میدان کششی ورق پس از کمانش، مراحل تسلیم دیوار، تنوع موده‌های گسیختگی ترد و شکل‌پذیر، حلقه‌های هیستریزس دیوار، نقش المان‌های مرزی و اتصالات آنها، اثرات سخت‌کننده‌ها و بازشوها؛ همچنین، وجود برخی مشکلات اجرایی و نبود ضوابط کافی و جامع برای طراحی این سیستم در آیین‌نامه‌های ساختمانی نیاز به تحقیق بر روی آن را کماکان ضروری ساخته است.

مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی معدودی که تاکنون بر روی دیوارهای برشی فولادی تقویت شده صورت گرفته نشان می‌دهند که تقویت یک دیوار برشی فولادی بوسیله سخت‌کننده‌های متداول افقی و قائم مناسب، بهبود رفتار غیر خطی آن را سبب می‌گردد. در حالی که استفاده از این سخت‌کننده‌ها که عمدتاً برای جلوگیری از کمانش برشی الاستیک ورق پرکننده به کار می‌روند هزینه بر و وقت‌گیر می‌باشد. از این رو، در این تحقیق مطالعه تحلیلی و آزمایشگاهی دیوارهای برشی فولادی و تقویت آنها با سخت‌کننده‌های قطری مد نظر قرار گرفته تا علاوه بر صرفه‌جویی در مراحل اجرا، بتوان از مزایای سیستم تقویت شده به صورت بهینه‌ای بهره برد. بدین منظور انجام مطالعات تحلیلی، آزمایشگاهی و نظری بر روی این سیستم جدید برنامه‌ریزی گردید.

از روش اجزاء محدود و آنالیز غیرخطی با لحاظ اثرات تغییر شکل‌های هندسی غیرخطی، کمانشی و پس‌کمانشی ورق‌های نازک فولادی جهت مدلسازی و بررسی رفتار غیر خطی دیوارهای برشی فولادی در انجام تحلیل‌های عددی بهره گرفته شده است. میزان دقت نتایج تحلیلی با نتایج آزمایشگاهی معتبر موجود در ادبیات علمی سنجیده شده و از آن، اطمینان حاصل شده است. مطالعات آزمایشگاهی بر روی ۶ نمونه دیوار برشی فولادی با مقیاس ۱:۲ شامل ۲ دیوار تقویت نشده و ۴ دیوار تقویت شده قطری به انجام رسیده که در یکی از نمونه‌ها از قاب پیرامونی با اتصالات مفصل فیزیکی متداول استفاده شده و در نمونه‌های دیگر، از ترکیب یک بازشوی استراتژیک با سخت‌کننده‌های قطری بر اساس نتایج حاصل شده طی تحقیق، استفاده گردیده و رفتارهای غیرخطی هیستریک آنها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

از مطالعات نظری و بر مبنای نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی، روابط

the sixth specimen had a circular strategic opening at the middle of the wall in combination with the diagonal stiffeners, designed based on the obtained results during the experiments.

From the analytical and experimental studies, theoretical formulas for estimating shear strength capacity of diagonally stiffened steel shear walls have been developed and the accuracy of them are verified. Meanwhile, the effects of boundary elements stiffness and strength and the type of beam-to-column connections of the surrounding frame on the non-linear behavior and shear strength of steel shear walls have been investigated and some limitations for the boundary elements strengths selection are derived and propounded accordingly.

The results showed that the diagonal stiffeners have increased the elastic and the ultimate shear capacities of the system, and the hysteretic behavior of the diagonally stiffened steel shear walls have been improved in comparison with the un-stiffened steel shear walls, especially when diagonal stiffeners were used with the edge stiffeners. Besides, the experimental specimen with the strategic hole has behaved very ductile and energy dissipative. It is also found that there are good agreements between outcomes of the proposed theoretical formulas and the experimental and the numerical outputs in the estimation of the shear capacity of steel shear walls. Furthermore, some of the specific responses and parameters such as response reduction factors (R) are estimated and discussed for un-stiffened and diagonally stiffened SPSWs. Moreover, a parametric seismic behavior model of diagonally stiffened SPSWs is inferred and developed from the results, and the required parameters for modeling of an un-stiffened or diagonally stiffened SPSW in accordance with FEMA 356 procedure are obtained and presented.

**Keywords:** Steel plate shear wall, Diagonal stiffener, Non-linear behavior, Shear strength, Strategic opening, Experimental, R factor

تئوریک حاکم بر دیوار تقویت شده قطری به منظور برآورد ظرفیت مقاومت برشی و طراحی سخت کننده‌های قطری توسعه داده شده و نتیجه گردیده‌اند. همچنین، به نقش صلبیت اتصالات تیر به ستون و سختی و مقاومت المان‌های مرزی در رفتار غیرخطی و مقاومت برشی دیوارهای فولادی پرداخته شده و روابطی نیز جهت تأمین مقاومت برشی اعضای مرزی و تخمین مقاومت برشی کل دیوارهای برشی فولادی با اعضای مرزی ضعیف تا قوی پیشنهاد شده‌اند. به علاوه، نتایج نشان می‌دهند که استفاده از قابهای خمشی محیطی با اتصالات صلب تیر به ستون نسبت به قابهای ساده ساختمانی در سیستم دیوارهای برشی فولادی، موجب بهبود رفتار غیرخطی دیوار، جذب انرژی بیشتر، و افزایش مقاومت برشی سیستم می‌گردند. انرژی‌های جذب شده، ضرایب شکل‌پذیری، ضرایب رفتار و تشدید جابه‌جایی نسبی سازه‌ها نیز برای نمونه‌های مختلف محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

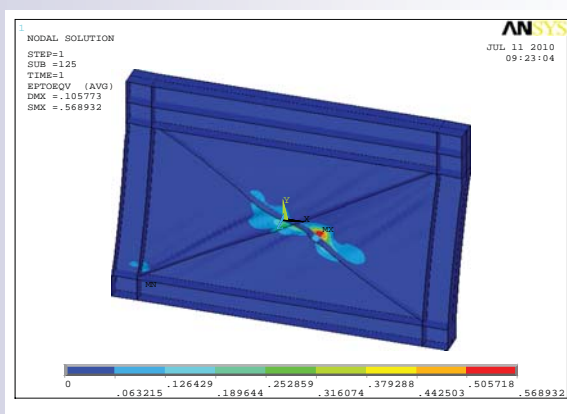
نتایج دلالت دارند بر اینکه سخت کننده‌های قطری باعث افزایش قابل-ملاحظه مقاومت برشی حد کمانش الاستیک ورق فولادی (بزرگتر یا مساوی ۳ برابر) و ظرفیت برشی نهایی سیستم، بسته به ابعاد سخت کننده‌ها، نسبت به حالت تقویت نشده گردیده و رفتار هیسترتیک دیوار را بهبود بخشیده‌اند. همچنین، سیستم تقویت شده قطری با سوراخ استراتژیک رفتار هیسترتیک مناسبی تحت بارگذاری چرخ‌ها داشته و بیشترین دوام و جذب انرژی را نسبت به نمونه‌های تقویت نشده و تقویت شده معادل خود داشته است. در بین نمونه‌های تقویت شده قطری، نمونه‌های به همراه گوشه بهترین رفتار غیرخطی را از خود نشان داده‌اند و بیشترین جذب انرژی را در زمانهای متناظر داشته‌اند. تقویت کننده‌های قطری به ویژه در ترکیب با سخت کننده‌های گوشه موجب دوکی شکل شدن منحنی‌ها هیستریزیس و کاهش پدیده باریک‌شوندگی در آنها نسبت به دیوارهای سخت نشده شده‌اند. مقایسه رفتار ستون‌های با اتصالات گیردار و مفصل ساده و مشاهده وقوع برخی مودهای خرابی در لحظات نهایی در پای ستون‌های با اتصال ساده نشان می‌دهد که در قاب‌های ساده ساختمانی نیاز است تا پای ستونها با شرایط اتصال گیردار در سیستم‌های مقاوم لرزه‌ای همانند دیوارهای برشی یا حتی بادبندی‌ها طراحی و اجرا گردند؛ و اتصال ساده جان ستون به کف ستون به تنهایی ممکن است مقاومت کافی در مقابله با نیروهای وارده را نداشته باشد.

بررسی ضرایب رفتار حاصله نشان می‌دهد که ضریب رفتار دیوارهای تقویت شده قطری از دیوارهای برشی تقویت نشده بیشتر است و ضریب رفتار حالت حدی دیوارهای برشی فولادی تقویت شده قطری در قابهای ویژه ساختمانی حدود ۹ می‌باشد. همچنین، برای دیوارهای برشی فولادی تقویت شده قطری در قاب ساده ساختمانی عدد ۸، و برای دیوارهای برشی فولادی تقویت نشده در قاب ویژه ساختمانی نیز عدد ۸ نتیجه شده است. مقایسه ضرایب شکل‌پذیری دیوارهای برشی فولادی تقویت شده قطری و تقویت نشده نشان می‌دهد که این سیستم دارای ضرایب شکل‌پذیری بزرگتری می‌باشد. بر مبنای نتایج، مدل‌های رفتار لرزه‌ای بار-جابه‌جایی جانبی دیوارهای برشی فولادی تقویت نشده و تقویت شده قطری به همراه روابط نظری مربوطه جهت محاسبه سختی جانبی اجزاء دیوار و سیستم

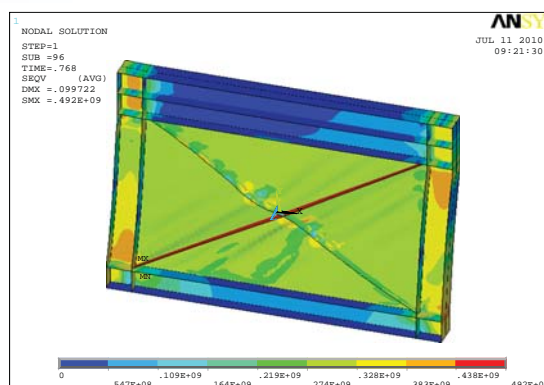


پیشنهاد شده‌اند؛ و بر آن اساس، پارامترهای مدل‌سازی رفتار غیرخطی اجزاء فولادی به روش دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای، FEMA 356، برای دیوارهای برشی فولادی تقویت نشده و تقویت شده قطری توسعه داده شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** دیوار برشی فولادی، سخت کننده قطری، رفتار غیرخطی، مقاومت برشی، بازشوی استراتژیک، آزمایشگاهی، ضریب رفتار

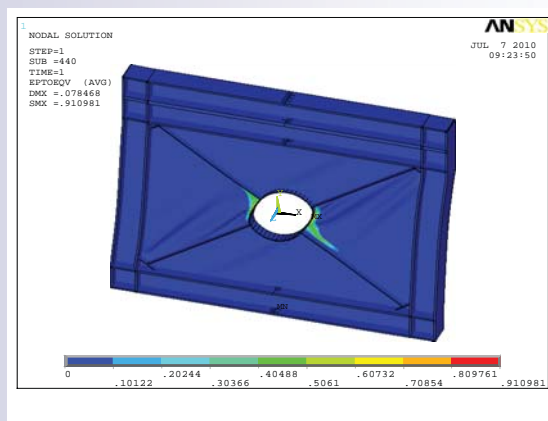


(ب)

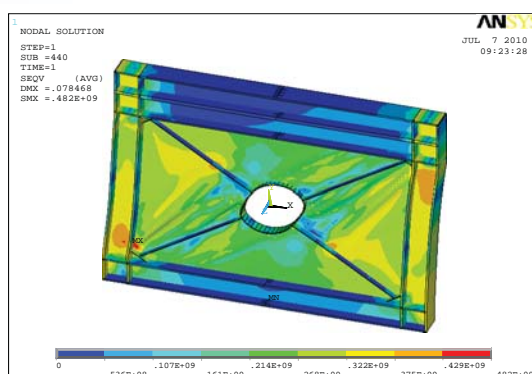


(الف)

نتایج تحلیل عددی نمونه SPSW(s2) در شرایط نهایی (الف) تنشهای ون-میسز (پاسکال) (ب) کرنش‌های ون-میسز



(ب)



(الف)

نتایج تحلیل عددی نمونه SPSW(s4) در شرایط نهایی (الف) تنشهای ون-میسز (پاسکال) (ب) کرنش‌های ون-میسز

## Direct Time Integration with Steps Larger than the Steps of Digitized Excitations

Aram Soroushian

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

For studying the dynamic behaviors of structural systems, the conventional approach is to discretize the mathematical models, in space, and time integrate the resulting ordinary initial value problems, typically, noted below:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{f}_{\text{int}}(t) = \mathbf{f}(t) \quad 0 \leq t \leq t_{\text{end}}.$$

$$\text{Initial Conditions : } \begin{cases} \mathbf{u}(t=0) = \mathbf{u}_0 \\ \dot{\mathbf{u}}(t=0) = \dot{\mathbf{u}}_0 \\ \mathbf{f}_{\text{int}}(t=0) = \mathbf{f}_{\text{int}_0} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{Additional Constraints : } \mathbf{Q}$$

In Eqs. (1),  $t$  and  $t_{\text{end}}$  imply the time and the duration of the dynamic behavior;  $\mathbf{M}$  is the mass matrix;  $\mathbf{f}_{\text{int}}$  and  $\mathbf{f}(t)$  stand for the vectors of internal force and excitation;  $\mathbf{u}(t)$ ,  $\dot{\mathbf{u}}(t)$ , and  $\ddot{\mathbf{u}}(t)$  denote the vectors of displacement, velocity, and acceleration;  $\mathbf{u}_0$ ,  $\dot{\mathbf{u}}_0$ , and  $\mathbf{f}_{\text{int}_0}$  define the initial status of the mathematical model; and,  $\mathbf{Q}$  represents some restricting nonlinearity conditions. Time integration is the most versatile tool, for the analysis of Eqs. (1), especially, when the behavior is nonlinear. In seismic analyses,  $\mathbf{f}(t)$  is available as digitized records, and hence, the integration step sizes,  $\Delta t$ , need to be equal to or smaller than the steps, by which, the earthquake records are available,  $h_d$ , i.e.

$$\Delta t \leq h_d \quad (2)$$

This is while, for the sake of the accuracy of integration, the literature recommends

$$\Delta t \cong \text{Min} \left( h_s, \frac{T}{10} \right) \quad \text{for linear systems} \quad (3)$$

$$\Delta t \cong \text{Min} \left( h_s, \frac{T}{100} \right) \quad \text{for nonlinear systems}$$

where,  $T$  is the smallest dominant period of the response, and  $h_s$  is the step size restriction, for preserving numerical stability. When, the right hand side, of Eq. (2), is smaller than the right hand side, of Eq. (3), the integration suffers from additional computational cost,  $A_C$ , about (for nonlinear

## ارائه روشی برای انتگرال گیری مستقیم گام به گام با گام‌های بزرگتر از گام‌های زمانی تحریک

آرام سروشیان

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

انتگرال گیری گام به گام از قویترین ابزار انجام تحلیل‌های تاریخیچه زمانی سازه‌هاست. با وجود این، نتایج حاصل از این تحلیل‌هایی پرهزینه و غیردقیق است. هر دو این نقیصه‌ها تابع اندازه گام زمانی مورد استفاده در تحلیل انتگرال گیری، به طوری است، که با افزایش اندازه گام زمانی، هزینه محاسباتی کاسته شده، و دقت محاسبات از دست می‌رود. به این علت، انتخاب مناسب اندازه گام زمانی انتگرال گیری حائز اهمیت شایان بوده، منجر به پیشنهاد زیر شده است:

$$\Delta t \cong \text{Min} \left( h_s, \frac{T}{10}, h_d \right) \quad \text{برای سیستم های خطی} \quad (1)$$

$$\Delta t \cong \text{Min} \left( h_s, \frac{T}{100}, h_d \right) \quad \text{برای سیستم های غیرخطی}$$

در رابطه فوق،  $\Delta t$  اندازه گام انتگرال گیری،  $h_s$  اندازه بزرگترین گام انتگرال گیری متناظر تحلیل‌های به صورت عددی پایدار برای مسائل خطی،  $T$  کوچکترین پریود غالب در پاسخ سازه، و  $h_d$  اندازه گامی است که تحریک خارجی شتابنگاشت بر اساس آن ثبت شده و در اختیار است. ترم آخر رابطه (۱)، یعنی  $h_d$ ، صرفاً، به علت لزوم در نظر گرفتن کل اطلاعات تحریک در تحلیل سازه در رابطه فوق گنجانده شده است. در حالتی که مقدار  $h_d$  به نحو قابل توجهی در رابطه فوق مطرح باشد، یعنی

$$h_d \ll \text{Min} \left( h_s, \frac{T}{10} \right) \quad \text{برای سیستم های خطی} \quad (2)$$

$$h_d \ll \text{Min} \left( h_s, \frac{T}{100} \right) \quad \text{برای سیستم های غیرخطی}$$

هزینه اضافی قابل توجهی به میزان (برای حالت غیرخطی حداکثر)

$$A_C \cong 100 \left[ \frac{\text{Min} \left( h_s, \frac{T}{10} \right) - h_d}{h_d} \right] \% \quad (3)$$

نه بر اثر عدم دقت کافی انتگرال گیری، بلکه برای لحاظ کردن تحریک خارجی، بر محاسبات، تحمیل می‌شود. با توجه به اهمیت تحلیل‌های تاریخیچه زمانی به عنوان آخرین راه حل عمومی در نظر گرفته شده برای تحلیل لرزه‌ای سیستم‌های سازه‌ای، این واقعیت که در اغلب آیین‌نامه‌ها و استانداردهای تحلیل و طراحی لرزه‌ای، در نظر گرفتن چندین شتاب نگاشت برای تحلیل تاریخیچه زمانی لازم دانسته شده است، و همچنین... قابلیت حذف و یا تقلیل نقش  $h_d$  در روابط فوق به عنوان یک سنوال

problems, maximum)

$$A_c \cong 100 \left( \frac{\text{Min} \left( h_s, \frac{T}{10} \right) - h_d}{h_d} \right) \% \quad (4)$$

without any essentiality, from the point of view of integration accuracy; and hence, when the right hand side of Eqs. (2) is smaller than the right hand side of Eq. (3), and the smallness is considerable, the computational cost arisen from the smallness of the digitization steps of  $\mathbf{f}(t)$  would be high. This is the concern in this research project, where, the elimination of the computational cost, in the price of small sacrifice of accuracy, is considered as the objective.

After reviewing the existing literature, special attention is paid to the essentiality of convergence, the order of accuracy of conventional time integration methods, and the typology of Taylor series. Based on these considerations, a modification of digitized excitations is defined, that utilizes the information of the digitized excitation,  $\mathbf{f}(t)$ , in transforming the digitized record to a new record,  $\tilde{\mathbf{f}}(t)$ , with digitization steps,  $\tilde{h}_d$ , enlarged by an integer multiplier,  $n$ , i.e.

$$\tilde{h}_d = nh_d, \quad n \in Z^+ - \{1\} \quad (5)$$

The new record,  $\tilde{\mathbf{f}}(t)$ , is defined such that, when we replace it, instead of  $\mathbf{f}(t)$ , and implement a time integration method, we can arrive at responses that display negligible effect on the accuracy, and considerable save of computational cost.

The formulation of  $\tilde{\mathbf{f}}(t)$  is as stated below:

$$\begin{aligned} t_i = 0: & \quad \tilde{\mathbf{f}}_i = \mathbf{f}(t_i), \\ 0 < t_i < t_{end}: & \quad \tilde{\mathbf{f}}_i = \frac{1}{2} \mathbf{f}(t_i) + \frac{1}{4n'} \sum_{k=1}^{n'} [\mathbf{f}(t_{i+k/n}) + \mathbf{f}(t_{i-k/n})], \\ t_i = t_{end}: & \quad \tilde{\mathbf{f}}_i = \mathbf{f}(t_i), \end{aligned} \quad (6)$$

where,

$$\begin{aligned} t = \Delta t: & \quad n' = n - 1 \\ \Delta t < t < t_{end} - \Delta t: & \quad n' = \begin{cases} \frac{n}{2} & n = 2j \quad j \in Z^+ \\ \frac{n-1}{2} & n = 2j+1 \quad j \in Z^+ \end{cases} \quad (7) \\ t = t_{end} - \Delta t: & \quad n' = n - 1 \end{aligned}$$

مطرح است. پس از مرور ادبیات فنی و یافت نشدن تحقیقات گزارش شده، سؤال فوق در لوای هدف این پروژه پژوهشی مورد مطالعه قرار گرفته است. در توضیح روش جدید، پس از بررسی چندین رویکرد مختلف، فلسفه و رویکرد در نظر گرفته شده برای تحقق هدف، به این صورت در نظر گرفته شد که در تحلیل مسأله عمومی زیر:

$$\begin{aligned} 0 \leq t \leq t_{end}: & \quad \mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{f}_{int}(t) = \mathbf{f}(t) \\ & \quad \left. \begin{aligned} \mathbf{u}(t=0) &= \mathbf{u}_0 \\ \dot{\mathbf{u}}(t=0) &= \dot{\mathbf{u}}_0 \\ \mathbf{f}_{int}(t=0) &= \mathbf{f}_{int_0} \end{aligned} \right\} \quad (4) \end{aligned}$$

قیود اضافی : شرایط اولیه

#### Additional Constraints Q

(در رابطه فوق  $\mathbf{M}$  معرف جرم،  $\mathbf{f}_{int}(t)$  بیانگر نیروهای داخلی،  $\mathbf{f}(t)$  نشانه تحریک خارجی، هر نقطه بالای متغیر نشانه یک بار مشتق گیری از متغیر نسبت به زمان، زیر نویس 0 در سمت راست مؤید مقدار متغیر در آغاز تحریک،  $t_{end}$  بیانگر زمان خاتمه تحلیل،  $\mathbf{Q}$  مبین قیود اضافی برای مسائل غیرخطی، و  $\mathbf{u}$  مجهول اصلی مسأله یعنی جابه‌جایی است)، ممکن است بتوان بر اساس تحریک خارجی  $\mathbf{f}(t)$  که در گام‌های به طول  $h_d$  در اختیار است، تحریک خارجی دیگری مانند  $\tilde{\mathbf{f}}(t)$  ثبت شده در گام‌هایی به طول

$$\tilde{h}_d = nh_d, \quad n \in Z^+ - \{1\} \quad (5)$$

را چنان تعریف کرد، که با جایگزین کردن آن به جای  $\mathbf{f}(t)$ ، در رابطه (4)، پاسخ‌های حاصل از انتگرال گیری از معادلات (4)، صرفاً به میزانی قابل اغماض تغییر کنند. برای نیل به این هدف، و به خصوص با توجه به عدم وجود سابقه تحقیقاتی خاصی در مورد هدف در نظر گرفته شده، ابتدا فرضیاتی ساده کننده به صورت زیر در نظر گرفته شد.

۱. گام‌های انتگرال گیری برابرند.

۲. گام‌های ثبت تحریک خارجی (در مهندسی زلزله، شتاب نگاشت زلزله) برابرند.

۳. اندازه گام‌های انتگرال گیری ضربی صحیح از اندازه گام ثبت تحریک است.

۴. تحریک خارجی که به صورت ناپیوسته و عددی در اختیار است، ثبت عددی یک تابع پیوسته نسبت به زمان است.

سپس به منظور نیل به روابط مناسب و تعریف  $\tilde{\mathbf{f}}(t)$ ، به ویژگی اصلی تحلیل‌های عددی تقریبی، یعنی همگرایی، و حفظ همگرایی از مرتبه مورد توصیه ادبیات فنی توجه گردید، و با اعمال انتخابی منطقی روابط ذیل حاصل آمد.

$$\begin{aligned} t_i = 0: & \quad \tilde{\mathbf{f}}_i = \mathbf{f}(t_i), \\ 0 < t_i < t_{end}: & \quad \tilde{\mathbf{f}}_i = \frac{1}{2} \mathbf{f}(t_i) + \frac{1}{4n'} \sum_{k=1}^{n'} [\mathbf{f}(t_{i+k/n}) + \mathbf{f}(t_{i-k/n})], \\ t_i = t_{end}: & \quad \tilde{\mathbf{f}}_i = \mathbf{f}(t_i), \end{aligned} \quad (6)$$



and the assumptions to be satisfied are:

1. The excitation steps are equally sized,
2. The integration steps are equally sized,
3. The excitation steps are embedded by the integration steps,
4. The  $\mathbf{f}(t)$  in Eqs. (1) is a digitized representation (recorded at separate time instants) of an actual excitation, continuous and smooth with respect to time.

It is worth noting that not only the information in the original excitation,  $\mathbf{f}(t)$ , is fully considered in defining  $\tilde{\mathbf{f}}(t)$ , but also the information is considered with the least computational cost. The proposed technique is successfully implemented in time integration analyses, with different conventional time integration methods, of several structural systems, including a thirty storey building, a multi-span bridge, a silo, a reservoir, shear frames subjected to linear-elastic/perfect-plastic and/or pounding, and a 3-D frame subjected to multi-component earthquake, and has led to considerable academic collaborations and scientific achievements (reported in several publications), and meanwhile is about to give rise to a commercial project.

**Keywords:** Time integration, Integration step size, Accuracy, Strong ground motion, Computational cost, Convergence

$$t = \Delta t : \quad n' = n - 1$$

$$\Delta t < t < t_{end} - \Delta t : \quad n' = \begin{cases} \frac{n}{2} & n = 2j \quad j \in Z^+ \\ \frac{n-1}{2} & n = 2j+1 \quad j \in Z^+ \end{cases} \quad (Y)$$

$$t = t_{end} - \Delta t : \quad n' = n - 1$$

به طور خلاصه، با انتخاب مقداری برای  $n$  که در رابطه

$$\begin{aligned} n &\leq \frac{1}{h_d} \text{Min} \left( h_s, \frac{T}{10} \right) && \text{برای سیستم های خطی} \\ n &\leq \frac{1}{h_d} \text{Min} \left( h_s, \frac{T}{100} \right) && \text{برای سیستم های غیرخطی} \\ n &\in Z^+ - \{1\} \end{aligned} \quad (A)$$

صدق نمایند، و اعمال آن در روابط (۶) و (۷)، مقدار  $\tilde{\mathbf{f}}$ ، و لذا، پس از جایگزینی، به جای  $\mathbf{f}$ ، در رابطه (۴)، و انجام انتگرال گیری متعارف، مقادیر  $\mathbf{u}$  به دست می آید؛ و این در حالی است که، با توجه به مقدار  $n$ ، حاصل از رابطه ۸ و رابطه ۳، هزینه محاسباتی کاهش یافته است. روش پیشنهاد شده با موفقیت در تحلیل انواع سازه ها یک و چند درجه آزادی خطی و غیرخطی، شامل قاب، پل، ساختمان بلند، سیلو، مخزن، مورد آزمایش قرار گرفت.

**واژه های کلیدی:** انتگرال گیری مستقیم، اندازه گام زمانی، همگرایی، حرکت شدید زمین، هزینه محاسباتی، دقت

## Experimental Study of the Effect of Bracing Pattern in the Lateral Load Bearing Capacity of Concentrically Braced Steel Frames

**Mahmood Hosseini, Mohammad Ghassem Vetr**

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

**Mojtaba Hervai, Vahid Afshar**

Steel frames with concentric or X bracing are among very common building frames. In seismic design of this type of frames, most of design codes, including Standard 2800 of Iran have offered a single value 'Response Modification Factor' (RMF). This factor, which has been widely used in most of the seismic design codes all over the world, is basically for considering the possibility of plastic deformation of the structure, or in other words, the ultimate capacity of the system for withstanding against earthquake effect. Obviously, the ultimate capacity of each structural system, such as a moment frame or a braced frame, depends on its structural configuration and specifications, including type of bracing and size of bracing elements in case of braced frames. Accordingly, the codes give various values for RMFs depending on the lateral load bearing system of the building structure. For example, most of the codes suggest a value of 10 for the case of ordinary moment frame (OMF), and a value of 6 for the Concentrically Braced Frame (CBF). However, the RMF value in codes does not depend on the number of braced bays and their relative location, or even the overall pattern and form of bracing in a building's frames. This is while, at least, the number of braced bays in a frame is important from the redundancy point of view.

One of the simple methods for nonlinear analysis of complex structures is the gradual increase of lateral load in a pseudo static manner. This can be part of seismic analyses, during which the trend of formation of plastic hinges will be shown in three-dimensional mathematical model of the structure. By considering a target displacement at the roof level, this analysis presents a good estimation of the nonlinear behavior of the structure. The pushover analysis can be performed - using computer programs developed for two- and three-dimensional structures.

Many of the researches show that the pushover analysis method has satisfactory agreement with the results of nonlinear dynamic analyses. Pushover analysis can provide useful information about the strength capacity of the structure, the displacement demand, discontinuity in the

## بررسی آزمایشگاهی اثر موقعیت مهاربندهای ضربدری در شکل پذیری حدى قابهای فولادی ساختمانی

محمود حسینی، محمد قاسم وتر

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه hosseini@iiees.ac.ir

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه vetr@iiees.ac.ir

مجتبی هروی، وحید افشار

قابهای فولادی با مهاربندی هم‌مرکز یا ضربدری از انواع بسیار متداول قابهای ساختمانی هستند. در طراحی لرزه‌ای این قابها اکثر آئین‌نامه‌های طراحی از جمله استاندارد ۲۸۰۰ ایران به ارائه یک مقدار ثابت برای ضریب رفتار، صرف‌نظر از تعداد دهانه‌های مهاربندی شده و موقعیت آنها در قاب و نسبت به یکدیگر اکتفا می‌کنند. این در حالی است که پیشرفت‌های چند دهه اخیر در زمینه مهندسی زلزله و هم مشاهدات آسیب‌های وارده به ساختمانها در زلزله‌های گذشته نشان داده است که در شرایطی که تعداد دهانه‌های مهاربندی شده بیشتر باشد و یا دهانه‌های مهاربندی شده در کنار یکدیگر قرار داشته باشند. قاب مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد. بنابراین به نظر می‌رسد که استفاده از یک ضریب رفتار ثابت برای این نوع قابها صحیح نباشد.

از روش‌های ساده برای آنالیز غیرخطی استاتیکی سازه‌های پیچیده افزایش تدریجی بار جانبی به صورت استاتیکی می‌باشد. روش‌های ارائه شده، قسمتی از یک روش طراحی لرزه‌ای و ارزیابی سازه‌ای است که بر پایه مدل ریاضی سه بعدی سازه در محدوده غیرخطی بنیان شده است. در طول چنین آنالیز گام به گام افزایش‌دهی، یک توزیع از نحوه ایجاد مفاصل پلاستیک در سازه قابل رؤیت خواهد بود. آنالیز استاتیکی غیرخطی با افزایش تدریجی بار جانبی یا ایجاد تغییر مکان هدف در بالای سازه قسمتهایی از روش‌های نوین است که تخمین خوب و ساده‌ای از عملکرد غیرخطی سازه ارائه می‌کند. آنالیز استاتیکی غیرخطی افزایش‌دهی را می‌توان توسط برنامه‌های کامپیوتری برای سازه‌های دو بعدی و سه بعدی انجام داد.

بسیاری از تحقیقات نشان می‌دهند که روش‌های آنالیز استاتیکی غیرخطی افزایش‌دهی در ارزیابی سازه‌ها تطابق مناسبی با نتایج آنالیز دینامیکی غیرخطی دارند. آنالیز Pushover می‌تواند اطلاعات خوبی درباره ظرفیت مقاومت سازه، تغییر شکل تقاضا، انفصال در توزیع مقاومت و نواحی دارای پتانسیل آسیب‌پذیری در سازه ارائه نماید. در این تحقیق، جهت ارزیابی لرزه‌ای، تعیین ضریب شکل‌پذیری، تعیین ضریب مقاومت، نحوه توزیع مفاصل پلاستیک و بررسی اثر نحوه قرارگیری مهاربندها و ضرایب مقاومت و شکل‌پذیری برای قابهای دهانه‌ها و ارتفاع‌های متداول از روش استاتیکی غیرخطی استفاده شده است. از آنجایی که هر سیستم سازه‌ای که طراحی می‌گردد انتظار می‌رود دارای ظرفیت لرزه‌ای بزرگتر از تقاضای مورد نیاز باشد (که در آن ظرفیت سازه تابعی از مقاومت، سختی و قابلیت شکل‌پذیری می‌باشد که از هندسه سازه بدست می‌آید). ظرفیت اعضای سازه به روش تحلیلی از قطعیت کمتری برخوردار هستند زیرا عوامل زیادی در روش تحلیلی مدل نمی‌شوند، از قبیل اتصال مفصلی کامل، میانقاب‌ها و اثر سختی آنها در سازه، نامعینی در جزئیات اجرایی در مقایسه با محاسبات انجام شده و ...، لذا تعیین ظرفیت اعضا به

strength distribution, and the area with potential damage in the structure.

This report presents the results of analytical and experimental investigations performed on a series of CBFs with various numbers and locations of X-braced bays. The number of bays varies from 3 to 7 and their number of stories from 3 to 12. All buildings have been designed based on AISC-ASD89, and then some Pushover analyses have been performed - to find out their ultimate capacity, as the first phase of the study. The numerical results showed that the ultimate capacity of CBFs and their ductility factor strongly depends on the number and location of braced bays. The capacity can vary up to 100% from case to case, and the ductility factor can be as low as 3.5 in some cases, which is much lower than the code suggested value. In the second phase of the study, some 1/3 scale samples of CBFs with various number and location of X bracings have been tested by the actuators. The test results confirm the numerical results, and on this basis it can be resulted that the code suggested values of 'RMF' need essential modifications.

The following aims have been considered in this research:

- Analysis and design of frames with concentric bracings in three bays having the same height by using a loading similar to that used in the experiments, based on the AISC code for design of steel structures;
- Performing the push over analyses using SAP2000 and ETABS programs and considering the plastic hinges based on FEMA356 guidelines and guidelines No. 360 of the Iran MPO for determining the elastic base shear, ultimate base shear, elastic displacement, and ultimate displacement;
- Conducting tests on 6 samples of frames with concentric bracing and different locations of braces, subjected to lateral load at their top level, till reaching the collapse;
- Determining the displacement ductility factor of frames, and their elastic stiffness;
- Determining the trend of formation of plastic hinges in frames elements in both analytical and experimental works, and comparing the results;
- Comparing the obtained ductility factors of frames with those obtained by the Standard No. 2800 of Iran;
- Proposing some recommendations for location of bracing elements to achieve the recommended values of ductility factors of the Standard No. 2800 of Iran;
- Proposing more proper locations for bracing elements which have not been addressed in Standard No. 2800 of Iran, and the ductility factors for using in analysis and design.

کمک آزمایش از قطعیت بالاتری برخوردار می‌باشد. در این تحقیق، سعی شده است به روش تحلیلی و آزمایشگاهی موضوع مورد بررسی قرار گیرد. این پروژه با هدف بررسی تحلیلی و آزمایشگاهی اثر موقعیت مهاربندهای ضربدری در شکل‌پذیری حدی قابهای فولادی ساختمانی به انجام رسیده است. در این تحقیق، ۶ نمونه آزمایشگاهی قابهای فولادی با مهاربندهای ضربدری و با سه‌دهانه و ارتفاع‌های یکسان مورد آزمایش قرار گرفت و سپس شکل‌پذیری حدی آنها با نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی نرم‌افزار ETABS2000 و Perform مقایسه گردید. در پایان ضرایب شکل‌پذیری متوسط با ضرایب شکل‌پذیری استاندارد ۲۸۰۰ مقایسه می‌شود. نحوه مناسب قرارگیری مهاربندها در بهبود شکل‌پذیری غیرخطی و توزیع متناسب مفاصل پلاستیک در نمونه‌ها ارائه شد.

در این تحقیق مشاهده شد که برای بعضی از حالات قرارگیری مهاربندها، ضریب شکل‌پذیری تا حدود ۱/۵ برابر مقدار توصیه شده استاندارد ۲۸۰۰ افزایش خواهد یافت و در بعضی از حالات قرارگیری چشمه‌های مهاربندی شده نسبت به هم ضریب شکل‌پذیری حاصل از تحلیل با مقدار پیشنهاد شده در استاندارد ۲۸۰۰ تفاوت قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. دلیل این تفاوت آشکار را می‌توان عدم توجه استاندارد ۲۸۰۰ به موقعیت قرارگیری مهاربندها در قاب، در تعیین ضریب شکل‌پذیری آنها عنوان کرد. اثر موقعیت مهاربندها در تعیین ضریب رفتار این قابها، نکته‌ای است که در استاندارد ۲۸۰۰ از آن چشم‌پوشی شده است و با تحقیق فوق، بر اهمیت موضوع و نیاز به بازنگری ضوابط مربوطه تأکید می‌شود.

در انجام این تحقیق اهداف زیر دنبال شده است:

- ۱- تحلیل و طراحی قابهای مهاربندی شده با مهاربندهای ضربدری در سه دهانه و ارتفاعهای یکسان با بارگذاری خاص مشابه با شرایط آزمایشگاهی و براساس آئین‌نامه طراحی سازه‌های فولادی AISC.
- ۲- انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی با استفاده از برنامه SAP2000 و ETABS و استفاده از مفاصل پلاستیک آئین‌نامه FEMA356 و دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰) برای تعیین برش پایه الاستیک، برش پایه نهایی، تغییر مکان الاستیک و تغییر مکان حدنهایی.
- ۳- انجام آزمایش روی ۶ نمونه از قابهای مهاربندی شده با مهاربند ضربدری با موقعیت‌های قرارگیری متفاوت مهاربندها تحت اثر بار جانبی در تراز بالاترین طبقه تا رسیدن سازه به حد انهدام.
- ۴- تعیین ضریب شکل‌پذیری، ضریب مقاومت و محاسبه سختی الاستیک.
- ۵- تعیین نحوه توزیع و ایجاد مفاصل پلاستیک در المان‌های قابهای مهاربندی شده براساس مطالعات تحلیلی و مقایسه آنها با مقادیر بدست آمده از آزمایش‌ها.
- ۶- مقایسه ضریب شکل‌پذیری بدست آمده با نمونه ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰.
- ۷- ارائه توصیه‌هایی در مورد نحوه قرارگیری چشمه‌های مهاربندی شده قابها برای تأمین ضریب شکل‌پذیری توصیه شده در استاندارد ۲۸۰۰.
- ۸- پیشنهاد قرارگیری‌های مناسب‌تر چشمه‌های مهاربندی شده در قابها



**Keywords:** Response modification factor, Concentrically braced frame, Pushover analysis, Bracing pattern, Ultimate capacity

که در استاندارد ۲۸۰۰ به آنها اشاره نشده است و ضرایب شکل پذیری آرایش‌هایی خاص برای استفاده در تحلیل و طراحی لرزه‌ای.

**واژه‌های کلیدی:** ضریب اصلاح پاسخ، قاب با مهاربندی هم‌مرکز، تحلیل بار افزون، الگوی مهاربندی، ظرفیت نهایی

## Investigating the Seismic Behavior of Slender Buildings Having Special Moment Resisting Frames, Regarding How to Satisfy Drift Control Criteria

Majid Mohammadi

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

Satisfying drift controlling criteria is one of the most important phases in design of buildings. Therefore, the designers have to replace some structural elements which are sufficient for service loads with those with greater sections.

Based on the Iranian Standard (Code 2800) drift of each story, the lateral seismic loading should not exceed from 2.5% and 2%, for buildings with natural period of vibration less and more than 0.7 second, respectively. It is required in this article that in drift calculation, the period of the building can be determined through experimental formula, mentioned in the code or be calculated by the analytical methods. Regarding that experimental base formula normally give shorter period, they lead to stronger structure, because more structural elements need to be changed by stronger sections in order to satisfy the drift controlling criteria. It is worth mentioning that for service loads, structural elements should be sufficient for dead, live and earthquake loads, in which the structural period of vibration is calculated by experimental formula. However, for drift controlling criteria the base shear can be calculated by either analytical modeling period or experimental formula. In this research, application of these periods in drift controlling is investigated.

In this regard, two groups of buildings are considered, in first group steel special moment frames with 5, 8, 10 and 15 stories and in second group concrete special moment frames with 8 and 12 stories each with 3 bays and square plan are considered. They will be designed twice based on experimental and analytical period of vibration. Influences of infills and non-structure elements are not considered. Then nonlinear time-history analyses are carried out using endurance time (ET) method with "in" series of records. The obtained results of each building are presented in two categories:

- Overall damage index of the buildings;
- Endurance time of the buildings for the considered record.

Endurance time method is a technique for evaluating or comparing seismic performance of buildings. In this method the assumed structure is analyzed under an increasing acceleration to calculate the maximum tolerable time of the record, which is named as endurance time. Damage

## بررسی تأثیر چگونگی اعمال ضوابط کنترل تغییر مکان بر رفتار لرزه‌ای ساختمان لاغر با قاب خمشی ویژه

مجید محمدی

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

ارضای ضوابط کنترل تغییر مکان سازه یکی از مهمترین مراحل در طراحی ساختمان می‌باشد که در برخی موارد باعث می‌گردد که طراح مجبور باشد برخی اعضا را که برای تحمل بارهای سرویس مناسب هستند را با مقاطع قویتری جایگزین نماید. با توجه به بند ۲-۵-۴ استاندارد ۲۸۰۰ ایران، تغییر مکان نسبی واقعی طرح در محل مرکز جرم هر طبقه (با در نظر گیری اثرات پی دلتا) نباید از ۲/۵٪ و ۲٪ به ترتیب برای ساختمانهای با پیروید ارتعاش کمتر و بیشتر از ۰/۷ ثانیه بیشتر شود. در طراحی نیرویی استفاده مستقیم از زمان تناوب حاصل از مدلسازی عددی در محاسبه نیروی زلزله مجاز نیست و زمان تناوب را نمی‌توان بیشتر از ۱/۲۵ برابر روابط تجربی در نظر گرفت. به رغم این موضوع، آیین‌نامه اجازه داده که در محاسبه تغییر مکانهای نسبی هر طبقه، مقدار برش پایه ساختمان را بدون در نظر گیری محدودیتهای مربوط به زمان تناوب اصلی ساختمان تعیین کرد. به عبارت دیگر حتی اگر مقدار زمان تناوب اصلی سازه که از تحلیل به دست می‌آید، از ۱/۲۵ برابر زمان تناوب به دست آمده از رابطه تجربی آیین‌نامه نیز بیشتر باشد، در مرحله کنترل تغییر مکانهای نسبی، می‌توان مستقیماً از آن استفاده نمود. به طور خلاصه در مرحله کنترل تغییر مکان سازه، طراح می‌تواند برش پایه زلزله را با استفاده از زمان تناوب به دست آمده از فرمولهای تجربی یا مدلهای ریاضی سازه به دست آمده و بدیهی است که استفاده از زمان تناوب حاصل از مدلسازی باعث دستیابی به سازه‌ای سبکتر می‌شود. در این تحقیق تلاش شده که رفتار لرزه‌ای دو سازه‌ای که با این فرضیات (استفاده از زمان تناوب فرمولهای تجربی یا مدلسازی کامپیوتری) به دست می‌آیند با یکدیگر مقایسه گردد.

در این راستا دو گروه ساختمان فولادی و بتنی با قاب خمشی ویژه در نظر گرفته شد. در گروه ساختمانهای فولادی ۴ دسته ساختمان ۵، ۸، ۱۰ و ۱۵ طبقه و در گروه ساختمانهای بتنی ۲ دسته ساختمان ۸ و ۱۲ طبقه دارای ۳ دهانه ۵ متری در هر جهت، مورد بررسی قرار گرفت که این سازه‌ها ابتدا بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان بارگذاری و با استفاده از نرم‌افزار Etabs طراحی گردید. بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، در مرحله طراحی اعضا بر اساس نیروهای وارده، تنها T تجربی مورد استفاده قرار گرفته است. پس از این مرحله بر اساس چگونگی ارضای ضوابط کنترل تغییر مکان، دو دسته سازه به دست آمد که عبارتند از:

- سازه کنترل شده با T تجربی؛
- سازه کنترل شده با T تحلیلی.

جهت بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌های طراحی شده با استفاده از هر کدام از این زمان تناوبها، از روش زمان دوام استفاده شد و شاخص خرابی و همچنین زمان دوام آنها محاسبه شد و در پایان رفتار آنها با یکدیگر مقایسه گردید.

index of structures can also be applied for the evaluation of comparison. For this, the record is applied to the structure up to the time, in which the acceleration is equal to Code-2800 design base acceleration. Then damage index of the whole structure is calculated.

For each case, comparing results of the two buildings (controlled on the basis of experimental and analytical period) shows that application of the analytical period leads to a better structure, regarding that it has lower weight, lower damage index and higher endurance time.

Therefore, it is suggested to use analytical period of vibration for satisfying drift controlling criteria to achieve structures with better seismic behavior and less weight, specially in steel structures. However, application of analytical period for concrete structures does not necessarily leads to structures with better seismic behavior but always gives a more economical structure with the same performance.

**Keywords:** Seismic behavior, Drift controlling criteria, Damage index, Endurance time, Time history analysis

لازم به ذکر است که روش زمان دوام روشی برای ارزیابی یا مقایسه رفتار لرزه‌ای ساختمانها است که در آن از یک رکورد افزاینده استفاده می‌شود و حداکثر زمانی که سازه بتواند در برابر این رکورد تاب بیاورد به عنوان زمان دوام در نظر گرفته می‌شود. بدیهی است هر چه زمان دوام سازه‌ای بیشتر باشد آن سازه از پایداری لرزه‌ای بیشتری برخوردار خواهد بود. البته می‌توان به سازه‌های مورد مطالعه رکورد مورد نظر را تا زمانی که معادل شتاب مبنای طرح استاندارد ۲۸۰۰ است به سازه اعمال و شاخص خرابی اعضای سازه‌ای را ملاک مقایسه قرار داد که در این تحقیق هم زمان دوام و هم شاخص خرابی محاسبه و استفاده شده است.

نتایج تحلیل‌های این تحقیق نشان می‌دهد که سازه کنترل شده بر اساس تبصره که بر اساس T تحلیلی می‌باشد، علاوه بر اینکه به سازه سبکتری می‌انجامد، شاخص خرابی کمتر و زمان دوام بیشتری نسبت به سازه کنترل شده با T تجربی داشته و لذا دارای رفتار لرزه‌ای مطلوبتری می‌باشد. به عبارت دیگر برش پایه سازه‌ای که ضوابط کنترل تغییرمکان در آن با استفاده از T تجربی ارضا شده بیشتر از سازه دیگر است که همین برش بیشتر باعث بروز خسارات بیشتر به سازه می‌گردد. لازم به ذکر است که تفاوت رفتاری این دو دسته سازه در ساختمانهای بتنی بسیار کمتر از سازه‌های فولادی است.

**واژه‌های کلیدی:** رفتار لرزه‌ای، تغییر مکان جانبی نسبی (دریفت)، شاخص خرابی، زمان دوام، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی



## Analytical and Experimental Study of Confined Masonry Buildings

**Sassan Eshghi**

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

**Behrang Sarrafi**

Structural masonry systems are widely used in many countries for low- to medium-rise buildings. In such buildings, the masonry walls act as structural elements to resist and transfer both horizontal and vertical loads. Among these systems, confined masonry is a method employed in many regions. Confined masonry walls are usually confined by specific elements called ties. These elements can be made of various materials such as reinforced concrete, steel, or wood, but reinforced concrete is the most common material.

The purpose of the research is to study the seismic behavior of confined masonry buildings. A series of tests were conducted on seven confined masonry walls under cyclic lateral load. The walls are designed according to the Iranian Seismic Code, which represents a typical qualitative code for masonry structures (similar to the Chilean and Turkish codes). The walls, all parts of which (including the bricks) are assigned a scale of 1:2, are subjected to lateral cyclic loading.

Most masonry codes specify that all head joints are to be filled with mortar. However, head joints are often not filled in many non-engineered structures. To study the behavior of such structures under lateral loads, the first two specimens were constructed without filled head joints. Moreover, the bricks were not soaked in water, as this is also common in most non-engineered structures. The total vertical load applied on both specimens was 2 tons.

The main difference between the third and fourth specimen and first two was that the head joints were filled with mortar in them. Moreover, all bricks were soaked in water before constructing the wall. These modifications made the connection between the bricks strong enough that cracks did not propagate strictly through joints. The amount of vertical load on the third specimen was 2 tons and on the fourth one was 4 tons. Three confined masonry walls were constructed with the same dimensions including a central opening to act as a window. In one of the specimens, the lintel was expanded and connected to the vertical ties. The dimensions of the window opening in the half-scale model were set at 60 cm in length and 45 cm in height. All bricks were soaked in water before construction and the head joints were filled with mortar. Thus, the construction details of

## بررسی رفتار لرزهای ساختمانهای آجری کلافدار

ساسان عشقی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه s.eshghi@iiees.ac.ir

به‌رنگ صرافی

روش‌های ارائه شده برای تحلیل و مدلسازی ساختمانهای آجری کلافدار و همچنین معیارهای پذیرش آنها در مراجع داخلی عموماً بر اساس ساختمانهای آجری غیرمسلح در نظر گرفته می‌شود؛ حال آنکه بر اساس تحقیقات گذشته، تفاوت قابل توجهی بین رفتار ساختمانهای آجری کلافدار و ساختمانهای آجری غیرمسلح در برابر نیروهای زلزله وجود دارد. تفاوت در مقاومت، شکل‌پذیری و مودهای خرابی آنها قابل مشاهده است. بنابراین تحقیق و بررسی برای یافتن روشی عملی برای مدلسازی و تحلیل ساختمانهای آجری کلافدار ایران از اولویت خاص برخوردار می‌باشد. اهمیت این تحقیقات با توجه به این نکته بیشتر روشن می‌شود که استفاده از این سیستم ساخت هم اکنون تنها در تعداد محدودی از کشورهای دنیا رواج دارد. به علاوه با در نظر گرفتن روش‌های اجرایی و مصالح معمول در ایران، می‌توان گفت که از نظر فنی، سیستم سازه‌ای متفاوتی از نظایر آن می‌باشد. در این تحقیق، مطالعه بر روی رفتار لرزهای ساختمانهای آجری کلافدار انجام می‌شود. بدین منظور لازم است ابتدا بررسی بر روی دیوارهای آجری کلافدار متمرکز شود. بنابراین هدف اولیه از این تحقیق بررسی تحلیلی و آزمایشگاهی دیوارهای آجری کلافدار برای بدست آوردن پارامترهای لازم برای مدلسازی اجزا محدود و تحلیل لرزهای آنهاست به گونه‌ای که بتوان در گام بعدی منحنی رفتار برای آنها پیشنهاد نمود. به کمک این منحنی رفتار برای دیوار، مدلسازی عملی و ساده ساختمانهای آجری کلافدار و پیش‌بینی رفتار لرزهای آنها ممکن می‌گردد.

در ابتدا سازه مورد بررسی، نحوه ساخت سازه، جنس مصالح مورد استفاده خصوصاً نوع آجر مصرفی و همچنین مکانیسم رفتاری آنها مشخص می‌گردد که در این مطالعه واحدهای بنایی از نوع آجر فشاری و کلافه بتنی می‌باشند. برای تعریف کامل سازه مورد بررسی لازم است طراحی آن بر اساس معیارهای پیشنهادی یکی از آیین‌نامه‌های موجود صورت گیرد. برای بررسی ساختمانهای متداول در ایران استاندارد ۲۸۰۰ ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد البته به منظور بررسی برخی جزئیات مرسوم که لزوماً مطابق با استانداردهای موجود نیستند باید ساختمانهای موجود و شیوه ساخت آنها مورد توجه قرار گیرد.

به منظور مشاهده رفتار واقعی دیوار آجری کلافدار و کالیبره کردن مدل المان محدود، هفت نمونه از دیوار آجری کلافدار در مقیاس ۱:۲ با مشخصات متفاوت در آزمایشگاه سازه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله مورد آزمایش چرخه‌ای تحت بار جانبی قرار گرفتند. نمونه اول و دوم با اعمال بار قائم ۲ تن و بار جانبی رفت و برگشتی مورد آزمایش قرار گرفتند. در این دو نمونه سعی شده است صرفاً ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ و روشهای معمول ساخت بکار گرفته شوند. نمونه‌های بعدی با رعایت ضوابط آیین‌نامه به علاوه ضوابط دیگر تحت نظارت کافی ساخته شده‌اند.

these specimens and the amount of vertical load (2 tons) were similar to that of third specimen.

A series of material tests were performed in this study to determine the properties of the bricks, mortars and concrete according to ASTM standards. Two or three specimens were made from each batch of mortar using standard 50×50×50-mm cubes. In addition, 16 standard cylindrical specimens were made from different concrete batches. Four masonry prisms were constructed and tested in a universal testing machine to measure both the compressive strength and the modulus of elasticity of the masonry. Other samples were tested using another machine that measures only ultimate compressive strength.

The test results indicate that minor changes in the construction of confined masonry walls will considerably affect their behavior under cyclic loads, and imply that more experimental studies should be performed to enable code provisions to consider different circumstances as affected by local worker skills, material properties, and construction methods.

Then a computer program, TNO DIANA, is used for finite element modeling of confined masonry walls. Macro modeling approach is adopted for modeling masonry panel. Eight noded quadrilateral element CQ16M is used to model RC bond beams, tie columns and masonry panel. The CQ16M is a regular plane stress element (sometimes called a membrane element) which must be thin and the load must act in the plane of the element.

Modeling parameters are estimated by material tests. The models are validated with the results of the tests performed on confined masonry walls. Proper modeling parameters for concrete ties and macro modeling of masonry panels, which are estimated by material tests, are introduced for specimens. The results obtained from the models match the experimental results quite well. The results are adopted to introduce a backbone model to predict the lateral strength and deformation capacity of confined masonry walls. The proposed model is validated by modeling a building. The shaking table test results have been reported in literature.

**Keywords:** Confined masonry buildings, Seismic behavior, Experimental studies, Finite element modeling, Backbone model, Cyclic loading

نمونه سوم با اعمال بار قائم ۴ تن و نمونه چهارم با اعمال بار قائم ۲ تن و بار جانبی رفت و برگشتی مورد آزمایش قرار می‌گیرند. نمونه پنجم و هفتم با یک بازشوی پنجره و نعل درگاه معمول و نمونه ششم با یک بازشوی پنجره و نعل درگاه ممتد مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. جهت تعیین مشخصات دقیق مصالح مورد استفاده در ساخت دیوارها، آزمایشات مشخصات مصالح بر روی آجر، ملات، منشور آجری، میلگرد و بتن انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهد تغییرات کوچک در روش‌های اجرای دیوارهای آجری کلافدار تغییرات مهمی را در رفتار آنها در برابر بار جانبی چرخه‌ای سبب می‌شوند. قدم بعدی مدلسازی سازه به گونه‌ای است که بتواند مدل مناسبی از رفتار واقعی سازه و شکل خرابی آن ارائه دهد. این مدل باید در حد امکان ساده و عملی باشد تا تحلیل سازه در شرایط و ابعاد مختلف با آن ممکن بوده، در زمان کمی قابل انجام باشد. در عین سادگی تا حد امکان کلیه المانهای سازه در آن در نظر گرفته شود. در این تحقیق برای مدلسازی‌های دقیق از نرم افزار TNO DIANA استفاده خواهد شد. این نرم‌افزار دارای معیارهای مناسبی برای مدلسازی مصالح آجری و بتنی است و به همین دلیل برای مدلسازی دقیق ساختمان آجری کلافدار مناسب است.

برای مدلسازی بخش آجری از روش ماکرو استفاده شد. المان مورد استفاده برای مدلسازی کلاف‌های افقی و قائم و بخش آجری المان ۸ گرهی CQ16M می‌باشد. این المان یک المان چهارضلعی هشت گرهی و تنش مسطح است. معیار تسلیم مورد استفاده برای دیوار آجری در این تحلیل، شامل رفتار سخت شونده- نرم شونده کششی در راستای هریک از محورهای ماده است. جهت نشان دادن رفتار محوری ماده در فشار از معیار نوع هیل و در کشش از معیار نوع رانکین استفاده می‌گردد.

نتایج تحلیل مدل ساخته شده با نتایج نمونه آزمایشگاهی مقایسه گردید و پارامترهای مدلسازی و مکانیسم‌های در نظر گرفته شده صحت‌سنجی و مدل ساخته شده کالیبره شد.

بر اساس آزمایشات و تحلیل‌های انجام شده، پارامترهای لازم جهت مدلسازی اجزا محدود و همچنین ساده دیوارهای آجری کلافدار پیشنهاد گردید.

در نهایت پس از جمع‌بندی و تحلیل نتایج بدست آمده از آزمایشات و مدلسازی، یک مدل رفتاری برای مدلسازی ساده دیوارهای آجری کلافدار استخراج می‌شود. سپس توانایی این مدل جهت مدلسازی ساختمانهای آجری کلافدار مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

همچنین مدلی ساده جهت مدلسازی ساختمانهای آجری کلافدار با سقف صلب ارائه شد. مدل پیشنهاد شده می‌تواند در تحلیل‌های مهندسی بکار رود همچنین در کنار نتایج آزمایشات، می‌تواند ابزار مناسبی جهت مطالعات بیشتر برای ارتقاء آیین‌نامه‌های مرتبط در ایران باشد.

**واژه‌های کلیدی:** ساختمانهای آجری کلافدار، رفتار لرزه‌ای، مقاومت جانبی، مدلسازی اجزا محدود، منحنی رفتار، آزمایش چرخه‌ای

## Seismic Behavior of Tunnel Form Concrete Building Structures

**Sassan Eshghi**

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

**Alireza Tavafoghi**

Tunnel Form Buildings are used in the building of many residential, commercial or office complexes. This type of buildings is built in many countries such as Iran due to satisfactory performance during past earthquakes, industrialized modular construction technique, low cost and also saving in construction time. The idea of this construction technique came up in the early 1950s due to need for affordable housing in countries affected by war after World War II. Demand for residential complexes and mass construction caused that Outinord, a manufacturer based in France, used this technology for their projects. Because of their industrialized construction technique, tunnel form buildings have been increasingly employed in the mass construction industry in other countries. Nowadays, this system is usually used for buildings with repetitive plans.

In situ concrete can be poured into two half tunnel to build walls and flat slabs. These are the main components of tunnel form buildings. Two half tunnel "L" shape formworks are used to shape walls and slabs. A story can be rapidly constructed using a series of these formworks. By using this method of construction the walls and slabs are poured simultaneity. Because of three advantages; construction speed, small crew needed and reducing the total cost, tunnel form systems are used as an attractive system for low to medium rise buildings.

In tunnel form buildings, lateral loads are resisted by walls, which act as shear walls. Meanwhile, walls and slabs in this system have to carry vertical loads. In other words, walls or shear walls and floor system make the lateral load resisting system as well as the vertical load carrying system. The structural components of the tunnel form buildings are made of thin concrete plates. Prefabricated meshes are usually used instead of reinforcements. Practically, a tendency exists as not to use any boundary zone elements to increase construction speed. So, the confinement of concrete and ductility level cannot be defined like other conventional structures.

Recent studies showed that the current seismic codes and guidelines do not provide sufficient requirements for this type of building systems. The conventional seismic codes usually apply the traditional force based design methodology. These seismic codes did not address fundamental period and R factor for tunnel form buildings clearly, in spite of the fact that these

## بررسی رفتار لرزه‌ای ساختمانهای پانلی بتنی با سیستم تونلی

ساسان عشقی

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه s.eshghi@iiees.ac.ir

علیرضا توافقی جهرمی

یکی از انواع سازه‌ها که به علت روش ساخت نیمه صنعتی، سرعت بالا و هزینه‌های کم مورد توجه بوده، سازه‌های پانلی است. در این سیستم دیوارها یا پانل‌های موجود، نقش باربری قائم و جانبی را ایفا می‌کنند. ساختمانهای اجرا شده با قالب‌های تونلی نمونه‌ای از سازه‌های پانلی هستند. در این سیستم سقف‌ها و دیوارها به صورت همزمان قالب‌بندی و بتن‌ریزی می‌شود تا یکپارچگی مناسبی بین اجزای مختلف سازه‌ای ایجاد گردد. کاهش هزینه‌ها و نیروهای اجرایی و افزایش سرعت ساخت باعث شده است تا این سیستم ساختمانی در نقاط مختلف دنیا مورد توجه قرار گیرد. با توجه به نیاز روز افزون کشور به تأمین مسکن، هم اکنون در مناطق مختلف کشور نیز ساختمانهایی با این روش در حال اجرا می‌باشد. در روش ساخت با قالب‌های تونلی، عموماً پلان طبقات مختلف یکسان بوده تا هزینه تأمین قالب کاهش یابد. به علاوه جهت اقتصادی‌تر شدن هزینه‌های استهلاک قالب، مساحت زیادی توسط این سیستم در یک پروژه ساخته می‌شود. لذا این روش ساخت بیشتر در انبوه‌سازی‌ها مورد توجه می‌گیرد.

در حال حاضر، ساختمانهای تونلی با معیارهای سیستم دیوارهای باربر بتنی کنترل می‌شود. در پروژه‌های اجرا شده علاوه بر نواقص موجود در آئین‌نامه‌ها، مغایرت‌های فراوانی نیز با معیارهای ذکر شده وجود دارد. حجم بالای ساختمانهای ساخته شده و یا در حال احداث با استفاده از سیستم قالب‌های تونلی، لرزه‌خیزی کشور ایران و عدم وجود آئین نامه معتبر طراحی به همراه وجود ابهامات فراوان، بررسی رفتار لرزه‌ای این سازه‌ها را ضروری می‌سازد.

در کنار روند رو به رشد استفاده از سیستم قالب‌های تونلی، همچنان ابهامات فراوانی در زمینه تحلیل و طراحی لرزه‌ای آنها وجود دارد. در عموم موارد از روش‌های مبتنی بر نیرو برای طراحی لرزه‌ای ساختمانهای تونلی استفاده می‌شود. در این روش با تخمین زمان تناوب مد اول ارتعاشی سازه، تعیین ضریب رفتار و استفاده از طیف‌های طراحی موجود، تقریبی از مقدار نیروی زلزله بدست آمده و ملاک تحلیل و طراحی لرزه‌ای این ساختمان‌ها قرار می‌گیرد.

از میان تمام ابهامات موجود، در این تحقیق تلاش شده است پس از بررسی رفتار لرزه‌ای ساختمانهای تونلی، پارامترهای مؤثر در طراحی لرزه‌ای این ساختمانها مورد بررسی قرار گیرد. محاسبه ضریب رفتار در محاسبات لرزه‌ای به عنوان مؤثرترین پارامتر، هدف اصلی این تحقیق خواهد بود. در کنار هدف اصلی، بررسی فرمول‌های ارایه شده برای محاسبه زمان تناوب مد اول ارتعاشی سازه و بررسی ضرایب ترک‌خوردگی دال و دیوار هدف‌های فرعی این تحقیق را تشکیل می‌دهند.

معمولاً برای طراحی ساختمانهای تونلی از ضریب رفتار ارایه شده برای سیستم دیوارهای باربر بتنی استفاده می‌شود. در آئین‌نامه ASCE/SEI/7-05 سیستم دیوارهای باربر بتن مسلح در دو سطح از شکل‌پذیری مورد توجه می‌باشد. دیوارهای باربر با شکل‌پذیری ویژه با ضریب



parameters are directly used to compute the design base shear.

In this study, an attempt is made to evaluate the behavior factor of the tunnel form buildings according to ATC-63. An experimental study included two three-story 1/5-scale of the tunnel form building, was done. The results of experimental study were used to decrease the level of uncertainty and to calibrate the FE models. In addition, a better understanding of the failure mechanism was achieved. Then a database of five practical plans was created with different height from 15m to 45m and ATC-63 methodology was employed to evaluate R factor for this type of buildings. It seems that  $R=4$  can be used as a reliable response modification factor for tunnel form buildings where design requirements of ACI 318-05 (ACI 2005) and ASCE/SEI 7-05 for bearing wall system except of the boundary zone check, are fully satisfied.

It should be noted that the limitation of building height up to 160 feet (60m) in ASCE/SEI 7-05 is important for bearing wall systems, due to not enough margined of ACMR to the critical value. However, more studies should be undertaken with more different plans and more variety of building heights to represent the accurate R factor. Furthermore, the effect of some provisions like minimum of rebar percentage in shear walls, detailing of reinforcements to achieve ductility in slabs, providing the boundary zone in shear walls and some limitations on size of structural members should be considered in future studies.

**Keywords:** Tunnel form buildings, R factor, Seismic behavior, Cyclic loading Test, Forced vibration test, Shear wall, Concrete nonlinear behavior

رفتار ۵ و دیوارهای باربر با شکل‌پذیری معمولی با ضریب رفتار ۴، سیستم‌هایی هستند که در این آئین‌نامه به عنوان سیستم دیوارهای باربر بتنی شناخته شده‌اند و آئین‌نامه ACI318 ملاک طراحی آنها قرار گرفته است.

در صورتی که طراحی ساختمانهای تونلی مشابه سیستم دیوار باربر ویژه در نظر گرفته شود، حداکثر ارتفاع مجاز برای این ساختمانها در طبقه‌بندی طراحی لرزه‌ای ASCE به ۵۰ متر محدود شده است. به علاوه در طراحی دیوارها باید ضوابط طراحی دیوارهای برشی ویژه مطابق آئین‌نامه ACI318 رعایت گردد. در انجام این تحقیق تلاش شده است تا دامنه کار منطبق با شرایط کشور ایران باشد. ارتفاع سازه‌های مورد بررسی در این مطالعات بین پنج تا پانزده طبقه می‌باشد. در سایر کشورها استفاده از قالب‌های تونلی برای ساختمانهای بیش از پانزده طبقه نیز کاربرد فراوان دارد.

در این تحقیق، روش اصلی بکار گرفته شده در انجام مطالعات و نتیجه‌گیری، بر مبنای تحلیل‌های عددی پایه‌گذاری شده است. برای محاسبه ضریب رفتار ساختمانهای تونلی، تعدادی پلان که به صورت واقعی در کشورهای ایران و ترکیه ساخته شده‌اند، در تعداد طبقات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از تحلیل عددی این پلان‌ها در محاسبه ضریب رفتار استفاده شده است. برای محاسبه ضریب رفتار از متدولوژی گزارش ATC-63 استفاده شده است. در این متدولوژی با فرض یک ضریب رفتار و طراحی سازه، پس از آنالیزهای مختلف صحت فرض اولیه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در حقیقت ضریب رفتار بر مبنای یک روش سعی و خطا محاسبه خواهد شد.

جهت کنترل صحت نتایج تحلیل‌های عددی، نیاز به انجام آزمایش می‌باشد تا نشان داده شود مدل‌های عددی تا چه حد به واقعیت نزدیک هستند. در این تحقیق با انجام آزمایش‌های مختلف بر روی دو نمونه مقیاس شده از ساختمانهای تونلی صحت مدل‌های عددی کنترل شده است. به علاوه با انجام آزمایشات مختلف از جمله بارگذاری‌های رفت و برگشتی و آزمایشات ارتعاشات اجباری رفتار لرزه‌ای این سازه‌ها به طور آزمایشگاهی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی مکانیسمهای خرابی، محاسبه زمان تناوب مدهای ارتعاشی سازه، بررسی ضرایب ترک خوردگی دال و دیوار از جمله مواردی است که از مطالعات آزمایشگاهی نتیجه شده است.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد در صورت عدم وجود اجزای مرزی در دیوارها، ضریب رفتار برابر ۴، مطابق آئین‌نامه ASCE-SEI/7-05 ضریب رفتار مناسبی برای طراحی لرزه‌ای این ساختمانها می‌باشد. به علاوه، ساختمانهای تونلی دارای رفتار تردی در برابر بارهای جانبی بوده و شکل‌پذیری چندانی از خود نشان نمی‌دهند.

**واژه‌های کلیدی:** ساختمانهای تونلی، ضریب R، رفتار لرزه‌ای، آزمایش بارگذاری چرخه‌ای، آزمایش ارتعاش اجباری، دیوار برشی، رفتار غیرخطی بتن

## A Comparative Study on Seismic Demand of External Shear Keys in Normal and Skewed Reinforced Concrete Highway Bridges

Afshin Kalantari

Assistant Professor, Structural Engineering Research Center

Seyed Mohammad Javad Foroughi

Skewed bridges are popular structures in urban areas. The geometry of the structures induces coupling of dynamic modes during vibration. As a result, considerable rotation of deck is observed in the earthquakes as the principal mode shape of the structure. This may result in large displacements at the corners of the deck which are followed by severe damage to this type of highway bridges, mainly on shear keys which is then followed by damage to abutments or piers due to propagation of cracks during strong earthquakes.

In order to decrease the damage level and enhance the seismic behavior of the deck corners of this type of bridges, an acceptable performance of shear keys is required. External shear keys are commonly employed in bridges.

First part of this research investigates the effect of shear key strength on seismic demand of selected skewed highway bridge in various skewness angles. Shear keys are considered as springs with a tri-linear force-deformation (Hysteresis) behavior. To compare the results, shear keys with different strength are considered in modeling procedure of various skewed highway bridges. Selected bridges are modeled by dual-beam stick method and are subjected to San Fernando ground motion record for a three dimensional nonlinear time history analysis.

A new steel shear key with friction mechanism to dissipate energy during strong excitation is proposed in the next part of this study. A model of behavior of the proposed system is developed in OpenSEES.

The comparison of the results for different skew angles and earthquakes shows that the numerical model of the proposed system is capable of reducing the seismic displacement of deck and the rotation of the structure is also controlled accordingly.

**Keywords:** Shear key, Highway bridge, Nonlinear time history analysis, Energy dissipation device

## بررسی مقایسه‌ای تقاضای لرزه‌ای کلیدهای برشی خارجی در پلهای بزرگراهی بتن آرمه معمولی و مورب

افشین کلانتری

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه

سید محمد جواد فروغی

پلهای مورب با توجه به توسعه و تراکم، شرایط مؤثر جغرافیایی و شهرسازی در شهرها و کاهش فضای مناسب برای ساخت پلهای مستقیم در فضای شهری با اقبال زیادی روبرو هستند. در این پلهای امتداد عرشه و پایه بر هم عمود نیست. مشاهده آسیبهای ناشی از زمین‌لرزه‌های اخیر در این سازه‌ها نشان داده که عرشه پلهای مورب مستعد دوران بوده و عمده آسیب این نوع از پلهای ناشی از پاسخ لرزه‌ای خاص سازه از جمله درگیر بودن مودها و دوران عرشه حول محور عمود بر صفحه عرشه است.

در زمان تحریکات لرزه‌ای، دوران عرشه پل، به جابه‌جایی جانبی گوشه‌های عرشه می‌انجامد. در این شرایط از کلیدهای برشی خارجی مستقر بر روی پایه یا کوله‌ها انتظار می‌رود که میزان جابه‌جایی جانبی عرشه را محدود نمایند. میزان درگیر شدن مودها و اهمیت مود چرخشی موجب می‌شود تا چرخش عرشه پل‌های مورب بر اساس مشاهدات و مطالعات پیشین نسبت به پلهای مستقیم بیشتر باشد. بر این اساس در این مطالعه با مینا قرار دادن مطالعات عددی بر روی یک پل با زوایای تورب مختلف، میزان تقاضای لرزه‌ای بر روی کلیدهای برشی جانبی در پلهای مورب و پلهای مستقیم بررسی شد. همچنین در این تحقیق، تأثیر حضور کلید برشی در رفتار لرزه‌ای پلهای بزرگراهی بتنی مورب با پایه‌های بتن مسلح و ساختار تیر و دال در عرشه مورد بررسی قرار گرفته است.

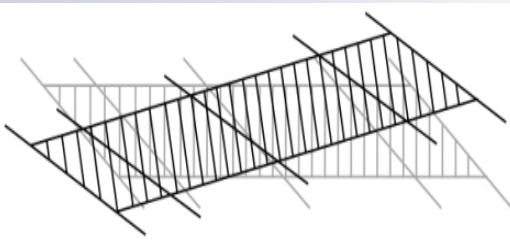
شالوده صلب و از اندرکنش خاک و سازه صرف‌نظر شده است. برای بررسی رفتار دینامیکی این نوع از پلهای، مدل سه بعدی پل مورد نظر با زوایای تورب متفاوت در نرم‌افزار اجزای محدود OpenSEES مدل‌سازی شده است.

برای شبیه‌سازی رفتار کلیدهای برشی، با استفاده از نتایج آزمایشگاهی دیگر مطالعات، این مدل رفتاری در نرم‌افزار با دقت مناسب ارائه شده است. در ادامه برای بررسی تأثیر ظرفیت کلیدهای برشی این المان‌ها با ظرفیت‌های مختلف مدل‌سازی و نتایج آنها ارائه شده است.

مشاهده می‌شود که تأثیر این المان‌ها در کاهش جابه‌جایی و دوران عرشه برای زوایای مختلف تورب و همچنین برای مقادیر مختلف فاصله کلید برشی تا عرشه متفاوت است. در بخش بعدی مطالعات، برای کنترل جابجایی جانبی روسازه یک نوع کلید برشی فولادی که با سازه و کار اصطکاکی انرژی روسازه را مستهلک می‌نماید، پیشنهاد شده است. برای مدل‌سازی رفتار این المان به کمک ترکیب رفتار غیرخطی در المان‌های موجود در نرم‌افزار و همچنین برنامه‌نویسی لازم، مدل مناسبی ایجاد شد. در بررسی نتایج حاصل از این تحلیل مشاهده می‌شود این نوع کلید برشی تأثیر قابل توجهی (تا حدود ۵۰ درصد) در کاهش دوران عرشه نسبت به کلید برشی بتنی رایج دارد و از مزیت‌های این کلید برشی، آسیب کمتر

به دیوار کوله در حین زمین لرزه می باشد. همچنین با بکارگیری این ساز و کار، احتمال وقوع آسیب در کلید برشی و توسعه آن به پایه یا کوله پل کاهش می یابد.

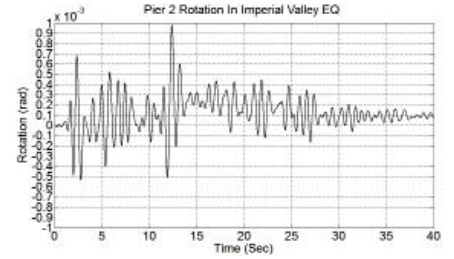
**واژه های کلیدی:** پل بزرگراهی مورب، کلید برشی، تحلیل تاریخچه زمانی، دوران عرشه، سازوکار اصطکاکی.



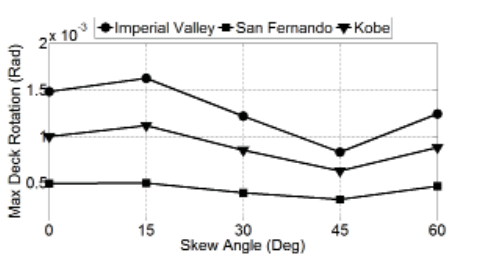
Rotational mode of the bridge with rigid deck



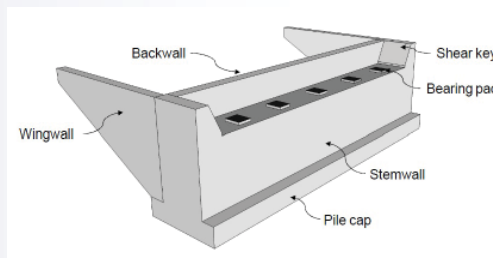
Seismic damage to shear key and abutment



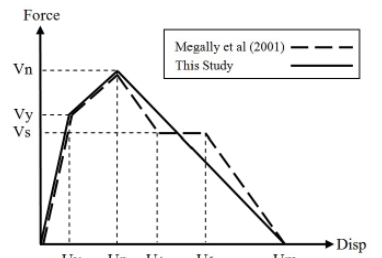
External shear keys



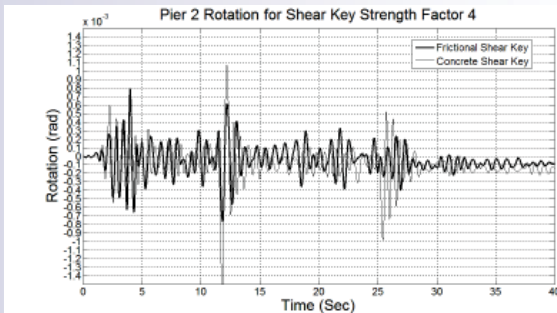
Simplified model of nonlinear behavior of shear keys



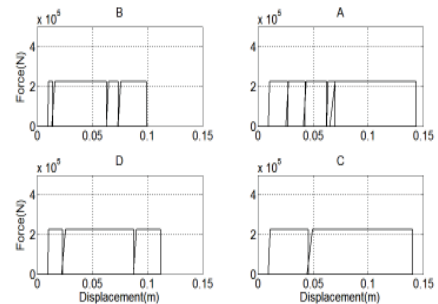
Max. deck rotation during three earthquakes for different skew angles



Time history of rotation of deck



Comparison of deck rotation for two types of shear keys in the study



Force-Displacement relation in shear key with friction mechanism



## Seismic Retrofit of Cap Beam in Conventional Highway Bridge Bents

**Akbar Vasseghi**

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

**Mohammad Kazem Bahrani, Mahdi Soltani**

An experimental study was carried out to assess the seismic performance of the commonly used multicolumn pier bents. Observing the real performance of the bent, capturing undesirable failure modes, verifying current code requirements and evaluating different retrofit methods were the main goals of the study. Based on field investigations, 30% scaled specimens were designed, constructed and tested under simulated earthquake loads. Two types of specimens, type A and B, which represent the design practice in the past two decades were tested. Figure 1 shows the test set-up.

The results indicated that the joint failure and the slippage of longitudinal bars within the joints were the predominant failure modes under lateral cyclic load. The slippage of column's longitudinal bars was the main contributing factor for the pinched hysteresis response in the as-built specimens. Bar slip problem observed in all the joints in specimen type A and in the exterior joints in specimen type B. Figure 2 shows pictures of the as-built specimens after the test.

Retrofit methods were based on two main concepts. The first concept was the columns flexural weakening to reduce demands on the joints and cap beam. The second concept was the external prestressing of the joints to prevent slippage of the column bars in the joints. In spite of decrease in lateral strength, the weakening retrofit method, enhanced the seismic performance criteria and increased the ductility, energy dissipation capacity and hysteretic damping ratio. The external prestress retrofit method was very effective in improving the lateral strength and seismic performance of the bents. This method is considered to be a more desirable retrofit method. Column bar slippage did not happen, plastic hinges formed in the columns and the joint remained elastic and the desired hierarchy for plastic mechanism observed. Figure 3 shows pictures of the retrofitted specimens after the test.

The following main conclusions are drawn from the experimental study:

1. Contrary to the requirements of the current bridge design philosophy plastic hinge did not form in the columns of the as-built specimens.
2. Bond failure of longitudinal column reinforcement is the predominant failure mode in the as-built specimens

## بهسازی لرزه‌ای تیر سرستون پایه متداول پلهای بزرگراهی

اکبر واتقی

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه vasseghi@iiees.ac.ir

محمد کاظم بحرانی، مهدی سلطانی

یکی از متداول ترین سیستم‌های پایه پلهای در شهرها، پایه‌های قابی شکل بتنی با ستون‌های دایره‌ای و تیر سرستون مستطیلی شکل و مجزا از عرشه می‌باشد. به منظور ارزیابی رفتار لرزه‌ای این تپ از پایه‌های قابی شکل پلهای، مطالعات آزمایشگاهی در دستور کار قرار گرفت. ابتدا با یک بررسی میدانی، نمونه‌های چون ساخت طراحی شد. ۶ نمونه آزمایشگاهی در مقیاس یک سوم ساخته شد و مورد آزمایش بارگذاری رفت و برگشتی استاتیکی قرار گرفت. نمونه‌ها در دو تیپ A و B طراحی شد که نماینده ساخت و ساز در دو دهه اخیر بودند. نمونه A با بیشترین نواقص از جمله کمبود خاموت‌ها و جزییات ناحیه اتصال نماینده ساخت و ساز دهه ۷۰ و نمونه B با اندکی تغییرات و با نقاط ضعف کمتر، نماینده ساخت و ساز دهه ۸۰ بود. ایزار بندی آزمایش یکی از نمونه‌های آزمایشگاهی در شکل ۱ ارائه شده است.

مطالعات نشان از ضعف خمشی تیر سرستون و ضعف شدید در ناحیه اتصال داشت. مهمترین ضعف نیز به مهار نامناسب آرماتور طولی ستون در ناحیه اتصال مربوط بود. آزمایشها نشان داد که در نمونه‌های تیپ A، مشکلات در کلیه اتصالات میانی و خارجی به شدت بروز می‌کند ولی در نمونه‌های تیپ B علیرغم پیش‌بینی اولیه، اتصالات میانی رفتار مناسبی از خود نشان می‌دهند و همچنان مشکلات حادی در اتصالات خارجی وجود دارد. خسارات وارد بر نمونه‌های چون ساخت تیپ A و B بعد از انجام آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است.

در پی آزمایش نمونه‌های چون ساخت و شناسایی نقاط ضعف و قوت آنها، و ارزیابی رفتار لرزه‌ای آنها، طرح‌های بهسازی با دو ایده کلی بر ۴ نمونه آزمایشگاهی اعمال شد. طرح اول با ایده تضعیف خمشی ستون و کاهش تقاضا در تیر سرستون و ناحیه اتصال عملی شد. طرح دوم نیز با ایده تنیدگی خارجی و اعمال تنش عرضی و طولی در ناحیه اتصال اجرا گردید. آزمایشها نشان داد در طرح اول، به رغم کاهش مقاومت جانبی قاب ناشی از تضعیف خمشی ستون، عملکرد نمونه بهبود می‌یابد. کاهش تقاضا در ناحیه اتصال عامل اصلی این بهبود عملکرد می‌باشد. در طرح دوم، تنیدگی عرضی باعث بهبود رفتار اتصال خارجی نمونه تیپ B و اصلاح نسبی مشکل مهار آرماتور طولی ستون گردید. در نمونه تیپ A اعمال تنیدگی طولی در اتصال میانی و تنیدگی طولی و عرضی در اتصال خارجی مشکل مهار آرماتور را کاملاً مرتفع نمود و باعث شکل‌گیری مفصل پلاستیک در ستونها گردید. در این نمونه کلیه پارامترهای رفتار لرزه‌ای نظیر تغییر مکان‌های متناظر با سطوح عملکردی، مقادیر شکل‌پذیری، قابلیت جذب انرژی و میرایی بالای ۱۰۰ درصد ارتقا یافت. خسارات وارد بر نمونه‌های مقاوم‌سازی شده در طرح دوم بهسازی بعد از انجام آزمایش در شکل ۳ نشان داده شده است.

under in-plane cyclic loading.

3. In the as-built specimens, the exterior joint was damaged more extensively than the interior joint.
4. Transverse prestressing of the exterior joints improved the strength and energy dissipating capacity of the specimen.
5. The exterior joint was fully protected where it was prestressed in both longitudinal and transverse directions. Such prestressing resulted in formation of plastic hinge in the column while the joint remained totally intact without any cracking.

**Keywords:** Highway bridges, Seismic retrofit, Cap beam

اهم نتایج حاصل از این مطالعه به شرح ذیل می‌باشد.  
 ۱- در نمونه‌های چون ساخت بر خلاف ضوابط آئین‌نامه‌های مدرن طراحی لرزه‌ای پلها، مفصل پلاستیک در ستونها تشکیل نشد.  
 ۲- لغزش آرماتورهای طولی ستون در محل اتصال عامل اصلی شکست در نمونه‌های چون ساخت می‌باشد.  
 ۳- در نمونه‌های چون ساخت خسارات وارد بر اتصالات خارجی شدیدتر از خسارات وارد بر اتصالات میانی بود.  
 ۴- تنیدگی عرضی اتصالات خارجی، رفتار لرزه‌ای و ظرفیت جذب انرژی نمونه‌ها را افزایش می‌دهد.  
 تنیدگی در هر دو جهت طولی و عرضی در نمونه تیپ A باعث جلوگیری از هر گونه خسارت در ناحیه اتصال و ایجاد مفصل پلاستیک در ستون گردید.

**واژه‌های کلیدی:** پلهای بزرگراهی، بهسازی لرزه‌ای، سرستون



Fig. 1. Test set-up



Specimen type B

Specimen type A

Fig. 2. Pictures of the as-built specimens after the test



Specimen type B

Specimen type A

Fig. 3. Pictures of the retrofitted specimens after the test

## RC Dual Ductility Mode Shear Walls

**Mansour Ziyaeifar**

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

**Mohammad Saleh Rahim Labbafzadeh**

Shear walls are among the most common lateral load resisting systems in medium height buildings. This is due, mostly, to their ability in providing the required level of lateral stiffness and strength for the structure. However, shear walls are not considered as efficient structural component if ductility is the major concern. The fact is, in a tall shear wall, formation of plastic hinge happen only in a fraction of the height of the wall and ductility resources of the rest of the wall remains, mostly, untapped. The experiences with coupled and slit shear walls have shown the potential of dispersion of inelastic behavior over the height of the wall, causing more desirable ductile behavior and a better crack pattern for the whole system. Intuitively, the same concept can be extended to the shear walls with openings. In such cases, both flexural and shear ductility capacity of the system can be efficiently used at the base and over the height of the wall, respectively to provide us with a dual ductility mode shear wall. Note that from the static's viewpoint the notion of dual hinges is nearly unthinkable. In order to investigate the feasibility of formation of shear hinge around the openings, a series of inelastic dynamic analysis have been carried on analogous truss model of a shear wall with several openings. Despite the constant total input energy, the results indicated that the amount of dissipated energy at the lower part of these walls was decreased to about two-third the value of ordinary shear walls. Consequently, the ductility demand recedes at the base plastic hinge and the required reinforcement detailing becomes simpler. However, marginal gains were observed in the structural response such as base shear and moment, inter-story drift, and story displacement. Moreover, an algorithm was proposed to calculate the time history of damping ratio during the dynamic loads. It is indicted that the damping ratio of shear wall with openings is much more than the one for ordinary shear walls. Using several openings in the wall can not only raise some practical problems, but also may be impossible for some cases from the architectural point of view. In order to solve this problem, a shear wall only with one opening is assumed. In this wall, two flexural and shear plastic hinges can be formed at the base and around the opening, respectively. As the nature of external seismic loads is dynamic and the location of the point of force application is varied along the height, a fraction of input

## دیوارهای برشی بتن مسلح با رفتار دوگانه شکل پذیر

منصور ضیایی فر

دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه mansour@iiees.ac.ir

محمد صالح رحیم لبافزاده

در تحقیق حاضر، نخست به تبیین رفتار دیوارهای برشی در جذب انرژی زلزله پرداخته شده و با توجه به ضعف دیوارهای برشی در استفاده بهینه از کل ظرفیت‌های خود در اتلاف انرژی، راهکارهای عملی برای بهبود عملکرد آن بررسی گردیده است. از آنجایی که در روش‌های پیشنهادی، استفاده از شکل پذیری برشی مورد غفلت واقع شده است، به بررسی امکان استفاده از این مود رفتاری در ارتفاع دیوار پرداخته شده است. در صورتی که بتوان از جذب انرژی برشی در ارتفاع دیوار بهره برد، می‌توان آن را محدود به یک مفصل برشی در ارتفاع دیوار کرد و دیواری با رفتار شکل پذیر دوگانه خمشی و برشی ایجاد نمود. با توجه به اینکه شیوه طراحی مفصل برشی ارتفاعی، کاملاً با طراحی رایج اعضای بتن مسلح متفاوت است، روش‌های قابل استفاده در طراحی آن، بررسی شده و با توجه به ضعف اکثر روش‌های طراحی در تعیین دقیق ظرفیت مفصل برشی لازم دیده شده است تا ظرفیت واقعی این مفاصل و بررسی رفتار آن، از طریق مطالعات آزمایشگاهی تکمیل شود. ساختار و چارچوب تحقیق حاضر متشکل از نه فصل است که در فصل اول، انواع دیوارهای برشی و رفتار آنها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. فصل دوم، به ارائه راهکارهای عملی برای بهبود عملکرد دیوارهای برشی در جذب انرژی زلزله اختصاص یافته و با معرفی دیوارهای پیشنهادی سایر محققین از جمله دیوارهای برشی کوپله و شکافدار، به نقش باز شو برای جذب انرژی در ارتفاع دیوار اشاره شده و رفتار این دیوارها ارزیابی گردیده است. در ادامه با تعمیم مفهوم جذب انرژی در ارتفاع به دیوارهای برشی بازشودار، نوع جدیدی از دیوارهای برشی مورد بحث و بررسی قرار داده شده است.

در فصل سوم، امکان بکارگیری بازشوه‌های بزرگ برای جذب انرژی با استفاده از نیروی برشی در ارتفاع دیوار مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که درک این مفهوم از طریق تحلیل‌های استاتیکی مقدور نیست، عملکرد دیوارهای برشی با بازشوه‌های بزرگ، از طریق مطالعات دینامیکی تاریخچه زمانی صورت پذیرفته است. به همین منظور، با استفاده از مدل‌های تقریبی پیشنهادی، رفتار غیرخطی این دیوارها تحت بارهای لرزه‌ای، ارزیابی شده است.

در فصل چهارم، با معرفی مفهوم شکل پذیری دوگانه، امکان ایجاد دیوارهای برشی با رفتار دوگانه شکل پذیر با استفاده از یک باز شو در ارتفاع دیوار، بررسی گردیده است. از آنجا که مشخصات و موقعیت باز شو، نقش اساسی در رفتار این دیوارها ایفا می‌کند، قبل از مطالعات تحلیلی، مشخصات و موقعیت باز شو در ارتفاع دیوار برای تشکیل همزمان مفصل برشی ارتفاعی و مفصل خمشی پایه، از طریق مطالعات پارامتریک بدست آمده و پس از آن، با استفاده از تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی، روابط بدست آمده، اعتبارسنجی شده است. در پایان این فصل، رفتار لرزه‌ای یک دیوار برشی که مشخصات باز شو در آن، با استفاده از روابط پیشنهادی این فصل تعیین شده است، مورد



energy can be dissipated in the altitudinal plastic hinge in few time intervals. Consequently, the ductility demand at the base of the wall will be reduced. This altitudinal plastic hinge can locally exhibit flexural or shear behavior. Due to complex reinforcement detailing needed for providing the flexural ductility around the opening, shear plastic hinge is considered in this research. In this regard, a parametric study was done to determine the location of opening over the height of the wall, which was led to some relations. In order to assess the validity of these relations, a series of sensitivity analyses were performed on several walls with different opening location under some earthquake loads. It should be noted that, it is of great importance to determine the exact capacity of altitudinal shear and base flexural plastic hinges for creation of a dual ductility mode shear wall. Furthermore, the philosophy of methods which estimate shear capacity is based on the lower bound theorem and completely different from the one for flexural capacity. Subsequently, these methods can not be useful for designing shear plastic hinge in dual ductility mode shear walls. Therefore, the best choice to find out the real capacity is performing experimental studies on this kind of hinges. The results show extra-estimated capacity which should be decreased by useful proposed solutions. The unique specificities of these experiments are the simple loading setup which can easily simulate the situation similar to pure shear loading and a proposed reinforcement details surrounding the opening. At the end, seismic performance of a dual ductility mode shear wall was studied using finite element analysis. The results revealed that despite a small reduction in the strength of shear wall with proposed reinforcement details around the opening, the crack patterns distributed more uniformly and the ductility increased compared to ordinary shear walls.

**Keywords:** Shear wall, Dual ductility, Opening, Equivalent damping ratio, Experimental study, Extra-estimated shear capacity



ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به اینکه در ایجاد دیوارهای برشی دوگانه شکل پذیر، دو مفصل پلاستیک، یکی در پای دیوار با رفتار خمشی و دیگری در ارتفاع دیوار با رفتار برشی مورد نیاز می باشد، لازم است که این مفاصل به دقت طراحی شوند تا امکان تشکیل هر دو مفصل به طور همزمان وجود داشته باشد. طراحی مفصل خمشی پایه همانند دیوارهای معمولی انجام خواهد شد، از این رو در فصل پنجم، به شیوه های مختلف طراحی مفصل برشی اشاره گردیده است.

روش های رایج طراحی مفصل برشی عمدتاً بر پایه تئوری کرانه پایین پلاستیسیته استوار هستند و از این رو تعیین ظرفیت دقیق این مفاصل باید در یک حاشیه ایمنی همسان با مفصل خمشی پایه صورت گیرد. با توجه به محافظه کارانه بودن این روش های طراحی، عمدتاً ضریب اطمینان آنها، بسیار بیشتر از روش های طراحی خمشی می باشد، لذا، تعیین ظرفیت دقیق ظرفیت مفصل برشی و متناسب سازی حاشیه ایمن طراحی این مفاصل با مفاصل خمشی از طریق تئوری های طراحی بر مبنای کرانه پایین پلاستیسیته ممکن نیست. به همین منظور، نیاز به انجام مطالعات آزمایشگاهی احساس می شود. در فصل ششم، به طراحی فرآیند آزمایش و نحوه ساخت نمونه های آزمایشگاهی از مفاصل برشی، اشاره شده است. نتایج مطالعه تجربی بر روی رفتار این نمونه ها، در فصل هفتم ارائه و مورد بحث قرار گرفته است. با در نظر گرفتن نتایج مطالعات تجربی به عمل آمده در فصل هشتم الگوی ساده شده فولادگذاری در اطراف باز شو ارائه شده و اثرات بکارگیری این الگوی پیشنهادی از طریق تحلیل روش اجزای محدود بر روی دیوار برشی مورد ارزیابی قرار داده شده است.

در نهایت در فصل نهم، به جمع بندی نتایج حاصل از این پژوهش پرداخته شده و پیشنهادات قابل انجام برای مطالعات بیشتر در تحقیقات آتی ارائه گردیده است.

**واژه های کلیدی:** دیوارهای برشی، بتن مسلح، شکل پذیری، مطالعات آزمایشگاهی، باز شو، نسبت میرایی معادل، ظرفیت برشی



## Analysis of the Seismic Behavior of a Single Deck Floating Roof Storage Tanks

Mohammad Ali Goudarzi

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

Liquid-roof interaction imposes a complicated distribution of out-of-plane deformation on the single deck type floating roof (SDRF), which is the main source of considerable seismic stresses in floating roof. In the first part of this research, an analytical solution for evaluating the dynamic interaction between the liquid and the floating roof is developed. Main physical and geometrical parameters are involved by the proposed analytical solution (PAS) for evaluating the seismic stresses of a single deck floating roof tanks (SDFR). The results of PAS are compared with the results of existing empirical formulas for various dimensions of SDRF tanks.

In order to assess the validity of PAS for various sloshing wave height, a numerical model based on finite element method is established and the PAS results are compared with the finite element method (FEM) analysis results. The PAS predictions are in very good agreement with both the available empirical formula and the numerical model results.

In the next part of this research, second mode sloshing motion induces the vertical out-of-plane deformation of deck plate in single deck floating roof (FR) cylindrical storage tanks. This vertical deformation tends to shrink the deck plate in horizontal direction, causing elliptical deformation of pontoon. In order to evaluate seismic stress caused by the second sloshing mode, the relation between out-of-plane vertical deformation of deck plate and the radial shrinkage of pontoon is required. A simple analytical approach is proposed here for calculating the shrinkage of the pontoon. The numerical analysis is also performed for five tanks with various dimensions to assess the effectiveness of introduced new method. The accuracy of proposed formulation is confirmed by comparing its results with the results of both numerical analysis and available experimental measurements.

Despite existing empirical formula, geometric characteristics of considered tanks are involved in proposed formulation and it is shown that final relationship could be utilized for various ranges of tank dimensions without scaling or unit limitation. It is also found from the results of numerical analysis that the dynamic characteristics of sloshing modes are not considerably affected by the presence of floating roof.

## اثرات ناشی از حرکات سیال بر پاسخ لرزه‌ای سقفهای شناور تک لایه در مخازن ذخیره مایعات

محمد علی گودرزی

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه m.a.goudarzi@iiees.ac.ir

در این تحقیق، رفتار لرزه‌ای سقف شناور تک لایه مد نظر قرار می‌گیرد. سقف شناور تک لایه تحت بارهای دینامیکی اعمال شده ناشی از حرکت سیال موج، تحت تنشهای مختلفی قرار دارد. این تنشها ممکن است تحت مد اول حرکت سیال ایجاد گردد. در مد اول ارتعاش سیال موج، تغییر مکانهای سطح آزاد مایع معمولاً در محدوده خطی بوده و وارد ناحیه نامتقارن نمی‌شود. در این حالت تنشهای ناشی از مد اول قابل صرفنظر کردن است. مگر اینکه ارتفاع آزاد مایع زیاد باشد و سیال به مقدار قابل توجهی وارد ناحیه غیرخطی شود. اما حرکت‌های ناشی از مد دوم حرکت سیال، به دلیل قابلیت اثرگذاری بر روی ناحیه میانی سقف شناور تک لایه، حتی در حالت خطی نیز می‌تواند سر منشأ تنشهای دینامیکی در سقف شناور تک لایه گردد. اثرات ناشی از مد دوم حرکت امواج، توسط محققین قبلی مورد ارزیابی قرار گرفته است و دو پارامتر اصلی برای برآورد تقریبی تنشهای دینامیکی ناشی از آن شناسایی شده است. یکی از این پارامترها، ارتباط بین حرکت‌های قائم ناحیه میانی سقف تک لایه، با مقدار جمع‌شدگی یا انقباض سقف در راستای شعاعی سقف شناور است. پارامتر دیگر نیز مربوط به میزان اثر وجود سقف شناور بر کاهش ارتفاع آزاد مایع می‌باشد. مقدار این دو پارامتر برای برآورد تنشهای دینامیکی در سقف مورد نیاز است و در واقع مکانیسم حرکت دینامیکی مخزن توسط این دو پارامتر تعریف می‌گردد. در تحقیق حاضر، تحلیل‌های تئوریک جدیدی برای برآورد دقیق پارامترهای مذکور پیشنهاد شده است. روابط تحلیلی پیشنهاد شده، به دلیل دارا بودن مبنای تئوریک، کلیه مشخصات اثرگذار فیزیکی و هندسی مخزن و سقف شناور را در برآورد خود لحاظ می‌کنند و محدودیتهای ابعادی نداشته و می‌توانند برای مخازن آزمایشگاهی و یا واقعی به طور یکسان مورد استفاده قرار گیرند.

در قسمت اول تحقیق، پارامتر جمع‌شدگی سقف شناور مد نظر قرار گرفته است. بدین منظور، مکانیسم عملکرد لرزه‌ای سقف شناور تک لایه تشریح شده و نحوه اندرکنش حرکت قائم سقف شناور و میزان جمع‌شدگی آن به طور کمی برآورد می‌گردد. سپس با آنالیزهای اجزای محدود، صحت عملکرد حل تحلیلی پیشنهاد شده مورد ارزیابی قرار گرفته است (شکل ۱). در نهایت نیز نتایج آزمایشگاهی محققین قبلی بر روی مخازن کوچک مقیاس با نتایج حاصل از حل تحلیلی پیشنهاد شده مقایسه شده است که بیانگر انطباق منطقی نتایج و عملکرد مناسب حل تحلیلی ارائه شده در پیش‌بینی جمع‌شدگی سقف شناور می‌باشد (شکل ۲).

در قسمت دوم تحقیق، رابطه مربوط به میزان کاهش ارتفاع آزاد مایع در اثر وجود سقف شناور مد نظر قرار گرفته است. میزان کاهش ارتفاع آزاد مایع با اعمال یک ضریب کاهنده بر ارتفاع آزاد مایع مخزن در حالت بدون سقف حاصل می‌شود. داشتن مقدار این ضریب در برآورد تنشهای دینامیکی

**Keywords:** Floating roofs, Seismic design, Liquid storage tanks, Analytical solutions, Numerical method

سقف شناور تک لایه ضروریست. لذا روابط تئوریک مربوط به برآورد میزان کاهش ارتفاع آزاد مایع در اثر وجود سقف شناور پیشنهاد شده و نتایج آن از طریق آزمایشات و مدلسازی عددی مورد ارزیابی و صحت سنجی قرار گرفته است (شکل ۳ و ۴).

**واژه‌های کلیدی:** سقف شناور تک لایه، روش عددی، رفتار لرزه‌ای، جمع‌شدگی سقف شناور

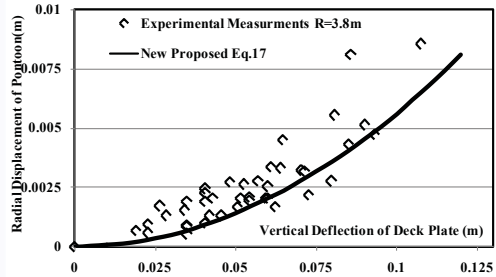
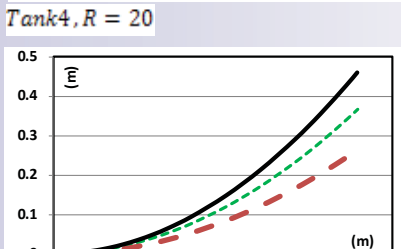
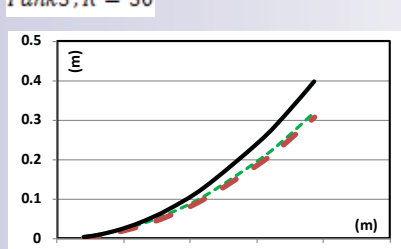
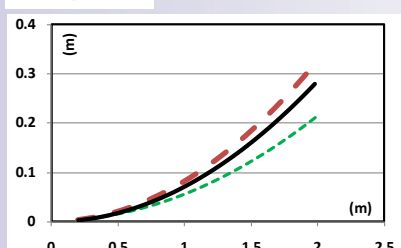
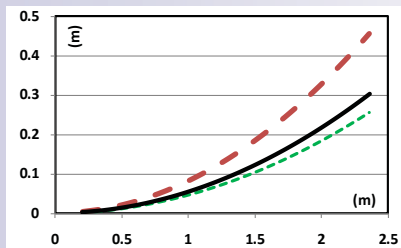
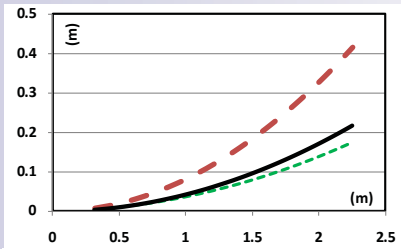


Fig. 2. Relation between deflection of the deck and radial displacement of the pontoon

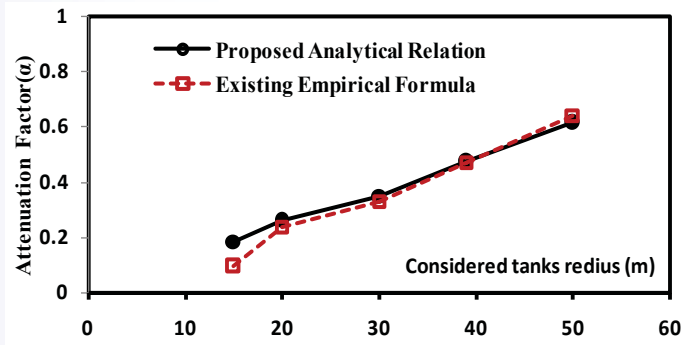


Fig. 3. Comparison of attenuation factor extracted from numerical analysis with those estimated by Proposed Analytical Solution and empirical formula for two different values of maximum sloshing wave heights

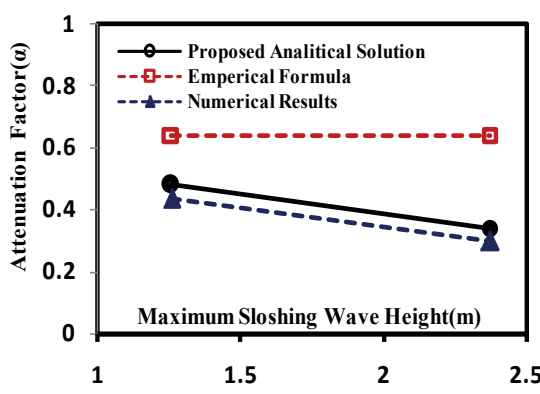


Fig. 4. Comparison between Proposed Analytical Solution (PAS) and existing empirical relation

Fig.1. Relationship between radial contraction and out-of-plane deformation of deck obtained from FEM analysis, Proposed Formula and empirical equation



## Investigation of Seismic Behavior of Double Deck Floating Roof Storage Tanks

**Mohammad Ali Goudarzi**

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

Sloshing response of a cylindrical liquid storage tank with the Double Deck type Floating Roof (DDFR) subjected to seismic excitation is considered in this report. In the first part of this research, a numerical method including fluid-structure interaction and the geometry details of a DDFR tank is established. The geometric nonlinear effects on the seismic behavior of the DDFR as well as the accuracy of analytical solution suggested in the literature are examined by the numerical model. The numerical results show that the geometric nonlinear effects can considerably reduce the seismic stress in DDFR, but have no significant effect on the liquid hydrodynamic pressure exerted on the DDFR and the roof's vertical displacement (Fig.1).

It is also revealed that for seismic design of DDFRs, not only the general displacement of DDFR should be considered, but also the local effects of liquid hydrodynamic pressure on the bottom plate of the floating roof should be taken into account.

Finally, the design procedure for evaluation of dynamic stress in the floating roof storage tank is considered. Two new seismic design procedures are proposed to evaluate the seismic stress for both Double deck and Single Deck Floating Roof (SDFR). In the case of SDFR, the relationship between vertical deformation of the deck plate and the radial shrinkage of the pontoon, as well as the estimation of the nonlinear behavior of the free surface are revised. Moreover, the attenuation of the sloshing wave height due to the presence of a SDFR is analytically evaluated. A design flowchart according to the new method is suggested. That emphasizes on the nonlinear effects of large amplitude wave for the smaller capacity tanks, and the seismic stress caused by the second sloshing mode for broad tanks (Fig.2).

**Keywords:** Sloshing, Seismic design, Double deck Floating roof, Numerical modeling, Single Deck floating roof

## بررسی رفتار لرزه‌ای سقف شناور دولایه مخازن ذخیره مایع

محمد علی گودرزی

استادیار پژوهشکده مهندسی سازه m.a.goudarzi@iiees.ac.ir

در این طرح تحقیقاتی، رفتار دینامیکی سقف شناور دولایه مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. برای بررسی رفتار دینامیکی سقف شناور دولایه، از مدل عددی بر مبنای روش اجزای محدود استفاده شده است. در سالهای اخیر، حل تحلیلی مناسبی برای بررسی اندرکنش سقف شناور دولایه و سیال توسط محققین ارائه شده است که پتانسیل استفاده برای برآورد تنشهای لرزه‌ای داخل سقف شناور را داراست. اما این حل تحلیلی بدون در نظر گرفتن هندسه واقعی سقف شناور، آن را به صورت یک ورق یکنواخت معادل‌سازی می‌کند. همچنین، این حل تحلیلی اثر غیرخطی هندسی رفتار سقف شناور و بخصوص ورق پایینی در تماس با سیال را در رفتار دینامیکی سقف شناور در نظر نمی‌گیرد. بنابراین، یکی از اهداف مطالعه عددی ارائه شده در این تحقیق، برآورد میزان تأثیر پارامترهای مذکور بر پاسخ دینامیکی سقف شناور می‌باشد. این پارامترها شامل اثرات غیرخطی هندسی و اعمال هندسی واقعی سقف شناور دو لایه می‌باشد. نتایج تحلیل‌های عددی بیانگر این است که تنشها در داخل سقف شناور با در نظر گرفتن اثرات غیرخطی به شدت کاهش پیدا می‌کنند. اما مقدار فشار هیدرودینامیک زیر سقف و مقدار تغییر مکان قائم آن چندان تغییر نمی‌کند (شکل ۱). همچنین نتایج تحلیل نشان می‌دهد که در نظر گرفتن حرکت کلی سقف شناور برای محاسبه تنشها کافی نیست و تغییر شکل موضعی ورق پایینی نیز باید در محاسبه تنشهای لرزه‌ای مد نظر قرار گیرد. در قسمت پایانی این تحقیق، طراحی لرزه‌ای سقفهای شناور تک لایه پیشنهاد شده است. در خصوص سقف شناور دولایه نتایج روش نحوه محاسبه تنشهای لرزه‌ای در هنگام طراحی لرزه‌ای پیشنهاد شده است و نتایج آن با مقادیر عددی مقایسه شده است.

همچنین برای سقفهای شناور تک لایه نیز در آخرین فصل گزارش حاضر، از نتیجه تحقیقات قبلی توسط نگارنده و سایر محققین استفاده شده و بر این اساس فلوچارتی برای نحوه برآورد تنشها در داخل سقف شناور تک لایه پیشنهاد شده است (شکل ۲).

**واژه‌های کلیدی:** سقف شناور دو لایه، روش عددی، طراحی لرزه‌ای، سقف شناور تک لایه

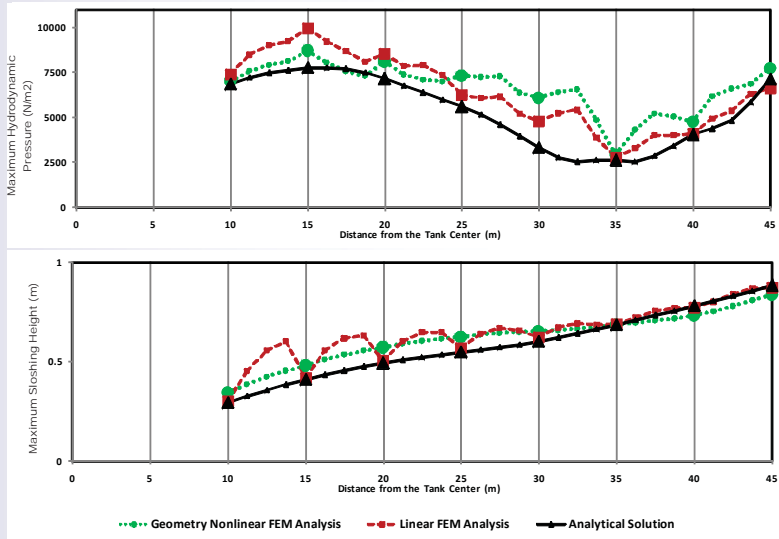


Fig.1. The maximum value of the analytical and numerical results for hydrodynamic pressure and liquid sloshing height

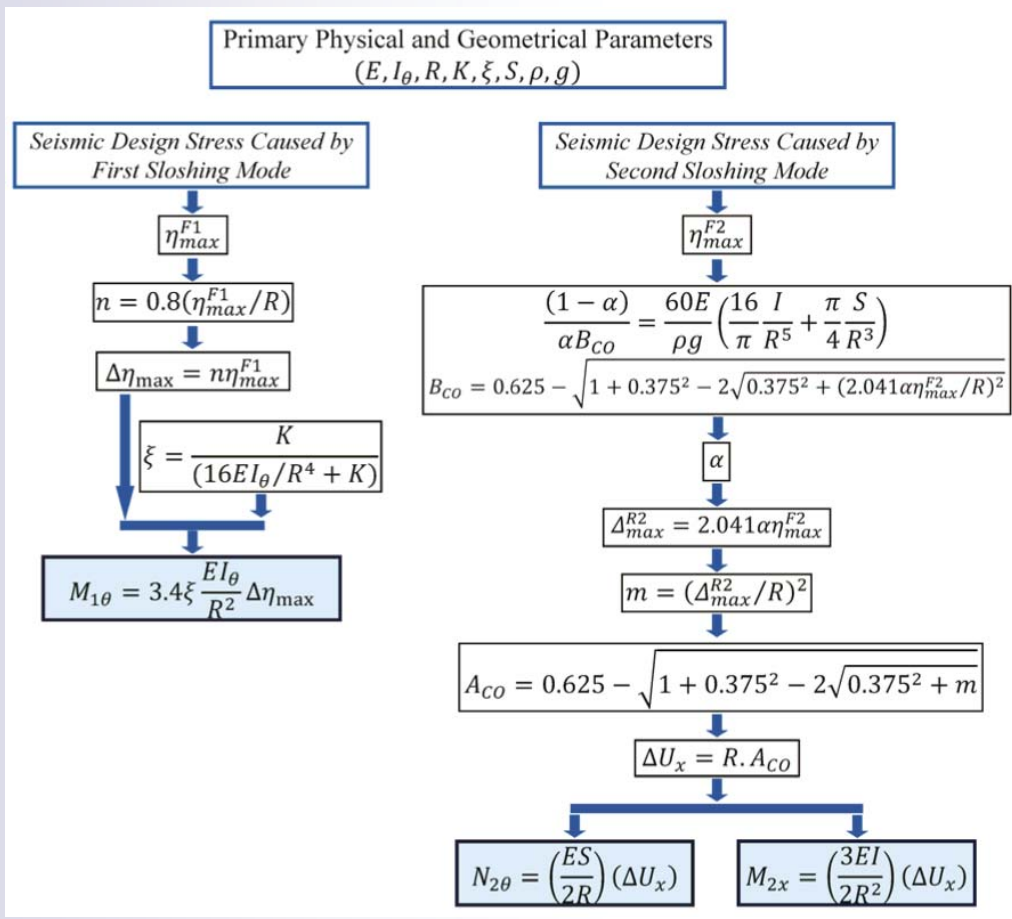


Fig.2. The new proposed seismic design flowchart for evaluating the seismic stress in a single deck floating roof tank

# Risk Management Research Center







## A Study on Implementing Neighborhood Self-Help Planning for Sustainable Earthquake Disaster Reduction

**Yasamin O. Izadkhah**

Assistant Professor, Risk Management Research Center  
izad@iiees.ac.ir

**Mahmood Hosseini**

Evidences obtained from various earthquakes in different countries show that most of the time, local people, especially neighbors, are among the first to help those who need rescue and relief in the immediate aftermath of major earthquakes. On this basis, conducting studies is necessary to educate and activate local people and train selected representatives in each community in order to increase their mutual cooperation with the local government before the event as well as to establish or upgrade their capability to help themselves much more effectively, before and particularly after the event, in the time interval between the earthquake occurrence and when the rescue and relief teams reach the stricken area. In this project, first the concept of community-based disaster management is explained and then a review of related literature and the information gathered from the available resources has been presented. In order to identify the strengths and weaknesses of the people's participation, their confrontation with major earthquakes in the country and the related consequences have been addressed. Also, educational facilities and the public awareness capabilities available in the country, which can be used for the development and implementation of the neighborhood self-help project, have been addressed. A list of prerequisites for neighborhood sustainable planning has been presented and a framework for community disaster management as well as the responsibilities allocated to families in a neighborhood, and what they should do after earthquakes has been presented in the most probable scenario. In this regard, it can be concluded that with the existing facilities in Iran and experiences gained from previous earthquakes, the implementation of this project is feasible and applicable in the country. However, still there still might be problems in achieving this goal, such as convincing people for implementing this project and the required guidelines and information provided in it. Although, in order to overcome this problem, the roles of social science experts as well as the mass media are of key importance.

**Keywords:** Self-help, Risk reduction, Earthquakes, Neighbors, Sustainable planning, Neighborhood council

## مطالعات بکارگیری امکانات خودامدادی محله‌ای برای کاهش پایدار خطرپذیری در برابر زلزله

یاسمین استوار ایزدخواه

استادیار پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران izad@iiees.ac.ir

محمود حسینی

تجارب حاصله از زلزله‌های متعدد در نقاط مختلف دنیا حاکی از نقش اصلی اهالی محل به ویژه همسایگان در مراحل مختلف اعم از قبل، هنگام و خصوصاً در امداد رسانی بعد از زلزله می‌باشد و نشان می‌دهد که در بیشتر مواقع افراد محله از جمله اولین افرادی می‌باشند که در زلزله‌های بزرگ می‌توانند به کمک همسایگان خود بشتابند. بر این اساس، این مطالعه با هدف آموزش و فعال نمودن مردم محلی و گروه‌های مختلف مردم در محله‌های هر شهر صورت گرفته تا قبل از سانحه همکاری دو جانبه خود را با دولت محلی انجام داده و همچنین توانمندیهای خود را بالا برده و یا به روز در آورده تا بتوانند قبل از زلزله و بخصوص بلافاصله پس از آن، تا زمان رسیدن تیم‌های نجات و امداد به مناطق آسیب‌دیده، به طور مؤثر به یکدیگر کمک نمایند. در این راستا، ابتدا به توضیح مفهوم مدیریت خطرپذیری جامعه-محور و در دنباله به مروری بر ادبیات فنی مرتبط و جمع‌آوری اطلاعات از مستندات موجود پرداخته شده است. سپس برای شناسایی نقاط قوت و ضعف مشارکت مردم در خصوص مواجهه آنها با شرایط حاصل از زلزله‌های بزرگ در کشور بحث گردیده و همچنین به امکانات آموزشی و قابلیت‌های اطلاع‌رسانی و تجهیزات موجود در کشور که می‌توان از آنها در راستای گسترش و پیاده‌سازی طرح خودامدادی محله‌ای استفاده نمود، پرداخته شده است. فهرستی از پیش‌نیازهای برنامه‌ریزی پایدار محله نیز ارائه گردیده و در ادامه با ارائه ساختاری برای مدیریت بحران محله‌ای و بیان وظایف تمامی اهالی محل اعم از افراد خانواده‌ها در محلات، به تشریح اقداماتی که آنان باید پس از وقوع زلزله انجام دهند، بر اساس محتمل‌ترین سناریو به تفصیل پرداخته شده است.

بر اساس این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به امکانات موجود در ایران و تجربیات حاصل از زلزله‌های گذشته، پیاده‌سازی این طرح در سطح کشور امکان‌پذیر می‌باشد. البته ممکن است مشکلات متعددی نیز در این مسیر وجود داشته باشد که مهمترین آن متقاعد کردن قاطبه مردم برای پیاده‌سازی این طرح است که برای رفع این مشکل نقش متخصصین علوم اجتماعی از یکسو و نقش رسانه‌های گروهی از سوی دیگر از اهمیت کلیدی برخوردار می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** خودامدادی، خطرپذیری، زلزله، همسایگان، برنامه‌ریزی پایدار، شورای محله

## Compiling a Support Document for Conducting a Multi-purpose Educational Software on "Earthquake and Safety"

**Farrokh Parsizadeh**

Research Associate, Risk Management Research Center  
parsi@iiees.ac.ir

**Mohammad Reza Abbassi, Mahmood Hosseini, Vida Heshmati, Maryam Rafiei**

In addition to public media, multi-purpose educational software is one of the most important tools, which beside the entertainment can cover different audiences in educational fields. They can even provide and share the events which in normal situations are either impossible or difficult to experience. On the other hand, public education specialists believe that simplification of concepts, which can affect our daily life, should be considered as one of the priorities in education process. Earthquakes which seem to be one the most complex natural phenomenon will affect all segments of society regardless of social levels. Thus, in order to reduce earthquake casualties, people should be aware on earthquake and safety educational concepts in a simple and understandable language.

This project consists of four main sections with objectives of how to reach a high-quality education on earthquakes as well as methods to increase the knowledge of the target groups on earthquake safety concepts. The project starts with illustration of the formation of Big Bang and Milky Way using images in a simple language, and then the structure and different parts of the Earth has been discussed. The main factors of earthquake occurrences, their direct and indirect effects on buildings, roads and our daily life are presented in this project by making references to the number of previous earthquakes. Finally, the ways of how to become secure against earthquake damages has been discussed in the last chapter of this report.

**Keywords:** Earthquake, Faults, Earthquake safety, Multi-purpose educational software

## تدوین سند پشتیبانی تهیه نرم‌افزار چند رسانه‌ای آموزشی زلزله و ایمنی

فرخ پارسی‌زاده

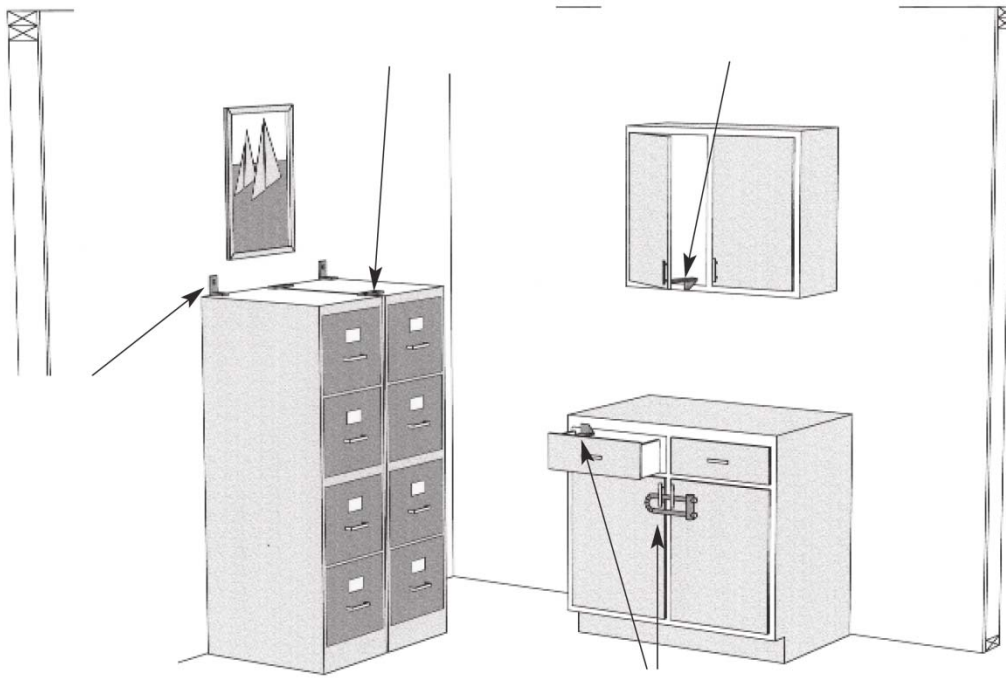
مربی پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران [parsi@iiees.ac.ir](mailto:parsi@iiees.ac.ir)

محمدرضا عباسی، محمود حسینی، ویدا حشمتی، مریم رفیعی

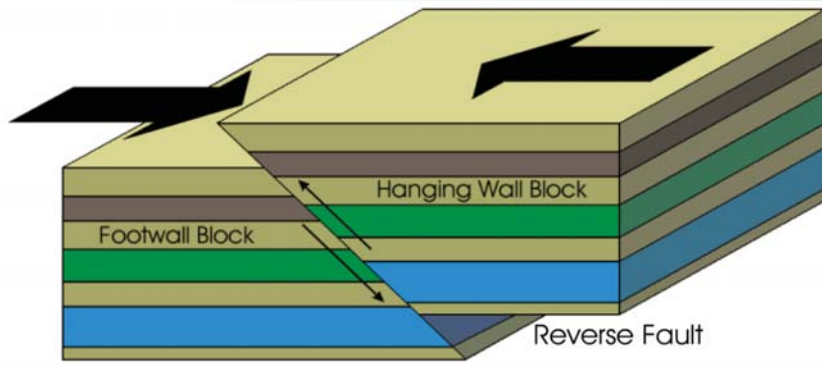
در کنار تمامی رسانه‌های ارتباط جمعی امروزه نرم‌افزارهای چندمنظوره آموزشی، یکی از مهمترین رسانه‌هایی هستند که علاوه بر بعد سرگرمی از جنبه آموزشی نیز می‌توانند طیف وسیعی از مخاطبین را تحت پوشش قرار دهند و امکان تجربه بعضی از وقایع را که در حالت عادی کسب آن برای افراد غیرممکن، سخت و یا همراه مخاطرات احتمالی است، فراهم کنند. از طرفی متخصصان آموزش عمومی، ساده‌سازی مفاهیمی را که نوعی می‌تواند در زندگی تأثیرگذار باشد را به عنوان یکی از اولویت‌ها در فرایند آموزش تلقی می‌کنند، از طرفی، زلزله اگر چه از نظر علمی یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌های طبیعی تلقی می‌شود، اما زمانی که به وقوع می‌پیوندد بدون توجه به سطح علمی افراد همه اقشار جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، آگاه‌سازی مردم از این پدیده به زبانی گویا، و ساده‌سازی مفاهیم مرتبط با آن و چگونه ایمن بودن در برابر آن می‌تواند بخشی از آسیب‌های ناشی از زلزله را کاهش دهد. این پروژه که با هدف دستیابی به آموزش با کیفیت برتر و همچنین افزایش میزان یادگیری مخاطبان متناسب با توانایی‌هایشان در زمینه پدیده زلزله و راه‌های ایمنی در برابر خطرات ناشی از زلزله تدوین شده است از ۴ بخش اصلی تشکیل می‌شود. در بخشی از این پروژه، به بیان ساده چگونه شکل‌گیری انفجار بزرگ و تشکیل کهکشان راه شیری توجه شده و سپس با بهره‌گیری از تصاویر، ساختار و بخش‌های مختلف زمین مورد بحث قرار گرفته است. عوامل اصلی و مؤثر در به وجود آمدن زلزله نیز در بخش دیگر تشریح و سپس با استناد به تصاویر چند نمونه از زلزله‌ها، تأثیرات و ویرانی‌های ناشی از زلزله مطرح شده است. در بخش پایانی، نحوه ایمن‌سازی در برابر خطرات ناشی از این پدیده به زبانی ساده و مصور ارائه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** زلزله، گسل، ایمن‌سازی، ایمنی





Strengthening of nonstructural objects



Fault movements

## Developing Seismic Human Loss Model (Case Study: a District of Tehran)

**Babak Mansouri**

Assistant Professor, Risk Management Research Center  
mansouri@iiees.ac.ir

**Mohammad Reza Ghaemaghmanian,  
Kambod Amini Hosseini, Naeimeh Govahi**

## توسعه مدل لرزه‌ای خسارت جانی-مطالعه موردی منطقه‌ای از شهر تهران

بابک منصوری

استادیار پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران mansouri@iiees.ac.ir

محمدرضا قائم‌میان، کامبد امینی حسینی، نعیمه گواهی

میزان خسارت وارده سالیانه در اثر سانحه زلزله در سراسر جهان در حال افزایش می‌باشد که عمدتاً بدلیل وجود بافت‌های فرسوده شهری و یا ساخت و سازهای روزافزون با کیفیت پایین و آسیب‌پذیر در مقابل زلزله می‌باشد. این امر در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران و بالاحص در شهرهای بزرگ مانند تهران که شامل بافت‌های فرسوده بسیار می‌باشد، حائز اهمیت است. در یک سیستم کارآی مدیریت خطرپذیری و بحران لازم است تا اطلاعات اساسی مورد نیاز در رابطه با برآورد میزان خسارات سازه‌ای (براساس فهرست‌های مستحذات و توابع آسیب‌پذیری انواع متداول سازه‌ها) و به تبع آن برآورد میزان و گستره خسارات جانی به طور مناسبی در دسترس باشد. این گونه اطلاعات به طور مؤثر در برنامه‌ریزی‌های مراحل آمادگی و تنظیم عملیات مقابله در شرایط بحران مورد استفاده اساسی دارد.

متأسفانه تاکنون در ایران مطالعه بر روی توابع خسارت سازه‌ای و خسارات جانی بصورت بسیار محدود صورت گرفته است. در این پروژه، مدل خسارات جانی توسط توسعه مدل درخت اتفاقات (الهام گرفته شده از برنامه HAZUS) همساز با شرایط بومی با در نظر اطلاعات موجود و قابل دسترس برای کشور و بالاحص برای منطقه از تهران معرفی گردید. در این راستا، یک الگوریتم چند جانبه برآورد خسارت جانی تعیین شد. سپس نتایج حاصله با داده‌های واقعی (خسارتهای فیزیکی و خسارات جانی) زلزله بم تطابق یافت. در این خصوص لازم بود تا داده‌های مرتبط با زلزله بم تکمیل و پردازش گردند. به جهت تکمیل داده‌های پلاک‌های ساختمانی شهر بم، اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای اپتیکسی و اطلاعات عکس‌برداری‌های هوایی با داده‌های میدانی (شامل داده‌های مرکز آمار ایران و آمار آسیب‌دیدگان) در محیط GIS تکمیل و تلفیق شده و اطلاعات لازم برای مرحله کالیبراسیون استخراج و در مدل خسارات جانی اعمال گردید.

در آخر، منطقه ۱۷ شهرداری تهران، به جهت اهمیت آن از دید آسیب‌پذیری بالای لرزه‌ای و مهیا بودن داده‌های رقومی مکانی و توصیفی موجود، جهت پیاده‌سازی الگوریتم انتخاب گردید و نتایج مدلسازی تلفات بر اساس زلزله سناریو گزارش بدست آمد. با اعمال مدل تجربی بدست آمده از داده‌های زلزله بم و در نظر گرفتن جمعیت ساکن این منطقه (معادل با ۲۵۴۴۶۳ نفر)، برای حادثه در روز میزان ۲۹۳۵۷ نفر کشته، ۱۵۵۸۰ نفر مجروح شدید و ۸۹۹۸۸ نفر مجروح سرپائی یا سالم برآورد گردیده که همین مقادیر برای حادثه در شب، به میزان ۴۹۶۳۹ نفر کشته، ۲۶۳۴۴ نفر مجروح شدید و ۱۵۲۱۶۰ نفر مجروح سرپائی یا سالم برآورد شده است.

The annual seismic loss is an increasing figure in the world. This is mainly due to the presence of old and vulnerable urban fabrics and the result of continuous growing number of low standard construction within earthquake prone zones. This fact is even more important for Iran and its large urban settlements such as Tehran where the number of old vulnerable settings is high. In an effective risk and disaster management system, it is essential to compile "element at risk" data sets and their associated vulnerability functions. The "elements at risk" can be briefly described as the building inventories, infrastructure systems and the population. Estimation of the urban building damages lead to the assessment of human losses. Such information is fundamental for planning the preparedness phases and also to devise proper emergency responses schemes.

Unfortunately, minimal works were reported regarding the development of building loss and human casualty functions or models for Iran. In this research, considering the domestic conditions of the country and the availability of spatial data and information, a human loss model is devised according to an event tree model (inspired from the HAZUS program) for Iran, specifically for Tehran. In this line, a multi-facet algorithm is developed to estimate the human loss. Then, the results are compared and adjusted with the findings associated with the building damages and casualties of the Bam earthquake of 2003. For this, it was necessary to compile and process the data gathered for the Bam event from different sources. In order to complete the building database with individual building information, Very High Resolution (VHR) optical satellite images and aerial photos were merged with survey data and stored in GIS format. This information is used to calibrate the proposed human loss model.

Finally, considering the availability of spatial urban data and proper attribute information, a study area within Tehran, the municipality district 17 is chosen for implementing the model. Considering an earthquake scenario and applying the empirical function of Bam and taking into account the residential population of 254463 for the study area, the

number of killed, seriously injured and slightly injured or healthy people are estimated as 29357, 15580 and 89988, respectively, for the daytime scenario. And, for the night-time case, these numbers are 49639, 26344 and 152150 respectively. These figures are highly alerting. Considering the nominal construction typology, the unreinforced masonry, the count of the killed people is many times folds the results suggested by HAZUS.

**Keywords:** Disaster management, Risk management, Human casualty, Population vulnerability, Event-tree model

نتایج فوق بسیار هشداردهنده بوده و تعداد کشته شدگان برای گونه غالب سازه‌های موجود (بنائی سنتی غیر مسلح) چندین برابر حدود بالای تلفات محاسبه شده با مدل HAZUS می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** مدیریت بحران، مدیریت خطرپذیری، خسارات جانی، تلفات، آسیب‌پذیری جمعیت، مدل درخت اتفاقات



## A Survey on Correct Dissemination of Information in Bam Earthquake

Farrokh Parsizadeh

Research Associate, Risk Management Research Center  
parsi@iiees.ac.ir

Access of information as one of the most critical elements during an earthquake will be difficult when it is most needed. Mass media are considered as one of the most basic links between people, decision makers and rescuers during earthquakes. Despite December 26, 2003 Bam earthquake has resulted in lots of human casualties, social, cultural and economical losses, in the same time, it has provided a good opportunity for media to review and evaluate the process of information during the earthquake. In the this project, the role of media before and during an earthquake has been reviewed, and then the provided information by four newspapers for the period of one week after Bam earthquake, and its comparison with six other earthquakes has been discussed. The content of four newspapers in seven earthquakes during the past two decades has been analyzed. In order to understand more about social effects of earthquake on people's life, interviews were done with the affected people and experts and questionnaires were distributed among citizens of Bam. Moreover, the contents of 52 editions of a local newspaper in Bam which had been published for period 30 months, were analyzed. The first findings of this project show that delay on rescue operations in Manjil and Bam earthquakes was due to the lack of proper information flow, inaccurate, precise and fast, presented by the organization in charge of announcing the earthquakes. Due to inaccessibility of people to media during the first three days of earthquake, face to face communication was the primary method of dissemination of information among the affected population in the area. The results indicate that due to the lack of a documented sample for information dissemination, this process was done based on local experiences and in error.

**Keywords:** Earthquake, Dissemination of information, Mass media, Preparedness

## بررسی روش‌های صحیح اطلاع‌رسانی در فرایند پاسخ به زلزله‌ها موردشناسی زلزله ۵ دی ۱۳۸۲ بم

فرخ پارسی‌زاده

مربی پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران [parsi@iiees.ac.ir](mailto:parsi@iiees.ac.ir)

اطلاعات به عنوان یکی از حیاتی‌ترین کالاها در مقاطع بحرانی پس از زلزله محسوب می‌شود که معمولاً زمانی که بیشترین نیاز به آن احساس می‌شود، کمیاب می‌گردند. رسانه‌های ارتباط جمعی یکی از اصلی‌ترین حلقه‌های ارتباطی میان مردم، مسؤولین و امدادگران بعد از زلزله تلقی می‌شوند. وقوع زلزله ۵ دی ۱۳۸۲ بم علی‌رغم آسیب‌های فراوان انسانی، اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی فرصت مناسبی را برای بازبینی و ارزیابی روند اطلاع‌رسانی توسط رسانه‌ها فراهم آورده است. در این پروژه ضمن بازخوانی وظایف رسانه‌ها قبل و زمان زلزله، فرایند اطلاع‌رسانی توسط روزنامه‌ها در بم و مقایسه آن با ۶ زلزله در ۴ روزنامه به مدت یک هفته، و تحلیل محتوای ۴ روزنامه در ۷ زلزله در دو دهه اخیر به مدت یک ماه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین در این پروژه برای شناخت دیدگاه‌های مردم بم از تأثیرات اجتماعی ناشی از زلزله از طریق مصاحبه با صاحب‌نظران و افرادی که به نحوی در زمان زلزله بم در زمینه‌های مختلف همکاری داشتند و تکمیل پرسشنامه در شهرهایی که در بم آسیب‌دیده‌اند بررسی‌های لازم انجام پذیرفت. همچنین با تحلیل مطالب ۳۰ ماه یکی از نشریات داخلی بم، اولویت‌های خبری مردم منطقه ارزیابی شده است. اولین یافته‌های پروژه نشان می‌دهد عدم اطلاع‌رسانی صحیح، دقیق و سریع توسط سازمان مسئول اعلام وقوع زلزله به مراجع ذیربط در زلزله منجیل-رودبار، و تکرار آن در زلزله بم یکی از مهمترین عوامل مؤثر دیر رسیدن امدادگران به مناطق آسیب‌دیده بوده است. در هر دو زلزله اولین اعلام محل دقیق وقوع زلزله به امدادگران از طریق بی‌سیم محلی انجام پذیرفت. همچنین به علت عدم کارایی رسانه‌های ارتباط جمعی در روزهای اول پس از زلزله، ارتباطات سنتی که به طور عمده به ارتباطات انسانی، شفاهی و چهره به چهره معروف می‌باشد کماکان از نفوذ و اعتبار خاصی برخوردار است. نتایج داده‌ها نشان می‌دهد به علت عدم وجود الگویی مدون اطلاع‌رسانی در زمان زلزله، فرایند اطلاع‌رسانی زلزله‌ها بر اساس تجربه بومی و با انجام سعی و خطا شکل می‌گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** مشارکت، زلزله بم، رسانه، اطلاع‌رسانی، آمادگی جامعه

## Developing a Methodology for Evaluation of Vulnerable Urban Areas in Seismic Prone Areas, Tehran Case Study

**Kambod Amini Hosseini**

Associate Professor, Risk Management Research Center  
kamini@iiees.ac.ir

## توسعه روش ارزیابی بافتهای آسیب‌پذیر شهری در مناطق لرزه‌خیز، مطالعه موردی بخشی از تهران

کامبد امینی حسینی

دانشیار پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران kamini@iiees.ac.ir

محمدرضا قائم‌مقامیان، بابک منصوری، سولماز حسین‌یون

**Mohammad Reza Ghaemaghmanian, Babak Mansouri, Solmaz Hosseinioon**

Old urban fabrics are known as the most vulnerable areas in seismic prone countries. However, the vulnerability of urban fabrics to potential earthquakes is not only related to construction conditions of buildings, but several other parameters including seismic and geological hazards level, site effects, physical vulnerability, social condition and disaster management capacity, may affect the vulnerability of urban areas. In order to evaluate the impacts of these parameters and estimate the integrated vulnerability at each urban fabric, it is essential to study their effects separately and then compile them, using appropriate weighting factors. In this report, the seismic vulnerability of Tehran is evaluated considering some of these parameters and then the results will be compared with the existing plans and programs for rehabilitation of the city. The results show the plans that are prepared merely based on physical vulnerability, are unable to properly identify the priorities for rehabilitation of urban fabrics and it is necessary to consider the impacts of earthquake parameters and socio-economic conditions for improvement of the vulnerable areas as well. For this purpose, based on global experiences and using the results of a survey conducted to evaluate the views of relevant experts, a new method for assessing the vulnerability of urban fabrics is presented and compared with classical methods.

**Keywords:** Vulnerability, Urban fabrics, Criteria, Earthquake, Rehabilitation, Renovation

بافتهای فرسوده به عنوان آسیب‌پذیرترین مناطق شهری در برابر زلزله محسوب می‌گردند. مروری بر اثرات زلزله در رویدادهای اخیر نشان می‌دهد که بیشترین تلفات و خسارات در مناطقی بوده است که دارای بافت سنتی، ساختمانهای ضعیف در برابر زلزله، معابر باریک و حداقل امکانات مدیریت و آکنش اضطراری بوده‌اند. با توجه به قدیمی بودن اغلب شهرهای کشور و وجود بافتهای فرسوده گسترده در این شهرها انتظار می‌رود در صورت وقوع زلزله در هر شهر، صدمات جبران‌ناپذیری به این بافتهای وارد شود که می‌تواند مسائل اجتماعی و اقتصادی فراوانی را به دنبال داشته باشد.

علیرغم شناخت مخاطرات مرتبط با بافتهای آسیب‌پذیر در کشور، روش‌های متداول در شناسایی و دسته‌بندی آنها تاکنون چندان مرتبط با خطر زلزله نبوده است. ریزدانی، قدمت ساختمان و عرض معبر به عنوان تنها معیارهای قانونی شناخت بافتهای فرسوده در کشور توسط شورای عالی معماری و شهرسازی در نظر گرفته شده است و بر این اساس مناطق شهری دسته‌بندی شده‌اند. در حال حاضر حجم زیادی از بافتهای شهری در کشور براساس این معیارها نیاز به بهسازی و مقاوم‌سازی دارند، حال آنکه با توجه به اعتبارات موجود در شهرداری‌ها و نهادهای مرتبط، تخصیص چنین منابعی در حال حاضر به سختی میسر است. بدین ترتیب لازم است با تدقیق معیارهای موجود نسبت به اولویت‌بندی بهسازی بافتهای فرسوده متناسب با میزان ریسک و سطح خطر زلزله اقدام نمود.

در این گزارش، ضمن بررسی قوانین و ساختارهای موجود در کشور برای شناسایی و بهسازی بافتهای آسیب‌پذیر و با مرور تجارب بین‌المللی تلاش شده است تا پارامترهای تأثیرگذار در آسیب‌پذیری بافتهای شهری در برابر زلزله مورد بررسی قرار گیرند. بدین منظور با بررسی منابع موجود پرسشنامه‌ای تهیه گردیده است و با نظرسنجی از خبرگان عرصه‌های مرتبط، پارامترهای تأثیرگذار در آسیب‌پذیری بافتهای شهری شناسایی و دسته‌بندی شده‌اند. سپس، با ارائه یک مدل تجربی تأثیر هر یک از این پارامترها در میزان آسیب‌پذیری بافتهای شهری مورد مطالعه قرار گرفته است. در نهایت نیز روش توسعه داده شده در این تحقیق با روش‌های مشابه دیگر مورد مقایسه قرار گرفته است. این مقایسه نشان داده است که روش پیشنهادی می‌تواند با دقت و کیفیت بهتری بافتهای شهری را دسته‌بندی و آسیب‌پذیری آنها در برابر زلزله را کمی نماید. بدین ترتیب امکان تخصیص بهینه اعتبارات برای بهسازی بافتهای شهری میسر خواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** شهر، بافتهای آسیب‌پذیر، معیارهای فرسودگی، زلزله، بهسازی، بازسازی

## An Evaluation of the Applicable Methods in Teaching Earthquake Issues to Preschool Children

Yasamin O. Izadkhah

Assistant Professor, Risk Management Research Center  
izad@iiees.ac.ir

Vida Heshmati

Earthquakes are among one of the most threatening natural disasters in Iran which cause unpredictable casualties and irreparable economic loss every now and then. An assessment of these kinds of disasters reveals that children are one of the most vulnerable groups in the society in the time of earthquakes. The vulnerability of children as well as the necessity of conducting activities to teach about earthquakes as well as getting prepared against its consequences, resulted in teaching issues on earthquakes to children, administrators and instructors. In this regard, an evaluation of the educational methods and the contents are very important.

In general, the main objective of this project is to create a safety culture. Other objectives are as follows:

- To assess various educational methods of "Earthquake and Safety" to preschool children;
- To familiarize children with the "Earthquake and Safety" issue;
- To increase the awareness and knowledge of kindergarten administrators and teachers on "earthquake and Safety" issue;
- To increase the awareness and knowledge of parents on "Earthquake and Safety" issue.

In this project, various educational methods such as puppet shows, storey telling, singing and music, drawing and discussions are assessed, and recommendations have been suggested based on the results in order to facilitate teaching process in the preschool level. In this regard, first of all, the importance of teaching earthquake issues to children as well as the aim of teaching preparedness and ways to achieve this, have been addressed. Then, the method for teaching "Earthquake and Safety" in preschool level has been presented. The background of holding "Earthquake and Safety" drills, the aim, as well as the educational activities, tools and products have been introduced. Previous studies in Iran and few other countries in regard to teaching earthquake issues to preschool children are also stated. Later, the methodology and data analysis have been presented. A

## ارزیابی روش‌های کاربردی برای آموزش مفاهیم زلزله به کودکان پیش دبستانی

یاسمین استوار ایزدخواه

استادیار پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران izad@iiees.ac.ir

ویدا هشمتی

لرزه‌خیزی ایران و عدم امکان پیش‌بینی دقیق زمان وقوع زلزله، بر لزوم برنامه‌ریزی برای آموزش و آمادگی رویارویی با این پدیده طبیعی تأکید می‌نماید. اهمیت این امر به گونه‌ای است که امروزه برنامه‌ریزان و متخصصان برای مقابله با سوانح، آموزش را به عنوان یکی از شاخصه‌ای اصلی کاهش تلفات و خسارات می‌شناسند. بنابراین، تحقق آگاهی و رعایت اصول ایمنی منوط بر آموزش‌های بنیادی و مستمری است که از اولین مراحل یادگیری کودک آغاز شده و کم‌کم عمیق‌تر می‌شود. در این راستا، امر آموزش، به ویژه آموزش کودکان در مقاطع پیش از دبستان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تحقیقات و بررسی‌های گوناگون نشان می‌دهد که در اکثر سوانح اعم از طبیعی و یا غیرطبیعی کودکان جزء آسیب‌پذیرترین گروه‌ها هستند. دلایل توجه و تمرکز بر انتخاب کودکان در این طرح، عبارتند از:

- کودکان از اقشار آسیب‌پذیر جامعه هستند؛
- کودکان آینده‌سازان جامعه هستند؛
- کودکان آمادگی درک بسیاری از مسائل را دارند و می‌توانند به صورت پایدار مطالب آموخته شده را تا دراز مدت در ذهن خود نگهدارند؛
- کودکان قادرند والدین خود را تحت تأثیر قرار داده و موارد آموخته شده و دانسته‌ها را به آنان و پس از آن جامعه انتقال دهند.
- طرح حاضر به بررسی فرآیند آموزش و چند روش مناسب از قبیل ایفای نقش، روش بازی گروهی، دستکش‌های عروسکی، شعر، نقاشی، و غیره... جهت آموزش موضوع "زلزله و ایمنی" برای کودکان پیش دبستانی در راستای بهبود و ارتقای امر آموزش در این زمینه پرداخته است.
- هدف اصلی این طرح گسترش فرهنگ ایمنی در برابر زلزله و اهداف فرعی آن به شرح زیر می‌باشد:
- بررسی روش‌های آموزش موضوع "زلزله و ایمنی" به کودکان پیش دبستانی؛
- آشنایی کودکان با مفهوم زلزله و ایمنی در برابر این پدیده؛
- افزایش سطح آگاهی مدیران و مربیان مهد در مورد موضوع "زلزله و ایمنی"؛
- افزایش سطح آگاهی والدین و خانواده‌ها در خصوص پدیده «زلزله و ایمنی» در برابر آن.
- در این طرح، روش‌های آموزشی که مربیان مهد در زمینه آموزش موضوع "زلزله و ایمنی" مورد استفاده قرار داده‌اند، مورد بررسی قرار گرفت که شامل دستکش‌های عروسکی، موزیک و شعرخوانی، نمایش عروسکی، نقاشی و تمرین عملی می‌باشند. با توجه به اینکه اساس کلیه روش‌های مذکور «بازی» است، تمامی این روش‌ها مورد توجه کودکان قرار گرفته و



statistical sample has been selected from few kindergartens.

Children have been taught by various methods which have been evaluated afterward. Also the teachers', administrators' and parents' points of view have been addressed and noted. A lesson plan regarding "Earthquake and Safety" which has been taught to children in one of Iranian kindergartens is also presented. The observations made by the project manager and the colleague in the classrooms are also addressed. In regard to educational and art activities, few cases are also addressed. At the end, recommendations have been made in order to facilitate and expand the results of this project in all kindergartens of Iran to prepare children about earthquake issues before its time for them to attend school.

**Keywords:** Children, Teaching "Earthquake and Safety" issues, Preschoolers, Educational method, Iran

کودکان پیام اصلی آموزش این موضوع را که نحوه صحیح پناه‌گیری هنگام وقوع زلزله می‌باشد، را به درستی فراگرفته‌اند و به خانواده‌ها و دوستان خود منتقل نموده‌اند. همچنین بررسی‌های به عمل آمده، نشان می‌دهد که استفاده ترکیبی از روش‌های آموزشی مذکور به طور کارآمد و مناسبی عمل نموده و قادر است انگیزه کودکان را برای یادگیری و مشارکت در این فرآیند به طور مناسب تأمین و حفظ نماید.

با توجه به نتایج بدست آمده و همچنین گفتگو با مربیان و والدین کودکان، به نظر می‌رسد در هنگام آموزش و یادگیری موضوع "زلزله و ایمنی" نشانه‌هایی از ترس و نگرانی در کودکان مشاهده نشده است. این امر خصوصاً در مواردی که مهد از قبل جلسه توجیهی را برای والدین پیش‌بینی کرده، به خوبی محسوس می‌باشد. در واقع، والدین با آشنایی با این موضوع می‌توانند به سؤالات احتمالی کودکان خود پاسخ داده و علاوه بر مشارکت در امر تدریس و یادگیری، به تسهیل این فرآیند نیز کمک نمایند.

در کل، بازنگری و بررسی روش‌های آموزش کودکان در مورد موضوع "زلزله و ایمنی" و ارائه پیشنهادهایی جهت بهبود امر آموزش و همچنین ارتقای برنامه آموزشی و آمادگی در برابر زلزله در مهدهای کودک کشور از جمله دستاوردهای عمده این طرح می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** کودکان، آموزش "زلزله و ایمنی"، پیش دبستانی، روش‌های آموزشی، ایران

## Design and Development of a Mobile-GIS System for Coordinating Emergency Tasks and Field Surveys in Iran

**Babak Mansouri**

Assistant Professor, Risk Management Research Center  
mansouri@iiees.ac.ir

**Kambod Amini Hosseini, Naeimeh Govahi**

Most of the urban settings in Iran are vulnerable to potential earthquakes. Past disastrous earthquakes have resulted in high economic losses and human casualties. In order to mitigate the seismic risk, it is of considerable benefit to exploit applicable advanced technologies. The development and the use of novel and intelligent systems, for rapid allocation of resources and also in data communication between the agents, help in planning and harmonizing between various human activities (i.e. search and rescue) in chaotic situations. Also in routine field survey (before event) operations and reconnaissance missions (after event), effective strategies must be sought in collecting urban information (rapidly with minimal overlaps between activities) and in developing precise and reliable databases. The proposed system benefits from the capabilities of mobile computing including GIS functions with GPS and data communication with the central system for the purpose of geo-database development.

For the purpose of evaluating the system, a case study was conducted for some random locations within Tehran. The inventory database was developed according to the recorded electronic forms (e-forms) and the wireless communication was made possible using the GPRS mobile network.

In this report, first the general requirements and the feasibility study is conducted. In the second chapter, the literature survey presents excerpts of the breakthroughs in recent mobile-GIS projects. The generation of the electronic form and the compilation methodology of the geodatabase are discussed in the third chapter. According to the need and the availability of the networks and communication infrastructures, two methods of database updating, based on offline and online communications, are explored and instructed in chapters four and five.

**Keywords:** Disaster management, Mobile-GIS, Geodatabase, Online monitoring, Online communication

## طراحی و توسعه یک سیستم مبتنی بر Mobile-GIS به منظور هماهنگ‌سازی عملیات در شرایط اضطراری و برداشت‌های میدانی در کشور

**بابک منصوری**

استادیار پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران  
mansouri@iiees.ac.ir

**کامبد امینی حسینی، نعیمه گواهی**

یکی از فناوری‌های مورد توجه در حوزه مدیریت خطرپذیری و بحران، توسعه و مدیریت سیستم‌های گردآوری اطلاعات مکان‌مند همراه می‌باشد. تشکیل بانک‌های اطلاعاتی مستحدثات، نقش اساسی در برآورد میزان خطرپذیری قابل انتظار در قبل از واقعه و ثبت آثار و تبعات سوانح بوقوع پیوسته را دارد. امروزه با بکارگیری این فناوری، برداشت و گردآوری اطلاعات مکانی-زمانی با سرعت و دقت بالا امکان‌پذیر بوده و به طور مؤثر، مدیران و برنامه‌ریزان در تصمیم‌گیری‌ها و سیاستگذاران بهای مرتبط از آن بهره می‌جویند. هدف اصلی در این پروژه ارائه یک روش و طراحی و راه‌اندازی یک سیستم مبتنی بر Mobile GIS می‌باشد که کاربران میدانی بتوانند به صورت مطمئن، با دقت بالا و صرف زمان کوتاه، اطلاعات ساختمانی (شامل میزان تخریب) مناطق مورد نظر را با مدیریتی واحد برداشت و بانک‌های اطلاعاتی مکانی (GeoDatabase) را کامل و به‌نگام‌سازی کنند. در شکل ارائه شده، اجزا و مراحل طراحی، ایجاد و راه‌اندازی سیستم Mobile-GIS مورد نظر نشان داده شده است.

در فصل نخست این گزارش، به معرفی اجزاء کلی و نیازسنجی و امکان‌سنجی موضوع تحقیق پرداخته شده و سپس در فصل دوم، مرور ادبیات و پیشینه طرح‌های مرتبط در داخل و خارج کشور ارائه می‌گردد. در بخش سوم، شرحی بر توسعه پایگاه داده مکانی و فرم‌های الکترونیک ارائه شده است. به منظور طراحی این سامانه و برداشت اطلاعات به صورت رقومی، تهیه پرسشنامه برای ثبت اطلاعات میدانی ساختمان‌ها امری لازم بوده است. تعیین فیلدهای اطلاعاتی مورد نیاز برای تکمیل پایگاه اطلاعاتی مکانی یکی دیگر از ملزومات پیاده‌سازی این سامانه می‌باشد. به منظور تعیین موارد در نظر گرفته شده در این فرم از تجربیات و توصیه‌های صاحب‌نظران در این زمینه بهره گرفته شده است. بررسی الگوهای متداول برداشت داده در داخل کشور و برخی کشورهای دیگر مورد مطالعه قرار گرفت که موارد لازم و مفید انتخاب شدند تا در گردآوری داده‌های میدانی مورد استفاده قرار گیرند. در این فصل، سیستم‌های اطلاعات مکانی و مفاهیم پایگاه داده مکانی ارائه شدند و مشخصات ساختمانی مورد نیاز در برداشت اطلاعات ساختمانی و تکمیل بانک اطلاعاتی تشریح گردید. علاوه بر ثبت خودکار موقعیت مکانی و امکان ثبت تصاویر در نقاط برداشت، فیلدهای اطلاعاتی در نظر گرفته شده شامل اطلاعات کلی، مشخصات سازه، کیفیت سازه، مشخصات طبقات ساختمان، موقعیت ساختمان نسبت به ساختمانهای اطراف (درز انقطاع) و معابر مجاور، وضعیت و درجه تخریب (در صورت بروز سوانح) و آمار جمعیت ساکن، شرح صدمات و تلفات انسانی در اثر بروز حادثه

می‌باشد که با جزئیات مربوطه تشریح گردید.

در این سامانه، از سیستم همراه PDA (Samsung I900) با سیستم عامل Windows Mobile و به منظور بهره‌گیری از یک GIS همراه و پرتوان از نرم افزار ArcPad استفاده شد. این فرم به گونه‌ای طراحی شد که پس از ورود موقعیت محل برداشت توسط GPS (به صورت خودکار)، اطلاعات مورد نیاز در آن توسط کاربر ثبت و پس از تأیید در پایگاه اطلاعاتی ذخیره می‌گردد. به منظور طراحی این سامانه از نرم‌افزارهای ArcPad 8.0، ArcPad Studio و ActiveSync v.4.5 استفاده گردید.

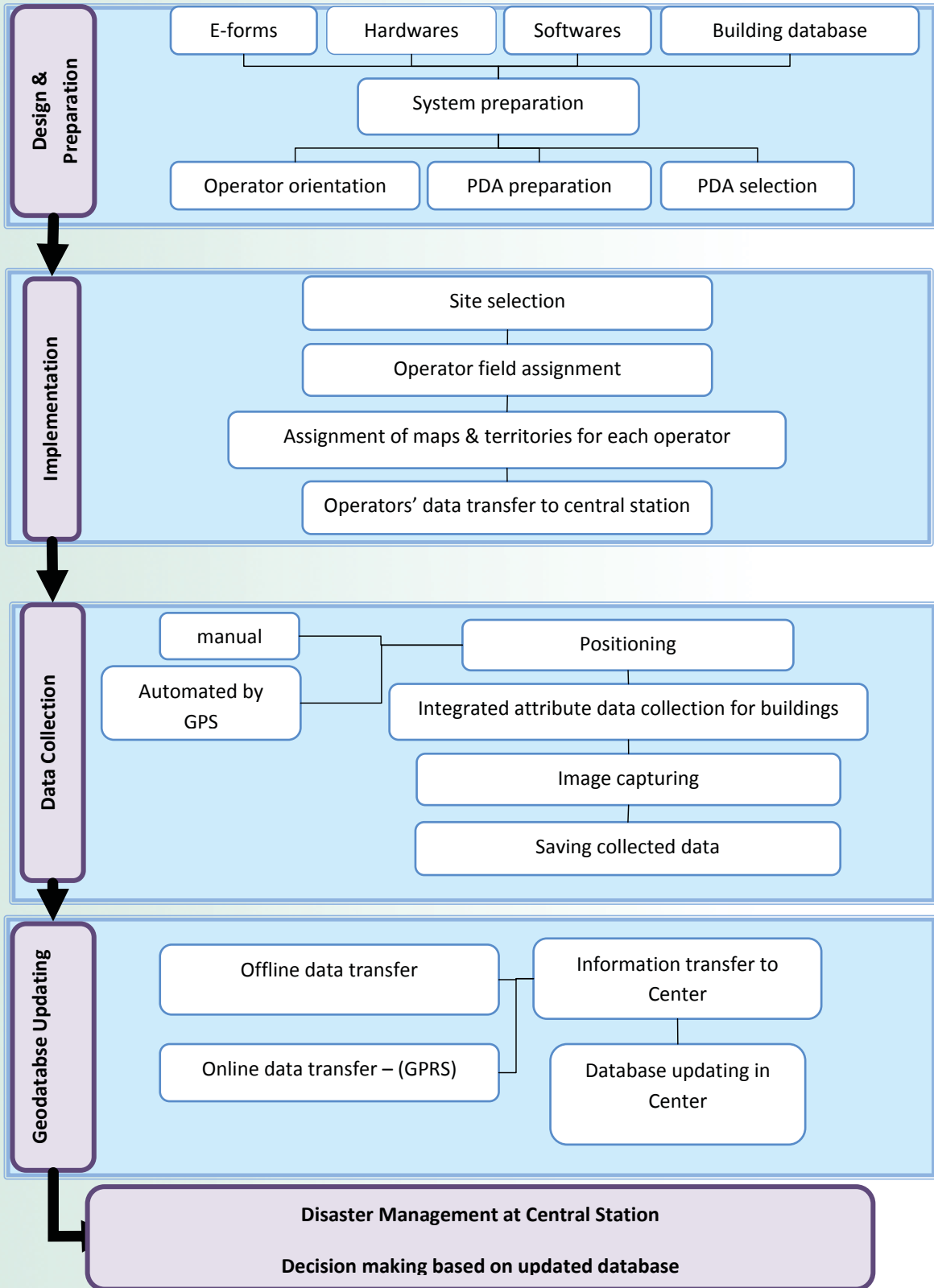
بر حسب نیازسنجی و امکانات مخابراتی و ضرورت‌های مورد نظر، دو دیدگاه کلی و اجرایی «مخبره غیر همزمان» (Offline) و «مخبره همزمان» (Online) مطالعه گردید که به ترتیب در فصل‌های چهارم و پنجم تشریح می‌گردد. در روش «مخبره غیر همزمان»، اعضای تیم عملیاتی این امکان را دارند تا برداشت‌های میدانی خود را توسط فرم‌های الکترونیکی و بوسیله یک سیستم جیبی همراه، به طور سیستماتیک شامل ثبت تصاویر و موقعیت و غیره ذخیره نمایند. مأموریت‌های شناسائی نسبت به عملیات امداد و نجات از اولویت کمتری برخوردارند و معمولاً در روزها و ماه‌ها پس از وقوع زلزله صورت می‌پذیرد. در این گونه عملیات، ایجاد سامانه مخبره همزمان ضروری نبوده و کار به روش ساده‌تر انجام‌پذیر است.

در طراحی سیستم و ارائه روش و پیاده‌سازی برداشت اطلاعات میدانی به صورت مخبره همزمان (Online) به نحوه ایجاد ارتباط با سرور مرکزی پرداخته شد. استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و مبادله داده‌ها در محیط اینترنت، قابلیت‌ها و امکانات مناسبی را مهیا می‌سازد. در برداشت اطلاعات و مخبره همزمان داده‌ها از طریق شبکه اینترنتی، بکارگیری از ArcGIS Server قابلیت‌های بسیاری را دارد. با در نظر گرفتن شرایط و محدودیت‌های موجود در بهره‌گیری از نرم‌افزارهای تجارتي (به جهت دسترسی و کارایی لازم)، به جهت اتصال به مرکز اطلاعات، پروتکل انتقال فایل FTP انتخاب شد. در این خصوص مشخصات نرم‌افزارهای مرتبط و نحوه اتصال و شیوه راه‌اندازی مربوطه ارائه شد.

دستورالعمل‌های اجرایی به منظور انجام عملیات میدانی برداشت و مخبره اطلاعات به صورت غیرهمزمان و همزمان همراه با کلیه مراحل پیاده‌سازی و اجرا تشریح گردید. همچنین به جهت ارائه و نحوه بکارگیری سامانه راه‌اندازی شده، یک مورد مثال در پیوست گزارش اصلی ارائه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** مدیریت بحران، سامانه اطلاعات جغرافیایی همراه Mobile-GIS، توسعه پایگاه داده مکانی، مخبره اطلاعات همزمان و غیرهمزمان





Components and stages in design and implementation of dedicated Mobile-GIS system

## An Assessment of Women's Constructive Role in Earthquake Disaster Mitigation

**Yasamin O. Izadkhah**

Assistant Professor, Risk Management Research Center  
izad@iiees.ac.ir

**Katayoun Jahangiri**

Women play an important role in life management, economy of the family and building the societies. An overview of the past and recent worldwide research shows the key and effective role of women in the decision-making, design and planning in risk reduction programs. Part of these activities such as, their role in cooperation in design, decision-making and planning, learning about disasters and its consequences, cooperation in various stages of disaster management cycle, resettlement and organizing the activities etc, is discussed in this project. In general, natural disasters can affect all people including women. In this regard, women confront a dual position, sometimes due to their vulnerabilities and sometimes because of the possible opportunities to use their capabilities. Experience and evidence have shown that women could manage to survive the disastrous consequences of a disaster such as earthquakes, floods or hurricanes, etc. In one hand, women can present a very important role in disasters due to their special characteristics and at the same time, they can be a victim of physical and mental vulnerabilities.

In this study, women vulnerabilities in disasters as well as their capabilities to confront natural disasters such as earthquakes are addressed, respectively. A qualitative focus group discussion and deep interview study has been performed in six steps. It was tried to present the strengths, weaknesses, opportunities and threats of women's role in disasters with regard to their vulnerabilities and capabilities at the same time. At the end, few suggestions have been provided briefly for making women more capable in risk reduction issues in probable future disasters. Few of these suggestions are as follows:

- Creating a culture of awareness and self-belief in women in order to involve them in active cooperation;
- Promoting awareness belief in disasters through scientific principles which cause disasters;
- Giving priority to earthquakes and their disastrous consequences and the main role that women can play as the key person in their families;
- Making women more visible in disaster management fields;
- Strengthening community based organizations related

## بررسی نقش سازنده زنان در کاهش آسیبهای ناشی از زلزله

یاسمین استوار ایزدخواه

استادیار پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران izad@iiees.ac.ir

کتایون جهانگیری

با توجه به نقش پراهمیت زنان در مدیریت خانواده، سازندگی در جوامع و پیشبرد اقتصادی و همینطور مروری بر تحقیقات جهانی در خصوص ارتباط بین زنان و مقوله توسعه، می‌توان خاطر نشان ساخت که تصمیم‌گیری، طراحی و برنامه‌ریزی در راستای کاهش خطرات سوانح طبیعی نیازمند مشارکت و همکاری فعال زنان در تمامی ابعاد اعم از اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی می‌باشد. همچنین زنان محور خانواده محسوب گردیده و نقشی حیاتی در سلامت جسمانی و روانی و گردش امور روزمره در خانواده دارند. در کل، بلایا و سوانح طبیعی تمامی افراد جامعه، از جمله زنان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اما زنان در سوانح با وضعیت دوگانه‌ای روبرو هستند، گاهی به دلیل آسیب‌پذیری آنان و گاه به علت امکان استفاده از توانمندیهایشان. تجربیات و شواهد حاصل از قرون گذشته تا به حال حاکی از این مسأله می‌باشد که زنان علیرغم آسیب‌پذیری در سوانح طبیعی، توانسته‌اند در شرایط ناگوار پس از سوانحی همانند زلزله، سیل، خشکسالی، طوفان و ..... مسؤولیت مراقبت و اسکان خانواده، تغذیه آنان، برقراری آرامش، و همینطور کمک و یاری‌رسانی به دوستان و همسایگان را بر عهده گرفته و با جان و دل در این راه تلاش کنند. به عبارتی از یک سو زنان به لحاظ تناسب ویژگیهای شخصیتی‌شان با نیازهای مطرح در سوانح می‌توانند نقش بسیار ارزنده‌ای ایفاء کنند و از سوی دیگر، به واسطه جنس و وجود برخی آسیب‌پذیری‌ها در برابر فشارهای ناشی از سوانح تحت برخی آسیبهای جسمانی و روانی قرار می‌گیرند. در این پروژه، به مقوله زنان و آسیب‌پذیری و قابلیت‌های ویژه آنان در رویارویی و تاب‌آوری در سوانحی مانند زلزله پرداخته و پیشنهادهای برای توانمندسازی این قشر از جامعه در رابطه با کاهش خطرپذیری از سوی آنان به صورت مختصر ارائه شده است.

این مطالعه از انواع پژوهش‌های کاربردی است که در دو بخش مروری و کیفی در شش مرحله انجام گردیده است. در این طرح، تلاش شد تا با توجه به اهداف و با در نظر گرفتن جوانب مختلف آسیب‌پذیری و توانمندی زنان در سوانح به عنوان یکی از اقشار مهم جامعه، به نقاط قوت، ضعف، تهدیدها و فرصتهایی که این نقش برای آنان می‌آفریند، پرداخته شود. در انتها و در راستای ارتقای توانمندیهای زنان برای رویارویی در سوانح آینده، نتایجی ارائه و پیشنهادهای مطرح گردید که برخی از راهبردهای پیشنهادی به شرح زیر می‌باشد:

- فرهنگ‌سازی به منظور ارتقای آگاهی و ایجاد خودباوری زنان در سوانح در راستای جلب مشارکت آنان؛
- ترویج باور آمادگی در مواقع بحران از طریق بیان مبانی علمی ایجادکننده سوانح، از جمله زلزله برای به وجود آمدن انگیزه در زنان جهت انجام اقدامات ضروری برای مقابله و پاسخگویی به بحران‌هایی از این دست؛
- اولویت بخشی به مسأله وقوع زلزله و پیامدهای زاینبار آن و نقش

to women and disasters;

- Understanding the beliefs and differences between urban and rural women in regard to disasters which match their settlements, roles and responsibilities;
- Attracting interested women in social activities related to awareness and disaster issues.

More suggestions can be found in the final detailed report of this research.

**Keywords:** Women, Vulnerability, Earthquake, Disaster Management, Capabilities, Risk reduction

- خطیری که بانوان می‌توانند به عنوان محوریت خانواده در کسب آمادگی و اقدامات کاهش خطر ایفا کنند؛
- پررنگ کردن حضور بانوان در عرصه‌های مدیریت سوانح؛
- تقویت سازمانهای مردم نهاد (سمن) مرتبط با زنان و سوانح؛
- درک تفاوت باورها و رفتارهای میان زنان شهری و روستایی در خصوص سوانح متناسب با ویژگیهای محل زندگی و نقش‌ها و مسؤولیتهای آنان؛
- تشویق زنان علاقمند به فعالیت‌های اجتماعی در راستای جذب آنان در امور مربوط به آمادگی در سوانح؛
- تأمین بسترهای مناسب امن برای اعزام نیروهای داوطلب زنان پس از سوانح؛
- لزوم ایجاد ساختارهای مرتبط با امور زنان به دلیل عدم وجود یک متولی خاص در زمینه مشارکت بانوان در سوانح؛
- ارتقاء توانمندیهای آموزشی زنان در رویارویی با بحران‌های طبیعی؛
- بهره‌مندی از خدمات بانوان بومی به جای داوطلبان غیربومی و یا کارشناسان حرفه‌ای غیربومی در اداره امور قبل و پس از سوانح؛
- حمایت از بانوان به منظور ایفای نقش‌های حمایتی از خانواده و جامعه در برنامه‌های بازگشت به شرایط عادی؛
- ارتقاء توانمندیهای اجتماعی زنان در رویارویی با بحران‌های طبیعی؛
- ارتقاء توانمندیهای اقتصادی، تولیدی و فنی زنان در رویارویی با بحران‌های طبیعی؛
- تقویت ظرفیتهای روانی بانوان برای رویارویی با شرایط بحرانی؛
- ایجاد شبکه‌های ارتباطی میان بانوان در محله‌ها؛
- اختصاص بودجه از طرف دولت و سازمانهای ذیربط برای آموزش زنان به منظور فراگیری راههای مقابله با زلزله؛
- تقویت توانمندیهای دفاعی زنان به منظور جلوگیری از احتمال بروز پاره‌های خشونت‌های جنسیتی در جامعه در شرایط پس از بحران و هرج و مرج حاکم بر جامعه؛
- حضور و مشارکت بیشتر زنان در بحران‌ها، خصوصاً در جوامع سنتی از جمله جامعه ایران که نیازمند رعایت ضوابط شرعی حجاب و پرهیز از نامحرم می‌باشد؛
- تقویت روحیه خودباوری و افزایش اعتماد به نفس و مثبت‌نگری در میان زنان جامعه؛
- تقویت باورهای دینی و اعتقادی بانوان در برخورد با مسأله بحران‌ها به جای پذیرفتن کورکورانه خرافات؛
- افزایش مهارت‌های مختلف در زنان برای رویارویی با سوانح؛
- امکان استفاده از نیروهای زنان بازنشسته به عنوان پتانسیل‌های کارآمد و فارغ؛
- طراحی و تعریف بسته‌های آموزشی زنان در سوانح با توجه به سطح گروه شغلی و سنی آنان؛
- تقویت نقش زنان از طریق مجاب کردن اصحاب رسانه در خصوص لزوم مشارکت آنان در مراحل مختلف بحران.

**واژه‌های کلیدی:** زنان، آسیب‌پذیری، زلزله، مدیریت بحران، توانمندی، کاهش خطرپذیری



## Determination of Indices and Criteria of Urban Seismic Safety against Earthquake (Case Study: District 17 of Tehran)

**Mohsen Ghafory Ashtiany, Kambod Amini Hosseini**

*Professor, Structural Engineering Research Center*

*ashtiany@iiees.ac.ir*

*Associate Professor, Risk Management Research Center*

*kamini@iiees.ac.ir*

**Babak Mansouri, Bijan Khazaii, Hooman Motamed**

During the recent decades, the population of urban areas in most developed and developing countries increased dramatically. Based on the official UN documents in 2010, for the first time in the world history, the urban areas population was greater than the rural areas population. However, the population growth was not in accordance with development of urban infrastructures and necessary services. This caused several socio-economic and physical problems in many aspects. One of the most important problems of population growth in earthquake prone countries is related to increasing seismic risk in urban fabrics. This is mainly due to construction of vulnerable buildings without sufficient attention to their resistance to earthquake shaking. During the recent years, several seismic events occurred in urban fabrics (such as Bam, 2003 and Haiti, 2010) resulted in considerable damages and casualties. Therefore, developing and implementing necessary guidelines and criteria for renovation of vulnerable urban fabrics is a need in seismic prone countries.

In this line several studies have been carried out by now especially in developed countries and some models such as RADIUS, NOR SAR, HAZUS, MAEViz are prepared. By using such models, the vulnerability and seismic risk can be estimated and in case of occurrence of an earthquake, the potential damages can be assessed. In addition to such models, some activities are carried out to develop integrated master plan for disaster management. Such plans have been prepared in many developed countries such as US and Japan and some developing countries such as Iran and Turkey. However, the results cannot be directly reflected into decisions of relevant authorities as the costs and benefits of implementing the proposed projects are not very clear.

In this research, it is tried to make an applicable model for risk assessment and propose the best way for risk reduction in urban fabrics based on the evaluation of different physical and socio-economic parameters. For this purpose, the following aspects are considered:

1- Determining the relevant components of seismic risk

## تعیین شاخص‌ها و معیارهای ارتقاء سطح ایمنی کالبدی شهر در برابر زلزله (مطالعه موردی بخشی از منطقه ۱۷ شهرداری تهران)

محسن غفوری آشتیانی، کامبد امینی حسینی

استاد پژوهشکده مهندسی سازه *ashtiany@iiees.ac.ir*

دانشیار پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران *kamini@iiees.ac.ir*

بابک منصوری، بیژن خزایی، هومن معتمد

در طول سالهای اخیر جمعیت شهرنشین جهان همواره در حال افزایش بوده به طوری که طبق اسناد سازمان ملل متحد در سال ۲۰۱۰، جمعیت شهرنشین جهان در این سال برای نخستین بار از جمعیت روستانشین بیشتر شده است. رشد جمعیت و مهاجرت‌ها از مناطق روستایی به مناطق شهری از مهمترین دلایل گسترش تصاعدی شهرها محسوب می‌گردد. البته بافتها و زیرساختهای شهری در اغلب موارد بخصوص در کشورهای در حال توسعه به صورت متناسب با رشد جمعیت بهبود نیافته است و این مسأله باعث شده تا در بسیاری از شهرها معضلات فیزیکی و اجتماعی متعددی ایجاد گردد. یکی از مهمترین این معضلات آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله می‌باشد که به سبب ساخت و ساز بی‌رویه در شهرها بدون توجه به ضوابط و استانداردهای لازم ایجاد شده است. این مسأله سبب شده که در صورت وقوع زلزله در شهرها شاهد ویرانی‌های گسترده و تلفات بسیار زیاد باشیم؛ نظیر آنچه در زلزله ۱۳۸۲ بم یا ۲۰۱۰ هایتی رخ داد. از این رو تدوین معیارهای لازم برای تعیین خطرپذیری بافتهای شهری و توسعه روشهای مناسب برای کاهش خسارات براساس میزان سرمایه‌گذاری بهینه به عنوان یکی از ضروریات برنامه‌ریزی شهری در مناطق لرزه‌خیز محسوب می‌گردد.

تاکنون مطالعات بسیاری در مورد ارزیابی تبعات اجتماعی - اقتصادی ناشی از زلزله انجام شده است. بخش عمده‌ای از این مطالعات به توسعه مدل‌هایی برای تخمین خسارات و تلفات ناشی از زلزله معطوف شده است. مدل‌های ارزیابی RADIUS, NOR SAR, HAZUS, MAEViz شاخص‌ترین این مطالعات هستند که توسط سازمانها و کشورهای مختلف به وجود آمده‌اند. این مدل‌ها با استفاده از توابع خسارت ساختمانی و تأسیسات شهری و همچنین توابع تلفات و جراحات انسانی که بر اساس آمار مربوط به زلزله‌های پیشین و مطالعات نظری توسعه یافته، اثرات اجتماعی - اقتصادی زلزله در سکونتگاه‌های انسانی را در قالب نتایج کمی بیان می‌کنند. پاره‌ای دیگر از مطالعات انجام شده شامل راهکارهای عملی کاهش ریسک زلزله در شهرها است که در قالب طرح‌های جامع شهری با تأکید بر پیشگیری و یا در قالب برنامه‌های مدیریت بحران و با تأکید بر عملیات واکنش اضطراری در زمان وقوع زلزله در کشورهای زلزله‌خیز مانند ایالات متحده، ژاپن و نیوزیلند و اخیراً در ترکیه و ایران انجام شده است. نکته قابل توجه در مورد پژوهش‌های صورت گرفته آن است که علی‌رغم تکامل قابل قبول مدل‌های ارزیابی ریسک زلزله، نتایج حاصل از این مدل‌ها مستقیماً توسط مسؤولان و برنامه‌ریزان کاهش ریسک قابل استفاده نبوده و لازم است اطلاعات اولیه پس از اعمال قضاوت‌های مهندسی و بررسیهای اقتصادی - اجتماعی به

- and vulnerability and assessing their importance;
- 2- Preparing the integrated model for selecting the best choices in risk mitigation and disaster management activities in urban fabrics;
  - 3- Developing necessary model for land use planning in earthquake prone urban zones;
  - 4- Applying the model on pilot areas.

In order to conduct the study, at first all elements of hazards and risk in earthquake prone urban areas were gathered and evaluated and based on expert judgment (by filling and analyzing questionnaires) their importance were determined and weighted. Based on the results, it was shown that the most important parameters of seismic risk in urban fabrics are life safety, vulnerability of built environment, ground motion and rescue and relief capacities. Then based on the importance of these parameters, the best solution for reducing the impacts of earthquakes were studied. For this purpose, the potential damages and costs of retrofitting the vulnerable fabrics are estimated and a new model for determining the best choices for risk mitigation is developed. This model shows which type of risk reduction measures can be applied based on the vulnerability level and available funds. For example in case of limited budget available, the best choice for risk reduction is improving the rescue and relief capacities in urban fabrics, while in case of access to considerable funds, the best choice could be retrofitting of vulnerable buildings to save lives.

Another model that is developed in this study is related to land use. This model can predict the best types of land uses based on their services and exposure to potential hazards. By using this model, the appropriate land uses in different urban fabrics can be assessed. This model can be applied to existing urban fabrics to change some of the land uses for reducing the total risk of the zone.

Finally, the results of this study have been applied to a part of District 17 of Tehran Municipality that is one of the most vulnerable urban fabrics to potential earthquakes in this city. The results show that the proposed method can predict the impacts of potential earthquake and can propose the best methods for risk reduction and disaster management based on available budget that can be allocated for such activities.

**Keywords:** Risk, Earthquake, Urban risk index, Land use, Earthquake risk mitigation, Optimization

شکل پیشنهادهای عملی و قابل اجرا در اختیار سیاستگذاران و مدیران قرار گیرد.

بر اساس مطالب گفته شده، توسعه ابزارهای لازم با ماهیت بین رشته‌ای که در برگرفته تخصص‌هایی همچون مهندسی زلزله، زلزله‌شناسی، مدیریت و برنامه‌ریزی شهری بوده و با ایجاد پیوند بین مدل‌های تخمین خسارات و تلفات، ضوابط برنامه‌ریزی شهری و دستورالعمل‌های بهسازی، مسؤولان تهیه طرح‌های کاهش خطرپذیری زلزله در شهرها را پشتیبانی نماید، ضرورت می‌یابد. در همین راستا، در این طرح برخی از جنبه‌های موضوع ارزیابی و کاهش ریسک زلزله در مناطق شهری به شرح زیر مورد ارزیابی قرار داده شده است:

۱. تعیین مؤلفه‌های مؤثر در خطرپذیری زلزله و شاخص‌های مربوط به آن؛
  ۲. توسعه مدلی به منظور تعیین سبب بهینه گزینه‌های کاهش خطرپذیری زلزله مانند بهسازی و مقاوم‌سازی ساختمانها و همچنین تجهیز مراکز درمانی مانند قبیل بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها؛
  ۳. توسعه مدلی به منظور پشتیبانی برنامه‌ریزی شهری در کاربری زمین سازگار با خطر زلزله؛
  ۴. پیاده‌سازی مدل‌های توسعه یافته در محدوده مورد مطالعه.
- به منظور انجام مراحل فوق در این تحقیق نخست مؤلفه‌های مؤثر در خطرپذیری لرزه‌ای کالبد شهر مورد بررسی قرار داده شده است. در این خصوص شاخصه‌های مربوط به این مؤلفه‌ها گردآوری گردیده و میزان اهمیت هر یک از مؤلفه‌ها براساس اطلاعات به دست آمده از پرسشنامه‌هایی که در اختیار صاحب‌نظران قرار گرفت، تعیین شد. بر اساس نتایج به دست آمده از نظرسنجی از متخصصان و مسؤولین، مهمترین مؤلفه‌های مؤثر در خطرپذیری شهرها در برابر زلزله به ترتیب اهمیت عبارتند از: آسیب‌پذیری ساکنین شهر، آسیب‌پذیری ساختمانها، شدت خطر زلزله و ظرفیتهای امداد و درمان. البته به جز مواردی که در پرسشنامه‌ها مورد اشاره و تحلیل قرار گرفتند، برخی پارامترهای دیگر مرتبط با آسیب‌پذیری مستحقات، ارتقای آمادگی و عملیات واکنش اضطراری نیز می‌توانند در تحقیقات آتی به این مجموعه اضافه شوند تا نتایج تحلیل‌ها تدقیق گردند.
- در مرحله بعد مؤلفه‌های اصلی خطرپذیری کالبد شهر در برابر زلزله بر اساس میزان اهمیت آنها دسته‌بندی شده و در مدل‌سازی‌هایی که هدف اصلی آنها یافتن راه‌حلهای بهینه برای کاستن خطرپذیری زلزله در شهرها بودند، به کار گرفته شدند. بدین‌منظور با توجه به اهمیت پارامترهای مختلف مورد ارزیابی، مؤلفه‌هایی نظیر تخمین خسارت ساختمانی، تخمین هزینه خسارات و تلفات و بهینه‌سازی الگوی کاهش خطرپذیری مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. یکی از مدل‌هایی که در این راستا تهیه گردید، مدل تعیین سبب بهینه گزینه‌های کاهش خطرپذیری می‌باشد. نتایج به دست آمده از تحلیل‌های انجام شده در این راستا نشان می‌دهد، که الگوی تخصیص گزینه‌های کاهش خطرپذیری (تغییر کاربری، مقاوم‌سازی و ...) وابسته به شدت خطر زلزله، میزان تأثیر هرگزینه در کل خطرپذیری و بودجه کاهش خطرپذیری است. به عنوان مثال، برای تعیین الگوی تخصیص منابع که یکی از اجزای مدل مذکور می‌باشد، نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد

که در همه سناریوهای مورد بررسی، راه حل بهینه برای کاهش خطرپذیری انجام مقاوم‌سازی مراکز درمانی تا سطح عملکرد خدمت‌رسانی بی‌وقفه می‌باشد و منابع موجود ابتدا می‌بایست به اصلاح این نوع کاربریها تخصیص یابند. در صورت افزایش میزان منابع، نحوه تخصیص آن برای کاهش ریسک برای انواع دیگر مقاوم‌سازی قابل هزینه کرد خواهد بود، لیکن بسته به میزان منابع موجود این هزینه کرد می‌بایست با اولویت کاهش خسارات جانی انجام شود.

در خصوص مدل تخصیص بهینه کاربریهای شهری سازگار با خطر زلزله نیز مدلسازی‌های انجام شده، نشان داد که در مواردی که معرضیت در برابر خطر زلزله زیاد است، نحوه تخصیص فضا و کاربری‌ها می‌بایست به گونه‌ای تنظیم گردد تا ضمن تأمین دسترسی‌های مناسب به مراکز امدادی، کاربری‌های حساس و مهم با فاصله کافی از نقاط خطرناک قرار گیرند و فضاهای باز در کنار کاربریهای درمانی واقع شوند تا بتوان از آنها برای افزایش ظرفیت پذیرش مصدومان در شرایط بحران استفاده کرد. بدین ترتیب با تخصیص خطراندیشانه کاربری زمین در مناطق زلزله‌خیز می‌توان ضمن تأمین نیازمندیهای عملکرد اجتماعی - اقتصادی شهر در سطح مورد قبول، صدمات ناشی از زلزله را به حداقل رساند. در واقع نتایج به دست آمده از مدل تخصیص بهینه کاربری نشان می‌دهد که محدوده‌هایی که نحوه استقرار کاربریها در آنها با در نظر گرفتن معیار خطر زلزله انجام شده است، شاخص خطرپذیری کمتری داشته‌اند.

در نهایت نیز کاربرد این مدل‌ها در بخشی از منطقه ۱۷ تهران به عنوان یکی از مناطق آسیب‌پذیر این شهر در برابر زلزله مورد بررسی قرار داده شدند. نتایج این مطالعه موردی نیز نشان می‌دهد که چگونه پارامترهای مرتبط با مهندسی زلزله، برنامه‌ریزی شهری و مدیریت ریسک در کنار مؤلفه‌های اقتصادی می‌توانند در جهت کاهش خطرپذیری لرزه‌ای بافت‌های شهری و بکارگیری بهینه منابع موجود در شرایط اقتصادی مختلف، مورد استفاده قرار گیرند.

**واژه‌های کلیدی:** خطرپذیری، زلزله، بهینه‌سازی کاربری شهری، شاخص‌های خطرپذیری، مدیریت خطرپذیری



## Developing Urban Growth and Improvement Criteria in Earthquake Prone Zones

**Kambod Amini Hosseini**

Associate Professor, Risk Management Research Center  
kamini@iiees.ac.ir

**Mohammad Kazem Jafari,**

**Mohammad Reza Ghaemaghmanian, Babak Mansouri**

Iran's vulnerability to earthquakes is a living fact throughout the history which has caused the destruction of many human habitats in this country. As a historical country, most of the cities are covered by weak and old structures and urban fabrics that are highly vulnerable to earthquakes. The city of Bam which was demolished by the earthquake of 26 December 2003 is a typical example of old urban areas in Iran. More than 26,000 lost their lives and many more got injured and the effects of the event is still observable in the area. Destruction of most of the infrastructures, public buildings, hospitals, schools and several cultural heritage buildings including the Bam Citadel with around 2500 years of history were some of the impacts of this disaster.

Besides the existing old structures in Iran's cities, the rapid growth of urbanization and lack of strong regulations for managing the urban development in the previous decades as well as immigration of low income residents of rural areas towards the bigger cities can also be considered as other reasons for expansion of vulnerable fabrics in Iranian urban areas. Therefore, with the growth of urbanization, recognizing the criteria to reduce the seismic vulnerability in urban fabrics is critical.

This report presents the results of a research carried out with the purpose of preparing necessary criteria for urban areas renovation and development in earthquake prone zones. The research topics include three main branches which were reflected into three chapters as follows:

- Criteria for development around geological hazards prone zones and unstable grounds: In this chapter having a look on the main challenges observed by geo-hazards in urban fabrics, some criteria were presented for reducing their potential impacts. In this case, the impacts of ground motion amplification, landslide and rock-falls, liquefaction, land-subsidence and fault rupture were studied and relevant criteria presented to reduce their potential impacts in urban areas.
- Urban fabrics, physical forms and patterns: The impacts of vulnerability of urban areas due to their physical conditions and built environment were presented in the second chapter. For this purpose, some of the most

## توسعه معیارهای گسترش و بهسازی شهری در نواحی لرزه خیز

کامبد امینی حسینی

دانشیار پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران kamini@iiees.ac.ir

محمد کاظم جعفری، محمدرضا قائمقامیان، بابک منصور

کشور ایران به واسطه قرارگیری در منطقه لرزه خیز آلپ-همالیای موقعیت زمین شناختی و تکتونیکی، وجود گسل‌های فعال متعدد و نیز ثبت پیوسته خرد زمین لرزه‌ها از لرزه خیزترین کشورهای جهان محسوب می‌گردد. مطالعات لرزه‌خیزی و نیز بررسی رویدادهای لرزه‌ای تاریخی در دو هزار سال گذشته و همچنین تحلیل داده‌های دستگاهی سده اخیر نشان می‌دهند که این سرزمین رویدادهای لرزه‌ای بزرگ و کوچک فراوانی را بطور مستمر تجربه می‌کند و امکان وقوع زلزله‌های بزرگ در آینده در اغلب نقاط کشور وجود دارد. از طرفی رشد ناهماهنگ و غیراصولی اغلب شهرها در طول تاریخ و به خصوص طی یک قرن اخیر، باعث شده است که میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله‌های احتمالی به طور مستمر افزایش یابد. ساخت‌وساز در حریم گسلها، عدم توجه به مقاومت لرزه‌ای بناها و تأسیسات حیاتی، گسترش ناهمگون و آسیب‌پذیر بافت و ساختار شهر و بسیاری از موارد دیگر، همگی نشان می‌دهند که در صورت وقوع زلزله‌ای بزرگ در هر یک از شهرها، تلفات و صدمات زیادی به بار خواهد آمد که نمونه‌های بم و منجیل شواهدی عینی از این آثار می‌باشند. عدم آگاهی و آمادگی مردم و نیز عدم تکافوی امکانات و زیرساختهای مورد نیاز برای مدیریت بحران نیز از جمله دیگر مسائلی است که می‌تواند بر ابعاد چنین رویدادهایی بیافزاید. از این رو برنامه‌ریزی برای کاهش آثار ویرانگر سوانح طبیعی بخصوص زلزله در سالهای اخیر به عنوان یک اولویت اصلی نظام در کلیه اسناد بالادستی مورد توجه قرار داده شده است. البته در حال حاضر فاصله قابل توجهی بین افق‌های این اسناد با آنچه در معرض اجرائت، وجود دارد. در واقع به نظر می‌رسد که در کشور قوانین اصلی لازم برای کاهش خطرپذیری و مدیریت بحران در سطوح عالی نظام تدوین شده است، لیکن راهکارهای اجرایی یا دستورالعمل‌های لازم برای اجرا در سطوح میانی و محلی تاکنون به صورت کاربردی و جامع تهیه نشده‌اند.

یکی از اسناد میانی که می‌بایست در چارچوب برنامه‌ریزی کاهش ریسک زلزله در کشور تصویب و مورد استفاده قرار گیرد، ضوابط و معیارهای توسعه در نواحی لرزه خیز است. در حال حاضر توسعه در اغلب شهرها و مناطق روستایی کشور اغلب بدون توجه کافی به خطر زلزله و ضرورت آمادگی در برابر آن انجام می‌شود. دستورالعمل‌ها و معیارهای لازم نیز برای دست اندرکاران برنامه‌ریزی توسعه شهری - منطقه‌ای به صورت کاربردی تهیه نشده است تا بتوان با الزامی نمودن آن اقدامات لازم را برای کاهش ریسک زلزله در بازه زمانی معقول به انجام رساند. در این راستا و در گزارش حاضر تلاش شده است تا با بررسی تجربیات موجود در کشور و جهان و با بررسی اثرات زلزله و مخاطرات ناشی از آن روی مستحدمات مختلف، معیارهایی برای توسعه در نواحی لرزه خیز ارائه گردد. این معیارها در سه

important urban planning elements including distribution of open spaces, urban elements settings, vulnerability of infrastructures and old urban fabrics as well as density and land-use were considered and some criteria for improvement their conditions were presented. In each topic, based on evaluation of the impacts of experienced large earthquakes which have occurred during the last two decades in Iran, some guidelines were presented for improvement of the physical and functional capacities of urban fabrics in seismic prone zones.

- Emergency response facilities: Selecting safe sites for development and considering the optimal size and location of emergency response stations based on the hazard levels as well as upgrading the capacities of the response activities are some of the main issues that were considered in this chapter. Because of their importance in saving victims' lives after earthquakes, this research was directed towards studying the main emergency response activities, including search-and-rescue, emergency medical care, emergency transportation and evacuation. For this purpose, the experience gained in previous earthquakes in Iran was described in the report, and relevant guidelines and criteria were proposed in order to improve rescue and relief activities after earthquakes.

The results of this study can be incorporated into the development plans of urban areas in seismic zones in order to ensure sustainable development or reconstruction of the cities as well as to assure the efficiency of emergency response after earthquakes. It seems that by applying the presented criteria into the master and comprehensive plans of urban areas, the risk of earthquake and its impacts can be reduced to an acceptable level. However, applying such measures needs some cost-benefit analysis based on the available resources and selected priorities.

**Keywords:** Urban growth, Earthquake prone zone, Iran

گروه معیارهای مرتبط با توسعه در مناطق دارای خطرات زمین‌شناختی، معیارهای مرتبط با برنامه‌ریزی شهری - منطقه‌ای و معیارهای مرتبط با زیرساختهای مدیریت بحران ارائه شده‌اند. در هر گروه تلاش شده است تا با در نظر گرفتن شرایط بومی کشور، راهکارهایی برای برنامه‌ریزان اجرایی توسعه شهری - منطقه‌ای ارائه گردد تا با رعایت آن امکان کاهش آثار زمین‌لرزه‌های احتمالی آینده فراهم شود.

**واژه‌های کلیدی:** بهسازی شهری، نواحی لرزه‌خیز، ایران

## List of Project Managers

Abbassi, M.R. /10, 46, 67  
Allamezadeh, M. /23, 35, 59  
Amini Hosseini, K. /177, 185, 188  
Ansari, A. /14, 38  
Askari, F. /77, 84, 86  
Bahar, O. /117  
Davoodi, M. /73, 75, 93  
Eshghi, S. /155, 157  
Ghafory Ashtiany, M. /136, 141, 185  
Goudarzi, M.A. /165, 167  
Hamzehloo, H. /9, 21, 27, 53  
Hashemi Hosseini, B. /130  
Hessami-Azar, Kh. /3, 26, 33, 44, 65  
Hosseini, M. /115, 150  
Hosseinzadeh, N.A. /119, 129  
Izadkhah, Y. O. /171, 178, 183  
Jafari, M.K. /96  
Javan Doloei, Gh. /7, 36, 57  
Kalantari, A. /105, 127, 138, 159  
Kamalian, M. /81, 82, 90, 92  
Mahdavifar, M.R. /80, 88  
Mansouri, B. /174, 180  
Mohammadi, M. /107, 121, 134, 142, 153  
Mokhtari, M. /13, 51  
Mostafazadeh, M. /22, 40  
Nateghi Elahi, F. /109, 112, 125, 144  
Parsizadeh, F. /172, 176  
Sarvghad Moghadam, A. /111, 118, 132  
Shafiee, A. /79, 99  
Soroushian, A. /114, 147  
Tatar, M. /29, 31, 42, 61  
Vasseghi, A. /110, 140, 161  
Vetr, M.Gh. /150  
Yaminifard, F. /16, 17, 19, 49, 63  
Zafarani, H. /25, 55, 69  
Zare, M. /5, 11, 15, 48  
Ziyaeifar, M. /123, 131, 163





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# خلاصه گزارشهای پژوهشی ۱۳۸۸ - ۱۳۹۲

تدوین:

عباسعلی تسنیمی

یاسمین استوار ایزدخواه

یاسر جعفریان



پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله



جمهوری اسلامی ایران  
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

ISBN: 978-964-6490-51-2

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۶۴۹۰-۵۱-۲

# خلاصه گزارشهای پژوهشی

۱۳۸۸ - ۱۳۹۲



پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله