

# ارزیابی اثرات خاک بر طیف پاسخ سازه های یک درجه آزادی معادل

داوود عدالتی<sup>۱</sup>، علی گل افشار<sup>۲\*</sup>، محمد حسین ثقفی<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

۳- مربی، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

\* سمنان، صندوق پستی: ۱۷۹-۳۵۱۴۵، a.golafshar@semnaniau.ac.ir

## چکیده

امروزه استفاده از طیفهای غیر الاستیک در تعیین پاسخ سازه های یک درجه آزادی گسترش فراوان یافته است. در همین زمینه محققین مختلفی اقدام به ارائه روابط در خصوص تعیین طیف غیر الاستیک بر حسب طیف الاستیک نموده اند که این روابط شامل پارامترهای مختلف مانند شکلپذیری، زمان تناوب، نوع خاک و نوع رفتار سازه یک درجه آزادی می باشد. در این پایان نامه با در نظر گیری سازه یک درجه آزادی با منحنی نیروی تغییر مکان دو خطی که دارای شیب صفر در ناحیه غیر خطی می باشد و بر اساس خاکهای موجود در این نامه ۲۸۰۰ ایران برای هر نوع خاک، تعداد بیست رکورد زلزله انتخاب شده و بر اساس سه مقدار شکل پذیری ۰.۲، ۴ و ۶ طیف غیر الاستیک زلزله ها در فرمت طیف با شکلپذیری ثابت بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی در بازه زمان تناوب ۰.۲/۰.۲ الی ۴ ثانیه با گامهای ۰.۲/۰.۲ ثانیه محاسبه شده است. طیفهای تعیین شده بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی در این پژوهش به عنوان روش دقیق نامگذاری شده اند. سپس طیفهای غیر الاستیک با استفاده از روابط پیشنهادی میراندا، کراوینکلر و بازان نیز تعیین شده و با نتایج تحلیل دقیق مقایسه شده اند. مقایسه طیفهای غیر الاستیک بدست آمده از روش دقیق و روابط پیشنهادی محققین نشان می دهد که روابط میراندا و کراوینکلر در زمانهای تناوب بزرگتر از یک ثانیه نسبت به روش بازان دارای اختلاف کمتری با نتایج روش دقیق می باشند و محدوده کاربرد روش بازان تا زمان تناوب حدود یک ثانیه می باشد.

## کلیدواژگان

طیف غیر خطی، طیف خطی، شکل پذیری

## Evaluation of Soil Effect on the Response of Single Degree of Freedom System

Davood Edalati<sup>1</sup>, Ali Golafshar<sup>2\*</sup>, Mohammad Hossein Saghafi<sup>3</sup>

1- Graduated Student, Department of Civil Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran.

2- Professor Assistant, Department of Civil Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

3- Instructor, Department of Civil Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

\* P.O.B. 35145-179 Semnan, Iran, [a.golafshar@semnaniau.ac.ir](mailto:a.golafshar@semnaniau.ac.ir)

## Abstract

In the common practice design of structures, one of the most important design parameters is design spectrum. design spectrum can divided to two category. First linear design spectrum and second nonlinear design spectrum. Exact determination of nonlinear design spectrum needs to nonlinear dynamic analysis of single degree of freedom system. Because of time consuming of such analysis previous researchers determine many relations for estimating of nonlinear spectrum from elastic spectrum. In this Article Three relations of previous study have been selected and then twenty records of earthquake for soil types have been extracted from earthquake database of PEER database. for each record linear and nonlinear exact dynamic time history carried out and maximum displacement and acceleration is drawn versus elastic period of single degrees of freedom system. After this, linear spectrum is estimated based on elastic exact analysis and nonlinear spectrum is estimated based on relations of previous researchers. Comparisons of exact and approximate results are carried out for displacement and acceleration response of nonlinear spectrum. Assessing the result revealed that relation based on Miranda and Krawinkler are matching better than Bazan with respect to exact nonlinear dynamic analysis.

## Keywords

Nonlinear Spectrum, Linear Spectrum, Ductility

برای زمان تناوب متفاوت ارتعاش ارائه نمودند. در مطالعه دیگری پارساییان و همکاران [۲] اثر زمان تناوب، مقدار ضریب کاهش مقاومت، شرایط خاک و بزرگای زلزله را به همراه فاصله از کانون زلزله را بر روی نسبت حداکثر تغییر مکان غیر خطی به تغییر مکان خطی سازه یک درجه آزادی مورد مطالعه قرار داده و بر اساس تحلیل های درونیابی رابطه ای جهت نسبت فوق ارائه نموده اند. در مطالعات عبدالله زاده و همکاران [۳] طیف مولفه عمود بر جهت گسل با طیف مولفه موازی گسل در زلزله های حوزه نزدیک مورد ارزیابی قرار گرفته و با طیف زلزله های حوزه دور از گسل مقایسه شده اند. نتایج آنها

## ۱- مقدمه

استفاده از طیف های مربوط به سازه های یک درجه آزادی معادل در تحلیل و طراحی سازه ها یکی از موارد پرکاربرد می باشد. در این خصوص می توان طیف های مورد استفاده را به دو گروه طیفهای خطی و طیفهای غیر خطی تقسیم بندی نمود. در این خصوص مطالعات مختلفی از سوی محققین انجام گرفته است. تهرانی زاده و همکاران [۱] به ارزیابی طیف پاسخ سازه های یک درجه آزادی با در نظر گیری اثر زلزله های نزدیک به گسل پرداخته و روابط طیفی کاهندگی در حوزه نزدیک را اعمال نموده و نقشه های شتاب طیفی را

برای تبدیل تغییر مکانهای خطی به غیر خطی از رابطه (۵) استفاده می گردد.

$$Sa_{in} = \frac{Sa_{el}}{R_{\mu}} \quad (4)$$

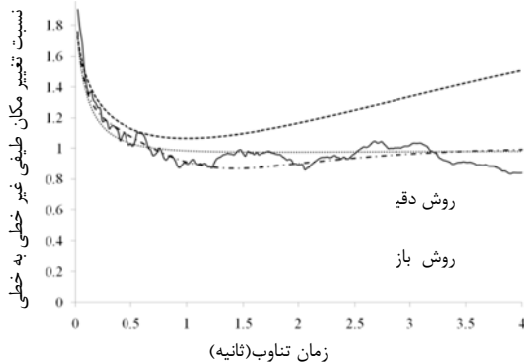
$$Sd_{in} = \frac{Sd_{el}}{R_{\mu}} \times \mu \quad (5)$$

در روابط فوق  $Sa_{in}$  شتاب طیفی غیر خطی،  $Sa_{el}$  شتاب طیفی خطی،  $Sd_{in}$  تغییر مکان طیفی غیر خطی و  $Sd_{el}$  تغییر مکان طیفی خطی می باشد. با انجام تحلیل‌های صورت گرفته نسبت تغییر مکانهای طیفی غیر خطی به تغییر مکانهای طیفی خطی و همچنین نسبت شتاب های طیفی غیر خطی به شتاب های طیفی خطی برای شکل پذیری های متفاوت و برای خاکهای متفاوت بدست آمده و سپس میانگین نتایج روش دقیق با نتایج روشهای پیشنهادی محققین مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است.

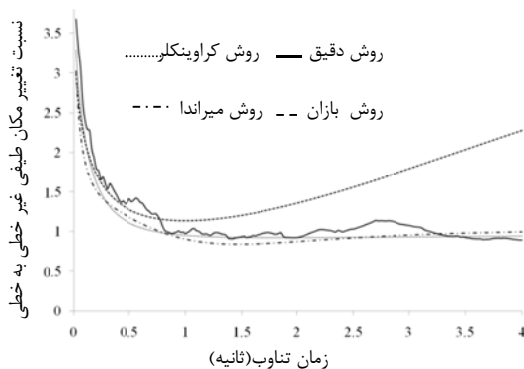
### ۳- بررسی نسبت تغییر مکانهای طیفی غیر خطی به خطی

نتایج مقایسه نسبت تغییر مکانهای طیفی غیر خطی به تغییر مکانهای طیفی خطی برای شکل پذیری های متفاوت در اشکال ۱ الی ۱۲ نشان داده شده است.

در اشکال مورد نظر تغییر مکانهای طیفی غیر خطی حداکثر تغییر مکان سیستم یک درجه آزادی با در نظر گیری رفتار غیر خطی الاستو پلاستیک و تغییر مکانهای طیفی خطی حداکثر تغییر مکانهای سیستم یک درجه آزادی با در نظر گیری رفتار خطی می باشد.



شکل ۱ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع اول و شکل پذیری ۲



شکل ۲ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع اول و شکل پذیری ۴

نشان داد که طیف مولفه عمود بر جهت گسل در حوزه فرکانسهای پایین مقادیر بزرگتری نسبت به مولفه موازی گسل دارد و همچنین میزان میرایی در حوزه نزدیک به گسل تاثیر قابل ملاحظه ای در کاهش پاسخها ندارد. در مطالعه فتحی آذر و همکاران [۴] به مطالعه موردی در خصوص بررسی رفتار غیر خطی خاک بر بزرگنمایی امواج زلزله در شهر ارومیه پرداخته شده است. بررسی نتایج آنها نشان می دهد در خاکهای آبرفتی با ضخامت زیاد بزرگنمایی اثر خاک در پاسخ سازه های یک درجه آزادی بیشتر است ولی برای زلزله های بزرگ با افزایش رفتار غیر خطی در خاک میزان بزرگنمایی کمتر می گردد. در مطالعات امیری و همکاران [۵] بر اساس اطلاعات موجود از ایستگاه های شتاب نگاری و نوع خاک آنها در کشور اقدام به تعیین طیفهای طراحی میانگین و فوق میانگین شده است. نتایج مقایسه طیفهای بدست آمده از مطالعات آنها و مقایسه با طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ [۶] مقادیر ضریب بازتاب خاک نوع دوم کمتر از خاک نوع اول می باشد. همچنین مقدار نیروی زلزله محاسبه شده بر اساس طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ برای سازه های با زمان تناوب اصلی ارتعاش بزرگتر از ۰/۴ ثانیه دست بالا خواهد بود. در این تحقیق هدف اصلی مقایسه نتایج روش دقیق تحلیل های دینامیکی غیر خطی در برآورد طیف یا نتایج حاصل از روابط پیشنهادی محققین مختلف برای تعیین میزان حداکثر شتاب و تغییر مکان در سازه یک درجه آزادی معادل برای انواع خاکها می باشد. طبقه بندی رکوردهای اعمالی از خاکهای تعریف شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ می باشد.

### ۲- روابط پیشنهادی محققین

جهت بررسی موضوع تحقیق تعداد بیست رکورد مختلف برای هر یک از ۴ نوع خاک استاندارد ۲۸۰۰ انتخاب شده و سپس با استفاده از نرم افزار Seismosignal [۷] طیف غیر خطی آنها از روش دقیق تحلیل دینامیکی غیر خطی محاسبه شده است. سپس با استفاده از روابط پیشنهادی محققین میزان طیف غیر خطی از روی طیف خطی محاسبه شده و با نتایج تحلیلهای دقیق مقایسه شده است.

روابط پیشنهادی محققین در این پژوهش شامل روابط ارائه شده از کرواینکلر [۸]، میراندا [۹] و بازان [۱۰] به شرح زیر می باشد.

رابطه کرواینکلر:

$$R_{\mu} = [c(\mu - 1) + 1]^{\frac{1}{c}} \quad (1-الف)$$

$$c = \left( \frac{T^a}{1 + T^a} \right) + \left( \frac{b}{T} \right) \quad (1-ب)$$

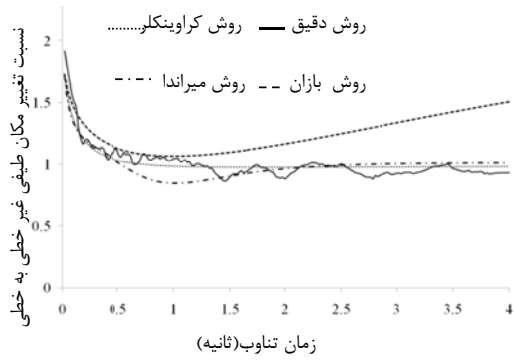
در رابطه فوق  $T$  زمان تناوب ارتعاش سازه و پارامترهای  $a$  و  $b$  برابر ۱ و ۰/۴۲ در نظر گرفته شده است. همچنین  $\mu$  ضریب شکل پذیری می باشد. رابطه میراندا:

$$R_{\mu} = \frac{\mu - 1}{\phi} + 1 \quad (2)$$

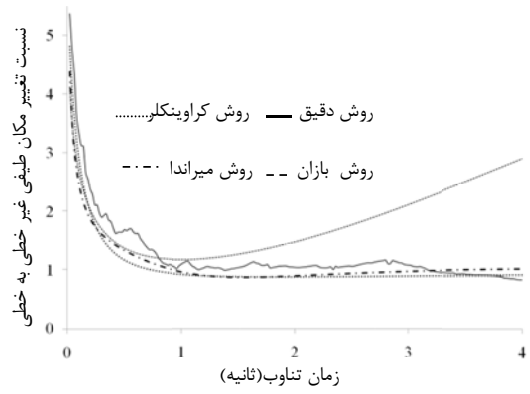
در رابطه فوق پارامتر  $\phi$  برای خاکهای مختلف در مرجع شماره ۹ مشخص شده است. رابطه بازان:

$$R_{\mu} = \mu^{1.5(T^{0.5} \times \exp(-0.5T))} \quad (3)$$

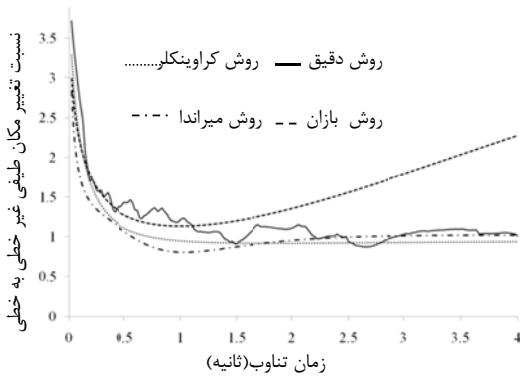
ضریب  $R_{\mu}$  در روابط ارائه شده ضریب وابستگی به شکل پذیری نام دارد. برای تبدیل شتاب طیفهای خطی به طیف های غیر خطی از رابطه (۴) و



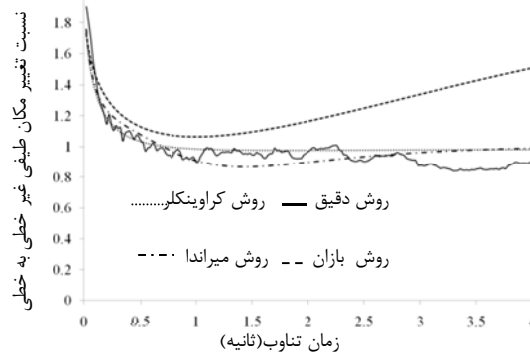
شکل ۷ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع سوم و شکل پذیری ۲



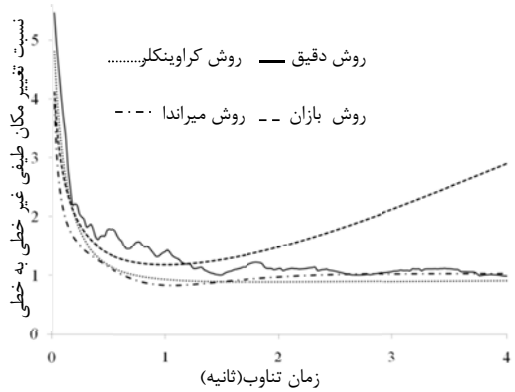
شکل ۳ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع اول و شکل پذیری ۶



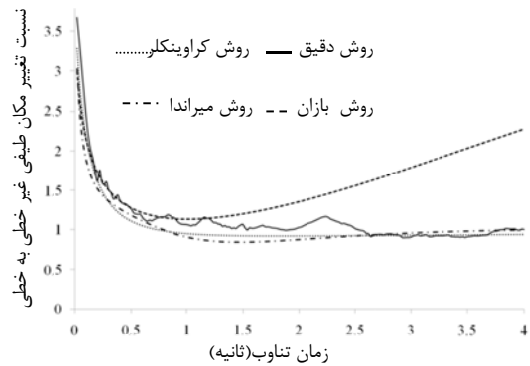
شکل ۸ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع سوم و شکل پذیری ۴



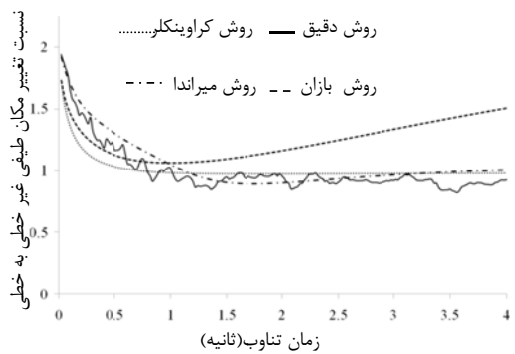
شکل ۴ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع دوم و شکل پذیری ۲



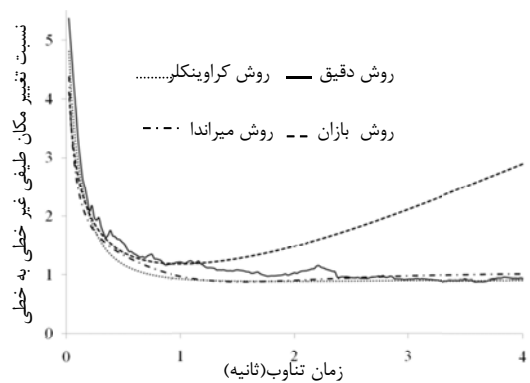
شکل ۹ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع سوم و شکل پذیری ۶



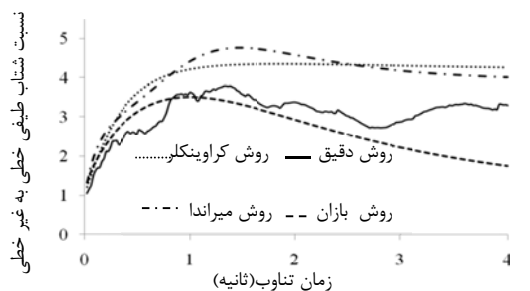
شکل ۵ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع دوم و شکل پذیری ۴



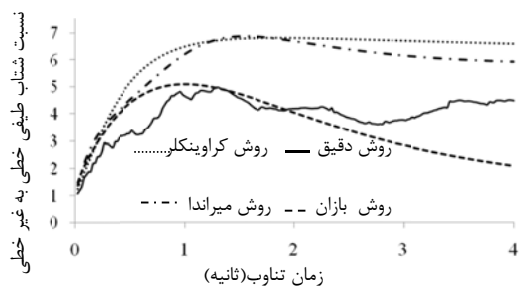
شکل ۱۰ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع چهارم و شکل پذیری ۲



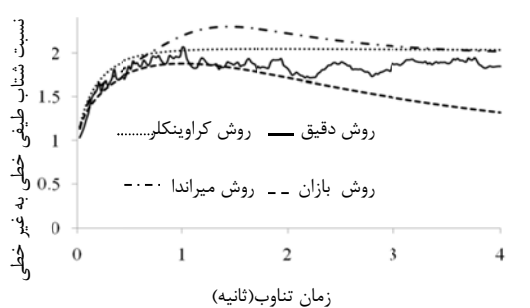
شکل ۶ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع دوم و شکل پذیری ۶



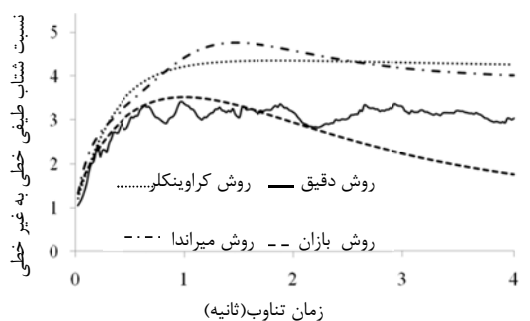
شکل ۱۴ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع اول و شکل پذیری ۴



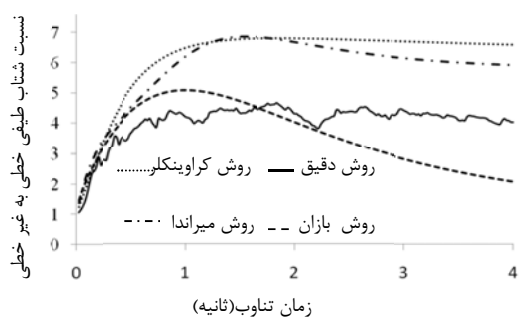
شکل ۱۵ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع اول و شکل پذیری ۶



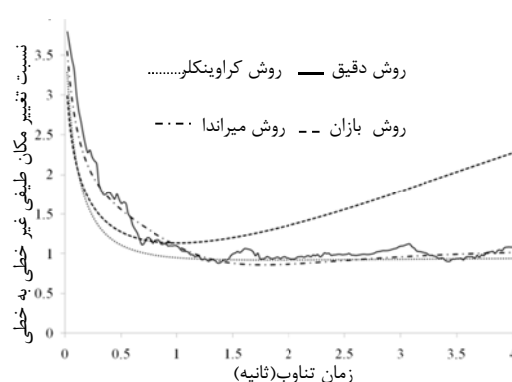
شکل ۱۶ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع دوم و شکل پذیری ۲



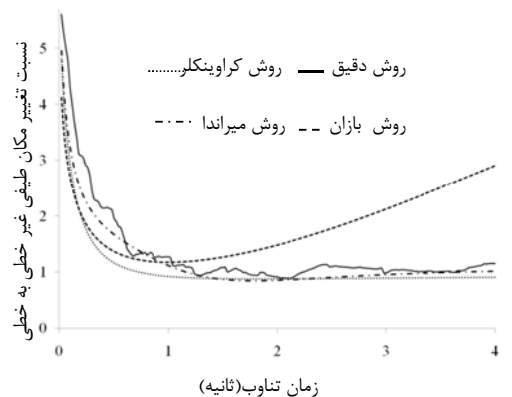
شکل ۱۷ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع دوم و شکل پذیری ۴



شکل ۱۸ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع دوم و شکل پذیری ۶



شکل ۱۱ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع چهارم و شکل پذیری ۴



شکل ۱۲ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع چهارم و شکل پذیری ۶

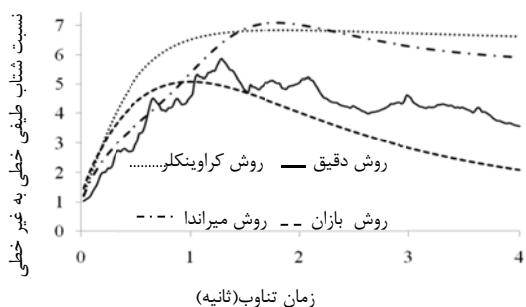
نتیجه مقایسه نسبت جابه جایی حداکثر در حالت غیر الاستیک به جابه جایی حداکثر در حالت الاستیک برای طیف رکوردهای زلزله برای خاکهای مختلف نشان می دهد در بین روابط محققین تا زمان تناوب حدود یک ثانیه هر سه روش دارای نتایج نزدیک به یکدیگر بوده و با افزایش زمان تناوب استفاده از رابطه بازان نسبت به دو رابطه دیگر دارای ضریب بزرگتری می باشد. همچنین مقایسه روابط محققین با روش دقیق نشان می دهد که رابطه میراندا و کراوینکلر تقریباً در زمانهای تناوب مختلف بر مقادیر میانگین روش دقیق منطبق هستند ولی روش بازان از زمان تناوب حدود ۱ ثانیه شروع به انحراف نسبت به نتایج میانگین روش دقیق می کند. همچنین برای شکلپذیری های ۴ و ۶ روش میراندا و کراوینکلر نسبت به شکلپذیری ۲ تطابق بیشتری با نتایج میانگین از روش دقیق دارد.

#### ۴- بررسی نسبت شتاب های طیفی خطی به غیر خطی

نتایج مقایسه نسبت شتاب های طیفی خطی به شتاب های طیفی غیر خطی برای خاکهای مختلف در اشکال ۱۳ الی ۲۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۳ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع اول و شکل پذیری ۲



شکل ۲۴ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع چهارم و شکل پذیری ۶

نتیجه مقایسه نسبت شتاب حداکثر در حالت الاستیک به شتاب حداکثر در حالت غیرالاستیک برای طیف رکوردهای زلزله خاک های مختلف نشان می دهد که رابطه میراندا و کراوینکلر دارای تطابق نزدیکتری بوده و نسبت به نتایج میانگین روش دقیق نسبت بزرگتری را تعیین می نمایند و در روش بازان برای زمان تناوب بزرگتر از یک ثانیه نسبت کمتر از مقادیر میانگین روش دقیق برآورده شده است. همچنین برای زمان تناوب خیلی کوتاه نسبت محاسبه شده برابر با یک بوده و برای زمانهای تناوب بلند نسبت محاسبه شده از رابطه کراوینکلر و میراندا به ضریب شکل پذیری نزدیک شده و منحنی بصورت نرم شده با مقدار تقریباً ثابت می باشد.

### ۵- نتیجه گیری

از تحلیل در محدوده مطالعات انجام شده در این پژوهش اهم نتایج به شرح زیر می باشد:

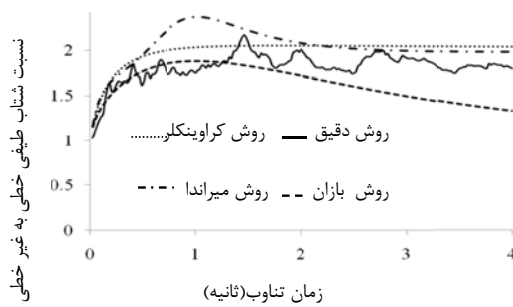
۱- رابطه ارائه شده توسط میراندا و کراوینکلر در تعیین طیف غیر خطی به یکدیگر نزدیک بوده و نسبت به روش بازان نیز به نتایج روش دقیق نزدیکتر می باشند.

۲- استفاده از رابطه پیشنهادی بازان، برای سازه های یکدرجه آزادی تا زمان تناوب حدود یک ثانیه دارای نتایج مطلوب در مقایسه با روش دقیق بوده و برای سازه های با زمان تناوب بیش از یک ثانیه شروع به انحراف نسبت به روش دقیق می نماید.

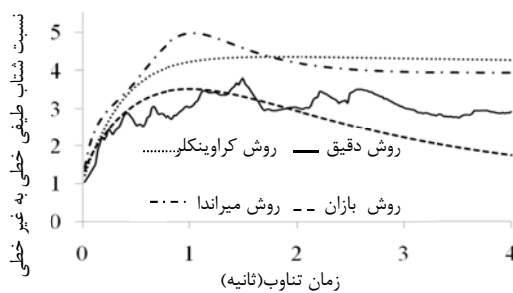
۳- بررسی نسبت تغییر مکان حداکثر در حالت غیر الاستیک به حالت الاستیک نشان می دهد استفاده از روابط کراوینکلر و میراندا به نتایج میانگین روش دقیق نزدیک بوده و روش بازان در زمانهای تناوب بزرگ نسبت به میانگین نتایج روش دقیق دچار اختلاف شده و جابه جایی های بزرگتر از روش دقیق را در حالت غیر الاستیک برآورد می نماید.

۴- بررسی نسبت شتاب حداکثر در حالت الاستیک به حالت غیر الاستیک نشان می دهد استفاده از روابط کراوینکلر و میراندا به نتایج میانگین به اضافه انحراف معیار از روش دقیق نزدیک بوده و روش بازان به نتایج میانگین منهای انحراف معیار روش دقیق نزدیکتر می باشد و به نوعی می توان بیان داشت روش کراوینکلر و میراندا کرانه بالا و روش بازان کرانه پایین در خصوص نسبت شتاب حداکثر در حالت الاستیک به حالت غیر الاستیک را نشان می دهند.

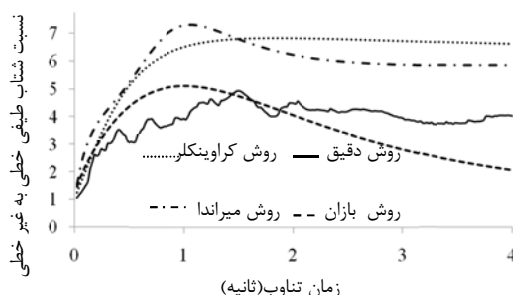
۵- برای تعیین نسبت شتاب حداکثر در حالت الاستیک به حالت غیر الاستیک بر اساس نتایج میانگین روش دقیق پیشنهاد می گردد نسبت مذکور یکبار با روش میراندا و یا کراوینکلر محاسبه شده و یکبار نیز با روش بازان محاسبه گردد و سپس میانگین نتایج آنها در محاسبات به کار گرفته شود.



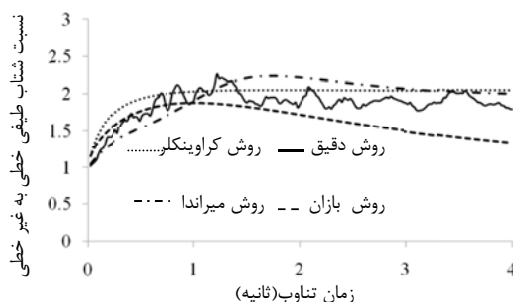
شکل ۱۹ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع سوم و شکل پذیری ۲



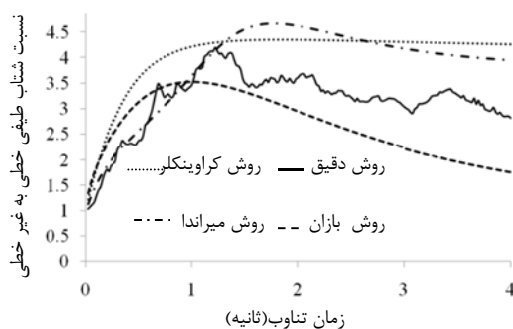
شکل ۲۰ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع سوم و شکل پذیری ۴



شکل ۲۱ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع سوم و شکل پذیری ۶



شکل ۲۲ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع چهارم و شکل پذیری ۲



شکل ۲۳ مقایسه روشهای مختلف برای خاک نوع چهارم و شکل پذیری ۴

## ۶- مراجع

- [1] M. Tehranizade, M. Seyrafiapoor, Determination of Design Spectrum with Respect to Nearfield Earthquake for City of Tehran, *Journal of Amirkabir Civil Engineering*, Vol 42, pp. 47-54, 2010. (In Persian)
- [2] M. Parsaeeyan, B. Hosseinni Hashemi, A Sarveghad, Ratio of Maximum Inelastic Displacement to Elastic Displacement in rock based on Earthquake of Iran, *Journal of Tarbiat modares Civil Engineering*, Vol. 12, pp. 11-25, 2012. (In Persian)
- [3] D. Abdollahzade, M. Gerami, M. Mastali, Evaluation of Effective Parameters on Response Spectrum for Design and Rehabilitation of Structures in Nearfield Earthquake, in *The 1st National Steel and Structures*, Tehran, Iran, 2009. (In Persian)
- [4] A. Fathiazar, A. Mahdavian, Effect of Nonlinear Behavior of Soil in Amplification of Earthquake Waves, *Journal of Engineering Geology*. Vol. 8. No. 4. , pp. 2435-2462, 2014. (In Persian)
- [5] G. Amiri, M. Zahedi, A. Naghdi, Soil Category Based Earthquake Spectrum, in *The 6th International Conference of Civil Engineering*, Esfahan, Iran, 2003. (In Persian)
- [6] Iranian Code of Practice For Seismic Resistant Design of Building. Standard No 2800 (4<sup>th</sup> edition), 2015. (In Persian)
- [7] SeismoSoft.Seismosignal.AvailablefromURL: [www.seismosoft.com](http://www.seismosoft.com), 2011.
- [8] H. Krawikler, A. Nassar, Seismic demands for SDOF and MDOF systems.; *John A.Blume Earthquake Engineering Center*, Report NO 95, Stanford University,1991.
- [9] E. Miranda, V. Bertero, Evaluation of Strength Reduction Factors for Earthquake Resistant Design., *Earthquake Spectra*, Vol 10, No 2, pp. 357-379, 1994.
- [10] B. Jose, E. Miranda, Amplification Factors to Estimate Inelastic Displacement Demands for the Design of Structures in the Near Field, *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*; New Zealand, 2000.