



## The Investigation of Traffic and Near-Field Earthquake Loads Effects on the Nailed and Braced Excavations

S. R. Ghaffari Khalaf Mohammadi<sup>1</sup>, N. Khayat<sup>1\*</sup>, N. Siahpolo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

<sup>2</sup>Faculty of Engineering, ACECR Institute for Higher Education, Khuzestan branch, Iran

**ABSTRACT:** Considering the statistical and probabilistic characteristics of construction conditions, the investigation of dynamic overloads' effects on the urban excavation wall is of great importance. In the present study, the performance of nailed and braced excavations under two vibrational dynamic excitations, traffic and near-field earthquake loads, have been investigated in four regions of Ahvaz. Critical boreholes with the lowest static bearing capacity have been selected by analyzing the layers' strength parameters in each region. Numerical models have been designed to limit the seismic waves' reflection at the excavation boundaries with 20 x 100 meters and with absorbing walls. Also, the damping ratio was assumed to be 2%. A harmonic wave at different speeds has simulated the excitation caused by the traffic passage. Resonant frequencies due to traffic-induced vibration have been recorded in the speed range of 56 to 72 km/hr. Due to the traffic load, the bracing and the nailing systems showed fewer vertical and lateral displacements, respectively. Moreover, the excavations have been analyzed under 7 acceleration with compatible near field characteristics of the Ahvaz plan acceleration (0.25g). The Golestan region showed the highest displacement difference between the two systems. Due to earthquake loads, the nailed system showed less vertical displacement and the braced system showed less horizontal displacement. The error of the analytical models' results in vertical displacement was 15% and in lateral displacement was 26% less than a nailed excavation located in the Kianpars region.

### Review History:

Received: Sep. 04, 2020

Revised: Mar. 11, 2021

Accepted: Jul. 05, 2021

Available Online: Jul. 19, 2021

### Keywords:

Urban excavation

Ahvaz

Traffic induced vibration

Resonance frequency

Near-field earthquake

### 1- Introduction

Increasing the depth of urban vertical excavations to provide car parks is a challenge in high-rise buildings in large cities. The time-consuming nature of building operations typically causes the vertical excavation walls to be exposed to dynamic overloads in this time period in addition to the usual static pressures such as lateral soil thrust and overloads due to the weight of adjacent buildings. Due to the statistical and probabilistic nature of dynamic overloads and their correlations with environmental and site conditions, it is necessary to assess the impacts locally [1]. Nailing and bracing are typically employed to enhance the stability potential of urban excavations. Numerical finite element (FE) analyses have shown that not only the geometry, slope, and soil properties but also the bracing bar inclination angle, bar properties, and bar spacing influence the suitability of a nailed slope wall [2]. Pile retaining walls are a specific type of bracing with vertical steel bars that are placed at a spacing of 1.5-3.0 m. Furthermore, it can sometimes be implemented by adding an inclined member (which is occasionally referred to as the truss bracing method) [3]. San and Duan (2013) studied asphalt cracks and used a sinusoidal wave to simulate the traffic load [4]. The fault in Ahvaz, Iran, increases the

vibration risk of structures under excitation with near-fault record characteristics (e.g., directivity and a pulse with large amplitude and medium-to-high period). Fagher et al. (2016) provided tables to determine the damage of adjacent structures based on the horizontal displacement of the excavation crest point in three types of soil [5].

This study analyzes vertical excavations stabilized by nailing and bracing in four regions of Ahvaz under dynamic loads, including traffic-induced vibration and near-fault ground motions. The output graphs of the designed models in PLAXIS are provided to compare the frequency content of the vertical and horizontal displacement responses of the excavation crest point under traffic load and a number of graphs to compare the peak horizontal and vertical displacement responses of the excavation crest point under records with near-fault characteristics in the regions of Ahvaz.

### 2- Methodology

The FE analyses were performed in PLAXIS 2D on four excavations with a depth of 7 m in Kianpars, Zeytoon, Padad, and Golestan Regions. Each excavation was stabilized by nailing and bracing, evaluating slope wall performance in the excavation crest displacement.

\*Corresponding author's email: Khayat@iauhvaz.ac.ir



The critical boreholes of each district were selected by measuring the weakest strength parameters of the soil layers. Parameters  $C$  and  $\phi$  were obtained using unconsolidated-undrained (UU) tests. The excavations had a depth of 7 m, and the groundwater level was assumed to be 2 m in the analytical models based on the boreholes. The hardening soil model was adopted to analyze the models. This model defines three types of stiffness. Researchers have proposed the approximate relations of  $E_{ur}^{ref} \approx 3E_{oed}^{ref}$  and  $E_{50}^{ref} \approx E_{oed}^{ref}$  for most soils. This study adopted these relations. The values of  $E_{oed}^{ref}$  and  $E_{50}^{ref}$  were assumed to be equal to the elasticity modulus of the soil [5].

In pavement engineering, load induced by a falling weight deflectometer is often used to simulate moving loads with different amplitudes and frequencies [6]. The deflectometer-induced load is a bouncing load and can almost approximately be described by a half sinusoidal load in Eqs. (1) and (2) [4]:

$$p(t) = p_0 \sin\left(\frac{\pi}{T} t\right) \quad (1)$$

$$T = 12 \frac{a}{V} \quad (2)$$

Here,  $p_0$  is the vehicle axle weight,  $T$  is the loading cycle period,  $a$  is the tire-surface contact radius, and  $V$  is the axle velocity introduced to the model for a moving axle with a width of 6 m. Different velocities can be simulated by changing the cycle period. To calculate the excavation crest displacement, seven near-fault records that had good consistency with the borehole sites and were aligned with the design acceleration of Ahvaz were used.

### 3- Results and Discussion

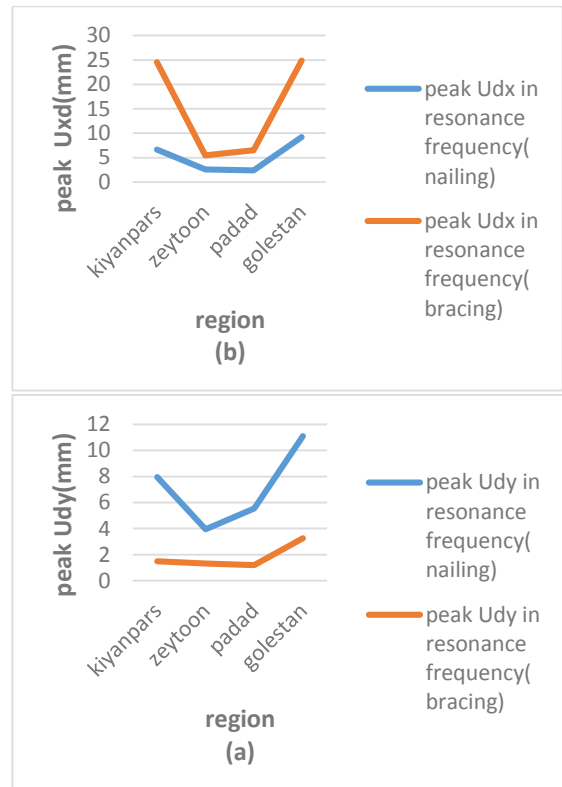
Figure 1 compares the nailing and bracing stabilization systems under the traffic load in terms of the vertical and horizontal excavation crest displacement amplitudes, respectively.

Figure 2 shows the bar charts of the average permanent displacement and maximum displacement of the excavation crest point with bracing and nailing stabilization under near-fault motion excitation for three regions in Ahvaz.

### 4- Conclusion

Although vibration caused by the traffic load is a low-frequency phenomenon, the results of the analysis of the retrofitted excavation model under this type of excitation have shown that the occurrence of resonance at specific frequencies can result in larger deformations in the excavation wall, which can be destructive over time.

1- The peak vertical displacement of the nailed excavation crest point under traffic excitation was found to be 8.5, 3.9, 5.5, and 11.1 mm in Kianpars, Zeytoon, Padad, and Golestan regions, respectively. The peak horizontal displacement



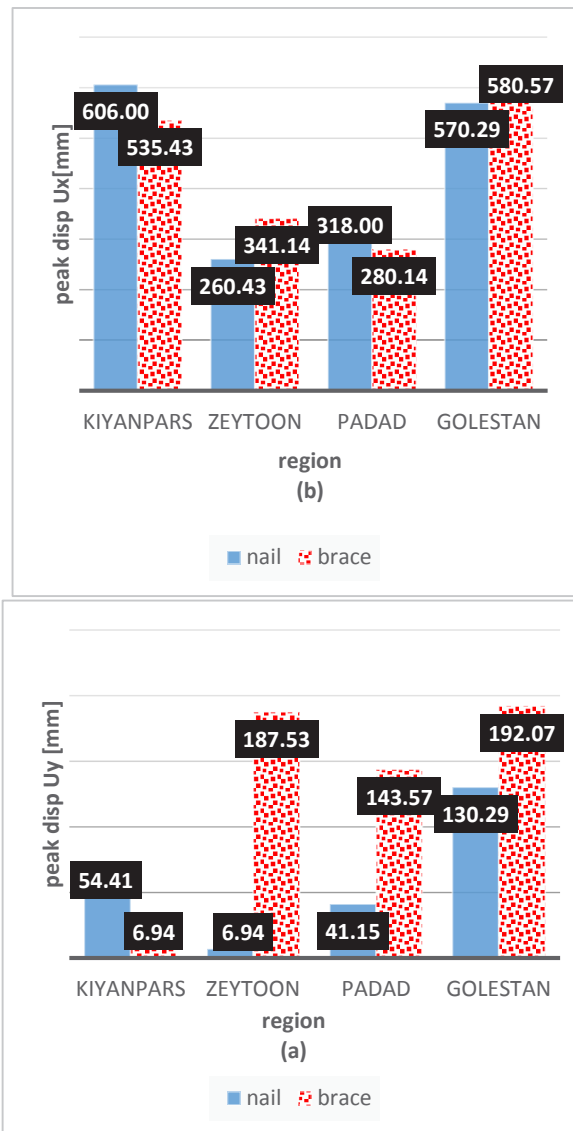
**Fig. 1. Comparison of nailing and bracing systems in (a) vertical displacement amplitude and (b) horizontal displacement amplitude**

of the nailed excavation crest point under traffic excitation was obtained to be 6.6, 2.5, 2.3, and 24.9 mm in Kianpars, Zeytoon, Padad, and Golestan regions, respectively. The peak displacements in nailing occurred in the frequency ranges of 2.3, 7-9, and 11-13 Hz.

2- The peak vertical displacement of the bracing excavation crest point was found to be 1.5, 1.3, 1.1, and 3.2 mm in Kianpars, Zeytoon, Padad, and Golestan region, respectively. The peak horizontal displacement of the bracing excavation crest point was obtained to be 9.6, 5.1, 6.5, and 24.0 mm in Kianpars, Zeytoon, Padad, and Golestan region, respectively. The peak displacements in bracing occurred in the frequency ranges of 2-3, 7-9, and 11-13 Hz.

3- The dominant resonance frequency was found to be 7-9 Hz for most regions and the stabilization systems. It is equivalent to a speed of 56-72 m/s. It falls in the traffic speed limit range in urban areas and should be controlled by the axle speed and weight in traffic planning.

4- The bracing system had lower sensitivity (distortion) to vertical and horizontal displacement in the response spectra of the regions since its elements have higher stiffness. Lower



**Fig. 2. Comparison of nailing and bracing systems in (a) peak vertical displacement and (b) peak horizontal displacement of the excavation crest point**

distortion eliminates the resonance frequency at higher modes, leading to close frequencies of the dominant modes in different regions.

5- In addition to the resonance peak displacement at 7-9 Hz, the excavation crest displacement response spectra had lower yet significant peak values at the frequencies of 2

and >11 Hz. They occurred when the excitation frequency became the same as the frequency of the higher modes of the site and stabilization structure. These displacements were sometimes very close to the peak displacement at the resonance frequency. Therefore, the site and its higher modes must be evaluated.

6- The soil behind the slope wall and the stabilization structure function as an integrated system and have a very similar natural frequency but not the same as the intrinsic modes of the site.

7- The nailing system had lower horizontal excavation crest displacement control under the traffic load and higher horizontal stability. The bracing system had lower vertical excavation crest displacement control and higher vertical stability. Despite the challenges in bracing implementation due to unstable soil in Ahvaz (i.e., the need for wooden support and shotcrete to prevent collapse in semi-deep excavation), it had lower horizontal displacement in the excavation crest point since it utilizes continuous and stronger elements compared to the thin shell of the nailing system.

8- The nailing system showed lower vertical displacements and provided higher vertical stability under ground motion excitation in all the regions, except for Kianpars. The bracing system provided lower displacement and higher stability under ground motion excitation for all the regions, except for Golestan.

## References

- [1] L. Sun, T.W. Kennedy, Spectral analysis and parametric study of stochastic pavement loads, *Journal of engineering mechanics*, 128(3) (2002) 318-327.
- [2] C.-C. Fan, J.-H. Luo, Numerical study on the optimum layout of soil-nailed slopes, *Computers and Geotechnics*, 35(4) (2008) 585-599.
- [3] L.M. Gil-Martín, E. Hernández-Montes, M. Shin, M. Aschheim, Developments in excavation bracing systems, *Tunnelling and underground space technology*, 31 (2012) 107-116.
- [4] L. Sun, Y. Duan, Dynamic response of top-down cracked asphalt concrete pavement under a half-sinusoidal impact load, *Acta Mechanica*, 224(8) (2013) 1865-1877.
- [5] A. Fakher, S. Yasrobi, I. Naeimifar, Allowable limit of soil nail wall deflection based on damage level of adjacent structures(in persian), *tarbiat Modares University Journals*, 16(2) (2016) 257-271.
- [6] L. Sun, W. Gu, F. Luo, Steady state response of multilayered viscoelastic media under a moving dynamic distributed load, *J. Appl. Mech. ASME*, 75(4) (2009) 1-15.

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

S. R. Ghaffari Khalaf Mohammadi, N. Khayat, N. Siahpolo, *The Investigation of Traffic and Near-Field Earthquake Loads Effects on the Nailed and Braced Excavations*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 54(2) (2022) 109-112.

DOI: 10.22060/ceej.2021.18938.7007







## بررسی تاثیر ترافیک و زلزله حوزه نزدیک بر گودهای پایدارسازی شده به روش‌های میخ کوبی و مهاربندی

سیدرضا غفاری خلف محمدی<sup>۱</sup>، نوید خیاط<sup>۱\*</sup>، نوید سیاه پلو<sup>۲</sup>

۱- دانشکده مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران  
۲- دانشکده مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی، خوزستان، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۴  
بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۲۱  
پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۴  
ارائه آنلاین: ۱۴۰۰/۰۴/۲۸

### کلمات کلیدی:

گود شهری  
اهواز  
ارتعاش ناشی از ترافیک  
فرکانس تشدید  
زلزله حوزه نزدیک

**خلاصه:** بررسی اثر سربارهای دینامیکی بر جداره گود شهری با توجه به ماهیت آماری و احتمالاتی آن در شرایط ساختمانی ضروری است. در این مطالعه عملکرد گود پایدارسازی شده به روش میخ کوبی و مهاربندی تحت اثر دو تحریک دینامیکی ارتعاش ناشی از عبور بار ترافیکی و تحریک زلزله حوزه نزدیک در چهار منطقه اهواز بررسی و مقایسه شده‌اند. گمانه‌های بحرانی در هر منطقه با سنجش پارامترهای مقاومتی لایه‌ها و انتخاب گمانه‌هایی با کمترین پارامترهای مقاومتی خاک در هر منطقه انتخاب گردیده‌اند. مدل‌های عددی جهت جلوگیری از انعکاس امواج لرزه‌ای در مرزها به ابعاد  $20 \times 100$  متر و با دیوارهای جاذب طراحی شده‌اند و نسبت میرایی به طور معمول ۰.۲٪ مفروض می‌باشد. تحریک ناشی از عبور ترافیک توسط یک موج هارمونیک در سرعت‌های متفاوت شبیه‌سازی شده است. فرکانس‌های تشدید ناشی از ارتعاش بار ترافیکی در محدوده سرعت ۵۶ الی ۷۲ کیلومتر بر ساعت قرار گرفته است. تحت اثر بار ترافیکی، سیستم مهاربندی، تغییر شکل قائم کمتر و سیستم میخ کوبی تغییر شکل افقی کمتر داشته‌اند. همچنین گودها تحت ۷ نداشت دارای خصوصیات حوزه نزدیک همپایه شده به شتاب طرح اهواز ( $0.25g$ ) تحلیل شده‌اند. منطقه گلستان بیشترین تغییر شکل را تحت بار ترافیک نشان داده است. تحت زلزله حوزه نزدیک به استثنای کیانپارس سیستم میخ کوبی تغییر شکل قائم ماندگار کمتر و سیستم مهاربندی تغییر شکل افقی ماندگار کمتر را نشان داده است. خطای نتایج مدل‌های تحلیلی در تغییر شکل قائم ۱۵٪ و در تغییر شکل افقی ۲۶٪ کمتر از برداشت میدانی یک گود میخ کوبی شده واقع در منطقه کیانپارس می‌باشد.

### ۱- مقدمه

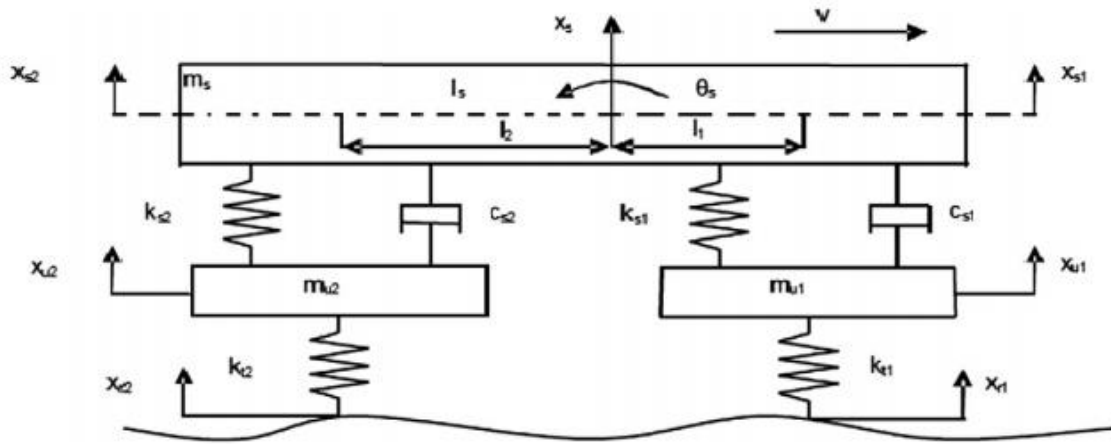
دیوارهای میخ کوبی شده علی‌رغم قرارگیری در نزدیکی کانون زلزله عملکرد مناسبی از خود نشان دادند [۲]. تحلیل‌های عددی با استفاده از روش المان محدود نشان داده‌اند در روش میخ کوبی علاوه بر هندسه، شیب و مشخصات خاک عواملی چون زاویه قرارگیری میلگردها، مشخصات میلگردها و فواصل میلگرد بر پایداری دیواره گود قائم تاثیرگذار هستند [۳]. بعضی مطالعات مشخص کرده‌اند در دیواره‌های قائم انتخاب میخ‌های بلندتر در بالای دیوار موجب نشست یکنواخت‌تر دیوار خواهد شد [۴]. همچنین استفاده از میخ به صورت شیب‌دار در مقابل میخ کوبی به صورت افقی، عملکرد بهتری در مقاومت لرزه‌ای از خود نشان می‌دهد [۴]. نوع خاصی از روش مهاربندی با عنوان دیوار حائل شمعی شامل تیرهای اغلب فولادی قائم که در فاصله‌های ۱/۵ الی ۳ متر جایگذاری می‌شوند می‌باشد و گاهی می‌تواند با افزودن یک عضو مایل انجام شود (این روش گاهی خرابایی نامیده می‌شود) [۵]. در تجربه سازگار نمودن دو سیستم پایدارساز در یک گود، مطالعه‌ای در تهران نشان داد گود ساختمانی میخ کوبی شده‌ای به عمق ۳۸ متر پس از نیازسنجی و طراحی

تمرکز جمعیت در شهرها موجب افزایش تمایل سرمایه‌گذاران به بلندمرتبه‌سازی گردیده است. چالش همیشگی در این زمینه افزایش عمق گودبرداری‌های قائم در مناطق شهری جهت تامین پارکینگ برای واحدهای بیشتر در عرصه محدود می‌باشد. زمان‌بر بودن عملیات اجرایی ساختمان‌ها به طور معمول باعث می‌گردد دیواره گود قائم در این دوره زمانی علاوه بر فشارهای استاتیکی معمول مانند رانش جانبی خاک و سربار ناشی از وزن ساختمان‌های مجاور در معرض سربارهای دینامیکی نیز قرار بگیرد. ماهیت آماری و احتمالاتی سربارهای دینامیکی و همبستگی آن با شرایط محیطی و ساختمانی موجب می‌شود بررسی محلی میزان تاثیر این بارها امری ضروری باشد [۶].

برای افزایش پتانسیل پایداری گودهای شهری عموماً از دو روش میخ کوبی و مهاربندی استفاده می‌شود. در زلزله لوما پرتیا سال ۱۹۸۹

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Khatay@iauhvaz.ac.ir





شکل ۱. مدل عمومی نیمه خودرو با چهار درجه آزادی شامل نیمه محور عقب و نیمه محور جلو [۸].

Fig. 1. 4DOF Half vehicle general model include half rear and front axle

متفاوت استفاده می‌شود [۹]. سان و دوان (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای بر روی ترک‌های آسفالت برای شبیه‌سازی بار ترافیکی از یک موج سینوسی استفاده کردند. در این مطالعه ارتعاش ناشی از عبور ترافیک در سرعت‌های متفاوت با استفاده از یک موج هارمونیک سینوسی شبیه‌سازی شده است [۱۰].

وجود گسل در محدوده شهر اهواز موجب افزایش ریسک ارتعاش سازه‌ها تحت تحریکی با خصوصیات نگاهت حوزه نزدیک مانند جهت‌پذیری و یک پالس (شوک) ویژه با دامنه زیاد و پیروید متوسط تا بلند می‌گردد. آنالیزهای غیرخطی نشان داده‌اند که شرایط ساختگاهی خاک در میزان حداکثر اوج پالس سرعت و زمان آن موثرند و ضروری است عملکرد دیواره گود تحت این‌گونه تحریک در شرایط ساختگاهی مطالعه گردد [۱۱]. با توجه به شرایط کلانشهر اهواز در این مطالعه نحوه اثر دو دسته بار دینامیکی بر تغییر شکل دیواره قائم گودهای پایدارسازی شده شامل ارتعاش ناشی از عبور بار ترافیکی و زلزله حوزه نزدیک مطالعه گردیده است. به منظور افزایش دقت در بررسی تغییر شکل مدل‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای از مدل رفتاری خاک سخت شونده برای تعریف لایه‌های خاک استفاده شده است.

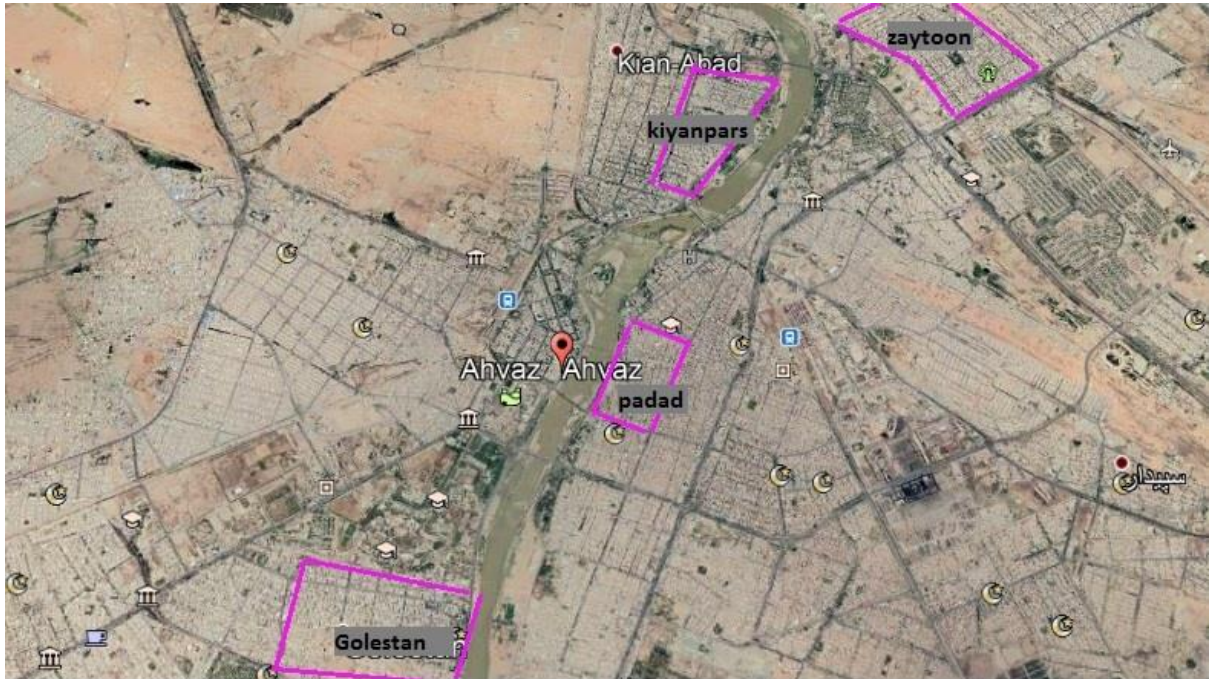
در این مطالعه گودهای پایدارسازی شده به دو روش در چهار منطقه از اهواز تحت بارهای دینامیکی تحلیل شدند. مبتنی بر نتایج گراف‌های خروجی از مدل‌های نرم‌افزار *plaxis*، جهت مقایسه محتوای فرکانسی پاسخ

مجدد با اضافه نمودن ترکیبی میخ‌های بیشتر و مهارهای حائل شمعی برای افزایش عمق تا ۴۲ متر پایدار گردیده است [۶].

ارتعاش ناشی از عبور ترافیک از جنب دیواره گود مجاور یک تحریک فرکانس کوتاه است و با امواج ریلی در لایه‌های بالایی خاک کنترل می‌شود [۷]. اخیراً روش‌های مختلفی جهت تعیین بار دینامیکی محور خودرو به کار رفته است. در روشی معمول یک مدل چند درجه آزادی از خودرو شامل فنر، میراگر و جرم خودرو تحت تاثیر ناهمواری‌های جاده تحلیل می‌شود. محدوده این مدل‌ها از مدل بسیار ساده یک درجه آزادی تا مدل‌های چند درجه به نسبت دقت پژوهش بستگی دارد. به عنوان نمونه یک مدل عمومی چهار درجه آزادی در شکل ۱ جهت تعیین پاسخ دینامیکی خودرو به ناهمواری‌های جاده نشان داده شده است. این مدل توانایی بررسی پرش‌های خودرو، حرکت بدنه و اثر مرکز جرم را دارد [۸].

حل معادله سیستم فوق اغلب اوقات جهت مطالعه پاسخ یک خودرو به تحریک ناهمواری‌های مشخص مانند سرعت‌گیرها استفاده می‌شود و با توجه به ماهیت آماری و احتمالاتی ترافیک، جهت اعمال به جنب گود مورد مطالعه مناسب نمی‌باشد. بار دینامیکی جهت استفاده در طرح روسازی ماهیتی آماری دارد [۱]. در مهندسی روسازی تاثیر نیروی تولید شده اغلب با دستگاه خیزسنج ضربه‌ای برای شبیه‌سازی بار متحرک با دامنه و فرکانس





شکل ۲. محل گمانه‌های حفر شده در چهار منطقه مورد مطالعه کیانپارس، زیتون، پاداد و گلستان

Fig. 2. Location of drilled boreholes in four study areas (kianpars,zeytoon,padad,golestan)

بررسی تاثیر انواع بارهای دینامیکی بر عملکرد دیواره گودهای قائم شهری با توجه به ماهیت آماری و احتمالاتی بار ترافیکی از یک موج هارمونیک شبیه‌ساز عبور ترافیک استفاده شده است [۵]. برای محاسبه تغییر شکل تاج گود تحت زلزله، ۷ نگاهت حوزه نزدیک که مطابقت مناسبی با شرایط ساختگاهی گمانه‌های مورد مطالعه داشته‌اند استفاده شد. آنالیز نرم‌افزار المان محدود *plaxis2D* برای چهار گود به عمق ۷ متر از مناطق شهری اهواز (کیانپارس، زیتون، پاداد و گلستان) اعمال گردید. هر گود توسط دو روش میخ‌کوبی و مهاربندی پایدارسازی شد و عملکرد دیواره در تغییر شکل تاج گود مورد بررسی قرار گرفت. در پایان نیز به مقایسه خروجی نرم‌افزار با گود اجرا شده در یکی از مناطق مورد بررسی پرداخته شد تا از صحت نتایج اطمینان حاصل شود.

### ۳- مدل عددی

#### ۳-۱- بررسی نمونه‌های مورد مطالعه

مدل‌های تحلیلی بر اساس گمانه‌های حفر شده در چهار منطقه مورد مطالعه کیانپارس، زیتون، پاداد و گلستان تهیه شده‌اند (شکل ۲) که به علت ارزش بالای زمین بیشترین تقاضا را جهت بلند مرتبه‌سازی در شهر اهواز

تغییر شکل قائم و افقی تاج گود تحت اثر بار ترافیکی عبوری و همچنین گراف‌هایی جهت مقایسه میزان حداکثر پاسخ تغییر شکل تاج گود در جهات قائم و افقی تحت اثر نگاهت حاوی خصوصیات حوزه نزدیک در مناطق شهری اهواز ارائه شده است. از مهم‌ترین پژوهش‌های انجام شده در زمینه ارتباط جابجایی دیواره گود و خرابی در سازه‌های مجاور بر اساس مطالعات بولند و همکاران در سال‌های ۱۹۷۸ و ۱۹۹۷ شکل گرفته است و منجر به ارائه جدولی از پنج سطح خرابی در سازه‌های مجاور از سطح ناچیز الی بسیار شدید گردیده است [۱۲، ۱۳]. همچنین فاخر و همکاران (۲۰۱۶) جداولی را جهت تعیین خرابی سازه‌های مجاور بر اساس میزان جابجایی افقی تاج گود در سه نوع خاک ارائه داده‌اند [۱۴].

### ۲- روش انجام کار

با استناد به گمانه‌های ژئوتکنیکی حفاری شده توسط سازمان نظام مهندسی خوزستان به بررسی شرایط زیر سطحی هر منطقه پرداخته شد. گمانه‌های بحرانی در هر منطقه با سنجش ضعیف‌ترین پارامترهای مقاومتی لایه‌های خاک انتخاب شده‌اند. این گمانه‌ها در تحلیل‌های استاتیکی دارای کمترین ظرفیت باربری در میان جامعه آماری هر منطقه بوده‌اند. به منظور

انرژی را منتقل می‌کند [۱۶]. در مورد لایه‌های خاک انکسار و شکست موج پیچیدگی مسئله را افزایش می‌دهد. کالبد هر لایه می‌تواند با امواج حجمی تعریف شود ولی امواج سطحی در مرز لایه‌ها پراکنش دارند. خصوصیات ارتعاش هر لایه وابسته به ضخامت و خصوصیات طبیعی آن لایه می‌باشد. در این نوع تحلیل استفاده از مدل‌سازی عددی ضروری می‌باشد [۴].

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (1)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (2)$$

۳-۳- بررسی سازه‌های نگهدارنده در هر منطقه بر اساس گمانه‌های شاخص برای انتخاب سازه نگهدارنده که به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌ترین بوده و در عین حال ضوابط و محدودیت‌های ایمنی آیین‌نامه FHWA را تامین نماید با لحاظ مشخصات خاک و عمق گود دو سازه مقاوم‌ساز انتخاب، که در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند. تمامی گودهای مدل شده دارای عمق ۷ متر می‌باشند که هر یک به جهت لزوم مقایسه عملکرد با سازه یکسان به روش میخ‌کوبی و مهاربندی به همراه تیرک مایل پایدارسازی گردیده‌اند. در شکل ۴ جزئیات اجرای سیستم پایدارساز میخ‌کوبی ارائه شده است. در سیستم میخ‌کوبی فاصله نصب میخ‌ها در بازه  $S < 1.5m$  و افزایش طول میخ‌ها باعث افزایش پایداری خواهد شد [۱۶]. همچنین زاویه قرارگیری میخ‌ها ۱۵ درجه در نظر گرفته شد زیرا زاویه بیشتر تأثیری در پایداری نخواهد داشت [۱۶]. در اینجا ۴ میخ جهت پایدارسازی گود ۷ متری استفاده شده است. ۲ میخ ردیف اول بالای گود به طول ۸ متر و ۲ میخ ردیف پایین با طول ۶ متر نصب گردیده است. مقطع میخ‌ها از نوع گروت و زاویه قرارگیری کلیه میخ‌ها ۱۵ درجه می‌باشد. کلیه آرماتورهای فولادی از نوع  $grade420$  با مشخصات  $E = 200GP$  و  $D = 32mm$  می‌باشند. قطر سوراخ محل قرارگیری میخ‌ها دارای قطر ۱۰۰ mm می‌باشد. مدول و سختی محوری مقطع معادل میخ جهت استفاده در نرم‌افزار از رابطه ۳ و ۴ قابل محاسبه می‌باشد [۱۷]. در رابطه مذکور  $A_n$  مقطع آرماتور و  $A_g$  مقطع گروت می‌باشد. همچنین  $E_n$  مدول الاستیسیته فولاد آرماتور و  $E_g$  مدول گروت و  $S_n$  فاصله افقی ردیف‌های میخ و برابر  $1/5$  متر می‌باشد:

داشتند. سطح آب زیرزمینی در مدل‌های تحلیلی با توجه به گمانه‌های برداشت شده حدود ۲ متر لحاظ شده است. به علت عدم امکان تخلیه آب از کف گود، به دلیل حرکت خاک در اثر نیروی تراوش که می‌تواند منجر به حرکت مصالح از زیر ساختمان‌های مجاور می‌گردد، کف گود باید سریعاً غیرقابل نفوذ گردد و پارامترهای  $C$  و  $\phi$  برای نمونه‌ها بر اساس آزمایشات برش مستقیم سریع و سه محوری تحکیم نیافته-زهکشی نشده به دست آمده است. گمانه‌های بحرانی در هر منطقه با سنجش پارامترهای مقاومتی لایه‌ها موجود در هر گمانه انتخاب شده‌اند. به عبارتی ضعیف‌ترین پروفیل خاک به عنوان گمانه منتخب برگزیده شده است. این گمانه‌ها در تحلیل‌های استاتیکی دارای کمترین ظرفیت باربری در میان جامعه آماری هر منطقه بوده‌اند. در تحلیل مدل‌ها از مدل رفتاری خاک سخت‌شونده استفاده شده است. در این مدل رفتاری کرنش‌ها بر اساس تابع سطح تنش که برای حالت بارگذاری اولیه و بارگذاری و باربرداری متفاوت است محاسبه می‌گردد [۱۵]. در این مدل سه نوع سختی تعریف شده است. سختی بارگذاری  $E_{50}^{ref}$  بر اساس آزمایش فشاری سه محوری، سختی باربرداری  $E_{ur}^{ref}$  بر اساس آزمایش فشاری سه محوری و سختی بارگذاری  $E_{oed}^{ref}$  بر اساس نتایج آزمایش تحکیم یک بعدی تعیین می‌شوند. محققین ارتباط تقریبی  $E_{ur}^{ref} \approx 3E_{oed}^{ref}$  و  $E_{50}^{ref} \approx E_{oed}^{ref}$  را برای اکثر مصالح خاکی پیشنهاد نموده‌اند و در این مطالعه بر همین اساس عمل شده است. مقادیر پارامترهای  $E_{50}^{ref}$  و  $E_{oed}^{ref}$  برابر با مدول الاستیسیته خاک در نظر گرفته می‌شود [۱۵].

### ۳-۲- بررسی دینامیک خاک

انتشار امواج در ژئوتکنیک لرزه‌ای وابسته به خواص دینامیکی ساختگاه همچون مدول برشی (فرمول ۱) و سرعت موج برشی (فرمول ۲) می‌باشد. جدول ۱ حاوی خصوصیات گمانه‌های مورد مطالعه می‌باشد. پارامتر  $C$  و  $\phi$  برای گمانه‌ها بر اساس آزمایشات تحکیم نیافته و زهکشی نشده ( $UU$ ) به دست آمده است. به دلیل عدم امکان تهیه نمونه دست نخورده از لایه‌های ماسه‌ای و سیلتی این نتایج از آزمایش برش مستقیم سریع روی نمونه‌های دوباره بازسازی شده (نمونه‌های با وزن مخصوص مشابه صحرا) به دست آمده و در جدول ۱ به صورت تفکیکی ارائه شده‌اند. انتشار امواج حجمی در کالبد خاک موجب انعکاس امواج در سطح مشترک لایه‌های مختلف خاک می‌شوند که در این حالت مقداری از انرژی یک موج به انرژی موج دیگر تبدیل می‌شود. در مورد اعمال بار قائم بر سطح خاک موج رابلی ۶۷٪ کل

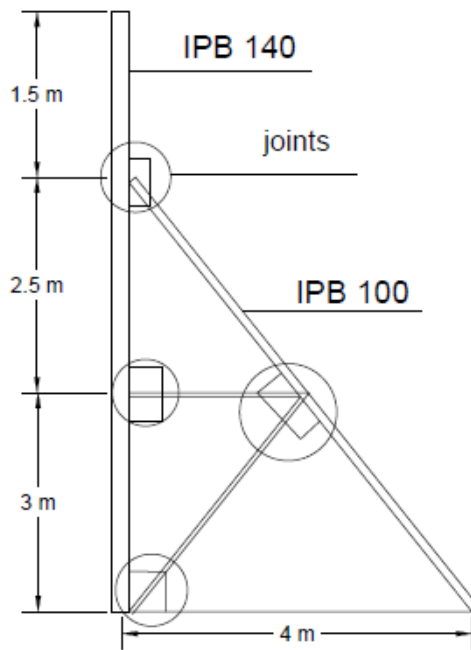


جدول ۱. خصوصیات گمانه مناطق چهارگانه در شهر اهواز

Table 1. The borehole Characteristics of the four regions of Ahwaz city

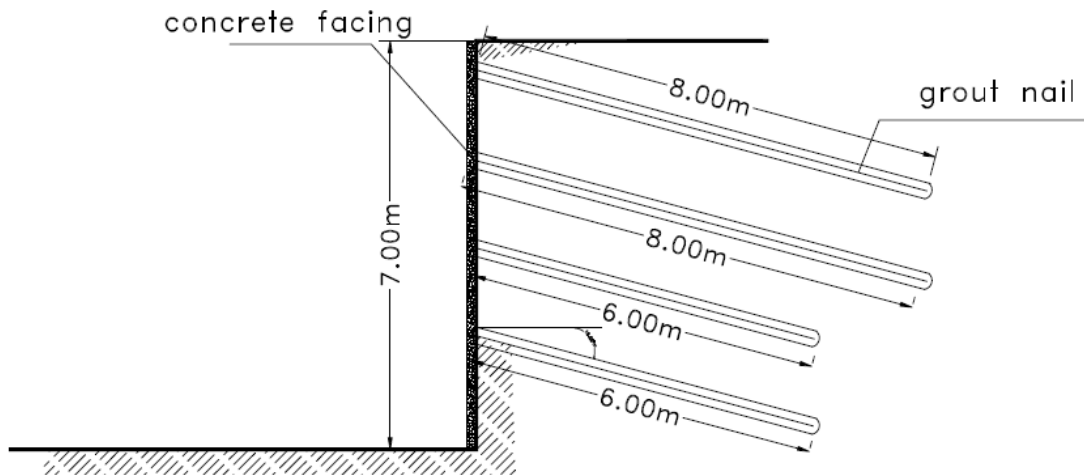
عمق (متر)	پارامتر	کیانپارس	زیتون	پاداد	گلستان
۳۰ الی ۳	$E$ (kN/m <sup>2</sup> )	5062.5	16500	20500	16500
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	21.22	20.30	20.30	20.23
	$\nu$ (kN/m <sup>2</sup> )	0.3	0.36	0.37	0.35
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	1	40	41	40
	$\phi_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	-	4	4	4
	$\phi_u^* (kN/m^2)^*$	35	-	-	-
	SPT	35	23	30	20
	type	ML	CL	CL	CL
۳ الی ۵	$E$ (kN/m <sup>2</sup> )	16852	23650	20500	16500
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	20.21	20.55	20.30	20.23
	$\nu$	0.31	0.34	0.37	0.35
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	1	43	41	40
	$\phi_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	-	3	4	4
	$\phi_u^* (kN/m^2)^*$	34	-	-	-
	SPT	22	34	30	20
	type	SM	CL	CL	CL
۵ الی ۷	$E$ (kN/m <sup>2</sup> )	16852	12256	11490	13788
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	20.21	20.37	20.37	20.02
	$\nu$	0.31	0.33	0.32	0.3
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	1	1	1	1
	$\phi_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	-	-	-	-
	$\phi_u^* (kN/m^2)^*$	34	31	32	35
	SPT	22	16	15	18
	type	SM	SC	SM	SM
۷ الی ۹	$E$ (kN/m <sup>2</sup> )	16852	12256	23746	13788
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	20.21	20.37	20.06	20.02
	$\nu$	0.31	0.33	0.29	0.3
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	1	1	1	1
	$\phi_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	-	-	-	-
	$\phi_u^* (kN/m^2)^*$	34	31	36	35
	SPT	22	16	31	18
	type	SM	SC	SM	SM
۹ الی ۱۲	$E$ (kN/m <sup>2</sup> )	60000	60000	23746	13788
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	20.21	20.88	20.06	20.02
	$\nu$	0.37	0.37	0.29	0.3
	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	120	120	1	1
	$\phi_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	3	3	-	-
	$\phi_u^* (kN/m^2)^*$	-	-	36	35
	SPT	30	>30	31	18
	type	CLAY STON	CLAY STON	SM	SM

\*پارامترها از آزمایشات برش مستقیم سریع بر روی نمونه‌های بازسازی شده به دست آمده است.



شکل ۳. جزئیات اجرایی سیستم پایدارساز مهاربندی

Fig. 3. The implementation details of the bracing retrofitting system



شکل ۴. جزئیات اجرایی سیستم پایدارساز میخ کوبی

Fig. 4. The implementation details of the nailing stabilization system

### ۳-۴- شبکه‌بندی، تعیین ابعاد و مشخصات مدل

در تحلیل مدل عددی از المان‌های ۱۵ گره‌ای در شبکه‌بندی استفاده شده است. محققین پیشنهاد کرده‌اند در مدل‌های عددی فاصله مرزهای جانبی از دیوار حائل از هر طرف ۷ برابر عمق گود لحاظ گردد [۱۸]. ابعاد بزرگ‌تر مدل علی‌رغم بالا بردن زمان تحلیل امکان انعکاس امواج از دیواره‌ها را که می‌تواند سبب بروز خطا در تحلیل گردند را کم می‌نماید. به جهت لزوم امکان مقایسه نتایج ابعاد کلیه مدل‌ها یکسان و برابر ۱۰۰×۲۰ مترمربع می‌باشد.

در نرم‌افزار المان محدود *plaxis* تحلیل دینامیکی پس از اتمام تحلیل استاتیکی قابل انجام است. در این مطالعه مدل‌ها برای زمان دینامیکی ۱۰ ثانیه تحلیل شده‌اند. گام نرم‌افزار برای ذخیره داده‌های محاسبه شده در طول تحلیل (*additional steps*) برابر ۲۵۰ قید شده است. ضرائب میزان جذب امواج در دیواره‌ای جاذب (*absorbent boundaries*) به صورت پیش‌فرض برابر  $C_1 = 1$  و  $C_2 = 0.25$  فرض گردیده‌اند. پارامترهای نیومارک (*Newmark parameters*) که در حل تکراری روش المان محدود محیط متخلخل خاک اشباع کارایی دارند به ترتیب  $alpha = 0.3025$  و  $beta = 0.6$  تعیین شده‌اند.

فازهای تحلیل برای روش میخ‌کوبی به ترتیب تحلیل استاتیکی سازه پایدارساز در شرایط قبل از خاک‌برداری تحت سربارهای اولیه، ۳ فاز تحلیل استاتیکی متناسب با ۳ لایه خاک‌برداری و در آخر اعمال بار دینامیکی و محاسبه تغییر شکل‌ها می‌باشد. فازهای تحلیل برای روش مهاری با تیرک مایل ابتدا تحلیل استاتیکی المان قائم در شرایط قبل از خاک‌برداری تحت سربارهای اولیه، تحلیل استاتیکی سازه پس از خاک‌برداری و نصب المان مایل، تحلیل استاتیکی پس از نصب ۲ مهار در ۲ فاز و در آخر اعمال بار دینامیکی و محاسبه تغییر شکل‌ها می‌باشد، اما به دلیل در دسترس بودن داده‌های میدانی و همچنین تمرکز موضوع پژوهش شرایط پس از ساخت سازه نگهبان مورد بررسی قرار گرفت.

شکل ۵ نشان دهنده میزان تغییر شکل قائم فاز دینامیکی در مدل کیانپارس می‌باشد. مشاهده می‌شود انتخاب مناسب ابعاد مدل و جذب امواج توسط دیوار جاذب موجب عدم انعکاس امواج و تغییر شکل ناچیز در مرزها گردیده است.

### ۳-۵- خصوصیات طبیعی ساختگاه

فرکانس طبیعی ساختگاه برای تحلیل داده‌های خروجی و هم برای

$$E_{eq} = E_n \left( \frac{A_n}{A} \right) + E_g \left( \frac{A_g}{A} \right) \quad (۳)$$

$$EA_{eq} = \left( \frac{E_{eq}}{S_h} \right) * A \quad (۴)$$

در شکل ۳ جزئیات اجرای سیستم پایدارساز مهاری به همراه تیرک مایل ارائه شده است. از پروفیل‌های استاندارد *IPB100* و *IPB140* به ترتیب به عنوان المان قائم و المان مایل استفاده شده است. از پروفیل استاندارد  $2L60 \times 60 \times 6$  به عنوان اعضای مهاری که فقط دارای سختی محوری می‌باشند استفاده شده است. فاصله شمع‌های قائم از یکدیگر به طول ۳ متر و کلیه اتصالات به صورت گیردار مدل گردیده‌اند.

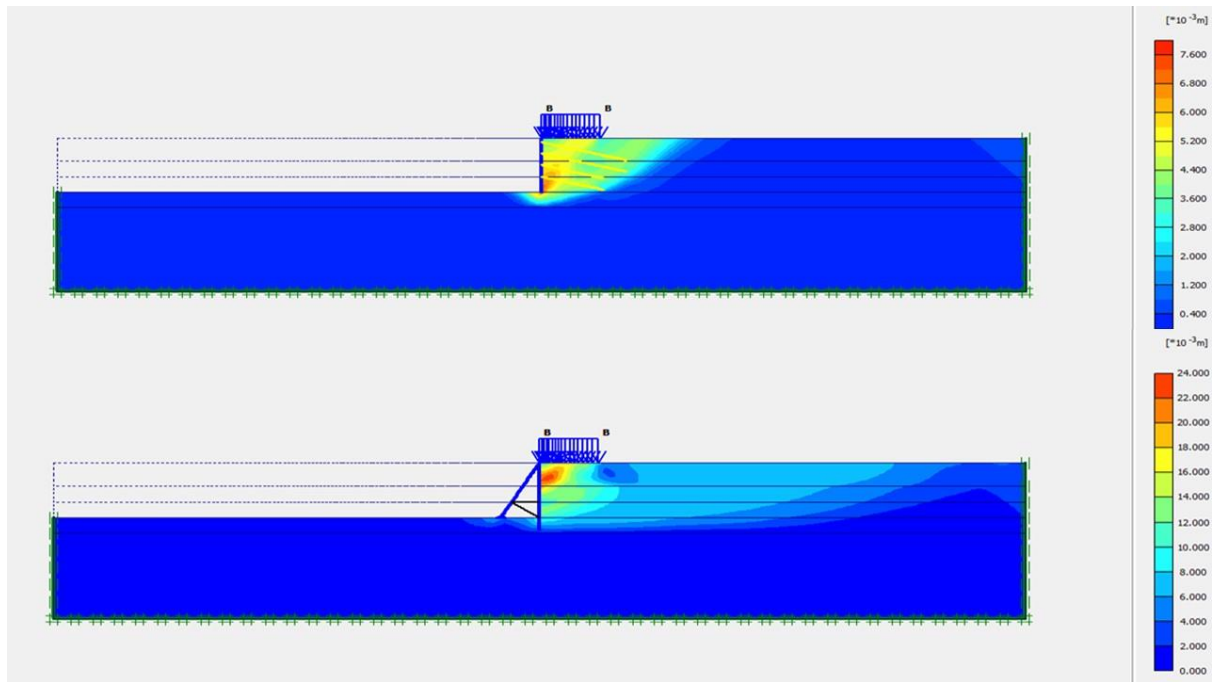
برای محاسبه سختی خمشی (*EI*) و سختی محوری (*EA*) پروفیل‌های مورد استفاده در روش مهاری، مدول الاستیسیته برابر  $E = 2.1 * 10^6 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$  می‌باشد. برای محاسبه ممان اینرسی در مدل دو بعدی به ازای نصب شمع‌های قائم با فاصله ۳ متر از رابطه (۵) خواهیم داشت:

$$I_{profile} = \frac{b_{spacing} * h^3}{12} \rightarrow h = \sqrt[3]{\frac{12I_{profile}}{b_{spacing}}} \quad (۵)$$

ممان انرسی نرمال شده (*I<sub>normal</sub>*) برای مدل دو بعدی برابر است با:

$$I_{normal} = \frac{h^3}{12} \text{ and } A_{normal} = b * 1 \quad (۶)$$

در روابط ۵ و ۶  $b_{spacing}$  و  $h$  به ترتیب عرض و ارتفاع صفحه‌ای فرضی می‌باشند که دو شمع قائم ایجاد کرده‌اند. *I<sub>profile</sub>* ممان اینرسی پروفیل‌های مورد استفاده، *I<sub>normal</sub>* ممان اینرسی نرمال شده مورد استفاده در مدل دو بعدی و *A<sub>normal</sub>* مساحت نرمال شده مورد استفاده در مدل دو بعدی می‌باشد.



شکل ۵. خروجی کانتور تغییر شکل قائم در فاز دینامیکی مدل کیانپارس برای روش‌های میخ‌کوبی و مهاربندی

Fig. 5. The contour output of the vertical deformation in the dynamic phase in the Kianpars model for nailing and bracing

جدول ۲. فرکانس طبیعی مود اول ساختگاه برای مناطق چهارگانه اهواز

Table 2. The dominant frequency of the site for the four regions of Ahwaz

منطقه	کیانپارس	زیتون	پاداد	گلستان
$f(HZ)$	۰/۸۶	۱	۰/۸۷	۰/۷۲

### ۳-۶- میرایی مدل عددی

میرایی رایلی مرسوم‌ترین نوع میرایی مکانیکی است، که در تحلیل‌های دینامیکی به کار گرفته می‌شود. به طور کلی در برنامه‌هایی که در حوزه‌ی زمان عمل می‌کنند، معمولاً جهت فراهم کردن میرایی مستقل از فرکانس، از میرایی رایلی استفاده می‌شود. اگر چه بنا به تعریف، میرایی رایلی خود وابسته به فرکانس است ولی می‌توان پارامترهای آن را در محدوده‌ای استفاده کرد که اثرات وابستگی به فرکانس تا حد ممکن کاهش یابد. میرایی رایلی معمولاً برای میرا کردن مدهای نوسانی طبیعی سیستم در تحلیل سازه‌ها و محیط‌های پیوسته الاستیک به کار برده می‌شود. معادلات به فرم

محاسبه پارامترهای معادله ماتریسی رایلی ضروری است. فرکانس طبیعی ستون خاک در مدهای نوسانی مختلف از رابطه شماره ۷ به دست می‌آید که در آن  $f_n$  فرکانس نوسانی مود  $n$  ام و  $H$  ارتفاع ستون خاک و  $V_s$  سرعت موج برشی است. جدول ۲ نشان دهنده فرکانس‌های طبیعی غالب ساختگاه ( $n=1$ ) که بر اساس مقادیر جدول ۱ و ۲ به دست آمده و با فرمول (۷) محاسبه شده است، برای مناطق چهارگانه مورد مطالعه می‌باشد.

$$f_n = \frac{(2n-1)V_s}{4H} \quad (7)$$

ماتریسی و به صورت رابطه ۸ بیان می‌شوند:

بنابراین ضرایب میرایی  $\alpha$  و  $\beta$  برای این لایه به شکل ذیل تعیین می‌گردد:

$$C = \alpha M + \beta K \quad (۸)$$

$$\alpha = 2\xi \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega_1 + \omega_2} = \frac{2 * 0.02 * 8.78 * 26.35}{8.78 + 26.35} = 0.264$$

$$\beta = \frac{2\xi}{\omega_1 + \omega_2} = \frac{2 * 0.02}{8.78 + 26.35} = 0.0011$$

در این رابطه  $C$  ماتریس میرایی و  $M$  ماتریس جرم و

$K$  ماتریس سختی است  $\alpha$  و  $\beta$  نیز ضرایب ثابت میرایی متناسب با جرم و سختی هستند. برای یک سیستم با چند درجه‌ی آزادی در هر مود نوسانی با سرعت زاویه‌ای  $\omega_i$ ، نسبت میرایی  $\xi_i$  را می‌توان به صورت رابطه ۹ محاسبه نمود:

$$\alpha + \beta \omega_i^2 = 2\omega_i \xi_i \quad (۹)$$

مقدار نسبت میرایی به طور معمول برای کلیه لایه‌ها ۲٪ فرض گردیده است. مبتنی بر روابط ۸ الی ۱۱ برای مناطق مورد مطالعه در شهر اهواز به طور کلی ضریب  $\alpha$  در محدوده ۰/۱۱۹ الی ۰/۲۶۴ و ضریب  $\beta$  در محدوده ۰/۰۰۳۸ الی ۰/۰۰۱۱ به دست آمده است.

ارتعاش ناشی از بار ترافیکی یک پدیده فرکانس پایین محسوب می‌شود و کرنش ناشی از بار ترافیکی مقداری محدود می‌باشد. لذا در این صورت نسبت میرایی را می‌توان برای تمام مدهای نوسانی مقداری ثابت فرض نمود. پس به رابطه ۱۰ و ۱۱ خواهیم رسید:

$$\alpha = 2\xi \frac{\omega_1 \cdot \omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (۱۰)$$

۳-۷- تعیین بار دینامیکی ناشی از عبور ترافیک و نحوه اعمال به مدل عددی  
در مهندسی روسازی تاثیر نیروی تولید شده اغلب با دستگاه خیزسنج ضربه‌ای برای شبیه‌سازی بار متحرک با دامنه و فرکانس متفاوت استفاده می‌شود. نیروی تولید شده توسط دستگاه خیزسنج ضربه‌ای یک نیروی چپنده است و تقریباً می‌تواند با یک نیم‌موج سینوسی به شکل فرمول‌های ۱۲ و ۱۳ بیان شود [۱۰]:

$$\beta = \frac{2\xi}{\omega_1 + \omega_2} \quad (۱۱)$$

$$p(t) = p_0 \sin\left(\frac{\pi}{T} t\right) \quad (۱۲)$$

$$T = 12 \frac{a}{V} \quad (۱۳)$$

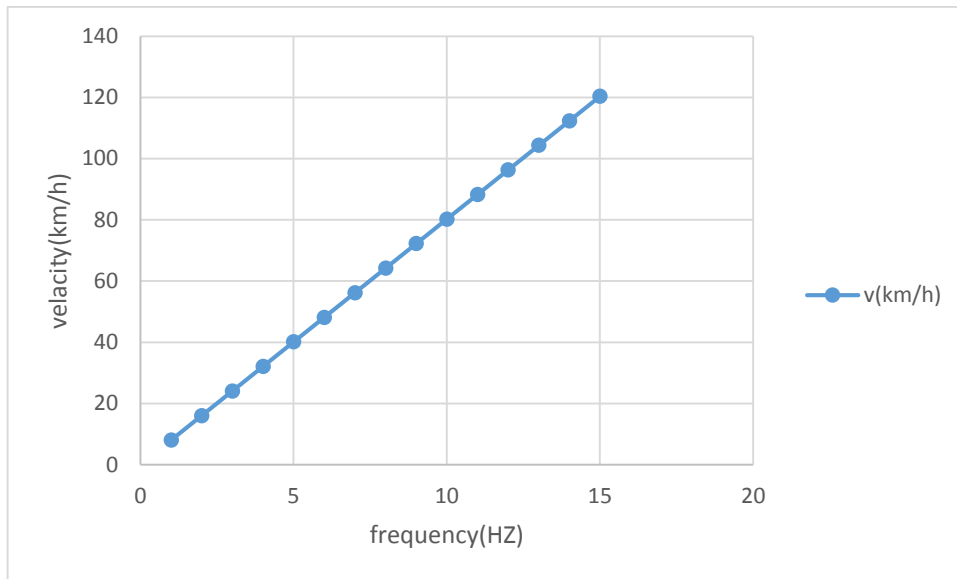
مقادیر ورودی در روابط ۱۰ و ۱۱ برای کرانه بالای ضرایب رایلی شهر اهواز، مربوط به عمیق‌ترین لایه گمانه منطقه زیتون از جنس سنگ رسی و دارای بیشترین سرعت موج برشی برابر با  $V_s = 111.9 \text{ m/s}$ ، با فرض نسبت میرایی  $\xi = 0.02$  از رابطه ۷ به دست می‌دهد:

$$\omega_1 = \frac{V_s \cdot \pi}{2H} = \frac{111.9 * 3.14}{2 * 20} = 8.78$$

$$\omega_2 = \frac{3V_s \cdot \pi}{2H} = \frac{3 * 111.9 * 3.14}{2 * 20} = 26.35$$

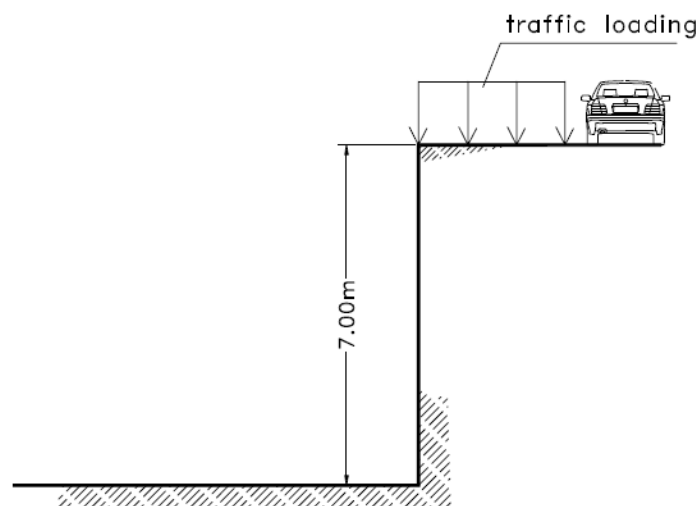
در اینجا  $P_0$  وزن محور خودرو،  $T$  طول چرخه بارگذاری،  $a$  شعاع تماس تایر با سطح و  $V$  سرعت محور عبوری می‌باشد. با تغییر طول زمان چرخه می‌توان سرعت‌های متفاوتی را شبیه‌سازی نمود. نشریه ۲۳۴ وزارت راه و شهرسازی جمهوری اسلامی ایران با عنوان آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران وزن یک محور ساده با دو چرخ را برای یک اتومبیل سواری عادی به طور متوسط یک تن پیشنهاد نموده است [۱۸]. گراف شکل ۶ نشان دهنده میزان رشد پارامتر سرعت در برابر رشد فرکانس ناشی از عبور بار ترافیکی برای محور یک تن می‌باشد. شکل ۷ نحوه اعمال بار هارمونیک





شکل ۶. سرعت های متناظر با فرکانس برای ترافیک عبوری با محور یک تن

Fig. 6. Frequency corresponding velocities for one ton axial traffic



شکل ۷. نحوه اعمال بار ترافیکی به مدل عددی

Fig. 7. Applying the traffic load to the numerical model

جدول ۳. مشخصات زلزله های حوزه نزدیک مورد استفاده در مطالعه

Table 3. Near-field properties of earthquake used in the study

ID	Spectral Ordinate	time	PGA	Year	Magnitude	Vs30 (m/sec)
1	IMPVALL.I_I-ELC180.AT2	53.7	0.2807	1979	6.95	213.44
2	IMPVALL.H_H-WSM180.AT2	53.7	0.1988	1980	6.95	213.44
3	SUPER.B_B-WSM090.AT2	38.7936	0.128	1987	6.53	139.67
4	NORTHR_SCS142.AT2	59.985	0.1706	1989	6.54	139.67
5	NORTHR_SCS142.AT2	43.885	0.6322	1992	6.69	251.24
6	KOBE_AMA000.AT2	26.99	0.3577	1992	6.9	256
7	CHUETSU_SG01EW.AT2	60	0.4027	1994	6.8	201

در مدهای ارتعاشی اولیه ساختگاه و فرکانس مدهای ارتعاشی طبیعی سازه پایدارساز می باشد که ناشی از وقوع پدیده تشدید است. پیک های غالب گراف ها، نشان دهنده وقوع تغییر شکل های محسوس در محدوده هایی از سرعت متناظر با فرکانس های تشدید می باشد که ضروری است تاثیرات آن در برنامه ریزی های ترافیکی و نیز طراحی سازه های پایدارساز لحاظ گردد. کنترل فرکانس های مشخصی که تحت تحریک ترافیک قرار دارند از طریق کنترل سرعت و وزن محور خودروهای عبوری امکان پذیر می باشد [۱۹]. بررسی ها نشان می دهند فرکانس های تشدید غالب ناشی از ارتعاش بار ترافیکی در مدل های تحلیلی برای تمامی گراف در محدوده فرکانسی مشترک ۷ الی ۹ هرتز واقع گردیده است. مطابق گراف شکل ۶ محدوده فرکانسی تشدید غالب متناظر با محدوده سرعت ۵۶ الی ۷۲ کیلومتر بر ساعت می باشد.

برای اجتناب از وقوع تشدید علاوه بر کنترل فرکانس طبیعی سازه پایدارساز می بایست فرکانس طبیعی ساختگاه در مدهای اولیه نیز کنترل گردد. مجموعه دلایلی وجود دارد که می تواند موجب عدم تطابق کامل فرکانس های تشدید با فرکانس طبیعی خاک و فرکانس طبیعی سازه پایدارساز باشد. خواص دینامیکی خاک به مرور زمان تحت بار ترافیکی تغییر می نماید که همین امر به تغییر فرکانس طبیعی خاک منجر خواهد شد. همچنین تغییر شکل دیواره گود در طول زمان بارگذاری می تواند منجر

شبه سازی شده ترافیک عبوری را از جنب گود به عرض ۶ متر نشان می دهد.

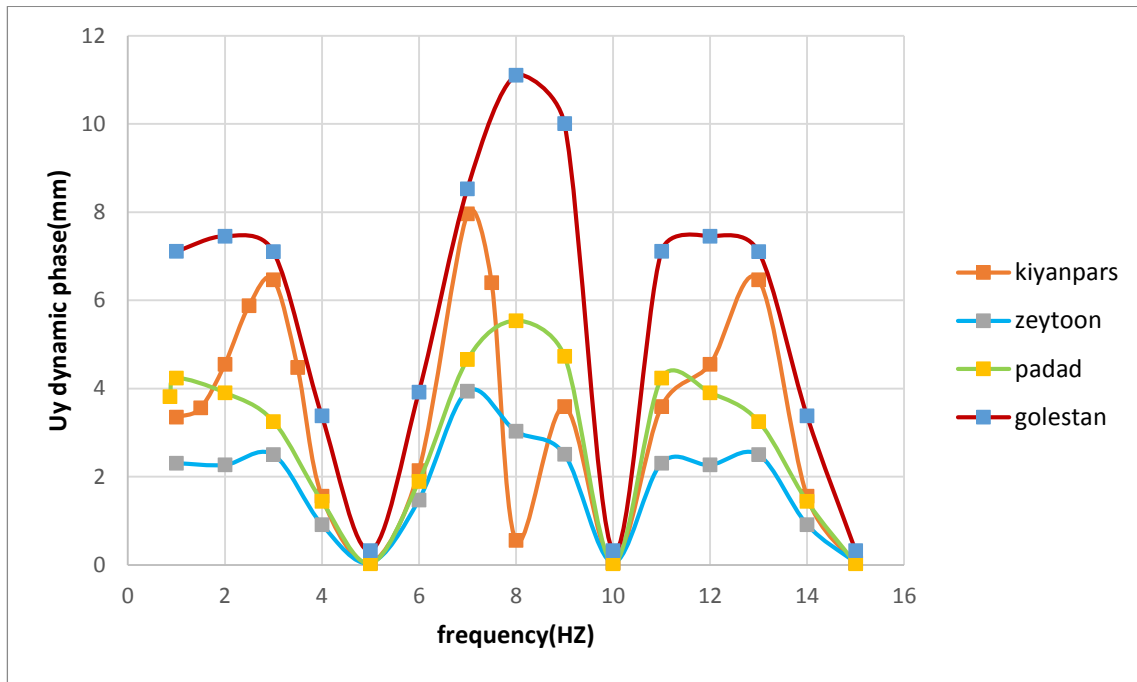
۳-۸- آماده سازی و اعمال نگاشت های زلزله حوزه نزدیک

مطابق جدول شماره ۳ در این تحقیق ۷ شتاب نگاشت افقی از زلزله های مهم ثبت شده که دارای خصوصیات نگاشت حوزه نزدیک می باشند انتخاب شده اند [۱۰]. آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰ ایران شتاب طرح شهر اهواز را  $0.25g$  پیشنهاد داده است [۹]. کلیه نگاشت ها به این شتاب هم پایه شده و به کف مدل ها اعمال شدند [۵]. نتایج ارائه شده به علت پراکندگی خروجی ها حاصل از میانگین خروجی تغییر شکل حداکثر و میانگین تغییر شکل ماندگار نقطه تاج گود می باشد.

۴- نتایج و بحث

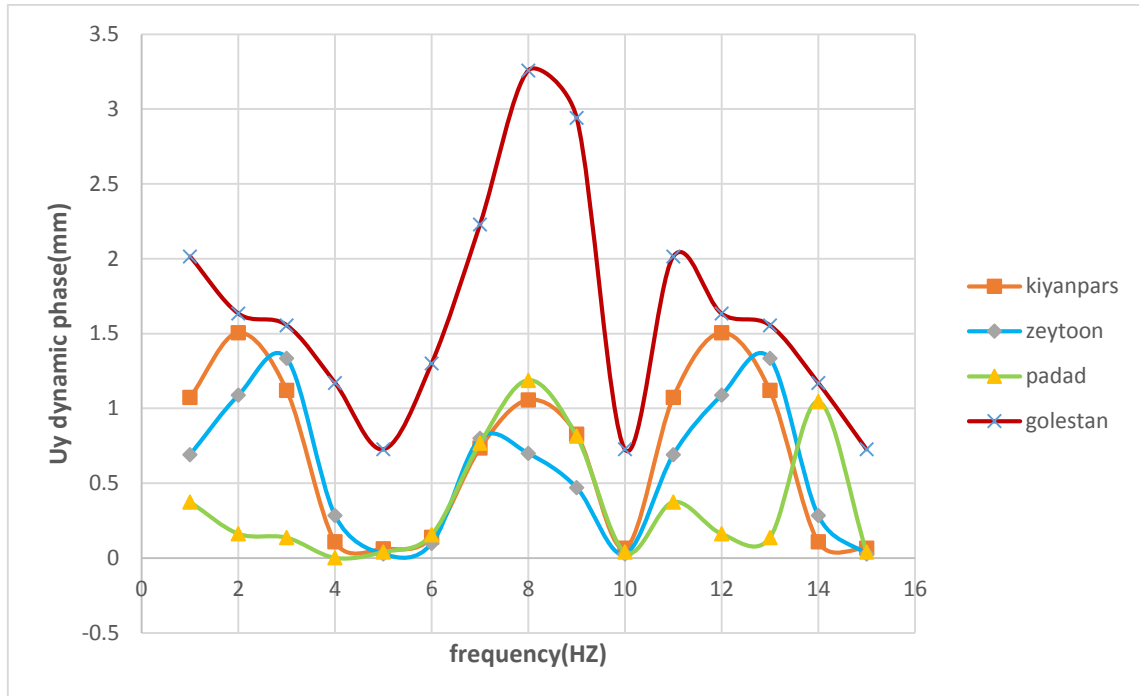
۴-۱- گود پایدارسازی شده تحت اثر تحریک ترافیکی

گراف های ارائه شده در شکل های ۸ و ۹ و ۱۰ و ۱۱ نشان دهنده طیف محتوای فرکانسی پاسخ تغییر شکل ارتجاعی تاج گودهای پایدارسازی شده به روش میخ کوبی و مهاربندی در دو جهت عمودی و افقی برای مناطق چهارگانه اهواز می باشند. تغییرات تغییر شکل تاج گود در فاز دینامیکی نشان دهنده پیک های تغییر شکل در نقاط نزدیک به فرکانس طبیعی خاک بستر



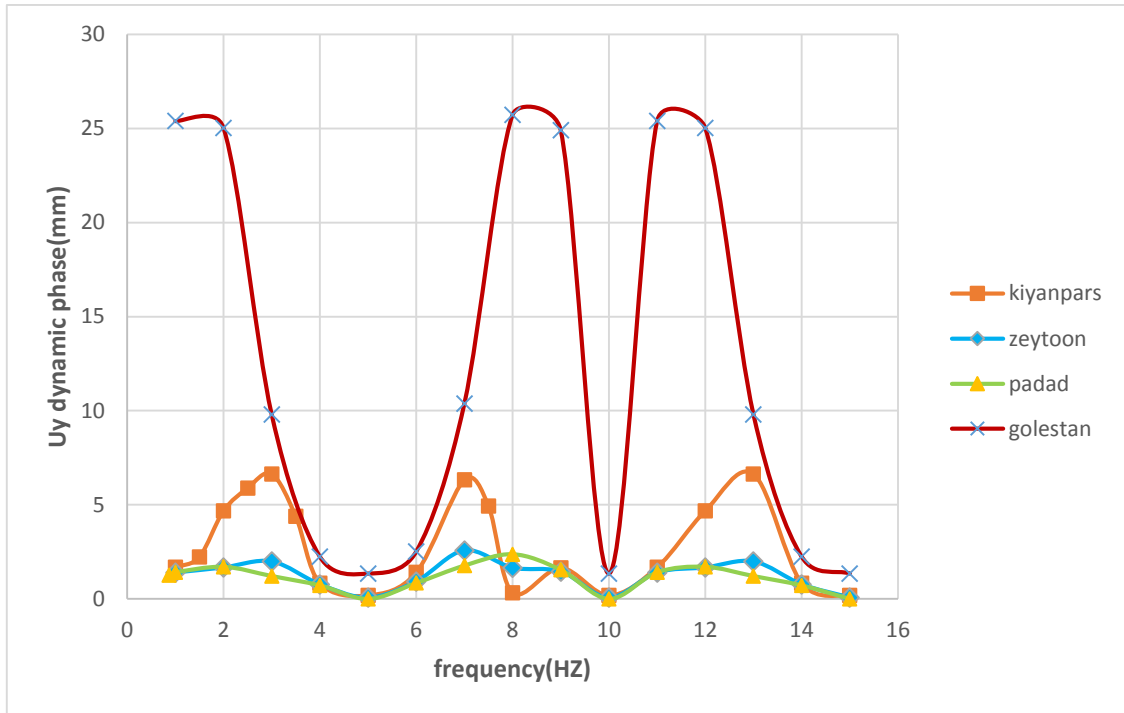
شکل ۸. طیف محتوای فرکانسی پاسخ تغییر شکل قائم ارتجاعی تاج گود پایدارسازی شده با روش میخ کوبی برای ۴ منطقه مختلف اهواز

Fig. 8. The frequency spectrum of the elastic vertical crest displacement response of the excavation stabilized by the nailing method for four different regions of Ahwaz



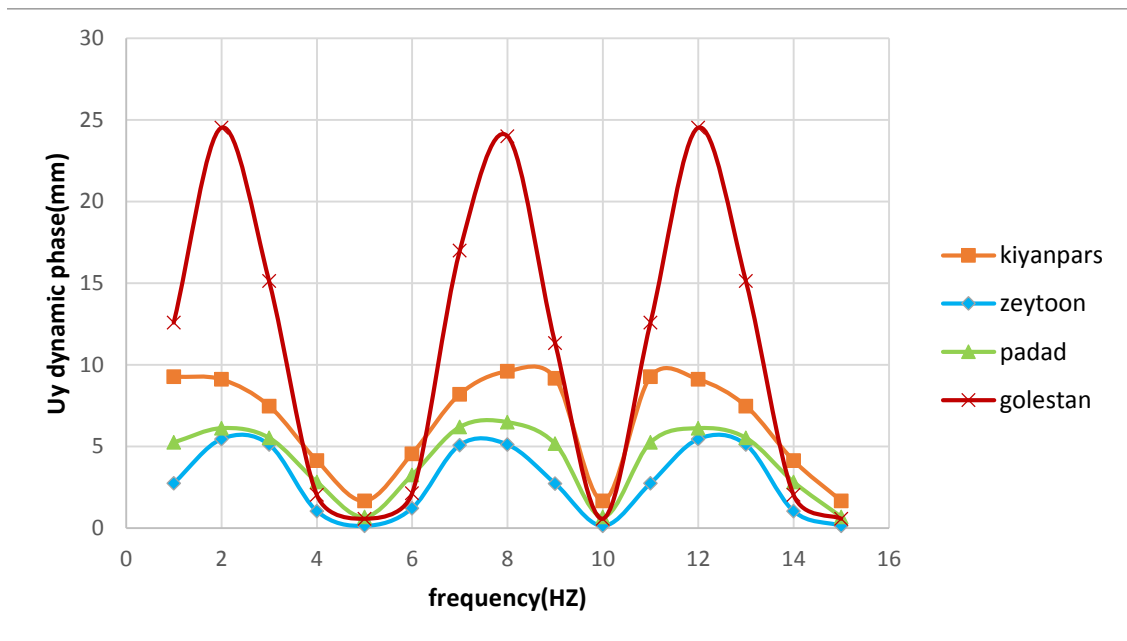
شکل ۹. طیف محتوای فرکانسی پاسخ تغییر شکل قائم ارتجاعی تاج پایدارسازی شده با روش مهاربندی برای ۴ منطقه مختلف اهواز

Fig. 9. The frequency spectrum of the elastic vertical crest displacement response of the excavation stabilized by the bracing method for four different regions of Ahwaz



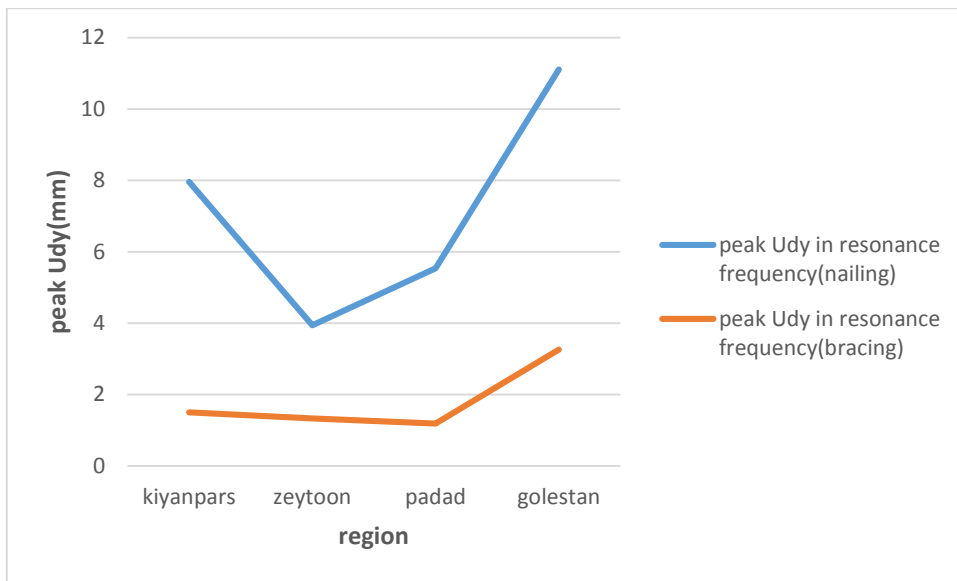
شکل ۱۰. طیف محتوای فرکانسی پاسخ تغییر شکل افقی ارتجاعی تاج گود پایدارسازی شده با روش میخ‌کوبی برای ۴ منطقه مختلف اهواز

Fig. 10. The frequency spectrum of the elastic horizontal crest displacement response of the excavation stabilized by the nailing method for four different regions of Ahwaz



شکل ۱۱. طیف محتوای فرکانسی پاسخ تغییر شکل افقی ارتجاعی تاج پایدارسازی شده با روش مهاربندی برای ۴ منطقه مختلف اهواز

Fig. 11. The frequency spectrum of the elastic horizontal crest displacement response of the excavation stabilized by the bracing method for four different regions of Ahwaz



شکل ۱۲. مقایسه دامنه تغییر شکل قائم دو سیستم پایدارسازی میخ‌کوبی و مهاربندی در مناطق مختلف اهواز

Fig. 12. The comparison of the vertical displacement amplitudes of the two nailing and bracing stabilization systems in different regions of Ahwaz

#### ۴-۲- مقایسه کلی دو سیستم پایدارسازی شده

در گراف شکل ۱۲ و ۱۳ دو سیستم پایدارسازی میخ‌کوبی و مهاربندی تحت اثر ترافیک عبوری به ترتیب به لحاظ دامنه تغییر شکل قائم و افقی تاج گود مقایسه شدند. گراف شکل ۱۲ نشان می‌دهد سیستم مهاربندی تغییر شکل قائم کوچک‌تری نسبت به سیستم میخ‌کوبی داشته است با این حال در گراف شکل ۱۳ مشاهده می‌شود سیستم میخ‌کوبی تغییر شکل افقی کمتری نسبت به سیستم مهاربندی دارد. علی‌رغم مقایسه فوق به لحاظ ماهیتی سیستم مهاربندی به لحاظ اشغال فضا نسبت به میخ‌کوبی ضعف داشته و معمولاً به طور موقت اجرا می‌گردد.

#### ۴-۳- گود پایدارسازی شده تحت اثر تحریک زلزله حوزه نزدیک

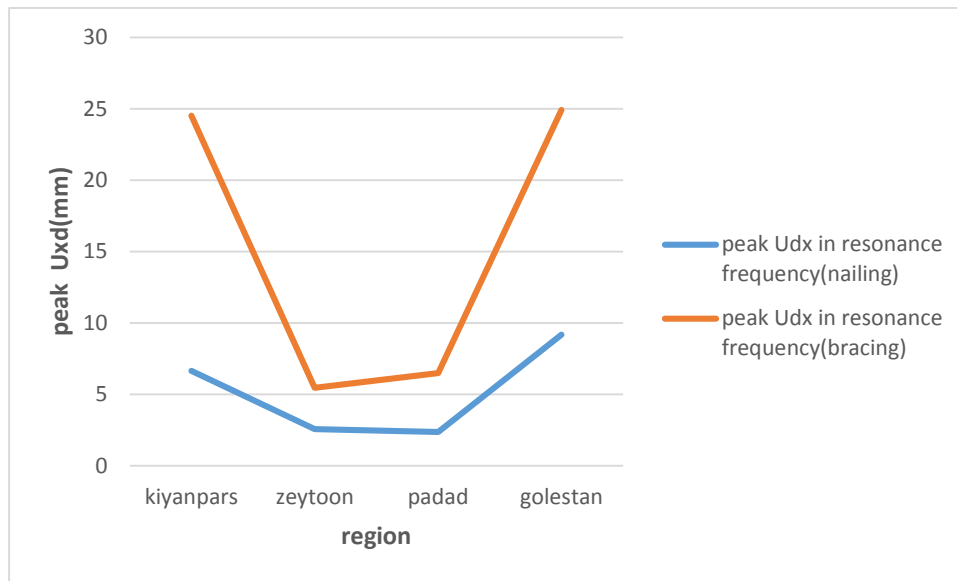
گراف‌های ارائه شده در شکل‌های شماره ۱۴ و ۱۵ و ۱۶ و ۱۷ نشان دهنده تاریخچه تغییر شکل قائم و افقی تاج گود برای دو سیستم پایدارسازی میخ‌کوبی و مهاربندی در کلیه مدل‌ها تحت تحریک ۷ نداشت حوزه نزدیک می‌باشند. کلیه شتاب‌نگاشت‌ها به شتاب طرح شهر اهواز ( $g = 0.25$ ) هم‌پایه شده‌اند. گراف‌های تاریخچه زمانی هر دو سیستم نشان دهنده رفتار نسبتاً مشابه مدل‌های پایدارسازی شده به هر دو روش، تحت مجموعه

به تغییر ابعاد و ارتفاع و خواص خاک پشت دیواره گردد. به علاوه خاک و سازه پایدارسازی به صورت یک سیستم یکپارچه و پیوسته عمل می‌نمایند که فرکانس طبیعی این سیستم نزدیک و نه کاملاً منطبق بر فرکانس طبیعی خاک به طور مستقل و سیستم پایدارسازی گود به صورت مستقل می‌باشد.

بررسی طیف محتوای فرکانسی پاسخ گودهای پایدارسازی شده نشان می‌دهند سیستم مهاربندی به علت سختی بیشتر المان‌ها در هر دو حالت تغییر شکل افقی و قائم دارای حساسیت فرکانسی کمتر (اعوجاج کمتر) نسبت به سیستم میخ‌کوبی می‌باشد. همچنین اعوجاج کمتر موجب حذف فرکانس‌های تشدید در مودهای بالاتر ساختگاه شده و فرکانس مودهای غالب در مناطق مختلف بهم نزدیک گردیده است. به زبان دیگر مطابق شکل‌های ۸ الی ۱۱ در این حالت برای هر سیستم پایدارسازی فرکانس‌های تشدید در تمامی مناطق در بازه‌های مشترکی واقع شده است که برای طراحان سازه نگرهبان مطلوب می‌باشد.

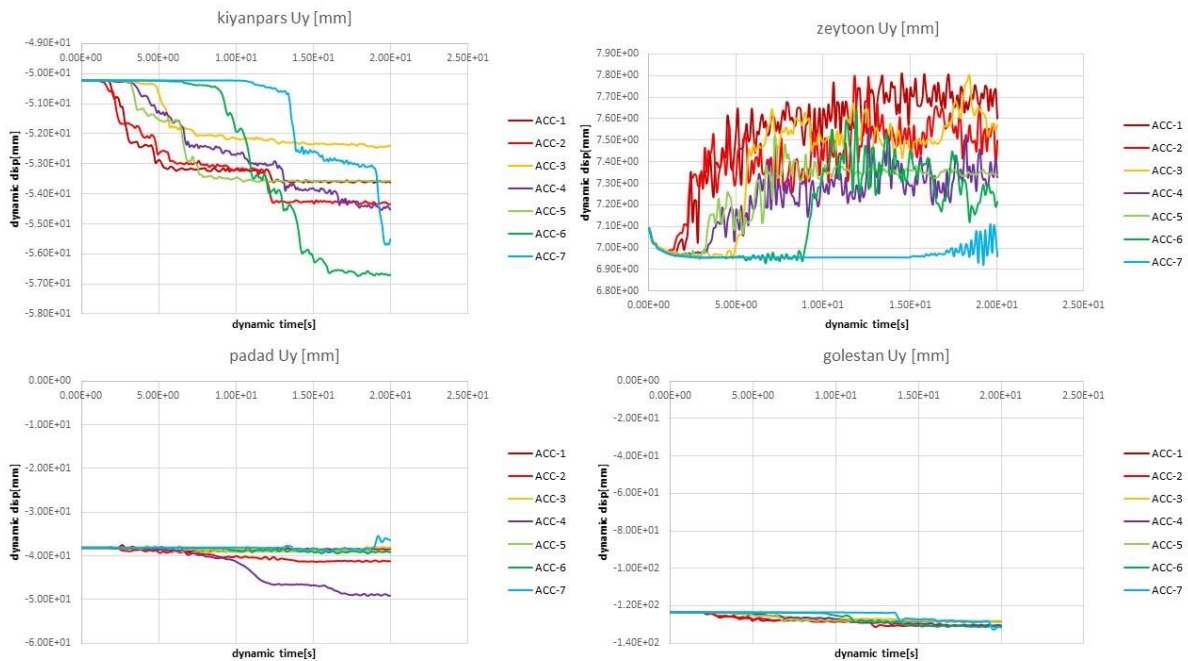
همچنین تحت بار ترافیکی سیستم میخ‌کوبی تغییر شکل افقی کمتر و سیستم مهاربندی تغییر شکل قائم کمتری داشته‌اند. کنترل بهتر گوه لغزشی و در نتیجه تغییر شکل افقی کوچک‌تر در روش میخ‌کوبی ناشی از پیوستگی مناسب‌تر المان‌های سیستم میخ‌کوبی و خاک پشت دیواره گود می‌باشد.





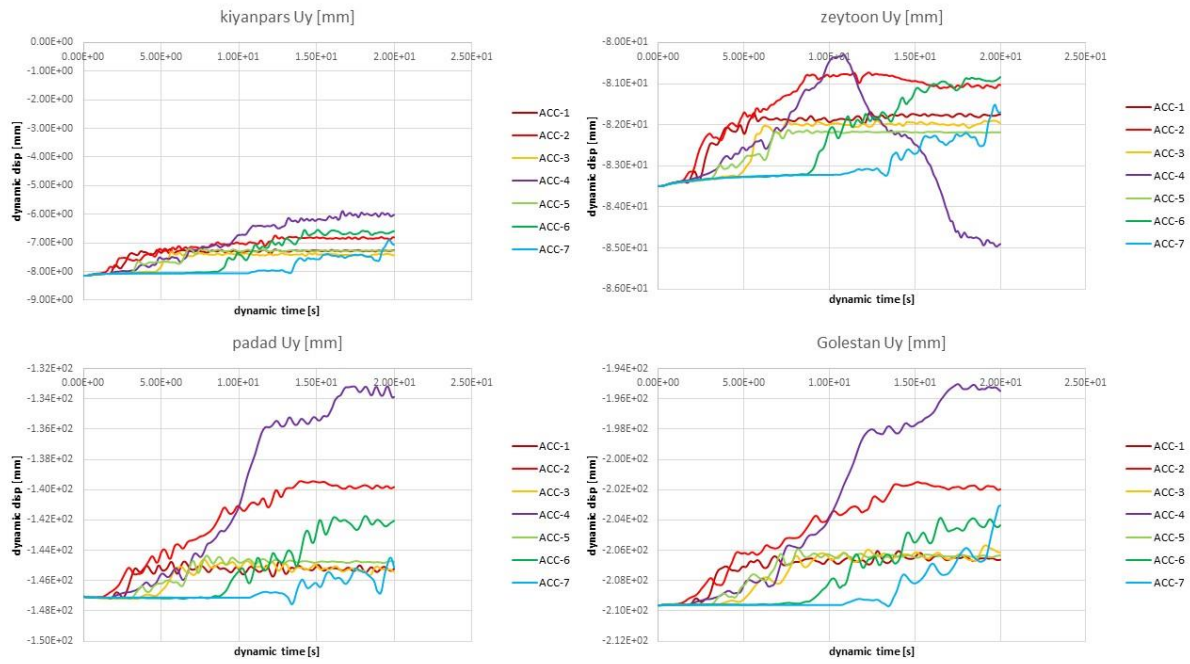
شکل ۱۳. مقایسه دامنه تغییر شکل افقی دو سیستم پایداری میخ کوبی و مهاربندی در مناطق مختلف اهواز

Fig. 13. The comparison of the horizontal displacement amplitudes of the two nailing and bracing stabilization systems in different regions of Ahwaz



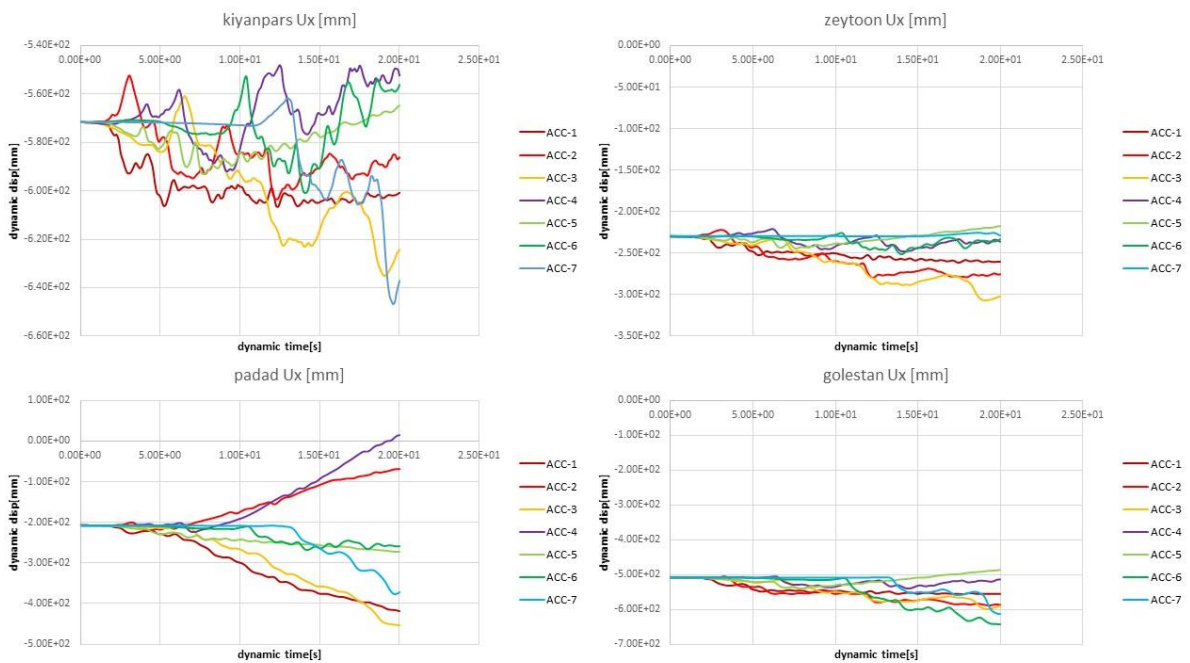
شکل ۱۴. تاریخچه زمانی تغییر شکل قائم تاج گود پایداری میخ کوبی شده به روش میخ کوبی تحت تحریک ۷ شتاب نگاشت حوزه نزدیک برای ۴ منطقه اهواز

Fig. 14. The time history of the vertical crest displacement of the excavation stabilized by the nailing method under the excitation of 7 near-field accelerograms for the four regions of Ahwaz



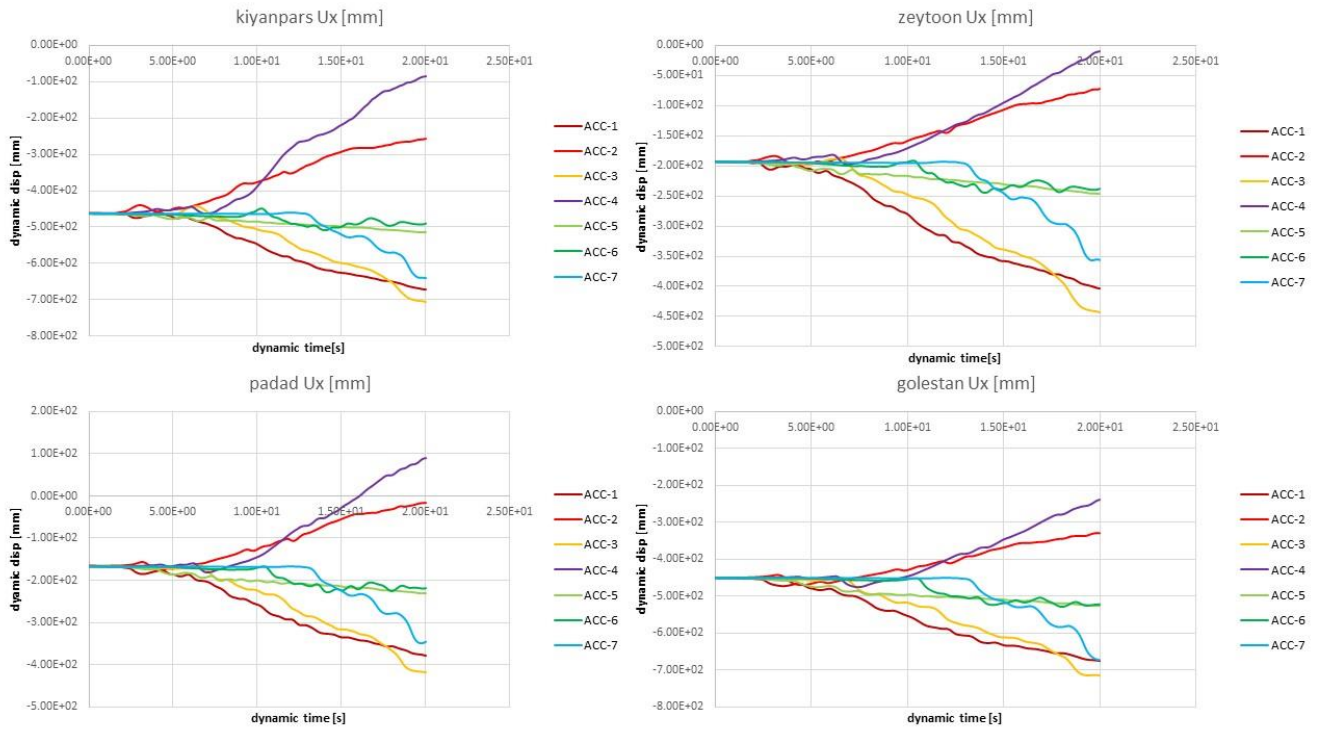
شکل ۱۵. تاریخچه زمانی تغییر شکل قائم تاج گود پایدار سازی شده به روش مهاربندی تحت تحریک ۷ شتاب نگاشت حوزه نزدیک برای ۴ منطقه اهواز

Fig. 15. The time history of the vertical crest displacement of the excavation stabilized by the bracing method under the excitation of 7 near-field accelerograms for the four regions of Ahwaz



شکل ۱۶. تاریخچه زمانی تغییر شکل افقی تاج گود پایدارسازی شده به روش میخ کوبی تحت تحریک ۷ شتاب نگاشت حوزه نزدیک برای ۴ منطقه اهواز

Fig. 16. The time history of the horizontal crest displacement of the excavation stabilized by the nailing method under the excitation of 7 near-field accelerograms for the four regions of Ahwaz



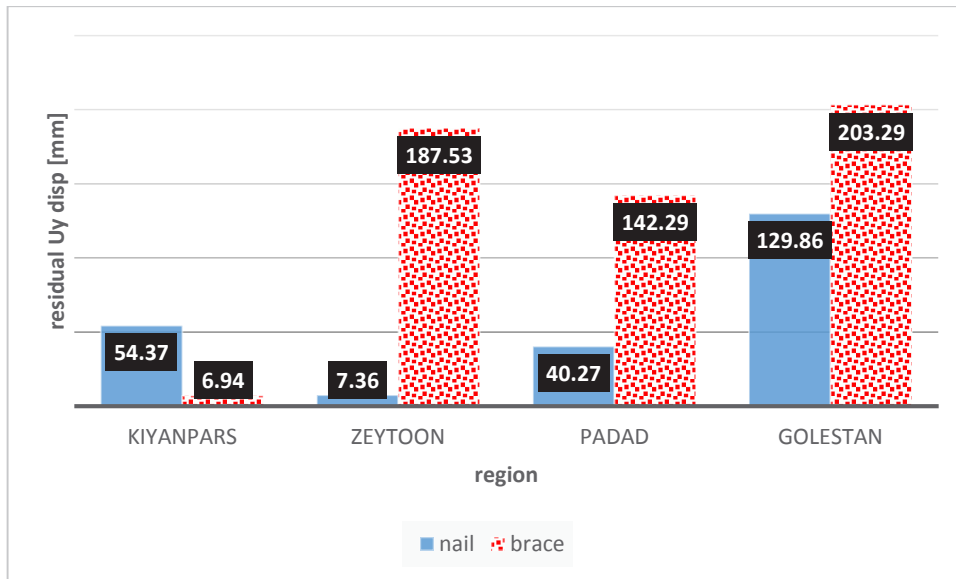
شکل ۱۷. تاریخچه زمانی تغییر شکل افقی تاج گود پایدار سازی شده به روش مهاربندی تحت تحریک ۷ شتاب نگاشت حوزه نزدیک برای ۴ منطقه اهواز

Fig. 17. The time history of the horizontal crest displacement of the excavation stabilized by the bracing method under the excitation of 7 near-field accelerograms for the four regions of Ahwaz

#### ۴-۴- حدود مجاز تغییر شکل

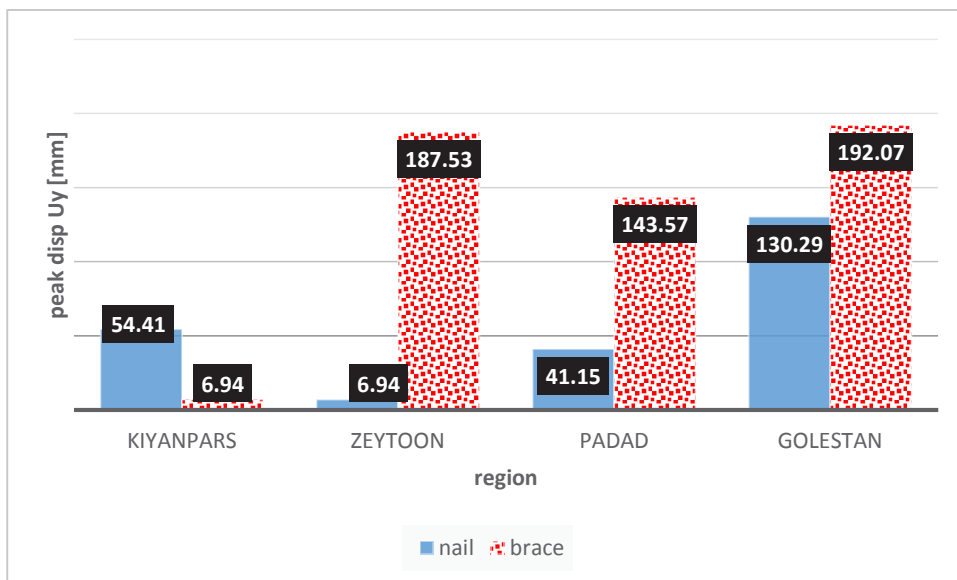
گراف‌های ارائه شده در شکل ۲۲ نشان دهنده احتمال خرابی سازه‌های مجاور دیوار میخ‌کوبی شده بر اساس جابجایی افقی حداکثر دیوار گود و فاصله مرکز سازه مجاور از دیوار گود می‌باشد [۱۴]. مرزهای  $L_1$  و  $L_2$  و  $L_3$  می‌تواند به عنوان حدود مجاز جابجایی دیواره گود با توجه به احتمال خرابی قابل انتظار در پروژه و با توجه به اهمیت سازه مجاور گود به کار گرفته شود [۱۴]. گراف‌های فوق به چهار ناحیه I، II، III و VI تقسیم شده‌اند که به ترتیب از راست به چپ نشان دهنده افزایش احتمال خرابی می‌باشند. مطابق شکل ۲۳ سه ناحیه A، B و C به ترتیب نشان دهنده سه نوع معمول از خاک‌های اصطکاکی، چسبنده-اصطکاکی و چسبنده می‌باشند [۱۴]. مطابق گراف شکل ۲۳ خاک منطقه کیانپارس از نوع A و سه منطقه زیتون، پاداد و گلستان از نوع C تعیین می‌گردند. جدول شماره ۴ نشان دهنده تغییر شکل‌های افقی گود میخ‌کوبی شده در مطالعه اخیر تحت

شتاب‌نگاشت‌ها در تغییر شکل قائم و افقی می‌باشند. شکل‌های ۱۸ و ۱۹ و ۲۰ نشان دهنده گراف ستونی میانگین تغییر شکل ماندگار و تغییر شکل حداکثر تاج گود تحت تحریک زلزله حوزه نزدیک برای چهار منطقه شهر اهواز که به دو صورت میخ‌کوبی و مهاربندی پایدارسازی گردیده می‌باشند. به علت پراکندگی نتایج، میانگین تغییر شکل‌ها تحت کلیه نگاشت‌ها برای هر منطقه در نظر گرفته شده است. برای هر دو سیستم پایدارسازی شده تغییر شکل قائم حداکثر برای کلیه مدل‌ها در انتهای تحلیل و در حالت ماندگار ایجاد شده است. برای هر دو سیستم، حداکثر تغییر شکل افقی برای تمامی مدل‌ها در طول زمان تحلیل حاصل گردیده است. برای همه مناطق به غیر از کیانپارس سیستم میخ‌کوبی در تغییر شکل قائم مقادیر به مراتب کوچک‌تری نشان می‌دهد و در جهت قائم پایداری بیشتری تحت تحریک زلزله تامین نموده است. برای همه مناطق به غیر از گلستان سیستم مهاربندی تغییر شکل کوچک‌تر و پایداری بیشتری تحت تحریک زلزله تامین نموده است.



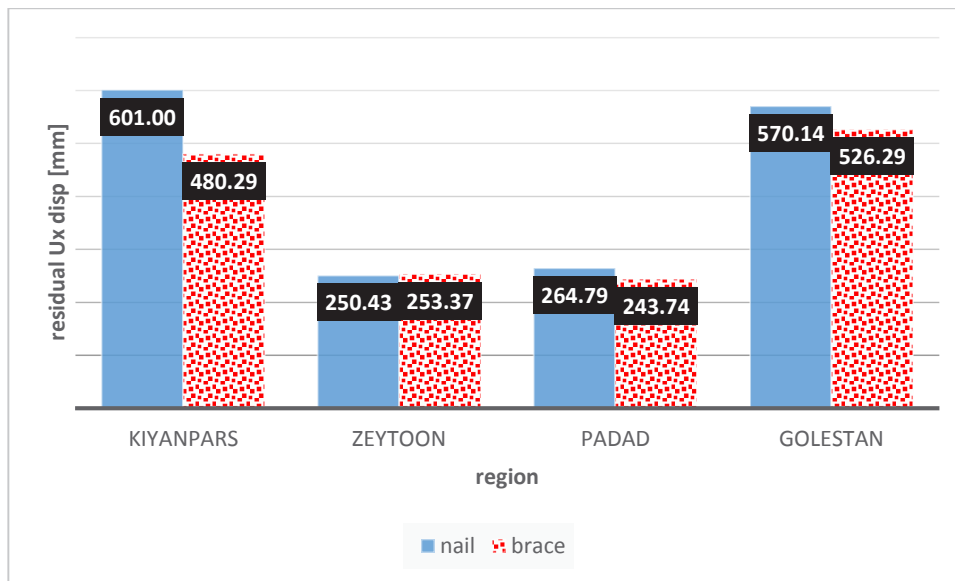
شکل ۱۸. گراف مقایسه تغییر شکل قائم ماندگار تاج گود برای دو سیستم میخ کوبی و مهاربندی در مناطق چهارگانه اهواز

Fig. 18. comparison graph of the vertical residual displacement of the excavation crest for the nailing and bracing systems in the four regions of Ahvaz



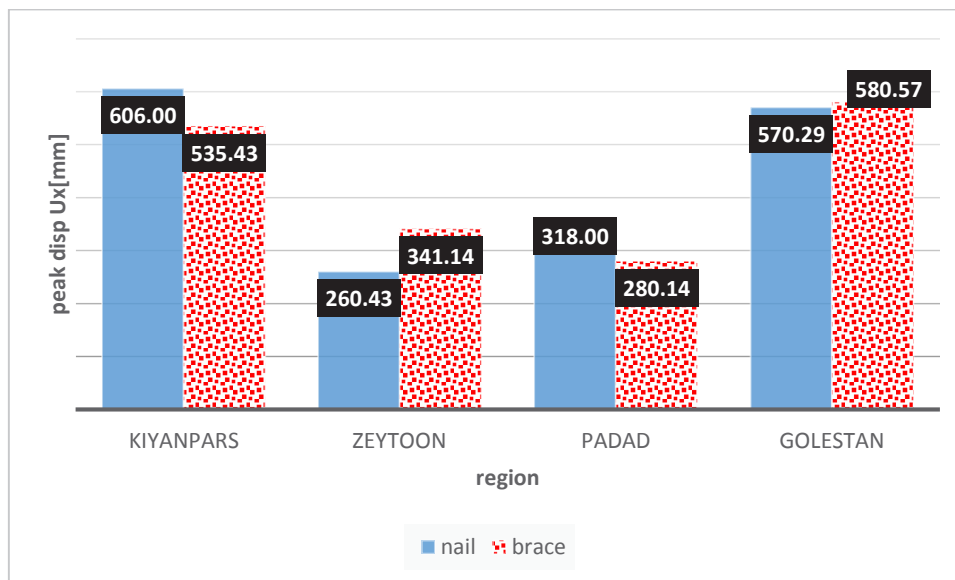
شکل ۱۹. گراف مقایسه ای بیک تغییر شکل قائم تاج گود برای دو سیستم میخ کوبی و مهاربندی در مناطق چهارگانه اهواز

Fig. 19. comparison graph of the vertical peak displacement of the excavation crest for the nailing and bracing systems in the four regions of Ahvaz



شکل ۲۰. گراف مقایسه تغییر شکل افقی ماندگار تاج گود برای دو سیستم میخ کوبی و مهاربندی در مناطق چهارگانه اهواز

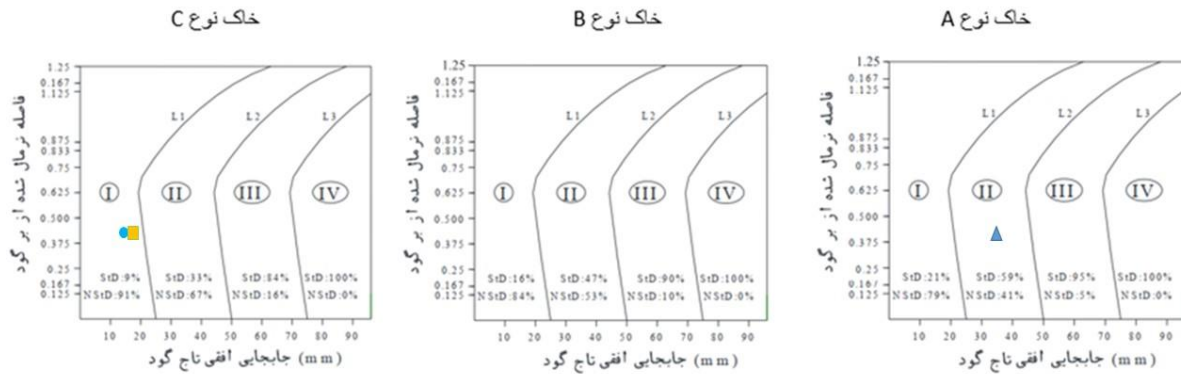
Fig. 20. comparison graph of the horizontal residual displacement of the excavation crest for the nailing and bracing systems in the four regions of Ahvaz



شکل ۲۱. گراف مقایسه‌ی پیک تغییر شکل افقی تاج گود برای دو سیستم میخ کوبی و مهاربندی در مناطق چهارگانه اهواز

Fig. 21. comparison graph of the horizontal peak displacement of the excavation crest for the nailing and bracing systems in the four regions of Ahvaz

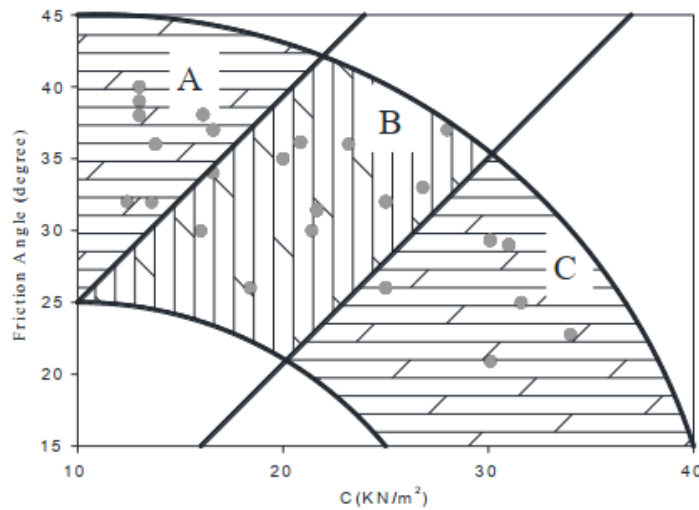




▲ ناحیه احتمالاتی آسیب پذیری سازه جنب گود کیتپارس تحت تحریک ترافیکی  
 ■ ناحیه احتمالاتی آسیب پذیری سازه جنب گود پاداد تحت تحریک ترافیکی  
 ● ناحیه احتمالاتی آسیب پذیری سازه جنب گود زیتون تحت تحریک ترافیکی

شکل ۲۲. گراف های نشان دهنده احتمال خرابی سازه های مجاور دیوار میخ کوبی شده بر اساس نوع خاک (  $StD$  احتمال آسیب سازه های و  $NStD$  احتمال آسیب غیر سازه های است) [۱۴]

Fig. 22. Graphs indicate the probability of failure of structures adjacent to the nailed wall based on the type of soil (  $StD$  probability of structural damage and  $NStD$  probability of non-structural damage)



شکل ۲۳. گراف مقایسه تغییر شکل افقی ماندگار تاج گود برای دو سیستم میخ کوبی و مهاربندی در مناطق چهارگانه اهواز

Fig. 23. comparison graph of the horizontal residual displacement of the excavation crest for the nailing and bracing systems in the four regions of Ahvaz

جدول ۴. تغییر شکل افقی تاج گود در مدل‌های میخ‌کوبی شده تحت دو نوع تحریک

Table 4. Horizontal excavation crest deformation in studded models under two types of excitation

منطقه	(mm) $\Delta x$ total	(mm) $\Delta x$ dynamic	(mm) $\Delta x$ static	زلزله حوزه نزدیک
کیانپارس	34	6.3	27.7	606
زیتون	18.3	2.5	15.8	260
پاداد	22.1	2.5	19.6	318
گلستان	555.7	25.7	530	570

دیواره گود در روز اول پایدارسازی به روش میخ‌کوبی برای گمانه کیانپارس که محل احداث گود ساختمانی واقع در کیانپارس بین خیابان ۹ و ۱۰ شرقی بوده انجام پذیرفته است. با توجه به عبور مکرر ماشین آلات گودبرداری (بیل مکانیکی و کامیون‌های حمل مصالح) در وسط دهانه گود و ایجاد سربار استاتیکی و دینامیکی کاذب، برداشت این ناحیه نمی‌تواند نشانگر تغییر شکل تاج گود تحت بار ترافیکی باشد. مطابق شکل ۲۴ برداشت رفلکتور ۹ نصب شده در دیواره غربی گود که جنب خیابان اصلی و دارای بیشترین تردد محور عبوری می‌باشد جهت مقایسه انتخاب شده است. در جدول ۵ نتایج تغییر شکل قائم و افقی مدل‌های تحلیلی برای ۱۰ ثانیه زمان عبور ترافیک از جنب دیواره گود با برداشت‌های رفلکتور ۹ مقایسه شده است. مطابق جدول ۵ خطای نتایج تحلیل نسبت به برداشت میدانی در تغییر شکل قائم ۱۵٪ و در تغییر شکل افقی ۲۶٪ کمتر از تغییر شکل رفلکتور ۹ است. اختلاف نتایج ناشی از عبور محورهای سنگین‌تر از یک تن می‌باشد. در شکل ۲۵ نمایی از مکان رفلکتور ۹ و تغییر شکل‌های جنب دیواره گود کیانپارس تحت ارتعاش ناشی از عبور بار ترافیکی با فلش‌های ابی مشخص گردیده‌اند.

#### ۶- نتیجه‌گیری

علی‌رغم اینکه ارتعاش ناشی از بار ترافیکی پدیده‌ای با فرکانسی کوتاه مدت می‌باشد ولی نتایج تحلیل مدل‌های پایدارسازی شده تحت این نوع تحریک نشان داد بروز پدیده تشدید در فرکانس‌های طبیعی ساختگاه و سازه پایدارساز می‌تواند منجر به بروز تغییر شکل‌های بزرگ‌تری در دیواره گود گردد که می‌تواند در طول زمان مخرب باشد.

تحریک ترافیکی و زلزله حوزه نزدیک می‌باشد.

با توجه به تعیین عرض ۶ متری معبر مجاور گود در تحلیل عددی مدل‌ها، فاصله ۳ متری از تاج گود را به عنوان نقطه کنترل فرض می‌کنیم و در نتیجه فاصله نرمال ۰/۴۲ تعیین می‌گردد. با استفاده از گراف‌های شکل ۲۲ و با قید نوع خاک در تحریک ترافیکی مدل کیانپارس در ناحیه احتمالاتی II، زیتون و پاداد در ناحیه احتمالاتی I قرار گرفته و صرف نظر از تغییر شکل سربار ناشی از بار ترافیکی نیز این ناحیه را تغییر نمی‌دهد. احتمال آسیب سازه‌ای در جنب گود کیانپارس برابر ۲۱٪ و احتمال آسیب سازه‌ای در جنب گود زیتون و پاداد برابر ۵۹٪ می‌باشد. منطقه گلستان در بحرانی‌ترین ناحیه احتمالاتی رده‌بندی می‌شود و احتمال آسیب سازه‌ای در این ناحیه ۱۰۰٪ تعیین می‌شود. تغییر شکل ناشی از زلزله حوزه نزدیک برای تمام مدل‌ها در ناحیه احتمالاتی بحرانی قرار گرفته است. با توجه به میزان خرابی قابل انتظار می‌توان طرح را اصلاح و یا هزینه بازسازی سازه مجاور دیوار گود (پیش از گود برداری) در نظر گرفته شود.

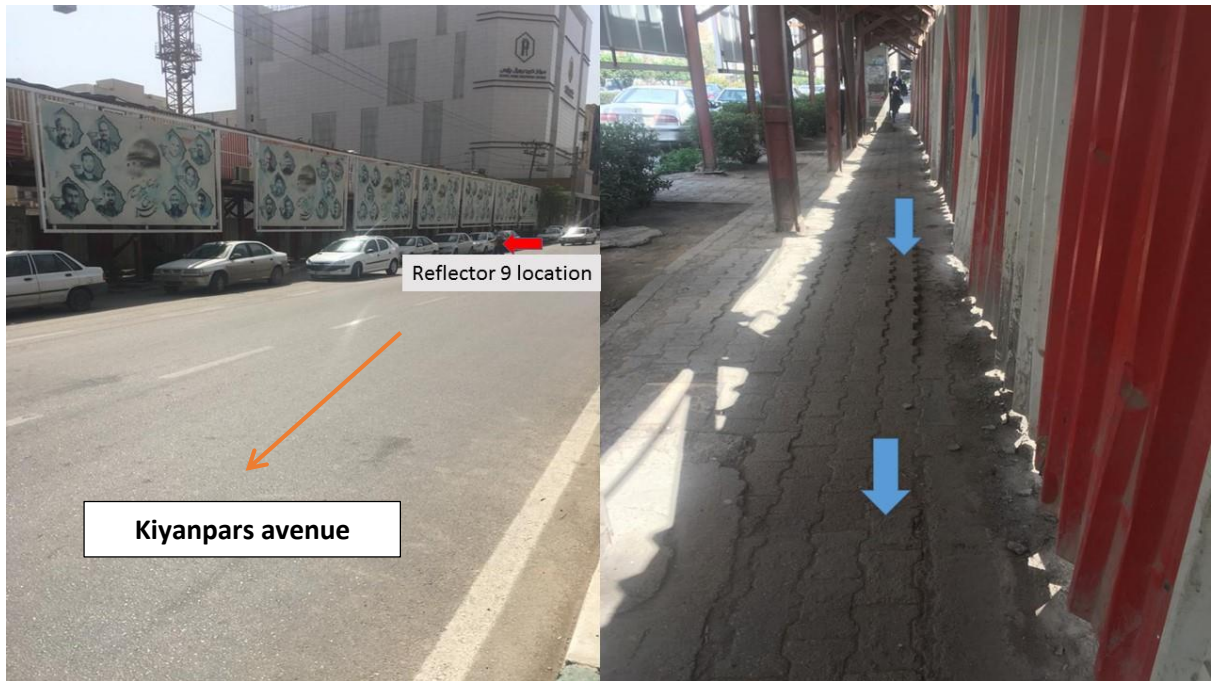
#### ۵- صحت‌سنجی مدل عددی

در این مطالعه خروجی مدل‌های تحلیلی توسط برداشت‌های میدانی مطابق اشکال ۲۴ و ۲۵ یک گود میخ‌کوبی شده واقع در منطقه کیانپارس صحت‌سنجی گردیده‌اند. برداشت‌های میدانی در طول زمان اجرا و از تغییر شکل نقاطی معین انجام شد. لازم به ذکر است که جنس خاک این پروژه مشابه خاک شاخص در نظر گرفته شده برای گمانه‌های این منطقه است. صحت‌سنجی نتایج مدل عددی برای این تحقیق از طریق پایش میدانی



شکل ۲۴. نشان دهنده پلان و موقعیت رفلکتور ۹ جهت صحت‌سنجی

Fig. 24. The plan and position of the reflector 9 for validation



شکل ۲۵. نمایی از مکان رفلکتور ۹ و تغییر شکل‌های ایجاد شده در معابر جنب دیواره گود منطقه کیانپارس

Fig. 25. View of the location of Reflector 9 and the deformations occurred in the passages adjacent the wall of Kianpars region

جدول ۵. برداشت رفلکتور ۹

Table 5. The readings of the reflector 9

شماره رفلکتور	تاریخ	$\Delta y_{reflector}$	$\Delta y_{analys}$	Error in $\Delta y$	$\Delta x_{reflector}$	$\Delta x_{analys}$	error in $\Delta x$
9	94/6/1	10 (mm)	8.5(mm)	15%	9(mm)	6.65(mm)	26%



۱- پیک تغییر شکل قائم تاج گود در روش پایدارسازی میخ‌کوبی برای مناطق کیانپارس، زیتون، پاداد و گلستان تحت تحریک ترافیکی به ترتیب برابر  $8/5 \text{ mm}$ ،  $3/9 \text{ mm}$ ،  $5/5 \text{ mm}$  و  $11/1 \text{ mm}$  می‌باشد. پیک تغییر شکل افقی تاج گود در روش پایدارسازی میخ‌کوبی تحت بار ترافیکی برای مناطق کیانپارس  $6/6 \text{ mm}$ ، برای زیتون  $2/5 \text{ mm}$ ، برای پاداد  $2 \text{ mm}$  و برای گلستان  $24/9 \text{ mm}$  می‌باشد. پیک جابجایی‌ها در روش میخ‌کوبی در محدوده فرکانسی  $2 \text{ Hz}$  الی  $3 \text{ Hz}$ ،  $7 \text{ Hz}$  الی  $9 \text{ Hz}$  و  $11 \text{ Hz}$  الی  $13 \text{ Hz}$  رخ می‌دهد.

۲- پیک تغییر شکل قائم تاج گود در روش پایدارسازی مهاربندی برای چهار منطقه کیانپارس، زیتون، پاداد و گلستان به ترتیب با دامنه‌های  $1/5 \text{ mm}$ ،  $1/3 \text{ mm}$ ،  $1/1 \text{ mm}$  و  $3/2 \text{ mm}$  رخ می‌دهد. پیک تغییر شکل افقی تاج گود در روش پایدارسازی مهاربندی برای چهار منطقه کیانپارس، زیتون، پاداد و گلستان به ترتیب با دامنه‌های  $6/5 \text{ mm}$ ،  $5/1 \text{ mm}$ ،  $9/6 \text{ mm}$  و  $24 \text{ mm}$  رخ می‌دهد. پیک جابجایی‌ها در روش مهاربندی در محدوده فرکانسی  $2 \text{ Hz}$  الی  $3 \text{ Hz}$ ،  $7 \text{ Hz}$  الی  $9 \text{ Hz}$  و  $11 \text{ Hz}$  الی  $13 \text{ Hz}$  هرگز رخ می‌دهد.

۳- فرکانس تشدید غالب برای کلیه مناطق و سیستم‌های پایدارسازی مورد بررسی در محدوده  $7 \text{ Hz}$  الی  $9 \text{ Hz}$  هرگز به وقوع پیوسته است که معادل سرعتی در بازه  $56 \text{ km/h}$  الی  $72 \text{ km/h}$  کیلومتر بر ساعت می‌باشد. بازه سرعت‌های مذکور در محدوده سرعت مجاز شهری واقع گردیده است و لازم است در برنامه‌ریزی‌های ترافیکی از طریق کنترل وزن و سرعت محور کنترل گردد.

۴- سیستم مهاربندی در تغییر شکل قائم و افقی به دلیل سختی بیشتر المان‌ها دارای حساسیت فرکانسی کمتر (اعوجاج کمتر) در طیف‌های پاسخ مناطق نسبت به یکدیگر می‌باشند. اعوجاج کمتر موجب حذف فرکانس‌های تشدید در مودهای بالاتر ساختگاه شده و فرکانس مودهای غالب در مناطق مختلف بهم نزدیک گردیده است.

۵- طیف‌های پاسخ تغییر شکل تاج گود علاوه بر وقوع پیک تشدید در محدوده  $7 \text{ Hz}$  الی  $9 \text{ Hz}$  هرگز عموماً در فرکانس‌های حدود  $2 \text{ Hz}$  و بیشتر از  $11 \text{ Hz}$  هرگز دارای‌های کوچک‌تر ولی قابل توجهی هستند که به دلیل انطباق فرکانس تحریک بر فرکانس مودهای بالاتر ساختگاه و سازه پایدارسازی حادث می‌گردند. این تغییر شکل‌ها بعضاً بسیار نزدیک به پیک تغییر شکل در فرکانس تشدید می‌باشند که لزوم توجه به شرایط ساختگاهی و مودهای

بالاتر آن را ضروری می‌سازد.

۶- خاک پشت دیوار و سازه پایدارسازی به صورت یک سیستم پیوسته عمل نموده و دارای فرکانس طبیعی نزدیک و نه کاملاً منطبق با مدهای ذاتی ساختگاه می‌باشد.

۷- سیستم میخ‌کوبی تحت بار ترافیکی دارای کنترل تغییر شکل افقی کمتر در تاج گود و پایداری افقی بیشتر می‌باشد. سیستم مهاری تحت بار ترافیکی دارای کنترل تغییر شکل قائم کمتر در تاج گود و پایداری قائم بیشتر می‌باشد. با وجود مشکلات اجرایی سیستم مهاربندی که به دلیل ناپایداری خاک اهواز جهت جلوگیری از ریزش در گودهای نیمه عمیق نیاز به اجرای سپرچوبی و یا اجرای بتن پاشی می‌باشد ولی به دلیل استفاده از المان‌های پیوسته و مستحکم سازه‌ای در مقایسه با پوسته نازک دیواره سیستم میخ‌کوبی این سیستم دارای تغییر شکل افقی کمتر در نقطه تاج گود در هر دو سیستم پایدارسازی داشته است.

۸- برای همه مناطق به غیر از کیانپارس سیستم میخ‌کوبی در تغییر شکل قائم مقادیر به مراتب کوچک‌تری نشان می‌دهد و در جهت قائم پایداری بیشتری تحت تحریک زلزله تامین نموده است. برای همه مناطق به غیر از گلستان سیستم مهاربندی تغییر شکل کوچک‌تر و پایداری بیشتری تحت تحریک زلزله تامین نموده است.

۹- علی‌رغم اینکه تعیین رابطه منطقی میان تغییر شکل گود و خسارت ناشی از آن در سازه‌های مجاور مشکل و چالش برانگیز می‌باشد با این وجود در این مطالعه با استفاده از گراف‌هایی حاصل از تحلیل‌های احتمالاتی مطالعات اخیر نتایجی برای مدل‌های میخ‌کوبی شده ارائه گردیده است. در تحریک ترافیکی مدل کیانپارس در ناحیه احتمالاتی II، زیتون و پاداد در ناحیه احتمالاتی I قرار گرفته و صرف‌نظر از تغییر شکل سربار ناشی از بار ترافیکی نیز این ناحیه را تغییر نمی‌دهد. احتمال آسیب سازه‌ای در جنب گود کیانپارس برابر  $21\%$  و احتمال آسیب سازه‌ای در جنب گود زیتون و پاداد برابر  $59\%$  می‌باشد. منطقه گلستان در بحرانی‌ترین ناحیه احتمالاتی رده‌بندی می‌شود و احتمال آسیب سازه‌ای در این ناحیه  $100\%$  تعیین می‌شود.

تغییر شکل ناشی از زلزله حوزه نزدیک برای تمام مدل‌ها در ناحیه احتمالاتی بحرانی قرار گرفته است.



## ۷- فهرست علائم

$\gamma$	وزن مخصوص ذرات خاک	$a$	شعاع تماس تاير با سطح
$\omega_i$	سرعت زاویه ای مود $i$	$A_n$	مساحت مقطع میخ
$\beta$	ضریب ثابت میرایی متناسب با سختی	$A_g$	مساحت مقطع گروت
$\xi_i$	نسبت میرایی مود $i$	$A_{eq}$	مساحت مقطع معادل
$\varphi_u$	زاویه اصطکاک داخلی	$A_{normal}$	مساحت نرمال
$\varphi_{CD}$	زاویه اصطکاک داخلی نمونه‌های بازسازی شده	$b_{spacing}$	فاصله میان شمع‌های مهارى
$\Delta y_{reflector}$	تغییر شکل قائم در رفلکتور	$C$	ماتریس میرایی
$\Delta y_{analys}$	تغییر شکل قائم در تحلیل	$C_u$	چسبندگی
$\Delta x_{reflector}$	تغییر شکل افقی در رفلکتور	$D$	قطر میلگرد
$\Delta y_{analys}$	تغییر شکل افقی در تحلیل	$E$	مدول الاستیسیته خاک
		$E_n$	مدول الاستیسیته میخ
		$E_g$	مدول الاستیسیته گروت
		$E_{eq}$	مدول الاستیسیته معادل
		$f_n$	ام‌فرکانس نوسانی مود
		$G$	مدول برشی خاک
		$h$	ارتفاع نرمال روش مهارى
		$H$	ارتفاع ستون خاک
		$I_{normal}$	ممان انرسی نرمال
		$I_{profile}$	ممان انرسی پروفیل
		$K$	ماتریس سختی
		$M$	ماتریس جرم
		$P_0$	وزن یک محور عبوری
		$P(t)$	بار هارمونیک محورهای عبوری
		$S$	فاصله میان میخ‌ها
		$S_h$	فاصله افقی میخ‌ها
		$SPT$	عدد نفوذ استاندارد
		$T$	طول چرخه بارگذاری
		$U_{dy}$	تغییر شکل قائم تاج گود تحت اثر تحریک دینامیکی
		$U_{dx}$	تغییر شکل افقی تاج گود تحت اثر تحریک دینامیکی
		$V$	سرعت محور عبوری
		$\alpha$	ضریب ثابت میرایی متناسب با جرم
		$\beta$	ضریب ثابت میرایی متناسب با سختی
		$\nu$	ضریب پواسون
		$\rho$	چگالی ذرات خاک

## منابع

- [1] L. Sun, T.W. Kennedy, Spectral analysis and parametric study of stochastic pavement loads, Journal of engineering mechanics, 128(3) (2002) 318-327.
- [2] D. Chavan, G. Mondal, A. Prashant, Seismic analysis of nailed soil slope considering interface effects, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 100 (2017) 480-491.
- [3] C.-C. Fan, J.-H. Luo, Numerical study on the optimum layout of soil-nailed slopes, Computers and Geotechnics, 35(4) (2008) 585-599.
- [4] G. Kouroussis, L. Van Parys, C. Conti, O. Verlinden, Using three-dimensional finite element analysis in time domain to model railway-induced ground vibrations, Advances in Engineering Software, 70 (2014) 63-76.
- [5] L.M. Gil-Martín, E. Hernández-Montes, M. Shin, M. Aschheim, Developments in excavation bracing systems, Tunnelling and underground space technology, 31 (2012) 107-116.
- [6] A. Alipour, A. Eslami, Design adaptations in a large and deep urban excavation: Case study, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 11(2) (2019) 389-399.
- [7] H. Xia, Y. Cao, G. De Roeck, Theoretical modeling and characteristic analysis of moving-train induced ground vibrations, Journal of Sound and Vibration, 329(7) (2010) 819-832.

- of adjacent structures(in persian), tarbiat Modares University Journals, 16(2) (2016) 257-271.
- [15] T. Schanz, P. Vermeer, P. Bonnier, The hardening soil model: formulation and verification, Beyond 2000 in computational geotechnics, (1999) 281-296.
- [16] G. Miller, H. Pursey, E.C. Bullard, On the partition of energy between elastic waves in a semi-infinite solid, Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences, 233(1192) (1955) 55-69.
- [17] a. ghanbari, m. efekhar manesh, t. tajik, the analysis of stabilized deep excavations in nailing and anchor combination method under harmonic dynamic loads in FEM-case study (in persian), (2015).
- [18] B.-C.B. Hsiung, K.-H. Yang, W. Aila, C. Hung, Three-dimensional effects of a deep excavation on wall deflections in loose to medium dense sands, Computers and Geotechnics, 80 (2016) 138-151.
- [19] Y. Xu, X. Hong, Stochastic modelling of traffic-induced building vibration, Journal of sound and vibration, 313(1-2) (2008) 149-170.
- [8] M. Mhanna, M. Sadek, I. Shahrour, Numerical modeling of traffic-induced ground vibration, Computers and Geotechnics, 39 (2012) 116-123.
- [9] L. Sun, W. Gu, F. Luo, Steady state response of multilayered viscoelastic media under a moving dynamic distributed load, J. Appl. Mech. ASME, 75(4) (2009) 1-15.
- [10] L. Sun, Y. Duan, Dynamic response of top-down cracked asphalt concrete pavement under a half-sinusoidal impact load, Acta Mechanica, 224(8) (2013) 1865-1877.
- [11] J.P. Stewart, S.-J. Chiou, J.D. Bray, R.W. Graves, P.G. Somerville, N.A. Abrahamson, Ground motion evaluation procedures for performance-based design, Soil dynamics and earthquake engineering, 22(9-12) (2002) 765-772.
- [12] J.B. Burland, B.B. Broms, V.F. De Mello, Behaviour of foundations and structures, (1978).
- [13] J. Burland, Assessment of risk of damage to buildings due to tunnelling and excavation, 1997.
- [14] A. Fagher, S. Yasrobi, I. Naeimifar, Allowable limit of soil nail wall deflection based on damage level

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

S. R. Ghaffari Khalaf Mohammadi, N. Khayat, N. Siahpolo, *The Investigation of Traffic and Near-Field Earthquake Loads Effects on the Nailed and Braced Excavations*, Amirkabir J. Civil Eng., 54(2) (2022) 495-520.

DOI: [10.22060/mej.2019.15465.6128](https://doi.org/10.22060/mej.2019.15465.6128)

