



## Numerical Study on the Effect of Piles Embedded Length based on Dynamic Parameters of Soldier Piles

Farnaz Farhadi

MSc student, Faculty of Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Fariba Behrooz Sarand

Assistant Professor, Faculty of Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Fsarand@gmail.com

### Keywords:

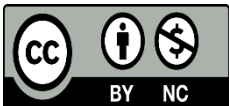
Embedded Length,  
Soldier pile,  
Excavation,  
Dynamic behaviour

### Abstract

One of the excavation stability methods is the use of a reinforced concrete piles system. In grounds with loose soil, the penetration amount of the pile tip in condensed soil, is one of the determinant parameters of pile stability. In this research, the influence of pile penetration length in dense soil (dense sand) by changing soil layering and also by applying acceleration mapping of two earthquakes, Ahar-Varzghan (2013) and Bam (2003), has been investigated using Plexis software. The results show that with the increase in the loose soil depth in the mentioned earthquakes, in addition to the increase in the bending moment, the horizontal deformations in the static and dynamic states compared to the base model are 18 and 6 times, respectively, and the vertical deformations in the static and dynamic states compared to the base model are 48 and 6 times, respectively, and the total deformations in the static and dynamic models compared to the base model increase by 18 and 7 times, respectively. Rupture in the pit occurs when the depth of loose soil reaches 9 meters.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

(این نشریه تحت قانون بین المللی کپی رایت Creative Commons: BY-NC می باشد).



# بررسی عددی اثر طول نفوذ شمع در لایه متراکم بر رفتار دینامیکی شمع‌های حائل

فرناز فرهادی

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

فریبا بهروز سرند

استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

Fsarand@gmail.com

تاریخ پذیرش: 02 آذر 1402

تاریخ دریافت: 10 مرداد 1402

## چکیده

یکی از روش‌های پایداری گود استفاده از سیستم شمع‌های بتن مسلح حائل می‌باشد. در زمین‌های دارای خاک سست، میزان نفوذ نوک شمع در خاک متراکم یکی از پارامترهای تعیین کننده پایداری شمع می‌باشد. در این پژوهش، تاثیر نفوذ طول شمع در خاک متراکم (ماسه متراکم) با تغییر لایه‌بندی خاک و همچنین با اعمال شتاب نگاشت دو زلزله اهر-ورزقان (1391) و بم (1382) با استفاده از نرم افزار پلکسیس بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش عمق خاک سست، در زلزله‌های مذکور علاوه بر افزایش لنگر خمشی، تغییر شکل‌های افقی درحالت استاتیکی و دینامیکی نسبت به مدل مبنا به ترتیب 18 و 6 برابر، تغییر شکل‌های قائم در حالت استاتیکی و دینامیکی نسبت به مدل مبنا به ترتیب 48 و 6 برابر و برآیند تغییر شکلها در حالت استاتیکی و دینامیکی نسبت به مدل مبنا به ترتیب 18 و 7 برابر افزایش می‌یابد. گسیختگی در گودال در شرایطی که عمق خاک سست به 9 متر می‌رسد اتفاق می‌افتد.

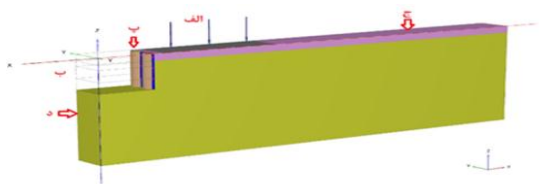
کلید واژگان: طول نفوذ، شمع حائل، گودبرداری خاکی، رفتار دینامیکی.

## 1- مقدمه

می‌باشد و این فاصله، حداکثر فاصله‌ای است که پدیده قوس‌زدگی اتفاق می‌افتد [5]. باتوجه به آنکه استفاده از این نوع سیستم در گودبرداری‌های خیلی عمیق پر هزینه می‌شود ولی سختی خمشی بالایی نسبت به سایر سیستم‌های نگه‌دارنده گود داشته و در فضاهای محدود شهری که مشکل وجود تاسیسات زیرزمینی وجود دارد کاربرد زیادی دارد. از جمله مزایای دیگر آن می‌توان به ساخت سریع و قابلیت نصب در انواع خاک‌ها اشاره کرد [6]. بطور کلی دو رویکرد در بررسی عددی لنگرهای خمشی سینماتیک شمع‌ها مورد استفاده قرار گرفته است: 1. استفاده از مدل‌های تقریبی و ساده سازی شده مانند روش وینکلر؛ 2. استفاده از مدل‌های پیچیده‌تر و دقیق‌تر اجزاء محدود یا مشابه [7 و 8]. نتایج پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد: 1. در خاک همگن و لایه‌ای، بیشینه‌ی لنگر خمشی به ترتیب در وسط شمع و نزدیکی مرز دو لایه ایجاد می‌شود؛ 2. اندازه‌ی قطر شمع و یا نسبت سختی شمع به سختی خاک، تاثیر زیادی در مقدار لنگر خمشی سینماتیک دارد [9 و 10]. به همین منظور در این پژوهش سعی بر آن شده است که تأثیر نفوذ شمع در خاک‌های باربر متراکم مورد بررسی قرار گرفته و پاسخ لرزه ای شمع تحت تاثیر تغییرات طول نفوذ در لایه متراکم در مجاورت شیروانی خاکی مطالعه گردد.

## روش تحقیق

نرم‌افزار مورد استفاده برنامه‌ی اجزاء محدود Plaxis 3D V21 است که قابلیت مدلسازی ژئوتکنیک و سازه‌های اجرا شده در محیط خاک را دارد. ابعاد مدل  $15 \times 4 \times 50$  متر بوده و طرح واره سه بعدی مدل و اندازه‌گذاری به ترتیب در شکل 1 و 2 نشان داده شده است. دو نوع خاک سست (دستی) و ماسه متراکم با مدل رفتاری Hardening Soil در نظر گرفته شده و دو عدد شمع با مشخصات یکسان و با مدل رفتاری linear elastic در نظر گرفته شده است و با اعمال دو شتاب نگاشت تغییر شکل‌های افقی، قائم و برآیند تغییر شکلها در حالت استاتیکی و دینامیکی تحلیل و بررسی شده است. صحت‌سنجی مدل نیز با استفاده از نرم‌افزار آباکوس انجام شده است. سرباره وارده به میزان  $10 \text{ KN/m}^2$  می‌باشد.



شکل 1. طرح‌واره سه بعدی مدل - الف) سرباره گذر به اندازه  $10 \text{ KN/m}^2$  (ب) گود به ارتفاع 5 متر (پ) دو عدد شمع شاتکریت زده شده به ابعاد  $1 \times 9$  متر که روی ج) خاک سست (دستی) د) ماسه متراکم

با توسعه روزافزون شهرسازی در جهان، لزوم ساخت سازه‌های پایدار در برابر حوادث احتمالی بیش از پیش نمایان می‌شود. همچنین با گسترش بلند مرتبه‌سازی، نیاز به گودبرداری و سپس احداث سازه‌های زیرزمینی، که عموماً جهت مستحذات شهری، تأسیسات و پارکینگ مورد استفاده قرار می‌گیرند، بیش از پیش احساس می‌شود. اجرای صحیح، کم هزینه و پایدار این گودبرداری‌ها بصورت موقت و دائم یکی از اهداف اصلی مهندسی و کارشناسان مرتبط در این زمینه است. یک سازه پایدار علاوه بر داشتن المان‌های مناسب منتقل کننده نیرو، بایستی بر فونداسیون ایستا و مقاوم تکیه داشته باشد.

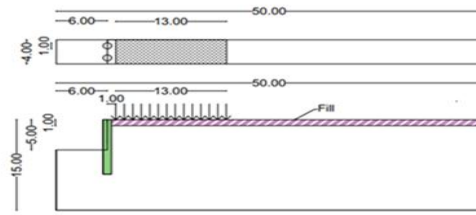
برای جلوگیری از ریزش دیواره‌های گود، سازه‌هایی اجرا می‌گردد که نیروی مقاوم در برابر ریزش دیواره‌ها را تقویت نماید که از آن تحت عنوان سازه نگهبان عنوان می‌شود. راهکارهای مختلفی در اجرای سازه نگهبان وجود دارد که یکی از این راهکارها استفاده از سیستم شمع‌های بتن مسلح حائل می‌باشد. در زمین‌های دارای خاک سست و دست خورده، میزان نفوذ نوک شمع در خاک متراکم یکی از پارامترهای تعیین‌کننده پایداری شمع و سیستم حائل مرتبط با آن می‌باشد.

مطالعه امیرکیانی و عیسی شوش پاشا نشان داد با افزایش قطر و طول شمع ظرفیت باربری شمع‌ها افزایش می‌یابد [1]، بطوریکه افزایش طول در اثر بارگذاری قائم نسبت به افزایش قطر نقش بسزایی را در افزایش ظرفیت باربری ایفا کرده است.

نتایج حاصل از مطالعه احمد قهرمانی و پیمان دهقان نشان می‌دهد در بارگذاری لرزه‌ای، افزایش تعداد شمع سبب پایداری جانبی مدل‌ها می‌گردد [2]. جابجایی و نشست قائم با افزایش تعداد شمع کاهش می‌یابد. افزایش تعداد شمع‌ها، سبب افزایش صلبیت (سختی محوری و خمشی) گروه شمع مورد مطالعه می‌گردد. که منجر به ذخیره نیروی بیشتر حاصل از انرژی جنبشی در شمع‌ها و کاهش جابجایی کلی گروه شمع می‌شود. با افزایش تعداد شمع مقاومت در برابر تغییر شکل جانبی نیروی حداکثر ایجاد شده افزایش می‌یابد و همچنین لنگر خمشی وارد بر آنها نیز افزایش می‌یابد. بررسی مطالعه سیامک دیده بان و عبدالحسین پاکنژادی حاکی از این امر است که استفاده از شمع‌ها برای ایجاد ثبات در لغزش‌های فعال، به عنوان یک اقدام پیشگیرانه در شیروانی‌ها است [3]. افزایش زاویه‌ی شیب شیروانی، باعث افزایش در مقادیر تغییر شکل و لنگر میشود. مطالعه دیگر نشان داد هنگامی که نفوذ نوک شمع بیش از عمق بحرانی ( $L_c$ ) باشد مقدار مقاومت نوک شمع تقریباً ثابت می‌ماند [4].

بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر رفتار گود پایدار شده با شمع بتنی نشان داد که فاصله محور به محور بهینه شمع‌ها، چهار برابر قطر شمع

بمنظور کاهش زمان شبیه‌سازی عرض مدل 4 متر در نظر گرفته شده است. اثر طول نفوذ شمع در 10 مدل که در جدول 1 به آنها اشاره شده است با دو شتاب نگاشت زلزله اهر-ورزقان و زلزله بم و با در نظر گرفتن اندرکنش با خاک تحلیل شده است. انتخاب طول شمع 9 متر در مدل‌ها به منظور بررسی وقوع یا عدم وقوع گسیختگی در حالت برابری طول شمع و ارتفاع خاک سست انجام شده است. مشخصات مکانیکی خاک سست(دستی) و ماسه متراکم، شمع و شاتکریت به ترتیب در جدول 2، 3 و 4 ارائه شده است:



شکل 2. طرح‌واره اندازه گذاری مدل

ابعاد مدل بر اساس آنالیز حساسیت و با توجه به پژوهش‌های پیشین و با در نظر گرفتن مرز بندی بصورت Free Field انتخاب شده است. همچنین با توجه به تناوب تعداد شمع و فاصله آنها در عرض مدل و

مدل‌ها	ارتفاع خاک ماسه متراکم (m)	ارتفاع خاک سست (m)	ارتفاع گود (m)	طول شمع (m)	سربار گذر (KN/m <sup>2</sup> )
خاک بکر- مدل مینا	15	0	5	9	10
1 متر خاک سست	14	1	5	9	10
2 متر خاک سست	13	2	5	9	10
3 متر خاک سست	12	3	5	9	10
4 متر خاک سست	11	4	5	9	10
5 متر خاک سست	10	5	5	9	10
6 متر خاک سست	9	6	5	9	10
7 متر خاک سست	8	7	5	9	10
8 متر خاک سست	7	8	5	9	10
9 متر خاک سست	6	9	5	9	10

جدول 2. مشخصات مکانیکی خاک سست(دستی) و ماسه متراکم [11 و 12]

مشخصه‌ها	واحد	خاک سست (دستی)	ماسه متراکم
وزن مخصوص مرطوب ( $Y_{sat}$ )	(KN/m <sup>3</sup> )	17	18
وزن مخصوص خشک ( $Y_{unsat}$ )	(KN/m <sup>3</sup> )	17	18
ضریب میرایی آلفا ( $\alpha$ )	-	3/139	3/139
ضریب میرایی بتا ( $\beta$ )	-	5/97E -04	5/97E -04
مدول محدوده پلاستیک به دلیل بارگذاری انحرافی اولیه ( $E_{50}^{ref}$ )	(KN/m <sup>2</sup> )	1/00E +04	6/00E +04
مدول محدوده پلاستیک به دلیل فشردگی سازی ( $E_{oed}^{ref}$ )	(KN/m <sup>2</sup> )	1/00E +04	6/00E +04
مدول محدوده الاستیک ( $E_{ur}^{ref}$ )	(KN/m <sup>2</sup> )	3/00E +04	1/08E +05
چسبندگی ( $C'_{ref}$ )	(KN/m <sup>2</sup> )	5	10
زاویه اصطکاک ( $\phi'$ )	(phi)	25	34
ضریب کاهش مقاومت ( $R_{inter}$ )	-	0/8	0/8
زاویه اتساع ( $\Psi$ )	(psi)	0	4

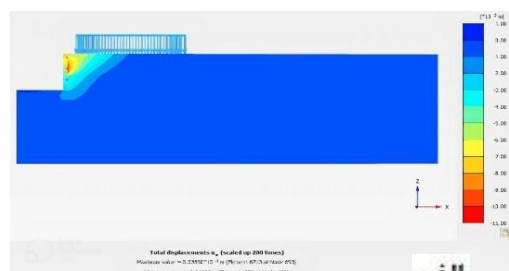


جدول 3. مشخصات شمع [13]

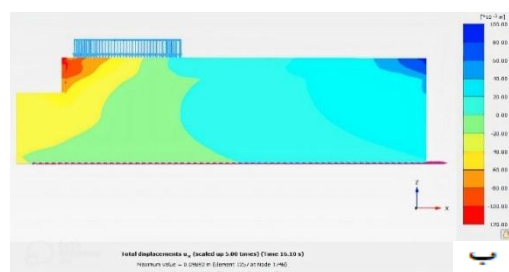
طول (L)	(m)	9
قطر (d)	(m)	1
وزن مخصوص مرطوب ( $\gamma_{sat}$ )	( $\text{KN}/\text{m}^3$ )	24
وزن مخصوص خشک ( $\gamma_{unsat}$ )	( $\text{KN}/\text{m}^3$ )	24
مدول الاستیسیته (E)	( $\text{KN}/\text{m}^2$ )	2/10E+07
ضریب پواسون (V)	(nu)	0/2
ضریب کاهش مقاومت ( $R_{inter}$ )	-	1

جدول 4. مشخصات شاتکریت [14]

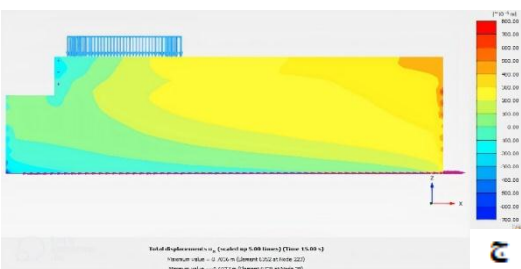
ضخامت (d)	وزن مخصوص (Y)	مدول الاستیسیته ( $E_1$ )	مدول الاستیسیته ( $E_2$ )	ضریب پواسون ( $\nu_{12}$ )
(m)	( $\text{KN}/\text{m}^3$ )	-	-	-
0/1	22	1/60E+07	1/60E+07	0/2



الف



ب

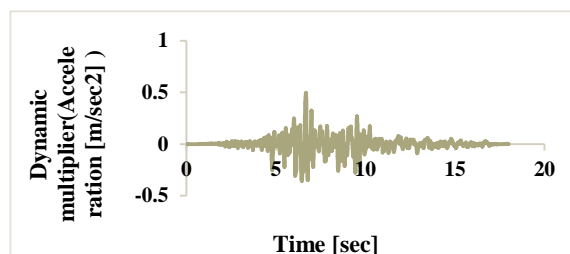


ج

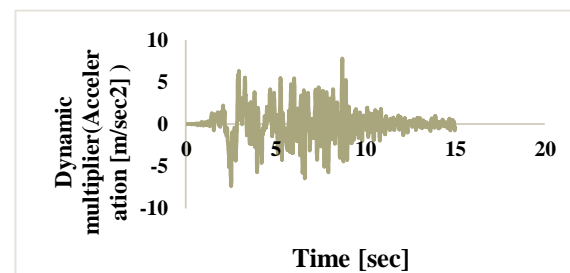
شکل 5. نتایج استاتیکی و دینامیکی تغییر

شکل‌های افقی با 3متر خاک سست ( الف: در حالت استاتیکی، ب: تاثیر زلزله اهر- ورزقان، ج: تاثیر زلزله بم)

بارهای دینامیکی در دو حوزه نزدیک (اهر- ورزقان) و دور ( بم ) بصورت رکورد های Time History اعمال شده است که شتاب نگاشت‌های زلزله اهر ورزقان و بم به ترتیب در شکل‌های 3 و 4 قابل مشاهده می باشد. لازم به ذکر است شتاب نگاشتها در کف مدل اثر داده شده‌اند.



شکل 3. شتاب نگاشت زلزله اهر- ورزقان



شکل 4. شتاب نگاشت زلزله بم

## نتایج و بحث

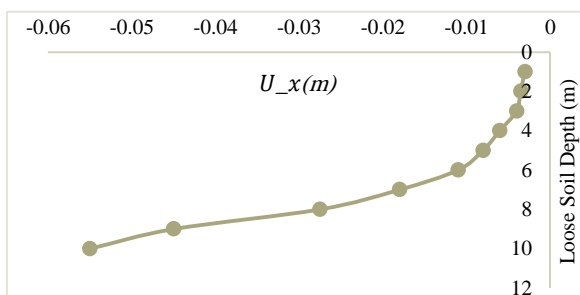
بررسی استاتیکی و دینامیکی تغییر شکل‌های افقی

جدول 7. مقدار عددی تاثیر زلزله بم بر بیشینه تغییر شکل‌های افقی

مدل‌ها	تغییر شکل افقی $U_x(m)$	نسبت افزایش تغییر شکل افقی مدل به مدل مبنا
خاک بکر- مدل مبنا	-0/2	1
1 متر خاک سست	-0/22	1/1
2 متر خاک سست	-0/23	1/15
3 متر خاک سست	-0/25	1/25
4 متر خاک سست	-0/27	1/35
5 متر خاک سست	-0/3	1/5
6 متر خاک سست	-0/4	2
7 متر خاک سست	-0/75	3/75
8 متر خاک سست	-1/1	5/5
9 متر خاک سست	-1/4	7

همانگونه که ملاحظه می‌شود مقادیر بیشینه تغییر شکل‌های افقی در حالت استاتیکی با افزایش عمق خاک سست از مقدار  $-0/003$  متر تا  $-0/055$  متر تغییر یافته و روند افزایشی دارد. همچنین تغییر شکل افقی در حالت 9 متر خاک سست تقریباً  $18/5$  برابر تغییر شکل افقی در خاک بکر می‌باشد.

نمودار بیشینه تغییر شکل‌های افقی در حالت استاتیکی در عمق خاک بکر و سست در شکل 6 قابل مشاهده است.



شکل 6. نمودار بیشینه تغییر شکل‌های افقی در حالت استاتیکی در عمق خاک بکر و سست

با بررسی نتایج شکل 5 مقادیر بیشینه تغییر شکل‌های افقی در حالت دینامیکی (زلزله اهر- وورزقان) با افزایش عمق خاک سست از مقدار  $-0/075$  متر تا  $-0/4$  متر تغییر یافته و روند افزایشی دارد. همچنین تغییر شکل افقی در حالت 9 متر خاک سست تقریباً  $5/5$  برابر تغییر شکل افقی در خاک بکر می‌باشد.

چند نمونه از تغییر شکل‌های افقی در حالت استاتیکی و دینامیکی (زلزله اهر- وورزقان و زلزله بم) در شکل 5 قابل مشاهده است. اعمال دو شتاب نگاشت در دو حوزه دور و نزدیک به منظور بررسی اثر شتاب نگاشتها بر رفتار تغییر شکل خاک انجام پذیرفته است.

بدین ترتیب مقدار عددی بیشینه تغییر شکل‌های افقی در حالت استاتیکی و دینامیکی (زلزله اهر- وورزقان و زلزله بم) در 10 مدل ذکر شده به ترتیب در جدول 5، 6 و 7 آمده است:

جدول 5. مقدار عددی بیشینه تغییر شکل‌های افقی در حالت استاتیکی

مدل‌ها	تغییر شکل افقی $U_x(m)$	نسبت افزایش تغییر شکل افقی مدل به مدل مبنا
خاک بکر- مدل مبنا	-0/003	1
1متر خاک سست	-0/0035	1/1666
2متر خاک سست	-0/004	1/3333
3متر خاک سست	-0/006	2
4متر خاک سست	-0/008	2/6666
5متر خاک سست	-0/011	3/6666
6متر خاک سست	-0/018	6
7متر خاک سست	-0/0275	9/1666
8متر خاک سست	-0/045	15
9متر خاک سست	-0/055	18/3333

جدول 6. مقدار عددی تاثیر زلزله اهر- وورزقان بر بیشینه تغییر شکل‌های افقی

مدل‌ها	تغییر شکل افقی $U_x(m)$	نسبت افزایش تغییر شکل افقی مدل به مدل مبنا
خاک بکر- مدل مبنا	-0/075	1
1متر خاک سست	-0/0867	1/156
2متر خاک سست	-0/09658	1/2877
3متر خاک سست	-0/105	1/4
4متر خاک سست	-0/12	1/6
5متر خاک سست	-0/14	1/8666
6متر خاک سست	-0/165	2/2
7متر خاک سست	-0/225	3
8متر خاک سست	-0/32	4/2666
9متر خاک سست	-0/4	5/3333



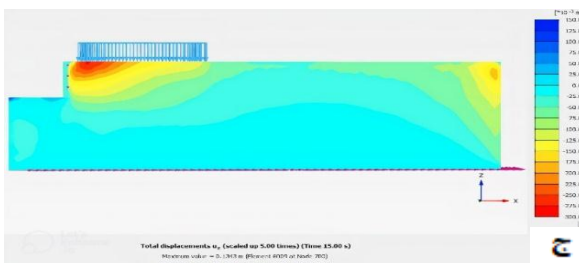
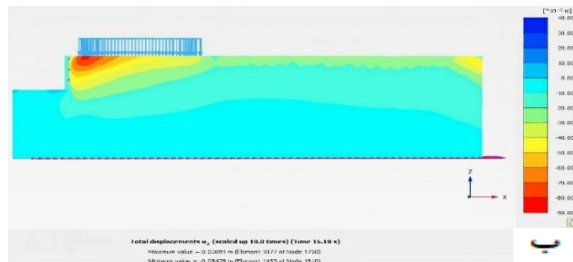
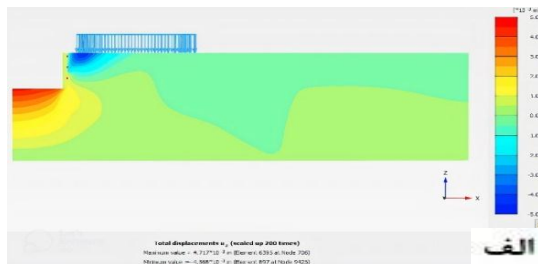
نمودار بیشینه تغییر شکل‌های قائم (استاتیکی) در عمق خاک بکر و سست در شکل 10 قابل مشاهده است.

همانگونه که ملاحظه می‌شود مقادیر بیشینه تغییر شکل‌های قائم در حالت دینامیکی (زلزله اهر- ورزقان) با افزایش عمق خاک سست از مقدار  $-0/05604$  متر تا  $-0/333$  متر تغییر یافته و روند افزایشی دارد. همچنین تغییر شکل قائم در حالت 9 متر خاک سست تقریباً 6 برابر تغییر شکل قائم در خاک بکر می‌باشد.

نمودار تاثیر زلزله اهر- ورزقان بر بیشینه تغییر شکل‌های قائم در عمق خاک بکر و سست در شکل 11 قابل مشاهده است.

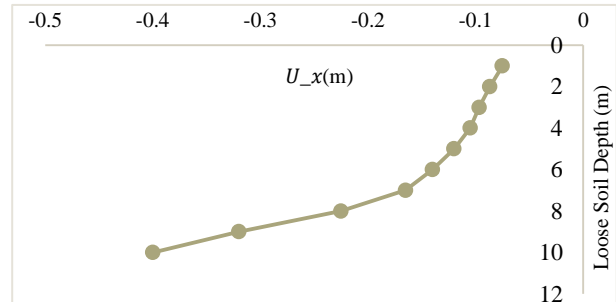
با بررسی نتایج شکل 9 مقادیر بیشینه تغییر شکل‌های قائم در حالت دینامیکی (زلزله بم) با افزایش عمق خاک سست از مقدار  $-0/2096$  متر تا  $-1/377$  متر تغییر یافته و روند افزایشی دارد. همچنین تغییر شکل قائم در حالت 9 متر خاک سست تقریباً  $6/5$  برابر تغییر شکل قائم در خاک بکر می‌باشد.

نمودار تاثیر زلزله بم بر بیشینه تغییر شکل‌های قائم در عمق خاک بکر و سست در شکل 12 قابل مشاهده است.



شکل 9. نتایج استاتیکی و دینامیکی تغییر شکل‌های قائم با 3 متر خاک سست (الف: در حالت استاتیکی، ب: تاثیر زلزله اهر- ورزقان، ج: تاثیر زلزله بم)

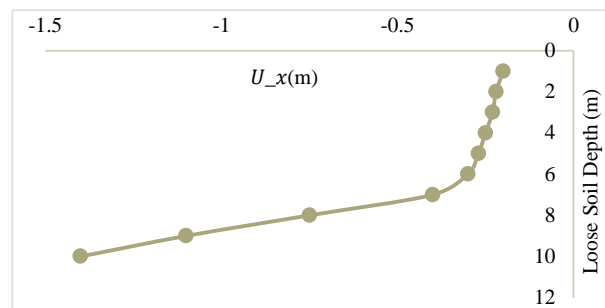
مودار تاثیر زلزله اهر- ورزقان بر بیشینه تغییر شکل‌های افقی در عمق خاک بکر و سست در شکل 7 قابل مشاهده است.



شکل 7. نمودار تاثیر زلزله اهر- ورزقان بر بیشینه تغییر شکل‌های افقی در عمق خاک بکر و سست

همانگونه که ملاحظه می‌شود مقادیر بیشینه تغییر شکل‌های افقی در حالت دینامیکی (زلزله بم) با افزایش عمق خاک سست از مقدار  $-0/2$  متر تا  $-1/4$  متر تغییر یافته و روند افزایشی دارد.

همچنین تغییر شکل افقی در حالت 9 متر خاک سست تقریباً 7 برابر تغییر شکل افقی در خاک بکر می‌باشد. نمودار تاثیر زلزله بم بر تغییر شکل‌های افقی در عمق خاک بکر و سست در شکل 8 قابل مشاهده است.



شکل 8. نمودار تاثیر زلزله بم بر تغییر شکل‌های افقی در عمق خاک بکر و سست

### بررسی استاتیکی و دینامیکی تغییر شکل‌های قائم

چند نمونه از تغییر شکل‌های قائم در حالت استاتیکی و دینامیکی (زلزله اهر- ورزقان و زلزله بم) در شکل 9 قابل مشاهده است. بدین ترتیب مقدار عددی بیشینه تغییر شکل‌های قائم در حالت استاتیکی و دینامیکی (زلزله اهر- ورزقان و زلزله بم) در 10 مدل ذکر شده به ترتیب در جدول 8، 9 و 10 ارائه شده است.

بررسی نتایج شکل 9 نشان می‌دهد که مقادیر بیشینه تغییر شکل‌های قائم در حالت استاتیکی با افزایش عمق خاک سست از مقدار  $-0/000935$  متر تا  $-0/04482$  متر تغییر یافته و روند افزایشی دارد همچنین تغییر شکل قائم در حالت 9 متر خاک سست تقریباً 48 برابر تغییر شکل قائم در خاک بکر می‌باشد که این مقدار بر گسیختگی گود دلالت دارد.

جدول 8. مقدار عددی بیشینه تغییر شکل‌های قائم در حالت استاتیکی

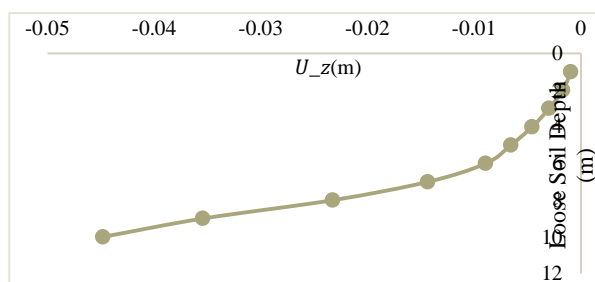
مدل‌ها	تغییر شکل قائم $U_z(m)$	نسبت افزایش تغییر شکل قائم مدل به مدل مبنا
خاک بکر- مدل مبنا	-0/000935	1
1متر خاک سست	-0/001687	1/8042
2متر خاک سست	-0/002978	3/1850
3متر خاک سست	-0/004568	4/8855
4متر خاک سست	-0/006562	7/0181
5متر خاک سست	-0/008918	9/5379
6متر خاک سست	-0/01435	15/3475
7متر خاک سست	-0/02327	24/8877
8متر خاک سست	-0/03544	37/9037
9متر خاک سست	-0/04482	47/9358

جدول 9. مقدار عددی تاثیر زلزله اهر- ورزقان بر بیشینه تغییر شکل‌های قائم

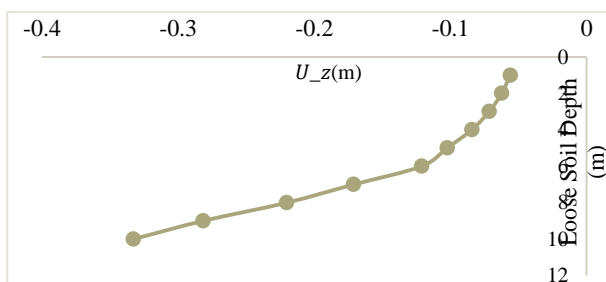
مدل‌ها	تغییر شکل قائم $U_z(m)$	نسبت افزایش تغییر شکل قائم مدل به مدل مبنا
خاک بکر- مدل مبنا	-0/05604	1
1متر خاک سست	-0/06226	1/1109
2متر خاک سست	-0/07151	1/2760
3متر خاک سست	-0/08428	1/5039
4متر خاک سست	-0/1024	1/8272
5متر خاک سست	-0/1212	2/1627
6متر خاک سست	-0/1711	3/0531
7متر خاک سست	-0/2204	3/9329
8متر خاک سست	-0/2818	5/0285
9متر خاک سست	-0/333	5/9421

جدول 10. مقدار عددی تاثیر زلزله بم بر بیشینه تغییر شکل‌های قائم

مدل‌ها	تغییر شکل قائم $U_z(m)$	نسبت افزایش تغییر شکل قائم مدل به مدل مبنا
خاک بکر- مدل مبنا	-0/2096	1
1متر خاک سست	-0/2186	1/0429
2متر خاک سست	-0/2444	1/1660
3متر خاک سست	-0/2816	1/3435
4متر خاک سست	-0/3549	1/6932
5متر خاک سست	-0/4336	2/0687
6متر خاک سست	-0/6706	3/1994
7متر خاک سست	-0/9472	4/5190
8متر خاک سست	-1/168	5/5725
9متر خاک سست	-1/377	6/5696



شکل 10. نمودار بیشینه تغییر شکل‌های قائم در حالت استاتیکی در عمق خاک بکر و سست



شکل 11. نمودار تاثیر زلزله اهر- ورزقان بر بیشینه تغییر شکل‌های قائم در عمق خاک بکر و سست





جدول 12. مقدار عددی تأثیر زلزله اهر-ورزقان بر بیشینه برآیند تغییر شکلها

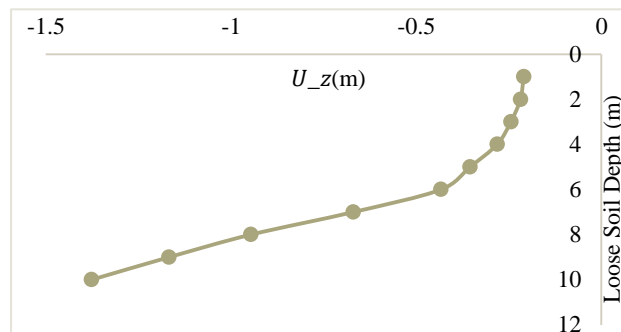
مدلها	برآیند تغییر شکلها $U_{total}(m)$	نسبت افزایش برآیند تغییر شکلهای مدل به مدل مبنا
خاک بکر- مدل مبنا	-0/075	1
1 متر خاک سست	-0/09	1/0666
2 متر خاک سست	-0/1	1/3333
3 متر خاک سست	-0/12	1/6
4 متر خاک سست	-0/14	1/8666
5 متر خاک سست	-0/16	2/1333
6 متر خاک سست	-0/22	2/9333
7 متر خاک سست	-0/28	3/7333
8 متر خاک سست	-0/38	5/0666
9 متر خاک سست	-0/48	6/4

با بررسی نتایج بدست آمده مقادیر بیشینه برآیند تغییر شکلها در حالت دینامیکی (زلزله اهر-ورزقان) با افزایش عمق خاک سست از مقدار -0/075 متر تا -0/48 متر تغییر یافته و روند افزایشی دارد. همچنین برآیند تغییر شکلها در حالت 9 متر خاک سست تقریباً 6/5 برابر خاک بکر می‌باشد.

نمودار تأثیر زلزله اهر-ورزقان بر بیشینه برآیند تغییر شکلها در عمق خاک بکر و سست در شکل 14 قابل مشاهده است.

جدول 13. مقدار عددی تأثیر زلزله اهر-ورزقان بر بیشینه برآیند تغییر شکلها

مدلها	برآیند تغییر شکلها $U_{total}(m)$	نسبت افزایش برآیند تغییر شکلهای مدل به مدل مبنا
خاک بکر- مدل مبنا	-0/24	1
1 متر خاک سست	-0/26	1/0833
2 متر خاک سست	-0/27	1/125
3 متر خاک سست	-0/3	1/25
4 متر خاک سست	-0/36	1/5
5 متر خاک سست	-0/44	1/8333
6 متر خاک سست	-0/6	2/5
7 متر خاک سست	-1/17	4/875
8 متر خاک سست	-1/532	6/3833
9 متر خاک سست	-1/84	7/6666



شکل 12. نمودار تأثیر زلزله بم بر بیشینه تغییر شکل‌های قائم در عمق خاک بکر و سست

### بررسی استاتیکی و دینامیکی برآیند تغییر شکل‌های افقی و قائم

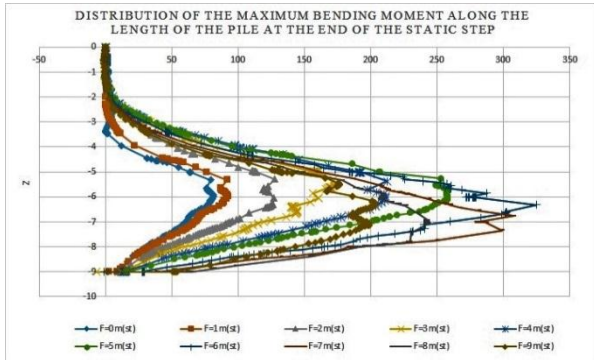
مقدار عددی بیشینه برآیند تغییر شکلها در حالت استاتیکی و دینامیکی (زلزله اهر-ورزقان و زلزله بم) در 10 مدل ذکر شده به ترتیب در جدول 11، 12 و 13 آمده است.

همانگونه که ملاحظه می‌شود مقادیر بیشینه برآیند تغییر شکلها در حالت استاتیکی با افزایش عمق خاک سست از مقدار -0/0035 متر تا -0/065 متر تغییر یافته و روند افزایشی دارد. همچنین برآیند تغییر شکلها در حالت 9 متر خاک سست تقریباً 18/5 برابر برآیند تغییر شکلها در خاک بکر می‌باشد. نمودار بیشینه برآیند تغییر شکلها (استاتیکی) در عمق خاک بکر و سست در شکل 13 قابل مشاهده است.

جدول 11. مقدار عددی بیشینه برآیند تغییر شکلها در حالت استاتیکی

مدلها	برآیند تغییر شکلها $U_{total}(m)$	نسبت افزایش برآیند تغییر شکلهای مدل به مدل مبنا
خاک بکر- مدل مبنا	-0/0035	1
1 متر خاک سست	-0/004	1/1428
2 متر خاک سست	-0/0052	1/4857
3 متر خاک سست	-0/007	2
4 متر خاک سست	-0/01	2/8571
5 متر خاک سست	-0/013	3/7142
6 متر خاک سست	-0/021	6
7 متر خاک سست	-0/033	9/4285
8 متر خاک سست	-0/05	14/2857
9 متر خاک سست	-0/065	18/5714

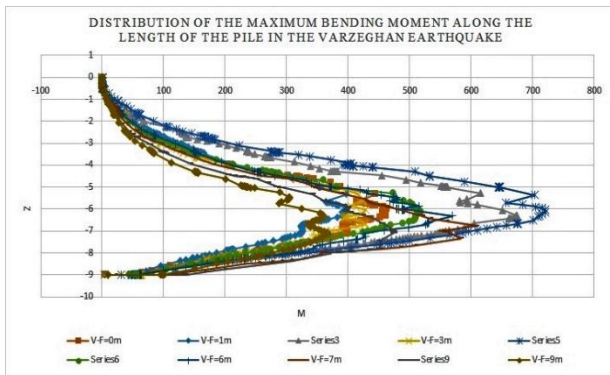
تا 18 قابل مشاهده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود مقدار لنگر خمشی ماکزیمم در طول شمع در حالت استاتیکی با افزایش عمق خاک سست تا 6 متر افزایش یافته و سپس با افزایش عمق خاک سست تا 9 متر مقادیر لنگر خمشی ماکزیمم در شمع‌ها کاهش یافته است.



شکل 16. (قدر مطلق) لنگر خمشی ماکزیمم در حالت استاتیکی در طول شمع در

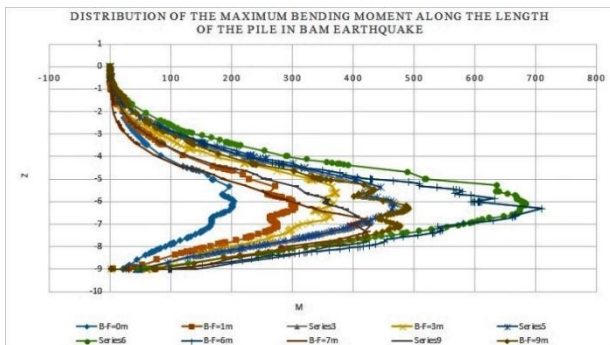
مدل 10

همچنین نمودار بیشینه (قدر مطلق) لنگر خمشی ماکزیمم در طول شمع در حالت استاتیکی در شکل 19 قابل مشاهده است.

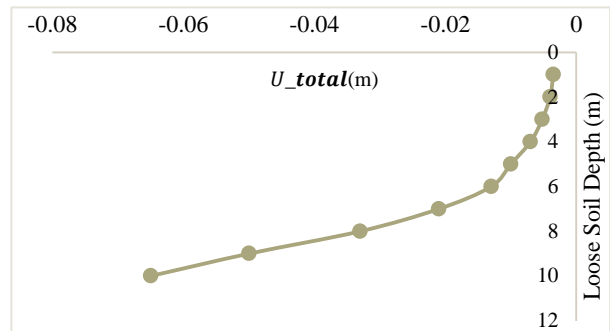


شکل 17. تاثیر زلزله اهر-ورزقان بر (قدر مطلق) لنگر خمشی ماکزیمم در طول

شمع در مدل 10

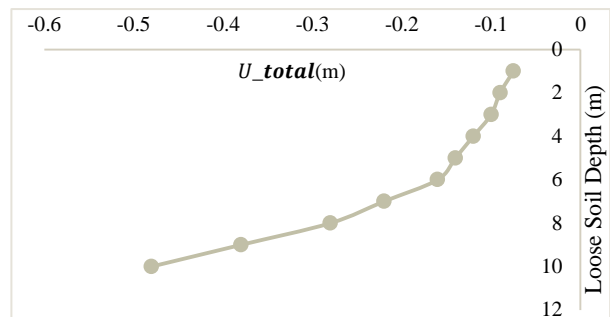


شکل 18. تاثیر زلزله بم بر (قدر مطلق) لنگر خمشی ماکزیمم



شکل 13. نمودار بیشینه برآیند تغییر شکلها در حالت استاتیکی در عمق خاک

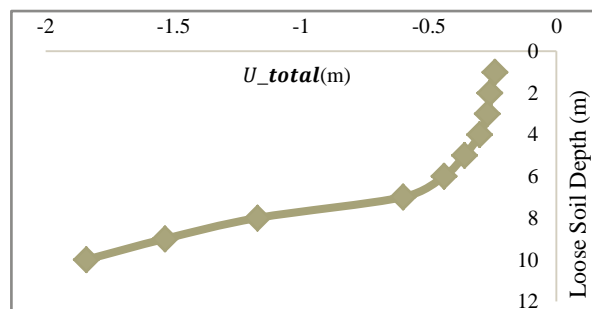
بکر و سست



شکل 14. نمودار تأثیر زلزله اهر-ورزقان بر بیشینه برآیند تغییر شکلها در عمق

خاک بکر و سست

همانگونه که ملاحظه می‌شود مقادیر بیشینه برآیند تغییر شکلها در حالت دینامیکی (زلزله بم) با افزایش عمق خاک سست از مقدار 0/24- متر تا 1/84- متر تغییر یافته و روند افزایشی دارد. همچنین بیشینه برآیند تغییر شکلها در حالت 9متر خاک سست تقریباً 7/5 برابر خاک بکر می‌باشد. نمودار تأثیر زلزله بم بر بیشینه برآیند تغییر شکلها در عمق خاک بکر و سست در شکل 15 قابل مشاهده است.



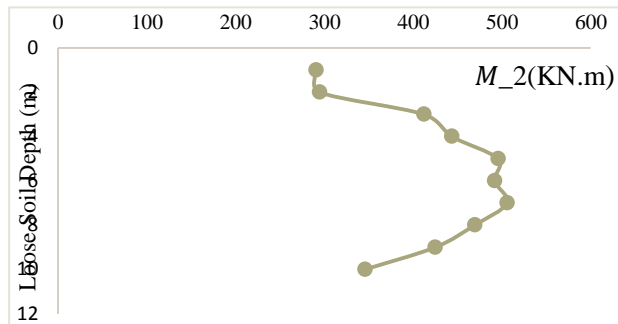
شکل 15. نمودار تأثیر زلزله بم بر بیشینه برآیند تغییر شکلها در عمق خاک بکر و

سست

بررسی استاتیکی و دینامیکی لنگر خمشی ماکزیمم

مقدار عددی (قدر مطلق) بیشینه لنگر خمشی ماکزیمم در حالت استاتیکی و دینامیکی (زلزله اهر-ورزقان و زلزله بم) در اشکال 16





شکل 21. نمودار تاثیر زلزله بم بر بیشینه (قدرمطلق) لنگر خمشی

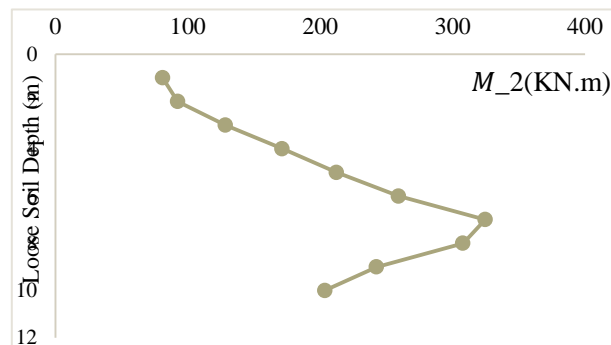
ماکزیمم در طول شمع در 10 مدل

همانگونه که ملاحظه می‌شود مقادیر لنگر خمشی ماکزیمم در طول شمع در حالت دینامیکی و تحت زلزله بم با افزایش عمق خاک سست تا 6 متر افزایش یافته و سپس با افزایش عمق خاک سست تا 9 متر مقادیر لنگر خمشی ماکزیمم در شمع‌ها کاهش یافته است.

### نتیجه گیری

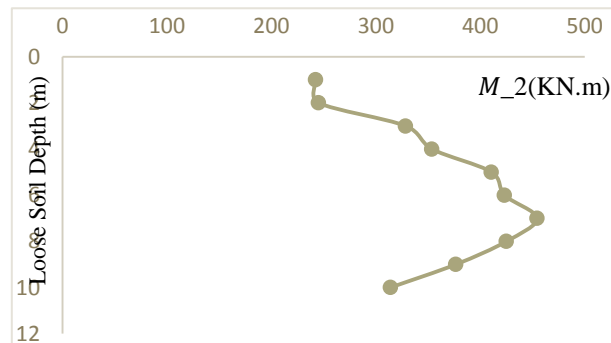
- افزایش تغییر شکل‌های افقی، قائم و برآیند تغییر شکلها در حالت استاتیکی و دینامیکی با افزایش عمق خاک سست قابل مشاهده است.
- با افزایش عمق خاک سست در حالت 9متری تغییر شکل‌های افقی، قائم و برآیند تغییر شکلها تحت زلزله اهر- ورزقان تقریباً 6 برابر نسبت به حالت استاتیکی افزایش می‌یابد.
- افزایش تغییر شکل‌های افقی، قائم و برآیند تغییر شکلها در حالت استاتیکی و دینامیکی با افزایش عمق خاک سست قابل مشاهده است.
- با افزایش عمق خاک سست در حالت 9متری تغییر شکل‌های افقی تحت زلزله بم تقریباً 24 برابر نسبت به حالت استاتیکی افزایش می‌یابد که این مقدار بر گسیختگی گود دلالت دارد.
- مقادیر بیشینه تغییر شکل‌های قائم در حالت استاتیکی با افزایش عمق خاک سست روند افزایشی دارد و تغییر شکل قائم در حالت 9 متر خاک سست تقریباً 48 برابر تغییر شکل قائم در خاک بکر می‌باشد که این مقدار بر گسیختگی گود دلالت دارد.
- مقادیر بیشینه تغییر شکل‌های قائم در حالت دینامیکی زلزله اهر- ورزقان و بم با افزایش عمق خاک سست روند افزایشی داشته و در حالت 9 متر خاک سست به ترتیب تقریباً 6 برابر و 6/5 برابر تغییر شکل قائم در خاک بکر می‌باشد.
- مقادیر لنگر خمشی ماکزیمم در طول شمع در حالت استاتیکی با افزایش عمق خاک سست تا 6 متر افزایش یافته و سپس با افزایش عمق خاک سست تا 9 متر مقادیر لنگر خمشی ماکزیمم در شمع‌ها کاهش یافته است.

با بررسی نتایج بدست آمده مقادیر لنگر خمشی ماکزیمم در طول شمع در حالت استاتیکی با افزایش عمق خاک سست تا 6متر افزایش یافته و سپس با افزایش عمق خاک سست تا 9 متر مقادیر لنگر خمشی ماکزیمم در شمع‌ها کاهش یافته است. همچنین نمودار تاثیر زلزله اهر- ورزقان بر بیشینه (قدر مطلق) لنگر خمشی ماکزیمم در طول شمع در شکل 20 قابل مشاهده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود مقادیر لنگر خمشی ماکزیمم در طول شمع در حالت دینامیکی و تحت زلزله اهر- ورزقان با افزایش عمق خاک سست تا 6متر افزایش یافته و سپس با افزایش عمق خاک سست تا 9متر مقادیر لنگر خمشی ماکزیمم در شمع‌ها کاهش یافته است. همچنین نمودار تاثیر زلزله بم بر بیشینه (قدر مطلق) لنگر خمشی ماکزیمم در طول شمع در شکل 21 قابل مشاهده است.



شکل 19. نمودار بیشینه (قدر مطلق) لنگر خمشی ماکزیمم در طول شمع

در حالت استاتیکی در 10 مدل



شکل 20. نمودار تاثیر زلزله اهر- ورزقان بر بیشینه (قدر مطلق) لنگر خمشی

ماکزیمم در طول شمع در 10 مدل

- [9] Nikolaai, S. Mylonakis, G. Gazetas, G. and Tazoh, T. "Kinematic pile bending during earthquakes: Analysis and field measurements, *Geotechnique.*, 2011; 51(5): 425-440.
- [10] Sica, S. Mylonakis, and G. Simonelli, A. L. Strain effect on kinematic pile bending in layered soil, *Soil dynamics and earthquake Engineering.*, 2013; 49: 231-242.
- [11] سالک، س، اسفندیاری، ج، مقایسه اثر ضربه با عمق در شمع بارگذاری شده مدفون در خاک ماسه‌ای، کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، تبریز، ایران، 4 خرداد، 1396، 33-1.
- [12] جاودانی، ع، جانعلی زاده، ع، سعادت، م، اثر عمق نفوذ شمع منفرد در خاک متراکم، بر پاسخ دهی دینامیکی آن هنگام روانگرایی خاک، کنفرانس مهندسی عمران، دانشگاه آزاد نجف آباد، ایران، اسفند 89، 7-1.
- [13] پورحسینی، ر، شرفزاده، پ، اثر چیدمان شمع بر عملکرد پی-شمع، روشهای تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، 1 (19)، 1398، 151-141.
- [14] ایزدی‌نیا، م، پور جعفری، ر، ارزیابی رفتار برشی دیوارهای بنایی تقویت شده به وسیله الیاف پلیمری و شاتکریت، نشریه مهندسی سازه و ساخت، 6 (3)، 1398، 210-195.

- مقادیر لنگر خمشی ماکزیمم در طول شمع در حالت دینامیکی و تحت زلزله اهر- ورزقان و بم با افزایش عمق خاک سست تا 6 متر افزایش یافته و سپس با افزایش عمق خاک سست تا 9 متر مقادیر لنگر خمشی ماکزیمم در شمع‌ها کاهش یافته است.

#### منابع

- [1] کیانی، ا، شوش پاشا، ع، بررسی تأثیر طول و قطر شمع‌ها بر ظرفیت باربری در سیستم پی-شمع در اثر بارگذاری قائم استاتیکی، چهارمین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران، ایران، 7 تا 9 دی، 1395، 11-1.
- [2] قهرمانی، ا، دهقان، پ، تأثیر افزایش تعداد شمع‌ها در پاسخ لرزه‌ای گروه شمع، دومین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، ایران، 30 اردیبهشت، 1395، 8-1.
- [3] دیده‌بان، س، پاکنژادی، ع، بررسی تأثیر مکان شمع، طول شمع و شرایط سر شمع بر تقویت و تثبیت شیروانی‌های خاکی غیرهمگن، فصلنامه تخصصی ایده‌های نو در علوم مهندسی، دوره 3 (1)، 1398، 23-21.
- [4] Yang, S. Ren, X. and Zhang, J. Study on embedded length of piles for slope reinforced with one row of piles. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.* 2011; 3(2): 167-178.
- [5] Kourkoulis, R. Gelagoti, F. Anastasopoulos, I. Gazetas, G. and Asce, M., Slope stabilizing piles and pile-groups, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.* 2011; 137: 663-677.
- [6] نائینی، ر، بررسی عددی پایدارسازی گود برداری‌های عمیق با استفاده از شمع‌های نگهبان در محیط سه بعدی با استفاده از نرم‌افزار Plaxis 3D foundation، دومین همایش ملی معماری، عمران و محیط زیست شهری، همدان، ایران، 23 بهمن، 1393، 11-1.
- [7] Miamorano, R. M. S. Aversa, S. and Wu, G. Effect of soil non-linearity on bending moments in piles due to seismic kinematic interaction, In proceedings of the Forth International Conference on Earthquake Geotechnical engineering. Thessaloniki, Greece, January, 2007, 1-13.
- [8] Laora, D. Mandolini, R. and Mayonakis, G., Insight of kinematic bending of flexible piles in layered soil. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering.*, 2012; 43: 309-322.

