# بررسی میزان اهمیت عمق خاک در ارزیابی اثرات بزرگنمایی ساختگاه

**محمدرضا سقراط**
*دانشجوی دکتری، پژوهشکده سازه، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران*
***m.soghrat @iiees.ac.ir***

**منصور ضیایی فر**
*دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران*
***mansour@iiees.ac.ir***

**کلید واژه‌ها:** *بزرگنمایی ساختگاه، پریود غالب، عمق خاک، سرعت موج برشی*

## چکیده

سرعت متوسط موج برشی در عمق ۳۰ متری برای تعیین نوع خاک در اکثر روابط کاهندگی و همچنین در آیین نامه‌های طراحی بکار می‌رود. مطالعات اخیر نشان داده است که تک پارامتر سرعت موج برشی نمی‌تواند پارامتر مناسبی برای لحاظ کردن اثرات بزرگنمایی ساختگاه باشد، اگرچه آیین نامه‌های محدودی در حال حاضر وجود دارند که علاوه بر پارامتر سرعت موج برشی از یک کمیت دیگری مانند عمق خاک و یا پریود طبیعی ساختگاه برای رده بندی نوع خاک استفاده می‌نمایند. طیف خطر یکنواخت حاصل از تحلیل خطر معمولا بر روی بستر سنگی محاسبه می‌گردد و برای شرایط ساختگاه‌های مختلف در سایت مورد نظر تحلیل آبرفت بر روی آن صورت می‌پذیرد. در روابط کاهندگی اگرچه می‌توان اثرات انواع مختلف خاک را لحاظ نمود اما در اکثر آنها میزان دقت برای خاک‌های نرم بدلیل کمبود داده‌ها به منظور انجام عملیات رگرسیون پایین می‌باشد. در این مطالعه درنظر است تا ضمن بررسی اثرات عمق خاک در پروفیل‌های خاک نرم بر پاسخ حاصله در سطح زمین، مقایسه‌ای بین اثرات زلزله‌های با شدت های پایین که می‌تواند توسط رویدادهای کوچک نزدیک و یا بزرگ دور حاصل شود، صورت پذیرد. رویدادهای بزرگ دور از این لحاظ در این مطالعه دارای اهمیت است که پریودهای بلند در طیف با دوره بازگشت کوتاه ناشی از این رویدادها می‌باشند و سازه‌های در حین ساخت باید مطابق با این طیف‌ها مورد بررسی قرار گیرند.

در این مطالعه ۵ پروفیل خاک مختلف به ارتفاع ۲۰۰ متری انتخاب می‌شوند و برای میزان تاثیر عمق خاک، سنگ بستر در سه عمق مختلف ۳۰، ۶۰ و ۲۰۰ متری فرض می‌شود. تحلیل آبرفت بر روی هر ۱۵ پروفیل فرضی با استفاده از برنامه EERA صورت می‌پذیرد. در این مطالعه، شش رکورد برای تحلیل هر پروفیل خاک انتخاب می‌شود که سه رکورد آن مربوط به رویدادهای کوچک نزدیک و سه رکورد مربوط به زلزله‌های بزرگ دور می‌باشد. به منظور مقایسه و تفسیر نتایج، مقادیر بیشینه شتاب هر ۶ رکورد به ۰/۱g همپایه شده است. نتایج نشان می‌دهد درنظر گرفتن تک پارامتر سرعت موج برشی منجر به درنظر گرفتن پاسخ‌های طیفی کمتر در پریودهای بالای یک ثانیه حاصل از رویدادهای بزرگ دور می‌شود.

## مقدمه

برخی از اعضای سازه‌های کامل که وظیفه تامین مقاومت، سختی و پایداری را برعهده دارند، ممکن است در زمان‌های مشخصی در حین ساخت وجود داشته باشند. عدم وجود برخی از اعضا می‌تواند باعث ناپایداری سازه تحت اثر بارهای جانبی لرزه‌ای شود. استفاده از طیف‌های طراحی با دوره بازگشت ۴۷۵ و یا ۲۴۷۵ ساله بسیار محافظه‌کارانه بنظر می‌رسد. بنابراین راه حل بهتر استفاده از بارهای کاهش یافته می‌باشد که منجر به تهیه طیف ویژه ساختگاه با دوره بازگشت کوتاه خواهد شد. با توجه به اینکه سازه‌های در حین ساخت دارای سختی کمتری نسبت به سازه‌های کامل شده می‌باشند، بنابراین پریودهای بالا در این طیف‌ها دارای اهمیت ویژه‌ای است. پریودهای بلند منتسب به زلزله‌های بزرگ دور می‌باشد که هر چه طیف با دوره بازگشت پایین‌تری در نظر گرفته شود این فاصله دورتر لحاظ می‌گردد. در ساختگاه‌هایی با شرایط خاک نرم بدلیل داشتن پریود بالا، زلزله‌های بزرگ دور می‌توانند نواحی پریود بلند را بیشتر تحت تاثیر قرار دهند.

اثر خاک تحت تحریک لرزه‌ای زمین و متعاقباً بر عملکرد لرزه‌ای سازه بطور زیادی توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصه‌های حرکت زمین بر روی سطح خاکی و بستر سنگی کاملا متفاوت از یکدیگرمی‌باشد. در آیین نامه‌های طراحی اثر خاک با سرعت متوسط موج برشی لحاظ می‌گردد. اگرچه سرعت متوسط موج برشی در برخی مطالعات پارامتر مناسبی برای بیان مشخصه‌های اثرات ساختگاهی درنظر گرفته شده است، اما شواهدی در برخی مطالعات به منظور ناکافی و نامناسب بودن این پارامتر برای توصیف شرایط خاک وجود دارد (Zhao and Xu, 2013). مطالعات مختلف بیان می‌کند که باید بین مشخصه‌های حرکت زمین بر روی بستر سنگی و خاکی تمایز قائل شویم. در پروفیل‌های خاکی، عمق لایه دارای اهمیت زیادی می‌باشد و تک پارامتر سرعت متوسط موج برشی قادر به بیان کامل ویژگی‌های اثرات ساختگاهی نمی‌باشد.

محققین زیادی بر روی مفید بودن یا نبودن سرعت موج برشی برای رده بندی خاک نیز به مطالعه پرداخته‌اند که می‌توان به Adhikary et al. (2014)، Hadjian (2002)، Zhao and Xu (2013) و Lee and Trifunac (2010) اشاره داشت. اخیرا اثر عمق خاک بر پاسخ لرزه‌ای موضوع مورد توجه محققین از جمله Hashash (2011) و Rodrigues-Marek et al. (2011) بوده است. نتایج محققین مختلف نشان می‌دهد که تک پارامتر سرعت متوسط موج برشی قادر به بیان ویژگی‌های نوع خاک بویژه خاک‌های نرم نمی‌باشد اگرچه بیشتر آیین نامه‌ها و راهنماها از این پارامتر استفاده می‌کنند.

از رویدادهای مشاهده شده به منظور مشخص شدن اهمیت نوع خاک و اثرات بزرگنمایی حاصله می‌توان به زلزله سال ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی با بزرگای ۸/۱ که آسیب‌های شدیدی به ساختمانهای بلند در فواصل بیش از ۳۵۰ کیلومتری که بر روی بستر رودخانه‌ای واقع بودند، اشاره داشت؛ در حالیکه آسیب‌های وارده به ساختمان‌های موجود در فواصل نزدیک، کم بود. Ellis and Cakmak (1987) بیان کردند که آسیب‌های زیاد در منطقه مکزیکوسیتی بدلیل اثرات بزرگنمایی ساختگاه بوده است. همچنین در مطالعه‌ای بیان شده است که در بستر رودخانه‌ای واقع در مکزیکوسیتی با پریود ۲ ثانیه، مقدار بزرگنمایی در حدود ۷۵ برابر بزرگتر از سایت مشابه‌ای که بر روی بستر سنگی قرار داشته است، می‌باشد (Singh et al., 1988). در این مطالعه در نظر است موثر بودن ارتفاع خاک تحت زلزله‌های کوچک نزدیک و بزرگ دور مورد بررسی قرار گیرد تا مشخص شود که در طیف‌های با دوره بازگشت کوتاه برای سازه‌های در حین ساخت، نوع خاک تا چه میزان حائز اهمیت است. جهت تحلیل آبرفت بر روی پروفیلهای خاک درنظر گرفته شده که در بخش بعدی معرفی می‌گردند از نرم افزار EERA استفاده می‌شود که این نرم افزار به منظور تحلیل یک بعدی پاسخ زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد و بر پایه روش خطی معادل می‌باشد. در تحلیل‌های یک بعدی پاسخ فرض می‌شود که سطح زمین و مرز تمام لایه‌های زیرین افقی بوده و در تمام جهات جانبی بصورت نامحدود گسترده شده است. اگرچه این فرضیات کلیه شرایط را ارضا نمی کنند اما در کاربردهای مهندسی نتایج قابل قبولی را ارائه می‌کند.

## سایت‌های موردنظر

۵ پروفیل خاک مختلف در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است که مورد توجه محققین مختلفی نیز بوده است که در جدول۱ محل و مرجع آنها معرفی شده است.

***جدول ۱: معرفی سایت‌های مورد استفاده در این مطالعه***

| شماره | نام سایت | محل | مرجع گزارش |
|---|---|---|---|
| ۱ | M3 | دهلی | Kamatchi et al. (2010) |
| ۲ | La Cienega | لوس آنجلس | Stewart (2008) |
| ۳ | KGWH02; KiK-net | ژاپن | Stewart (2008) |
| ۴ | Lotung | تایوان | Stewart (2008) |
| ۵ | Treasure Island | سان فرانسیسکو | Lopez (2002) and Silva et al. (2004) |

این سایتها سرعت متوسط برشی‌شان در عمق ۳۰ متری بین ۱۸۰ تا ۳۶۰ متر بر ثانیه می‌باشد و ویژگی‌های مختلف اعم از وزن مخصوص، سرعت موج برشی در لایه‌های مختلف و سایر پارامترهای مورد نیاز در مطالعات صورت گرفته موجود می‌باشد که در جدول ۲ پاره‌ای از اطلاعات مورد نیاز بطور خلاصه آورده شده است.

جدول ۲: مشخصه پروفیل‌های خاک‌های مختلف در این مطالعه (Adhikary et al., 2014)

| LN* | مدل ۱ | | | مدل ۲ | | | مدل ۳ | | | مدل ۴ | | | مدل ۵ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | LT* | UW* | Vs* | LT | UW | Vs | LT | UW | Vs | LT | UW | Vs | LT | UW | Vs |
| 1 | 5 | 20 | 206 | 2.1 | 20.1 | 140 | 9 | 18.9 | 163 | 2.4 | 17.6 | 114 | 3 | 18.9 | 260 |
| 2 | 5 | 20 | 243 | 1.8 | 20.1 | 180 | 13 | 18.9 | 249 | 1.7 | 17.6 | 121 | 5 | 18.9 | 130 |
| 3 | 10 | 20 | 287 | 3 | 20.1 | 210 | 17 | 18.9 | 262 | 2.6 | 17.6 | 149 | 6 | 18.9 | 180 |
| 4 | 10 | 20 | 317 | 3 | 20.1 | 240 | 17 | 18.9 | 336 | 2.3 | 18.1 | 165 | 14 | 18.9 | 185 |
| 5 | 10 | 20 | 339 | 3 | 20.1 | 280 | 12 | 20.4 | 836 | 2.2 | 17.6 | 180 | 14 | 20.4 | 320 |
| 6 | 10 | 20 | 358 | 4.8 | 20.1 | 310 | 10 | 21.2 | 1183 | 3 | 17.6 | 185 | 33 | 21.2 | 260 |
| 7 | 10 | 20 | 374 | 2.1 | 20.1 | 290 | 10 | 21.2 | 1252 | 3.1 | 19.7 | 189 | 13 | 21.2 | 380 |
| 8 | 10 | 20 | 388 | 1.8 | 20.1 | 350 | 10 | 21.2 | 1329 | 2.6 | 19.7 | 235 | 112 | 21.2 | 500 |
| 9 | 10 | 20 | 401 | 2.1 | 20.1 | 370 | 102 | 21.2 | 1661 | 3.9 | 18.7 | 244 | - | - | - |
| 10 | 10 | 20 | 412 | 1.8 | 20.1 | 340 | - | - | - | 1.8 | 18.7 | 222 | - | - | - |
| 11 | 10 | 20 | 423 | 3.9 | 20.1 | 314 | - | - | - | 3.8 | 18.7 | 228 | - | - | - |
| 12 | 100 | 20 | 499 | 9.8 | 20.1 | 472 | - | - | - | 4.5 | 18.7 | 319 | - | - | - |
| 13 | - | - | - | 21.5 | 20.1 | 411 | - | - | - | 3 | 18.7 | 248 | - | - | - |
| 14 | - | - | - | 12.2 | 20.1 | 625 | - | - | - | 2.1 | 17.6 | 259 | - | - | - |
| 15 | - | - | - | 36.7 | 20.1 | 518 | - | - | - | 3.8 | 17.6 | 251 | - | - | - |
| 16 | - | - | - | 54.6 | 20.1 | 561 | - | - | - | 4.2 | 19.7 | 256 | - | - | - |
| 17 | - | - | - | 48.6 | 20.1 | 600 | - | - | - | 12.6 | 19.7 | 300 | - | - | - |
| 18 | - | - | - | 38.6 | 20.1 | 640 | - | - | - | 140.4 | 19.7 | 400 | - | - | - |

* *LN: layer number; LT: layer thickness (m); UW: Unit Weight (kN/m3); Vs (m/s)*

## انتخاب رکوردها

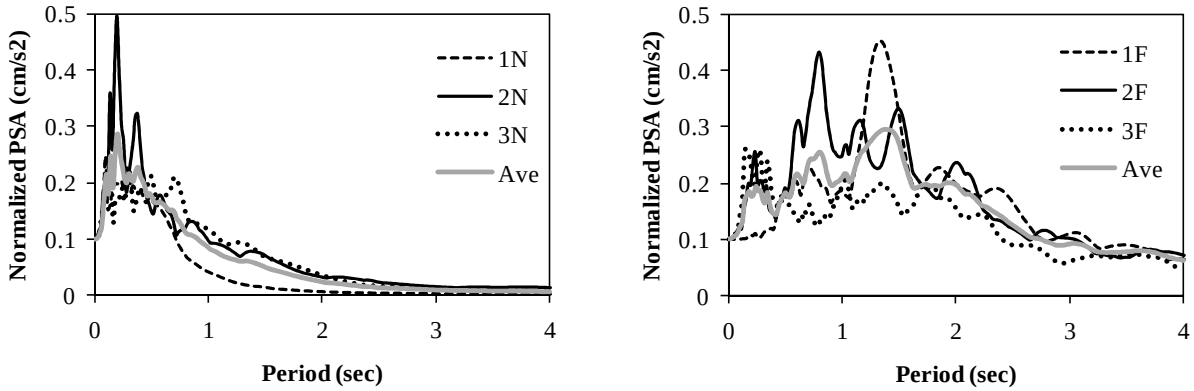
در این مطالعه از ۳ رکورد ثبت شده در فواصل نزدیک و سه رکورد در فواصل دور برای انجام تحلیل‌های موردنظر استفاده می‌شود. این رکوردها سعی شده است طوری انتخاب شوند که سرعت متوسط موج برشی در عمق ۳۰ متری بیش از ۷۰۰ متر بر ثانیه باشند که در جدول ۳ مشخصات آن‌ها اورده شده است. همچنین در شکل ۱ نیز پاسخ طیفی آنها بصورت شماتیک نمایش داده شده است.

جدول ۳: رکوردهای مورد استفاده در این مطالعه

| ردیف | ID | نام زلزله | سال وقوع | ایستگاه | فاصله |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | 1N | N. Palm Springs | ۱۹۸۶ | 5043 Hurkey Creek Park | ۳۰ |
| ۲ | 2N | Loma Prieta | ۱۹۸۹ | 57504 Coyote Lake Dam (Downst) | ۳۰ |
| ۳ | 3N | Whittier Narrows | ۱۹۸۷ | 24157 LA - Baldwin Hills | ۳۰ |
| ۴ | 1F | Kocaeli, Turkey | ۱۹۹۹ | Manisa | ۲۹۰ |
| ۵ | 2F | Nenana Mountain, Alaska | ۲۰۰۲ | Anchorage - K2-12 | ۲۷۰ |
| ۶ | 3F | Denali, Alaska | ۲۰۰۲ | Valdez - Valdez Dock Company | ۲۴۰ |

همانطور که از شکل ۱ پیداست رکوردهای تحت تاثیر زلزله‌های بزرگ دور در پریودهای بلند غنی‌تر می‌باشند، در حالیکه رکوردهای مربوط به زلزله‌های نزدیک در پریودهای پایین مقادیر بیشتری را نشان می‌دهند. مقادیر پیک در طیف متوسط تحت تاثیر زلزله‌های نزدیک و دور که در حدود ۰/۲ و ۱/۴ ثانیه می‌باشد، غنی بودن رکوردهای حاصل از زلزله‌های دور را تایید می‌کند. با مقایسه مقادیر متوسط طیفی حاصله در پریود ۲ ثانیه که در حدود ۸ برابر با یکدگیر اختلاف دارند، می‌توان به اهمیت زلزله‌های دور پی برد چون در شرایطی که پروفیل خاک نیز دارای

پریودی در این محدوده باشد، بزرگنمایی طیف پاسخ می‌تواند رخ دهد. لازم به ذکر است که در شکل ۱، مقادیر طیفی پس از هم پایه کردن شتابنگاشت‌ها به ۰/۱g ترسیم شده است.




*شکل ۱: پاسخ طیفی رکوردهای همپایه شده به بیشینه شتاب ۰/۱g*

## تحلیل پاسخ‌های طیفی بر روی سطح زمین

در این مطالعه برای درنظر گرفتن اثر عمق خاک، برای هر مدل معرفی شده در جدول ۱ سه پروفیل جداگانه بسته به محل فرضی سنگ بستر درنظر گرفته می‌شود. سطح فرضی سنگ بستر در اعماق ۳۰، ۶۰ و ۲۰۰ متری به ترتیب با پروفیل۱، ۲ و ۳ معرفی می‌شود. متوسط سرعت موج برشی و پریود غالب خاک با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه و در

*جدول* ۴ نتایج آن آورده شده است.

$$V_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N} h_i} \sum_{i=1}^{N} h_i V_i \qquad (۱)$$

$$T = 4H / V_s \qquad (۲)$$

که در روابط اشاره شده؛ $N$ تعداد لایه مورد بررسی در هر پروفیل خاک، $h_i$ و $V_i$ به ترتیب برابر با ضخامت و سرعت موج برشی در لایه iام می‌باشد. $H$ ضخامت کلی پروفیل موردنظر و $V_s$ سرعت متوسط موج برشی حاصل از رابطه ۱ می‌باشد.

ذکر این نکته ضروری است که متوسط سرعت موج برشی و پریود غالب خاک را می‌توان از روابط ۳ و ۴ نیز محاسبه نمود ولی برنامه اشاره شده که برای انجام تحلیلهای موردنظر بکار می‌رود از روابط ۱ و ۲ استفاده می‌کند.

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^{N} h_i}{\sum_{i=1}^{N} h_i / V_i} \qquad (۳)$$

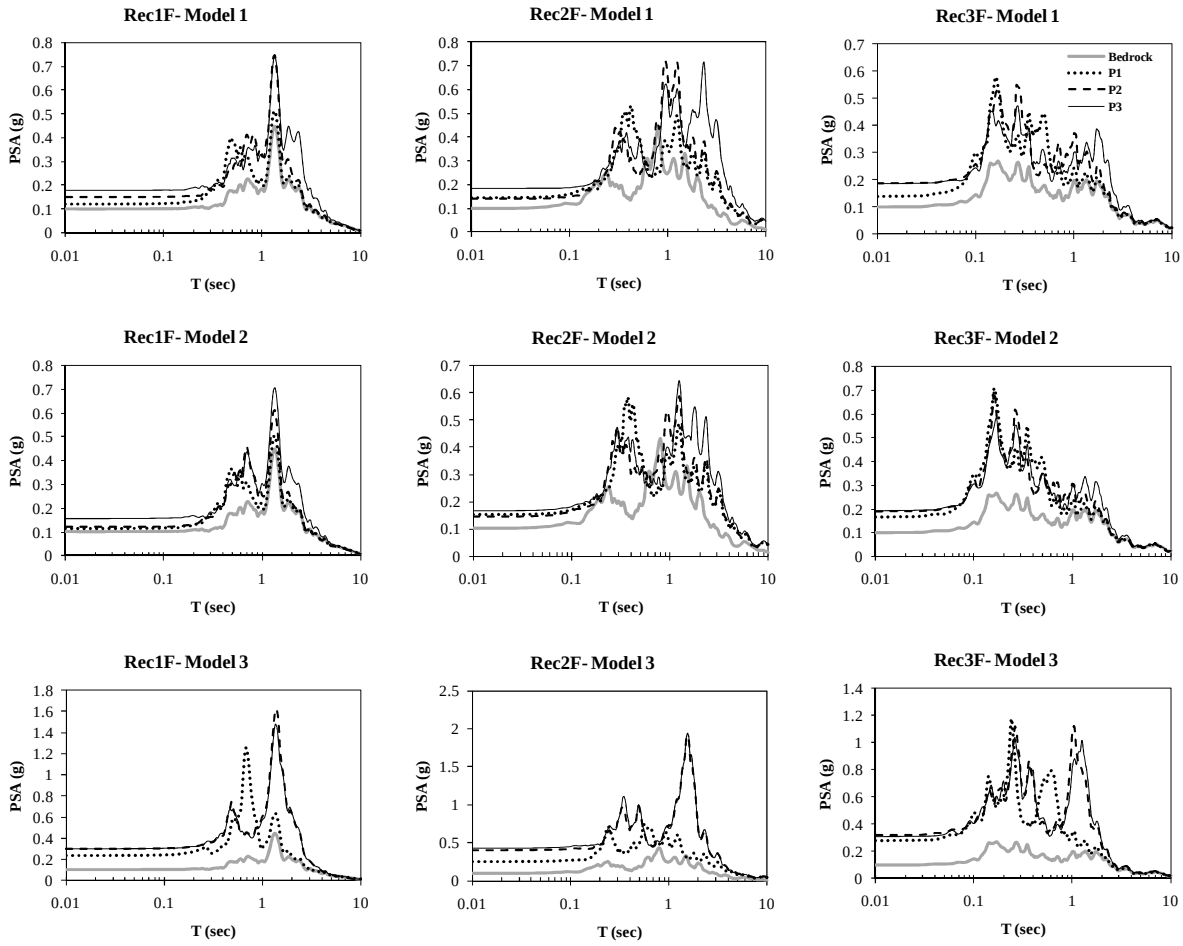
$$T = 4 \sum_{i=1}^{N} h_i / V_i \qquad (۴)$$

توجه شود که تعریف پارامترهای بکار رفته در روابط ۳ و ۴، مانند قبل می‌باشد.

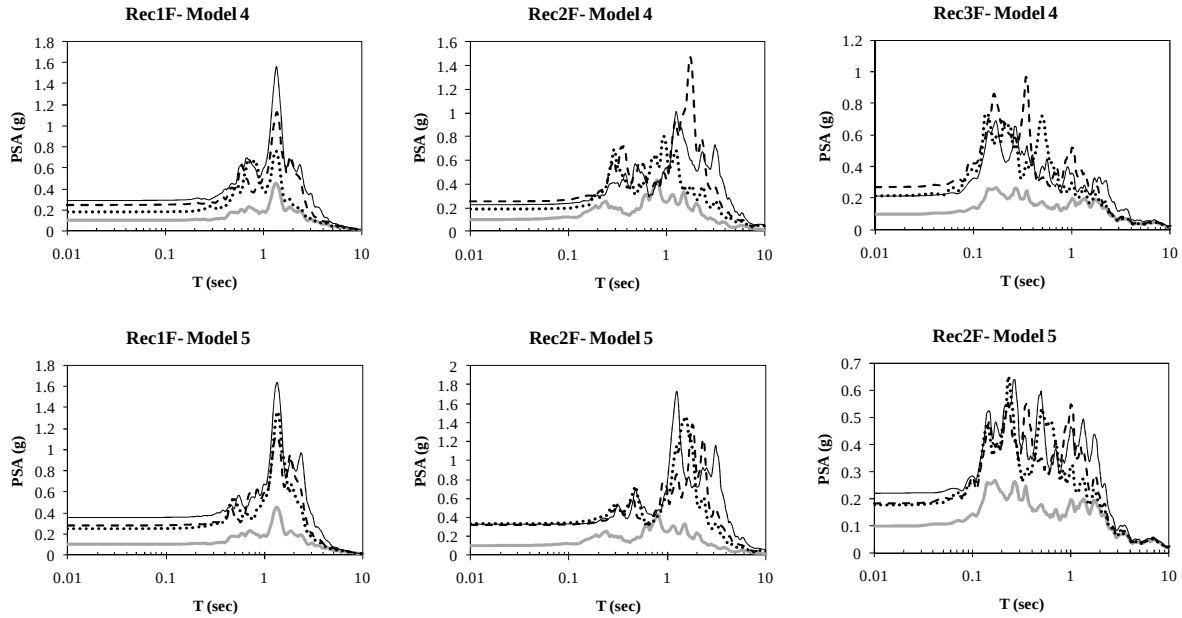
**جدول ۴: نتایج مربوط به پریود غالب و متوسط سرعت موج برشی در پروفیلهای مختلف**

| مدل | پارامتر | پروفیل ۱ | ۲ | ۳ |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | *T* | 0.43 | 0.76 | 1.88 |
| | *Vs* | 276.17 | 316.58 | 425.67 |
| ۲ | *T* | 0.42 | 0.68 | 1.59 |
| | *Vs* | 277.16 | 356.02 | 501.78 |
| ۳ | *T* | 0.54 | 0.77 | 0.69 |
| | *Vs* | 221.00 | 320.74 | 1159.82 |
| ۴ | *T* | 0.62 | 1.00 | 2.28 |
| | *Vs* | 190.87 | 237.32 | 351.52 |
| ۵ | *T* | 0.61 | 0.99 | 2.02 |
| | Vs | 182.14 | 237.09 | 395.50 |

رکوردهای انتخابی به پروفیل‌های تشریح شده اعمال می‌گردد و پاسخ‌های حاصله در اشکال ۲ و ۳ ترسیم می‌گردد.

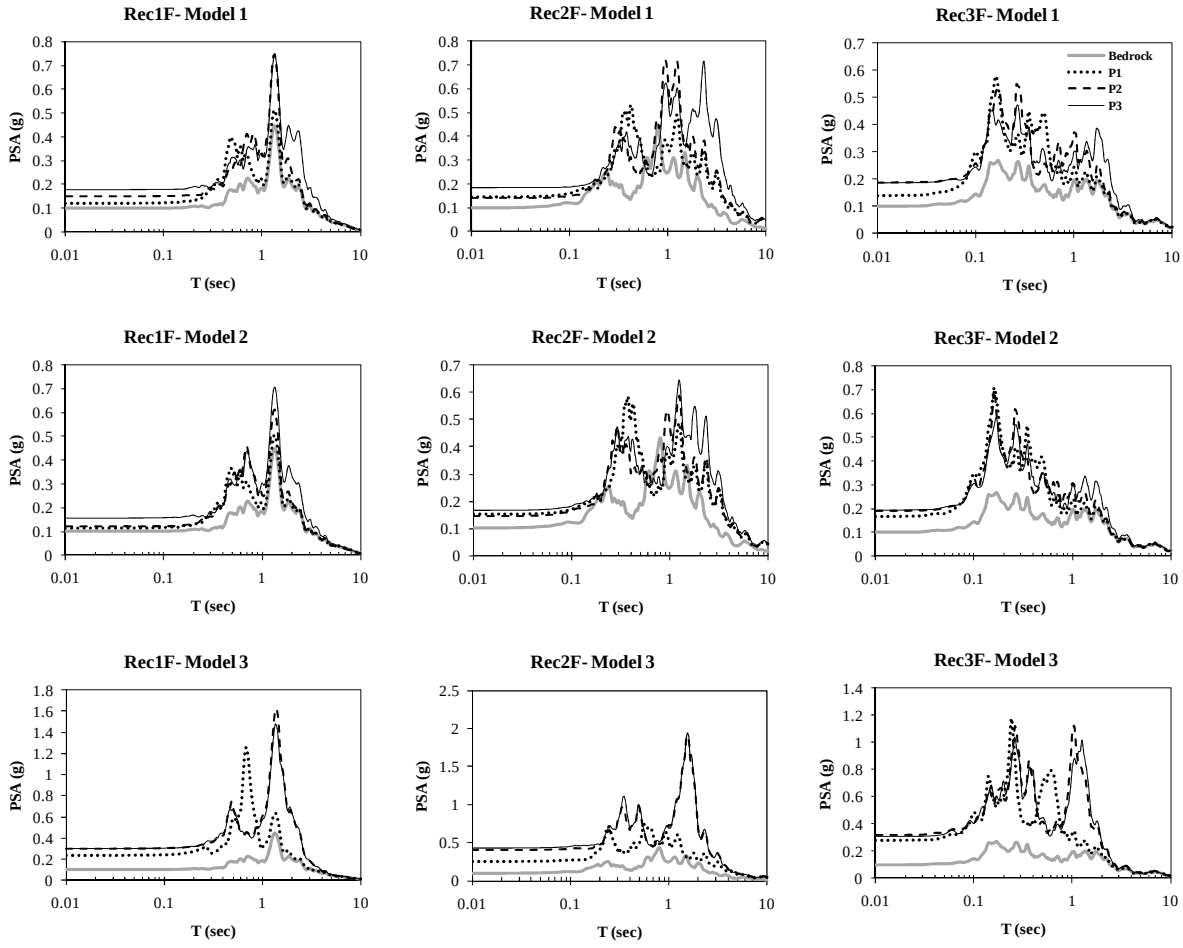



**شکل ۲: پاسخ‌های طیفی حاصله در پروفیل‌های مختلف تحت اثر رکوردهای نزدیک**

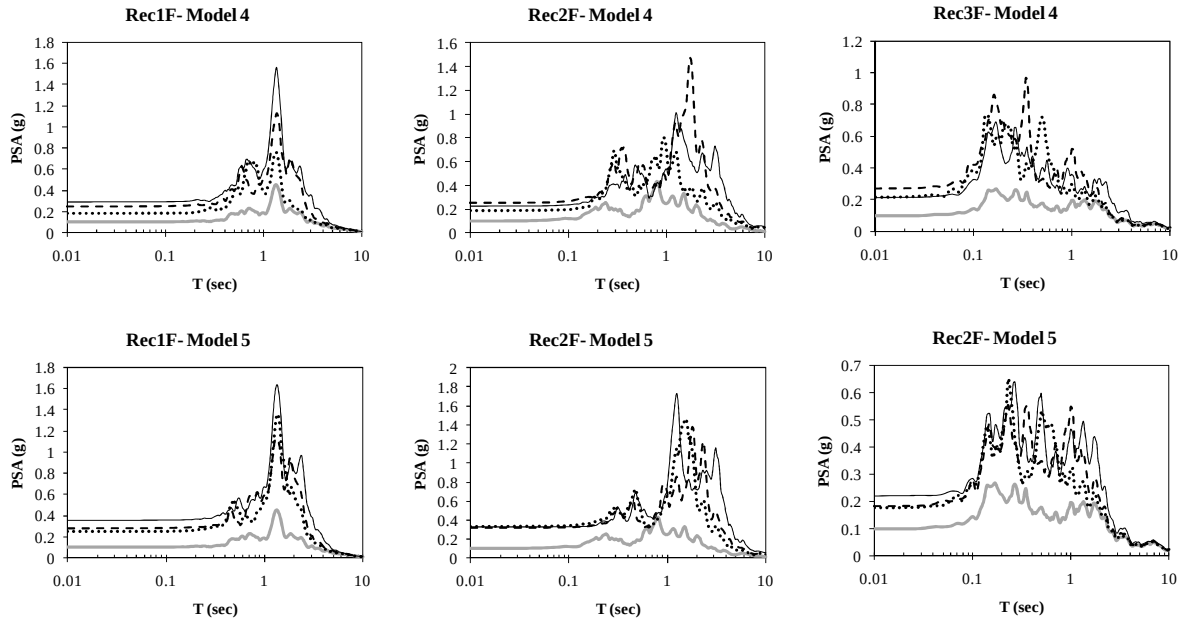



***ادامه شکل ۲: پاسخ‌های طیفی حاصله در پروفیل‌های مختلف تحت اثر رکوردهای نزدیک***

همانطور که از شکل ۲ پیداست، به نظر می‌رسد در نظر گرفتن عمق بیشتر خاک تحت اثر رکوردهای نزدیک، تاثیر چندانی در نتایج حاصله ندارد. بعبارت دیگر، می‌توان گفت در نظر گرفتن عمق کمتر برای پروفیل خاک، پاسخ‌های محافظه‌کارانه‌تری را ارائه می‌دهد.

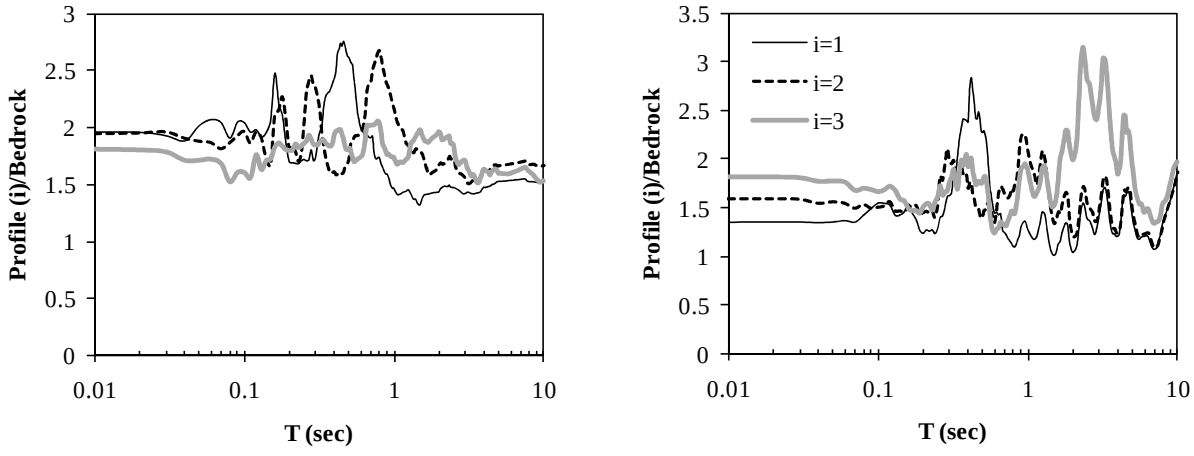



***شکل ۳: پاسخ‌های طیفی حاصله در پروفیل‌های مختلف تحت اثر رکوردهای دور***




*ادامه شکل ۳: پاسخ‌های طیفی حاصله در پروفیل‌های مختلف تحت اثر رکوردهای دور*

با بررسی شکل ۳ می‌توان گفت که در نظر گرفتن عمق بیشتر خاک تحت اثر رکوردهای دور، نتایج را بشدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. به بیان دیگر، می‌توان گفت در نظر گرفتن عمق کمتر برای پروفیل خاک، پاسخ‌های دست پایین‌تری را ارائه می‌دهد. در مواردی که ساختمان‌های با پریود بالا بر روی این نوع خاک‌ها قرار داشته باشد، می‌تواند آسیب‌های شدیدی به دلیل اثرات بزرگنمایی ساختگاه همچون زلزله اشاره شده‌ی مکزیکوسیتی ایجاد گردد. پس می‌توان به اهمیت درنظر گرفتن عمق خاک پی برد و اینکه لحاظ کردن تک پارامتر سرعت متوسط برشی در عمق ۳۰ متری نمی‌تواند در پروفیل خاک‌های نرم پارامتر مناسبی برای مقیاس کردن دامنه و لحاظ کردن اثرات بزرگنمایی ساختگاه باشد. به منظور بررسی دقیقتر برای اثرات بزرگنمایی در سطح زمین، پاسخ‌های طیفی حاصله در سطح زمین با درنظر گرفتن اعماق مختلف سنگ بستر فرضی نسبت به مقدار پاسخ طیفی حاصله بر روی سنگ بستر محاسبه و این نسبت برای مدل یک (پس از میانگین‌گیری پاسخ حاصل از ۳ رکورد) در شکل ۴ ترسیم شده است. می‌توان گفت، تحت اثر زلزله‌های دور، پریودهای بلند در صورت درنظر گرفتن عمق کمتر خاک می‌تواند نتایج غیر واقع گرایانه‌تری (دست پایین‌تری) را ارائه دهد.




*شکل ۴: متوسط پاسخ طیفی در مدل ساختگاه شماره (دهلی)۱ تحت اثر زلزله‌های نزدیک (سمت چپ) و دور (سمت راست)*

## نتیجه گیری

در سازه‌های در حین ساخت بدلیل اینکه کمتر در معرض وقوع زلزله به دلیل عمر کوتاه این سازه‌ها قرار می‌گیرند، نیار به طیف با دوره بازگشت کوتاه می‌باشد. پریودهای بلند در این طیف‌ها ناشی از زلزله‌های بزرگ دور می‌باشد که سازه‌های در حین ساخت در این محدوده پریودی قرار دارند و تشدید می‌تواند اتفاق بیفتد.

شرایط زمانی بحرانی‌تر خواهد شد که خاک سایتی که سازه در حین ساخت قرار است بر روی آن ساخته شود دارای پریود غالب بالایی باشد که خاک‌های نرم دارای چنین خصوصیاتی هستند که ۵ نمونه از آن در این مطالعه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

در این مطالعه علاوه بر تاثیر عمق خاک بر پاسخ لرزه‌ای، پروفیلهای خاک انتخاب شده تحت اثر تحریک لرزه‌ای ناشی از زلزله‌های نزدیک و دور قرار گرفتند. نتایج نشان داد تحت اثر زلزله‌های دور، عمق خاک می‌تواند نتایج را به شدت تحت تاثیر قرار دهد. بعبارت دیگر، درنظر گرفتن تک پارامتر سرعت متوسط موج برشی در عمق ۳۰ متری می‌تواند نتایج دست پایینی را بویژه در پریودهای بالا ارائه کند. از موارد مشابه می‌توان به زلزله ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی اشاره کرد که آسیب‌های وارده به سازه‌ها به اثرات بزرگنمایی ساختگاه نسبت داده شده که در فاصله بیش از ۳۵۰ کیلومتری از مرکز زلزله قرار داشت.

## مراجع


Adhikary S, Singh Y and Paul DK (2014) Effect of Soil Depth on Inelastic Seismic Response of Structures, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 61: 13-28

Bardet JP, Ichii K and Lin CH (2000) Eera: A Computer Program for Equivalent-Linear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits, University of Southern California, Department of Civil Engineering

Ellis GW and Cakmak AS (1987) Modelling Earthquake Ground Motions in Seismically Active Regions Using Parametric Time Series Methods

Hadjian AH (2002) Fundamental Period and Mode Shape of Layered Soil Profiles, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22 (9): 885-891

Hashash Y (2011) Site Amplification Factors for Deep Deposits and Their Application in Seismic Hazard Analysis for Central US

Kamatchi P, Rajasankar J, Iyer NR, Lakshmanan N, Ramana GV and Nagpal AK (2010) Effect of Depth of Soil Stratum on Performance of Buildings for Site-Specific Earthquakes, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(8): 647-661

Lee VW and Trifunac M (2010) Should Average Shear-Wave Velocity in the Top 30m of Soil Be Used to Describe Seismic Amplification?, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(11): 1250-1258

Lopez FJ (2002) Does Liquefaction Protect Overlying Structures from Ground Shaking, MSc dissertationROSE School, Italy, Pavia

Rodriguez-Marek A, Bray JD and Abrahamson NA (2001) An Empirical Geotechnical Seismic Site Response Procedure, *Earthquake Spectra*, 17(1): 65-87

Silva W, Stark C, Pyke R, Idriss IM and Humphrey JR (2004) Validation of One-Dimensional Site Response Methodologies, *Earthquake Spectra*

Singh SK, Mena E and Castro R (1988) Some Aspects of Source Characteristics of the 19 September 1985 Michoacan Earthquake and Ground Motion Amplification in and near Mexico City from Strong Motion Data, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78(2): 451-477

Stewart JP (2008) Benchmarking of Nonlinear Geotechnical Ground Response Analysis Procedures: Pacific Earthquake Engineering Research Center

Zhao JX, and Xu J (2013) A Comparison of Vs30 and Site Period as Site-Effect Parameters in Response Spectral Ground-Motion Prediction Equations, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103(1): 1-18