

## ژئوتکنیک لرزه‌ای و رفتار دینامیکی خاک در بافت تاریخی شهر یزد

احمد ادیب

دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد - تهران جنوب، [adib@azad.ac.ir](mailto:adib@azad.ac.ir)

### چکیده

تحلیل دینامیکی حرکت زمین در برآورد آسیب پذیری لرزه‌ای و مقاوم سازی سازه‌ها نقش اساسی دارد. در این مقاله حرکت زمین در بافت تاریخی شهر یزد با استفاده از اطلاعات گمانه فهادان و شتابنگاشتها در حوزه فرکانس انجام و برای تحلیل، از داده‌های ژئوتکنیکی، پروفیلهای لرزه‌ای درون چاهی و بیشینه شتاب جنبش زمین بر روی سنگ بستر لرزه‌ای برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال،  $0.22g$ . استفاده شد. در این بخش از شهر یزد، فرکانس تشدييد  $5/8$  هرتز و ضریب تشدييد آبرفت  $1/7$  به دست آمد. بر اساس ميانگين ضرایب و فرکانسهای تشدييد به دست آمده از تمام مدلها، دامنه امواج برشی در فرکانس بين ۵ تا  $6$  هرتز با ضریب  $1/5$  دچار تشدييد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: یزد، ضریب تشدييد، ژئوتکنیک لرزه‌ای، اثر ساختگاه، تحلیل دینامیکی، مقاوم سازی

## Seismic geotechnical and dynamic behavior of soil in the historical context of Yazd city

Ahmed Adib

Associate Professor, Islamic Azad University, South Tehran Branch, [adib@azad.ac.ir](mailto:adib@azad.ac.ir)

### Abstract

Dynamic earth motion analysis is essential for estimating seismic vulnerability and structural upgrading. In this paper, the motion of the earth in the historical context of Yazd city was carried out using the Fahadan borehole data and accelerograph in the frequency domain. For analysis, geotechnical data, seismic profiles in the well and maximum acceleration of the earth's motion on the seismic bed rock for the return period 475 years,  $0.22g$  used. In this part of Yazd, the frequency of resonance was 5.8 Hz and the resonance coefficient of alluvium was 1.7. Based on the average coefficients and resonance frequencies obtained from all models, the amplitude of shear waves is amplified at a frequency of 5 to 6 Hz with a coefficient of 1.5.

**Key Words:** Yazd, Resonant Coefficient, Seismic Geotechnical, Site Effect, Dynamic Analysis, Reinforcement

### ۱ مقدمه

در ژئوتکنیک لرزه‌ای، از مدلسازی مکانیزم شکست زمین در محل وقوع زلزله و ارزیابی انتشار موج در زمین برای تعیین تأثیر حرکت سنگ بستر روی پروفیل خاک و تولید نقشه آسیب‌پذیری منطقه ناشی از زلزله استفاده می‌شود (Dobry and Vucetic., 1987). در انتشار امواج لرزه‌ای از سنگ کف تا سطح زمین، محتوای موج تغییر می‌یابد و نهشته‌های رسوبی نرم، فرکانس‌های خاصی از حرکات زمین را تقویت و باعث می‌شوند تا اثرات مخرب زلزله و خسارات آن بیشتر شوند (Vucetic and Ishibashi., 1991, 1992). این تقویت با آنالیز پاسخ زمین که نشان دهنده چگونگی رفتار رسوبات نرم به حرکت سنگ کف تحتانی است را تشدييد می‌نامند. در تشدييد خاک، شتابهای بزرگ به سازه‌ها منتقل می‌شوند و هنگامی که فرکانس موج لرزه‌ای حاصل با فرکانسهای تشدييد سازه‌ها یکسان شود، این شتابها بسیار مخرب‌تر می‌نمایند (Kramer., 1996). برای مدلسازی پاسخ زمین، فرض شده که، مز لایه‌های خاک افقی تا بینهایت گسترش دارند و پاسخ نهشته‌های خاک با موج  $S_H$  ایجاد و به طور عمودی در لایه‌ها منتشر می‌شود.

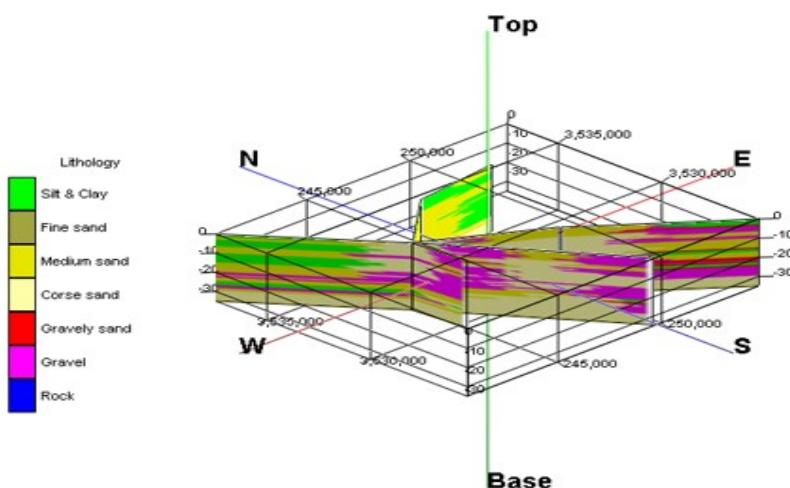
## ۲ روش تحقیق

خصوصیت غیرخطی مدول برشی خاک، با استفاده از یک فرآیند تکرار شونده برای یافتن مقادیر مدول و میرائی سازگار با استرینهای مؤثر در هر لایه به کار می‌رود. در این روش، یک سری حرکت معلوم در حوزه فوریه وتابع تبدیل برای لایه‌های مختلف با استفاده از خواص موجود پروفیل خاک به دست می‌آید. توابع تبدیل ضریب تقویت را بر حسب فرکانس برای یک پروفیل خاک مشخص و طیف فوریه در تابع تبدیل پروفیل خاک برای یافتن طیف تشذیب به لایه خاصی از خاک ضرب می‌شود. سری زمانی شتاب با استفاده از تبدیل عکس فوریه تعیین و با استفاده از شتاب بیشینه و با توجه به خصوصیات لایه خاک، استرس و استرین برشی به دست می‌آید و مقادیر جدید میرائی خاک و مدول برشی از نسبت میرایی و منحنی‌های کاهش مدول برشی متناظر با استرین مؤثر از سری زمانی استرین مشخص می‌شود.

مهمترین پارامتر پروفیل نماینده خاک که در بررسی‌های تخمین رفتار خاک در حالت دینامیک مورد نیاز است، ضخامت، واحد وزن خاک، بیشینه مدول برشی، سرعت موج برشی، شتاب گرانش زمین در محل گمانه و نوع خاک است (Seed, et al., 1986). تحلیل حرکت زمین در بافت تاریخی شهر یزد با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیکی، پروفیل سرعت خاک در گمانه فهادان، شتابنگاشتها و استفاده از الگوریتم Inverse-FFT و FFT انجام گرفت. برای بررسی رفتار خاک از منحنی کاهش مدول (توصیف رفتار خاک)، منحنی میرایی (رفتار ناشی از نسبت میرایی به دامنه استرین برشی) و منحنی حرکت زمین که با منحنی شتاب، سرعت و جابه جایی به عنوان تابعی از زمان مشخص می‌شود، استفاده می‌شود. Kokoshu., 1980 (Ishibashi and Zhang., 1993)

## ۳ بحث و نتایج

نهشته‌های آبرفتی بخش مرکزی شهر یزد از رس، سیلت و ماسه تشکیل شده است. تغییرات وزن واحد حجم خاک جزئی و مقدار میانگین آن در حدود ۱/۹ گرم در سانتیمتر مکعب است. میانگین عمق سطح آب زیرزمینی ۶۵ متر، بیش از عمق سطح سنگ بستر لرزه‌ای و وجود آب در این عمق تاثیری در میزان تشذیب یا کاهش انرژی زلزله و تغییر در شتاب زلزله در سطح زمین ندارد. در شکل(۱) و جدول (۱) سرعت موج برشی لایه‌های خاک و توزیع رسوبات آبرفتی در ناحیه ارائه می‌گردد(ادیب .. (۱۳۸۸).



شکل ۱. دیاگرام نرده ای (مقطع زمین شناسی) حاصل از انطباق گمانه های ژئوتکنیکی (ادیب .. (۱۳۸۸

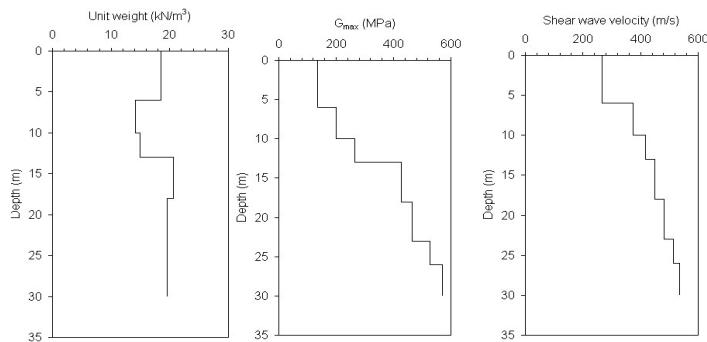
بر اساس جدول (۱) حداقل سرعت موج ۵۴۹ متر بر ثانیه در عمق ۳۰ متری و لایه معرف سنگ بستر لرزه‌ای در عمق ۴۰ متری متری قرار دارد. به دلیل پایین بودن سرعت موج S در این گمانه ضرایب پواسون در محدوده ۰/۴۳ تا ۰/۳۸ می‌باشد(ادیب .. (۱۳۸۸). برای تخمین رفتار خاک در حوزه فرکانس با لحاظ نمودن شتاب زلزله در دوره بازگشت انتخابی و اعمال

آن به ستون خاک، رفتار دینامیکی خاک در یک بعد (عمق) و به روش خطی معادل بر اساس نگاشت جنبش زمین مستقر روی بستر سنگی در ایستگاه دیهوك و زمینلرژه ۱۹۷۹ طبس به عنوان زمین لرزه مبنا، طیف پاسخ زمین در سطح، فرکانس تشدید دامنه موج لرزه ای، ضریب تشدید و مقدار شتاب با احتساب رخداد زمین لرزه با شتاب  $0.22g$  بر روی سنگ بستر لرزه ای برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال تعیین گردید(ادیب ، مهرنها德. ۱۳۷۷).

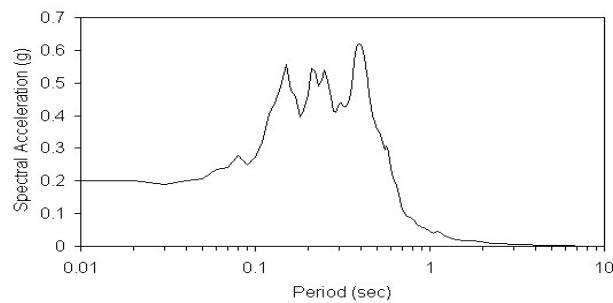
برای تعیین اثرات لایه بر روی دامنه امواج، از مدل شکل (۲) استفاده و پاسخ این مدل به موج برنشی منتشر شده از سنگ بستر در شکل (۳)، مقدار بیشینه شتاب جنبش زمین در شکل (۴) و نمودار ضریب تشدید دامنه موج بر حسب فرکانس در شکل (۵) ارائه می گردد، هارمونیکهای با فرکانس  $5/8$  به میزان  $1/7$  برابر دچار تشدید می شوند.

جدول ۱. اطلاعات ژئوتکنیکی و سرعت امواج لرزه ای درون گمانه فهادان(ادیب ، ۱۳۸۸)

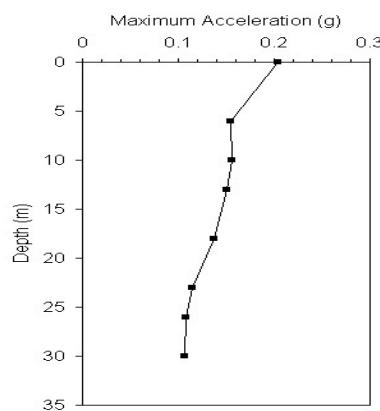
V <sub>s</sub> (M/S)	V <sub>p</sub> (M/S)	SPT	دانسیه	طبقه‌بندی توصیفی	عمق نمونه
182.7	510.4	30	1.52	Silt & clay	1
306.8	818.7	50	1.89	Silt & clay	4
363.6	956.5	40	1.44	Silt & clay	7
404.7	1032.8	>50	1.52	Medium Sand	10
434.4	1083.8	>50	2.1	Medium Sand	13
458.2	1120	>50	2.2	Medium Sand	16
468.7	1126.7	>50	2.2	Medium Sand	18
505.8	1174.2	>50	2.3	Medium Sand	23
520.2	1194	>50	2.2	Medium Sand	25
537.6	1216.5	>50	2.3	Medium Sand	28
549	1232.1	>50	2.21	Medium Sand	30



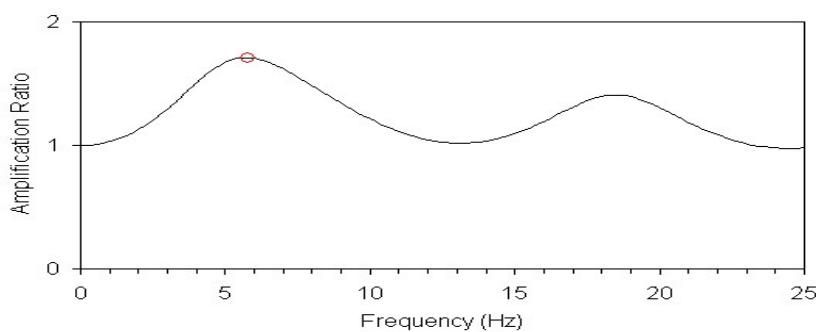
شکل ۲. مدل پیشنهادی برای توصیف رفتار لرزه ای لایه ها: سرعت موج برنشی، بیشینه ضریب برنشی و وزن مخصوص لایه ها



شکل ۳. پاسخ مدل ارایه شده به شتابنگاشت زمینلرژه طبس



شکل ۴. بیشینه شتاب جنبش زمین بر حسب  $g$  در اعماق مختلف در گمانه امیرآباد برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال.



شکل ۵. ضریب تشدید دامنه موج برشی برای هارمونیکهای با فرکانس‌های مختلف.

#### ۴ نتیجه گیری

در محل گمانه فهادان و بافت تاریخی شهر یزد برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال، ضریب تشدید  $1/7$  و فرکانس تشدید  $5/8$  هرتز ارائه می‌گردد، این مقادیر به علت وجود رسوبات رسی و ریزدانه در این ناحیه است.

#### منابع

ادیب، احمد، مهرنها德، حمید .. ۱۳۷۷، پهنه بندی لرزه‌ای استان یزد، وزارت مسکن و شهرسازی، سازمان مسکن و شهرسازی استان یزد  
ادیب، احمد.. ۱۳۸۸، ریزپهنه بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای شهر یزد، وزارت مسکن و شهرسازی، سازمان مسکن و شهرسازی استان یزد

- Dobry, R. and Vucetic, M., 1987, Dynamic properties and seismic response of soft clay deposits, *Proceedings, International Symposium on Geotechnical Engineering of Soft Soils*, Mexico City, Vol. 2, pp. 51-87.  
 Ishibashi, I .,1992, Discussion to "Effect of soil plasticity on cyclic response," by M. Vucetic and R. Dobry, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 118, No. 5, pp. 830-832.  
 Ishibashi, I. and Zhang, X.,1993, Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay, *Soils and Foundations*, Vol. 33, No. 1, pp. 182-191.  
 Kokoshu, T.,1980, Cyclic triaxial test of dynamic soil properties for wide strain range," *Soils and Foundations*, Vol. 20, No. 2, pp. 45-60.  
 Kramer, S.L.,1996, *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 653 pp.  
 Seed, H.B., Wong, R.T., Idriss, I.M., and Tokimatsu, K .,1986, Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesion less soils," *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 112, No. 11, pp. 1016-1032.  
 Vucetic, M. and Dobry, R ..,1991, Effect of soil plasticity on cyclic response," *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 1, pp. 89-107.