

تعیین میزان آسیب پذیری لرزه‌ای رواق شرقی مصلی تهران با استفاده از میکروترمور

دیاکو حریری^۱، محمد علی ریاحی^۲، احمد ادیب^۳

۱- دانشجوی دکتری ژئوفیزیک دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- دانشیار مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۳- استاد یار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

چکیده

برای تعیین میزان آسیب پذیری سازه‌ها در برابر لرزه‌های احتمالی نیاز به انجام آزمایشات غیر مخرب است که به دلیل آسانی و کم هزینه بودن روش آنالیز میکروترمورها، از این روش جهت بررسی میزان آسیب پذیری سازه رواق شرق مصلی تهران در برابر زمین لرزه‌های احتمالی آینده استفاده شده است. برای انجام این امر در نقاط مختلفی از سازه داده‌های میکروترمور برداشت گردیده و پس از تحلیل داده‌ها با استفاده از تکنیک ناکامورا مشخصات دینامیکی سازه و محل‌هایی که می‌توانند موجب ناپایداری سازه در برابر زمین لرزه‌های احتمالی آینده شوند تعیین گشته و نقاطی که دارای فاکتور تشدید بالا و فرکانس طبیعی پایین می‌باشند بدلیل متحمل شدن واتنش برشی بالا این نقاط با درجه بالای آسیب پذیری لرزه‌ای معرفی شده‌اند.

واژگان کلیدی: میکروترمور، ریز پهنه بندی لرزه‌ای، تکنیک ناکامورا

مقدمه

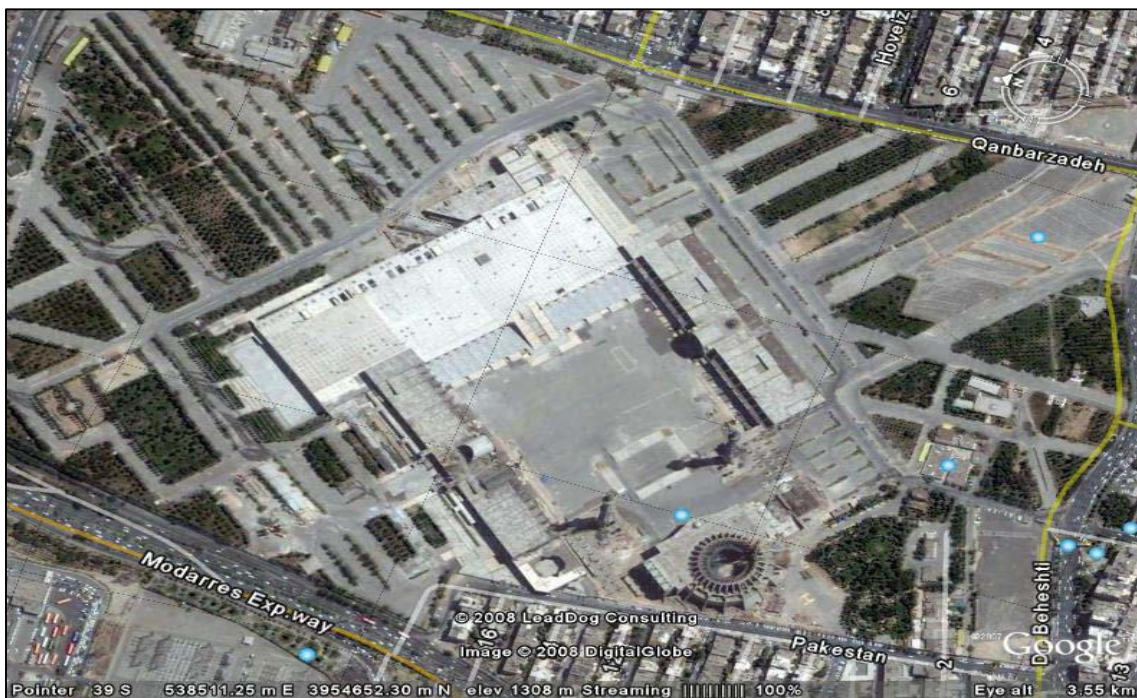
لرزه‌ای مناطق با استفاده از این تکنیک منتشر نموده‌اند که نتیجه کار آنها معرفی نقشه‌های هم‌پریود و هم‌شدت بوده است [2,3,4,5]. ناکامورا و همکارانش [14] از این روش جهت بررسی آسیب پذیری لرزه‌ای سازه‌هایی مانند مسجد سلیمانیه، موزه هاگیا سوفیا و مسجد سیزاده در ترکیه (۱۹۹۹)، کلیسای سان آگوستین در فیلیپین (۲۰۰۳) و برج پیزا در ایتالیا (۲۰۰۳) استفاده کرده‌اند.

میکروترمورها ارتعاشات خفیف زمین با دامنه حدود ۱ تا ۱۰ میکرون بوده که همواره در زمین وجود داشته و منابع مولد آنها می‌توانند عوامل طبیعی یا شهری باشند. اولین بار تکنیک تحلیل این داده‌ها توسط نوگوشی و ایگاراشی [9] ارائه گردید و سپس توسط ناکامورا [10] بسط داده شد و QTS (Quasi-Transfer spectra) نام گرفت. تا به امروز محققان زیادی تحقیقات خود را با هدف ریز پهنه‌بندی

زمین شناسی محل مورد مطالعه

سایت مصلی تهران در بخش‌های میانی مخروط افکنه‌های تهران در جایی که سیلابها ذرات دانه درشت خود را رسوب داده‌اند، قرار دارد. آبرفت‌های این منطقه متعلق به سری A بوده و از لایه‌های ضخیم شن و ماسه قلوه سنگ‌دار که کم و بیش سیمانی شده‌اند تشکیل یافته است. این محدوده در نزدیکی گسل تلویزیون و در فاصله ۸ کیلومتری از گسل لرزه‌زای شمال تهران با طول ۹۰ کیلومتر که توانایی ایجاد زلزله‌هایی به بزرگای بیش از ۷ ریشتر را دارد، واقع گردیده است. در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب نقشه هوایی محدوده مورد مطالعه، ساختمان رواق شرقی مصلی تهران و تصویری از لایه‌بندی و بافت رسوبات آبرفتی در نزدیکی محل مذکور نشان داده شده است.

تهران یکی از پر جمعیت‌ترین شهرها می باشد به دلیل قرارگیری شهر تهران بر روی گسل‌های فعال با توانایی ایجاد زمین لرزه‌های بزرگ، تعیین مناطق با خطر پذیری بالای لرزه ای در این شهر امری ضروری است. با معرفی اندیس آسیب‌پذیری لرزه‌ای توسط ناکامورا [10] می‌توان با ثبت داده میکروترمور و آنالیز آن با روش QTS در نقاط مشخصی در گستره شهر مناطق با خطر پذیری بالای لرزه ای را معرفی نمود و همچنین با ثبت داده ها در طبقات متفاوت یک سازه نیز می‌توان نقاط ضعف سازه را تعیین کرد. در این مقاله سعی شده است تا سازه رواق شرق مصلی تهران از طریق محاسبه اندیس آسیب پذیری لرزه‌ای در نقاط مشخصی از آن مورد تحلیل قرار گیرد.



شکل ۱- تصویر هوایی مصلی تهران



شکل ۲- ساختمان رواق شرقی مصلی تهران



شکل ۳- برشی از لایه‌بندی و بافت رسوبات آبرفتی در محدوده مورد مطالعه

تخمین اندیس آسیب پذیری

بر اساس تحلیل داده‌های بدست آمده در محل مورد مطالعه، اندیس آسیب‌پذیری مشتق شده از زمین و سازه‌ها در زمان وقوع زمین‌لرزه به صورت زیر تخمین و پیشنهاد می‌شود:

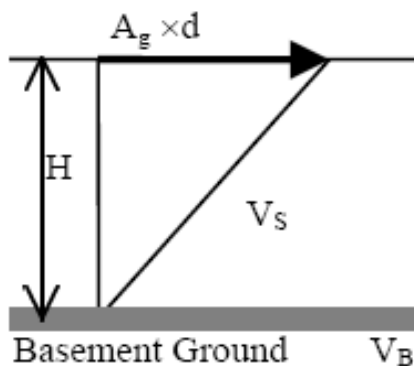
برای بررسی تغییرات بزرگ و گسیختگی زمین، مقدار واتنش برشی سطح زمین مدنظر می‌باشد. جدول (۱) نشان دهنده رابطه بین واتنش برشی و مخاطرات است که توسط ایشیهارا [5] ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که زمین در واتنش برشی ۰/۰۰۱ ویژگی غیر خطی از خود نشان داده و در واتنش برشی بزرگتر از ۰/۰۱ دچار تغییرات بزرگ و گسیختگی خواهد شد.

تخمین مشخصات لرزه ای سطح زمین و پاسخ لرزه‌ای سازه در محل مورد مطالعه

اگر مشخصات لرزه ای سطح زمین که مؤثر بر میزان آسیب زمین لرزه است را با آزمایشات دقیق بتوان بدست آورد تخمین آسیب پذیری سازه‌ها با دقت بالایی دور از انتظار نیست [11]. مشخصات سطح زمین را می‌توان توسط اندازه گیری نسبت طیفی مؤلفه افقی بر مؤلفه قائم میکروترمور به دست آورد. همچنین مشخصات پاسخ لرزه ای سازه‌ها را نیز می‌توان توسط محاسبه نسبت طیفی میکروترمورهای اندازه‌گیری شده به طور همزمان بر روی سازه و پی (فونداسیون) آنها تخمین زد [12].

جدول ۱- رابطه بین واتنش برشی و ویژگی های دینامیکی خاک [5].

Size of Strain γ	10-6	10-3	10-4	10-3	10-2	10-1
Phenomena	Wave, Vibration	Crack, Settlement			Landslide, Soil Compaction, Liquefaction	
Dynamic Properties	Elasticity	Elasto- Plasticity	Collapse			
			Repeat- Effect, Speed- Effect of Loading			



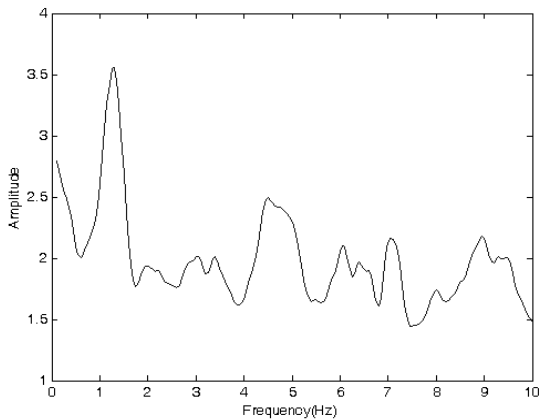
تغییر شکل سطح زمین در اثر واتنش برشی در شکل ۴ بطور ساده نشان داده شده است که می‌توان واتنش برشی میانگین را از رابطه (۱) محاسبه نمود:

$$\gamma = Ag \times d / H \quad (1)$$

که Ag فاکتور تشدید، H ضخامت لایه سطحی و d جابجایی لرزه‌ای سنگ کف بر حسب متر می‌باشد.

شکل ۴- نمای طرح واره مولفه واتنش برشی سطح زمین

شده به روش QTS مورد آنالیز قرار گرفته و جهت تعیین فاکتور تشدید از نسبت طیفی در طبقات بالا بر طبقه پایه استفاده گردیده است. در طبقه پایه فرکانس غالب ۱/۳ هرتز و دامنه تشدید ۳/۵ به دست آمد. در نقاط برداشت شده در طبقه دوم شاهد تغییر فرکانس غالب در محدوده ۱/۸ تا ۲/۲۵ هرتز می‌باشیم. تغییرات قابل ملاحظه فاکتور تشدید در نقاطی مشاهده گردید که تغییر چشمگیر اندیس آسیب‌پذیری لرزه‌ای در آنها دیده می‌شود. با وجود احداث سازه بر روی آبرفت‌های سری A که دانه متوسط تا دانه درشت هستند ولی به دلیل بالا بودن ضخامت آبرفت بر روی سنگ کف که تقریباً ۸۵ متر می‌باشد شاهد پیروید غالب ۰/۷۷ ثانیه در سطح می‌باشیم. در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب نسبت طیفی بدست آمده در نقاط اندازه‌گیری شده در طبقه پایه و در طبقه دوم رواق شرقی مصلی تهران نشان داده شده است که محور افقی نشان دهنده فرکانس بر حسب هرتز و محور عمودی بیانگر دامنه می‌باشد.



شکل ۵- نسبت طیفی بدست آمده در طبقه پایه سازه.

اگر سرعت موج برشی سنگ کف و سطح زمین به ترتیب v_s و v_b باشد می‌توان فرکانس غالب را از رابطه زیر بدست آورد:

$$F_g = v_b / 4A_g * H \quad (2)$$

شتاب سنگ کف نیز از رابطه $\alpha_b = (2\pi F_g)^2 * d$ حاصل می‌شود. همچنین می‌توان واتنش برشی را بر حسب فرکانس غالب، فاکتور تشدید و سرعت سنگ کف از رابطه ۳ بدست آورد:

$$\gamma = (A_g^2 * \alpha_b / (2\pi F_g)^2) * (4A_g^2 * F_g / v_b) = (A_g^2 / F_g) * (\alpha_b / \pi^2 v_b) \quad (3)$$

اگر راندمان نیروی دینامیکی اعمال شده برابر $e\%$ نیروی استاتیکی باشد واتنش برشی مؤثر از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$\gamma_e = K_g(e) * \alpha_b \quad (4)$$

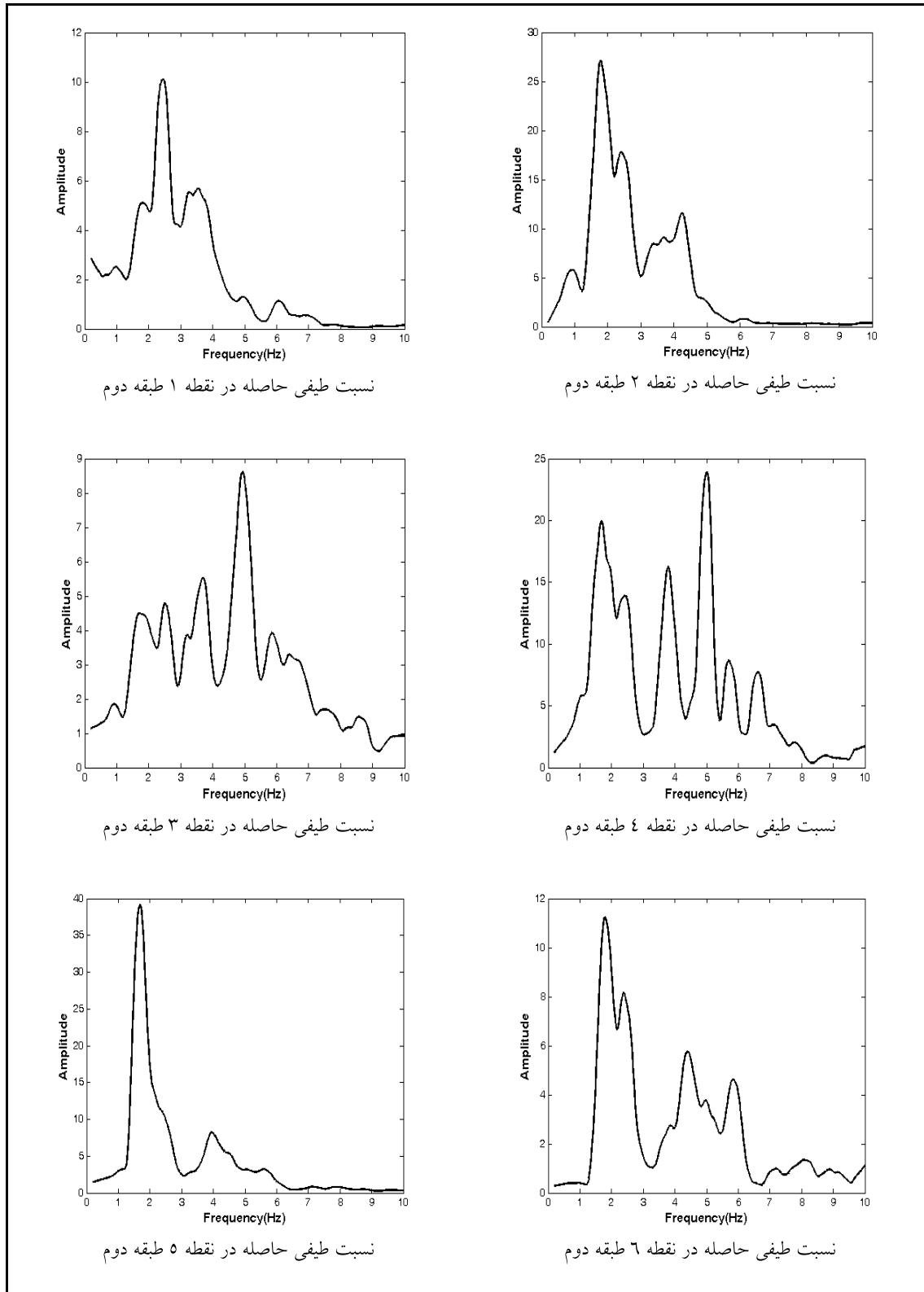
$$K_g(e) = e * (A_g^2 / F_g) / (\pi^2 * v_b / 100) \quad (5)$$

پارامتر K_g به توان اندیس، نمایشگر تغییر شکل نقاط اندازه‌گیری شده و مقادیر بالای آن به عنوان نقاط ضعف زمین معرفی می‌شود [10].

با فرض اینکه سرعت موج برشی میانگین برابر ۶۰۰ متر بر ثانیه باشد و $e=60\%$ بنابراین $K_g = A_g^2 / F_g$ خواهد شد.

جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل آنها

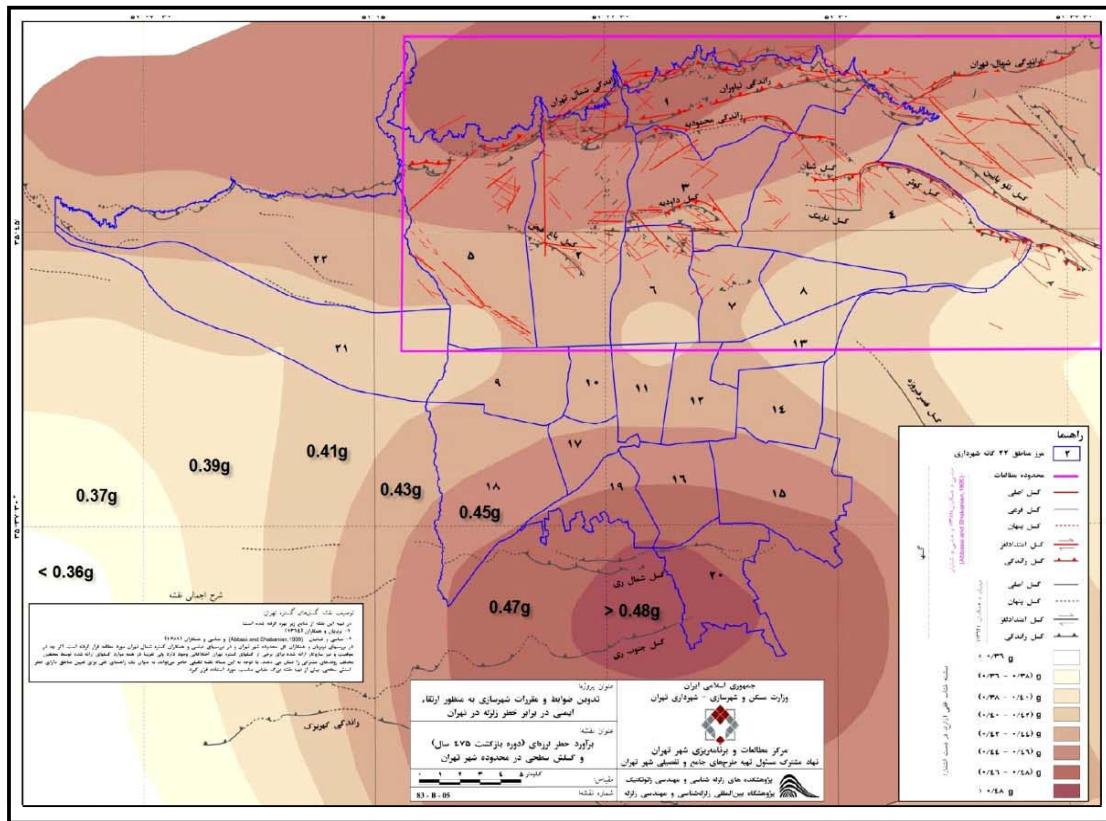
داده‌های میکروترمور توسط دستگاه SSR1 که دارای دو سنسور یک هرتزی که هر سنسور شامل دو مؤلفه افقی و یک مؤلفه قائم است، به مدت ۵ دقیقه در چند نقطه مشخص سازه در طبقه پایه و طبقه دوم از رواق شرقی مصلی اندازه‌گیری شده‌اند. سپس داده‌های ثبت



شکل ۶- نسبت طیفی محاسبه شده در نقاط اندازه گیری شده در طبقه دوم رواق شرقی.

نقشه هم شتاب زلزله در تهران می‌باشد [۱] که ماکزیمم شتاب در آن مقدار ۴۴۰ گال است، با توجه به ماکزیمم شتاب مذکور مقدار واتش برشی ایجاد شده در طبقه دوم سازه در اثر لرزش‌های احتمالی محاسبه گردیده و در جدول ۲ آمده است.

از شکل‌های فوق می‌توان مشخصات دینامیکی سازه را در نقاط اندازه‌گیری شده به دست آورد به گونه‌ای که ماکزیمم دامنه در نمودار حاصله نمایش دهنده ماکزیمم فاکتور تشدید و فرکانس مربوط به آن، فرکانس تشدید نقطه می‌باشد. شکل ۷ نشان دهنده



شکل ۷- نقشه هم شتاب زلزله در شهر تهران با دوره بازگشت ۴۷۵ سال [۱]

جدول ۲- مقدار میانگین واتنش برشی در نقاط اندازه گیری شده در طبقه دوم رواق شرقی مصلی براساس ماکزیمم شتاب

Point number on the second floor	Natural Frequency(Hz)	Amplification Factor	K Value	Average Shear Strain
1	2.2	10	45.45	0.00133
2	1.85	27	394.05	0.01156
3	2.25	11.3	56.75	0.00166
4	2.25	9.4	39.27	0.00115
5	1.8	20	222.22	0.00652
6	1.9	16	134.74	0.00395
7	1.8	38	802.22	0.02353
8	1.85	11.3	69.02	0.00202

سرعت موج برشی برابر ۶۰۰ متر بر ثانیه استفاده می‌شود. اگر مقدار سرعت موج برشی را ۶۰۰ متر بر ثانیه در نظر بگیریم تعداد نقاطی که در رنج گسیختگی واقع می‌شوند در رواق شرقی مصلی بیشتر خواهند بود. شکل ۸ (الف تا د) به عنوان نمونه عدم توجه در اجرای صحیح سازه‌ها را در محل مورد مطالعه آورده شده است. با توجه به محل‌های مشخص شده بر روی شکل‌های مذکور توسط دایره، ناپایداری سازه در برابر زلزله‌های احتمالی آتی را در بر خواهد داشت.

بر اساس جدول فوق و با استفاده از جدول ۱ در نقاط ۲ و ۷ رواق شرقی مصلی، به دلیل بالا بودن مقدار واتنش برشی می‌توان نتیجه گرفت که در اثر وقوع زمین لرزه ای به بزرگای ۷ ریشتر پدیده گسیختگی بتن در نقاط مذکور رخ خواهد داد. شایان توجه است که در این مطالعه برای محاسبه اندیس آسیب‌پذیری لرزه‌ای و میانگین واتنش برشی از مقدار سرعت موج برشی برابر ۱۵۰۰ متر بر ثانیه استفاده گردیده است. در صورتی‌که در محاسبات اندیس آسیب‌پذیری مرسوم بر طبق روابط ناکامورا [10]



ب: وجود انحنای و عدم اجرای صحیح ستون دیده می‌شود.



الف: وجود فرسودگی، شکستگی و عدم پوشش کافی پایه ستون‌ها دیده می‌شود.



د: فرسودگی و عدم پوشش کافی ستون دیده می‌شود.



ج: وجود فرسودگی و عدم پوشش کافی پایه ستون دیده می‌شود.

شکل ۸- عدم توجه در اجرای دقیق سازه‌ها

نتیجه‌گیری

اندیس آسیب‌پذیری برای کل مجموعه مصلی تهران که انجام آن ضروری می‌باشد توصیه می‌شود. همچنین چون شهر تهران در محدوده پر خطر لرزه‌ای قرار دارد و ضخامت آبرفت در زیر ساختگاه سازه‌ها در اغلب گستره شهر زیاد است بنابراین بررسی اثر ساختگاه برای کل شهر تهران ضروری است. بنابراین

بر اساس مطالعه حاضر در رواق شرقی مصلی تهران، نتایج نشان می‌دهند که تعدادی نقاط آسیب‌پذیر در محل مذکور در برابر زلزله وجود دارند. به واسطه آنکه هزینه‌های زیادی برای اجرای و بهره‌برداری ساختمان مصلی تهران انجام شده است، بررسی سریع و صحیح پارامترهای دینامیکی ساختگاه و تعیین

صورت می‌پذیرد را در برابر زلزله با استفاده از شناسایی پاسخ لرزه‌ای آنها پیشنهاد می‌گردد.

برای آنکه طراحی صحیحی جهت احداث سازه در گستره شهر تهران بتواند صورت گیرد، تعیین میزان آسیب‌پذیری سازه‌هایی که تجمع مردم تهران در آنها

منابع

- 7- Lermo, J., and Chavez- Garsia, F. J., (1994); are microtremors useful in site response evaluation? Bull, seismol. Soc. Am. 84, Pp 1350-1364.
- 8-Lachet, C., Hazfeld, D., Bard, P. Y., Theodolidis, N., Papaioannou, C., and Savvaidis, A, (1996); site effects and microzonation in the city of thessaloniki comparison of different approaches, Bull, seismol, soc, Am. 84, Pp 1350-1364.
- 9- Nogoshi, M. and Igarashi, T., (1971); on the amplitude characteristics of microtremor (part 2), jour. Seism. Soc. Japan, Pp 24, 26-40.
- 10-Nakamura, Y., (1997); Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures using Microtremor, World Congress on Railway Research, Florence, Pp 1-11.
- 11- Nakamura, Y., (1989); A method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface, Quarterly Report of Railway Technical Research Institute, Pp 25-33.
- 12- Nakamura, Y., (2000); Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications, Pp 26-56.
- ۱- پژوهشگاه بین‌المللی زلزله، ۱۳۸۱، پروژه تدوین ضوابط و مقررات شهر سازی به منظور ارتقاء ایمنی در برابر خطر زلزله در تهران، ۱۰۲ ص.
- 2- Bard P. Y. (1998); Microtremor measurements: A Tool for site effect estimation?, Manuscript for Proc. Of 2nd international symposium on the effect of surface geology on seismic motion, Yokohama, japan, 1-3 Dec, 1998, Pp 5-6.
- 3- Dravinski, M., Ding, G., and Wen, K. L., (1996); Analysis of spectra ratios for estimating ground motion in deep basins, Bull seismol. Soc. Am. 86, 646 654, Pp 4-6.
- 4- Field, E. H., Jacob, K.H., 1995, Acomparision and test of various site response estimation techniques, including three that are not refrence site dependent, Bull, seismol, soc, Am, 85, Pp1127-1143.
- 5- Ishihara, Kenji, (1978); Introduction to Dynamic soil mechanism (in Japanese).
- 6- Kanai, K. and Tanaka, T. (1961); On microtremors VIII." Bulletin of Earthquake Reaserch Institue, University of Tokyo, Vol 39, Pp 99-114.

amplification at five locations in S. Francisco:

A comparison of s waves, coda, and microtremor, Bull, seismol, soc, Am, 86, Pp 627-635.

16- S. Bonnefoy, (2005); the nature of noise wavefield and its applications for site effects studies a literature review Earth science, Pp 14-48.

13- Nakamura, Y., (2000); Vulnerability Investigation of Roman Colliseum using Microtremor, Pp 1-10.

14- Nakamura, Y., 2003, Vulnerability Assessment for Ground and Structures using Ambient Noise System and Data Research, Co., Ltd., 3-25-3 Fujimidai, Kunitachi, Tokyo, Japan, Pp 186-193.

15- Seekins, L. C., Wennerberg, L., Margheriti, L., and Ltu, H. P., (1996); site

