

بررسی رفتار لرزه ای خاک ها در زلزله های بزرگ

عبدالحسین حداد^۱، عباس سیوندی پور^۲، محمد بزاز^۳

۱- ahadad@semnan.ac.ir
۲- abbas.sivandi@gmail.com
۳- Mohammad-bazaz1362@yahoo.com

چکیده

این نظریه که ارتعاش آزاد خاک ها در زلزله های بزرگ روی می دهد، شبیه یک تناقض است. و این تناقض ناشی از این حقیقت است که انرژی آزاد شده از منابع زلزله در نسبت به زمان ثابت نیست و در زمان آزاد شدن انرژی بدون اینکه موج های اصلی زلزله به خاک برسند، خاک به حالت ارتعاش آزاد در می آید از این رو از شتابنگاشت ها می توان برای تشخیص موده های فرعی ارتعاش خاک که توسط موج های اولیه بوجود آمده اند استفاده کرد. در واقع ارتعاش آزاد تعیین شده در شتابنگاشت ها در زلزله های بزرگ مربوط به انرژی موج های برشی است. دو شیوه برای تخمین دوره تناوب خاک در حالت ارتعاش آزاد خاک از شتابنگاشت ها ارائه شده است: ۱- روش همپایه نگاشت (autocorrelogram) ۲- استفاده از طیف فوریه، در اکثر مواقع می توان فرکانس مودهای بالاتر از سه مود اول خاک را از هر دو روش ذکر شده به خوبی تعیین کرد. با این دو روش همچنین می توان میرایی خاک ها را در حالت ارتعاش آزاد بدست آورد. در طراحی های لرزه ای حاضر که ترکیبی از اطلاعات بدست آمده از شتابنگاشت ها می باشد تطبیق ضعیفی بین داده های حاصل از اندازه گیری شتابنگاشتی و روش تئوری وجود دارد. در این مقاله پس از معرفی این دو روش به تفاوت آنها پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: ارتعاش آزاد خاک، شتابنگاشت، همپایه نگاشت، طیف فوریه، دوره تناوب، میرایی

مقدمه

طراحی های لرزه ای حاضر که از اطلاعات بدست آمده از تکان های قوی زلزله حاصل می شوند تحت تاثیر تطبیق بین متغیر های اندازه گیری شده توسط شتابنگاشت ها و داده های تجربی هستند و یک عامل که تاثیر نسبتاً زیادی در تعیین این متغیر ها دارد شرایط محلی است. در حالتی که خاک محدود به یک یا دو لایه باشد و سرعت موجی برشی ناشی از زلزله نیز ثابت فرض شده باشد نتیجه ی زیر حاصل می شود. و می توان فرکانس تشدید خاک را بدست آورد.

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

که در این فرمول n شماره مود، H عمق لایه و V_s سرعت موج برشی است.

۱- استادیار دانشگاه سمنان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زلزله دانشگاه سمنان

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه سمنان

زمانی که طیف فوری حاصل از شتابنگاشت زلزله نقاط حداکثر مهم را در فرکانس های طبیعی خاک نشان دهد، می توان زمان های تناوبی که خاک به حالت تشدید رسید، تشخیص داد. و همانطور که می دانیم خرابی های سازه ها ناشی از تاثیرات شدید خاک در هنگام زلزله می باشد. در این مقاله فرض های مربوطه به پاسخ خاک به امواج لرزه ای برای ارتعاش در دوره تناوب های طبیعی خاک از مشاهده ی شتابنگاشت ها در زلزله های بزرگ در مرکز زلزله بدست آمده اند. اگر چه خرابی های ناخواسته سازه ها به علت تشدید شدن خاک در زلزله می باشد، ولی آئین نامه های طراحی لرزه ای این مسئله را در نظر گرفته اند. به طور مثال در سال ۱۹۸۵ زلزله ای به بزرگی ۸/۱ ریشتر به مرکز اقیانوس آرام رخ داد و بسیاری از سازه های بلند واقع در شهر مکزیکوسیتی واقع در فاصله ۴۰۰ کیلومتری از مرکز زلزله فرو ریختند. در این مقاله به دو شیوه برای تفسیر شتابنگاشت ها بحث شده است: ۱- استفاده از همپایه نگاشت ۲- استفاده از طیف فوری

همپایه نگاشت حاصل از شتابنگاشت زلزله

تابع همپایه ساز یک شتابنگاشت به عنوان همپایه نگاشت خوانده می شود که میزان ارتباط بین دو بازه ی زمانی مجزا با فاصله ی زمانی t را اندازه گیری می کند و از رابطه های زیر حاصل می شود.

$$\phi_{xx} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t)x(t+\tau) dt \quad (2)$$

که $x(t)$ ، شتاب زمین در زمان T ، دوره تناوب کل شتابنگاشت است.

تحلیل توابع همپایه ساز برای شتابنگاشت های مختلف نشان می دهد که مولفه های موج سینوسی در توابع همپایه ساز تاثیر مهمی دارند. تخمین تابع همپایه نگاشت معمولاً بوسیله ی معادله ی ۲ انجام می شود. و برای تعیین تابع ذکر شده باید از نمونه های تصادفی زیادی استفاده شود. نمودار نرمال شده همپایه نگاشت مربوط به چهار زلزله ی آلامدا ۱۹۶۲ (Parque Alameda)، آمریکا ۱۹۶۶ (Temblor S25w, USA)، رومانی ۱۹۷۷ (Bucharest NS Rumania) و شیلی ۱۹۸۵ (San Isidro L Chile) در شکل ۱ رسم شده اند.

توابع تجربی برای شتابنگاشت ها

اطلاعات همپایه نگاشت ها مانند دوره ی تناوب و ثابت های کاهندگی امکان این را می دهد که توابع تجربی جا به جایی های بدست آمده از ارتعاش آزاد یک سیستم یک درجه آزاد را با جابه جایی اولیه و سرعت اولیه صفر مرتبط ساخت، که رابطه زیر حاصل می شود.

$$y(t) = Ae^{-\beta(2\pi(t/T_s))} \cos\left(2\pi \frac{t}{T_s}\right) \quad (3)$$

که در آن T_s دوره ی تناوب و β نسبت میرایی است.

در شکل ۲a، همپایه نگاشت مربوط به شتابنگاشت زلزله ی مکزیک ۱۹۸۵ با بزرگی ۸/۱ ریشتر نشان داده شده است که این همپایه نگاشت نرمال شده است و برای این سه همپایه نگاشت مقدار T_s برابر ۳/۷۵ ثانیه و β برابر ۰/۵ بدست آمده است. با قرار دادن داده های بدست آمده در رابطه ۳، عبارت زیر حاصل خواهد شد.

$$y(t) = e^{-0.05(2\pi(t/3.57))} \cos\left(2\pi \frac{t}{3.57}\right) \quad (4)$$

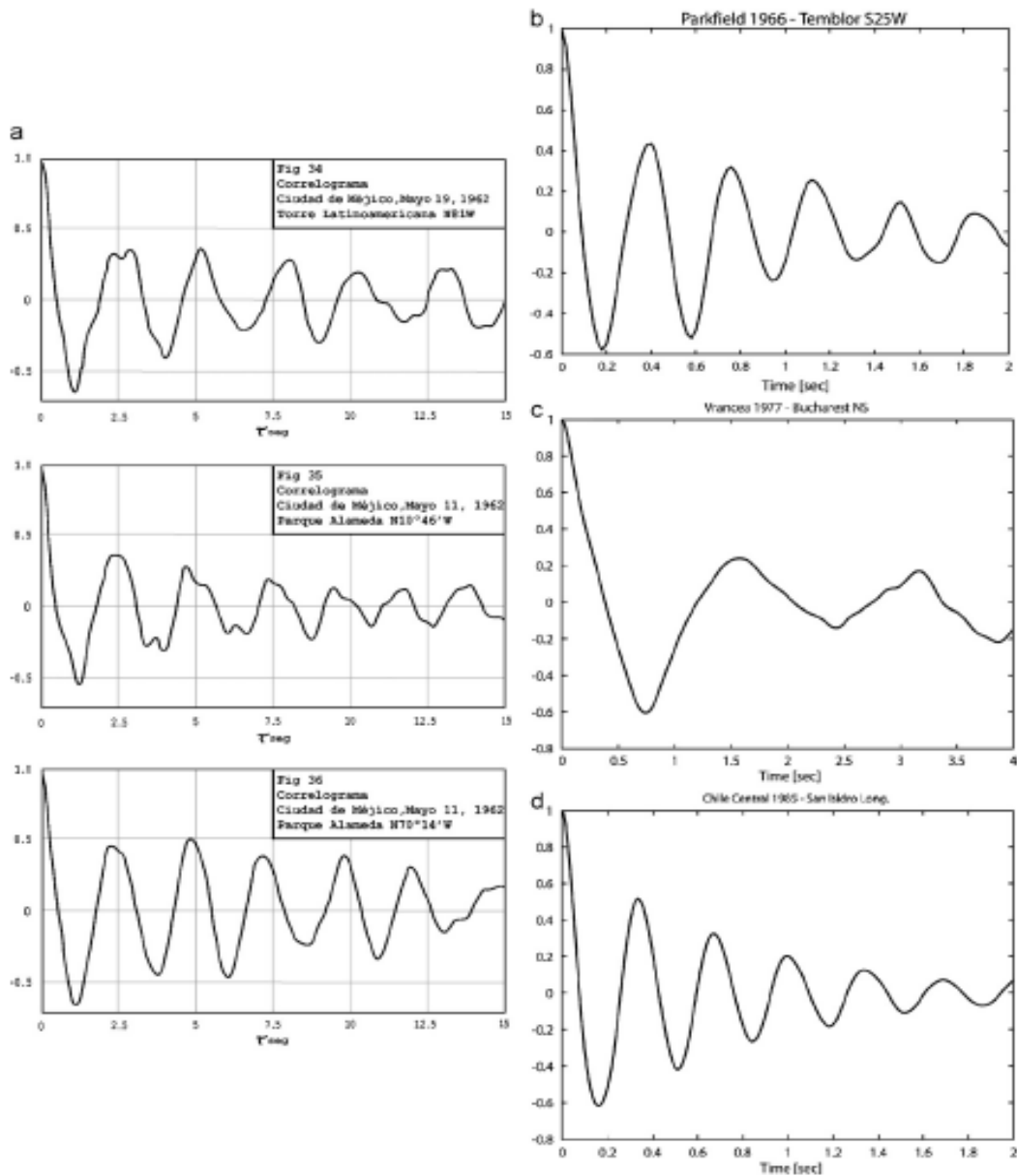
شکل ۲b انطباق بین فرمول ۴ و همپایه نگاشت بدست آمده از شتابنگاشت ثبت شده ی زلزله مکزیک در ایستگاه CDAO NE00EOAO را در بازه ی زمانی ۲۰ ثانیه نشان می دهد. این نتیجه نشان دهنده ی این موضوع است که خاک موجود در ایستگاه CDAO در زمان زلزله ۱۹۸۵ مکزیک بصورت سازه یک درجه آزاد میرا مرتعش شده است.

شکل ۲c و ۲f هم نشان دهنده ی انطباق کاملی بین همپایه نگاشت موجود در وزارت ارتباطات مکزیک (SCT) و زلزله ی ۱۹۸۵ مکزیک و همچنین زلزله ی ۱۹۸۵ شیلی و همپایه نگاشت San Isidro است.

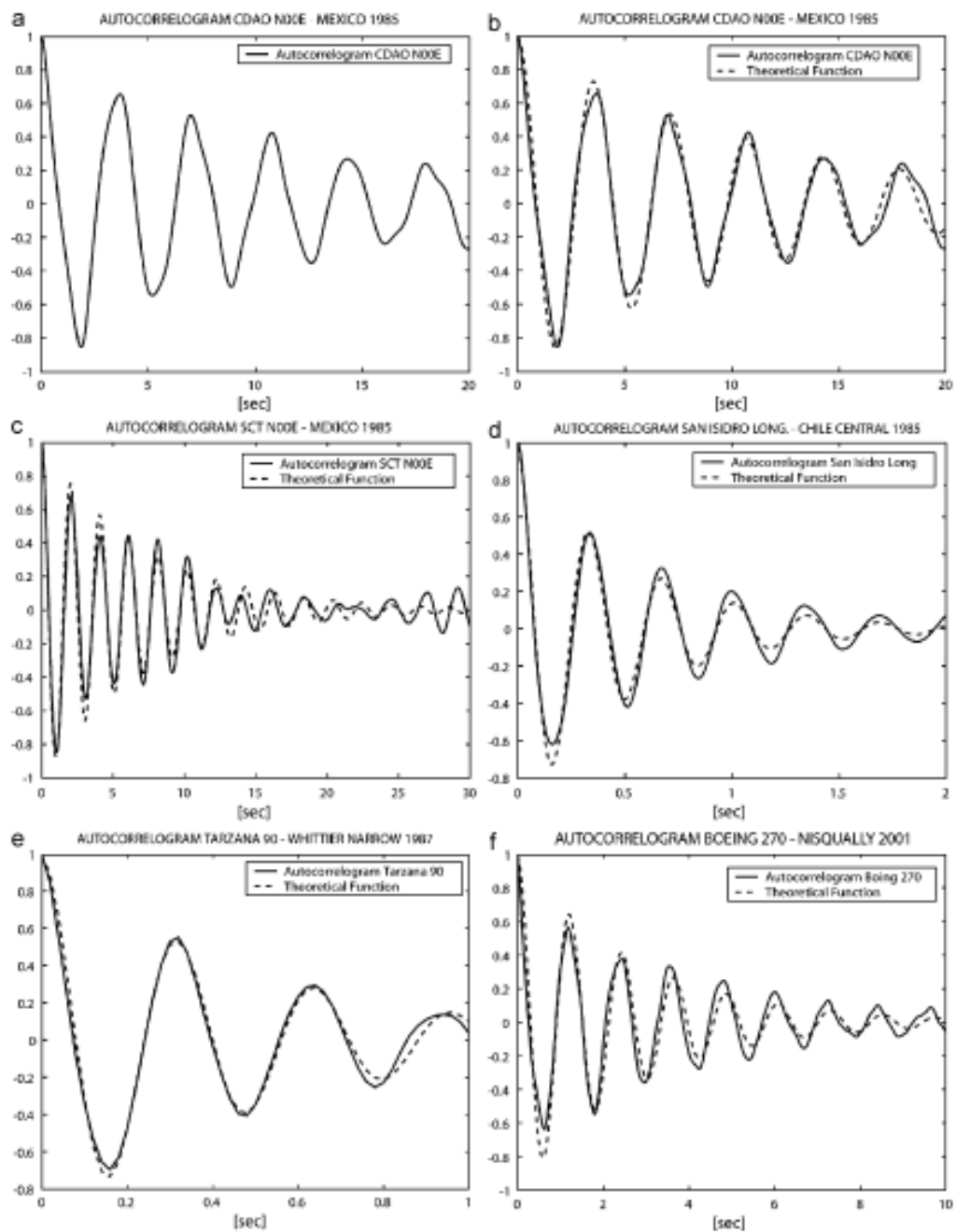
مقادیر مربوط به دوره ی تناوب و میزان خاک شکل ۲ در جدول ۱ نشان داده شده اند.

Accelerographic station	Fundamental mode	
	Natural period T_s (s)	Soil damping β
1. San Isidro Longitudinal, Chile Central 1985	0.34	0.104
2. SCT N00E, Mexico 1985	2.04	0.045
3. CDAO N00E, Mexico 1985	3.57	0.050
4. Tarzana 90, Whittier Narrow 1987	0.32	0.100
5. Boeing 270, Nisqually 2001	1.22	0.070

جدول ۱- دوره ی تناوب وضعیت میزان تخمین زده شده بوسیله روش همپایه نگاشت.



شکل ۱- نمودار نرمال شده همپایه نگاشت مربوط به چهار زلزله (a) آلامدا ۱۹۶۲ (Parque Alameda)، (b) آمریکا ۱۹۶۶ (Temblor S25w, USA)، (c) رومانی ۱۹۷۷ (Bucharest NS Rumania) و (d) شیلی ۱۹۸۵ (San Isidro L Chile) در شکل ۱ رسم شده اند.



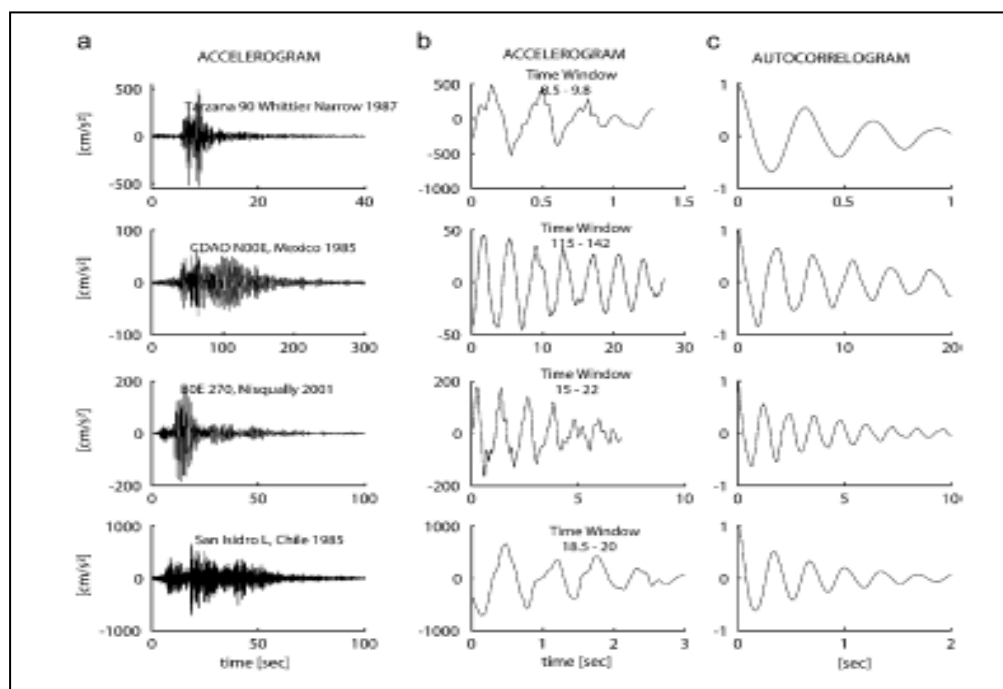
شکل ۲- مقایسه بین همپایه نگاشت ها و روش های تجربی: (a) CDAO N 00E (b) . CDAO N 00E (c) SCT N 00E (d) San Isidro L (e) Tarzana 90 (f) Boeing 270

ارتعاش آزاد تخمین زده شده از همپایه نگاشت ها در زلزله های قوی

این نکته که ارتعاش آزاد خاک ها در زلزله های بزرگ اتفاق می افتد شبیه به یک تناقص است. که ناشی از این حقیقت است که انرژی آزاد شده از منابع لرزه زا ثابت نیست و با زمان تعیین می کند. بنابراین مشاهده ی ارتعاشات خاک ها در شتابنگاشت های حاصل از یک زلزله ی بزرگ همیشه ممکن نیست و وابسته به بازه ی زمانی زلزله است. از این رو تخمین زدن ارتعاشات آزاد خاک از روی شتابنگاشت های ثبت شده در هنگام زلزله بسیار سخت می باشد.

زمانی که نمونه های تحلیل شده دارای مولفه های زیادی باشد فقط درصدی از ارتعاشات آزاد ثبت شده ناشی از شرایط اولیه ای که از موج های برشی رسیده حاصل شده اند قابل استفاده اند. آزمایشات ارتعاش آزاد سازه ها برای اندازه گیری دوره تناوب سازه و همچنین میرایی سازه به کار می روند. به طور مشابه ارتعاش آزاد خاک می تواند برای اندازه گیری میرایی خاک به عنوان روش کاهش تصادفی به کار می رود.

این ارتعاش آزاد قطعی خاک که در شتابنگاشت های مختلفی مشاهده شده که در شکل ۳ نشان داده شده است. این شتابنگاشت ها بازه های زمانی با میرایی های متفاوت و دامنه شتاب های مشخص نشان می دهند. و همچنین همپایه نگاشت مشابه با هر یک از شتابنگاشت ها نیز نشان داده شده است. در شکل ۳ علاوه بر شتابنگاشت ها، ناحیه های تکان قوی زلزله که در آن میرایی و دوره تناوب خاک قابل مشاهده است نشان داده شده است. در شکل شماره ۴ همپایه نگاشت های مرتبط با ۳ ایستگاه (۱۹۸۵ شیلی ایستگاه تارزانا، ۱۹۹۴ نورتریج ایستگاه SCT و ۱۹۸۵ مکزیک) نشان داده شده است. در این شکل می توان مشاهده کرد که علاوه بر همپایه نگاشت ها برای مولفه های افقی، مولفه های عمودی نیز همین نتیجه را دارا می باشند. از شکل ۴ می توان این نتیجه را گرفت که موده های ارتعاش را نیز از همپایه نگاشت ها می توان به دست آورد.



شکل ۳- (a) ارتعاش آزاد شتابنگاشت های مختلف (b) بزرگنمایی ناحیه زمانی تکان قوی زلزله (c) همپایه نگاشت با زمان تناوب و میرایی مشابه

میرایی خاک

میرایی خاک β به طور تجربی بوسیله ی روش همپایه نگاشت محاسبه می شود این مقدار از شکل ۲ برای زلزله های ۱۹۸۵ مکزیک، ۱۹۸۵ شیلی قابل حصول است و در جدول ۱ نیز خلاصه شده است.

بوپژه، مقادیر میرایی خاک بدست آمده برای ایستگاه های SCT , CDAO برای زمین رسی شهر مکزیکوسیتی بزرگتر از مقدار بدست آمده از ستون تشدید است.

مقدار میرایی بدست آمده از روش همپایه نگاشت اندکی بزرگتر از مقدار میرایی خاک ناشی از تداخل موج های کوتاه زلزله ناشی از ارتعاش آزاد و پاسخ خاک درمدهای بالاتر است. مقدارهای کم میرایی ایستگاههای SCT ، CDAO موجب کم تر مستهلک شدن نیروی زلزله و منجر به ارتعاش آزاد طولانی خاک شده است.

تخمین زمان تناوب سازه بوسیله طیف فوریه و مقایسه آن با روش همپایه نگاشت

در این قسمت زمان های تناوب طیف فوریه با زمان های تناوب تخمین زده شده از روش همپایه نگاشت در ارتعاش آزاد خاک ها مقایسه شده است. در زمان زلزله ی ۱۹۸۵ مکزیک یک شتابنگاشت لرزه های زلزله را در شهر مکزیکوسیتی ثبت کرده است و دوره تناوب خاک از دو روش ذکر شده، بدست آمده است. دوره تناوب پایه خاک تخمین زده شده از طیف فوریه در چهار زلزله با بزرگی های متفاوت حدود ۳/۵۳ ثانیه است این مقدر را منطبق است بر نقاط اوج طیف فوریه و این انطباق در جدول ۲ نشان داده شده است.

Earthquake	Magnitude M_S	Autocorrelogram period (s)		Fourier spectra period (s)	
		Component		Component	
		N00E	N90E	N00E	N90E
09/19/1985	8.1	3.69	3.93	3.62	3.78
09/21/1985	7.6	3.71	3.62	3.71	3.43
04/25/1989	6.9	3.29	3.47	3.35	3.46
09/14/1995	7.4 (Mw)	3.17	2.99	3.13	2.85

جدول ۲-مقایسه دوره تناوب خاک بدست آمده از طیف فوریه و روش همپایه نگاشت از زلزله های مختلف مکزیک در ایستگاه CDAO

از جدول ۲ این مسئله قابل مشاهده است که دوره تناوب اصلی خاک از اوج های طیف فوریه قابل حصول است و این دوره تناوب حاصل شده، با مقدار بدست آمده از همپایه نگاشت یکسان است و این مقدار بر عدد حاصل شده از رابطه ی ۱ نیز منطبق است. این نتیجه را می توان گرفت که مقادیر حاصله از طیف فوریه و همپایه نگاشت در زلزله های بزرگ یکسان هستند.

نتایج

الف) ارتعاش آزاد خاک در زلزله های بزرگ اتفاق می افتد و این ارتعاش آزاد در زلزله های بزرگ از شتابنگاشت ها به سختی قابل تشخیص است.
 ب) دو روش برای تخمین ارتعاش آزاد خاکها وجود دارد ۱- استفاده از طیف فوریه ۲- استفاده از همپایه نگاشت. هر دو روش به خوبی امکان محاسبه ی سه مود اول خاک را می دهند. از این دو روش همچنین می توان برای تعیین دوره ی تناوب و میرایی خاک استفاده کرد. میرایی حاصله از روش همپایه نگاشت مقداری بزرگتر از میرایی حاصل شده از روش های آزمایشگاهی است.
 ج) مقادیر حاصله از دو روش طیف فوریه و همپایه نگاشت در زلزله های بزرگ دارای نتایج یکسانی است.

مراجع

1. S.Ruiz, G.R.Saragoni (2008) Free vibration of soils during large earthquakes. *International Journal for Soil Dynamics and Earthquake Engineering*
2. Takaji Kokusho, Ryuichi Motoyama, Hiroshi Motoyama (2006) Wave energy in surface layers for energy-based damage evaluation. *International Journal for Soil Dynamics and Earthquake Engineering*
3. Edward H. Stehmyer, Dimitris C. Rizos . Considering dynamic soil structure interaction (SSI) effects on seismic isolation retrofit efficiency and the importance of natural frequency ratio. *International Journal for Soil Dynamics and Earthquake Engineering*
4. Braja M.Das Fundamentals of soil dynamics