

برآورد پاسخ لرزه‌ای ساختگاه رسوبی توسط ریز ارتعاشات تک ایستگاهی مطالعه موردی، ایرانشهر



ناصر حافظی مقدس، دکترای مهندسی زمین شناسی، شرکت مهندسین مشاور زمین فیزیک پویا، h_moghads@yahoo.com
روزبه یزدان‌فر، دانشجوی دکترای زمین شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، شرکت مهندسین مشاور زمین فیزیک پویا، rouzbeh.yazdanfar@gmail.com
احسان رستمی، کارشناسی ارشد ژئوفیزیک دانشگاه تهران، شرکت مهندسین مشاور زمین فیزیک پویا، enrostami@ut.ac.ir
محمد مهران، کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان، m.mehran@gmail.com



چکیده:

روشهای مبتنی بر مایکروترمورها اغلب به عنوان روشی ساده و کارا جهت برآورد میزان اثر زمین شناسی زیر سطحی روی تقویت زمین‌لرزه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. جهت برآورد پریود تشدید آبرفت و تابع تقویت نسبی، برداشت تک ایستگاهی ریزارتعاشات در ۱۲۳ ایستگاه در نقاط مختلف شهرستان ایرانشهر در استان سیستان و بلوچستان، انجام شده است. نقشه‌های هم پریود تشدید و هم شدت تهیه گردیده‌اند. بازه‌های انتخابی برای رسم منحنی‌های هم ارزش بر اساس طیف بازتاب در آیین نامه ۲۸۰۰ انتخاب شده‌اند. و نهایتاً شاخص آسیب‌پذیری زمین و کرنش برشی جهت ارزیابی پتانسیل خرابی لرزه‌ای و بررسی رفتار دینامیکی ساختگاه برای شهر ایرانشهر محاسبه گردیده است. نقشه هم پریود تشدید شهر ایرانشهر گویای این واقعیت می‌باشد که عمده نهشته‌های واقع در محدوده طرح جامع شهری ایرانشهر کوتاه پریود بوده و در محدوده پریودی کمتر از ۰/۴ ثانیه (پهنه ۱) و به عبارت دیگر زمین نوع دو واقع گردیده است. با توجه به جنس رسوبات (بافت خاک)، شکل حوضه، بالا بودن پی‌سنگ زمین‌شناسی و لرزه‌ای و سخت بودن رسوبات، پایین بودن پریود تشدید منطقی به نظر می‌رسد.

کلید واژه‌ها: ایرانشهر، ریز ارتعاشات، پریود تشدید، ناکامورا، شاخص آسیب پذیری

Abstract:

Single station microtremors observations have been performed at 123 sites in Iranshar, Iran. These data were processed based on horizontal-to-vertical spectral ratio (HVRS) method for estimation of the fundamental resonance period and quasi transfer function of ground. Iso-period and iso-amplification maps of study area had extracted base on processes. In order to evaluation of seismic damage potential and site dynamic behavior of Khash city, ground vulnerability index and shear strain are calculated. According to mentioned maps above, most of the Iranshahr city is located in low period resonance zones. This phenomenon is coherent with geological setting and sedimentary environment, existence of engineering bedrock at shallow depth of Iranshahr city.

Keywords: Iranshahr, microtremors, resonance period, Nakamura, Vulnerability Indice



مقدمه :

پاسخ حوضه‌های رسوبی به انرژی لرزه‌ای زمین لرزه‌های بزرگ تابع عواملی چون نزدیکی به چشمه، ویژگی‌های گسیختگی و جهت داری، تمایز امپدانسی، ساختار حوضه و ویژگی‌های رسوبات نزدیک سطح دارد (هردتی و همکاران، ۲۰۱۰). مطالعات، عمده خرابی‌های ناشی از زمین‌لرزه‌های اخیر را به تأثیر مستقیم شرایط زمین‌شناسی محلی بر جنبش نیرومند زمین نسبت می‌دهند. اثر ساختگاه به تغییر ماهیت امواج لرزه‌ای زمین که به تقویت حرکات ورودی از پی‌سنگ و در نتیجه تشدید خرابی‌های ناشی از آن منجر می‌شوند، اطلاق می‌گردد که به طور کلی آن را متأثر از دو عامل می‌دانند: شرایط زمین‌شناسی محلی و اثر توپوگرافی. آنالیزهای تئوری و مشاهدات نشان داده‌اند که هر ساختگاه فرکانس تشدید مختص به خود را دارد که در آن حرکت زمین تقویت می‌شود. (بارد، ۲۰۰۰، موکاپای، ۲۰۰۳). آن دسته از سازه‌های بشری که دارای فرکانس تشدید نزدیک به فرکانس تشدید ساختگاه باشند، بیشترین خرابی را متحمل خواهند گردید. بنابراین برای ساختن سازه‌های ایمن لرزه‌ای، دانستن فرکانس تشدید محل اهمیت دارد.

بهترین روش تخمین پاسخ ساختگاه بهره‌گیری از رکوردهای حرکت نیرومند زمین حاصله از زلزله‌های محلی است. اما چنین روشی به نواحی با نرخ لرزه‌خیزی بالا محدود می‌گردد (ناکامورا، ۲۰۰۸). روش‌های تحلیلی نیز نیازمند حجم قابل توجهی از مطالعات ژئوفیزیکی فعال و مطالعات ژئوتکنیکی می‌باشند. این روش به دلیل مخرب بودن، هزینه زیاد، زمان بر بودن و عدم قطعیت در نسبت دادن اطلاعات یک ایستگاه به نواحی مجاور، به ویژه در کشورهای در حال توسعه دارای محدودیت اجرا می‌باشد. استفاده از رکورد نوفه‌های پیرامونی که به عنوان ریز ارتعاشات تلقی می‌شوند، به طور فزاینده‌ای در حال افزایش است. ارتعاشات با دامنه کوتاه، ضعیف با پرپود پایین که ممکن است در سطح زمین ثبت شده باشند عموماً «ریز ارتعاش» نامیده می‌شود (اوکادا، ۲۰۰۳). این روش نسبت به سایر روش‌های هم‌زیرت‌هایی چون سرعت بالا، عدم نیاز به رخداد زلزله، عملیات صحرائی آسان و سریع، مدیریت راحت رزولوشن مکانی، هزینه کم عملیات اندازه‌گیری داده‌ها برای نقاط مختلف و وابستگی کمتر به داده‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را دارد. (لرمو و همکاران، ۱۹۸۸، فیلد و ژاکوب، ۱۹۹۵، بارد، ۲۰۰۰، پارولای، ۲۰۰۱، موکاپای و بورمن، ۲۰۰۳، ناکامورا، ۲۰۰۸).

روش‌ی که ناکامورا (۱۹۸۹) پیشگام توسعه آن بود، بر پایه تفسیر ریز ارتعاشات، به عنوان امواج برشی پیش‌رونده در یک لایه منفرد روی نیم فضا است (لرمو و چاوز، ۱۹۹۴). فرضیات ناکامورا: ریز ارتعاشات از چندین موج تشکیل شده‌اند، اما اساساً امواج ریلی در یک لایه سطحی نرم روی لایه سخت پیش‌روی می‌کنند. اثر امواج ریلی روی حرکت نوفه در طیف قائم در سطح موجود است اما در قاعده وجود ندارد. مؤلفه قائم حرکت ریز ارتعاشات توسط لایه نرم خاک تقویت نمی‌شود. اثر امواج ریلی روی حرکت ریز ارتعاشات برای مؤلفه‌های افقی و قائم یکی است. در محدوده گسترده‌ای از فرکانس (از ۰/۲ تا ۲۰ هرتز) نسبت طیف مؤلفه‌های افقی و قائم حرکت در کف لایه و لایه زیرین حدود یکی است (ناکامورا، و ۲۰۰۱، ۱۹۸۹، چاوز گارسیا، ۱۹۹۴، بورت و همکاران، ۱۹۹۸، تولادار و همکاران، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴).

در این مطالعه به منظور برآورد و تخمین پاسخ و استخراج پارامترهای دینامیکی ساختگاه (پریود تشدید و شبه تابع تقویت) در شهر ایران‌شهر که دارای پتانسیل لرزه‌خیزی بالایی می‌باشد، روی اندازه‌گیری-های تک ایستگاهی ریز ارتعاشات تمرکز گردیده است. روش ناکامورا (۱۹۸۹) و معیارهای اشاره شده در گروه مطالعاتی سزامی (SESAME, 2004) جهت پردازش داده‌ها و انتخاب پریود تشدید مورد استفاده قرار گرفته‌اند. توزیع مقادیر پریود تشدید و شبه تابع تقویت بدست آمده از پردازش داده‌ها در ناحیه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته شده است. مقدار عددی این پارامترها با زمین‌شناسی منطقه و داده‌های ژئوتکنیکی مقایسه گردیده‌اند.

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه در محدوده طرح جامع شهر ایران‌شهر در غرب استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. این شهر در محدوده «۲۷° ۹/۳۳ تا ۶۰° ۵۱/۱» طول جغرافیایی و «۲۷° ۱۰' ۴۸/۳۱ تا» عرض جغرافیایی قرار گرفته است. شهر ایران‌شهر عمدتاً بر روی رسوبات درشت دانه واقع شده است که در برخی قسمت‌های نواحی شهری رسوبات ریزتر نیز دیده می‌شود. بر اساس آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، این منطقه در پهنه با خطر نسبی زیاد قرار گرفته و برای آن شتاب مبنای ۰/۳g پیشنهاد شده است.



بحث :

اندازه‌گیری و پردازش داده‌های ریز ارتعاشات

۱- تقسیم بندی منطقه مطالعاتی به ۵۰ شبکه مربعی با ابعاد ۷۰۰ متری: معیار انتخاب شبکه اندازه-گیری و پیاده کردن نقاط برداشت بر اساس اطلاعات موجود زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی منطقه، ویژگی‌های آبرفت و همچنین مطالعات دفتری انجام گرفته پیش از آغاز عملیات برداشت لرزه‌ای بوده است.

۲ - برداشت ریز ارتعاشات محیطی در داخل هر شبکه به مدت ۱۵ دقیقه توسط لرزه‌سنج SL07 : در مرحله اول با توجه به شناخت نسبی از زمین‌شناسی منطقه برداشت‌ها داخل شبکه‌های مربعی انجام شد. در پایان این مرحله بر اساس نتایج بدست آمده از پردازش داده‌های مرحله اول و مقایسه آنها با بافت خاک منطقه وجود مرحله دیگری برای برداشت ریز ارتعاشات ضروری به نظر رسید. ابزارهای مورد استفاده جهت برداشت ریز ارتعاشات شامل لرزه‌سنج سه کاناله SL07، کامپیوتر قابل حمل و سیستم موقعیت یاب جهانی بودند. لرزه‌سنج SL07 یک لرزه‌سنج سه کاناله ساخت شرکت سارا (SARA) است. این لرزه‌سنج دارای یک رقومی کننده سه کاناله ۲۴ بیتی، یک گیرنده GPS و یک واحد پردازنده مرکزی با قابلیت ذخیره رکورد است. فرکانس طبیعی سنسورها ۲ دور بر ثانیه و میرایی بحرانی آنها ۰/۷ می‌باشد. مبدل آنالوگ به دیجیتال ۲۴ بیتی یک محدوده دینامیکی عالی و ۱۲۴ دسی بلی امکان نمونه‌برداری گسترده تا ۲۰۰ نمونه در ثانیه را مقدور می‌سازد.

۳ - وارد نمودن داده‌ها به نرم افزار PITSA جهت برش، اعمال فیلتر و تصحیح خط اساس: در مرحله بعد به منظور از بین بردن نوفه‌های ناخواسته، داده‌ها توسط فیلتر باتروورث باندگذر درجه ۴، در محدوده فرکانسی بین ۰/۱۲۵ تا ۲۰ دور بر ثانیه صاف شدند. در این مرحله علاوه بر فیلتر کردن داده‌ها، توسط فیلتر اعمالی، برای هر نقطه برداشتی پنجره‌های زمانی (داده‌ای) مناسب، بدون آشفتگی و اختلال انتخاب گردید.

سعی شد با مشاهده بصری (Visual inspection) نیز پنجره‌های زمانی که دارای آشفتگی (نوفه‌های گذرا) بیش از معمول بودند، حذف گردند که به همین جهت از ۱۵ دقیقه اندازه‌گیری برای هر محل فقط ۱۵ الی ۲۰ پنجره زمانی دارای ۲۰۴۸ نمونه، تقریباً ۷ دقیقه از کل برداشت، انتخاب گردید. تصحیح انحراف از خط مبنا توسط تابع running average انجام شد.

۴ - تهیه برنامه‌ای در نرم افزار MATLAB جهت انجام محاسبات نسبت طیفی: مراحل بعدی پردازش داده‌ها شامل تبدیل سریع فوری، هموار کردن، بدست آوردن نسبت طیفی برای ۱۵ پنجره انتخابی، میانگین‌گیری از این پنجره‌ها، رسم نمودار میانگین نسبت طیفی در مقابل فرکانس (پریود) به همراه انحراف از استاندارد میانگین داده‌ها توسط کدهای نوشته شده در نرم افزار متلب (MATLAB) انجام گرفت.

۵ - مشخص نمودن فرکانس یا پریود غالب از روی نسبت‌های طیفی حاصله : به منظور برآورد پارامترهای قابل استخراج نهشته‌های آبرفتی توسط روش تک ایستگاهی ریز ارتعاشات که شامل پریود تشدید نهشته‌ها و تابع تقویت نسبی (quasi transfer function) می‌باشد، پس از محاسبه طیف‌های فوری برای پنجره‌های زمانی این پنجره‌ها توسط تابع پارز با پهنای باند ۰/۴ دور بر ثانیه نرم (smooth) شدند. نرم کردن نسبت سیگنال به نوفه را افزایش داده و منجر خواهد گشت تا ویژگی‌های سیگنال (موقعیت اوج، بلندی، پهنای، مساحت و غیره) به طور دقیقی اندازه‌گیری شوند.

منحنی‌های طیف فوری افقی به عمودی در مقابل پریود با به‌کارگیری رابطه یک برای مؤلفه‌های شرقی- غربی و مؤلفه‌های شمالی- جنوبی کل پنجره‌های انتخابی سپس برای میانگین این پنجره‌ای زمانی رسم شدند، میانگین ۱۵ نسبت طیفی به همراه میانگین به اضافه و میانگین منهای انحراف استاندارد در مقابل پریود رسم گردیده و سرانجام پریود غالب ساختگاه و دامنه نسبت طیفی از روی این نمودار اندازه‌گیری شدند. پریود غالب، پریود منطبق با نقطه اوج نمودار و تابع تقویت، مقدار تقویت متناظر با پریود تشدید می‌باشد.

رابطه ۱:

$$R(T) = \frac{\sqrt{F_{NS}(T) \times F_{EW}(T)}}{F_{UD}(T)}$$

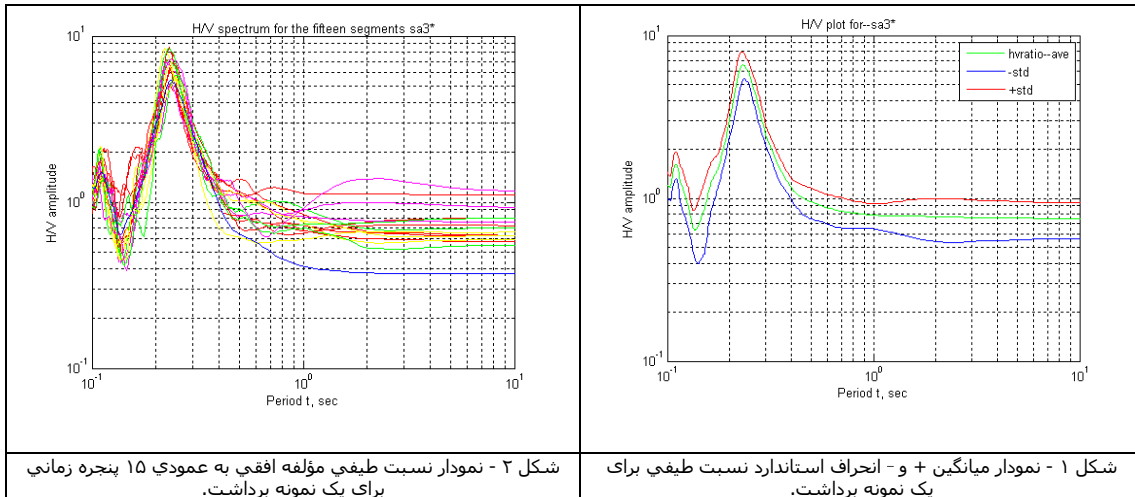
R: نسبت طیفی مؤلفه افقی به عمودی برای هر پنجره زمانی.

F_{NS}: طیف فوری مؤلفه شمالی - جنوبی.

F_{EW}: طیف فوری مؤلفه شرقی - غربی.

F_{UD}: طیف فوری مؤلفه عمودی.

که مقدار R(T) نسبت طیفی برای یک پنجره (از ۱۵ پنجره زمانی یک نقطه برداشت) زمانی می‌باشد.



۶- ارائه نقشه هم پریود تشدید منطقه.

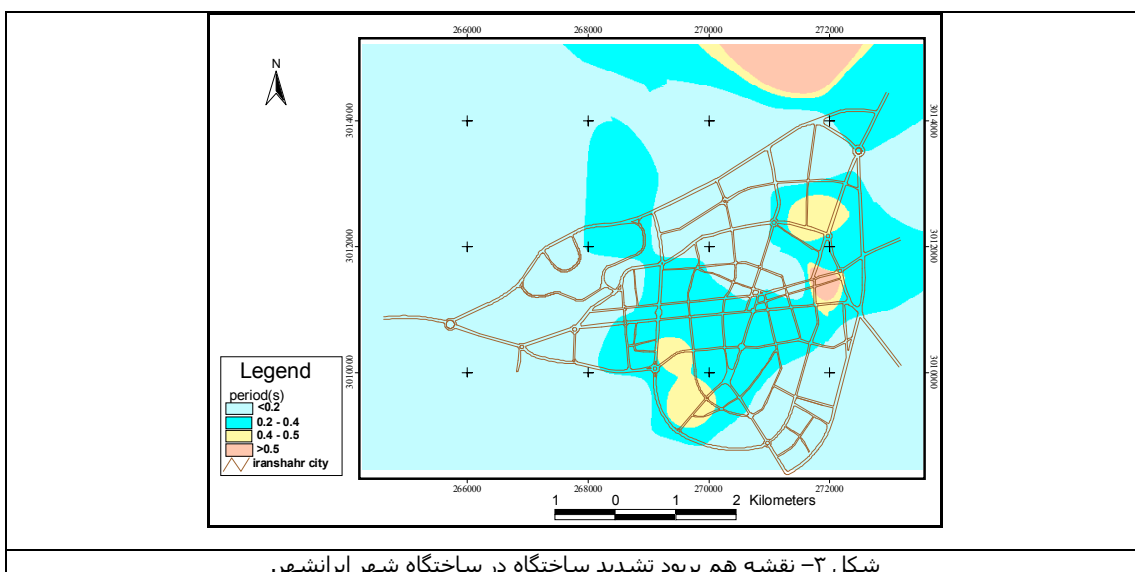
بر اساس محاسبات و پردازش‌های صورت گرفته کمینه و بیشینه مقادیر پریود به ترتیب برابر ۰/۱ و ۰/۶۷ ثانیه می‌باشند.

از مقادیر پریود محاسبه شده به همراه مختصات مربوط آنها که در هنگام برداشت روی زمین یادداشت برداری شده بود جهت درون یابی مکانی استفاده شد. بدین منظور و برای رسم منحنی‌های هم ارزش از نرم افزار Arc view 3.2 کمک گرفته شد. جهت درون‌یابی مقادیر پریود با استفاده از روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW) استفاده گردیده است.

پس از درون‌یابی، نقشه هم پریود در این نرم افزار تهیه گردید (شکل ۳). بازه‌های انتخابی برای رسم منحنی‌های هم ارزش بر اساس طیف بازتاب در آیین نامه ۲۸۰۰ انتخاب شد.

جدول (۱) رابطه نوع زمین و Ts (بر اساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰).

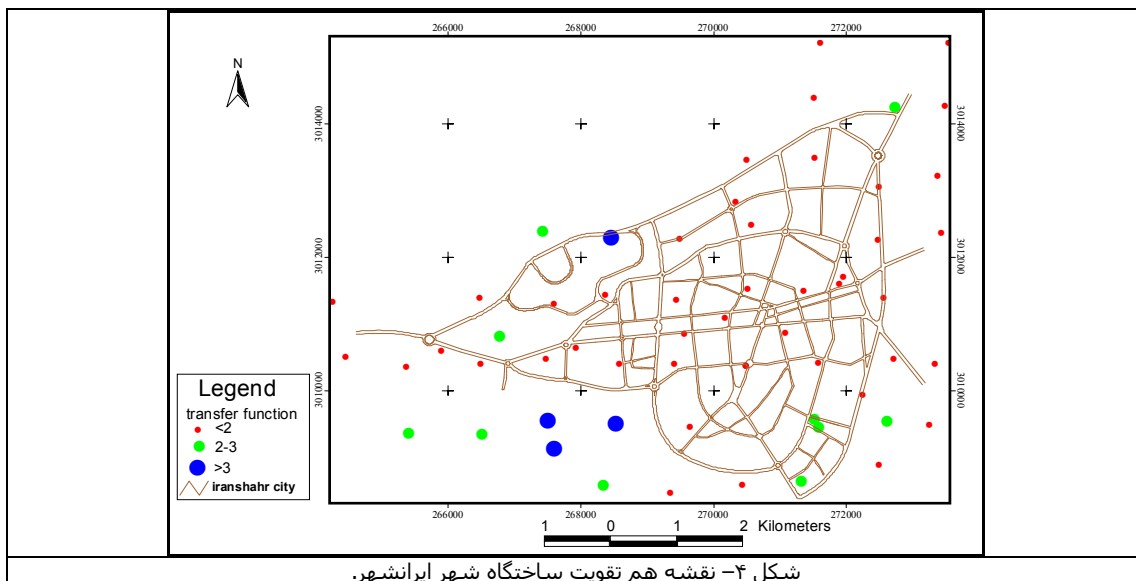
نوع زمین.	Ts
I	۰/۴
II	۰/۵
III	۰/۷
IV	۱/۰



۷- ارائه نقشه هم تقویت ساختگاه.

استفاده از دامنه نسبت طیفی بدست آمده از روش ناکامورا به عنوان تقویت واقعی ساختگاه توجیه علمی ندارد؛ بنابراین برای دامنه اوج نسبت طیفی افقی به عمودی (H/V) يك روند کلی وجود دارد که برآورد حد پائینی از تقویت حقیقی ساختگاه می‌باشد. به عبارت دیگر دامنه اوج H/V به طور کلی می‌تواند به عنوان مرز پایین‌تر تقویت واقعی ساختگاه در نظر گرفته شود (SESAME, 2005). روش ناکامورا نتایج قابل اعتمادی بر حسب فرکانس غالب ارائه می‌کند اما قادر به ارائه سطح تقویت واقعی ساختگاه نیست (تولدهار، ۲۰۰۲، پارولای و همکاران، ۲۰۰۴، پانو، ۲۰۰۴، تولدهار و همکاران، ۲۰۰۴، دیکمن و میرزاگلو، ۲۰۰۵).

از مقادیر سطح تقویت نسبی بدست آمده از روی نمودارهای نسبت طیفی جهت پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه بر حسب دامنه‌های طیفی بهره گرفته شد و نقشه هم تقویت در گستره مزبور تهیه گردید. کمینه و بیشینه دامنه طیفی به ترتیب برابر ۱ و ۴/۲ می‌باشند. شکل ۴ نقشه هم تقویت ساختگاه شهر ایرانشهر را نشان می‌دهد.



شکل ۴- نقشه هم تقویت ساختگاه شهر ایرانشهر.

۸- شاخص آسیب پذیری و کرنش برشی زمین در ایرانشهر مطابق جدول ۲ زمین از $\gamma = 10^{-6} * 1000$ شروع به نشان دادن رفتار غیر خطی می‌کند تا اینکه در 10^{-2} تغییر شکلهای بزرگ و واژگونی رخ می‌دهد (ناکامورا، ۱۹۹۷). میانگین کرنش‌های سطح زمین توسط رابطه ذیل برآورد می‌گردد:

$$\gamma = A_g \times d/H \quad (2)$$

A_g فاکتور تقویت زمین، H ، ضخامت لایه سطحی، d جایجایی لرزه‌ای زمین می‌باشند. شاخص آسیب پذیری زمین از فرکانس تشدید و تابع تقویت به صورت زیر برآورد می‌گردد:

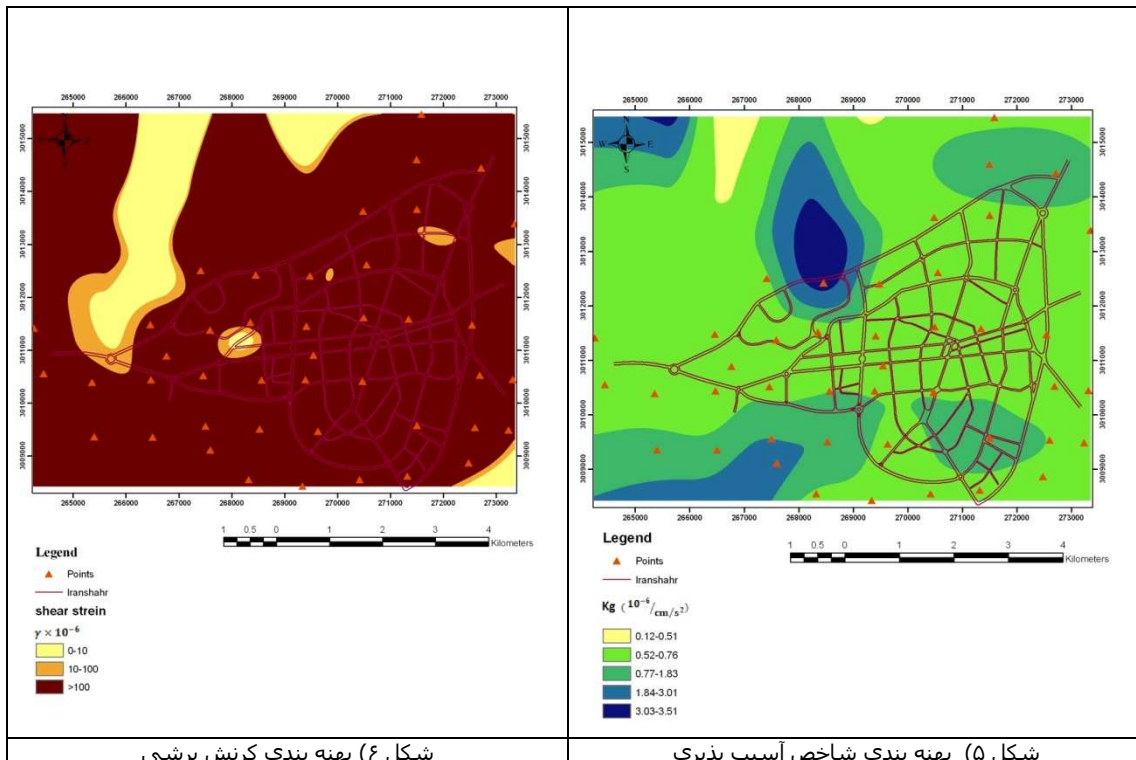
$$K_g(\omega) = A_g^2 / F_g \quad (3)$$

A_g فاکتور تقویت زمین و F_g فرکانس تشدید ساختگاه می‌باشند.

جدول ۲- ویژگی‌های دینامیکی وابسته به کرنش برشی خاک

Size of Strain γ	10^{-6}	10^{-5}	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					

مقادیر پررود بنیادی و تابع تقویت استخراج شده در ریز پهنه بندی لرزه‌ای شهر ایرانشهر برای محاسبه شاخص آسیب پذیری و مقدار کرنش برشی زمین توسط روابط ارائه شده ناکامورا (روابط ۲ و ۳)، و پهنه بندی این شهر بر اساس این شاخصها مورد استفاده قرار گرفتند. کمینه و بیشینه شاخص آسیب پذیری به ترتیب ۰/۱۶ و ۲/۵۱ (واحد شاخص آسیب پذیری $10^{-6} / \text{cm/s}^2$ است) می‌باشند. مقادیر کرنش برشی که حاصل ضرب شاخص آسیب پذیری در شتاب پی سنگ می‌باشد نیز به همین نسبت برای تمام ایستگاه‌ها تغییر می‌نماید. نقشه پهنه بندی شاخص آسیب پذیری و کرنش برشی شهر ایرانشهر در شکلهای ۵ و ۶ نشان داده شده‌اند.



شکل ۶) پهنه بندی کرنش برشی

شکل ۵) پهنه بندی شاخص آسیب پذیری



نتیجه گیری :

جهت برآورد پارامترهای دینامیکی آبرفت، اندازه‌گیری‌های تک ایستگاهی ریز ارتعاشات در ۱۲۳ محل در داخل و اطراف شهر ایرانشهر انجام گرفت. پیروند تشدید هر محل مبتنی بر روش نسبت طیفی افقی به عمودی ریز ارتعاشات (روش ناکامورا) استخراج گردید و داده‌های حاصل از پردازش جهت تهیه نقشه هم پیروند تشدید و هم تقویت آبرفت بکار گرفته شدند.

نقشه هم پیروند تشدید شهر ایرانشهر گویای این واقعیت می‌باشد که کل نهشته‌های واقع در محدوده طرح جامع شهری ایرانشهر کوتاه پیروند هستند.

پایین بودن پیروند تشدید در این ساختگاه را می‌توان به جنس رسوبات (بافت خاک)، شکل حوضه، بالا بودن پی‌سنگ زمین‌شناسی و لرزه‌ای و سخت بودن رسوبات مربوط دانست. بافت خاک عمده محدوده طرح جامع شهری بنابر بازدیدهای صحرائی همزمان با برداشت ریز ارتعاشات و با استناد به نگار گمانه-های حفاری شده و نقشه بافت خاک، درشت دانه از جنس پبلی و گراولی می‌باشد که خود دلیل بر پایین بودن پیروند تشدید این ساختگاه می‌باشد.

مقادیر شاخص آسیب پذیری و کرنش برشی در منطقه مورد مطالعه پائین می‌باشند. بنابر مقادیر این دو پارامتر تغییر شکل لرزه‌ای قابل توجه‌ای مورد انتظار نیست. این مسئله با مقادیر بالای فرکانس تشدید ساختگاه در منطقه همخوانی نشان می‌دهد.



منابع فارسي :

ترکاشوند، ا. (۱۳۸۵)، راهنما و تفسیر آئین نامه طرح ساختمان هادر برابر زلزله و مهندسي زلزله+آئین نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم، فراز اندیشان سبز، ۱۵۷ صفحه.
حافظی مقدس، ن. (۱۳۸۹)، ریز پهنه بندی لرزه‌ای ایران شهر، سازمان مسکن و شهرسازی سیستان و بلوچستان.
میر حسینی، م. عارف پور، ب. (۱۳۷۸)، مهندسي ژئوتکنیک لرزه اي، انتشارات پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسي و مهندسي زلزله، صفحه ۹۳۳.



References:

- Dikmen, U, Mirzaoglu, M., 2005. The Seismic Microzonation Map of Yenisehir-Bursa, NW of Turkey by Means Of Ambient Noise Measurements. *Journal of Balkan Geophysical Society*, Vol 8, No.2, P 53-62.
- Field, E.H., Jacob, K., 1995. A comparison and test of various site response estimation techniques, including three that are non reference-site dependent. *Bulletin Seismological Society of America* 85, 1127–1143.
- Hardesty, K., Wolf, L.W., Bodin, P. (2010), Noise to signal: A microtremor study at liquefaction sites in the New Madrid Seismic Zone. *Geophysics*, Vol. 75, No. 3 _May-June 2010_; P. B83–B90, 6 Figs., 2tables. 10.1190/1.3374357
- Lermo, J. and Chavez-Garcia F. J., 1994. Are microtremors useful in site response evaluation? *Bull. seism. Soc. Am.* 84, No. 5, pp. 1350-1364.
- Mukhopadhyaya, S. and Bormann, P., 2003. Low cost seismic microzonation using microtremor data: an example from Delhi, India. *Journal of Asian Earth Sciences* 24, P 271–280
- Nakamura, Y., 1997. Seismic Vulnerability Indices For Ground and Structures Using Microtremor, *World Congress on Railway Research in Florence, Italy, November.*
- Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Quarterly Report of RTRI*, 30, No. 1, pp. 25 – 33.
- Nakamura, Y., 2000. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. *Proc. 12th World Conf. on Earthquake Engineering, Auckland.*
- Nakamura, Y., 2008. ON THE H/V SPECTRUM, *Proc. 14th World Conf. on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.*
- Okada, H., (2003). The Microtremor survey method. *Geophysical Monograph Series, Society of Exploration Geophysicists* 12.
- Sesame, (2005). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations-measurements, processing and interpretations, *SESAME European research project EVG1-CT-2000-00026, deliverable D23.12*
- Tuladhar, R., (2002) , Seismic Microzonation of the Greater Bangkok with Microtremor Observations, thesis for degree of Master of Engineering, Asian Institute of Technology, School of Civil Engineering.
- Tuladhar, R., Yamazaki, F., Warnitchai, P. and Saita, J., 2004. Seismic microzonation of the greater Bangkok area using microtremor observations, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*; 33. pp. 211-255.
- Woolery, E., Street, R., 2002. 3D near-surface soil response from H/V ambient-noise ratios, *Soil Dynamic and Earthquake Engineering* 22, 865-876.