

تعیین دوره تناوب طبیعی زمین در شهر کرمان (جنوب خاور ایران) با استفاده از مایکروترمورها

نوشته: مه آسا روستایی* و دکتر منوچهر قرشی**

Determination of Natural Period of Ground for the Kerman City (South East of Iran) by Microtremors

By: M. Roustaei* & Dr. M. Ghorashi**

چکیده

مایکروترمورها در ۳۸ نقطه در سطح شهر کرمان به منظور فراهم آوردن مبنایی برای انجام مطالعات مقدماتی ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای اندازه‌گیری شد. علاوه بر این، یک نقطه اندازه‌گیری بر روی رخنمون سنگی در خاور شهر با هدف شناخت ویژگیهای طیفی منبعهای مایکروترمور انتخاب شد. تمامی اندازه‌گیریها توسط یک دستگاه لرزه‌نگار سه مؤلفه‌ای دیجیتال با محدوده دینامیکی ۹۶db که قادر به ثبت ارتعاشات ایجاد شده توسط منبعهای طبیعی و مصنوعی است و لرزه‌سنجهای دوره تناوب کوتاه ۱ ثانیه با بهره‌ی بالا انجام شد. به منظور دستیابی به نگاشتهای مناسب و حذف نوفه‌های شدید محیطی، تمام اندازه‌گیریها پس از نیمه شب انجام گرفت. پردازش عددی و تحلیل داده‌ها توسط نرم افزار پیتسا (Pitsa) برای تهیه طیفهای چگالی توان قابل اطمینان صورت گرفت. تابع تبدیل دشت آبرفتی در محل نقاط اندازه‌گیری با حذف اثر منبع ترمورها از طیفهای به دست آمده حاصل شد. به منظور حذف اثر منبع، از روش ناکامورا استفاده گردید. نتایج در قالب یک نقشه پهنه‌بندی دوره تناوب چیره در سطح حوضه آبرفتی کرمان ارائه شده است. توزیع مکانی پریرودهای چیره دلالت بر ساختار زیر سطحی پیچیده در زیر شهر کرمان دارد. به طور کلی دوره تناوب چیره حوضه آبرفتی از سوی خاور به باختر و از سوی شمال به جنوب افزایش می‌یابد. نتایج فوق با توجه به جایگاه رخنمونهای سنگی کرتاسه پسین در خاور شهر مورد تأیید قرار می‌گیرد. مطالعات ژئوتکنیک و ژئوفیزیک تکمیلی به منظور شناخت بهتر ساختارهای زمین‌شناسی زیر سطحی مورد نیاز است.

کلید واژه‌ها: مایکروترمور، روش ناکامورا، طیف چگالی توان، پیتسا (Pitsa)

Abstract

Microtremors were recorded on 38 locations within the Kerman city urban area in order to develop a basis for preliminary seismic microzonation studies. A site on exposed bedrocks, east of the city, was also measured to evaluate the spectral characteristics of sources of microtremors. All recordings were done using portable 3-component digital seismograph with 96dB dynamic range, capable of recording microseisms induced by natural and artificial sources, and high-gain short-period (1-sec) seismometers. Measurement were carried out during night-time to ensure quality recoding and reduced unwanted environmental noises. Extensive numerical processing and analysis were performed to obtain reliable power density spectra. Transfer function of the alluvial plain at measurement points was estimated by reducing the effect of the sources of tremors from calculated spectra. Nakamura technique was applied to eliminate the effect of ambient seismic sources. Results are presented in terms of a zonation map of dominant periods for the alluvial basin.

The spatial distribution of dominant periods indicates a complex underground structure beneath the city. On average, the dominant periods increase from east to west, and from north to south. The results are constrained by the location of few late cretaceous outcrops, east of the city. Further detailed subsurface geotechnical and geophysical investigations are required to draw a light on the geological structures beneath the city.

Keywords: Microtremors, Nakamura technique, Power spectra density, Pitsa

مقدمه

شرایط خاک محل در خلال زمین لرزه‌های مخرب، می‌تواند باعث تشدید ارتعاشها و در نتیجه ایجاد خسارات مالی و تلفات جانی فراوانی شود. بنابراین مطالعه ویژگیهای دینامیکی خاک در مناطق شهری که بر روی نهشته‌های تحکیم نیافته قرار دارند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از روشهایی که در این راستا مورد استفاده قرار می‌گیرد، اندازه‌گیری و مطالعه مایکروترمورها (Microtremors) است. مایکروترمورها ارتعاشات بسیار خفیف زمین هستند که با عوامل طبیعی مانند موجهای دریا و باد و یا عوامل غیرطبیعی مانند آمد و شد خودروها و ماشین آلات صنعتی تولید می‌شوند و این خردلرزه‌ها را می‌توان با یک لرزه سنج حساس ثبت کرد. یکی از فرضهای اساسی در استفاده از مایکروترمورها آن است که طیف آنها سفید است و پیک شاخصی ندارد و حوضه‌های آبرفتی به تناسب مشخصات دینامیکی (دوره تناوب، میرایی و غیره) قادرند بخشهای مشخصی از طیف را تشدید کنند. برای مثال در منطقه Niigata ژاپن، مطالعات نشان می‌دهند در مناطقی با ضخامت آبرفت بالا، مایکروترمورها تشدید یافته‌اند (شکل ۱). همان طور که ملاحظه می‌شود، اختلاف سامان‌مندی در دوره‌های تناوب چیره در طول این نیمرخ که از رخنمون سنگی تا مناطق آبرفتی گسترده شده است، دیده نمی‌شود. علت این امر به تفاوت سرعت بین آبرفت و سنگ بستر برمی‌گردد که در این منطقه مطالعاتی، این تفاوت سرعت کم است. اما در مناطق دیگری مانند Aomori ، Hachinohe تغییرات سامان مند دوره تناوب چیره به وضوح قابل رؤیت است (Kagami et al, 1996). نتایج نشان می‌دهد که دوره‌های چیره کوتاه مدت مایکروترمورها (کوچک‌تر از ۰/۲ ثانیه) با سنگ سخت و دوره‌های بلند مدت آنها با نهشته‌های تحکیم نیافته و ستر سازگاری دارد با اندازه‌گیری سامان مند مایکروترمورها در بخشهای مختلف ژاپن، دریافتند که تحلیل ویژگیهای مایکروترمورها برای تعیین پارامترهای لرزه‌ای در طراحی ساختمانهای مقاوم در برابر زمین لرزه قابل استفاده است (Kanai & Tanaka, 1954).

روش ناکامورا

ناکامورا (Nakamura) در سال ۱۹۹۸ برای حذف اثر منبع مولد مایکروترمورها از شرایط خاک محل، تابع انتقال اصلاح شده‌ای را ارائه داده است. در این روش، فرض بر این است که منابع سطحی مایکروترمورها، امواج رایلی تولید می‌کنند که دارای تأثیرات یکسان بر

روی حرکات افقی و عمودی لایه سطحی هستند. با این فرض، میزان

اثرات این منابع را می‌توان به وسیله نسبت E_S برآورد کرد:

$$E_S = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (1)$$

S_{VB} , S_{VS} به ترتیب مقادیر طیفی وابسته به بسامد برای حرکات عمودی در سطح و در لایه کف هستند. تابع انتقال محل S_T بر اساس تعریف برابر است با:

$$S_T = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (2)$$

S_{HB} , S_{HS} به ترتیب مقادیر طیفی وابسته به بسامد برای حرکات افقی در سطح و لایه کف می‌باشند. با تقسیم دو رابطه بالا، تابع اصلاح شده‌ای به دست می‌آید که عاری از اثرات منبع است:

$$S_{TT} = \frac{S_T}{E_S} \quad (3)$$

$$S_{TT} = \frac{R_S}{R_B} \quad (4)$$

که در این رابطه:

$$R_B = \frac{S_{HB}}{S_{VB}} , \quad R_S = \frac{S_{HS}}{S_{VS}}$$

ناکامورا به عنوان شرط نهایی فرض کرد که در محدوده دوره‌های تناوب مورد نظر در مهندسی $R_B \sim 1$ است. بنابراین، تابع انتقال را می‌توان با R_S که از اندازه‌گیری مایکروترمورها در سطح زمین به دست می‌آید، نشان داد.

طیف چگالی توان (P.D.S)

برای ارزیابی مشخصات طیفی ارتعاشات زمین (مایکروترمورها) می‌توان از طیف چگالی توان (Power Density Spectra : P.D.S) استفاده نمود. روشهای مختلفی جهت محاسبه طیف چگالی توان وجود دارد اما محاسبه آن به کمک طیف فوریه ساده‌تر است و رابطه بین آنها به شرح زیر می‌باشد:

$$G_{xx}(f) = \frac{2}{t_0} |x(f)|^2 \quad (\text{Fourier transform method}) \quad (5)$$

به طوری که $G_{xx}(f)$ معرف طیف چگالی توان، $X(f)$ تبدیل فوریه سری زمانی $X(t)$ ، t_0 طول رکورد است. همان طور که مشاهده می‌شود $G_{xx}(f)$ مستقیماً با مجذور دامنه طیف فوریه متناسب است.

مطالعات مایکروترمورها در شهر کرمان

طی بررسیهای صورت گرفته در ۱۵۳ ایستگاه اندازه‌گیریهای مایکروترمور انجام شد. به دلیل نوفه‌های فراوان از این تعداد اندازه‌گیری، ۳۹ رکورد مناسب به دست آمد که یک نقطه بر روی رخنمون سنگی با

نقشه پهنه بندی دوره تناوب چیره در سطح شهر کرمان روندهای مشخصی را نشان می‌دهد (شکل ۵). از خاور به باختر و از شمال به جنوب دوره تناوب چیره افزایش می‌یابد. این توزیع مکانی دوره‌های تناوب چیره دلالت بر ساختار زیر سطحی پیچیده در زیر شهر کرمان دارد. به گونه‌ای که در بخشهای خاوری و شمالی شهر سستبرای آبرفت پایین و در مناطق باختری و جنوبی از سستبرای بالایی برخوردار است. بدین ترتیب، بیشترین سستبرای آبرفت در مرکز شهر قرار دارد چرا که باید شهر کرمان را به صورت یک حوضه نامتقارن در نظر بگیریم که بخشهای خاوری آن شبیه تندتر از بخشهای باختری دارد. نقشه توپوگرافی شهر کرمان که در شکل ۶ ارائه شده است نتایج حاصل از نقشه پهنه‌بندی دوره تناوب چیره را تأیید می‌کند. طبق این نقشه ارتفاعات در بخشهای خاوری قرار دارد که این بلندیاها کوه طاق علی، سعیدی و رخنمونهای آبشار با سن کرتاسه پسین هستند.

نتایج و پیشنهاد

۱- از مجموع تحلیلها می‌توان چنین اظهار کرد که در بخشهای خاوری و شمالی دوره تناوب چیره مایکروترموورها نسبتاً کم است که می‌تواند بازتاب این مطلب باشد که در این بخشها، سنگ کف لرزه‌ای در ژرفای کمی قرار گرفته است و بخشهای باختری و جنوبی سستبرای بالایی از آبرفت را دارا هستند.

۲- محل پستهای فشار قوی در این مطالعه هیچ گونه تأثیری در بسامد نقاط اندازه‌گیری نداشت.

۳- روش استفاده از مایکروترموورها اقتصادی و سریع است.

۴- استفاده از نسبت طیفی $\sqrt{(h_1^2 + h_2^2)} / v$ نه تنها دو مؤلفه افقی را با هم ترکیب می‌کند بلکه با تقسیم کردن آنها بر مؤلفه قائم بر اساس روش ناکامورا، اثر منبع مولد مایکروترموورها حذف می‌شود.

۵- در حالتی که مایکروترموورها با اغتشاشات شدید همراه باشند، روش نسبت طیفی H/V به دلیل وجود تعداد زیادی نقاط بیشینه، پیچیدگیهایی در تعیین دوره تناوب چیره ایجاد می‌کند.

۶- از طریق دوره تناوب طولانی مایکروترموورها می‌توان ویژگیهای طیفی دینامیکی نهشته‌های رسوبی ژرف را به دست آورد. دامنه طیفی دوره تناوب طولانی مایکروترموورها با افزایش سستبرای آبرفت بالا می‌رود. این دوره‌های تناوب طولانی تشدید محل را نشان می‌دهد. بنابراین از طریق دوره تناوب طولانی مایکروترموورها می‌توان تشدید موجهای مصنوعی مهندسی زمین لرزه را ارزیابی کرد.

هدف شناخت ویژگیهای طیفی منبعهای مایکروترموورها قرار دارد (شکل ۲، نقطه ۱۵). در این شکل، همچنین موقعیت پستهای فشار قوی که می‌توانند بر روی اندازه‌گیری مایکروترموورها تأثیر داشته باشند، نشان داده شده‌اند. اندازه‌گیری بین ساعات ۱۱ شب تا ۶ صبح انجام شد تا از تأثیر عوامل محیطی جلوگیری شود. آهنگ نمونه‌برداری نیز ۲۰۰ هرتز انتخاب شد. تمامی اندازه‌گیریها توسط یک دستگاه لرزه-نگار سه مؤلفه‌ای دیجیتال با محدوده دینامیکی ۹۶ db که قادر به ثبت ارتعاشات ایجاد شده توسط منبعهای طبیعی و مصنوعی است و لرزه‌سنجهای دوره تناوب کوتاه ۱ ثانیه با بهره‌بردار بالا انجام شد. سه مؤلفه اندازه‌گیری شده عبارتند از H_1 : خاوری-باختری، H_2 : شمالی-جنوبی، V : قائم که هر سه، دوبه دو بر هم عمود هستند. به منظور انجام محاسبات طیفی از نرم افزار پیتسا (Pitsa) استفاده شد (Scherbaum et al, 1992). پس از مراحل پردازش سریهای زمانی و انتخاب فیلتر مناسب در محدوده ۰/۰۵ تا

$$\frac{\text{Sqrt}(h_1^2 + h_2^2)}{V} \quad (\text{Sqrt : Square root})$$

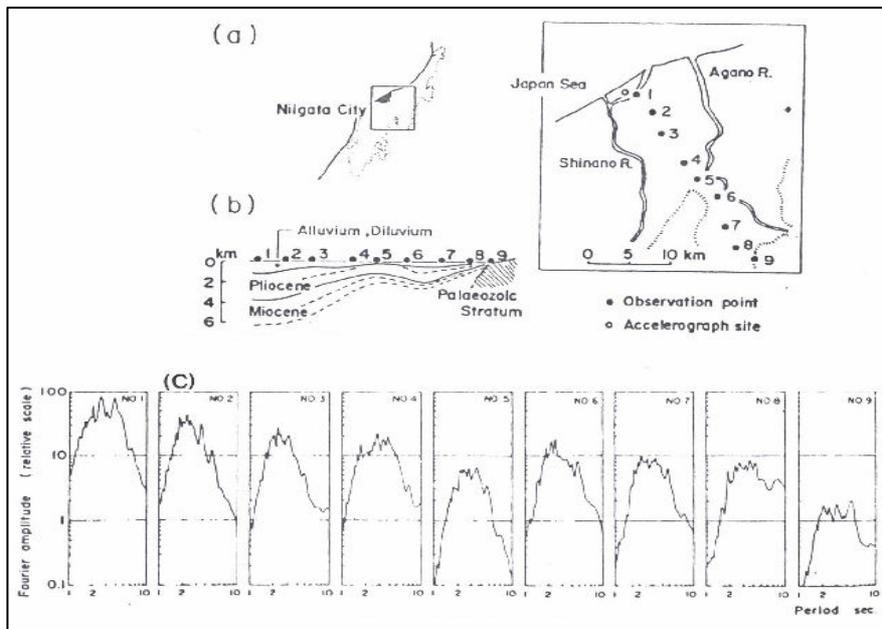
۲۵ هرتز به منظور حذف نوفه‌های دستگاهی و شهری، طیفهای چگالی توان دو مؤلفه H_1 ، H_2 با هم ترکیب شده و سپس برای حذف اثر منبع مولد مایکروترموورها بر طیف چگالی توان مؤلفه V تقسیم شدند: در شکل ۳، سریهای زمانی مربوط به نقطه Fg و طیف حاصل از پردازش به صورت نمونه آورده شده است. به طوری که ملاحظه می‌شود، بسامد چیره در این نقطه برای نسبت طیفی فوق ۰/۷۸ هرتز است. بنابراین دوره تناوب چیره در حدود ۱/۳ ثانیه است.

چگونگی تحلیل طیفها

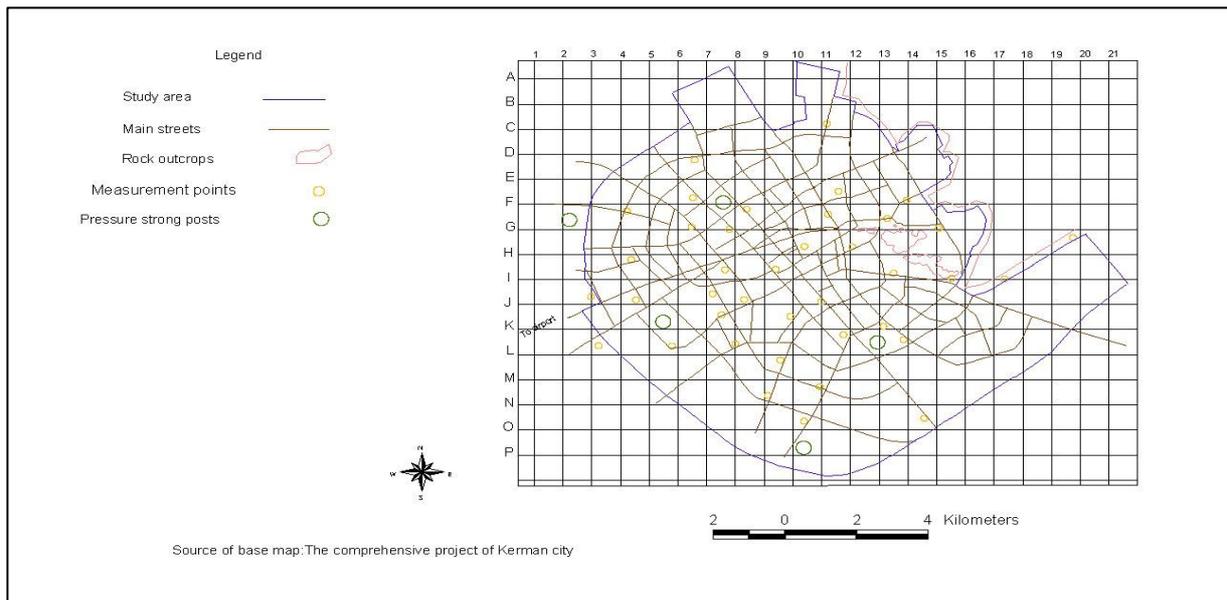
تحلیل داده‌ها بر مبنای دوره تناوب چیره طیفهای پردازش شده انجام گرفت. دوره‌های تناوب به دست آمده در نقاط اندازه‌گیری در جدول ۱ مرور شده است. نمودار فراوانی دوره‌های تناوب چیره نیز پیش از حذف اثر منبع و پس از آن در شکل ۴ نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، فراوانی مربوط به دوره تناوب حدود ۰/۳۷ ثانیه عمده‌تاً در پیوند با اثر منبع مولد مایکروترموورها بوده و از این رو تفکیک دوره‌های تناوب چیره آبرفت در این محدوده در این مطالعه امکان پذیر نیست (شکل ۴-الف). پس از حذف اثر منبع مولد مایکروترموورها، دوره‌های تناوب چیره در دو محدوده ۰/۰۵ ثانیه و ۱/۲۵ تا ۱/۷۵ ثانیه تمرکز یافته‌اند. دوره تناوب کوتاه ۰/۰۵ ثانیه احتمالاً بازتاب ژرفای کم سنگ کف لرزه‌ای و یا سستبرای کم آبرفت است در حالی که دوره‌های تناوب ۱/۲۵ و ۱/۷۵ ثانیه مرتبط با ژرفای نسبتاً قابل ملاحظه سنگ کف لرزه‌ای است (شکل ۴-ب).

این مطالعه با انجام حفاریهای ژئوتکنیک تکمیلی و برداشتهای ژئوفیزیک تکمیل شود.

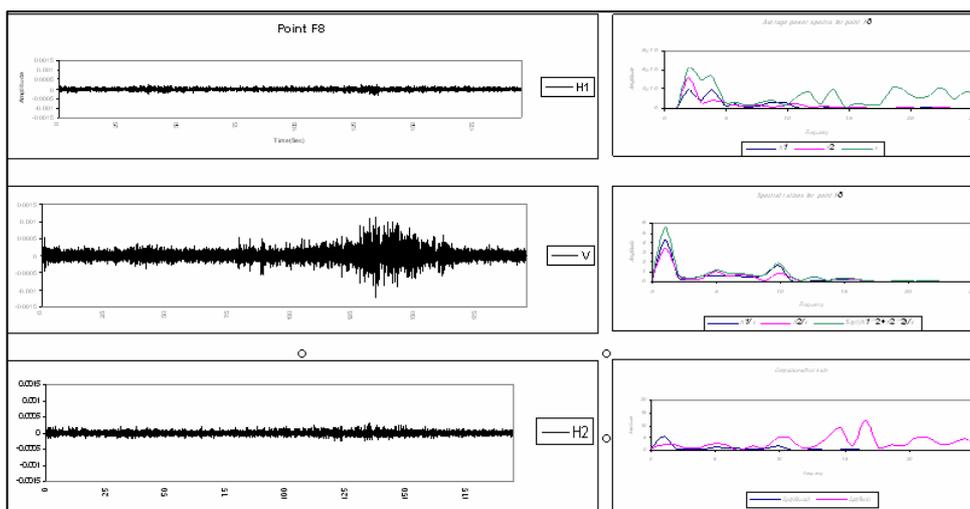
۷- اطلاعات به دست آمده از سطح شهر کرمان به حدی نبود که ارزیابی دقیقی از ژرفای آبرفت و یا سنگ بستر لرزه‌ای ارائه دهد. علاوه بر این، سرعت موج برشی در ژرفا نیز در دسترس نبود. از این رو لازم است نتایج



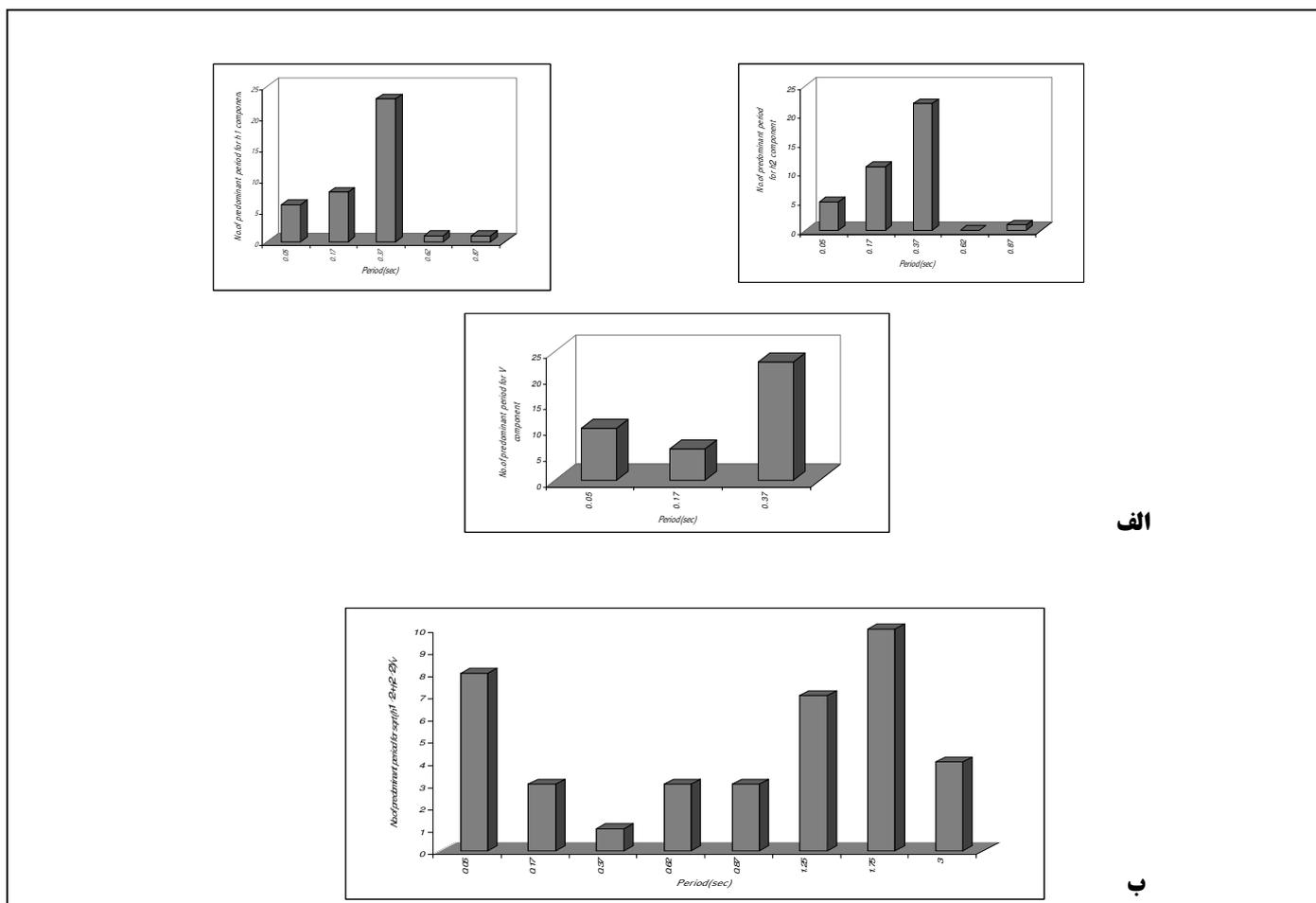
شکل ۱- (a) موقعیت نقاط اندازه‌گیری مایکروترمورها در دشت Niigata (b) شرایط زیر سطحی در طول نیمرخ (c) نمایش متوالی از طیف‌ها در طول نیمرخ (Kagami et al, 1996)



شکل ۲- موقعیت نقاط اندازه‌گیری در سطح شهر کرمان

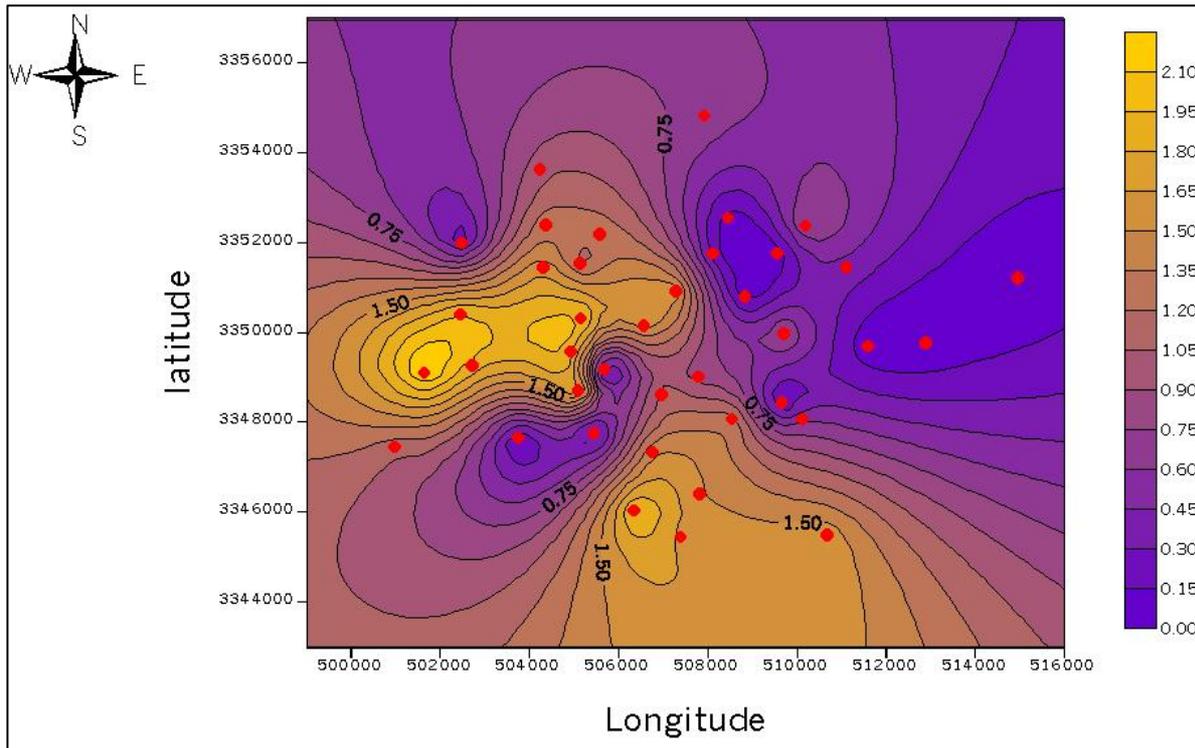


شکل ۳ - سریهای زمانی مربوط به نقطه F8 و طیف حاصل از پردازش آن

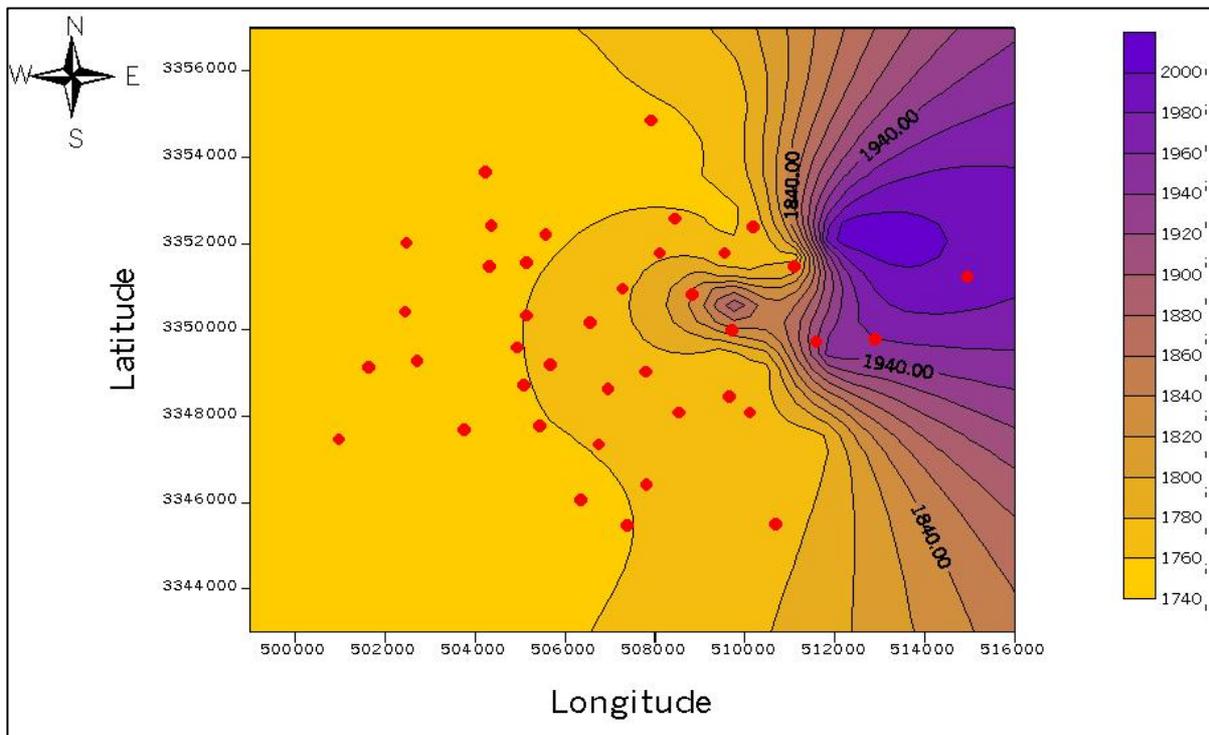


شکل ۴ - نمودار فراوانی دوره تناوب چیره

الف - پیش از حذف اثر منبع مولد مایکروترمورها ب - پس از حذف اثر منبع مولد مایکروترمورها



شکل ۵ - نقشه پهنه بندی دوره تناوب چیره در سطح شهر کرمان همراه با نقاط اندازه گیری



شکل ۶ - نقشه توپوگرافی سطح شهر کرمان همراه با نقاط اندازه گیری

جدول ۱- دوره تناوب چیره نقاط اندازه گیری بر حسب ثانیه

<i>POINTS</i>	<i>PERIODS</i>	<i>POINTS</i>	<i>PERIODS</i>	<i>POINTS</i>	<i>PERIODS</i>
K_{11}	1.3	H_4	2	H_{13}	0.8
I_4	1.9	M_9	2	G_{12}	0.04
J_{10}	1.1	J_{13}	0.05	I_{17}	0.04
I_7	1.9	H_7	2	F_8	1.3
F_6	1.6	E_{11}	0.07	G_{15}	0.4
J_7	1.9	G_{10}	1.6	I_{15}	0.04
N_{14}	1.6	K_5	0.1	I_8	0.05
I_{11}	0.8	H_9	1.6	K_{13}	0.6
E_{14}	0.8	L_9	1.5	G_{19}	0.04
F_4	0.2	K_8	0.1	F_{11}	0.6
M_{11}	1.5	I_3	2.3	G_7	1.1
K_3	1.1	F_{13}	0.05		
N_{10}	1.6	B_{11}	0.7		
D_6	1	E_6	1.3		

کتابنگاری

پور آذین، خ، ۱۳۷۵- روش‌های استفاده از مایکروترموورها در ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای [سمینار کارشناسی ارشد]: پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

جلالی رومی، ج، ۱۳۷۴- ریز پهنه‌بندی تبریز با استفاده از مایکروترموور [پایان‌نامه کارشناسی ارشد]: مهندسی زلزله، دانشگاه صنعتی شریف.

حائری، م.، خلفائی، م.، ۱۳۷۵- پهنه‌بندی لرزه‌ای شهر رشت: نشریه‌های شماره ۲۵-۲۷ طرح بسیج توان فنی کشور جهت مقابله با زلزله، مرکز مقابله با سوانح طبیعی ایران.

حائری، م.، خلفائی، م.، ۱۳۷۵- کاربرد مایکروترمورها در پهنه‌بندی مناطق شهری: نشریه ۴ طرح بسیج توان فنی کشور جهت مقابله با زلزله، مرکز مقابله با سوانح طبیعی ایران.

طرح جامع شهر کرمان - نقشه چگونگی استفاده از اراضی پیشنهادی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰، اداره کل مسکن و شهرسازی استان کرمان.
نقشه توپوگرافی کرمان (۱) با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، ۱۳۷۹، سازمان نقشه‌برداری کشور.

References

- Bard, P.Y., The new method of Microzonation and site dependent seismic design: International institute of earthquake engineering and seismology.
- Kagami, H. Duke, C.M., Liang, G.C. and Ohta, Y., 1982- Observation of 1 to 5 second Microtremors and their application to Earthquake Engineering, part II: Evaluation of site effect upon seismic wave Amplification due to extremely deep soil deposits: Bull. Seis. Soc. Am., 72, p.987-998.
- Kanai, k and Tanaka, T., 1954- Measurement of the microtremor: Bull. Earthq. Res. Inst., 32, p. 199-209.
- Kanai, K and Tanaka, T., 1961- On Microtremors VIII: Bullentin of Earthquake Reasearch Insitute, Univeristy of Tokyo, Vol. 39, p. 99-114.
- Kim, W.Y. and Ekstrom, G., 1996, Instrument responses of digital Seismographs at Borovoye, Kazakhstan, by Inversion of transient calibration pulses: B. S.S.A, Vol. 86, No. 1A, P.191-203.
- Kunyuan, Z.- The Microzonation of Hefei city: Seismological Bureau Anhui Province, Hefei, 230031.PRC.
- Lebia, M.M and Jensen, V., Seimic Microzonation of Launceston, Tasmania: Australian geological Survey Organization (AGSO).
- Nakamura, Y., 1989- A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using Microtremor on the ground surface: QR of RTRI, Vol. 30, No.1.
- Scherbaum, F., Basic concepts in digital signal processing for seismologists: Lecture notes in Earth Sciences.
- Scherbaum, F., Johnson, J., 1992, User Manual for pitsa: IASPEI Software Library, Vol.5.
- Seo, K., 1997- Comparison of measured Microtremors with damage distribution: JICa.
- Teves-Costa, P., Matias, L. and Bard, P.Y., 1996, Seismic behaviour estimation of thin alluvium layers using Microtremor recordings: Soil dynamics and Earthquake Engineering ,15, P. 201-209.
- Wilson, C.D.V., 1953- the origins & nature of Microseisms in the frequency range 4 to 100 c/s: proc.Roy. Soc, London, 217, p.176-188.

* پژوهشگاه بین‌المللی مهندسی زلزله و زلزله‌شناسی؛ گروه دورسنجی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

** پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور

*International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES); Remote Sensing Department, Geological Survey of Iran.

** Research Institute for Geosciences at Geological Survey of Iran (GSI)