

## ارزیابی اثرات آبرفت و طبقه بندی زمین در شهر مشهد بر اساس روش نسبت طیفی امواج خرد لرزه‌ای

ناصر حافظی مقدس<sup>۱\*</sup>، محمدرضا قائم مقامیان<sup>۲</sup>، اعظم قزی<sup>۳</sup>

۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- پژوهشگاه بین المللی زلزله، مهندسی و لرزه شناسی

۳- کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی

\*پست الکترونیک: nhafezi@shahroodut.ac.ir

### چکیده

در مقاله حاضر نتایج بررسی اثرات ساختگاهی زمین لرزه‌ها با استفاده از تحلیل طیفی امواج خرد لرزه‌ای در ۲۰۰ نقطه شهر مشهد ارائه گردیده است. همچنین با ترکیب نقشه هم پرئود تقویت و نقشه بافت خاک، نقشه طبقه بندی زمین براساس استاندارد ۲۸۰۰ تهیه شده است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که پرئود تقویت خاک در شهر مشهد از جنوب و غرب به سمت مرکز و شرق افزایش یافته ولی به طرف شمال با رسیدن به گسل شمال مشهد در محدوده خواجه ربیع کاهش یافته است. از نظر رده بندی زمین در استاندارد ۲۸۰۰ نیز بخش جنوب و جنوب غربی در رده I و II و محدوده مرکزی در رده III، محدوده شمالی در مجاورت گسل شمال مشهد در رده II و بخشهایی از شرق و شمال شرق در رده IV طبقه بندی می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** اثرات ساختگاهی، میکروترمور، نسبت طیفی، استاندارد ۲۸۰۰

### مقدمه

بستگی دارد (تزرکن و همکاران، ۲۰۰۲). پدیده تقویت آبرفت در بسیاری از زلزله‌های گذشته دنیا از جمله در زلزله مکزیکوسیتی (۱۹۸۵)، سانفرانسیسکو (۱۹۸۹)، لس آنجلس (۱۹۹۵)، از میت ترکیه (۱۹۹۹)، کوبه ژاپن (۱۹۹۵)، باهوجا هند (۲۰۰۱) و زلزله‌های ۱۳۶۹ منجیل و ۱۳۸۲ بم مشاهده شده است (برچردات و گیس، ۱۹۷۶؛ تاکر و کینگ، ۱۹۸۴؛ سید و همکاران، ۱۹۸۸؛ سید و همکاران، ۱۹۹۱؛ برچردات و گلاسمویر، ۱۹۹۲ و توز-کاستا و همکاران، ۱۹۹۶). ارزیابی اثر آبرفت به روشهای مختلف تئوری، تجربی و عددی صورت می‌گیرد. از جمله روشهای تجربی مورد استفاده که به دلیل سادگی و کم

آبرفت سطحی مشابه یک فیلتر سبب تغییر مشخصات حرکتی زمین در طی زمین لرزه و تغییرات در مشخصات امواج شامل ارتفاع و محتوی فرکانسی خواهد شد. رسوبات نرم سبب تقویت موج در محدوده فرکانسی خاص شده که نهایتاً به افزایش خرابی زلزله می‌انجامد. محدوده فرکانسی که بیشترین میزان تقویت را دارد به عنوان فرکانس تشدید (Resonance Frequency) شناخته می‌شود. میزان بزرگ نمایی و نیز محدوده فرکانسی که پدیده تقویت اتفاق می‌افتد علاوه بر شدت زمین لرزه به دانسیته، صلبیت، ضخامت، سن و سایر ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی خاک

دامنه‌ای، دشت سیلابی و مخروط افکنه‌ای است. حداکثر ضخامت رسوبات در مرکز دشت به بیش از ۲۵۰ متر می‌رسد. به طرف دامنه‌های جنوبی و شمالی از ضخامت رسوبات کاسته می‌شود. در شکل ۱ نقشه بافت خاک سطحی و در شکل ۲ مقطع عرضی شرقی - غربی از بافت خاک همراه با نتایج آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) نشان داده شده است. عدد SPT در خاک سطحی در محدوده ۵۰-۲۰ تغییر می‌کند و با افزایش عمق مقاومت خاک افزایش می‌یابد (حافظی مقدس، ۱۳۸۶).

### روش نسبت طیفی

زمین همواره تحت تأثیر ارتعاشاتی خفیف با دامنه‌هایی در حد میکرون، به نام امواج خرد لرزه (میکروترمور)، در نوسان است. این امواج از چشمه‌های ارتعاشی چون باد، امواج دریا، ترافیک، ارتعاش کارخانجات صنعتی و غیره حاصل می‌شوند. معمولاً دامنه امواج خرد لرزه از ۰/۱ تا ۱ میکرون و پریود آنها از ۰/۳ تا ۱۰ ثانیه تغییر می‌کند. مطالعات انجام شده در نقاط مختلف جهان نشان داده است که شکل نسبت طیفی دامنه خرد لرزه با شکل نسبت طیفی دامنه حاصل از نگاشت شتاب زمین لرزه‌ها نسبتاً مشابه است. اختلاف این دو طیف، عمدتاً در دامنه و به ندرت در فرکانس تقویت ساختگاه نمود دارد. بدین ترتیب، با اندازه‌گیری امواج خرد لرزه می‌توان بدون آن که در انتظار وقوع زمین لرزه بود، فرکانس تشدید و تابع بزرگ‌نمایی ساختگاه را تعیین کرد. روش نسبت طیفی اولین بار در سال ۱۹۸۹ توسط ناکامورا، جهت تفسیر نتایج خرد لرزه (میکروترمور) مورد استفاده قرار گرفت. وی بیان داشت که مؤلفه عمودی حرکت زمین نسبت به مؤلفه افقی واجد اطلاعات بیشتری از منشأ است و به عبارت دیگر مؤلفه عمودی تأثیر کمتری از شرایط زمین شناسی سطحی می‌پذیرد. بعدها محققان دیگری روش ناکامورا را در مورد داده‌های لرزه‌ای استفاده

هزینه بودن امروزه کاربرد وسیعی پیدا نموده روش نسبت طیف افقی به قائم امواج خرد لرزه‌ای می‌باشد. در مطالعه حاضر با استفاده از نتایج تحلیل میکروترمورها و نیز داده‌های ژئوتکنیکی در سطح شهر مشهد نقشه‌های هم پریود تقویت آبرفت و نیز طبقه بندی زمین براساس استاندارد ۲۸۰۰ تهیه شده است (حافظی مقدس، ۱۳۸۶).

### زمین شناسی شهر مشهد

شهر مشهد با جمعیت ساکن بیش از ۲،۳۰۰،۰۰۰ نفر و وسعت ۲۱۶ کیلومتر مربع، دومین کلان شهر کشور است که در شرق ایران و در بین ارتفاعات بینالود و هزار مسجد قرار دارد. از نظر جایگاه زمین ساختی دشت مشهد در حد فاصل دو پهنه زمین ساختی کپه داغ در شمال و بینالود در جنوب قرار دارد. ارتفاعات جنوب مشهد متشکل از سنگهای مافیک و الترامافیکی و ارتفاعات غرب و جنوب غرب از رخنمونهای دگرگونی اسلیت و فلیت تشکیل شده است. دو گسله فعال و کواترنری در جنوب و شمال شهر قرار دارد. گسله تراستی جنوب مشهد با روند شمال غرب - جنوب شرق حد بین کوه و دشت در جنوب (قرشی و مهدویان، ۱۳۸۴) و گسله کواترنری شمال مشهد نیز که شاخه‌ای از گسل کشف رود است از گوشه شمالی شهر در محدوده خواجه ربیع و گلشهر عبور می‌کند. گسله مزبور بعد از مشهد تا طول ۳۵ کیلومتر قابل تعقیب است (حافظی مقدس، ۱۳۸۵).

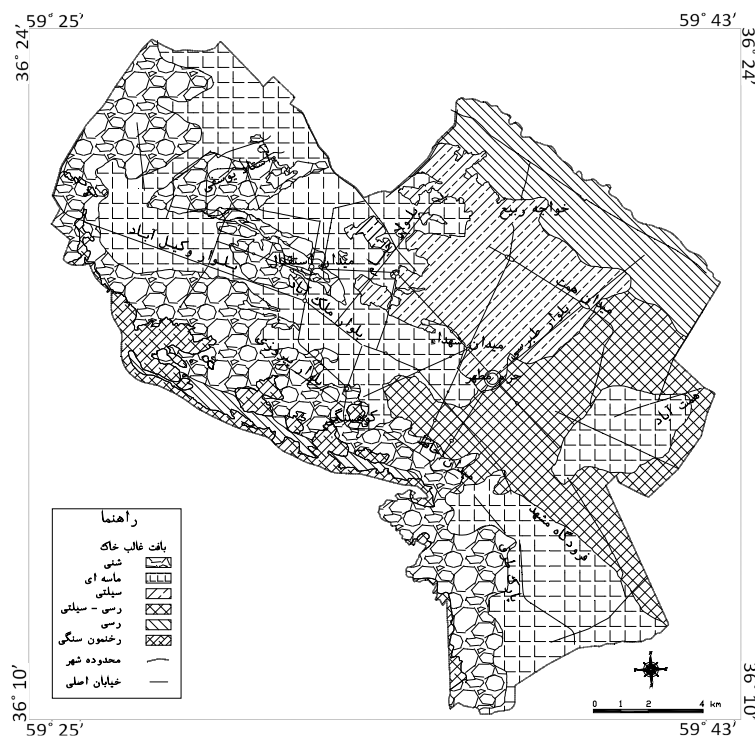
### بافت خاک

اطلاعات بافت خاک در سطح شهر مشهد براساس بررسی نتایج بیش از ۷۰۰ گمانه اکتشافی گردآوری شده از سطح شهر و ۲۰ مورد گمانه عمیق حفاری شده در طی مطالعات ریز پهنه بندی لرزه‌ای شهر مشهد تهیه شده است. به طور کلی رسوبات بستر شهر مشهد شامل نهشته‌های

### برداشت امواج خرد لرزه‌ای

کاوشهای خردلرزه سنجی با استفاده از دستگاه سه مؤلفه‌ای Kinematics از نوع SSR-1 متعلق به سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور در طی چند مرحله در سال ۱۳۸۴ به انجام رسیده است. فرکانس طبیعی این لرزه سنجها ۱ هرتز و با میرایی طبیعی ۰/۷ می‌باشند. اندازه گیریها در یک پنجره زمانی ۲۰ دقیقه‌ای و با فرکانس نمونه برداری ۱۰۰ نمونه در ثانیه انجام گرفته است. جهت جانمایی ایستگاههای خرد لرزه سنجی محدوده طرح جامع ۲۵ ساله شهر مشهد به قطعه‌های یک کیلومتر در یک کیلومتر تقسیم بندی شده و برداشت در ۲۰۰ نقطه صورت گرفته است. در نقاط مرکزی شهر به علت شلوغی و تأثیر نوفه محلی، اندازه گیری در ساعات نسبتاً کم رفت و آمد نیمه شب و اوایل صبح انجام گرفته است.

نمودند (ژارپ، ۱۹۸۹؛ چارز-گارسیا، ۱۹۹۴؛ لاجت و براد، ۱۹۹۴؛ آل یونچا و لوزن، ۲۰۰۰؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ کارا و همکاران، ۲۰۰۳ و پانو، ۲۰۰۴). این محققان و دیگران تأکید نمودند که روش نسبت طیفی تخمین قابل قبولی از اثرات ساختگاهی به خصوص در شرایط ساده زمین شناسی به دست می‌دهد. در این روش معمولاً مقادیر حداکثر بزرگ‌نمایی کمتر از روشهای دیگر تخمین زده می‌شود، ولی پررود تقویت ساختگاه با دقت مناسبی ارزیابی می‌گردد. امروزه اندازه گیریهای خردلرزه سنجی به سبب سرعت زیاد برداشت، غیر تخریبی و ارزان بودن در مطالعات ریزپهنه بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای شهرهای بزرگ، کاربرد فراوانی یافته است. البته با توجه به نامعلوم بودن چشمه ایجاد امواج خردلرزه و تأثیر پذیری آنها از نوع نوفه امواج محلی میزان صحت و دقت نتایج حاصله از این روش شدیداً وابسته به نحوه پردازشهای اولیه و تحلیل سیگنالها دارد.



شکل ۱: نقشه بافت خاک سطحی در پهنه شهر مشهد



### تحلیل داده‌ها

نگاشتهای ثبت شده ابتدا برای خطای دستگامی، خطای فاصله از خط مبدا و نیز خطای حاصل از مدوله شدن فرکانسهای پایین بر سیگنال، توسط فیلتر بانده گذر طراحی شده از نوع FIR (Finite Impulse Response) مورد تصحیح و پردازش قرار گرفتند. سپس طیف فوریه مؤلفه‌های مختلف محاسبه و توسط پنجره صاف کننده از نوع Parzen در بازه ۰/۴ هر تتر صاف شده است. در هر نقطه اندازه گیری، نگاشتهای ثبت شده به حداقل ۳۰ پنجره زمانی ۴۰ ثانیه‌ای تقسیم شده و محاسبات فوق برای هر پنجره و هر مؤلفه

(شرقی - غربی، شمالی - جنوبی و عمودی) تکرار شده است. سپس نسبت طیفی H/V برای پنجره‌های زمانی مختلف به دست آمده و میانگین آنها محاسبه شده و به عنوان تابع بزرگ‌نمایی ساختمانی در آن نقطه منظور شده است. در خلال میانگین‌گیری، محدود رکوردهایی که اختلاف زیاد با غالب نگاشتها داشته‌اند حذف شده‌اند. در شکل ۳ نمونه‌ای از توابع محاسبه شده در برخی نقاط اندازه گیری نشان داده شده است.



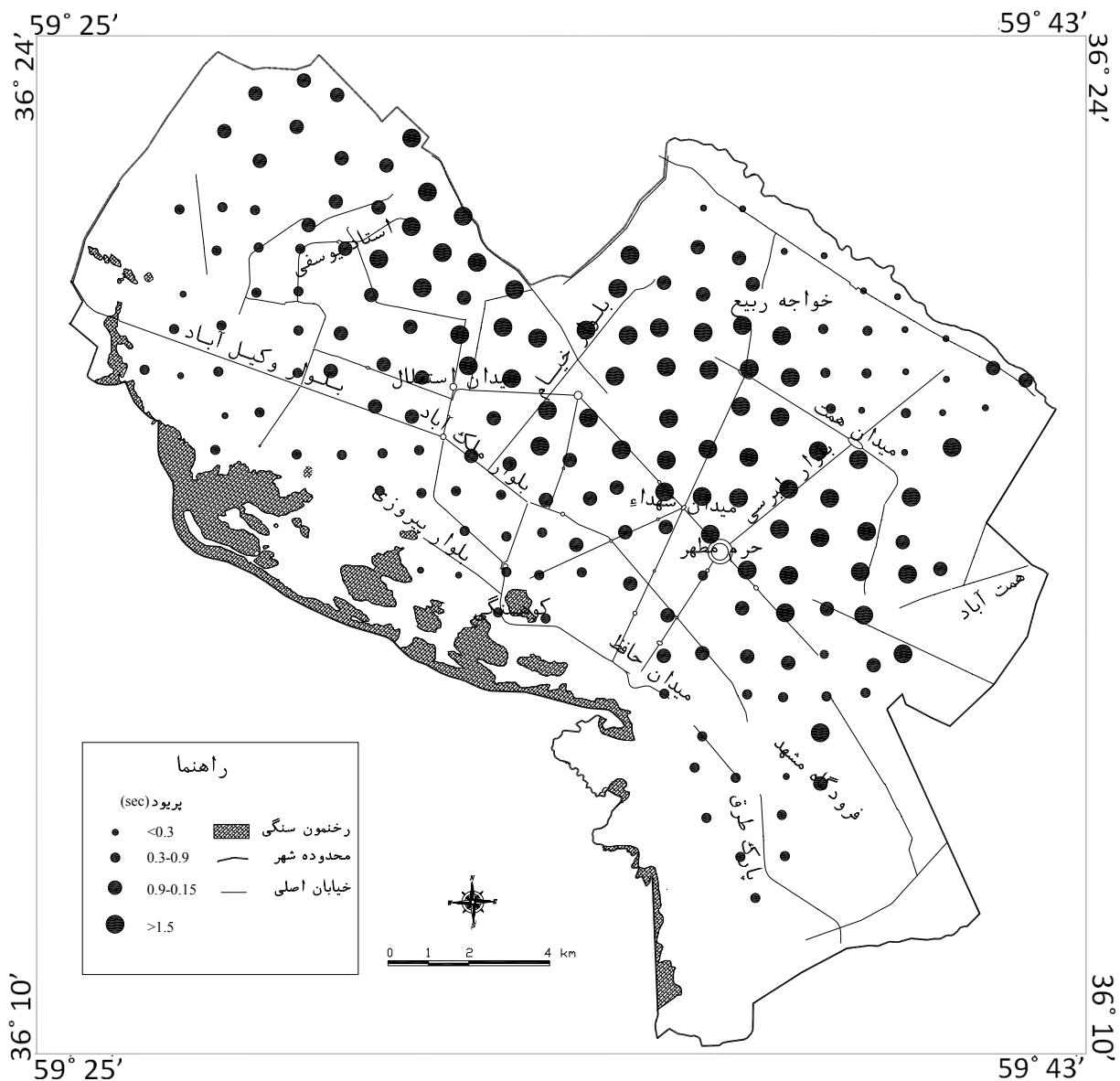
شکل ۳: توابع بزرگ‌نمایی میانگین پنجره‌های زمانی محاسبه شده برای نقاط مشخص شده در دو جهت EW و NS و میانگین دو جهت

همخوانی نزدیکی با بافت و ضخامت خاک نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده وضعیت پیروید تقویت خاک در شهر مشهد را به صورت زیر نشان می‌دهد.

بر اساس توابع تبدیل، پیروید تقویت خاک در هر ایستگاه به دست آمده و نقشه هم پیروید خاک در سطح شهر مشهد ترسیم شده است (شکل ۴). نقشه هم پیروید تقویت خاک

ناهمگن یا تغییر ضخامت خاک در این مناطق می‌باشد. به طرف شمال و شمال شرق، برخلاف انتظار پریود تقویت خاک کاهش یافته که حاکی از بالاتر بودن سنگ کف در این منطقه در اثر عملکرد گسله شمال مشهد است.

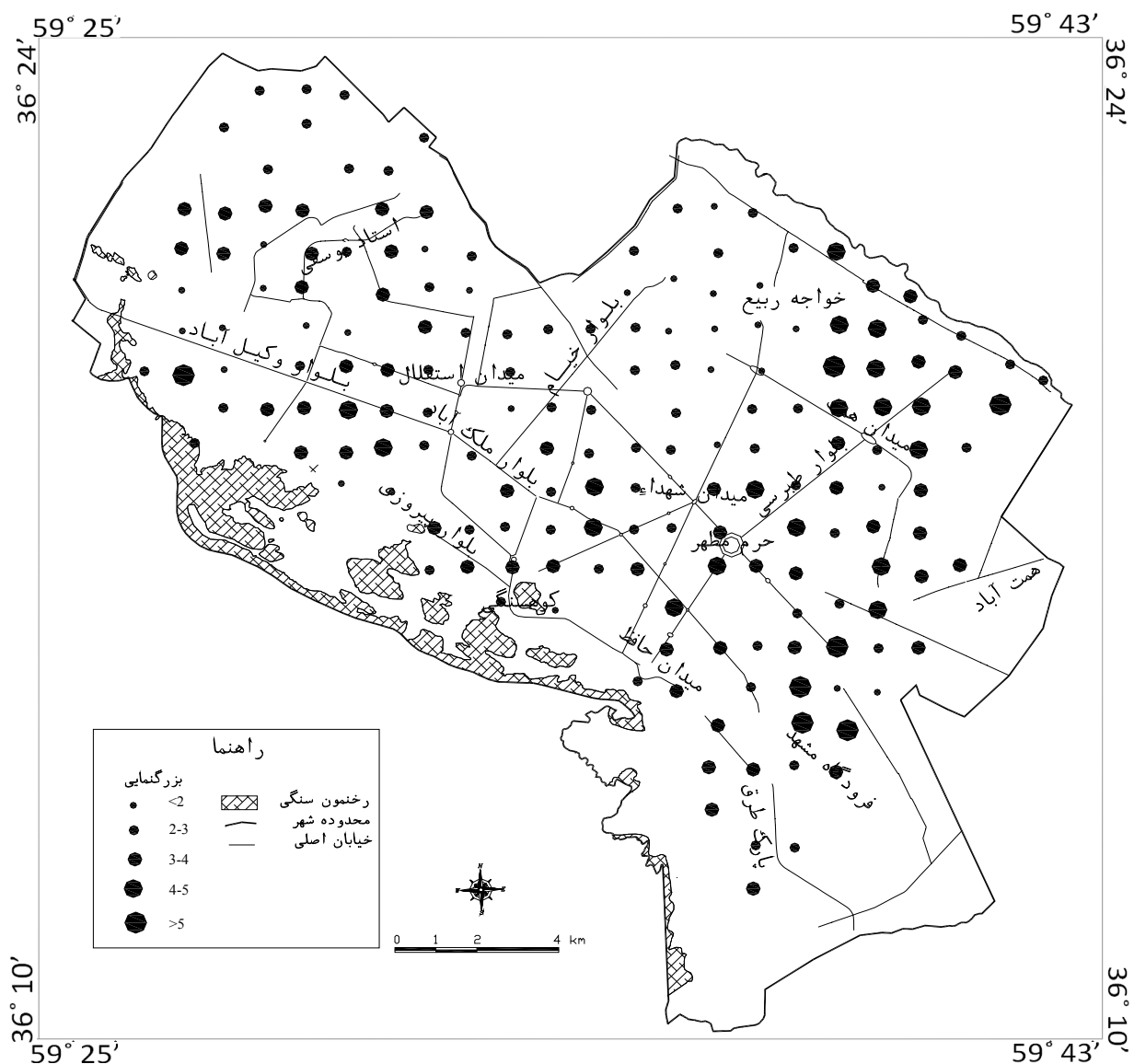
حداقل و حداکثر پریود تقویت خاک در سطح شهر مشهد به ترتیب ۰/۰۵ و ۴/۳۵ ثانیه است. مقدار پریود تقویت از جنوب و غرب به سمت مرکز و شرق شهر افزایش می‌یابد. در حاشیه ارتفاعات جنوبی و بخش مرکزی شهر تغییرات پریود تقویت نسبتاً زیاد است که نشان دهنده شرایط



شکل ۴: نقشه هم پریود تقویت خاک در سطح شهر

بزرگ نمایی پیشنهاد نموده‌اند (ارگین و همکاران، ۲۰۰۴ و بزداگ و کواگلو، ۲۰۰۵).  
 کمترین مقدار بزرگ‌نمایی حدود ۲ در محدوده صد متری کمربندی، کال نخودک و خواجه ربیع و شمال وکیل آباد و بیشترین مقدار بزرگ‌نمایی نیز برابر با ۱۳/۵ در شمال فرودگاه هاشمی نژاد مشهد می‌باشد.

در شکل ۵ نقشه هم بزرگ‌نمایی آبرفت شهر مشهد به روش نسبت طیفی نشان داده شده است. در مورد دقت نتایج بزرگ‌نمایی ساختگاه به روش نسبت طیفی اظهار نظرهای مختلفی شده است. برخی از محققان بیان داشته‌اند که مقادیر بزرگ‌نمایی حاصل از این روش از دقت کافی برخوردار نیست و بعضاً مقادیر حاصله از این روش را حداقل مقدار



شکل ۵: نقشه هم بزرگ‌نمایی آبرفت شهر مشهد به روش نسبت طیفی

**طبقه بندی زمین مطابق آیین نامه ۲۸۰۰**

نحوه طبقه بندی زمین در آیین نامه ۲۸۰۰ که به عنوان مبنای طراحی مقاوم سازی ساختمانها در برابر زلزله در ایران به کار می رود، در جدول ۱ نشان داده شده است. طبقه بندی مزبور بر اساس سه پارامتر جنس زمین، ضخامت خاک و میانگین سرعت موج برشی در ۳۰ متر فوقانی زمین ( $V_{s30}$ ) می باشد. محاسبه  $V_{s30}$  مورد استفاده در آیین نامه بر اساس رابطه ۱ است.

$$V_s = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}} \quad (1)$$

در رابطه فوق  $h_i$ ، ضخامت لایه  $i$ ام و  $V_i$ ، سرعت موج برشی در لایه  $i$ ام می باشد.

در ۲۰ نقطه از شهر مشهد سرعت موج تا عمق ۳۰ متری به صورت مستقیم به روش درون گمانه ای تعیین شده است. همچنین در ۴۲ نقطه از شهر که گمانه عمیق موجود بوده است سرعت موج برشی بر اساس رابطه بین سرعت موج برشی و SPT تعیین شده است. بر اساس نتایج ۶۲ گمانه مزبور رابطه بین سرعت موج در ۳۰ متر فوقانی خاک و فرکانس غالب ساختگاه به صورت زیر تعیین شده است.

$$V_{s30} = 70 * F + 213 \quad (2)$$

در این رابطه  $F$ ، فرکانس تقویت خاک می باشد. بر مبنای اطلاعات فوق میانگین سرعت موج برشی و نهایتاً رده خاک در هر شبکه مطابق استاندارد ۲۸۰۰ تعیین شده است.

جدول ۱: طبقه بندی زمین بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ ایران

نوع زمین	توصیف نهشته ها	حدود تقریبی $V_s^{30}$ (m/s)
I	الف) سنگهای آذرین (دارای بافت درشت و ریز دانه)، سنگهای رسوبی سخت و بسیار مقاوم و سنگهای دگرگونی توده ای (گنایس - سنگهای متبلورسیلیکاته)، طبقات کنگلومرایی ب) خاکهای سخت (شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت) با ضخامت کمتر از ۳۰ متر	بیش از ۷۵۰ $750 > V_s \geq 375$
II	الف) سنگهای آذرین سست (مانند توف)، سنگهای سست رسوبی، سنگهای دگرگونی متورق و به طور کلی سنگهایی که در اثر هوازدگی و تورق (تجزیه و تخریب) سست شده اند. ب) خاکهای سخت (شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت) با ضخامت بیش از ۳۰ متر	$750 > V_s \geq 375$ $375 > V_s \geq 175$
III	الف) سنگهای متلاشی شده در اثر هوازدگی ب) خاکهای با تراکم متوسط، طبقات شن و ماسه با پیوند متوسط بین دانه های و رس با سختی متوسط	$375 > V_s \geq 175$ $375 > V_s \geq 175$
IV	الف) نهشته های نرم با رطوبت زیاد در اثر بالا بودن سطح آب زیرزمینی ب) هر گونه پروفیل خاک شامل حداقل ۶ متر خاک رس با اندیس خمیری بیشتر از ۲۰ درصد و رطوبت بیشتر از ۴۰ درصد	کمتر از ۱۷۵

**نتیجه گیری**

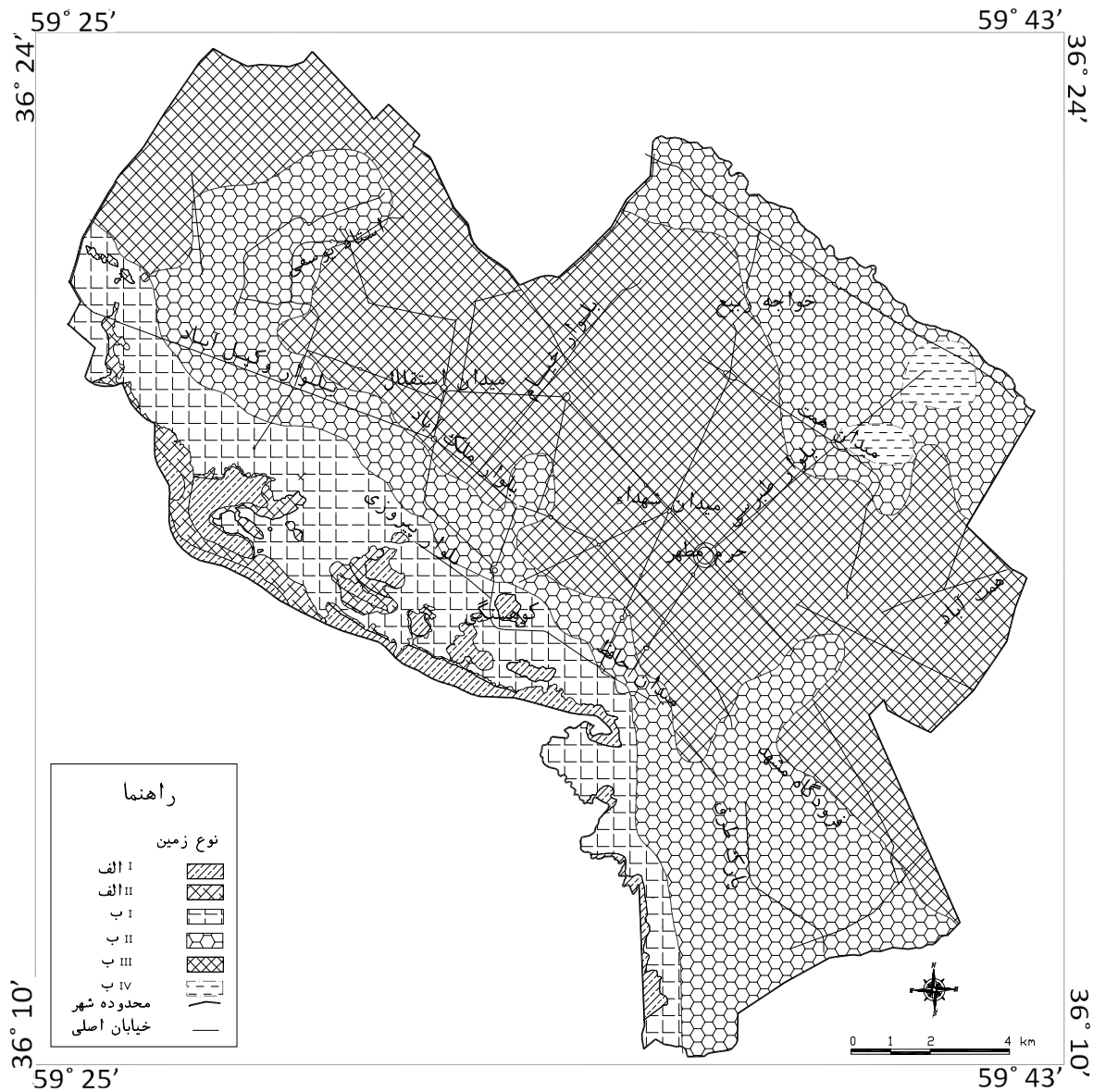
در این مطالعه با استفاده از روش تحلیل طیفی امواج خرد لرزه ای در ۲۰۰ نقطه شهر مشهد پیرو تقویت خاک تعیین شده است. نتایج به دست آمده همخوانی مناسبی با شرایط زمین شناسی شهر مشهد نشان می دهد به طوری که با افزایش

در شکل ۶، نقشه طبقه بندی زمین در شهر مشهد نشان داده شده است. مطابق شکل مزبور حاشیه جنوبی و جنوب غربی مشهد در گروه I، II، قسمتهای مرکزی شهر در رده III و حاشیه شمالی در رده II ب و بخشهای محدودی در شرق شهر در رده IV طبقه بندی می شوند.



قرار می گیرد. حاشیه ارتفاعات در جنوب و نوار باریکی در حاشیه شمالی شهر در رده II طبقه بندی می شود. نتایج فوق در طراحی لرزه ای سازه های مهندسی و نیز در برنامه ریزی شهری و جهت جانمایی سازه های مرتفع در سطح شهر مشهد به عنوان اطلاعات اولیه قابل استفاده می باشد.

ضخامت رسوبات به طرف مرکز و شرق شهر پریرود تشدید نیز افزایش می یابد. همچنین بر مبنای نتایج مطالعات خردلرزه سنجی و نیز مطالعات زمین شناسی مهندسی نقشه رده بندی شهر از نظر آیین نامه ۲۸۰۰ تهیه شده است. مطابق نقشه مزبور بخش عمده ای از شهر مشهد در رده III آیین نامه



شکل ۶: پهنه بندی گستره شهر مشهد بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ ایران

## سپاس‌گزاری

صورت گرفته است. همچنین جمعی از دانشجویان کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد در گردآوری و برداشتهای صحرائی همکاری نموده‌اند که از همه این عزیزان تقدیر و تشکر می‌گردد.

مطالعات حاضر در راستای طرح ریز پهنه بندی لرزه‌ای شهر مشهد با حمایت مالی ستاد حوادث غیر مترقبه استانداری خراسان رضوی و حمایت سازمان مسکن و شهرسازی و مدیریت زمین‌شناسی منطقه شمال شرق

## منابع

- حافظی مقدس، ن.، ۱۳۸۵. معرفی گسل شمال مشهد. بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حافظی مقدس، ن.، ۱۳۸۶. گزارش مطالعات ریز پهنه بندی لرزه‌ای شهر مشهد، جلد دوم. گزارش زمین‌شناسی مهندسی، سازمان مسکن و شهرسازی خراسان رضوی.
- قرشی، م. مهدویان، ع.، ۱۳۸۴. گزارش ریز پهنه بندی لرزه‌ای شهر مشهد، جلد اول، مطالعات تحلیل خطر. سازمان مسکن و شهرسازی خراسان رضوی.
- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۸. آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰. نشریه شماره ض-۲۵۳.
- Al Yuncha, Z., & Luzon, F., 2000. On horizontal to vertical spectral ratio in sedimentary basins. *Bull. Seismo. Soci. Am.*, 90:1101-1106.
- Borcherdat, R.D., & Gibbs, J.F., 1976. Effects of local geological conditions in the San Francisco Bay region on ground motions and the intensities of the 1906 earthquake. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 66:467-500.
- Borcherdt, R., & Glassmoyer, G., 1992. On the characteristics of local geology and their influence on ground motion generated by the Loma Prieta earthquake in the San Francisco. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82:603-641.
- Bozdag, E., & Kocaoglu, A.H., 2005. Estimation of site amplifications from shear-wave velocity profiles in Ye,Silyurt and Avcilar, Istanbul, by frequency-wave number analysis of microtremors. *Journal of Seismology.*, 9:87-98.
- Cara, F., Di Giulio, G., & Rovelli, A., 2003. A Study on seismic noise variations at Colfiorito, Central Italy: Implications for the use of H/V Spectral Ratios. *Geophysical Research Letters*, 30, NO. 0, XXXX, doi: 10.1029/2003GL017807.
- Chavez-Garcia, F.J., 1994. Site effects in Mexico City eight years after the September 1985 Michoacán earthquakes. *Soil. Dyn. Earthquake Eng.* 13:229-247.
- Ergin, M., Zalaybey, S.O., Aktar, M., & Yalc, M.N., 2004. Site amplification at AvcVlar, Istanbul. *Tectonophysics*, 391:335- 346.
- Huang, H.C., Yang, Y.T., & Chiu, H.C., 2002. Site response evaluation using H/V ratio at the Yan-Liau in Hualien. Taiwan, *Pure and Applied Geophysics*, 159:2715-2731.
- Jarpe, S.P., Hutchings, L.J., Hauk, T.F., & Shakal, F., 1989. Selected strong and weak motion data from the Loma Prieta earthquake sequence. *Seism, Res. Lett.*, 60:167-176.
- Lachet, C. & Bard, P.Y., 1994. Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's Technique. *J. Phys. Earth.*, 42:377-397.
- Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Qr of RTRI*, 30(1).

- Panou, A.A., 2004. Ambient noise horizontal to vertical spectral ratio for assessing site effect in urban environments: The case of Thessaloniki city (northern Greece). *Bull. Geo. Soci. Gr.*, XXXVI:1467-1476.
- Seed, H.B., Romo, M.P., Sun, J.I., Jaime, A., & Lysmer, J., 1988. The earthquake of September 19, 1985 relationship between soil conditions and earthquake ground motion. *Earthquake Spectra*, 4:687-729.
- Seed, R.B., Dickenson, S.E., & Mok, C., 1991. Seismic response analysis of soft and deep cohesive stations: A brief summary of recent findings. *First Annual Seismic Response Workshop*, Sacramento, California, December 3-4.
- Teves-Costa, P., Matias, L., & Bard, P.Y., 1996. Seismic behavior estimation of thin alluvium layers using ambient noise recordings. *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, 15:201-209.
- Tezcan, S.S., Kaya, E., Bal, I.E., & Ozdemir, Z., 2002. Seismic amplification at Avcilar Istanbul. *Engineering Structure*, 24:661-667.
- Tucker, B.E., & King, J.L., 1984. Dependence of sediment-filled valley response on input amplitude and valley properties. *Bull. Seismo. Soci. Am.*, 74:153-165.

## Evaluation of the effect of alluvial and ground classification in Mashhad City, according to spectra ratio of microtermor waves method

\*<sup>1</sup>Hafezi Moghaddas, N., <sup>2</sup>Ghaemmaghamian, M.R., <sup>3</sup>Ghazi, A.,

1-Faculty of Earth Science, Shahrood University of Technology.  
2-International Institute of Earthquake Engineering and Seismology.  
3-Engineering Geologist.

\*E-mail: nhafezi@shahroodut.ac.ir

### Abstract

In this paper, the results of evaluation of earthquakes site effect using the microtremor measurement, which have been obtained from 200 points in Mashhad city, are presented. Also by combination of the iso-resonance period and soil texture map, the ground classification map has produced according to the Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings (2800 standard). This map shows that the resonance period of ground increase from south and west toward the center and east of city. But it decreases toward the north near Mashhad north fault in Khajeh Rabi area. Based on the Iranian 2800 standard, the south and south western parts of Mashhad city are classified in IB and IIB, while the central classified in IIIB, north part classified in IIB and limited area in east and north- east have a IV classes.

**Keywords:** Site effect, Microtremor, Spectral ratio, Mashhad city