



تلفیق رویکردهای مختلف مطالعاتی جهت ریز پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای شهر مهدیشهر - مطالعه موردی

سعید هاشمی طباطبایی^۱، سید محمود فاطمی عقدا^۲، عطا آقایی آرابی^{۳*}، عباس قلندرزاده^۴، مرتضی طالبیان^۵، اشکان محمدی^۶، امیرسعید سلامت^۷، خلیل رضایی^۸، احمدرضا قدرتی‌قزائی^۹

۱، ۲، ۳، ۶، ۷، ۹. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

۲، ۸. دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم

۴. دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی

۵. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

* تهران، بزرگراه شیخ فضل‌الله نوری، فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت

E-mail: aghaeiaraei@bhrc.ac.ir، ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵

چکیده

مطالعات ریز پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای شهر مهدیشهر واقع در استان سمنان، بر اساس بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساخت، ژئوالکترونیک، ژئوسایسمیک ژئوتکنیک و در نهایت، تحلیل پاسخ ساختمان انجام شد. بر اساس مطالعات لرزه‌زمین‌ساخت، به دلیل قرارگیری شهر بر روی سرچشمه لرزه‌زا، گستره شهر کم و بیش شتاب و طیف پاسخ یکنواختی دارد. بر اساس داده‌های ژئوالکترونیک، قسمت‌های سطحی زمین، پوشیده از رسوبات درشت‌دانه با مقاومت الکتریکی متوسط بوده که با افزایش عمق، ریزدانه‌تر شده و ضخامت قابل‌توجهی نشان می‌دهند. به منظور تعیین ویژگی‌های لایه‌های زیر سطحی مهدیشهر، مطالعات ژئوسایسمیک انجام شد. بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ و با توجه به مقادیر سرعت موج برشی و عمق سنگ بستر لرزه‌ای، گستره مورد مطالعه در گروه I و II قرار می‌گیرد. در ادامه، بررسی‌های ژئوتکنیک در قالب بررسی‌های سطحی و زیرسطحی انجام شد. جنس غالب خاک در گمانه‌ها (SW) است. همچنین، با تلفیق نتایج، تعداد ۲۴ گمانه شبیه‌سازی گردید. مطالعات تحلیل پاسخ ساختمان با استفاده از کلیه نتایج شناسایی‌های ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی و تحلیل احتمالاتی خطر زلزله انجام شد. نتایج در قالب مقادیر شتاب حداکثر افقی، ضریب بزرگنمایی، پی‌یود طبیعی خاک، و سرعت‌های طیفی برای هر سه سطح زلزله‌های با دوره‌های بازگشت ۷۵ سال، ۴۷۵ سال و ۲۴۷۵ سال تهیه و ارائه گردید. به منظور تسهیل در امر طراحی سازه‌های مختلف در مهدیشهر و با توجه به خصوصیات طیف‌های طراحی محاسبه، محدوده مورد مطالعه به سه ناحیه کلی تقسیم و طیف استاندارد طراحی ارائه شد.

کلیدواژگان

ریز پهنه‌بندی، لرزه‌ای، اثرهای ساختمانی، پارامترهای حرکت، طیف طراحی

Geotechnical Seismic Microzonation Studies of Mehdishahr City- Case Study

S. H. Tabatabaei¹, S. M. Fatemi Aghda², A. Aghaei Araei^{3*}, A. Ghalandarzadeh⁴,
M. Talebian⁵, A. Mohammadi⁶, A. S. Salamat⁷, Kh. Rezaei⁸, A. R. Ghodrati Ghazaani⁹

1, 3, 6, 7, 9. Road, Housing, and Urban Development Research Center (BHRC), Tehran, Iran

2, 8. Faculty of Science, University of Kharazmi

4. College of Engineering, University of Tehran

5. Geological Survey of Iran

* P.O. Box 13145-1696, Tehran, Iran, E-mail: aghaeiaraei@bhrc.ac.ir

Abstract

Seismic geotechnical microzonation studies of Mehdishahr city located in the Semnan province were conducted based on seismotectonic, geoelectric, geoseismic, geotechnical and site response analysis. Based on the seismotectonic studies, Mehdishahr city has been located on the seismic source. The town has nearly uniform acceleration and response spectrum. Based on geoelectrical data surficial ground layers were covered with coarse grained calcareous deposits with medium electrical resistance. In order to determine the subsurface specifications, geoseismic studies were carried out using seismic refraction and down hole methods. Based on the obtained results from average shear wave velocity and depths of seismic bed rock, Mehdishahr city has been located on the soil types I and II according to the standard 2800. In order to complete the investigation and further understanding of the soil type up to the depth of seismic bed rock, geotechnical studies were carried out. Based on the laboratory results most prominent soil is SW. Using other results of subsurface investigations, numbers of 24 boreholes were simulated. Site response analysis was carried out using results from geophysical, geotechnical and probabilistic earthquake hazard analysis in Mehdishahr city. Ground motion parameters such as PGA, amplification factor, natural period and velocity response spectra were calculated at ground surface levels. Distribution of these parameters as microzonation maps, were prepared for the earthquakes with return periods of 75, 475 and 2475 years. Finally, for engineering purposes, Mehdishahr area was divided in to three seismic zones, and for each considered seismic zones, standard design spectra were introduced.

Keywords

Microzonation, Earthquake, Site Effects, Motion Parameters, Design Spectrum

۱- مقدمه

حوادث طبیعی همیشه به عنوان یک خطر جدی برای توسعه به شمار رفته و خواهند رفت. از میان حوادث طبیعی، زلزله را می‌توان به عنوان یکی از مخرب‌ترین پدیده‌ها به جهت حجم خسارت‌های مرتبط با وقوع آن در نظر گرفت. یکی از عمده‌ترین فعالیت‌ها در راستای کاهش خطرهای ناشی از زلزله و افزایش ایمنی عمومی، مطالعات ریز پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای در مناطق شهری است. در این بررسی‌ها، شناخت اثرهای ساختگاهی و ارائه پارامترهای حرکت زمین به عنوان داده‌های ورودی جهت تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها که از یک روش علمی و دقیق به دست آمده باشد، در اولویت بسیار بالایی قرار دارد. بر اساس بررسی زلزله‌های اخیر می‌توان مناطق آسیب‌دیده را بر حسب میزان آسیب‌دیدگی به‌طور مشخص تقسیم‌بندی نمود. توزیع نامنظم شدت حرکت‌های زمین باعث شده است که برخی محققان در ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها بر اثر زلزله، شرایط خاک محل را در درجه اول اهمیت قرار دهند [۱]. از آنجا که آگاهی از شرایط ساختگاهی می‌تواند ما را به شناخت هر چه بیشتر از خصوصیات زمین‌لرزه‌ها و اثرهای زمین‌شناسی آن رهنمون سازد، لذا در انجام دادن مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهرها، ویژگی رفتاری مناطق مستعد لرزه‌ای بایستی هنگام طراحی سازه‌های جدید یا بهسازی سازه‌های موجود مد نظر قرار گیرد [۲]. با توجه به این که شرایط محلی و در مقیاس محدودتر، توپوگرافی نامنظم سطحی می‌تواند دامنه، مقدار فرکانس و مدت زمان حرکت زمین را به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار دهد، لذا این عوامل تأثیر حیاتی در شدت خسارت‌های ناشی از بروز زلزله دارد [۳].

مطالعات ریز پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای بیشتر به عنوان قابل‌قبول‌ترین ابزار جهت ارزیابی خطرهای لرزه‌ای و خطرپذیری شناخته شده بر اساس ویژگی‌های جنبش نیروی زمین با احتساب منبع و شرایط ساختگاه تعریف می‌شود [۴]. گام نخست در انجام دادن مطالعات ریز پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای، بررسی لرزه‌زمین‌ساخت با هدف برآورد خطر زمین‌لرزه و ارزیابی منطقی پارامترهای جنبش زمین (بیشینه شتاب، بیشینه سرعت، شدت و غیره) در ساختگاه موردنظر، بر اثر این رویداد در چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه در مدت زمان معین (عمر مفید سازه) است. در بسیاری از پروژه‌های مهندسی و عمرانی، مطالعات ژئوفیزیکی اهمیت روزافزونی یافته است.

در این بررسی نیز با نگاهی با محوریت توسعه پایدار، بخشی از مطالعات به بررسی‌های ژئوفیزیکی در قالب ژئوسایسمیک و ژئوالکتریک اختصاص داده شده است (بیت‌الهی، ۱۳۸۲). امروزه به منظور ارائه تحلیل کامل‌تری از خطر زمین‌لرزه، پارامتر شتاب طیفی دامنه جنبش زمین در طیف پاسخ متناسب با نوع سازه، به عنوان معیار کمی جنبش زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این میان، مطالعات ژئوتکنیکی به منظور شناخت ویژگی‌های رفتاری مصالح زمین‌شناسی مهندسی به عنوان داده‌های پایه جهت انجام دادن ریز پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای حائز اهمیت است. این مطالعات شامل بررسی‌های سطحی و زیرسطحی در قالب چاهک‌های آزمایشی، حفر گمانه‌های ماشینی با مغزه‌گیری ممتد، انجام دادن آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی است [۵]. مرحله نهایی ریز پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای شهری، تحلیل اثرهای ساختگاهی است (هاشمی طباطبایی و همکاران، ۱۳۸۵؛ هاشمی طباطبایی و همکاران، ۱۳۸۷). نتایج این تحلیل‌ها به صورت پارامترهای حرکت زمین، ضریب تشدید و نیز پارامتر طیف‌های

پاسخ در نقاط مختلف و در سطح زمین ارائه می‌شود [۶، ۷، ۴]. انجام دادن این تحلیل‌ها باید با تعیین مشخصات ژئوتکنیکی لایه‌های سطحی زمین همراه باشد [۸]. تحقیق حاضر مربوط به مطالعات ریز پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای در قالب بررسی‌های زمین‌شناسی ساختمانی و لرزه‌زمین‌ساخت، ژئوالکتریک، ژئوسایسمیک (لرزه شکست مرزی و درون چاهی)، زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک و در نهایت تحلیل پاسخ ساختگاه به منظور ریز پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای شهر مهدیشهر در استان سمنان به مساحت تقریبی ۹ کیلومترمربع است.

۲- روش مطالعات ریز پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای شهر مهدیشهر
مراحل مختلف این مطالعات به دقت مورد نیاز بستگی دارد. بررسی اثرهای ساختمانی با توجه به اهداف مورد نظر در سه سطح کم، متوسط و زیاد مورد بررسی قرار می‌گیرد:

- روش‌های با دقت پایین (دقت رده I)،
- روش‌های با دقت متوسط (دقت رده II)،
- روش‌های با دقت بالا (دقت رده III).

در شهر مهدیشهر، مطالعات به دلیل هزینه سنگین، بر اساس دقت متوسط تا زیاد صورت گرفت. هدف از اجرای ریز پهنه‌بندی با دقت متوسط تا زیاد، ارزیابی و شناخت پدیده‌های مختلف مرتبط با زمین‌لرزه در شهرها است. نتایج مطالعات شامل: نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای حرکتی زمین، نظیر شتاب افقی، قائم، شتاب طیفی و نیز نقشه‌های پهنه‌بندی پیروید غالب خاک است. با استفاده از نتایج حاصل، می‌توان به ساخت‌وساز ایمن‌تر در زمان وقوع زلزله دست یافت.

مراحل انجام دادن مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای مهدیشهر عبارت‌اند از:

- مطالعات لرزه‌زمین‌ساخت و تحلیل خطر زلزله به منظور تعیین احتمالاتی و قطعی پارامترهای حرکتی زلزله محتمل در نقاط مختلف شهر،
- مطالعات زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک جهت تعیین نوع رسوبات سطحی، عمق سنگ بستر و مشخصات دینامیکی رسوبات در پهنه شهر با استفاده از شناسایی‌های ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی،
- تعیین ویژگی‌های حرکتی و تحلیل پاسخ ساختگاه.

۲-۱- بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساخت و تحلیل خطر

گستره مهدیشهر در مجاورت سیستم گسله‌های دامنه جنوبی البرز که دشت سمنان را از کوهستان البرز جدا می‌نمایند قرار دارد. این رشته‌کوه از نظر لرزه‌خیزی یکی از مناطق فعال در کمربند لرزه‌خیز آلپ- هیمالایا محسوب می‌شود. کوتاه‌شدگی در این پهنه ناشی از همگرایی مایل صفحه عربی و اوراسیا است. این فرایند موجب فعالیت دو سیستم گسله راندگی و راستا لغز شده است. گسله‌های راندگی بیشتر در دو سوی رشته‌کوه قرار دارد و البرز را از پهنه ایران مرکزی در جنوب و حوزه خزر را از شمال جدا می‌نماید. سیستم گسله‌های راستا لغز چپ‌گرد در بخش میانی این رشته‌کوه قرار گرفته و لرزه‌زاترین گسله‌های البرز را شامل می‌شود. امروزه برآورد خطر زمین‌لرزه بر اساس داده‌های دراز مدت زمین‌شناسی در ترکیب با

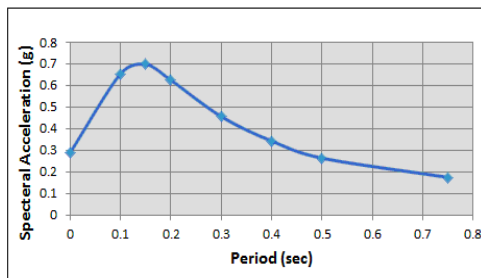


Fig. 1 Maximum ground motion acceleration of response spectra for return period of 475 years in Mahdishahr area

شکل ۱ طیف پاسخ بیشینه شتاب حرکت زمین (g) برای دوره‌های بازگشت ۴۷۵ ساله در محدوده شهر مهدیشهر

۲-۲- مطالعات ژئوفیزیکی

تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی به‌طور کلی با توجه به دید و نگرش بر گستره وسیع‌تر از محدوده‌های برداشت شده انجام می‌پذیرد. مطالعات ژئوفیزیکی به منظور کاوش‌های عمیق‌تر ساختگاه موردنظر، در قالب بررسی‌های ژئوالکتریک و ژئوسایسمیک (لرزه شکست مرزی و درون چاهی) انجام شد.

۲-۲-۱- بررسی‌های ژئوالکتریکی

مطالعات ژئوالکتریک مهدیشهر به منظور کاوش‌های عمیق‌تر از بررسی‌های سایشیمی و ژئوتکنیکی جهت آشکارسازی روند گسل‌های نهان، سنگ کف زمین‌شناسی، وضعیت نهشته‌های آبرفتی تا عمق تجسس ژئوالکتریکی، وضعیت آبخوان، پهنه‌های کم مقاومت و پر مقاومت، جانمایی لنزهای ریزدانه و درشت‌دانه در نهشته‌های سطحی، تغییرات توپوگرافی لایه‌ها و در نهایت بررسی توزیع مقاومت الکتریکی در افق‌های عمقی متفاوت انجام شد. این مطالعات با روش سونداژ الکتریکی قائم با آرایه شلومبرگر در طول ۶ پروفیل و در ۵۰ نقطه سونداژ انجام گرفت. طراحی این مطالعات براساس پیش‌دانسته‌هایی از خصلت آبرفت‌های گستره بر مبنای بازدیدهای به عمل آمده و در نهایت، بررسی توزیع مقاومت الکتریکی در افق‌های عمقی متفاوت انجام می‌شود.

۲-۲-۱-۱- منحنی‌های سونداژ الکتریکی در مهدیشهر

نگاه کلی به روند اصلی تمامی منحنی‌های سونداژ (تفسیر مجموعه‌ای)، تصمیم‌گیری بر روی مکانیسم تغییرات زمین‌شناسی و همچنین تهیه مقطع مناسب زمین‌شناسی را از روی داده‌های ژئوالکتریکی آسانتر می‌سازد. منحنی سونداژهای واقع در حاشیه شهر در شاخه انتهایی از نوع بالارونده شده و بیانگر وجود سنگ کف با اندیس مقاومت الکتریکی بالا است. با این حال، اغلب نقاط در مرکز شهر در انتها پائین رونده بوده و به مقاومت‌های بسیار کم ختم می‌شوند. در سطوح نه چندان عمیق بازه تغییرات مقاومت الکتریکی وسیعتر است که به دلیل تنوع نهشته‌های آواری سطحی و گوناگونی تناوب لایه‌های سنگی دارای رخنمون است. در اعماق متوسط نیز گاهی بالاروندگی منحنی‌ها مبین وجود مناطق با مقاومت بالا به صورت لنزی در منطقه است. بر اساس بررسی‌های به عمل آمده، در قسمت‌های حاشیه شهر و نزدیک ارتفاعات به‌طور تقریبی اغلب منحنی‌ها بالارونده بوده و در قسمت‌های مرکزی و جنوبی دشت، اغلب پائین رونده هستند. این امر مبین وجود مارن قرمز دارای رخنمون در زیر آهک‌های حاشیه شهر و در

کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها و برداشت‌های ژئودتیک انجام می‌شود. بر این اساس در ساختگاه مورد مطالعه ابتدا اقدام به تهیه کاتالوگ قابل اعتماد از زمین‌لرزه‌ها در گستره مورد مطالعه گردید و سپس، گسله‌های اصلی لرزه‌زای منطقه مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌های زمین‌شناسی و لرزه‌شناسی انجام شده در ساختگاه مورد مطالعه، بیانگر جوان و جنبه بودن اغلب این گسله‌ها است. مطالعات نشان می‌دهد مهم‌ترین گسله‌های موجود در شعاع ۳۰ کیلومتری نزدیک به شهر، گسله شمال سمنان، گسله عطاری در خاور و مجموعه گسله‌های سرخه، کلوت و گرمسار در باختر هستند.

۲-۱-۱- مجموعه گسله‌های پیرامون مهدیشهر

در بخش شمالی گسله شمال سمنان تا نزدیکی گسله آستانه، مجموعه‌ای از گسله‌ها شناسایی شده‌اند که اغلب درازایی کمتر از ۲۰ کیلومتر داشته و با فاصله اندک از یکدیگر قرار گرفته‌اند. اگرچه سن‌یابی مشخصی از این گسله‌ها در دست نیست، اما به نظر می‌رسد نقش جابه‌جایی از سامانه گسلی شمال سمنان به سامانه راستا لغز آستانه در بخش مرکزی البرز را داشته باشند. مهم‌ترین گسله‌های پیرامون ساختگاه، گسله‌های نوکه، دیکتاش، گاوک، سفیداب، ریگاب و ازناپ هستند. با بررسی‌های صحرائی در راستای یکی از این گسله‌ها که از دره مهدیشهر عبور می‌نماید، به نظر می‌رسد ادامه جنوبی گسله ازناپ بوده و حرکت راستا لغز در آن به خوبی دیده می‌شود.

۲-۱-۲- برآورد نهایی تحلیل خطر زمین‌لرزه

محاسبات خطر زمین‌لرزه در شهر مهدیشهر بر پایه مطالعات و داده‌های زمین‌شناسی موجود از گسله‌های منطقه انجام شد. در این روش، نرخ جنبش گسله‌ها و یا مناطق لرزه‌زا، به وسیله ترکیبی از نتایج مطالعات پارینه‌لرزه‌شناسی، داده‌های ژئودتیک، مطالعات زمین‌شناسی و سن‌سنجی مطلق برآورد شده و سپس، این نرخ جنبش به نرخ گشتاور لرزه‌ای و سرانجام به ضرایب گوتنبرگ و ریشتر تبدیل می‌شود. این ضرایب در برآورد خطر زمین‌لرزه در ساختگاه مورد مطالعه، به روش احتمالاتی مورد استفاده قرار گرفتند. در این روش، اثر تمام زمین‌لرزه‌های با اندازه‌های متفاوت که در مکان‌های متنوع از چشمه‌های متفاوت با احتمال رویدادهای متغیر رخ می‌دهند، به نحوی جمع زده می‌شود که احتمال فزونی سطوح مختلف جنبش زمین (بیشینه شتاب) در یک ساختگاه را در طول دوره زمانی مشخصی نشان دهد. در این پژوهش از میان روابط میرایی موجود، به ترتیب سه رابطه آمبراسیز و داگلاس، کمپیل و بزرگ‌نیا و آبراهامسون و سیلوا [۹، ۱۰، ۱۱] مورد استفاده قرار گرفتند.

با توجه به قرارگیری ساختگاه مورد نظر بر روی سرچشمه لرزه‌زا که گسله‌های شمالی و چندین گسله کوچکتر را در بر می‌گیرد، گستره شهر شتاب و طیف پاسخ تقریباً یکنواختی دارد (برای ۴۲ نقطه محاسبه شده). بر اساس مطالعات صورت گرفته، بیشینه شتاب روی سنگ بستر (PGA) و طیف پاسخ حرکت افقی زمین در نقاط مختلف گستره مهدیشهر بر روی سنگ کف با میانگین سرعت موج ۸۳۰ متر بر ثانیه در دوره‌های ۰.۷۵، ۴۷۵، ۹۷۵ و ۲۴۷۵ سال به ترتیب در حدود 0.02 g ، 0.029 g ، 0.033 g و 0.037 g به‌دست آمد و بیشینه شتاب طیفی در پریود ۰/۱۵ دیده می‌شود. به عنوان نمونه، در شکل ۱ طیف پاسخ شتاب افقی حداکثر برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله در سنگ بستر، ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، بیشینه شتاب طیفی دارای مقدار 0.029 g و 0.072 g به ترتیب در پریود ۰ و ۰/۱۵ ثانیه است.

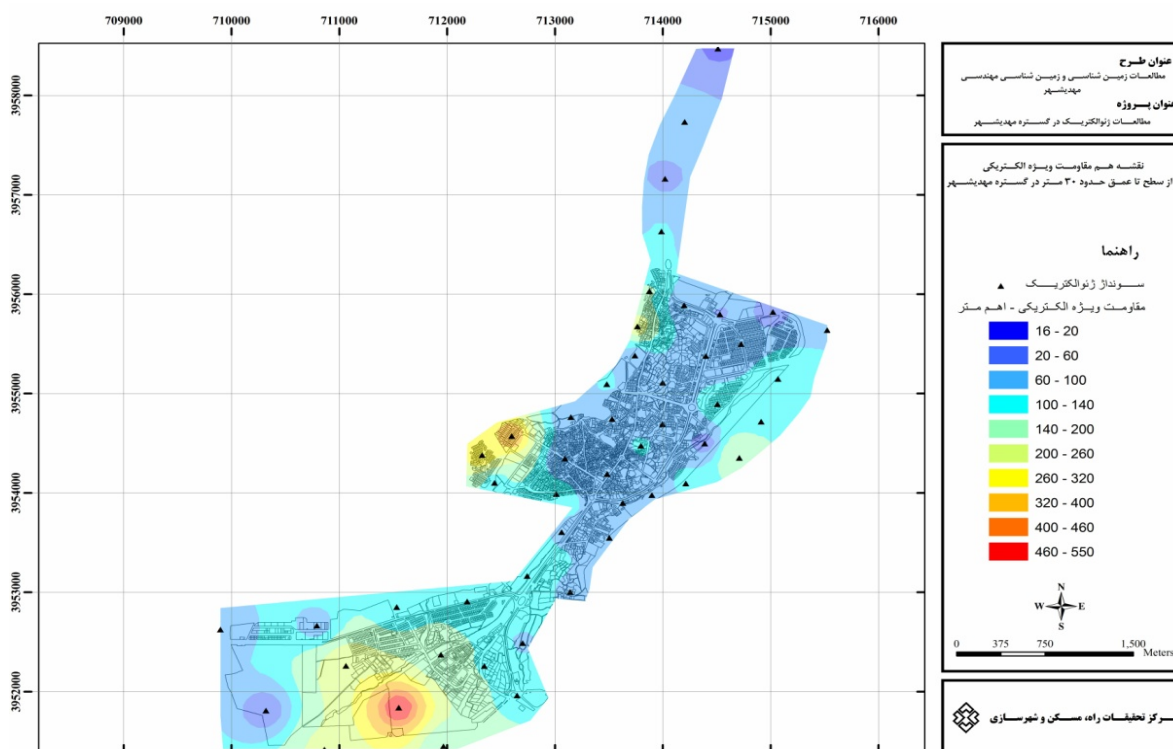
که گسلش باعث افزایش شدید ضخامت مارن در مرکز دره شده باشد. تلفیق کلیه اطلاعات و داده‌های زمین‌شناسی سطحی و ژئوالکتریکی به دست آمده، وجود دو سنگ کف با مقاومت‌های الکتریکی متفاوت در زیر سطح شهر، یکی از نوع آهک دارای مقاومت الکتریکی بالا در حواشی غرب و شرق شهر و دیگری مارن ضخیم با میان لایه‌های ماسه سنگی یا آهکی با ضخامت کم در بخش مرکزی شهر را می‌توان متصور شد. بر اساس نتایج به دست آمده، وجود گسل در منطقه مرکزی شهر از عمقی حدود ۳۰ متر به پایین محتمل است. دامنه تغییر اعداد مقاومت الکتریکی به تدریج از سطح به عمق، روند کاهشی بیشتری داشته و از ۹۰۰ به ۲۵۰ اهم متر تغییر می‌کند. نقشه هم مقاومت میانگین نشان می‌دهد که از سطح زمین تا عمق ۳۰ متر در بخش شمالی و مرکزی بین ۶۰ تا ۱۰۰ اهم متر متغیر است. در بخش جنوبی بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ اهم متر مقاومت افزایش می‌یابد. بنابراین، انتظار زون اشباع در این سطوح منتفی است.

۲-۲-۲- بررسی‌های ژئوسایسمیک در گستره مهدیشهر

این بررسی‌ها با دو روش لرزه شکست مرزی و درون چاهی به ترتیب قبل و بعد از مطالعات ژئوتکنیک انجام شد. نحوه توزیع پروفیل‌های لرزه شکست مرزی، بر اساس پوشش کامل و امکان تطابق فراگیر قابل اطمینان از دیدگاه مطالعات مهندسی انجام شد.

قسمت‌های عمیق است. در این مطالعات به دلیل آرایه مناسب نقاط برداشت، نقشه‌های هم مقاومت در عمق‌های ۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۵۰ و نقشه توزیع مقاومت میانگین برای عمق ۰ تا ۳۰ متری تهیه شد. بررسی نقشه‌ها، گسترش رسوبات ریز و درشت دانه و همچنین، وجود لنز یا عدسی‌هایی از رسوبات مختلف و سنگ کف مرکز و حواشی دره را مشخص می‌نماید. اگرچه دامنه تغییر اعداد مقاومت در سطح زمین تا ۹۲۰ اهم متر هم می‌رسد (رسوبات درشت‌دانه و خشک)، با این حال در عمق حدود ۲۵۰ متری حداکثر مقاومت الکتریکی به ۲۳۰ اهم متر می‌رسد. این امر نشان از دانه‌بندی بسیار ریزتر و با رطوبت بیشتر و یا وجود سنگ کف مارنی و شیلی متراکم است. بر اساس نقشه هم مقاومت میانگین از سطح زمین تا عمق ۳۰ متر در گستره مهدیشهر، نشان از مجزا شدن بخش مرکزی دره از حواشی سنگی آن و وجود منطقه کم مقاومت در بخش خط القعر دره است (نقشه ۱). همچنین، سنگ آهک حاشیه و رسوبات درشت دانه مرتبط با آن دارای مقاومت بالا بوده و به سمت مرکز دره به رسوبات ریزدانه مرکزی تبدیل می‌شوند.

نکته مهم دیگر وجود احتمالی گسلی در راستای خط القعر دره است. دلیل این امر می‌تواند وجود مارن با ضخامت زیاد در دره و نبود آن در دره شمال غربی و نیز هوازدگی و دگرسانی بیشتر شیل‌ها و مارن‌ها همراه با خردشدگی‌های تکتونیکی شدیدتر در منطقه باشد. با توجه به نزدیکی ارتفاعات دو سمت دره و عمق قابل محاسبه سنگ کف دره به نظر می‌رسد



Map 1 Average iso resistance distribution map for depth of 0 to 30 m in Mahdishahr area

نقشه ۱ نقشه توزیع هم مقاومت میانگین برای عمق ۰ تا ۳۰ متر سطحی در مهدیشهر

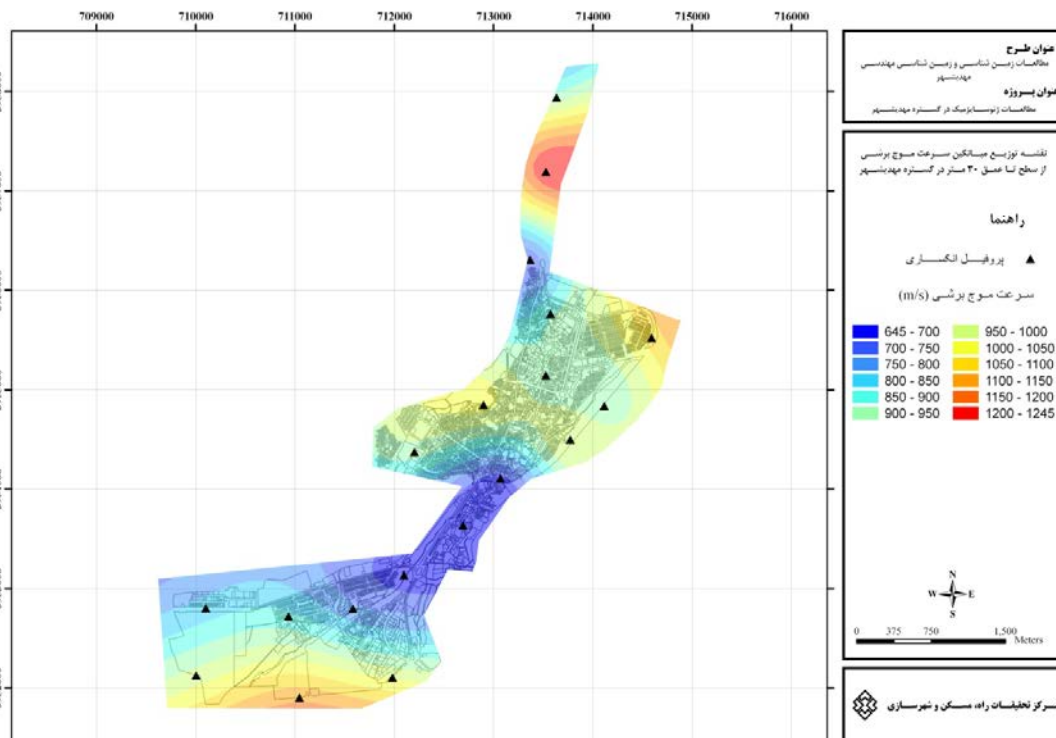
ایستایی، چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی، ساختمان‌های زمین‌شناسی و مناطق شکستگی را بررسی نمود. در گستره مهدیشهر ۳۸ پروفیل لرزه شکست مرزی برداشت شد. از این تعداد، ۱۹ پروفیل مربوط به امواج طولی و ۱۹ پروفیل دیگر برای امواج برشی است. برای هر برداشت در مقاطع P به

۲-۲-۲-۱- عملیات لرزه شکست مرزی

این روش برای بررسی‌های کلی ساختگاه و با هدف تعیین خواص دینامیکی و مهندسی زلزله مناسب است. با استفاده از روش لرزه شکست مرزی می‌توان شرایط زمین‌شناسی ساختگاه اعم از عمق سنگ بستر، سطح

اندازه‌گیری امواج برشی در راستای ۱۹ پروفیل لرزه شکست مرزی در نقشه ۲ نشان داده شده است. در این نقشه توزیع سرعت از ۶۴۵ تا ۱۲۴۵ متر بر ثانیه متغیر است. در قسمت‌هایی از شمال و جنوب، سرعت به ترتیب تا ۱۲۴۵ و ۱۱۵۰ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد. در قسمت نوار مرکزی و ابتدای نوار شمالی، سرعت تا ۶۴۵ متر بر ثانیه کاهش می‌یابد. به‌طور کلی میانگین سرعت موج برشی در نوار مرکزی و پیرامون آن از سایر مناطق کمتر است. توزیع مقادیر سرعت امواج برشی و امواج تراکمی سنگ بستر لرزه‌ای حاصل از اندازه‌گیری در راستای ۱۹ پروفیل لرزه شکست مرزی به ترتیب از ۷۵۵ تا ۸۹۰ و ۱۲۷۵ تا ۲۱۱۵ متر بر ثانیه متغیر است.

طورمعمول، پنج شوت صورت گرفته و در مقاطع k، شش شوت با چشمه موج برشی که دو به دو دارای پلاریته معکوس هستند انجام شد. برای به دست آوردن داده‌های تا عمق ۳۰ متر و با دقت بالاتر در تفکیک لایه‌بندی، فاصله گیرنده‌ها ۳/۷۵ متری و یکسان طراحی شد. در این روش با استفاده از نرم‌افزار Seisimager، ۱۷ لایه تشخیص داده می‌شود. ضخامت لایه‌ها به ترتیب یک لایه ۰/۶ متری، ۶ لایه ۱/۱ متری و ۱۰ لایه ۲/۳ متری است. جهت کسب داده‌های تا عمق ۳۰ متر و با دقت بالاتر در تفکیک لایه‌بندی، فاصله گیرنده‌ها به طور یکسان و به طول ۳/۷۵ متر طراحی گردید. توزیع میانگین سرعت موج برشی از سطح تا عمق ۳۰ متر حاصل از



Map 2 Average shear wave velocity distribution in Mahdishahr area based on refraction data

نقشه ۲ توزیع میانگین سرعت موج برشی در گستره مهدیشهر بر اساس مطالعات لرزه شکست مرزی

مقادیر سرعت موج برشی و عمق سنگ بستر لرزه‌ای، گستره مورد مطالعه در گروه I و II قرار می‌گیرد.

۲-۳-۳- مطالعات زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک ساختگاه

به منظور شناخت هر چه بیشتر از نوع و رفتار خاک از سطح تا عمق سنگ بستر لرزه‌ای، انجام حفاری‌های دستی و ماشینی به صورت نمونه‌برداری پیوسته و آزمایش‌های برجا و آزمایشگاهی انجام شد. ابتدا نقاط حفاری به کمک نتایج حاصل از بررسی‌های لرزه شکست مرزی و بازدیدهای صحرایی جانمایی شدند. جانمایی نقاط به گونه‌ای انجام شد که تا حد امکان تمامی گستره شهر را تحت پوشش قرار دهد. بر این اساس، ۱۲ نقطه به عنوان نقاط حفاری ماشینی انتخاب گردید (نقشه ۳). به منظور ارزیابی پارامترهای ژئوتکنیکی مصالح ساختگاه، آزمایش صحرایی مقاومت نفوذ استاندارد (SPT)، به عنوان مناسب‌ترین آزمایش در نظر گرفته شد. با توجه به سیمان شدگی قوی لایه‌های خاک و نوع دانه‌بندی انجام این آزمایش میسر نبود. شایان ذکر است تمامی گمانه‌ها به آب برخورد کرد. به منظور تعیین دقیق‌تر خصوصیات مهندسی مصالح ساختگاه، آزمایش‌های شاخص و

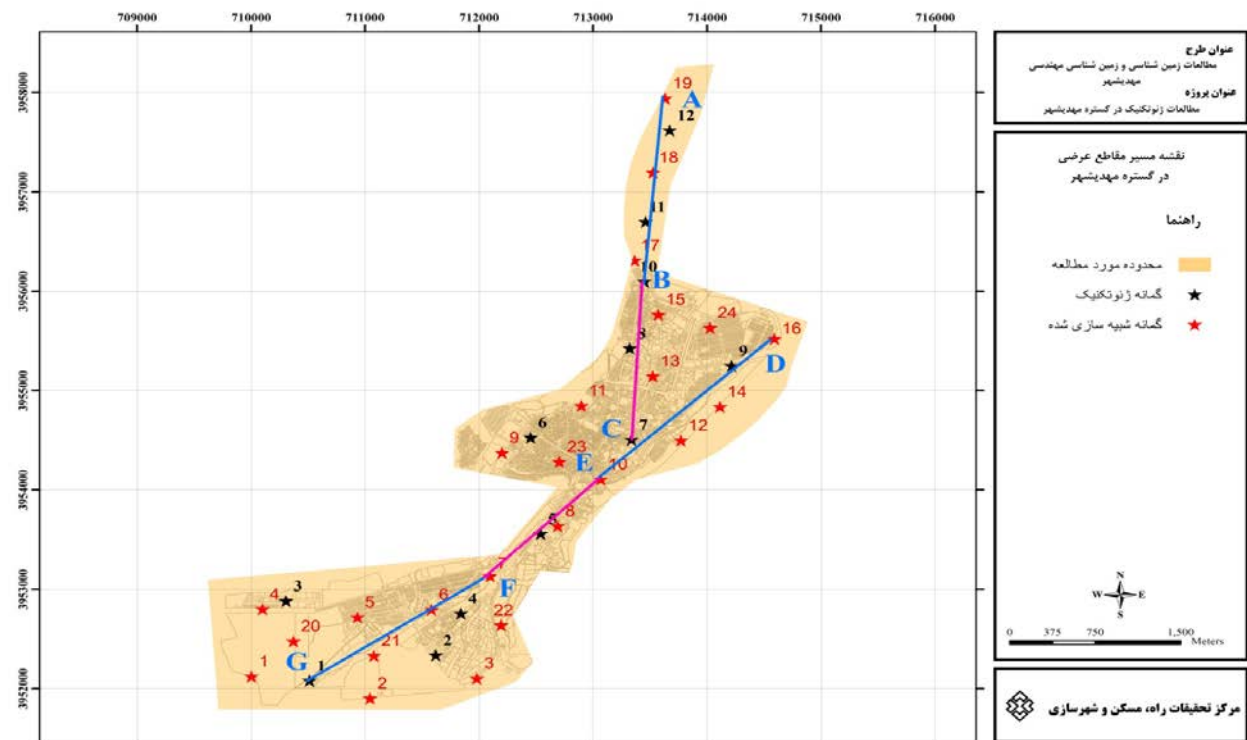
۲-۲-۲- عملیات لرزه‌نگاری درون‌چاهی

در ادامه مطالعات، ۱۲ گمانه در ساختگاه مورد مطالعه حفر شد و در این گمانه‌ها علاوه بر مطالعات ژئوتکنیک، عملیات لرزه‌نگاری درون‌چاهی انجام شد (نقشه ۳). محل گمانه‌ها علاوه بر تبعیت از یک شبکه نسبتاً منظم و پوشش نسبی ساختگاه، در راستای تدقیق مطالعات انتخاب شد. نقشه توزیع مقادیر عمق سنگ بستر لرزه‌ای حاصل از اندازه‌گیری امواج برشی به روش لرزه‌نگاری درون‌چاهی در شهر مهدیشهر نشان می‌دهد که عمق سنگ بستر لرزه‌ای از ۵ تا ۱۸ متر متغیر است. عمق سنگ بستر لرزه‌ای در مناطق میانی متمایل به جنوب و نیز در محدوده‌ای از شمال شرقی شهر و در نقاطی که توزیع سرعت متوسط موج برشی در آنها کمتر از بقیه مناطق بوده، مشاهده می‌شود. توزیع میانگین سرعت موج برشی از سطح تا عمق ۳۰ متر حاصل از اندازه‌گیری امواج برشی به روش لرزه‌نگاری درون‌چاهی در مهدیشهر نشان می‌دهد که سرعت از ۶۴۰ تا ۸۰۰ متر بر ثانیه متغیر است. نتایج نشان می‌دهد سرعت موج برشی از نیمه مرکزی به سمت شمال و جنوب افزایش می‌یابد. بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۱۲] و با توجه به

سطح و عمق، مقاطع زمین‌شناسی مهندسی براساس جنس خاک ساختگاه تهیه و مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به گسترش طولی زیاد، تنوع لایه‌بندی و نوع ساختار زمین‌شناسی که همگی باعث کاهش دقت مطالعات می‌شوند، لذا هر مقطع به چندین زیر مقطع تقسیم گردید.

جهت پروفیل مقطع D-E-F-G از شمال شرق به جنوب غرب شرق و به طول تقریبی ۵۰۰۰ متر است (نقشه ۳). جنس خاک در این مقطع در مسیر D-E، از نوع SW و در مسیر E-F به ترتیب از نوع SM و SW، CL و است. در ادامه و در مسیر F-G ابتدا به ترتیب از نوع CL و SM و سپس، در میانه مقطع SW و در نهایت به سمت جنوب شرق SM است.

مکانیکی، شامل دانه‌بندی و هیدرومتری، حدود اتربرگ، دانسیته نسبی، وزن مخصوص ویژه دانه‌های خاک و تراکم مطابق استانداردهای موجود انجام شد. بر اساس نتایج آزمایش دانه‌بندی، خاک ساختگاه مورد مطالعه به‌طور عمده درشت‌دانه و از نوع SW، GC، CL، SM بوده و جنس غالب خاک، ماسه لای دار (SW) است. در شکل (۲) لوگ گمانه‌ها و مقادیر سرعت موج برشی حاصل از آزمایش لرزه‌نگاری درون چاهی در اعماق مختلف ارائه گردیده است. در ادامه، به کمک نرم‌افزارهای Rock work و Arc GIS و روش آماری فاصله معکوس وزنی (IDW) با استفاده از داده‌های مطالعات ژئوفیزیکی و ژئوتکنیک، تعداد ۲۴ گمانه در گستره شهر شبیه‌سازی شد (نقشه ۳). به منظور تعیین روند گسترش طولی خاک در



Map 3 Geotechnical drilled boreholes and simulated and paths of geological profiles in Mahdishahr area

نقشه ۳ موقعیت گمانه‌های ژئوتکنیک و درون چاهی و شبیه‌سازی شده، مسیر پروفیل‌های زمین‌شناسی در گستره شهر مهدیشهر

۴-۲- مطالعات ژئوتکنیک لرزه‌ای

پارامترهای حرکت زمین از قبیل شتاب حداکثر، ضرایب تشدید، پیروید طبیعی زمین و مقادیر مربوط به طیف پاسخ شتاب جهت محاسبه پارامترهای حرکت زمین در دوره‌های بازگشت ۷۵، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال در گستره مهدیشهر محاسبه گردید. در نهایت، نقشه‌های توزیع شتاب، ضرایب تشدید، پیروید طبیعی زمین و مقادیر طیف پاسخ شتاب تهیه شد.

مطالعات تحلیل پاسخ ساختگاه با استفاده از نتایج مراحل قبلی (شناسایی‌های ژئوفیزیکی، ژئوتکنیکی و تحلیل احتمالاتی خطر زلزله) با استفاده از نرم‌افزار EERA [۱۳] و تحلیل خطی معادل یک بعدی به صورت تک نقطه‌ای [۱۴]، در ۳۶ گمانه (۱۲ گمانه ژئوتکنیکی حفر شده و همچنین ۲۴ گمانه شبیه‌سازی شده)، انجام شده است. سپس، مقادیر

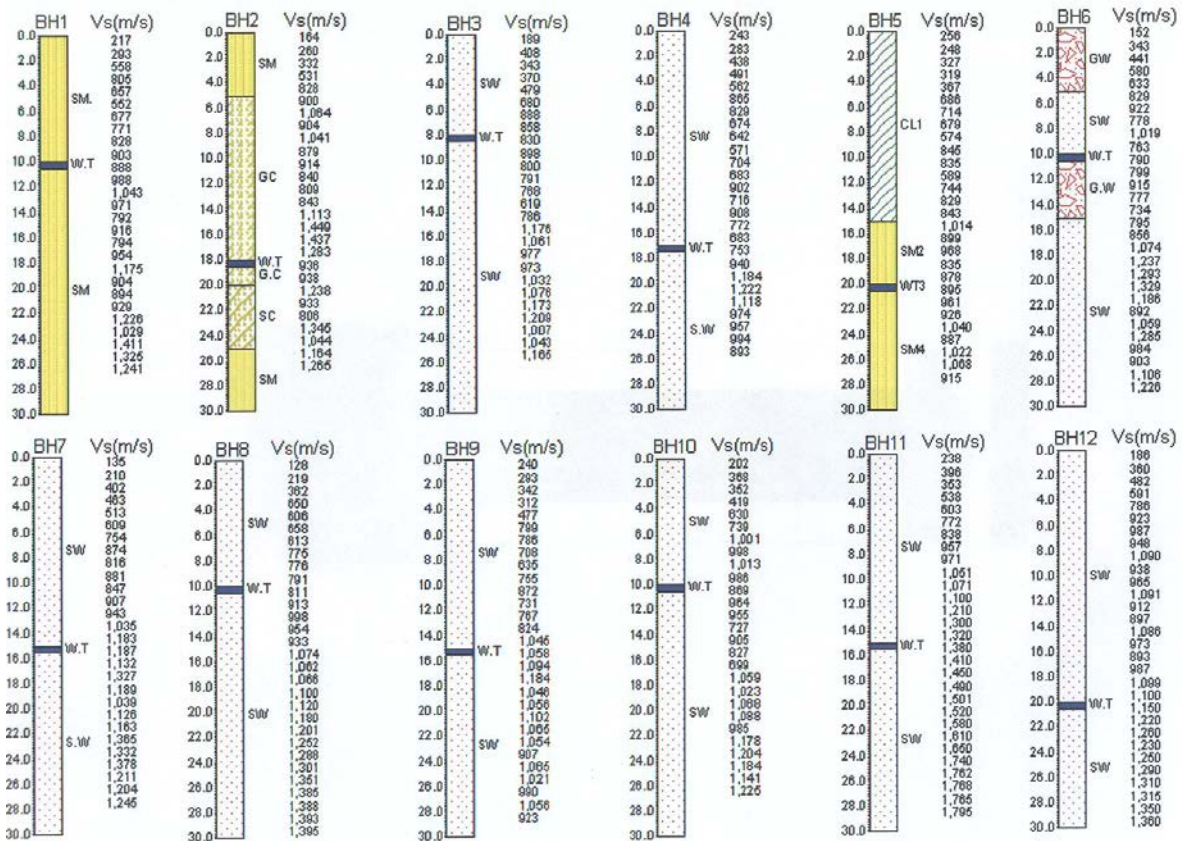


Fig. 2 Drilled borehole logs in studied area

شکل ۲ لوگ گمانه‌های حفاری شده در ساختمان مورد مطالعه

جدول ۱ مصالح به کار رفته در تحلیل‌ها برای گستره مهدیشهر

Table 1 Materials used for analysis in Mahdishahr area

شماره مصالح	عمق (متر)	جنس مصالح درشت‌دانه
۱	۶-۰	SW
۲	۶-۰	SM
	۱۵-۶	SW
۳	۶-۰	SC
	۱۵-۶	SM
۴	۳۷-۱۵	SW
	۱۵-۶	SC
۵	۳۷-۱۵	SM
	۳۷-۱۵	SC
۶	۱۵-۱۰	GW
	۱۵-۱۰	GC
۷	۲۰-۱۰	GW
	۲۰-۱۰	GC

۲-۴-۱- معرفی منحنی‌های رفتاری

به منظور تهیه پارامترهای ورودی تحلیل‌های دینامیکی، منحنی‌های مناسب برای لایه‌های مختلف خاک در منطقه انتخاب شدند. با توجه به حساسیت مدل‌های رفتاری خاک‌های دانه‌ای به عمق و خاک‌های چسبنده به اندیس خمیری خاک، منحنی‌های مورد استفاده به ترتیب با عمق و میزان شاخص خمیری اصلاح شدند. نوع خاک در گستره مهدیشهر شامل دو نوع شن GW و GC است. همچنین، سه نوع ماسه شامل ماسه خوب دانه‌بندی شده SW، ماسه سیلتی SM و ماسه رسی SC و یک نوع رس CL تقسیم‌بندی شده‌اند (جدول ۱). منحنی‌های رفتاری مصالح شامل شکل ۳ ارائه شده است [۱۵، ۱۶]. ساده‌سازی‌هایی هم در لایه‌بندی خاک‌های مختلف در گمانه‌های حفاری شده صورت گرفته است.

گذشته ایران و مابقی از زلزله‌های خارجی) متناسب با سه دوره بازگشت ۴۷۵، ۷۵ و ۲۴۷۵ سال به صورت مجزا جهت تحلیل انتخاب شد.

۲-۴-۲- انتخاب شتابنگاشت‌های مناسب جهت تحلیل پاسخ

به منظور انجام دادن محاسبات تحلیل پاسخ ساختمان و محاسبه طیف پاسخ بر روی سطح زمین لازم است تا یک سری شتابنگاشت‌های مناسب در سنگ بستر لرزه‌ای انتخاب و به پروفیل‌های ژئوتکنیکی مدل‌سازی شده اعمال گردد [۱۷]. بدین منظور با رعایت معیارهای حاکم بر انتخاب تاریخچه زمانی شتاب، تعداد ۱۵۲ رکورد از ۷۶ زلزله رخ داده در ایران [۱۸] و سایر کشورها [۱۹] جمع آوری گردید. با توجه به معیارهای حاکم، تعداد ۱۴ نگاشت مختلف (به ترتیب تعداد ۷، ۶ و ۸ رکورد از زلزله‌های

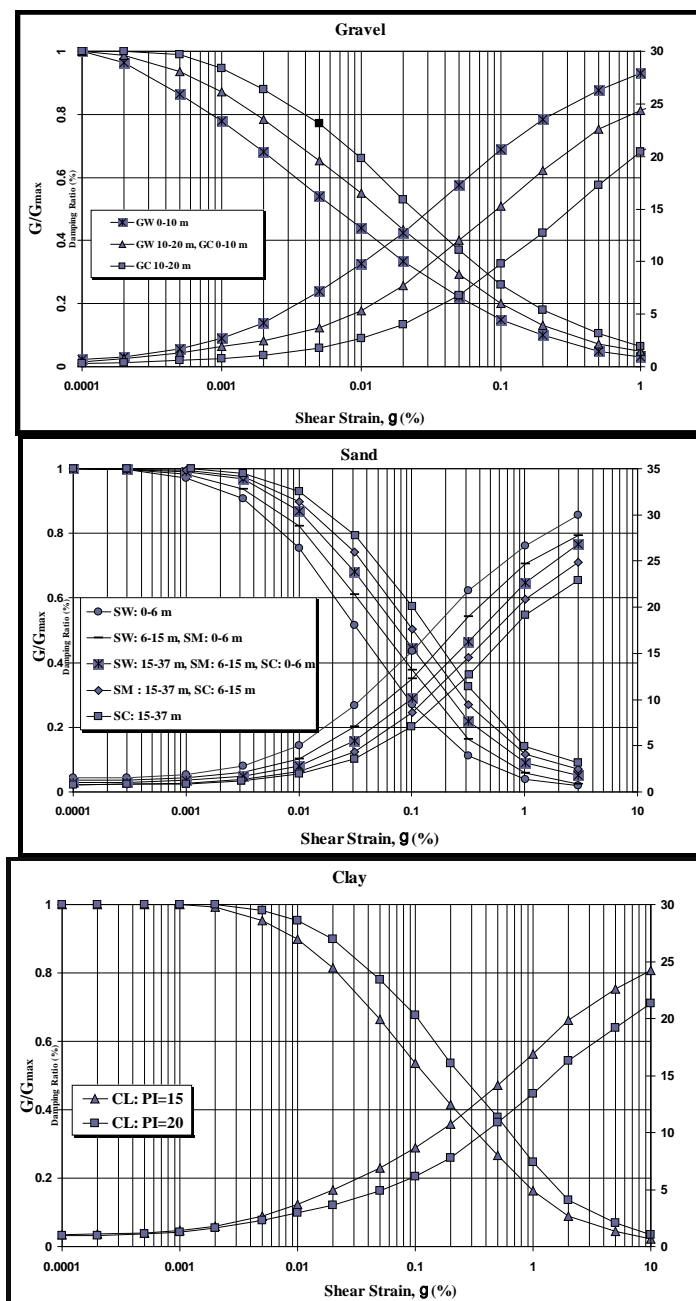


Fig. 3 Dynamic behavior for gravel, sand and clay materials for different depths of Mahdishahr city

شکل ۳ منحنی‌های رفتاری برای مصالح شنی، ماسه‌ای و رسی برای اعماق مختلف در گستره شهر مهدیشهر

۲-۴-۳- مقیاس کردن شتابنگاشت‌های انتخابی

در حدود 250 m/sec (نسبت به سرعت بالای 750 m/sec در اعماق ۱۰ متر به پایین باعث تفاوت شدید در امپدانس‌های ویژه این لایه‌ها و در نتیجه باعث تشدید شده است. هم طیف‌های شتاب و هم طیف‌های سرعت در پروده‌های ۰/۱ ثانیه که به پرپود طبیعی زمین نزدیک است، تحت تأثیر لایه‌های سطحی قرار گرفته‌اند و در مناطقی تشدید شتاب و سرعت طیفی را می‌توان به وضوح مشاهده کرد. شتاب‌های طیفی در محدوده ۰/۱ ثانیه بیشترین مقدار را در مناطقی دارد که در آنها پرپود طبیعی زمین در همین حدود بوده است. بیشترین مقدار شتاب طیفی ۰/۱ ثانیه در حدود $1/1 \text{ g}$ برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال برآورد شده است. شتاب طیفی پرپوده‌های بالاتر با کاهش قابل توجهی روبرو است. شتاب طیفی ۰/۵ و ۱ ثانیه به ترتیب به مقادیر ۰/۴۴ و ۰/۲۱ شتاب ثقل زمین، کاهش پیدا کرده است که نشان‌دهنده شتاب کم احتمالی بر ساختمان‌های با پرپود طبیعی ۰/۵ تا ۱ ثانیه در تمام نقاط مهدیشهر است. این کاهش چشمگیر در خصوص سرعت طیفی در پرپوده‌های بالاتر اتفاق نمی‌افتد و این موضوع بر این ناحیه پرپودی از طیف‌های طراحی اثرگذار خواهد بود و این موضوع در طراحی سازه‌های مختلف بایستی منظور گردد. نقشه توزیع سرعت طیفی در پرپود ۰/۵ و ۱ ثانیه برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال در گستره مهدیشهر حاکی از یکسان بودن حرکت سرعت طیفی در کلیه نقاط شهر است و به ترتیب با متوسطی در حدود 33 و 30 m/s است. نقشه‌های ارایه‌شده نشان‌دهنده غلبه تأثیر لایه‌های سطحی در پرپوده‌های حدود ۰/۱ ثانیه در اغلب نقاط منطقه مورد مطالعه است. به دلیل اینکه پرپوده‌های مذکور با پرپود طبیعی ساختمان‌های کوتاه یک طبقه سازگار است، بیشترین شتاب ناشی از زلزله‌های منطقه به این نوع سازه‌ها وارد خواهد شد. این در حالی است که ساختمان‌های بالاتر از پنج طبقه شتاب کمتری را به دلیل پاسخ فرکانسی خود از زلزله‌های این نواحی دریافت خواهند کرد. لذا در تمامی نقاط شهر، ساختمان‌های بلند احتمالاً عملکرد بهتری نسبت به ساختمان‌های ۱-۲ طبقه خواهند داشت. با توجه به رایج بودن ساختمان‌های کوتاه ۱-۲ طبقه در مهدیشهر باید به آسیب‌پذیری ساختمان‌های موجود و نیز کیفیت ساخت‌وسازهای جدید از نظر زلزله توجه بیشتری معطوف گردد.

۲-۵- نحوه انتخاب طیف طرح استاندارد

مهمترین بخش نقشه‌ها مربوط به طیف‌های طراحی استاندارد (به عنوان مثال طیف طرح شتاب) هستند که براساس ضوابط آیین‌نامه اروپا و آیین‌نامه IBC [۲۱] استفاده شده است. جهت ساختن طیف استاندارد تعیین پارامترهای S_s ، S_1 ، T_0 و T_s ضروری هستند. براساس دستورالعمل ATC-03-6 پارامتر S_s (یا همان پارامتر Ca) به صورت میانگین مقادیر شتاب طیفی در محدوده پرپودی ۰/۱ تا ۰/۵ ثانیه یا شتاب طیفی در پرپود ۰/۲ ثانیه تعریف می‌شود. پارامتر S_1 نیز به صورت مقدار متوسط شتاب طیفی در پرپود ۱ ثانیه تعریف می‌گردد. البته پارامتر Ca (متناظر با پارامتر S_1) به صورت مقدار متوسط سرعت طیفی در پرپود ۱ ثانیه تعریف می‌گردد. با توجه به زلزله‌های رخ داده در کشور ایران و اثرهای ساختگاهی در طیف‌های پاسخ این پروژه، با عنایت به فلسفه استخراج دو پارامتر S_1 و S_s تغییراتی در پرپود قرائت شتاب طیفی داده شده است. با توجه به منحنی‌های میانگین سرعت طیفی به دست آمده در مطالعات، پارامتر S_s از میانگین شتاب طیفی به روش مقیاس سازگار با طیف در محدوده پرپودی ۰/۰۸ تا ۰/۲ ثانیه (محدوده شتاب ثابت) قابل تخمین است. پارامتر S_1 نیز

رکوردهای انتخابی قبل از به‌کارگیری در تحلیل پاسخ زمین باید مقیاس شوند. در این مطالعات از دو روش مقیاس کردن ساده و سازگار با طیف هدف در حوزه زمان کردن با استفاده از نرم‌افزار EZ-FRISK [۲۰] بهره‌گرفته شده است. در نهایت، طیف‌های طراحی و سایر پارامترها براساس پوشش مناسب به دست آمده از دو روش انتخاب شده‌اند. طیف هدف برای دوره بازگشت‌های مختلف از پوش میانگین رکوردهای انتخاب شده و طیف خطر یکنواخت برای آن دوره بازگشت، حاصل گردید.

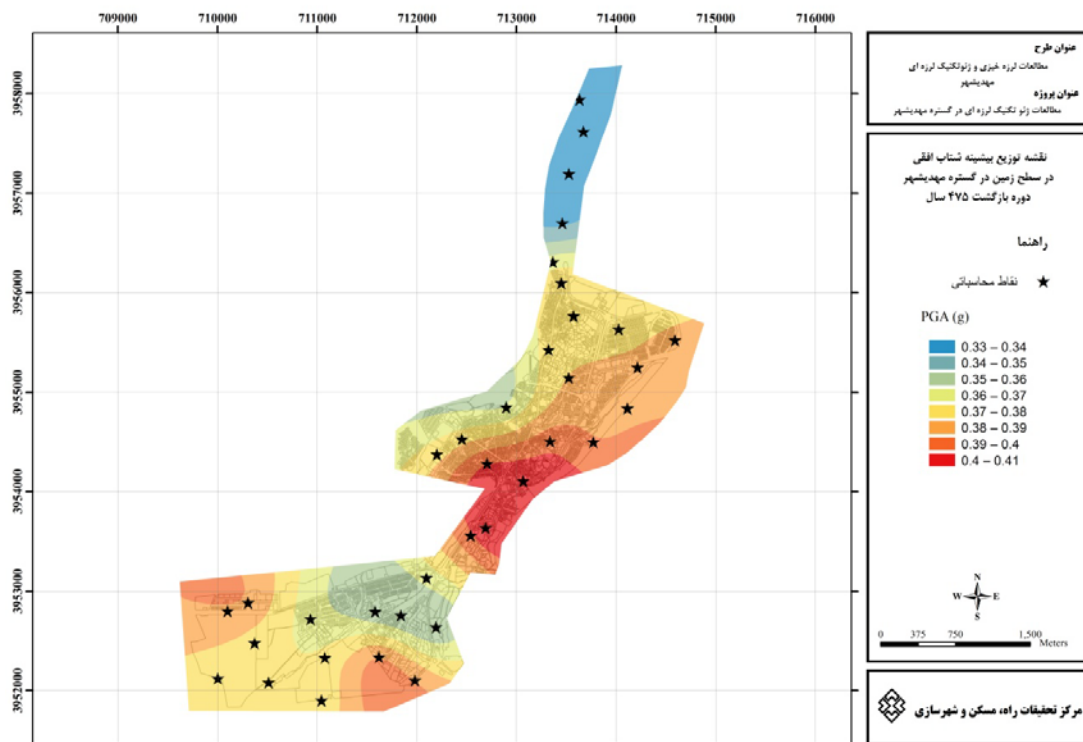
۲-۴-۴- نتایج تحلیل نقشه‌های پهنه‌بندی مهدیشهر برای پارامترهای حرکت سطح زمین

شرایط محلی ساختگاه به دلیل تغییر در ضخامت و خواص لایه‌های خاک، عمق سنگ بستر و سطح ایستایی بسیار متفاوت است و اثرهای مهمی بر مشخصه‌های زمین‌لرزه در سطح زمین دارد. براساس تحلیل‌ها، حداکثر شتاب افقی وارده برای هر سه دوره بازگشت ۰/۷۵، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال در باریکه میانی شهر با تمایل به مناطق جنوب‌غربی و شمال‌شرقی (در محدوده میانی) بیشتر است. به عنوان مثال، نقشه ۴ توزیع بیشینه شتاب افقی برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال در گستره مهدیشهر را نشان می‌دهد. در سایر نقاط شتاب بیشینه برای هر سه دوره بازگشت فوق‌الذکر، با شتاب کمتری مشاهده می‌شود. با این حال، در تمام نقاط شهر شتاب بیشینه روی خاک از شتاب سنگ بستر بالاتر بوده که نشان‌دهنده تشدید در تمام نقاط شهر است. بیشترین شتاب بیشینه برابر ۰/۳۲، ۰/۴۱ و ۰/۵۱ برابر شتاب ثقل زمین به ترتیب برای دوره‌های بازگشت ۰/۷۵، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال برآورد شده است. مقدار شتاب بیشینه دوره بازگشت ۴۷۵ سال از مقدار پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ بالاتر است. توزیع شتاب بیشینه با سختی برشی لایه‌ها که از مطالعات لرزه‌نگاری سطحی و درون گمانه‌ای و نیز اطلاعات گمانه‌ای به‌دست آمده‌اند، تطابق خیلی خوبی دارد.

به دلیل سختی نسبی لایه‌های سطحی، پرپوده‌های طبیعی مقادیر کمتری دارند. حداکثر پرپود طبیعی در اکثر قسمت‌های شهر در حدود ۰/۱ ثانیه محاسبه شده است. به دلیل ایجاد تغییرشکل‌های (کرنش‌های) کمتر در زلزله‌های با دوره بازگشت ۷۵ سال و برعکس، تغییرشکل‌های بزرگتر در زلزله‌های با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال سختی زمین به ترتیب کمتر و بیشتر از تغییرشکل‌های مربوط به زلزله‌های با دوره بازگشت ۴۷۵ سال بوده و لذا به دلیل کاهش سختی زمین در زلزله‌های بزرگتر، پرپود طبیعی زمین نیز با بزرگتر شدن زلزله‌ها کاهش یافته است. اغلب بالا بودن پرپود طبیعی زمین نشان‌دهنده ضخامت بالای رسوبات و یا نرمی نسبی آنهاست و برعکس، سخت بودن و ضخامت کمتر باعث پایین بودن پرپود طبیعی زمین می‌شود. با این حال، این تغییرات در خصوص مهدیشهر بسیار کم بوده و همان‌گونه که ذکر شد، در تمام دوره بازگشت‌ها در حدود ۰/۱ ثانیه است. می‌توان پیش‌بینی کرد که زلزله‌های با پرپود غالب در محدوده ۰/۱ ثانیه بیشترین تشدید را تجربه خواهند کرد. تغییرات مقادیر پرپودها با میزان شتاب‌های حداکثر در تناسب نسبی قرار دارد. البته نقاطی که حداکثر پرپود طبیعی را داشته‌اند، الزاماً دارای حداکثر تشدید نبوده‌اند. برای توجیه این مطلب باید به عوامل مؤثر دیگر در تشدید توجه گردد. نگاه به پروفیل خاک در برخی مناطق شهر نشان‌دهنده افزایش ناگهانی سختی برشی خاک از عمق‌های بالاتر از ۵-۶ متر است. لذا علاوه بر تطابق پرپود غالب زلزله‌ها با پرپود طبیعی زمین، تضاد سرعت موج برشی و کم بودن آن در لایه فوقانی (بعضاً

گرفته شده است. پارامترهای T_s ، T_0 محل شکست طیف طرح در ناحیه شتاب ثابت است. این پارامترها نیز در نهایت به منظور تولید طیف طراحی نهایی استفاده شد (جدول ۲).

از بیشینه دو مقدار میانگین شتاب طیفی حداکثر به روش مقیاس سازگار با طیف و شتاب طیفی میانگین به روش مقیاس ساده در پریود 0.7 ثانیه (محدوده سرعت ثابت) قابل استنتاج است. مقدار پارامتر k نیز ۱ انتخاب



Map 4 Maximum horizontal acceleration for return period of 475 years in Mahdishahr area

نقشه ۴ توزیع بیشینه شتاب افقی برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال در گستره مهدیشهر

جدول ۲ پارامترهای نهایی طیف طراحی برای گستره مهدیشهر

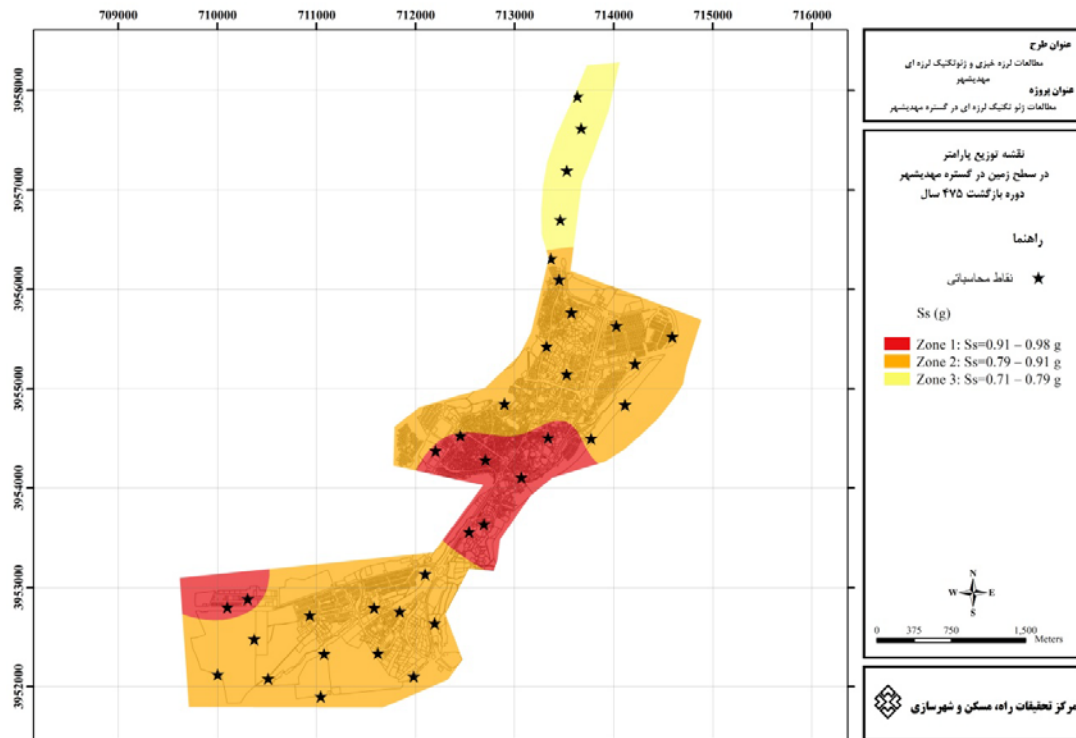
Table 2 Final parameters of design spectra for Mahdishahr area

مناطق	S_s	S_1	T_0	T_s
منطقه ۱	۰/۹۸	۰/۳۴	۰/۰۷	۰/۳۵
منطقه ۲	۰/۹۰	۰/۳۴	۰/۰۸	۰/۳۸
منطقه ۳	۰/۷۳	۰/۳۳	۰/۰۹	۰/۴۶

۲-۶-۲-ارایه نواحی مختلف از نظر طیف طراحی استاندارد

همان گونه که ملاحظه می شود طیف های طراحی ارایه شده برای نواحی ۱ و ۲ در محدوده پریوده های کم (کمتر از حدود 0.3 ثانیه) از طیف استاندارد 2800 بالاتر بوده و در محدوده پریوده های 0.2 تا حدود 2 ثانیه در حدود طیف 2800 و در پریوده های بالاتر از 2 ثانیه پایین تر از طیف 2800 قرار گرفته اند. طیف ناحیه ۳ به طور تقریبی با اندک تفاوتی در حدود طیف استاندارد 2800 است.

به منظور تسهیل در امر طراحی سازه های مختلف در گستره مهدیشهر، با توجه به خصوصیات طیف های طراحی محاسبه شده برای دوره بازگشت 475 سال، محدوده مورد مطالعه به سه ناحیه تقسیم و برای هر کدام از آنها به صورت جداگانه طیف های طراحی پیشنهاد شده است. محدوده هر کدام از این نواحی در نقشه ۵ ارایه شده است. طیف های طراحی مذکور با استفاده از پارامترهای ارایه شده در جدول ۲ قابل محاسبه هستند. همچنین، در شکل ۴ این طیف ها به طور مقایسه ای نشان داده شده اند.



Map 5 Three zone of Mahdishahr area for calculated design spectra

نقشه ۵ مناطق سه گانه گستره مهدیشهر برای معرفی طیف طراحی یکسان

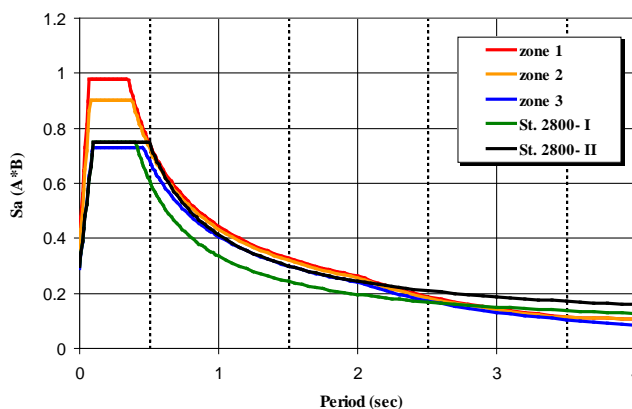


Fig. 4 Design spectra for three different areas in Mahdishahr area

شکل ۴ طیف‌های طراحی برای سه نواحی سه گانه گستره مهدیشهر

۳- نتیجه‌گیری

۲. براساس داده‌های ژئوالکترونیک پردازش شده، تقریباً در بسیاری از نقاط برداشتی قسمت‌های سطحی زمین تا عمق کم پوشیده از رسوبات درشت‌دانه بوده و به تدریج با افزایش عمق، ریزدانه‌تر شده و این رسوبات ریزدانه ضخامت قابل توجهی دارند.
 ۳. بررسی داده‌های ژئوالکترونیک حاکی از وجود احتمالی گسلی در راستای خط‌القعر دره است.

برای ساختگاه شهر مهدیشهر بر اساس بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساخت، ژئوالکترونیک، ژئوسایزمیک، زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک لرزه‌ای نتایج ذیل حاصل شد:
 ۱. در گستره مهدیشهر دارای شتاب و طیف پاسخ یکنواختی است و بیشینه شتاب افقی زمین برای دوره بازگشت ۰.۷۵، ۰.۴۷۵، ۰.۹۷۵ و ۲.۴۷۵ به ترتیب در حدود 0.20g، 0.29g، 0.33g و 0.37g است.

- [4] TC4-ISSMGE, *Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazard*, Revised edition, Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering (TC4) of the International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE), p. 209, 1999.
- [5] A. Aghaei Araei, H. R. Razeghi, S. H. Tabatabaei, A. Ghalandarzadeh, *Dynamic properties of gravelly materials*, *Scientia Iranica*, Trans. A, Civil Eng. 2010, 17(4), pp. 245-261, 2010.
- [6] A. (Ed) Ansal, *Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation*, Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands, 2004.
- [7] DRM, *Seismic microzonation for municipality's manual*, World institute for disaster risk management, 2004.
- [8] S. Hashemi Tabatabaei, M. Fatemi Aghda, A. Beitollahi, N. Saeid, A. Mohammadi, A. S. Salamat, *Guideline for preparation of geological engineering maps urban seismic microzonation*, 2010.
- [9] N. N. Ambraseys, J. Douglas, *Near-field horizontal and vertical earthquake ground motion*, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 23, pp. 1-18, 2003.
- [10] K. W. Campbell, Y. Bozorgnia, *Updated near-source ground motion (attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra*, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 93, pp. 314-331, 2003.
- [11] N. A. W. J. Silva Abrahamson, W. J. Silva, *Comparisons of the NGA ground motion relations, Earthquake Spectra*, *Earthquake Engineering Research Institute*, 24(1), pp. 45-66, 2008.
- [12] Iranian Code of Practice For Seismic Resistant Design of Buildings, Standard No. 2800, 2nd revised edition.
- [13] J. P. Bardet, K. Ichii, C. H. Lin, *EERA: A Computer Program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits*, University of Southern California, 2000.
- [14] M. B. Baturay, J. P. Stewart, *Uncertainty and bias in ground-motion estimates from ground response analyses*, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(5), pp. 2025-2042, 2003.
- [15] A. Aghaei Araei, S. Hashemi Tabatabaei, A. R. Ghodrati Ghazaani, A. Ghalandarzadeh, *Assessments dynamic behavior of soil material using large scale triaxial equipment*, 2015.
- [16] A. Aghaei Araei, H. R. Razeghi, S. H. Tabatabaei, A. Ghalandarzadeh, *Loading frequency effect on stiffness, damping and cyclic strength of modeled rockfill materials*, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Elsevier; 33(1), pp. 1-18, 2012b.
- [17] Headquarters, U. S. Army Corps of Engineers, *Response Spectra and Seismic Analysis for Concrete Hydraulic Structures*, Engineer Manual 1110-2-6050, Washington, DC, 1999.
- [18] <http://www.bhrc.ac.ir/portal>, 2011.
- [19] Risk Engineering, *EZ-FRISK (Software for in-depth Seismic Hazard Analysis) User's Manual*, Risk Engineering Inc., Golden, Colorado, USA, 2011.
- [20] IBC (International Building Code), International Code Council, ICC, Falls Church, 2006.
- [21] ATC, Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, ATC Publication ATC 3-06, Applied Technology Council, NBS Special Publication 510, NSF Publication 78-8, U. S. Government Printing Office, Washington, DC, 1978.

۴. بررسی نقشه هم مقاومت میانگین از سطح زمین تا عمق ۳۰ متر در گستره مهدیشهر حاکی از تغییر ۶۰ تا ۱۰۰ اهم متر در بخش‌های شمالی و مرکزی ساختگاه است. در بخش جنوبی مقاومت الکتریکی بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ اهم متر افزایش می‌یابد. لذا وجود زون اشباع در این سطوح منتفی است.
۵. دامنه تغییر اعداد مقاومت الکتریکی به تدریج از سطح به اعماق زیادتر کاهش می‌یابد و از ۹۰۰ به ۲۵۰ اهم متر تغییر می‌کند.
۶. میانگین سرعت موج برشی و موج تراکمی از سطح تا عمق ۳۰ متر حاصل از اندازه‌گیری امواج برشی در راستای ۱۹ پروفیل لرزه شکست مرزی به ترتیب از ۶۴۵ تا ۱۲۴۵ و ۱۴۷۰ تا ۲۸۰۰ متر بر ثانیه متغیر است.
۷. توزیع میانگین سرعت موج برشی براساس نتایج حاصل از روش درون چاهی در گستره مهدیشهر از سطح تا عمق ۳۰ متری، از ۶۴۰-۸۰۰ متر بر ثانیه و عمق سنگ بستر لرزه‌ای از ۵ تا ۱۸ متر متغیر است.
۸. گستره مورد مطالعه براساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران در گروه I و II قابل طبقه‌بندی است.
۹. برای مناطقی در شهر مهدیشهر که شیب زمین بیش از ۳۰ درجه، ارتفاع شیب بیش از ۳۰ متر و سازه در یک سوم بالایی شیب قرار دارد، باید با استفاده از ضرایب اصلاحی بر طیف یک بعدی استفاده شود.
۱۰. بررسی نتایج نشان می‌دهد خاک‌های منطقه شامل SW, GW, CL, SM, GC است. نمونه‌های اخذ شده از گمانه‌های اکتشافی عمدتاً خاک درشت‌دانه است. خاک SW عمدتاً منطقه را تشکیل می‌دهد.
۱۱. حداکثر شتاب افقی وارده برای هر سه دوره بازگشت ۰.۷۵، ۰.۷۵ و ۰.۷۵ و ۲۴۷۵ سال در باریکه میانی شهر با تمایل به مناطق جنوب‌غربی و شمال‌شرقی (در محدوده میانی) بیشتر است. بیشترین شتاب بیشینه برابر ۰/۳۲، ۰/۴۱ و ۰/۵۱ برابر شتاب ثقل زمین به ترتیب برای دوره‌های بازگشت ۰.۷۵، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال برآورد شده است. مقدار شتاب بیشینه دوره بازگشت ۴۷۵ سال از مقدار پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ بالاتر است.
۱۲. شتاب‌های طیفی در محدوده ۰/۱ ثانیه بیشترین مقدار در حدود ۱/۱g برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال را در مناطقی دارد که در آنها پرئود طبیعی زمین در همین حدود بوده است و این نقاط احتمالاً تشدید را تجربه خواهند کرد.
۱۳. با توجه به غلبه تأثیر لایه‌های سطحی در پرئودهای حدود ۰/۱ ثانیه در اغلب نقاط منطقه مورد مطالعه و همچنین سازگاری پرئودهای مذکور با پرئود طبیعی ساختمان‌های کوتاه یک طبقه، بیشترین شتاب ناشی از زلزله‌های منطقه به این نوع سازه‌ها وارد خواهد شد. با توجه به رایج بودن ساختمان‌های کوتاه ۱ تا ۲ طبقه در مهدیشهر باید به آسیب‌پذیری ساختمان‌های موجود و نیز کیفیت ساخت‌وسازهای جدید از منظر زلزله توجه بیشتری معطوف گردد.

۴- مراجع

- [1] M. Haeri, B. Gatmiri, *Seismic microzonation of urban city, Natural disaster management center of Iran*.
- [2] T. G. Sitharam, P. Anbazhagan, J. N. Naredra Kumd, *Geographic information system, a case study of Bangalore city*, Department of civil engineering, institute of science, Bangalore, India, 2007.
- [3] S. A. Naeini, A. Zarincheh, *Site Effect Microzonation and Seismic Hazard Analysis of Kermanshah Region in Iran*, *Journal of Applied Sciences*, No. 10, pp. 2231-2240, 2010.