

رویکرد روش‌های مختلف مطالعاتی برای ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر بم

سعید هاشمی طباطبایی^{۱*}، اشکان محمدی^۱ و امیرسعید سلامت^۱

^۱ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۵/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۱/۱۱

چکیده

زمین‌لرزه ویرانگر شهر بم در ۵ دی‌ماه ۱۳۸۲ به وقوع پیوست. بررسی‌های ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر بم با هدف برآورد ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک لرزه‌ای به منظور کاهش خطرات ناشی از زلزله پس از این رخداد، آغاز شد. ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر بم در قالب بررسی‌های ژئوالکتریک، ژئوسیسیمیک، ژئوتکنیک، مطالعات لرزه زمین‌ساخت، تحلیل خطر و ژئوتکنیک لرزه‌ای در شهر انجام گرفت. بر اساس بررسی‌های ژئوسیسیمیک و استاندارد ۲۸۰۰ آبرفت شهر بم از نوع I و II بوده و در بیشتر مناطق ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای کمتر از ۳۰ متر است. وجود ۱۰ نوع خاک و نحوه گسترش سطحی و ژرفایی آنها بر مبنای کاوش‌های ژئوتکنیکی و حفاری ماشین به صورت خشک و مغزه‌گیری پیوسته، مشخص شد. نقشه‌های پهنه‌بندی شتاب بیشینه افقی و قائم و ارائه طیف‌های خطر یک‌نواخت در سطوح مختلف لرزه‌ای در سنگ بستر، تهیه شد. با تحلیل پاسخ ساختمان‌ها، متغیرهای مختلف حرکت در سطح زمین شامل بیشینه شتاب، دوره تناوب متناظر با بیشترین تشدید، ضریب بزرگنمایی و ... منطقه مورد مطالعه برای دوره بازگشت‌های مختلف پهنه‌بندی شد. بر اساس نتایج، محدوده شهر بم به چهار ناحیه کلی افزاز و برای هر کدام از آنها به صورت جداگانه طیف‌های طراحی پیشنهاد شد. برخی از طیف‌های حاصل با طیف‌های طراحی آیین‌نامه اروپا و استاندارد ۲۸۰۰ مقایسه شد.

کلیدواژه‌ها: ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای، زمین‌لرزه بم، نوع زمین، متغیرهای حرکت، طیف طراحی

E-mail: htatababaei@bhrc.ac.ir

*نویسنده مسئول: سعید هاشمی طباطبایی

۱- مقدمه

با توجه به شرایط زمین‌ساختی ایران و وجود گسل‌های متعدد در سطح کشور، بسیاری از شهرها در جوار این گسل‌ها ساخته شده‌اند و همواره در معرض خطر رخداد زلزله‌های نزدیک گسل با شدت بالا قرار دارند. زمین‌لرزه، ایمنی تأسیسات حیاتی مانند بیمارستان‌ها، مراکز آتش‌نشانی، مراکز امداد رسانی مانند هلال احمر، مدارس، مراکز نظامی - انتظامی و ادارات دولتی و ... را به مخاطره می‌اندازد و قطع آب و برق شهر، بریدگی لوله‌های گاز و ایجاد آتش‌سوزی، صدمات به خطوط مخابراتی، مسدود شدن راه‌ها و خیابان‌ها و مواردی مانند آن در یک زمین‌لرزه ویرانگر دور از انتظار نیست. پهنه لرزه‌خیز ایران زلزله‌های مهیب زیادی را تجربه کرده است و این موضوع حساسیت مدیران، مهندسان و حتی افراد عادی را نسبت به خطر زلزله تشدید کرده است. با توجه به این واقعیت که مقاوم‌سازی و طراحی سازه‌های مقاوم، تا زمانی که در تعامل و مرتبط با شرایط و ویژگی‌های رفتاری ساختمان‌ها نباشد، نمی‌تواند به تنهایی ایمنی کامل و همه‌جانبه‌ای را تضمین کند. خرابی‌ها و صدمات وارده به ساختمان‌ها و تأسیسات شهری در زمین‌لرزه‌های مخرب به طور عمده پیرو شرایط زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی بستر آبرفتی شهر است و ساختار پیچیده زمین موجب بروز رفتارهای متفاوتی در هنگام رخداد زمین‌لرزه می‌شود. به منظور شناخت این پیچیدگی‌ها و اثرات آنها لزوم انجام بررسی‌ها و پژوهش‌ها احساس می‌شود. بررسی‌های ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای امروزه به عنوان برنامه‌ریزی بنیادی پژوهش در بلاای طبیعی گفته می‌شود که یکی از عمده‌ترین فعالیت‌ها در راستای کاهش خطرات ناشی از زلزله و افزایش ایمنی عمومی در مناطق شهری است. ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای، برآورد پارامترهای حرکتی زمین در طی زلزله‌های احتمالی در نقاط مختلف شهر بر اساس شرایط زمین‌شناسی محلی و وضعیت زمین‌ساختی - لرزه‌ای موجود در منطقه است. ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای در تعیین راهبرد کاربری‌های شهری، جایابی سازه‌های مهم و تأسیسات و جریان‌های حیاتی، طراحی و اجرای سازه‌ها، مدیریت بحران در هنگام رخداد زمین‌لرزه و مانند آن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

زمین‌لرزه ۵ دی‌ماه ۱۳۸۲ به یکی از ویرانگرترین زمین‌لرزه‌های تاریخ کشورمان است. زمین‌لرزه بم با بزرگای گشتاوری ۶/۶ در مقیاس ریشتر همراه با گسلش و

شکاف‌هایی در سطح زمین رخ داد. تجربه تلخ این زلزله مهیب، هشدار برای جدی گرفتن شناسایی اثرات زلزله بود. در این راستا، بررسی‌های ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر بم انجام گرفت (هاشمی طباطبایی و همکاران، ۱۳۸۵). هدف از این بررسی‌ها برآورد ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی به منظور کاهش خطرات ناشی از زلزله با توجه به شرایط ساختمانی در قالب بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساخت، لرزه‌خیزی، تحلیل خطر، بررسی‌های ژئوالکتریک، زمین‌لرزه‌ای، ژئوتکنیک، و ژئوتکنیک لرزه‌ای در شهر بم است.

۲- روش بررسی‌های ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر بم

مراحل مختلف بررسی‌های ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای، به دقت عمل بستگی دارد. اثرات ساختمانی با توجه به اهداف مورد نظر در سه سطح کم، متوسط و زیاد مورد بررسی قرار می‌گیرد (TC4, 1999). در شهر بم، مطالعات بر اساس دقت متوسط تا زیاد صورت گرفته است. هدف از اجرای ریزپهنه‌بندی با دقت متوسط تا زیاد، ارزیابی و شناخت پدیده‌های مختلف مرتبط با زمین‌لرزه در شهرها است. خروجی مطالعات ریزپهنه‌بندی نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای حرکتی زمین مانند شتاب افقی و قائم و شتاب طیفی و همچنین نقشه‌های پهنه‌بندی دوره تناوب چیره خاک است تا بتوان با استفاده از نتایج ساخت و ساز ایمن‌تر در زمان رویداد زلزله داشت. در راستای هدف یاد شده مراحل مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر بم عبارتند از:

- بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی: تعیین نوع نهشته‌های سطحی، ژرفای سنگ بستر و ویژگی‌های دینامیکی نهشته‌ها در پهنه شهر با استفاده از شناسایی‌های ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی
- بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساخت و تحلیل خطر زلزله: تعیین احتمالاتی و قطعی متغیرهای حرکتی زلزله محتمل در نقاط مختلف شهر
- تعیین ویژگی‌های حرکتی و تحلیل پاسخ زمین

۳- مطالعات زمین‌شناسی مهندسی

انجام یک طراحی مهندسی موفق، مستلزم کسب اطلاعات کافی از محیط زمین‌شناسی

در شکل ۳ توزیع ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای نشان داده شده است. در این نقشه پراکندگی ستبرای برای سنگ بستر لرزه‌ای از ۳ متر تا بیش از ۳۰ متر متغیر است. در شمال خاور و جنوب باختر منطقه مورد مطالعه ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای نسبت به نواحی دیگر کمتر است. در بخش‌های مرکزی ژرفای سنگ بستر بیش از ۳۰ متر است.

در شکل ۴ میانگین سرعت امواج برشی از سطح تا ژرفای ۳۰ متر نشان داده شده است. در این نقشه پراکندگی سرعت از ۴۰۵ متر بر ثانیه تا ۸۰۲ متر بر ثانیه متغیر است. همان‌طور که دیده می‌شود در شمال شهر مقادیر سرعت کم است و سرعت در جنوب باختری و بخشی از خاور روند افزایشی را نشان می‌دهد. در جهت شمال باختری به سمت جنوب خاوری و مرکز به سمت شمال خاوری مقادیر سرعت به نسبت متوسط است.

بر اساس جدول طبقه‌بندی نوع زمین استاندارد ۲۸۰۰ ایران (جدول ۱) و میانگین سرعت امواج برشی از سطح تا ژرفای ۳۰ متر و ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای، زمین شهر بم در نوع I و در بخش مرکز به سمت جنوب در نوع II طبقه‌بندی می‌شود.

۳-۲. بررسی‌های ژئوتکنیک

برای ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای، بررسی‌های ژئوتکنیکی مناسب شامل حفر گمانه‌ها، انجام آزمون‌های صحرایی و آزمون‌های آزمایشگاهی است (Connecticut department of transportation, 2005). بدین منظور، پس از انجام مطالعات ژئوفیزیکی برای کسب اطلاعات و شناخت هر چه بیشتر از نوع و رفتار خاک تا ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای، بررسی‌های ژئوتکنیکی در قالب بررسی‌های سطحی و زیرسطحی، حفاری‌های ماشینی، چاهک‌های آزمایشی، نمونه‌برداری پیوسته، آزمایش‌های برجا و آزمایشگاهی انجام شد (شکل ۵). نقاط حفاری‌های ژئوتکنیکی به کمک نقشه تخریب شهر بم و اطلاعات حاصل از مطالعات لرزه‌ای، مشخص و مثلث‌بندی شدند. مثلث‌بندی به گونه‌ای صورت پذیرفت که گستره شهر بم مورد پوشش کامل قرار گیرد. بر این اساس در مجموع ۱۷ نقطه به عنوان نقاط حفاری ماشینی انتخاب شدند (شکل ۶). نقاط مورد نظر در مناطق با بیشترین و کمترین تخریب پراکنده هستند. به دلیل نیاز به شناخت دقیق و کامل از ویژگی‌های رفتاری خاک، حفاری به صورت خشک و مغزه‌گیری پیوسته صورت گرفت. بررسی‌ها نشان می‌دهند در مجموع ۱۰ نوع خاک به نام‌های SP (ماسه بد دانه‌بندی شده)، GP (شن بد دانه‌بندی شده)، SW-SM (ماسه لای‌دار خوب دانه‌بندی شده)، GM (شن لای‌دار)، CL (رس لاغر)، SC (ماسه رس‌دار)، SP-SM (ماسه لای‌دار بد دانه‌بندی شده)، GP-GM (شن لای‌دار بد دانه‌بندی شده) و SM (ماسه لای‌دار) در منطقه موجود است (ASTM D4318, 2007; ASTM D422, 2005). جنس چیره خاک در گمانه‌های مختلف ماسه لای‌دار (SM) است. به منظور انجام مشاهدات عینی درون چاهی و انجام آزمایش چگالی، در محل سه حلقه چاهک آزمایشی به ژرفای ۱۰ متر حفر شد.

با توجه به بالا بودن هزینه حفر گمانه‌ها و ضرورت پوشش کامل ناحیه مورد مطالعه، نتایج حاصل از عملیات ژئوتکنیکی و ژئوسازیمیک باید به نحو مناسبی با هم تلفیق شوند. برای مثال به منظور تعمیم هر چه بهتر اطلاعات به دست آمده از مطالعات ژئوتکنیکی و زمین‌لرزه‌ای موجود در گستره شهر بم، روش‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفت. روش شبیه‌سازی گمانه‌ها به کمک نرم‌افزارهای Rock Inverse Distance و Arc GIS به همراه روش آماری فاصله معکوس وزنی (Method IDW) به عنوان بهینه‌ترین روش انتخاب شد. به کمک روش مورد نظر در مجموع ۵۷ گمانه شبیه‌سازی شد (Hashemi Tabatabaei et al., 2009). عمل شبیه‌سازی گمانه‌ها به گونه‌ای انجام شد که گستره مورد مطالعه را به طور کامل پوشش دهد (شکل ۶).

یعنی محل تماس مستقیم سازه با محیط اطراف است. این سازه‌ها صرف‌نظر از این که در سطح یا درون زمین احداث شوند به طور دایم از زمین و محیط اطراف آن که محیط زمین‌شناسی نام دارد تأثیر می‌پذیرند. میزان این تأثیرپذیری در دقت پهنه‌بندی از اهمیت خاص برخوردار خواهد بود. به طوری که تعیین شرایط موضعی زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی ساختگاه و اثرات آن بر ویژگی‌های لرزه‌ای زمین به هنگام زمین‌لرزه از جمله فعالیت‌هایی است که باید صورت پذیرد.

بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی با انجام مطالعات سطحی آغاز می‌شود. نتیجه این بررسی‌ها تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی است (هاشمی طباطبایی و همکاران، ۱۳۸۸). در ادامه، تلفیق هر چه بهتر اطلاعات در بررسی‌های زیرسطحی با هدف کسب اطلاعات کمی از محل و استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی و حفاری‌های اکتشافی و مغزه‌گیری پیوسته و در نهایت تطابق لایه‌ها و مقاطع با استفاده از نرم‌افزارهای مرتبط، انجام می‌شود. با توجه به اهداف پهنه‌بندی لرزه‌ای، بررسی‌های ژئوفیزیکی در قالب روش لرزه‌ای انکساری کم ژرفا می‌تواند ساختارهای زیر سطحی را در راستای نمرخ مختلف به تصویر کشد. در ادامه، به منظور تهیه تصویر دقیق از گسترش لایه‌های زیرسطحی، عملیات حفاری به صورت خشک مغزه‌گیری پیوسته در نقاط مختلف به همراه انجام آزمون‌های برجا و تهیه نمونه‌های دست نخورده و نگاشت (لوگ) گمانه‌ها صورت گرفت.

۳-۱. بررسی‌های ژئوفیزیک

تعیین نوع نهشته‌های سطحی به تنهایی انجام یک پهنه‌بندی کاربردی برای یک شهر به شمار می‌رود. برای این منظور اطلاعات مربوط به گمانه‌های موجود پیشین، اطلاعات چاه‌های ژرف، عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای افزایش دقت تعیین نوع نهشته‌ها و ویژگی‌های دینامیکی آنها از روش‌های ژئوفیزیکی می‌توان استفاده کرد و نوع نهشته‌ها را بر اساس سرعت انتشار موج برشی در لایه‌های سطحی طبقه‌بندی کرد. در بررسی‌های ژئوفیزیک، روش انکساری (Hawkins, 1961) و لرزه‌ای درون چاهی به منظور بررسی سرعت امواج تراکمی و برشی، تعیین ضریب پواسون و ضرایب دینامیکی برای لایه‌های تشکیل‌دهنده سطحی و کم ژرفای زمین استفاده می‌شود (Hardage, 2000). در گستره شهر بم، نحوه پراکندگی نمرخ‌های لرزه‌ای، بر اساس پوشش کامل و امکان تطابق فراگیر قابل اطمینان از دیدگاه بررسی‌های مهندسی ژئوفیزیک طراحی شد (Japan Road Association, 2002). بنابراین با در نظر گرفتن میزان و گستره تخریب بر اثر زلزله، پراکندگی نمرخ‌های لرزه‌ای و اندازه‌گیری درون چاهی مشخص شده و امواج تراکمی و برشی به روش انکساری در مجموع ۱۶۰ نمرخ (۸۰ نمرخ مربوط به امواج طولی و ۸۰ نمرخ دیگر برای امواج برشی) و درون چاهی در ۱۵ گمانه اندازه‌گیری شد (شکل ۱).

بر اساس نتایج حاصل، مقادیر پارامترهای سرعت، ستبرای و ضرایب دینامیکی لایه‌ها تعیین شدند. نتایج نشان می‌دهند مقایسه پراکندگی مقادیر به دست آمده برای امواج برشی و امواج تراکمی برای لایه‌های شناسایی شده تطابق خوبی را نشان می‌دهند. در ساختگاه مورد مطالعه بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده به‌طور عمده ۳ لایه لرزه‌ای تا ژرفای ۳۰ متری تشخیص داده شد. اما در شمال و شمال‌خاور شهر، تنها دو لایه لرزه‌ای در نظر گرفته شد. در این محدوده یک لایه کم سرعت بر روی یک لایه پرسرعت قرار گرفته است لایه دوم در نظر گرفته نشده است (شکل ۲).

طبقه‌بندی زمین بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ (کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۱۳۸۴)، بر اساس جدول ۱ صورت می‌گیرد. براساس این جدول می‌توان با استفاده از میانگین سرعت موج برشی و ژرفای سنگ بستر که از مطالعات زمین‌لرزه‌ای حاصل می‌شود، زمین ساختگاه را طبقه‌بندی کرد.

تجزیه به روش احتمالاتی و با استفاده از نرم افزار SEISRISK III انجام شده است. با استفاده از منحنی های احتمالاتی برای متغیرهای مختلف مانند شتاب بیشینه زمین و دیگر متغیرهای حرکتی و بر اساس تعریف از زلزله طرح به عنوان سطح مورد استفاده در طراحی ساختمان ها (به عنوان مثال دوره بازگشت ۴۷۵ سال یا ۲۴۷۵ سال)، می توان پراکندگی شتاب و هر متغیر دیگر را برای نقاط مختلف شهر به دست آورد. برای مثال مقادیر بیشینه شتاب قائم و افقی و طیف خطر یکسان برای نقاط مختلفی از شهر بم محاسبه شده و به صورت نقشه های خطوط هم شتاب برای ۴ سطح احتمال ۵۰، ۱۰، ۵ و ۲ درصد در ۵۰ سال ارائه شده است. نقشه شتاب بیشینه افقی سنگ کف شهر بم با احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال در شکل ۱۰ و طیف خطر یکسان برای سنگ کف در یک نقطه از شهر بم در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

۵- تحلیل پاسخ زمین و تعیین ویژگی های حرکتی

با استفاده از تحلیل پاسخ ساختگاه، پارامترهای لرزه ای و طیف های طرح برای شهر بم تعیین شدند. در این نوشتار، افزون بر مروری مختصر بر موارد زیر به نتایج مهم به دست آمده نیز اشاره می شود.

- ویژگی های ژئوتکنیکی لایه های سطحی ناحیه در محل گمانه ها و نقاط تحلیلی، نیمرخ های ایده آل سازی شده و منحنی های رفتاری
- انتخاب نگاشت های (رکورد) زلزله و نحوه مقیاس کردن آنها
- روش تحلیل پاسخ ساختگاه
- نتایج حاصل از تحلیل و متغیرهای حرکت
- انتخاب مدل طیف طراحی و ارائه طیف های طراحی پیشنهادی

۵-۱. گمانه ها و نقاط تحلیلی، نیمرخ های ایده آل سازی و منحنی های رفتاری

تحلیل های پاسخ ساختگاه در ۶۸ نقطه شامل گمانه های ژئوتکنیکی و شبیه سازی شده صورت گرفته است. به منظور برآورد، نوعی ساده سازی در نیمرخ گمانه های مورد استفاده در تحلیل دینامیکی انجام شد. لایه های مختلف خاک در ۷ تیپ خلاصه شده است.

به دلیل دانه ای بودن لایه های خاک در ساختگاه و عدم امکان گرفتن نمونه های دست نخورده برای انجام آزمایش های دینامیکی و موجود بودن متغیرهایی همچون نوع خاک لایه ها، عدد SPT، نیمرخ موج برشی حاصل از روش درون چاهی در محل گمانه ها و سرعت موج برشی سطحی انجام شده، از منحنی های تجربی پیشنهاد شده در ادبیات فنی برای انتخاب منحنی های مناسب G/G_0 و D/G_0 استفاده شده است. هر کدام از ۷ تیپ خاک، دارای دو منحنی غیر خطی برای G/G_0 و D/G_0 هستند. علت این امر شباهت نسبی فیزیکی و مکانیکی لایه ها با همدیگر و نیز تغییرات تدریجی و افزایش سختی لایه ها با ژرفا و منحنی های موجود G/G_0 و D/G_0 بوده است.

۵-۲. انتخاب نگاشت های تاریخچه زمانی و مقیاس کردن آنها

به منظور انجام عملیات تحلیل پاسخ ساختگاه و محاسبه طیف پاسخ بر روی سطح زمین لازم است تا نگاشت های مناسب در سنگ بستر لرزه ای انتخاب و به نیمرخ های ژئوتکنیکی مدل سازی شده، اعمال شود. بدین منظور با رعایت معیارهای حاکم بر انتخاب تاریخچه زمانی شتاب، ۱۴ نگاشت مناسب از مجموع هفت زلزله رخ داده در ایران و دیگر کشورها انتخاب شد. از معیارهای حاکم بر انتخاب تاریخچه زمانی شتاب می توان به شرایط زمین ساختی، شرایط ساختگاهی، بزرگای زلزله، فاصله محل ثبت نگاشت از مرکز زلزله مربوطه، ویژگی های نگاشت های میدان نزدیک و بیشینه شتاب زمین اشاره کرد. نگاشت ها به دو روش مقیاس کردن ساده و سازگار با طیف در حوزه بسامد مقیاس شده اند. در روش مقیاس کردن ساده، بیشینه شتاب تاریخچه زمانی های انتخابی به گونه ای مقیاس شده است که با مقادیر بیشینه شتاب زمین که

بر اساس اطلاعات حاصل از گمانه ها، ۴ برش در جهت شمال- جنوب رسم و تغییرات لایه های خاک نسبت به ژرفا مورد بررسی قرار گرفتند. در شکل ۷ روند توالی و تغییر لایه های زمین شناسی مهندسی در برش A-A' به طول تقریبی ۵ km است نشان داده شده است. جنس چیره خاک در این برش، درشت دانه از نوع SM است. بخش شمالی و جنوبی، لایه ها توالی یکسانی ندارند. در بخش جنوبی ۹ لایه از بالا به پایین شامل SC/CL، SM (ماسه رس دار یا رس لاغر)، SP (ماسه بد دانه بندی شده)، SC/SM، SC، SM (ماسه لای دار یا ماسه رس دار) و در بخش شمالی ۴ لایه شامل CL، SC/SM، CL و SM وجود دارند. لایه های مشابه در طول برش ستبرای تقریباً یکسانی دارند.

به منظور شناسایی روند تغییرات سرعت موج برشی و سنگ شناختی شهر بم در ژرفاهای مختلف اقدام به تهیه نقشه لایه های ژئوتکنیکی و سرعتی در ژرفاهای ۲، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ متر شد. شکل ۸ پراکندگی سنگ شناختی در ژرفای ۱۵ متری در گستره شهر بم را نشان می دهد. با توجه به نقشه پراکندگی خاک در ژرفای ۱۵ متر، جنس چیره خاک ماسه سیلتی است. انواع خاک به ترتیب کاهش پراکندگی عبارت است از: SM در بیشتر نواحی نقشه، SC/CL در شمال خاوری، SC/SM در بخش میانی جنوب، SW-SM/GW-GM (ماسه لای دار خوب دانه بندی شده یا شن لای دار خوب دانه بندی شده) در بخش میانی نقشه، SP-SM/SM (ماسه لای دار بد دانه بندی شده یا ماسه لای دار) در بخش های جنوب خاوری و شمال باختری، GM/SM (شن لای دار یا ماسه لای دار) شمال باختری، لایه سنگی در شمال باختر و در مجاورت لایه GM/SM پراکندگی دارد.

۴- مطالعات لرزه زمین ساخت و تحلیل خطر

نتایج این بررسی ها، تهیه منحنی های خطر برای شبکه منظمی از نقاط درون گستره و برآورد شتاب بیشینه افقی و قائم به صورت نقشه های پربندی و طیف های خطر یکنواخت در سطوح مختلف لرزه ای (DBE، MDE، MCE) در سنگ بستر است. به منظور برآورد زلزله محتمل با استفاده از عکس های هوایی، ماهواره ای، نقشه های موجود، بررسی های میدانی و بیشینه زلزله های رخ داده نقشه گسل های منطقه در شعاع حدود ۲۰۰ کیلومتری شهر بم (شکل ۹) تهیه شد (Ambraseys et al., 1982). بررسی های زمین شناسی، داده های GPS و رویداد زمین لرزه اخیر در بم بیانگر جوان و جنب بودن بیشتر گسل های پیرامون بم است، گسل جنوب بم که نزدیک ترین گسل به شهر بم است، نخستین بار پس از زمین لرزه، شناسایی شد و مورد بررسی های لرزه شناسی و رادار قرار گرفت. نتایج به دست آمده از مدل سازی امواج درونی زمین لرزه بم و همچنین داده های ماهواره بیانگر این است که هر دو گسل بم- براوات و گسل جنوب بم به هنگام زمین لرزه جنبش داشته اند (طالبیان و همکاران، ۱۳۸۹). اما بیشترین انرژی رها شده (حدود ۷۸٪) ناشی از جنبش گسل جنوب بم است. این گسل درازای حدود ۲۰-۲۵ کیلومتر داشته و از جنوب به سوی مرکز شهر ادامه می یابد. گسیختگی گسل جنوب بم تا ژرفای حدود ۱۲ کیلومتری ادامه می یابد و بیشترین لغزش آن به میزان حدود ۲/۵ متر در ژرفای حدود ۶ کیلومتری است (Taleblian et al., 2004, Funning et al., 2005, Jackson et al., 2006).

به طور معمول تحلیل خطر زمین لرزه بر اساس کاتالوگ داده های زمین لرزه انجام می گیرد (Berberian, 1994). اما با توجه به کمبود داده های تاریخی و دستگاهی در منطقه بم، تحلیل خطر در این پروژه بر اساس نرخ جنبش گسل ها انجام گرفته است. در این روش نرخ جنبش گسل ها و یا زون های لرزه زا به وسیله داده های GPS ترکیب با داده های زمین شناسی و سن سنجی مطلق برآورد شده و سپس این نرخ جنبش به نرخ گشتاور لرزه ای و سرانجام به ضرایب گوتنبرگ و ریشتر تبدیل و ادامه

نقشه نسبت به دیگر نواحی دارای دوره تناوب بیشتری است. همچنین با حرکت از نواحی شمالی به سمت جنوب دوره تناوب رسوب افزایش می‌یابد.

در شکل ۱۴ نقشه پراکندگی ضریب بزرگنمایی در نقاط مختلف شهر نشان داده شده است. ضریب بزرگنمایی در بخش‌های خاوری شهر نسبت به بخش باختری آن مقادیر بیشتری را دارد. پراکندگی مقادیر بالای ضریب یاد شده در نوار شمال‌باختری- جنوب‌خاوری شهر را نیز باید به وجود لایه‌های رسوبی ژرف‌تر در این ناحیه نسبت داد که نتایج آزمایش‌های ژئوفیزیکی و همچنین گمانه‌های ژئوتکنیکی در این ناحیه نیز آن را تأیید می‌کند. ضرایب بالای تشدید در نوار شمال‌باختری- جنوب‌خاوری شهر به خوبی با پراکندگی خرابی‌های زلزله سال ۱۳۸۲ بم مطابقت دارند.

۵-۶. متغیرهای طیفی و تولید طیف طرح

در این بررسی‌ها به منظور تعیین طیف طرح استاندارد از روش معرفی شده در دستورالعمل ۰۳-۶-ATC (ATC, 1978) استفاده شده است. این روش مبنای تهیه طیف استاندارد در آیین‌نامه‌های طراحی معتبری از جمله UBC97 (ICBO, 1997) و IBC2003 (ICC 2006) و NEHRP2000 (BSSC, 2000) بوده است. شکل ۱۵ فرم طیف پیشنهادی این روش را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود برای ساختن طیف استاندارد تعیین متغیرهای T_0 ، C_p ، C_s و T_s ضروری هستند. متغیرهای طیف طراحی زلزله در سطح شهر بم شامل T_0 ، C_p ، C_s و T_s به تفکیک به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی در دوره بازگشت‌های مختلف ارائه شده است. با استفاده از شکل کلی طیف استاندارد و نقشه‌های پهنه‌بندی این متغیرها می‌توان طیف طراحی در هر نقطه دلخواه را به‌دست آورد.

۵-۷. ارائه طیف‌های طراحی پیشنهادی

به منظور تسهیل در امر طراحی سازه‌های مختلف در شهر بم، با توجه به ویژگی‌های طیف‌های طراحی محاسبه شده برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال، محدوده مورد مطالعه شهر بم به چهار ناحیه کلی تقسیم شده که برای هر کدام از آنها به صورت جداگانه طیف‌های طراحی پیشنهاد شده است. محدوده هر کدام از این نواحی در شکل ۱۶ ارائه و طیف‌های طراحی در شکل ۱۷ به تفکیک برای هر ناحیه ارائه شده است.

۶- مقایسه نتایج بررسی‌ها با تخریب ناشی از زلزله

به منظور ارزیابی دقت بررسی‌های انجام شده، پراکندگی مقادیر PGA با نقشه تخریب مربوط به زلزله دی‌ماه ۱۳۸۲ بم مقایسه شده است (شکل ۱۸). پراکندگی خرابی در شهر با متغیرهای به‌دست آمده برای جنبش نیرومند زمین در نواحی مختلف شهر تطابق خوبی دارد.

۷- مقایسه نتایج بررسی‌های ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای با استاندارد ۲۸۰۰ و آیین‌نامه اروپا

همان‌طور که بیان شد بر اساس بررسی‌های ژئوسیسیمیک، در عمده مناطق شهر سه لایه لرزه‌ای در نظر گرفته شد، اما در محدوده مشخص شده در شکل ۱۹، تنها ۲ لایه شناسایی شد. بنابراین، یک لایه کم سرعت بر روی لایه‌ای پر سرعت قرار گرفته است. از آن جایی که سنگ بستر لرزه‌ای کمتر از ۳۰ متر ژرفا دارد و میانگین سرعت موج برشی ۴۳۷ تا ۶۸۷ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شده است، بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰، زمین این محدوده در نوع زمین I طبقه‌بندی می‌شود. بر مبنای آیین‌نامه اروپا (CEN, 2004)، زمین این محدوده بر اساس سبیری لایه‌ها و سرعت موج برشی، از نوع زمین E است. اما بدون اعمال این ضوابط زمین محدوده یادشده، بر مبنای آیین‌نامه اروپا از نوع B است.

در شکل ۲۰ طیف‌های طراحی نواحی ۲ و ۳ بر مبنای بررسی‌های ریزپهنه‌بندی

از مطالعات تحلیل خطر به‌دست آمده برابر شوند. در روش مقیاس کردن سازگار با طیف تاریخچه‌های زمانی انتخاب شده به گونه‌ای مقیاس می‌شوند که طیف پاسخ آنها در همه محدوده دوره تناوبی با طیف طراحی مورد نظر که از مطالعات تحلیل خطر به دست آمده است، تطابق بسیار نزدیکی داشته باشد.

۵-۳. روش تحلیل

در این بررسی‌ها ورودی‌های تحلیل شامل اطلاعات گمانه‌های ژئوتکنیکی و همچنین اطلاعات حاصل از آزمایش‌های ژئوفیزیکی به صورت تک‌نقطه‌ای به‌دست آمده‌اند. به منظور تعیین نحوه تأثیر لایه‌های سطحی زمین بر حرکت ورودی زلزله، تحلیل پاسخ زمین با روش خطی معادل انجام گرفته است. ابتدا حرکت‌های زمین برای سنگ بستر لرزه‌ای (ژرفایی که سرعت موج برشی زمین به بیش از ۷۵۰ متر بر ثانیه می‌رسد) انتخاب و مقیاس شده‌اند. سپس با اعمال حرکات انتخاب شده در سنگ بستر لرزه‌ای و استفاده از اطلاعات گمانه‌های حفر شده، حرکت در سطح زمین در نقاط مورد نظر با استفاده از روش خطی معادل با استفاده از نرم‌افزار PROSHAKE محاسبه شده است.

۵-۴. نتایج حاصل از تحلیل

با محاسبه طیف پاسخ حرکت در ۶۸ نقطه از سطح شهر بم برای سه دوره بازگشت مختلف ۴۷۵، ۹۷۵ و ۲۴۷۵ سال (احتمال ۱۰، ۵ و ۲ درصد در ۵۰ سال) و استخراج متغیرهای لازم، طیف‌های طراحی برای مناطق مختلف شهر قابل تولید است. در این بررسی‌ها، برای مقیاس کردن نگاشت‌ها از هر دو روش مقیاس ساده و سازگار با طیف در حوزه بسامد، استفاده شده است. در روش مقیاس ساده از بیشترین مقادیر شتاب و در روش سازگار با طیف از طیف‌های خطر یکنواخت حاصل از مطالعات تحلیل خطر زلزله استفاده شده است. طیف‌های طراحی و دیگر متغیرهای ارائه شده، بر اساس بیشترین مقادیر به‌دست آمده از دو روش انتخاب شده است.

۵-۵. پهنه‌بندی متغیرهای مختلف حرکت سطح زمین برای شهر بم

پهنه‌بندی متغیرهای مختلف حرکت در سطح زمین که با استفاده از تحلیل پاسخ ساختگاه برای نقاط مختلف شهر بم محاسبه شده‌اند شامل نحوه پراکندگی بیشینه شتاب سطح زمین، شتاب طیفی و سرعت طیفی در دوره‌های تناوب ۰/۱، ۰/۲، ۰/۵ و ۱ ثانیه و همچنین دوره تناوب متناظر با بیشترین تشدید و ضریب بزرگنمایی برای دوره بازگشت‌های ۴۷۵، ۹۷۵ و ۲۴۷۵ ساله است. با استفاده از این نقشه‌ها به خوبی می‌توان نحوه تأثیر شرایط سطحی ساختگاه را بر متغیرهای حرکتی زمین ملاحظه کرد.

در شکل ۱۲ نقشه پراکندگی بیشینه شتاب افقی (PGA) در سطح زمین در دوره بازگشت ۴۷۵ سال نشان داده شده است. به طور کلی شتاب وارده به بخش خاوری بیش از بخش باختری بوده و وجود شتاب بیشینه در بخش مرکزی شهر قابل توجه است. روند افزایشی مقادیر شتاب از باختر به خاور بیانگر تأثیر گسل بم و پراکندگی افزایشی شتاب در امتداد شمال- جنوب با تمایل به شمال‌باختر تا حدودی بیانگر تأثیر ساختگاه در تشدید مقادیر شتاب است. این الگوی تغییر PGA کمابیش با پراکندگی شتاب محاسبه شده در رقوم سنگ کف لرزه‌ای، قابل انطباق است.

شکل ۱۳ نقشه پراکندگی دوره تناوب متناظر با بیشترین تشدید (T_0) در نقاط مختلف شهر بم را نشان می‌دهد. پراکندگی مقادیر این متغیر در سطح شهر، مشاهدات و اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی را تأیید می‌کند. T_0 در بخش شمال‌خاوری کمترین مقادیر را دارد. این موضوع با واقعیت وجود بروزندهای سنگی در این ناحیه سازگار است. نقشه پراکندگی T_0 نشان می‌دهد که بخش شمال‌خاوری شهر بم در مقایسه با دیگر بخش‌های دارای دوره تناوب پایین‌تری است. با این حال ناحیه شمال‌باختری- جنوب‌خاوری نیز که دارای سبیری بیشتر رسوب است، در این

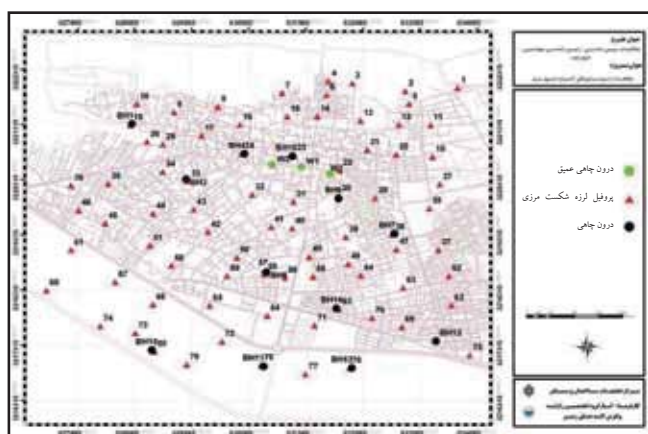
- تحلیل‌های پاسخ‌ساختگاه در ۶۸ نقطه شامل گمانه‌های ژئوتکنیکی و شبیه‌سازی شده و خلاصه‌سازی لایه‌های مختلف خاک آنها در ۷ تیپ، برای سه دوره بازگشت مختلف ۴۷۵، ۹۷۵ و ۲۴۷۵ سال، صورت گرفته است. هر کدام از ۷ تیپ خاک، دارای دو منحنی غیر خطی برای G/G_0 و D از منحنی‌های تجربی پیشنهاد شده در ادبیات فنی هستند. تحلیل پاسخ زمین به روش خطی معادل با انتخاب ۱۴ تاریخچه زمانی شتاب و مقیاس کردن آنها به دوروش ساده و سازگار با طیف در حوزه بسامد، انجام گرفته است. - بر اساس تحلیل پاسخ‌ساختگاه، طیف پاسخ حرکت در نقاط یاد شده محاسبه شده است. با استفاده از نتایج حاصل، افزون بر پهنه‌بندی پارامترهای مختلف حرکت در سطح زمین شامل نحوه پراکندگی بیشینه شتاب سطح زمین، شتاب و سرعت طیفی، دوره متناظر با بیشترین تشدید و ضریب بزرگنمایی، متغیرهای لازم برای تولید طیف‌های طراحی مناسب نیز استخراج شده است. به منظور تسهیل در طراحی، محدوده مورد مطالعه شهر بم به چهار ناحیه کلی تقسیم شده که برای هر کدام از آنها به صورت جداگانه طیف‌های طراحی برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال پیشنهاد شده است. - طیف حاصل از بررسی‌های ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای، تطابق مناسبی با طیف طراحی زمین نوع E بر مبنای آیین‌نامه اروپا دارد. طیف یاد شده اختلاف بیشتری نسبت به طیف طراحی زمین نوع E بر مبنای آیین‌نامه اروپا و بویژه نسبت به طیف طراحی زمین نوع B بر مبنای آیین‌نامه اروپا و بویژه نسبت به طیف طراحی بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ برای زمین‌های نوع I دارد.

لرزه‌ای شهر بم همراه با طیف‌های طراحی بر مبنای آیین‌نامه اروپا برای زمین‌های نوع B و E برای طیف نوع ۱ و همچنین طیف طراحی بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ برای زمین‌های نوع I نیز رسم شده است. در جدول ۲ مقادیر بیشترین شتاب طیفی و محدوده زمان تناوب آن برای طیف‌های زمین‌های نوع B و E آیین‌نامه اروپا، زمین نوع I استاندارد ۲۸۰۰ و نواحی ۲ و ۳ ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای ارائه شده است. بیشترین شتاب طیفی برای زمین نوع E بر مبنای آیین‌نامه اروپا، g ۱/۰۵ در محدوده زمان تناوب ۰/۱۵ تا ۰/۵ ثانیه است. بیشترین شتاب طیفی بر مبنای مطالعات ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای در نواحی ۲ و ۳ به ترتیب g ۱/۲۲۵ (در محدوده زمان تناوب ۰/۷۸ تا ۰/۳۹۳ ثانیه) و g ۱/۰۰ (در محدوده زمان تناوب ۰/۷۸ تا ۰/۳۹۳ ثانیه) است. در حالی که بیشترین شتاب طیفی برای زمین نوع B بر مبنای آیین‌نامه اروپا، g ۰/۹۰ در محدوده زمان تناوب ۰/۱۵ تا ۰/۵ ثانیه بوده و بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰، g ۱/۲۲۵ در محدوده زمان تناوب ۰/۱ تا ۰/۴ ثانیه است. همان‌گونه که دیده می‌شود، طیف حاصل از مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای، تطابق مناسبی با طیف طراحی زمین نوع E بر مبنای آیین‌نامه اروپا دارد. طیف یاد شده اختلاف بیشتری نسبت به طیف طراحی زمین نوع B بر مبنای آیین‌نامه اروپا و بویژه نسبت به طیف طراحی بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ برای زمین‌های نوع I دارد. این موضوع بیانگر تأثیر زمین با ویژگی‌های زمین نوع E در طیف‌های طراحی بوده و موجب افزایش شتاب‌های طیفی با ثابت ماندن تقریبی محدوده زمان تناوب نسبت به زمین‌های نوع A و B است.

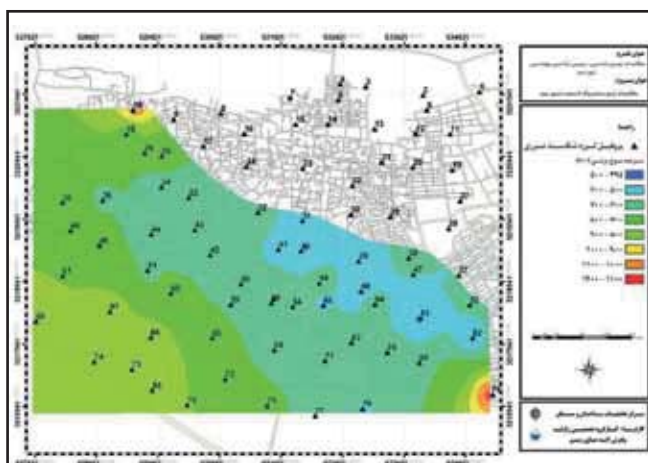
۸- نتیجه‌گیری

بررسی‌های ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای در شهر بم، بر اساس دقت متوسط تا زیاد بوده و در قالب بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساخت، لرزه‌خیزی و تحلیل خطر، بررسی‌های ژئوالکتریک، زمین‌لرزه‌ای، ژئوتکنیک، و ژئوتکنیک لرزه‌ای صورت گرفته است. از مهم‌ترین نتایج حاصل از این بررسی‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. - بر اساس بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساخت، گسل جنوب بم که نزدیک‌ترین گسل به شهر بم است برای نخستین بار شناسایی شد. در این بررسی‌ها مشخص شد هر دو گسل بم- براوات و گسل جنوب بم به هنگام زمین‌لرزه جنبش داشته‌اند و بیشترین انرژی رها شده (حدود ۷۸٪) ناشی از جنبش گسل جنوب بم است. - با استفاده از تحلیل خطر زلزله بر اساس نرخ جنبش گسل‌ها و تبدیل آنها به نرخ گشتاور لرزه‌ای و ضرایب گوتنبرگ و ریشتر، متغیرهای حرکتی زلزله به صورت احتمالاتی و قطعی در نقاط مختلف شهر تعیین شده است. منحنی‌های خطر برای شبکه منظمی از نقاط درون گستره شهر تهیه و شتاب بیشینه افقی و قائم به صورت نقشه‌های پربندی و طیف‌های خطر یکنواخت در سطوح مختلف لرزه‌ای در سنگ بستر ارائه شده است. - براساس بررسی‌های ژئوسیسیمیک و اندازه‌گیری امواج تراکمی و برشی هر کدام در ۸۰ نیمرخ به روش انکساری و در ۱۵ گمانه به روش درون چاهی، در بیشتر مناطق شهر بم ۳ لایه لرزه‌ای تا ژرفای ۳۰ متر در نظر گرفته و سرعت امواج تراکمی و برشی، ضریب پواسون و ضرایب دینامیکی در این لایه‌ها محاسبه شد. بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران و میانگین سرعت امواج برشی از سطح تا ژرفای ۳۰ متر و ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای، زمین شهر بم به طور عمده در نوع I و در بخش مرکز به سمت جنوب در نوع II قرار می‌گیرد.

- در بررسی‌های ژئوتکنیکی در قالب حفاری‌های ماشینی در ۱۷ نقطه به صورت خشک و مغزه‌گیری پیوسته، چاهک‌های آزمایشی در ۳ نقطه، آزمایش‌های برجا و آزمایشگاهی در مجموع ۱۰ نوع خاک در منطقه شناسایی شد. جنس چیره خاک ماسه‌سیلتی (SM) است. براساس بررسی‌های زمین‌لرزه‌ای و ژئوتکنیک، ۵۷ گمانه به کمک نرم‌افزارهای Arc GIS و Rock work با روش آماری فاصله وارون وزنی شبیه‌سازی شد.



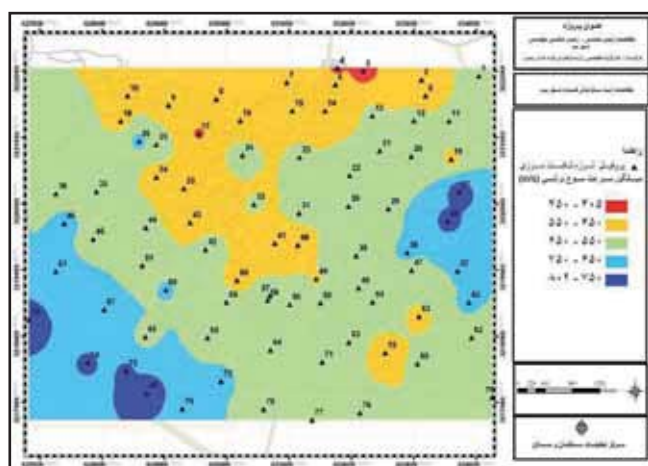
شکل ۱- نقشه پراکندگی نیمرخ‌های انکساری، درون‌چاهی و درون‌چاهی ژرف در گستره شهر بم



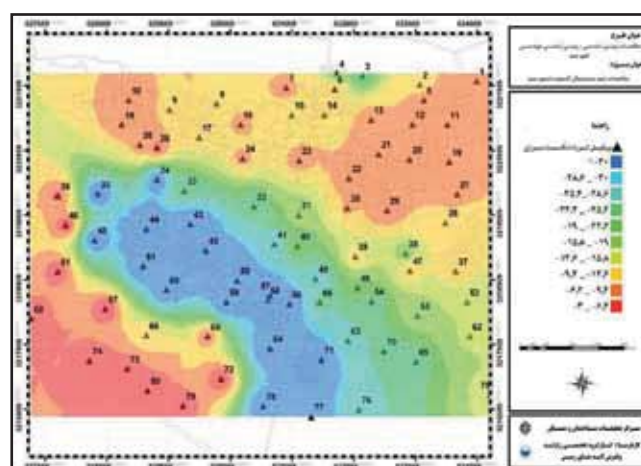
شکل ۲- نقشه سرعت امواج برشی لایه دوم در گستره شهر بم

جدول ۱- طبقه‌بندی زمین بر اساس استاندارد ۲۸۰۰

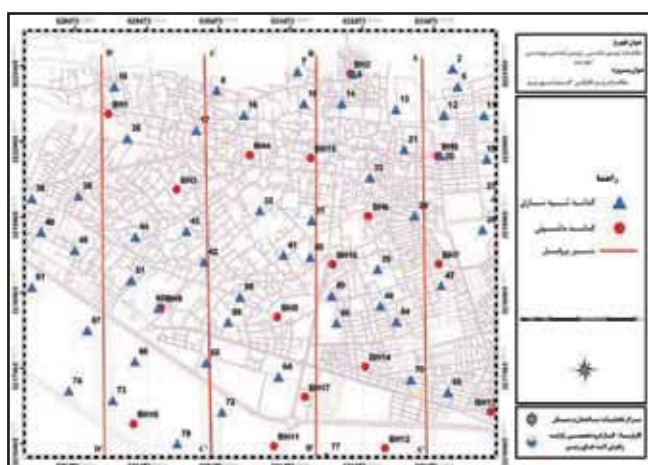
نوع زمین	مواد متشکل ساختمانه	حدود تقریبی \bar{V}_s (متر بر ثانیه)
I	الف - سنگ‌های آذرین (دارای بافت درشت و ریزدانه)، سنگ‌های رسوبی سخت و بسیار مقاوم و سنگ‌های دگرگونی توده‌ای (گنایس‌ها - سنگ‌های متبلور سیلیکاتی) طبقات کنگلومرای ب- خاک‌های سخت (شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت) با ستبرای کمتر از ۳۰ متر از روی بستر سنگی	بیشتر از ۷۵۰ $375 \leq \bar{V}_s < 750$
II	الف - سنگ‌های آذرین سست (مانند توف)، سنگ‌های سست رسوبی، سنگ‌های دگرگونی متورق و به طور کلی سنگ‌هایی که بر اثر هوازدگی (تجزیه و تخریب) سست شده‌اند. ب- خاک‌های سخت (شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت) با ستبرای بیشتر از ۳۰ متر	$375 \leq \bar{V}_s < 750$
III	الف - سنگ‌های متلاشی شده بر اثر هوازدگی ب- خاک‌های با تراکم متوسط، طبقات شن و ماسه با پیوند متوسط بین دانه‌ای و رس با سختی متوسط	$175 \leq \bar{V}_s < 375$
IV	الف - نهشته‌های نرم با رطوبت زیاد بر اثر بالا بودن سطح آب زیرزمینی ب - هرگونه نیمرخ خاک که شامل دست کم ۶ متر خاک رس با شاخص خمیری بیشتر از ۲۰ و درصد رطوبت بیشتر از ۴۰ باشد.	کمتر از ۱۷۵



شکل ۴- نقشه پراکندگی میانگین سرعت امواج برشی از سطح تا ژرفای ۳۰ در گستره شهر بم



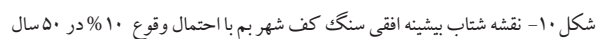
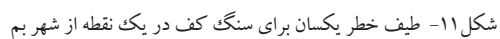
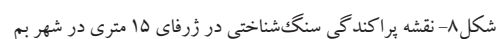
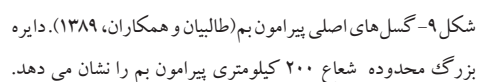
شکل ۳- نقشه پراکندگی ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای در گستره شهر بم

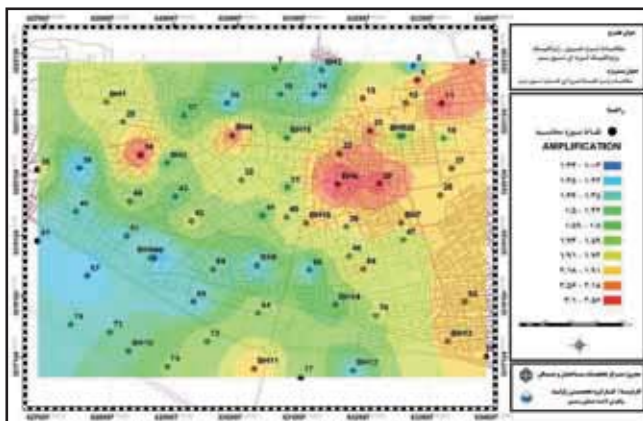


شکل ۶- نقشه پراکندگی چاهک‌های دستی، گمانه‌های ماشینی و شبیه‌سازی شده و مسیر نیمرخ مقاطع در گستره شهر بم

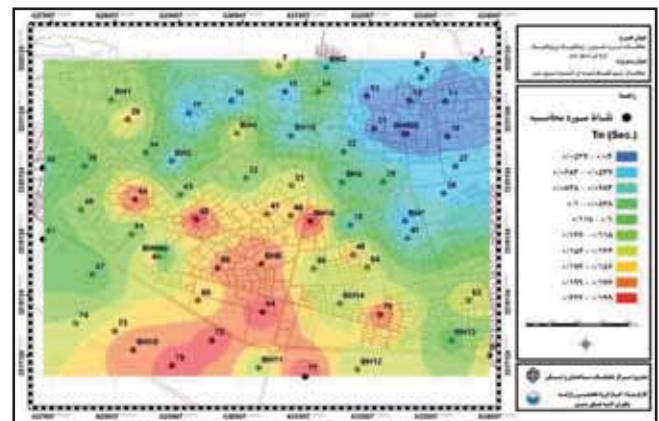


شکل ۵- نمایی از الف (محل حفاری وب) مغزه‌گیری در ساختمانه مورد مطالعه

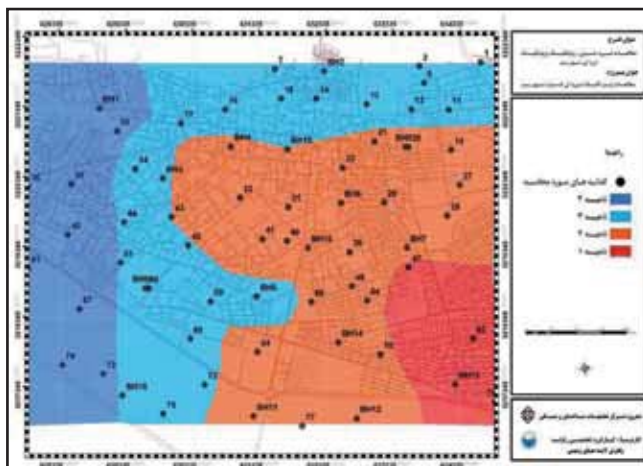




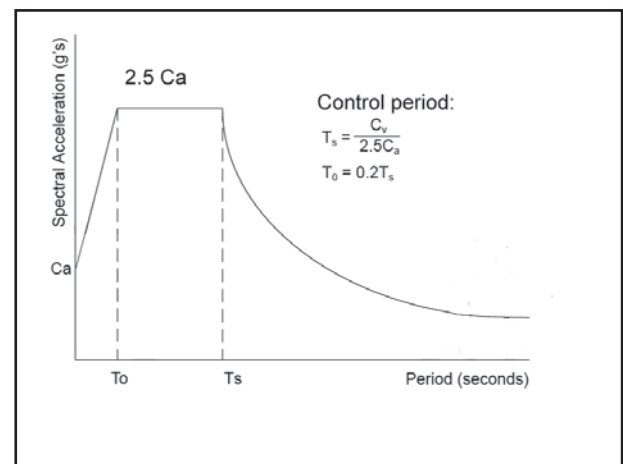
شکل ۱۴- نقشه پراکندگی مقادیر شتاب ضریب بزرگنمایی دوره بازگشت ۴۷۵ سال در گستره شهر بم



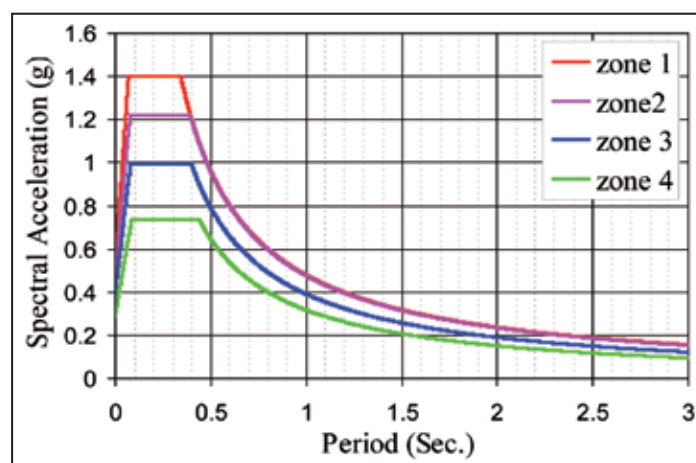
شکل ۱۳- نقشه پراکندگی مقادیر دوره تناوب متناظر با بیشترین تشدید برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال در گستره شهر بم



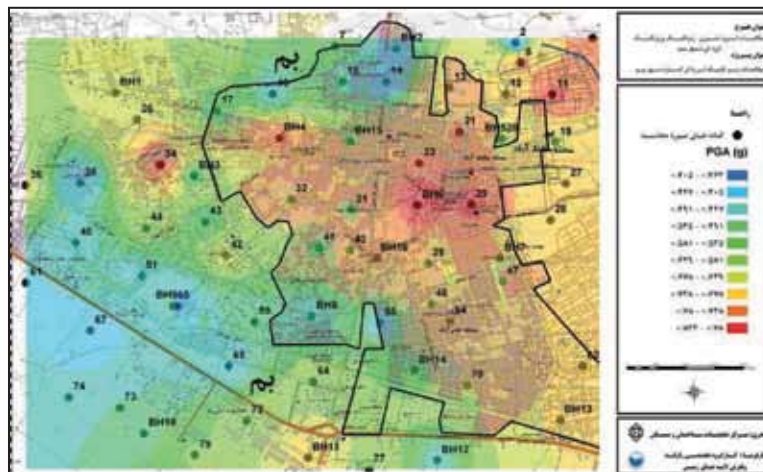
شکل ۱۶- محدوده نواحی ۴ گانه ارائه طیف طراحی در شهر بم



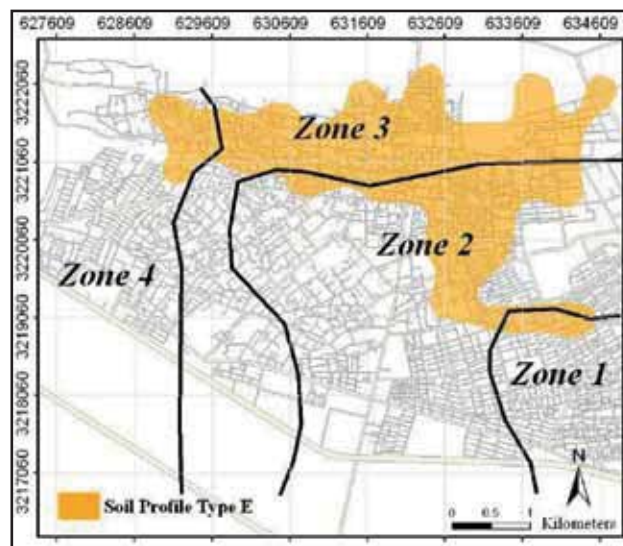
شکل ۱۵- شکل کلی طیف طراحی پیشنهادی



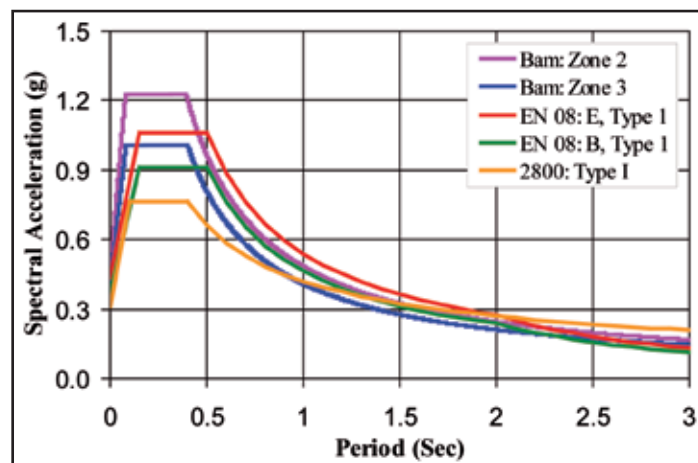
شکل ۱۷- طیف‌های طراحی برای نواحی چهارگانه شهر بم دوره بازگشت ۴۷۵ سال



شکل ۱۸- پراکندگی خرابی در زلزله دی‌ماه ۱۳۸۲ بم به همراه پراکندگی PGA دوره بازگشت ۴۷۵ سال در گستره شهر بم (ناحیه محصور به خطوط مشکی، خرابی‌های شدید و متوسط را نشان می‌دهد)



شکل ۱۹- نواحی چهارگانه و محدوده زمین نوع E در شهر بم



شکل ۲۰- مقایسه طیف‌های طراحی بر اساس آیین‌نامه اروپا، استاندارد ۲۸۰۰ و مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای برای شهر بم

کتابنگاری

- کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۱۳۸۴- آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ایران)، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- طالبیان، م.، هاشمی طباطبایی، س.، فتاحی، م.، قرشی، م.، بیت‌اللهی، ع.، قلندرزاده، ع. و ریاحی، م. ع.، ۱۳۸۸- برآورد نرخ لغزش گسله‌های پیرامون بم و کاربرد آنها در ارزیابی خطر زمین‌لرزه، مجله علوم زمین شماره ۷۴، زمستان ۱۳۸۸.
- هاشمی طباطبایی، س.، فاطمی عقدا، م.، بیت‌اللهی، ع.، سعید، ن.، محمدی، ا. س. و سلامت، ا. س.، ۱۳۸۸- راهنمای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی برای ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای در مناطق شهری، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- هاشمی طباطبایی، س.، قلندرزاده، ع.، ریاحی، م. ع.، طالبیان، م.، بیت‌اللهی، ع.، ۱۳۸۵- مطالعات لرزه‌خیزی، ژئوتکنیک و ژئوتکنیک لرزه‌ای شهر بم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

References

- Ambraseys, N. N. & Melville, C. P., 1982- A history of Persian earthquakes, Cambridge University Press, UK, 219pp. Baker, C., 1993. The active seismicity and tectonics of Iran, Ph.D. thesis (unpublished), University of Cambridge, 228pp.
- ASTM D422, 2007- Standard Test method for Particle Size Analysis of Soils, American Society for Testing and Materials.
- ASTM D4318, 2005- Standard Test method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of soils, American Society for Testing and Materials.
- ATC, 1978- Tentative provisions for the development of seismic regulations for buildings, ATC 3-06, Applied Technology Council, Palo Alto, California.
- Berberian, M., 1994- Natural hazards and the first earthquake catalogue of Iran. Volume 1: Historical hazards in Iran prior to 1900. Int. Inst. Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, 603pp.
- BSSC, 2000- NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings (and Other Structures from 1997), Building Seismic Safety Council, Washington, DC.
- CEN, 2004- BS EN 1998 -1: 2004: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee for Standardization, ISBN: 0580458725.
- Connecticut department of transportation, 2005- Geotechnical engineering manual, Connecticut department of transportation geotechnical engineering manual.
- Funning, G. J., Parsons, B., Wright, T. J., Jackson, J. A. & Fielding, E. J., 2005- Surface displacements and source parameters of the 2003 Bam, Iran earthquake from Envisat Advanced Synthetic Aperture Radar imagery, J. Geophys. Res., 110 (B9), B09406, doi:10.1029/2004JB003338
- Hardage, B. A., 2000- Vertical Seismic Profiling, 14 A, Geophysical Press, Amsterdam.
- Hashemi Tabatabaei, S., Salamat, A. S., Ghalandarszadeh, A., Riahi, M. A., Beitollahi, A. & Talebian, M., 2009- Preparation of engineering geological maps of bam city using geophysical and geotechnical approach, Journal of earthquake engineering (Under press).
- Hawkins, L. V., 1961- the reciprocal method of routine shallow seismic refraction investigations: Geophysics, 26, 806-819.
- ICBO, 1997- UBC (Uniform Building Code), International Conference of Building Officials.
- ICC, 2006- IBC (International Building Code), International Code Council, Falls church.
- Jackson, J., Bouchon, M., Fielding, E., Funning, G., Ghorashi, M., Hatzfeld, D., Nazari, H., Parsons, B., Priestley, K., Talebian, M., Tatar, M., Walker, R. & Wright, T., 2006- Seismotectonic, rupture process and earthquake hazard aspects of the 26 December 2003 Bam earthquake, Geophys. J. Int., 166, 1270-1292.
- Japan Road Association, 2002- Specification of Highway Bridge, Part V Seismic Design, P. 28.
- Talebian, M., Fielding, E. J., Funning, G. J., Ghorashi, M., Jackson, J., Nazari, H., Parsons, B., Priestley, K., Rosen, P. A., Walker, R., Wright, T. J., 2004- The 2003 Bam (Iran) earthquake: Rupture of a blind strike-slip fault, Geophys. Res. Lett., 31 (11), L11611, doi:10.1029/2004GL020058.
- TC4- ISSMGE- 1999- 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), 209 p.

Multi Disciplinary Approach for Seismic Microzonation of Bam City

Archive of SID

S. Hashemi Tabatabaei^{1*}, A. Mohamadi¹ & A. S. Salamat¹

¹ Building and Housing Research Center, Tehran, Iran.

Received: 2010 January 31

Accepted: 2010 July 31

Abstract

Earthquake struck Bam city on 12/26/2004. Seismic microzonation of Bam city started with the aim to determine engineering geological and geotechnical characteristic in order to reduce the future earthquake disasters. The seismic microzonation included geoelectric, geoseismic, geotechnic, seismotectonic, hazard analysis and geotechnical earthquake engineering. Based on seismic results and Standard No. 2800, Bam city can be classified as "Site class I" and " II" .Depth of the seismic bedrock throughout the city approximately is less than 30 m except some portion of central part. The subsurface geotechnical investigation was carried by continuous coring, ten types of soil were identified and their surface and subsurface distributions were mapped. Site response analysis was performed to determine various parameters such as peak acceleration, period corresponding to maximum resonance and coefficient of amplification for various return periods throughout the study area. Results indicated that Bam city can be divided in to four zones with different designed spectra. Some of the design spectra of Bam city were compared with Eurocode and Standard No. 2800.

Keywords: Seismic micozonation, Bam earthquake, Soil type, Motion parameters, Design spectrum

For Persian Version see pages 17 to 26

* Corresponding author: S. Hashemi Tabatabaei; E- mail: htabatabaei@bhrc.ac.ir