مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران
پاییز و زمستان ۱۳۸۷، جلد اول، شماره ۳ و ٤، صفحه ۷۱ تا ۸۰

مقایسه طبقه‌بندی نوع زمین در آیین‌نامه‌های ساختمانی ایران و اروپا و اثرات آن بر طیف‌های طراحی (مطالعه موردی شهر بم)

سعید هاشمی طباطبایی *[۱] اشکان محمدی [۲]

دریافت مقاله : ۸۸/۷/۱۳ پذیرش مقاله : ۸۹/۳/۵

چکیده:

تعیین واکنش دقیق ساختمان در برابرحداکثر شتاب زمین و اثر ساختگاه به منظور کاهش خطر لرزه‌ای امری ضروری است. اثرات ساختگاهی، نقش اساسی را در تخریب ساختمان‌ها ایفا می‌نماید. بر اساس آیین‌نامه‌های طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، نیروی جانبی وارد بر یک سازه، تابعی از طبقه‌بندی نوع زمین می‌باشد. طبقه‌بندی انواع زمین، عمدتا تابع شرایط زمین‌شناسی، و ژئوتکنیکی بوده و بر اساس آزمون‌های آزمایشگاهی و صحرایی تعیین می‌شود. در این راستا مطالعات ژئوسیسمیک، بر مبنای میانگین سرعت امواج برشی تا عمق ۳۰ متری از سطح زمین، از اهمیت خاصی برخوردار است. ضخامت، سرعت و توالی لایه‌ها، به ویژه استقرار یک لایه آبرفتی کم سرعت بر روی یک لایه پرسرعت، تأثیرات قابل توجهی بر طیف‌های طراحی دارد. در آیین‌نامه اروپا ، هنگامی که یک لایه آبرفتی کم سرعت بر روی یک لایه پرسرعت با شرایط خاص قرار بگیرد، از این نوع زمین به عنوان زمین نوع E یاد می‌شود. در این مقاله، ضمن بررسی خاک نوع E آیین‌نامه اروپا و تأثیر آن در طیف طرح، میزان سازگاری طیف‌های طراحی حاصل از یک مطالعه موردی (ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر بم) با طیف‌های به دست آمده بر اساس خاک نوع E آیین‌نامه اروپا و آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، نشان داده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد، بدون در نظر گرفتن ضوابط زمین نوع E، ساختگاه در زمین نوع B (آیین‌نامه اروپا) یا I (استاندارد ۲۸۰۰) قرار می‌گیرد. طیف‌های طراحی حاصل از مطالعات شهر بم، تطابق خوبی با طیف‌های حاصل از آیین‌نامه اروپا بر اساس زمین نوع E نشان می‌دهد و با طیف‌های طراحی بر اساس زمین نوع B یا I سازگار نیست. در این راستا اختصاص طبقه‌ای به زمین‌هایی که در آن یک لایه آبرفت سست بر روی یک لایه سخت قرار دارد اجتناب ناپذیر می‌باشد.

کلید واژه‌ها: ***طبقه‌بندی زمین، اثر ساختگاه، ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای، آیین‌نامه اروپا، استاندارد ۲۸۰۰***

۱- هیات علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن htabatabaei@bhrc.ac.ir
۲- کارشناس ارشد مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن a.mohammadi@bhrc.ac.ir
* مسئول مکاتبات

مقدمه

در سال‌های اخیر با پیشرفت چشم‌گیر دانش دینامیک خاک همراه با توسعه دیگر علوم در حوزه‌های زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، امکان تحلیل پاسخ زمین نسبت به زلزله‌های محتمل فراهم شده است. هدف از تحلیل پاسخ ساختگاه[2]، طراحی اصولی‌تر سازه‌ها و به تبع آن تامین ایمنی مورد نیاز برای ساکنین یا بهره‌وری بیش‌تر می‌باشد. یکی از ارکان اصلی تحلیل پاسخ ساختگاه، شناسایی خصوصیات دینامیکی لایه‌های تشکیل دهنده ساختگاه می‌باشد. آیین‌نامه‌ها به منظور کاربردی کردن تحقیقات و سهولت انجام محاسبات با تحلیل پاسخ ساختگاه نسبت به انواع مختلف زمین، تمهیداتی برای در نظر گرفتن این اثرات ارائه نموده‌اند. در آیین‌نامه‌ها، براساس پارامترهای مکانیکی و دینامیکی خاک، اقدام به طبقه‌بندی انواع زمین[3] گردیده است. آیین‌نامه‌های معتبری همانند آیین‌نامه اروپا[4] (CEN, 2004) و آمریکا (ICC, 2006)، با طبقه‌بندی انواع زمین بر اساس عوامل مختلف و اعمال تأثیر آن‌ها در طیف‌های طراحی، در جهت نیل به اهداف یاد شده گام برداشته‌اند. در این دوآیین‌نامه، علاوه بر زمین‌های متعارف، رده‌هایی برای زمین‌های سست و دارای شرایط خاص نظیر روانگرایی، رمبندگی در نظر گرفته شده است. اما آن‌چه در این زمینه درآیین‌نامه اروپا حائز اهمیت است، طبقه‌بندی زمینی است که در آن یک آبرفت سست بر روی یک لایه سخت استقرار یافته است. مبنای این طبقه‌بندی بر اساس میانگین سرعت امواج برشی می‌باشد. این نوع زمین دارای لایه سطحی با سرعت موج برشی گروه‌های C (۱۸۰تا۳٦۰ متر بر ثانیه) یا D (کمتر از ۱۸۰ متر بر ثانیه) و ضخامت بین ۵ تا ۲۰ متر که روی لایه سخت‌تری با سرعت موج برشی بیش از ۸۰۰ متر بر ثانیه قرار گرفته است.در این نوع زمین‌ها با وجود آن‌که ممکن است متوسط سرعت موج برشی، نمایانگر زمین نوع A یا B باشد، اما با توجه به ضخامت و سرعت لایه‌ها، زمین در نوع E گروه‌بندی می‌شود. اهمیت زمین نوع E ناشی از افزایش قابل توجه میزان شتاب طیفی[5] در مقابل ثابت ماندن زمان تناوب[6] محدوده شتاب ثابت طیف طرح نسبت به طیف طرح زمین‌های نوع A و B می‌باشد. در یک مطالعه موردی در شهر بم بر اساس آیین‌نامه اروپا نشان داده شد که بخش وسیعی از شمال و شمال شرق این شهر از نوع زمین‌های نوع E می‌باشد، در حالی‌که بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ (کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله،۱۳۸٤)، زمین این شهر در نوع I طبقه‌بندی می‌گردد. در صورتی‌که ضوابط خاک نوع E در طبقه‌بندی نوع زمین لحاظ نگردد، بر مبنای آیین‌نامه اروپا، زمین این محدوده از نوع B می‌باشد.

طبقه بندی خاک در آیین‌نامه اروپا و ایران و طیف‌های طراحی

در این بخش طبقه‌بندی نوع زمین در آیین‌نامه اروپا و استاندارد ۲۸۰۰ و اثرات آن‌ها بر طیف‌های طراحی و ملاحظات آن‌ها با نگاهی ویژه به زمین نوع E در آیین‌نامه اروپا مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

آیین‌نامه اروپا

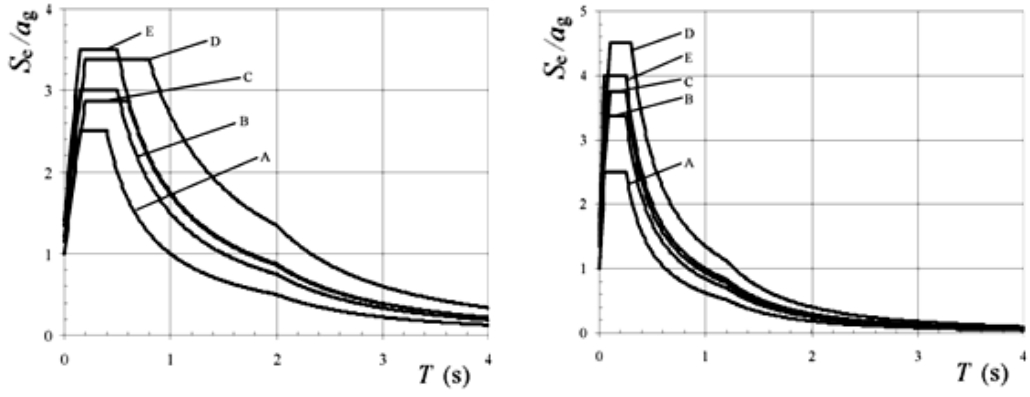
در این آیین‌نامه طبقه بندی خاک بر اساس توصیف لایه‌بندی خاک و میانگین یکی از سه پارامتر سرعت موج برشی، عدد نفوذ استاندارد و مقاومت برشی زهکشی نشده از سطح تا عمق ۳۰ متری زمین صورت می‌گیرد (جدول ۱). زمین نوع E، زمینی است که در آن یک آبرفت سست بر روی یک لایه سخت استقرار یافته است. در این نوع زمین با وجود آن‌که ممکن است متوسط سرعت موج برشی، نمایانگر زمین نوع A یا B باشد اما با توجه به ضخامت و سرعت لایه‌ها (استقرار یک لایه سست بر روی لایه سخت)، زمین در نوع E گروه‌بندی می‌شود. اهمیت زمین نوع E ناشی از افزایش قابل توجه میزان شتاب طیفی در

[2]. Site response analysis
[3]. Soil classification
[4]. Euro code
[5]. Spectral acceleration
[6]. Period

مقابل ثابت ماندن زمان تناوب محدوده شتاب ثابت طیف طرح نسبت به طیف طرح زمین‌های نوع A و B می‌باشد. در شکل۱ طیف‌های طراحی معرفی شده در آیین‌نامه اروپا مشاهده می‌شود. طیف‌های طراحی در این آیین‌نامه بر اساس بزرگای زلزله در دو نوع مجزا ارائه می‌شود. نوع۱ مختص زلزله‌های با بزرگای بیش از ۵/۵ و نوع۲ برای زلزله‌های با بزرگای کمتر از ۵/۵ در نظر گرفته شده است.

جدول۱. طبقه بندی زمین بر اساس آیین نامه اروپا (CEN, 2004)

رده ساختگاه	شرح لایه های خاک	پارامترها		
		سرعت موج برشی، $\overline{V_s}$ m/s	عدد نفوذ استاندارد، $\overline{N}$ (blows/30cm)	مقاومت برشی زهکشی نشده، C_u (kPa)
A	سنگ یا سایر سازندهای زمین‌شناسی شبه سنگ و شامل حداکثر ۵ متر مصالح ضعیف‌تر در سطح	> ۸۰۰	----	----
B	نهشته‌های ماسه‌ای بسیار متراکم و شن یا رس خیلی سخت با ضخامت حداقل چند ده متر که با افزایش عمق خواص مکانیکی آن بهتر می‌شود.	۸۰۰ – ۳۶۰	> ۵۰	> ۲۵۰
C	نهشته‌های عمیق ماسه متراکم یا نیمه متراکم، شن یا رس سخت با ضخامت چند ده متر تا صدها متر	۳۶۰ – ۱۸۰	۵۰ – ۱۵	۲۵۰ – ۷۰
D	نهشته‌های سست تا متوسط خاک‌های غیر چسبنده (با یا بدون برخی لایه‌های چسبنده) یا خاک‌های‌نرم تا سخت با چسبندگی غالب	< ۱۸۰	< ۱۵	< ۷۰
E	پروفیل خاک با لایه سطحی دارای سرعت موج برشی رده‌های C یا D و ضخامت بین ۵ و ۲۰ متر که روی لایه سخت‌تری با $\overline{V_s}$ >۸۰۰ m/s قرار گرفته است.			
S_1	نهشته‌های متشکل و یا شامل یک لایه خاک با حداقل ۱۰ متر ضخامت از رس / سیلت نرم با PI>۴۰ و درصد رطوبت بالا	< ۱۰۰	---	۲۰ – ۱۰
S_2	نهشته‌های با قابلیت روانگرایی، رس‌های حساس و یا هر نوع خاکی که در گروه‌های قبلی A-E و S_1 دسته بندی نشوند			



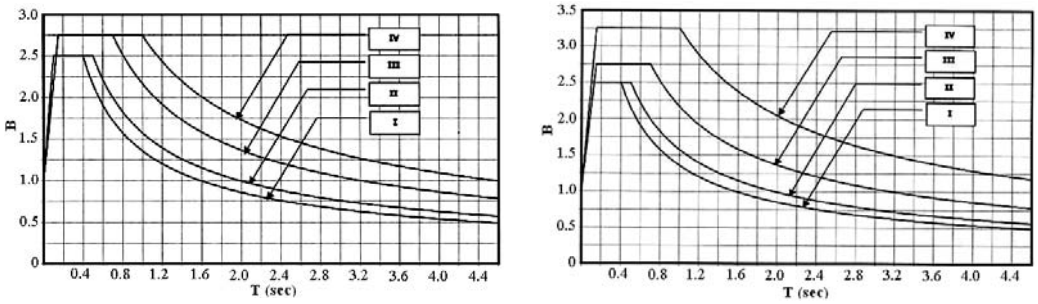
نوع ۱: M_S > ۵/۵ نوع ۲: M_S < ۵/۵

شکل۱. طیف‌های طراحی برای زمین‌های نوع A تا E در آیین‌نامه اروپا (CEN, 2004)

جدول۲. طبقه‌بندی زمین بر اساس استاندارد ۲۸۰۰

(کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۱۳۸٤)

نوع زمین	مواد متشکله ساختگاه	حدود تقریبی $\overline{V}_S$ (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 سلیکاته) طبقات کنگلومرایی** **ب- خاک‌های سخت (شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت) با ضخامت کم‌تر از ۳۰ متر از روی بستر سنگی**	**بیشتر از ۷۵۰** **$۳۷۵ \le \overline{V}_S \le ۷۵۰$**
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 ضخامت بیش‌تر از ۳۰ متر**	**$۳۷۵ \le \overline{V}_S \le ۷۵۰$**
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**	**$۱۷۵ \le \overline{V}_S \le ۳۷۵$**
IV	**الف- نهشته‌های نرم با رطوبت زیاد بر اثر بالابودن سطح آب زیرزمینی** **ب – هرگونه پروفیل خاک ک شامل حداقل ٦ متر خاک رس با اندیس خمیری بیش‌تر از ۲۰ درصد رطوبت بیش‌تر از ٤۰ باشد.**	**کمتر از ۱۷۵**



الف- خطر نسبی کم و متوسط ب- خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد

شکل۲. ضرایب بازتاب برای زمین‌های نوع I تا IV در استاندارد ۲۸۰۰

(کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۱۳۸٤)

آیین‌نامه ایران

در استاندارد ۲۸۰۰ چهار گروه زمین ارائه می‌شود که تقریباً معادل گروه‌های A، B، C و D آیین‌نامه اروپا می‌باشد. ضوابط طبقه‌بندی چهار گروه یاد شده در جدول ۲ ارائه شده است. در این آیین‌نامه، زمینی که معادل زمین نوع E در آیین‌نامه اروپا باشد، وجود ندارد.

در استاندارد ۲۸۰۰ برای هر چهار نوع زمین در دو پهنه با خطر کم تا متوسط و زیاد تا خیلی زیاد ، نمودار ضرایب بازتاب[۷] ارائه شده است. این ضرایب بازتاب در شکل ۲ نشان داده شده است.

مروری بر ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر بم

در شهر بم، زمین‌لرزه‌ای ویرانگر با بزرگای گشتاوری ٦/٦ در مقیاس ریشتر، همراه با گسلش سطحی در ۵ دی‌ماه ۱۳۸۲ رخ داد. پس از این زلزله، به منظور شناسایی مخاطرات زلزله و اثرات ساختگاه در این شهر، مطالعاتی جامع در این شهر با هدف انعکاس نتایج در آیین‌نامه و پیش‌گیری از ویران شدن شهرها در زلزله‌های آتی، صورت گرفت. در این مقاله به صورت خلاصه به این مطالعات و نتایج آن‌ها در محدوده‌ای که زمین آن از نوع زمین E آیین‌نامه اروپا می‌باشد، اشاره می‌شود(هاشمی طباطبایی و همکاران، ۱۳۸۵).

7. Building Response Factor (B)

مطالعات تحلیل خطر

در این مطالعات تحلیل خطر[8] بر اساس نرخ جنبش گسله‌ها واقع در شعاع ۲۰۰ کیلومتری پیرامون بم انجام گرفته است. در تحلیل خطر به روش احتمالاتی[9]، این گسله‌ها با ترکیبی از داده‌های GPS (Jackson et al., 2006)، زمین ریخت‌شناسی[10] و تعیین سن نمونه‌ها به روش سن‌یابی ترمولومینسانس نوری و تبدیل آن‌ها به نرخ گشتاور لرزه‌ای ومحاسبه ضرایب گوتنبرگ و ریشتر مورد مطالعه قرارگرفتند.

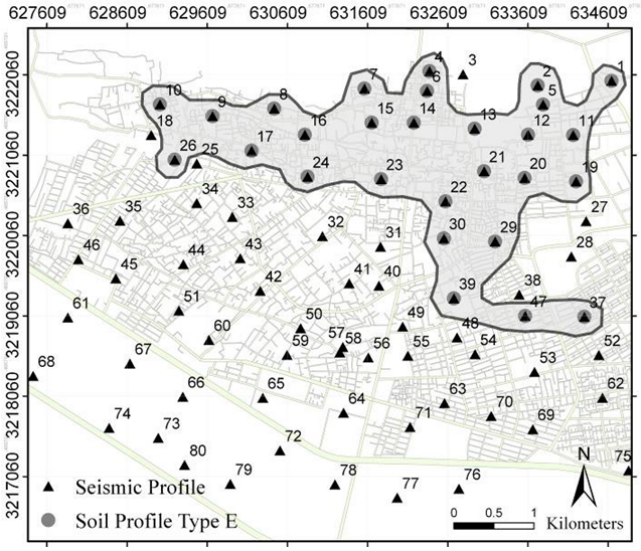
مطالعات ژئوسیسمیک[11]

در شهر بم مطالعات ژئوسیسمیک، بر اساس اندازه‌گیری‌ها به روش انکساری[12]، امواج برشی و تراکمی در ۸۰ پروفیل و عملیات لرزه نگاری درون چاهی[13] در پانزده گمانه انجام گردید (Signanini and Torrese, 2004; Japan road association, 2002). بر اساس نتایج حاصله مقادیر پارامترهای سرعت، ضخامت و ضرایب دینامیکی لایه‌ها تعیین و میانگین سرعت امواج برشی تا عمق ۳۰ متر محاسبه گردید. مطابق آیین‌نامه اروپا تعیین خاک نوع E به وسیله ضخامت و سرعت موج برشی لایه‌ها صورت می‌گیرد. بر این اساس، ۲۸ نقطه از مطالعات ژئوسیسمیک انجام شده، مطابق با زمین نوع E می‌باشد. محدوده این نقاط درسیمای کلی شهر در شکل ۳ نشان داده شده است. این محدوده در قسمت شمال و شمال‌شرق شهر واقع شده‌است. بر اساس مطالعات ژئوسیسمیک، در عمده مناطق شهر سه لایه مجزا مشخص گردید، اما در محدوده مشخص شده در شکل۳، صرفاً ۲ لایه شناسایی گردید. لذا، یک لایه کم سرعت بر روی لایه‌ای پر سرعت قرار گرفته است. ضخامت لایه اول در شکل٤- الف ارائه شده است. همانطور که در این شکل ملاحظه می‌شود، لایه اول غالبا۶/۳ تا۱۰ متر ضخامت دارد و در برخی نقاط این ضخامت تا ۱۸/۵ متر افزایش می‌یابد. سرعت موج برشی در لایه۱ و۲ به ترتیب در اشکال ٤-ب و٤-ج ارائه شده است. سرعت موج برشی در لایه اول از ۱۸۵ تا ۳۶۰ متر بر ثانیه و در لایه دوم از۱۰٤٥ تا۱۶۷۰ متر برثانیه متغیر می‌باشد. سرعت متوسط موج برشی تا عمق۳۰ متر، در این محدوده از٤۳۷ تا۶۸۷ متر بر ثانیه متغیر می‌باشد (شکل٤-د). بر مبنای آیین‌نامه اروپا، زمین این محدوده بر اساس ضخامت لایه‌ها و سرعت موج برشی در آن‌ها، از نوع زمین E می‌باشد. لیکن بدون اعمال این ضوابط زمین محدوده مذکور، بر مبنای آیین‌نامه اروپا از نوع B می‌باشد. از آن‌جایی‌که سنگ بستر لرزه‌ای کم‌تر از ۳۰ متر عمق دارد و متوسط سرعت موج برشی ٤۳۷ تا ۶۸۷ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شده است، بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰، زمین این محدوده در نوع زمین I طبقه‌بندی می‌گردد.

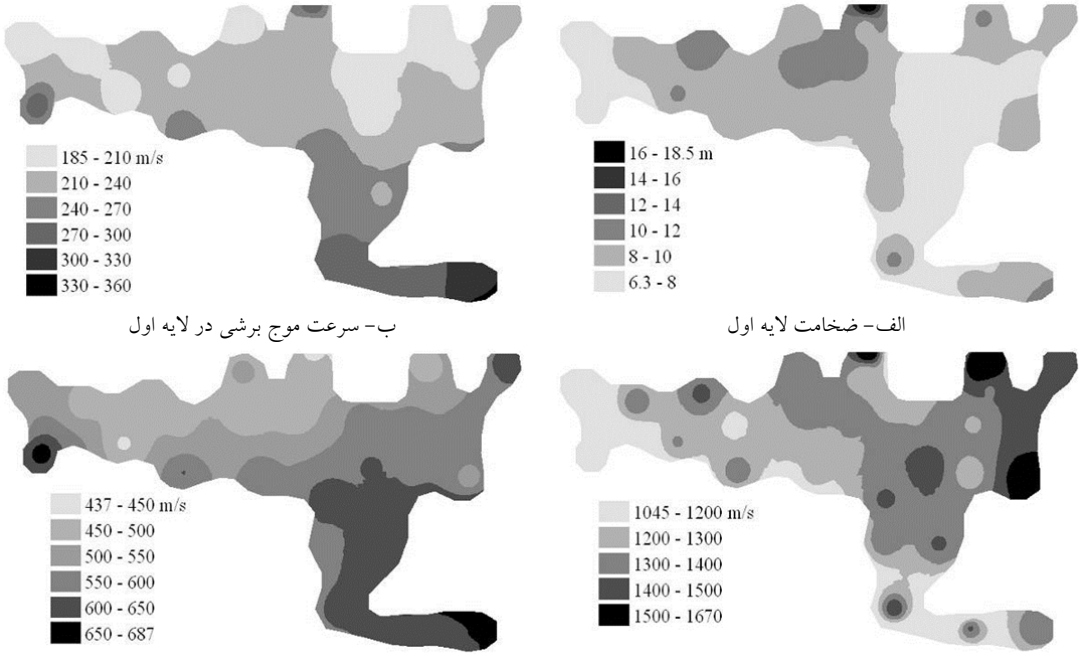
مطالعات ژئوتکنیک و تحلیل پاسخ زمین

به منظور تحلیل پاسخ ساختگاه، ویژگی‌های ژئوتکنیکی ساختگاه باید مورد شناسایی قرارگیرد(Connecticut department of transportation, 2005). در بررسی‌های ژئوتکنیکی[14] در مجموع۱۷ نقطه در قالب حفاری‌های ماشینی به صورت خشک و با کرگیری پیوسته، آزمایش‌های برجا و آزمایشگاهی انجام گردید. به منظور هم‌بستگی دقیق لایه‌های زیرسطحی با روش آماری فاصله معکوس وزنی[15]، تعداد۵۷ گمانه با استفاده از سرعتV_s مربوط به آزمایش‌های درون گمانه‌ای و انکساری شبیه‌سازی گردیدند(Hashemi Tabatabaei et al. 2009). تعیین مشخصات ژئوتکنیکی لایه‌های‌سطحی شهر با استفاده از اطلاعات گمانه‌های حفاری شده و شبیه‌سازی شده (در مجموع ۵۷ نقطه) و ایده‌آل‌سازی پروفیل‌های خاک آن‌ها و منحنی‌های رفتاری موجود انجام گردید. تحلیل پاسخ ساختگاه با استفاده از روش تحلیل یک بعدی خطی معادل و اعمال۷ زوج شتاب‌نگاشت در محل گمانه‌های اصلی و شبیه‌سازی شده، صورت گرفت. از مجموع۵۷ نقطه‌ای که در آن‌ها تحلیل پاسخ ساختگاه در آن‌ها انجام شد،۲٤ نقطه در محدوده منطبق بر مشخصات زمین‌های نوع E، قرار دارد.

[8]. Hazard analysis
[9]. Probabilistic
[10]. Geomorphology
[11]. Geoseismic
[12]. Refraction
[13]. Down hole
[14]. Geotechnical investigation
[15]. IDW



شکل۳. موقعیت پروفیل‌های لرزه‌ای به روش انکساری و محدوده زمین نوع E در شهر بم



ب- سرعت موج برشی در لایه اول

الف- ضخامت لایه اول

د- میانگین سرعت موج برشی تا عمق ۳۰ متر

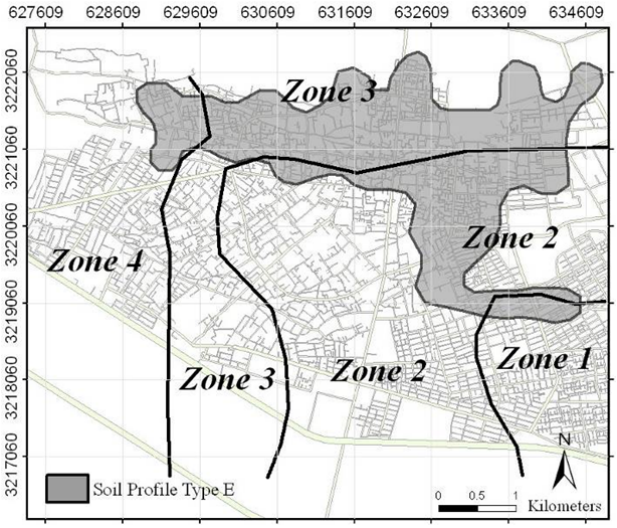
ج- سرعت موج برشی در لایه دوم

شکل٤. سرعت موج برشی در لایه ۱ و ۲، ضخامت لایه اول و میانگین سرعت امواج برشی در محدوده زمین نوع E

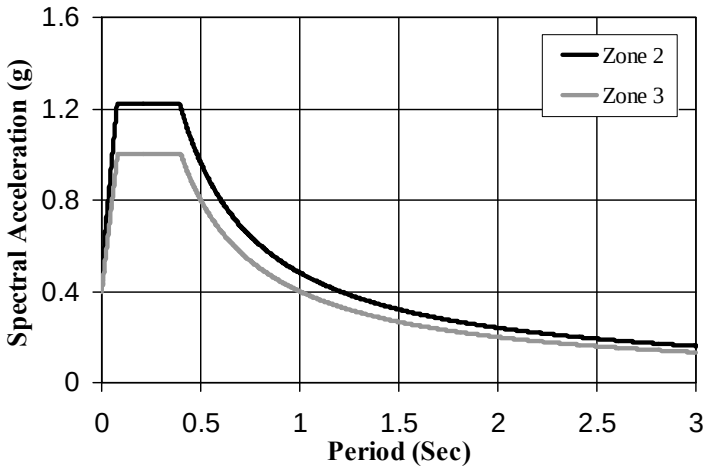
طیف‌های طراحی بر مبنای مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر بم

در این مطالعات به منظور تعیین طیف طرح استاندارد از روش معرفی شده در دستورالعمل ATC-03-6 (ATC, 1978) استفاده شده است. این روش مبنای تهیه طیف استاندارد در آیین‌نامه‌های طراحی معتبر دنیا می‌باشد. (ICBO, 1997; ICC 2006 and BSSC, 2000). بر اساس مدل طیف طرح انتخاب شده، پارامترهای طیف‌های طراحی در هر نقطه از شهر در نقشه‌های مختلف ارایه گردید. به منظور سهولت دستیابی به طیف‌های طراحی ،

شهر بم بر اساس بیشینه شتاب موثر حاصل از طیف‌های پاسخ برای دوره بازگشت ٤٧٥ سال، به چهار ناحیه تقسیم‌بندی و برای هر کدام از این نواحی، طیف طراحی واحدی ارائه گردیده است. مرز بندی این نواحی بر اساس اثر همزمان نوع زمین و شتاب در سنگ بستر انجام شده است. لذا این ناحیه‌بندی علاوه بر اثرات ساختگاهی به توان لرزه‌زایی منطقه نیز بستگی دارد. محدوده هر کدام از این نواحی در شکل ۵ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌گردد غالب محدوده زمین نوع E در دو ناحیه ۲ و ۳ قرار دارد. طیف‌های طراحی نواحی ۲ و ۳ در شکل٦ نشان داده شده است. لازم به ذکر است این طیف‌ها معادل حاصل‌ضرب نسبت شتاب مبنای طرح در ضریب بازتاب ساختمان در هر زمان تناوب می‌باشد.



شکل۵. نواحی چهارگانه و محدوده زمین نوع E در شهر بم



شکل٦. طیف‌های طراحی نواحی ۲ و ۳ بر اساس مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای در شهر بم

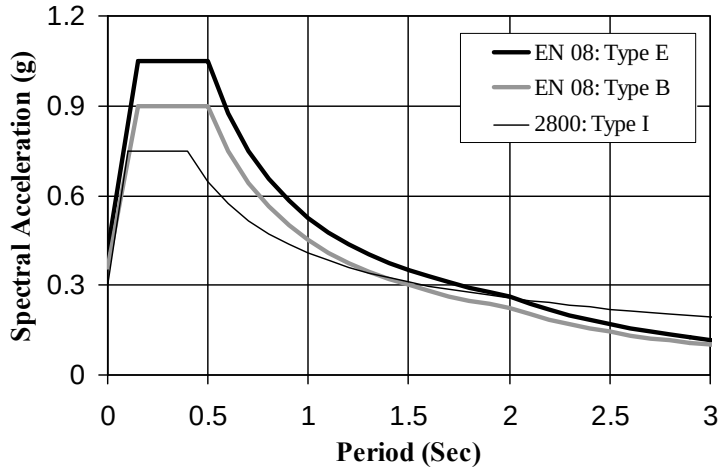
طیف طرح بر مبنای آیین‌نامه‌های اروپا و ایران برای شهر بم

بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، شهر بم در پهنه باخطر نسبی زیاد قرار دارد. در این پهنه، شتاب مبنای طرح در استاندارد ۲۸۰۰، g ۰/۳ برآورد گردیده است. با ضرب کردن این مقدار در طیف‌های استاندارد ۲۸۰۰ و آیین‌نامه اروپا می‌توان زمینه‌ای را برای مقایسه طیف‌های طراحی این دو آیین‌نامه و

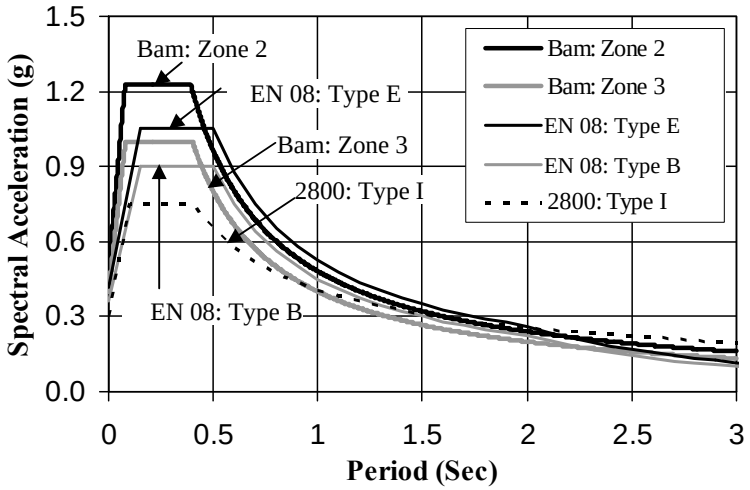
طیف‌های حاصل از مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر بم، فراهم نمود. طیف‌های طراحی آیین‌نامه اروپا بر اساس بزرگای زلزله، دو نوع بوده و طیف‌های نوع ۱ مختص زلزله‌های با بزرگای بیش از۵/۵ و نوع۲ برای زلزله‌های با بزرگای کم‌تر از ۵/۵ می‌باشد. از آن‌جایی‌که زلزله‌های شهر بم بر اساس مطالعات تحلیل خطر زلزله به روش احتمالاتی بیش از۵/۵ برآورد شده است و زلزله مهیبی که با بزرگای ٦/٦ در آن رخ داده است، طیف‌های طراحی از نوع ۱ در نظر گرفته شده است. در شکل ۷ طیف‌های طراحی بر مبنای آیین‌نامه اروپا برای زمین‌های نوعB وE برای طیف نوع۱ ارائه شده است. در این شکل طیف طراحی بر مبنای استاندارد۲۸۰۰ برای زمین‌های نوع I نیز ترسیم گردیده‌است.

مقایسه طیف‌های طراحی

در شکل۸ طیف‌های طراحی نواحی ۲ و ۳ بر مبنای مطالعات ریزپهنه‌بندی 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 ترسیم گردیده است. در جدول) مقادیر حداکثر 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.



شکل۷. طیف‌های طراحی بر اساس آیین‌نامه اروپا و استاندارد ۲۸۰۰ برای شهر بم



شکل۸. مقایسه طیف‌های طراحی بر اساس آیین‌نامه اروپا، استاندارد ۲۸۰۰ و مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای برای شهر بم

جدول۳. مقایسه پارامترهای طیف زمین‌های نوع B و E آیین‌نامه اروپا، زمین نوع I استاندارد ۲۸۰۰ و نواحی ۲ و ۳ ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر بم

طیف مبنا	حداکثر شتاب طیفی (g)	محدوده زمان تناوب حداکثر شتاب طیفی	
		ابتدا (sec)	انتها (sec)
آیین‌نامه اروپا: زمین نوع E	۱/۰۵	۰/۱۵	۰/۵
بم: ناحیه ۲	۱/۲۲۵	۰/۰۷۸	۰/۳۹۳
بم: ناحیه ۳	۱/۰۰	۰/۰۸	۰/٤
آیین‌نامه اروپا: زمین نوع B	۰/۹	۰/۱۵	۰/۵
استاندارد ۲۸۰۰: زمین نوع I	۰/۷۵	۰/۱	۰/٤

حداکثر شتاب طیفی برای زمین نوع E بر مبنای آیین‌نامه اروپا، g ۱/۰۵ در محدوده زمان تناوب ۰/۱۵ تا ۰/۵ ثانیه بوده و بر مبنای مطالعات ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای در نواحی ۲ و ۳ به ترتیب g ۱/۲۲۵ (در محدوده زمان تناوب ۰/۰۷۸ تا ۰/۳۹۳ ثانیه) و g ۱/۰۰ (در محدوده زمان تناوب ۰/۰۷۸ تا ۰/۳۹۳ ثانیه) می‌باشد. در حالیکه حداکثر شتاب طیفی برای زمین نوع B بر مبنای آیین‌نامه اروپا، g ۰/۹ در محدوده زمان تناوب ۰/۱۵ تا ۰/۵ ثانیه بوده و بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰، g ۰/۷۵ در محدوده زمان تناوب ۰/۱ تا ۰/٤ ثانیه می‌باشد. همان‌گونه که ملاحظه 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 مخصوصاً نسبت به طیف طراحی بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ برای زمین‌های نوع I دارد. این موضوع بیان‌گر تأثیر زمین با خصوصیات 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 می‌باشد.

جمع‌بندی

بررسی اثرات ساختگاهی مستلزم شناسایی خصوصیات دینامیکی لایه‌های تشکیل دهنده ساختگاه می‌باشد. زمین‌های دارای شرایط خاص در آیین‌نامه اروپا در گروه ویژه نوع E قرار گرفته است. اهمیت این نوع زمین ناشی از افزایش قابل توجه میزان شتاب طیفی در مقابل ثابت ماندن پریود محدوده شتاب ثابت طیف طرح نسبت به طیف طرح زمین‌های نوع A و B می‌باشد. در یک مطالعه موردی در شهر بم، بر اساس آیین‌نامه اروپا بخش وسیعی از شمال و شمال شرق این شهر، از نوع زمین E می‌باشد. در حالی‌که بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، زمین این شهر در زمین‌های نوع I قرار می‌گیرد. طیف‌های طراحی حاصل از مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر بم در مقایسه با طیف‌های طراحی بر مبنای آیین‌نامه اروپا برای زمین‌های نوع E تطابق معناداری را نسبت به طیف طراحی زمین نوع B بر اساس آیین‌نامه اروپا نشان می‌دهد. این مطلب نیز در مقایسه با طیف طراحی بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ برای زمین‌های نوع I، ملاحظه می‌گردد که نشان دهنده تأثیر زمین‌های نوع E در طیف‌های طراحی می‌باشد.

مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای فارغ از نوع استقرار لایه‌های خاک و خصوصیات آن‌ها می‌تواند، اثرات ساختگاه را در طیف‌های طراحی، نشان دهد. با توجه به این‌که مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای به دلیل هزینه بالا در موارد کمی صورت می‌گیرد و تعیین اثرات ساختگاه محدود به طبقه‌بندی نوع زمین در آیین‌نامه‌ها و اندازه‌گیری سرعت امواج برشی می‌گردد، لذا لازم است شرایط زمین‌های خاص در مطالعات لحاظ شود. در ساختگاهی که در آن شرایط زمین نوع E بر اساس مطالعات ژئوسیسمیک، احراز گردد، باید افزایش ضریب بازتاب در طیف‌های طراحی به نحو مناسبی برآورد گردد.

منابع

کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (۱۳۸٤) آئین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۸٤-۲۸۰۰، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

هاشمی طباطبایی، و همکاران (۱۳۸۵) مطالعات لرزه‌خیزی، ژئوتکنیک و ژئوتکنیک لرزه‌ای شهر بم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

ATC (1978) 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.

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.

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. and Wright, T. (2006) Seismotectonic, rupture process, and earthquake-hazard aspects of the 2003 December 26 Bam, Iran, earthquake, Geophys. J. Int.

Japan road association, Specification of High way Bridge (2002) part V seismic Design p.28.

Signanini, p. and Torrese, P. (2004) Application of high resolution shear face seismic methods to a geotechnical problem.

Hashemi Tabatabaei, S., Salamat, A.S., Ghalandasrzadeh, 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.