

# توسعه‌ی ضوابط آیین‌نامه‌ی زلزله‌ی ایران جهت اعمال اثر حوزه‌ی نزدیک - کاربرد موردی: سایت‌های حرم مطهر امام رضا (ع) و حوزه‌ی نفتی شهر اهواز

محمد قاسم وثر\* (استادیار)

معین تبرک (دانشجوی کارشناسی ارشد)

ابوالفضل ریاحی نوری (دانشجوی دکتری)

پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

مهندسی عمران شریف، زمستان ۱۳۹۴ (ص. ۵۳-۶۰)  
دوره‌ی ۲ - ۳۱، شماره‌ی ۲/۴، ص. ۵۳-۶۰

تفاوت چشم‌گیر در گستره و نوع خرابی سازه‌ها ناشی از زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک و دور، موجب توجه پژوهشگران به زمین‌لرزه‌های نواحی نزدیک گسل شده است. هدف این نوشتار، توسعه‌ی روش برآورد نیاز لرزه‌ی سازه‌ها برای شبیه‌سازی اثر زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک است. در این راستا، تعمیم روابط مربوط به منظور پیشنهاد استفاده در طراحی ساختمان‌ها در دستورکار قرار گرفته است، که با اقتباس از نتایج مطالعات تحلیلی خطر لرزه‌ی برای تعدادی از مناطق حوزه‌ی نزدیک کشور، ضرایب اصلاحی پیشنهادی ارائه می‌شوند. نتایج بررسی‌های انجام شده حاکی از افزایش قابل ملاحظه‌ی نیاز لرزه‌ی سازه در محدوده‌ی دوره‌های تناوب کوتاه و متوسط در مقایسه با مقادیر پیشنهادی در آیین‌نامه‌ی طرح لرزه‌ی است. به‌عنوان نمونه در مورد سایت حوزه‌ی نفتی شهر اهواز از دیدگاه روش طراحی براساس ظرفیت، نیاز لرزه‌ی سازه در محدوده‌ی دوره‌های تناوب کوتاه و متوسط در حدود ۲/۷ برابر مقادیر پیشنهادی در آیین‌نامه‌ی طرح لرزه‌ی است. شایان ذکر است که در این پژوهش رویکردهای تعیینی و احتمالاتی مورد استفاده قرار گرفته و با کاربرد روابط کاهندگی مختلف و ترکیب نتایج حاصل در درخت منطقی، پارامترهای طراحی موردنظر ارائه شده‌اند.

واژگان کلیدی: طیف طراحی حوزه‌ی نزدیک گسل، نیاز لرزه‌ی، اثر حوزه‌ی نزدیک.

## ۱. مقدمه

با توجه به تجربیات به‌دست‌آمده سالیان اخیر در زمین‌لرزه‌های مناطق مختلف جهان، زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک، ویژگی‌های متفاوتی در مقایسه با زلزله‌های حوزه‌ی دور داشته‌اند. زمین‌لرزه‌های حوزه‌ی نزدیک می‌توانند باعث بروز خرابی‌های گسترده‌تر به‌صورت موضعی و شکست در سازه‌ها شوند. در واقع مشارکت شتاب اوج زمین (PGA) و شکل موج پالسی سرعت در زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک به ترتیب می‌توانند باعث خرابی سازه‌ها با دوره‌های تناوب کوتاه و بلند شوند.<sup>[۱-۳]</sup> پس از زلزله‌ی ۱۹۹۴ نورث ریج، اثر حوزه‌ی نزدیک به‌طور خاصی در SEAOC برای UBC۹۷ آورده شده بود.<sup>[۴]</sup> همچنین در UBC۹۷، ضرایب حوزه‌ی نزدیک در منطقه‌ی لرزه‌ی ۴ (zone۴) به گونه‌ی گنجانده‌شده که اثرات تشدید در زمان وقوع حرکات زمین در گسل‌های نزدیک در نظر گرفته شود. به دلیل افزایش اثر حوزه‌ی نزدیک در دوره‌های تناوب بالا، ضرایب حوزه‌ی نزدیک در دو حالت برای محدوده‌ی دوره‌های تناوب کوتاه (ناحیه‌ی کنترل شتاب) و بلند (ناحیه‌ی کنترل سرعت) مورد نیاز هستند. در کشور تایوان نیز بعد از زلزله‌ی (۱۹۹۹) chi-chi، طیف پاسخ طراحی زلزله‌ی حوزه‌ی

\* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۲، اصلاحیه ۱۳۹۲/۱۲/۲۵، پذیرش ۱۳۹۳/۱/۱۶

برای منطقه‌ی لرزه‌ی موردنظر یک نسبت ویژه مابین تقاضاهای لرزه‌ی تعیین شده

## ۲. برش پایه‌ی طراحی لرزه‌ی مطابق آئین‌نامه‌ی زلزله‌ی ایران

در آئین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ی ایران - ویرایش سوم، شتاب پاسخ طیف طراحی تقاضای لرزه‌ی ارتجاعی مطابق با سطح خطر یکنواخت لرزه‌ی ۱٪ در ۵۰ سال (زمین لرزه‌ی دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ ساله) ارائه شده است.<sup>[۷]</sup> براساس تحلیل خطر یکنواخت، پاسخ شتاب طیفی با نسبت میرایی ۵٪ در دوره‌های تناوب مختلف از طریق طراحی تعیین می‌شود.

براساس آئین‌نامه‌ی زلزله‌ی ایران، زمین مناطق مختلف به ۴ دسته تقسیم‌بندی شده است، که این طبقه‌بندی براساس مواد تشکیل‌دهنده‌ی ساخت‌گاه و سرعت موج برشی در منطقه صورت می‌گیرد. سرعت موج برشی متوسط ( $\bar{V}_s$ ) در فاصله‌ی ۳۰ متری در عمق زمین را می‌توان به صورت رابطه‌ی ۱ تعیین کرد:

$$\bar{V}_s = \sum \frac{d_i}{(d_i/V_{si})} \quad (1)$$

که در آن،  $d_i$  و  $V_{si}$  به ترتیب ضخامت لایه و سرعت موج برشی در آن است. این رابطه را برای تمام لایه‌ها تا عمق ۳۰ متری از سطح زمین می‌توان به کار برد. براساس سرعت موج برشی به دست آمده، نوع خاک منطقه مشخص می‌شود. ضریب بازتاب ساختمان نیز براساس روابط ۲ محاسبه می‌شود:

$$B = 1 + S \left( \frac{T}{T_s} \right); \quad T \leq T_s$$

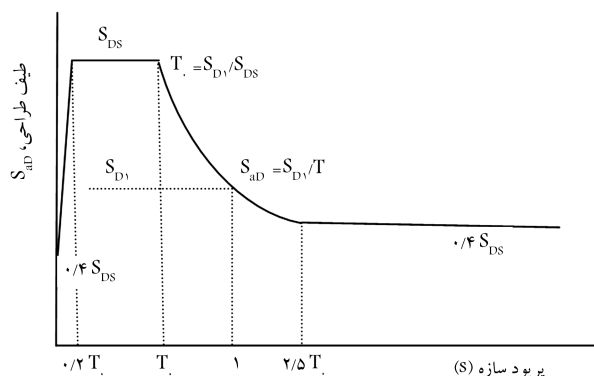
$$B = S + 1; \quad T_s \leq T \leq T_s$$

$$B = (S + 1) \left( \frac{T_s}{T} \right)^{\frac{1}{4}}; \quad T \geq T_s \quad (2)$$

که در آن‌ها،  $T$  زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان بر حسب ثانیه و  $T_s$  و  $S$  پارامترهایی هستند که به نوع زمین و میزان خطر لرزه‌خیزی منطقه وابسته‌اند. مقدار این پارامترها در استاندارد ۲۸۰۰ مشخص شده‌اند. در آئین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ی از ظرفیت شکل‌پذیری مجاز به جای ظرفیت شکل‌پذیری سیستم سازه‌ی استفاده می‌کنند، که به صورت رابطه‌ی ۳ قابل محاسبه است:

$$R_a = 1 + \frac{(\mu - 1)}{1.5} \quad (3)$$

در ادامه، ضریب کاهش لرزه‌ی برای یک سیستم سازه‌ی به این شرح ارائه شده است. این تذکر لازم است که در رابطه‌ی ۳، مقدار ضریب اضافه مقاومت (که برای

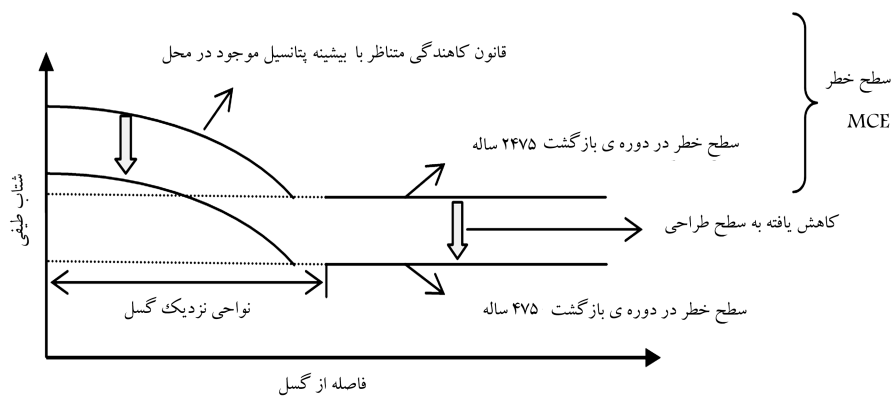


شکل ۱. تقاضای شتاب طیفی در سطح خطر MCE.

توسط تحلیل خطر لرزه‌ی با دوره‌های بازگشت ۲۴۷۵ ساله و ۴۷۵ ساله وجود دارد. از این رو تقاضای شتاب طیفی حوزه‌ی نزدیک در سطح خطر MCE می‌تواند براساس همان نسبت ویژه به سطح خطر طراحی کاهش یابد، در این صورت طیف پاسخ طراحی حوزه‌ی نزدیک برای طراحی سازه‌ها در برابر تکان‌های حوزه‌ی نزدیک زمین ارائه می‌شود. همان‌طوری که در شکل ۲ نشان داده شده است، اثر حوزه‌ی نزدیک در سطح طراحی اولیه براساس نیرو مطرح نشده و تقاضای لرزه‌ی توسط تحلیل خطر لرزه‌ی در دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ ساله تعیین شده و برای طیف پاسخ حوزه‌های دور و نزدیک به دست آمده است.<sup>[۶]</sup>

بنابراین براساس این روش طراحی، در واقع اثر حوزه‌ی نزدیک اگرچه شامل سطح طراحی براساس نیروی اولیه نیست، اما انعکاس‌دهنده‌ی ظرفیت نهایی سطح کنترلی هر دو روش احتمالاتی و تعیینی است.

در قسمت‌های بعد، توسعه‌ی برش پایه‌ی طراحی لرزه‌ی، تقاضاهای شتاب طیفی حوزه‌ی نزدیک برای هر دو سطح طراحی و MCE، و ملزومات کنترل نهایی ظرفیت، که در آئین‌نامه‌ی ایران ذکر شده است، به طور خلاصه بیان شده است. شایان ذکر است که در مقالات مشابه در مورد برآورد اثر زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک فقط به مقدار بیشینه‌ی پتانسیل قابل وقوع آنها اشاره شده است. در این راستا ملاحظاتی که در طراحی سازه‌ها در حوزه‌های عمومی در نظر گرفته شده است، را می‌توان ذکر کرد، که در این روش در حوزه‌های نزدیک اعمال می‌شود. علاوه بر موارد مذکور، برای دو منطقه‌ی مورد بررسی در این پژوهش با توجه به پژوهش‌های پیشین، اثر گسل‌های نزدیک با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و ایمنی بیان شده است.



شکل ۲. طراحی نوع دوم: اثر حوزه‌ی نزدیک در سطح کنترلی.

مشخص شوند. در استاندارد ۲۸۰۰ ایران مقدار شتاب طیفی در سطح طراحی برای مناطق مختلف ایران مشخص شده است، اما برای به دست آوردن تقاضای شتاب طیفی در سطح خطر MCE باید برای مناطق مختلف تحلیل خطر صورت گیرد، که با توجه به این مقادیر، ضریب کاهنده  $Y$  برای نواحی مختلف به دست می آید. کشور ایران را می توان مانند نقشه‌ی شتاب طیفی در سطح خطر DBE به نواحی گوناگونی با ضریب کاهنده‌ی ثابتی تقسیم بندی کرد. در نهایت برای به دست آوردن تقاضای شتاب طیفی طراحی برای حوزه‌های نزدیک می توان از روابط موجود در استاندارد ۲۸۰۰، که تشدید در آنها براساس نوع خاک و نیز در دوره‌های تناوب مختلف بر طبق پارامتر B صورت می گیرد، استفاده کرد.

#### ۴. برش پایه‌ی طراحی حوزه‌ی نزدیک

برای افزایش برش پایه در طراحی لرزه‌ی سازه‌ها در حوزه‌های نزدیک، روش جدیدی که شامل اثر حوزه‌ی نزدیک باشد، را به عنوان یک راهکار می توان بیان کرد. در آئین‌نامه‌ی زلزله‌ی ایران، برای طراحی براساس نیروی لرزه‌ی وارد به سازه، فقط پارامتر پاسخ شتاب طیفی در دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ ساله برای تعیین برش پایه در هر دو حوزه‌ی نزدیک و معمولی مشخص شده‌اند. از این رو، برای محدود کردن ظرفیت نهایی سازه‌ی طرح شده، افزایش ظرفیتی مورد نیاز است تا در سطح خطر MCE، بیشینه‌ی تقاضای لرزه‌ی اضافی تعریف شده باشد.

برای حوزه‌های نزدیک، شتاب طیفی سازگار با محل باید توسط پارامتر شتاب طیفی در سطح خطر DBE براساس نقشه‌های لرزه‌ی به صورت  $N_A.A^D.B$  تعریف شود و سپس شتاب طیفی مورد نیاز  $(S_{\alpha,NF})$  در سطح طراحی را می توان به صورت رابطه‌ی ۹ تعریف کرد:

$$S_{\alpha,NF} = N_A \times A^D \times B = N_A \times \left( \frac{A}{g} \right)_{DBE} \times \begin{cases} 1 + S \left( \frac{T}{T_s} \right); & T \leq T_s \\ S + 1; & T_s \leq T \leq T_s \\ (S + 1) \left( \frac{T_s}{T} \right)^{2/3}; & T \geq T_s \end{cases} \quad (9)$$

به دلیل اینکه کاربرد این روش در حوزه‌های نزدیک منجر به دستیابی به دید واقع بینانه‌تری از شتاب طیفی وارد بر سازه می شود، در نتیجه می توان تقاضای شکل پذیری را به جای ظرفیت شکل پذیری مجاز  $(R_\alpha)$ ، که در طراحی برای حوزه‌های عمومی براساس نیروی برشی پایه ارائه شده بود، به مقدار ظرفیت نهایی رسانید.

بر طبق پژوهش‌های صورت گرفته و نیز روابط ارائه شده توسط نیومارک مشاهده شده است که ضریب رفتار  $R$  وابسته به دوره‌ی تناوب سازه است و مقدار آن از 1 تا  $\mu$  متغیر است. از این رو براساس روابط نیومارک در دوره‌های تناوب مختلف، ضریب کاهش لرزه‌ی سیستم سازه‌ی  $(F_u)$  در سطح نهایی به صورت رابطه‌ی ۱۰ تعریف می شود:

$$F_u = \begin{cases} \sqrt{2\mu - 1} + (\sqrt{2\mu - 1} - 1) \frac{T - T_s}{T}; & T \leq T_s \\ \sqrt{2\mu - 1}; & T_s \leq T \leq T_s \\ \mu; & T \geq T_s \end{cases} \quad (10)$$

ساختمان‌ها تقریباً برابر  $1/4$  است).<sup>[۸]</sup> باید در مقدار  $R_\alpha$  ضرب شود، که در نهایت ضریب کاهش نیروی لرزه‌ی از رابطه‌ی ۴ به دست خواهد آمد:

$$R = \Omega \times R_\alpha \quad (4)$$

برش پایه‌ی طراحی لرزه‌ی مطابق آئین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ برای حوزه‌های عمومی به صورت رابطه‌ی ۵ محاسبه می شود:

$$V = \frac{ABI}{R} W \quad (5)$$

که در آن،  $I$  ضریب اهمیت ساختمان است، که در حقیقت برای سازه‌های مختلف بیانگر در نظر گرفتن سطح خطر متفاوتی نسبت به سطح خطر ۱٪ در ۵۰ سال است.

#### ۳. طیف پاسخ طراحی حوزه‌ی نزدیک

برای در نظر گرفتن اثر حوزه‌ی نزدیک در طراحی لرزه‌ی، هر دو تحلیل تعیینی و احتمالاتی باید انجام شوند. تحلیل خطر احتمالاتی براساس دوره‌ی بازگشت ۲۴۷۵ ساله و تحلیل خطر تعیینی مطابق رابطه‌ی کاهندگی براساس بیشینه‌ی پتانسیل لرزه‌زایی گسل انجام می پذیرد. براساس تحلیل خطر یکنواخت در دوره‌ی بازگشت ۲۴۷۵ ساله، پارامتر شتاب طیفی  $A^M$  را می توان برای هر دو بخش نزدیک گسل به دست آورد. همچنین می توان با استفاده از رابطه‌ی کاهندگی براساس بیشینه‌ی بزرگای بالقوه‌ی گسل فعال، مقدار  $A_{Att}(r)$  را برای تقاضای شتاب طیفی با میرایی ۵٪، که به صورت تابعی از فاصله‌ی محل مورد نظر تا گسل است، محاسبه کرد. به عنوان مثال، وقوع زلزله‌ی با بزرگای  $M_s = 7.3$  را بر مبنای بیشینه‌ی زلزله‌ی بالقوه در گسل «جنوب چناران» برای حرم مطهر امام رضا (ع) با توجه به رابطه‌ی  $M_s = 1.259 + 1.244 \log(L)$ ، می توان پیش بینی کرد.<sup>[۹]</sup>

با توجه به پارامتر پاسخ شتاب طیفی در سطح خطر MCE، ضریب  $N_A(r)$  به صورت رابطه‌ی ۶ تعریف می شود:

$$V = \frac{1.5 A_{Att}(r)}{A^M} \quad (6)$$

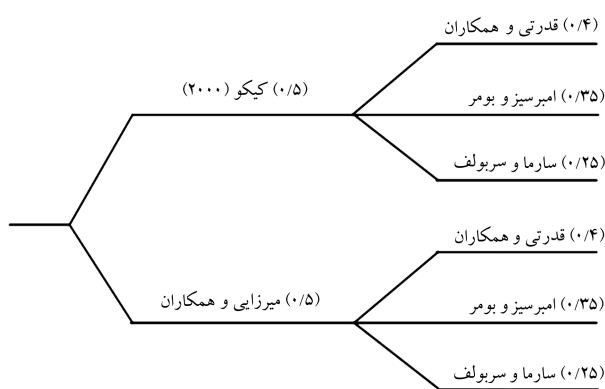
که ضریب اعمال شده در آن، بیانگر انحراف معیار و در برگیرنده‌ی عدم قطعیت در حرکت گسل است (گسل نرمال).<sup>[۱۰]</sup> همچنین شتاب مورد نیاز برای حوزه‌های نزدیک در سطح خطر MCE را می توان به صورت رابطه‌ی ۷ تعریف کرد:

$$A_{NF}^M(r) = N_A(r).A^M \quad (7)$$

همان‌طور که مشخص است، این روابط به صورت توابعی از فاصله‌ی گسل هستند. برای تعیین ضرایب کاهش از سطح خطر MCE به سطح طراحی (یعنی از سطح خطر ۲٪ در ۵۰ سال به سطح خطر ۱٪ در ۵۰ سال)، باید پارامتر شتاب طیفی  $A^M$  در آئین‌نامه‌ی زلزله‌ی ایران برای مناطق مختلف کشور تعیین شود. براساس ضریب کاهنده‌ی  $Y = \frac{A^D}{A^M}$  که به صورت  $Y = \frac{A^D}{A^M}$  تعریف می شود، پاسخ شتاب مورد نیاز برای حوزه‌های نزدیک در سطح خطر DBE مورد نیاز برای ناحیه‌ی حوزه‌ی نزدیک در سطح طراحی را در نهایت می توان به صورت رابطه‌ی ۸ نشان داد:

$$A_{NF}^D(r) = N_A(r).Y.A^M = N_A(r).A^D \quad (8)$$

با توجه به مطالب ذکر شده، برای به دست آوردن ضریب کاهنده‌ی  $Y$  باید مقادیر تقاضاهای شتاب طیفی در سطوح خطر ۲٪ در ۵۰ سال و ۱٪ در ۵۰ سال



شکل ۳. نمایش درخت منطقی استفاده‌شده برای حرم مطهر امام رضا (ع).

کدام از این روابط در درخت منطقی ارائه و براساس تحلیل‌های صورت‌گرفته، نتایج حاصله برای روش قطعی به‌صورت جدول ۱ حاصل شده است.

#### ۲.۱.۵. روش احتمالاتی (PSHA)

در روش احتمالاتی ضمن در نظر گرفتن ایمنی، صرفه‌ی اقتصادی نیز مورد توجه قرار گرفته و با مدل‌سازی چشمه‌های لرزه‌زای گسترده‌ی مورد مطالعه و نظریه‌ی احتمالات به ازاء هر درصدی از ریسک وقوع زلزله، بیشینه‌ی شتاب (PGA) محاسبه می‌شود. در پژوهش مذکور برای مدل‌سازی و تعیین بیشینه‌ی شتاب از نرم‌افزار SeisRisk III استفاده شده است. برای حصول نتیجه‌ی منطقی با انتخاب چند رابطه‌ی کاهندگی مناسب و استفاده از روش تحلیل درخت منطقی، میانگین وزنی شتاب‌ها محاسبه شده است. نتایج حاصل برای روش احتمالاتی در جدول ۲ قابل مشاهده است.

#### ۳.۱.۵. محاسبه‌ی ضریب حوزه‌ی نزدیک

بر طبق رابطه‌ی ۶، ضریب افزاینده‌ی حوزه‌ی نزدیک  $N_A$  برای ساخت‌گاه حرم مطهر امام رضا (ع) مطابق رابطه‌ی ۱۴ به‌دست می‌آید:

$$N_A(r) = \frac{1.5 \times 0.616g}{0.535g} = 1.727 \quad (14)$$

#### ۴.۱.۵. محاسبه‌ی ظرفیت شکل‌پذیری

ضریب کاهش نیروی لرزه‌یی برای سازه‌ی قاب خمشی بتنی ویژه (R) برابر ۱۰ در نظر گرفته شده است. به همین جهت بر اساس روابط ۳ و ۴، ظرفیت شکل‌پذیری نهایی برای این سازه در حدود  $\mu = 10$  به‌دست می‌آید. با توجه به روابط ۱۰ و ۱۱، برای سازه‌های قاب خمشی بتنی ویژه با دوره‌های تناوب مختلف در انواع زمین‌ها،

جدول ۱. بیشینه‌ی شتاب افقی در ساخت‌گاه به روش قطعی (بر حسب g).

نام گسل	طول (کیلومتر)	فاصله (کیلومتر)	بیشینه‌ی بزرگا (Ms)	PGAH (g)		
				امبرسیز و بومر (۱۹۹۱)	قدرتی و همکاران (۲۰۰۷)	سارما و سربولف (۱۹۹۶)
جنوب چناران	۱۳۸	۴٫۶	۷٫۳	۰٫۵۸	۰٫۶۱	۰٫۶۲
توس	۷۷	۷٫۹	۷	۰٫۳۸	۰٫۴۴	۰٫۴۲
جنوب مشهد	۱۵	۵٫۱	۶٫۱	۰٫۲۹	۰٫۲۸	۰٫۳۰
کشفرد	۱۷۵	۱۹٫۵	۷٫۴	۰٫۲۲	۰٫۳۴	۰٫۲۹
شاندیز	۷۹	۱۵٫۲	۷	۰٫۲۳	۰٫۳۱	۰٫۲۸

در نهایت، ظرفیت شکل‌پذیری ساختمان‌ها در حوزه‌های نزدیک به‌صورت رابطه‌ی ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$R_u = 1.4 \times F_u \quad (11)$$

یک معیار برای کنترل ظرفیت نهایی سازه این است که ظرفیت جانبی مجاز سازه ( $P_a$ ) باید بیشتر از بیشینه‌ی تقاضای نیروی برشی باشد (رابطه‌ی ۱۲):

$$P_a > \left( \frac{S_{a,NF}}{R_u} \right) W \quad (12)$$

چون ظرفیت مجاز  $P_a$  را برای ساختمان‌ها نمی‌توان به راحتی اندازه‌گیری کرد، لذا این روش را در حالت ساده‌شده برای طراحی سازه‌ها می‌توان به‌صورت رابطه‌ی ۱۳ نشان داد:

$$V = \max \left[ \frac{AB}{R} IW, \frac{S_{a,NF}}{R_u} W \right] \quad (13)$$

## ۵. محاسبه‌ی برش پایه برای تعدادی از مناطق حوزه‌ی نزدیک کشور

در بخش‌های پیشین، کلیه‌ی مراحل محاسبات مربوط به به‌دست‌آوردن برش پایه برای مناطق حوزه‌ی نزدیک شرح داده شده است. در این قسمت به منظور کاربرد روش ذکرشده جهت به‌دست‌آوردن برش پایه در حوزه‌های نزدیک، با توجه به داده‌های اطلاعاتی موجود و در دسترس، چند نقطه‌ی کشور مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، که نتایج آنها به این شرح است (برای تمامی مناطق، سازه‌ی موردنظر به‌صورت یک سازه‌ی قاب خمشی بتنی ویژه با کاربری مسکونی در نظر گرفته شده است).

### ۱.۱.۵. تحلیل خطر زلزله برای منطقه‌ی حرم مطهر امام رضا (ع)

براساس تحلیل خطر صورت‌گرفته برای این منطقه نتایجی به این شرح به‌دست آمده است.<sup>[۱۱]</sup>

#### ۱.۱.۵. روش قطعی (DSHA)

در این روش ایمنی ملاک قرار می‌گیرد و مسئله‌ی صرفه‌ی اقتصادی در نظر گرفته نمی‌شود. همچنین بیشینه‌ی شتاب زلزله‌یی که امکان وقوع دارد، محاسبه می‌شود و احتمالات در آن در نظر گرفته نمی‌شوند.<sup>[۱۲-۱۴]</sup> در این پژوهش ۳ نوع رابطه‌ی کاهندگی انتخاب شده‌اند، به گونه‌یی که با منطقه‌ی موردنظر سنخیت داشته باشند. این تذکر لازم است که رابطه‌ی اول برای ایران، رابطه‌ی دوم برای خاورمیانه و رابطه‌ی سوم برای کلیه‌ی نقاط جهان پیشنهاد شده‌اند. در شکل ۳، مقادیر ضریب وزنی هر

ظرفیت شکل‌پذیری در سطح نهایی را می‌توان به صورت رابطه‌ی ۱۵ محاسبه کرد: به صورت ضریبی از وزن ساختمان ارائه شده است (رابطه‌ی ۱۶):

$$V = \max [C_{2800} * W, C_{NF} * W] \quad (16)$$

همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، در تمامی خاک‌ها، ضریب زلزله‌ی به‌دست‌آمده برای حوزه‌ی نزدیک به مراتب بزرگ‌تر از ضریب زلزله‌ی محاسبه‌شده توسط آئین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ است.

$$F_u = \begin{cases} \sqrt{19} + (\sqrt{19} - 1) \frac{T - T_s}{T_s}; & T \leq T_s \\ \sqrt{19}; & T_s \leq T \leq T_s \\ 1; & T \geq T_s \end{cases} \quad (15)$$

### ۵.۱.۵. محاسبه‌ی برش پایه

در رابطه‌ی ۱۳، پارامترهای  $A$ ،  $B$  و  $I$  را باید از آئین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ مشخص کرد. به دلیل کاربری مسکونی، پارامتر  $I = 1$  در نظر گرفته می‌شود. شهر مشهد به دلیل واقع‌شدن در ناحیه‌ی با خطر نسبی زیاد دارای  $A/g = 0.3$  است.

ضریب بازتاب ساختمان ( $B$ ) براساس آئین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ و مطابق رابطه‌ی ۲، به دوره‌ی تناوب سازه و نوع خاک منطقه مربوط است. به همین دلیل برای مقایسه‌ی بهتر نتایج، هر ۴ نوع دسته‌بندی زمین را در نظر گرفته و برای هر نوع خاک سازه‌هایی با دوره‌های تناوب  $T_1 = 0.5 \text{ sec}$ ،  $T_2 = 0.25 \text{ sec}$  و  $T_3 = 1.3 \text{ sec}$  مورد توجه قرار گرفته است. در نهایت، برش پایه برای این ساخت‌گاه در ۱۲ حالت براساس روش ذکرشده در آئین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ و روش پیشنهادی در این پژوهش به شرح جدول ۳ به‌دست آمده است. این تذکر لازم است که در جدول مذکور، نیروی زلزله

جدول ۲. نتایج به‌دست‌آمده در ساخت‌گاه حرم مطهر امام رضا (ع) به روش احتمالاتی (بر حسب  $g$ ).

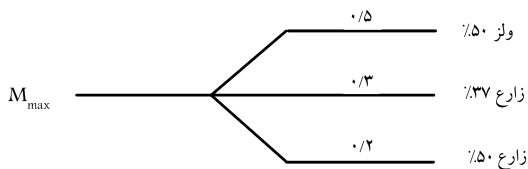
سطح خطر	دوره‌ی بازگشت (سال)	PGAH (g)
۱۰٪ احتمال وقوع در ۵۰ سال	۴۷۵	۰٫۳۴
۱۰٪ احتمال وقوع در ۱۰۰ سال	۹۵۰	۰٫۴۶
۲٪ احتمال وقوع در ۵۰ سال	۲۴۷۵	۰٫۵۴

### ۲.۵. تحلیل خطر زلزله برای حوزه‌ی نفتی شهر اهواز

تحلیل خطر این منطقه در قالب پروژه‌ی برای تأسیسات و پالایشگاه نفتی شهر اهواز صورت گرفته است، که نتایج آن به این صورت به‌دست آمده است.<sup>[۱۵]</sup>

#### ۱.۲.۵. روش قطعی (DSHA)

در روش قطعی برای به‌دست‌آوردن بیشینه‌ی بزرگای قابل وقوع از روابط بزرگا بر حسب طول گسل ولز (۱۹۹۴) و زارع (۱۹۹۹) استفاده شده است، که در رابطه‌ی دوم مقادیر ۳۷ و ۵۰ درصد طول گسل قرار داده شده است.<sup>[۱۶، ۱۷]</sup> بر این اساس ضرایب هرکدام از این روابط در شکل ۴ و بیشینه‌ی بزرگای قابل وقوع برای گسل‌های مهم منطقه در جدول ۴ نشان داده شده‌اند.



شکل ۴. درخت منطقی استفاده‌شده برای به‌دست‌آوردن بیشینه‌ی بزرگا برحسب طول.

جدول ۳. نتایج به‌دست‌آمده برای برش پایه در ساخت‌گاه حرم مطهر امام رضا (ع).

نوع زمین	$T_s$	$T$	$B$	$R$	$R_u$	$C_{2800}$	$C_{NF}$	Max C
I	۰٫۱	۰٫۴	$T_1$	۱٫۷۵	۱۰	۳٫۷۵	۰٫۰۵۳	۰٫۲۴۲
			$T_2$	۲٫۵	۱۰	۶٫۱	۰٫۰۷۵	۰٫۲۱۲
			$T_3$	۱٫۱۴	۱۰	۱۴	۰٫۰۳۴	۰٫۰۴۲
II	۰٫۱	۰٫۵	$T_1$	۱٫۷۵	۱۰	۳٫۷۵	۰٫۰۵۳	۰٫۲۴۲
			$T_2$	۲٫۵	۱۰	۶٫۱	۰٫۰۷۵	۰٫۲۱۲
			$T_3$	۱٫۳۲	۱۰	۱۴	۰٫۰۴۰	۰٫۰۴۹
III	۰٫۱۵	۰٫۷	$T_1$	۱٫۵۸	۱۰	۲٫۹۷	۰٫۰۴۸	۰٫۲۷۶
			$T_2$	۲٫۷۵	۱۰	۶٫۱	۰٫۰۸۳	۰٫۲۳۴
			$T_3$	۱٫۸۲	۱۰	۱۴	۰٫۰۵۵	۰٫۰۶۷
IV	۰٫۱۵	۱٫۰	$T_1$	۱٫۵۸	۱۰	۲٫۹۷	۰٫۰۴۸	۰٫۲۷۶
			$T_2$	۲٫۷۵	۱۰	۶٫۱	۰٫۰۸۳	۰٫۲۳۴
			$T_3$	۲٫۳۱	۱۰	۱۴	۰٫۰۶۹	۰٫۰۸۶

جدول ۴. بیشینه‌ی بزرگای قابل وقوع در حوزه‌ی نفتی اهواز.

گسل	طول گسل (km)	$M_{max}$
Ahwaz F.	۹۷	۷٫۰
Aghajari F.	۸۸	۷٫۰
Ramhormoz F.	۱۵۰	۷٫۱
Mishdagh F.	۳۴	۶٫۳
M.F.F.	۳۳	۶٫۳

### ۳.۲.۵. محاسبه‌ی ضریب حوزه‌ی نزدیک

مطابق رابطه‌ی ۶، ضریب افزایشدهی حوزه‌ی نزدیک برای مناطق نفتی شهر اهواز مطابق رابطه‌ی ۱۷ محاسبه شده است:

$$N_A(r) = \frac{1,5 \times 0,54g}{0,496g} = 1,633 \quad (17)$$

### ۴.۲.۵. محاسبه‌ی ظرفیت شکل‌پذیری

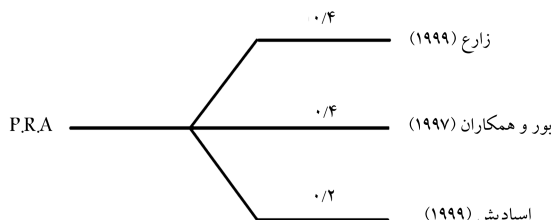
مطابق بند ۲.۱.۵، و نیز روابط ۱۰ و ۱۱، ضریب کاهش نیروی لرزه‌ی برای یک سازه‌ی قاب خمشی بتنی ویژه در سطح نهایی به‌صورت رابطه‌ی ۱۸ محاسبه می‌شود:

$$F_u = 1,4 \times \begin{cases} \sqrt{19} + (\sqrt{19} - 1) \frac{T - T_s}{T_s}; & T \leq T_s \\ \sqrt{19}; & T_s \leq T \leq T_s \\ 10; & T \geq T_s \end{cases} \quad (18)$$

### ۵.۲.۵. مقایسه‌ی برش پایه‌ی آیین‌نامه با روش پیشنهادی

در این قسمت همانند بخش ۳.۱.۵، ضرایب موردنیاز از آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ زلزله‌ی ایران استخراج شده است. به دلیل اینکه ضریب بازتاب ساختمان به‌صورت تابعی از نوع خاک منطقه و دوره‌ی تناوب سازه است، در نتیجه در این بخش برای دامنه‌ی تغییرات دوره‌های تناوب تا ۴ ثانیه، نیروی وارد بر سازه در اثر زلزله در حوزه‌های نزدیک و دور به شکل ضریبی از وزن آن محاسبه و برای هر ۴ نوع خاک مندرج در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ به‌صورت شکل‌های ۶ الی ۹ نشان داده شده‌اند.

بر طبق نتایج به‌دست‌آمده‌ی اخیر و نیز تجربیات و مشاهدات صورت‌گرفته‌ی پیشین در زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک مانند زلزله‌ی بم، اهمیت مسئله‌ی افزایش نیروی جانبی طرح برای محدوده‌های دوره‌های تناوب کم آشکار می‌شود. همان‌طور که عنوان



شکل ۵. درخت منطقی برای به‌دست‌آوردن شتاب در سنگ بستر در حوزه‌ی نفتی اهواز.

جدول ۵. نتایج به‌دست‌آمده از روش احتمالاتی توسط روابط مختلف برای پالایشگاه اهواز (بر حسب g).

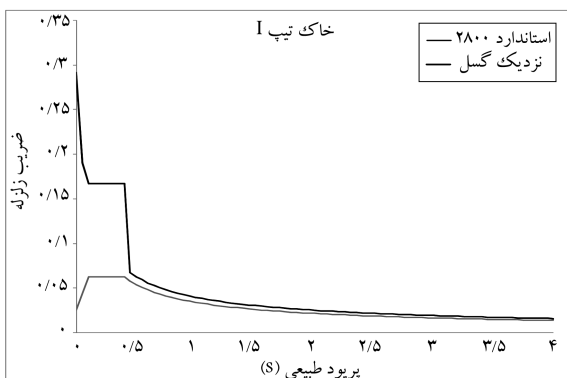
رابطه‌ی کاهندگی	دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ سال		دوره‌ی بازگشت ۲۴۷۵ سال	
	میانگین	میانگین + انحراف معیار	میانگین	میانگین + انحراف معیار
زارع (۱۹۹۹)	۰٫۳۴	۰٫۴۰	۰٫۵۰	۰٫۶۶
بور (۱۹۹۷)	۰٫۳۷	۰٫۴۶	۰٫۵۲	۰٫۶۸
اسپادیش (۱۹۹۷)	۰٫۳۰	۰٫۳۲	۰٫۴۴	۰٫۵۸
ترکیب	۰٫۳۴	۰٫۴۱	۰٫۵۰	۰٫۶۵

برای محاسبه‌ی بیشینه‌ی شتاب در سنگ بستر از ۳ رابطه‌ی مختلف با ضرایب وزنی مربوط به هر یک به‌صورت درخت منطقی در شکل ۵ استفاده شده است. براساس محاسبات و موارد ذکرشده، بیشینه‌ی شتاب افقی قابل تخمین به روش قطعی در اثر فعالیت گسل اهواز برابر ۰٫۵۴ g بوده است.

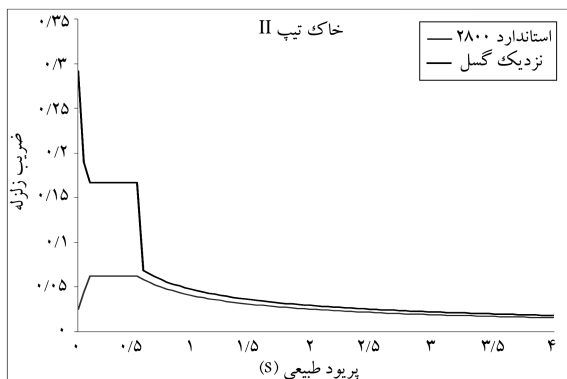
### ۲.۲.۵. روش احتمالاتی (PSHA)

براساس روش احتمالاتی برای زلزله‌هایی با احتمال وقوع ۱٪ در ۵۰ سال (دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ ساله) و ۲٪ در ۵۰ سال (دوره‌ی بازگشت ۲۴۷۵ ساله) و محاسبه‌ی پارامترهای لرزه‌خیزی از روش Kijko و با استفاده از درخت منطقی شکل ۵ با همان ضرایب وزنی، نتایج به‌صورت جدول ۵ محاسبه شده‌اند.

براساس تحلیل خطر صورت‌گرفته و نتایج به‌دست‌آمده و نیز وجود گسل اهواز در نزدیکی این شهر، اهواز و مناطق مجاور آن را باید جزء مناطق با خطر نسبی خیلی زیاد ( $A = 0,35g$ ) در نظر گرفت، در صورتی که در آیین‌نامه‌ی زلزله‌ی ایران این شهر جزء مناطق با خطر نسبی متوسط ( $A = 0,25g$ ) در نظر گرفته شده است. در ادامه، به دلیل مبنای بودن و تطبیق روش پیشنهادی با آیین‌نامه‌ی زلزله‌ی ایران، شهر اهواز را جزء شهرهای با خطر نسبی کم و شتاب مبنای طرح  $A = 0,25g$  در نظر گرفته‌ایم.



شکل ۶. افزایش ضریب زلزله در خاک نوع ۱.



شکل ۷. افزایش ضریب زلزله در خاک نوع ۲.

اهواز، که در فاصله‌ی چند کیلومتری از این شهر و پالایشگاه مذکور قرار دارد، می‌توان به اهمیت موضوع و خسارات احتمالی وارده در اثر بروز چنین حادثه‌ی بی‌بردی قابل ذکر است که بیشتر تأسیسات واقع در پالایشگاه، دوره‌های تناوب کوتاه دارند؛ در نتیجه به جهت ایمن نگاه داشته‌شدن این مناطق حساس، باید عملیات بهسازی قبل از بروز هر حادثه‌ی بی‌درنگ با در نظر گرفتن اثر گسل‌های نزدیک صورت پذیرد.

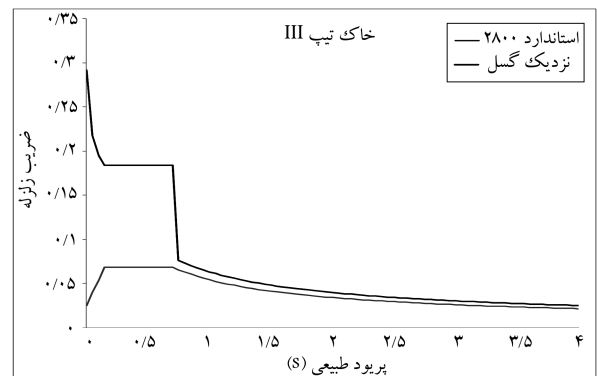
## ۶. نتیجه‌گیری

برای حوزه‌های نزدیک، براساس تحلیل خطر لرزه‌ی با دوره‌ی بازگشت ۲۴۷۵ ساله و رابطه‌ی کاهندگی مطابق با پیشینه‌ی بزرگای بالقوه‌ی گسل، پارامترهای پاسخ شتاب طیفی مورد نیاز را می‌توان برای حوزه‌ی نزدیک بر حسب سطح خطر MCE مشخص کرد. سپس با کاهش هر کدام از آنها به سطح طراحی، طیف پاسخ طراحی حوزه‌ی نزدیک برای مقابله‌ی سازه‌های طرح شده در برابر حرکت‌های نزدیک زمین به دست می‌آید. با توجه به جزئیات محاسبات ارائه شده در بخش‌های قبلی ملاحظه می‌شود که به‌عنوان نمونه در مورد سایت حوزه‌ی نفتی شهر اهواز از دیدگاه روش طراحی براساس ظرفیت، نیاز لرزه‌ی سازه در محدوده‌ی دوره‌های تناوب کوتاه و متوسط در حدود ۲/۷ برابر مقادیر پیشنهادی در آئین‌نامه‌ی طرح لرزه‌ی است. براساس این نتایج می‌توان گفت که سازه‌های طرح شده توسط آئین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ در زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک مشکل مقاومتی دارند و به همین دلیل است که در این نوع زلزله‌ها، بیشتر سازه‌ها مخصوصاً سازه‌های با دوره‌های تناوب کوتاه دچار خرابی‌های گسترده می‌شوند.

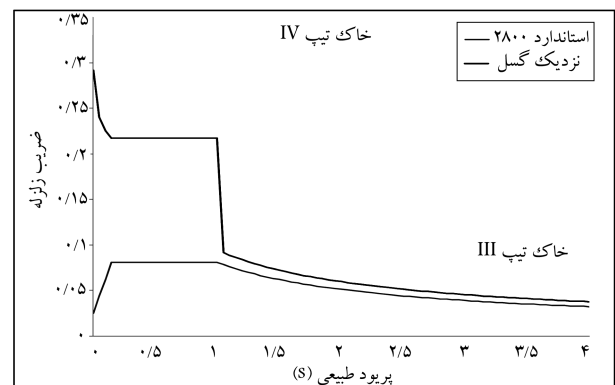
بر طبق نتایج به دست آمده‌ی اخیر و نیز تجربیات و مشاهدات صورت گرفته در زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک مانند زلزله‌ی بم، اهمیت مسئله‌ی افزایش نیروی جانبی برای محدوده‌های دوره‌ی تناوب کم مشخص می‌شود. همان‌طور که گفته شد، بر طبق بازدهی‌های صورت گرفته و گزارش‌های مکتوب برای زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک، خرابی‌های گسترده در سازه‌های کوتاه و صلب باعث به وجود آمدن بیشتر تلفات و خسارات وارده بوده است. لذا، اهمیت توجه به این موضوع در آئین‌نامه‌ی زلزله‌ی ایران و همچنین دیگر آئین‌نامه‌ها و ضوابط طراحی در کشورها و مناطق لرزه‌خیز دنیا بیش از پیش احساس می‌شود.

## منابع (References)

- Hall, J.F., Heaton, T.H., Halling, M.W. and Wald, D.J. "Near-source ground motion and its effects on flexible buildings", *Earthquake Spectra*, **11**(4), pp. 569-605 (1995).
- Somerville, P.G., Smith, N.E., Graves, R.W. and Abrahamson, N.A. "Accounting for near-fault rupture directivity effects in the development of design ground motion", *Pressure Vessels and Piping Division, ASME*, **319**, pp. 67-82 (1995).
- Iwan, W.D. "Drift spectrum: Measure of demand for earthquake ground motions", *Journal of Structural Engineering*, **123**(4), pp. 397-404 (1997).
- ICBO, *Uniform Building Code*, Whittier, C.A. (1997).
- Chai, J.F., Loh, C.H. and Chen, C.Y. "Consideration of the near fault effect on seismic design code for sites near the Chelungpu fault", *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, **23**(4), pp. 447-454 (2000).
- Vetr, M.G.H., Tabarok, M. and Riahi Nouri, A. "Development of Iranian seismic design provisions for estimating near-fault earthquakes effects", *6th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*, SD10714, Tehran, Iran (2011).
- Iranian Seismic Code*, Standard No. 2800; BHRC, 3rd edition (2005).
- FEMA, *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Building: Part1-Provisions, Part2-*



شکل ۸. افزایش ضریب زلزله در خاک نوع ۳.



شکل ۹. افزایش ضریب زلزله در خاک نوع ۴.

شد، براساس بازدهی‌های صورت گرفته و گزارش‌های موجود برای زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک، خرابی‌های گسترده در سازه‌های کوتاه و صلب باعث به وجود آمدن بیشتر تلفات و خسارات وارده بوده است. لذا اهمیت توجه به این موضوع در آئین‌نامه‌ی زلزله‌ی ایران و همچنین دیگر آئین‌نامه‌ها و ضوابط طراحی در کشورها و مناطق لرزه‌خیز دنیا بیش از پیش احساس می‌شود.

با مشاهده و دقت در نمودارهای حاصل برای حوزه‌ی نفتی اهواز در اثر گسل

- Commantry, Washington DC:BSSC (1997).
9. Nowroozi, A. "Empirical relation between magnitude and fault parameters for earthquakes in Iran", *Bulletin of the Siesmological Society of America*, **75**(5), pp. 1327-1338 (1985).
  10. Chai, J.F., Liao, W.I., Teng, T.J. and Loh, C.H. "Current development of seismic design code to consider the near-fault effect in Taiwan", National Center for Research on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan, R.O.C. (2007).
  11. Ghodrati Amiri, G., Razavian Amrei, S.A. and Pashanjati, S.R. "Seismic hazard assessment of Imam Reza (peace be upon him)'s holy shrine region", *Journal of Science & Technology, Transaction on: Civil Engineering*, Sharif University of Technology, **51**(1), pp. 33-39 (2007) (in Persian).
  12. Ghodrati Amiri, G., Mahdavian, A. and Manouchehri Dana, F. "Attenuation relationships for Iran", *Journal of Earthquake Engineering*, **11**(4), pp. 469-492 (2007).
  13. Ambraseys, N.N. and Bommer, J.J. "The attenuation of ground accelerations in Europe", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **20**(12), pp. 1179-1202 (1991).
  14. Sarma, S.K. and Srbulov, M. "A simplified method for prediction of kinematic soil-foundation inetraction effects on peak horizontal acceleration of a rigid foundation", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **25**(8), pp. 815-836 (1996).
  15. Zare, M. and et al., *Earthquake Hazard Analysis of the Ahwaz oil Field*, Prepared for Statoil contract No:4500343253, IIEES (2004).
  16. Wells, D.L. and Coppersmith, K.J. "New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, area, and surface displacement", *Bulletin of the Seismological Society of America*, **84**(4), pp.974-1002 (1994).
  17. Zare, M. "Contribution a l'etude des mouvements forts en Iran", du Catalogue aux lois d'attenuation, These de l'universite Joseph Fourier, Grenoble, France (1999).