

مطالعه‌ی اثرات ساختگاه در آبرفت‌های مجاور

بندر ماهشهر

سیده‌محمدالدین میرحسینی (دانشیار)

مژده اسدالهی‌بژوه (کارشناسی ارشد)

دانشکده‌ی هندی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

اثرات محلی ساختگاه نقش بسیار مهمی در تشدید یا تضعیف مشخصات حرکات لرزه‌ی و حرکات مبنای طرح زمین دارند. هدف این نوشتار بررسی پاسخ محلی زمین در منطقه‌ی آبرفتی بندر ماهشهر است. در تحلیل دینامیکی آبرفت، ویژگی‌های لایه‌های خاک از طریق آزمایش‌های ژئوتکنیکی در محل ۱۰ گمانه تعیین شد و ۱۵ شتاب‌نگاشت از زمین‌لرزه‌های دنیا براساس ویژگی‌های لرزه‌خیزی سنگ بستر منطقه انتخاب شده‌اند. با توجه به توپوگرافی و شرایط خاک محلی از تحلیل یک‌بعدی خطی معادل استفاده شد که نتایج آن به صورت نقشه‌های ریزپهنه‌بندی و طیف طرح ویژه‌ی ساختگاه ارائه شده است. نتایج تحلیل بیان‌گر تشدید قابل ملاحظه‌ی زلزله‌های ضعیف تا متوسط، و تضعیف امواج در زلزله‌های شدید به دلیل رفتار غیرخطی آبرفت هستند.

واژگان کلیدی: تشدید امواج زلزله، آبرفت، بندر ماهشهر، تحلیل خطی معادل، رفتار غیرخطی، ریزپهنه‌بندی.

mirh53@yahoo.com
mojde.asadolahi@gmail.com

۱. مقدمه

آبرفتی بندر ماهشهر (پردیس دانشگاه امیرکبیر) با استفاده از نظریه‌ی تحلیل یک‌بعدی خطی معادل مورد بررسی قرار گرفته است.

ارزیابی اثرات محلی ساختگاه همواره یکی از مهم‌ترین مباحث مطرح شده در ژئوتکنیک لرزه‌ی بوده است. مک‌ماردو در سال ۱۸۲۴ در گزارشی از زلزله‌ی کوچ هندوستان (۱۸۱۹) اشاره کرده است که سازه‌های واقع شده بر روی سنگ، به اندازه‌ی سازه‌هایی که پی آن‌ها بر روی لایه‌های انتهایی خاک قرار داشتند تحت تأثیر زلزله قرار نگرفتند.^[۱] در سال ۱۹۹۶ نیز با بررسی پاسخ زمین طی زلزله‌ی نورتریج (۱۹۹۴) در محدوده‌ی لس‌آنجلس و مقایسه‌ی آن با نتایج تحلیل‌های خطی معادل و غیرخطی، بر اهمیت لایه‌های آبرفتی عمیق و سخت منطقه در تشدید حرکات زمین تأکید شده است.^[۲]

۲. مروری بر رفتار لرزه‌ی محیط‌های آبرفتی

امواج زلزله غالباً با عبور از لایه‌های آبرفتی تقویت می‌شوند و بیشینه شتاب آنها بر روی سطح زمین بیشتر از بیشینه شتاب‌شان بر روی بستر سنگی خواهد بود. میزان تقویت توسط آبرفت با بیشینه شتاب سنگ بستر و در نتیجه فاصله از مرکز زمین لرزه رابطه‌ی نزدیکی دارد. در صورتی که فاصله‌ی رومرکزی (تصورافقی) فاصله منبع زلزله (گسل) تا ساختگاه مورد مطالعه (کم، یا بیشینه شتاب سنگ بستر زیاد باشد، رفتار آبرفت غیرخطی شده و در نتیجه میانگین تقویت کاهش می‌یابد. در آبرفت همگن و یکنواختی که رفتار خاک آن غیرخطی و هیستریک است، چنانچه دامنه‌ی نوسانات حرکت اولیه‌ی سنگ بستر کوچک باشد رفتار خاک در حد ارتجاعی باقی خواهد ماند، و تابع بزرگ‌نمایی همچون محیط‌های ارتجاعی و همگن به پرئود طبیعی خود وابسته خواهد بود. با افزایش دامنه‌ی حرکت سنگ بستر کرنش‌های خاک افزایش یافته و باعث می‌شود که خاک رفتاری غیرخطی و هیستریک در پیش گیرد. با افزایش کرنش برشی (بیش از 10^{-5} تا 10^{-4})، مدول برشی که عامل کنترل رفتار خاک است کاهش می‌یابد و باعث افزایش پرئود طبیعی خاک می‌شود. از طرف دیگر، به دلیل خاصیت هیستریک خاک نسبت میرایی افزایش خواهد یافت. تجربه

شرایط محلی ساختگاه بر کلیه‌ی خصوصیات مهم حرکت نیرومند زمین -- شامل دامنه، محتوای فرکانس و مدت -- تأثیر قابل ملاحظه‌ی می‌گذارند. میزان تأثیر وارده تابع هندسه‌ی خواص مصالح لایه‌های زیرسطحی، توپوگرافی ساختگاه و خصوصیات حرکت ورودی است. براساس شواهد موجود از زلزله‌های گذشته، در بعضی مناطق ضریب تشدید ساختگاه تا ۵ نیز رسیده است در حالی که در آیین‌نامه‌ی UBC ضریب ساختگاه (S) تنها بین ۱ تا ۲ و در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران بین ۰٫۶ تا ۲٫۵ در نظر گرفته شده است. این امر اهمیت بررسی پارامترهای واقعی ساختگاه را روشن می‌کند.

در این نوشتار پس از مروری بر ویژگی‌های دینامیکی خاک‌ها (به‌طور خاص خاک‌های چسبنده) و نظریه‌ی تحلیل خطی معادل، پاسخ محلی زمین در منطقه‌ی

که در آن E و F دامنه‌های موج وابسته به شرایط مرزی هستند که به ترتیب در جهت بالا و پایین حرکت می‌کنند، $K^* = \omega/v_s^*$ عدد موج مختلط است و v_s^* سرعت موج برشی مختلط و برابر است با:

$$v_s^* = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}} = \sqrt{\frac{G(1+i2\xi)}{\rho}} \approx \sqrt{\frac{G}{\rho}}(1+i\xi) = v_s(1+i\xi) \quad (5)$$

حال یک سیستم خاک لایه بندی شده مطابق شکل ۱ شامل N لایه‌ی افقی را در نظر بگیرید که N امین لایه‌ی سنگ بستر است. رابطه‌ی جابه‌جایی در هر زمان و مکان مطابق رابطه‌ی ۴ و تنش برشی از رابطه‌ی ۶ به دست می‌آید.

$$\tau(z, t) = G^* \frac{\partial u}{\partial z} = (G + i\omega\eta) \frac{\partial u}{\partial z} = G(1 + 2i\xi) \frac{\partial u}{\partial z} \quad (6)$$

از طرفی جابه‌جایی و تنش برشی در مرز لایه‌ها باید سازگار باشند. پس از اعمال شرط سازگاری و انجام عملیات ساده‌سازی ریاضی، معادلات برگشتی ۷ و ۸ حاصل می‌شود:

$$E_{m+1} = \frac{1}{4} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{iK_m^* h_m} + \frac{1}{4} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-iK_m^* h_m} \quad (7)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{4} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{iK_m^* h_m} + \frac{1}{4} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-iK_m^* h_m} \quad (8)$$

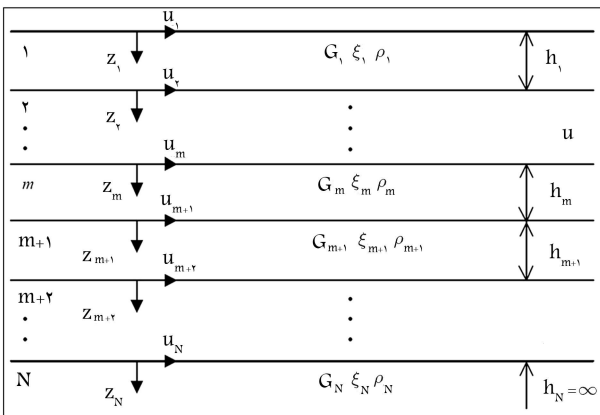
که در آن α_m^* ضریب امپدانس مختلط در مرز میان لایه‌های m و $m+1$ و برابر است با:

$$\alpha_m^* = \frac{K_m^* G_m^*}{K_{m+1}^* G_{m+1}^*} = \frac{\rho_m (v_s^*)_m}{\rho_{m+1} (v_s^*)_{m+1}} \quad (9)$$

الگوریتم برگشتی از سطح زمین آغاز می‌شود که تنش برشی در آن صفر است ($E \setminus = F \setminus$) و روابط برگشتی برای لایه‌های ۲ تا m به‌کار می‌رود. تابع تبدیل A_{mn} که جابه‌جایی، سرعت و شتاب در سطح لایه‌های m و n را به هم مرتبط می‌سازد برابر است با:

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (10)$$

در روش خطی معادل رفتار غیرخطی خاک با استفاده از روش تکرار مراحل، سعی و خطا و حل معادلات خطی و با در نظر گرفتن خواص خطی معادل خاک به‌طور تقریبی برآورد می‌شود. مدول برشی معادل (G) عموماً به‌صورت مدول برشی سکانت، و ضریب میرایی خطی (ξ) به‌صورت مدول برشی تانژانت -- ایجاد کننده‌ی



شکل ۱. مشخصات توده‌ی خاک لایه‌ی بر بستر سنگی کشسان.

نشان داده است که معمولاً افزایش نسبت میرایی نسبت به کاهش مدول برشی اثر غالب داشته و نهایتاً دامنه‌ی حرکت امواج زلزله بر اثر غیرخطی شدن محیط کاهش می‌یابد.

در یکی از تحقیقات اخیر برای بررسی رفتار لرزه‌ی محیط‌های آبرفتی در حوزه‌ی نزدیک و به‌عبارت دقیق‌تر تأثیر فاصله‌ی رو مرکزی بر سازوکار تقویت امواج توسط آبرفت، مجموعه‌ی از اطلاعات ثبت‌شده از زلزله‌های گذشته فراهم آمده است. این اطلاعات شامل ۵۵۴ نگاشت از ۷۹ زمین‌لرزه‌ی است که در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۳۳ تا ۱۹۸۹ در سرتاسر دنیا به‌فاصله‌ی ۵۰ کیلومتری از مرکز رخ داده‌اند. براساس نتایج به‌دست آمده نواحی اطراف گسل را می‌توان به سه منطقه‌ی متفاوت تقسیم کرد:

۱. منطقه‌ی محدود به شعاع ۵ تا ۸ کیلومتر از گسل مسبب زلزله، که بر اثر وقوع زمین‌لرزه‌های شدید رفتار خاک در آن غیرخطی خواهد شد، و در نتیجه بیشینه شتاب بر روی سطح زمین کم‌تر از مقدار آن بر روی بستر سنگی خواهد بود؛
۲. محدوده‌ی فراتر از شعاع ۵ تا ۸ کیلومتری از مرکز زمین لرزه، که بر اثر زمین‌لرزه‌های شدید خاک آن هنوز در مرحله‌ی رفتار غیرخطی قرار دارد اما به‌عنوان تقویت‌کننده‌ی شتاب بستر سنگی عمل می‌کند؛
۳. پس از گذر از ناحیه‌ی دوم، به تدریج و به آرامی وارد محدوده‌ی رفتار خطی خاک می‌شویم. در این محدوده آبرفت به‌عنوان تقویت‌کننده‌ی شتاب بستر سنگی عمل می‌کند. [۷]

محققین مختلفی از جمله چین، آکای، برسنو، و کالتر شواهد تجربی غیرخطی بودن رفتار آبرفت‌ها را مورد بررسی قرار داده و میزان تأثیر لرزه‌های قوی زمین بر آن را تخمین زده‌اند. براساس مطالعات انجام شده توسط این محققین، غیرخطی بودن رفتار خاک موجب کاهش دامنه‌ی حرکت لرزه‌ی سطح زمین در حوزه‌ی زمان و کاهش بیشترین تشدید در حوزه‌ی فرکانس و تغییر فرکانس غالب می‌شود. [۷-۵]

۳. مروری بر نظریه‌ی انتشار یک‌بعدی امواج و تحلیل خطی معادل

با فرض مدل رفتاری Kelvin - Voigt برای خاک رابطه‌ی تنش- کرنش به‌صورت رابطه‌ی ۱ خواهد بود:

$$\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma}{\partial t} \quad (1)$$

که در آن τ تنش برشی، γ کرنش برشی و η گرانروی است. برای تحلیل پاسخ زمین به انتشار قائم موج برشی هارمونیک از این سیستم یک‌بعدی، معادله‌ی حرکت موج قائم مطابق رابطه‌ی ۲ مفروض است:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \tau}{\partial z} \quad (2)$$

که در آن ρ جرم حجمی خاک در هر لایه است. بافرض مدل رفتاری Kelvin-Voigt برای خاک و جایگزینی رابطه‌ی ۱، و نیز با در نظر گرفتن $\gamma = \frac{\partial u}{\partial z}$ معادله‌ی موج به‌صورت رابطه‌ی ۳ درمی‌آید. پاسخ معادله‌ی فوق برای بارگذاری هارمونیک نیز از رابطه‌ی ۴ تعیین می‌شود.

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^2 u}{\partial z \partial t} \quad (3)$$

$$u(z, t) = E e^{i(\omega t + K^* z)} + F e^{i(\omega t - K^* z)} \quad (4)$$

۴. بررسی پاسخ محلی زمین در محدوده بندر ماهشهر

منطقه‌ی مورد مطالعه، محل احداث دانشگاه امیرکبیر پردیس ماهشهر، در نزدیکی شهرک بعثت در ۳۰ کیلومتری بندرماهشهر واقع شده است. شهرک بعثت یکی از شهرک‌های بزرگ ماهشهر به‌شمار می‌رود. از یک طرف منطقه‌ی ویژه‌ی اقتصادی پتروشیمی و از طرف دیگر اداری بنادر و کشتیرانی جایگاه ویژه‌ی به این شهر داده است.

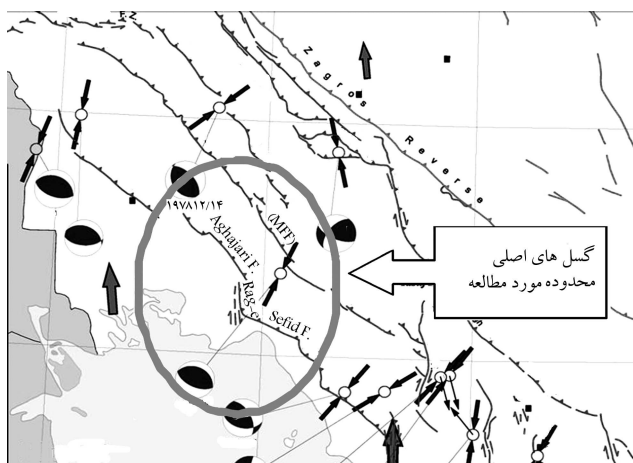
۱.۴. لرزه‌خیزی و لرزه‌ی زمین‌ساخت گسترده‌ی طرح

لرزه‌خیزی و فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در منطقه‌ی زاگرس نتیجه‌ی حرکت عمومی رو به شمال در صفحه‌ی عربستان با یک آهنگ نسبتاً سریع است. از نگاه ژئومورفولوژی سه چهره‌ی مورفولوژیک در استان خوزستان حاکم است: ۱. واحدهای کوه‌ساز در شمال خاور استان؛ ۲. واحدهای تپه ماهوری که نواحی واقع پیرامون دزفول، رامهرمز، و اهواز را زیر پوشش دارند؛ ۳. دشت‌های آبرفتی و پهنه‌های سیلابی که زمین‌های واقع در جنوب اهواز تا سواحل خلیج فارس را تشکیل می‌دهند.

منطقه‌ی خوزستان از نواحی لرزه‌خیز ایران است و رویداد زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی متعددی را در بهبهان، مسجد سلیمان، اهواز، دزفول و... شاهد بوده است. این پیشینه‌ی لرزه‌خیزی در گستره استان، لزوم بررسی و دقت هرچه بیشتر بررسی‌های لرزه‌ی زمین‌ساختی در محدوده‌ی مذکور را بیشتر می‌کند. در زاگرس عموماً تغییر شکل‌های فعال در طول گسل‌های معکوس و امتداد لرزش روی می‌دهد. شکل ۴ نقشه‌ی گسل‌های اصلی فعال گستره‌ی استان خوزستان را ارائه کرده است.

تکرر وقوع زلزله در سطح استان خوزستان و وجود گسل‌های فعال متعدد در استان نشان می‌دهد که ناآرامی در بستر سکونت انسان در خوزستان واقعی است و زندگی در این شرایط نیازمند تمهیدات خاصی است. میزان این ناآرامی در همه‌جای استان یکسان نیست و انجام برآورد نسبی وقوع زلزله به‌عنوان مهم‌ترین و مخرب‌ترین نوع ناآرامی زمین از طریق پهنه‌بندی خطر نسبی وقوع زلزله ضروری به نظر می‌رسد. شکل ۵ لرزه‌خیزی منطقه در سال‌های گذشته را نشان می‌دهند.

عموم زلزله‌های زاگرس چین‌خورده، بزرگایی کم‌تر از ۷ ریشتر دارند و به‌ندرت بزرگی آن‌ها از این حد بالاتر می‌رود. زمین‌لرزه‌های زاگرس کم‌عمق‌اند. هرچند که زرفای برخی زلزله‌ها تا حدود ۶۰ کیلومتر است ولی بیشتر آن‌ها در اعماق حدوداً ۳۰



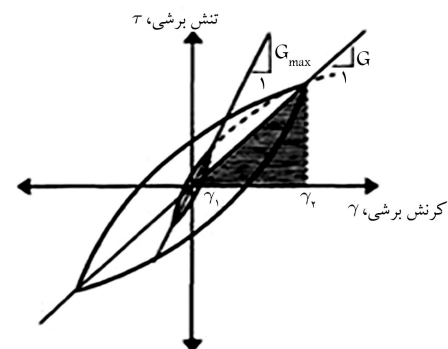
شکل ۴. مهم‌ترین گسل‌های منطقه.

ضریب میرایی که به اتلاف انرژی همسان با منحنی هیستریزس متعلق به یک دوره‌ی واقعی می‌انجامد -- در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۲ نمودار شماتیک حلقه‌ی هیستریزس یک نمونه‌ی خاک ارائه شده است.^[۸]

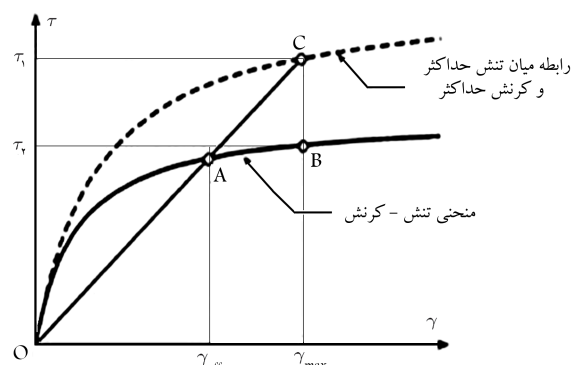
در مدل‌های خطی معادل فرض بر این است که هم مدول برشی و هم نسبت استهلاک، توابعی مستقیم از مقادیر کرنش برشی‌اند. بر همین اساس، در نرم‌افزار EERA^۱ (تحلیل واکنش موضعی زمین‌لرزه به‌روش خطی معادل) مقادیر مدول برشی و نسبت استهلاک با به‌کارگیری روش‌های تکرار عملیات به‌گونه‌ی برآورد می‌شوند که با مقادیر کرنش برشی تولیدشده در هر لایه هم‌خوانی داشته باشند.

محققین در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۲، دو ضعف عمده‌ی روش‌های خطی معادل را بیش تخمین زدن مقدار شتاب بیشینه در حرکات قوی زمین و کم تخمین زدن تابع تشدید در فرکانس‌های بالا ذکر کرده‌اند.^[۹] شکل ۳ نشان‌دهنده‌ی سازوکاری است که طی آن تنش برشی در روش خطی معادل بیش تخمین زده می‌شود. خط پر O-A-B نشان‌دهنده‌ی منحنی تنش-کرنش خاک است. فرض می‌شود که مقدار کرنش بیشینه (γ_{max}) به دست آمده باشد. بنا بر این منحنی تنش-کرنش مورد استفاده در تحلیل خطی معادل، خطی است که مبدأ را به نقطه‌ی A -- که متناظر با کرنش مؤثر است -- متصل می‌کند، و کرنش برشی بیشینه برابر خواهد بود با τ_1 که آشکارا بزرگ‌تر از τ_2 است. این بیش تخمینی وقتی که مقدار کرنش‌های برشی کوچک باشد، اثر چندانی بر پاسخ نخواهد داشت.^[۱۰]

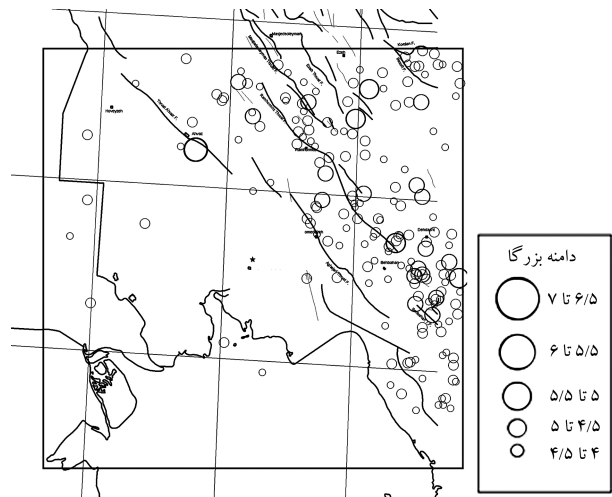
به هر حال در مدل خطی معادل امکان بررسی تولید و توزیع فشار آب حفره‌ی ممکن نیست و مدل خطی معادل نمی‌تواند مستقیماً برای مسائل دارای تغییر شکل دائم یا شکست به‌کار رود.



شکل ۲. مدول برشی تانژانت (G_{max}) و مدول برشی سکانت (G_{sec}).



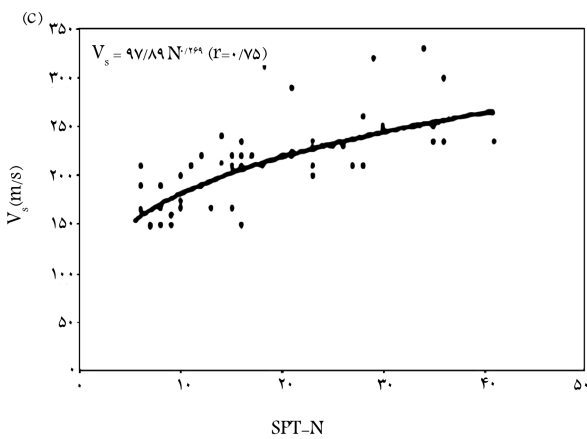
شکل ۳. نمودار شماتیک نشان‌دهنده‌ی بیش تخمینی تنش برشی در روش خطی معادل.



شکل ۵. لرزه‌خیزی منطقه در چند دهه‌ی اخیر. [۱۱]

کم تا متوسط است. در جدول ۱ پروفیل لایه‌بندی خاک نشان داده شده است. [۱۳] به‌منظور تحلیل دینامیکی، لایه‌بی به‌عنوان سنگ بستر لرزه‌ی مهندسی در نظر گرفته شده است که سرعت موج برشی در آن ۷۵۰ متر بر ثانیه یا بیشتر باشد. به‌منظور تعیین تراکم نسبی و به‌دنبال آن، سرعت موج برشی قشرهای زیرسطحی خاک، آزمایش نفوذ استاندارد^۲ در عمق‌های مختلف و در کلبه‌ی گمانه‌ها انجام شد. تعداد ضربات بیان‌گر تراکم نسبی^۳ قشرهای درشت‌دانه و استحکام^۴ قشرهای ریزدانه است.

برای تعیین سرعت موج برشی از نتایج آزمایش‌های نفوذ استاندارد و روابط تجربی موجود سازگار با شرایط منطقه استفاده شده است. در میان معروف‌ترین محققانی که در زمینه‌ی رابطه‌ی بین سرعت موج برشی و عدد نفوذ استاندارد به تحقیق پرداخته‌اند می‌توان از Stokoe, Sykora, Seed, Goto, Ohta, Imai, Lee و Lee نام برد. [۱۴-۱۸] روابط تجربی بی‌شماری بین سرعت موج برشی (Vs) و آزمون نفوذ استاندارد (SPT) در دنیا ارائه شده که تعدادی از آنها در جدول ۲ و اشکال ۶ و ۷ آورده شده است. روابط ارائه‌شده بسته به آب و هوا و نوع خاک در مناطقی مختلف متغیرند؛ از این‌رو باید برای هر منطقه از رابطه‌ی خاص آن منطقه به‌منظور پیش‌بینی سرعت موج برشی استفاده کرد.



شکل ۶. رابطه‌ی تجربی ارائه‌شده برای خاک‌های رسی. [۱۶]

کیلومتری متمرکزند. بیشتر زلزله‌های زاگرس در زیر رسوبات چین‌خورده رخ می‌دهد و زمین‌لرزه‌های مربوط به زیر پوسته‌ی قاره‌ی تقریباً وجود ندارند. [۱۲] بر پایه‌ی پهنه‌بندی خطر نسبی زمین‌لرزه، که توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله تهیه شده، در گستره‌ی استان خوزستان سه پهنه به‌ترتیب با خطر نسبی کم (۰/۲ g)، متوسط (۰/۲۵ g) و زیاد (۰/۳ g) از جنوب غرب به‌سمت شرق و شمال شرق استان قابل شناسایی است. براساس این نقشه محدودی مورد مطالعه در پهنه با خطر نسبی متوسط قرار دارد و شتاب افقی مبنای طراحی آن ۰/۲۵ g توصیه شده است.

۲.۴. تحقیقات صحرایی انجام شده در منطقه‌ی ماهشهر

برای شناخت هرچه دقیق‌تر خاک و بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی لایه‌های آن، ۱۰ گمانه در محدوده‌ی طرح حفر شد. مطابق گزارش مطالعات ژئوتکنیکی پروژه‌ی پردیس ماهشهر لایه‌بندی خاک محدوده‌ی طرح، اغلب رس لای‌دار با چسبندگی

جدول ۱. پروفیل لایه‌بندی خاک در محل گمانه‌ی BH ۱.

عمق (m)	نمادها	سیستم طبقه‌بندی یکنواخت	مشخصات لایه‌ها	وزن مخصوص (gr/cm ^۳)	دانه خمیری	آزمون نفوذ استاندارد
۳		CL	رس ضعیف به‌همراه ماسه نیمه سخت	۱٫۸۶	۹	۵
۶٫۴		CL-ML	رس لای‌دار نرم	۱٫۸۶	۶	۵
۷٫۵		ML	رس به‌همراه ماسه	۱٫۸۶	NPI	۳
۱۰		CL	رس ضعیف به‌همراه ماسه نرم تا نیمه سخت	۱٫۸۱	۱۸	۳
۱۲		CL	رس ضعیف به‌همراه ماسه نرم تا نیمه سخت	۱٫۸۹	۲۲	۶
۱۷		CL	رس ماسه‌یی سخت	۱٫۹	۱۳	۹
۲۰		CL	رس ماسه‌یی سخت	۱٫۹	۱۲	۱۵

جدول ۲. بعضی از روابط موجود بین Vs و SPT-N.

ردیف	نوع خاک	Vs (m/s)	نویسنده(ها)
۱	تمام خاک‌ها	$V_s = 84N^{0.21}$	Ohba & Toriumi (۱۹۷۰)
۲	تمام خاک‌ها	$V_s = 0.97N^{0.212}$	Imai & Tonouchi (۱۹۸۲)
۳	تمام خاک‌ها	$V_s = 116.1(N + 0.3185)^{0.202}$	Jinan (۱۹۸۷)
۴	تمام خاک‌ها	$V_s = 32.8N^{0.51}$	Sisman (۱۹۹۵)
۵	تمام خاک‌ها	$V_s = 51.5N^{0.516}$	Iyisan (۱۹۹۶)
۶	تمام خاک‌ها	$V_s = 22N^{0.85}$	Jafari et al. (۱۹۹۷)
۷	تمام خاک‌ها	$V_s = 161N^{0.277}$	JICA (۲۰۰۰)
۸	تمام خاک‌ها	$V_s = 68.3N^{0.292}$	Kiku et al. (۲۰۰۱)
۹	خاک‌های رسی	$V_s = 115N^{0.29}$	Hafezi (۱۳۸۲)
۱۰	خاک‌های سیلتی	$V_s = 88N^{0.46}$	
۱۱	ماسه سیلت و رس‌دار	$V_s = 78N^{0.48}$	
۱۲	نهشته‌های ماسه‌ی شن‌دار	$V_s = 91N^{0.47}$	
۱۳	نهشته‌های ریزدانه	$V_s = 106N^{0.41}$	
۱۴	نهشته‌های درشت‌دانه	$V_s = 75N^{0.5}$	
۱۵	تمام خاک‌ها	$V_s = 90N^{0.308}$	Hasancebi & Ulusay (۲۰۰۶)
۱۶	خاک‌های ماسه‌یی	$V_s = 90.82N^{0.319}$	
۱۷	خاک‌های رسی	$V_s = 97.89N^{0.269}$	

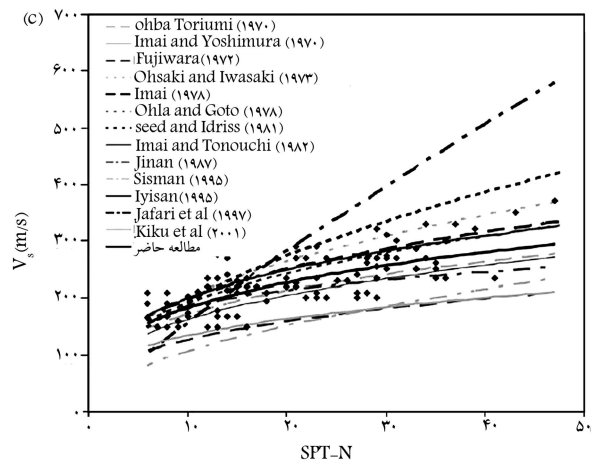
بسیار گرم و زمستان‌های بسیار سرد و مرطوب تبعیت می‌کند. این بندر در ناحیه‌یی مسطح و عمدتاً با رسوبات آبرفتی واقع شده است. به سمت شمال و جنوب، تراز زمین به تدریج افزایش می‌یابد اما کلاً شیب متوسط محل عموداً از ۵ درجه کم‌تر است. شرجی بودن و رطوبت هوا از جمله عوامل مؤثر بر SPT و رابطه‌ی آن با سرعت موج برشی است که در هر دو منطقه به دلیل نزدیکی به دریا رطوبت هوا بالاست. از سوی دیگر نتایج تحقیقات صحرایی و حفرگمانه‌ها حاکی از وجود رسوبات آبرفتی در منطقه‌ی مورد مطالعه، بندر ماهشهر، است. از نگاه زمین ریخت‌شناسی نیز سه چهره مورفولوژیک، در استان خوزستان حاکم است. اول واحدهای کوهساز که در شمال خاور استان قرار دارند. دوم واحدهای تپه ماهوری که نواحی واقع پیرامون دزفول، رامهرمز، و اهواز را زیر پوشش دارند. سوم دشت‌های آبرفتی و پهنه‌های سیلابی که زمین‌های واقع در جنوب اهواز تا سواحل خلیج فارس را تشکیل و نوعی زمین ریخت‌های نهشتی هستند. دشت خوزستان از دلتای رودخانه‌های کارون، دز و کرخه تشکیل یافته و مرکب است از:

۱. رسوب‌های آبرفتی، که بافت آن در نزدیکی کوه‌ها درشت‌تر و به سمت دشت خیلی ریزترند.
۲. نهشته‌های سنگین رسی، که رودخانه‌های کرخه و کارون در سمت جنوب غربی اهواز به جای گذاشته‌اند.

عقب‌نشینی دریا در قسمت‌های جنوب در اواخر دوران سوم موجب پیدایش تپه‌های اهواز شده است. در اطراف این تپه‌ها رسوبات دریائی انباشته و سخت شده است. در دوران چهارم رسوبات رودخانه‌های عظیمی که شریان‌های اصلی

یکی از تحقیقات انجام شده در این زمینه در غرب ترکیه (شهر ساحلی Yenisehir) در سال ۲۰۰۶ صورت گرفته که از نظر شرایط آب و هوایی، اقلیمی و زمین‌شناسی تا حد زیادی با منطقه‌ی مورد مطالعه شباهت دارد. مقایسه‌ی نتایج حاصل از این تحقیقات با روابط ارائه شده در ایران و سایر نقاط دنیا هم‌خوانی خوبی نشان می‌دهد. لذا با دقت قابل قبولی از روابط تجربی حاصل در این منطقه برای ساختگاه مورد مطالعه می‌توان استفاده کرد. [۱۶]

بندر Yenisehir از شرایط آب و هوایی منطقه‌ی مدیترانه‌یی با تابستان‌های



شکل ۷. مقایسه‌ی روابط تحقیق حاضر با سایر روابط. [۱۶]

از ۴۰ کیلومتر، عمق کانونی کم‌تر از ۲۰ کیلومتر، پرپود غالب بین ۰/۲ تا ۰/۳۵ ثانیه، سازوکار گسلش معکوس و امتداد لغز ثبت شده روی سنگ یا خاک بسیار سخت استفاده شده است.^[۳] مشخصات شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده در جدول ۳ آمده است. برای تحلیل دینامیکی آبرفت از روش تحلیل خطی معادل در برنامه‌ی EERA استفاده شده است. لازم به ذکر است که از مطالعات انجام شده در زمینه‌ی تأثیر آب زیرزمینی بر تشدید محلی چنین برمی‌آید که سطح آب زیرزمینی بر انتشار امواج SH و SV بی‌تأثیر بوده و صرفاً بر امواج P مؤثر است. با توجه به این که در مسائل مهندسی زلزله و طراحی سازه‌ها عموماً انتشار امواج برشی و مؤلفه‌ی افقی حرکت سطح زمین مورد توجه است، در پروژه‌ی حاضر سطح آب زیرزمینی در تحلیل دینامیکی آبرفت‌ها لحاظ نشده است.^[۲۴]

۶ سطح شتاب (۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۲۳۵، ۰/۲۵، ۰/۳، ۰/۳۵ در واحد g) برای لرزش سنگ بستر فرض شده، که در هر سطح کلیه‌ی شتاب‌نگاشت‌ها برای آن سطح شتاب مفروض به مقیاس درآمده‌اند. سپس نسبت به معدل‌گیری خروجی‌های مختلف حاصله اقدام شده است.

۱.۵. ریزپهنه‌بندی براساس شتاب بیشینه‌ی سطح زمین (PGA)

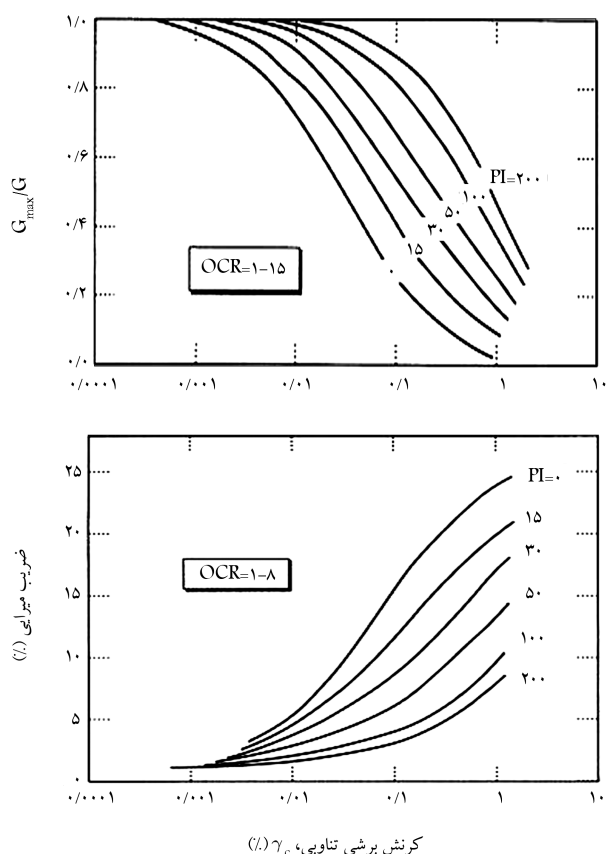
شتاب بیشینه‌ی سطح زمین یکی از پارامترهای اساسی در طراحی لرزه‌ی سازه‌ها به‌شمار می‌رود. در این مطالعه بعد از مقیاس‌کردن کلیه‌ی نگاشت‌ها در هر سطح شتاب (۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۲۳۵، ۰/۲۵، ۰/۳، ۰/۳۵ در واحد g) و تحلیل دینامیکی ۱۰ گمانه نسبت به معدل‌گیری بیشینه شتاب سطح زمین اقدام شده و نتایج حاصله در جدول ۴ ارائه شده است.

چنان که ملاحظه می‌شود، در گمانه‌ها به‌علت سختی کم لایه‌های خاک، در زلزله‌های ضعیف تا متوسط تشدید قابل ملاحظه‌ی (در حدود ۲۰٪ تا ۶۰٪) صورت گرفته است. جالب توجه است که در اغلب گمانه‌ها (گمانه‌های BH۱، BH۳، BH۶، BH۷ و BH۱۰ در قسمت غربی گستره)، افزایش سطح شتاب موجب تضعیف امواج زلزله شده است. این بدان معناست که در سطوح لرزش بالا (g ۰/۳۰، ۰/۳۵) به‌علت سختی کم پروفیل خاک و افزایش شدید میرایی، به‌تدریج خاک وارد محدوده‌ی کرنش‌های خمیری شده و رفتار غیرخطی از خود نشان می‌دهد. نقشه‌های ریزپهنه‌بندی برای دو سطح شتاب سنگ بستر ۰/۲ g و ۰/۳۵ g در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.

۲.۵. ریزپهنه‌بندی براساس بیشینه‌ی دامنه‌ی طیف بزرگ‌نمایی

اگر در هر فرکانس، مقدار طیف فوریه‌ی حرکت سطح زمین به مقادیر متناظر آن در طیف فوریه‌ی حرکت ورودی رخنمون سنگی تقسیم شود، طیف حاصله را «طیف تشدید» یا بزرگ‌نمایی می‌نامند. مزیت استفاده از طیف تشدید آن است که تأثیر مشخصات حرکات ورودی از طیف حذف شده و در هر فرکانس یا پرپود تأثیر مستقیم آبرفت بر حرکت ورودی نمایان می‌شود. در جدول ۵ متوسط بیشینه‌ی دامنه‌ی طیف تشدید برای سطوح مختلف لرزش سنگ بستر، در ۱۰ گمانه‌ی مورد بررسی نشان داده شده است. نقشه‌های ریزپهنه‌بندی برای دو سطح شتاب سنگ بستر ۰/۲ g و ۰/۳۵ g در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که شکل طیف‌های بزرگ‌نمایی به‌علت سختی کم لایه‌ها به‌گونه‌ی است که این مقادیر بیشینه در فرکانس‌های کم (پرپودهای بالا) اتفاق می‌افتد. همان‌طور که در جدول ۵ مشخص است، مقادیر بزرگ‌نمایی در سطوح مختلف لرزش متغیر است و این مؤید رفتار غیر خطی خاک است.



شکل ۸. منحنی‌های نسبت مدول و میرایی وکتیک و دوری (۱۹۸۷) برحسب درصد کرنش، به‌منظور استفاده در تحلیل دینامیکی آبرفت.

این سرزمین محسوب می‌شوند سراسر این تپه‌ها را فرا گرفته و با رسوبات دوران سوم درهم آمیخته‌اند.

۳.۴. منحنی‌های نسبت مدول و میرایی برای تحلیل دینامیکی آبرفت

ژن (۱۹۸۷)، کوکوشو (۱۹۸۲) و همکاران‌شان برای نخستین بار متوجه اثر خمیرسانی بر شکل منحنی نسبت مدول شدند؛ به‌این ترتیب که مدول برشی خاک‌های دارای خمیرسانی بالا با سرعت بسیار آهسته‌تر از خاک‌های با خمیرسانی پایین، با افزایش کرنش کاهش می‌یابد.^[۲۰] مروری بر نتایج آزمایش‌های مربوط به محدوده‌ی وسیعی از مصالح ثابت کرد که شکل منحنی نسبت مدول‌ها به‌میزان بیشتری متأثر از دامنه‌ی خمیری است تا تخلخل.^[۲۲] در شکل ۸ منحنی‌هایی برای نسبت مدول و میرایی ارائه شده است. ضریب میرایی خاک‌های با خمیرسانی بالا نیز کم‌تر از ضریب میرایی با خمیرسانی کم در دامنه‌ی کرنش دوره‌ی یکسان است. در مطالعه‌ی یادشده، برای تخمین منحنی‌های نسبت مدول و میرایی از روابط وکتیک و دبری استفاده شده است.

۵. نتایج تحلیل‌های دینامیکی آبرفت منطقه

برای برآورد لرزش قوی زمین (لرزش ورودی در تحلیل)، از ۱۵ شتاب‌نگاشت ثبت شده طی زلزله‌های مختلف سراسر دنیا استفاده شده است. براساس ویژگی‌های لرزه‌خیزی منطقه، از زمین لرزه‌هایی با بزرگ‌ای گشتاور (Mw) بین ۵ تا ۷، فاصله‌ی رومرکزی کم‌تر

جدول ۳. مشخصات شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده.

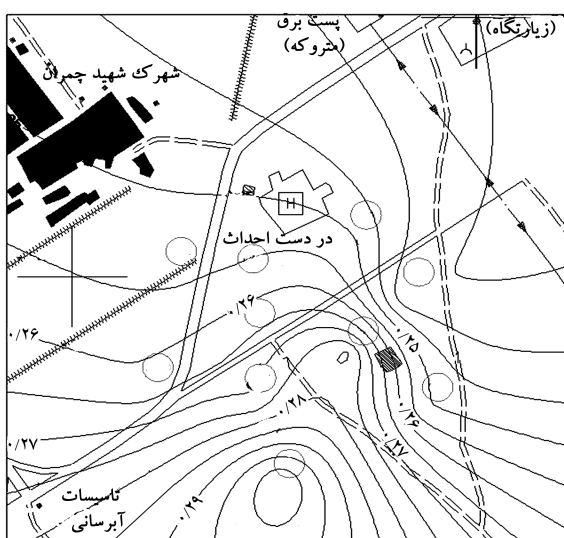
نام و محل زلزله	مولفه	بزرگای گشتاوری Mw	مکانیزم گسلس	فاصله رومرکزی (کیلومتر)	عمق کانونی (کیلومتر)	پریود غالب (ثانیه)	سرعت موج برشی ایستگاه	مقادیر حداکثر رکورد			
								PGA	PGV	PGD	
Tabas, Iran ۱۹۷۸-۰۹-۱۶	DAY-LN	۷	Reverse	۲۰٫۶۳	۵٫۸	۰٫۳۹	۶۵۹٫۶	۰٫۳۵۰۵	۲۸٫۲۴	۹٫۰۳	۱
Manjil, Iran ۱۹۹۰-۰۶-۲۰	ABBAR-L	۷٫۱	Reverse-Oblique	۴۰٫۴۳	۱۹	۰٫۳۴	۷۲۴	۰٫۵۰۵۱	۴۳٫۷۸	۱۸٫۹۶	۲
San Fernando ۱۹۷۱-۰۲-۰۹ ۱۴:۰۰	FTR۰۵۶	۶٫۶۱	Reverse	۲۹٫۴۱	۱۳	۰٫۲۴	۶۸۴٫۹	۰٫۰۸۷۹	۵٫۴۸	۰٫۸۶	۳
San Fernando ۱۹۷۱-۰۲-۰۹ ۱۴:۰۰	L۰۹۰۲۱	۶٫۶۱	Reverse	۲۳٫۱	۱۳		۶۷۰٫۸	۰٫۱۳۹۵	۴٫۵۸	۱٫۱	۴
San Fernando ۱۹۷۱-۰۲-۰۹ ۱۴:۰۰	SAD۰۰۳	۶٫۶۱	Reverse	۴۵٫۸۶	۱۳	۰٫۲۱	۶۸۴٫۹	۰٫۱۶۹۲	۵٫۰۱	۲٫۶۴	۵
Northridge-۰۱ ۱۹۹۴-۰۱-۱۷ ۱۲:۳۱	LA۰۰۹۰	۶٫۶۹	Reverse	۱۴٫۴۱	۱۷٫۵	۰٫۲۶	۷۰۶٫۲	۰٫۳۱۸۶	۳۲٫۲۷	۵٫۰۲	۶
Northridge-۰۱ ۱۹۹۴-۰۱-۱۷ ۱۲:۳۱	MTW۰۰۰	۶٫۶۹	Reverse	۴۵٫۷۷	۱۷٫۵	۰٫۲	۸۲۱٫۷	۰٫۱۶۷۸	۶٫۴۱	۰٫۵۸	۷
Northridge-۰۱ ۱۹۹۴-۰۱-۱۷ ۱۲:۳۱	۵۱۰۸-۰۹۰	۶٫۶۹	Reverse	۲۰	۱۷٫۵	۰٫۲۶	۷۱۵٫۱	۰٫۲۵۳	۱۶٫۰۶	۵٫۹۶	۸
Loma Prieta ۱۹۸۹-۱۰-۱۸ ۰۰:۰۵	GIL۰۶۷	۶٫۹۳	Reverse-Oblique	۲۸٫۹۸	۱۷٫۵	۰٫۳۷	۷۲۹	۰٫۳۳۴۱	۲۶٫۹۴	۵٫۳۳	۹
Loma Prieta ۱۹۸۹-۱۰-۱۸ ۰۰:۰۵	MCH۰۰۰	۶٫۹۳	Reverse-Oblique	۴۹٫۳۹	۱۷٫۵	۰٫۳۵	۶۸۴٫۹	۰٫۰۷	۴٫۵۴	۲٫۰۹	۱۰
Loma Prieta ۱۹۸۹-۱۰-۱۸ ۰۰:۰۵	G۰۶۰۹۰	۶٫۹۳	Reverse-Oblique	۳۵٫۴۷	۱۷٫۵	۰٫۲۵	۶۶۳٫۳	۰٫۱۵۶۸	۱۴٫۳۶	۴٫۰۲	۱۱
Loma Prieta ۱۹۸۹-۱۰-۱۸ ۰۰:۰۵	LOB۰۰۰	۶٫۹۳	Reverse-Oblique	۱۶٫۳۴	۱۷٫۵	۰٫۳۴	۷۱۴	۰٫۴۵۶۸	۱۸٫۶۳	۴٫۴۵	۱۲
San Francisco ۱۹۵۷-۰۳-۲۲ ۱۹:۴۴	GGP۰۱۰	۵٫۲۸	Reverse	۱۱٫۱۳	۸	۰٫۲۶	۸۷۴	۰٫۱۰۷۳	۳٫۷۷	۰٫۴	۱۳
Coalinga-۰۴ ۱۹۸۳-۰۷-۰۹ ۰۷:۴۰	C-CSU۰۰۰	۵٫۱۸	Reverse	۱۴٫۴۷	۹	۰٫۳۵	۶۱۷٫۴	۰٫۰۵۹۳	۱٫۸۸	۰٫۱۹	۱۴
Friuli, Italy-۰۲ ۱۹۷۶-۰۹-۱۵ ۰۳:۱۵	B-SRO۰۰۰	۵٫۹۱	Reverse	۱۷٫۵۳	۳٫۷	۰٫۲	۶۵۹٫۶	۰٫۱۰۴۵	۶٫۴۴	۱٫۴۶	۱۵

جدول ۴. متوسط شتاب بیشینه‌ی سطح زمین (g).

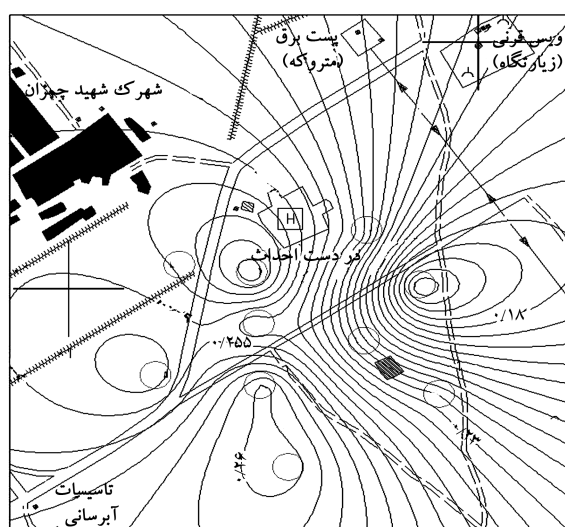
نام گمانه‌ها	amax=۰٫۱۵	amax=۰٫۲	amax=۰٫۲۳۵	amax=۰٫۲۵	amax=۰٫۳	amax=۰٫۳۵
BH۱	۰٫۱۸۰	۰٫۲۱۸	۰٫۲۳۲	۰٫۲۴۲	۰٫۲۱۸	۰٫۱۸۹
BH۲	۰٫۲۱۳	۰٫۲۸۳	۰٫۲۶۳	۰٫۲۸۸	۰٫۳۲۲	۰٫۳۵۱
BH۳	۰٫۱۸۹	۰٫۲۲۵	۰٫۲۴۶	۰٫۲۵۶	۰٫۲۸۰	۰٫۲۹۹
BH۴	۰٫۱۹۷	۰٫۲۴۵	۰٫۲۷۶	۰٫۲۸۷	۰٫۳۱۹	۰٫۳۴۰
BH۵	۰٫۲۱۸	۰٫۲۸۲	۰٫۳۰۶	۰٫۳۳۱	۰٫۳۸۶	۰٫۴۲۱
BH۶	۰٫۱۴۶	۰٫۱۵۴	۰٫۱۴۵	۰٫۱۴۴	۰٫۱۴۶	۰٫۱۴۶
BH۷	۰٫۱۹۰	۰٫۲۳۳	۰٫۲۵۶	۰٫۲۶۴	۰٫۲۸۱	۰٫۲۷۱
BH۸	۰٫۲۰۷	۰٫۲۶۱	۰٫۲۹۴	۰٫۳۰۷	۰٫۳۵۰	۰٫۳۸۷
BH۹	۰٫۲۱۷	۰٫۲۸۰	۰٫۳۷۷	۰٫۳۴۰	۰٫۳۸۵	۰٫۳۹۴
BH۱۰	۰٫۲۰۴	۰٫۲۴۵	۰٫۲۵۴	۰٫۲۵۴	۰٫۲۱۴	۰٫۲۲۱

جدول ۵. میانگین بیشینه دامنه‌ی طیف بزرگ‌نمایی.

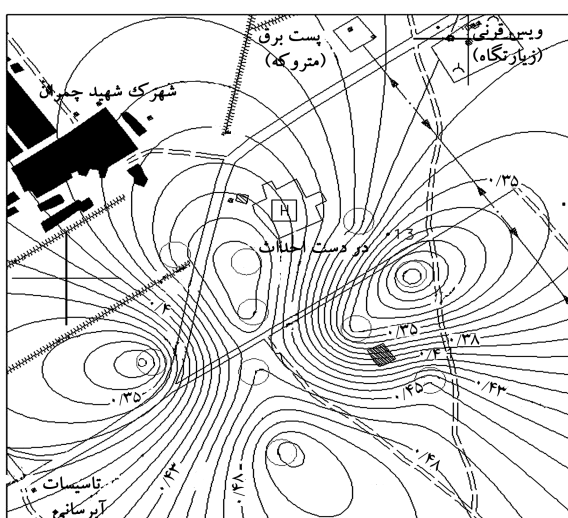
نام گمانه‌ها	amax=۰,۱۵	amax=۰,۲	amax=۰,۲۳۵	amax=۰,۲۵	amax=۰,۳	amax=۰,۳۵
BH۱	۳,۴۴۷	۳,۴۷۲	۳,۵۵۷	۳,۵۶۰	۳,۳۵۷	۳,۱۰۱
BH۲	۳,۸۱۱	۴,۱۳۱	۳,۴۵۹	۳,۶۴۴	۳,۸۰۴	۳,۸۴۴
BH۳	۳,۳۳۵	۳,۳۲۰	۳,۳۰۰	۳,۳۱۶	۳,۳۰۳	۳,۳۴۱
BH۴	۳,۵۱۷	۳,۶۰۰	۳,۶۰۹	۳,۶۰۳	۳,۶۲۳	۳,۶۲۴
BH۵	۳,۴۴۱	۳,۵۳۸	۳,۴۹۴	۳,۵۲۹	۳,۵۵۲	۳,۵۴۹
BH۶	۳,۸۰۶	۳,۵۸۸	۳,۳۵۲	۳,۳۱۶	۳,۱۶۶	۲,۹۸۷
BH۷	۳,۴۳۵	۳,۴۴۵	۳,۴۲۴	۳,۴۲۳	۳,۲۷۸	۳,۱۸۴
BH۸	۳,۲۲۸	۳,۳۲۲	۳,۳۷۹	۳,۳۹۱	۳,۴۰۶	۳,۴۳۴
BH۹	۳,۱۴۲	۳,۱۳۵	۳,۰۷۰	۳,۱۴۳	۳,۱۷۴	۳,۲۲۱
BH۱۰	۳,۵۵۰	۳,۶۷۷	۳,۶۴۹	۳,۵۱۴	۳,۲۶۲	۳,۲۸۲



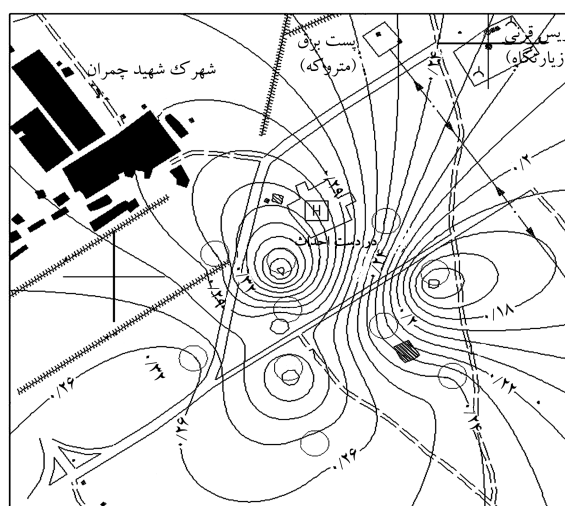
شکل ۱۱. نقشه‌ی هم‌تراز بیشینه تابع بزرگ‌نمایی؛ بیشینه شتاب سنگ بستر g ۰,۳۵.



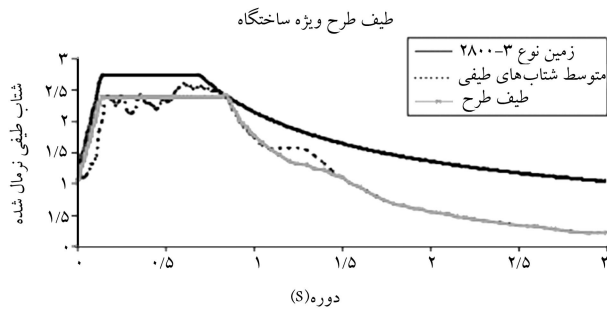
شکل ۹. نقشه‌ی هم‌تراز بیشینه‌ی شتاب سطح زمین (g)؛ بیشینه شتاب سنگ بستر g ۰,۲.



شکل ۱۲. نقشه‌ی هم‌تراز بیشینه تابع بزرگ‌نمایی؛ بیشینه شتاب سنگ بستر g ۰,۲.



شکل ۱۰. نقشه‌ی هم‌تراز بیشینه‌ی شتاب سطح زمین (g)؛ بیشینه شتاب سنگ بستر g ۰,۳۵.



شکل ۱۵. متوسط شتاب‌های طیفی گسترده‌ی طرح.

ویژه‌ی ساختگاه در پروژه‌هاست. در شکل ۱۵ نیز طیف ویژه‌ی ساختگاه حاصل از میانگین طیف‌های حاصل از تحلیل خطی معادل گمانه‌ها ارائه شده است.

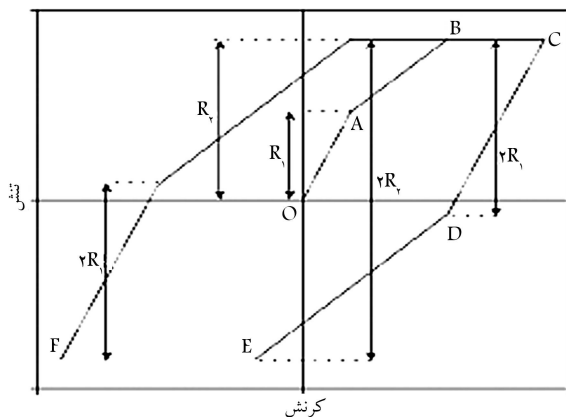
مبانی تحلیل‌های آیین‌نامه‌یی و تحلیل‌های خطی معادل توسط نرم‌افزارهای متداول (از جمله EERA, Proshake, SHAKE, ...) مشابه و بر مبنای فرضیات یکسان هستند. در مورد اختلاف طیف‌های طرح تهیه شده و طیف‌های آیین‌نامه‌یی ۲ نکته قابل توجه است:

۱. اگرچه آیین‌نامه‌های معاصر، از جمله آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰، اثرات ساختگاه را منظور می‌کنند، معمولاً گروه‌های مشابهی از پروفیل‌های خاک را با یکدیگر در طبقه‌بندی‌های خود در نظر می‌گیرند؛ به‌گونه‌یی که توصیه‌های آن‌ها محدودی وسیعی از شرایط خاک‌ها را در بر گرفته و بدین ترتیب سعی شده شرایط یک ساختگاه خاص در آن قرار گیرد.

۲. از سوی دیگر، حرکات طرح زمین که توسط آیین‌نامه‌ها توصیه می‌شوند، معمولاً محافظه‌کارانه‌تر از تحلیل‌های خاص مشخصه‌ی ساختگاه مورد نظرند. براساس این اختلاف بین حرکات طرح زمین در آیین‌نامه‌ها و نتایج تحلیل‌های ویژه در ساختگاه، تفاوت زیادی در اقتصاد پروژه‌ها به‌وجود خواهد آمد.

۶. رفتار غیرخطی ساختگاه

براساس بررسی دقیق‌تر رفتار غیرخطی خاک منطقه از نرم‌افزار تحلیل غیرخطی پاسخ زلزله (NERA)^۷ بهره گرفته شده است. اساس تحلیل نرم‌افزار یادشده مشابه EERA است با این تفاوت که مدل رفتاری واقعی‌تر برای خاک تعریف می‌کند. شکل ۱۶ به‌طور شماتیک مدل غیرخطی را نشان می‌دهد.

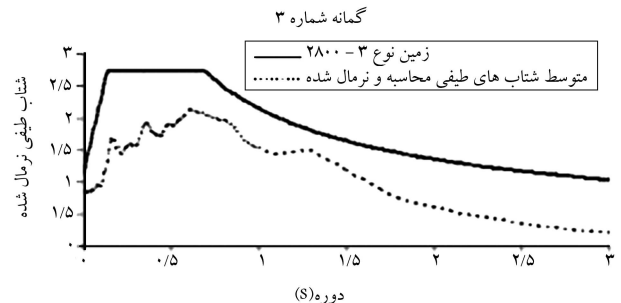


شکل ۱۶. متحنی تنش-کرنش خاک براساس مدل ایوان و مرز کرنش

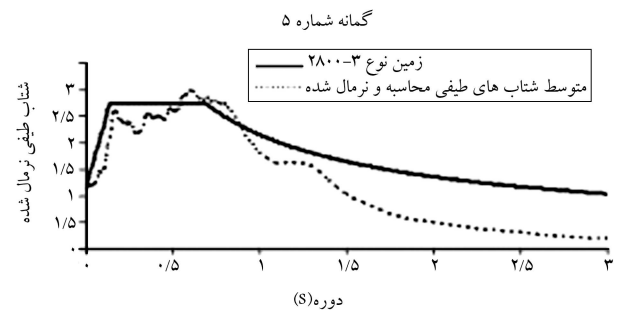
۳.۵. طیف طراحی ویژه‌ی ساختگاه

طیف پاسخ در تحلیل طراحی مقاوم در مقابل زمین‌لرزه بسیار حائز اهمیت است. برای استفاده در طراحی طیف‌های پاسخ حاصله، ابتدا از شتاب‌نگاشت‌های دارای خصوصیات مشترک و سازگار با ساختگاه میانگین گرفته و آن را نرمال می‌کنند. در این قسمت در هر سطح لرزش طیف‌های پاسخ نسبت به بیشینه شتاب حرکت رخنمون سنگی (۰٫۲، ۰٫۲۳۵، ۰٫۲۵، ۰٫۳، ۰٫۳۵ و ۰٫۳۵ g) برحسب اوج تکان زمین نرمال شده، سپس متوسط آن‌ها با طیف نرمال‌شده‌ی طراحی در آیین‌نامه‌ی طراحی زلزله در ایران (۲۸۰۰ و ویرایش سوم) برای زمین نوع ۳ (سرعت موج برشی متوسط در گمانه‌ها ۲۱۰ m/s عمق ۳۰ متر) مقایسه شده است. در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ متوسط شتاب‌های طیفی محاسبه و نرمال شده در گمانه‌های BH۳ (با رفتار غیر خطی) و BH۵ (با رفتار خطی) در سطح لرزش ۰٫۳۵ g با طیف آیین‌نامه مقایسه شده است.

چنان‌که ملاحظه می‌شود، در گمانه‌های با پتانسیل رفتار غیرخطی (گمانه‌های BH۱، BH۲، BH۳، BH۴، BH۵ و BH۱۰) در تمامی پریودها و در تمام سطوح لرزش، مقادیر طیفی آیین‌نامه بیشتر از مقادیر طیف پاسخ نرمال‌شده‌ی متناظر با گمانه است. در سایر گمانه‌ها، در بیشتر پریودها -- به‌ویژه در پریودهای کم‌تر از ۱ ثانیه -- انطباق قابل قبولی بین مقادیر طیفی آیین‌نامه و مقادیر طیف پاسخ حاصل از تحلیل وجود دارد. در نهایت به نظر می‌رسد استفاده از طیف آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای گستره‌ی طرح در قسمت غربی مناسب و در قسمت شرقی منطقه، به‌واسطه‌ی رفتار غیرخطی خاک محافظه‌کارانه و در جهت اطمینان است. لذا در پروژه‌های بزرگ استفاده از طیف‌های آیین‌نامه اقتصادی نیست و تحلیل‌های ویژه‌ی ساختگاه ضروری به نظر می‌رسد. تغییرات قابل توجه مقادیر طیف طرح ویژه‌ی ساختگاه در سطوح مختلف لرزش در مقایسه با طیف نرمال آیین‌نامه ۲۸۰۰، نشان‌گر اهمیت مطالعات تحلیلی



شکل ۱۳. متوسط شتاب‌های طیفی محاسبه و نرمال شده در گمانه‌ی ۳ برای بیشینه شتاب سنگ بستر ۰٫۳۵ g.



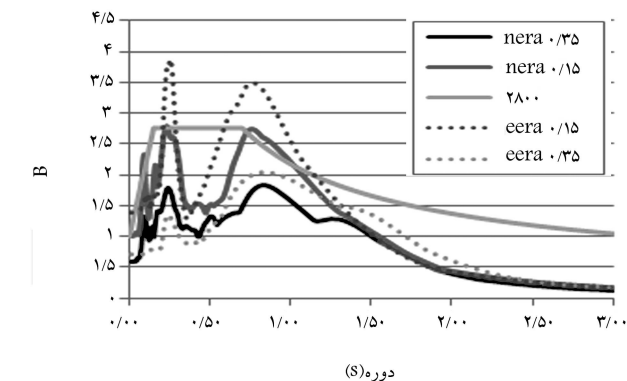
شکل ۱۴. متوسط شتاب‌های طیفی محاسبه و نرمال شده در گمانه‌ی ۵ برای بیشینه شتاب سنگ بستر ۰٫۳۵ g.

۲۸۰° است. در هر دو سطح لرزش NERA مقادیر پایین‌تری نسبت به نرم‌افزار EERA بروز می‌کند که خود مؤید رفتار غیرخطی خاک است. [۲۵]

۷. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر پاسخ محلی زمین در محدوده‌ی بندر ماهشهر با استفاده از تحلیل یک‌بعدی نظریه‌ی خطی معادل مورد بررسی قرار گرفته است. به‌علت سختی کم لایه‌های خاک آبرفتی منطقه، مقادیر تشدید شتاب و سرعت بیشینه زمین دامنه‌ی طیف بزرگ‌نمایی مقادیر قابل توجهی بوده و در سطوح بالاتر لرزش رفتار غیرخطی خاک را شاهد هستیم.

طیف طرح ویژه‌ی ساختگاه به‌دلیل همان رفتار غیرخطی، مقادیر طیفی کم‌تری نسبت به طیف طراحی استاندارد ۲۸۰° ایران نشان می‌دهد. تغییرات قابل توجه مقادیر طیف طرح ویژه ساختگاه در سطوح مختلف لرزش، در مقایسه با طیف نرمال آیین‌نامه‌ی ۲۸۰° نشان‌گر اهمیت مطالعات تحلیلی ویژه‌ی ساختگاه در پروژه‌هاست.



شکل ۱۷. طیف پاسخ شتاب متوسط نرمال‌شده در دو سطح مختلف و مقایسه‌ی آن با طیف آیین‌نامه.

در شکل ۱۷ طیف پاسخ شتاب متوسط نرمال‌شده برای یکی از گمانه‌ها و برای دو سطح لرزش نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، مقادیر پاسخ شتاب در پربودهای بلند کم‌تر از مقادیر طیف نرمال استاندارد زلزله‌ی ایران (آیین‌نامه‌ی

پانویس

1. equivalent-linear earthquake site response analyses (EERA)
2. standard penetration test
3. relative density
4. consistency
5. shear wave velocity
6. standard penetration test
7. non-linear earthquake response analysis

منابع

1. Mac Murdo, J. "Papers relating to the earthquake occurred in India in 1819", *Philosophical Magazine*, **63**, (1824).
2. Chang, C.Y. et al. "Engineering characterization of ground motion", Report NUREG/CR, Nuclear Regulatory Commission Washington DC (1986).
3. Kramer, Steven L., *Geotechnical Earthquake Engineering*, 1st ed., New Jersey, Prentice-Hall (1996).
4. Jamaran, M., *The Evaluation of Site Effects on Maximum Ground Acceleration in Near Field Earthquakes*, MSc. Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran (1375).
5. Stewart, J.P.; Chiou, S.J. and Bray J.D., *Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design*, PEER Report Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, No. EEC- 9701568 (2001).
6. Aki, K. and Chin, B.H., *Quantitative Seismology*, **1**, W.H. Freeman, San (1991).
7. Beresnev, I.A.; Francisco, CA.; Wen, K.L. and Yeh, Y.T. "Seismological evidence for nonlinear elastic ground behavior during large earthquakes," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **14**(2), pp. 103-114 (1995).
8. Bardet, J.P.; Ichii, k. and Lin, C.H., *EERA, A Computer Program for Equivalent-linear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits*, University of California press, Civil Eng. Dept, USA. (2000).
9. Yoshida, N. "Applicability of conventional computer code SHAKE to nonlinear problem" In: *Proceeding of symposium on amplification of ground shaking in soft ground*, Japan (1994).
10. Arslan, H. "A comparative study on nonlinear site response analysis", *Bilge Siyahi, Environ Geol*, **50**, pp. 1193-1200 (2006).
11. Tavakolli, B. and Ghafouri Ashtiyani, M., *The Seismic Hazard Map of Iran*, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran (1999).
12. Berberian, M., *Natural Hazards and the First Earthquake Catalogue of Iran*, **1**, Historical hazards in Iran prior to 1900. A UNESCO/IIIES publication during UN/IDNDR: International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran (1994).
13. The Geotechnical Report of Mahshahr Region (The project of Amirkabir University), Consulting Company "Mandro" (2007).
14. Jafari, M.K.; Asghari, A. and Rahimi, I. "Empirical correlation between shear wave velocities (V_s) and SPT-N value for south of Tehran soils", *Proceeding of the 4th International Conference on Civil Engineering*, Tehran, Iran (1997).
15. Jinan, Z. "Correlation between seismic wave velocity and the number of blow of SPT and depth", *The Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, pp. 92-100 (1987).

16. Hasancebia, N. and Ulusay, R. "Evaluation of site amplification and site different methods for an earthquake-prone settlement in Western Turkey", *Engineering Geology, ASCE*, **87**, pp. 85-104 (2006).
17. Ohba, S. and Toriumi, I. "Dynamic response characteristics of Osaka plain", *Proceedings of the Annual Meeting, A.I.J.* (1970).
18. Iyisan, R. "Correlation between shear wave velocity and in-situ penetration test results", *Chamber of Civil Engineers of Turkey, Teknik Dergi*, **7**(2), pp. 1187-1199 (1996).
19. Chang, C.Y. et al. "Development of shear modulus reduction curve based on Lotung down hole ground motion data", *Proceeding 2nd International Conference on recent advances in Geotechnical Earthquake Engineering, St. Louise Missouri*, **1**, p. 111-118.
20. Kokusho, C.T. Yoshida and Eflashi, Y. "Dynamic properties of soft clay for wide strain range soil and foundation", **22**(4), p. 1-18 (1982).
21. Vucetic, M. and Dobry, R.J. "Effect of soil plasticity on cyclic response", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, **117**(1), pp. 89-107 (1991).
22. Sun, J.I.; Golesorkhi, R. and Seed, H.B., *Dynamic Module and Damping Ratios for Cohesive Soils*, Rpt. No. UCB/EERC-88/15, Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkeley (1988).
23. Wanga, S.H. and Hao, H. "Effects of random variations of soil properties on site amplification of seismic ground motions", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **22**(7), pp. 551-564 (2002).
24. Yang, J. and Sato, T. "Interpretation of seismic vertical amplification observed at an array site", *Bull Seismol Soc Am* **90**, pp. 275-285 (2000).
25. Bardet, J.P; Ichii, K., and Lin, C.H., *NERA, A Computer Program for Non-Linear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits*, University of California press (2001).

