

تأیید قابلیت کاربردی نرم افزار تولید شده کامپیوتری ژئوتکنیک پایه در تحلیل لرزه‌ای پاسخ ساختگاه (مطالعه موردی)

عباس عباسزاده شهری^{۱*}، کتابون بهزاد افشار^۲، کامبیز مهدیزاده فرساد^۳ و روشنگر رجبلو^۴

^۱ استادیار، گروه ژئوفیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، همدان، ایران

^۲ استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری، تهران، ایران

^۳ کارشناس ارشد، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، دماوند، ایران

^۴ کارشناس ارشد، باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۶/۰۶

چکیده

هدف مقاله حاضر برآورد اثر بارهای لرزه‌ای بر سدهای خاکی با استفاده از بسط و گسترش یک نرم افزار با محیط کاربری گرافیکی توسط نگارندگان در راستای دست‌یابی به اهداف طراحی است. سد خاکی قهورد که در استان همدان و پهنه ایالت لرزه‌زمین ساخت سندج - سیرجان قرار دارد به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. با استفاده از کد کامپیوتری طراحی شده و بسط یافته به همراه تحلیل نگاشت زلزله، روشی مبتنی بر تجزیه و تحلیل ژئوتکنیک لرزه‌ای برای ارزیابی پاسخ یک‌بعدی ساختگاه به کار گرفته شد که علاوه بر کاهش زمان محاسبات، باعث افزایش دقت نتایج به دست آمده گردید. نگاشت‌های زلزله از تارنمای مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ایران (www.bhrc.ac.ir) گرفته شده‌اند. روش پیشنهادی به همراه مدل‌سازی‌های انجام شده در آن با به کارگیری ترکیب چندین کد کامپیوتری به همراه محیط برنامه‌نویسی MATLAB انجام شده است. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، مدل ارتفاعی، داده‌های گمانه‌ها، سرعت امواج برشی و نگاشت‌های جنبش زمین می‌باشند. نتایج به دست آمده قابلیت و توانایی کد کامپیوتری تولید شده را در رسیدن به هدف مقاله نشان دادند. نتایج نهایی نشان از قابل اعتماد بودن نرم افزار طراحی شده در تحلیل لرزه‌ای پاسخ ساختگاه داشت.

کلید واژه‌ها: سد خاکی قهورد، تعیین ویژگی‌های ساختگاه، بررسی ژئوتکنیکی

*نویسنده مسئول: عباس عباسزاده شهری

E-mail: a_abbaszadeh@iauh.ac.ir

۱- مقدمه

برای نفوذ آب تبدیل می‌شود. به‌جز هسته رسی، بقیه حجم سد را سنگ و خاک غیر محلول در آب تشکیل می‌دهد. چرا که سنگ‌های محلول پس از مدتی باعث کاهش وزن سد و به هم خوردن نتایج محاسبات خواهند شد.

معمولاً سدهای خاکریزه‌ای را برحسب مواد اولیه مورد استفاده در ساختمان به نام سدهای خاکی یا سنگریزه‌ای می‌شناسند. با توجه به شکل ۳ که بیانگر عوامل اصلی مؤثر بر نوع سد است، می‌توان دید که علاوه بر محدوده گسترده مصالح سنگی و خاکی، روش‌های متنوع ساخت از قبیل تراکم و پر کردن هیدرولیکی نیز در ساخت این‌گونه سدها دخیل هستند. سدهای خاکی همواره با مشکل محدودیت ارتفاع مواجهند و بر عکس سدهای کماتی، برای دره‌های عریض، کم ژرفا و کم شیب مناسب هستند.

اگر سدی بدون مطالعات کافی زمین‌شناسی بنا شود، بی‌شک تنها یک فاجعه اقتصادی از خود به جا می‌گذارد. تمامی نواحی که دریاچه سد آنها را می‌پوشاند و همچنین زیر سازه سد باید به‌طور دقیق مورد گمانه‌زنی قرار گیرد. وجود تنها یک بخش آهکی در اطراف دریاچه باعث خواهد شد تا آب به تدریج بخش آهکی را از بین برده و به خارج راه نفوذ پیدا کند. نظیر چنین واقعه‌ای برای سد لار اتفاق افتاد و این سد در حال حاضر از یک سوم ظرفیتش بهره‌برداری می‌نماید.

از طرف دیگر از دیدگاه مهندسی، اهمیت زمین‌لرزه‌ها به لحاظ تأثیراتی است که این زمین‌لرزه‌ها در سازه‌های نظیر سدها، نیروگاه‌ها، پل‌ها، مناطق مسکونی و تأسیسات صنعتی ایجاد می‌نمایند که در بیشتر موارد این سازه‌ها نه در سطح توده‌های سنگی بلکه بر روی سطح زمین یعنی بر روی لایه‌های آبرفتی واقع بر سنگ بستر بنا می‌شوند. همچنین این سازه‌ها غالباً در بالای محل گسل یا محل شروع و تولید امواج زمین‌لرزه بنا نشده بلکه در فواصل مختلف نسبت به کانون زمین‌لرزه قرار می‌گیرند. امواج زلزله با دور شدن از کانون آن و نیز با گذشتن از لایه‌های آبرفتی دستخوش تغییر و تحولاتی می‌شوند که عوامل مربوط به فاصله نقاط نسبت به کانون

سدها از جمله سازه‌های عظیم دست‌ساز بشر هستند که به شکل دیواری محکم برای مهار یا تغییر مسیر آب در عرض دره یا میان دو کوه و در مسیر رود ایجاد می‌گردند. با توجه به شکل ۱، افزایش ارتفاع آب توسط ایجاد سد، می‌تواند با مقاصد مختلف همچون مهار یا تغییر مسیر آب رودخانه، ذخیره آب در پشت سد برای کشاورزی، آبیاری و آب‌رسانی و یا حتی تولید انرژی برقی صورت گیرد.

تقریباً بیشتر سدهای مدرن امروزه سازوکار کنترلی همچون مسیرهای ماریجی یا سرریز برای رها کردن آب در حالت کنترل شده دارند. به‌طور معمول سدها در برابر تغییرات ملایم جریان‌ات آب عمل می‌کنند. در طول دوران پر آبی، آب در پشت سد ذخیره شده و در زمان کم آبی برای افزایش جریان رها می‌شود. الگوی ذخیره و رهاسازی آب از یک سد به سد دیگر برحسب اهداف اولیه سد و بر مبنای طیف وسیعی از عوامل از جمله ملاحظات اقتصادی و زیست‌محیطی تغییر می‌کند. مطالعات زیست‌محیطی شامل محاسبه و هزینه‌یابی اثر تغییرات ایجاد شده توسط سد و دریاچه آن و همچنین کاهش آب پایین دست بر روی زیست بوم منطقه، شهرها، روستاها و دیگر عوامل (همچون آثار باستانی) است.

با توجه به شکل ۲، سدهای مدرن از نوع خاکریزه‌ای یا بتونی، به‌طور معمول بر روی یک پی (فونداسیون) ساخته می‌شوند که ممکن است بتون، سنگ طبیعی، خاک یا خاک‌های متراکم شده باشند. به منظور کمینه کردن هزینه‌ها، معمولاً سدها در طول بخشی از یک دره رودخانه ساخته می‌شوند و نیز به عنوان رابط دیواره‌های طبیعی دره که خود به عنوان تکیه‌گاه سد به شمار می‌روند، در نظر گرفته می‌شوند. از آنجا که آب جمع شده در پشت یک سد، می‌تواند نیروی بسیار عظیمی به سد وارد کند، در طراحی سدها، اصلی‌ترین مسئله استاتیکی، چیرگی بر این نیرو و رسیدن به شرایط پایداری است که با تخلیه و یا آبگیری سد، پیوسته برقرار باشد. در ساخت سدهای خاکی، آنچه که در واقع جلوی آب را می‌گیرد، یک هسته نسبتاً نازک رسی است. خاک رس این ویژگی را دارد که با مرطوب شدن، به عایق خوبی

Seed et al. (1976) از ویژگی‌های شکل طیف پاسخ بهنجار شده با نسبت میرایی ۵٪ برای تعیین نوع ساختمانگاه استفاده نمودند. هر چند Yamazaki & Ansary (1997) عنوان کردند که داده‌های جنبش زمین که از چشمه‌های مختلف ثبت می‌شوند امکان ایجاد و تولید شکل‌های مختلف طیفی را دارند.

۳- محدوده مورد مطالعه

به دلیل عدم رخداد مکرر زمین‌لرزه‌های قوی و مخرب در مناطق با لرزه‌خیزی کم، مانند محدوده همدان برآورد خطر لرزه‌ای اغلب توجه کمی را به خود جلب نموده است. با این وجود اگر عواملی از قبیل تراکم بالای جمعیت و تعدد امکانات و تجهیزات مهم و بحرانی یک محدوده شهری مد نظر قرار گیرند، لزوم دقت برآورد خطر لرزه‌ای در مناطق بزرگ شهری مثل همدان که در محدوده‌ای با لرزه‌خیزی کم تا متوسط قرار دارند، مشخص می‌گردد.

محدوده مورد بررسی دارای مختصات جغرافیایی $۴۸^{\circ} ۸'$ تا $۴۸^{\circ} ۲'$ طول خاوری و $۲۸^{\circ} ۳۴'$ تا $۱۴^{\circ} ۳۴'$ عرض شمالی، از توابع شهرستان گل تپه در استان همدان می‌باشد. این منطقه در بخش حاشیه‌ای رشته کوه‌های شمال باختری همدان و در ناحیه کم ارتفاع و دشت‌گون آن قرار گرفته که از نظر زمین‌ریخت‌شناسی تنوع چندانی ندارند. ساختمانگاه سد قهورد در پهنه ساختاری سندج- سیرجان قرار گرفته است و از ویژگی‌های مهم این پهنه، زمین‌ساخت پیچیده آن می‌باشد که در نقاط مختلف این پهنه با پدیده‌هایی چون دگرگونی، کوهزایی، خشکی زایی و ... همراه بوده است. با توجه به گستره کم محدوده مورد بررسی تنها رخنمون سنگی قابل مشاهده در منطقه مربوط به واحد مارنی- ماسه سنگی است که بیشتر نقاط در زیر پوشش واحدهای کوارترنر قرار گرفته است. واحد مارنی- ماسه سنگی تقریباً تمامی محدوده ساختمانگاه سد قهورد شامل تکیه‌گاه‌ها، سرریز مخزن و پایین دست آن را تحت پوشش دارد. ترکیب سنگی این واحد از مارن، مارلستون و گل سنگ با میان‌لایه‌هایی از ماسه سنگ تشکیل شده است که رنگ هوازه آنها زرد- زرد قهوه‌ای و رنگ سطوح تازه آن زرد خاکستری می‌باشد و لایه‌بندی نامنظم نازک تا متوسط دارند که به دلیل فرسایش پذیری زیاد تشکیل ریخت‌های تپه ماهوری با پشته‌های کوتاه و گنبدی شکل داده‌اند. این رسوبات به احتمال زیاد از نوع نهشته‌های دریاچه‌ای هستند. واحدهای آبرفتی کوارترنر در منطقه قهورد به دلیل گسترش سازندهای فرسایش پذیر مارنی و فرسایش آنها گستره‌های نسبتاً پهناوری را زیر پوشش دارند. این واحدها به صورت پادگانه‌های قدیمی در بسیاری نقاط به صورت پوششی در روی سنگ کف منطقه قرار گرفته‌اند. این پادگانه‌ها در دو تکیه‌گاه سد که در آن تپه‌هاورها تشکیل ارتفاعات نه چندان بلندی را داده‌اند، گسترش بیشتری دارند. ترکیب سنگ‌شناسی این پادگانه‌ها را کنگلومرا و ماسه سنگ‌های درشت‌دانه تشکیل داده‌اند که در سیمانی سخت نشده از جنس ماسه- سیلت و رس قرار گرفته‌اند.

ساختار زمین‌شناسی قهورد به دلیل جوان بودن سازندهای زمین‌شناسی آن بسیار ساده بوده و پیچیدگی خاصی ندارد. می‌توان ساختار منطقه را متشکل از واحدهای سنگی جوانی دانست که دارای شیب اندکی بوده و چین‌خوردگی قابل توجهی ندارند. شیب سطوح لایه‌بندی در بیشتر نقاط بین ۵° تا ۵° درجه تغییر می‌کند. به دلیل جوانی چین‌خوردگی‌ها در محدوده مخزن سد قهورد و شکل پذیر بودن واحدهای مارنی و گل سنگی، درزه‌های ساختاری حاصل از چین‌خوردگی در این واحدها گسترش چندانی نیافته‌اند و نمی‌توان سیستم درزه‌های منظم ساختاری را مشاهده نمود. منطقه مورد نظر در فاصله‌ای نه چندان دور از گسل‌های اصلی و فعال مانند راندگی اصلی زاگرس و پاره‌گسل‌های آن قرار دارد که فعالیت آنها سبب زمین‌لرزه‌های تاریخی مهمی در منطقه شده است.

زمین‌لرزه مورد نظر در این مقاله، با بزرگی $۶/۱$ در ساعت $۴:۴۷$ بامداد روز $۱۳۸۵/۰۱/۱۱$ در جنوب بروجرد با چندین پیش‌لرزه و پس‌لرزه اتفاق افتاد.

زلزله با عنوان «اثر مسیر» و عوامل مربوط به لایه‌های آبرفتی واقع بر سنگ بستر با عنوان «اثر ساختمانگاه» شناخته می‌شوند. پاسخ لرزه‌ای یک ساختمانگاه به شدت تحت تأثیر شرایط و ویژگی‌های آن ساختمانگاه قرار دارد. آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران این اثرات را در قالب طیف‌های بازتاب طرح برای طبقه‌بندی چهارگانه زمین پیشنهاد داده است. معیار انتخاب نوع زمین در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران سرعت موج برشی ساختمانگاه است که با رعایت اثر سبزی لایه‌ها در فاصله ۳۰ متری ژرفای زمین میانگین‌گیری می‌شود.

۲- شرایط ساختمانگاه سد خاکی

گرچه امواج زمین‌لرزه در بخش عمده‌ای از مسیر خود، از چشمه زمین‌لرزه تا سطح زمین در بستر سنگی حرکت می‌کنند، لیکن قسمت پایانی مسیر آنها غالباً در داخل لایه‌های خاک بوده و ویژگی‌های خاک می‌تواند ماهیت ارتعاشات سطح زمین را بسیار تحت تأثیر قرار دهد. لایه‌های خاک در برابر امواج زلزله شبیه فیلترها عمل می‌کنند، زیرا در بسامد خاصی، ارتعاشات را مستهلک و در بسامد های دیگر آنها را تشدید می‌نمایند. از آنجا که غالباً شرایط خاک در طول یک فاصله کم، شدیداً تغییر می‌کند، میزان لرزش زمین در یک ناحیه کوچک ممکن است تغییرات زیادی داشته باشد. مسأله تأثیر ساختمانگاه بر حرکات لرزه‌ای زمین از اوایل قرن بیستم مورد توجه پژوهشگران و دانشمندان قرار گرفته است. آنان با بررسی آثار ایجاد شده در اثر امواج زلزله در نقاط مختلف ساختمانگاه و همچنین شرایط لایه‌های آبرفتی محل، تأثیر ساختمانگاه را در تغییر ویژگی‌های مختلف امواج زلزله مورد ارزیابی قرار می‌دهند. این بررسی‌ها تا به امروز نیز ادامه داشته و پس از رخداد زمین‌لرزه‌های جدید در نقاط مختلف دنیا، پژوهش‌های زیادی در ارتباط با چگونگی تأثیر ساختمانگاه بر شدت این زمین‌لرزه‌ها صورت می‌گیرد. از لحاظ مهندسی، امواج زلزله با سه ویژگی شتاب بیشینه، محتوای بسامدی و زمان لرزش مورد مطالعه قرار می‌گیرند، که این ویژگی‌ها را می‌توان مستقیماً از شتاب‌نگاشت‌های به‌دست آمده در اثر این امواج استخراج نمود. با توجه به موارد فوق می‌توان گفت که شرایط محلی ساختمانگاه عامل مهمی در شکل موج ثبت شده می‌باشد. شرایط متفاوت ساختمانی می‌تواند باعث ایجاد تشدید در پاسخ طیفی گردد (Seed et al., 1976; Mohraz, 1976). بر همین اساس شرایط محلی ساختمانگاه در تجزیه و تحلیل جنبش زمین و طراحی مقاوم در برابر زمین‌لرزه مهم جلوه خواهد کرد. با داشتن PGA مناسب می‌توان انتظار داشت که طیف پاسخ زمین‌لرزه با شرایط محلی ساختمانگاه مطابقت داشته باشد و به این دلیل PGA معمول‌ترین ورودی برای تجزیه و تحلیل دینامیکی سازه‌ها می‌باشد. با توجه به این نکته که شرایط زمین‌شناسی ساختمانگاه مورد نظر معمولاً به لایه‌های بالایی آن محدود می‌شود، بیشتر مطالعات انجام شده جنبش زمین در مورد اثر ساختمانگاه بر مبنای ویژگی‌های خاک‌های ۳۰ متر بالایی هستند (Anderson et al., 1996).

چون کمی‌سازی ویژگی‌های خاک‌ها برای همه ساختمانگاه‌ها قابل انجام نیست، از این رو استفاده زمین‌شناسی سطحی در فهم و درک ویژگی‌ها و شرایط زمین‌شناسی زیرسطحی مهم جلوه می‌کند. در این راستا، گسترش و توسعه روابط تجربی میان زمین‌شناسی سطحی و سرعت موج برشی حائز اهمیت جلوه نمود و برای پیش‌بینی تقویت ناشی از جنبش زمین مورد استفاده قرار گرفت (Joyner & Fumal, 1985; Boore et al., 1993; Borchardt, 1994; BSSC, 1998; Park and Elrick, 1998; Castro et al., 1997). Borchardt (1994a, 1994b) ترکیب زمین‌شناسی سطحی و سرعت موج برشی برای طبقه‌بندی ساختمانگاه استفاده نمود. از طرف دیگر طبقه‌بندی شرایط ساختمانگاه و برآورد نسبت تقویت ساختمانگاه توسط Yamazaki et al. (2000)، با ترکیب زمین‌شناسی سطحی و واحدهای زمین‌ریخت‌شناختی در توکیو و کاناگاوا (ژاپن) انجام شد.

در ضمن باید دانست که طیف‌های پاسخ زمین‌لرزه نیز به تنهایی و زمانی که داده‌های زمین‌شناسی کافی نیستند، در رده‌بندی ساختمانگاه مفید هستند.

مدولی در هر لایه پروفیل خاک و برای کرنش‌های برشی متغیر مابین ۰/۰۰۰۱ و ۱۰ درصد با استفاده از "Abbas Converter" و ترکیب نرم‌افزاری محاسبه شد. با توجه به روش ارائه شده، مقایسه جنبش ورودی و محاسبه شده، شتاب طیفی و نسبت تقویت برای شرایط نیم‌فضای الاستیک و صلب محاسبه و نتایج آن در شکل‌های ۱۲ تا ۱۵ نشان داده شده است. برای تأکید بر درستی روش پیشنهادی در این مقاله، جنبش و پاسخ محاسبه شده به صورت جداگانه توسط "Abbas Converter" محاسبه و نتایج آن در شکل‌های ۱۶ تا ۲۰ ارائه گردید. از طرفی برای تحلیل عددی نیز نتایج حاصل از شکل‌های به‌دست آمده در جدول ۵ مشخص گردید.

۵- نتیجه‌گیری

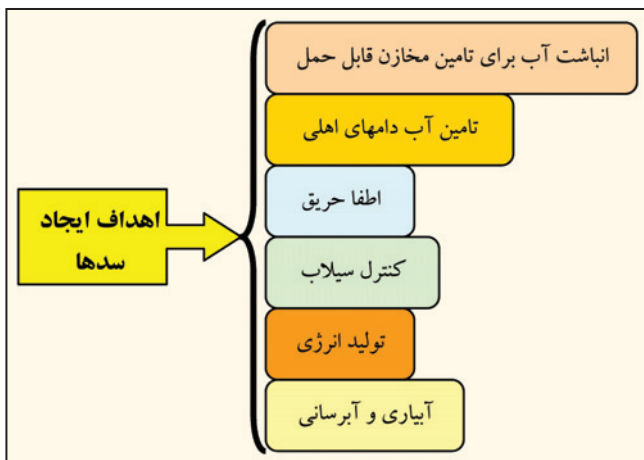
- یک برنامه کامپیوتری با قابلیت مدل‌سازی ژئوتکنیکی لایه‌های خاک تولید و بسط داده شد. این نرم‌افزار با قابلیت گرافیکی توانایی تبدیل داده‌های ورودی زمین‌لرزه را به قالب مورد نیاز نرم‌افزارهای به‌کار رفته در این مطالعه را داشته و به عنوان یک رابط منطقی بین آنها عمل می‌نماید. در ضمن بخش ژئوتکنیکی آن قابلیت مدل‌سازی لایه‌های خاک ساختگاه را داشته و توانایی تعیین و رسم خواص خاک را دارد. به کارگیری این نرم‌افزار تسهیل بسیار زیادی در امر تحلیل پاسخ ساختگاه نسبت به کارهای قبلی را ایجاد می‌نماید.

- با توجه به اهمیت نوع مطالعه نتایج حاصل از ترکیب نرم‌افزاری با نرم‌افزار تولید شده مقایسه گردید. این نتایج گویای آن بود که مقادیر به‌دست آمده از نرم‌افزار تولید شده همخوانی مناسبی با مقادیر ترکیب نرم‌افزاری دارد.

- داده‌های تولید شده از شبیه‌سازی‌های عددی، امکان بهبود نقشه‌های پربندی اوج سرعت و شتاب مناطق آسیب دیده را فراهم می‌کند.

- با توجه به جدول ۵، نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌های پارامتری با فرض صلب یا الاستیک بودن سنگ کف پروفیل‌ها نشان می‌دهد که استفاده از بسترهای صلب همواره به نتایج دست بالاتری منجر گشته و از این نظر استفاده از این نوع بسترها در روند تحلیل‌های دینامیکی لایه‌های آبرفتی محافظه‌کارانه‌تر می‌باشد.

- با توجه به شکل‌های ۱۲ تا ۱۵، مطالعات پارامتری این مقاله نشان می‌دهد که شتاب بیشینه در سطح ساختگاه به شتاب بیشینه حرکت سنگ بستر وابسته و به نوع و شرایط پروفیل، شتاب بیشینه جنبش ورودی سنگ کف می‌تواند توسط لایه‌های آبرفتی ساختگاه افزایش و یا کاهش یابد که نتیجه آن به صورت پیک تقویت و شتاب طیفی در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ آشکارا قابل مشاهده است.



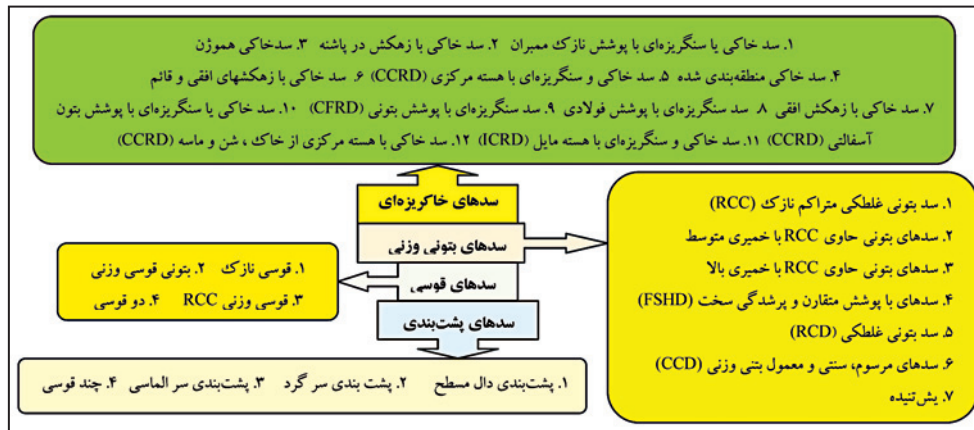
شکل ۱- اهداف اصلی ساخت سد

پیش‌لرزه‌های این رویداد با بزرگی ۴/۶ و ۵/۱ به ترتیب در ساعات ۱۹:۴۷ و ۲۳:۰۶ نیمه شب دهم فروردین رخ دادند. این زمین‌لرزه در گسل درود، یکی از بخش‌های گسل اصلی زاگرس رخ داد و در این مقاله مطابق شکل ۴، مؤلفه طولی این رخداد که در ایستگاه چالانچولان ثبت شده است به عنوان ورودی به ساختگاه سد مد نظر قرار داده شد.

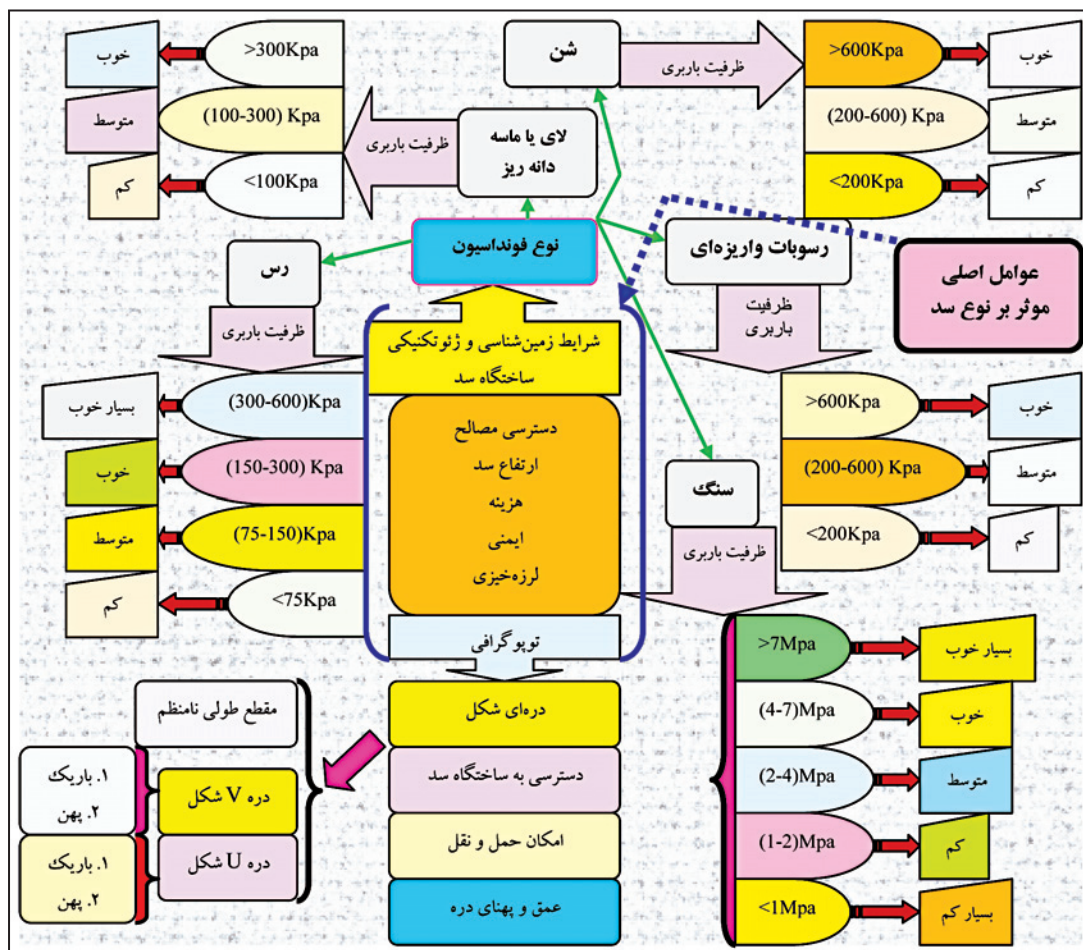
۴- فرایند روش پیشنهادی در تحلیل پاسخ ساختگاه

به منظور انجام این پژوهش نرم‌افزاری با عنوان "Abbas Converter" برای ساخت بانک اطلاعات ژئوتکنیکی توسط نگارندگان تولید و توسعه داده شد که صفحه ورودی آن در شکل ۵ ارائه شده است. اگر از داده‌های ژئوتکنیکی به‌جز SPT و CPT استفاده گردد، ارتباط منطقی و مناسب بین متغیرها الزامی است که در این راستا کمی‌سازی اطلاعات تا ژرفای ۱۰۰ فوتی زیر خط گل برای دستیابی به نوع ساختگاه مورد نیاز است. در صورتی که داده تا ژرفای ۱۰۰ فوتی در دسترس نباشد، بایستی از دیگر اطلاعات از قبیل ملاحظات زمین‌شناسی برای تعیین نوع و کلاس ساختگاه استفاده نمود. این کد علاوه بر قابلیت خواندن اطلاعات از بانک اطلاعاتی، محاسنی از جمله تعیین و محاسبه متغیرهای دینامیکی برای تحلیل دینامیکی پاسخ ساختگاه و همچنین آماده‌سازی داده ورودی برای استفاده دیگر نرم‌افزارهای به‌کار رفته در این پژوهش را دارد. یکی از مشخصات اصلی این نرم‌افزار ایجاد ارتباط مؤثر با دیگر نرم‌افزارهای به‌کار رفته در تحلیل پاسخ ساختگاه می‌باشد. این کد دارای یک صفحه گرافیکی برای کاربر است (GUI) که قابلیت ارتباط به بانک اطلاعات را دارد. داده‌های ژئوتکنیکی جمع‌آوری شده در بانک اطلاعاتی توسط این کد خوانده می‌شوند و از این طریق محاسبات متغیرهای دینامیکی انجام می‌شوند. فایل داده ورودی برای تحلیل پاسخ ساختگاه و ارتباط بین بانک اطلاعات و ویژگی‌های ژئوتکنیکی، جنبش نیرومند زمین و تحلیل انجام شده توسط نرم‌افزارها با این کد قابل انجام است (Abbaszadeh et al., 2009, 2010).

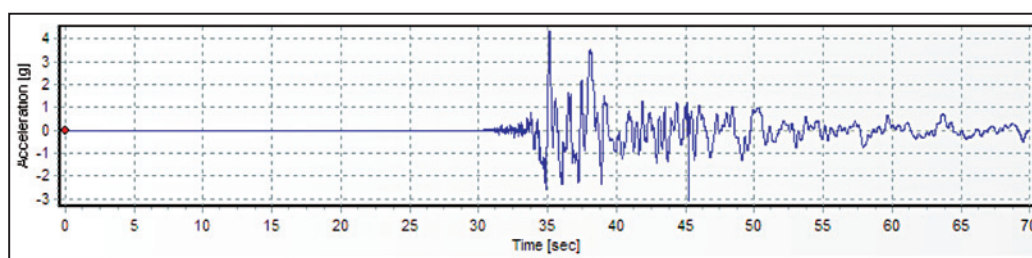
با توجه به شکل ۶ که به عنوان اساس کار تحقیقاتی در این مقاله در نظر گرفته شده است، ابتدا آزمون‌های صحرایی و آزمایشگاهی در دستور کار قرار گرفت. در بررسی‌های صحرایی و برداشت اطلاعات مورد نظر، ابتدا مش‌بندی محدوده و اعمال قیود لازم انجام شد که نتیجه آن به همراه جانمایی گمانه‌های حفاری شده در شکل‌های ۷ تا ۱۰ برای دو تکیه‌گاه چپ و راست و بستر سد انجام و نتایج برداشت نیز در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ منعکس شد. با توجه به این که در این منطقه هیچ‌گونه تلاشی در راستای گسترش و تعیین ارتباط درون‌بایی براساس مجموعه داده‌های به‌دست آمده و مقادیر N در مکان‌های انجام آزمون، صورت نگرفته بود، در این مطالعه ۴۰ جفت داده از اعداد N و Vs برای تعیین فرمولی بین این دو متغیر در منطقه مورد مطالعه به‌کار گرفته شد که نتیجه آن در شکل ۱۱ و جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶، در این مطالعه از متغیرهای G_{max} (مدول برشی بیشینه) و γ (نسبت میرایی) برای توصیف رفتار دینامیکی خاک در تحلیل پاسخ ساختگاه استفاده شده است. دو متغیر نام‌برده توسط "Abbas Converter" و با توجه به ویژگی‌های داده‌های ژئوتکنیکی جمع‌آوری شده در بانک اطلاعاتی، محاسبه می‌گردند. متغیر G_{max} می‌تواند با استفاده از روابط تجربی برای رس‌ها (Hardin & Drenvic, 1972) و ماسه‌ها (Seed & Idriss, 1970) به‌دست آید. در ضمن این عامل را می‌توان از مقادیر اصلاح شده SPT-N (Ohta and Goto, 1978; Imai and Tonouchi, 1982) نیز به‌دست آورد. تغییرات نسبت مدولی (G/G_{max}) و نسبت میرایی (γ) برحسب کرنش برشی (γ)، از فرمول‌های Ishibashi & Zhang (1993) محاسبه می‌شود. در این مقاله مقادیر نسبت میرایی و



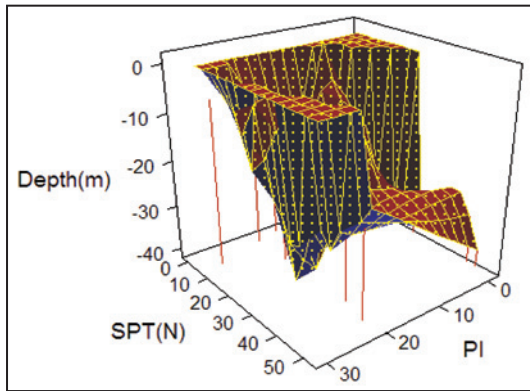
شکل ۲- انواع سدها



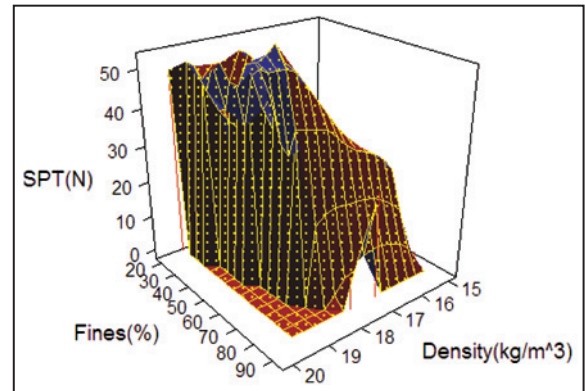
شکل ۳- عوامل اصلی مؤثر بر نوع سد



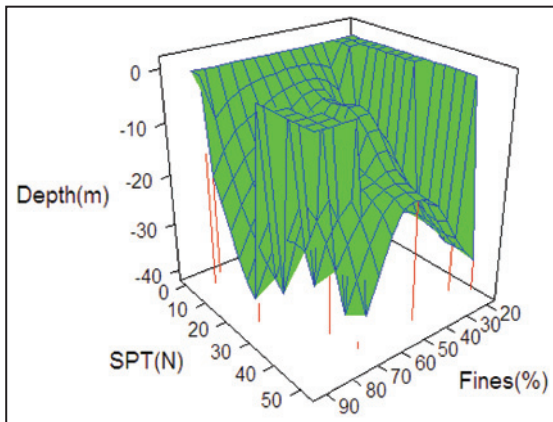
شکل ۴- جنبش ورودی اعمال شده به ساختگاه سد قهورد ($a_{max}=4.31g$ در $t=35.130s$)



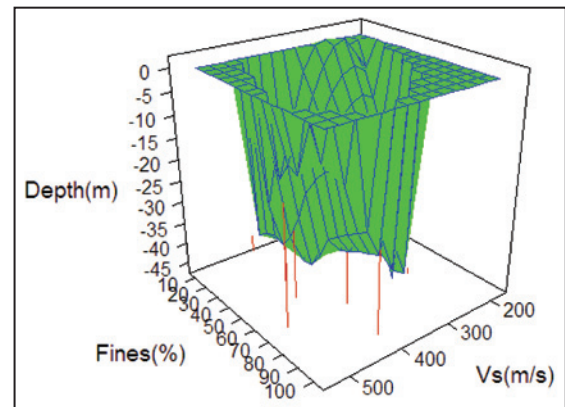
شکل ۸- تغییرات ژرفا، PI و SPT بر حسب یکدیگر



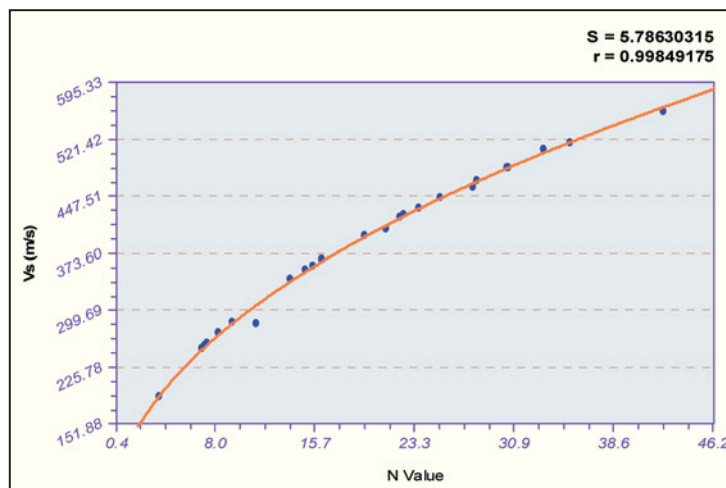
شکل ۷- تغییرات درصد ریزدانه، چگالی (دانسیته) و SPT بر حسب یکدیگر



شکل ۱۰- تغییرات درصد ریزدانه، ژرفا و SPT بر حسب یکدیگر

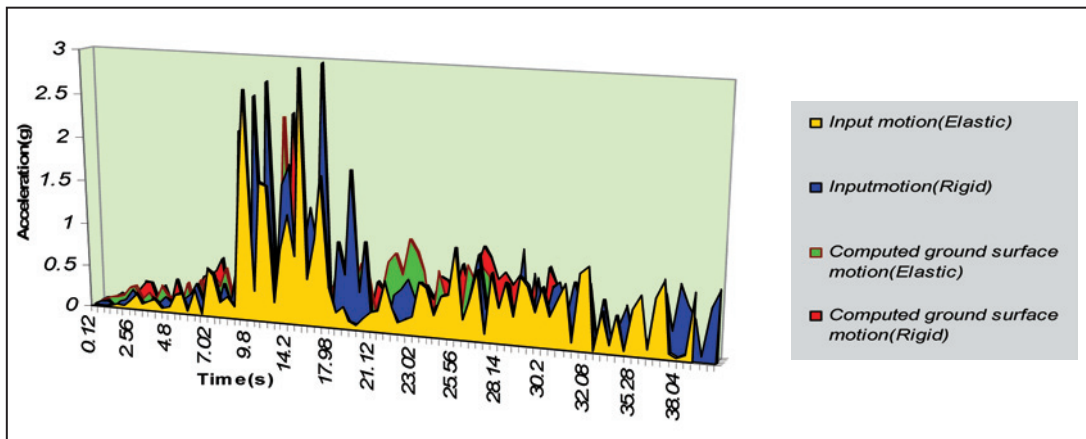


شکل ۹- تغییرات درصد ریزدانه، ژرفا و Vs بر حسب یکدیگر

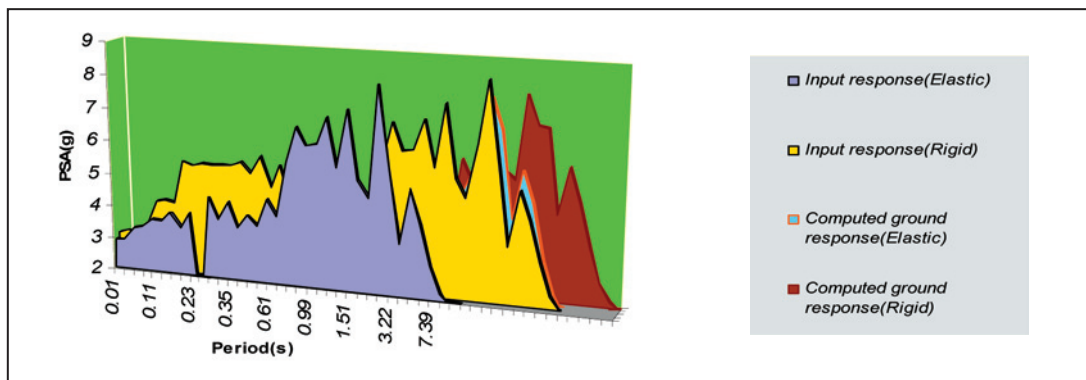


شکل ۱۱- درون‌یابی قابل قبول Vs-N (Curve Expert1.3 & Matlab)

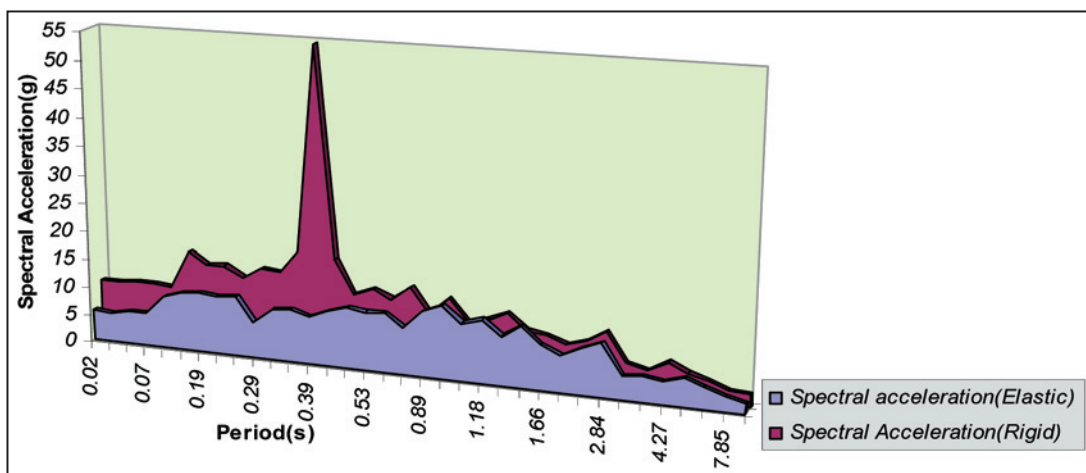
$$V_s = 9.6382 \times 1.1479 \left(\frac{1}{N}\right) N^{0.4618} \quad (r = 0.9984, s = 5.7863)$$



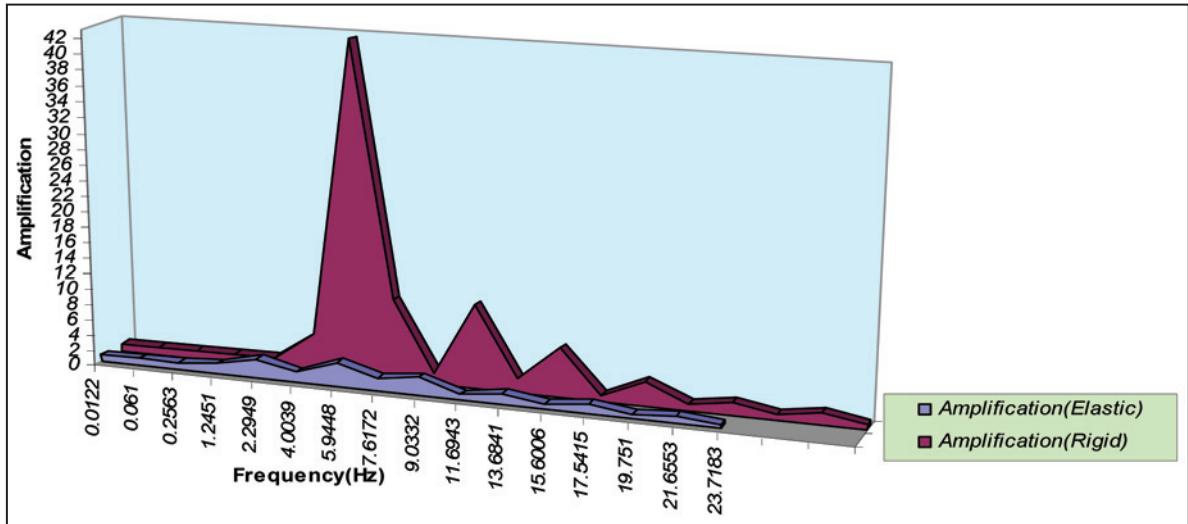
شکل ۱۲- مقایسه جنبش ورودی و محاسبه شده در شرایط نیم فضای صلب و الاستیک ("Abbas Converter", Excel & Mintab)



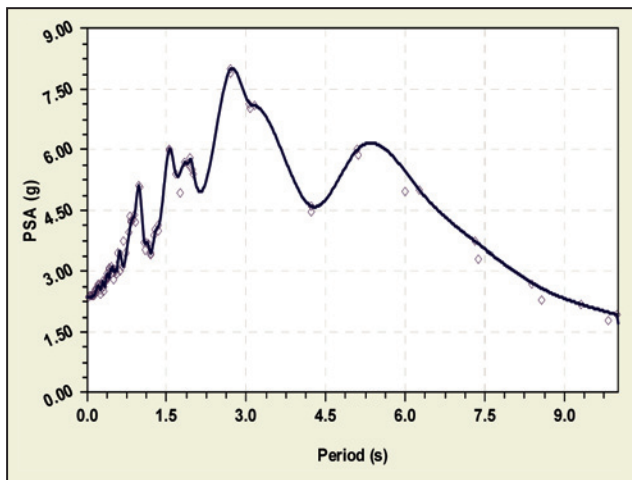
شکل ۱۳- مقایسه پاسخ ورودی و محاسبه شده در شرایط نیم فضای صلب و الاستیک ("Abbas Converter", Excel & Mintab)



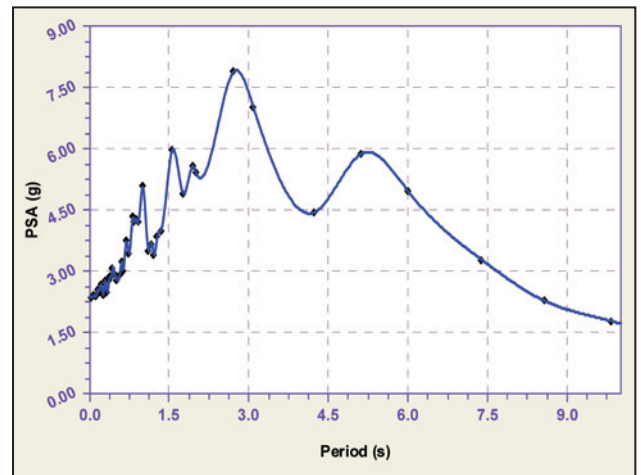
شکل ۱۴- مقایسه شتاب طیفی محاسبه شده در شرایط نیم فضای صلب و الاستیک ("Abbas Converter", Excel & Mintab)



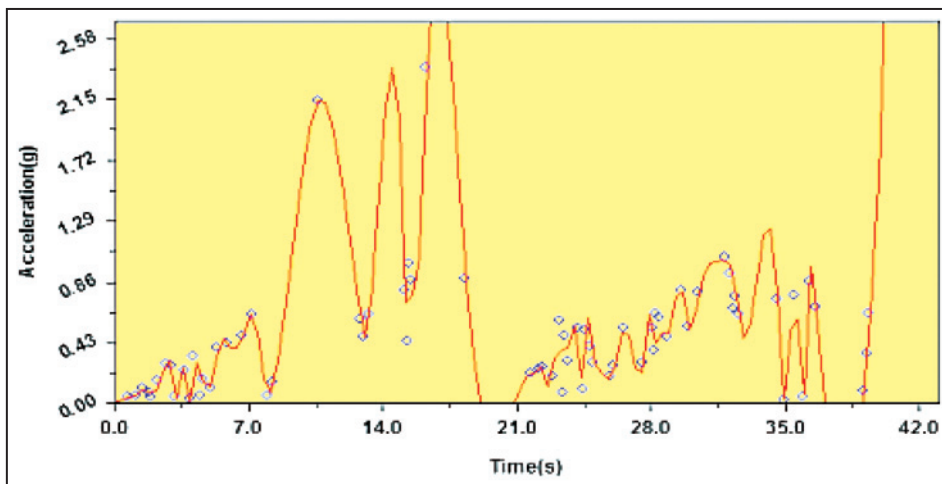
شکل ۱۵- مقایسه نسبت تقویت محاسبه شده در شرایط نیم فضای صلب و الاستیک (Abbas Converter", Excel & Minitab)



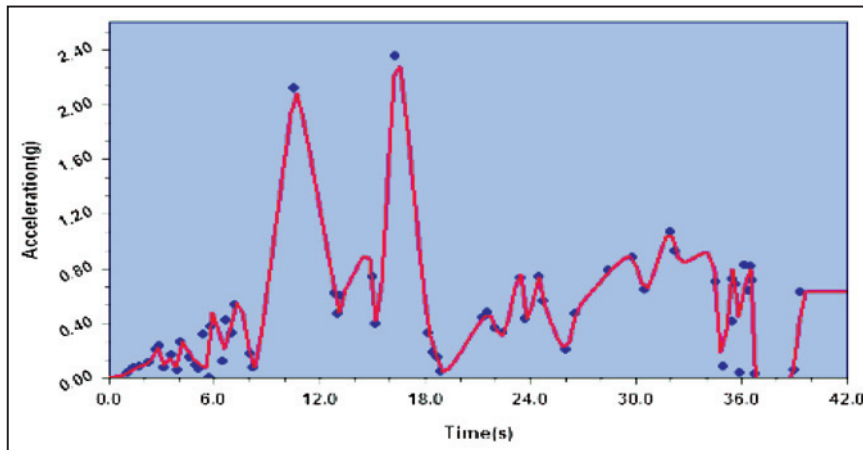
شکل ۱۷- پاسخ محاسبه شده در شرایط صلب (Abbas Converter)



شکل ۱۶- پاسخ محاسبه شده در شرایط الاستیک (Abbas Converter)



شکل ۱۸- جنبش محاسبه شده در شرایط الاستیک (Abbas Converter)



شکل ۱۹- جنبش محاسبه شده در شرایط صلب (Abbas Converter)

جدول ۱- داده‌های مربوط به تکیه‌گاه راست

ستیرا	جنس خاک	γ	زرفا	SPT	FC %
۸/۵	CH	۱۷	۱	۵۰	۰
۹/۴	CH	۱۷	۳	۵۰	۰
۱۱	MH	۱۴/۷	۶	۴۷	۰
۱۲/۴۵	MH	۱۴/۵	۹	۵۰	۰
۱۳	CH	۱۷	۱۰/۵	۲۳	۰
۱۴/۳۵	SC	۱۷/۵	۱۲	۲۹	۰
۱۶/۳۳	SC	۱۸	۱۴	۵۰	۱۲
۱۷	CH	۱۷	۱۶	۵۰	۱۲

جدول ۲- داده‌های مربوط به تکیه‌گاه چپ

ستیرا	جنس خاک	γ	زرفا	SPT	FC %
۳	CL	۱۲/۸	۲/۵	۱۴	۰
۴	SC-SM	۱۱/۸	۵/۵	۲۸	۰
۶	CL	۱۴/۱	۸	۳۷	۱۲
۸	SC	۱۸/۸	۱۰/۸	۵۰	۰
۸/۵	SC	۱۸/۶	۲۳/۵	۵۰	۰
۱۱/۳	CH	۱۷	-	-	-
۲۳/۶	CL	۱۳/۴	-	-	-

جدول ۳- داده‌های مربوط به بستر

ستیرا	جنس خاک	زرفا	SPT	γ	FC %
۳	SC	۳	۵	۱۵/۳	۲۹
۲	SC-SM	۵	۳	۱۵/۸	۲۰
۴/۵	CL	۹/۵	۷	۱۶	۳۷/۲۵
۶/۵	SM	۱۶	۳۶	۱۶/۲	۵۶/۸
۲	CL	۱۸	۵۰	۱۶/۴	۷۲/۵
۳/۵	SM	۲۱/۵	۲۳	۱۷	۳۷
۲/۵	CH	۳۴	۳۶	۱۷/۱	۹۸
۹	CL	۳۳	۳۸	۱۷/۴	۷۳/۷۵
۳	SC	۳۶	۵۰	۱۷/۹	۴۵
۵/۵	GC	۴۱/۵	۵۰	۱۸	۱۲/۹
۲/۵	CL	۴۴	۱۸	۱۸/۴	۷۳

جدول ۴- نتایج حاصل از مدل‌های مختلف درون‌یابی Vs-N در منطقه مورد مطالعه

مدل	پارامترهای ثابت (a, b, c)			ضریب درون‌یابی R :		محاسبه توسط
	a	b	c	R	S	
$V_s = aN^b$	103.75	0.4511		0.9979		excel
$V_s = a+bN$	195.22	9.5452		0.9865		excel
$V_s = a+N^b$	232.1129	1.4824		0.771	65.557	curve expert 1.3 and MATLAB
$V_s = a+bN$	245.344	1.1196		0.4380	92.562	curve expert 1.3 and MATLAB
$V_s = ab^N$	221.814	1.019		0.7555	67.449	curve expert 1.3 and MATLAB
$V_s = ae^{bN}$	220.51	0.262		0.9563		excel
$V_s = a+bLnN$	-60.62	157.69		0.9874		excel
$V_s = aN^2 + bN + c$	-0.1364	15.344	148.05	0.9979		excel
$V_s = ab^{(1/N)}N^c$	99.6382	1.1479	0.4618	0.9984	5.7863	curve expert 1.3 and MATLAB

جدول ۵- مقایسه عددی متغیرهای ورودی و محاسبه شده در ساختگاه سد

متغیر	بیشینه مقدار ورودی در ...	بیشینه مقدار خروجی در ...
جنبش در نیم‌فضای الاستیک	۲/۹۲ g (۱۵/۷۴ s)	۲/۳۴۸ g (۱۶/۲۸ s)
جنبش در نیم‌فضای صلب	۲/۹۸ g (۱۵/۷۴ s)	۲/۳۷۷ g (۱۶/۲۸ s)
پاسخ در نیم‌فضای الاستیک	۸/۱۹ g (۲/۷۶ s)	۷/۹۱ g (۲/۷۱ s)
جنبش در نیم‌فضای صلب	۸/۴۷ g (۲/۷۷ s)	۸ g (۲/۷ s)
تقویت در نیم‌فضای الاستیک	-----	۳/۱۹ (۵/۹۴۴۴ Hz)
تقویت در نیم‌فضای صلب	-----	۴۲/۶ (۲/۲۷۰۵ Hz)

References

- Abbaszadeh Shahri, A. , Esfandiyari, B. and Hamzeloo, H., 2009- Evaluation of a nonlinear seismic geotechnical site response analysis method subjected to earthquake vibrations (case study:Kerman province, Iran), Arabian Journal of Geosciences, Springer, accepted in 14 December 2009, in print.
- Abbaszadeh Shahri, A., Esfandiyari, B. and Behzadafshar, K., 2010- A proposed procedure for nonlinear site response evaluation on strong ground motion during Ardabil earthquake (28 Feb. 1997) by using “Abbas Converter” computer code, Journal of The Earth, vol.5, Special edition, No1, summer, pp1-21, ISSN 2008-1499.
- Anderson, J.G., Lee, Y., Zeng, Y. and Day, S., 1996-Control of strong motion by the upper 30 meters, Bull. Seism. Soc. Am. 86, 1749-1759.
- Boore, D. M., Joyner, W. B. and Fumal, T. E., 1993- Estimation of response spectra and peak accelerations from Western North American earthquakes: an interim report, U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 93-509.
- Borcherdt, R. D., 1994a- Estimates of site-dependent response spectra for design (methodology and justification), Earthquake Spectra 10, 617-653.
- Borcherdt, R. D., 1994b- An integrated methodology for estimates of site-dependent response spectra, seismic coefficients for site dependent building code provisions, and predictive GIS maps of strong ground shaking, Proceedings of Seminar on New Developments in Earthquake Ground Motion Estimation and Implications for Engineering Design Practice, Applied Technology Council ATC 35-1, 10-1~10-44.
- Building Seismic Safety Council (BSSC),1998, 1997- Edition NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, FEMA 302/303, Part 1 (Provisions) and Part 2 (Commentary), developed for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC., 337 pp.
- Castro, R. R., Mucciarelli, M., Pacor, F. and Petrongaro, C., 1997- S-wave site-response estimates using horizontal-to-vertical spectral ratios, Bull. Seism. Soc. Am. 87, 256-260.
- Hardin, B.O. and Drenvic, V.P., 1972- Shear modulus and damping in soils: measurement and parameter effects, Journal of Soft Mechanics and Foundation Division, 98 (SM6), 603-624.
- Imai, T. and Tonouchi, K., 1982- Correlation of N-value with S-wave velocity, Proc. 2nd Euro. Symp. on Penetration Testing, 67-72.
- Ishibashi, I. and Zhang, X., 1993- Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay, Soils and Foundations, JSSMFE 33(1): 182-191.
- Joyner, W. B. and Fumal, T. E., 1985- Predictive mapping of earthquake ground motion, in Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Region – An Earth-Science Perspective, J. E. Ziony (Editor), U.S. Geol. Surv. Profess. Pap. 1360, 203-220.
- Mohraz, B., 1976- A study of earthquake response spectra for different geological conditions, Bull. Seism. Soc. Am. 66, 915-935.
- Ohta, Y. and Goto, N., 1978- Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristics soil indexes, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 6:167-187.
- Park, S. and Elrick, S.,1998- Predictions of shear-wave velocities in southern California using surface geology, Bull. Seism. Soc. Am. 88, 677-685.
- Seed, H. B., Ugas, C. and Lysmer, J. 1976- Site-dependent spectra for earthquake-resistant design, Bull. Seism. Soc. Am. 66, 221-243.
- Seed, H.B. and Idriss, I.M., 1970- Soil moduli and damping factors for dynamics response analysis. Report No. EERC70-10, University of California, Berkeley.
- www.bhrc.ac.ir (Building and Housing research center)
- Yamazaki, F. and Ansary, M. A.,1997-Horizontal-to-vertical spectrum ratio of earthquake ground motion for site characterization, Earthquake Eng. Struct. Dyn. 26, 671 & 689.
- Yamazaki, F., Wakamatsu, K., Onishi, J. and Shabestari, K. T., 2000- Relationship between geomorphological land classification and site amplification ratio based on JMA strong motion records, Soil Dyn. Earthquake Eng. 19, 41-53.