



وزارت بهداشت و درمان
مرکز تحقیقات رادیولوژی و تصویربرداری

طیف طرح برای زلزله های میدان نزدیک با نگاهی بر اثر محتوای فرکانسی بر رفتار خاک

مجری:

دکتر عطاء آقایی آرایي

همکاران:

دکتر احمد رضا قدرتی قزائنی

دکتر ناهید عطارچیان

امیر سعید سلامت

حسین حسنی

کد نشر: گ-۸۶۳

چاپ اول: ۱۳۹۸

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



طیف طرح برای زلزله‌های میدان نزدیک با نگاهی بر اثر محتوای فرکانسی بر رفتار خاک

مجری:

دکتر عطاء آقایی آرای

همکاران:

دکتر احمد رضا قدرتی قزائی

دکتر ناهید عطارچیان

امیر سعید سلامت

حسین حسینی

شماره نشر: گ-۸۶۳

چاپ اول: ۱۳۹۸

سرشناسه	: آقای آرائی، عطاء، ۱۳۵۶
عنوان و نام پدیدآور	: طیف طرح برای زلزله‌های میدان نزدیک با نگاهی بر اثر محتوای فرکانسی بر رفتار خاک/ مجری عطاء آقای آرائی؛ همکاران احمدرضا قدرتی‌قزائی ... [و دیگران].
مشخصات نشر	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۲۶۳ ص.: جدول، نمودار
فروست	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شماره نشر: گ-۸۶۳
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۲۳۹-۱
وضعیت فهرستویی	: فیبا
یادداشت	: همکاران احمدرضا قدرتی‌قزائی، ناهید عطارچیان، امیرسعید سلامت، حسین حسینی
یادداشت	: ص.ع. به انگلیسی: A. Aghaei Araei, design spectra for near fault ground motions considering frequency-dependence of material behavior
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۲۵۹ - ۲۶۳
موضوع	: امواج زلزله -- ایران
موضوع	: Seismic waves -- Iran
موضوع	: خاک -- دینامیک
موضوع	: Soil dynamics
موضوع	: زلزله -- ایران -- تجزیه و تحلیل خطرات
موضوع	: Earthquake hazard analysis -- Iran
شناسه افزوده	: قدرتی قزائی، احمدرضا، ۱۳۶۷
شناسه افزوده	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
شناسه افزوده	: Road, Housing and Urban Development Research Center
رده بندی کنگره	: QE۵۳۸/۵
رده بندی دیویی	: ۵۵۱/۲۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۹۸۱۵۱۴



نام کتاب: طیف طرح برای زلزله‌های میدان نزدیک با نگاهی بر اثر محتوای فرکانسی بر رفتار خاک
مجری: دکتر عطاء آقای آرائی

همکاران: دکتر احمدرضا قدرتی قزائی، دکتر ناهید عطارچیان، امیرسعید سلامت، حسین حسینی
شماره نشر: گ-۸۶۳

ناشر: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

نوبت چاپ: اول

تیراژ: ۲۰ جلد

قطع: وزیری

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: اداره انتشارات و چاپ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

قیمت: ۴۰۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-113-239-1

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۲۳۹-۱

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.
کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر برای مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی محفوظ است.

نشانی ناشر: تهران، بزرگراه شیخ فضل ... نوری، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۶۹۶ تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۳۸۴۱۳۲
پست الکترونیکی: pub@bhrc.ac.ir فروش الکترونیکی: http:// pub.bhrc.ac.ir

پیشگفتار

پهنه لرزه‌خیز ایران زلزله‌های مخرب زیادی را تجربه کرده است. پیدایش مجدد آبادی‌ها که همزیستی جوامع انسانی با این پدیده طبیعی را به دنبال دارد، نیازمند توسعه دانش مهندسی، مطالعات پایه، مهارت‌های فنی و مدیریت‌های اجرایی در زمینه مهندسی زلزله، دینامیک خاک و پهنه‌بندی لرزه‌ای است. در این راستا شناخت هر چه بیشتر رفتار خاک تحت بارهای لرزه‌ای در فرکانس‌های متفاوت و ارائه طیف طراحی خصوصاً برای مناطق میدان نزدیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دو پارامتر اساسی مورد نیاز برای پاسخ نهشته‌ها و سازه‌های خاکی تحت بارگذاری زلزله شامل سختی برشی و میرایی مصالح برای لایه‌های مختلف خاک می‌باشد. مطالعات قبلی انجام شده روی مصالح سنگریزه‌ای، مهم بودن اثر فرکانس بارگذاری بر منحنی مدول برشی و خصوصاً میرایی و همچنین اثر قابل ملاحظه آن بر طیف پاسخ را نشان داد. با وجود این‌که مطالعات گسترده‌ای در مورد ماسه‌ها، سیلت‌ها و رس‌های مرجع انجام شده است اما تلاش‌های اندکی برای شناخت رفتار دینامیکی مصالح آبرفتی بومی با توجه به اثر فرکانس بارگذاری و غیرهمسانی صورت گرفته است. با توجه به فراهم بودن دستگاه سه محوری قطر بزرگ در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی آزمایش‌های سه محوری قطر بزرگ دینامیکی روی شش نوع مصالح مخلوط خاکی مختلف در کشور در فرکانس‌های مختلف انجام شده است. با استفاده از منحنی رفتاری با در نظرگیری فرکانس بارگذاری، غیرهمسانی، عمق ستون خاک و شتاب مبنای مختلف، طیف طراحی زلزله‌های میدان نزدیک بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که طیف طراحی زلزله‌های میدان نزدیک خصوصاً پریود نظیر شاخه نزولی طیف برای انواع خاکها، باید اصلاح شود. امید است با انجام آزمایش‌های بیشتر با تمرکزی بر اثر محتوای فرکانسی روی سایر مصالح خاکی تحت شرایط مختلف و همچنین تحلیل‌های عددی، دانش و آگاهی در این زمینه افزایش و اسناد پشتیبان آیین نامه‌های ملی فراهم شود.

محمد شکرچی زاده

رئیس مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار.....	ا
فهرست مطالب.....	ب
فهرست تصاویر.....	د
فهرست جداول.....	ع
پیشگفتار مؤلفین.....	ف
چکیده.....	ص
مقدمه.....	ق
فصل اول.....	۱
۱- مرور ادبیات فنی موضوع.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- عوامل موثر بر رفتار دینامیکی خاکها.....	۱
۳-۱- اثرات ساختگاهی به روش مدل یک بعدی، روش خطی معادل.....	۲
۴-۱- تفاوت زلزله های میدان نزدیک و میدان دور از نظر فرکانس بارگذاری.....	۴
۴-۱-۱- ویژگی طیف زلزله های میدان نزدیک برای مولفه عمود برگسل.....	۶
۴-۱-۱-۱- اثر حوزه نزدیک در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ ایران.....	۷
۴-۱-۱-۲- اثر حوزه نزدیک در آیین نامه UBC 97.....	۱۰
۵-۱- روشهای فعلی در نظریه اثر فرکانس در تحلیلهای یک بعدی.....	۱۸
۵-۱-۱- اثر فرکانس بر رفتار دینامیکی مصالح ریزدانه و ماسه ای.....	۲۳
۵-۱-۲- بهبود مدلسازی رفتار وابسته به فرکانس در تحلیل خطی معادل.....	۲۵
۶-۱- طیف پاسخ مصالح سنگریزه‌ای بسیار متراکم با در نظرگیری اثر محتوای فرکانسی و مقایسه آن با طیف طراحی آیین نامه ها.....	۳۰
۷-۱- محدودیتهای روشهای تحلیلی فعلی.....	۳۹
۸-۱- نتیجه گیری.....	۳۹
فصل دوم.....	۴۳
۲- منحنی های مدول برشی و نسبت میرایی با تمرکزی بر اثر فرکانس بارگذاری و غیرهمسانی.....	۴۳
۱-۲- مقدمه.....	۴۳
۲-۲- مشخصات مصالح مورد بررسی.....	۴۳
۳-۲- برنامه آزمایش های دینامیکی.....	۴۶
۳-۲-۱- روش آزمایش.....	۴۷

۴۷	۲-۴- نتایج آزمایش‌های خصوصیات دینامیکی مصالح
۹۳	۲-۵- جمع بندی
۹۵	فصل سوم
۹۵	۳- طیف‌های پاسخ با در نظرگیری اثر محتوای فرکانسی و غیرهمسانی
۹۵	۳-۱- مقدمه
۹۶	۳-۲- مشخصات زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته و تحلیل‌ها
۱۰۶	۳-۲-۱- انتخاب طیف طراحی
۱۰۷	۳-۲-۲- انتخاب زون لرزه‌ای طیف UBC برای فواصل کمتر از ۲ km
۱۰۸	۳-۳- نتایج تحلیل‌ها برای سرعت موج برشی صحرایی
۱۰۸	۳-۳-۱- ستون خاک ۳۰ متری غیرهمسان
۱۱۹	۳-۳-۲- ستون خاک ۶۰ متری حالت غیرهمسان
۱۳۰	۳-۳-۳- ستون خاک ۳۰ متری همسان
۱۴۰	۳-۳-۴- ستون خاک ۶۰ متری حالت همسان
۱۵۲	۳-۴- نتایج تحلیل‌ها برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی
۱۵۲	۳-۴-۱- ستون خاک ۳۰ متری غیرهمسان
۱۶۳	۳-۴-۲- ستون خاک ۶۰ متری حالت غیرهمسان
۱۷۴	۳-۴-۳- ستون خاک ۳۰ متری همسان
۱۹۷	۳-۵- ضریب بزرگنمایی خاک‌های مختلف مورد بررسی
۲۰۱	۳-۶- ضریب بازتاب خاک‌های مختلف مورد بررسی
۲۱۵	۳-۷- نسبت ضریب بازتاب خاک‌های مختلف مورد بررسی
۲۱۶	۳-۸- نسبت شتاب طیفی متوسط خاک‌های مورد بررسی
۲۱۶	۳-۹- طیف سرعت نسبی متوسط خاک‌های مورد بررسی
۲۱۸	۳-۱۰- طیف جابجایی نسبی متوسط خاک‌های مورد بررسی
۲۲۲	۳-۱۱- محدودیت‌های تحلیل‌های به کار رفته
۲۲۲	۳-۱۲- جمع بندی
۲۲۳	فصل چهارم
۲۲۳	۴-۱- جمع بندی و نتیجه گیری
۲۳۵	۴-۲- خلاصه نتایج
۲۳۶	۴-۳- پیشنهادها
۲۳۷	منابع و مأخذ

فهرست تصاویر

صفحه	عنوان
۳	شکل ۱-۱- لایه خاک یک بعدی تنها روی سنگ بستر برای انتشار موج برشی
۳	شکل ۲-۱- مدول برشی، نسبت میرایی در برابر کرنش برشی مصالح ماسه‌ای، شنی و رسی
۳	شکل ۳-۱- اندازه گیری مقیاس برای موجک سرعت ساده معرف جنبش های میدان نزدیک (چپ)، شتاب نظیر (مرکز) و طیف پاسخ سرعت (راست) [41]
۶	شکل ۴-۱- (A) موجکهای سرعت عمود بر گسل ثبت شده نزدیک سه زلزله با اندازه متوسط (ستون چپ) و سه زلزله با اندازه بزرگ (ستون راست) با مقیاسهای برابر، (B) طیف پاسخ شتاب مربوطه همراه با طیف آیین نامه UBC 1994 جهت مقایسه [41]
۷	شکل ۵-۱- طیف سرعت موجکهای عمود بر گسل زلزله های متوسط (چپ) و بزرگ (راست) [41]
۸	شکل ۶-۱- طیف جابجایی موجکهای عمود بر گسل زلزله های متوسط (چپ) و بزرگ (راست) [39]
۹	شکل ۷-۱- مقایسه طیف پاسخ شتاب ویرایش ۳ و ۴ استاندارد ۲۸۰۰ در سطوح لرزه‌خیزی کم و متوسط
۱۰	شکل ۸-۱- مقایسه طیف پاسخ شتاب ویرایش ۳ و ۴ استاندارد ۲۸۰۰ در سطوح لرزه‌خیزی زیاد و خیلی زیاد
۱۱	شکل ۹-۱- طیف پاسخ شتاب طرح ارتجاعی مطابق آییننامه UBC 97
۱۲	شکل ۱۰-۱- مقایسه طیف پاسخ شتاب طرح استاندارد ۲۸۰۰ و UBC 97 در مناطق با لرزه‌خیزی خیلی زیاد و خاک نوع II
۱۳	شکل ۱۱-۱- مقایسه طیف پاسخ شتاب طرح استاندارد ۲۸۰۰ و UBC 97 در مناطق با لرزه‌خیزی خیلی زیاد و خاک نوع III
۱۴	شکل ۱۲-۱- مقایسه طیف پاسخ شتاب طرح استاندارد ۲۸۰۰ و UBC 97 در مناطق با لرزه‌خیزی خیلی زیاد و خاک نوع IV
۱۶	شکل ۱۳-۱- مقادیر ضرایب تشدید F_a و F_v برای انواع خاک ها مطابق ASCE 7
۱۷	شکل ۱۴-۱- نحوه تبدیل شتاب طیفی بر حسب فاصله از گسل از سطح خطر نهایی به طرح
۱۸	شکل ۱۵-۱- طیف پاسخ شتاب در سطح خطر طرح مطابق آیین نامه ASEC 7-10
۲۰	شکل ۱۶-۱- رابطه دامنه کرنش در برابر فرکانس [16]
۲۰	شکل ۱۷-۱- منحنی های صاف شده [46]
۲۱	شکل ۱۸-۱- الف) طیف کرنش پوش شده نرم به محتوای فرکانسی به رکورد سرعت زلزله کویه در JMA با $\alpha = 0.2825$ و $\beta = 2/222$ ، ب) مقایسه طیف پاسخ کرنش زلزله های مختلف در محیط غیر وابسته [16]
۲۲	شکل ۱۹-۱- مقایسه مشخصات وابسته به فرکانس در SHAKE و FDEL (اصلاح شده [15])
۲۳	شکل ۲۰-۱- مدول برشی بی بعد شده (نسبت به فرکانس ۰/۵ هرتز) در برابر فرکانس بارگذاری برای خاک چسبنده دست نخورده با $PI = 20-30$ [3]
۲۴	شکل ۲۱-۱- رسم نمایشی چگونگی در نظر گیری وابستگی به نرخ کرنش نسبت میرایی در کرنش های کوچک در مدل های پیشنهادی [3]

- شکل ۱-۲۲- رفتار وابسته به فرکانس $D/D_{0.1}$ Hz در دو تراز کرنش برش 0.1% و 0.01% مصالح سنگریزه ای S.SBU برای تنش های محدود کننده 1 kg/cm^2 و 4 kg/cm^2 ۲۴
- شکل ۱-۲۳- رفتار وابسته به فرکانس $D/D_{0.1}$ Hz در دو تراز کرنش برش 0.1% و 0.01% مصالح سنگریزه ای S.SBU برای تنش های محدود کننده 1 kg/cm^2 و 15 kg/cm^2 ۲۵
- شکل ۱-۲۴- رابطه دامنه کرنش در برابر فرکانس [46] ۲۶
- شکل ۱-۲۵- تغییرات نسبت میرایی و مدول برشی مرکب بی بعد به صورت تابعی از نسبت میرایی بحرانی ξ ($\xi = \pi f \eta / G$) ۲۸
- شکل ۱-۲۶- فلوچارت تحلیل پاسخ در FDEL (اصلاح شده [13,14]) ۳۰
- شکل ۱-۲۷- تغییرات شتاب طیفی بی بعد شده (ضریب بازتاب B آیین نامه ۲۸۰۰) در برابر پریود برای ستون خاک به ضخامت ۳۰ متر و ۹۰ متر تحت شتاب مبنای $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای (الف) مولفه عمود بر گسل، (ب) مولفه موازی گسل و (ج) مولفه قائم زلزله های بکار رفته برای سنگریزه ای بسیار متراکم ۳۶
- شکل ۱-۲۸- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک به ضخامت ۳۰ متر و ۹۰ متر تحت شتاب مبنای $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای (L) مولفه عمود بر گسل، (T) مولفه موازی و (V) مولفه قائم زلزله های میدان نزدیک بکار رفته برای سنگریزه ای بسیار متراکم ۳۷
- شکل ۱-۲۹- تغییرات طیف جابجایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک به ضخامت ۳۰ متر و ۹۰ متر تحت شتاب مبنای $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای (L) مولفه عمود بر گسل، (T) مولفه موازی و (V) مولفه قائم زلزله های میدان نزدیک بکار رفته برای سنگریزه ای بسیار متراکم ۳۸
- شکل ۱-۳۰- دانه بندی معرف مصالح انتخابی جهت انجام آزمایش ۴۵
- شکل ۲-۲- نتایج $G-\gamma$ مصالح گمانه BH8 با رطوبت بهینه پردیس برای نمونه تحت تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 در دو حالت تحکیم همسان و تحکیم تحت تنش محوری قائم ۴۹
- شکل ۲-۳- مقایسه منحنی های ادبیات فنی با نتایج $G/G_{max}-\gamma$ در تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 نمونه های تحکیم همسان و تحت تنش محوری قائم اولیه با $\sigma'_1/\sigma'_3 = 2$ در فرکانس های متفاوت مصالح پردیس گمانه BH8 با رطوبت بهینه ۵۲
- شکل ۲-۴- مقایسه منحنی های ادبیات فنی با نتایج $D-\gamma$ حالت همسان و تحت تنش محوری قائم با نسبت $\sigma'_1/\sigma'_3 = 2$ برای تنش های محدودکننده و فرکانس های مختلف تحت موج سینوسی مصالح پردیس گمانه BH8 با رطوبت بهینه ۵۴
- شکل ۲-۵- نتایج $G-\gamma$ مصالح گمانه BH14 با رطوبت بهینه پردیس نمونه تحت تنش های محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 در دو حالت تحکیم همسان و تحکیم تحت تنش محوری قائم ۵۶
- شکل ۲-۶- مقایسه منحنی های ادبیات فنی با نتایج $G/G_{max}-\gamma$ در تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 تحت تحکیم همسان و تحت تنش محوری قائم اولیه با نسبت σ'_1/σ'_3 مختلف در فرکانس های متفاوت مصالح پردیس گمانه BH14 با رطوبت بهینه ۵۹
- شکل ۲-۷- مقایسه منحنی های ادبیات فنی با نتایج $D-\gamma$ حالت همسان و تحت تنش محوری قائم برای تنش های محدودکننده و فرکانس های مختلف مصالح پردیس در گمانه BH14 با رطوبت بهینه ۶۱

- شکل ۸-۲ - نتایج $G-\gamma$ مصالح گمانه BH8 پردیس با رطوبت بهینه برای نمونه تحت تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 در دو حالت همسان و تحت تنش محوری قائم ۶۳
- شکل ۹-۲ - مقایسه منحنی های ادبیات فنی با نتایج $G/G_{\max}-\gamma$ در تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 تحت تحکیم همسان و تحت تنش محوری قائم اولیه با نسبت σ'_1/σ'_3 برابر ۲ در فرکانس های متفاوت مصالح سمنان گمانه BH8 با رطوبت بهینه ۶۶
- شکل ۱۰-۲ - مقایسه منحنی های ادبیات فنی با نتایج $D-\gamma$ حالت همسان و تحت تنش محوری قائم با نسبت $\sigma'_1/\sigma'_3=2$ برای تنش های محدودکننده و فرکانس های مختلف مصالح سمنان گمانه BH8 با رطوبت بهینه ۶۸
- شکل ۱۱-۲ - نتایج $G-\gamma$ مصالح گمانه BH32 سمنان با رطوبت بهینه نمونه تحت تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 در دو حالت تحکیم همسان و تحکیم تحت تنش های محوری قائم متفاوت ۷۰
- شکل ۱۲-۲ - مقایسه منحنی ادبیات فنی با نتایج $G/G_{\max}-\gamma$ در تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 حالت همسان و تحت تنش محوری قائم اولیه مصالح سمنان گمانه BH32 با رطوبت بهینه ۷۳
- شکل ۱۳-۲ - مقایسه منحنی ادبیات فنی با نتایج $D-\gamma$ در تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 نمونه همسان و تحکیم تحت تنش محوری قائم اولیه و فرکانس های مختلف مصالح سمنان گمانه BH32 با رطوبت بهینه ۷۵
- شکل ۱۴-۲ - نتایج $G-\gamma$ مصالح گمانه BH34 سمنان برای نمونه تحت تنش های محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 در دو حالت تحکیم همسان و تحکیم تحت تنش های محوری قائم ۷۷
- شکل ۱۵-۲ - مقایسه منحنی ادبیات فنی با نتایج $G/G_{\max}-\gamma$ در تنش محدودکننده همسان ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 و تحت تنش محوری قائم اولیه با نسبت σ'_1/σ'_3 مختلف مصالح سمنان گمانه BH34 ۸۰
- شکل ۱۶-۲ - مقایسه منحنی ادبیات فنی با نتایج $D-\gamma$ در تنش محدودکننده همسان ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 و تحکیم تحت تنش محوری قائم اولیه و فرکانس های مختلف مصالح سمنان گمانه BH34 ۸۲
- شکل ۱۷-۲ - نتایج $G-\gamma$ مصالح گمانه BH3 سرخه برای نمونه تحت تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 در دو حالت تحکیم همسان و تحکیم تحت تنش محوری قائم ۸۴
- شکل ۱۸-۲ - مقایسه منحنی های ادبیات فنی با نتایج $G/G_{\max}-\gamma$ در تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 نمونه تحکیم همسان و تحت تنش محوری قائم اولیه با نسبت σ'_1/σ'_3 برابر ۲ در فرکانس های متفاوت مصالح سرخه گمانه BH3 با رطوبت بهینه ۸۷
- شکل ۱۹-۲ - مقایسه منحنی های ادبیات فنی با نتایج $D-\gamma$ حالت همسان و تحت تنش محوری قائم با نسبت $\sigma'_1/\sigma'_3=2$ برای تنش های محدودکننده و فرکانس های مختلف مصالح سرخه گمانه BH3 با رطوبت بهینه ۸۹
- شکل ۱-۳ - شتابنگاشت زلزله های به کار رفته ۱۰۵
- شکل ۲-۳ - منحنی های رفتار دینامیکی سنگ بستر [59] ۱۰۶
- شکل ۳-۳ - تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.3g$ و $1g$ مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۱۰
- شکل ۴-۳ - تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.3g$ و $1g$ مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۱۱

- شکل ۳-۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۱۲
- شکل ۳-۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۱۳
- شکل ۳-۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۵ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۱۴
- شکل ۳-۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۱۰ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۱۴
- شکل ۳-۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۱۵
- شکل ۳-۱۰- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۱۶
- شکل ۳-۱۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۱۷
- شکل ۳-۱۲- تغییرات طیف جابه‌جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۱۸
- شکل ۳-۱۳- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۲۱
- شکل ۳-۱۴- تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۲۲
- شکل ۳-۱۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۲۳

- شکل ۳-۱۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۲۴
- شکل ۳-۱۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و در فرکانس ۵ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۲۵
- شکل ۳-۱۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۱۰ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۲۵
- شکل ۳-۱۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۲۶
- شکل ۳-۲۰- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۲۷
- شکل ۳-۲۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۲۸
- شکل ۳-۲۲- تغییرات طیف جابه‌جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی ۱۲۹
- شکل ۳-۲۳- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۳۱
- شکل ۳-۲۴- تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۳۲
- شکل ۳-۲۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۳۳
- شکل ۳-۲۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۳۴
- شکل ۳-۲۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۵ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۳۵

- شکل ۳-۲۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۱۰ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۳۶
- شکل ۳-۲۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۳۷
- شکل ۳-۳۰- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری در حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۳۸
- شکل ۳-۳۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۳۹
- شکل ۳-۳۲- تغییرات طیف جابه‌جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۴۰
- شکل ۳-۳۳- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۴۳
- شکل ۳-۳۴- تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۴۴
- شکل ۳-۳۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۴۵
- شکل ۳-۳۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۴۶
- شکل ۳-۳۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و در فرکانس ۵ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۴۷
- شکل ۳-۳۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۹۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۱۰ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز ۱۴۷

- شکل ۳-۳۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها
مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۴۸
- شکل ۳-۴۰- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها
مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی ۱۴۹
- شکل ۳-۴۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای
سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج
صحرایی ۱۵۰
- شکل ۳-۴۲- تغییرات طیف جابه جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH همسان سرعت موج
صحرایی ۱۵۱
- شکل ۳-۴۳- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۵۳
- شکل ۳-۴۴- تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ
بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۵۴
- شکل ۳-۴۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ
بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۵۶
- شکل ۳-۴۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای
سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل بم مصالح SC/CH غیرهمسان سرعت موج برشی
آزمایشگاهی ۱۵۷
- شکل ۳-۴۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای
سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۵ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت
غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۵۸
- شکل ۳-۴۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای
سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۱۰ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز مصالح SC/CH
حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۵۸
- شکل ۳-۴۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها
مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۵۹
- شکل ۳-۵۰- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری در حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها
مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۶۰

- شکل ۳-۵۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود ستون خاک ۳۰ متری تحت شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۶۱
- شکل ۳-۵۲- تغییرات طیف جابه‌جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت شتاب سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۶۲
- شکل ۳-۵۳- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۶۶
- شکل ۳-۵۴- تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۶۷
- شکل ۳-۵۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۶۸
- شکل ۳-۵۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۶۹
- شکل ۳-۵۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۵ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۷۰
- شکل ۳-۵۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۱۰ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۷۰
- شکل ۳-۵۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۷۱
- شکل ۳-۶۰- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۷۲
- شکل ۳-۶۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۷۳

- شکل ۳-۶۲- تغییرات طیف جابه جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت شتاب سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۷۴
- شکل ۳-۶۳- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۷۶
- شکل ۳-۶۴- تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۷۷
- شکل ۳-۶۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۷۸
- شکل ۳-۶۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مولفه عمود بر گسل بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۷۹
- شکل ۳-۶۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ در فرکانس ۵ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۸۰
- شکل ۳-۶۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ در فرکانس ۱۰ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۸۰
- شکل ۳-۶۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مولفه عمود بر گسل زلزله های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل ها مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۸۱
- شکل ۳-۷۰- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری در حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای هر سه مولفه زلزله های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل ها مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۸۲
- شکل ۳-۷۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۸۳
- شکل ۳-۷۲- تغییرات طیف جابه جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۸۴
- شکل ۳-۷۳- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۸۸

- شکل ۳-۷۴- تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۸۹
- شکل ۳-۷۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۹۰
- شکل ۳-۷۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۹۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۹۱
- شکل ۳-۷۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۵ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۹۲
- شکل ۳-۷۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۱۰ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۹۲
- شکل ۳-۷۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۹۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۹۳
- شکل ۳-۸۰- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۹۴
- شکل ۳-۸۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۹۵
- شکل ۳-۸۲- تغییرات طیف جابه جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۱۹۶
- شکل ۳-۸۳- حداکثر سرعت نسبی در برابر فرکانس برای زلزله‌های میدان نزدیک تحت شتاب سنگ بستر ۰/۳۵g برای ستون خاک ۳۰ متری ۱۹۷
- شکل ۳-۸۴- ضریب بزرگنمایی متوسط برای مولفه L زلزله‌ها تحت شتاب ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g، ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SC/CH برای سرعت موج برشی صحرایی و شرایط غیرهمسان حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۱۹۸

- شکل ۳-۸۵- ضریب بزرگنمایی متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $0.1g$ و $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SC/CH سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط غیرهمسان حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۱۹۹
- شکل ۳-۸۶- ضریب بزرگنمایی متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $0.1g$ و $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SM/GM سرعت موج برشی صحرایی و شرایط غیرهمسان حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۲۰۰
- شکل ۳-۸۷- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $0.1g$ و $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای خاک نوع I در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۲۰۲
- شکل ۳-۸۸- ضریب بازتاب برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $0.1g$ و $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری برای خاک نوع I در حالت وابستگی به فرکانس ۲۰۳
- شکل ۳-۸۹- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $0.1g$ و $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای خاک نوع II در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۲۰۴
- شکل ۳-۹۰- ضریب بازتاب برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $0.1g$ و $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری برای خاک نوع II در حالت وابستگی به فرکانس ۲۰۵
- شکل ۳-۹۱- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SM/GM برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط غیرهمسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۲۰۶
- شکل ۳-۹۲- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $0.35g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SM برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط همسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۲۰۶
- شکل ۳-۹۳- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح ML برای سرعت موج برشی صحرایی و شرایط همسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۲۰۶
- شکل ۳-۹۴- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SW برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط غیرهمسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۲۰۷
- شکل ۳-۹۵- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $0.1g$ و $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای خاک نوع III در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۲۰۸
- شکل ۳-۹۶- ضریب بازتاب برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $0.1g$ و $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری برای خاک نوع III در حالت وابستگی به فرکانس ۲۰۹
- شکل ۳-۹۷- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $0.35g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SM/GM برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط همسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۲۱۰
- شکل ۳-۹۸- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $0.35g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SC برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط غیرهمسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۲۱۰

- شکل ۳-۹۹- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها شتاب $g/0.1$ ، $g/0.35$ و $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای خاک نوع IV در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۲۱۱
- شکل ۳-۱۰۰- ضریب بازتاب برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $g/0.1$ ، $g/0.35$ و $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری برای خاک نوع IV در حالت وابستگی به فرکانس ۲۱۲
- شکل ۳-۱۰۱- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه V زلزله ها شتاب $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SW برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط غیرهمسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۲۱۳
- شکل ۳-۱۰۲- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه V زلزله ها شتاب $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SC/CH برای سرعت موج آزمایشگاهی و شرایط همسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۲۱۴
- شکل ۳-۱۰۳- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه V زلزله ها شتاب $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SM/GM سرعت موج برشی صحرایی و شرایط غیرهمسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۲۱۵
- شکل ۳-۱۰۴- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه V زلزله ها شتاب $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح ML سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط غیرهمسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس ۲۱۶
- شکل ۳-۱۰۵- نسبت ضریب بازتاب متوسط برای مولفه های L، T و V زلزله ها تحت شتاب $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SC/CH برای سرعت موج برشی صحرایی و شرایط غیرهمسان در حالت وابستگی به فرکانس ۲۱۷
- شکل ۳-۱۰۶- نسبت ضریب بازتاب متوسط برای مولفه های L، T و V زلزله ها تحت شتاب $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SC سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط همسان در حالت وابستگی به فرکانس ۲۱۸
- شکل ۳-۱۰۷- طیف سرعت نسبی متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای سرعت موج برشی صحرایی ۲۱۹
- شکل ۳-۱۰۸- طیف جابجایی نسبی متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای سرعت موج برشی صحرایی ۲۲۰
- شکل ۳-۱۱۰- طیف جابجایی نسبی متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی ۲۲۱

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- فرکانس غالب تعدادی داده رقومی مهم زلزله‌های میدان نزدیک- متوسط ۴.۵۵ هرتز	۵
جدول ۲-۱- فرکانس غالب تعدادی داده رقومی مهم زلزله‌های میدان دور در ایران - متوسط ۱.۹۶ هرتز	۵
جدول ۳-۱- فرکانس بارگذاری در انواع مسائل دینامیکی [اصلاح شده 40]	۵
جدول ۴-۱- مقادیر ضریب حوزه نزدیک N_a طبق UBC 97	۱۰
جدول ۵-۱- مقادیر ضریب حوزه نزدیک N_v طبق UBC 97	۱۱
جدول ۶-۱- مقادیر شتاب پاسخ طرح C_a و C_v در محدوده لرزه خیزی خیلی زیاد Zone 4 برای انواع خاکها، مطابق UBC 97	۱۱
جدول ۷-۱- طبقه بندی مشخصات منابع لرزه زا طبق UBC 97	۱۲
جدول ۸-۱- مقادیر T_s برای انواع خاکها در سطوح لرزه خیزی مختلف UBC 97 و استاندارد ۲۸۰۰	۱۵
جدول ۹-۱- عناوین و طبقه‌بندی نوع خاک ساختمانی در UBC 97, ASCE 7 و استاندارد ۲۸۰۰ ایران	۱۶
جدول ۱۰-۱- مقادیر T_s در ASCE7 شرق آمریکا و مقایسه با مقادیر پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ برای خاک نظیر	۱۹
جدول ۱۱-۱- مقادیر T_s در ASCE7 غرب آمریکا و مقایسه آن با مقادیر پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ برای خاک نظیر	۱۹
جدول ۱-۲- مشخصات مصالح به کار رفته در این مطالعات	۴۴
جدول ۲-۲- نتایج آزمون های شیمیایی شش نمونه خاک	۴۵
جدول ۳-۲- مشخصات آزمایش های نوسانی انجام شده روی مصالح ریزدانه و ماسه‌ای	۴۶
جدول ۴-۲- G_{max} مصالح گمانه BH8 پردیس نمونه تحکیم همسان و غیرهمسان با رطوبت بهینه	۵۰
جدول ۵-۲- G_{max} مصالح گمانه BH14 پردیس نمونه‌های تحکیم همسان و غیرهمسان با رطوبت بهینه	۵۷
جدول ۶-۲- G_{max} مصالح گمانه BH8 سمنان نمونه‌های تحکیم همسان و غیرهمسان با رطوبت بهینه	۶۴
جدول ۷-۲- G_{max} مصالح گمانه BH32 سمنان نمونه‌های تحکیم همسان و غیرهمسان با رطوبت بهینه	۷۱
جدول ۸-۲- G_{max} مصالح گمانه BH34 سمنان نمونه‌های تحکیم همسان و غیرهمسان با رطوبت بهینه و رطوبت ۷٪	۷۸
جدول ۹-۲- G_{max} مصالح گمانه BH3 سرخه نمونه‌های تحکیم همسان ($\sigma'_1/\sigma'_3=1$) و غیر همسان ($\sigma'_1/\sigma'_3=2$) با رطوبت بهینه	۸۵
جدول ۱-۳- مشخصات زلزله های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیلهای پاسخ زمین در این پژوهش	۹۷
جدول ۲-۳- شتاب حرکت افقی زمین دوره بازگشت های مختلف روی سنگ کف تعدادی از شهرهای کشور	۹۸
جدول ۳-۳- طبقه بندی زمین براساس سرعت موج برشی در ۳۰ متر لایه های سطحی طبق استاندارد ۱۰۶.۲۸۰۰	۱۰۶

پیشگفتار مجری

در این پژوهش طیف طراحی زلزله های میدان نزدیک با نگاهی به اثر محتوای فرکانسی بر رفتار مصالح خاکی برای ۶ نوع خاک بومی کشور ارائه شده است. نتایج برای هر چهار نوع طیف طرح معرفی شده در آیین نامه ۲۸۰۰ مقایسه شده است. نتایج این تحقیق بازنگری طیفهای طراحی فعلی خصوصاً اصلاح پریود نظیر شاخه نزولی طیف را گوشزد می کند.

چکیده

تحلیل‌های خطی معادل یک بعدی پاسخ زمین که رفتار غیرخطی خاک را به صورت خطی تقریب می‌زنند، به طور وسیع برای برآورد اثر شرایط محلی ساختگاه به کار می‌روند. در این تحلیل‌ها رفتار اغلب رفتار خاک مستقل از فرکانس بارگذاری زلزله‌ها فرض می‌شود. مهمترین پارامترهای دینامیکی خاک‌ها، مدول برشی (G) و نسبت میرایی (D) می‌باشند که در هر تحلیل خطی معادل و تحلیل‌های غیرخطی بکار می‌روند. با وجود مطالعات گسترده در مورد ماسه‌ها، سیلت‌ها و رس‌های مرجع در سطح کرنشهای کوچک، تلاش‌های اندکی برای شناخت رفتار دینامیکی مصالح خاکی متراکم طبیعی با تمرکزی بر اثر محتوای فرکانسی با استفاده از دستگاه سه محوری بزرگ مقیاس اختصاص یافته است. لذا در این تحقیق، منحنی رفتار دینامیکی طبق استاندارد ASTM D3999 برای شش مصالح مخلوط خاکی با دانه‌بندی و مشخصات متفاوت مکانیک خاک تحت تنش محدودکننده موثر ۱، ۲ و kg/cm^2 و فرکانس‌های ۰/۵، ۱، ۲، ۵ و 10Hz در تحلیل‌های یک بعدی در نظر گرفته شد. در مجموع از نتایج ۲۱۶ آزمایش منحنی‌های رفتار دینامیکی برای حالت تحکیم همسان و تنش محوری قائم با نسبت‌های σ'_1/σ'_3 برابر ۱/۵ و ۲ در تحلیل‌ها استفاده شد. بدین منظور برای بررسی میزان بزرگنمایی، طیف شتاب، نسبت شتاب طیفی، ضریب بازتاب (B) طیف سرعت و طیف جابه‌جایی در سطح زمین با توجه به رفتار ۶ مصالح مختلف در فرکانس‌های بارگذاری مختلف تحت زلزله‌های میدان نزدیک، ۲۰۷۳۶ تحلیل یک بعدی با نرم‌افزار EERA برای ستون‌هایی از خاک به ارتفاع ۳۰ و ۶۰ متر انجام شده است. تحلیل‌ها برای سه سطح خطر زلزله یعنی $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ با مقیاس کردن به صورت ساده، تحت شرایط همسان و غیرهمسان صورت گرفته است. هردو سرعت موج برشی آزمایشگاهی و صحرایی در تحلیل‌ها استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد انتخاب منحنی‌های مدول برشی و میرایی تحت فرکانس بارگذاری مناسب در تطابق نسبی با فرکانس غالب زلزله از اهمیت خاصی برخوردار است؛ به‌طوری‌که در نظریه اثر محتوای فرکانسی باعث بیشتر شدن پریود متناظر Ts استاندارد ۲۸۰۰ از $0.4/0.5$ ، $0.7/1$ و $1/2$ ثانیه به $0.5/0.75$ ، $0.9/1.4$ و $1/4$ ثانیه به ترتیب برای خاکهای نوع I، II، III و IV می‌شود. حداکثر مقدار ضریب بازتاب براساس نتایج، طیف پاسخ وابسته به فرکانس خاکها، به نوع خاک، دست خوردگی، ضخامت ستون خاک، دامنه، تعداد سیکل‌های معادل برای $\tau_{\max}/0.65$ و محتوای فرکانسی زلزله ورودی وابسته است. همچنین برای شتاب‌های $0.35g$ و $1g$ برای خاک نوع I و II و (III و IV) به ترتیب طیف سرعت نسبی حداکثر 150 cm/s تا 300 و 250 cm/s تا 550 پیشنهاد می‌شود. حداکثر طیف جابجایی نسبی حدود 150 سانتیمتر پیشنهاد می‌شود. طیفهای سرعت و جابجایی حاصل با طیفهای UBC و استاندارد ۲۸۰۰ مقایسه شدند. نتایج بازنگری طیفهای استاندارد ۲۸۰۰ برای مناطق نزدیک گسل را گوشزد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: طیف طراحی، میدان نزدیک، نسبت میرایی، مدول برشی، فرکانس، دستگاه سه محوری

مقدمه

اثرات نهشته‌های خاکی روی حرکت لرزه‌ای زمین به صورت بزرگنمایی ساختگاه و در نتیجه خرابی سازه‌ها و گسیختگی زمین، فراوان است. بزرگنمایی حرکت زمین به وسیله دو پارامتر مهم یعنی امیدانس و میرایی نهشته‌های خاکی در مسیر حرکت موج لرزه‌ای تعیین می‌شود. اساساً ارزیابی بزرگنمایی محل توسط مدلسازی‌های یک بعدی، دو بعدی در خاک همگن یا لایه‌ای، برای رفتار خطی یا غیر خطی، با بکارگیری خواص دینامیکی خاک شامل مدول برشی و میرایی صورت می‌گیرد. علیرغم وسیع بودن محدوده فرکانس پدیده‌های لرزه‌ای به صورت طبیعی (زیر 30 Hz)، اثرات فرکانس روی خواص دینامیکی خاکها خصوصاً میرایی، در تحلیل‌های لرزه‌ای در نظر گرفته نمی‌شود [1]. مولفه افقی عمود بر امتداد گسلش در نواحی میدان نزدیکی چون شهر تهران، جنبش‌های موجک مانند قوی تولید می‌کند که به طور قابل ملاحظه‌ای از جنبش‌های معمولی زمین که در فواصل دورتر از گسل مسبب رخ می‌دهد، متفاوت است. اثرات ساختگاهی در آیین نامه‌های فعلی بر مبنای مشاهدات تجربی و تحلیلهایی می باشد که بر مبنای جنبش‌های نیرومند کم اهمیت‌تر معمولی غیر موجکی می باشند [2]. همچنین بزرگنمایی در خاکهای نرم توسط مقاومت دینامیکی خاک ضعیف محدود می شود و در نتیجه کاهندگی قابل ملاحظه ای برای جنبش های نیرومند قوی در فرکانس اساسی و افزایش نیروها در فرکانس مدهای بالاتر رخ می دهد. در بررسی اثرات موضعی لرزه ای ساختگاه در تحلیل های پاسخ یک بعدی، رفتار خاک مستقل از فرکانس بارگذاری لرزه ای فرض می شود که با توجه به اثر فرکانس بارگذاری بر رفتار مصالح فرض مناسبی نمی باشد [3,4,5]. بطورکلی بیش از اندازه ساده‌سازی و در نظر نگرفتن اثر تغییر فرکانس بر میرایی و تبدیل آن به یک عدد ثابت، به صورت مصنوعی ظرفیت خاک در زایل کردن انرژی را در بعضی از محدوده‌های فرکانس کمتر و در بعضی بیشتر تخمین می‌زند. لذا اصلاح منحنی های فعلی پاسخ دینامیکی خاکها، با توجه به پیود غالب موجک زلزله و انجام تحلیل ها با در نظر گیری اثر عوامل یاد شده ضروری می باشد.

بیشتر مطالعات قبلی از جمله اککار^۱ و همکاران روی طیف مرتبط با لرزه شناسی شامل ، اندازه، طول پریود، طول گسل، فعالیت لرزه ای، هندسه زلزله های میدان نزدیک بوده است [6].

نتایج تحلیل های برگشتی آرایه های عمودی رکودها تحت اثر زلزله ۱۹۹۵ کوبه توسط کوکوشو^۲ و همکاران [7] نشان می دهد که مقادیر مطلق میرایی در مصالح مختلف در اکثر حالات در محدوده کرنش های کوچکتر از 10^{-4} چند درصد بیشتر از مقادیر حاصل از آزمایش های آزمایشگاهی است. استفاده از منحنی های $G/G_{max} - \gamma$ و $D - \gamma$ فعلی موجود در ادبیات فنی، گاه بزرگنمایی غیرمنطقی، خصوصاً در زلزله های ضعیف ایجاد می کند [7]. ضمناً مقدار بزرگنمایی محاسبه شده تحت زلزله های قوی هم بیش از مقادیر اندازه گیری شده است [8]. در کل بر مبنای مشاهدات و نتایج تحلیل های برگشتی می توان اظهار داشت که مکانیزم میرایی برای جنبش های نیرومند زمین دارای ماهیت هیستریزیس بیشتری است که دلیل آن شاید وابستگی میرایی به فرکانس و پراکنده شدن موج باشد. کوکوشو و همکاران [7] اظهار می کنند که نیاز به تحقیقات بیشتری برای برآورد نسبت میرایی درجا لازم است. حداکثر میرایی گزارش شده در ادبیات فنی برای کرنش های کوچک و بزرگ به ترتیب ۱۷ و ۵۰ درصد می باشد. با توجه به مطالب ارائه شده، بررسی مجدد اثر فرکانس بارگذاری از طریق آزمایش های آزمایشگاهی نه تنها در کرنش های کوچک بلکه حتی در کرنش های بزرگتر (تا ۰/۱٪) برای مصالح مختلف لازم به نظر می رسد.

اگرچه روابط $G - \gamma$ و $D - \gamma$ برای مصالح ریزدانه دست خورده و دست نخورده و ماسه های استاندارد چون ماسه توپورا و ماسه اوتاوا از طریق آزمایش مختلف حاصل شده، اما دانش ما در مورد پارامترهای یاد شده برای مصالح مختلف واقعی حاصل از گمانه حفر شده در مطالعات ریزپهنه بندی شهرهای کشورمان یا گمانه های عمیق برای نصب وسایل ثبت زلزله اندک است. در این راستا، رفتار دینامیکی مصالح خاکی (ماسه ای و ریزدانه) طبیعی مختلف حاصل از حفاری گمانه ها در مطالعات زیرپهنه بندی با

¹ Akkar

² Kokusho

تمرکزی بر پارامترهای تاثیرگذار از جمله غیرهمسانی و فرکانس بارگذاری (۰/۵ تا Hz ۱۰) توسط آقای آرای و همکاران [9] بررسی شده است. به دلیل توجه کمتر به اثرات غیرهمسانی و فرکانس بارگذاری بر خواص دینامیکی خاکها در تحلیل های لرزه ای جنبش زمین در قبل و همچنین با توجه به اینکه کشور ایران صدمات جدی از زمین لرزه ها در دهه های گذشته متحمل شده است انجام این تحقیق ممکن است بتواند به انتخاب منحنی های مناسب تر برای مصالح طبیعی، انجام تحلیل های برگشتی مناسب، اصلاح طیف طراحی و بهینه سازی نتایج حاصل از پهنه بندی ژئوتکنیکی لرزه ای، اصلاح طیف طراحی آیین نامه های موجود و در نهایت ساخت و ساز کمک شایانی کند.

لذا هدف اصلی از این تحقیق به شرح زیر است:

با توجه به انجام آزمایش روی تعدادی مصالح خاکی طبیعی دست خورده در تنشهای محدود کننده تا 5 kg/cm^2 تحت اثر فرکانس های ۰/۵، ۱ و ۲، ۵ و 10 Hz با نمونه های قطر بزرگ سه محوری در کرنشهای کمتر از ۰/۱٪ منحنی و روابط تجربی نسبت مدول برشی و نسبت میرایی در برابر کرنش برشی ارائه می گردد. با انجام مطالعات موردی برای گمانه های شهرهای مختلف، تاثیر محتوای فرکانسی بر طیف پاسخ برای نواحی میدان نزدیک بررسی خواهد شد. از دستاوردهای احتمالی این تحقیق میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

- ارائه منحنی های تجربی $D-\gamma$ ، $G-\gamma$ و $G/G_0-\gamma$ مناسب برای فرکانس های مختلف برای مصالح مختلف مورد آزمایش با دستگاه سه محوری قطر بزرگ
- اثر میرایی و مدول برشی در کرنشهای کمتر از ۰/۱٪ بر مقدار بزرگنمایی خاک برای چند مطالعه موردی به صورت نقطه ای
- اثر عمق (تنش محدود کننده) بر مدول برشی و میرایی در کرنشهای کمتر از ۰/۱٪ در فرکانسهای مختلف

- اثر دست خوردگی (سرعت موج برشی صحرایی و آزمایشگاهی)

- اثر تحکیم تحت تنش همسان و غیرهمسان بر منحنی های رفتاری و طیف طراحی

- اثر شتاب مبنای متفاوت برای هشت جفت تاریخچه-زمانی زلزله میدان نزدیک
- با توجه به نکات فوق می توان به انتخاب درست رفتار مصالح و تحلیل ها، در نهایت
بهینه سازی نقشه های ژئوتکنیک لرزه ای که در ساخت و ساز بکار می روند کمک نمود.
دستاوردهای اصلی این تحقیق اصلاح طیف های آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم سال
۱۳۹۳ [10] خصوصاً اصلاح پریود نظیر Ts برای مناطق میدان نزدیک در ویرایشهای
بعدی و نهایت بهینه سازی نقشه های ریزپهنه بندی ژئوتکنیک لرزه ای برای اهداف
مهندسی است.

ساختار تحقیق هم به شرح زیر می باشد:

- ۱- بررسی ادبیات فنی
- ۲- جمع آوری نتایج آزمایش های دینامیکی انجام شده با تمرکزی بر اثر فرکانس
بارگذاری و ارائه روابط و منحنی های لازم و انتخاب گمانه های مناسب و یا ستون
خاک برای انجام تحلیلها
- ۳- انجام تحلیل های یک بعدی برای سطح شتاب های مختلف و انجام آنالیز
حساسیت برای زلزله ها و اعماق مختلف با استفاده از نرم افزار EERA، تجزیه و
تحلیل نتایج و ارائه طیف طراحی و مقایسه آن با طیف های موجود در سایر آیین نامه
ها
- ۴- جمع بندی و نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

فصل اول

۱- مرور ادبیات فنی موضوع

۱-۱- مقدمه

تحلیل‌های یک بعدی پاسخ زمین به طور وسیع برای بررسی اثرات محلی ساختگاه در هنگام زلزله استفاده می‌شود [12,11]. مشکل عمده این روش آن است که مقادیر ثابتی برای مدول برشی و نسبت میرایی در هنگام تحلیل در یک کرنش برشی موثر فرض می‌شود. با توجه به اثر فرکانس بارگذاری بر رفتار مصالح تحت ارتعاش اجباری، لازم است که اثر این عامل در طیف پاسخ‌های مربوطه لحاظ گردد. روش‌های معادل خطی وابسته به فرکانس برای رفع یک چنین محدودیتهایی و همچنین شبیه سازی بهتر رفتار غیرخطی خاک به کار می‌رود [16, 15, 14, 13]. بدین منظور برای بررسی میزان بزرگنمایی، طیف شتاب، نسبت شتاب طیفی، ضریب بازتاب (B) طیف سرعت و طیف جابه‌جایی در سطح زمین با توجه به رفتار مصالح در فرکانس‌های بارگذاری مختلف تحت زلزله‌های میدان نزدیک لازم است، تحلیل یک بعدی برای ستون‌هایی از خاک به ارتفاع مور نظر و برای سطوح خطر مختلف زلزله انجام شود.

۱-۲- عوامل موثر بر رفتار دینامیکی خاکها

خواص دینامیکی خاکها متأثر از پارامترهای مختلفی چون تنش محدودکننده، فرکانس بارگذاری، شکل بار اعمالی، دست خوردگی، جنس خاک و غیرهمسانی است. برای مصالح مختلف یک چنین وابستگی به فرکانس بارگذاری نه به طور صحیح مدل شده و نه به طور کامل فهمیده شده است. برخلاف روش معمول در مهندسی ژئوتکنیک لرزه‌ای [17] مطالعات اخیر [7, 18-37] نشان داده که مدول برشی و نسبت میرایی وابسته به فرکانس بارگذاری است. به طور کلی مشاهده شده که G و D با افزایش

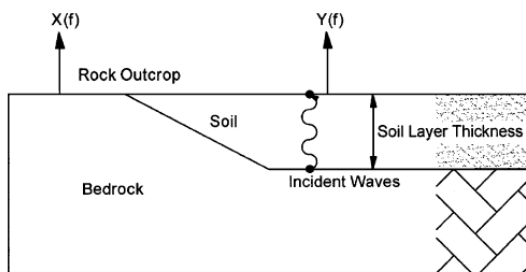
فرکانس بارگذاری افزایش می‌یابند. همچنین در یک کرنش معین، نسبت G/G_{max} با افزایش فرکانس بارگذاری کاهش می‌یابد. مقادیر زیاد نسبت میرایی برای محدوده کرنشهای مورد مطالعه (حدود ۲۰٪ در کرنشهای کوچک و ۴۵٪ در کرنشهای بزرگ برای مصالح درشت دانه شنی با ریزدانه اندک؛ حدود ۴۰٪ برای نمونه‌های درشت دانه ماسه‌ای با درصد ریزدانه کم و حدود ۳۵٪ برای مصالح ماسه‌ای با ریزدانه بالای ۱۰ درصد در کرنشهای بزرگ برای مصالح خاکی) در فرکانسهای ۵ Hz و ۱۰ Hz ممکن است مرتبط به عواملی چون اثرات کرنش، اینرسی و سرعت بارگذاری باشد. در صورتیکه اثر فرکانس بارگذاری بر مدول برشی اندک است. لذا طبق معادله $M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f$ نسبت میرایی برای مصالح درشت دانه به ریزدانه کم را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد. بطوریکه در فرکانس ۱۰ هرتز سهم اینرسی در فرکانسهای بزرگ برای دانه‌های درشت دانه با ریزدانه کمتر از ۴٪ حدود ۱۰٪ (از ۴۵٪ کل)، سهم فرکانس حدود ۲۰٪ و سهم کرنش هم حدود ۱۵٪ می‌باشد. اثر وزن کلاهدک در افزایش میرایی با افزایش فرکانس اندک می‌باشد.

۳-۱- اثرات ساختگاهی به روش مدل یک بعدی، روش خطی

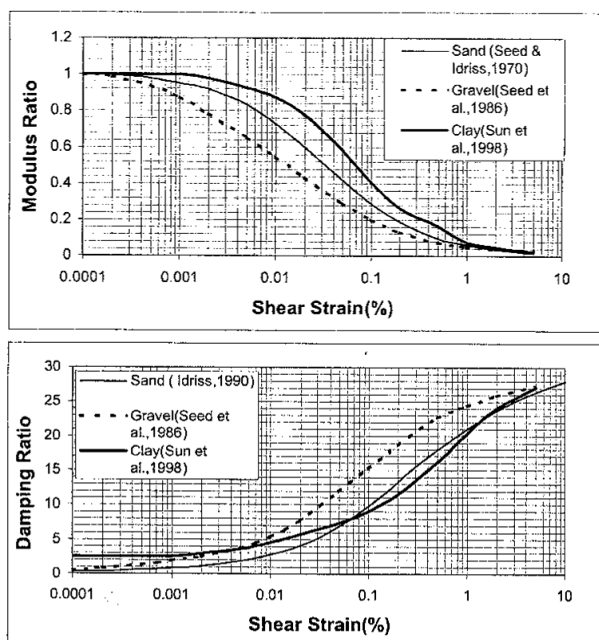
معادل

در حال حاضر در تحلیل‌های یک بعدی خطی معادل شکل ۱-۱ با استفاده از نرم‌افزارهای خانواده شیک^۱ [38] از جمله EERA از منحنی‌های تیپ $(\gamma - G/G_{max})$ و $(D - \gamma)$ شکل ۲-۱ استفاده می‌شود. منحنی‌های شکل ۲-۱ غالباً نتایج آزمایش‌ها در فرکانس زیر ۰/۲ هرتز است. استفاده از این منحنی‌ها، گاه بزرگ‌نمایی غیر منطقی در فرکانس‌های کم خصوصاً در زلزله‌های ضعیف ایجاد می‌کند [8,7]. ضمناً مقدار بزرگ‌نمایی محاسبه شده تحت زلزله‌های قوی هم بیش از مقادیر اندازه‌گیری شده است.

¹ Shake



شکل ۱-۱- لایه خاک یک بعدی تنها روی سنگ بستر برای انتشار موج برشی



شکل ۱-۲- مدول برشی، نسبت میرایی در برابر کرنش برشی مصالح ماسه‌ای، شنی و رسی

بررسی میزان بزرگ‌نمایی در سطح زمین با توجه به رفتار مصالح در فرکانس‌های بارگذاری مختلف تحت زلزله‌های میدان نزدیک با پی‌رود پالس سرعت متفاوت، از جمله مواردی است که دانش ما در مورد آن اندک بسیار است. پارک و هاشش^۱ [3] اثر رفتار وابسته به فرکانس را از طریق تحلیل‌های پاسخ لرزه‌ای زمین با استفاده از نرم افزار Deep Soil بررسی کردند. آنها با توجه به وابسته به فرکانس بودن رفتار خاک و همچنین براساس نتایج موجود (تنها برای کرنش‌های کوچک) سه مدل بررسی موضوع

¹ Park and Hashash

در نظر گرفتند. نتایج تحلیل‌های آنها نشان داد که اثرات وابسته به فرکانس بودن مدول برشی و میرایی اثر قابل ملاحظه‌ای بر انتشار امواج ضعیف زمین دارد و ضمناً اثرات میرایی وابسته به فرکانس بر پاسخ محاسبه شده بیش از مدول برشی وابسته به فرکانس است. بررسی تاثیر محتوای فرکانسی بر خواص دینامیکی خاک‌ها، نه تنها در کرنش‌های بسیار کوچک، بلکه حتی در کرنش‌های تا ۰.۱٪، خصوصاً در خاک‌های درشت‌دانه که در بسیاری از سازه‌های خاکی چون سدها و خاکریزهای پشت دیوار حایل و... به‌کار می‌روند، الزامی است. ضروری است تاثیر فرکانس بر خواص دینامیکی خاک‌ها خصوصاً در مورد مصالح خاکی در تحلیل‌های لرزه‌ای جنبش زمین بررسی شود.

۴-۱- تفاوت زلزله‌های میدان نزدیک و میدان دور از نظر فرکانس بارگذاری

در جدول ۱-۱ فرکانس غالب داده‌های رقومی مهم زلزله‌های نزدیک مهم ثبت شده در کره زمین ارائه شده است که مقدار حداقل، حداکثر و متوسط آنها به ترتیب بین ۰.۱/۲، ۱۳/۰ و ۶/۶ هرتز است. در جدول ۱-۲ فرکانس غالب داده‌های زلزله‌های میدان دور ایران ارائه شده است که مقدار حداقل، حداکثر و متوسط آنها به ترتیب بین ۰.۷/۰، ۸/۳ و ۲/۰ هرتز می باشد. محتوای فرکانسی زلزله‌های بررسی شده با توجه به ثبت آنها در مکانی دور از محل وقوع زلزله، تحت تاثیر مسیر و شرایط ساختمانی قرار می‌گیرد و مولفه‌های با محتوای فرکانسی بالا حذف می‌شود. متوسط سرعت موج برشی در محل ایستگاه‌ها ثبت رکورد میدان دور و نزدیک تقریباً برابر و حدود ۴۵۰ متر بر ثانیه است. مقدار فرکانس غالب زلزله‌های میدان نزدیک بررسی شده بیش از دو برابر مقدار نظیر برای زلزله‌های میدان دور کشورمان است. در جدول ۱-۳ فرکانس بارگذاری در انواع مسائل دینامیکی ارائه شده است. باتوجه به اهمیت خط مبناء، روش اصلاح آن برای زلزله‌های میدان نزدیک قوی بر مبنای جابجایی نهایی هدف توسط لین^۱ و همکاران [39] بررسی شده است.

¹ Lin



فصل اول- مرور ادبیات فنی موضوع ۵/

جدول ۱-۱- فرکانس غالب تعدادی داده رقومی مهم زلزله‌های میدان نزدیک- متوسط ۴/۵۵ هرتز

زلزله	ایستگاه	تاریخ	بزرگی			فرکانس قالب (Hz)			
			M	MI	Ms	L	V	T	متوسط
Kobe, Japan	99999 KJMA	۱۹۹۵/۰۱/۱۶	۶/۹	-		۲/۰۲۴	۳/۰۶	۲/۰۰۷	۲/۵۴۶
Landers	SCE 24 Lucerne	۱۹۹۲/۰۶/۲۸	۷/۳	-	۷/۴	۹/۴۲۲	۱۳/۰۰۸	۱۰/۴۸۲	۱۰/۹۷۱
Bam, Iran	Farmandri, 3168/02	۲۰۰۳/۱۲/۲۶	-	-	۶/۷	۱/۲۶۶	۲/۳۶۱	۱/۳۴۸	۱/۶۵۹
Tabas, Iran	9101 Tabas	۱۹۷۸/۰۹/۱۶	۷/۴	۷/۷	۷/۴	۳/۸۴۱	۷/۱۱۲	۴/۰۰۰	۴/۹۸۴
Cape Mendocino	89005 Cape Mendocino	۱۹۹۲/۰۴/۲۵	۷/۱		۷/۱	۴/۷۴۳	۶/۱۴۰	۴/۷۴۳	۵/۲۰۸
Chi-Chi, Taiwan	TCU084	۱۹۹۹/۰۹/۲۰	۷/۶	۷/۳	۷/۶	۱/۹۴۰	۳/۵۳۴	۱/۳۳۹	۲/۳۷۱
Kocaeli, Turkey	Sakarya	۱۹۹۹/۰۸/۱۷	۷/۴	-	۷/۸	-	۸/۵۲۰	۵/۸۴۵	۷/۱۸۲
Loma Prietas	57007 Corralitos	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	۶/۹	-	۷/۱	۲/۷۶۰	۴/۸۱۲	۲/۳۸۷	۳/۳۲۰
Northridge	24087 Arleta - Nordhoff Fire Sta	۱۹۹۴/۰۱/۱۷	۶/۷	۶/۶	۶/۷	۳/۰۲۴	۸/۲۱۷	۳/۴۷۶	۴/۹۰۶
Superstin Hills(B)	286 Superstition Mtn	۱۹۸۷/۱۱/۲۴	۶/۷	-	۶/۶	۴/۴۰۶	-	۳/۹۱۴	۴/۱۶۰
Duzce,Turkey	Duzce	۱۹۹۹/۱۱/۱۲	۷/۱	۷/۲	۷/۳	۲/۱۵۶	۸/۴۳۵	۱/۹۲۸	۴/۱۷۳
Erzincan,Turkey	95 Erzincan	۱۹۹۲/۰۳/۱۳	۶/۹	-	-	۱/۳۸۳	۵/۳۷۵	۲/۲۳۲	۲/۹۹۷
Imperial Valley	942 El Centro Array #6	۱۹۷۹/۱۰/۱۵	۶/۵	۶/۶	۶/۹	۳/۷۰۶	۸/۹۸۴	۳/۰۰۲	۵/۲۳۰
متوسط						۳/۳۸۹	۶/۶۷۵	۳/۵۹۳	۴/۵۵۲

نزدیکترین فاصله تا سطح گسلش کمتر از ۱۰ کیلومتر

جدول ۲-۱- فرکانس غالب تعدادی داده رقومی مهم زلزله‌های میدان دور در ایران - متوسط ۱/۹۶ هرتز

زلزله	ایستگاه	تاریخ	بزرگی			فرکانس قالب (Hz)			
			M	MI	Ms	L	V	T	متوسط
Qum	Kahak-4348	۲۰۰۷/۰۶/۱۸	-	۵/۷	-	۲/۰۰۵	۲/۸۷۵	۲/۱۳۴	۲/۳۳۸
Silakhoor	4027-08/Chalan Choolan	۲۰۰۶/۰۳/۳۱	۵/۹	-	-	۰/۶۷۴	۲/۹۲۱	۰/۹۲۱	۱/۵۰۵
Qeshem- Persian Gulf	3915-01/Suza	۲۰۰۵/۱۱/۲۷	-	-	۵/۹	۱/۳۴۰	۲/۲۳۳	۱/۵۶۰	۱/۷۱۱
Zarand	3671-01	۱۹۷۸/۰۹/۱۶	۶/۲	-	-	۰/۹۸۶	۱/۵۷۴	۱/۱۱۶	۱/۲۲۵
Kujour	3333/Hasan Keyf	۲۰۰۴/۰۵/۲۸	-	۵/۹	-	۱/۱۲۴	۱/۴۳۱	۰/۹۲۲	۱/۱۵۹
Janghoreh	2749-01/Avaj	۲۰۰۲/۰۶/۲۲	۶/۵	-	-	۱/۳۰۶	۲/۷۷۱	۱/۲۹۰	۱/۷۸۹
Saleh-Abad	2221-01	۱۹۹۹/۱۱/۰۸	۵/۵	-	-	۲/۷۱۹	۲/۷۳۲	۲/۱۴۳	۲/۵۳۱
Pol-Abghineh	2216-01/Kazeron	۱۹۹۹/۱۰/۳۱	۵/۲	-	-	۱/۵۳۹	۱/۹۲۸	۱/۵۵۵	۱/۶۷۴
Korebas	2131-02/Balaadeh	۱۹۹۹/۰۵/۰۶	۶/۱	-	۶/۲	۳/۰۲۱	۳/۹۹۹	۲/۵۵۵	۳/۲۰۵
Arkol	1754-01/Qasem Abad	۱۹۹۷/۰۵/۱۰	۷/۲	-	۷/۱	۰/۹۹۴	۲/۱۱۴	۱/۰۰۱	۱/۳۶۹
Arkol	1756-29/Hajtabad	۱۹۹۷/۰۵/۱۰	۷/۲	-	۷/۱	۲/۷۱۹	۲/۷۳۲	۲/۱۴۳	۲/۵۳۱
Sarein	1833-2/Kariq	۱۹۹۷/۰۲/۲۸	۶/۱	-	۶/۱	۲/۳۲۹	۳/۷۱۹	۱/۹۳۰	۲/۶۵۹
Gharmkhan	1659-02/Ashkhane	۱۹۹۷/۰۲/۰۴	۶/۸	-	۷/۱	۰/۸۱۰	۱/۰۰۶	۰/۸۰۷	۰/۸۷۴
Zanjiran	1502-9/Zanjiran	۱۹۹۴/۰۶/۲۰	۶/۱	-	۶/۹	۲/۵۰۴	۳/۸۵۵	۲/۲۷۱	۲/۸۷۷
Roodbar	1362-1/Abbar	۱۹۹۰/۰۶/۲۰	۷/۳	-	۷/۷	۱/۸۱۲	۲/۲۴۹	۱/۸۷۷	۱/۹۹۹
Average						۱/۷۲۵	۲/۵۴۳	۱/۶۱۸	۱/۹۶۲

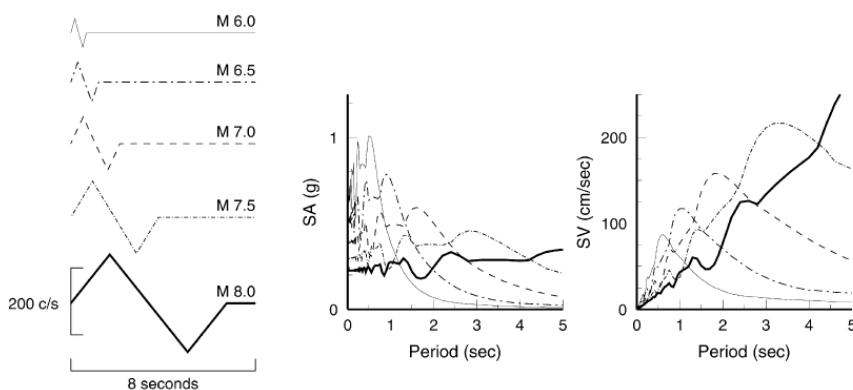
نزدیکترین فاصله تا سطح گسلش بیش از ۳۰ کیلومتر

جدول ۳-۱- فرکانس بارگذاری در انواع مسائل دینامیکی [اصلاح شده 40]

مرجع	نوع بارگذاری	فرکانس بارگذاری (Hz)
Shibuya و همکاران (۱۹۹۵)	طوفان	۰/۰۱-۰/۱
Brown و O'Reilly (۱۹۹۱)	امواج دریا	۰/۰۵-۰/۰۷
Richards و Aki (۲۰۰۲)	امواج اقیانوس	۰/۱۴ و ۰/۰۷
Brown و O'Reilly (۱۹۹۱)	ترافیک	< ۱۵
Silva (۱۹۹۸); Meng (۲۰۰۷)	بارگذاری زلزله	< ۱۵; ۰/۰۱-۳۰
Brown و O'Reilly (۱۹۹۱)	پی ماشین	۱۰-۱۰۰

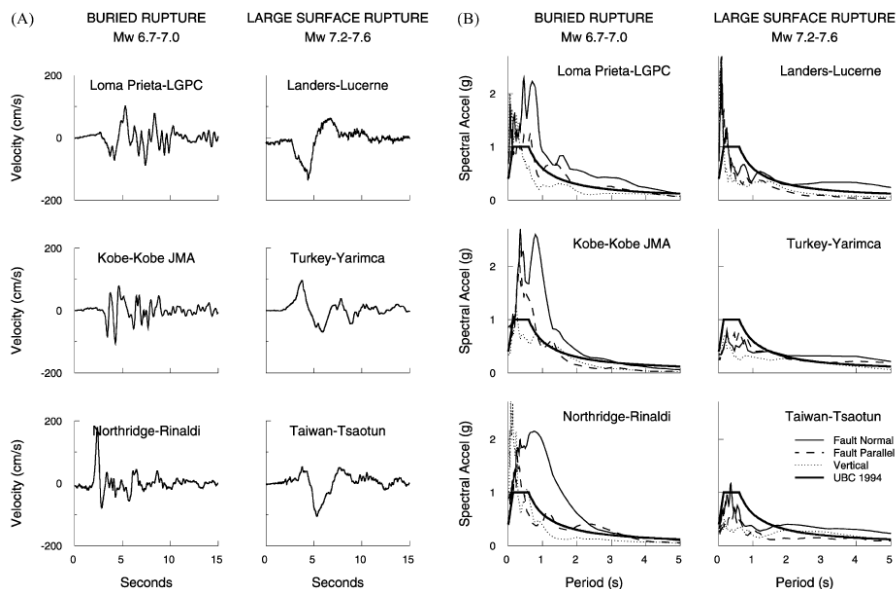
۱-۴-۱- ویژگی طیف زلزله‌های میدان نزدیک برای مولفه عمود بر گسل

اندازه‌گیری مقیاس موجکهای میدان نزدیک عمود بر امتداد گسلش توسط سامرویل^۱ [41] بررسی شده است. شکل (۱-۳) اندازه‌گیری مقیاس برای موجک سرعت ساده معرف جنبش‌های میدان نزدیک (چپ)، شتاب نظیر (مرکز) و طیف پاسخ سرعت (راست) را نشان می‌دهد. بطور کلی با افزایش بزرگی زلزله حداکثر شتاب کاهش یافته اما مقادیر پریود نظیر طیف سرعت حداکثر با افزایش بزرگی زلزله افزایش می‌یابد. اما دامنه شتاب حدکثر با افزایش بزرگی زلزله در پریودهای بزرگتری کاهش می‌یابد. به عنوان مثال در شکل (۱-۴-۱) موجکهای سرعت عمود بر گسل ثبت شده نزدیک سه زلزله با اندازه متوسط (ستون چپ) و سه زلزله با اندازه بزرگ (ستون راست) با مقیاسهای برابر ارائه شده است. در شکل (۱-۴-۲) طیف پاسخ شتاب مربوطه همراه با طیف آیین نامه UBC [42] جهت مقایسه ارائه شده است. شکل (۱-۵) طیف سرعت موجکهای عمود بر گسل زلزله‌های متوسط (چپ) و بزرگ (راست) را نشان می‌دهد. تفاوت‌های مشخصی بین طیفهای مربوطه از نظر پریود نظیر طیف سرعت برای زلزله‌های با سطح گسیختگی پنهان و آشکار وجود دارد. شکل (۱-۶) طیف جابجایی موجکهای عمود بر گسل زلزله‌های متوسط (چپ) و بزرگ (راست) نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳- اندازه‌گیری مقیاس برای موجک سرعت ساده معرف جنبش‌های میدان نزدیک (چپ)، شتاب نظیر (مرکز) و طیف پاسخ سرعت (راست) [41]

¹ Somerville



شکل ۱-۴- (A) موجکهای سرعت عمود بر گسل ثبت شده نزدیک سه زلزله با اندازه متوسط (ستون چپ) و سه زلزله با اندازه بزرگ (ستون راست) با مقیاسهای برابر، (B) طیف پاسخ شتاب مربوطه همراه با طیف آیین نامه UBC 1994 جهت مقایسه [41]

بعضی از کشورها از جمله تایوان چین به تهیه طیف طراحی با در نظرگیری اثرات میدان نزدیک اقدام کردند [43]. روشهای برای بدست آوردن طیف طراحی شتاب و سرعت زلزله های میدان نزدیک پالس مانند توسط زاوو و همکاران [44] ارائه شده است. طراحی براساس جابجایی هم برای زلزله های میدان نزدیک و میدان دور توسط چیانگ و علم [45] مطالعه شده است.

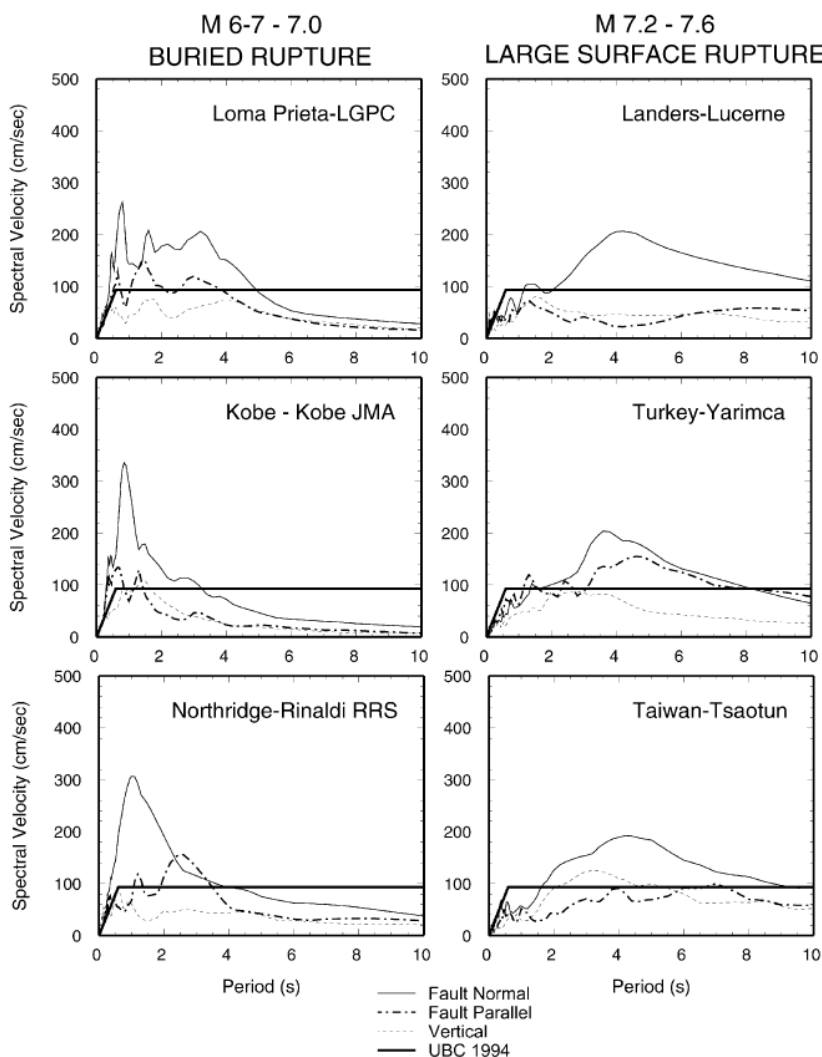
۱-۴-۱-۱- اثر حوزه نزدیک در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ ایران

در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ ایران (۱۳۹۴) طیف پاسخ شتاب طرح با تغییراتی در شاخه نزولی و افزودن ثابت N به منظور احتساب اثر حوزه نزدیک ارائه شده است. این رو در محدوده سرعت ثابت طیف، شتاب طرح ویرایش چهارم مقادیر کمتری نسبت به شتاب طرح در ویرایش سوم ارائه می نماید. در شکل های (۷-۱) و (۸-۱)

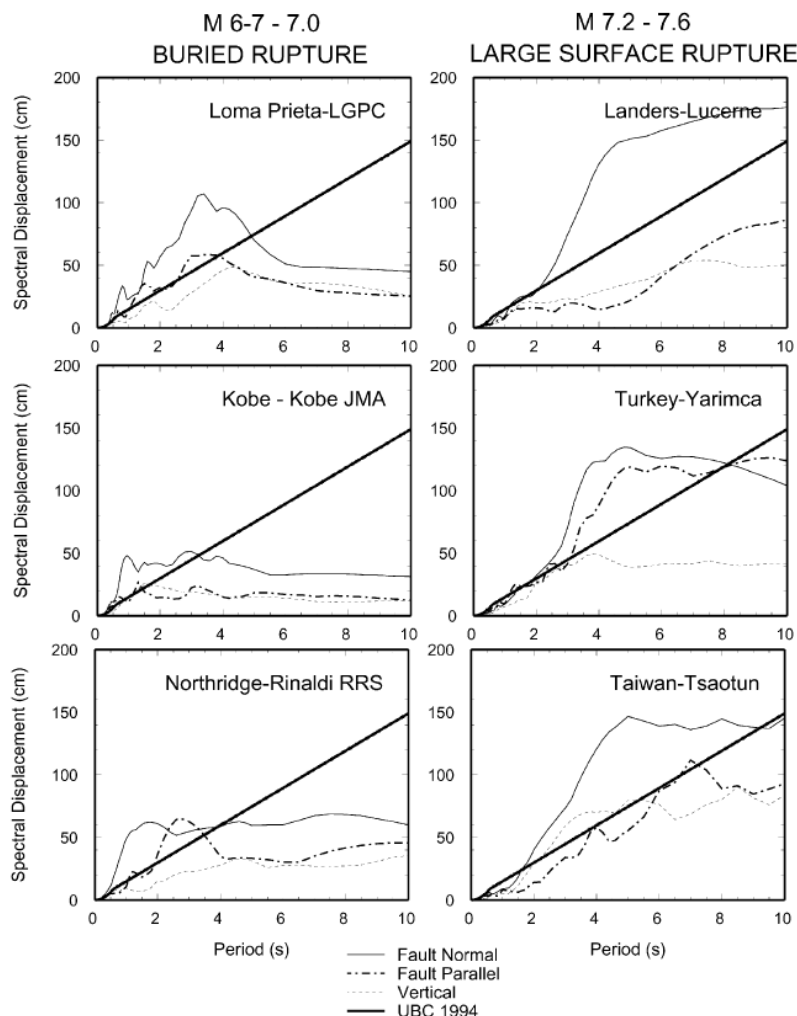
¹ Zhao

² Xiang و Alam

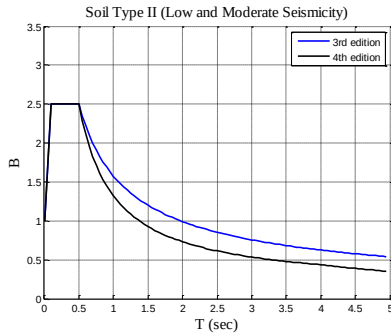
طیف پاسخ شتاب ویرایش ۳ و ۴ برای خاک‌های I تا IV در سطوح لرزه‌خیزی مختلف ارائه و مقایسه شده است. ملاحظه می‌شود که فقط در سطح خطر لرزه‌ای زیاد و خیلی زیاد و برای خاک‌های نوع III و IV میزان شتاب پاسخ طرح تاحدودی به میزان ارائه شده در ویرایش سوم نزدیک می‌شود و در الباقی حالت، شاخه نزولی طیف پاسخ شتاب در ویرایش چهارم پایین‌تر از طیف پاسخ شتاب در ویرایش سوم قرار دارد.



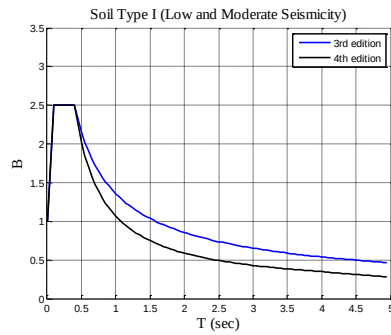
شکل ۱-۵- طیف سرعت موجکهای عمود بر گسل زلزله های متوسط (چپ) و بزرگ (راست) [41]



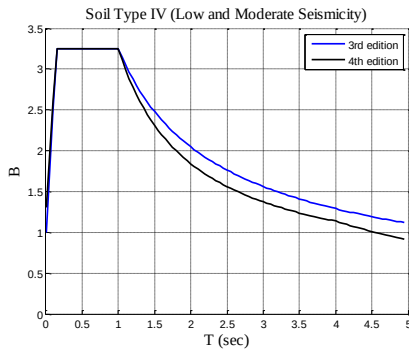
شکل ۶-۱- طیف جابجایی موجکهای عمود بر گسل زلزله های متوسط (چپ) و بزرگ (راست) [39]
مطابق شکل های (۷-۱) و (۸-۱) ملاحظه می شود که، در ویرایش چهارم تغییری در میزان پریود انتقالی T_s و بزرگنمایی شتاب پاسخ با احتساب اثر میدان نزدیک داده نشده است. با توجه به مشخصات رکوردهای زلزله انتخاب شده برای سناریو زلزله ای با بزرگای گشتاوری بیش از ۶/۵ برای گسلی با سرعت لغزش بیش از ۲ میلیمتر در سال؛ در ادامه، از آیین نامه UBC 97 برای استخراج طیف پاسخ شتاب طرح استفاده شده و با طیف پاسخ شتاب طرح استاندارد ۲۸۰۰ ایران مقایسه شده است.



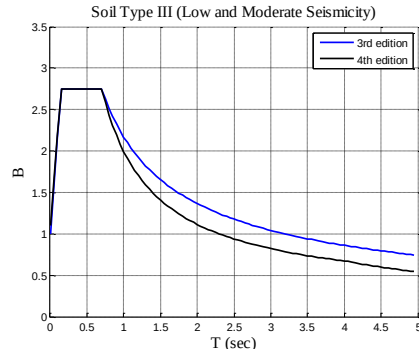
ب) خاک نوع II



الف) خاک نوع I



د) خاک نوع IV



ج) خاک نوع III

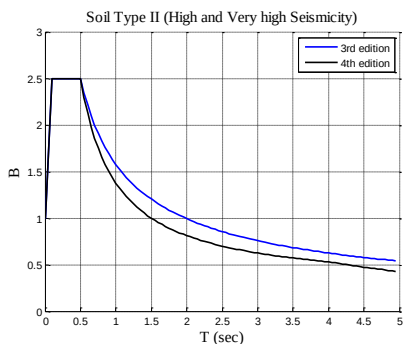
شکل ۷-۱- مقایسه طیف پاسخ شتاب ویرایش ۳ و ۴ استاندارد ۲۸۰۰ در سطوح لرزه‌خیزی کم و متوسط

۴-۱-۲- اثر حوزه نزدیک در آیین نامه ۹۷ UBC

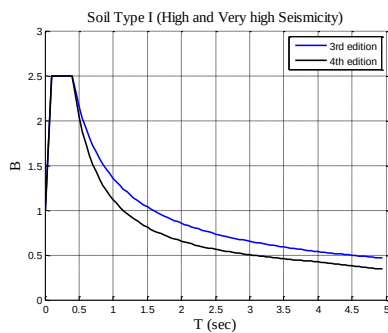
اثر حوزه نزدیک در آیین نامه ۹۷ UBC صرفاً در مناطق با لرزه‌خیزی خیلی زیاد (Zone 4) لحاظ شده است. در این محدوده لرزه‌خیزی؛ برحسب نوع منبع لرزه‌زا و فاصله از منبع، ضرایب N_a و N_v به ترتیب در مقادیر شتاب پاسخ C_a و C_v اعمال می‌شوند. مقادیر ضرایب N_a و N_v در جداول (۴-۱) و (۵-۱) و مقادیر شتاب پاسخ طرح (C_a و C_v) برای انواع خاک‌ها در جدول (۶-۱) ارائه شده‌اند.

جدول ۴-۱- مقادیر ضریب حوزه نزدیک N_a طبق ۹۷ UBC

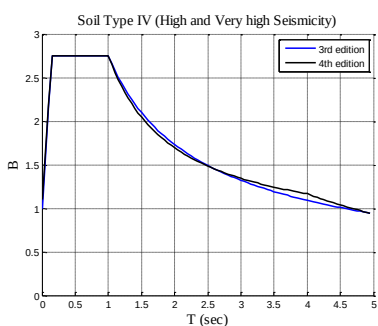
نزدیکترین فاصله به منبع لرزه‌زا شناسایی شده			نوع منبع لرزه‌زا
۱۰ km	۵ km	≤ 2 km	
۱/۰	۱/۲	۱/۵	A
۱/۰	۱/۰	۱/۳	B
۱/۰	۱/۰	۱/۰	C



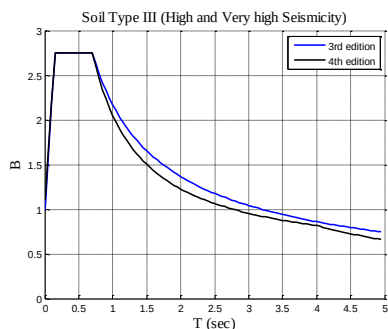
ب) خاک نوع II



الف) خاک نوع I



د) خاک نوع IV



ج) خاک نوع III

شکل ۱-۸- مقایسه طیف پاسخ شتاب ویرایش ۳ و ۴ استاندارد ۲۸۰۰ در سطوح لرزه‌خیزی زیاد و خیلی زیاد

جدول ۱-۵- مقادیر ضریب حوزه نزدیک N_v طبق UBC 97

نزدیکترین فاصله به منبع لرزه زا شناسایی شده				نوع منبع لرزه زا
$\geq 15\text{km}$	10km	5km	$\leq 2\text{km}$	
$1/0$	$1/2$	$1/6$	$2/0$	A
$1/0$	$1/0$	$1/2$	$1/6$	B
$1/0$	$1/0$	$1/0$	$1/0$	C

جدول ۱-۶- مقادیر شتاب پاسخ طرح C_a و C_v در محدوده لرزه‌خیزی خیلی زیاد Zone 4 برای انواع

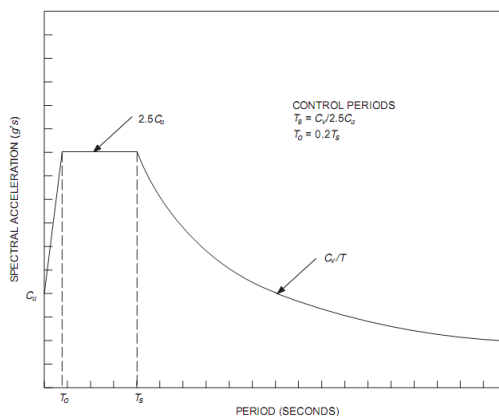
خاک‌ها، مطابق UBC 97

ضرایب لرزه ای		طبقه بندی نوع خاک	
C_v	C_a	استاندارد ۲۸۰۰	UBC 97
$0.4 N_v$	$0.4 N_a$	(I)	S_B
$0.56 N_v$	$0.4 N_a$	(II)	S_C
$0.64 N_v$	$0.44 N_a$	(III)	S_D
$0.96 N_v$	$0.36 N_a$	(IV)	S_E

طبقه‌بندی انواع منابع لرزه‌زا در آیین‌نامه UBC 97 در جدول (۷-۱) درج شده است. با توجه به مشخصات رکوردهای زلزله انتخاب شده برای سناریو زلزله‌ای با بزرگای گشتاوری بیش از ۶/۵ و گسلی با سرعت لغزش بیش از ۲ میلیمتر در سال، منابع لرزه‌زا با مشخصات منبع زلزله نوع A یا B هم‌خوان می‌باشند. شکل طیف پاسخ شتاب ارتجاعی آیین‌نامه UBC 97 و نحوه تعریف پریود انتقالی T_s در شکل (۹-۱) ارائه شده است.

جدول ۷-۱- طبقه بندی مشخصات منابع لرزه زا طبق UBC 97

نوع منبع لرزه‌زا	توصیف منبع لرزه‌زا	
	حداکثر بزرگای گشتاوری M	سرعت لغزش (mm/year)
A	$M \geq 7.0$	$SR \geq 5$
B	$M \geq 7.0$	$SR < 5$
	$M < 7.0$	$SR > 2$
	$M \geq 6.5$	$SR < 2$
C	$M < 6.5$	$SR \leq 2$

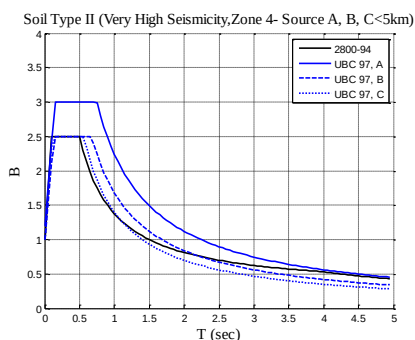


شکل ۹-۱- طیف پاسخ شتاب طرح ارتجاعی مطابق آیین‌نامه UBC 97

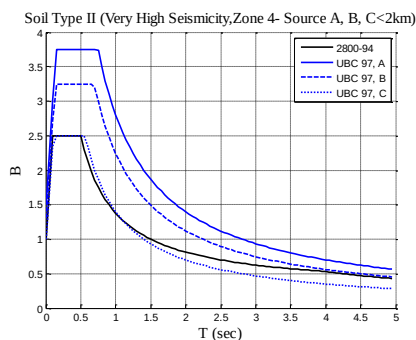
در شکل‌های (۱۰-۱) تا (۱۲-۱) برای خاک‌های نوع II، III و IV طیف پاسخ شتاب طرح آیین‌نامه UBC 97 در مناطق با لرزه‌خیزی خیلی زیاد و برای منابع لرزه‌زا A، B و C در فواصل کمتر از ۲ و ۵ کیلومتر استخراج شده و با طیف پاسخ شتاب ارتجاعی استاندارد ۲۸۰۰ در مناطق با لرزه‌خیزی خیلی زیاد مقایسه شده است. همانطور که در



شکل (۱-۸-الف) برای خاک نوع II مشاهده می‌شود، برای منابع لرزه‌زا A و B و در فواصل نزدیک به گسل (کمتر از ۲ کیلومتر)، علاوه بر افزایش مقدار ضریب بزرگنمایی شتاب در محدود شتاب ثابت طیف، مقدار پریود انتقالی T_s نیز افزایش می‌یابد. با توجه به مقدار ضریب بزرگنمایی در قسمت شتاب ثابت، در شاخه نزولی نیز، مقدار شتاب پاسخ طرح برای منابع لرزه‌زای A و B بیشتر از مقدار ارائه شده در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد.



ب) فاصله از منبع لرزه‌زا کمتر از ۵ km



الف) فاصله از منبع لرزه‌زا کمتر از ۲ km

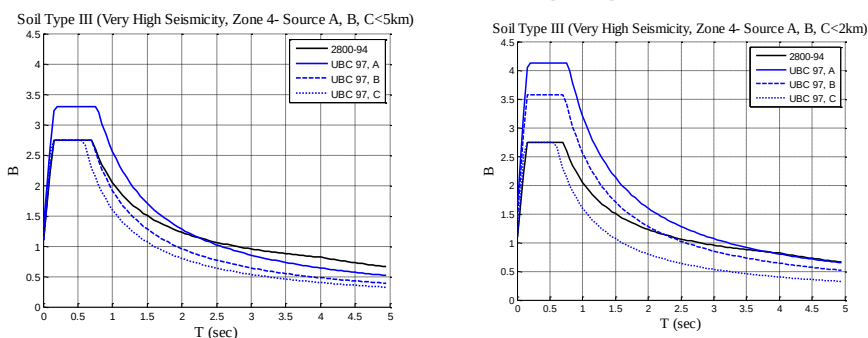
شکل ۱۰-۱- مقایسه طیف پاسخ شتاب طرح استاندارد ۲۸۰۰ و UBC 97 در مناطق با لرزه‌خیزی خیلی زیاد

و خاک نوع II

مطابق شکل (۱-۱۰-الف) در فواصل کمتر از ۲ کیلومتر، طیف پاسخ شتاب طرح استاندارد ۲۸۰۰ با طیف UBC 97 برای منابع لرزه‌زا نوع C با سرعت لغزش کمتر از ۲ میلیمتر در سال، قابل مقایسه است. در فواصل بیش از ۵ کیلومتر (شکل ۱-۱۰-ب)، اگرچه ضریب بزرگنمایی شتاب در مناطق شتاب ثابت برای منابع لرزه‌زا B با مقدار پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ برابر است، اما پریود انتقالی T_s برابر ۰٫۶۷ و بیش از ۰٫۳۰ بزرگتر از پریود انتقالی ۰٫۵ ارائه شده در ویرایش چهارم برای خاک نوع II می‌باشد.

مشابه خاک نوع II، برای خاک نوع III و در فواصل کمتر از ۲ کیلومتر با منبع لرزه‌زا (شکل ۱-۱۱-الف)، شاهد افزایش T_s و ضریب بزرگنمایی شتاب برای منابع لرزه‌زا A و B هستیم. با افزایش فاصله از گسل به حداکثر ۵ کیلومتر، فقط در منبع لرزه‌زا A ضریب بزرگنمایی و T_s بزرگتر از مقدار پیشنهادی طیف پاسخ شتاب طرح استاندارد

۲۸۰۰ می‌باشد. شایان توجه است که در این حالت (شکل ۱-۱۱-ب) برای منبع لرزه‌زا A شاهد کاهش شتاب پاسخ طرح در محدود تغییر مکان ثابت طیف هستیم.

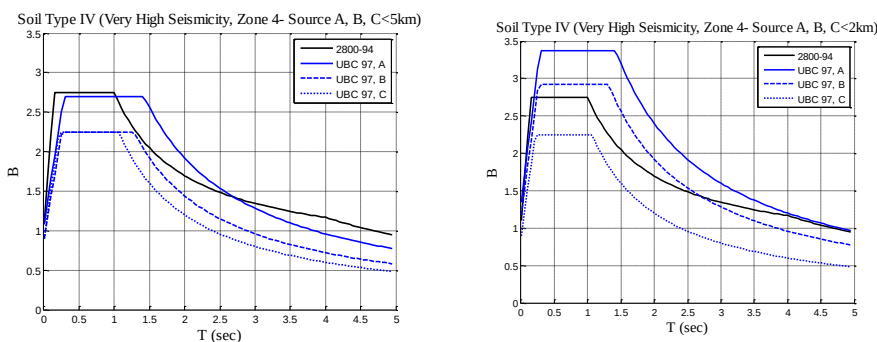


ب) فاصله از منبع لرزه‌زا کمتر از ۵ km

الف) فاصله از منبع لرزه‌زا کمتر از ۲ km

شکل ۱-۱۱- مقایسه طیف پاسخ شتاب طرح استاندارد ۲۸۰۰ و UBC 97 در مناطق با لرزه‌خیزی خیلی زیاد و خاک نوع III

در شکل (۱-۲۰) طیف پاسخ شتاب طرح استاندارد ۲۸۰۰ و UBC 97 برای خاک نوع IV ترسیم و مقایسه شده است. مطابق شکل (۱-۱۲) ملاحظه می‌شود که برای کلیه منابع لرزه‌زا A تا C و در فواصل کمتر از ۵ کیلومتر، پریود انتقالی T_s بزرگتر از یک ثانیه می‌باشد. در خاک نوع IV ضریب بزرگنمایی پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ در محدوده شتاب ثابت بیشترین نزدیکی را به طیف پاسخ شتاب طرح UBC 97 نسبت به سایر خاک‌ها دارا می‌باشد. به طوریکه برای فواصل کمتر از ۵ کیلومتر ضریب بزرگنمایی استاندارد ۲۸۰۰ بزرگتر از مقدار پیشنهادی UBC 97 می‌باشد.



ب) فاصله از منبع لرزه‌زا کمتر از ۵ km

الف) فاصله از منبع لرزه‌زا کمتر از ۲ km

شکل ۱-۱۲- مقایسه طیف پاسخ شتاب طرح استاندارد ۲۸۰۰ و UBC 97 در مناطق با لرزه‌خیزی خیلی زیاد و خاک نوع IV

به منظور مقایسه بهتر برای کلیه خاک‌ها و در کلیه محدوده‌های لرزه‌خیزی و فواصل از گسل مقدار پریود انتقالی T_s مطابق آیین‌نامه UBC 97 محاسبه و با مقادیر استاندارد ۲۸۰۰ ایران مقایسه شده است (جدول ۸-۱). ملاحظه می‌شود که برای مناطق با لرزه‌خیزی خیلی زیاد (زون ۴) فارغ از میزان فاصله از منبع لرزه‌زا در خاک‌های نوع II و IV میزان پریود انتقالی حاصل از آیین‌نامه UBC 97 بزرگتر مقدار ۰/۵ و یک ثانیه پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌شود که برای خاک نوع II فارغ از میزان لرزه‌خیزی منطقه، همواره مقدار پریود انتقالی T_s بزرگتر از ۰/۵ می‌باشد. مطابق جدول (۸-۱) برای منابع لرزه‌زای A و B (زلزله‌های با بزرگای بیش از ۶/۵ و سرعت لغزش گسل بیش از ۲ میلیمتر در سال) در کلیه انواع خاک‌ها پریود انتقالی T_s در آیین‌نامه UBC97 بزرگتر از مقدار ارائه شده ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ است.

جدول ۸-۱ - مقادیر T_s انواع خاک‌ها در سطوح لرزه‌خیزی مختلف مطابق UBC 97 و استاندارد ۲۸۰۰

	$S_B(I)$	$S_C(II)$	$S_D(III)$	$S_E(IV)$
۲A	۰/۴۰	۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۶۷
۲B	۰/۴۰	۰/۵۳	۰/۵۷	۰/۷۵
۳	۰/۴۰	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۹۳
$\leq A < 2 \text{ km}$	۰/۵۳	۰/۷۵	۰/۷۸	۱/۴۲
$\leq A < 5 \text{ km}$	۰/۵۳	۰/۷۶	۰/۷۹	۱/۴۲
$\leq B < 2 \text{ km}$	۰/۴۹	۰/۶۹	۰/۷۲	۱/۳۱
$\leq B < 5 \text{ km}$	۰/۴۸	۰/۶۷	۰/۷۰	۱/۲۸
$\leq C < 2 \text{ km}$	۰/۴۰	۰/۵۶	۰/۵۸	۱/۰۷
$\leq C < 5 \text{ km}$	۰/۴۰	۰/۵۶	۰/۵۸	۱/۰۷
≤ 1.0	۰/۴۰	۰/۵۶	۰/۵۸	۱/۰۷
استاندارد ۲۸۰۰	-	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۷۰

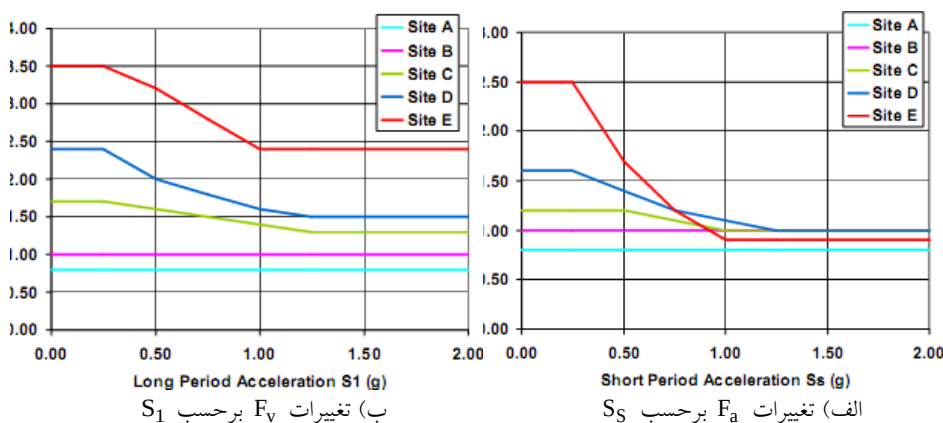
۴-۱-۳ اثر حوزه نزدیک در آیین‌نامه ASEC 7-10

روش مورد استفاده در آیین‌نامه ASCE 7-10 برای تعیین شتاب طرح در آیین‌نامه IBC 2012 نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش نقشه‌های خطر یکنواخت از پیش تهیه شده است. این نقشه‌ها نشان‌دهنده شتاب پاسخ طیفی S_1 و S_5 در سطح خطر حداکثر (MCE) با میرایی ۰/۵ روی سنگ سخت (طبقه‌بندی ساختگاه B) برای احتمال فراگذشت ۲٪ در ۵۰ سال می‌باشند. S_5 شتاب طیفی در $T=0.2s$ و S_1 شتاب طیفی در $T=1s$ می‌باشد. براساس مشخصات خاک منطقه، تعریف طبقه‌بندی نوع خاک ساختگاه مطابق UBC 97، ASCE 7 و استاندارد ۲۸۰۰ ایران در جدول (۹-۱) آمده است.

جدول ۹-۱- عناوین و طبقه‌بندی نوع خاک ساختگاه در UBC 97، ASCE 7 و استاندارد ۲۸۰۰ ایران

سرعت موج برشی V_S (m/s)	توصیف	استاندارد ۲۸۰۰	ASCE 7	UBC 97
$V_S > 1500$	سنگ سخت		A	S_A
$760 < V_S < 1500$	سنگ	(I)	B	S_B
$360 < V_S < 760$	سنگ نرم و خاک متراکم	(II)	C	S_C
$180 < V_S < 360$	خاک سخت	(III)	D	S_D
$V_S < 180$	پروفیل خاک نرم	(IV)	E	S_E
-	الزامات ساختگاه ویژه	-	F	S_F

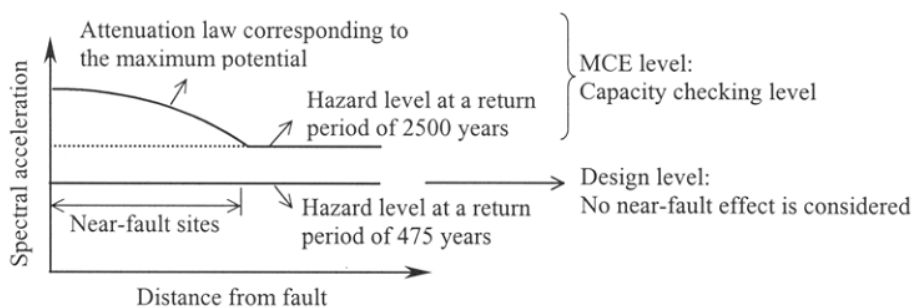
شتاب پاسخ طیفی، بسته به شرایط ساختگاه با ضرایب F_a و F_v اصلاح شده و ضرایب طیفی S_{MS} و S_{M1} در سطح خطر حداکثر تعیین می‌شوند. مقادیر F_a و F_v به ترتیب بر حسب مقادیر S_s و S_1 تعیین شده و تغییرات آن برای انواع خاک در شکل (۱-۱۳) نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که مقادیر این ضرایب برای خاک نوع B آیین‌نامه ASCE 7 یا خاک نوع I استاندارد ۲۸۰۰ همواره برابر واحد است.



شکل ۱-۱۳- مقادیر ضرایب تشدید F_a و F_v برای انواع خاک‌ها مطابق ASCE 7

نظر به اینکه تخمین بزرگای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال دشوارتر از تخمین بزرگترین زلزله محتمل است؛ در عمل، ابتدا تقاضای شتاب طیفی در سطح MCE

تعیین می‌شود. در این حالت از تابع کاهندگی نظیر حداکثر بزرگای محتمل منبع لرزه‌زا در حوزه نزدیک و حوزه دور استفاده می‌شود. با توجه به نسبت مشخص بین تقاضای لرزه‌ای در سطح خطر نهایی و طرح، طیف پاسخ شتاب در سطح طراحی از روی طیف پاسخ شتاب حوزه نزدیک در سطح خطر MCE قابل استخراج است (شکل ۱-۱۴). در آیین‌نامه ۷ ASCE مقدار ضریب کاهش از سطح MCE به سطح طراحی DBE برابر ۰/۶۶ می‌باشد. از تقسیم مقادیر شتاب پاسخ طیفی در سطح خطر MCE به ۱/۵ ضرایب طیفی در سطح خطر طرح S_{DS} و S_{D1} حاصل می‌شوند (روابط ۱-۱ و ۱-۲).



شکل ۱-۱۴- نحوه تبدیل شتاب طیفی بر حسب فاصله از گسل از سطح خطر نهایی به طرح

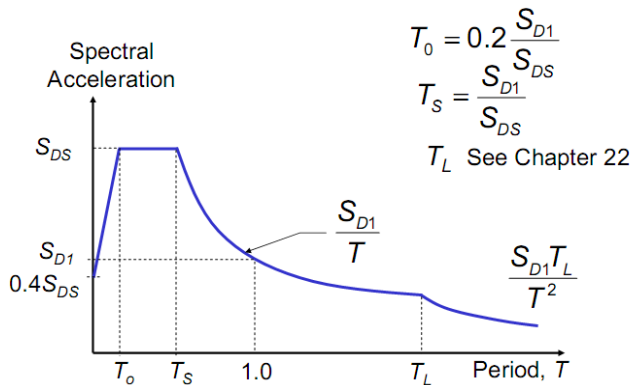
$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} F_a S_s \quad (1-1)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} F_v S_1 \quad (2-1)$$

$$AB = \frac{C_s R}{I} = \begin{cases} S_{DS}(0.4 + 0.6T/T_0) & ; T \leq T_0 \\ S_{DS} & ; T_0 < T < T_s \\ S_{D1}/T & ; T_s < T < T_L \\ S_{D1}T_L/T^2 & ; T_L < T \end{cases} \quad (3-1)$$

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (4-1)$$

براساس مقادیر S_{DS} و S_{D1} ، شتاب پاسخ طیفی طرح طبق رابطه (۳-۱) و شکل (۱۵-۱) قابل استخراج است. مقادیر T_0 و T_s مطابق رابطه (۴-۱) قابل محاسبه هستند. نقشه توزیع پریود انتقال T_L در فصل ۲۲ آیین‌نامه ASCE7 برای آمریکا ارائه شده است.



شکل ۱۵-۱- طیف پاسخ شتاب در سطح خطر طرح مطابق آیین نامه ASEC 7-10

به منظور مقایسه مقدار پریود انتقالی T_S در انواع خاک‌های I تا IV، برای نقاط با لرزه-خیزی‌های متفاوت در آمریکا مقادیر S_S و S_1 استخراج و مقادیر S_{DS} ، S_{D1} و T_S محاسبه شده است (جداول ۱۰-۱ و ۱۱-۱). همانطور که در جدول (۱۰-۱) ملاحظه می‌شود، در نقاط ۶ و ۷ با لرزه‌خیزی زیاد، مقادیر پریود انتقالی T_S از مقادیر نظیر در استاندارد ۲۸۰۰ ایران بزرگتر می‌باشد.

۱-۵- روشهای فعلی در نظریه اثر فرکانس در تحلیلهای یک

بعدی

علت در نظر گرفتن فرکانس در تحلیلهای معادل خطی بر مبنای مشاهداتی است که در آن دامنه کرنش برشی خیلی سریع با افزایش فرکانس بارگذاری کاهش می‌یابد (شکل ۱۶-۱). باید ذکر شود که در مطالعات انجام شده توسط [16,15,13]، فقط به فرکانس زلزله توجه شده و به اثرات فرکانس زلزله بر رفتار مصالح توجهی نشده است. چنین مشاهداتی سبب می‌شود که معادلاتی برای در نظریه کرنش برشی وابسته به فرکانس توسعه داده شود. در واقع این معادلات منحنی‌های صاف شده طیف فوریه تاریخیچه زمانی کرنش برشی زلزله‌ها هستند (شکل ۱۷-۱).



جدول ۱-۱۰- مقادیر T_S در ASCE7 در شرق آمریکا و مقایسه آن با مقادیر پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰

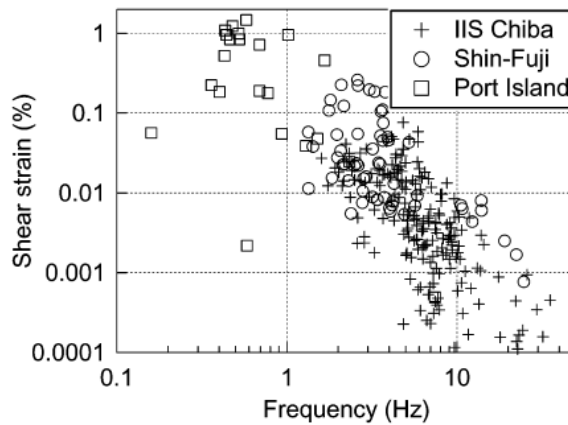
برای خاک نظیر

شماره مکان	H	V	Ss	S1	نوع خاک	SDS	SD1	TS	T_S استاندارد ۲۸۰۰
۱	۴۰	۹۰	۰/۱۸	۰/۱	B(I)	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۵۶	۰/۴۰
					C(II)	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۷۹	۰/۵۰
					D(III)	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۸۳	۰/۷۰
					E(IV)	۰/۳۰	۰/۲۳	۰/۷۸	۱/۰۰
۲	۳۸	۹۰	۰/۴	۰/۱۷	B(I)	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۴۳	۰/۴۰
					C(II)	۰/۳۲	۰/۱۸	۰/۵۸	۰/۵۰
					D(III)	۰/۳۹	۰/۲۴	۰/۶۱	۰/۷۰
					E(IV)	۰/۵۴	۰/۳۷	۰/۶۹	۱/۰۰
۳	۳۵/۵	۸۸	۰/۶	۰/۲۲	B(I)	۰/۴۰	۰/۱۵	۰/۲۷	۰/۴۰
					C(II)	۰/۴۶	۰/۲۳	۰/۵۰	۰/۵۰
					D(III)	۰/۵۳	۰/۲۹	۰/۵۴	۰/۷۰
					E(IV)	۰/۸۰	۰/۴۶	۰/۷۶	۱/۰۰
۴	۳۵	۹۲	۰/۹	۰/۳۵	B(I)	۰/۶۰	۰/۲۳	۰/۳۹	۰/۴۰
					C(II)	۰/۶۲	۰/۳۴	۰/۵۴	۰/۵۰
					D(III)	۰/۶۸	۰/۴۰	۰/۵۸	۰/۷۰
					E(IV)	۰/۸۱	۰/۶۱	۰/۹۹	۱/۰۰
۵	۳۳	۷۹	۰/۹	۰/۲۵	B(I)	۰/۶۰	۰/۱۷	۰/۳۸	۰/۴۰
					C(II)	۰/۶۲	۰/۲۶	۰/۴۱	۰/۵۰
					D(III)	۰/۶۸	۰/۳۲	۰/۴۶	۰/۷۰
					E(IV)	۰/۸۱	۰/۵۰	۰/۸۲	۱/۰۰
۶	۳۶	۸۹	۱/۱	۰/۴۵	B(I)	۰/۷۳	۰/۳۰	۰/۴۱	۰/۴۰
					C(II)	۰/۷۳	۰/۴۱	۰/۵۵	۰/۵۰
					D(III)	۰/۷۸	۰/۴۷	۰/۶۰	۰/۷۰
					E(IV)	۰/۸۶	۰/۷۲	۱/۰۹	۱/۰۰
۷	۳۶	۹۰	۲	۱	B(I)	۱/۳۳	۰/۶۷	۰/۵۰	۰/۴۰
					C(II)	۱/۳۳	۰/۸۷	۰/۶۵	۰/۵۰
					D(III)	۱/۳۳	۱/۰۰	۰/۷۵	۰/۷۰
					E(IV)	۱/۴۰	۱/۶۰	۱/۳۳	۱/۰۰

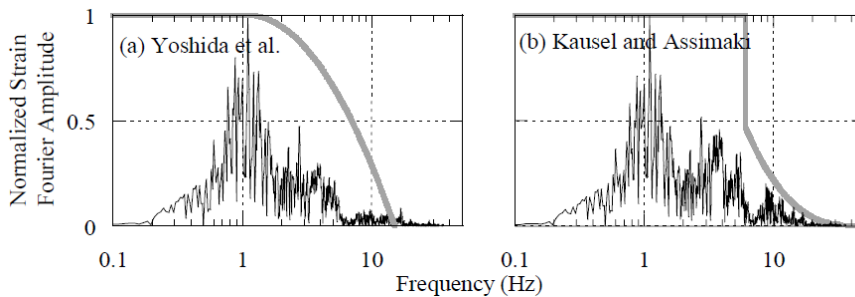
جدول ۱-۱۱- مقادیر T_S در ASCE7 در غرب آمریکا و مقایسه آن با مقادیر پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰

برای خاک نظیر

شماره مکان	H	V	Ss	S1	نوع خاک	SDS	SD1	TS	T_S استاندارد ۲۸۰۰
۱ (ساندیاگو)	۳۲	۱۱۷	۱	۰/۵	B(I)	۰/۶۷	۰/۳۳	۰/۵۰	۰/۴۰
					C(II)	۰/۶۷	۰/۴۳	۰/۶۵	۰/۵۰
					D(III)	۰/۷۳	۰/۵۰	۰/۶۸	۰/۷۰
					E(IV)	۰/۸۰	۰/۸۰	۱/۳۳	۱/۰۰
۲ (لس آنجلس)	۳۴	۱۱۸	۲	۰/۸	B(I)	۱/۳۳	۰/۵۳	۰/۴۰	۰/۴۰
					C(II)	۱/۳۳	۰/۶۹	۰/۵۲	۰/۵۰
					D(III)	۱/۳۳	۰/۸۰	۰/۶۰	۰/۷۰
					E(IV)	۱/۲۰	۱/۲۸	۱/۰۷	۱/۰۰
۳	۳۷	۱۲۵	۱/۵	۰/۶	B(I)	۱/۰۰	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۴۰
					C(II)	۱/۰۰	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۰
					D(III)	۱/۰۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۷۰
					E(IV)	۰/۹۰	۰/۹۶	۱/۰۷	۱/۰۰
۴	۳۷	۱۲۰	۰/۵	۰/۲	B(I)	۰/۳۳	۰/۱۳	۰/۴۰	۰/۴۰
					C(II)	۰/۴۰	۰/۲۱	۰/۵۲	۰/۵۰
					D(III)	۰/۴۷	۰/۲۷	۰/۵۷	۰/۷۰
					E(IV)	۰/۵۷	۰/۴۳	۰/۷۵	۱/۰۰
۵	۴۵	۱۲۰	۰/۳۷	۰/۲	B(I)	۰/۲۵	۰/۱۳	۰/۵۴	۰/۴۰
					C(II)	۰/۳۰	۰/۲۱	۰/۷۲	۰/۵۰
					D(III)	۰/۳۷	۰/۲۷	۰/۷۲	۰/۷۰
					E(IV)	۰/۵۲	۰/۴۳	۰/۸۲	۱/۰۰
۶	۴۵	۱۱۰	۰/۶۵	۰/۲	B(I)	۰/۴۳	۰/۱۳	۰/۳۱	۰/۴۰
					C(II)	۰/۴۹	۰/۲۱	۰/۴۳	۰/۵۰
					D(III)	۰/۵۵	۰/۲۷	۰/۴۸	۰/۷۰
					E(IV)	۰/۸۱	۰/۴۳	۰/۷۰	۱/۰۰
۷	۳۵	۱۱۰	۰/۱۵	۰/۰/۶	B(I)	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۴۰	۰/۴۰
					C(II)	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۵۷	۰/۵۰
					D(III)	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۶۰	۰/۷۰
					E(IV)	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۵۶	۱/۰۰



شکل ۱-۱۶- رابطه دامنه کرنش در برابر فرکانس [16]



شکل ۱-۱۷- منحنی های صاف شده [46]

یوشیدا^۱ و همکاران [15] روابط زیر برای در نظرگیری وابستگی کرنش برشی موثر صاف شده به فرکانس ارائه کرد:

$$\begin{cases} \gamma_{eff} = \gamma_{max} & f_p > f \\ \gamma_{eff} = \gamma_{max} \left\{ 1 - \left(\frac{\log f - \log f_p}{\log f_e - \log f_p} \right)^m \right\} & f_p \leq f \leq f_e \\ \gamma_{eff} = 0 & f < f_e \end{cases} \quad (5-1)$$

f_p فرکانس در γ_{max} ، f_e فرکانسی که بالاتر از آن رفتار غیرخطی منظور نمی‌شود که مقدار آن ۱۵ هرتز پیشنهاد شده است. پارامتر m برابر ۲ توسط یوشیدا و همکاران پیشنهاد شده است. اسیمکی و کازل^۲ [16] روابط زیر را پیشنهاد دادند:

¹ Yoshida

² Assimaki, Kausel

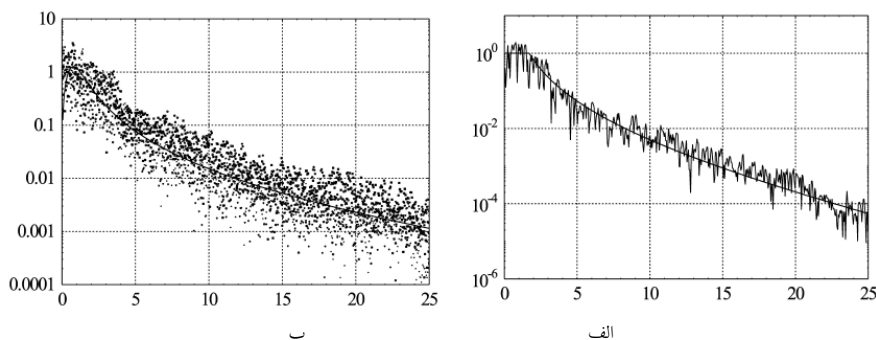


$$\left| \frac{\gamma(\omega)}{\gamma_0} \right| = \begin{cases} 1 & \omega \leq \omega_0 \\ \frac{\exp\left(-\alpha \frac{\omega}{\omega_0}\right)}{\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^\beta} & \omega > \omega_0 \end{cases} \quad (6-1)$$

$$\omega_0 = \frac{\int_0^\infty \omega r(\omega) d\omega}{\int_0^\infty r(\omega) d\omega}$$

$$r_0 = \frac{1}{\omega_0} \int_0^{\omega_0} r(\omega) d\omega$$

α و β ثابتهای هستند که از روش حداقل مربعات بدست می‌آیند. در همه حالتها، دامنه طیف کرنش با فرکانس زایل می‌شود و در فرکانس حدود ۲۰ هرتز به حدود three orders of magnitude کاهش می‌یابد و در فرکانسهای بیش از ۲۵ هرتز محاسبات انجام نمی‌شود (شکل ۱-۱۸).



شکل ۱-۱۸- الف) طیف کرنش پوش شده نرم به محتوای فرکانسی به رکورد سرعت زلزله کوبه در JMA با $\alpha = 0.2825$ و $\beta = 2.222$ ، ب) مقایسه طیف پاسخ کرنش برای زلزله های مختلف در محیط غیر وابسته [16]

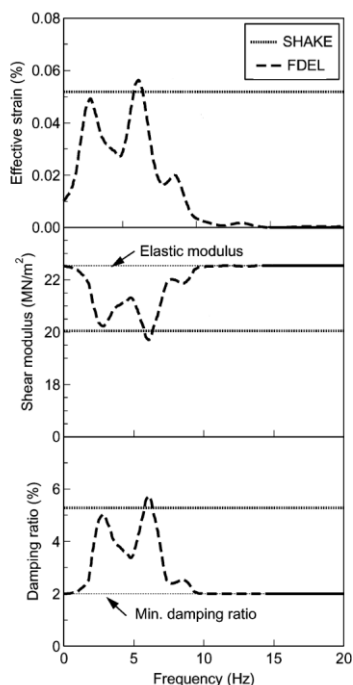
نکته قابل توجه اینکه تحلیلهای انجام شده توسط کواک^۱ و همکاران [46] نشان داد که الگوریتم پیشنهادی فرکانس وابسته پیشنهادی یوشیدا و همکاران [15] و اسیمکی و کازل^۲ [16] همیشه دقت تحلیلها را بهبود نمی بخشد. به طور کلی روشهای وابسته به

¹ Kwak

² Assimaki, Kausel

فرکانس می‌توانند بزرگنمایی غیرواقعی را در پریودهای کم برای حرکت‌های زمین غنی دارای محتوای فرکانسی بالا سبب شوند. لذا انتخاب منحنی G و D مستقل از فرکانس بارگذاری آزمایش ممکن است دلیل این نقص باشد.

مفهوم در نظر گرفتن وابستگی به فرکانس این است که رفتار در تمام مدت زلزله وابسته به فرکانس فرض شود، اما نرم افزارهای وابسته به کرنش چون FDEL [13] و DYNEQ [15] خواص مختلف مصالح را به مقادیر مختلف سری‌های فوریه کرنش برشی ارتباط می‌دهند. مشابه 91 SHAKE [47] و EERA [48]، نرم افزارهای FDEL و DYNEQ مقادیر مدول برشی و نسبت میرایی ثابتی برای هر فرکانس را هنگام تحلیلها انتخاب می‌کنند، هرچند که مولفه‌های فوریه نسبت‌های مدول برشی و میرایی متفاوتی دارد. در صورتیکه در نرم افزار SHAKE همانند آنچه که در شکل (۱-۱۹) نشان داده شده است، مقادیر مدول برشی و نسبت میرایی برای یک کرنش برشی قطع نظر از فرکانسهای مختلف یک رکورد زلزله ثابت فرض می‌شود.

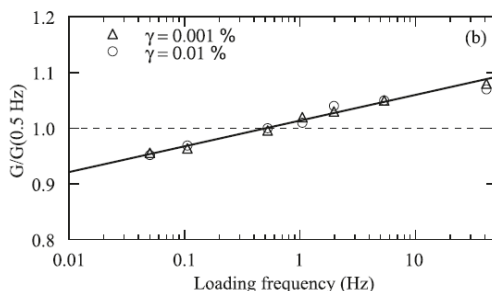


شکل ۱-۱۹- مقایسه مشخصات وابسته به فرکانس در SHAKE و FDEL (اصلاح شده [15])

۱-۵-۱- اثر فرکانس بر رفتار دینامیکی مصالح ریزدانه و ماسه ای

با توجه به داده های محدود موجود در ادبیات فنی برای مصالح ریزدانه و خاک ماسه ای در کرنشهای برشی کوچک، منگ^۱ [26] و پارک و هاشاش^۲ [3] تنها وابستگی به فرکانس مدول برشی و نسبت میرایی در کرنشهای کوچک را بررسی کردند. با این وجود وابستگی به فرکانس خواص دینامیکی خاک حتی در کرنشهای کوچک به طور واضحی بررسی نشد. در شکلهای (۱-۲۰) و (۱-۲۱) نمایش چگونگی در نظرگیری وابستگی به نرخ کرنش به ترتیب برای مدول برشی و نسبت میرایی در کرنش های کوچک در مدل های پیشنهادی [3] ارائه شده است. نتایج تحلیلها نشان داد در نظر گیری وابستگی به فرکانس در کرنشهای کوچک تا ۲۰٪ برای زلزله های کوچک و تا ۱۰٪ برای زلزله های بزرگ بر طیف پاسخ تاثیر می گذارد. اما این موضوع با همین روند برای دامنه های کرنشهای بزرگ با در نظرگیری اثر محتوای فرکانسی بر رفتار مصالح بررسی نشده است.

شکل (۱-۲۲) رفتار وابسته به فرکانس در دو تراز کرنش برش ۰/۰۰۱٪ و ۰/۰۰۱٪ مصالح سنگریزه ای S.SBU برای تنش های محدود کننده 1 kg/cm^2 و 4 kg/cm^2 را نشان می دهد. نسبت $D/D_{0.1} \text{ Hz}$ (میرایی در فرکانس ۰/۱ هرتز) در برابر فرکانس بارگذاری تغییرات قابل ملاحظه ای با افزایش تنش محدود کننده و دامنه کرنش برشی دارد.

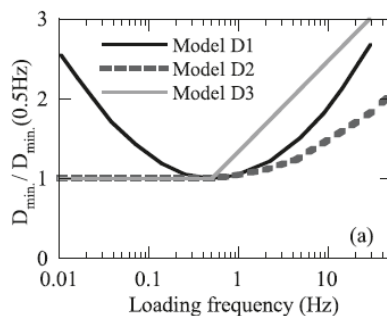


شکل ۱-۲۰-۲- مدول برشی پی بعد شده (نسبت به فرکانس ۰/۵ هرتز) در برابر فرکانس بارگذاری برای خاک

چسبنده دست نخورده با $PI=20-30$ [3]

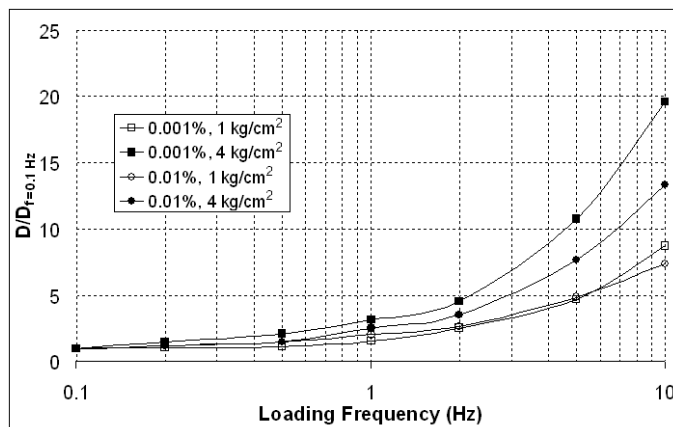
¹ Meng

² Park , Hashash

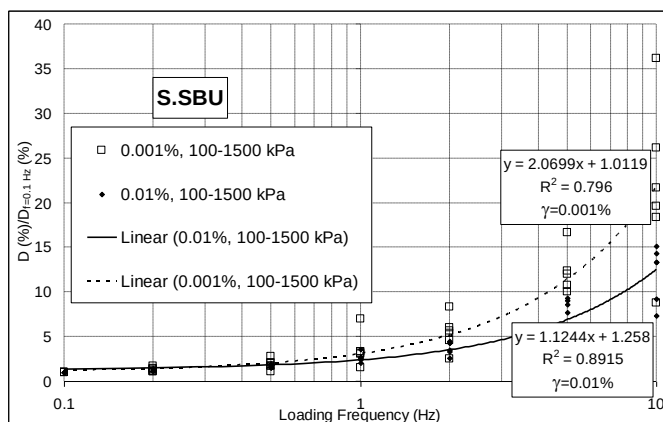


شکل ۲۱-۱- رسم نمایشی چگونگی در نظرگیری وابستگی به نرخ کرنش نسبت میرایی در کرنش‌های کوچک در مدل‌های پیشنهادی [3]

روند مشابهی برای تنش‌های محدود کننده 1 kg/cm^2 تا 15 kg/cm^2 هم مشاهده می‌شود (شکل ۲۳-۱). لذا هرچند که ایده مطرح شده توسط پارک و هاشاش [3] در تعریف منحنی‌های مرجع G و D و بدست آوردن منحنی مربوطه در فرکانس‌های دیگر در کرنش‌های کوچک ایده خوبی است، اما برای مصالح مورد بررسی سنگریزه‌ای و سایر مصالح مورد بررسی در این تحقیق به علت عدم امکان بدست آوردن مدلی واحد برای ایجاد روابط مربوطه مناسب نیست.



شکل ۲۲-۱- رفتار وابسته به فرکانس $D/D_{0.1 \text{ Hz}}$ در دو تراز کرنش برش 0.001% و 0.01% مصالح سنگریزه‌ای S.SBU برای تنش‌های محدود کننده 1 kg/cm^2 و 4 kg/cm^2

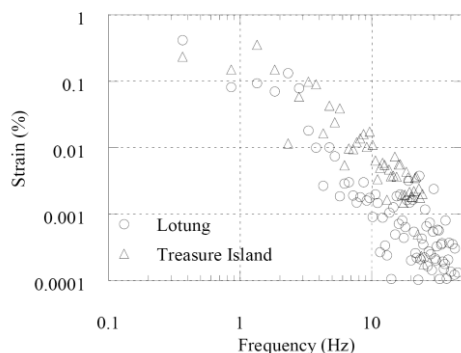


شکل ۱-۲۳- رفتار وابسته به فرکانس $D(D)/D_{0.1 \text{ Hz}}$ در دو تراز کرنش برش ۰/۰۱٪ و ۰/۰۰۱٪ مصالح سنگریزه ای S.SBU برای تنش های محدود کننده 1 kg/cm^2 و 15 kg/cm^2

۱-۵-۲- بهبود مدلسازی رفتار وابسته به فرکانس در تحلیل خطی معادل

همانند آنچه که در شکل‌های (۱-۱۶) و (۱-۲۴) برای طیف فوریه تاریخچه زمانی کرنش برشی رسم شده است، وابستگی شدیدی بین دامنه کرنش برشی و فرکانس وجود دارد [46]. دامنه کرنش برشی به سرعت با افزایش فرکانس بارگذاری کاهش می‌یابد. اما متأسفانه این شکل هیچگونه رابطه‌ای بین وابستگی به فرکانس مدول برشی و میرایی مصالح نشان نمی‌دهد. در واقع روی یک نمودار $G/G_{\max}$ - γ و D - γ با توجه به وابستگی یاد شده مدول برشی و نسبت میرایی نظیر انتخاب می‌شود که به نوعی نقص مهم محسوب می‌شود. زیرا نتایج آزمایش‌های سه محوری قطر بزرگ آقایی و همکاران [4] نشان داد که از دست رفتن انرژی حتی در کرنش‌های کوچک در اثر فرکانس‌های بارگذاری بزرگ زیاد است. در واقع روش وابسته به فرکانس آقایی سوگیتو^۱ می‌تواند خصوصاً سبب بزرگمایی غیرمنطقی برای مولفه ای پریود کوتاه برای زمین لرزه‌های با محتوای فرکانسی بالا شود. که دلیل آن ممکن به علت انتخاب مدول برشی و نسبت میرایی مستقل از فرکانس بارگذاری باشد. لذا انتخاب مدول برشی و نسبت میرایی بر مبنای فرکانس قالب زلزله ممکن است تا حدودی نقص یاد شده را رفع کند.

¹ Sugito



شکل ۱-۲۴- رابطه دامنه کرنش در برابر فرکانس [46]

در ادامه روش ساده شده خطی معادل [47, 48] که توسط سوگیتو [14] اصلاح شده، برای تقریب سازی رفتار وابسته به فرکانس خاک بکار رفت. براساس تکنیک خطی معادل وابسته به فرکانس^۱ FDEL، کرنش معادل وابسته به فرکانس با معادله زیر بیان می شود [14]:

$$\gamma_{eff}(\omega) = C \gamma_{max} \frac{F_a[\gamma(\omega)]}{F_a(\gamma_{max})} \quad (V-1)$$

که γ_{max} کرنش برشی حداکثر، $F_a[\gamma(\omega)]$ طیف فوریه کرنش برشی و $F_a(\gamma_{max})$ حداکثر $F_a[\gamma(\omega)]$ می باشد. تعریف $\gamma_{eff}(\omega)$ در سمت چپ معادله (V-1) نشان می دهد که کرنش معادل که مدول برشی و فاکتور میرایی را کنترل می کند، متناسب با دامنه طیف صاف شده کرنش برشی در فضای فرکانس است. مقدار C دامنه کرنش معادل یکنواخت در طول محور فرکانس را کنترل می کند. به طور معمول، این نسبت بین ۰/۴ تا ۰/۷۵ متغیر است و وابسته به زلزله ورودی و دامنه آن است. رابطه زیر ممکن است برای تخمین نسبت آن بکار رود [48]:

$$C = (M - 1)/10 \quad (A-1)$$

که M بزرگی زلزله است. برای مثال برای $M = 6/7 - 7/6$ مقدار آن $0/57 - 0/66$ است. سوگیتو [13] مقدار $C = 0/65$ را پیشنهاد کرد.

¹ Frequency-Dependent Equivalent Linearized



مدل خطی معادل معرفی شده که تغییرات مدول برشی و نسبت میرایی با دامنه کرنش برشی معادل وابسته به فرکانس را منظور می کند و در 91 [SHAKE 48] بکار رفته است. این برنامه فرض می شود که مدول برشی مرکب تابعی از نسبت میرایی بحرانی ξ ($\xi = \omega \eta / 2G$) که η ویسکوزیته، $\omega = 2\pi f$ فرکانس زاویه ای و f فرکانس است) و مدول برشی واقعی G به شرح زیر است:

$$|G^*| = G\sqrt{1 + 4\xi^2} \quad (9-1)$$

که نشان می دهد که $|G^*|$ با افزایش ξ افزایش می یابد. شکل (۱-۲۵) تغییرات $|G^*|/G$ در برابر ξ را نشان می دهد؛ نسبت می تواند به بزرگی ۱/۳۵ شود برای حالتی که ξ به ۴۵٪ می رسد. انرژی زایل شده در هنگام سیکل بارگذاری به صورت زیر تعریف می شود:

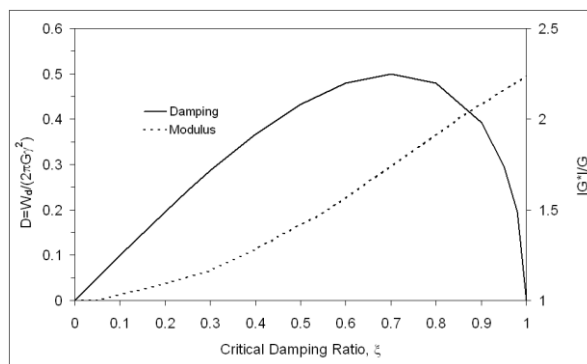
$$W_d = 2\pi G \xi \sqrt{1 - \xi^2} \gamma^2 \quad (10-1)$$

نسبت میرایی هم به صورت زیر تعریف می شود:

$$D = W_d / 2\pi(W_s) = 2\pi G \xi \sqrt{1 - \xi^2} \gamma^2 / 2\pi(2 * 0.5 * G \gamma^2) \quad (11-1)$$

شکل (۱-۲۵) تغییرات نسبت میرایی با ξ را نشان می دهد. نسبت میرایی وابسته به ω است و به طور خطی با افزایش ξ تا به کمتر از ۲۵٪ افزایش می یابد. اما نسبت میرایی مدول به یک مقدار ثابت در ξ حدود ۰/۵ می رسد و سپس تمایل به صفر شدن در $\xi = ۱$ دارد. این مدل در نرم افزار Deep Soil هم بکار گرفته شده است. بعد از بدست آوردن $\gamma_{eff}(\omega)$ ، نسبت میرایی و مدول برشی را می توان از نتایج آزمایشهای مشخصات تغییر شکل برشی سیکلی که روابط $D - \gamma$ و $G - \gamma$ نامیده می شود، بدست آورد. به عبارتی تنها یک مجموعه از $D - \gamma$ و $G - \gamma$ برای یک نوع خاک و برای یک لایه مشخص بکار می رود. پروسه تقریب سازی پاسخ خطی معادل FDEL مشابه [38] SHAKE است. با این وجود، یک نقص مهم وجود دارد، مشخصات وابسته به کرنش توسط SHAKE البته برای هر کرنش برشی مقادیر میرایی و مدول در تمام محدوده فرکانسهای مورد مطالعه ثابت فرض می شود. لذا برای بهبود عملکرد

FDEL (یعنی بزرگنمایی غیر واقعی در مولفه با پریود کوتاه برای زلزله‌های غنی از مولفه‌های با فرکانس بالا) روابطه به شرح زیر را پیشنهاد داده اند:



شکل ۱-۲۵- تغییرات نسبت میرایی و مدول برشی مرکب بی بعد به صورت تابعی از نسبت میرایی بحرانی ξ ($\xi = \pi f \eta / G$)

- برای جنبشهای نیرومند انتخابی زمین فرکانس غالب محاسبه شود.
- تحلیلهای FDEL برای مصالح مختلف مورد بررسی تحت فرکانسهای بین ۰/۵ تا ۱۰ هرتز انجام شود تا مرزهای بالا و پایین پاسخ بدست آید.
- پاسخی مرتبط با منحنی رفتاری مصالح که مطابق با فرکانس غالب زلزله فرضی است از بین نتایج انتخاب شود. این به این معنی است که مقادیر G_{max} ، منحنی های D و G/G_{max} مطابق با فرکانس غالب زلزله انتخاب شوند.
- در حالت غیر وابسته فرض کردن رفتار مصالح به فرکانس بارگذاری برای زلزله ها با فرکانس غالب مختلف از نتایج آزمایشهای آزمایشگاهی روی خاک در فرکانس کمتر یا بابر با ۵/۰ هرتز استفاده شود.
- برای مقایسه نسبت شتاب طیفی، نتایج مرحله iv با مرحله iii مقایسه گردد.

۱-۲-۵-۱ معیارهای همگرایی

محاسبات عددی با استفاده از مدول برشی و نسبت میرایی معادل ارائه شده در معادله (۷-۱) انجام می شود. کرنش معادل برای هر فرکانس توسط معادله با محاسبات قبلی



مقایسه می شود. معیار همگرایی انجام می شود تا خطا در کرنش معادل تعریف شده توسط معادله با مقادیر قبلی مقایسه و به یک مقدار معین همگرا شود.

در FDEL قضاوت همگرایی به صورت جداگانه برای سه محدوده فرکانسی شامل: (a) برای محدوده فرکانس پایین (۱ هرتز و کمتر)، (b) محدوده فرکانس متوسط (۱ تا ۵ هرتز) و (c) محدوده فرکانس بالا (۵ هرتز و بالاتر). متوسط انحراف از هر ناحیه فرکانسی محاسبه می شود و روش سعی و خطایی ادامه می یابد تا انحراف در هر ناحیه فرکانسی به یک تراز معین همگرا شود.

این بخشهای قضاوت همگرایی روی محور فرکانس برای زلزله های مختلف به صورت زیر منظور می شود:

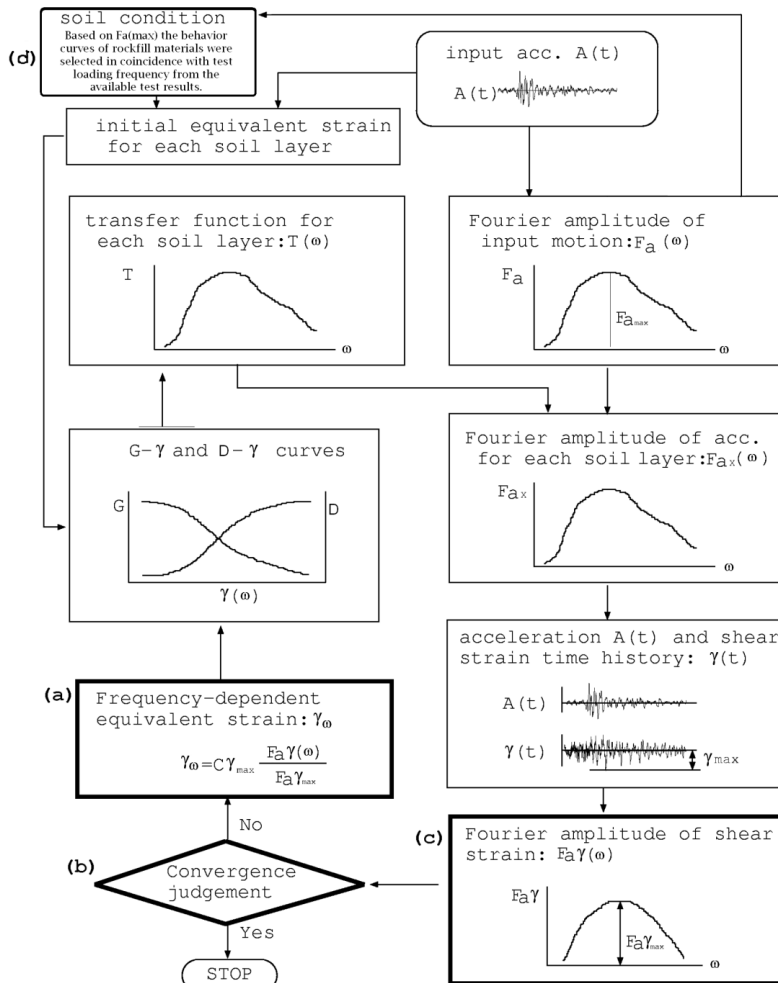
۱- محدوده فرکانس پایین (کوچکتر از ۱ هرتز): دامنه کرنش کوچک و طول موج بلند (ناحیه پاسخ خطی)

۲- محدوده فرکانس میانی (۱ تا ۵ هرتز): دامنه کرنش بزرگ و اثرات رفتار غیر خطی (ناحیه پاسخ غیر خطی)

۳- محدوده فرکانس بالا (بزرگتر از ۵ هرتز): دامنه کرنش کوچک و طول موج بلند (اثرات زیاد میرایی، ناحیه پاسخ خطی و غیر خطی)

در این مطالعات انحراف مرجع در تکرار محاسبات به ۰.۵٪ برای هر ناحیه فرکانسی ثابت شده است. گسترش کرنش معادل $\gamma(\omega)$ در طول محور فرکانس ثابت نگه داشته می شود تا قضاوت همگرایی به طور جداگانه برای هر ناحیه فرکانسی صورت گیرد. برای حالت تحلیل پاسخ، تعداد تکرار FDEL بین ۵ تا ۱۰ بار است. در این مطالعه تعداد تکرارها در ۸ بار ثابت فرض شده است. شکل (۱-۲۶) فلوچارت تحلیل عددی FDEL که توسط سوگیتو ارائه شده را نشان می دهد. سه بخش ارائه شده با خط پررنگ، (a)، (b) و (c) مشخصات FDEL را که از سایر تکنیکهای خطی معادل معمول یعنی SHAKE متفاوت است، را نشان می دهد. کرنش معادل توسط دامنه فوریه تاریخچه زمانی کرنش در هر لایه خاک داده می شود (a و c) و محاسبه تکرار

برای همگرایی برای هر سه محدوده فرکانسی انجام می‌شود (b). بخشی که (d) نامیده شده، توسط نویسندگان برای بهبود عملکرد مدل FDEL پیشنهاد شده است.



شکل ۱-۲۶- فلوچارت تحلیل پاسخ در FDEL (اصلاح شده [13,14])

۱-۶- طیف پاسخ مصالح سنگریزه‌ای بسیار متراکم با در نظر گیری

اثر محتوای فرکانسی و مقایسه آن با طیف طراحی آیین نامه ها

با توجه به اثرات قابل توجه فرکانس بارگذاری بر مدول برشی و میرایی با انتخاب چندین زلزله میدان نزدیک معرف تحلیل یک بعدی خطی معادل انجام شدند. فرکانس

غالب این زلزله‌ها بین ۱ تا ۱۳ هرتز می‌باشد. این زلزله‌های از سایت پییر^۱ [49] و شبکه شتابنگاری ایران^۲ انتخاب شده‌اند. از تاریخچه زمانی زلزله‌هایی چون بم، طبس، چی-چی، نورث‌ریچ، کوبه و لندرز استفاده شده است. تحلیل‌های یک بعدی با نرم‌افزار EERA بر ستون‌های از خاک به ارتفاع ۳۰ و ۹۰ متر انجام شدند. از مشخصات خاک S.SBU (آقایی آرابی و همکاران [36]) تحت تنش‌ها و فرکانس‌های متفاوت استفاده شده‌است. مصالح سنگریزه‌ای بسیار متراکم S.SBU در طبقه نوع خاک B آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله [10] قرار می‌گیرد. طیف‌های استاندارد مذکور برای طراحی ساختمانها برای زلزله‌های میدان نزدیک همانند آیین نامه UBC و یا استانداردهای جدیدتر دیگر نمی‌باشد. تحلیل‌ها برای سه سطح زلزله یعنی ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g صورت گرفته است که تاریخچه زمانی شتاب زلزله‌ها با توجه به مقدار شتاب مورد نظر به صورت ساده مقیاس شده است. در کل ۹۷۲ تحلیل صورت گرفت و پارامترهایی چون بزرگنمایی، طیف شتاب، نسبت شتاب طیفی، ضریب بازتاب (B)، طیف سرعت و طیف جابه‌جایی در سطح زمین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحلیل‌ها به ترتیب برای ضریب بازتاب (B)، طیف سرعت و طیف جابه‌جایی به ترتیب در شکل‌های (۱-۲۷) تا (۱-۲۹) ارائه شده است. شکل (۱-۲۷) الف، ب و ج تغییرات شتاب طیفی بی بعد شده (ضریب بازتاب B آیین نامه ۲۸۰۰) در برابر پریود برای ستون خاک به ضخامت ۳۰ متر و ۹۰ متر تحت شتاب مبنای ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g به ترتیب برای مولفه عمود بر گسل، مولفه موازی گسل و مولفه قائم زلزله‌های میدان نزدیک بکار رفته را نشان می‌دهد. رفتار تحت زلزله‌های میدان نزدیک افقی و عمودی توسط حجازی و محمدی^۳ [50] بررسی شد. تحلیلها برای دو حالت انجام شده‌اند: (۱) زمانی که فرکانس غالب زلزله و فرکانس بارگذاری آزمایشها با هم تطابق داشته باشند، (۲) حالتی که برای زلزله با فرکانسهای مختلف، فرکانس بارگذاری آزمایشها ۰/۱ هرتز باشد.

¹ Pacific Earthquake Engineering Research Center
(<http://peer.berkeley.edu/>)

² Iran Strong Motion Network (ISMN)(www.bhrc.ac.ir)

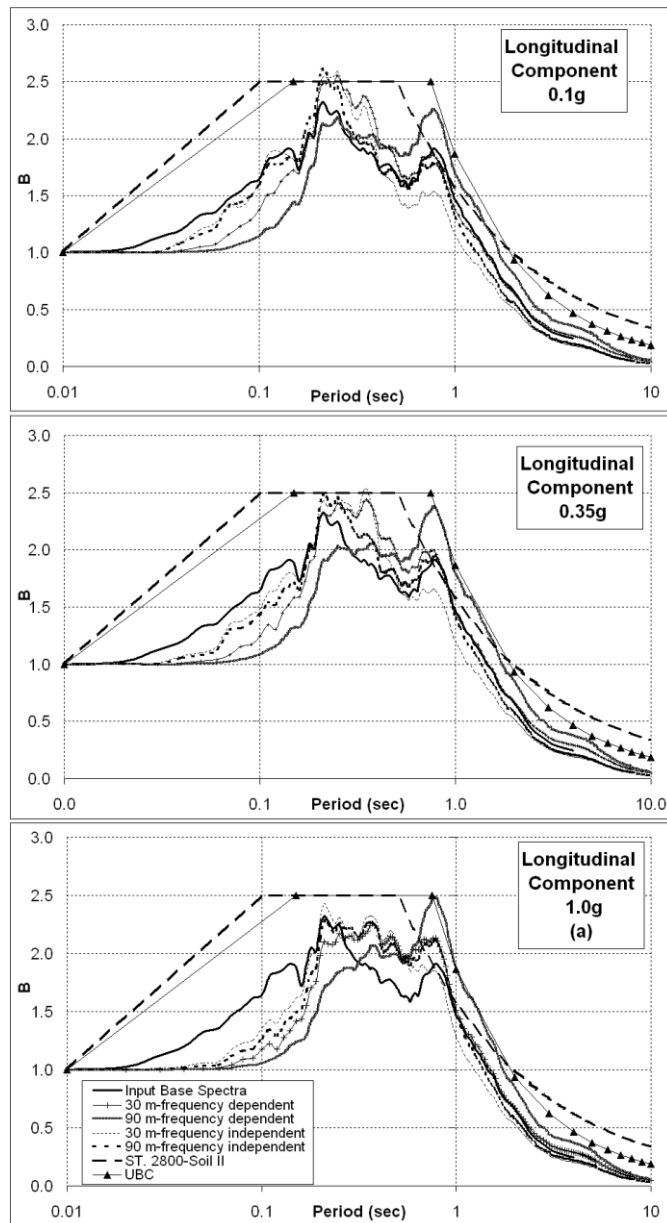
³ Hejazi و Mohammadi

همانگونه که ملاحظه می‌شود فرکانس بارگذاری، مقدار شتاب مبناء، ضخامت لایه خاک اثر قابل ملاحظه‌ای بر طیف پاسخ خصوصاً در پریودهای کمتر از ۱ ثانیه دارند. به طور کلی طیف پاسخ زلزله‌ها و طیف‌های طراحی آیین‌نامه‌ها در محدوده وسیعی از پریودها با هم همخوانی ندارند. Ts (پریود مطابق با انتهای ناحیه شتاب ثابت) برای تعداد زیادی از مولفه‌های افقی زلزله‌های میدان نزدیک بزرگتر از ۰/۵ ثانیه ارائه شده آیین‌نامه ۲۸۰۰ می‌باشد. برای ستون خاک ۳۰ متری و ۹۰ متری از مصالح متراکم سنگریزه‌ای، شتاب طیفی در پریودهای کوتاه برای تعدادی از زلزله‌های میدان نزدیک، بزرگتر از $B=2/5$ آیین‌نامه ۲۸۰۰ است. علت آن ممکن است آن باشد که طیف طراحی استاندارد ۲۸۰۰ از زلزله‌های واقعی رخ داده در ایران تهیه نشده است، بلکه از آیین‌نامه دیگر از جمله UBC اقتباس شده است. همچنین این طیف‌های طراحی برای احتمال رخداد ۱۰٪ برای ۵۰ سال می‌باشد. بطوریکه دوره بازگشت اکثر زلزله‌های بررسی شده، ب عنوان مثال زلزله بم، بلندمدت تر از این میزان ریسک هستند، لذا طبیعی است که مقادیر پاسخ از مقادیر طیف طراحی (همانند آنچه که برای پریودهای بین ۰/۲۵ تا ۰/۹ ثانیه رخ می‌دهد) بیشتر می‌شود. همچنین میزان وابستگی رفتار خاک به فرکانس در پریودهای بالاتر از ۱ ثانیه به تعداد سیکل‌های معادل در $0.65\tau_{max}$ شتاب حرکت ورودی وابسته است. با افزایش شتاب سنگ بستر، مقادیر نسبت بزرگنمایی سطح برای مصالح بارگذاری شده تحت فرکانس کمتر، تقریباً برابر و یا بیش از فرکانس غالب، به ترتیب زیاد، متوسط و اندک متاثر می‌شود. ضمناً افزایش شتاب سنگ بستر، سبب کاهش سریعتر دامنه بزرگنمایی در فرکانس‌های بالاتر می‌شود و همچنین فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی با افزایش شتاب سنگ بستر کاهش می‌یابد. ضمناً مقادیر نسبت بزرگنمایی برای ستون خاک ۹۰ متری کمتر از مقادیر نظیر ۳۰ متری است. افزایش شتاب به صورت متوسط سبب افزایش مقادیر B (ضریب بازتاب) در پریودهای بالا می‌شود. همانگونه که ملاحظه می‌شود طیف طراحی UBC پاسخ را در پریودهای بزرگتر از ۱ ثانیه خیلی خوب تخمین می‌زند. به نظر می‌رسد که استاندارد ۲۸۰۰ مقادیر غیر محافظ کارانه‌ای در پریودهای کوتاه و مقادیر نامناسبی (بیشتر تخمین

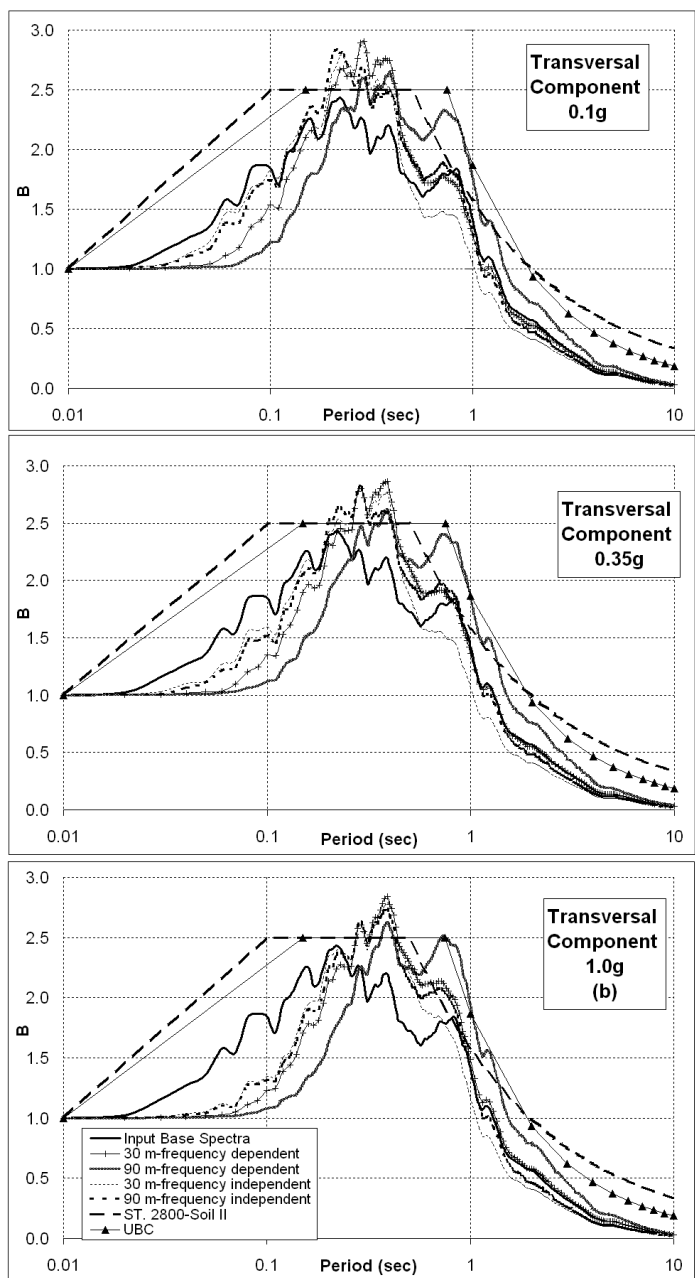


زدن) در پیوندهای بزرگ ارایه می دهد. برای ستون خاک ۹۰ متری، شتاب مبنای کم و فرکانس قالب بالا، روش خطی معادل مقادیر نسبت B کوچکتر در پیوندهای کوتاه را سبب می شود. اثر رفتار وابسته به فرکانس خاک در پیوندهای کوتاه مهم است و تا ۵۰٪ اختلاف (مقدار متوسط) در پاسخ های محاسبه شده برای زلزله های بکار رفته را سبب می شود. چنانچه مقدار شتاب طیفی برای ستون خاک با مشخصات مصالح ۰/۱ هرتز به عنوان مرجع در نظر گرفته شود، ملاحظه می شود که با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح به کار رفته در ستون خاک، نسبت شتاب طیفی کاهش می یابد. از نکات جالب توجه تفاوت نسبت شتاب طیفی در صورت استفاده از مقادیر میرایی و نسبت مدول برشی سید و همکاران [51] و رولینز و همکاران [52] در محدود ۰/۵ تا ۲ ثانیه می باشد که مقادیر نسبت مذکور بالای ۱ است. با افزایش شتاب سنگ بستر نسبت مذکور در محدوده پیوندهای یاد شده افزایش می یابد. مقادیر نسبت شتاب طیفی با افزایش عمق ستون خاک کاهش می یابد. شکل های (۱-۲۸) و (۱-۲۹) به ترتیب تغییرات طیف سرعت نسبی و طیف جابجایی نسبی در برابر پیوند برای ستون خاک به ضخامت ۳۰ متر و ۹۰ متر تحت شتاب مبنای $0.1g$ و $0.35g$ و $1g$ به ترتیب برای مولفه عمود بر گسل، مولفه موازی گسل و مولفه قائم زلزله های میدان نزدیک بکار رفته را نشان می دهد. تحلیلها برای دو حالت انجام شده اند: (۱) زمانی که فرکانس قالب زلزله و فرکانس بارگذاری آزمایشها با هم تطابق داشته باشند، (۲) حالتی که برای زلزله با فرکانسهای مختلف، فرکانس بارگذاری آزمایشها ۰/۱ هرتز باشد. طیف سرعت نسبی و طیف جابجایی نسبی آیین نامه UBC هم در شکل ها ارائه شده است. بطور کلی، برای مولفه های افقی زلزله های بکار رفته تحت شتاب مبنای $1g$ ، طیف سرعت نسبی بالاتر از مرزهای پیشنهادی UBC قرار می گیرند. فرکانس بارگذاری مصالح اثر چندانی بر طیف سرعت و جابه جایی نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پیوند متناظر با حداکثر طیف سرعت و جابه جایی نسبی، ندارد. مقادیر شتاب روی سنگ بستر بر مقدار حداکثر طیف سرعت و جابه جایی نسبی تاثیر دارد اما بر فرم کلی

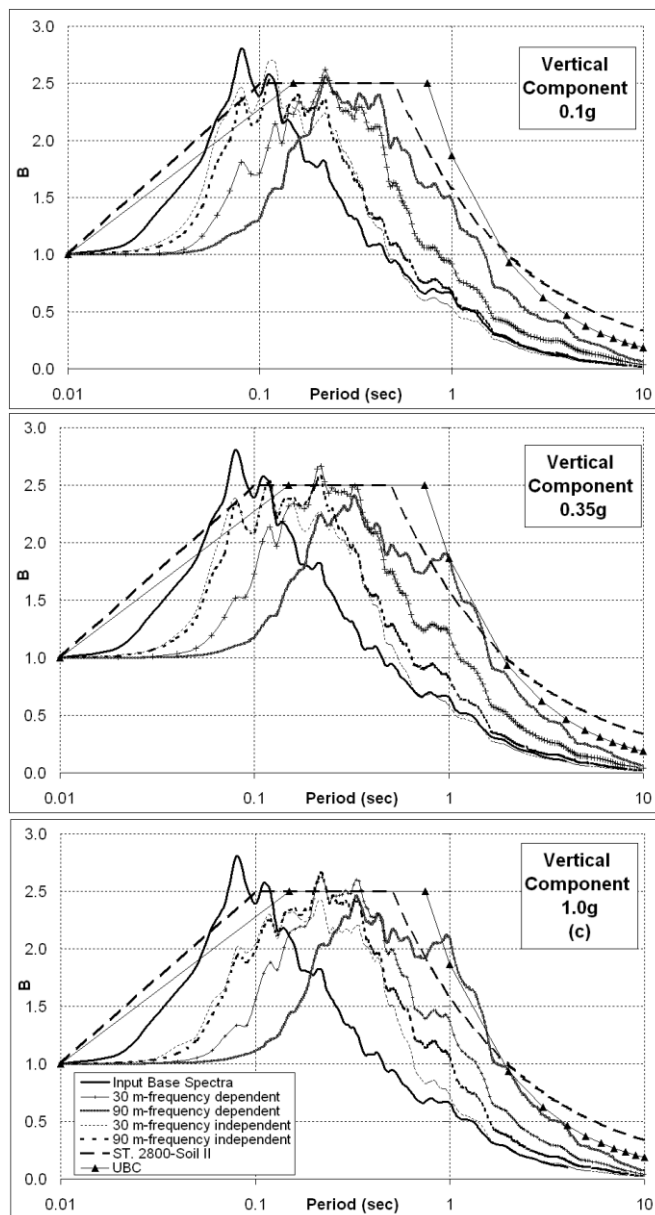
منحنی طیف سرعت و جابه‌جایی نسبی بسیار کم تاثیر است. افزایش عمق ستون خاک تاثیری بر طیف سرعت و جابه‌جایی نسبی ندارد.



شکل (۱-۲۷) الف

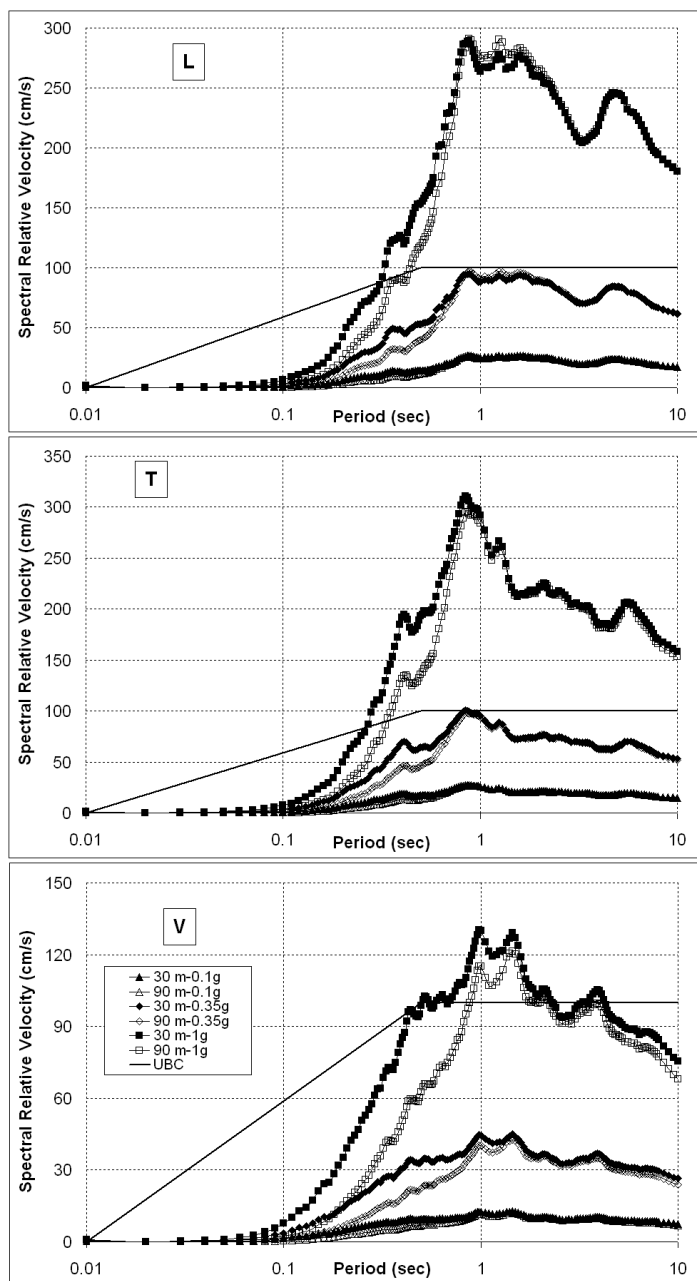


شکل (۲۷-۱) ب

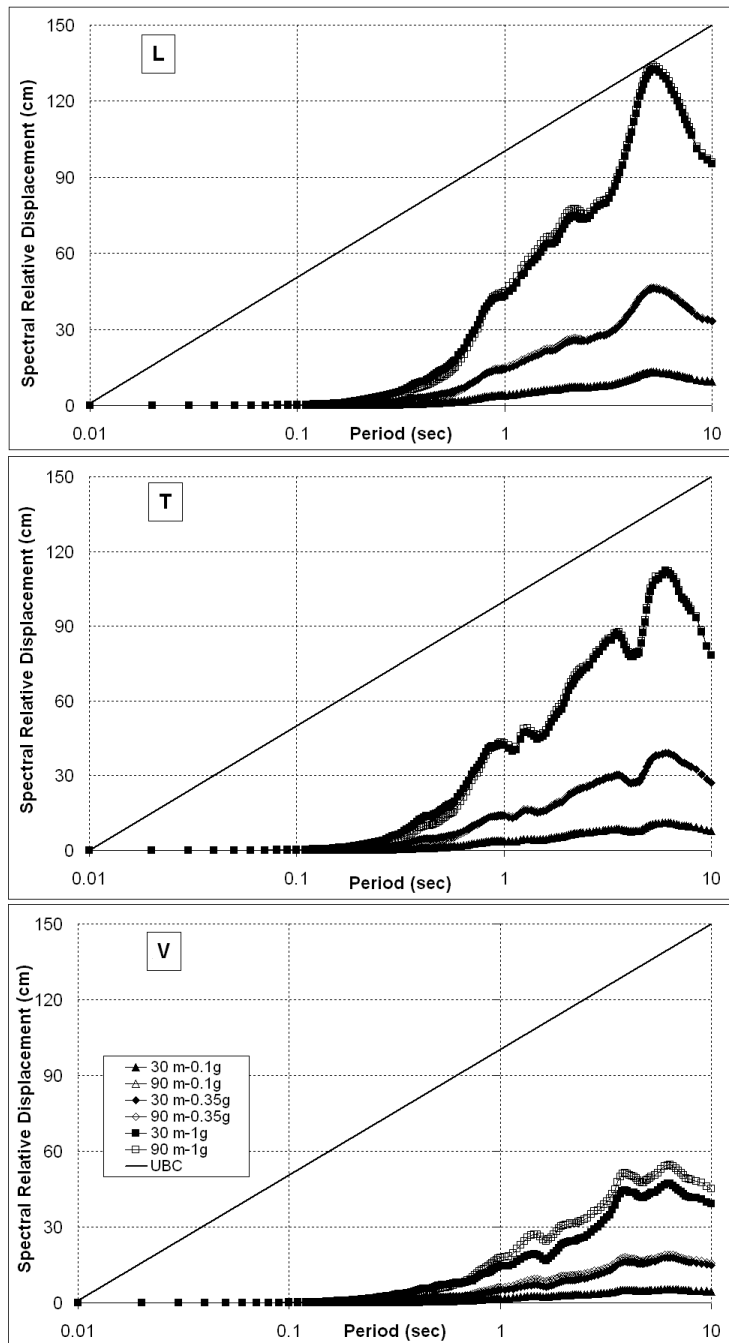


شکل (۲۷-۱) ج

شکل ۲۷-۱- تغییرات شتاب طیفی بی بعد شده (ضریب بازتاب **B** آیین نامه ۲۸۰۰) در برابر پریود برای ستون خاک به ضخامت ۳۰ متر و ۹۰ متر تحت شتاب مبنای ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای (الف) مولفه عمود بر گسل، (ب) مولفه موازی گسل و (ج) مولفه قائم زلزله های بکار رفته برای سنگریزه ای بسیار متراکم



شکل ۱-۲۸- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک به ضخامت ۳۰ متر و ۹۰ متر تحت شتاب مبئی ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای (L) مولفه عمود بر گسل، (T) مولفه موازی و (V) مولفه قائم زلزله های میدان نزدیک بکار رفته برای سنگریزه ای بسیار متراکم



شکل ۱-۲۹- تغییرات طیف جابجایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک به ضخامت ۳۰ متر و ۹۰ متر تحت شتاب مبنای ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای (L) مولفه عمود بر گسل، (T) مولفه موازی و (V) مولفه قائم زلزله های میدان نزدیک بکار رفته برای سنگریزه ای بسیار متراکم

۷-۱- محدودیتهای روشهای تحلیلی فعلی

مفهوم در نظرگیری وابستگی به فرکانس این است که در تمام مدت زلزله رفتار وابسته به فرکانس فرض شود. مشابه SHAKE، FDEL مدول برشی و میرایی را برای یک مقدار ثابت در کل مدت تکان فرض می کند، اگرچه هر مولفه فوریه مدول برشی و نسبت میرایی متفاوتی دارد. در واقع تکنیک FDEL خواص متفاوت مصالح را به مولفه های مختلف سری فوریه اختصاص می دهد. بنابراین وابستگی به فرکانس مولفه های فرکانس بالا حرکت زمین را کمتر تخمین می زند که در آن کرنش برشی کوچکی مورد انتظار است و همچنین این وابستگی در کرنشهای بزرگتر از کرنش برشی موثر در انتشار حرکت زلزله های قوی با محدوده وسیعی از کرنشهای مور انتظار را بیشتر تخمین می زند. لذا بکارگیری یک کرنش موثر برای بیان وابستگی به فرکانس رفتار خاک در تمام ترازهای کرنش کم دقت می شود. باید یادآوری شود که روش خطی معادل یک روش معادل برای در نظر گرفتن پاسخ زلزله نیست. بلکه روش پیشنهادی یک حل تقریبی است. لذا مطالعات عمیق تری برای تعیین دقت و قابلیت کاربرد روش پیشنهادی وابسته به فرکانس اخیر لازم است.

۸-۱- نتیجه گیری

آزمایشهای سه محوری دینامیکی انجام شده روی مصالح خاکی نشان داد که فرکانس بارگذاری بر مقادیر مدول برشی و خصوصاً نسبت میرایی تاثیرگذار است. پرسش اینجا است که چرا با وجود داده های کافی مبنی میرایی بیشتر در فرکانس بالاتر (مثلاً ۱ هرتز) باز هم اصرار بر ارائه نتایج مشابه فرکانس های کمتر از ۰/۲ هرتز در کرنش های کوچک وجود دارد. مثلاً در مطالعات انجام شده [53] روی مصالح ماسه ای و ریزدانه، با تغییر فرکانس از ۰/۵ هرتز به ۱ هرتز در تنش محدودکننده 1kg/cm^2 ، میرایی در کرنش های کوچک از ۱ به ۵ افزایش می یافت و ضمناً نسبت مدول برشی هم متأثر از فرکانس بوده است، اما این نتایج در منحنی های پیشنهادی $(\gamma - G/G_{\max})$ و $(D - \gamma)$ انعکاس نیافته است. در نظر نگرفتن اثر فرکانس بارگذاری بر رفتار مصالح، خصوصاً بر میرایی و تبدیل آن به یک عدد ثابت کوچک (زیر ۲٪ در کرنش کوچک کمتر از 10^{-5} حتی با

وجود میرایی تا ۰/۵٪، به صورت مصنوعی ظرفیت خاک در زایل کردن انرژی در بعضی از محدوده‌های فرکانسی کمتر تخمین زده می‌شود [26]. اخیراً تحلیل‌هایی برای به‌دست آوردن طیف پاسخ زمین در لایه‌های آبرفتی تحت برخورد موج برشی افقی برای تعدادی مولفه عمود بر صفحه گسل زلزله میدان واقعی انجام شده است [2]. نتایج نشان داد که محتوای فرکانسی زلزله‌ها در طیف پاسخ زمین هم مهم است [2، 54]. علت انتخاب زلزله‌های میدان نزدیک و خصوصاً مولفه عمودی آن این است که اولاً طیف سرعت آنها از نوع حرکت‌های پالس‌مانند بوده و معیار مناسبی برای بیان بزرگی زلزله‌های بزرگ و میزان خرابی سازه‌ها در زلزله‌های میدان نزدیک است [2، 54]، ثانیاً محتوای فرکانسی آنها کمتر تحت تاثیر مسیر قرار می‌گیرد و ثالثاً با توجه عوامل مختلف، مثل ظاهر شدن گسلش در سطح و یا پنهان بودن آنها، دارای پیوند پالس سرعت متفاوت (۰/۴ تا ۱۰ ثانیه برای زلزله‌های میدان نزدیک بررسی شده) می‌باشد [41، 54]. نتایج مطالعات قبلی برای خاکهای درشت دانه سنگریزه ای با در نظرگیری اثر محتوای فرکانسی نشان داد، که انتخاب رفتار دینامیکی مصالح تحت فرکانس بارگذاری مناسب در تطابق نسبی با فرکانس غالب زلزله از اهمیت خاصی برخوردار است؛ به‌طوری‌که در نظرگیری اثر محتوای فرکانسی باعث بیشتر شدن پیوند متناظر Ts استاندارد ۲۸۰۰ در پیوندهای بیش ۰/۵ ثانیه می‌شود. در تحقیق انجام شده توسط آقایی و همکاران [9] با انجام آزمایش توسط دستگاه سه محوری بزرگ مقیاس روی تعدادی مصالح دست خورده بازسازی شده حاصل از تعدادی گمانه‌های حفر شده در شهرهای استان سمنان و تهران اثر تنش محدود کننده، ناهمسانی و فرکانس‌های ۰/۵ تا ۱۰ Hz در کرنشهای کمتر از ۰/۱٪ بررسی شد. تنش‌های محدودکننده ۱، ۲، ۵ kg/cm² در نظر گرفته شده است. اکثر نمونه‌ها تحت شرایط رطوبت طبیعی آماده و تحت شرایط تنش محدود کننده مختلف (همسان، ناهمسان القایی تنشی با نسبت σ'_1/σ'_3 بین ۱/۵ تا ۲) قرار گرفته و آماده بارگذاری سیکلی شدند. تعدادی نمونه هم با رطوبتهای کمتر، تعدادی هم با رطوبت بیش از رطوبت بهینه تحت بارگذاری مختلف قرار گرفتند. در کل روی ۳۸ نمونه استوانه‌ای با قطر ۲۰ cm و ۴۰ cm ارتفاع آزمایش صورت گرفته است تا مدول برشی و میرایی حداقل شش نوع مصالح موجود در گمانه‌ها بررسی گردد. همچنین در محدوده فرکانس‌های یاد شده، با استفاده از سایر نتایج خواص دینامیکی آبرفت طبیعی، منحنی مدول برشی و نسبت میرایی در برابر کرنش برشی



ارائه شده است. لذا این تحقیق به بررسی اثر محتوای فرکانسی بر رفتار مدول برشی و نسبت میرایی در محدوده وسیعی از کرنشها با استفاده از دستگاه سه محوری قطر بزرگ روی شش نوع مصالح خاکی می پردازد. تحلیلها برای ارزیابی اثر فرکانس بارگذاری در تحلیلهای یک بعدی خطی معادل زمین و برای چندین زلزله های میدان نزدیک انجام خواهد شد. در آیین نامه های ساختمانی فعلی ۳۰ متر بالایی نهشته سطحی خاک که روی پوسته با امپدانس بالا قرار می گیرد، در نشان دادن رفتار لرزه ای پاسخ زمین مهم فرض می شود. از طرفی با توجه به گودبرداری های فعلی که دارای عمقی حدود ۳۰ متر هستند بررسی ستون خاک با اعمال بیشتر هم باید مد نظر باشد. لذا تحلیلها برای ستون خاکهای بیشتر مثلاً ۶۰ متر هم بررسی شده است. با توجه به اینکه در حال حاضر کشور ایران از زمین لرزه ها در دهه های گذشته، متحمل صدمات جدی شده است انجام این تحقیق می تواند به بهینه سازی نتایج حاصل از پهنه بندی ژئوتکنیکی لرزه ای و در نهایت ساخت و ساز کمک شایانی کند. لذا هدف اصلی از این تحلیلها، طراحی و ساخت و ساز اقتصادی و ایمن خصوصاً در مناطق میدان نزدیک است.

فصل دوم

۲- منحنی های مدول برشی و نسبت میرایی با تمرکزی بر اثر فرکانس بارگذاری و غیرهمسانی

۲-۱- مقدمه

در این پژوهش، مصالح حاصل از حفر گمانه های ماشینی جهت مطالعات ریز پهنه بندی لرزه ای در کشورمان یعنی شهرهای سمنان، سرخه و پردیس شامل ۶ نوع مصالح ماسه ای و ریزدانه انتخاب شده است. دانه بندی مصالح به کار رفته متفاوت است. نمونه ها تحت تنش محدودکننده موثر ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 در شرایط همسان و ناهمسان تحت تنش محدودکننده مورد نظر قرار گرفته و سپس تحت بارگذاری قرار می گیرند. آزمایش ها با دستگاه سه محوری قطر بزرگ بخش ژئوتکنیک مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن انجام شده است. نمونه ها به روش استاندارد [55] و با فرکانس های ۰/۵ و ۱۰ هرتز به صورت سیکلی سینوسی بارگذاری شده اند. در ادامه ضمن معرفی مشخصات و قابلیت های دستگاه سه محوری مورد استفاده، نتایج حاصل از آزمایش های اولیه شامل چگالی، دانه بندی، آزمایش تحکیم و سیکلی ارائه می گردد.

۲-۲- مشخصات مصالح مورد بررسی

پاره ای از مشخصات مصالح شنی مورد مطالعه در این تحقیق شامل جنس، درصد های عبوری از تعدادی الک در نمونه های آزمایشگاهی و حداکثر اندازه دانه ها در محل به همراه سرعت های V_p و V_s و ضریب پواسون ارائه شده است (جدول ۲-۱). مصالح

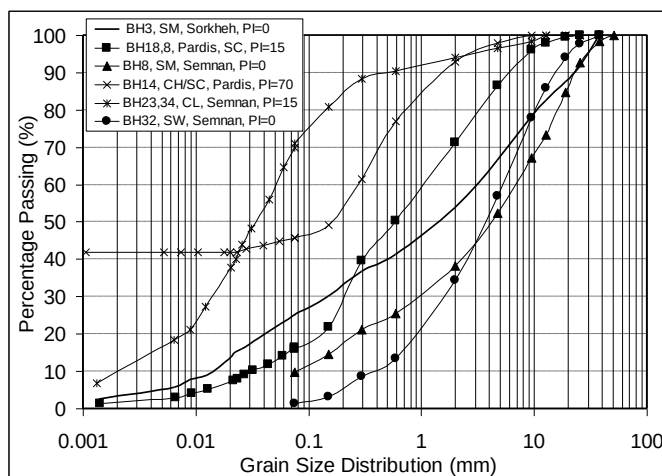


موجود در گمانه‌ها، برای آزمایش سه‌محوری با حداکثر اندازه دانه ۳۸ mm (حدود ۱/۵ تا ۱/۶ قطرهای نمونه سه محوری ۲۰ cm) می‌باشد. منحنی دانه‌بندی متوسط مورد استفاده برای مصالح در نمونه‌های آزمایشگاهی سه محوری در شکل (۲-۱) ارائه شده است. پیش از ساخت آزمون‌ها، آزمایش‌های زیر جهت تعیین خواص مورد نیاز برای این کار انجام شده است: آزمایش تعیین G_s که بر اساس استاندارد ASTM C128 انجام می‌شود که از آن برای محاسبه تخلخل اولیه آزمون استفاده شده است.

جدول ۲-۱- مشخصات مصالح به کار رفته در این مطالعات

نشانه مصالح	CH/SC	ML	SC	SM	SM/GM	SW						
نام گمانه	BH14	BH34	BH8	BH3	BH8	BH32						
شهر	پردیس	سمنان	پردیس	سرخره	سمنان	سمنان						
درصد گدشته از ۴/۷۵ mm	۹۷	۹۶	۸۶	۶۵	۵۲	۵۷						
درصد گدشته از الک #۲۰۰	۵۵	۷۱	۱۶	۲۵	۱۰	۲						
PI	۷۰	۱۵	۱۵	۰	۰	۲						
γ_d (gr/cm ³)	۱/۴۹	۱/۹۵	۱/۷۲	۲/۰۵	۲/۲۲	۲/۳۳						
درصد رطوبت (%)	۲۷/۰	۱۳/۰	۱۷/۰	۹/۳	۶/۰	۶/۱						
Gs	۲/۵۰	۲/۶۵	۲/۳۹	۲/۶۱	۲/۶۵	۲/۶۹						
e نظیر γ_d حداکثر	۰/۶۴۶	۰/۳۳۳	۰/۳۶۳	۰/۲۴۹	۰/۱۸۲	۰/۱۴۷						
ابعاد نمونه‌ها (cm)	۲۰×۴۰	۳۰×۶۰×۲۰×۴۰	۲۰×۴۰	۲۰×۴۰	۲۰×۴۰	۲۰×۴۰						
ضریب پواسون	۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۳	۰/۲۹						
عمق (متر)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
۱	۳۳۱	۱۵۰	۳۶۸	۱۶۲	۴۵۱	۱۸۴	۴۱۰	۱۹۶	۶۶۸	۳۲۲	۴۴۰	۲۱۲
۲	۶۱۸	۲۹۹	۳۹۰	۱۷۶	۴۲۰	۱۸۴	۵۸۲	۲۹۶	۸۷۵	۴۲۹	۵۳۰	۲۶۰
۳	۸۵۲	۴۲۷	۶۲۲	۲۸۹	۶۰۲	۳۰۸	۷۲۲	۳۷۰	۸۹۶	۴۴۴	۵۷۴	۲۹۲
۴	۹۷۹	۵۰۴	۶۹۱	۳۲۷	۸۸۰	۴۶۳	۸۳۶	۴۴۳	۱۰۸۱	۵۶۷	۶۳۰	۳۳۴
۵	۸۲۶	۴۶۵	۷۷۴	۳۶۸	۸۱۷	۴۵۶	۸۹۹	۴۸۱	۱۲۸۵	۶۸۴	۶۴۱	۳۴۱
۶	۹۳۱	۵۳۷	۸۷۵	۴۱۶	۱۰۱۶	۵۵۹	۹۳۴	۵۱۴	۱۳۳۵	۷۳۹	۸۱۲	۴۳۲
۷	۹۲۷	۵۲۵	۷۳۷	۳۵۴	۱۱۶۵	۷۲۳	۸۰۴	۴۳۷	۱۵۷۳	۸۵۳	۱۰۴۰	۵۶۴
۸	۱۰۵۶	۵۹۶	۸۷۴	۴۳۵	۱۳۴۷	۷۴۶	۹۶۶	۵۰۸	۱۵۹۹	۸۳۳	۱۰۶۱	۵۷۶
۹	۱۱۱۳	۶۴۲	۸۸۳	۴۴۰	۱۲۰۶	۷۳۳	۱۰۷۸	۵۷۰	۱۷۵۷	۹۱۹	۱۲۰۱	۶۶۰
۱۰	۱۰۹۷	۶۴۸	۷۵۶	۳۶۴	۱۲۱۶	۶۹۱	۹۸۰	۵۴۳	۱۹۶۱	۱۰۲۰	۱۲۱۳	۶۴۶
۱۱	۱۰۰۴	۵۷۷	۱۰۸۵	۵۴۱	۱۰۹۱	۶۵۱	۱۱۵۳	۶۳۱	۱۹۵۴	۱۰۸۳	۱۴۹۱	۷۷۵
۱۲	۱۳۶۱	۸۱۳	۱۰۹۰	۵۴۴	۱۶۲۵	۸۸۴	۱۱۵۸	۶۳۴	۱۵۱۹	۷۶۰	۱۵۰۱	۷۸۰
۱۳	۱۳۳۰	۷۵۶	۸۹۹	۴۷۰	۱۴۰۵	۷۵۵	۱۰۹۸	۵۹۸	۱۲۴۱	۶۲۱	۱۴۰۳	۷۸۴
۱۴	۱۶۳۸	۹۸۰	۹۸۹	۵۲۰	۱۶۳۹	۹۷۹	۱۲۳۵	۶۵۸	۱۴۱۷	۷۳۵	۱۱۰۰	۶۱۸
۱۵	۱۵۹۱	۹۸۳	۱۰۹۹	۵۹۸	۱۴۱۲	۷۶۰	۱۱۶۶	۶۳۹	۱۹۷۷	۱۰۴۰	۱۲۳۷	۶۸۲
۱۶	۱۵۶۹	۹۴۰	۱۲۳۶	۶۳۷	۱۶۴۷	۸۹۷	۱۰۴۶	۵۸۴	۱۶۵۴	۹۰۲	۸۳۰	۴۵۲
۱۷	۱۷۶۵	۱۰۹۶	۹۰۴	۴۷۳	۱۴۱۷	۸۲۵	۹۰۵	۴۹۸	۱۹۳۳	۱۱۰۱	۱۲۴۰	۶۶۱
۱۸	۱۸۰۰	۱۱۶۱	۱۴۱۴	۷۰۷	۱۶۵۲	۹۰۰	۹۹۵	۵۲۴	۱۶۵۸	۸۲۹	۹۹۵	۵۵۳
۱۹	۱۴۸۳	۹۰۲	۱۱۰۴	۵۸۴	۱۸۰۳	۹۰۲	۱۲۴۳	۶۴۱	۱۶۵۹	۹۰۴	۱۴۱۸	۷۶۳
۲۰	۱۳۳۷	۸۷۸	۱۲۴۲	۶۲۱	۱۹۸۳	۹۹۲	۱۴۱۹	۷۳۶	۱۱۰۹	۵۷۰	۱۸۰۲	۹۹۱
۲۱	۱۲۷۷	۷۶۶	۱۴۱۹	۷۰۹	۲۲۰۳	۱۱۰۲	۱۴۲۱	۷۳۷	۱۲۴۷	۶۴۴	۱۹۸۲	۱۱۰۱
۲۲	۱۳۱۱	۸۲۹	۱۲۴۴	۶۶۳	۱۹۸۷	۱۱۰۳	۱۳۲۷	۶۸۷	۱۴۵۵	۷۶۷	۱۸۰۶	۹۴۶
۲۳	۱۸۶۱	۱۱۰۴	۹۹۷	۴۹۸	۱۸۰۹	۹۰۵	۱۱۷۳	۶۲۳	۱۶۶۱	۸۶۸	۱۰۴۵	۱۰۴۵
۲۴	۱۹۹۹	۱۲۴۲	۱۲۴۵	۶۲۲	۲۲۰۹	۱۱۰۵	۱۴۲۳	۷۹۶	۱۸۱۲	۹۹۶	۱۹۸۸	۱۱۰۴
۲۵	۱۹۹۰	۱۲۴۴	۹۹۷	۴۹۹	۱۵۱۰	۸۰۴	۱۵۳۲	۸۶۶	۱۹۹۳	۱۱۰۷	۲۱۱۵	۱۱۶۹
۲۶	۲۲۱۱	۱۴۲۰	۱۴۲۳	۶۸۷	۱۸۴۴	۹۹۶	۱۴۴۴	۷۹۷			۲۰۷۳	۱۱۷۰
۲۷	۲۲۱۲	۱۴۲۰	۱۴۲۳	۷۱۲	۲۲۱۱	۱۲۴۳	۱۵۳۳	۸۷۴				
۲۸	۲۳۷۰	۱۴۸۴	۱۴۲۴	۷۳۸	۲۲۱۲	۱۲۱۴	۱۶۶۱	۹۴۰				
۲۹			۱۴۲۴	۷۱۲	۲۲۱۳	۱۲۲۹						
۳۰			۱۶۶۱	۹۰۵								

آزمایش تراکم استاندارد بر اساس استاندارد ASTM D698 انجام و میزان حداکثر دانسیته خشک $\gamma_{d\max}$ و درصد رطوبت بهینه محاسبه می شوند. برای دانه های غیرچسبنده و با ریزدانه کمتر از ۱۵٪ انجام آزمایش تخلخل حداقل یا دانسیته نسبی حداکثر (ASTM D 4253) و تخلخل حداکثر یا دانسیته نسبی حداقل (ASTM D 4253) انجام شده است. همچنین اندازه گیری دانسیته صحرایی و رطوبت طبیعی هم برای نمونه های دارای کلوخه مناسب دست نخورده انجام می شود تا حدودی از دانسیته نسبی صحرایی بدست آید. نتایج آزمایش های شیمیایی انجام شده بر روی نمونه های خاکی مورد بررسی در این مطالعه به شرح جدول ۲-۲ می باشد.



شکل ۲-۱- دانه بندی معرف مصالح انتخابی جهت انجام آزمایش

جدول ۲-۲- نتایج آزمون های شیمیایی شش نمونه خاک

نتایج آزمون های شیمیایی (درصد)						عناصر متشکل
سرخه BH3	سمنان BH32	سمنان BH8	سمنان BH34	پردیس BH8	پردیس BH14	
۲۰/۵۲	۳۱/۰۴	۳۲/۶۸	۱۸/۵۳	۱۸/۶۸	۶/۷۶	کاهش وزن بر اثر سرخ شدن
۴۰/۷۷	۲۷/۴۳	۳۰/۴۰	۴۲/۲۲	۴۱/۶۸	۴۸/۳۶	اکسید سیلیسیم (SiO_2)
۷/۶۲	۴/۱۷	۳/۲۵	۹/۳۰	۹/۹۰	۱۶/۷۵	اکسید آلومینیم (Al_2O_3)
۳/۰۰	۲/۸۰	۳/۱۰	۴/۵۰	۴/۴۰	۸/۹۰	اکسید آهن (Fe_2O_3)
۲۱/۰۰	۲۶/۶۰	۲۵/۹۰	۱۳/۳۰	۲۲/۴۰	۱۶/۱۰	اکسید کلسیم (CaO)
۵/۰۰	۵/۰۰	۲/۰۰	۹/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	اکسید منیزیم (MgO)
۰/۶۳	۰/۱۳	۰/۲۵	۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۱۲	سولفات (SO_3)
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	کلرید



۳-۲- برنامه آزمایش‌های دینامیکی

تعداد ۳۸ نمونه (۲۶۸ آزمایش) از مصالح با مشخصات ارائه شده در بخش‌های بالا تحت شرایط همسان و ناهمسان در تنش‌های محدودکننده مختلف مورد آزمایش قرار گرفته است (جدول ۳-۲). ساخت نمونه‌های دست خورده از طریق وزن مخصوص خشک صحرایی انجام شده است. برای مصالح ماسه‌ای با توجه به وزن مخصوص خشک مورد نظر حاصل از دانسیته صحرایی بعد از مرطوب شدن با رطوبت بهینه مخلوط شدند. از قالب‌های شکافدار برای قالب‌گیری نمونه‌ها استفاده شده است. مخلوط به ۴ قسمت تقسیم و برای کوبش از کمپکتور برقی با فرکانس ۶۰ cycle/s استفاده گردید.

جدول ۳-۲- مشخصات آزمایش‌های نوسانی انجام شده روی مصالح ریزدانه و ماسه‌ای

تعداد آزمایش	تعداد نمونه	درصد رطوبت	kc	فرکانس (هرتز)	تنش (kg/cm ²)	نشانه	مصالح
۳۰	۳	بهینه (۱۷٪)	۲, ۱	۱۰, ۵, ۲, ۱, ۰/۵	۵, ۲, ۱	SC	Pardis(BH8)
۲۰	۲	بهینه (۲۷٪)	۲, ۱	۱۰, ۵, ۲, ۱, ۰/۵	۲, ۱	CH/SC	Pardis(BH14)
۱۰	۲	بهینه (۲۷٪)	۱/۵, ۱	۱۰, ۵, ۲, ۱, ۰/۵	۵		
۳۰	۳	بهینه (۶٪)	۲, ۱	۱۰, ۵, ۲, ۱, ۰/۵	۵, ۲, ۱	SM/GM	Semnan(BH8)
۲۰	۲	بهینه (۱۳٪)	۲, ۱	۱۰, ۵, ۲, ۱, ۰/۵	۲, ۱	ML	Semnan(BH34)
۱۰	۱	نصف بهینه (۷٪)	۱/۵, ۱	۱۰, ۵, ۲, ۱, ۰/۵	۵		
۳۰	۳	بهینه (۶/۱٪)	۲, ۱	۱۰, ۵, ۲, ۱, ۰/۵	۵, ۲, ۱	SW	Semnan(BH32)
۳۰	۳	بهینه (۹/۳٪)	۲, ۱	۱۰, ۵, ۲, ۱, ۰/۵	۵, ۲, ۱	SM	Sorkheh(BH3)
۱۸۰	۲۲	جمع					

کلیه نمونه‌ها با قطر ۲۰ سانتی‌متر و با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر تهیه و مورد آزمایش قرار گرفتند. در کلیه آزمایش‌ها از دو لودسل (یکی بیرونی و دیگر مستغرق در داخل سلول) و ترانسیدوسرهای تغییر شکل سنج با دقت بالا (نوع غیر تماسی) قرار گرفته در داخل سلول آزمایش استفاده شده است. حسگرهای تغییرشکلی در مقابل هم و در بالای صفحه روی نمونه قرار می‌گیرد تا این که متوسط کرنش‌ها به دست آید و مولفه‌های چرخشی کم شود. با تمهیدات بکار گرفته شده، اصطکاک در پیستون بارگذاری را از اندازه‌های بارگذاری حذف کرده و اندازه‌گیری دقیق کرنش برشی تا حدود ۰/۰۰۰۱٪ را فراهم می‌شود.

۲-۳-۱- روش آزمایش

نمونه‌های طبق استاندارد ASTM D3999 [55] تحت بار محوری نوسانی با فرکانسهای مختلف ارائه شده در جدول (۳-۴)، به صورت زهکشی نشده بارگذاری می‌شوند. بر طبق این استاندارد برای هر نمونه خاک که برای شروع بارگذاری نوسانی آماده شده است با ثابت نگهداشتن تنش محدود کننده فرکانس معینی به تعداد ۴۰ نوسان به نمونه وارد شده و تغییرات بار و جابجایی نسبت به زمان ثبت می‌گردد. سپس شیر زهکشی بسته شده و ۴۰ نوسان دیگر بار بیشتر از گام قبلی به نمونه وارد می‌شود و در پایان بار دیگر شیر زهکشی باز می‌شود. به همین ترتیب گام به گام بارگذاری نوسانی با ثابت ماندن تعداد نوسان و افزایش بار اعمال می‌شود. همزمان با افزایش فرکانس در هر گام سطح تنش و کرنش تغییر می‌کند. طبق استانداردهای ASTM D3999 [55] و ASTM D4015 [56] انجام چندین آزمایش روی یک نمونه برای بدست آوردن مقادیر مدول برشی و میرایی به شرط اعمال کرنش برشی کمتر ۰/۰۱٪ مجاز است. بررسی‌های انجام شده قبلی نشان داد که حتی تا کرنش حدود ۰/۱٪ در نمونه‌های سنگریزه‌ای متراکم مورد بررسی انجام چندین آزمایش روی یک نمونه تاثیر زیادی در نتایج ندارد. لذا به دلایل هزینه‌های زیاد، زمان مورد نیاز و سادگی استفاده از یک نمونه، برای هر تنش محدودکننده تنها یک نمونه که به صورت پله‌ای بارگذاری می‌شود استفاده شده است. فواصل زمانی قرائت داده‌های مربوط به بارهای محوری، جابجایی قائم و فشار آب حفره‌ای نمونه خاک طوری تنظیم شده که در هر نوسان بارگذاری ۵۰ قرائت ثبت شود. طبق استاندارد ASTM D3999 [56] حداقل قرائت لازم در هر نوسان بارگذاری ۴۰ داده تعیین شده است).

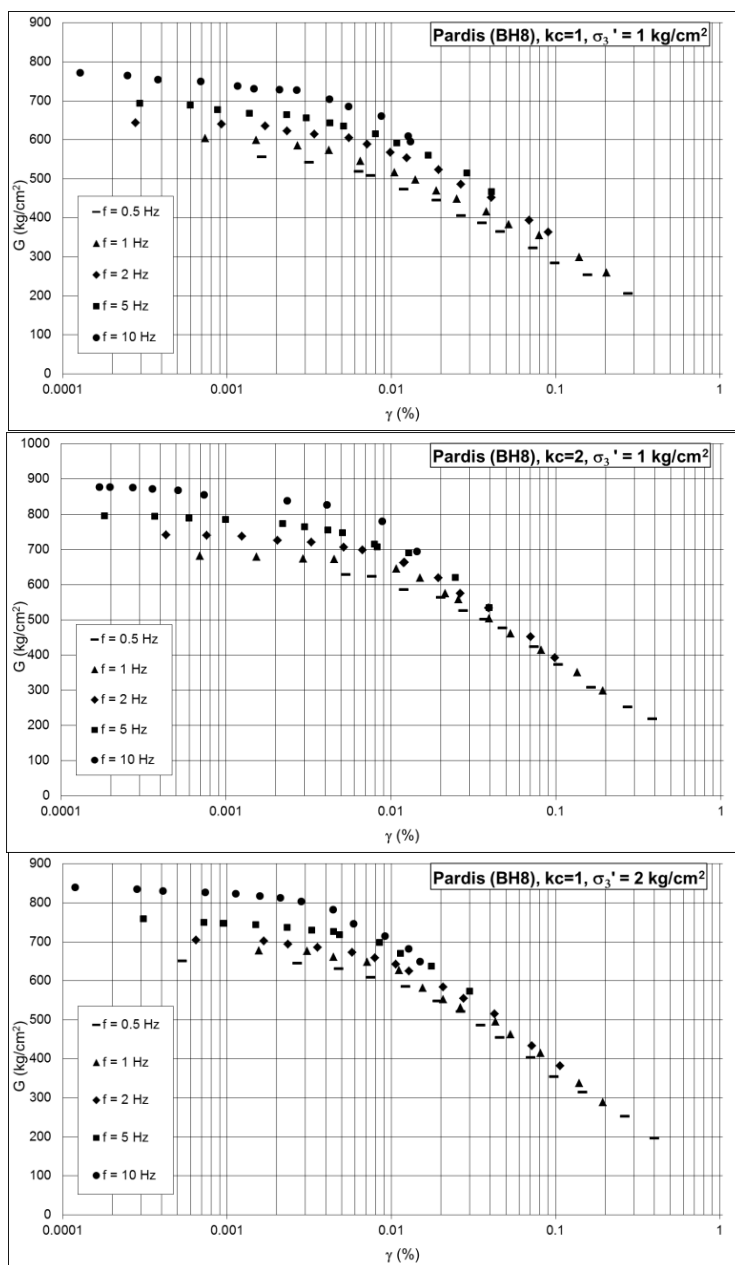
۲-۴- نتایج آزمایش‌های خصوصیات دینامیکی مصالح

نتایج آزمایش‌ها شامل مقادیر مدول برش، مدول برشی حداکثر در برابر تنش محدودکننده متوسط، نسبت مدول برشی و نسبت میرایی در سیکل‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ طبق استاندارد [55] محاسبه شدند. نتایج این آزمایشها در ادامه برای هر مصالح

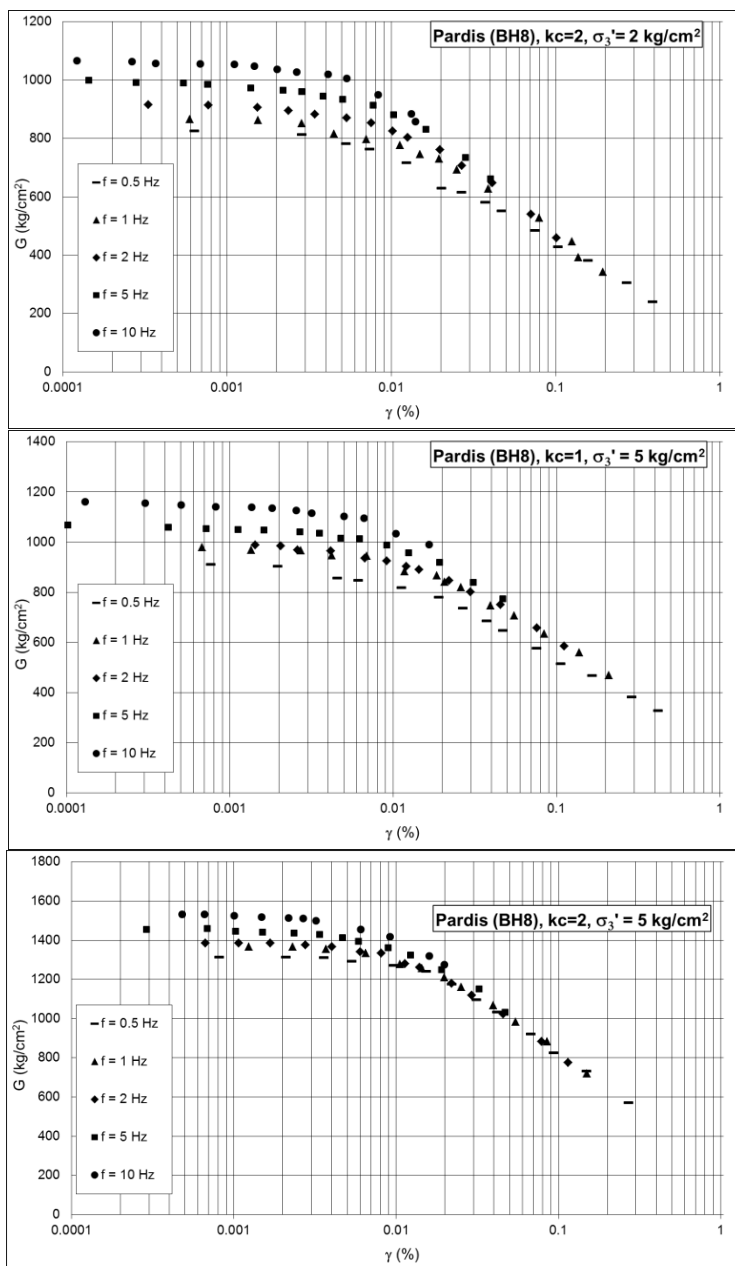


به تفکیک و براساس جدول (۳-۲) در شکلهای (۲-۲) تا (۱۹-۲) و جداول (۴-۲) و (۹-۲) ارائه شده است.

مصالص پردیس گمانه BH8



شکل (۲-۲)



شکل ۲-۲- نتایج G - γ مصالح گمانه BH8 با رطوبت بهینه پردیس برای نمونه تحت تنش محدودکننده ۱، ۲ و ۵ kg/cm² در دو حالت تحکیم همسان و تحکیم تحت تنش محوری قائم



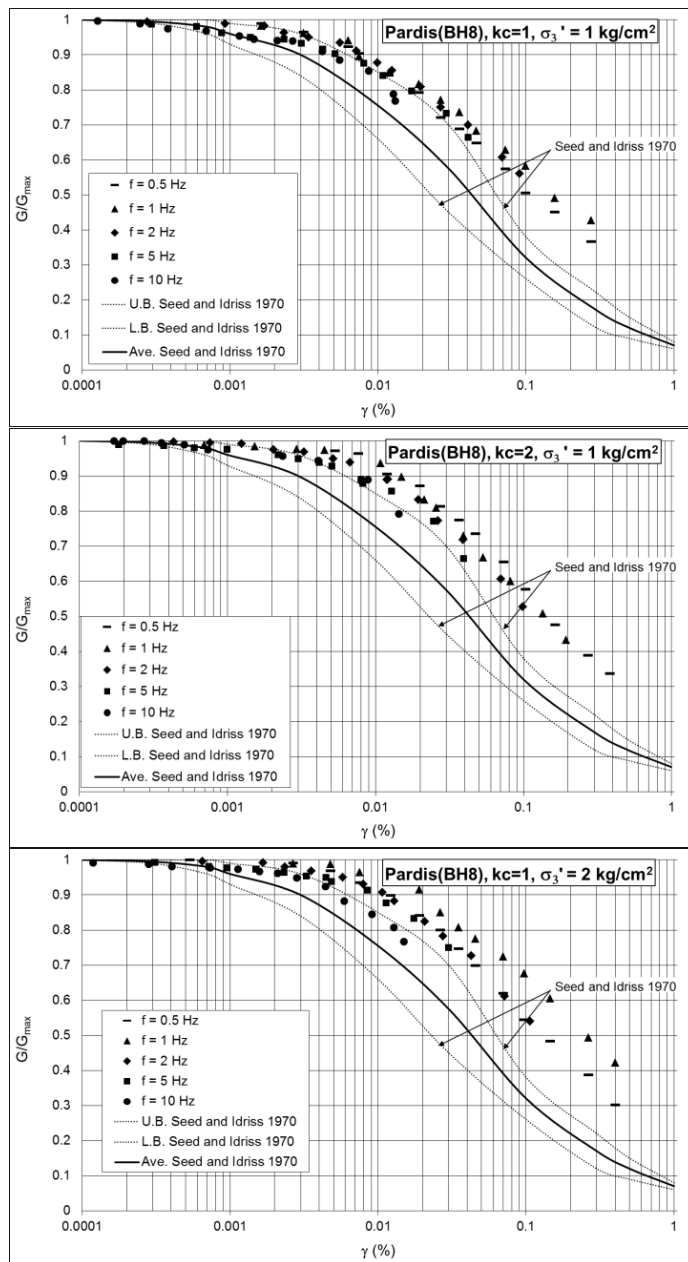
جدول ۲-۴ - G_{max} مصالح گمانه BH8 پردیس نمونه های تحکیم همسان و غیرهمسان با رطوبت بهینه

σ'_1 / σ'_3	σ'_3 (kg/cm ²)	فرکانس بارگذاری (Hz)	اندازه گیری شده G_{max} (kg/cm ²)	Vs (m/s)	نوع خاک طبق استاندارد ۲۸۰۰
kc= ۲ و Wopt	۱	۰/۵	۶۴۷	۱۹۴	III
		۱	۶۹۰	۲۰۰	
		۲	۷۴۴	۲۰۸	
		۵	۸۰۵	۲۱۶	
		۱۰	۸۷۷	۲۲۶	
	۲	۰/۵	۸۲۶	۲۱۹	
		۱	۸۸۰	۲۲۶	
		۲	۹۲۰	۲۳۱	
		۵	۱۰۰۲	۲۴۱	
		۱۰	۱۰۴۳	۲۵۰	
	۵	۰/۵	۱۳۱۴	۲۷۶	
		۱	۱۳۶۸	۲۸۲	
		۲	۱۴۰۰	۲۸۵	
		۵	۱۴۶۲	۲۹۲	
		۱۰	۱۵۴۱	۲۹۹	
kc=۱ و Wopt	۱	۰/۵	۵۶۲	۱۸۱	III
		۱	۶۰۹	۱۸۸	
		۲	۶۴۷	۱۹۴	
		۵	۷۰۳	۲۰۲	
		۱۰	۷۷۴	۲۱۲	
	۲	۰/۵	۶۵۱	۱۹۵	
		۱	۶۸۵	۲۰۰	
		۲	۷۰۸	۲۰۳	
		۵	۷۴۵	۲۱۱	
		۱۰	۸۴۶	۲۲۲	
	۵	۰/۵	۹۲۷	۲۳۲	
		۱	۹۷۴	۲۳۸	
		۲	۹	۲۴۱	
		۵	۱۰۷۲	۲۵۰	
		۱۰	۱۱۶۴	۲۶۰	

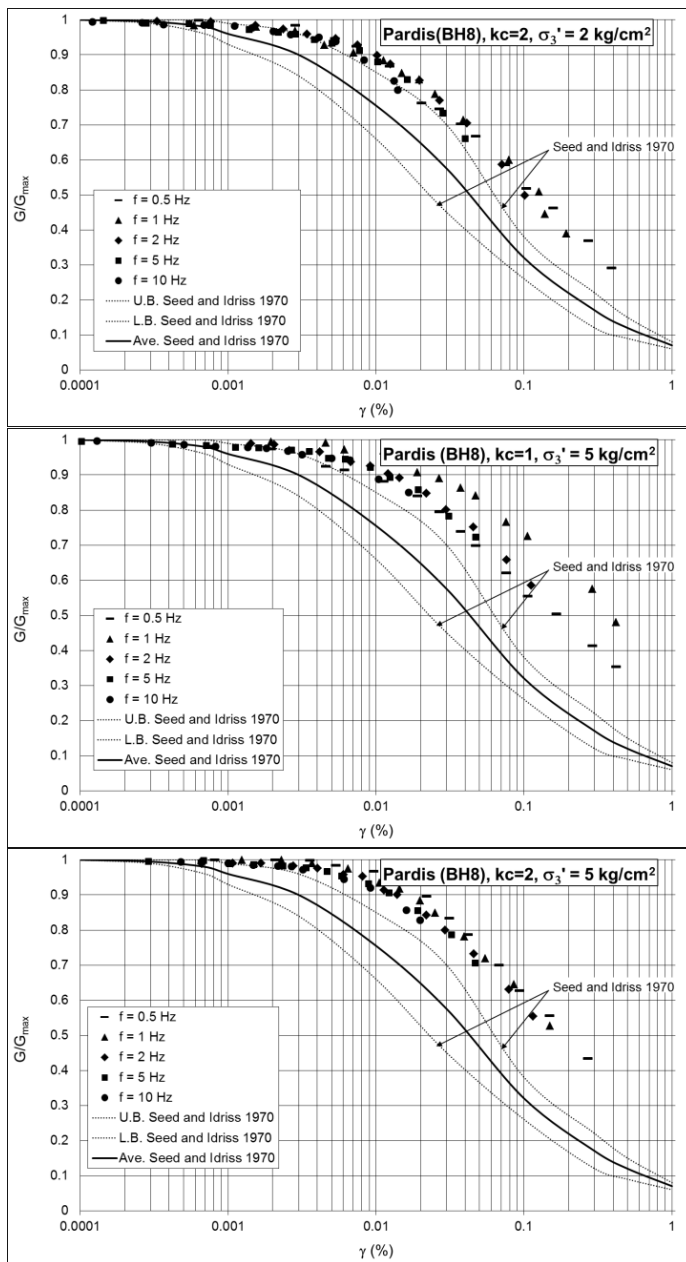
در ادبیات فنی برای مصالح ماسه ای مشابه از نمودارهای ارائه شده توسط سید^۱ و ایدریس^۲ [57] برای $\gamma - G/G_{max}$ (برابر با منحنی رولینز و همکاران [52]) و برای $\gamma - D$ از نمودارهای ارائه شده توسط رولینز و همکاران [52] استفاده می شود.

¹ Seed

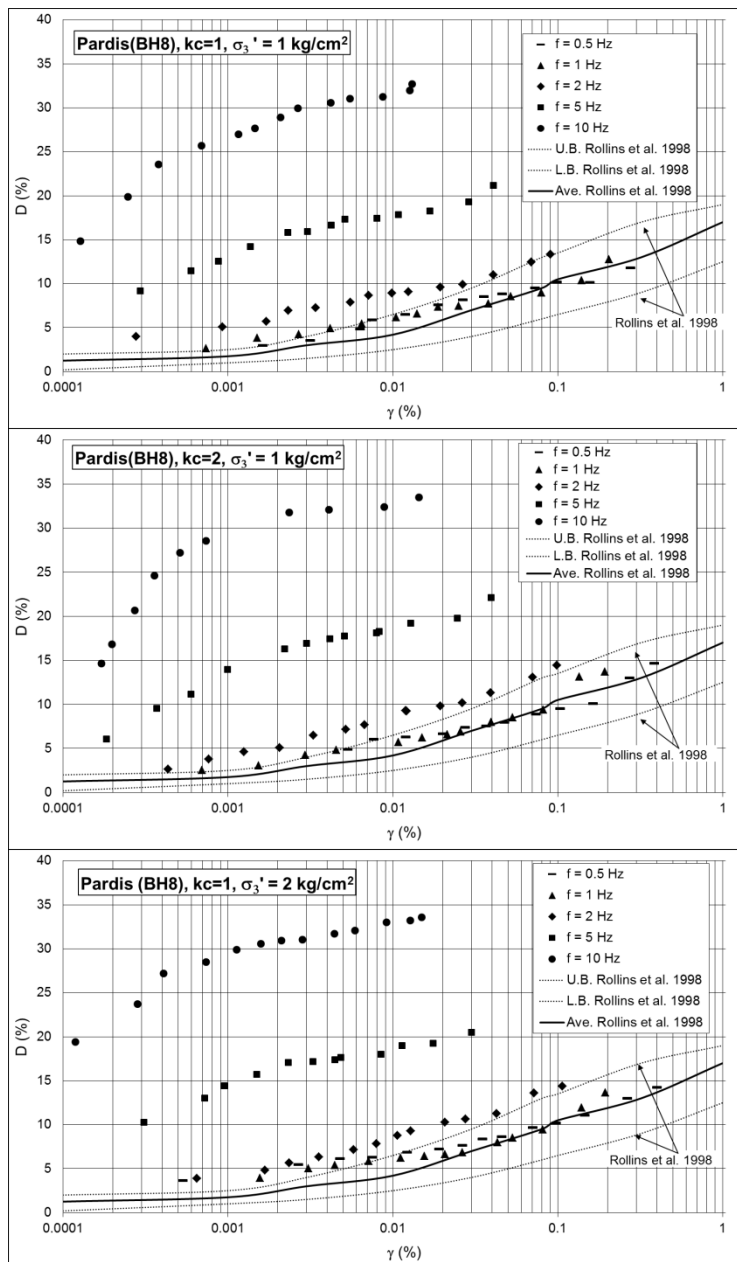
² Idriss



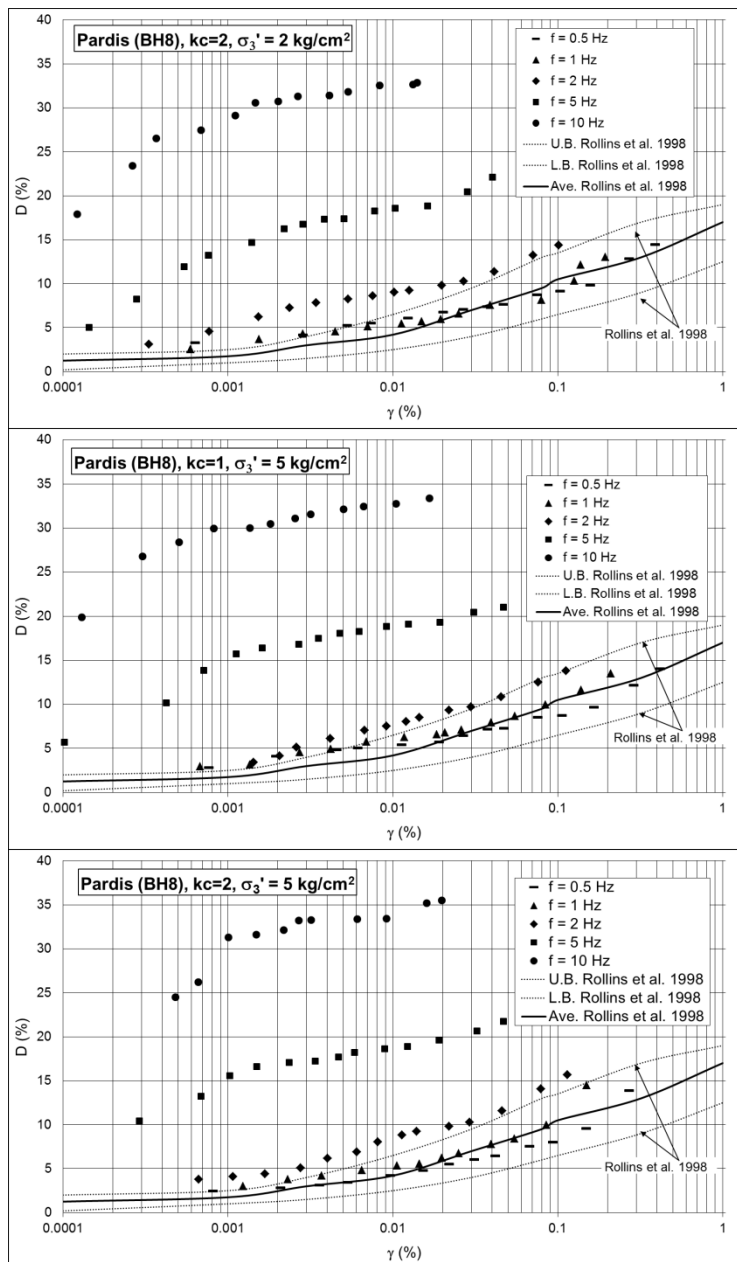
شکل (۲-۳)



شکل ۲-۳- مقایسه منحنی های ادبیات فنی با نتایج G/G_{max} - γ در تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 نمونه های تحکیم همسان و تحت تنش محوری قائم اولیه با $\gamma'_3/1 = 2$ در فرکانس های متفاوت مصالح پردیس گمانه BH8 با رطوبت بهینه

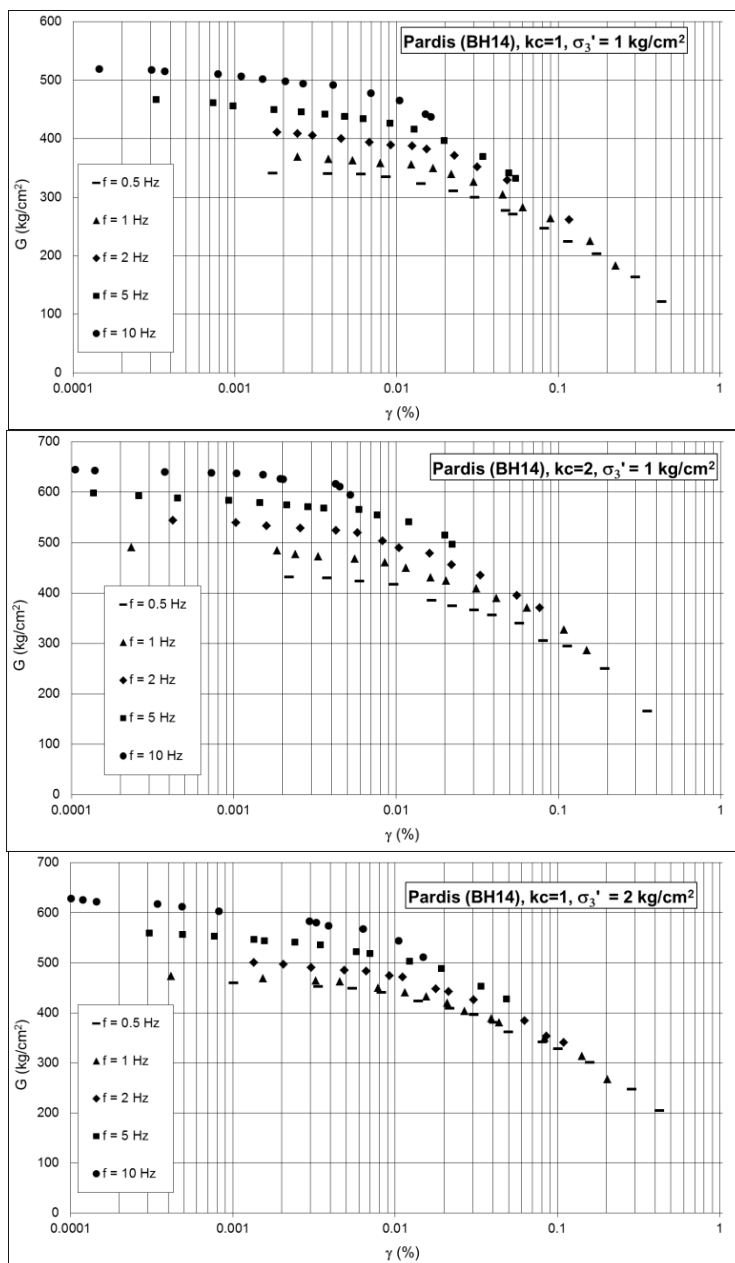


شکل (۲-۴)

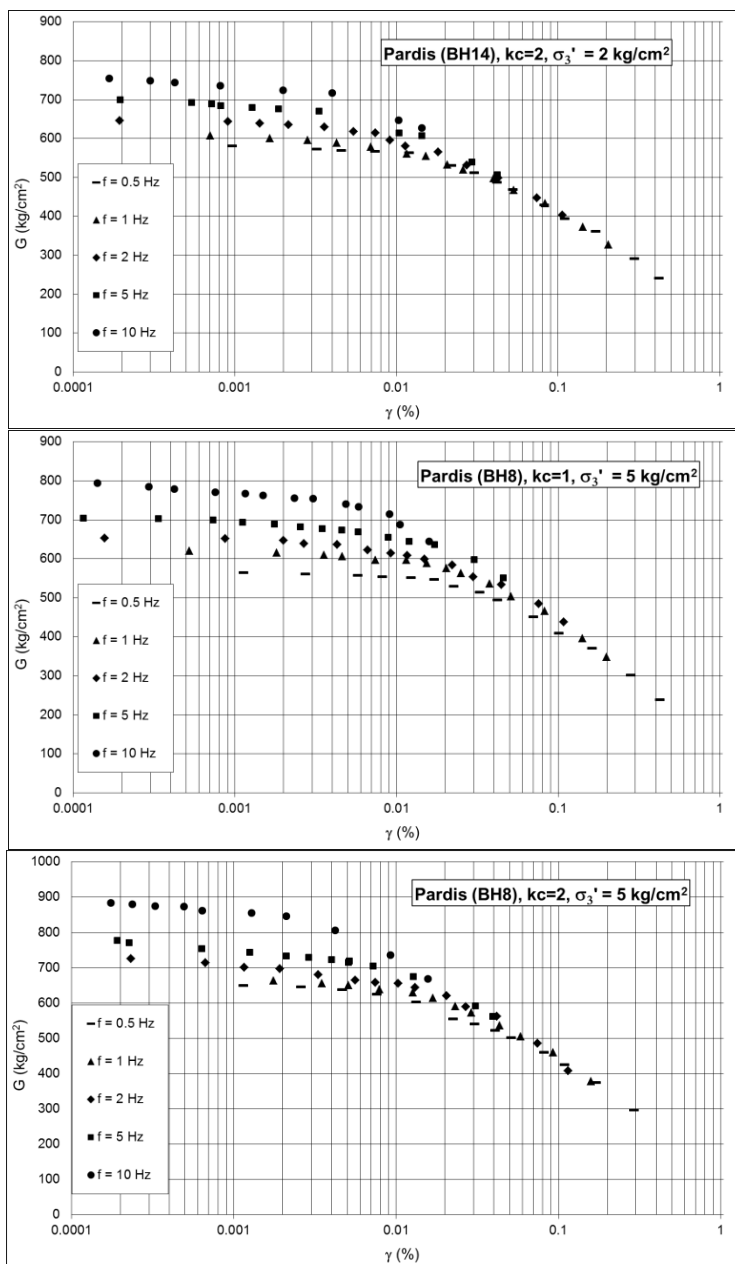


شکل ۲-۴- مقایسه منحنی های ادبیات فنی با نتایج $D-\gamma$ حالت همسان و تحت تنش محوری قائم با نسبت $\sigma_1'/\sigma_3' = 1$ برای تنش های محدودکننده و فرکانس های مختلف تحت موج سینوسی مصالح پردیس گمانه BH8 با رطوبت بهینه

پردیس گمانه BH14



شکل (۵-۲)



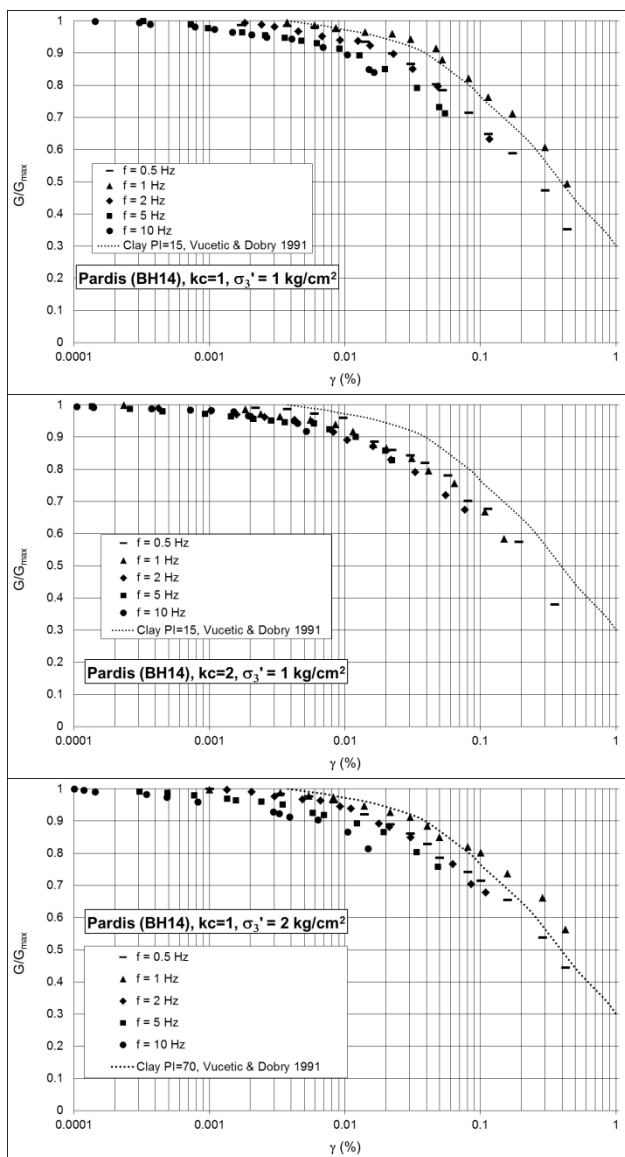
شکل ۲-۵- نتایج $G-\gamma$ مصالح گمانه BH14 با رطوبت بهینه پردیس نمونه تحت تنش‌های محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 در دو حالت تحکیم همسان و تحکیم تحت تنش محوری قائم

جدول ۲-۵- G_{max} مصالح گمانه BH14 پردیس نمونه های تحکیم همسان و غیرهمسان با رطوبت بهینه

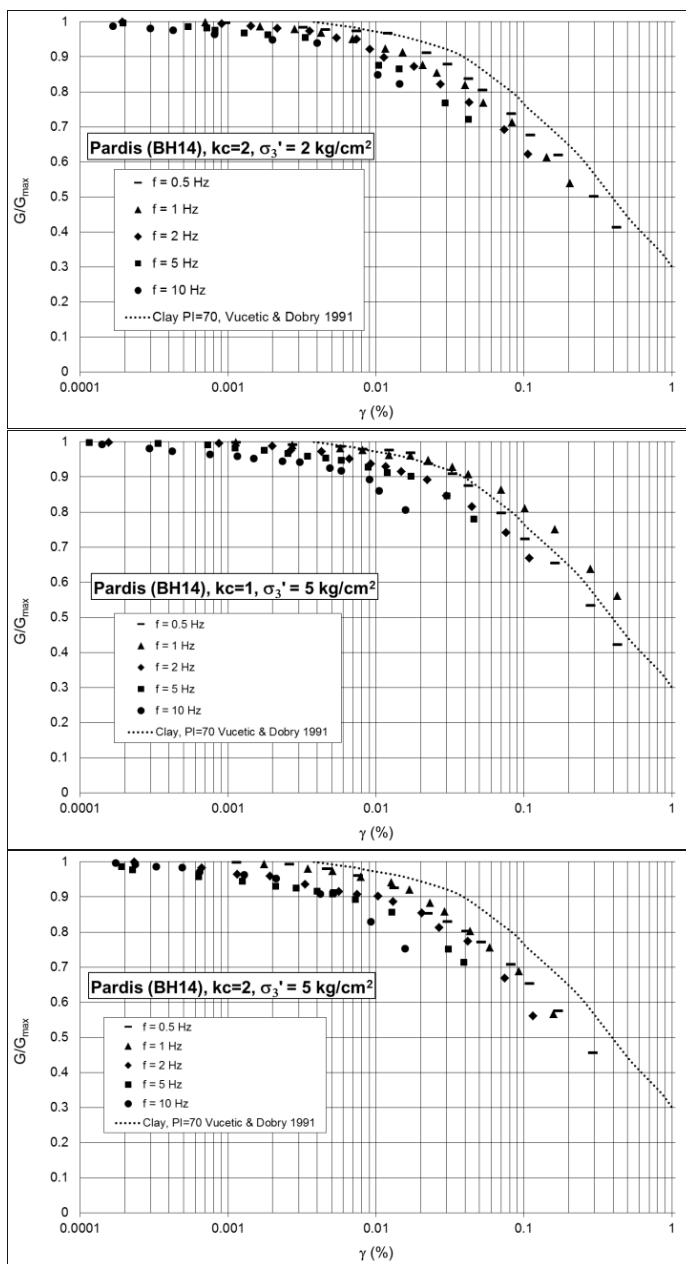
σ'_1 / σ'_3	σ'_3 (kg/cm ²)	فرکانس بارگذاری (Hz)	G_{max} اندازه گیری شده (kg/cm ²)	V_s (m/s)	نوع خاک طبق استاندارد ۲۸۰۰
$kc = 2$	۱	۰/۵	۴۳۵	۱۷۱	III
		۱	۴۹۱	۱۸۲	
		۲	۵۵۰	۱۹۲	
		۵	۶۰۱	۲۰۱	
		۱۰	۶۴۹	۲۰۹	
	۲	۰/۵	۵۸۲	۱۹۸	
		۱	۶۰۸	۲۰۲	
		۲	۶۴۷	۲۰۸	
		۵	۷۰۲	۲۱۷	
		۱۰	۷۶۳	۲۲۶	
$kc = 1/5$	۵	۰/۵	۶۵۰	۲۰۹	III
		۱	۶۶۸	۲۱۲	
		۲	۷۲۶	۲۲۱	
		۵	۷۸۸	۲۳۰	
		۱۰	۸۸۷	۲۴۴	
$kc = 1$	۱	۰/۵	۳۴۶	۱۵۲	IV
		۱	۳۷۱	۱۵۸	
		۲	۴۱۴	۱۶۷	
		۵	۴۶۷	۱۷۷	
		۱۰	۵۲۱	۱۸۷	
	۲	۰/۵	۴۶۰	۱۷۶	
		۱	۴۷۵	۱۷۹	
		۲	۵۰۲	۱۸۴	
		۵	۵۶۴	۱۹۵	
		۱۰	۶۲۹	۲۰۵	
	۵	۰/۵	۵۶۵	۱۹۵	
		۱	۶۲۱	۲۰۴	
		۲	۶۵۵	۲۱۰	
		۵	۷۰۶	۲۱۸	
		۱۰	۸۰۰	۲۳۲	

در ادبیات فنی برای تغییرات $\gamma - G/G_{max}$ و $\gamma - D$ مصالح ریزدانه مشابه از نمودارهای ارائه شده توسط ووستیک و دوبری^۱ [58] استفاده می شود.

¹ Vucetic and Dobry



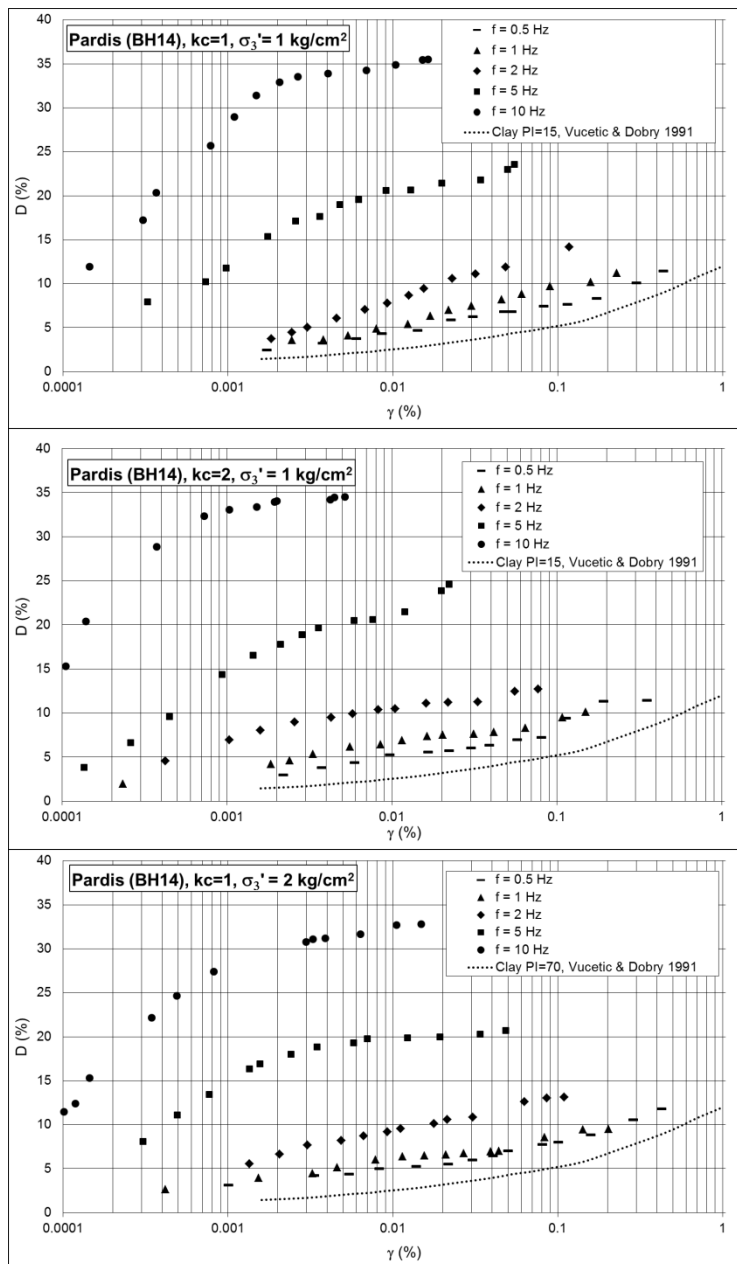
شکل (۶-۲)



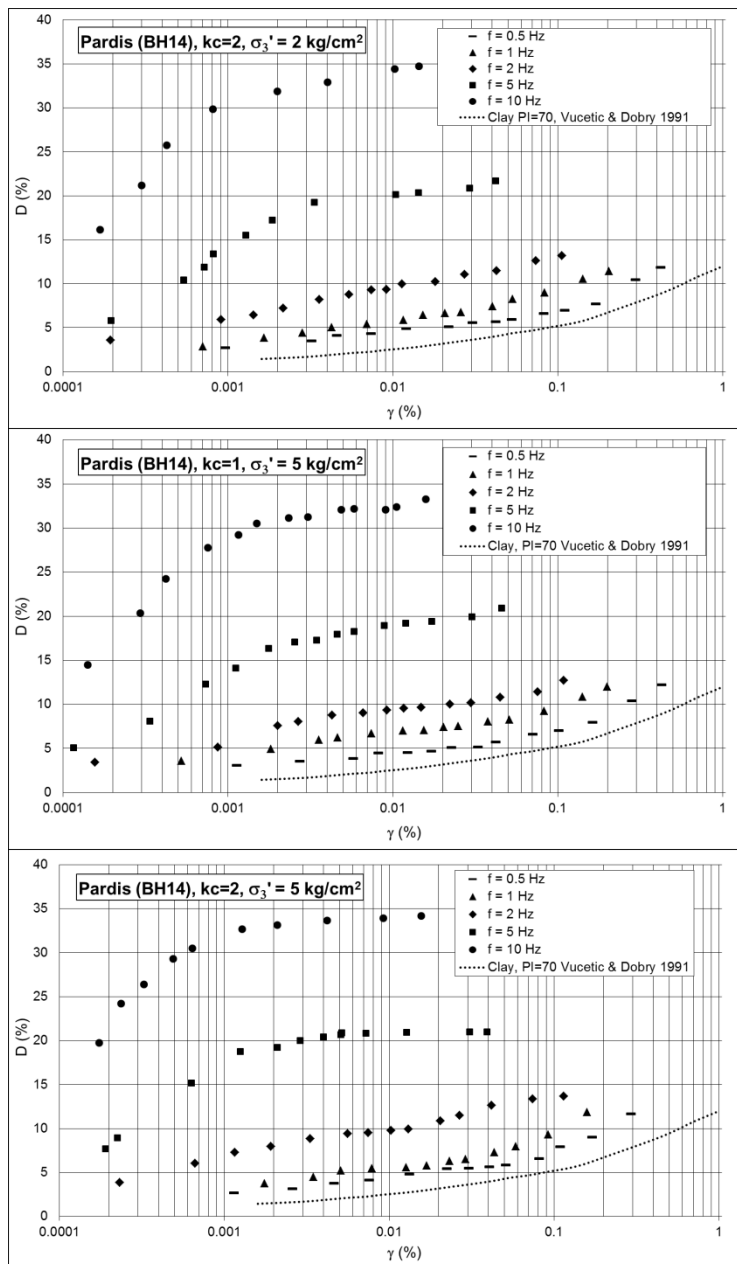
شکل ۲-۶- مقایسه منحنی های ادبیات فنی با نتایج G/G_{max} در تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 تحت تحکیم همسان و تحت تنش محوری قائم اولیه با نسبت σ_1'/σ_3' مختلف در فرکانس های متفاوت مصالح پردیس گمانه BH14 با رطوبت بهینه



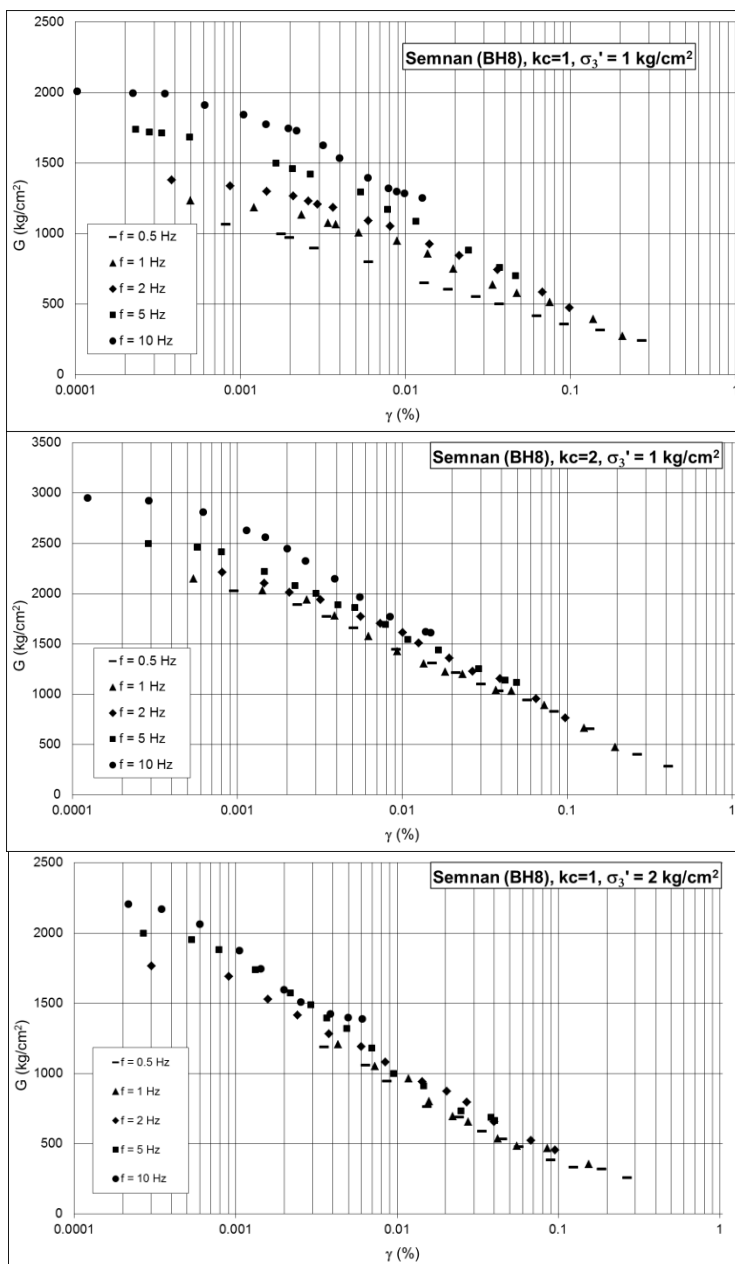
۶۰ / طیف طرح برای زلزله‌های میدان نزدیک با نگاهی بر اثر محتوای فرکانسی



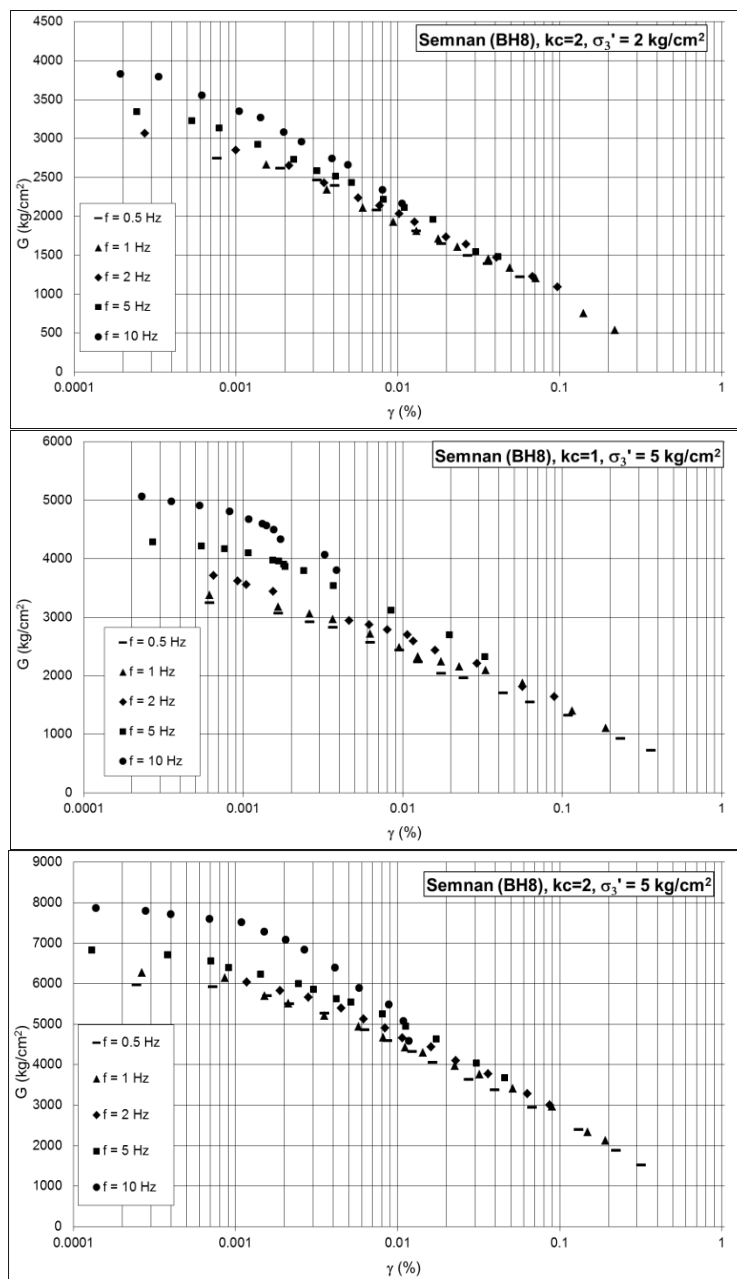
شکل (۷-۲)



شکل ۲-۷- مقایسه منحنی ادبیات فنی با نتایج $D-\gamma$ حالت همسان و تحت تنش محوری قائم برای تنش های محدودکننده و فرکانس های مختلف مصالح پردیس در گمانه BH14 با رطوبت بهینه



شکل (۸-۲)



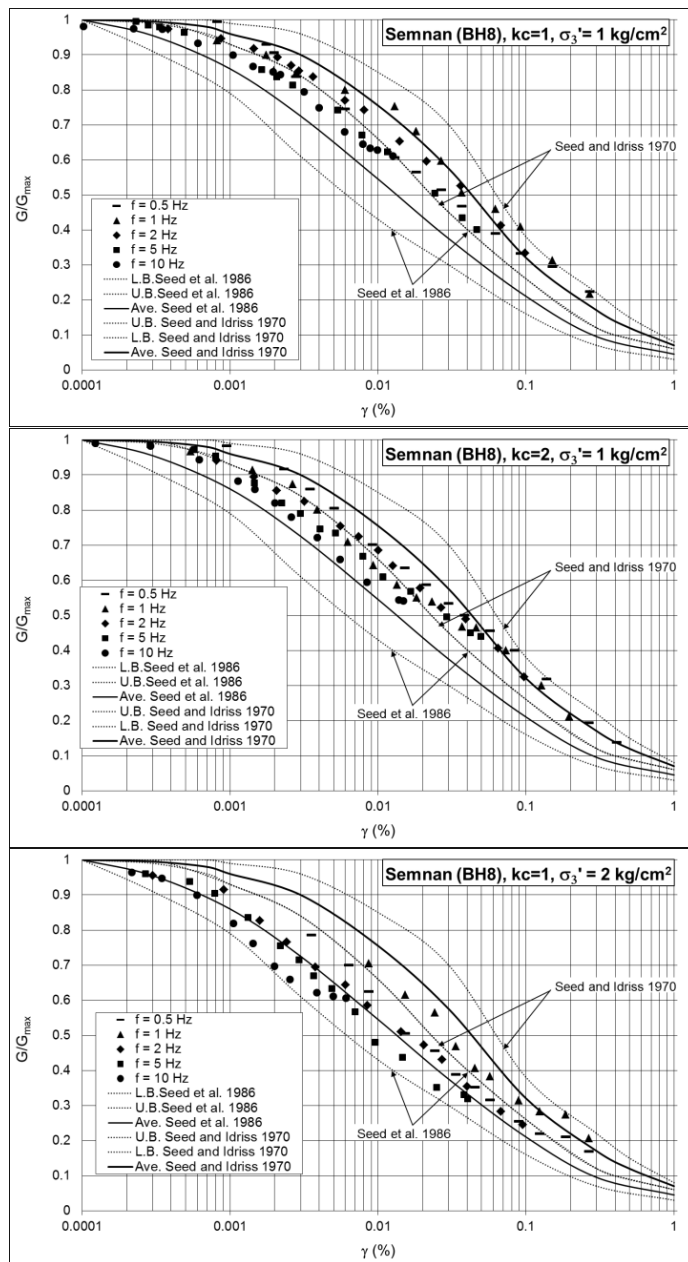
شکل ۲-۸ - نتایج G - γ مصالح گمانه BH8 پردیس با رطوبت بهینه برای نمونه تحت تنش محدودکننده ۱، ۲ و ۵ kg/cm^2 در دو حالت همسان و تحت تنش محوری قائم



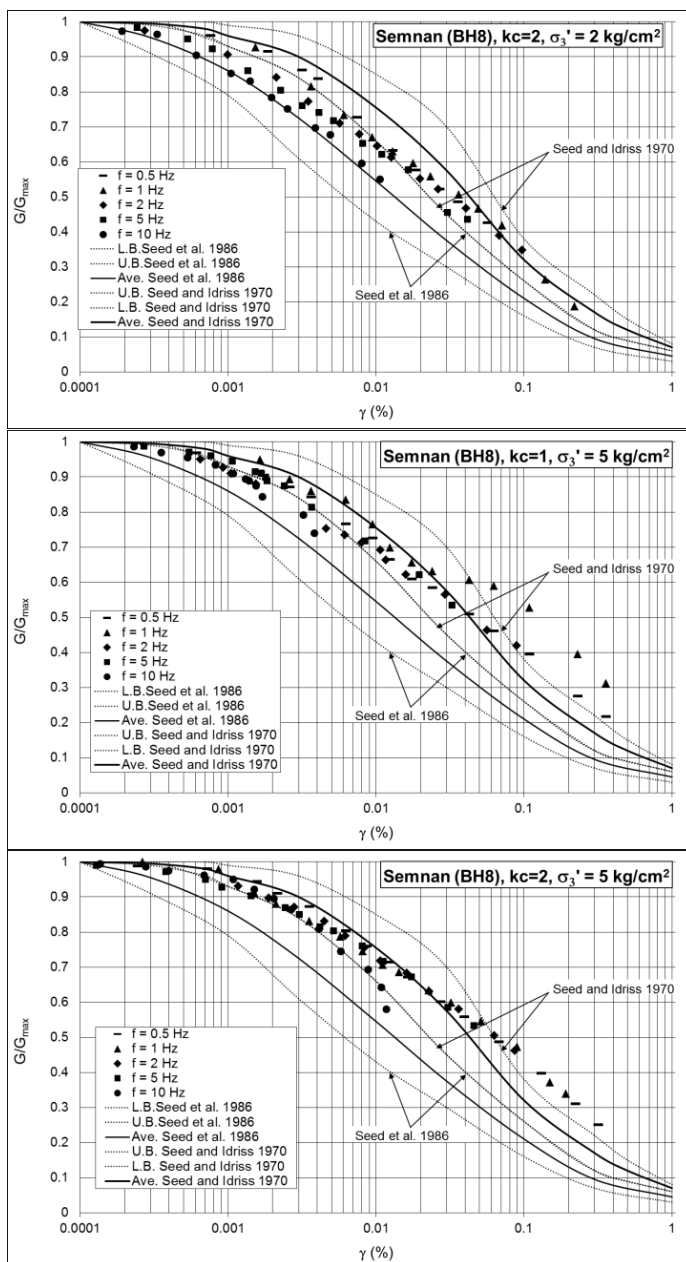
جدول ۶-۲- G_{max} مصالح گمانه BH8 سیمان نمونه‌های تحکیم همسان و غیرهمسان با رطوبت بهینه

σ'_1 / σ'_3	σ'_3 (kg/cm ²)	فرکانس بارگذاری (Hz)	G_{max} اندازه‌گیری شده (kg/cm ²)	Vs (m/s)	نوع خاک طبق استاندارد ۲۸۰۰
kc = ۲	۱	۰/۵	۲۰۶۱	۳۰۵	II
		۱	۲۲۲۱	۳۱۶	
		۲	۲۳۵۲	۳۲۵	
		۵	۲۵۳۳	۳۳۸	
		۱۰	۲۹۸۰	۳۶۶	
	۲	۰/۵	۲۸۶۰	۳۵۹	
		۱	۲۸۷۴	۳۶۰	
		۲	۳۱۴۸	۳۷۷	
		۵	۳۳۹۸	۳۹۱	
		۱۰	۳۹۳۵	۴۲۱	
	۵	۰/۵	۶۰۴۵	۵۲۲	
		۱	۶۲۷۲	۵۳۲	
		۲	۶۴۹۶	۵۴۱	
		۵	۶۹۰۶	۵۵۸	
		۱۰	۷۹۱۲	۵۹۷	
kc = ۱	۱	۰/۵	۱۰۷۰	۲۲۰	III
		۱	۱۲۵۶	۲۳۸	
		۲	۱۴۱۵	۲۵۲	
		۵	۱۷۴۶	۲۸۰	
		۱۰	۲۰۴۸	۳۰۴	
	۲	۰/۵	۱۵۱۰	۲۶۱	
		۱	۱۷۱۰	۲۷۸	
		۲	۱۸۴۷	۲۸۸	
		۵	۲۰۸۱	۳۰۶	
		۱۰	۲۲۹۱	۳۲۱	
	۵	۰/۵	۳۳۵۶	۳۸۹	
		۱	۳۵۵۷	۴۰۰	
		۲	۳۹۱۱	۴۲۰	
		۵	۴۳۴۸	۴۴۳	
		۱۰	۵۱۴۴	۴۸۱	

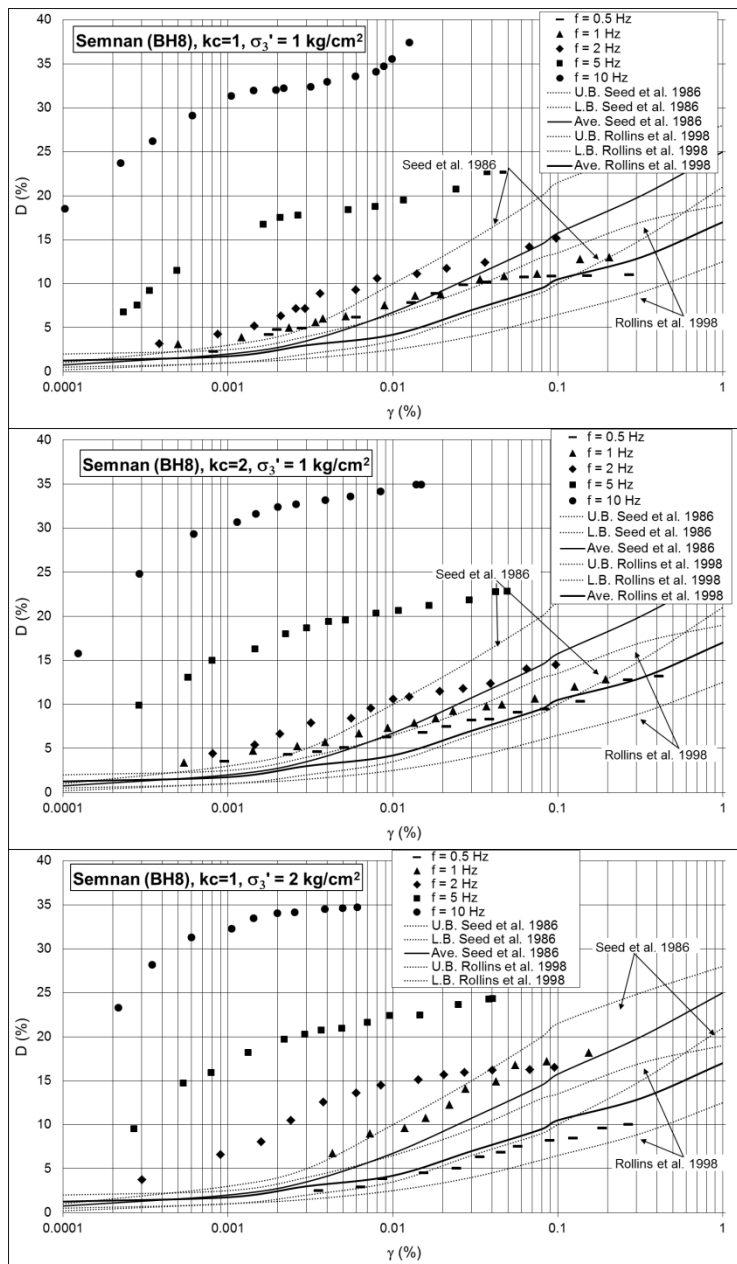
در ادبیات فنی برای تغییرات G/G_{max} و D - γ مصالح ماسه ای و شنی مشابه از نمودارهای ارائه شده توسط سید و ادريس [58] و رولینز و همکاران [52] استفاده می شود.



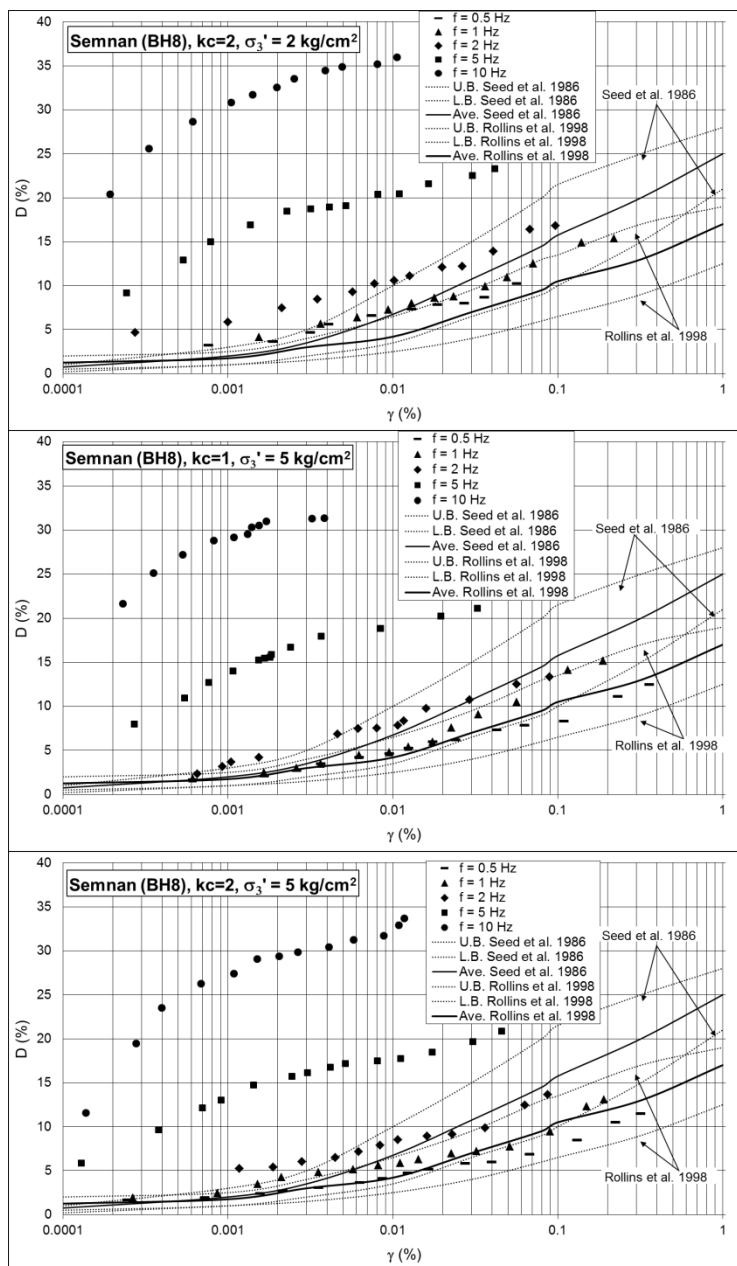
شکل (۹-۲)



شکل ۹-۲- مقایسه منحنی های ادبیات فنی با نتایج G/G_{max} - γ در تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 تحت تحکیم همسان و تحت تنش محوری قائم اولیه با نسبت $1/1/3$ برابر ۲ در فرکانس های متفاوت مصالح سمنان گمانه BH8 با رطوبت بهینه



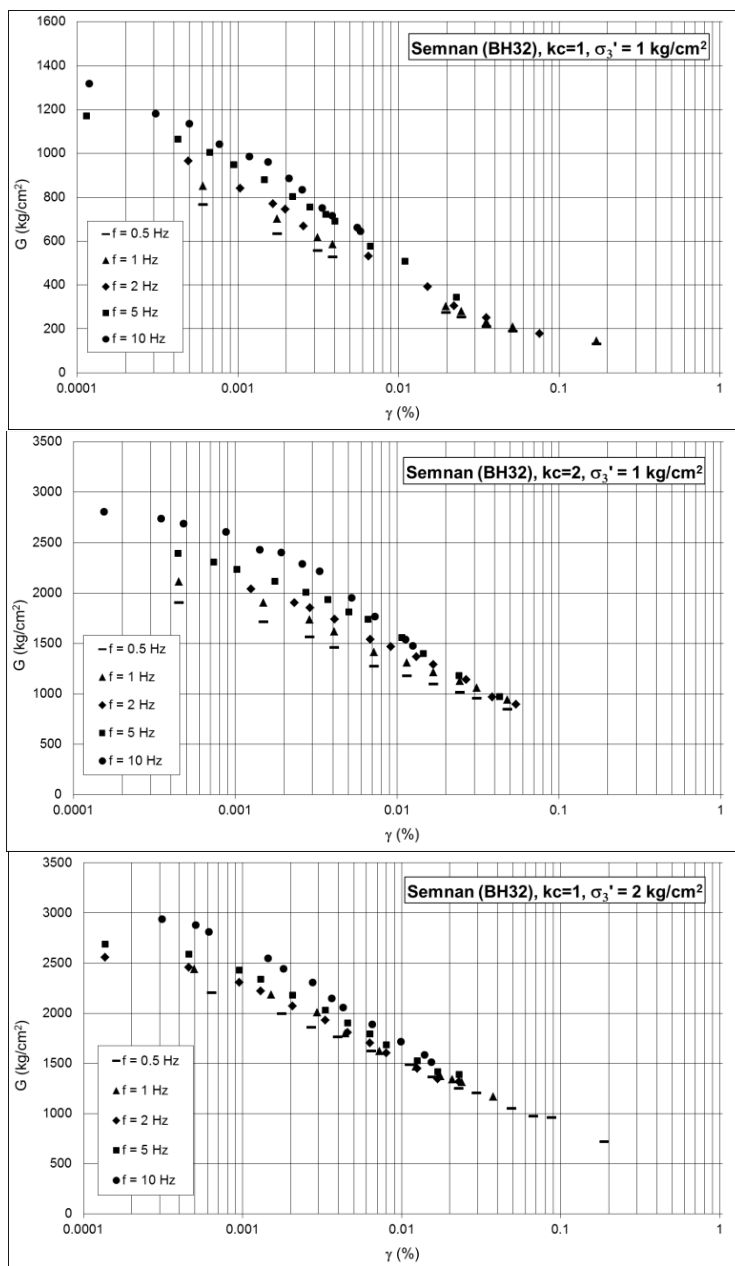
شکل (۲-۱۰)



شکل ۲-۱۰- مقایسه منحنی های ادبیات فنی با نتایج D - γ حالت همسان و تحت تنش محوری قائم با نسبت $\sigma_3'/\sigma_1 = 2$ برای تنش های محدودکننده و فرکانس های مختلف مصالح سمنان گمانه BH8 با رطوبت بهینه

در تحلیلها از نتایج سید و همکاران [51] استفاده شده است.

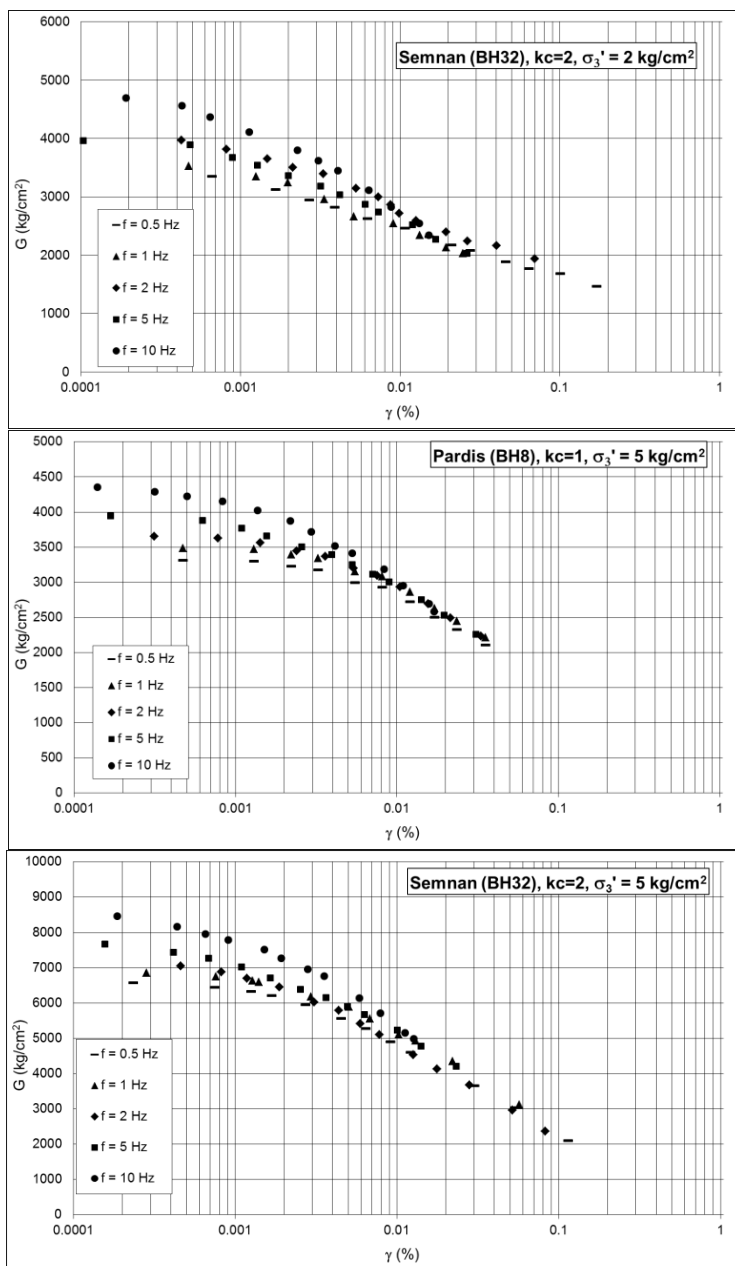
مصالح سمنان گمانه BH32



شکل (۱۱-۲)



۷۰ / طیف طرح برای زلزله‌های میدان نزدیک با نگاهی بر اثر محتوای فرکانسی

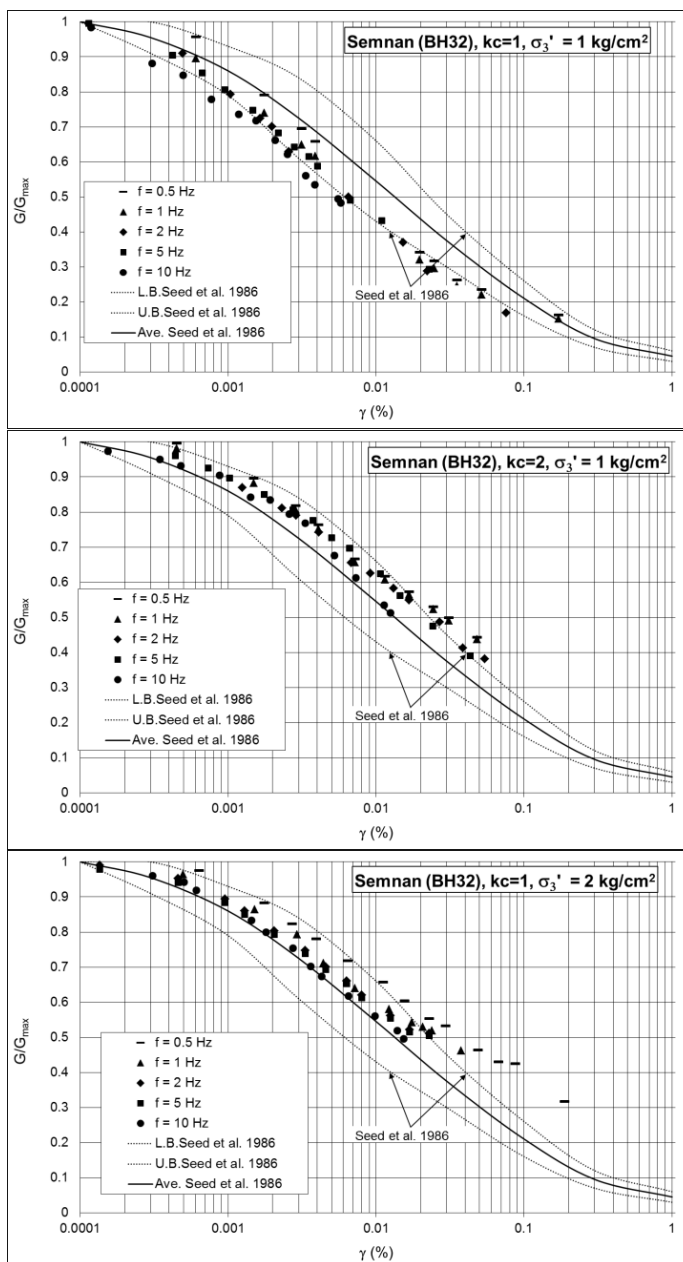


شکل ۲-۱۱- نتایج G - γ مصالح گمانه BH32 سمنان با رطوبت بهینه نمونه تحت تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 در دو حالت تحکیم همسان و تحکیم تحت تنش های محوری قائم متفاوت

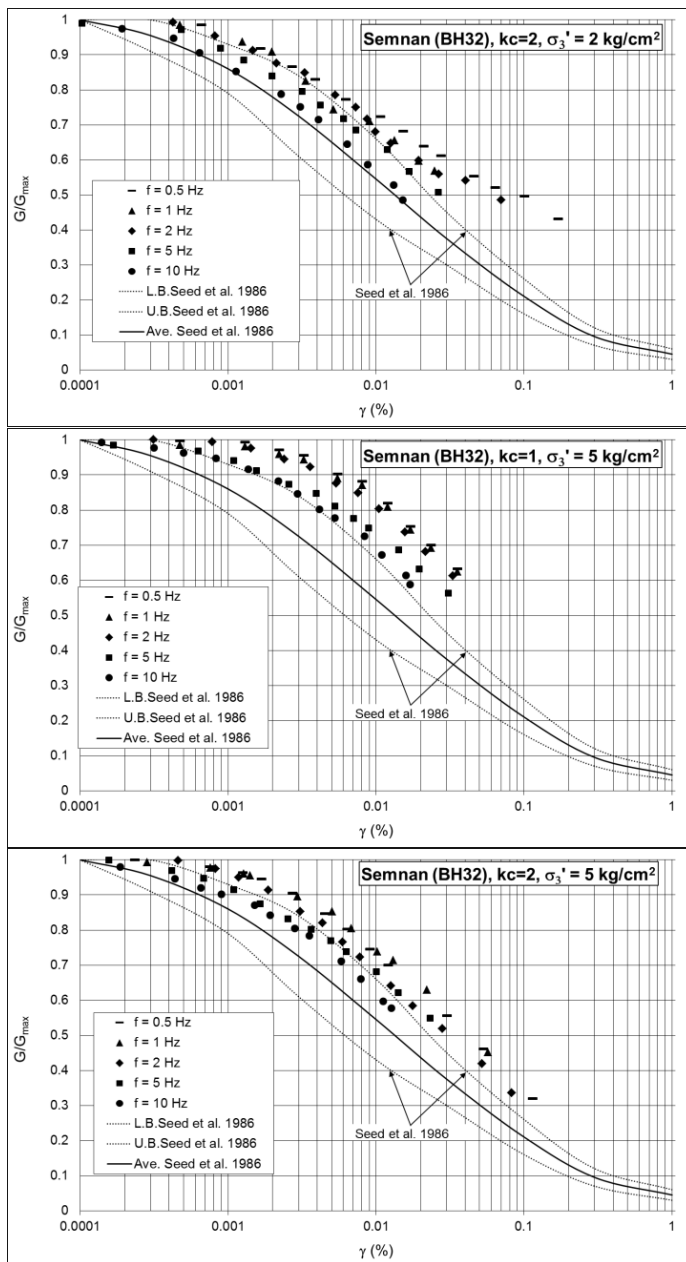
جدول ۷-۲- G_{max} مصالح گمانه BH32 سمنان نمونه های تحکیم همسان و غیرهمسان با رطوبت بهینه

σ'_1 / σ'_3	σ'_3 (kg/cm ²)	فرکانس بارگذاری (Hz)	G_{max} اندازه گیری شده (kg/cm ²)	Vs (m/s)	نوع خاک طبق استاندارد ۲۸۰۰
kc = ۲	۱	۰/۵	۱۹۱۰	۲۸۶	II
		۱	۲۱۵۳	۳۰۴	
		۲	۲۳۴۶	۳۱۷	
		۵	۲۴۹۳	۳۲۷	
		۱۰	۲۸۸۴	۳۵۲	
	۲	۰/۵	۳۴۰۰	۳۸۲	
		۱	۳۵۷۸	۳۹۲	
		۲	۴۰۰۰	۴۱۴	
		۵	۴۰۰۵	۴۱۵	
		۱۰	۴۸۲۲	۴۵۵	
	۵	۰/۵	۶۵۶۷	۵۳۱	
		۱	۶۹۰۰	۵۴۴	
		۲	۷۰۵۵	۵۵۰	
		۵	۷۶۷۰	۵۷۴	
		۱۰	۸۶۳۵	۶۰۹	
kc = ۱	۱	۰/۵	۸۰۰	۱۸۵	III
		۱	۹۵۰	۲۰۲	
		۲	۱۰۶۲	۲۱۳	
		۵	۱۱۷۷	۲۲۵	
		۱۰	۱۲۴۰	۲۴۰	
	۲	۰/۵	۲۲۶۰	۳۱۱	
		۱	۲۵۳۰	۳۳۰	
		۲	۲۵۸۰	۳۳۳	
		۵	۲۷۵۰	۳۴۴	
		۱۰	۳۰۵۸	۳۶۲	
	۵	۰/۵	۳۳۲۰	۳۷۷	
		۱	۳۵۳۹	۳۹۰	
		۲	۳۶۵۰	۳۹۶	
		۵	۴۰۰۷	۴۱۵	
		۱۰	۴۳۸۸	۴۳۴	

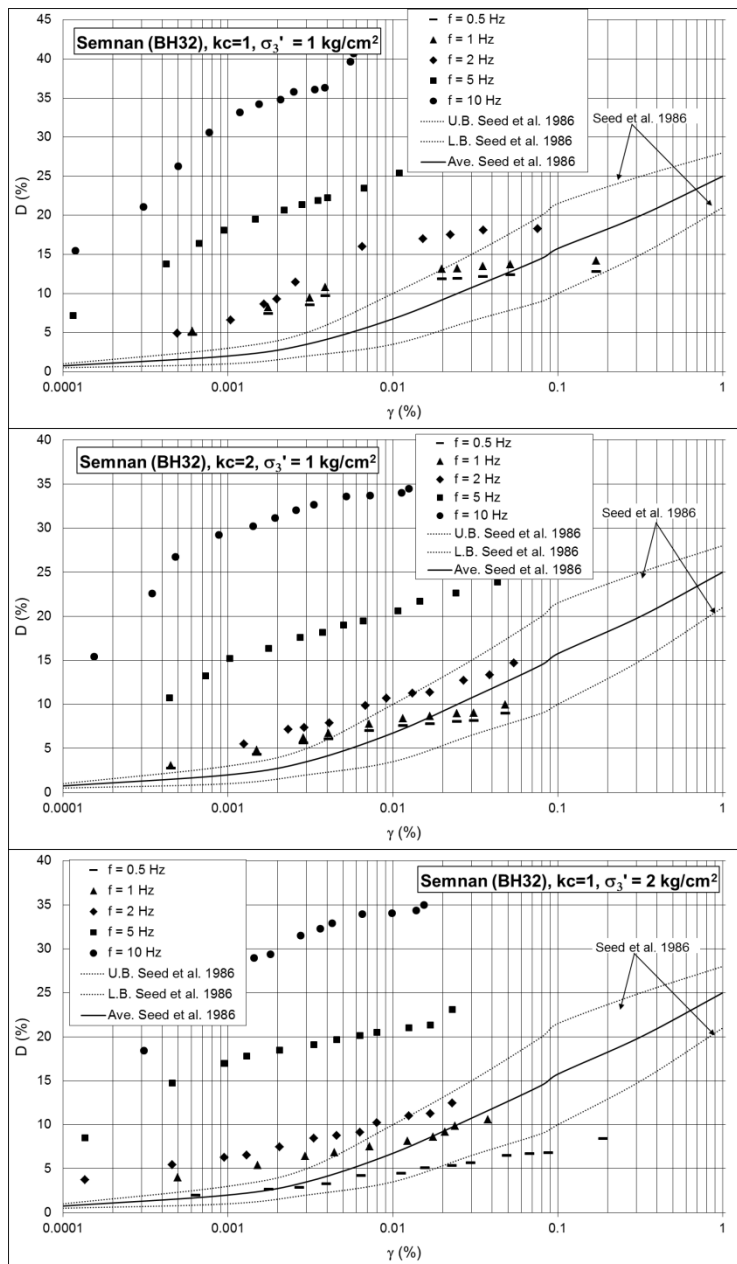
در ادبیات فنی برای تغییرات $\gamma - G/G_{max}$ و $\gamma - D$ مصالح ماسه ای مشابه از نمودارهای ارائه شده توسط سید و همکاران [51] استفاده می شود.



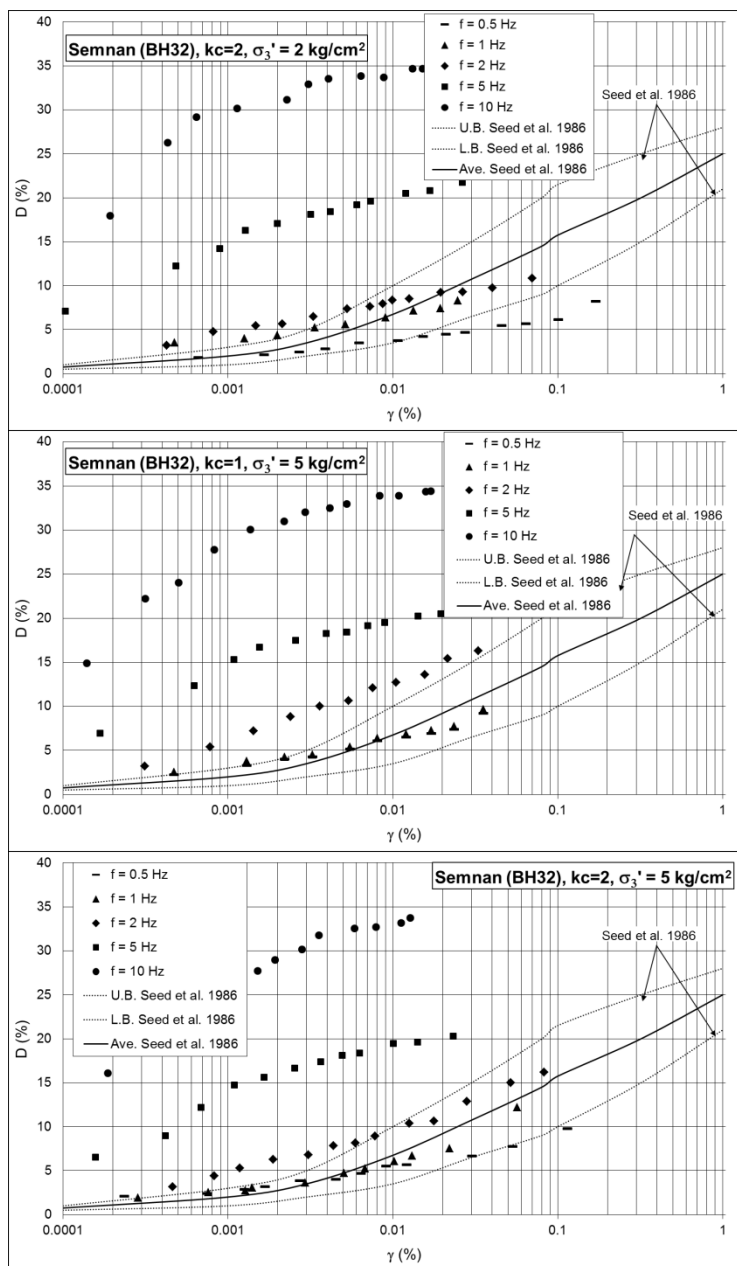
شکل (۲-۱۲)



شکل ۲-۱۲- مقایسه منحنی ادبیات فنی با نتایج G/G_{max} - γ در تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 حالت همسان و تحت تنش محوری قائم اولیه مصالح سمنان گمانه BH32 با رطوبت بهینه



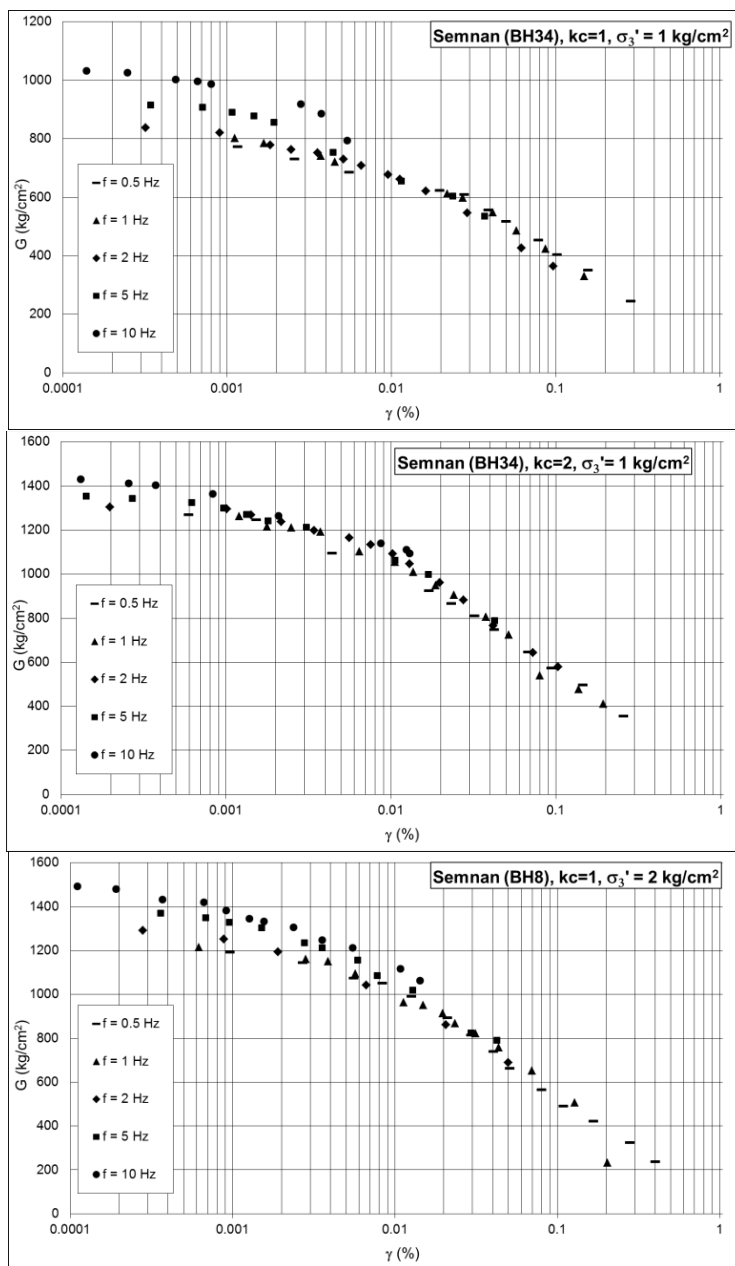
شکل (۲-۱۳)



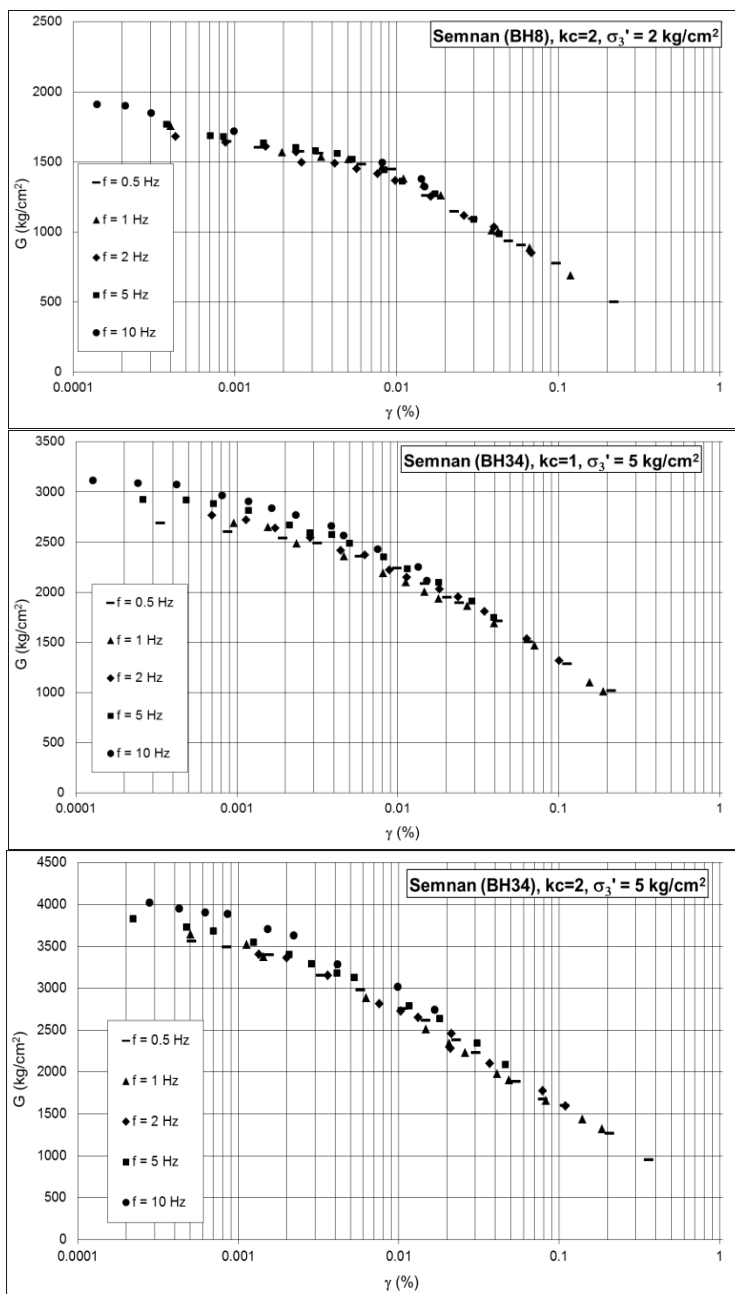
شکل ۲-۱۳- مقایسه منحنی ادبیات فنی با نتایج D - γ در تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 نمونه همسان و تحکیم تحت تنش محوری قائم اولیه و فرکانس های مختلف مصالح سمنان گمانه BH32 با رطوبت بهینه



مصالص سمنان گمانه BH34



شکل (۲-۱۴)



شکل ۲-۱۴- نتایج G - γ مصالح گمانه BH34 سمنان برای نمونه تحت تنش های محدودکننده ۱، ۲ و ۵ kg/cm² در دو حالت تحکیم همسان و تحکیم تحت تنش های محوری قائم



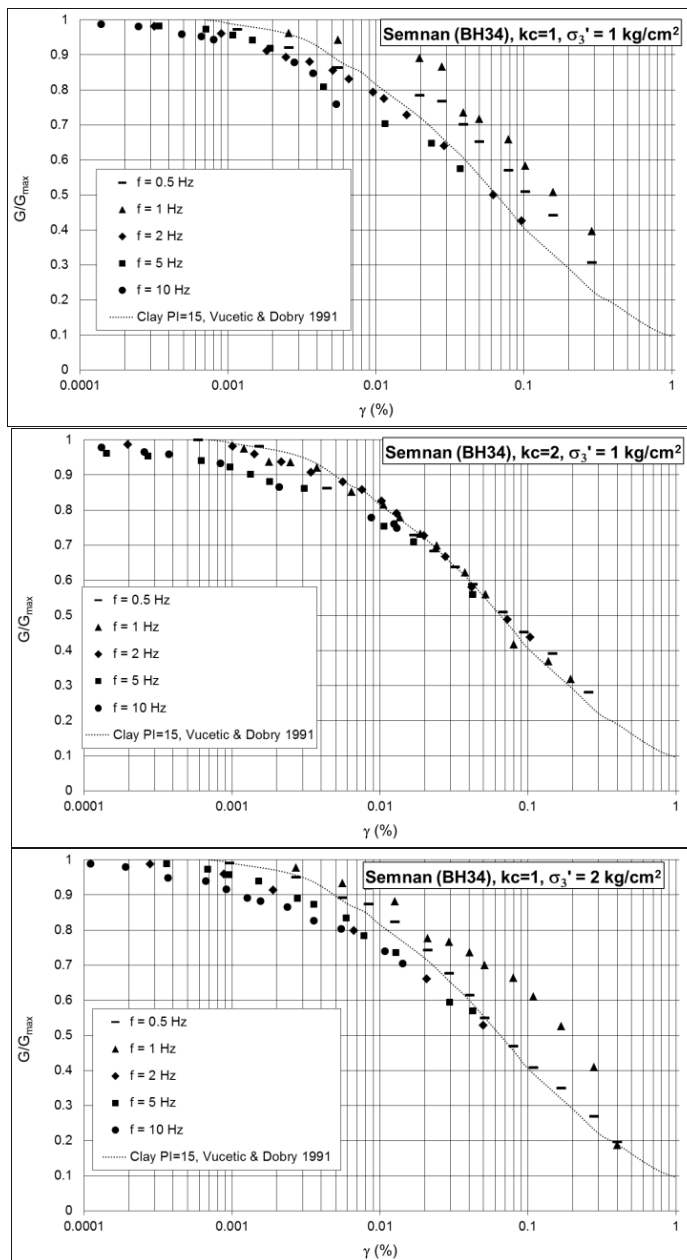
۷۸ / طیف طرح برای زلزله‌های میدان نزدیک با نگاهی بر اثر محتوای فرکانسی

جدول ۸-۲ G_{max} مصالح گمانه BH34 سیمان نمونه‌های تحکیم همسان و غیرهمسان با رطوبت بهینه و

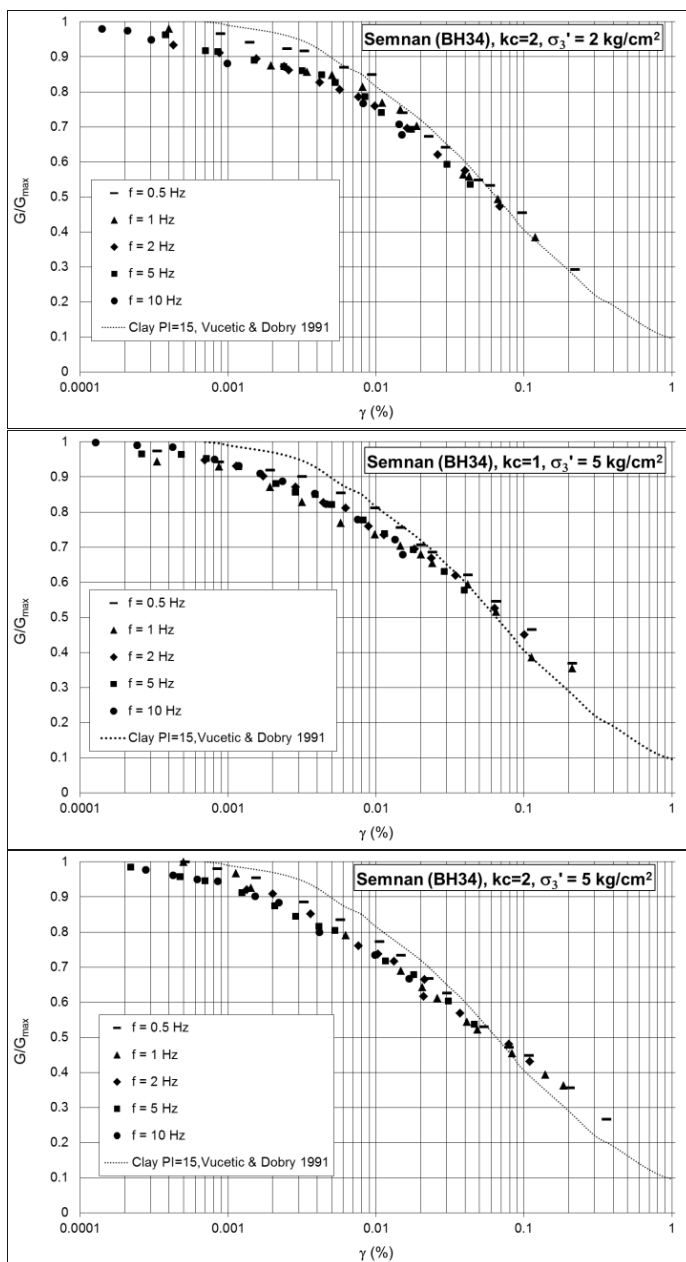
رطوبت ۷٪

نوع خاک طبق استاندارد ۲۸۰۰	Vs (m/s)	اندازه‌گیری شد ^e (kg/cm^2)	فرکانس بارگذاری (Hz)	σ'_3 (kg/cm^2)	σ'_1 / σ'_3		
III	۲۵۵	۱۲۶۹	۰/۵	۱	$kc = ۲$		
	۲۵۸	۱۲۹۵	۱				
	۲۶۰	۱۳۲۲	۲				
	۲۶۹	۱۴۰۸	۵				
	۲۷۴	۱۴۶۲	۱۰				
	۲۹۶	۱۷۰۴	۰/۵	۲		$kc = ۱/۵, w7$	
	۳۰۳	۱۷۹۲	۱				
	۳۰۴	۱۸۰۰	۲				
	۳۰۷	۱۸۳۷	۵				
	۳۱۶	۱۹۵۰	۱۰				
۴۲۸	۳۵۶۵	۰/۵	۵	$kc = ۱$			
۴۳۲	۳۶۴۶	۱					
۴۳۶	۳۶۹۹	۲					
۴۴۷	۳۸۹۴	۵					
۴۵۹	۴۱۱۴	۱۰					
III	۲۰۰	۷۹۴	۰/۵		۱	$kc = ۱$	
	۲۰۷	۸۳۳	۱				
	۲۰۹	۸۵۴	۲				
	۲۱۹	۹۳۲	۵				
	۲۳۲	۱۰۴۶	۱۰				
	۲۴۸	۱۲۰۴	۰/۵	۲	$۵, w7$		
	۲۵۲	۱۲۴۲	۱				
	۲۵۹	۱۳۰۴	۲				
	۲۶۷	۱۳۸۷	۵				
	۲۷۸	۱۵۱۰	۱۰				
	۳۷۶	۲۷۶۲	۰/۵				
	۳۸۲	۲۸۴۹	۱				
	۳۸۷	۲۹۲۳	۲				
	۳۹۴	۳۰۲۹	۵				
	۴۰۰	۳۱۲۱	۱۰				

در ادبیات فنی برای تغییرات γ - G/G_{max} و γ -D مصالح لای مشابه از نمودارهای ارائه شده توسط ووستیک و دوبری [58] استفاده می‌شود.

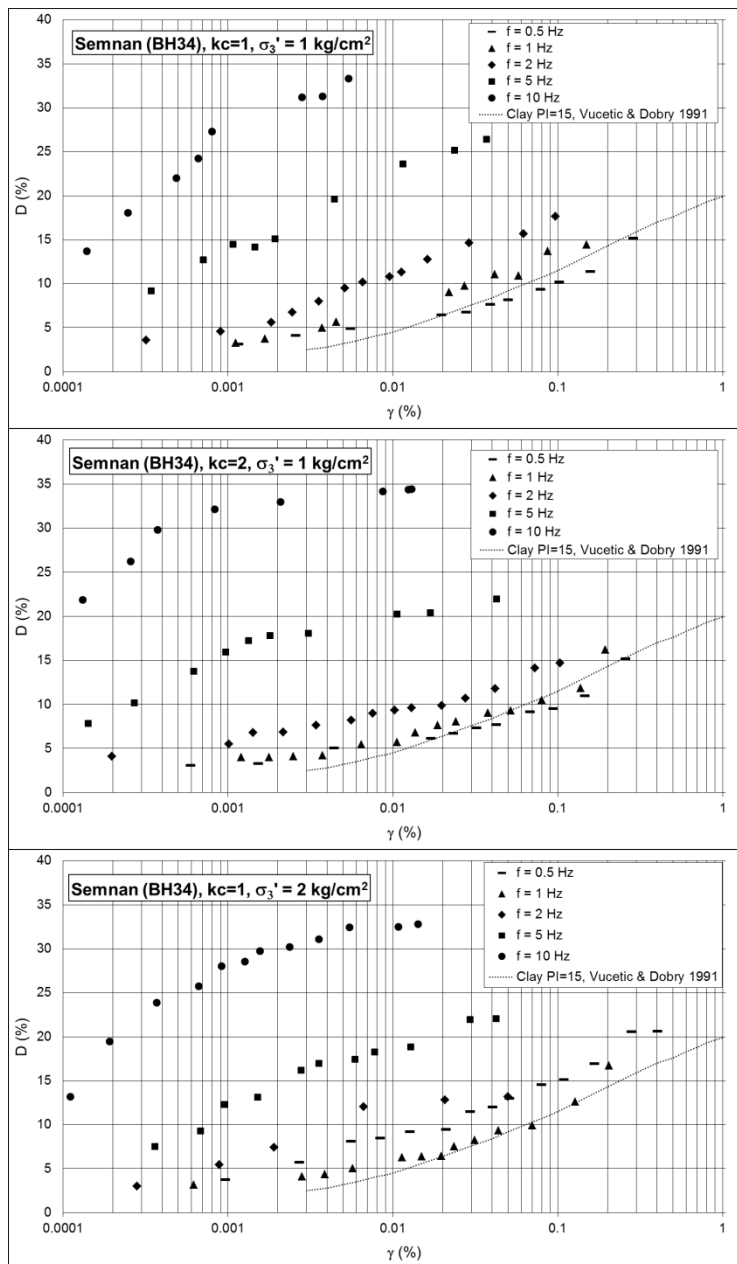


شکل (۲-۱۵)

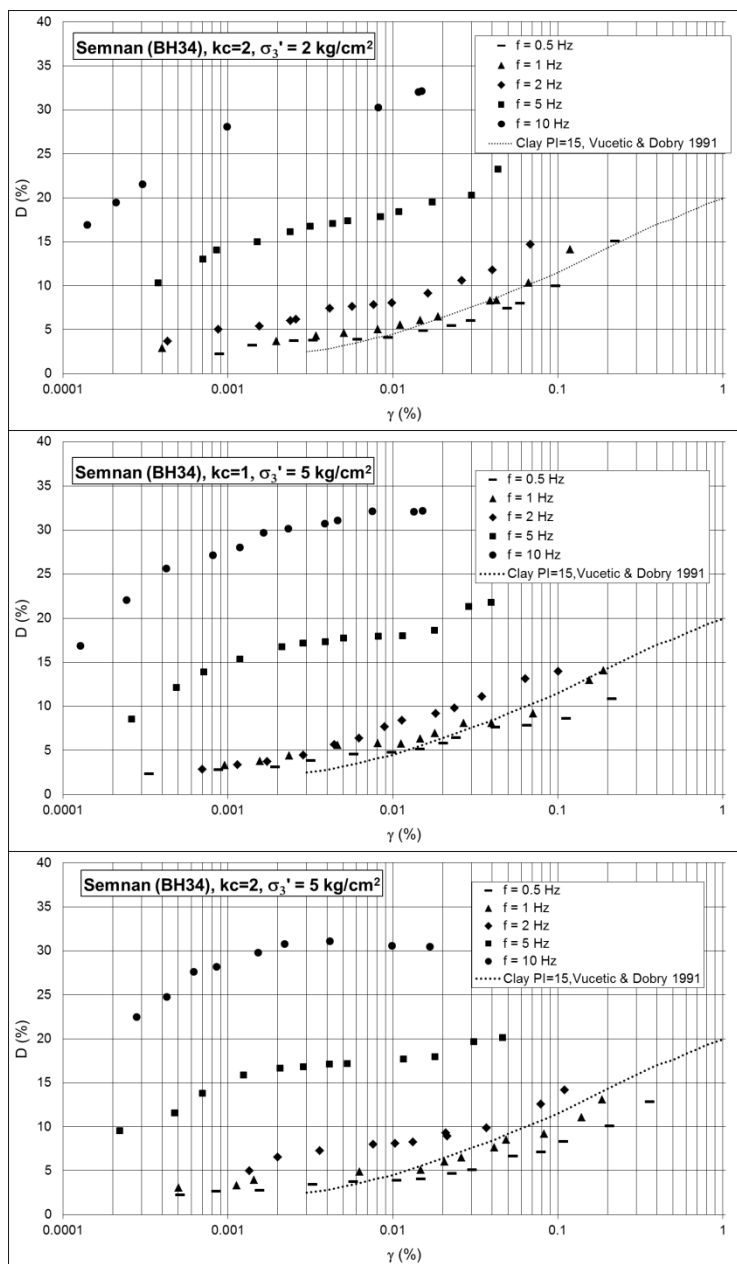


شکل ۲-۱۵- مقایسه منحنی ادبیات فنی با نتایج G/G_{max} - γ در تنش محدودکننده همسان ۱، ۲ و 5 kg/cm^2

و تحت تنش محوری قائم اولیه با نسبت $'_3/1'$ مختلف مصالح سمنان گمانه BH34



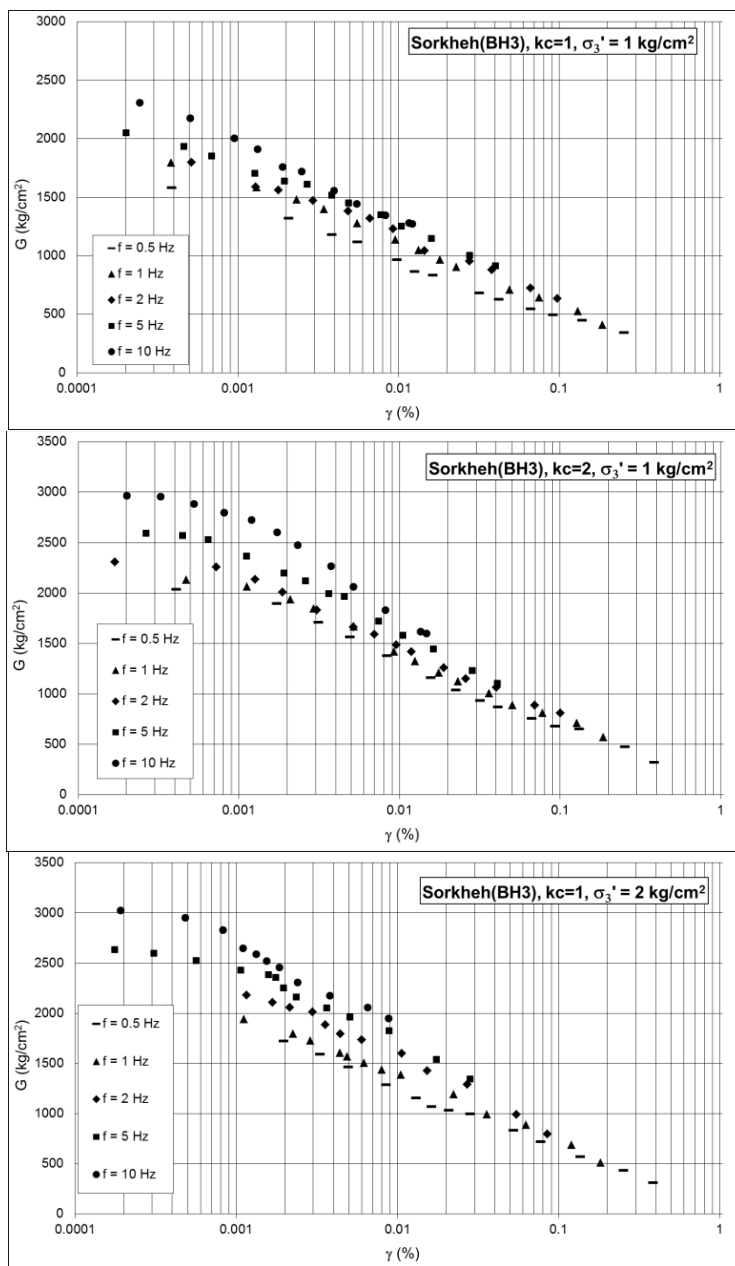
شکل (۲-۱۶)



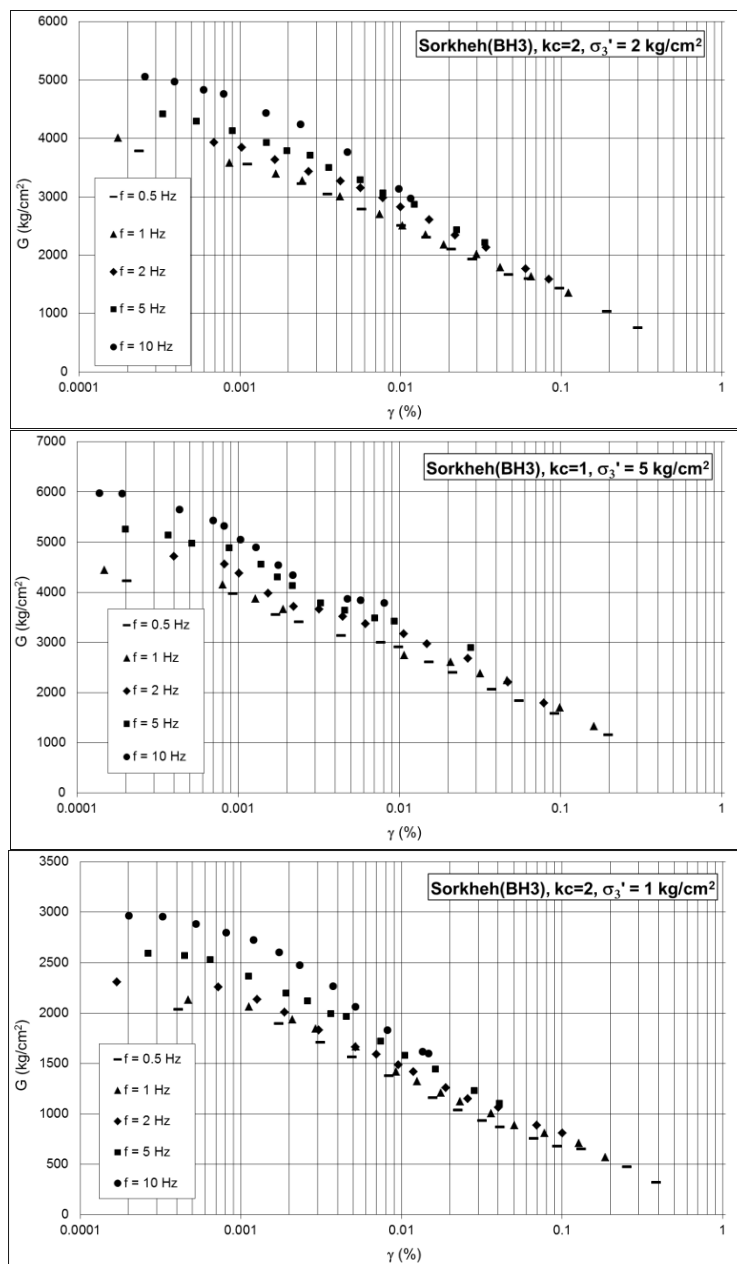
شکل ۲-۱۶- مقایسه منحنی ادبیات فنی با نتایج D - γ در تنش محدودکننده همسان ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 و

تحکیم تحت تنش محوری قائم اولیه و فرکانس‌های مختلف مصالح سمنان گمانه BH34

مصالخ سرخه گمانه BH3



شکل (۲-۱۷)



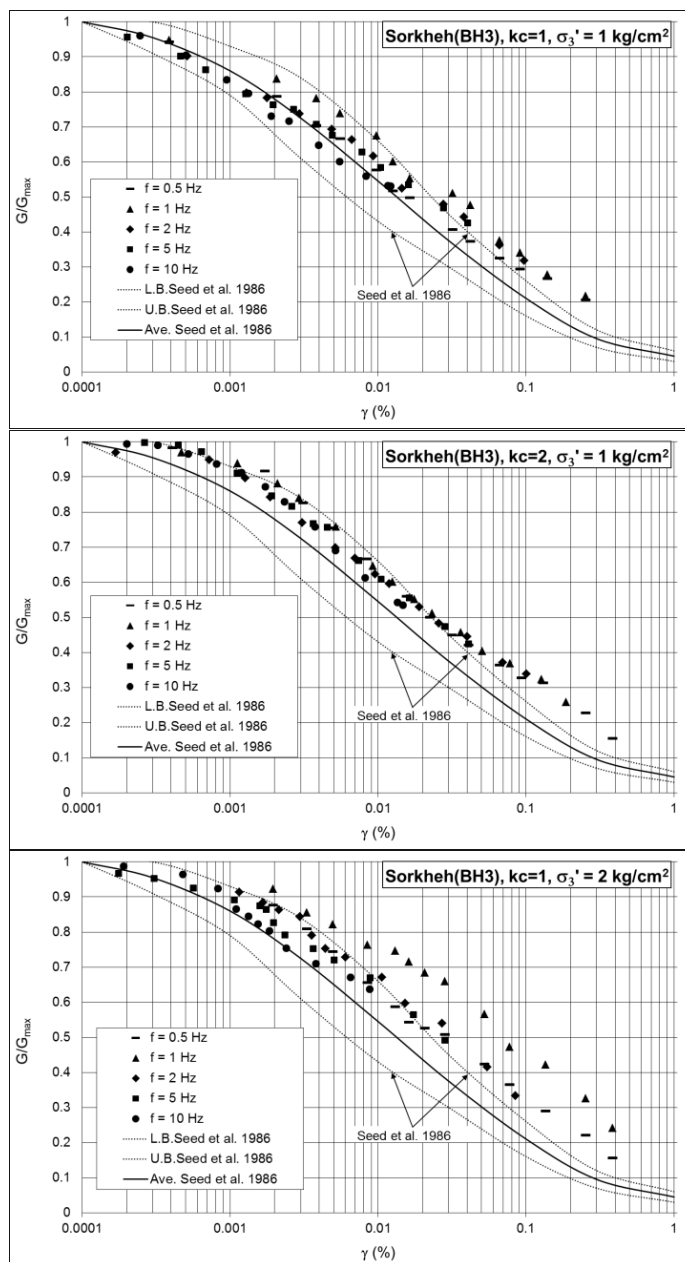
شکل ۲-۱۷- نتایج G - γ مصالح گمانه BH3 سرخه برای نمونه تحت تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 در دو حالت تحکیم همسان و تحکیم تحت تنش محوری قائم

جدول ۲-۹- G_{max} مصالح گمانه BH3 سرخه نمونه های تحکیم همسان ($1/1'_3=1$) و غیر همسان

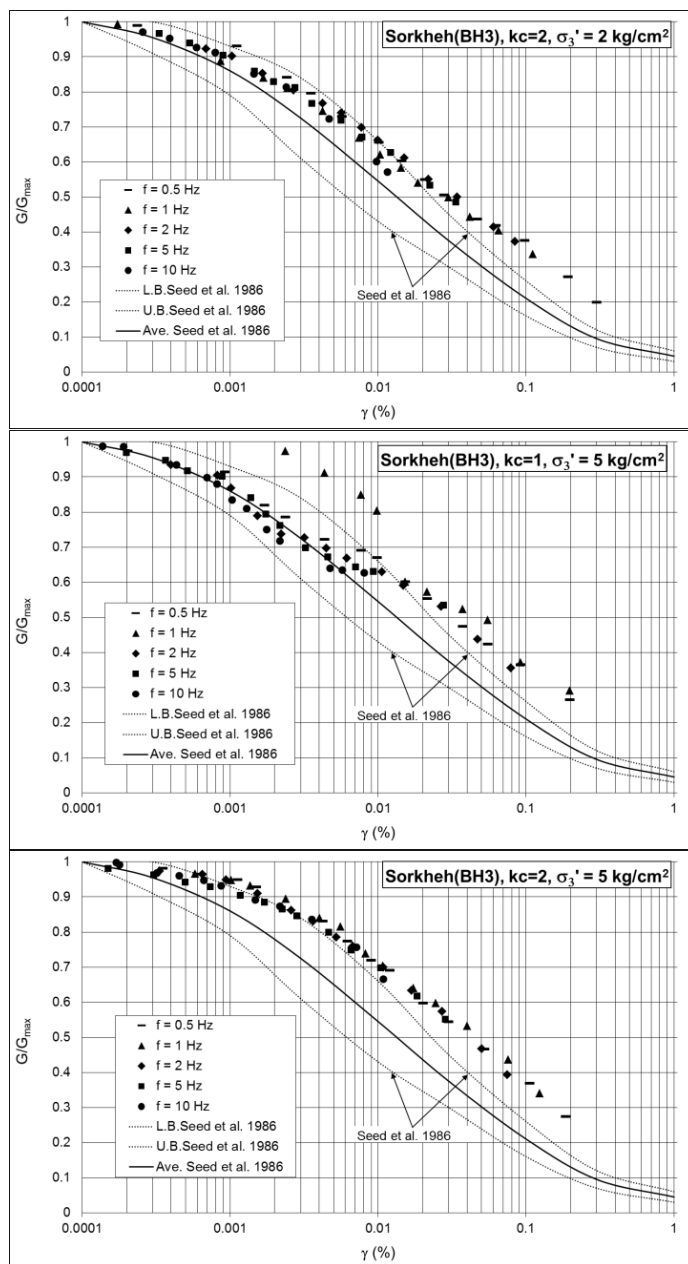
($1/1'_3=2$) با رطوبت پهنه

نوع خاک طبق استاندارد ۲۸۰۰	V_s (m/s)	اندازه گیری G_{max} شده (kg/cm^2)	فرکانس بارگذاری (Hz)	σ'_3 (kg/cm^2)	σ'_1 / σ'_3	
II	۳۱۸	۲۰۶۹	۰/۵	۱	$kc = 2$	
			۱			
			۲			
			۵			
			۱۰			
		۳۸۲	۲۹۸۷	۰/۵		۲
		۴۳۲				
		۴۴۴				
		۴۵۶				
		۴۷۲				
	۵۰۵	۵۲۱۹	۰/۵	۵		
	۶۳۳					
	۶۴۰					
	۶۶۶					
	۶۸۵					
۷۰۹	۱۰۳۰۱	۰/۵	۱			
۱۸۹۳						
۱۹۹۴						
۲۱۴۷						
۲۴۰۴						
II	۳۱۰	۱۹۶۴	۰/۵	۱	$kc = 1$	
			۱			
			۲			
			۵			
			۱۰			
		۳۲۰	۲۱۰۱	۰/۵		۲
		۳۴۱				
		۳۶۵				
		۳۸۶				
		۴۶۰		۴۳۴۱		
	۴۷۲					
	۴۹۶					
	۵۱۴					
	۵۴۳	۶۰۵۰	۰/۵		۱	
	۴۳۴۱					
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴۲۵						
۶۰۵۰	۶۰۵۰	۰/۵	۱			
۴۳۴۱						
۴۵۶۱						
۵۰۴۰						
۵۴						

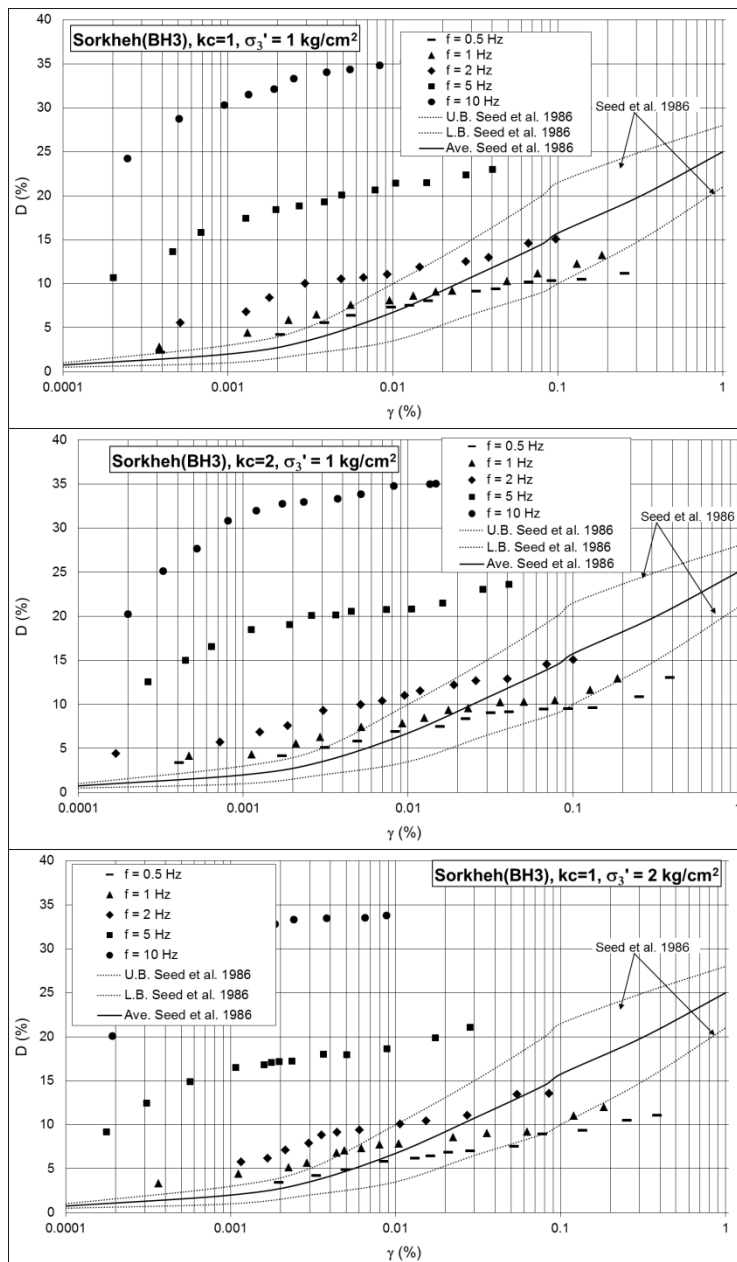
در ادبیات فنی برای تغییرات G/G_{max} و $D-\gamma$ مصالح ماسه ای مشابه از نمودارهای ارائه شده توسط سید و همکاران [51] استفاده می شود.



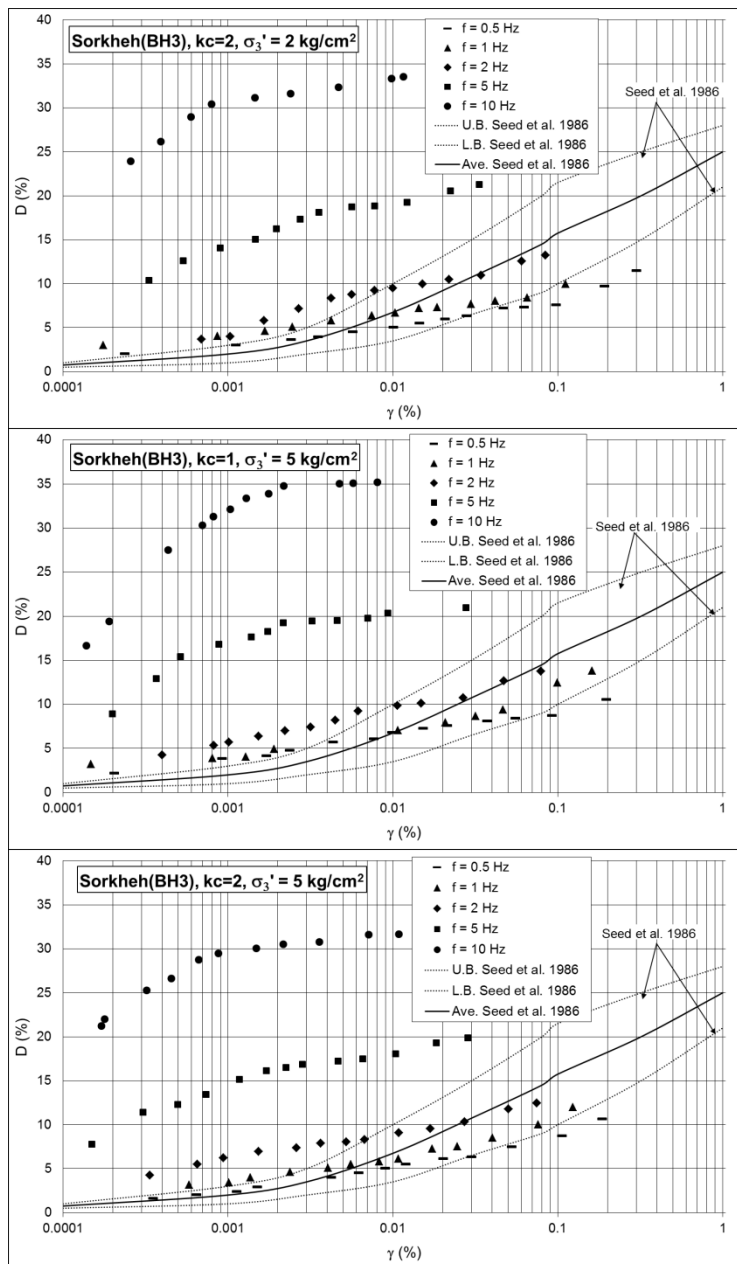
شکل (۲-۱۸)



شکل ۲-۱۸- مقایسه منحنی های ادبیات فنی با نتایج G/G_{max} در تنش محدودکننده ۱، ۲ و 5 kg/cm^2 نمونه تحکیم همسان و تحت تنش محوری قائم اولیه با نسبت $'1/1'$ برابر ۲ در فرکانس های متفاوت مصالح سرخه گمانه BH3 با رطوبت بهینه



شکل (۲-۱۹)



شکل ۲-۱۹- مقایسه منحنی های ادبیات فنی با نتایج D - γ حالت همسان و تحت تنش محوری قائم با نسبت $\gamma_1'/1_3=2$ برای تنش های محدودکننده و فرکانس های مختلف مصالح سرخه گمانه BH3 با رطوبت بهینه



خلاصه ای از نتایج آزمایشها روی مصالح مختلف مورد بررسی این تحقیق به شرح زیر می باشد:

افزایش فرکانس سبب افزایش مقادیر مدول برشی در کرنش‌های کوچکتر از 0.001% برای مصالح درشت دانه و افزایش مقدار مدول برشی در تمام سطوح کرنش مورد بررسی برای مصالح چسبنده می‌شود. اما از اثر افزایشی فرکانس بارگذاری بر مدول برشی در مصالح ریزدانه بدون چسبندگی با افزایش درصد ریزدانه کاسته می‌شود. چنانچه سطح کرنش 0.1% و 0.001% معیار قرار گیرد، ملاحظه می‌شود که مدول برشی حداکثر مصالح ریزدانه تقریباً برابر با مدول برشی حداقل مصالح درشت دانه است.

در مطالعه اخیر ثبت و ضبط دقیق کرنش‌ها توسط کرنش سنج‌های غیرتماسی، اندازه‌گیری کرنش به کوچکی 0.0001% در بعضی از نمونه‌ها فراهم شده است. لذا اندازه‌گیری همزمان مدول برشی و میرایی در کرنشهای کوچک فراهم شد. همچنین در این تحقیق از روش برون‌یابی برای تعیین مقدار G_{max} بهره گرفته شد. مقادیر متوسط مدول برشی حداکثر در حالت تحکیم تحت تنش محوری قائم اولیه بیشتر از مقادیر نظیر تحکیم همسان می‌باشد.

با افزایش کرنش، نرخ افزایش مدول برشی با افزایش فرکانس بارگذاری و غیرهمسانی اندکی کاهش می‌یابد.

به طور کلی زمانی که تنش محدودکننده افزایش می‌یابد، مقدار G/G_{max} در برابر γ در یک کرنش معین افزایش می‌یابد.

در کلیه مصالح یک روند کاهش با افزایش فرکانس بارگذاری در منحنی G/G_{max} برابر γ مشاهده می‌شود.

مقدار G/G_{max} مصالح درشت دانه و ریزدانه غیرچسبنده مورد مطالعه تقریباً در محدوده‌های پایین پیشنهادی سید و ادريس [57] قرار می‌گیرند، همچنین برای مصالح چسبنده مقادیر یاد شده تقریباً در محدوده‌های پایین منحنی متوسط پیشنهادی ووستیک

و دوبری [58] قرار می گیرند. لذا مرزهای منحنی های پیشنهادی قبلی نسبت مدول برشی با تغییر جنس و مقاومت دانه ها عوض می شود.

مقایسه مقادیر مدول برشی در حالت نمونه همسان و نمونه تحت تنش محوری قائم اولیه نشان می دهد که تنش محوری قائم اولیه باعث افزایش حدود ۳۰ درصدی مقادیر مدول برشی در مصالح درشت دانه می شود.

با افزایش تنش محدود کننده میرایی مصالح کاهش می یابد. مقادیر نسبت میرایی شدیداً متأثر از فرکانس بارگذاری است. نکته بسیار مهم افزایش میرایی با افزایش فرکانس بارگذاری نه تنها در کرنشهای کوچک (0.0001%) بلکه در کرنشهای متوسط (0.01%) تا 0.1% می باشد. به نظر می رسد که مقادیر میرایی برای بعضی از مصالح مورد بررسی در هر فرکانس بارگذاری به حدی میل می کند. حداکثر مقدار میرایی اندازه گیری شده در این مطالعات 40% می باشد. طبق ادبیات فنی مقادیر میرایی مصالح درشت دانه شنی تیز گوشه بیش از مقادیر نظیر برای مصالح ماسه ای و ریزدانه می باشد. بخشی از این میرایی مربوط به تغییر کردن شکل نیروی اعمالی در طول نمونه بزرگ سه محوری به علت تاخیر زمانی انتقال آن در بین مرز تماس دانه ها می باشد که باعث نوعی پراکندگی در اثر هندسه مصالح می شود. در این مصالح تغییر شکل بعد از کسر بسیار کوچکی از زمان بعد از اعمال نیرو در آنها در سرعت های بارگذاری بالا مشاهده می شود. نکته دیگر اثر مثبت اینرسی ذرات دانه ای در افزایش میرایی است. برخورد دانه ها به هم و در نتیجه شکست دانه ها و همچنین تمایل مصالح به کاهش حجم، سبب تماس بیشتر بین دانه ها و در نتیجه افزایش بیشتر انرژی زایل شونده (میرایی) می شود. حساسیت مصالح مستعد شکست به فرکانس بارگذاری و تمایل به افزایش میرایی در آنها، نیاز به بررسی بیشتر دارد.

حداکثر مقدار میرایی اندازه گیری شده در این مطالعات 40% برای نمونه های درشت دانه با درصد ریزدانه کم و حدود 35% برای نمونه دارای درصد ریزدانه بالای 10% می باشد. لذا طبق معادله $M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f$ نسبت میرایی برای مصالح درشت دانه به ریزدانه کم را می توان به سه بخش تقسیم کرد. بطوریکه در فرکانس 10 هرتز سهم



اینرسی در فرکانس‌های بزرگ برای دانه‌های درشت دانه با ریزدانه کمتر از ۴٪ حدود ۱۰٪ (از ۴۵٪ کل)، سهم فرکانس حدود ۲۰٪ و سهم کرنش هم حدود ۱۵٪ می‌باشد. اثر وزن کلاهک در افزایش میرایی با افزایش فرکانس اندک می‌باشد. میرایی کمتر مصالح خاکی در مقایسه با مصالح سنگریزه‌ای می‌تواند ناشی کمتر بودن از استهلاک انرژی در مرز تماس دانه‌های مصالح خاکی به علت وجود درصد ریزدانه بیشتر و دانه‌های شن کمتر باشد.

در کل نتایج نسبت میرایی در برابر کرنش برشی مصالح مورد بررسی تحت فرکانس بارگذاری ۰/۵ هرتز حدوداً منطبق بر محدوده بالای ارائه شده در ادبیات فنی می‌باشد. در صورتی که در فرکانس‌های بالا (۵ و ۱۰ هرتز) نتایج نسبت میرایی کاملاً در بالای محدوده بالای منحنی‌های ارائه شده قبلی می‌گیرند. افزایش فرکانس بارگذاری و تنش محدودکننده باعث کاهش کرنش‌های اعمالی بر نمونه می‌شود.

در یک کرنش معین در حالت نمونه تنش محوری قائم اولیه مقادیر نسبت مدول برشی خصوصاً در فرکانسهای پایین (۰/۵ هرتز) کمتر از مقادیر نظیر تحکیم همسان می‌باشد. اثر غیرهمسانی باعث کاهش اندک نسبت میرایی می‌شود.

اثر تنش محدودکننده در افزایش مقادیر G برای مصالح با PI بالا (مصالح پردیس در گمانه BH14) اندک می‌باشد.

برای مصالح پردیس در گمانه BH14 نکته جالب توجه کاهش کرنش برشی نظیر محدوده میرایی ثابت در فرکانس‌های ۵ و ۱۰ هرتز از ۰/۰۲٪ به حدود ۰/۰۱٪ به ترتیب برای نمونه‌های همسان و نمونه تحت تنش محوری قائم می‌باشد.

برای مصالح سمنان در گمانه BH34 نکته جالب توجه اثر کمتر فرکانس بارگذاری بر مقادیر مدول برشی این مصالح (ML) در مقایسه با دیگر مصالح مورد بررسی در این تحقیق می‌باشد.

مقدار تاثیر پارامترهای σ'_3 ، تحکیم غیرهمسان، شکل بار نوسانی، ابعاد نمونه و فرکانس، در افزایش مقدار G در سطح کرنشهای یکسان براساس نوع مصالح قابل تعیین

و بررسی است. بطورکلی در انتخاب منحنی های متوسط $G/G_{max}-\gamma$ در تحلیل ها باید علاوه بر جنس دانه به فرکانس بارگذاری، ابعاد نمونه، درصد ریزدانه، چسبندگی، درصد درشت دانه و میزان غیرهمسانی هم توجه شود.

۲-۵- جمع بندی

مصالح خاکی بومی کشور مورد استفاده در تحلیلها به تفکیک معرفی شدند. نتایج آزمایش های آزمایش های شیمیایی، چگالی دانه ها G_s ، تراکم استاندارد روی مصالح خاکی مورد مطالعه ارائه شد. در ادامه نتایج آزمایش های نوسانی تحت شرایط مختلف روی مصالح خاکی مورد مطالعه طبق استاندارد ASTM D3999 ارائه شد. محاسبات هم طبق استاندارد ASTM D3999 انجام شد. مدول برشی حداکثر از روش برون یابی از کرنشهای ϵ^{-1} ۱۰٪ بدست آمد. بعد از محاسبه G_{max} منحنی های $G/G_{max}-\gamma$ و $D-\gamma$ برای مصالح مختلف با محدوده منحنی های پیشنهادی توسط محققین مختلف ارائه و مقایسه شد. بطورکلی افزایش فرکانس سبب افزایش مقادیر مدول برشی در کرنشهای کوچک می شود، اما با افزایش میزان کرنش از اثر افزایشی فرکانس بارگذاری بر مدول برشی برای مصالح چسبنده کاسته نمی شود. نکته جالب توجه دیگر اثر اندک فرکانس بر مقادیر مدول برشی در مصالح با درصد ریزدانه بالای ۷۰٪ و بدون چسبندگی می باشد. مقایسه مقادیر مدول برشی در حالت نمونه همسان و نمونه تحت تنش محوری قائم اولیه نشان داد که وجود تنش محوری قائم اولیه باعث افزایش مقادیر مدول برشی در نمونه های درشت دانه و اثر اندک آن در نمونه های ریزدانه (چسبنده یا غیرچسبنده) می شود. افزایش فرکانس سبب کاهش مقادیر G/G_{max} در برابر γ در یک کرنش معین می شود. افزایش تنش محدودکننده سبب کاهش مقادیر میرایی می شود. با افزایش فرکانس بارگذاری مقادیر نسبت میرایی نه تنها در کرنش های کوچک بلکه در کرنش ها متوسط و بالا افزایش می یابد. با توجه به تفاوت بین نتایج ادبیات فنی با منحنی های رفتار خاکهای بومی کشور، بررسی طیفهای مربوطه لازم می باشد.

فصل سوم

۳- طیف‌های پاسخ با در نظر گیری اثر محتوای فرکانسی و

غیرهمسانی

۳-۱- مقدمه

در فصول قبل به صورت مفصل اثر فرکانس بارگذاری و غیرهمسانی بر نتایج مدول برشی و میرایی مصالح خاکی مخلوط بررسی شده است. رکوردهای جنبش‌های نیرومند زلزله‌های اخیر مثل نورث‌ریج^۱ (۱۹۹۴)، چی - چی^۲ (۱۹۹۹) اهمیت شرایط محلی ساختگاه را بر انتشار جنبش زمین نشان دادند. خرابی‌های رخ داده در سازه‌ها، در رکورد زلزله بم (۲۰۰۳) ارتباط بین فاصله از گسل و تخریب را برای ما گوشزد کرد به طوریکه در فاصله بیش از ۵ کیلومتری از شهر بم خرابی اندک و در فاصله کمتر از ۲ کیلومتر از گسل احتمالی، میزان تخریبها زیاد بود. این مشاهدات محرک ما برای بررسی طیف طرح زلزله‌های میدان نزدیک در کمتر از ۲ کیلومتر می باشد. میزان بزرگ‌نمایی در سطح زمین با توجه به رفتار مصالح در فرکانس‌های بارگذاری مختلف تحت زلزله‌های میدان نزدیک با فرکانس‌های متفاوت، از جمله مواردی است که دانش ما در مورد آن اندک بسیار است. از طرفی بررسی تاثیر محتوای فرکانسی بر خواص دینامیکی خاک‌ها، نه تنها در کرنش‌های بسیار کوچک، بلکه حتی در کرنش‌های متوسط، به ویژه در خاک‌های ماسه ای و ریزدانه مخلوط با شن که در بسیاری از سازه‌های خاکی چون

^۱ Northridge

^۲ Chi-Chi



سدها (سدهای خاکی حتی ممکن است روی آبرفت‌هایی با عمق زیاد بنا شوند) و خاکریزهای پشت دیوار حایل به کار می‌روند، الزامی است. همچنین آنالیز حساسیت نسبت به تغییر پارامترهایی چون تغییر شرایط خاک از همسان به غیرهمسان و تغییر ارتفاع ستون خاک و اثرات دست خوردگی (موج برشی صحرایی و آزمایشگاهی) بررسی خواهد شد. با توجه به اینکه در حال حاضر کشور ایران صدمات جدی از زمین‌لرزه‌ها در دهه‌های گذشته متحمل شده است انجام این بخش از تحقیق می‌توان به بهینه‌سازی نتایج حاصل از پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای، اصلاح آیین‌نامه‌های موجود خصوصاً مناطق میدان نزدیک و در نهایت ساخت و ساز ایمن کمک شایانی کند.

۳-۲- مشخصات زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته و تحلیل‌ها

تحلیل‌های یک بعدی پاسخ زمین به طور وسیع برای برآورد اثر شرایط محلی ساختگاه به کار می‌روند. در این مطالعه چندین زلزله میدان نزدیک معروف که در جدول (۳-۱) مشخصات آنها ارائه شده است برای تحلیل انتخاب شدند. فرکانس غالب این زلزله‌ها بین ۱ تا ۱۳ هرتز است. تعدادی از شتابنگاشت‌های بکار رفته در تحلیل‌ها در شکل (۳-۱) ارائه شده است. تحلیل‌های یک بعدی با نرم‌افزار EERA [48] با استفاده از داده‌های شتاب‌نگاشت هر سه مولفه زلزله‌ها بر ستون‌هایی از خاک به ارتفاع ۳۰ و ۶۰ متر به صورت افقی انجام شدند. با توجه به مشابهت مدل رفتار وابسته به فرکانس EERA و Deep Soil و سادگی دسترس به محیط exeel در نرم افزار EERA، در این مطالعات از نرم افزار EERA استفاده شده است. در این مطالعات منحنی‌های رفتاری شش مصالح تحت تنش‌ها و فرکانس‌های متفاوت به کار گرفته شده است. در ایران براساس مطالعات لرزه زمین ساخت، با توجه به جدول (۳-۲) شتاب حرکت افقی زمین (g) برای دوره بازگشت (سال) بر روی سنگ کف که عددی بین ۰/۱۳ تا ۰/۶۶ و ۴۷۵ سال یکسان است. با توجه به رخداد زلزله بم، مقادیر شتاب دوره بازگشت‌های بیش از مقادیر میزان شتاب زلزله‌های میدان نزدیک بکار رفته در این تحلیل‌ها عددی بین ۰/۳۴g تا ۱g است. لذا تحلیل‌ها برای سه سطح از زلزله یعنی ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g صورت گرفته است که تاریخچه زمانی شتاب زلزله‌ها با توجه به مقدار شتاب مورد نظر

به صورت ساده مقیاس شده است. مقدار شتاب سنگ بستر برای خاک SD آیین نامه UBC (خاک نوع III ایران) برای فواصل کمتر از ۲ km برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله هم حدود ۰/۶۶g بدست آمد.

تعداد ۳۴۵۶ تحلیل برای هر نوع خاک و در مجموع بیش از ۲۰ هزار تحلیل صورت گرفت و پارامترهایی چون بزرگنمایی، طیف شتاب، نسبت شتاب طیفی، ضریب بازتاب (B آیین نامه ۲۸۰۰) [10] طیف سرعت نسبی و طیف جابجایی نسبی در سطح زمین مورد بررسی قرار گرفت. لایه های خاک هم به ضخامت ۱/۵ و ۲ متری در سطح زمین و ۳ متری در اعماق بیشتر تقسیم و با توجه به عمق و سطح تنش، منحنی رفتاری مناسب مصالح انتخاب شده است. همچنین برای مصالح مختلف مورد بررسی مقادیر نسبت میرایی و نسبت مدول برشی حداقل، متوسط و حداکثر سید و ایدریس [57]، سید و همکاران [51]، رولینز و همکاران [52] و ووستیک و دوبری [58] با توجه به سطح تنش در تعدادی تحلیل به کار گرفته شده است. در کلیه تحلیل ها برای سنگ بستر (عمق بیش از ۳۰ متر و یا ۶۰ متر) هم از منحنی نسبت مدول برشی و میرایی- کرنش برشی ادریس [59] استفاده شده است. تحلیل ها برای میرایی ۰/۵٪ انجام شده است.

جدول ۱-۳- مشخصات زلزله های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیلهای پاسخ زمین در این پژوهش

زلزله	بزرگی	عمق کانونی (km)	ایستگاه	نزدیکترین فاصله تا رومکز (km)	Vs(30) (m/s)* ایستگاه شتاب	حداکثر شتاب / فرکانس غالب / تعداد سیکل معادل در max ۰/۶۵ / مدت زلزله** (s)		
						مولفه قائم (V)	مولفه موازی با گسل (T)	مولفه عمود بر گسل (L)
Chi-Chi, 1999-09-20	۷/۶۲	۶/۸	CWB 99999 CHY080	۲/۶۹	۵۳۳	۰/۷۲۴ g	۰/۰۹۰۲ g	۰/۰۹۶۸ g
						۸/۲/۲/۷۷۴ Hz	۱۳/۲/۱/۴۲۴ Hz	۱۶/۲/۱/۵۰۸ Hz
Kobe, 1995-01-16	۶/۹۰	۱۷/۹	JMA 99999 KJMA	۰/۹۶	۳۱۲	۰/۳۴۳ g	۰/۰۵۹۹ g	۰/۰۸۲۱ g
						۱۶/۱۳/۲/۶۰۶ Hz	۱۵/۷/۲/۰۰۷ Hz	۱۹/۵/۲/۰۲۴ Hz
Tabas, 1978-09-16	۷/۳۵	۵/۸	9101 Tabas	۲/۰۵	۷۶۷	۰/۱۶۸۹ g	۰/۰۸۳۶ g	۰/۰۸۵۲ g
						۲۷/۱۱/۷/۱۱۲ Hz	۳۲/۱۳/۴/۰۰۰ Hz	۳۴/۱۱/۳/۸۴۱ Hz
Landers, 1992-06-28	۷/۲۸	۷/۰	SCE 24 Lucerne	۲/۱۹	۶۸۴	۰/۰۸۱۹ g	۰/۰۷۸۵ g	۰/۰۷۲۱ g
						۱۶/۲۶/۱۳/۰۰۷ Hz	۱۶/۱۵/۱۰/۴۸۲ Hz	۱۶/۲۱/۹/۴۲۲ Hz
Northridge, 1994-01-17	۶/۶۹	۱۷/۵	DWP 77 Rinaldi Receiving Sta.	۶/۵۰	۲۸۲	۰/۱۵۵۲ g	۰/۰۴۷۴ g	۰/۰۸۳۸ g
						۱۱/۹/۷/۸۸۶ Hz	۱۳/۱۷/۳/۶۵۰ Hz	۱۳/۶/۲/۳۸۲ Hz
Bam, 2003-12-26	۶/۷	۵	Farmandari	<۱	۴۲۲	۰/۰۹۹۹ g	۰/۰۶۳۶ g	۰/۰۷۹۹ g
						۲۳/۱۱/۸/۳۷۸ Hz	۲۳/۱۳/۵/۰۰۷ Hz	۲۶/۱۵/۴/۸۶۲ Hz
Erzincan, 1992-03-13	۶/۹	۹	95 Erzincan	۴/۳۸	۲۷۵	۰/۰۳۴۸ g	۰/۰۴۹۶ g	۰/۰۵۱۵ g
						۱۲/۵/۵/۵۴۶ Hz	۱۳/۴/۲/۴۴۹ Hz	۱۳/۲ Hz / ۱/۳۹۶
Duzce, 1999-11-12	۷/۱	۱۰	Duzce	۶/۵۸	۲۷۶	۰/۰۳۵۷ g	۰/۰۳۴۸ g	۰/۰۵۳۵ g
						۱۲/۱۰/۸/۴۴۵ Hz	۱۴/۱۳/۱/۹۲۸ Hz	۱۴/۴/۲/۱۵۶ Hz
متوسط (شتاب حداکثر (g) / فرکانس غالب (Hz) / تعداد سیکل / مدت (s))						۱۶/۱۱/۷/۰۹۳/۰/۶۲۹	۱۷/۱۰/۳/۰۵۲/۶۳۴	۱۹/۸/۳/۴۳۷/۰/۷۵۶

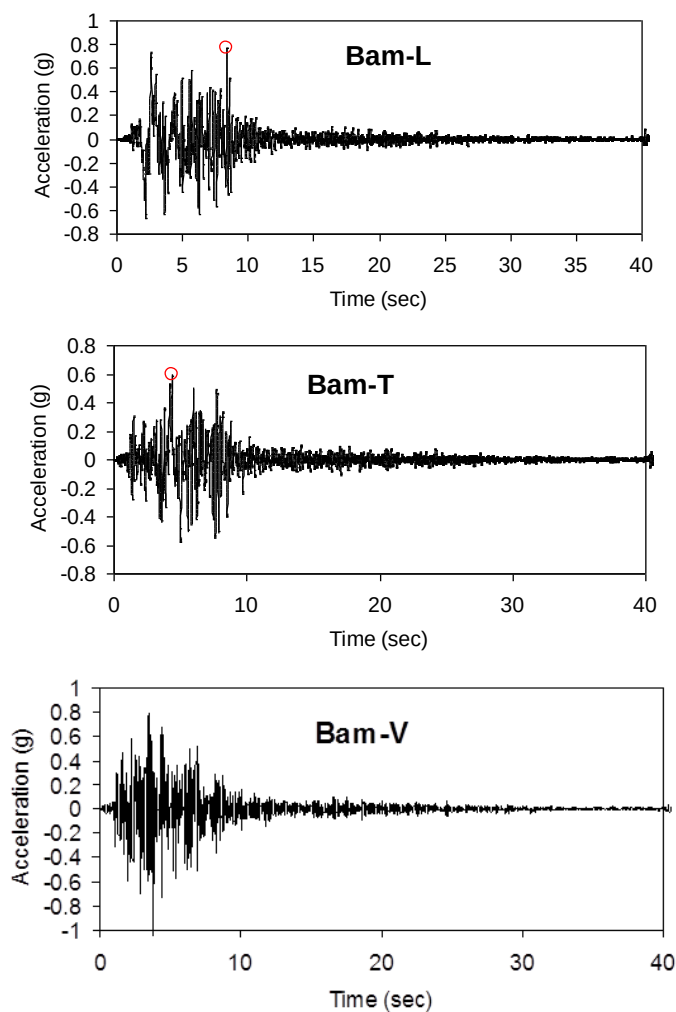
براساس شتاب آستانه برابر ۰/۰۵g, Vs(30) = ۳۷۸ m/s, متوسط *



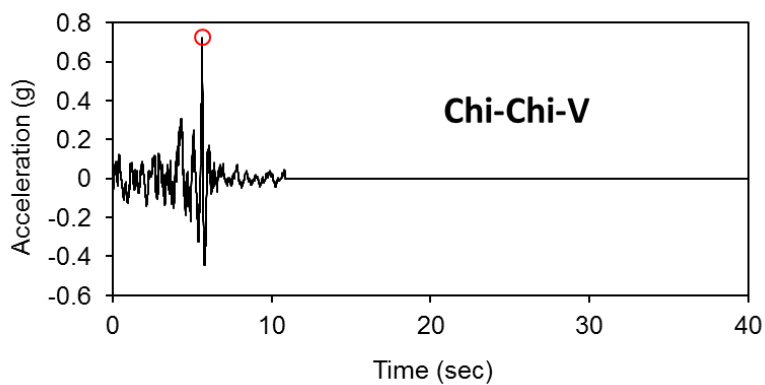
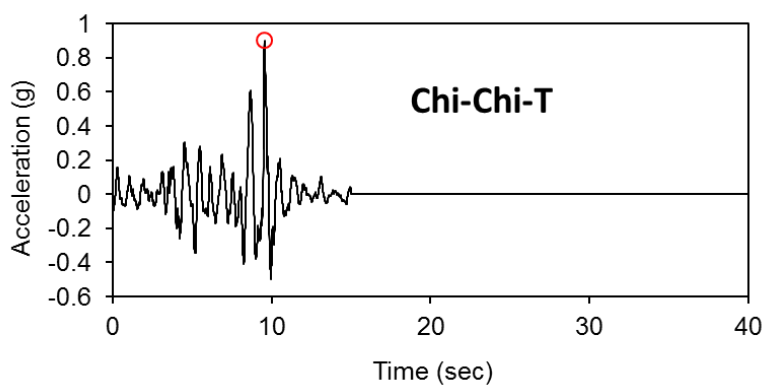
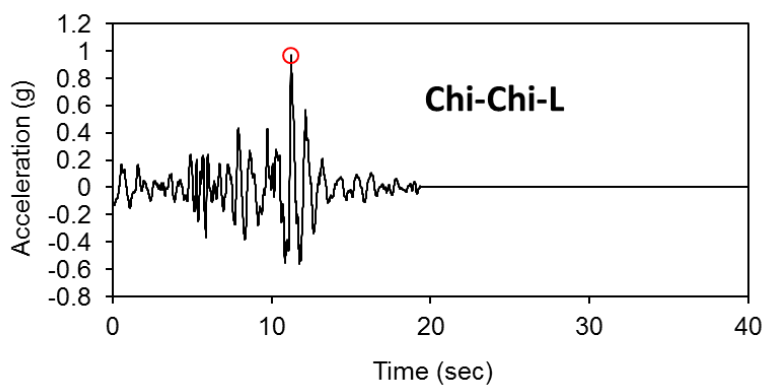
جدول ۳-۲- شتاب حرکت افقی زمین برای دوره بازگشت های مختلف بر روی سنگ کف تعدادی از

شهرهای کشور

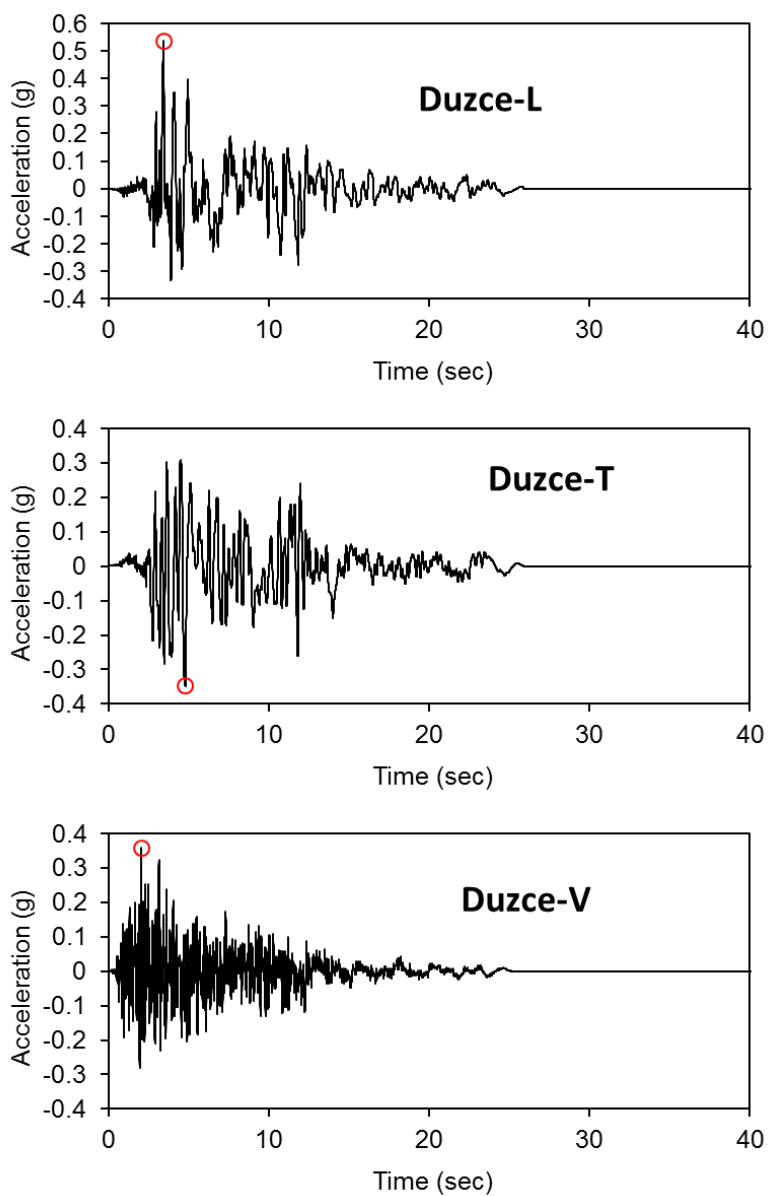
شتاب حرکت افقی زمین (g) بر روی سنگ کف و سنگ پستر لرزه ای برای دوره بازگشت (سال)				شهر
۲۴۷۵	۹۷۵	۴۷۵	۷۵	
۰/۳۳-۰/۴	۰/۲۹-۰/۳۵	۰/۲۵-۰/۳۱	۰/۱۷-۰/۲۲	سمنان
۰/۳۸-۰/۴	۰/۳۳-۰/۳۵	۰/۲۹-۰/۳۱	۰/۲-۰/۲۲	سرخره
۰/۳۴-۰/۴۴	۰/۲۳-۰/۳۸	۰/۲۵-۰/۳۴	۰/۱۷-۰/۲۴	شاهرود
۰/۴۴	۰/۳۸	۰/۳۴	۰/۲۴	بندرام
۰/۳۴-۰/۵۴	۰/۳-۰/۴۸	۰/۲۷-۰/۴۳	۰/۱۹-۰/۳۱	پردیس
۰/۳۲-۰/۶۲	۰/۲۷-۰/۵۳	۰/۲۳-۰/۴۳	۰/۱۳-۰/۲۳	شیراز
۰/۳۱-۰/۴۸	۰/۳۱-۰/۴۸	۰/۲۵-۰/۴۸	۰/۱۶-۰/۳۶	بیم
۰/۴۷	۰/۳۶	۰/۲۹	۰/۱۵	بستک
۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۲	مهدیشهر



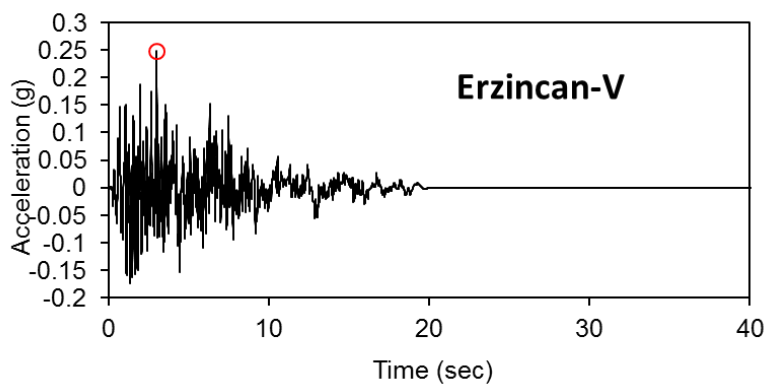
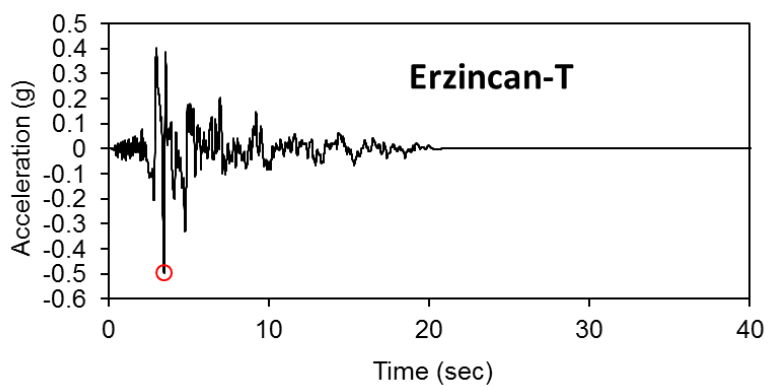
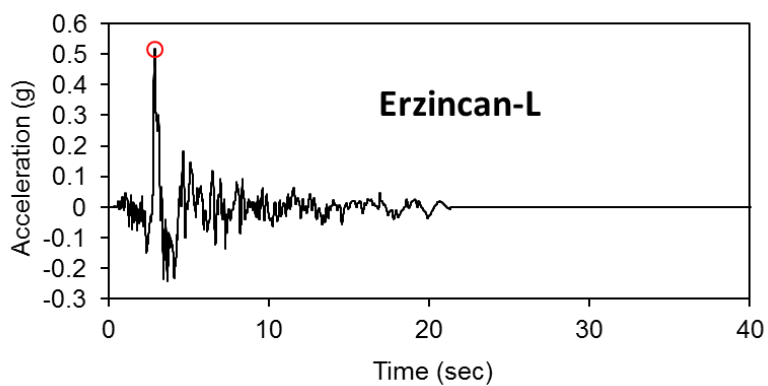
شکل (۱-۳)



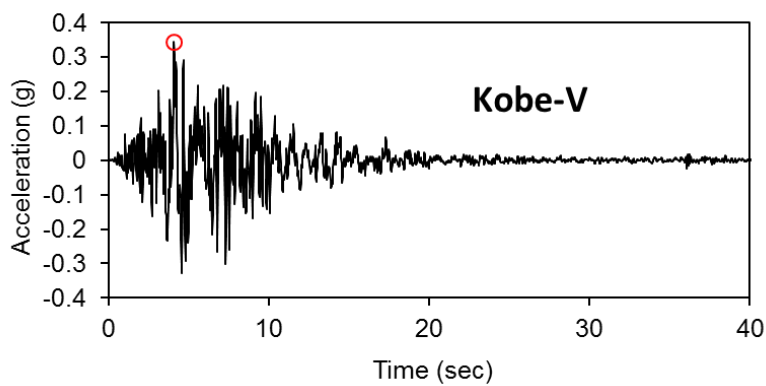
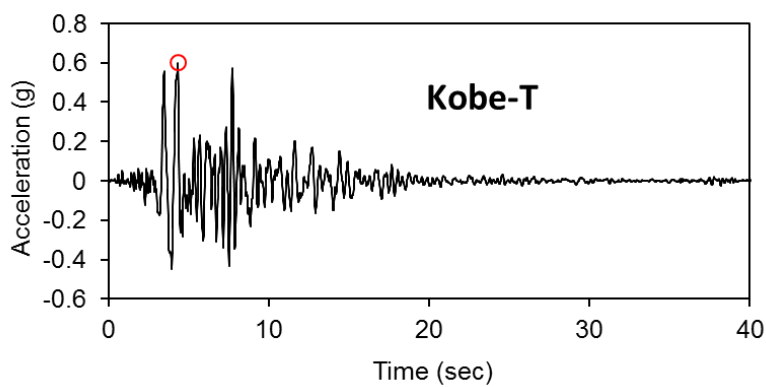
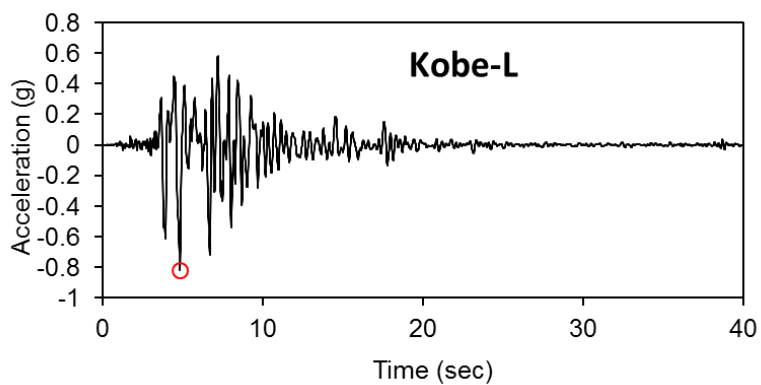
شکل (۱-۳)



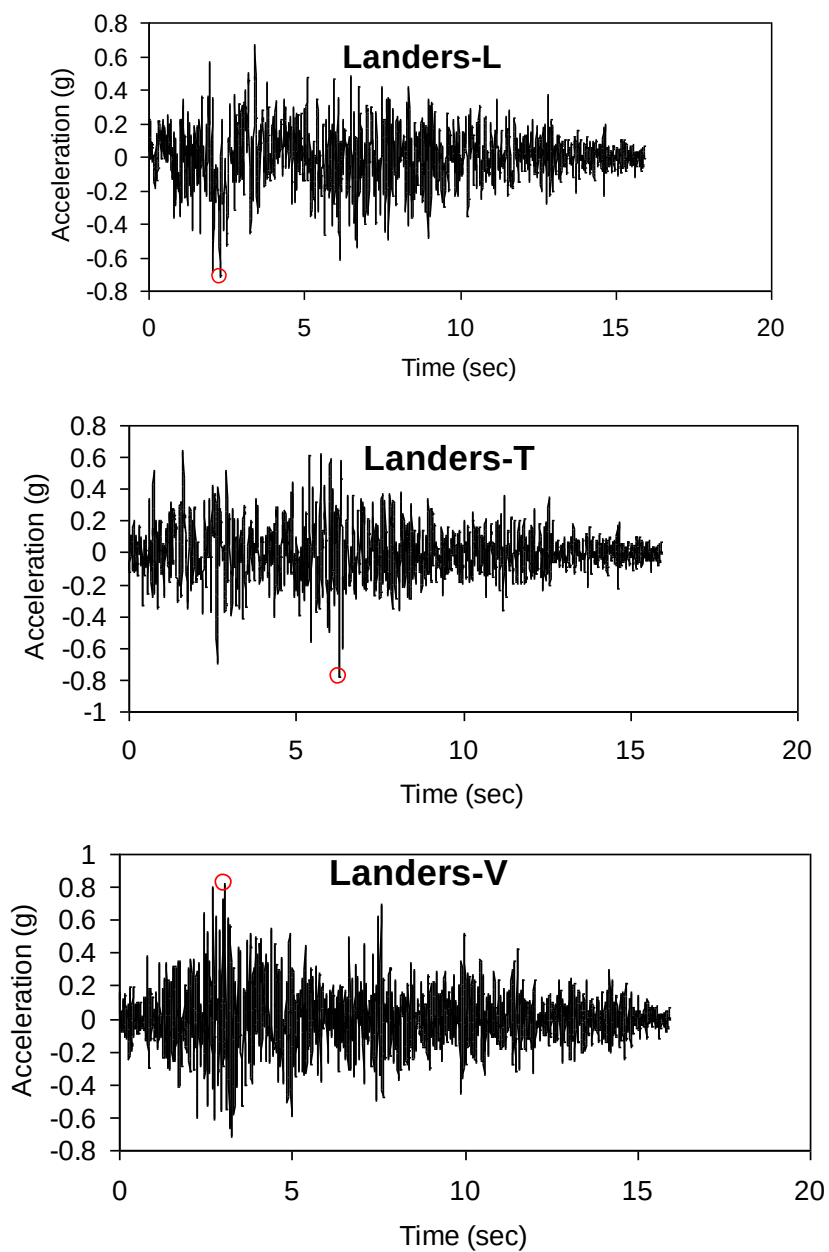
شکل (۱-۳)



شکل (۱-۳)



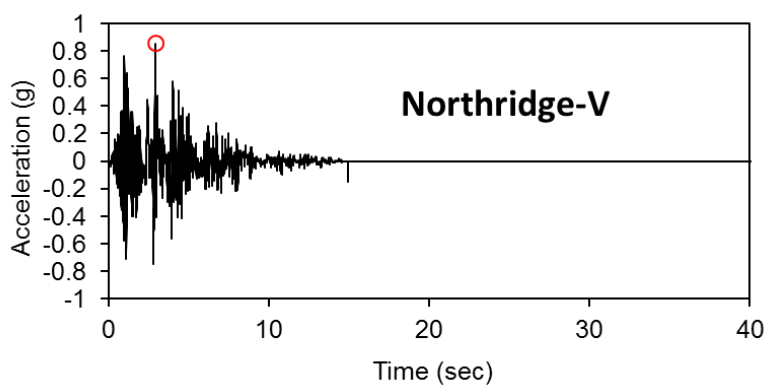
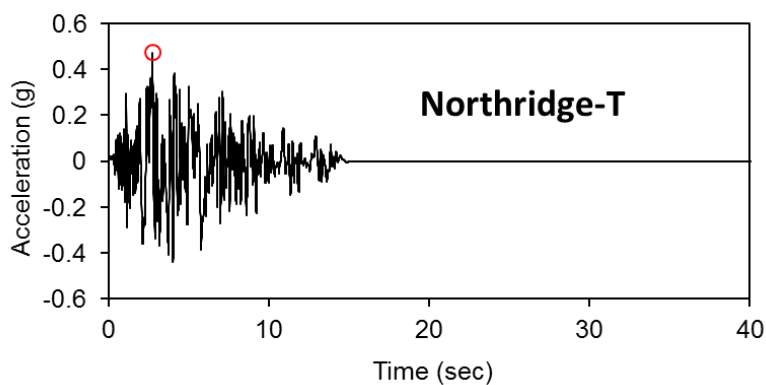
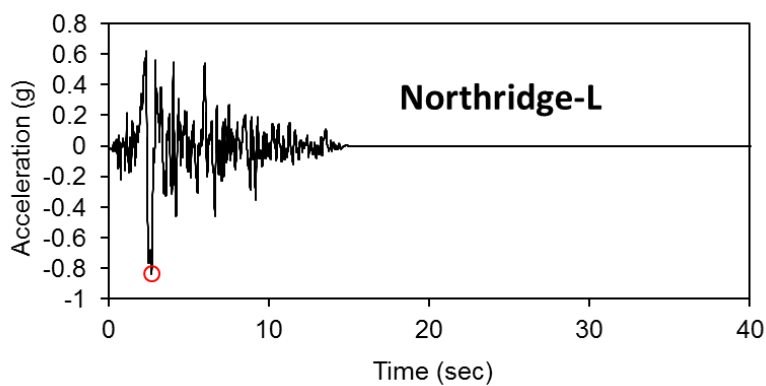
شکل (۱-۳)



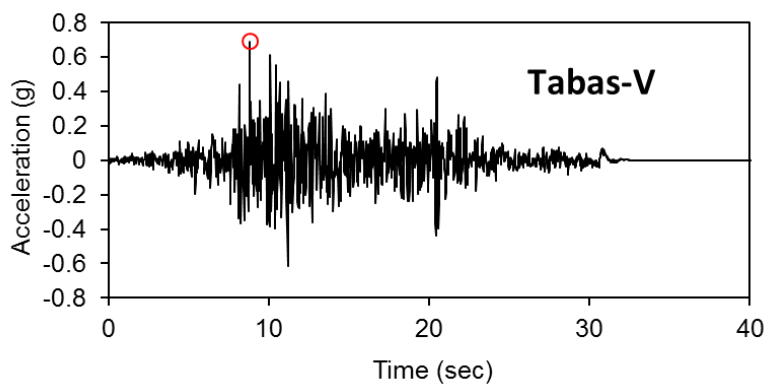
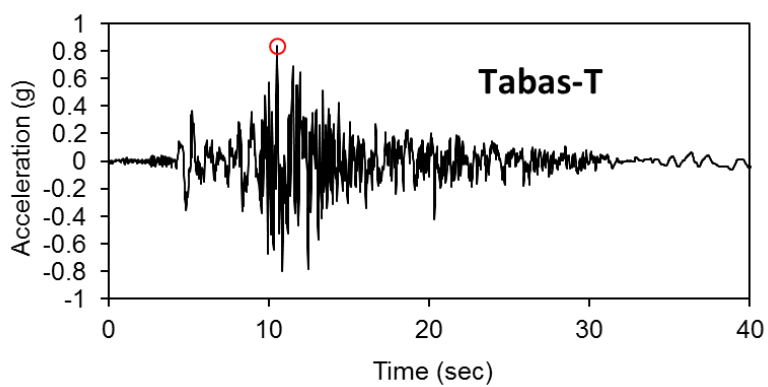
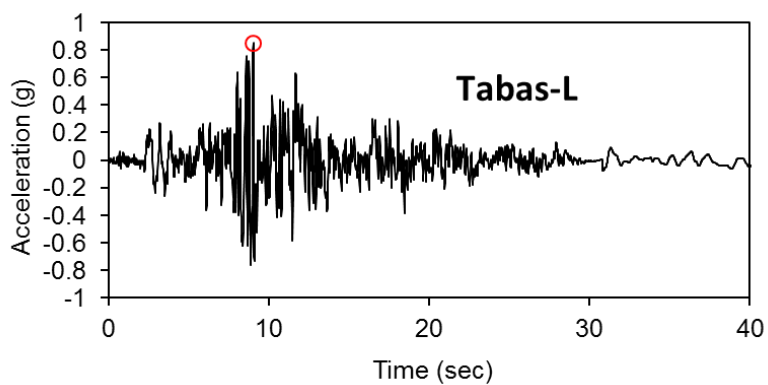
شکل (۱-۳)



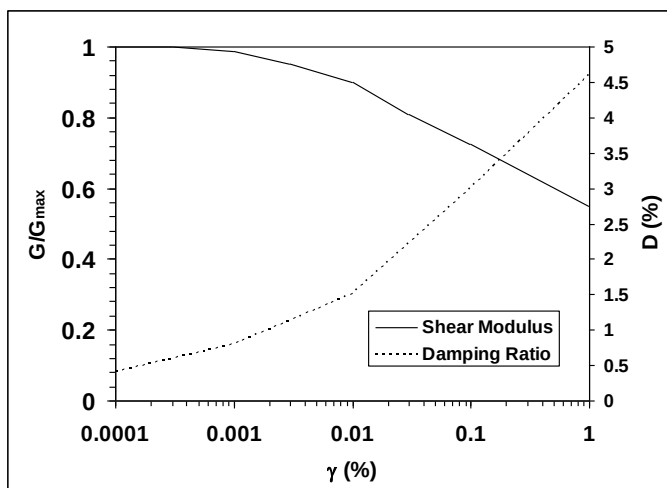
۱۰۴ / طیف طرح برای زلزله‌های میدان نزدیک با نگاهی بر اثر محتوای فرکانسی



شکل (۱-۳)



شکل ۳-۱- شتابنگاشت زلزله های به کار رفته



شکل ۳-۲- منحنی های رفتار دینامیکی سنگ بستر [59]

۳-۲-۱- انتخاب طیف طراحی

جدول (۳-۳) طبقه بندی ستون خاکها برای ۶ نوع مصالح مورد بررسی براساس سرعت موج برشی در ۳۰ متر لایه های سطحی طبق استاندارد ۲۸۰۰ ارائه شده است. در طبقه بندی نوع خاکها، خصوصاً نوع IV با توجه به اثر فرکانس در افزایش سرعت موج برشی باید دقت شود. در این مواقع علاوه بر سرعت موج برشی به مقادیر مقاومت برشی زهکشی نشده هم باید توجه داشت.

جدول ۳-۳- طبقه بندی زمین براساس سرعت موج برشی در ۳۰ متر لایه های سطحی طبق استاندارد ۲۸۰۰

مصالح	CH/SC	ML	SC	SM	SM/GM	SW
داده های صحرایی (همسان و غیرهمسان)						
نوع خاک	I	II	I	II	I	II
Vs(m/s)	۸۳۳	۵۲۶	۸۰۳	۶۰۱	۷۸۹	۶۸۹
داده های آزمایشگاهی (همسان)						
نوع خاک	IV	III	III	III	III	III
Vs(m/s)	۱۸۹	۲۹۰	۲۱۵	۳۸۵	۳۲۵	۳۱۷
داده های آزمایشگاهی (غیرهمسان)						
نوع خاک	III	III	III	II	II	II
Vs(m/s)	۲۰۸	۳۳۶	۲۴۰	۴۸۷	۴۲۱	۴۳۰

۳-۲-۲- انتخاب زون لرزه‌ای طیف UBC برای فواصل کمتر از

۲ km

دگر شکلی فلات ایران نتیجه همگرایی صفحه عربی و صفحه اوراسیا است که تقریباً تمامی تغییر شکل ناشی از آن در داخل مرز های کشورمان روی می دهد. اگر چه راستای کوتاه شدگی بطور کلی مشخص و در راستای شمال - شمال خاوری است اما در میزان کوتاه شدگی و راستای دقیق تر آن اختلاف نظر وجود دارد. کل کوتاه شدگی ایران حداقل حدود ۲۲ میلی متر در سال برآورد می شود. کوتاه شدگی در ایران بطور کلی در سه زون اصلی البرز - کپه داغ، ایران مرکزی و زاگرس روی می دهد. جکسون^۱ و همکاران [60] میزان کوتاه شدگی در زاگرس را حدود ۱۰ تا ۱۵ میلی متر در سال پیشنهاد می نمایند. این میزان کوتاه شدگی وابسته به فرضیاتی است که برای آن در نظر گرفته اند اما بطور تقریبی با حدود ۵۰ کیلومتر کوتاه شدگی در زاگرس و با فرض اینکه تغییر شکل در آن در ۵ میلیون سال اخیر روی داده باشد هماهنگ است. میانگین باقیمانده کوتاه شدگی یعنی حدود ۱۳ میلی متر باید در ایران مرکزی و البرز - کپه داغ و به همان میزان جابجائی راستالغز در خاور ایران روی دهد. توکلی^۲ [61] میزان کوتاه شدگی البرز، زاگرس و سواحل جنوبی دریای خزر و بلوک لوت به ترتیب، ۵، ۸، ۶ و ۱۶ میلیمتر در سال برآورد کرد. مطالعات مشابهی توسط دیگر محققین بدست آمد. مثلاً بر اساس مطالعات جی پی اس میزان کلی کوتاه شدگی در عرض با پهنای حدود ۱۰۰ کیلومتری البرز حدود ۵ میلیمتر در سال اندازه گیری شده است (مسون^۳ و همکاران [62]، ورنانت^۴ و همکاران [63]). در رشته کوه های البرز نرخ لغزش براساس GPS بین ۴ تا ۵ میلیمتر در سال است (ذولفقاری^۵ [64]). برای گسلهای نرمال ایران این عدد بین ۲ تا ۵ میلیمتر در سال است.

¹ Jackson

² Tavakoli

³ Masson

⁴ Vernant

⁵ Zolfaghari



نرخ لغزش افقی گسل‌های لوت شرقی، لوت غربی، کوهبنان، انار، به ترتیب 0.6 ± 0.6 ، 0.4 ± 0.4 ، 1.3 ± 3.6 میلیمتر در سال می باشند (والپرسدورف^۱ و همکاران [65]). نرخ لغزش برای گسل تبریز، مشا، قوچان، کپه داغ، اشک آباد به ترتیب ۷، ۴، ۵ و ۵ میلیمتر در سال برآورد می شود ([61]). اکثر گسل‌های یاد شده توانایی ایجاد زلزله‌هایی با بزرگی بیش از ۷ ریشتر دارند. لذا با توجه به نرخ لغزش سالیانه بیش از ۵ میلیمتر در سال و بزرگی بیش از ۷ ریشتر، باید مطابق UBC حالت زون لرزه ای A را برای محاسبه طیف طراحی زلزله‌های میدان نزدیک انتخاب کرد.

۳-۳- نتایج تحلیل‌ها برای سرعت موج برشی صحرایی

با توجه انجام آزمایش‌های صحرایی اندازه‌گیری سرعت موج داخل گمانه‌ها، تحلیل‌ها برای این سرعت موج با در نظرگیری منحنی رفتار دینامیکی مصالح خاکی در حالت تحکیم همسان و غیرهمسان انجام شده است. به صورت نمونه نتایج تحلیل‌ها برای مولفه عمود بر راستای گسل زلزله بم و خاک SC/CH ارائه شده است. طبق استاندارد ۲۸۰۰ برای ستون خاکهای مورد استفاده در این مرحله از تحلیل‌ها، نوع خاک I است.

۳-۳-۱- ستون خاک ۳۰ متری غیرهمسان

شکل ۳-۳ تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با کاهش شتاب سنگ بستر، مقادیر نسبت بزرگنمایی در سطح زمین برای مصالح بارگذاری شده تحت فرکانس پایین، دارای اثر افزایشی زیاد، برای مصالح آزمایش شده در فرکانس نزدیک به فرکانس غالب دارای تاثیر متوسط و برای مصالح بارگذاری شده در فرکانس بالا، کم‌تاثیر است. نکته تامل برانگیز اینکه علاوه بر وجود قله بزرگنمایی فرکانس بیش از ۵ هرتز، قله بزرگنمایی دیگری در فرکانس بیش از ۱۵ هرتز وجود دارد و با افزایش فرکانس بارگذاری این قله حذف می‌شود. همچنین افزایش شتاب سنگ بستر سبب کاهش سریعتر دامنه بزرگنمایی در فرکانس‌های بالاتر می‌شود و فرکانس نظیر حداکثر

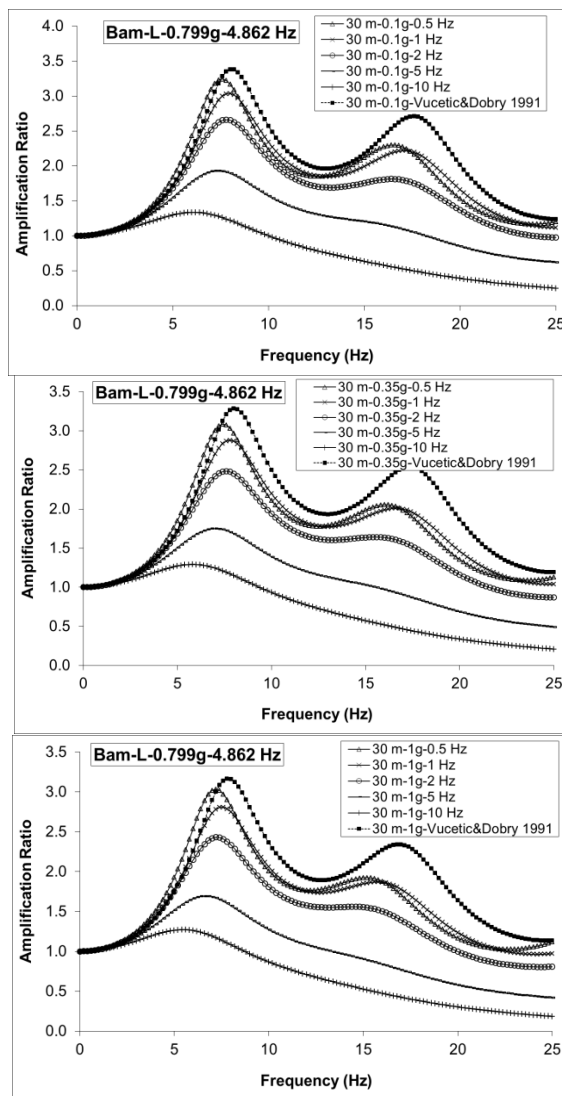
¹ Walpersdorf

بزرگنمایی با افزایش شتاب سنگ بستر کاهش می یابد. افزایش فرکانس بارگذاری مصالح سبب کاهش نسبت بزرگنمایی می شود.

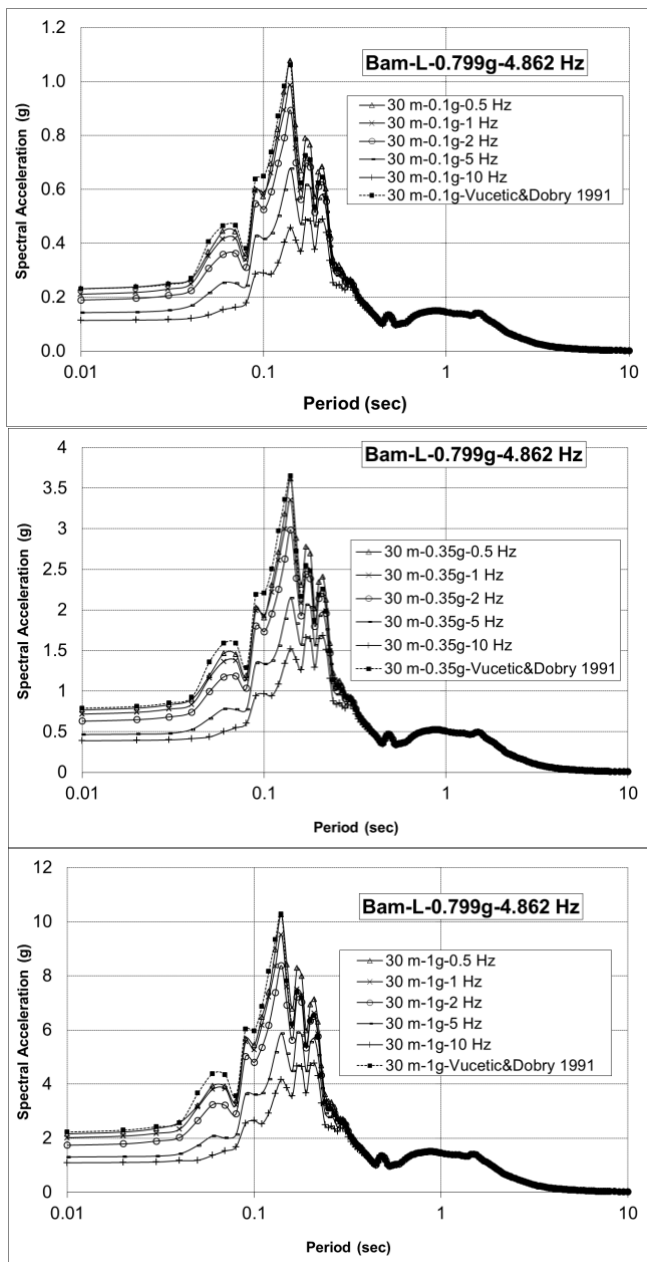
شکل ۳-۴ تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مصالح SC/CH را نشان می دهد. نکته بسیار جالب برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم کاهش نیافتن طیف شتاب در پریودهای بالا می باشد (وجود یک قله بعد از پریود 0.5 ثانیه). افزایش شتاب طیفی برای فرکانس بارگذاری پایین و کاهش شتاب با افزایش فرکانس هم از جمله نکات جالب توجه است. برای بررسی دقیق تر شکل ۳-۵ ضریب بازتاب [9](B) در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ نشان داده شده است. نکته جالب کاهش ضریب بازتاب با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح در پریودهای کم و افزایش ضریب بازتاب در پریودهای بالا است. در صورت در نظرگیری اثر محتوای فرکانسی برای شتاب سنگ بستر $0.35g$ ، برای پریودهای بیش از ۱ ثانیه طیف آیین نامه ۲۸۰۰ ابتدا اندکی مقادیر کمتر و برای پریودهای بالا، مقادیر بسیار بیشتری را ارائه می دهد. شکل ۳-۶ تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ را نشان می دهد. در این مطالعه مقدار شتاب طیفی برای ستون خاک با مشخصات مصالح 0.5 هرتز به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است. ملاحظه می شود که با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح به کار رفته در ستون خاک، نسبت شتاب طیفی کاهش می یابد. از نکات جالب توجه متفاوت، نسبت شتاب طیفی در صورت استفاده از مقادیر میرایی و نسبت مدول برشی و وستیک و دوبری [58] در محدوده پریود 0.1 ثانیه است که نسبت مذکور بیش از ۱ می باشد. هرچه فرکانس غالب زلزله کمتر باشد پریود نظیر شاخه نزولی طیف در پریودهای بزرگتری رخ می دهد و برعکس. با افزایش شتاب سنگ بستر نسبت مذکور در محدوده پریودهای یاد شده افزایش می یابد. چنانچه تطابق فرکانس غالب زلزله با فرکانس بارگذاری مصالح مدنظر باشد (حدود $4/9$ هرتز مولفه عمود بر گسل زلزله بم به 5 هرتز بارگذاری مصالح)



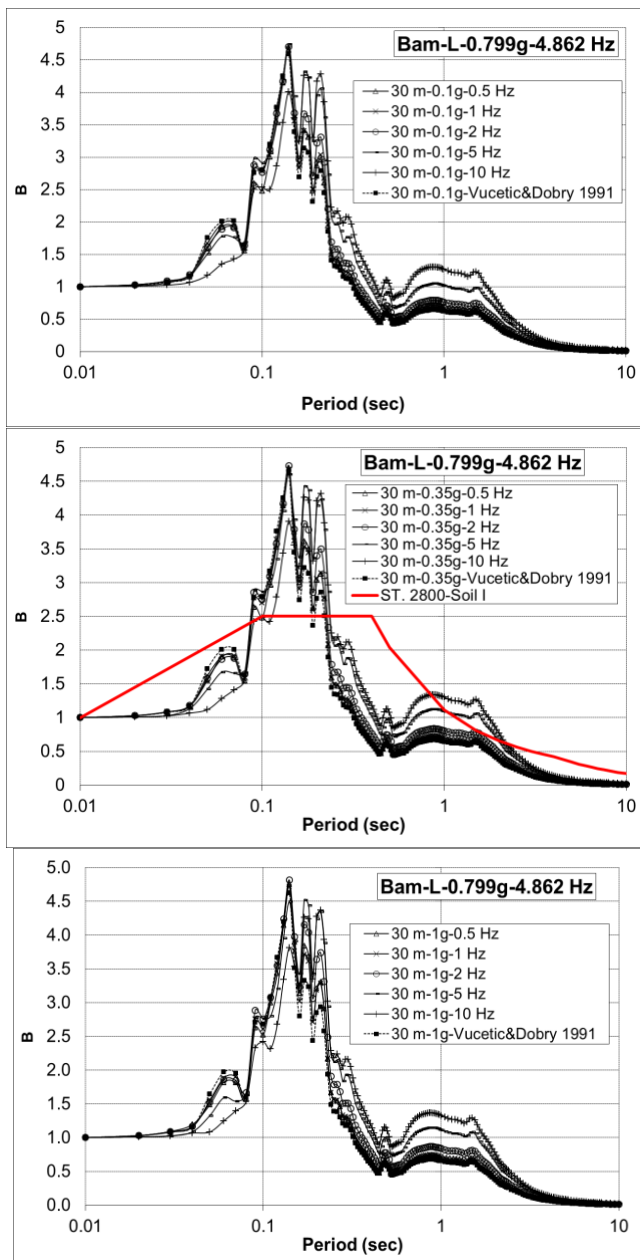
مطابق شکل ۳-۷ نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ بین 0.6 تا 0.5 می‌باشد. مقادیر مذکور برای زلزله لندرز با فرکانس غالب حدود $9/4$ هرتز، حدود 0.35 برای شتاب سنگ بسترهای مختلف است (شکل ۳-۸). بنابراین انتخاب مصالح تحت فرکانس بارگذاری مناسب در تطابق نسبی با فرکانس غالب زلزله اهمیت است.



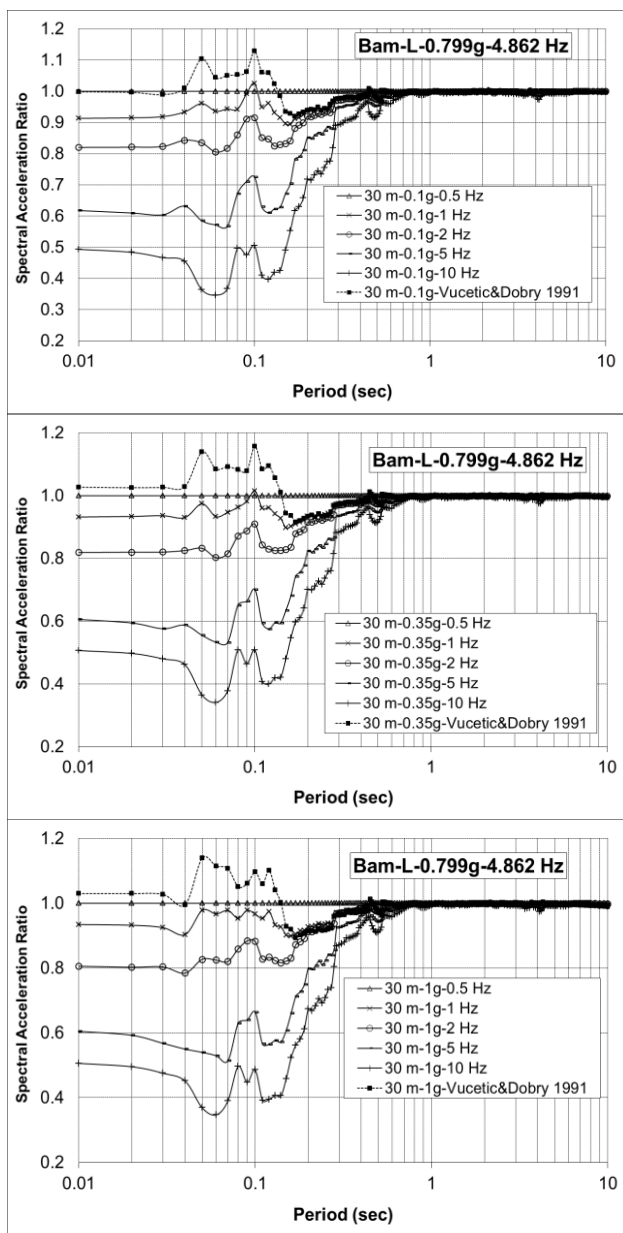
شکل ۳-۳- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی



شکل ۳-۴- تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی



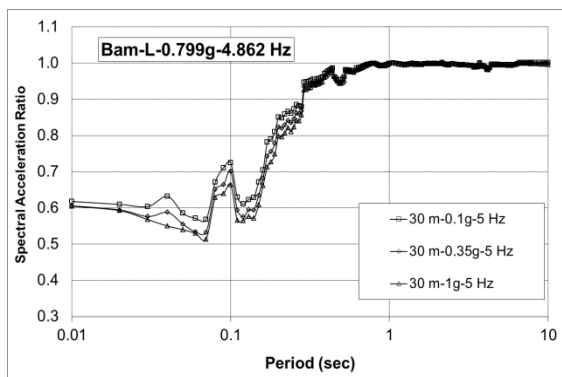
شکل ۳-۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی



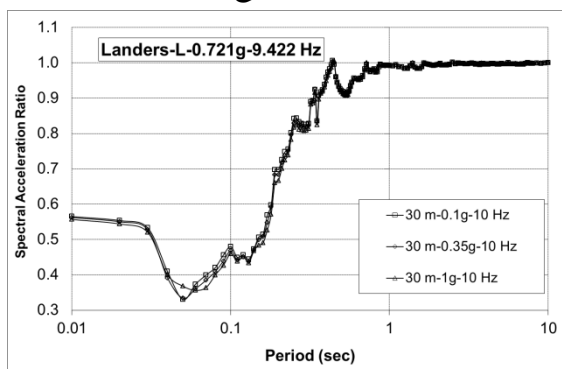
شکل ۳-۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی



شکل ۳-۹ و ۳-۱۰ تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ به ترتیب برای مولفه عمود بر گسل و هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک انتخابی برای مصالح SC/CH را نشان می‌دهد که تاثیر فرکانس بارگذاری مصالح بر نسبت طیف شتاب به وضوح مشخص است.



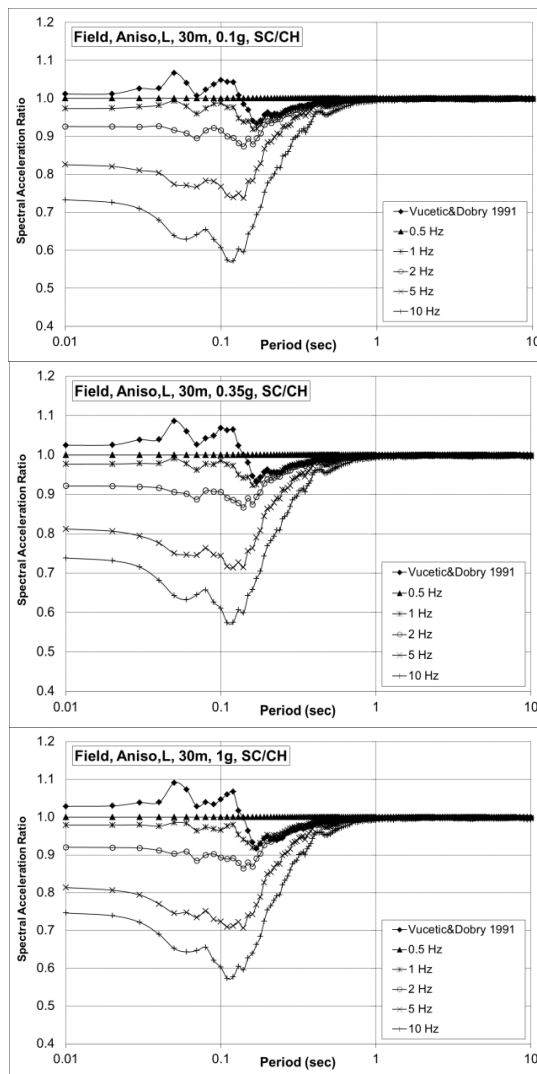
شکل ۳-۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ در فرکانس ۵ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی



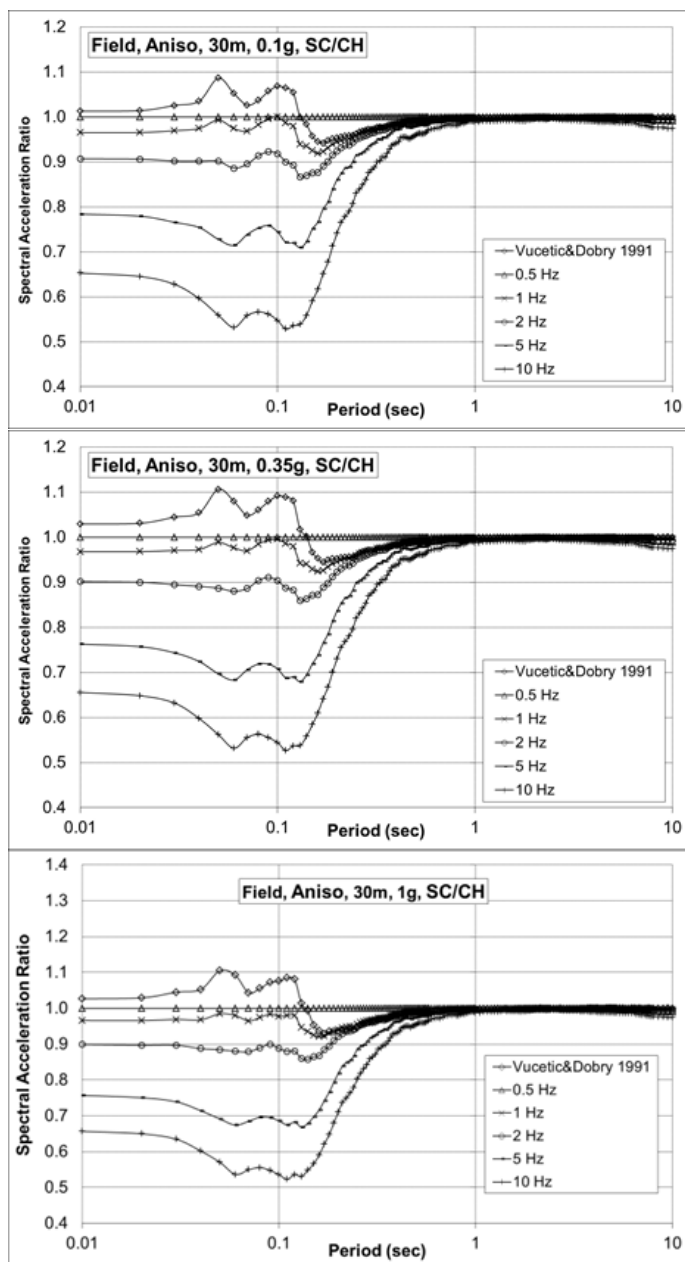
شکل ۳-۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ در فرکانس ۱۰ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی

شکل ۳-۱۱ تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که فرکانس بارگذاری

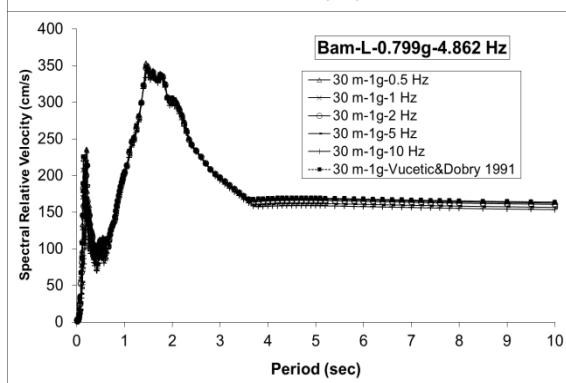
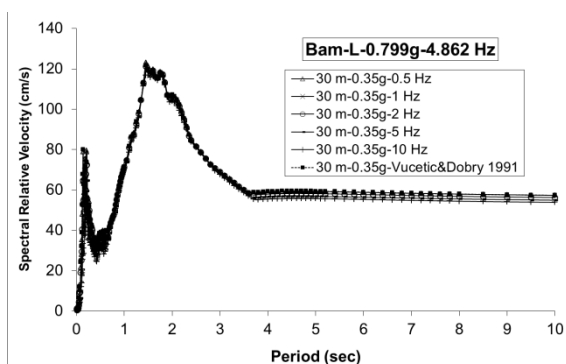
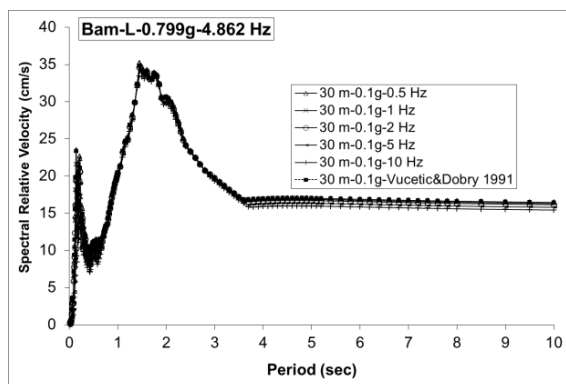
مصالح اثر زیادی بر طیف سرعت نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف سرعت نسبی ندارد. مقادیر شتاب سنگ بستر بر مقدار حداکثر طیف سرعت نسبی تاثیر دارد اما بر فرم کلی منحنی طیف سرعت نسبی خاک نوع I در حالت غیرهمسان تاثیر ناچیزی دارد.



شکل ۳-۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی



شکل ۳-۱۰- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری در حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۱g/۰، ۳۵g/۰ و ۱g برای هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها
مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرائی

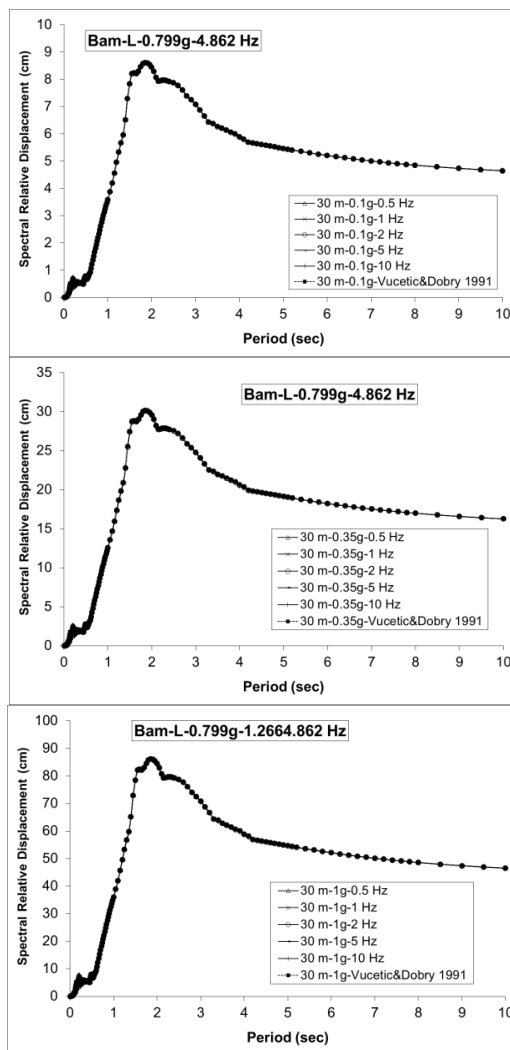


شکل ۳-۱۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان
سرعت موج صحرائی

شکل ۳-۱۲- تغییرات طیف جابه جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری
تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل
زلزله بم را نشان می دهد. ملاحظه می شود که فرکانس بارگذاری مصالح اثر چندانی بر



طیف جابه‌جایی نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف جابه‌جایی نسبی ندارد. مقدار حداکثر طیف جابه‌جایی نسبی وابسته به مقادیر شتاب سنگ بستر است و با افزایش شتاب افزایش می‌یابد، اما فرم کلی منحنی طیف جابه‌جایی نسبی برای خاک نوع I در حالت غیرهمسان وابسته به فرکانس بارگذاری مصالح نیست.



شکل ۳-۱۲- تغییرات طیف جابه‌جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی

۳-۲- ستون خاک ۶۰ متری حالت غیرهمسان

شکل ۳-۱۳ تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH را نشان می‌دهد. تفاوت قابل ملاحظه‌ای به شکل نسبت بزرگنمایی ستون خاک ۳۰ متری و ۶۰ متری از نظر تعداد نقاط قله و مقدار بزرگنمایی وجود دارد. ملاحظه می‌شود که با افزایش شتاب سنگ بستر، مقادیر نسبت بزرگنمایی سطح برای مصالح بارگذاری تحت فرکانس پایین، دارای اثر زیاد، برای مصالح آزمایش شده در فرکانس نزدیک با فرکانس غالب دارای تاثیر متوسط و برای مصالح بارگذاری شده در فرکانس بالا کم اثر است. ضمناً افزایش شتاب سنگ بستر سبب کاهش سریع‌تر دامنه بزرگنمایی در فرکانس‌های بالاتر می‌شود و همچنین فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی با افزایش شتاب سنگ بستر و فرکانس بارگذاری مصالح کاهش می‌یابد. مقادیر نسبت بزرگنمایی برای ستون خاک ۶۰ متری کمتر از مقادیر نظیر ۳۰ متری است. در ضمن فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی برای ستون خاک ۶۰ متری خصوصاً در فرکانس بارگذاری پایین مصالح بیش از مقادیر نظیر ستون خاک ۳۰ متری است.

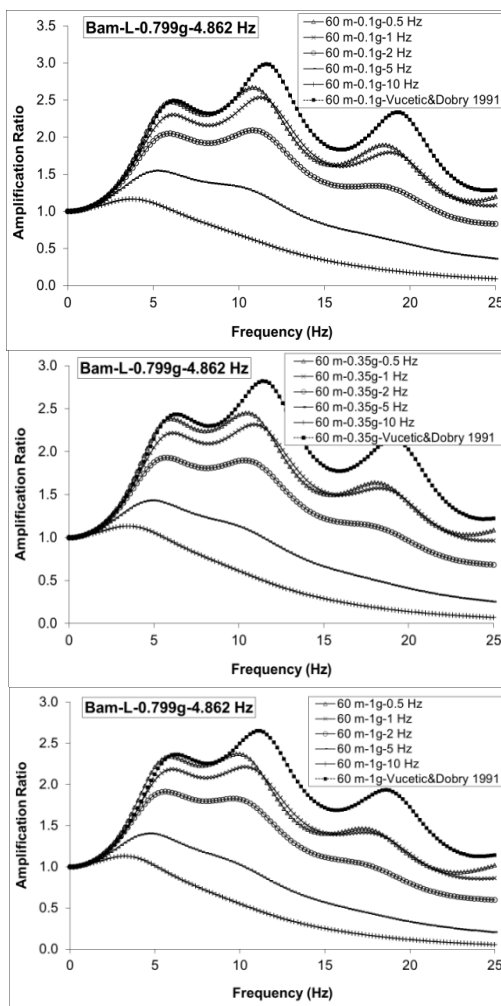
شکل ۳-۱۴ تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ را نشان می‌دهد. بطورکلی مقادیر طیف شتاب ستون خاک ۶۰ متری کمتر از مقدار نظیر ستون ۳۰ متری می‌باشد. ضمناً پریود نظیر شاخه نزولی طیف برای ستون خاک ۶۰ متری در پریودهای بزرگتری در مقایسه با ستون خاک ۳۰ متری رخ می‌دهد. نکته بسیار جالب مشابه ستون خاک ۳۰ متری برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم کاهش نیافتن طیف شتاب در پریودهای بالا است (وجود یک قله بعد از پریود 0.5 ثانیه). برای بررسی دقیق‌تر شکل ۳-۱۵ ضریب بازتاب (B) در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که ضریب بازتاب با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح در پریودهای کم کاهش و ضریب بازتاب در پریودهای بالا افزایش می‌یابد. کاهش اندک B در پریودهای کم و افزایش جزئی B



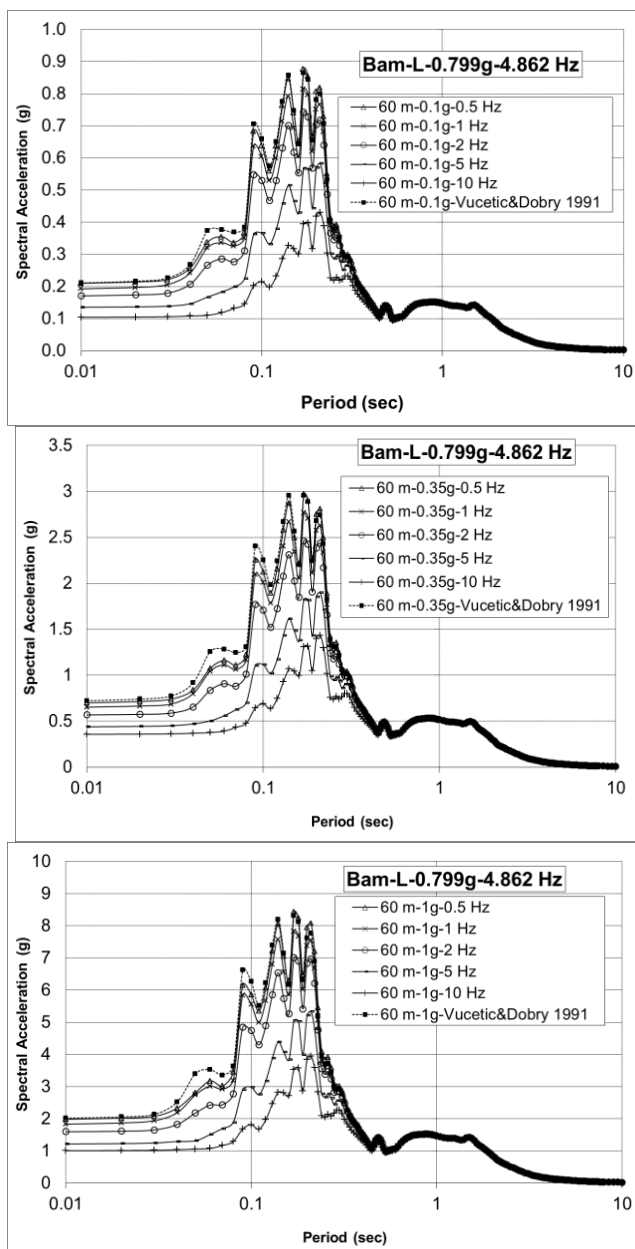
در پریودهای بالا برای ستون خاک ۶۰ متری در مقایسه با ستون خاک ۳۰ متری از دیگر موارد مشاهده شده است. شکل ۳-۱۶ تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می‌دهد. در این مطالعه مقدار شتاب طیفی برای ستون خاک با مشخصات مصالح آزمایش شده تحت فرکانس 0.5 هرتز به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح به کار رفته در ستون خاک، نسبت شتاب طیفی کاهش می‌یابد. از نکات جالب توجه، تفاوت نسبت شتاب طیفی در صورت استفاده از مقادیر میرایی و نسبت مدول برشی و وستیک و دوبری [58] در محدوده 0.1 ثانیه و کمتر می‌باشد که مقادیر نسبت مذکور بالای ۱ می‌باشد. ضمناً با افزایش عمق ستون خاک از ۳۰ متری به ۶۰ متری، مقادیر نظیر در بخش وستیک و دوبری [58] افزایش و برای فرکانسهای بالا کاهش می‌یابد. با افزایش شتاب سنگ بستر نسبت مذکور در محدوده پریودهای یاد شده، افزایش می‌یابد. چنانچه تطابق فرکانس غالب زلزله با فرکانس بارگذاری مصالح مدنظر باشد (مثلاً فرکانس غالب حدود $4/9$ هرتز مولفه عمود بر گسل زلزله بم و 5 هرتز بارگذاری مصالح) مطابق شکل ۳-۱۷ برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم، نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ بین 0.5 تا 0.4 می‌باشد. مقادیر مذکور برای زلزله لندرز با فرکانس غالب حدود $9/4$ هرتز بین 0.2 تا 0.3 است. در کل مقادیر نسبت شتاب طیفی با افزایش عمق ستون خاک کاهش می‌یابد (شکلهای ۳-۱۷ و ۳-۱۸).

شکل ۳-۱۹ و ۳-۲۰ تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ را به ترتیب برای مولفه عمود بر گسل و هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک انتخابی برای مصالح SC/CH را نشان می‌دهد که تاثیر فرکانس بارگذاری مصالح بر نسبت طیف شتاب به وضوح مشخص است. افزایش عمق ستون خاک از ۳۰ به ۶۰ متری، باعث کاهش نسبت شتاب طیفی می‌گردد. شکل ۳-۲۱ تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود

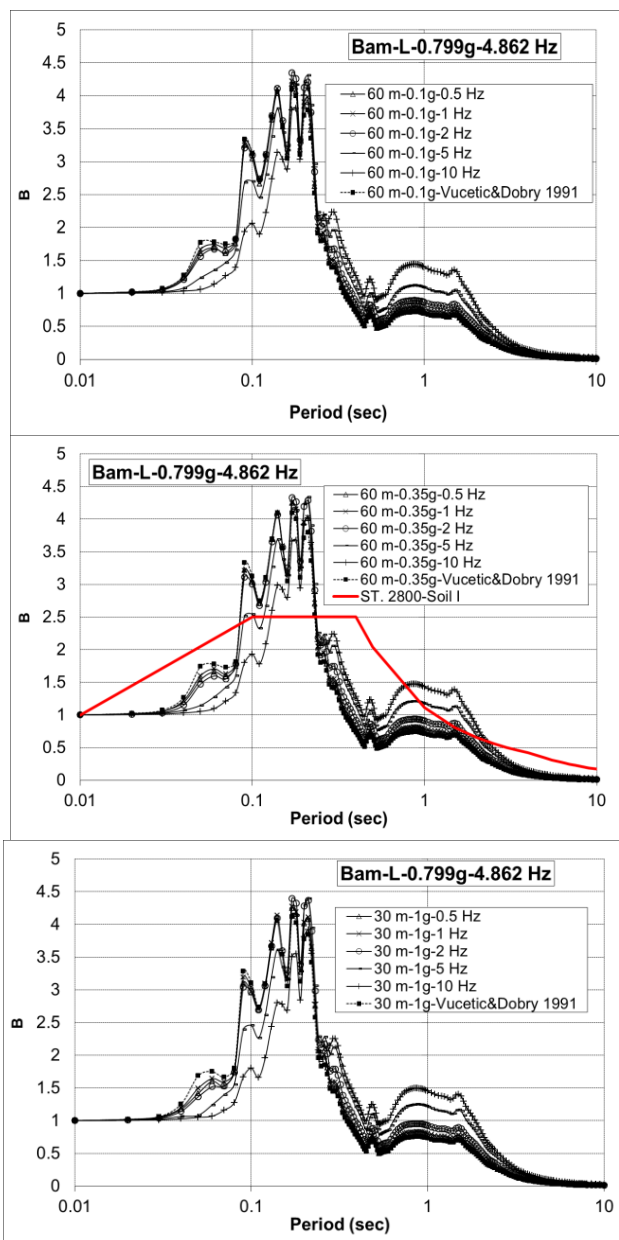
برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که فرکانس بارگذاری مصالح اثر چندانی بر طیف سرعت نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف سرعت نسبی ندارد. مقادیر شتاب روی سنگ بستر بر مقدار حداکثر طیف سرعت نسبی تاثیر دارد اما بر فرم کلی منحنی طیف سرعت نسبی بسیار کم تاثیر است. افزایش عمق ستون خاک تاثیری بر طیف سرعت نسبی ندارد.



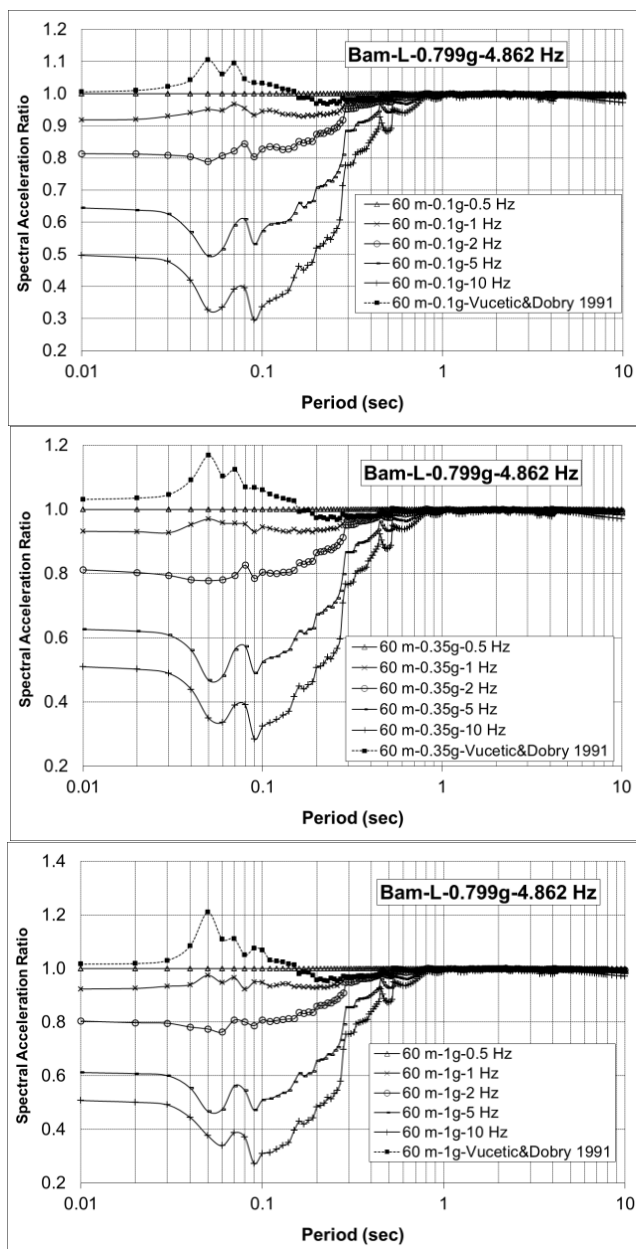
شکل ۳-۱۳- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرائی



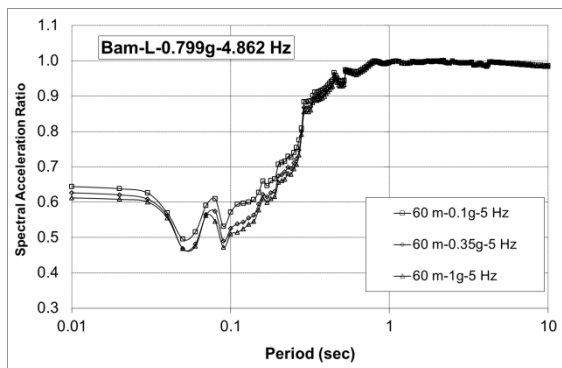
شکل ۳-۱۴- تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی



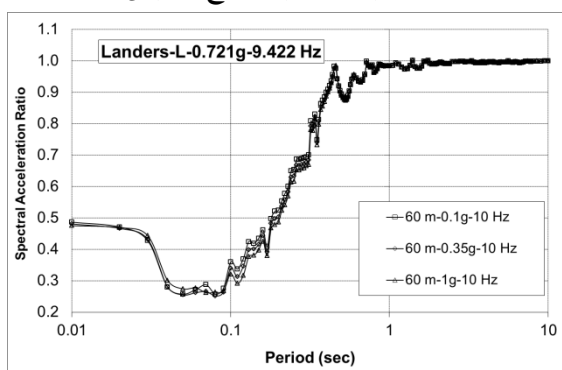
شکل ۳-۱۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی



شکل ۳-۱۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان
سرعت موج صحرایی

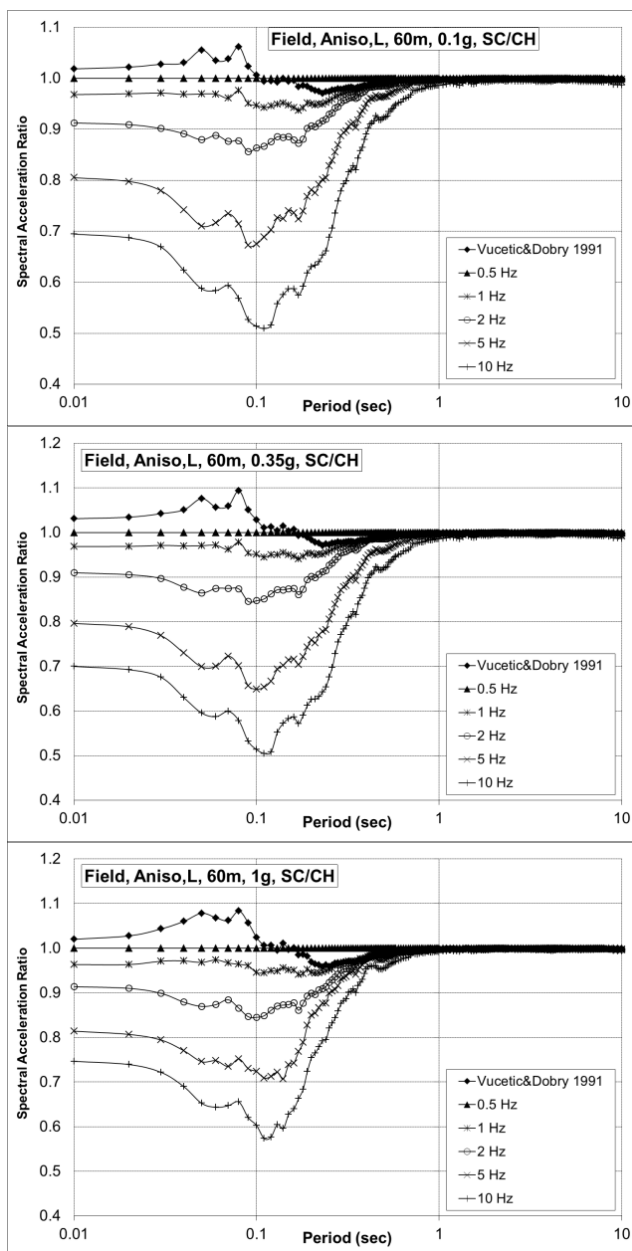


شکل ۳-۱۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و در فرکانس ۵ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی

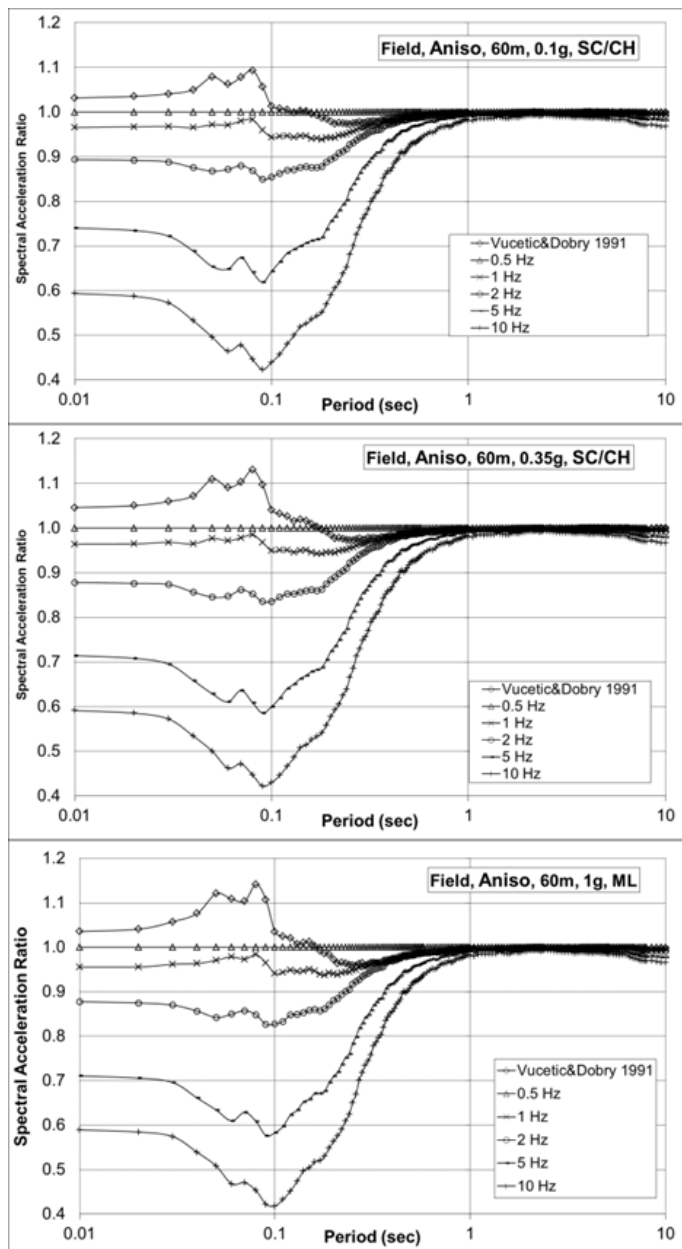


شکل ۳-۱۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۱۰ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی

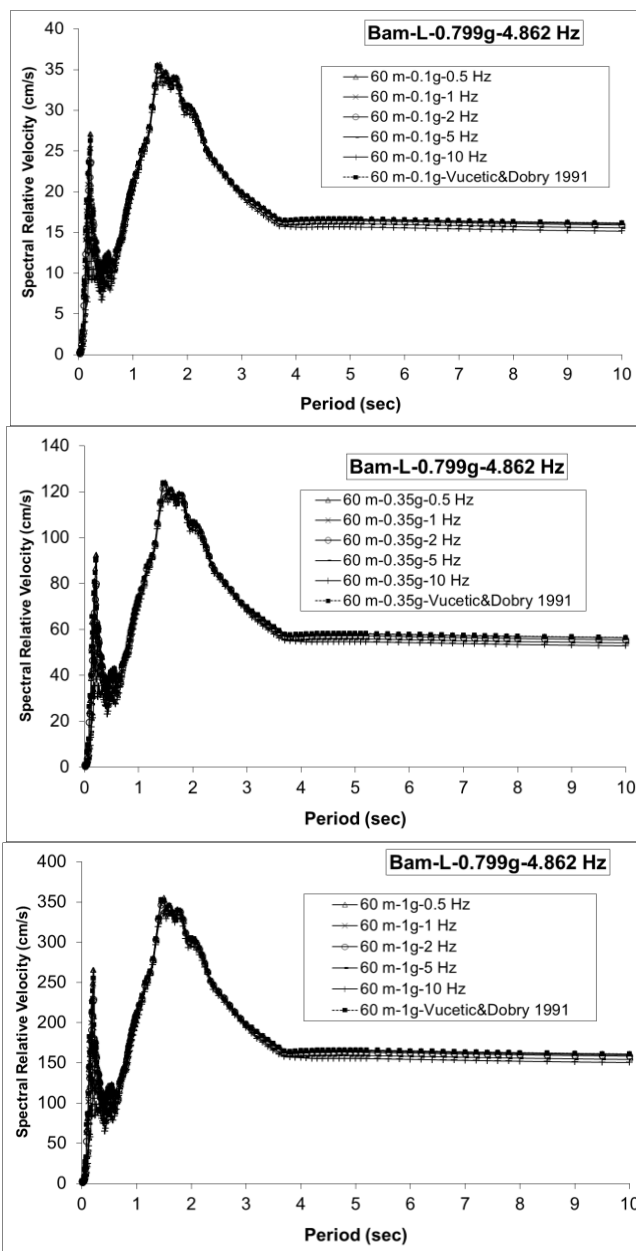
شکل ۳-۲۲ تغییرات طیف جابه جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می دهد. ملاحظه می شود که فرکانس بارگذاری مصالح اثر چندانی بر طیف جابه جایی نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف جابه جایی نسبی ندارد. مقدار حداکثر طیف جابه جایی نسبی، وابسته به مقادیر شتاب روی سنگ بستر است و با افزایش شتاب افزایش می یابد، اما فرم کلی منحنی طیف جابه جایی نسبی وابسته به فرکانس بارگذاری مصالح نیست. افزایش عمق ستون خاک تاثیری بر طیف جابه جایی نسبی برای خاک نوع I ندارد.



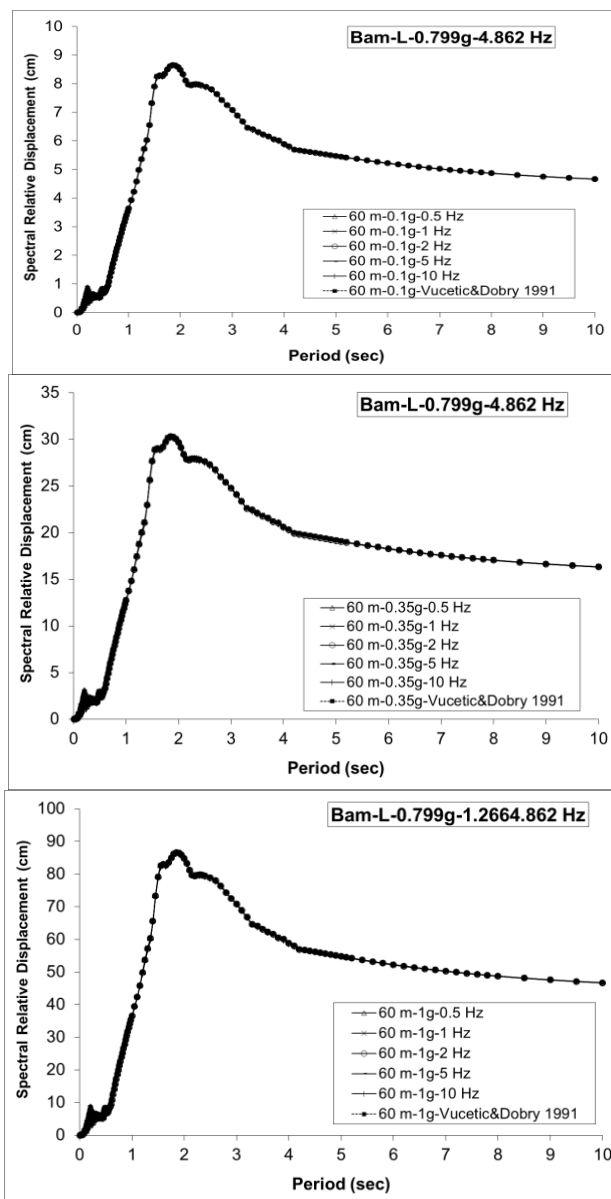
شکل ۳-۱۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی



شکل ۳-۲۰- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g و ۰/۳۵g و ۱g برای هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج صحرایی



شکل ۳-۲۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان
سرعت موج صحرایی



شکل ۳-۲۲- تغییرات طیف جابه جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان
سرعت موج صحرائی

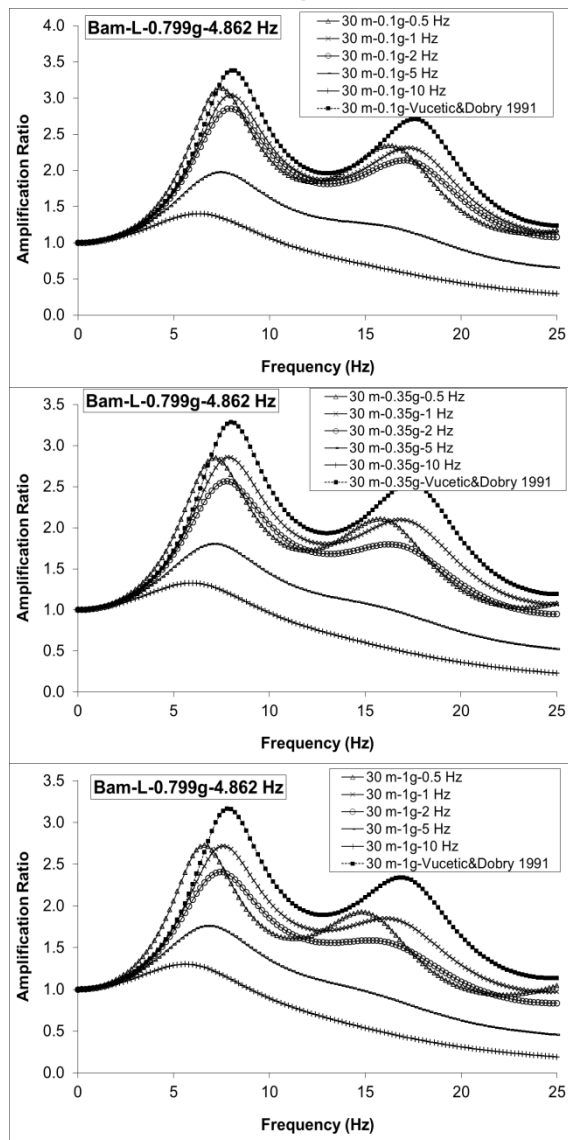


۳-۳-۳- ستون خاک ۳۰ متری همسان

برای حالت همسان، نتایج مشابهی با حالت غیرهمسان، به علت عدم تغییر سرعت موج برشی استفاده شده برای هر دو ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری بدست آمده است، هرچند که منحنی رفتار پینامیکی حالت‌های همسان و غیرهمسان اندکی با هم تفاوت داشتند. شکل ۳-۲۳ تغییرات نسبت بزرگ نمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم برای حالت منحنی رفتاری همسان را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش شتاب سنگ بستر، مقادیر نسبت بزرگنمایی در سطح زمین برای مصالح بارگذاری شده تحت فرکانس پایین، دارای اثر افزایشی زیاد، برای مصالح آزمایش شده در فرکانس نزدیک به فرکانس غالب دارای تاثیر متوسط و برای مصالح بارگذاری شده در فرکانس بالا، کم‌تاثیر است. مقادیر نسبت بزرگنمایی از مقادیر نظیر غیرهمسان اندکی کمتر است. همچنین افزایش شتاب سنگ بستر سبب کاهش سریعتر دامنه بزرگنمایی در فرکانس‌های بالاتر می‌شود و فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی با افزایش شتاب سنگ بستر کاهش می‌یابد. افزایش فرکانس بارگذاری مصالح سبب کاهش نسبت بزرگنمایی می‌شود.

شکل ۳-۲۴ تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ را نشان می‌دهد. نکته بسیار جالب برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم کاهش نیافتن طیف شتاب در پریودهای بالا می‌باشد (وجود یک قله بعد از پریود 0.5 ثانیه). افزایش شتاب طیفی برای فرکانس بارگذاری پایین و کاهش شتاب با افزایش فرکانس هم از جمله نکات جالب توجه است. مقادیر شتاب طیفی همسان به مقدار جزئی کمتر از مقادیر نظیر غیرهمسان است. برای بررسی دقیق‌تر شکل ۳-۲۵ ضریب بازتاب (B)[10] در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ نشان داده شده است. نکته جالب کاهش ضریب بازتاب با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح در پریودهای کم و افزایش ضریب بازتاب در پریودهای بالا است. مقادیر ضریب بازتاب همسان به مقدار

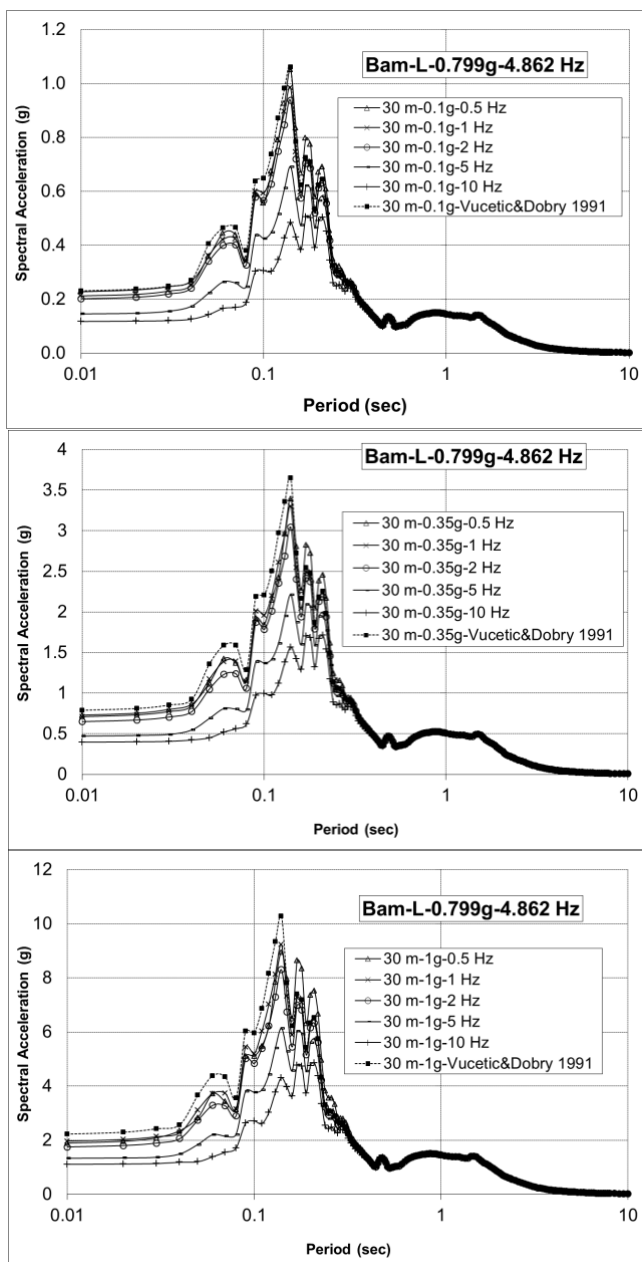
جزئی کمتر از مقادیر نظیر غیرهمسان است. شکل ۳-۲۶ تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ را نشان می‌دهد. در این مطالعه مقدار شتاب طیفی برای ستون خاک با مشخصات مصالح 0.5 هرتز به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است.



شکل ۳-۲۳- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی

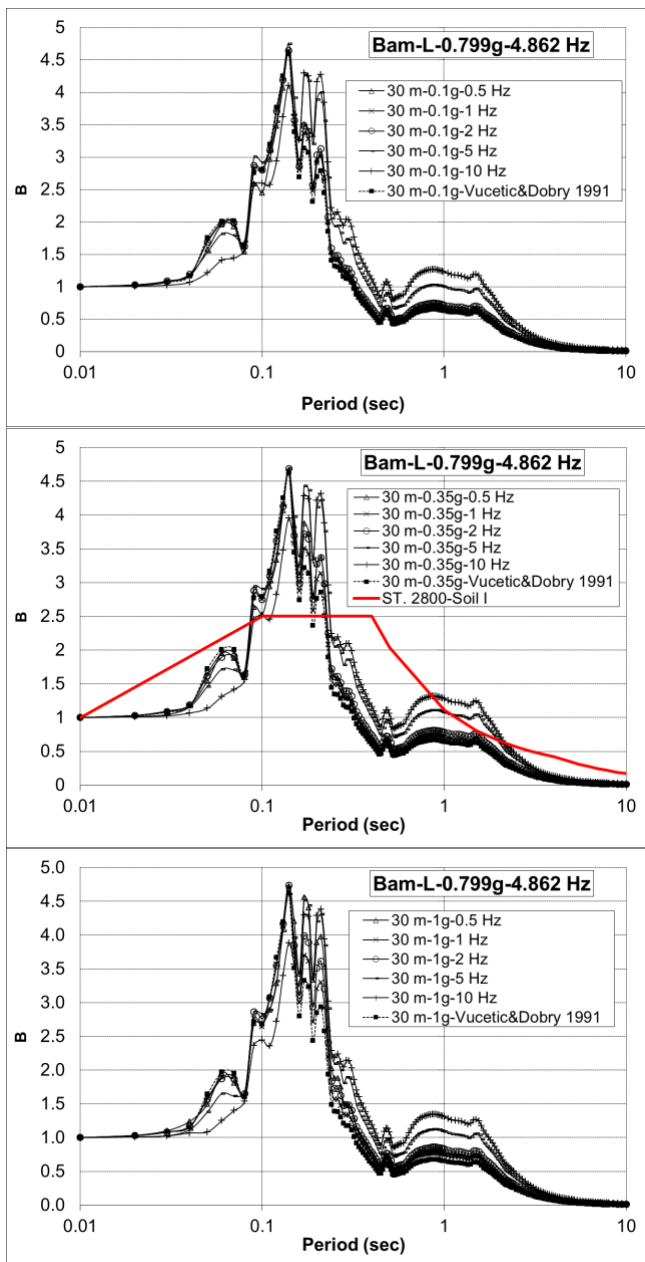


۱۳۲ / طیف طرح برای زلزله‌های میدان نزدیک با نگاهی بر اثر محتوای فرکانسی

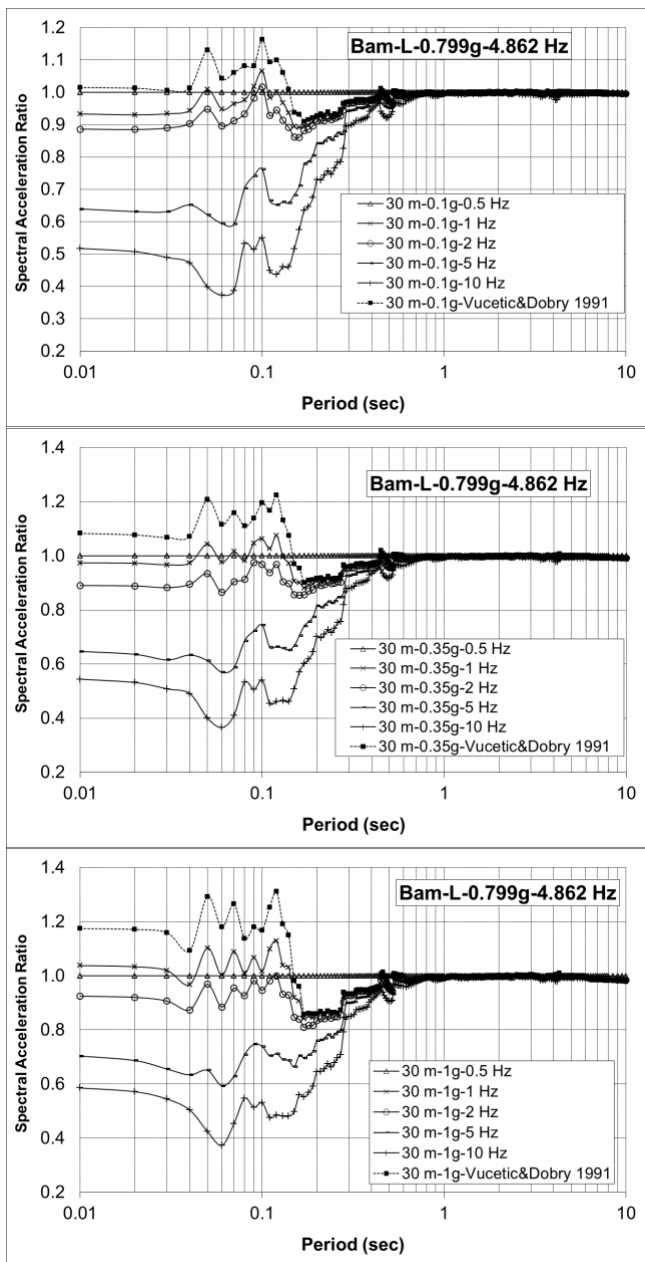


شکل ۳-۲۴- تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای

سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی

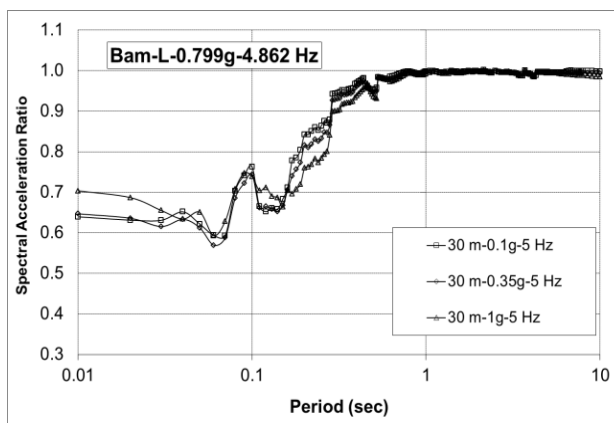


شکل ۳-۲۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی

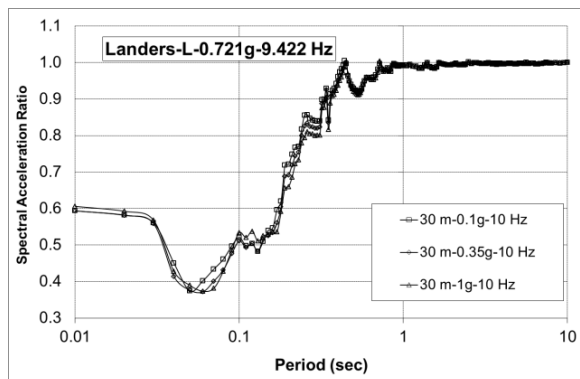


شکل ۳-۲۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت
موج صحرائی

ملاحظه می شود که با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح به کار رفته در ستون خاک، نسبت شتاب طیفی کاهش می یابد. از نکات جالب توجه متفاوت، نسبت شتاب طیفی در صورت استفاده از مقادیر میرایی و نسبت مدول برشی ووستیک و ددوبری [58] و همچنین منحنی های ۱ هرتز در محدوده پریود ۰/۱ ثانیه است که نسبت مذکور بیش از ۱ و بیشتر از مقادیر نظیر غیرهمسان می باشد. برای سایر فرکانسها، مقادیر نسبت شتاب طیفی همسان بیش از مقادیر نظیر غیرهمسان می باشد. با افزایش شتاب سنگ بستر نسبت مذکور در محدوده پریودهای یاد شده افزایش می یابد. چنانچه تطابق فرکانس غالب زلزله با فرکانس بارگذاری مصالح مدنظر باشد (حدود ۴/۹ هرتز مولفه عمود بر گسل زلزله بم به ۵ هرتز بارگذاری مصالح) مطابق شکل ۳-۲۷ نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g حدود ۰/۶ می باشد که بیشتر از مقادیر نظیر غیرهمسان می باشد. مقادیر مذکور برای زلزله لندرز با فرکانس غالب حدود ۹/۴ هرتز، بین ۰/۴ است (شکل ۳-۲۸). بنابراین انتخاب مصالح تحت فرکانس بارگذاری مناسب در تطابق نسبی با فرکانس غالب زلزله اهمیت است. با در نظرگیری تطابق فرکانس زلزله بار فرکانس بارگذاری مصالح، نسبت شتاب طیفی حالت غیرهمسان کمتر از مقادیر نظیر همسان می باشد.



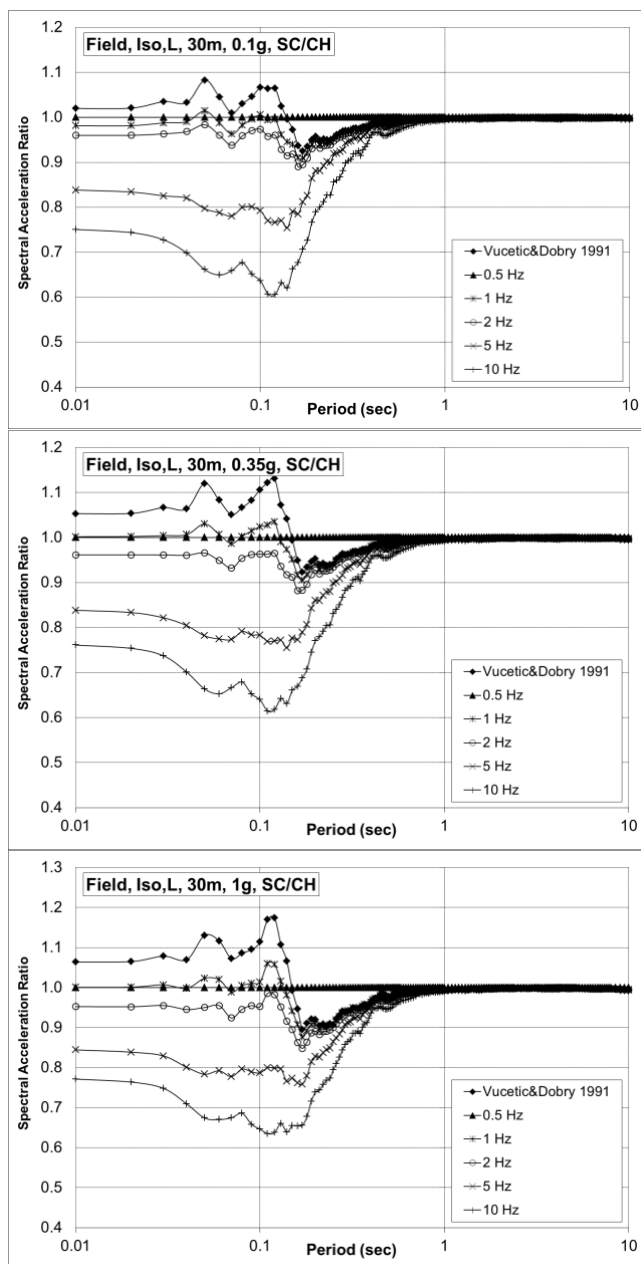
شکل ۳-۲۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۵ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی



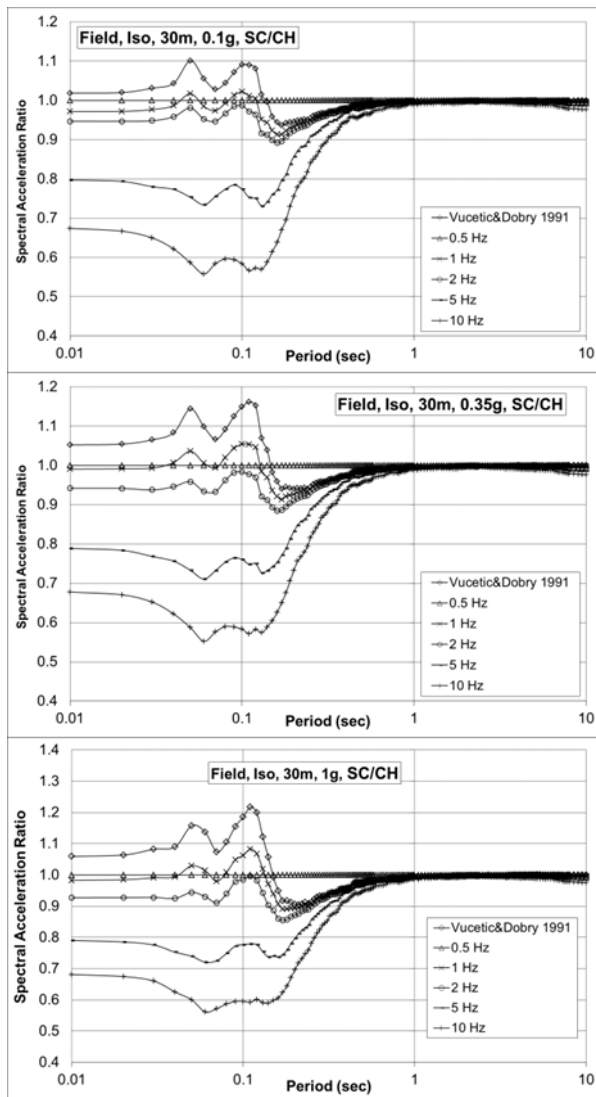
شکل ۳-۲۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۱۰ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرائی

شکل ۳-۲۹ و ۳-۳۰ تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g به ترتیب برای مولفه عمود بر گسل و هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک انتخابی را نشان می‌دهد که تاثیر فرکانس بارگذاری مصالح بر نسبت طیف شتاب به وضوح مشخص است. در کل مقادیر نسبت شتاب طیفی متوسط مولفه عمود بر گسل کمتر از مقادیر نظیر برای سه مولفه زلزله می باشد. ضمناً مقادیر نسبت شتاب طیفی حالت غیرهمسان کمتر از نظیر همسان می باشد. دیگر اینکه، مشابه نسبت شتاب طیفی در صورت استفاده از مقادیر میرایی و نسبت مدول برشی ووستیک و دوبری [58]، برای منحنی های ۱ هرتز در محدوده پریود ۱ ثانیه بیش از ۱ بدست می آید که بیشتر از مقادیر نظیر غیرهمسان می باشد.

شکل ۳-۳۱ تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می دهد. ملاحظه می شود که فرکانس بارگذاری مصالح اثر زیادی بر طیف سرعت نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف سرعت نسبی ندارد. مقادیر شتاب سنگ بستر بر مقدار حداکثر طیف سرعت نسبی تاثیر دارد اما بر فرم کلی منحنی طیف سرعت نسبی تاثیر ناچیزی دارد. تفاوت چندانی بین مقادیر نظیر همسان و غیرهمسان برای طیف سرعت نسبی وجود ندارد.



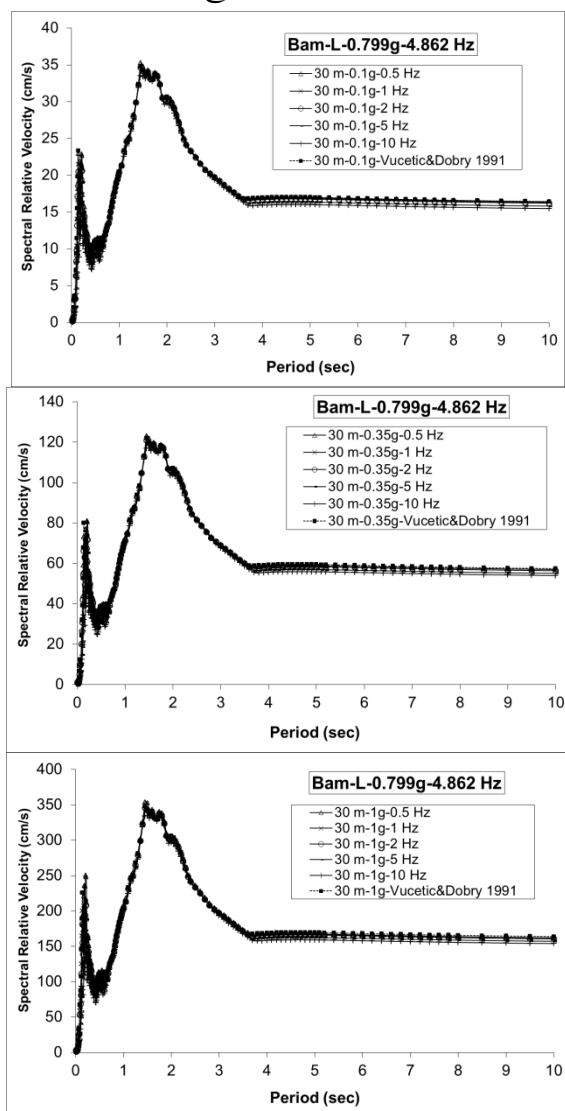
شکل ۳-۲۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g و ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی



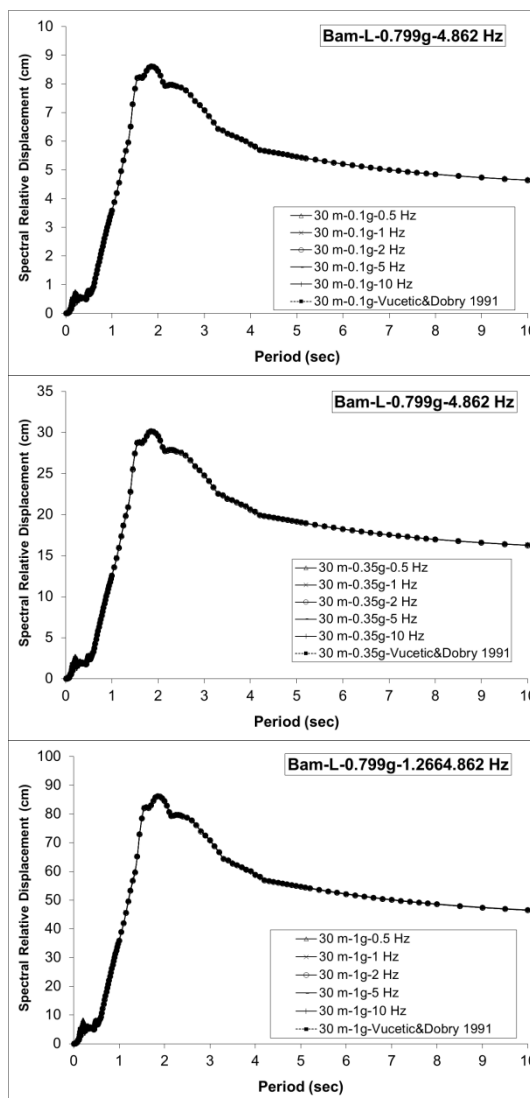
شکل ۳-۳- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری در حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها
مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی

شکل ۳-۳۲ تغییرات طیف جابه‌جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری
تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل
زلزله بم را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که فرکانس بارگذاری مصالح اثر چندانی بر
طیف جابه‌جایی نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف

جابه جایی نسبی ندارد. مقدار حداکثر طیف جابه جایی نسبی وابسته به مقادیر شتاب سنگ بستر است و با افزایش شتاب افزایش می یابد، اما فرم کلی منحنی طیف جابه جایی نسبی وابسته به فرکانس بارگذاری مصالح نیست.



شکل ۳-۳۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان
سرعت موج صحرایی



شکل ۳-۳- تغییرات طیف جابه‌جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان
سرعت موج صحرایی

۳-۳-۴- ستون خاک ۶۰ متری حالت همسان

شکل ۳-۳۳ تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH برای حالت همسان را نشان می‌دهد. تفاوت قابل ملاحظه‌ای

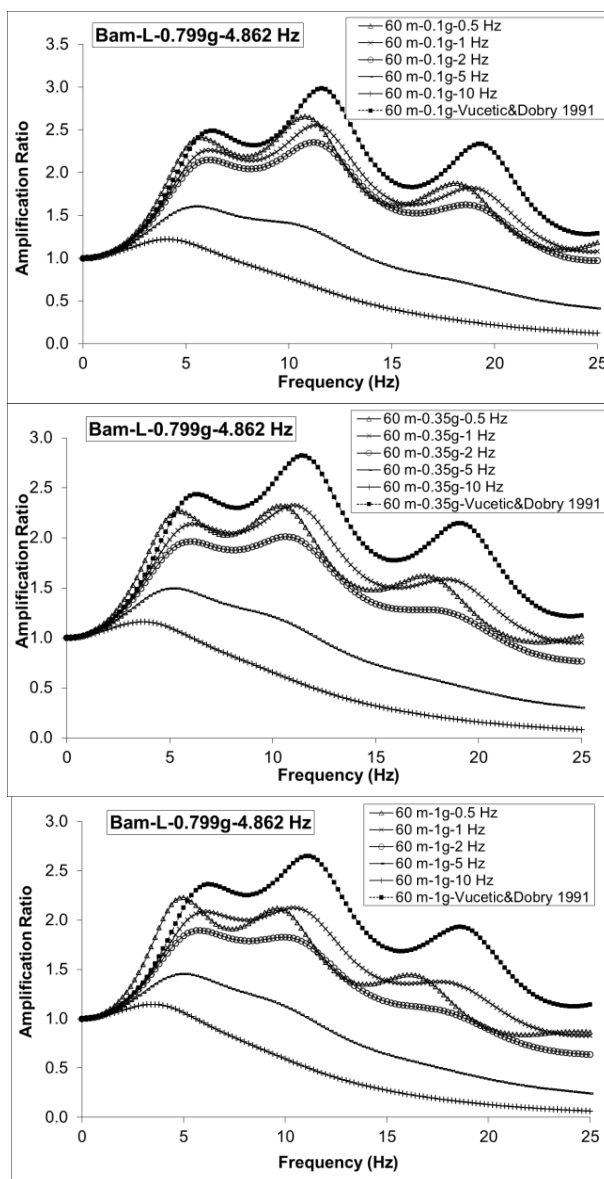
به شکل نسبت بزرگنمایی ستون خاک ۳۰ متری و ۶۰ متری از نظر تعداد نقاط قله و مقدار بزرگنمایی وجود دارد. اما مقادیر نظیر همسان اندکی کمتر از مقادیر نظیر غیر همسان می باشد. ملاحظه می شود که با افزایش شتاب سنگ بستر، مقادیر نسبت بزرگنمایی سطح برای مصالح بارگذاری تحت فرکانس پایین، دارای اثر زیاد، برای مصالح آزمایش شده در فرکانس نزدیک با فرکانس غالب دارای تاثیر متوسط و برای مصالح بارگذاری شده در فرکانس بالا بی تاثیر است. ضمناً افزایش شتاب سنگ بستر سبب کاهش سریع تر دامنه بزرگنمایی در فرکانس های بالاتر می شود و همچنین فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی با افزایش شتاب سنگ بستر و فرکانس بارگذاری مصالح کاهش می یابد. مقادیر نسبت بزرگنمایی برای ستون خاک ۶۰ متری کمتر از مقادیر نظیر ۳۰ متری است. در ضمن فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی برای ستون خاک ۶۰ متری خصوصاً در فرکانس بارگذاری پایین مصالح بیش از مقادیر نظیر ستون خاک ۳۰ متری است. شکل ۳-۳۴ تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ را نشان می دهد. بطورکلی مقادیر طیف شتاب ستون خاک ۶۰ متری کمتر از مقدار نظیر ستون ۳۰ متری می باشد. مقادیر طیف شتاب همسان به صورت جزئی بیشتر از مقادیر نظیر غیرهمسان می باشد. ضمناً پریود نظیر شاخه نزولی طیف برای ستون خاک ۶۰ متری در پریودهای بزرگتری در مقایسه با ستون خاک ۳۰ متری رخ می دهد. نکته بسیار جالب مشابه ستون خاک ۳۰ متری برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم کاهش نیافتن طیف شتاب در پریودهای بالا است (وجود یک قله بعد از پریود 0.5 ثانیه). برای بررسی دقیق تر شکل ۳-۳۵ ضریب بازتاب (B) در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ نشان داده شده است. ملاحظه می شود که ضریب بازتاب با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح در پریودهای کم کاهش و ضریب بازتاب در پریودهای بالا افزایش می یابد. کاهش اندک B در پریود های کم و افزایش جزئی B در پریودهای بالا برای ستون خاک ۶۰ متری در مقایسه با ستون خاک ۳۰ متری از دیگر موارد مشاهده شده است. مقادیر B همسان به صورت جزئی بیشتر از مقادیر نظیر



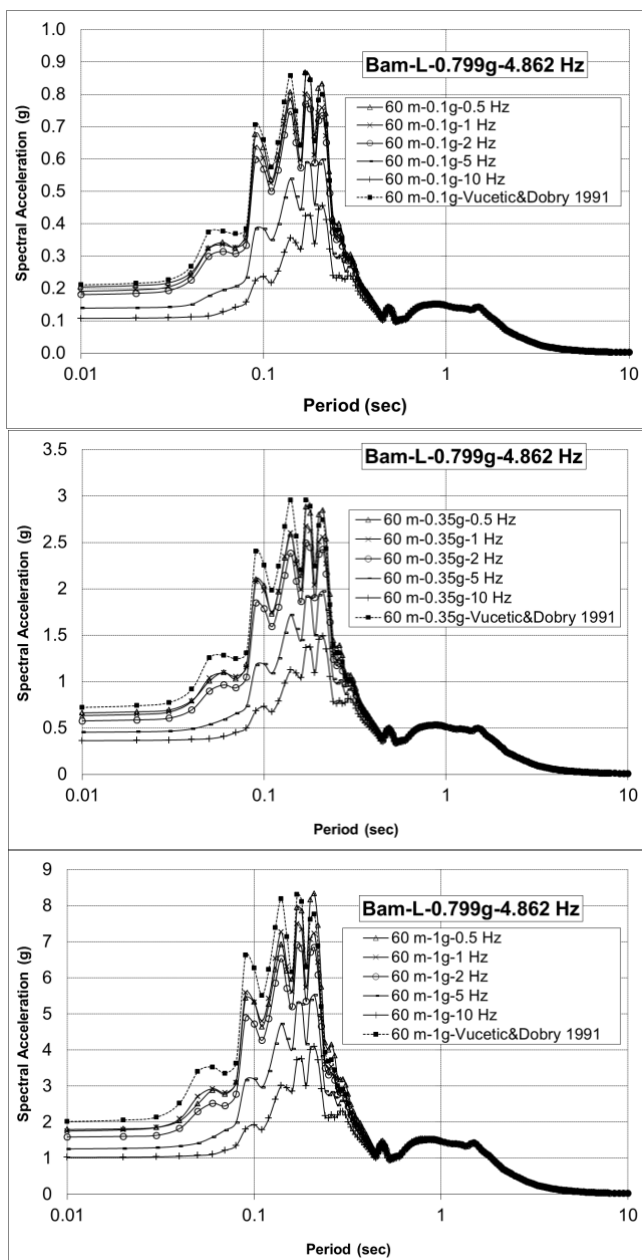
غیرهمسان می باشد. شکل ۳-۳۶ تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می‌دهد. در این مطالعه مقدار شتاب طیفی برای ستون خاک با مشخصات مصالح آزمایش شده تحت فرکانس 0.5 هرتز به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح به کار رفته در ستون خاک، نسبت شتاب طیفی کاهش می‌یابد. از نکات جالب توجه، تفاوت نسبت شتاب طیفی در صورت استفاده از مقادیر میرایی و نسبت مدول برشی و وستیک و دوبری [58] در محدوده 0.1 ثانیه و کمتر می‌باشد که مقادیر نسبت مذکور بالای ۱ می‌باشد. ضمناً با افزایش عمق ستون خاک از ۳۰ متری به ۶۰ متری، مقادیر نظیر در بخش وستیک و دوبری [58] و همچنین فرکانس ۱ هرتز افزایش و برای فرکانسهای بالا کاهش می‌یابد. مقادیر نسبت شتاب طیفی همسان به صورت جزئی بیشتر از مقادیر نظیر غیرهمسان می‌باشد. با افزایش شتاب سنگ بستر نسبت مذکور در محدوده پریودهای یاد شده، افزایش می‌یابد. چنانچه تطابق فرکانس غالب زلزله با فرکانس بارگذاری مصالح مدنظر باشد (مثلاً فرکانس غالب حدود $4/9$ هرتز مولفه عمود بر گسل زلزله بم و ۵ هرتز بارگذاری مصالح) مطابق شکل ۳-۳۷ برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم، نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ بین 0.6 تا 0.5 می‌باشد. مقادیر مذکور برای زلزله لندرز با فرکانس غالب حدود $9/4$ هرتز حدود 0.3 است. در کل مقادیر نسبت شتاب طیفی با افزایش عمق ستون خاک کاهش می‌یابد (شکلهای ۳-۳۷ و ۳-۳۸). مقادیر نسبت شتاب طیفی همسان با در نظر گیری وابستگی فرکانسی بیشتر از مقادیر نظیر غیرهمسان می‌باشد.

شکل ۳-۳۹ و ۳-۴۰ تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ را به ترتیب برای مولفه عمود بر گسل و هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک انتخابی برای مصالح SC/CH را نشان می‌دهد که تاثیر فرکانس بارگذاری مصالح بر نسبت طیف شتاب به

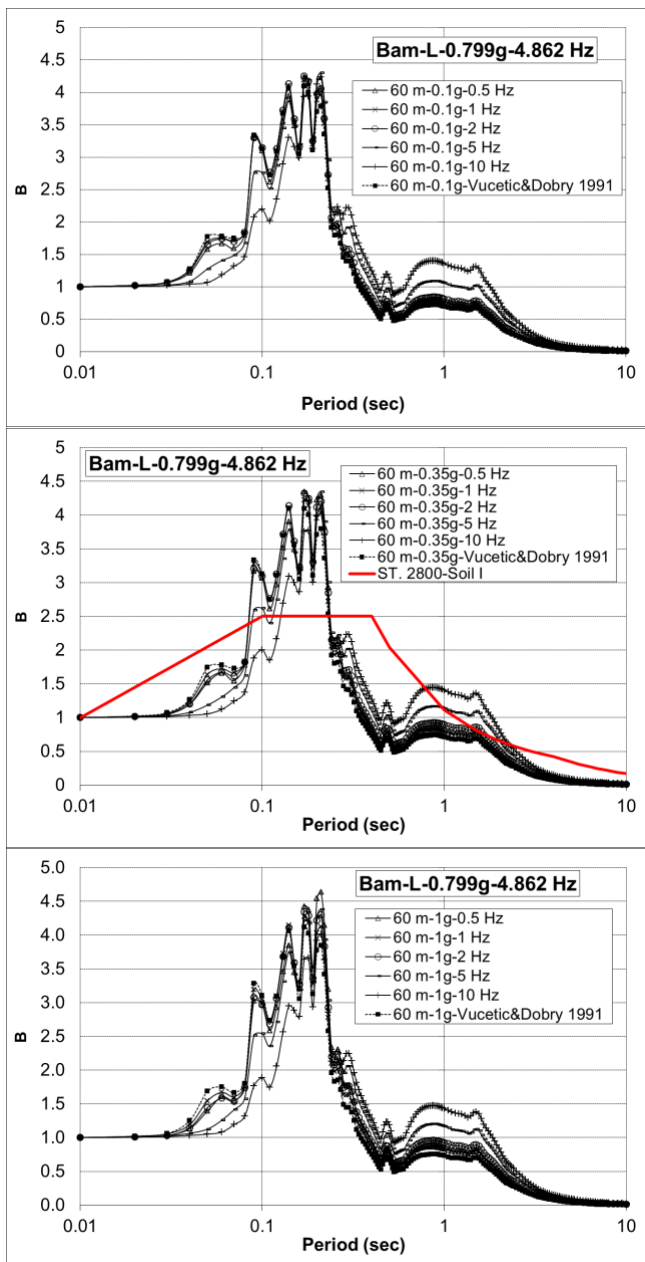
وضوح مشخص است. افزایش عمق ستون خاک از ۳۰ متر به ۶۰ متر، باعث کاهش نسبت شتاب طیفی می گردد. مقادیر نسبت شتاب طیفی متوسط همسان به صورت جزئی بیشتر از مقادیر نظیر غیرهمسان می باشد.



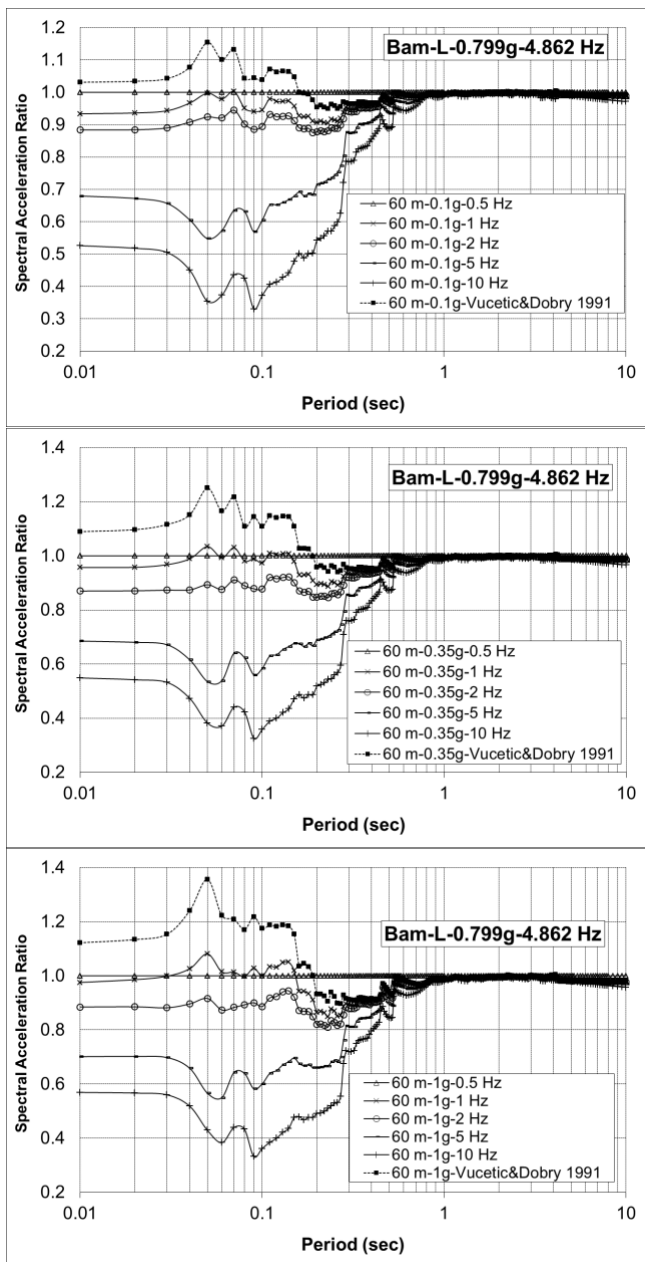
شکل ۳-۳- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرائی



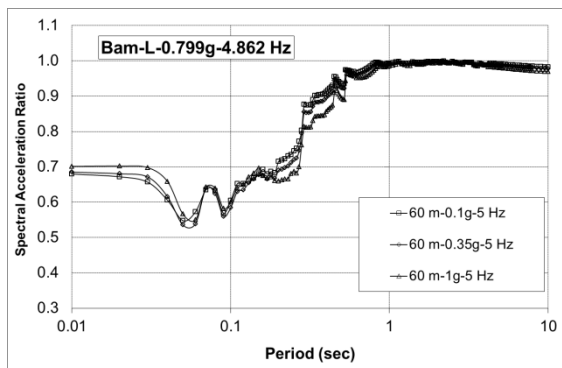
شکل ۳-۳۴- تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرائی



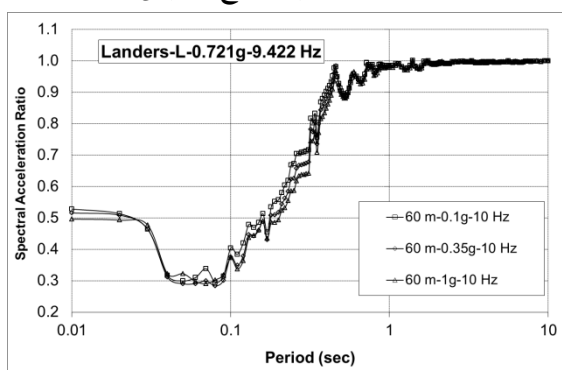
شکل ۳-۳۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرائی



شکل ۳-۳۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان
سرعت موج صحرائی

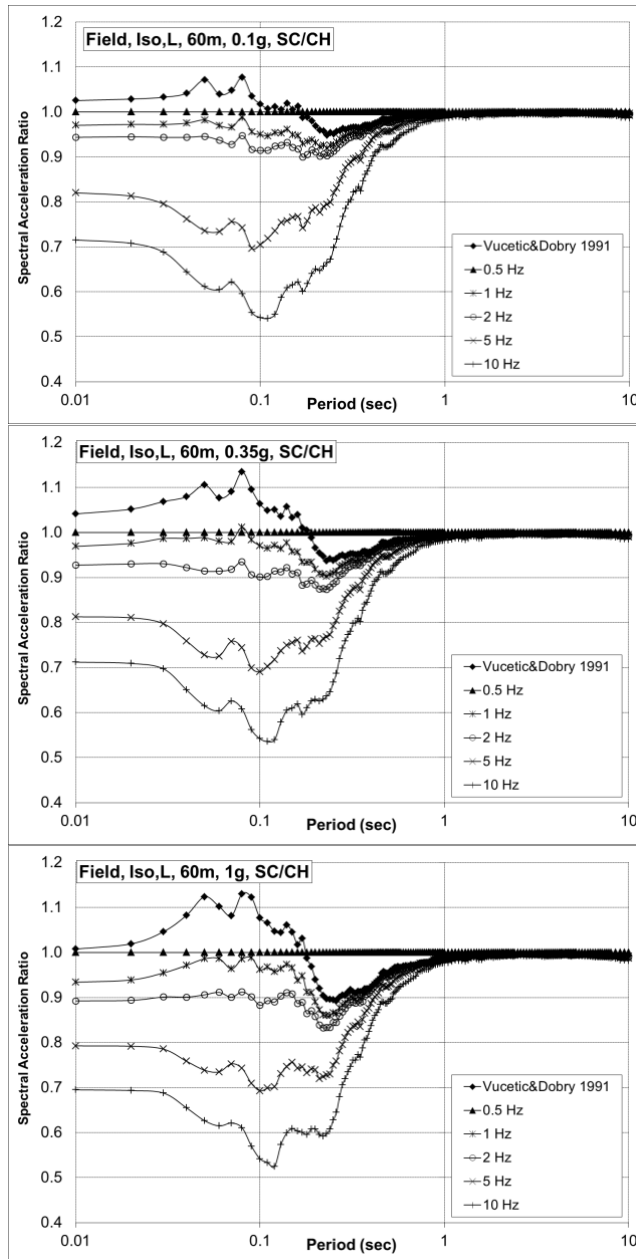


شکل ۳-۳۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و در فرکانس ۵ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی

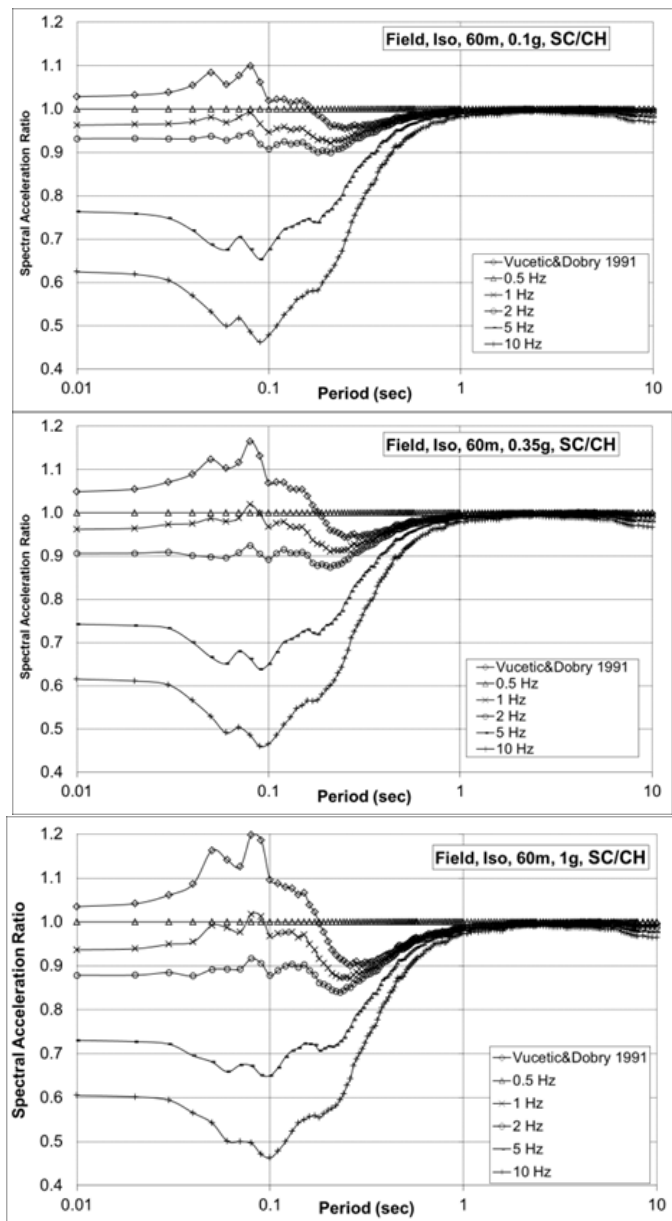


شکل ۳-۳۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۹۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۱۰ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز

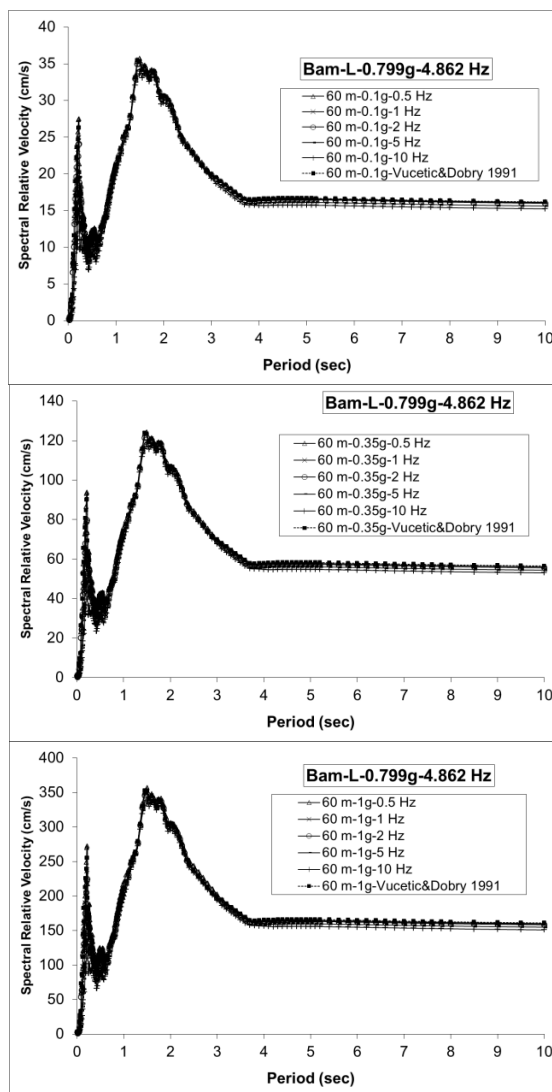
شکل ۳-۴۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که فرکانس بارگذاری مصالح اثر چندانی بر طیف سرعت نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف سرعت نسبی ندارد. مقادیر شتاب روی سنگ بستر بر مقدار حداکثر طیف سرعت نسبی تاثیر دارد اما بر فرم کلی منحنی طیف سرعت نسبی بسیار کم تاثیر است. افزایش عمق ستون خاک تاثیری بر طیف سرعت نسبی ندارد. مقادیر طیف سرعت نسبی همسان و غیرهمسان تقریباً یکسان می باشد.



شکل ۳-۳۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی



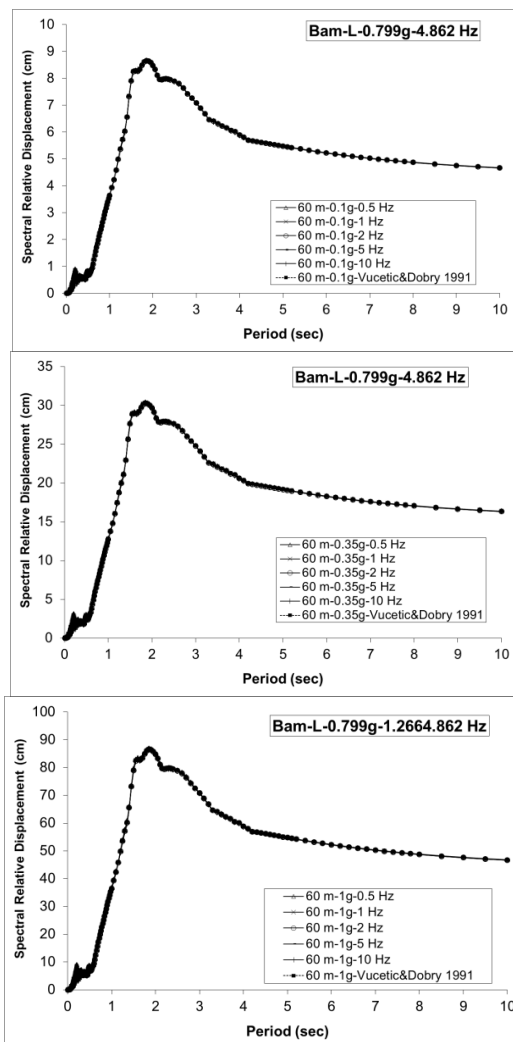
شکل ۳-۴۰- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g و ۰/۳۵g و ۱g برای هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج صحرایی



شکل ۳-۴۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان
سرعت موج صحرایی

شکل ۳-۴۲ تغییرات طیف جابه‌جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری
تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل
زلزله بم را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که فرکانس بارگذاری مصالح اثر چندانی بر
طیف جابه‌جایی نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف

جابه جایی نسبی ندارد. مقدار حداکثر طیف جابه جایی نسبی، وابسته به مقادیر شتاب روی سنگ بستر است و با افزایش شتاب افزایش می یابد، اما فرم کلی منحنی طیف جابه جایی نسبی وابسته به فرکانس بارگذاری مصالح نیست. افزایش عمق ستون خاک تاثیری بر طیف جابه جایی نسبی برای خاک نوع I ندارد. مقادیر طیف جابه جایی نسبی همسان و غیرهمسان تقریباً یکسان است.



شکل ۳-۴- تغییرات طیف جابه جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH همسان سرعت
موج صحرایی



۳-۴- نتایج تحلیلها برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی

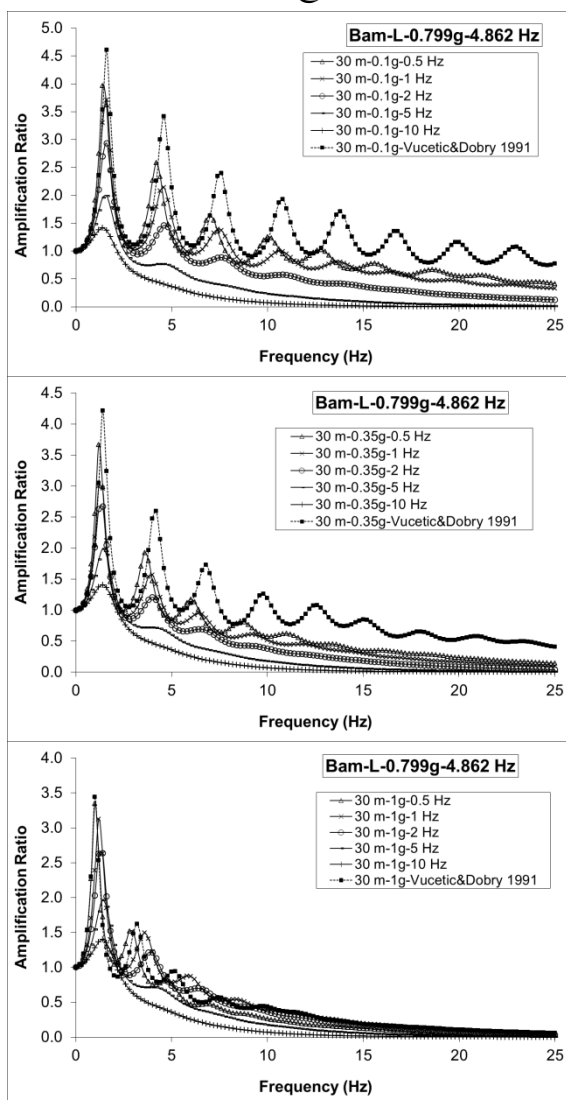
با اندازه گیری سرعت موج برشی آزمایشگاهی برای نمونه ها تحلیلهایی برای حالتهای همسان و غیرهمسان انجام شد که نتایج آنها برای ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری به طور جداگانه ارائه می شود. با توجه به سرعت موج برشی برای ۳۰ متر بالای، نوع خاک حالت غیرهمسان و همسان به ترتیب نوع III و IV آیین نامه ۲۸۰۰ خواهد بود. این نوع مصالح معرف خاکریزهای مهندسی می باشد.

۳-۴-۱- ستون خاک ۳۰ متری غیرهمسان

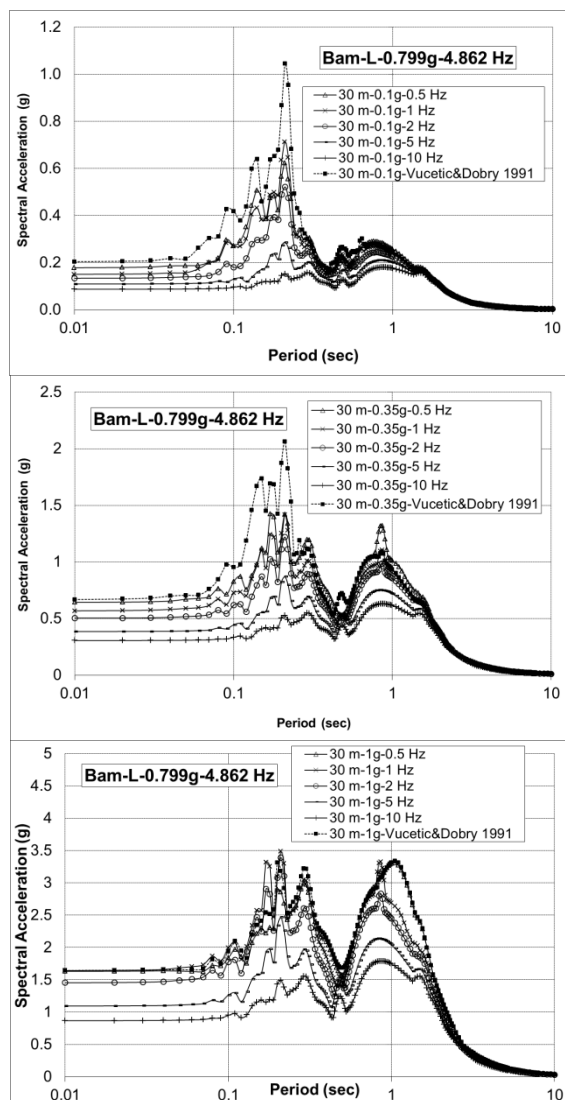
شکل ۳-۴۳ تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH را نشان می دهد. ملاحظه می شود که با افزایش شتاب سنگ بستر، مقادیر نسبت بزرگنمایی در سطح زمین برای مصالح بارگذاری شده تحت فرکانس پایین، دارای اثر افزایشی زیاد، برای مصالح آزمایش شده در فرکانس نزدیک به فرکانس غالب دارای تاثیر متوسط و برای مصالح بارگذاری شده در فرکانس بالا، کم تاثیر است. همچنین افزایش شتاب سنگ بستر سبب کاهش سریعتر دامنه بزرگنمایی در فرکانس های بالاتر می شود و فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی با افزایش شتاب سنگ بستر کاهش می یابد. افزایش فرکانس بارگذاری مصالح سبب کاهش نسبت بزرگنمایی می شود. نکته تامل برانگیز اینکه علاوه بر وجود قله بزرگنمایی فرکانس بیش از ۱ هرتز، چندین قله بزرگنمایی دیگری در بزرگتر وجود دارد که این رفتار فقط برای مصالح SC/CH مشاهده شده است. نکته قابل توجه کاهش فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی برای خاک نوع III (حدود ۱ هرتز) در مقایسه با خاک نوع I (بیش از ۵ هرتز) می باشد. ضمناً نسبت بزرگنمایی با تغییر نوع خاک از نوع III به نوع I کاهش می یابد.

شکل ۳-۴۴ تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ را نشان می دهد. نکته بسیار جالب برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم کاهش نیافتن طیف شتاب در پریودهای بالا می باشد (وجود یک قله بعد از پریود ۰/۵ ثانیه). افزایش شتاب طیفی برای فرکانس بارگذاری

پایین و کاهش شتاب با افزایش فرکانس هم از جمله نکات جالب توجه است. کاهش قابل توجه مقدار طیف شتاب با تغییر نوع خاک از I به نوع III جالب توجه است. مقدار طیف شتاب در پریود صفر خاک نوع III کمتر از مقادیر نظیر خاک نوع I است.



شکل ۳-۴- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g و ۳۵g/۰ و ۱g مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

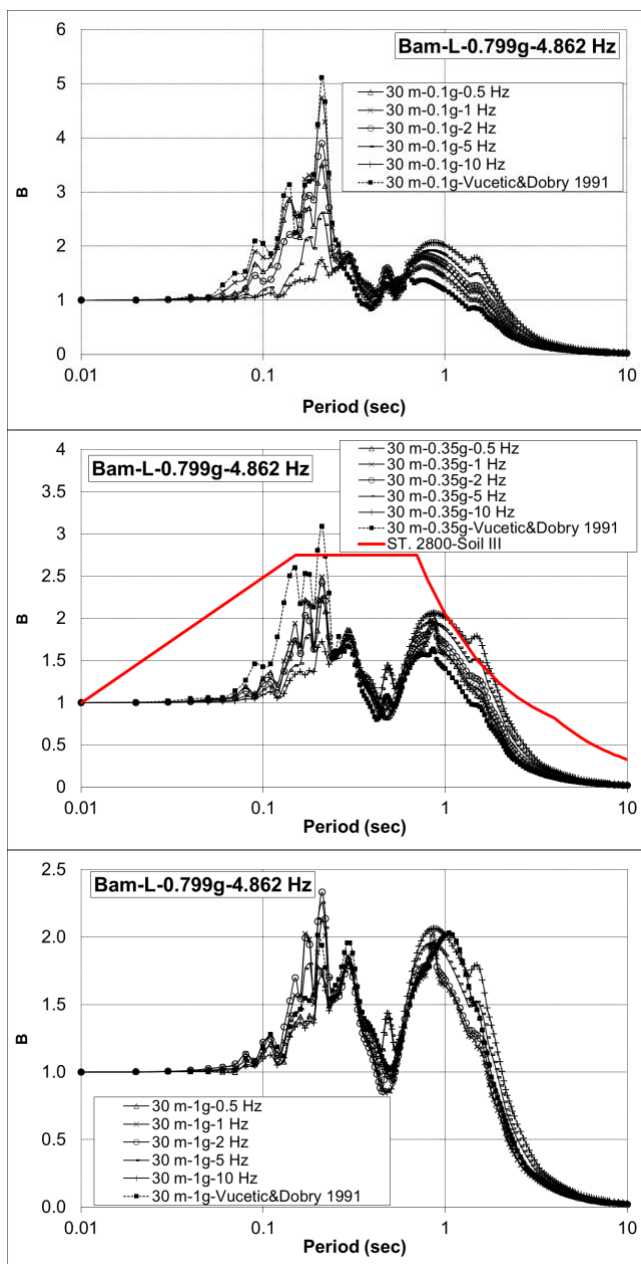


شکل ۳-۴- تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g و ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی برای بررسی دقیق‌تر شکل ۳-۴۵ ضریب بازتاب (B)[10] در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g و ۰/۳۵g و ۱g نشان داده شده است. نکته جالب کاهش ضریب بازتاب با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح در پریودهای کم و افزایش ضریب بازتاب در پریودهای بالا است. شکل ۳-۴۶ تغییرات

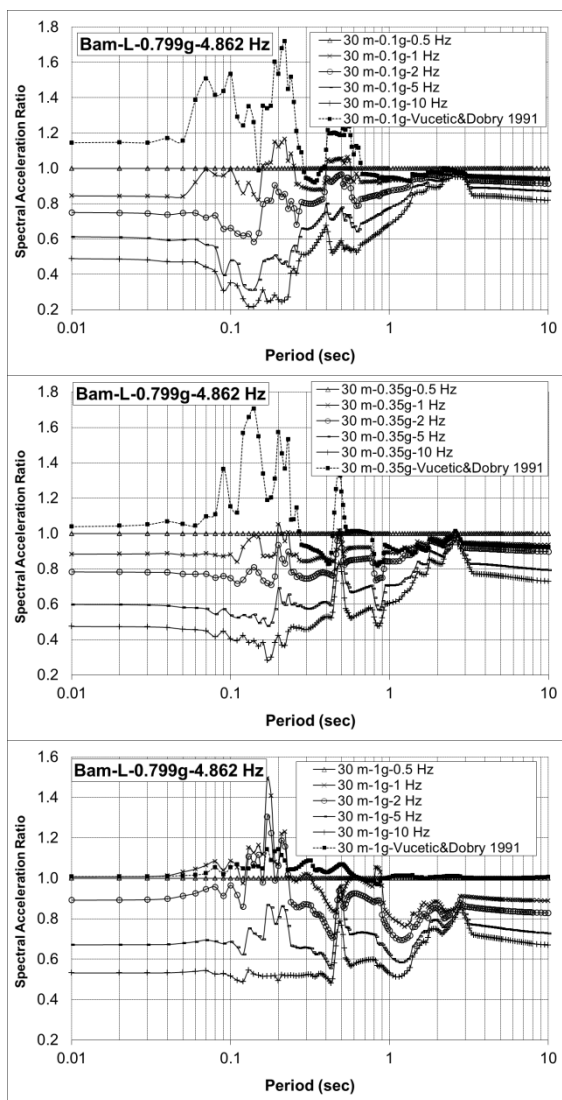
نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ و $0.35g$ و $1g$ را نشان می‌دهد. در این مطالعه مقدار شتاب طیفی برای ستون خاک با مشخصات مصالح 0.1 هرتز به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح به کار رفته در ستون خاک، نسبت شتاب طیفی کاهش می‌یابد. از نکات جالب توجه متفاوت، نسبت شتاب طیفی در صورت استفاده از مقادیر میرایی و نسبت مدول برشی و وستیک و دوبری [58] در محدوده پریود 0.1 در محدوده پریود حدود 0.1 تا 0.6 ثانیه است که نسبت مذکور بیش از 1 می‌باشد. برای فرکانس 1 هرتز و حتی برای 2 هرتز (تنها برای شتابهای $1g$) نسبت مذکور در محدوده فرکانس 0.1 تا 0.9 هرتز در بازه‌هایی اندکی بیش از یک است. برعکس خاک نوع I با افزایش شتاب سنگ بستر نسبت مذکور در محدوده پریودهای یاد شده کاهش می‌یابد. ضمناً مقدار آن در پریودهای بیش از $2/5$ ثانیه هم کمتر از است در صورتیکه برای خاک نوع I این مقدار تقریباً برابر 1 بود. چنانچه تطابق فرکانس غالب زلزله با فرکانس بارگذاری مصالح مدنظر باشد (حدود $4/9$ هرتز مولفه عمود بر گسل زلزله بم به 5 هرتز بارگذاری مصالح) مطابق شکل ۳-۴۷ نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ در محدوده پریود بین 0.1 تا 0.3 ثانیه، به ترتیب 0.31 ، 0.49 و 0.62 (روند افزایش) و اما برای پریودهای بالاتر 1 ثانیه روند تغییر با مقدار بزرگتر و اما برعکس می‌باشد. مقادیر مذکور برای زلزله لندرز با فرکانس غالب حدود $9/4$ هرتز تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ ، در پریود 1 ثانیه به ترتیب 0.2 و 0.2 و 0.35 با توجه به شتاب سنگ بستر است (شکل ۳-۴۸). بنابراین انتخاب مصالح تحت فرکانس بارگذاری مناسب در تطابق نسبی با فرکانس غالب زلزله اهمیت است. شکل ۳-۴۹ و ۳-۵۰ تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ به ترتیب برای مولفه عمود بر گسل و هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک انتخابی را



نشان می‌دهد که تاثیر فرکانس بارگذاری مصالح بر نسبت طیف شتاب به وضوح مشخص است.



شکل ۳-۴۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

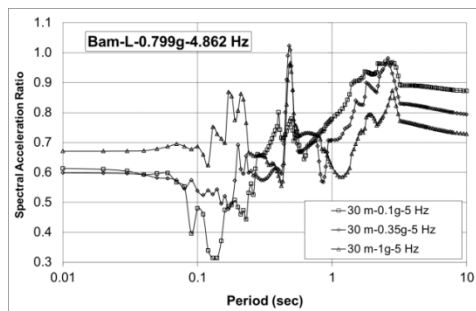


شکل ۳-۴۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل بم مصالح SC/CH غیرهمسان سرعت موج
برشی آزمایشگاهی

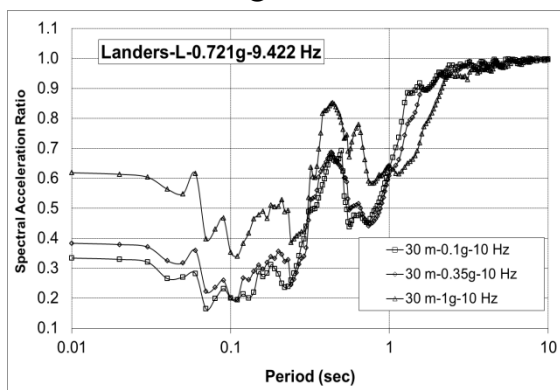
نکته جالب توجه مقادیر بیشتر از ۱ نسبت شتاب طیفی متوسط برای فرکانس ۱ و ۲ و
ووستیک و دوبری [58] در پریودهای کمتر ۱ ثانیه با افزایش شتاب سنگ بستر می
باشد. ضمناً نسبت مذکور برای شتابهای بالا کمتر از مقادیر نظیر خاک نوع I می باشد.



تفاوت دیگر نسبت شتاب طیفی خاک نوع I با خاک نوع III، عدم تمایل به صفر نسبت مذکور برای خاک نوع III است.



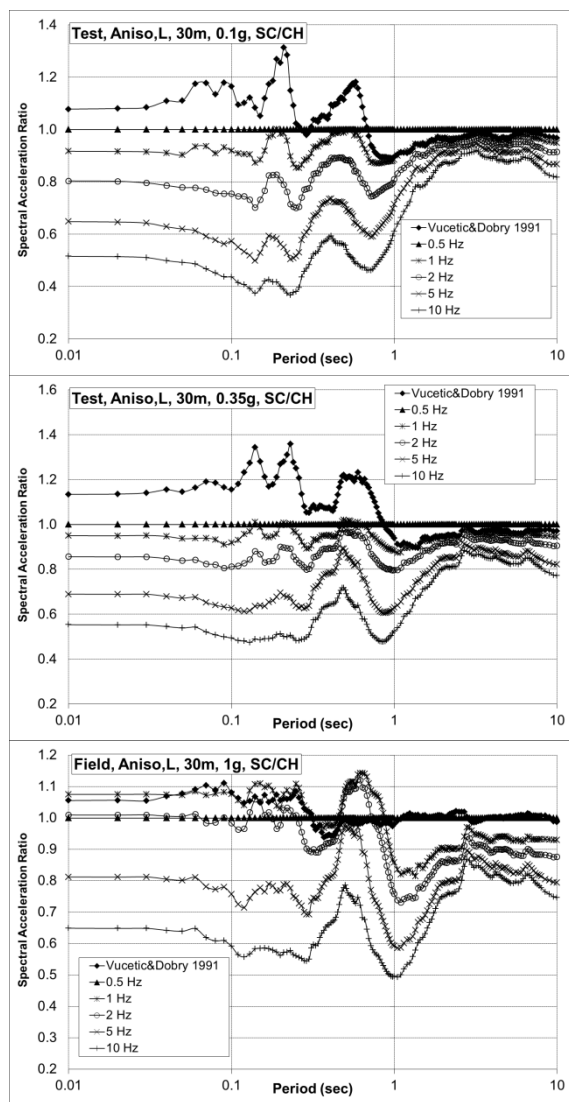
شکل ۳-۴۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۵ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی



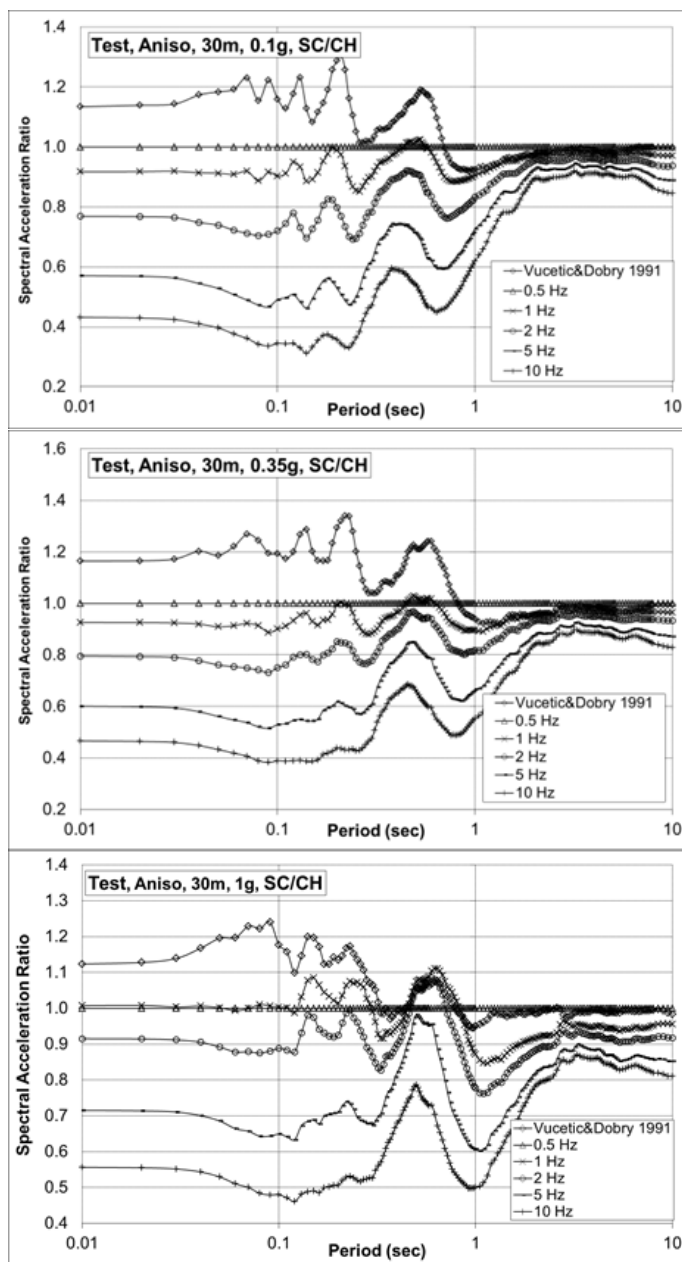
شکل ۳-۴۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۱۰ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

شکل ۳-۵۱ تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود برعکس حالت خاک نوع I که فرکانس بارگذاری مصالح اثر زیادی بر طیف سرعت نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف سرعت نسبی داشته، در حالت خاک نوع III نتایج وابسته به فرکانس است. ضمناً مقدار طیف نسبی شتاب خاک نوع I کمتر از مقادیر نظیر خاک

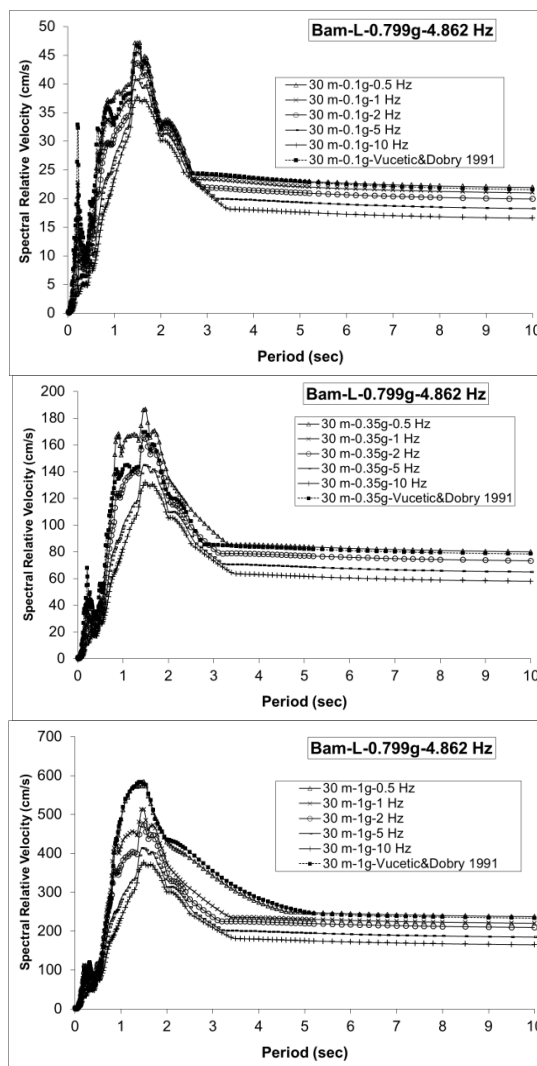
نوع III می باشد. افزایش فرکانس هم سبب کاهش طیف سرعت نسبی می شود. مقادیر شتاب سنگ بستر بر مقدار حداکثر طیف سرعت نسبی تاثیر دارد اما بر فرم کلی منحنی طیف سرعت نسبی تاثیر ناچیزی دارد.



شکل ۳-۴۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل ها مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی



شکل ۳-۵۰- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری در حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

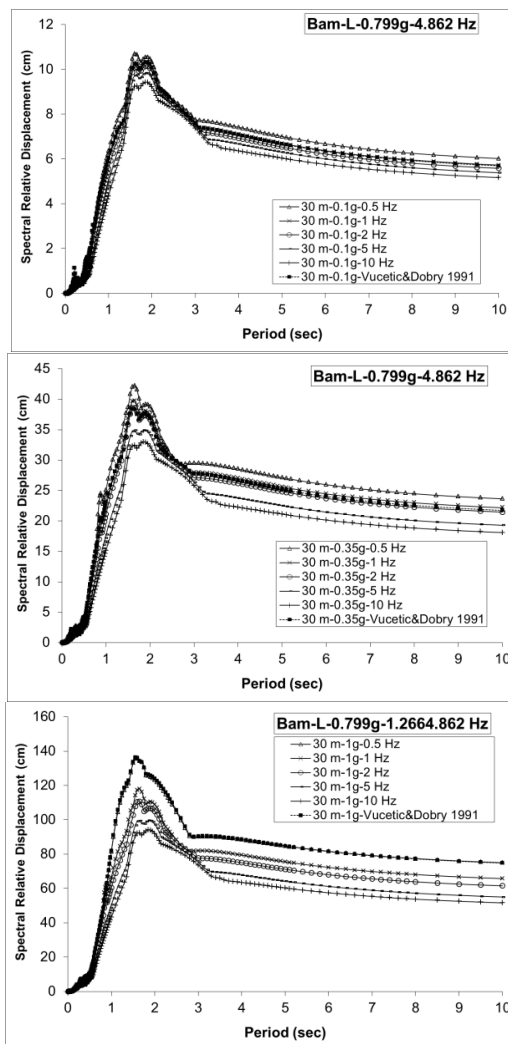


شکل ۳-۵۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود ستون خاک ۳۰ متری تحت شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

شکل ۳-۵۲- تغییرات طیف جابه‌جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود برعکس حالت خاک نوع I که فرکانس بارگذاری مصالح اثر زیادی بر طیف جابه‌جایی نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف سرعت نسبی داشته، در حالت خاک نوع III نتایج وابسته



به فرکانس است و با افزایش فرکانس بارگذاری مقدار آن کاهش می‌یابد. مقدار حداکثر طیف جابه‌جایی نسبی وابسته به مقادیر شتاب سنگ بستر است و با افزایش شتاب افزایش می‌یابد، اما فرم کلی منحنی طیف جابه‌جایی نسبی وابسته به فرکانس بارگذاری مصالح نیست. مقدار طیف جابه‌جایی نسبی با تغییر خاک از نوع I به III افزایش قابل توجهی می‌یابد.



شکل ۳-۵۲- تغییرات طیف جابه‌جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت شتاب سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

۳-۴-۲- ستون خاک ۶۰ متری حالت غیرهمسان

شکل ۳-۵۳ تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش شتاب سنگ بستر، مقادیر نسبت بزرگنمایی در سطح زمین برای مصالح بارگذاری شده تحت فرکانس پایین، دارای اثر افزایشی زیاد، برای مصالح آزمایش شده در فرکانس نزدیک به فرکانس غالب دارای تاثیر متوسط و برای مصالح بارگذاری شده در فرکانس بالا، کم تاثیر است. همچنین افزایش شتاب سنگ بستر سبب کاهش سریعتر دامنه بزرگنمایی در فرکانس‌های بالاتر (اما با شدت بسیار کمتر از خاک نوع I) می‌شود و فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی با افزایش شتاب سنگ بستر کاهش می‌یابد. افزایش فرکانس بارگذاری مصالح سبب کاهش نسبت بزرگنمایی می‌شود. نکته تامل برانگیز اینکه علاوه بر وجود قله بزرگنمایی فرکانس بیش از ۱ هرتز، چندین قله بزرگنمایی دیگری در بزرگتر وجود دارد که این رفتار فقط برای مصالح SC/CH مشاهده شده است. نکته قابل توجه کاهش فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی برای خاک نوع III (حدود ۱ هرتز) در مقایسه با خاک نوع I (بیش از ۵ هرتز) می‌باشد. ضمناً نسبت بزرگنمایی با تغییر نوع خاک از نوع III به نوع I کاهش می‌یابد. مقادیر نسبت بزرگنمایی برای ستون خاک ۶۰ متری بیشتر از مقادیر نظیر ۳۰ متری است.

شکل ۳-۵۴ تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ را نشان می‌دهد. نکته بسیار جالب برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم کاهش نیافتن طیف شتاب در پریودهای بالا می‌باشد (وجود یک قله بعد از پریود 0.5 ثانیه). از دیگر نکات کاهش طیف شتاب در پریودهای کم و افزایش آن در پریودهای بیش از ۱ ثانیه (دارای بیشترین مقدار طیف) با تغییر ستون خاک از ۳۰ به ۲۰ متری می‌باشد. افزایش قابل افزایش شتاب طیفی برای فرکانس بارگذاری پایین و کاهش شتاب با افزایش فرکانس هم از جمله نکات جالب توجه است. کاهش قابل توجه مقدار طیف شتاب با تغییر نوع خاک از I به نوع III



جالب توجه است. ضمناً مقدار طیف شتاب در پریود صفر خاک نوع III کمتر از مقادیر نظیر خاک نوع I می باشد. افزایش پریود نظیر شاخه نزولی طیف به حدود $1/4$ ثانیه برای شتاب $1g$ هم جالب توجه است. برای بررسی دقیق‌تر شکل ۳-۵۵ ضریب بازتاب (B)[10] در برابر پریود برای ستون خاک 60 متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ نشان داده شده است. نامناسب بودن طیف 2800 برای خاک نوع III چه نظر حداکثر در پریودهای کمتر از 1 ثانیه و از نظر نرم طیف در پریودهای بیشتر 1 ثانیه جالب است. نکته جالب کاهش ضریب بازتاب با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح در پریودهای کم و افزایش ضریب بازتاب در پریودهای بالا است. شکل ۳-۵۶ تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک 60 متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ را نشان می‌دهد. در این مطالعه مقدار شتاب طیفی برای ستون خاک با مشخصات مصالح 0.5 هرتز به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح به کار رفته در ستون خاک، نسبت شتاب طیفی کاهش می‌یابد. از نکات جالب توجه متفاوت، نسبت شتاب طیفی در صورت استفاده از مقادیر میرایی و نسبت مدول برشی و وستیک و دوبری [58] در محدوده پریود کمتر از 1 ثانیه است که نسبت مذکور بیش از 1 می‌باشد. برای فرکانس 1 هرتز و با افزایش شتاب تا $1g$ حتی برای 2 هرتز نسبت مذکور در محدوده فرکانس کمتر هرتز در بازه‌هایی اندکی بیش از یک است.

برعکس خاک نوع I با افزایش شتاب سنگ بستر نسبت مذکور در محدوده پریودهای یاد شده کاهش می‌یابد. ضمناً مقدار آن در پریودهای بیش از $2/5$ ثانیه هم کمتر از یک است در صورتیکه برای خاک نوع I این مقدار تقریباً برابر 1 بود. چنانچه تطابق فرکانس غالب زلزله با فرکانس بارگذاری مصالح مدنظر باشد (حدود $4/9$ هرتز مولفه عمود بر گسل زلزله بم به 5 هرتز بارگذاری مصالح) مطابق شکل ۳-۵۷ نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک 30 متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ در محدوده پریود بین 0.1 تا 0.3 ثانیه، به ترتیب 0.28 ، 0.40 و 0.62 (روند افزایش) و اما برای پریودهای بالاتر 1 ثانیه روند تغییر با مقدار بزرگتر و اما

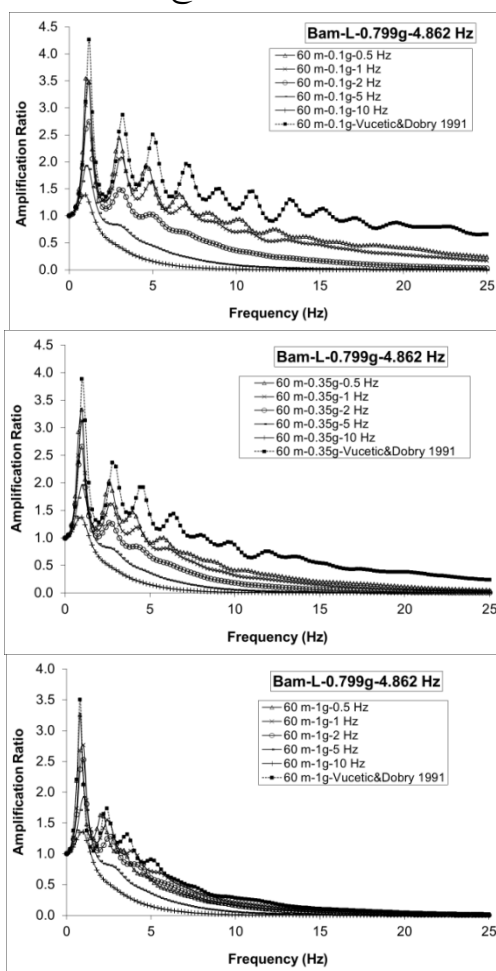
برعکس می باشد که کمتر از مقادیر نظیر ۳۰ متر می باشد. مقادیر مذکور برای زلزله لندرز^۱ با فرکانس غالب حدود ۹/۴ هرتز تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g، در پریود ۰/۱ ثانیه به ترتیب ۰/۱۴ و ۰/۲۶۲ و ۰/۲۵ با توجه به شتاب سنگ بستر است (شکل ۳-۵۸) که کمتر از مقادیر نظیر ۳۰ متر می باشد. بنابراین انتخاب مصالح تحت فرکانس بارگذاری مناسب در تطابق نسبی با فرکانس غالب زلزله اهمیت است. شکل ۳-۵۹ و ۳-۶۰ تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g به ترتیب برای مولفه عمود بر گسل و هر سه مولفه زلزله های میدان نزدیک انتخابی را نشان می دهد که تاثیر فرکانس بارگذاری مصالح بر نسبت طیف شتاب به وضوح مشخص است. نکته جالب توجه مقادیر بیشتر از ۱ نسبت شتاب طیفی متوسط برای ووستیک و دوبری [58] در پریودهای کمتر از ۱ ثانیه و همچنین برای فرکانس ۱ هرتز با افزایش شتاب سنگ بستر می باشد. تفاوت دیگر نسبت شتاب طیفی خاک نوع I با خاک نوع III، عدم تمایل به صفر نسبت مذکور برای خاک نوع III است.

شکل ۳-۵۱ تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می دهد. ملاحظه می شود برعکس حالت خاک نوع I که فرکانس بارگذاری مصالح اثر زیادی بر طیف سرعت نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف سرعت نسبی داشته، در حالت خاک نوع III نتایج وابسته به فرکانس است. ضمناً مقدار طیف نسبی شتاب خاک نوع I کمتر از مقادیر نظیر خاک نوع III می باشد. افزایش فرکانس هم سبب کاهش طیف سرعت نسبی می شود. مقادیر شتاب سنگ بستر بر مقدار حداکثر طیف سرعت نسبی تاثیر دارد اما بر فرم کلی منحنی طیف سرعت نسبی تاثیر ناچیزی دارد. شکل ۳-۵۲ تغییرات طیف جابه جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می دهد. ملاحظه می شود

¹Landers

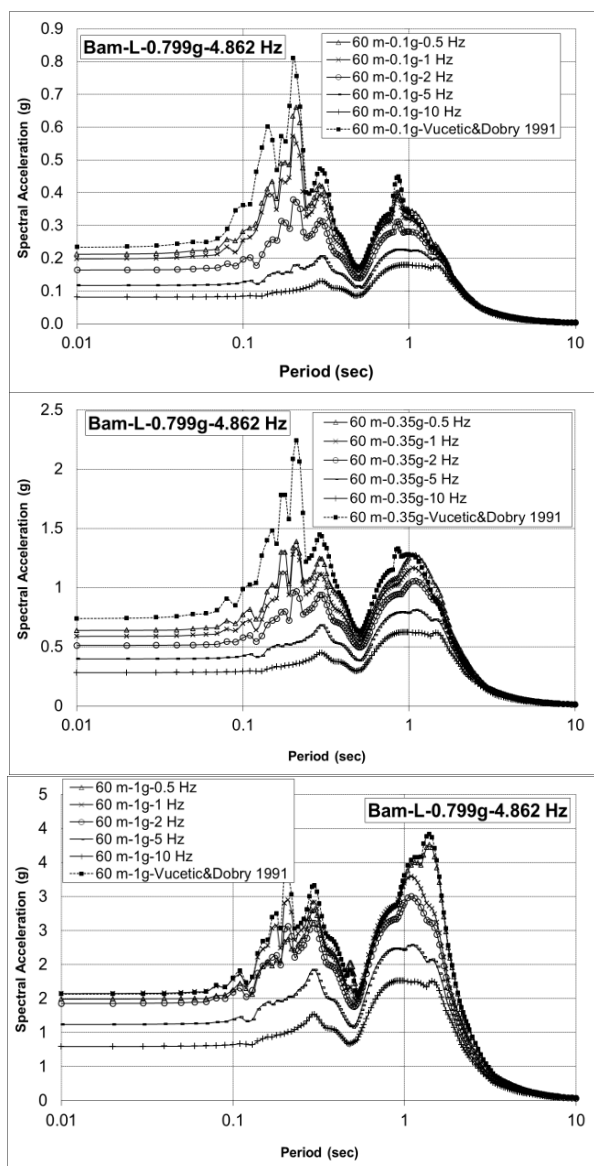


برعکس حالت خاک نوع I که فرکانس بارگذاری مصالح اثر زیادی بر طیف جابه جایی نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف سرعت نسبی داشته، در حالت خاک نوع III نتایج وابسته به فرکانس است و با افزایش فرکانس بارگذاری مقدار آن کاهش می یابد. مقدار حداکثر طیف جابه جایی نسبی وابسته به مقادیر شتاب سنگ بستر است و با افزایش شتاب افزایش می یابد، اما فرم کلی منحنی طیف جابه جایی نسبی وابسته به فرکانس بارگذاری مصالح نیست.

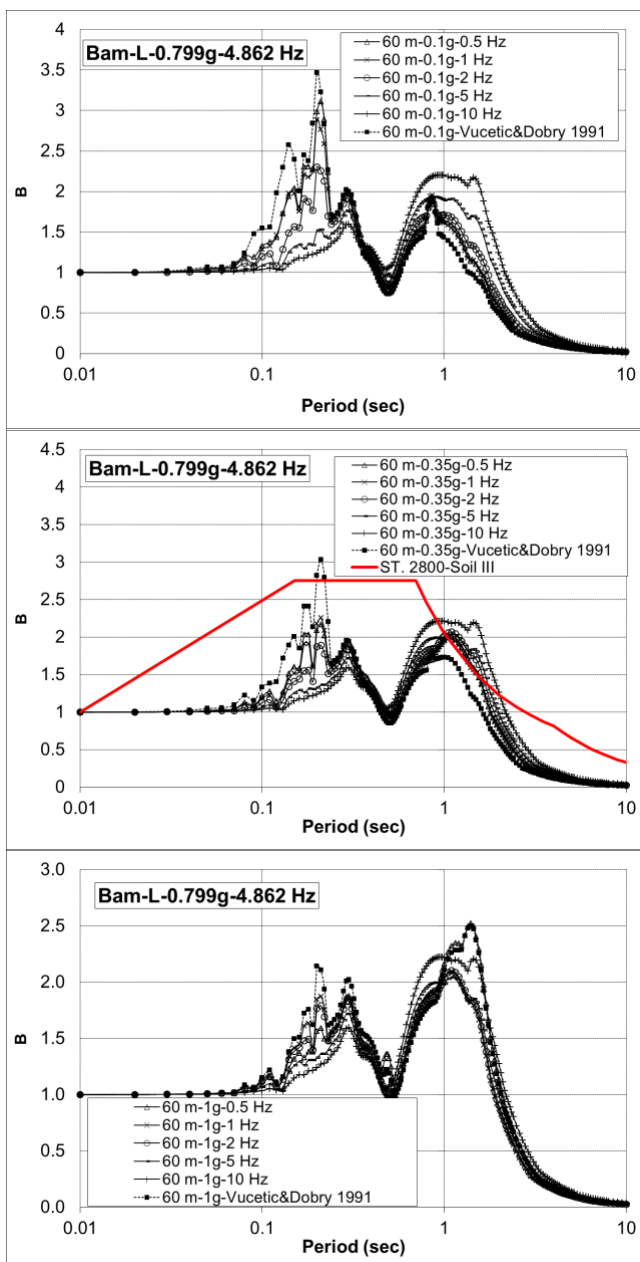


شکل ۳-۵۳- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

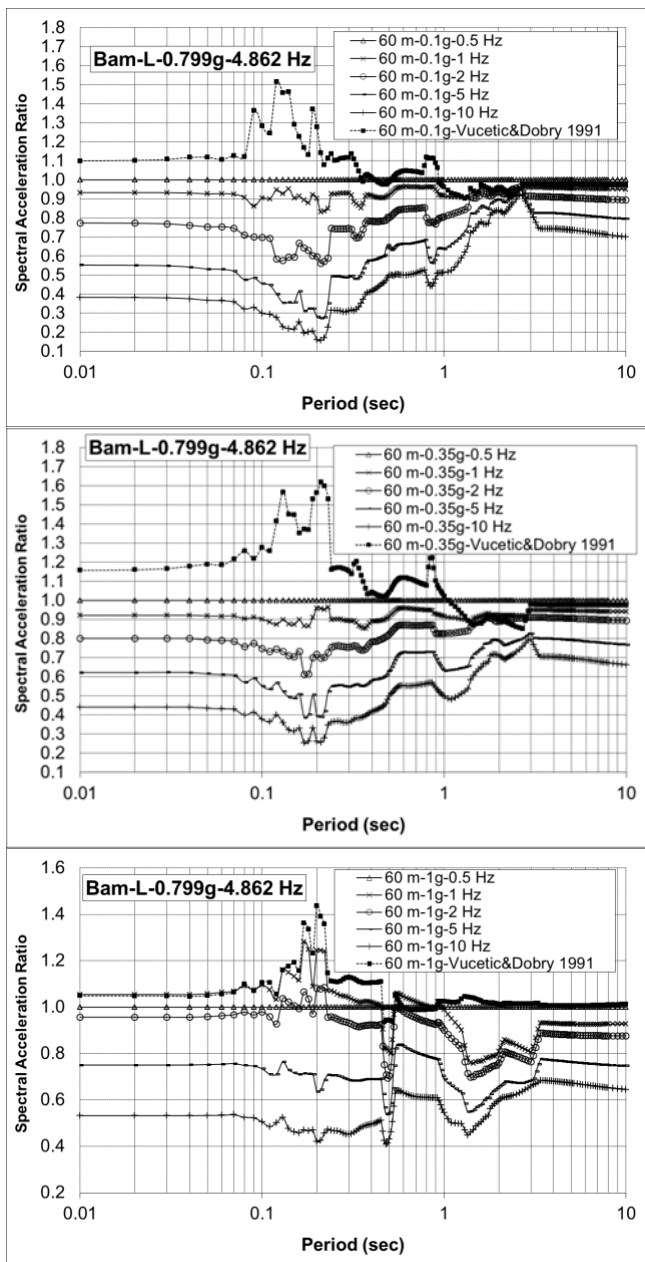
مقدار طیف جابه‌جایی نسبی با تغییر خاک از نوع I به III افزایش قابل توجهی می‌یابد. افزایش عمق ستون خاک از ۳۰ متر به ۶۰ متر، باعث کاهش نسبت شتاب طیفی می‌گردد.



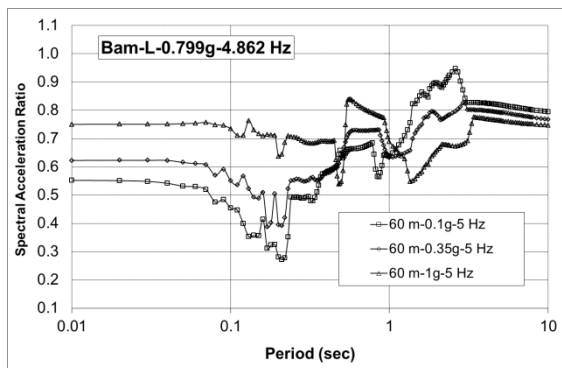
شکل ۳-۵۴- تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی



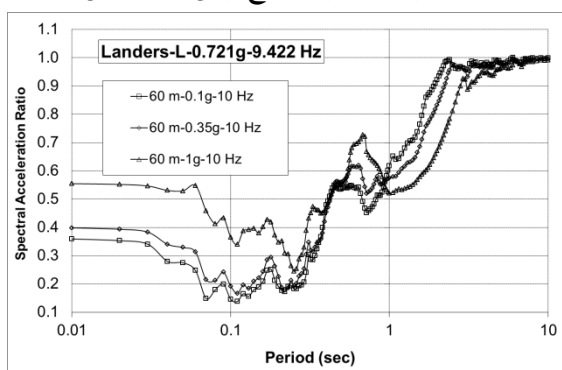
شکل ۳-۵۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی



شکل ۳-۵۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g و ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی



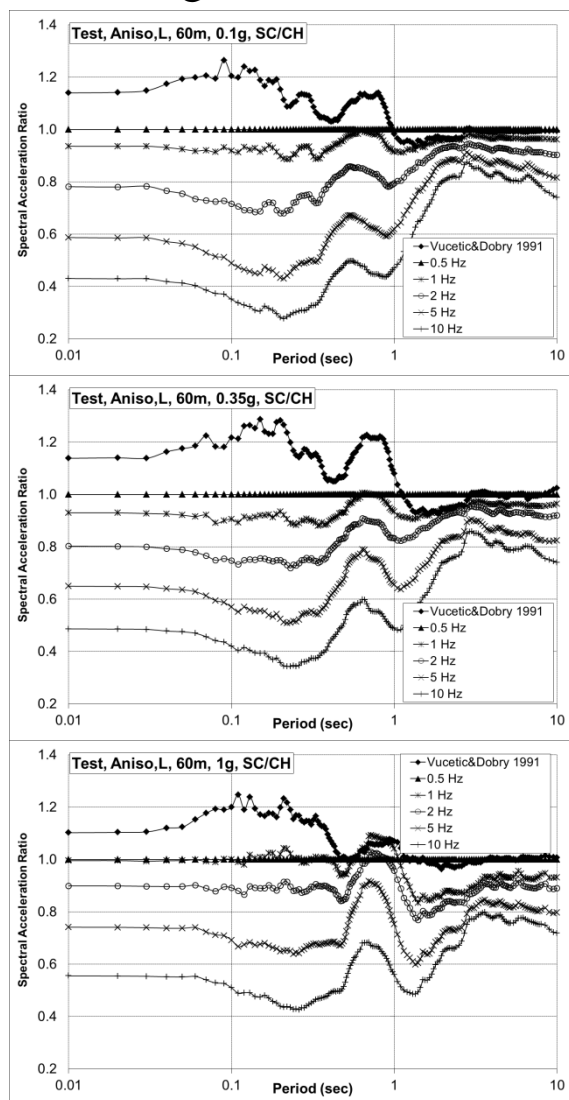
شکل ۳-۵۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۱g، ۰/۳۵g و در فرکانس ۵ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی



شکل ۳-۵۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۱۰ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

شکل ۳-۶۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود برعکس حالت خاک نوع I که فرکانس بارگذاری مصالح اثر زیادی بر طیف سرعت نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف سرعت نسبی داشته، در حالت خاک نوع III نتایج وابسته به فرکانس است. افزایش فرکانس هم سبب کاهش طیف سرعت نسبی می‌شود. مقادیر شتاب سنگ بستر بر مقدار حداکثر طیف سرعت نسبی تاثیر دارد اما بر فرم کلی منحنی

طیف سرعت نسبی تاثیر ناچیزی دارد. افزایش عمق ستون خاک از ۳۰ متر به ۶۰ متر باعث افزایش قابل توجه طیف سرعت نسبی خاک نوع III می شود.

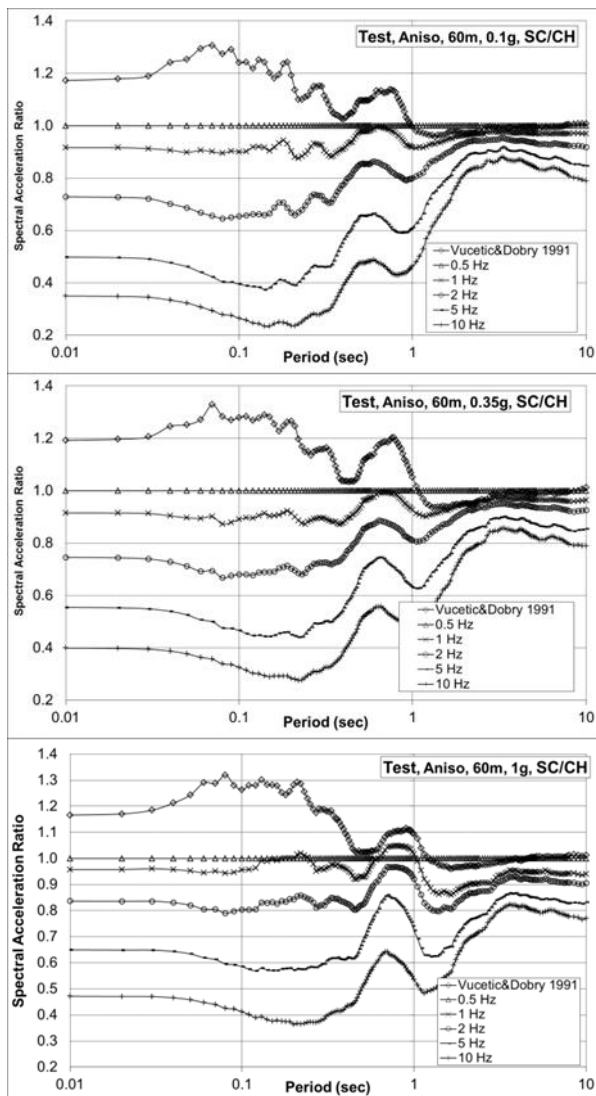


شکل ۳-۵۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

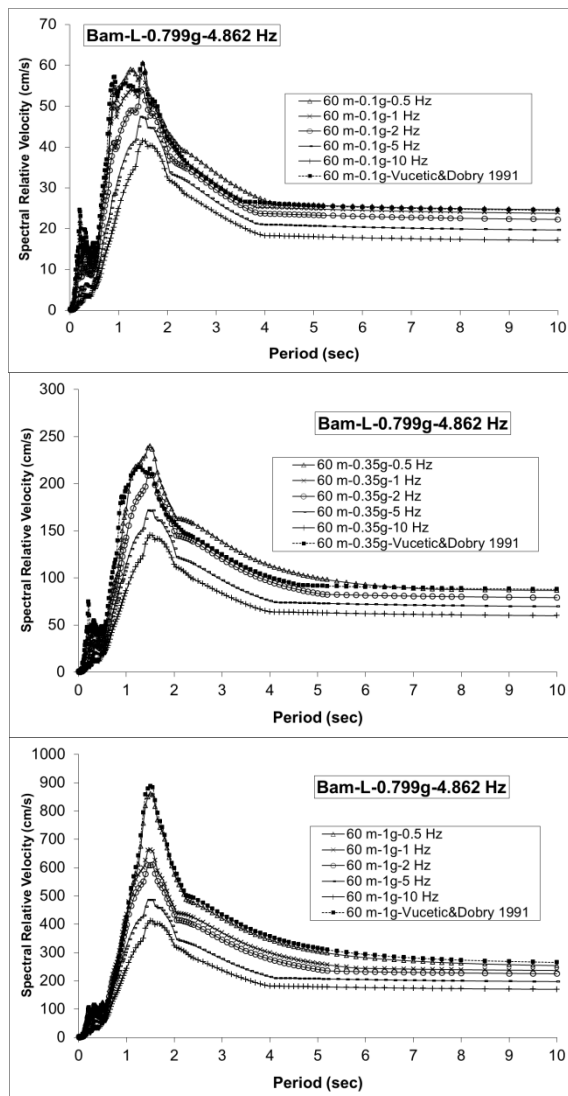
شکل ۳-۶۲- تغییرات طیف جابه‌جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل



زلزله بم را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود برعکس حالت خاک نوع I که فرکانس بارگذاری مصالح اثر زیادی بر طیف جابه جایی نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف سرعت نسبی داشته، در حالت خاک نوع III نتایج وابسته به فرکانس است و با افزایش فرکانس بارگذاری مقدار آن کاهش می‌یابد.



شکل ۳-۶۰- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g و ۰/۳۵g و ۱g برای هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

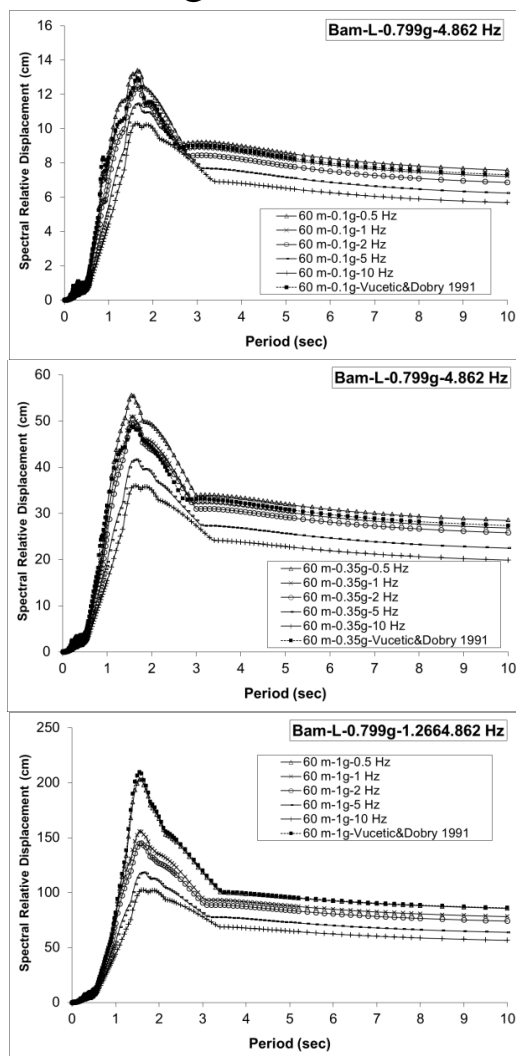


شکل ۳-۶۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۱/۸g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان
سرعت موج برشی آزمایشگاهی

مقدار حداکثر طیف جابه‌جایی نسبی وابسته به مقادیر شتاب سنگ بستر است و با افزایش شتاب افزایش می‌یابد، اما فرم کلی منحنی طیف جابه‌جایی نسبی وابسته به فرکانس بارگذاری مصالح نیست. مقدار طیف جابه‌جایی نسبی با تغییر خاک از نوع I به



III افزایش قابل توجهی می‌یابد. افزایش عمق ستون خاک از ۳۰ متر به ۶۰ متر، باعث افزایش قابل توجه طیف جابه‌جایی نسبی خاک نوع III می‌شود.



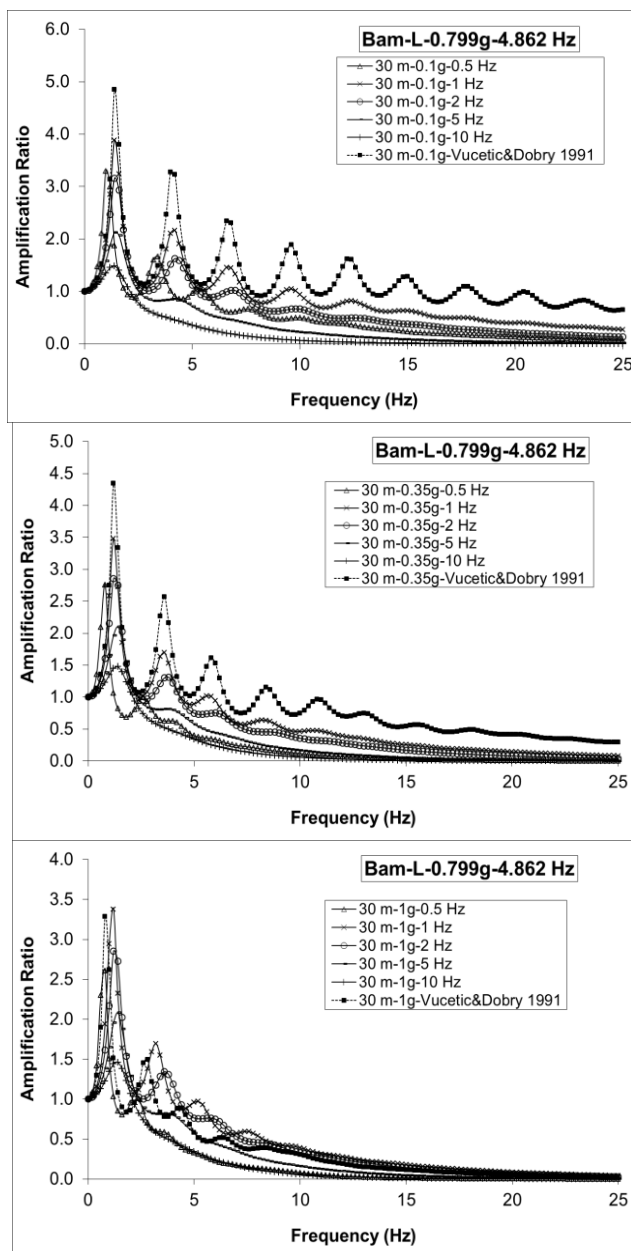
شکل ۳-۶۲- تغییرات طیف جابه‌جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت شتاب سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت غیرهمسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

۳-۴-۳- ستون خاک ۳۰ متری همسان

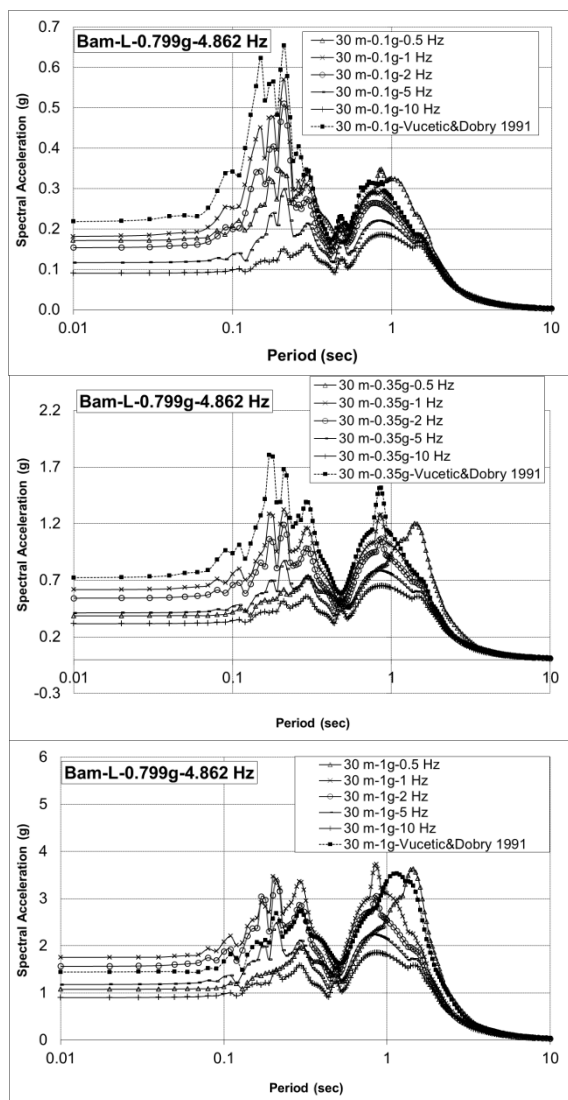
شکل ۳-۶۳- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر

گسل زلزله بم مصالح SC/CH را نشان می دهد. ملاحظه می شود که با افزایش شتاب سنگ بستر، مقادیر نسبت بزرگنمایی در سطح زمین برای مصالح بارگذاری شده تحت فرکانس پایین، دارای اثر افزایشی زیاد، برای مصالح آزمایش شده در فرکانس نزدیک به فرکانس غالب دارای تاثیر متوسط و برای مصالح بارگذاری شده در فرکانس بالا، کم تاثیر است. همچنین افزایش شتاب سنگ بستر سبب کاهش سریعتر دامنه بزرگنمایی در فرکانس های بالاتر می شود و فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی با افزایش شتاب سنگ بستر کاهش می یابد. افزایش فرکانس بارگذاری مصالح سبب کاهش نسبت بزرگنمایی می شود. نکته تامل برانگیز اینکه علاوه بر وجود قله بزرگنمایی فرکانس بیش از ۱ هرتز، چندین قله بزرگنمایی دیگری در بزرگتر وجود دارد که این رفتار فقط برای مصالح SC/CH مشاهده شده است. نکته قابل توجه کاهش فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی برای خاک نوع IV (حدود ۱ هرتز) در مقایسه با خاک نوع I (بیش از ۵ هرتز) می باشد. ضمناً نسبت بزرگنمایی با تغییر نوع خاک از نوع IV به نوع I کاهش می یابد. ضریب بزرگنمایی در حالت همسان اندکی بیش از مقادیر نظیر غیرهمسان می باشد.

شکل ۳-۶۴ تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g و ۰/۳۵g و ۱g را نشان می دهد. نکته بسیار جالب برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم کاهش نیافتن طیف شتاب در پریودهای بالا می باشد (وجود یک قله بعد از پریود ۰/۵ ثانیه). افزایش شتاب طیفی برای فرکانس بارگذاری پایین و کاهش شتاب با افزایش فرکانس هم از جمله نکات جالب توجه است. کاهش قابل توجه مقدار طیف شتاب با تغییر نوع خاک از I به نوع IV جالب توجه است. در حالت همسان مقادیر طیف شتاب در پریودهای بیش از ۱ هرتز بیشتر از مقادیر نظیر همسان می باشد. ضمناً مقدار طیف شتاب در پریود صفر خاک نوع IV کمتر از مقادیر نظیر خاک نوع I می باشد. افزایش قابل توجه طیف شتاب با افزایش شتاب ورودی برای فرکانس ۰/۵ هرتز و ووستیک و دوبری [58] در پریود حدود ۱/۴ ثانیه جالب توجه است.



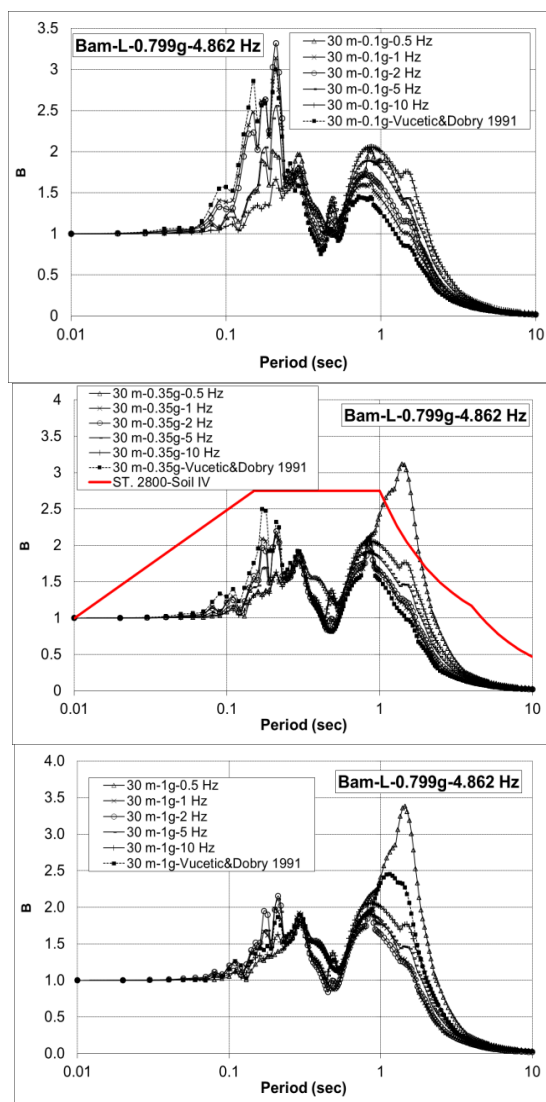
شکل ۳-۶۳- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی



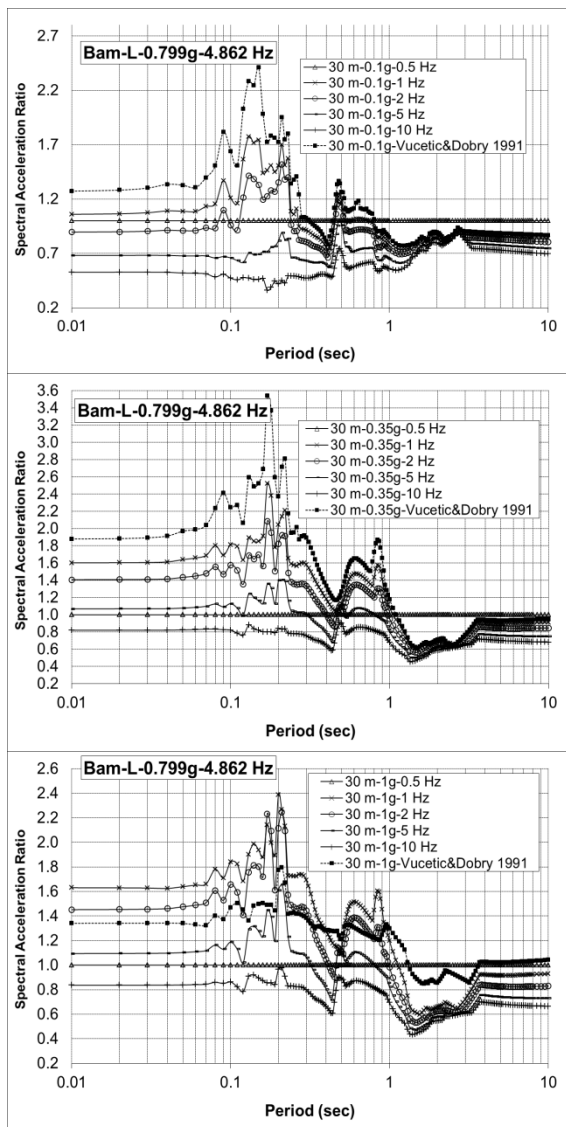
شکل ۳-۶۴- تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی برای بررسی دقیق تر شکل ۳-۶۵ ضریب بازتاب (B)[10] در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g نشان داده شده است. شکل ۳-۶۶ تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g را نشان می دهد. در این مطالعه مقدار شتاب طیفی برای ستون خاک با مشخصات مصالح ۰/۵ هرتز به



عنوان مرجع در نظر گرفته شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح به کار رفته در ستون خاک و همچنین افزایش شتاب، نسبت شتاب طیفی از مقادیر کمتر از ۱ به مقادیر بیشتر از ۱ برای پریودهای کمتر از ۱ افزایش می‌یابد.



شکل ۳-۶۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

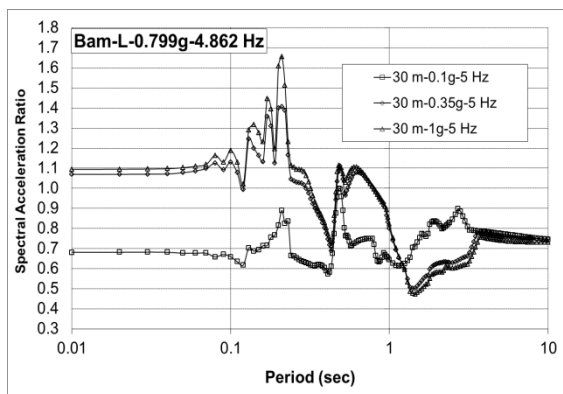


شکل ۳-۶۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت
موج برشی آزمایشگاهی

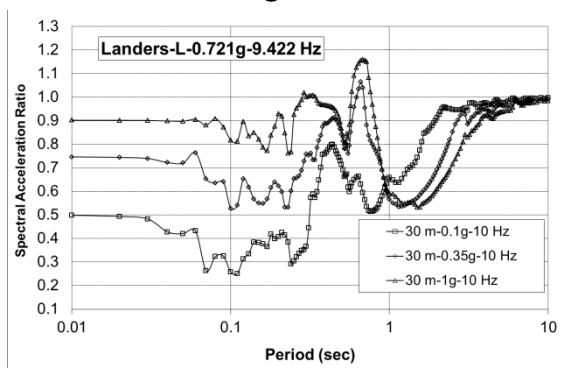
چنانچه تطابق فرکانس غالب زلزله با فرکانس بارگذاری مصالح مدنظر باشد (حدود
۴/۹ هرتز مولفه عمود بر گسل زلزله بم به ۵ هرتز بارگذاری مصالح) مطابق
شکل ۳-۶۷ نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر
شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای پریود ۱ ثانیه به ترتیب ۰/۵۸، ۱/۱۲



و $1/2$ می‌باشد. مقادیر مذکور برای زلزله لندرز با فرکانس غالب حدود $9/4$ هرتز، بین $0/25$ ، $0/53$ و $0/8$ با توجه به شتاب سنگ بستر است (شکل ۳-۶۸). بنابراین انتخاب مصالح تحت فرکانس بارگذاری مناسب در تطابق نسبی با فرکانس غالب زلزله اهمیت است. تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای بین نسبت شتاب طیفی در برابر پریود حالت همسان و غیرهمسان وجود دارد.

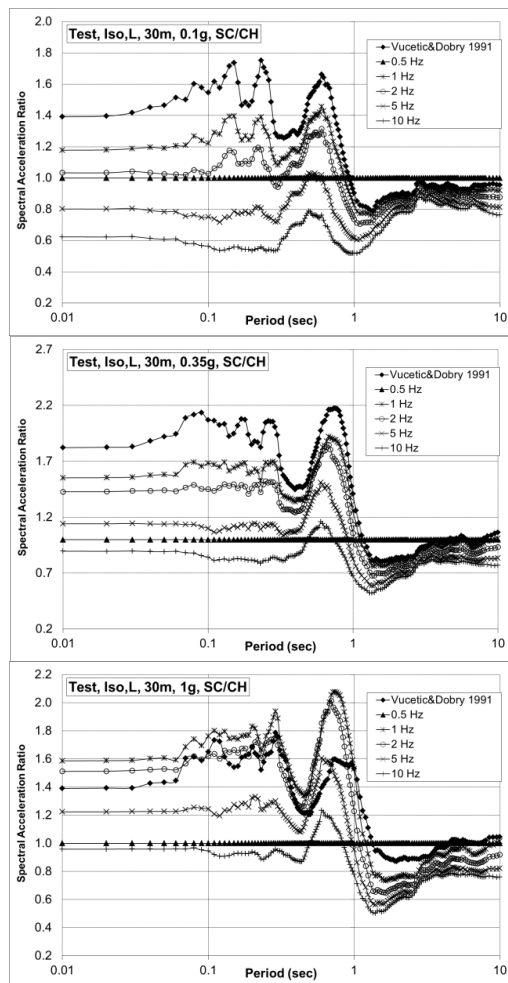


شکل ۳-۶۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک 30 متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0/1g$ ، $0/35g$ و $1g$ در فرکانس 5 هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

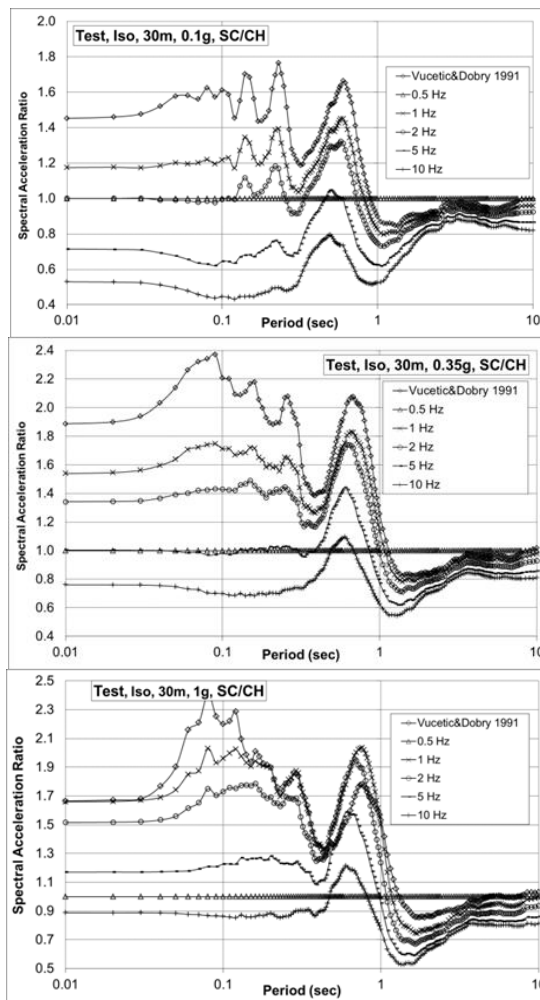


شکل ۳-۶۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک 30 متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0/1g$ ، $0/35g$ و $1g$ در فرکانس 10 هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

شکل ۳-۶۹ و ۳-۷۰ تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک 30 متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0/1g$ ، $0/35g$ و $1g$ به ترتیب برای مولفه عمود بر گسل و هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک انتخابی را نشان



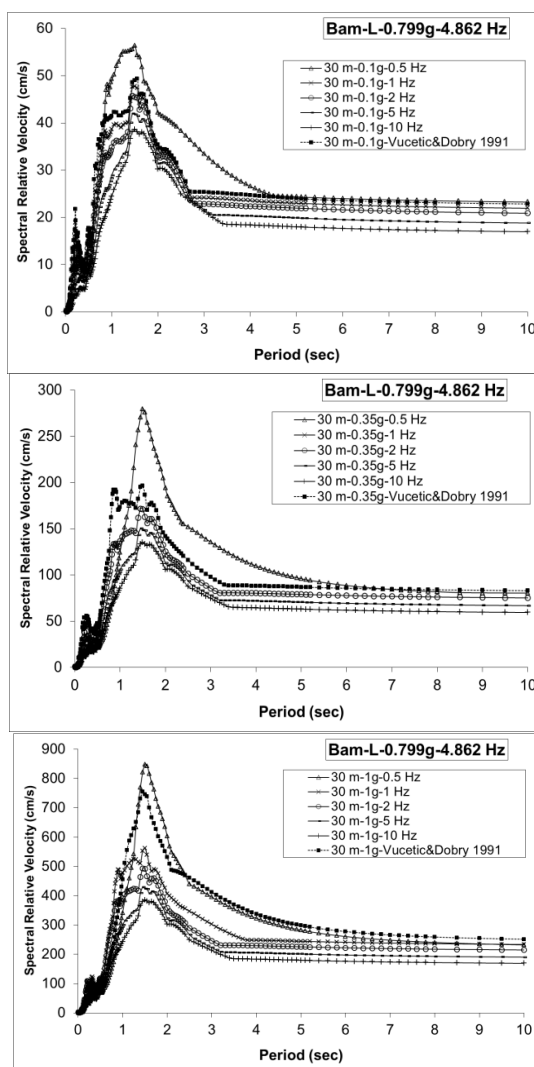
شکل ۳-۶۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی می‌دهد که تاثیر فرکانس بارگذاری مصالح بر نسبت طیف شتاب به وضوح مشخص است. نکته تامل برانگیز اینکه روند تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط برای مصالح در حالت همسان با افزایش فرکانس و شتاب از مقادیر کمتر از ۱ به بیشتر از ۱ برای پریودهای کمتر از ۱ هرتز افزایش می‌یابد. مقادیر برای فرکانس ۱ هرتز و ۲ هرتز و همچنین ووستیک و دوبری [58] بیشتر از مقادیر نظیر برای فرکانسهای ۱۰ و ۵ هرتز می‌باشد. این موضوع نیازمند بررسی بیشتر است.



شکل ۳-۷۰- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری در حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

شکل ۳-۷۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که فرکانس بارگذاری مصالح اثر زیادی بر طیف سرعت نسبی دارد. مقادیر شتاب سنگ بستر بر مقدار حداکثر طیف سرعت نسبی تاثیر دارد اما بر فرم کلی منحنی طیف سرعت نسبی تاثیر ناچیزی دارد. طیف سرعت نسبی برای فرکانس ۰/۵ هرتز دارای بیشترین مقدار است. مقادیر طیف سرعت نسبی

همسان بیشتر از مقادیر نظیر غیرهمسان است. با تغییر نوع خاک از I به IV مقادیر طیف سرعت نسبی کاهش می یابد.

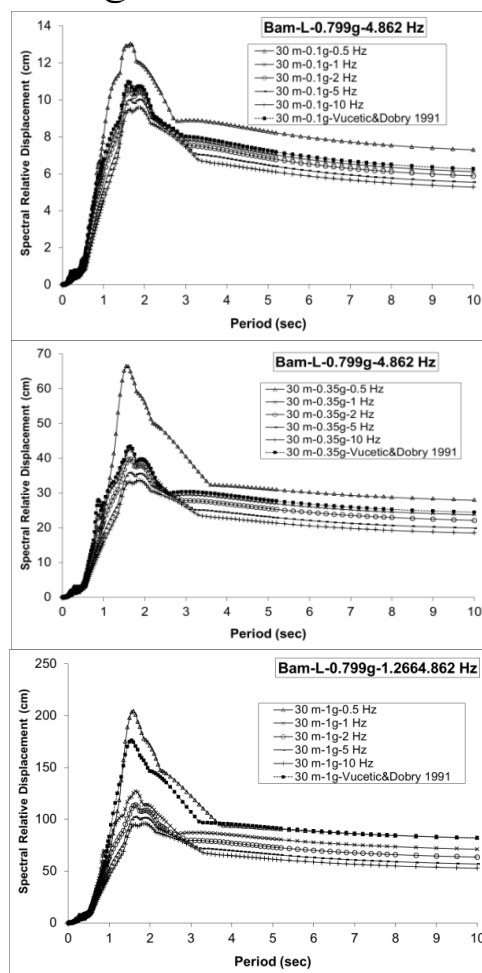


شکل ۳-۷۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

شکل ۳-۷۲- تغییرات طیف جابه جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می دهد. ملاحظه می شود که فرکانس بارگذاری مصالح اثر قابل



ملاحظه ای بر طیف جابه‌جایی نسبی دارد. مقدار حداکثر طیف جابه‌جایی نسبی وابسته به مقادیر شتاب سنگ بستر است و با افزایش شتاب افزایش می‌یابد، اما فرم کلی منحنی طیف جابه‌جایی نسبی وابسته به فرکانس بارگذاری مصالح نیست.



شکل ۳-۷۲- تغییرات طیف جابه‌جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

طیف جابه‌جایی نسبی برای فرکانس ۰/۵ هرتز دارای بیشترین مقدار است. مقادیر طیف جابه‌جایی نسبی همسان بیشتر از مقادیر نظیر غیرهمسان است. همچنین با تغییر نوع خاک از I به IV مقادیر طیف جابه‌جایی نسبی کاهش می‌یابد.

۳-۴-۴ ستون خاک ۶۰ متری حالت همسان

شکل ۳-۷۳ تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش شتاب سنگ بستر، مقادیر نسبت بزرگنمایی در سطح زمین برای مصالح بارگذاری شده تحت فرکانس پایین، دارای اثر افزایشی زیاد، برای مصالح آزمایش شده در فرکانس نزدیک به فرکانس غالب دارای تاثیر متوسط و برای مصالح بارگذاری شده در فرکانس بالا، کم تاثیر است. همچنین افزایش شتاب سنگ بستر سبب کاهش سریعتر دامنه بزرگنمایی در فرکانس‌های بالاتر (اما با شدت بسیار کمتر از خاک نوع I) می‌شود و فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی با افزایش شتاب سنگ بستر کاهش می‌یابد. افزایش فرکانس بارگذاری مصالح سبب کاهش نسبت بزرگنمایی می‌شود. نکته تامل برانگیز اینکه علاوه بر وجود قله بزرگنمایی فرکانس بیش از ۱ هرتز، چندین قله بزرگنمایی دیگری در بزرگتر وجود دارد که این رفتار فقط برای مصالح SC/CH مشاهده شده است. نکته قابل توجه کاهش فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی برای خاک نوع IV (حدود ۱ هرتز) در مقایسه با خاک نوع I (بیش از ۵ هرتز) می‌باشد. ضمناً نسبت بزرگنمایی با تغییر نوع خاک از نوع IV به نوع I کاهش می‌یابد. مقادیر نسبت بزرگنمایی برای ستون خاک ۶۰ متری کمتر از مقادیر نظیر ۳۰ متری است.

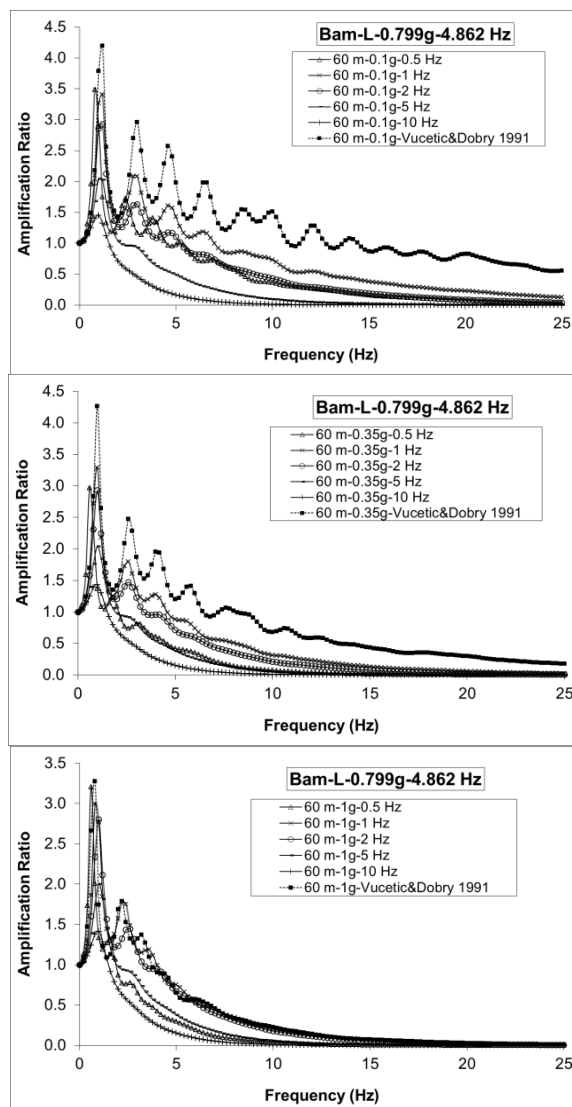
شکل ۳-۷۴ تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g را نشان می‌دهد. نکته بسیار جالب برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم کاهش نیافتن طیف شتاب در پریودهای بالا می‌باشد (وجود یک قله بعد از پریود ۰/۵ ثانیه). از دیگر نکات کاهش طیف شتاب در پریودهای کم و افزایش آن در پریودهای بیش از ۱ ثانیه (دارای بیشترین مقدار طیف) با تغییر ستون خاک از ۳۰ به ۶۰ متری خصوصاً برای فرکانس ۰/۵ می‌باشد. افزایش قابل افزایش شتاب طیفی برای فرکانس بارگذاری پایین و کاهش شتاب با افزایش فرکانس هم از جمله نکات جالب توجه است. کاهش قابل توجه مقدار طیف شتاب با تغییر نوع



خاک از I به نوع IV جالب توجه است. ضمناً مقدار طیف شتاب در پریود صفر خاک نوع IV کمتر از مقادیر نظیر خاک نوع I می باشد. افزایش پریود نظیر شاخه نزولی طیف به حدود $1/4$ ثانیه برای شتاب $1g$ هم جالب توجه است. برای بررسی دقیق‌تر شکل ۳-۷۵ ضریب بازتاب (B)[10] در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ نشان داده شده است. نامناسب بودن طیف ۲۸۰۰ برای خاک نوع IV چه نظر حداکثر در پریودهای کمتر از ۱ ثانیه و از نظر فرم طیف در پریودهای بیشتر ۱ ثانیه جالب است. نکته جالب کاهش ضریب بازتاب با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح در پریودهای کم و افزایش ضریب بازتاب در پریودهای بالا است. شکل ۳-۷۶ تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ را نشان می‌دهد. در این مطالعه مقدار شتاب طیفی برای ستون خاک با مشخصات مصالح 0.5 هرتز به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است. ملاحظه می‌شود که با کاهش فرکانس بارگذاری مصالح به کار رفته در ستون خاک، نسبت شتاب طیفی با افزایش شتاب به تدریج از مقادیر کمتر از ۱ به مقادیر بزرگتر از یک افزایش (در محدوده فرکانسهای ۱ هرتز و کمتر) می‌یابد. ضمناً مقدار آن در پریودهای بیش از $2/5$ ثانیه هم کمتر از یک است در صورتیکه برای خاک نوع I این مقدار تقریباً برابر ۱ بود. چنانچه تطابق فرکانس غالب زلزله با فرکانس بارگذاری مصالح مدنظر باشد (حدود $4/9$ هرتز مولفه عمود بر گسل زلزله بم به ۵ هرتز بارگذاری مصالح) مطابق شکل ۳-۷۷ نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ در محدوده پریود بیش از ۱ ثانیه کمتر از ۱ می باشد. مقادیر مذکور برای زلزله لندرز^۱ با فرکانس غالب حدود $9/4$ هرتز تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ ، در پریود بین 0.1 تا ۱ ثانیه به ترتیب 0.2 و 0.35 و 0.25 با توجه به شتاب سنگ بستر است (شکل ۳-۷۸) که کمتر از مقادیر نظیر ۳۰ متر می باشد. بنابراین انتخاب مصالح تحت فرکانس بارگذاری مناسب در تطابق نسبی با

¹Landers

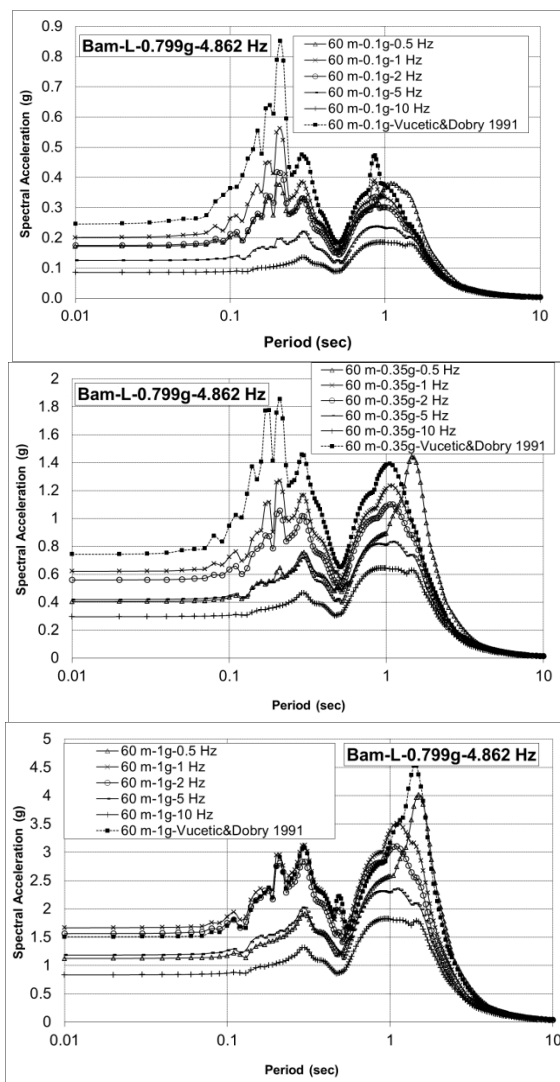
فرکانس غالب زلزله اهمیت است. شکل ۳-۷۹ و ۳-۸۰ تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ به ترتیب برای مولفه عمود بر گسل و هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک انتخابی را نشان می‌دهد که تاثیر فرکانس بارگذاری مصالح بر نسبت طیف شتاب به وضوح مشخص است. نسبت مذکور برای شتابهای بالا و خصوصاً در پریودهای بیش از ۱ ثانیه، کمتر از مقادیر نظیر خاک نوع I می باشد. تفاوت دیگر نسبت شتاب طیفی خاک نوع I با خاک نوع IV، عدم تمایل به صفر نسبت مذکور برای خاک نوع IV است. شکل ۳-۸۱ تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود برعکس حالت خاک نوع I که فرکانس بارگذاری مصالح اثر زیادی بر طیف سرعت نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف سرعت نسبی داشته، در حالت خاک نوع IV نتایج وابسته به فرکانس است. ضمناً مقدار طیف نسبی شتاب خاک نوع I کمتر از مقادیر نظیر خاک نوع III و هر دو کمتر از خاک نوع IV می باشند. افزایش فرکانس هم سبب کاهش طیف سرعت نسبی می شود. مقادیر شتاب سنگ بستر بر مقدار حداکثر طیف سرعت نسبی تاثیر دارد اما بر فرم کلی منحنی طیف سرعت نسبی تاثیر ناچیزی دارد. افزایش عمق ستون خاک از ۳۰ متر به ۶۰ متر، باعث افزایش مقدار طیف سرعت نسبی می‌گردد. شکل ۳-۸۲ تغییرات طیف جابه‌جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود برعکس حالت خاک نوع I که فرکانس بارگذاری مصالح اثر زیادی بر طیف جابه‌جایی نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف سرعت نسبی داشته، در حالت خاک نوع IV نتایج وابسته به فرکانس است و با افزایش فرکانس بارگذاری مقدار آن کاهش می‌یابد.



شکل ۳-۷۳- تغییرات نسبت بزرگنمایی در برابر فرکانس بارگذاری برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

مقدار حداکثر طیف جابه‌جایی نسبی وابسته به مقادیر شتاب سنگ بستر است و با افزایش شتاب افزایش می‌یابد، اما فرم کلی منحنی طیف جابه‌جایی نسبی وابسته به فرکانس بارگذاری مصالح نیست. مقدار طیف جابه‌جایی نسبی با تغییر خاک از نوع I به

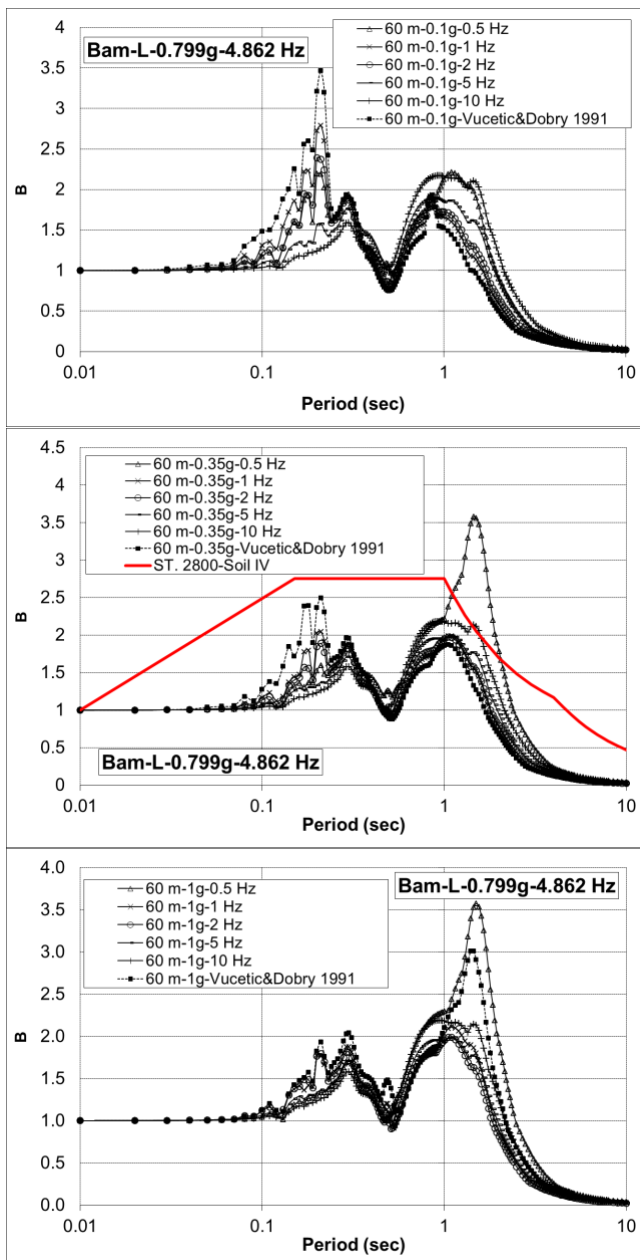
III و سپس به IV افزایش قابل توجهی می یابد. افزایش عمق ستون خاک از ۳۰ متر به ۶۰ متر، باعث افزایش مقدار طیف جابه جایی نسبی می گردد.



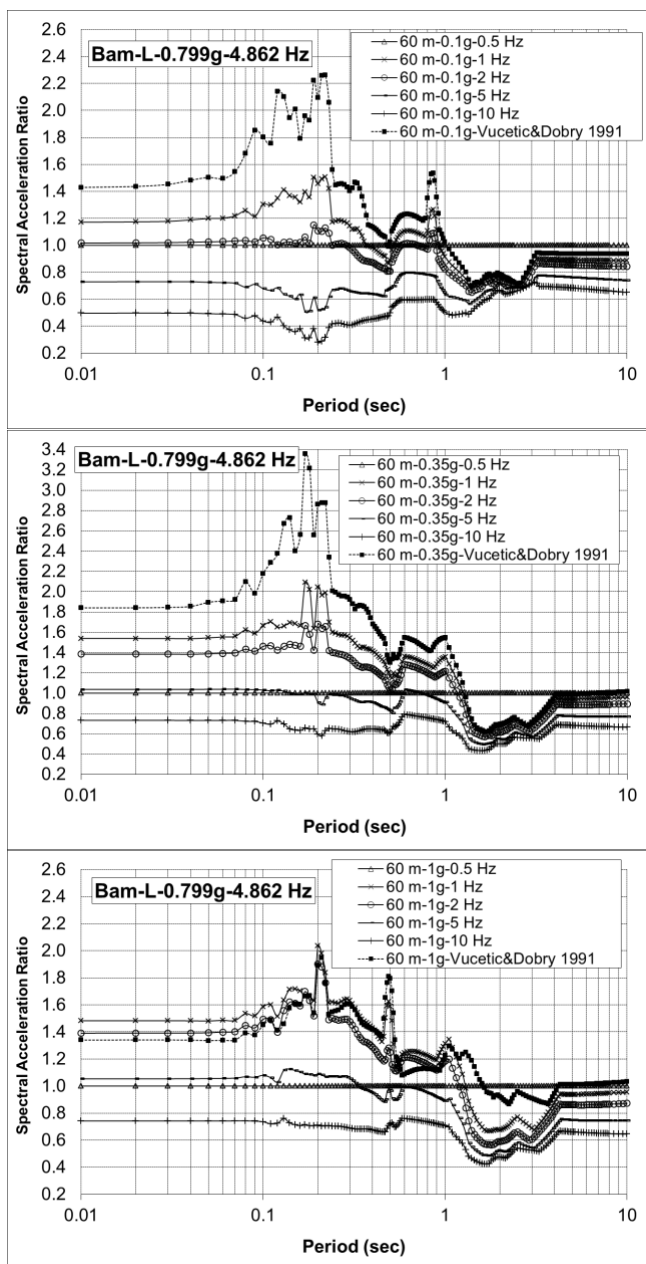
شکل ۳-۷- تغییرات طیف شتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ پستر ۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی



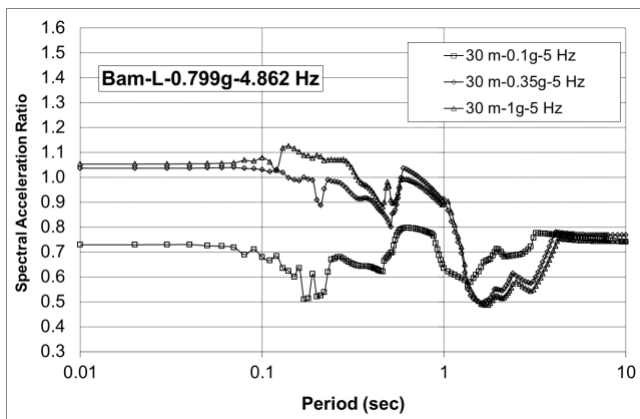
۱۹۰ / طیف طرح برای زلزله‌های میدان نزدیک با نگاهی بر اثر محتوای فرکانسی



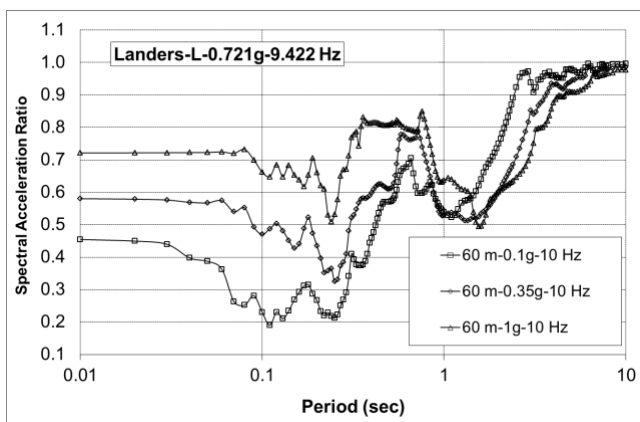
شکل ۳-۷۵- تغییرات ضریب بازتاب در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی



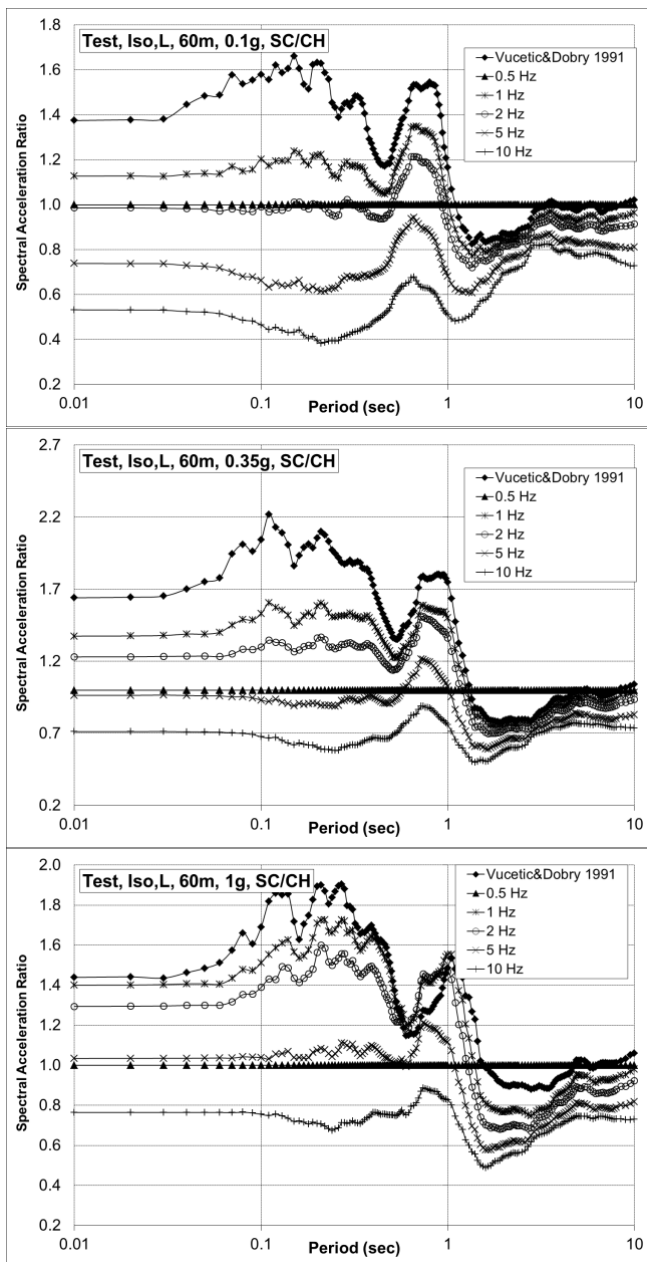
شکل ۳-۷۶- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۹۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان
سرعت موج برشی آزمایشگاهی



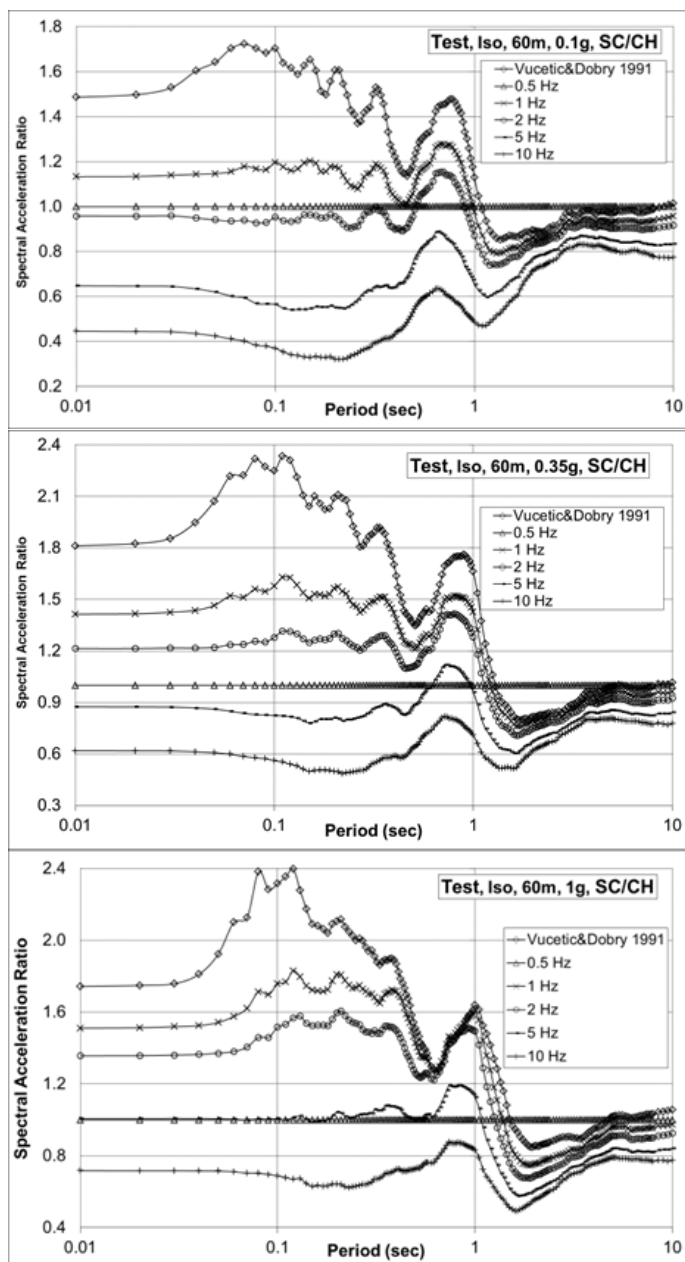
شکل ۳-۷۷- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و در فرکانس ۵ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH
حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی



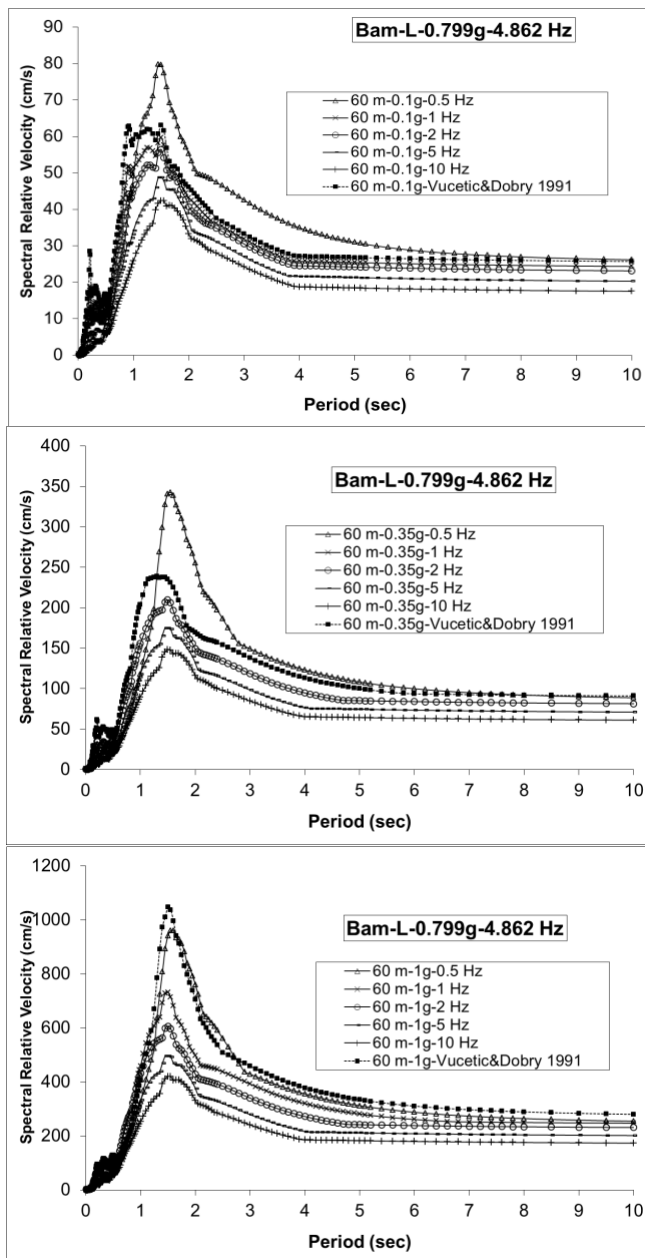
شکل ۳-۷۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۱۰ هرتز برای مولفه عمود بر گسل زلزله لندرز مصالح
SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی



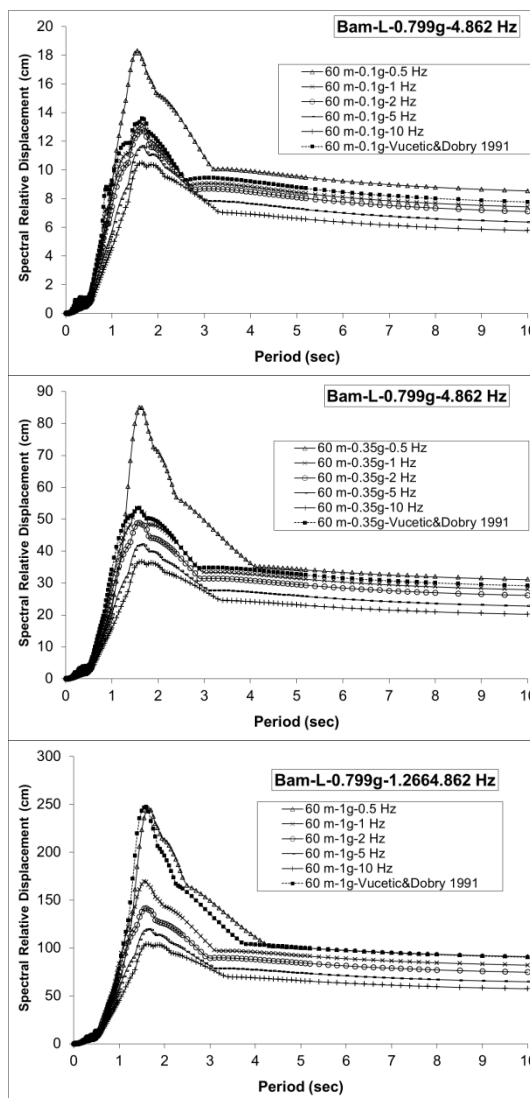
شکل ۳-۷۹- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پریود برای ستون خاک ۹۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g و ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی



شکل ۳-۸- تغییرات نسبت شتاب طیفی متوسط در برابر پرپود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر $0.1g$ و $0.35g$ و $1g$ برای هر سه مولفه زلزله‌های میدان نزدیک به کار رفته در تحلیل‌ها مصالح SC/CH حالت همسان سرعت موج برشی آزمایشگاهی

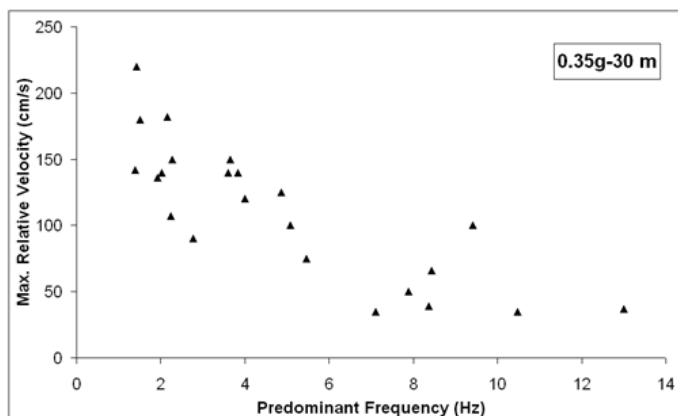


شکل ۳-۸۱- تغییرات طیف سرعت نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان
سرعت موج برشی آزمایشگاهی



شکل ۳-۸۲- تغییرات طیف جابه جایی نسبی در برابر پریود برای ستون خاک ۶۰ متری تحت حداکثر شتاب
مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم مصالح SC/CH حالت همسان
سرعت موج برشی آزمایشگاهی

مطابق شکل ۳-۸۳ از مشخصه‌های بارز زلزله‌های میدان نزدیک این است که با کاهش
فرکانس غالب، حداکثر سرعت نسبی طیفی افزایش می‌یابد.

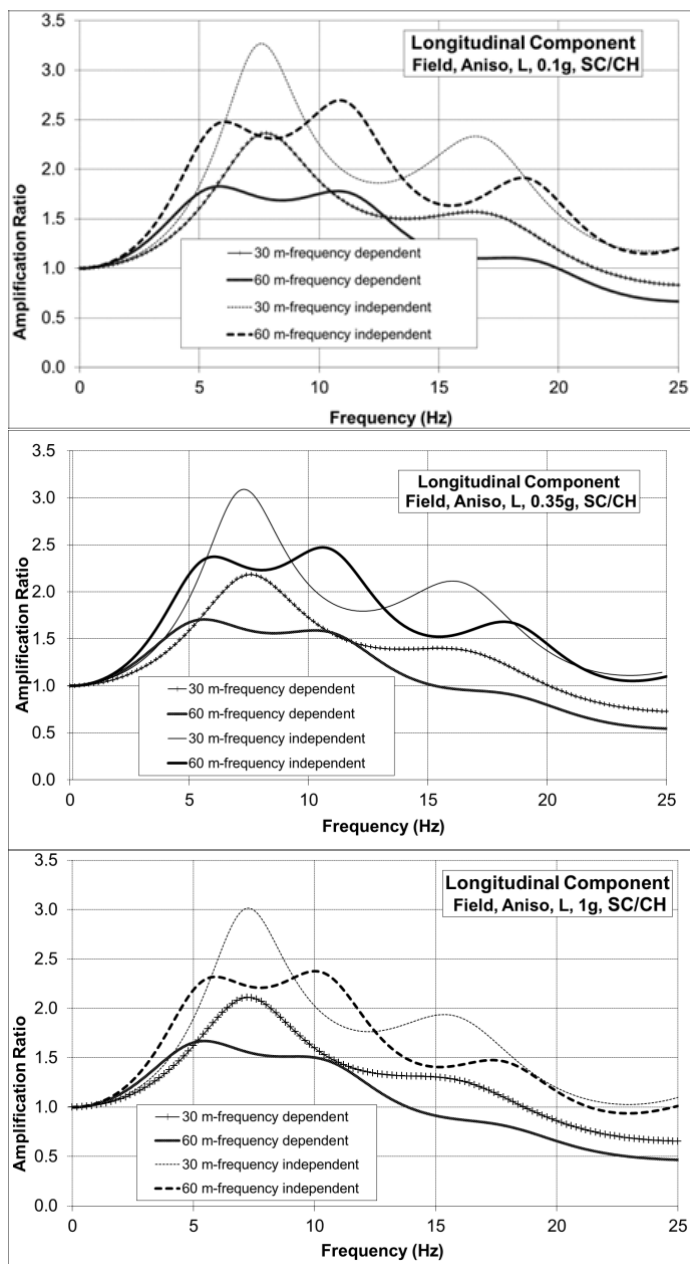


شکل ۳-۸۳- حداکثر سرعت نسبی در برابر فرکانس برای زلزله‌های میدان نزدیک تحت شتاب سنگ بستر ۰/۳۵g برای ستون خاک ۳۰ متری

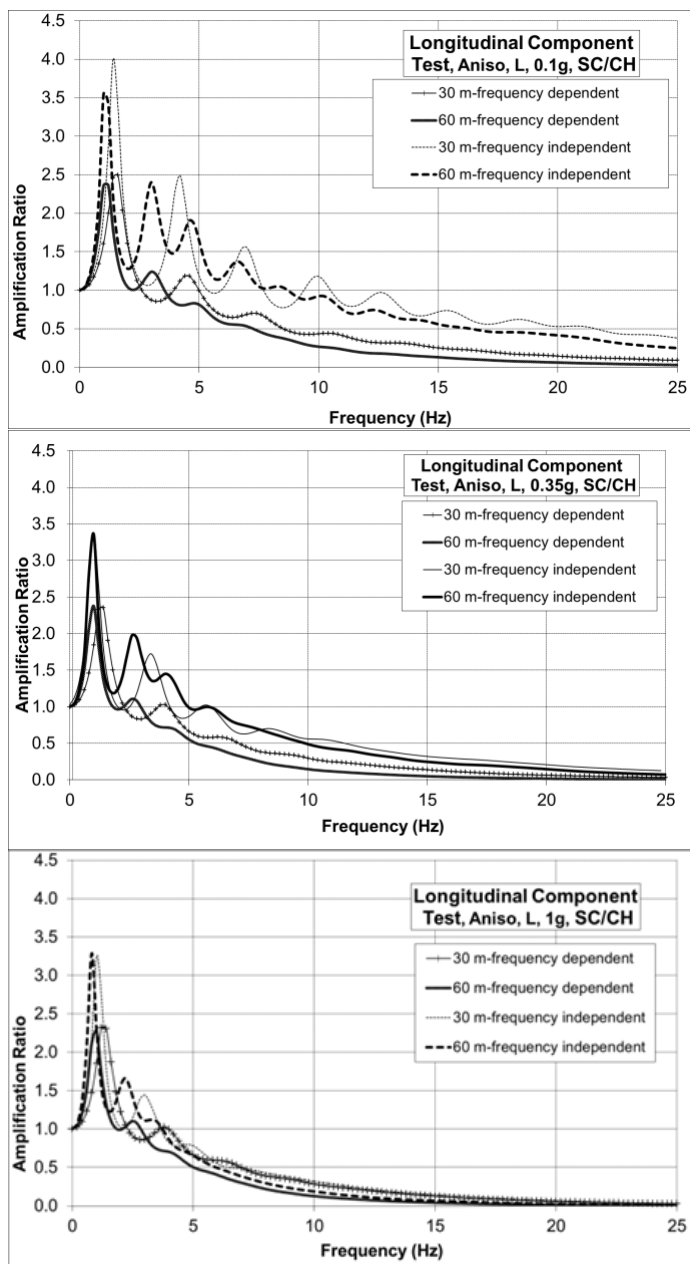
۳-۵- ضریب بزرگنمایی خاکهای مختلف مورد بررسی

ضریب بزرگنمایی مصالح مختلف در پیوست ۱ ارائه شده است. براساس نتایج، ضریب بزرگنمایی با افزایش شتاب مبنای ورودی کاهش می یابد (شکل ۳-۸۴). در فرکانسهای کم مقادیر ضریب بزرگنمایی در حالت وابسته به فرکانس کمتر از مقادیر نظیر غیر وابسته به فرکانس است (تا نصف کمتر می باشد). در فرکانسهای کم مقادیر ضریب بزرگنمایی در حالت ستون خاک ۶۰ متری کمتر از مقادیر نظیر برای ستون خاک ۳۰ متری است. مقادیر بزرگنمایی در حالت همسان بیشتر از مقادیر نظیر غیرهمسان می باشد. مقادیر ضریب بزرگنمایی حداکثر برای ستون خاک ۳۰ متری در فرکانس بزرگتری رخ می دهد. بطورکلی تفاوت چندانی بین ضریب بزرگنمایی مولفه های افقی وجود ندارد.

مطابق شکل (۳-۸۵) با کاهش سرعت موج برشی (تغییر نوع خاک از I به III) مقادیر ضریب بزرگنمایی افزایش می یابد. ضمناً فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی با تغییر نوع خاک از I به III کاهش می یابد. مقادیر حداکثر ضریب بزرگنمایی در حالت وابسته به فرکانس در فرکانس کمتری رخ می دهد. با افزایش فرکانس زلزله مقادیر ضریب بزرگنمایی کاهش می یابد. مصالح SM/GM کمترین مقدار ضریب بزرگنمایی در بین مصالح را دارند (شکل ۳-۸۶).



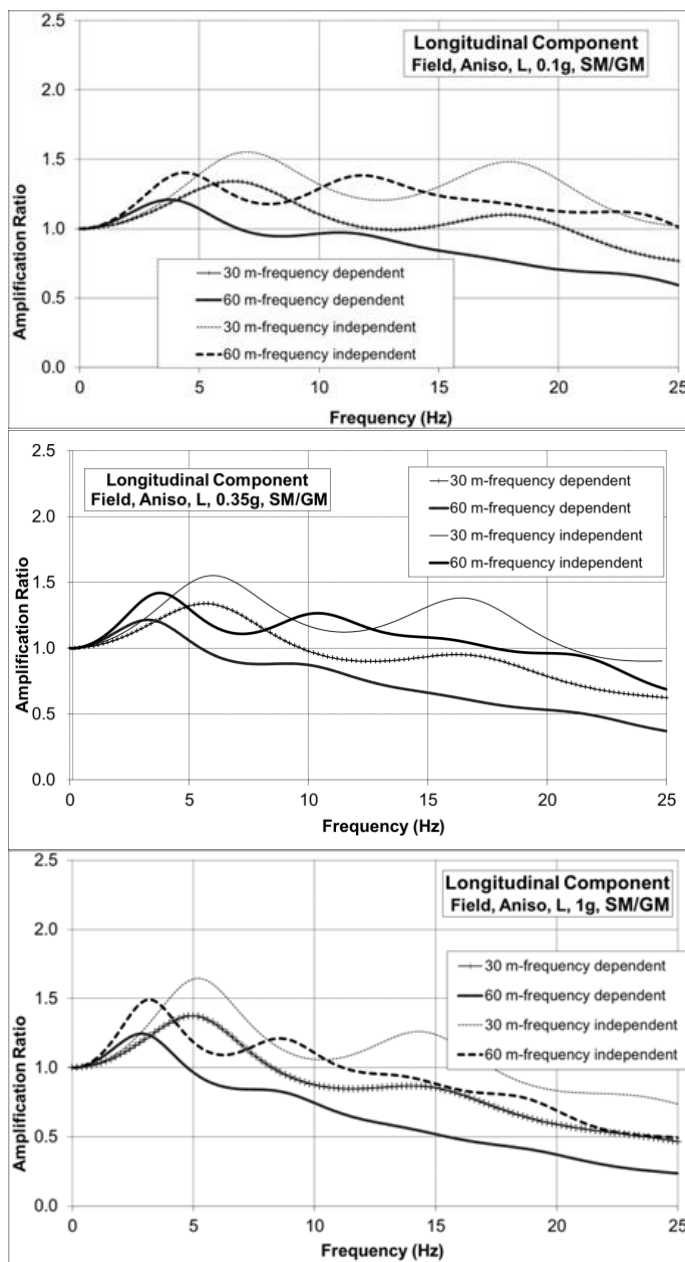
شکل ۳-۸۴- ضریب بزرگنمایی متوسط برای مولفه L زلزله‌ها تحت شتاب $g/1$ ، $g/35$ و $g/1$ ، ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SC/CH برای سرعت موج برشی صحرایی و شرایط غیرهمسان حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس



شکل ۳-۸۵- ضریب بزرگنمایی متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ ، ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SC/CH سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط غیرهمسان حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس



۲۰۰ / طیف طرح برای زلزله‌های میدان نزدیک با نگاهی بر اثر محتوای فرکانسی



شکل ۳-۸۶- ضریب بزرگنمایی متوسط برای مولفه L زلزله‌ها شتاب $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ ، ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SM/GM سرعت موج برشی صحرایی و شرایط غیرهمسان حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس

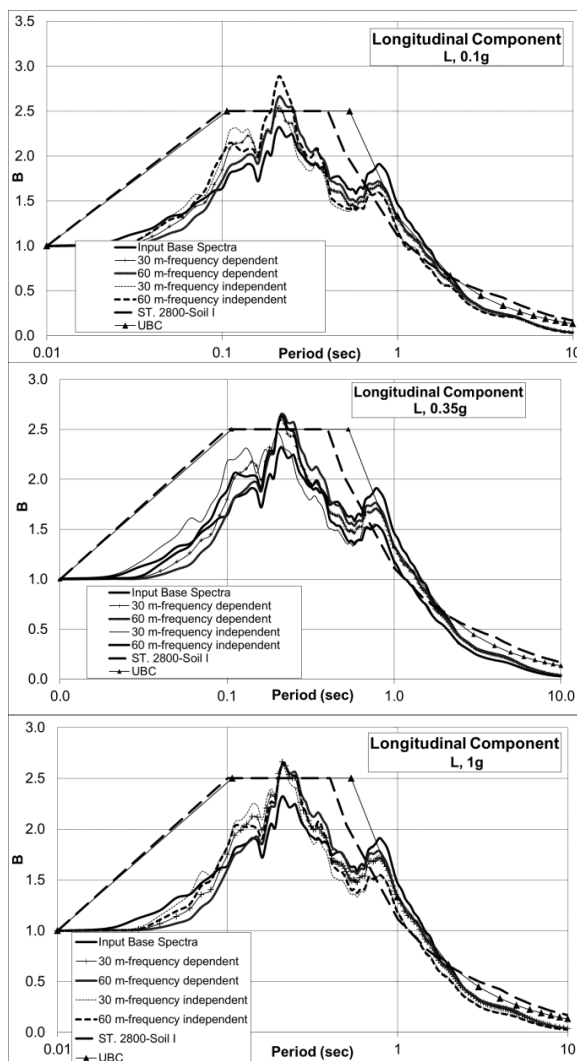
۳-۶- ضریب بازتاب خاکهای مختلف مورد بررسی

ضریب بازتاب خاک های مورد بررسی در پیوست ۲ ارائه شده است. شکل (۳-۸۷) ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها شتاب $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای خاک نوع I در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس را نشان می دهد. همچنین شکل (۳-۸۸) ضریب بازتاب برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری برای خاک نوع I در حالت وابستگی به فرکانس را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که طیف میدان نزدیک ارائه شده توسط UBC برای خاک نوع I مناسبتر از طیف آیین نامه ۲۸۰۰ است. شکل (۳-۸۹) ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها شتاب $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای خاک نوع II در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس را نشان می دهد. همچنین شکل (۳-۹۰) ضریب بازتاب برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری برای خاک نوع II در حالت وابستگی به فرکانس را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که طیف میدان نزدیک ارائه شده توسط UBC برای خاک نوع II مناسب است. بدین صورت که Ts طیف آیین نامه ۲۸۰۰ باید از 0.5 به حدود 0.75 ثانیه افزایش یابد. این ادعا با نتایج ارائه شده در شکل های (۳-۹۱) تا (۳-۹۴) قابل تصدیق است.

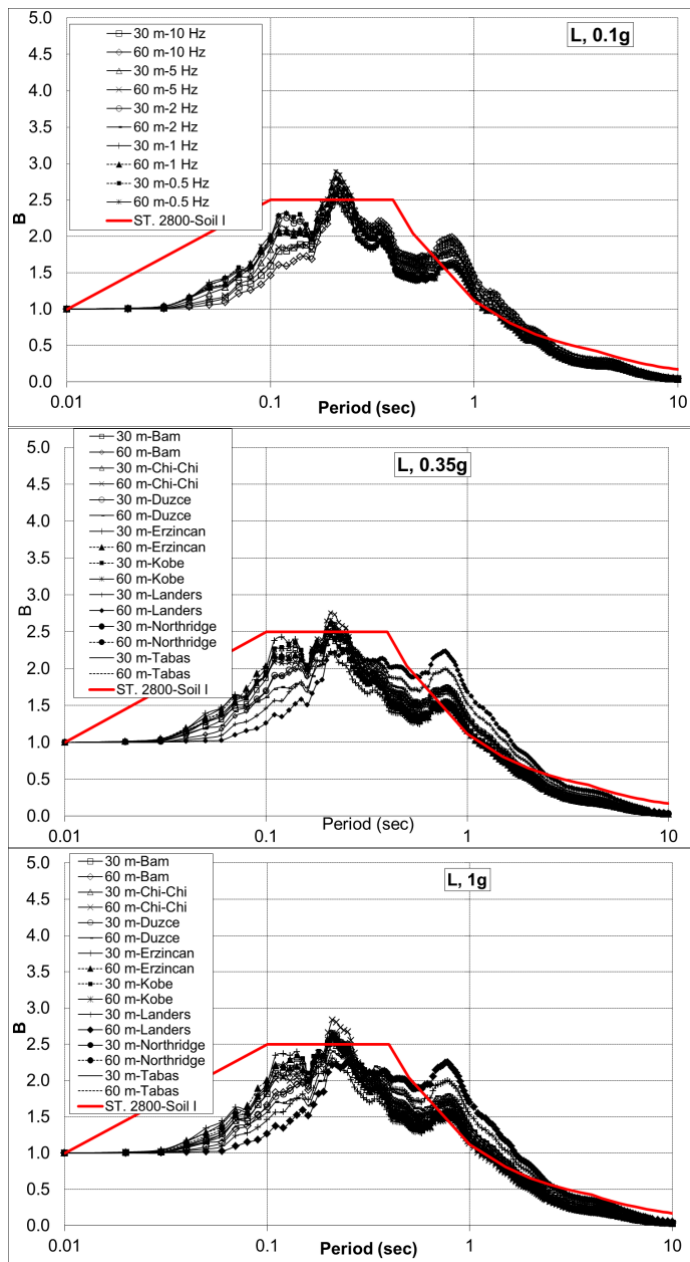
شکل (۳-۹۵) ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها شتاب $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای خاک نوع III در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس را نشان می دهد. ضریب بازتاب برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری برای خاک نوع III در حالت وابستگی به فرکانس در شکل (۳-۹۶) ارائه شده است. نکته مهم اینکه مقادیر Ts برای خاک نوع III در هر دو آیین نامه ۲۸۰۰ و UBC نامناسب است و باید به 0.9 ثانیه افزایش یابد (شکل های ۳-۷۶ و ۳-۹۸). براساس مقادیر متوسط، افزایش ضریب بازتاب حداکثر از $2/5$ به $2/75$ آیین نامه ۲۸۰۰ هم مناسب نمی باشد. شکل (۳-۹۷) ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها شتاب $0.35g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح



SM/GM برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط همسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس را نشان می‌دهد. شکل (۳-۹۸) ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله‌ها شتاب $0.35g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SC برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط غیرهمسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس را نشان می‌دهد. در پی‌رود حدود 0.9 ثانیه مقادیر ضریب بازتاب به صورت موضعی بیش از $2/5$ می‌باشد.

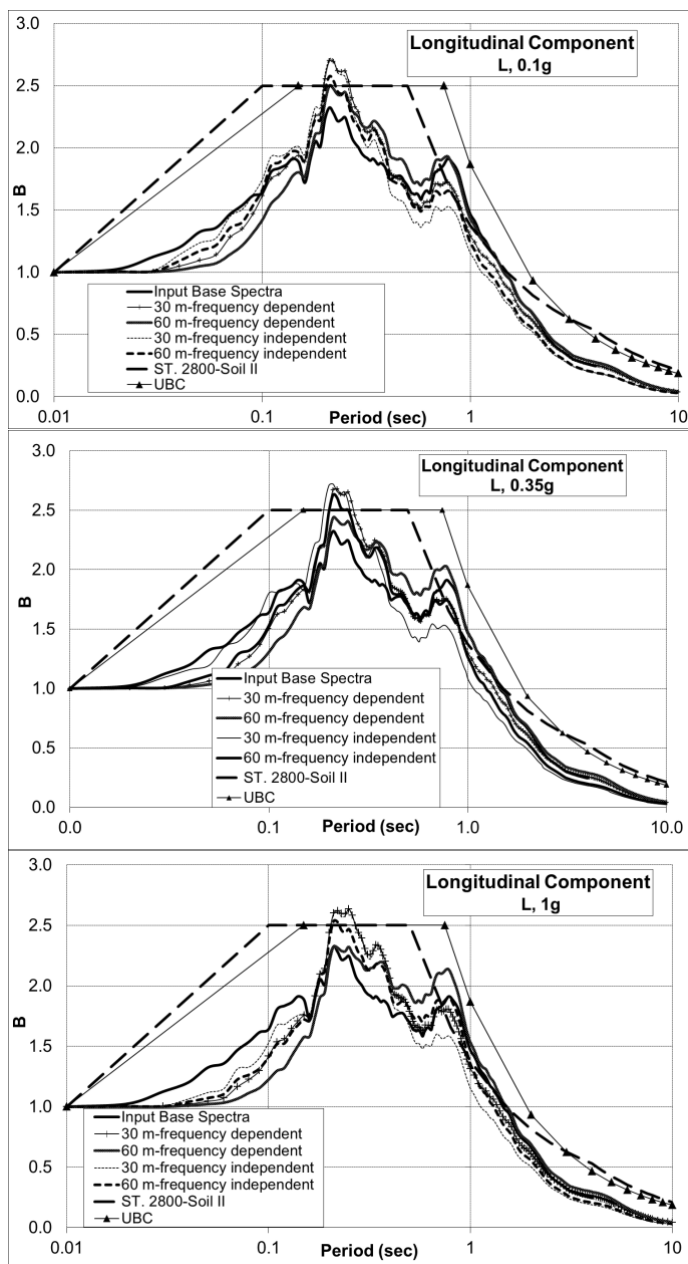


شکل ۳-۸۷- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله‌ها شتاب $0.1g$ و $0.35g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای خاک نوع I در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس

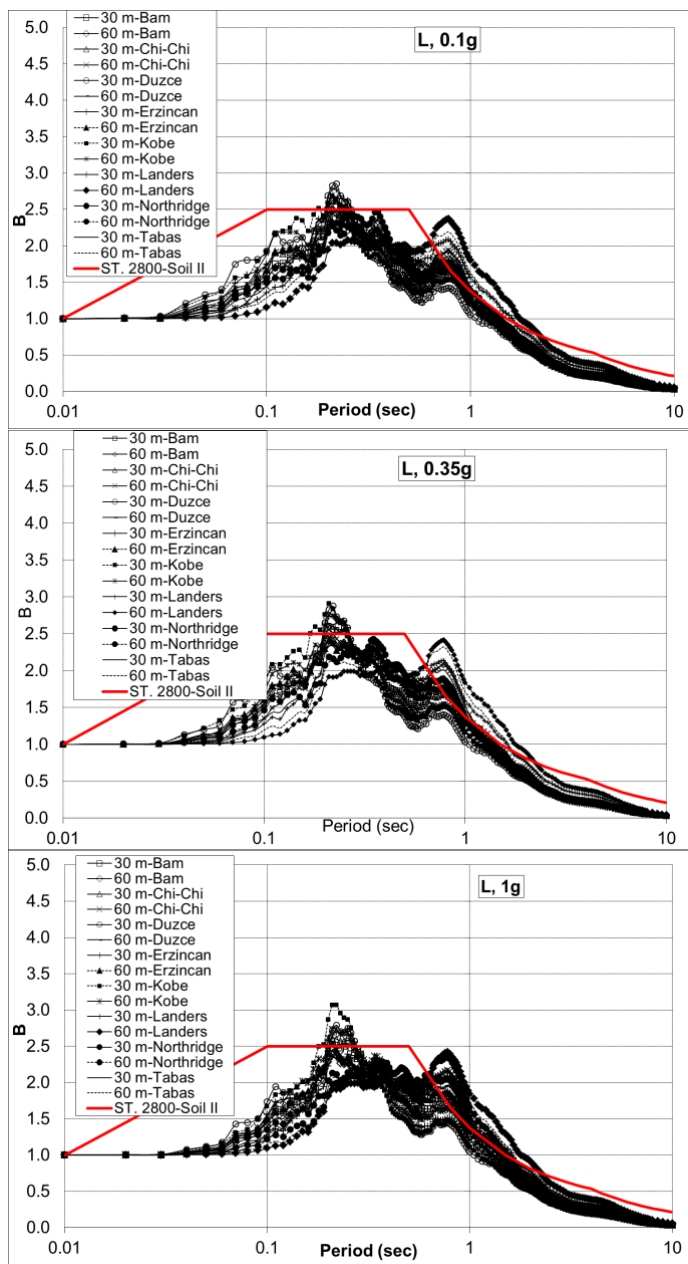


شکل ۳-۸۸- ضریب بازتاب برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $g/0.1$ ، $g/0.35$ و $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰

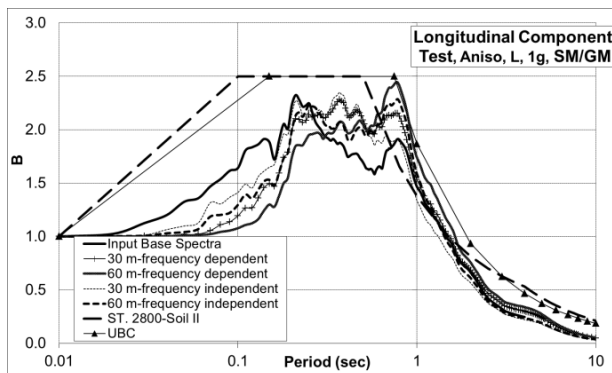
متری برای خاک نوع I در حالت وابستگی به فرکانس



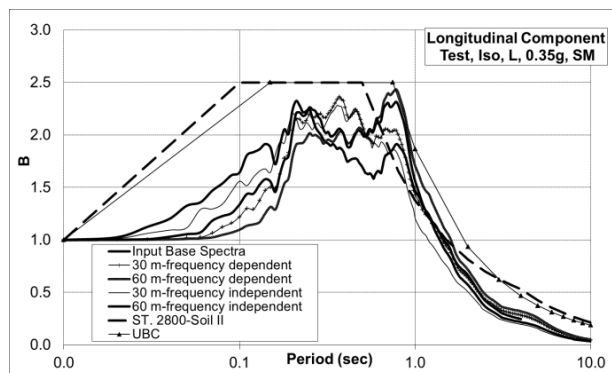
شکل ۳-۸۹- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله‌ها شتاب $g/0.1$ ، $g/0.35$ و $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای خاک نوع II در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس



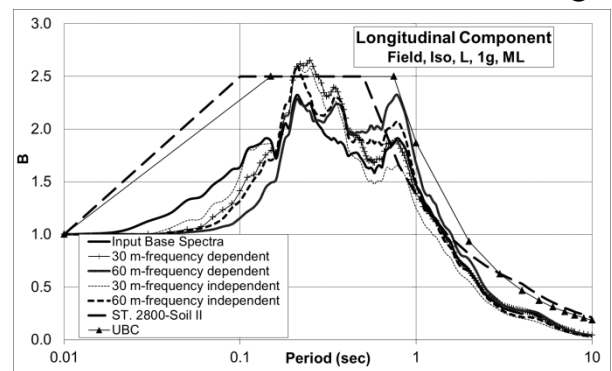
شکل ۳-۹۰- ضریب بازتاب برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $g/1$ ، $g/35$ و $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری برای خاک نوع II در حالت وابستگی به فرکانس



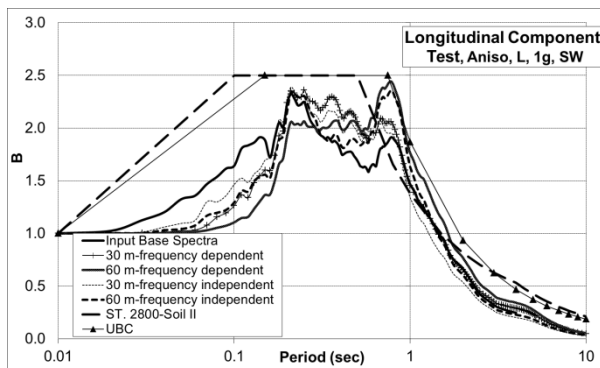
شکل ۳-۹۱- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها شتاب ۱g ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SM/GM برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط غیرهمسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس



شکل ۳-۹۲- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها شتاب ۰/۳۵g ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SM برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط همسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس

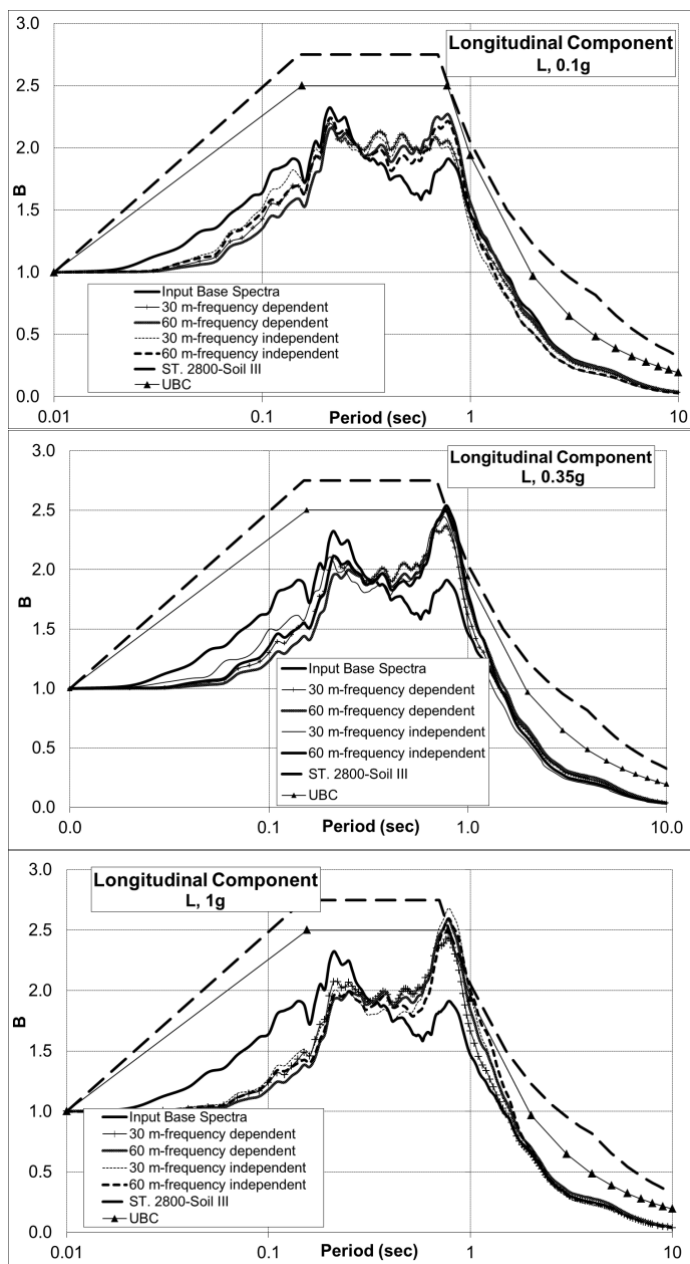


شکل ۳-۹۳- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها شتاب ۱g ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح ML برای سرعت موج برشی صحرایی و شرایط همسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس

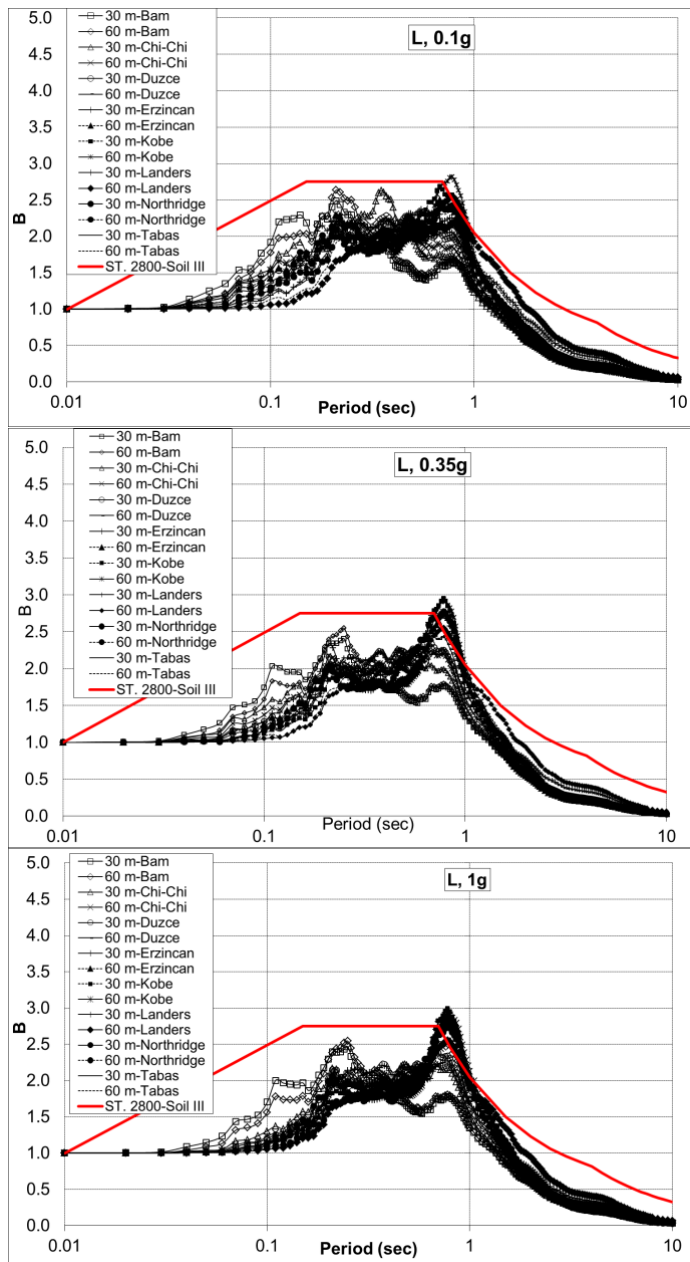


شکل ۳-۹۴- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها شتاب g_1 ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SW برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط غیرهمسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس

شکل (۳-۹۹) ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها شتاب g_1 و $0.35g$ و $0.1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای خاک نوع IV در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس را نشان می دهد. برای بررسی بهتر ضریب بازتاب برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب g_1 و $0.35g$ و $0.1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری برای خاک نوع IV در حالت وابستگی به فرکانس در شکل (۳-۱۰۰) ارائه شده است. نکته جالب توجه بیشتر بودن مقادیر طیف به صورت موضعی در پریود ۱ ثانیه و بیشتر در حالت وابستگی به فرکانس بارگذاری برای خاک نوع IV است. در صورتیکه در حالت غیر وابستگی به فرکانس بارگذاری طیف UBC هم از نظر حداکثر ضریب بازتاب ($2/5$) و هم از نظر T_s ($1/4$ ثانیه) مناسب است. لذا توصیه می شود حداکثر ضریب بازتاب به عدد $2/75$ و مقدار T_s به $1/4$ ثانیه افزایش یابد. در مورد مقادیر T_0 چنانچه مقادیر متوسط ضریب بازتاب معیار تصمیم گیری باشد برای هر دو مولفه افقی زلزله مقادیر UBC مناسب تر است. اما چنانچه زلزله های بالا فرکانس بالا (مولفه قائم زلزله های میدان نزدیک) در منطقه رخ دهد، آنوقت توصیه می شود که مقدار T_0 در انواع خاکها به 0.1 ثانیه محدود شود (شکلهای ۳-۱۰۱ تا ۳-۱۰۴). تفاوت چندانی بین مقادیر B در حالت همسان و غیرهمسان صحرایی برای خاک نوع I وجود ندارد. لذا ضریب بازتاب این نوع خاکها تنها به سرعت موج برشی وابسته است تا غیرهمسانی.



شکل ۳-۹۵- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله‌ها شتاب $g/1$ ، $g/350$ و $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای خاک نوع III در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس

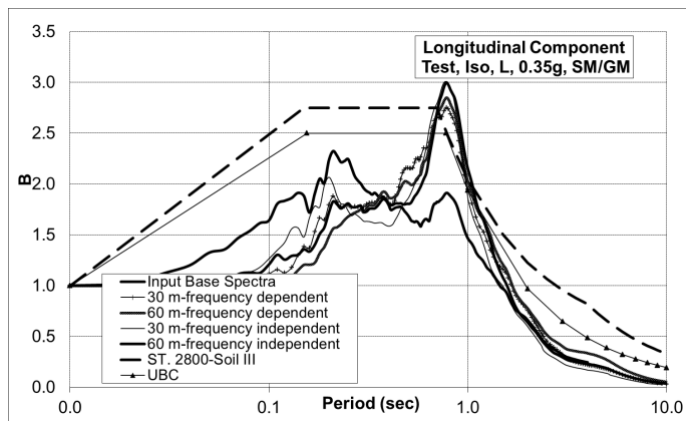


شکل ۳-۹۶- ضریب بازتاب برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب $g/1$ ، $g/0.35$ و g ستون خاک ۳۰ و ۶۰

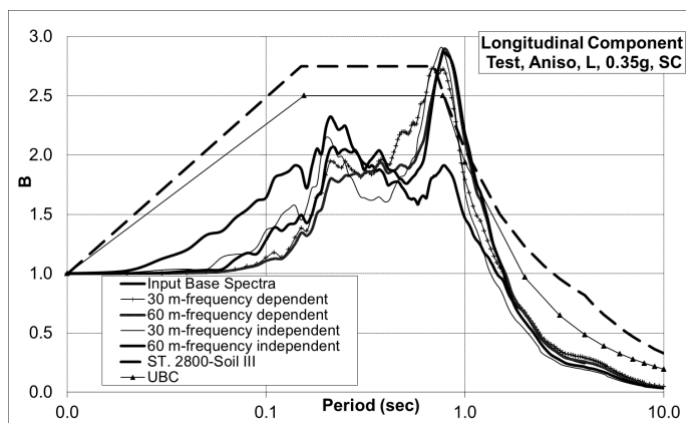
متری برای خاک نوع III در حالت وابستگی به فرکانس



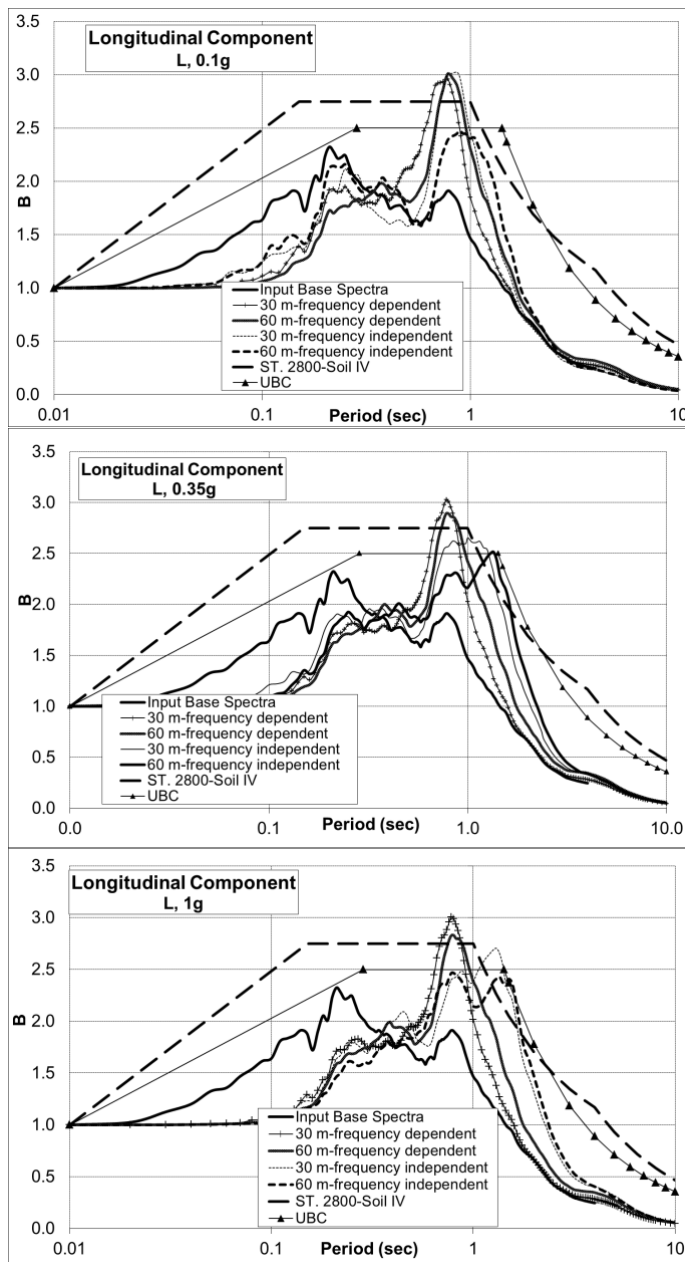
۲۱۰ / طیف طرح برای زلزله‌های میدان نزدیک با نگاهی بر اثر محتوای فرکانسی



شکل ۳-۹۷- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها شتاب ۰/۳۵g/ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SM/GM برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط همسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس



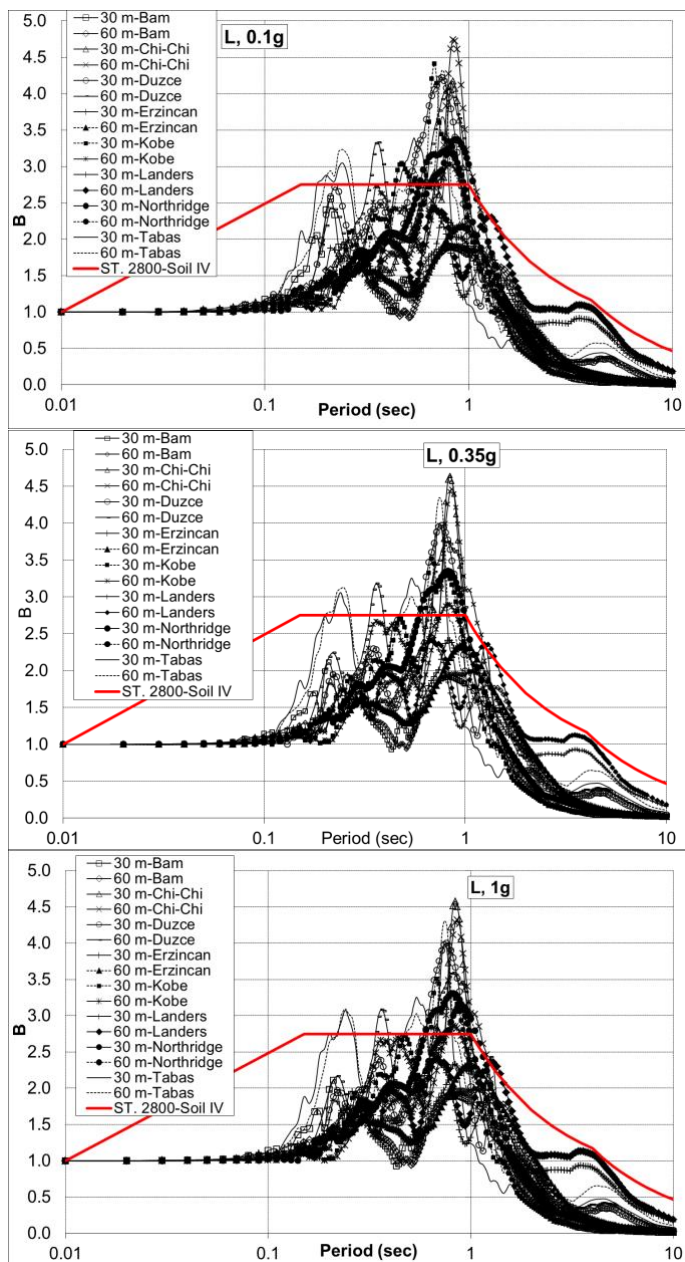
شکل ۳-۹۸- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها شتاب ۰/۳۵g/ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SC برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط غیرهمسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس



شکل ۳-۹۹- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه L زلزله ها شتاب $g/0.1$ ، $g/0.35$ و $g/1$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای خاک نوع IV در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس

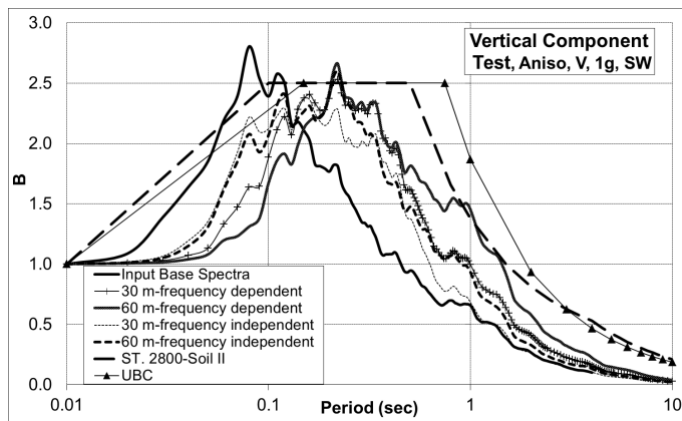


۲۱۲ / طیف طرح برای زلزله‌های میدان نزدیک با نگاهی بر اثر محتوای فرکانسی

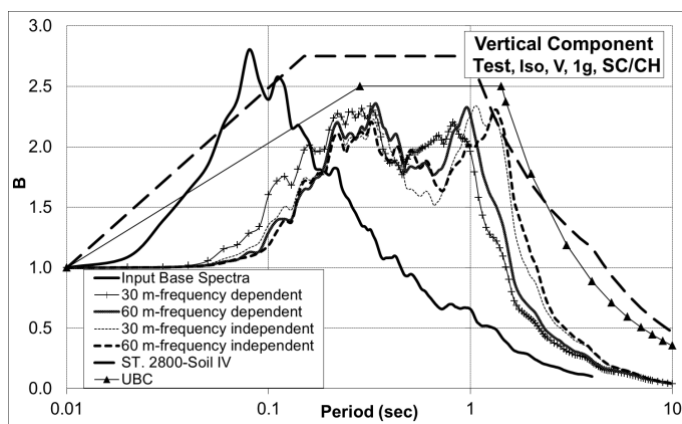


شکل ۳-۱۰۰- ضریب بازتاب برای مولفه L زلزله‌ها تحت شتاب $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ و ۶۰

متری برای خاک نوع IV در حالت وابستگی به فرکانس



شکل ۳-۱۰-۱- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه V زلزله ها شتاب ۱g ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SW برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط غیرهمسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس

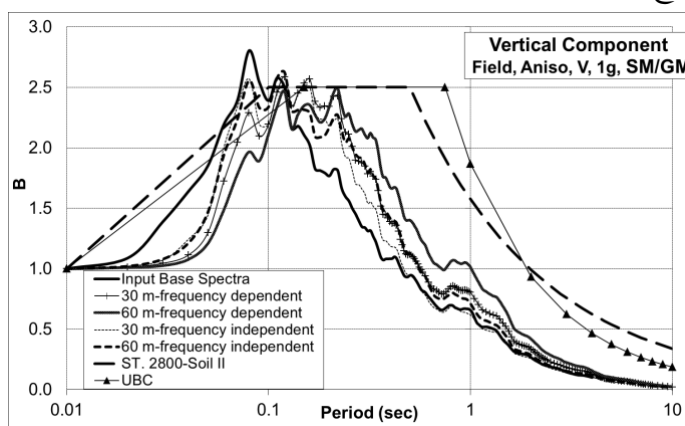


شکل ۳-۱۰-۲- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه V زلزله ها شتاب ۱g ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SC/CH برای سرعت موج آزمایشگاهی و شرایط همسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس

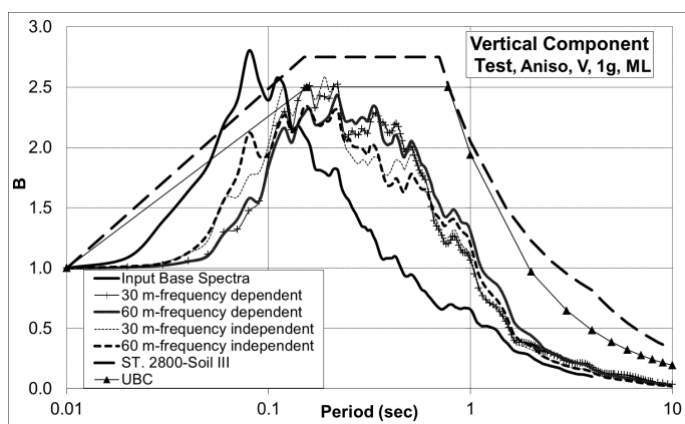
بین مقادیر B حالت همسان و غیرهمسان سرعت موج آزمایشگاهی، خاک نوع IV تفاوت وجود دارد. لذا به نظر می رسد، ضریب بازتاب برای خاکهای با سرعت موج برشی کم، وابسته منحنی رفتاری است. دیگر برای خاک نوع IV با در نظر گیری اثر محتوای فرکانسی و عمق مقدار طیف برای مولفه قائم زلزله ها که با فرکانس بیشتر از مقادیر نظیر مولفه های افقی می باشد، طیف ارائه شده توسط UBC مناسب می باشد. تفاوت چندانی به ضریب بازتاب مولفه های افقی زلزله های میدان نزدیک وجود ندارد.



به نظر می‌رسد با توجه به فرکانس بالای مولفه قائم زلزله‌ها طیف طراحی ۲۸۰۰ تنها برای مولفه قائم زلزله‌های میدان نزدیک مورد بررسی مناسب باشد. بطورکلی خاکهای با متوسط سرعت موج برشی کمتر از ۲۲۰ متر بر ثانیه برای شتاب حدود 1g بهتر از از طیف میدان نزدیک خاک IV استفاده شود. با در نظرگیری نتایج برای خاک درشت دانه در پژوهش آقای آرای [4] مقادیر طیف UBC میدان نزدیک برای خاک نوع II مناسب است.



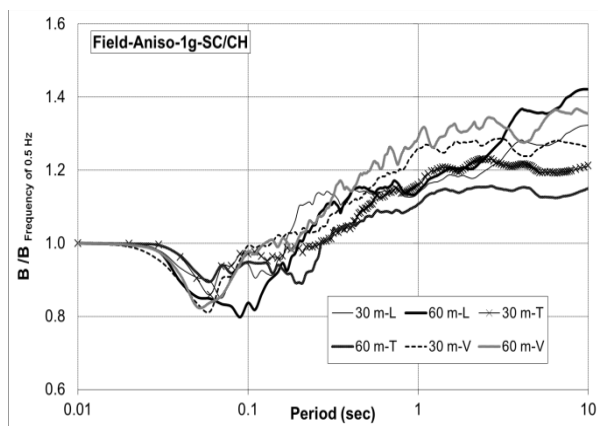
شکل ۳-۱۰-۳- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه V زلزله‌ها شتاب 1g ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SM/GM برای سرعت موج برشی صحرایی و شرایط غیرهمسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس



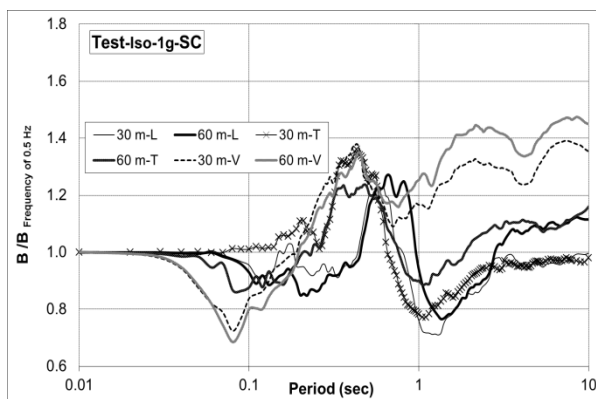
شکل ۳-۱۰-۴- ضریب بازتاب متوسط برای مولفه V زلزله‌ها شتاب 1g ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح ML برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط غیرهمسان در حالت وابستگی و غیر وابستگی به فرکانس

۳-۷- نسبت ضریب بازتاب خاکهای مختلف مورد بررسی

نسبت ضریب بازتاب متوسط (ضریب بازتاب در حالت وابستگی فرکانس به فرکانس 0.5 هرتز) برای مولفه های L ، T و V زلزله ها تحت شتاب $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ ستون خاک 30 و 60 متری مصالح برای سرعت موج برشی صحرایی و شرایط غیرهمسان و همسان در حالت وابستگی به فرکانس کمتر از 0.6 برای فرکانس 0.1 ثانیه وحداکثری کمتر از $1/8$ (خاک با سرعت موج برشی زیاد - نوع I و II) و حداقلی بیشتر از 0.7 (خاک با سرعت موج برشی کم- نوع III و IV) برای 1 ثانیه می باشد (شکل ۳-۱۰۵ و ۳-۱۰۶). پراکندگی نسبت برای مصالح غیرهمسان کمتر از مصالح همسان است. همچنین کاهش سرعت موج برشی سبب نامنظمی نسبت ضریب بازتاب می شود بطوریکه تعیین اثرات در نظریه اثر محتوای فرکانسی مشکل می شود. نتایج نسبت ضریب بازتاب برای خاک های مختلف در پیوست ۳ ارائه شده است.



شکل ۳-۱۰۵- نسبت ضریب بازتاب متوسط برای مولفه های L ، T و V زلزله ها تحت شتاب $1g$ ستون خاک 30 و 60 متری مصالح SC/CH برای سرعت موج برشی صحرایی و شرایط غیرهمسان در حالت وابستگی به فرکانس



شکل ۳-۱۰۶- نسبت ضریب بازتاب متوسط برای مولفه های L، T و V زلزله ها تحت شتاب ۱g ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح SC برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی و شرایط همسان در حالت وابستگی به فرکانس

۳-۸- نسبت شتاب طیفی متوسط خاکهای مورد بررسی

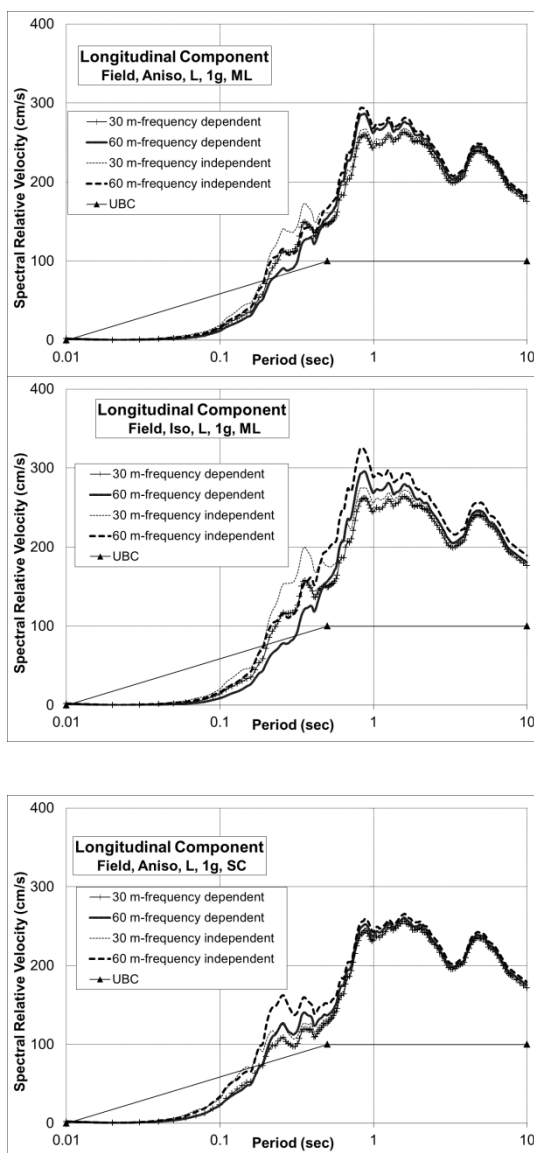
بررسی نسبت شتاب طیفی متوسط سه مولفه زلزله تحت شتاب $0.1g$ ، $0.35g$ و $1g$ ستون خاک ۳۰ متری مصالح SC/CH برای سرعت موج برشی صحرایی و آزمایشگاهی و حالت های غیرهمسان و همسان (شکلهای پیوست ۴) نشان می دهد که مقادیر نسبت شتاب طیفی در حالت های وابسته به فرکانس و غیر وابسته به فرکانس تفاوت قابل ملاحظه ای باهم ندارند به طوریکه مقادیر وابسته به فرکانس خصوصاً برای خاکهای نوع ۳ و ۴ تحکیم همسان آزمایشگاهی اندکی کمتر از مقادیر نظیر غیر وابسته به فرکانس برای تمام مولفه ها و سطح شتابها هستند.

۳-۹- طیف سرعت نسبی متوسط خاکهای مورد بررسی

نتایج طیف سرعت نسبی مصالح مختلف در پیوست ۵ ارائه شده است. بطورکلی مقادیر طیف سرعت نسبی با افزایش فرکانس زلزله کاهش محسوسی می یابد.

ذکر این نکته ضروری است که مقادیر طیف سرعت در حالت های وابسته به فرکانس و غیر وابسته به فرکانس تفاوت قابل ملاحظه ای باهم ندارند اما مقادیر وابسته به فرکانس خصوصاً برای خاکهای نوع III و IV، تحکیم همسان آزمایشگاهی اندکی کمتر از مقادیر نظیر غیر وابسته به فرکانس برای تمام مولفه ها و سطح شتابها و در

پریودهای کمتر رخ می دهد. تفاوت چندانی بین طیف سرعت نسبی برای مولفه های افقی زلزله وجود ندارد برای مولفه قائم با توجه به فرکانس بزرگتر، مقادیر سرعت نسبی طیفی کاهش می یابد.



شکل ۳-۱۰۷- طیف سرعت نسبی متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب ۱g استون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای سرعت موج برشی صحرایی



شکل (۳-۱۰۷) نسبت طیف سرعت نسبی متوسط برای مولفه L زلزله‌ها تحت شتاب $1g$ ستون خاک 30 و 60 متری مصالح مختلف برای سرعت موج برشی صحرایی را نشان می‌دهد. براساس نتایج وابستگی نسبت طیف سرعت نسبی به فرکانس بارگذاری برای سرعت موج برشی صحرایی (خاکهای دست نخورده) کم است.

شکل (۳-۱۰۸) نسبت طیف سرعت نسبی متوسط برای مولفه L زلزله‌ها تحت شتاب $1g$ ستون خاک 30 و 60 متری مصالح مختلف برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد برای مصالح با سرعت موج برشی کم، مقادیر طیف سرعت نسبی در حالت غیر وابسته به فرکانس بیشتر از مقادیر نظیر وابسته به فرکانس می‌باشد. براساس نتایج می‌توان برای شتابهای $0.35g$ و $1g$ به ترتیب برای خاک نوع I و II به ترتیب سرعت طیف سرعت نسبی 150 تا 300 cm/s و برای خاک نوع III و IV به ترتیب 250 تا 550 cm/s پیشنهاد می‌شود.

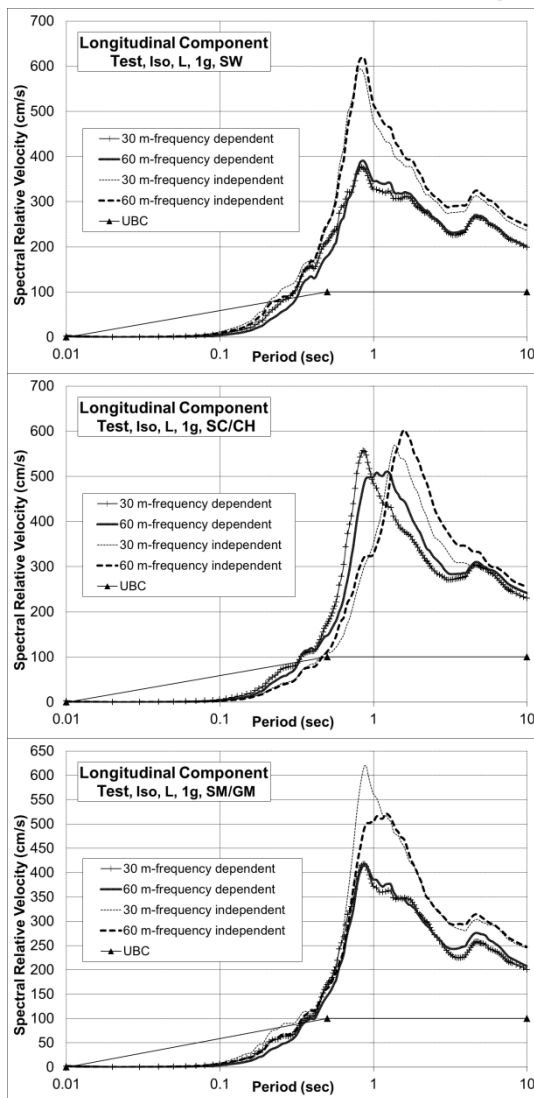
۳-۱۰- طیف جابجایی نسبی متوسط خاکهای مورد بررسی

نتایج طیف جابجایی نسبی در پیوست ۶ ارائه شده است. نسبت جابجایی نسبی با افزایش عمق ستون خاک (خصوصاً با کاهش سرعت موج برشی و تحت شتابهای بالا) و افزایش شتاب مبنای ورودی و کاهش سرعت موج برشی افزایش می‌یابد. ضمناً با افزایش فرکانس زلزله ورودی مقدار آن کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد.

ذکر این نکته ضروری است که مقادیر طیف در حالت‌های وابسته به فرکانس و غیر وابسته به فرکانس تفاوت قابل ملاحظه‌ای باهم ندارند. اما مقادیر وابسته به فرکانس خصوصاً برای خاکهای نوع ۳ و ۴ تحکیم همسان آزمایشگاهی اندکی کمتر از مقادیر نظیر غیر وابسته به فرکانس برای تمام مولفه‌ها و سطح شتابها هستند.

مطابق شکل (۳-۱۰۹) وابستگی نسبت طیف جابجایی نسبی به فرکانس بارگذاری برای سرعت موج برشی صحرایی (خاکهای دست نخورده) کم است. شکل (۳-۱۱۰) نسبت طیف جابجایی نسبی متوسط برای مولفه L زلزله‌ها تحت شتاب $1g$ ستون خاک 30 و 60 متری مصالح مختلف برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. نتایج

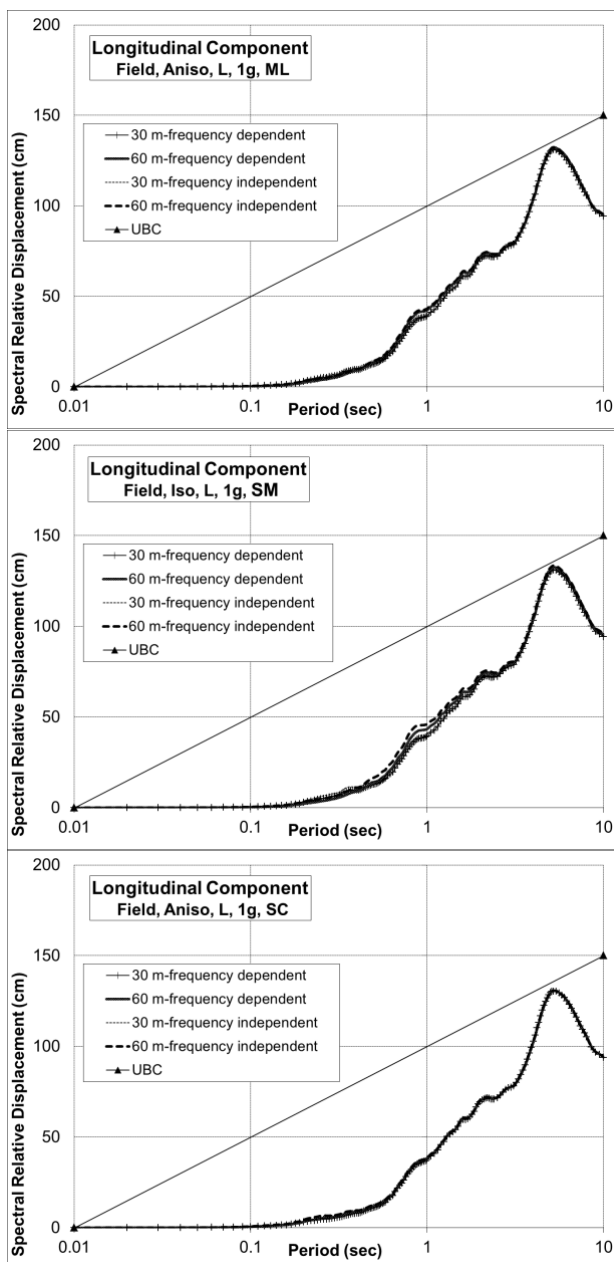
نشان می دهد برای مصالح با سرعت موج برشی کم، مقادیر طیف جابجایی نسبی در حالت غیر وابسته به فرکانس بیشتر از مقادیر نظیر وابسته به فرکانس می باشد. لازم به یاد آوری است که طیف جابجایی نسبی ارائه شده توسط UBC برای زلزله های میدان با حد بالای نتایج تحلیلها در این تحقیق مشابهت دارد.



شکل ۳-۱۰۸- طیف سرعت نسبی متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب ۱g استون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی

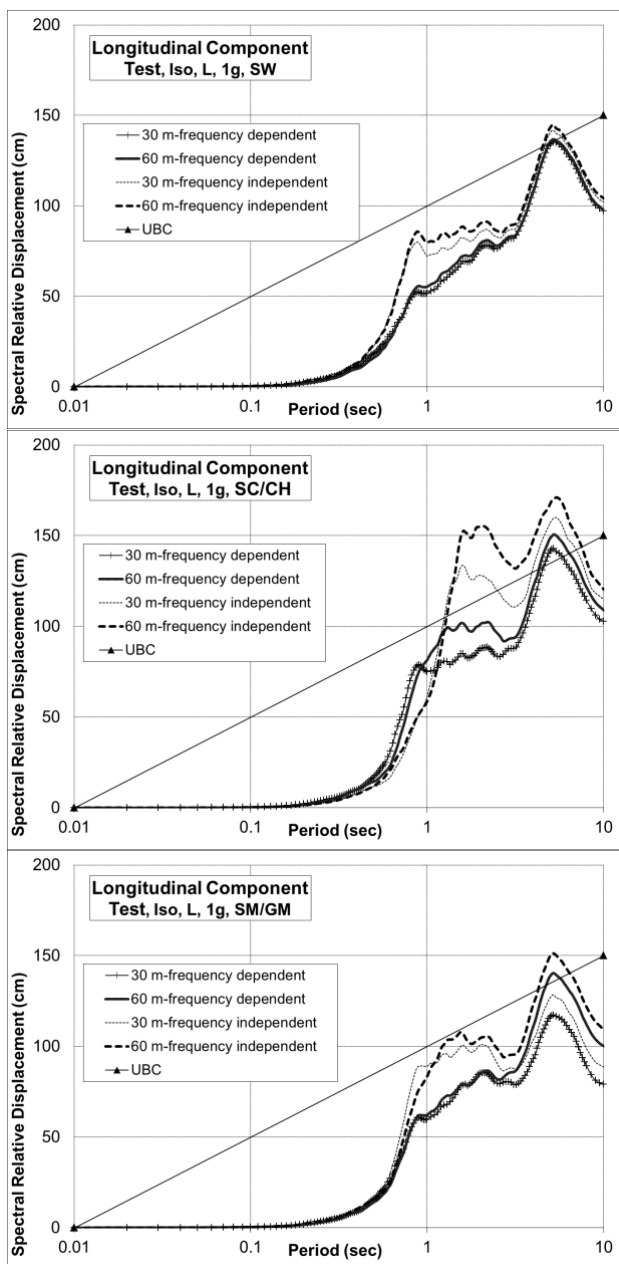


۲۲۰ / طیف طرح برای زلزله‌های میدان نزدیک با نگاهی بر اثر محتوای فرکانسی



شکل ۳-۱۰۹- طیف جابجایی نسبی متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب ۱g استون خاک ۳۰ و ۶۰

متری مصالح مختلف برای سرعت موج برشی صحرایی



شکل ۳-۱۱۰- طیف جابجایی نسبی متوسط برای مولفه L زلزله ها تحت شتاب ۱g ستون خاک ۳۰ و ۶۰ متری مصالح مختلف برای سرعت موج برشی آزمایشگاهی



۳-۱۱- محدودیت‌های تحلیل‌های به کار رفته

تحلیل‌های یک بعدی بکار رفته براساس الگوریتم‌های خطی معادل است که کرنش موثر را در تمام فرکانس‌ها جهت انتخاب مدول برشی و نسبت میرایی به کار می‌برد. بنابراین این تحلیل‌ها، مولفه‌های وابسته به فرکانس‌های بالای جنبش زمین را که کرنش‌های برشی کمتری مورد انتظار است، کمتر تخمین می‌زند، اما در کرنش‌های بزرگتر از کرنش برشی موثر، جنبش نیرومند زمین که محدوده وسیعی از کرنش‌های برشی را شامل می‌شود، این وابستگی را بیشتر تخمین می‌زند. بنابراین در این حالت استفاده از یک کرنش موثر برای نشان دادن وابستگی رفتار خاک به فرکانس در کلیه کرنش‌ها کم دقت می‌شود. یک مدل غیرخطی یا یک مدل خطی معادل اصلاح شده برای تحلیل دقیق مورد نیاز است [38].

۳-۱۲- جمع بندی

چندین زلزله میدان نزدیک معرف جهت بررسی اثر محتوای فرکانسی برای تحلیل‌ها انتخاب شدند. فرکانس غالب زلزله‌های انتخابی بین ۱ تا ۱۳ هرتز متغیر می‌باشد. تحلیل‌های یک بعدی با نرم‌افزار EERA بر ستون‌هایی از خاک به ارتفاع ۳۰ و ۶۰ متر انجام شدند. از مشخصات خاک‌های مخلوط مختلف (۶ نوع خاک) ارائه شده در این تحقیق تحت تنش‌ها و فرکانس‌های متفاوت استفاده شده است. تحلیل‌ها برای سه سطح زلزله یعنی ۰/۱، ۰/۳۵ و ۱g صورت گرفته است که تاریخچه زمانی شتاب زلزله‌ها با توجه به مقدار شتاب مورد نظر به صورت ساده مقیاس شده است. در کل ۳۴۵۶ تحلیل برای هر خاک و در مجموع بیش از ۲۰۷۳۶ تحلیل صورت گرفت و پارامترهایی چون بزرگنمایی، طیف شتاب، نسبت شتاب طیفی، ضریب بازتاب (B) طیف سرعت و طیف جابه‌جایی در سطح زمین مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده می‌شود که فرکانس بارگذاری اثر قابل ملاحظه‌ای روی طیف پاسخ، به‌ویژه در محدوده پریودهای طولانی تحت فرکانس‌های بارگذاری بالا دارد. به طور کلی طیف پاسخ زلزله‌های میدان نزدیک انتخابی و طیف طراحی آیین‌نامه‌ها در محدوده وسیعی از پریودها با هم تطابق ندارند.

فصل چهارم

۴-۱- جمع بندی و نتیجه گیری

آزمایشهای سه محوری دینامیکی انجام شده روی مصالح خاکی نشان داد که فرکانس بارگذاری بر مقادیر مدول برشی و خصوصاً نسبت میرایی تأثیرگذار است. این نتایج می تواند بر طیف پاسخ خاک تأثیر گذار باشد. پرسش اینجا است که چرا با وجود داده های کافی مبنی میرایی بیشتر در فرکانس بالاتر (مثلاً ۱ هرتز) باز هم اصرار بر ارائه نتایج مشابه فرکانس های کمتر از ۰/۲ هرتز در کرنش های کوچک وجود دارد. مثلاً در مطالعات انجام شده [53] روی مصالح ماسه ای و ریزدانه، با تغییر فرکانس از ۰/۵ هرتز به ۱ هرتز در تنش محدودکننده 1 kg/cm^2 ، میرایی در کرنش های کوچک از ۱ به ۵ افزایش می یافت و ضمناً نسبت مدول برشی هم متأثر از فرکانس بوده است، اما این نتایج در منحنی های پیشنهادی $(G/G_{\max} - \gamma)$ و $(D - \gamma)$ انعکاس نیافته است. در نظر نگرفتن اثر فرکانس بارگذاری بر رفتار مصالح، خصوصاً بر میرایی و تبدیل آن به یک عدد ثابت کوچک (زیر ۲٪ در کرنش کوچک کمتر از 10^{-5} حتی با وجود میرایی تا ۵٪)، به صورت مصنوعی ظرفیت خاک در زایل کردن انرژی در بعضی از محدوده های فرکانسی کمتر تخمین زده می شود [26].

اخیراً تحلیل هایی برای به دست آوردن طیف پاسخ زمین در لایه های آبرفتی تحت برخورد موج برشی افقی برای تعدادی مولفه عمود بر صفحه گسل زلزله میدان واقعی انجام شده است [2]. نتایج نشان داد که محتوای فرکانسی زلزله ها در طیف پاسخ زمین هم مهم است [2, 54]. علت انتخاب زلزله های میدان نزدیک و خصوصاً مولفه عمودی



آن این است که اولاً طیف سرعت آنها از نوع حرکت‌های پالس‌مانند بوده و معیار مناسبی برای بیان بزرگی زلزله‌های بزرگ و میزان خرابی سازه‌ها در زلزله‌های میدان نزدیک است [54,2]، ثانیاً محتوای فرکانسی آنها کمتر تحت تاثیر مسیر قرار می‌گیرد و ثالثاً با توجه عوامل مختلف، مثل ظاهر شدن گسلش در سطح و یا پنهان بودن آنها، دارای پریود پالس سرعت متفاوت ($0/4$ تا 10 ثانیه برای زلزله‌های میدان نزدیک بررسی شده) می‌باشد [54,41]،

نتایج مطالعات قبلی برای خاکهای درشت دانه سنگریزه ای (خاک نوع II آیین نامه ۲۸۰۰) با در نظرگیری اثر محتوای فرکانسی نشان داد، که انتخاب رفتار دینامیکی مصالح تحت فرکانس بارگذاری مناسب در تطابق نسبی با فرکانس غالب زلزله از اهمیت خاصی برخوردار است؛ به‌طوری‌که در نظرگیری اثر محتوای فرکانسی باعث بیشتر شدن پریود متناظر T_s استاندارد ۲۸۰۰ در پریودهای بیش از $0/5$ ثانیه می‌شود. اهم نتایج ادبیات فنی در مورد اثر محتوای فرکانسی بر طیف پاسخ زلزله‌های میدان نزدیک به شرح زیر است:

- با افزایش شتاب سنگ بستر، مقادیر نسبت بزرگنمایی سطح برای مصالح بارگذاری تحت فرکانس پایین افزایش می‌یابد؛ برای مصالح آزمایش شده در فرکانس نزدیک با فرکانس غالب به طور متوسط و برای مصالح بارگذاری شده در فرکانس بالا کمتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد. افزایش شتاب سنگ بستر، سبب کاهش سریع‌تر دامنه بزرگنمایی در فرکانس‌های بالاتر می‌شود و همچنین فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی با افزایش شتاب سنگ بستر کاهش می‌یابد. همچنین مقادیر نسبت بزرگنمایی برای ستون خاک ۹۰ متری کمتر از مقادیر نظیر ۳۰ متری است.

- ضریب بازتاب با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح به‌کار رفته در پریودهای کم کاهش و ضریب بازتاب در پریودهای بالا افزایش می‌یابد.

- مقادیر متوسط T_s (پریود متناظر با محل برخورد قسمت افقی و نزولی طیف) برای تعداد قابل توجهی از زلزله‌های میدان نزدیک مورد بررسی بیش از $0/5$ ثانیه ارائه شده در آیین نامه ۲۸۰۰ می‌باشد. ضمناً برای ارتفاع ستون خاک ۳۰ متری مقدار متوسط

شتاب ثابت طیف برای اکثر زلزله‌های میدان نزدیک بیش از مقادیر ۲/۵ آیین نامه ۲۸۰۰ است. براساس نتایج این تحقیق با در نظرگیری اثر محتوای فرکانسی بر رفتار مصالح، طیف بازتاب استاندارد ۲۸۰۰ ایران برای پریودهای طولانی مقادیر بالا و برای پریودهای پایین مقادیر نامطمئن دارد.

- چنانچه مقدار شتاب طیفی برای ستون خاک با مشخصات مصالح ۰/۱ هرتز به عنوان مرجع در نظر گرفته شود، ملاحظه می‌شود که با افزایش فرکانس بارگذاری مصالح به کار رفته در ستون خاک، نسبت شتاب طیفی کاهش می‌یابد. از نکات جالب توجه متفاوت نسبت شتاب طیفی در صورت استفاده از مقادیر میرایی و نسبت مدول برشی سید و همکاران [51] و رولینز و همکاران [52] در محدود ۰/۵ تا ۲ ثانیه می‌باشد که مقادیر نسبت مذکور بالای ۱ می‌باشد. ضمناً با افزایش شتاب سنگ بستر نسبت مذکور در محدوده پریودهای یاد شده، افزایش می‌یابد. مقادیر نسبت شتاب طیفی با افزایش عمق ستون خاک کاهش می‌یابد.

- چنانچه تطابق فرکانس غالب زلزله با فرکانس بارگذاری مصالح مدنظر باشد، برای مولفه عمود بر گسل زلزله بم (حدود ۴/۹ هرتز زلزله به ۵ هرتز بارگذاری مصالح)، حداکثر نسبت شتاب طیفی در برابر پریود برای ستون خاک ۳۰ متر در حداکثر شتاب مبنای سنگ بستر ۰/۱g، ۰/۳۵g و ۱g در فرکانس ۱ هرتز بین ۰/۳۸ تا ۰/۴۶ می‌باشد. مقادیر مذکور برای زلزله لندرز با فرکانس غالب حدود ۹/۴ هرتز بین ۰/۲ تا ۰/۳ با توجه به شتاب سنگ بستر می‌باشد. بنابراین انتخاب مصالح تحت فرکانس بارگذاری مناسب در تطابق نسبی با فرکانس غالب زلزله مهم است.

- برای خاکهای بسیار متراکم دست خورده شنی، فرکانس بارگذاری مصالح اثر چندانی بر طیف سرعت و جابه‌جایی نسبی، چه از نظر مقدار و چه از نظر پریود متناظر با حداکثر طیف سرعت و جابه‌جایی نسبی ندارد. مقادیر شتاب روی سنگ بستر بر مقدار حداکثر طیف سرعت و جابه‌جایی نسبی تاثیر دارد اما بر فرم کلی منحنی طیف سرعت و جابه‌جایی نسبی بسیار کم تاثیر است. افزایش عمق ستون خاک تاثیری بر شکل طیف سرعت و جابه‌جایی نسبی ندارد.



تا توجه به اهمیت بررسی رفتار دینامیکی سایر مصالح مخلوط خاکی با توجه به اثر غیرهمسانی و فرکانس بارگذاری مطالعاتی توسط آقایی آرای و همکاران (۱۳۹۴) انجام شد.

در آن تحقیق با انجام آزمایش توسط دستگاه سه محوری بزرگ مقیاس روی تعدادی مصالح دست خورده بازسازی شده حاصل از تعدادی گمانه های حفر شده در شهرهای استان سمنان و تهران اثر تنش محدود کننده، ناهمسانی و فرکانس های ۰/۵ تا ۱۰ Hz در کرنشهای کمتر از ۰/۱٪ بررسی شد. تنش های محدودکننده ۱، ۲، 5 kg/cm^2 در نظر گرفته شده است. اکثر نمونه ها تحت شرایط رطوبت طبیعی آماده و تحت شرایط تنش محدود کننده مختلف (همسان، ناهمسان القایی) تنشی با نسبت σ'_1/σ'_3 بین ۱/۵ تا ۲ قرار گرفته و تحت بارگذاری سیکلی قرار گرفتند. تعدادی نمونه هم با رطوبتهای کمتر از رطوبت بهینه تحت بارگذاری مختلف قرار گرفتند. در کل روی ۲۲ نمونه استوانه ای با قطر ۲۰ cm و ۴۰ cm ارتفاع آزمایش صورت گرفت و مدول برشی و میرایی حداقل شش نوع مصالح موجود در گمانه ها بررسی شد. همچنین در محدوده فرکانس های یاد شده، با استفاده از سایر نتایج خواص دینامیکی آبرفت طبیعی، منحنی مدول برشی و نسبت میرایی در برابر کرنش برشی ارائه شد.

تحلیلهای یک بعدی برای ارزیابی اثر فرکانس بارگذاری در تحلیلهای یک بعدی خطی معادل زمین و برای چندین زلزله های میدان نزدیک انجام شد. در آیین نامه های ساختمانی فعلی ۳۰ متر بالایی نهشته سطحی خاک که روی پوسته با امپدانس بالا قرار می گیرد، در نشان دادن رفتار لرزه ای پاسخ زمین مهم فرض می شود. از طرفی با توجه به گودبرداری های فعلی که دارای عمقی حدود ۳۰ متر هستند بررسی ستون خاک با اعمال بیشتر هم باید مد نظر باشد. لذا تحلیلهای برای ستون خاکهای بیشتر مثلاً ۶۰ متر هم بررسی شده است. منحنی رفتار دینامیکی مصالح خاکی بومی کشور مورد استفاده در تحلیلهای به تفکیک معرفی شدند. بعد از محاسبه G_{max} منحنی های G/G_{max} و $D-\gamma$ برای مصالح مختلف با محدوده منحنی های پیشنهادی توسط محققین مختلف ارائه و مقایسه شد. بطور کلی افزایش فرکانس سبب افزایش مقادیر

مدول برشی در کرنشهای کوچک می‌شود، اما با افزایش میزان کرنش از اثر افزایشی فرکانس بارگذاری بر مدول برشی برای مصالح چسبنده کاسته نمی‌شود. نکته جالب توجه دیگر اثر اندک فرکانس بر مقادیر مدول برشی در مصالح با درصد ریزدانه بالای ۷۰٪ و بدون چسبندگی می‌باشد. مقایسه مقادیر مدول برشی در حالت نمونه همسان و نمونه تحت تنش محوری قائم اولیه نشان داد که وجود تنش محوری قائم اولیه باعث افزایش مقادیر مدول برشی در نمونه های درشت دانه و اثر اندک آن در نمونه های ریزدانه (چسبنده یا غیرچسبنده) می‌شود. افزایش فرکانس سبب کاهش مقادیر G/G_{max} در برابر γ در یک کرنش معین می‌شود. افزایش تنش محدودکننده سبب کاهش مقادیر میرایی می‌شود. با افزایش فرکانس بارگذاری مقادیر نسبت میرایی نه تنها در کرنش های کوچک بلکه در کرنش ها متوسط و بالا افزایش می‌یابد. خلاصه ای از نتایج آزمایشها با تمرکزی فرکانس بارگذاری و غیرهمسانی روی ۶ مصالح مختلف مورد استفاده به شرح زیر می‌باشد:

- افزایش فرکانس سبب افزایش مقادیر مدول برشی در کرنش های کوچکتر از ۰/۰۱٪ برای مصالح درشت دانه و افزایش مقدار مدول برشی در تمام سطوح کرنش مورد بررسی برای مصالح چسبنده می‌شود. اما از اثر افزایشی فرکانس بارگذاری بر مدول برشی در مصالح ریزدانه بدون چسبندگی با افزایش درصد ریزدانه کاسته می‌شود. چنانچه سطح کرنش ۰/۱٪ و ۰/۰۰۰۱٪ معیار قرار گیرد، ملاحظه می‌شود که مدول برشی حداکثر مصالح ریزدانه تقریباً برابر با مدول برشی حداقل مصالح درشت دانه است.
- مقادیر متوسط مدول برشی حداکثر در حالت تحکیم تحت تنش محوری قائم اولیه بیشتر از مقادیر نظیر تحکیم همسان می‌باشد.
- با افزایش کرنش، نرخ افزایش مدول برشی با افزایش فرکانس بارگذاری و غیرهمسانی اندکی کاهش می‌یابد.
- به طور کلی زمانی که تنش محدودکننده افزایش می‌یابد، مقدار G/G_{max} در برابر γ در یک کرنش معین افزایش می‌یابد.



- در کلیه مصالح یک روند کاهش با افزایش فرکانس بارگذاری در منحنی G/G_{max} در برابر γ مشاهده می‌شود.
- مقدار G/G_{max} مصالح درشت دانه و ریزدانه غیرچسبنده مورد مطالعه تقریباً در محدوده‌های پایین پیشنهادی Seed و Idriss [57] قرار می‌گیرند، همچنین برای مصالح چسبنده مقادیر یاد شده تقریباً در محدوده‌های پایین منحنی متوسط پیشنهادی Vucetic و Dobry [58] قرار می‌گیرند. لذا مرزهای منحنی‌های پیشنهادی قبلی نسبت مدول برشی با تغییر جنس و مقاومت دانه‌ها عوض می‌شود.
- مقایسه مقادیر مدول برشی در حالت نمونه همسان و نمونه تحت تنش محوری قائم اولیه نشان می‌دهد که تنش محوری قائم اولیه باعث افزایش حدود ۳۰ درصدی مقادیر مدول برشی در مصالح درشت دانه می‌شود.
- با افزایش تنش محدود کننده نسبت میرایی مصالح کاهش می‌یابد. مقادیر نسبت میرایی شدیداً متأثر از فرکانس بارگذاری است. نکته بسیار مهم افزایش میرایی با افزایش فرکانس بارگذاری نه تنها در کرنشهای کوچک (0.001%) بلکه در کرنشهای متوسط (0.1% تا 1%) می‌باشد. به نظر می‌رسد که مقادیر میرایی برای بعضی از مصالح مورد بررسی در هر فرکانس بارگذاری به حدی میل می‌کند. حداکثر مقدار میرایی اندازه‌گیری شده در این مطالعات ۴۰٪ می‌باشد. طبق ادبیات فنی مقادیر میرایی مصالح درشت دانه شنی تیزگوشه بیش از مقادیر نظیر برای مصالح ماسه‌ای و ریزدانه می‌باشد. بخشی از این میرایی مربوط به تغییر کردن شکل نیروی اعمالی در طول نمونه بزرگ سه محوری به علت تاخیر زمانی انتقال آن در بین مرز تماس دانه‌ها می‌باشد که باعث نوعی پراکندگی در اثر هندسه مصالح می‌شود. در این مصالح تغییر شکل بعد از کسر بسیار کوچکی از زمان بعد از اعمال نیرو در آنها در سرعت‌های بارگذاری بالا مشاهده می‌شود. نکته دیگر اثر مثبت اینرسی ذرات دانه‌ای در افزایش میرایی است. برخورد دانه‌ها به هم و در نتیجه شکست

دانه ها و همچنین تمایل مصالح به کاهش حجم، سبب تماس بیشتر بین دانه ها و در نتیجه افزایش بیشتر انرژی زایل شونده (میرایی) می شود. حساسیت مصالح مستعد شکست به فرکانس بارگذاری و تمایل به افزایش میرایی در آنها، نیاز به بررسی بیشتر دارد.

- حداکثر مقدار میرایی اندازه گیری شده در این مطالعات ۴۰٪ برای نمونه های درشت دانه با درصد ریزدانه کم و حدود ۳۵٪ برای نمونه دارای درصد ریزدانه بالای ۱۰٪ می باشد. لذا طبق معادله $M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f$ نسبت میرایی برای مصالح درشت دانه به ریزدانه کم را می توان به سه بخش تقسیم کرد. بطوریکه در فرکانس ۱۰ هرتز سهم اینرسی در فرکانس های بزرگ برای دانه های درشت دانه با ریزدانه کمتر از ۴٪ حدود ۱۰٪ (از ۴۵٪ کل)، سهم فرکانس حدود ۲۰٪ و سهم کرنش هم حدود ۱۵٪ می باشد. اثر وزن کلاهی در افزایش میرایی با افزایش فرکانس اندک می باشد.
- میرایی کمتر مصالح خاکی در مقایسه با مصالح سنگریزه ای می تواند ناشی کمتر بودن از استهلاک انرژی در مرز تماس دانه های مصالح خاکی به علت وجود درصد ریزدانه بیشتر و دانه های شن کمتر باشد.
- در کل نتایج نسبت میرایی در برابر کرنش برشی مصالح مورد بررسی تحت فرکانس بارگذاری ۰/۵ هرتز حدوداً منطبق بر محدوده بالای ارائه شده در ادبیات فنی می باشد. در صورتی که در فرکانس های بالا (۵ و ۱۰ هرتز) نتایج نسبت میرایی کاملاً در بالای محدوده بالای منحنی های ارائه شده قبلی می گیرند.
- در یک کرنش معین در حالت نمونه تنش محوری قائم اولیه مقادیر نسبت مدول برشی خصوصاً در فرکانس های پایین (۰/۵ هرتز) کمتر از مقادیر نظیر تحکیم همسان می باشد.
- اثر غیرهمسانی باعث کاهش اندک نسبت میرایی می شود.



- اثر تنش محدودکننده در افزایش مقادیر G برای مصالح با PI بالا اندک می‌باشد.
 - برای مصالح با PI بالا نکته جالب توجه کاهش کرنش برشی نظیر محدوده میرایی ثابت در فرکانس‌های ۵ و ۱۰ هرتز از ۰/۰۲٪ به حدود ۰/۰۱٪ به ترتیب برای نمونه‌های همسان و نمونه تحت تنش محوری قائم می‌باشد.
 - برای مصالح ریزدانه بدون PI (ML) نکته جالب توجه اثر کمتر فرکانس بارگذاری بر مقادیر مدول برشی آن در مقایسه با دیگر مصالح مورد بررسی در این تحقیق می‌باشد.
 - مقدار تاثیر پارامترهای σ'_3 ، تحکیم غیرهمسان، شکل بار نوسانی، ابعاد نمونه، شرایط رطوبت و فرکانس، در افزایش مقدار G در سطح کرنشهای یکسان براساس نوع مصالح قابل تعین و بررسی است. بطورکلی در انتخاب منحنی های متوسط $G/G_{max}-\gamma$ در تحلیل ها باید علاوه بر جنس دانه به فرکانس بارگذاری، ابعاد نمونه، رطوبت، درصد ریزدانه، چسبندگی، درصد درشت دانه و میزان غیرهمسانی هم توجه شود.
- در ادامه با استفاده از منحنی دینامیکی با تمرکزی بر فرکانس و غیرهمسانی، تحلیل‌های یک بعدی برای زلزله های میدان نزدیک انجام شد. در این مطالعه چندین زلزله میدان نزدیک معروف برای تحلیل انتخاب شدند. فرکانس غالب این زلزله‌ها بین ۱ تا ۱۳ هرتز است. تحلیل‌های یک بعدی با نرم‌افزار EERA [48] با استفاده از داده‌های شتاب‌نگاشت هر سه مولفه زلزله‌ها بر ستون‌هایی از خاک به ارتفاع ۳۰ و ۶۰ متر به صورت افقی انجام شدند. منحنی‌های رفتاری شش مصالح تحت تنش‌ها و فرکانس‌های متفاوت به کار گرفته شده است. با توجه به مشابهت مدل رفتار وابسته به فرکانس EERA و Deep Soil و سادگی دسترس به محیط exeel در نرم افزار EERA، در این مطالعات از نرم افزار EERA استفاده شده است. در ایران براساس مطالعات لرزه زمین ساخت، شتاب حرکت افقی زمین (g) برای دوره بازگشت (سال) مختلف بر روی سنگ کف که عددی بین ۰/۱۳ تا ۰/۶۶ می باشد. میزان شتاب زلزله های میدان

نزدیک بکار رفته در این تحلیلها عددی بین $0.34g$ تا $1g$ است. لذا تحلیلها برای سه سطح از زلزله یعنی $0.1g$ ، $0.35g$ ، و $1g$ صورت گرفته است که تاریخچه زمانی شتاب زلزلهها با توجه به مقدار شتاب مورد نظر به صورت ساده مقیاس شده است. مقدار شتاب سنگ بستر برای خاک S_D آیین نامه UBC (خاک نوع III ایران) برای فواصل کمتر از 2 km برای دوره بازگشت 475 ساله هم حدود $0.66g$ بدست آمد.

تعداد 3456 تحلیل برای هر نوع خاک و در مجموع بیش از 20736 تحلیل صورت گرفت و پارامترهایی چون بزرگنمایی، طیف شتاب، نسبت شتاب طیفی، ضریب بازتاب (B آیین نامه 2800) [9] طیف سرعت نسبی و طیف جابجایی نسبی در سطح زمین مورد بررسی قرار گرفت. لایههای خاک هم به ضخامت $1/5$ و 2 متری در سطح زمین و 3 متری در اعماق بیشتر تقسیم و با توجه به عمق و سطح تنش، منحنی رفتاری مناسب مصالح انتخاب شده است. همچنین برای مصالح مختلف مورد بررسی مقادیر نسبت میرایی و نسبت مدول برشی حداقل، متوسط و حداکثر سید و ایدریس [57]، سید و همکاران [52]، رولینز و همکاران [52] و ووستیک و دوبری [58] با توجه به سطح تنش در تعدادی تحلیل به کار گرفته شده است. در کلیه تحلیلها برای سنگ بستر هم از منحنی نسبت مدول برشی و میرایی- کرنش برشی ادریس [59] استفاده شده است. تحلیلها برای میرایی 5% انجام شده است. از مشخصههای بارز زلزلههای میدان نزدیک این است که با کاهش فرکانس غالب، حداکثر سرعت نسبی طیفی افزایش می یابد. نتایج این تحلیلها به شرح زیر است:

- براساس نتایج، ضریب بزرگنمایی برای مصالح مخلوط خاکی با افزایش شتاب مبناي ورودی کاهش می یابد. در فرکانسهای کم مقادیر ضریب بزرگنمایی در حالت وابسته به فرکانس کمتر از مقادیر نظیر غیر وابسته به فرکانس است (تا نصف کمتر می باشد). در فرکانسهای کم مقادیر ضریب بزرگنمایی در حالت ستون خاک 60 متری کمتر از مقادیر نظیر برای ستون خاک 30 متری است. مقادیر بزرگنمایی در حالت همسان بیشتر از مقادیر نظیر غیرهمسان می باشد. مقادیر ضریب



- بزرگنمایی حداکثر برای ستون خاک ۳۰ متری در فرکانس بزرگتری رخ می دهد. بطورکلی تفاوت چندانی بین ضریب بزرگنمایی مولفه های افقی وجود ندارد.
- با کاهش سرعت موج برشی (تغییر نوع خاک از I به III) مقادیر ضریب بزرگنمایی افزایش می یابد. ضمناً فرکانس نظیر حداکثر بزرگنمایی با تغییر نوع خاک از I به III کاهش می یابد. مقادیر حداکثر ضریب بزرگنمایی در حالت وابسته به فرکانس در فرکانس کمتری رخ می دهد. با افزایش فرکانس زلزله مقادیر ضریب بزرگنمایی کاهش می یابد. مصالح SM/GM کمترین مقدار ضریب بزرگنمایی در بین مصالح را دارند.
- نتایج نشان می دهد که طیف میدان نزدیک ارائه شده توسط UBC برای خاک نوع I با توجه به پریود TS برابر ۰/۵ ثانیه مناسبتر از طیف آیین نامه ۲۸۰۰ است. همچنین طیف میدان نزدیک ارائه شده توسط UBC برای خاک نوع II مناسب است. لذا Ts طیف آیین نامه ۲۸۰۰ برای خاک نوع II باید از ۵/۰ به حدود ۰/۷۵ ثانیه افزایش یابد. مقادیر Ts برای خاک نوع III در هر دو آیین نامه ۲۸۰۰ و UBC نامناسب است و باید به ۹/۰ ثانیه افزایش یابد. براساس مقادیر متوسط، افزایش ضریب بازتاب حداکثر از ۲/۵ به ۲/۷۵ آیین نامه ۲۸۰۰ هم مناسب نمی باشد. زیرا تنها در پریود حدود ۰/۹ ثانیه مقادیر ضریب بازتاب به صورت موضعی برای خاک نوع III بیش از ۲/۵ می باشد. نکته جالب توجه بیشتر بودن مقادیر طیف به صورت موضعی در پریود ۱ ثانیه و بیشتر در حالت وابستگی به فرکانس بارگذاری برای خاک نوع IV است. در صورتیکه در حالت غیر وابستگی به فرکانس بارگذاری طیف UBC هم از نظر حداکثر ضریب بازتاب (۲/۵) و هم از نظر Ts (۱/۴ ثانیه) مناسب است. لذا توصیه می شود حداکثر ضریب بازتاب به عدد ۲/۷۵ و مقدار Ts به ۱/۴ ثانیه افزایش یابد.
- در مورد مقادیر T_0 چنانچه مقادیر متوسط ضریب بازتاب معیار تصمیم گیری باشد برای هر دو مولفه افقی زلزله مقادیر UBC مناسب تر است. اما چنانچه زلزله های

- با فرکانس بالا (مولفه قائم زلزله های میدان نزدیک) در منطقه رخ دهد، آنوقت توصیه می شود که مقدار T_0 در انواع خاکها به 0.1 ثانیه محدود شود.
- تفاوت چندانی بین مقادیر B در حالت همسان و غیرهمسان صحرایی برای خاک نوع I وجود ندارد. لذا B این نوع خاکها تنها به سرعت موج برشی وابسته است تا غیرهمسانی.
- بین مقادیر B حالت همسان و غیرهمسان سرعت موج آزمایشگاهی، خاک نوع IV تفاوت وجود دارد. لذا به نظر می رسد، ضریب بازتاب برای خاکهای با سرعت موج برشی کم، وابسته منحنی رفتاری است.
- برای خاک نوع IV با در نظر گیری اثر محتوای فرکانسی و عمق مقدار طیف برای مولفه قائم زلزله ها که با فرکانس بیشتر از مقادیر نظیر مولفه های افقی می باشد، طیف ارائه شده توسط UBC مناسب می باشد. تفاوت چندانی به ضریب بازتاب مولفه های افقی زلزله های میدان نزدیک وجود ندارد. به نظر می رسد با توجه به فرکانس بالای مولفه قائم زلزله ها طیف طراحی 2800 تنها برای مولفه قائم زلزله های میدان نزدیک مورد بررسی مناسب باشد.
- بطور کلی خاکهای با متوسط سرعت موج برشی کمتر از 220 تا 180 متر بر ثانیه برای شتاب حدود $1g$ بهتر است از طیف میدان نزدیک خاک نوع IV استفاده شود.
- با در نظرگیری نتایج برای خاک درشت دانه در پژوهش قبلی مقادیر طیف UBC میدان نزدیک برای خاک نوع II مناسب است.
- نسبت ضریب بازتاب متوسط (ضریب بازتاب در حالت وابستگی فرکانس به فرکانس 0.5 هرتز) برای مولفه های L ، T و V زلزله ها تحت شتاب $1.0g$ ، $0.35g$ و $1g$ ستون خاک 30 و 60 متری مصالح برای سرعت موج برشی صحرایی و شرایط غیرهمسان و همسان در حالت وابستگی به فرکانس کمتر از 0.6 برای فرکانس 0.1 ثانیه و حداکثری کمتر از $1/8$ (خاک با سرعت موج برشی زیاد - نوع I و II) و حداقلی بیشتر از 0.7 (خاک با سرعت موج برشی کم - نوع III و IV) برای



۱ ثانیه می باشد. همچنین کاهش سرعت موج برشی سبب نامنظمی نسبت ضریب بازتاب می شود بطوریکه تعیین اثرات در نظریه اثر محتوای فرکانسی مشکل می شود.

- بررسی نسبت شتاب طیفی متوسط سه مولفه زلزله تحت شتاب g ۱/۰، g ۳۵/۰، g ۱۰ ستون خاک ۳۰ متری مصالح SC/CH برای سرعت موج برشی صحرایی و آزمایشگاهی و حالت های غیرهمسان و همسان نشان می دهد که مقادیر نسبت شتاب طیفی در حالت های وابسته و غیر وابسته به فرکانس تفاوت قابل ملاحظه ای باهم ندارند.
- مقادیر طیف سرعت نسبی با افزایش فرکانس زلزله کاهش محسوسی می یابد. ذکر این نکته ضروری است که مقادیر طیف سرعت در حالت های وابسته به فرکانس و غیر وابسته به فرکانس تفاوت قابل ملاحظه ای باهم ندارند اما مقادیر وابسته به فرکانس خصوصاً برای خاک های نوع III و IV، تحکیم همسان آزمایشگاهی اندکی کمتر از مقادیر نظیر غیر وابسته به فرکانس برای تمام مولفه ها و سطح شتابها بوده و در پریودهای کمتری رخ می دهد. تفاوت چندانی بین طیف سرعت نسبی برای مولفه های افقی زلزله وجود ندارد. برای مولفه قائم با توجه به فرکانس بزرگتر، مقادیر سرعت نسبی طیفی کاهش می یابد.
- براساس نتایج، وابستگی نسبت طیف سرعت نسبی به فرکانس بارگذاری برای سرعت موج برشی صحرایی (خاک های دست نخورده) کم است. برای مصالح با سرعت موج برشی کم، مقادیر طیف سرعت نسبی در حالت غیر وابسته به فرکانس بیشتر از مقادیر نظیر وابسته به فرکانس می باشد.
- براساس نتایج می توان برای شتاب های g ۰/۳۵ و g ۱ به ترتیب برای خاک نوع I و II به ترتیب طیف سرعت نسبی cm/s ۱۵۰ تا ۳۰۰ و برای خاک نوع III و IV به ترتیب cm/s ۲۵۰ تا ۵۵۰ پیشنهاد می شود.

- نسبت جابجایی نسبی با افزایش عمق ستون خاک (خصوصاً با کاهش سرعت موج برشی و تحت شتاب بالا) و افزایش شتاب مبنای ورودی و کاهش سرعت موج برشی افزایش می یابد. ضمناً با افزایش فرکانس زلزله، مقدار آن کاهش می یابد.
 - ذکر این نکته ضروری است که مقادیر طیف در حالت‌های وابسته به فرکانس و غیر وابسته به فرکانس تفاوت قابل ملاحظه‌ای باهم ندارند. اما مقادیر وابسته به فرکانس خصوصاً برای خاک‌های نوع III و IV تحکیم همسان آزمایشگاهی اندکی کمتر از مقادیر نظیر غیر وابسته به فرکانس برای تمام مولفه‌ها و سطح شتاب‌ها هستند.
 - براساس نتایج برای مصالح با سرعت موج برشی کم، مقادیر طیف جابجایی نسبی در حالت غیر وابسته به فرکانس بیشتر از مقادیر نظیر وابسته به فرکانس می باشد.
 - لازم به یاد آوری است که طیف جابجایی نسبی ارائه شده توسط UBC برای زلزله های میدان با حد بالای نتایج تحلیل‌ها در این تحقیق مشابهت دارد.
- با توجه به اینکه در حال حاضر کشور ایران از زمین‌لرزه‌ها در دهه‌های گذشته، متحمل صدمات جدی شده است، استفاده از نتایج این تحقیق می‌تواند به اصلاح آیین نامه (استاندارد ۲۸۰۰)، بهینه‌سازی نتایج حاصل از پهنه‌بندی ژئوتکنیکی لرزه‌ای و در نهایت ساخت و ساز کمک شایانی کند. لذا هدف اصلی از این تحلیل‌ها، طراحی و ساخت و ساز اقتصادی و ایمن خصوصاً در مناطق میدان نزدیک است.

۴-۲- خلاصه نتایج

- براساس نتایج و همچنین آیین نامه‌ها (مثلاً استاندارد ۲۸۰۰)، برای انتخاب طیف از مقادیر سرعت موج برشی استفاده می شود و منحنی رفتاری برای انواع مصالح تاثیر چندانی بر طیف (به جزء برای خاک‌ها با سرعت موج برشی کمتر از ۲۲۰ متر بر ثانیه و تحت شتاب حدود $1g$) ندارد.
- برای انتخاب طیف خاک‌های با V_{s30} حدود ۱۸۰ متر بر ثانیه توصیه می شود علاوه بر معیار سرعت از طبق بندی طبق مقاومت برشی زهکشی نشده هم استفاده شود.



- انتخاب منحنی های مدول برشی و میرایی تحت فرکانس بارگذاری مناسب در تطابق نسبی با فرکانس غالب زلزله از اهمیت خاصی برخوردار است؛ به طوری که در نظرگیری اثر محتوای فرکانسی باعث بیشتر شدن پریود متناظر Ts استاندارد ۲۸۰۰ از ۰/۴، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ ثانیه به ۰/۵، ۰/۷۵، ۰/۹ و ۱/۴ ثانیه به ترتیب برای خاکهای نوع I، II، III و IV می شود. توصیه می شود مقدار T_0 در انواع خاکها به ۰/۱ ثانیه محدود شود. مقدار حداکثر ضریب بازتاب به ترتیب برای خاکهای نوع I، II، III و IV برابر ۲/۵، ۲/۵، ۲/۵ و ۲/۷۵ پیشنهاد می شود.
- برای شتابهای g ۰/۳۵ و ۱g به ترتیب برای خاک نوع I و II طیف سرعت نسبی cm/s ۱۵۰ تا ۳۰۰ و برای خاک نوع III و IV به ترتیب cm/s ۲۵۰ تا ۵۵۰ پیشنهاد می شود.
- مقدار حداکثر طیف جابجایی نسبی حدود cm ۱۵۰ پیشنهاد می شود.

۴-۳- پیشنهادها

- ارائه مقادیر و طیف شتاب روی سنگ بستر برای ساختگاه های کشور با توجه به زلزله های میدان نزدیک رخ داده
- مقایسه طیف پاسخ برای خاک دست نخورده و دست خورده سیمانته و اثرات ترک خوردگی (زون خرد شده) و ارائه طیف طراحی
- انجام تحلیل های پاسخ برای انواع خاکهای بومی با تغییر درصد رطوبت و دانسیته خاک و ارائه طیف طراحی

منابع و مأخذ

1. Seed, H.B, Idriss, I.M., Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses, Berkeley, CA: Earthquake Research Center, Univerity of California, (EERC 70- 10), 1969.
2. Rodriguez-Marek, A. Bray, J.D. Seismic Site Response for Near-Fault Forward Directivity Ground Motions, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 132, No. 12, December 1, 2006, 1611-1620
3. Park, D. and Hashash, Y. M.A. "Rate-dependent soil behavior in seismic site response analysis, Can. Geotechnical Journal", 45, 4, 2008, 454-469
4. آقای آرای، عطا؛ رازقی، حمیدرضا؛ هاشمی طباطبایی، سعید؛ قلندرزاده، عباس. "بررسی اثر محتوای فرکانسی بر خواص خاکهای درشت دانه"، شماره قرارداد ۱۷۷۵-۱ (۱۳۸۷) پروژه تحقیقاتی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۸.
5. Razeghi, H.R. Aghaei Araei, A. Ghalandarzadeh, A. Hashemi Tabatabaei, S. Rate-Dependence of Rockfill Behavior on Propagated Near Fault Ground Motions, Scientia Iranica, 21(4), 2014, 1263-1280.
6. Akkar, S., Moghimi, S. and Aric, Y., "A study on major seismological and fault-site parameters affecting near-fault directivity ground-motion demands for strike-slip faulting for their possible inclusion in seismic design codes", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 104, 2018, 88-105.
7. Kokusho, T.; Aoyagi, T. and Wakunami, A. "In-situ soil-specific nonlinear properties back-calculated from vertical array records during 1995 Kobe earthquake", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 131, 11, 2005, 1509-1521.
8. Kokusho, T. and Sato, K. "Surface-to-base amplification evaluated from Kik-strong motion records", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 28, 2008, 707-716.
9. آقای آرای، عطا؛ قدرتی قزائی، احمدرضا؛ هاشمی طباطبایی، سعید؛ قلندرزاده، عباس، ارزیابی رفتار دینامیکی مصالح خاکی با استفاده از دستگاه سه محوری بزرگ مقیاس، پروژه تحقیقاتی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۴.
۱۰. آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ایران)، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۴.
11. Idriss, I. M., and Seed, H. B. "Seismic response of horizontal soil layers", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 94(4), 1968, 1003-1031.
12. Idriss, I. M. "Response of soft soil sites during earthquakes", In Proceedings of the Symposium to Honor Professor H. B. Seed, Berkeley, May, 1990, 273-289.
13. Sugito, M. Goda, H., and Masuda, T. "Frequency-dependent equ-linearized technique for seismic response analysis of multi-layered ground", Proceedings of JSCE, No.493/III-27, 1994, 49-58 (in Japanese).
14. Sugito, M. Frequency-dependent equivalent strain for equi-linearized technique", Proceedings of the First International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, 1, A. A. Balkena, Rotterdam, the Netherlands, 1995, 655-660.



15. Yoshida, N., Kobayashi, S., Suetomi, I., and Miura, K. "Equivalent linear method considering frequency dependent characteristics of stiffness and damping", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Elsevier, 22(3), 2002, 205-222.
16. Assimaki, D. Kausel, E. "An equivalent linear algorithm with frequency and pressure-dependent moduli and damping for the seismic analysis of deep sites", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(9-12), 2002, 959-965.
17. Ishihara, K.G. "Soil behavior in earthquake engineering", Clarendon Press, Oxford (1996).
18. Shibuya, S., Mitachi, T., Fukuda, F., and Degoshi, T. "Strain-rate effects on shear modulus and damping of normally consolidated clay", *Geotechnical Testing Journal*, 18(3), 1995, 365-375.
19. Kazama, M., Toyota, H., and Inutomi, T. "Stress strain relationships in soils directly obtained from centrifuge shaking table tests", 2nd International workshop on Wind and Earthquake Engineering for offshore and coastal facilities (1995).
20. Zeghal, M., Elgamal, A. W., Tang, H. T., and Stepp, J. C. "Lotung Downhole Array. II: Evaluation of soil nonlinear properties", *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 121(4), 1995, 363-378.
21. Sundarraj, K. P. "Evaluation of deformation characteristics of 1-g model ground during shaking using a laminar box", Ph.D dissertation, University of Tokyo, Japan (1996).
22. Lai, C. G., Pallara, O., Lo Presti, D. C., and Turco, E. "Low-strain stiffness and material damping ratio coupling in soils", *Advanced Laboratory Stress-Strain Testing of Geomaterials*, T. Tatsuoka, S. Shibuya, and R. Kuwano, eds., Balkema, Lisse, The Netherlands, 2001, 265-274.
23. Hoque, E., and Tatsuoka, F. "Triaxial system measuring loading-rate effects of sand deformation in cycle", *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, 27(5), 2004, 483-495.
24. Rix, G. J., and Meng, J. "A non-resonance method for measuring dynamic soil properties", *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, 28(1), 2005, 1-8.
25. Brennan, A. J., Thusyanthan, N. I., and Madabhushi, S. P. G. "Evaluation of shear modulus and damping in dynamic centrifuge tests", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASEC, 131(12), 2005, 1488-1497.
26. Meng, J. "Earthquake ground motion simulation with frequency-dependent soil properties", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Elsevier, 27, 2007, 234-241.
27. Meza-Fajardo, K.C., and Lai, C.G. "Explicit causal relations between material damping ratio and phase velocity from exact solutions of the dispersion equations of linear viscoelasticity", *Geophysical Journal International*, 171(3), 2007, 1247-1257.
28. Khan, Z. H., Cascante, G., El Naggar, M. H., and Lai, C. G. "Measurement of frequency-dependent dynamic properties of soils using the resonant-column device", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 134(9), 2008, 1319-1326.
29. Xenaki, V.C., and Athanasopoulos, G.A.. "Dynamic properties and liquefaction resistance of two soil materials in an earthfill dam-Laboratory test results", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28, 2008, 605-620.
30. Kalliolglou, P., Tika, TH., and Pitilakis, K. "Shear modulus and damping ratio of cohesive soils", *Journal of Earthquake Engineering*, 12, 2008, 879-913.

31. Yamada, S., Hyodo, M., Orense, R. P., Dinesh, S. V., and Hyodo, T. "Strain-dependent dynamic properties of remolded sand-clay mixtures", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 134(7), 2008, 972-981.
31. Karl, L. Haegeman, W. Degrande, G., and Dooms, D. "Determination of the material damping ratio with the Bender Element test", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASEC 134(12), 2008, 1743-1756.
33. Aghaei Araei, A., Tabatabaei, S.H., and Ghalandarzadeh, A. "Assessment of shear modulus and damping ratio of gravelly soils", *Research Project*, No. 3-4469-2007, BHRC, Iran (2008).
34. Aghaei Araei, A., Razeghi, H. R., Tabatabaei, S.H., and Ghalandarzadeh, A. "Evaluation of frequency content on properties of gravelly soils", *Research Project*, No.1-1775-2008, BHRC, Iran (2009).
35. Aghaei Araei, A., Razeghi, H.R., Tabatabaei, S.H., and Ghalandarzadeh, A. "Dynamic properties of gravelly materials", *Scientia Iranica*, 17(4), 2010, 245-261.
36. Aghaei Araei, A. "Effects of different parameters on dynamic behavior of compacted rockfill materials using large scale triaxial equipment", *PhD thesis*, Iran University of Science and Technology (IUST), Iran (2011).
37. Aghaei Araei, A., Razeghi, H. R., Tabatabaei, S.H., and Ghalandarzadeh, A. "Loading frequency effect on stiffness, damping and cyclic strength of modeled rockfill materials" *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Elsevier, 33(1), 1-18 (2012), doi.org/10.1016/j.soildyn. 2011.05.009.
38. Schanbel, P. B.; Lysmer, J., and Seed, H. B. "SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites", *Rep. No. UCB/EERC-72/12*, Earthquake Engineering Research Center, University of Calif. Berkely, 1972.
39. Lin, Y., Zong, Z., Tian S., Lin, J., "A new baseline correction method for near-fault strong-motion records based on the target final displacement", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 114, 2018, 27-37.
40. Rix, G. J. and Meng, J. "A nonresonance method for measuring dynamic soil properties", *Geotech. Test. J.*, 28, 1, 2005, 1-8.
41. Somerville, P. "Magnitude scaling of near fault rupture directivity pulse", *Physics of Earth and Planetary Interiors*, 137, 2003, 201-212.
42. UBC. "Uniform Building Code" (1997).
43. Chai, J.F., liao, W.I., Teng, T.J. and Luh, C.H., "Current development of seismic design code to consider the near-fault effect in Taiwan", *Earthquake Engineering and Engineering Seismology*, 3(2), 2015, 47-56.
44. Zhao, G., Xu, L., Gardoni, P. and Xie, L., "A new method of deriving the acceleration and displacement design spectra of pulse-like ground motions based on the wavelet multi-resolution analysis", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 119, 2019, 1-10.
45. Xiang, N. and Alam, M.S., "Displacement-based seismic design of bridge bents retrofitted with various bracing devices and their seismic fragility assessment under near-fault and far-field ground motions", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 119, 2019, 75-90.
46. Kwak, D.Y., Jeong, C.G., Park, D., and Park, S. "Comparison of frequency-dependent equivalent linear analysis methods", *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, October 12-17, 2008, Beijing, China, 8 p. (2008)



47. Idriss, I. M., and Sun, J. I. "User's Manual for SHAKE91. Center for Geotechnical Modeling", Department of Civil Engineering, University of California, Davis (1992).
48. Bardet, J. P., Ichii, K., and Lin, C.H. "EERA, Equivalent linear earthquake site response analysis of layered soils deposits", User's manual, University of Southern California, Department of Civil Engineering, August (2000).
49. Pacific Earthquake Engineering Research Center. "PEER strong motion database", (2008) <http://peer.berkeley.edu/smcat/>.
50. Hejazi, F. S.A. and Mohammadi, M.K., "Investigation on sloshing response of water rectangular tanks under horizontal and vertical near fault seismic excitations", Soil Dynamics and Earthquake Engineering 116, 2019, 637-653.
51. Seed, H. B.; Wong, R. T., Idriss, I. M. and Tokimatsu, K. "Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils", J. Geotech. Eng., 112, 11, 1986, 1016-1032.
52. Rollins, K.; M., Evans, M.D., Diehl, N. B. and Daily, W. D. "Shear modulus and damping relationships for gravels", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 124, 5, 1998, 398-405.
53. Zhang, J.; Andrus, R. and Juang C.H. "Normalized shear modulus and material damping ratio relationships", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASEC, 130, 4, 2005, 453-464.
54. Bray, J. D. and Rodriguez-Marek, A. "Characteristics of forward-directivity ground motions in the near-fault region", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Elsevier, 24, 2004, 815-828.
55. ASTM D3999, "Standard test methods for the determination of the modulus and damping properties of soils using the cyclic triaxial apparatus", Reapproved 1996, 2006.
56. ASTM Standard D 4015-1992. "Standard test methods for modulus and damping of soils by the Resonant-Column method", Annual Book of ASTM Standard, ASTM International, West Conshohocken, PA (2000).
57. Seed, H. B. and Idriss, I. M. "Soil moduli and damping factors for dynamic analysis", Report No. EERC 70- 10, University of California, Berkeley, 1970.
58. Vucetic, M. and Dobry, R. "Effect of soil plasticity on cyclic response", Journal of Geotechnical Engineering, 117, 1991, 89-107.
59. Idriss, I.M. "Response of soft soil sites during earthquakes", In Proceedings of the Symposium to Honor Professor H.B. Seed, Berkeley, May, 1990, 273-289.
60. Jackson, J. A., A. J. Haines, and W. E. Holt, "The accommodation of Arabia-Eurasia plate convergence in Iran", J. Geophys. Res., 100, 15, 205-15,219(1995).
61. Tavakoli, F., "Present-day kinematics of the Zagros and east of Iran faults", PhD. thesis, Univ. of Joseph Fourier, Grenoble, France(2007).
62. Masson, F., M. Anvari, Y. Djamour, A. Walpersdorf, F. Tavakoli, M. Daignières, H. Nankali, and S. van Gorp, "Large-scale velocity field and strain tensor in Iran inferred from GPS measurements: New insight for the present-day deformation pattern within NE Iran", Geophys. J. Int., 170, 2007, 436-440.
63. Vernant, P., et al., "Contemporary crustal deformation and plate kinematics in middle east constrained by GPS measurement in Iran and northern Oman", Geophys. J. Int., 157, 2004a, 381-398.

64. Zolfaghari, M.R., "GPS-measured slip rates vs. seismic moment released by past seismicity along Alborz mountain range in Iran", The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, Beijing, China, 8 pages (2008).
65. Walpersdorf, A., Manighetti, I., Mousavi, Z., Tavakoli, F., Vergnolle, M., Jadidi, A., Hatzfeld, D., Aghamohammadi, A., Bigot, A., Djamour, Y., Nankali, H., and Sedighi, M., "Present-day kinematics and fault slip rates in eastern Iran, derived from 11 years of GPSdata", J. Geophys. Res. Solid Earth, 119, 1359–1383, 2014, doi:10.1002/2013JB010620.

Abstract

Equivalent linear one-dimensional site response analysis, which approximates nonlinear soil behavior within the linear analysis framework, is widely used in estimating local site effects. In this analysis, soil behavior is often assumed to be independent of the frequency of seismic loading. Two most important dynamic parameters of soils in any equivalent linear and nonlinear analyses are the shear modulus (G) and damping ratio (D). Unlike references sands, silts and clays, less effort has been dedicated toward understanding the dynamic behavior of natural compacted soils, considering loading frequency using large scale triaxial equipment. Shear modulus and damping ratios versus shear strain curves (ASTM D3999) of six different types of natural materials at effective confining pressures of 1, 2 and 5 kg/cm² with frequency of 0.5, 2, 5, and 10 Hz used in were one dimension response analyses. About 216 pair dynamics behavior curves were used in analyses, under different moisture content, in isotropic and unisotropic ($\sigma'_1/\sigma'_3=1.5$ and 2) consolidation conditions. So, in order to assessment of amplification, acceleration spectra, acceleration spectra ratio, Coefficient of B, velocity spectra, and displacement spectra at ground surface with respect to frequency affects over material behaviors under near 8 well-known near-fault ground motions, 20734 one dimensional analyses were carried out with EERA code for 30 and 60 m soil columns. The analyses are carried out for three base acceleration levels, namely, 0.1 g, 0.35 g and 1 g, using the simple time history scaling method. Field and laboratory tests shear wave velocity were used in the analyses. Results show that the frequency-dependent shear modulus and damping ratio can have a pronounced influence on propagated ground motions, so that, the period corresponding to T_s is St. increase from 0.4, 0.5, 0.7 and 1s to 0.5, 0.75, 0.9 and 1.4s for soils types of I, II, III and IV, respectively. The frequency-dependent soil behavior is also dependent on the thickness of the soil profile, amplitude, equivalent no. of cycles at $0.65\tau_{max}$, and frequency content of the input ground motion. Moreover, for input base acceleation of 0.35g and 1g for soils types(I, II) and (III, IV), the maximum spectral relative velocity is about 150 to 300 cm/s and 250 to 550 cm/s. Maximum spectral relative displacement is proposed to about 150 cm at period of 10 s with linear increasing trend. Spectral relative velocity and spectral relative displacement are compared to that of the UBS and St. 2800. Results indicates the importanceof the spectra modification.

Key words: reponse spectra, near fault, damping ratio, shear modulus, frequency, triaxial apparatus



Road, Housing and Urban development Research Center

Design Spectra for Near Fault Ground Motions Considering Frequency-Dependence of Material Behavior

**Dr. A. Aghaei Araei
Dr. A. Ghodrati Ghazaani
Dr. N. Attarchian
A.S. Salamat
H. Hasani**

**Research Report
BHRC Publication No: R-863
2019**



Road, Housing & Urban
Development Research Center

Design Spectra for Near Fault Ground Motions Considering Frequency - Dependence of Material Behavior

By:

Dr. A. Agghaei Araei

Dr. A. Ghodrati Ghazaani

A.S.Salamat

H. Hasani

**Research Report
BHRC Publication No. R-863
2019**

