

مطالعه عددی رفتار بستر جاده و سازه‌ی در معرض ارتعاش نیروی زلزله،

با نگرشی به ساختگاه منطقه کرمانشاه

مقاله پژوهشی

مسعود نصیری*، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه زاری، کرمانشاه، ایران

احمدرضا مظاهری، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آیت الله بروجردی، بروجرد، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: nasiri_masoud@yahoo.com

دریافت: ۹۹/۰۴/۲۸ - پذیرش: ۹۹/۰۷/۱۵

صفحه ۹۳-۱۰۶

چکیده

اثرات زمین‌لرزه‌ها بر خاک بستر جاده‌ها و سازه‌های روی آن (به‌طور کلی ساختگاه) می‌تواند بسیار متغیر باشد؛ به‌گونه‌ای که در برخی مناطق شتاب زلزله در سطح زمین دچار بزرگ‌نمایی یا برعکس دچار کوچک‌نمایی گردد. این موضوع به عوامل متعددی می‌تواند مرتبط باشد که در پژوهش پیش‌رو، پاسخ زمین با تکرش به مشخصات بستر منطقه‌ی کرمانشاه در اثر اعمال نیروی ناشی از زلزله آپلند به کمک نرم‌افزار اجزای محدود دو بعدی پلکسیس بررسی شده است. تحلیل‌های عددی دو بعدی برای حالات خاک خشک، خاک اشباع زهکشی شده و خاک اشباع زهکشی نشده انجام شده است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که وجود آب منفذی (در شرایط زهکشی نشده) می‌تواند شتاب اعمالی در سطح زمین را نسبت به حالت بستر خشک تا ۳ برابر افزایش دهد، اما در عین حال میزان جابجایی کلی در هر سه حالت بستر خشک، اشباع زهکشی شده و اشباع زهکشی نشده تفاوت چندانی با هم ندارند. نکته قابل توجه دیگر در رابطه با بستر کرمانشاه این است که پاسخ خاک هر میزان که به سطح خاک (محل قرارگیری سازه) نزدیک‌تر شویم، بیشتر و بیشتر شده تا در نهایت به مقادیر بیشینه‌ی خود به سطح خاک برسد.

واژه‌های کلیدی: پاسخ بستر جاده، زلزله، تحلیل عددی، زهکشی

۱- مقدمه

بررسی‌های انجام شده توسط محققان مختلف نشان می‌دهد که اثرات ساختگاهی تأثیر مستقیم بر پاسخ سازه‌ها دارند (حشاش و همکاران، ۲۰۱۰). ارزیابی پاسخ زمین از مهم‌ترین مسائلی است که در ژئوتکنیک لرزه‌ای مطرح می‌شود. امواج زمین لرزه با دور شدن از کانون زلزله و با گذشتن از لایه‌های آبرفتی دستخوش تغییر و تحول می‌شوند. پس از وقوع بعضی از زمین لرزه‌ها مشاهده‌ی تفاوت زیاد مقدار تخریب در دو محل با فاصله‌ی نزدیک به یکدیگر پدیده‌ای است که محققان مختلف آن را ناشی از اثرات ساختگاه تشخیص داده‌اند. در این موارد، اثرات ساختگاه می‌توانند موجب افزایش شدت زمین‌لرزه به مقدار ۲ تا ۳ در مقیاس مرکالی شوند (مهرآیین و تاتار، ۲۰۰۷). بر مبنای گزارشات موجود در ادبیات فنی به وفور مشاهده شده

تأمین ایمنی در برابر زلزله در دو راستا صورت می‌پذیرد؛ یکی تأمین ایمنی سازه در مقابل نیروهای دینامیکی زلزله و دیگری ایمنی خود محل در مقابل حدوث پدیده‌های ژئوتکنیکی. ایمنی محل حین زلزله به پدیده‌های ژئوتکنیکی و حرکت گسل‌ها مربوط می‌شود (دهقانی و مهرنهاد، ۱۳۹۱). در حال حاضر اهمیت زمین‌شناسی محلی و زمین ریخت‌شناسی بر پاسخ لرزه‌ای زمین واقعی پذیرفته شده است. در واقع در اکثر ساختگاه‌های موجود اختلاف غالب بین خواص مکانیکی و فیزیکی رسوبات آبرفتی و سنگ بستر زیر آن‌ها پدیده‌ای به نام اثرات ساختگاهی را به وجود می‌آورد که به موجب آن تقویت و یا تضعیف امواج لرزه‌ای و همچنین تغییر محتوای فرکانسی نسبت به حرکت مرجع سنگی در سطح زمین پدیدار می‌شود.

۲۰۰۶). روش تحلیل یک بعدی پاسخ ساختگاه به طور گسترده برای تعیین کمیت اثرات خاک‌های رسوبی بر حرکات انتشار یافته در زمین در پژوهش‌های علمی و عملی استفاده می‌شود (اشفورد و سینتار، ۱۹۹۷). میزان خرابی ایجاد شده در پل‌های تک‌پایه در هنگام وقوع زلزله به عوامل بسیاری از جمله مکانیسم شکست، اثر جهت‌پذیری، نوع خاک و همچنین خصوصیات شمع و پایه‌ی پل مانند ارتفاع شمع، طراحی پایه‌ها و شمع بستگی دارد (طباطبایی عقدا و همکاران، ۱۳۹۷). بر اثر زلزله نیروی عظیمی بر عرشه‌ی پل‌ها وارد خواهد شد که در صورت عدم استهلاک مناسب آن، منجر به وارد آمدن خسارت به سازه پل‌ها می‌شود (نادریور و همکاران، ۱۳۹۷). زلزله سرپل ذهاب (ازگله) کرمانشاه در تاریخ ۲۱ آبان ۱۳۹۶ در حوالی ۱۰ کیلومتری جنوب ازگله و در حدود ۳۷ کیلومتری شمال سرپل ذهاب با بزرگای گشتاوری ۷/۳ ریشتری و عمق کانونی ۱۸ کیلومتر در ناحیه لرزه زمین ساخت زاگرس به وقوع پیوست. سابقه تاریخی وقوع زلزله در منطقه زاگرس گویای آن است که این منطقه از زمان‌های دور در معرض لرزش‌های شدید قرار گرفته است. این مسئله نیاز به درک رفتار لرزه‌ای ساختگاه‌های این منطقه را بیش از پیش افزایش داده است. در این پژوهش رفتار خاکی با مشخصات بستر کرمانشاه با استفاده از تحلیل معادل خطی (الاستیک) مدل شده است و پاسخ‌های زمین از نظر جایجایی سرعت و شتاب بدست آمده است، که در ادامه به شرح آن‌ها پرداخته خواهد شد.

۲- تحلیل‌های عددی

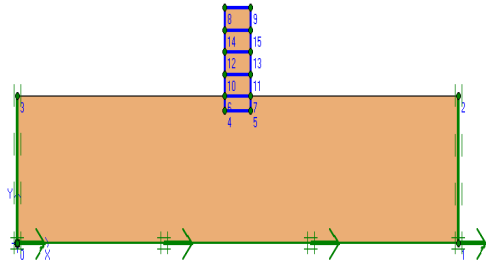
در این پژوهش به بررسی اثر رفتار سازه‌ی چهار طبقه و پاسخ زمینی با مشخصات بستر کرمانشاه تحت اثر زمین لرزه آپلند (Upland) پرداخته می‌شود. هدف از انتخاب این زمین لرزه آن است که رفتار چنین بسترهایی در شرایط لرزه‌ای دیگر نیز بررسی شود. نرم افزار مورد استفاده در این تحقیق، نرم افزار اجزای محدود پلکسیس دو بعدی است. در ادامه به شرح مختصری از تاریخچه زلزله مورد استفاده پرداخته می‌شود و سپس مدل‌سازی‌ها و تحلیل‌های عددی شرح داده خواهند شد.

۲-۱- زلزله آپلند

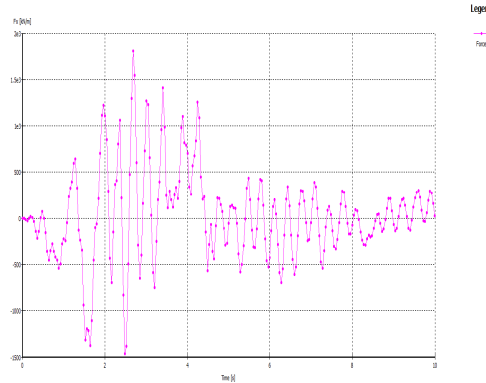
زلزله‌ی ۱۹۹۰ آپلند در تاریخ ۲۸ فوریه، در ساعت ۱۵ و ۴۳ دقیقه ۳۷ ثانیه (به وقت محلی) با بزرگای گشتاوری ۵/۷ و

است که دامنه‌ی دوام و محتوای فرکانسی حرکات زمین می‌توانند به شدت تحت تأثیر شرایط ساختگاه قرار گیرند و متعاقباً سبب آسیب‌پذیری شدید سازه‌ها در اثر تغییر شکل‌های ناشی از زلزله شوند. در مطالعات بسیاری اعم از تحلیل‌های تجربی مدل‌سازی‌های فیزیکی و عددی محققان کوشیده‌اند تا اهمیت اثرات ساختگاه را مورد بررسی قرار دهند (راپتاکیس و همکاران، ۲۰۰۰؛ بوکووالاس و کورتیزر، ۲۰۰۱؛ اسماکی و گزتاس، ۲۰۰۴؛ اسماکی و کاوسل، ۲۰۰۷). بیش‌تر شهرها و مناطق پرجمعیت از دیدگاه زمین‌شناسی بر روی رسوبات نرم واقع شده‌اند که می‌توانند دامنه‌ی امواج لرزه‌ای را در بازه‌ی بسامدی خاصی تقویت یا تضعیف کنند. تحقیقات بیوت (۱۹۳۴) معطوف به بررسی رفتار ارتعاش ساختمان‌ها در طول زلزله بوده است. ایشیموتو (۱۹۳۲) پاسخ سازه‌های بنایی در برابر زلزله را مورد بررسی قرار داد و مشاهده کرد که انعطاف‌پذیری خاک ساختگاه در برخی موارد اثر بسیار چشمگیری در تخریب این سازه‌ها دارد. ولستوس و میک (۱۹۷۴) روش حل تقریبی بر مبنای معادل سازی خاک زیر سازه با فنر و میراگر ارائه دادند. سلبی (۱۹۸۷) اثر ساختگاه در زلزله ۱۹۸۵ شیلی را بررسی کرد و نشان داد که اثر آبرفت در وقوع تشدید بسیار اثرگذار بوده است. پژوهش‌های نات و تینگبایجان (۲۰۱۱) نشان داد که خاک‌های ریزدانه و سُست دارای ضریب بزرگنمایی بیشتری نسبت به خاک‌های درشت‌دانه هستند. لایه‌بندی و جنس پروفیل خاک سبب ایجاد تفاوت در شتاب نگاشت‌های روی سنگ بستر نسبت به شتاب نگاشت‌های روی سطح زمین خواهد شد. ناهمواری‌های هندسی از جمله تپه، دره یا کوه (توپوگرافی ساختگاه) سبب اثرات قابل ملاحظه‌ای بر انتشار امواج سطحی نسبت به امواج حجمی می‌گردد (پیتیلایس، ۲۰۱۴).

تحلیل‌های عددی امکان مطالعه‌ی عوامل مختلف از جمله جنس و لایه‌بندی خاک توپوگرافی سطح آب زیرزمینی و غیره را بر پاسخ‌های لرزه‌ای زمین با دقت قابل قبول و به صورت واقع‌گرایانه‌ای فراهم می‌آورند. برخی مطالعات عددی علمی قابلیت و دقت روش‌های مختلف مطالعات پارامتری از جمله روش تفاضل محدود (FDM)، روش اجزا محدود (FEM)، روش اجزای مرزی (BEM)، و ترکیبی (BEM/FEM) را بر برآورد اثرات ساختگاه نشان داده‌اند (اشفورد و سینتار، ۱۹۹۷؛ بوکووالاس و پاپادیمیترو، ۲۰۰۵؛ کمالیان و همکاران،



شکل ۲. هندسه‌ی مدل



شکل ۳. نیروی اعمال شده به خاک در شرایط خشک

جدول ۱. مشخصات خاک مورد استفاده در مدل‌سازی بر اساس

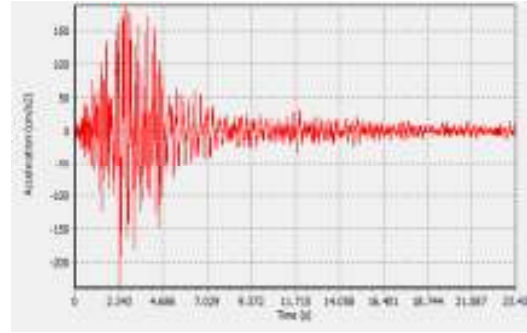
اطلاعات بستر کرمانشاه (گزارش نهایی ژئوتکنیک، ۱۳۹۳)

مقدار	نوع مصالح
۱۷ کیلونیوتن بر متر مکعب	وزن مخصوص
۳۰۰۰۰ کیلونیوتن بر متر مربع	مدول الاستیسیته
۰/۲	نسب پواسون
۳۸ کیلوپاسکال	چسندگی
۳۰ درجه	زاویه اصطکاک
۰/۰۱	میرایی رایلی (آلفا و بتا)

جدول ۲. مشخصات سازه

مقدار	نوع مصالح
5×10^6 کیلونیوتن بر متر	سختی نرمال (EA)
۹۰۰۰ کیلونیوتن متر مربع بر متر مربع	صلبیت خمشی (EI)
۰/۰	نسب پواسون
۵ کیلونیوتن بر متر بر متر	وزن
۰/۰۱	میرایی رایلی (آلفا و بتا)

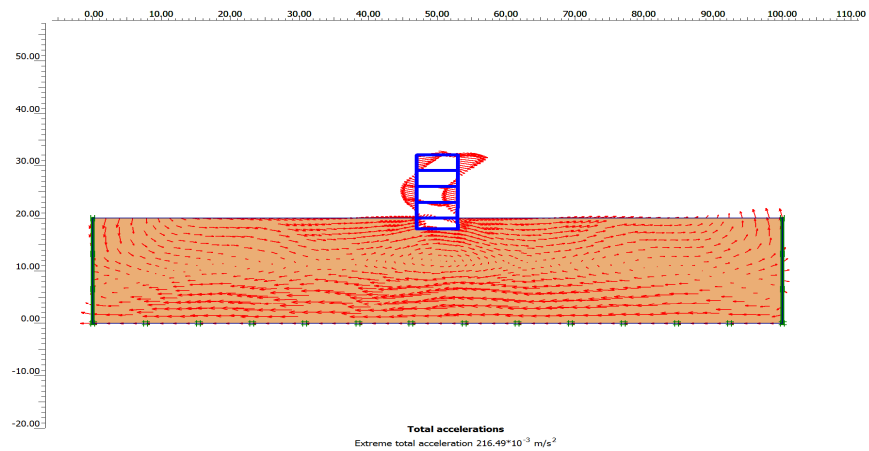
شدت مرکالی ۷ (خیلی شدید) رخ داد. گسل مربوط به این زلزله، گسل سن جونز و از نوع امتداد لغز بوده است. رکورد این زلزله که در نرم افزار مورد استفاده قرار گرفته است در شکل ۱ نشان داده شده است.



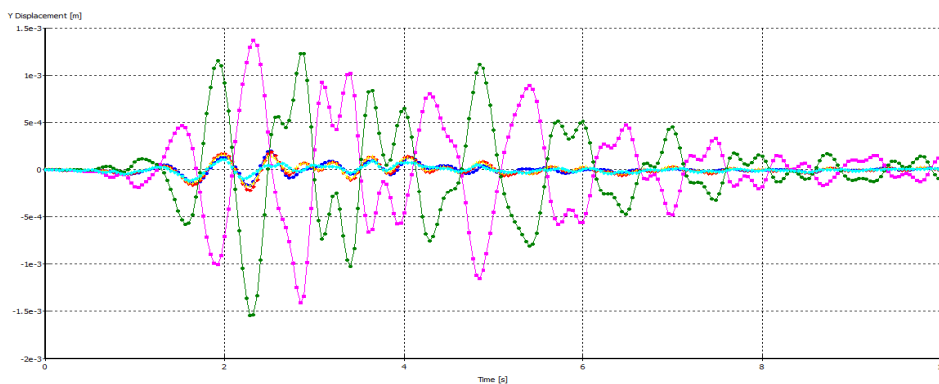
شکل ۱. رکورد زلزله آپلند

۲-۲- تحلیل زمین در حالت خشک

هندسه‌ی مدل به کار رفته، در شکل ۲ نشان داده شده است. در این پژوهش، ساختمانی ۴ طبقه با زیر زمین مدل‌سازی شده است؛ هر طبقه دارای ارتفاع ۳ متر است و ارتفاع زیر زمین هم ۲ متر می‌باشد. وزن مُرده طبقات (به همراه وزن دیوارها و سقف‌ها) به علاوه‌ی درصدی از بار زنده برابر ۵ کیلونیوتن بر متر مربع در نظر گرفته شده است. خاک زیر ساختمان خاک نسبتاً سُستی است که ۲۰ متر ضخامت دارد. میرایی فیزیکی در خاک هم به کمک میرایی رایلی مدل شده است. در مدل‌سازی‌ها از مرزهای جاذب به منظور جذب امواج و عدم برگشت به داخل محیط مسئله استفاده شده است. نیروی اعمال شده‌ی زلزله به خاک هم در شکل ۳ نشان داده شده است. نیروی زلزله از طرف کفِ بستر سنگی (انتهای مدل) اعمال شده است. جداول ۱ و ۲ مشخصات مصالح را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که خاک در شرایط الاستیک مدل شده است و ساختمان به کمک المان صفحه ساخته شده است. نتایج مدل‌سازی عددی در فضای دو بُعدی در شکل‌های ۴ تا ۷ نشان داده شده‌اند.

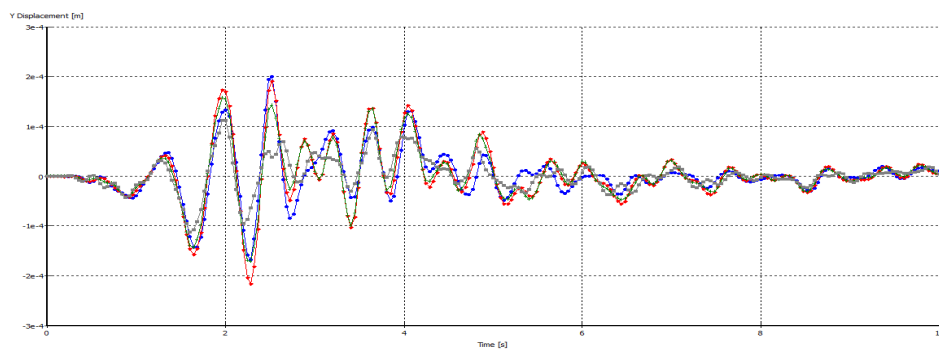


شکل ۴: شتاب کلی ایجاد شده در مدل خشک



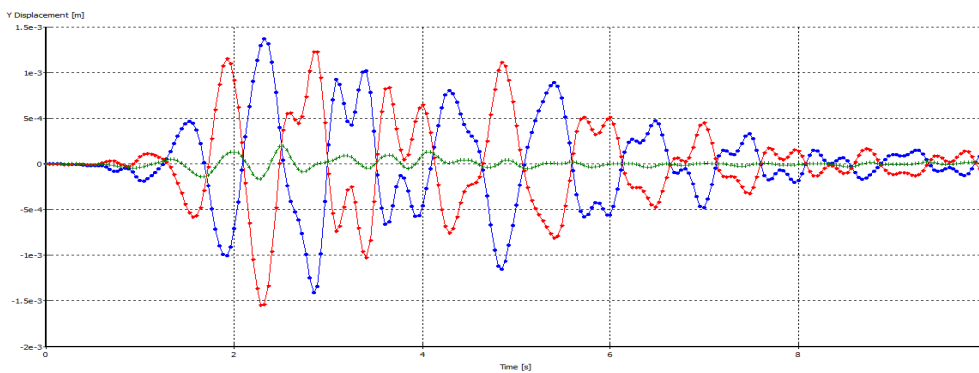
Points Legend

- Point (50, 18)
- Point (50, 14)
- Point (50, 11)
- Point (53, 20)
- Point (43, 20)
- Point (50, 7)



Points Legend

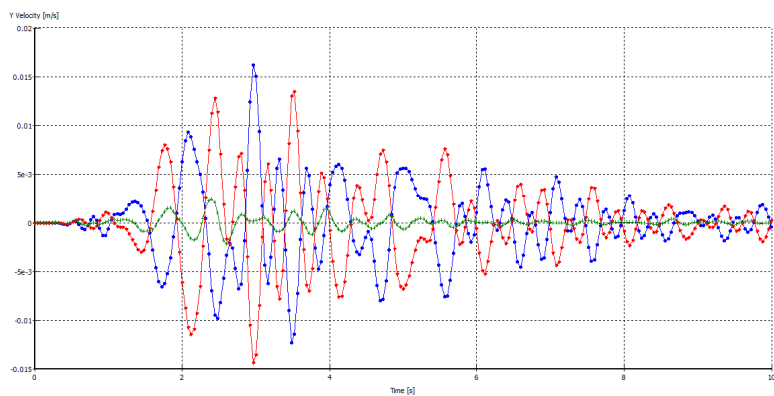
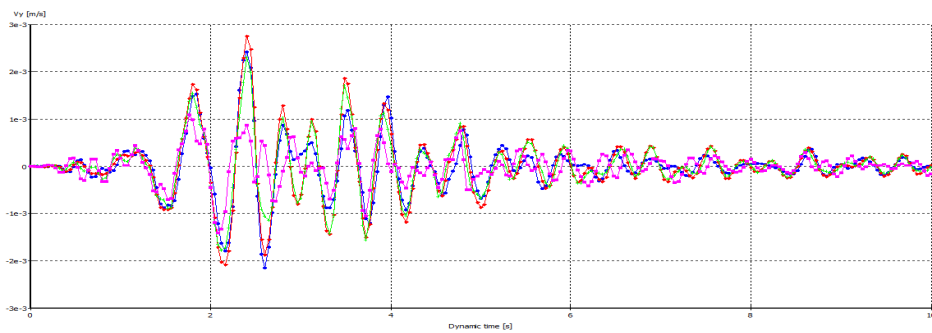
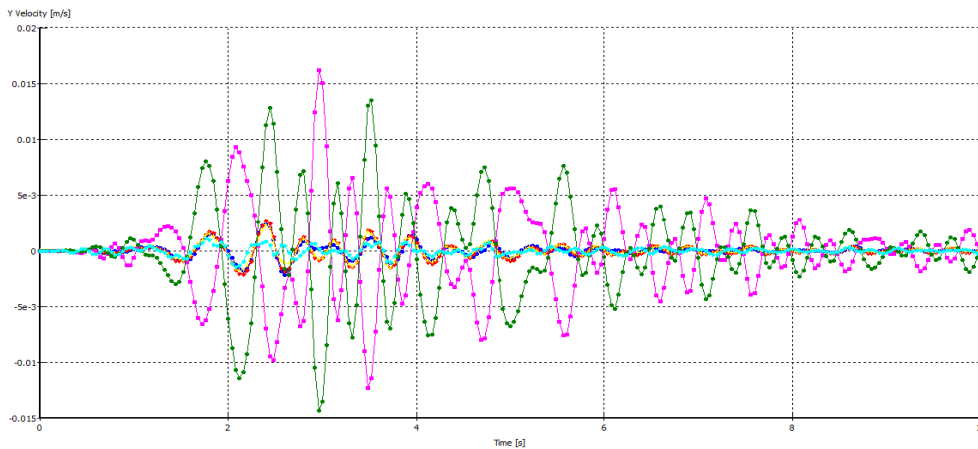
- Point (50, 18)
- Point (50, 14)
- Point (50, 11)
- Point (50, 7)



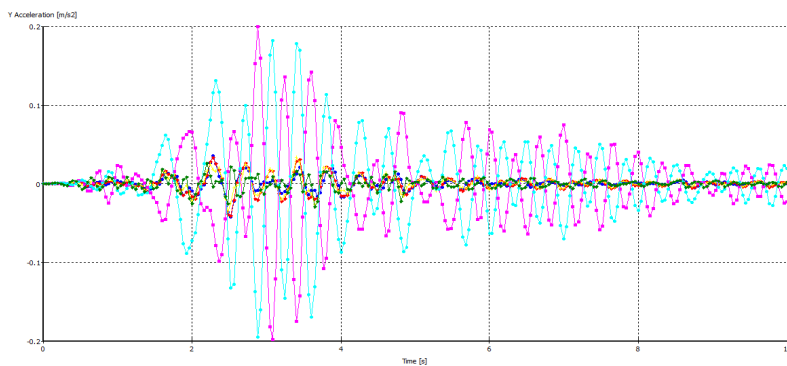
Points Legend

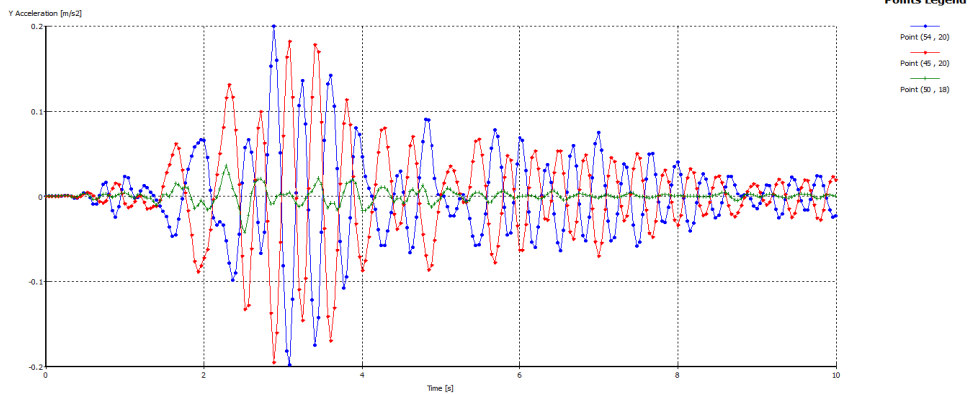
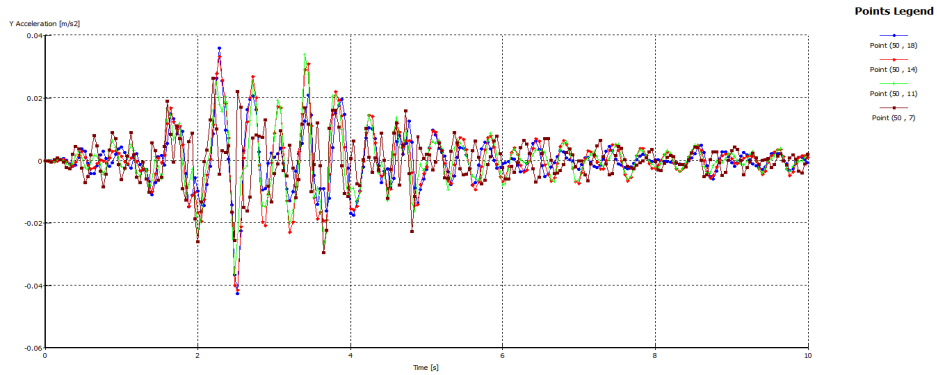
- Point (53, 20)
- Point (45, 20)
- Point (50, 18)

شکل ۵: جابجایی به وجود آمده در راستای قائم در مدل خشک



شکل ۶. سرعت به وجود آمده در راستای قائم در مدل خشک



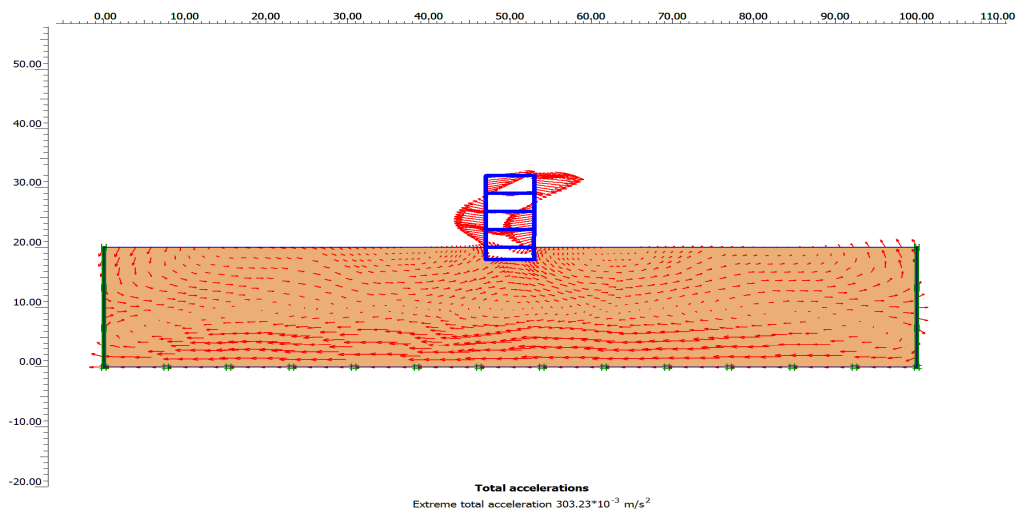


شکل ۷. شتاب به وجود آمده در راستای قائم در مدل خشک

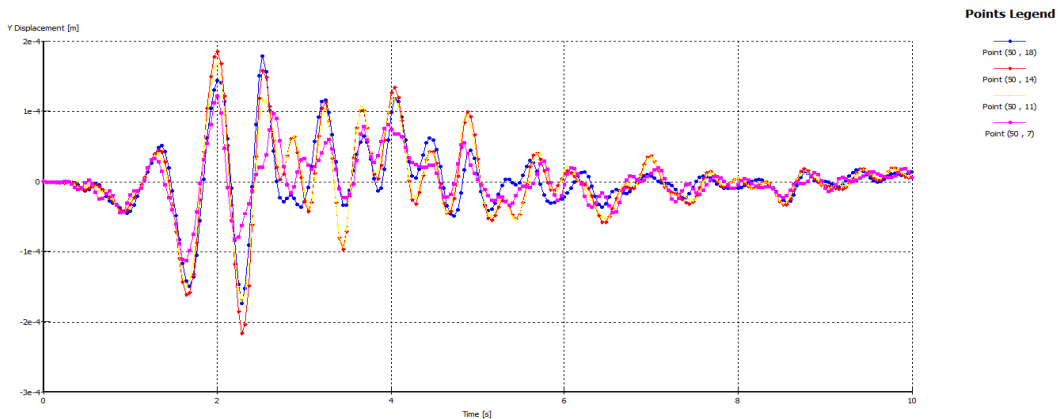
آنجایی که شرایط خاک زهکشی شده در نظر گرفته شده است، تفاوت چندانی بین حالت خشک و اشباع (زهکشی شده) مشاهده نمی‌شود (در مورد شتاب موضوع فرق دارد که در ادامه بحث می‌شود). اشکال ۸ تا ۱۰ نتایج تحلیل خاک و پاسخ زمین در این شرایط را نشان می‌دهند.

۳-۲- تحلیل زمین در حالت اشباع در شرایط زهکشی شده

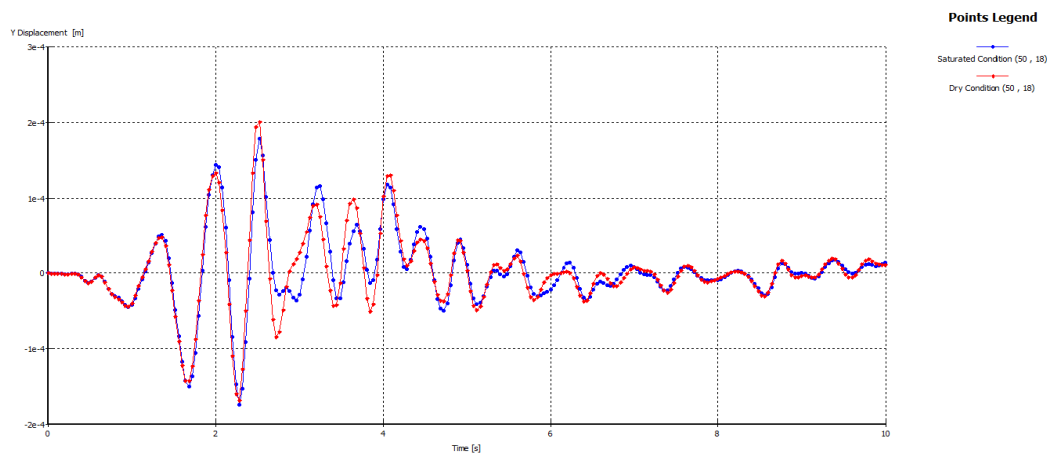
هندسه‌ی مدل در این حالت، دقیقاً مشابه مدل قبل است و تنها تفاوت در آن، تعریف سطح آب در تراز سطح زمین و در شرایط زهکشی شده است. همانطور که انتظار می‌رود، از



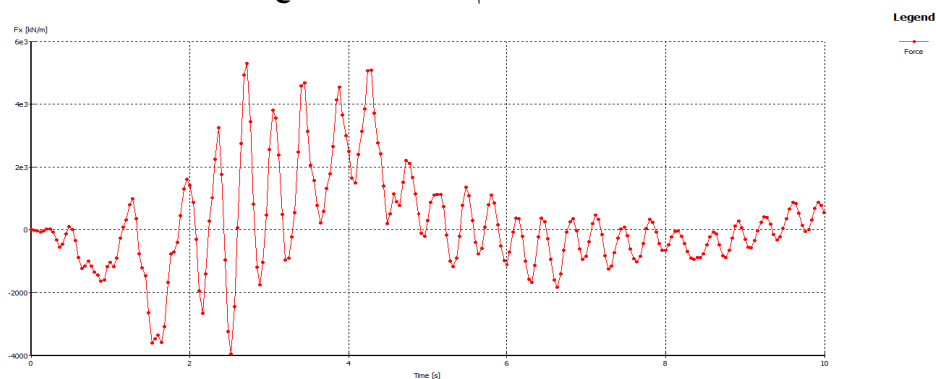
شکل ۸. شتاب کلی ایجاد شده در مدل اشباع (زهکشی شده)



شکل ۹. جابجایی به وجود آمده در راستای قائم در مدل اشباع (زهکشی شده)



شکل ۱۰. مقایسه جابجایی در راستای قائم در حالت خشک و اشباع (زهکشی شده)

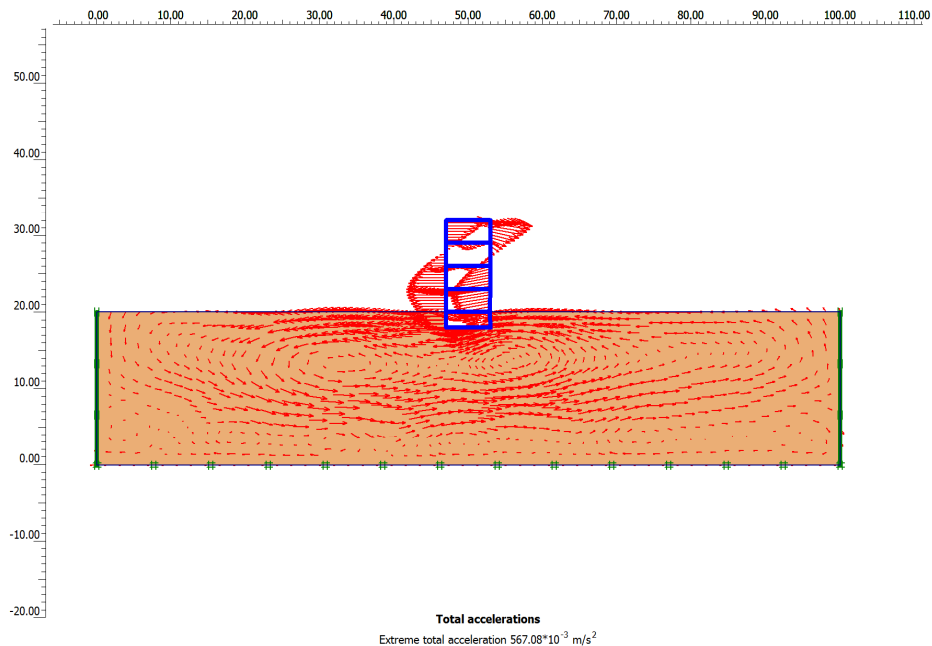


شکل ۱۱. نیروی اعمال شده به خاک در شرایط اشباع (زهکشی نشده)

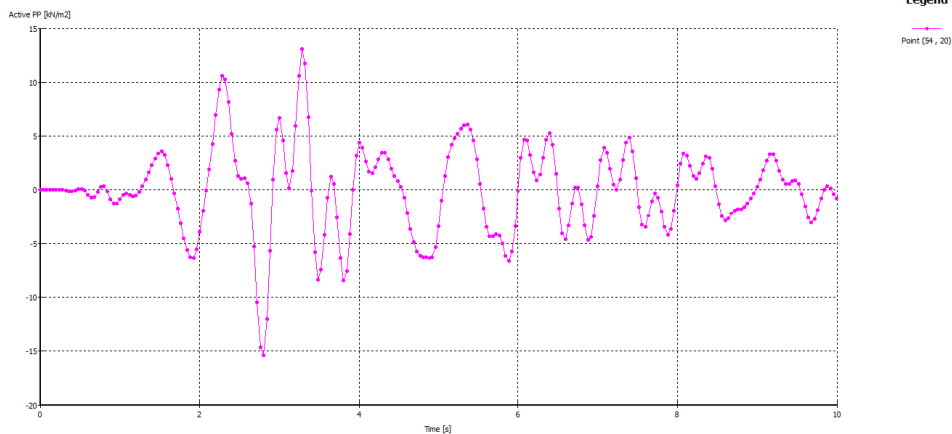
۲-۴- تحلیل زمین در حالت اشباع در شرایط زهکشی نشده

خشک چشمگیر می‌باشند. شکل ۱۱ نیروهای اعمال شده به خاک را نشان می‌دهد و اشکال ۱۲ تا ۱۷ نتایج تحلیل خاک و پاسخ زمین در این شرایط را نشان می‌دهند.

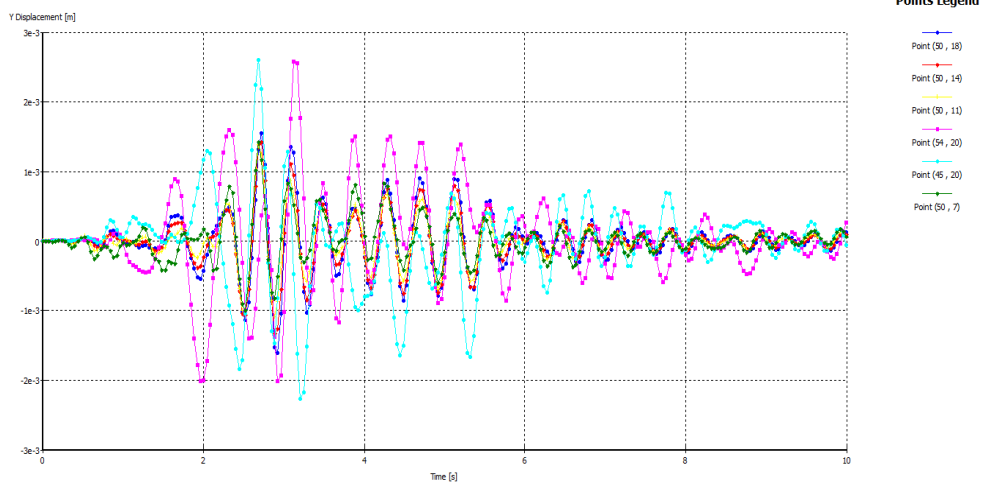
هندسه‌ی مدل در این حالت، دقیقاً مشابه مدل قبل است و تنها تفاوت در آن، تعریف سطح آب در تراز سطح زمین و در شرایط زهکشی نشده است. بر خلاف تحلیل‌های بخش ۲-۳ تفاوت‌های به وجود آمده در حالت زهکشی نشده با حالت

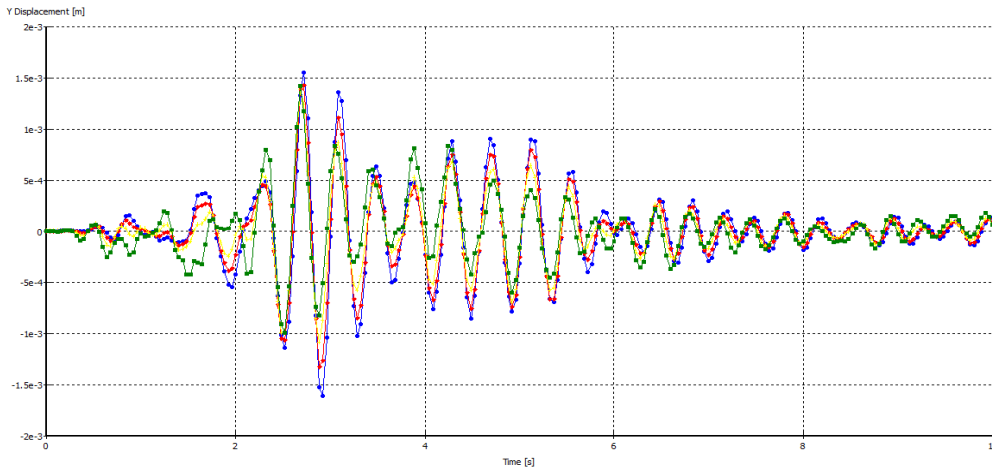


شکل ۱۲. شتاب کلی ایجاد شده در مدل اشباع (زهکشی نشده)



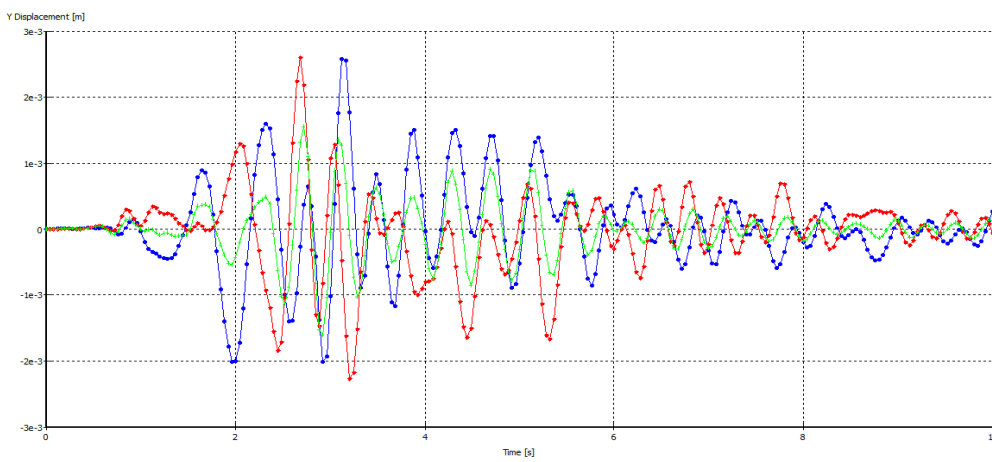
شکل ۱۳. فشار آب حفره‌ای فعال به وجود آمده در سطح زمین در حالت زهکشی نشده





Points Legend

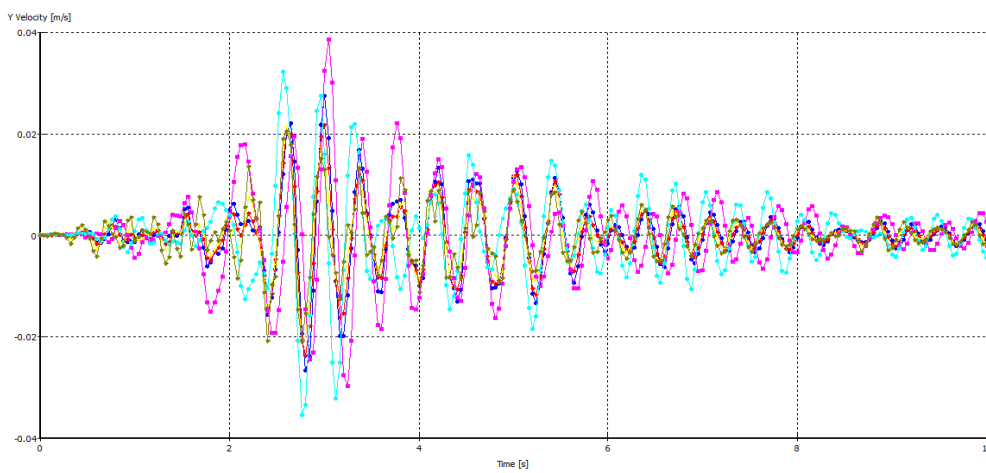
- Point (50, 18)
- Point (50, 14)
- Point (50, 11)
- Point (50, 11)
- Point (50, 7)



Points Legend

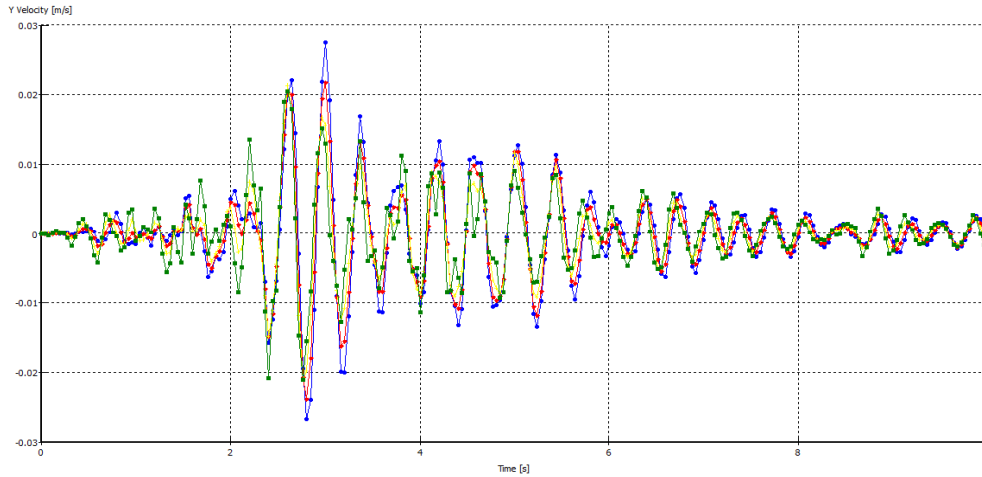
- Point (54, 20)
- Point (16, 20)
- Point (50, 18)
- Point (50, 18)
- Point (50, 18)

شکل ۱۴. جابجایی به وجود آمده در راستای قائم در مدل اشباع (زهکشی نشده)



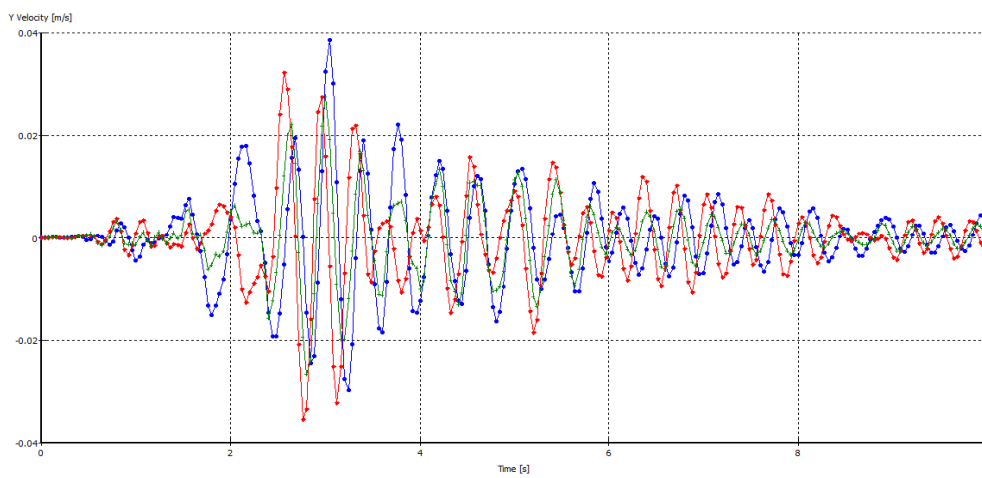
Points Legend

- Point (50, 18)
- Point (50, 14)
- Point (50, 11)
- Point (54, 20)
- Point (16, 20)
- Point (50, 7)
- Point (50, 18)
- Point (50, 18)
- Point (50, 18)



Points Legend

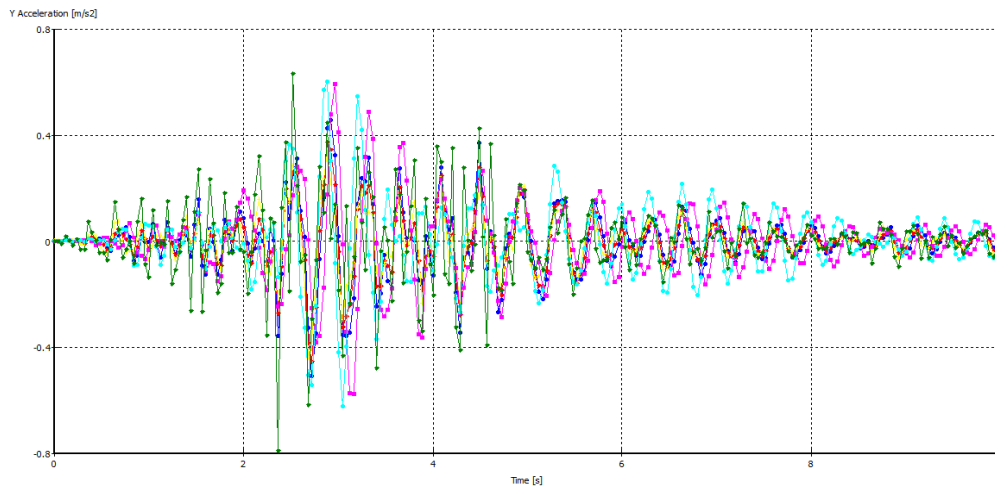
- Point (50, 18)
- Point (50, 14)
- Point (50, 11)
- Point (50, 7)



Points Legend

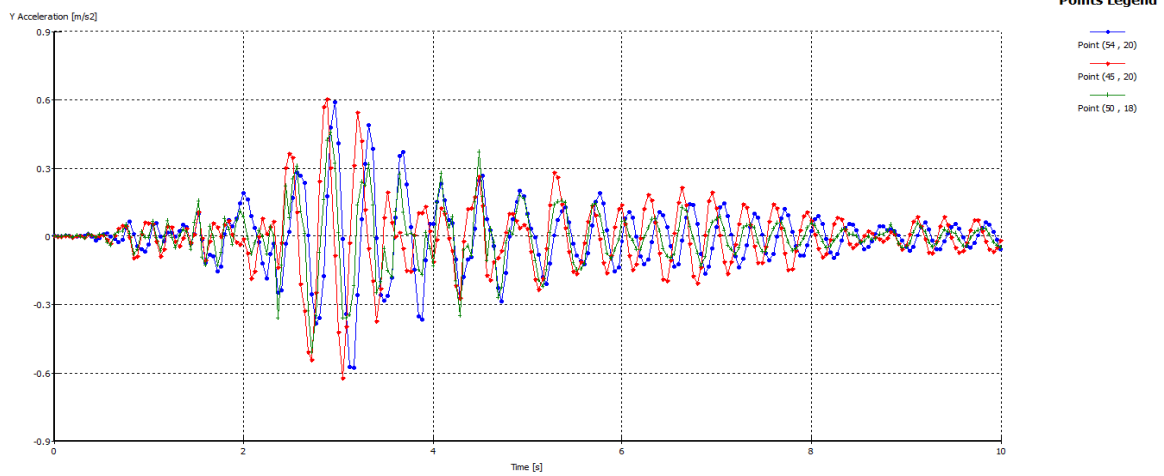
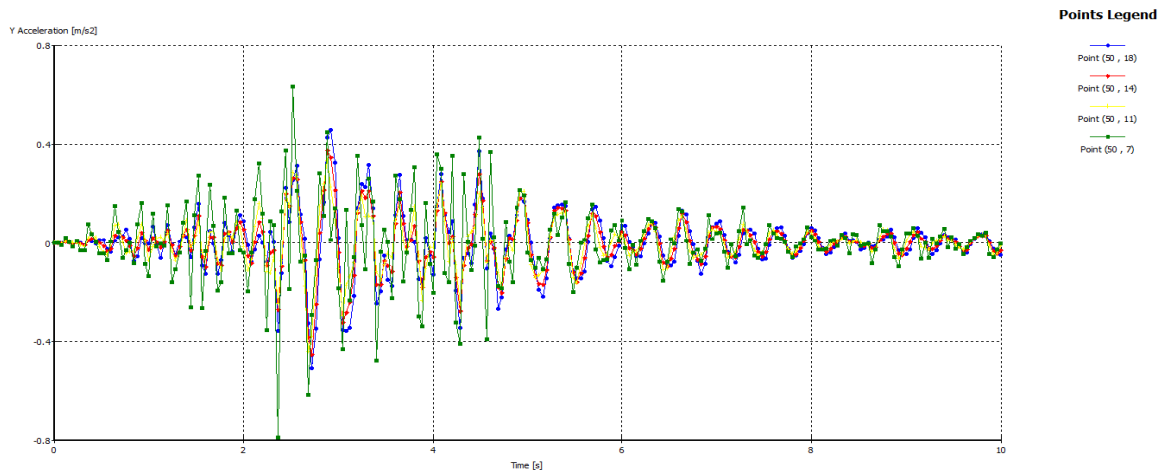
- Point (54, 20)
- Point (46, 20)
- Point (50, 18)

شکل ۱۵. سرعت به وجود آمده در راستای قائم در مدل اشباع (زهکشی نشده)

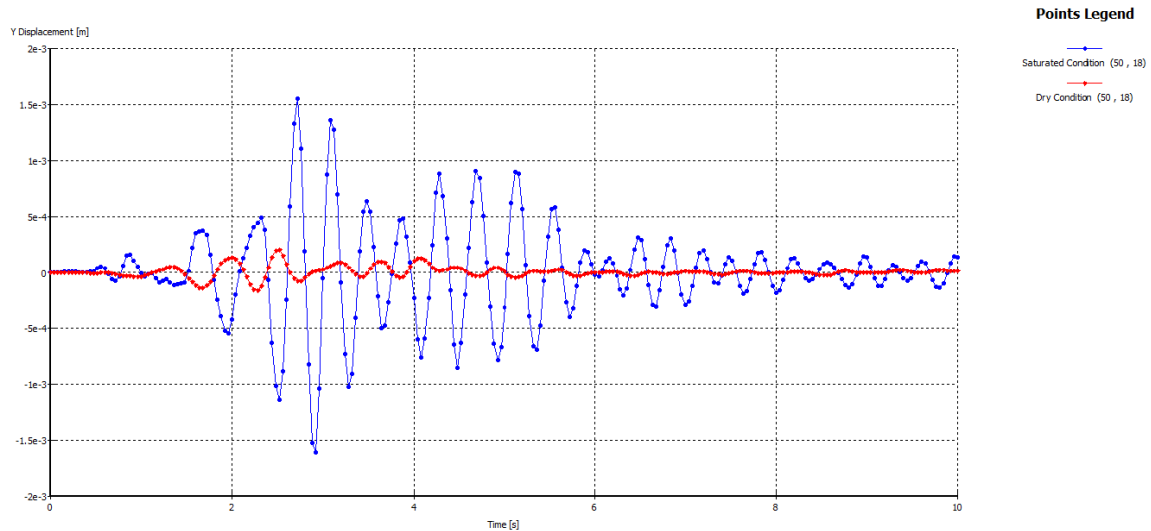


Points Legend

- Point (50, 18)
- Point (50, 14)
- Point (50, 11)
- Point (54, 20)
- Point (46, 20)
- Point (50, 7)



شکل ۱۶. شتاب به وجود آمده در راستای قائم در مدل اشباع (زهکشی نشده)



شکل ۱۷. مقایسه جابجایی در راستای قائم در حالت خشک و اشباع (زهکشی نشده)

۳- بحث و بررسی نتایج

جدول ۳. نتایج تحلیل‌های عددی در حالت خشک

مقدار	پاسخ خاک
$20/16 \times 10^{-3}$	جابجایی کلی (متر)
$17/11 \times 10^{-3}$	سرعت کلی (متر بر ثانیه)
$216/49 \times 10^{-3}$	شتاب نهایی (متر بر مجذور ثانیه)
$1/3 \times 10^{-3}$	بیشینه جابجایی در راستای Y (متر)
۰/۰۱۶	بیشینه سرعت در راستای Y (متر بر ثانیه)
۰/۲	بیشینه شتاب در راستای Y (متر بر مجذور ثانیه)

جدول ۴. نتایج تحلیل‌های عددی در حالت اشباع زهکشی شده

مقدار	پاسخ خاک
$20/07 \times 10^{-3}$	جابجایی کلی (متر)
$19/80 \times 10^{-3}$	سرعت کلی (متر بر ثانیه)
$303/23 \times 10^{-3}$	شتاب نهایی (متر بر مجذور ثانیه)

جدول ۵. نتایج تحلیل‌های عددی در حالت اشباع زهکشی نشده

مقدار	پاسخ خاک
$20/05 \times 10^{-3}$	جابجایی کلی (متر)
$30/76 \times 10^{-3}$	سرعت کلی (متر بر ثانیه)
$567/08 \times 10^{-3}$	شتاب نهایی (متر بر مجذور ثانیه)
$2/5 \times 10^{-3}$	بیشینه جابجایی در راستای Y (متر)
۰/۰۳۸	بیشینه سرعت در راستای Y (متر بر ثانیه)
۰/۶	بیشینه شتاب در راستای Y (متر بر مجذور ثانیه)

۴- نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل‌های عددی در این پژوهش نشان داد که پاسخ خاک در معرض ارتعاش زلزله در شرایط خشک و اشباع زهکشی شده تا حدودی به هم مشابهت دارد، که علت این موضوع هم استهلاک فشار آب حفره‌ای است که در صورت فراهم بودن شرایط زهکشی در خاک صورت می‌پذیرد. ذکر این نکته ضروری است که مقادیر پاسخ خاک (جابجایی، سرعت و شتاب) عیناً یکسان نیستند و مقادیر به دست آمده اختلافاتی باهم دارند. اما مقادیر پاسخ خاک برای حالت خشک و اشباع در شرایط زهکشی نشده بسیار متفاوت‌اند. علت این موضوع عدم استهلاک فشار آب حفره‌ای است که همین مسئله، خود عامل این تغییرات چشمگیر می‌شود. همانطور که در بخش‌های پیشین اشاره شد، مقادیر شتاب بیشترین تاثیرپذیری را دارند، به‌گونه‌ای که شتاب در حالت زهکشی نشده تا سه برابر حالت خشک افزایش پیدا می‌کند. مقادیر به دست آمده برای جابجایی‌های کل نشان می‌دهند که اثر گذاری آب در این

در این پژوهش اثر زلزله بر پاسخ لرزه‌ای زمینی با مشخصات بستر کرمانشاه در زیر یک ساختمان ۴ طبقه بررسی شده است. تحلیل‌های عددی با کمک نرم افزار اجزای محدود دو بُعدی پلکسیس برای سه حالت خشک، اشباع زهکشی شده و اشباع زهکشی نشده انجام شده است. خلاصه نتایج در جداول ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است. بیشینه نیروی اعمالی به خاک در شرایط خشک ۱۷۵۰ کیلونیوتن بر متر است، در حالی که این مقدار در شرایط اشباع زهکشی نشده به ۵۵۰۰ کیلونیوتن بر متر افزایش پیدا می‌کند (آب زهکشی نشده سبب افزایش نیروی اعمالی به بیش از ۳ برابر می‌شود). در هر سه حالت خشک، اشباع زهکشی شده و نشده، مقادیر جابجایی کل با هم برابر تقریباً هستند؛ در حالی که سرعت کل در حالت خشک در حدود ۰/۰۱۷ متر بر ثانیه است و این مقدار در شرایط زهکشی شده ۱/۱۵ برابر می‌شود، اما در حالت زهکشی نشده این مقدار ۱/۸ برابر می‌گردد. همچنین شتاب کل در حالت خشک در حدود ۰/۲۱۶ متر بر مجذور ثانیه است، اما این مقدار در شرایط اشباع زهکشی شده ۱/۴ برابر شده و در حالت زهکشی نشده ۲/۶ برابر می‌گردد. این موضوع نشان می‌دهد که بیشترین تأثیر آب زهکشی نشده روی مقدار شتاب کلی خاک است، که افزایشی ۲/۶ برابری را در بر خواهد داشت. بیشترین فشار آب حفره‌ای ایجاد شده در شرایط زهکشی نشده، مربوط به سطح زمین است (تراز ۲۰ متری) که مقدار آن در حدود ۱۲ کیلونیوتن بر متر مربع به دست آمده است. بیشینه جابجایی در راستای قائم در حالت خشک ۰/۰۱۳ متر است، در حالی که در شرایط اشباع زهکشی نشده این مقدار به میزان ۱/۹ برابر افزایش یافته است. مقدار بیشینه سرعت در راستای قائم برای حالت خشک ۰/۰۱۶ متر بر ثانیه است، اما این مقدار در حالت اشباع زهکشی نشده ۲/۳ برابر می‌گردد. همچنین شتاب بیشینه در راستای قائم برای حالت خشک ۰/۲ متر بر مجذور ثانیه به دست آمده است، در حالی که این مقدار در حالت اشباع زهکشی نشده افزایشی ۳ برابری را تجربه کرده است. این موضوع نیز نشان می‌دهد که بیشترین اثر گذاری سطح آب در حالت زهکشی نشده که فرصت و شرایط استهلاک آب حفره‌ای در خاک وجود ندارد، بر روی شتاب زمین می‌باشد. نکته قابل توجه دیگر این است که مقادیر جابجایی، سرعت و شتاب قائم بیشینه با نزدیک شدن به سطح خاک دچار بزرگنمایی شده و مقادیرشان نسبت به ترازهای پایین‌تر افزایش می‌یابند. جداول ۳ تا ۵ نتایج تحلیل‌های عددی در سه حالت اشاره شده را نشان می‌دهند.

and microzonation, Springer, Dordrecht, pp.137-197.

-Raptakis, D. Chavez-Garcia, F.J. Makra, K. and Ptilakis, K., (2000), "Site effects at Euroseistest-I. Determination of the valley structure and confrontation of observations with 1D analysis." *Soil dynamics and Earthquake Engineering*, 19, pp.1-22.

-Bouckovalas, G.D. and Kouretzis, G., (2001), "Review of Soil and Topography Effects in the September 7, 1999 Athens (Greece)," In Proceedings of the Fourth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and soil dynamics and Symposium in Honor of Professor W. D. Liam Finn, San Diego, California, March, pp.26-31.

-Bouckovalas, G.D. and Papadimitriou, A.G., (2005), "Numerical evaluation of slope topography effects on seismic ground motion." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, pp.547-558.

-Celebi, M., (1987), "Topographical and geological amplifications determined from strong-motion and aftershock records of the 3 March 1985 Chile earthquake." *Bulletin of the Seismological Society of America*, 77(4), pp.1147-1167.

-Hashash, Y.M.A. Grohalski, D.R. and Philips C.A., (2010), "Recent Advances in Non-Linear Site Response Analysis," In Proceedings of Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, 4, Sandiego, California.

-Ishimoto. M., (1932), "Existence of a quadruple source at the seismic focus according to the study of the distribution of initial movements of seismic shocks," *Bull. Earthquake Res. Inst. University, Tokyo*, pp. 449.

-Kamalian, M. Jafari, M.K. Sohrabi-Bidar, A. Razmkhah, A. and Gatmiri, B., (2006), "Time-domain two-dimensional site response analysis of non-homogeneous topographic structures by a hybrid BE/FE method." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26, pp.753-765.

-Mehraein A. and Tatar, M., (2007), "Investigation of site effect in south west of Tehran using microtrometer measurement", *Journal of Geoscience*, 7(65).

-Nath, S.K. and Thingbaijam, K.K.S., (2011), "Assessment of seismic site conditions a case study from Guwahati city, northeast India. *Pure and Applied Geophysics*, 168(10), pp.1645-1668.

-Velestos, A.S. and Meek, J.W., (1974), "Dynamic behavior of building- foundation systems," *Earthquake engineering of Structural Dynamics*, 3(2), pp.121-138.

پارامتر حائز اهمیت نبوده، اما برای جابجایی‌های قائم، مقادیر تفاوت‌هایی با هم دارند. نکته قابل توجه دیگر این است که پاسخ خاک هر میزان که به سطح خاک (محل قرار گیری سازه) نزدیک‌تر شویم بیشتر و بیشتر شده تا در نهایت به مقادیر بیشینه‌ی خود به سطح خاک برسد. علاوه بر موارد ذکر شده، با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل‌ها، مقادیر شتاب و سرعت برای سازه مورد نظر هم حائز اهمیت است و بیشینه شتاب به وجود آمده در این ساختمان ۴ طبقه نیز در حالت زهکشی نشده بوده است و الگوی حرکتی آن هم بحرانی بودن این حالت را نشان می‌دهد.

۵-مراجع

-دهقانی، ز. مهرنهاد، ح.، (۱۳۹۱)، "ریز پهنه بندی شهر اردکان مبتنی بر اثر ساختگاه." *نشریه زمین شناسی مهندسی*، جلد ۷، شماره ۱، ص.۱۶۲۳-۱۶۳۸.

-طباطبایی عقدا، س.ط. و شاه‌محمدی‌مهرجردی، م.، (۱۳۹۷)، "اثر جهت پذیری زلزله ی حوزه نزدیک و دور با در نظرگیری اندرکنش خاک و سازه پایه پل (مطالعه موردی پل چالوس)." *جاده*، در دست چاپ.

-نادرپور، ح. فخاریان، پ. نوغانی، س. و نورمحمدی، ا.، (۱۳۹۷)، "بررسی تاثیر انواع سیستم‌های کنترل سازه‌ای بر کاهش پاسخ پل‌ها"، *جاده*، در دست چاپ.

- "گزارش نهایی ژئوتکنیک مقطع جنوبی خط ۱، قطار شهری کرمانشاه"، (۱۳۹۳) سازمان شهرداری کرمانشاه.

-Ashford, S.A. and Sitar, N., (1997), "Analysis of topographic amplification of inclined shear waves in a steep coastal bluff." *Bulletin of the Seismological Society of America*, 87(3), pp.692-700.

-Assimaki, D. and Gazetas, G., (2004), "Soil and topography amplification on Canyon Banks and the 1999 Athens Earthquake", *Journal of Earthquake Engineering*, 8(1), pp.1-43.

-Assimaki, D. and Kausel, E., (2007), "Modified Topographic Amplification Factors for a Single-Faced Slope due to kinematic Soil-Structure Interaction." *Journal of Geotechnical and Geo environmental Engineering*, 133(11), pp.1414-1431.

-Biot, M., (1934), "Theory of vibration of building during earthquake," *Journal of applied mathematics and mechanics*, pp.213-223.

-Ptilakis, K., (2004), "Site Effects", In: *Recent advances in earthquake geotechnical engineering*

Numerical Investigation of Road and Structure Subjected to Earthquake Vibration, with Respect to Kermanshah Site

*Masoud Nasiri, Ph.D. Candidate, Civil Engineering Department, Razi University,
Kermanshah, Iran.*

*Ahmad Reza Mazaheri, Assistant Professor, Civil Engineering Department, Ayatollah
Boroujerdi University, Boroujerd, Iran.*

E-mail: nasiri_masoud@yahoo.com

Received: March 2020-Accepted: September 2020

ABSTRACT

The effects of earthquakes on the road beds and the structures on it (the site in general) can be very variable, so that in some areas the acceleration of the earthquake at the ground level is amplified or, conversely. This issue can be related to several factors. In the present study, the Earth's response has been investigated by looking at the characteristics of the Kermanshah regional bed due to the application of force caused by the Upland earthquake with the help of two-dimensional finite element software (PLAXIS). Two-dimensional numerical analyzes were performed for dry soil, drained saturated soil and undrained saturated soil. Results show that the presence of pore water (in undrained conditions) can increase the acceleration on the earth's surface up to 3 times compared to the dry state mode. However, at the same time, the overall displacement rates in all three modes of dry bed, drained saturated, and undrained saturated condition are not much different. Another noteworthy point about Kermanshah's site is that the closer to the soil surface (the location of the structure), the ground response more and more grows, and finally reaches its maximum in surface level.

Keywords: Road Response, Earthquake, Numerical Analysis, Drainage