



ارائه شده توسط :

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معابر

## اندازه گیری ویژگی های دینامیکی ستون-خاک منجمد: یک رویکرد شناسایی سیستم

### چکیده

یک رویکرد سیگنال پاسخ عاری از میرایی برای برآورد قابل اعتماد ویژگی های دینامیک ستون-خاک منجمد یک ستون تعییه شده جزئی ارائه شده است. ملاحظه نظری و تقریب ها برای ارتعاش آزاد ساختارهای ستون، با ۲۰ درصد از ستون معلق بالای سطح زمین و باقی مانده در گل و لای Fairbanks ارائه شده است. اندازه گیری های زمستانی برای پاسخ عاری از-میرایی ستون اتخاذ شد. یک تجزیه و تحلیل طیف فرکانسی جامع که شامل تبدیل سریع فوریه، چگالی طیف توان و طیف نگاره ها می شود، برای ارزیابی ویژگی های ارتعاش سیستم استفاده می شود. سپس تجزیه حالت تجربی برای تجزیه سیگنال به منظور استخراج اجزاء خاص برای شناسایی پارامتر مورد استفاده قرار می گیرد. نتایج نشان می دهد که پاسخ نمایشگر ویژگی های متغیر با-زمان و غیر خطی در حوزه زمان-فرکانس است. داده های تجربی نشان می دهد که سیستم مورد آزمایش قرار گرفته، نمایشگر غیرخطی بودن ضعیف است. پارامترهای غالب سیستم که برای مشخص نمودن فعل و انفعالات ستون-خاک منجمد مورد استفاده قرار می گیرند، شناسایی می شوند. دو فرکانس غالب برای یک ستون سفت تعییه شده در ۲۰ فوت (۶,۰۹۶ متر) عمق گل و لای منجمد ۹۷ هرتز و ۱۰۸۰ هرتز هستند. میرایی در حدود ۱۶,۰ یافت شد.

کلمات کلیدی: ارتعاش ستون - نظارت بر ارتعاش ستون - فعل و انفعالات ستون-خاک - خاک منجمد - شناسایی سیستم

### ۱. مقدمه

اندازه گیری دینامیک طیف ارتعاش ستون های تعییه شده در خاک های منجمد به منظور برآورد یکپارچگی یا سفتی ستون برای فنداسیون های ستون عمیق استفاده می شود. یعنی، طیف ارتعاش به منظور برآورد انسجام یا فعل و انفعال سختی یک ستون در پایه های عمیق خاک استفاده می شود ( Chau et al., 2009; Chau and

Yang, 2005; Hua et al., 2008; Ku et al., 2003; Maheshwaria et al., 2004; Masoumi et al., 2009; Naggar and Novak, 1995; Ni et al., 2008; Puri and Braja, 1993; Tahghighi and Konagai, 2007; Takewaki, 2005; Teguh, 2008; Xiong and Yang 2008 ستون ها در پایه های عمیق خاک تحت زلزله قرار می گیرند، پاسخ به سختی و میرایی بستگی دارد. در گذشته، اکثر مطالعات بر رفتار ستون ها در خاک های غیرمنجمد متمرکز شده اند. پاسخ چنین ساختارهای در معرض زلزله به واسطه فصل تحت تاثیر قرار می گیرد. بارگذاری لرزه ای می تواند باعث کرنش هایی در خاک شود که به یک نقطه افزایش می یابد که در آن مدول برشی و سفتی خاک کاهش می یابد در حالی که نوسانات افزایش می یابند. تغییر در پارامترهای معین وابسته به شرایط مرزی ساختار، زوال مواد، یا آسیب است. شناسایی پارامتر معین (معین) یک روش شناخته شده برای شناسایی سیستم و نظارت بر وضعیت است. روش های سنتی برای شناسایی پارامتر معین عموماً برای انجام آزمون های شناسایی کلی در آزمایشگاه و یا آزمون های به خوبی کنترل شده میدانی مورد استفاده قرار می گیرند.

در تجزیه و تحلیل معین تجربی کلاسیک، پارامترهای معین (فرکانس های رزونانس، نسبت های میرایی، و غیره) برای ساختار از طریق آزمایشات تحریک اجباری شناخته می شوند. با این حال، برای بسیاری از سازه ها، پیاده سازی ورودی اندازه گیری شده به راحتی در دسترس نیست. اندازه گیری پاسخ های ضربه در این شرایط احتمالاً محبوب ترین روش شناسایی پارامتر معین است. برای یک ساختار ستون خاک- با جرم کم و یا هیچ جرم فشرده، سیگنال های آزمون به دست آمده از سیستم ستون- خاک، پیچیدگی داشتند. عوامل بسیاری چون غیرخطی بودن سازه- ستون- خاک، سیگنال ضبط را تحت تاثیر قرار می دهند، و به سفتی غیر خطی و میرایی غیر خطی منجر می شوند. یک وضعیت پسماند برای یک ستون و خاک رخ می دهد که به صورت یک ماده کششی فعال و انفعال پیدا می کند. به عنوان مثال، هنگامی که ستون خاک را هل می دهد، یک شکاف به احتمال زیاد بین خاک و ستون در خط زمین تشکیل می دهد. بنابراین، پاسخ توسط سخت شدن و یا تضعیف خاک تغییر می یابد، زیرا خاک تغییر شکل پیدا می کند و یک شکاف بین ستون و خاک در سطح زمین رخ می دهد. این فعل و انفعال روی تغییر شکل یا سفتی ستون- خاک تاثیر می گذارد.

روش های تحلیلی و تجربی که رفتار غیر خطی خاک را در نظر می گیرند، در ادبیات توصیف شده اند (Chau et al., 2009; Chau and Yang, 2005; Hua et al., 2008; Naggar and Novak, 1995; Tahghighi and Konagai, 2007) به طور کلی، پاسخ ستون تحت بارهای دینامیکی را می توان با استفاده از مدل جرم-فنر مورد تجزیه تحلیل قرار داد. فنرهای خاک از مدول برشی خاک به دست می آیند. اثرات غیر خطی خاک را می توان برای با استفاده از مقادیر وابسته به فشار از داده مدول برشی آزمایشگاهی در نظر گرفت. برای در نظر گرفتن دقیق غیرخطی بودن خاک، تجزیه و تحلیل پاسخ لرزه برای فنداسیون ستون باید در حوزه زمان انجام شود. ارائه مناسب از اثرات میرایی و اینرسی برای زنجیره مجاور (رسانه خاک) مورد نیاز است، و اثرات پلاستیسیته و سخت شدن و یا نرم شدن خاک معمولاً مورد نیاز است. از نظر فصلی، خاک منجمد موجب تغییر چشمگیر در سختی و نسبت میرایی سیستم ستون-خاک می شود (Xiong and Yang, 2008). علیرغم تحقیقات قبلی، یک روش موثر در دسترس برای توصیف واقعی ویژگی های دینامیک در محل و پاسخ غیر خطی برای سیستم های فعل و انفعال ساختار-خاک منجمد وجود ندارد. بنابراین، سطح بالایی از عدم اطمینان در توصیف خاک منجمد مجاور با ستون ادامه می یابد و باعث پیش بینی یکپارچگی ضعیف سیستم ساختار می شود.

ما یک رویکرد را برای برآورده قابل اعتماد ویژگی های دینامیکی ستون نیمه جاسازی شده در خاک منجمد ارائه نموده ایم. روش ارائه شده بر استفاده از سیگنال پاسخ عاری از-میرایی ستون متکی است. ملاحظات نظری و تقریبات ارتعاش آزاد فعل و انفعال ساختار ستون-خاک منجمد ارائه شده است. اندازه گیری ها برای پاسخ عاری از-میرایی ستون گرفته شده است، و تجزیه و تحلیل طیف فرکانسی جامع انجام می شود. نتایج طیف مرسوم مانند تبدیل فوریه سریع (FFT)، چگالی طیف قدرت و طیف نگاره ها برای ارزیابی مقدماتی ویژگی های ارتعاشی سیستم در زمینه سیستم خطی استفاده می شوند. علاوه بر به کارگیری روشهای مرسوم برای شناسایی پاسخ سیستم، روش تجزیه حالت تجربی (EMD) (Huang et al., 1998, 1999; Yang et al., 2004; Yang and Lei, 1999) به منظور ارتقاء ویژگی های آزمایش سیگنال ها اتخاذ شد که برای بهبود شناسایی انجام می شود. تجزیه حالت تجربی،

یک روش تجزیه یک سیگنال غیر خطی، غیرساکن به یک سری از مولفه های (AM-FM) مدولاسیون مدولاسیون-فرکانس دامنه با فرکانس صفر است که نشان دهنده مقیاس زمانی مشخصه مشاهده است.

بر اساس این رویکرد، غیر خطی بودن سیستم ستون-خاک منجمد برآورد می شود. تجزیه و تحلیل داده ها به دست آمده نشان می دهد که سیستم ستون-خاک منجمد مورد آزمایش قرار گرفته، نمایشگر غیرخطی بودن ضعیف است و اینکه بخش غالب را می توان با یک مدل خطی تقریب زد. یک رویکرد شناسایی سیستم مورد استفاده برای استخراج پارامترهای معین و میرایی استفاده می شود که برای توصیف فعل و انفعالات ستون-خاک منجمد تحت شرایط متنوع استفاده می شوند. یک پدیده خطی مشخص بین ستون و خاک در محدوده فرکانس خاص مشاهده می شود. اثرات غیر خطی در محدوده فرکانس گسترده می باشند. پدیده ناشی از توسعه جداسازی سطح زمین (فاصله) بین خاک و ستون منجمد مشاهده می شود.

## ۲. راه اندازی آزمون و اندازه گیری ها

آزمون های دینامیک ستون در مقیاس کامل روی یک ستون بتن آرمه با پوشش فولاد و با قطر ۱۶ اینچ در (mm۴۰۶) انجام گرفت. (Davis، ۲۰۱۰). یک ستون ۲۰ فوت (۶,۰۹۶ متر) در پروفیل خاک گل و لای Fairbanks یکنواخت با ستون ۵ فوت (۱۵۲۴ متر) در معرض بالای سطح زمین گنجانده شد. شتاب افقی انتهای بالای ستون با اعمال مقدار بار ضربه افقی اندازه گیری شد. شکل. ۱ یک نمودار شماتیک کلی از راه اندازی آزمون است.

آزمون های ارتعاش آزاد افقی ابتدا با استفاده از بارهای افزایشی ساکن در حدود ۵۰۰۰ پوند (۲۲ کیلو نیوتن) انجام شدند. در طول بارگذاری تدریجی، کرنش های ستون، جابجایی ها، و بار اعمال شده تحت نظارت قرار گرفتند. یک شتاب سنج برای نظارت بر ارتعاشات آزاد پس از حذف ناگهانی بار اعمال شده با استفاده از یک انتشار سریع مورد استفاده قرار گرفت. یک شتاب سنج نیز برای ثبت پاسخ های عاری از میرایی مورد استفاده قرار گرفت. یک سیستم اکتساب داده ها برای ذخیره داده ها استفاده شد. اطلاعات حاصل به یک کامپیوتر برای پردازش منتقل شد. خاک در محل به عنوان گل و لای Fairbanks طبقه بندی می شود. ویژگی های آن با انجام آزمون ها در محل و در

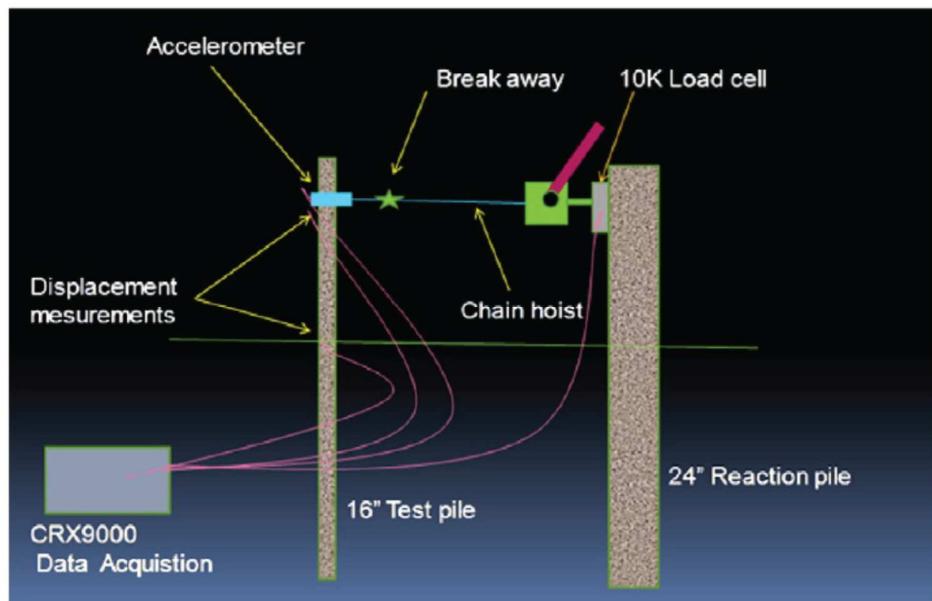
آزمایشگاه تعیین شد. دیگران، آزمون های آزمایشگاهی را برای خاک در این سایت آزمون برای ارزیابی ویژگی های خاک مانند مدول برشی دینامیکی با آزمون های آزمایشگاهی انجام دادند (Czajkowski and Vinson, 1980; Wilson, 1982). جزئیات ویژگی های خاک، که در گزارش تحقیق شرح داده شده است، در این مقاله گنجانده نشده است. آزمایش های میدانی در ماه دسامبر و ژانویه (فصل زمستان) انجام شد.

جزیه و تحلیل طیف ۳.

شکل. ۲ (a)، یک سیگنال شتاب اندازه گیری شده را نشان می دهد. دو قله خاص مربوط به  $F1 = 98$  هرتز و  $F2 = 1080$  هرتز قابل مشاهده هستند. شکل. ۲ (b) و (c)، سه سیگنال شتاب اندازه گیری شده و ثبت شده در همان روز را نشان می دهد. شکل. ۳، چگالی طیف توان سه سیگنال اندازه گیری شده برای شتاب در همان روز را نشان می دهد. توجه نمایید که در شکل. ۳، اولین فرکانس خاص که تاریخ آزمون کمتر حساس است و اولین اوج خاص از هر سه آزمون یکسان است، در حالی که فرکانس خاص دوم به تاریخ آزمون حساس است و دومین قله خاص از سه آزمون در طیف وسیع  $F2 - 1080 = 1065$  هرتز قرار دارد. این داده ها نشان می دهند که آزمون های انجام شده در همان روز می توانند به طور مختصر شرایط مرزی خاک که توسط تغییر در فرکانس دوم خاص منعکس می شود را تغییر دهند.

اگر این سیستم به عنوان یک سیستم خطی ایده آل سازی شود، آنگاه می توانیم فرض نماییم که دو قله با دو حالت اول از سیستم مطابقت دارند. بنابراین، فرکانس طبیعی مرتبه اول، یک ارتعاش افقی  $F1 = 97$  هرتز است، و فرکانس طبیعی مرتبه دوم، یک ارتعاش افقی  $F2 = 1080$  هرتز می باشد. اعتبار این فرض بعداً در مقاله نشان داده خواهد شد. شکل. ۴ نشان دهنده طیف نگاره یکی از سیگنال های شتاب اندازه گیری شده مشخص شده از آزمون میدانی است. شکل. ۴ (a) یک طرح کانتور را نشان می دهد که چهار نوع از نمودارها وجود دارند. مولفه اول، مولفه غالب است که متناظر با فرکانس خاص از  $F1 = 97$  هرتز می باشد. بخش دوم شامل بسیاری از مولفه های در حال گسترش به فرکانس های بالا می شود که تنها برای یک دوره کوتاه وجود دارد و بعد از ۰،۰۲ ثانیه به سمت صفر میرا می شود. این نرخ میرایی را می توان به فعل و انفعال غیرخطی اولیه ستون و خاک نسبت داد. مولفه سوم دارای

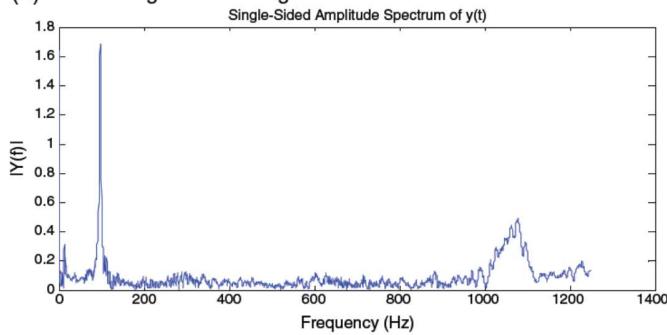
هارمونیک ها و مشخصات تغییر فرکانس است که نشان دهنده وجود اثر غیرخطی است. مولفه نهایی، غیرمشخص است.



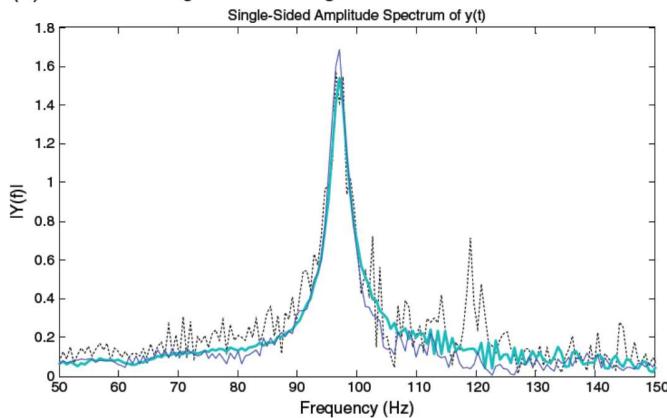
شکل ۱. دیاگرام شماتیک راه اندازی آزمون

با این حال، از نمودار سه بعدی شکل ۴ (b)، می توانیم ببینیم که دامنه مولفه غالب با فرکانس خاص  $F_1 = 97$  هرتز به طور قابل ملاحظه ای بالاتر از دامنه سه نوع باقی مانده از مولفه ها است. پاسخ این سیستم را می توان با مولفه غالب تقریب زد. شکل ۵ نشان دهنده طیف نگاره از سیگنال شتاب اندازه گیری شده از یک زاویه متفاوت می باشد. پوش دامنه مولفه غالب نمایشگر مشخصات ثابت واپاشی آشکار است که نشان می دهد مولفه غالب با فرکانس خاص از  $F_1 = 97$  هرتز می تواند به عنوان یک مقدار مشخصه و یا شاخص برای نظارت یکپارچگی استفاده شود و یا می تواند برای بررسی فعل و انفعال خاک-ستون استفاده شود. برای استفاده از این مولفه غالب در تجزیه و تحلیل آینده، باید آن را از کل سیگنال استخراج نمود. روش فیلتر کردن انتخابی را می توان برای استخراج مولفه غالب از سیگنال اصلی پیاده سازی نمود. با این حال، روش EMD به دلیل کاربرد آن برای مسائل غیر خطی برای استخراج سیگنال های خاص و مشخص کردن پارامترهای سیستم استفاده شد. قبل از انجام EMD، ما تجزیه و تحلیل نظری را برای مرتبط نمودن نتایج تحلیلی با داده های تجربی کامل نمودیم.

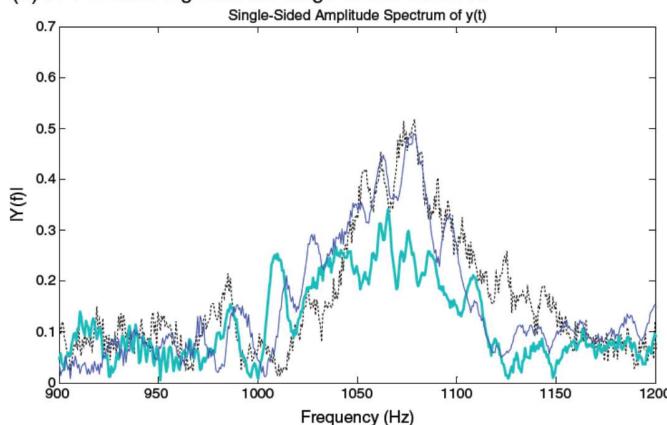
(a) FFT of a signal in the range of 0-1400 Hz.



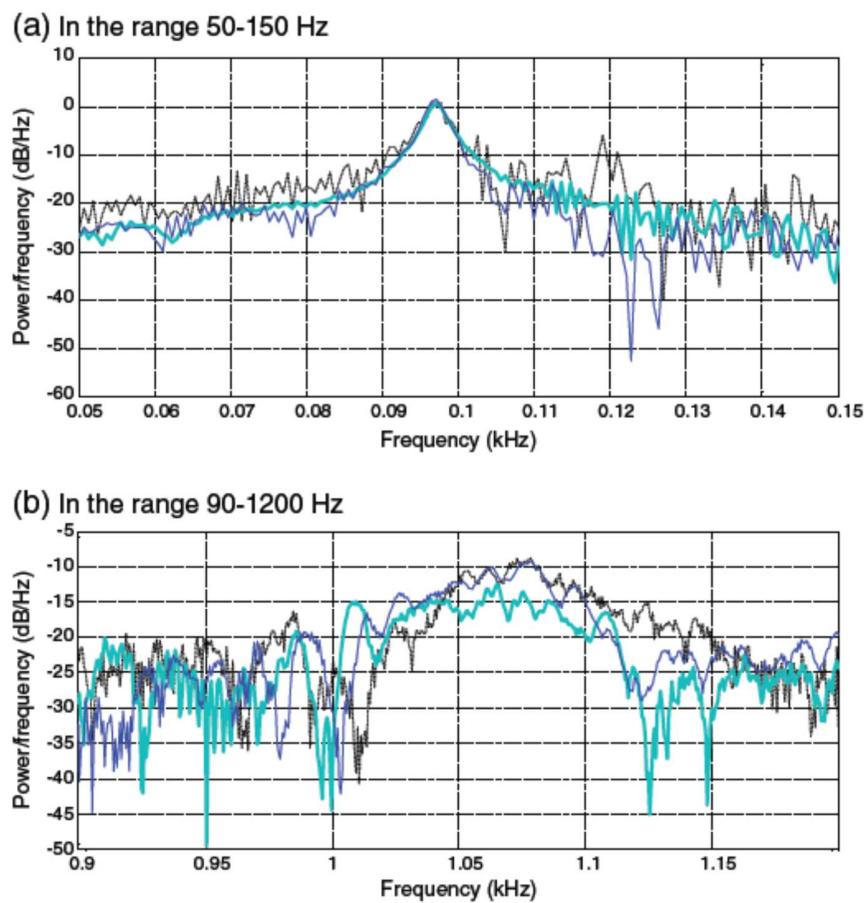
(b) FFT of three signals in the range of 50-150 Hz.



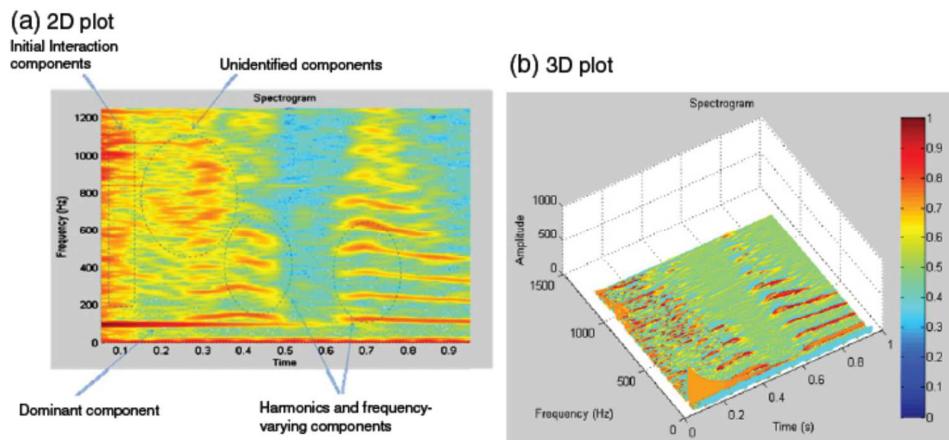
(c) FFT of three signal in the range of 900-1200 Hz.



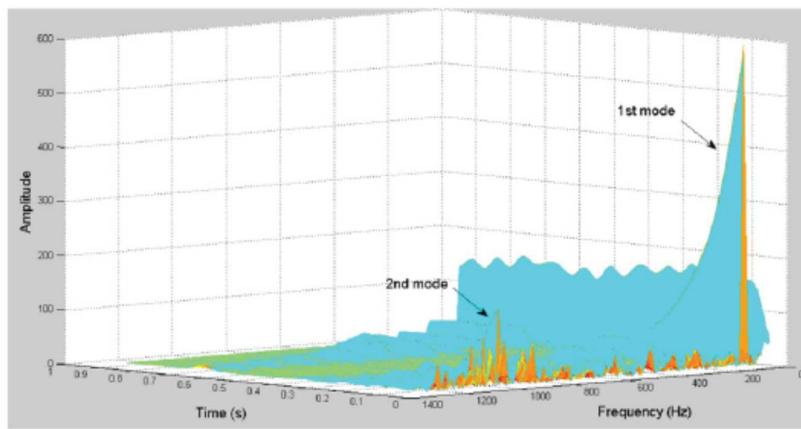
شکل ۲. FFT یک سیگنال شتاب اندازه گیری شده نوعی و مقایسه سیگنال های گرفته شده در همان روز



شکل ۳. چگالی طیف توان سه سیگنال شتاب اندازه گیری شده



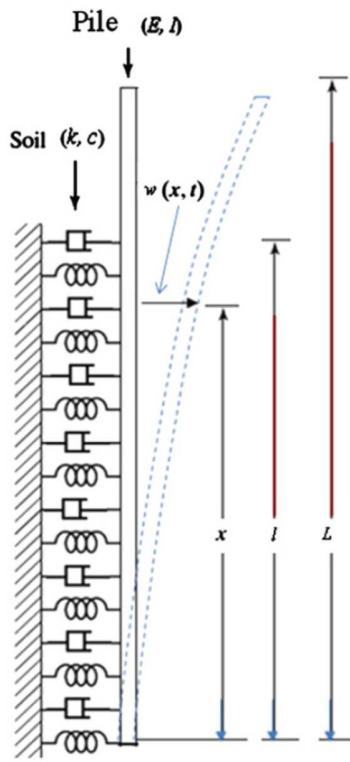
شکل ۴. طیف سیگنال شتاب اندازه گیری شده



شکل ۵. طیف نگاره یک سیگنال شتاب اندازه گیری شده (نمودار سه بعدی)

#### ۴. ملاحظه نظری

در این بخش، یک مدل ریاضی ارائه شده است که با نتایج تجربی مرتبط است. هندسه و غیرخطی بودن مواد ممکن است در یک مسئله فعل و انفعال ستون-خاک وجود داشته باشند. از آنجا که واسطه خاک دارای استحکام کششی حداقل است، که در آن واسطه ستون-خاک بیش از تنفس های ژئوستاتیک در اطراف ستون است، یک شکاف در سطح زمین باز می شود. غیر خطی بودن ماده توسط گنجاندن یک مدل مبتنی بر شکل پذیری خاک پیشفرته به حساب آورده می شود. مدل غیرکششی، یک قاعده هیسترزیس را فراهم می کند که برای مدلسازی رفتار چرخه ای مورد نیاز است. این مدل به منظور مرتبط نمودن جابجایی ها و انقباضات استفاده می شود. نرخ جابه جایی (افزایش) به عنوان یک متغیر برای مدل استفاده می شود. یک مدل تقریبی (Qatu و Leissa، 2011) برای مرتبط نمودن با داده های تجربی مورد استفاده قرار گرفت. شماتیک سیستم در شکل ۶ نشان داده شده است که تیر اویلر-برنولی به طور جزئی مقاوم با یک فنداسیون الاستیک است.



شکل ۶. مدل ارتعاش ستون-خاک

از آنجا که سختی و میرایی خاک، تابعی از شرایط محیطی مانند دما و رطوبت است، در حالی که حالات طبیعی توابعی از سختی و میرایی هستند، ما می توانیم وابستگی فرکانس طبیعی در دما و / یا رطوبت را استنتاج نماییم. حساسیت حالات طبیعی با توجه به درجه حرارت می تواند به صورت زیر بیان شود

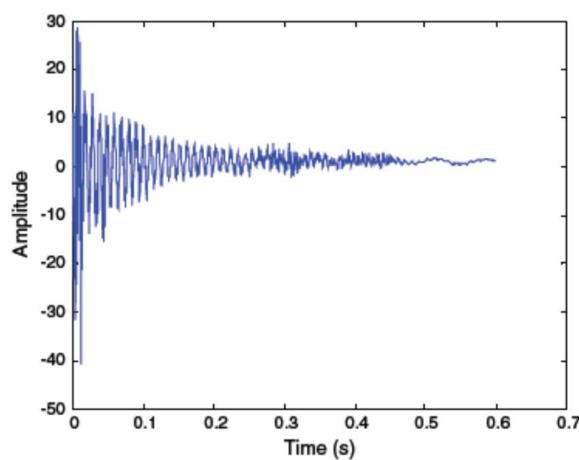
$$\frac{\partial f_1}{\partial T} = F_1(k(T), c(T)) \quad (1)$$

که در آن  $T$  درجه حرارت است. بدیهی است که خاک منجمد دارای تاثیر قابل توجهی در سختی و میرایی خاک است. بر این اساس، خاک منجمد دارای یک اثر قابل توجه بر روی فرکانس طبیعی خاص می باشد. اگر سیستم بیشتر به عنوان یک تیر معلق ساده سازی شود، پس از آن از رابطه زیر بین توسعه مرتبه اول فرکانس طبیعی و نظم دوم فرکانس طبیعی، بدون در نظر گرفتن هندسه و مواد پارامترهای ستون نوشته می شود:

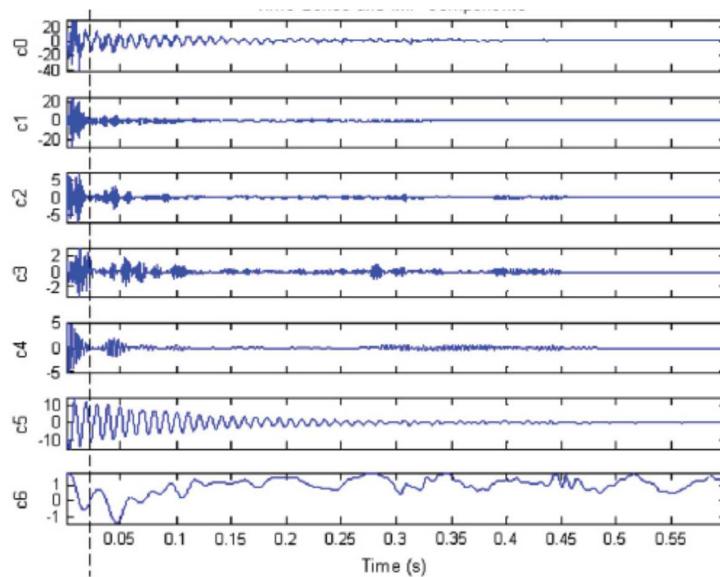
$$\frac{f_2}{f_1} = 6.27$$

(۲)

با در نظر گرفتن اولین فرکانس خاص ۹۷ هرتز، که قبلاً مشخص شد و فرکانس خاص دوم ۱۰۸۰ هرتز، فرکانس ها با رابطه داده شده Leissa و Qatu 2011 مطابقت ندارند. به این ترتیب، فرکانس خاص ۱۰۸۰ هرتز نباید به عنوان فرکانس طبیعی مرتبه دوم سیستم خطی فرض شده در نظر گرفته شود.



شکل ۷. تاریخچه زمانی یک سیگنال شتاب اندازه گیری شده



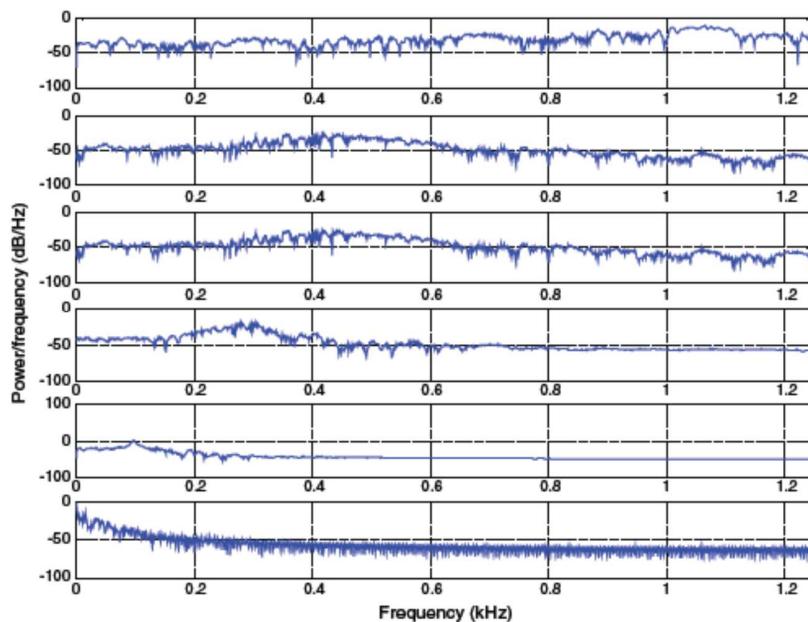
شکل ۸. مولفه های تجزیه شده یک سیگنال شتاب اندازه گیری شده

### ۵. برآوردهای پارامتر

برای تجزیه سیگنال مشخص شده در عبارت فرکانس-زمان (نگاه کنید به شکل ۴ و ۵)، روش تجزیه حالت تجربی به جای فیلتر کردن برای ارزیابی دهنده سیگنال پاسخ مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه حالت تجربی (EMD) یک روش تجزیه سیگنال غیر خطی و غیرساکن به یک سری از مولفه های AM-FM با میانگین صفر است که نشان دهنده مقیاس زمان مشخصه برای مشاهده است. یک مدل AM-FM با چند مولفه برای یک سیگنال غیر خطی و غیرساکن،  $x(t)$  را می تواند به صورت زیر نشان داد

$$x(t) = \sum_{j=1}^n a_j(t) \cos[\varphi_j(t)] \quad (3)$$

که در آن  $\varphi_j(t)$  و  $a_j(t)$  نشان دهنده دامنه لحظه ای و فاز لحظه ای مولفه  $j$  ام، و  $n$  تعداد مولفه هاست.



شکل ۹. طیف توان برای مولفه های تجزیه شده از یک سیگنال شتاب اندازه گیری شده

در رویکرد EMD، راه حل با انجام مکرر یک فرآیند غربالگری انجام می شود. مولفه های AM-FM با میانگین صفر، توابع حالت ذاتی (IMFs) نامیده می شوند، که باید شرایط خاصی را برآورده سازند: (۱) تعداد کران و تعداد عبورها از صفر در IMF باید برابر با یک باشد و یا تفاوت زیادی با یک نداشته باشد. و (۲) در هر نقطه، مقدار میانگین پوش های تعریف شده توسط ماسکسیمم موضعی و کمینه موضعی باید صفر باشند. در کوتاه مدت، سیگنال در اطراف محور زمان به صورت موضعی متقارن است.

فرآیند غربالگری برای پیدا کردن IMF<sub>x</sub> برای سیگنال  $(t)$  شامل مراحل زیر است:

(۱) موقعیت ها و دامنه های همه حداقل های موضعی و همه حداقل های موضعی در سیگنال ورودی  $(t)$  را بیابید. یک پوش بالاتر توسط درون یابی نوار باریک مکعب حداقل موضعی، و یک پوش پایین تر توسط درون یابی نوار باریک مکعب حداقل موضعی ایجاد نمایید. میانگین پوش های بالا و پایین را محاسبه نمایید. این مورد به صورت  $m_1(t)$  تعریف می شود. سیگنال پوش میانگین،  $h(t)$  را از سیگنال ورودی اصلی تفريق نمایید،  $h(t) = x(t) - m_1(t)$ .

اگر اینگونه نبود،  $h(t)$  را به عنوان داده جدید در نظر بگیرید و روند قبلی را تکرار کنید. سپس قرار دهید  $h_{1k}(t)$  روش غربالگری را K بار تکرار کنید تا زمانی که  $h_{11}(t) = h_1(t) - m_{11}(t)$  یک IMF شود. این به عنوان اولین IMF و یا  $c_1(t)$  تعیین می شود..

(۲)  $r_1(t)$  را از سیگنال ورودی تفريق کنید و باقی مانده،  $r_1(t)$  را به عنوان اولین باقیمانده تعریف نمایید. از آنجا که مانده،  $r_1(t)$ ، هنوز هم حاوی اطلاعات مربوط به مولفه های دوره طولانی تر است، به عنوان یک جریان داده های جدید و تکرار فرآیند غربالگری بالا توصیف می شود. این رویه را می توان L بار برای تولید باقی مانده L تکرار نمود. این فرآیند غربالگری زمانی متوقف می شود که هر کدام از دو معیار برآورده شده باشند: در هر

دو صورت مولفه  $r_n(t)$ ,  $c_n(t)$ , و یا باقی مانده، آنقدر کوچک شود که بی اهمیت در نظر گرفته شود و یا

به یک تابع یکنوا تبدیل شود که IMF از آن قابل استخراج نباشد. در نهایت خواهیم داشت

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_{imf\ i}(t) + r_n(t) \quad (4)$$

به عبارت دیگر، سیگنال اصلی هم اکنون می تواند به عنوان مجموع مجموعه ای از IMFs به علاوه یک مانده نشان

داده شود. در مرحله بعد، تبدیل هیلبرت را برای تمام  $IMFs, c_j(t)$ , اعمال نمایید تا پارامترهای مدل از

جمله فرکانس و میرایی را به دست آورید:

$$H[c_j(t)] = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{c_j(t)}{t-\tau} d\tau \quad (5)$$

بعد از تبدیل هیلبرت،  $Z_j(t)$ ،  $c_j(t)$  و  $H[c_j(t)]$  مختلط را تشکیل می دهند:

$$Z_j(t) = c_j(t) + iH[c_j(t)] = a_j(t)e^{i\varphi_j(t)} \quad (6)$$

بنابراین پوش هر IMF را می توان به صورت زیر ارائه داد

$$a_j(t) = \sqrt{[c_j(t)]^2 + H[c_j(t)]}, \varphi_j(t) = \arctan\{H[c_j(t)]/c_j(t)\} \quad (7)$$

که در آن  $x(t)$ ، دامنه لحظه ای است که نشان می دهد چگونه انرژی  $x(t)$  با زمان تغییر می

کند. عبارت  $\omega_j(t)$  فرکانس لحظه ای به عنوان مشتق زمانی فاز لحظه  $x(t)$  است.

ای  $\varphi_j(t)$  صورت زیر تعریف می شود:

$$\omega_j(t) = \frac{d\varphi_j(t)}{dt} \quad (8)$$

بنابراین سیگنال اصلی  $x(t)$  را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$x(t) = \sum_{j=1}^n a_j(t) \exp \left[ i \int \omega_j(t) dt \right] \quad (9)$$

در اصل، پاسخ شتاب اندازه گیری شده ستون  $\ddot{W}$ ، می‌تواند تقریباً توسط EMD به صورت زیر تجزیه شود:

$$\ddot{w}(t) = \sum_{j=1}^k \ddot{w}_j(t) + \sum_{i=1}^{n-k} c_i(t) + r_n(t) \quad (10)$$

که در آن  $\ddot{w}_j(t)$  پاسخ شتاب معین زام و IMF است.

$$\begin{aligned} \omega_j(t) &= \omega_{d_j} t - \theta_j \\ \ln a_{ij} &= -\zeta_1 \omega_j t + \ln r_{ij} \end{aligned} \quad (11)$$

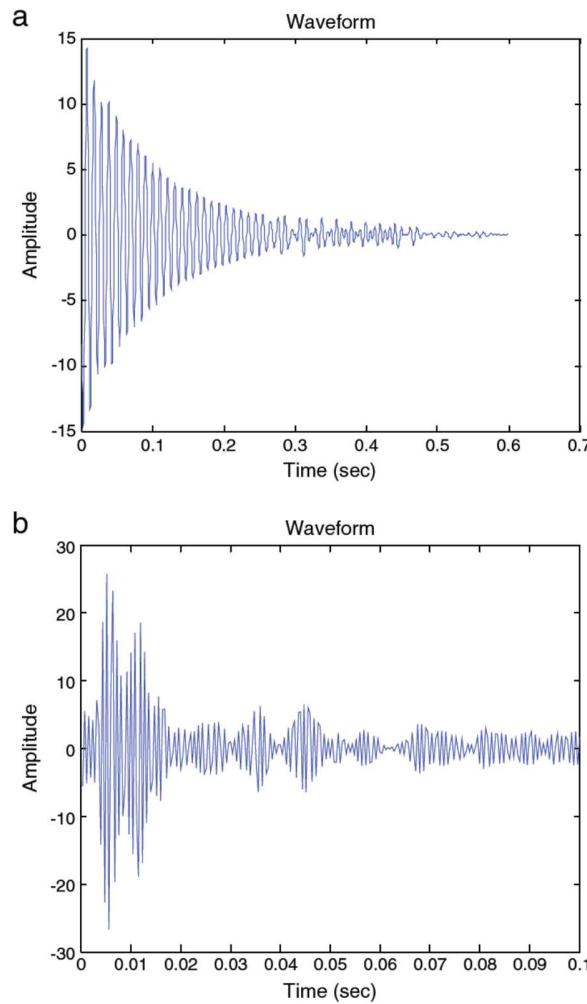
بنابراین، فرکانس میرا شده طبیعی،  $\omega_{d_j}$ ، می‌تواند از شیب نمودار زاویه فاز در  $\omega_j(t)$  به ازای  $t$  به دست آید، و

$\ln a_{ij}$  را می‌توان از شیب نمودار در  $\ln a_{ij}$  بر حسب زمان به دست آورد.

روش حداقل مربعات خطی را می‌توان برای متناسب نمودن نمودارهای  $\ln a_{ij}$  به  $\omega_j(t)$  در برابر زمان و ازای زمان استفاده نمود.

در مرحله بعد، ما نشان می‌دهیم که چگونه تجزیه سیگنال و شناسایی پارامتر با استفاده از یک سیگنال شتاب اندازه گیری معمولی (نشان داده شده در شکل ۷) انجام می‌شود. شکل ۸ نشان دهنده مولفه‌های تجزیه شده سیگنال شتاب اندازه گیری شده است. از شکل ۸ می‌توانیم ببینیم که دامنه C1 و C5 بسیار بالاتر از بقیه مولفه‌های است. برای مشخص کردن سیگنال تجزیه شده، طیف توان سیگنال تجزیه شده محاسبه می‌شود (که در شکل ۹ نشان داده شده است). از شکل ۹ می‌بینیم که مولفه تجزیه شده C5 دارای یک فرکانس خاص ۹۷ هرتز و مولفه تجزیه شده

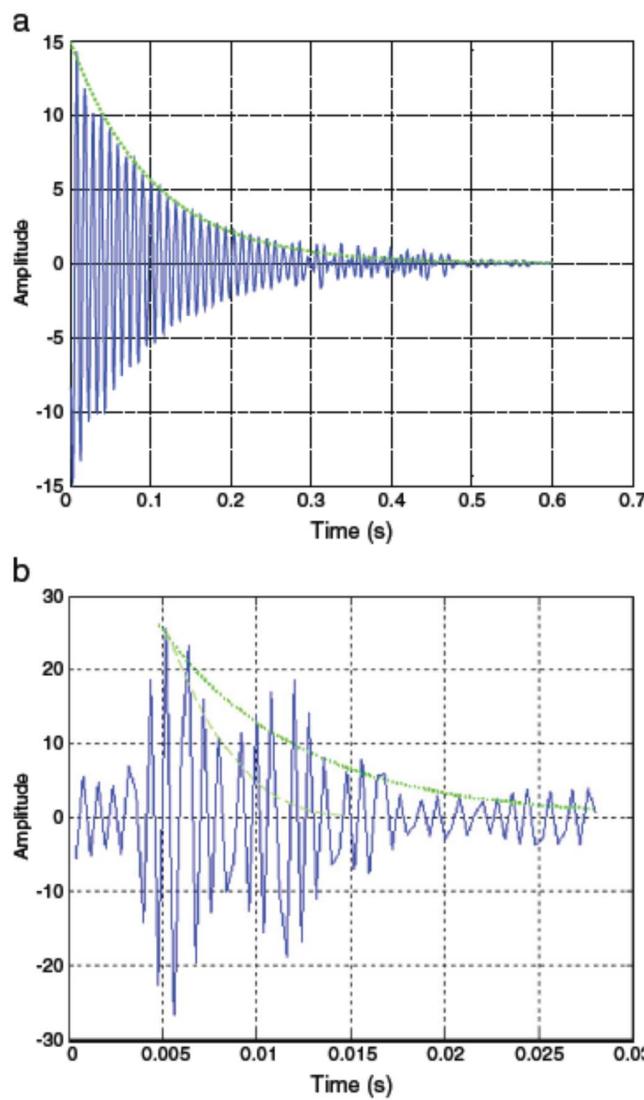
C1 دارای یک فرکانس خاص  $1080$  هرتز است. رابطه بین دو مقدار فرکانس با تجزیه و تحلیل بالا سازگار است. از شکل ۸ می بینیم که بعد از  $0.02$  ثانیه، C5 تقریبا تنها مولفه است. بقیه مولفه ها به صفر میرا می شوند. ارتعاش مرتبط با C5، تا  $0.03$  ثانیه طول می کشد. در ادامه بحث، ما روی C5 و C1 برای مشخص کردن پارامترهای مشخصه مربوطه تمرکز می نماییم. شکل ۱۰ نشان دهنده اشکال موج از سیگنال های تجزیه شده C5 و C1 است.



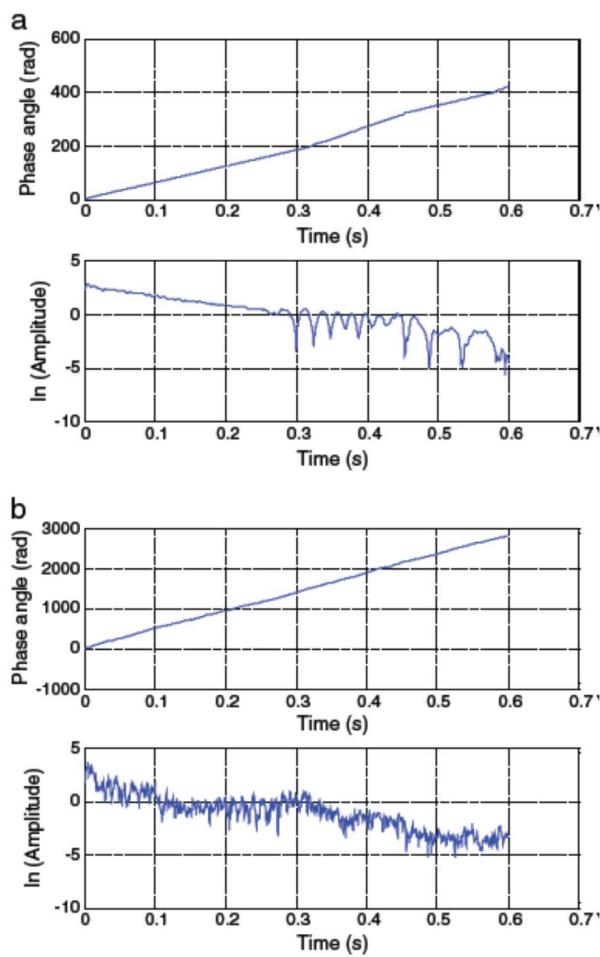
شکل ۱۰. سیگنال های تجزیه شده متناظر با دو فرکانس خاص

پوش شکل موج C5 نمایشگر شکل نمایی است که می تواند به آسانی با یک منحنی نمایی متناسب شود تا نشان دهد که این نوسان را می توان به عنوان یک سیستم با یک درجه آزادی در نظر گرفت. ضریب میرایی را می توان به صورت  $\zeta_1 = 0.016$  (نشان داده شده در شکل A11 در) تعیین نمود. با این حال، پوش شکل موج C1، یک شکل

نمایی را نشان می دهد. در عوض، نشاندهنده مدولاسیون مشخصات نوسان غیرخطی دامنه و فرکانس است که ویژگی های غیر خطی قوی از فعل و انفعال ستون-خاک را در این حالت نشان می دهد. تغییر فرکانس را می توان به سفت شدن ویژگی های تنش-کرنش خاک و در نتیجه تغییر سفتی سیستم نسبت داد. علاوه بر این، هارمونیک های متعدد می توانند به عدم عیب در سراسر شکاف در نزدیکی سطح زمین بین خاک و ستون نسبت داده شوند. شناسایی را می توان با ارتباط دادن پردازش پیشرفته، مدل سازی غیر خطی، و تجزیه و تحلیل پیاده سازی نمود.



شکل ۱۱. پوش های سیگنال های تجزیه شده متناظر با دو فرکانس خاص



شکل ۱۲. نمودارهای مشخصه سیگنال های تجزیه شده متناظر با دو فرکانس خاص

این یافته با تجزیه و تحلیل در بخش ۲، که در آن ما نشان دادیم که نوسان متناظر به طور بعدی، حالت دوم از سیستم خطی فرض شده است، سازگار می باشد. اگر ما داده ها با تناسب منحنی نمایی تقریب بزنیم، نسبت میرایی می تواند در محدوده  $0.07 \text{--} 0.2$  باشد، اما تحت پیاده سازی. این پارامتر خاص توسط معادله ۱۱ به دست می آید.

شکل ۱۲ نشان دهنده نمودارهای مشخصه سیگنال های تجزیه شده C5 و C1 مربوط به دو فرکانس خاص می باشد.

## ۶. نتایج

برای توصیف داده های تجربی پاسخ بدون لرزش برای فعل و انفعال ساختار ستون-خاک منجمد، یک سیگنال پاسخ عاری از میرایی مورد استفاده قرار گرفت (آزمون با استفاده از بار ضربه انجام شد). روش ارائه شده را می توان برای

ارزیابی غیر خطی بودن سیستم و برای انجام شناسایی سیستم استفاده نمود. این سیگنال حالت خاص می‌تواند استخراج شود و پارامترهای خاصی را می‌توان شناسایی نمود. این رویکرد، یک راه سریع نه تنها برای برآورد میزان غیر خطی بودن سیستم واقعی، بلکه برای تقریب پارامترهای معین برای حالات خطی و غیر خطی را فراهم می‌کند. این رویکرد به تضمین از دقت و قابلیت اطمینان به کارگیری یک سیگنال لرزش برای نظارت بر پاسخ متقابل ساختار ستون-خاک منجمد و بررسی فعل و انفعال ستون - خاک منجمد تحت شرایط مختلف محیطی و لرزه کمک می‌کند.

نتایج نشان می‌دهد که پاسخ برای فعل و انفعال ساختار ستون-خاک منجمد نمایشگر ویژگی‌های متغیر با زمان و غیر خطی بودن در حوزه زمان-فرکانس می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که سیستم مورد آزمایش قرار گرفته، نمایشگر غیرخطی بودن ضعیف است. پارامترهای سیستم غالب مورد استفاده برای مشخص نمودن فعل و انفعالات ستون-خاک منجمد، شناسایی می‌شوند. ستون‌های بتنی ۱۶ در (۴۰۶ میلی‌متر) قطر با پوشش فولاد با ۵ فوت (۱۵۲۴ متر) بالای سطح زمین و ۲۰ فوت (۶,۰۹۶ متر) تعییه شده در گل و لای Fairbanks دارای دو فرکانس طبیعی غالب برای ماه‌های زمستان از دسامبر و ژانویه هستند: ۹۷ هرتز و ۱۰۸۰ هرتز. میرایی برای یک ستون تعییه شده در گل و لای منجمد Fairbanks در حدود ۱۶,۰۰ بود.

## References

- Chau, K.T., Yang, X., 2005. Nonlinear interaction of soil-pile in horizontal vibration. *Journal of Engineering Mechanics, ASCE* 8, 847–853.
- Chau, K.T., Shen, C.Y., Guo, X., 2009. Nonlinear seismic soil-pile-structure interactions: shaking table tests and FEM analyses. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 29, 300–310.
- Czajkowski, R.L., Vinson, T.S., 1980. Dynamic properties of frozen silt under cyclic loading. *Journal of the Geotechnical Engineering Division* 106 (GT9), 963–980 (Sep.).
- Davis, D.M., 2010. Soil-Structure Interaction vs Seasonal Frost Depth: A Study of Effective Pile Length for Small Lateral Loads, Thesis, Master of Science in Civil Engineering, University of Alaska Fairbanks.
- Hua, C.L., Cheng, C.J., Chen, Z.X., 2008. Nonlinear transverse free vibrations of piles. *Journal of Sound and Vibration* 317, 937–954.
- Huang, N.E., Shen, Z., Long, S.R., Wu, M.C., Shih, H.H., Zheng, Q., Yuen, N.C., Tung, C.C., Liu, H.H., 1998. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proceedings of the Royal Society of London* 454A, 903–995.
- Huang, N.E., Shen, Z., Long, S.R., 1999. A new view of non-linear water waves: the Hilbert spectrum. *Annual Review of Fluid Mechanics* 31, 417–457.
- Ku, S., Banerjee, P.K., Bildik, N., 2003. Inelastic analysis of pile soil structure interaction. *Engineering Structures* 25, 1231–1239.
- Leissa, A.W., Qatu, M.S., 2011. *Vibrations of Continuous Systems*. McGraw-Hill.
- Maheshwaria, B.K., Trumana, K.Z., Naggarb, M.H., El, Gould, P.L., 2004. Three-dimensional nonlinear analysis for seismic soil-pile-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 24, 343–356.
- Masoumi, H.R., Degrande, G., Holeymann, A., 2009. Soil-pile response and free field vibrations due to low strain dynamic loading. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 29, 834–844.
- Naggar, M.H., El, Novak, M., 1995. Nonlinear lateral interaction in pile dynamics. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 14, 141–157.
- Ni, S.H., Lo, K.F., Lehmann, L., Huang, Y.H., 2008. Time-frequency analyses of pile-integrity testing using wavelet transform. *Computers and Geotechnics* 35, 600–607.
- Puri, V.K., Braja, M.D., 1993. Static and dynamic response of a pile. *International Journal of Offshore and Polar Engineering* 3 (2), 61–69.
- Tahghighi, H., Konagai, K., 2007. Numerical analysis of nonlinear soil-pile group interaction under lateral loads. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 27, 463–474.
- Takewaki, I., 2005. Frequency-domain analysis of earthquake input energy to structure-pile systems. *Engineering Structures* 27, 549–563 (Nonlinear).
- Teguh, A.M., 2008. Nonlinear soil spring model applied to simplified pushover analysis of soil-pile interaction. *JRS* 1, 1–8.
- Wilson, C.R., 1982. Dynamic properties of naturally frozen Fairbanks silt. Masters of Science, Oregon State University.
- Xiong, F., Yang, Z.H., 2008. Effects of seasonally frozen soil on the seismic behavior of bridges. *Cold Regions Science and Technology* 54, 44–53.
- Yang, J.N., Lei, Y., 1999. Identification of natural frequencies and damping ratios of linear structures via Hilbert transform and empirical mode decomposition. *Proceedings of the International Conference on Intelligent Systems and Control, IASTED/Acta Press, Anaheim, CA*, pp. 310–315.
- Yang, J.N., Lei, Y., Lin, S., Huang, N., 2004. Hilbert-Huang based approach for structural damage detection. *Journal of Engineering Mechanics* 130, 85–95.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

✓ لیست مقالات ترجمه شده

✓ لیست مقالات ترجمه شده رایگان

✓ لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI

سایت ترجمه فا؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی