



ارائه شده توسط :

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتربر

اثرات دمپر جرمی تنظیم شده بر پاسخ سازه های چند طبقه مشاهده شده در آزمون

سانتریفیوژ ژئوتکنیک

چکیده

دامپرهای جرمی تنظیم شده (TMDS) به طور گسترده ای به منظور کاهش ارتعاشات در سازه ها استفاده می شوند. با این حال، تحقیقات بسیار کمی در مورد بررسی آزمایشی TMDS و عملکرد آن در سیستم خاک-سازه در دسترس است. در این مقاله، یک سری از آزمایشات سانتریفیوژ ژئوتکنیک به منظور بررسی اثرات TMDS بر پاسخ یک ساختار چند طبقه قاب نوسان تحت اندرکنش خاک-ساختار پویا (SSI) انجام می شوند. پاسخ سازه برای طیف گسترده ای از ویژگی های حرکت ورودی، تنظیمات دمپر و پروفیل خاک ثبت شد. عملی بودن مرتبط با استفاده از TMDS در میرایی سازه های رزونانس کننده در پرتوی ویژگی های غیرمنتظره زلزله از زلزله های طراحی به صورت تجربی نشان داده شد. مشخص شد که تنظیم یک TMD برای ویژگی های سیستم خاک-سازه به جای ویژگی های ساختاری پایه ثابت موجب دو برابر شدن بهبود میرایی و کاهش حداکثر پاسخ اصلی تا نزدیک به نصف می شود. اثربخشی بالقوه یک دمپر جرمی تنظیم شده در پرتوی SSI قابل توجه نیز نشان داده شد.

کلیدواژه ها: دمپر جرم تنظیم شده، فعل و انفعال پویای سازه-خاک، سانتریفیوژ ژئوتکنیک

۱. مقدمه

یک روش محبوب کاهش خطرات زمین لرزه برای سازه ها، استفاده از دستگاه ارتعاش، مقاوم در برابر است. دمپر جرمی تنظیم شده (TMD) یکی از ساده ترین و قابل اطمینان ترین دستگاه های کنترل ارتعاش امروزی است و به طور گسترده ای در بسیاری از ساختارهای در سراسر جهان نصب می شود [1]. این دستگاه از طریق اتلاف انرژی ارتعاشی ناشی از یک ساختار که از طریق عمل ترکیبی اتلاف لخت و مواد میرایی [2] به دست می آید عمل می کند. اکثریت قریب به اتفاق TMDS مورد استفاده امروز دارای ماهیت خطی و منفعل هستند، که منفعل بدین معناست که آنها از خارج هدایت نمی شود، بلکه آنها به تنها یکی در پاسخ به حرکت طبقه ای واکنش نشان می دهند که در آن نصب شده اند. TMD های خطی منفعل به خوبی درک شده اند و نشان داده شده است که در عمل [3] بسیار موثر و قابل

اعتماد می باشند. در مورد سازه های پایه-ثابت، تنظیم فرکانس طبیعی TMD به فرکانس معین از پیش-غالب ساختار برای اطمینان از بهره وری عملیاتی بهینه دمپر مطلوب است [4]. در واقع، با این حال، انتظار می رود که گنجاندن انعطاف پذیری خاک منجر به کاهش کلی در سختی و یک فرکانس طبیعی مختلف سیستم خاک-سازه در مقایسه با ساختار پایه-ثابت می شود [5]. با استفاده از آزمون جدول تکان دادن تحت 1 گرم شرایط Jabary و Madabhushi [6] تجربی نشان داده است که عملکرد TMD، زمانی بهینه است که فرکانس طبیعی TMD در فرکانس معین غالب سیستم خاک-سازه تنظیم می شود.

با هدف کاهش یک یا چند پارامتر پاسخ سازه، مطالعات گذشته در مورد TMDS بر توسعه عبارات تحلیلی برای بهینه سازی پارامترهای TMD جرم، سختی و میرایی متمرکز شده است. تاییدیه های پارامتری گاه به گاه از چنین عبارات تحلیلی به ساختار مدل بسیار خاص با تعداد محدودی از متغیرهای تعریف شده در ویژگی های ساختاری و خاک اشاره می کند. مطالعات در مورد پاسخ سازه با توجه فعل و انفعال آن با خاک پایه و TMD توسط چندین محقق [2,7,8] انجام شده است. با این حال، قبل از Ghosh و Basu [9] تعداد بسیار کمی از نویسندها که اثرات ویژگی های ساختاری تغییریافته به عنوان یک نتیجه از اندرکنش خاک-سازه (SSI) بر عملکرد TMDS در کنترل ارتعاش لرزه ای نگاه کرده بودند. اثرات SSI بر عملکرد TMD را در ساختاری با یک درجه آزادی بررسی نمودند. با این وجود، مطالعه عددی آنها بر اساس ساده سازی های بسیاری بود که مهمترین آنها، فرض خطی بودن رفتار تنفس-کرش خاک است. علاوه بر این، کارآیی TMDS در عمل اغلب بطور قابل توجهی در مقایسه با پاسخ به لحاظ نظری توسعه یافته [10] کاهش می یابد. علاوه بر این اشکالاتی عمومی مرتبط با مطالعات نظری که در عملکرد TMD انجام می شوند، بخش عمده ای از این مطالعات، استفاده طولانی از TMDS در سازه های تحریک شده باد باد را با استفاده از TMDS در سازه تحریک شده-زلزله ای در نظر گرفتند که یک مفهوم نسبتاً جدید که به صورت گسترده بررسی نشده است [11,12].

هدف از این مقاله، غلبه بر محدودیت های تجزیه و تحلیل های نظری عملکرد TMD از طریق بررسی تجربی اثرات TMD بر پاسخ یک ساختار قاب چند طبقه نوسانی تحت SSI پویاست. هیچ گونه ای از این مطالعات تا به امروز با

استفاده از تست سانتریفیوژ ژئوتکنیک انجام نشده است. برای هدف این مطالعه، یک سری از آزمایشات سانتریفیوژ در طیف وسیعی از تنظیمات ساختار دمپر انجام شد. دو پروفیل خاک و حالات مختلف زلزله‌های متعدد با مدل‌های مختلف در معرض خاک‌سازه روی طیف گسترده‌ای از ویژگی‌های حرکت ورودی دوباره ایجاد شد.

2. مدل سازی سانتریفیوژ ژئوتکنیک

2.1. اصل مدل سازی سانتریفیوژ

از آنجا که رفتار خاک بسیار غیر خطی و حساس به سطح استرس است، آزمایش تحت افزایش میدانهای گرانشی ممکن است برای خلق دقیق دباره تنش‌ها و کرنش‌های نمونه در یک مدل تجربی در مقیاس کوچک انجام شود. این مورد را می‌توان در یک سانتریفیوژ ژئوتکنیک به دست آورد. نیاز به مدل سازی سانتریفیوژ ژئوتکنیک زمانی رخ میدهد که رفتار سازنده خاک به طور کامل شناخته نشده است و یا عدم اطمینان در مورد مکانیزم‌های خرابی مورد انتظار تحت مجموعه‌ای از شرایط بارگذاری وجود دارد. در چنین حالاتی، مدل سازی فیزیکی به تجزیه و تحلیل المان محدود ترجیح داده می‌شود. برخلاف تست میدان در مقیاس کامل که اغلب بسیار گران است و ممکن است در هنگام برخورد با مشکلات مربوط زلزله عملی نباشد، مدل‌های مقیاس بندی شده را می‌توان به طور موثر در درک رفتار یک نمونه ایده‌آل، مثلاً نمونه شرح داده شده توسط [13] Madabhushi استفاده نمود.

آزمون‌های سانتریفیوژ انجام شه برای این مقاله با استفاده از سانتریفیوژ پرتوی Terner در مرکز Schofield کمبریج انجام شدند که یک سانتریفیوژ با 10 متر قطر و 150 گرم تن است. دستگاه محرک حرکت زاویه‌ای (SAM) ذخیره شده برای شبیه سازی طیف گسترده‌ای از ویژگی‌های زمین لرزه از طریق تکان دادن یک ظرف مدل خاص طراحی شده در یک جهت جانبی [14] استفاده شد. ظرف مدل پرتوی برشی معادل (ESB) به طور گسترده در بسیاری از تست‌های سانتریفیوژ در کمبریج استفاده شده است و عملکرد آن با ظرف مدل لایه لایه توسط Bernnan و همکاران [15] مقایه شده است. ESB شامل 10 حلقه آلومینیوم مستطیل شکل پراکنده شده توسط لایه‌های لاستیکی می‌شود. تغییر شکل پله‌مانند ظرف ESB در طول تکان دادن، جنبش محدود خاک را محدود می‌کند و

انعکاس انرژی از دیوارهای مرزی را برای شبیه سازی انرژی لرزه ای که در این زمینه [16] تابش دور دارد به حداقل می‌رساند.

2.2. قوانین مقیاس بندی

یک مدل سانتریفیوژ در پرواز تحت یک میدان گرانشی افزایش یافته قرار می‌گیرد که ضرب ۱ گرم و یک عامل مقیاس بندی هندسی، N است که که ابعاد مدل برای نسبت به نمونه اولیه کوچک می‌شوند. قوانین مقیاس بندی تعريف روابط بین پارامترهای مدل و پاسخ نمونه شده توسط [17] Schofield استخراج شد و در جدول 1 نشان داده شده است. مگر در مواردی که خلاف آن ذکر شده است، پارامترهای ارائه شده در این مقاله در مقیاس نمونه هستند.

جدول 1 قوانین مقیاس بندی برای آزمایش سانتریفیوژ

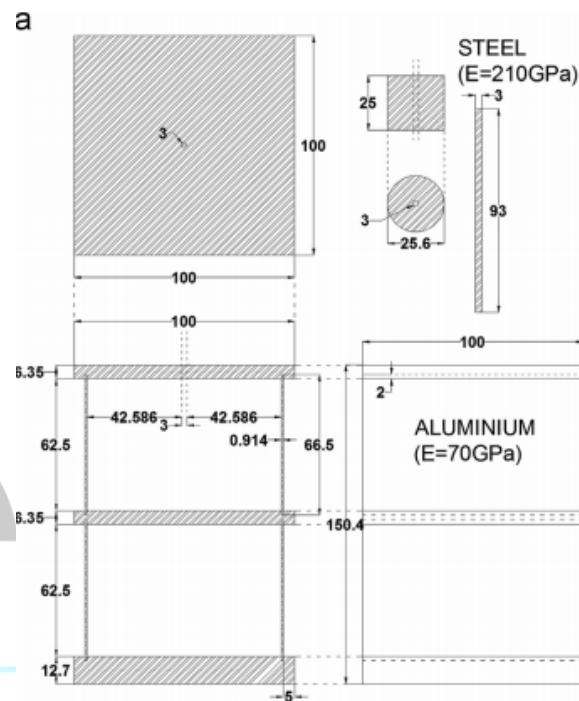
Parameter	Model/prototype	Dimensions
Length	$1/N$	L
Time (dynamic)	$1/N$	T
Time (seepage)	$1/N^2$	T
Mass	$1/N^3$	M
Velocity (dynamic)	1	LT^{-1}
Velocity (seepage)	N	LT^{-1}
Acceleration	N	LT^{-2}
Strain	1	$ML^{-1}T^{-2}$
Stress	1	$ML^{-1}T^{-2}$
Frequency	N	T^{-1}
Area	$1/N^2$	L^2
Volume	$1/N^3$	L^3

2.3. مدل

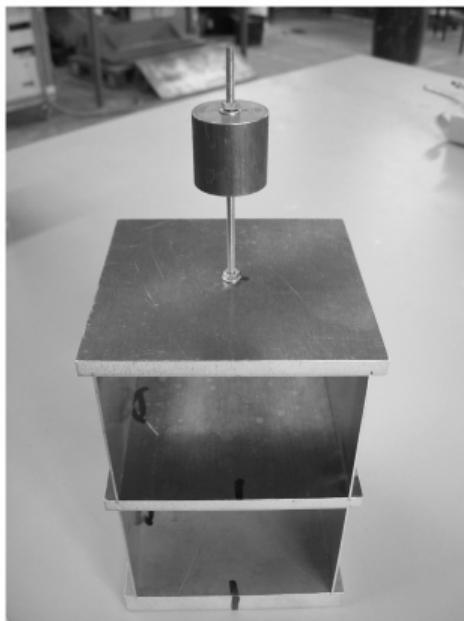
2.3.1. ساختار

سازه‌های قاب نوسانی، نمایش‌هایی ساده شده از سازه‌های واقعی از نظر رفتار افقی نوسانی آنها هستند. ساختار مدل سانتریفیوژ تحت بررسی در این مطالعه، یک ساختار قاب نوسان با دو درجه آزادی با فضایی برای نصب و راه اندازی دمپر قابل تنظیم در طبقه فوقانی آن است. دیواره‌های ساختار به طور محکم به کف چاک دار شدند تا از درجه بالایی از ثبات در سراسر آزمایش اطمینان حاصل شود. یک تصویر شماتیک ترسیم ابعاد ساختار و یک تصویر از مدل ساخته

شده در شکل ۱ (a) و (b) نشان داده شده است. تستهای سانتریفوگ ۵۰ گرم انجام شدند، به این معنی که ساختار مدل با گنجاندن پایه اصلی آن، شبیه یک ساختار نمونه اولیه با ۷.۵ متر ارتفاع است. با این حال، هیچ ساختار از پیش موجود یا نمونه طراحی مدل سانتریفیوژ در مقیاس کوچک ایجاد نشد. در عوض، این مدل برای مطالعه اثرات پارامترهای مختلف بر روی یک ساختار قاب نوسان کلی با چند درجه آزادی استفاده شد.



b ALL DIMENSIONS IN MM



شکل 1. ابعاد مدل سانتریفیوژ و مل سانتریفیوژ ساخته شده
 دیوارها و طبقات جانی مدل قاب نوسانی از آلیاژ آلومینیوم 6082-T6 ($E = 70 \text{ GPa}$, $\sigma_y = 255 \text{ MPa}$) و فولاد TMD از درجه 43 ساخته شدند و مولفه های $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$.
 ساخته شدند. (E = 210 GPa, $\sigma_y = 275 \text{ MPa}$ and $\rho = 7840 \text{ kg/m}^3$).

مدل قاب نوسان دارای فرکانس پایه پایه-ثابت 35 هرتز (0.7 هرتز برای نمونه مربوطه مدلسازی شده در 50 گرم). آزمون ضربه پس از سانتریفیوژ روی ساختار مدل نشان داد که فرکانس پایه-ثابت تعیین شده در مرحله قبل از آزمایش حفظ شده بود که این نشان میدهد که ساختار مدل، رفتار الاستیک خطی را در سراسر آزمون تجربه می کند. پارامترهای پاسخ سازه در نظر گرفته شده در این مقاله، شتاب کف و جابجایی طبقه هستند. پارامتر عملی دیگر، نسبت جرم (μ) بین TMD و ساختار است. برای سازه های واقعی، نسبت جرم به دلایل اقتصادی به طور معمول کمتر از 10٪ [18] است. در نتیجه، نسبت جرم بهینه سازی شده به ندرت در عمل یافت می شود. با این حال، برای این پژوهش نسبت جرم میکرون ۰.۲۷٪ استفاده شد.

2.3.2. خاک

شرایط خشک خاک در سانتریفیوژ مورد آزمایش قرار گرفتند، با توجه به اثربخشی TMD ها در کاهش پاسخ سازه اوج در طول بارگذاری لرزه ای متکی بر عدم وجود تغییرات شدید در خاک (به عنوان مثال مایع) است. خاک تحت بررسی، شن و ماسه سیلیسی ریزدانه (HN31) Hostun شد. ویژگی های این شن و ماسه در جدول 2 [19] خلاصه شده است.

Property	Value
d_{10}	0.315 mm [19]
d_{50}	0.480 mm [19]
d_{90}	0.525 mm [19]
t_s	2.65
ρ_{max}	0.955
ρ_{min}	1.041

جدول 2

[19] (HN31) Hustun ویژگی های شن

این دو پروفیل خاک که مورد آزمایش قرار گرفتند شامل یک بستر همگن شل ($1/4$ Dr ٪ ۵۰) و یک متراکم-شل-متراکم ($1/4$ Dr ٪ ۸۵، $1/4$ Dr ٪ ۵۰، $1/4$ Dr ٪ ۸۵) لایه بندی شده با اعمق لایه متفاوت می شوند. جای پای ساختار در سطح خاک در هر مورد استوار شد. عمق کل خاک به طور مداوم شبیه به ۱۸.۵ متر در مقیاس نمونه اولیه مدلسازی شد. تراکم نسبی تخبسترت شل به اندازه کافی به منظور بررسی اثرات نوسانات بر پاسخ سازه در زمانی که میرایی خاک مهم است طراحی شده است. در مقایسه، بستر لایه بندی برای شبیه سازی بهتر تغییرپذیری طبیعی شرایط خاک با عمق طراحی شد که در واقعیت مشخص می شود که لایه های سفت در آن به طور کلی برای اهداف ساخت و ساز مطلوب تلقی می شوند، و می توانند توسط لایه های شل تر طراحی شوند. ضخامت لایه پروفیل خاک با دقت به منظور جلوگیری از سناریویی که به موجب آن لایه های عمیق تر تعییه شده خاک هیچ نقشی در تاثیر گذاری بر پاسخ سازه دارند انتخاب شدند. بنابراین ضخامت دو لایه بالایی محدود نگه داشته شدند، و به ویژه لایه متراکم بالایی با درنظر گرفتن یک بعد مشخصه (b) برای عرض ۵ متری جایگاه نمونه اولیه، لایه ها به ضخامت $0.5 * b$ و b با استفاده از شن ریخته شدند.

2.3.3. ابزار دقیق

از آنجا که قوانین مقیاس بندی سانتریفیوژ برای مدل در تمامیت خود با گنجاندن هر ابزار دقیق مربوطه اعمال می شوند، مبدل ها و کابل های کوچک به تعداد محدود برای به حداقل رساندن نفوذ آنها در پاسخ سازه و جلوگیری از تقویت خاک استفاده شدند. در راستای این مورد و برای غلبه بر پاسخ های مبدل اشباع شده، شتاب سنج های سیستم کوچک میکرو الکترومکانیکی (MEMS) ۱۲۰ گرم بر روی ساختار و دمپر به جای شتاب سنج پیزو الکتریک حجیم نصب شدند. آرایه های شتاب سنج های پیزو الکتریک در خاک در زیر ساختار و در میدان آزاد قرار گرفتند. یک ترانسفورماتور خطی متغیر دیفرانسیل (LVDT) در میدان آزاد برای اندازه گیری نشست خاک در سراسر آزمایش قرار گرفت. LVDT بر روی سطح شن و ماسه با استفاده از یک جای پای پد دایره ای برای اطمینان از اندازه گیری مطمئن نشست خاک بنیاد نهاده شده. یک چکش هوا در عمق خاک برای تولید امواج برشی نصب شد. انتشار این امواج از

طريق خاک توسط يك آرایه عمودی شتاب سنج پیزوالکترونیک به طور مستقیم در بالای چکش هوا به منظور اندازه گیری سرعت موج برشی (VS) و به دست آوردن يك تخمین برای سفتی خاک قرار گرفت.

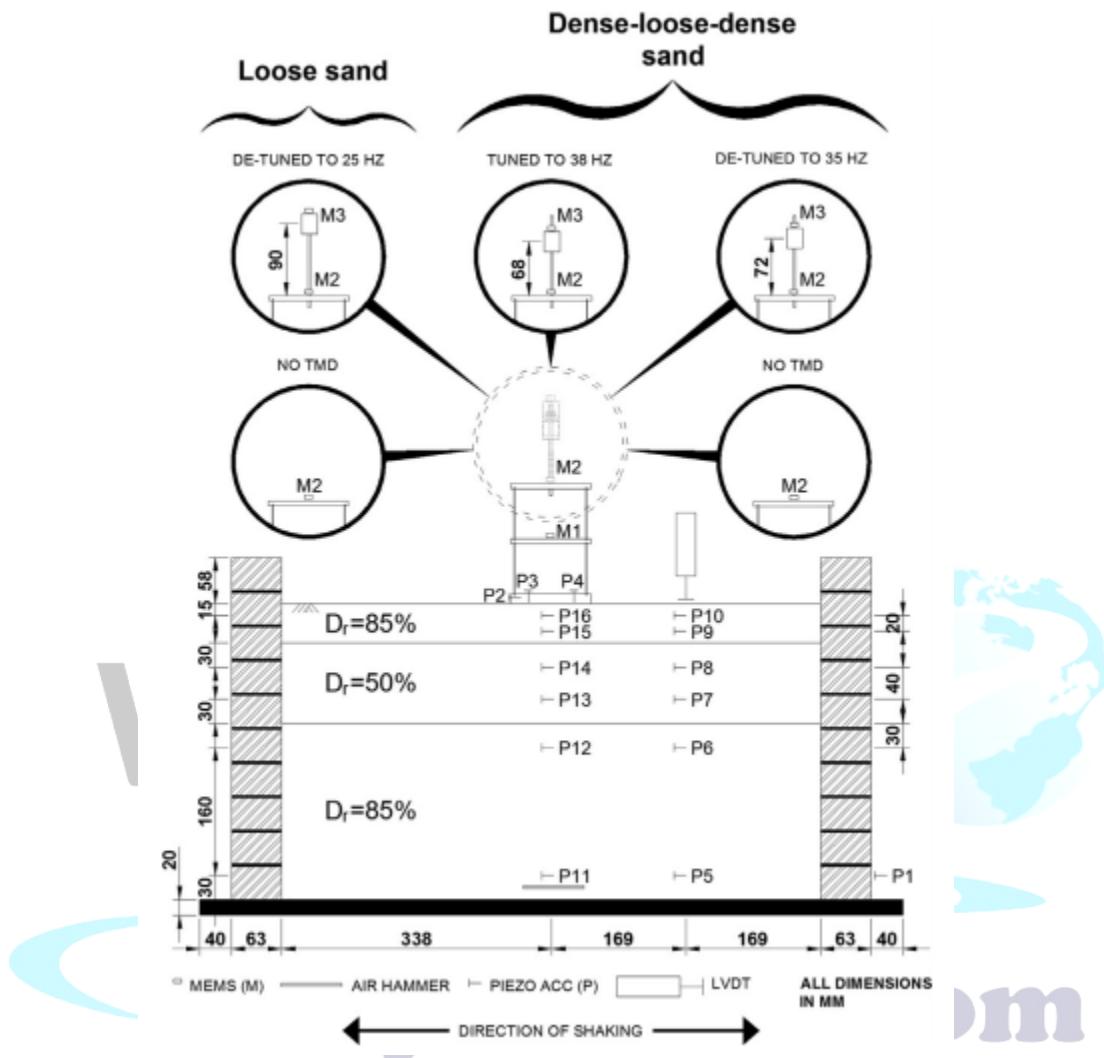
3. برنامه آزمون

يک سری از آزمایشات سانتریفیوژ در 50 گرم برای ضبط اثرات پیکربندهای مختلف دمپر جرم تنظیم شده و از تنظیم خارج شده مختلف در ساختار قاب نوسان با دو درجه آزادی به جای يکدیگر در دو پروفیل خاک انجام شد. هر آزمون سانتریفیوژ شامل پروازهای متعدد شبیه به يك گستره وسیع از زلزله ها می شود که در آن پاسخ سازه ای به پیکربندی های منحصر به فرد بین ساختار و دمپر مورد بررسی قرار گرفت، از جمله پیکربندی هایی که در آن دمپر از فرکانس سیستم خاک-سازه تنظیم زدایی شد. این کار به منظور شبیه سازی سناریوهای عملی انجام شد که به موجب آن تغییرات در ویژگی های سیستم خاک-سازه ممکن است مستقیماً از زلزله حاصل شوند. محرک SAM برای تولید طیف گسترده ای از زمین لرزه ها در قالب حرکات ورودی هارمونیک فرکانس ثابت و همچنین زمین لرزه های رفت و برگشت فرکانسی استفاده شد که از فرکانس بالا به فرکانس های پایین حرکت رکند و طیف فرکانس گسترده ای را مورد پوشش قرار دادند. اندازه و دنباله زلزله ها عمدتاً در سراسر تمام پروازهای سانتریفیوژ به منظور فعل کردن مقایسه مستقیم بین آزمون های مختلف نگه داشته شد.

ویژگی های اعمال شده این زمین لرزه در مقیاس نمونه در جدول 3 برای تنظیمات ساختار دمپر در مقیاس مدل در شکل 2 نشان داده شده اند.

Loose sand				
Configuration #	Frequency (Hz)	Duration (s)	Max. input acceleration (g)	Average shear wave velocity (m/s)
1 (no TMD)	0.6	20	0.102	154
	1.0	20	0.238	
	1.2 → 0	80	0.350	
2 (TMD de-tuned to 0.5 Hz)	0.9	20	0.174	194
	1.2 → 0	80	0.356	
Dense–loose–dense sand				
Configuration #	Frequency (Hz)	Duration (s)	Max. input acceleration (g)	Average shear wave velocity (m/s)
1 (no TMD)	0.6	20	0.097	259
	1.0	20	0.262	
	0.7	20	0.149	
	1.2 → 0	80	0.355	
2 (TMD de-tuned to 0.7 Hz)	0.7	20	0.133	289
	1.2 → 0	80	0.383	
3 (TMD tuned to 0.76 Hz)	0.7	20	0.123	300
	1.2 → 0	80	0.388	

جدول 3 مشخصات زلزله برای پیکربندی های ساختار-دمپر



شکل 2. طرح مدل برای بستر شن لایه بندی شده و تمام پیکربندی های دمپر

همانطور که در جدول 3 نشان داده است، طول مدت همه زمین لرزه های تک فرکانس در همان 20 ثانیه نگه داشته شد. علاوه بر زلزله های نشان داده شده در جدول 3، آزمایش های چکش هوا در 50 گرم انجام شد و تغییرات در عمق کلی خاک در طول نوسان های فراز (50-1 گرم) و نوسان های فرود (1-50 گرم) سانتریفیوژ ثبت شد. متوسط سرعت موج برشی برای عمق خاک کلی اندازه گیری شده پس از Gash [20] و Madabhushi [20] نیز در جدول 3 برای هر پرواز سانتریفیوژ نشان داده شده است. تنها یک آزمون با یک پیکربندی تنظیم شده، برای میسر نمودن یک مقایسه مستقیم با پیکربندی یک 'تنظیم-زادایی' شده در مورد اثرات پاسخ سازه برای همان خاک لازم است. یک فرکانس زلزله

(برای به حداقل رساندن اختشاش خاک) 0.6 هرتز در هر آزمون سانتریفیوژ برای مقایسه رفتار سازه های مشاهده شده برای این دو پروفیل خاک در غیاب نیروی بیرونی اعمال شد. یک زلزله با فرکانس 1.0 هرتز در همان مرحله در هر آزمون سانتریفیوژ برای به دست آوردن مدول برشی قاطع اعمال شد. در اکثر موارد از زلزله فرکانس، اندازه و مدت زمان همان برای کمک به مقایسه بین تنظیمات مختلف نگهداری می شدند.

طرح ریزی خاک در شکل 2، خاص مورد شن چگال-شل-چگال است، هرچند طرح ریزی ابزار دقیقا برای هر دو پروفیل خاک اعمال می شود. بستر شنی همگن شل ($Dr=50\%$) شامل همان عمق کلی نشان داده شده در شکل 2 می شود.

4. نتایج آزمون سانتریفیوژ

برای ادامه این مقاله، اصطلاح "ماسه سست" و "ماسه چگال-شل-چگال" باید در ارجاع مستقیم به پروفایل های مختلف خاک که در سانتریفیوژ مورد آزمایش قرار گرفته است استفاده شود. پارامترهای پاسخ سازه ای در جهت های جانبی تحلیل می شوند. تبدیل های فوریه سریع (FFTS) برای تبدیل داده ها از حوزه زمان به حوزه فرکانس استفاده می شوند. از آنجا که FFT ها، اعداد مختلط را تولید می کنند، مدول از $\text{FFT}(\text{IFFT})$ برای بیان مولفه فوریه در مقیاس عمودی تبدیل های فوریه در واحد واقعی برد می شود. تبدیل فوریه نشان می دهد که دامنه سیگنال ثبت شده در فرکانس های مختلف چقدر است. هر قدر مولفه های فوریه در فرکانس های خاص بزرگتر باشند، این فرکانس ها در ثبت شتاب غالب تر هستند. در نهایت، به عنوان ابزار موثر در تجزیه و تحلیل سیگنال های غیر ثابت، تجزیه و تحلیل حوزه زمان-فرکانس ترکیبی در قالب تبدیل های موجک هارمونیک برای مشاهده توزیع انرژی از پاسخ سازه در حوزه زمان-فرکانس [21] استفاده می شوند.

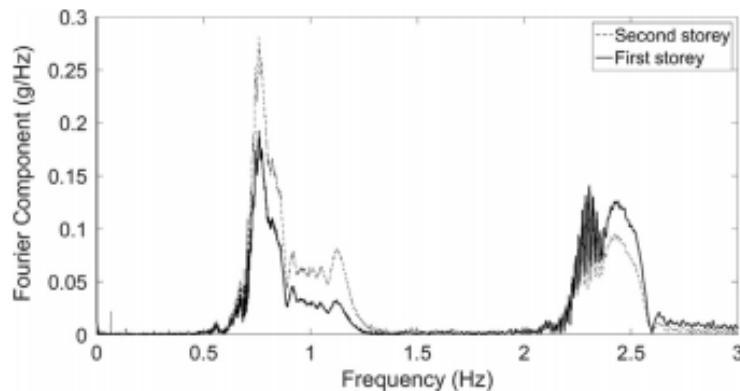
4.1. ویژگی های سیستم خاک-سازه

فرکانس های طبیعی سیستم سازه-خاک، از نظر تجربی با قرار دادن ساختار بدون یک دستگاه میراکننده بیرونی به یک رفت و برگشت فرکانس (0-1.2 هرتز) تعیین شد که فرکانس پایه سیستم خاک-سازه را پوشش می دهد. FFT های پاسخ های طبقه اول و دوم به رفت و برگشت فرکانس برای ساختار استوار در بنیان های متراکم شل متراکم به دست

آمد. مشخص شد که هر دو FFT‌ها بسیار مشابه هستند و یکی از این FFT‌ها در شکل 3 برای ساختار قرار گرفته در شن و ماسه شل نشان داده شده است. فیلترینگ سیگنال‌های شتاب سنج با استفاده از فیلتر پایین گذر با تروث مرتبه 8 با کسر نایکوئیست 0.01 انجام شد. زمانی که نرخ نمونه برداری استفاده شده، 10 کیلو هرتز در هر کanal باشد، این فیلتر تمام فرکانس‌های بالاتر از 1000 هرتز را تضعیف می‌کند.

فرکانس‌های سیستم برای مورد شن و ماسه سست در 0.76 هرتز و 2.308 هرتز مشاهده شد و فرکانس سیستم برای مورد شن و ماسه متراکم-سست-متراکم در 0.766 هرتز و 2.41 هرتز مشاهده شد. به نظر نمی‌رسد مشخصات خاک چند لایه موجب افزایش سفتی و از این رو فرکانس طبیعی سیستم خاک-سازه‌های شود. این ممکن است به دلیل حضور یک لایه شن و ماسه شل زیر لایه بالایی متراکم باشد. ضخامت لایه متراکم تنها نیمی از عرض پایه ساختار است. هر دو مورد ساختار پروفیل خاک یکنواخت-شل و لایه لایه به یک فرکانس اساسی منجر می‌شوند که بیشتر از فرکانس پایه-ثابت ساختار در خود است. این در تضاد با این انتظار است که حضور خاک تحمیل شده اضافی، فرکانس طبیعی سیستم [5.6.9] را کاهش می‌دهد. این ناشی از این واقعیت است که در آزمون سانتریفیوژ، ساختار 2.d.o.f-2

قرار داده شده بر روی لایه شن و ماسه برای قرار گرفتن تحت ترکیبی از هر دو ارتعاشات سنگ و ارتعاشات نوسانی است. حالت تاب برداشتن لرزشی سازه دارای یک فرکانس طبیعی 0.76 هرتز با توجه به سختی لایه شن و ماسه است. این مورد در آزمون سانتریفیوژ برداشته می‌شود و بالاتر از فرکانس پایه-ثابت ساختار در 0.7 هرتز است که فقط برای ارتعاشات نوسان است.



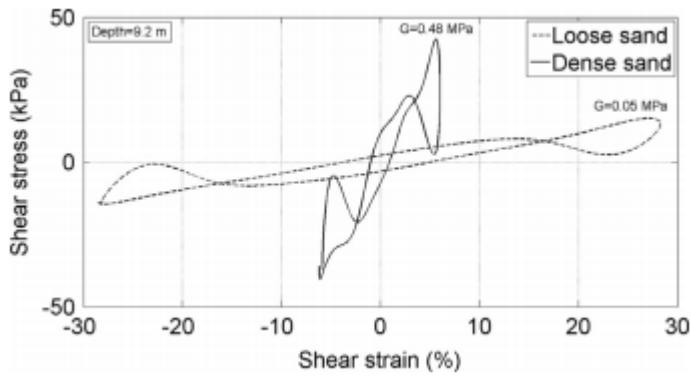
شکل 3. FFT پاسخ ساختاری تا 12 هرتز رفت و برگشت برای ماسه شل (پیکربندی عدم TMD)

همراه با انتظارات، مشخص شد که فرکانس های طبیعی سیستم را همان ساختار و ویژگی های تحریک برای مورد شن و ماسه سست کمتر هستند. از آنجا که رفت و برگشت فرکانس، تنها فرکانس بنیادی سیستم سازه-خاک را پوشش می دهد و نه فرکانس حالت دوم، فرکانس حالت دوم واقعی ممکن است احتمالا در فرکانس های کمی بالاتر از آنچه که در آزمون دیده می شود، واقع شده باشد.

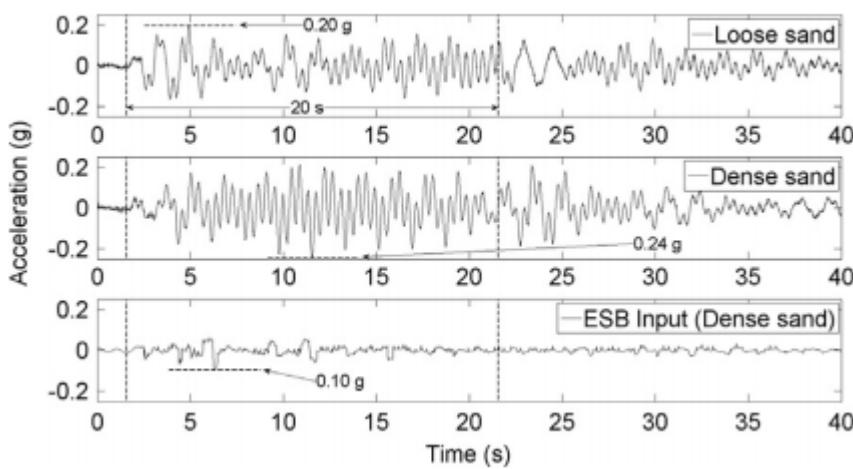
برای هر پروفیل خاک، عرض از طیف فرکانس بدون در نظر گرفتن پاسخ طبقه اول و دوم سازگار می باشد. هر چند - برای هر دو پروفیل خاک - در حالی که بزرگترین جزء فوریه سراسر فرکانس اساسی سیستم مرتبط با پاسخ طبقه دوم است، بزرگترین جزء فوریه پیرامون فرکانس سیستم حالت دوم با پاسخ طبقه اول در ارتباط است.

قرائت های نشست از LVDT قرار گرفته در سطح خاک میدان-آزاد نشان می دهد که حداقل تغییرات مشاهده شده در تراکم نسبی به علت زمین لرزه ها در هر پرواز سانتریفیوژ معین، $\Delta D_r = 5.9\%$ برای شن و ماسه شل و برای شن ماسه متراکم-شل-متراکم می باشند، هر چند این تغییرات بیش از حد کوچک است تا یک $\Delta D_r = 2.1\%$ TMD بی اثر ارائه دهد.

با استفاده از رویه توسعه یافته توسط Brennan و همکاران [22] به منظور برآورد سختی خاک در تستهای سانتریفیوز، یک تقریب مرتبه اول برای به دست آوردن مدول برشی قاطع (G) در عمق نمونه اولیه $m = 9.2 \text{ m}$ 2 متر اندازه گیری شده از سطح خاک استفاده شد. با توجه به پاسخ نسبتاً بدون اختشاش رسوبات شن و ماسه شل-متراکم-شل-متراکم به یک زلزله با تک فرکانس معمولی در مدت زمان 20 ثانیه (1.0 هرتز)، مدول برشی قاطع برای چرخه های تنش-کرنش معمولی در طول زلزله $G = 0.48 \text{ MPa}$ و $G = 0.05 \text{ MPa}$ برای ماسه متراکم-شل-متراکم-شل است. این مورد در شکل 4 نشان داده شده است. تغییرات در مدول برشی به عنوان یک نتیجه از چگالش خاک پس از زلزله های پی در پی، کوچک بود ($\Delta G \approx 0.01 \text{ MPa}$).



شکل 4. حلقه های تنش-کرنش برای شن های شل و چگال-شل-چگال

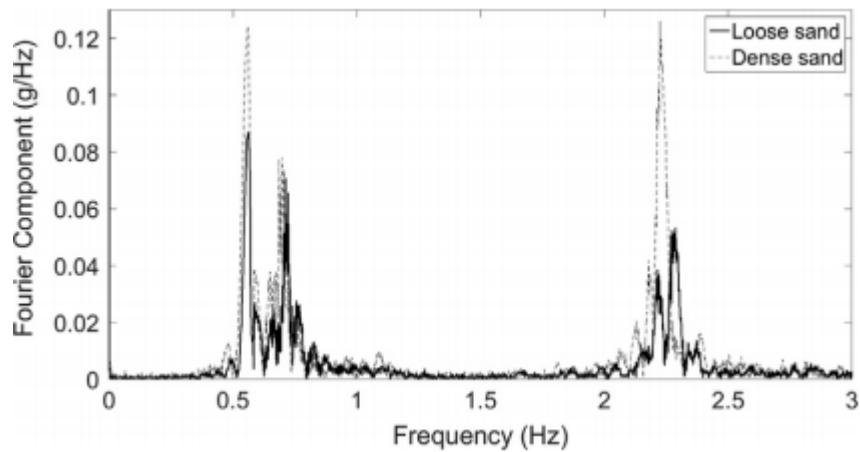


شکل 5. تاریخچه های زمان-شتاب اولین پاسخ طبقه به یک زلزله 0.6 هرتز (بدون پیکربندی TMD)

4.2. اثر خاک بر پاسخ سازه

حرکت افقی طبقه اول ساختار در غیاب یک دستگاه میرایی خارجی برای زلزله تک فرکانس (0.6 هرتز) به منظور ضبط تاثیر خاک بر رفتار سازه محاسبه شد. هر دو پروفیل های شل و متراکم-شل-متراکم خاک در نظر گرفته شدند. پاسخ ها در اشکال 5 و 6 نشان داده شده است. شروع و پایان زمین لرزه ها در تاریخچه های شتاب-زمان توسط خطوط تکه تکه عمودی نشان داده شده است. علاوه بر این، شتاب های اوج مطلق برجسته شده اند.

نشان داده شده است که حرکت شتاب افقی طبقه دوم بسیار شبیه به طبقه اول است که در شکل 5 نشان داده شده است.



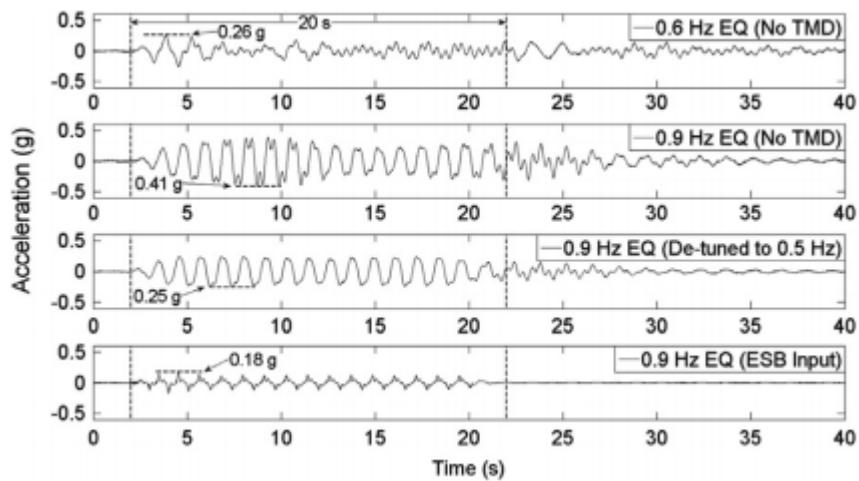
شکل 6. FFT اولین پاسخ طبقه به یک زلزله 0.6 هرتز (بدون پیکربندی TMD)

تفاوت های آشکار در پاسخ سازه در طول زلزله ها و بلافارسله پس از ختم تکان دادن را می توان در شکل 5 مشاهده نمود، به ویژه برای شن و ماسه شل. در چند ثانیه اول تحریک، شن و ماسه شل موفق به مرطوب نمودن پاسخ های سازه به اندازه سراسر باقی مانده مدت زمان زلزله، و در نتیجه شتاب اوج اولیه در ثبت نمی شوند. به طور کلی، دامنه های شتاب برای سازه قرار گرفته بر روی یک پایه ماسه ای شل در مقایسه با مورد ماسه متراکم-شل-متراکم کمتر هستند.

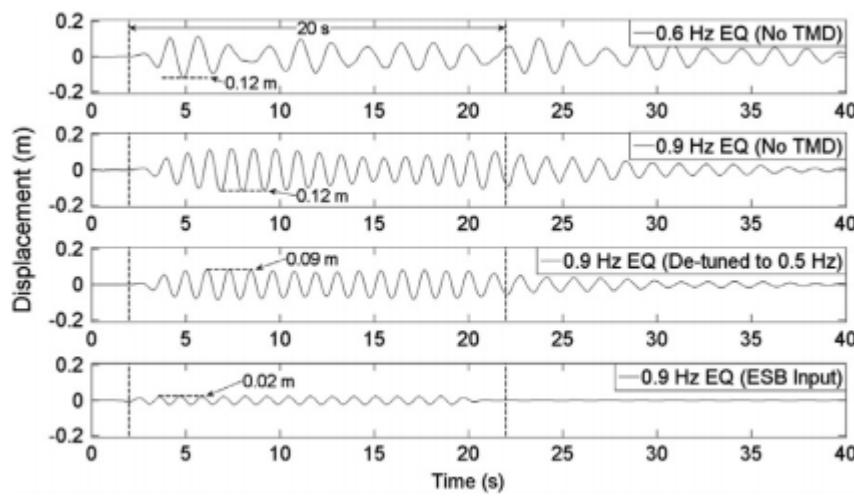
FFT در شکل 6، مولفه های قابل توجه فوریه در فرکانس تحریک (0.6 هرتز) و در اطراف فرکانس های اساسی و حالت دوم سیستم خاک-سازه را نشان می دهد.

4.3. اثر ویژگی های زلزله بر پاسخ سازه ای

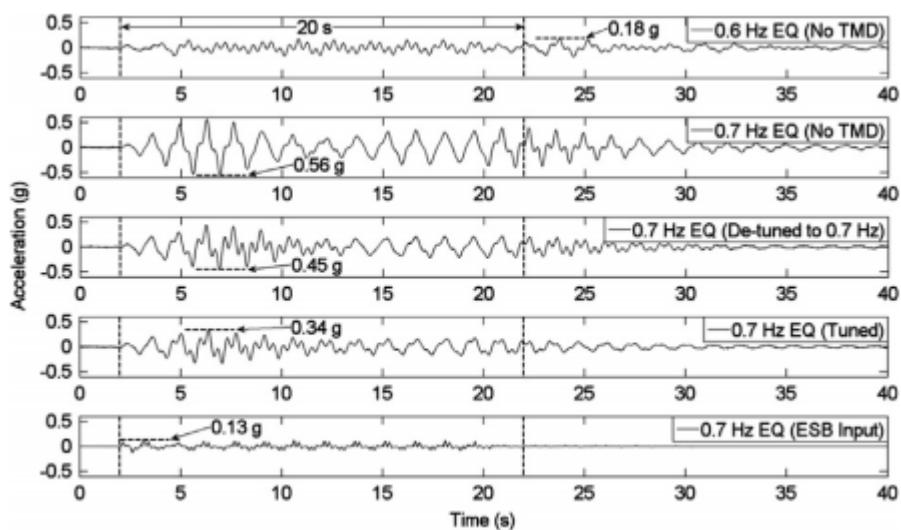
به منظور تعیین و مقایسه اهمیت تغییرات در ویژگی های تحریک زلزله با تغییرات در پیکربند های ساختار-TMD بر پاسخ سازه، پاسخ های طبقه دوم برای قضایای مربوط هر دو نوع از تغییرات محاسبه شدند. اینها در اشکال 7 و 10-10، پیکربندی را به تصویر می کشند که به موجب آن TMD در نشان داده شده اند. موارد تنظیم شده در اشکال 9 و 10، پیکربندی را به تصویر می کشند که به موجب آن TMD در فرکانس اساسی نظام خاک-سازه تنظیم می شود. مشاهدات زیر را می توان از این اشکال صورت داد:



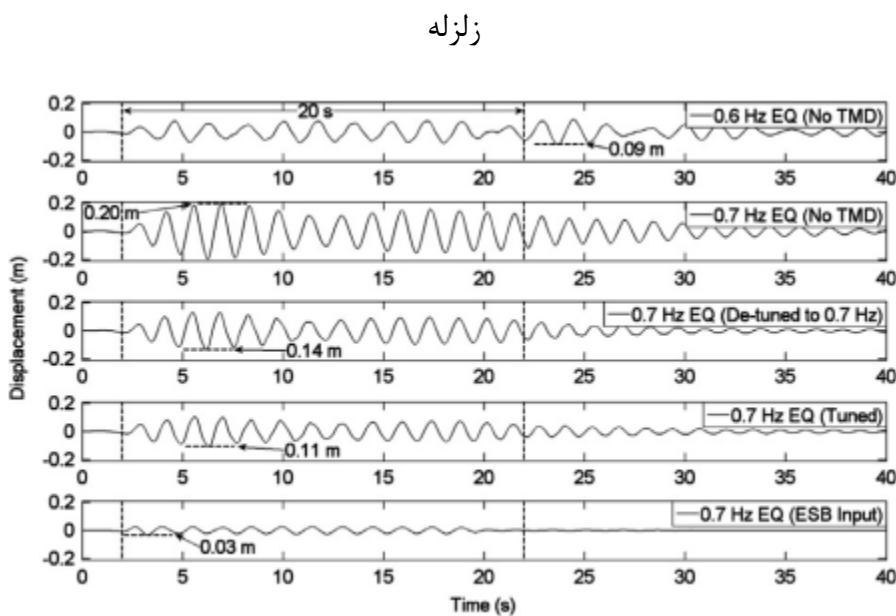
شکل 7. تاریخچه های زمان-شتاب پاسخ ثانویه طبقه (شن شل) و ورودی ESB برای تغییر دامنه های زلزله



شکل 8. تاریخچه های زمان-جابجایی پاسخ دوم طبقه (شن شل) و ورودی ESB برای تغییر دامنه های زلزله

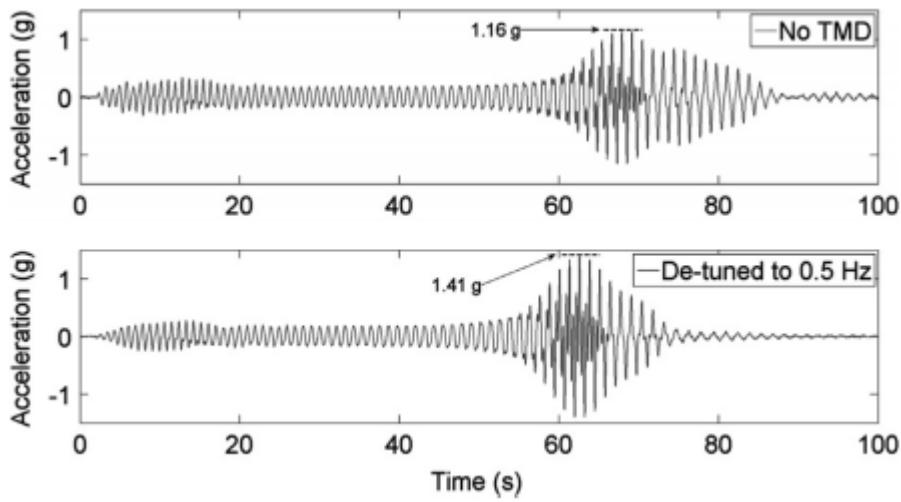


شکل 9. تاریخچه های زمان-جابجایی پاسخ دوم طبقه (شن متراکم-شل-متراکم) و ورودی ESB برای یک دامنه



شکل 10. تاریخچه های زمان-جابجایی پاسخ طبقه دوم (شن متراکم-شل-متراکم) و ورودی ESB برای یک دامنه

برای یک دامنه زلزله، تغییرات در فرکانس تحریک زلزله، دارای یک اثر عمیق تر بر شتاب ها و جابجایی های ساختاری نسبت به تغییرات در تنظیمات دمپر است. این مورد برای هر دو پروفیل خاک در نظر گرفته شده صادق است. با این حال در مقابل ویژگی های زلزله، پیکربند های دمپر به راحتی می توانند به منظور کاهش احتمال آسیب به ساختار و ارائه یک درجه بیشتر از اینمی ساکنان تغییر یابند، زمانی که ساختار تحت بارگذاری لرزه ای قرار می گیرد. از اشکال 9 و 10 که در آن شرایط متراکم-شل-متراکم خاک در نظر گرفته می شود، آشکار است که در نظر گرفتن این مورد در اثر خاک بر ویژگی های سیستم در تنظیم دمپر جرم مهم است. تحت شرایط متراکم-شل-متراکم خاک، تنظیم ویژگی های سیستم خاک-سازه (39٪ کاهش در شتاب پیک، کاهش 45٪ در جابجایی اوج) در مقایسه با ویژگی های پایه-ثابت (کاهش 19٪ در شتاب اوج؛ 30٪ کاهش جابجایی اوج)، اثربخشی دمپر در تضعیف پاسخ های اوج سازه ای را فوق العاده بهبود می بخشد. این یافته با یافته های حاصل از مطالعات تجربی اخیر انجام شده توسط Jabary و [6] روی یک ساختار قاب نوسان در یک تنظیم آزمون مشابه در 1 گرم انجام شده است.



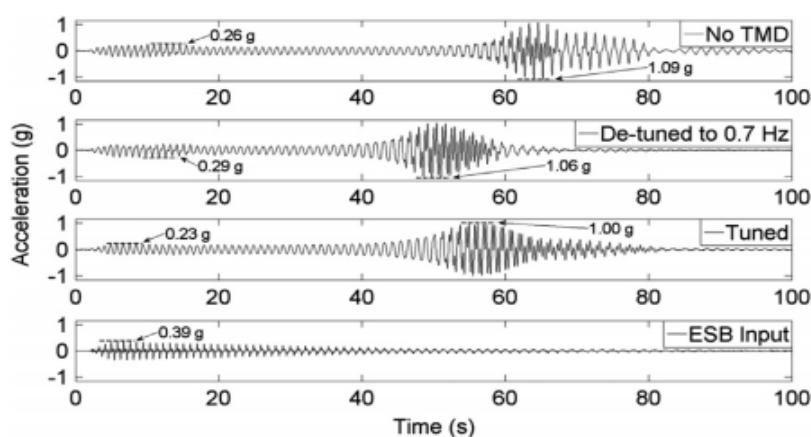
شکل 11. تاریخچه های زمان-جابجایی پاسخ طبقه دوم به یک ۰ - ۱.۲ هرتز زلزله رفت و برگشت برای شن شل

تحت شرایط خاک متراکم-شل-متراکم، با ویژگی های سیستم سازه-خاک (39٪ کاهش در شتاب اوج؛ 45٪ کاهش در جابجایی پیک) در مقایسه با تنظیم برای ویژگی های پایه-ثابت (19٪ کاهش در شتاب اوج؛ 30٪ کاهش در جابجایی پیک)، اثربخشی دمپر را در تضعیف پاسخ های پیک سازه ای به شدت بهبود می بخشد. این یافته همراستا با یافته ها از مطالعات آزمایشی اخیر انجام شده توسط Jabary و Madabhushi [6] روی ساختار چارچوب نوسان در یک تنظیم آزمایشی مشابه انجام شده در ۱ گرم است.

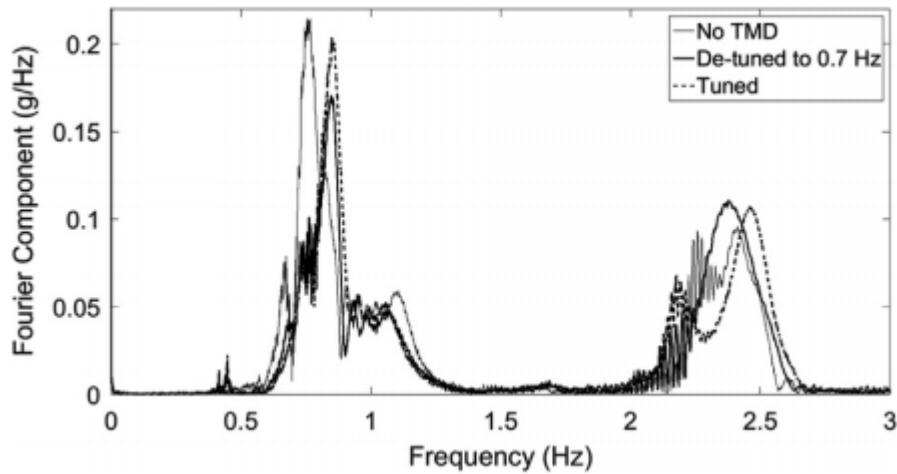
تحت شرایط سست خاک- البته با در نظر گرفتن یک دامنه زلزله متفاوت، که مقایسه مستقیم با کاهش های پیک بررسی شده تحت شرایط خاک متراکم-شل-متراکم را میساز نمی سازد، دمپر به طور شگفت انگیزی در تضعیف پاسخ ساختاری پیک موثر بود (39٪ کاهش در شتاب پیک؛ 25٪ کاهش در جابجایی پیک). گستره چشمگیر کاهش های جابجایی پیک به دست آمده در این موارد، متناقض با مشاهدات صورت گرفته توسط Ghosh و Basu [9] است که یک TMD تنظیم شده برای فرکانس پایه-ثابت به طور کامل در کاهش جابجایی های ساختاری غیرموثر است، زمانی که $v_s = 100 \text{ m/s}$. هرچند فنداسیون شل در نظر گرفته شده به عنوان بخشی از این مطالعه، نرم نبود $(v_s = 194 \text{ m/s})$ ، اثربخشی میرایی بالقوه یک دمپر جرم از تنظیم خارج شده یافت شده در این مطالعه، اهمیت

بررسی آزمایشی این مسئله را در مقایسه با بررسی های عددی را که به بسیاری از ایده آل سازی های ساختاری و خاک نیاز دارند، نشان می دهد.

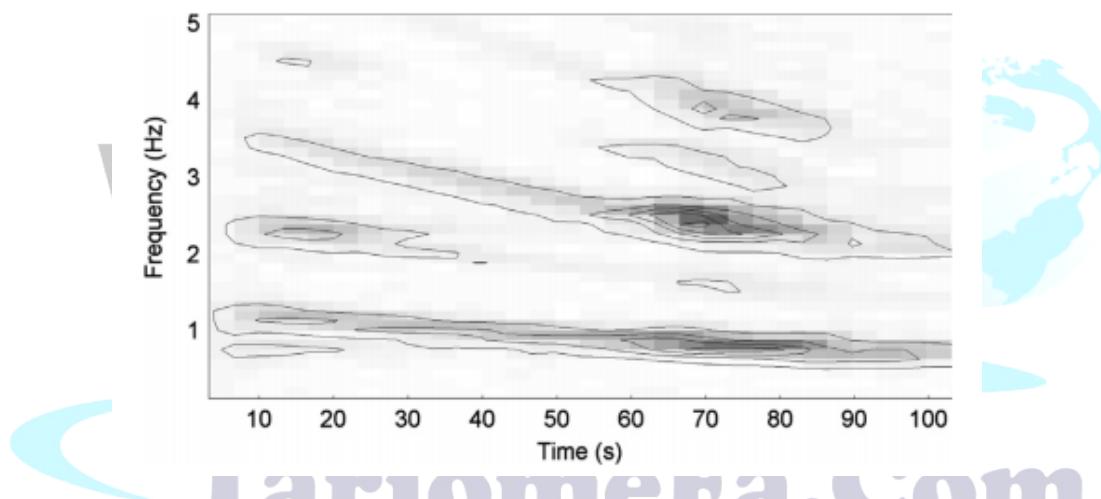
در راستای یافته های گزارش شده در بالا، اثرات TMD بر پاسخ ساختار قاب نوسان برای تغییرات بیشتر در پیکربندی ساختار دمپر در معرض خطر همان زلزله مورد بررسی قرار گرفت. تاریخچه های شتاب-زمان پاسخ های طبقه دوم به پیکربندی های مختلف ساختار دمپر در اشکال 11 و 12 نشان داده شده است. برای پایه های ماسه شل و متراکم-شل-متراکم به ترتیب، با FFT های مربوط به دومی در شکل 13 نشان داده شده اند. متفاوت از اشکال 7-10 که پاسخ های سازه ای بهینه را به زلزله های تک فرکانس پشت سر هم در نظر گرفتند، اشکال 11 و 12، پاسخ های ساختاری به زلزله های رفت و برگشت فرکانسی را در نظر می گیرند که طیف فرکانسی گستردگی را پوشش می دهد. مانند قبل، ورودی های تنظیم شده در این اشکال، پیکربندی را به تصویر می کشد که به موجب آن TMD در فرکانس اساسی سیستم خاک-سازه تنظیم شده است. ورودی های از تنظیم خارج شده نشان داده شده، یک پیکربندی را به تصویر می کشد که به موجب آن TMD در فرکانس اساسی ساختار پایه-ثبت تنظیم می شود و در نتیجه اثرات خاک نادیده گرفته می شوند. تبدیل های موجک هارمونیک ترکیب کننده شتاب های پاسخ و فرکانس برای فنداسیون خاک متراکم-شل-متراکم در اشکال 14 و 15 نشان داده شده است که مناطق تیره تر، مولفه های فوریه بزرگتر برای فرکانس ها را نشان می دهد.



شکل 12. تاریخچه های زمان-شتاب پاسخ طبقه دوم به یک زلزله رفت و برگشت 0—12 هرتز برای شن متراکم-شل-متراکم

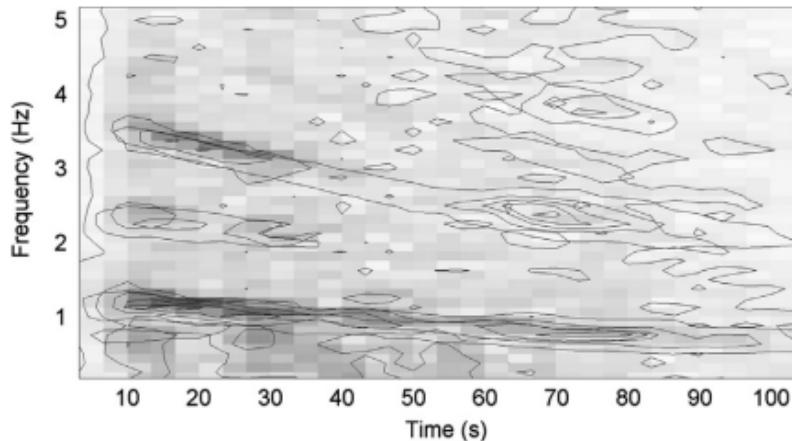


شکل 13. FET پاسخ طبقه دوم به یک زلزله رفت و برگشت 0—12 هرتز برای شن متراکم-شل-متراکم



شکل 14. تبدیل موجک هارمونیک پاسخ طبقه دوم به یک زلزله رفت و برگشت 0—12 هرتز برای شن متراکم-

شل-متراکم



شکل 15. تبدیل موجک هارمونیک پاسخ ظرف ESB به یک زلزله رفت و برگشت 0—12 هرتز برای شن متراکم-

شل-متراکم

مشاهدات زیر را می توان صورت داد:

بررسی ورودی تکان دادن برای ظرف ESB در پرواز های مختلف نشان می دهد که در طول مدت زلزله رفت و برگشت فرکانس، به طور مداوم 80 ثانیه است. بنابراین می توان از شکل 12 نتیجه گرفت که تغییر پیکربندی ساختار-دمپر می تواند یک تغییر قابل ملاحظه در زمان را باعث شود که در آن پیک پاسخ شتاب رخ می دهد. این نتیجه سیستم مربوط به فرکانس طبیعی مختلف و در نتیجه پاسخ به یک فرکانس متفاوت است. این مورد از پاسخ به یک زلزله رفت و برگشت فرکانس حاوی فرکانسهای چند گانه بیشتر آشکار است و نه پاسخ به یک تن فرکانس زلزله پشت سر هم. مقایسه ورودی های ظرف ESB با پاسخ سازه ای در شکل 12، کاهش پاسخ شتاب ناشی از حضور خاک میراکننده در 30 ثانیه اول را نشان می دهد. نمودارهای موجک اشکال 14 و 15 نشان می دهد که تقویت پاسخ شتاب فوق العاده ساختار که فراتر از 40 ثانیه مشاهده می شود، نتیجه فرکانس غالب تحریک (ورودی ESB) برای این دوره زمانی است که با فرکانس بنیادی سیستم خاک-سازه تداخل دارد که موجب اثرات رزوونانس می شود. تاریخچه های شتاب-زمان نشان می دهد که تقویت پاسخ ناشی از رزوونانس به وضوح بسیار مهمتر از میرایی پاسخ ناشی از نصب TMD است. با این وجود، آشکار است که TMDها، هنوز هم در کاهش پاسخ از یک ساختار طنین انداز با فرکانس تحریک موثر هستند.

FFT در شکل 13 نشان می دهد که نصب یک دمپر باعث تغییرات در فرکانس هایی می شود که در آنها مولفه های فوریه غالب رخ می دهند. همین پدیده در آزمون های جدول تکان دادن 1 گرم به تازگی انجام شده توسط Jabary [23] در ساختار قاب نوسان چند طبقه قرار گرفته روی یک رسوب شن و ماسه مشاهده شد. همانطور که از پاسخ های سیستم به طیف وسیعی از زمین لرزه های تک فرکانس در اشکال 9 و 10 دیده می شود، هر دو پیکربندی دمپر در نظر گرفته شده در شکل 12، تضعیف پاسخ شتاب قله در مقایسه با پاسخ سازه را در نبود یک مکانیزم میرایی خارجی نشان می دهد. همانطور که در 15 ثانیه اول ثبت تاریخچه شتاب-زمان شکل 12 مشخص

شده است، دمپر جرم از تنظیم خارج شده ممکن است پاسخ سازه را تقویت کند. همانطور که از شکل 11 مشهود است، اینکه تا چه حد دمپر جرم، دور از فرکانس سیستم خاک-سازه تنظیم می شود، می تواند تا حد زیادی می تواند پاسخ سازه را تحت تاثیر قرار دهد و به طور بالقوه باعث تقویت فوق العاده پاسخ می شود(تا 22٪). این مورد بر نیاز به تنظیم دقیق و در نظر گرفتن فرکانس طبیعی سیستم خاک-سازه در مقابل فرکانس ساختاری پایه-ثبت در انجام این کار تاکید می کند.

5. نتیجه گیری ها

اثرات پیکربندی های مختلف دمپر بر پاسخ یک ساختار قاب نوسان از نظر تجربی در یک سری از آزمایشات سانتریفیوژ ژئوتکنیک مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایشات برای طیف وسیعی از ویژگی های زلزله و پروفیل خاک انجام شدند. تحریکات شامل زمین لرزه های پشت سر هم با تن فرکانس تک و همچنین زمین لرزه های رفت و برگشت فرکانس می شوند که طیف فرکانس بسیار گسترده تری را پوشش می دهد. مشخص شد که تنظیم یک دمپر جرم برای فرکانس اساسی یک سیستم خاک-سازه به طور موثر پاسخ های سازه اوج برای همه مقادیر در نظر گرفته سختی خاک را کاهش می دهد. مهم ترین یافته ها از سری های آزمایشات سانتریفیوژ که انجام شد، به ترتیب اهمیت به شرح زیر است:

نتایج آزمون سانتریفیوژ تایید می کنند که تنظیم یک TMD بر اساس ویژگی های خاک-سازه بر اساس ویژگی های ساختاری پایه-ثبت سودمند تر است. برای موارد مورد بررسی در این تحقیق، این بهبود از 19 درصد تا 39 درصد اوج میرایی شتاب بود. تنظیم TMD برای ویژگی های سیستم خاک-سازه نصف جابجایی اوج طبقه است.

فرکانسی که TMD برای آن تنظیم می شود، دارای تاثیر قوی بر پاسخ سازه هم از نظر محل زمانی قله ها و زمان قرار گرفتن در چرخه های زیادی از تکان دادن است.

حتی برای یک دمپر انبوه از تنظیم خارج شده، کاهش پاسخ جابجایی اوج هنوز هم (25٪) برای یک ساختار قرار گرفته بر روی یک رسوب شن و ماسه نرم نسبتاً چشمگیر بود. این در تضاد با یافته های حاصل از مطالعات تحلیلی قبلی است که مشاهده کرد که تنظیم یک TMD در فرکانس پایه-ثبت در شرایط خاک نرم به طور کامل در کاهش جابجایی ساختاری بی اثر است.

تقویت های بزرگ در پاسخ سازه ای علت اثرات رزونانس با استفاده از حرکات ورودی موج جاروب سینوسی مشاهده شد. حضور یک TMD در چنین شرایطی به کاهش در پاسخ سازه ای برای هر دو مورد تنظیم و به هم خوردن تنظیم منجر می شود. این نشان دهنده عملی بودن TMDS، به ویژه در پرتوى ویژگی های غیرمنتظره زلزله می شود که ساختارها ممکن است در واقعیت تحت آن قرار گیرند.

اینکه تا چه حد یک دمپر جرم به دور از فرکانس سیستم خاک-سازه تنظیم می شود، تا حد زیادی پاسخ سازه را تحت تاثیر قرار می دهد و می تواند موجب تقویت های پاسخ بزرگ تا ۲۲٪ برای موارد مورد بررسی در این تحقیق شود. این بر نیاز به تنظیم دقیق و در نظر گرفتن فرکانس طبیعی سیستم خاک-سازه در مقابل فرکانس پایه-ثابت در انجام این کار تاکید می کند.

References

- [1] Chakraborty S, Roy BK. Reliability based optimum design of Tuned Mass Damper in seismic vibration control of structures with bounded uncertain parameters. *Probab. Eng. Mech.* 2011;26(2):215–21.
- [2] Liu MY, Chiang WL, Hwang JH, Chu CR. Wind-induced vibration of high-rise building with tuned mass damper including soil-structure interaction. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 2008;96(6-7):1092–102.
- [3] Bekdaş G, Nigdeli SM. Estimating optimum parameters of tuned mass dampers using harmony search. *Eng. Struct.* 2011;33(9):2716–23.
- [4] Lin CC, Lu LY, Lin GL, Yang TW. Vibration control of seismic structures using semi-active friction multiple tuned mass dampers. *Eng. Struct.* 2010;32(10):3404–17.
- [5] Dutta SC, Bhattacharya K, Roy R. Response of low-rise buildings under seismic ground excitation incorporating soil-structure interaction. *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 2004;24(12):893–914.
- [6] Jabary RN, Madabhushi SPG. An experimental investigation of soil-structure interaction in a sway frame structure with tuned mass dampers. In: Cunha A, Caetano E, Ribeiro P, Müller G (Eds.) *Proceedings of the 9th international conference on structural dynamics, EURODYN 2014*, Porto, Portugal, 30 June–2 July; 2014. p. 741–7.
- [7] Xu YL, Kwok KCS. Wind-induced response of soil-structure-damper systems. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 1992;43(1–3):2057–68.
- [8] Takewaki I. Soil-structure random response reduction via TMD-VD simultaneous use. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 2000;190(5–7):677–90.
- [9] Ghosh A, Basu B. Effect of soil interaction on the performance of tuned mass dampers for seismic applications. *J Sound Vib.* 2004;274(3–5):1079–90.
- [10] Weber B, Feltrin G. Assessment of long-term behavior of tuned mass dampers by system identification. *Eng. Struct.* 2010;32(11):3670–82.
- [11] Rana R, Soong TT. Parametric study and simplified design of tuned mass dampers. *Eng. Struct.* 1998;20(3):193–204.
- [12] Lin CC, Ueng JM, Huang TC. Seismic response reduction of irregular buildings using passive tuned mass dampers. *Eng. Struct.* 1999;22(5):513–24.
- [13] Madabhushi SPG. *Centrifuge modelling for civil engineers*. London: Taylor & Francis; 2014.
- [14] Madabhushi SPG, Schofield AN, Lesley S. A new stored angular momentum (SAM) based earthquake actuator. In: Kimura T, Kusakabe O, Takemura J, editors. *Proceedings of the international conference, Centrifuge '98, IS-Tokyo '98*, Tokyo, Japan. Rotterdam: Balkema; 23–25 September 1998. p. 111–6.
- [15] Brennan AJ, Madabhushi SPG, Houghton N.E. Comparing laminar and esb containers for dynamic centrifuge modelling. In: Ng CWW, Zhang LM, Wang YH (Eds.), *Proceedings of the sixth international conference on physical modelling in geotechnics, ICPMG '06*, 4–6 August 2006, Hong Kong. Rotterdam: Balkema; 2006. p. 171–6.
- [16] Teymur B. *The significance of boundary conditions in dynamic centrifuge modelling*. Ph.D. thesis. Cambridge: University of Cambridge; 2002.
- [17] Schofield AN. Cambridge geotechnical centrifuge operations. *Géotechnique* 1980;30(3):227–68.
- [18] Warburton GB. Optimum absorber parameters for various combinations of response and excitation parameters. *Earthq. Eng. Struct. Dyn.* 1982;10(3):381–401.
- [19] White DJ. PSD measurement using the single particle optical sizing (SPOS) method. *Géotechnique* 2003;53(3):317–26.
- [20] Ghosh B, Madabhushi SPG. An efficient tool for measuring shear wave velocity in the centrifuge. In: *Proceedings of the international conference on physical modelling in geotechnics, 2002-7- to -, St John's, NL, Canada*; 2002. p. 119–24.
- [21] Haigh SK, Teymur B, Madabhushi SPG, Newland DE. Applications of wavelet analysis to the investigation of the dynamic behaviour of geotechnical structures. *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 2002;22(9–12):995–1005.
- [22] Brennan AJ, Thusyanthan NI, Madabhushi SPG. Evaluation of shear modulus and damping in dynamic centrifuge tests. *J. Geotech. Geoenvir. Eng.* 2005;131(12):1488–97.
- [23] Jabary RN, Madabhushi SPG. An experimental investigation of tuned mass dampers on the seismic response of a multi-storey structure. In: Vemury C, Elia G, Rouainia M, Wilkinson S (Eds.). *Proceedings of the young engineers conference, SECED 2013*. Newcastle upon Tyne, United Kingdom; 3–4 July 2013. p. 76–81

برای خرید فرمت ورد این ترجمه، بدون واتر مارک، اینجا کلیک نمائید.



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