

PHN10104560276

بهسازی لرزه‌ای زمان تناوب ساختگاه با اعمال میکروپایل شبکه‌ای

کیوان عبدالهی^۱، علیرضا مرتضایی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سمنان،

سمنان، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سمنان، سمنان، ایران

a.mortezaei@semnaniau.ac.ir

خلاصه

تغییر مکان افقی راس سازه با اعمال میکروپایل شبکه‌ای کاهش خواهد یافت که این کاهش به طول میکروپایل، زبری سطح آن و تراکم خاک احاطه کننده میکروپایل بستگی خواهد داشت. ضریب عکس العمل افقی بستر با افزایش زاویه برآیند بار اعمالی با افق افزایش خواهد یافت که این افزایش نهایتاً منجر به افزایش ظرفیت باربری افقی خاک و کاهش تغییر مکان افقی راس سازه خواهد گردید. اصطکاک کف فونداسیون با خاک زیرین و بروز حالت اتساع در خاک ماسه‌ای احاطه کننده میکروپایل و همچنین سختی خمشی میکروپایل تأثیر بسیار زیادی در نیل به این هدف خواهد داشت. هدف از این مقاله، بررسی مکانیزم حرکتی میکروپایل شبکه‌ای در بستر سازه‌های بلند مرتبه و کوتاه مرتبه و همچنین کاهش تغییر مکان افقی راس سازه با استفاده از نرم افزار Flac 3D می‌باشد.

کلمات کلیدی: میکروپایل شبکه‌ای، ضریب عکس العمل بستر، فشار همه جانبه، زاویه تمایل میکروپایل.

۱. مقدمه

ارزیابی پاسخ ساختگاه یکی از مسائل مهم در ژئوتکنیک لرزه‌ای است به طوری که هر زلزله به صورت بی قاعده باعث ایجاد تخریب‌هایی می‌گردد که این بی‌قاعدگی نشان از خصوصیات منبع زلزله، انتشار امواج لرزه‌ای، نوع سازه و حالات و پاسخ ساختگاه است. پاسخ لرزه‌ای ساختگاه به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر شرایط و ویژگی‌های خود ساختگاه قرار دارد. با تزریق میکروپایل در ساختگاه فرکانس طبیعی سیستم میکروپایل و خاک بعثت ازدیاد سختی افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان دامنه ارتعاش در فونداسیون را با نوع فونداسیون و یا با بزرگ کردن مدول سختی دینامیکی از قبیل عمق فونداسیون و یا بلوک خاک بهسازی شده کاهش داد.

تاکاشی [۱] نشان داد که فرکانس سازه نتیجه اندرکنش سیستم خاک و سازه است. در خاک‌های نرم اگر سازه بر روی فونداسیون یا مدول سختی دینامیکی پایین قرار گیرد معمولاً اندرکنش اینرسی زیادی را شاهد خواهیم بود. و زمانیکه سازه بر روی فونداسیون‌های عمیق قرار گرفته باشد به دلیل وجود سختی دینامیکی زیاد اندرکنش اینرسی بسیار کمی خواهیم داشت. فونداسیون‌های عمیق اندرکنش اینرسی کمی در جهت افقی نسبت به جهت قائم دارند که علت آن تغییرات سنگ شدگی اطراف میکروپایل می‌باشد. وانگ [۲] نشان داد که پاسخ سازه نسبت به بارهای لرزه‌ای به خصوصیات ساختگاه، بارهای خارجی، خصوصیات مکانیکی خاک احاطه کننده و خود سازه وابسته است.

ساختن ساختمان بر روی زمین‌های ناپایدار و ناهمگن و زمین‌های نرم دارای ریسک زیادی است به همین جهت در بیشتر حالات مدل‌های مورد استفاده پیچیده است و محاسبات آسانی وجود ندارد. بنابراین بررسی‌های استاتیکی در حل همچون مساله‌ای واقعی نبوده و استفاده از مطالعات پارامتری برای تشخیص حالات نامساعد ضروری می‌باشد. به طور کلی برای بررسی ارتعاشات سازه باید سه مدل مورد بررسی قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه گردند: ۱- اثر

میدان آزاد^۱، ۲-اندرکنش خاک و فونداسون و ۳-اندرکنش اینرسی. کاهش دامنه ارتعاش در فونداسیون می تواند با مدول سختی دینامیکی زیاد از قبیل فونداسون های عمیق مانند فونداسیون های شمعی، میکروپایلی و یا بلوک خاک بهسازی شده بدست آید. استفاده از میکروپایل های قائم برای کاهش دامنه ارتعاشات حاصل از تحریکات قائم و استفاده از میکروپایل های مایل برای کاهش دامنه ارتعاشات حاصل از تحریکات افقی مناسب می باشد. هدف از این مقاله بدست آوردن یک استراتژی برای بهسازی زمان تناوب ساختگاه سازه هایی است که در آنها از میکروپایل شبکه ای برای کاهش ارتعاشات لرزه ای افقی سازه ها استفاده شده است که در این خصوص از نرم افزار تفاضل محدود Flac 3D برای شبیه سازی رفتار دینامیکی سیستم خاک و سازه استفاده شده است. این مقاله با بررسی پارامترهای موثر در بهسازی زمان تناوب ساختگاه و کاهش شتاب طیفی سازه های قرار گرفته بر روی فونداسیون سطحی در شناسایی نقاط مثبت و منفی استفاده از این نوع میکروپایل نموده و با استفاده از مزایا و معایب آنها مناسب ترین گزینه را جهت کاهش زمان تناوب و شتاب طیفی ساختگاه را معرفی می نماید.

۲. فرضیات مدلسازی ساختگاه

برای تحلیل مدل از نرم افزار تفاضل محدود Flac 3D استفاده شده است. مدل از یک ساختگاه ماسه تک لایه ای تشکیل شده است که خصوصیات خاک مورد استفاده در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. سازه استفاده شده در مدل معرف یک سازه بلند و دارای ارتفاع ۶۹ متر از روی فونداسیون می باشد. پیود سازه معادل ۱/۶۰ ثانیه می باشد که برای مدلسازی سازه از سیستم یک درجه آزادی (ستون و جرم) استفاده شده است.

جدول ۱- خصوصیات خاک مدل

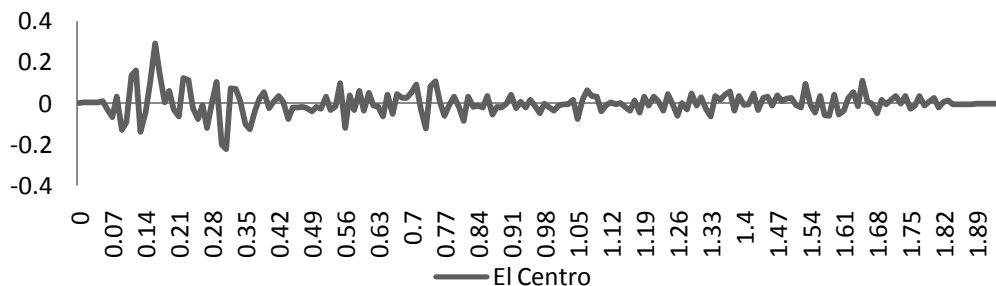
Symbol	Property		
ρ	Density	۲۰۰۰	kg/m ³
Bu	Bulk	57E+07	Pa
G	Shear	59E+06	Pa
C	Cohesion	0	Pa
T	Tension	0	Pa
f	Friction	42	degree
di	Dilation	0	degree

جدول ۲- خصوصیات سطح مشترک خاک و فونداسیون

Symbol	Property		
Kn	Normal		
	Resistance	1.66E+08	Pa
Ks	Shear		
	Resistance	1.66E+08	Pa
C	Cohesion	1.34E+06	Pa
T	Tension	1.00E+06	Pa
f	Friction	2.20E+01	degree

جرم اعمالی به ستون معادل ۵۹۲۰ تن می باشد که در ارتفاع ۳۵ متری و بر روی ستون قرار گرفته است. بعلت جرم زیاد اعمالی به ستون و با توجه به پارامترهای ژئوتکنیکی مطابق با مدل های نرم افزار Safe فونداسیون در عمق ۵ متری از سطح زمین پس از ایجاد حفاری در مدل قرار می گیرد. استفاده از این روش در مقایسه با مدل سازی در سطح زمین به جهت اجتناب از ورود تاثیرات ناخواسته به نمودار شتاب نگاشت از قبیل نشست های زیاد انجام گرفت. ابعاد فونداسیون مدل یک درجه آزادی مطابق ابعاد واقعی فونداسیون سازه به جهت حفاظت از نیروی اصطکاکی و فشار های مقاوم سطح زیرین فونداسیون لحاظ گردید. شکل ۱ شتاب زلزله اعمالی به مدل مربوط به زلزلهالسترورا نشان می دهد. خصوصیات رابط سطح زیرین فونداسیون با خاک در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

¹free field



شکل ۱ - شتاب تکاشت زلزله (El Centro (1940)

شعاع میکروپایل شبکه ای اعمالی به فونداسیون سازه بستگی به پارامترهای زیادی از قبیل: تعداد میکروپایل، فاصله بین میکروپایل ها، طول میکروپایل، قطر میکروپایل، زاویه تمایل میکروپایل و همچنین به مدول الاستیسیته خاک و میکروپایل بستگی خواهد داشت. زمانیکه فاصله بین میکروپایل ها کاهش یابد مدول الاستیسیته خاک به جهت کاهش فاصله کاهش یافته و باعث افزایش شتاب لرزه ای میگردد. بنابراین برای یافتن بهترین حالت شعاع میکروپایل شبکه ای از نسبت (S/d) (3, 4, 5) و برای یافتن بهترین قطر و طول میکروپایل از نسبت (L/d) (10, 25, 100) استفاده می گردد. با توجه به نوسان جرم اعمالی به راس ستون یک درجه آزادی در اثر اعمال شتاب لرزه ای عکس العمل های افقی و قائم در پای ستون متفاوت خواهد بود که این عکس العمل ها به نوع و میزان شتاب لرزه ای ورودی، ارتفاع سازه و میزان جرم اعمال در راس ستون بستگی خواهد داشت بنابراین یافتن بهترین زاویه تمایل میکروپایل جهت کنترل تغییر مکان ها و واکنش های سازه از پارامتر های بسیار مهم دیگر می باشد که این زوایای تمایل عبارتند از (10, 20, 30, 40, 50, 60) می باشد. تعداد میکروپایل های اعمالی به طور یکسان ۱۶ عدد می باشد.



شکل ۲- میکروپایل شبکه ای

۳. مدل عددی خاک میکروپایل سازه

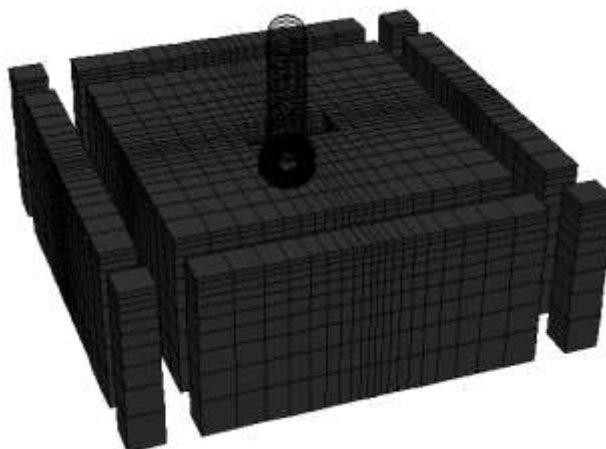
به طور کلی پارامترهایی که برای تعریف جامع و کامل یک ساختمان مورد نیاز است عبارتند از: سرعت موج برشی، نسبت پواسون، چگالی خاک، نسبت کاهش سختی برشی، تغییرات دامنه مدول سکانت، میرایی، شعاع ناحیه مورد بررسی و مدول پلاستیسیته خاک می باشد. سازه مورد نظر بر روی ساختمانی از خاک ماسه ای تک لایه با سرعت موج برشی 175m/s قرار گرفته است و چگالی خاک 2000 کیلوگرم بر مترمکعب می باشد. نوع میرایی خاک از نوع هیستریزس و تغییرات خاک غیر خطی می باشد.

بر طبق نظر یاتمنگ [۳] و ژانگ [۴] شعاع ناحیه مورد بررسی از مرکز سازه در صورتیکه ۳-۴ برابر شعاع معادل فونداسیون در جهت افقی و ۲-۳ شعاع معادل فونداسیون در جهت قائم باشد تاثیر بازتاب امواج لرزه ای در داخل مدل بسیار ناچیز خواهد بود. بنابراین با توجه به اینکه ابعاد فونداسیون مورد بررسی مستطیلی به ابعاد 16×24 متر می باشد با استفاده از رابطه (۱) شعاع معادل فونداسیون مستطیلی ساختمان در جهت افقی برابر 50 متر و در جهت قائم برابر 40 متر می باشد.

$$r = \sqrt{\frac{B \times L}{\pi}} \quad (1)$$

اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران
 دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی
 ۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲

شکل ۳ ساختگاه، سیستم یک درجه آزادی و میکروپایل شبکه ای مورد استفاده در مدل را نشان می دهد.



شکل ۳- مدل خاک میکروپایل سازه (یک درجه آزادی)

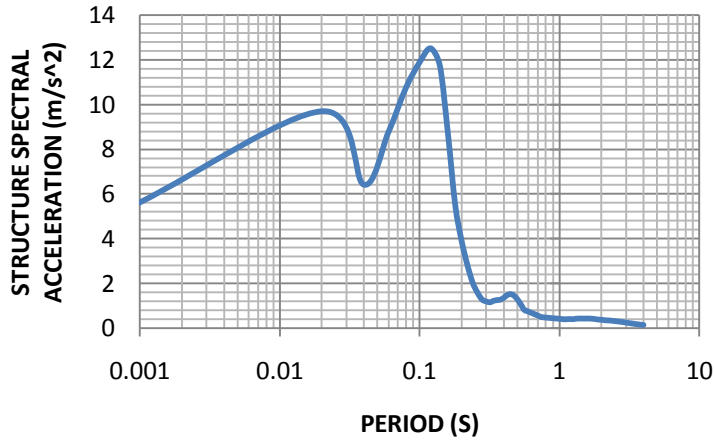
هدف از اعمال میکروپایل شبکه ای تغییر زاویه تمایل میکروپایل و تحت فشار قرار دادن فونداسیون جهت ایجاد حالت اتساع و ایجاد اصطکاک کافی و موثر در تمام سطح زیرین فونداسیون می باشد که با رسیدن به این حالت ماسه به طور موثر تمام سطح میکروپایل را اشغال کرده و اصطکاک جدار میکروپایل افزایش می یابد و به دنبال آن تغییر مکان افقی فونداسیون و مخصوصاً راس سازه کاهش خواهد یافت [۵]. در این صورت میتوان با تغییر زاویه تمایل میکروپایل تغییر مکان راس سازه را با توجه به بلندی و یا کوتاهی سازه و همچنین شتاب اعمالی به سازه کنترل نمود [۶]. در جدول شماره ۳ خصوصیات ستون سازه یک درجه آزادی و میکروپایل مورد استفاده در مدل نشان داده شده است.

جدول ۳- خصوصیات میکروپایل و ستون سیستم یک درجه آزادی

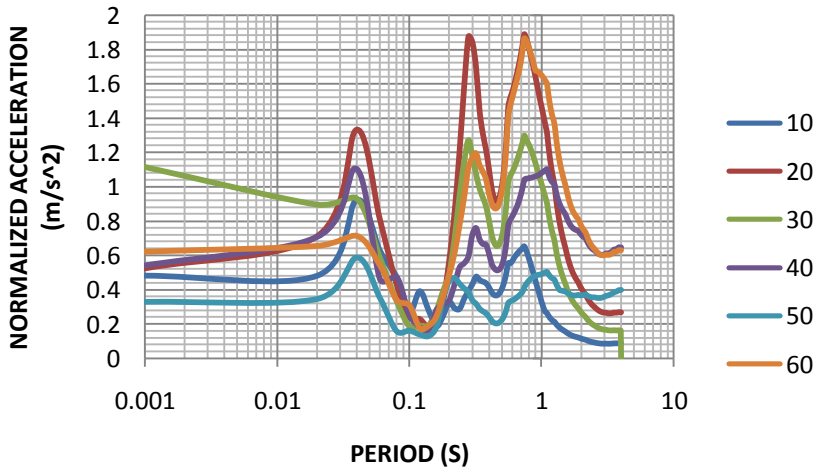
Symbol	Property	micropile	column
ρ	Density	2200	2500
E	Elasticity	2.90E+10	21E+10
ν	Nu	0.3	0.2
D	Diameter	0.1	1.5
	Yeild comperssion	2.38E+05	-
	Yeild tension	2.38E+05	-
	Grout RESISTANCE	2.19E+08	-
	Grout cohesion	6.28E+03	-
	Grout friction	4.50E+01	-

طیف پاسخبراهمیت ترین بار شناختن خصوصیات حرکات زمین است که پاسخماکزیم سیستم را در مقابلیک حرکت رودی خاص بصورتتابعی از پریود طبیعی و ضریب میرایی تشریح میکنند. بطور کلی دامنه، محتوی فرکانس و مدت حرکت رودی همگی بر مقادیر طیفی تاثیر می گذارند. شکل ۴ طیف پاسخ سازه را نشان می دهد. طیف پاسخ ساختگاه پس از اعمال میکروپایل با نسبت لاغری و فواصل مختلف نشان می دهد که هرچه میکروپایل لاغر تر باشد در زمان بروز شتاب های لرزه ای انعطاف پذیری بیشتری با خاک خواهد داشت بنابراین میکروپایل های با نسبت لاغری ۱۰۰ واکنش های حاصل از سازه فوقانی را بیشتر کنترل خواهند نمود همچنین هرچه خاک فونداسیون را بیشتر تحت فشار قرار دهد به جهت فشار همه جانبه و تراکم بیشتر واکنش های حاصل از سازه به مقدار پایین تری تنزل خواهند نمود.

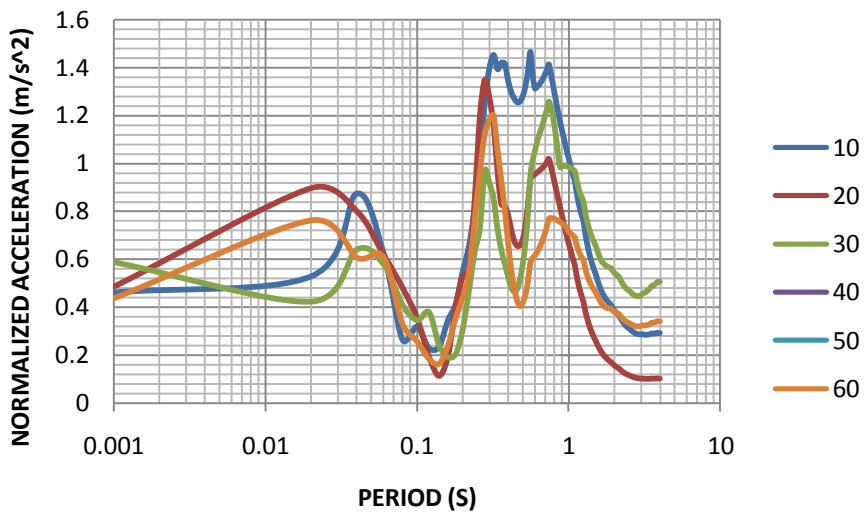
اشکال ۵ و ۶ و ۷ طیف های نرمالیزه شده در زوایای تمایل مختلف را نسبت به حالت ساختگاه بدون حضور میکروپایل در میزان لاغری ۱۰۰ و در (S/d) های به ترتیب ۳ و ۴ و ۵ نشان می دهند.



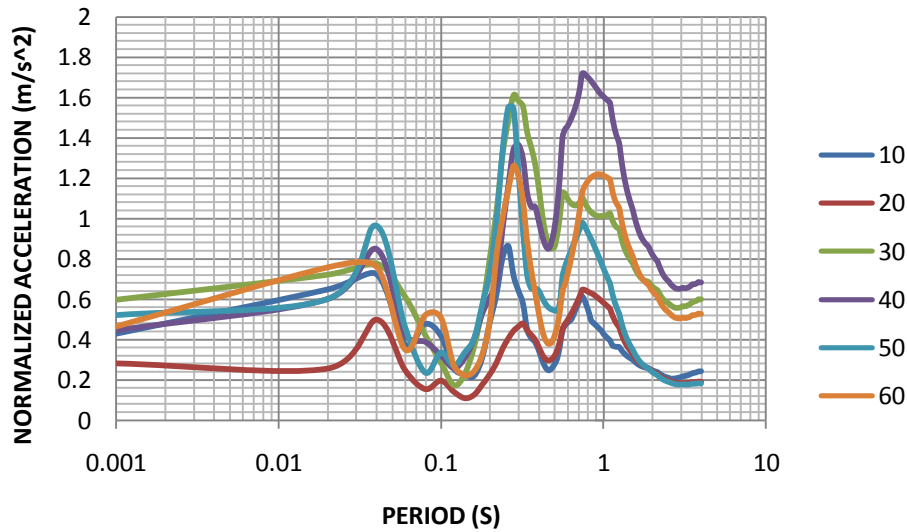
شکل ۴- طیف پاسخ سازه



شکل ۵- طیف پاسخ نرمالیزه شده $S/d=3$ و $L/d=100$

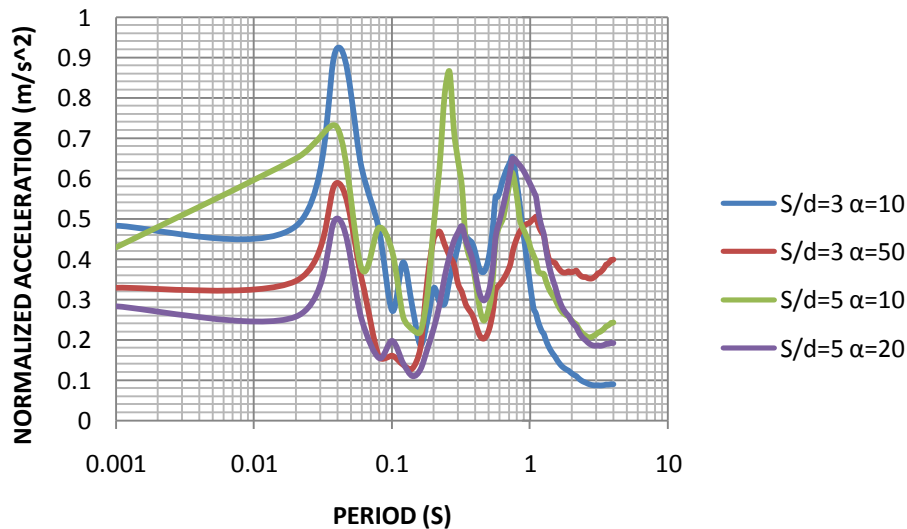


شکل ۶- طیف پاسخ نرمالیزه شده $S/d=4$ و $L/d=100$



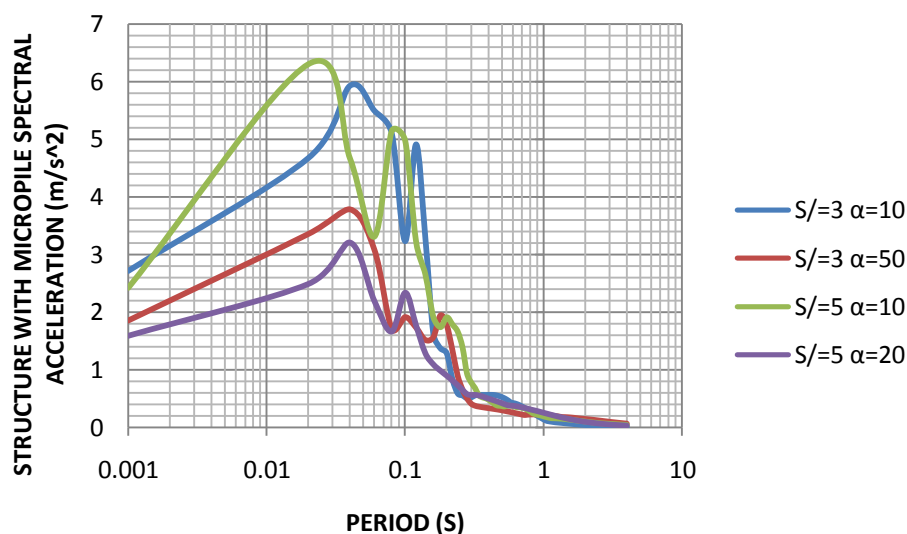
شکل ۷- طیف پاسخ نرمالیزه شده $S/d=5$ و $L/d=100$

با توجه به نمودار نرمالیزه شده $\frac{Spectral\ Acceleration\ Structure\ With\ Micropile}{Spectral\ Acceleration\ Structure\ Without\ Micropile}$ بهسازی زمانی مطلوب خواهد بود که مقادیر طیفی نشان داده شده در اشکال فوق دارای کمترین مقدار ممکن باشند. در اشکال فوق میکروپایل های با زاویه تمایل ۱۰ و ۵۰ درجه در $(=3S/d)$ و میکروپایل های با زاویه تمایل ۱۰ و ۲۰ در $(=5S/d)$ کمترین مقادیر را در طول زمان تناوب ساختگاه نشان می دهند. شکل ۸ طیف های پاسخ منتخب در اشکال فوق را نشان می دهد.



شکل ۸- طیف های پاسخ نرمالیزه شده منتخب

همانطور که مشاهده می شود میکروپایل ها با افزایش زمان تناوب کاهش پیدا میکنند اما اکثر میکروپایل های منتخب با توجه به اینکه دارای کمترین شتاب طیفی می باشند اما با افزایش زمان تناوب دچار پیک ثانویه ای بعضاً بیشتر از مقادیر اولیه را خواهند داشت اما زاویه تمایل ۵۰ درجه میکروپایل در مقدار $S/d=3$ علاوه بر کاهش مقدار شتاب طیفی دارای پیک ثانویه ای به مراتب کمتر از مقادیر اولیه در زمان تناوب کمتر را داراست. شکل ۹ طیف پاسخ سازه را با تزریق میکروپایل شبکه ای در ساختگاه نشان می دهد.



شکل ۹- طیف های پاسخ سازه با تزریق میکروپایل شبکه ای

همانطور که شکل ۹ نشان می دهد با افزایش زاویه تمایل میکروپایل شبکه ای پاسخ لرزه ای سازه تا یک زاویه مشخص کاهش خواهد یافت و به دنبال آن مقادیر حداکثرهای ثانویه طیف پاسخ ضعیف تر خواهند شد که این زاویه به زاویه برآیند واکنش های سازه با محور قائم بستگی دارد. هراندازه زاویه برآیند با محور قائم بیشتر باشد باید از میکروپایل با زاویه تمایل بیشتری استفاده نماییم. بنابراین با توجه به اشکال ۴ و ۹ میزان پریود غالب سازه از ۰.۱۲ ثانیه به ۰.۰۹ ثانیه در میکروپایل شبکه ای با زاویه تمایل ۱۰ درجه و به ۰.۰۴ ثانیه در میکروپایل شبکه ای با زاویه تمایل ۲۰ درجه به همراه کاهش شتاب های ثانویه رسیده است که این خود نشان از بهسازی زمان تناوب ساختگاه با استفاده از میکروپایل شبکه ای دارد.

۴. نتیجه گیری

هدف از اعمال میکروپایل شبکه ای بدست آوردن زاویه ای از تمایل میکروپایل می باشد که با تحت فشار قراردادن فونداسیون و ایجاد حالت اتساع، اصطکاک کافی را برای سطح زیرین فونداسیون و در تماس با خاک فراهم نموده تا تغییر مکان فونداسیون کاهش یافته و مدول عکس العمل خاک افزایش یابد در نتیجه نهایت ظرفیت باربری فونداسیون افزایش یافته و PGA ساختگاهی که سازه بر روی آن قرار گرفته است کاهش یابد. افزایش فشار در تزریق میکروپایل باعث افزایش فشار های همه جانبه شده که خود به صورت مستقیم مقدار مدول برشی خاک را افزایش خواهد داد و به دنبال آن مقدار سرعت موج برشی افزایش خواهد یافت. استفاده از رکورد های مختلف در تحلیل میکروپایل شبکه ای به دلیل متفاوت بودن فرکانس شتاب های لرزه ای پاسخ های متفاوتی را نشان خواهد داد که هر اندازه فرکانس های ورودی کمتر باشند تغییر شکل های بزرگی در ساختگاه بوجود خواهد آمد و هر اندازه فرکانس های ورودی بزرگ تر باشند تغییر شکل های بوجود آمده کاهش خواهند یافت. افزایش میزان لاغری و کاهش قطر میکروپایل فشار جانبی خاک را در عمق افزایش داده و باعث کاهش تغییر مکان های سازه فوقانی خواهد شد که این حالت با توجه به زاویه قرار گیری میکروپایل در خاک، حالت ماسه، فاصله بین میکروپایل ها، نسبت لاغری و خصوصیات سطح مشترک بین میکروپایل و ماسه بستگی خواهد داشت.

به طور کلی توجه به مدول الاستیسیته خاک برای تعیین مدول الاستیسیته میکروپایل بسیار مهم می باشد به طوریکه تغییر مکان فونداسیون میکروپایلی به نسبت E_p/E_s بستگی خواهد داشت که با افزایش مدول الاستیسیته میکروپایل صلبیت سیستم در ساختگاه کاهش یافته و تغییر مکان افزایش خواهد یافت. وجود پلاستیسیته در ساختگاه باعث افزایش تغییر مکان در راس میکروپایل می گردد در نتیجه با کاهش فاصله بین میکروپایل ها تاثیر پلاستیسیته در خاک غالب گردیده و تغییر مکان میکروپایل را افزایش خواهد داد اما با افزایش فاصله بین میکروپایل ها صلبیت سیستم افزایش یافته، تاثیر پلاستیسیته کاهش می یابد و در نهایت مقدار PGA ساختگاه کاهش خواهد یافت.

در سازه های بلند لنگر واژگونی بعلا ارتفاع زیاد سازه غالب خواهد بود بنابراین تغییر مکان افقی فونداسیون افزایش خواهد یافت اما در سازه های کوتاه نیروی اینرسی برشی غالب و چرخش دورانی فونداسیون افزایش خواهد یافت که به دلیل افزایش زاویه دورانی لنگر خمشی در سازه های کوتاه از اهمیت چندانی برخوردار نمی باشد

به طور کلی با افزایش زاویه تمایل میکروپایل تغییر مکان افقی حاصل از زلزله بعلا افزایش سختی خاک کاهش خواهد یافت اما مقداری چرخش در فونداسیون بوجود خواهد آمد. افزایش زاویه تمایل میکروپایل تغییر مکان راس سازه بلند را نسبت به سازه کوتاه بیشتر محدود خواهد نمود که در نهایت PGA ساختگاه در سازه بلند نسبت به سازه کوتاه بیشتر کاهش خواهد داشت. بنابراین بهسازی لرزه ای فونداسیون با استفاده از میکروپایل شبکه ای در صورت اعمال شتاب های افقی مناسب خواهد بود و در صورت غالب بودن شتاب های لرزه ای قائم استفاده از میکروپایل های قائم مناسب تر می باشد. در صورتیکه هر دو نوع شتاب افقی و قائم در ساختگاه قدرت نمایی کنند استفاده از ترکیبی از میکروپایل شبکه ای و قائم بسیار مناسب می باشد.

زمان تناوب ساختگاه با افزایش فاصله میکروپایل ها از یکدیگر به دلیل کاهش دست خوردگی در خاک کاهش خواهد یافت که این کاهش با افزایش لاغری و کاهش قطر میکروپایل شبکه ای افزایش خواهد یافت. با افزایش زاویه تمایل میکروپایل شبکه ای تا یک مقدار معین که این مقدار به طاویه برآیند واکنش های سازه با محور قائم دارد، میزان PGA ساختگاه، زمان تناوب غالب ساختگاه و بیک های ثانویه موجود در طیف پاسخ کاهش خواهد یافت.

۵. مراجع

- [1] Takashi, Y. (2000). "Efficiency of micropile for seismic retrofit of foundation system", Twelfth World Conference on Earthquake Engineering (12WCEE), Auckland, New Zealand.
- [2] Wong, J.C. (2004). "Seismic behavior of micropiles". Washington State University, Ph.D. Thesis, May.
- [3] Meng, J. (2007). "Earthquake ground motion simulation with frequency-dependent soil properties". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27(3): 234-241.
- [4] Yang, J. (2000). "Kinematic soil-micropile interaction". Twelfth World Conference on Earthquake Engineering (12WCEE), Auckland, New Zealand.
- [5] Araei, A.A., Razeghi, H.R., Tabatabaei, S.H., Ghalandarzadeh, A. (2012). "Loading frequency effect on stiffness, damping and cyclic strength of modeled rockfill materials". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 33(1): 1-18.
- [6] Nour, A., Slimani, A., Laouami, N., Afra, H. (2003). "Finite element model for the probabilistic seismic response of heterogeneous soil profile". *Soil Dynamics And Earthquake Engineering*, 23(5): 331-348.