Archive of SID

مطالعهٔ عددی نشست پی‌های رادیه– مرکب منفصل با تأکید بر تعریف جدیدی از این سیستم‌ها با عنوان سیستم ترکیبی

واحد قیاسی[۱،*] و مبین مرادی[۲]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۱۰

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۰۲

واژگان کلیدی:

مطالعهٔ عددی،

نشست پی،

پی‌های رادیه- مرکب،

سیستم ترکیبی.

چکیده

بیشترین کاربرد پی‌های گسترده به همراه شمع، زمانی است که رادیه به‌تنهایی می‌تواند مقاومت کافی را در برابر بارهای واردشده تأمین کند، ولی برای جلوگیری از نشست‌های زیاد سیستم فونداسیون یا شکل‌گیری نشست‌های غیریکنواخت، از گروه شمع در زیر آن استفاده می‌شود. در این مطالعه، تغییرشکل پی، اعم از نشست‌های حداکثر، متوسط و غیریکنواخت در سیستم مرکب رادیه- شمع تحت بارگذاری استاتیکی در خاک ماسه‌ای یکنواخت، با استفاده از مدل‌سازی اجزای محدود برای چیدمان‌های گوناگون شمع‌ها و سیستم‌های مختلف پی- شمع از نظر اتصال پی و شمع‌ها، بررسی شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. همچنین نرم‌افزار اجزای محدود پلکسیز سه‌بعدی فونداسیون Plaxis 3D foundation (v.1.6) برای مدل‌سازی سیستم مرکب پی و شمع استفاده شده است. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از این است که با استفاده از شمع‌ها به‌صورت متصل از رادیه و منفصل از آن به‌صورت توأمان (سیستم ترکیبی)، منجر به عملکرد بسیار مناسب سیستم مرکب در کاهش نشست حداکثر و غیریکنواخت پی می‌شود.

۱- مقدّمه

طراحی گروه شمع، معمولاً با درنظرگرفتن ضریب اطمینانی بالا برای شمع‌هاست و معیار اصلی طراحی، ظرفیت باربری گروه است. در این حالت، آرایش شمع‌ها در گروه به گونه‌ای است که کل بار روسازه را تحمل کند. کلاهک که اغلب یک پی گسترده است، در تماس با خاک بوده، اما سهم آن در باربری و رفتار گروه در نظر گرفته نمی‌شود. در این حالت می‌توان از مفهوم طراحی رادیه مرکب (PRF) استفاده کرد. در حالت رادیه مرکب، تقسیم بار بین رادیه و شمع‌ها صورت می‌گیرد و شمع‌ها به اندازهٔ ظرفیت باربری شمع تنها یا حتی بیشتر از آن، تحت بار قرار می‌گیرند. بنابراین، فونداسیون رادیه مرکب سبب کاهش نشست کل و غیریکنواخت به شیوه‌ای کاملاً بهینه‌تر از مفهوم گروه شمع می‌شود. در طراحی رادیه مرکب مرسوم، تعداد شمع‌ها معمولاً زیاد و بار تحمل‌شده توسط هر شمع نسبتاً کم است که باعث حاشیهٔ اطمینان بالایی درمورد ظرفیت باربری ژئوتکنیکی یا بار گسیختگی سازه‌ای این شمع‌ها می‌شود. معمولاً ظرفیت ژئوتکنیکی شمع‌ها در برابر مقاومت فشاری مصالح شمع تعیین‌کننده است [۱].

در تخمین ظرفیت باربری شالوده‌ها به کمک روش‌های گوناگون، مطالعات فراوانی صورت گرفته که استفاده از شبکه‌های مصنوعی [۲] و همچنین روش خطوط مشخصه تنش [۳] از جملهٔ این روش‌ها است.

۲- پیشینهٔ تحقیق

ایدهٔ تلفیق رادیه و پی‌های عمیق به‌منزلهٔ گزینه‌ای جدید در مبحث پی‌سازی از دههٔ ۷۰ میلادی مطرح شده است.

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: v.ghiasi@malayeru.ac.ir

۱. استادیار، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملایر

۲. کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش خاک و پی، دانشگاه ملایر

www.SID.ir

Archive of SID

به‌کارگیری پی‌های عمیق در زیر پی‌های گسترده (سیستم پی گستردهٔ مرکب[1]) می‌تواند سبب کاهش نشست و اثر توأم افزایش ظرفیت باربری شود. در حالت کلی، بهره‌گیری از پی‌های رادیه-شمع، سبب کاهش محسوس در طول شمع‌ها، بهبود سرویس‌دهی پی‌ها ازلحاظ نشست‌های کلی و ناهمسان، به کمینه رساندن احتمال چرخش و ناپایداری سازه می‌شود و به اقتصاد پروژه نیز کمک می کند [۴و۵].

ترکیب رادیه و شمع، ایده‌ای نو در مهندسی پی است که توسط بسیاری از محققان و صاحب‌نظران این عرصه، ارائه و تکمیل شده است [۶-۹].

چندین روش برای تحلیل رادیه-شمع ارائه شده که برخی از آن‌ها توسط پولوس و همکارانش جمع‌بندی شده است. سه طبقه‌بندی برای این روش‌ها بیان شده است [۱۰]:

۱. روش‌های محاسباتی ساده‌شده؛

۲. روش‌های آنالیز تقریبی به کمک کامپیوتر؛

۳. روش‌های آنالیز دقیق به کمک کامپیوتر.

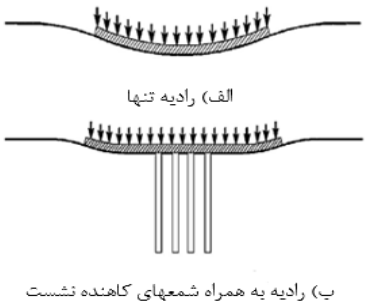
تحلیل عددی به کمک روش اجزای محدود در مطالعات پژوهشگران استفاده شده [۱۱و۱۲] که این مطالعات مشتمل بر روش سوم مذکور با عنوان آنالیز دقیق به کمک کامپیوتر است.

همچنین بسیاری از محققان به تجزیه و تحلیل عددی پی های رادیه- شمع پرداخته‌اند [۱۳-۲۱].

در مطالعه‌ای بر روی پی‌های مرکب (ال‌گارهی و همکاران، ۲۰۱۳) در یک پژوهش آزمایشگاهی در مدل‌سازی پی رادیه-شمع در خاک ماسه‌ای، با افزایش تعداد شمع‌های کاهنده نشست، نسبت بهبود بار (LIR) افزایش و نسبت نشست تفاضلی (DSR) کاهش می‌یابد [۲۲].

شکل (۱) نقش حضور شمع‌ها را در زیر پی برای کنترل نشست‌های غیریکنواخت تشریح می‌کند. قسمت الف، رادیه تنها و قسمت ب، رادیه همراه شمع‌های قرارگرفته در خاک زیر پی را نشان می‌دهد [۲۳].

پژوهشگران در سال ۱۹۷۴ در مروری بر سیستم‌های رادیه مرکب، نشان دادند که اگر خاک زیر رادیه به‌عنوان یک محیط کشسان مسلح‌شده در نظر گرفته شود، کاهش مقدار نشست، قابل‌ملاحظه است [۲۴]. بنابراین، رویکردی جدید در طراحی فونداسیون‌ها، می‌تواند معرفی شمع‌ها فقط به‌منزلهٔ ابزاری برای بهبود پارامترهای سختی خاک باشد. این کار می‌تواند با انفصال این شمع‌ها از رادیه انجام گیرد. در این صورت فاصلهٔ ایجادشده بین رادیه و شمع‌ها سبب می‌شود شمع‌ها مستقیماً بارهای روسازه را تحمل نکنند.



شکل ۱: کاربرد شمع‌های مرکزی برای جلوگیری از نشست جزئی [۲۳]

وقتی این شمع‌های کاهندهٔ نشست به رادیه متصل نباشند، می‌توان نسبت به شمع‌های ساختمانی، ضریب اطمینان بسیار کوچک‌تری در برابر گسیختگی سازه‌ای انتخاب کرد و این در حالی است که هیچ تخلفی از آیین‌نامه‌های مختلف ساختمانی صورت نمی‌گیرد [۲۵].

در شکل (۲) اندرکنش‌های ایجادشده میان رادیه، شمع‌ها و خاک، برای سیستم‌های پی-شمع متصل و منفصل به‌صورت شماتیک نشان داده شده است [۲۶].

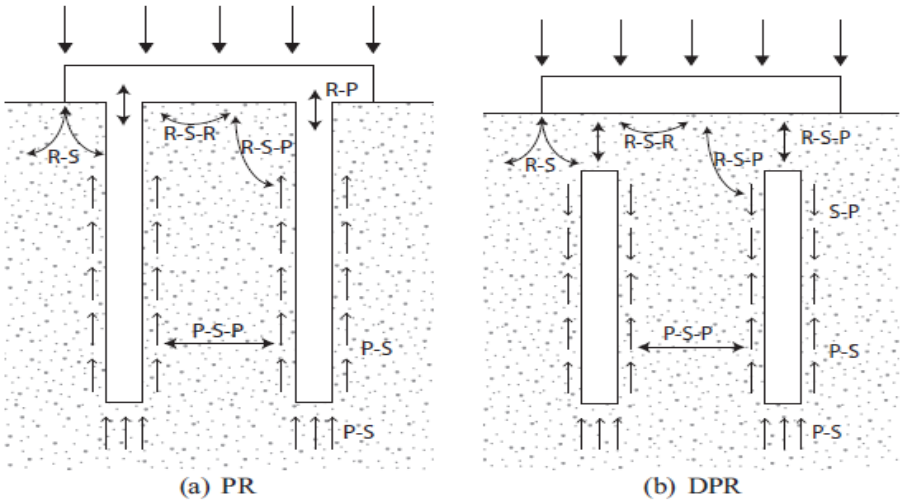
۳- تحلیل استاتیکی با استفاده از مدل‌سازی عددی

درحال‌حاضر، تعداد زیادی نرم‌افزار برای تحلیل محیط‌های ژئوتکنیکی وجود دارد که از میان آن‌ها نرم‌افزار پلکسیز سه‌بعدی فونداسیون با قابلیت‌های فراوان، از جمله درنظرگرفتن اندرکنش خاک و سازه، محاسبه تغییرشکل‌های بزرگ، مدل‌های رفتاری مختلف خاک و سازه و درنظرگرفتن فشار آب حفره‌ای، دارای دقت و سرعت بالایی است. نرم‌افزار پلکسیز سه‌بعدی فونداسیون، برنامهٔ رایانه‌ای اجزای محدود سه‌بعدی است که با استفاده از یک محیط گرافیکی، کاربر را به ساختن یک شبکه‌بندی واقعی سه‌بعدی بر اساس ترکیبی از مقاطع افقی در لایه‌های مختلف قائم، قادر می‌سازد. به‌دلیل سه‌بعدی بودن شبکه بندی، می‌توان رفتار سازه و خاک و همچنین رفتار اندرکنش آن‌ها را بدون به‌کارگیری فرضیات و به‌صورت کلی و دقیق، مورد بررسی قرار داد.

[1] Piled Raft Foundation.

www.SID.ir

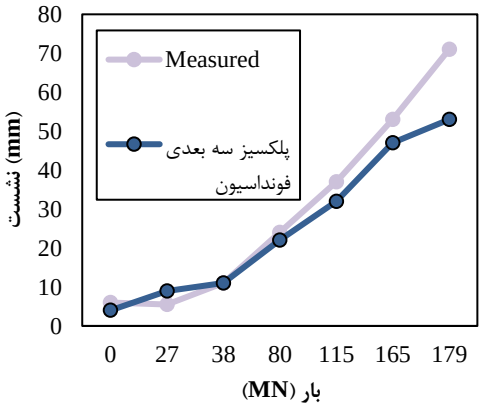
Archive of SID



شکل ۲: اندرکنش‌های بین خاک و اعضای سازه‌ای در a) رادیه-شمع متصل، b) رادیه- شمع منفصل (R=raft ;P=pile ;S=soil) [۲۶]

۳-۱-اعتبار سنجی نتایج نرم‌افزار

برای صحت سنجی نتایج نرم‌افزار پلکسیز، مقادیر حاصل از آنالیز ساختمان ترهاوس به روش اندازه‌گیری‌شده [۲۷]، با مقادیر حاصل از آنالیز اجزای محدود نرم‌افزار پلکسیز سه‌بعدی فونداسیون در شکل ۳ مقایسه شده است. مطابق شکل، مشاهده می‌شود که با افزایش بار، مقدار نشست کل افزایش یافته و مقادیر به‌دست‌آمده از تحلیل اجزای محدود پلکسیز به نتایج حاصل از روش اندازه‌گیری‌شده بسیار نزدیک است. دقت نتایج به‌دست‌آمده بیان می‌کند که نتایج حاصل از نرم‌افزار پلکسیز سه‌بعدی فونداسیون، موردتأیید و قابل‌قبول است.



شکل ۳: صحت‌سنجی نتایج نرم‌افزار

۳-۲- هندسه مدل

هدف از انجام تحقیق، شناسایی اثر ناپیوستگی پی گسترده و شمع‌ها در سیستم‌های پی رادیه مرکب، با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود است. انواع خاصی از المان‌ها برای مدل‌سازی رفتار سازه‌ای سیستم رادیه-شمع مورداستفاده قرار گرفته‌اند. برای مدل‌سازی پی گسترده، از المان صفحه[1] و نیز برای مدل کردن شمع‌ها از المان شمع مدفون[2] استفاده شده است. المان شمع‌های مدفون، عناصر سازه‌ای هستند که به‌وسیله پلکسیز توسعه یافته‌اند و مانند المان تیر[3] مدل می‌شوند. مزایای اصلی شمع‌های مدفون، اندرکنش با پیوستگی همانند مقاومت جدار و مقاومت پایه است. شمع‌های مدفون را می‌توان در هر جهت با خاک زیرین و بدون هرگونه تغییر در مش، قرار داد. در ادامه، مطالعه‌ای موردی برای آنالیز عملکرد پی‌های رادیه-شمع مورداستفاده قرار گرفته است [۲۸]. پی گسترده با ضخامت ۰٫۳ متر و ابعاد ۶×۶ متر است که بر یک خاک ماسه‌ای واقع شده و عمق رادیه از سطح خاک برابر ۲ متر است. شمع‌ها با طول ۱۰ متر و ضخامت ۰٫۵ متر و با تعداد ۹ عدد در زیر رادیه و درون خاک مذکور قرار گرفته‌اند. از المان شمع مدفون برای مدل‌سازی شمع در نرم‌افزار استفاده شده که در شکل (۳) نمایش داده شده است. تراز آب زیرزمینی در نظر گرفته نشده است که درواقع بیانگر این موضوع است که تراز آب خارج از محدوده ۲۵متری ضخامت لایهٔ ماسه‌ای قرار دارد. شکل (۴) ابعاد و مشخصات این سیستم مرکب پی-شمع را نمایش داده است. مشخصات سیستم پی-شمع مورداستفاده در این پژوهش به‌صورت سه‌بعدی در شکل (۵) به نمایش درآمده است.

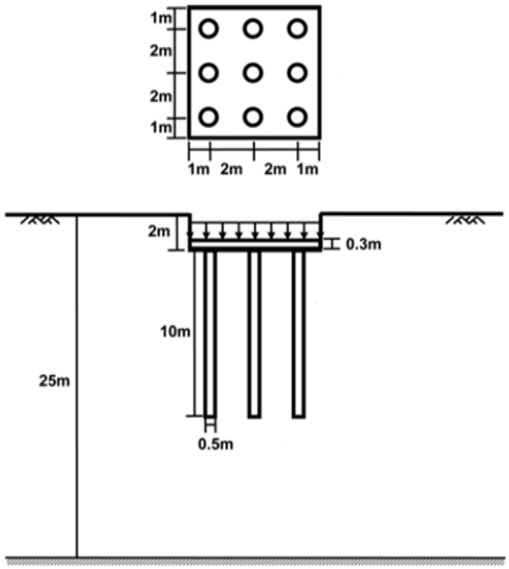
برای شرایط مرزی، نرم‌افزار Plaxis 3D Foundation یک سری گیرداری‌های عمومی را برای مرزهای مدل هندسی

1.Plate
2.Embedded Pile
3.Beam

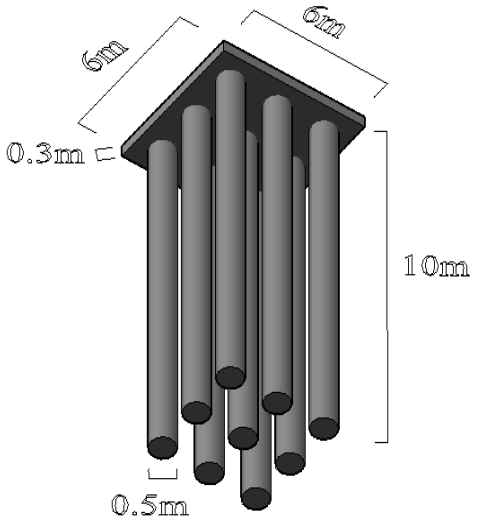
www.SID.ir

Archive of SID

خاک در نظر می‌گیرد؛ به‌طوری‌که کف و دیواره‌های خاک مدل‌سازی‌شده در تمامی جهات گیردار و صفحه بالایی آن در تمامی جهات، آزادی حرکت دارد. علاوه براین، نرم‌افزار Plaxis 3D Foundation گزینه‌هایی جداگانه برای اعمال شرایط مرزی افقی و قائم دارد که می توان از آن‌ها استفاده کرد [۲۹].



شکل ۴: ابعادپیرادیه-شمع [۲۸]، (واحد: متر)

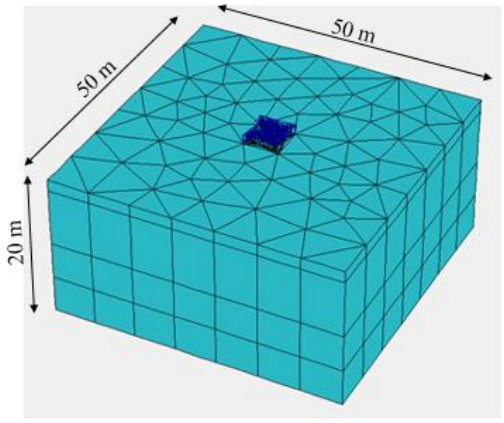


شکل ۵: نمای سه‌بعدی سیستم پی-شمع به‌کاررفته در این پژوهش

۳-۳- جزءبندی و محاسبات نرم‌افزار

جزءبندی سه‌بعدی مدل رادیه-شمع در شکل (۶) نشان داده شده است.

با تولید جزءبندی سه‌بعدی، فرایند مدل‌سازی هندسه سیستم کامل می‌شود. بر این اساس، باید محاسبات مربوط به هندسهٔ موردنظر، در فازهای مشخصی تعریف و کامل شود تا با توجه به آن‌ها، فرایند تحلیل نهایی برای حصول نتایج، انجام گیرد.



شکل ۶: جزءبندی سه‌بعدی مدل

جدول ۱: آنالیز مرحله به مرحله محاسبات

ردیف	فازهای محاسبات	توضیحات	بار گسترده
۱	Initial phase	اعمال تنش‌های اولیه	-
۲	Excavation to depth of 2m below ground level	خاک‌برداری تا عمق موردنظر	-
۳	Installation of piles	نصب شمع‌ها	-
۴	Application of weight of raft as uniform load on subsoil	اعمال بار یکنواخت به خاک به‌عنوان وزن پی	۲۰
۵	Installation of raft	نصب پی	۲۰
۶	Loading of raft	بارگذاری پی	۱۰۰

جدول ۴ فازهای محاسباتی مربوط به سیستم پی-شمع موردمطالعه در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد که به‌ترتیب، با توضیحات آمده است.

۴-۳- مشخصات اجزای مدل

پارامترهای تشکیل‌دهندهٔ سیستم مرکب، از جمله خاک ماسه و رادیه و شمع‌ها، با مشخصات آورده‌شده در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده و همچنین از مدل رفتاری سخت‌شونده برای خاک ماسه (ماسه فرانکفورت) [۲۷]، استفاده شده است. مشخصات پی گسترده به‌کاررفته در سیستم مرکب، در جدول ۲ آورده شده که با رفتار کشسان خطی و با ابعاد ۶×۶ متر و ضخامت ۰/۳ متر در نظر

www.SID.ir

Archive of SID

گرفته شده و مشخصات المان شمع مدفون استفاده‌شده به‌عنوان شمع‌های مدل در جدول ۳ آمده است. تعداد ۹ شمع در زیر پی گسترده استفاده شده که بر اساس تغییر در چیدمان و موقعیت قرارگیری شمع‌ها بر سطح رادیه، سعی شده است رفتار شمع‌ها در اثر تغییر موقعیت آن‌ها مشاهده شود.

جدول ۲: مشخصات ژئوتکنیکی خاک ماسه فرانکفورت [۲۷]

مشخصه	نماد	خاک ماسه محل	واحد
مدل رفتاری	-	سخت شونده	-
وزن مخصوص غیراشباع	γ_{unsat}	۹۰۰	$kg.m^3$
وزن مخصوص اشباع	γ_{sat}	۱۸۰۰	$Kg.m^3$
سختی بارگذاری سه محوری	E_{50}	۵۰۰۰	$kN.m^2$
سختی بارگذاری ادئومتر	E_{oed}	۵۰۰۰	$kN.m^2$
سختی باربرداری سه محوری	E_{ur}	۱۵۰۰۰	$kN.m^2$
توان وابسته به تنش	M	۰/۵	-
ضریب پواسون	ν_{ur}	۰/۲	-
چسبندگی	C	۰/۰۰۰۱	$kN.m^2$
زاویه اصطکاک	ϕ	۳۲/۵	-
زاویه اتساع	ψ	۰	-
ضریب فشار جانبی سکون برای حالت عادی تحکیم یافته	K_0^{NC}	۰/۴۲۶	-
نسبت پیش تحکیمی	OCR	۱	-
فشار سربار سابق	POP	۰	$kN.m^2$
ضریب سختی فصل مشترک	R_{inter}	۱	-
ضخامت لایه	D	۲۵	m

جدول ۳: مشخصات پی گسترده در سیستم رادیه-شمع

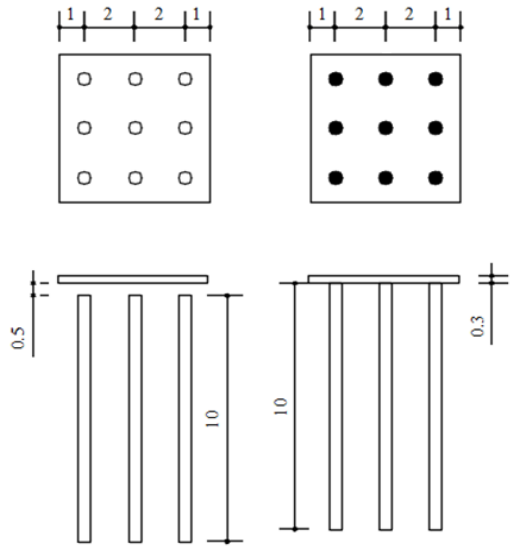
مشخصه	نماد	پی گسترده	واحد
مدل رفتاری	-	کشسان خطی	-
وزن مخصوص	γ	۲۵۰۰	$kg.m^3$
سختی	E	۳×۱۰^۷	$kN.m^2$
ضریب پواسون	ν	۰/۲	-
ضخامت رادیه	t	۰/۳	m
ابعاد رادیه	W×B	۶×۶	m

جدول ۴: مشخصات المان شمع مدفون به‌کاررفته در سیستم رادیه-شمع

مشخصه	نماد	خاک ماسه محل	واحد
مدل رفتاری	-	کشسان خطی	-
وزن مخصوص	Γ	۲۵۰۰	$kg.m^3$
سختی	E	۳×۱۰^۷	$kN.m^2$
ضریب پواسون	N	۰/۲	-
قطر شمع	D	۰/۵	m
طول شمع	L	۱۰	m
تعداد شمع‌ها	-	۹	-

۵-۳- اثر ناپیوستگی در سیستم مرکب

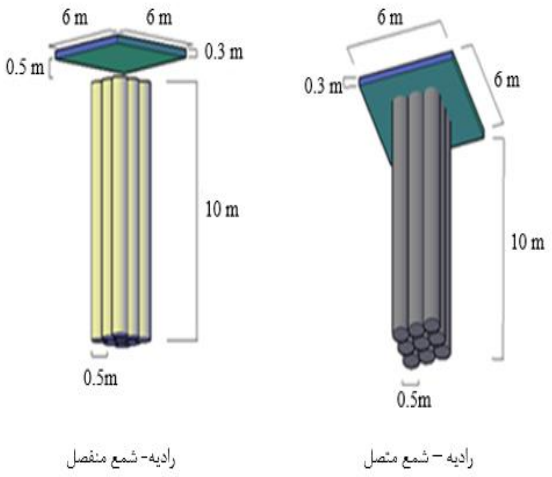
اساس این مقاله بر مبنای مطالعه رفتار ناپیوستگی پی‌های مرکب رادیه و شمع است و در این زمینه، مطالعه رفتار پی رادیه-شمع متصل و منفصل به‌عنوان بخش اساسی این پژوهش در نظر گرفته شده است. با توجه به این مقوله، مطالعات پارامتری برای تحلیل پی‌های رادیه-شمع انجام می‌گیرد. در شکل (۷) نمای دوبعدی و در شکل (۸) نیز نمای سه‌بعدی پی رادیه-شمع نشان داده شده که مطابق آن، شکل سمت راست، مشخصات پی رادیه-شمع متصل و شکل سمت چپ که شمع‌های آن با رنگ سفید نشان داده شده‌اند، مشخصات پی رادیه-شمع منفصل است.



شکل ۷: نمای پلان و کنار ابعاد و محل اتصال پی رادیه-شمع متصل (سمت راست) و منفصل (سمت چپ) (واحد: متر)

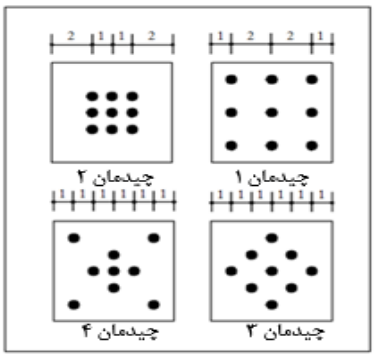
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸: نمایش سه‌بعدی سیستم‌های مرکب

چیدمان‌هایی (شکل ۹) نیز بر اساس تغییر موقعیت قرارگیری شمع‌ها در نقاط مختلف پی پیشنهاد شده‌اند و هدف از آن، بررسی عملکرد سیستم مرکب با سنجش اثر فاصله بین شمع‌ها و توزیع آن‌ها در زیر رادیه بر رفتار سیستم مرکب است.



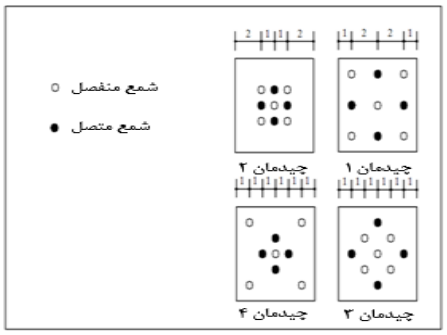
شکل ۹: حالت‌های آرایش پی رادیه-شمع متصل (واحد: متر)

تاکنون و با وجود اینکه ایدهٔ استفاده از شمع‌ها به‌صورت منفصل از رادیه، اخیراً رایج شده، مطالعات گوناگونی دربارهٔ عملکرد شمع‌های منفصل انجام گردیده است. اما درمورد ترکیبی از این نوع شمع‌ها و شمع‌های متصل به رادیه، آن چنان که مشهود است، پژوهشی انجام نگرفته است. بر این اساس، با توجه به اینکه برای نخستین بار اثر استفاده توأمان از شمع‌ها به‌صورت متصل به رادیه و منفصل از رادیه به‌طور عمده در پژوهش پیش‌رو بررسی می‌شود، سعی شده ترکیبی از شمع‌های متصل به رادیه و منفصل از آن، با چیدمان‌های مختلف شمع‌ها، بررسی و تحلیل شود که تصویر آن در شکل (۱۰) قابل‌مشاهده است.

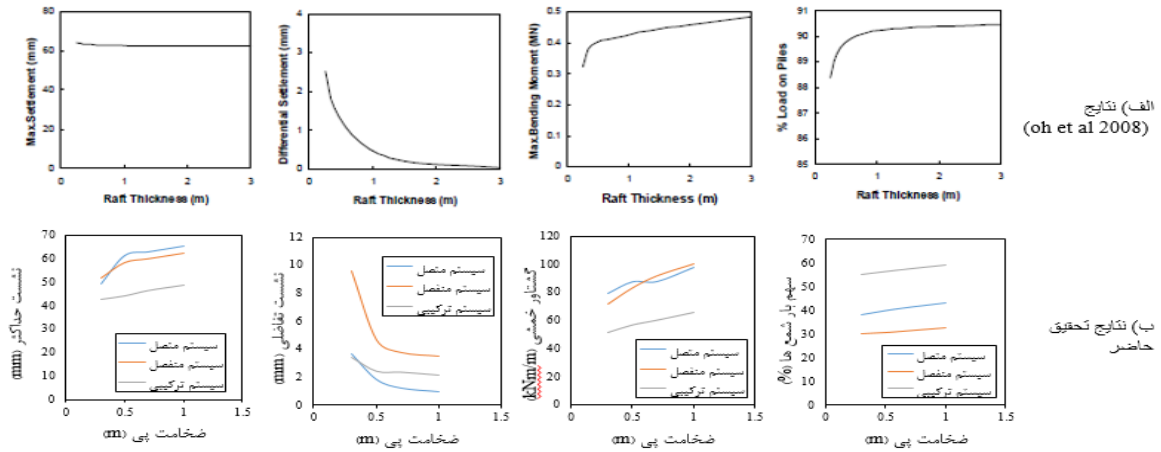
۴- تفسیر نتایج آنالیز

۴-۱- اعتبارسنجی نتایج تحلیل حاضر

برای اعتبارسنجی مقادیر حاصل از نتایج تحلیل حاضر با استفاده از روش اجزای محدود، به مقایسه و اعتبارسنجی این نتایج با مقادیر حاصل از تحقیق مشابه Oh و همکارانش در سال ۲۰۰۸[۳۰] پرداخته شده است.



شکل ۱۰: حالت‌های آرایش پی رادیه-شمع ترکیبی (واحد: متر)



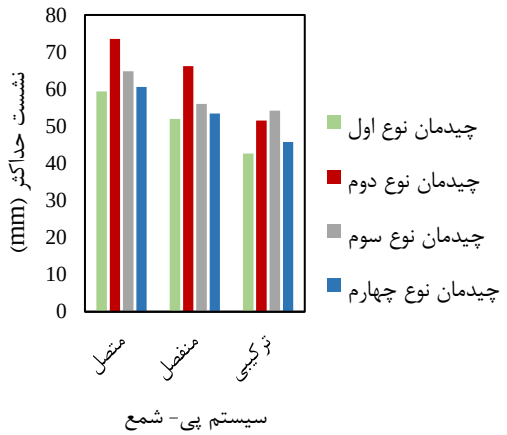
شکل ۱۱: اعتبارسنجی نتایج تحلیل حاضر با نتایج واقعی یک مطالعه موردی در تایوان [۳۰]

www.SID.ir

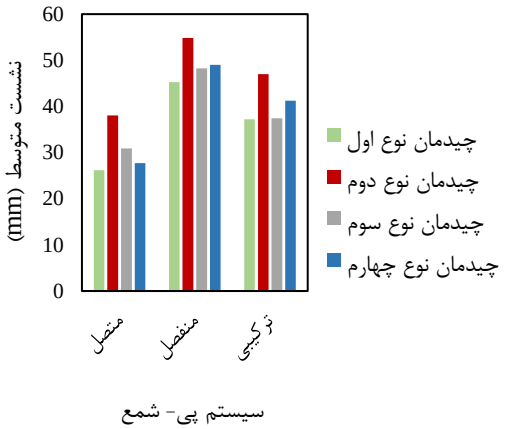
Archive of SID

۲-۴- تحلیل نتایج آنالیز

نمودارهای نشست حداکثر و نشست متوسط (نشست متوسط عبارت است از میانگین نشست در گوشه، کنار و مرکز پی) در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) آمده است. چیدمان‌ها بر اساس تعریف قبلی چیدمان‌های یکنواخت، متمرکز، لوزی و قطری به‌ترتیب با عناوین چیدمان‌های اول، دوم، سوم و چهارم مشخص شده‌اند.



شکل ۱۲: نمودار مقایسه نشست حداکثر پی‌های مرکب



شکل ۱۳: نمودار مقایسه نشست متوسط پی‌های مرکب

کانتورهای گرافیکی نشست حاصل از سه سیستم مرکب پی- شمع مورداستفاده در مدل‌سازی، در شکل (۱۳) نمایش داده شده است.

پی گسترده با آرایش اولیه شمع‌ها که در تحلیل نتایج، با عنوان سیستم مرکب با چیدمان اول (آرایش یکنواخت) مرسوم است، کمترین مقدار نشست حداکثر را متحمل شده، با توجه به نزدیکی مقادیر نشست حداکثر حاصل از این چیدمان و چیدمان چهارم شمع‌ها در سیستم مرکب، می‌توان گفت این دو آرایش برای کاهش نشست پی مفید واقع شده‌اند. همچنین از میان سه سیستم مرکب متصل، منفصل و ترکیبی، در سیستم ترکیبی با استفاده هم‌زمان از شمع‌های متصل به رادیه و منفصل از آن، نشست حداکثر پی، به میزان قابل‌توجهی کاهش یافته است. بیشترین مقدار نشست حداکثر در سیستم با شمع‌های متصل به پی گسترده رخ داده و در این میان، عملکرد سیستم منفصل در کاهش نشست حداکثر پی، به‌مراتب بهتر از سیستم متصل بوده است.

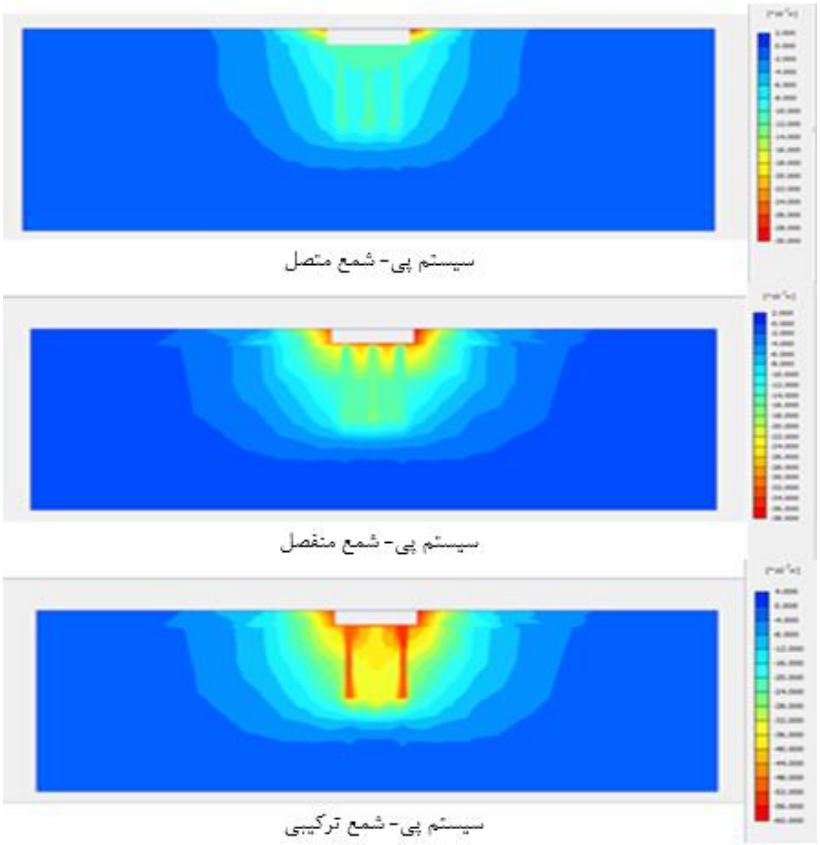
نشست متوسط پی از میانگین نشست نقاط مرکز، کنار و گوشهٔ پی به دست آمده است. درواقع، موقعیت قرارگیری و چیدمان شمع‌ها در زیر پی گسترده، پارامتری تأثیرگذار بر میزان نشست به‌وجودآمده در نقاط مختلف پی است. پی گسترده با چیدمان حالت اول شمع‌ها که آرایش یکنواخت شمع‌ها در مدل را نشان می‌دهد، نشست متوسط کمتری نسبت به چیدمان‌های دیگر متحمل شده و در چیدمان دوم شمع‌ها (چیدمان متمرکز)، پی گسترده نشست متوسط بیشتری داشته است. در تحلیل سیستم‌های پی- شمع ارائه‌شده در این پژوهش، سیستم با شمع‌های متصل به رادیه، مقدار نشست متوسط کمتری داشته و این مقدار در سیستم با شمع‌های منفصل از رادیه، بیشترین مقدار نشست متوسط بوده است. در مجموع، کمترین میزان نشست متوسط پی در سیستم پی- شمع متصل با چیدمان اول و با مقدار حدود ۲۶ میلی متر است.

کنترل نشست غیریکنواخت (نشست تفاضلی) پی، تأثیری بسیار بر پایداری سازه در برابر بارهای اعمالی بر آن دارد و در تحلیل‌های پی-شمع کاهش نشست‌های غیریکنواخت، یکی از اهداف اصلی برای رسیدن به یک سیستم بهینه و پایدار است. در مطالعه حاضر، پی با چیدمان دوم و چیدمان سوم شمع‌ها، مقدار نشست کمتری داشته است.

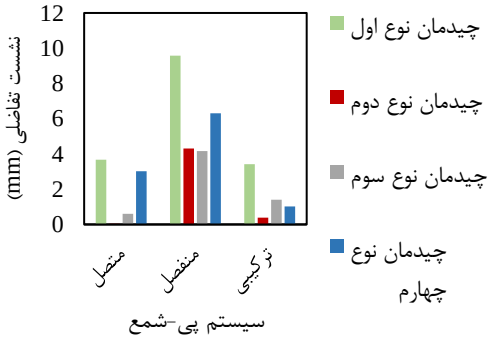
نمودار نشست تفاضلی پی‌های رادیه-مرکب نیز در شکل (۱۴) مشاهده می‌شود. مطابق نمودارها نشست حداکثر پی در سیستم ترکیبی، کاهش بیشتری دارد و در تحلیل نشست غیریکنواخت پی مشاهده می‌شود که چیدمان‌های متمرکز و لوزی (آرایش‌های با شمع‌های متمرکز در وسط رادیه) عملکرد مثبتی در کاهش نشست‌های تفاضلی رادیه داشته‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID



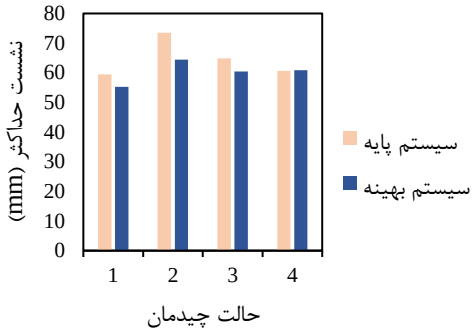
شکل ۱۴: کانتور گرافیکی نشست حداکثر سطح مقطع انواع پی‌های رادیه- شمع از لحاظ پیوستگی



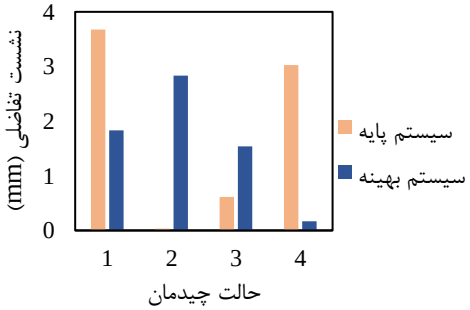
شکل ۱۵: نمودار مقایسه نشست تفاضلی وارد بر رادیه در پی‌های مرکب

نمودار نشست حداکثر سیستم رادیه مرکب با طول شمع‌های متغیر (ترکیبی از شمع‌های طویل و کوتاه با عنوان سیستم بهینه) در قیاس با سیستم پایه (آرایش یکنواخت) در شکل (۱۵) و نمودار نشست تفاضلی سیستم رادیه مرکب در مقایسه رفتار سیستم پایه و بهینه در شکل (۱۶) آمده است.

شکل (۱۷) نمودار نشست حداکثر پی در سیستم مرکب را در ضخامت‌های مختلف پی گسترده نمایش داده است و شکل (۱۸) و (۱۹) به‌ترتیب، نمودار نشست متوسط و نشست تفاضلی پی را در سیستم مرکب نشان می‌دهد.



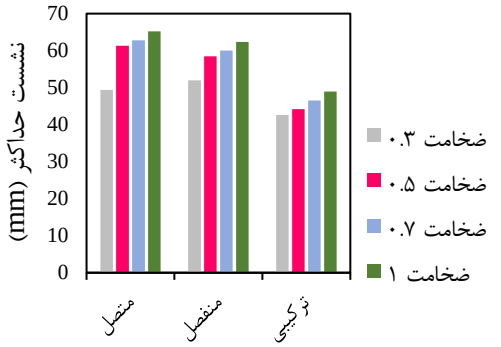
شکل ۱۶: نمودار نشست حداکثر رادیه-شمع با طول شمع‌های متغیر



شکل ۱۷: نمودار نشست تفاضلی رادیه-شمع با طول شمع‌های متغیر

www.SID.ir

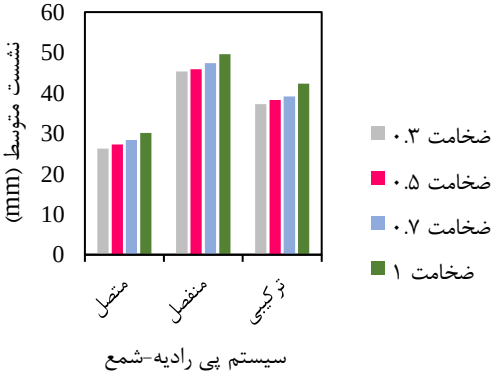
Archive of SID



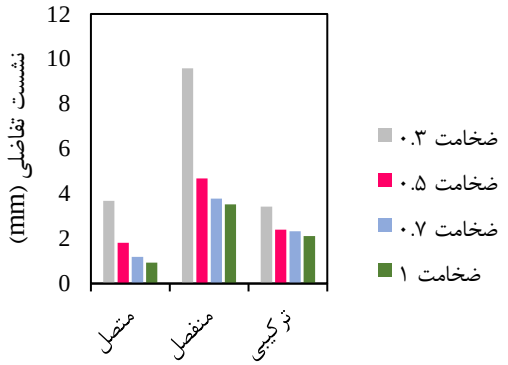
شکل ۱۸: نمودار نشست حداکثر رادیه-شمع در ضخامت‌های مختلف رادیه

با افزایش ضخامت پی، مقدار نشست حداکثر آن افزایش می‌یابد که البته این افزایش اندک است و خیلی در ضخامت‌های مختلف، قابل‌توجه نیست. سیستم متصل در ضخامت‌های گوناگون نسبت به سایر سیستم‌ها بیشترین مقدار نشست را داشته است. سیستم منفصل و ترکیبی، نشستی بیش از این مقدار برای سیستم متصل ایجاد کرده‌اند. در مجموع، این مسئله نشان می‌دهد به‌کارگیری شمع‌ها به‌صورت منفصل از رادیه یا ترکیبی، برای کاهش نشست متوسط پی مفید واقع نشده است.

همچنین در میان سیستم‌های مرکب موردنظر، نشست تفاضلی در سیستم منفصل با توجه به ایجاد فاصله بین شمع‌ها و پی، بیشتر از سایر سیستم‌ها است. بر این اساس هرچه شمع‌ها از پی گسترده فاصله گرفته، در عمق خاک پیشروی کنند، سبب می‌شود خاک در قسمت زیر رادیه که تراکم پایین‌تری نسبت به خاک‌های عمیق‌تر دارد، شمع در این قسمت‌ها نبوده، نشست بیشتری ایجاد شود.



شکل ۱۹: نمودار نشست متوسط رادیه-شمع در ضخامت‌های مختلف رادیه



شکل ۲۰: نمودار نشست تفاضلی رادیه-شمع در ضخامت‌های مختلف رادیه

۵- نتیجه گیری

- نشست حداکثر پی در سیستم مرکب متصل با آرایش یکنواخت شمع‌ها کمترین مقدار بوده، اختلاف نشست در نقاط مختلف پی با آرایش‌های متمرکز و لوزی‌شکل شمع‌ها (آرایش‌های متمرکز) کاهش یافته است.

- بیشترین مقدار نشست در پی با سیستم مرکب منفصل و اتخاذ آرایش یکنواخت شمع‌ها رخ داده است. آرایش‌های متمرکز و لوزی‌شکل، سبب کاهش تفاضل نشست در نقاط مختلف پی شده، کاهش نشست‌های غیر یکنواخت پی را موجب گردیده است.

- آرایش‌های یکنواخت و قطری شمع‌ها در سیستم مرکب ترکیبی، سبب عملکرد مثبت سیستم در کاهش نشست حداکثر پی شده است. نشست تفاضلی پی با آرایش متمرکز شمع‌ها، کمترین مقدار بوده است.

- استفاده از شمع‌های متصل به رادیه و منفصل از آن به طور هم‌زمان در زیر پی (سیستم ترکیبی)، باعث عملکرد بسیار مناسب سیستم مرکب در کاهش نشست حداکثر پی و کاهش نشست‌های غیریکنواخت پی شده است.

- همچنین مشخص شد استفاده از شمع‌های طویل در مرکز و شمع‌های کوتاه‌تر در پیرامون پی، سبب کاهش نشست حداکثر و نشست‌های غیریکنواخت پی شده است.

- افزایش ضخامت پی باعث ازدیاد نشست حداکثر پی و نشست متوسط پی گردید است. عمده آثار مثبت افزایش ضخامت پی، کاهش نشست‌های غیریکنواخت پی است.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[۱] ا. اسلامی، م.م. رنجبر، ط. ریاضی و م. ویس کرمی، پی‌های گسترده؛ تحلیل، طراحی و عملکرد، انتشارات دانشگاه گیلان، ایران، ۱۳۸۵.

[۲] م. حسن‌آبادی، ع. حداد و ح. نادرپور، «استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در تخمین ظرفیت باربری شالوده‌های سطحی واقع بر بسترهای چندلایه»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۹، شماره ۲۴، ۱۳۸۸، صفحه ۶۵-۸۲.

[۳] ح. غلامی و ا. حسینی‌نیا، «تعیین ضرایب ظرفیت باربری شالوده‌های حلقوی به کمک روش خطوط مشخصه تنش»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۴، شماره ۴۶، ۱۳۸۸، صفحه ۶۱-۷۳.

[4] M.F. Randolph, “Design Methods for Pile Groups and Piled Rafts”, Paper presented at the 13th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (ICSMFE), 1994.

[5] K. Horikoshi and M.F. Randolph, "A Contribution to the Optimum Design of Piled Rafts", Geotechnique, Vol. 48, No. 2, 1998, pp. 301-317.

[6] L. Zeevaert, “Compensated Friction-pile Foundation to Reduce the Settlement of Buildings on Highly Compressible Volcanic Clay of Mexico City”, Paper presented at the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (ICSMFE), London, 1957.

[7] J.B. Burland, B.B. Broms and V.F.B. de Mello, “Behavior of Foundations and Structures”, Paper presented at the 9th ICSMFE, Tokyo, 1978.

[8] G. Price and I.F. Wardle, "Monitoring of Load Sharing Between Piles and Raft", Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 80, No. 6, 1986, pp. 1505-1518.

[9] E. Franke, “Measurements Beneath Piled Rafts”, Paper presented at the ENPC Conference, Paris, 1991.

[10] H.G. Poulos, J.C. Small, L.D. Ta, J. Sinha and L. Chen, “Comparison of some Methods for Analysis of Piled Rafts”, Paper presented at the 14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Hamburg, 1997.

[۱۱] م. غنی‌زاده، ع. سروقدمقدم و م. فرزام، «تأثیر بار محوری و مشخصات مصالح بر عملکرد لرزه‌ای دیوار برشی کوتاه»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۵، شماره ۴۸، ۱۳۸۸، صفحه ۱۲۵-۱۳۷.

[۱۲] غ. شفابخش و ا. مهرابی، «تحلیل عددی روسازی انعطاف‌پذیر راه به روش میکروسازه‌ای»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۳، شماره ۴۰، ۱۳۸۸، صفحه ۵۹-۶۷.

[13] G. Russo and C. Viggiani, "Factors controlling soil-structure interaction for piled rafts. In:Darmstadt Geotechnics", Darmstadt: Darmstadt University of Technology, 1998, pp. 297–322.

[14] K. Horikoshi and M.F. Randolph, "Estimation of overall settlement of piled rafts", Soils and Foundations, Vol. 39, No. 2, 1999, pp. 59–68.

[15] H.G. Poulos, "Piled raft foundations: design and application", Geotechnique, Vol. 51, No. 2, 2001, pp. 95–113.

[16] A. Mandolini, “Design of piled raft foundations: practice and development”, In: The4th Intl. Seminar on Bored and Auger Piles, 2003, pp. 59–82.

[17] M.F. Randolph, "Science and empiricism in pile foundation design", Geotechnique, Vol. 53, No. 10, 2003, pp. 847–75.

www.SID.ir

Archive of SID

[18] M.F. Randolph, M.B. Jamiolkowski and L. Zdravkovic, “Load carrying capacity of foundations. In: Jardine RJ, Potts DM, Higgins KG, editors”, Advances in Geotechnical Engineering-The Skempton Conference. London: Thomas Telford Limited, 2004, pp. 207–240.

[19] F. Badelow, H.G. Poulos, J.C. Small and P. Moyes, “Economic foundation design for tall buildings. In Proc”, 10th Int. Conf. on Piling and Deep Foundations, Amsterdam, Netherlands, 2006.

[20] L. De Sanctis and A. Mandolini, "Bearing capacity of piled rafts on soft clay soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol.132, No. 12, 2006, pp. 1600-1610.

[21] L. De Sanctis and G. Russo, "Analysis and performance of piled rafts designed using innovative criteria", Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, Vol. 134, No.8, 2008, pp. 1118-1128.

[22] B. El-Garhy, A. Abdel Galil, A.F. Youssef and M. Abo Raia, "Behavior of Raft on Settlement Reducing Piles: Experimental Model Study", Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 5, No. 5, 2013, pp. 389-399.

[23] I.H. Wong, M.F. Chang and X.D. Cao, “Raft Foundations with Disconnected Settlement–Reducing Piles”, In: Hemsley JA, editor. Design Application of Raft Foundations, Telford, 2000, 469-486.

[24] J.A. Hooper, “Review of Behaviour of Piled Raft Foundations”, London: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), 1974.

[۲۵] س. صالحی ملکشاه و ا. اسلامی، «عملکرد ژئوتکنیکی سیستم رادیه‌مرکب با ملاحظهٔ متغیرهای شمع‌های منفصل»، مجله مهندسی عمران شریف، دوره ۲-۲۹، شماره ۴، ۱۳۹۲، صفحه ۳۷-۴۴.

[26] F. Tradigo, F. Pisanò and C. Di Prisco, (2016). "On the Use of Embedded Pile Elements for the Numerical Analysis of Disconnected Piled Rafts", Journal of Computers and Geotechnics, 72, 2016, pp.89-99.

[27] O. Reul and M.F. Randolph, "Piled Rafts in Overconsolidated Clay: Comparison of In situ Measurements and Numerical Analyses", Journal of Geotechnique, Vol. 53, No. 3, 2003, pp. 301–315.

[28] S. Lee and J.S Moon, "Effect of Interactions Between Piled raft Components and Soil on Behavior of Piled Raft Foundation", KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 21, No. 1, 2016, pp. 243-252.

[29] Plaxis 3D Foundation version 1.6 Reference Manual, Delft University of Technology & PLAXIS B.V., 2006.

[30] E.Y.N. Oh, M. Huang, C. Surarak, R. Adamec and A.S. Balasurbamaniam, “Finite element modelling for piled raft foundation in sand”, In Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction (EASEC-11)“Building a Sustainable Environment”, Taipei, Taiwan, Vol. 8, 2008.

www.SID.ir