دانشگاه صنعتی (شریف) بابل
دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته خاک و پی

موضوع:

بررسی اصطکاک جداررریز شمع در ماسه بر حسب عمق سواحل خزر(سرخرود)

استاد راهنما:

دکتر عیسی شوش‌پاشا

استاد مشاور:

مهندس نادر روشن

نام دانشجو:

بهزاد سعیدی

تابستان 1392

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول –دیباچه	1
1-1) مقدمه	1
2-1) مفاهیم‌کلی	3
3-1) اهداف	3
4-1) ساختار پژوهش	4
فصل دوم- مروری بر منابع علمی	5
1-2) مقدمه	5
2-2) شمع‌های بتنی	6
2- 3) نصب یا اجرای شمع	10
2-4) معضلات اجرای شمع‌ها	12
2- 5) فرآیند تعیین پارامترهای مورد نیاز جهت طراحی شمع‌ها	12
2-5-1) حفرگمانه	13
2-5-2) آزمایش صحرایی	13
2-6) اثر حفاری شمع‌های بتنی درجا در ماسه	14
2-7) شمع تحت بار محوری فشاری	15
2-8) ظرفیت محوری فشاری شمع	16
2-9) مقاومت اصطکاکی یا جداری شمع در فشار	17
2-9-1) روش β براساس تنش مؤثر یا مقاومت زهکشی شده	17
2-9-2) روشα براساس تنش کل یا مقاومت زهکشی نشده	18
2-9-3) روش λ	18
2-10) استفادهٔ مستقیم از نتایج آزمایش‌های درجا مانند (CPT، SPT)	19

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
2-10-1) استفاده از نتایج SPT	20
2-10-2) استفاده از نتایج CPT	22
2-11) روش‌های دینامیکی	24
2-11-1) روش‌های کوبش شمع	26
2-11-2) روش تحلیل معادلهٔ موج	26
2-11-3) آزمایش دینامیکی شمع- PDA	26
2-11-4) روش انطباق سیگنال- CAPWAP	27
2-12) مقاومت اصطکاکی شمع در خاک‌های ماسه‌ای	27
2-13) بررسی رفتار فصل مشترک خاک‌های دانه‌ای و پوسته شمع	36
2-14) مفهوم عمق بحرانی	38
2- 15) آزمایش بارگذاری استاتیکی فشاری شمع‌ها	41
2-15-1) نحوه انجام آزمایش بارگذاری استاتیکی شمع	43
2-15-2) ارائه نتایج حاصل از آزمایش بارگذاری و تخمین بار نهایی	45
2-15-3) خطاهای موجود در نتایج آزمایش بارگذاری	49
فصل سوم- معرفی منطقه مورد مطالعه، نرم‌افزار مورد استفاده و مراحل انجام آزمایش	51
3-1) مقدمه	51
3-2) معرفی محل انجام آزمایش و ملاحظات زمین‌شناسی	52
3-3) آزمایش‌های شناسایی خاک	53
3-4) احداث شمع‌ها	53

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
3-4-1) حفاری شمع‌ها	54
3-4-2) بتن‌ریزی شمع‌ها	59
3- 5) آزمایش بارگذاری فشاری شمع‌ها در محل	63
3-5-1) تجهیزات انجام آزمایش در محل	64
3-5-2) نحوه انجام آزمایش در محل	67
3-5-3) نکات ایمنی لازم در این تحقیق	68
3-6) ارزیابی رفتار شمع‌های بتنی درجا در منطقه مورد مطالعه	68
3-7)معرفی نرم‌افزار مورد استفاده	69
3-7-1) منوهای اصلی موجود در نرم‌افزار	71
3-7-2) مکانیزم استفاده از نرم‌افزار	71
3-7-2-1) ایجاد شبکهٔ گره ای تفاضل محدود (مش‌بندی)	72
3-7-2-2) تخصیص رفتار و خصوصیات مصالح	72
3-7-2-3) شرایط مرزی	73
3-7-2-4) شرایط اولیه	73
3-7-2-5) تحلیل استاتیکی مدل	74
فصل چهارم- ارائه نتایج و تجزیه وتحلیل اطلاعات	75
4-1) مقدمه	75
4-2) نتایج آزمایش‌های شناسایی خاک مورد مطالعه	76
4-3) نتایج آزمایش بارگذاری شمع‌ها	79
4-4) تصحیح منحنی های بارگذاری جهت انجام آنالیز	80
4- 5) تعیین مقاومت اصطکاکی نهایی شمع‌ها با استفاده از منحنی بار- نشست	80

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
4-6) مقایسه ظرفیت اصطکاکی شمع‌ها با نتایج حاصل از روش‌های موجود	85
4 -6-1) بررسی اثر $k \tan\delta$ و L_c روی مقاومت اصطکاکی شمع‌ها	88
4-6-2) تعیین $k \tan\delta$ و L_c/d با کمک نتایج آزمایش بارگذاری	89
4-7) بررسی نشست متناظر با مقاومت اصطکاکی بسیج شده شمع ها	96
4-8) آنالیز عددی رفتار اصطکاکی شمع در خاک ماسه‌ای(مطالعه موردی)	97
4-8-1) اعتبارسنجی کار عددی	97
4-8-2) فرآیند مدل‌سازی عددی	99
4-8-3) نتایج مدل‌سازی عددی	101
4-8-4) بررسی مقاومت اصطکاکی شمع با طول	104
4-8-5) تاثیر زبری جداره شمع بر روی ضریب فشار جانبی خاک	105
فصل پنجم – جمع بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادها	109
5-1) مقدمه	109
5-2) خلاصه موضوع و جمع‌بندی	110
5-3) نتیجه‌گیری	111
5-4) پیشنهادات	112
پیوست1- منحنی‌های آزمایش بارگذاری شمع	113
مراجع	121
چکیده انگلیسی	125

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل 2-1- مراحل اجرای شمع‌های بتنی درجا	7
شکل 2-2- شمع‌های درجاریز	9
شکل2-3- نمودار تعادل نیروها برای شمع تحت بار محوری فشاری	16
شکل2-4- منحنی بار – تغییر مکان برای شمع تحت بار محوری	16
شکل 2-5- (a، b، c) مقادیر $k \tan \phi_a$ و Z_c/d برای شمع در ماسه	34
شکل 2- 6- نمایش تغییرات مقاومت اصطکاکی با عمق	39
شکل 2- 7- تغییرات مقاومت اصطکاکی بر واحد سطح شمع(ib/in^2) با عمق	40
شکل 2-8- مقاومت اصطکاکی جدار(kPa)	40
شکل2-9- نحوه اعمال بار به تک شمع توسط جک هیدرولیک	42
شکل2-10- بارگذاری شمع فشاری با کمک سربار	44
شکل 2-11- تعیین بار نهایی با استفاده از روش هانسن	46
شکل2-12- روش ترسیم یک خط مماس و ترسیم دو خط مماس	48
شکل2-13- تعیین بار نهایی به روش وندروین	48
شکل2-14- انواع عوامل تولید خطا در نتایج آزمایش بارگذاری	49
شکل2- 15- ضریب تصحیح نشست تکیه گاه‌ها طبق پیشنهاد پولوس و دیویس	50
شکل 3-1- لوله‌های PVC جهت حفاری شمع‌ها	54
شکل 3-2- هدایت لوله فولادی به درون غلاف جهت حفاری	55
شکل 3-3- نحوه حفاری شمع‌ها	56

فهرست اشکال

عنوان | صفحه

شکل 3- 4- خروج لوله فولادی جهت تخلیه و نمونه‌گیری 57

شکل 3- 5- نمونه‌های گرفته شده از خاک 57

شکل 3- 6- پایان عملیات حفاری 58

شکل 3- 7- گذاشتن یونولیت درون غلاف 59

شکل 3- 8- بتن‌ریزی با بتونیر 60

شکل 3- 9- آزمایش اسلامپ بتن 60

شکل 3-10- پایان عملیات خارج کردن غلاف 62

شکل 3-11- نحوه انتقال وزنه‌ها توسط لودر 64

شکل 3-12- نحوه قرارگیری دو وزنه روی تیر ورق آزمایش بارگذاری شمع 65

شکل 3-13- جک هیدرولیکی مورد استفاده 66

شکل 3-14- گیج‌های اندازه‌گیری جابجایی شمع 67

شکل 4-1- آزمایش دانه‌بندی خاک(روش خشک) 77

شکل 4-2- آزمایش دانه‌بندی خاک(روش خشک) 77

شکل 4-3- آزمایش تراکم استاندارد برای عمق 1متری 78

شکل 4-4- آزمایش تراکم استاندارد برای عمق 2متری 78

شکل 4-5- نمودار تغییرات بار- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری برای شمع B_3(میانگین گیج‌ها) 80

شکل 4-6- مقاومت اصطکاکی حاصل از آزمایش بارگذاری برای شمع‌های گروه A 83

شکل 4-7- مقاومت اصطکاکی حاصل از آزمایش بارگذاری برای شمع‌های گروه B 83

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل4-8- مقاومت اصطکاکی حاصل از آزمایش بارگذاری برای شمع‌های گروه C 84

شکل4-9- مقاومت اصطکاکی واحد سطح شمع‌ها بر حسب طول برای قطرهای مختلف 84

شکل4-10- مقاومت اصطکاکی واحد سطح شمع‌ها بر حسب طول برای قطرهای مختلف (با لحاظ کردن وزن) 85

شکل4-11- مقایسه ظرفیت اصطکاکی بدست آمده از روابط تئوری با نتایج حاصل از آزمایش برای شمع‌های گروه A 86

شکل4-12- مقایسه ظرفیت اصطکاکی بدست آمده از روابط تئوری با نتایج حاصل از آزمایش برای شمع‌های گروه B 87

شکل4-13- مقایسه ظرفیت اصطکاکی بدست آمده از روابط تئوری با نتایج حاصل از آزمایش برای شمع‌های گروه C 87

شکل4-14- نمودارتغییرات مقاومت اصطکاکی نهایی شمع‌ها بر حسب L_c/d 89

شکل4-15- سطح مربوط به نمونه‌ای از اسلامپ 8 90

شکل4-16- سطح مربوط به نمونه‌ای از اسلامپ 12 90

شکل4-17- سطح مربوط به نمونه‌ای از اسلامپ 16 90

شکل4-18- سطح مربوط به نمونه‌ای از اسلامپ 20 90

شکل4-19- مقایسه مقادیر ظرفیت باربری اصطکاکی پیش بینی شده و نتایج آزمایش بارگذاری 95

شکل4-20- مقایسه بین مقادیر $k\tan\delta$ بدست آمده از نتایج آزمایش بارگذاری و روش‌های تئوری 95

شکل4-21- نمودار تغییرات مقاومت اصطکاکی نهایی بر حسب نشت نرمالیزه شده بر حسب قطر شمع 97

شکل4-22- مقایسه منحنی بار- نشست حاصل از آنالیز عددی با آزمایشگاهی 99

شکل4-23- مش‌بندی مدل پیش از اعمال بار 100

شکل4-24- منحنی تغییرات مقاومت اصطکاکی در برابر عمق شمع 102

فهرست اشکال

عنوان | صفحه

شکل4-25- کانتور نشست اطراف شمع برای بار500KN 103

شکل4-26- کانتور نشست اطراف شمع برای بار800KN 103

شکل4-27- کانتور نشست اطراف شمع برای بار1100KN 103

شکل4-28- منحنی تغییرات مقاومت اصطکاکی بر حسب نشست سر شمع 104

شکل4-29- نمودار تغییرات ضریب فشار جانبی خاک در برابر طول شمع 106

شکل4-30- مقایسه بین نتیجه آنالیز عددی و تئوری مقدار ضریب فشار جانبی حدفاصل زبر 107

شکل4- 31- تغییرات ضریب فشار جانبی خاک با درصد زبری پوسته شمع در عمق‌های مختلف 108

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول2-1- توضیحات مربوط به شمع‌های درجاریز بالا	10
جدول2-2- خلاصه مشخصات متعارف شمع‌های مختلف	11
جدول2-3- خلاصه مشخصات روش‌های تعیین مقاومت اصطکاکی شمع‌ها به کمک نتایج SPT	21
جدول2-4- روش‌های متداول تعیین ظرفیت باربری اصطکاکی با استفاده از مقادیر اصطکاکیCPT	23
جدول2-5- مقادیر β برای شمع‌های درجا در خاک‌های مختلف طبق آیین‌نامه کانادا	31
جدول3-1- مشخصات شمع‌های مورد آزمایش	63
جدول4-1- نتایج آزمایش‌های طبقه‌بندی خاک محل	79
جدول4-2- میانگین نتایج آزمایش‌های طبقه‌بندی خاک محل	79
جدول4-3- مقادیر مقاومت اصطکاکی نهایی حاصل از آزمایش بارگذاری	82
جدول4-4- نرخ افزایش مقاومت اصطکاکی بر حسب افزایش طول	85
جدول4- 5 مقادیر بدست آمده fs برای شمع‌های گروه A	91
جدول4- 6 مقادیر بدست آمده fs برای شمع‌های گروه B	92
جدول4- 7 مقادیر بدست آمده fs برای شمع‌های گروه C	92
جدول4- 8 مقادیر بدست آمده L_C برای شمع‌های گروهA	93
جدول4- 9 مقادیر بدست آمده L_C برای شمع‌های گروهB	93
جدول4- 10 مقادیر بدست آمده L_C برای شمع‌های گروهC	93
جدول4-11- مقایسه مقادیر ظرفیت باربری اصطکاکی پیش‌بینی شده و نتایج آزمایش بارگذاری	94
جدول4- 6- مشخصات مورد نیاز برای آنالیزعددی	98
جدول4- 7- پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی عددی	101
جدول4- 8- نرخ افزایش مقاومت اصطکاکی بر حسب افزایش طول	105

لیست علائم و اختصارات

آزمایش نفوذ استاندارد	SPT
تنش موثر قائم	σ'_v
تنش قائم کل	σ_v
زاویه اصطکاک داخلی	φ
زاویه اصطکاک زهکشی شده داخلی	φ'
چسبندگی خاک	c
تراکم نسبی خاک	Dr
عدد نفوذ استاندارد	N
مدول الاستیسیته خاک	E
نسبت پواسون	υ
ظرفیت باربری نهایی شمع	Q_u
ظرفیت باربری نهایی نوک شمع	Q_b
ظرفیت باربری نهایی جداره شمع	Q_s
وزن شمع	w
مساحت نوک شمع	A_b
وزن مخصوص	γ
تنش برشی مقاوم جداره شمع	τ
چسبندگی جداره شمع	c
تنش عمودی جداره شمع	σ_n
زاویه اصطکاک بین جداره شمع و خاک	δ
ضریب فشار جانبی خاک	k
محیط شمع	p

طول شمع	L
عمق	H
عمق بحرانی	L_c
فشار اتمسفریک	P_a
تنش موثر میانگین	ρ'
مساحت جداره شمع	A_s
مدول الاستیسیته شمع	E_p
قطر شمع	d
طول مدفون شمع	D_f
آزمایش با بار دائمی آهسته	SM
آزمایش با نرخ نفوذ ثابت	CRP
نشست	S
نسبت بیش تحکیمی	OCR
آزمایش نفوذ مخروط	CPT
مقاومت نفوذ مخروط	q_c
ضریب اطمینان	F.S
بار وارده به شمع	P
درصد رطوبت خاک	ω
چگالی توده‌های جامد خاک	G_S
وزن مخصوص خاک	γ
وزن شمع	W
تنش برشی بر واحد سطح جداره شمع	f_s
سختی برشی سطح مشترک خاک و شمع	ks
سختی نرمال سطح مشترک خاک و شمع	k_n

مدول بالک خاک	k
مدول برشی خاک	G

فصل اول

دیباچه

1-1) مقدمه

استفاده از شمع به عنوان یکی از انواع شالوده‌ها از گذشته‌های بسیار دور مورد توجه بشر بوده است. با گذشت زمان تنوع شمع‌ها و نیز روش احداث آن‌ها توسعه فراوانی پیدا نمود. از این‌رو امروزه مهندسین در پروژه‌های مختلف گزینه‌های متفاوتی را پیش‌رو دارند و انتظاری که از مهندسین در طراحی و ساخت شمع‌ها وجود دارد، این است که سازه‌ای ایمن در برابر همه بارهای موجود و احتمالی آینده ساخته شود. بارهای متعارف جهت طراحی شمع‌ها، شامل بارهای ثقلی، بار جانبی زلزله، بار باد، بار برف و..... می‌باشد. این بارها در همه دنیا محدوده مشخصی دارند و در واقع محدوده آن‌ها قابل پیش‌بینی است. اما هنگامی که شمع‌ها با طبیعت پیوند می‌خورند پیچیدگی‌های طبیعت را به دنبال می‌آورد، چون دیگر نمی‌توان برای طبیعت محدوده تعیین کرد و رفتار آن‌ها در زمان بهره‌برداری قابل پیش‌بینی نیستند. در واقع به دلیل اینکه خاک‌ها توسط طبیعت ساخته می‌شوند و نه به دست بشر، تعیین مشخصات آن برای بشر پیچیده می‌باشد.

یکی از مهمترین معیار به‌کارگیری شمع در عمل، کنترل و محاسبه ظرفیت باربری شمع‌ها می‌باشد. برای تأمین ظرفیت باربری، باید ابعاد مناسبی برای شمع انتخاب شود. انتخاب نوع شالوده و ابعاد آن، هم به خصوصیات بارگذاری و هم به ویژگی‌های خاک وابسته است. این موضوع در هنگام مواجه با سازه‌های بلند که بارهای بیشتری را به همراه دارند بیشتر مورد توجه است و نمی‌توان دیگر به شالوده‌های سطحی اکتفا کرد و بایستی از شالوده‌های عمیق یا شمع‌ها استفاده کرد. شمع یک عنصر ساختمانی لاغر یا ستون‌های نسبتاً بلندی می‌باشد که برای انتقال بارهای ساختمانی به خاک‌های واقع در عمق زیر بستر ساختمان کار گذاشته می‌شود. بنا به تعریف نسبت عمق به پهنای شمع‌ها همواره بزرگتر از 10 است($D_f/b \geq 10$) و درغیر این صورت بایستی همانند پایه‌ها محاسبه و تحلیل شوند. پی‌های شمعی موقعی به‌کار می‌روند که:

- خاک نزدیک سطح زمین ظرفیت باربری کافی برای تحمل بارهای ساختمانی را نداشته باشد.
- نشست بر آورد شده خاک از حدود مجاز تجاوز کند.
- اختلاف نشست به خاطر تغییر جنس خاک یا غیریکنواختی بارهای ساختمانی بیش از اندازه باشد.

از طرفی تفاوت در خاک اطراف شمع، نوع شمع، نوع بارگذاری و روش احداث آن، روی ظرفیت باربری آن موثر است. ظرفیت باربری نهایی شمع‌ها وابسته به مقاومت نوک شمع و جداره شمع می‌باشد و از طرفی این دو خود تابع ابعاد شمع می‌باشند. با افزایش قطر و طول شمع مقاومت جداره و نوک شمع افزایش می‌یابد. سهم باربری نوک و جداره شمع تحت اثر بارگذاری به ابعاد و شکل شمع، نوع خاک و تغییرات آن، جنس شمع، نوع بارگذاری و مقدار آن وابسته است. زمانی که بار وارده منجر به گسیختگی خاک می‌شود، بار وارده را ظرفیت باربری نهایی شمع می‌نامند. در این لحظه سهم جداره به اندازه مقاومت برشی جداره شمع – خاک و سهم نوک به اندازه مقاومت خاک زیر شمع است.

اگر چه تا کنون مطالعات گسترده‌ای بر روی شمع‌ها صورت گرفته است اما برآورد صحیحی از تعیین ظرفیت نهایی شمع‌ها تاکنون صورت نگرفته است. عوامل بسیاری در ظرفیت باربری شمع‌ها موثر هستند و تشریح نحوه اثرگذاری هر یک از این عوامل به صورت تئوری کار بسیار دشواری است. چرا که بسیاری از این عوامل با یکدیگر در ارتباط بوده و بررسی اثر هر یک به تنهایی به معادلات پیچیده‌ای منجر خواهد شد که حل آنها به راحتی میسر نمی‌باشد. عواملی همچون خواص فیزیکی و مکانیکی خاک بر این مطالعات تاثیر گذاشته است. از دیگر عوامل، وجود خاکها با لایه‌های مختلف، وجود آب در اعماق مختلف زمین، رفتارهای پیچیده تنش و کرنش و عدم مدل‌سازی اندرکنش خاک و شمع می‌توان نام برد. استفاده از معادلات تجربی برای پیش‌بینی ظرفیت باربری شمع بطوری‌که کاملاً با نتایج آزمایشات همخوانی داشته باشد امکان پذیر نیست که علت این امر به دشواری‌های موجود در تعیین خصوصیت خاک نسبت داده می‌شود که پس از استقرار شمع تغییر می‌کند به علاوه تغییر پذیری خاک بصورت قائم و جانبی به همراه اندرکنش پیچیده شمع - خاک، مسئله دشواری را در تحلیل موفق آن ایجاد می‌کند. همچنین برای غلبه بر مشکلات موجود در رابطه با ارزیابی ظرفیت باربری شمع آزمایش‌های در محل، از قبیل آزمایش

نفوذ استاندارد(SPT)، آزمایش نفوذ مخروط(CPT) در موارد متعددی انجام می‌پذیرد اگرچه این آزمایشات تا حدودی شرایط طبیعی خاک را بیان می‌کنند اما محدودیت‌های بسیاری نیز دارند. در واقع روش‌های متعدد ارائه شده برای طراحی این شمع‌ها در واقع نشانگر این واقعیت است که هنوز انتخاب روش محاسبه یکی از بحث‌برانگیزترین مباحث موجود در زمینه طراحی شمع‌ها می‌باشند. باتوجه به هزینه‌های زیاد اجرای شمع‌ها، انتخاب هوشمندانه پارامترهای مناسب خاک، نوع شمع و روش اجرا می‌تواند باعث صرفه جویی‌های قابل ملاحظه‌ای گردد.

2-1) مفاهیم کلی

شمع‌ها شالوده‌هایی هستند که بارهای وارده از طرف ساختمان را به خاک منتقل می‌کنند. استفاده از شمع‌ها به دلیل ضعف باربری و نشست‌پذیری خاک بیشینه تاریخی بسیار دوری دارد. اگر چه تحقیقات متعددی(آزمایشگاهی، صحرایی، مطالعات تئوری) چه درگذشته و چه در حال حاضردر مورد نحوه طراحی و اجرای شمع‌ها انجام شده اما مکانیزم کار هنوز به طورکامل فهمیده نشده و هنوز هم ابهامات زیادی در این زمینه وجود دارد. به علت ناشناخته‌ها و عدم قطعیت‌های موجود در هنگام کار با بعضی از شرایط تحت‌الارضی، می‌توان طراحی شالوده‌های شمعی را یک هنر مهندسی در نظر گرفت تا علم مهندسی. از طرفی تمامی تحلیل‌های مربوط به شمع‌ها تقریبی هستند زیرا در نظر گرفتن تغییرات نوع خاک و اختلاف در کیفیت اجرای ساختمان، اگر غیر ممکن نباشد، مشکل است. حتی اگر بهترین کیفیت اجرا انجام پذیرد، اجرا شمع‌ها بدون استثنا مشخصات خاک را به طریقی تغییر می‌دهندکه حداقل، نمی‌توان آنها را در نظر گرفت. به طورکلی برای طراحی شمع‌ها بایستی ظرفیت باربری و نشست آن مورد بررسی قرار گیرد تا در هنگام استفاده و بهره‌برداری ازآن، نیازهای لازم (یعنی ظرفیت باربری بالا و نشست کمتر از مقدار مجاز) را تامین کند.

3-1) اهداف

ظرفیت باربری شمع را بوسیله روش‌های آنالیز استاتیکی، روش‌های دینامیکی، روش‌های مبتنی بر نتایج آزمایش‌های درجا و آزمایش بارگذاری شمع می‌توان تخمین زد. در این میان آزمایش بارگذاری شمع بهترین، دقیق‌ترین و قابل اعتمادترین روش تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها، در خاک‌های ماسه‌ای می‌باشد می‌باشد، زیرا ظرفیت باربری یک شمع را براساس شرایط واقعی و در محل تعیین می‌کند و در خاک‌های ریز دانه اشباع از دقت کمتری برخوردار می‌باشد.

تحلیل‌های تئوری رایج در زمینه طراحی شمع‌ها، مقاومت اصطکاکی جداری شمع‌ها را اغلب به یک مقدار ماکزیمم درعمقی که به اصطلاح عمق بحرانی نامیده می شود محدود می‌کنند. محققین معتقد بودند که مقاومت اصطکاکی جدار، با عمق شمع

افزایش پیدا کرده و درعمقی در حدود 10 تا 20 برابر قطر شمع به مقدار حداکثر خود می‌رسد و از آنجا به بعد ثابت می-ماند[1]. از این‌رو در این پژوهش سعی بر این است که، مقاومت اصطکاکی شمع‌های بتنی درجا در خاک ماسه‌ای، بااستفاده ازنتایج آزمایش بارگذاری محوری فشاری تعیین شده و سپس بااستفاده از آنالیز معکوس بر روی نتایج بدست آمده، پارامترهای، موثر بر مقاومت اصطکاکی شمع، شامل Lc/d و$k\tan\delta$ بدست آید..

4-1) ساختار پژوهش

ساختار کلی پژوهش دراین پایان‌نامه در پنج فصل گردآوری شده است. پس از فصل اول (دیباچه)، در فصل دوم به ارائه کلیات، روش‌های اجرایی، آزمایش انجام شده در آزمایشگاه، نتایج آن‌ها، روابط ارائه شده در مورد ظرفیت باربری اصطکاکی شمع‌ها، رفتار بار- نشست، رفتار شمع تحت بار محوری پرداخته می‌شود(متون فنی). در فصل سوم به روش انجام تحقیق و آزمایش و ابزار و نرم‌افزار مورد استفاده شده اشاره می‌شود. سپس در خصوص نحوه انجام آزمایش بارگذاری و روش‌های مختلف آن در محل توضیح داده می‌شود. در فصل چهارم به ارائه نتایج و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آزمایش بارگذاری و آنالیز عددی پرداخته خواهد شد. در انتها نیز در فصل پنجم به خلاصه پایان‌نامه و نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات پرداخته خواهد شد.

فصل دوم

مروری بر منابع علمی

2-1) مقدمه

شمع‌ها را می‌توان از دیدگاه‌های مختلفی از جمله جنس شمع‌ها، نحوه احداث شمع، میزان جابه جایی در خاک، عملکرد شمع از لحاظ باربری، ظرفیت شکل مقطع شمع، محیطی که شمع در آن کار گذاشته می‌شود، زاویه استقرار شمع، طول شمع، شرایط تحت‌الارضی، سطح آب زیرزمینی و سازه‌ای که شمع برای آن طراحی شده است تقسیم‌بندی نمود.
از لحاظ جنس، شمع‌ها به چهار دسته بتنی، فولادی، چوبی و یا ترکیبی از آنها تقسیم‌بندی می‌شوند. از لحاظ نحوه احداث یا به صورت کوبیدنی و یا اینکه با کمک حفاری و به صورت درجا احداث می‌شوند. از لحاظ میزان جابه جایی خاک، به شمع‌هایی با جابجایی زیاد، جابجایی کم و بدون جابجایی تقسیم می‌شوند. از نظر باربری به شمع‌هایی با باربری نوک و یا باربری جداره و یا ترکیب هر دو تقسیم می‌شوند. از نظر ظرفیت به ظرفیت بالا، متوسط و کم تقسیم می‌شوند. از نظر شکل مقطع شمع، به صورت مربعی، دایره ای، شش وجهی، هشت وجهی، مخروطی و..... تقسیم می‌شوند. از نظر محیطی که شمع در آن‌جا کار گذاشته می‌شود به خشکی، ساحل و دریا تقسیم می‌شوند. از نظر زاویه استقرار شمع، به شمع‌های قائم و یا مایل و از نظر طول به شمع‌های کوتاه و بلند تقسیم می‌شوند.

همان‌طور که گفته شد، شمع‌ها از نظر نوع باربری به شمع‌هایی با باربری نوک یا جداره و یا هر دو تقسیم می‌شوند. زمانی که شمع از یک لایه عبور کرده و نوک آن روی لایه دیگری بنشیند، به طوری که لایه زیرین نسبت به لایه روخیلی قوی‌تر باشد بیشتر بار وارده به شمع توسط نوک شمع تحمل می‌شود.

2-2) شمع‌های بتنی

در عمل شمع‌های بتنی به دو صورت مورد استفاده قرار می گیرد (الف) شمع‌های پیش ساخته[1] (ب) شمع‌های درجاریز[2]. شمع‌های پیش‌ساخته را می‌توان با استفاده از میلگردهای معمولی ساخت. مقطع آن‌ها به صورت مربع یا هشت ضلعی است. با پیش تنیده کردن این شمع‌ها می‌توان بر مقاومت خمشی و کششی آن‌ها افزود. در انتخاب طول این شمع‌ها باید دقت شود، چون بعد از رسیدن به عمق مورد نظر اگر ظرفیت باربری به مقدار مورد نظر نرسد، اضافه کردن طول آن با اتصالات مشکل است. میلگردها به منظور مقاوم نمودن شمع در مقابل خمش تولید شده در هنگام حمل و نقل، بلندکردن و اعمال نیروی جانبی به شمع و افزایش مقاومت فشاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. شمع‌های پیش‌ساخته در طول مورد نظر ساخته شده و تحت شرایط مرطوب به عمل می‌آیند تا به مقاومت مورد نظر برسند بعد از آن به محل مورد نظر حمل می‌شوند.

شمع بتنی درجا که نام‌های دیگر آن، شمع ساخته شده در محل، شمع ریختنی، شمع جایگزینی و شمع بدون تغییر مکان می‌باشد. به دلیل نامحدود بودن در قطر و عمق حفاری دارای بیشترین کاربرد و تنوع در بین تکنولوژی‌های اجرای پی-های عمیق می‌باشد.

شمع‌های بتنی درجاریز بدین صورت اجرا می‌شوند که ابتدا چاهی در زمین به وسیله دست یا ماشین‌های حفاری مثل اوگر و مته دورانی حفر می‌شود و سپس قفسه آرماتور درون چاه قرارداده شده و داخل آن با بتن پر می‌شود. بتن‌ریزی در محل حفاری شده شمع بصورت پیوسته و مداوم، به وسیله لوله مخصوص (ترمی) انجام می‌گیرد، بدین شکل که لوله‌های ترمی در متراژهای مختلف 2 الی 5 متری و قطر 10 الی 20 سانتیمتری را به اندازه عمق شمع به هم متصل نموده و سپس در داخل چاه حفاری کارگذاری می‌شود و در قسمت فوقانی آن یک قیف برای ورود بتن نصب می‌گردد حال شروع به ریختن بتن در قیف می‌کنیم و با بالا و پایین کردن لوله ترمی بوسیله جرثقیل بتن از لوله ترمی تخلیه و به درون چاه حفاری ریخته می‌شود. شکل(2-1) مراحل اجرای شمع بتنی درجاریز را نشان می‌دهد[7].

[1] Precast piles
[2] Cast in situ pile