



آنالیز دینامیکی پی‌های شمعی با استفاده از روشهای عددی

دانشجو:

مصطفی مؤمن نوروزانی

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی راه و ساختمان گرایش مکانیک خاک و پی

استاد راهنما:

دکتر محمد حسن بازیار

آذر ماه ۱۳۸۴

چکیده

استفاده روز افزون از شالوده های شمعی، دانش محدود و عدم قطعیت در پیش بینی رفتار اندرکنش خاک _ شمع تحت بارهای دینامیکی باعث توجه ویژه محققین به آنالیز پاسخ دینامیکی سیستمهای شالوده های شمعی شده است. موارد متعددی وجود دارد که در آن پاسخ محوری دینامیکی شمع یکی از موارد کلیدی در طراحی پی است. شالوده های شمعی ساختمانهای بلند، سکوهای ثابت ساحلی و پی ماشین آلات از مواردی است که پاسخ محوری دینامیکی شمع نقش مهمی دارد. در دو دهه اخیر، روشهای تحلیلی و عددی متعددی برای محاسبه پاسخ دینامیکی شالوده های شمعی بوجود آمده است.

در این تحقیق از نرم افزار FLAC3D برای ارزیابی پاسخ شمع استفاده شده است. در ابتدا، پاسخ اندازه گیری شده چند شمع تک تحت بار محوری استاتیکی با نتایج بدست آمده از نرم افزار FLAC3D مقایسه گردیده است. مشاهده می گردد که تطابق خوبی بین نتایج اندازه گیری شده و نتایج بدست آمده از آنالیز وجود دارد. در مرحله دوم، پاسخ دینامیکی شمع تک تحت بار محوری هارمونیک در سر آن با استفاده از نرم افزار FLAC3D و روشهای تحلیلی تعیین و مقایسه شده است. و در نهایت، پاسخ دینامیکی شمع تک برای بار، فرکانس، نسبت میرایی و نسبت طول به قطر شمع مقایسه شده است.

فهرست مطالب

۱	فصل ۱ کلیات
۲	۱-۱. مقدمه
۳	۲-۱. اهمیت مساله
۴	۳-۱. اهمیت تحقیق
۵	۴-۱. روش تحقیق
۸	فصل ۲ بررسی روشهای تحلیلی پاسخ دینامیکی شمع
۹	۱-۲. مقدمه
۱۰	۲-۲. روش تحلیل ساده شده سه مرحله‌ای
۱۲	۳-۲. تحلیل شمع تحت انتشار قائم موج S (پاسخ سینماتیکی)
۱۸	۴-۲. تحلیل شمع تحت بار هارمونیک جانبی در سر آن با استفاده از پی وینکلر
۲۴	۵-۲. روش تقریبی نواک برای ارتعاشات افقی
۲۶	۶-۲. تحلیل شمع تحت بار هارمونیک قائم در سر آن با استفاده از پی وینکلر
۳۱	۷-۲. روش تقریبی نواک برای ارتعاشات قائم
۳۶	۸-۲. آنالیز بر اساس پاسخ t-z و Q-z
۴۲	۱-۸-۲. موارد آنالیز شده
۴۳	۲-۸-۲. نتایج پاسخ t-z
۴۷	۳-۸-۲. نتایج پاسخ Q-z
۵۰	فصل ۳ معرفی نرم‌افزار FLAC3D
۵۱	۱-۳. مقدمه
۵۲	۲-۳. الگوریتم حل مسائل با نرم‌افزار FLAC3D
۵۸	۳-۳. مدل‌سازی شمع با استفاده از نرم‌افزار FLAC3D
۶۳	۴-۳. آنالیز دینامیکی با استفاده از نرم‌افزار FLAC3D
۶۵	۱-۴-۳. بارگذاری دینامیکی و شرایط مرزی
۶۹	۲-۴-۳. میرایی مکانیکی
۷۱	۳-۴-۳. انتشار امواج
۷۲	فصل ۴ آنالیز استاتیکی شمع با استفاده از نرم‌افزار FLAC3D
۷۳	۱-۴. مقدمه
۷۴	۲-۴. آنالیز حساسیت المان PileSEL

۳-۴	.....	آنالیز حساسیت المان Solid	۸۹
۴-۴	.....	آنالیز مورد مطالعاتی شمع بتنی با مقطع مربعی	۹۱
۵-۴	.....	آنالیز مورد مطالعاتی شمع فولادی با مقطع دایره	۹۸
۶-۴	.....	آنالیز مورد مطالعاتی شمع بتنی با مقطع دایره	۱۰۵

فصل ۵ آنالیز دینامیکی شمع با استفاده از نرم افزار FLAC3D

۱-۵	.....	مقدمه	۱۱۲
۲-۵	.....	مدلسازی شمع و محدودیت‌های آن در حالت دینامیکی	۱۱۲
۳-۵	.....	مدل شمع آنالیز شده و بررسی نکات مدلسازی دینامیکی	۱۱۳
۴-۵	.....	آنالیز اینرسیال شمع تحت بار محوری هارمونیک	۱۱۷
۱-۴-۵	.....	آنالیز دینامیکی شمع با استفاده از روشهای تحلیلی	۱۱۷
۲-۴-۵	.....	آنالیز دینامیکی شمع با استفاده از روش عددی (نرم افزار FLAC3D)	۱۲۲

فصل ۶ نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۱-۶	.....	نتیجه گیری	۱۴۰
۲-۶	.....	ارائه پیشنهادات	۱۴۶

فهرست مراجع

۱۴۷

فهرست اشکال

۱	فصل ۱ کلیات
۸	فصل ۲ بررسی روشهای تحلیلی پاسخ دینامیکی شمع
۱۰	شکل ۲-۱. شرح شماتیک آنالیز سه مرحله‌ای [Gazetas et al. , 1992]
۱۳	شکل ۲-۲. شرح شماتیک آنالیز سه مرحله‌ای موج S [Gazetas et al. , 1992]
۱۵	شکل ۲-۳. تغییرات Γ بر حسب فرکانس [Fan , et al. 1991]
۱۹	شکل ۲-۴. مدل دینامیکی وینکلر برای بارهای جانبی [Makris et al. , 1993]
	شکل ۲-۵. مدل تشعشی دو بعدی ؛ الف) مدل کرنش مسطح نواک [Novak et al 1978] ، ب) مدل کرنش
۲۲	مسطح ساده شده دوبری و گزتاس [Gazetas et al, 1984]
۲۷	شکل ۲-۶. مدل دینامیکی وینکلر برای بارهای قائم [Makris et al , 1993]
۳۱	شکل ۲-۷. یک نمونه از نمودار نیرو جابجایی [Badoni et al , 1997]
۳۴	شکل ۲-۸. مقادیر ثابت سختی و میرایی برای شمع با انتهای گیردار [Novak et al , 1978]
۳۴	شکل ۲-۹. مقادیر ثابت سختی و میرایی برای شمع شناور [Novak et al , 1978]
	شکل ۲-۱۰. پارامترهای سختی و میرایی برای شمعهای شناور در محیط هموزن در حالت (Ep/Gs = 1500)
۳۵	[Novak et al , 1994]
	شکل ۲-۱۱. پارامترهای سختی و میرایی برای شمعهای شناور در محیط هموزن در حالت (Ep/Gs = 300)
۳۶	[Novak et al , 1994]
۳۷	شکل ۲-۱۲. مدل آنالیز شده [Takaaki Kagawa, 1991]
	شکل ۲-۱۳. پاسخ محوری نرمالیزه شده شمع a,b شمع انعطاف‌پذیر c,d شمع صلب [Takaaki Kagawa, 1991]
۳۹	
۴۳	شکل ۲-۱۴. پروفیل‌های مختلف خاک مورد استفاده در آنالیز [Takaaki Kagawa, 1991]
۴۴	شکل ۲-۱۵. ضریب واکنش خاک در حالت استاتیکی [Takaaki Kagawa, 1991]
۴۶	شکل ۲-۱۶. تغییرات ضریب واکنش خاک با فرکانس [Takaaki Kagawa, 1991]
۴۶	شکل ۲-۱۷. پارامترهای s_1, s_2, s_3 برای مقاومت جداره [Takaaki Kagawa, 1991]
۴۷	شکل ۲-۱۸. تغییرات فرکانس با ضرایب نرمالیزه شده واکنش خاک $\bar{\delta}_1$ و $\bar{\delta}_2$ [Takaaki Kagawa, 1991]
۴۸	شکل ۲-۱۹. ضریب واکنش استاتیکی خاک برای مقاومت نوک [Takaaki Kagawa, 1991]
۴۹	شکل ۲-۲۰. پارامترهای T_1, T_2, T_3 برای مقاومت نوک شمع [Takaaki Kagawa, 1991]
۵۰	فصل ۳ معرفی نرم افزار FLAC3D
۵۲	شکل ۳-۱. پنجره نرم افزار FLAC3D
۵۴	شکل ۳-۲. الگوریتم مدلسازی در FLAC3D

۶۰.....	شکل ۳-۳. مدل شمع با المان solid
۶۰.....	شکل ۳-۴. المان Interface
۶۱.....	شکل ۳-۵. درجات آزادی المان pilesele
۶۲.....	شکل ۳-۶. شمع با المان pilesele
۶۷.....	شکل ۳-۷. مرزهای مدل دینامیکی
۶۸.....	شکل ۳-۸. مرزهای free_field

فصل ۴ آنالیز استاتیکی شمع با استفاده از نرم افزار FLAC3D ۷۲

۷۷.....	شکل ۴-۱. تغییرات جابجایی با $cs_nk = 1.3e11$ Pa برای cs_nk
۷۸.....	شکل ۴-۲. تغییرات جابجایی با $cs_nk = 1.3e11$ Pa برای cs_nk
۷۹.....	شکل ۴-۳. تغییرات جابجایی با $cs_nk = cs_nk$
۸۱.....	شکل ۴-۴. منحنی بار نشست برای $cs_sfric = 25$
۸۲.....	شکل ۴-۵. منحنی بار نشست برای $cs_sfric = 20$
۸۲.....	شکل ۴-۶. منحنی بار نشست برای $cs_sfric = 15$
۸۳.....	شکل ۴-۷. مقایسه میزان نشست با زاویه cs_sfric برای بار ۵۰۰ نیوتن
۸۳.....	شکل ۴-۸. مقایسه ظرفیت باربری با زاویه cs_sfric
۸۶.....	شکل ۴-۹. ظرفیت باربری و ابعاد شبکه در حالت ۱
۸۶.....	شکل ۴-۱۰. ظرفیت باربری و ابعاد شبکه در حالت ۲
۸۷.....	شکل ۴-۱۱. ظرفیت باربری و ابعاد شبکه در حالت ۳
۸۷.....	شکل ۴-۱۲. ظرفیت باربری و ابعاد شبکه در حالت ۴
۸۸.....	شکل ۴-۱۳. ظرفیت باربری و ابعاد شبکه در حالت ۵
۸۸.....	شکل ۴-۱۴. ظرفیت باربری و ابعاد شبکه در حالت ۶
۹۰.....	شکل ۴-۱۵. تغییرات جابجایی با $Kn = Ks$
۹۱.....	شکل ۴-۱۶. پروفیل خاک و موقعیت قرار گیری شمع
۹۳.....	شکل ۴-۱۷. ناحیه آنالیز شده
۹۴.....	شکل ۴-۱۸. میزان نشست برای بار ۵۰ کیلو نیوتن
۹۵.....	شکل ۴-۱۹. میزان نشست برای بار ۱۰۰ کیلو نیوتن
۹۵.....	شکل ۴-۲۰. میزان نشست برای بار ۲۰۰ کیلو نیوتن
۹۶.....	شکل ۴-۲۱. میزان نشست برای بار ۳۰۰ کیلو نیوتن
۹۶.....	شکل ۴-۲۲. میزان نشست برای بار ۴۰۰ کیلو نیوتن
۹۷.....	شکل ۴-۲۳. میزان نشست برای بار ۵۰۰ کیلو نیوتن
۹۸.....	شکل ۴-۲۴. مقایسه بین مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده
۱۰۰.....	شکل ۴-۲۵. المان PileSEL و ناحیه آنالیز شده

- شکل ۴-۲۶. میزان نشست و توزیع نیروی محوری در شمع برای بار ۴۵۰ کیلو نیوتن ۱۰۱
- شکل ۴-۲۷. میزان نشست و توزیع نیروی محوری در شمع برای بار ۸۹۰ کیلونیوتن ۱۰۲
- شکل ۴-۲۸. میزان نشست و توزیع نیروی محوری برای بار ۱۳۳۵ کیلو نیوتن ۱۰۲
- شکل ۴-۲۹. میزان نشست و توزیع نیروی محوری برای بار ۱۵۵۷ کیلو نیوتن ۱۰۳
- شکل ۴-۳۰. میزان نشست و توزیع نیروی محوری برای بار ۱۷۸۰ کیلو نیوتن ۱۰۳
- شکل ۴-۳۱. مقایسه بین مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده ۱۰۴
- شکل ۴-۳۲. شبکه آنالیز شده و موقعیت قرار گیری شمع ۱۰۶
- شکل ۴-۳۳. توزیع نیروی محوری در شمع و نشست بالای شمع برای بار ۵۰۰ کیلونیوتن ۱۰۷
- شکل ۴-۳۴. توزیع نیروی محوری در شمع و نشست بالای شمع برای بار ۱۰۰۰ کیلونیوتن ۱۰۷
- شکل ۴-۳۵. توزیع نیروی محوری در شمع و جابجایی در سر شمع برای بار ۱۵۰۰ کیلونیوتن ۱۰۸
- شکل ۴-۳۶. توزیع نیروی محوری در شمع و جابجایی در سر شمع برای بار ۲۰۰۰ کیلونیوتن ۱۰۸
- شکل ۴-۳۷. توزیع نیروی محوری در شمع و جابجایی در سر شمع برای بار ۲۵۰۰ کیلونیوتن ۱۰۹
- شکل ۴-۳۸. توزیع نیروی محوری در شمع و جابجایی در سر شمع برای بار ۳۰۰۰ کیلونیوتن ۱۰۹
- شکل ۴-۳۹. منحنی بار - نشست مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده ۱۱۰

فصل ۵ آنالیز دینامیکی شمع با استفاده از نرم افزار FLAC3D ۱۱۱

- شکل ۵-۱. مرزهای Free_Field انتخاب شده برای مدل ۱۱۴
- شکل ۵-۲. پلان مدل آنالیز شده ۱۱۵
- شکل ۵-۳. نمای مدل آنالیز شده ۱۱۵
- شکل ۵-۴. نمودار تغییر مکان نقاط مختلف شمع در اعماق ۰، ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴ متری در فرکانس ۳۰ هرتز ۱۲۴
- شکل ۵-۵. نمودار بار_تغییر مکان سر شمع در فرکانس ۳۰ هرتز ۱۲۴
- شکل ۵-۶. نمودار حاصل از مقایسه نتایج روش تحلیلی گزتاس و نواک با نرم افزار ۱۲۵
- شکل ۵-۷. نمودار حاصل از مقایسه نتایج روش تحلیلی گزتاس و نواک با نرم افزار برای اعماق متفاوت شمع در فرکانس ۳۰ هرتز و نیروی ۳۵۴۹ نیوتن ۱۲۶
- شکل ۵-۸. نمودار حاصل از مقایسه نتایج روش تحلیلی گزتاس و نواک با نرم افزار برای نیروی ۵۰۰۰ نیوتن و فرکانسهای متفاوت ۱۲۸
- شکل ۵-۹. نمودار حاصل از مقایسه نتایج روش تحلیلی گزتاس با نرم افزار در حالت $L/d=10$ ۱۳۰
- شکل ۵-۱۰. نمودار حاصل از مقایسه نتایج روش تحلیلی گزتاس با نرم افزار در حالت $L/d=15$ ۱۳۱
- شکل ۵-۱۱. نمودار حاصل از مقایسه نتایج روش تحلیلی گزتاس با نرم افزار در حالات شمع با طول متفاوت ۱۳۲
- شکل ۵-۱۲. نمودار حاصل از مقایسه نتایج نرم افزار و روشهای تحلیلی در میراییهای متفاوت ۱۳۴
- شکل ۵-۱۳. نمودار حاصل از مقایسه نتایج روش تحلیلی گزتاس و نواک با نرم افزار برای فرکانس ۳۵ هرتز و بارهای متفاوت و $E_s=50MPa$ ۱۳۷

فصل ۶ نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات ۱۳۹

فهرست جداول

۱	فصل ۱ کلیات
۸	فصل ۲ بررسی روشهای تحلیلی پاسخ دینامیکی شمع
۲۵	جدول ۱-۲. مقادیر ثابتهای سختی و میرایی [Novak et al , 1978].
۵۰	فصل ۳ معرفی نرم افزار FLAC3D
۵۸	جدول ۱-۳. دستورات اصلی در نرم افزار
۷۲	فصل ۴ آنالیز استاتیکی شمع با استفاده از نرم افزار FLAC3D
۷۶	جدول ۱-۴. مقایسه نیرو و جابجایی در حالات مختلف
۷۷	جدول ۲-۴. مقایسه نیرو و جابجایی در حالات مختلف
۷۸	جدول ۳-۴. مقایسه نیرو و جابجایی در حالات مختلف
۷۹	جدول ۴-۴. مقایسه نیرو و جابجایی در حالات مختلف
۸۱	جدول ۵-۴. مقایسه نیرو و جابجایی در حالات مختلف
۸۵	جدول ۶-۴. ظرفیت باربری در حالات شبکه با اندازه متفاوت
۸۵	جدول ۷-۴. اندازه شبکه در حالات مختلف
۹۰	جدول ۸-۴. مقایسه نیرو و جابجایی در حالات مختلف
۹۷	جدول ۹-۴. نتایج اندازه گیری شده و بدست آمده از نرم افزار
۱۰۴	جدول ۱۰-۴. نتایج اندازه گیری شده و بدست آمده از نرم افزار
۱۱۰	جدول ۱۱-۴. مقایسه بین مقادیر بدست آمده از آنالیز و مقادیر محاسبه شده
۱۱۱	فصل ۵ آنالیز دینامیکی شمع با استفاده از نرم افزار FLAC3D
۱۲۵	جدول ۱-۵. مقایسه بین نتایج بدست آمده از روشهای تحلیلی گرتاس و نواک با نتایج نرم افزار
	جدول ۲-۵. مقایسه بین نتایج بدست آمده از روشهای تحلیلی گرتاس و نواک با نتایج نرم افزار برای اعماق مختلف شمع در
۱۲۶	فرکانس ۳۰ هرتز و نیروی ۳۵۴۹ نیوتن
	جدول ۳-۵. مقایسه بین نتایج بدست آمده از روشهای تحلیلی گرتاس و نواک با نتایج نرم افزار برای ۵۰۰۰ نیوتن و
۱۲۸	فرکانسهای متفاوت
	جدول ۴-۵. مقایسه بین نتایج بدست آمده از روشهای تحلیلی گرتاس با نتایج نرم افزار در حالت $L/d=10$
۱۳۰	
	جدول ۵-۵. مقایسه بین نتایج بدست آمده از روشهای تحلیلی گرتاس با نتایج نرم افزار در حالت $L/d=15$
۱۳۱	
	جدول ۶-۵. مقایسه بین نتایج بدست آمده از نرم افزار و روشهای تحلیلی در میراییهای متفاوت
۱۳۴	

جدول ۵-۷. مقایسه بین نتایج بدست آمده از روشهای تحلیلی گزتاس و نواک با نتایج نرم افزار برای فرکانس ۳۵ هرتز و بارهای متفاوت و $E_s=50\text{Mpa}$۱۳۶

فصل ۶ نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات ۱۳۹

فهرست مراجع ۱۴۷

فصل ۱

کلیات

۱-۱. مقدمه

با گسترش تکنولوژی، پروژه‌های گسترده و وسیعی طراحی و اجرا می‌شوند که بعضی از این پروژه‌ها باید در شرایط نامطلوب ژئوتکنیکی اجرا شوند. با گذشت زمان مقیاس و اندازه، این پروژه‌ها افزایش می‌یابد و در این شرایط، با توجه به وضعیتهای ناشناخته یا عوامل در نظر گرفته نشده، ضریب اطمینان طراحی و به تبع آن قیمت تمام شده پروژه افزایش می‌یابد. یکی از این عوامل، وقتی بار دینامیکی به سازه وارد می‌شود، بر هم کنش خاک-پی-سازه است.

تحلیل عکس العمل دینامیکی سازه‌هایی که تحت بارهای بالقوه، زلزله در پایه خود قرار دارند، یکی از وظایف اصلی مهندسی زلزله می‌باشند. در دینامیک سازه تعیین روشهایی برای تعیین تنشها و تغییر مکانهای سازه که تحت اثر بارهای دینامیک مثل زلزله قرار دارد، از اهم مسائل است. اما در حالت کلی سازه با خاک اطراف خود در حال برهم کنش است، و بنابراین بار وارده به محیط خاک اطراف سازه، در خلال تحریک زلزله باید در نظر گرفته شود. در مقایسه با سازه، خاک دارای قلمرو نامحدودی است که شرایط انتشار امواج در آن، باید در مدل دینامیکی به حساب آورده شود. در سالهای اخیر کارهای بر روی برهم کنش دینامیکی سازه و خاک یا سنگ، برای انواع مختلف سازه انجام شده است. به ویژه برای سازه‌های حجیم و سنگین، مانند نیروگاههای اتمی، سدها، سکوهای ساحلی، پل‌ها و سازه‌های بلند که بر روی خاک نرم بنا شده‌اند، بر هم کنش بین سازه و پی بسیار مهم می‌باشد.

برای احداث سازه‌ها باید از یک شالوده که بتواند بارهای وارده از طرف سازه فوقانی را به خاک (زمین) انتقال دهد، استفاده شود. شالوده‌ها علاوه بر وظیفه انتقال بار بایستی طوری طراحی شوند که

نشستهای حاصل اعم از نشستهای یکنواخت و غیر یکنواخت از حد مجاز فراتر نروند. یکی از انواع مهم شالوده‌ها، شالوده‌های شمعی می‌باشد که کاربرد زیادی دارد. از جمله دلایلی که طراح نیاز به استفاده از شمع دارد عبارت است از:

- در ساختمانهای بلند برای مقابله با نیروی جانبی زلزله از دیوار برشی استفاده می‌شود. برای طراحی شالوده زیر این المانهای مقاوم به دلیل افزایش تنشهای موضعی و همچنین نیروی برکنش باید از شمع در زیر پی استفاده نمود.

- شالوده سازه‌های خاص مانند پل، اسکله، سیلو، خطوط انتقال برق، منابع آب هوایی و شالوده‌های گسترده در زیر آب

- شالوده سازه‌های مهم مانند رادارها و نیروگاههای اتمی که حساسیت زیاد نسبت به نشست دارند.

- زمانی که لایه فوقانی خاک خیلی سست می‌باشد.

- احداث شالوده در خاکهای خاص مانند خاکهای قابل تورم و فروریزی

۱-۲. اهمیت مساله

افزایش استفاه از شالوده‌های شمعی، خسارت قابل توجه به ساختمانهای با پی شمعی در حین زلزله‌ها، دانش و فهم محدود و عدم قطعیت در پیش بینی اندرکنش سازه-شمع- خاک تحت شرایط بارهای دینامیکی باعث توجه و علاقه محققان به سیستم‌های سازه-شمع- خاک گردیده است. پی‌های شمعی زیادی وجود دارد که پاسخ دینامیکی محوری شمع یکی از مباحث اصلی در طراحی شمعها می‌باشند، مانند شالوده‌های شمعی ساختمانهای بلند یا سکوه‌های ساحلی ثابت شده که

باید در برابر لنگرهای واژگونی دینامیکی وابسته به باد، زلزله یا امواج مقابله کنند. بعضی از لنگرهای واژگونی بارهای محوری دینامیکی یا سیکلیک در شمعهها تولید می‌نماید. طراحی پی ماشین آلات یکی دیگر از مواردی است که در آن پاسخ دینامیکی محوری شمع حائز اهمیت می‌باشد. از طرفی دیگر شالوده‌های شمعی برای مقابله با بارهای دینامیکی جانبی نیز استفاده می‌شوند. بارهای زلزله، ماشین آلات، امواج، باد، و ضربات ناشی از بارگذاری گذرا و یا سیکلیک از جمله مواردی است که پاسخ دینامیکی جانبی شمعهها حائز اهمیت است.

۱-۳. اهمیت تحقیق

پاسخ شمع تحت بار بارگذاری شده با روشهایی مانند روش المان محدود، روش المان مرزی، راه‌حلهای ریاضی و روش تیر بر پی وینکلر حل شده است. روشهای ریاضی (راه‌حلهای تحلیلی) برای شرایط خاص وایده‌آل شده خاک-شمع مناسب می‌باشند. روش پی وینکلر واکنش خاک را که در عمق پیوسته است، تقریب می‌زند. در این روش با استفاده از یک سری فنرها واکنش خاک تعیین می‌شود. در این روش از اندرکنش بین فنرهای خاک صرف‌نظر می‌شود. بخاطر این ساده سازی این روش از نظر محاسباتی موثر و بهینه می‌باشد. اما با این وجود اگر فنرهای خاک مناسب اختیار شوند، این روش جوابهای مناسبی می‌دهد. روشهای المان محدود و المان مرزی عموماً هزینه‌بر می‌باشند و برای مهندس طراح مناسب نمی‌باشند. اما این روشها برای اهداف تحقیقاتی مناسب می‌باشد.

با پیدایش روشهای اجزاء محدود و گسترش علوم کامپیوتری و علی‌الخصوص پیشرفت علم مدلسازی مواد و مصالح، کار بر روی شمعهها شکل کاملاً جدیدی به خود گرفت. پیشرفت سریع کامپیوتر و زبانهای برنامه نویسی این امکان را میسر ساخت تا تعداد معادلات زیادی را در کوتاه مدت

تحلیل کند. بدین ترتیب تقسیم‌بندی خاک و شمع به المانهای مختلف و آنالیز المان بوجود آمده به صورت امری متداول درآمد. در راستای مدلسازی شمع و خاک همواره دو مشکل عمده وجود داشته است:

۱- چگونه می‌توان خاک نامحدود را در قالب یک مدل محدود آورد.

۲- اتصال شمع و خاک را چگونه باید مدل کرد تا اثر جداشدگی در نظر گرفته شود.

ارائه المانهای محدود و Interface، مدلسازی شمع و خاک را میسر ساخت. عملکرد محدوده دور از شمع با یک المان محدود معادل می‌گردد. المان Interface نیز برای در نظر گرفتن جدایی شمع و خاک است.

۴-۱. روش تحقیق

در فصل دوم روشهای تجربی و تحلیلی آنالیز دینامیکی شمع بیان شده است. در تعیین پاسخ شمع تحت بارگذاری دینامیکی محققین زیادی از جمله سید^۱، ریس^۲، نوک^۳، کی‌نیا^۴، کاگوا^۵، نوگامی^۶، دوبری^۷ و گزتاس^۸ فعالیت داشته‌اند. در این فصل سعی شده است که تاریخچه‌ای از روشهای آنالیز دینامیکی شمع برای هر دو نوع بار محوری و جانبی بیان شود. در سال ۱۹۷۸ نوک روش تجربی برای تعیین پاسخ دینامیکی شمع بیان کرد. در این روش جابجایی از طریق یک سختی مختلط به نیرو مرتبط می‌شود. در روش ارائه شده توسط وی سختی و میرایی شمع به صورت توابعی

¹ Seed

² Reese

³ Novak

⁴ Kaynia

⁵ Kagawa

⁶ Nogami

⁷ Dobry

⁸ Gazetas

از مدول یانگ، سطح مقطع و شعاع شمع و سرعت برشی خاک تعیین می‌گردد. در سال ۱۹۹۱ کاگاووا برای تعیین پاسخ دینامیکی شمع بر اساس روابط بار-نشست در راستای محور و نوک شمع روابطی را بوجود آورد. در سال ۱۹۹۱ گزتاس و همکاران وی با مدل کردن خاک به صورت مدل وینکلر روشهای تحلیلی برای تعیین پاسخ خاک بیان نموده‌اند. پاسخ دینامیکی شمع را می‌توان به سه گروه عمده تقسیم کرد:

- گروه اول، پاسخ سینماتیکی شمع تحت یک ارتعاش افقی در پایین شمع

- گروه دوم، پاسخ اینرسیال شمع تحت بار هارمونیکی جانبی در سر آن

- گروه سوم، پاسخ اینرسیال شمع تحت بار هارمونیکی محوری در سر آن

که مطالب فوق به طور مفصل در این فصل ارائه شده است.

در فصل سوم نرم افزار FLAC3D^۹ معرفی شده است. نرم افزار FLAC3D یک نرم افزار سه بعدی براساس روش تفاضلات محدود (Finite Difference) برای محاسبات مکانیکی مهندسی می‌باشد. با استفاده از برنامه FLAC3D، می‌توان رفتار سازه‌های سه بعدی ساخته شده از خاک، سنگ یا سایر مواد را که حد تسلیم آنها به صورت جریان پلاستیک است، مدل نمود. همچنین در این فصل تکنیکهای مختلف مدلسازی شمع در FLAC3D بیان شده است. در این فصل مود دینامیکی نرم افزار FLAC3D نیز توضیح داده شده است.

در فصل چهارم سه مورد مطالعاتی (case study) با استفاده از آنالیز برگشتی (back analysis)

(تحت بررسی قرار گرفته‌اند. هدف از این فصل کالیبراسیون نرم افزار برای حالت استاتیکی می‌باشد.

همچنین آنالیز حساسیت برای پارامترهای تاثیرگذار بر نتایج خروجی، انجام شده و به صورت

^۹ Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions

نمودارهایی نمایش داده شده است. مطالعه موردی از موارد معتبر و شناخته شده در سطح جهانی می‌باشد. این شمعه دارای مقاطع فولادی دایره‌ای (شمع لوله)، شمع بتنی مربعی و شمع بتنی دایره‌ای می‌باشند. برای هر کدام از شمعه‌های مورد بررسی، آنالیز حساسیتی برای پارامترهای مختلف انجام شده است.

در فصل پنجم یک شمع با مقطع توپر تحت آنالیز دینامیکی قرار گرفته است. بار اعمال شده به این شمع یک بار هارمونیک محوری می‌باشد. نتایج بدست آمده از آنالیز نرم افزار با نتایج بدست آمده از روشهای تحلیلی گزتاس و نواک که در فصل دوم معرفی گردید مقایسه شده است. همچنین یک آنالیز حساسیت بر روی تاثیر فرکانس بر پاسخ شمع، تاثیر میرایی و نسبت‌های مختلف طول به قطر شمع انجام شده است.

فصل ۲

بررسی روشهای تحلیلی پاسخ دینامیکی شمع

۲-۱. مقدمه

در این فصل پاسخ شمع تحت بارگذاری دینامیکی برای حالات زیر مورد بررسی قرار گرفته

است. به طور کلی پاسخ دینامیکی شمع را می‌توان به سه گروه عمده تقسیم کرد:

- گروه اول، پاسخ سینماتیکی شمع تحت یک ارتعاش افقی در پایین شمع

- گروه دوم، پاسخ اینرسیال شمع تحت بار هارمونیک جانبی در سر آن

- گروه سوم، پاسخ اینرسیال شمع تحت بار هارمونیک محوری در سر آن

برای هر کدام از گروه‌های اشاره شده در فوق روش یا روشهایی به طور تفصیلی ارائه شده

است. در بررسی پاسخ سینماتیکی شمع روش گزتاس ارائه شده است. برای تعیین پاسخ شمع تحت

بار هارمونیک جانبی روش نواک و گزتاس بررسی شده است. همچنین برای تعیین پاسخ شمع تحت

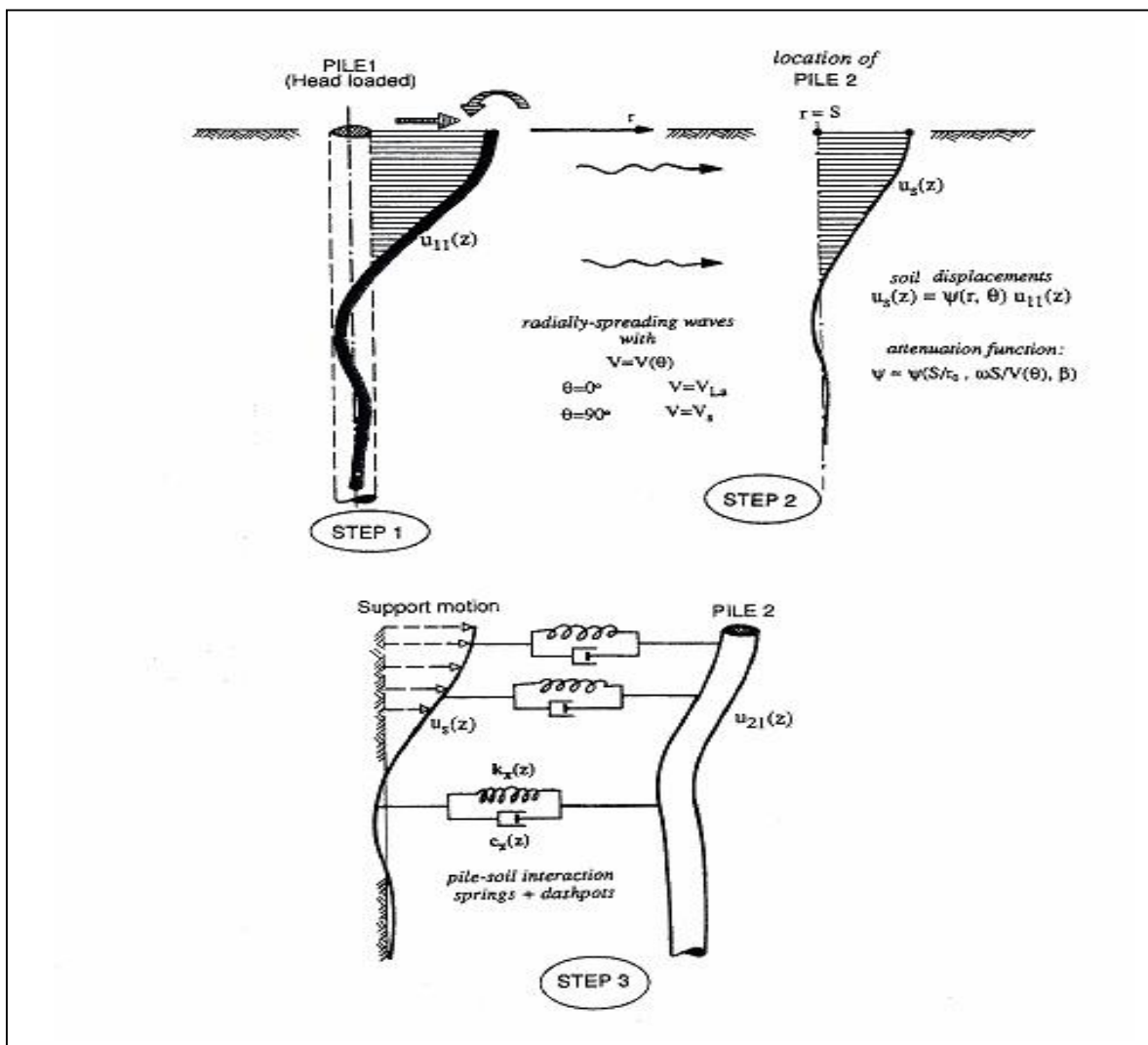
بار هارمونیک محوری سه روش نواک، گزتاس و کاگوا مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۲. روش تحلیل ساده شده سه مرحله‌ای

یک روش مرسوم برای تحلیل دینامیکی شمعه‌ها روش ساده شده سه مرحله‌ای می‌باشد. [1] در

شکل ۱-۲ این روش به صورت شماتیک شرح داده شده است. این روش شامل مراحل زیر می‌باشد.

[Gazetas et al. , 1992]



شکل ۱-۲. شرح شماتیک آنالیز سه مرحله‌ای [Gazetas et al. , 1992]