بسم الله الرحمن الرحیم

بسمه تعالی

دانشگاه صنعتی
نوشیروانی بابل

دانشکده مهندسی عمران

عنوان پایان نامه:

اثربهسازی بر پاسخ دینامیکی ساختگاه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی عمران - ژئوتکنیک

استاد راهنما:

دکتر عسگر جانعلی زاده چوببستی

استاد مشاور:
دکتر حمیدرضا توکلی

تهیه و تدوین:
آیدا طالبی

بهار 1391

چکیده

لرزه شناسان عوامل مؤثر بر حرکت لرزه ای سطح زمین را به اثرات مربوط به منبع زلزله، مسیر حرکت امواج در داخل پوسته سنگی و شرایط محلی ساختگاه نسبت می دهند. یکی از مهم ترین مباحث ژئوتکنیک لرزه ای مسئله اثرات محلی ساختگاه است.

در این پایان نامه توسط نرم افزار اجزای محدود دوبعدی پلکسیس[1] در شرایط کرنش مسطح به بررسی اثرات بهسازی خاک توسط شمع، ستون سنگی و ژئوگرید، حداکثر شتاب زمین و خصوصیات زلزله بر پاسخ لرزه ای ساختگاه پرداخته شد. جهت مطالعه اثر بهسازی خاک، مدول الاستیسیته و نسبت فاصله به قطر شمع ها، قطر ستون سنگی و تعداد لایه های ژئوگرید مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین به منظور بررسی تاثیر بیشینه شتاب زلزله، بیشینه شتابِ نگاشت های زلزله به 0/2g و 0/7g نرمال شدند. دو ساختگاه مورد بررسی قرار گرفتند. ساختگاه اول یک لایه رس 30 متری بود و ساختگاه دوم در شهر بابل واقع شده بود.

نتایج نشان می دهد که مقادیر حداکثر شتاب افقی و طیف پاسخ شتاب تابع پریود اساسی ساختگاه، پریود غالب زلزله، شدت زلزله، خصوصیات دینامیکی و مکانیکی خاک می باشد. کمترین ضریب بزرگنمایی تحت زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا با بیشینه شتاب برابر با 0/2g در ساختگاه رس، متعلق به زمین بهسازی شده توسط شمع با مدول الاستیسیته برابر با 500 مگاپاسکال و ستون سنگی به قطر0/8 متر است. تحت زلزله حوزه دور لوماپریتا با بیشینه شتاب برابر با 0/2g کمترین ضریب بزرگنمایی در ساختگاه رس متعلق به زمین بهسازی شده با شمع با مدول الاستیسیته برابر با 5000 مگاپاسکال است. در خاک بابل کمترین ضریب بزرگنمایی تحت زلزله های حوزه نزدیک و دور لوماپریتا با بیشینه شتاب برابر با 0/2g به ترتیب متعلق به بهسازی توسط 6 لایه ژئوگرید و ستون سنگی به قطر 0/8 متر است.

واژه های کلیدی:

پاسخ لرزه ای ساختگاه، ضریب بزرگنمایی، طیف بزرگنمایی، پلکسیس ،شمع، ستون سنگی و ژئوگرید.

[1] PLAXIS

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: کلیات	1
1-1- **مقدمه**	2
1-2- **ضرورت انجام پژوهش**	2
1-3- **اهداف پژوهش**	3
1-4- **ساختار پایان نامه**	3
فصل دوم: مروری بر متون فنی	4
2-1- **مقدمه**	5
2-2- **شمع ها**	6
2-2-1- تاریخچه	6
2-2-2- کاربرد شمع ها	7
2-2-3- انواع شمع ها	8
2-2-3-1- طبقه بندی شمع ها بر اساس نوع باربری	8
2-2-3-2- طبقه بندی شمع ها بر اساس زاویه احداث	9
2-2-3-3- طبقه بندی شمع ها بر اساس مصالح	10
2-2-3-4- طبقه بندی شمع ها بر اساس طول و مکانیسم انتقال بار به خاک	15
2-2-3-5- طبقه بندی انواع شمع های کوبیده شده و درجا ریخته	16
2-2-3-6- طبقه بندی شمع ها بر اساس آیین‌نامه استاندارد انگلستان	17
2-2-4- معضلات اجرای پی های عمیق	19
2-3- **ستون سنگی**	21
2-3-1- مزایای ستون سنگی	21
2-3-2- اصول طراحی ستون سنگی	22
2-3-3- نحوه اجرای ستون سنگی	23
2-3-3-1- روش لرزشی - جایگزینی (خیس)	25
2-3-3-2- روش لرزشی - جابجایی یا روش خشک-مصالح ریزی از پایین	26
2-3-3-3- روش خشک- مصالح ریزی از بالا	26
2-3-3-4- روش ستون سنگی کوبشی	27
2-3-4- دانه بندی مورد استفاده در ساخت ستون سنگی	28
2-3-5- درصد بهسازی (یا درصد جایگزینی)	29

عنوان	صفحه
2-4- ژئوسنتتیک	29
2-4-1- پیشینه تاریخی خاک مسلح	31
2-4-2- انواع و ویژگی های ژئوسنتتیک ها	33
2-4-2-1- ژئوتکستایل ها	33
2-4-2-2- ژئوگریدها	34
2-4-2-3- ژئونت ها	37
2-4-2-4- ژئوممبرین ها	37
2-4-2-5- ژئوکامپوزیت ها	37
2-4-3- کاربرد ژئوسنتتیک ها	38
2-4-4- ساز و کار خاک های مسلح	39
2-5- اثرات دینامیکی ساختگاه	42
2-5-1- تاریخچه بررسی اثرساختگاه	44
2-5-2- تعاریف کلی	50
2-5-2-1- پارامترهای دامنه	50
2-5-2-2- پارامترهای محتوی فرکانس	50
2-5-2-3- پارامتر مدت	52
2-5-3- تاثیر شتاب حداکثر سنگ بستر بر شتاب حداکثر زمین	52
2-5-4- تأثیر شتاب حداکثر سنگ بستر بر پریود دینامیکی آبرفت	54
2-5-5- تأثیر محتوای فرکانسی حرکت سنگ بستر بر حرکات لرزه‌ای سطح زمین	55
2-5-6- اصول روش های تعیین پاسخ دینامیکی خاک	56
2-5-6-1- روش های تجربی بررسی اثر ساختگاه	56
2-5-6-2- روش های محاسباتی	58
2-5-7- آنالیزهای تنش موثر و تنش کل	58
2-5-8- مدل های هندسی	59
2-5-8-1- مدل های یک بعدی	59
2-5-8-2- مدل های دو بعدی	59
2-5-8-3- مدل های سه بعدی	59
2-5-9- مدل های رفتاری	60
2-5-10- دامنه زمان و دامنه فرکانس	62

عنوان	صفحه
فصل سوم : مدل سازی	63
3-1- **مقدمه**	64
3-2- **معرفی نرم افزار**	64
3-3- **دلایل انتخاب نرم افزار پلکسیس برای این پژوهش**	65
3-4- **نحوه حل مسائل در پلکسیس**	65
3-4-1- ساخت مدل هندسی	65
3-4-2- انتخاب مواد مناسب	70
3 -4-3- انتخاب قانون رفتاری مناسب	71
3-4-4- بارها و شرایط مرزی	73
3-4-4-1- مرز های جذبی	73
3-4-4-2- مرز های زلزله استاندارد	73
3-4-4-3- شتابنگاشت‌های مورد استفاده	74
3-4-5- مش بندی	75
3-4-6- اعمال شرایط اولیه	81
3-4-7- محاسبات	82
3-4-8- داده های خروجی	82
3-5- **تعریف زلزله های حوزه نزدیک و دور**	83
3-5-1- تصحیح شتاب نگاشت ها	84
3-6- **بررسی صحت استاتیکی نرم افزار**	86
3-6-1- هندسه مدل	86
3-6-2- داده های مصالح	86
3-6-3- محاسبات	88
3-6-4- نتایج	88
3-7- **بررسی صحت دینامیکی نرم افزار**	90
فصل چهارم: بررسی پارامتریک پاسخ لرزه ای ساختگاه های بهسازی شده	91
4-1- **مقدمه**	92
4-2- **بررسی پاسخ لرزه ای ساختگاه رس بهسازی شده توسط شمع**	92
4-2-1- بررسی اثر مدول الاستیسیته شمع ها	93
4-2-1-1- ضریب بزرگنمایی	93

عنوان	صفحه
4-2-1-2- طیف پاسخ شتاب، طیف بزرگنمایی و اثر بهسازی بر S_a	97
4-2-2- بررسی اثر نسبت فاصله به قطر شمع ها	108
4-3- **بررسی پاسخ لرزه ای ساختگاه بابل بهسازی شده توسط شمع**	108
4-3-1- ضریب بزرگنمایی	111
4-3-2- طیف پاسخ شتاب، طیف بزرگنمایی و اثر بهسازی بر S_a	112
4-4- **بررسی پاسخ لرزه ای ساختگاه رس بهسازی شده توسط ستون سنگی**	115
4-4-1- ضریب بزرگنمایی	118
4-4-2- طیف پاسخ شتاب، طیف بزرگنمایی و اثر بهسازی بر S_a	118
4-5- **بررسی پاسخ لرزه ای ساختگاه بابل بهسازی شده توسط ستون سنگی**	124
4-5-1- ضرائب بزرگنمایی	124
4-5-2- طیف پاسخ شتاب، طیف بزرگنمایی و اثر بهسازی بر S_a	125
4-6- **بررسی پاسخ لرزه ای ساختگاه رس بهسازی شده توسط ژئوگرید**	130
4-7- **بررسی پاسخ لرزه ای ساختگاه بابل بهسازی شده توسط ژئوگرید**	130
4-7-1- ضریب بزرگنمایی	130
4-7-2- طیف پاسخ شتاب، طیف بزرگنمایی و اثر بهسازی بر S_a	133
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات	139
5-1- **مقدمه**	140
5-2- **نتیجه گیری**	140
5-3- **پیشنهادات**	141
مراجع	142

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (2-1): شمع های فولادی. (الف) وصله شمع های **H** به وسیله جوش، (ب) وصله شمع های لوله ای به وسیله جوش، (پ) وصله شمع های **H** به وسیله پرچ و پیچ، (ت) کفشک تخت در نوک شمع لوله ای، (ث) کفشک مخروطی در نوک شمع لوله ای	12
شکل(2-2): وصله شمع های چوبی (الف) استفاده از غلاف فولادی، (ب) استفاده از تسمه فولادی و پیچ	14
شکل (2-3) : حفاظت از شمع های چوبی در برابر پوسیدن (الف)، توسط امتداد سرشمع را تا زیر تراز آب زیرزمینی (ب)، توسط بتن پیش ساخته بالای مقطع تا زیر سطح آب زیرزمینی	14
شکل (2-4): تغییرات قطر ستون در مقابل مقاومت برشی خاک	22
شکل (2-5): اثر فاصله ستونهای سنگی روی میزان کاهش نشست	24
شکل (2-6): آرایش ستونهای سنگی (الف) آرایش مربعی (ب) آرایش مثلثی	24
شکل (2-7): نحوه اجرای روش لرزشی - جایگزینی	25
شکل(2-8): نحوه اجرای روش لرزشی- جابجایی یا روش خشک-مصالح ریزی از پایین	26
شکل (2-9): نحوه اجرای روش خشک - مصالح ریزی از بالا	27
شکل (2-10): اجرای ستون سنگی کوبشی	28
شکل (2-11): خاک مسلح با توزیع تصادفی رشته ها	30
شکل (2-12): نمونه از زیگورات ساخته شده از رس مسلح به ارتفاع 60 متر به دست بابلیان	31
شکل (2-13): نمونه ای از ژئوتکستایل های بافته شده	34
شکل (2-14): دونمونه از ژئوتکستایل های بافته نشده	35
شکل (2-15): ژئوگرید یک محوره و دو محوره	36
شکل (2-16): انواع و نسل های مختلف ژئوگرید	36
شکل (2-17): نمونه ای از ژئونت ها	37
شکل (2-18): نمونه ای از ژئوممبرین ها	38
شکل(2-19): نمونه ای از ژئوکامپوزیت ها	38
شکل (2-20): تصویر نحوه عمل مصالح تسلیح کننده در صفحه برش	40
شکل (2-21): عملکرد کششی و غشایی ژئوسنتتیک در توده خاک مسلح	40
شکل (2-22): مثال هایی از عملکرد غشایی ژئوسنتتیک	41
شکل (2-23): پارامتر های تاثیرگذار بر حرکت سطح زمین	43
شکل(2-24): طیف پاسخ شتاب را برای دو پروفیل خاک	46

عنوان	صفحه
شکل(2-25): طیف پاسخ شتاب برای خاک ماسه ای	47
شکل(2-26): طیف پاسخ شتاب برای خاک رسی	47
شکل(2-27): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی و خاک بهسازی شده	49
شکل(2-28): مقادیر شتاب در ساختگاههای سنگی و ساختگاههای متناظر خاکی نرم	53
شکل(3-1) : مقطع عرضی ستون سنگی در دو حالت تقارن محوری و کرنش مسطح	67
شکل(3-2):تعیین بعد افقی مدل	71
شکل(3-2) : لوگ زمین شناسی شهر بابل	72
شکل(3-3) : الف) تاریخچه زمانی شتاب ب) سرعت پ) جابجایی، ت) توزیع شدت آریاس و ث) طیف فوریه برای زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا	77
شکل(3-4) : الف) تاریخچه زمانی شتاب ب) سرعت پ) جابجایی، ت) توزیع شدت آریاس و ث) طیف فوریه برای زلزله حوزه نزدیک نورثریج	78
شکل(3-5) : الف) تاریخچه زمانی شتاب ب) سرعت پ) جابجایی، ت) توزیع شدت آریاس و ث) طیف فوریه برای زلزله حوزه دور لوماپریتا	79
شکل(3-6): الف) تاریخچه زمانی شتاب ب) سرعت پ) جابجایی، ت) توزیع شدت آریاس و ث) طیف فوریه برای زلزله حوزه دور نورثریج	80
شکل(3-7): فرایند تصحیح خطای خط مبنا	85
شکل(3-8): مدل در نظر گرفته شده توسط مالارویزی و ایلامپاردی الف) آزمایش بارگذاری صفحه ب) آرایش ستونها در رس نرم	87
شکل(3-9) : تصویری از نمونه مورد مطالعه الف) مدل تحت آزمایش ب) مدلسازی عددی تقارن محوری	87
شکل(3-10): نمودار فشار-نشست رس بهسازی شده توسط ستون سنگی با نسبت ارتفاع به قطر 10 در بررسی های عددی بدست آمده از تحلیل با نرم افزار پلکسیس و مطالعه آزمایشگاهی مالارویزی و ایلمپارودی	89
شکل(3-11): مقایسه بین نتایج موجود در پایان نامه و نتایج بدست آمده از تحلیل با نرم افزار پلکسیس برای تغییرات نشست تاج نسبت به تغییرات ارتفاع سد از 50 تا 150 متر	90
شکل (4-1): ضریب بزرگنمایی برای زمین بهسازی شده تحت زلزله حوزه نزدیک نورثریج و لوماپریتا با **PGA** برابر با **0/2g**	94
شکل (4-2): ضریب بزرگنمایی برای زمین بهسازی شده توسط شمع تحت زلزله حوزه نزدیک نورثریج و لوماپریتا با **PGA** برابر با **0/7g**	95
شکل (4-3): ضریب بزرگنمایی برای زمین بهسازی شده توسط شمع تحت زلزله حوزه دور نورثریج و لوماپریتا با **PGA** برابر با **0/2g**	96

عنوان	صفحه
شکل (4-4): ضریب بزرگنمایی برای زمین بهسازی شده توسط شمع تحت زلزله حوزه دور نورثریج و لوماپریتا با **PGA** برابر با **0/7g**	97
شکل (4-5): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی و خاک بهسازی شده توسط شمع تحت زلزله حوزه نزدیک لوما پریتا با **PGA** برابر با **0/2g**	99
شکل (4-6): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی و خاک بهسازی شده توسط شمع تحت زلزله حوزه نزدیک لوما پریتا با **PGA** برابر با **0/7g**	100
شکل (4-7): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی و خاک بهسازی شده توسط شمع تحت زلزله حوزه نزدیک نورثریج با **PGA** برابر با **0/2g**	101
شکل (4-8): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی و خاک بهسازی شده توسط شمع تحت زلزله حوزه نزدیک نورثریج با **PGA** برابر با **0/7g**	102
شکل (4-9): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی و خاک بهسازی شده توسط شمع تحت زلزله حوزه دور لوما پریتا با **PGA** برابر با **0/2g**	104
شکل (4-10): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی و خاک بهسازی شده توسط شمع تحت زلزله حوزه دور لوما پریتا با **PGA** برابر با **0/7g**	105
شکل (4-11): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی و خاک بهسازی شده توسط شمع تحت زلزله حوزه دور نورثریج با **PGA** برابر با **0/2g**	106
شکل (4-12): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی و خاک بهسازی شده توسط شمع تحت زلزله حوزه دور نورثریج با **PGA** برابر با **0/7g**	107
شکل (4-13): طیف پاسخ شتاب برای نسبت های مختلف فاصله به قطر شمع ها تحت زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا با **PGA** برابر با **0/2g**	109
شکل (4-14): طیف پاسخ شتاب برای نسبت های مختلف فاصله به قطر شمع ها تحت زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا با **PGA** برابر با **0/7g**	109
شکل (4-15): طیف پاسخ شتاب برای نسبت های مختلف فاصله به قطر شمع ها تحت زلزله حوزه دور لوماپریتا با **PGA** برابر با **0/2g**	110
شکل (4-16): طیف پاسخ شتاب برای نسبت های مختلف فاصله به قطر شمع ها تحت زلزله حوزه دور لوماپریتا با **PGA** برابر با **0/7g**	110
شکل(4-17): پاسخ لرزه ای سطح خاک طبیعی بابل و خاک بهسازی شده توسط شمع با حداکثر شتاب افقی زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا برابر با **0/2g**	113

عنوان	صفحه
شکل(4-18): پاسخ لرزه ای سطح خاک طبیعی بابل و خاک بهسازی شده توسط شمع با حداکثر شتاب افقی زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا برابر با **0/7g**	114
شکل(4-19): پاسخ لرزه ای سطح خاک طبیعی بابل و خاک بهسازی شده توسط شمع با حداکثر شتاب افقی زلزله حوزه دور لوماپریتا برابر با **0/2g**	116
شکل(4-20): پاسخ لرزه ای سطح خاک طبیعی بابل و خاک بهسازی شده توسط شمع با حداکثر شتاب افقی زلزله حوزه دور لوماپریتا برابر با **0/7g**	117
شکل (4-21): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی و خاک بهسازی شده توسط ستون سنگی تحت زلزله حوزه نزدیک لوما پریتا با **PGA** برابر با **0/2g**	119
شکل (4-22): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی و خاک بهسازی شده توسط ستون سنگی تحت زلزله حوزه نزدیک لوما پریتا با **PGA** برابر با **0/7g**	121
شکل (4-23): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی و خاک بهسازی شده توسط ستون سنگی تحت زلزله حوزه دور لوما پریتا با **PGA** برابر با **0/2g**	122
شکل(4-24): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی و خاک بهسازی شده توسط ستون سنگی تحت زلزله حوزه دور لوما پریتا با **PGA** برابر با **0/7g**	123
شکل(4-25): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی بابل و خاک بهسازی شده توسط ستون سنگی تحت زلزله حوزه نزدیک لوما پریتا با **PGA** برابر با **0/2g**	126
شکل(4-26): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی بابل و خاک بهسازی شده توسط ستون سنگی حت زلزله حوزه نزدیک لوما پریتا با **PGA** برابر با **0/7g**	127
شکل(4-27): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی بابل و خاک بهسازی شده توسط ستون سنگی تحت زلزله حوزه دور لوما پریتا با **PGA** برابر با **0/2g**	128
شکل(4-28): مقایسه پاسخ لرزه ای خاک طبیعی بابل و خاک بهسازی شده توسط ستون سنگی تحت زلزله حوزه دور لوما پریتا با **PGA** برابر با **0/7g**	129
شکل (4-29): ضریب بزرگنمایی برای ساختگاه بابل بهسازی شده تحت زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا با **PGA** برابر با **0/2g** تحت سختی کششی ثابت 1000 کیلونیوتن بر متر	131
شکل (4-30): ضریب بزرگنمایی برای ساختگاه بابل بهسازی شده تحت زلزله حوزه دور لوماپریتا با **PGA** برابر با **0/2g** تحت سختی کششی ثابت 1000 کیلونیوتن بر متر	132
شکل (4-31): ضریب بزرگنمایی برای ساختگاه بابل بهسازی شده تحت زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا با **PGA** برابر با **0/7g** تحت سختی کششی ثابت 1000 کیلونیوتن بر متر	132

عنوان	صفحه

شکل (4-32): ضریب بزرگنمایی برای ساختگاه بابل بهسازی شده تحت زلزله حوزه دور لوماپریتا با **PGA** برابر با **0/7g** تحت سختی کششی ثابت 1000 کیلونیوتن بر متر 133

شکل(4-33): پاسخ لرزه ای سطح خاک طبیعی بابل و خاک بهسازی شده با حداکثر شتاب افقی زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا برابر با **0/2g** تحت سختی کششی ثابت 1000 کیلونیوتن بر متر 134

شکل(4-34): پاسخ لرزه ای سطح خاک طبیعی بابل و خاک بهسازی شده با حداکثر شتاب افقی زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا برابر با **0/7g** تحت سختی کششی ثابت 1000 کیلونیوتن بر متر 135

شکل(4-35): پاسخ لرزه ای سطح خاک طبیعی بابل و خاک بهسازی شده با حداکثر شتاب افقی زلزله حوزه دور لوماپریتا برابر با **0/2g** تحت سختی کششی ثابت 1000 کیلونیوتن بر متر 137

شکل(4-36): پاسخ لرزه ای سطح خاک طبیعی بابل و خاک بهسازی شده با حداکثر شتاب افقی زلزله حوزه دور لوماپریتا برابر با **0/7g** تحت سختی کششی ثابت 1000 کیلونیوتن بر متر 138

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول(2-1) :تقسیم بندی شمع ها از جنبه های مختلف	9
جدول (2-2): خلاصه مشخصات متعارف شمع های مختلف	18
جدول (2-3): کاربرد ژئوسنتتیک ها در فعالیت های عمرانی	39
جدول (2-4): مقایسه پریود اولیه و پریود دینامیکی آبرفت های مختلف تحت زلزله های مختلف	55
جدول(2-5): انواع روش های آنالیز لرزه ای ساختگاه	58
جدول(3-1): قطر، عمق و فاصله مرکز به مرکز ستون های سنگی مورد استفاده محققین مختلف	68
جدول (3-2) قطر، عمق و فاصله مرکز به مرکز شمع های درجا که محققین مختلف استفاده کرده اند را نشان می دهد	69
جدول(3-3): مشخصات مصالح مورد استفاده در این پژوهش	70
جدول(3-4): مشخصات شتابنگاشت های مورد استفاده در حوزه نزدیک	76
جدول(3-5): مشخصات شتابنگاشت های مورد استفاده در حوزه دور	76
جدول(3-6): خصوصیات مصالح مورد استفاده مالارویزی و ایلمپارودی	88
جدول(3-7) : فشار متناظر با 10 میلیمتر نشست در بررسی های عددی بدست آمده از تحلیل با نرم افزار پلکسیس و مطالعه آزمایشگاهی مالارویزی و ایلمپارودی	89
جدول(3-8) : مقایسه بین نتایج موجود در پایان نامه و نتایج بدست آمده از تحلیل با نرم افزار پلکسیس برای سد خاکی به ارتفاع 50 متر	90
جدول (4-1): پریود زمین های بهسازی شده	93
جدول (4-2): پریود غالب زلزله ها	93
جدول (4-3): ضرائب بزرگنمایی برای که زمین بهسازی شده با E_{Pile} =1000 MPa تحت زلزله لوماپریتا	108
جدول(4-4): حداکثر شتاب افقی و ضرایب بزرگنمایی بر روی سطح خاک طبیعی بابل و خاک بهسازی شده با حداکثر شتاب افقی زلزله برابر با 0/2g	111
جدول(4-5): حداکثر شتاب افقی و ضرایب بزرگنمایی بر روی سطح خاک طبیعی بابل و خاک بهسازی شده با حداکثر شتاب افقی زلزله برابر با 0/7g	111
جدول(4-6): ضرائب بزرگنمایی خاک بهسازی شده با ستون سنگی تحت زلزله های حوزه نزدیک و دور لوماپریتا	118
جدول(4-7): ضریب بزرگنمایی ساختگاه بابل بهسازی شده با ستون سنگی	124

فصل اول

کلیات

1-1-مقدمه

سطح زمین تحت تأثیر پدیده های گوناگونی تغییر شکل یافته است. از جمله مهمترین اینها دو پدیده برخورد شهاب سنگ های عظیم با زمین در گذشته و تکتونیک صفحه ای را می توان نام برد. فرسایش نیز با شکل دادن به کوه هایی که حاصل چین خوردگی یا فوران های آتشفشانی هستند و یا با کندن دره ها و تشکیل رسوبات به این تغییرات کمک می کند. در واقع، شرایط محلی یک ساختگاه که شامل توپوگرافی و زمین شناسی آن می شود می تواند باعث بزرگنمایی حرکات شدید زمین در حین یک زمین لرزه گردد. اثرات ساختگاهی را کلاً به دو دسته می توان تقسیم کرد: اثرات رسوبات محلی واثرات توپوگرافی [1].

در این راستا بهسازی زمین که در برخی از پروژه ها یک نیاز ضروری طرح می باشد، می تواند بر مشخصات دینامیکی ساختگاه اثر داشته باشد که این موضوع یعنی تاثیر تغییرات مشخصات مکانیکی و دینامیکی ساختگاه در اثر بهسازی زمین تحت تحریکات لرزه ای در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است.

روش های گوناگونی برای بهبود خاک وجود دارند که در هر مورد با توجه به شرایط خاص خود مورد استفاده قرار می گیرند. اما به طور کل می توان آن ها را به دو دسته بهسازی شیمیایی و بهسازی فیزیکی یا مکانیکی تقسیم بندی کرد. منظور از بهسازی شیمیایی، تغییر خواص مورد نظر خاک به خصوص خاک های ریزدانه به کمک مواد افزودنی مانند آهک، سیمان، خاکستر بادی و غیره است تا با فعل و انفعالات شیمیایی حاصل از این مواد در خاک، خصوصیات مکانیکی آن ارتقا یابد. منظور از بهسازی فیزیکی خاک، بهبود خواص خاک بدون تغییر در خصوصیات شیمیایی آن است. این نوع اصلاح را می توان از روش های مختلفی به دست آورد که مسلح سازی خاک یکی از این روش ها محسوب می شود [2]. برای مسلح کردن خاک می توان از شمع ها، سپر ها، میل مهارها، ژئوسنتتیک ها، ستون سنگی و ... استفاده کرد [3].

2-1-ضرورت انجام پژوهش

از مدتها پیش، می دانستند که شدت تکان زمین در حین زلزله و خسارات آن به ساختمانها، تحت تأثیر شرایط زمین شناسی و خاک محلی است. مک موردو (1824) در توصیف اثرات زلزله 1819 هند به این موضوع توجه کرد که ساختمانهای واقع بر سنگ بستر به هیچوجه به اندازه ساختمانهایی که پی آنها به زیر پوشش خاکی روی بستر سنگی نرسیده بود، صدمه ندیدند.

در گزارش وود (1908) از توزیع خسارتها و شدت ظاهری تکان ها در منطقه خلیج سان فرانسیسکو در زلزله 1906 نیز شواهدی ضمنی از تأثیر قابل توجه شرایط خاک زیر سطحی بر شدت حرکات سطحی زمین ارائه شده است. از آن زمان به بعد، تعدادی از محققین به نتایج مشابهی رسیدند. با این همه، تنها ظرف 25 سال

گذشته بود که نگاشت‌های ابزاری از حرکت های شدید زمین در چند نقطه از منطقه ای کلی به دست آمد. این نگاشت ها آثار عمده شرایط محلی خاک را بر ویژگی های حرکت های شدید به سطح زمین نشان دادند.

احتمالاً، مفصل ترین بررسی های انجام شده در مورد رابطه میان خسارت های وارده به ساختمان ها در اثر تکان های زلزله و شرایط خاک، بعد از وقوع زلزله 1967 کاراکاس در این شهر انجام شده است. هر چند بزرگی زلزله حدود 6/4 و فاصله کانون زلزله از کاراکاس حدود 60 کیلومتر بود، اما تکان های زلزله موجب سقوط چهار ساختمان آپارتمانی 10 تا 12 طبقه با حدود 200 نفر تلفات شدند. بسیاری از ساختمانهای دیگر نیز متحمل خسارت های سازه ای و معماری شدند. بدین جهت مطالعه ای تفصیلی در مورد رابطه میان خسارت های سازه ای وارد به ساختمانها و عمق خاک زیرین انجام شد. اثرات مشابهی در بسیاری از زلزله های دیگر مشاهده شده بود. ارزیابی مختصر این حالات تاریخی اهمیت اثرات محلی ساختگاهها را بوضوح روشن می سازد[4].

1-3-اهداف پژوهش

هدف از انجام این پژوهش بدست آوردن موارد زیر است:

- تأثیر روش های بهسازی بر پتانسیل تشدیدکنندگی ساختگاه
- تأثیر سختی و نسبت فاصله به قطر شمع ها بر پاسخ دینامیکی ساختگاه
- تأثیر قطر ستون سنگی بر پاسخ دینامیکی ساختگاه
- تأثیر تعداد لایه های ژئوگرید بر پاسخ دینامیکی ساختگاه

1-4-ساختار پایان نامه

حال با توجه به این توضیحات، در فصل دوم ، بعد از مروری بر تعاریف کلی در زمینه رفتار و عملکرد شمع ها، ستون سنگی و ژئو سنتتیک ها، به بررسی اثرات دینامیکی ساختگاه و روشهای تعیین پاسخ دینامیکی خاک پرداخته خواهد شد.

در فصل سوم مشخصات نرم افزار مورد استفاده، نحوه مدل سازی، شتابنگاشتها، مدل رفتاری و مشخصات ساختگاه مورد بررسی قرار می گیرد.

در فصل چهارم نتایج حاصل از آنالیزهای عددی به صورت جداول و نمودارهایی که تغییرات حداکثر شتاب افقی، ضریب بزرگنمایی، طیف پاسخ شتاب و طیف بزرگنمایی را نشان می دهد ارائه شده است. در نهایت نیز در فصل آخر نتایج و پیشنهادات لازم آورده شده است.

فصل دوم

مروری برمتون فنی

2-1- مقدمه

ارزیابی پاسخ زمین یکی از معمول ترین و مهمترین مسائلی است که در ژئوتکنیک لرزه ای مطرح است. تحلیل پاسخ زمین جهت پیش بینی حرکات سطح زمین و تدوین طیف پاسخ به منظور تعیین تنش ها و کرنش های دینامیکی خاک برای ارزیابی مخاطرات ژئوتکنیکی و محاسبه نیروهای ناشی از زلزله که می تواند سبب ناپایداری زمین و سازه های حائل گردد، بکار می رود [5] . چندین پارامتر از قبیل مکانیسم چشمه زلزله، بزرگی زلزله، فاصله محل از چشمه تخلیه انرژی، ویژگی های زمین شناسی سنگهای واقع در مسیرهای انتقال امواج از چشمه به محل، شرایط خاک محلی وتوپوگرافی ساختگاه بر پاسخ دینامیکی ساختگاه اثر می گذارند [5و6و7] .

تأثیر بعضی از این عوامل بهتر از بقیه درک شده است و در حقیقت در مورد تأثیرات بعضی از دیگر عوامل نظیر مکانیسم چشمه و زمین شناسی مسیر انتقال، جز به دست آوردن تصویری کلی امکان داشتن شناخت بیشتر وجود ندارد [4]. یکی از پارامترهای موثر بر پاسخ دینامیکی ساختگاه شرایط خاک محلی است. وجود لایه آبرفتی در حد فاصل سنگ بستر و سطح زمین، باعث تغییر مؤلفه های شتابنگاشت در سطح زمین و حتی اعماق مختلف لایه آبرفتی می گردد. این پدیده به علت رفتار دینامیکی آبرفت ایجاد می شود که این رفتار نیز از عوامل مختلفی نظیر خصوصیات دینامیکی لایه ها، موقعیت لایه ها، موقعیت سنگ بستر و عمق آبرفت متأثر می شود.

در این راستا بهسازی زمین که در برخی از پروژه ها یک نیاز ضروری طرح می باشد، می تواند بر مشخصات دینامیکی ساختگاه اثر داشته باشد که این موضوع یعنی تاثیر تغییرات مشخصات مکانیکی و دینامیکی ساختگاه در اثر بهسازی زمین تحت تحریکات لرزه ای می تواند بعنوان یک ضرورت تحقیق مطرح باشد.

به طور کلی روش بهسازی خاک به نوع خاک بستگی دارد. در مجموع، بهسازی زمین در خاک های چسبنده نرم که دارای مقاومت زهکشی نشده پایین ($c_u < 2.5\ t/m^2$) و ماسه شل که دارای عدد نفوذ استاندارد کمتر از 10 باشد، صورت می گیرد [3].

برای خاک های دانه ای از روش هایی مانند تراکم سطحی، تراکم دینامیکی، تراکم ارتعاشی، شمع تراکمی و برای خاک های چسبنده از روش هایی مانند تراکم سطحی، پیش بارگذاری، پیش بارگذاری همراه با زهکش قائم و مسلح کردن خاک استفاده میشود. یکی از روش های بهسازی و مقاوم سازی زمین که امروزه رواج بسیاری دارد، مسلح نمودن خاک است که مشابه خصوصیات بتن توسط آرماتور عمل میکند. تسلیح خاک میتواند به صورت قائم، افقی و یا مایل توسط المان های مختلف صورت گیرد. برای مسلح کردن خاک میتوان از شمعها، سپرها، میل مهارها، ژئوسینتیتیک ها، ستون سنگی و... استفاده کرد. از خانواده ژئوسینتیتیک ها، ژئوگرید، ژئوتکستایل و ژئوکامپوزیت برای مسلح کردن استفاده می شود [3].

در این فصل، بعد از مروری بر تعاریف کلی در زمینه رفتار و عملکرد شمع ها، ستون سنگی و ژئوسنتتیک ها ، به بررسی اثرات دینامیکی ساختگاه و سپس مطالعات انجام شده در زمینه روشهای تعیین پاسخ دینامیکی خاک پرداخته خواهد شد.

2-2- شمع ها

شمع ها، اعضاء سازه ای و یا ستون های زیرزمینی نسبتاً بلندی هستند که برای انتقال بارهای سازه ای از میان لایه های خاک با ظرفیت باربری کم (و یا نشست زیاد) به خاک های سخت و محکم با ظرفیت باربری زیاد در ژرفای بیشتر و یا بر روی سنگ بستر بکار می روند. بنا به تعریف نسبت عمق به پهنای شمع ها همواره بزرگتر از 4 است و در غیر این صورت بایستی همانند پایه ها محاسبه و تحلیل شوند. هم چنین برای مقاومت در برابر نیروهای بسیار زیاد بالا برنده در سازه های دریایی و یا در خاک های معمولی و یا برای پایداری سازه در برابر بارها و نیروهای افقی در خاکهای کم مقاومت و نیز در شرایطی که سازه بر روی خاکریزهای بسیار بلند در حال تحکیم قرار گرفته باشد، از شمع استفاده می شود. به هر صورت شمع کوبی از بهترین روش های پی سازی در عملیات دریایی، همانند ساختمان شالوده اسکله ها و کارهای سازه ای در زمین های سست بوده و شمع ها بهترین شالوده برای باربری وزن سازه های آبی و پایه پل ها می باشند. هم چنین برای پایداری سازه ها در برابر نیروهای افقی، گاهی از شمع های مایل استفاده می شود [8].

2-2-1- تاریخچه

شمع‌کوبی و استفاده از شمع‌های باربر بعنوان تکیه‌گاه سازه، یکی از اولین نمونه‌های هنر و علم مهندس عمران است. در انگلستان نمونه‌های زیادی از شمع‌های چوبی وجود دارد که توسط رومی‌ها برای پل‌ها و کنترل نشست زمین‌های اطراف رودخانه‌ها ساخته شدند. در قرون وسطی، شمع‌هایی از جنس چوب بلوط و توسکا در فونداسیون معابد بزرگ در فنلاند[1] ساخته شدند. در چین، شمع‌های چوبی توسط پل‌سازان هان دیناستی[2] از سال قبل از میلاد مسیح تا200 سال بعد از میلاد مسیح استفاده می‌شدند. ظرفیت باربری شمع‌های چوبی، محدود به قطر چوب‌های طبیعی و مقاومت مصالح آن‌ها در برابر کوبیده شدن توسط چکش بدون آسیب دیدن است. بخاطر مقاومت، سبکی، دوام، بریده شدن و حمل آسان، چوب تنها مصالحی است که تا چندین سال اخیر برای ساخت شمع مورد استفاده قرار می‌گرفت. شمع‌های بتنی و فولادی جایگزین شمع‌های چوبی شدند. زیرا

[1] Fenlands
[2] Han Dynasty

مقاومت آن‌ها در برابر نیروهای فشاری، خمشی و کششی خیلی بیشتر از ظرفیت شمع‌های چوبی با همان ابعاد بود.

بتن مسلح در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم بطور گسترده جایگزین چوب در شمع‌ها با ظرفیت بالا شد. شمع‌ها بتنی را می‌توانستند در اشکال مختلف سازه‌ای برای بارهای اعمالی و شرایط مختلف زمین از پیش بسازند. فولاد به دلیل ساخت و حمل آسان و مقاومت آن در برابر کوبش بطور گسترده برای شمع‌سازی استفاده شده است. بر مشکل خوردگی شمع‌های فولادی در سازه‌های دریایی با حفاظت کاتدگ لایه پوششی می‌توان غلبه کرد [9].

2-2-2- کاربرد شمع ها

در زیر بعضی از شرایطی که استفاده از شالوده های شمعی را ایجاب می نماید، شرح داده می‌شود:

1- وقتی که لایه یا لایه های فوقانی خاک دارای قابلیت فشردگی زیاد و یا خیلی ضعیف باشند، به طوری که نتوان از شالوده سطحی برای توزیع بار ساختمان استفاده کرد، شالوده های شمعی برای انتقال بار به لایه های تحتانی محکمتر و یا سنگ بستر مورد استفاده قرار می‌گیرند. وقتی که بستر سنگی و یا لایه محکمتر تحتانی در عمق معقولی از سطح زمین قرار نداشته باشند، از شمع برای انتقال تدریجی بار استفاده می شود. در این حالت بیشتر مقاومت شمع از طریق نیروی اصطکاک بین سطح تماس شمع و خاک (مقاومت جلدی) تامین می شود [10و11].

2- در شالوده سازه های حائل خاک که وظیفه آنها مقاومت در مقابل فشار جانبی خاک است و یا ساختمان های بلند که تحت تاثیر نیروهای باد یا زلزله قرار دارند، می توان از شمع ها جهت تحمل نیرو های افقی استفاده کرد. شمع ها در حالی که هنوز قابلیت حمل بارهای قائم را دارا هستند، می توانند به وسیله خمش، نیروهای افقی را حمل نمایند [8].

3-در خیلی از موارد، در منطقه مورد نظر برای احداث ساختمان خاک قابل تورم و یا فرو ریزشی (رمبنده) وجود دارد. این لایه ها ممکن است دارای عمق قابل توجهی باشند. خاکهای قابل تورم در اثر افزایش یا کاهش میزان رطوبت، تورم و یا کاهش حجم پیدا می کنند. فشار تورم چنین خاکهایی ممکن است به طرز قابل توجهی زیاد باشد. اگر در چنین خاک هایی از شالوده های سطحی استفاده شود، ساختمان ممکن است با صدمات جدی روبرو شود. در این حالت شالوده های شمعی که از لایه قابل تورم عبور کرده و وارد لایه پایدار شده اند، می‌توانند مورد توجه قرار گیرند [10].