



دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

تاسیس ۱۳۰۷

دانشکده مهندسی عمران

گرایش خاک و پی

پایان نامه کارشناسی ارشد

تعیین ظرفیت باربری دینامیکی گروه شمع با در نظر گرفتن اندرکنش شمع-خاک-شمع

استاد راهنما: دکتر حسن قاسم زاده

دانشجو: میلاد مهدی نژاد

شماره دانشجویی: ۹۲۰۷۰۷۴

بهمن ۱۳۹۴



تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم، آن دو فرشته ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم.

از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر حسن قاسم‌زاده نهایت تشکر و قدردانی را دارم، چرا که بدون راهنمایی‌های بی‌دریغ و صبورانه ایشان انجام این پژوهش میسر نمی‌شد.

چکیده:

در این تحقیق به مطالعه گروه شمع‌های شناور $2*2$ ، $3*3$ و $4*4$ تحت ارتعاشات قائم و افقی قابل استفاده در سکوه‌های دریایی، پل‌ها، ساختمان‌های بلند، پی ماشین‌آلات، توربین‌های بادی دریایی و دکل‌های مخابراتی و ... جهت تعیین امیدانس دینامیکی و ظرفیت باربری گروه شمع پرداخته شده است. محیط خاک به صورت نامحدود، همگن، همسان‌گرد و ویسکوالاستیک خطی در نظر گرفته شده و گروه شمع مورد مطالعه دارای شمع‌های با مقطع دایره‌ای، انعطاف‌پذیر و با طول بزرگ‌تر از طول موثر خواهد بود. اتصال سرشمع به صورت گیردار بوده و نوسانات به صورت هارمونیک بر سرشمع وارد می‌گردد. همچنین تغییر مکان محوری وابسته به نوسانات جانبی و تغییر مکان جانبی وابسته به نوسانات محوری بسیار ناچیز است. میرایی هیستریزیس مستقل از فرکانس فرض شده و تغییر مکان‌ها کم و در حد الاستیک و کاربردهای عملی مجاز می‌باشد.

هدف از این پژوهش ارائه راه حلی ساده، تقریبی و بهینه برای تعیین مقادیر سختی و میرایی گروه شمع بوده که می‌توان توسط این فراسنج‌ها با حل معادله‌ی حرکت سامانه‌ی گروه شمع و داشتن تغییر شکل‌های مجاز، به ازای هر فرکانس مقدار نیروی دینامیکی قابل تحمل گروه شمع را محاسبه نمود. فراسنج‌های به دست آمده به این روش با روش‌های کی‌نیا و کازل و نیز دوبری و گزناس مقایسه شده که تطابق خوبی مشاهده گردیده و البته با مقایسه‌ی توزیع نیروها در روش حاضر در حالت ارتعاش افقی با روش‌های آزمایشگاهی، پاسخ‌های به دست آمده در این پژوهش، به واقعیت نزدیک‌تر بوده و طراحی بهینه‌تری را به همراه خواهد داشت.

در ادامه برای بررسی میزان اهمیت هر یک از فراسنج‌های موثر بر سختی و میرایی گروه شمع، مطالعات حساسیت سنجی برای حالت‌هایی همچون نسبت مدول الاستیسیته شمع به خاک (E_p/E_s)، فاصله شمع‌ها به قطر شمع آن (S/D) و ضریب لاغری شمع (L/D) ارائه شده است. با توجه به روش‌های مختلف موجود برای محاسبه سختی و میرایی دینامیکی تک شمع، جهت سهولت در محاسبه ضرایب سختی و میرایی گروه شمع ضرایب جدیدی تعریف شده که با ضرب مختلط این ضرایب در امیدانس تک شمع می‌توان سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع را محاسبه نمود. این ضرایب در قالب نمودارهایی برای حالات مختلف نسبت مدول الاستیسیته شمع به خاک (E_p/E_s)، نسبت طول به قطر شمع (L/D) و فاصله شمع‌ها به قطرشان (S/D) ارائه می‌گردد.

کلمات کلیدی: گروه شمع، امیدانس دینامیکی، سختی و میرایی دینامیکی، ظرفیت باربری دینامیکی

فهرست مطالب:

۱ فصل اول: مقدمه و کلیات	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ ضرورت تحقیق	۲
۳-۱ هدف تحقیق	۳
۴-۱ ساختار تحقیق	۴
۲ فصل دوم: مروری بر ادبیات موضوع	۶
۱-۲ مقدمه	۷
۲-۲ تعیین تغییر شکل و ماکزیمم نیروی دینامیکی منتقل شده به زیراساس	۷
۱-۲-۲ تعیین تغییر شکل سامانه	۷
۲-۲-۲ ماکزیمم نیروی منتقل شده به زیراساس	۹
۳-۲ تعریف تابع امیدانس	۱۰
۱-۳-۲ سختی	۱۱
۲-۲-۲ میرایی	۱۱
۴-۲ تابع امیدانس تک شمع	۱۲
۱-۴-۲ تابع امیدانس تک شمع تحت ارتعاش قائم	۱۲
۲-۴-۲ تابع امیدانس تک شمع تحت ارتعاش افقی	۱۶
۵-۲ تابع امیدانس گروه شمع	۱۶
۶-۲ اندرکنش دینامیکی شمع - خاک - شمع محاسبه شده توسط قاسم‌زاده و علی‌بیک‌لو	۳۹
۱-۶-۲ اندرکنش دینامیکی شمع - خاک - شمع تحت ارتعاش قائم	۳۹
۲-۶-۲ اندرکنش دینامیکی شمع - خاک - شمع تحت ارتعاش افقی	۴۰
۳-۶-۲ اثر حضور شمع در سایه در بارگذاری استاتیکی و دینامیکی گروه شمع	۴۴
۳ فصل سوم: گروه شمع تحت ارتعاش قائم	۴۷
۱-۳ مقدمه	۴۸
۲-۳ تعریف مسئله:	۴۹
۳-۳ فرضیات اساسی روش ارائه شده	۴۹
۴-۳ تابع امیدانس گروه شمع	۵۰

۵۱.....	۳-۴-۱ گروه شمع ۲*۲.....
۵۴.....	۳-۴-۲ گروه شمع ۳*۳.....
۵۸.....	۳-۴-۳ گروه شمع ۴*۴.....
۶۲.....	۳-۵ مقایسه روش ارائه شده با روش های کی نیا و کازل و دوبری و گزتاس.....
۷۳.....	۳-۶ مطالعات فراسنجی و تحلیل حساسیت.....
۷۹.....	۳-۷ نمودارهای تعیین سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع.....
۴۷.....	۴ فصل چهارم: گروه شمع تحت ارتعاش افقی.....
۹۲.....	۴-۱-۱ مقدمه.....
۹۳.....	۴-۲-۱ تعریف مسئله:.....
۹۳.....	۴-۳-۱ فرضیات اساسی روش ارائه شده.....
۹۵.....	۴-۴-۱ تابع امیدانس گروه شمع.....
۹۵.....	۴-۴-۱ توزیع نیروی برشی در گروه شمع تحت ارتعاش افقی.....
۹۸.....	۴-۴-۲ گروه شمع ۲*۲.....
۱۰۰.....	۴-۴-۳ گروه شمع ۳*۳.....
۱۰۲.....	۴-۴-۴ گروه شمع ۴*۴.....
۱۰۶.....	۴-۴-۵ مقایسه روش ارائه شده با روش های کی نیا و کازل و دوبری و گزتاس.....
۱۱۸.....	۴-۶-۱ مطالعات فراسنجی و تحلیل حساسیت.....
۱۲۳.....	۴-۷-۱ نمودارهای تعیین سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع تحت ارتعاش افقی.....
۱۳۵.....	۵ فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....
۱۳۶.....	۵-۱ خلاصه کارهای انجام شده.....
۱۳۸.....	۵-۲ خلاصه نتایج.....
۱۴۰.....	۵-۳ پیشنهادات برای ادامه کار.....
۱۳۱.....	فهرست مراجع.....

فهرست شکل‌ها:

- شکل ۱-۲: گروه شمع تحت ارتعاش قائم ۸
- شکل ۲-۲: گروه شمع تحت ارتعاش افقی ۱۰
- شکل ۳-۲: تغییرات f_{z2} و f_{z1} با L/R و E_p/G برای شمع‌های شناور ۱۴
- شکل ۴-۲: فراسنج‌های سختی و میرایی تک شمع برای حالت شناور و تحت ارتعاش قائم و افقی ۱۵
- شکل ۵-۲: ضرایب سختی و میرایی گروه شمع تحت ارتعاش افقی ۲۱
- شکل ۶-۲: مقایسه امپدانس دینامیکی تک شمع با گروه شمع ۲*۲ ۲۴
- شکل ۷-۲: مقایسه مدل GEP با دیگر روش‌ها ۲۶
- شکل ۸-۲: تغییر شکل سیستم سازه - خاک - شمع در حالتی که سر شمع در مقابل حرکت جانبی مقید شده است. ... ۳۰
- شکل ۹-۲: سازه برشی منفرد بر روی پی واقع بر روی شمع در فضای نیمه بی نهایت در یک خاک همگن تحت موج‌های S به صورت قائم ۳۲
- شکل ۱۰-۲: الف) مدل قسمت زیرین سازه‌ی یک طبقه و ب) نوسانگر معادل با تک درجه آزادی ۳۳
- شکل ۱۱-۲: سیستم مورد بررسی به صورت یک مدل ایده آل ۳۵
- شکل ۱۲-۲: پریود طبیعی سیستم SSI شامل پی به عنوان تابعی از نسبت لاغری h/r و پارامتر موج $1/\sigma$: مقایسه بین آنالیز دقیق ارائه شده در مقابل راه حل ساده شده ۳۶
- شکل ۱۳-۲: فرکانس زاویه‌ای طبیعی در سیستم SSI شامل یک پی گسترده به عنوان تابعی از نسبت لاغری (h/r) و پارامتر موج ($1/\sigma$), مقایسه بین آنالیز دقیق پیشنهادی در مقابل راه حل ارائه شده توسط ولف ۳۶
- شکل ۱۴-۲: مدل یک سازه بر روی شمع الف) تابع با سه امپدانس ب) توزیع عکس العمل خاک در عمق به دلیل بارگذاری افقی ج) دو امپدانس دینامیکی در عمق مشخصی در عمقی زیر سطح زمین ۳۷
- شکل ۱۵-۲: المانی از شمع مرجع به طول dz' تحت بارگذاری جانبی دینامیکی ۴۲
- شکل ۱۶-۲: نمایش اثر حضور شمع در سایه در گروه شمع تحت بارگذاری جانبی ۴۵
- شکل ۱-۳: گروه شمع ۲*۲ تحت ارتعاش قائم ۵۲
- شکل ۲-۳: گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش قائم ۵۵
- شکل ۳-۳: گروه شمع ۴*۴ تحت ارتعاش قائم ۵۹
- شکل ۴-۳: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزتاس در حالت گروه شمع قائم ۲*۲ تحت بار هارمونیک قائم $E_p/E_s=1000, L/D=15, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, \beta_s=0.05, S/D=2$ ۶۳
- شکل ۵-۳: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزتاس در حالت گروه شمع قائم ۳*۳ تحت بار هارمونیک قائم $E_p/E_s=1000, L/D=15, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, \beta_s=0.05, S/D=2$ ۶۴
- شکل ۶-۳: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزتاس در حالت گروه شمع قائم ۴*۴ تحت بار هارمونیک قائم $E_p/E_s=1000, L/D=15, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, \beta_s=0.05, S/D=2$ ۶۵
- شکل ۷-۳: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزتاس در حالت گروه شمع قائم ۲*۲ تحت بار هارمونیک قائم $E_p/E_s=1000, L/D=15, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, \beta_s=0.05, S/D=5$ ۶۷
- شکل ۸-۳: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزتاس در حالت گروه شمع قائم ۳*۳ تحت بار هارمونیک قائم $E_p/E_s=1000, L/D=15, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, \beta_s=0.05, S/D=5$ ۶۸

- شکل ۳-۹: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزتاس در حالت گروه شمع قائم ۴*۴
 تحت بار هارمونیک قائم ۵ / $S/D = 5$, $\beta_s = 0.05$, $v_s = 0.4$, $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $L/D = 15$, $E_p / E_s = 1000$ ۶۹
- شکل ۳-۱۰: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزتاس در حالت گروه شمع قائم
 ۲*۲ تحت بار هارمونیک قائم ۱۰ / $S/D = 10$, $\beta_s = 0.05$, $v_s = 0.4$, $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $L/D = 15$, $E_p / E_s = 1000$ ۷۰
- شکل ۳-۱۱: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزتاس در حالت گروه شمع قائم
 ۳*۳ تحت بار هارمونیک قائم ۵ / $S/D = 5$, $\beta_s = 0.05$, $v_s = 0.4$, $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $L/D = 15$, $E_p / E_s = 1000$ ۷۱
- شکل ۳-۱۲: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزتاس در حالت گروه شمع قائم
 ۴*۴ تحت بار هارمونیک قائم ۵ / $S/D = 5$, $\beta_s = 0.05$, $v_s = 0.4$, $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $L/D = 15$, $E_p / E_s = 1000$ ۷۲
- شکل ۳-۱۳: تحلیل حساسیت تغییرات سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ برای مقادیر مختلف
 ۷۴ $L/D = 15$, $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $v_s = 0.4$, $\beta_s = 0.05$, $S/D = 3$, $\psi = 0$, E_p / E_s
- شکل ۳-۱۴: تحلیل حساسیت تغییرات سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ برای مقادیر مختلف
 ۷۵ $L/D = 15$, $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $v_s = 0.4$, $\beta_s = 0.05$, $\psi = 0$, $E_p / E_s = 1000$, S/D
- شکل ۳-۱۵: تحلیل حساسیت تغییرات سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ برای مقادیر مختلف
 ۷۶ $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $v_s = 0.4$, $\beta_s = 0.05$, $S/D = 3$, $\psi = 0$, $E_p / E_s = 1000$, L/D
- شکل ۳-۱۶: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۲*۲ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف
 ۸۰ $L/D = 20$, $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $v_s = 0.4$, $S/D = 2$, $\beta_s = 0.05$, $\psi = 0$
- شکل ۳-۱۷: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۲*۲ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف
 ۸۰ $L/D = 50$, $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $v_s = 0.4$, $S/D = 2$, $\beta_s = 0.05$, $\psi = 0$
- شکل ۳-۱۸: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف
 ۸۱ $L/D = 20$, $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $v_s = 0.4$, $S/D = 2$, $\beta_s = 0.05$, $\psi = 0$
- شکل ۳-۱۹: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف
 ۸۱ $L/D = 50$, $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $v_s = 0.4$, $S/D = 2$, $\beta_s = 0.05$, $\psi = 0$
- شکل ۳-۲۰: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف
 ۸۲ $L/D = 20$, $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $v_s = 0.4$, $S/D = 2$, $\beta_s = 0.05$, $\psi = 0$
- شکل ۳-۲۱: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف
 ۸۲ $L/D = 50$, $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $v_s = 0.4$, $S/D = 2$, $\beta_s = 0.05$, $\psi = 0$
- شکل ۳-۲۲: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۲*۲ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف
 ۸۳ $L/D = 20$, $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $v_s = 0.4$, $S/D = 5$, $\beta_s = 0.05$, $\psi = 0$
- شکل ۳-۲۳: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۲*۲ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف
 ۸۳ $L/D = 50$, $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $v_s = 0.4$, $S/D = 5$, $\beta_s = 0.05$, $\psi = 0$
- شکل ۳-۲۴: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف
 ۸۴ $L/D = 20$, $\rho_s / \rho_p = 0.7$, $v_s = 0.4$, $S/D = 5$, $\beta_s = 0.05$, $\psi = 0$
- شکل ۳-۲۵: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف
 E_p / E_s

۸۴.....	$L / D = 50, \rho_s / \rho_p = 0.7, v_s = 0.4, S / D = 5, \beta_s = 0.05, \psi = 0$
شکل ۲۶-۳: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف E_p / E_s	
۸۵.....	$L / D = 20, \rho_s / \rho_p = 0.7, v_s = 0.4, S / D = 5, \beta_s = 0.05, \psi = 0$
شکل ۲۷-۳: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف E_p / E_s	
۸۵.....	$L / D = 50, \rho_s / \rho_p = 0.7, v_s = 0.4, S / D = 5, \beta_s = 0.05, \psi = 0$
شکل ۲۸-۳: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۲*۲ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف E_p / E_s	
۸۶.....	$L / D = 20, \rho_s / \rho_p = 0.7, v_s = 0.4, S / D = 10, \beta_s = 0.05, \psi = 0$
شکل ۲۹-۳: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۲*۲ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف E_p / E_s	
۸۶.....	$L / D = 50, \rho_s / \rho_p = 0.7, v_s = 0.4, S / D = 10, \beta_s = 0.05, \psi = 0$
شکل ۳۰-۳: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف E_p / E_s	
۸۷.....	$L / D = 20, \rho_s / \rho_p = 0.7, v_s = 0.4, S / D = 10, \beta_s = 0.05, \psi = 0$
شکل ۳۱-۳: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف E_p / E_s	
۸۷.....	$L / D = 50, \rho_s / \rho_p = 0.7, v_s = 0.4, S / D = 10, \beta_s = 0.05, \psi = 0$
شکل ۳۲-۳: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف E_p / E_s	
۸۸.....	$L / D = 20, \rho_s / \rho_p = 0.7, v_s = 0.4, S / D = 10, \beta_s = 0.05, \psi = 0$
شکل ۳۳-۳: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ تحت ارتعاش قائم برای مقادیر مختلف E_p / E_s	
۸۸.....	$L / D = 50, \rho_s / \rho_p = 0.7, v_s = 0.4, S / D = 10, \beta_s = 0.05, \psi = 0$
شکل ۱-۴: توزیع نیروی برشی دینامیکی در گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش افقی	
۹۷.....	
۹۹.....	شکل ۲-۴: گروه شمع ۲*۲ تحت ارتعاش افقی
۱۰۰.....	شکل ۳-۴: گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش افقی
۱۰۳.....	شکل ۴-۴: گروه شمع ۴*۴ تحت ارتعاش افقی
شکل ۵-۴: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزناس در حالت گروه شمع قائم ۲*۲	
۱۰۷.....	تحت بار هارمونیک افقی $E_p / E_s = 1000, L / D = 15, \rho_s / \rho_p = 0.7, v_s = 0.4, \beta_s = 0.05, S / D = 2$
شکل ۶-۴: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزناس در حالت گروه شمع قائم ۳*۳	
۱۰۸.....	تحت بار هارمونیک افقی $E_p / E_s = 1000, L / D = 15, \rho_s / \rho_p = 0.7, v_s = 0.4, \beta_s = 0.05, S / D = 2$
شکل ۷-۴: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزناس در حالت گروه شمع قائم ۴*۴	
۱۰۹.....	تحت بار هارمونیک افقی $E_p / E_s = 1000, L / D = 15, \rho_s / \rho_p = 0.7, v_s = 0.4, \beta_s = 0.05, S / D = 2$
شکل ۸-۴: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزناس در حالت گروه شمع قائم ۲*۲	
۱۱۱.....	تحت بار هارمونیک افقی $E_p / E_s = 1000, L / D = 15, \rho_s / \rho_p = 0.7, v_s = 0.4, \beta_s = 0.05, S / D = 5$
شکل ۹-۴: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزناس در حالت گروه شمع قائم ۳*۳	
۱۱۲.....	تحت بار هارمونیک افقی $E_p / E_s = 1000, L / D = 15, \rho_s / \rho_p = 0.7, v_s = 0.4, \beta_s = 0.05, S / D = 5$
شکل ۱۰-۴: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزناس در حالت گروه شمع	
۱۱۳.....	قائم ۴*۴ تحت بار هارمونیک افقی $E_p / E_s = 1000, L / D = 15, \rho_s / \rho_p = 0.7, v_s = 0.4, \beta_s = 0.05, S / D = 5$

- شکل ۴-۱۱: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزتاس در حالت گروه شمع
 قائم ۲*۲ تحت بار هارمونیک افقی $E_p/E_s=1000, L/D=15, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, \beta_s=0.05, S/D=10$ ۱۱۴
- شکل ۴-۱۲: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزتاس در حالت گروه شمع قائم
 ۳*۳ تحت بار هارمونیک افقی $E_p/E_s=1000, L/D=15, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, \beta_s=0.05, S/D=10$ ۱۱۵
- شکل ۴-۱۳: مقایسه سختی و میرایی ارائه شده با روش‌های کی نیا و کازل و دوبری و گزتاس در حالت گروه شمع
 قائم ۴*۴ تحت بار هارمونیک افقی $E_p/E_s=1000, L/D=15, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, \beta_s=0.05, S/D=10$ ۱۱۶
- شکل ۴-۱۴: تحلیل حساسیت تغییرات سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف
 ۱۱۹ $L/D=15, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, \beta_s=0.05, S/D=3, \psi=20, E_p/E_s$
- شکل ۴-۱۵: تحلیل حساسیت تغییرات سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف
 ۱۲۰ $L/D=15, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, \beta_s=0.05, E_p/E_s=1000, \psi=20, S/D$
- شکل ۴-۱۶: تحلیل حساسیت تغییرات سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف
 ۱۲۱ $S/D=3, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, \beta_s=0.05, E_p/E_s=1000, \psi=20, L/D$
- شکل ۴-۱۷: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۲*۲ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s
 ۱۲۴ $L/D=20, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, S/D=2, \beta_s=0.05, \psi=0$
- شکل ۴-۱۸: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۲*۲ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s
 ۱۲۴ $L/D=50, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, S/D=2, \beta_s=0.05, \psi=0$
- شکل ۴-۱۹: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s
 ۱۲۵ $L/D=20, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, S/D=2, \beta_s=0.05, \psi=0$
- شکل ۴-۲۰: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s
 ۱۲۵ $L/D=50, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, S/D=2, \beta_s=0.05, \psi=0$
- شکل ۴-۲۱: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s
 ۱۲۶ $L/D=20, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, S/D=2, \beta_s=0.05, \psi=0$
- شکل ۴-۲۲: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s
 ۱۲۶ $L/D=50, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, S/D=2, \beta_s=0.05, \psi=0$
- شکل ۴-۲۳: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۲*۲ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s
 ۱۲۷ $L/D=20, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, S/D=5, \beta_s=0.05, \psi=0$
- شکل ۴-۲۴: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۲*۲ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s
 ۱۲۷ $L/D=50, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, S/D=5, \beta_s=0.05, \psi=0$
- شکل ۴-۲۵: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s
 ۱۲۸ $L/D=20, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, S/D=5, \beta_s=0.05, \psi=0$
- شکل ۴-۲۶: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s
 ۱۲۸ $L/D=50, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, S/D=5, \beta_s=0.05, \psi=0$
- شکل ۴-۲۷: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s
 ۱۲۹ $L/D=20, \rho_s/\rho_p=0.7, v_s=0.4, S/D=5, \beta_s=0.05, \psi=0$

شکل ۴-۲۸: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s	۱۲۹
شکل ۴-۲۹: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۲*۲ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s	۱۳۰
شکل ۴-۳۰: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۲*۲ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s	۱۳۰
شکل ۴-۳۱: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s	۱۳۱
شکل ۴-۳۲: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s	۱۳۱
شکل ۴-۳۳: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۳*۳ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s	۱۳۲
شکل ۴-۳۴: ضرایب سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع ۴*۴ تحت ارتعاش افقی برای مقادیر مختلف E_p/E_s	۱۳۲

فهرست جداول:

جدول ۱: فراسنج‌های سختی و میرایی تک شمع تحت ارتعاش افقی ($L/R > 25$) ۱۵

۱ فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

به طور کلی یکی از مهم‌ترین موضوعات مورد توجه در پروژه‌های مهندسی عمران، سامانه‌ی پی پروژه می‌باشد. همان‌طوری که می‌دانیم پی هر سازه وظیفه انتقال بار از سازه به خاک را دارد. بنابراین طراحی صحیح پی می‌تواند منجر به افزایش ایمنی، کار آیی و صرفه‌جویی اقتصادی پروژه گردد. زمانی که جنس خاک نزدیک به سطح زمین از رس سخت و یا ماسه متراکم باشد، پی‌های سطحی گزینه مناسبی جهت استفاده به عنوان رادیه می‌باشند. با این وجود در برخی موارد ممکن است پی سطحی ظرفیت باربری مناسبی داشته باشد، اما نشست‌های نسبی و کلی پی از حد مجاز تجاوز کند که حتی با افزایش ضخامت نیز این مشکل برطرف نگردد. از گذشته در روش‌های سنتی برای مقابله با این مشکل از گروه شمع استفاده می‌شد که شمع‌ها علاوه بر وظیفه باربری بارهای فوقانی، نقش کاهنده نشست را نیز بر عهده داشتند. در واقع وجود شمع موجب افزایش فرکانس طبیعی سامانه و همچنین افزایش دامنه ارتعاشات در محدوده تشدید خواهد گردید.

۲-۱ ضرورت تحقیق

در تحلیل و طراحی پی سکوه‌های دریایی، پل‌ها، ساختمان‌های بلند، ماشین‌آلات، توربین‌های بادی دریایی، دکل‌های مخابراتی و به طور کلی سازه‌هایی که در معرض بارهای دینامیکی قرار دارند، دامنه نوسانات باید به یک مقدار قابل قبول که توسط آیین‌نامه‌ها، سازنده‌ی ماشین‌آلات و ... تعیین می‌گردد، محدود شود. در صورت عدم

درک این مطلب ممکن است خسارات جبران ناپذیری به بار آورده و موجب آسیب رساندن به سازه‌های اطراف و نیز خسارات جانی و مالی دیگر گردد. طراحی موفق پی چنین سازه‌هایی نیاز به ارزیابی مشخصات دینامیکی یعنی سختی دینامیکی و میرایی دارد. در واقع با مدل‌سازی سامانه‌ی گروه شمع به صورت شمع و فنر می‌توان درک بهتری نسبت به تحلیل گروه شمع داشت. ارزیابی دینامیکی پی‌هایی که بر روی گروه شمع اجرا می‌شود، شامل محاسبه سختی و میرایی تک شمع و اندرکنش شمع - خاک - شمع و در نتیجه محاسبه سختی و میرایی گروه شمع می‌باشد. با کمی بررسی در پژوهش‌های انجام گرفته در این زمینه می‌توان دید که هرچند این تحقیقات دارای دقت قابل قبولی هستند، اما به سبب پیچیدگی حجم زیاد محاسبات تحلیلی از پاره‌ای فرضیات ساده کننده استفاده شده است؛ لذا با وجود تحقیقات فراوان در این زمینه نیاز به دستیابی به راه حلی مناسب، ساده و دقیق به شدت احساس می‌شود.

۱-۳ هدف تحقیق

هدف از این پایان‌نامه ارائه‌ی راه حلی ساده و بهینه برای تعیین مقادیر سختی و میرایی گروه شمع شناور بوده که می‌توان توسط این مقادیر و با حل معادله‌ی حرکت سامانه‌ی گروه شمع و نیز داشتن تغییر شکل‌های مجاز، به ازای هر فرکانس مقدار نیروی دینامیکی قابل تحمل گروه شمع را محاسبه نمود. شاید آن طور که تصور می‌شود، برای تعیین ظرفیت باربری باید حالت پلاستیک خاک و شمع مورد تحلیل قرار گرفته و با توجه به گوه گسیختگی تشکیل شده در سامانه مقدار آن محاسبه شود. اما با توجه به اینکه سامانه مورد نظر تحت ارتعاش قرار دارد، در نظر گرفتن یک گوه‌ی گسیختگی امکان‌پذیر نیست، بنابراین با قدری اغماض و فرض الاستیک بودن سامانه‌ی مورد مطالعه و با توجه به معادله‌ی حرکت و فراسنج‌های آن از جمله جرم، سختی و میرایی، تغییر مکان سامانه را برای هر فرکانس محاسبه کرده و مقدار آن با مقادیر مجاز مقایسه خواهد شد. در واقع با این فراسنجه‌ها و با توجه به معادله‌ی حرکت می‌توان برای تغییر شکل مجاز مورد نظر که توسط آیین‌نامه‌ها، سازنده‌های

ماشین‌آلات و ... ارائه می‌گردد، مقدار بار هارمونیک قابل تحمل سامانه را محاسبه نمود.

۱-۴ ساختار تحقیق

این پایان‌نامه در ۵ فصل تدوین شده است که در ادامه می‌آید:

در این فصل ضمن تعریف مسئله و بیان ابعاد مختلف آن، مقدماتی از موضوع مورد مطالعه و لزوم انجام این پژوهش گفته شده است.

در فصل ۲، ابتدا با بیان مقدمات مربوط به ظرفیت باربری گروه شمع، امپدانس تک شمع و گروه شمع و نیز توزیع نیروها و فلسفه‌ی شمع در سایه، تعدادی از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه مورد مطالعه قرار گرفته و به اختصار آورده شده و نقاط ضعف و قوت هر یک مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در فصل ۳، گروه شمع‌های ۲*۲، ۳*۳ و ۴*۴ تحت ارتعاش قائم مورد مطالعه قرار گرفته و با استفاده از امپدانس تک شمع و اندرکنش شمع - خاک - شمع، سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع برای حالات مختلف نسبت مدول الاستیسیته شمع به خاک (E_p/E_s)، نسبت طول به قطر شمع (L/D) و فاصله شمع‌ها به قطرشان (S/D) محاسبه خواهد گردید. در ادامه پاسخ‌های به دست آمده با چند مقاله معتبر مقایسه گردیده، سپس با انجام مطالعات فراسنجی و به عبارتی تحلیل حساسیت بر روی نتایج به دست آمده سعی بر بررسی حساسیت پاسخ‌ها خواهد شد. همچنین با توجه به تحلیل‌های انجام گرفته، جهت سهولت محاسبه‌ی فراسنج‌های سختی و میرایی گروه شمع گراف‌هایی برای حالات مختلف ارائه گردیده و نمونه‌هایی جهت روش محاسبه ارائه خواهد شد.

در فصل ۴، در ابتدا روشی برای توزیع صحیح نیرو در بین شمع‌های تحت ارتعاش افقی ارائه شده، سپس با استفاده از امپدانس تک شمع و اندرکنش شمع - خاک - شمع به محاسبه امپدانس گروه شمع تحت ارتعاش

افقی پرداخته خواهد شد. در ادامه روش ارائه شده با روش‌های کی‌نیا و کازل (۱۹۸۲) و دوبری و گزتاس (۱۹۸۸) مقایسه گردیده و جهت تحلیل حساسیت با انجام مطالعات فراسنجی بر روی نتایج به دست آمده سعی بر بررسی حساسیت پاسخ‌ها نموده و با توجه به تحلیل‌های انجام گرفته گراف‌های مورد نیاز برای حالات مختلف ارائه خواهد گردید. همچنین جهت مشاهده‌ی شیوه محاسبه‌ی فراسنج‌های سختی و میرایی و نیز تغییر شکل‌ها نمونه‌هایی ارائه خواهد شد.

در فصل ۵، پس از مرور اجمالی کارهای انجام شده در فصل‌های قبل به بررسی نتایج حاصله و تحلیل آن‌ها، جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پرداخته و همچنین پیشنهادهایی جهت ادامه پژوهش در زمینه کار انجام شده ارائه خواهد شد.

۲ فصل دوم: مروری بر ادبیات موضوع

۱-۲ مقدمه

با توجه به آن چه که در فصل پیش اشاره شد، هدف از این پایان نامه تعیین سختی و میرایی دینامیکی گروه شمع به روشی ساده و بهینه می باشد، که با داشتن این فراسنج ها بتوان ظرفیت باربری دینامیکی گروه شمع را محاسبه نمود. بنابراین در این فصل ابتدا مفاهیم مورد نیاز برای حل معادله حرکت گروه شمع تحت ارتعاش قائم و افقی، از جمله محاسبه سختی و میرایی تک شمع و گروه شمع تعریف شده، سپس به مرور پژوهش های انجام گرفته در این زمینه پرداخته خواهد شد.

۲-۲ تعیین تغییر شکل و ماکزیمم نیروی دینامیکی منتقل شده به زیراساس

۱-۲-۲ تعیین تغییر شکل سامانه

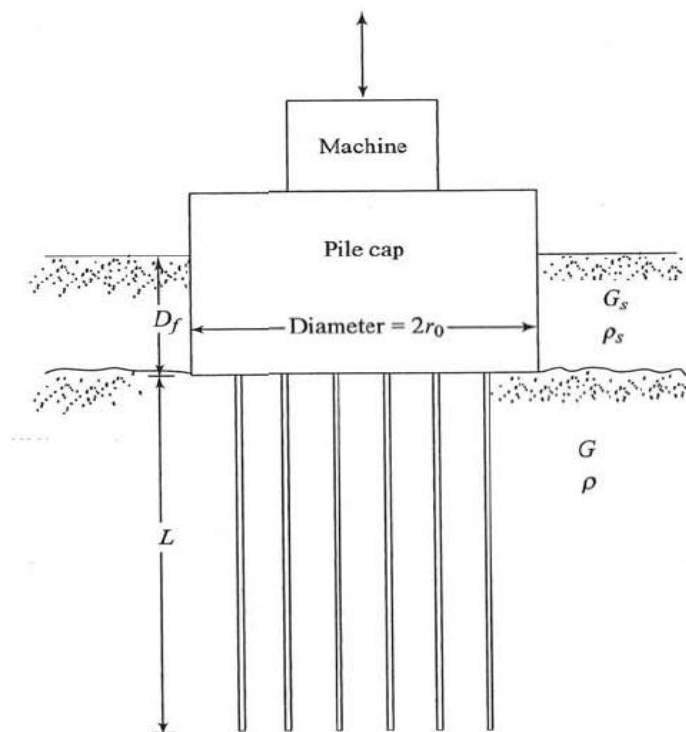
شکل ۱-۲ یک گروه شمع شناور تحت بار هارمونیک قائم $F=F_0\exp(i\omega t)$ را نشان می دهد. می توان گروه شمع مورد نظر را به صورت سامانه ی جرم - فنر - میراگر در نظر گرفت، به طوری که جرم نماینده سرشمع و سازه فوقانی آن می باشد. فرضیات در نظر گرفته شده شامل موارد ذیل می باشد [1]:

➤ شمع قائم، الاستیک و با سطح مقطع دایروی

➤ شمع شناور

➤ پیوستگی کامل میان خاک و شمع

➤ محیط خاک پیرامون شمع نیمه بی‌نهایت و لایه‌ای و دارای شرایط کرنش مسطح



شکل ۱-۲: گروه شمع تحت ارتعاش قائم [1]

معادله دیفرانسیل حرکت سامانه به صورت زیر می‌باشد:

$$m\ddot{z} + c_z\dot{z} + k_z z = Q_0 \sin \omega t \quad 1-2$$

$$\rightarrow z = A_z \cos(\omega t + \alpha); A_z = \frac{(Q_0 / k_z)}{\sqrt{[1 - (\omega^2 / \omega_n^2)]^2 + 4D_z^2 (\omega^2 / \omega_n^2)}} \quad 2-2$$

به طوری که k_z سختی سامانه، c_z میرایی سامانه، A_z دامنه ارتعاش، ω فرکانس ارتعاش، $\omega_n = \sqrt{k/m}$

فرکانس طبیعی نامیرا و $D_z = \frac{c_z}{2\sqrt{k_z m}}$ نسبت میرایی سامانه می‌باشد. گفتنی است $\omega_m = \omega_n \sqrt{1 - 2D_z^2}$

فرکانس میرا و $A_z = \frac{Q_0}{k_z} \frac{1}{2D_z \sqrt{1 - D_z^2}}$ دامنه تشدید سامانه می‌باشد.

۲-۲-۲ ماکزیمم نیروی منتقل شده به زیراساس:

برای پی‌های در حال ارتعاش تعیین نیروی منتقل شده به زیراساس ضروری است. این مقدار از جمع

نیروی فنر و میراگر تولید شده بر اثر حرکت نسبی جرم، فنر و میراگر به صورت زیر دست می‌آید [1]:

$$F_{dyn} = (k_z + i\omega c_z)z = k_z z + c_z \dot{z} \rightarrow F_{dyn \max} = A_z \sqrt{k^2 + (c\omega)^2} \quad 3-2$$

با توجه به توضیحات بالا و روابط ارائه شده برای هر سامانه که بتوان به صورت جرم - فنر - میراگر مدل

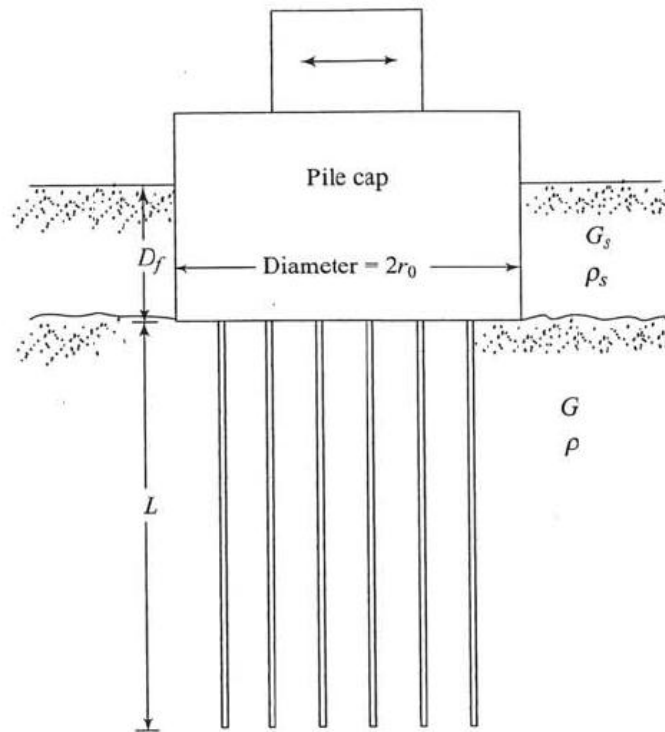
کرد، با به دست آوردن سختی و میرایی و با داشتن جرم آن سامانه می‌توان جابه‌جایی سامانه را محاسبه کرده و

با جابه‌جایی مجاز ذکر شده در آیین نامه‌ها مقایسه کرد. همچنین با داشتن جابه‌جایی مجاز آن سامانه می‌توان

مقدار نیروی قابل تحمل سامانه را به دست آورد.

برای حالت ارتعاش افقی نیز به همین صورت تغییر شکل‌ها و ماکزیمم نیروی قابل تحمل توسط سامانه

قابل محاسبه خواهد بود.



شکل ۲-۲ گروه شمع تحت ارتعاش افقی [1]

قابل ذکر است که شاید نتوان مستقیماً نام این روش را تعیین ظرفیت باربری نامید، اما تفاوت موجود در این روش با روش‌های معمول به دست آوردن ظرفیت باربری فرض الاستیک بودن سامانه بوده که سعی بر ساده‌سازی آن شده است تا بتوان از آن در تعیین ظرفیت باربری گروه شمع هم بهره برد؛ بنابراین در ادامه شیوه محاسبه امپدانس دینامیکی و یا به عبارتی سختی و میرایی دینامیکی تک شمع و گروه شمع تبیین خواهد گردید.

۲-۳ تعریف تابع امپدانس

تابع امپدانس بر اساس فرض کرنش مسطح ابتدا توسط نواک^۱ در سال ۱۹۷۴ [2] ارائه شده که شامل دو بخش حقیقی و موهومی می‌باشد. بخش حقیقی تابع امپدانس سختی و بخش موهومی آن میرایی مواد را نشان

^۱ Novak

می‌دهد. راه حل نواک راه دقیقی است که مسائل را به صورت الاستودینامیک در فضای خاکی نامحدود بر روی شمع دایره‌ای، صلب و قائم تحت نوسان افقی به صورت دوبعدی مورد بررسی قرار می‌دهد. در حالت کرنش مسطح، کرنش در جهات قائم وجود نخواهد داشت و تنها انتشار امواج به صورت افقی بوده و با افزایش فرکانس راه حل کرنش مسطح به راه حل‌های معمول همگرا خواهد شد.

۲-۳-۱ سختی

۲-۳-۱-۱ سختی خاک

سختی خاک به عوامل زیر بستگی دارد:

- ابتدا معمولاً با افزایش فرکانس مقدار سختی افزایش یافته سپس با افزایش فرکانس بیش از یک مقدار مشخص مقدار آن شروع به کاهش می‌کند.
- در یک فرکانس مشخص با افزایش ضریب میرایی، مقدار سختی کاهش می‌یابد.
- با افزایش ضریب پوآسون نیز از مقدار سختی کاسته شده اما این کاهش از مقادیر بیش از $\nu=0.40$ شدیدتر خواهد بود.

۲-۳-۱-۲ سختی شمع

سختی شمع به مشخصات شمع از جمله مدول الاستیسیته (E_p)، سطح مقطع (A_p) و طول شمع (L) و شرایط دو ابتدا و انتهای شمع بستگی دارد.

۲-۳-۲ میرایی

در اثر هر گونه ارتعاش مواد با مشخصات مختلف از خود در مقابل با اعمال شده مقاومت نشان می‌دهند

که به این عامل، میرائی اطلاق می‌گردد.

۲-۳-۱ میرائی خاک

میرایی نیز مانند سختی وابسته به فرکانس، ضریب میرایی، ضریب پوآسون و مدول برشی خاک بوده و تغییرات آن به صورت زیر است:

- با افزایش فرکانس مقدار میرائی افزایش می‌یابد.
- با افزایش ضریب میرایی، میرایی زیاد می‌گردد که این مسئله به خاطر اثر افزایش میرائی بر میرائی هندسی است.
- با افزایش ضریب پوآسون مقدار میرائی نیز زیاد می‌شود.
- در فرکانس‌های کمتر از فرکانس طبیعی میرائی محدود بوده و بیشتر مربوط به میرائی مواد می‌باشد.

۲-۳-۲ میرائی شمع

میرائی شمع به صورت میرائی مواد (هیستریزیس) تعریف شده و بر حسب نوع مصالح به کار رفته شامل ضرایب مختلف ۰.۲٪، ۰.۵٪، ۱.۰٪ و ... می‌باشد.

۲-۴ تابع امپدانس تک شمع

۲-۴-۱ تابع امپدانس تک شمع تحت ارتعاش قائم

روش‌های مختلفی در ادبیات موضوع در مورد امپدانس تک شمع برای پروفیل‌های مختلف خاک و شمع وجود دارد. امپدانس تک شمع تحت ارتعاش قائم (K_s) به صورت زیر تعریف می‌شود: