شالوده های عمیق
Deep Foundations

رشته مهندسی عمران
دوره ارتقاء پایه محاسبات (پایه ۲ به ۱)
۲۴ ساعت

مدرس دکتر سعید غفاربور جهرمی
عضو هیات علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

سرفصل مصوب دوره بر اساس ابلاغ دفتر مقررات ملی ساختمان

- انواع پی های عمیق
- شرایط و علل استفاده از شمعها
- طبقه بندی و ویژگی های مختلف شمعها
- عملکرد شمع و خاک اطراف تحت بارهای مختلف (قائم، جانبی، استاتیکی، دینامیکی)
- ظرفیت باربری شمع بر اساس روشهای استاتیکی، دینامیکی، صحرایی
- شمع تحت بار جانبی، اندرکنش خاک و شمع
- گروه شمع (ظرفیت باربری، توزیع بار و شکست)
- آزمایش های شناسایی پارامترهای ژئوتکنیکی مرتبط با طراحی شمع
- طراحی شمع، کلاهک و اتصالات مربوطه
- اصطکاک منفی و کشش رو به پایین

مراجع و منابع

Deep Foundations

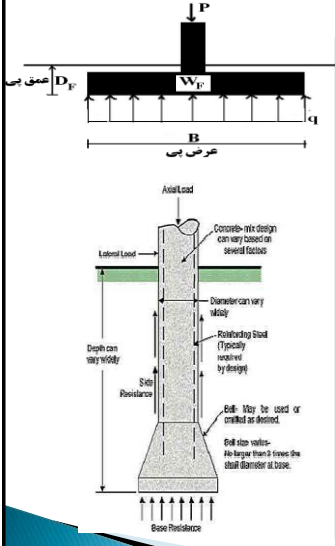
- مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان، پی و پی سازی
- مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، طراحی و اجرای ساختمان های بتن مسلح
- نشریه ۳۸۶-مشخصات فنی عمومی اجرای شمع (کوبشی و درجاریز)

کتب فارسی انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

- «ظرفیت باربری محوری شمع ها»
- «شمعها، ظرفیت باربری پی های عمیق»
- «دستورالعمل آزمایش بارگذاری استاتیکی شمع»
- آزمایشها و تحلیل های دینامیکی در طراحی و اجرای شمع»
- «مهندسی پی، طراحی و اجرا»، نویسنده ابوالفضل اسلامی

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

تعریف پی– انواع پی–در مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان



۷-۱-۳-۲ پی: به مجموعه بخش‌هایی از سازه و خاک در تماس با آن اطلاق می‌شود که انتقال بار بین سازه و زمین از طریق آن صورت می‌گیرد. پی‌ها عمدتا به سه گروه تقسیم می‌شوند:

الف- پی‌های سطحی: به پی‌هایی گفته می‌شود که در عمق کم و نزدیک سطح زمین (عمق پی (D) کمتر از سه برابر عرض پی (B) $\frac{D}{B} \leq 3$) ساخته می‌شوند. این پی‌ها شامل: پی‌های منفرد، نواری، شبکه‌ای و گسترده می‌باشند. جنس پی‌های سطحی ممکن است سنگی، بتنی و یا بتن آرمه باشند.

ب- پی‌های عمیق یا شمع‌ها: به پی‌هایی گفته می‌شود که نسبت عمق قرارگیری به کوچکترین بعد افقی آن‌ها از ۱۰ تجاوز کند ($\frac{D}{B} \geq 10$). این پی‌ها شامل انواع شمع‌ها، دیوارک‌ها و دیوارهای جدا کننده می‌شوند. پی‌های عمیق در ساختمان‌ها معمولاً به وسیله یک سازه میانی، که کلاهک یا سر شمع نامیده می‌شود، بارهای سازه را به زمین منتقل می‌نمایند.

پ- پی‌های نیمه عمیق: به پی‌هایی گفته می‌شود که در حد فاصل بین پی‌های سطحی و پی‌های عمیق قرار دارند. پی‌های صندوقه‌ای معمولاً در این گروه قرار دارند و می‌توانند در جهت اطمینان مثل پی های سطحی طراحی شوند.

تعریف شمع در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان

۹-۲۰-۲-۲ انواع شمع‌ها

شمع‌ها از اجزای شالوده عمیق می‌باشند که بارهای ساختمان را به زمین منتقل می‌نماید. شمع‌ها ممکن است منفرد یا به صورت گروه شمع باشند.

۹-۲۰-۲-۲-۱ شمع منفرد به شمعی اطلاق می‌شود که مستقیماً بار یک ستون را دریافت نموده و به زمین منتقل نماید.

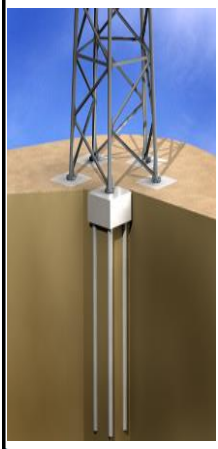
۹-۲۰-۲-۲-۲ گروه شمع‌ها به تعدادی شمع اطلاق می‌شود که بار خود را از یک یا چند ستون از طریق صفحه سر شمعی دریافت نمایند.

دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهریار
دانشگاه عمران ایران
مدرس: سعید فلاریور جهرمی

تعریف و موارد کاربرد شمع

«شمع‌ها»[1] یا «پی‌های عمیق»[2] عناصر ستونی نسبتاً لاغری هستند که بصورت قائم و یا کمی شیب‌دار به عنوان پی سازه‌ها بکار رفته، بطوریکه بار سازه‌های فوقانی را به لایه‌های مناسب‌تر خاک در اعماق پائین‌تر منتقل می‌کنند. طول یا عمق قرارگیری شمع در خاک، سطح مقطع، جنس، روش استقرار و چگونگی عملکرد شمع‌ها از متغیرهای اصلی بوده که با توجه به شرایط و نیازهای پروژه تعیین می‌گردند. سیستم پی عمیق (شمع) زمانی توصیه می‌شود که حداقل یکی از شرایط زیر برقرار باشد:

۱- لایه‌های سطحی خاک فاقد مقاومت کافی بوده و لایه‌های مقاوم‌تر خاک در اعماق پایین‌تر یافت شوند. به عبارت دیگر، حتی اگر از پی‌های گسترده استفاده شود، ظرفیت باربری لازم توسط لایه‌های سطحی تامین نگردد.



۲- لایه یا لایه‌های سطحی نشست پذیر، تورم‌زا، فروریزشی باشند یا سازه به نشست غیرمتقارن بسیار حساس باشد.

۳- علی‌رغم مقاوم بودن لایه‌های سطحی خاک، مشکل «آب‌شستگی[1]» وجود داشته باشد، مانند آب‌شستگی کنارهٔ پایه‌های میانی و یا کوله پلها و سازه‌های مجاور ساحل.

۴- بارهای متمرکز بزرگی باید از سازه به خاک منتقل شوند بطوریکه تحمل این نیروها توسط پی‌های سطحی، حتی به صورت گسترده، امکانپذیر نباشد.

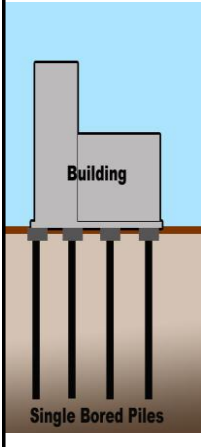
۵- سطح آب زیرزمینی در منطقه بالا است و یا فشار آرتزین در لایه‌های خاک وجود داشته، بطوریکه امکان احداث پی کم‌عمق وجود نداشته باشد.

۶- افزایش سختی خاک زیر پی ماشین‌آلات برای کنترل دامنهٔ ارتعاشات پی و همچنین کنترل فرکانس طبیعی سیستم.

۷- مقاومت در برابر نیروهای کششی یا واژگونی برای پی‌های زیر سطح آب و یا جلوگیری از واژگونی سازه‌های بلند.

۸- ایجاد مهار در برابر نیروهای افقی و زلزله یا ضربه‌گیری در اسکله‌ها.

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

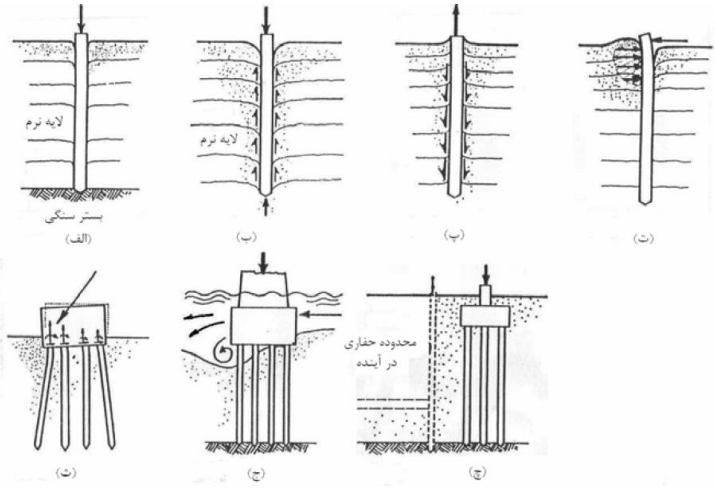


۹- کنترل لغزش و رانش زمین و افزایش پایداری شیبها.

۱۰- مقابله با عواقب آتی حاصل از ساخت و سازها در مجاورت پروژه و یا بناهای موجود.

در بعضی موارد، شمع‌ها بدون آنکه مستقیماً در انتقال بار نقش داشته باشند موجب افزایش ظرفیت باربری، تراکم و سختی خاک اطراف می‌شوند: به عبارت دیگر گاهی کوبیدن تعدادی شمع با فواصل مشخص، مثلاً روی یک شبکهٔ شطرنجی در پلان، به عنوان یک روش اصلاح و تقویت خاک در زمینهای سست و شل بکار گرفته می‌شود.

انواع بارگذاری شمع



چند مورد از کاربرد شمع‌ها (Vesic, 1977)

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

مبانی انتخاب و طراحی شمع

طراحی شمع هم **جنبه هنری** دارد و هم **جنبه علمی**.

هنر طراحی در انتخاب مناسب ترین نوع شمع و روش نصب آن بر اساس شرایط بار گذاری و ساختگاهی است.

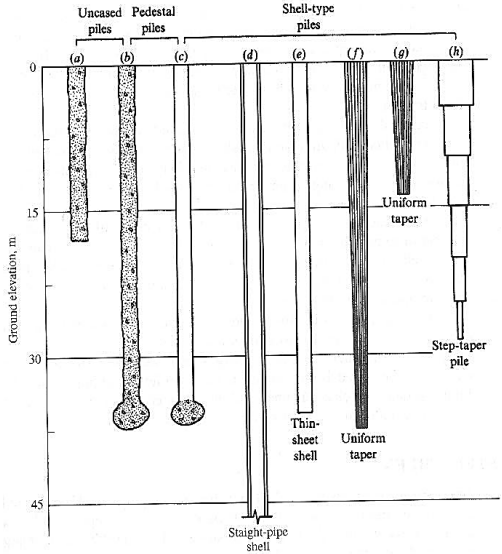
جنبه علمی طراحی شمع به پیش بینی و تخمین درست عملکرد شمع مستقر در خاک در حین نصب و بارگذاری دوران بهره برداری کمک می کند.

این عملکرد بطور مؤثر به روش نصب شمع بستگی داشته و به تنهایی نمی تواند توسط خصوصیات فیزیکی شمع و مشخصات خاک دست نخورده پیش بینی شود.

مرور کلی مراحل عملیاتی در طرح شمع

- اطلاعات لازم و مکفی از شرایط ژئوتکنیکی محل-مشخصات لایه بندی خاک
- شناخت دقیق نیروها و لنگرهای وارده از روسازه از نظر نوع، مقدار، جهت و اولویت
- شناخت عوامل محیطی بر دوام و پایایی مصالح شمع
- شناخت رفتار کوتاه مدت و دراز مدت خاک
- شناخت وضعیت پیرامون پروژه برای تصمیم گیری در مورد شیوه اجرای شمع
- انتخاب صحیح نوع شمع از نظر جنس و روش اجرا
- توجه به امکان پذیری ساخت شمع پیش ساخته و توجه به محدودیت های ابعادی
- انتخاب روش نصب شمع شامل کوبش، ارتعاش، فشار، پیچش، درجا
- تخمین عمق مدفون شمع با توجه به شرایط خاک، بارهای موجود و امکانات اجرایی
- توجه به آرایش شمع در گروه و توجه به عملکرد گروه شمع در طراحی
- تعیین باربری شمع تکی یا گروهی با استفاده از تحلیل های معتبر استاتیکی، نتایج آزمایشهای درجا، تحلیل دینامیکی (کوبش) و بارگذاری استاتیکی
- کنترل و ارزیابی نشست شمع و گروه شمع
- طراحی سازه ای شمع و کلاهک سر شمع
- آزمایشات میدانی به منظور پایش سلامت و اطمینان از صحت اجرا
- کنترل عدم آسیب دیدگی شمع در حین ساخت، حمل و اجرا
- تعیین ضرایب اطمینان مناسب طراحی

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فلاح پور جهرمی



روش‌های مختلف اجرای شمع‌ها

معیارهای طبقه بندی شمع

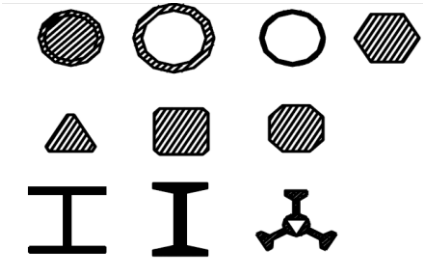
طبقه بندی بر اساس شکل و مقطع
طبقه بندی بر اساس مصالح
طبقه بندی بر اساس روش ساخت
طبقه بندی بر اساس روش اجرا
طبقه بندی بر اساس میزان جابجایی خاک
طبقه بندی بر اساس روش انتقال بار

طبقه بندی بر اساس شکل و مقطع شمع

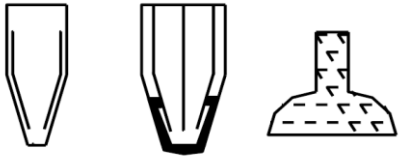
شمع‌ها در مقطع طولی می‌توانند به شکلهای استوانه‌ای و یا مخروطی باشند که نوع مخروطی آن با توجه به گرادیان باریک‌شوندگی به دو صورت شمع مخروطی با گرادیان باریک شوندگی تند و شمع مخروطی با گرادیان باریک شوندگی ملایم تقسیم می‌شوند. مقطع شمع‌ها شامل دایره، مربع،شش ضلعی، هشت ضلعی، شانزده ضلعی، H شکل و حتی مثلثی است که به دو صورت توخالی و توپر کاربرد دارند.

سطح جدارهٔ شمع‌ها می‌تواند صاف و یا زبر باشد و ناحیه نوک شمع می‌تواند تیز و یا پهن باشد. در بعضی موارد از کفشکهای تیز و یا پهن در نوک شمع استفاده می‌شود. همچنین نوک شمع ممکن است باز یا بسته باشد. به عنوان مثال یک شمع لوله‌ای می‌تواند هم با نوک باز و هم با نوک بسته بکار گرفته شود.

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فقارپور جهرمی



(ب) مقطع عرضی



(ج) مقطع نوک

طبقه بندی شمع از نظر نوع مصالح

- فولادی
- بتنی
- چوبی
- پلیمری
- مرکب

دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد
دانشگاه علمی کاربردی
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

STEEL PILES

شمع های فولادی

شامل پروفیل‌های مختلف INP، H، لوله و یا ترکیبی از آنها هستند.

شمع لوله ای می تواند در دو حالت انتهای بسته و انتهای باز به زمین کوبیده شوند که بعد از کوبش درون آن با بتن پر می شود.

مقاطع پروفیل فولادی در شمع کوبی بهتر است مقاطعی ضخامت بال و جان آنها یکسان باشد تا در زمان کوبش لهیدگی موضعی کمتر اتفاق افتد.

مزایای شمع های فولادی پیش ساخته :

- سرعت اجرایی زیاد
- مقاومت بالای این گونه مصالح (فولاد)
- طویل نمودن شمع در حین اجرا
- سهولت حمل و نقل
- سبک بودن پروفیل (در مقایسه با بتن)
- عدم لهیدگی یا لهیدگی کم فولاد در مقابل فرورفتن (سر و ته شمع ها)

معایب شمع های فولادی پیش ساخته :

- سرعت خوردگی با توجه به شرایط سولفاته بودن منطقه
- هزینهٔ بالا نسبت به بتن (غیر اقتصادی بودن)
- ایجاد سر و صدا و ارتعاش
- مشکلات اجتماعی در مناطق مسکونی

مقطع مختلف شمع های فولادی

شمع لوله‌ای فولادی

شمع لوله‌ای ته بسته

شمع فولادی با Pile Shoe

شمع فولادی مایل

شمع فولادی با Pile Shoe

Sheet Pile & King Pile

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فقارپور جهرمی

شمع بتنی پیش ساخته

شمع های پیش ساخته با مقطع مربع، دایره یا هشت ضلعی بصورت مسلح ساخته می شوند. مسلح کردن شمع با استفاده از میلگرد یا پس تنیده کردن آنها جهت افزایش ظرفیت سازه ای در زمان حمل و نقل، استقرار، کوبش، اعمال نیروی جانبی یا لنگر خمشی انجام می شود. شمع های پیش ساخته با شکل مقطع هندسی به صورت نوک تیز با طول مورد نظر ساخته و در شرایط کارگاهی عمل آوری می شوند و سپس به محل کوبش حمل می شوند.

❁ مزایا شمع های بتنی پیش ساخته

- سرعت و سهولت در اجرا
- کیفیت خوب این گونه شمع ها به دلیل اینکه در کارگاه تولید می شوند. (کلیهٔ کنترلهای لازم در کیفیت بتن انجام می پذیرد)
- اقتصادی بودن آن با توجه به شرایط کشور ما

❁ معایب شمع های بتنی پیش ساخته

- مقاومت کم در مقایسه با شمع فولادی
- محدودیت در ابعاد و اندازه (قطر و طول)
- مقاومت کل کمتر به دلیل محدودیت ابعاد با توجه به نوع شمع ریزی
- مشکلات کوبش با توجه به ابعاد و اندازه (طول و مقطع) و نوع خاک
- ایجاد سر و صدا و ارتعاش زیاد در حین کوبش

CONCRETE PILES

مراحل ساخت یک شمع بتنی پیش ساخته توخالی مقطع لوله ای

Fixing the wires in the mold.

Fabrication of PC wires and Spiral wires

Fixing the upper mold (after pouring concrete).

Pouring concrete (C50) inside the mold.

دانشگاه شریف میرداماد
دانشگاه عمران ایران
مدرس سعید فقاریور جهرمی

after curing, Cutting the PC wires and Demolding

Spinning the mold. (They say, spinning time is about 5 minutes, maximum speed is 1000 rounds/1 minutes.)

8. after demoled, piles are sent to stock yard.

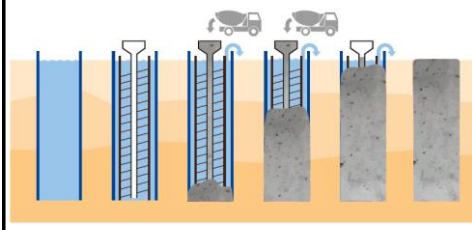
شمع های بتنی درجا

اجرای شمع بتنی درجاریز، در ۳ مرحله حفاری، ارماتورگذاری و بتن ریزی انجام می شود. حفاری می تواند دستی (توسط مقنی) یا ماتشینی باشد. سپس قفس آرماتور درون محل حفاری استقرار و داخل آن از بتن با استفاده از لوله و قیف پر می شود. انجام عملیات حفاری در خاک سست و ریزشی استفاده از لوله گذاری (غلاف فولادی) یا گل حفاری اجتناب ناپذیر است. این شمع در خاک سخت میتواند دارای نوک پهن شده (پافیلی- پداستال) باشد تا بتوان ظرفیت باربری فشاری و کششی شمع را افزایش داد.

غلاف و لوله گذاری

در خاکهای ریزشی و سست بر مرحله حفاری ابتدا یک لوله فلزی با قطر زیاد درون خاک رانده می شود. رانش می تواند به صورت کوبش یا دورانی باشد. سپس مصالح داخلی آن با دستگاه حفاری تخلیه شده و پس از ارماتورگذاری، درون آن از بتن (با لوله و قیف) پر می شود. پس از بتن ریزی لوله با چکش ارتعاشی یا به روش دورانی بیرون کشیده می شود. این عملیلت را غلاف گذاری یا کیسینگ گویند.

برای شمعهای طویل ممکن است چند لوله کوتاه به هم متصل شوند. که نفوذ غلاف و بیرون کشیدن آن مشکلاتی را به همراه خواهد داشت.



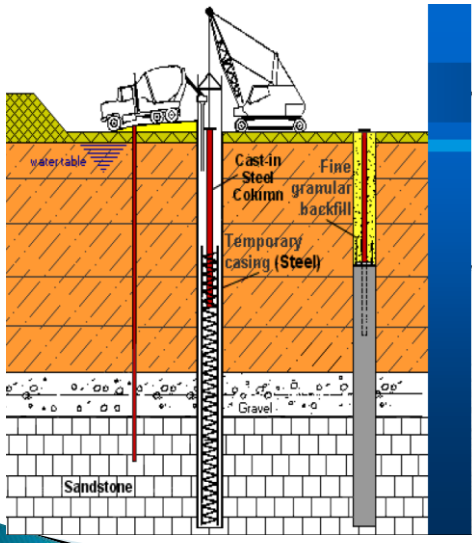
دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد یزد
دانشکده فنی مهندسی
مدرس سعید فقاریور جهرمی

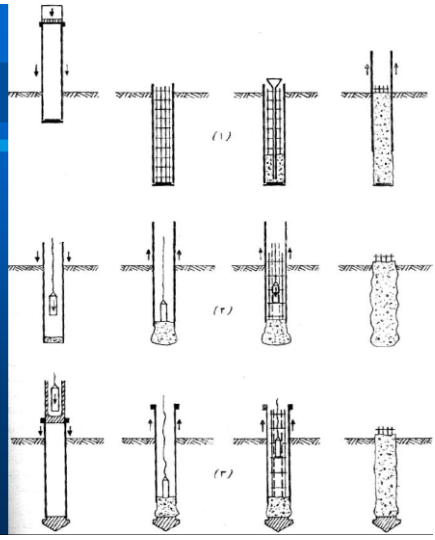
استفاده از غلاف کوتاه در شروع حفاری جهت ممانعت از ریزش دهانه محل حفاری ناشی از فشار و ضربه اجرای عملیات در مکراحل مختلف ارماتورگذاری و بتن ریزی الزامی است

برخی مواقع لوله در محل باقی می ماند و نوعی شمع مرکب خواهد بود.

در شمع درجا می توان اجرای نوک پهن را با کوبیدن بتن در انتهای شمع ایجاد کرد. بدین صورت که پس ریختن مقداری بتن اولیه نوک شمع، با رها کردن وزنه از ارتفاع بتن کوبیده و در اطراف نفوذ و نوک پهن می شود. در این شرایط نوک شمع غیرمسلح بوده و برای انتقال بار فشاری مناسب است.

روشهای مختلف اجرای در شمع درجا





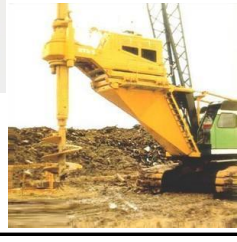
دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس سعید فقاریور جهرمی

مشخصات دستگاه روتاری

۱. چرخ زنجیری
۲. موتور دیزلی
۳. قرقره مونتاژکابل کلی
۴. بازوی دستگاه (۹۰>۰)
۵. دکل دستگاه
۶. قرقره شیاردار کله گربه
۷. مته حفاری
۸. روتاری هد
با حرکت دورانی خود باعث چرخش کلی می شود
۹. میله کلی (Kelly)
با قابلیت حرکت دورانی و قائم
۱۰. تکیه گاه هیدرولیکی
با قابلیت ایجاد چرخش ۱۸۰ درجه ای در بدنه دستگاه

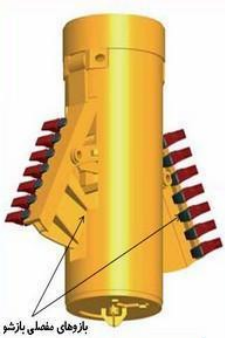
تجهیزات حفاری

روتاری حفاری

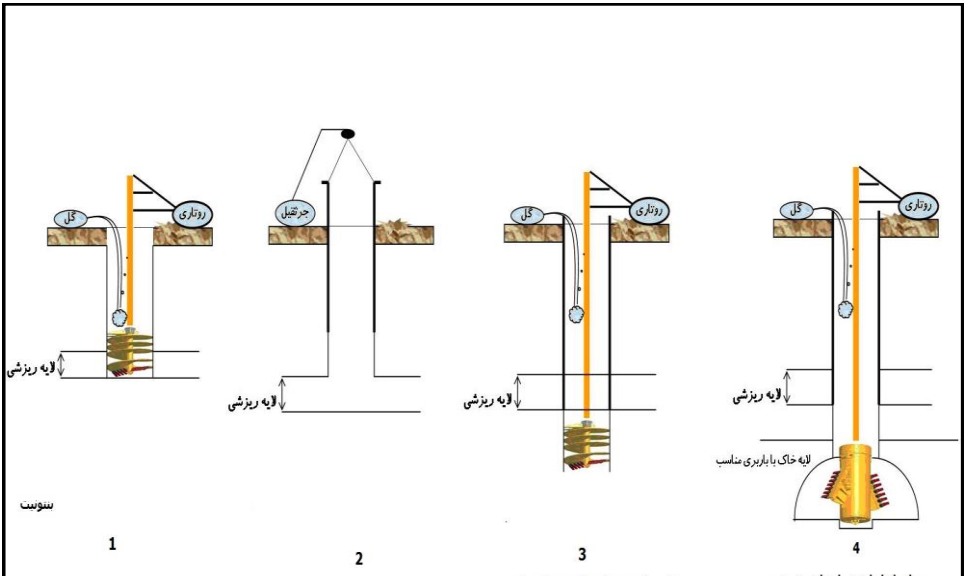


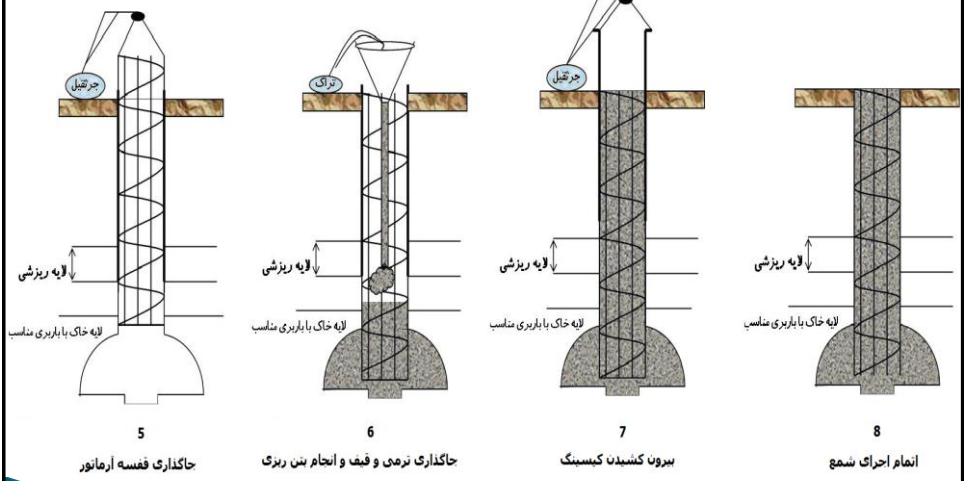
تجهیزات حفاری

اوگر – مته حلزونی – کندن خاک نرم و سخت
باکت حفاری –در خاک سخت و سنگ
مغزه گیری
باکت زنگوله ای – برای اجرای پداستال
تراپان –برای شکستن لایه سنگی و سخت



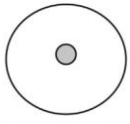
دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشگاهی معلمی ایران
مدرس: سعید فقارپور جهرمی



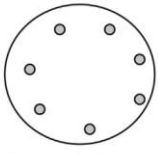


دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده مهندسی عمران
مدرس سعید فقاریور جهرمی

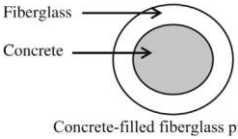
Types of FRP Piles:



Plastic pile with a steel core



Reinforced plastic pile



Concrete-filled fiberglass pipe pile

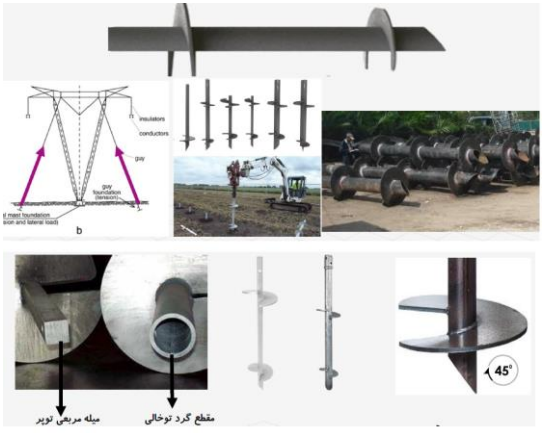
Plastic piles

گل حفاری– گل بنتونیت

مخلوط بنوتنیت (نوعی خاک رس) و آب با طرح اختلاط و ویسگوزیته مشخص که در حفاری مورد استفاده قرار می گیرد.
اگر مق حفاری زیاد باشد استفاده از کیسینگ زمان بر است که جهت جلوگیری از ریزش دیواره می توان از دوغاب بنتـــونیت استفاده کرد.
بنتونیت نوعی رس ریزدانه است و پس از اختلاط به آب متبلور و با گذشت ۲۴ ساعت در آب صورت ژل در می آید. بنتونیت موجب افزایش فشار هیدرواستاتیکی و پـــــایداری کاهش ریزش چاه می شود.

دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت
دانشگاه علمی کاربردی
مدرس سعید فقاریور جهرمی

شمعهای خاص و روشهای خاص اجرا



شمع پیچی، مارپیچ پیچ وار Helical Piles

شمع مته ای

پایه عمیق– شمع درجاریز با قطر و طول زیاد

عمق معمول: ۱۰ الی ٤٠ متر
حداکثر عمق: حدود ۹۰ متر

قطر معمول: ٤٠ الی ۱۵۰ سانتیمتر
حداکثر قطر: حدود ۳ متر

اگر قطر چاه از ۷٦ سانتیمتر بیشتر شود به آن پایه عمیق می گویند.

انتهای شمع بتنی درجا می تواند بزرگ شده، انباره، کف پهن، پافیلی، پدستال باشد.

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران، آب و محیط زیست
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

برخی ضوابط مبحث نهم مقررات ملی

۹-۸-۷ مشخصات بتن‌های مصرفی برای بتن‌ریزی از طریق ترمی (قیف و لوله)

۱) در این گونه بتن‌ها، میزان سیمان مصرفی در حدود ۴۵۰-۳۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب بتن است. در هر حال میزان مواد سیمانی نباید کمتر از ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب بتن باشد.

۲) حدود اسلامپ این گونه بتن‌ها۲۵۰-۱۷۰ میلیمتر است.

۳) در این نوع بتن‌ها، حداکثر اندازه سنگدانه‌ها۵۰-۴۰ میلیمتر مناسب است.

۴) حداکثر نسبت آب به سیمان، ۰/۴۵ است.

۵) نسبت «حداکثر اندازه سنگدانه» به «قطر داخلی لوله» نباید از ۰/۱۲۵ بیشتر باشد.

۶) در این گونه بتن‌ها می‌باید چسبندگی کافی بین اجزای بتن وجود داشته باشد.

۷) سیستم قیف و لوله می‌باید کاملا آب بند باشد.

۸) در طول مدت بتن ریزی می‌باید سیستم پر از بتن باشد.

۹) بتن‌ریزی در زیر آب از طریق ترمی می‌تواند با روش پیش آکنده نیز با رعایت ضوابط مربوطه انجام شود.

۱۰) هنگام بتن‌ریزی باید اختلاف فشار هیدرولیکی داخل و خارج قالب از بین رفته و سطح آب در داخل و خارج قالب در یک تراز باشد.

۱۱) در موقع بتن‌ریزی با قیف و لوله باید همیشه انتهای تحتانی لوله حداقل به طول ۱ تا ۱/۵ متر داخل بتن باشد به‌طوری که آب نتواند از پایین وارد لوله شود. برای این منظور باید به تدریج با پر شدن لوله آن را بالا کشید.

ضوابط مبحث نهم مقررات ملی

۱۲) باید از ایجاد سطوح افقی که لایه‌های مختلف بتن را از یکدیگر جدا می‌کنند، اجتناب شود.

۱۳) وقتی سطح بتن به حد فوقانی مورد نظر رسید، باید آن قسمت از بتن که با مواد ببرونی درآمیخته و دانه‌های شن و ماسه و شیره بتن از هم جدا شده، جمع‌آوری و بیرون ریخته شود. این کار باید تا رسیدن به بتن خمیری سالم ادامه یابد.

۱۴) استفاده از سایر روش‌های بتن‌ریزی در زیر آب بنا بر توصیه و تأیید دستگاه نظارت بلامانع است.

جزئیات بتن‌ریزی زیر آب باید در مشخصات فنی خصوصی درج گردد.

۹-۸-۸ مشخصات بتن‌های مصرفی در شمع‌های بتنی درجاریز

۱) حداقل میزان سیمان مصرفی در این گونه بتن‌ها، ۴۰۰ کیلوگرم است.

۲) حداقل میزان اسلامپ این گونه بتن‌ها، ۱۵۰ میلیمتر است.

۳) حداکثر میزان نسبت آب به سیمان، ۰/۵ است.

دانشگاه شریف
دانشکده مهندسی عمران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

محدوده رواداریهای معرفی شده در مراجع مختلف

کوبشی			درجاریز - بتنی			
موقعیت نسبت به مرکز mm	انحراف از محور شمع	تراز بالایی شمع mm	موقعیت نسبت به مرکز mm	انحراف از محور شمع	تراز بالایی شمع mm	تراز نهایی قفسه آرماتور mm
۲۵ تا ۱۵۰	٪۱ تا ٪۴	+۵۰ تا −۱۰۰	۷۵ تا ۱۵۰	٪۲ تا ٪۴	+۲۵ −۷۵	+۱۵۰ −۷۵

❁ معایب روش حفاری با گل بنتونیت:

۱- در حین حفاری معمولا گل بنتونیت در فضای خالی ذرات خاک نفوذ می کند، بنابراین پس از بتن ریزی بجای اینکه شمع با خاک طبیعی در تماس باشد، لایه ای از گل بنتونیت بین بتن و ذرات خاک به عنوان حائل قرار گرفته است. در نتیجه مقاومت اصطکاکی را کاهش می دهد.

۲- رسوب گذاری گل بنتونیت در حین اجرا باعث می شود نوک شمع با خاک طبیعی در تماس نباشد و این امر باعث کاهش مقاومت انتهایی شمع ها می گردد.

۳- پایین بودن کیفیت بتن در این روش (به دلیل اینکه گل بنتونیت معمولا در حین بتن ریزی باعث کاهش کیفیت و در نهایت باعث کاهش مقاومت بتن می شود ، در حالیکه در روش پیش ساخته کیفیت اجرای بتن بسیار بالا می باشد زیرا در کارگاه، تحت کنترل ساخته می شود.)

۴- آغشته شدن میله گرد به گل بنتونیت و وجود یک غشا بین میله گرد و بتن

❁ مزایای استفاده از گل بنتونیت:

۱- حفظ پایداری جدار حفاری شده. (از ریزش جدار به داخل منطقهٔ حفاری شده جلوگیری می کند و قسمتی از فشار جانبی حذف شده حین حفاری را جبران می کند.)

۲- سهولت در اجرا و حرکت مته و خنک کردن سر مته را بهمراه خواهد داشت.

دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهریار
دانشکده فنی عمران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

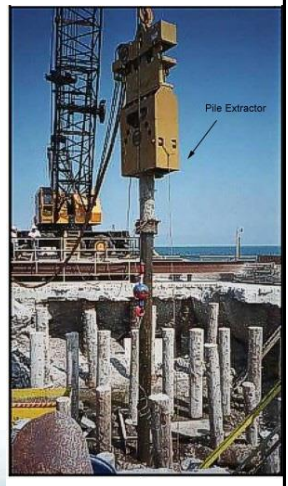
شمعهای چوبی

از تنه درخت های سالم،صاف و بلند، بدون درز و ترک با قطر 30-35 Cm و طول 10 - 20 m و قطر نوک 15 Cm

شمعهای کلاس A برای حمل بارهای سنگین با حداقل قطر ۳۵
شمعهای کلاس B برای حمل بارهای سبک با حداقل قطر ۳۰
شمعهای کلاسC برای کارهای ساختمانی موقت استفاده می شود با قطر کمتر از ۳۰

اگر شمع چوبی در داخل سفره آب زیرزمینی یا خاک کاملا اشباع قرار بگیرد عمر آن افزایش می یابد. اما در شرایط آب و هوایی دریایی خطر پوسیدگی آن در کوتاه مدت بخصوص بالای سطح آب زیرزمینی وجود دارد.

کوبش شمع چوبی با استفاده از کفشک و کلاهک فولادی انجام می شود و در هیچ حالتی قطر نوک شمع نباید کمتر از ۱۵۰ میلیمتر باشد.



شمعهای مرکب (مختلط)

در شمعهای مرکب، قسمتهای فوقانی و تحتانی شمع از دو مصالح مختلف ساخته می شوند. به عنوان مثال شمعهای مرکب ممکن است از فولاد و بتن و یا چوب و بتن ساخته شوند.

شمعهای مختلط فولاد و بتن مرکب از قسمت تحتانی فولاد و قسمت فوقانی بتن درجا می باشند.

این نوع شمع وقتی مورد استفاده قرار می گیرد که طول شمع لازم برای تأمین ظرفیت باربری از ظرفیت شمع بتنی درجای ساده بیشتر باشد.

شمعهای مختلط چوب و بتن دارای قسمت تحتانی چوبی می باشند که به طور دائم در سفره ی آب زیرزمینی قرار دارد و قسمت فوقانی آنها از بتن است.

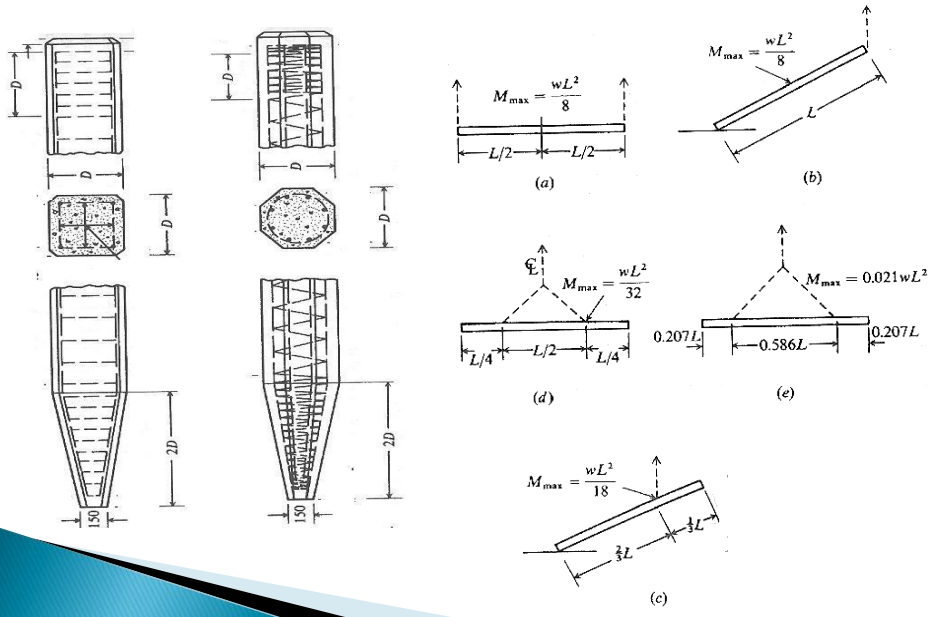
در هر صورت ایجاد وصله در محل تلاقی دو مصالح مشکل بوده و به همین علت است که شمعهای مختلط دارای کاربرد وسیعی نمی باشند.

دانشگاه فرهنگ و هنر میبد و یزد
دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

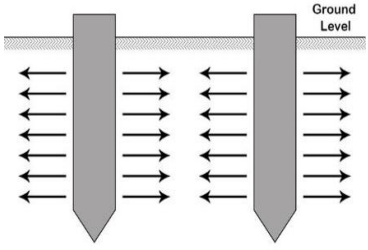
طبقه بندی شمع از نظر روش ساخت و اجرا

پیش ساخته
درجا ریخته
کوبشی
ارتعاشی
پیچشی
فشاری

نحوه آرماتورگذاری و محدودیت ابعادی شمع پیش ساخته



طبقه بندی شمع از نظر میزان جابجایی درخاک



- **شمع با جابجایی بزرگ**

هنگام نصب و رانش به درون زمین، تغییر مکان زیادی در خاک ایجاد می کنند.

این شمع ها معمولاً دارای مقاطع توپر و یا تو خالی ته بسته می باشند که با شیوه کوبشی یا فشاری به درون خاک رانده می شوند

با کوبش این شمع ها در خاک دانه ای، وضعیت تراکم خاک بهبود می یابد که به **شمع تراکمی** نیز موسوم هستند.

- **شمع با جابجایی کوچک**

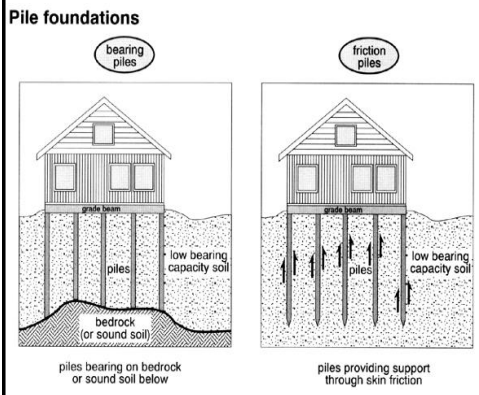
اینگونه شمع ها دارای سطح مقطع نسبتاً کوچکی هستند که میزان جابجایی خاک در اثر کوبش و اجرای آنها بسیار کمتر از حالت قبل است (مقاطع فولادی H یا I شکل، لوله ها یا جعبه های فولادی ته باز).

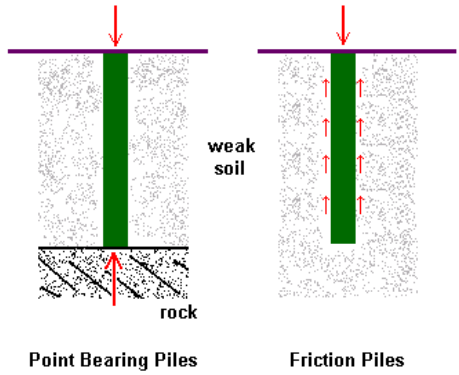
- **شمع بدون جابجایی**

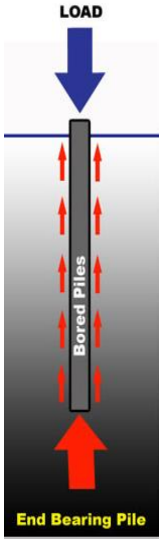
برای نصب این نوع شمع ها نخست حفره محل شمع با روش های حفاری مناسب حفاری شده و درون آن بتن ریزی می شود. بتن ممکن است درون غلاف ریخته شود و یا بدون غلاف بتن ریزی انجام شود. غلاف ممکن ست با پیشرفت بتن ریزی بیرون کشیده شود.

طبقه بندی شمع از نظر روش انتقال بار

- شمع اتکایی
- شمع اصطکاکی
- شمع اتکایی – اصطکاکی
- میکرو شمع







- **شمع اتکایی**

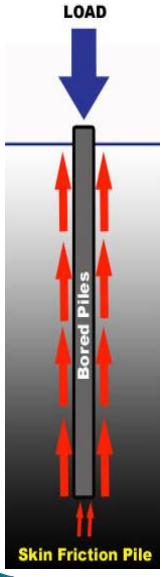
به شمعی اطلاق می شود که قسمت اعظم بار را از طریق نوک (سطح تماس انتهایی با خاک) منتقل می‌کند.

این گونه شمع‌ها باید به یک بستر مقاوم و سخت سنگی تکیه کنند یا بایستی حداقل به میزان ۳ برابر قطر به درون لایه سخت نفوذ کنند.

میزان باربری شمع از طریق نوک تابع نوع و مشخصات لایه سخت در نوک شمع و ابعاد انتهایی شمع است.

در چنین حالتی با توجه به معلوم بودن عمق بستر سنگی از روی گمانه های حفر شده، تعیین طول شمع کار چندان مشکلی نخواهد بود

اگر روش اجرای شمع بصورت درجا باشد برای بسیج کامل مقاومت نوک (باربری انتهایی نوک)، بایستی شمع حداقل به میزان % 20 – 10 برابر قطر جابجایی و نشست داشته باشد.



شمع اصطکاکی

به شمعای اطلاق می شود که قسمت اعظم بار را از طریق جداره خارجی به خـاک منتقـل می‌کند. (طول لازم برای نفوذ به یک لایه سخت غیراقتصادی است).

اینگونه شمعها مقاومت نوک بسیار اندکی دارند و بدلیل وجود اصطکاک بین خاک و جداره شمع، بار را بصورت تدریجی در طول جداره خود به خاک منتقل می‌کنند. این اسم بعضـی مواقع می تواند گمراه کننده باشد،زیرا مقاومت شمعهایی که در لایه ی رسی کوبیده مـی شوند،بستگی به چسبندگی بین جدار شمع و رس دارد.

در این فرآیند انتقال بار گاهی اینگونه شمعها را شمع شناور می نامند.

میزان باربری اینگونه شمعها تابعی از نوع و مشخصات خاک، جنس شمع، ابعاد هندسی و روش اجرای شمع است.

طول لازم برای شمع اصطکاکی بستگی به مقاومت برشی خاک،بار وارده،و اندازه ی شمع دارد. برای تعیین طول لازم شمع، احتیاج به درک خوبی از اندرکنش خاک - شمع، قضاوت مهندسی،و تجربه است.

اگر روش اجرای شمع بصورت درجا باشد، بـرای بسـیج کامـل مقاومـت اصـطکاکی در جداره، شمع باید حداقل به میزان چند میلیمتر جابجایی و نشست داشته باشد.

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

میکرو شمع

یکی از روشهای مواجهه با خاکهای مسئله دار نظیر خاکهای سست با قابلیت باربری کم، نشست‌پذیری زیاد، روانگرا، خاکهای دستی و غیره استفاده توام از المانهای باربر و اصلاح خواص فیزیکی- مکانیکی توده خاک است (استفاده از میکروپایلها بهمراه تزریق دوغاب سیمان).

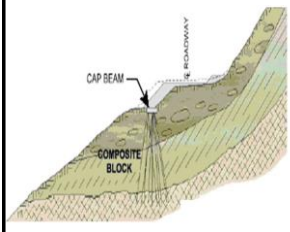
میکروپایل به شمع‌های با قطر کوچکتر از ۳۰ سانتیمتر اطلاق می‌گردد که غالباً با تسلیح فولادی سبک و تزریق دوغاب سیمان همراه می‌باشند. میکروپایل علاوه برآنکه به عنوان یک المان باربر و مقاوم در برابر نشست عمل می‌کند، بدلیل تزریق دوغاب سیمان، سبب بهبود مشخصات مکانیکی (مقاومتی و رفتاری) خاک اطراف نیز می‌گردد.

نصب پکر و تجهیزات تزریق روی لوله های کوبیده شده

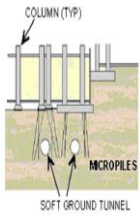
اتمام تزریق و فروبردن میلگرد تسلیح در لوله

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فقاروی جهرمی

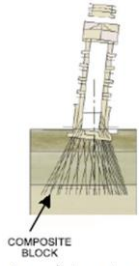
کاربردهای میکرو شمع



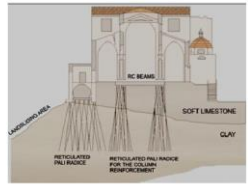
بابدار سازی شیروانیها



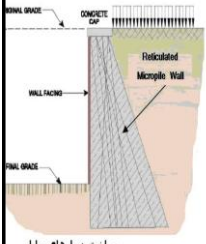
ساخت و ساز مجاور ساختمان های موجود



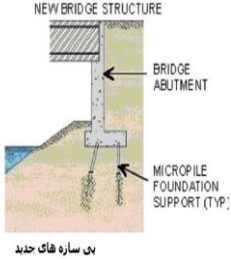
بهسازی و توسازی پی های آسیب دیده



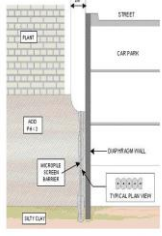
بهسازی پی ساختمانهای قدیمی



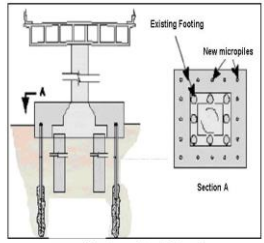
ساخت دیوارهای حایل



پی سازه های جدید



حفاظت شمعبایی بخش های مدفون سازه



مقاوم سازی لرزه ای پی سازه های موجود

کاربردهای میکرو پایل

اصلاح و بهسازی خاک
پایدارسازی شیبها
مقابله با روانگرایی
تونلسازی و غیره

ساخت دیواره‌های نگهبان
افزایش مقاومت توده خاک با اهداف‌خاص نظیر

حفاظت شیمیایی بخشهای مدفون سازه‌ها

سازه‌های جدید
کاهش نشست
تامین باربری کششی

افزایش باربری فشاری
افزایش باربری جانبی

سازه‌های موجود
کنترل شستگی پی
کنترل نشست پی
تعمیر یا جایگزینی پی

مقاوم سازی لرزه‌ای پی
کنترل باربری پی

دانشگاه ثروت میرمهنا
دانشگاه صنعتی خواجه
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

معیارهای انتخاب شمع

انتخاب نوع شمع مناسب در طبقه‌بندی شمع‌ها به پارامتر اساسی زیر بستگی دارد

- مشخصات روسازه (کاربری و وضعیت بارگذاری)
- تجهیزات و امکانات استقرار شمع
- شرایط خاک بستر
- عملکرد و دوام مصالح شمع

شرایط ساحلی و فراساحلی

شمع‌های با تغییر مکان نسبتاً زیاد مناسبترین انتخاب برای بکارگیری در سازه‌های دریایی هستند. یک شمع پیش‌ساخته یا پیش‌تنیدهٔ توپر بتنی در آبهای کم‌عمق کاربرد داشته و در آبهای عمیق چندان کاربرد ندارد، زیرا این شمع‌ها بسیار سنگین بوده و جابجایی آنها مشکل است. در شرایط آبهای عمیق شمع‌های لوله‌ای فولادی و یا بتنی پیش‌ساخته توخالی کاربرد دارند. در سازه‌های دریایی استفاده از شمع‌های لوله‌ای فولادی بر شمع‌های فولادی با مقطع H ارجحیت دارد، زیرا نیروی کشانهٔ ایجاد شده به علت امواج دریا در مورد اولی کمتر است.

همچنین یک روش اقتصادی برای مقابله با نیروهای ضربه‌ای ناشی از موج دریا و همچنین نیروهای ناشی از پهلوگیری کشتیها، استفاده از شمع لوله فولادی با قطر زیاد است. شمع‌های چوبی برای مواردی مانند کارهای موقت در آبهای کم‌عمق کاربرد داشته و برای بارهای سبک تا متوسط، در کشورهایی که چوب به راحتی یافت می‌شود مناسب هستند. از شمع‌های بتن درجا در سازه‌های دریایی تنها بصورت مرکب[1] می‌توان استفاده نمود. به عنوان مثال چنانچه در یک محیط دریائی، هدف عبور از آب و لایه‌های نرم و رسیدن به یک لایه سخت باشد می‌توان یک شمع توخالی را توسط چکش تا عمق مورد نظر کوبید و سپس محفظهٔ داخل آن را با بتن پر کرد.

در محیطهای غیر دریائی (خشکی) گزینه‌های بیشتری برای انتخاب وجود دارند. شمع‌های بتنی درجا را می‌توان با حفر گمانه‌های بدون غلاف و یا با غلاف توسط مته‌های مارپیچ اجرا نمود. این شمع‌ها می‌توانند با قطرهای بزرگ، نوک پدستالی (پهن) یا ملات تزریقی اجرا شوند که برای بارهای سرویس بزرگ، مناسب هستند. مضافاً اینکه در حین حفاری می‌توان بازرسی چشمی مناسبی از تنوع خاکها در عمق انجام داد. در مواردی که بار منتقل شده از سازه به شمع کم و یا متوسط است استفاده از شمع‌های کوبیدنی ممکن است اقتصادی‌تر باشد. معایب استفاده از این شمع‌ها ایجاد لرزش، سروصدا، تورم خاک و اثرات زیست‌محیطی است، لذا استفاده از این شمع‌ها در بعضی محیطها مانند مناطق شهری با تمهیدات خاصی باید صورت پذیرد. در عین حال شمع‌های کوبیدنی جهت بهسازی، تثبیت و بهبود شرایط خاک در عمق مناسب هستند. بعلاوه نتایج کوبش آنها نیز ممکن است برای تخمین باربری و تعیین عمق استقرار بهینه به کار رود.

دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهریار
دانشگاهی عضو ایران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

فاکتور مربوط به شرایط خاک بستر عاملی است که هم بر نوع مصالح شمع و هم بر روش اجرا تأثیر می‌گذارد. شمع‌های بتنی درجا در خاکهای چسبندهٔ سخت به راحتی قابل اجرا هستند، ولی اجرای این شمع‌ها در رس خیلی نرم و یا در خاکهای دانه‌ای سست همراه با جریان آب، بدون استفاده از گل حفاری امکان‌پذیر نبوده و در این شرایط استفاده از شمع‌های کوبیدنی توصیه می‌شود. در خاکها و زمینهای از نوع ماسه‌ای شل، استفاده از شمع‌های کوبیدنی این مزیت را دارد که ارتعاش موجب افزایش تراکم شده و علاوه بر افزایش توان باربری با عواقب احتمالی حاصل از بارهای دینامیکی از نوع نشست و روانگرائی در این نوع زمینها نیز مقابله می‌شود. اجرای شمع‌های با نوک "پدستالی" یا پهن شده فقط در خاکهای چسبندهٔ سخت و یا در صخره‌های سست امکان‌پذیر است. شمع‌های کوبیدنی نمی‌توانند در خاکهای حاوی قلوه سنگ بکار روند. شمع‌های درجا با غلاف، که غلاف آنها باید بعد از بتن‌ریزی بیرون کشیده شود، نباید دارای عمق نفوذ خیلی زیادی باشند، زیرا اتصال غلافها و بیرون کشیدن آنها با مشکل مواجه می‌شود. در این شرایط از پوسته‌های جدار نازک به روش فرو بردن دورانی[1] و یا شمع کوبیدنی استفاده می‌شود. گرچه در بعضی کشورها شمع‌های چوبی گزینهٔ کم‌هزینه‌تری هستند ولی در ناحیه بالای سطح آب و در محیطهای دریائی مورد حملهٔ بعضی از "میکروارگانیسمها" قرار گرفته و پوسیده می‌شوند.

شمع‌های بتنی پیش‌ساخته به علت تراکم و عمل‌آوری مناسب بتن آن و با توجه به کنترل کیفیت بالا در کارگاه در مقابل نمکها و سولفاتهای موجود در خاک و آب بهتر مقاومت نموده، ولی شمع‌های بتنی درجا معمولاً به علت عدم تراکم و کنترل مناسب بتن‌ریزی ممکن است در مقابل عوامل مهاجم به خوبی مقاومت ننمایند. در محیطهای دارای نمک، کلر و یا سولفات که خطر خوردگی برای میلگردهای داخل بتن بالاست، استفاده از شمع‌های بتنی لوله‌ای که به روش سانتریفوژ و بطور پیش‌تنیده ساخته شده باشند، گزینهٔ مناسبی خواهد بود. اگر شمع‌های فولادی به طور کامل در خاک دست‌نخورده و شرایط نامتغیر قرار گیرند عمر طولانی خواهند داشت. ولی در مواردی که شمع فولادی در خاک دست‌خورده و یا در معرض آب دریا و نیز توالی‌تر و خشک قرار می‌گیرد باید توسط روشهای کاتدی[۲] از خوردگی فولاد جلوگیری شود. روشهای دیگری مانند استفاده از رنگ اپوکسی و یا هر نوع مادهٔ دیگر نیز در این موارد بکار برده می‌شود. انتخاب روش بستگی به امکانات موجود اجرائی و مسائل اقتصادی پروژه خواهد داشت.

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشکده فنی عمران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۱۰ ملاحظات ساخت و اجرای شمع

۷-۶-۱۰-۱ در اجرای شمع یا پی‌های عمیق، پلان وضعیت استقرار شمع‌ها که در آن اطلاعات زیر آورده شده باشد باید تهیه گردد.

الف- نوع شمع و مشخصات فنی آن شامل مصالح، روش اجرا و ابزارهای لازم

ب- محل هر شمع، رواداری‌های موقعیت هندسی، و میزان مورب بودن آن

پ- تعداد شمع‌ها، طول و مشخصات مقطع عرضی آنها

ت- نحوه اتصال شمع‌های چند قطعه‌ای به یکدیگر

ث- ظرفیت باربری مورد نیاز شمع

ج- تراز پای شمع

چ- توالی اجرای شمع‌ها در یک گروه

ح- موانع شناخته شده برای استقرار شمع‌ها

خ- هر گونه محدودیتی که در عملیات اجرای شمع مؤثر باشد.

۷-۶-۱۰-۲ چگونگی استقرار همه شمع‌ها باید به دقت کنترل و تمامی داده‌ها در محل ساختگاه ثبت و ضبط شوند. داده‌های مربوط به هر شمع باید توسط ناظر و سازنده شمع تأیید و نگهداری شوند.

۷-۶-۱۰-۳ اطلاعات ثبت شده در هنگام اجرا باید بعد از تکمیل عملیات اجرایی شمع‌ها حفظ و به همراه سایر مدارک مربوط به ساخت نگهداری شوند.

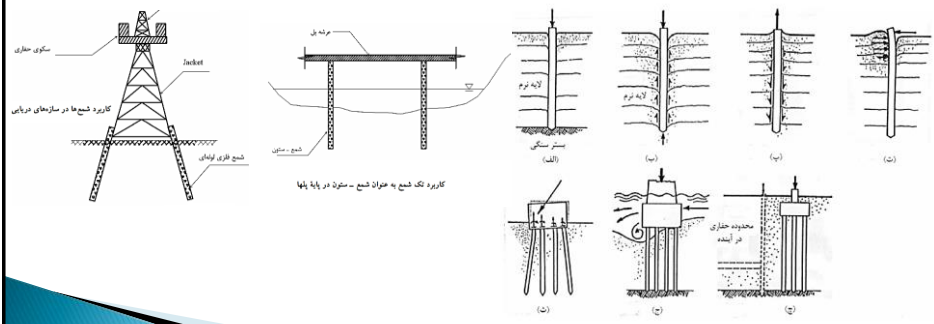
۷-۶-۱۰-۴ در مواردی که مشاهدات و یا بازرسی اطلاعات نشان دهنده عدم اعتماد به کیفیت اجرای شمع‌ها باشد، باید بررسی تکمیلی به منظور تعیین شرایط شمع‌های اجرا شده و اینکه آیا نیاز به پیش‌بینی تمهیدات خاص برای بهبود وضعیت آنها هست یا نه، انجام شود. این بررسی‌های شامل کوبش مجدد به همراه آزمایش دینامیکی شمع یا آزمایش تعیین یکپارچگی شمع با دامنه کم همراه با آزمایش‌های محلی تکمیلی مکانیک خاک در اطراف شمع‌های مشکوک، و آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی می‌باشد.

۷-۶-۱۰-۵ برای ارزیابی کیفیت شمع‌های درجاریزی که ممکن است دارای نقایص جدی در بدنه شمع باشند و یا اینکه در اثنای ساخت مشکلات خاصی مانند تاخیر در بتن‌ریزی (و احتمال ریزش خاک جدار) یا مشکلاتی حین بیرون‌کشیدن غلاف مشاهده شده باشد، آزمایش‌های دینامیکی شمع با دامنه کم (یا آزمایش تعیین یکپارچگی) باید مورد استفاده قرار گیرد. اما نقایصی چون مقاومت کم بتن و ضخامت کم پوشش میلگردها که بر عملکرد درازمدت شمع اثر می‌گذارند، اغلب به وسیله آزمایش دینامیکی دامنه کم کشف نمی‌شوند. در این موارد لازم است از آزمایش‌های دیگری مانند امواج صوتی عرضی و یا مغزه گیری استفاده شود.

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فلاح‌پور جهرمی

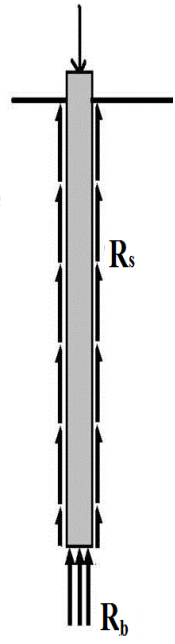
بارهای وارد بر شمع

بارهای وارد بر شمع‌ها از نوع "محوری"، "جانبی" و "لنگر خمشی" بوده که بار محوری می‌تواند از نوع کششی و یا فشاری باشد (شکل ۱-۶). بارهای وارده یا ناشی از بار مرده و یا ناشی از بار زنده هستند. بار مرده شامل وزن خود شمع، وزن کلاهک و وزن بارهای مردهٔ سازهٔ فوقانی است. بار زنده اثر ترافیک، اشیاء و افراد، باد، زلزله، امواج و ... را شامل می‌شود.



چند مورد از کاربرد شمع‌ها (Vesic, 1977)

ظرفیت باربری فشاری شمع



بارهای وارد بر شمع‌ها شامل بارهای محوری، جانبی و لنگر خمشی هستند. ولی معمولاً مهمترین عامل طرح شمع از لحاظ ظرفیت باربری، «طراحی شمع در مقابل بار محوری» است. به عبارت دیگر در اکثر موارد کاربردی، نیروی محوری وارد بر شمع عامل اصلی تعیین کننده در تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها است

«ظرفیت باربری» (مقاومت نهایی یا توان باربری) یک شمع، برابر مجموع «مقاومت اصطکاکی» (یا مقاومت جداری) و «مقاومت نوک» (مقاومت کف یا مقاومت انتهایی) آن است که در اثر اعمال بار محوری از طرف خاک اطراف و کف شمع بسیج می‌شوند. بار مجاز شمع از حاصل تقسیم ظرفیت باربری بر ضریب اطمینان[1] (F.S.) بدست می‌آید. در مراحل مقدماتی طراحی، مقدار F.S. بین ۲/۵ تا ۳ انتخاب می‌شود. اما در مراحل بعدی پروژه که اطلاعات بیشتری، مثلا بوسیلهٔ آزمایشهای استاتیکی یا دینامیکی در دسترس قرار گرفت، حدود F.S. به ۱/۸ تا ۲ نیز ممکن است تقلیل یابد (CFEM, 1992).

$$R_{C\ ult} = R_b + R_s - W_p$$

دانشگاه تربیت مدرس تهران
دانشکده عمران
مدرس سعید فقاروی جهرمی

تعیین ظرفیت باربری اتکایی بر اساس روش تحلیلی

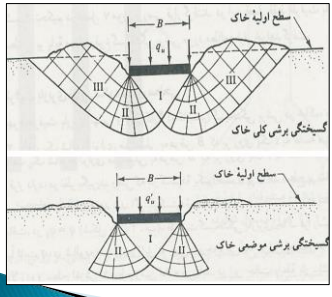
(رابطه جامبو ۱۹۷۶)

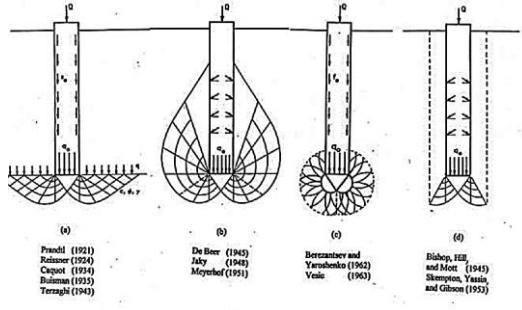
$$R_b = A_b q_b = A_b \left(C N_c^* + \bar{q} N_q^* \right)$$

A_b: سطح اتکا در نوک شمع

q_b : باربری خاک در نوک شمع

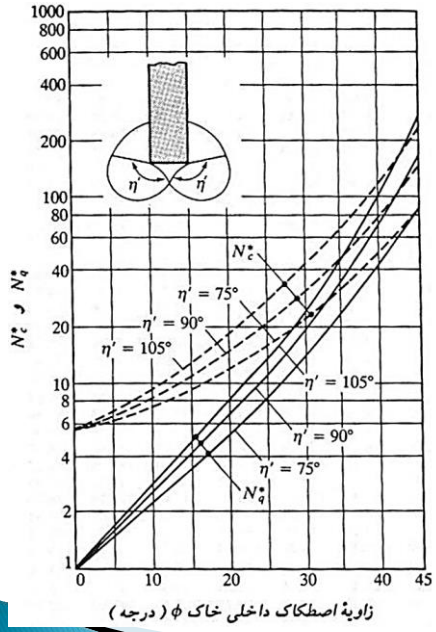
N_q^* و N_c^* : ضرایب ظرفیت باربری

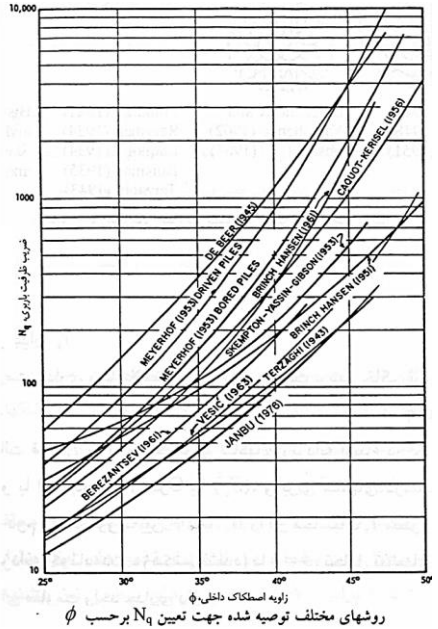




مکانیسم‌های مختلف گسیختگی در پائین و اطراف نوک شمع‌ها

(Vesic, 1967)





روشهای مختلف توصیه شده جهت تعیین N_q برحسب ϕ

تعیین ظرفیت باربری انتکایی بر اساس روش تحلیلی

ظرفیت باربری شمع در خاک چسبنده

$$q_b = N_t S_u$$

S_u حداقل مقاومت برشی زهکشی نشده خاک رس در تراز نوک شمع

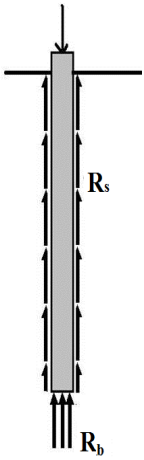
N_t ضریب ظرفیت باربری است که تابعی از قطر شمع

- برای قطر شمع کوچکتر از ۰/۵ m برابر ۹
- برای قطر شمع بین ۰/۵ m تا ۱ m برابر ۷
- برای قطر شمع بزرگتر از ۱ m برابر ٦

تخمین مقاومت برشی رس ها (Peck, et. al., 1974)

مقاومت فشاری محدود نشده $q_u(=2c_u)$, (kPa)	واژه توصیفی (قوام)	مشخصات
< 25	خیلی نرم	به راحتی با فشار انگشتان له می شود
20 – 50	نرم	با فشار کم انگشتان می توان به آن شکل داد
50 - 100	متوسط	با فشار زیاد انگشتان می توان به آن شکل داد
100 – 200	سفت	با انگشت شست به سهولت می توان آنرا دندانه دار نمود
200 – 400	خیلی سفت	با ناخن شست به سهولت می توان آنرا دندانه دار نمود
> 400	سخت	با ناخن شست به سختی می توان آنرا دندانه دار نمود

ظرفیت باربری جداره بر اساس روش تحلیلی



$$R_s = A_s q_s$$

A_s سطح جانبی شمع

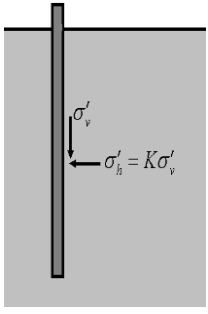
q_s مقاومت اصطکاکی بین جدار شمع و خاک

ظرفیت باربری اصطکاکی تابع جنس شمع، جنس خاک، شرایط زهکشی، روش اجـرای شمع، میزان جابجایی و غیره است که به سه روش قابل محاسبه است.

روشβ

روش α (تامیلسون)

مقاومت اصطکاکی جداره به روش β



روش β، متـداولترین روش بـرای تعیین مقاومت اصطکاکی شمع‌ها بوده زیرا در دراز مدت فشار آب منفذی اضافی بطـور کامـل مستهلک شده (مثلاً مدتی بعد از کوبیدن شمع) وتنش موثر خـاک کـاملاً فعـال مـی‌شـود. لـذا استفاده از این روش در خاکهای اصطکاکی مانند شـن، ماسـه و سـیلت مناسـب مـی‌باشـد. در خاکهای چسبنده مانند خاکهای رسی نیز در شـرایطی کـه فـشار آب حفـره‌ای معلـوم باشـد و OCR خیلی بالا نباشد، می‌توان از این روش برای محاسبهٔ مقاومت اصطکاکی استفاده نمود.

برخی محققان بر این عقیده هستند مقاومـت اصـطکاکی از عمـق حـدود 10D در خـاک سست و 20D در خاک متراکم به بعد ثابت می ماند.

$$q_s = \left(K.\tan\delta\right)\sigma'_z$$

$$K_0 \le K \le 1.8K_0$$

$$0.5\varphi \le \delta \le 0.8\varphi$$

$$K_0 = 1 - \sin\emptyset$$

مقادیر تقریبی Ktanδ برای خاکهای مختلف			
نوع خاک	Φ	شمع درجا	شمع کوبیدنی
رس	25-30	0.25-0.32	0.25 - 0.32
لای	28-34	0.2- 0.3	0.3 - 0.5
ماسه شل	20-25	0.2 - 0.4	0.3 - 0.8
ماسه متراکم	32-42	0.3 - 0.5	0.8 -1.2
شن	35-42	0.4 - 0.7	0.8 - 1.5

ظرفیت باربری کوتاه‌مدت و درازمدت

- در رس اشباع، کوبش شمع باعث افزایش فشار آب حفره‌ای می‌گردد (٤ تا ٦ برابر چسبندگی زهکشی نشده) که بایستی در تعیین مقاومت اصطکاکی از چسبندگی زهکشی‌نشده ($\Phi_u=0$) استفاده شود. این روش محاسبه ظرفیت باربری به باربری کوتاه مدت معروف است (روش α تامیلسون).

- اما پس از گذشت چندین ماه با حذف فشار آب حفره‌ای، تنش موثر حاکم خواهد شد که چسبندگی بدلیل بهم‌خوردن خاک اطراف جدار شمع، صفر خواهد بود. در چنین شرایطی از زاویه اصطکاک داخلی رس بهم خورده (Φ_r) برای تعیین ظرفیت باربری استفاده می شود که باربری دراز مدت معروف است (روش β).

مقاومت در انتهای کوبش و در کوبش مجدد

شمع‌هائی که به روش کوبش اجرا می‌شوند موجب تغییرات فشار آب منفذی در اطراف شمع می‌گردند. نحوهٔ تغییرات فشار آب منفذی بستگی به جنس، میزان تراکم و سایر مشخصه‌های فیزیکی و مکانیکی خاک خواهد داشت. چنانچه خاک خاصیت قابلیت فشردگی در اثر برش داشته باشد، فشار آب منفذی بالا خواهد رفت. سپس این فشار اضافه شده به تدریج مستهلک خواهد شد بطوریکه سرعت استهلاک آن بستگی به نفوذپذیری خاک دارد. کاهش تدریجی فشار آب منفذی موجب افزایش ظرفیت باربری شمع نسبت به زمان می‌گردد. به این خاصیت "گیرش خاک [1]" گفته می‌شود. در نتیجه در چنین شرایطی مقاومت شمع در "انتهای کوبش [2]" (EOID) کمتر از مقاومت آن در "کوبش مجدد [3]" خواهد بود.

چنانچه عکس این پدیده اتفاق افتد به آن "رها شدن خاک [4]" گفته شده و در شرایطی ایجاد می‌شود که خاک در اثر برش تمایل به افزایش حجم داشته باشد. تمایل به افزایش حجم موجب کاهش فشار منفذی در انتهای کوبش شده و لذا مقاومت در انتهای کوبش نسبت به مدتی بعد از آن و در کوبش مجدد بالاتر خواهد بود.

- **گیرش خاک (soil setup) که با افزایش ظرفیت باربری شمع همراه است.**

- **رهایی خاک (soil relaxation) که با کاهش ظرفیت شمع همراه است.**

گیرش خاک

- ✓ در مواردی حتی تا ۱۲ برابر افزایش ظرفیت گزارش شده است (Titi and Wathugala, 1999).
- ✓ گیرش در افزایش ظرفیت باربری جداری شمع بسیار موثرتر از نوک آن است.
- ✓ بیشتر مختص خاک‌های ریزدانه، ماسه‌های سیلتی و ماسه سست

رهایی خاک

- ✓ ظرفیت باربری دراز مدت را بین ۰/۵ تا ۰/۹ ظرفیت باربری شمع در انتهای زمان نصب
- ✓ بیشتر مختص برخی خاک‌های ماسه‌ای متراکم و سنگ‌های با قابلیت خزشی

عوامل موثر در گیرش

۱- ایجاد اضافه فشار آب حفره‌ای در طول کوبش و استهلاک آن پس از گذشت زمان

۲- پدیده‌هایی مانند Arching، Aging، Thixotropy و تغییرات ساختاری خاک

پیش‌بینی و براورد گیرش

Skov & Denver (1988)

$$\frac{Q}{Q_0} = A \log\left(\frac{t}{t_0}\right) + 1$$

Q_t: ظرفیت محوری در زمان t

Q_0: ظرفیت محوری در زمان t_0

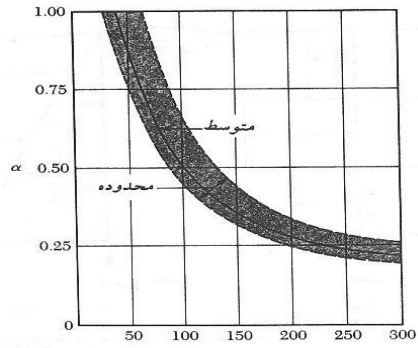
A: ضریب ثابت، وابسته به نوع خاک

t_0: مقداری تجربی که ضریبی از یک روز درنظر گرفته می‌شود

ردیف	ارائه‌دهنده	A	t_0 (Day)	نوع خاک
۱	Camp and Palmer (1999)		۲	
۲	Axelsson (1998)	۰/۲-۰/۸	۱	غیرچسبنده
۳	Long et al. (1999)		۰/۰۱	کلیه خاک‌ها
۴	Bullock et al. (2005)	۰/۱۲-۰/۳۲	۱	کلیه خاک‌ها
۵	Skov and Denver (1988)	۰/۶	۱	رس
۶	Skov and Denver (1988)	۰/۲	۰/۵	ماسه
۷	Chow et al. (1998)	۰/۲۵-۰/۷۵		کلیه خاک‌ها
۸	Svinkin et al. (1994)		۱-۲	

مقاومت اصطکاکی به روش α

طبق روش α که توسط تاملینسون (Tomlinson, 1957) پیشنهاد شده است، مقاومت اصطکاکی متناسب با مقاومت برشی زهکشی نشدهٔ خاک بوده و مستقل از تنش موثر است:



تغییرات α با چسبندگی زهکشی‌نشدهٔ رس

$$q_s = \alpha C_u$$

دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی عمران
مدرس سعید فلاح‌پور جهرمی

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۴ شمع تحت بار محوری

در این بخش ضوابط طراحی تحت بار محوری (فشاری یا کششی) شامل ضوابط تعیین ظرفیت باربری، کنترل نشست و تغییر مکان ارائه شده است. اما طراح سایر مواردی که در بخش ۷-۶-۲ ذکر شده را نیز باید کنترل نماید.

۷-۶-۴-۱ ظرفیت باربری

برای آنکه یک شمع، بارهای فشاری طراحی را با ایمنی مناسبی تحمل نماید، باید نامساوی زیر در همه حالات حدی نهایی و برای کلیه ترکیبات بارگذاری بر قرار باشد.

$$R_C \geq F_C \qquad (۷-۶-۱)$$

در این نامساوی:

F_c = بار فشاری طراحی

R_c = باربری فشاری شمع

۷-۶-۴-۱-۱ تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها می‌تواند بر اساس روشهای زیر صورت گیرد:

الف- استفاده از روابط تحلیلی

ب- روش‌های مبتنی بر استفاده مستقیم از نتایج آزمایش‌های درجا (نفوذ استاندارد، نفوذ مخروط، ...)

پ- نتایج آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی

ت- نتایج آزمایش‌های بارگذاری دینامیکی

۷-۶-۴-۱-۲ برای تعیین ظرفیت باربری چنانچه فقط از روش‌های الف و ب استفاده گردد، نتایج به دست آمده ممکن است دقت لازم را نداشته باشد. لذا به منظور اطمینان از ظرفیت باربری شمع استفاده از نتایج آزمایش‌های بارگذاری (پ و ت) توصیه می‌شود.

۷-۶-۴-۱-۳ استفاده از روابط تحلیلی

باربری فشاری R_c را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$R_c = R_b + R_s \qquad (۷-۶-۲)$$

در این رابطه:

R_b مقاومت نوک شمع و R_s مقاومت جداره شمع است که مقادیر آنها را می‌توان با استفاده از روابط زیر به دست آورد:

$$R_b = q_b A_b \qquad (۷-۶-۳)$$

$$R_s = \sum_{i=1}^{n} q_{si} A_{si} \qquad (۷-۶-۴)$$

در این روابط:

q_b = ظرفیت باربری نوک شمع

A_b = مساحت مؤثر سطح قاعده نوک شمع

q_{si} = ظرفیت باربری جداره شمع در لایه i

A_{si} = مساحت مؤثر سطح جانبی شمع در لایه i

مقادیر q_b و q_{si} را می‌توان با استفاده از روابط محاسباتی معتبر و بر اساس پارامترهای حاصل از نتایج مطالعات ژئوتکنیک یا بهره‌گیری از نتایج آزمایش‌های درجا به دست آورد.

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهریار
دانشگاه صنعتی قزوین
مدرس: سعید فلاورپور جهرمی

الف- ظرفیت باربری نوک شمع q_b را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد:

$$q_b = cN_c^* + \bar{q}\,N_q^* \qquad (۷-۶-۵)$$

که در آن c چسبندگی خاک در اطراف و زیر نوک شمع و $\bar{q}$ تنش موثر قائم در تراز نوک شمع است.

برای محاسبه N_c^* و N_q^* باید از روابط معتبری مانند "مایرهوف"، "وسیک"، "جانبو"، "کولهاوی" (مخصوص شمع‌های درجاریز) یا هر روش دیگری که در مراجع معتبر آمده است، استفاده نمود.

مقاومت نوک را در خاک‌های چسبنده رسی می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$q_b = N_t \cdot S_u \qquad (۷-۶-۶)$$

که در آن S_u حداقل مقاومت برشی زهکشی نشده خاک رس در تراز نوک شمع است. N_t ضریب ظرفیت باربری است که تابعی از قطر شمع است و به شرح زیر تعیین می‌شود:

- برای قطر شمع کوچکتر از ۰/۵ m برابر ۹
- برای قطر شمع بین ۰/۵ m تا ۱ m برابر ۷
- برای قطر شمع بزرگتر از ۱ m برابر ۶

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

ب- مقاومت باربری جدار شمع در لایه i، q_{si} را می‌توان از هر یک از روش‌های تنش کل (مانند α) یا تنش موثر (مانند β) محاسبه نمود.

در روش تنش کل مقدار q_{si} از فرمول زیر حاصل می‌گردد:

$$q_{si} = \alpha \times S_u \qquad (۷-۶-۷)$$

که در آن S_u مقاومت برشی زهکشی نشده و α ضریبی است که در محدوده ۰/۳ تا ۱ تغییر می‌کند.

بر اساس روش تنش موثر β، مقاومت واحد جداری شمع در خاک‌های غیرچسبنده و در هر عمق z در طول شمع از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$q_{si} = \beta \sigma'_v \qquad (۷-۶-۸)$$

که در آن β فاکتور مقاومت جدار و σ'_v تنش قائم مؤثر خاک در کنار شمع در عمق z است. فاکتور مقاومت جداری، β، به‌طور کلی در دامنه ۰/۲ تا ۱/۵ تغییر می‌کند.

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

برخی ضوابط مبحث هفتم
مقررات ملی

پ- در انتخاب روابط تحلیلی، برای استفاده در یک پروژه، باید به عوامل زیر توجه شود:

نوع خاک شامل: دانه‌بندی، کانی‌شناسی، شکل دانه‌ها، پیش تحکیمی، قابلیت تراکم یا فشردگی و تراوایی.

روش اجرای شمع شامل: شمع‌های درجاریز یا رانده‌شده (کوبشی یا ارتعاشی)، طول، قطر و مصالح شمع.

نوع آزمایش خاک: شامل شرایط زهکشی، سرعت بارگذاری، میزان دست‌خوردگی، ....

ت- در محاسبه مقاومت نوک شمع باید به مقاومت ناحیه‌ای از زمین که بر روی آن تأثیر می‌گذارد توجه داشت. در این رابطه باید اثرات لایه ضعیف در این ناحیه را که بر روی مقاومت نوک شمع تأثیر قابل ملاحظه دارد، به حساب آورد. در مواردی که لایهٔ ضعیفی در ژرفای کمتر از ۳ برابر قطر نوک شمع در زیر آن وجود دارد، باید سازوکار گسیختگی سوراخ‌کننده را در محاسبات ظرفیت باربری منظور داشت.

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۷ بار مجاز طراحی شمع‌ها

جهت تعیین بار مجاز شمع می‌توان از هر یک از دو روش تنش مجاز یا روش حالت حدی نهایی استفاده نمود.

۷-۶-۷-۱ روش تنش مجاز

۷-۶-۷-۱-۱ در این حالت بارهایی که در بند ۷-۶-۳ این مبحث آورده شده با ضریب یک در محاسبات نیرو لحاظ می‌شوند و بار وارد بر شمع‌ها محاسبه می‌گردد. این بارها برای محاسبه نیروهای فشاری، کششی و جانبی وارد بر شمع (به ترتیب با F_c، F_t و F_{tr}) معرفی شده‌اند.

۷-۶-۷-۱-۲ از تقسیم بار نهائی (Q_{ult}) حاصله از هر یک از روشهای بند ۷-۶-۴-۱-۱ بر ضریب اطمینان، بار مجاز (Q_{allow}) حاصل می‌گردد (رابطه ۷-۶-۹)، درروش تنش مجاز، Q_{allow} در واقع R_c، R_t و R_{tr} به ترتیب در شمع تحت بارهای فشاری، کششی و جانبی است.

$$Q_{allow} = \frac{Q_{ult}}{F.S.} \qquad (۷-۶-۹)$$

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشگاهی معنوی ایران
مدرس سعید فقاریور جهرمی

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۷-۱-۳ به طور کلی تصمیم‌گیری راجع به مقدار ضریب اطمینان (F.S.) بستگی به میزان اطمینان از تعیین باربری نهایی شمع (Q_{ult}) و همچنین تعیین بارهای وارده به شمع دارد.

۷-۶-۷-۱-۴ ضریب اطمینان شمع دروضعیت استاتیکی نباید از مقادیر جدول ۷-۶-۱ کمتر باشد. همچنین باید توجه داشت که مقدار نشست کل، دوران و اختلاف نشست نباید از مقادیر مجاز بهره‌برداری بیشتر شود. برای انتخاب ضریب اطمینان در شرایط لرزه‌ای می‌توان به آئین‌نامه‌های معتبر دیگر مراجعه کرد.

۷-۶-۷-۱-۵ عدد ضریب اطمینان ۲/۲ مربوط به آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی در جدول ۷-۶-۱ به شرطی قابل استفاده است که شمع تا بار گسیختگی بارگذاری شده باشد.

۷-۶-۷-۱-۶ به شرط انجام آزمایش‌های بارگذاری علاوه بر "شمع‌های آزمایشی"، بر روی تعدادی یا درصدی از "شمع‌های اصلی"، می‌توان ضریب اطمینان را تا ۲ کاهش داد. نوع آزمایش، تعداد یا درصد آن و ترکیب آزمایشهای مختلف با نظر مشاور ذیصلاح باید مشخص گردد.

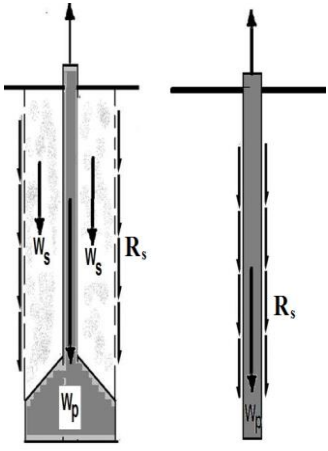
جدول۷-۶-۱ حداقل ضریب اطمینان شمع در شرایط استاتیکی (روش تنش مجاز)

نوع بار اعمالی	روش تعیین ظرفیت باربری		ضریب اطمینان (F.S.)
فشاری/کششی	فقط روش تحلیلی	کوبشی	۳
		درجاریز	۴
	آزمایش نفوذ مخروط		۲/۸
	آزمایش بارگذاری استاتیکی (فشاری/کششی)		۲/۲
	آزمایش بارگذاری دینامیکی		۲/۵
جانبی	فقط روش تحلیلی		۲/۵
	آزمایش استاتیک (جانبی)		۲

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده فنی
مدرس سعید فقاریور جهرمی

ظرفیت باربری کششی شمع



پی‌های سطحی بدلیل محدودیت وزن ظرفیت کششی محدودی دارند در حالیکه پی‌های عمیق بدلیل طول و قطر زیاد و همچنین درگیری جداره با خاک اطراف، می‌توانند نیروهای کششی بزرگی را تحمل نمایند.

ظرفیت کششی شمعها تابع وزن شمع و اصطکاک جداره است که میتوان با ایجاد کوره و افزایش مقطع در انتهای شمع این ظرفیت را افزایش داد.

$$R_t = W_p + W_s + R_s - U_{uplift}$$

W_p: وزن شمع
W_s: وزن خاک
R_s: باربری اصطکاکی جداره

ظرفیت باربری اصطکاکی شمع تحت بار کششی بدلیل کاهش قطر وکاهش درگیری با خاک، کمتر از ظرفیت باربری اصطکاکی تحت بار فشاری است و حدود ۷۰ الی ۸۵ درصد درنظر گرفته می شود.

در خاک دانه ای متراکم، گوه لغزشی خاک در زمان بیرون کشش به صورت شیبدار و غیراستوانه ای است.

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۴-۳ شمع‌های کششی

۷-۶-۴-۳-۱ برای آنکه یک شمع، بارهای طراحی را با ایمنی مناسبی در مقابل گسیختگی کششی تحمل نماید، باید نامساوی زیر در همه حالات حدی نهایی و برای کلیه ترکیبات بارگذاری برقرار باشد:

$$R_t \geq F_t \qquad (۶-۶-۷)$$

در این نامساوی:

F_t = بار محوری کششی طراحی

R_t = باربری کششی شمع

۷-۶-۴-۳-۲ در تعیین ظرفیت باربری شمع‌های کششی، دو نوع ساز و کار گسیختگی باید در نظر گرفته شود:

الف- بیرون آمدن شمع‌ها از زمین به صورت منفرد

ب- بالا آمدن بلوک زمین حاوی گروه شمع

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۴-۳-۳ نیروی مقاوم کششی، چه در حالت منفرد و چه در حالت گروهی، با استفاده از رابطه (۷-۶-۷) محاسبه می‌شود:

$$R_t = W_t + F_s - U_{uplift} \qquad (۷-۶-۷)$$

در این رابطه:

W_t = وزن شمع‌ها و وزن بلوک خاک (در گروه‌شمع)

F_s= مقاومت اصطکاک جدار شمع و خاک یا مقاومت برشی خاک در مرز بلوک خاک (در گروه‌شمع)

U_{uplift} = برآیند نیروهای رو به بالای طراحی ناشی از فشار آب بالابرنده در زیر بلوک خاک.

۷-۶-۴-۳-۴ در تعیین ظرفیت باربری بلوک خاک باید کوچکترین دو مقدار "ظرفیت باربری کششی گروه شمع"، و "مجموع ظرفیت باربری کششی شمع‌ها" در نظر گرفته شود.

۷-۶-۴-۳-۵ در بارگذاری‌های متناوب، باید اثر تکرار بار بر روی کاهش ظرفیت باربری کششی شمع‌ها در نظر گرفته شود.

۷-۶-۴-۳-۶ مقاومت اصطکاک جدار کششی شمع‌های منفرد ۰/۷ تا ۰/۸۵ اصطکاک جدار شمع در حالت فشاری لحاظ شود، مگر آنکه آزمایش بارگذاری استاتیکی کششی انجام شده باشد.

استفاده از نتایج آزمایشهای درجا در تخمین ظرفیت باربری شمع

بعنوان مکمل روش تحلیل استاتیکی در تعیین ظرفیت و توان باربری شمع‌ها، استفاده از نتایج آزمایشهای درجا بعنوان یک گزینه قابل توجه مورد ملاحظه می‌باشند. در سهٔ دهه اخیر تکنیک استفاده از آزمایشهای درجا در مهندسی ژئوتکنیک جهش قابل توجهی داشته است. علت این امر بخاطر توسعهٔ سریع و همه جانبهٔ ابزارآلات دقیق و تجهیزات آزمایشهای درجا، ارزیابی بهتر و دقیقتر رفتار واقعی خاکها، و در نهایت درک و ملاحظهٔ برخی محدودیتها و نارسایی‌های آزمایشهای سنتی آزمایشگاهی بوده است.

آزمایشهای درجا را می‌توان به دو گروه پیوسته[1] و ویژه[2] تقسیم نمود. آزمایشهای پیوسته عموماً از نوع نفوذی بوده و غالباً برای مطالعات سریع و اقتصادی می‌باشند. به کمک روابط تجربی می‌توان پارامترهای ژئوتکنیکی خاک را در ابتدا بصورت کیفی و سپس کمی از داده‌های این آزمایشها ارزیابی نمود. آزمایشهای ویژه همانطور که از نامشان پیدا است برای اهداف و اندازه‌گیری پارامتر بخصوصی از خاک و سنگ بکار گرفته شده و اغلب کندتر و پرهزینه‌تر از آزمایشهای پیوسته و نفوذی هستند. این آزمایشها هنگامی انجام می‌شوند که حصول پارامتر خاصی از مقاومت و یا سختی خاک مد نظر باشد. آزمایشهای پیوسته و ویژه عموماً در مطالعات ژئوتکنیک بعنوان مکمل یکدیگر استفاده می‌شوند.

آزمایشهای درجا، برجا، درمحل

محدودیت های حاکم بر تست‌های آزمایشگاهی، انجام آزمایش‌های درجا را اجتناب ناپذیر می کند. نتایج این آزمایشها تکمیل کننده تست‌های آزمایشگاهی و مطالعات ژئوتکنیکی در شناسایی رفتار خاک و پارامترهای آن هستند.

محدودیت تست‌های آزمایشگاهی

- **تهیه نمونه دست‌نخورده**
- **حمل و نقل نمونه**
- **اندازه و ابعاد نمونه**
- **تامین شرایط واقعی تنش‌ها بر نمونه**
- **تامین شرایط فشار هیدروستاتیک واقعی بر نمونه**

انواع آزمایشهای درجا

- **نفوذ استاندارد SPT**
- **نفوذ مخروط یا پنترومتر استاتیک CPT**
- **نفوذ دینامیکی یا پنترومتر دینامیک DCPT**
- **برش پره، برش نگار VAN & VST**
- **بارگذاری صفحه PLT**
- **فشار سنجی PMT**
- **اتساع‌سنجی DMT**
- **ژئوفیزیکی و لرزه‌ای**

استفاده از نتایج آزمایشهای درجا در تخمین ظرفیت باربری شمع‌ها

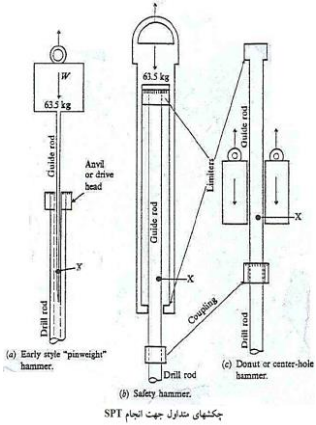
از بین آزمایشهای درجای رایج در مهندسی عمران می‌توان موارد زیر را نام برد:

- آزمایش نفوذ استاندارد — Standard Penetration Test, SPT
- آزمایش نفوذ مخروط — Cone Penetration Test, CPT
- برش پره‌ای وین — Vane Shear Test , VST
- آزمایش فشارسنجی یا پرسیومتری — Pressuremeter Test, PMT
- آزمایش اتساع‌سنجی — Dilatometer Test, DMT
- آزمایش بارگذاری صفحه‌ای — Plate Load Test, PLT
- آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا — California Bearing Ratio, CBR
- آزمایشهای نفوذپذیری در محل — in-situ Permeability Test
- آزمایشهای ژئوفیزیک و لرزه‌نگاری — Geophysics & Seismic Tests

اگرچه آزمایشهای فوق در محدودهٔ وسیعی از طراحیهای ژئوتکنیکی بکار گرفته می‌شوند، اما از میان آنها در طراحی شمع‌ها می‌توان به موارد SPT، CPT و PMT اشاره نمود.

دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده فنی
مدرس سعید فلاح‌پور جهرمی

آزمایش SPT — Standard Penetration Test



چکشهای متداول جهت انجام SPT

آزمایش نفوذ استاندارد

این آزمایش متداول‌ترین آزمایش برجا است که در ایران و جهان کاربرد فراوانی دارد.

- **کاربرد این آزمایش به حدی زیاد است که روابط بسیاری برای تعیین پارامترهای مختلف خاک بر اساس نتایج این آزمایش ارائه شده است. خروجی این آزمایش عدد نفوذ استاندارد (N) می باشد که راهنمای مفیدی در شناسایی خاک و ارزیابی شرایط آن است.**

مراحل انجام آزمایش

- **پس از حفر گمانه، نمونه‌گیر قاشقی به عمق مورد نظر هدایت می‌شود.**
- **با اعمال ضربه، نمونه‌گیر در سه مرحله (در هر مرحله 15 Cm) به درون خاک نفوذ می‌کند**
- **وزن چکش 63.5 Kg و ارتفاع سقوط 76 Cm است.**
- **تعداد ضربات لازم در دو مرحله آخر (30 Cm انتهایی) بعنوان عدد نفوذ N شناخته می‌شود.**
- **معمولا عدد نفوذ استاندارد در هر 1.5 m اندازه‌گیری می‌شود.**

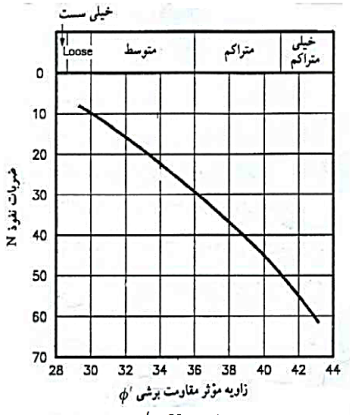
Standard Penetration Test (SPT)

SPT دستی

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشگاهی معماری ایران
مدرس سعید فقارپور جهرمی

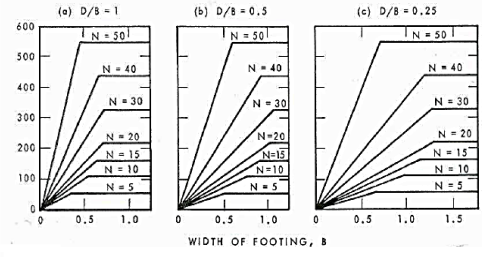
Standard Penetration Test

آزمایش SPT



رابطه بین N و ϕ

(سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی - نشریه شماره ۲۲۴)



استفاده از N حاصل از SPT برای تعیین ظرفیت باربری پی‌های سطحی

برخی تعاریف آزمایش SPT

- نسبت انرژی واقعی ER_1: نسبت انرژی واقعی رسیده به میله های حفاری زیر کلاهک، به انرژی تئوریک سقوط آزاد چکش، برحسب درصد
- شمارش N_{60} : آن مقدار از N، که نسبت به انرژی مرجع ER_1، معادل ۶۰٪ انرژی به انرژی تئوریک سقوط آزاد، اصلاح شده است.

$$N_{60} = \frac{E_M \times C_b \times C_s \times C_r \times N}{60}$$

E_m ضریب بازدهی چکش (بین ۰.۴۳ تا ۰.۸۵) و C_b ضریب اصلاح قط گمانه، C_s ضریب اصلاح نمونه گیر و C_r ضریب اصلاح طول نمونه است

- شمارش N_{160} : آن مقدار از N، که نسبت به انرژی مرجع ER_1 و فشار روباره برابر ۱۰۰ کیلوپاسکال اصلاح شده است.

$$(N_1)_{60} = N_{60}\sqrt{\frac{100\ kPa}{\sigma_z}}$$

دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی
مدرس سعید فقاریور جهرمی

ظرفیت باربری شمع‌ها بر اساس نتایج آزمایش SPT

مایرهوف در سال ۱۹۷۶ (CFEM,1992) رابطهٔ زیر را پیشنهاد نمود:

$$R_b = A_b q_b \qquad q_b = m.N \quad \text{MPa}$$

$$R_s = A_s q_s \qquad q_s = n.\overline{N} \quad \text{kPa}$$

m = یک ضریب تجربی برابر ۰/۴۰ برای شمع‌های کوبیدنی و ۰/۱۲ برای شمع‌های درجا

N = مقدار متوسط N در حوالی نوک شمع

n = ضریب تجربی برابر ۲ برای شمع‌های کوبیدنی و ۱ برای شمع‌های درجا

$\overline{N}$ = متوسط مقادیر SPT در طول شمع

حداقل ضریب اطمینان ۴ توسط مایرهوف پیشنهاد شده است.

ظرفیت باربری شمع‌ها بر اساس نتایج آزمایش SPT

روش Decourt & Quaresmas (1982)

$$q_s = (10 + 3.30 N_{si}) \quad \text{kPa}$$

$$q_b = n_b . N_b \quad \text{MPa}$$

مقادیر nb برای ماسه، لای و رس، در مورد شمع‌های کوبیدنی بقرار ۰/۴، ۰/۲۵، ۰/۱۲ است.

روش Shioi & Fukui (1990)

$$q_s = n_s . N_b \quad \text{kPa}$$

$$q_b = n_b . N_b \quad \text{Mpa}$$

مقادیر nb برای شمع‌های کوبیدنی در رس بقرار ۰/۱۵ و برای لای ۰/۲۰ و ماسه به قرار ۰/۳۰ بوده و برای شمع‌های ریختنی در رس ۰/۱۰ و در ماسه بقرار ۰/۱۵ می‌باشد. مقادیر ns برای شمع‌های کوبیدنی در رس برابر ۱۰ و برای ماسه برابر ۲ و برای شمع‌های ریختنی در رس برابر ۵ و برای ماسه بقرار ۱ می‌باشد.

دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر
دانشگاه آزاد اسلامی ایران
مدرس: سعید فلاورپور جهرمی

آزمایش CPT — Cone Penetration Test

پنترومتر استاتیک، نفوذ مخروط یا CPT
Static Cone Penetration Test

شمعی با انتهای مخروطی شکل که با سرعت ثابت در خاک رانده می‌شود تا عکس‌العمل خاک q_c در عمق‌های مختلف اندازه‌گیری شود.

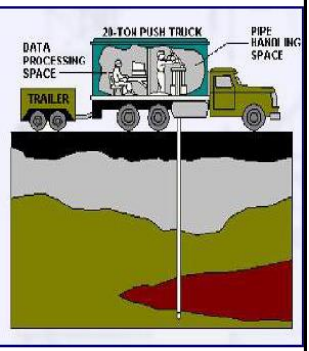
تیپ اندیا: قسمت مخروطی نوک و بدنه پیوسته هستند و حرکت مستقلی ندارند
تیپ گودا: قسمت مخروطی نوک می‌تواند مستقل از بدنه حرکت کند

مشخصات مخرروط:
- زاویه راس ۶۰ درجه
- سطح قاعده $10\ cm^2$
- سطح آستین $150\ cm^2$
- قطر 1.5 in
- سرعت نفوذ 2 cm/s

بسته به نوع پنترومتر، سه خروجی از آزمایش CPT قابل گزارش است:

- مقاومت نفوذ نوک مخروط – q_t
- مقاومت اصطکاکی آستین با خاک f_s
- فشار آب حفره ای u

Cone Penetration Test (CPT)



دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشکده فنی و مهندسی
مدرس: سعید فلاورپور جهرمی

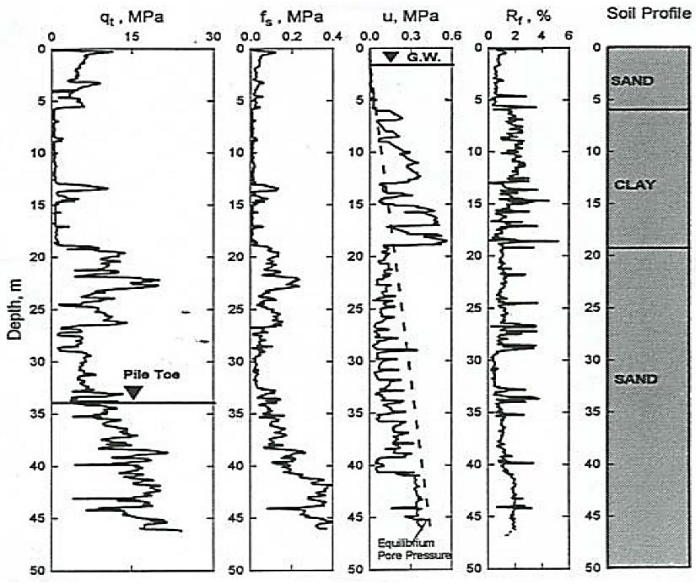
آزمایش CPT — Cone Penetration Test

معمولاً دو اندازه‌گیری در CPT مطرح است: مقاومت نوک مخروط (q_t) و اصطکاک جداری (f_s). مقاومت نوک مخروط نسبت نیروی عمودی روی تصویر نوک مخروط (قاعده) است. اصطکاک جداری تنش برشی موثر روی غلاف اصطکاکی جداری است. پنترومترها (مخروطهای نفوذی) به دو نوع اصلی تقسیم می‌شوند: مکانیکی و الکتریکی.

در پنترومترهای مکانیکی مخروط و جدارهٔ اصطکاکی نسبت به یکدیگر متحرکند، ولی در پنترومترهای الکتریکی بطور همزمان حرکت می‌نمایند. در پنترومتر مکانیکی، ابتدا مخروط جلوتر از پوشش اصطکاکی خارجی درخاک نفوذ داده می‌شود تا آنکه مقاومت مخروط یا q_t حاصل شود. سپس برای اندازه‌گیری مجموع مقاومت نوک و غلاف اصطکاکی، یا به عبارت دیگر برای اندازه‌گیری کل بار، هر دو با هم فرو برده می‌شوند. مقدار اصطکاک جداری با کم کردن مقادیر ثبت شدهٔ مقاومت مخروط از کل بار بدست می‌آید. در بعضی از انواع سیستمهای مکانیکی، امکان اندازه‌گیری جداگانه مقاومت مخروط، مقاومت اصطکاکی و سپس جمع هر دو مقاومت نیز امکان پذیر است.

درپنترومتر الکتریکی مقاومت مخروط و اصطکاک آستین در خلال نفوذ بطور جداگانه توسط کرنش‌سنجهایی که روی مخروط و جدارهٔ اصطکاکی سوار شده است بطور پیوسته اندازه‌گیری می‌شوند.

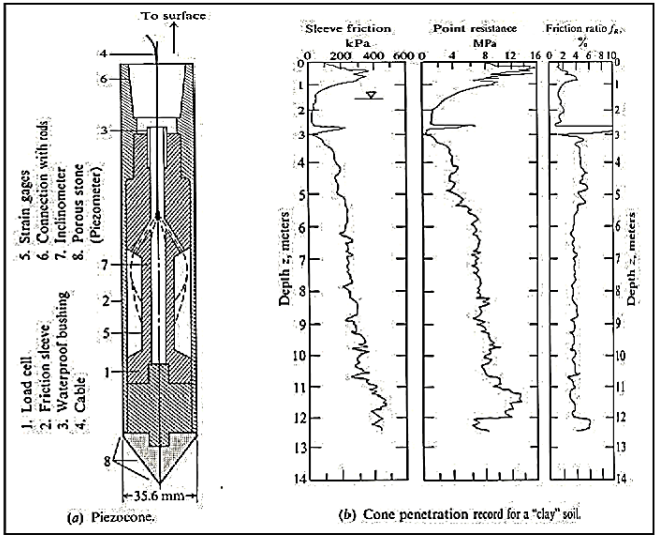
نمونه نتایج
CPT



در اغلب خاکها ضریب R_f یعنی نسبت مقاومت اصطکاکی به اتکایی بین ۱ تا ۳ درصد می باشد.

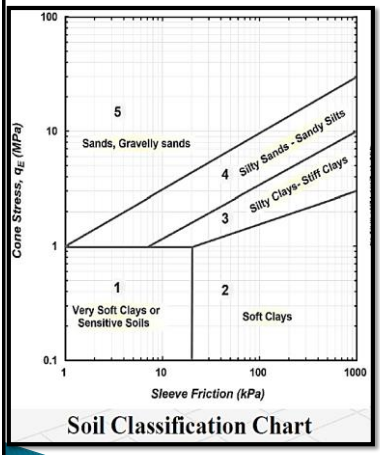
● آزمایش CPT

Cone Penetration Test

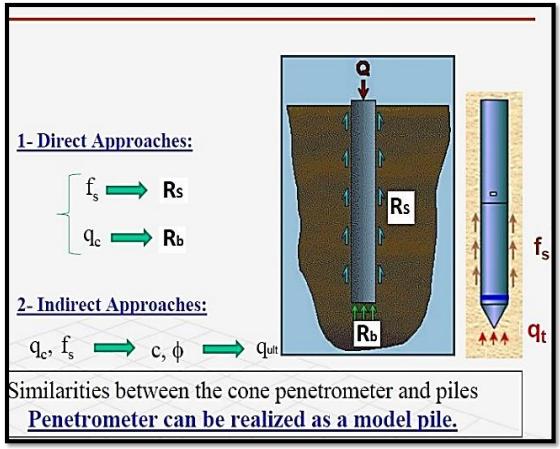


Electric Cone

استفاده از نتایج آزمایش CPT در تخمین باربری شمع



Soil Classification Chart



Similarities between the cone penetrometer and piles

Penetrometer can be realized as a model pile.

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشکده فنی و مهندسی
مدرس سعید فلاح پور جهرمی

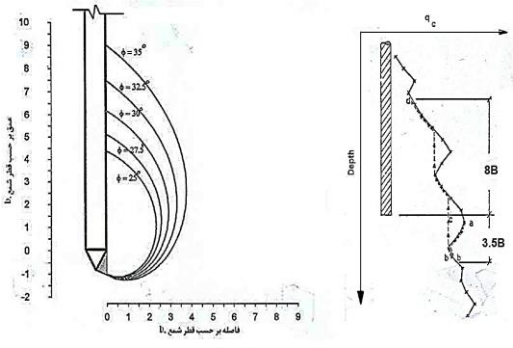
ظرفیت باربری اتکایی شمع بر اساس نتایج آزمایش CPT

روش بگمان (Begemann,1963)

طبق توصیهٔ بگمان مقاومت نوک یک شمع در محدودهٔ مرزی بین دو لایهٔ خاک تقریباً مساوی با متوسط مقاومت نفوذ مخروط در دو لایهٔ خاک است. با توجه به این مطلب نتیجه گرفته شد که خاک بالا و پایین نوک شمع تقریباً بطور مساوی در مقاومت نوک شمع سهیم هستند و گسیختگی در بستر شمع به شکل اسپیرال لگاریتمی از نوع گسیختگی برش کلی می‌باشد.

باربری اتکایی شمع

$$R_b = A_b q_t \text{ (average)}$$



سطوح گسیختگی اطراف نوک شمع برای خاکهای مختلف

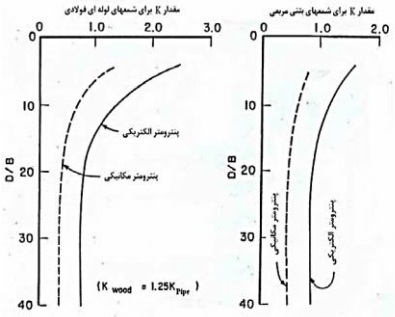
ظرفیت باربری جداره شمع بر اساس نتایج آزمایش CPT

$$R_S = A_S \, K \cdot f_s$$

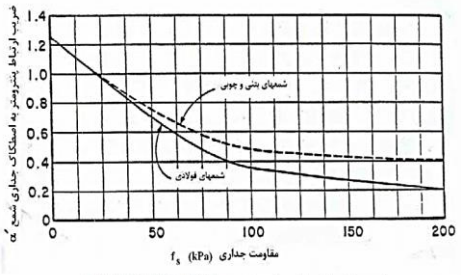
K ضریب بدون بعد که بسته به شکل شمع، مصالح شمع، نوع مخروط

f_s متوسط مقاومت اصطکاکی آستین پنترومتر در طول شمع

A_S سطح جانبی جداره شمع



تعیین مقاومت اصطکاکی شمع در ماسه(Schmertmann, 1978)



تعیین مقاومت جداری شمع در رس (Schmertmann, 1978)

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس سعید فقاریور جهرمی

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۴-۱-۴ استفاده مستقیم از نتایج آزمایش‌های درجا

در روش مستقیم نتایج به دست آمده از آزمایش درجا (مانند نفوذ استاندارد، نفوذ مخروط، ...)، پارامترهای حاصل از آزمایش مستقیما در تخمین توان باربری شمع مورد استفاده واقع می‌شوندکه روابط حاصله بیشتر جنبهٔ تجربی دارند. در این خصوص باید به نکات زیر توجه داشت:

الف- آزمایش تا عمق کافی پایین‌تر از تراز نوک شمع باید انجام شده باشد.

ب- چنانچه جدار شمع در لایه‌های مختلفی قرار دارد، باید آزمایش در نقاط کافی در هر لایه انجام شده باشد.

هر روش برای نوع بخصوصی از روش اجرای شمع و خاک پیشنهاد شده است و تحلیل‌ها به شرطی معتبر است که با جزئیات طراحی و اجرائی شمع منطبق باشند.

ظرفیت باربری شمع بر اساس روشهای دینامیکی

روشهای دینامیک را می توان به صورت زیر تفکیک کرد:

- روابط دینامیکی کوبش شمع
- تحلیل معادله موج WEAP
- آزمایش دینامیک شمع PDA
- تحلیل انطباق موج CAPWAP
- آزمایش بارگذاری سریع RLT

هدف از بارگذاری دینامیکی، اعمال بارگذاری سریع بر شمع و اندازه گیری پاسخ شمع است. بارگذاری معمولا در دو سطح کرنش کم و کرنش زیاد قابل انجام است.

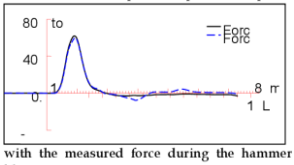
یکی از متداولترین این آزمایشها، آزمایش دینامیکی شمع یا PDA[1] است که با استفاده از نصب سنسورهائی در نزدیکی راس شمع، مقادیر نیرو و سرعت وارده ناشی از ضربهٔ چکش مستقیماً اندازه‌گیری می‌شوند. در نتیجه می‌توان برآورد بسیار دقیق‌تری از انرژی وارده به رأس شمع به ازاء هر ضربه داشت. با استفاده از نتایج آزمایش PDA می‌توان ظرفیت باربری استاتیکی کل شمع (بدون تفکیک مقاومتهای جداری و نوک) را در حین شمع‌کوبی بدست آورد.

در سطح کرنش کم، با اعمال یک ضربه کوچک بر سر شمع، جابجایی در شمع رخ نمی دهد. در این روش هدف ارزیابی و تحلیل نحوه بازتاب انتشار موج تنش در شمع و تخمین یکپارچگی و ظرفیت باربری شمع است. این روشها نسبتا جدید و درحال رشد هستند. در سطح کرنش زیاد، ضربه دینامیکی توسط یک انرژی زیاد انجام می شود و ضربات اعمال شده باعث جابجایی شمع در خاک می شوند که به کوبش شمع موسوم است. روابط کوبش از دیر باز مورد استفاده محققان در تعیین ظرفیت باربری شمع بوده است.

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
دانشکده عمران
عمران سعید فقارپور جهرمی

ظرفیت باربری شمع بر اساس روشهای دینامیکی

CAPWAP at the top of the pile is compared



with the measured force during the hammer blow.

آزمایش دینامیکی با سطح کرنش کم جهت کنترل سلامت و یکپارچگی شمع

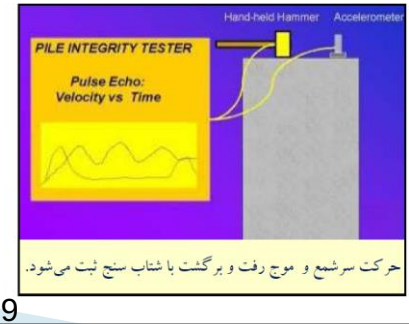
بار طراحی شمع‌های بتن درجا معمولاً قابل توجه بوده و در اغلب موارد بـه عنـوان تنها عضو باربر مورد استفاده قرار می‌گیرند. لذا آزمایش یکپارچگی به منظور کنترل کیفیـت شمع اجرا شده به جهت یافتن نقاط ضعف شمع (کـاهش سـطح مقطـع، تـرک خـوردگی، وجود حفره، کیفیت پائین مصالح و ...) که ممکـن اسـت در شـمع‌هـای بـتن درجـا اتفـاق می‌افتد، می‌تواند مفید واقع شود. با توجه به انتظارات قابل توجه در عملکرد شمع‌های بـتن درجا، انجام کنترل کیفیت دقیق روی هریک از این شمع‌ها امری ضروری است.

شمع‌های کوبشی بتنی در حین عملیات کوبش ممکن است دچار ترک یا شکـستگی شوند. شمع‌های فولادی مانند لوله یا مقاطع H نیز در حین عبور از لایه‌های سـخت ممکـن است دچار لهیدگی در حوالی نوک شوند که در ادامه کوبش موجب جمع شدن ناحیه پائین شمع گردد. چنانچه در حین کوبش این‌گونه شـمع‌هـا آزمـایش PDA انجـام نـشده باشـد، می‌توان از آزمایش کنترل یکپارچگی برای ارزیابی صـحت شـمع اسـتفاده نمـود. همچنـین شمع‌های اجرا شده قدیمی مانند اسکله‌ها، پل‌ها، فونداسیون ماشین آلات صنعتی، ... ممکن است نیاز به تعیین طول شمع داشته باشند. در اغلب مـوارد، در چنـین سـازه‌هـای قـدیمی اطلاعات و نقشه‌های اجرائی در دسترس نیست. چنانچه برای کنترل کیفیت طرح، ارزیـابی شرایط موجود، مقاوم‌سازی یا هر مورد خاص نیاز به تعیین طول شـمع باشـد، مـی‌تـوان از آزمایش کنترل یکپارچگی استفاده نمود.

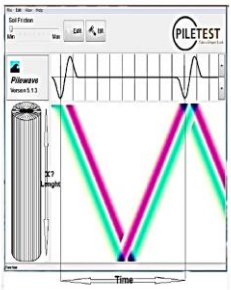
برای کنترل یکپارچگی شمع‌های اجرا شده چندین روش وجـود دارد کـه مـی‌تـوان آنها را به دو دسته کلی "روش‌های مافوق صوت" و "روش کرنش پائین" تقسیم نمـود. در ادامه این فصل به ترتیب این روش‌ها شرح داده می‌شوند.

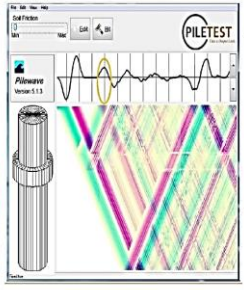
دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

کنترل کیفیت سازه شمع پس از اجرا– یکپارچگی شمع



کنترل یکپارچگی شمع





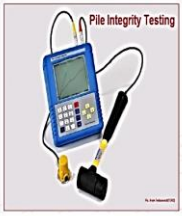
سه روش تعیین یکپارچگی شمع

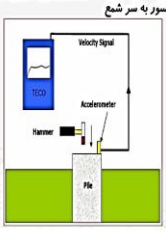
P.I.T. (Pile Integrity Testing)
C.S.L.(Cross hole Sonic Logging)
T.I.P.(Thermal Integrity Profiling)

ASTM D 5882-16
Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations

ابزارآزمایش سونیک

۱-سنسور(Accelerometer) ۲- چکش با سر پلاستیکی سخت و به شکل آپشنال مجهز به سنسور جهت سنجش نیرو۳- دیتا لاگر ۴-اتصالات(نظیر کابلهای ضد نویز)....+استفاده ازماده پر کننده چسبناک در مقطع اتصال سنسور به سر شمع





دانشگاه فرهنگ و هنر میبد-یزد
دانشگاه معدن ایران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۵-۱-٤-٦-۷ استفاده از آزمایش دینامیکی

الف- نتایج آزمایش‌های بارگذاری دینامیکی شمع‌ها می‌تواند در تعیین ظرفیت باربری مورد استفاده قرار گیرد، مشروط بر آنکه اولاً مطالعه ژئوتکنیک کامل برای ساختگاه انجام شده باشد، ثانیاً نتایج این آزمایش‌ها با آزمایش‌های استاتیکی بر روی شمع‌های مشابه به لحاظ نوع، طول، سطح مقطع و در شرایط خاک مشابه کالیبره شده باشد.

ب- نتایج آزمایش‌های دینامیکی همواره باید در ارتباط و مقایسه با یکدیگر مورد استفاده قرارگیرند. این آزمایش‌ها را می‌توان به عنوان روشی برای تعیین یکنواختی عملکرد شمع‌ها به کار گرفت و از آنها برای تشخیص شمع‌های ضعیف، مسئله‌دار و آسیب‌دیده نیز استفاده نمود.

٦-۱-٤-٦-۷ تحلیل معادله موج (WEAP)

در مواردی که ظرفیت باربری نهایی شمع‌های فشاری منفرد با استفاده از تحلیل‌های معادله موج تعیین می‌شود، اعتبار این تحلیل‌ها باید با توجه به عملکرد قبلی آن‌ها در آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی روی نمونه شمع‌های مشابه، با طول و مقطع مشابه، و در شرایط زمین یکسان تأیید شده باشد.

پارامترهای مورد استفاده در تحلیل معادله موج را در مواردی که آزمایش بارگذاری دینامیکی بر روی شمع‌های آزمایشی انجام شده باشد، می‌توان مورد تجدید نظر قرار داد و اصلاح کرد. در این صورت باید به انجام آزمایش در شرایط کوبش اولیه یا کوبش مجدد توجه داشت.

نتایج تحلیل معادله موج بیشتر برای طراحی شرایط و ابزار کوبش (مانند ظرفیت چکش مورد نیاز، بالشتک چکش و شمع، ....) و همچنین زمان کوبش و قابل کوبش بودن شمع تا عمق مورد نظر استفاده می‌گردد. در این صورت باید نتایج به صورت "گراف باربری" و گراف‌های حاصل از "تحلیل قابلیت کوبش" ارائه گردند.

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۱-٤-٦-۷ آزمایش دینامیکی شمع (DLT)

نتایج آزمایش‌های بارگذاری دینامیکی شمع‌ها می‌تواند در تعیین ظرفیت باربری مورد استفاده قرار گیرد، مشروط بر آنکه اولاً مطالعه ژئوتکنیک کامل برای ساختگاه انجام شده باشد، ثانیاً نتایج این آزمایش‌ها با آزمایش‌های استاتیکی بر روی شمع‌های مشابه به لحاظ نوع، طول سطح مقطع و در شرایط خاک مشابه کالیبره شده باشد.

نتایج آزمایش‌های دینامیکی همواره باید در ارتباط و مقایسه با یکدیگر مورد استفاده قرارگیرند. این آزمایش‌ها را می‌توان به عنوان روشی برای تعیین یکنواختی عملکرد شمع‌ها به کار گرفت و از آن‌ها برای تشخیص شمع‌های ضعیف، مسئله‌دار و آسیب‌دیده نیز استفاده نمود.

۸-۱-٤-٦-۷ در صورتی‌که نتایج ظرفیت باربری حاصل از آزمون‌های بارگذاری شمع با نتایج حاصل از روش‌های تحلیلی و روش‌های استفاده مستقیم از نتایج آزمایش‌های برجا متفاوت باشد باید شمع‌ها بر اساس آزمون‌های بارگذاری طراحی گردند.

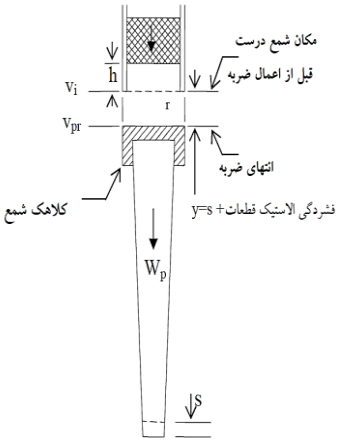
۹-۱-٤-٦-۷ در صورتی‌که نتایج ظرفیت باربری حاصل از آزمون‌های بارگذاری شمع با روش‌های استفاده مستقیم از نتایج آزمایش‌های برجای معتبر و مرتبط با شمع مثل "نفوذ مخروطی یا پرسیومتر" متفاوت باشد باید شمع‌ها بر اساس هر دو معیار و با نظر کارشناس ژئوتکنیک طراحی گردند.

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشگاهی عمومی ایران
مدرس سعید فقاریور جهرمی

ظرفیت باربری شمع بر اساس نتایج کوبش شمع

هنگامی که ضربهٔ چکش در حین عملیات شمع‌کوبی به سر شمع نواخته می‌شود، شمع قدری در زمین فرو می‌رود. از جمله عوامل موثر بر میزان فرو رفتن شمع به ازاء هر ضربه، سختی شمع و مقاومت و سختی خاک در اطراف جدارهٔ شمع در عمقهای مختلف و همچنین درنوک شمع و پائین‌تر از آن است. لذا میزان فرو رفتن شمع در خاک به ازاء هر ضربهٔ چکش با انرژی واردهٔ مشخص می‌تواند شاخصی از مقاومت خاک باشد. به عبارت دیگر، به ازاء هر ضربهٔ چکش یک آزمایش بارگذاری روی شمع انجام می‌پذیرد. اما تفاوت آن با آزمایش بارگذاری استاتیکی آن است که به علت ماهیت دینامیکی ضربهٔ وارده، اثر جرم و میرائی نیز در رفتار مجموعهٔ شمع و خاک اطراف دخیل است. در نتیجه می‌توان با حل کلی معادلهٔ حرکت برای سیستم، بر حسب میزان فرو رفتن شمع در خاک، معادل ظرفیت باربری استاتیکی شمع را محاسبه نمود.

ظرفیت باربری شمع بر اساس نتایج کوبش شمع



پارامترها در معادلات دینامیکی شمع‌کوبی

از مقایسه انرژی اعمال شده و انرژی تلف شده توسط دستگاههای شمعکوب، باربری شمع از روابط تجربی قابل تخمین است. انرژی اعمال شده تابعی از وزن چکش، ارتفاع سقوط، وزن شمع، میزان نفوذ در هر ضربه است.

انرژی تلف شده شامل فشردگی و تراکم الاستیک شمع، فشردگی کلاهک، اینرسی شمع، بازتاب انرژی در خاک اطراف است. بزرگترین ضعف این روشها عدم دخالت مشخصات خاک در روابط ظرفیت باربری است.

$$Q \approx \frac{W_R \times h}{S}$$

W_R: وزن چکش

h: ارتفاع سقوط

S: میزان نفوذ در هر ضربه

Q فقط شامل ظرفیت باربری استاتیکی نیست لذا ضرایب اطمینان بزرگی استفاده می شود.

این روابط روز به روز اصلاح می شوند و معیار خوبی برای کنترل ظرفیت باربری شمع‌ها است.

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشکده فنی عمران
مدرس سعید فقاریور جهرمی

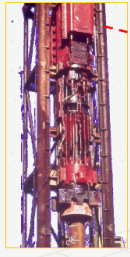
انواع شمعکوب

- **شمع کوب دیزلی:** در شمع کوبی دیزلی، سقوط چکش باعث فشردگی هوا در داخل سیلندر می‌شود. با پاشیدن سوخت، انفجار رخ داده و چکش بعد از اعمال ضربه به شمع به سمت بالا رانده می‌شود.

چکش‌های ICH (Internal Combustion Hammers)

چکش‌های ICH بر اساس سیکل دیزل عمل می‌کنند.

Open End Diesel Hammer



Closed End Diesel Hammer

فرکانس عملکرد (اعمال ضربه) بیشتر چکش‌های Closed End

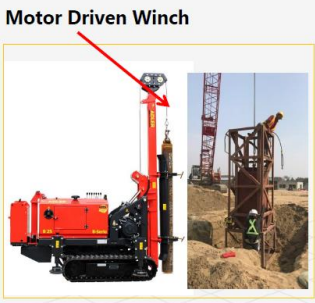
رایج ترین شمع‌کوب موجود در ایران

- اغلب قدیمی
- بازدهی (نسبت انرژی وارده به شمع به انرژی اسمی چکش) پائین
- ارزان

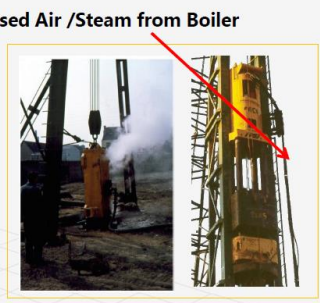
انواع شمعکوب

- **شمع کوب بخار:** این شمع کوب مشابه سیستم سیلندر و پیستون است که در حالت تک ضربه‌ای، چکش تحت فشار بخار ورودی بالا رفته و سپس تحت اثر ثقل خود سقوط می‌کند. در شمع کوب دو ضربه‌ای چکش تحت اثر وزن خود به علاوه فشار بخار قرار گرفته و با انرژی بیشتر و تعداد ضربات بالاتر سقوط می‌نماید.

چکش‌های ECH(External Combustion Hammers)



Drop Hammer



Air/Steam Hammer

دانشگاه فنی و حرفه‌ای
دانشکده فنی عمران
مدرس سعید فقارپور جهرمی

انواع شمعکوب

- **شمع‌کوب هیدرولیکی:** در شمع کوب‌های هیدورلیکی آثار صوتی و ارتعاشی کمتر از چکش‌های دیزلی بوده چکش شمع کوبی با فشار هیدرولیکی مایع صعود نموده و تحت اثر وزن خود سقوط نموده و بار خود را به شمع منتقل می‌نماید. این شمع کوب دارای وزن چکش ۳ تا ۷ تن بوده و به طور متوسط ۴۰ ضربه در دقیقه بر شمع وارد می‌نماید.

چکش‌های ECH(External Combustion Hammers)

چکش‌های ECH با یک منبع انرژی خارجی تغذیه می‌شوند.

Hydraulic Hammer

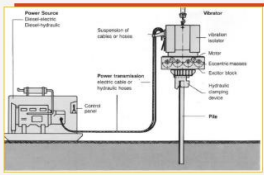
1. Conventional
2. Accelerated

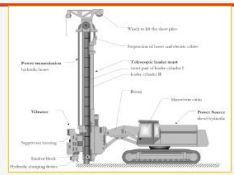
اعمال شتاب به وزنه (انرژی اعمالی بیشتر)

نسبت وزن Ram به وزن کل چکش کمتر

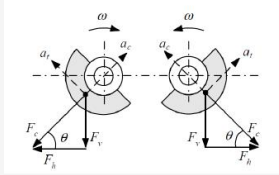
انواع شمعکوب

- **شمع‌کوب ویبره:** دارای دو وزنه متحرک می باشد که در خلاف جهت هم می چرخند و دامنه ارتعاش بر مقاومت اصطکاکی خاک اطراف شمع غلبه و تحت وزن خود و چکش در خاک نفوذ می کند. بیشتر برای شمع های جدار نازک فلزی در خاکهای ریزدانه و سست کاربرد دارد.





چکش‌های ویبره



Type	Frequency (Hz)	Moment [kg.m]
Standard Frequency	20-30	>230
High Frequency	30-42	6-45
Variable Eccentricity	40	10-54
Excavator Mounted	30-50	1-13
Resonant Driver	>100	50

دانشگاه شریف
دانشکده عمران
مدرس سعید فقاریور جهرمی

معیار توقف کوبش

مشخص نمودن معیار توقف کوبش شمع به عنوان اولین هدف پیمانکاران اجرایی است. هرگاه مقاومت در برابر فرورفت افزایش شمع کوبی متوقف میشود. مثلا اگر وزن شمع بیش از ۴ برابر وزن چکش باشد، معیار توقف ۳۰۰ضربه در هر فوت طی ۵ مرحله متوالی یا ۸۰۰ ضربه در هر فوت طی یک مرحله کوبش است. زمانی که وزن شمع از این بیشتر باشد تعداد ضربات به طور خاص افزایش می‌یابد اما نباید از ۸۰۰ ضربه در نیم فوت نفوذ بیشتر شود.

عملکرد نفوذ شمع تحت اثر ضربه

با وارد آمدن ضربه چکش به شمع موج فشاری از بالای شمع به سمت پایین با سرعت تقریبی معادل ۴۰۰ متر بر ثانیه در شمع‌های بتنی پیش ساخته شروع به حرکت می‌کند. در طول مدتی که موجب به سمت پایین حرکت می‌کند تنش به تدریج توسط مصالح شمع و خاک مستهلک می‌شود. در پای شمع، موج فشاری منعکس می‌شود و به سمت بالا به شکل یک موج کششی منعکس شده که البته به تدریج از شدت آن کاسته می‌شود. این موج فشاری و کششی همدیگر را خنثی می‌کنند.

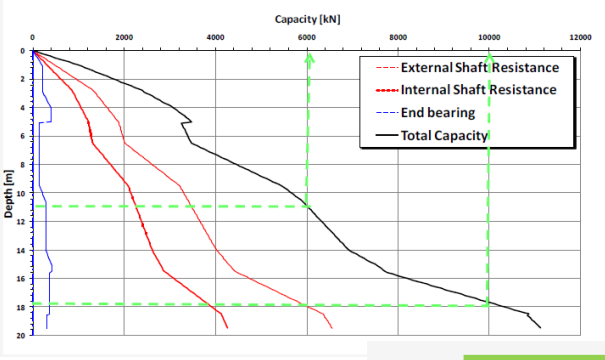
به طور کلی استفاده از شمع‌های بتنی پیش تنیده با مقاومت **حدود ۵۰ تا ۶۰ مگاپاسکال** توصیه می‌شود. تحت اثر ضربه تا حدود ۴۰ مگاپاسکال تنش فشاری اعمال می‌شود ولی در خصوص تنش کششی به واسطه پیش تنیدگی مشکلی وجود ندارد. در صورت استفاده از شمع‌های با پیش تنیدگی بالا، امکان استفاده از شمع‌های لاغرتر و سبکتر وجود دارد.

توصیه‌های فنی و اجرایی کوبش شمع

- در مورد شمع‌های بتنی مسلح وزن مناسب برای چکش نصف وزن شمع است که نباید از یک سوم این وزن کمتر شود.
- ارتفاع سقوط مناسب جهت شمع‌های بتنی ۱.۲ متر بوده و در حالت کلی چکش‌های سنگین با ارتفاع سقوط کمتر عملکرد بهتری نسبت به چکش‌های سبک با ارتفاع سقوط زیاد دراند.
- در خاک‌های چسبنده با نفوذپذیری کم، کوبش باعث بالا رفتن فشار آب منفذی و کاهش چسبندگی خاک تا فاصله 3R از سطح جانبی شمع می‌شود. در فاصله زمانی نسبتاً طولانی (حداقل ۳ ماه) فشار منفذی کاهش یافته و خاک تدریجاً خواص اولیه خود را پیدا می‌کند. لذا از بارگذاری سریع این گونه شمع‌ها باید خودداری نمود.
- کوبش با چکش سقوطی نیازمند سر شمع و کلاهک است.
- در زمان کوبش لوله‌های فولادی، خطر لهیدگی و غُر شدن مقطع بالای لوله با ضخامت جدار کم وجود دار و امکان کوبش شمع طویل مشکل است لذا سر شمع باید تقویت شود.
- بین تنش فشاری حداکثر و سرعت چکش در زمان ضربه رابطه‌ای وجود دارد که برای شمع‌های بتنی میزان حداکثر تنش به طور تقریبی معادل ۸ تا ۱۰ برابر سرعت است.
- برای شمع‌های فولادی با مقاومت بالا ارتفاع سقوط می‌تواند بزرگتر باشد. نکته مهم این است که باید دقت شود از شمع‌کوب با ارتفاع سقوط آزاد بالا جهت کوبش شمع‌های بتنی استفاده نشود.
- شمع کوب دیزلی در زمین‌های سست و نرم کاربرد نداشته و استفاده بدون مطالعه از آنها در شرایط تغییر لایه‌های خاک (یک لایه نرم مجاور لایه سخت) احتمال شکست شمع‌های بتنی را افزایش می‌دهد.

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

عمق و ظرفیت باربری شمع‌های کوبشی به نوع چکش انتخابی نیز بستگی دارد.
چکش باید قابلیت کوبش شمع تا آن عمق را بدون آسیبی به شمع داشته باشد.



عمق (متر)	ظرفیت باربری (تن)
۱۱	۶۰۰
۱۸	۱۰۰۰

تنش‌های مجاز حین کوبش

Stress Type	SI unit limit
Steel Compression	0.90 Fy
Steel Tension (may be limited by weld)	0.90 Fy
Prestressed Concrete Compression (top)	0.85 f'c - fpe
Prestressed Concrete Tension	fpe + 0.25 (f'c)0.5
Reg. Reinforced Concrete Compression (top)	0.85 f'c
Reg. Reinforced Concrete Tension	0.70 Fy (As/Ac)
Timber	$3F_{at}$

فرمول‌های دینامیکی شمع (اقتباس از Bowles, 1996)

آئین‌نامه ملی ساختمانی کانادا (از ضریب اطمینان ۳ استفاده شود)

$$P_u = \frac{e_h E_h C_1}{s + C_2 C_3}$$

$$C_1 = \frac{W_r + n^2 (0.5 W_p)}{W_r + W_p} \qquad C_2 = \frac{3 P_u}{2A} \qquad C_3 = \frac{L}{E} + C_4 \qquad C_4 = .0001\ in.^3 / k\,(Fps)$$

$$3.7 \times 10^{-10}\ m^3 / kN (SI)$$

توجه شود که دیمانسیون C_2 C_3 و s یکسان است.

فرمول دانمارکی {Olson and Flaate (1967)} (ضریب اطمینان بین ۳ تا ۶ در نظر گرفته شود)

$$P_u = \frac{e_h E_h}{s + C_1} \qquad C_1 = \sqrt{\frac{e_h E_h L}{2AE}} \qquad (units\ of\ s)$$

فرمول Gates {Gates (1957)} (از ضریب اطمینان ۳ استفاده شود)

$$P_u = a\sqrt{e_h E_h}\,(b - \log s)$$

$P_u = kips\ or\ kN \qquad E_h = kips.ft\ or\ kN.m$

	s	a	b
Fps	in.	27	1.0
SI	mm	104.5	2.4

مقدار e_h برای چکشهای با سقوط آزاد برابر ۰/۷۵ و برای سایر چکشها برابر ۰/۸۵ در نظر گرفته شود.

فرمول Eytelwein {Chellis (1961)} (از ضریب اطمینان ۶ استفاده شود)

$$P_u = \frac{e_h E_h}{s + C(W_p / W_r)} \qquad C = 2.5\ mm = 0.1\ in$$

دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی
مدرس سعید فلاورپور جهرمی

جانبو {Olson and Flaate (1967), Mansur and Hunter (1970)} (از ضریب اطمینان بین ۳ تا ۶ استفاده شود)

$$P_u = \frac{e_h E_h}{K_u s}$$

$$K_u = C_d\left(1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda}{C_d}}\right) \qquad \lambda = \frac{e_h E_h L}{AE s^2} \qquad C_d = 0.75 + 0.15\frac{W_p}{W_r}$$

از واحدهای سازگار برای محاسبه P_u استفاده گردد

فرمول ENR اصلاح شده {ENR (1965)} (از ضریب اطمینان ۶ استفاده شود)

$$P_u = \left(\frac{1.25\, e_h E_h}{s + C}\right)\left(\frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p}\right) \qquad C = 2.5 mm = 0.1 in.$$

آشتو {AASHTO (1990)[1]; Sec. 3.6.2 p. 251} $P_u < 1$ (از ضریب اطمینان ۶ به خصوص برای شمع‌های چوبی استفاده شود)

$$P_u = \frac{2h(W_r + A_r p)}{s + C} \qquad C = 2.5\ mm = 0.1\ in.$$

برای چکشهای بخار دوطرفه A_r برابر سطح مقطع وزنه سقوط کننده (Ram) و P برابر فشار بخار (یا هوا) در نظر گرفته شود. برای چکشهای یکطرفه و سقوط آزاد مقدار $A_r P$ برابر صفر منظور شود. از واحدهای سازگار استفاده شود. مقدار e_h برابر یک در نظر گرفته شود. فرمول‌های فوق برای شمع‌های فولادی و بتنی کاربرد دارند. s برابر نفوذ در ۱۰ تا ۲۰ ضربه آخر برای چکشهای بخار است.

فرمول Navy- McKay (ضریب اطمینان برابر ۶ در نظر گرفته شود)

$$P_u = \frac{e_h E_h}{s(1 + 0.3 C_1)} \qquad C_1 = \frac{W_p}{W_r}$$

آئین‌نامه ساختمانی متحد (ضریب اطمینان برابر ٤ در نظر گرفته شود)

$$P_u = \frac{e_h E_h C_1}{s + C_2} \qquad C_1 = \frac{W_r + kW_p}{W_r + W_p}$$

$k = 0.25$ *for steel piles*

$= 0.10$ *for all other piles*

$$C_2 = \frac{P_u L}{AE} \ (\textit{units of } s)$$

در ابتدا با فرض $C_2=0$ مقدار P_u محاسبه گردد. مقدار محاسبه شده ۲۵٪ کاهش داده شده و C_2 محاسبه شود. سپس مقدار جدید P_u محاسبه شود. از این مقدار P_u برای محاسبه C_2 استفاده گردد. این سیکل آنقدر تکرار گردد تا مقادیر P_u با هم برابر شوند.

رابطهٔ جامعهٔ مهندسین آمریکا :

$$P_a = \frac{E}{6(e + 0.25)}$$

$E=m.h.k$: مقدار انرژی وارده

m : وزن چکش بر حسب kg

h : ارتفاع سقوط بر حسب cm

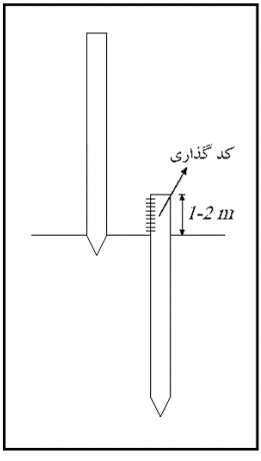
k : ضریب راندمان چکش که بین 0.75 تا 1 قرار دارد.

e : مقدار فرورفت در قسمت انتهایی شمع بر حسب cm

عدد 6 ضریب اطمینان می باشد.

دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده فنی
مدرس سعید فقاریور جهرمی

-❊ تعیین مقدار فرو رفت e ❊-



-- روش کار : در موقع شمع کوبی زمانی که به ۱ تا ۲ متر انتهای شمع رسیدیم ، چند ضربه وارد می کنیم (مثلا ۲۰ ضربه) و به ازای این تعداد ضربات مقدار فرورفت شمع را اندازه می گیریم. (مثلا ۴۰ سانتیمتر)

$$e_1 = \frac{40}{20} = 2\,cm$$

این عمل را چند بار تکرار می کنیم و مقدار فرورفت را برابر میانگین اعداد بدست آمده در نظر می گیریم :

$$e_{ave} = \frac{e_1 + e_2 + \cdots + e_n}{n}$$

رابطهٔ آمریکایی : فرمول ENR اصلاح شده {ENR (1965)}

$$P_u = \left(\frac{1.25\, e_n\, E_n}{s + C}\right)\left(\frac{W_r + n^2\, W_p}{W_r + W_p}\right)$$

(از ضریب اطمینان ٦ استفاده شود)

با هر واحدی قابل استفاده است

$$C = 2.5mm = 0.1in.$$

W_r: وزن چکش W_p: وزن شمع

S : مقدار فرورفت به ازاء هر ضربه

e_n : راندمان چکش (برحسب نوع چکش)

n : ضریب برجهندگی (ضریب بازگشت) بر حسب نوع شمع و کلاهک سرشمع

E_n : انرژی حاصل از چکش

نوع شمع	ضریب n
شمع های چوبی	0.25
شمع چوبی با کلاهک فلزی	0.32
شمع فلزی یا بتنی با کلاهک فلزی	0.50
شمع بتنی بدون کلاهک فلزی	0.40

نوع چکش	e_n
چکش با سقوط آزاد	0.75 - 1
چکش دو ضربه ای	0.85 - 1
چکش دیزلی	0.8 - 1

مشخصات فنی شمعکوب

Diesel Pile Hammers DELMAG

Technical Data

Diesel pile hammer with hydraulic starting device

		D12-52	D19-52	D25-52	D30-52
Impact weight (piston)	kg	1280	1820	2500	3000
	lbs	2,820	4,010	5,510	6,610
Energy per blow max. - min.	kNm	46-20	66-29	90-40	103-48
	ft-lbs	33,930-14,750	48,680-21,390	66,380-29,500	75,970-35,400
Number of blows	min-1	35-52	35-52	35-52	36-52
Suitable for driving piles (depending on soil and pile)	kg	800-5000	1100-6000	1600-7500	2000-9000
	lbs	1,760-11,000	2,420-13,200	3,530-16,535	4,410-19,840

جدول ۸ ـ ۶ ـ مشخصات شمعکوبهای بخار و هوای فشرده

کارخانهٔ سازنده	شمارهٔ مدل	نوع شمعکوب	انرژی kN·m	انرژی kip-ft	ضربه در دقیقه	وزن چکش kN	وزن چکش kips
V	3100	Single acting	406.8	300	56	446.8	100
V	540	Single acting	271.2	200	44	181.9	40.9
V	060	Single acting	244.1	180	62	266.9	60
MKT	OS-60	Single acting	244.1	180	55	266.9	60
V	030	Single acting	162.7	120	60	177.9	40
V	400C	Differential	153.9	113.5	100	177.9	40
R	8-0	Single acting	110.2	81.25	35	111.2	25
MKT	S-20	Single acting	81.4	60	60	89	20
R	5-0	Single acting	77.2	56.9	44	77.8	17.3
V	200-C	Differential	68.1	50.2	98	89	20
R	150-C	Differential	66.1	48.75	95-109	66.7	15
MKT	S-14	Single acting	50.9	37.5	60	62.3	14
V	140C	Differential	48.8	36	103	62.3	14
V	08	Single acting	35.3	26	50	35.6	8
MKT	S-8	Single acting	35.3	26	55	35.6	8
MKT	11B3	Double acting	26.1	19.2	95	22.2	5
MKT	C-5	Double acting	21.7	16.0	110	22.2	5
V	30-C	Double acting	9.9	7.3	133	13.3	3

V—Vulcan Iron Works, Florida
MKT—McKiernan-Terry, New Jersey
R—Raymond International, Inc., Texas

جدول ۸ ـ ۷ ـ مشخصات شمعکوبهای دیزل

کارخانهٔ سازنده	مدل	انرژی kN·m	انرژی kip-ft	ضربه در دقیقه	وزن پیستون kN	وزن پیستون kips
K	K150	379.7	280	45–60	147.2	33.1
M	MB70	191.2–86	141–63.4	38–60	70.5	15.84
K	K-60	143.2	105.6	42–60	59.7	13.2
K	K-45	123.5	91.1	39–60	44.0	9.9
M	M-43	113.9–51.3	84–37.8	40–60	42.1	9.46
K	K-35	96	70.8	39–60	34.3	7.7
MKT	DE70B	85.4–57	63–42	40–50	31.1	7.0
K	K-25	68.5	50.7	39–60	24.5	5.51
V	N-46	44.1	32.55	50–60	17.6	3.96
L	520	35.7	26.3	80–84	22.6	5.07
M	M-14S	35.3–16.1	26–11.88	42–60	13.2	2.97
V	N-33	33.4	24.6	50–60	13.3	3.0
L	440	24.7	18.2	86–90	17.8	4.0
MKT	DE20	24.4–16.3	18.0–12.0	40–50	8.9	2.0
MKT	DE-10	11.9	8.8	40–50	4.9	1.1
L	180	11.0	8.1	90–95	7.7	1.73

V—Vulcan Iron Works, Florida
M—Mitsubishi International Corporation
MKT—McKiernan-Terry, New Jersey
L—Link Belt, Cedar Rapids, Iowa
K—Kobe Diesel

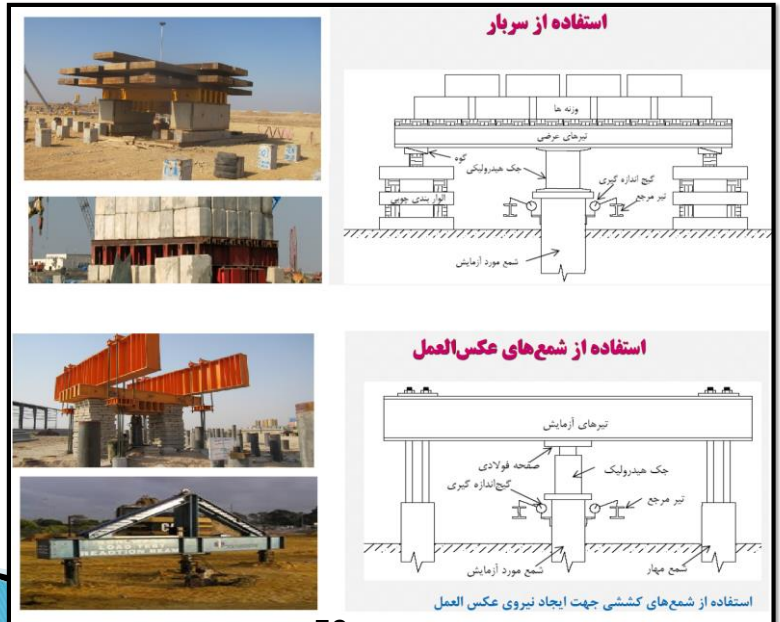
ظرفیت باربری شمع بر اساس نتایج آزمایش بارگذاری استاتیکی

با توجه به اینکه آزمایش بارگذاری معمولاً روی شمع با ابعاد و شرایط شمع واقعی انجام می‌شود، نتایج آن در مقایسه با سایر روشها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای این منظور ممکن است یک یا چند شمع آزمایشی اجرا شده و بارگذاری روی آنها انجام می‌شود. در صورت امکان می‌توان محل شمع‌های آزمایشی را طوری انتخاب کرد که به عنوان شمع اصلی بکار برده شوند. تعداد شمع‌های آزمایشی، نوع شمع‌ها، روش اجرا و شرایط بارگذاری لازم است تحت سرپرستی مهندس ژئوتکنیک مسئول اجرای طرح انجام پذیرد.

معمولاً آزمایشهای بارگذاری روی تعدادی شمع در مراحل مقدماتی اجرای شمع انجام می‌شود. هدف از انجام این آزمایشها حصول اطمینان از باربری ایمن شمع‌ها و همچنین کنترل عملیات اجرایی است. انتخاب شمع‌های آزمایشی توسط مهندس مسئول ژئوتکنیک طرح و بر اساس مشاهدات رفتاری شمع در حین اجرا انجام می‌پذیرد. آزمایشهای کنترلی پس از اتمام اجرا معمولاً به منظور کنترل کیفیت و بازرسی و اطمینان از صحت اجرا به ازاء هر ۲۵۰ الی ۳۰۰ شمع یک آزمایش انجام می‌شود. توصیه می‌شود یک شمع از هر گروه در مواردی که نکات خاصی در حین اجرای شمع مثلاً تفاوت قابل توجه در لایه‌بندی خاک مشاهده شده آزمایش شود.

دانشگاه آزاد اسلامی واحد مبارکه
دانشگاه صنعتی اصفهان
مدرس سعید فقاریور جهرمی

نحوه بارگذاری شمع و تعیین عکس العمل

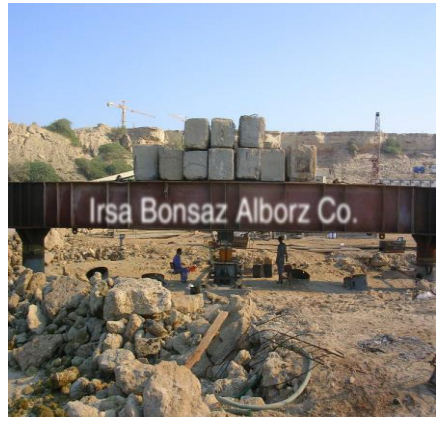


اهداف اصلی از آزمایش بارگذاری محوری فشاری شمع

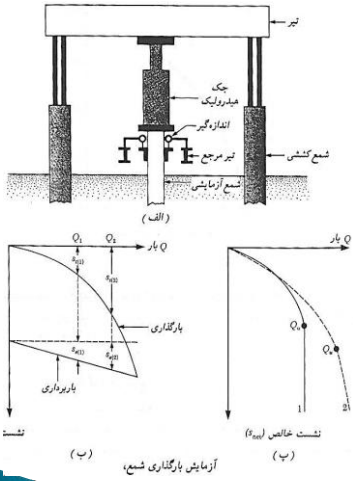
۱. **محصول اصلی**: منحنی بار- جابجایی شمع (معرف رفتار شمع تک)
۲. تعیین ظرفیت باربری
۳. اندازه‌گیری سختی شمع تک (K)
۴. تفکیک مقاومت‌های نوک و جدار با نصب ابزار

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

آزمایش بارگذاری شمع



ظرفیت باربری شمع بر اساس نتایج آزمایش بارگذاری



آزمایش بارگذاری استاتیکی روی شمع در ابعاد واقعی یا آزمایشی انجام میشود که نیازمند مطالعات ژئوتکنیکی دقیق است. شمع تا مرحله گسیختگی ژئوتکنیک باید بارگذاری می شود. با تعبیه کرنش سنج در نقاط مختلف شمع (جداره) میتوان مقاومت نوک را از مقاومت جداره تفکیک کرد.

تفسیر نتایج ازمایش پیچیده است و باربری نهایی بر اساس معیارهای مختلف قابل تخمین است.

- روش حدی دیویسون: بار متناظر با جابجایی $4+\frac{d}{120}$ بر حسب mm
- روش مماسی: تقاطع خط مماس بر منحنی در ناحیه الاستیک با خط مماس در ناحیه گسیختگی
- بر اساس یک تعریف قدیمی بار متناظر با جابجایی معادل ۱۰ درصد قطر یا 1.5 اینچ

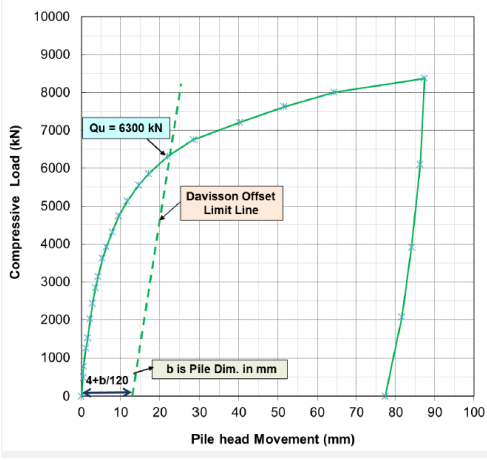
دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس سعید فقاریور جهرمی

ظرفیت باربری شمع بر اساس نتایج آزمایش بارگذاری

مثال:

آزمایش بارگذاری محوری:

تا بار نهائی

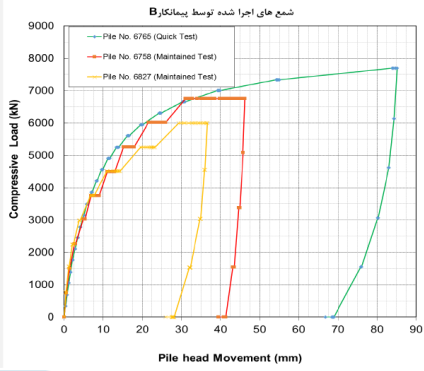


Pile Type: Bored
Diameter: 100 cm
Embedment Depth: 22 m

بررسی تاثیر نحوه اعمال بار

استاندارد ASTM D1143:

- آزمایش بارگذاری سریع (Quick Load Test)
- آزمایش بارگذاری آهسته (Maintained Load Test)



بارگذاری آهسته:

پله بارگذاری ۷۵ تن

بارگذاری سریع:

پله بارگذاری ۳۵ تن و مدت هر پله بارگذاری ۱۰ دقیقه

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشکده فنی عمران
مدرس: سعید فلاورپور جهرمی

تعداد تقریبی شمع های یک پروژه که آزمایش می شوند بستگی به نوع آزمایش و محل آن و همچنین اهمیت شمع ها دارد.

آزمایش بارگذاري: کمتر از 1 درصد
اندازه‌گیری تعداد ضربه و مقدار فرو رفت: تمام شمع ها
آزمایش دینامیکي: متوسط 5 درصد
بررسی سلامت شمع بتنی: 5 درصد

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۴-۱-۵ استفاده از آزمایش بارگذاری استاتیکی

در مواردی که آزمایش بارگذاری شمع انجام می‌شود، ظرفیت باربری طراحی را باید با نتایج این آزمایش تدقیق نمود. در این موارد باید به نکات زیر توجه داشت:

الف- نتایج آزمایش بارگذاری شمع در یک ساختگاه تنها با شرط اجرای یکسان "شمع‌های آزمایشی" و "شمع‌های اصلی" قابل استفاده است.

ب- قطر و طول شمع‌های آزمایشی باید تا حد امکان با قطر شمع‌های اصلی یکسان باشد. در صورت اختلاف بین قطرهای این دو، نسبت قطر شمع آزمایشی به شمع اصلی نباید کمتر از نیم باشد.

پ- تعیین ظرفیت باربری طراحی از روی منحنی نیرو - نشست باید بر اساس یک روش معتبر انجام شود.

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۸ آزمایش‌های بارگذاری شمع

آزمایش بارگذاری شمع باید تا سطح باری ادامه یابد و تحت شرایطی انجام شود که بتوان ظرفیت باربری، رابطه نیرو - تغییر شکل و ضریب سختی شمع را بر اساس نتایج آن استخراج کرد. همچنین بتوان کیفیت شمع‌های اجرا شده و امکانات اجرای شمع را کنترل و ارزیابی نمود. آزمایش‌های بارگذاری شمع‌ها در وضعیت‌های زیر باید انجام شوند:

الف- در مواردی که از نوع شمع یا روش نصبی استفاده می‌شود و نتایج مطالعات یا تجربه فعلی بر روی آنها در خاک مشابه و یا شرایط بارگذاری مشابه در دست نمی‌باشد.

ب- در مواردی که از سیستم شمعی استفاده می‌شود و تجربه اجرایی آن در منطقه احداث طرح وجود ندارد.

پ- در مواردی که شمع‌ها تحت شرایط بارگذاری خاص قرار می‌گیرند و به لحاظ تئوری و تجربی اطمینان کافی در تحلیل آنها وجود ندارد.

ت- در مواردی که مشاهدات به عمل آمده در حین نصب شمع‌ها در محل از آنچه بر اساس تئوری و تجربه قبلی پیش‌بینی می‌شده تفاوت نامناسب قابل توجهی دارد و با بررسی‌های اضافی خاک نتوان دلایل آن را روشن کرد.

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷- ۶-۸-۱ آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی

۷-۶-۸-۱-۱ آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی شامل آزمایش بارگذاری فشاری، آزمایش بارگذاری کششی و آزمایش بارگذاری جانبی می‌باشد و باید طبق استاندارد ملّی یا بین المللی معتبر مصوب که مورد توافق کارفرما و ناظر باشد انجام پذیرند.

۷-۶-۸-۱-۲ روش آزمایش بارگذاری استاتیکی شمع باید با توجه به تعداد دفعات بارگذاری و مدت زمان آنها و کاربرد بارگذاری دوره‌ای، چنان باشد که از نتایج آن بتوان رفتار شمع به لحاظ تغییرشکل‌ها، خزش، سختی و چگونگی بازگشت تغییرشکل‌های ارتجاعی را استخراج نمود.

۷-۶-۸-۱-۳ آزمایش بارگذاری شمع‌ها در کشش معمولاً تا حد گسیختگی ادامه داده می‌شود. برون‌یابی بار- جابجایی در آزمایش‌های کششی، مخصوصاً در موارد بارگذاری‌های کوتاه مدت نباید انجام شود.

۷-۶-۸-۱-۴ راستای نیروهای کششی یا فشاری در آزمایش شمع‌ها تحت نیروی محوری باید منطبق بر محور طولی آنها باشد.

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشگاهی معنوی ایران
مدرس سعید فقاریور جهرمی

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۸-۳ شمع‌های آزمایشی

۷-۶-۸-۳-۱ در انتخاب نوع و تعداد "شمع‌های آزمایشی" مورد نیاز برای کنترل و تدقیق طراحی باید موارد مختلفی از جمله شرایط زمین و تغییرات آن در محدوده ساختگاه، تعداد و اهمیت سازه‌های اجرائی، شواهد و مستندات قبلی موجود برای رفتار شمع‌های مشابه در ساختگاه‌های مشابه و تعداد کل و نوع شمع مورد نیاز در طرح در نظر گرفته شود.

۷-۶-۸-۳-۲ قبل از برنامه‌ریزی اجرای شمع‌های آزمایشی، شرایط زمین و لایه‌بندی خاک در ساختگاه باید به طور کامل بررسی شده باشد. عمق گمانه‌های حفاری آزمایش باید به حدی باشد که نسبت به شرایط در اطراف نوک شمع اطمینان کافی حاصل گردد. این بررسی‌ها باید تا عمق حداقل ۴ برابر قطر شمع زیر نوک شمع ادامه یابد، مگر آنکه در عمقی کمتر به سنگ سالم و یا خاک سخت برخورد شود.

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۸-۳-۳ چنانچه تنها یک آزمایش بارگذاری انجام شود، محل آن باید در جایی پیش‌بینی شود که خاک نامناسب‌ترین شرایط را دارد. در غیر این‌صورت این موضوع باید در پارامترهای خاک مربوط به تعیین ظرفیت باربری شمع به نحو مناسبی در نظر گرفته شود.

۷-۶-۸-۳-۴ چنانچه دو یا چند آزمایش بارگذاری انجام می‌شود، محل‌های آنها باید در مکان‌هایی پیش‌بینی شود که خاک دارای شرایط عمومی محل باشد و یکی از این آزمایش‌ها تا حد امکان در محلی که نامناسب‌ترین شرایط برای خاک پیش‌بینی می‌شود، اجرا گردد.

۷-۶-۸-۳-۵ مدت زمان در نظر گرفته شده بین نصب شمع‌های آزمایشی و انجام آزمایش‌ها باید به اندازه‌ای در نظر گرفته شود که شمع مقاومت سازه‌ای خود را به دست آورده باشد و فشار آب حفره‌ای اضافی (تغییر کرده در اثر اجرای شمع) به وضعیت اولیه خود بازگشته باشد.

۷-۶-۸-۳-۶ حتی‌الامکان باید شمع آزمایشی تا حد گسیختگی خاک بارگذاری گردد تا نتایج در تدقیق ظرفیت باربری قابل استفاده باشد.

۷-۶-۸-۳-۷ چنانچه بر روی شمع آزمایشی هم آزمایش بارگذاری دینامیکی و هم آزمایش بارگذاری استاتیکی مد نظر باشد، باید فاصله زمانی دو آزمایش به حدی باشد که تغییرات در خاک و زمین ناشی از عملیات آزمایش اول (مانند تغییرات فشار آب حفره‌ای و دستخوردگی خاک) حتی‌الامکان از بین رفته باشد و شرایط خاک به حالت اولیه خود بازگشته باشد.

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشگاهی معنوی فرهنگ
مدرس سعید فلاورز جهرمی

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۸-۴-۶ شمع‌های اصلی

۷-۶-۸-۴-۱ تعداد یا درصد آزمایش‌های بارگذاری بر روی "شمع‌های اصلی" به منظور اطمینان‌سنجی و کنترل کیفیت باید بر اساس یافته‌های مشاهده و ثبت‌شده در زمان ساخت و اجرای شمع‌ها و با نظر مشاور ذیصلاح تعیین گردد.

۷-۶-۸-۴-۲ چنانچه تعداد یا درصد شمع‌های اصلی که باید در حین عملیات اجرایی روی آن‌ها آزمایش بارگذاری استاتیکی یا دینامیکی انجام گردد شرط انتخاب ضریب اطمینان (یا ضریب کاهش مقاومت) خاصی توسط طراح باشد، تعداد یا درصد مربوطه و شرایط بارگذاری و میزان بارهای وارده باید در اسناد پیمان منعکس شوند.

۷-۶-۸-۴-۳ در صورتی که شمع‌های اصلی تحت بارگذاری قرار گیرند حداکثر تا ۱/۲ برابر بار طراحی می‌توانند بارگذاری شوند.

۷-۶-۸-۴-۴ تعداد کل آزمایش‌های بارگذاری استاتیکی در مراحل مختلف طراحی، اجرا و پس از اجرا، بسته به شرایط ساختگاه و تعداد کل شمع‌ها توسط مشاور ژئوتکنیک طرح تعیین می‌گردد.

۷-۶-۸-۴-۵ جهت تعیین تعداد کل شمع‌های مورد آزمایش (استاتیکی و دینامیکی) باید الزامات کلیه بندهای زیر با نظر مشاور ژئوتکنیک لحاظ گردد:

حداقل تعداد ۲٪ از کل شمع‌های اصلی مورد آزمایش استاتیکی و دینامیکی قرار گیرد.

در هر پروژه حداقل ۲ شمع اصلی مورد آزمایش استاتیکی قرار گیرد.

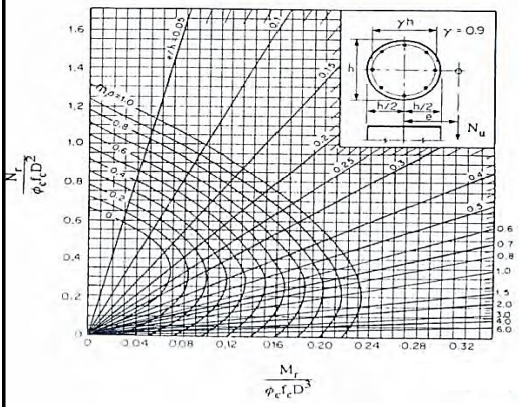
در صورتی‌که در یک پروژه تعداد شمع‌های اجراشده کمتر از ۱۰ عدد باشد می‌توان از انجام آزمایش های استاتیکی صرفنظر نمود.

غیر قابل انتشار

طراحی سازه ای شمع‌ها

شمع ها باید از نظر سازه‌ای تحت اثر بارهای وارده و اندرکنش خاک و شمع طراحی گردند. ملاحظات ویژه در طراحی سازه‌ای عبارتند از:

- شمع تحت بار جانبی
- شمع تحت اثر بار محوری، لنگر خمشی، نیروی برشی
- شمع تحت اثر نیروی کششی
- شمع‌های اجرا شده در خاک‌های نرم



دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۹ طراحی سازه‌ای شمع‌ها

۷-۶-۹-۱ طراحی سازه‌ای شمع‌ها باید بر اساس ضوابط طراحی این قطعات در مبحث نهم مقررات ملّی ساختمان در ارتباط با شمع‌های بتنی و همچنین مبحث دهم مقررات ملّی در ارتباط با شمع‌های فولادی انجام شود. در این طراحی باید علاوه بر تنش‌های ایجاد شده در شمع‌ها که از طراحی ژئوتکنیکی آنها حاصل شده است، به موارد زیر نیز توجه گردد:

الف- تنش ایجاد شده در شمع‌ها در جریان ساخت، نقل و انتقال و کوبیدن آنها

ب- منظور کردن رواداری‌های ساخت مشخص شده برای نوع شمع، نوع بارگذاری وچگونگی عملکرد پی

پ- اثرات مرتبه دوم بارهای محوری فشاری یا اثر کمانش در شمع‌های لاغر که در داخل آب و یا لایه‌های ضعیف خاک قرار دارند.

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۹-۲ در طراحی سازه‌ای شمع‌ها باید به اثر زلزله بر روی آنها توجه داشت. در این رابطه باید علاوه بر اثر زلزله که از سازه اصلی به آنها منتقل می‌شود، اثر ناشی از تغییرشکل‌های خاک محیط اطراف به واسطه عبور امواج لرزه را در محاسبات منظور نمود. در تعیین اثرات ناشی از خاک محیط اطراف، موارد زیر باید مورد توجه قرار داده شود:

۷-۶-۹-۲-۱ تحلیل شمع و تعیین نیروهای داخلی در آن باید بر اساس مدل‌های گسسته یا پیوسته‌ای باشد که در آن خصوصیات زیر، حتی به طور تقریبی، رعایت شده باشد:

الف- سختی خمشی شمع

ب- کاهش عکس‌العمل خاک در طول شمع در اثر بارگذاری‌های متناوب و میزان کرنش ایجاد شده در خاک

پ- اثر اندرکنش شمع با شمع که اصطلاحاً اثر دینامیکی "گروه شمع" نامیده می‌شود.

ت- شرایط انتهایی شمع و میزان انعطاف‌پذیری آن در اتصال به سر شمع

۷-۶-۹-۲-۲ کاهش مقاومت جانبی لایه‌های خاکی که در معرض روانگرایی یا کاهش مقاومت هستند.

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

برخی ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان

۹-۲۰-۳ ضوابط کلی طراحی

۹-۲۰-۳-۱ مساحت کف شالوده یا تعداد و ترتیب قرار گرفتن شمع‌ها باید براساس نیروهای نظیر بحرانی ترین ترکیب عامل‌های بدون ضریب که از شالوده به خاک یا شمع‌ها منتقل می‌شوند و با توجه به تنش مجاز خاک یا شمع‌ها که بر اساس مطالعات مکانیک خاک بدست می‌آیند، تعیین شوند.

۹-۲۰-۳-۲ ترکیبات بارگذاری عامل‌ها که در بند ۹-۲۰-۳-۱ مورد نظر می‌باشند تمامی ترکیبات عنوان شده در جدول ۹-۱۳-۲ هستند که در آنها ضرایب جزئی ایمنی بارها باید برابر با یک منظور شوند.

۹-۲۰-۳-۳ در مواردی که باد یا زلزله یکی از عامل‌های ترکیب بار باشند تنش مجاز خاک یا بار مجاز شمع را می‌توان بر اساس ملاحظات مباحث ششم و هفتم در نظر گرفت.

۹-۲۰-۳-۴ طراحی شالوده‌های سطحی و سرشمعی برای خمش، خمش و بارهای محوری، برش و طول مهاری میلگرد ریشه، همگی باید در حالت حدی نهایی و براساس ضوابط فصول چهاردهم، پانزدهم، شانزدهم و بیست و یکم صورت گیرد.

۹-۲۰-۳-۵ طراحی شالوده‌های عمیق برای بارهای محوری، خمش و بارهای محوری ، برش و طول مهاری میلگرد ریشه، همگی باید در حالت حدی نهایی و بر اساس ضوابط فصول چهاردهم، پانزدهم، شانزدهم و بیست و یکم صورت گیرد.

برخی ضوابط مبحث نهم مقررات ملی

۹-۲۰-۳-۶ در شمع‌هایی که تمام طول آنها در لایه‌های خاک متراکم قرار دارد، بررسی کمانش ضروری نیست. اما در شمع‌هایی که تمام یا بخشی‌از طول آنها در خاک سست قرار گرفته و یا خارج از خاک باشد، بررسی کمانش با توجه به شرایط خاص تکیه‌گاهی ضروری است.

۹-۲۰-۳-۷ پیوستگی بتن و آرماتور در مقاطع مختلف شالوده و سرشمعی و نحوه مهار میلگردها در آنها باید بررسی شوند، علاوه بر مقاطعی که در بند ۹-۲۰-۴-۳-۲ برای خمش تعیین شده‌اند، مقاطعی که در آنها ابعاد مقطع یا مقدار آرماتور تغییر می‌کند، نیز باید بررسی شوند.

۹-۲۰-۳-۸ در گروه شمع‌ها میلگردهای طولی شمع‌ها باید، با توجه به نوع اتصال انتخابی (صلب یا مفصلی)، به نحوی مناسب در سرشمع امتداد یافته و مهار شوند.

۹-۲۰-۳-۹ ضخامت شالوده‌ها نباید کمتر از ۲۵۰ میلیمتر و ضخامت صفحه سرشمع مربوط به گروه شمع نباید کمتر از ۴۰۰ میلیمتر اختیار شود.

۹-۲۰-۳-۱۰ طراحی سازه‌ای شمع‌های قائم که تحت اثر نیروی جانبی قرار می‌گیرند مطابق ضوابط شمع‌های خمشی صورت می‌گیرد.

دانشگاه فرهنگ، هنر، صنعت و رسانه‌های دیجیتال
دانشگاهی معماری ایران
مدرس: سعید فلاورپور جهرمی

برخی ضوابط مبحث نهم مقررات ملی

۹-۲۰-۴ ضوابط تعیین بارهای وارد بر شالوده‌ها

۹-۲۰-۴-۱ کلیات

۹-۲۰-۴-۱-۱ لنگرهای خمشی و نیروهای برشی نهایی‌که در طراحی مقاطع مختلف شالوده مورد استفاده قرار می‌گیرند باید زیر اثر بارهای نهایی و واکنش‌های متناظر با آنها و براساس اصول شناخته شده تحلیل سازه‌ها تعیین شوند.

۹-۲۰-۴-۱-۲ در شالوده‌ها به جای استفاده از ضوابط بند ۹-۲۰-۴-۱-۱، لنگرهای خمشی و نیروهای برشی نهایی در مقاطع مختلف را می‌توان به صورت تقریبی از حاصلضرب مقادیر این عامل‌ها زیر اثر بارهای بدون ضریب در یک ضریب کلی ایمنی بارها به دست آورد. این ضریب کلی ایمنی را باید به نحوی مناسب از تقسیم بارهای نهایی به بارهای بهره‌برداری تعیین نمود.

۹-۲۰-۴-۱-۳ در شالوده‌های روی شمع، لنگرهای خمشی و نیروهای برشی نهایی در مقاطع مختلف سرشمعی را می‌توان با این فرض که عکس‌العمل هر شمع به صورت متمرکز در مرکز آن شمع اثر می‌کند، تعیین نمود.

۹-۲۰-۴-۱-۴ در شالوده‌هایی‌که زیر ستون یا ستون پایه‌های بتنی با مقاطع دایره یا چند ضلعی منظم قرار دارند، برای تعیین موقعیت مقاطع بحرانی در خمش و برش ، می‌توان مقطع ستون یا ستون پایه را با یک مقطع فرضی مربع شکل با مساحتی برابر مساحت ستون یا ستون پایه جایگزین نمود.

۹-۲۰-۴-۱-۵ شالوده‌های منفرد که به صورت شبیدار یا پلکانی می‌باشند باید چنان طراحی و اجرا شوند که عملکرد شالوده به صورت یکپارچه تأمین گردد.

برخی ضوابط مبحث نهم مقررات ملی

۹-۲۰-۴-۲ توزیع فشار خاک

۹-۲۰-۴-۲-۱ توزیع فشار خاک در زیر شالوده‌ها و فشار جانبی روی شمع باید با توجه به مشخصات خاک و نحوه تأثیر بارها روی شالوده و براساس اصول شناخته شده مکانیک خاک تعیین شود.

۹-۲۰-۴-۲-۴ در مواردی که نیروهای وارده بر شالوده کششی باشند باید با پیش‌بینی تدابیر مناسب از جمله استفاده از شمع یا میل مهار مانع از بلند شدن شالوده از روی زمین شد. این‌تدابیر باید بنحوی باشند که ضریب ایمنی در مقابل نیروهای بلند کننده حداقل برابر با ۱/۵ باشد.

۹-۲۰-۴-۴ نیروی برشی شالوده‌ها و سرشمع‌ها

۹-۲۰-۴-۴-۲ نیروی برشی در هر مقطع از سر شمع باید براساس ضوابط (الف) الی (پ) محاسبه شود:

الف- عکس‌العمل هر شمع که مرکز آن به فاصله $\frac{d_p}{2}$ یا بیشتر از مقطع مورد نظر و در خارج مقطع مزبور قرار دارند، در مقطع ایجاد برش می‌کند.

ب- عکس‌العمل هر شمع که مرکز آن به فاصله $\frac{d_p}{2}$ یا بیشتر از مقطع مورد نظر و در داخل مقطع مزبور قرار دارد، در مقطع ایجاد برش نمی‌کند.

پ- در حالات بینابینی، آن قسمت از عکس‌العمل شمع که در مقطع مورد نظر ایجاد برش می‌کند، باید با درون‌یابی خطی بین مقدار کامل عکس‌العمل برای حالتی که مرکز شمع به فاصله $\frac{d_p}{2}$ و در خارج مقطع و مقدار صفر برای حالتی که مرکز شمع به فاصله $\frac{d_p}{2}$ و در داخل مقطع قرار دارد، محاسبه شود.

دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت
دانشگاه علمی کاربردی
مدرس سعید فلاورپور جهرمی

برخی ضوابط مبحث نهم مقررات ملی

۹-۲۰-۵ آرماتورهای شالوده‌ها و شمع‌ها و محدودیت‌های آنها

آرماتورهای لازم برای مقاطع شالوده‌ها و شمع‌ها بر اساس نیروهای وارد بر آن مقاطع در حالت حد نهایی با رعایت محدودیت‌های بند ۹-۲۰-۵-۱ الی ۹-۲۰-۵-۹ محاسبه می‌شوند.

۹-۲۰-۵-۶ حداقل و حداکثر نسبت آرماتور طولی شمع‌های پیش ساخته و شمع‌های درجا با قطر کمتر یا برابر ۸۰۰ میلیمتر، مشابه ستون‌ها و با توجه به ضوابط فصل چهاردهم تعیین می‌شود.

۹-۲۰-۵-۷ حداقل و حداکثر نسبت آرماتور طولی شمع‌های درجا با قطر بیش از ۸۰۰ میلیمتر به ترتیب به میزان نیم درصد و سه درصد سطح مقطع شمع منظور می‌گردد.

۹-۲۰-۵-۸ آرماتور عرضی شمع‌ها به صورت تنگ یا مارپیچ در نظر گرفته می‌شود.

۹-۲۰-۶ انتقال نیرو از پای ستون، دیوار یا ستون پایه بتنی به شالوده

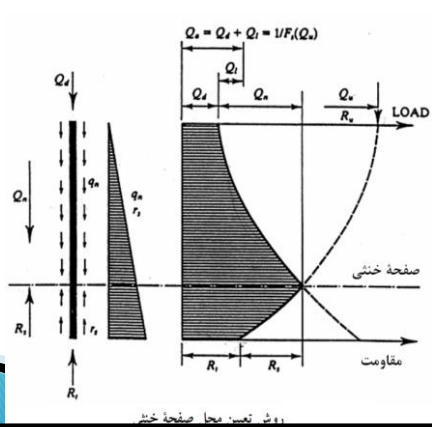
۹-۲۰-۶-۱ نیروها و لنگرهای پای ستون، دیوار، یا ستون پایه باید با عملکرد اتکایی بتن و کشش یا فشار میلگردهای ادامه یافته طولی ستون، میلگردهای انتظار و یا اتصال دهنده‌های مکانیکی به شالوده یا ستون پایه منتقل شوند.

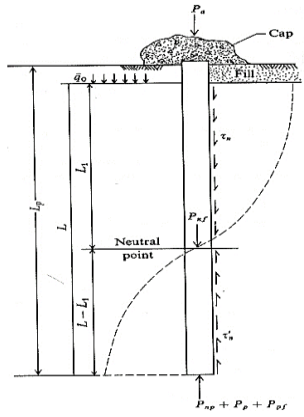
اصطکاک منفی در شمع‌ها

در اثر نشست لایه‌های فوقانی خاک، در اثر اصطکاک جداره، نیروی رو به پایینی به شمع منتقل شده و بار محوری شمع را افزایش می‌دهد که به اصطکاک منفی موسوم است. میزان اصطکاک منفی متناظر با مقاومت اصطکاکی در این ناحیه است و باعث کاهش ظرفیت باربری اصطکاکی می گردد.

این پدیده در بسیاری از موارد باعث شکست سازه‌ای شمع و افزایش نشست آن میشود.

اصطکاک منفی با اجرای پوشش قیری یا پوشش پلاستیکی روی جداره شمع و یا روش الکترواسموزی در شمع فولادی را میتوان کاهش داد.





۶-۷ پی‌های عمیق

۱-۶-۷ هدف

الزامات این بخش مربوط به پی‌های عمیق یا شمع‌های فشاری (اتکایی یا اصطکاکی)، کششی و یا تحت بار جانبی است که به وسیله کوبش، فرو بردن با فشار، حفاری با و یا بدون تزریق به کار گرفته می‌شوند. هم شمع‌های منفرد و هم گروه شمع‌ها شامل الزامات این بخش هستند. همچنین مطالب عنوان شده در این فصل مربوط به شمع یا پی‌های عمیق بتنی، فولادی، چوبی و یا ترکیبی از آنها می‌باشد.

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۲-۶-۷ مبانی طراحی پی‌های عمیق

شرایطی که پی‌های عمیق معمولاً برای آنها طراحی یا کنترل می‌شوند در دو گروه به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

۱-۲-۶-۷ موارد ذیل در هر دو روش طراحی به روش تنش مجاز یا طراحی به روش حالت حدی نهایی باید کنترل شوند:

الف- از دست دادن پایداری کلی

ب- گسیختگی ناشی از کمبود ظرفیت باربری شمع‌ها

پ- گسیختگی ناشی از "زیرفشار" یا مقاومت کششی ناکافی شمع‌های کششی

ت- گسیختگی در زمین ناشی از بارگذاری جانبی شمع‌ها

ث- گسیختگی سازه‌ای شمع در فشار، کشش، خمش، برش و یا کمانش

ج- گسیختگی مرکب یعنی به طور همزمان در زمین و شمع

۷-۶-۲-۲ موارد ذیل برای شرایط بهره برداری در هر دو روش طراحی به روش تنش مجاز و طراحی به روش حالت حدی بهره برداری باید کنترل شود:

الف- نشست بیش از حد مجاز در شمع‌های فشاری

ب- بیرون‌کشیدگی بیش از حد مجاز در شمع تحت نیروی کششی

پ- دوران بیش از حد مجاز

ت- تغییرشکل جانبی بیش از حد مجاز

ث- ارتعاش غیرپذیرفتنی

۷-۶-۲-۲-۱ مقادیر مجاز برای هر یک از موارد الف تا ث برای شرایط بهره‌برداری با توجه به عملکرد سازه و پایداری آن انتخاب می‌گردد.

۷-۶-۲-۲-۲ ضمن توجه به عملکرد سازه، باید در نظر داشت که مقادیر مجاز نشست برای شمع تک مشابه پی منفرد و برای گروه شمع مشابه پی گسترده در نظر گرفته می‌شود.

۷-۶-۳ بارهای طراحی

۷-۶-۳-۱ ترکیب بارهای وارده

کلیهٔ بارهایی که بر اساس ضوابط مبحث ششم (نهم، دهم بر حسب مورد) مقررات ملّی ساختمان معرفی شده‌اند در طراحی پی‌های عمیق برای ساختمان‌ها به کار برده می‌شوند.

۷-۶-۳-۲ نیروهای تغییرمکان زمین

نیروهای مربوط به تغییرمکان زمین در صورت وجود، باید در طراحی لحاظ شوند. زمینی که شمع‌ها در آن نصب می‌شود ممکن است با تغییرمکان‌های ایجاد شده در اثر تحکیم، بالاآمدگی، بارگذاری‌های مجاور، خزش خاک و زمین‌لغزه مواجه گردد. این پدیده‌ها در شمع‌ها اثراتی مانند نیروی ناشی از "اصطکاک منفی جدار"، "بالا آمدن شمع" و "حرکات جانبی" (و در نتیجه نیروهای جانبی) ایجاد می‌نماید که طبق توضیحات ذیل باید در طراحی شمع منظور شود.

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشگی عمرانی ایران
مدرس سعید فلاورپور جهرمی

۷-۶-۳-۲-۱ اصطکاک منفی جدار

الف- در یک گروه شمع، حداکثر نیروی اصطکاک منفی جدار با استفاده از تنش ناشی از سربار اطراف گروه‌شمع که موجب نشست شده و همچنین با منظور کردن تغییرات فشار آب زیرزمینی مربوط به نوسانات سطح آب، تحکیم و یا کوبش شمع‌های مجاور، باید محاسبه گردد.

ب- افزایش نیروی محوری در شمع ناشی از اثر اصطکاک منفی و مقدار حداکثر آن در تراز صفحه خنثی باید در طرح سازه‌ای شمع لحاظ گردد.

پ- لحاظ کردن نیروی اصطکاک منفی در ظرفیت باربری صرفاً با توجه به مقایسه نشست ایجاد شده ناشی از کل نیروها به نشست مجاز انتخاب می‌گردد.

۷-۶-۳-۲-۲ بالا آمدن شمع

بالا آمدگی زمین می‌تواند ناشی از باربرداری، حفاری، یخبندان و یا فرو بردن شمع‌های مجاور باشد. همچنین می‌تواند ناشی از افزایش درصد رطوبت زمین در اثر کندن درختان، توقف برداشت از آب زیرزمینی و در نتیجه افزایش سطح آن، جلوگیری از تبخیر (بر اثر ساختمان‌سازی جدید) و غیره باشد که باید "فشار بالابرنده" و سایر نیروهای اضافه وارده بر شمع در طراحی لحاظ گردند.

۷-۶-۳-۲-۳ حرکات جانبی

حرکات جانبی زمین موجب اعمال بارهای جانبی بر روی شمع‌ها می‌شود. این بارها در مواردی که یک یا ترکیبی از شرایط زیر رخ دهد باید در طراحی لحاظ شوند:

الف- سربارهای با مقادیر متفاوت بر روی دو وجه مقابل یک شمع اعمال گردد.

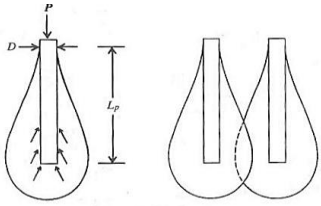
ب- حفاری‌های با تراز متفاوت بر روی دو وجه مقابل یک شمع انجام شود.

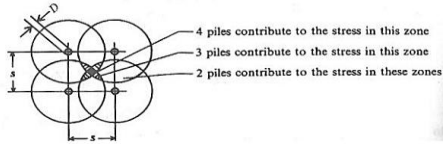
پ- شمع در جوار یک خاکریز قرار گیرد.

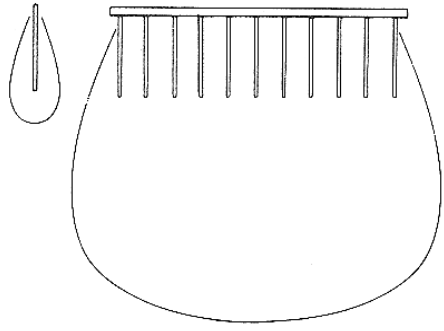
برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

گروه شمع

شمع‌ها اغلب بصورت گروهی بکار برده می شوند. با اتصال سر شمع‌ها به یک دال بتنی (سر شمع یا کلاهک)، انتقال بار بصورت گروهی امکان‌پذیر می‌شود.
در گروه شمع همواره لازم است فاصله بین شمع‌ها طوری انتخاب شود تا از تداخل تاثیر شمع به دور باشد.







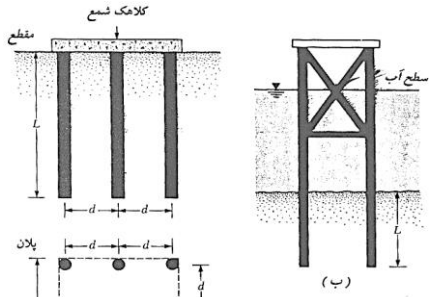
Bulbs of pressure for a single pile and a pile group.

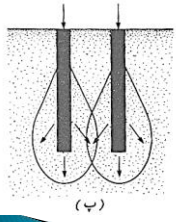
دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

مقایسه تک شمع و گروه شمع

مقایسه بین گسیختگی عادی تک شمع‌ها و گسیختگی بلوکی

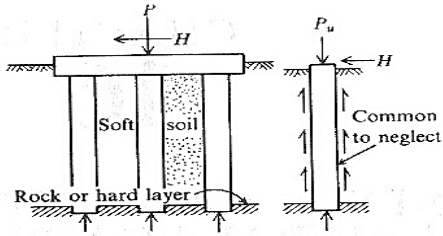
- **گسیختگی عادی**: در مواردی رخ می‌دهد که فاصلهٔ بین تک شمع‌ها در گروه زیاد بوده و در این موارد شمع‌های موجود در گروه به صورت مستقل از گروه عمل می‌کنند.
- **گسیختگی بلوکی**: در مواردی رخ می‌دهد که فاصلهٔ بین تک شمع‌ها در گروه کم بوده و گروه شمع در یک لایه خاک متراکم متکی بر یک لایهٔ خاک سست و یا مجموعاً در یک لایهٔ خاک سست یا متوسط واقع شده باشد. در این موارد گسیختگی ایجاد شده در گروه به صورت گسیختگی سوراخ کننده است، بطوریکه در ابتدا بلوک گروهی از جداره جدا و مجموعه به صورت یک پی یکپارچه و منفرد و همانند یک بلوک در زمین فرو می‌رود.



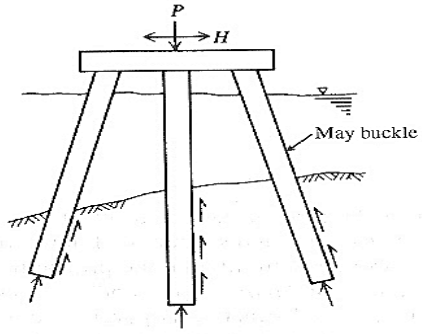


گروه شمع

(ب)



Group and single pile on rock or very firm soil stratum.



Offshore pile group.

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشگاه فنی ایران
مدرس سعید فقاریور جهرمی

کارایی گروه شمع

در گروه شمع همواره لازم است فاصله بین شمع‌ها طوری انتخاب شود تا کارآیی گروه حداکثر باشد.

$$\eta = \frac{\text{ظرفیت باربری گروه}}{\text{ظرفیت باربری تک شمع} \times n}$$

با کاهش فاصله بین شمع‌ها، بازدهی کاهش می‌یابد.
بازدهی در شمع‌های اتکایی بدلیل عدم تداخل حباب‌های تنش، نزدیک به یک است.
آیا کارآیی می تواند بزرگتر از یک شود؟
در شمع‌های کوبشی، با تراکم ناحیه‌ای در اطراف هر شمع، ظرفیت باربری گروه افزایش می‌یابد.

-- کاهش ظرفیت ناشی از تداخل تنش اصطکاکی می باشد.

-- در تمام آئین نامه ها کاهش ظرفیت در مورد تداخل تنش اصطکاکی بیان شده است و صحبتی در مورد تداخل تنش نوک به میان نیامده است.

بطور کلی ضریب کاهش ظرفیت باربری یا تداخل تنش فقط در خصوص ظرفیت باربری اصطکاکی میباشد و نه مقاومت نوک. بنابراین این ضرایب فقط به مقاومت اصطکاکی اعمال می شود.

کارآیی گروه شمع

- راندمان گروه شمع‌ها در خاکهای دانه‌ای بسیار نزدیک به ۱ و در برخی موارد حتی بزرگتر از ۱ است زیرا کوبیدن شمع، با افزایش تنشهای وارده، باعث متراکم سازی و افزایش سختی خاک اطراف می‌گردد. اما توجه به این نکته ضروری است که در عمل راندمان گروه شمع حداکثر معادل ۱ در نظر گرفته می‌شود. بر عکس در خاکهای چسبنده این مقدار اغلب از ۱ کوچکتر است.
- برای تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها در خاکهای چسبنده باید مقادیر ظرفیت باربری گروهی و نیز ظرفیت تک‌تک شمعها را بررسی و مقدار کمتر را مبنای طراحی قرار داد.
- چنانچه فاصله مرکز تا مرکز شمع‌ها بیش از ۵ برابر متوسط قطر شمع‌ها باشد، شمع‌ها (به ویژه در خاکهای اصطکاکی) به صورت منفرد عمل می‌کنند.
- در یک گروه شمع، حداقل فاصله مرکز به مرکز شمعها باید ۲ برابر و ترجیحاً ۳ برابر قطر شمع باشد.

روابط تخمین کارآیی گروه شمع

روش کانورس-لاباره

$$\eta = 1 - \frac{\theta}{90}\left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn}\right] \quad , \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{d}{s}\right)$$

روش لس‌آنجلس

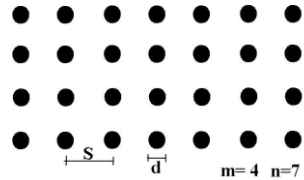
$$\eta = 1 - \frac{d}{\pi\, s\, m\, n}\left[m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2}(m-1)(n-1)\right]$$

قاعده تجربی فلد

$$\eta = \frac{\text{ظرفیت باربری گروه}}{\text{n} \times \text{ظرفیت باربری تک شمع}}$$

ظرفیت باربری هر شمع در گروه = [1 − 1/16 (تعداد شمع احاطه کننده)] Rc

مثال



برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۶ گروه شمع

در تحلیل میزان بار انتقال‌یافته به شمع‌ها باید مشخصات هندسی و مکانیکی کلاهک سر شمع، موقعیت و طول شمع‌ها، نحوه اتصال سر شمع، سختی شمع‌ها و مشخصات بارهای وارده مورد توجه قرار گیرد. در این مقررات انواع گروه شمع از نظر تحلیل و طراحی مورد توجه است.

۷-۶-۶-۱ ظرفیت باربری گروه شمع

۷-۶-۶-۱-۱ از آنجا که ظرفیت باربری هر شمع در گروه با ظرفیت باربری شمع تکی فرق دارد، باید ضریب موسوم به اثر گروهی یا بازدهی گروه در محاسبه ظرفیت باربری گروه شمع در نظر گرفته شود.

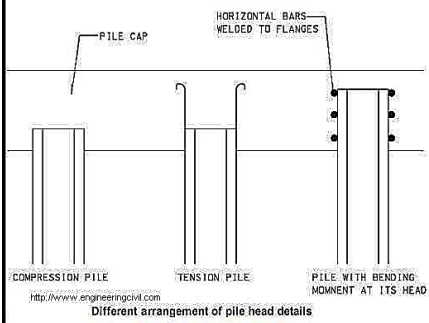
۷-۶-۶-۱-۲ ضریب بازدهی گروه شمع بستگی به فاصله و قطر شمع‌ها، نوع خاک و روش اجرای شمع دارد. ضریب بازدهی گروه شمع در هر پروژه باید با توجه به شرایط آن پروژه و براساس استفاده از داده‌ها و روابط تجربی مشابه تعیین گردد.

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران
مدرس سعید فلاورپور جهرمی

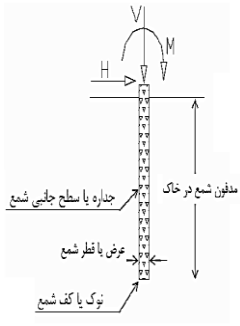
انتقال بار کلاهک به شمع

انتقال بار بین شمعها به پارامترهای مختلفی وابسته است:

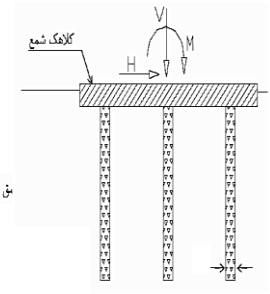
- **صلبیت کلاهک**
- **اتصال بین سر شمع و کلاهک (صلب – مفصلی)**



Different arrangement of pile head details

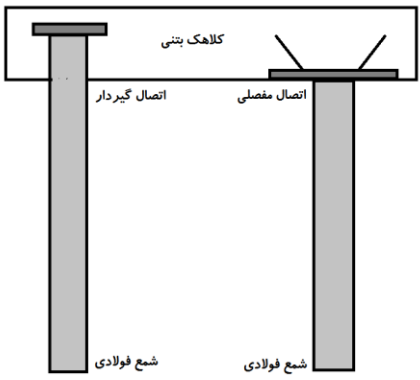


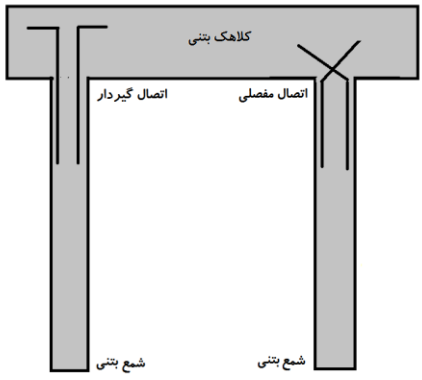
نوک شمع



گروه شمع

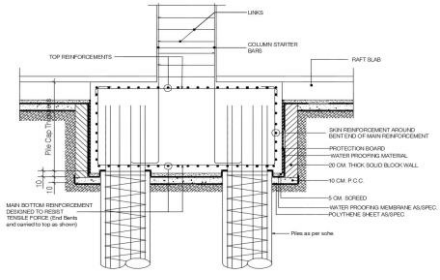
اتصال کلاهک و شمع

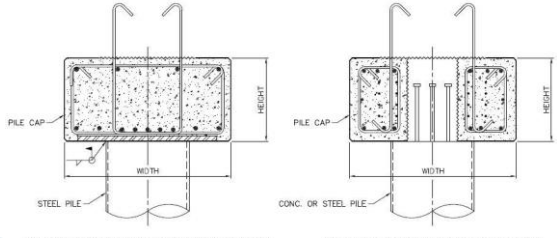




دانشگاه فرهنگیان پردیس شهید مهدوی
دانشکده فنی حرفه ای
مدرس: سعید فقارپور جهرمی

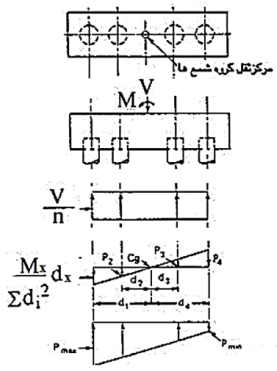
نمونه دتایل اجرایی





سهم شمع از بار محوری و لنگر خمشی
(صرفنظر از مقاومت خمشی شمع)

فرضیات: کلاهک صلب است، سختی محوری شمعها برابر است (قطر- طول و جنس شمع برابر است)، شمع تنها باربری محوری دارد، بار گروه به نسبت فاصله از مرکز ثقل توزیع میشود، نشست هر شمع متناسب با میزان بار است.



$$M = P_1d_1 + P_2d_2 + P_3d_3 + P_4d_4 \qquad e = \frac{M}{V}$$

بار شمع در تحت لنگر یکطرفه

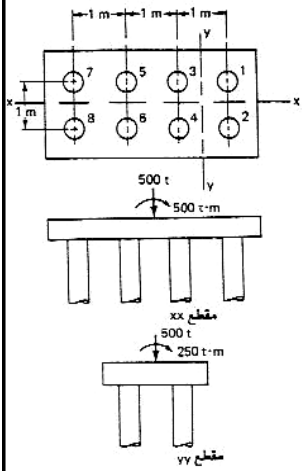
$$p = \frac{V}{n} \pm \frac{Mx}{\Sigma d_i^2} d_x$$

بار شمع در تحت لنگر دو طرفه

$$p = \frac{V}{n} \pm \frac{Mx}{\Sigma d_i^2} d_x \pm \frac{My}{\Sigma d_j^2} d_y$$

مثال

گروه شمع های نشان داده شده در شکل تحت اثر بار متمرکز ۵۰۰ تن و گشتاورهای ۵۰۰ و ۲۵۰ تن - متر می باشد مقادیر ماکزیمم و می نیمم بارهای وارده بر شمع ها را حساب کنید.



عدد n در این مورد ۸ می باشد که عبارتست از کل شمع های برنده بار قائم، بعلت وجود محور تقارن در دو جهت x و y چنین می توان نوشت:

$$\Sigma d_i^2 = 2(0.5^2 + 1.5^2)2 = 10 \quad m^2$$

$$\Sigma d_j^2 = 4(0.5^2)2 = 2 \quad m^2$$

شمع شماره ۱ تحت اثر بیشترین مقدار از بار خواهد بود:

$$P_1 = \frac{500}{8} + \frac{500x1.5}{10} + \frac{250x0.5}{2}$$

$$P_1 = 62.5 + 75 + 62.5 = 300 \quad \text{تن} \quad \text{فشار}$$

شمع شماره ۸ تحت اثر کمترین مقدار بار خواهدبود:

$$P_8 = \frac{500}{8} - \frac{500x1.5}{10} - \frac{250x0.5}{2} = -75 \quad \text{تن} \quad \text{کشش}$$

۷-۶-۶-۳ تحلیل نیروها در گروه شمع

تحلیل نیروها در گروه باید به منظور تعیین سهم نیروها و لنگرهای وارد بر هر شمع در گروه و همچنین توزیع نیرو و لنگر در سرشمع انجام گیرد.

۷-۶-۶-۳-۱ طراح جهت سادگی می‌تواند سهم باربری خاک زیر سرشمع گسترده را در نظر نگیرد، اما تحلیل دقیق با در نظر گرفتن سهم سرشمع برای طراحی بهینه توصیه می‌شود.

۷-۶-۶-۳-۲ در تحلیل گروه شمع با لحاظ کردن سهم باربری خاک می‌توان خاک زیر پی گسترده (سرشمع) را به صورت فنر در نظر گرفت، ولی باید ضرایب اندرکنش بین فنرها لحاظ گردد. خاک اطراف شمع در هر عمق با ۳ فنر (یک قائم و ۲ افقی) تحلیل می‌شود. در اینصورت رفتار فنر قائم زیر نوک شمع (Q-z)، فنرهای قائم اصطکاکی جدار شمع (t-z) و فنرهای افقی در جدار شمع (p-y) و به ویژه مقدار سختی آنها باید بر اساس اندازه‌گیری در ساختگاه پروژه یا داده‌های تجربی قابل قبول از سایت‌ها و شمع‌های مشابه تعیین گردد.

۷-۶-۶-۳-۳ علاوه بر تحلیل‌های بندهای۷-۶-۶-۳-۱و ۷-۶-۶-۳-۲ تحلیل گروه شمع با فرض خاک به صورت محیط پیوسته با استفاده از نرم‌افزارهای عددی صحت سنجی شده، در ساختمان‌های با اهمیت زیاد و بسیار زیاد و با تعداد طبقات بیشتر از ۳ طبقه و ساختمان‌های با اهمیت متوسط با تعداد طبقات بیشتر از ۸ طبقه ضروری است.

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشگاهی معتمدی ایران
مدرس سعید فقاریور جهرمی

برخی ضوابط
مبحث هفتم
مقررات ملی

۷-۶-۶-۴ طراحی گروه شمع

۷-۶-۶-۴-۱ طراحی طبق این مقررات با روش‌های سنتی و همچنین روش شمع‌های کاهنده نشست (موسوم به پی- شمع) به شرح مندرج در بند ۷-۶-۶-۴-۳ قابل‌قبول است.

۷-۶-۶-۴-۲ اگر ظرفیت باربری پی گسترده (سرشمع) مستقر بر گروه شمع برای تحمل بارهای وارد کافی نباشد، آن‌گاه باید بار وارد بر هر شمع با تحلیل مشخص شود و ابعاد هر شمع چنان تعیین گردد که بار وارده را تحمل کند. برای تحلیل گروه شمع در این حالت می‌توان از هر دو روش مندرج در بند ۷-۶-۶-۳ استفاده کرد.

۷-۶-۶-۴-۳ اگر ظرفیت باربری مجاز پی گسترده (سرشمع) مستقر بر گروه شمع کافی باشد، ولی نشست بیش از مقدار مجاز باشد، آن‌گاه عملکرد پی گسترده با اضافه کردن تعدادی شمع بهبود می‌یابد. تعداد شمع‌ها چنان در نظر گرفته می‌شود که نشست سرشمع را به مقدار مجاز برسانند. برای تحلیل در این روش طراحی، باید نقش سر شمع و خاک زیر آن در نظر گرفته شود. استفاده از مدل تحلیلی مناسب که رفتار و سختی خاک و شمع و اندرکنش بین آنها به نحو مناسبی در آن لحاظ شده و با اندازه‌گیریهای میدانی تدقیق شده باشد ضروری است.

۷-۶-۶-۴-۴ از آن جا که در روش شمع‌های کاهنده نشست، شمع‌ها برای تامین شرایط بهره‌برداری به کار می‌روند نیازی به اعمال ضرایب اطمینان بر ظرفیت باربری شمع (روش تنش مجاز) و یا اعمال ضرایب بار و مقاومت (حالت حدی نهایی) نیست.

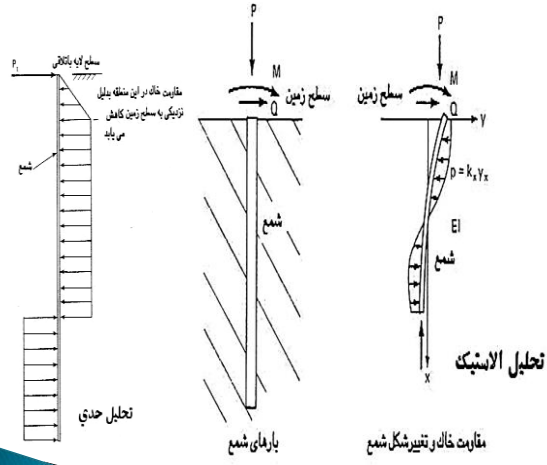
تحلیل رفتاری شمعها تحت بار جانبی و لنگر خمشی

روش تحلیل حدی: با فرض بسیج تمام ظرفیت خاک در امتداد طول

روش الاستیک: با فرض کوچک بودن تغییرشکلها تحت بارهای کوچک. در این روش تغییر شکل شمع در هر نقطه تابعی سختی خاک، سختی خمشی شمع، میزان نیروی برشی و مقدار لنگر خمشی است.با افزایش عمق، تراکم خاک و فشار همه جانبه خاک افزایش یافته که حاصل آن افزایش سختی خاک و کاهش تغییرشکل خواهد بود.

طول مشخصه: عمق مشخصی از شمع است که پس از آن عمق میزان تغییرشکلهای شمع بسیار ناچیز است. طول مشخصه تابعی از سختی شمع و سختی خاک است. با افزایش سختی شمع این طول افزایش و با افزایش سختی خاک این طول کاهش می یابد.

شمع صلب: شمعی که تغییرمکان ناشی از انحنا در مقایسه با حرکت صلب شمع ناچیز باشد.



دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشگاه صنعتی قزوین
مدرس: سعید فلاح پور جهرمی

سختی افقی خاک (مدول عکس العمل خاک)

سختی خاک تابع نوع خاک، دانه بندی، تراکم، و سطح تنش و تغییرشکل است که با استفاده از آزمایش بارگذاری صفحه امکان سنجش سختی خاک در بارگذاری قائم و با آزمایش PMT امکان تخمین سختی خاک در بارگذاری افقی فراهم است.

در خاکهای دانه ای با افزایش عمق به دلیل افزایش تراکم خاک، سختی خاک افزایش می یابد اما در خاکهای چسبنده سخت (بیش تحکیم یافته) مقدار سختی خاک معمولا ثابت فرض می شود.

رفتار خاک (رابطه تنش- تغییرشکل) در خاکها غیرخطی و غیرقابل پیشبینی است. پیشنهاد میشود در بارهای کوچک (یک سوم تا نصف بار گسیختگی) از مدول تانژانت و در بارهای بزرگتر از مدول سکانت استفاده شود.

$$K = \frac{P}{y}$$

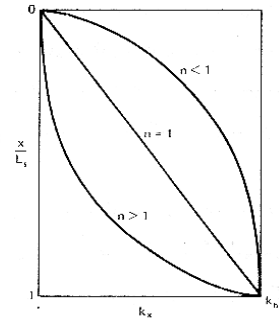
سختی K مدول عکس العمل بستر

$$k_x = k_h \left(\frac{z}{L_s}\right)^n$$

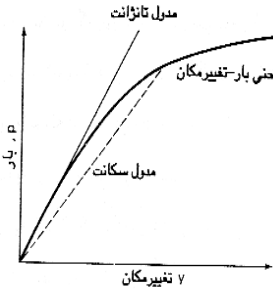
n=1 خاک دانه اي و رس تحکیم عادي یافته

n=0 خاک چسبنده بیش تحکیم یافته

L طول شمع و X عمق مورد نظر



تغییرات مدول خاک با عمق



منحنی تنش - تغییرشکل خاک

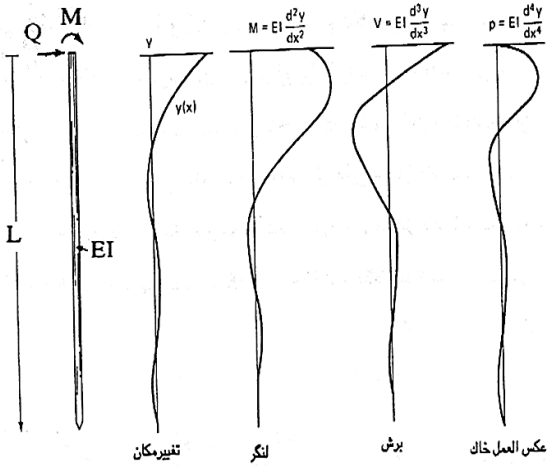
سختی افقی خاک (مدول عکس العمل خاک)

Representative range of values of lateral modulus of subgrade reaction

Soil*	k_s, kcf	k_s, MN/m^3
Dense sandy gravel	1400–2500	220–400
Medium dense coarse sand	1000–2000	157–300
Medium sand	700–1800	110–280
Fine or silty, fine sand	500–1200	80–200
Stiff clay (wet)	350–1400	60–220
Stiff clay (saturated)	175–700	30–110
Medium clay (wet)	250–900	39–140
Medium clay (saturated)	75–500	10–80
Soft clay	10–250	2–40

*Either wet or dry unless otherwise indicated.

تحلیل رفتاری شمعها تحت بار جانبی و لنگر خمشی در خاک دانه ای



$$y = A_y\frac{Q\,T^3}{EI} + B_y\frac{M\,T^2}{EI}$$

$$M = A_m Q\,T + B_m M$$

$$V = A_V Q + B_V\frac{M}{T}$$

$$P = A_P\frac{Q}{T} + B_P\frac{M}{T^2}$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n}}$$ نسبت سختی

$$n = \frac{k}{L}$$ ضریب سختی خاک

$$x = \frac{z}{T}$$ جدول ← ضرایب بدون بعد A , B

ضریب B

X	By	Bm	Bv	Bp
۰	۱٫۶۲۳	۰		
۰٫۱	۱٫۴۵۳	۱	-۰٫۰۰۷	-۰٫۱۴۵
۰٫۲	۱٫۲۹۳	۰٫۹۹۹	-۰٫۰۲۸	-۰٫۲۵۹
۰٫۳	۱٫۱۴۳	۰٫۹۹۴	-۰٫۰۵۸	-۰٫۳۴۳
۰٫۴	۱٫۰۰۳	۰٫۹۸۷	-۰٫۰۹۵	-۰٫۴۰۱
۰٫۵	۰٫۸۷۳	۰٫۹۷۶	-۰٫۱۳۷	-۰٫۴۳۶
۰٫۶	۰٫۷۵۲	۰٫۹۶۰	-۰٫۱۸۱	-۰٫۴۵۱
۰٫۷	۰٫۶۴۲	۰٫۹۳۹	-۰٫۲۲۶	-۰٫۴۴۹
۰٫۸	۰٫۵۳۰	۰٫۹۱۴	-۰٫۲۷۰	-۰٫۴۳۲
۰٫۹	۰٫۴۳۸	۰٫۸۸۵	-۰٫۳۱۲	-۰٫۴۰۳
۱	۰٫۳۶۳	۰٫۸۵۲	-۰٫۳۵۰	-۰٫۳۶۳
۱٫۲	۰٫۲۲۳	۰٫۷۷۵	-۰٫۴۱۴	-۰٫۲۶۸
۱٫۴	۰٫۱۱۲	۰٫۶۸۸	-۰٫۴۵۶	-۰٫۱۵۷
۱٫۶	۰٫۰۲۹	۰٫۵۹۳	-۰٫۴۷۷	-۰٫۰۲۷
۱٫۸	-۰٫۰۳۰	۰٫۴۹۸	-۰٫۴۷۶	۰٫۰۵۴
۲	-۰٫۰۷۰	۰٫۴۰۴	-۰٫۴۵۶	۰٫۱۴۰
۳	-۰٫۰۸۹	۰٫۰۵۹	-۰٫۲۱۳	۰٫۲۶۸
۴	-۰٫۰۲۸	-۰٫۰۴۲	۰٫۰۱۷	۰٫۱۱۲
۵	۰	-۰٫۰۲۶	۰٫۰۲۹	۰٫۰۰۲

ضریب A

X	Ay	Am	Av	Ap
۰	۲٫۴۳۵	۰	۱	۰
۰٫۱	۲٫۲۷۳	۰٫۱	۰٫۹۸۹	-۰٫۲۲۷
۰٫۲	۲٫۱۱۲	۰٫۱۹۸	۰٫۹۵۶	-۰٫۴۲۲
۰٫۳	۱٫۹۵۲	۰٫۲۹۱	۰٫۹۰۶	-۰٫۵۸۶
۰٫۴	۱٫۷۹۶	۰٫۳۷۹	۰٫۸۴۰	-۰٫۷۱۸
۰٫۵	۱٫۶۴۴	۰٫۴۵۶	۰٫۷۶۴	-۰٫۸۲۲
۰٫۶	۱٫۴۹۶	۰٫۵۳۲	۰٫۶۷۷	-۰٫۸۹۷
۰٫۷	۱٫۳۵۳	۰٫۵۹۵	۰٫۵۸۵	-۰٫۹۴۷
۰٫۸	۱٫۲۱۶	۰٫۶۶۴	۰٫۴۸۹	-۰٫۹۷۳
۰٫۹	۱٫۰۸۶	۰٫۶۹۳	۰٫۳۹۲	-۰٫۹۷۷
۱	۰٫۹۶۲	۰٫۷۲۷	۰٫۲۹۵	-۰٫۹۶۲
۱٫۲	۰٫۷۳۸	۰٫۷۶۶	۰٫۱۰۹	-۰٫۸۸۵
۱٫۴	۰٫۵۴۴	۰٫۷۷۲	-۰٫۰۵۶	-۰٫۷۶۱
۱٫۶	۰٫۳۸۱	۰٫۷۴۶	-۰٫۱۹۳	-۰٫۶۹
۱٫۸	۰٫۲۴۷	۰٫۶۹۶	-۰٫۲۹۸	-۰٫۴۴۵
۲	۰٫۱۴۲	۰٫۶۲۸	-۰٫۳۷۱	-۰٫۲۸۳
۲٫۰	-۰٫۰۷۵	۰٫۲۲۵	-۰٫۳۴۹	۰٫۲۲۶
۳٫۰	-۰٫۰۵۰	۰	-۰٫۱۰۶	۰٫۲۰۱
۴٫۰	-۰٫۰۰۹	-۰٫۰۲۳	۰٫۰۱۳	۰٫۰۴۶
۵٫۰				

دانشگاه تربیت مدرس
دانشگاه صنعتی امیرکبیر
طراحی سعید فلاورپور جهرمی

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۵ شمع‌های تحت بار جانبی

۷-۶-۵-۱ ظرفیت باربری جانبی

جهت طراحی شمع‌ها تحت بار جانبی باید نامساوی زیر در همه حالات حدی نهایی و برای کلیه ترکیبات بارگذاری برقرار باشد.

$$R_{tr} \geq F_{tr} \qquad (۸-۶-۷)$$

در این نامساوی:

F_{tr} = بار جانبی طراحی

R_{tr} = مقاومت جانبی شمع

۷-۶-۵-۱-۱ در ارزیابی ظرفیت باربری جانبی شمع‌ها یکی از ساز و کارهای گسیختگی زیر باید در نظر گرفته شود:

الف- در شمع‌های کوتاه چرخش و یا انتقال شمع به عنوان یک جسم صلب

ب- در شمع‌های بلند و لاغر گسیختگی خمشی شمع همراه با تسلیم موضعی و تغییرمکان خاک جلوی شمع در ناحیه بالای آن

۷-۶-۵-۱-۲ در هر یک از حالتهای الف و ب برای تحلیل ظرفیت شمع می‌توان از روشهای تحلیل تعادل حدی معتبر مانند "برومز" استفاده نمود.

۷-۶-۵-۱-۳ در ارزیابی ظرفیت باربری جانبی شمع‌ها باید اثر گروهی آنها در نظر گرفته شود.

۷-۶-۵-۱-۴ در تحلیل شمع‌های تحت اثر بار جانبی باید احتمال گسیختگی سازه‌ای شمع در زیر سطح زمین بررسی شود.

برخی ضوابط مبحث هفتم مقررات ملی

۷-۶-۵-۲ تغییرمکان جانبی

۷-۶-۵-۲-۱ در ارزیابی تغییرمکان جانبی بالای شمع‌ها باید سختی زمین، سختی خمشی هر یک از شمع‌ها، گیرداری شمع‌ها در سر شمع، اثر گروهی شمع‌ها و همچنین اثر رفت و برگشت بارها در نظر گرفته شود.

۷-۶-۵-۲-۲ پاسخ شمع‌ها تحت بار جانبی بطور کامل غیر خطی بوده و روش‌هایی که از فرض خطی بودن رفتار خاک استفاده می‌کنند، فقط در صورتی که حداکثر تغییرشکل جانبی شمع کوچک بوده (کمتر از ۱ درصد قطر)، مصالح شمع رفتار خطی داشته و بارگذاری یک طرفه (نه رفت و برگشتی) باشد، قابل استفاده خواهند بود.

۷-۶-۵-۲-۳ از روش منحنی‌های p-y می‌توان در تحلیل استفاده نمود، به شرط آنکه از منحنی‌های مناسب برای خاک‌های اصطکاکی و چسبنده استفاده گردد.

۷-۶-۵-۲-۴ در آزمایش بارگذاری جانبی باید مدل تحلیلی برای شرایط آزمایش با تحلیل برگشتی صحت سنجی شود. در گروه شمع با سرشمع صلب و اتصال گیردار، پس از صحت سنجی مدل تحلیلی برای شمع با سر آزاد، باید منحنی نیرو- جابجایی شمع با سر گیردار تحلیل شود.

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دانشگاه صنعتی قزوین
مدرس: سعید فقاریور جهرمی

مدلسازی نرم افزاری شمع

- برای مدلسازی شمع اطلاعات زیر نیاز است:
- هندسه شمع شامل طول، قطر و مقطع
- مدول عکس العمل خاک در نوک شمع
- مشخصات سازه ای شمع جهت تعیین سختی محوری

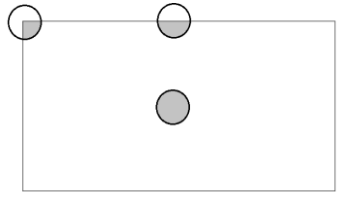
مدلسازی شمع به صورت تکیه گاه نقطه ای است. سختی خاک و سختی شمع به صورت دو فنر سری تعریف میشوند.

$$\frac{1}{k}=\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}$$

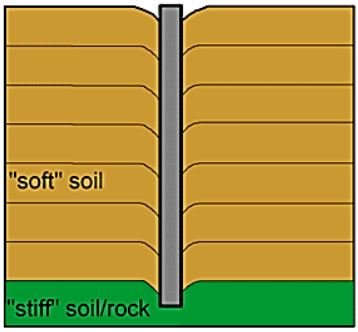
سختی خاک $k_1 = k_s A_b$

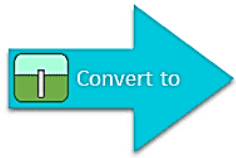
سختی شمع $k_2 = \frac{EA}{L}$

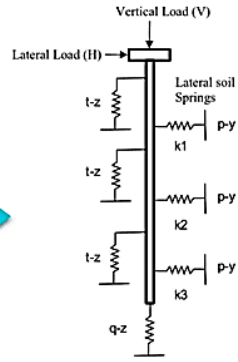
(در گوشه پی یک چهارم و در کناره یک دوم سختی شمع لحاظ می شود)



مدلسازی نرم افزاری شمع







- سختی نوک شمع (Kvp)
- سختی جداره شمع (Kvs)
- سختی معادل قائم (Keq) برای نرم افزار SAFE جهت جایگزینی المان شمع با فنر
- سختی جانبی شمع در ارتفاع (Khs)

تحلیل دینامیکی شمع ها

روشهای رایج تحلیل دینامیکی شمعها

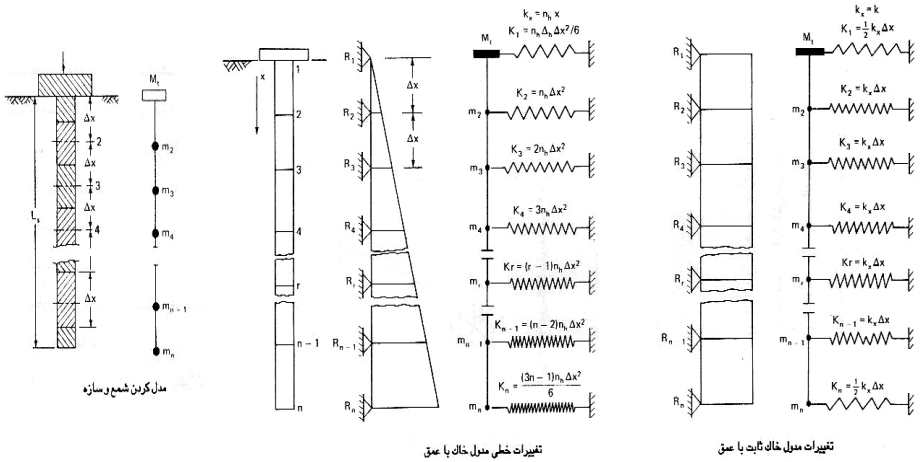
- خاک بعنوان جسمی پیوسته با رفتار الاستیک خطی فرض شود
- بکارگیری روش اجزای محدود برای سیستم خاک و شمع
- جایگزینی سیستم شمع و خاک با یک سری متوالی اجرام، فنرها و میراگرها.

در ادامه روش سوم بحث می شود.

در این روش امکان تعریف رفتار مختلفی برای خاک وجود دارد و برخی فرضیات روش عبارتند از:

- شمع قطعات مناسبی تقسیم شده و جرم هر یک در مرکز آن تمرکز داده می شود.
- رفتار خاک توسط تعداد بینهاییتی فنر خطی جایگزین می شود. سختی فنرها معادل مدول عکس العمل خاک است.
- جرم سازه فوقانی در بالای شمع اعمال می شود.
- انتهای شمع می تواند کاملا گیردار یا در برابر دوران آزاد باشد.

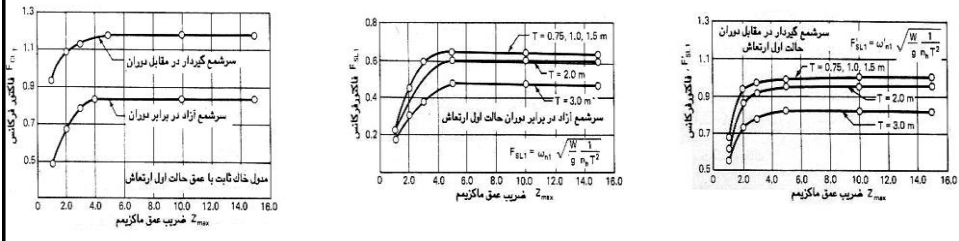
تحلیل دینامیکی شمع ها



دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس سعید فلاح پور جهرمی

تحلیل دینامیکی شمع ها

فرکانس طبیعی سیستم خاک و شمع تابعی از سختی خاک، سختی خمشی شمع، طول شمع، شرایط گیرداری و بار قائم وارده بر شمع است. طراحی شمعها در این روش بر مبنای سه ارتعاش اول انجام می شود اما در این بحث تنها ارتعاش اول بحث می شود. با تعریف فاکتور بدون بعد فرکانس و استفاده از گراف می توان فرکانس طبیعی مد اول را بصورت زیر تخمین زد.



$$F_{CL1} = \omega_{n1}\sqrt{\frac{W}{gkR}} \qquad R=\sqrt[4]{EI/K}$$

خاک چسبنده

$$F_{sL1} = \omega_{n1}\sqrt{\frac{W}{g}\frac{1}{n_h T^2}} \text{ یا } F'_{SL1} = \omega_{n1}\sqrt{\frac{W}{g}\frac{1}{n_h T^2}} \qquad T=\sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}} \text{ و } (K_x=n_h x)$$

خاک غیرچسبنده

تحلیل دینامیکی شمع ها

با مشخص شدن مقدار جابجایی، لنگر خمشی حداکثر در طول شمع را می توان با روابـط زیـر تخمـین زد. پارمترهای این رابطه از جدول استخراج می شوند.

خاک چسبنده $\text{لنگرخمشی} = A_{me} \times KR^2 \times S_d$

خاک دانه‌ای $\text{لنگرخمشی} = B_{me} \times n_h T^3 \times S_d$

مقادیر ماکزیمم ضریب B_{me}

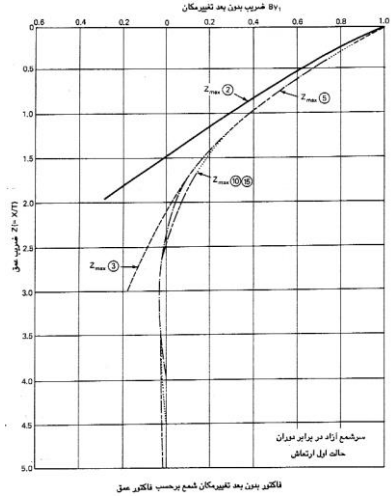
فاکتور عمق ماکزیمم Z_{max}	سرشمع در برابر دوران آزاد	سرشمع در مقابل دوران گیردار	
		-ive	+ive
۲	۰٫۱۰۰	۰٫۹۳	۰
۳	۰٫۲۵۵	۰٫۹۳	۰٫۱۰
۵–۱۵	۰٫۳۱۵	۰٫۹۰	۰٫۲۸

مقادیر ماکزیمم ضریب A_{me}

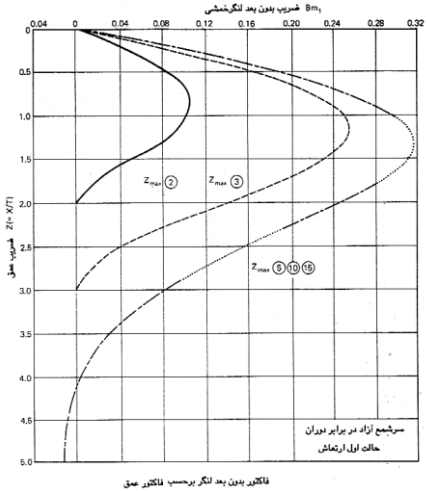
فاکتور عمق ماکزیمم Z_{max}	سرشمع در برابر دوران آزاد	سرشمع در مقابل دوران گیردار	
		-ive	+ive
۲	۰٫۱۳	۰٫۹	۰
۳	۰٫۲۴	۰٫۹	۰٫۰۴
۵–۱۵	۰٫۳۲	۰٫۹	۰٫۱۸

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده عمران
مدرس سعید فلاورز جهرمی

تحلیل دینامیکی شمع ها



فاکتور بدون بعد تغییرمکان شمع برحسب فاکتور عمق



فاکتور بدون بعد لنگر برحسب فاکتور عمق

مثال

شمعی بارقائم ۷۷٫۶ تن را همراه با نیروی برشی ۳ تن در بالای سر خود تحمل می نماید. اگر زمین خاك ماسه ای با $\varphi = 30°$ و $n_h = 1.612 (Kg/Cm^3)$ در شرایط باردینامیکی باشد مطلوبست:

۱- مقدار ماکزیمم تغییرمکان بالای شمع

۲- مقدار ماکزیمم لنگرخمشی

۳- و بالاخره منحنی تغییرات عکس العمل خاك در طول شمع.

فرض نمائید که سختی شمع $EI = ۳٫۸ \times ۱۰^{۱۰}$ $(Kg.Cm^2)$، قطر آن $d=30$ (Cm) و طول شمع ۱۲٫۲ متر باشد

حل

۱- قدم اول: تعیین مدول ثابت عکس العمل افقی بستر:

$n_h = 1.612$ kg/cm³

۲- محاسبه T فاکتور سختی نسبی:

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}} = \sqrt[5]{\frac{3.8\times10^{10}}{1.612}} = 118.7Cm = 1.187m$$

۳- محاسبه ضریب عمق ماکزیمم Z_{max} :

$$Z_{max} = \frac{L_5}{T} = \frac{12.2}{1.187} = 10.27$$

با توجه با اینکه $Z_{max}>5$ می باشد: شمع به طول نامحدود می باشد.

۴- برای $Z_{max}>5$ و $T=1.187m$ ازمنحنی های فاکتورهای فرکانس را برای دو حالت انتهایی شمع به دست می آوریم :

برای شمع با سر آزاد در مقابل دوران $F_{SL1}=0.65$

برای شمع با سر گیردار در مقابل دوران $F'_{SL1} = 1.00$

۵- محاسبه جرم متمرکز بالای شمع با استفاده از بار مرده مربوطه:

$$M_t = 77.6 \times \frac{1t/s^2}{981Cm}$$

۶- تعیین فرکانس طبیعی سیستم با داشتن فاکتور فرکانس و عوامل دیگر:

$$\omega_{n1} = F_{SL1}/\sqrt{\frac{w}{g}\frac{1}{n_h T^2}} \qquad \omega_{n1} = 0.65\times\sqrt{\frac{981}{77.6}\times\frac{1.612}{1000}\times118.7^2} = 11.014$$ رادیان برثانیه

بنابراین فرکانس طبیعی چنین است:

$$f_{n1} = \frac{11.014}{2\pi} = 1.753 \text{ HZ.}$$

۷- محاسبه زمان پریود طبیعی سیستم:

$$T_{n1} = \frac{2\pi}{\omega_{n1}} = \frac{1}{1.753} = 0.570$$ ثانیه

۸- محاسبه تغییرمکان طیفی:

با مراجعه به منحنی ها برای $T_{n1}=0.57$ ثانیه و ژانل کنندگی $\zeta=5\%$ مقدار S_d چنین بدست می آید

$S_d = 0.8$ = 2.0 Cm اینچ

۹- محاسبه لنگرخمشی ماکزیمم:

لنگرخمشی ماکزیمم $= B_{mc} x n_h T^3 x Sd$

$= 0.315x(1.612/1000)x(118.7)^3 x2.0 = 1698 t.Cm$

۱۰- محاسبه مقادیر تغییرمکان و عکس العمل خاك درنقاط مختلف شمع:

$$Y_g = A_y \frac{QgT^3}{EI} = A_y B$$ (مقدار ثابت) $B=$

برای خاکهایی که مدول آنها با عمق بصورت خطی افزایش می یابد: $A_y=2.435$

بنابراین مقدار ثابت درعبارت فوق چنین می باشد: $B = \frac{2.0}{2.435} = 0.821$

در نتیجه: $y_x = 0.821\ Ay$

مقادیر تغییرمکان و عکس العمل خاك در طول شمع در جدول آورده شده است

مثال

x (Cm)	Z	A_y	$y_x=0.821Ay$ (cm)	$n_h.x$ (kg/cm²)	$p=n_hxy$ (kg/cm)
۰	۰	۲٫۴۳۵	۲	۰	۰
۱۰۰	۰٫۸۴	۱٫۱۶۴	۰٫۹۵۵	۱۶۱٫۲	۱۵۳٫۹۴
۲۰۰	۱٫۶۸	۰٫۳۲۷	۰٫۲۶۸	۳۲۲٫۴	۸۶٫۴۰
۳۰۰	۲٫۵۲	۰٫۰۲۹	۰٫۰۲۴	۴۸۳٫۶	۱۱٫۶۱
۴۰۰	۳٫۳۶	-۰٫۰۶۶	-۰٫۰۵۴	۶۴۴٫۸	-۳۴٫۸۲
۵۰۰	۴٫۲۱	-۰٫۰۴۲	-۰٫۰۳۴	۸۰۶٫۰	-۲۷٫۴۰
۶۰۰	۵٫۰۵	-۰٫۰۰۹	-۰٫۰۰۷	۹۶۷٫۲	-۶٫۷۷

مقایسه تاثیر گیرداری شمع

	برای حالت آزاد شمع	برای حالت گیردار شمع
T_n	ثانیه ۰٫۵۷	ثانیه ۰٫۳۷
S_d	۲٫۰ Cm	۱٫۰ Cm
M_{max}	۱۶۹۸ t.Cm	۲۴۲۶ t.Cm

تحلیل دینامیکی شمع ها

اصلاحات مربوط به گروه شمع

۱- اگر فاصله مرکز به مرکز شمع ها در جهت بار حداقل ۸ d و فاصله مرکز به مرکز شمع ها در جهت عمود بر بار حداقل ۲٫۵d کـه در آن dقطر شـمع است باشـد هیچ گـونه اصـلاحی لازم نمی باشد.

۲- اگر فاصله فوق در جهت بار معادل ۳d باشد در این صورت مقدارمؤثر K (Keff) برابر K ۰٫۲۵ خواهد بود. برای مقادیر دیگری از فاصله، انترپوله خطی قابل انجام است.

اصلاحات مربوط به بار سیکلی

۳- اگر بار اعمال شده بصورت تکراری باشد تغییرمکان ها افزایش یافته و .Keff تقلیل می یابد. این موضوع مشاهده گردیده است که بعد از اعمال ۵۰سیکل بار تغییرمکان ها معادل دو برابر اولین سیکل می شود. مدول خاك در همین رابطه تقلیل می یابد. مقدار تغییرمکان بعد از اعمال ۸۰۰ سیکل به ۲٫۵ الی ۳ برابر آن در سیکل اول افزایش می یابد و در نتیجه مدول تقلیل بیشتری خواهد داشت.

۴- اگر بار اعمال شده بصورت نوسانی باشد، تغییرمکان ها تقریباً ۷ برابر تغییرمکان در سیکل اول افزایش خواهند یافت. مدول خاك دراین حالت کاهش بسیار زیادتری از حالت قبل خواهد داشت.

هنگامی که هم اثر بار نوسانی و هم اثر گروه شمع ها توأماً مد نظر قرار گیرند مدول خاك تقلیلی دو گانه خواهد داشت. در نتیجه مقدار نهایی آن ممکنست کمتر از ۱۰ درصد K برای یك شمع منفرد باشد.

دانشگاه شریف
دانشکده عمران
مدرس: سعید فقاروی جهرمی