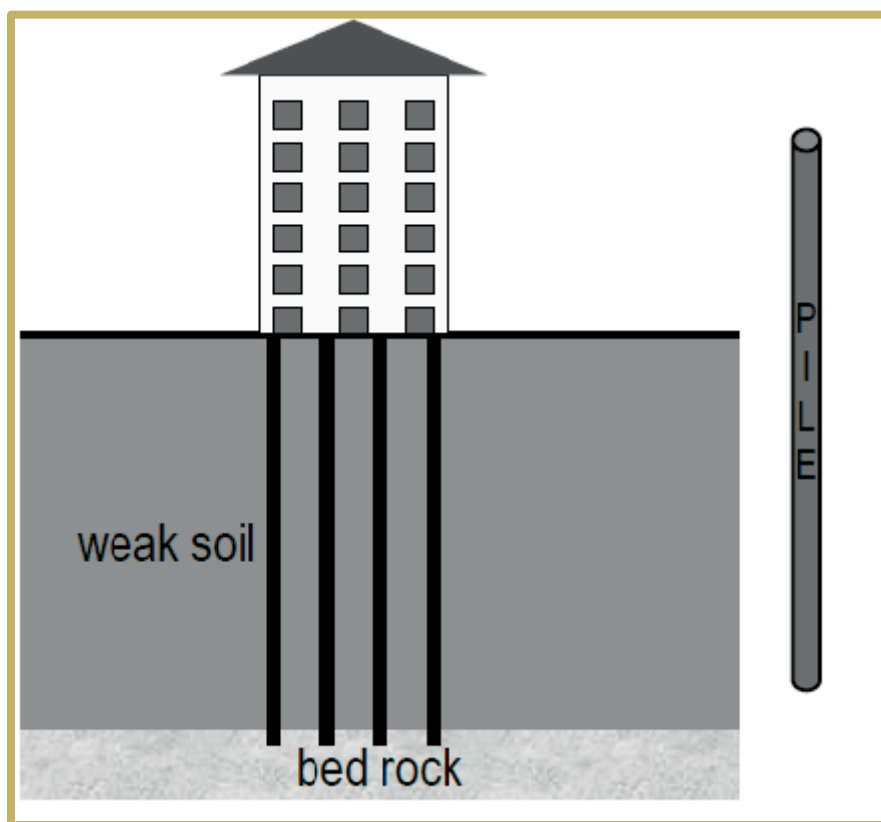


پی های عمیق (شمع ها)

**Deep Foundation**

## تعریف و کاربرد شمع

«شمع‌ها» یا «پی‌های عمیق» 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.



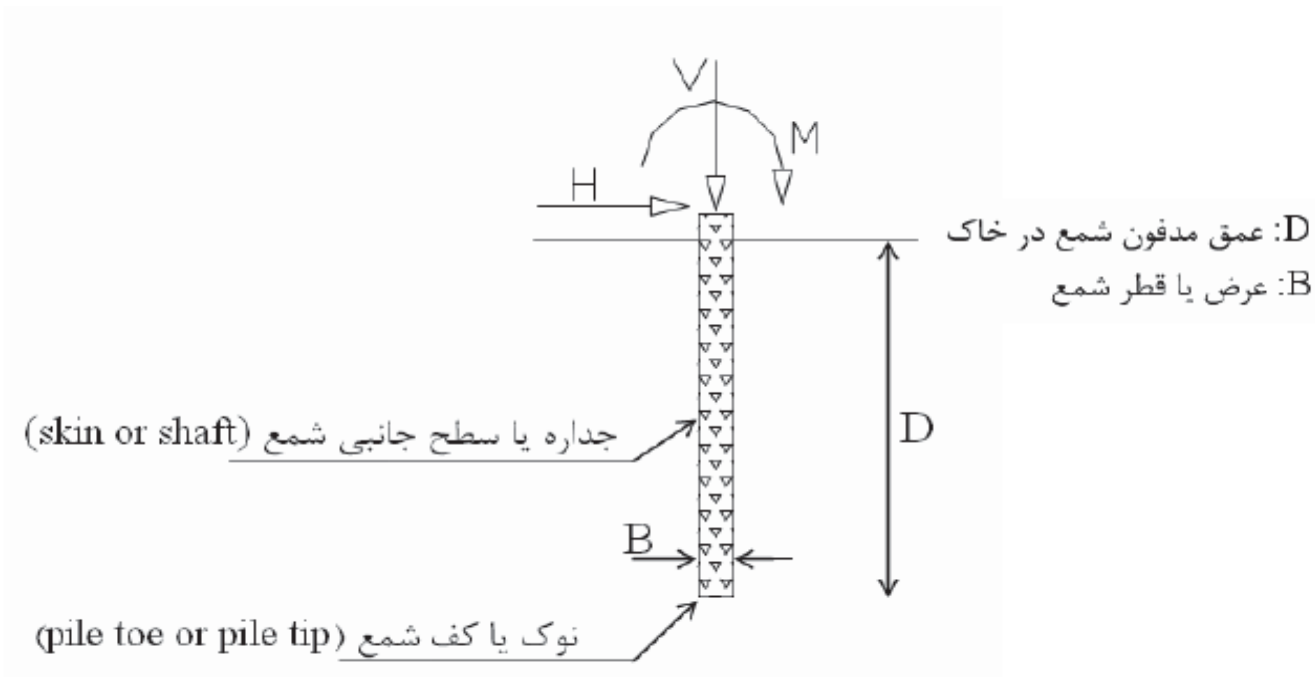
سیستم پی های عمیق ( شمع ) زمانی توصیه می شود که حداقل یکی از شرایط زیر برقرار باشد

- ۱- لایه های سطحی خاک فاقد مقاومت کافی بوده و لایه های مقاوم تر خاک در اعماق پایین تر یافت شوند. به عبارت دیگر، حتی اگر از پی های گسترده استفاده شود، ظرفیت باربری لازم توسط لایه های سطحی تامین نگردد.
- ۲- لایه یا لایه های سطحی نشست پذیر، تورمزا، فروریزی باشند یا سازه به نشست غیرمتقارن بسیار حساس باشد.
- ۳- علی رغم مقاوم بودن لایه های سطحی خاک، مشکل "آب شستگی" وجود داشته باشد، مانند آب شستگی کناره پایه های میانی و یا کوله پلها و سازه های مجاور ساحل.
- ۴- بارهای متمرکز بزرگی باید از سازه به خاک منتقل شوند بطوریکه تحمل این نیروها توسط پی های سطحی، حتی به صورت گسترده، امکانپذیر نباشد.

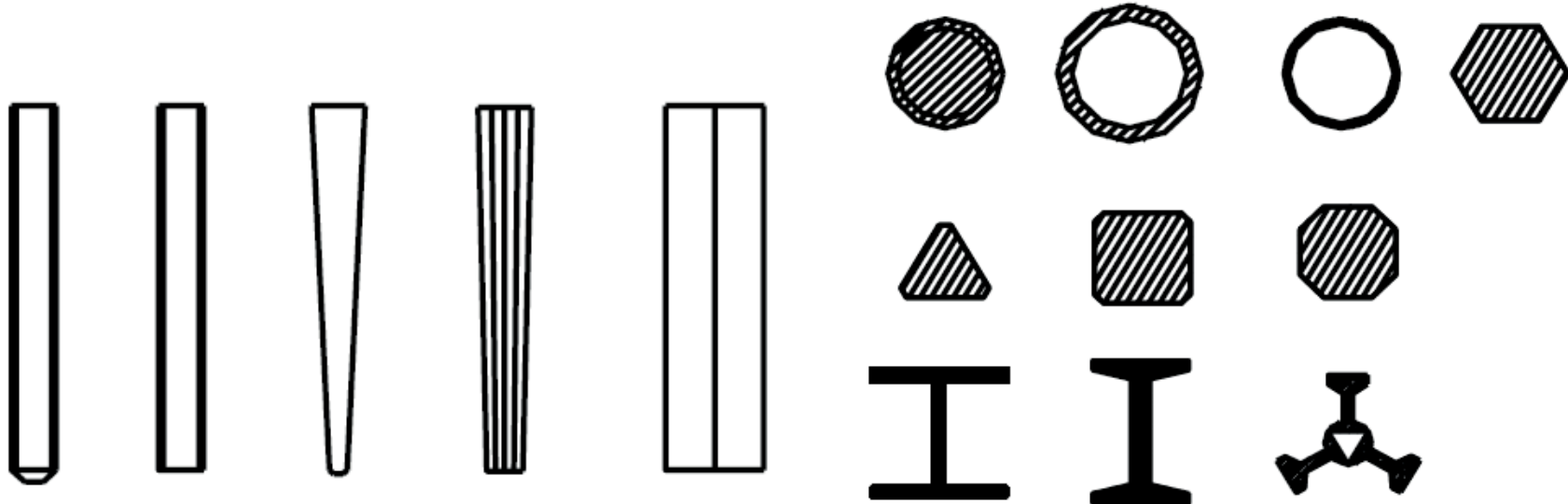
- ۵- سطح آب زیرزمینی در منطقه بالا است و یا فشار آرتزین در لایه‌های خاک وجود داشته، بطوریکه امکان احداث پی کم عمق وجود نداشته باشد.
- ۶- افزایش سختی خاک زیر پی ماشین‌آلات برای کنترل دامنه ارتعاشات پی و همچنین کنترل فرکانس طبیعی سیستم.
- ۷- مقاومت در برابر نیروهای کششی یا واژگونی برای پی‌های زیر سطح آب و یا جلوگیری از واژگونی سازه‌های بلند.
- ۸- ایجاد مهار در برابر نیروهای افقی و زلزله یا ضربه‌گیری در اسکله‌ها.
- 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.

## بارهای وارد بر شمع‌ها

بارهای وارد بر شمع‌ها از نوع «محوری»، «جانبی» و «لنگر خمشی» بوده که بار محوری می‌تواند از نوع کششی و یا فشاری باشد. بارهای وارد بر ناشی از بار مرده و یا ناشی از بار زنده هستند. بار مرده شامل وزن خود شمع، وزن کلاهک و وزن بارهای مرده سازه فوقانی است. بار زنده اثر ترافیک، اشیاء و افراد، باد، زلزله، امواج و ... را شامل می‌شود.

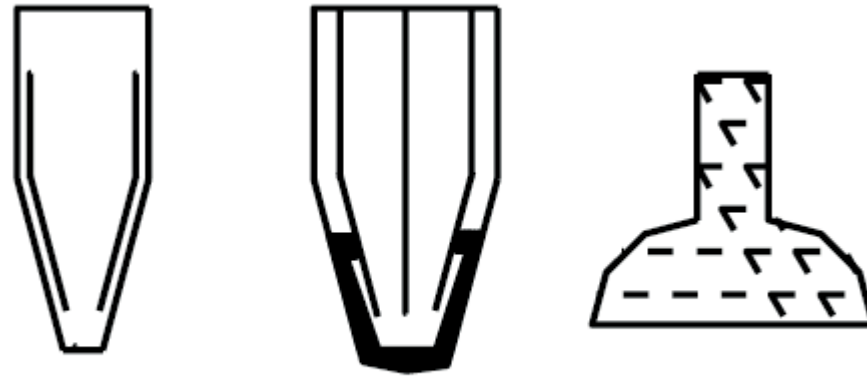


# انواع مقاطع شمع



(الف) مقطع طولی

(ب) مقطع عرضی



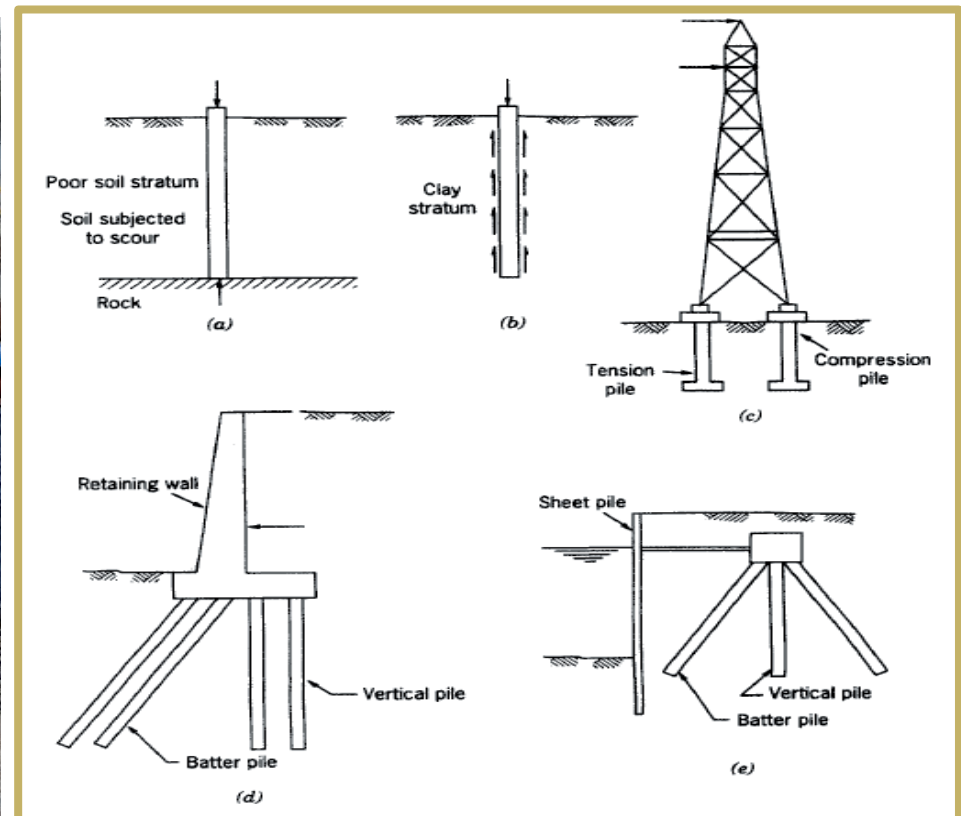
(ج) مقطع نوک

# روشهاي اجراي شمع:

۱- شمع درجاریز (Cast In Place Pile)

(Driven Pile)

۲- شمع کوبشی



## شمع های کوبیدنی

اینگونه شمع ها پس از طراحی بصورت پیش ساخته تهیه گردیده و توسط تجهیزات شمع کوبی کوبیده می شوند. اینگونه شمع ها همراه با جابجایی زیاد تا متوسط می باشند.

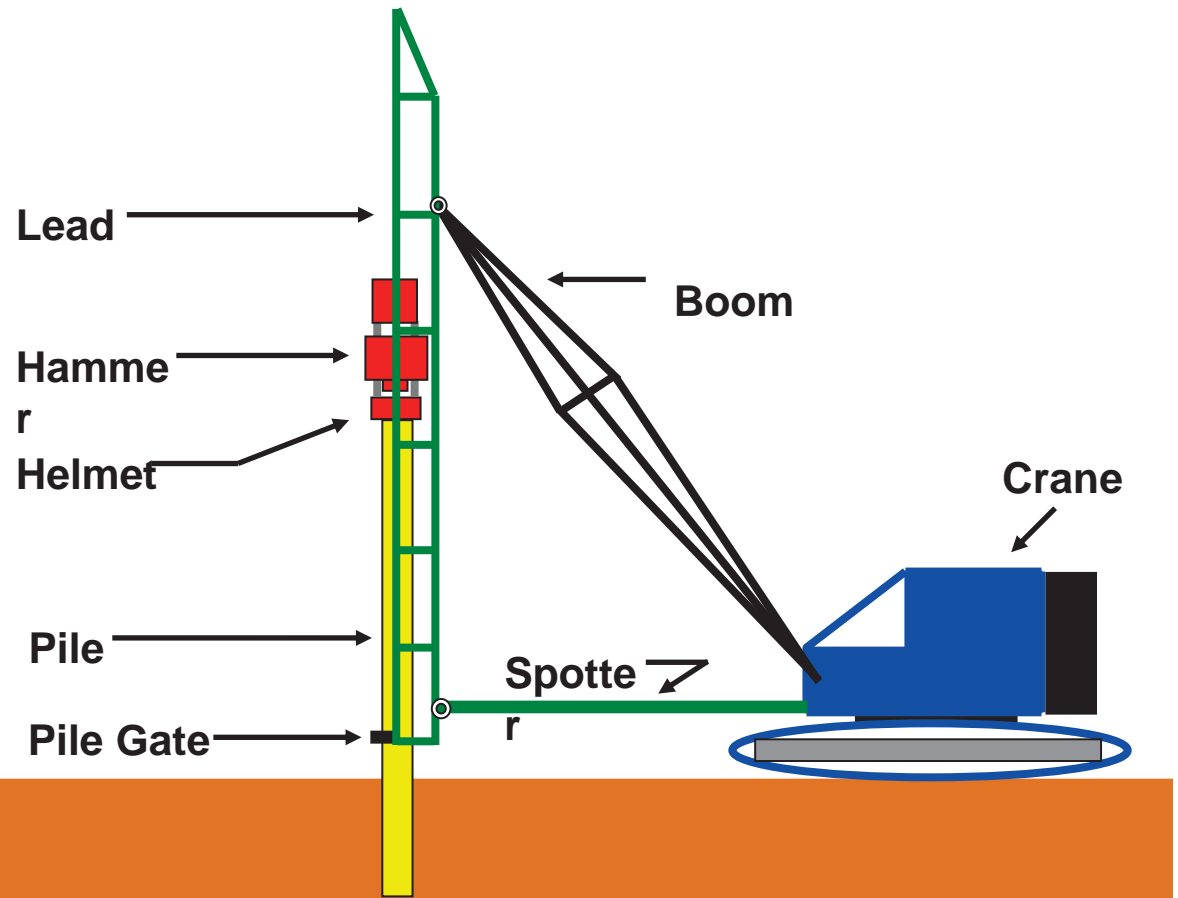
### مزایا و معایب شمع های کوبیدنی:

- ۱- شمع های کوبیدنی موجب تراکم و بهسازی بخصوص خاکهای دانه ای شل شده و اصطکاک جداری آنها نیز بعلت درگیری و قفل و بست مناسب با خاک اطراف قابل توجه می باشد.
- ۲- در خاک های ماسه ای و سلیتی از نوع شل تا متوسط با سطح آب زیرزمینی بالا بسیار مناسب است.
- ۳- قطر شمع ها بعلت محدودیت در تجهیزات محدود است
- ۴- خطر آسیب دیدن شمع ها در حین اجرا وجود دارد.
- ۵- سروصدای زیادی در حین اجرا دارند. موجب آسیب دیدن سازه های مجاور در حین کوبش می شوند از این رو در مناطق شهری توصیه نمی گردد.

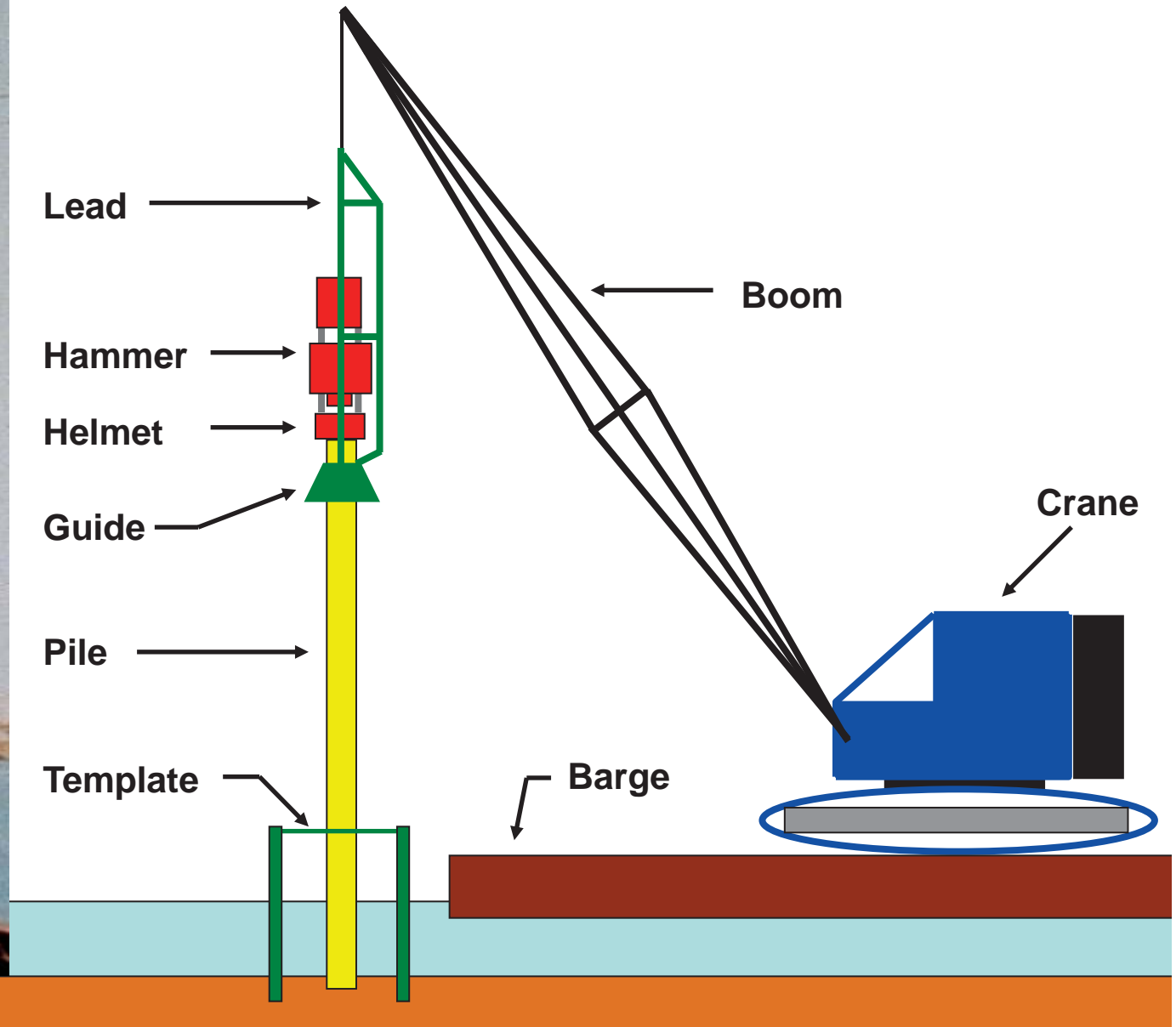
نکته ) شمع کوبیدنی در خاکهای چسبنده در کوتاه مدت، مقاومت جداری اندک و مقاومت ببری نوک زیاد است.



# نمایی از تجهیزات شمع کوبی



# Offshore Lead





## شمع های حفاری - ریختنی

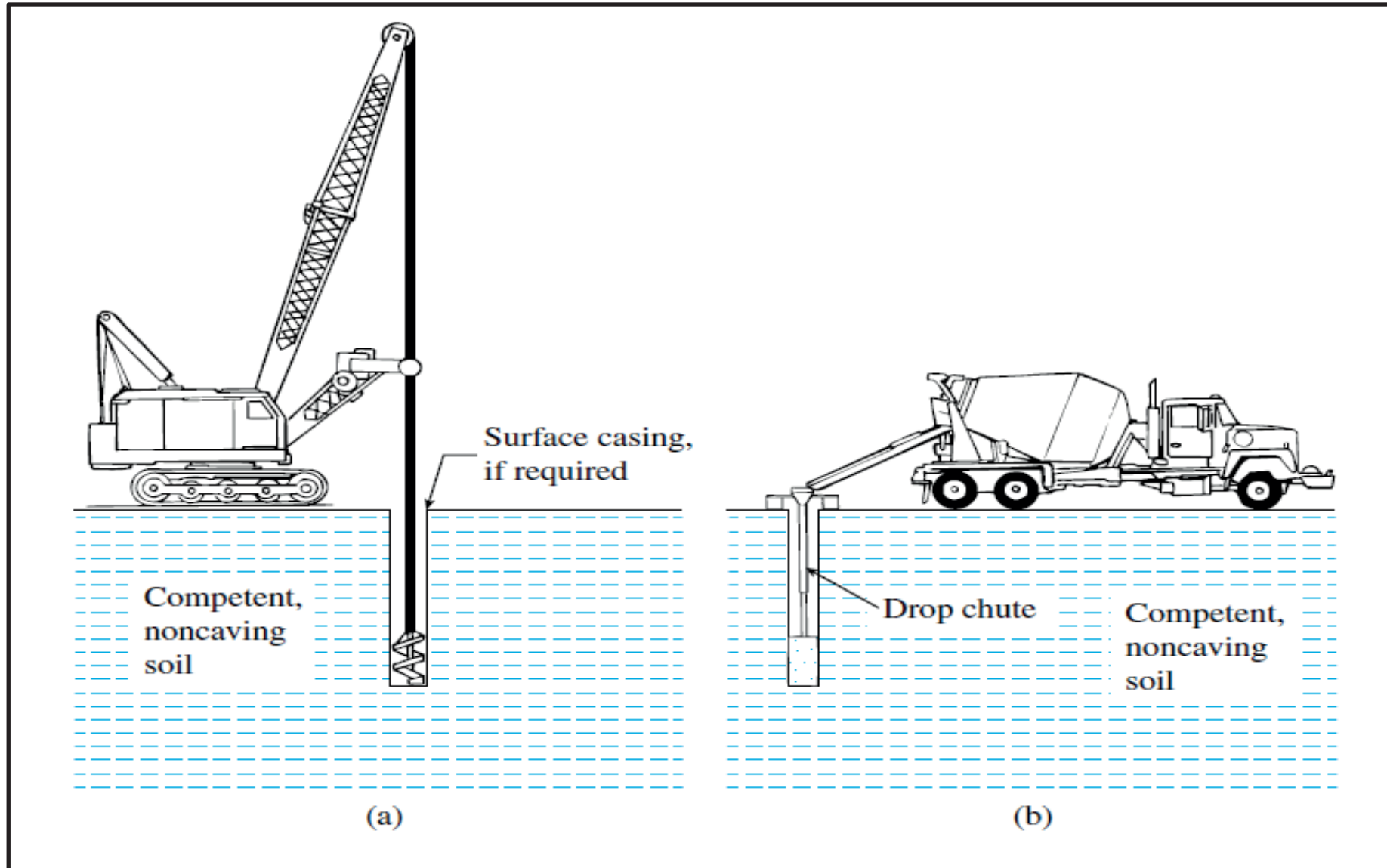
از نوع شمع ها با جابجایی کم بوده و اصطکاک جداری و مقاومت کف آنها در مقایسه با شمع های کوبیدنی کمتر است

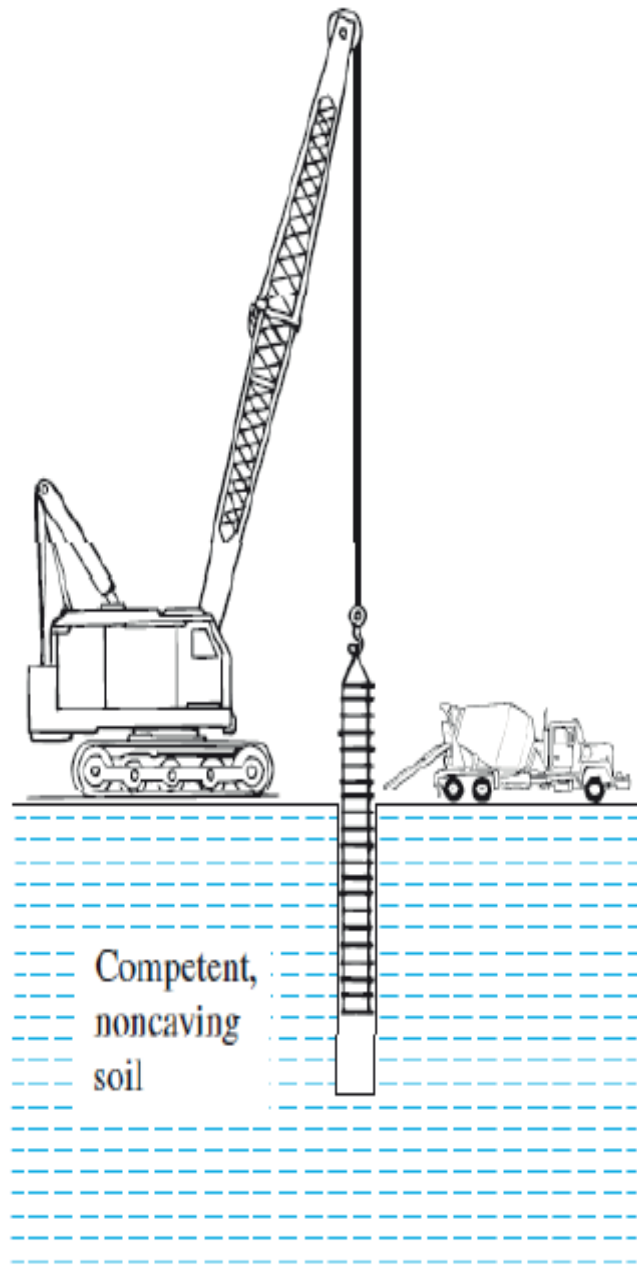
مزایا و معایب شمع های درجاریز:

- ۱- حفاری می تواند ابزاری جهت مطالعه باشد
- ۲- هزینه کمتری نسبت به شمع کوبشی دارد.
- ۳- مشکل اجرای قطر و طول های مختلف را نداشته و امکان افزایش اندازه و طول نیز وجود دارد.
- ۴- مشکل اجرایی و کنترل کیفیت بتن وجود دارد.
- ۵- حفاری در خاک های ریز دانه و در زیر سطح آب بسیار دشوار می باشد.

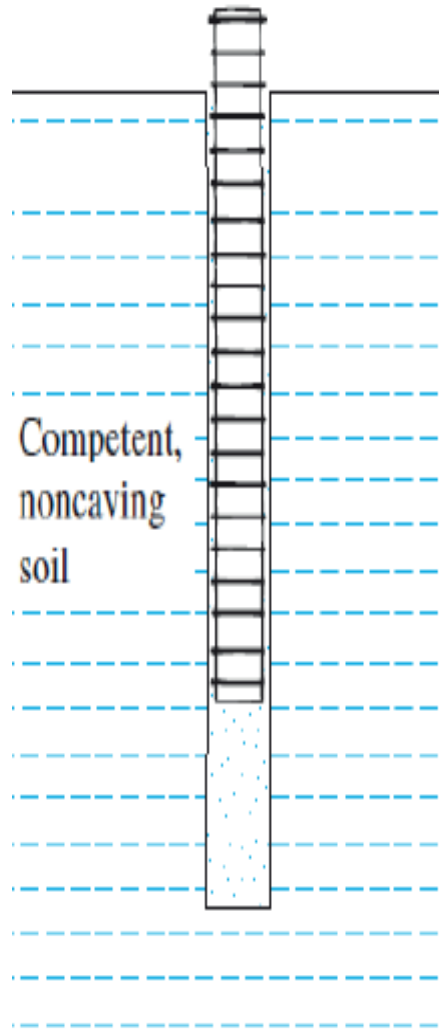
**نکته** شمع های درجاریز می توانند به دو صورت با غلاف و بدون غلاف اجرا شوند. در نوع غلاف دار امکان صدمه دیدن غلاف مطرح می باشد و در نوع بدون غلاف امکان ایجاد خلل و فرج در بتن و ریزش دیواره چاه وجود دارد.

## شمع درجاریز: روش اجرای خشک





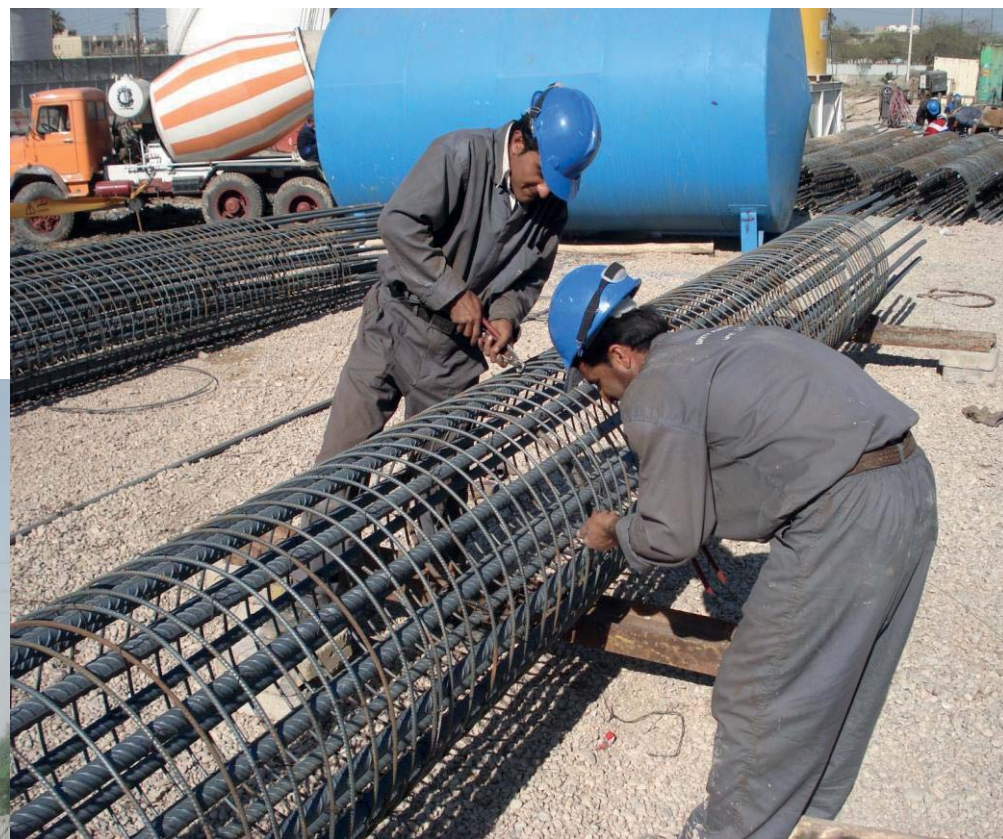
(c)



(d)



## لوله گذاری و حفاری



## بستن قفسه آرماتور



نمونه های از تجهیزات حفاری در  
شمع ریختنی



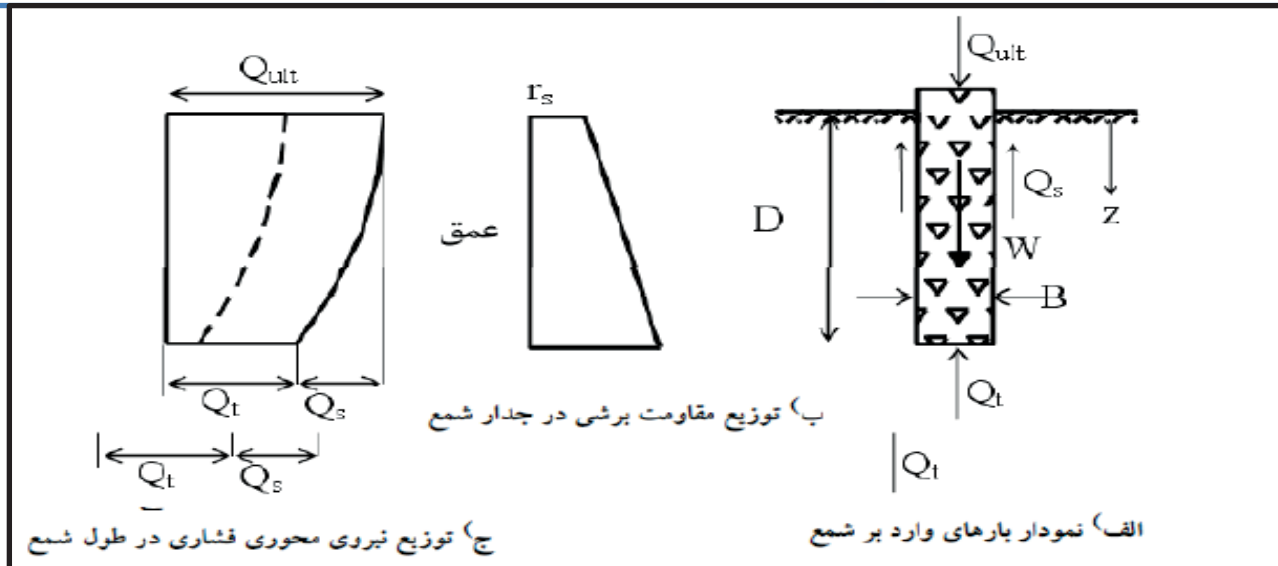
آزمایش بارگذاری استاتیکی بروی شمع ها

## Full Scale Static Load Tests

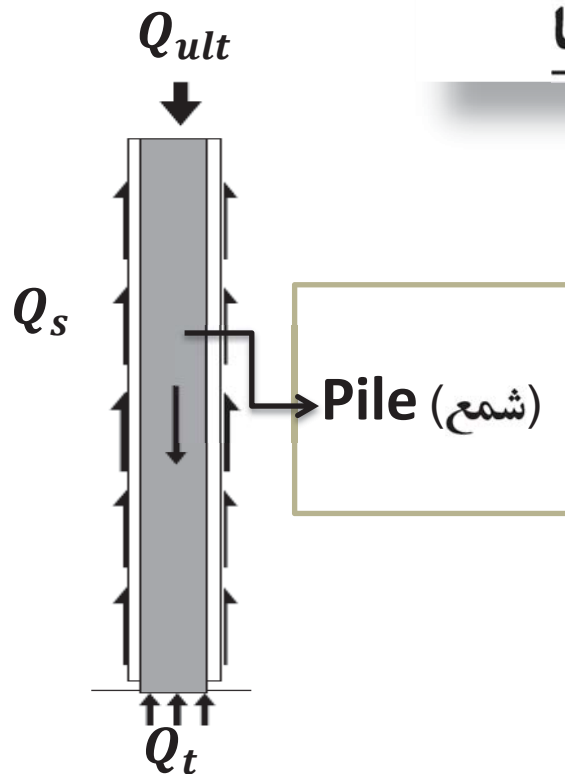


## ظرفیت باربری شمع ها

«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 می شوند. بار مجاز شمع از حاصل تقسیم ظرفیت باربری بر ضریب اطمینان<sup>۱</sup> (F.S.) بدست می آید. در مراحل مقدماتی طراحی، مقدار F.S. بین ۲/۵ تا ۳ انتخاب می شود. اما در مراحل بعدی پروژه که اطلاعات بیشتری، مثلاً بوسیله آزمایشهای استاتیکی یا دینامیکی در دسترس قرار گرفت، حدود F.S. به ۱/۸ تا ۲ نیز ممکن است تقلیل یابد (CFEM, 1992).



## مکانیزم انتقال بار در شمع ها



$$Q_{ult} = \text{ظرفیت باربری نهایی شمع}$$

$$Q_a = \text{ظرفیت باربری مجاز شمع}$$

$$Q_s = \text{مقاومت جداري يا اصطكاكي در فشار}$$

$$Q_t = \text{مقاومت نوک در فشار}$$

$$W = \text{وزن شمع}$$

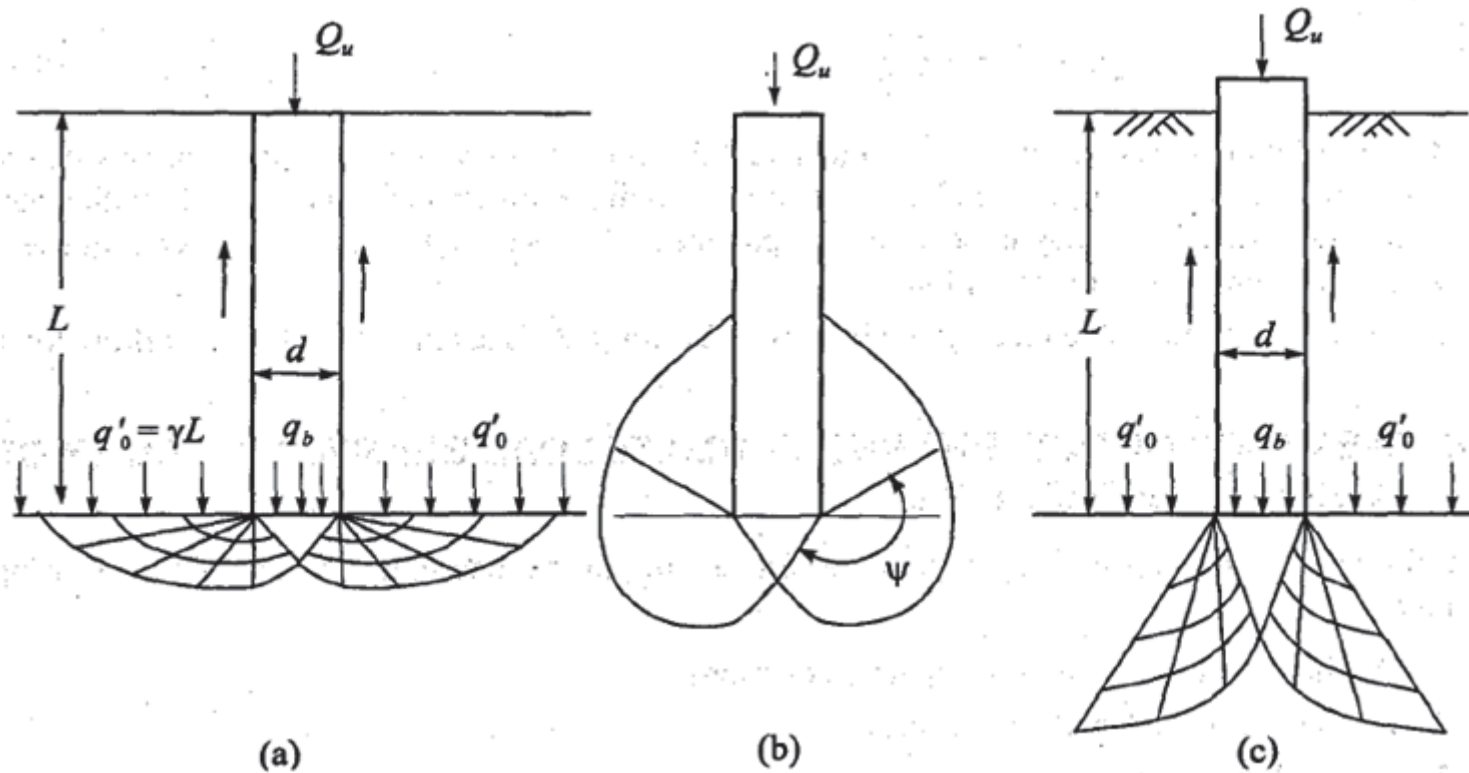
$$Q_{ult} = Q_s + Q_t - W$$

$$Q_a = \frac{Q_{ult}}{S.f}$$

نکته) برای بسیج شدن کامل اصطکاک جداري نشستى معادل ۰.۳ الی ۲ درصد قطر و برای بسیج شدن کامل مقاومت انتهایی شمع، نشستى در حدود ۵ الی ۲۰ درصد قطر انتهایی شمع لازم است

# ظرفیت باربری نوک $Q_t$

## (Toe Bearing Resistance)



گوه های گسیختگی در نوک شمع بر اساس فرضیات الف ( ترزاقی ب) میرهوف ج) وسیک

رابطه ظرفیت باربری نوک

$$q_{ult} = CN_c^* + \bar{q}N_q^*$$

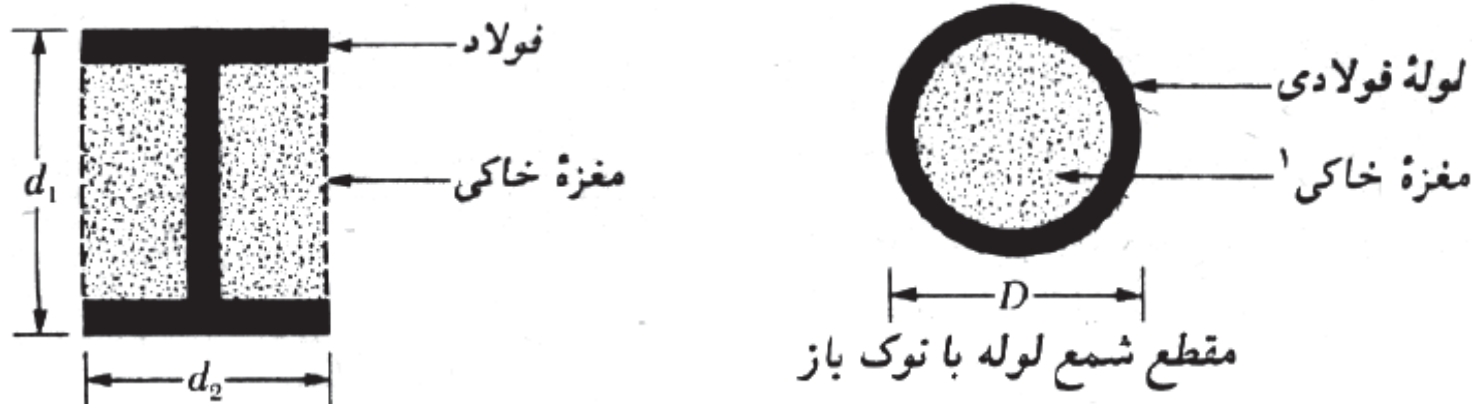
$$q_{ult} = \bar{q}N_q^*$$

در حالتی که چسبندگی قابل صرفنظر باشد ( خاک دانه ای )

حتی در شرایطی که جملات  $CN_c^*$  و  $\frac{1}{2}\gamma BN\gamma^*$  در نظر گرفته شوند، همچنان عامل عمده در تعیین ظرفیت باربری نوک جمله  $\bar{q}N_q^*$ ، یعنی عامل عمق پی (سربار اطراف شمع) است. در نتیجه شکل کلی رابطه مقاومت نوک شمع به صورت زیر خواهد شد:

$$Q_P = A_p q_p = A_p (cN_c^* + \bar{q}N_q^*)$$

# چگونگی محاسبه سطح مقطع در نوک شمع ( $A_p$ )



سطح مقطع نوک شمع برابر است با = سطح مقطع مغزه خاکی + سطح مقطع شمع



## روش میرهوف در محاسبه ظرفیت باربری نوک ( $q_p$ و $q_t$ )

$$Q_p = A_p q_p = A_p (c N_c^* + \bar{q} N_q^*)$$

\* در خاک های دانه ای مقدار  $C=0$  چسبندگی برابر صفر می باشد و رابطه بصورت زیر بیان می گردد:

$$Q_p = A_p q_p = A_p \bar{q} N_q^*$$

$$q_p \leq q_L$$

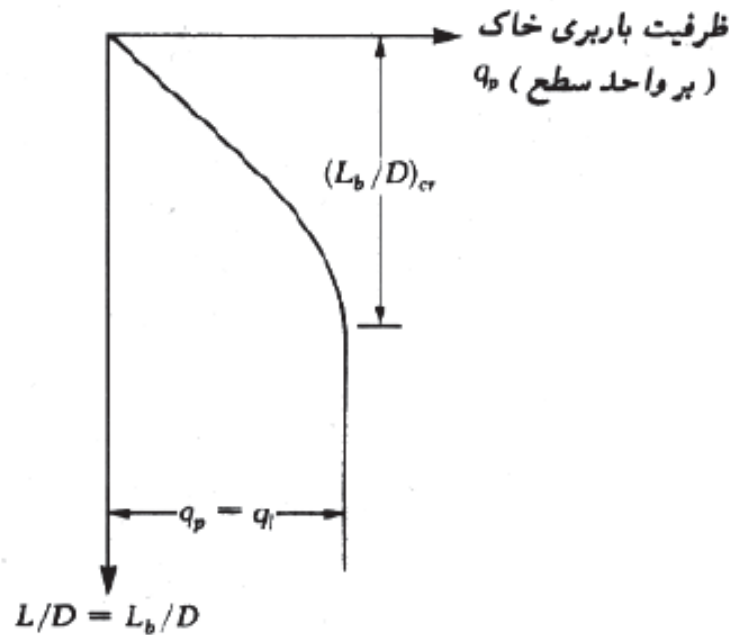
سربار در تراز نوک شمع  
 $\bar{q} = \gamma \cdot h$

$$q_L \left( \frac{kN}{m^2} \right) = 50 N q^* \tan \varphi$$

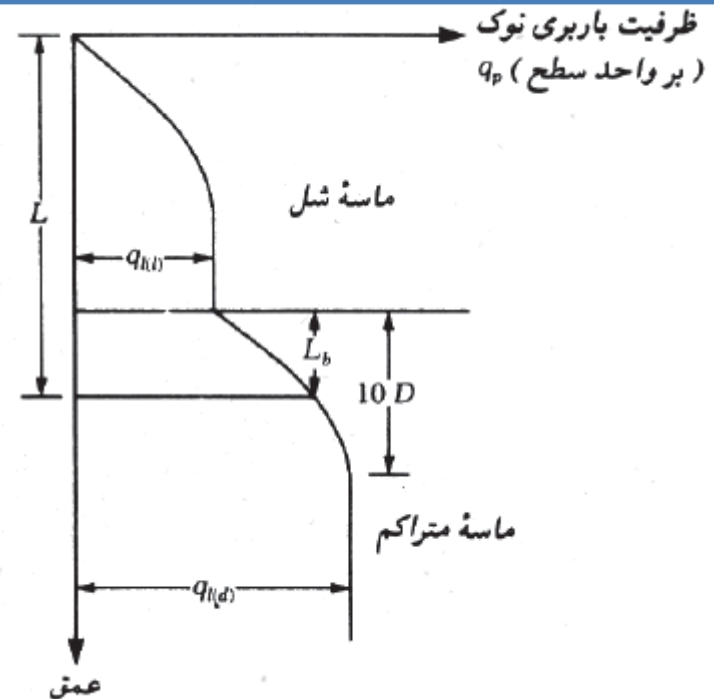
توجه) بر اساس تحقیقات میرهوف همواره در خاک های ماسه ای (دانه ای) مقدار ظرفیت باربری نوک بیشتر از یک مقدار مشخص (حالت حدی) نمی تواند تجاوز کند.

## دلیل آنکه مقادیر ظرفیت باربری نوک از یک مقدار حدی نمی تواند تجاوز کند

مطابق شکل مقاومت نوک شمع ها با زیاد شدن عمق افزایش یافته و از عمق مشخصی به بعد این مقاومت ثابت می ماند. مقدار این عمق یحرانی تابعی از قطر شمع و زاویه اصطکاک داخلی خاک می باشد. علت آنکه مقاومت نوک شمع ها تا عمق مشخصی زیاد می شود و سپس ثابت می ماند بدلیل با افزایش عمق خاک مقدار تنش موثر ( تنش همه جانبه) زیاد می شود اما با زیاد شدن تنش موثر مقدار زاویه اصطکاک داخلی از عمقی به بعد دچار کاهش می گردد دلیل این پدیده **خرد شدگی** ذرات نسبت داده می شود که با افزایش قطر ذرات این پدیده مشهودتر است

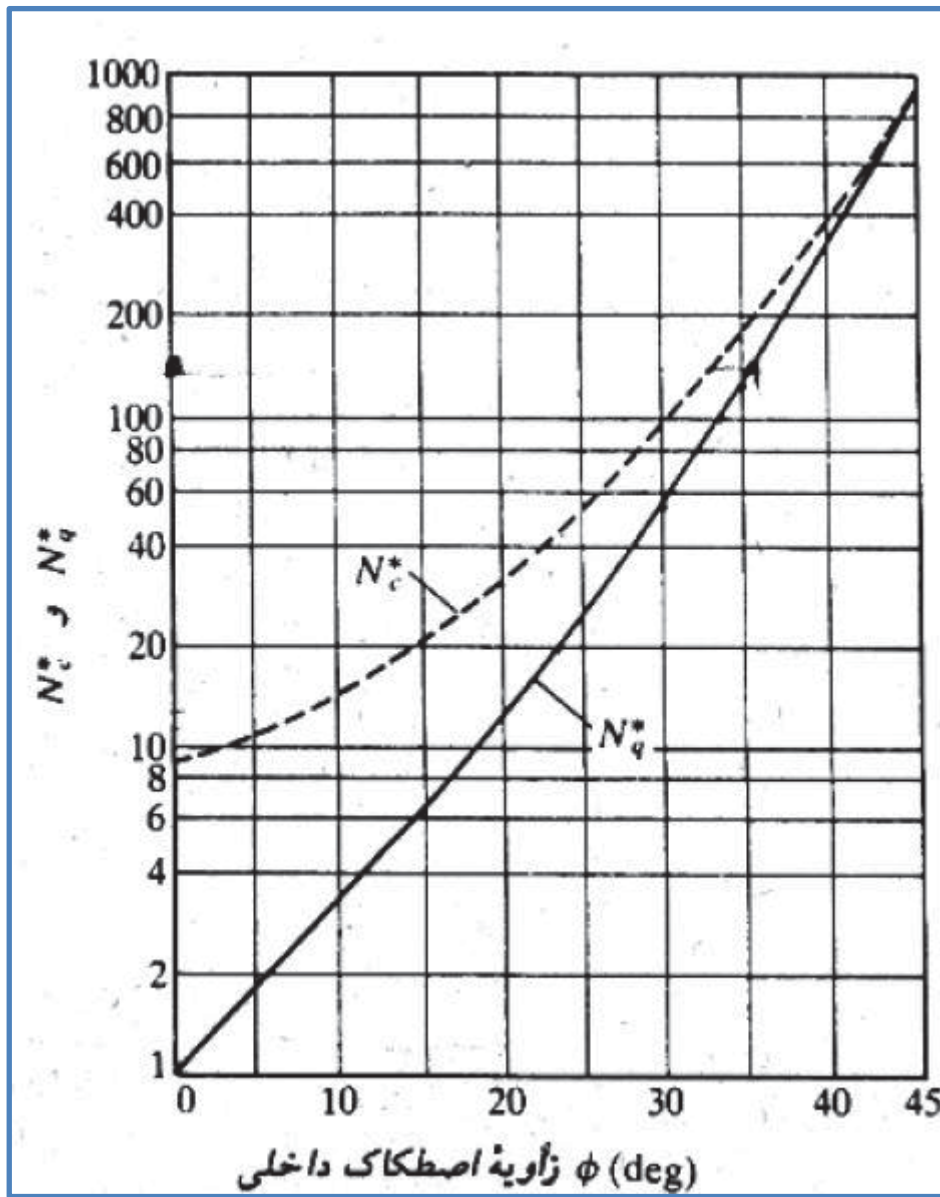


تغییرات ظرفیت باربری نوک  
در خاک دانه ای همگن

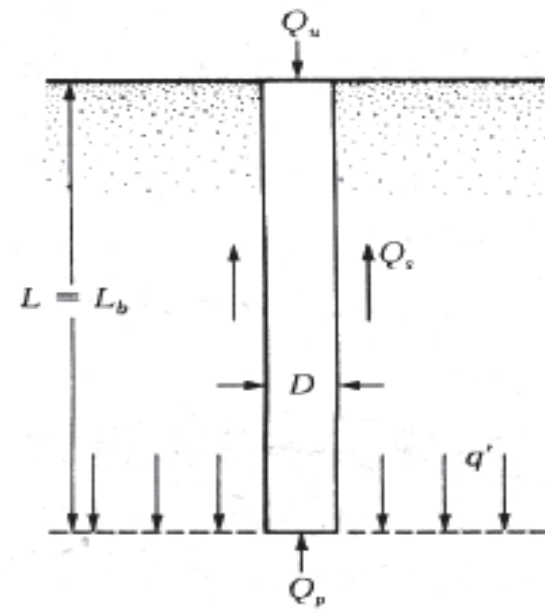
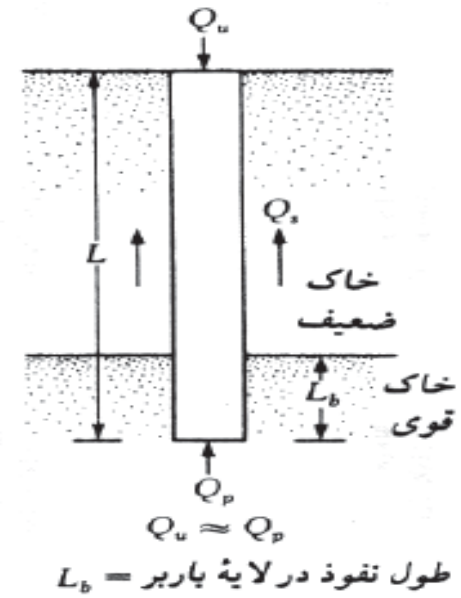


تغییرات ظرفیت باربری نوک در  
خاک دانه ای لایه ای





محاسبه مقادیر ضرایب در روش میرهوف



$L =$  طول مدفون شمع

$L_b =$  طول مدفون در لایه یاربر