

دانشگاه مازندران
دانشکده فنی و مهندسی - گروه عمران - گرایش مکانیک
خاک و پی

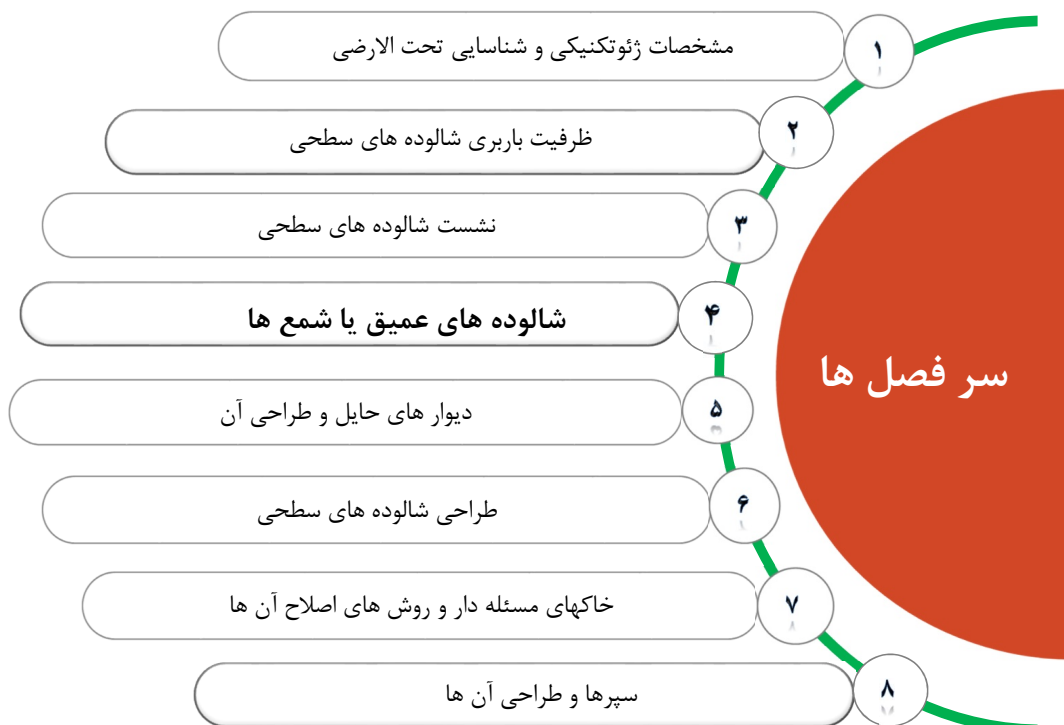
موضوع درس:

مهندسی پی (Foundation Engineering)

مدرس: علی عسگری (Ali Asgari)

نیمسال اول تحصیلی ۹۶-۹۷

مهندسی پی (Foundation Engineering)



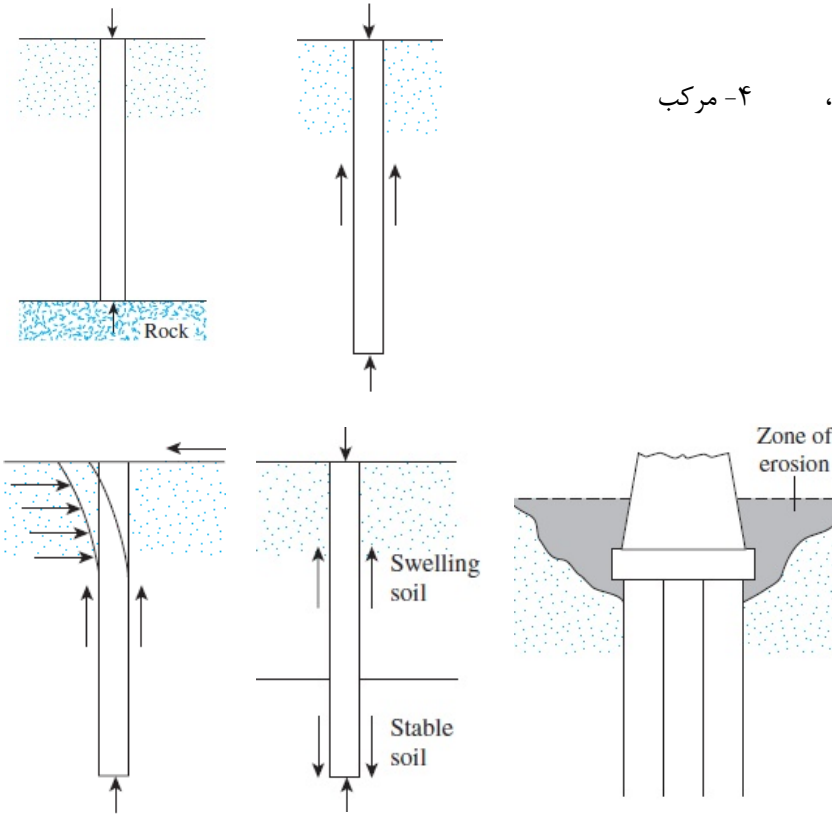
شالوده های عمیق یا شمع ها (Pile Foundations)

انواع شمع ها از نظر مصالح:

۱- چوبی (کلاس A ، B و C) ، ۲- بتنی ، ۳- فولادی ، ۴- مرکب

دلایل استفاده از شمع ها:

- ۱- وقتی شالوده سطحی قادر به انتقال بار از سازه به خاک نباشد و یا خاک ضعیف باشد.
- ۲- سازه تحت بار افقی زیادی باشد و معمولا در سازه های بلند تحت بار باد و یا زلزله رخ می دهد.
- ۳- در مواجهه با خاکهای مسئله دار از جمله خاکهای تورم زا و واگرا و رمبنده و یا روانگرا
- ۴- شالوده های خطوط انتقال برق فشار قوی، اسکله ها، شالوده های گسترده در زیر آب و...
- ۵- بخاطر مسئله آب شستگی و فرسایش در محل پایه های پل



3

Ali Asgari, PhD in Geotechnics

مزیت و معایب شمع ها از نظر مصالح:

معایب	مزیت	نوع مصالح شمع
<ol style="list-style-type: none"> ۱. قیمت زیاد ۲. ایجاد آلودگی صوتی در هنگام کوبیدن ۳. خوردگی ۴. کمانش در هنگام کوبیدن 	<ol style="list-style-type: none"> ۱. سهولت در حمل و نقل و افزایش طول با وصله، ۲. قدرت تحمل تنش های بالا در هنگام کوبیدن، ۳. ظرفیت باربری بالا (معمولا ۳۰ تا ۱۲۰ تن) ۴. طول نامحدود (معمولا ۱۵ تا ۶۰ متر) 	فولادی
<ol style="list-style-type: none"> ۱. ایجاد خلل و فرج در بتن ۲. ریزش خاک در بتن درجا بدون غلاف 	<ol style="list-style-type: none"> ۱. قیمت مناسب ۲. امکان بازدید خاک قبل از عملیات بتن ریزی ۳. امکان افزایش طول یا قطع در هر تراز ۴. اجرا در طول های متوسط (معمولا ۱۰ تا ۱۵ متر) و ظرفیت ۳۰ تا ۳۰۰ تن 	بتنی درجا
<ol style="list-style-type: none"> ۱. عدم امکان افزایش طول ۲. سختی حمل و نقل ۳. شکستگی در سر شمع هنگام کوبش 	<ol style="list-style-type: none"> ۱. مقاوم در مقابل خوردگی ۲. یکپارچگی با روسازه بتنی ۳. قابل استفاده در شرایط سخت ۴. عدم کمانش ۵. طول نسبتا زیاد (ماکزیمم ۶۰ متر) ۶. ظرفیت بالا (ماکزیمم ۸۵۰ تن) 	بتن پیش ساخته
<ol style="list-style-type: none"> ۱. فساد در تراز بالای آب ۲. ایجاد صدمه در موقع کوبیدن ۳. ظرفیت باربری کم ۴. کاهش ظرفیت باربری در وصله ها ۵. طول محدود 	<ol style="list-style-type: none"> ۱. اقتصادی مناسب است ۲. سهولت حمل و نقل ۳. مقاوم در مقابل فساد برای شمع های غوطه ور دائمی 	چوبی

4

ظرفیت باربری سازه ای شمع ها از لحاظ مصالح:

$$Q_{all} = A_s f_s, \quad f_s \approx 0.33 - 0.5 f_y$$

شمع های فولادی:

Q_{all} : بار مجاز از لحاظ سازه ای، f_s و f_y : به ترتیب تنش مجاز و جاری فولاد،
و A_s : سطح مقطع شمع فولادی

شمع های بتنی غلافدار:

$$Q_{all} = A_s f_s + A_c f_c,$$

Q_{all} : بار مجاز از لحاظ سازه ای، f_s و f_c : به ترتیب تنش مجاز فولاد و بتن
و A_c و A_s : به ترتیب سطح مقطع بخش فولادی و بتنی

شمع های بتنی بدون غلاف:

$$Q_{all} = A_c f_c,$$

Q_{all} : بار مجاز از لحاظ سازه ای، f_c : تنش مجاز بتن
 A_c : سطح مقطع شمع بتنی

شمع های چوبی:

$$Q_{all} = A_w f_w,$$

Q_{all} : بار مجاز از لحاظ سازه ای، f_w : تنش مجاز چوب
 A_w : سطح مقطع شمع چوبی



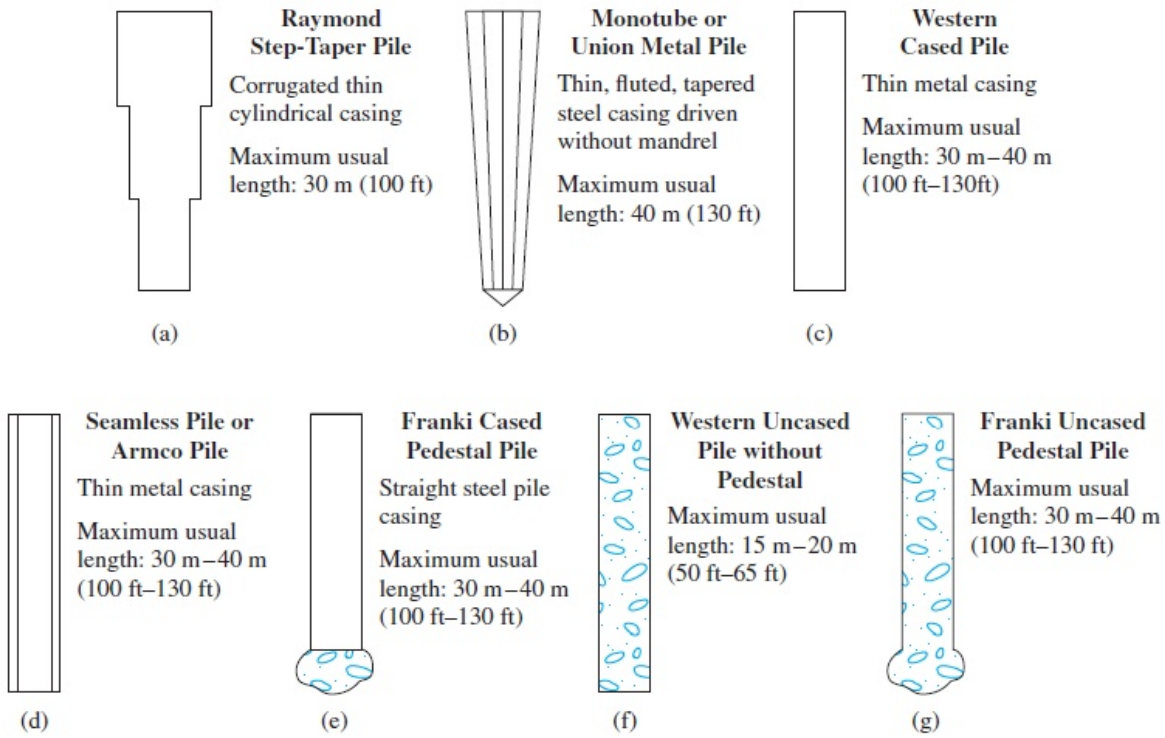
انواع شمع های بتنی از لحاظ اجرا:

۱- پیش ساخته: به دو صورت اجرا می شود:

الف) کوبشی یا ضربه ای (hammer driver) ب) ارتعاشی (vibratory driver)

۲- بتن درجا: نیاز به حفاری دارد و به دو صورت غلافدار و بدون غلاف اجرا می شود.

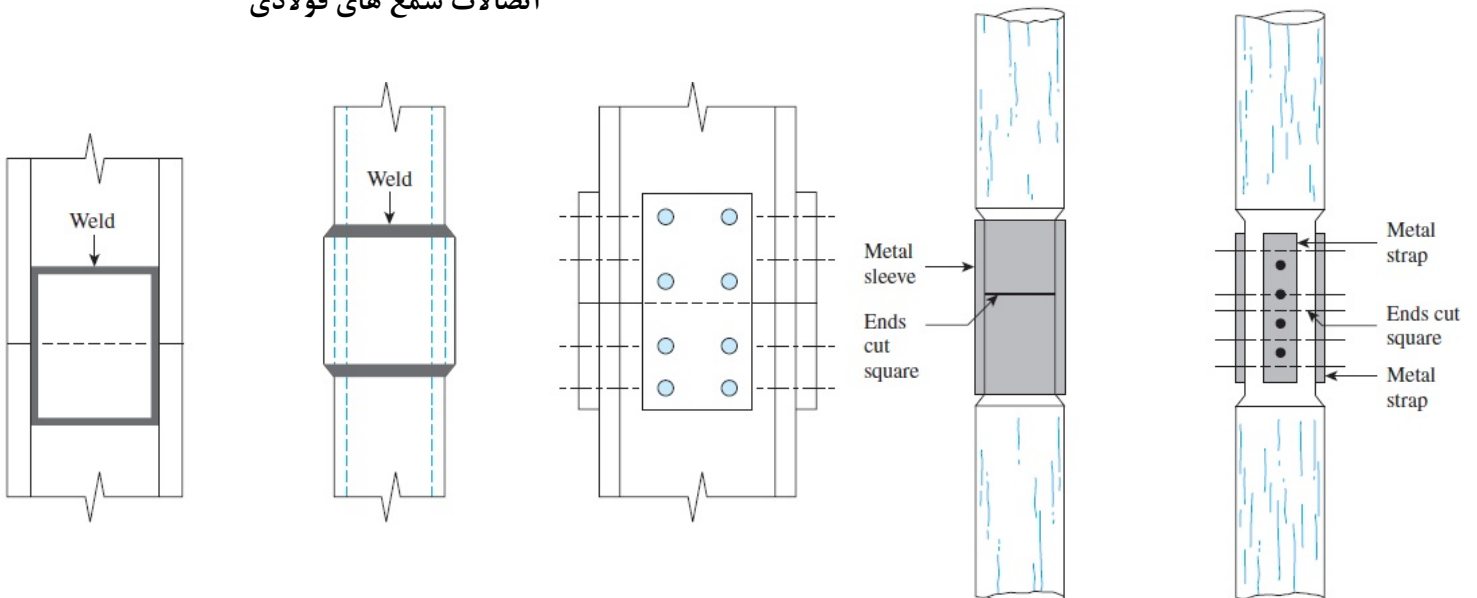
نمونه هایی از شمع های بتنی درجا ریز با غلاف (a, b, c, d) و بدون آن (f, g):



7

اتصالات شمع های چوبی

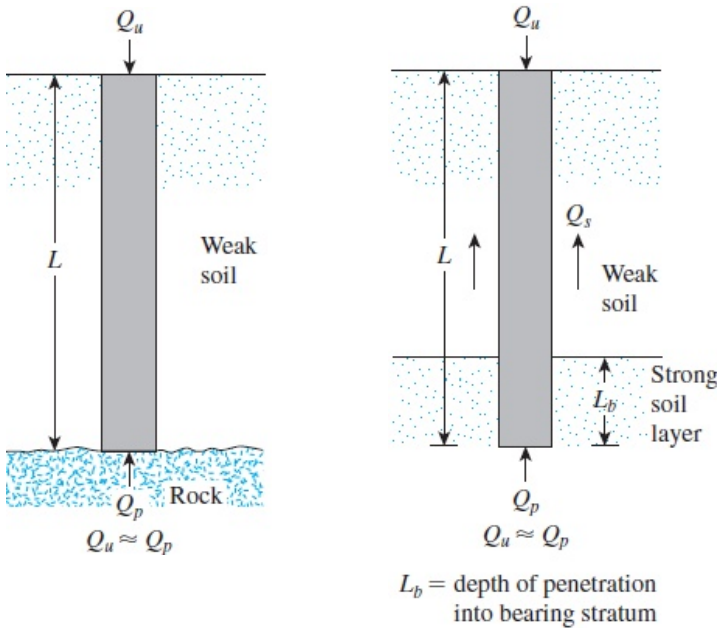
اتصالات شمع های فولادی



8

انواع شمع ها از لحاظ مکانیسم انتقال بار:

۱- اتکایی، ۲- اصطکاکی، ۳- تراکمی، ۴- ترکیبی



شمع های اتکایی:

اگر لایه سنگی یا خاک متراکم در عمق منطقی از سطح زمین قرار گیرد، سعی شود که شمع را تا لایه متراکم و یا لایه سنگی ادامه داد. همچنین باید سعی شود شمع ها چند متری در عمق سخت ادامه یابند. در این حالت اکثر بار وارده به شمع را نوک شمع تحمل می کند و می توان با گسترش دادن ابعاد نوک (با ایجاد پداستال) ظرفیت باربری نوک را افزایش داد.

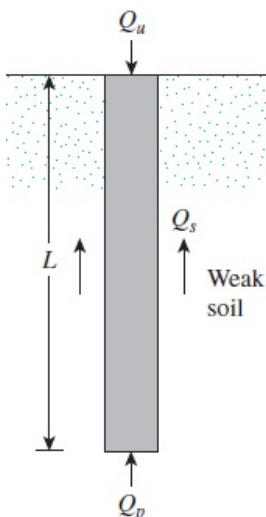
اگرچه این نوع شمع ها تا حدودی مقاومت اصطکاکی دارند ولی اثر آن را در مقابل با مقاومت نوک ناچیز است و از آن صرف نظر می شود.

$$Q_u = Q_s + Q_p \approx Q_p$$

9

انواع شمع ها از لحاظ مکانیسم انتقال بار:

۱- اتکایی، ۲- اصطکاکی، ۳- تراکمی، ۴- ترکیبی



شمع های اصطکاکی:

اگر لایه سنگی یا خاک متراکم در عمق زیادی از سطح زمین قرار گیرد، ادامه دادن شمع تا لایه متراکم و یا لایه سنگی منطقی نیست. در این حالت اکثر بار وارده به شمع را جدار شمع تحمل می کند و مقاومت نوک این نوع شمع ها ناچیز است و از آن صرف نظر می شود.

شمع های تراکمی:

اگر شمع در یک لایه دانه ای کوبیده شود باعث متراکم شدن آن لایه به ویژه در قسمت سطحی آن می شود. طول این شمع ها معمولا کوتاه هستند و معمولا به میزان تراکم قبل و بعد از کوبش خاک دانه ای بستگی دارد.

شمع های ترکیبی:

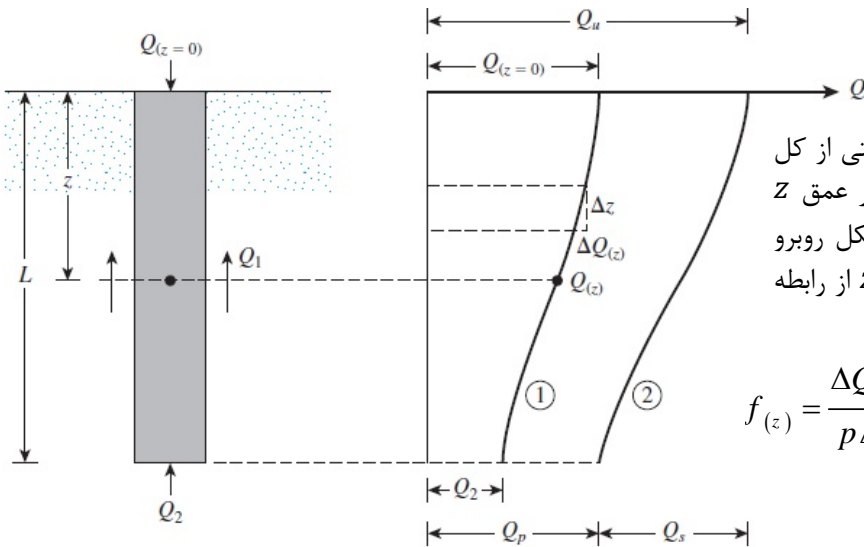
اکثر شمع ها که اجرا می شوند بار وارده بر آن را از هم به طریق اصطکاکی و هم بصورت اتکائی به خاک انتقال می دهند. این نوع شمع ها را ترکیبی می گویند.

$$Q_u = Q_s + Q_p$$

10

مکانیسم انتقال بار:

همانطور که قبلاً اشاره شد، بار وارده به شمع به دو طریق اصطکاکی و اتکائی به خاک انتقال می یابد. برای فهم مکانیسم انتقال بار، شمعی به طول L را در نظر بگیرید. فرض شود بار وارده به شمع از صفر تا $Q_{(z=0)}$ افزایش یابد. قسمتی از این بار توسط اصطکاک بین جدار شمع و خاک Q_1 و بقیه توسط نوک Q_2 تحمل می شود.



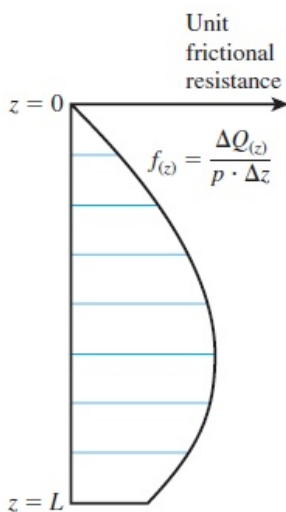
حال اینکه این سوال پیش می آید که Q_1 و Q_2 چه نسبتی از کل بار وارده هستند؟ اگر با ابزاری مقدار بار در جدار شمع در عمق Z ، $Q(z)$ ، تعیین کنیم، به طور طبیعی تغییرات آن مثل شکل روبرو خواهد بود. مقاومت اصطکاکی واحد سطح $f(z)$ در عمق Z از رابطه زیر بدست می آید:

$$f(z) = \frac{\Delta Q_{(z)}}{p \Delta z} \Rightarrow \Delta Q_{(z)} = f(z) p \Delta z \Rightarrow Q_s = \int f(z) p dz$$

که در آن p محیط شمع است.

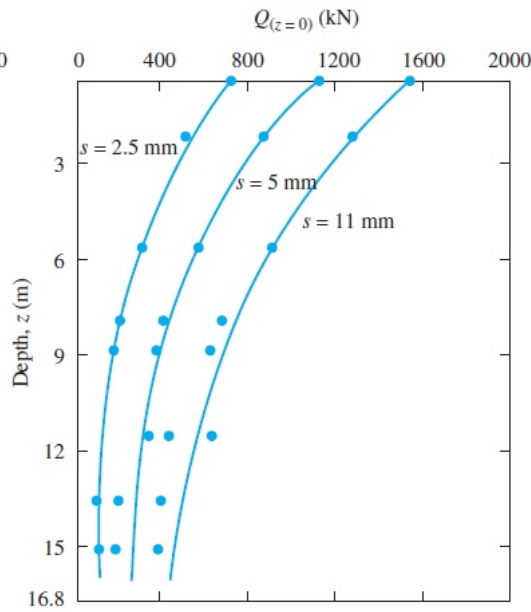
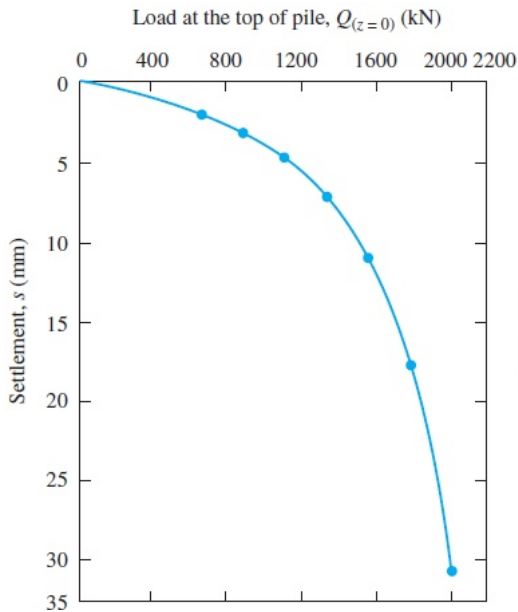
مکانیسم انتقال بار:

تغییرات $f(z)$ بر حسب عمق Z مطابق شکل مقابل رسم شده است:



نکته بسیار مهم: برای اینکه حداکثر مقاومت جدار اصطکاک بوجود بیاید (یعنی $Q_s = Q_1$) باید تغییر مکان نسبی بین خاک و شمع ۵ تا ۱۰ میلیمتر باشد ولی برای رسیدن به حداکثر مقاومت نوک (یعنی $Q_p = Q_2$)، جابجایی نسبی بین خاک و شمع $D(10\% - 25\%)$ باشد. بنابراین برای رسیدن مقاومتی حداکثری جدار نیاز به جابجایی نسبی به مراتب کوچکتری است.

مکانیسم انتقال بار: برای اثبات این قضیه به نتایج آزمایش بارگذاری شمع (Mansur and Hunter (1970) توجه کنید. ظرفیت باربری نهایی جدار و نوک در این آزمایش برابر است با:



$$Q_u = 1601 \text{ kN},$$

$$Q_p = 416 \text{ kN},$$

$$Q_s = 1185 \text{ kN}.$$

وقتی نشست شمع ۲.۵ میلیمتر باشد مقادیر نیرویی جدار و نوک برابر است با:

$$Q_{(z=0)} = 667 \text{ kN},$$

$$Q_2 = 93 \text{ kN},$$

$$Q_1 = 574 \text{ kN}.$$

بنابراین:

$$\frac{Q_2}{Q_2} = \frac{93}{416} = 22.4\%,$$

$$\frac{Q_1}{Q_s} = \frac{574}{1185} = 48.4\%$$

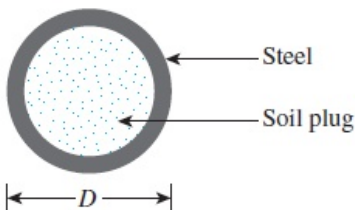
بنابراین می توان نتیجه گرفت که مقاومتی حداکثری جدار با جابجایی نسبی کوچکتری، با سرعت بیشتری به مقدار حداکثری خود می رسد.

چگونه می توان ظرفیت باربری شمع را تعیین کرد؟

برای تعیین ظرفیت باربری نهایی شمع نیاز است که ظرفیت جدار و نوک را به طور جداگانه محاسبه گردد و سپس با هم جمع گردد.

$$Q_u = Q_s + Q_p$$

تعیین ظرفیت باربری نوک Q_p :



(b) Open-Ended Pipe Pile Section

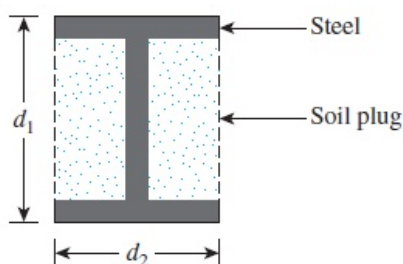
روش ترازقی برای محاسبه ظرفیت پی های سطحی:

$$q_u = CN_c S_c + q' N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma$$

از همین تکنیک برای شمع ها نیز استفاده می شود. با توجه به اینکه $B = D$ و ترم $0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma$ برای شمع ها ناچیز است، پس ظرفیت نوک از رابطه زیر تعیین می شود:

$$q_p = CN_c^* + q' N_q^*$$

$$Q_p = A_p q_p$$

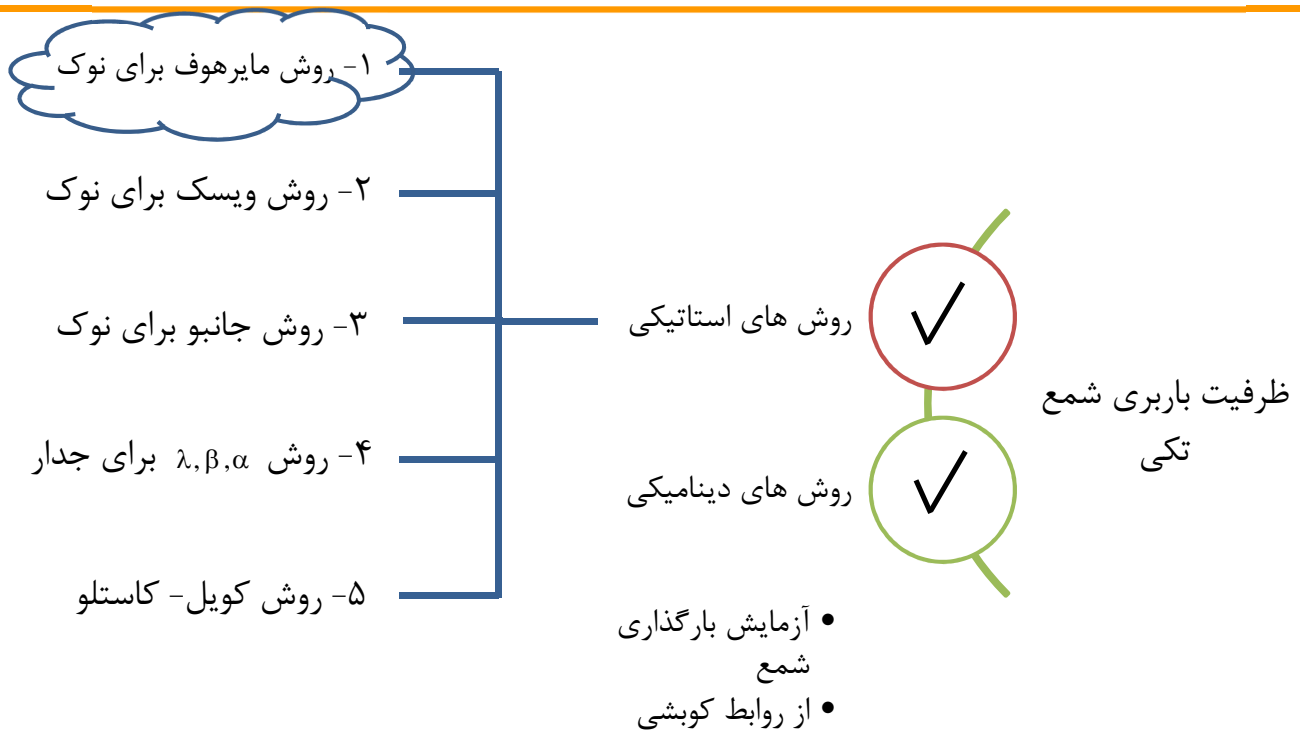


(c) H-Pile Section

که A_p سطح مقطع نوک شمع است. بطور مثال سطح مقطع نوک شمع در شکل های روبرو برابر است با مجموع سطح مغزه خاکی و شمع.

روشهای مختلفی برای تعیین N_c^* و N_q^* وجود دارد که در ادامه به آن می پردازیم.

(Note: A_p = area of steel + soil plug)



15

Table 9.5 Interpolated Values of N_q^* Based on Meyerhof's Theory

Soil friction angle, ϕ (deg)	N_q^*
20	12.4
21	13.8
22	15.5
23	17.9
24	21.4
25	26.0
26	29.5
27	34.0
28	39.7
29	46.5
30	56.7
31	68.2
32	81.0
33	96.0
34	115.0
35	143.0
36	168.0
37	194.0
38	231.0
39	276.0
40	346.0
41	420.0
42	525.0
43	650.0
44	780.0
45	930.0

روش مایرهورف برای ظرفیت نوک:

1- روش دانه ای ($c = 0$):

$$q_p = q' N_q^* < 50 N_q^* \tan \phi \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$Q_p = A_p q_p$$

2- برای رس اشباع ($\phi = 0$):

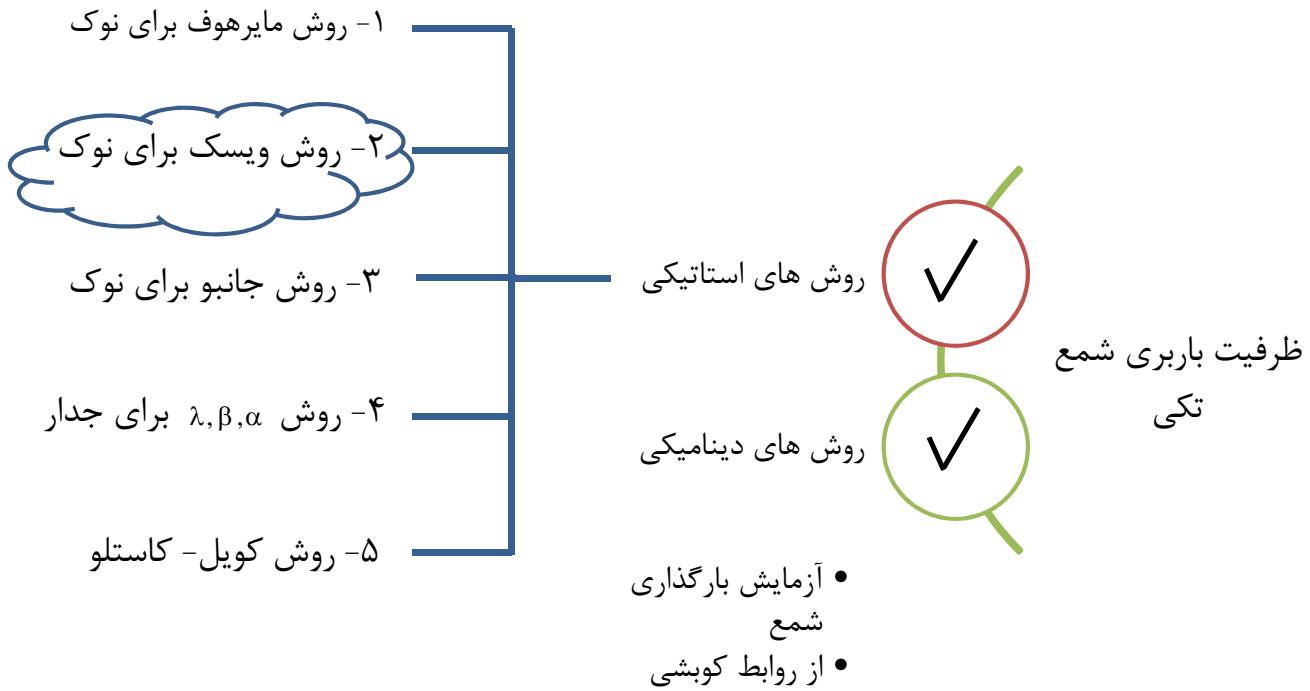
$$q_p = c_u N_c^* = 9c_u$$

ظرفیت باربری نوک برای خاک دانه ای از آزمایش SPT و CPT

$$q_p = 40 N_{60} \frac{L}{D} < 400 N_{60} \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$q_p \approx q_c$$

16



17

روش ویسک برای ظرفیت نوک:

$$q_p = cN_c^* + q'N_q^*, \quad Q_p = q_p A_p$$

$$N_\sigma^* = \frac{3}{3 - \sin[\varphi]} \left\{ e^{\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) \tan[\varphi]} \tan\left[\frac{\varphi}{2} + \frac{\pi}{4}\right]^2 I_{rr}^{\frac{4 \sin \varphi}{3(1 + \sin[\varphi])}} \right\}$$

$$N_q^* = \frac{1 + 2K_0}{3} N_\sigma^*, \quad N_c^* = \begin{cases} (N_q^* - 1) \cot \varphi, & \varphi > 0 \\ \frac{1}{6} (14 + 3\pi + 8 \ln(I_{rr})) & \varphi = 0 \end{cases}$$

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta}, \quad I_r = \text{rigidity index} = \frac{E_s}{2(1 + \mu)q' \tan \varphi} = \frac{G_s}{q' \tan \varphi}$$

$$\mu = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\varphi - 25}{20} \right) \text{ for } 25^\circ \leq \varphi \leq 45^\circ, \quad \Delta = 0.005 \left(1 - \frac{\varphi - 25}{20} \right) \frac{q'}{p_a}, \quad p_a = 100 \text{ kPa}$$

$$I_r = \frac{300}{F_r (\%)} \text{ for mechanical CPT}$$

$$I_r = \frac{170}{F_r (\%)} \text{ for electric CPT}$$

این روش برای محاسبه ظرفیت باربری نوک شمع به کار می رود و بر مبنای تئوری انبساط حفره ای قابل اثبات است

μ : ضریب پواسون

Δ : کرنش متوسط حجمی در تراز نوک شمع

φ : زاویه اصطکاک خاک

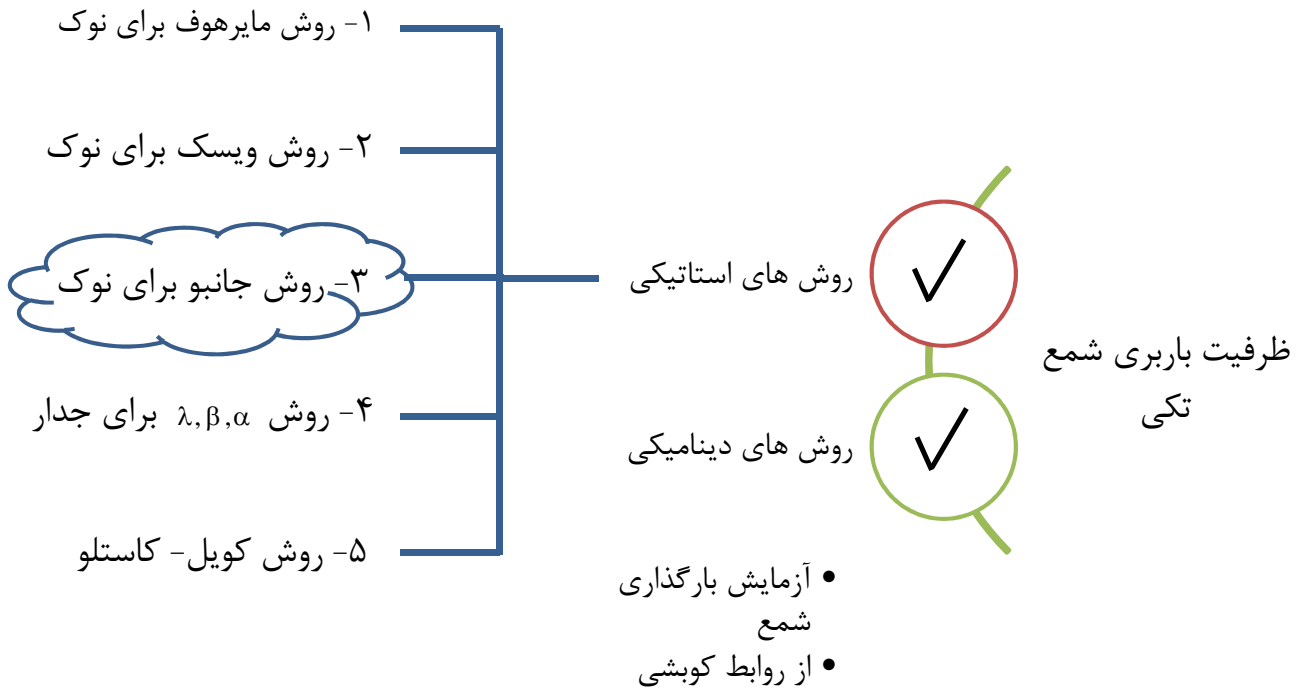
E_s و G_s : مدول الاستیسیته و برشی خاک

q' : تنش موثر در تراز نوک شمع

F_r : ضریب اصطکاک در آزمایش CPT

ارتباط تجربی I_r با نتایج آزمایش CPT:

18



19

روش جانبو (Janbu 's method, 1976) برای ظرفیت نوک:

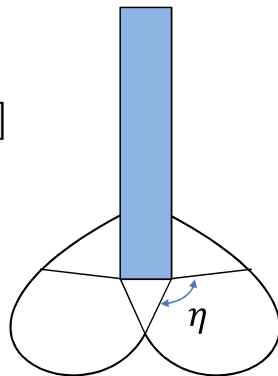
این روش نیز برای محاسبه ظرفیت باربری نوک شمع به کار می رود.

که در آن η از ۷۰ درجه برای رس های نرم تا ۱۰۵ درجه برای ماسه متراکم قابل تغییر است.

$$q_p = cN_c + q'N_q, \quad Q_p = q_p A_p$$

$$N_q = \left(\tan \varphi + \sqrt{1 + \tan^2 \varphi} \right)^2 \exp[2\eta' \tan \varphi]$$

$$N_c = \begin{cases} (N_q - 1) \cot[\varphi], & \varphi > 0 \\ 2 \times (1 + \eta'), & \varphi = 0 \end{cases}$$



20

ظرفیت جدار شمع در خاک دانه ای:

$$Q_s = \int p(z) f_s(z) dz$$

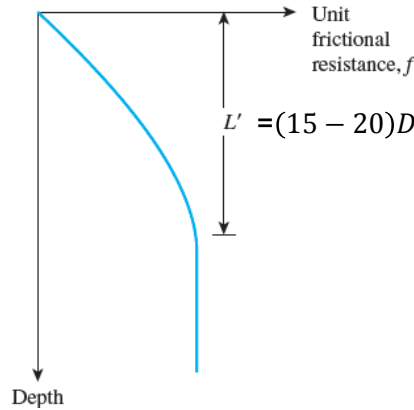
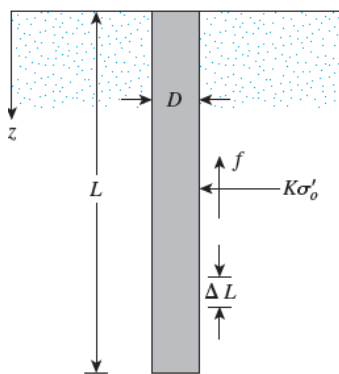
به طور کلی برای تعیین ظرفیت باربری جدار شمع از رابطه مقابل استفاده می کنیم:

$$f_s(z) = K \sigma'_v \tan \delta, \quad \delta = (0.5 \text{ to } 0.7)\varphi, \quad K_0 = 1 - \sin \varphi$$

φ : زاویه اصطکاک خاک

$K = K_0 = 1 - \sin \varphi$	شمع حفاری شده یا کوبیده شده با جت آب
$K = K_0$ حد پایین	شمع کوبیده شده با جابجایی کم
$K = 1.4K_0$ حد بالا	شمع کوبیده شده با جابجایی زیاد
$K = 1.8K_0$ حد بالا	شمع کوبیده شده با جابجایی زیاد (رابطه تجربی بوسن)
$K = 0.5 + 0.008D_r$ (%)	

نکته مهم: در عمق های پایین تر از $(15 - 20)D$ مقدار $f_s(z)$ ثابت فرض می شود اگرچه σ'_v تغییر می کند.



ارتباط با SPT:

شمع کوبیده شده با جابجایی کم

$$f_{av} \text{ (kN/m}^2\text{)} = \bar{N}_{60}$$

شمع کوبیده شده با جابجایی زیاد

$$f_{av} \text{ (kN/m}^2\text{)} = 2\bar{N}_{60}$$

$$Q_s = pL f_{av}$$

۱- روش مایرهورف برای نوک

۲- روش ویسک برای نوک

۳- روش جانبو برای نوک

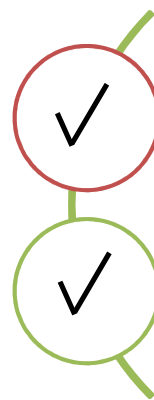
۴- روش λ, β, α برای جدار

۵- روش کوپل - کاستلو

روش های استاتیکی

روش های دینامیکی

- آزمایش بارگذاری شمع
- از روابط کوبشی



ظرفیت باربری شمع تکی

$$f_{av} = \lambda (\bar{\sigma}'_0 + 2c_u), \quad \bar{\sigma}'_0 : \text{average vertical effective stress}$$

ظرفیت باربری جدار شمع با استفاده از روش λ :

$$Q_s = pf_{av}L$$

در این روش مقاومت جلدی واحد سطح جانبی در خاک ها برابر است با:

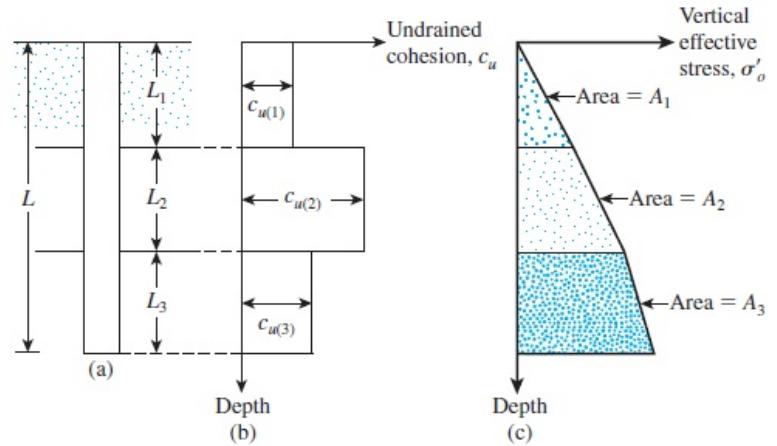
$$f_s = \lambda (\sigma'_0 + 2c_u), \quad \sigma'_0 : \text{vertical effective stress}$$

$$Q_s = \int pf_s dz$$

نکته: اگر خاک چند لایه باشد می توان متوسط تنش موثر قائم و مقاومت زهکشی نشده را از روابط زیر تعیین کرد و سپس با استفاده از رابطه استار مقاومت جلدی آن را تعیین کرد:

طول مدفون شمع

Embedment length, L (m)	λ
0	0.5
5	0.336
10	0.245
15	0.200
20	0.173
25	0.150
30	0.136
35	0.132
40	0.127
50	0.118
60	0.113
70	0.110
80	0.110
90	0.110



$$\bar{\sigma}'_0 = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + \dots}{L}, \quad c_u = \frac{c_{u(1)}L_1 + c_{u(2)}L_2 + c_{u(3)}L_3 + \dots}{L}$$

23

ظرفیت باربری جدار شمع با استفاده از روش آلفا:

این روش ساده توسط تاملینسون (Tomlinson) پیشنهاد شد. مقاومت جلدی واحد سطح جانبی در خاک های رسی در این روش برابر است با:

$$Q_s = \int pf_s dz \quad \text{or} \quad Q_s = \sum pf_s \Delta L \quad f_s = \alpha c_u \quad \alpha : \text{ضریب تجربی چسبندگی}$$

برای تعیین ضریب α روابط تجربی زیادی ارائه کردند که سه مورد از آن ها در زیر آمده است:

$$\text{Sladen (1992): } \alpha = C \left(\frac{\bar{\sigma}'_0}{c_u} \right)^{0.45},$$

$C \approx 0.4$ to 0.5 for bored piles; and ≥ 0.5 for driven piles,

$\bar{\sigma}'_0$: average vertical effective stress,

American Petroleum Institute (API) (2007):

$$\alpha = \max \left\{ 0.5 \left(\frac{\bar{\sigma}'_0}{c_u} \right)^{0.5}, 0.5 \left(\frac{\bar{\sigma}'_0}{c_u} \right)^{0.25} \right\}$$

Table 9.10 Variation of α
(Interpolated Values Based on
Terzaghi, Peck and Mesri, 1996)

$\frac{c_u}{p_a}$	α
≤ 0.1	1.00
0.2	0.92
0.3	0.82
0.4	0.74
0.6	0.62
0.8	0.54
1.0	0.48
1.2	0.42
1.4	0.40
1.6	0.38
1.8	0.36
2.0	0.35
2.4	0.34
2.8	0.34

Note: p_a = atmospheric pressure
 $\approx 100 \text{ kN/m}^2$ or 2000 lb/ft^2

24

ظرفیت باربری جدار شمع با استفاده از روش بتا:

وقتی شمع در خاک رسی اشباع کوبیده شود، اضافه فشار آب حفره ای تا ۴ الی ۶ برابر مقاومت زهکشی نشده در اطراف شمع افزایش می یابد. اما با گذشت زمان کم کم اضافه فشار آب ایجاد شده زایل می شود و مقاومت جدار اصطکاکی را می توان بر پایه تنش موثر رس برآورد کرد:

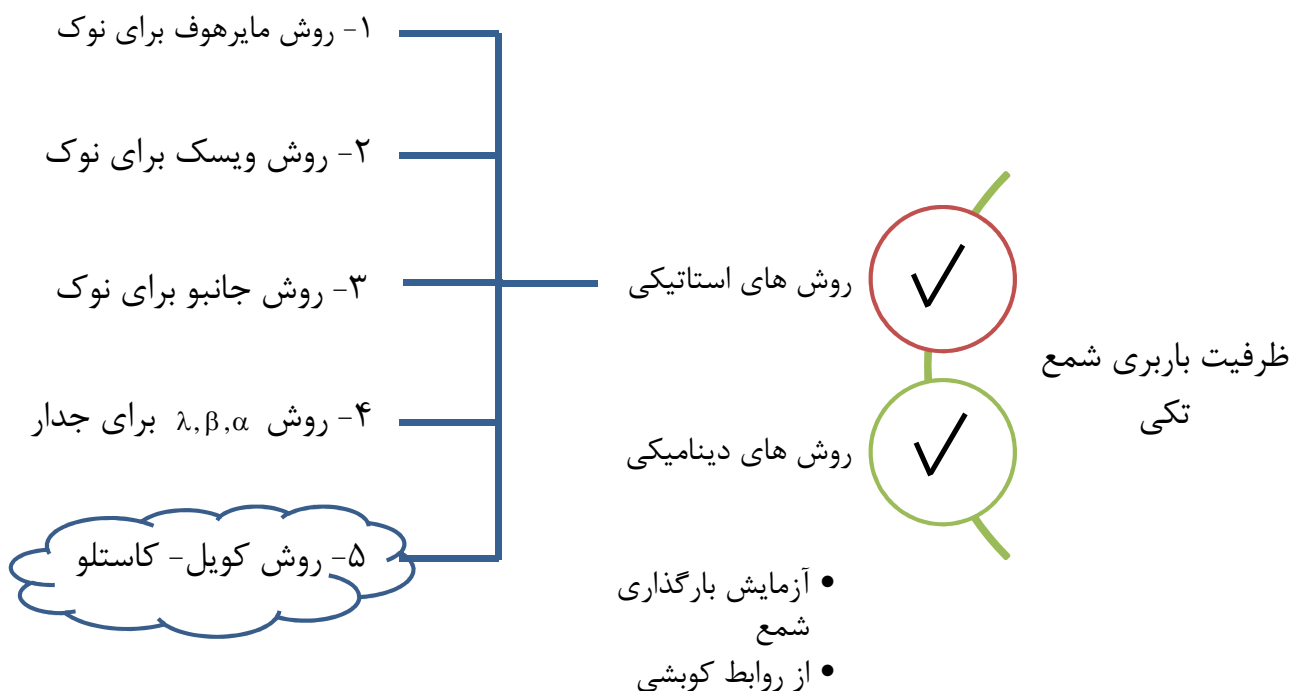
$$f_s = \beta \sigma'_0 \quad \sigma'_0 : \text{vertical effective stress}$$

$$\beta = K \tan \phi_R \quad \phi_R : \text{drain friction angle of remolded clay}$$

$$K = 1 - \sin \phi_R \quad \text{for NC clays}$$

$$K = 1 - \sin \phi_R \sqrt{\text{OCR}} \quad \text{for OC clays}$$

$$Q_s = \int p f_s dz \quad \text{or} \quad Q_s = \sum p f_s \Delta L$$



$$Q_u = Q_p + Q_s = q'N_q^*A_p + pf_{av}\Delta L$$

$$f_{av} = K\bar{\sigma}'_0 \tan \delta, \quad \bar{\sigma}'_0: \text{average vertical effective stress}$$

$$q_{u(\text{design})} = \frac{q_{u(\text{lab})}}{5}$$

$$q_p = q_{u(\text{design})}(N_\phi + 1) \quad N_\phi = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi'}{2}\right)$$

$$Q_{p(\text{all})} = \frac{q_{u(\text{design})}(N_\phi + 1)A_p}{FS}$$

ظرفیت باربری از روش کویل-کاستلو:

K و N_q^* از نمودارهای صفحات ۶۰۶ و ۶۰۷ کتاب اصول مهندسی پی (طاحونی) تعیین می گردد.

ظرفیت باربری شمع بر روی سنگ:

$q_{u(\text{lab})}$ و ϕ' مقاومت تک محوره و زاویه اصطکاک زهکشی شده سنگ است. با توجه به اینکه اگر ابعاد نمونه آزمایشگاهی را افزایش دهیم بدلیل اثر اندازه و مقیاس مقاومت تک محوره آن کمتر می شود. به همین دلیل در طراحی مقاومت تک محوره تعیین شده از آزمایشگاه را تا یک پنجم کاهش می دهیم.

Type of rock	$q_{u(\text{lab})}$	
	MN/m ²	Angle of friction, ϕ' (deg)
Sandstone	70–140	27–45
Limestone	105–210	30–40
Shale	35–70	10–20
Granite	140–210	40–50
Marble	60–70	25–30

نشست الاستیک کلی شمع:

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_{av}E_p}$$

$$S_2 = \frac{Q_{wp}D}{A_pE_s}(1 - \mu_s^2)I_{wp}$$

$$S_3 = \frac{Q_{ws}D}{pL_mE_s}(1 - \mu_s^2)I_{ws}$$

نشست الاستیک کلی شمع از مجموع ناشی از سه نشست است و بصورت زیر تعیین می شود:

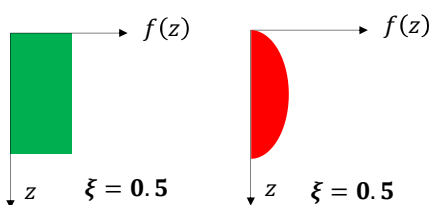
S_1 : نشست الاستیک بدنه شمع

S_2 : نشست شمع ناشی از بار نوک

S_3 : نشست شمع ناشی از بار جدار

$$I_{wp} = \alpha_r = 0.85 \text{ for circle section}$$

$$I_{ws} = 2 + 0.35\sqrt{\frac{L_m}{D}}$$



Q_{ws} : بار مجاز بهره برداری جدار شمع،

Q_{wp} : بار مجاز بهره برداری نوک شمع،

L_m : طول مدفون شمع،

L : طول کل شمع،

A_p : سطح مقطع نوک شمع،

I_{wp} : ضریب تاثیر،

μ_s : ضریب پواسون خاک،

A_p : سطح مقطع نوک شمع،

D : عرض یا قطر شمع،

E_s : مدول الاستیسیته خاک،

E_p : مدول الاستیسیته شمع

p : محیط شمع

ξ : ضریبی است که به شکل تابع مقاومت اصطکام جانبی بستگی دارد و بین ۰.۵ تا ۰.۶۷ متغیر است.

مثال: شمع بتنی با مقطع هشت وجهی به ضلع ۱۴۶ میلی متری و به طول ۲۱ متر در داخل یک خاک ماسه ای با ظرفیت مجاز ۵۰۲ کیلونیوتن کوبیده شده است. اگر بار مجاز جدار شمع برابر با ۳۵۰ کیلونیوتن باشد مطلوبست تعیین نشست الاستیک کلی شمع؟

$$\xi = 0.62, E_p = 21 \times 10^6 \text{ kN/m}^2, E_s = 25 \times 10^3 \text{ kN/m}^2, \mu_s = 0.35, D = 356 \text{ mm}$$

$$p = 8 \times 0.146 = 1.168 \text{ m}, A_p = A_{av} = D^2 - 4 \times \frac{1}{2} \left(\frac{D-a}{2} \right)^2$$

$$A_p = A_{av} = (0.356)^2 - 2 \times \left(\frac{0.356 - 0.146}{2} \right)^2 = 0.104686 \text{ m}^2$$

$$Q_{wp} = Q_w - Q_{ws} = 502 - 350 = 152 \text{ kN}$$

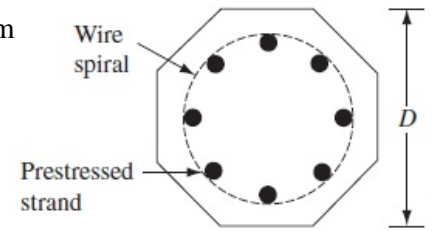
$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_{av} E_p} = \frac{(152 + 0.62 \times 350) \times 21}{0.104686 \times 21 \times 10^6} = 0.00352 \text{ m} = 3.52 \text{ mm},$$

$$S_2 = \frac{Q_{wp} D}{A_p E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} = \frac{152 \times 0.356}{0.104686 \times 25 \times 10^3} (1 - 0.35^2) \times 0.85 = 0.0155 \text{ m} = 15.5 \text{ mm},$$

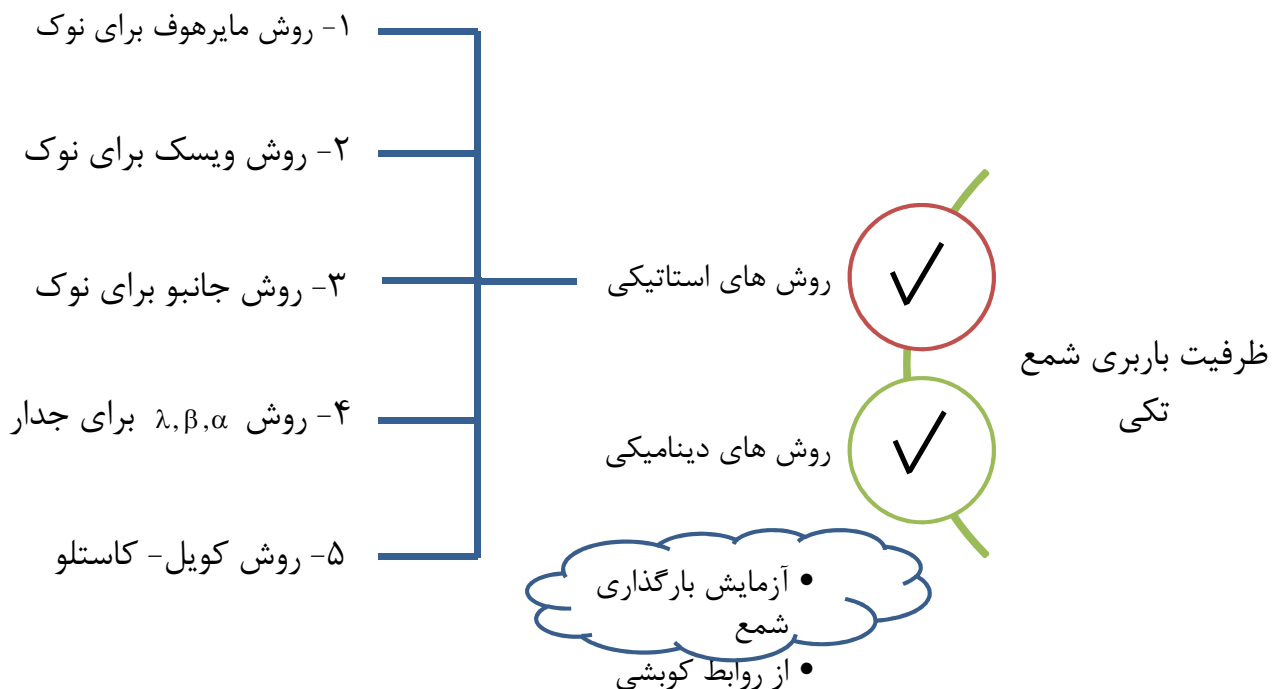
$$S_3 = \frac{Q_{ws} D}{p L_m E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}, \quad I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L_m}{D}} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{21}{0.356}} = 4.69$$

$$S_3 = \frac{350}{1.168 \times 21} \frac{0.356}{25 \times 10^3} (1 - 0.35^2) \times 4.69 = 0.00084 \text{ m} = 0.84 \text{ mm},$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 3.52 + 15.5 + 0.84 = 19.86 \text{ mm}$$

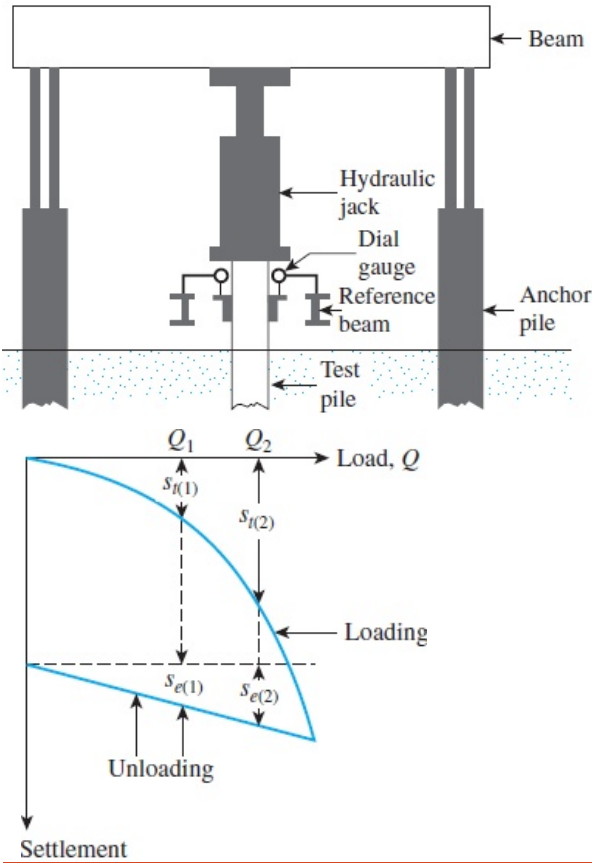


29



30

آزمایش بارگذاری شمع:



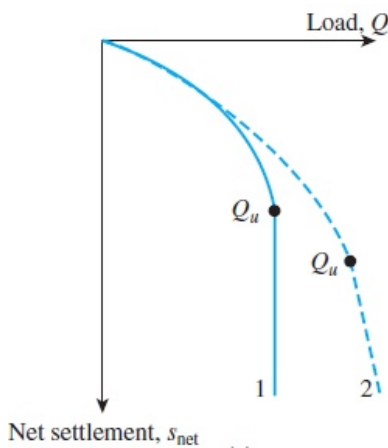
برای تعیین ظرفیت باربری شمع ها در پروژه های بزرگ این آزمایش نیاز است. می توان این آزمایش را برای شمع های کوبیده شده در ماسه، بلافاصله بعد از اجرا انجام داد ولی در خاکهای رسی باید ۳۰ الی ۶۰ روز صبر کنیم (چون خاک رس بدلیل دست خوردگی و حساسیت کاهش مقاومت دارد و با گذشت زمان مقاومت خود را مجدداً بدلیل خاصیت تیکسوتروپیک بدست می آورد). شکل روبرو شماتیکی از آزمایش بارگذاری شمع را نشان می دهد. نیروی فشاری توسط جک هیدرولیکی به شمع اعمال می شود. افزایش بار بصورت تدریجی و پله ای است و در هر مرحله بارگذاری حدوداً یک پنجم بار بهره برداری اعمال می شود و در نهایت باید بتواند دو برابر بار بهره برداری را تحمل کند. بعد از رسیدن به بار مورد نظر باربرداری می شود. نمودار تغییرات بار-نشست را برای حالت بارگذاری و باربرداری مطابق شکل روبرو ترسیم می کنیم. سپس نشست خالص برای هر بار را از رابطه زیر تعیین می کنیم:

$$\text{for } Q = Q_1 \Rightarrow s_{net(1)} = s_{t(1)} - s_{e(1)}$$

$$\text{for } Q = Q_2 \Rightarrow s_{net(2)} = s_{t(2)} - s_{e(2)}$$

31

ادامه آزمایش بارگذاری شمع:

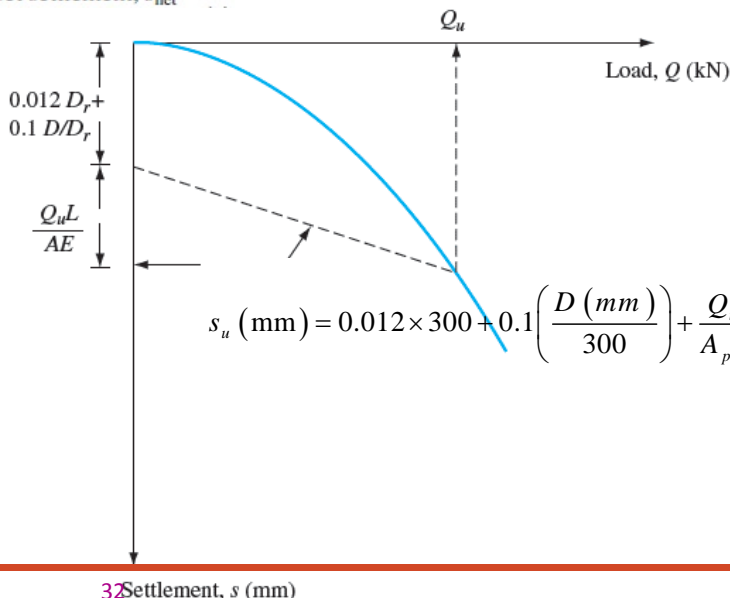


سپس با محاسبه نشست خالص به ازای بار نظیر منحنی آنرا مطابق شکل ترسیم می کنیم نمودار تغییرات بار-نشست را برای حالت بارگذاری و باربرداری مطابق شکل روبرو ترسیم می کنیم. سپس بار نهایی نقطه اس که نمودار نشست خالص-بار به صورت خط قائم در آید (منحنی ۱).

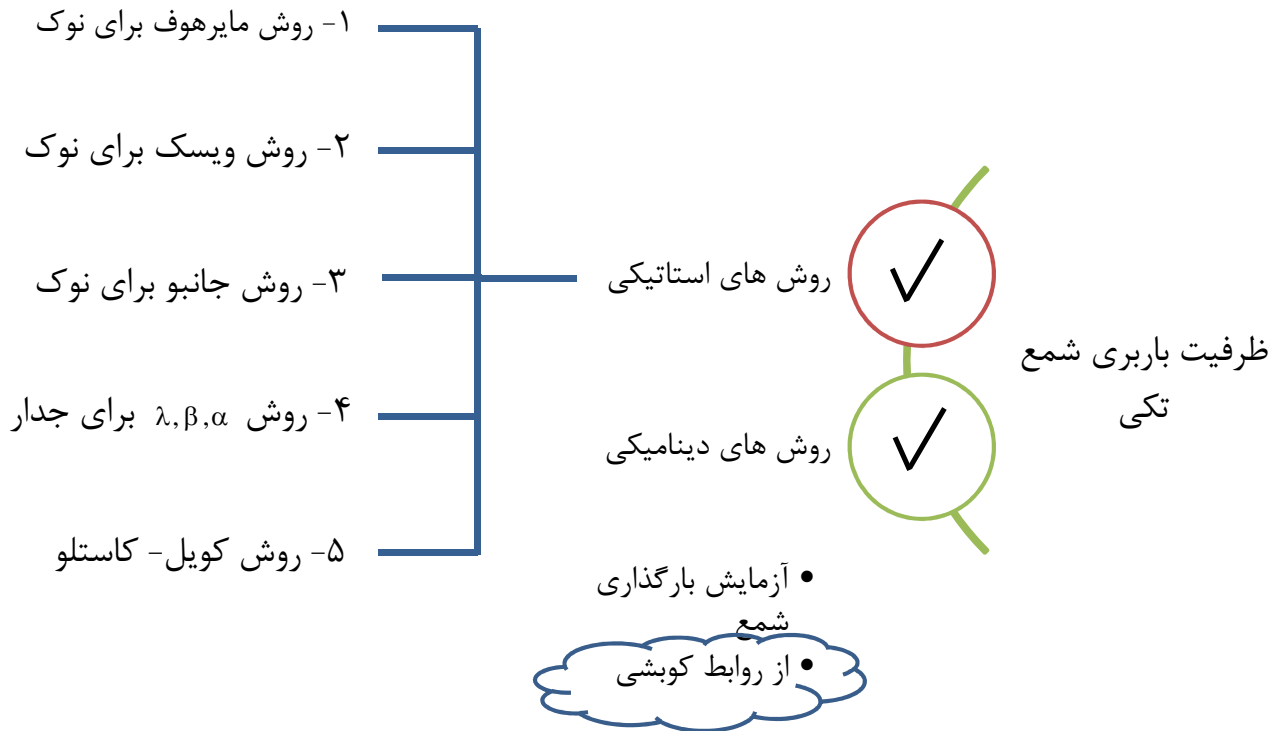
در اکثر مواقع منحنی قائم نیست و با شیب کم تغییر می کند (منحنی ۲) در اینصورت یکی از روش ها برای تعیین بار نهایی روش Davisson (1973) است. دیویسون، مقدار نشست ناشی از بار نهایی را از رابطه روبرو تعیین کرد.

از محل برخورد معادله دیویسون و منحنی نشست خالص-بار، مقدار بار نهایی تعیین می گردد.

آزمایش فوق یک آزمایش بارکنترل یا تنش کنترل است. من آزمایش را به صورت کرنش کنترل نیز انجام داد. بدین صورت که شمع با آهنگی معادل ۰,۲۵ تا ۲,۵ میلیمتر بر دقیقه کوبیده می شود. سپس بار قرائت می شود و منحنی بار-نشست ترسیم می گردد.



32 Settlement, s (mm)



33

ظرفیت باربری شمع با استفاده از روابط کوبش Pile-Driving Formulas

۱- ساده ترین روش، روش EN (*Engineering News (EN) Record formula*) است که بر مبنای تئوری انرژی می باشد.

انرژی وارده هر ضربه از چکش = میزان مقاومت شمع در میزان نفوذ در هر ضربه

$$Q_u = \frac{W_R h}{S + C}$$

W_R = weight of the ram
 h = height of fall of the ram
 S = penetration of pile per hammer blow
 C = a constant

$$C = \begin{cases} 25.4 \text{ mm} & \text{if } S \text{ and } h \text{ are in mm} \\ 1 \text{ in.} & \text{if } S \text{ and } h \text{ are in inches} \end{cases}$$

برای چکش سقوطی یا ضربه ای

$$C = \begin{cases} 2.54 \text{ mm} & \text{if } S \text{ and } h \text{ are in mm} \\ 0.1 \text{ in.} & \text{if } S \text{ and } h \text{ are in inches} \end{cases}$$

برای چکش بخار

ضریب اطمینان معمولاً $FS = 6$ در نظر گرفته می شود.

34

Pile-Driving Formulas ظرفیت باربری شمع با استفاده از روابط کوبش

$$Q_u = \frac{EH_E}{S + C}$$

۲- روش EN بازبینی های زیادی شده است.

که در آن E بازده چکش و HE نرخ انرژی چکش است.

$$Q_u = \frac{EW_R h}{S + C} \frac{W_R + n^2 W_p}{W_R + W_p}$$

۳- روش EN اصلاح شده:

$$C = \begin{cases} 25.4 \text{ mm} & \text{if } S \text{ and } h \text{ are in mm} \\ 1 \text{ in.} & \text{if } S \text{ and } h \text{ are in inches} \end{cases}$$

برای چکش سقوطی یا ضربه ای

$$C = \begin{cases} 2.54 \text{ mm} & \text{if } S \text{ and } h \text{ are in mm} \\ 0.1 \text{ in.} & \text{if } S \text{ and } h \text{ are in inches} \end{cases}$$

برای چکش بخار

$$S = \frac{1}{N}$$

N : تعداد ضربات چکش به ازای یک اینچ نفوذ

W_p : وزن شمع و W_R : وزن چکش و n : ضریب بازگشت ارتجاعی شمع و چکش

Typical values for E

Single- and double-acting hammers	0.7–0.85
Diesel hammers	0.8–0.9
Drop hammers	0.7–0.9

Typical values for n

Cast-iron hammer and concrete piles (without cap)	0.4–0.5
Wood cushion on steel piles	0.3–0.4
Wooden piles	0.25–0.3

Pile-Driving Formulas ظرفیت باربری شمع با استفاده از روابط کوبش

$$Q_u = \frac{EH_E}{S + C}$$

۲- روش EN بازبینی های زیادی شده است.

که در آن E بازده چکش و HE نرخ انرژی چکش است.

$$Q_u = \frac{EW_R h}{S + C} \frac{W_R + n^2 W_p}{W_R + W_p}$$

۳- روش EN اصلاح شده:

$$Q_u = \frac{EH_E}{S + \sqrt{\frac{EH_E L}{2A_p E_p}}}$$

۴- روش (Danish formula (Olson and Flaate, 1967)

که در آن L طول شمع، A_p و E_p به ترتیب سطح مقطع و مدول الاستیسیته شمع هستند.

۵- روش جانبی (Janbu, 1953):

$$Q_u = \frac{EH_E}{K'_u S}$$

$$K'_u = C_d \left(1 + \sqrt{1 + \frac{\lambda'}{C_d}} \right)$$

$$C_d = 0.75 + 0.14 \left(\frac{W_p}{W_R} \right)$$

$$\lambda' = \left(\frac{EH_E L}{A_p E_p S^2} \right)$$

مثال: شمع پیش ساخته بتنی به وزن کلاhek ۵۵۰ پوند و با مقطع ۱۲*۱۲ اینچ مربع کوبیده می شود.

داده ها: $W_R h = 30 \text{ kip-ft}$, $E = 0.80$, $L = 80 \text{ ft}$, $n = 0.4$, $N = 8$, $W_R = 7.5 \text{ kip}$, $E_p = 3 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$

$\gamma_c = 150 \text{ lb/ft}^3$, $1 \text{ kip} = 4448.2216 \text{ N}$

مطلوبست تعیین ظرفیت باربری شمع الف) از روش EN اصلاح شده با ضریب اطمینان ۶ و ب) از روش دنیش با ضریب اطمینان ۴؟

Solution

Part a

$$Q_u = \frac{EW_R h}{S + C} \frac{W_R + n^2 W_p}{W_R + W_p}$$

$$\begin{aligned} \text{Weight of pile + cap} &= \left(\frac{12}{12} \times \frac{12}{12} \times 80 \right) (150 \text{ lb/ft}^3) + 550 \\ &= 12,550 \text{ lb} = 12.55 \text{ kip} \end{aligned}$$

Given: $W_R h = 30 \text{ kip-ft}$.

$$Q_u = \frac{(0.8)(30 \times 12 \text{ kip-in.})}{\frac{1}{8} + 0.1} \times \frac{7.5 + (0.4)^2(12.55)}{7.5 + 12.55} = 607 \text{ kip}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} = \frac{607}{6} \approx 101 \text{ kip}$$

37

مثال: شمع پیش ساخته بتنی به وزن کلاhek ۵۵۰ پوند و با مقطع ۱۲*۱۲ اینچ مربع کوبیده می شود.

داده ها: $H_E = W_R h = 30 \text{ kip-ft}$, $E = 0.80$, $L = 80 \text{ ft}$, $n = 0.4$, $N = 8$, $W_R = 7.5 \text{ kip}$, $E_p = 3 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$

$\gamma_c = 150 \text{ lb/ft}^3$, $1 \text{ kip} = 4448.2216 \text{ N}$

مطلوبست تعیین ظرفیت باربری شمع الف) از روش EN اصلاح شده با ضریب اطمینان ۶ و ب) از روش دنیش با ضریب اطمینان ۴؟

Part b

$$Q_u = \frac{EH_E}{S + \sqrt{\frac{EH_E L}{2A_p E_p}}}$$

Use $E_p = 3 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$.

$$\sqrt{\frac{EH_E L}{2A_p E_p}} = \sqrt{\frac{(0.8)(30 \times 12)(80 \times 12)}{2(12 \times 12)\left(\frac{3 \times 10^6}{1000} \text{ kip/in}^2\right)}} = 0.566 \text{ in.}$$

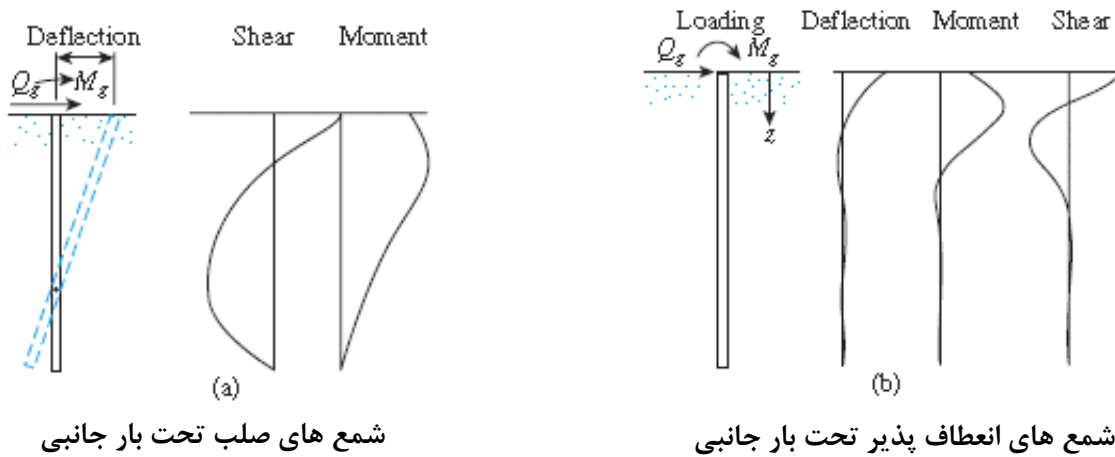
$$Q_u = \frac{(0.8)(30 \times 12)}{\frac{1}{8} + 0.566} \approx 417 \text{ kip}$$

$$Q_{all} = \frac{417}{4} \approx 104 \text{ kip}$$

38

شمع ها تحت بار جانبی (Laterally Loaded Piles)

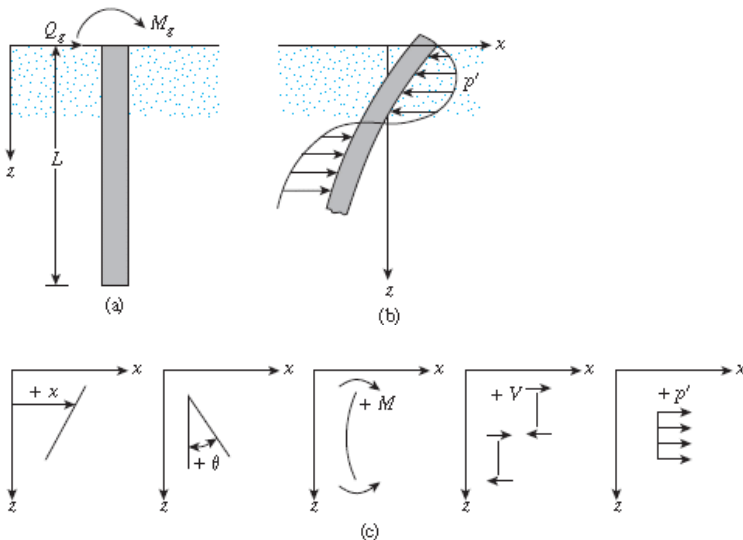
شمع ها به کمک فشار مقاوم در مقابل بار جانبی مقاومت می کنند. چگونگی پخش فشار خاک به سختی خاک و شمع و همین طور تکیه گاه انتهای شمع وابسته است. بطور کلی شمع ها تحت بار جانبی یا بصورت صلب عمل می کنند یا انعطاف پذیر



39

حل الاستیک شمع ها تحت بار جانبی

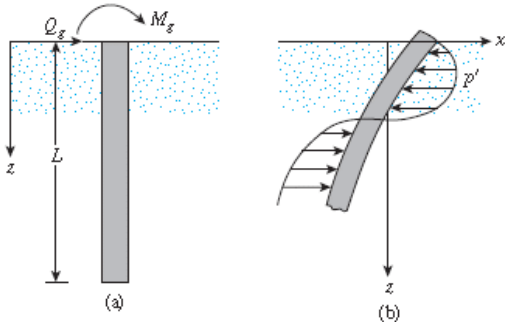
هدف از حل کشسان شمع تحت بار جانبی تعیین جابجایی، لنگر و برش در شمع و همین طور تعیین فشار جانبی خاک است.



40

حل الاستیک شمع ها تحت بار جانبی

مطابق با مدل ساده وینکلر می توان خاک را به صورت فنرهای با سختی زیر در نظر گرفت:



$$k = \frac{p'(\text{kN/m})}{x(\text{m})}$$

که در آن فشار جانبی خاک، x جابجایی جانبی شمع و k مدول سختی بستر می باشند. با مدل کردن خاک به صورت فنرها معادله حاکم بر شمع همان رابطه تیر الاستیک است. بنابراین داریم:

$$E_p I_p \frac{d^4 x}{dz^4} = p' \quad p' = -kx$$

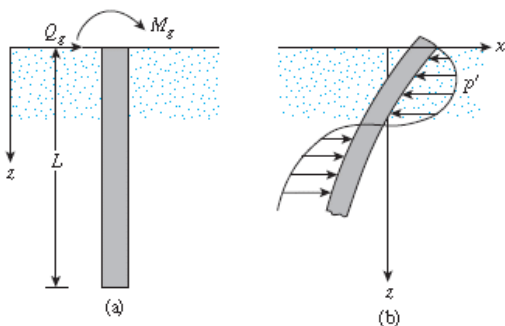
$$E_p I_p \frac{d^4 x}{dz^4} + kx = 0$$

E_p = modulus of elasticity in the pile material
 I_p = moment of inertia of the pile section

41

حل الاستیک شمع ها تحت بار جانبی

$$E_p I_p \frac{d^4 x}{dz^4} + kx = 0 \quad k_z = n_h z$$



$$x_z(z) = A_x \frac{Q_g T^3}{E_p I_p} + B_x \frac{M_g T^2}{E_p I_p}$$

جابجایی افقی:

$$\theta_z(z) = A_\theta \frac{Q_g T^2}{E_p I_p} + B_\theta \frac{M_g T}{E_p I_p}$$

شیب شمع:

$$M_z(z) = A_m Q_g T + B_m M_g$$

لنگر شمع:

$$V_z(z) = A_v Q_g + B_v \frac{M_g}{T}$$

برش شمع:

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{n_h}}$$

$$p'_z(z) = A_{p'} \frac{Q_g}{T} + B_{p'} \frac{M_g}{T^2}$$

فشار جانبی خاک:

42

$$Z = \frac{z}{T}$$

شمع بلند یا الاستیک: $\frac{L}{T} \geq 5$

حل الاستیک شمع ها تحت بار جانبی

Table 9.15 Coefficients for Long Piles, $k_z = n_h z$

Z	A_x	A_θ	A_m	A_v	A_p	B_x	B_θ	B_m	B_v	B_p
0.0	2.435	-1.623	0.000	1.000	0.000	1.623	-1.750	1.000	0.000	0.000
0.1	2.273	-1.618	0.100	0.989	-0.227	1.453	-1.650	1.000	-0.007	-0.145
0.2	2.112	-1.603	0.198	0.956	-0.422	1.293	-1.550	0.999	-0.028	-0.259
0.3	1.952	-1.578	0.291	0.906	-0.586	1.143	-1.450	0.994	-0.058	-0.343
0.4	1.796	-1.545	0.379	0.840	-0.718	1.003	-1.351	0.987	-0.095	-0.401
0.5	1.644	-1.503	0.459	0.764	-0.822	0.873	-1.253	0.976	-0.137	-0.436
0.6	1.496	-1.454	0.532	0.677	-0.897	0.752	-1.156	0.960	-0.181	-0.451
0.7	1.353	-1.397	0.595	0.585	-0.947	0.642	-1.061	0.939	-0.226	-0.449
0.8	1.216	-1.335	0.649	0.489	-0.973	0.540	-0.968	0.914	-0.270	-0.432
0.9	1.086	-1.268	0.693	0.392	-0.977	0.448	-0.878	0.885	-0.312	-0.403
1.0	0.962	-1.197	0.727	0.295	-0.962	0.364	-0.792	0.852	-0.350	-0.364
1.2	0.738	-1.047	0.767	0.109	-0.885	0.223	-0.629	0.775	-0.414	-0.268
1.4	0.544	-0.893	0.772	-0.056	-0.761	0.112	-0.482	0.688	-0.456	-0.157
1.6	0.381	-0.741	0.746	-0.193	-0.609	0.029	-0.354	0.594	-0.477	-0.047
1.8	0.247	-0.596	0.696	-0.298	-0.445	-0.030	-0.245	0.498	-0.476	0.054
2.0	0.142	-0.464	0.628	-0.371	-0.283	-0.070	-0.155	0.404	-0.456	0.140
3.0	-0.075	-0.040	0.225	-0.349	0.226	-0.089	0.057	0.059	-0.213	0.268
4.0	-0.050	0.052	0.000	-0.106	0.201	-0.028	0.049	-0.042	0.017	0.112
5.0	-0.009	0.025	-0.033	0.015	0.046	0.000	-0.011	-0.026	0.029	-0.002

43

$$k_z = n_h z$$

حل الاستیک شمع ها تحت بار جانبی

Soil	n_h	
	kN/m ³	lb/in ³
Dry or moist sand		
Loose	1800–2200	6.5–8.0
Medium	5500–7000	20–25
Dense	15,000–18,000	55–65
Submerged sand		
Loose	1000–1400	3.5–5.0
Medium	3500–4500	12–18
Dense	9000–12,000	32–45

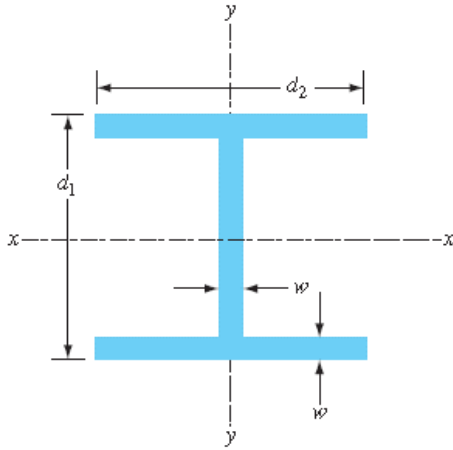
44

مثال: شمع با مقطع زیر و طول ۲۵ متر را در نظر بگیرید. اگر جابجایی مجاز افقی برابر با ۸ میلی متر باشد مطلوبست تعیین ظرفیت باربری مجاز جانبی شمع؟

$$n_h = 12000 \text{ kN/m}^3, \quad M_g = 0, \quad E_p = 207 \times 10^6 \text{ kN/m}^2, \quad I_p = 123 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$F_y = 248000 \text{ kN/m}^2, \quad d_1 = 254 \text{ mm}, \quad d_2 = 260 \text{ mm}, \quad w = 14.4 \text{ mm}$$

ممان اینرسی در جهت x



$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{n_h}} = \sqrt[5]{\frac{(207 \times 10^6)(123 \times 10^{-6})}{12,000}} = 1.16 \text{ m}$$

پس شمع بلند محسوب می شود. $L/T = 25/1.16 = 21.55 > 5$

$$x_z(z) = A_x \frac{Q_g T^3}{E_p I_p} \quad Q_g = \frac{x_z(z) E_p I_p}{A_x T^3}$$

از جدول: $z = 0, x_z = 8 \text{ mm} = 0.008 \text{ m}$ and $A_x = 2.435$

45

$$z = 0, x_z = 8 \text{ mm} = 0.008 \text{ m} \text{ and } A_x = 2.435$$

$$Z = \frac{z}{T}$$

Table 9.15 Coefficients for Long Piles, $k_z = n_k z$

Z	A_x	A_f	A_m	A_v	A_p	B_x	B_f	B_m	B_v	B_p
0.0	2.435	-1.623	0.000	1.000	0.000	1.623	-1.750	1.000	0.000	0.000
0.1	2.273	-1.618	0.100	0.989	-0.227	1.453	-1.650	1.000	-0.007	-0.145
0.2	2.112	-1.603	0.198	0.956	-0.422	1.293	-1.550	0.999	-0.028	-0.259
0.3	1.952	-1.578	0.291	0.906	-0.586	1.143	-1.450	0.994	-0.058	-0.343
0.4	1.796	-1.545	0.379	0.840	-0.718	1.003	-1.351	0.987	-0.095	-0.401
0.5	1.644	-1.503	0.459	0.764	-0.822	0.873	-1.253	0.976	-0.137	-0.436
0.6	1.496	-1.454	0.532	0.677	-0.897	0.752	-1.156	0.960	-0.181	-0.451
0.7	1.353	-1.397	0.595	0.585	-0.947	0.642	-1.061	0.939	-0.226	-0.449
0.8	1.216	-1.335	0.649	0.489	-0.973	0.540	-0.968	0.914	-0.270	-0.432
0.9	1.086	-1.268	0.693	0.392	-0.977	0.448	-0.878	0.885	-0.312	-0.403
1.0	0.962	-1.197	0.727	0.295	-0.962	0.364	-0.792	0.852	-0.350	-0.364
1.2	0.738	-1.047	0.767	0.109	-0.885	0.223	-0.629	0.775	-0.414	-0.268
1.4	0.544	-0.893	0.772	-0.056	-0.761	0.112	-0.482	0.688	-0.456	-0.157
1.6	0.381	-0.741	0.746	-0.193	-0.609	0.029	-0.354	0.594	-0.477	-0.047
1.8	0.247	-0.596	0.696	-0.298	-0.445	-0.030	-0.245	0.498	-0.476	0.054
2.0	0.142	-0.464	0.628	-0.371	-0.283	-0.070	-0.155	0.404	-0.456	0.140
3.0	-0.075	-0.040	0.225	-0.349	0.226	-0.089	0.057	0.059	-0.213	0.268
4.0	-0.050	0.052	0.000	-0.106	0.201	-0.028	0.049	-0.042	0.017	0.112
5.0	-0.009	0.025	-0.033	0.015	0.046	0.000	-0.011	-0.026	0.029	-0.002

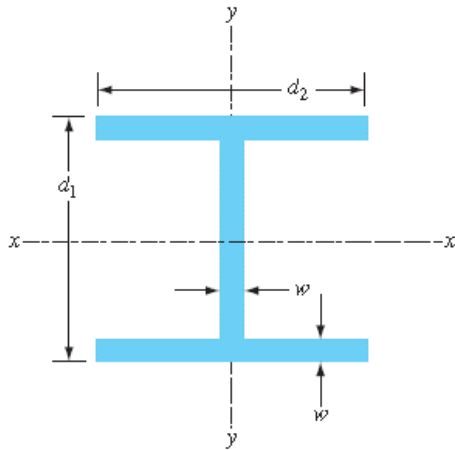
46

مثال: شمع با مقطع زیر و طول ۲۵ متر را در نظر بگیرید. اگر جابجایی مجاز افقی برابر با ۸ میلی متر باشد مطلوبست تعیین ظرفیت باربری مجاز جانبی شمع؟

$$n_h = 12000 \text{ kN/m}^3, \quad M_g = 0, \quad E_p = 207 \times 10^6 \text{ kN/m}^2, \quad I_p = 123 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$F_y = 248000 \text{ kN/m}^2, \quad d_1 = 254 \text{ mm}, \quad d_2 = 260 \text{ mm}, \quad w = 14.4 \text{ mm}$$

ممان اینرسی در جهت x :



$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{n_h}} = \sqrt[5]{\frac{(207 \times 10^6)(123 \times 10^{-6})}{12,000}} = 1.16 \text{ m}$$

پس شمع بلند محسوب می شود. $L/T = 25/1.16 = 21.55 > 5$

$$x_z(z) = A_x \frac{Q_g T^3}{E_p I_p} \quad Q_g = \frac{x_z(z) E_p I_p}{A_x T^3}$$

از جدول: $z = 0, x_z = 8 \text{ mm} = 0.008 \text{ m}$ and $A_x = 2.435$

$$Q_g = \frac{(0.008)(207 \times 10^6)(123 \times 10^{-6})}{(2.435)(1.16^3)} = 53.59 \text{ kN}$$

47

مثال: شمع با مقطع زیر و طول ۲۵ متر را در نظر بگیرید. اگر جابجایی مجاز افقی برابر با ۸ میلی متر باشد مطلوبست تعیین ظرفیت باربری مجاز جانبی شمع؟

$$n_h = 12000 \text{ kN/m}^3, \quad M_g = 0, \quad E_p = 207 \times 10^6 \text{ kN/m}^2, \quad I_p = 123 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$F_y = 248000 \text{ kN/m}^2, \quad d_1 = 254 \text{ mm}, \quad d_2 = 260 \text{ mm}, \quad w = 14.4 \text{ mm} \quad T = 1.16 \text{ m}$$

محاسبه ظرفیت باربری بر مبنای لنگر ماکزیمم:

$$F_y = \frac{M_{\max} \frac{d_1}{2}}{I_p} = 248000, \quad M_{\max} = 240.19 \text{ kN.m}$$

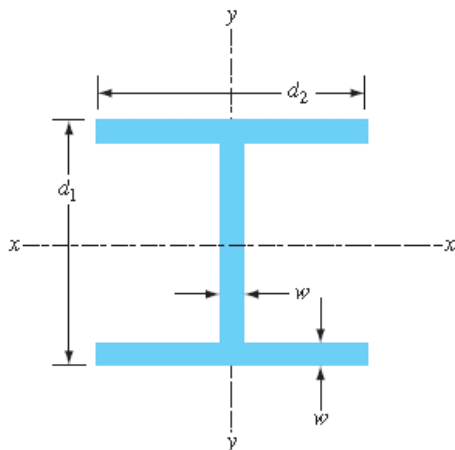
لنگر ماکزیمم قابل تحمل:

لنگر ماکزیمم قابل وارده:

$$M_z(z) = A_m Q_g T = M_{\max}$$

$$A_m = 0.772$$

از جدول:



48

$$Z = \frac{z}{T}$$

$$(A_m)_{\max} = 0.772,$$

$$Z = \frac{z}{1.16} = 1.4, \quad z = 1.624 \text{ m}$$

Table 9.15 Coefficients for Long Piles, $k_z = n_k z$

Z	A _x	A _β	A _m	A _v	A _ρ	B _x	B _β	B _m	B _v	B _ρ
0.0	2.435	-1.623	0.000	1.000	0.000	1.623	-1.750	1.000	0.000	0.000
0.1	2.273	-1.618	0.100	0.989	-0.227	1.453	-1.650	1.000	-0.007	-0.145
0.2	2.112	-1.603	0.198	0.956	-0.422	1.293	-1.550	0.999	-0.028	-0.259
0.3	1.952	-1.578	0.291	0.906	-0.586	1.143	-1.450	0.994	-0.058	-0.343
0.4	1.796	-1.545	0.379	0.840	-0.718	1.003	-1.351	0.987	-0.095	-0.401
0.5	1.644	-1.503	0.459	0.764	-0.822	0.873	-1.253	0.976	-0.137	-0.436
0.6	1.496	-1.454	0.532	0.677	-0.897	0.752	-1.156	0.960	-0.181	-0.451
0.7	1.353	-1.397	0.595	0.585	-0.947	0.642	-1.061	0.939	-0.226	-0.449
0.8	1.216	-1.335	0.649	0.489	-0.973	0.540	-0.968	0.914	-0.270	-0.432
0.9	1.086	-1.268	0.693	0.392	-0.977	0.448	-0.878	0.885	-0.312	-0.403
1.0	0.962	-1.197	0.727	0.295	-0.962	0.364	-0.792	0.852	-0.350	-0.364
1.2	0.738	-1.047	0.767	0.109	-0.885	0.223	-0.629	0.775	-0.414	-0.268
1.4	0.544	-0.893	0.772	-0.056	-0.761	0.112	-0.482	0.688	-0.456	-0.157
1.6	0.381	-0.741	0.746	-0.193	-0.609	0.029	-0.354	0.594	-0.477	-0.047
1.8	0.247	-0.596	0.696	-0.298	-0.445	-0.030	-0.245	0.498	-0.476	0.054
2.0	0.142	-0.464	0.628	-0.371	-0.283	-0.070	-0.155	0.404	-0.456	0.140
3.0	-0.075	-0.040	0.225	-0.349	0.226	-0.089	0.057	0.059	-0.213	0.268
4.0	-0.050	0.052	0.000	-0.106	0.201	-0.028	0.049	-0.042	0.017	0.112
5.0	-0.009	0.025	-0.033	0.015	0.046	0.000	-0.011	-0.026	0.029	-0.002

49

مثال: شمع با مقطع زیر و طول ۲۵ متر را در نظر بگیرید. اگر جابجایی مجاز افقی برابر با ۸ میلی متر باشد مطلوبست تعیین ظرفیت باربری مجاز جانبی شمع؟

$$n_h = 12000 \text{ kN/m}^3, \quad M_g = 0, \quad E_p = 207 \times 10^6 \text{ kN/m}^2, \quad I_p = 123 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$F_y = 248000 \text{ kN/m}^2, \quad d_1 = 254 \text{ mm}, \quad d_2 = 260 \text{ mm}, \quad w = 14.4 \text{ mm} \quad T = 1.16 \text{ m}$$

محاسبه ظرفیت باربری بر مبنای لنگر ماکزیمم:

لنگر ماکزیمم قابل تحمل:

$$F_y = \frac{M_{\max} \frac{d_1}{2}}{I_p} = 248000, \quad M_{\max} = 240.19 \text{ kN.m}$$

لنگر ماکزیمم قابل وارده در حالت نهایی یا بحرانی:

$$M_z(z) = A_m Q_g T = M_{\max}$$

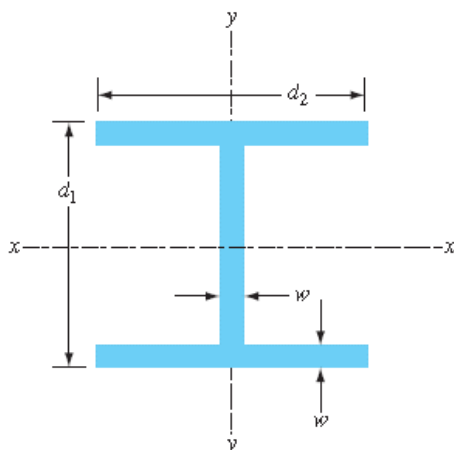
$$A_m = 0.772$$

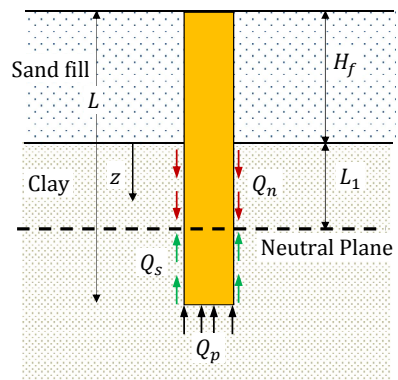
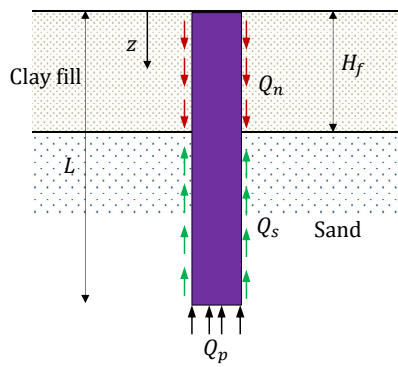
از جدول:

$$M_z(z) = 0.772 \times 1.16 \times Q_g = 240.19 \text{ kN.m}$$

$$Q_g = 268.21 \text{ kN}$$

$$Q_g = \min \{53.59, 268.21\} = 53.59 \text{ kN}$$





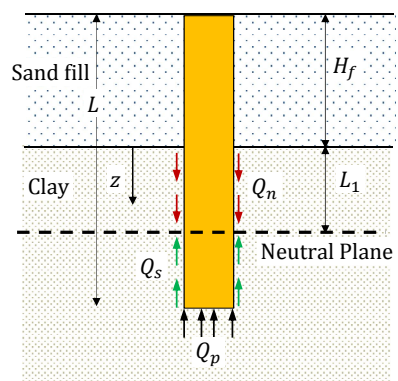
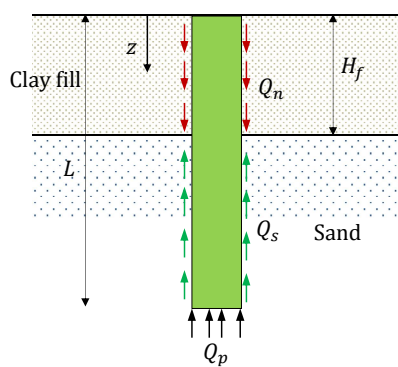
اصطکاک جدار منفی در شمع ها: اصطکاک جدار منفی یک نیروی پایین کشنده است که بر روی جدار شمع وارد می شود. این نیروی بدلائل زیر ایجاد می شود:

۱- اگر یک خاکریز رسی بر روی یک لایه ماسه ای احداث شود و شمع به صورت کوبشی در آن لایه ها اجرا شود. فرآیند تحکیم در رس ایجاد اصطکاک منفی در جدار شمع می شود؛ یعنی نشست خاک رسی به اندازه ای هست که تمایل دارد شمع را بسمت پایین بکشد (مطابق با شکل روبرو). ظرفیت باربری مجاز شمع از رابطه زیر تعیین می شود:

$$Q_{all} = \frac{Q_p + Q_s}{FS} - Q_n$$

۲- اگر یک خاکریز دانه ای بر روی یک رس نرم و اشباع اجرا شود، در آن صورت نیز بدلیل نشست تحکیمی رس، اصطکاک جدار منفی در شمع ایجاد می شود (مطابق با شکل روبرو).

۳- پایین آمدن سطح آب زیرزمینی، باعث افزایش تنش موثر در لایه ی خاکی می شود و در صورت وجود لایه رسی نرم باعث نشست تحکیمی آن و به مراتب اصطکاک جدار منفی در شمع ایجاد خواهد شد.



محاسبه اصطکاک جدار منفی در شمع ها:

حالت اول: خاکریز رسی بر روی یک لایه ماسه ای:

برای محاسبه نیروی اصطکاک جدار منفی در این حالت ابتدا تنش جانبی (عمود بر جدار) را تعیین می کنیم و سپس از رابطه کلی انتگرالی استفاده می شود:

$$f_n = K' \sigma'_v \tan \delta, \quad \delta = (0.5 - 0.7)\phi, \quad K' = K_0 = 1 - \sin \phi, \quad \sigma'_v = \gamma'_f z$$

$$Q_n = \int_0^{H_f} p f_n dz = \int_0^{H_f} p K_0 \gamma'_f z \tan \delta dz = \frac{p K_0 \gamma'_f H_f^2 \tan \delta}{2}$$

حالت دوم: خاکریز دانه ای بر روی یک رس نرم و اشباع

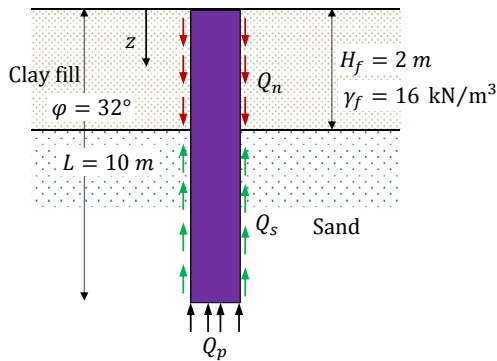
مشاهدات نشان می دهد که در این حالت، اصطکاک جدار منفی در رس از عمق $z = 0$ تا $z = L_1$ (عمق خنثی) از لایه رسی وجود دارد. عمق های بیشتر از عمق خنثی اصطکاک جدار به جهت بالاست. محل صفحه خنثی از رابطه زیر قابل تعیین است (وسیک ۱۹۷۷):

$$L_1 = \frac{L - H_f}{L_1} \left(\frac{L - H_f}{2} + \frac{\gamma'_f H_f}{\gamma'} \right) - \frac{2\gamma'_f H_f}{\gamma'}, \quad \sigma'_v = \gamma'_f H_f + \gamma'_f z, \quad f_n = K' \sigma'_v \tan \delta,$$

$$Q_n = \int_0^{L_1} p f_n dz = \int_0^{L_1} p K' (\gamma'_f H_f + \gamma'_f z) \tan \delta dz = p K' \gamma'_f H_f L_1 \tan \delta + \frac{p K' \gamma'^2 L_1^2 \tan \delta}{2}$$

راهکارهای مقابله با اصطکاک جدار منفی در شمع ها:

می توان از یک لوله ی فولادی با قطر داخلی بزرگتر از قطر شمع در نواحی خاک با اصطکاک منفی استفاده کرد. همچنین می توان با قیراندود کردن سطوح شمع در نواحی اصطکاک جدار منفی، ضریب اصطکاک سطح جانبی به حداقل ممکن رساند.



مثال: مطابق شکل مقابل نیروی اصطکاک جدار منفی شمع با قطر ۰.۳۰۵ سانتی متر را تعیین کنید.

$$\delta = 0.6\phi = 0.6 \times 32 = 19.2^\circ,$$

$$K' = K_0 = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 32^\circ = 0.47,$$

$$\sigma'_v = \gamma'_f z = 16z$$

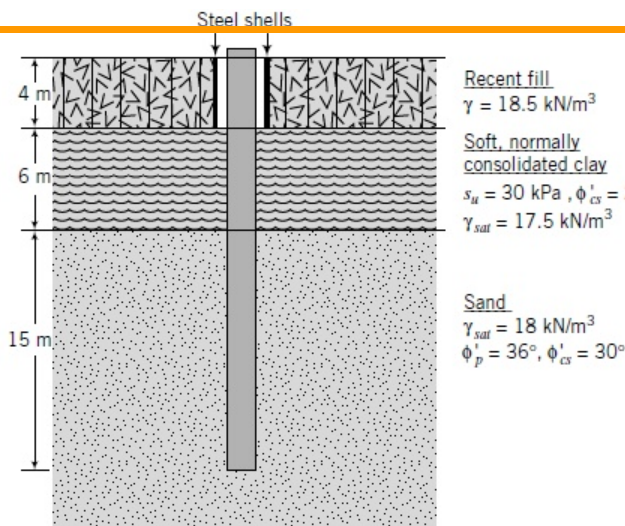
$$f_n = K' \sigma'_v \tan \delta = 0.47 \times (16z) \times \tan(19.2^\circ) = 2.62z$$

$$p = \pi D = \pi \times 0.305 = 0.958 \text{ m}$$

اصطکاک جدار منفی:

$$Q_n = \int_0^{H_f} p f_n dz = \int_0^2 0.958 \times 2.62z dz = 2.51 \times \frac{z^2}{2} \Big|_0^2 = 5.02 \text{ kN}$$

53



مثال: مطابق شکل مقابل ظرفیت باربری شمع کوبیده شده با جابجایی کم به قطر ۴۰ سانتی متر و با ضریب اطمینان ۲ را تعیین کنید. برای جلوگیری اصطکاک جدار منفی بین شمع و خاکریز از لوله فولادی استفاده شد ولی همچنان اصطکاک جدار منفی در نواحی رس نرم وجود دارد. سطح آب در عمق یک متری از سطح زمین قرار دارد و انتظار می رود که بعد از احداث خاکریز آب تا سطح زمین بالا بیاید. (ظرفیت نوک را از روش وسیک با $I_{rr} = 100$ استفاده کنید و برای ضریب جانبی ماسه از حد متوسط $K = 1.2K_0$ آن استفاده کنید)

اصطکاک جدار منفی:

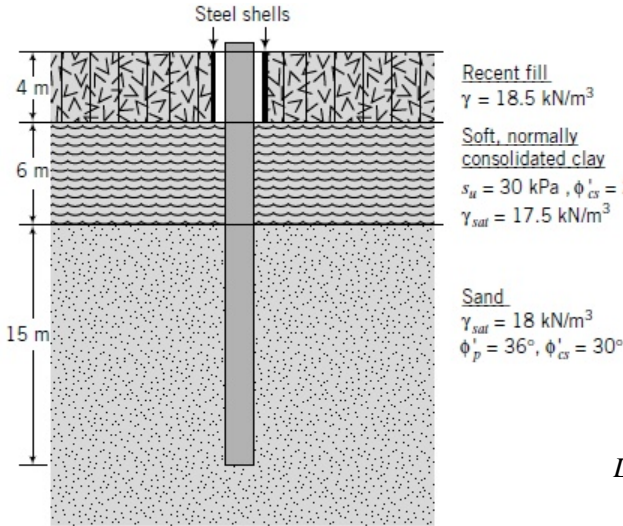
$$L_1 = \frac{L - H_f}{L_1} \left(\frac{L - H_f}{2} + \frac{\gamma'_f H_f}{\gamma'} \right) - \frac{2\gamma'_f H_f}{\gamma'}$$

$$= \frac{10 - 4}{L_1} \left(\frac{10 - 4}{2} + \frac{(18.5 - 9.8) \times 4}{(17.5 - 9.8)} \right) - \frac{2(18.5 - 9.8) \times 4}{(17.5 - 9.8)} = 3.58 \text{ m}$$

$$\sigma'_v = \gamma'_f H_f + \gamma'_s z = 8.7 \times 4 + 7.7z = 34.8 + 7.7z, \quad f_n = K' \sigma'_v \tan \delta = (1 - \sin 26^\circ)(34.8 + 7.7z) \tan 26^\circ = 9.53 + 2.11z$$

$$Q_{n(\text{clay})} = \int_0^{L_1} p f_n dz = \int_0^{3.58} \pi \times 0.4 \times (9.53 + 2.11z) dz = 59.78 \text{ kN}$$

54



مثال: مطابق شکل مقابل ظرفیت باربری شمع کوبیده شده با جابجایی کم به قطر ۴۰ سانتی متر و با ضریب اطمینان ۲ را تعیین کنید. برای جلوگیری اصطکاک جدار منفی بین شمع و خاکریز از لوله فولادی استفاده شد ولی همچنان اصطکاک جدار منفی در نواحی رس نرم وجود دارد. سطح آب در عمق یک متری از سطح زمین قرار دارد و انتظار می رود که بعد از احداث خاکریز آب تا سطح زمین بالا بیاید. (ظرفیت نوک را از روش وسیک با $I_{rr} = 100$ استفاده کنید و برای ضریب جانبی ماسه از حد متوسط $K = 1.2K_0$ آن استفاده کنید)

اصطکاک جدار منفی:

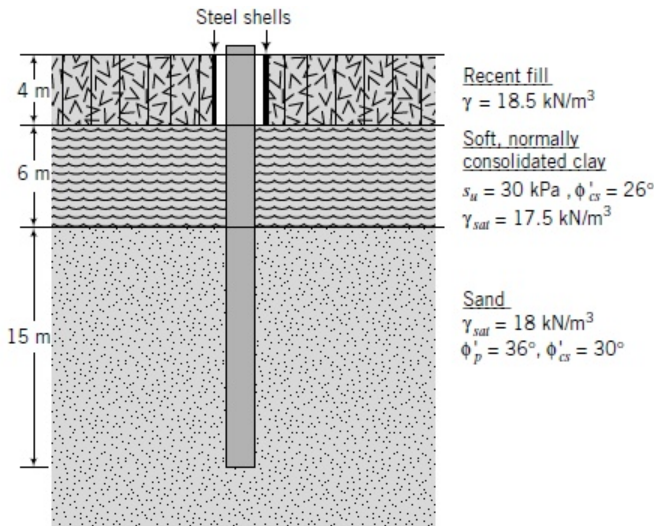
$$L_1 = \frac{L - H_f}{L_1} \left(\frac{L - H_f}{2} + \frac{\gamma'_f H_f}{\gamma'} \right) - \frac{2\gamma'_f H_f}{\gamma'}$$

$$= \frac{10 - 4}{L_1} \left(\frac{10 - 4}{2} + \frac{(18.5 - 9.8) \times 4}{(17.5 - 9.8)} \right) - \frac{2(18.5 - 9.8) \times 4}{(17.5 - 9.8)} = 3.58 \text{ m}$$

$$\sigma'_v = \gamma'_f H_f + \gamma' z = 8.7 \times 4 + 7.7z = 34.8 + 7.7z, \quad f_n = K \sigma'_v \tan \delta = (1 - \sin 26^\circ)(34.8 + 7.7z) \tan 26^\circ = 9.53 + 2.11z$$

$$Q_{n(\text{clay})} = \int_0^{L_1} p f_n dz = \int_0^{3.58} \pi \times 0.4 \times (9.53 + 2.11z) dz = 59.78 \text{ kN}$$

55



مثال: مطابق شکل مقابل ظرفیت باربری شمع کوبیده شده با جابجایی کم به قطر ۴۰ سانتی متر و با ضریب اطمینان ۲ را تعیین کنید. برای جلوگیری اصطکاک جدار منفی بین شمع و خاکریز از لوله فولادی استفاده شد ولی همچنان اصطکاک جدار منفی در نواحی رس نرم وجود دارد. سطح آب در عمق یک متری از سطح زمین قرار دارد و انتظار می رود که بعد از احداث خاکریز آب تا سطح زمین بالا بیاید. (ظرفیت نوک را از روش وسیک با $I_{rr} = 100$ استفاده کنید و برای ضریب جانبی ماسه از حد متوسط $K = 1.2K_0$ آن استفاده کنید)

مقاومت جدار رس و ماسه:

$$\sigma'_v = \gamma'_f H_f + \gamma' L_1 + \gamma' z = 8.7 \times 4 + 7.7 \times 3.58 + 7.7z = 62.366 + 7.7z,$$

$$f_{ss} = K \sigma'_v \tan \delta = (1 - \sin 26^\circ)(62.366 + 7.7z) \tan 26^\circ = 17.08 + 2.11z$$

$$Q_{s(\text{clay})} = \int_0^{L_1} p f_{sc} dz = \int_0^{2.42} \pi \times 0.4 \times (17.08 + 2.11z) dz = 59.71 \text{ kN}$$

$$\sigma'_v = \gamma'_f H_f + \gamma' H_1 + 8.2z = 8.7 \times 4 + 7.7 \times 6 + 8.2z = 81 + 8.2z,$$

$$f_{ss} = K \sigma'_v \tan \delta = \begin{cases} 1.2(1 - \sin 30^\circ)(81 + 8.2z) \tan 30^\circ & z < 15D = 6m \\ 1.2(1 - \sin 30^\circ)(81 + 8.2 \times 6) \tan 30^\circ & 6 \leq z \leq 15m \end{cases} \quad f_{ss} = \begin{cases} 28.06 + 2.84z, & z < 6 \\ 45.1 & 6 \leq z \leq 15 \end{cases}$$

$$Q_{s(\text{sand})} = \int_0^{L_1} p f_{ss} dz = \int_0^6 \pi \times 0.4 \times (28.06 + 2.84z) dz + \int_6^{15} \pi \times 0.4 \times 45.1 dz = 785.88 \text{ kN}$$

56

مقاومت نوک ماسه:

$$N_{\sigma} = \frac{3}{3 - \sin[\varphi]} \left\{ e^{\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) \tan[\varphi]} \tan \left[\frac{\varphi}{2} + \frac{\pi}{4} \right]^2 I_{rr}^{\frac{4 \sin \varphi}{3(1 + \sin[\varphi])}} \right\} = \frac{3}{3 - \sin \left[\frac{\pi}{6} \right]} \left\{ e^{\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{6}\right) \tan \left[\frac{\pi}{6} \right]} \tan \left[\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{12} \right]^2 100^{\frac{4 \sin \frac{\pi}{6}}{3 \left(1 + \sin \left[\frac{\pi}{6} \right] \right)}} \right\} = 51.02$$

$$N_q = \frac{1 + 2K_0}{3} N_{\sigma} = \frac{1 + 2(1 - \sin 30)}{3} \times 51.02 = 34.02, \quad N_c = (N_q - 1) \cot \varphi = 57.18,$$

$$q' = 8.7 \times 4 + 7.7 \times 6 + 8.2 \times 15 = 204 \text{ kPa}, \quad Q_p = cN_c + q'N_q = (0 + 204 \times 34.02) \times \pi \times (0.2)^2 = 6940$$

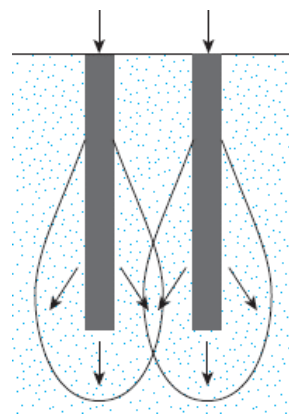
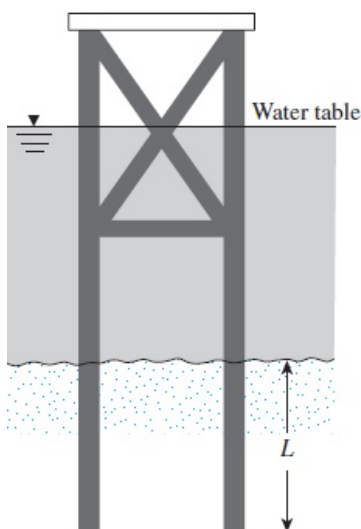
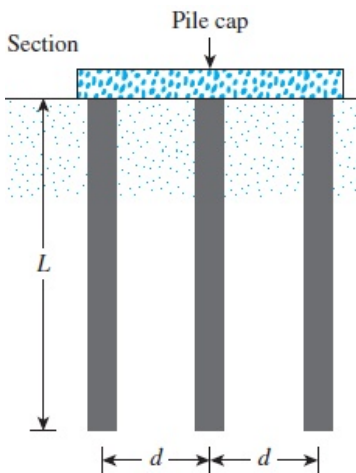
$$Q_p = q_p A_p = 6940 \times \pi \left(\frac{0.4}{2} \right)^2 = 872.11 \text{ kN},$$

ظرفیت باربری مجاز شمع:

$$Q_{all} = \frac{Q_p + Q_{ss} + Q_{sc}}{FS} - Q_n = \frac{872.11 + 785.88 + 59.71}{2} - 59.78 \approx 800 \text{ kN}$$

تمرین: مکانیسم بار را برای این مثال رسم کنید.

57



گروه شمع:

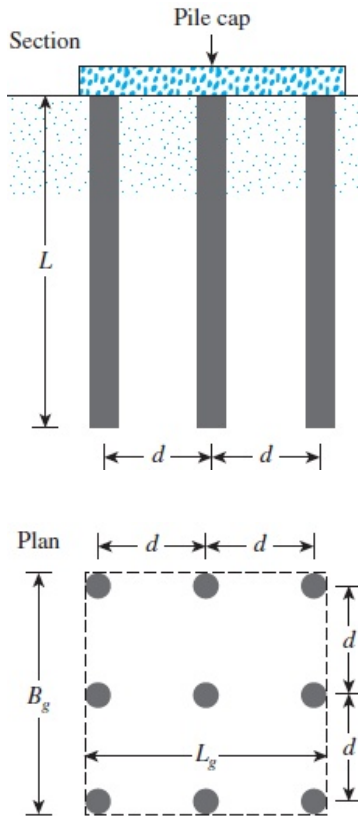
در اغلب حالت ها شمع به صورت گروهی در زیر سازه استفاده می شود. و برای اتصال شمع ها به یکدیگر از کلاهک (pile cap) استفاده می شود. این کلاهک ها ممکن است با زمین در تماس باشد و به ظرفیت باربری شالوده کمک کند و یا با فاصله از زمین قرار گیرد (مثل سکوه های دریایی). محاسبه ظرفیت باربری گروه شمع بسیار پیچیده است؛ هنگامی که شمع در کنار هم باشند با توجه به اثر اندرکنش بر ظرفیت هم تاثیر می گذارند و مقدار آن را کاهش می دهند.. در کارهای عملی حداقل فاصله مرکز تا مرکز شمع ها (d) را ۲٫۵ برابر قطر شمع D در نظر می گیرند. برای حداقل رساندن اثر اندرکنش این فاصله را $d = (3 - 3.5)D$ در نظر می گیرند.

راندمان گروه شمع بصورت زیر تعریف می شود:

$$\eta = \frac{Q_{g(u)}}{\sum Q_u} = \frac{\text{ظرفیت باربری گروه شمع}}{\text{مجموع ظرفیت باربری هر شمع تکی}} \leq 1$$

این مقدار همواره کوچکتر مساوی یک در نظر گرفته می شود.

58



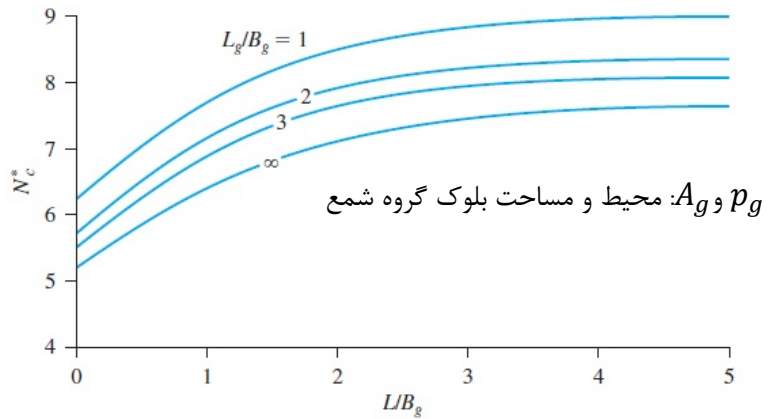
محاسبه ظرفیت باربری گروه شمع $Q_g(u)$:

برای تعیین $Q_g(u)$ ، گروه شمع را به صورت یک بلوک یکپارچه به ابعاد L_g و B_g در نظر می گیریم.

n_1 و n_2 : تعداد شمع ها به ترتیب در جهت عرض B_g و طول L_g بلوک

$$Q_{g(u)} = f_{av} p_g L \quad Q_{g(u)} = \int_0^L f(z) p_g(z) dz \quad \text{گروه شمع اصطکاکی در ماسه:}$$

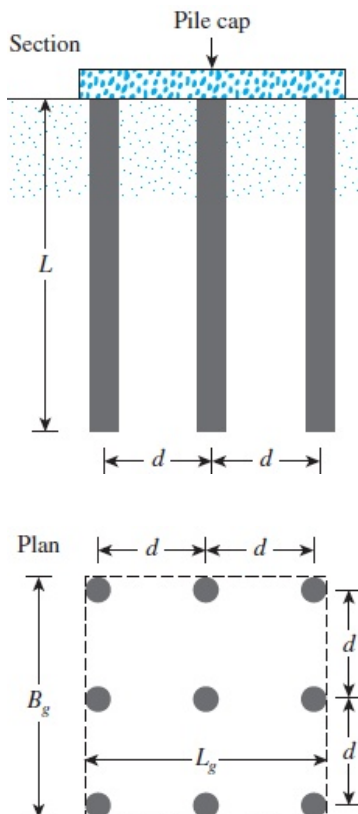
$$Q_{g(u)} = Q_{g(u)p} + Q_{g(u)s} = A_g c_u N_c^* + p_g c_u L \quad \text{گروه شمع در رس اشباع:}$$



$$\begin{aligned} L_g &= (n_1 - 1)d + D \\ B_g &= (n_2 - 1)d + D \\ L_g &\geq B_g \\ A_g &= B_g \times L_g \\ p_g &= 2(B_g + L_g) \end{aligned}$$

A_g و p_g : محیط و مساحت بلوک گروه شمع

59



مثال:

راندمان گروه شمع اصطکاکی $n_1 \times n_2$ را در ماسه تعیین کنید؟

$$\eta = \frac{Q_{g(u)}}{\sum Q_u} \leq 1$$

$$Q_{g(u)} = p_g f_{av} L = 2(B_g + L_g) f_{av} L$$

$$\sum Q_u = n_1 \times n_2 \times p \times f_{av} L$$

$$\eta = \frac{Q_{g(u)}}{\sum Q_u} = \frac{2(B_g + L_g) f_{av} L}{n_1 \times n_2 \times p \times f_{av} L} = \frac{2(B_g + L_g)}{n_1 \times n_2 \times p} = \frac{2((n_2 - 1)d + D + (n_1 - 1)d + D)}{n_1 \times n_2 \times p}$$

$$\begin{aligned} L_g &= (n_1 - 1)d + D \\ B_g &= (n_2 - 1)d + D \\ L_g &\geq B_g \\ A_g &= B_g \times L_g \\ p_g &= 2(B_g + L_g) \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{2(n_1 + n_2 - 2)d + 4D}{p \times n_1 \times n_2}$$

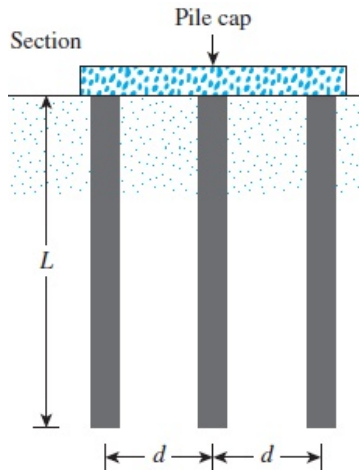
60

مثال :

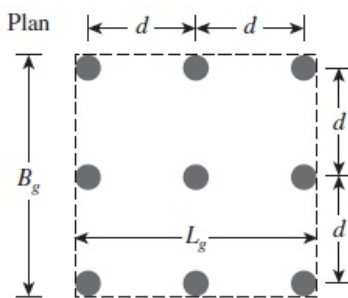
راندمان گروه شمع اصطکاکی $n_1 \times n_2$ را در ماسه تعیین کنید؟

$$\eta = \frac{2(n_1 + n_2 - 2)d + 4D}{p \times n_1 \times n_2}$$

روش های دیگر برابر تعیین راندمان گروه شمع اصطکاکی $n_1 \times n_2$ را در ماسه:



Name	Equation
Converse-Labarre equation	$\eta = 1 - \left[\frac{(n_1 - 1)n_2 + (n_2 - 1)n_1}{90n_1n_2} \right] \theta$ <p>where $\theta(\text{deg}) = \tan^{-1}(D/d)$</p>
Los Angeles Group Action equation	$\eta = 1 - \frac{D}{\pi d n_1 n_2} [n_1(n_2 - 1) + n_2(n_1 - 1) + \sqrt{2}(n_1 - 1)(n_2 - 1)]$
Seiler-Keeney equation (Seiler and Keeney, 1944)	$\eta = \left\{ 1 - \left[\frac{11d}{7(d^2 - 1)} \right] \left[\frac{n_1 + n_2 - 2}{n_1 + n_2 - 1} \right] \right\} + \frac{0.3}{n_1 + n_2}$ <p>where d is in ft</p>



61

مثال : ظرفیت باربری گروه شمع 3×4 را در خاک دو لایه ای رسی با مقطع مربعی تعیین کنید؟ برای تعیین مقاومت جدار از روش آلفا (روش ترزاقی و همکاران) استفاده کنید.

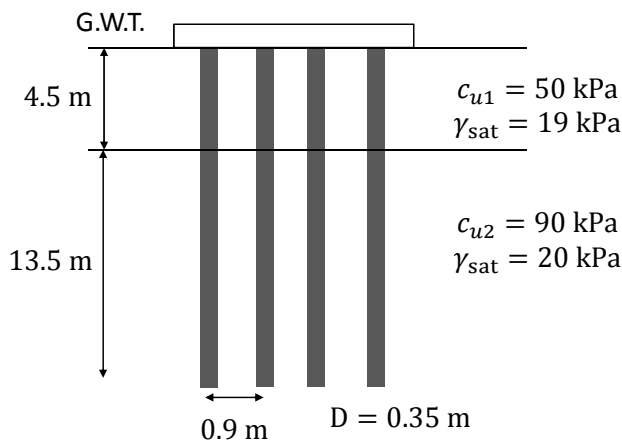


Table 9.10 Variation of α (Interpolated Values Based on Terzaghi, Peck and Mesri, 1996)

$\frac{c_u}{p_a}$	α
≤ 0.1	1.00
0.2	0.92
0.3	0.82
0.4	0.74
0.6	0.62
0.8	0.54
1.0	0.48
1.2	0.42
1.4	0.40
1.6	0.38
1.8	0.36
2.0	0.35
2.4	0.34
2.8	0.34

$$\frac{c_{u1}}{p_a} = \frac{50}{100} = 0.5 \Rightarrow \alpha_1 = 0.68$$

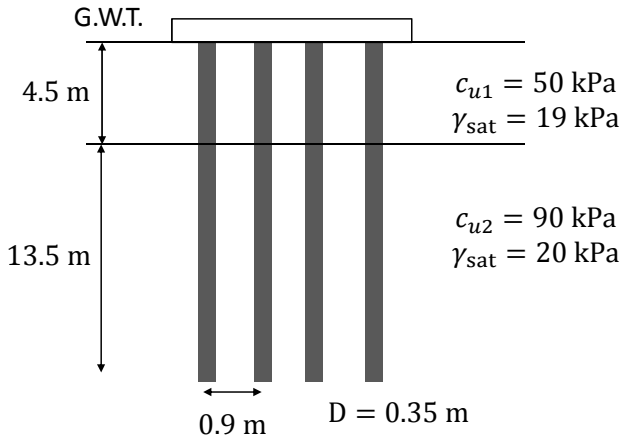
$$\frac{c_{u2}}{p_a} = \frac{90}{100} = 0.9 \Rightarrow \alpha_2 = 0.51$$

$$\sum Q_u = n_1 \times n_2 \times (9A_p c_{u2} + \alpha_1 p c_{u1} L_1 + \alpha_2 p c_{u2} L_2) = 3 \times 4 \times (9 \times (0.35)^2 \times 90 + 0.68 \times 4 \times 0.35 \times 50 \times 4.5 + 0.51 \times 4 \times 0.35 \times 90 \times 13.5) = 14.171 \text{ MPa}$$

Note: p_a = atmospheric pressure $\approx 100 \text{ kN/m}^2$ or 2000 lb/ft^2

62

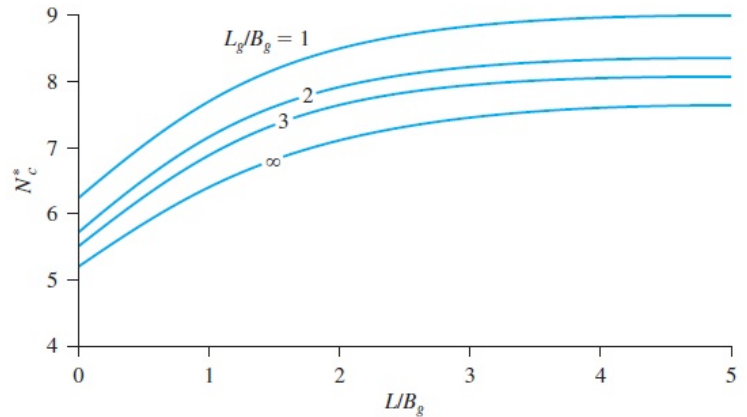
مثال: ظرفیت باربری گروه شمع 3×4 را در خاک دو لایه ای رسی با مقطع مربعی تعیین کنید؟ برای تعیین مقاومت جدار از روش آلفا (روش ترزاقی و همکاران) استفاده کنید.



$$L_g = 3 \times 0.9 + 0.35 = 3.05 \text{ m}$$

$$B_g = 2 \times 0.9 + 0.35 = 2.15 \text{ m}$$

$$\frac{L_g}{B_g} = \frac{3.05}{2.15} = 1.42, \quad \frac{L}{B_g} = \frac{18}{2.15} = 8.37 \Rightarrow N_c^* = 8.75$$



$$Q_{g(u)} = A_g c_{u2} N_c^* + p_g c_{u1} L_1 + p_g c_{u2} L_2 = 3.05 \times 2.15 \times 90 \times 8.75 + 2 \times (3.05 + 2.15) \times 50 \times 4.5 + 2 \times (3.05 + 2.15) \times 90 \times 13.5 = 20.14 \text{ MPa}$$

$$Q_g = \min \{ Q_{g(u)}, \sum Q_u \} = \min \{ 20.14, 14.171 \} = 14.71 \text{ MPa}$$

63

محاسبه ظرفیت باربری گروه شمع $Q_g(u)$ متکی بر سنگ:

اگر حداقل فاصله شمعها متکی بر بستر سنگی را برابر با $d = D + 30 \text{ cm}$ در نظر بگیریم، در نتیجه می توان ظرفیت باربری گروه

$$Q_{g(u)} = \sum Q_u \quad \text{شمع را مجموع ظرفیت تک تک شمع در نظر گرفت. در این حالت بازده شمع یک فرض می شود.}$$

نشست الاستیک گروه شمع:

$$s_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} s_e$$

نشست الاستیک گروه شمع از رابطه روبرو تعیین می شود (وسیک ۱۹۶۹):

که در آن s_e نشست الاستیک شمع تکی است.

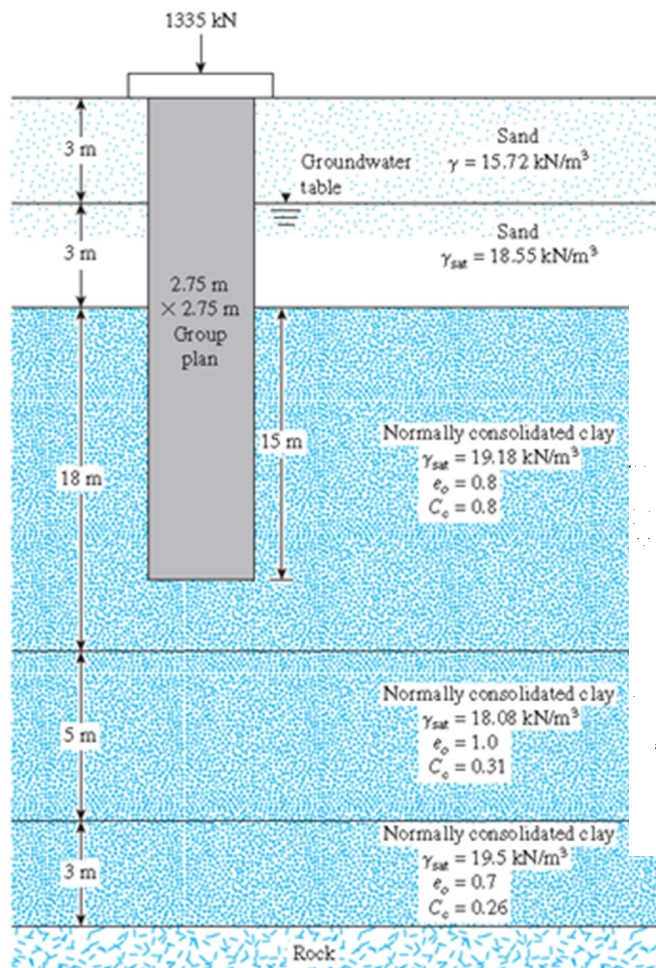
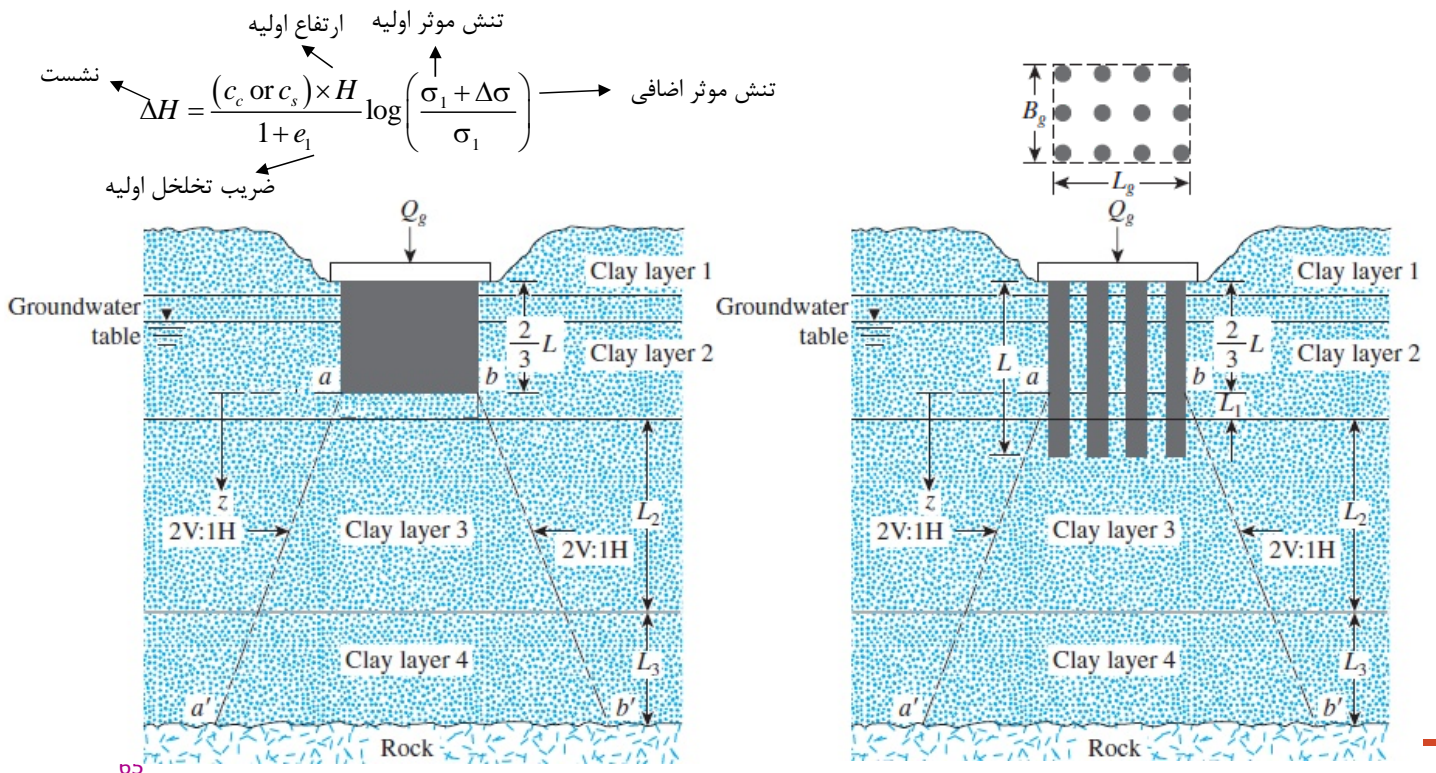
نشست الاستیک گروه شمع با استفاده از نتایج SPT و CPT:

$$s_{g(e)} (\text{mm}) = \frac{0.96 Q_g (\text{kN}) I \sqrt{B_g (\text{m})}}{A_g (\text{m}^2) N_{60}}, \quad I = 1 - \frac{L (\text{m})}{8 B_g (\text{m})} \geq 0.5$$

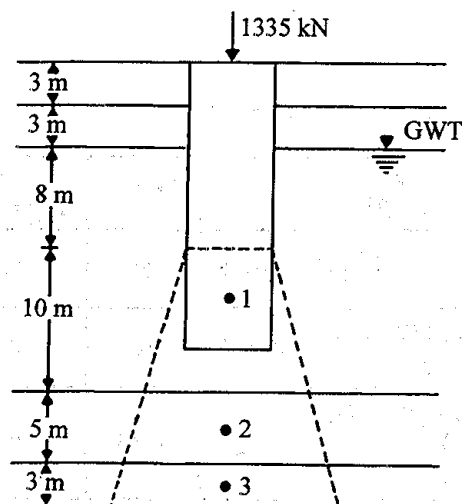
$$s_{g(e)} = \frac{Q_g B_g I}{2 q_c}, \quad I = 1 - \frac{L (\text{m})}{8 B_g (\text{m})} \geq 0.5$$

64

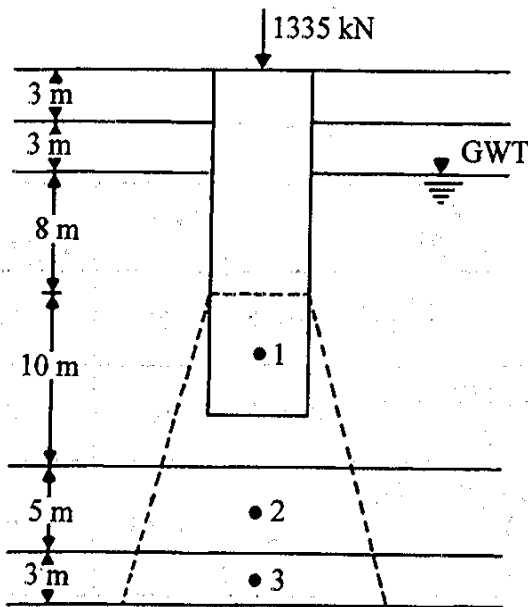
نشست تحکیمی گروه شمع: برای تعیین نشست تحکیمی گروه شمع کافی است که بلوک گروه شمع را با ارتفاع دو سوم ارتفاع مدفون در نظر گرفت و سپس مانند یک شالوده سطحی میزان نشست تحکیمی آنرا محاسبه می کنیم.



مثال نشست تحکیمی گروه شمع: نشست تحکیمی گروه شمع را تعیین کنید. برای تعیین تنش‌ها در اعماق از روش تقریبی استفاده کنید؟ همچنین برای تعیین اضافه تنش نیاز به متوسط گیری نیست و ...



مثالی از نشست تحکیمی گروه شمع: نشست تحکیمی گروه شمع را تعیین کنید. برای تعیین تنش‌ها در اعماق از روش تقریبی استفاده کنید؟ همچنین برای تعیین اضافه تنش نیاز به متوسط گیری نیست و ملاک وسط لایه باشد.



Layer	σ'_0 (kN / m ²)	$\Delta\sigma'$ (kN / m ²)	$\sigma'_0 + \Delta\sigma'$ (kN / m ²)
1	$(15.72)(3) + (18.55 - 9.81)(3) + (13)(19.18 - 9.81) = 47.16 + 26.22 + 121.81 = 195.19$	$\frac{1335}{(2.75+5)^2} = 22.23$	217.42
2	$195.19 + (5)(19.18 - 9.81) + (2.5)(18.08 - 9.81) = 262.72$	$\frac{1335}{(2.75+12.5)^2} = 5.74$	268.46
3	$262.72 + (2.5)(18.08 - 9.81) + (1.5)(19.5 - 9.81) = 297.93$	$\frac{1335}{(2.75+16.5)^2} = 3.6$	301.53

$$\Delta s_{e(1)} = \frac{(0.8)(10)}{1+0.8} \log\left(\frac{217.42}{195.19}\right) = 0.208 \text{ m}$$

$$\Delta s_{e(2)} = \frac{(0.31)(5)}{1+1} \log\left(\frac{268.46}{262.72}\right) = 0.0073 \text{ m}$$

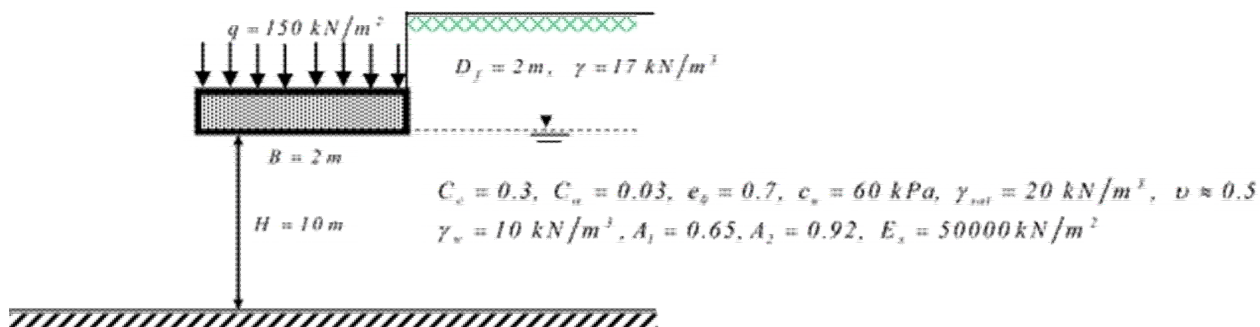
$$\Delta s_{e(3)} = \frac{(0.26)(3)}{1+0.7} \log\left(\frac{301.53}{297.93}\right) = 0.0024 \text{ m}$$

$$\Sigma \Delta s_e \approx 217.7 \text{ mm}$$

67

مثال نشست تحکیمی شالوده سطحی: نشست کل شالوده مربعی را بر روی رس اشباع بر اثر اضافه تنش را بعد از 5 سال تعیین کنید؟ پایان تحکیم اولیه 2.5 سال بعد از بارگذاری شالوده است.

$$m = B/z, \quad n = L/z, \quad I = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2+m^2n^2+1} \times \frac{m^2+n^2+2}{m^2+n^2+1} + \tan^{-1} \left(\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2-m^2n^2+1} \right) \right]$$



$$S = S_e + S_c = S_e + S_{cp} + S_{cs} \quad S_e = A_1 A_2 \frac{qB}{E_s} = 0.65 \times 0.92 \frac{150 \times 2}{50000} = 0.3588 \text{ cm}$$

$$\sigma_0 = \gamma D_f + (\gamma_{sat} - \gamma_w) \frac{H}{2} = 17 \times 2 + (20 - 10) \times 5 = 84 \text{ kPa}$$

$$m_1 = \frac{B}{z} = \frac{1}{5}, \quad n_1 = \frac{L}{z} = \frac{1}{5}$$

$$I_1 = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{2m_1 n_1 \sqrt{m_1^2 + n_1^2 + 1}}{m_1^2 + n_1^2 + m_1^2 n_1^2 + 1} \times \frac{m_1^2 + n_1^2 + 2}{m_1^2 + n_1^2 + 1} + \tan^{-1} \left(\frac{2m_1 n_1 \sqrt{m_1^2 + n_1^2 + 1}}{m_1^2 + n_1^2 - m_1^2 n_1^2 + 1} \right) \right] = 0.01790$$

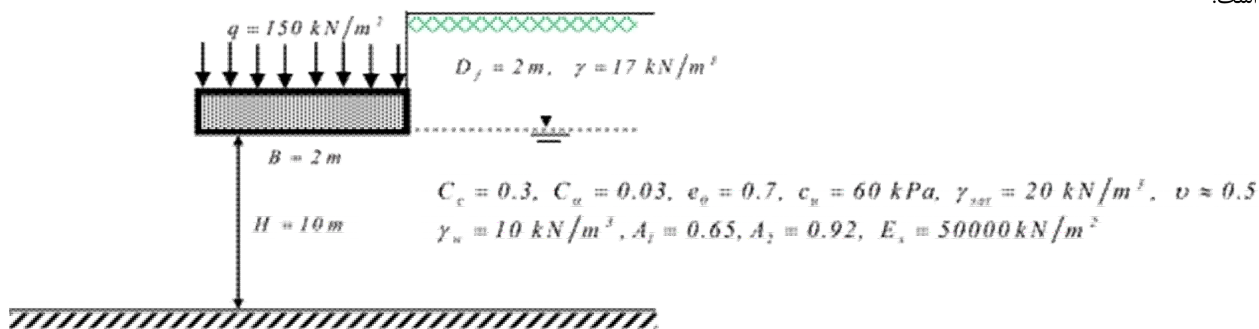
$$\Delta \sigma_m = q_0 I = q_0 (4I_1) = 150 \times 4 \times (0.01790) = 10.74 \text{ kPa}$$

میزان تنش اولیه در وسط رس:

میزان اضافه تنش در وسط رس:

68

مثال امتحانی نیمسال دوم ۹۵- نشست کل شالوده مربعی را بر روی رس اشباع بر اثر اضافه تنش را بعد از ۵ سال تعیین کنید؟ پایان تحکیم اولیه ۲,۵ سال بعد از بارگذاری شالوده است.



$$S = S_e + S_c = S_e + S_{cp} + S_{cs} \quad S_e = 0.3588 \text{ cm} \quad \sigma_0 = 84 \text{ kPa} \quad \Delta\sigma_m = 10.74 \text{ kPa}$$

میزان اضافه تنش در انتهای لایه ی رس:

$$m_2 = \frac{B}{z} = \frac{1}{10}, \quad n_2 = \frac{L}{z} = \frac{1}{10}$$

$$I_1 = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{2m_2n_2\sqrt{m_2^2+n_2^2+1}}{m_2^2+n_2^2+m_2^2n_2^2+1} \times \frac{m_2^2+n_2^2+2}{m_2^2+n_2^2+1} + \tan^{-1} \left(\frac{2m_2n_2\sqrt{m_2^2+n_2^2+1}}{m_2^2+n_2^2-m_2^2n_2^2+1} \right) \right] = 0.004696$$

$$\Delta\sigma_b = q_0 I = q_0 (4I_1) = 150 \times 0.01879 = 2.818 \text{ kPa}$$

میزان اضافه تنش متوسط در رس:

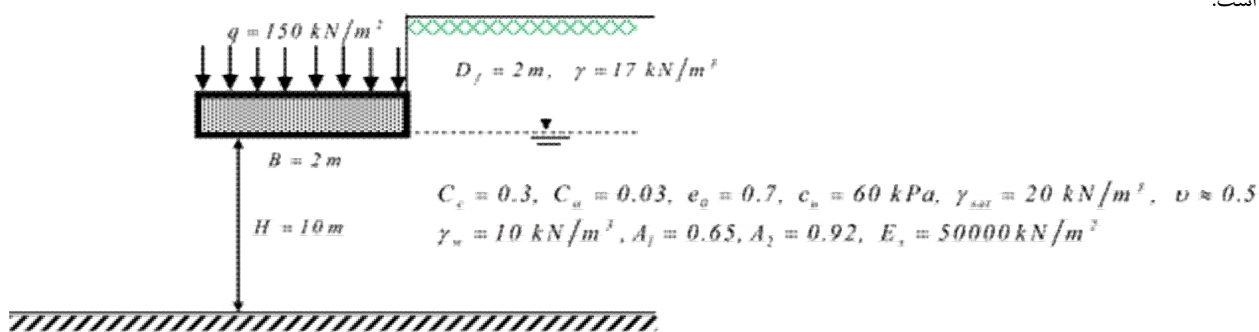
$$\Delta\sigma_{av} = \frac{\Delta\sigma_t + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_b}{6} = \frac{150 + 4 \times 10.74 + 2.82}{6} = 32.63 \text{ kPa}$$

نشست تحکیم اولیه برابر است با:

$$S_{cp} = \frac{c_c H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma_{av}}{\sigma_0} \right) = \frac{0.3 \times 10}{1+0.7} \log \left(\frac{84 + 32.63}{84} \right) = 0.2515 \text{ m} = 25.15 \text{ cm}$$

69

مثال امتحانی نیمسال دوم ۹۵- نشست کل شالوده مربعی را بر روی رس اشباع بر اثر اضافه تنش را بعد از ۵ سال تعیین کنید؟ پایان تحکیم اولیه ۲,۵ سال بعد از بارگذاری شالوده است.



$$S = S_e + S_c = S_e + S_{cp} + S_{cs} \quad S_e = 0.3588 \text{ cm} \quad S_{cp} = 0.2515 \text{ m} = 25.15 \text{ cm}$$

نشست تحکیم ثانویه برابر است با:

$$S_{cs} = \frac{c_\alpha}{1+e_p} H \log \left(\frac{t_2}{t_1} \right), \quad \Delta e_p = c_c \log \left(\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma_{av}}{\sigma_0} \right) = 0.3 \times \log \left(\frac{84 + 32.63}{84} \right) = 0.0428$$

$$e_p = e_0 - \Delta e_p = 0.7 - 0.0428 = 0.657 \quad S_{cs} = \frac{c_\alpha}{1+e_p} H_t \log \left(\frac{t_2}{t_1} \right) = \frac{0.03}{1+0.657} (10) \log \left(\frac{5}{2.5} \right) = 0.0545 \text{ m} = 5.45 \text{ cm}$$

$$S = S_e + S_c = S_e + S_{cp} + S_{cs} = 0.3588 + 25.15 + 5.45 = 30.96 \text{ cm}$$

70