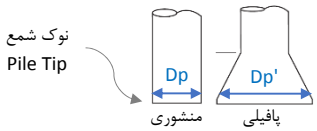
❶ تعیین ظرفیت باربری مجاز شمع بتنی درجاریز

ورود اطلاعات پایه

هندسه شمع	قطر شمع (Dp) mm	عمق مدفون شمع (D_b) mm	عدد نفوذ استاندارد اصلاح شده [SPT] N60	زاویه اصطکاک داخلی برای متوسط لایه ها (Degree)	زاویه اصطکاک داخلی برای نوک شمع (Degree)	دانسیته حداکثر خاک kN/m^3	نوع خاک
استوانه منشوری	800	12000	28	28	32	19.5	دانه ای

ضریب (ω)	ضریب اطمینان باربری جداره (Safety of Factor (SoF)	ضریب اطمینان باربری نوک (Safety of Factor (SoF)	ارتفاع کوره شمع mm	قطر نوک شمع (Dp') mm
0.7	3	3	Zero	800



مقاومت نوک شمع [Tip Resistance] در خاکهای دانه ای

a) Touma and Reese (1974) - Geometry Base

☑ Enable Method

مقاومت نوک شمع (Qp) kN	مساحت نوک شمع (Ap) mm^2	مقاومت واحد نوک شمع (q_p) N/mm^2	ضریب (K)
1257	502655	2.500	0.6

b) Reese and Wright (1977) - SPT Base

☑ Enable Method

مقاومت نوک شمع (Qp) kN	مقاومت واحد نوک شمع (q_p) N/mm^2
901	1.792

c) Reese and O'Neill (1988) - SPT Base

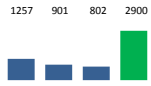
☑ Enable Method

مقاومت نوک شمع (Qp) kN	مقاومت واحد نوک شمع (q_p) N/mm^2
802	1.596

d) Berezantzev (1961) - Effective Stress Base

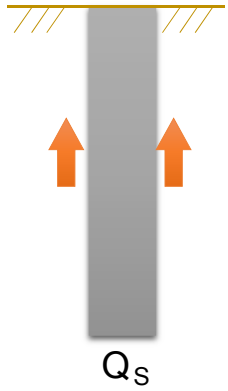
☑ Enable Method

مقاومت نوک شمع (Qp) kN	ضریب (ω)	ضریب (N_q)	تنش موثر متوسط در نوک شمع (σv') N/mm^2
2900	0.70	48.4	0.176



Q_P = Average (a, b, c, d) / (SoF) = **488** kN

مقاومت جداره شمع [Side Resistance] در خاکهای دانه ای



a) Touma and Reese (1974) - Effective Stress Base

☑ Enable Method

مقاومت جداره شمع (Qs) kN	مساحت جداره شمع (As) mm^2	مقاومت واحد جداره شمع (q_s) N/mm^2	تنش موثر در میانه شمع (σv') N/mm^2	ضریب (K)	tan φ متوسط لایه ها φ
616	26389378	0.023	0.088	0.5	0.53

b) Reese and Wright (1977) - SPT Base

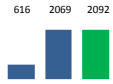
☑ Enable Method

مقاومت جداره شمع (Qs) kN	مساحت جداره شمع (As) mm^2	مقاومت واحد جداره شمع (q_s) N/mm^2
2069	26389378	0.078

c) Reese and O'Neill (1988) - Effective Stress Base

☑ Enable Method

مقاومت جداره شمع (Qs) kN	مساحت جداره شمع (As) mm^2	مقاومت واحد جداره شمع (q_s) N/mm^2	تنش موثر در میانه شمع (σv') N/mm^2	ضریب انتقال بار (β)	عمق میانه شمع (Z) mm
2092	26389378	0.079	0.088	0.90	6000



Q_S = Average (a, b, c) / (SoF) = **531** kN

For Cohesionless Soils

$Q_{total} = Q_P + Q_S =$ 488 + 531 = **1019** kN

مقاومت نوک و جداره شمع در خاکهای رسی

لایه های خاک	ضخامت لایه (ΔL)	چسبندگی زهکشی نشده (Cu)	Cu×ΔL
	mm	kN/m2	kN/m
لایه اول - ضعیف	1500	0	0
لایه دوم	5000	60	300
لایه سوم	2000	60	120
لایه چهارم	2000	70	140
لایه پنجم	6000	100	600
لایه ششم	1500	150	225
لایه هفتم			0
لایه هشتم			0
لایه نهم			0
لایه دهم			0
ΣL =	18000	ΣCuΔL =	1385

خطا: طول شمع با اطلاعات پایه همخوانی ندارد

$Q_P =$ ApCuNc / SoF = **226** kN

$Q_S =$ 0.4(P×ΣCuΔL) / SoF = **464** kN

For Cohesion Soils

$Q_{total} = Q_P + Q_S =$ **690** kN

نکته: بواسطه Check boxها می توان روش ها را از مدار محاسبات حذف و یا اضافه نمود. اقدام به حذف و اضافه روش ها مستلزم داشتن دانش تجربی از خاک منطقه می باشد. فعال بودن تمام روشها، توصیه می گردد.

نکته: با غیر فعال کردن روش های a,b,c برای نوک و غیر فعال کردن b,c برای جداره، نتیجه حاصل نزدیک به معیار NAVFAC DM - 7.02 خواهد بود.

نکته: در عمق مدفون شمع (D_b) طولی از شمع که در ارتباط با خاک دستی می باشد و یا قرار است در آینده خاک آن برداشته شود تا بخشی از شمع تبدیل به ستون شود، لحاظ نمی گردد.

نکته: درصورت استفاده از Casing فلزی ماندگار بهتر است از مقاومت جداره صرفه نظر گردد. توصیه AASHTO کاهش ۷۵٪ مقاومت جداره در این حالت می باشد.

نکته: مطابق توصیه AASHTO خاک سطحی به ارتفاع ۱/۵ متر از بالا مقاومتی از نوع جداره ایجاد نمی نماید. این ضابطه در روابط دیده شده است.

نکته: اگر در خاک دانه ای ظرفیت نوک شمع رضایتبخش نبود می توان از شمع با نوک پافیلی [Pile Belled End] بهره برد.

نکته: روش های SPT Base بواسطه عدد (N۶۰) آزمایش نفوذ استاندارد ظرفیت شمع را تعیین می کنند. لذا تعیین مقدار دقیق عدد N۶۰ از طریق آزمایش صحرایی بسیار حائز اهمیت است.

نکته: اگر دسترسی به عدد N۶۰ ندارید از طریق کلید Auto Calculate مقدار آن در اختیارتان قرار داده می شود. شایان ذکر است از این طریق مقدار دست پایینی حاصل می گردد.

❷ تعیین نشست شمع بتنی درجاریز

ورود اطلاعات پایه

طول شمع (L)	سطح مقطع شمع (Ap)	قطر نوک شمع (Dp')	قطر شمع (Dp)	ضریب پواسن (ν_s)	مدول الاستیسیته خاک (Es)	مدول الاستیسیته بتن (Ec)	مقاومت فشاری بتن (f'c)	نوع خاک
mm	mm^2	mm	mm		N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	
12000	502655	800	800	0.3	40	26518	25	دانه ای

نشست الاستیک تنه شمع [Elastic Settlement]

ضریب (ξ)	Q_{WS}	Q_{WP}
	kN	kN
0.67	1592	1465

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{WP} + \xi Q_{WS})L}{A_P E_C} = \mathbf{2.3} \text{ mm}$$

نشست الاستیک خاک در نوک شمع [Tip Settlement]

ضریب (I_{WP})	ضریب پواسن خاک (ν_s)	q_{WP}	مساحت نوک شمع (Ap)
		N/mm^2	mm^2
0.85	0.30	2.9	502655

$$S_{e(2)} = \frac{q_{WP} D}{E_S}(1-\nu_s^2) I_{WP} = \mathbf{45.1} \text{ mm}$$

نشست الاستیک خاک اطراف جداره شمع [Side Settlement]

ضریب (I_{WS})	ضریب پواسن خاک (ν_s)	Q_{WS}	محیط جداره شمع (p)
		kN	mm
2.71	0.30	1592	2513

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{WS}}{pL}\right)\frac{D}{E_S}(1-\nu_s^2) I_{WS} = \mathbf{2.6} \text{ mm}$$

$$S_{total} = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} = 2.3 + 45.1 + 2.6 = \mathbf{50.0} \text{ mm}$$

نکته: دقت شود که با تغییر نوع خاک (دانه ای یا رسی) حتما بایستی مدول الاستیسیته و ضریب پواسن خاک نیز اصلاح گردد.

نکته: دقت شود که با افزایش طول شمع حتما بایستی مدول الاستیسیته و ضریب پواسن خاک نیز اصلاح گردد.

نکته: نشست کل (Stotal) بیانگر حداکثر نشست شمع در شرایط الاستیک خاک (قبل از وقوع گسیختگی خاک) می باشد. عموما نهایت ظرفیت شمع بعد از نشستی معادل ۲۵ درصد قطر محقق می گردد.

نکته: نشست کل (Stotal) متناظر با حداکثر ظرفیت شمع می باشد. بعبارت دیگر این مقدار نشست هنگامی که شمع با تمام ظرفیت بکار گرفته شده، رخ می دهد.

نکته: در خاکهای رسی غالبا نشست کمتر از خاکهای دانه ای می باشد. دلیل این امر کمتر بودن ظرفیت ژئوتکنیکی شمع در خاکهای رسی می باشد.

نکته: جهت کنترل نشست سازه، می بایست سختی فنرهای معادل خاک (Kvs) را برای شمع در مدل نرم افزاری اعمال نمود و تحت ترکیب بارهای سرویس میزان نشست را با مقادیر مجاز کنترل کرد.

❸ تعیین ضریب عکس العمل خاک در شمع (Kvs) بتنی درجاریز

نتایج نیرو - جابجایی شمع

F_{WP}	F_{WS}	F_{total}	$\Delta_{Elastic}$	Δ_{Tip}	Δ_{Side}
kN	kN	kN	mm	mm	mm
1465	1592	3057	2.3	45.1	2.6

مدول بستر قائم شمع [Vertical Subgrade Reaction Modulus]

سختی فنر معادل شمع (K_{eq})	سختی کل المان شمع (Kve)	سختی جداره در متر طول شمع (Kvs)	سختی کل جداره شمع (Kvs)	سختی نوک شمع (Kvp)
kN/mm	kN/mm	[kN/mm]/m	kN/mm	kN/mm
60.6	1110.8	**50.9**	611.2	32.5

نکته: جهت درک بهتر از پارامترهای سختی فنر و تفاوت رفتاری آنها به شکل زیر می توانید رجوع نمایید.

نکته: پارامتر "سختی جداره در متر طول شمع (Kvs)" برای تحلیل اجزای محدود بکار برده می شود. در واقع هر المان یک متری شمع دارای سختی مجزا در واحد متر می باشد (شکل زیر).

نکته: هنگام معرفی اعداد به نرم افزار تحلیل اجزا محدود، واحد برنامه kN,mm تنظیم گردد.

نکته: هنگام معادلسازی کل شمع با فنر تئوری وینکلر در مدل فونداسیون (مثلا SAFE)، از پارامتر سختی معادل (K_{eq}) استفاده می شود.

مدول بستر افقی شمع [Horizontal Subgrade Reaction Modulus]

ضریب پواسن (ν_s)	مدول الاستیسیته خاک (Es)	مدول الاستیسیته بتن (Ec)	قطر شمع (Dp)	طول شمع (L)	ضریب فنریت افقی خاک (η)	نوع خاک
	N/mm^2	N/mm^2	mm	m	kN/m^3 ?	
0.30	40	26518	800	12	6200	دانه ای

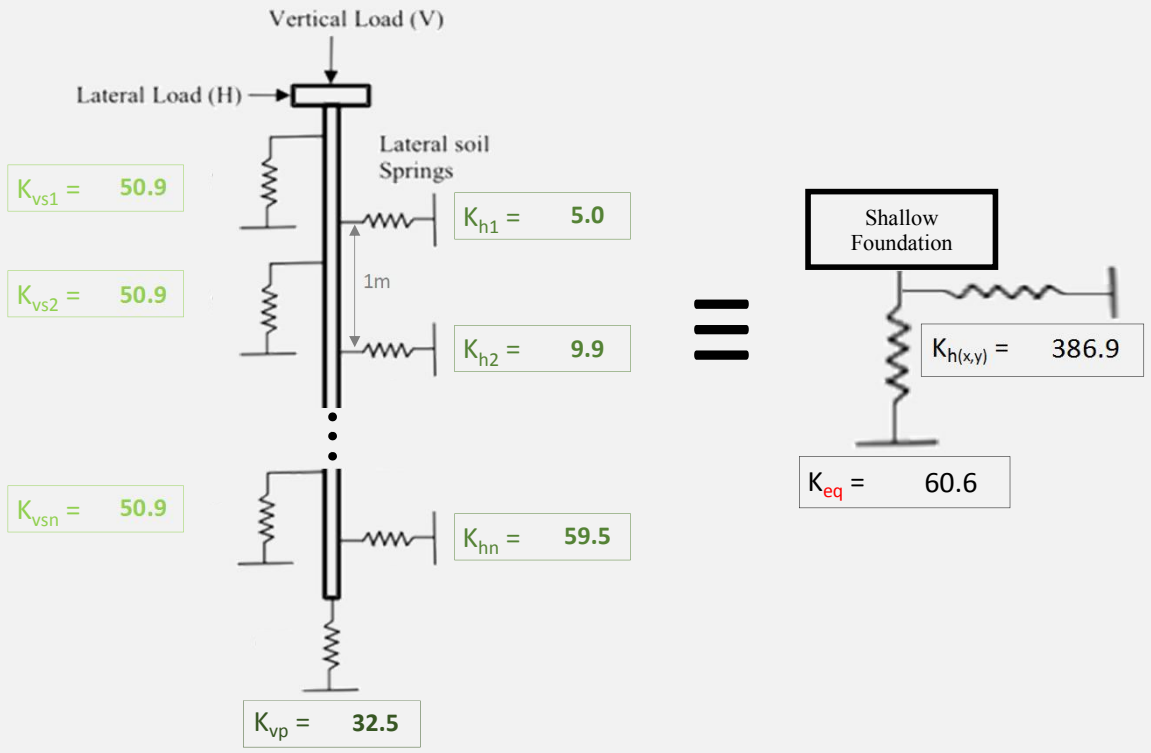
مقدار مدول بستر افقی خاک در مقابل عمق شمع (در خاکهای دانه ای)

ارتفاع	مدول بستر افقی در متر طول شمع (Khs)	ارتفاع	مدول بستر افقی در متر طول شمع (Khs)	ارتفاع	مدول بستر افقی در متر طول شمع (Khs)	ارتفاع	مدول بستر افقی در متر طول شمع (Khs)	ارتفاع	مدول بستر افقی در متر طول شمع (Khs)
m	[kN/mm]/m	m	[kN/mm]/m	m	[kN/mm]/m	m	[kN/mm]/m	m	[kN/mm]/m
1	**5.0**	11	**54.6**	-	-	-	-	-	-
2	**9.9**	12	**59.5**	-	-	-	-	-	-
3	**14.9**	-	-	-	-	-	-	-	-
4	**19.8**	-	-	-	-	-	-	-	-
5	**24.8**	-	-	-	-	-	-	-	-
6	**29.8**	-	-	-	-	-	-	-	-
7	**34.7**	-	-	-	-	-	-	-	-
8	**39.7**	-	-	-	-	-	-	-	-
9	**44.6**	-	-	-	-	-	-	-	-
10	**49.6**	-	-	-	-	-	-	-	-

مقدار مدول بستر افقی خاک در مقابل عمق شمع (در خاکهای رسی)

$$K_h = 0.65\sqrt[12]{\frac{E_s D^4}{E_c I_c}}\left(\frac{E_s}{1-\nu^2}\right) = \quad \mathbf{17.10} \quad [kN/mm]/m$$

خلاصه نتایج [Summary Results] - واحد سختی kN/mm



نکته: در دیاگرام چپ سختی خاک معادل شده با فنر در اطراف شمع نمایش داده شده است و در دیاگرام راست سختی فنر معادل مجموعه خاک و شمع در زیر فونداسیون ارائه شده است.

نکته: اطلاعات دیاگرام چپ برای نرم افزار SAP۲۰۰۰ و دیاگرام راست برای نرم افزار SAFE مورد استفاده می باشد.

نکته: اعداد ارائه شده سختی فنر معادل نقطه ای می باشد و باید در نرم افزار مطابق شکل بالا بصورت Joint Spring به ازای هر متر طول شمع معرفی گردد. به این منظور شمع را باید به قطعات ۱ متری تقسیم نمود.

نکته: هنگام معرفی اعداد به نرم افزار تحلیل اجزا محدود، واحد برنامه kN,mm تنظیم گردد.