

مثال 1 :

نمونه ای از یک خاک چسبنده در آزمایشگاه برای بدست آوردن اطلاعات زیر مورد آزمایش قرار گرفته است. درصد رطوبت نمونه $w = 22.5$ % و $G_s = 2.6$ بدست آمده و برای تعیین وزن مخصوص تقریبی آن ، نمونه ای از آنرا به وزن 224 گرم در داخل ظرفی به حجم 500 سانتی متر مکعب قرار داده و ملاحظه شد که برای پر شدن ظرف 382 سانتی متر مکعب آب لازم است. مطلوبست :

الف) وزن مخصوص مرطوب γ ،

ب) وزن مخصوص خشک γ_d ،

ج) ضریب تخلخل e ، و درجه پوکی n ،

د) درصد اشباع S_r ،

ه) چگالی خشک خاک

راه حل :

$$\gamma = \frac{w}{V} = \frac{224}{(500-382)} = 1.898 \text{ gr/cm}^3 \rightarrow \gamma = 1.898 \times 9.807 = 18.61 \text{ KN/m}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} = \frac{1.898}{(1+0.225)} = 1.54 \text{ gr/cm}^3 \rightarrow \gamma_d = 1.54 \times 9.807 = 15.19 \text{ KN/m}^3$$

$$V = 118 \text{ cm}^3 \rightarrow w_s = 1.54 \times 118 = 181.72 \text{ gr} \rightarrow V_s = \frac{w_s}{G_s \cdot \gamma_w} = \frac{181.72}{2.6 \times 1} = 69.89 \text{ cm}^3 \rightarrow V_v = V - V_s = 118 - 69.89 = 48.11 \text{ cm}^3$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{48.11}{69.89} = 0.68$$

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{48.11}{118} = 0.4 = 40 \%$$

$$\text{داریم: } S_r \cdot e = w \cdot G_s \rightarrow S_r = \frac{0.225 \times 2.6}{0.68} \times 100 = 86 \%$$

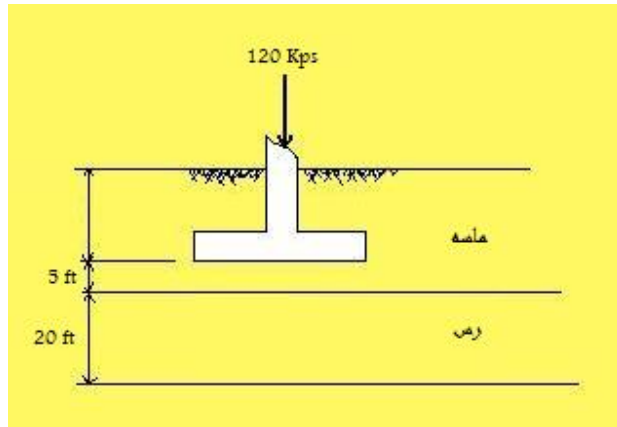
$$G_d = \frac{\gamma_d}{\gamma_w} = 1.54/1 = 1.54$$

مثال 2: یک پی به ابعاد 6×6 فوت مربع در شکل زیر نشان داده شده است؛ تغییرات فشار نسبت به عمق را در حالات زیر رسم کنید:

الف) در مرکز

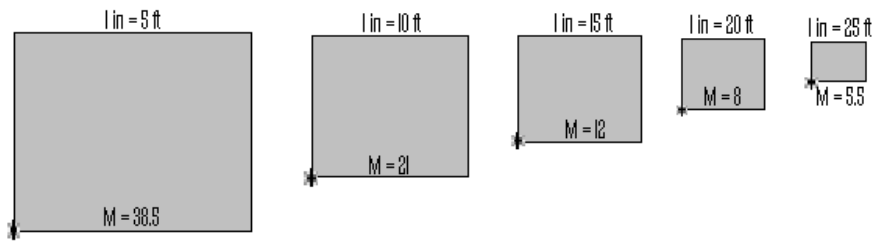
ب) در گوشه

مقدار متوسط ΔP را برای لایه رسی در زیر مرکز پی تعیین کنید و فرض کنید که بار 120 Kps باریست که بر خاک وارد می شود. (از وزن پی صرف نظر کنید).

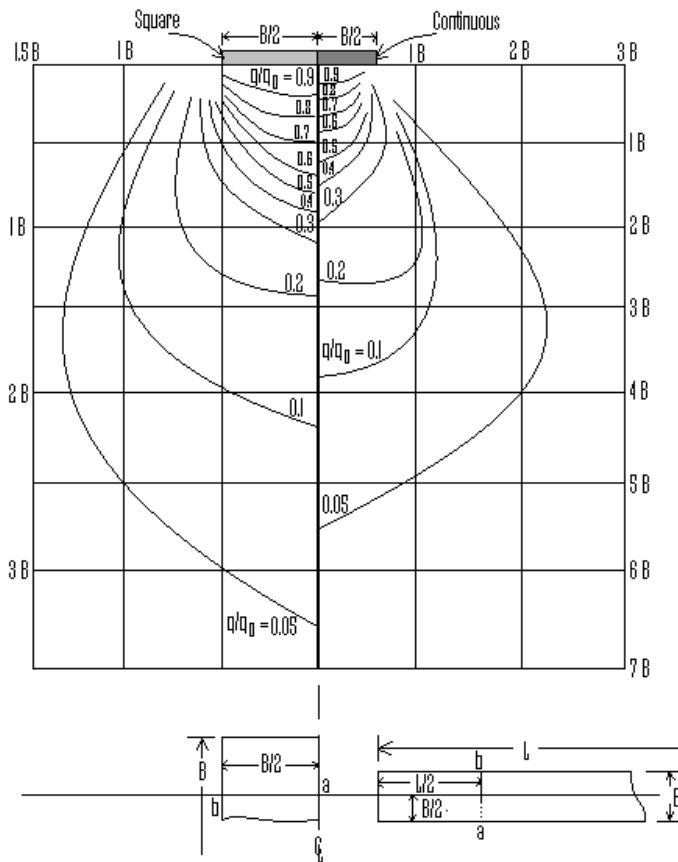


مرکز پی		گوشه پی			
تراز	$\frac{D}{B}$	Δq	مقیاس	M	$Ml = \Delta q$
-5	0.83	$0.42q_0$	$1''=5'$	38.5	$0.193q_0$
-10	1.67	$0.16q_0$	$1''=10'$	21	$0.105q_0$
-15	2.5	$0.08q_0$	$1''=15'$	12	$0.06q_0$
-20	3.3	$0.05q_0$	$1''=20'$	8	$0.04q_0$
-25	4.2	$0.025q_0$	$1''=25'$	5.5	$0.02q_0$

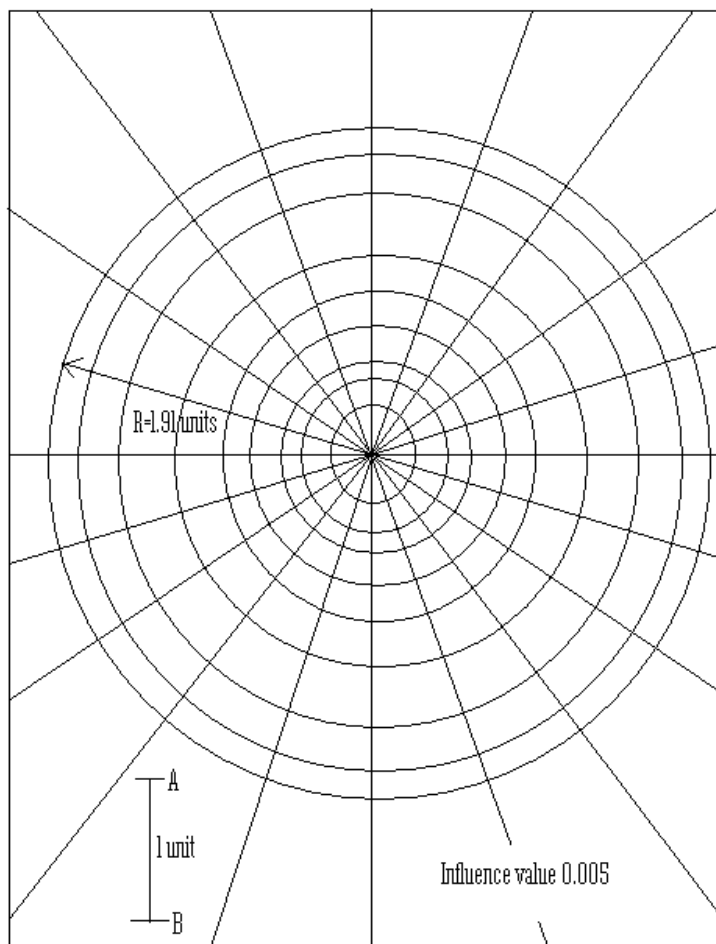
پلان پی در زیر نشان داده شده است. (* در وسط دیاگرام نیومارک قرار می گیرد).



حل: می توان از اثر عمق صرفنظر کرد و لایه خاک را بعنوان یک لایه ایزوتروپ (همسان) و هموژن (همگن) در نظر گرفت. برای تبدیل لایه ها به یک لایه به E_s و M رس و ماسه نیاز می باشد. برای مرکز پی می توان جدول مذکور را ترتیب داد و از جاب فشار شکل زیر برای بدست آوردن اطلاعات نشان داده شده سود جست.



برای گوشه پی لازم است چند پی با مقیاس $D=AB$ (شکل زیر) رسم شود، پی با مقیاس رسم شده از گوشه در نقطه O قرار داده و تعداد مربعات قرار گرفته در پی با مقیاس رسم شده را می شماریم. (M)



جدول صفحه بعد با استفاده از روش 2 به 1 بدست آمده که همان دیاگرام تغییرات فشار را در تمام زیر پی به ما می دهد.

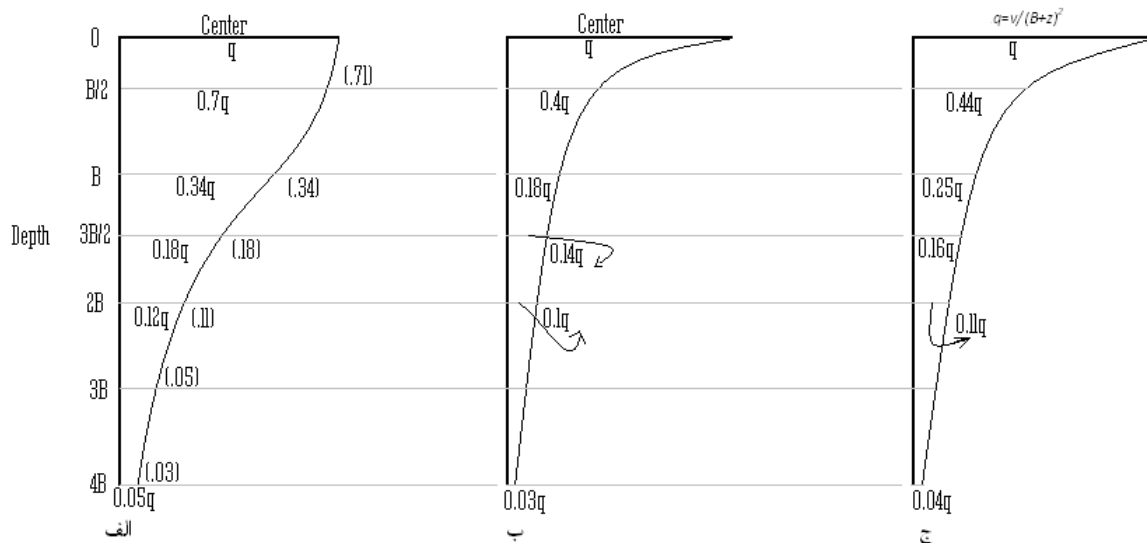
For 2:1 Method	Elevation	Δq
$q_u = 120/36$	0	q_0
$q_{-5} = 36q_0 / (6+5)^2 = 0.297q_0$	-5	$0.297q_0$
$q_{-10} = 36q_0 / (6+10)^2 = 0.141q_0$	-10	$0.141q_0$
	-15	$0.082q_0$
	-20	$0.053q_0$
	-25	$0.037q_0$

در شکل زیر نیز اطلاعات مربوطه نسبت به عمق رسم شده اند. همچنین یک روش عددی (کامپیوتری) برای رابطه $q_u = 3Q/2\pi Z^2 \times \cos^5 \theta$ ، که مربوط به تغییرات فشار ناشی از اعمال یک بار نقطه ای بر روی یک نیم فضای الاستیک ، بی وزنی ، ایزوتروپ همگن ، برای مرکز پی با استفاده از 36 سطح یک فوت مربعی نشان داده شده است.

الف) تئوری بوسینسک برای مرکز یک پی مربعی به روش عددی (کامپیوتری)

ب) تئوری بوسینسک برای گوشه پی مربعی

ج) روش تقریبی 2:1 دقت شود که تنش هایی که به این روش بدست می آیند به موقعیت و محل یعنی مرکز ، لبه ، گوشه و غیره در پی بستگی نداشت و وقتی $Z > B$ باشد مقادیر بدست آمده از روش بوسینسک قابل مقایسه اند.



افزایش توسط لایه رسی از رابطه زیر بدست می آید :

$$A = H \cdot \Delta P = \Delta H \left(\frac{P_1 + P_2}{2} + P_2 + P_3 + \dots + P_{n-1} \right)$$

که ΔH ضخامت ثابت لایه های کوچکتر ، H ضخامت لایه نسی و A سطح زیر منحنی می باشد :

$$\rightarrow \Delta q \cdot H = 5 \left(\frac{0.42 + 0.025}{2} + 0.16 + 0.08 + 0.05 \right) q_0 = 2.56 q_0$$

$$\rightarrow \Delta q = \frac{2.56 \times q_0}{20} = 0.128 q_0$$

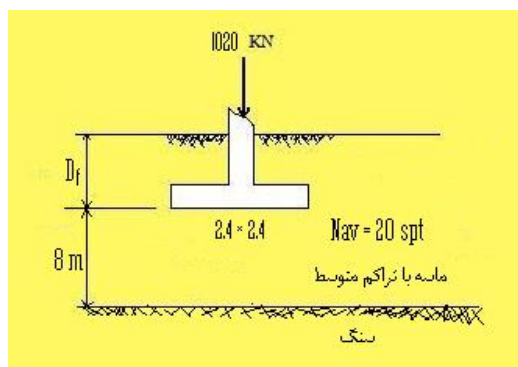
مثال 3: در شکل زیر ، مقدار متوسط ΔH (نشست) را در حالات زیر تعیین کنید :

$$D_f = 0 \text{ (a)}$$

$$D_f = 1.5 \text{ m (b)}$$

(c) در یک گوشه پی

حل :



مرحله اول - مقدار E_s را محاسبه می کنیم. $N=20$ بین متراکم و سست است.

$$E_s \cong 500(N+15) = 17500 \text{ Kpa} \quad :1$$

$$E_s \cong 15200 \ln 20 = 45535 \text{ Kpa} \quad :2$$

$$E_s \cong 18000 + 750 N = 33000 \text{ Kpa} \quad :3$$

بدلیل آنکه (3) بیانگر یک ماسه متراکم است و (2) مقدار بیشتری را نشان می دهد ، لذا مقدار 30000 Kpa را با استفاده از جدول مربوطه انتخاب کرده و مقدار $\mu = 0.3$ را بر می گزینیم.

مرحله دوم - فرض می کنیم پی انعطاف پذیر می باشد. زیرا برای صلب بودن باید ضخامت زیادی داشته باشد.

برای پی سطحی $I_w = 0.95$ را از جدول مربوطه انتخاب می کنیم.

$$Aq = P/B^2 \rightarrow q = 1020/2.4^2 = 177 \text{ Kpa}$$

$$a\Delta H = q \cdot B \cdot (1 - \mu^2) \cdot I_w / E_s = 177 (2.4)(1 - 0.3^2)(0.95) / 30000 = 0.0122 \text{ m}$$

مرحله سوم - محاسبه ΔH در وسط برای $D_f = 1.5 \text{ m}$, $H = 8 \text{ m}$

برای محاسبه F_1 , F_2 :

$$B' = L' = 2.4/2 = 1.2 \text{ m}$$

$$M = L'/B' = 1 \quad , \quad N = H/B' = 8/1.2 = 6.7$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} \left[M \cdot \ln \left\{ \frac{(1 + \sqrt{1 + M^2})}{M} \times \frac{\sqrt{M^2 + N^2}}{1 + \sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right\} + \ln \left\{ \frac{M + \sqrt{M^2 + 1}}{M + \sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \times \sqrt{1 + N^2} \right\} \right]$$

$$F_2 = \frac{N}{2\pi} \tan^{-1} \left(\frac{M}{N\sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right) \quad , \quad \tan^{-1} : \text{ برحسب رادیان است}$$

$$\rightarrow F_1 = 0.38 \quad , \quad F_2 = 0.046$$

با قرار دادن $B = 2B'$ برای بدست آوردن اثر چهارگوشه برای مرکز پی :

$$\Delta H = q \cdot B' \cdot \frac{1 - \mu^2}{E_s} (F_1 + \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} F_2) = 177(2.4) \frac{1 - 0.3^2}{30000} [0.38 + \frac{1 - 2(0.3)}{1 - 0.3} \times 0.046] = 0.0052$$

برای $D/B = \frac{1.5}{2.4} = 0.625$ و $\mu = 0.3$ و مربعی $L/B = 1$ مقدار $F_3 \cong 0.74$ بدست آمده و نشست مرکز پی برای $D_f = 1.5 \text{ m}$ می شود :

$$\Delta H_{\text{گوشه}} = 0.0052 \quad F_3 = 0.0038 \text{ m}$$

مرحله چهارم - برای تعیین نشست گوشه :

$$M = \frac{L}{B} = \frac{2.4}{2.4} = 1 ;$$

$$N = \frac{H}{B} = \frac{8}{2.4} = 3.33$$

مقادیر زیر بدست می آید :

$$F_1 = 0.158 ; \quad F_2 = 0.044 ; \quad F_3 = 0.74$$

نکته : در 2 ضرب نمی شود زیرا فقط یک گوشه بررسی می شود و اثر یک گوشه مطرح است.

$$\Delta H_{\text{گوشه}} = 177 \times (2.4) \times (1 - 0.3^2) / 30000 \times [0.158 + \frac{0.4}{0.7} \times (0.044)] \times 0.74 = 0.0017 \text{ m}$$

جدول رنج تغییرات مقدار مدول الاستیسیته خاک های انتخاب شده ، E_s

این مقدار بستگی به تاریخچه تنش ، محتوای آبی،چگالی و غیره دارد.

Soil		Ksf	E_s
			Mpa
رس			
	خیلی نرم	50-250	2-15
	نرم	100-500	5-25
	متوسط	300-1000	15-50
	سفت	1000-2000	50-100
	ماسه دار	500-5000	25-250
خاک زراعی منجمد			
	شل	200-3200	10-153
	متراکم	3000-15000	144-720
	خیلی متراکم	10000-30000	478-1440
		300-1200	14-57
ماسه			
	سیلت دار	150-450	7-21
	شل	200-500	10-24
	متراکم	1000-1700	48-81
شن و ماسه			
	شل	1000-3000	48-144
	متراکم	2000-4000	96-192
سنگ رستی		3000-300000	144-14400
سیلت		40-400	2-20

جدول رنج ضریب پواسون ، μ

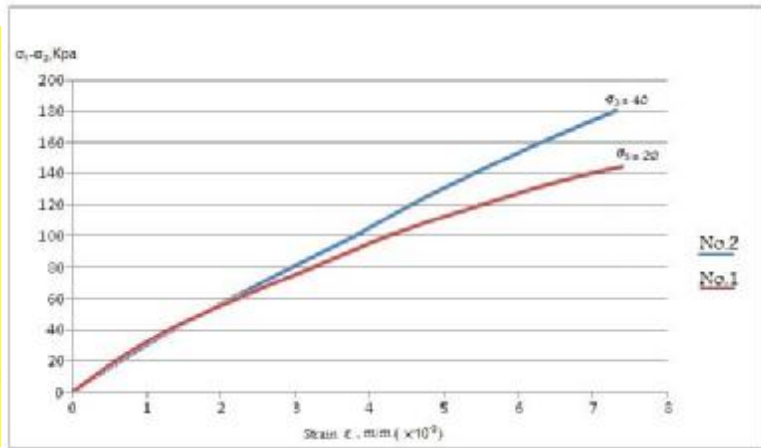
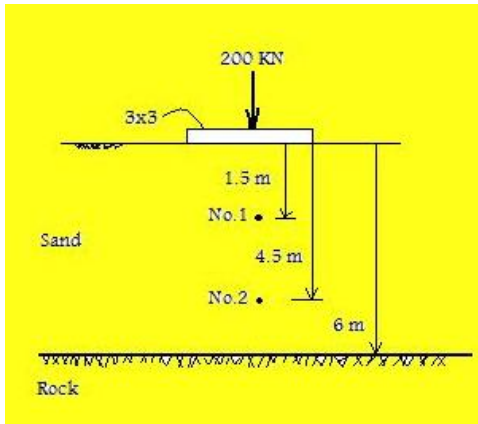
نوع خاک	μ
رس اشباع	0.4-0.5
رس غیر اشباع	0.1-0.3
رس ماسه دار	0.2-0.3
سیلت	0.3-0.35
ماسه (متراکم)	0.2-0.4
ماسه (خشن)	0.15
ماسه (خوب دانه بندی شده)	0.25
صخره	0.1-0.4
	0.1-0.3
یخ	0.36
بتن	0.15

جدول ضرایب I_w و I_m برای شکل های متفاوت و برای پی های صلب و انعطاف پذیر

شکل	انعطاف پذیر			صلب	
	مرکز	گوشه	متوسط	I_w	I_m
دایره	1.0	0.64 (در لبه)	0.85	0.88*	6.0
مربع	1.12	0.56	0.95	0.82	3.7
مستطیل:					
L/B = 0.2					2.29
0.5					3.33
1.5	1.36	0.68	1.15	1.06	4.12
2	1.53	0.77	1.30	1.20	4.38
5	2.10	1.05	1.83	1.70	4.82
10	2.54	1.27	2.25	2.10	4.93
100	4.01	2.00	3.69	3.40	5.06

*دیگران برای پی های صلب دایره ای مقدار $0.79 = \pi/4$ را مورد استفاده قرار می دهند.

مثال 4: مقدار نشست الاستیک آبی را برای خاک زیر پی شکل نشان داده شده محاسبه کنید.



توضیح: یک سری آزمایشات سه محوری (یا برش مستقیم) برای تعیین ϕ انجام می شود. با داشتن ϕ مقدار K_0 فشار خاک تعیین می شود. قسمت اول منحنی، تنش کرنش با مقیاس بزرگی مانند شکل رسم می شود. برای بارهای سیکلیک، آخرین سیکل را رسم کرده و آنرا به طوری که از مرکز شروع بگذرد رسم می کنیم.

$$\phi = 35^\circ ;$$

$$\gamma_1 = 17.3 ; \gamma_2 = 19.1 \text{ KN/cm}^3$$

یک مقدار برای ϕ انتخاب می شود. گرچه ϕ همراه با وزن مخصوص خاک تغییر می کند:

$$K_0 = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 35^\circ = 0.426$$

آزمایش 1:

$$P_0 = 2(17.3) = 34.6 \text{ Kpa}$$

$$\sigma_3 = 0.426(34.6) = 14.7 \text{ Kpa}$$

مقدار فشار سلولی را 20 Kpa (تقریباً برابر با 3 Psi) انتخاب می کنیم.

آزمایش 2:

$$P_0 = 3(17.3) + 1.5(19.1) = 80.6 \text{ Kpa}$$

مقدار فشار سلولی را 40 Kpa انتخاب می کنیم.

انجام آزمایش تحت فشار سلولی بسیار کم ، کار ساده ای نبوده و معمولا ساختن نمونه های ماسه ای با وزن مخصوص خاص کار آسانی نیست.

اکنون باید نشست پی را با کمک کرنش ها (روش Lambe) و با استفاده از رابطه :

$$\Delta H = \Delta \sigma_v \cdot L / E_s$$

تعیین کرد. E_s مدول سکانت یا مدول الاستیسیته است که از مبداء و نقطه تنش می گذرد.

حل : لایه 6 متری را به 4 قسمت 1.5 متری تقسیم و جدولی را تشکیل می دهیم ، مقدار q/q_0 را از شکل مربوطه بدست می آوریم.

$$q_h = q_v \cdot K_0 \quad ; \quad \sigma_{\Delta 1} = q_v - q_h \quad ; \quad \varepsilon \text{ از منحنی تنش - کرنش به ازای } \sigma_{\Delta 1}$$

$$q_0 = \frac{2100}{9} = 233.3 \text{ Kpa}$$

داریم :

$$\frac{D}{B} = 0 \quad ;$$

$$\sigma_{\Delta 1} = q_v \cdot (1 - K_0) = 233.3(1.0.426) = 133.9 \text{ Kpa}$$

از منحنی اول تنش - کرنش مقدار

$$\varepsilon_0 = 7 \times 10^{-3} \text{ بدست می آید. مدول سکانت برابر } E_s = \frac{133.9}{0.007} = 19130 \text{ Kpa می شود. با استفاده از جمع کرنش ها ، مقدار نشست با}$$

روش عددی مشخص می شود:

$$\Delta H = \int_0^L \varepsilon \cdot dL = \Delta \sigma \cdot L / E_s = \int_0^6 \varepsilon \cdot dL = \frac{1.5}{6} \times \left(\frac{7+0.6}{2} + 4.6 + 1.8 + 1.0 \right) \times 10^{-3} \times (6) \text{ à}$$

$$\Delta H = 16.8 \times 10^{-3} \text{ m} = 16.8 \text{ mm}$$

با استفاده از مفهوم مدول الاستیسیته ، مقدار نشست متعاقبا تعیین می شود :

$$E_s = \frac{1.5}{6} \times \left(\frac{19.13 + 26.8}{2} + 20.4 + 24.5 + 25.3 \right) \times 10^3 = 23.29 \times 10^3 \text{ Kpa}$$

به طریق مشابه برای محاسبه $\Delta\sigma_1$ ، مقدار 59.525 Kpa بدست می آید.

$$\Delta H = \Delta\sigma \cdot L/E_s = \frac{59.525 \times 6}{23290} = 16.3 \times 10^{-3} \text{ m} = 15.3 \text{ mm}$$

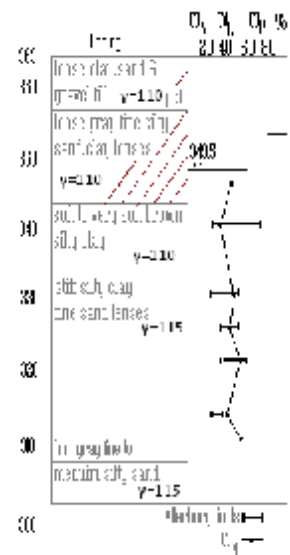
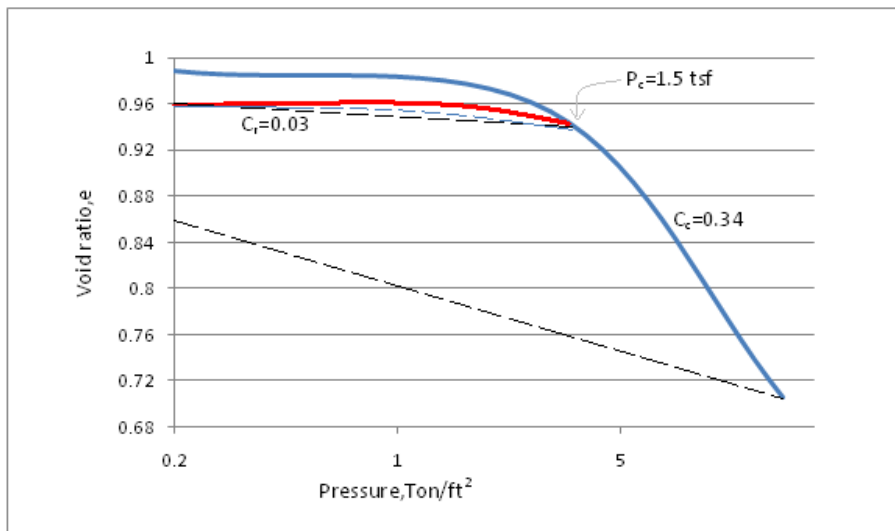
تفاوت و اختلاف بین دو روش ناشی از کاربرد مدول الاستیسیته سکانت به جای مدول تانژانت (مماسی) است .

Curve	D	D/B	q/q ₀	q _u	$\Delta\sigma_1$	$\epsilon \times 10^{-3}$	Es x 10 ³ Kpa
1	0	0	1	233.3	133.9	7.0	19.13
1	1.5	0.5	0.7	163.3	93.7	4.6	20.4
1	3.0	1.0	0.33	77.0	44.1	1.8	24.5
2	4.5	1.5	0.19	44.0	25.3	1.0	25.3
2	6.0	2.0	0.12	28.0	16.1	0.6	26.8

با استفاده از معادلات مربوطه برای محاسبه نشست با داشتن $\mu = 0.3$ و تاثیرات $F_1 + F_2 = 0.86$ و $F_3 = 1$ ، برای یک پی سطحی خواهیم داشت :

$$\Delta H = 233.3 \times (3) \times (1 - 0.3^2) / 23290 \times 0.86 = 0.0235 \text{ m} \sim 24 \text{ mm}$$

مثال 5: یک آزمایش تحکیم انجام شده و پروفیل زمین و دیگر اطلاعات مربوطه در شکل نشان داده شده است. نشست یک پی $8 \times 8 \text{ ft}^2$ که بار 375 Kpa را تحمل می کند و در تراز 353 روی رس سیلتی نرم تا بسیار نرم قهوه ای رنگ قرار دارد را محاسبه کنید (تراز 337 تا 347).



حل : مقدار P_c از منحنی تحکیم (قسمت بار برداری) $e - \log P$ تعیین می شود، چون در 1 ton/ft^2 خطی نیست، روش کاساگرانده استفاده نمی شود. لیکن مقدار P_c تقریباً یکسان است. مقدار C_r را از شیب منحنی بار برداری بدست می آوریم :

$$C_r = \frac{\Delta e}{\log \frac{P_2}{P_1}} = \frac{0.96 - 0.937}{\log 1/0.14} = \frac{0.023}{0.854} = 0.027 \sim 0.03$$

مقدار C_c را از شیب منحنی بعد از P_c بدست می آوریم :

$$C_c = \frac{0.821 - 0.719}{\log 8/4} = \frac{0.102}{0.301} = 0.34$$

از رابطه : $C_c = 0.009(W_L - 10)$ ، داریم :

$$C_c = 0.009(W_L - 10) = 0.009(78 - 10) = 0.612$$

که اختلاف زیاد است.

از رابطه : $C_c = 0.37(e_0 + 0.003 W_L + 0.004 W_N - 0.34)$ و $e_0 = 0.96$ و $W_N = 39.1\%$ داریم :

$$C_c = 0.37 [0.96 + 0.003(78) + 0.004(36.1) - 0.34] = 0.37$$

که نسبتاً مناسب است.

(a) با استفاده از روش 2:1 در مورد پی در تراز 353، از عمق تا بالای لایه رس می شود:

$$353-347=6 \text{ ft}$$

و تا کف می شود:

$$353-337=16 \text{ ft}$$

$$\Delta P.H = \int_6^{16} \frac{375}{(Z+8)^2} dZ = \left[-\frac{375}{8+Z} \right] \Rightarrow \Delta P = \frac{1}{10} \left(-\frac{375}{8+16} + \frac{375}{8+6} \right) = 1.12 \text{ Ksf}$$

(b) با استفاده از حباب فشار بوسینیک:

Elevation	D/B	$\Delta q/q_0$	Δq
-6	0.75	0.5	2.93
8.5	1.06	0.33	1.93
11.0	1.375	0.23	1.35
13.5	1.68	0.16	0.94
-16	2.0	0.12	0.7

$$\Delta q .H = 2.5 \left(\frac{2.93+0.7}{2} + 1.93 + 1.35 + 0.94 \right) = 15.09$$

$$\Delta q = \frac{15.09}{10} = 1.51 \text{ Ksf} > 1.12 \text{ Ksf}$$

مقدار نشست با استفاده از Δq محاسبه می شود.

$$P_0 = \text{تنش موثر در محل مرکز لایه (تراز 342)}$$

$$P_0 = 0.11(363-349.5) = 1.485 \text{ Ksf} + \quad (\text{از بالا تا سطح آب نه از پی به سمت پایین})$$

$$+ (0.11-0.0625)(349.5-342) = 1.841 \text{ Ksf}$$

$$P_c = 1.5 \text{ tsf} = 3 \text{ Ksf}$$

دقت شود که W_N به W_P از W_L نزدیکتر است.

$$P_0 + \Delta P = 1.84 + 1.51 = 3.35$$

مقدار $e_0 = 0.96$ را برای لایه به عنوان متوسط e_0 در نظر می گیریم. گرچه نمونه از وسط لایه نیست. هر تلاشی برای تصحیح مقدار ، بستگی به آنچه دارد که برای e_0 از منحنی e - $\log P$ در عمق نمونه بدست می آید. چون خاک بطور قابل ملاحظه ای پیش تحکیم شده است ، مقدار نشست از دو قسمت تشکیل می شود :

$$a) \Delta P_1 = 3 - 1.84 = 1.16 \text{ Ksf} ; \quad P_0 = 1.84 \text{ Ksf} \quad ; \quad C_c = C_r = 0.03$$

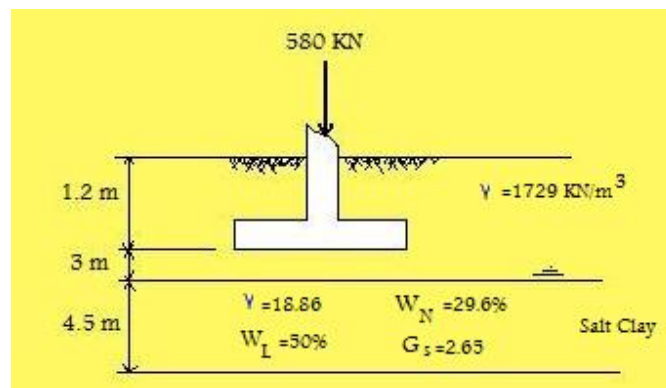
$$b) \Delta P_2 = 1.51 - 1.16 = 0.35 \text{ Ksf} ; \quad P_0 = P_c = 3 \text{ Ksf} \quad ; \quad C_c = 0.34$$

$$\Delta H_1 = \frac{0.03(10)}{1+0.96} \log \frac{1.84+1.16}{1.84} = 0.032 \text{ ft}$$

$$\Delta H_2 = \frac{0.44(10)}{1.96} \log \frac{3+0.35}{3} = 0.083 \text{ ft}$$

$$\Delta H_{\text{کل}} = 0.115 \text{ ft} \sim 1.4 \text{ in}$$

مثال 6: ابعاد پی شکل زیر را به نحوی تعیین کنید تا نشست حاصل از تحکیم بیشتر از 40 میلی متر نشود .



حل : فرض می کنیم افزایش خالص فشار خاک ناشی از تغییر مکان واقعی خاک قابل صرف نظر باشد. به دلیل این که مقدار نشست بستگی به فشار سطح تماس و اندازه پی داشته و غیر خطی می باشد ، لذا چندین سعی و خطا مورد نیاز بوده و رایج ترین کار این است که میانگین افزایش تنش در لایه یعنی ΔP مورد استفاده قرار گیرد. نتایج می تواند به صورت نسبت ΔH به B برای یافتن اندازه مورد نیاز پی رسم شود.

$$P_0 = 4.2(17.29) + 2.25(18.86 - 9.807) = 93 \text{ Kpa}$$

$$C_c = 0.009(W_L - 10) = 0.009(50 - 10) = 0.36$$

با فرض $S_r = 100\%$ داریم :

$$e = w.G_s = 29.6 \times 2.65 \times 0.01 = 0.784$$

$$S = \frac{C_c.H}{1+e} \text{Log} \frac{P_0 + \Delta P}{P_0} = \frac{0.36 \times 4.5}{1.784} \text{Log} \frac{P_0 + \Delta P}{P_0} = 0.91 \text{Log} \frac{93 + \Delta P}{93}$$

با استفاده از روش بوسینیک و اطلاعات بدست آمده از جدول مذکور مقدار ΔP به کمک قانون ذوزنقه محاسبه می شود

$$\Delta P = \frac{1}{15} \left(\frac{15}{3} \right) \left(\frac{0.25 + 0.06}{2} + 0.13 + 0.08 \right) q_0 = 0.12 q_0$$

$$B = 2.4$$

$$\Delta P = \frac{1}{3} \left(\frac{0.6 + 0.17}{2} + 0.4 + 0.25 \right) q_0 = 0.35 q_0$$

$$B = 4.8$$

$$\Delta P = \frac{1}{3} \left(\frac{0.77 + 0.34}{2} + 0.6 + 0.4 \right) q_0 = 0.52 q_0$$

$$B = 7.2$$

$$q_{2.4} = 0.12 \frac{580}{2.4 \times 2.4} = 12 \text{ Kpa}$$

$$q_{4.8} = 0.35 \frac{580}{4.8 \times 4.8} = 8.8 \text{ Kpa}$$

$$q_{7.2} = 0.52 \frac{580}{7.2 \times 7.2} = 5.8 \text{ Kpa}$$

$$\Delta H_{2.4} = 0.91 \text{Log} \frac{93 + 12}{93} = 0.91(0.05) = 0.046 \text{ m} = 46 \text{ mm}$$

$$\Delta H_{4.8} = 0.91 \text{Log} \frac{93 + 8.8}{93} = 0.91(0.039) = 0.035 \text{ m} = 35 \text{ mm}$$