

© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

فصل ۳. نشست الاستیک خاک

دکتر علیرضا غنی زاده

استادیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی سیرجان

<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>

نشست خاک



- ✓ با تأثیر سربار، تنش‌های فشاری در لایه‌های خاک به وجود آمده و باعث فشرده شدن آن می‌شود.
- ✓ فشرده‌گی خاک ناشی از تغییر شکل فشاری و جابجایی ذرات خاک، رانده شدن هوا و آب از حفرات خاک و عوامل دیگر است.
- ✓ در یک خاک بخصوص، یک و یا تعدادی از عوامل فوق ممکن است مشارکت داشته باشند.
- ✓ از آنجایی که فشرده شدن خاک باعث نشست سازه واقع بر روی آن می‌شود، از نقطه نظر مهندسی به این پدیده، نشست خاک می‌گویند.

© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D



انواع نشست خاک

در حالت کلی نشست های خاک به سه گروه زیر تقسیم می شوند:

- I. نشست آبی یا الاستیک که ناشی از تغییر شکل الاستیک خاک خشک و یا خاک های مرطوب و اشباع بدون هرگونه تغییری در میزان آب است. محاسبات نشست آبی معمولاً بر پایه روابط به دست آمده از تئوری الاستیسیته قرار دارد.
- II. نشست تحکیم اولیه که ناشی از تغییر حجم خاک اشباع به علت رانده شدن آب های موجود در حفرات است.
- III. نشست تحکیم ثانویه که در خاک های چسبنده اشباع مشاهده می شود و ناشی از تغییر آرایش مجدد ذرات خاک به علت تغییر شکل های پلاستیک می باشد.

$$S_T = S_c + S_s + S_e$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۲

<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>



نشست الاستیک

نشست الاستیک بلافاصله پس از اعمال بارگذاری و بدون تغییر در رطوبت خاک اتفاق می افتد.

معادلات به دست آمده در فصل گذشته برای توزیع تنش در توده خاک با توجه به فرضیات زیر به دست آمدند:

- I. بار بر روی سطح زمین اعمال می شود.
- II. خاک به صورت یکنواخت، ایزوتروپیک، الاستیک و عمق آن تا بینهایت ادامه دارد.
- III. سطح بارگذاری انعطاف پذیر است (پی انعطاف پذیر).

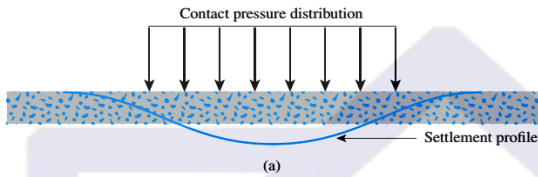
دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

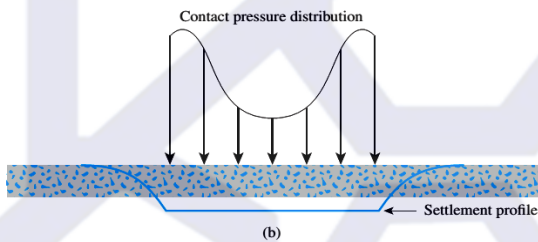
۲

© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D

توزیع تنش در زیر پی و تغییر شکل سطح خاک برای رسی



پی انعطاف پذیر



پی صلب

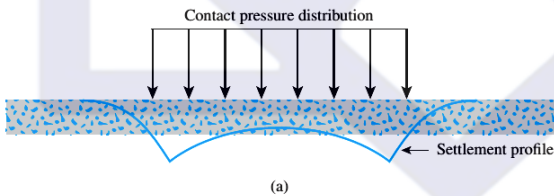
دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

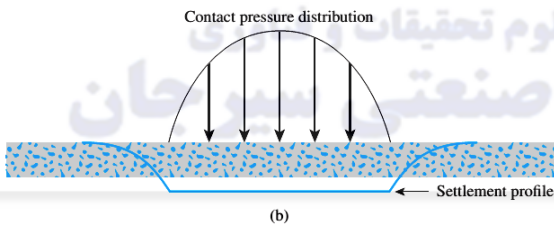
۵

<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>

توزیع تنش در زیر پی و تغییر شکل سطح خاک برای ماسه



پی انعطاف پذیر



پی صلب

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

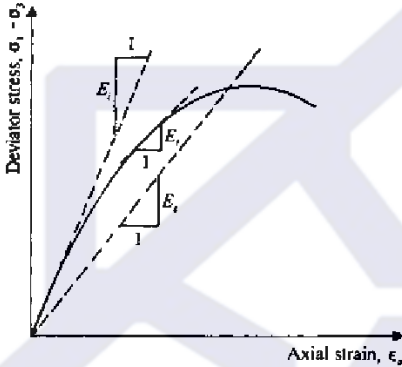
۶

© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D



تعیین مدول الاستیک و ضریب پواسن خاک

✓ از دیدگاه کلی سه مدول الاستیسیته قابل تعریف است که عبارتند از:



1. مدول الاستیسیته اولیه

2. مدول الاستیسیته مماسی در یک تنش مشخص

3. مدول الاستیسیته سکانت در یک تنش مشخص

✓ برای محاسبات نشست معمولاً از مدول الاستیسیته سکانت معادل با نصف تنش انحرافی حداکثر استفاده می‌شود.

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته



<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>



ضریب پواسن

✓ برای خاک‌های ریزدانه اشباع در حالت بارگذاری زهکشی نشده تغییر حجم اتفاق نمی‌افتد و بنابراین مقدار ضریب پواسن برابر با ۰/۵ خواهد بود.

✓ رابطه تجربی برای تعیین ضریب پواسن خاک‌های کمی بیش تحکیم یافته به صورت زیر است:

$$\nu \approx 0.25 + 0.00225(PI) \quad \text{Wroth (1975)}$$

✓ در خاک‌های درشت‌دانه داریم:

Soil type	Range of Poisson's ratio
Loose sand	0.2-0.4
Medium dense sand	0.25-0.4
Dense sand	0.3-0.45
Silty sand	0.2-0.4
Sand and gravel	0.15-0.35

$$\nu = 0.1 + 0.3 \left(\frac{\phi'_t - 25^\circ}{45^\circ - 25^\circ} \right) \quad \text{Trautmann and Kulhawy (1987)}$$

ϕ'_t is the drained friction angle in the triaxial compression test.

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته



© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D

تعیین مدول الاستیک - خاک‌های رسی



مدول زهکشی نشده معادل برابر است با:

$$E = \beta S_u$$

S_u : مقاومت برشی زهکشی نشده است

1. مقدار β با افزایش نرخ پیش تحکیمی رس کاهش می یابد. این برای سه رس در شکل ۸.۲ نشان داده شده است.
2. مقدار β به طور کلی با افزایش PI خاک کاهش می یابد.
3. مقدار β با مقدار مواد آلی در خاک کاهش می یابد.
4. برای رس‌ها با خاصیت پلاستیک بالا، مقدار E محصول آزمایش تحکیم زهکشی نشده است که به طور کلی نشان‌دهنده رفتار شکست است.
5. مقدار E تعیین شده از آزمایش تراکم محصور نشده و آزمایش سه محوری زهکشی نشده به طور کلی کم است.
6. در بیشتر موارد، CIU از انواع CK_U از آزمایش‌های روی نمونه‌های دست نخورده بدست می آید مقادیر E نشان دهنده حالت شکست است.

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۹

<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>

مقادیر β - خاک‌های رسی

Case study	Location of structure	Clay properties			E_{field} (ton/m ²)	β	Source of S_u
		Plasticity index	Sensitivity	Over-consolidation ratio			
1	Oslo: Nine-story building	15	2	3.5	7,600	1200	CIU
		16	100	2.5	990	1000	Field vane
2	Asrum I: Circular load					1200	CIU
3	Asrum II: Circular load test	14	100	1.7	880	1000	Field vane
4	Mastemyr: Circular load test	14	—	1.5	1,300	1200	Field vane
						1700	Bearing capacity
5	Portsmouth: Highway embankment	15	10	1.3	3,000	2000	Field vane
						1700	Bearing capacity
6	Boston: Highway embankment	24	5	1.5	10,000	1600	Field vane
						1200	CK_U
7	Drammen: Circular load test	28	10	1.4	3,200	2500	Field vane
						1500	CK_U
8	Kawasaki: Circular load test	38	6 ± 3	1.0	2,200	1400	Field vane
						1100	CK_U
9	Venezuela: Oil tanks	37	8 ± 2	1.0	500	400	Field vane
						1200	CIU
10	Maine: Rectangular load test ¹	33 ± 2	4	1.5-4.5	100-200	80-160	CIU and UU and Bearing capacity

D'Appolonia et al. (1971).

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۱۰

© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D



تعیین مدول الاستیک - خاک‌های درشت‌دانه

برای رس‌ها بیش‌تر تحکیم معمولی و کم با شاخص خمیری بالا تا متوسط، لرسون و مولا بدیک (۱۹۹۱) رابطه زیر را برای G_{max} دادند:

$$G_{max} = \left[\frac{208}{(PI/100)} + 250 \right] S_u \quad (8.9)$$

که $PI =$ شاخص پلاستیک است. گرجین و پرامبورگ (۱۹۹۰) همچنین رابطه زیر را برای رس بسیار سفت و خشک ارائه کردند:

$$G_{max} = 6S_u^2 + 500S_u \quad (\text{for } S_u = 140-300 \text{ kN/m}^2) \quad (8.10)$$

where G_{max} and S_u are in kN/m^2

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۱۳

<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>



تعیین مدول الاستیک - خاک‌های درشت‌دانه

مدول الاستیک با تعداد نفوذ استاندارد N و همچنین مقاومت نفوذ هسته q_c همبستگی دارد. اسپچرمن (۱۹۷۰) نشان داده که:

$$E(\text{kN/m}^2) = 766N \quad (8.11)$$

به طور مشابه، اسپچرمن و همکاران (۱۹۷۸) همبستگی زیر را بدست آوردند:

$$E = 2.5q_c \quad (\text{for square and circular foundations}) \quad (8.12)$$

$$E = 3.5q_c \quad (\text{for strip foundations}) \quad (8.13)$$

که q_c مقاومت نفوذ هسته است.

دانشگاه صنعتی سیرجان

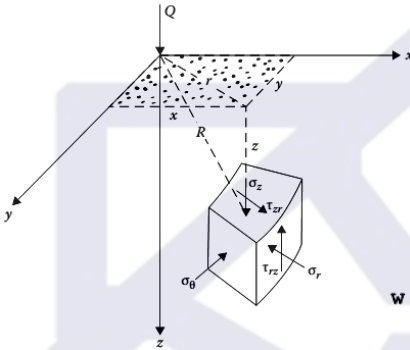
مکانیک خاک پیشرفته

۱۴

© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D



نشست ناشی از بار نقطه‌ای



$$\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi R^5} z^3$$

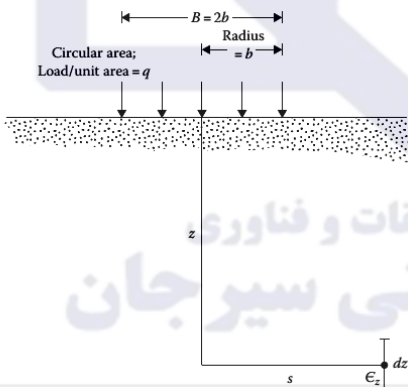
$$\sigma_r = \frac{Q}{2\pi} \left[\frac{3zx^2}{R^5} - \frac{1-2\nu}{R(R+z)} \right]$$

$$\sigma_\theta = \frac{Q}{2\pi} (1-2\nu) \left[\frac{1}{R(R+z)} - \frac{z}{R^3} \right]$$

$$w = \int \epsilon_z dz = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_r + \sigma_\theta)] = \frac{Q(1+\nu)}{2\pi E} \left[\frac{z^2}{R^3} - \frac{2(1-\nu)}{R} \right]$$



نشست ناشی از بار دایره‌ای



$$\epsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_r + \sigma_\theta)] \quad \epsilon_z = q \frac{1-\nu}{E} [(1-2\nu)A' + B']$$

$$w = q \frac{1+\nu}{E} b \left[\frac{z}{b} I_5 + (1-\nu) I_6 \right]$$

$I_5 = A'$ (Table 3.13)

b is the radius of the circular loaded area

I_6 (which is a function of z/b and s/b)

© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D



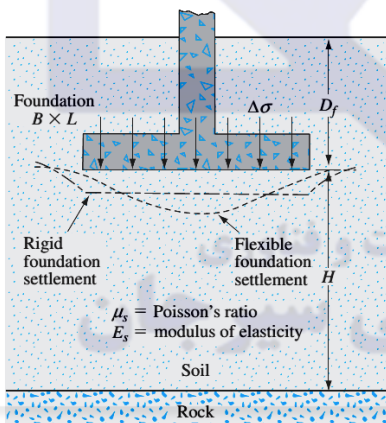
نشست ناشی از بار دایره‌ای

Table 3.20 Values of I_s

z/b	s/b																	
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14
0	2.0	1.97987	1.91751	1.80575	1.62553	1.27319	93676	7.1185	5.1671	.33815	.25200	.20045	.16626	.14315	.12576	.09918	.08346	.07023
0.1	1.80998	1.79018	1.72886	1.61961	1.44711	1.18107	92670	7.0888	5.1627	.33794	.25184	.20081						
0.2	1.63961	1.62068	1.56242	1.46001	1.30614	1.09996	90098	7.0074	5.1382	.33726	.25162	.20072	.16688	.14288	.12512			
0.3	1.48806	1.47044	1.40979	1.32442	1.19210	1.02740	86726	6.8823	5.0966	.33638	.25124							
0.4	1.35407	1.33802	1.28963	1.20822	1.09555	96202	83042	6.7238	5.0412									
0.5	1.23607	1.22176	1.17894	1.10830	1.01312	90298	79308	6.5429	4.9728	.33293	.24996	.19982	.16668	.14273	.12493	.09996	.08295	.07123
0.6	1.13238	1.11998	1.08350	1.02154	.94120	84917	75653	6.3469										
0.7	1.04131	1.03037	99794	91049	87742	80020	72143	6.1442	4.8061									
0.8	96125	95175	92386	87928	82136	75571	68009	5.9398										
0.9	89072	88251	85856	82616	77950	71495	65677	5.7361										
1	82843	85005	80465	76809	72587	67769	62701	5.5364	4.5122	.31877	.24386	.19673	.16516	.14182	.12394	.09952	.08292	.07104
1.2	72410	71882	70370	67937	64814	61187	57329	5.1552	4.3013	.31162	.24070	.19520	.16369	.14099	.12350			
1.5	60555	60233	57246	57633	55559	53138	50496	4.6379	3.9872	.29945	.23495	.19053	.16199	.14058	.12281	.09876	.08270	.07064
2	47214	47022	44512	45656	44502	43202	41702	3.9242	3.5054	.27740	.22418	.18618	.15846	.13762	.12124	.09792	.08196	.07026
2.5	38518	38403	38098	37608	36940	36155	35243	3.3698	3.0913	.25550	.21208	.17898	.15395	.13463	.11928	.09700	.08115	.06980
3	32457	32403	32184	31887	31464	30969	30381	2.9364	2.7453	.23487	.19977	.17154	.14919	.13119	.11694	.09558	.080610	.06897
4	24620	24588	24820	25128	24168	23932	23668	2.3164	2.2188	.19908	.17640	.15596	.13864	.12396	.11172	.09300	.07864	.06848
5	19805	19785				.19455			.18450	.17080	.15575	.14130	.12785	.11615	.10585	.08915	.07675	.06695
6	16554					.16326			.15750	.14868	.13842	.12792	.11779	.10836	.09990	.08562	.07452	.06522
7	14217					.14077			.13699	.13087	.12404	.11620	.10843	.10101	.09387	.08197	.07210	.06377
8	12448					.12352			.12112	.11680	.11176	.10600	.09976	.09400	.08848	.07800	.06928	.06200
9	11079					.10989			.10854	.10548	.10161	.09702	.09234	.08784	.08298	.07407	.06678	.05976
10									.09900	.09820	.09510	.09290	.08980	.08300	.08180	.07710		

<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>

محاسبه نشست الاستیک یک پی انعطاف‌پذیر



$$S_e = \Delta\sigma(\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f$$

$\Delta\sigma$ = net applied pressure on the foundation

μ_s = Poisson's ratio of soil

E_s = average modulus of elasticity of the soil under the foundation measured from $z = 0$ to about $z = 4B$

$B' = B/2$ for center of foundation

$= B$ for corner of foundation

I_s = shape factor (Steinbrenner, 1934)

© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D



محاسبه نشست الاستیک یک پی انعطاف پذیر

$$I_s = F_1 + \frac{1 - 2\mu_s}{1 - \mu_s} F_2$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} (A_0 + A_1)$$

$$F_2 = \frac{n'}{2\pi} \tan^{-1} A_2$$

$$A_0 = m' \ln \frac{(1 + \sqrt{m'^2 + 1}) \sqrt{m'^2 + n'^2}}{m'(1 + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1})}$$

$$A_1 = \ln \frac{(m' + \sqrt{m'^2 + 1}) \sqrt{1 + n'^2}}{m' + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}$$

$$A_2 = \frac{m'}{n' \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}$$

$$I_f = \text{depth factor (Fox, 1948)} = f\left(\frac{D_f}{B}, \mu_s, \text{ and } \frac{L}{B}\right)$$

ضریب a به محلی از پی که هدف محاسبه نشست در آن نقطه است، بستگی دارد.

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۱۹

<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>



محاسبه نشست الاستیک یک پی انعطاف پذیر

نشست در مرکز پی

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= 4 \\ m' &= \frac{L}{B} \\ n' &= \frac{H}{\left(\frac{B}{2}\right)} \end{aligned} \right\}$$

نشست در گوشه پی

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= 1 \\ m' &= \frac{L}{B} \\ n' &= \frac{H}{B} \end{aligned} \right\}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۲۰

© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D

تغییرات ضریب عمق



L/B	D_f/B	I_f		
		$\mu_s = 0.3$	$\mu_s = 0.4$	$\mu_s = 0.5$
1	0.5	0.77	0.82	0.85
	0.75	0.69	0.74	0.77
	1	0.65	0.69	0.72
2	0.5	0.82	0.86	0.89
	0.75	0.75	0.79	0.83
	1	0.71	0.75	0.79
5	0.5	0.87	0.91	0.93
	0.75	0.81	0.86	0.89
	1	0.78	0.82	0.85

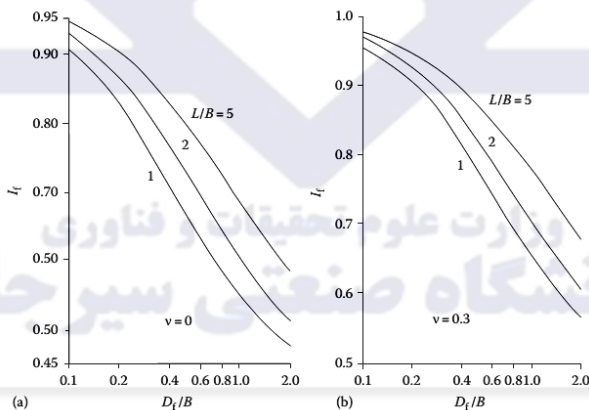
دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۲۱

<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>

تغییرات ضریب شکل

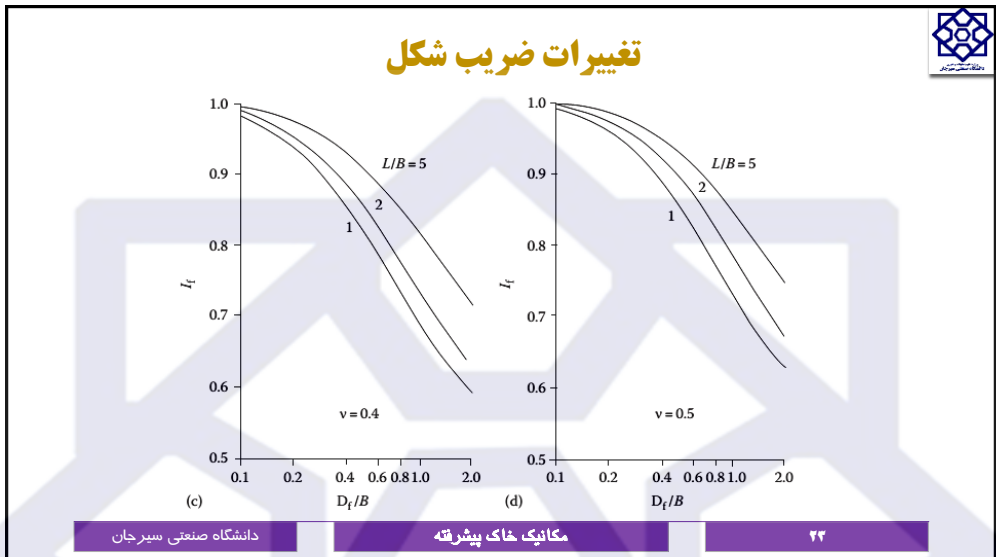


دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۲۲

© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D



<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>

محاسبه مدول الاستیسیته متوسط خاک

$$E_s = \frac{\sum E_{s(i)} \Delta z}{\bar{z}}$$

$E_{s(i)}$ = soil modulus of elasticity within a depth Δz
 \bar{z} = H or $5B$, whichever is smaller

وزارت علوم تحقیقات و فناوری

دانشگاه سیرجان

دانشگاه صنعتی سیرجان مکانیک خاک پیشرفته ۲۴

© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D

نشست الاستیک ناشی از پی صلب



$$S_{e(\text{rigid})} \approx 0.93 S_{e(\text{flexible, center})}$$

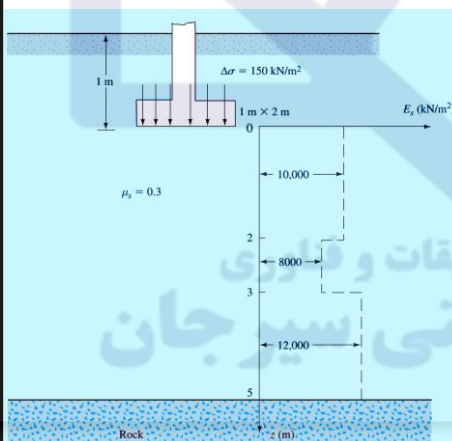
دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۲۵

<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>

مثال



$$B = 1 \text{ m and } L = 2 \text{ m}$$

$$\bar{z} = 5 \text{ m} = 5B$$

$$E_s = \frac{\sum E_{s(i)} \Delta z}{\bar{z}} = \frac{(10,000)(2) + (8,000)(1) + (12,000)(2)}{5} = 10,400 \text{ kN/m}^2$$

$$\alpha = 4$$

$$m' = \frac{L}{B} = \frac{2}{1} = 2$$

$$n' = \frac{H}{\left(\frac{B}{2}\right)} = \frac{5}{\left(\frac{1}{2}\right)} = 10$$

$$\frac{D_f}{B} = \frac{1}{1} = 1, \frac{L}{B} = 2, \mu_s = 0.3$$

$$I_f = 0.71$$

$$F_1 = 0.641 \text{ and } F_2 = 0.031$$

$$I_s = F_1 + \frac{2 - \mu_s}{1 - \mu_s} F_2 = 0.641 + \frac{2 - 0.3}{1 - 0.3} (0.031) = 0.716$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۲۶

© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D

ادامه مثال



$$S_{e(\text{flexible})} = \Delta\sigma(\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f$$

$$= (150) \left(4 \times \frac{1}{2} \right) \left(\frac{1 - 0.3^2}{10,400} \right) (0.716)(0.71) = 0.0133 \text{ m} = 13.3 \text{ mm}$$

$$S_e(\text{rigid}) = (0.93)(13.3) = 12.4 \text{ mm}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۴۷

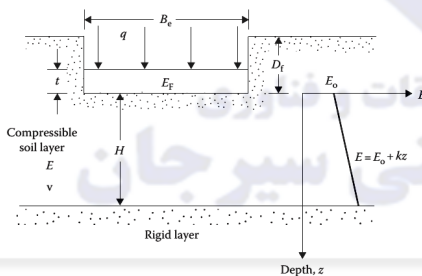
<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>

معادله بهبود یافته برای محاسبه نشست



1. در نظر گرفتن صلبیت پی
2. در نظر گرفتن عمق مدفون شدن پی

3. در نظر گرفتن افزایش مدول الاستیک با توجه به عمق
4. در نظر گرفتن موقعیت لایه‌های صلب در عمق محدود



Mayne and Poulos (1999)

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۴۸

© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D



معادله بهبود یافته برای محاسبه نشست

قطر معادل بارگذاری مستطیلی:

$$B_e = \sqrt{\frac{4BL}{\pi}}$$

where

B = width of foundation

L = length of foundation

For circular foundations

$$B_e = B$$

where B = diameter of foundation

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۴۹

<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>



معادله بهبود یافته برای محاسبه نشست

$$S_e = \frac{qB_e I_G I_F I_E}{E_o} (1 - \nu^2)$$

where I_G = influence factor for the variation of E with depth

$$= f\left(\beta' = \frac{E_o}{kB_e}, \frac{H}{B_e}\right)$$

I_F = foundation rigidity correction factor

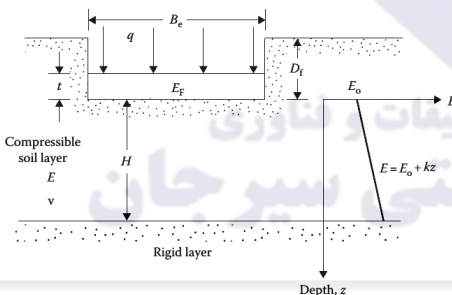
I_E = foundation embedment correction factor

foundation rigidity correction factor can be expressed as

$$I_F = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10 \left(\frac{E_F}{E_o + \frac{B_e k}{2}} \right) \left(\frac{2t}{B_e} \right)^3}$$

Similarly, the embedment correction factor is

$$I_E = 1 - \frac{1}{3.5 \exp(1.22\nu - 0.4) \left(\frac{B_e}{D_f} + 1.6 \right)}$$

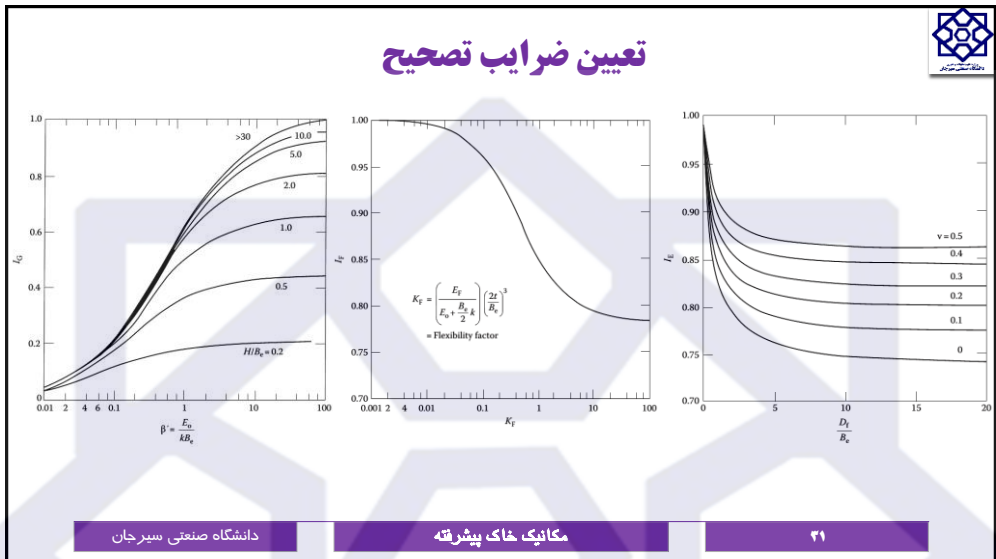


دانشگاه صنعتی سیرجان

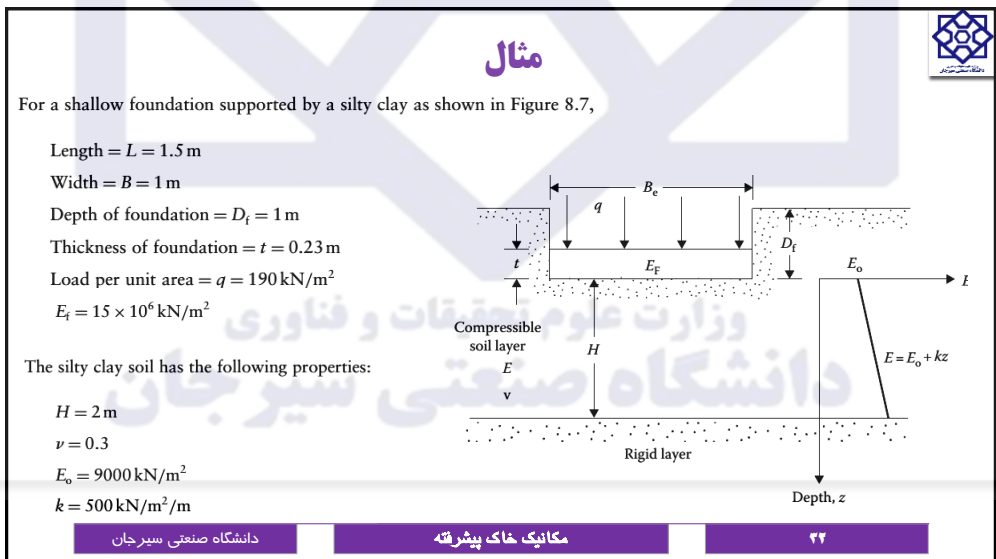
مکانیک خاک پیشرفته

۴۰

© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D



<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>



© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D



حل مثال

$$B_e = \sqrt{\frac{4BL}{\pi}} = \sqrt{\frac{(4)(1.5)(1)}{\pi}} = 1.38 \text{ m}$$

so

$$\beta = \frac{E_o}{k B_e} = \frac{9000}{(500)(1.38)} = 13.04$$

and

$$\frac{H}{B_e} = \frac{2}{1.38} = 1.45$$

for $\beta' = 13.04$ and $H/B_e = 1.45$, the value of $I_G \approx 0.74$.

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۳۳

<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>


حل مثال

$$I_F = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10 \left(\frac{E_f}{E_o + \frac{B_e k}{2}} \right) \left(\frac{2t}{B_e} \right)^3}$$

$$= \frac{\pi}{4} + \frac{1}{4.6 + 10 \left[\frac{15 \times 10^6}{9000 + \left(\frac{1.38}{2} \right) (500)} \right] \left[\frac{(2)(0.23)}{1.38} \right]^3} = 0.787$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۳۴

© Ali Reza Ghanizadeh, Ph.D



حل مثال

$$I_E = 1 - \frac{1}{3.5 \exp(1.22\nu - 0.4) \left(\frac{B_c}{D_f} + 1.6 \right)}$$

$$= 1 - \frac{1}{3.5 \exp[(1.22)(0.3) - 0.4] \left(\frac{1.38}{1} + 1.6 \right)} = 0.907$$

$$S_e = \frac{q B_c I_G I_F I_E}{E_o} (1 - \nu^2)$$

So, with $q = 190 \text{ kN/m}^2$, it follows that

$$S_e = \frac{(190)(1.38)(0.74)(0.787)(0.907)}{9000} (1 - 0.3^2) = 0.014 \text{ m} \approx 14 \text{ mm}$$

دانشگاه صنعتی سیرجان

مکانیک خاک پیشرفته

۴۵

<http://civil.sirjantech.ac.ir/~ghanizadeh>

وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه صنعتی سیرجان