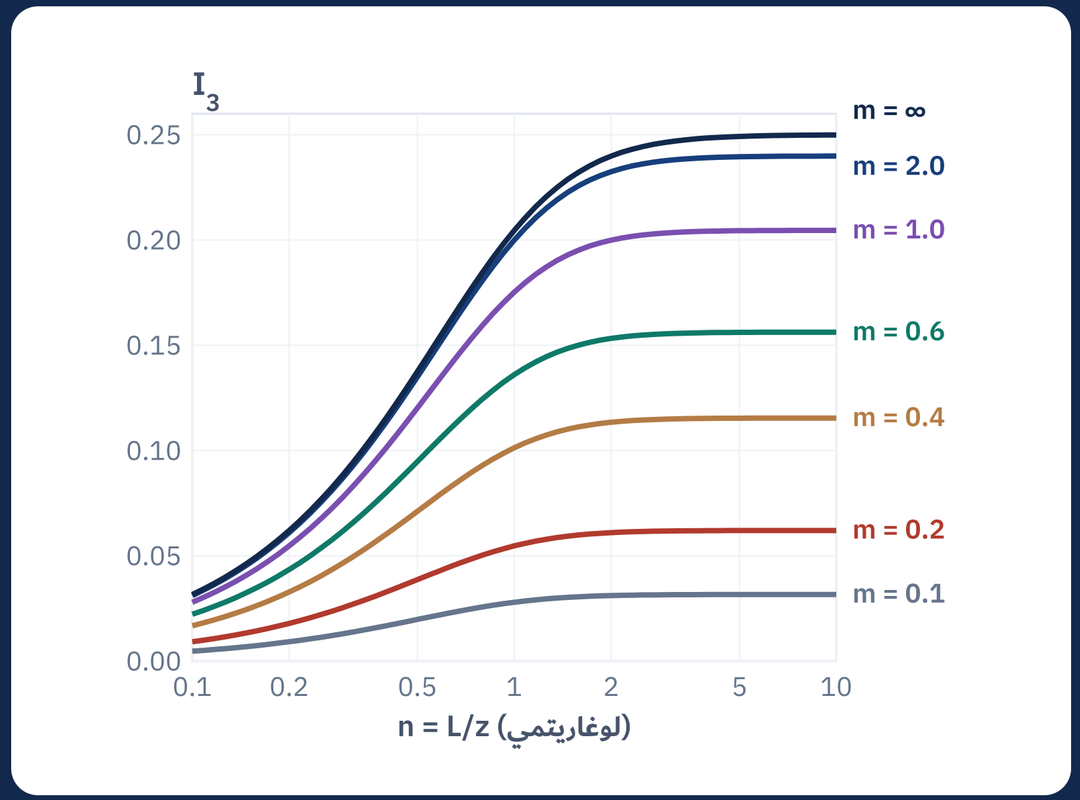
GeoTerva



شرائح محاضرات الجيوتكنيك · الإجهادات في التربة

الإجهاد تحت الحمل المستطيل

المحاضرة: الإجهاد الرأسي تحت حمل مستطيل؛ حل الزاوية، والتراكب، وأمثلة محلولة يدوياً.

- تحت الركن · I_3
- أربعة مستطيلات
- تحت المركز · I_4
- نقطة خارج منطقة الحمل
- مستطيلات متعددة

ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

الزيادة في الإجهاد الرأسي تحت **مساحة مستطيلة** محملة بحمل منتظم التوزيع (قاعدة، لبشة، بلاطة): $\Delta\sigma_z$

الحل المغلق تحت الركن: $\Delta\sigma_z = q\, I_3$، حيث تعتمد I_3 على $m = B/z$ و $n = L/z$ فقط

إضافة المستطيلات وطرحها من أجل **أي نقطة**: يقسم الحمل إلى أربعة مستطيلات لها ركن مشترك فوق النقطة

أسفل المركز مباشرة نجد I_4؛ وللقاعدة المربعة يُتحقق من $I_4 = 4\, I_3(1, 1) = 0.701$

أن الإجهادات الناتجة عن عدة مستطيلات **تتراكب**؛ وأثر شكل المستطيل (L/B)

تسلسل المحاضرة

يعالج كل موضوع في **ثلاث خطوات**:

1 · **النظرية**: المعادلة ومبرراتها

2 · **المسألة**: المعطيات والمطلوب

3 · **الحل**: خطوة بخطوة، بالأرقام

مثال: مستطيل $3\text{ m} \times 2\text{ m}$، $q = 150\text{ kN/m}^2$؛ تقع النقطة A′ على بعد 1 m بعد الضلع القصير، في امتداد أحد الضلعين الطويلين؛ $z = 4$ m.

النظرية

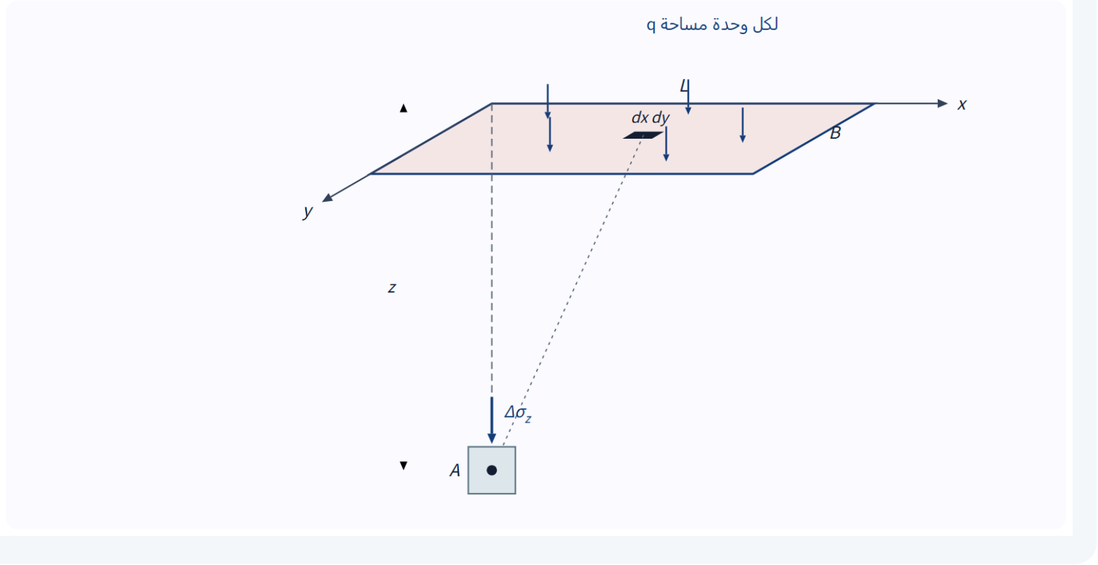
مساحة مستطيلة بحمل موزع بانتظام

معظم القواعد واللبشات **مستطيلة**؛ وعند تكامل حل Boussinesq على مستطيل يمكن الحصول على الإجهاد الرأسي **تحت الركن** بصيغة مغلقة

بالنسبة إلى بقية النقاط جميعها **تجمع المستطيلات وتطرح**

مستطيل مرن أبعاده **L × B** يحمل ضغطاً منتظم التوزيع **q**؛ والتربة وسط شبه لانهائي متجانس ومتماثل الخواص وخطي المرونة

$\Delta\sigma_z$ هي زيادة الإجهاد الناتجة عن الحمل وحده



النظرية

تكامل Boussinesq: $\Delta\sigma_z = q\, I_3$

تحمل المساحة العنصرية الحمل **dq = q dx dy**؛ وفي معادلة Boussinesq يؤخذ P = q dx dy و $r^2 = x^2 + y^2$

$$d\sigma_z = \frac{3q\,dx\,dy\,z^3}{2\pi\left(x^2+y^2+z^2\right)^{5/2}}$$

$$\Delta\sigma_z = \int_0^B\int_0^L \frac{3q\,z^3\,dx\,dy}{2\pi\left(x^2+y^2+z^2\right)^{5/2}} = q\,I_3$$

m = B/z و**n = L/z**؛ يعتمد I_3 على هاتين النسبتين فقط

معامل التأثير I_3

النظرية

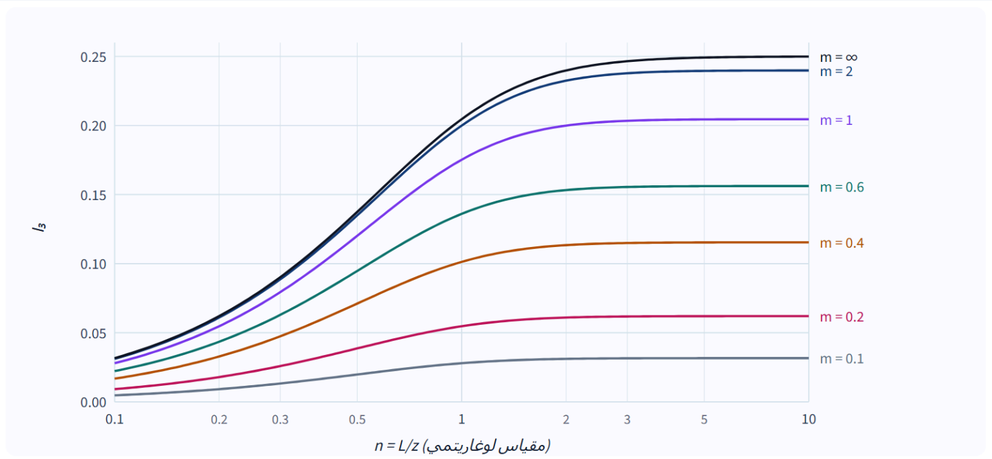
$$I_3 = \frac{1}{4\pi}\left[\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2+m^2n^2+1}\cdot\frac{m^2+n^2+2}{m^2+n^2+1} + \tan^{-1}\left(\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2-m^2n^2+1}\right)\right]$$

يجب أن يكون قوس الظل زاوية **موجبة** بالراديان: وعندما $m^2+n^2+1 < m^2n^2$ تخرج سالبة **فتضاف π**

I_3 **متماثلة** بالنسبة إلى m و n؛ وتقترب من **1/4** في المستطيل الكبير جدا: إذ يحمل الركن الواحد ربع حمل مساحة لانهائية

قيم I_3

النظرية



3.0	2.0	1.0	0.5	0.2	0.1	n \ m
0.0315	0.0311	0.0279	0.0198	0.0092	0.0047	0.10
0.0761	0.0752	0.0674	0.0475	0.0220	0.0113	0.25
0.1368	0.1350	0.1202	0.0840	0.0387	0.0198	0.50
0.2034	0.1999	0.1752	0.1202	0.0547	0.0279	1.00
0.2378	0.2325	0.1999	0.1350	0.0610	0.0311	2.00
0.2461	0.2395	0.2044	0.1374	0.0620	0.0316	5.00

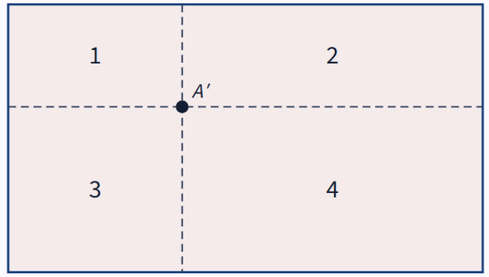
مستطيل الأركان الأربعة

النظرية

$$\Delta\sigma_z = q\left[I_{3(1)} + I_{3(2)} + I_{3(3)} + I_{3(4)}\right]$$

تُقسم المساحة المحملة إلى مستطيلات لها **ركن مشترك** فوق النقطة A′؛ ثم تُجمع إجهادات الأركان

إذا كانت A′ **خارج** المساحة امتد جزء من المستطيلات إلى ما وراء المساحة **وطرح**؛ وترسم الوحدة عند كل نقطة أربعة مستطيلات من النقطة إلى أركان الحمل بمسافات ذات إشارة، ويأخذ كل I_3 إشارة حاصل ضرب ضلعيه



المسقط الأفقي للمساحة المحملة؛ تمثل ركناً لجميع المستطيلات الأربعة A′
المستطيلات 1–4

تحت المركز: I_4

النظرية

$$\Delta\sigma_z = q\, I_4, \quad I_4 = \frac{2}{\pi}\left[\frac{m_1 n_1}{\sqrt{1+m_1^2+n_1^2}}\,\frac{1+m_1^2+2n_1^2}{(1+n_1^2)(m_1^2+n_1^2)} + \sin^{-1}\frac{m_1}{\sqrt{m_1^2+n_1^2}\,\sqrt{1+n_1^2}}\right]$$

تحت المركز تكون المستطيلات الأربعة **متساوية**؛ وتكتب النتيجة مباشرة: $m_1 = L/B$ و $n_1 = z/b$ و $b = B/2$ ($L \geq B$)

لمربع على العمق $z = b$: $I_4 = 0.701 = 4\, I_3(1, 1)$

النظرية

التراكب

يتحدد كل مستطيل بقيم **q** و **L** و **B** الخاصة به وبمركزه على الأرض (x_c, y_c) (حتى ثمانية مستطيلات في الوحدة)

يمكن لمستطيلين أن **يشتركا في ضلع واحد ولكن لا يتداخلا**

لما كانت التربة مرنة فإن إجهاد كل مستطيل يحسب من **مستطيلاته الركنية الأربعة** الخاصة به، ثم تجمع الإجهادات

$$\Delta\sigma_z = \sum_k q_k \sum \pm I_3 \quad \text{(أربع زوايا)}$$

المسألة

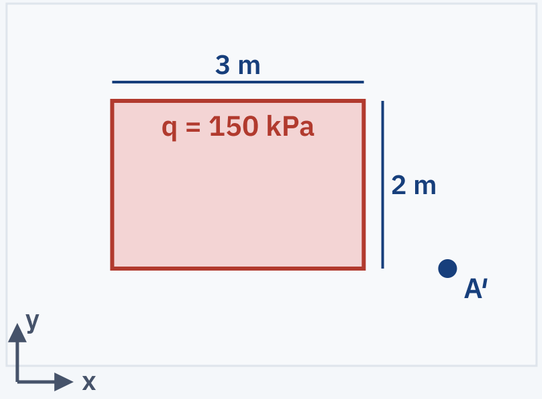
مثال

المعطيات

مستطيلة	**3×2 m ($L = 3$ m في الاتجاه x، $B = 2$ m في الاتجاه y)، $q = 150$ kN/m²، متمركزة عند نقطة الأصل**
النقطة A′	**على مسافة 1 m بعد الضلع القصير، في اتجاه أحد الضلعين الطويلين: $x = 2.5$ m، $y = -1$ m؛ $z = 4$ m**

المطلوب

$\Delta\sigma_z$: بمستطيل الزوايا الأربع؛ ويُحسب مقداري I_3 بالتفصيل.



الحل (1/3)

الحل

1 المسافات المعلَّمة من A′ إلى زوايا الحمل الأربع (z = 4 m)

الركن (x; y)	$a = x - x_A$،	$b = y - y_A$،	m = |a|/z	n = |b|/z	الإشارة
(1.5; 1.0)	1.0−	2.0	0.25	0.50	−
(1.5; 1.0-)	1.0−	0.0	0.25	0.00	0 (b = 0)
(1.5-; 1.0)	4.0−	2.0	1.00	0.50	+
(1.5-; 1.0-)	4.0−	0.0	1.00	0.00	0 (b = 0)

2 يبقى مستطيلان: الركن المشترك A′

$$\Delta\sigma_z = q\,[I_3(0.5;\,1) - I_3(0.25;\,0.5)] \qquad 4\text{ m} \times 2\text{ m} \;-\; 1\text{ m} \times 2\text{ m}$$

لا يسهم الركنان اللذان فيهما b = 0 في الإجهاد. بالنسبة إلى المستطيل **4 m × 2 m**: m = B/z = 2/4 = 0.5؛ n = L/z = 4/4 = 1؛ وبالنسبة إلى المستطيل **1 m × 2 m**: m = 1/4 = 0.25؛ n = 2/4 = 0.5. ولما كان I_3 متماثلاً فإن (1; 0.5) و (0.5; 1) متطابقان.

الحل (2/3)

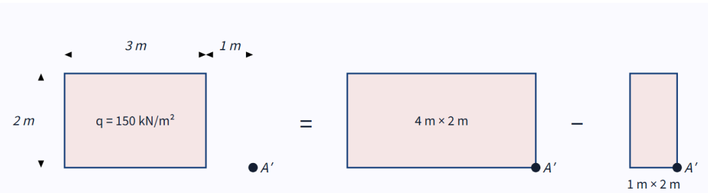
الحل

القيمة البينية	$I_3(0.5;\ 1)$	$I_3(0.25;\ 0.5)$
m ; n	1.00 ; 0.50	0.50 ; 0.25
m^2 ; n^2	1.0000 ; 0.2500	0.2500 ; 0.0625
$S_1 = m^2 + n^2 + 1$	2.2500	1.3125
$\sqrt{S_1}$	1.5000	1.1456
$2mn\sqrt{S_1}$	1.5000	0.2864
$S_2 = m^2 + n^2 + m^2n^2 + 1$	2.5000	1.3281
$S_1/(m^2 + n^2 + 2)$	1.4444	1.7619
الحد 1 = $2mn\sqrt{S_1}\ /\ S_2 \cdot (m^2 + n^2 + 2)/S_1$	0.8667	0.3800
$D = m^2 + n^2 + 1 - m^2n^2$	2.0000	1.2969
$2mn\sqrt{S_1}\ /\ D$	0.7500	0.2208
$\tan^{-1}(\ \dots\ )$ (rad)	0.6435	0.2174
I_3 = (الحد الأول + $\tan^{-1}$)/(4π)	**0.12018**	**0.04753**

$I_3(0.5;\ 1) = 0.12018$ و**$I_3(0.25;\ 0.5) = 0.04753$**. وبما أن $D > 0$ عند كلتا الزاويتين فإن قيمة الظل العكسي موجبة؛ ولا حاجة إلى إضافة π.

الحل (3/3)

الحل



3 الفرق والإجهاد

$$\Delta\sigma_z = 150\,(0.12018 - 0.04753) = 150\,(0.07264)$$

$$\Delta\sigma_z = 18.03 - 7.13 = \mathbf{10.90}\ \text{kPa}$$

عند النقطة A′ تكون ($\Delta\sigma_z/q = 0.07264$) **$\Delta\sigma_z$ = 10.90 kPa**. تفتح الوحدة بهذا المثال؛ وإذا أزيح المستطيل والنقطة معاً بالمسافة نفسها (المركز 4; 3 m، والنقطة 6.5; 2 m) فلا يتغير الإجهاد: 10.90 kPa.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

مثال

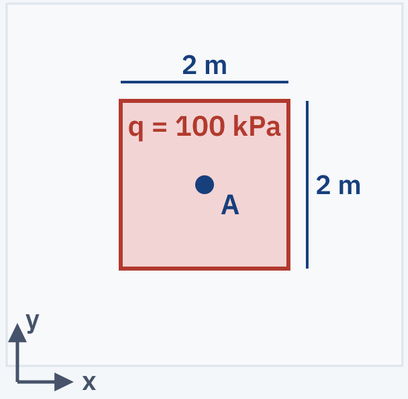
المعطيات

(أ) مربعة — 2×2 m، $q = 100$ kN/m²؛ أسفل المركز $z = 1$ m ($n_1 = z/b = 1$)

(ب) مستطيلة — 3×2 m، $q = 150$ kN/m²؛ أسفل المركز $z = 4$ m ($m_1 = L/B = 1.5$؛ $n_1 = 4$)

المطلوب

(a) التحقق من $I_4 = 4\, I_3(1, 1)$؛ (b) I_4 و $\Delta\sigma_z$؛ ومقارنة مع مجموع الأركان الأربعة.



الحل (1/2)

الحل

1 أربعة مستطيلات متساوية (أبعاد كل منها 1 m × 1 m، z = 1 m): $I_3(1,\,1)$؛ $S_2 = 3$، $\sqrt{S_1} = 1.7321$، $2mn\sqrt{S_1} = 3.4641$، $S_1 = 4$

$$\tan^{-1}\frac{3.4641}{3-1} = \tan^{-1}(1.7321) = 1.0472 \qquad \text{الحد } 1 = \frac{4}{3}\cdot\frac{3.4641}{4} = 1.1547$$

$$I_3 = \frac{1.1547 + 1.0472}{4\pi} = \mathbf{0.17522}$$

2 التحقق بصيغة المركز ($m_1 = 1$؛ $n_1 = 1$)

$$4\,I_3 = 4\,(0.17522) = 0.70089$$

$$I_4 = \frac{2}{\pi}\left[\frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{4}{4} + \sin^{-1}\frac{1}{2}\right] = \frac{2}{\pi}\,(0.5774 + 0.5236) = \mathbf{0.70089}$$

للمربع: **$I_4 = 4\,I_3(1,\,1) = 0.70089 \approx 0.701$**. ويساوي الإجهاد تحت المركز في هذا المثال 70.1% من ضغط الحمل (z = b).

الحل (2/2)

الحل

1 I_4: $m_1 = L/B = 1.5$; $n_1 = z/b = 4$ ($b = 1$ m); $m_1^2 + n_1^2 = 18.25$

$$\frac{m_1 n_1}{\sqrt{1+m_1^2+n_1^2}} = \frac{6}{4.3875} = 1.3675 \qquad \frac{1+m_1^2+2n_1^2}{(1+n_1^2)(m_1^2+n_1^2)} = \frac{35.25}{310.25} = 0.1136$$

$$\sin^{-1}\frac{1.5}{\sqrt{18.25}\sqrt{17}} = 0.0853 \qquad I_4 = \frac{2}{\pi}(0.1554 + 0.0853) = \mathbf{0.15320}$$

2 التحقق باستخدام $\Delta\sigma_z$ ومجموع الأركان الأربعة

$$4\,I_3(0.25;\,0.375) = 4\,(0.03830) = 0.15320 \qquad \Delta\sigma_z = 150\,(0.15320) = \mathbf{22.98}\ \text{kPa}$$

تحت المركز ($\Delta\sigma_z/q = 0.15320$) **$\Delta\sigma_z$ = 22.98 kPa**. وتعطي النتيجة نفسها أربعة مستطيلات ركنية متساوية (أبعاد كل منها 1.5 m × 1 m): 4 $I_3(0.25; 0.375)$.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

مثال

المعطيات

مستطيلة	3×2 m، $q = 150$ kN/m²
النقاط	**المركز** $(0;\,0)$، **والزاوية** $(1.5;\,1)$ و **A′** $(2.5;\,-1)$
الأعماق	$z = 1$; 2; 4; 6; 8; 12 m

المطلوب

$\Delta\sigma_z$ و $\Delta\sigma_z/q$ عند ثلاث نقاط؛ تفسير تغيرهما مع العمق.



الحل (1/2)

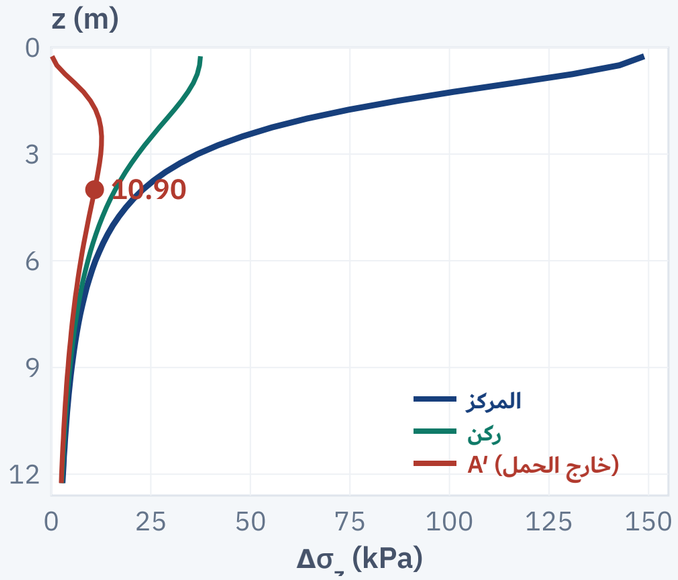
الحل

z (m)	المركز $\Delta\sigma_z$	الزاوية $\Delta\sigma_z$	$A' \Delta\sigma_z$	المركز q/	الركن q/	A'/q
1	116.19	35.67	5.88	0.7746	0.2378	0.0392
2	64.24	29.05	11.96	0.4283	0.1936	0.0798
4	22.98	16.06	10.90	0.1532	0.1071	0.0726
6	11.10	9.19	7.41	0.0740	0.0612	0.0494
8	6.44	5.74	5.03	0.0429	0.0383	0.0335
12	2.93	2.78	2.60	0.0195	0.0185	0.0174

تحت **المركز** و**الركن** يتناقص الإجهاد مع العمق باتجاه واحد (22.98 و 16.06 kPa عند $z = 4$ m)؛ وتبلغ نسبة الركن / المركز 0.70 عند $z = 4$ m و 0.95 عند $z = 12$ m. أما عند **A′** (خارج الحمل) فيبلغ 5.88 kPa عند $z = 1$ m ثم يرتفع إلى قيمته العظمى (12.64 kPa) عند $z \approx 2.50$ m، ثم يتناقص.

الحل (2/2)

الحل



1 صف z = 4 m: ثلاث نقاط

المركز: $150\,(0.15320) = 22.98$ kPa

ركن: $150\,I_3(0.5;\,0.75) = 16.06$ kPa A′ : 10.90 kPa

قرب السطح يقترب الإجهاد تحت المركز من ≈ q، وتحت الركن من ≈ q/4؛ وفي العمق تتقارب المنحنيات الثلاثة: عند z = 12 m تبلغ 2.93 و 2.78 و 2.60 kPa.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

مثال

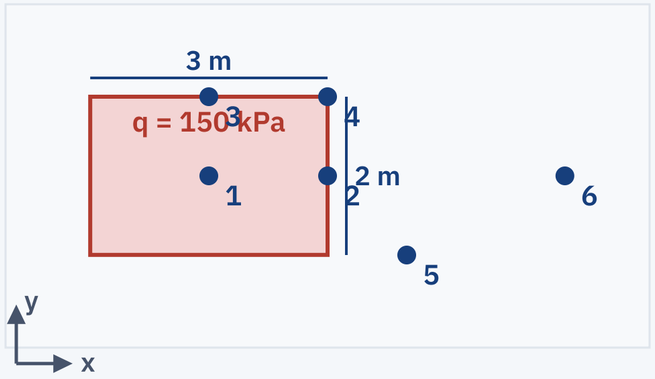
المعطيات

مستطيلة 3×2 m، $q = 150$ kN/m²، $z = 4$ m

النقاط **(1) المركز؛ (2) منتصف الضلع القصير؛ (3) منتصف الضلع الطويل؛ (4) الركن؛ (5) A′؛ (6)** $(4.5;\ 0)$

المطلوب

حدود I_3 بالإشارة عند كل نقطة، والمجموع، و$\Delta\sigma_z$.



الحل (1/2)

الحل

النقطة	(x; y)	الحد 1	الحد 2	الحد 3	المصطلح 4	$\Sigma \pm I_3$	$\Delta\sigma_z$ (kPa)
1	(0 ;0.0)	0.0383	0.0383	0.0383	0.0383	0.1532	**22.98**
2	(0 ;1.5)	0	0	0.0603	0.0603	0.1205	**18.08**
3	(1 ;0.0)	0	0.0675	0	0.0675	0.1351	**20.26**
4	(1 ;1.5)	0	0	0	0.1071	0.1071	**16.06**
5	(1- ;2.5)	0.0475−	0	0.1202	0	0.0726	**10.90**
6	(0 ;4.5)	0.0603−	0.0603−	0.0733	0.0733	0.0261	**3.91**

عند النقطة الداخلية (1) تكون الحدود الأربعة كلها +؛ وعند النقطتين الواقعتين على الحافة (2 و 3) ينعدم حدان؛ وعند الركن (4) يبقى حد واحد؛ وفي الخارج (5 و 6) تصبح بعض الحدود −. الترتيب: 22.98 > 18.08 > 20.26 > 16.06 > 10.90 > 3.91 kPa.

الحل (2/2)

الحل

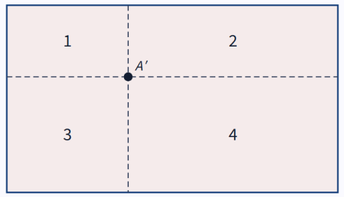
1 الزاوية (4): مستطيل واحد فقط (3 m × 2 m)

$$\Delta\sigma_z = q\, I_3(m = 0.5;\ n = 0.75) = 150\,(0.10707) = \mathbf{16.06}\ \text{kPa}$$

2 النقطة البعيدة (6): (4.5؛ 0)، على بعد 3 m خلف الحمل

$$\Delta\sigma_z = q \cdot 2\,[\,I_3(1.5;\ 0.25) - I_3(0.75;\ 0.25)\,]$$
$$= 150 \cdot 2\,(0.07329 - 0.06026) = \mathbf{3.91}\ \text{kPa}$$

نسبة إجهاد الزاوية / المركز 0.699؛ على مسافة 3 m من الحمل يتبقى (6) 3.91 kPa: فالإجهاد لا يكون صفراً خارج منطقة الحمل أيضاً.



المسقط الأفقي للمساحة المحملة؛ تمثل ركناً لجميع المستطيلات الأربعة A′ المستطيلات 1–4

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

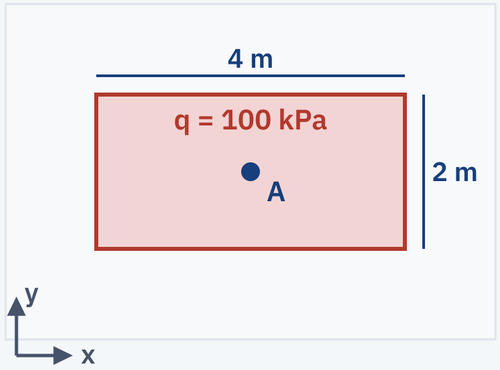
مثال

المعطيات

مستطيلة	$B = 2$ m $(b = 1$ m$)$، $L/B = 1$؛ 2؛ 5؛ 10 و $L \to \infty$ **(شريطية)**
النقاط	**أسفل المركز،** $n_1 = z/b = 0.5$؛ 1؛ 2؛ 4

المطلوب

أسفل المركز: $\Delta\sigma_z/q = I_4$؛ مقارنة مع الحمل الشريطي.



الحل (1/2)

الحل

$n_1 = z/b$	L/B = 1	L/B = 2	L/B = 5	L/B = 10	شريط (L/B → ∞)
0.5	0.9299	0.9565	0.9594	0.9595	**0.9595**
1.0	0.7009	0.7998	0.8176	0.8183	**0.8183**
2.0	0.3361	0.4807	0.5451	0.5495	**0.5498**
4.0	0.1081	0.1901	0.2848	0.3034	**0.3058**

قرب السطح ($n_1 = 0.5$) لا يكون للشكل أهمية تذكر (0.930 – 0.959)؛ أما في العمق فيتلاشى إجهاد المستطيل **القصير** أسرع بكثير: عند $n_1 = 4$ تكون قيمة المربع 0.108 والشريط 0.306.

الحل (2/2)

الحل

1 صيغة I_4 ($m_1 = 2$؛ $n_1 = 1$)

$$m_1^2 + n_1^2 = 5 \qquad \frac{m_1 n_1}{\sqrt{1+5}} = \frac{2}{2.4495} = 0.8165 \qquad \frac{1+4+2}{(1+1)(5)} = 0.70$$

$$\sin^{-1}\frac{2}{\sqrt{5}\sqrt{2}} = 0.6847 \qquad I_4 = \frac{2}{\pi}\,(0.5715 + 0.6847) = \mathbf{0.79976}$$

2 بأربعة مستطيلات ركنية متساوية (كل منها 1 m × 2 m، z = 1 m)

$$4\,I_3(1;\,2) = 4\,(0.19994) = \mathbf{0.79976}$$

عند مركز المستطيل ذي L/B = 2 وعلى العمق z = b يكون **$\Delta\sigma_z/q$ = 0.7998** (المربع: 0.7009؛ الشريط: 0.8183). وعند ($n_1 = 1$) L/B = 10 تبلغ القيمة 0.81826 مقابل 0.81831 للشريط: فكلما استطال المستطيل اقترب من الشريط.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

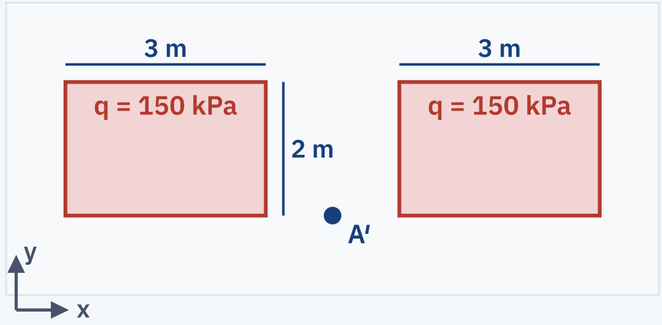
مثال

المعطيات

المستطيل 1	3×2 m، $q = 150$ kN/m²، المركز $x = 0$
المستطيل 2	3×2 m، $q = 150$ kN/m²، المركز $x = 5$ m، $y = 0$)
النقطة	A': $x = 2.5$ m، $y = -1$ m؛ $z = 4$ m (وكذلك 1؛ 2؛ 6؛ 8؛ 12 m)

المطلوب

$\Delta\sigma_z$ لكل مستطيل وقيمته الكلية؛ وتوزيعه مع العمق.



الحل (1/2)

الحل

1 المستطيل 2: الأركان مع إشاراتها بالنسبة إلى A′ (المسافة بين المركزين $(L_1 + L_2)/2 = 3$ m ≥ 5 m: لا يوجد تداخل)

الركن (x; y)	a	b	m	n	الإشارة
(1.0 ;6.5)	4.0	2.0	1.00	0.50	+
(1.0- ;6.5)	4.0	0.0	1.00	0.00	0 (b = 0)
(1.0 ;3.5)	1.0	2.0	0.25	0.50	–
(1.0- ;3.5)	1.0	0.0	0.25	0.00	0 (b = 0)

2 التراكب

$$\Delta\sigma_{z(2)} = 150\,[I_3(1;\,0.5) - I_3(0.25;\,0.5)] = 10.896 \text{ kPa}$$

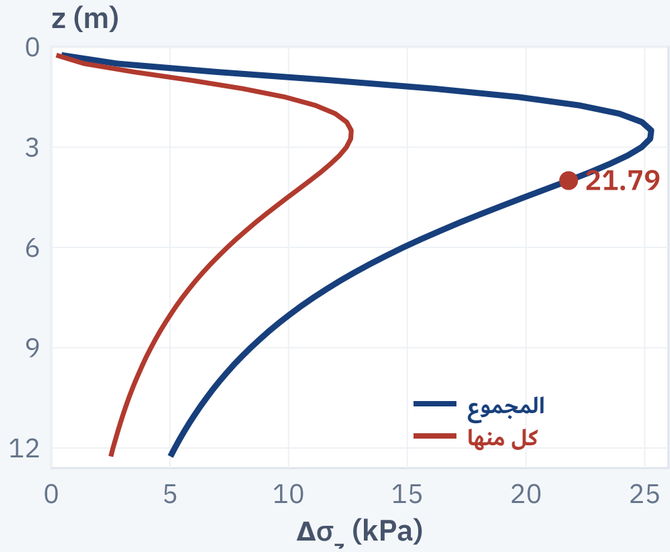
$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = 10.896 + 10.896 = \mathbf{21.793} \text{ kPa}$$

تقع A′ في منتصف المستطيلين تماماً (x = 2.5 m؛ وتبعد 1 m عن كل منهما): والمستطيل 2 هو **الصورة المرآتية** للمستطيل 1 ويعطي الإجهاد نفسه. والمجموع **$\Delta\sigma_z$ = 21.79 kPa**.

الحل (2/2)

الحل

z (m)	المستطيل 1	المستطيل 2	المجموع
1	5.877	5.877	**11.754**
2	11.965	11.965	**23.930**
4	10.896	10.896	**21.793**
6	7.413	7.413	**14.826**
8	5.028	5.028	**10.056**
12	2.603	2.603	**5.205**



مجموع الإجهاد عند $z = 4$ m يساوي **21.79 kPa**؛ وبما أن المستطيلين متناظران فإن المجموع عند أي عمق = 2 × مستطيل واحد. وأكبر قيمة للمجموع 25.28 kPa عند $z \approx 2.50$ m.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النقاط الرئيسية

الركن: $\Delta\sigma_z = q\ I_3(m, n)$، $m = B/z$، $n = L/z$؛ وللمساحة الكبيرة $I_3 \to 1/4$. **أي نقطة:** مستطيلات الأركان الأربعة المعلمة بإشارات، $\Delta\sigma_z = q\ \Sigma \pm I_3$

مثال (A'، $z = 4$ m): $I_3(0.5; 1) = 0.12018$:4 m × 2 m − 1 m × 2 m؛ $I_3(0.25; 0.5) = 0.04753$؛ **$\Delta\sigma_z = 150\ (0.07264) =$ 10.90 kPa**

المركز: $\Delta\sigma_z = q\ I_4$؛ مربع، $I_4 = 4\ I_3(1, 1) = 0.701$:z = b؛ مستطيل 3 × 2 m، z = 4 m: **22.98 kPa**

الموضع ($z = 4$ m): المركز 22.98، ومنتصفا الضلعين 20.26 و 18.08، والركن 16.06، والنقطة A' 10.90، والنقطة البعيدة 3.91 kPa؛ والإجهاد ليس صفراً في الخارج أيضاً

الشكل: عند z = 4b يعطي المربع $0.108\ q$، والمستطيل 10:1 يعطي $0.303\ q$، والشريط $0.306\ q$. **مستطيلان:** تجمع الإجهادات (10.90 + 10.90 = 21.79 kPa)

المراجع

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning.

Boussinesq, J. (1883). Application des Potentiels à l'Étude de l'Équilibre et du Mouvement des Solides Élastiques. Gauthier-Villars, Paris.

ملاحظة

جميع الأمثلة العددية مستخرجة بمحرك الحساب الخاص بالوحدة؛ وتعطي الوحدة القيم نفسها. وتبدأ الوحدة بالمستطيل (q = 150 kN/m²، والنقطة A′ (x = 2.5 m؛ y = −1 m؛ z = 4 m).

GeoTerva

حسابات الجيوتكنيك عبر الإنترنت

من النظرية إلى التطبيق

أدخل في GeoTerva المستطيلات الخاصة بك (B ،L ،q، المركز) والنقطة A والعمق؛ وتعطي الوحدة حدود الزوايا الأربعة، وقيمة $\Delta\sigma_z$، ومنحنيات تساوي الإجهاد، ومنحنى العمق، والحل خطوة بخطوة، والتقرير معاً.

افتح الوحدة ←

صفحة النظرية ←

افتح على الهاتف

لا تتطلب الوحدات التجريبية تسجيلاً.

إذا رغبت في استخدامها في محاضراتك: info@geoterva.com