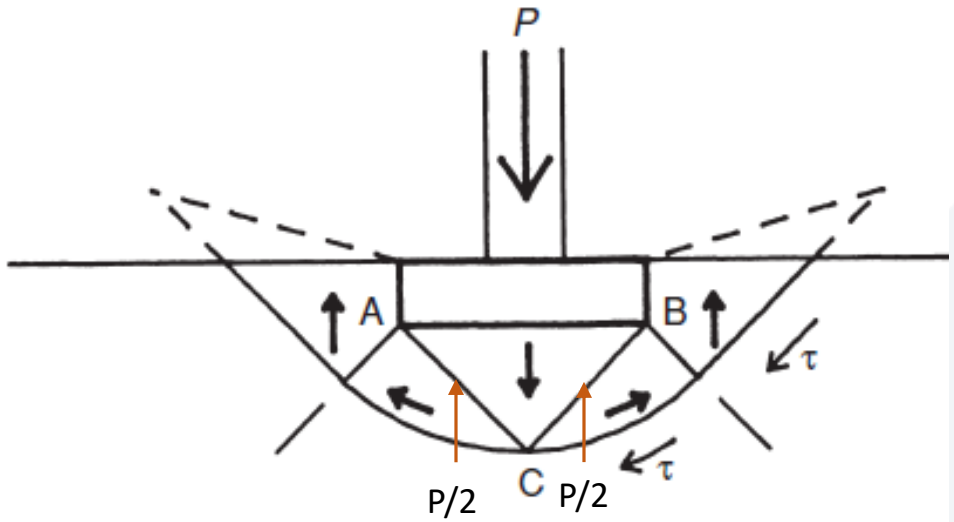
الفصل الثالث : قدرة تحمل التربة تحت الأساسات السطحية

3. 1 تعريف قدرة تحمل التربة المسموحة :

تعبر عن الاجهاد الأعظمي المسموح نقله إلى تربة التأسيس بحيث يضمن الأمان المطلوب على الانهيار بالقص, كما يكون هبوط الأساسات ضمن الحدود المسموحة.



3. 2 آلية نقل حمولة الأساس إلى التربة وكيفية مقاومة الاجهادات المنقولة إلى التربة

لنفرض أساساً محملاً بحمولة شاقولية P متجهة نحو الأسفل (الشكل), ترتص التربة تحت الأساس نتيجة للقوة **ويتشكل ما يسمى اسفين** التربة المثلثي. مع زيادة الحمولة يندفع اسفين التربة نحو الأسفل فيتم مقاومة هذه الحمولة من التربة بردي فعل متجهين نحو الأعلى (P/2 على كل مثلث) .

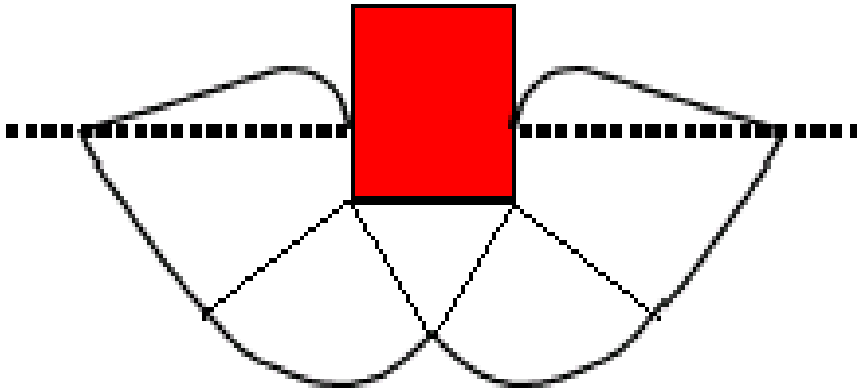
مع زيادة الحمولة ينغرز الاسفين المثلثي و يقلقل ويدفع التربة على جانبي الاسفين, وهذا يؤدي إلى تعبئة مقاومة قص إضافية على طول مستويات القلقلة.

مع استمرار زيادة الحمولة، يمكن أن تصعد التربة على جانبي الأساس ويزداد الهبوط بشكل كبير وعندما يتجاوز اجهاد القص في التربة مقاومتها على القص يحصل انهيار التربة.

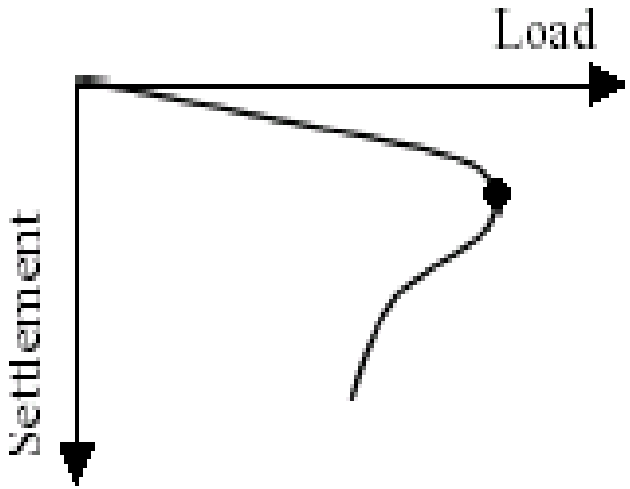
3.3 أنماط الانهيار بالقص :

الانهيار بالقص العام

أثناء تحميل الأساس يقوم الجزء الموجود تحت الأساس (الاسفين) بالنزول للأسفل, وبزيادة الاجهادات يتشكل في التربة ما يدعى بمستويات الانزلاق (الشكل) و عندما يتجاوز الاجهاد المنقول بواسطة الأساس قدرة التحمل الحدية للتربة تحصل هبوطات كبيرة مفاجئة وحركة جانبية وميلان للأساس مع ارتفاع التربة بالقرب من الأساس.

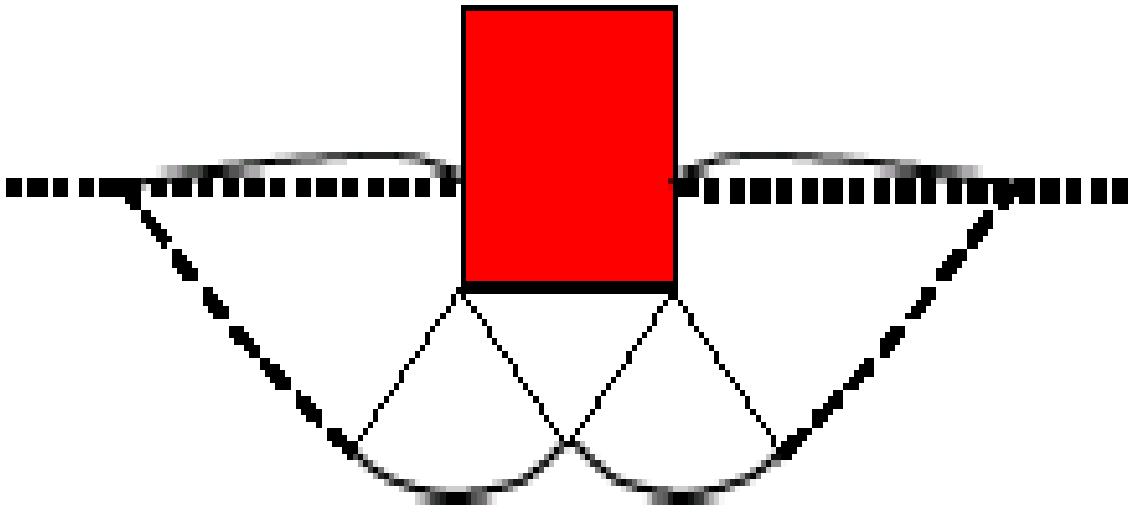


General Shear



الانـهيار بالقص الموضعي

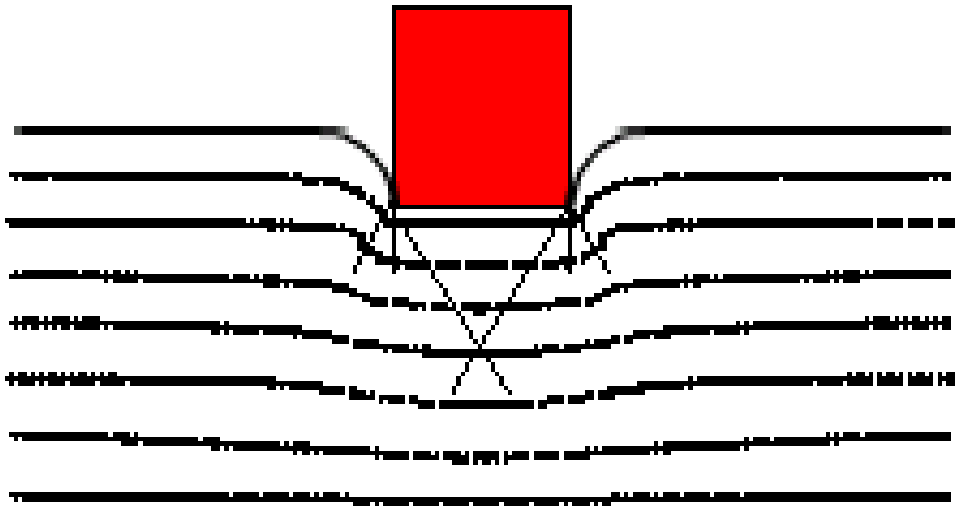
في بعض الحالات, لا تتشكل مستويات الانزلاق بشكل واضح ولا تستمر حتى سطح التربة ويسمى بالقص الموضعي (الشكل). ويرافق القص الموضعي هبوط للتربة تحت الأساس مع ارتفاع ضئيل للتربة بالقرب من الأساس, ولا يحدث عادة انهيار تام كما لا يحدث دوران أو ميلان للأساس, ويمكن أن يحدث الانهيار بالقص الموضعي في الترب بالمخلخلة والترب الغضارية الرخوة.



Local Shear

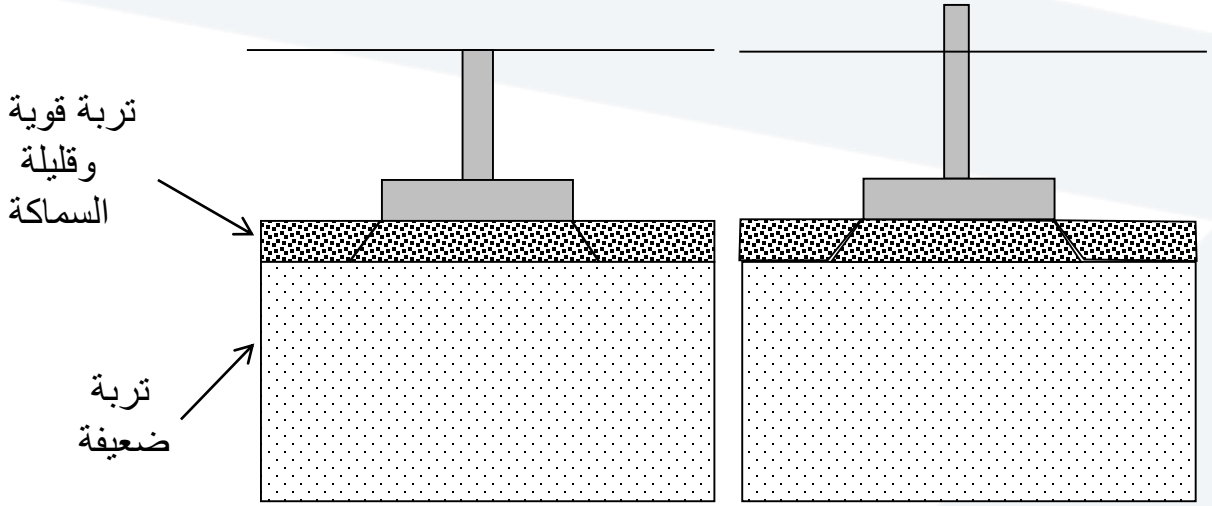
الانـهيار بالثقب

هناك نوع آخر للانهيار يسمى الانهيار بالثقب حيث لا تصل مستويات الانزلاق حتى سطح التربة, ويرافق الانهيار بالثقب عادة هبوط للتربة تحت الأساس دون ارتفاع التربة بالقرب من الأساس (الشكل).



Punching Shear

أهم الحالات التي يمكن أن تسلك فيها التربة نمط الانهيار بالقص الموضعي أو بالثقب



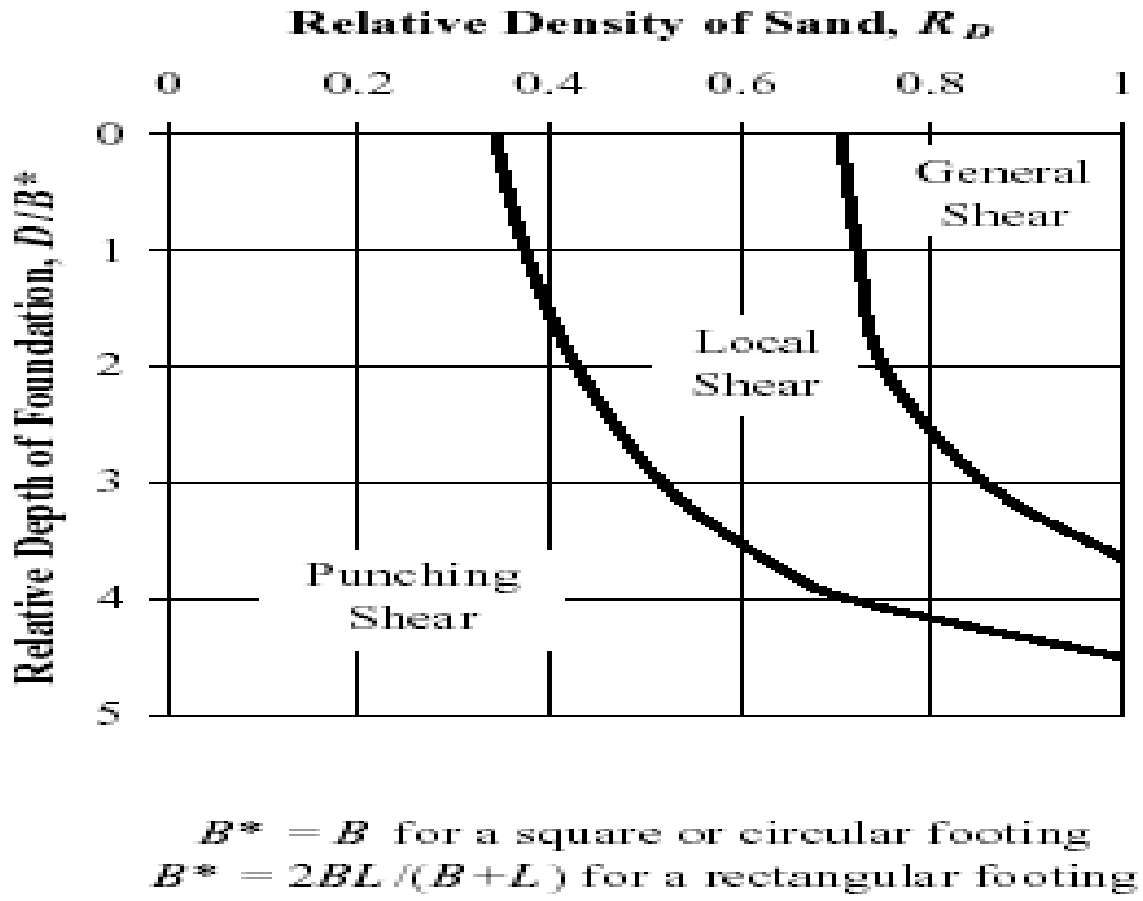
1. الترب الرملية المخلخلة
2. الغضار عالي الحساسية (st >8 , اعتماداً على مقاومة الضغط الحر)
3. الترب الانخفاسية : سيلت, غضار (OCR >4-8), حيث يظهر الغضار الهش مقاومة عالية عند التشوهات المنخفضة وانخفاضاً واضحاً في المقاومة عند التشوهات الكبيرة.
4. أساس متوضع على طبقة رمل عالي التراص وقليلة السماكة, مستندة على رمل مخلخل أو على غضار رخو.
5. عندما تكون أبعاد الأساسات صغيرة جداً
6. عندما يكون عمق التأسيس كبيراً

عندما يكون هناك احتمال لسلوك التربة نمط الانهيار بالقص الموضعي أو بالثقب فإنه ينصح بتخفيض بارامترات مقاومة القص (C',ϕ') للتربة واستخدام C'^* و ϕ'^* بدلاً منها, حيث :

$$C'^* = \frac{2}{3}C' \qquad \tan\phi'^* = \frac{2}{3}\tan\phi' \Rightarrow \phi'^* = \tan^{-1}\left(\frac{2}{3}\tan\phi'\right)$$

Φ' زاوية الاحتكاك الداخلية الفعالة لتربة التأسيس

C' التماسك المصرف لتربة التأسيس



$B^* = B$ for a square or circular footing
$B^* = 2BL/(B+L)$ for a rectangular footing

$$R_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

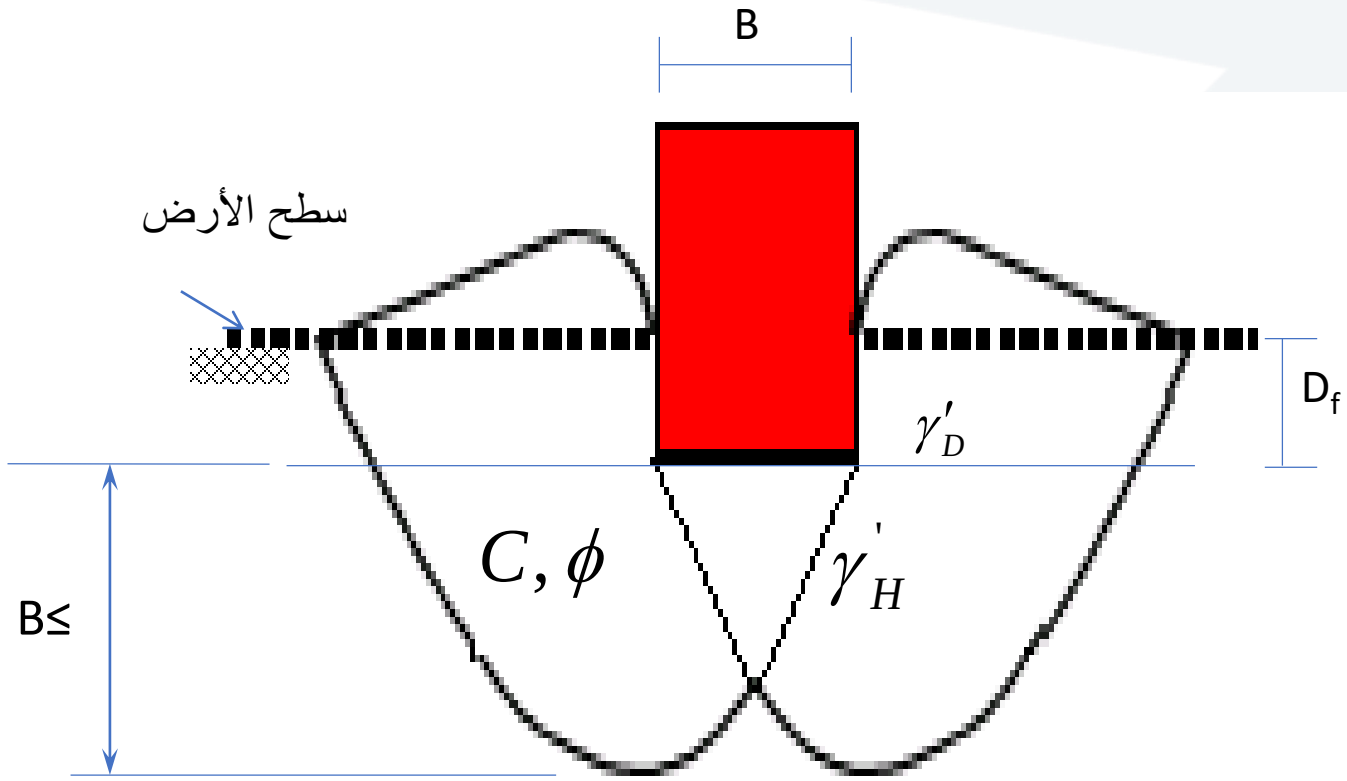
تغير طبيعة الانهيار بالقص في **الرمل** مع الكثافة النسبية وعمق التأسيس

4 .3 قدرة تحمل التربة الحدية لترزاكي

تستخدم طريقة ترزاكي على نطاق واسع لحساب قدرة تحمل الترب في حالة الأساسات المحملة بحمولة شاقولية مركزية أو لا مركزية.

حالة حمولة شاقولية مركزية

يمكن كتابة علاقة قدرة التحمل الحدية وفق ترزاكي لحالة الأساسات المحملة بحمولة شاقولية مركزية على الشكل التالي :



$$q_u = \sigma'_D N_q s_q + 0.5\gamma'_H B N_\gamma s_\gamma + C' N_c s_c$$

γ'_H الوزن الحجمي الوسطي الفعال للتربة ضمن مستوي الانزلاق (عمق تحت الأساس لا يتجاوز عرض الأساس)

B عرض الأساس

Nc و Nq و Nγ عوامل قدرة التحمل التي تتعلق بزاوية احتكاك التربة، وتعطى قيمها في الجدول المعطى لاحقاً.

σ'_D الاجهاد الإضافي الفعال عند منسوب التأسيس

$$\sigma'_D = \sum \gamma' . h_i = \gamma'_D . D_f$$

S_c و S_q و S_γ عوامل شكل الأساس ، وتعطى في الجدول التالي :

العامل	أساس مستمر	أساس دائري	أساس مربع	أساس مستطيل
Sc	1.0	1.3	1.3	1+ 0.3B/L
Sγ	1.0	0.6	0.8	0.8
Sq	1.0	1.0	1.0	1.0

بالتعويض في علاقة ترزاكي، تصبح قدرة تحمل التربة الحدية :

أساس مستمر $$q_u = \sigma'_D N_q + 0.5\gamma'_H B' N_\gamma + C'N_c$$

أساس مستطيل $$q_u = \sigma'_D N_q + 0.4\gamma'_H BN_\gamma + C'N_c(1+0.3\frac{B}{L})$$

أساس دائري $$q_u = \sigma'_D N_q + 0.3\gamma'_H B'N_\gamma + 1.3C'N_c$$

	ترزاكي		
ϕ	Nc	Nq	Nγ
0	5.70	1.00	0.0
2	6.30	1.22	0.2
4	6.97	1.49	0.4
6	7.73	1.81	0.6
8	8.60	2.21	0.9
10	9.60	2.69	1.2
12	10.76	3.29	1.7
14	12.11	4.02	2.3
16	13.68	4.92	3.0
18	15.52	6.04	3.9
20	17.69	7.44	4.9
22	20.27	9.19	5.8
24	23.36	11.40	7.8
26	27.09	14.21	11.7

	ترزاكي		
ϕ	Nc	Nq	Nγ
28	31.61	17.81	15.7
30	37.16	22.46	19.7
32	44.04	28.52	27.9
34	52.64	36.50	36.0
36	63.53	47.16	52.0
38	77.50	61.55	80.0
40	95.66	81.27	100.4
42	119.67	108.75	180.0
44	151.95	147.74	257.0
46	196.22	204.19	420.0
48	258.29	287.85	780.1
50	347.51	415.15	1153.2
28	31.61	17.81	15.7

عوامل قدرة التحمل لترزاكي

ويمكن أيضاً حساب عوامل قدرة التحمل لترزاكي باستخدام العلاقات التالية :

$$N_q = \frac{e^{\left(\frac{3\pi}{2}-\phi'\right)\cdot\tan\phi'}}{2\cdot\cos^2\left(45+\frac{\phi'}{2}\right)}$$

$$N_c = (N_q - 1)\cdot\cot\phi'$$

$$N_\gamma = 0.5\cdot\tan\phi'\left(\frac{k_{p\gamma}}{\cos^2\phi'} - 1\right)$$

$$k_{p\gamma} \cong \left(8\cdot\phi'^2 - 4\cdot\phi' + 3.8\right)\cdot\tan^2\left(60+\frac{\phi'}{2}\right)$$

جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

قدرة التحمل الحدية الصافية qu-net

$$q_{u-net} = q_u - \sigma'_D$$

قدرة التحمل الأمينة الصافية qs-net :

$$q_{s-net} = \frac{q_{u-net}}{FS}$$

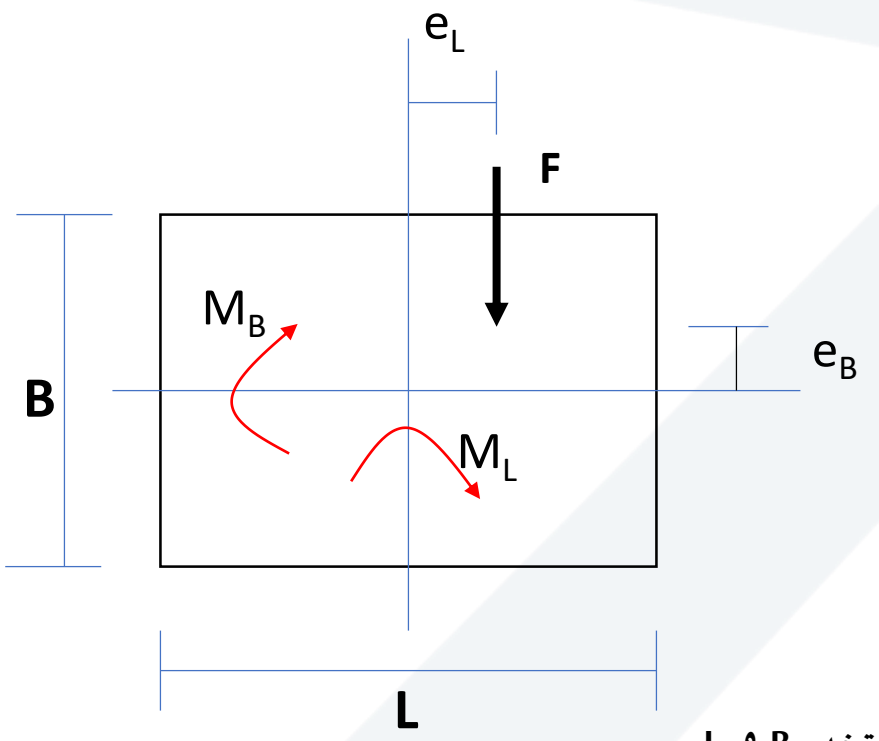
قدرة التحمل المسموحة الصافية qa-net :

تعبر عن الاجهاد الأعظمي الصافي الذي يسمح للأساس بنقله إلى تربة التأسيس بحيث لا يحدث انهيار بالقص ويكون الهبوط ضمن الحدود المسموحة, ويتم الحصول عليها من حساب قدرة التحمل الأمينة الصافية والاجهاد المسبب للهبوط المسموح, وأخذ القيمة الصغرى بينهما.

$$q_{a-net} = Min(q_{s-net}, q_{S=Sall})$$

حالة حمولة شاقولية لا مركزية

في حالة الأساسات المعرضة لحمولة شاقولية لامركزية، يمكن وبشكل تقريبي استخدام موديل ترزاكي مع استبدال مساحة الأساس (A=B*L) بالمساحة الفعالة (A'=B'*L') التي تؤثر المحصلة في مركزها الهندسي و ذلك بعد ايجاد الأبعاد الفعالة للأساس كما يلي :



$$q_{ult} = \sigma'_D N_q + 0.4\gamma'_H B N_\gamma + C' N_c \left(1 + 0.3\frac{B}{L}\right)$$

$$e_L = \frac{M_L}{F}$$

$$e_B = \frac{M_B}{F}$$

$$B' = B - 2 \cdot e_B$$

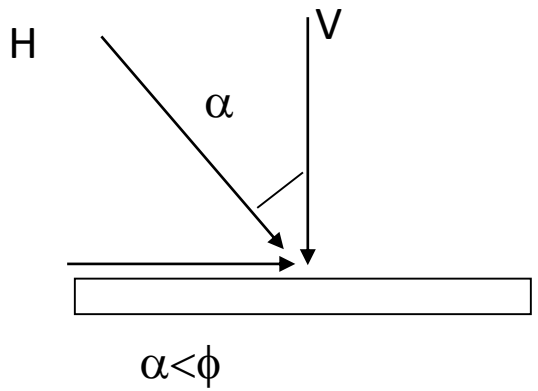
$$L' = L - 2 \cdot e_L$$

تستخدم الأبعاد الفعالة للأساس (B' و L') اينما وجدت باستثناء عند حسب معاملات العمق فنستخدم B و L

5.3 قدرة تحمل التربة الحدية لمايرهوف

تعتبر طريقة مايرهوف من أشهر الطرق المستخدمة لحساب قدرة تحمل التربة في حالة الأساسات المحملة بحمولة مائلة. تكتب علاقة مايرهوف بالشكل التالي :

$$q_u = \sigma'_D N_q s_q d_q i_q + 0.5\gamma'_H B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma + CN_c s_c d_c i_c$$



يمكن أن تؤخذ من الجدول المعطى لاحقاً ، كما يمكن حسابها بالعلاقات التالية :

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan\phi} \cdot \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot\phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \tan(1.4 \cdot \phi)$$

s_i عوامل شكل الأساس

d_i عوامل عمق التأسيس

i_i عوامل ميلان الحمولة الخارجية

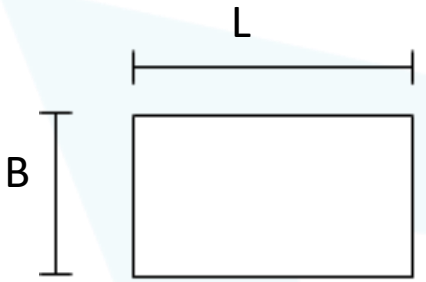
يمكن حساب هذه العوامل باستخدام العلاقات المبينة في الجدول التالي :

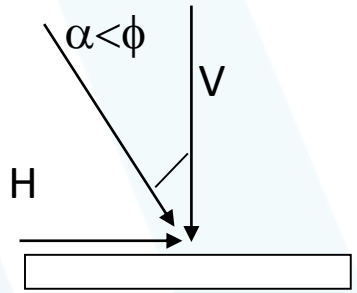
$$q_u = \sigma'_D N_q s_q d_q i_q + 0.5\gamma'_H B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma + C N_c s_c d_c i_c$$

$S_q = s_\gamma$	sc		تأثير شكل الأساس مع اللامركزية
1.0	$1+0.2\frac{B'}{L'}.\tan^2(45+\frac{\phi}{2})$	$\phi = 0$	
$1+0.1\frac{B'}{L'}.\tan^2(45+\frac{\phi}{2})$		$\phi > 10$	
توسط خطي بين $\phi = 0$ و $\phi = 10$		$0 < \phi \leq 10$	

iq	iγ	ic		تأثير ميلان المحصلة
$(1-\frac{\alpha}{90})^2$	1.0	$(1-\frac{\alpha}{90})^2$	$\phi = 0$	
	$\alpha \leq \phi \quad (1-\frac{\alpha}{\phi})^2$		$\phi > 0$	
	$\alpha > \phi \quad 0.0$			

dq	dγ	dc		تأثير عمق التأسيس
1.0		$1+0.2\frac{D_f}{B}.\tan(45+\frac{\phi}{2})$	$\phi = 0$	
$1+0.1\frac{D_f}{B}.\tan(45+\frac{\phi}{2})$			$\phi > 10$	
توسط خطي بين $\phi = 0$ و $\phi = 10$			$0 < \phi \leq 10$	



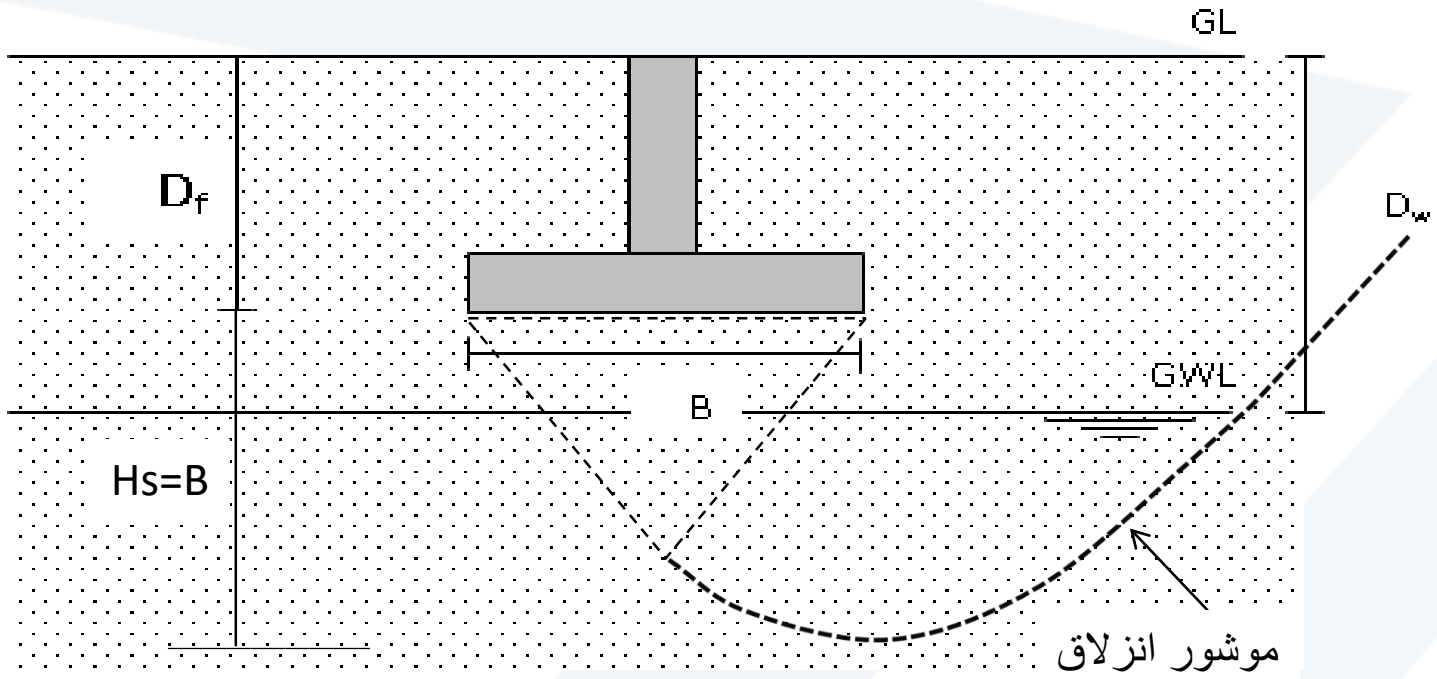


	مايروف		
ϕ	Nc	Nq	Nγ
0	5.14	1.0	0.00
2	5.63	1.20	0.01
4	6.18	1.43	0.01
6	6.81	1.72	0.11
8	7.53	2.06	0.21
10	8.34	2.47	0.37
12	9.28	2.97	0.60
14	10.37	3.59	0.92
16	11.63	4.34	1.37
18	13.10	5.26	2.00
20	14.83	6.40	2.87
22	16.88	7.82	4.07
24	19.32	9.60	5.72
26	22.25	11.85	8.00

	مايروف		
ϕ	Nc	Nq	Nγ
28	25.80	14.72	11.19
30	30.14	18.40	15.67
32	35.49	23.18	22.02
34	42.16	29.44	31.15
36	50.59	37.75	44.43
38	61.35	48.93	64.07
40	75.31	64.19	93.69
42	93.71	85.37	139.32
44	118.37	115.31	211.41
46	152.10	158.50	328.73
48	199.26	222.30	526.44
50	266.88	319.05	873.84

عوامل قدرة التحمل لمايرهوف

3. 6 تأثير المياه الجوفية على قدرة التحمل الحدية:



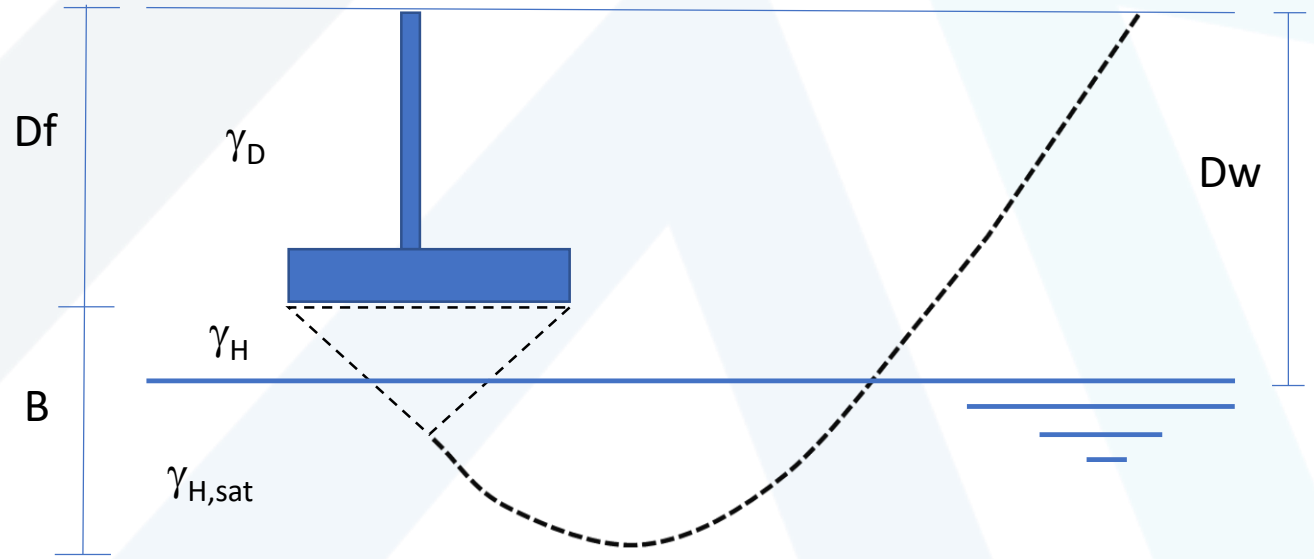
يتم عادة فرض $H_s=B$

1- عندما يكون منسوب المياه تحت منسوب مستوي الانزلاق, فلا يوجد تأثير للمياه على قدرة التحمل.

2- عندما يكون منسوب المياه فوق منسوب مستوي الانزلاق ($D_f + B \geq D_w \geq D_f$)وتحت منسوب أسفل الأساس (منسوب التأسيس) فيمكن حساب الوزن الحجمي الفعال للتربة ضمن منطقة الانهيار بالعلاقة:

$$\gamma'_H = \frac{\gamma_H * (D_w - D_f) + \gamma_{H,sub} * (D_f + B - D_w)}{B} \qquad for\ (D_f + B \geq D_w \geq D_f)$$

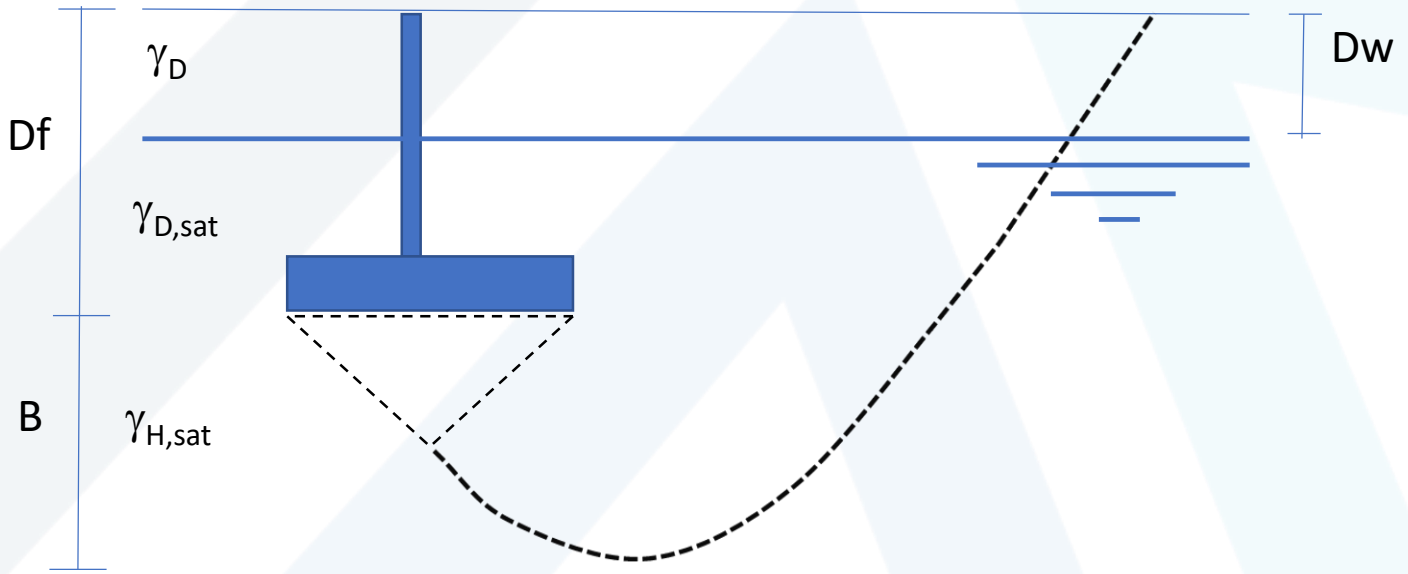
$$\gamma'_D = \gamma_D$$



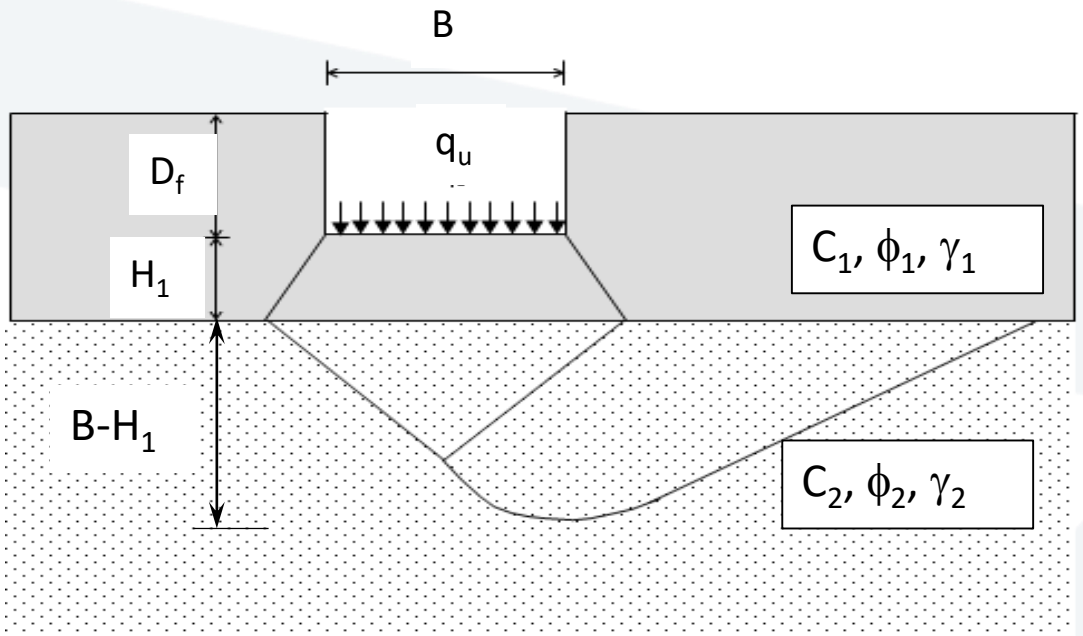
3- عندما يكون منسوب المياه أعلى من منسوب التأسيس $(D_w \leq D_f)$, يتم حساب الوزن الحجمي الفعال للتربة فوق منسوب التأسيس بالعلاقة:

$$\gamma'_D = \frac{\gamma_D * D_w + \gamma_{D,sub} * (D_f - D_w)}{D_f} \qquad for\ (D_w \leq D_f)$$

$$\gamma'_H = \gamma_{H,sub}$$



3. 7 حالة تربة غير متجانسة تحت الأساس :



1- إذا كانت الطبقة العليا أضعف من الطبقة السفلى، تهمل مساهمة الطبقة السفلية في زيادة قدرة التحمل ⬅ تحسب قدرة التحمل اعتماداً على خواص الطبقة العلوية فقط.

2- إذا كانت الطبقة العليا أقوى من الطبقة السفلى يؤخذ تأثير الطبقة السفلى بعين الاعتبار.

<u>يمكن أن نميز حالتين :</u>

أ- إذا كانت سماكة الطبقة العليا تحت الأساس كبيرة وليس هناك احتمال لحدوث انهيار بالثقب لتلك الطبقة, فعلى الأرجح لن تؤثر الطبقة السفلى على قدرة تحمل التربة ⬅ تحسب قدرة التحمل اعتماداً على خواص الطبقة العلوية فقط

ب- إذا كانت سماكة الطبقة العليا تحت الأساس صغيرة نسبياً و (أو) هناك احتمالاً للانهيار بالثقب للطبقة العليا, فعلى الأرجح سوف تؤثر الطبقة السفلى على قدرة تحمل التربة ⬅ تحسب قدرة التحمل اعتماداً على خواص الطبقتين.

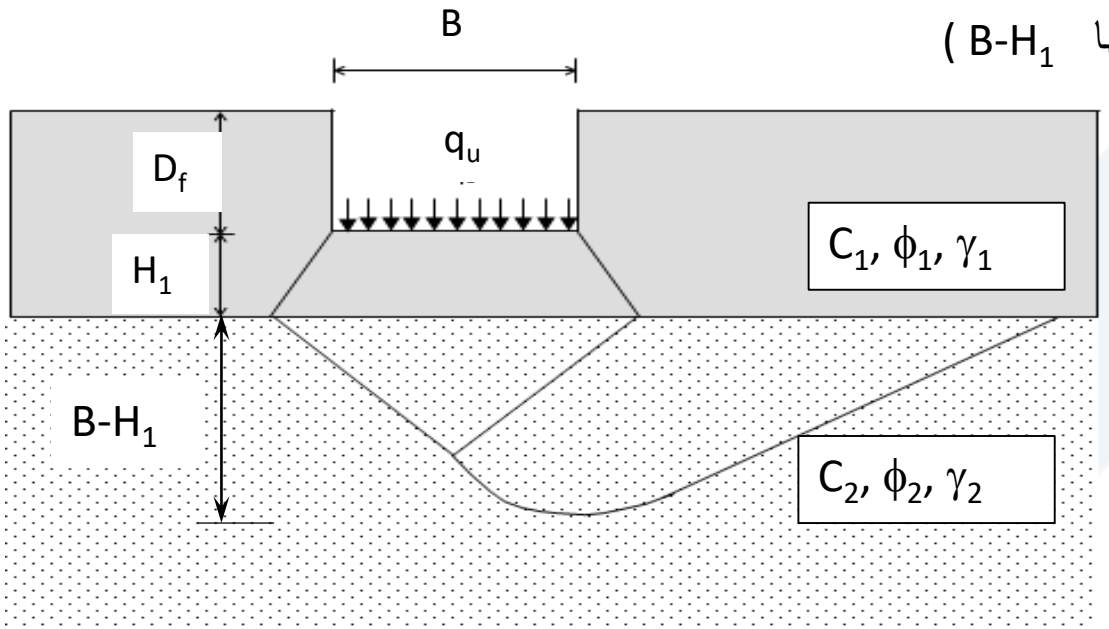
طريقة مبسطة لحالة التربة غير المتجانسة:

طريقة C,ϕ المكافئة

نعتبر وجود طبقتين :

الطبقة الأولى : تمتد من أسفل الأساس حتى نهاية الطبقة (سماكتها H_1)

الطبقة الثانية : تمتد من نهاية الطبقة الأولى حتى أسفل مواشير الانزلاق (سماكتها $B-H_1$)



$$C_{eq} = \frac{C_1 . H_1 + C_2 . (B - H_1)}{B}$$

$$\phi_{eq} = \frac{\phi_1 . H_1 + \phi_2 . (B - H_1)}{B}$$

$$\gamma_{H,eq} = \frac{\gamma_1 . H_1 + \gamma_2 . (B - H_1)}{B}$$

تحسب قدرة تحمل التربة باعتبار وجود طبقة واحدة خواصها هي خواص الطبقة المكافئة المحسوبة