

كتاب المنشآت الخرسانية الخاصة

الفصل الخامس

قواعد الخزانات

تابع: المحاضرة الثالثة عشر

حساب وتصميم أرضيات وقواعد الخزانات

الفهرس

1- قواعد الخزانات الأرضية

2- حساب قواعد الخزانات الأرضية باعتبارها مستندة على تربة مرنة

3- قواعد الخزانات العالية

11- ملخص حساب وتصميم القشريات الكروية

1- قواعد الخزانات الأرضية

محتوى الفقرة

1-1- مقدمة

1-2- القاعدة متوضعة على تربة ضعيفة

1-3- قواعد الخزانات المستندة على تربة قاسية

1-4- قواعد الخزانات المستندة على الترب المتوسطة القساوة

(القابلة للإنضغاط)

1-1- مقدمة

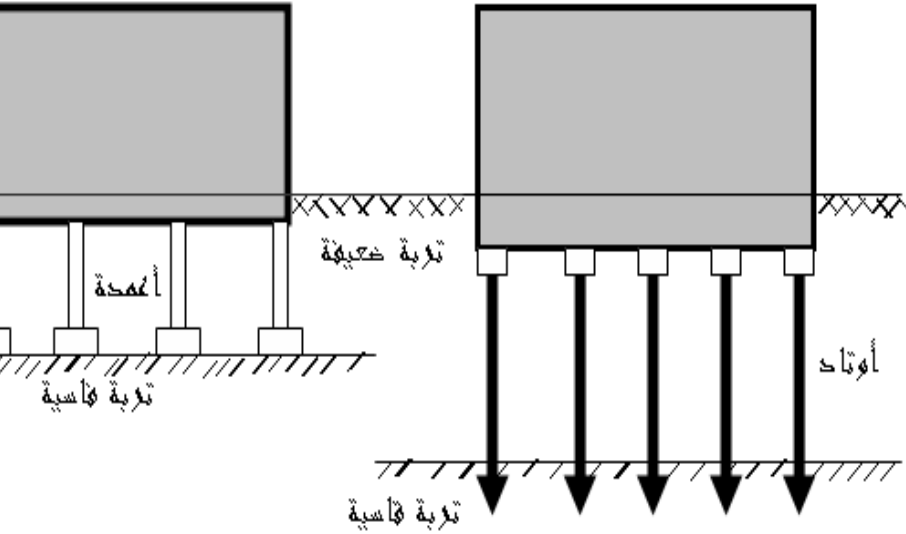
- الحل الإنشائي لقواعد الخزانات الأرضية يتعلق بنوعية تربة التأسيس ، حيث نميز ثلاثة أنواع من الترب :
 - تربة ضعيفة : التي يكون تحملها $R < 1\text{kg} / \text{cm}^2$
 - تربة متوسطة التحمل : $1\text{kg} / \text{cm}^2 < R < 3\text{kg} / \text{cm}^2$
 - تربة قاسية : $R > 3\text{kg} / \text{cm}^2$
- حيث : R – مقاومة تحمل التربة المسموحه .
- الحالة الثالثة هي الأكثر شيوعاً لبناء القاعدة على التربة مباشرة . حساب القاعدة يتم وفق نوعية التربة .

1-2- القاعدة متوضعه على تربة ضعيفة

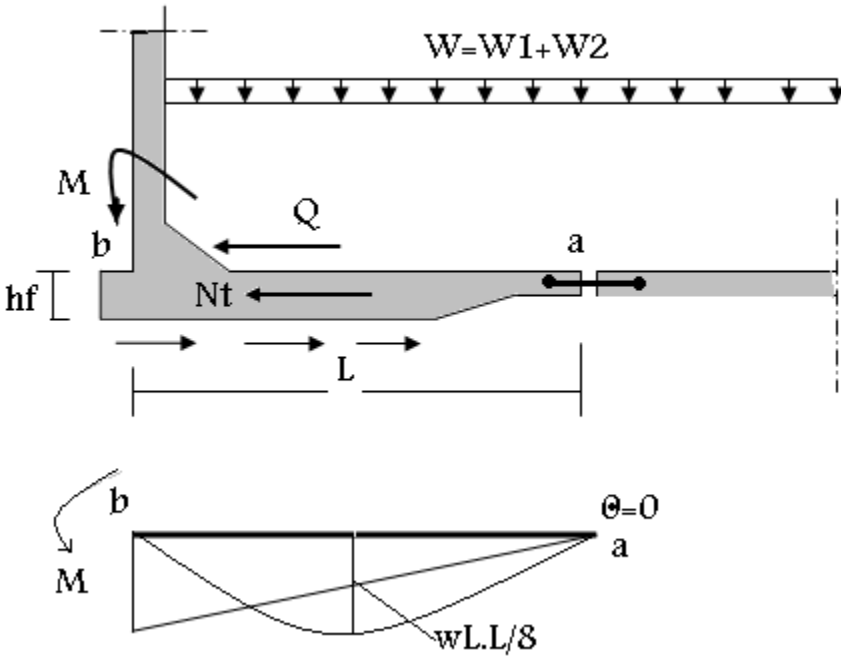
• لقاعدة متوضعه على تربة ضعيفة : دلت $R < 1kg/cm^2$

التجارب والخبرات العملية بأنه لا ينصح بإنشاء الخزانات على الترب الضعيفة ، ولو كانت الإجهادات المنقولة إلى التربة قليلة نسبياً ، أقل من مقدرة تحمل التربة ، وذلك بسبب احتمال حدوث هبوطات تفاضلية تحت القاعدة وخصوصاً إذا كانت التربة غير متجانسة وقد تحتوي على فجوات مما يعرضها لهبوطات كبيرة تحت تأثير حمولات صغيرة نسبياً.

• في حالة كون التربة القاسية غير بعيدة عن منسوب قاعدة الخزان ينصح أن يتم إنشاء القاعدة على أعمدة مرتكزة على قواعد منفردة أو مستمرة في منسوب التربة القاسية (الشكل) . تقوم الأعمدة بنقل الحمولات المطبقة على قاعدة الخزان إلى التربة القاسية . تحسب القاعدة في هذه الحالة كبلطة مستندة على الأعمدة . أما في حالة كون التربة القاسية عميقة أو وجود مياه جوفية فإنه ينصح أن تستند قاعدة الخزان على أوتاد تنقل الحمولات إلى الطبقة القاسية الشكل)



1-3- قواعد الخزانات المستندة على تربة قاسية $R > 3kg/cm^2$



في هذه الحالة تقسم القاعدة كجزأين ، جزء قريب من جدار الخزان وجزء في الوسط. يصمم الجزء القريب من الجدار على الحمولات المبينة على الشكل () وهي القوى الشاقولية (وزن السائل والأرضية) بالإضافة إلى عزم الانعطاف وقوة القص المطبقة في أسفل الجدار .

باعتبار الخزان مستند على تربة قاسية فإن رد فعل التربة الناتج عن تطبيق الحمولات سيكون مطبق على المساحة الواقعة تحت الجدار مباشرة وبطول مقداره L يحدد من مقدار التشوه الحاصل في القاعدة عن تأثير الحمولات والعزم المطبق.

من هنا فإن الجزء القريب من الجدار يكون ذو سماكة كبيرة بالمقارنة مع الجزء الوسطي . لحساب الطول L نفترض أن الجزء القريب من الجدار عبارة عن جائر مستمر مع الجدر (عقدة صلبة) و متمفصل مع الجزء الوسطي في النقطة a ، وبالتالي فإن العزوم والدورانات والانتقالات في النقطة a تساوي الصفر .

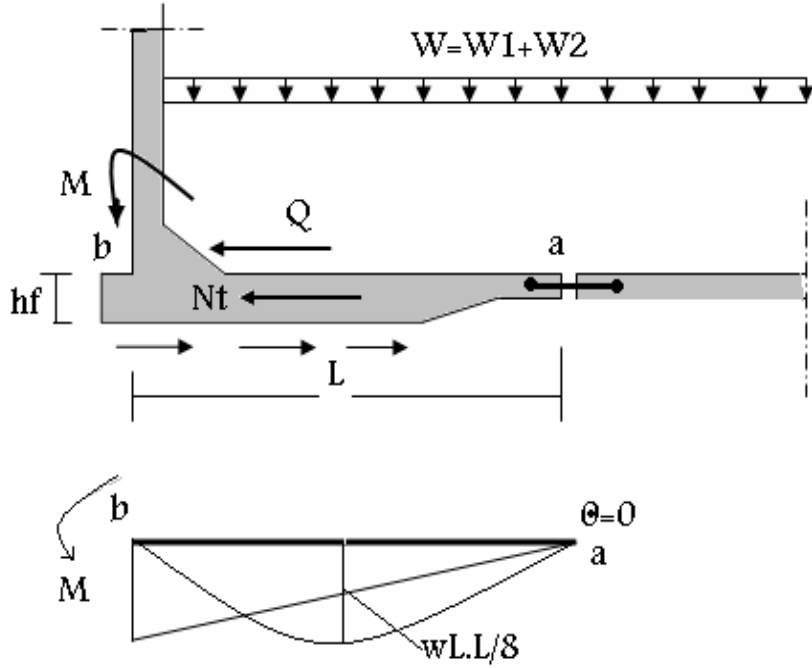
من شرط الدوران عند النقطة a المساوي للصفر نجد :

$$\theta = 0 \Rightarrow \theta = \frac{W.L^3}{24EI} - \frac{M.L}{6.EI} = 0$$

$$L = 2 \sqrt{\frac{M}{W}} \quad \text{من هنا نجد :}$$

حيث : W - الحمولة الشاقولية على القاعدة والناتجة عن وزن السائل والوزن الذاتي للقاعدة ، M - عزم الانعطاف المطبق أسفل الجدار .

ينصح أن لا تقل L عن ثلث ارتفاع التخزين في الخزان .



يتم اختيار سماكة الجزء القريب من الجدار وحديد تسليحه بالحساب ، حيث يصمم لمقاومة العزم M إضافة إلى قوة الشد المحورية N_t الناتجة والمساوية إلى قوة القص Q المطبقة في أسفل الجدار . عندما تكون سماكة القاعدة ، في الجزء القريب من الجدار ، تزيد عن 50سم يجب زيادة عزم الانعطاف المؤثر عند أسفل القاعدة كما يلي :

$$M_F = M + N_t \frac{h_F}{2} \dots \dots \dots N_t = Q$$

حيث : $M_F - h_F$ - ارتفاع جزء القاعدة القريب من الجدار ، والعزم المطبق على القاعدة .

في الترب القاسية جداً ، كالترب الصخرية يمكن تنفيذ القاعدة بدون فاصل هبوط في النقطة 'a' ، إذ لا يتوقع حدوث هبوط ، أما في الحالات الأخرى فينصح بإنشاء فواصل هبوط في النقطة 'a' التي تبعد بمقدار 'L' عن طرف الجدار ، وفي أماكن أخرى إذا كانت الخزانات كبيرة جداً .

في حالة عدم وجود فاصل هبوط فإن الجزء الوسطي من القاعدة يخضع إلى قوة الشد N_t ، بالإضافة طبعاً إلى وزن السائل والوزن الذاتي للقاعدة . يجب أن لا يقل سماكة الجزء الوسطي من القاعدة عن 20cm وبحيث تؤمن الكتامة اللازمة والمقاومة . أما في حالة وجود فاصل هبوط فإن القوة N_t تقاوم بالاحتكاك بين الترب والقاعدة ولا تنتقل إلى الجزء الوسطي ، بكل الأحوال يجب أن لا تقل سماكته عن 20سم ويسلح إنشائياً .

1-4- قواعد الخزانات المستندة على الترب المتوسطة القساوة (القابلة للإنضغاط)

$$1\text{kg/cm}^2 < R < 3\text{kg/cm}^2$$

في هذه الحالة نفترض إن القوى المنقولة من الجدار إلى القاعدة تتوزع على الجزء القريب من الجدار بطول L وتولد إجهادات في التربة تتوزع بشكل خطي .

إجهادات التربة في هذا الجزء تحسب وفق العلاقة التالية :

$$\sigma_{1,2} = \frac{W}{A} \left(1 \pm \frac{6e}{L} \right)$$

حيث : $e = \frac{\sum M}{\sum W}$ - لامركزية القوى المطبقة ، $\sum W$ - مجموع القوى الشاقولية المطبقة (وزن السائل ، وزن القاعدة ، وزن الجدار ، وزن السقف في

حالة وجوده) ، $\sum M$ - مجموع العزوم حول مركز الجزء من القاعدة القريب من الجدار ،

A - مساحة المتر الطولي من الجزء القاعدة القريب من الجدار $A=1*L$

الطول L يكون عادة $L=0,4 \rightarrow 0,6H$ ، H - ارتفاع التخزين . عند تحديد الطول L يجب تحقيق الشرطين التاليين :

1- مقاومة التربة المسموحة .

$$\sigma_1 \leq R$$

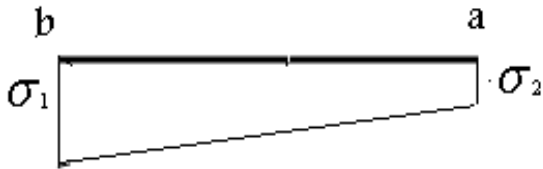
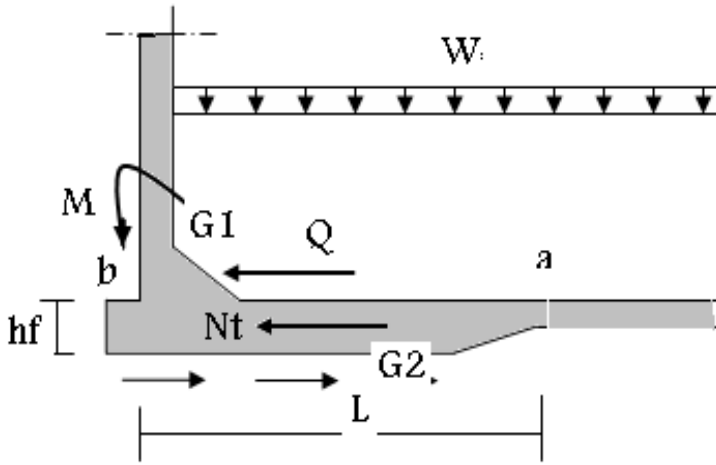
2- $\sigma_2 > \frac{\sigma_1}{2}$ للترب الغضارية . $\sigma_1 > 0$ - للتربة الرملية .

أي يجب تحاشي نشوء إجهادات شادة في التربة .

بهذا الشكل نلاحظ بأن الحمولات المؤثرة على طول الجزء L من القاعدة هي : -G1 وزن الجدار والتغطية للخزان (في حالة وجوده) ، -G2 وزن القاعدة على الطول L ، -W وزن السائل في الخزان على الطول L ، عزم الانعطاف M وقوة القص Q المؤثرة في أسفل الجدار ، إجهادات التربة σ .

أما الجزء الداخلي من القاعدة فتؤثر عليه القوة Q كقوة شد بالإضافة إلى القوى الشاقولية الناتجة عن الوزن الذاتي ووزن السائل .

أن الحساب الدقيق لقواعد الخزانات الأرضية يتم باعتبار القاعدة تستند على أساسات مرنة ويتم ذلك بإجراء تجارب على التربة ومعرفة خواصها الأساسية وخصوصاً معامل المرونة .



2- حساب قواعد الخزانات الأرضية باعتبارها مستندة على تربة مرنة :

إن رد فعل التربة (الإجهادات) تحت القواعد المستندة على تربة مرنة تتعلق بمواصفات القاعدة والتربة وتحسب بالعلاقة التالية :

$$\sigma = k \cdot y$$

حيث : k - عامل مرونة التربة (عامل الأساس) ، y - الهبوط (التشوه) الحاصل في النقطة المدروسة .
أن العامل k عامل المرونة (الأساس) يتعلق بنوعية التربة وخواصها ، وجود المياه الجوفية ، الحمولة المطبقة وعمق القاعدة عن سطح الأرض . يحدد العامل k من التجارب المخبرية لتربة التأسيس ، بشكل تقريبي يمكن تحديده من الجدول () .

حساب القوى والعزوم المتشكلة في القاعدة يتم بدراسة العلاقة المتبادلة بين القاعدة وتربة التأسيس وذلك وفق علاقات رياضية معقدة ، لا مجال لذكرها هنا (T) بشكل تقريبي ويكفي من الناحية العملية ، يمكن حساب القواعد المستندة على تربة مرنة بالطريقة التالية .

الجدول () القيم التقريبية للعامل k معامل الأساس للتربة .

K kg/cm ³	نوع التربة	K kg/cm ³	نوع التربة
9—10	3- التربة القاسية : - رمل خشن وبحص ناعم	0,5--1	1 - التربة الضعيفة: - طفل (قابلية كبيرة للأنضغاط).
10—12	- رمل ناعم وبحص متوسط	1--2	- ردم من الرمل والبحص
12—15	- رمل خشن وبحص متوسط	2—3	- غضار رطب
15—25	- رمل خشن وبحص خشن		2 - التربة متوسطة القساوة
	4- التربة القاسية جداً	4—5	- غضار قليل الرطوبة
20--400	(حسب القساوة)	6—8	- غضار جاف
		10	- غضار فاسي

يمكن اعتبار القاعدة كجائز، عرضه واحدة العرض (1م) وطوله L يستند على تربة مرنة، حسب مواصفات مقطع الجائز وطوله وعامل مرونة التربة يمكن تقسيم الجوائز الى :

- جوائز صلبة $L/m \leq 0.75$

- جوائز قصيرة $0.75 < L/m < 3$

- جوائز طويلة $L/m \geq 3$

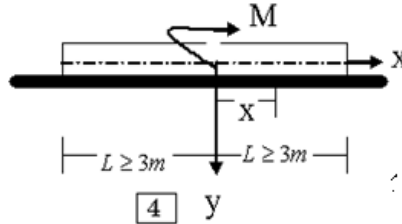
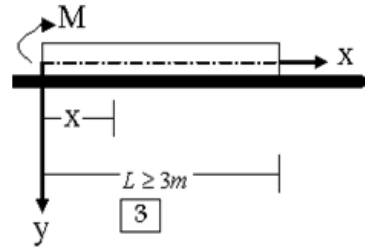
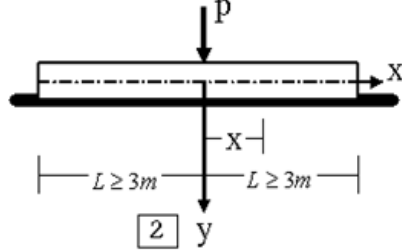
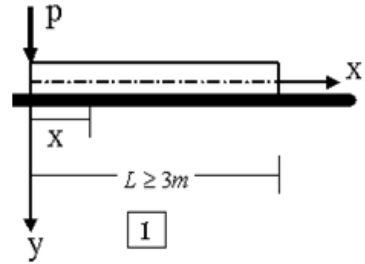
حيث : m - الموصفات الخطية للجائز البيتوني المسلح المستند على تربة مرنة ويساوي :

$$m = \sqrt[4]{4 \frac{E_b \cdot I_b}{b \cdot k}}$$

مقطع الجائز . $E_b \cdot I_b$ - عزم عطالة ومعامل المرونة للجائز البيتوني ، b - عرض

إن توزع الإجهادات على تربة الأساس في حالة الجوائز الصلبة يتم وفق قوانين مقاومة المواد الصلبة ، بدون أن نأخذ العمل المشترك لتربة الأساس مع القاعدة ، حيث يتم توزيع الإجهادات الناتجة عن القوى الشاقولية والعزوم بشكل خطي .

إن أكثر الحالات انتشارا هي حالة الجوائز الطويلة . أن العزوم وقوى القص المتشكلة في مقاطع الجوائز الطويلة المستند على تربة مرنة وكذلك الهبوطات في التربة تحت الجوائز يمكن تحديدها من علاقات الجدول () وذلك وفق حالات التحميل المبينة على الشكل () .



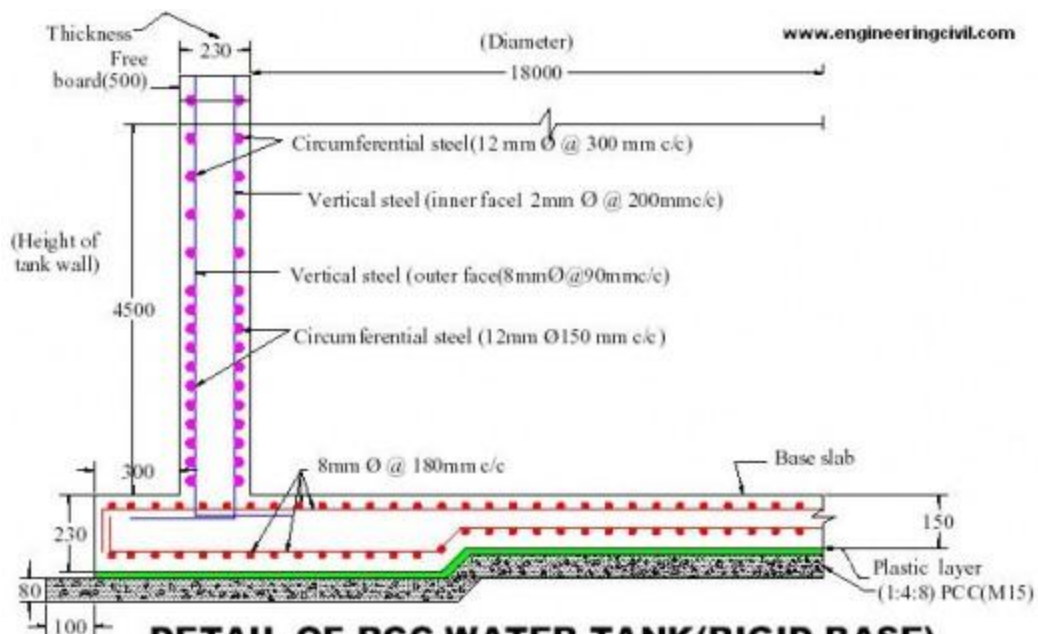
$E_s \cdot I_s \cdot y(x)$	$Q(x)$	$M(x)$	القوى والهبوطات	حالات التحميل
$\frac{m^3}{2} p \eta_1$	$P \eta_1$	$-m \cdot p \eta_2$	1	
$-\frac{m^2}{2} M \eta_4$	$\frac{2}{m} M \eta_2$	$M \eta_3$	2	
$\frac{m^3}{4} p \eta_3$	$-0.5 p \eta_1$	$\frac{m}{4} p \eta_4$	3	
$\frac{m^2}{4} M \eta_2$	$-\frac{1}{2m} M \eta_3$	$0.5 M \eta_1$	4	

$$\eta_1 = e^{-x/m} \cdot \cos \frac{x}{m}$$

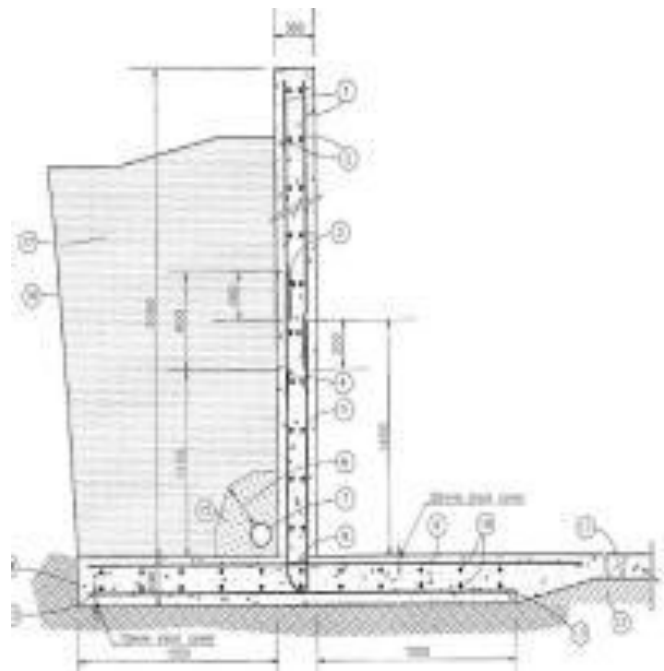
$$\eta_2 = e^{-x/m} \cdot \sin \frac{x}{m}$$

$$\eta_3 = e^{-x/m} \left(\sin \frac{x}{m} + \cos \frac{x}{m} \right)$$

$$\eta_4 = e^{-x/m} \left(\cos \frac{x}{m} - \sin \frac{x}{m} \right)$$



DETAIL OF RCC WATER TANK(RIGID BASE)
(ALL DIMENSIONS ARE IN MM)



3- قواعد الخزانات العالية

محتوى الفقرة

3-1- مقدمة

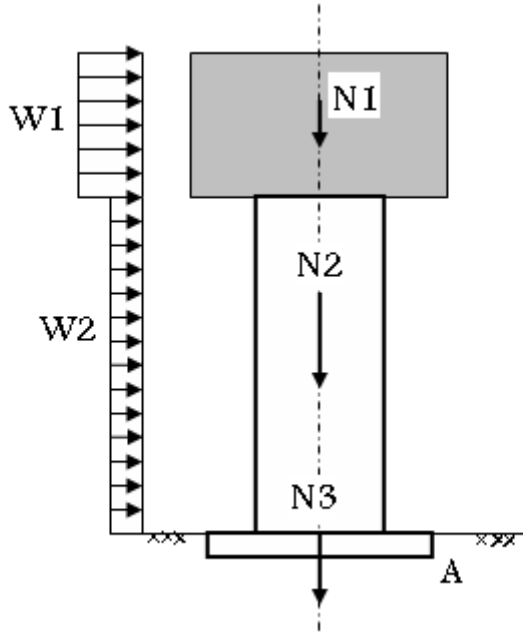
3-2- حساب وتصميم القواعد المنفردة

3-3- الأساسات الخطية :

3-4- القواعد بشكل حصيرة

3-5- القواعد بشكل أوتاد

3-1- مقدمة



- تكون قواعد الخزانات عادة :
- 1- قواعد منفردة مربوطة بشناجات .
- 2- قواعد خطية .
- 3- حصيرة عامة.
- يتم اختيار شكل وأبعاد القواعد تبعاً لنوع ومواصفات تربة التأسيس والجملة الإنشائية الحاملة للخزان.

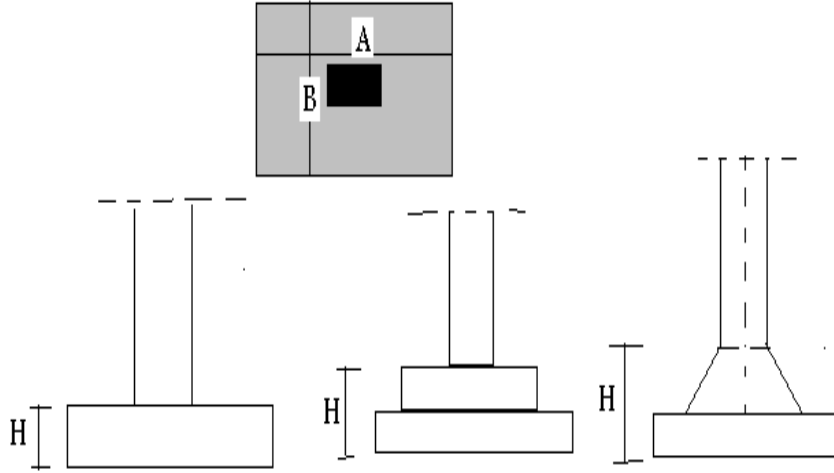
• يتم حساب وتصميم قواعد الخزانات على القوى الشاقولية وعزوم الانعطاف وقوى القص الناتجة عن الحمولات الأفقية . يتم اختيار أبعاد القواعد بشكل أولي من شرط عدم الانقلاب التالي .:

$$\frac{M_v}{M_H} \geq 1.5$$

- حيث : M_v - مجموع عزوم القوى الشاقولية حول النقطة A (قوى التثبيت) .
- M_H - مجموع عزوم القوى الأفقية حول النقطة A (قوى الانقلاب) .

3-2- حساب وتصميم القواعد المنفردة :

يستخدم هذا النوع من القواعد في حالة الحمولات الصغيرة والترتبة ذات تحمل جيد ، وتعتبر اقتصادية وسهلة التنفيذ .
يكون عادة مسقط القاعدة بشكل مستطيل ، أما الارتفاع فيكون إما ثابت أو مخروطي أو متدرج ، أنظر الشكل) .



تتعرض القواعد ، كما رأينا سابقاً عند حساب الأبراج ، إلى قوى ناظمية ناتجة عن الحمولات الشاقولية وقوى ناظمية وعزوم انعطاف وقوى قص ناتجة عن الحمولات الأفقية .

مسقط القاعدة يكون عادة بشكل مستطيل ، الطول الكبير باتجاه تأثير العزم .
النسبة بين الاطلاع تكون 0,9....0,6.

مخطط إجهادات التربة تحت القواعد تكون كما مبينة على الشكل ()
وتحسب قيم الإجهادات بالعلاقات التالية :

$$e = \frac{M_F}{N_F} \leq \frac{A}{6} \Rightarrow \sigma_{\max, \min} = \frac{N_F}{A.B} \left(1 \pm \frac{6.e}{A} \right)$$

من أجل :

$$e = \frac{M_F}{N_F} > \frac{A}{6} \Rightarrow \sigma_{\max} = \frac{2N_F}{3.B(0,5A - e)}$$

ومن أجل :

حيث : $A..B$ - أبعاد مسقط القاعدة ، $M_F \dots N_F$ - عزم الانعطاف والقوة
الناظمية عند أسفل القاعدة وتساوي :

$$M_F = M + Q.H$$

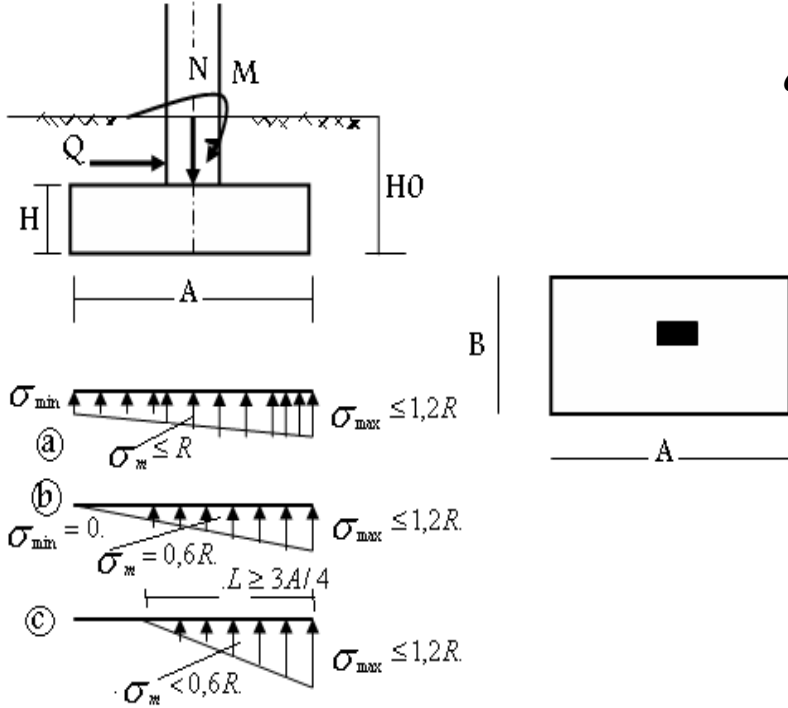
$$N_F = N + H_0 \cdot A.B \cdot \gamma_m$$

$M..N..Q$ - قوة القص والقوة الناظمية وعزم الانعطاف المنقولة من
العمود عند اعلي القاعدة ، H - ارتفاع القاعدة ، H_0 - ارتفاع تربة الردم
من أسفل القاعدة ، γ_m - الوزن الحجمي لتربة الردم .

بعد اختيار أبعاد القاعدة يجب التحقق من الإجهادات في التربة بحيث تكون

$$\sigma_{\max} \leq 1.2R, \dots \sigma_m = \frac{N_F}{A.B} \leq R$$

حيث : $\sigma_{\max} \dots \sigma_m$ - الإجهادات الوسطية ، والإجهادات الأعظمية في
التربة تحت القواعد .



• أبعاد القاعدة **A..B** يمكن تحديدها وفق الاشتراطات السابقة من خلال العلاقات التالية: أنظر الشكل ()

• - في حالة كون مخطط الإجهادات بشكل شبه منحرف (أنظر الشكل)
 $A = e_0 \cdot (2 + \sqrt{1,055 \cdot \delta - 2,5})$

$$\delta = \frac{N_F}{(1,2R - \gamma_m \cdot H_0) \alpha \cdot e_0^2}$$

$$B = \alpha \cdot A \dots \alpha = 0,6 \dots 0,9$$

• - في حالة كون مخطط الإجهادات بشكل مثلث

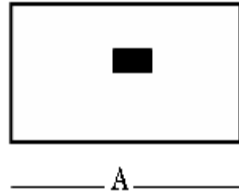
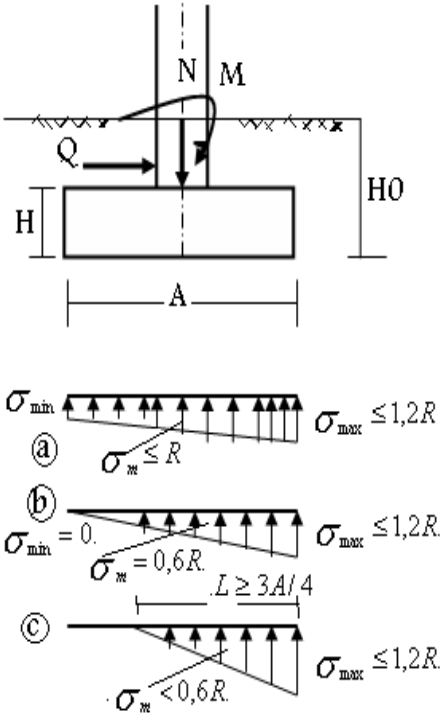
$$A = 6 \cdot e_0 \left(1 - \frac{\gamma_m \cdot H_0}{0,6 \cdot R} \right) \quad B = \frac{N_F}{A (0,6R - \gamma_m \cdot H_0)}$$

• - في حالة كون مخطط الإجهادات بشكل مثلث مطبق على جزء من طول القاعدة L وبحيث يكون $L \geq 3A/4$ فان أبعاد القاعدة تحسب وفق العلاقات التالية:

$$A = 5 \cdot e_0 \frac{0,6R \cdot \alpha - \gamma_m \cdot H_0}{R \cdot \alpha (1,5 - \alpha)} \quad B = \frac{N_F}{\alpha (0,6R \cdot \alpha - \gamma_m \cdot H_0)}$$

• في هذه الحالة: $\alpha = L/A$

• في العلاقات السابقة: e_0 - لامركزية القوة الناظمية عند أسفل القاعدة بدون اعتبار وزن القاعدة ووزن التربة فوقها.



3-3- الأساسات الخفية :

يستخدم هذا النوع من القواعد في حالة كون البرج الحامل بشكل قشرية أسطوانية أو كانت أعمدة البرج قريبة من بعضها . يتم إنشاء جائر رابط تحت الأعمدة أو الجدار الأسطواني ، ثم قاعدة حلقية . أنظر الشكل ()

تدرس القواعد الخفية الحاملة للخزانات العالية وفق أسس حساب الإنشاءات باعتبارها قواعد خفية تستند على أساسات مرنة مطبق عليها القوى الناتجة في أسفل البرج الحامل عن الحمولات الشاقولية والأفقية المطبقة على عناصر الخزان .

حسب اشتراطات الكود العربي السوري ، عرض القواعد الخفية يجب أن لا تقل عن :

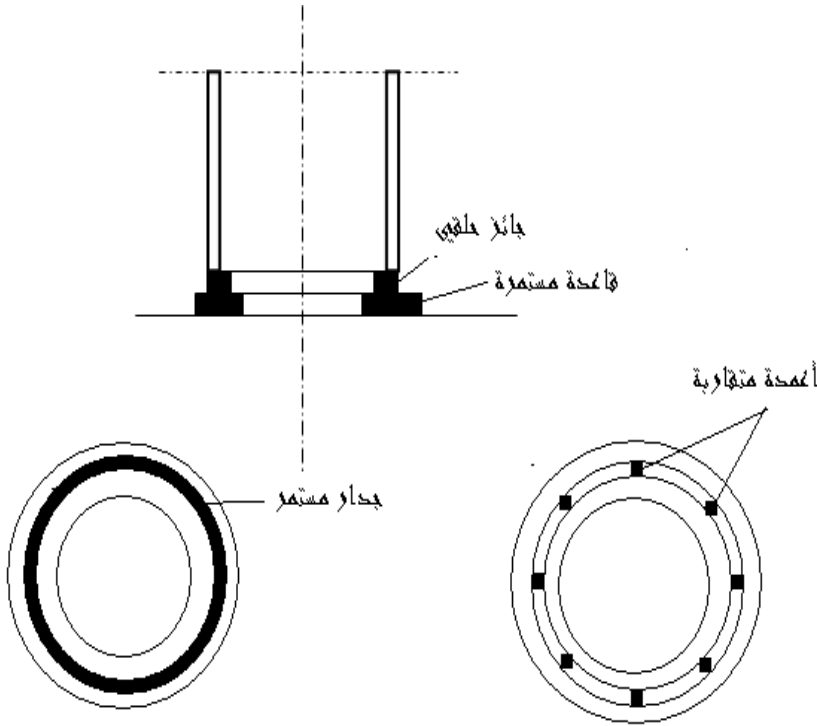
- 60 سم في حالة الترب عالية التحمل

($R > 3 \text{Kg/cm}^2$)

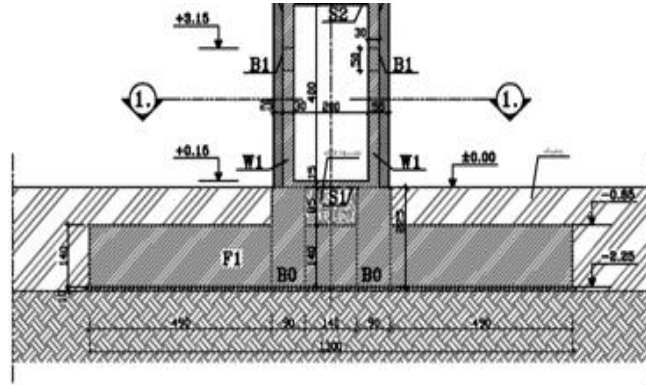
- وعن 90 سم للترب الضعيفة

($R < 1 \text{Kg/cm}^2$) .

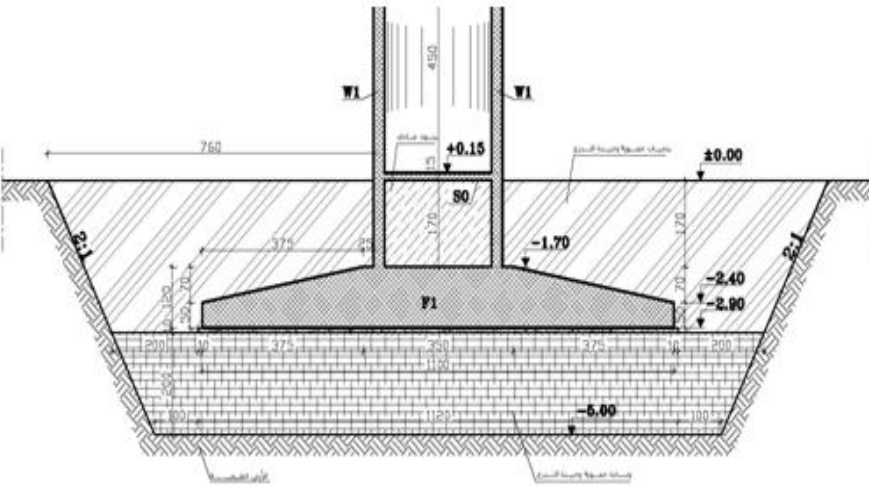
يدرس هذا النوع من القواعد بأخذ شريحة مترية من عرض القاعدة وتحقق على القص الإجهادات الأخرى ، ثم يتم حساب التسليح اللازم .



3-4- القواعد بشكل حصىرة



يستخدم هذا النوع من القواعد عندما تكون التربة ضعيفة أو غير متجانسة أو ذات انضغاطية كبيرة أو القواعد المنفردة قريبة من بعضها . شكل القاعدة يكون إما بشكل دائرة أو مربع أو مستطيل وذلك حسب شكل وطبيعة العناصر المكونة للبرج الحامل للخران . غالباً تصمم القاعدة مع جوائز مقلوبة وتحسب بشكل مشابه للبلاطات المصمتة المستندة على أساسات مرنة (أنظر الفقرة) . يتم اختيار أبعاد القاعدة (الحصىرة) من الشرط التحقق على الانقلاب، ويتم تحديد الارتفاع من شرط التحقق على القص ، ويتم حساب التسليح من مخطط العزوم المطبقة على القاعدة .



في حالة كون البرج الحامل للخران بشكل اسطوانة مركزية يمكن حساب القاعدة بنفس علاقات القاعدة المنفردة الواردة أعلاه ، وذلك باعتبار الأسطوانة عمود مطبق في أسفله القوى والعزوم المطبقة في أسفل البرج الأسطواني .

3-5- القواعد بشكل أوتاد

- يستخدم هذا النوع من القواعد عندما تكون التربة ضعيفة جداً أو الحمولات كبيرة جداً (الحصير العامة ستكون غير اقتصادية) أو عمق التأسيس كبير . في هذه الحالة يتم نقل الحمولات إلى التربة عبر بلاطة سطحية (قبة) تستند على مجموعة من الأوتاد مغروسة في التربة . حساب هذا النوع من القواعد يتم وفق طرق حساب القواعد الوتدية وميكانيك التربة ولا مجال لذكرها هنا .