الباب الثالث

التحليل و التصميم

تمهيد :

هنالك عده طرق لتحليل الخزانات بصوره عامه اشهرها طريقتي :-

1- الطريقة المؤكدة (exact method) :

هذه الطريقه تعتمد على نظرية المرونة في التحليل وذلك إعتماداً على معادلات معقدة تعطي حلاً مباشراً حيث يعطي دليل التصميم (IS3370-part IV-1967) جداول خاصه للعزوم وقوى القص في الحوائط عند نهاياتها أو حوافها .

هذه المعاملات للعزوم تعتمد علي تقسيم الرقعة بإعتبارها مثبتة رأسياً عند حوافها ولكن مع إختلاف شروط التثبيت اعلى واسفل النهايات .

2- الطريقة التقربية (Approximate Method):

وهي الطريقة التقربية التي تعطي نتائج تقربية للتحليل و هي التي تم الاعتماد عليها في برمجه البرنامج لسهولة تكون الخوارزمية منها ، و هي التي سيتم شرحها ادناه .

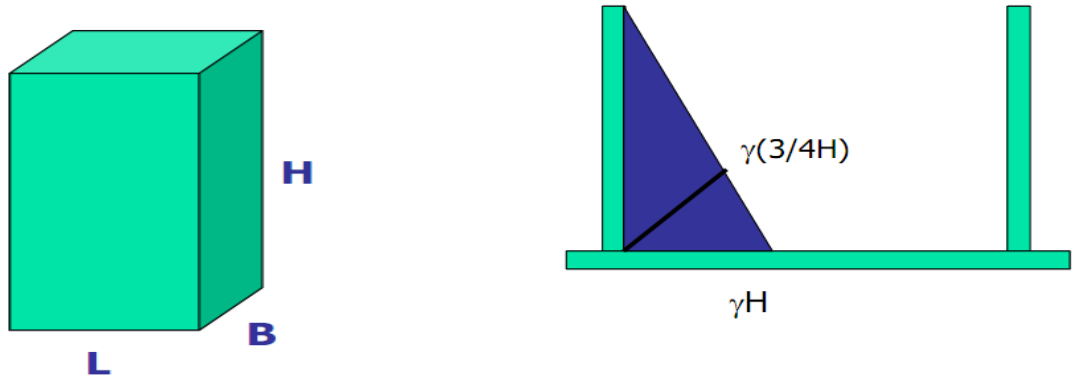
1-3 تحليل الخزانات المستطيلة :

تتصف هذه الخزانات بإن مقطعها الافقي يكون في شكل مستطيل أو مجموعة من المستطيلات وقد تكون مربعة وهي حالة خاصة من الخزانات المستطيلة .

إن إرتباط جدران الخزانات يلعب دورا هاما في توزيع الإجهادات لجدران و قاعدة هذه الخزانات ، وبالتالي فهنالك أثر اولي لتوزيع الاجهادات وهو المقطع الافقي للمستطيل ، وأثر ثاني في هذا التوزيع و هو التوزيع الرأسي للإجهادات بين الجدران والقاعدة الحاملة ، ومن المعلوم انه كلما اقتربنا من اسفل الخزان كان الاثر الثاني هو الأكثر فعالية ، بينما في اعلى الخزان يكون الأثر الاهم هو الأثر الافقي ، و بناءا علي هذا الاختلاف تم تقسيم الخزانات المستطيل الي قسمين :

1-1-3 الخزانات المستطيلة العميقة: Deep Tanks

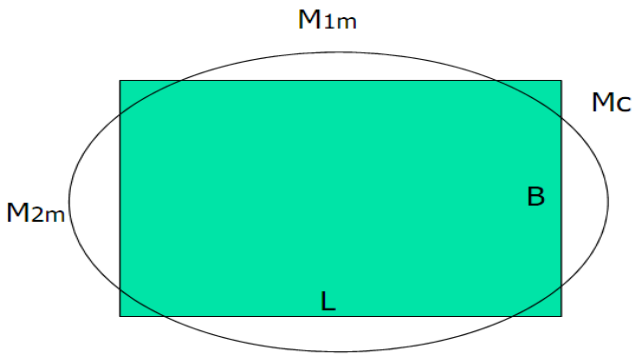
تعتبر الخزانات المستطيلة عميقة عندما H/L>2 and H/B >2



شكل رقم (3-1): يوضح ابعاد الخزان المستطيل

إن الضغط الهيدروستاتيكي للماء يقاوم من قبل الجدار وفق اطار افقي (Horizontal Frame) اما الجزء السفلي من الجدار والقريب من القاعدة فإن الضغط الهيدروستاتيكي للماء يقاوم بفعل عزوم التثبيت بين الجدار والقاعدة (Cantilever Actions) .

الشكل المتناظر لمسقط الخزان والضغط الهيروستاتيكي يسمح بإعتبار عزوم التثبيت في الرؤس الأربعة للمستطيل متساوية وإن الطرفين في منتصفي الضلعين المتقابلين للمستطيل متساوين .



شكل (3-2) يوضح عزوم التثبيت عند الرؤس والمنتصف للخزان

من الشكل(3-2) و بإفتراض ان اقصى ضغط داخلي يكون علي بعد (3/4) من إرتفاع الخزان من الاعلى ، وعليه فإن عزوم التثبيت تكون كالأتي :

$$Mc = -\frac{p}{12}(l^2 - LB + B^2) \qquad (1\text{-}3)$$

$$M1m = \frac{p*l^2}{8} - Mc \qquad (2\text{-}3)$$

$$M1m = \frac{p}{24}(l^2 + 2BL - 2B^2) \qquad (3\text{-}3)$$

$$M2m = \frac{p}{24}(B^2 + 2BL - 2L^2) \qquad (4\text{-}3)$$

- حالة خاصة :

في حالة المقطع المربع : L=B

بافتراض إن اقصى ضغط داخلي يكون على بعد $(1/4)$ H او على بعد متر من اسفل وعليه تكون العزوم كما يلي :

$$MC = \frac{-PL^2}{12} \quad \text{at support} \qquad (5\text{-}3)$$

$$Mm = \frac{PL^2}{24} \quad \text{at center} \qquad (6\text{-}3)$$

$$T = \frac{PL}{2} \quad \text{Direct Tension} \qquad (7\text{-}3)$$

حيث

$$P = \omega H(\frac{3}{4}) \qquad (8\text{-}3)$$

- العزوم الرأسية في جدران الخزانات المستطيلة العمية :

إن العزوم الرأسية التي تمل فيها جدران الخزان ككابولي مرتبط بالأرضية فتحسب من العلاقات التالية :

$$Mm = \frac{-\boldsymbol{PmaxL^2}}{\boldsymbol{24}} \qquad (9\text{-}3)$$

ويرافقه رد فعل يساوي :

$$R = 0.3 \,.\, p \,.L \qquad (10\text{-}3)$$

وعلي بعد $(\frac{H}{4})$ من سطح الماء للخزان :

$$M = \frac{-\boldsymbol{PmaxL^2}}{\boldsymbol{12}} \qquad (11\text{-}3)$$

و يرافقه قوة شد :

$$T = 0.75\,\frac{HL}{2} \qquad (12\text{-}3)$$

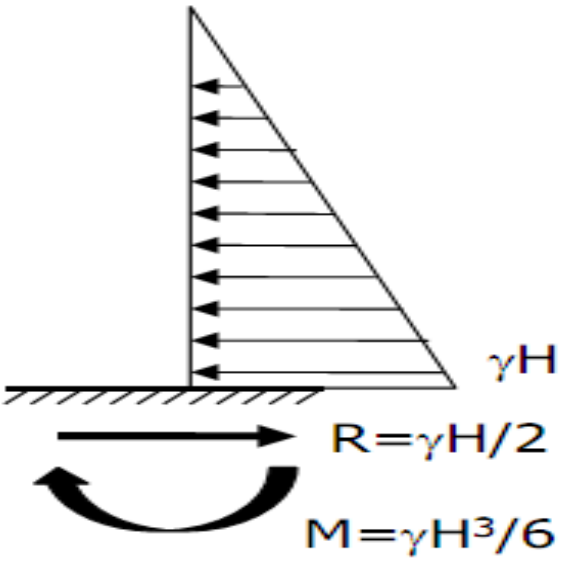
2-1-3 الخزانات المستطيلة قليلة العمق Shallow Tanks :

إذا كانت أبعاد الخزانات المستطيلة تحقق : H/L and H/B <2

إن جدران هذه الخزانات تقاوم الضغط الهيروستاتيكي للماء وفق سلوك ظفري (كابولي) بدلا من السلوك الحلقي الخاص بالخزانات العميقة ، ويمكن تقسيمها وفقا للتثبيت بين الجدران والأرضية الى الاتي :

أ- ألجدران مثبتة مع الأرضية و حره من الأعلى : Cantilever walls

تطبق هذه الحالة في الأحواض و المسابح و غيرها ويكون عزم الإنحناء الأعظم في اسفل الجدران و عند اتصاله مع قاع الخزان و هو يساوي



شكل (3-3) : يوضح العزوم علي الحوائط عندما يكون الحائط مثبت من اسفل و حر من اعلى

حيث :

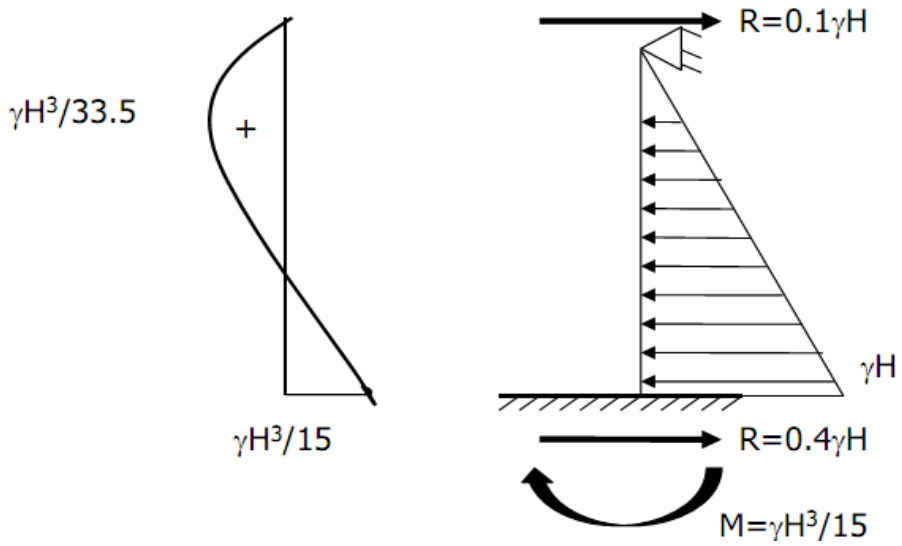
γ = كثافية السائل

H = ارتفاع الخزان

ب - الجدران مسنودة من الأعلى و مثبتة من الأرضية :

Wall simply supported at top and fixed at Bottom :

الجدران الخاصة بالخزانات المستطيلة والتي لا يزيد إرتفاعها عن 4.5 متر تحدد عزوم الإنحناء الرأسية فيها وردود الافعال من المخطط التالي :

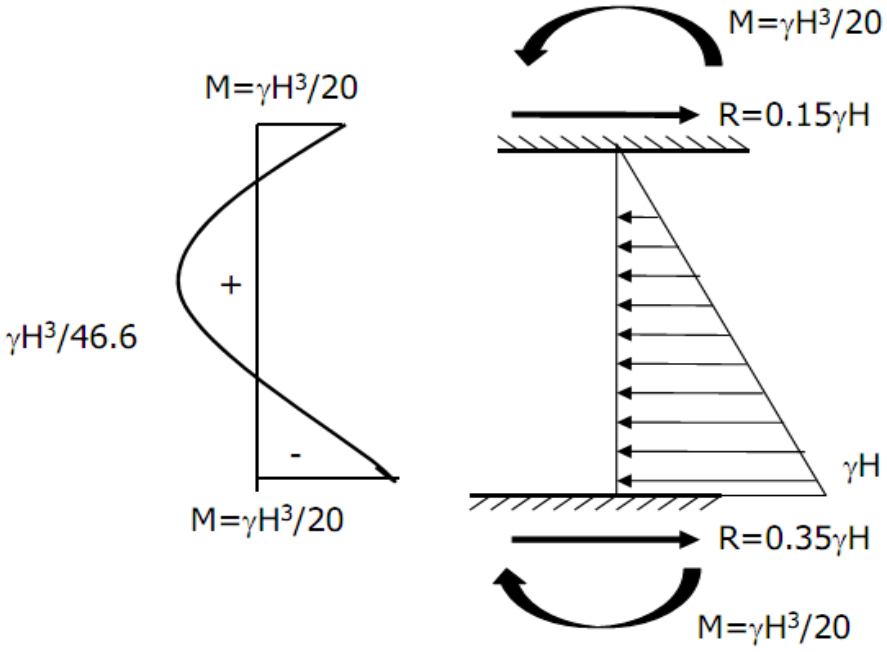


شكل (3-4) : يوضح العزوم على الحوائط عندما يكون الحائط مثبت من الأسفل و مسند من أعلى .

يفضل عند تصميم الجدران في هذة الحالة ان تكون ذات سماكة ثابتة خاصة في منطقة العزم الموجب ، اى ان هذه السماكة قابلة لتحميل العزوم الموجبة العظمي علي ان يزيد المقطع العرضي عند الأسفل (Gouset) .

ج - الجدران المثبتة من الاعلى والاسفل :

Wall fixed at top and fixed at Bottom



شكل (3-5) : يوضح العزوم عندما يكون الحائط مثبت من أعلى و أسفل

3-1-3 الخزانات المتوسطة العمق (Medium Moderate Tanks)

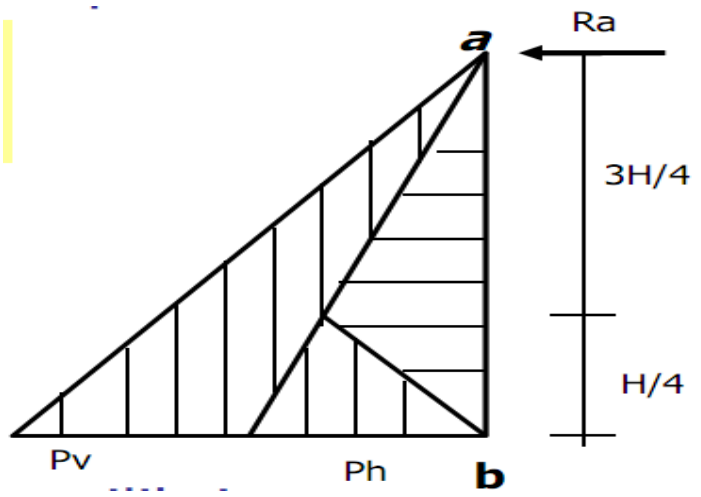
و فيها تكون :2>H/L and H/B > 1/2

وفيها تكون الجدران مقاومة للضغط الهيروستاتيكي بالإتجاهين بشكل يشبه البلاطات المستطيلة العاملة بإتجاهين حيث يفترض ان البلاطة تستند علي أربعة إتجاهات و ذات سماكة ثابتة و تخضع الى حمولة مثلثية ، و توزع هذة الحمولة بإتجاهين أفقي و رأسي ، فجزء من ضغط السائل يقاوم بالإتجاه الافقي و الجزء الاخر بالرأسي .

للحصول علي العزوم في هذه الخزانات هنالك طريقتان :

1- طريقة معاملات كيرشوف :Strip method (coefficient method)

العوامل المعتمدة في توزيع العوزم هي عوامل كيرشوف (Crashoft) ، حيث يقسم الضغط المثلثي (P) الى جزئين Ph ، P_v



شكل (3-6) : توزيع القوى و حساب العزوم بطريقة كيرشوف

$$p=pv + ph \qquad (13\text{-}3)$$

حيث :

P = الضغط الهيدروستاتيكي علي العمق المحدد .

Pv = الضغط المقاؤم في الإتجاة الرأسي .

ph = الضغط المقاؤم في الإتجاة الافقي .

$$P_V = C_1\, p \qquad (14\text{-}3)$$

$$P_h = C_2\, p \qquad (15\text{-}3)$$

حيث : (c_1 , c_2 معاملات كيرشوف)

عزم التثبيت عند (b) :

$$M = -\left(P_v \frac{H^2}{15} + P_h \frac{H^2}{117}\right) \qquad (16\text{-}3)$$

ورد الفعل عند (a) :

$$R = -\left(P_v \frac{H}{10} + P_h \frac{H}{540}\right) \qquad (17\text{-}3)$$

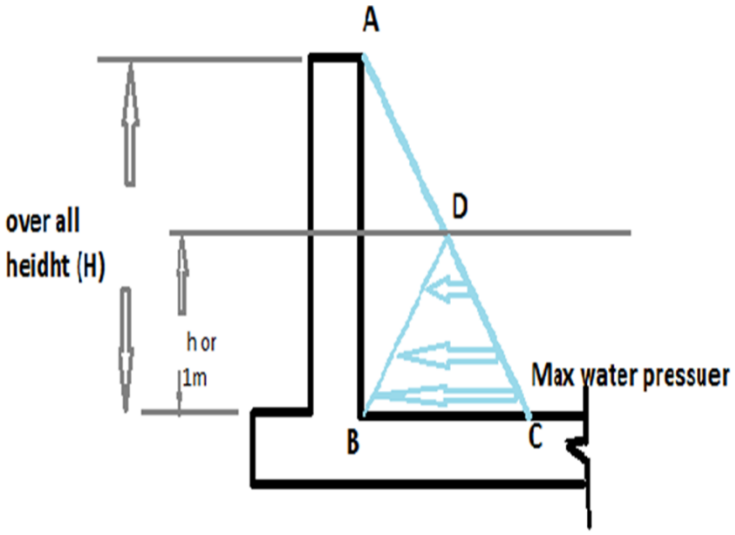
2- الطريقة التقربية : Approximate Method (Deep Tank action)

تستخدم هذه الطريقة عندما يكون من الصعب التحليل بإستخدام طريق المعاملات لذلك تستخدم لتبسيط تحليل الخزانات بالحصول علي العزوم التصميمية بطريقة ابسط واسهل .

أ/ للخزانات ذات النسبة : $(L/B) < 2$

إعتبار الحوائط الرأسية بلاطات مستمره و مثبتة عند الأطراف (Continuous slab and fixed at end) بواسطة الحوائط الرأسية الآخري .

- بافتراض ان الارتفاع الفعال هو 1 متر او H/4



شكل (3-7) : يوضح حساب العزوم بالطريقة التقريبية

وعليه تكون العزوم :

- Bending Moment at center of span = $\frac{PB^2}{16}$ (18-3)
- Bending Moment at end of span = $\frac{PB^2}{24}$ (19-3)|

عند التحليل لابد من مراعاة تاثير قوة السحب علي كل من الحوائط القصيرة (short wall) و الحوائط الطويلة (long wall) .

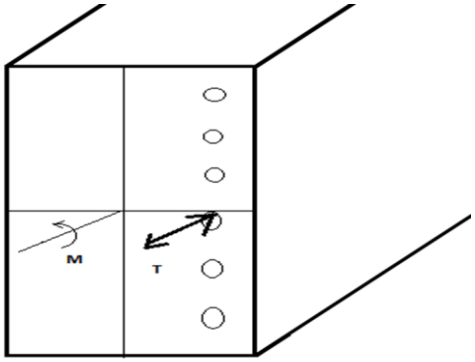
وعليه باضافية تاثير قوة الشد

- Direct tension on long wall T= $\frac{\gamma(H-h)B}{2}$ (20-3)
- Direct tension on short wall T= $\frac{\gamma(H-h)l}{2}$ (21-3)

وعليه تصبح محصلة العزوم

Mresult = M_{max} – T. X (22-3)

X = تمثل بعد نقطة تأثير قوة السحب من نقطة تطبيق العزوم .



شكل (3-8) : يوضح اتزان القوى والعزوم في المقاطع

ب- الخزانات ذات النسبة : (L/B) > 2

يتم التصميم بإعتبار الحوائط الطويلة (vertical cantilever) تكون فعالة عند (H/4) او 1 متر من القاع .

- Bending Moment for long wall = $\frac{\gamma H^3}{6}$ (22-3)

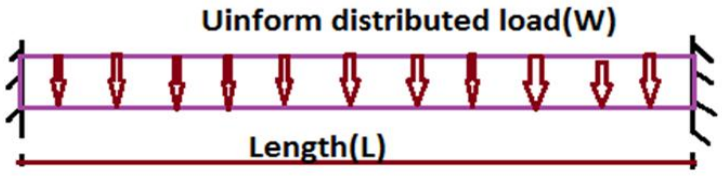
- Bending Moment for short wall (above 1 m fofm base)

$$= \frac{\gamma(H-H)B^2}{16} \qquad (23\text{-}3)$$

- Maximum cantilever moment for short wall = $\frac{\gamma Hh^2}{6}$ (24-3)

2-3 تحليل أرضية الخزان المستطيل :

يتم تحليلها بإعتبارها عارضة مثبت الأطراف كما في الشكل:



شكل (3-9) : يوضح توزيع الاحمال على بلاطة القواعد

1-2-3 العزوم عند الاطراف :

العزوم عند الأطراف بالنسبة لبلاطة القاعدة (base slab) تمثل العزم الناتج من ضغط المياه علي الحوائط الطويلة (Long Walls) و تأخذ هذه العزوم قيمتها العظمي عندما يكون الخزان ممتلئ و تساوي : .

$M=^{\gamma}*h*L^2/12$ (25-3)

(Mmax at h=H)

2-2-3 العزوم عند المنتصف :

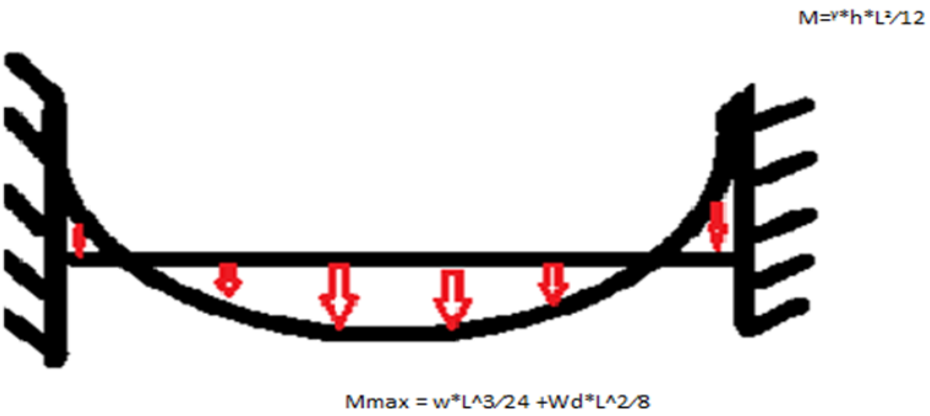
اما العزوم عند المنتصف تمثل مجموع العزوم الموجبة الناتجة من وزن الماء وتلك الناتجة من وزن أرضية الخزان (Base Slab) والعزم السالب الناتج من ضغط المياه علي الحوائط الجانبية.

$$M = \frac{\gamma hL^2}{8} + \frac{Wd\,L^2}{8} - \frac{\gamma hL^2}{6} \qquad (26\text{-}3)$$

حيث ان (wd) تمثل وزن البلاطة الأرضية ويكون أقصي عزم عندما يكون القص (dM/dh) يساوي الصفر : (ϫ= dM/dh) . وليصبح الارتفاع الذي يعطي اقصي إرتفاع هو (h=L/2). .

وبتعويض قيمة h في معادلة العزم عند المنتصف

$$M\ max = \frac{ϫ L^3}{24} + \frac{Wd\ L^2}{8} \qquad (27\text{-}3)$$



شكل (3-10) : يوضح العزوم علي بلاطة القواعد

2-3 التصميم :

المتابعه لطرق التصميم المستخدمه في تصميم المنشات الخرسانيه المسلحه نجد:

1-2-3 طريقة اجهادات التشغلية : (working stress method)

في هذه الطريقة تحلل المنشآه عن طريق نظرية المرونة الكلاسيكية ، حيث ان الإجهادات المعرضة لها عناصر المنشآه تعتبر على اساس انها حمل تشغيلي عادي ، ومن دون اخذ الانتباه للحدود المعطاه التي تظهر حتى زمن انهيار المنشآه ، الاحمال التشغيلية تحدد عن طريق اجهادات محددة في الخرسانة والفولاذ وذلك لمقاومة الاجهادات الناتجة من اختبارات المادة التي يتم اختبارها بمكعبات أو اسطوانات خرسانيه وكذلك بالنسبه لقضبان الفولاذ.

تعرف النسبة بين اجهادات الخضوع لقضبان الفولاذ أو مقاومة المكعبات الخرسانية الى الازاحة المسموح بها او اجهاد التشغيل بعامل الأمان ، لا يوجد ضمان للتصميم الانشائي في هذه الطريقة ، و بالمحافظة على أقصى إجهاد في الخرسانة والفولاذ لدى الحمل التشغيلي الى واحد ونصف من اجهاد الخضوع يمكن بعدها للمنشآه المقدرة على حمل الحمل النهائي بمقدار يساوى الضعف للحمل التشغيلي .

مؤخرا استخدمت هذه الطريقة في بلدان اوربا ، وفي الهند استخدمت هذه الطريقه على نطاق واسع وذلك لانها طريقه بسيطه المنهج.

2-2-3 طريقة المقاومة القصوئ : (ultimate load method)

هي طريقة تصميم بديلة ، حيث انتجت من تطوير طريقة الحمل الاقصى او طريقه الحمل المعامل ، في ان الحمل الاقصى يعرف على انه ضعف اقصى حمل تشغيلي من الممكن للمنشآه حمله ، والنسبة بين حمل الانهيار الى حمل التشغيل تعرف بالحمل المعامل ، والحمل المعامل يعطي قيم حديه دقيقة وأمنه ضد الأنهيار.

عند الأنهيار تكون حالات المادة ذات سلوك لدن ، حيث ان الإنفعال يزيد عده مرات ما بعد الاعتبارات المحددة في نظرية المرونة وان توزيع الأجهاد عبر المقطع يضبط عن طريق المقطع نفسه على اساس تمكين العنصر من تطوير اقصى سعة تحميلية لمقاومة شروط الحمل المطبق.

هناك ثلاثه مراحل يجب مراعاتها في هذه الطريقة :

1- التقدير المناسب لقيم الحمل المعامل لذا نجد ان قيمة الحمل الاقصى ربما تحسب مطابقة لحمل التشغيل المعطى .

2- تحلل المنشآه ضمن الحمل الاقصى او (الحمل المعامل) يحسب من المرحلة الاولى ، لذلك توزيع العزوم يمكن ان يحسب عن الإنهيار .

3- تصميم العناصر الانشائية للعزوم وقوى القص محدد لإنهيار .

لكون هذه الطريقة ' تستعمل اكبر إحتياطي من المقاومة عند المنطقة اللدنة ، هذا يعطي زياده مفرطة في التشوهات والشقوق . ايضا هذه الطريقة لا تأخذ بعين الإعتبار اثار الزحف و الانكماش في الخرسانة ، نتيجة لذلك هذه الطريقه لا تاخذ اعتبارات متطلبات الخدمة التي تعمل على منع الانحراف والتشوهات .

3-2-3 طريقة الحالة الحدية (Limit stat method) :

كما رأينا في طريقة الاجهادات التشغيلية التي تعطي اداء أمن للمنشا بواسطه الاحمال التشغيلية ، وهي غير واقعية لقيم اقصى حاله للانهيار بشكل مماثل ، بينما توفر طريقة المقاومة القصوى (ultimate load of method) تقديرات واقعية للأمان ولكن يعاب عليها انه لا يوجد ضمأن يؤمن متطلبات الخدمة لاحمال الخدمة .

ونجد ان أمثل طريقة هي التي تأخذ في الإعتبار ليس فقط اقصى مقاومة للمنشا بل تاخذ في الإعتبار ايضا متطلبات الخدمة و المتانة ، ظهرت حديثا الحالة الحدية limit state method التي تعتبر في نفس الوقت تفيئ بكل متطلبات الامان والخدمة والمتانة ، هذه الطريقه الحديثة وضعت مزيج حكيم من فلسفة الإجهادات التشغيلية وفلسفة المقاومة القصوى مما ادى ذلك لتجنب عيوب الأمان طريقتي الاجهادات التشغيلية working stress method والمقاومة القصوى ultimate state method .

4-2-3 متطلبات الكود الهندي لتصميم المنشات الحافظه (IS3370)

بتتبع المتطلبات العامة للتصميم يوصي بها الكود الهندي (IS456 code) نجد :

1- الاعضاء الخرسانه المعرضة من المنشات الخرسانية المسلحة الحافظة للسوائل يمكن ان نصمم من الأنهيار ، وذلك عن طريق الشد المسموح به في الوجه المعرض من العنصر الانشائي لكل الحدود المسموح بها للقوى الشد المسموح بها عند الانحناء حسب (IS456) ، وهذا البند ضروري لتجنب الانهيار الناتج من التشققات ونجد حديد الأسمى يوفر الاكتفاء الامثل للاعضاء الإنشائية ذات الخرسانة المعرضة مع تحقيق متطلبات الكود الهندي (IS456) .

2- الاجهادات المسموح بها في الخرسانة (Permissible stresses in concrete)

في كل الحسابات المتخصصة لمقاومه العناصر الانشائية للشقوق نجد ان اجهادات الشد المسموح بها نتيجة للإنحناء تطبيق على وجة العنصر المعرض للسائل ، و ان الأجهادات الناتجة من الانحناء تحدد من الجدول ادناه وهذا الجدول يتضمن ايضا الاجهادات الناتجة من الانحناء لوجه العنصر البعيد من السائل .

3- الاجهادات المسموح بها في الفولاذ (:Permissible stresses in steel)

أ- إعتبارات إجهادات التشقق : عندما يفترض ان الفولاذ و الخرسانة يعملان معا كوحدة واحده حينها تحسب اجهادات الشد للخرسانة لتجنب التشققات ، ومن الضروري ان تكون إجهادات الشد المتولدة في الفولاذ بالحدود المسموح لها على ان لا تتعدى اجهادات الشد في الخرسانة . و يجب الا تتعدى إجهادات الشد نسبة الناتج الجزئي والمقابلة لاجهادات الشد المسموحه في الخرسانة.

Permissible tensile stresses (N/mm^2) in concrete in computation pertaing to resistance to craking (Table -2in IS3370-part 2)

الجدول (3-1) يوضح الاجهادات المسموح بها في الخرسانه باعتبارات الشقوق :

Grade Concrete	Direct (N/mm^2)	Bending (N/mm^2)
M15	1.10	1.50
M20	1.20	1.70
M25	1.30	1.80
M30	1.50	2.00
M35	1.60	2.20
M40	1.70	2.40

جدول (3-2) يوضح معاملات التصميم للإنحناء Design coeffscient for flexure

Steel near water face	**Steel away from water face**
For M_{20} concrete & Fe_{250} steel $C=7N\backslash mm^2$ $t=115N\backslash mm^2$, $m=13.33$ $a=0.85d$, $M.R=1.333bd^2$	For M_{20} concrete & Fe_{250} steel $C=7N\backslash mm^2$ $t=125N\backslash mm^2$ $m=13.33$ $a=0.86d$ $M.R=1.283bd^2$
For M_{20} concrete & Fe_{415} steel $C=7N\backslash mm^2$ $t=150N\backslash mm^2$ $a=0.87d$ $M.R=1.171bd^2$	For M_{20} concrete & Fe_{415} steel $C=7N\backslash mm^2$ $t=190N\backslash mm^2$ $a=0.89d$ $M.R=1.027bd^2$

ب- إعتبارات المقاومة : الإجهادات المسموح بها في حديد التسليح بإعتبارات حسابات المقاومة تستؤخذ قيمها بمعطيات الجدول ادناه:

الجدول (3-3) يوضح الاجهادات المسموح بها في الحديد باعتبارات الشقوق :

- permissible stress in steel (N/mm^2) (strength consideration) (Table - 4 in Is3370 part-2)

Nuture of tensile stress	M.s bars Fe_{250}	For steel Fe_{415}
Tensile stress due to direct tension	115	150
Tensile stress due to bending in steel near the liquid or away from the liquid face when face the thickness of the member is less than 225mm .	115	150
Tensile stress in steel provided away from the liquid face member of thickness greater than 225 mm .	125	190
Tensile stress in shear reinfacement when the thickness of member is less than 225 mm	115	150
when the thickness of member is greater than 225 mm.	125	175
Compressive stress in R.C.C columns subjected to direct load .	125	175

4- إجهادات الانكماش والحرارة :

الإجهادات الناتجه لكلا من انكماش الخرسانة الجافة والتغيرات في درجات الحرارة ، يمكن تجاهل هذه الاجهادات بتوفير الاتي :

أ- الاجهادات المسموح بها والمحدده في الجدول اعلاه يجب ان لا تتعدى على اي حال.

ب - أخد الإحتياطات الكافية يمنع التشققات في الخرسانة منذ فترة التشيد وحتى فترة إستخدام المنشا لحفظ السائل .

ج- التوجيه بخصوص الوصلات - التي وضحت في المقالات السابقة - وذلك للانزلاق المناسب اسفل الطبقة الحافظة او بالقرب من محيط الحرارة ، وكل تلك الشروط على الخرسانة التي لم يسبق لها التعرض لجفاف خارجي .

د- في الحالات الخاصة يمكن حساب إجهادات الانكماش على حالها ويتم افتراض معامل انكماش مقداره ($300*10^{-6}$) ، عندما تتوفر اجهادات انكماش مسموحة ، فانه يمكن زيادة اجهادات الشد المسموح بها في الخرسانه بمقدار (1/2* 33) في المئه.

الحدود الموضحة للإجهادات في الأوجة الحافظة للسوائل يمكن ان تنطبق ايضا على :

1) كل الأوجة الحافظة للسوائل ذات السمك الأقل من 225 ملم .

2) الأوجة الخارجية البعيدة عن السائل لكن توفر في التربة المشبعة بالرطوبة فوق مستوى اعلى منسوب لتربه الاساس .