

## طريقة اجهادات التشغيل Working Stress Method

### 1.3 مقدمة :-

في هذه الطريقة نفترض أن التناسب بين الاجهادات والانفعالات للخرسانة والحديد يكون خطياً . بالنسبة للحديد يكون التناسب خطياً عندما تكون الاجهادات اقل من مقاومة الخضوع ( $f_y$ ) . أما بالنسبة للخرسانة فيمكن اعتبار علاقة الإجهاد مع الانفعال خطية عند كون الإجهاد اقل من نصف مقاومة الخرسانة أي اقل من ( $0.5f'_c$ ) .

لقد تضاعف استخدام هذه الطريقة حتى أن الكود قد جعلها ضمن الملحق وسماها الطريقة البديلة (Alternate Method) منذ عام 1977. ولذلك سنقتصر في هذا الفصل على تحليل وتصميم المقاطع المستطيلة فقط باستخدام هذه الطريقة.

وقبل أن نوضح تحليل وتصميم العتبات الخرسانية باستخدام هذه الطريقة سنوضح تصرف العتبات الخرسانية المسلحة تحت تأثير الأحمال وذلك للحصول على فهم أوضح لطريقة اجهادات التشغيل وطريقة المقاومة أيضاً .

### 2.3 تصرف العتبات الخرسانية المسلحة تحت تأثير الأحمال

#### Behaviour of Reinforced Concrete Beams

يمكن تمييز ثلاث مراحل عند تحميل العتبة الخرسانية حتى الفشل وهي :-

**1.2.3 مرحلة ما قبل التشقق** :- وهي المرحلة التي تسبق تشقق الخرسانة وذلك عند كون الأحمال قليلة حيث يكون التناسب بين الاجهادات والانفعالات خطياً. وللتحليل يحول الحديد إلى ما يكافئه من الخرسانة للحصول على المقطع المحول (Transformed section) وبذا تصبح العتبة متجانسة يمكن تطبيق قوانين ميكانيك المواد عليها. تستمر هذه المرحلة لحين وصول الاجهادات إلى معامل الكسر (Modulus of rupture) والذي يرمز له ( $f_r$ ) . وقبل وصول الخرسانة الى معامل الكسر فان جميع المقطع يكون فعالا ويتم استخدامه في التحليل . أما عند وصول الاجهادات إلى معامل الكسر وحصول التشقق فان جزء المقطع الخرساني تحت محور الحيود يهمل لأنه لا يتحمل شداً . وعندئذ ننتقل إلى المرحلة الثانية .

**2.2.3 مرحلة تشقق الخرسانة مع بقاء الاجهادات خطية** :- تبدأ هذه المرحلة عند

وصول اجهادات الشد إلى معامل الكسر وحتى تحول الاجهادات إلى اجهادات غير خطية

والذي يحصل عند كون  $(f_c > .5f'_c)$  وهنا يتم إهمال الشد الذي تتحمله الخرسانة ونفترض أن قوة الشد يتحملها الحديد فقط .

### 3.2.3 مرحلة الاجهادات غير الخطية :- عند زيادة الأحمال عن المرحلة السابقة تصبح

الاجهادات غير خطية خصوصاً بالنسبة لاجهادات الخرسانة ويحصل هذا عند كون  $(f_c > .5f'_c)$  وتستمر الحالة لحين حصول الفشل .

### 3.3 تحليل العتبات قبل مرحلة التشقق

#### Analysis of R.C beam before cracking

وهنا يتم تحويل المقطع الى مقطع متجانس وذلك بتحويل الحديد إلى مايكافئه من الخرسانة ويسمى المقطع بالمقطع المكافئ أو المحول ( Transformed or equivalent section ) . والتحويل يعتمد على فرضيتين وهما أن انفعالات الحديد والخرسانة تكون متساوية وإن القوة التي يولدها الحديد يجب أن تساوي القوة التي تولدها الخرسانة المكافئه وباستخدام الشكل (1.3) فإن :-

عند مستوى الحديد

$$E_{cs} = E_s$$

$$\frac{f_{cs}}{E_c} = \frac{f_s}{E_s}$$

$$f_r = \frac{Pl}{bd^2} \text{ أي أن}$$

$$f_s = \frac{E_s}{E_c} f_{cs}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \dots \dots \dots (1.3)$$

$$\therefore f_s = n f_{cs}$$

حيث n = معامل العيارية modular ratio

$f_{cs}$  = اجهادات الخرسانة عند مستوى الحديد .

$f_s$  = اجهادات الحديد

$E_{cs}$  = انفعال الخرسانة عند مستوى الحديد .

$E_s$  = انفعال الحديد .

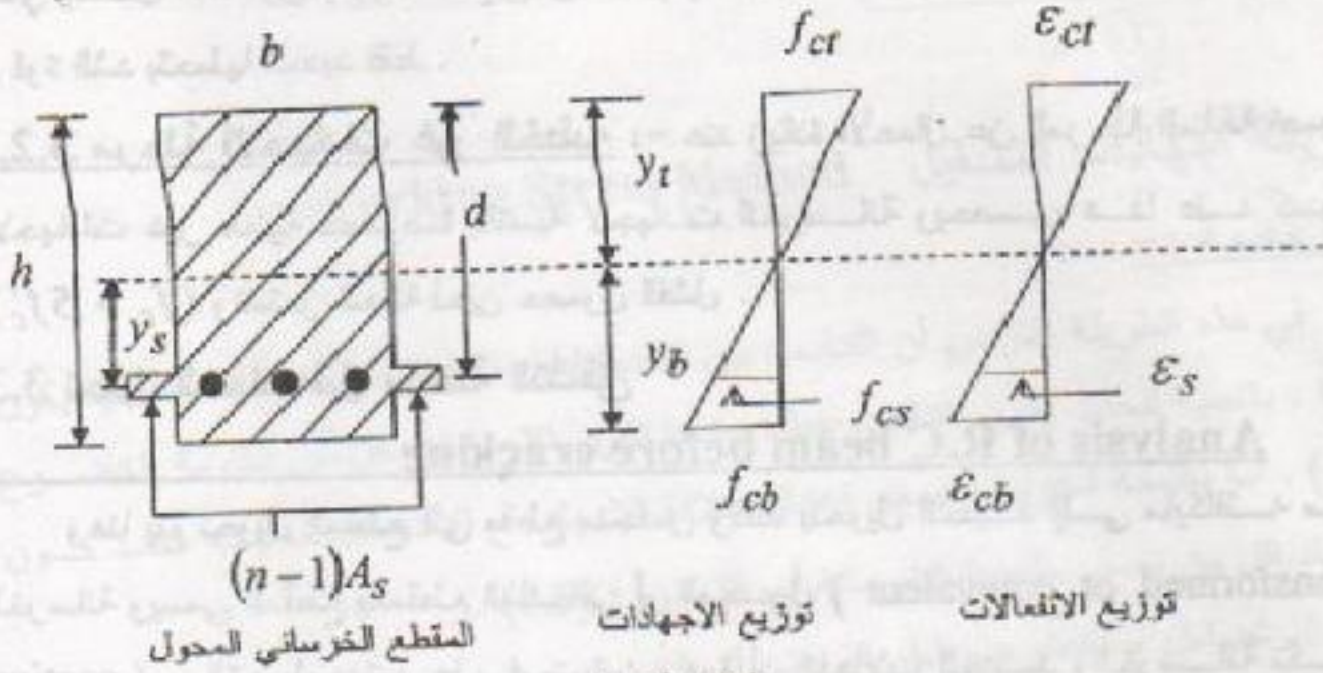
وباستخدام الفرضية الثانية فإن

$$F_c = F_s$$

$$A_t f_{cs} = A_s f_s$$

$$A_t f_{cs} = A_s n f_{cs}$$

$$\therefore A_t = n A_s \dots \dots \dots (2.3)$$



شكل (1.3)

المقطع المحول وتوزيع الاجهادات والانفعالات قبل مرحلة التشقق

$h$  = العمق الكلي للمقطع

$b$  = عرض المقطع

$d$  = العمق الفعال للمقطع ويساوي المسافة من مركز حديد الشد إلى الياف الانضغاط

حيث  $F_s$  = قوة الحديد  $F_c$  = قوة الخرسانة المكافئة .

$A_l$  = مساحة الخرسانة المكافئة للحديد  $A_s$  = مساحة الحديد .

ويمكن إيجاد مساحة المقطع المحول كما يلي :-

$$A_e = A_c + A_l = A_g - A_s + nA_s$$

$$A_e = A_g + (n-1)A_s \dots\dots\dots(3.3)$$

حيث  $A_e$  = مساحة المقطع المحول .

$A_g$  = مساحة المستطيل  $b \times h$   $A_c$  = مساحة الخرسانة

بعد تحويل الحديد إلى ما يكافئه من الخرسانة فإن العتبة أصبحت متجانسة ويمكن تطبيق قوانين ميكانيك المواد عليها لإيجاد الاجهادات وكما يلي :-

$$\sigma = \frac{My}{I} \dots\dots\dots(4.3)$$

حيث  $\sigma$  = إجهاد الانحناء  $M$  = العزم المسلط

$y$  = البعد عن محور الحيود  $I$  = عزم القصور الذاتي .

وبذا يكون الاجهادات القصوى للخرسانة والحديد كما يلي :-

$$\left. \begin{aligned} f_{ct} &= \frac{My_t}{I} \\ f_{cb} &= \frac{My_b}{I} \\ f_s &= nf_{cs} = n \frac{My_s}{I} \end{aligned} \right\} (5.3)$$

حيث  $f_{ct}$  = اجهادات الاتضغاط للخرسانة

$y_t$  = بعد الالياف العليا للخرسانة عن محور الحيود (N.A)

$f_{cb}$  = اجهاد الشد للخرسانة

$y_b$  = بعد الالياف السفلى للخرسانة عن محور الحيود .

$f_s$  = اجهاد حديد التسليح .

$y_s$  = بعد حديد التسليح عن محور الحيود .

لإيجاد موقع محور الحيود (N.A) فإننا نساوي عزم المساحة الكلية حول الضلع الأعلى لعزم

مساحة الخرسانة المستطيلة والمساحة المكافئة للحديد وكما يلي :-

$$A_c \cdot y_t = A_g \frac{h}{2} + (n-1)A_s d$$

من المعادلة أعلاه نجد  $y_t$  المجهول الوحيد ثم نجد  $y_b$  ،  $y_s$  وكما يلي :-

$$y_b = h - y_t \quad y_s = d - y_t$$

أما عزم القصور الذاتي فيمكن إيجاده كما يلي :-

$$I = \frac{bh^3}{12} + bhe^2 + (n-1)A_s y_s^2$$

$$I = \frac{by_t^3}{3} + \frac{by_b^3}{3} + (n-1)A_s y_s^2 \quad \text{أو كما يلي :-}$$

حيث  $e$  = البعد بين مركز مساحة المستطيل ومحور الحيود .

بعد ذلك تطبق المعادلات (5.3) للحصول على الاجهادات ويمكن تطبيق إحداها فقط

والحصول على البقية من التناسب الخطي .

### 4.3 إيجاد عزم التشقق Cracking Moment

عند تحليل العتبات تحت تأثير أحمال قليلة نسبياً يجب معرفة هل أن المقطع قد وصل

إلى مرحلة التشقق أم لا . ويتم ذلك بإيجاد العزم اللازم للتشقق ومقارنته مع العزم المسلط .

إيجاد عزم التشقق تطبق المعادلة (4.3) مع مساواة الإجهاد إلى معامل الكسر ( $f_r$ ) والذي يساوي حسب الكود (فقرة 9.5.2.3) :-

$$f_r = 0.7 \sqrt{f_c}$$

أما  $y_b$  ،  $I$  فيتم إيجادها حسب الفقرة السابقة وعندئذ يكون عزم التشقق مساوياً إلى

$$M_{cr} = \frac{f_r I}{y_b} \dots \dots \dots (6.3)$$

عند كون عزم التشقق أكبر من العزم المسلط تتبع الفقرة السابقة في التحليل وألا فإن التحليل والتصميم يتم أما حسب طريقة اجهادات التشغيل أو طريقة المقاومة .

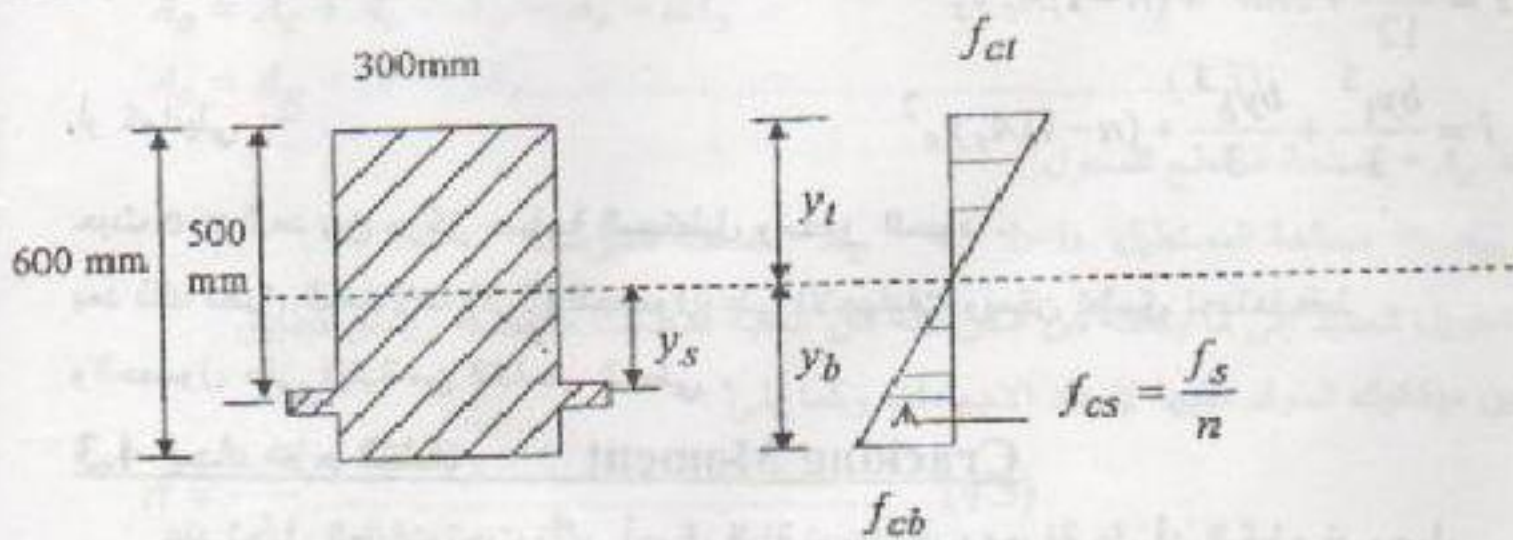
**مثال 1.3** :- عتبة خرسانية بسيطة الإسناد بإبعاد (  $600 \times 300 \text{ mm}$  ) تحوي حديد تسليح بمساحة (  $3200 \text{ mm}^2$  ) كما موضح في الشكل (2.3) ، معامل المعيارية (  $n = 8$  ) ومعامل الكسر (  $f_r = 3.1 \text{ Mpa}$  ) جد عزم التشقق . ثم جد إجهاد الحديد والخرسانة إذا كان عزم الاتحناء المسلط يساوي  $33.9 \text{ KN.m}$  .  
الحل :-

$$A_e = 300 \times 600 + (8 - 1)(3200) = 202400 \text{ mm}^2$$

$$202400 y_t = 300 \times 600 \times 300 + 7 \times 3200 \times 500$$

$$\therefore y_t = 322 \text{ mm}$$

$$y_b = 600 - 322 = 278 \text{ mm} \quad y_s = 278 - 100 = 178 \text{ mm}$$



شكل (2.3)

مقطع العتبة وتوزيع الاجهادات للمثال (1.3) .

$$I = \frac{300 \times 600^3}{12} + 300 \times 600 \times 22^2 + 3200 \times 7 \times 178^2 = 6197 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$M_{cr} = \frac{f_r I}{y_b} = \frac{3.1 \times 6197 \times 10^6}{278} \times 10^{-6} = 69.1 \text{ KN.m}$$

بما أن  $M_{cr} > 33.9$  عليه فالمقطع غير متشقق ويمكن إيجاد الاجهادات كما يلي :-

$$f_{ct} = \frac{My_t}{I} = \frac{33.9 \times 10^6 \times 322}{6197 \times 10^6} = 1.76 \text{ N/mm}^2 \text{ (Mpa)}$$

$$f_s = n f_{cs} = \frac{nMy_s}{I} = \frac{8 \times 33.9 \times 178 \times 10^6}{6197 \times 10^6} = 7.79 \text{ Mpa.}$$