



جامعة دمشق

كلية الهندسة المعلوماتية

سنة ثالثة

مادة حسابات علمية

## تقرير مشروع

دراسة مقاومة جسم وتحمله لجهد مطبق عليه

إعداد الطلاب:

- عبد الهادي بيطار
- محمد عمار الشرفاوي الجزائري
- محمد وسام الرجولة

إشراف المهندس:

- محمد موسى حمد

دمشق في 20-2-2014

## لمحة عامة:

- ما الهدف من مادة الحسابات العلمية؟

1- عمل بحث علمي على ظواهر في الطبيعة بحيث يتم استنتاج قوانين رياضية تحكم هذه الظواهر فيزيائية كانت أو كيميائية أو أي شيء آخر وبالتالي يمكننا فيما بعد استخدام هذه العلاقات لمعرفة نتيجة أي ظاهرة طبيعية مماثلة وما الذي يمكن أن يتغير في حال تم استخدام وسائط ومعاملات مختلفة عن التي كانت في الظاهرة التي تم استنتاج القوانين وفقاً لها.  
مثال: سقوط كرة سقوطاً حراً (أي بتأثير ثقلها).

2- تعقيد البحث بحيث من الممكن دراسة نتائج عدة ظواهر طبيعية واستنتاج علاقات تربط بينها.  
مثال: تحرك كرة ساكنة نتيجة صدم كرة أخرى لها.

3- نمذجة الظواهر الطبيعية على الحاسب.

- ماذا نقصد بالنمذجة؟

هي أن نقوم بدراسة ظاهرة طبيعية محددة مثل (حركة أسراب النمل , انهيار بناء , الجاذبية , التصادم , تفاعل الأفراد فيما بينهم , حركات الأجسام في الماء , تفاعلات كيميائية,.... الخ ) واستنتاج القوانين التي تعمل على تفسير تلك الظاهرة وفق دراسات معينة لاستنتاج خوارزميات قابلة للبرمجة وبالتالي محاكاة عمل تلك الظاهرة على الحاسب كما لو أنها تتم بالواقع.  
حيث عمل مهندس المعلوماتية الرئيسي مهما كان تخصصه هو نمذجة المشاكل الحياتية واسقاطها على الحاسب.

- ما هي فوائد النمذجة؟

من أهم فوائد النمذجة أنها قللت من كلف تجارب عديدة لمحاكاة ظواهر عديدة. فنحن نجد أن تصميم الطائرات يتم عبر الحاسب ويتم اختبار فعالية هذه الطائرات في الأجواء الماطرة أو العاصفة أو في حال الإقلاع أو الهبوط الإضطراري أو غير آمن كأن لا يوجد مدرج للهبوط أيضاً عبر الحاسب. فبدلاً من إنشاء طائرة كاملة وتجربة التصميم على أرض الواقع وبالتالي خسارة كم كبير من الأموال نقوم بعمل محاكاة (نمذجة) على الحاسب بحيث توفر برامج المحاكاة بيئة واقعية لاختبار التصميم وبالتالي توفر الملايين .

- ماذا يدرس هذا المشروع؟

بشكل عام الأجسام في الطبيعة لها أساليب مختلفة في الاستجابة للحمولات الخارجية والمؤثرات الأخرى التي ممكن أن تؤثر عليها وذلك تبعاً لطبيعتها وطبيعة المواد المؤثرة عليها (سائلة – صلبة – غازية ...الخ) قد لا تتأثر وقد تتشوه بشكل مؤقت وتعود كما كانت أو تحافظ على شكلها الجديد وهناك العديد من الأساليب المختلفة والتي تتعلق بعوامل تختلف من مادة لأخرى وقد اقتصرنا في هذا المشروع على دراسة جانب بسيط من سلوك الأجسام البيتونية المسلحة المستخدمة في بناء المنشآت بالنسبة إلى الحمولات التي من الممكن أن تتعرض لها.

## الفهرس

1	لمحة عامة:
3	مقدمة:
7	أهداف المشروع:
7	1. دراسة سلوك الخرسانة للإجهادات وقوى القص
7	2. التحقيق
7	3. التصميم
7	الدراسة الفيزيائية:
9	1. دراسة سلوك الخرسانة للإجهادات وقوى القص:
10	طريقة ماكولاي (Macaulay's method):
18	2. تحليل الجوائز:
19	حساب قدرة تحمل جائز:
19	1. المقاطع المستطيلة أحادية التسليح:
23	2. المقاطع المستطيلة ثنائية التسليح:
26	3. تصميم الجوائز:
26	1. المقاطع المستطيلة أحادية التسليح:
29	2. المقاطع المستطيلة ثنائية التسليح:
31	المخططات التدفقية:
36	مخططات الصفوف:
36	1. مخطط صفوف دراسة السلوك:
39	2. مخطط صفوف التحليل:
41	3. مخطط صفوف التصميم:
42	الواجهات:
46	أهم التوابع:
47	خاتمة:
48	المراجع:

## مقدمة:

### 1. نظرة تاريخية:

تعدّ الخرسانة (البيتون) من أهم مواد البناء المستخدمة في الوقت الحاضر ويعود استخدامها بمكونات مختلفة إلى ما قبل سبعة آلاف عام قبل الميلاد إذ وجدت تطبيقاتها المتعددة لدى الإغريق والرومان والفراعنة وحضارات أخرى قديمة الأمر الذي أكدته تحريات أثرية متعددة وتشهد عليه العديد من الأوابد التاريخية وقد تطورت هذه المادة واكتسبت خواصها الأساسية المتداولة الآن عبر الزمن من خلال تعديل أشكال مكوناتها وخواصها وظهرت منها في أيامنا هذه أنواع أكثر تقدّم بالنسبة لما يعرف بالخرسانة العادية لجهة تحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية وغير ذلك وبما يتجاوب مع الحاجات والأشكال المعمارية والهندسية للإنسان وأصبح الحديث يتزايد حول أهمية استعمال بعض الأنواع الخاصة المعروفة نسبياً ومنها الخرسانة الرغوية Foamed Concrete والخرسانة الثقيلة Heavy Concrete والأنواع الأخرى المتقدمة حديثة العهد ولاسيما الخرسانة عالية الأداء High performance concrete والخرسانة فائقة الأداء (الخرسانة الناعمة الفعالة Ultra- High performance Concrete) والخرسانة ذاتية التراص (الخرسانة الانسيابية Self-compacting Concrete) (وخرسانة اليوم الواحد One-day Concrete) يتم اكتساب المقاومة المطلوبة على الضغط في اليوم الأول من تاريخ الصب ( والخرسانة المسلحة بالألياف ذات المنشأ العضوي كالألياف الكربونية والزجاجية.

- تتكون الخرسانة المسلحة العادية كمادة مصنعة بشكل أساسي من مادتين رئيسيتين:

1. **الخرسانة العادية بمكوناتها الأساسية** الإسمنت والحصىات بنوعيهما الناعم /الرمل /والخشن / والبصص / والماء وبعض الإضافات الخاصة وغير ذلك.

2. **قضبان التسليح الفولاذية** الموزعة والمتراصة فيما بينها ضمن الخرسانة وفق اشتراطات معتمدة

- تمثل الخرسانة بأنواعها المختلفة المادة الرئيسية المستخدمة للبناء والإنشاء في معظم المنشآت الهندسية المعاصرة المطمورة منها والمكشوفة على السواء وقد تبوّأت هذا الموقع خلال عقود كثيرة مضت وهي مرشحة للمحافظة على هذا الدور لعقود أخرى قادمة.

- اجتمعت في الخرسانة المسلحة العادية جملة من الميزات الإيجابية تتعلق بسهولة الإنشاء (الليونة المعمارية) والمقاومة الجيدة على الضغط والصلابة وديمومة الاستثمار ضمن الشروط المناسبة وغير ذلك.

- وهناك عدد من السلبيات التي ما تزال تعانيتها الخرسانة المسلحة العادية حتى الآن ومنها: ضعف مقاومتها على الشد ووزنها الذاتي الكبير وغير ذلك.

وهذا أدى إلى ظهور أنواع متقدمة منها كما أشير إليه أعلاه.

## 2. مقدمة نظرية:

1- الجملة الهيكلية: تقسم العناصر الانشائية الحاملة لكل مبنى حسب أبعادها إلى:

1-1- العناصر الخطية: أحد أبعادها الثلاث كبير بالمقارنة مع البعدين الآخرين و تكون إما

عناصر خطية شاقولية (أعمدة) أو عناصر خطية أفقية (جوائز).

$$L \gg b , L \gg h$$

2-1- العناصر المستوية: أحد أبعادها الثلاث صغير بالمقارنة مع البعدين الآخرين ، و تكون إما

عناصر مستوية شاقولية (جدران) أو عناصر مستوية أفقية (بلاطات "أسقف").

3-1- العناصر الفراغية: أبعادها الثلاثة متقاربة (الأساسات).

## 2- الأحمال:

وهي القوى المؤثرة على العنصر و تتضمن بشكل أساسي الوزن الذاتي و الحمولات المنقولة من العناصر المستندة عليه و تكون:

2-1- حمولات نقطية (مركزة): حمولة مطبقة في نقطة من العنصر واحدتها  $N, KN, ton$ .

2-2- حمولات خطية: و تكون موزعة على الطول واحدتها  $N / m', KN / m', ton / m'$ .

3-2- حمولات مساحية: تكون موزعة على المساحة واحدتها  $N / m^2, KN / m^2, ton / m^2$ .

### • انتقال الأحمال:

تنتقل الأحمال في المنشأ وفق التسلسل التالي:

✓ البلاطة.

✓ جوائز.

✓ الأعمدة.

✓ الأساسات.

✓ التربة.

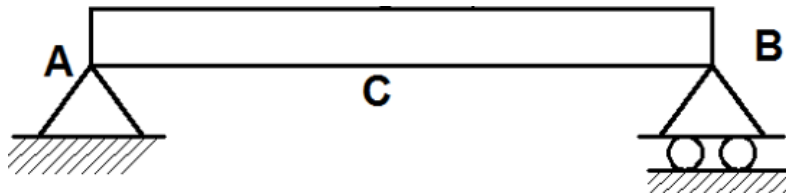
### • أشكال الحمولات المطبقة على الجانز:

1- حمولات مركزة في نقطة من الجانز  $KN$ .

2- حمولات موزعة بانتظام  $KN / m'$ .

3- حمولات موزعة متغيرة بانتظام (مثلثية أو شبه منحرفة)  $KN / m'$ .

ويتم تمثيل الجانز تخطيطياً بالشكل التالي:



حيث يمثل الخط الأفقي الجانز أما المثلثات الظاهرة فهي تمثل المساند "الأعمدة أو جوائز معامدة".

يتم نقل الحمولات من البلاطات "الأسقف" إلى الجوائز و بالتالي تتحمل هذه الجوائز الحمولات المنقولة بالإضافة الى وزنها الذاتي و تكون هذه الحمولات حمولات موزعة ، كما يمكن أن يطبق على الجانز حمولة نقطية "حمولة مركزة" تمثل وزن جانز آخر متعامد مع هذا الجانز و مسنود عليه.

و ينشأ عن هذه الحمولات المطبقة على الجائز ردود أفعال في المساند ، و تختلف طبيعة ردود الأفعال تبعاً لأنواع المساند و هي كالتالي :

	<p><b>(1) المسد المتدرج:</b> يسمح بالحركة الأفقية و بالدوران ، يمنع الحركة الشاقولية و بالتالي يوجد رد فعل شاقولي حسب ممانعة الحركة.</p>
	<p><b>(2) المسد الثابت:</b> يسمح بالدوران و يمنع الحركة الشاقولية و الأفقية ، أي ظهور رد فعل شاقولي و أفقي.</p>
	<p><b>(3) الوثاقة المستوية:</b> تمنع الحركة الأفقية و الشاقولية و الدوران و بالتالي ظهور رد فعل أفقي و رد فعل شاقولي و عزم.</p>

فإذا كان الجائز يرتكز على أكثر من مسندين يعتبر جائز متعدد الفتحات وأما اذا استند على مسندين فقط فيعتبر جائز بسيط والمقصود بالفتحة هي المسافة بين المسندين.

#### - انحاء الجوائز المتجانسة:

يعرف الجائز بأنه عنصر إنشائي يقاوم بالإضافة الى وزنه الذاتي الأحمال الخارجية المطبقة عليه فتتسأ فيه عزوم وقوى قاصة داخلية.

الجوائز الخرسانية المسلحة هي عناصر غير متجانسة تتكون من مادتين مختلفتين تماماً هما الخرسانة وال فولاذ ومن ثم تكون طرائق تحليل هذه الجوائز مختلفة عن الجوائز المصنوعة بشكل كامل من الفولاذ أو الخشب أو ... الخ ومع ذلك فإن المبادئ الأساسية المطبقة تكون متشابهة وهذه المبادئ هي:

- في أي مقطع عرضي توجد قوى داخلية يتم تحليلها إلى مركبات ناظمية ومماسية للمقطع.

- المركبات الناعمية على المقطع هي إجهادات الانحناء bending stresses تكون شدا في جهة من المحور السليم وضغطا في الجهة الأخرى ومهمتها مقاومة عزم الانحناء المطبق على المقطع
- أما المركبات المماسية للمقطع فهي إجهادات القص shear stresses تقاوم القوى العرضية أو القاصة.

### مثال توضيحي:

عند تعرض الجائز البسيط الى حمولة موزعة  $w$  وحمولة مركزة  $p$  نتيجة تطبيق الأحمال ينشأ عزم الانحناء في الجائز (عزم خارجي) يقاوم العزم الداخلي العزم الخارجي وينشأ العزم الداخلي عن مزدوجة مكونة من قوة ضاغطة  $C$  وقوة شادة  $T$  يبعد بعضها عن بعض مسافة  $Z$  تسمى ذراع المزدوجة من معادلات التوازن نجد:

$$C - T = 0 \Rightarrow C = T$$

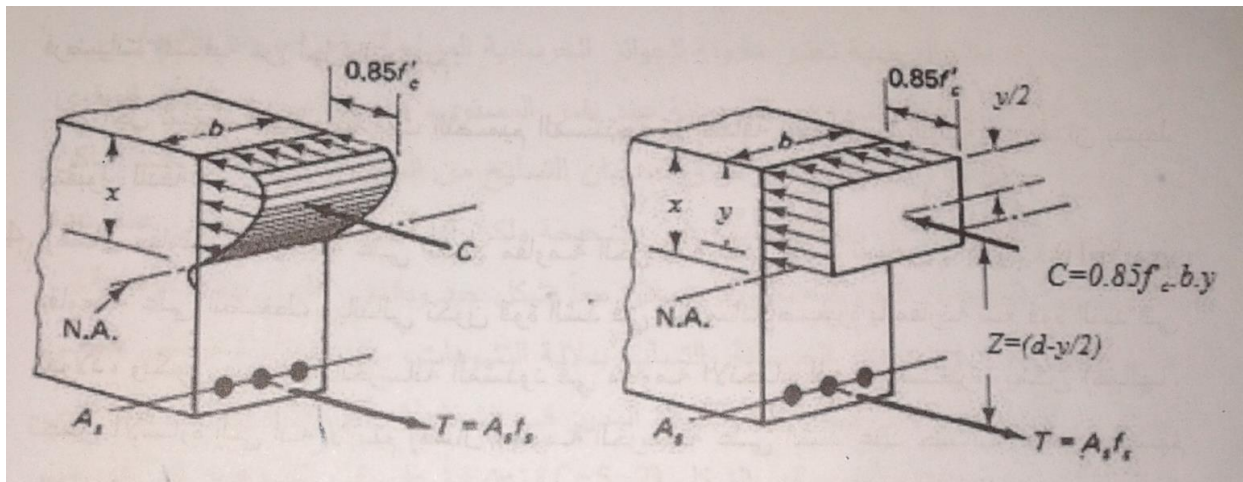
بحساب العزم حول نقطة تطبيق قوة الضغط (أو قوة الشد) نجد:

$$M = T \cdot Z$$

$$M = C \cdot Z$$

بما أن  $C = T$  فإن المعادلتين متماثلتان.

تم الحصول على المعادلات أعلاه من التوازن وهي معادلات عامة يمكن تطبيقها على الجوائز المصنوعة من الفولاذ أو الخشب أو الخرسانة المسلحة



## أهداف المشروع:

سنركّز جهدنا في هذا المشروع على دراسة الجوائز وفق الاهداف التالية:

### 1. دراسة سلوك الخرسانة للإجهادات وقوى القص.

ستتم هذه الدراسة على جائز بسيط مكوّن من فتحة واحدة و سيتمّ فيها حساب كلّ من :

(a) العزم في كلّ نقطة ورسم مخطط العزم B.M.D.

(b) القص في كلّ نقطة ورسم مخطط القص S.B.D.

(c) حساب السهم في كل نقطة ونمذجته و تحديد القيم العظمى المسموحة و حالات الانهيار.

### 2. التحقيق

### 3. التصميم

## الدراسة الفيزيائية:

هناك عدة طرق حسابية متبعة للحساب ومن أهم الطرق الحسابية المتبعة حسب ظهورها واعتمادها رسميا في الكودات الإنشائية:

1- طريقة الاجهادات المسموح بها (الطريقة الكلاسيكية أو طريقة اجهادات التشغيل )

2- طريقة التشوهات اللدنة (طريقة الانكسار )

3- الطريقة الحدية

يعتمد الكود العربي السوري SAC في التصميم الإنشائي للمقاطع الخرسانية المسلحة ما يسميه طريقة حالات الحدود Limit States Method.

يقصد بالحالة الحدية التي يمكن أن يبلغها أحد المنشآت أو حالة عدم الصلاحية Unreliability الوضعية التي يكف بها هذا المنشأ أو أحد عناصره أو مجموعة منها أو كلها عن القيام بتأدية الوظيفة أو مجموعة الوظائف المصمم لأجلها وذلك بسبب فقدان قدرة التحمل أو نتيجة فقدان الاستقرار و الصلاحية وتهدف هذه الطريقة إلى تجنب الوصول إلى أي حالة حدية تصبح فيها شروط الاستثمار الطبيعي غير ممكنة كليا أو جزئيا وكما سبق فإن الكود العربي السوري قد اعتمد هذه الطريقة مضمنا إياها الحالات الحدية التالية:

• في نطاق الاستثمار Serviceability: تدرس هذه الحالة بهدف تحقيق الاستثمار الطبيعي الآمن

للمنشآت وتحقيق الغاية من إنشائها , هنا من المفروض دراسة حالات حدود الاستثمار التالية:

○ حالة حد التشققات (عدم تجاوز الإجهادات المسموح بها ) : وتدرس هذه الحالة من أجل:

• العناصر والقطاعات المعرضة لضغط السوائل كوسيلة لتأمين الكتامة

• المنشآت المعرضة لأحمال ديناميكية (اهتزازية ) أو أحمال متكررة تؤدي الى

تفعيل ظاهرة التعب.

• بعض المنشآت الخاصة التي طلب تحديد مقطعها تحت تأثير أحمال الاستثمار

كالمدخن.



• حالة حد التشكل المعيب (حد السهم المعيب) :Limit State of Deflection

تدرس هذه الحالة لضمان عدم تجاوز السهم الحدود المسموح بها تحت تأثير أحمال الاستمرار , وله أهمية كبيرة في بلاطات السقوف والأسطح مثلا في نطاق المقاومة Resistance: تدرس هنا الحالات التالية:

▪ حالة عدم الاتزان :Instable Limit State

يجب ألا يصل المنشأ جزئيا أو كليا إلى حالة يفقد عندها وضعية الاتزان Stability بسبب التحنيب الجانبي أو نتيجة التشققات أو السهوم

▪ حالة حد التعب :Fatigue Limit State

وهي الحالة المرافقة لتأثير الأحمال المتكررة حيث يعاني العنصر الإنشائي حالة تعب وضعف البنية الداخلية ومن ثم انخفاض المقاومة والأداء المرسوم له.

▪ حالة حد المقاومة القصوى :Ultimate Strength Limit State

يجب ألا تتجاوز الأحمال المطبقة القيم العظمى التي تسبب الوصول إلى المقاومات المميزة للخرسانة والتسليح الأمر الذي سبب فقدان قدرة التحمل كليا أو جزئيا (حصول الانكسار) ومن ثمة فقدان التوازن الكلي أو الجزئي للمنشأ جسم صلب الأمر الذي قد يقود إلى الانهيار المتتالي والكلي للمنشأ.

يتم التصميم بطريقة حالات الحدود وفق حالة الحد الأقصى Ultimate limit state وكما ذكرنا سابقا تعتمد هذه الطريقة في التصميم على الأحمال المتوقعة في مرحلة الانهيار.

- وقد تم وضع فرضيات أساسية لتسهيل الحسابات وهي:

1. المقاطع المستوية قبل الانحناء تبقى مستوية بعده حتى انهيار الجائز:

هذه الفرضية صحيحة من أجل الجوائز المتجانسة والعاملة في مجال المرونة ولكن وجد بأن هذه الفرضية تعتبر مقبولة للجوائز الخرسانية المسلحة وحتى مرحلة الانهيار

2. التشوه في الفولاذ مساو للتشوه في الخرسانة عند نفس المستوي وهذا يتطلب وجود تماسك قوي

بين الخرسانة والفولاذ وعدم وجود اي انزلاق لقضبان التسليح من الخرسانة المحيطة.

○ عند أماكن الشقوق في الخرسانة تعتبر هذه الفرضية غير صحيحة ولكن إذا قيس التشوه الوسطي عند عدة شقوق يمكن اعتبار بأن الخرسانة والفولاذ يعملان معا بشكل جيد وبالتالي القبول بهذه الفرضية.

3. يمكن حساب الإجهادات في الخرسانة والتسليح بدلالة التشوهات وذلك بالاعتماد على منحنى (الإجهاد – التشوه) لكل من الخرسانة والفولاذ المبين.

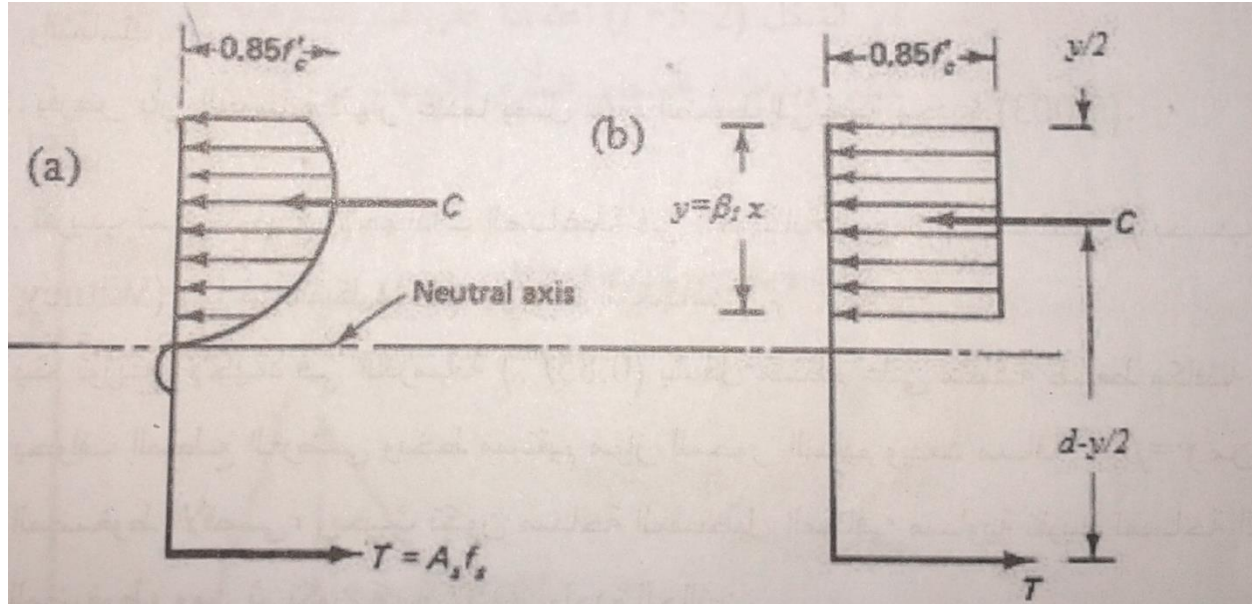
4. إهمال مقاومة الخرسانة على الشد:

مقاومة الخرسانة على الشد تساوي تقريبا 10% من مقاومته على الضغط وبالتالي تكون مقاومة الخرسانة للشد صغيرة أمام مقاومة الفولاذ ولذلك يمكن إهمالها

**ملاحظة:** لا يتم إهمالها عند حساب السهم ولكن فقط في حال التصميم والتحقيق

5. يفرض بأن الخرسانة تنهار عندما يصل تشوه الضغط إلى قيمة محددة (0.003).

6. تقريب شكل توزيع الاجهادات الضاغطة في الخرسانة إلى شكل مستطيل (بحسب العالم Witney) كما في الشكل في هذا المخطط:



يتم توزيع الاجهادات في الخرسانة ( $0.85 f'_c$ ) بشكل منتظم على منطقة ضغط مكافئة محددة بحواف المقطع العرضي وبخط مستقيم مواز للمحور السليم ويبعد مسافة  $y = \beta_1 * x$  من الليف المضغوط الأقصى بحيث تكون مساحة المستطيل مساوية تقريبا لمساحة المنحني المضغوط ومن ثم تكون  $C$  هي واحد للحالتين.

يتم قياس المسافة  $x$  بشكل عمودي على المحور السليم وقد نص الكود السوري على ما يلي:

$$\text{if } f'_c \leq 28 \text{ then } \beta_1 = 0.9$$

$$\text{if } f'_c \geq 28 \text{ then } \beta_1 = 0.8$$

## 1. دراسة سلوك الخرسانة للإجهادات وقوى القص:

### تعريف السهوم:

كما ذكرنا سابقا فإن حالة حد التشكل (السهوم) إحدى حالات حدود الاستثمار الحدية إذ لا يكفي أن تحقق المقاطع الخرسانية المسلحة متطلبات حالات حدود الانهيار الحدية وإنما يجب أن تحقق أيضا متطلبات حدود الاستثمار الحدية الأخرى وهذا يعني ألا تتجاوز قيم الانتقالات الناتجة عن تطبيق الأحمال المختلفة (السهوم Deflections) القيم المسموح بها وفقا لجمل العناصر الانشائية المدروسة وقيم الحمولات المطبقة وأشكالها المختلفة.

إن التصميم وفق حالة حد المقاومة القصوى (التي قمنا باستخدامها في التصميم والتحليل) تعطي مقاطع ذات ابعاد أقل من التصميم وفق حالات حد الاجهادات المسموح بها وبالتالي هذا يعني مقاطع أقل صلابة تسبب تجاوز الانتقالات الناتجة للقيم المسموح بها في أكثر الأحيان وبشكل عام لا بد من التأكد من القيم الناتجة ومقارنتها مع القيم المسموح بها

ما هو السهم؟

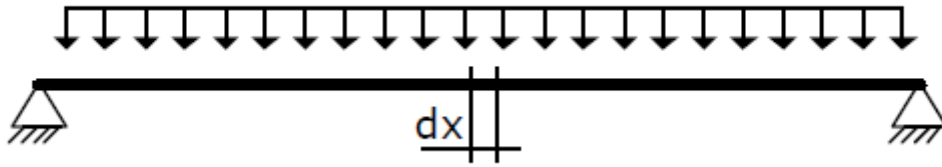
إنه مقدار الانتقال الحاصل باتجاه تأثير الحمولة المطبقة أو عزم الانحناء المطبق أي مسافة التقوس الحاصل، إن نوع السهم (الذي نقوم بدراسته) هو سهم شاقولي ناتج تحت تأثير أحمال الثقالة هناك نوع آخر سهم أفقي ناتج تحت تأثير الأحمال الجانبية و سنعتمد في حساب قيم السهم الناتجة على طريقة ماكولاي:

### طريقة ماكولاي (Macaulay's method):

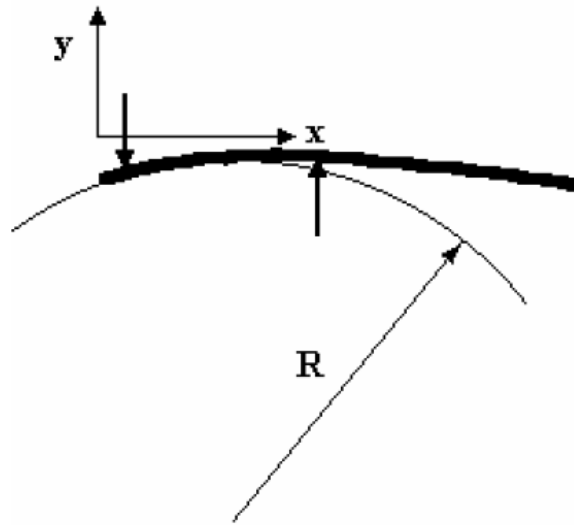
قدم هذه الطريقة ماكولاي وتتعلق بالقساوة ونصف قطر الانحناء و الانزياح و عزم الانحناء في الجائز.

الأهمية الكبيرة لهذه الطريقة هي أنها تقدم معادلة واحدة يمكن أن نمثل بها العزوم المستمرة وغير المستمرة على كامل الجائز.

شرح مختصر:



بأخذ جزء صغير جداً من الجائز:



رياضياً يمكن إثبات أن:

$$\frac{1}{R} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}$$

ولكن بما أن R كبيرة جداً يمكننا أن نهمل تغير الانحناء  $\frac{dy}{dx}$  دون خسارة الدقة المطلوبة  $\frac{1}{R} = \frac{d^2y}{dx^2}$ .

ومن المعلوم أن  $\frac{1}{R} = \frac{M}{EI}$  فنجد أن:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI}$$

حيث:

R : نصف قطر الانحناء

M : العزم المسببة للانحناء المتعلق بالنقطة x من الجانز.

EI : هو جداء عزم المساحة (I) بمعامل المرونة (E) ويعبر عن قساوة الانحناء.

وللحصول على قيم أدق سنقوم باستعمال عزم العطالة الفعال  $I_e$  وسنقوم بشرح طريقة حسابه في نهاية شرح النظرية.

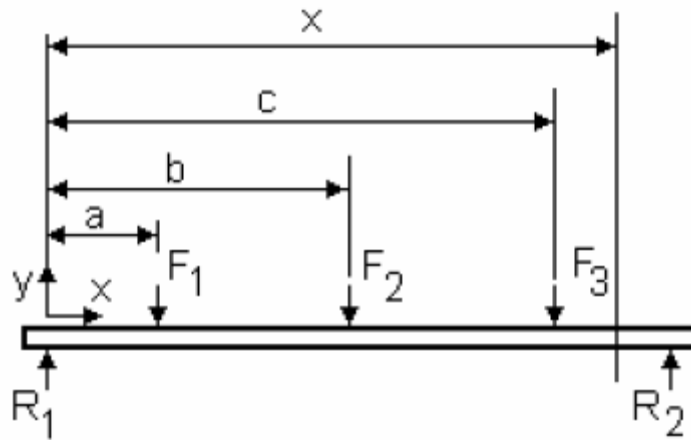
تعمل طريقة مكولاي على عدة خطوات يمكن تلخيصها كالتالي:

1. يتم اختيار مرجع على أحد الطرفين
2. يكتب عزم الانحناء لكل قوة على مقطعه بالنسبة للمرجع بالاعتماد على مخطط الجسم الحر
3. يجمع كل ذراع عزم ضمن أقواس بالنسبة للمرجع  $[x-a]$  حيث x يعبر عن بعد المقطع المرجع, a عن بعد تأثير القوة المسببة للعزم عن المرجع) وإذا كانت قيمته سالبة يلغى الحد بأكمله.

من أجل عدم ضياع الأقواس يتم الحفاظ عليها أثناء التكامل كمتحول واحد

$$\int (x-a) dz = \frac{1}{2} (x-a)^2$$

مثال عام:



$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M = R_1[x] - F_1[x - a] - F_2[x - b] - F_3[x - c]$$

$$EI \frac{dy}{dx} = R_1 \frac{[x]^2}{2} - F_1 \frac{[x - a]^2}{2} - F_2 \frac{[x - b]^2}{2} - F_3 \frac{[x - c]^2}{2} + A$$

$$EIy = R_1 \frac{[x]^3}{6} - F_1 \frac{[x - a]^3}{6} - F_2 \frac{[x - b]^3}{6} - F_3 \frac{[x - c]^3}{6} + Ax + B$$

يتم إيجاد A و B من خلال الاعتماد على مزايا الجائز المستخدم ففي حالتنا لدينا:

$$y = 0 \text{ if } x = 0 \text{ and } y = 0 \text{ if } x = \text{beam length}$$

و عند حساب قيمة الانزياح عند  $x$  إذا كانت  $(x < a)$  لا يدخل المقدار  $F_1 \frac{[x - a]^3}{6}$  في الحساب لأن  $x - a < 0$

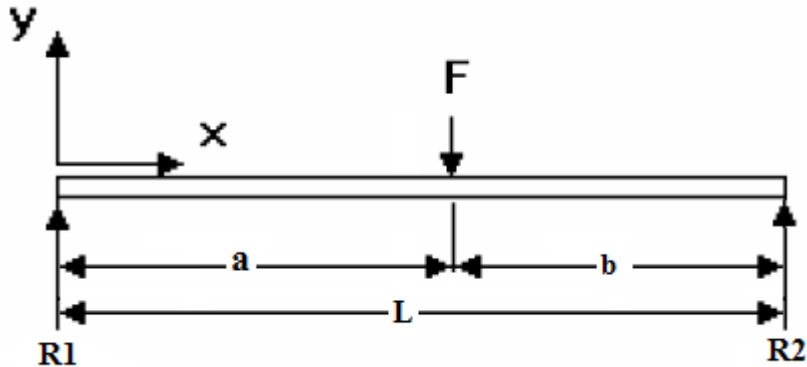
و بالمثل بقية القوى.

مخطط الجسم الحر للجائز الذي نعمل عليه:



نختار الطرف اليساري كمرجع كما هو موضح.

وعند إضافة قوة على الجائز:



بما أن الجسم متوازن يكون مجموع العزوم الخارجية عند أي نقطة:

$$\sum_{i=-\infty}^{+\infty} M_i = 0$$

العزم يساوي القوة في الذراع:

$$M = F * Z$$

فعند  $R_1$ :

$$R_1 * 0 - F * a + R_2 * L = 0$$

ومنه نجد:

$$R_2 = F * \frac{a}{L}$$

وعند  $R_2$ :

$$-R_1 * L + F * b + R_2 * 0 = 0$$

ومنه نجد:

$$R_1 = F * \frac{b}{L} = F * \frac{L - a}{L}$$

فنكتب عزم الانحناء الداخلي في الجائز:

$$M = R_1 * [x] - F * [x - a]$$

$$M = F * \frac{L - a}{L} * [x] - F [x - a]$$

وحسب مكولاي نكتب

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M = F * \frac{L - a}{L} * [x] - F [x - a]$$

$$EI \frac{dy}{dx} = F * \frac{L - a}{L} * \frac{[x]^2}{2} - F \frac{[x - a]^2}{2} + A$$

$$EI y = F * \frac{L - a}{L} * \frac{[x]^3}{6} - F \frac{[x - a]^3}{6} + Ax + B$$

من خواص الجائز أنه لا يسمح بانزياح عند المساند أي أن:

$$y = 0 \text{ if } x = 0 \text{ and } y = 0 \text{ if } x = L$$

$$x = 0 \Rightarrow y = 0 \Rightarrow EI * 0 = F * \frac{L - a}{L} * [0] - F \frac{[0 - a]^3}{6} + A * 0 + B$$

حسب مكولاي الحد:

$$\therefore F \frac{[0 - a]^3}{6} = 0$$

لأن  $a$  موجب فيصبح الذراع سالب فنجد أن  $B = 0$ :

$$x = L \Rightarrow y = 0 \Rightarrow EI * 0 = F * \frac{L-a}{L} * \frac{[L]^3}{6} - F \frac{[L-a]^3}{6} + A * L$$

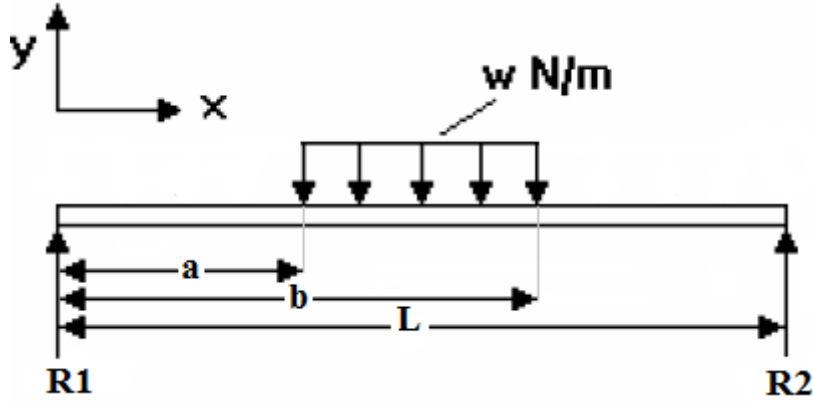
فنجد:

$$A = -F * \frac{Lb}{6} + F * \frac{b^3}{6L}$$

أو يمكن الكتابة بالشكل:

$$A = -R_1 * \frac{L^2}{6} + F * \frac{b^3}{6L}$$

وعند إضافة قوة موزعة بانتظام يكون لدينا:



بما أن الجسم متوازن يكون مجموع العزوم الخارجية عند أي نقطة:

$$\sum_{i=-\infty}^{+\infty} M_i = 0$$

العزم يساوي مجموع القوى في ذراع القوة تلك

$$M = \int F(z) * Z dz$$

لدينا:

$$F(z) = w$$

فعند  $R_1$ :

$$R_1 * 0 - \int_a^b w * z dz + R_2 * L = 0$$

ومنه نجد:

$$R_2 = w * \frac{(a^2 - b^2)}{2L}$$

وعند  $R_2$ :

$$R_1 * L - \int_a^b w * (L - z) dz + R_2 * 0 = 0$$

ومنه نجد:

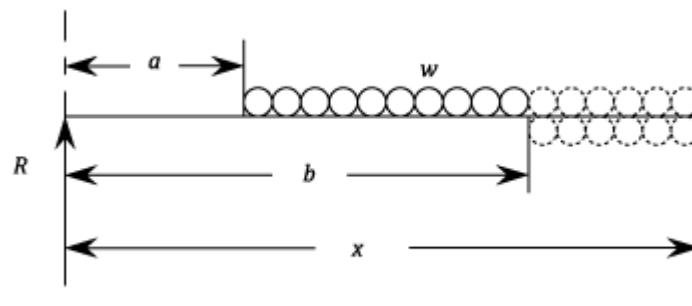
$$R_1 = w * \frac{(a^2 - b^2 + 2 * L (b - a))}{2L}$$

لإيجاد العزم عند أي نقطة من الجائز الذي تسببه القوة الموزعة:

إذا كان موقع العزم ضمن مجال القوة نكتب:

$$M = \int_a^x w [x - a] dx = w \frac{[x - a]^2}{2}$$

أما إذا كان خارجها فإننا ننقص مقدار الزيادة فنكتب



$$M = \int_a^x w [x - a] dx - \int_b^x w [x - b] = w \frac{[x - a]^2}{2} - w \frac{[x - b]^2}{2}$$

فنكتب عزم الانحناء الداخلي في الجائز:

$$M = R_1 * [x] - w \frac{[x - a]^2}{2} + w \frac{[x - b]^2}{2}$$



وحسب مكولاي نكتب:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M = R_l * [x] - w \frac{[x-a]^2}{2} + w \frac{[x-b]^2}{2}$$

$$EI \frac{dy}{dx} = R_l * \frac{[x]^2}{2} - w \frac{[x-a]^3}{6} + w \frac{[x-b]^3}{6} + A$$

$$EI y = R_l * \frac{[x]^3}{6} - w \frac{[x-a]^4}{24} + w \frac{[x-b]^4}{24} + Ax + B$$

من خواص الجائز أنه لا يسمح بانزياح عند المساند أي أن:

$$y = 0 \text{ if } x = 0 \text{ and } y = 0 \text{ if } x = L$$

$$x = 0 \Rightarrow y = 0 \Rightarrow EI * 0 = R_l * [0] - w \frac{[0-a]^4}{24} + w \frac{[0-b]^4}{24} + A*0 + B$$

حسب مكولاي الحد:

$$\therefore w \frac{[0-b]^4}{24} = 0 \text{ و } \therefore w \frac{[0-a]^4}{24} = 0$$

لأن  $a, b$  موجب فيصبح الذراع سالب فنجد أن  $B = 0$ :

$$x = L \Rightarrow y = 0 \Rightarrow EI * 0 = R_l * \frac{[L]^3}{6} - w \frac{[L-a]^4}{24} + w \frac{[L-b]^4}{24} + A * L$$

فنجد:

$$A = -R_l * \frac{L^2}{6} + w \frac{[L-a]^4}{24L} - w \frac{[L-b]^4}{24L}$$

وبدمج الحالتين نكتب:

$$EI y = R_l [x] + A_R x - \sum_i \left( F_i \frac{[x-a_i]^3}{6} - A_i [x] \right) - \sum_j \left( w_j \frac{[x-a_j]^4}{24} - w_j \frac{[x-b_j]^4}{24} - A_j x \right)$$

حيث:

$$R_l = \sum_i F_i * \frac{L-a_i}{L} + \sum_j w * \frac{a_j^2 - b_j^2 + 2L(b_j - a_j)}{2L}$$

$$A_R = -R_l * \frac{L^2}{6}$$

$$A_i = F * \frac{b_i^3}{6L}$$

$$A_j = w \frac{[L-a_j]^4}{24L} - w \frac{[L-b_j]^4}{24L}$$

### عزم العطالة الفعال:

حيث يمكن استخدام الصلابة العزمية الفعالة (عزم العطالة الفعال  $I_e$ ) بدل عزم العطالة حول المحور المركزي  $I$  وذلك في المراحل المختلفة للأداء ويمكن تحديد معامل المرونة اللحظي للخرسانة وعزم العطالة الفعال وفق علاقة برانسون وهي علاقة مستخدمة في الكود العربي السوري والأمريكي أيضا وذلك للمقاطع الواقعة في حالة التشقق حيث  $m_a > m_{cr}$  كما يلي:

$$E_{co} = 6645 * \sqrt{f'_c}$$

$$I_e = \left[ \left( \frac{m_{cr}}{m_a} \right)^3 * I_g \right] + \left[ 1 - \left( \frac{m_{cr}}{m_a} \right)^3 \right] * I_{cr}$$

if  $m_a \leq m_{cr}$  then  $I_e = I_g$

حيث :

$E_{co}$  : معامل مرونة الخرسانة

$I_{cr}$  : عزم العطالة الذاتي للمقطع المتشقق حول المحور المحايد

$$I_{cr} = \frac{b * x^3}{3} - n * A_s * (d - x)^2$$

$$n = \frac{E_s}{E_{co}}$$

$$\frac{b * x^2}{2} - n * A_s * (d - x) = 0$$

$x$  : عمق المحور المحايد للمقطع المكافئ بعد تبديل التسليح بما يكافئه من البيتون

$n$  : النسبة المعيارية

$f'_c$  : مقاومة البيتون على الضغط

$I_e$  : عزم العطالة الفعال

$I_g$  : عزم العطالة الذاتي لكامل المقطع الخرساني غير المتشقق حول المحور المار من مركز ثقل المقطع (مع إهمال التسليح).

$$I_g = \frac{b * h^3}{12}$$

$m_a$  : عزم الانحناء الاستثماري المطبق على المقطع عند حساب السهم.

$m_{cr}$  : عزم الانحناء الاستثماري المسبب للتشقق في الخرسانة ويحدد بالعلاقة التالية:

$$m_{cr} = \frac{f_{cb} * I_g}{y_t}$$

$y_t$  : المسافة بين المحور المحايد حتى الطرف الأقصى للألياف المشدودة في المقطع غير المتشقق:

$$y_t = \frac{h}{2}$$

$f_{cb}$  : إجهاد الشد الأقصى للخرسانة في الشد الناجم عن الانحناء ويحدد بالعلاقة:

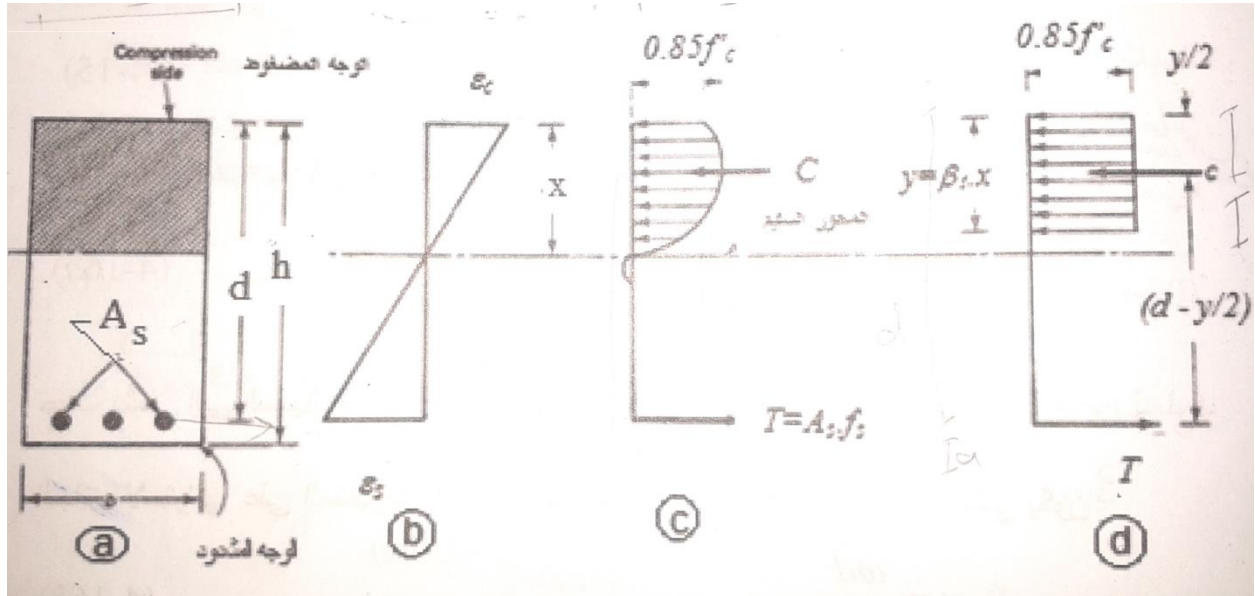
$$f_{cb} = 0.74 * \sqrt{f'_c}$$

## 2. تحليل الجوائز:

عند تحليل الجوائز الخرسانية المسلحة أو تصميمها يجب تحقيق متطلبين أساسيين هما:

1. التوافق بين الإجهادات والتشوهات Stress and Strain Compatibility: الإجهاد في أي نقطة من العنصر يجب أن يتناسب مع التشوه عند نفس النقطة.
2. التوازن Equilibrium: تأثير الأحمال الخارجية المطبقة يجب أن يساوي تأثير القوى الداخلية.

حساب قدرة تحمل جوائز ذو مقطع عام:



من شرط التوازن وبفرض أن الإجهاد في التسليح المشدود  $f_s$  يساوي إجهاد السيلان  $f_y$  نجد:

(محصلة قوة الضغط في الخرسانة تساوي قوة الشد في الفولاذ)

$$C = T \Rightarrow 0.85 f'_c A'_c = A_s f_y$$

حيث :

$A_s$  : مساحة قطاع التسليح الطولي للشد

$A'_c$  : مساحة المنطقة المضغوطة المكافئة

$f_y$ : مقاومة الحديد على الشد عند مرحلة السيلا

$f'_c$ : مقاومة البتوت على الضغط

- السيلا (الضوع): تبدأ بعد مرحلة المرونة وتترافق بانخفاض مقاومة السيخ للشد مع زيادة واضحة في طول العينة ويبقى التغير في الطول بعد زوال الحمل ولكن دون نقص يذكر في المقطع العرضي.

وبأخذ مجموع العزوم حول محصلة قوة الضغط في الخرسانة ومرة حول مركز التسليح المشدود نجد:

$$M_n = A_s * f_y * Z$$

$$M_n = A'_c * 0.85 f'_c * Z$$

وبتحقيق معادلة الأمان الأساسية نجد أن:

$$\Omega * M_n = A_s * f_y * Z$$

$$\Omega * M_n = A'_c * 0.85 f'_c * Z$$

حيث :

$M_n$ : العزم المقاوم الاسمي للمقطع

$\Omega * M_n$ : العزم الخارجي الحدي المطبق على المقطع

$Z$ : هو ذراع المزدوجة:

$$Z = \left( d - \frac{y}{2} \right)$$

**حساب قدرة تحمل جائز:**

**1. المقاطع المستطيلة أحادية التسليح:**

سيتم اعتماد نفس الطريقة في الحساب المعتمدة في حال المقطع العام مع افتراض أن الإجهاد في التسليح المشدود قد وصل للسيلا ( $f_s = f_y$ )

$$C = T \Rightarrow 0.85 f'_c b * y = A_s f_y$$

ومنه نحسب الارتفاع المكافئ لمنطقة الضغط:

$$y = \frac{A_s * f_y}{b * 0.85 * f'_c}$$

حيث:

$y$ : الارتفاع المكافئ لمنطقة الضغط

$b$ : عرض القطاع (الجائز)

ولكن قبل البدء بتحليل الجائز يجب التحقق من أن نسبة تسليحه تحقق الحد الأدنى المسموح به حسب الكود وهي:

$$\mu_{s_{min}} = \frac{0.9}{f_y} \leq \mu_s = \frac{A_s}{b * d}$$

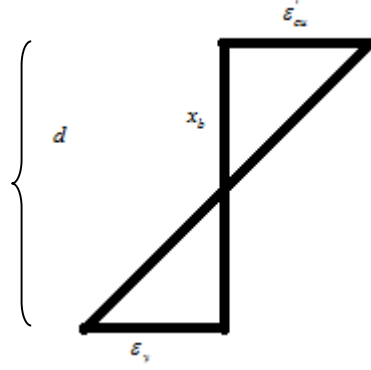
حيث :

$\mu_{s_{min}}$ : نسبة التسليح الدنيا المسموح بها

$\mu_s$ : نسبة التسليح للجائز المرافق

الآن يجب علينا التحقق من الفرضية التي افترضناها وهي ( $f_s = f_y$ ).

بفرض أن الجائز ينهار بالحالة التوازنية وبدراسة تشابه المثلثات في مخطط توزيع التشوهات نجد:



$$\frac{x_b}{d} = \frac{\varepsilon'_{cu}}{\varepsilon'_{cu} + \frac{f_y}{E_s}} \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

حيث:

$\varepsilon_y$ : تشوه الحديد في مرحلة السيلا

$x_b$ : البعد بين أقصى ليف ضغط والمحور السليم وهو موافق للحالة التوازنية

$\varepsilon'_{cu}$ : أقصى تشوه للبيتون = 0.003

$d$ : وهي المسافة بين أقصى ليف ضغط والتسليح

والآن نقوم بحساب عمق المحور السليم حسب القانون الذي تم ذكره في الفرضية رقم 6

$$x = \frac{y}{\beta_1}$$

$x$ : قمنا بتحديد قيمها سابقا حسب علاقة تم ذكرها بالفرضية رقم 6

والآن نقوم باختبار إذا كان عمق المحور السليم  $x$  أصغر  $x_b$  من فإن قيمة التشوه في الفولاذ ستتجاوز والعكس

صحيح وبالتالي عند الانهيار إذا كان فإن  $(f_s = f_y)$ , وإلا فإن الفرضية خاطئة ويجب إعادة حساب  $f_s$ , وذلك

بالانطلاق من معادلة التوازن:

$$C = T \Rightarrow 0.85 f'_c b * y = A_s f_y$$

$$A_s f_y = \mu_s b * d * E_s * \varepsilon_s$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon'_{cu} \left( \frac{d-x}{x} \right)$$

$$0.85 * f'_c * y^2 = 0.85 \mu_s E_s \varepsilon'_{cu} d^2 - \mu_s E_s \varepsilon'_{cu} y * d$$

$$\left( \frac{0.85 * f'_c}{\mu_s * E_s * \varepsilon'_{cu}} \right) * y^2 + d * y - 0.85 * d^2$$

ومن المعادلة الأخيرة نحسب  $y$  ومن ثم نقوم بحساب العزم المقاوم أو العزم الحدي وفق القانون الذي تم استنتاجه سابقا:

$$\Omega * M_n = b * y * 0.85 f'_c * \left( d - \frac{y}{2} \right)$$

حيث:

$\Omega$ : عامل تخفيض المقاومة

تقسم إلى قسمين:

- تسليح أساور عادية:

$$\left( \Omega = 0.7 + (\varepsilon_T - \varepsilon_y) \times \frac{200}{3} \right) \leq 0.9$$

- تسليح أساور حلزونية:

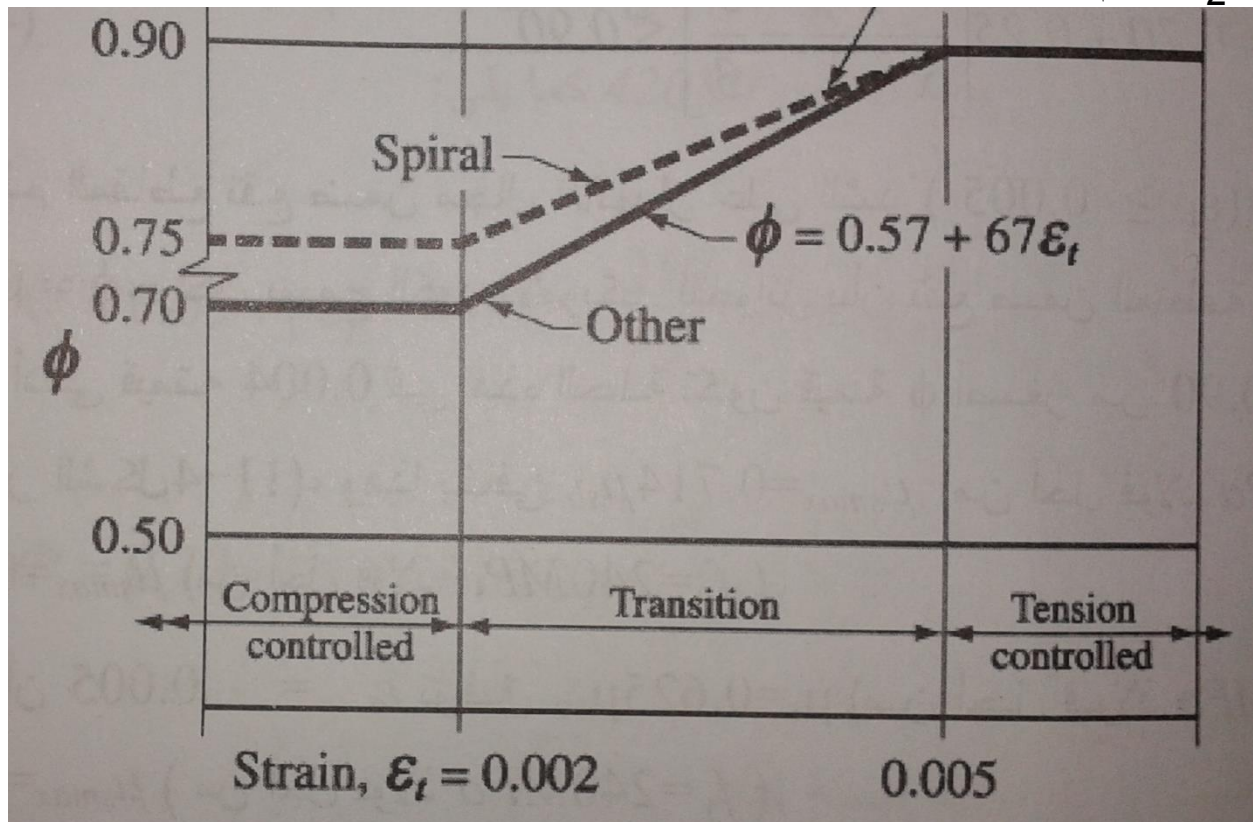
$$\left( \Omega = 0.75 + (\varepsilon_T - \varepsilon_y) \times \frac{150}{3} \right) \leq 0.9$$

$$\varepsilon_t = \left( \frac{x-d}{x} \right) * \varepsilon'_{cu}$$

وهذه العلاقات تكون عندما يقع الانهيار بين الشد والضغط ولكن عندما يكون الانهيار:

1- محكوم على الضغط فإن  $\Omega = 0.7$

2- محكوم بالانهيار على الشد يكون  $\Omega = 0.9$



- سنذكر الآن أشكال الانهيار وكيف يمكننا أن نحد طريقة انهيار الجائز:

اعتمادا على خصائص الجائز فإن الانهيار على الانحناء يمكن ان يحدث في إحدى الحالات الثلاث التالية:

1. انهيار على الشد: يصل الفولاذ الى حد السيلاّن قبل انهيار الخرسانة المضغوطة (قبل أن تصل الخرسانة المضغوطة للتشوه الحدي 0.003) ويكون تسليح الجائز أقل من التسليح التوازني ويكون انهيار هذا الجائز من النوع المطاوع أي سبق مرحلة الانهيار ظهور علامات وتشوهات ملحوظة

تتم حساب نسبة التسليح التوازنية وفق العلاقة التالية:

$$A_{sb} = \frac{\beta_1 * x_b * b * 0.85 * f'_c}{f_y}$$

$$\mu_{sb} = \frac{A_{sb}}{b * d}$$

2. انهيار على الضغط: تنهار الخرسانة المضغوطة قبل وصول الفولاذ إلى السيلاّن ويكون الانهيار هش ومفاجئ ويفضل الابتعاد عن هذا النوع من الانهيار ويكون تسليح الجائز في هذه الحالة أكبر من التسليح التوازني

3. انهيار توازني : تنهار الخرسانة المضغوطة (تصل الخرسانة المضغوطة الى التشوه الحدي 0.003 ) في نفس اللحظة التي يصل فيها الفولاذ إلى حد السيلاّن , ويكون تسليح هذا الجائز مساوي للتسليح التوازني

تنص معظم الكودات العالمية ومنها السوري إلى الابتعاد عن الانهيار المفاجئ والهش , ويتحقق ذلك بأن تكون نسب التسليح أقل من التوازنية وعندها يكون الاجهاد في الفولاذ مساوي لإجهاد السيلاّن.

أما بالنسبة للتسليح الأعظمي فينص الكود السوري على أن نسبة التسليح العظمى للجوائز يجب أن لا تتجاوز 0.5 من النسبة التوازنية وذلك لتحقيق الانهيار الطوعي غير المفاجئ.

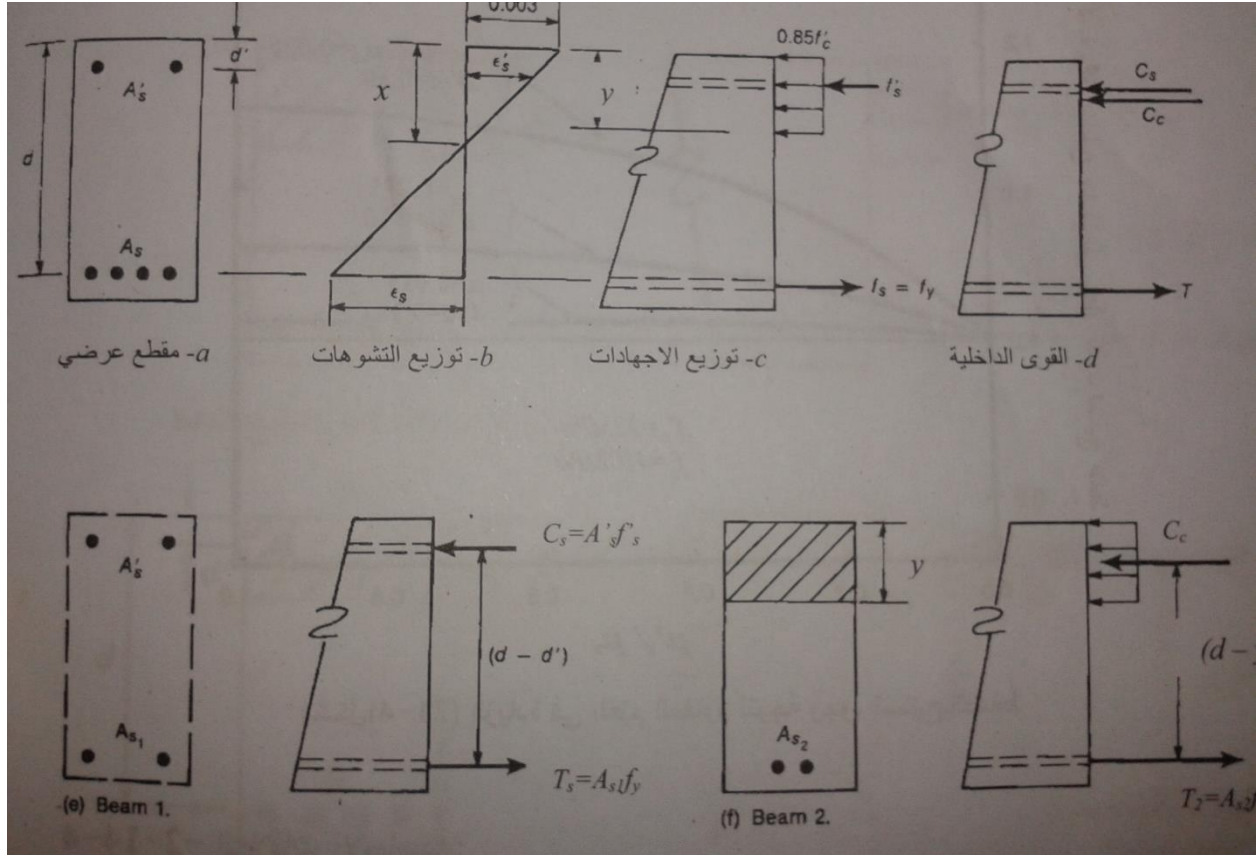
$$\mu_{s_{max}} = 0.5 * \mu_{sb}$$

## 2. المقاطع المستطيلة ثنائية التسليح:

قد يصادف المهندس المصمم بعض الحالات التي تستدعي استخدام تسليح ثنائي في منطقة الشد والضغط وذلك للأسباب التالية:

1. تقيض السهم الناتج عن الحمولات طويلة الأمد
2. يزيد من طاقة تحمل المقطع
3. زيادة المطاوعة للجائز أي يبعد عنا لانهيار المفاجئ ويجعل الانهيار على الشد وهذا هام جدا في المناطق المعرضة للزلازل

لندرس تأثير إضافة تسليح ضغط في سلوك الجائز ومقاومته



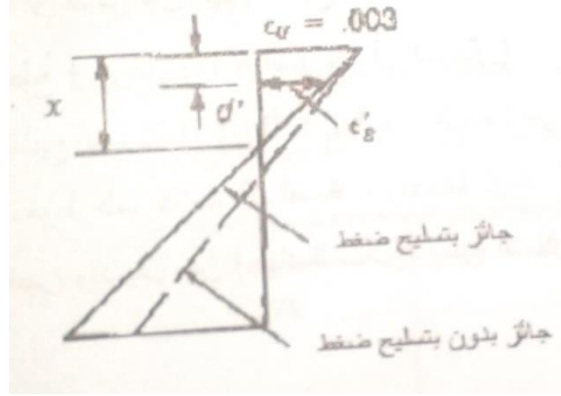
في هذا الجائز نجد أن قوة الشد تقاوم بحديد الشد فقط  $T = A_s f_y$

بينما نجد أن قوة الضغط تقاوم بالخرسانة والتسليح  $C = C_c + C_s$

وبما أن جزء من الضغط تتم مقاومته بالتسليح إذا  $C \geq C_c$

وبالتالي فإن المحور السليم يكون قد ارتفع للأعلى وأدى إلى تشوه أكبر في الفولاذ المشدود وذلك عند وصول الخرسانة إلى تشوه الانكسار 0.003 وبالتالي فإن المقطع قد ابتعد عن الانهيار على الضغط.





طريقة حساب العزم المقاوم لجائز ثنائي التسليح تكون بتقسيم الجائز الى جائزين أحدهما بتسليح شد فقط والثاني بتسليح ثنائي متناظر بحيث يكون:

$$M_u = M_{u1} + M_{u2}$$

حيث:

$M_{u1}$  : مقاومة الجائز بتسليح شد

$M_{u2}$  : مقاومة الجائز بتسليح متناظر

وكما سبق سنفرض أن تسليح الضغط قد وصل للسيلان  $f'_s = f_y$

$$M_u = \Omega \left[ 0.85 f'_c b * y \left( d - \frac{y}{2} \right) + A'_s f_y (d - d') \right]$$

حيث:

$d'$  : البعد بين اقصى ليف ضغط ومركز التسليح المضغوط

من معادلة التوازن الأولى:

$$T = C_c + C_s$$

$$A_s f_y = 0.85 f'_c b * y + A'_s f_y$$

$$\frac{y}{d} = \frac{(A_s - A'_s)}{b * d} * \frac{f_y}{0.85 f'_c}$$

حيث:

$A'_s$  : مساحة قطاع الطولي لتسليح الضغط

والآن يجب التحقق من الفرضية السابقة  $f'_s = f_y$ :

شرط ضمان وصول التسليح المشدود إلى حد السيلان هو:

$$(\mu_s - \mu'_s) \leq \mu_{sb}$$

$\mu'_s$  : نسبة تسليح الضغط الى مساحة البيتون

كما يمكن الحصول على شرط وصول الحديد المضغوط للسيلان من مخطط التشوهات:

$$\frac{\epsilon'_s}{\epsilon'_{cu}} = \frac{x - d'}{x} \Rightarrow \left( \frac{d'}{y} \right)_{\lim} = \frac{1}{\beta_1} - \frac{f_y}{\epsilon'_{cu} * E_s * \beta_1}$$

في حال كانت:

$$\left( \frac{d'}{y} \right)_{\lim} \geq \left( \frac{d'}{y} \right) \Rightarrow f'_s = f_y$$

1. وإلا في حال اختلال الشرطين نقوم بالحساب اعتماد على المبدأ التوازني الأول:

$$C_c = T - C_s \Rightarrow 0.85 f'_c b^* y = A_s f_s - A'_s f'_s$$

$$A_s f_y = \mu_s b^* d^* E_s^* \varepsilon_s$$

$$A'_s f'_y = \mu'_s b^* d^* E_s^* \varepsilon'_s$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon'_{cu} \left( \frac{d-x}{x} \right)$$

$$\varepsilon'_s = \varepsilon'_{cu} \left( \frac{d'-x}{x} \right)$$

$$0.85 * f'_c * y^2 = \beta_1 \mu_s E_s \varepsilon'_{cu} d^2 - \mu_s E_s \varepsilon'_{cu} y * d - \beta_1 \mu'_s E_s \varepsilon'_{cu} d^* d' + \mu'_s E_s \varepsilon'_{cu} y * d$$

بحل المعادلة تنتج قيمة  $y$  الحقيقية

2. في حال وصول حديد الشد للسيلان وعدم وصول حديد الضغط

$$C_c = T - C_s \Rightarrow 0.85 f'_c b^* y = A_s f_y - A'_s f'_s$$

$$A'_s f'_y = \mu'_s b^* d^* E_s^* \varepsilon'_s$$

$$\varepsilon'_s = \varepsilon'_{cu} \left( \frac{d'-x}{x} \right)$$

$$0.85 * f'_c * y^2 = y * A_s f_y - \beta_1 \mu'_s E_s \varepsilon'_{cu} d^* d' + \mu'_s E_s \varepsilon'_{cu} y * d$$

بحل المعادلة تنتج قيمة  $y$  الحقيقية

### 3. تصميم الجوائز:

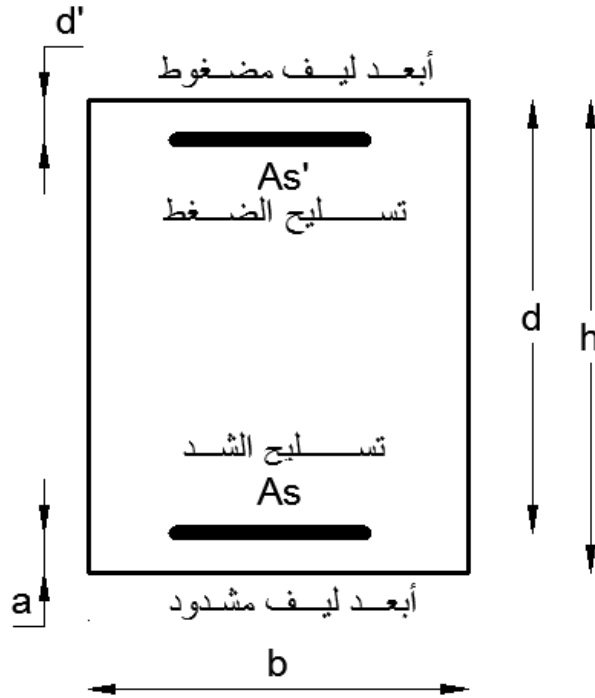
والغاية منه إيجاد مساحة حديد التسليح اللازمة لمقطع عرضي لجائز معطى.

يتم الحساب وفق نظريتين:

#### 1. المقاطع المستطيلة أحادية التسليح:

و فيها يكون التصميم وفق:

#### 1. التصميم الجزئي:



✓ المعطيات:

- العزم المقاوم:  $M_u (KN.m)$
- ارتفاع المقطع:  $h (mm)$
- عرض المقطع:  $b (mm)$
- مسافة التغطية و هي البعد بين مركز ثقل التسليح المشدود و أبعد ليف مشدود:  $a (mm)$
- المقاومة البيتونية على الضغط:  $f'_c (MPa)$
- مقاومة حديد التسليح على الشد:  $f_y (MPa)$

✓ المطلوب:

حساب مساحة التسليح المشدود  $A_s$ .

✓ خوارزمية الحل:

$$A_0 = \frac{Mu}{(\Omega * 0.85 * f'_c * b * d^2)}; \Omega = 0.9$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0}$$

$$\text{if } (f'_c \geq 30 \text{ MPa}) \text{ then } \beta_1 = 0.85 \text{ else } \beta_1 = 0.85 - 0.007 * (f'_c - 30)$$

$$\alpha_{max} = 0.5 * \beta_1 * \left( \frac{630}{630 + f_y} \right)$$

$$\text{if } (\alpha \leq \alpha_{max}) \text{ OK}$$

$$\gamma_0 = 1 - 0.5 \alpha$$

$$A_s = \frac{Mu}{\Omega * \gamma_0 * d * f_y}$$

## 2. التصميم الكامل:

✓ المعطيات:

- العزم المقاوم:  $Mu (KN.m)$
- عرض المقطع:  $b (mm)$
- مسافة التغطية و هي البعد بين مركز ثقل التسليح المشدود و أبعد ليف مشدود.
- المقاومة البيتونية على الضغط:  $f'_c (MPa)$
- مقاومة حديد التسليح على الشد:  $f_y (MPa)$

✓ المطلوب:

حساب:

1- مساحة التسليح المشدود  $A_s$ .

2- ارتفاع المقطع الفعال  $d$ : و هو البعد بين مركز ثقل التسليح المشدود و أبعد ليف مضغوط.

وهنا لدينا استراتيجيتين بالحساب:

- 1- إمّا حساب التسليح وارتفاع المقطع وفق ارتفاع مقطع أعظمي وتسليح أصغري "توفير بالحديد".
- 2- حساب التسليح وارتفاع المقطع وفق ارتفاع مقطع أصغري وتسليح أعظمي "حالة توفير بالبيتون وتصغير في أبعاد المقطع".

- خوارزمية الاستراتيجية الأولى:

$$\begin{aligned}\mu_s &= \mu_{min} = \frac{0.9}{f_y} \\ \alpha_{min} &= \mu_s \frac{f_y}{0.85 f'_c} \\ A_0 &= \alpha_{min} (1 - 0.5 \alpha_{min}) \\ r_0 &= \sqrt{\frac{I}{A_0}} \\ d_{max} &= r_0 \sqrt{\frac{Mu}{(\Omega * 0.85 * f'_c * b)}} : \Omega = 0.9 \\ \gamma_0 &= 1 - 0.5 \alpha \\ A_s &= \frac{Mu}{\Omega * \gamma_0 * d * f_y} : \Omega = 0.9\end{aligned}$$

- خوارزمية الاستراتيجية الثانية:

$$\begin{aligned}\text{if } (f'_c \geq 30 \text{ MPa}) \text{ then } \beta_1 &= 0.85 \text{ else } \beta_1 = 0.85 - 0.007 * (f'_c - 30) \\ \alpha_{max} &= 0.5 * \beta_1 * \left( \frac{630}{630 + f_y} \right) \\ A_0 &= \alpha_{max} (1 - 0.5 \alpha_{max}) \\ r_0 &= \sqrt{\frac{I}{A_0}} \\ d_{min} &= r_0 \sqrt{\frac{Mu}{(\Omega * 0.85 * f'_c * b)}} : \Omega = 0.9 \\ \gamma_0 &= 1 - 0.5 \alpha_{max} \\ A_{s_{max}} &= \frac{Mu}{\Omega * \gamma_0 * d_{min} * f_y} : \Omega = 0.9\end{aligned}$$

ملاحظات:

✓  $\mu_s$  : و هي نسبة التسليح و تمثل نسبة مساحة حديد التسليح إلى مساحة المقطع البيتوني الكلي:

$$\mu_s = \frac{A_s}{b * d}$$

✓ عند حساب حديد التسليح  $A_s$  تتم مقارنة هذه المساحة مع مساحة التسليح الدنيا  $A_{s_{min}}$  و مساحة التسليح العظمى  $A_{s_{max}}$  وفق الكود العربي السوري و هنا لدينا الحالات التالية:

$$A_{s_{min}} \leq A_s \leq A_{s_{max}} \Rightarrow OK \quad \bullet$$

$$A_{s_{min}} > A_s \text{ عندها نأخذ } A_s = A_{s_{min}} \quad \bullet$$

•  $As > As_{max}$  لدينا خيارين:

- إما تكبير أبعاد المقطع  $b$  أو  $h$ .
- أو استخدام تسليح ثنائي.

## 2. المقاطع المستطيلة ثنائية التسليح:

و هنا نعد الى اضافة تسليح علوي "ضغط" لزيادة قدرة تحمل المقطع.

✓ المعطيات:

- العزم المقاوم:  $Mu (KN.m)$
- ارتفاع المقطع:  $h (mm)$
- عرض المقطع:  $b (mm)$
- مسافة التغطية و هي البعد بين مركز ثقل التسليح المشدود و أبعد ليف مشدود.
- المقاومة البيوتونية على الضغط:  $f'_c (MPa)$
- مقاومة حديد التسليح على الشد:  $f_y (MPa)$

✓ المطلوب:

حساب  $As$  و  $A's$ .

✓ خوارزمية الحل:

$$\text{if } (f'_c \geq 30MPa) \text{ then } \beta_1 = 0.85 \text{ else } \beta_1 = 0.85 - 0.007 * (f'_c - 30)$$

$$\alpha_{max} = 0.5 * \beta_1 * \left( \frac{630}{630 + f_y} \right)$$

$$\gamma_0 = 1 - 0.5 \alpha_{max}$$

$$A_{0max} = \alpha_{max} (1 - 0.5 \alpha_{max})$$

$$(M_{u1})_{max} = \Omega * 0.85 * f'_c * b * d^2 * A_{0max}$$

$$As_1 = \frac{(M_{u1})_{max}}{\Omega * \gamma_0 * d * f_y}$$

$$M'_u = M_u - (M_{u1})_{max}$$

$$A's = \frac{M'_u}{\Omega * f_y * (d - d')}$$

$$As = As_1 + A's$$

$$\frac{As - A's}{b * d} \geq \frac{0.85 f'_c d'}{f_y d} \frac{535}{630 - f_y} \text{ OK}$$

إذا لم يتحقق الشرط يتم استخدام التسليح الأحادي

### ملاحظة :

✓ يتم مقارنة حديد التسليح السفلي المشدود مع مساحة التسليح الدنيا  $As_{min}$  و مساحة التسليح العظمى  $As_{max}$  وفق الكود العربي السوري و هنا لدينا الحالات التالية:

$$As_{min} \leq As \leq As_{max} \Rightarrow OK \quad \bullet$$

$$As_{min} > As \quad \bullet \quad \text{عندها نأخذ } As = As_{min}$$

$$As > As_{max} \quad \bullet \quad \text{لدينا خيار وحيد:}$$

$$\blacksquare \quad \text{تكبير أبعاد المقطع } b \text{ أو } h.$$

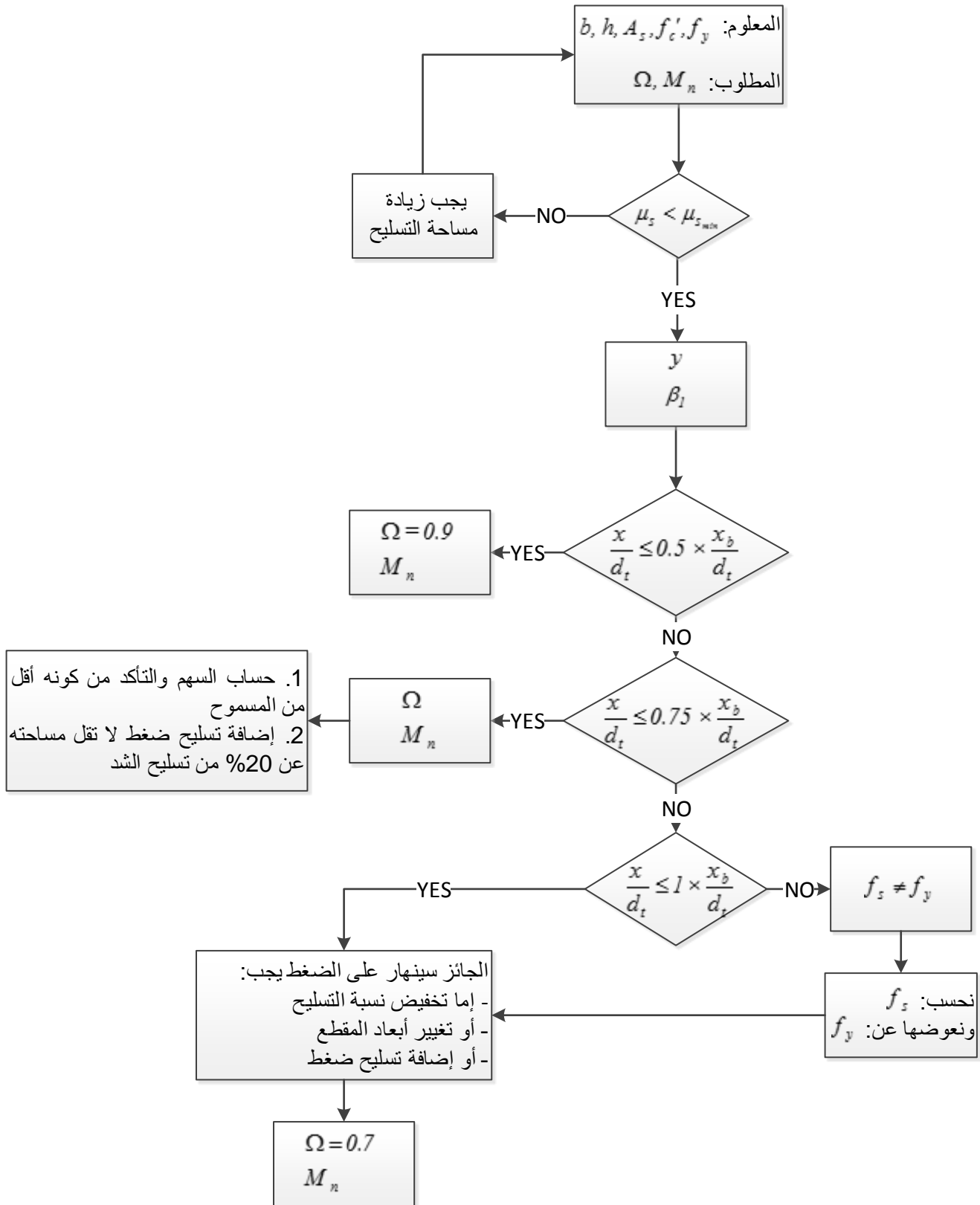
✓ في التسليح الشنائي دوما يجب أن يتحقق:

$$A's \leq As$$

لأن:

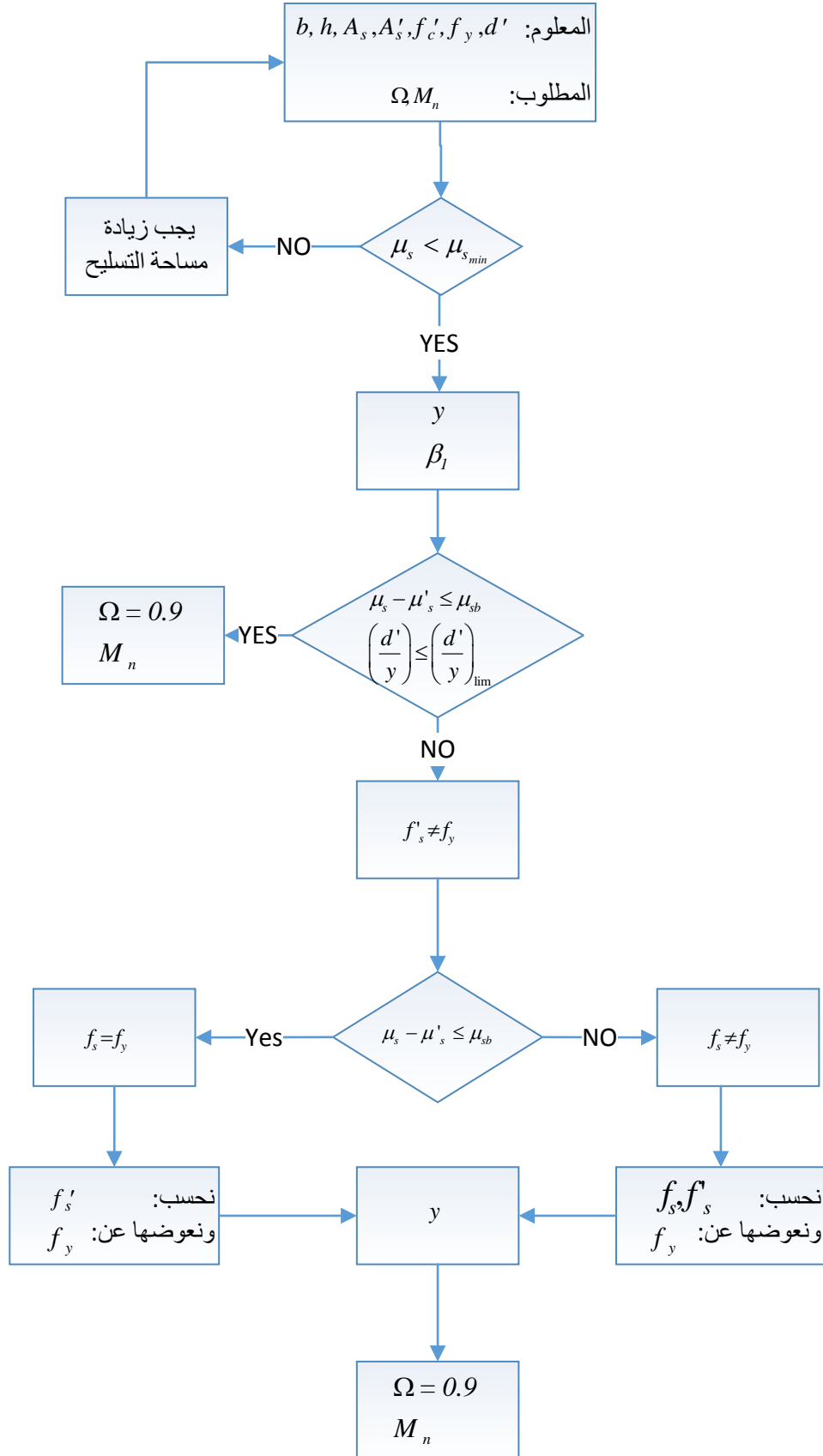
$$As = A's + As_{la}$$

## المخططات التدفقية:

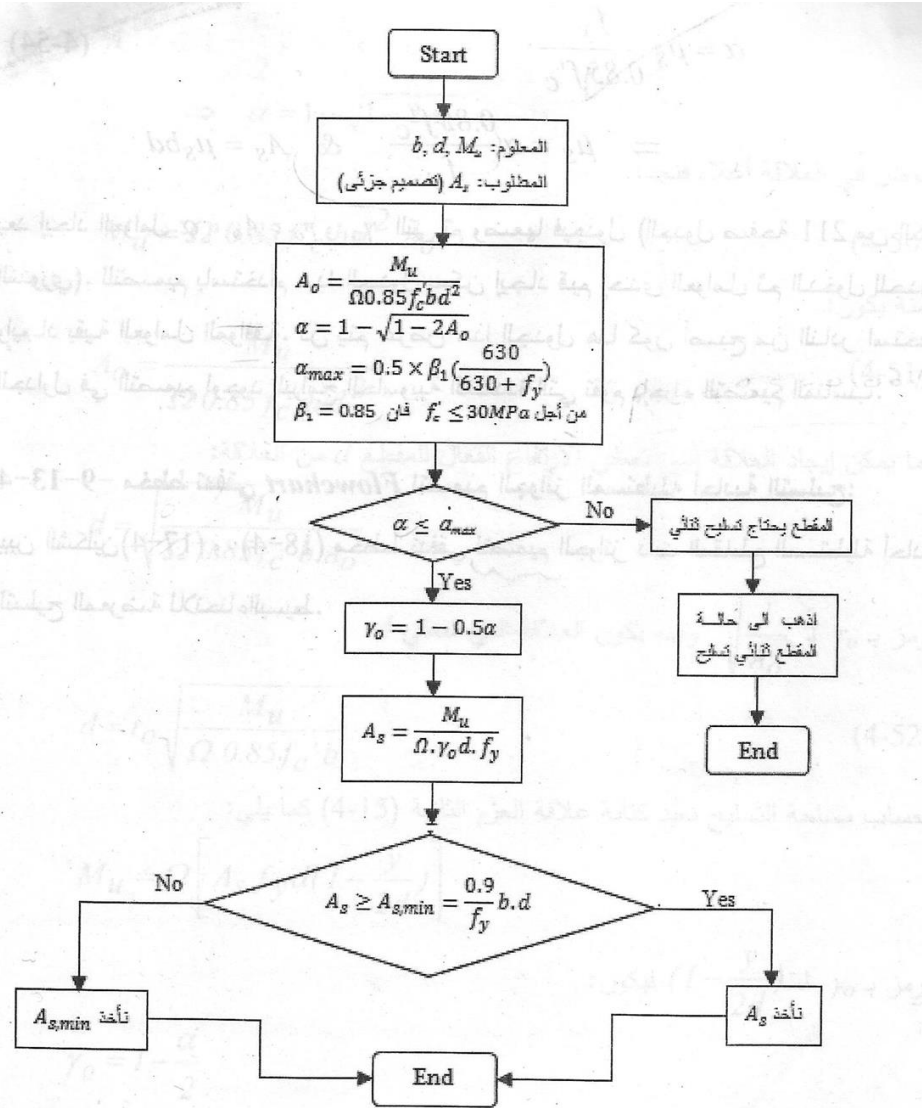


مخطط تدفق عملية تحليل جائز أحادي التسليح

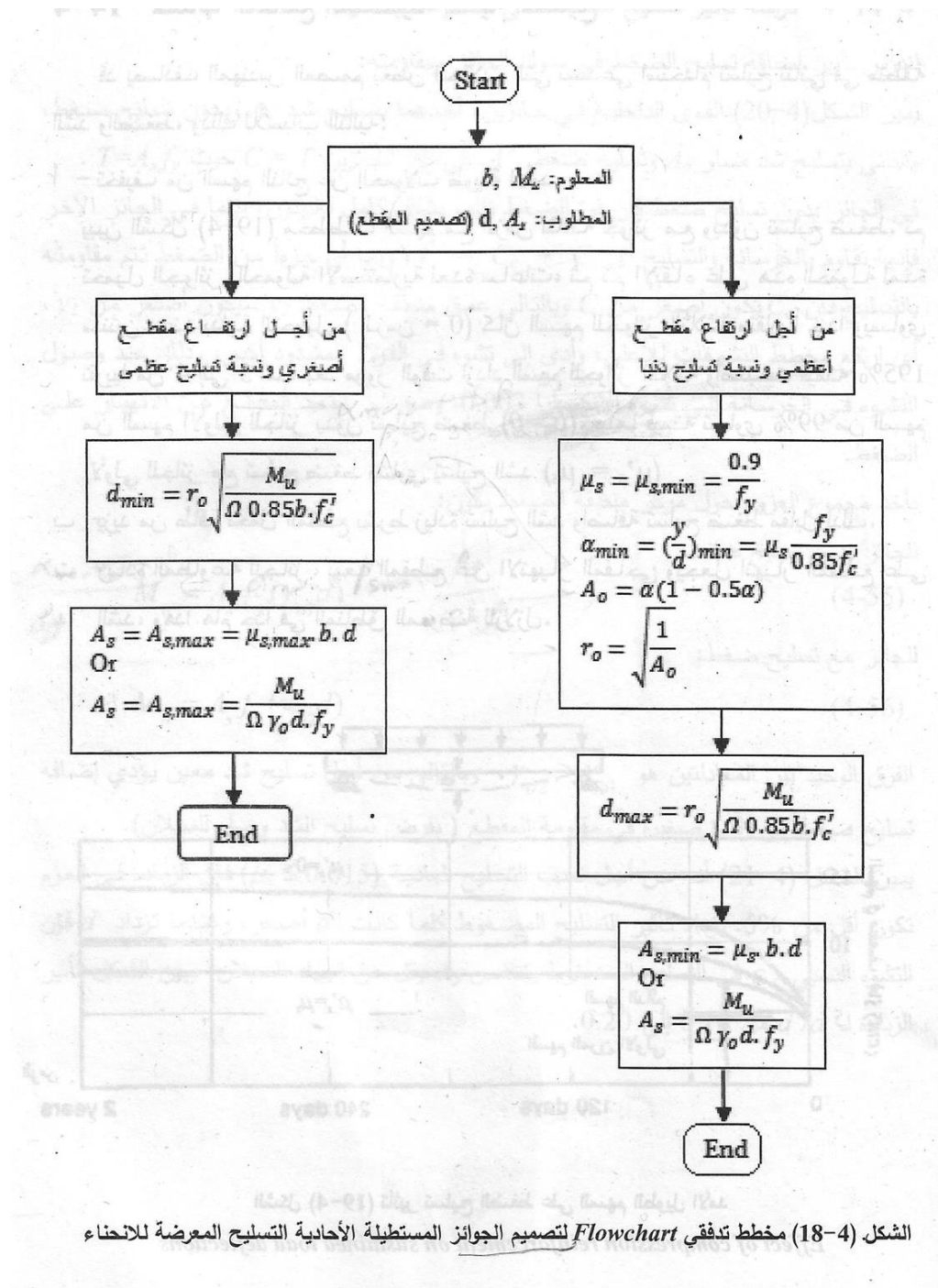


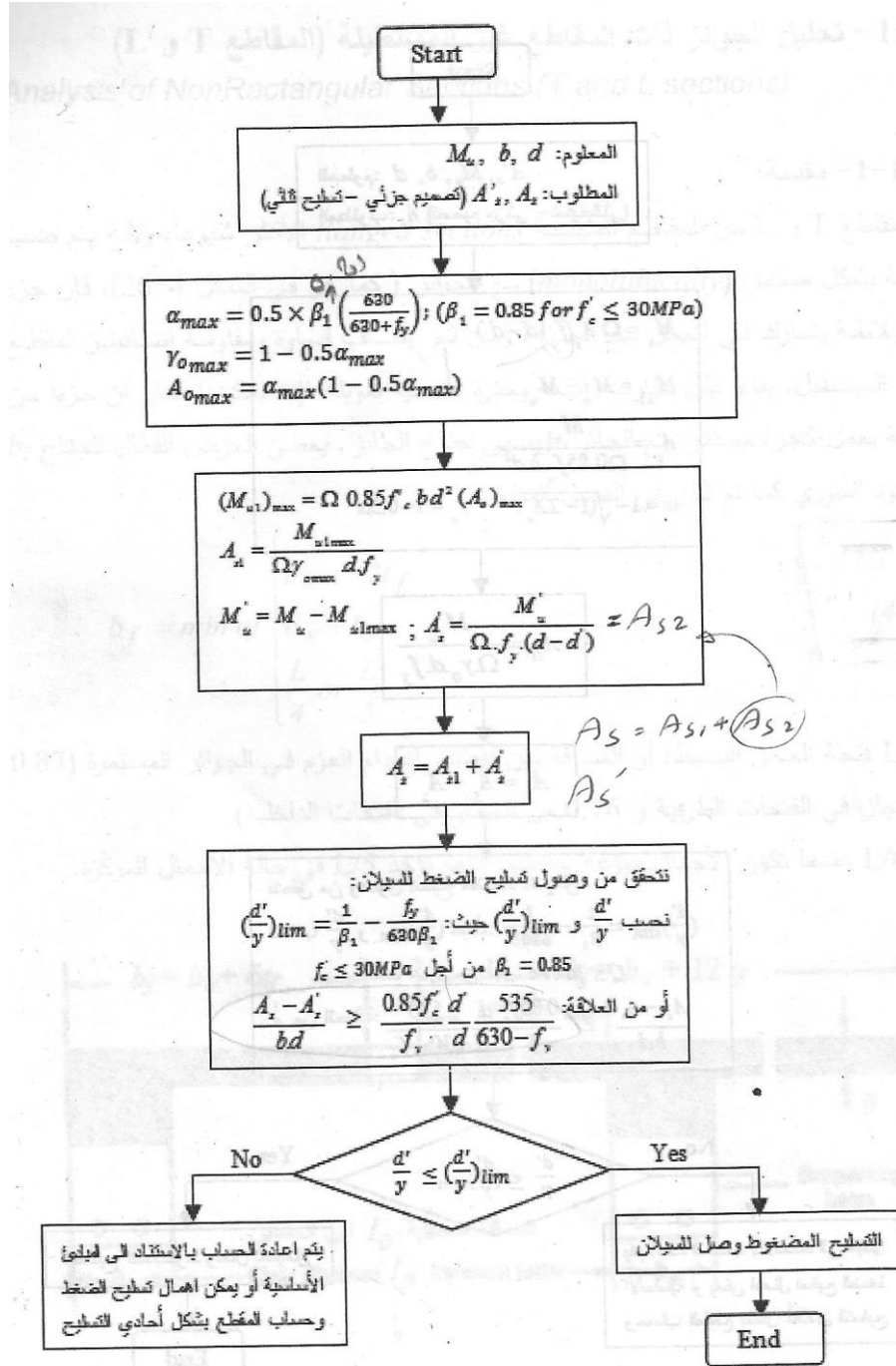


مخطط تدفق عملية تحليل جانز ثنائي التسليح



الشكل (4-17) مخطط تدفقي Flowchart لتصميم جزئي للجوائز المستطيلة الأحادية التسليح المعرضة للانعطاف

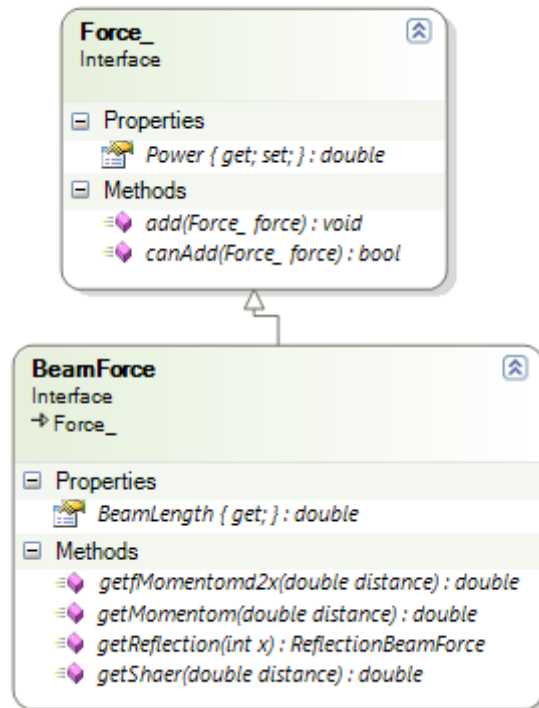




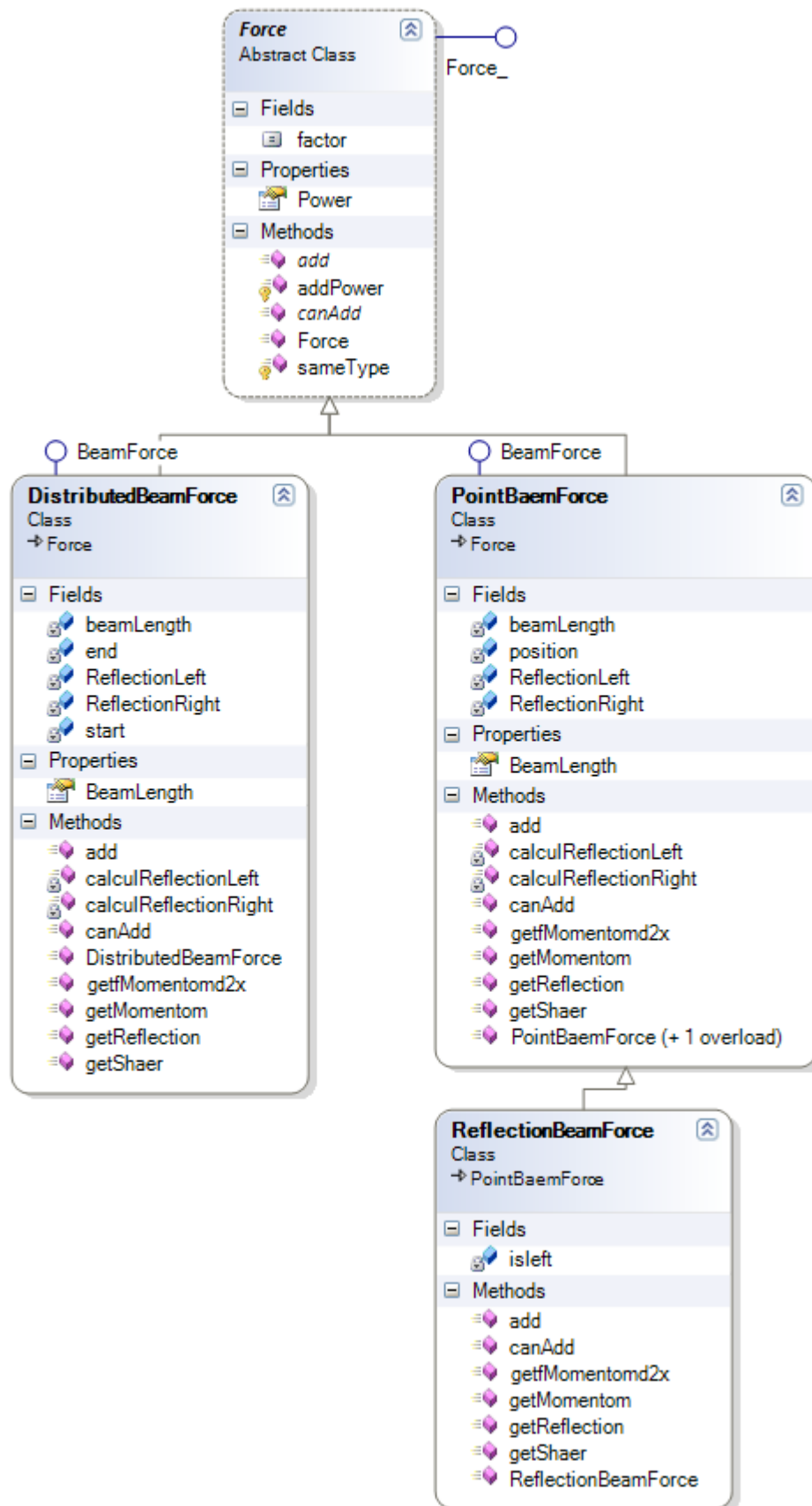
الشكل (24-4) مخطط تدفقي Flowchart لتصميم الجوائز المستطيلة ثنائية التسليح المعرضة للانحناء.

## مخططات الصفوف:

### 1. مخطط صفوف دراسة السلوك:

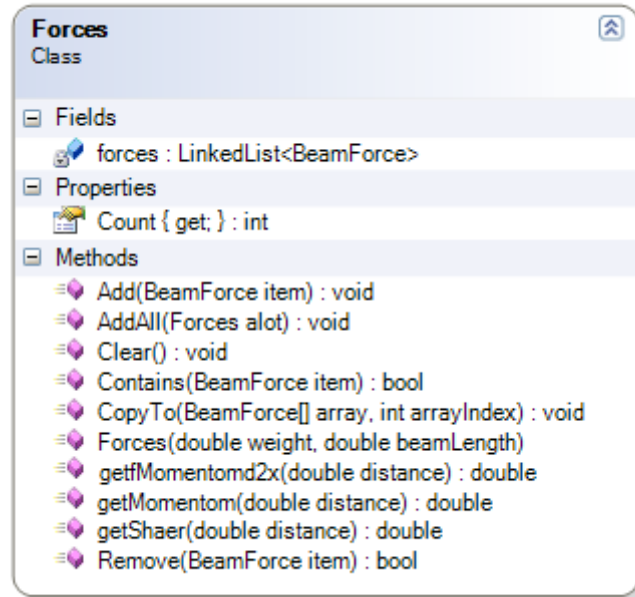


- تعرف الواجهة الأولى قوة بشكلها العام حيث يمكن الحصول على مقدار القوة وتحديده ويمكن إضافة قوة لأخرى حسب الشروط المرغوبة.
- أما الثانية فهي تعرف قوة خاصة بالتعامل مع الجوائز ذات طول معين و تعرف إيجاد رد الفعل عند المسند  $X$  و العزم عند موقع معين و قوة القص الخاصة به (قوة القص هي مشتق عزم الانحناء) و تكامل العزم مرتين الذي سيستخدم في نظرية مكولاي.



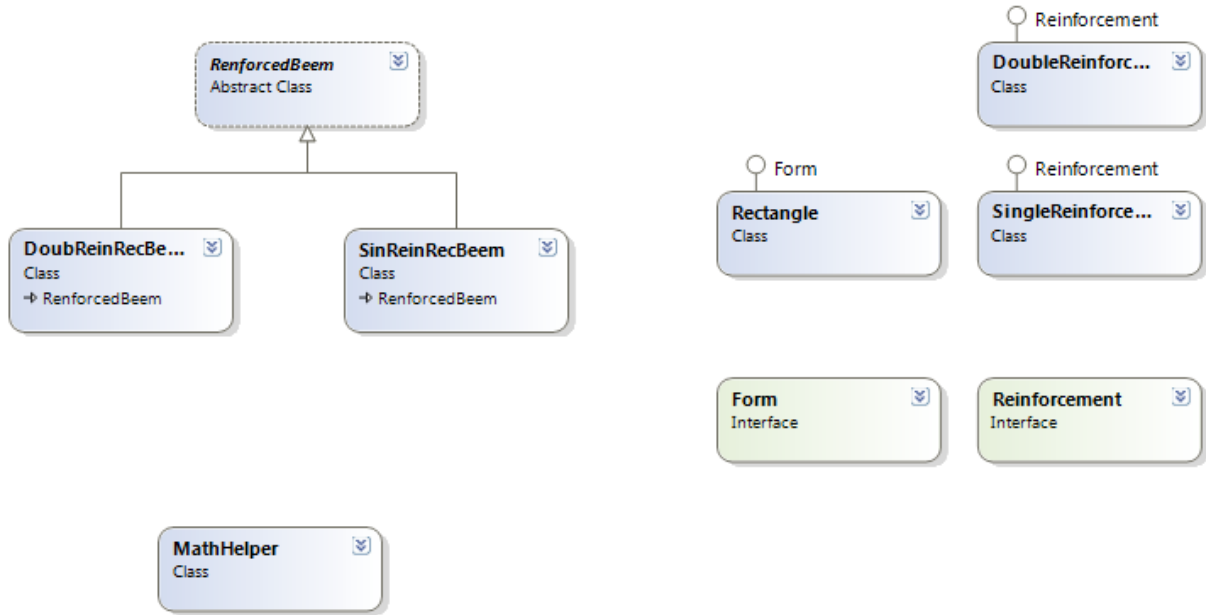
- صف الأب (Force) هو صف مجرد يضمن الواجهة (Force\_) ويعرف حقل للقوة بالإضافة لعض العمليات الأساسية كالإضافة ومقارنة نوع القوة.

- الصف (PointBeamForce) ابن (Force) ويضمن الواجهة (BeamForce) يعرف حقول الطول الجائز وموقع القوة ورد الفعل بالإضافة إلى توابع الواجهة التي ضمنها.
- الصف (ReflectionBeamForce) ابن (PointBeamForce) يعرف التوابع التي ورثها والتي تحدد تصرفاته التي تختلف عن أبيه.
- الصف (DistributedBeamForce) ابن (Force) ويضمن الواجهة (BeamForce) يعرف حقول الطول الجائز وموقع امتداد القوة و رد الفعل بالإضافة إلى توابع الواجهة التي ضمنها.



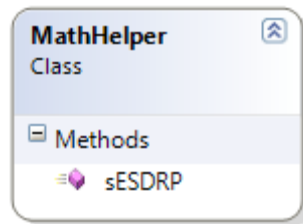
- يعالج هذا الصف تأثيرات جميع القوى المؤثرة على جائز ما من عزوم و قوى قص و يؤمن إمكانية الإضافة بعد الإنشاء و الإزالة.

## 2. مخطط صفوف التحليل:

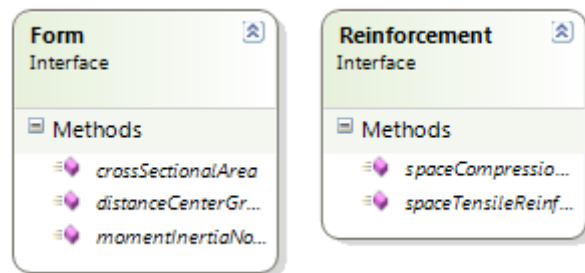


هذا المخطط لنوعي الخرسانة الذي نقوم بدراستهم

قمنا باستخدام composition حيث أن الصف ReinforcedBeem يحوي على مؤشرين من نمط Reinforcement , Form وهما عبارة عن واجهتين يدلان على شكل الخرسانة ونوع تسليحها. وقد قمنا باستخدام هذه البنية لتحقيق أكبر قدر من الاستقلالية ولنتيح القدرة للتوسع في المستقبل حيث يمكننا إضافة أي شكل آخر دون تغيير في أي جزء من البرنامج المكتوب فقط نضيف الجزء الجديد.

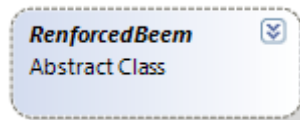


- يقوم هذا التابع بأخذ معادلة ويقوم بحلها بطريقة الدلتا ويرد القيمة الموجبة

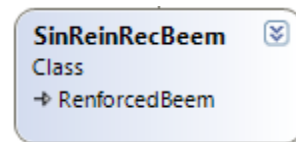
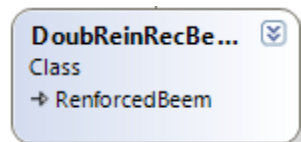




- كما ذكرنا فإن الواجهة Form هي المسؤولة عن شكل الخرسانة وتحتوي توابع ترد مساحة المقطع العرضي للخرسانة ومركز ثقلها و وعزم العطالة حول المركز.
- أما الواجهة Reinforcement في المسؤولة عن التسليح ونوعه أحادي أم ثنائي وتحتوي توابع ترد مساحة التسليح لكل من تسليح الضغط وتسليح الشد.

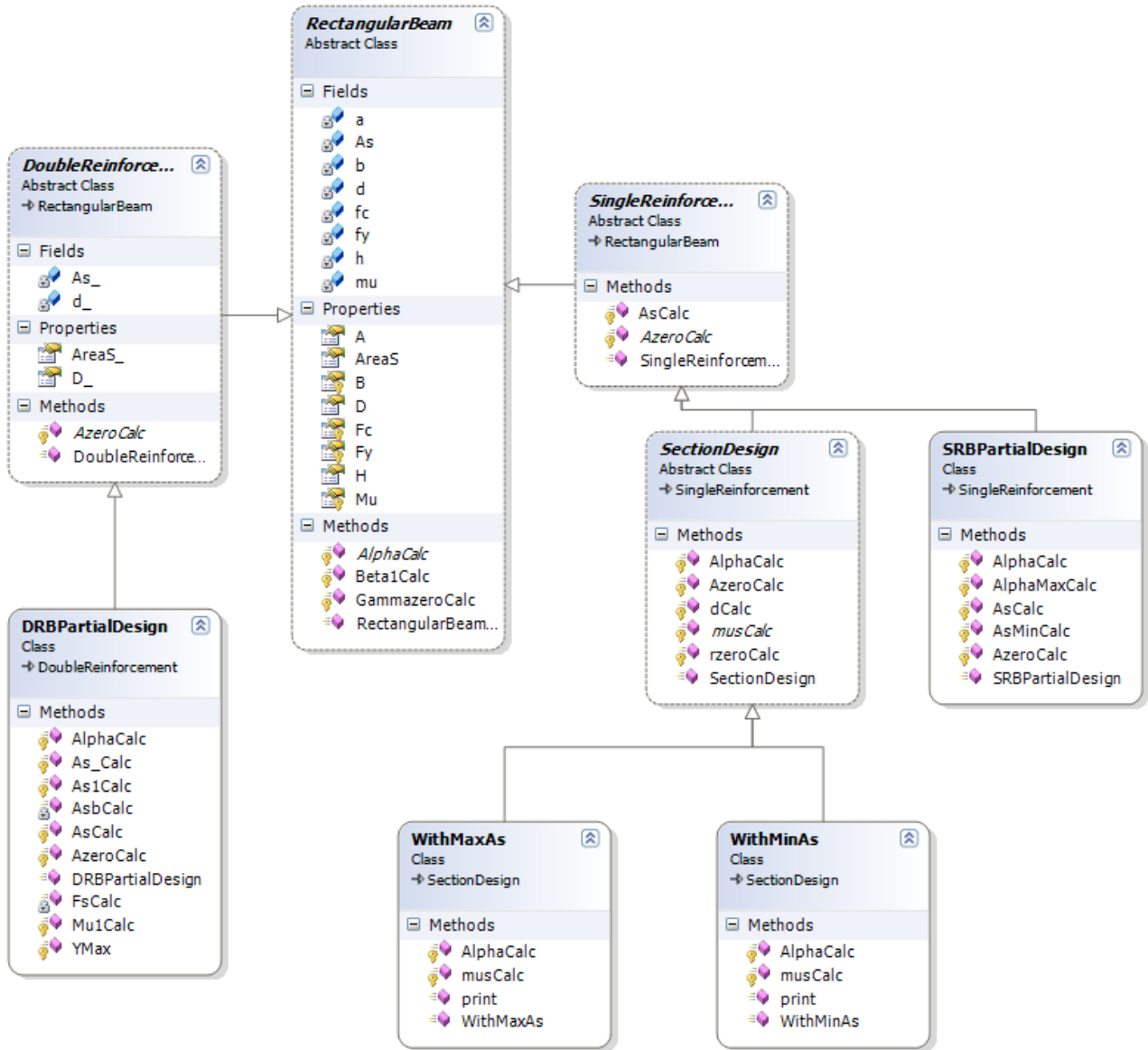


- هو الصف الأساسي وهو صف مجرد يمثل الخرسانة المسلحة ولكن دون تحديد شكل الخرسانة ونوع التسليح وتحتوي عدد من التوابع التي لا تتأثر بشكل الخرسانة والتسليح وعدد من التوابع المجردة التي من الضروري إعادة تعريفها عند بناء اي غرض يمثل خرسانة.



- هذان الصفان هم أبناء للصف ReinforcedBeem بحيث كل منهم يقوم بإسناد أغراض للمؤشرين من النمطين Reinforcement , Form كلن حسب نوعه ويقوم هذان الصفان بإعادة تعريف التوابع المجردة لدى الأب كل حسب نوعه ويتم فيهما إيجاد قيم المقاومة المميزة وأفضل تسليح نوعية الانهيار وكثير من خواص الأخرى.

### 3. مخطط صفوف التصميم:



مخطط صفوف تصميم الجائز البيتوني أحادي التسليح وثنائي التسليح

$Mu$	العزم المقاوم
$Fc$	مقاومة البيتون على الضغط
$Fy$	مقاومة الحديد على الشد
$B$	عرض الجائز
$H$	ارتفاع الجائز
$A$	مساحة التغطية السفلية
$D_{-}$	مساحة التغطية العلوية
$D$	ارتفاع المقطع الفعال
$AreaS$	مساحة تسليح الشد
$AreaS_{-}$	مساحة تسليح الضغط

## الواجهات:

mainBeamSpec

Rectangle

Height  (cm)

Lenght  (m)

Width  (cm)

Reinforcement Down

Diameter  (cm)

Count

Body

Total Weigth  (kN)

Reinforcement Up

Diameter  (cm)

Count

☒ Double reinforcemnt

Show Advanced

Next

Cancel

واجهة إدخال أبعاد الجائز وعدد قضبان التسليح العلوية والسفلية ومقدار قطر كل منها

mainBeamSpec

$f_c$  40 (MPa)  
 $f_s$  400 (MPa)  
 $E_s$  210000 (kN/m.m)  
 $a$  : distance 5 (cm)  
 $a_2$  5 (cm)

☒ Ring shape reinforcement  
☐ Spiral shape reinforcement

Back Next Cancel

واجهة إدخال مقاومة الببتون والحديد واختيار أنماط قضبان التسليح

mainBeamSpec

point force  
force in newten location add

distributed force  
force in newten start location end locatin  
4000 0.3 1 add

Back OK Cancel

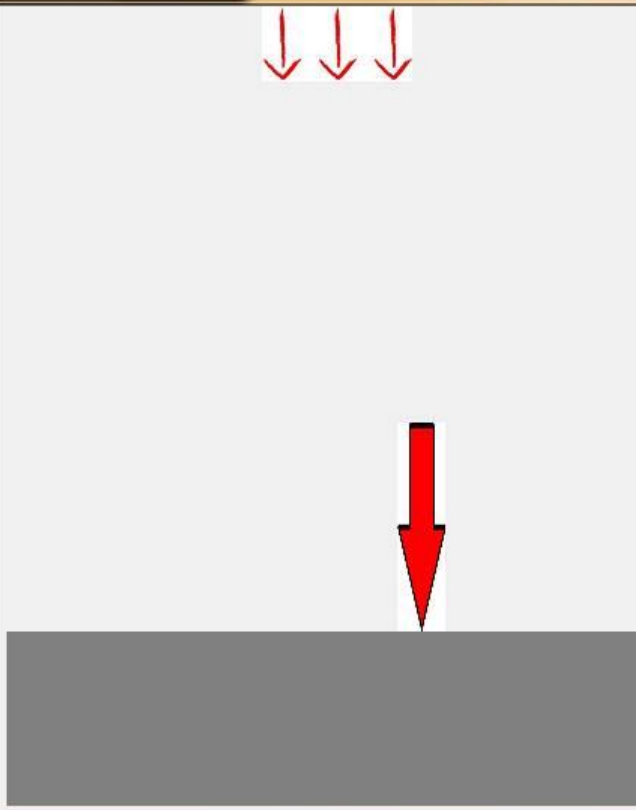
واجهة التحميل على الجائز وهنا تم تحميله بقوة موزعة مقدارها 4000n

mainBeamSpec

point force  
 force in newten [2000] location [1.3] add

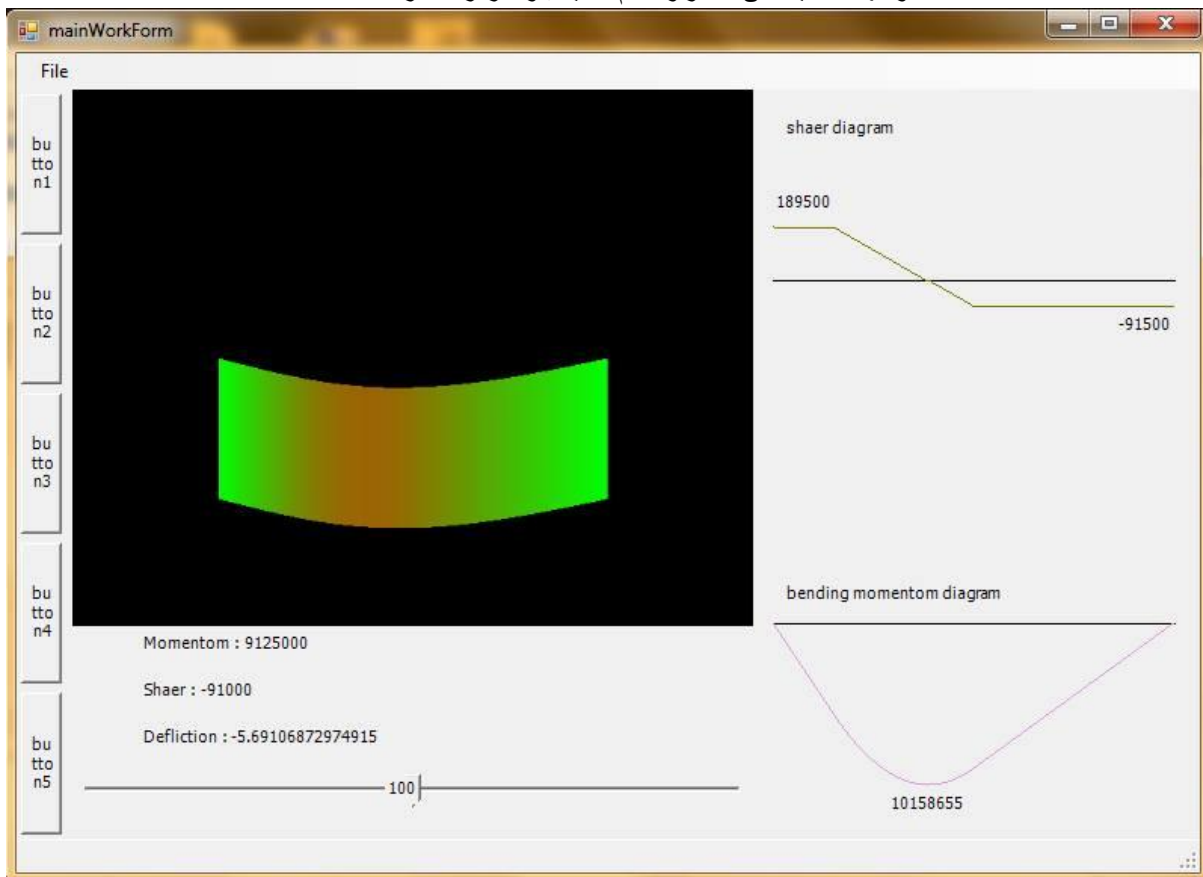
distributed force  
 force in newten [ ] start location [ ] end locatin [ ]  
 add

Back OK Cancel



The diagram shows a horizontal beam. At the top, there are three small red arrows pointing downwards, representing a distributed load. In the center of the beam, there is a large red arrow pointing downwards, representing a point load. The beam is supported by a thick grey base at the bottom.

واجهة التحميل على الجائز وهنا تم تحميله بقوة مركزة مقدارها 2000n



واجهة إظهار سلوك الجائز الناتج عن الحمولة المطبقة عليه بالإضافة إلى إظهار مخطط القص ومخطط العزم

Beam Design

Mu 200 kNm

b 300 mm

fy 240 MPa

fc 20 MPa

SR DR

Single Reinforcement Options

☒ Partial Design

☐ Section Design With Min As

☐ Section Design With Max As

h 600 a 50 mm

d 550 mm

As 1826.17127 mm<sup>2</sup>

Calc

واجهة تصميم جاذز أحادي التسليح باستخدام التصميم الجزئي

Beam Design

Mu 600 kNm

b 300 mm

fy 420 MPa

fc 20 MPa

SR DR

Double Reinforcement Partial Design

h 750 a 50 mm

d 700 mm

As 2572.8861 mm<sup>2</sup>

As' 405.3861 mm<sup>2</sup>

Calc

واجهة تصميم جاذز ثنائي التسليح

## أهم التوابع:

توابع حساب المساحات في قسم التصميم:

### 1. تابع AsCalc في الصف SRBPartialDesign (تسليح أحادي تصميم جزئي)

```
override protected void AsCalc()
{
    if (this.AlphaCalc() <= this.AlphaMaxCalc())
    {
        double As = Mu / (0.9 * GammazeroCalc() * D * Fy);
        AreaS = As < AsMinCalc() ? AsMinCalc() : As;
    }
    else
    {
        throw new Exception("Double reinforcement Needed");
    }
}
```

### 2. تابع AsCalc في الصف SingleReinforcement (تسليح أحادي تصميم كامل)

```
virtual protected void AsCalc()
{
    AreaS = Mu / (0.9 * GammazeroCalc() * D * Fy);
}
```

### 3. تابع AsCalc في الصف DRBPartialDesign (تسليح أحادي تصميم كامل)

```
protected void AsCalc()
{
    this.AreaS = this.As1Calc() + this.As_Calc();
    bool check = ((this.AreaS - Math.Abs(this.AreaS_)) / this.B * this.D) >=
        (this.Beta1Calc() * this.Fc / this.Fy) * ((this.D_ * 535) / (this.D * (630 - this.Fy)));
    if (!check || this.AreaS_ <= 0)
        throw new Exception("Use single reinforcement");
    double AsMin = (0.9 / this.Fy) * this.B * this.D;
    double AsMax = 0.75 * this.AsbCalc();
    this.AreaS = this.AreaS < AsMin ? AsMin : this.AreaS;
    if (this.AreaS > AsMax)
        throw new Exception("b or h must be bigger");
    check = this.AreaS - this.AreaS_ < AsMax;
}
```

## خاتمة:

في آخر العقود القليلة الماضية أصبحت البرامج ذات أهمية أكبر مع مرور الزمن في تحليل المسائل الهندسية و العلمية ويعود ذلك للانتقال من الطرق اليدوية إلى الاستفادة من قدرات الحواسيب التي قدمها المجتمع العلمي و بالأخص الجامعات للعالم.

نلاحظ تقدم الصناعات و التكنولوجيا بفضل اتصالها و تكاملها مع الحاسوب لذلك تتم برمجة البرامج مع تحسن القسم العتادي لتقديم خدمة أفضل للمصنعين الذي يسهل إيجاد برامج أكثر كفاءة و مهنية حيث أنها تقدم مثلاً تفاصيل أكثر بسرعة أكبر و دقة أكبر وكذلك نأمل تقديمها بأسعار مقبولة لتنتشر لدى جميع المهندسين.

قدمنا لكم في هذا المشروع برنامج بواجهات سهلة الاستخدام نسيباً:

1. إدخال خرسانة مسلحة مستطيلة الشكل بالمعاملات التالية:

- طول و عرض و ارتفاع
- تسليح أحادي أو ثنائي باستخدام قضبان تسليح دائرية معاملاتها:
  - القطر كاملاً لكل نوع على حدا
  - عدد القضبان أيضاً لكل نوع على حدا
  - معامل ليونة الحديد لكلاهما
- وزن الخرسانة و معمل ليونتها

2. تصميم خرسانة

3. يقدم البرنامج النتائج التالية:

- مخططات العزم و القص و الانزياح الداخلي الأعظمي على طول جائز
- باستخدام مؤشر يمكن معرفة العزم و القص و الانزياح الخارجي على طول الجائز
- رسم بسيط للجائز يوضح مقدار الانزياح مع قدرة تحمله للعزوم المطبقة عليه بالألوان
- إمكانية إضافة قوتين متغيرتين ورؤية التغيرات التي تحصل على الجائز

## اقترح:

إضافة فكرة هذا المشروع -الفكرة العامة: مقاومة إحدى المواد للقوى المطبقة عليها- للائحة المشاريع المقترحة لمادة الحسابات العلمية وذلك:

- لأهمية الأمر على المستوى العالمي كاختبار قدرة مادة جديدة أو تشكيل جديد من مادة ما وما أكثرها في هذا العقد.
- خلال العمل على هذا المشروع تعرفنا ولو بشكل بسيط على جزء من فرع كامل من الهندسة وهو الهندسة المدنية وتعاملنا مع مهندسين من هذا الفرع الذي قدم لنا نافذة صغيرة على احتياجات هذا الفرع وهكذا برامج. مع العلم أن هذه الفكرة ليست مرتبطة بفرع الهندسة المدنية بالأخص بل بالكثير و منها الهندسة الميكانيكية.
- تذخر هذه الفكرة بعدد كبير جداً من حالات الاختبار التي قرأنا عنها واخترنا لكم منها هذا الجائز



## المراجع:

- **Limit\_state\_design** [متصل] // .wikipedia  
.http://en.wikipedia.org/wiki/Limit\_state\_design
- **Macaulay's\_method** [متصل] // .wikipedia  
.http://en.wikipedia.org/wiki/Macaulay's\_method
- **الخرسانة المسلحة (1)** [كتاب] / المؤلف غسان علي محمود، قاسم علي زحيلي و سليمان إبراهيم ناصيف. - دمشق : جامعة دمشق، 2011.
- **الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة** [كتاب] / المؤلف نقابة المهندسين. - دمشق : نقابة المهندسين، 2004.
- **مقاومة المواد** [كتاب]. - دمشق : جامعة دمشق.