

الباب السابع

الجمالونات والهياكل الإنشائية

- Trusses and Frames -

- 1.7 مقدمة
- 2.7 الجمالونات
- 3.7 تصميم الجمالونات
- 4.7 تحليل القوى الداخلية في الجمالونات
 - 1.4.7 طريقة المقاطع
 - 2.4.7 طريقة المفاصل
- 5.7 تصميم وتحليل الهياكل الإنشائية

في باب اتزان الاجسام الجاسئة ركز الاهتمام على دراسة اتزان جسم مفرد جاسئ، أو مجموعة من اعضاء متصلة تم دراستها على اعتبار انها جسم جاسئ مفرد، عند تحليل ودراسة القوى المؤثرة عليها. كما تم اعتماد طريقة معينة في حل مثل هذه المسائل، حيث كلن يعد الرسم البياني لمخطط الجسم الحر (F.B.D) لهذا الجسم الجاسئ المفرد، مبيناً عليه جمسع القوى الخارجية المؤثرة على الجسم المعزول، وبعد ذلك تم استخدام معادلات الاتزان وإيجاد القوى المجهولة المطلوب ايجادها.

أما في هذا الباب فسوف يركز الاهتمام على ايجاد كافة القسوى الداخلية في جميع اعضاء الاجزاء الانشائية، أي قوى الفعل، ورد الفعل بين الاعضاء المتصلة.

وسنتطرق في هذا الباب فقط الى المنشئات المحدده استاتيكيأ، وهي المنشئات التي ليس فيها مساند اكثر من العدد اللازم لضمان حالة الاتزان، ولذلك فإن كافة ردود الافعال المجهولة بالامكان ايجادها بتطبيق معدلات الاتزان. لذلك من الضروري الالمام التام والفهم الكامل والواضح لموضوع الاتزان، ومن اوليات ذلك معرفة كيفية رسم مخططات الاجسام الحرة. أن حل مسائل الجمالونات والهياكل ما هو الا تطبيقات مباشرة لما تم دراست في الباب الثالث والرابع من هذا الكتاب.

يتركب المنشئ الهندسي من مجموعة اعضاء متصلة مع بعضها مرتبة بطريقة بحيث يمكنها نقل القوى، وكذلك تحمل القوى والاحمال المسلطة عليها بأمان. وهناك انواع من تلك المنشئات منها: الجمالونات (المسلمات) -Trusses- والهياكل الانشائية (Frames).

2.7 الجمالونات – (Trusses)

الجمالونات عبارة عن منشئات جاسئة، تتألف من قضبان مستقيمة (أضلاع انشائية) متصلة عن نهايتها فقط في نقطة تسمى وصلة (Joint) والتي تكون أما بشكل مفصل أو لحام أو برشام.

ومن بعض الامثلة على استخدام الجمالونات الجسور، وحاملات السقوف، والهياكل الرافعة، وأبراج نقل الطاقة الكهربائية واية نماذج أخرى اما ذكر سابقاً هي نمساذج معروفة للجمالونات.

تكون اعضاء الجمالون عادة عبارة عن عتبات لها مقاطع على شكل حرف (I) أو زوايا (angles) أو ساقية (channels) أو اشكال خاصة اخرى ترتبط مع بعضها البعض. وعندما تقع اعضاء الجمالون في مستوى واحد، فإن هذا الجمالون يطلق عليه "الجمالون المستوي" ومثال على ذلك الجمالونات المستخدمة في الجسور حيث تصمم عادة كأزواج بوضع جمالون واحد على كل جهة من جهتي الجسر ويربط بينهما بواسطة عتبات عرضية تسند ارضية الطريق وتنقل الاحمال الى اضلاع الجمالون.

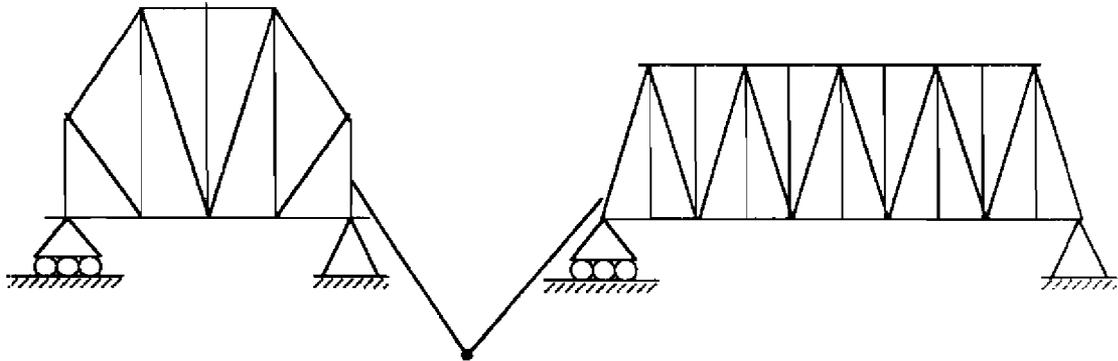
اما الحسابات فتم بتحليل القوى، على فرض أن:-

تكون الاعضاء متصلة مع بعضها البعض بمفاصل ملساء عند نهايتها فقط، وعلى فرض أن وزن كل عضومن اعضاء الجمالون موزعاً بالتساوي على المفاصلين عند نهايته، وبذلك يمكن اعتبار اعضاء الجمالون اعضاء خفيفة، وأن القوى الخارجية تؤثر على المفاصل فقط. اما المفصل (Hinge Joint) الاملس فيمكن اعتباره كمسمار اسطواني يدخل في تقووب اسطوانية في الاجسام بحيث يدور كل جسم من الاجسام حول المسمار دون أي احتكاك.

تؤثر الاحمال عند المفاصل، إذ أن كل عضو فيه يكون متوزياً تحت تأثير قوى تعمل عند طرفيه فقط، وبهذا لا بد وأن يكون خط فعلها المشترك هو الخط الواصل بين مركزي المساند الطرفيه، ويكون فعل العضو على المفصل في اتجاه محور العضو نفسه.

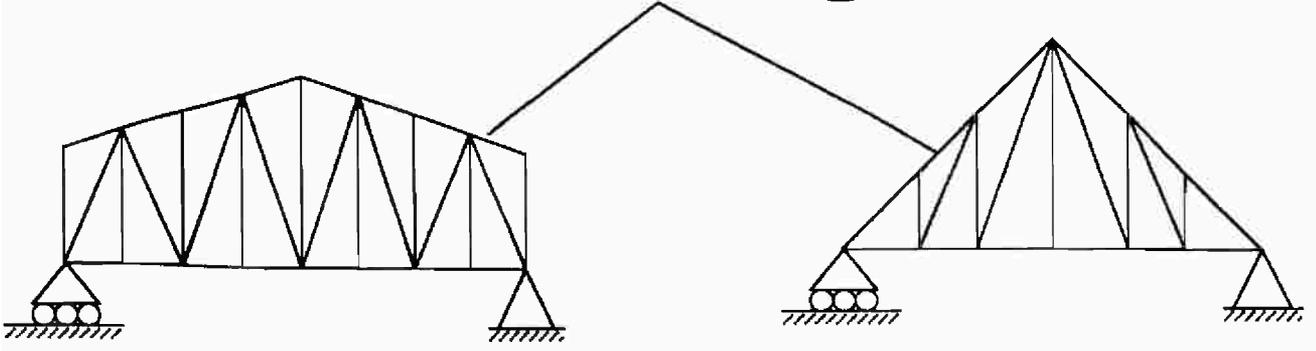
الشكل (1.7. a, b) يوضح انواع وامثلة مختلفة لبعض الجمالونات التي يمكن تحليلها

كجمالونات مستوية



جمالونات الجسور

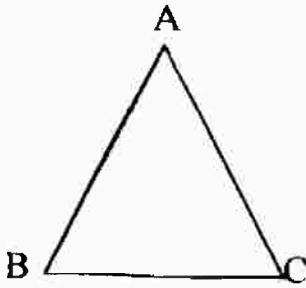
a



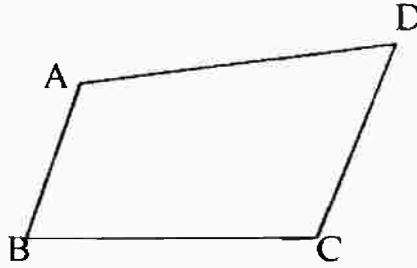
الشكل (1.7) انواع الجمالونات

أن وحدة الجمالون المستوي هو الشكل المثلث ، حيث أن القاعدة الأساسية لتصميم الجمالون تعتمد وتبنى اساساً على شكل المثلث. فعندما تتصل ثلاثة اعضاء مع بعضها عند نهايتها بواسطة محاور (مسامير) Pins ملساء كما في الشكل (a.2.7) فإنها تشكل هيكلًا مثلثًا جاسئًا يشكل فيه كل عضو احد اضلاع المثلث.

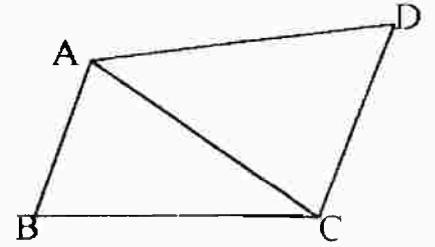
لو كانت اضلاع الشكل أكثر من ثلاثة كان يكون رباعياً أو خماسياً أو أكثر فإننا سنحصل على هيكل غير جاسئ مثل المضلع (ABCD) كما في الشكل (b.2.7) حيث أن شكل الجمالون وزواياه تتغير عند تسليط الاثقال عليه اذا لم يكن ترتيب الاعضاء على شكل المضلع (ABCD) غير الجاسئ الى هيكل جاسئ كما في الشكل (c.2.7).



a



b



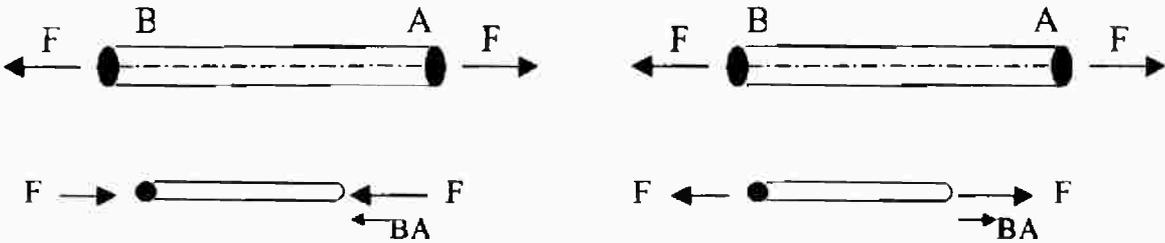
c

شكل (2.7) اشكالاً توضيحية لاستقرارية وعدم استقرارية الجمالونات

3.7 تصميم الجمالونات (Design of Trusses)

يتم تصميم الجمالونات اعتماداً على:

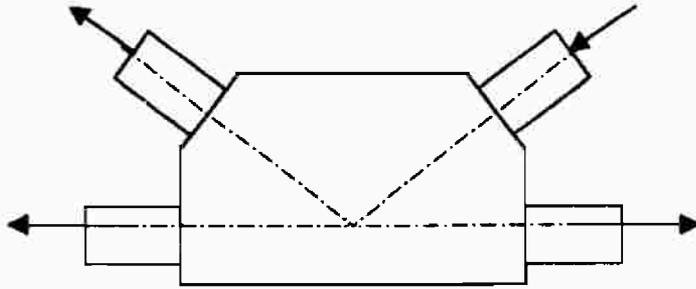
1. تحديد القوى المختلفة التي تؤثر على اعضاء الجمالون.
 2. الاختيار المناسب للأبعاد الهندسية والمقاطع الانشائية التي تتحمل القوى المسلطة عليها.
- يجري الحساب للقوى الداخلية في كل عضو من اعضاء الجمالون على اساس افتراضات معينة منها:
1. أن يكون اتصال الاعضاء المكونة للجمالون مع بعضها عند نهايتها بمفاصل ملساء (مفاصل مسمارية).
 2. تعد كافة الاضلاع ثنائية القوة (Two-force members) أي يكون كل واحد منها في حالة اتزان تحت تأثير قوتين فقط، أما تحت تأثير شد أو أنضغاط كما هو موضح في الشكل (3.7) أي أن هاتين القوتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه.



الشكل (3.7)

3. تهمل اوزان الاعضاء اذا كانت اوزانها صغيرة بالقياس الى الاحمال الخارجية او الاجهادات الناشئة في هذه الاعضاء. وعند عدم القناعة بصحة ذلك او كان من الضروري حساب وزن العضو الذي مقدار (W)، وزن هذا الوزن يستبدل بقوتين كل منهما تساوي $(\frac{W}{2})$ تؤثر عند كل طرف من طرفي العضو، وتعتبر القوى عند الطرفين كأحمال خارجية مسلطة على محاور التوصيلات.
4. يكون تأثير الاحمال وردود الفعل عند محاور المفاصل.

5. في حالة وصل اعضاء الجمالون باللحام أو البرشام يكون الافتراض من ناحية (المفاصل) غالباً صحيحاً إذا كانت خطوط المحاور للاعضاء المتلاقية عند نقطة الوصل كما يبين الشكل (4.7).



الشكل (4.7) عند نقطة الوصل تتلاقى خطوط محاور الاعضاء

4.7 تحليل القوى الداخلية في الجمالونات

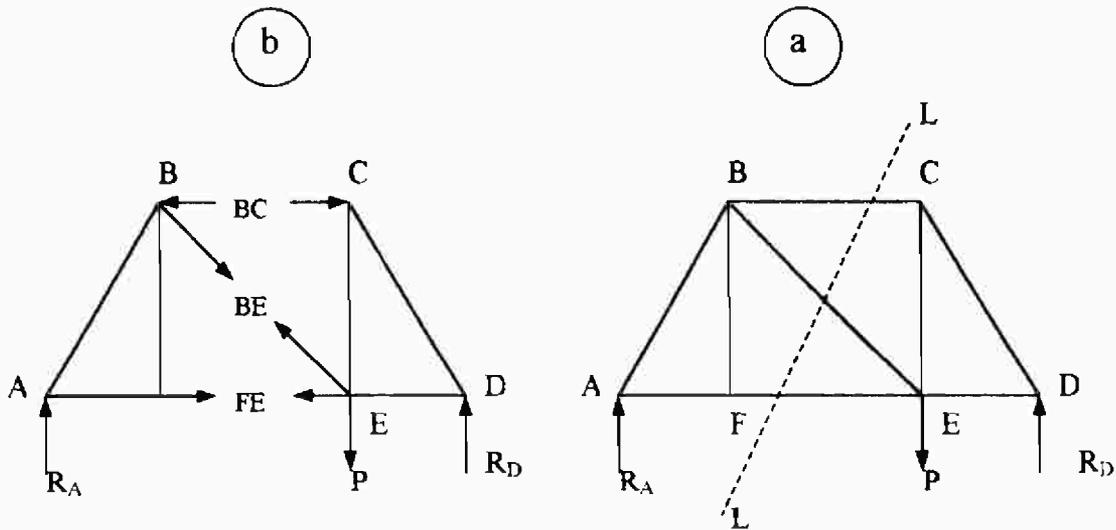
لتحليل القوى الداخلية أو الاجهادات التي تؤثر داخل الاعضاء المكونة للجمالونات البسيطة تستخدم طريقتان وهما الطريقة الاولى: باجراء التحليل بطريقة المقاطع (method of sections)، اما الطريقة الثانية فهي تعتمد على دراسة حالة اتزان المفاصل وتسمى طريقة المفاصل (method of joints)، وفي كلتا الطريقتين نقوم برسم الرسم البياني للجسم الحر للجمالون ككل. وتحدد ردود الافعال عادة بالحساب من معادلات الاتزان المستخدمة للجمالون ككل قبل اتباع تحليل القوى في باقي اعضاء الجمالون.

1.4.7 طريقة المقاطع – (Method of Sections)

يمكننا ايجاد القوى المؤثرة على جميع اعضاء الجمالون باستخدام هذه الطريقة، ويتم ذلك بعمل قطع يمر خلال الجمالون فيقطعه الى جزئين. فاذا كان الجمالون الكامل في حالة توازن، فعندئذ يجب أن يكون من الجزئين في حالة توازن ايضا. وبعد قطع الجمالون يمكن اخذ احد الجزئين وعمل الرسم البياني لمخطط الجسم الحر له (F.B.D). من المعروف أن معادلات التوازن للجسم هي ثلاثة فقط ولهذا يجب ان لا يمر القطع خلال اكثر من ثلاثة اعضاء تكون القوى فيها غير معلومة حتى تتمكن بعد ذلك من ايجاد

القوى في جميع الاعضاء للجزء المقطوع من الجمالون، حيث تصبح القوى المؤثرة في هذه الاعضاء المقطوعة كقوى خارجية تعمل على حفظ التوازن هذا الجزء من الجمالون. على سبيل المثال لو اخذنا الجمالون المبين في الشكل (a.5.7) وقطعناه الى جزئين بمستوى (L-L) يمر بالاضلاع BC ، BE ، FE ، فإن كل جزء تؤثر عليه قوى مجهولة هي القوى التي ينقلها كل من هذه الاضلاع المقطوعة. أن هذان الجزءان ميبنان في الشكل (b.5.7) وكل منها عبارة عن منظومة قوى غير متلاقية في حالة توازن، وبما ان عدد المجاهيل متساو في الجزئين، فمن الافضل اخذ الجزء الاسهل ونقوم بتطبيق معادلات الاتزان عليه.

في هذا المثال لا يبدو أن هناك فرق بين جزئي الجمالون. مع ذلك يمكن اخذ الجزء الايسر على اعتبار أن عدد القوى العاملة هي اربعة فقط، في حين أن عددها في الجزء الايمن خمسة.



الشكل (5.7)

يجدر الملاحظة عدم تأثير القوى في الاضلاع غير المقطوعة على اعتبار انها قوى داخلية بالنسبة لمخطط الجسم الحر.

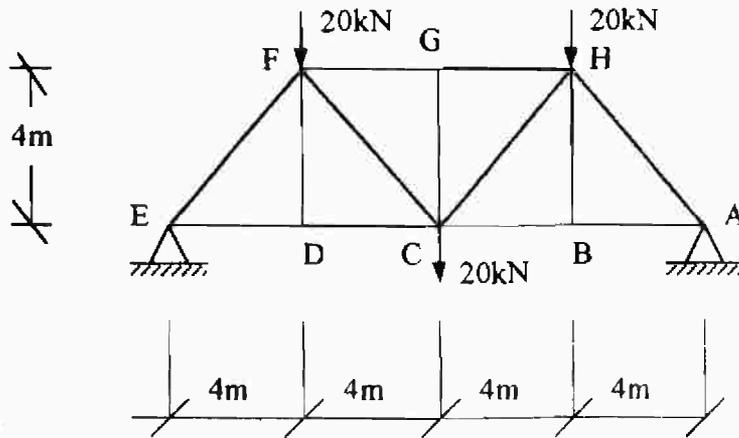
ولغرض الحل نستفيد من معادلة العزوم بالنسبة لنقطة تلاقي قوتين مجهولتين. حيث في المثال السابق يمكن ان نأخذ العزم في النقطة B حيث المجموع الجبري لعزوم القوى المؤثرة على الجزء الايسر بالنسبة الى النقطة B يساوي صفرأ . وهذا يعني أن تأثير القوتين المجهولتين BC ، BE يساوي صفرأ ويبقى فقط تأثير القوة FE وتأثير رد الفعل المعلوم (RA) وتكون بذلك قد وجدنا القوة في الضلع FE بالخطوة الاولى. وبالطريقة نفسها نستطيع ايجاد القوى المجهولة الاخرى. وبذلك باخذ العزم عند النقطة (E).

أن معادلات العزوم في طريقة المقاطع تعتبر طريقة عملية وذو فوائد كبيرة، فأختار محور العزوم في نقطة تلاقي قوتين أو أكثر من القوى المجهولة. سواء كانت هذه النقطة واقعة داخل الجزء المقطوع أو خارجه يجعل الحل اسهل اسرع.

أن دراسة المثال (1.7) سوف يوضح طريقة التحليل بطريقة المقاطع لتحليل القوى الداخلية التي تؤثر داخل اعضاء الجمالونات بشكل عام.

مثال (1.7)

الشكل (6.7) يبين جمالون مسند اسناداً بسيطاً ، وتؤثر عليه احمال مقدارها 30kN عند المفاصل C ، F ، H . المطلوب إيجاد القوى المؤثرة في الاعضاء التي يتركب منها الجمالون.



الشكل (6.7)

الحل:

يمكن تقدير القوى في جميع اعضاء الجمالون حسب طريقة المقاطع بعمل قطاعات $(L_1 - L_1)$ ، $(L_2 - L_2)$ ، $(L_3 - L_3)$ كما هو موضح على الشكل (a.7.7) كما نلاحظ من الشكل أن القوى المؤثرة تحتوي على ردود افعال الواجب معرفتها سلفاً.

من الرسم الموضح في الشكل (a.7.7) نلاحظ أنه من تناظر الجمالون والاحمال الخارجية المؤثرة عليه يمكن القول ان ردود الافعال عند المساند E ، A يجب أن تكون متساوية، أي أن $30kN = R_E = R_A$ كما توجد مركبة رد فعل افقية واحده عند المفصل A

وهي H_A وهي مساوية للصفر بما أن كل القوى على التركيبة متوازية في الاتجاه الأفقي لذا فإن

$$H_A = 0$$

نفرض أن القوى شداً في كل الاعضاء وتعين اتجاهاتها كما هو مبين في الشكل (b.7.7) ، وتقدير القوى بإخذ قطاعات خلال هيكل واحد.

كما أشرنا سابقاً لأيجاد القوى في جميع اعضاء التركيبة الجمالون نقوم بعمل القطاعات المبينة على الشكل (a.7.7)، وتعرف القوى للاعضاء المقطوعة في كل قطاع كما هو مبين في الاشكال (e.d.c.b.7.7). وتحدد القوى في الاعضاء لكل جزء هيكل مقطوع كما يلي:

1. القوى في أعضاء الجزء الهيكل الأول للجمالون:

يجري عمل القطع $(L_1 - L_1)$ خلال الجزء AB فيقطع الاعضاء AB ، AH كما هو موضح على الشكل (b.7.7) مخطط الجسم الحر (F.B.D) للقطع خلال الجزء AB. توجد فقط قوتين مجهولتين في الرسم البياني للجسم الحر. وعلى فإن اتزان القوى في الاتجاه الرأسى يعطي:

$$\begin{aligned} \sum F_y \uparrow = 0 \text{ و} \\ 30 + F_{AH} \sin \theta = 0 \\ F_{AH} = \frac{-30}{\sin \theta} = -(\sqrt{2}) \times 30 \\ = -42.4 \text{ kN} \end{aligned}$$

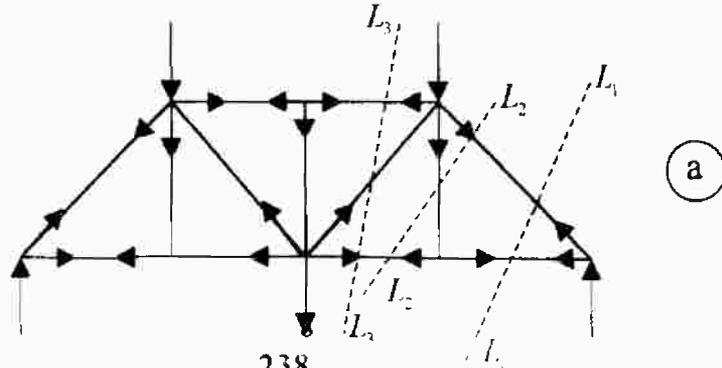
ومنه

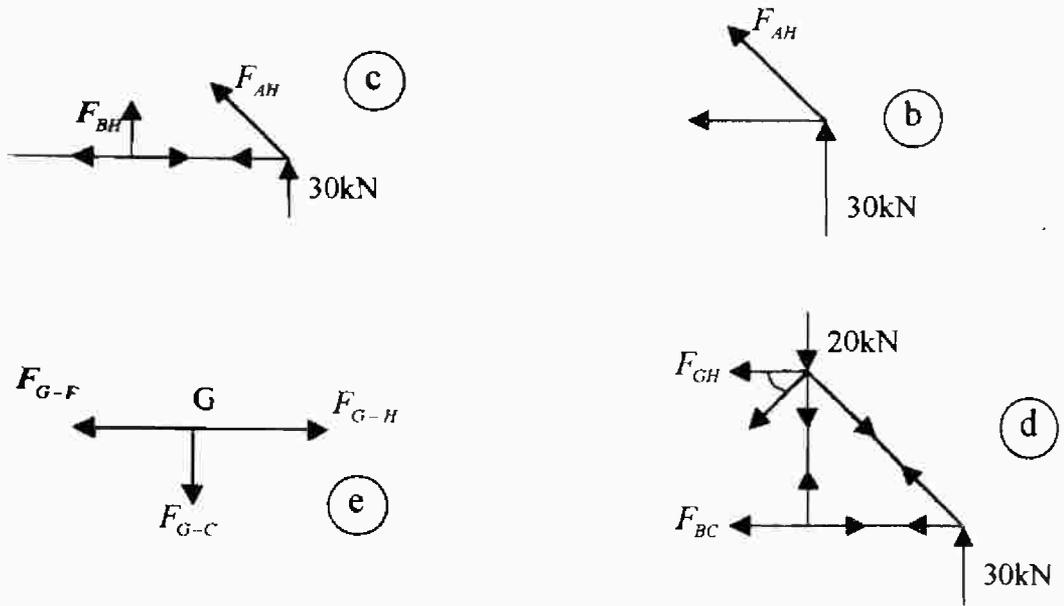
اما التوازن لهذه القوى في الاتجاه الأفقي:

$$\begin{aligned} \sum F_x \rightarrow = 0 ; \\ -F_{AB} - F_{AH} \cos \theta = 0 \\ F_{AB} = -F_{AH} \cos \theta = +\sqrt{3} \times 30 \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 30 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. القوى في العضو الرأسى BH:

بعمل القطع $(L_2 - L_2)$ نجد أنه قطع الاعضاء BC ، BH ، AH





الشكل (7.7) تخطيطات الجسم الحر

وتكون القوة غير معلومة في الاعضاء BH، BC، ويمكن تقديرها من الرسم البياني لمخطط الجسم الحر المأخوذ للقطع $(L_2 - L_2)$ كما هو موضح على الشكل (7.7.c).
 أن التوازن في الاتجاه الرأسى (العمودي) يعطى:-

$$\sum F_y \uparrow = 0,$$

$$30 + F_{BH} + F_{AH} \sin \theta = 0$$

وعليه

$$F_{BH} = -30 - F_{AH} \sin \theta = -30 - (-42,4) \frac{1}{2\sqrt{2}}$$

$$= -30 + 0 = 0$$

أما التوازن في الاتجاه الافقى:-

$$\sum F_x \rightarrow = 0 ;$$

$$-F_{AH} \cos \theta - F_{BC} = 0$$

$$\therefore F_{BC} = -F_{AH} \cos \theta = -(-42,4) \times \frac{1}{2\sqrt{2}} = 30 \text{ kN}$$

3. القوى في اعضاء الجزء الهيكلي الثاني:

بعمل قطع $(L_3 - L_3)$ خلال الجزء الثاني حيث يقطع الاعضاء HG، HC، BC كما هو مبين في الشكل (d.7.7) للرسم البياني لمخطط الجسم الحر.

وبما أن مقدار القوة F_{BC} وجدت قيمته إذا يبقى معرفه مقدار القوة HG، HC. أن توازن القوى في الاتجاه الرأسي يعطي:-

$$\sum F_y \uparrow = 0;$$

$$30 - 20 - F_{HC} \sin \theta = 0$$

وعليه فإن

$$F_{HC} = \frac{10}{\sin \theta} = 10\sqrt{2} \text{ kN}$$

اما توازن القوى في الاتجاه الافقي فيعطي:

$$\sum F_x \rightarrow = 0;$$

$$-F_{HG} - F_{HC} \cos \theta - F_{BC} = 0$$

فيكون

$$\begin{aligned} F_{HG} &= -(F_{BC} + F_{HC} \cos \theta) = -(30 + 10\sqrt{2} \times \frac{1}{\sqrt{2}}) \\ &= -40 \text{ kN} \end{aligned}$$

تدل الاشارة السالبة على حصول انضغاط في العضو HG.

وبما أن احمال الجمالون متماثلة حول العضو CG فإن القوى في FE، DE، FD، CD، CF، GF لخط التماثل. ويكون العضو CG منطبقاً على خط التماثل، ولا تكن هناك قوة على طول خط التماثل لذلك فإن $F_{CG} = 0$. كما يمكن الحصول على نفس القيمة بعمل قطع اختياري يمر حول المفصل G يقطع الاعضاء GF، GC، GH كما في الشكل (e.7.7) والذي يمثل الرسم البياني لمخطط الجسم الحر للمفصل حيث ينتج من توازن القوى في الاتجاه الرأسي أن: $F_{CG} = 0$

2.4.7 طريقة المفصلات (Method of Joints)

لقد ذكرنا سابقاً بأنه تم افتراض جميع اضلاع الجمالون من نوع الاضلاع ثنائية القوى، وأن هذه القوى تتنقل فيها بشكل محوري. وهذا يعني أن مخطط الجسم الحر (F.B.D) لأي مفصل و عبارة عن مجموعة قوى متلاقية في حالة اتزان.

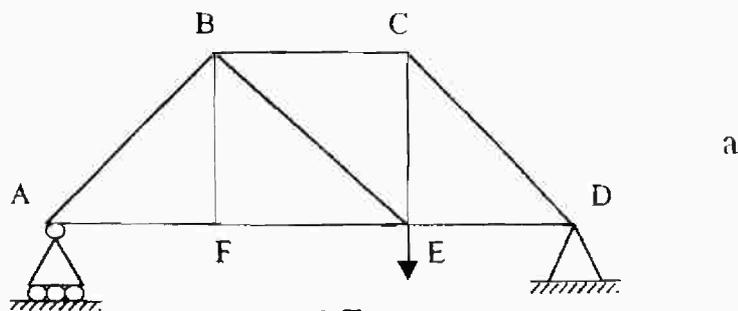
أن طريقة التحليل للجمالونات بطريقة المفاصل مبنية اساساً على أعداد الرسم البياني لمخطط الجسم الحر لكل مفصل من مفاصل الجمالون على حدة. ثم تستخدم شروط التوازن للقوى المؤثرة في محور الاتصال للاعضاء وعند ذلك المفصل، وأعتماًداً على ذلك فإن هذه الطريقة تستخدم عند اتزان القوى المتلاقية، ويجب أن يختار تتابع التحليل بحيث يتضمن فقط معادلتى اتزان مستقتين.

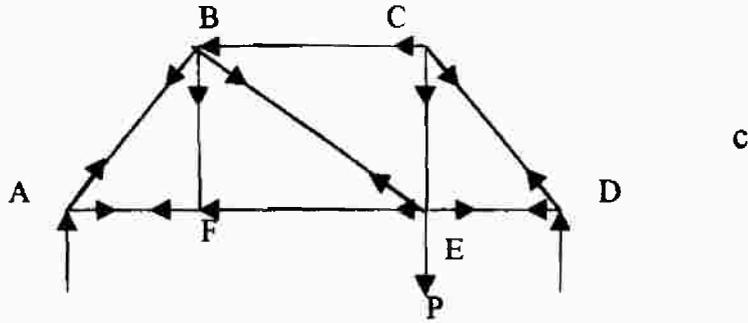
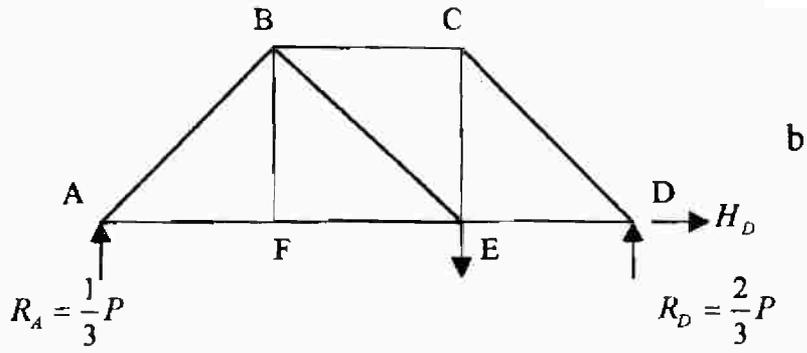
تبدأ العملية عادة بعد إيجاد ردود الأفعال في المساند. حيث نبدأ بتحليل مفصل معين ونجد القوى المؤثرة فيه، وبعد ذلك يصبح تأثير هذه القوى على المفاصل المجاورة معلوماً. ثم نستمر بأخذ مفصل آخر لا تزيد القوى المجهولة فيه عن اثنين وهكذا نأخذ المفصل تلو الآخر وصولاً الى معرفة جميع القوى في الاضلاع التي كانت جميعها مجهولة قبل بدء الحل.

في الرسم البياني لمخطط الجسم الحر لاي مفصل، القوة في الضلع تكون شداً اذا كان السهم الذي يمثلها متجهاً من النقطة نحو الخارج، وتكون القوة ضغطاً اذا كان السهم الذي يمثلها متجهاً نحو النقطة أي نحو المفصل.

ويمكن تمثيل القوى في اضلاع الجمالون الموضح في الشكل (a.8.7)، حيث من الواضح انه بالإمكان دراسة كل مفصل من مفاصل الجمالون، ورسم مخطط الجسم الحر لكل واحد منها وإيجاد مقدار وطبيعة القوة التي يتحملها أي من اضلاع الجمالون بسبب تأثير الحمل الخارجي (P)، كما هو مبين في الشكل (c.b.8.7).

أحياناً نواجه صعوبة في تحديد طبيعة القوة في ضلع ما سواءاً كانت ضغطاً أم شداً. وفي مثل هذه الحالة يمكن افتراض أي من النوعين (الشداً أو الضغط) والاستمرار بالتحليل. وسنلاحظ بعد ذلك ان قيمة القوة ستكون موجبه فيما اذا كانت الفرضية صحيحة. ما اذا كانت الفرضية خاطئة فإن القوة في الضلع ستظهر بعد التحليل بقيمتها الحقيقية ولكن بإشارة سالبة. وهذه الإشارة السالبة تعني أن طبيعة القوة في الضلع هي عكس المفروض في الحل في حين أن قيمة نفسها صحيحة.



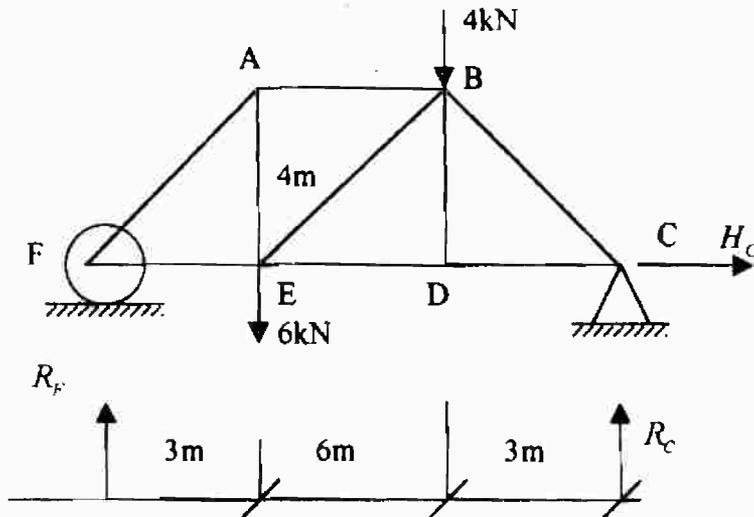


الشكل (8.7)

أن دراسة المثال رقم (2.7) سيوضح هذه الطريقة في تحليل الجملونات المختلفة وإيجاد القوى الداخلية التي تؤثر داخل اعضاء هذه الجملونات.

مثال (2.7)

الشكل (9.7) يبين جملون مسند اسناداً بسيطاً simply supported ، ومحمل باحمال خارجية. المطلوب تحديد القوى في الاعضاء المكونة للجملون بالابعاد المبينة في الشكل.



الشكل (9.7)

الحل:

كخطوة أولى دائما نقوم بإيجاد ردود الأفعال في المساند F,C وذلك برسم مخطط الجسم

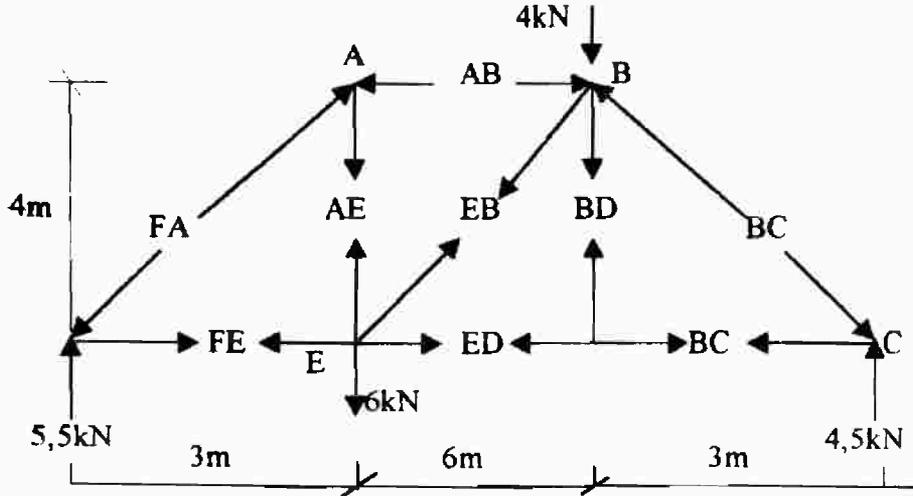
الحر للجمالون ككل ووضع معادلات الاتزان الثلاثة حيث:-

$$\begin{aligned} \sum F_x \rightarrow &= 0 ; H_c = 0 \dots\dots\dots (1) \\ \sum F_y \uparrow &= 0 ; R_f + R_c - 6 - 4 = 0 \dots\dots\dots (2) \\ \sum M_f \curvearrowright &= 0 ; -6 \times 3 + 4 \times 9 + R_c \times 12 = 0 \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

ومن المعادلات الثلاثة نجد أن:-

$$R_c = 4,5 \text{ kN} , R_f = 5,5 \text{ kN}$$

بعد أن وجدنا ردود الأفعال في المساند نقوم، كخطوة ثانية برسم المخططات الحرة (الطليقة) التي تبين القوى المؤثرة في كل مفصل من مفاصل الجمالون شكل (10.7). حيث نأخذ المفاصل بشكل متسلسل لكي نحدد الاتجاهات الصحيحة للقوى. ونحاول قدر الامكان أن نعين الاتجاه الصحيح للقوى وتجنب الاختيار العشوائي لذلك نختار المفصل C أو المفصل F حيث ان كل منهما قوتين مجهولتين ولدينا معادلتان للاتزان:



الشكل (10.7) تحديد القوى في المفاصل

1) المفصل (F):-

$$\begin{aligned} \sum F_y \uparrow &= 0 ; \\ 5,5 - \frac{4}{3} F_A &= 0 & F_A &= 6,88 \text{ kN.C} \end{aligned}$$

$$\sum F_x \rightarrow = 0 ;$$

$$FE - F_A \cos \theta = FE - 6,88 \left(\frac{3}{5} \right) = 0$$

$$FE = 4,13 \text{ kNT}$$

حيث ان الاشارات T،C تعني:-

-C يعني أن عضو الجمالون تؤثر عليه ضغط.

-T يعني أن عضو الجمالون تؤثر عليه قوة شد.

أي أن العضو F_A مضغوطاً من نهايته بقوة مقدارها (6,88 kN) بينما الضلع (FE) مسحوباً من نهايته بقوة مقدارها (4,13kN).

الآن ننتقل من المفصل F الى المفصل التالي والذي هو اما المفصل A أو المفصل E وحيث ان المفصل A تؤثر عليه قوتين AB، AE فنقوم بدراسته لان المفصل E تؤثر فيه ثلاثة قوى مجولة اضافة الى القوة FE التي حصلنا على قيمتها من حل المفصل السابق F.

(2) المفصل A :

بوضع شريطين الاتزان للقوى المؤثرة في المفصل A نحصل على الاتي:-

$$\sum F_x \rightarrow = 0 ;$$

$$6,88 \left(\frac{3}{5} \right) - AB = 0 \Rightarrow AB = 4,13 \text{ kNC}$$

$$\sum F_y \uparrow = 0 ;$$

$$6,88 \left(\frac{4}{5} \right) - AE = 0 \Rightarrow AE = 5,5 \text{ kNT}$$

وبعد معرفة القوة في الضلع AE يبقى لدينا قوتان مجولتان في المفصل E هما EB، ED وللحصول عليهما نضع شروط الاتزان للمفصل E كما يلي:-

$$\sum F_x \rightarrow = 0 ;$$

$$ED + EB \left(\frac{6}{7,21} \right) - 4,13 = 0$$

$$\sum F_y \uparrow = 0 ;$$

$$5,5 + EB \left(\frac{4}{7,21} \right) - 6 = 0 \Rightarrow EB = 0,9 \text{ kNT}$$

بالتعويض عن قيمة EB في $(\sum F_x)$ نحصل على قيمة ED حيث:

$$ED + 0,9 - 4,13 = 0 \Rightarrow ED = 3,38 \text{ kNT}$$

في رسم مضع القوى في الشكل (10.7) يجب التأكيد على ضرورة التتابع في رسم القوى فيكون الاتجاه اما مع حركة عقارب الساعة او بعكسها ولايجوز الاخلال بهذا التتابع او الترتيب لتجنب الوقوع في الخطأ.

نلاحظ الآن ان في المفصل (D) تؤثر ثلاث قوى وهي في حالة اتزان، حيث ان القوتين ED،DC على استقامة واحدة وان الاتزان في النقطة D يتحقق فقط اذا كانت هاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه أي أن:

$$DC = ED = 3,38kNT$$

وعند تطبيق معادلة الاتزان في الاتجاه العمودي (y) فإن القوة العاملة الوحيدة هي القوة في المضع BD.

$$\sum F_y \uparrow = 0;$$

$$BD + 0 = 0 \Rightarrow BD = 0$$

وهذا يعني ان العضو BD لا يتحمل أي قوى بسبب تأثير الاحمال الخارجية التي يتعرض اليها الجمالون.

يتبق علينا الآن ايجاد مقدار ونوع القوة في المضع BC، ويمكننا معرفة ذلك بدراسة المفصل C أو المفصل B.

أما اذا اردنا التأكد من الحل في جميع مراحلنا فعلينا اخذ المفصلين B،C وايجاد القوى المؤثرة فيهما وهذا سيؤدي الى حساب القوى في بعض الاضلاع مرتين، وان تطابق النتائج يدل على صحة الحل.

أما عدم تطابق النتائج فإنه يدل على ان هناك خطأ ما ويتوجب عندئذ مراجعة الحل لاكتشافه واعادة تصحيحه.

والان لو اخذنا المفصل C فيمكننا ايجاد القوة BC من أي من معادلتى الاتزان

$$\sum F_x \rightarrow = 0;$$

$$BC \left(\frac{3}{5} \right) - 3,38 = 0 \Rightarrow BC = 5,63kNC$$

أو بالاماكن ايجاد القوة في العضو BC كما يلي:-

$$\sum F_y \downarrow = 0$$

$$4,5 - BC \left(\frac{3}{4} \right) = 0 \Rightarrow BC = 5,63kNC$$

كذلك من المفصل B نستطيع ايجاد قيمة BC للتأكد من الحل:-

$$\sum F_y \uparrow = 0;$$

$$4 + 0,9 \left(\frac{4}{7,21} \right) - BC \left(\frac{4}{5} \right) = 0 \Rightarrow BC = 5,63 \text{ kN}$$

أذا الحل صحيح.

في اثناء الحل يفضل وبعد ايجاد القوى في الاعضاء تأشير ذلك على الرسم الاصلي للجمالون وذلك بوضع خط صغير يقطع الضلع المحسوب لمنع تكرار حسابه واختيار المفصل المناسب في خطوة الحل الالية.

وهكذا وبهذه الخطوات المتسلسلة والمتتابعة يتم تحليل الجمالونات المختلفة باستخدام طريقة المفاصل.

5.7 الهياكل الإنشائية (Frames)

هناك الكثير من المنشآت التي تتألف من عدة اعضاء تكون واقعة في مستوى واحد، ومرتبطة مع بعضها البعض ارتباطا يجعلها منظومة مشابهة لتركيب الجمالونات ولكنها ليست بجمالونات، ويطلق على هذه المنشآت "الهياكل الإنشائية" وتكون هذه الهياكل عادة ثابتة، وتستخدم لأسناد الاحمال.

أن الهياكل الإنشائية لا يمكن تحليلها باستخدام طريقة المقاطع أو طريقة المفاصل كالجمالونات، وذلك لسبب اساسي وهو أن القوى المؤثرة عليها لا تؤثر في نقاط الربط (المفاصل) فقط كما في حالة الجمالونات ، انما قد تؤثر في أي موقع آخر بين نهايتي الاعضاء، مما يجعل هذه الاعضاء خاضعة لاكثر من قوتين وبالتالي يكون من غير الممكن استخدام طريقة حل الجمالونات لحل مثل هذه المنشآت.

5.7 تصميم وتحليل الهياكل الإنشائية.

أن الاضلاع المكونة للهياكل الإنشائية تسمى بالاضلاع الانحنائية المتصلة مع بعضها بواسطة مسمار (محور).

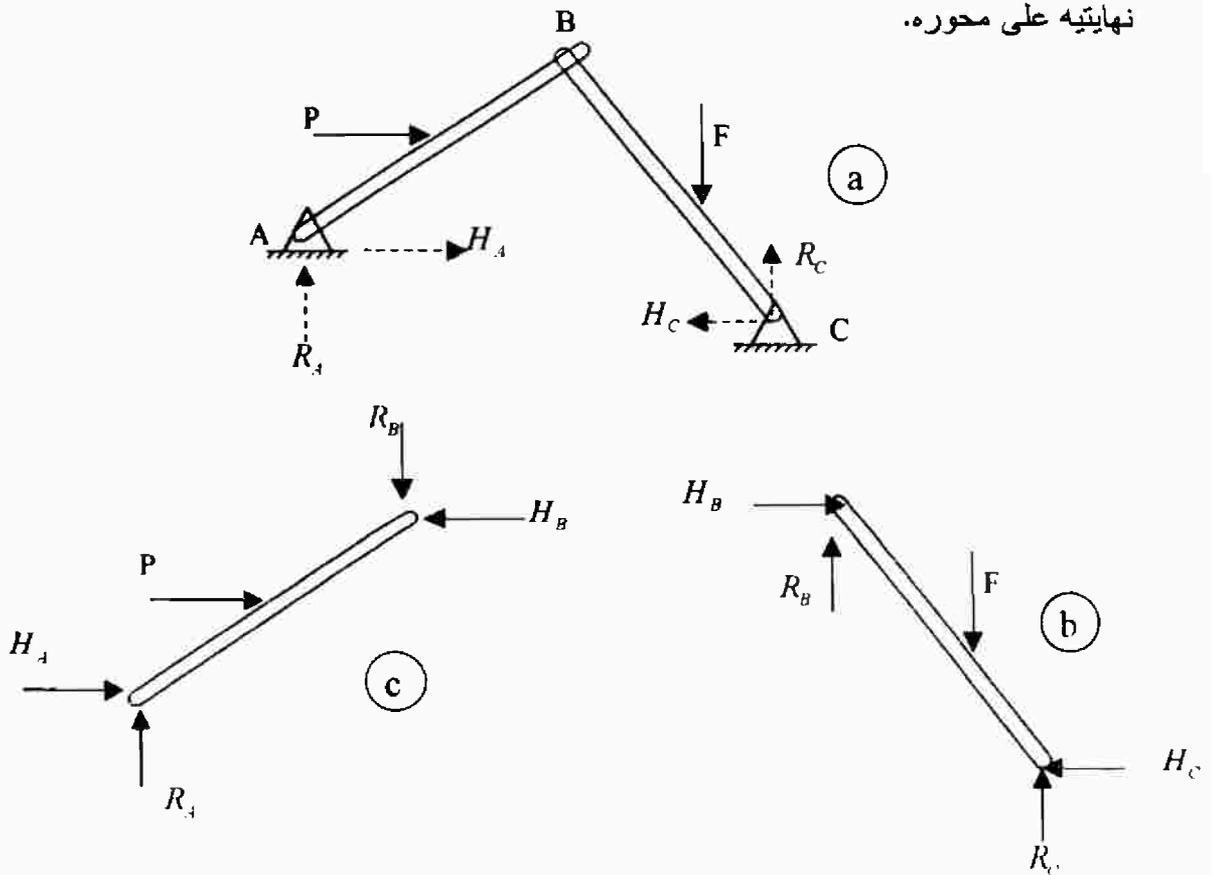
وتسمى بالاضلاع الانحنائية وذلك لانها تخضع بالاضافة الى قوى الشد أو الضغط ، الى انحناء. أي بمعنى آخر أن الحمل الخارجي المسلط يؤدي عادة الى حني الاضلاع كما اشرنا سابقاً، والهياكل من هذا النوع لا تكون فيها قوى در فعل والفعل منطبقة على حماور الاضلاع كما في الجمالونات. ولهذا فعند تحليل هذه المنشآت يجب تطبيق شروط الاتزان

على كل عضو من اعضاء الهيكل على حده بدلاً من تطبيق شروط الاتزان على المفاصل كما في الجمالونات.

أن الطريقة المتبعة في تحليل الهياكل تسمى "طريقة الاعضاء" والتي تقابل طريقي المفاصل في الجمالونات، كما أن الطريقة العامة في تحليل المنشآت الهيكلية الخاضعة لحمل معين هي تعيين مقادير واتجاهات القوى التي تنتقل من ضلع الى آخر بواسطة المفصل أو تعيين المركبات القائمة لهذه القوى في كثير من الحالات.

تحليلياً نعزل كل ضلع من اضلاع الهيكل، بإزالة التوصيلات بالمحاور عند المفاصل واعتبار كل عضو كجسم جاسئ مستقل. وبعد ذلك يمكن ايجاد القوى المؤثرة عند المفاصل باستخدام معادلات الاتزان للرسم البياني لمخطط الجسم الحر لكل عضو.

لنأخذ مثلاً الهيكل ذو المفاصل الثلاثة ABC المبين في الشكل (11.7) حيث يتكون الهيكل من ضلعين AB، AC متصلين مع بعض في المفصل B، وبما أن كل ضلع خاضع لقوة تؤثر عليه في نقطة بين نهايتيه فهو إذن خاضع للانحناء، ولاتطبيق القوتان الواقعتان في نهايتيه على محوره.



الشكل (11.7)

أي أننا لا نستطيع أن نعين اتجاه رد الفعل في A، C ولهذا نقوم بتمثيل ردود الأفعال بمركباتها القائمة. H_A, R_A, H_C, R_C ما هو مبين في الشكل (a.11.7) نلاحظ أنه عند دراسة الهيكل كله بدون تجزئة ان المنشئ يتأثر بمنظومة من القوى الواقعة في مستوى واحد تحتوي على اربعة مجاهيل. وأن عدد معادلات الاتزان المستقلة المتاحة هي ثلاث فقط. ولذا تصبح المسألة غير محددة استاتيكيًا.

ولحل هذه المسألة نقوم بفصل الضلعين في المفصل B وتغزل كل منهما بوضعه جسمًا حرًا (الشكل c.b.11.7) وهكذا نلاحظ انه باستخدام هذه العملية قد اضعنا الى القوى المجهولة مركبتين قائمتين H_B, R_B تمثلان القوة المنقولة من أحد الضلعين الى الاخر خلال المفصل B. وليس هناك فرق لدينا أي اتجاه تتخذه المركبتان H_B, R_B ما دامتا متعاكستين في الجسمين الطليقين. فاذا كان فرض الاتجاه خطأ. فإن النتيجة بعد الحل ستظهر بإشارة سالبة والتي بدورها تعني أن اتجاهها بعكس الاتجاه المفروض.

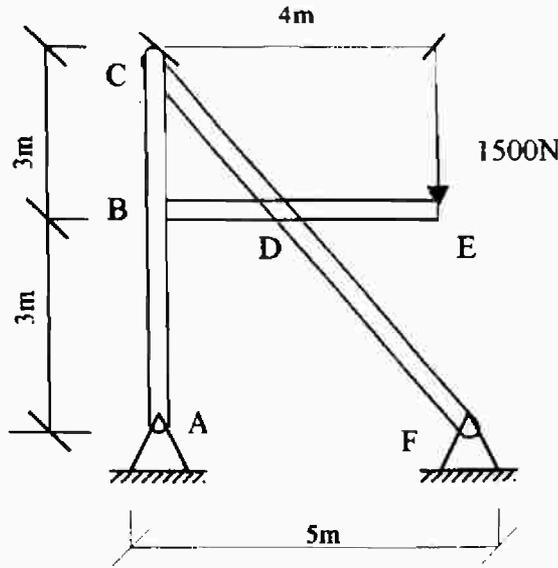
بعد رسم مخططات الجسم الحر (الشكل c.b.11.7) يتبين لدينا ستة مجاهيل، عندئذ يمكن القول أن المسألة اصبحت محددة استاتيكيًا حيث هناك ست معادلات يمكن بها حل المجاهيل الستة، حيث يتم حساب جميع المركبات وبعد ذلك يتم حساب مقادير القوى في كل مفصل وتعين اتجاهاتها.

ولتسهيل حل هذا العدد من المعادلات يتوجب علينا عند كتابة هذه المعادلات البحث عن نقاط معينة كمراكز عزوم بحيث نتوخى الغاء تأثير عدد من المجاهيل.

مثال (3.7)

أحسب ردود الافعال في (A) ، (F) والقوة المسلطة على المفصل (D) للهيكل الانشائي

المبين في الشكل (12.7)



الشكل (12.7)

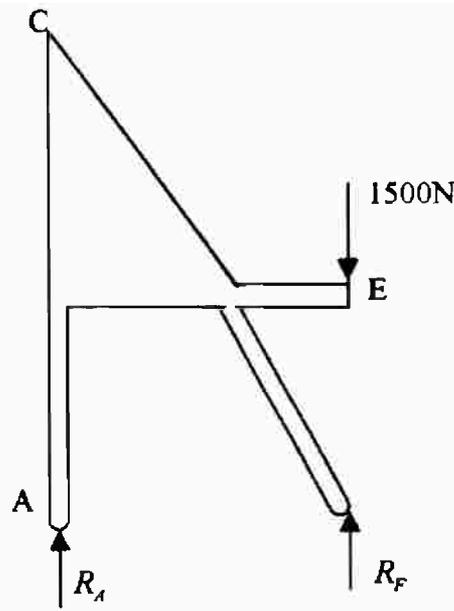
الحل:-

من الواضح أن الاضلاع الثلاثة المكونة للهيكل تشكل وحدة جاسئة يمكننا دراستها على هذا الاساس.

نقوم برسم مخطط الجسم الحر لكل الهيكل كما هو مبين في الشكل (13.7) ووضع شروط الاتزان وذلك لاجاد ردود الافعال الخارجية حيث

كما نلاحظ بأن مركبتي رد الفعل في المساند الافقية تساويان الصفر أي أن

$$(H_A = H_B = 0)$$



الشكل (13.7) مخطط الجسم الحر للهيكل.

والان نقوم بتجزئة الهيكل ونرسم مخطط الجسم الحر لأضلاعه لمعرفة القوة في المفصل D كما في الشكل (14.7). حيث نلاحظ أن ترتيب رسومات الاجزاء يمثل بصورة تقريبية امكانها الحقيقية في الهيكل وذلك لتسهيل تصور قوى الفعل ورد الفعل بين الاجزاء المتصلة كما ونلاحظ ان ردود الافعال التي سبق ايجاد قيمها يتم ايضا وضعها في امكانها في مخططات الاجسام الحرة كما هو مبين على الجزء CF وكذلك وضع الحمل المسلط 1500N في المكان الذي يؤثر فيه على الجزء BDE، كما يجب تأشير مركبات القوى المجهولة على المخططات حيث يتم فرض اتجاهاتها بشكل عشوائي مع مراعاة توافقها مع القوى الاخرى المؤثرة على الجزء.

وعند تطبيق معادلات الاتزان على الجزء BE في الشكل (15.7) نحصل

$$\sum M_B = 0 ;$$

$$-1500(4) + R_D(1,5) = 0 \Rightarrow R_D = 2400N$$

وبالنسبة للجزء CF

$$\sum M_C = 0 ;$$

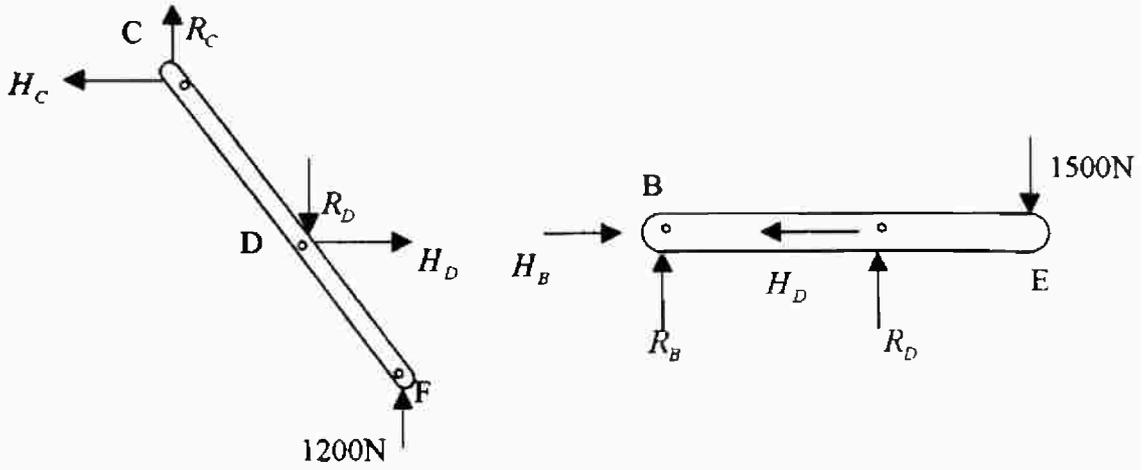
$$-2400(2,5) + H_D(3) + 1200(5) = 0$$

$$\Rightarrow H_D = 0$$

وعليه يكون رد الفعل في نقطة D

$$R_D = 2400N \uparrow$$

ويكون اتجاه الفعل R_C الى الاعلى كما هو مؤشر في المخطط.



الشكل (14.7) مخططات الاجسام الحرة لاجزاء الهيكل

وهكذا حصلنا باستخدام تجزئة الهيكل الى اجزاء حيث تم بعد دراسة اتزان كل جزء من هذه الاجزاء الحصول على القوة المسلطة عند المفصل D حيث أن هذه القوة تؤثر الى الأعلى.

من دراسة المثال السابق يمكننا استنتاج واتباع الخطوات التالية اللازمة لتحليل ردود فعل

الهيكل:

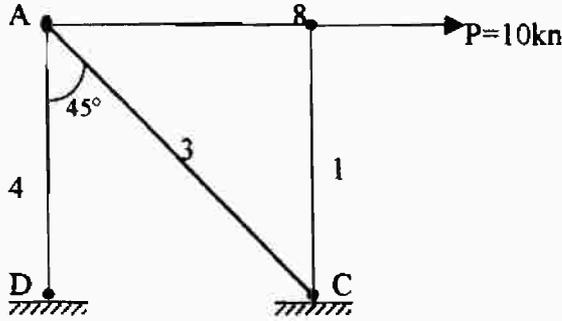
1. يرسم الرسم البياني الحر للهيكل ككل، وتستخدم المعادلات الثلاثة للاتزان لإيجاد ردود الافعال الخارجية قدر الامكان.

2. أن القوى المشتركة لعضوين، تؤثر بمقادير متساوية ولكن باتجاهات متعاكسة على الرسم البياني للجسم الحر لهذه الاعضاء. تذكر أن الاعضاء ثنائية القوة، تؤثر عليها قوة واحدة غير معلومة، أي أن القوة تؤثر على طول خط يصل بين نقاط نهاية العضو. وفي كثير الحالات يمكن تعيين الاتجاه الذي تؤثر فيه القوى الغير معلومة بالملاحظة أو بالخبرة، واذا تعذر ذلك فيمكن فرض الاتجاه مبدئياً.

3. تستخدم معادلات الاتزان الثلاث لمجموعة القوى الميينة على الرسم البياني لمخطط الجسم الحر (F.B.D) لكل عضو لإيجاد القوى الغير معلومة. وكما اشرنا سابقاً اذا وجد أن مقدار القوة الغير معلومة كمية موجبة، فإن ذلك يدل على أن الاتجاه المفروض صحيح، ويعكس الاتجاه اذا كانت الكمية سالبة.

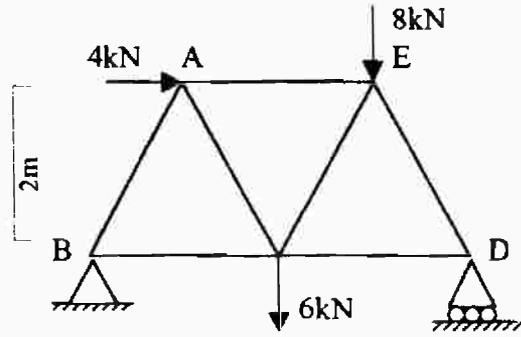
تمارين (7)

س1:- عين القوى الناشئة في قضبان الجمالون المبين في الشكل (15.7) من فعل القوى الأفقية $P=10\text{kN}$.



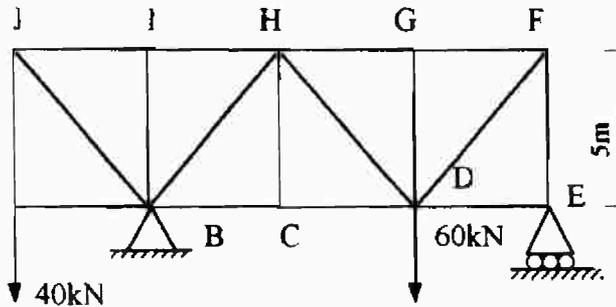
الشكل (15.7)

س2:- حدد القوى في كل من اضلاع الجمالون بفعل تأثير الحمولات الخارجية المبينة في الشكل (16.7)



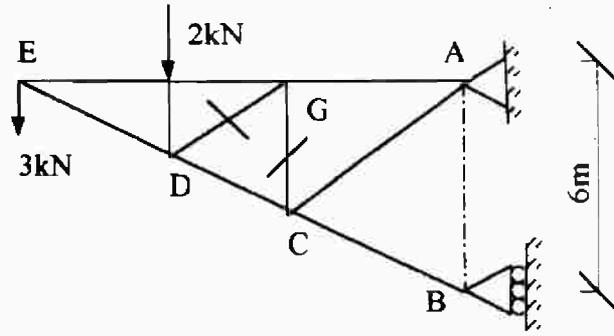
الشكل (16.7)

س3:- أحسب القوى المؤثرة في الاعضاء GD, CD, BH للجمالون المؤثر عليه الاحمال $60\text{kN}, 40\text{kN}$. كما هو مبين في الشكل (17.7). عين ما اذا كانت الاعضاء في حالة شد أو أنضغاط.



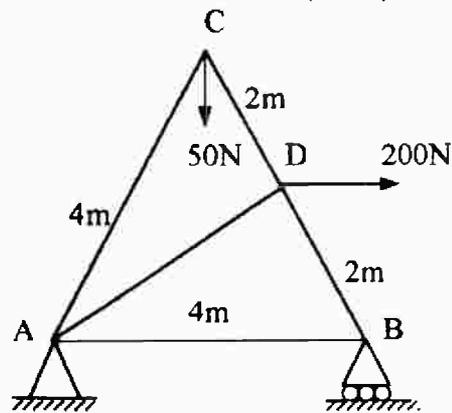
شكل (17.7)

س4:- أوجد القوة في كل من الضلعين GD, CG للجمالون المبين في الشكل (18.7).



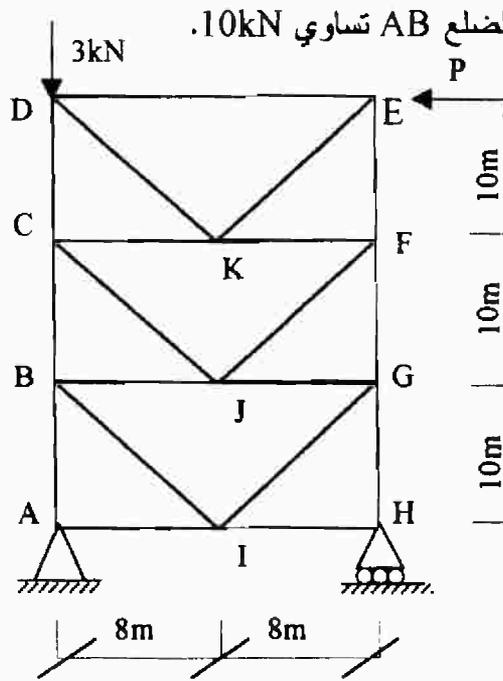
الشكل (18.7)

س5:- ما قيمة القوة في الضلع AD الناتجة من تأثير القوى الخارجية المسلطة على الجمالون الموضح في الشكل (19.7)



الشكل (19.7)

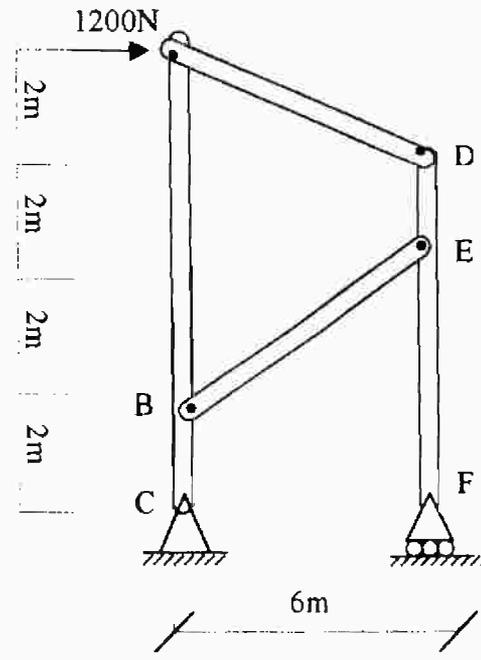
س6:- احسب قيمة القوة P، وكذلك القوة في الضلع EF للمسنم المبين في الشكل (20.7)



الشكل (20.7)

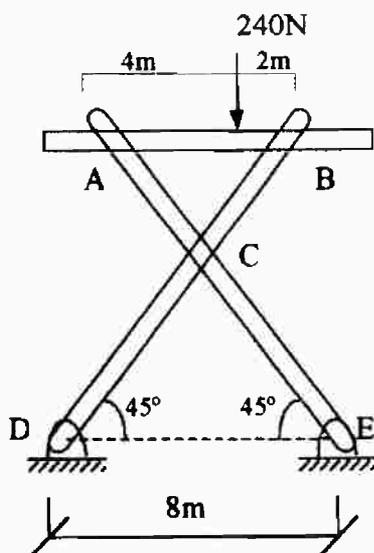
س7:- أحسب القوى المؤثرة على الاضلاع العمودية (الشاقولية) AC، DF في الهيكل المبين

في الشكل (21.7)



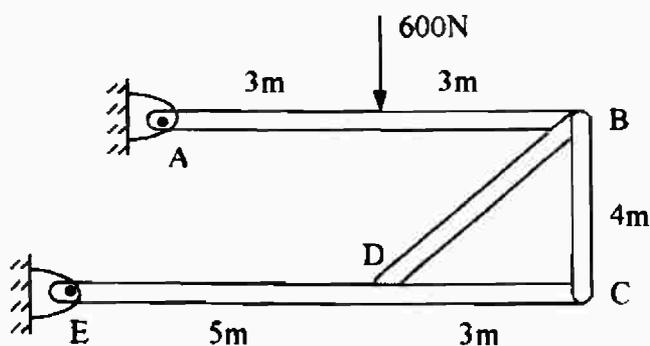
الشكل (21.7)

س8:- الهيكل المبين في الشكل (22.7) يستند الى مفصل في E وعجلة في D. عين المركبتين الافقية والشاقولية للقوة في المفصل C والمؤثرة على الضلع BD.



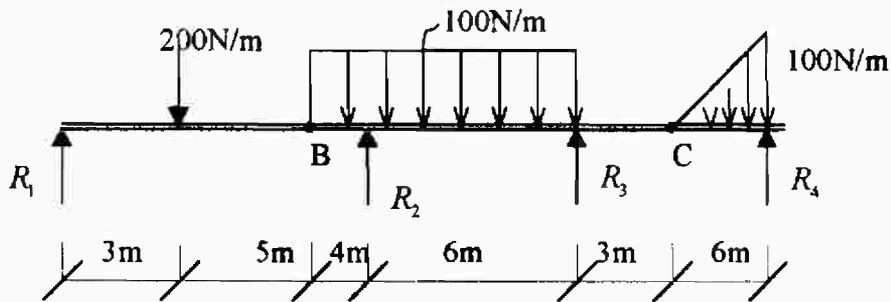
الشكل (22.7)

س9:- جد مركبات القوى في الضلعين BC، BD وكذلك في المفصلين A، E للهيكل المبين في الشكل (23.7).



الشكل (23.7)

س10:- عارضة أفقية تتألف من ثلاثة أجزاء تؤثر عليها الأحمال المبينة بالشكل (24.7).
 العارضة تستند إلى أربعة مساند عمودية وأجزائها الثلاثة تتصل بالمفصلين B, C
 جد قيم ردود الأفعال الأربعة.



الشكل (24.7)

المراجع

1. الميكانيكا للمهندسين ،، الاستاتيكا،، د. فاروق احمد البرقي - كلية الهندسة - جامعة بيروت العربية
2. الميكانيك الهندسي ،، علم السكون،، - د. فاهم فخري عبد القادر ، نجيب كامل عوض - الجامعة التكنولوجية - العراق 1991.
3. الميكانيك الهندسي - الجزء الأول - د. نزار جبرائيل الياس ، د. هشام مصطفى العنّاز / كلية الهندسة - جامعة الموصل 1990.
4. علم السكون. أ. وجيه القدسي. المطبعة التعاونية - دمشق 1976.
5. الميكانيكا - الكتاب الثاني. د/ علي محمد عوين. الجماهيرية الليبية العظمى - دار الجماهيرية للنشر والتوزيع والاعلان.
6. ميكنتيك المواد - أيان جون هيران - بريطانيا برمنكهام - ترجمة د. صلاح محمد جميل - جامعة الموصل 1989.

7. مسائل في الميكانيكا النظرية - !.ف.ميشرسكي (Me epcku .) روسيا-موسكو.
دار مير للطباعة والنشر 1977.

8. مبادئ ميكانيك الاجسام الصلبة - ايكوري بوبون - جامعة كاليفورنيا. ترجمة خزعل
يلسين محمود-العراق 1986.

10. تحليل الاجهادات ونظرية الانشاءات - د.عبد الفتاح ديوان - دار الراقب للنشر-
الاسكندرية 1986.

11. -Vector Mechanics for Engineers .11
(STATICS). Ferdinand P.Beer, E.Russell Johanson Second ed.,1990

12. "Engineering Mechanics Volume I-Static" .12
Meriam J.L. and L.G.Kraige. 2nd Edtion, SI-Version, John Wiley and
Sons, New York 1987.