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

obeikandi.com

obeikandl.com

1.7 مقدمة

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 كان 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 وايجاد القوى المجهولة المطلوب ايجادها.

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

وسنتطرق في هذا الباب فقط الى المنشئات المحدده استاتيكياً، 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 انوع من تلك المنشئات منها: الجمالونات (المسنمات) -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 نماذج معروفة للجمالونات.

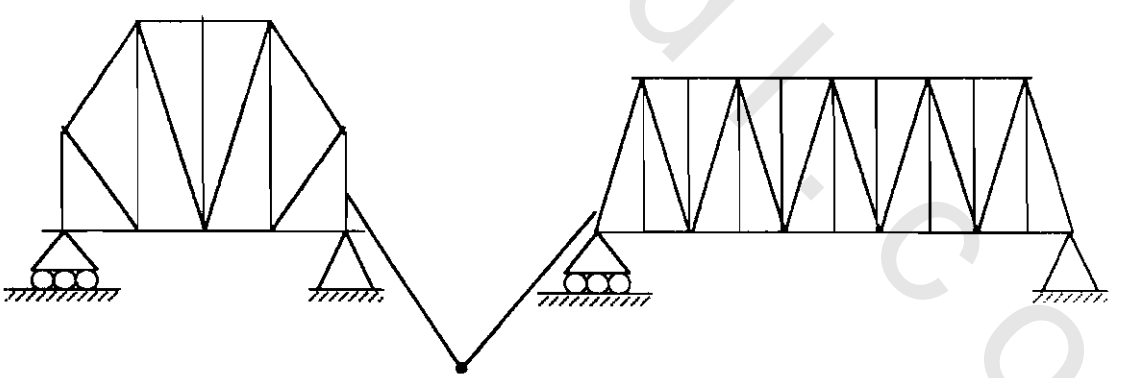
تكون اعضاء الجمالون عادة عبارة عن عتبات لها مقاطع على شـــكل حـرف (I) أو زوايا ( ) angles أو ساقية (ـــ) channels أو اشكال خاصة اخرى ترتبط مـــع بعضـــها البعض. وعندما تقع اعضاء الجمالون في مستوى واحد، فإن هـــذا الجمـــالون يطلـــق عليـــه "الجمالون المستوي" ومثال على ذلك الجمالونات المستخدمة في الجسور حيث تصمـــم عـــادة كأزواج بوضع جمالون واحد على كل جهة من جهتي الجسر ويربط بينهما بواســـطة عتبـــات عرضية تسند ارضية الطريق وتنقل الاحمال الى اضلاع الجمالون.

اما الحسابات فتتم بتحليل القوى، على فرض أن:-

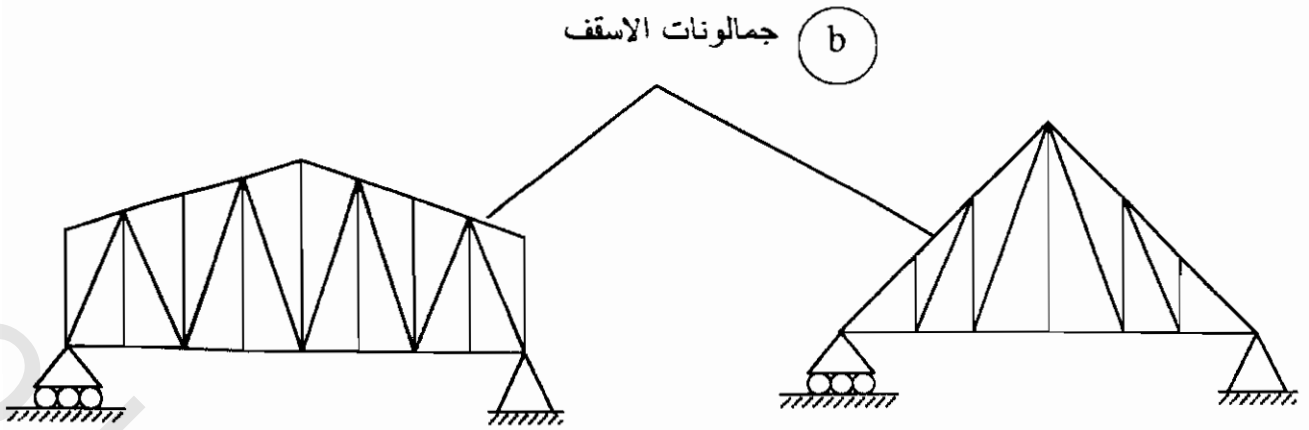
تكون الاعضاء متصلة مع بعضها البعض بمفاصل ملساء عند نهايتها فقط، وعلى فـــرض أن وزن كل عضومن اعضاء الجمالون موزعاً بالتساوي على المفاصلين عند نهايتيه، وبذلـــك يمكن اعتبار اعضاء الجمالون اعضاء خفيفة، وأن القوى الخارجية تؤثر على المفاصل فقـــط. اما المفصل (Hinge Joint) الاملس فيمكن اعتباره كمسمار اســـطواني يدخـــل فـــي ثقـــوب اسطوانية في الاجسام بحيث يدور كل جسم من الاجسام حول المسمار دون أي احتكاك.

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

الشكل (b,a .1.7) –يوضح انواع وامثلة مختلفة لبعض الجمالونات التي يمكـــن تحليلـــها كجمالونات مستوية



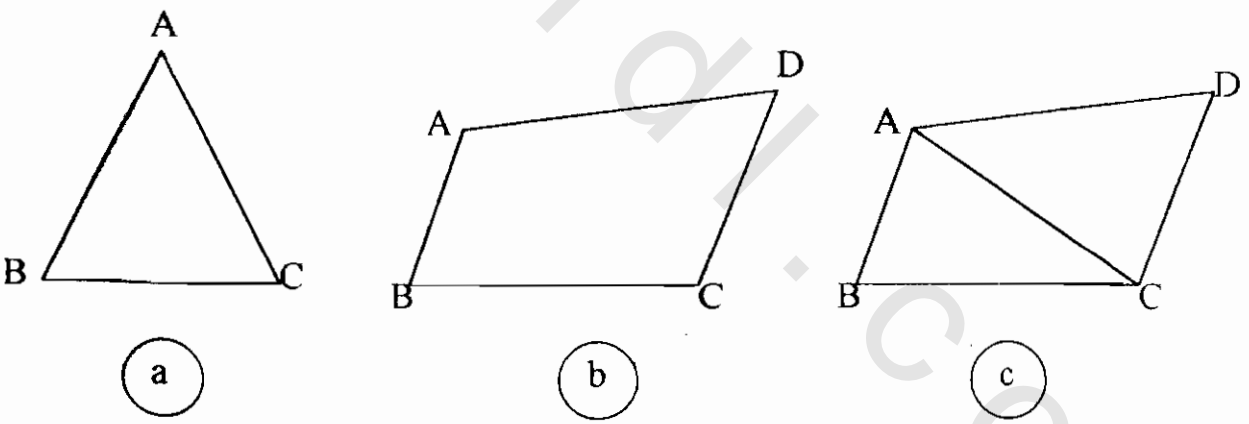
a جمالونات الجسور



الشكل (1.7) انواع الجمالونات

أن وحدة الجمالون المستوي هو الشكل المثلث ، حيث أن القاعدة الاساسية 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 هيكلاً مثلثاً جاسئاً يشكل فيه كل عضو احد اضلاع المثلث.

لو كانت اضلاع الشكل أكثر من ثلاثة كأن 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).



شكل (2.7) اشكالاً توضيحية لاستقرارية وعدم استقرارية الجمالونات

3.7 تصميم الجمالونات (Design of Trusses)

يتم تصميم الجمالونات اعتماداً على:

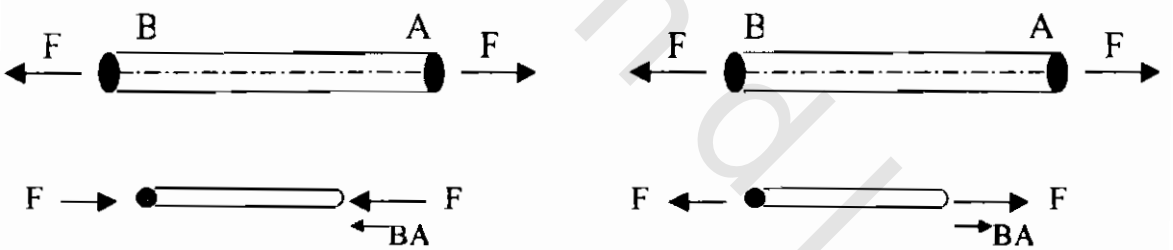
1.تحديد القوى المختلفة التي تؤثر على اعضاء الجمالون.

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.

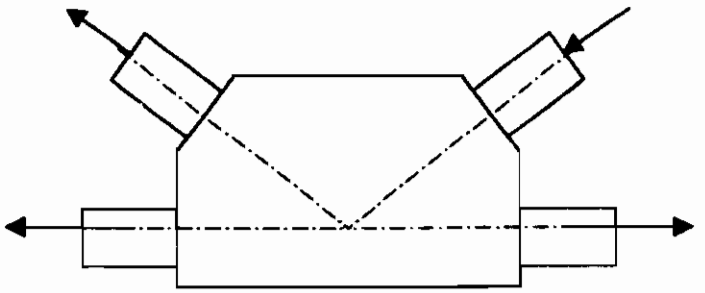


الشكل (3.7)

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 منها 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 (المفـــاصل) غالباً صحيحاً أذا كانت خطوط المحاور للاعضاء المتلاقية عند نقطة الوصل كمـــا يبيـــن 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 داخـــل الاعضـــاء المكونـــة للجمالونـــات البسيطة تستخدم طريقتان وهما الطريقة الاولـــى: بـــاجراء التحليـــل بطريقـــة المقـــاطع (method of sections)، اما الطريقة الثانية فهي تعتمد علـــى دراســـة حالـــة اتـــزان المفاصل وتسمى طريقة المفاصل (method of joints)، وفي كلتا الطريقتين نقوم برســـم 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)

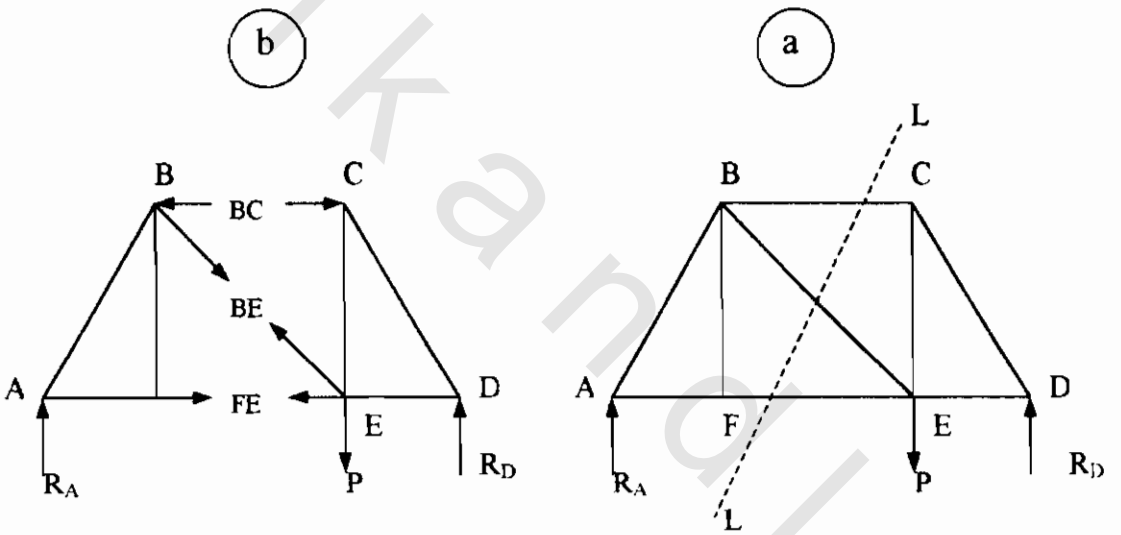
يمكننا ايجاد القوى المؤثرة على جميع اعضاء الجمالون باستخدام هذه الطريقـــة، ويتـــم ذلك بعمل قطع يمر خلال الجمالون فيقطعه الى جزئين. فاذا كان الجمالون الكامل فـــي حالـــة توازن، فعندئذ يجب أن يكون من الجزئين في حالة توازن ايضا. وبعد قطع الجمـــالون يمكـــن اخذ احد الجزئين وعمل الرسم البياني لمخطط الجسم الحر له (F.B.D).

من المعروف أن معادلات التوازن للجسم هي ثلاثة فقط ولهذا يجـــب ان لايمـــر القطـــع خلال اكثر من ثلاثة اعضاء تكون القوى فيها غير معلومة حتى نتمكن بعد ذلـــك مـــن ايجـــاد

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 مبينان 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 تأشير القوى في الاضلاع غير المقطوعة على اعتبار انها قوى داخلية بالنسبة لمخطط الجسم الحر.

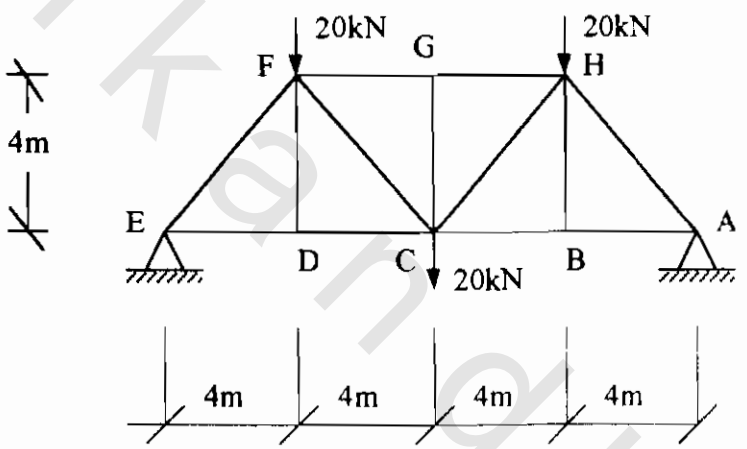
ولغرض الحل نستفيد من معادلة العزوم بالنسبة لنقطة تلاقي قوتين مجهولتين. حيث في المثال السابق يمكن ان نأخذ العزم في النقطة B حيث المجموع الجبري لعزوم القوى المؤثرة على الجزء الايسر بالنسبة الى النقطة B يساوي صفراً . وهذا يعني أن تأثير القوتين المجهولتين BC، BE يساوي صفراً ويبقى فقط تأثير القوة FE وتأثير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

أن معادلات العزوم في طريقة المقاطع تعتبر طريقة عملية وذو فوائد كبيرة، فأختيار 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 ايجاد القوى المؤثرة في الاعضاء التي يتركب منها الجمالون.



الشكل (6.7)

الحل:

يمكن تقدير القوى في جميع اعضاء الجمالون حسب طريقة المقاطع بعمل قطاعلات $(L_1 - L_1)$ ، $(L_2 - L_2)$ ، $(L_3 - L_3)$ 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 A ، E 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 الافقـــي لـــذا فإن

$H_A=0$

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

كما أشرنا سابقاً لأيجاد القوى في جميع اعضاء تركيبة الجمالون نقوم بعمل القطاعـــــات 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 هيكلي مقطوع كما يلي:

1.القوى في أعضاء الجزء الهيكلي الاول 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 الجـــزء AB. توجـــد فقـــط قوتين مجهولتين في الرسم البياني للجسم الحر. وعلي فإن اتزان القوى في الاتجـــــاه الرأســـي يعطي:

$$\sum F_y \uparrow^{+} = 0 \text{ و}$$

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

ومنه

$$F_{AH} = \frac{-30}{\sin\theta} = -\left(\sqrt{2}\right)\times 30$$

$$= -42.4\,kN$$

اما التوازن لهذه القوى في الاتجاه الافقي:

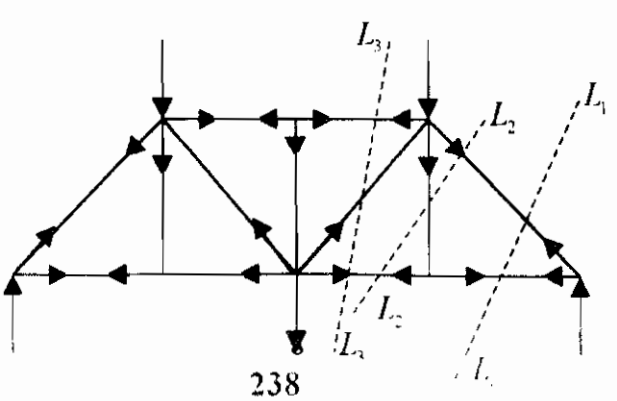
$$\sum F_x \longrightarrow = 0\,;$$

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

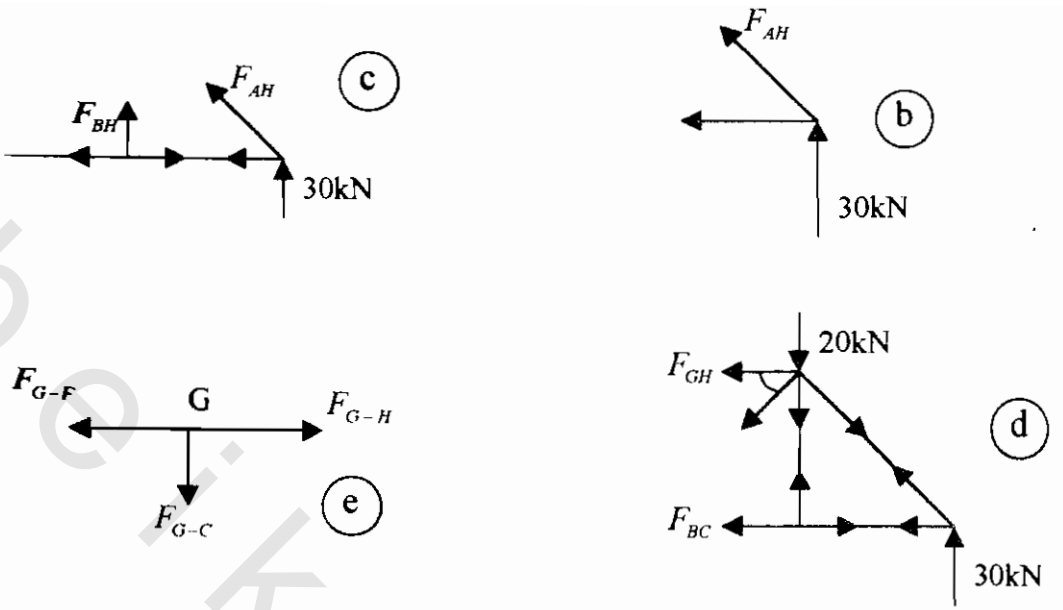
$$F_{AB} = -F_{AH}\cos\theta = +\sqrt{3}\times 30\times\frac{1}{\sqrt{2}} = 30kN$$

2.القوى في العضو الرأسي BH:

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



a



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 (c.7.7).

أن التوازن في الاتجاه الرأسي (العمودي) يعطي:-

$$\sum F_y \uparrow^{+} = 0,$$

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

وعليه

$$F_{BH} = -30 - F_{AH} \sin\theta = -30 - (-42.4)\frac{1}{2\sqrt{2}}$$

$$= -30 + 0 = 0$$

أما التوازن في الاتجاه الافقي:-

$$\sum F_x \xrightarrow{+} = 0 \ ;$$

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

$$\therefore F_{BC} = -F_{AH} \cos\theta = -(-42.4) \times \frac{1}{2\sqrt{2}} = 30kN$$

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 اذاً 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

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

اما توازن القوى في الاتجل الافقي فيعطي:

$$\sum F_x \xrightarrow{+} = 0;$$

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

فيكون

$$F_{HG} = -(F_{BC} + F_{HC}\cos\theta) = -(30 + 10\sqrt{2} \times \frac{1}{\sqrt{2}})$$

$$= -40kN$$

تدل الاشارة السالبة على حصول انضغاط في العضو HG.

وبما أن احمال الجمالون متماثلة حول العضو CG فإن القوى في GF،CF،CD،FD،DE،FE متطابقة بالتساوي لتلك الاعضاء المناظرة على الجانب الايمن لخط التماثل. ويكون العضو CG منطبقاً على خط التماثل، ولاتكن 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: $F_{GC} = 0$

2.4.7 طريقة المفاصل (Method of Joints)

obeikandl.com

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

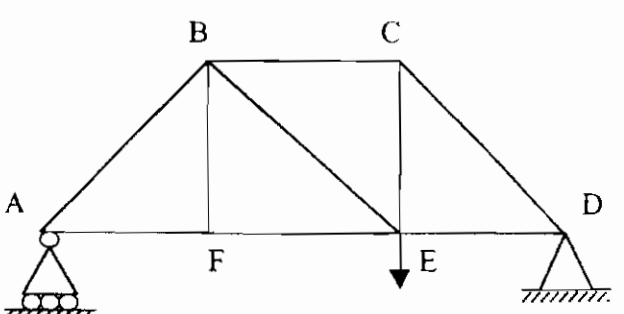
أن طريقة التحليل للجمالونات بطريقة المفاصل مبينة اساساً على أعداد الرسم البياني لمخطط الجسم الحر لكل مفصل من مفاصل الجمالون على حدة. ثم تستخدم شروط التوازن للقوى المؤثرة في محور الاتصال للاعضاء وعند ذلك المفصل، وأعتماداً على ذلك فإن هذه الطريقة تستخدم عند اتزان القوى المتلاقية، ويجب أن يختار تتابع التحليل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

تبدأ العملية عادة بعد أيجاد 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 أخر لا تزيد القوى المجهولة فيه عن اثنين وهكذا نأخذ المفصل تلو الاخر وصولاً الى معرفة جميع القوى في الاضلاع التي كانت جميعها مجهولة قبل بدء الحل.

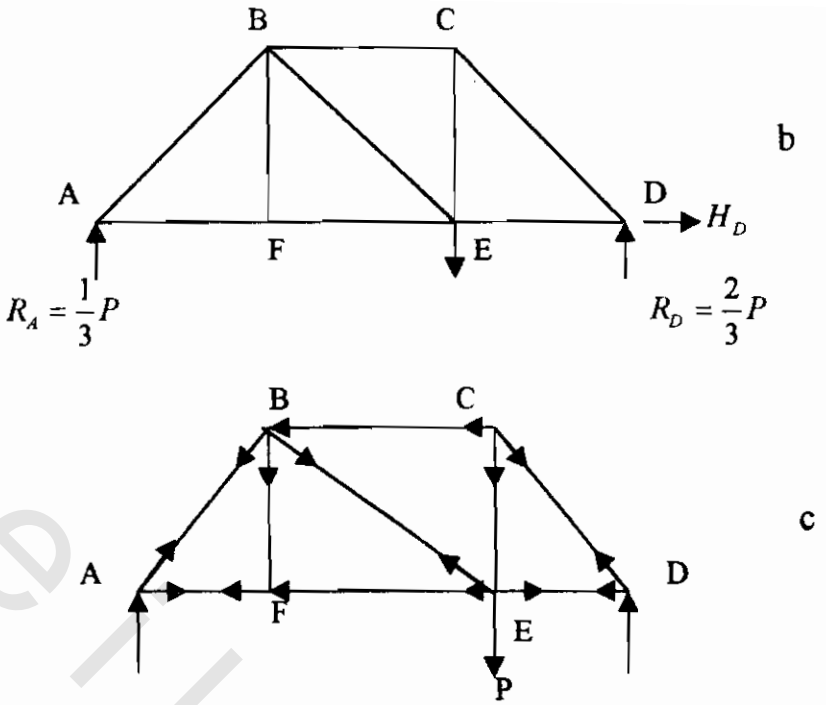
في الرسم البياني لمخطط الجسم الحر لاي مفصل، القوة في الضلع تكون شداً اذا كان السهم الذي يمثلها متجهاً من النقطة نحو الخارج، وتكون القوة ضغطاً اذا كان السهم الذي يمثلها متجهاً نحو النقطة أي نحو المفصل.

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

أحيانا نواجه صعوبة في تحديد طبيعة القوة في ضلع ما سواءاً كانت ضغطاً أم شداً. وفي مثل هذه الحالة يمكن افتراض أي من النوعين (الشد 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 باشارة سالبة. وهذه الاشارة السالبة تعني أن طبيعة القوة في الضلع هي عكس المفروض في الحل في حين أن قيمة نفسها صحيحة.



a

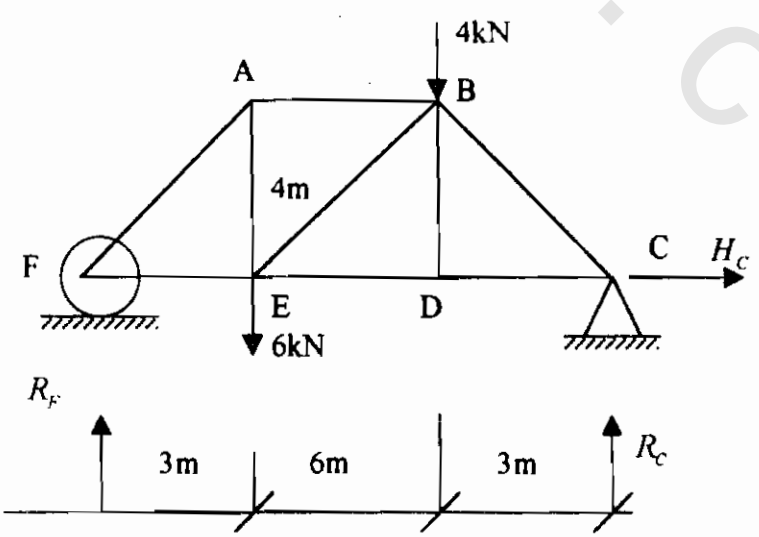


الشكل (8.7)

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

مثال (2.7)

الشكل (9.7) يبين جمالون مسند اسناداً بسيطاً simply supported ، ومحمل باحمـــال خارجية. المطلوب تحديد القوى في الاعضاء المكونة للجمالون بالابعاد المبينة في الشكل.



الشكل (9.7)

الحل:

كخطوة اولى دائما نقوم بايجاد ردود الافعال في المساند F،C وذلك برسم مخطط الجسم الحر للجمالون ككل ووضع معادلات الاتزان الثلاثة حيث:-

$$\sum F_x \xrightarrow{+} = 0 \quad ; \quad H_C = 0 \qquad (1)$$

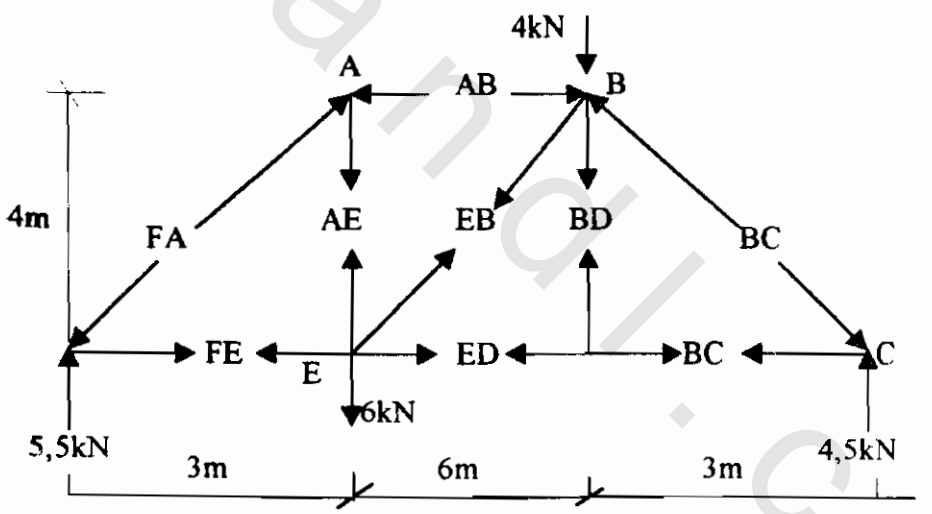
$$\sum F_y \uparrow^{+} = 0 \quad ; \quad R_F + R_c - 6 - 4 = 0 \qquad (2)$$

$$\sum M_f \overset{+}{\circlearrowleft} = 0 \quad ; \quad -6\times 3 + 4\times 9 + R_C \times 12 = 0 \qquad (3)$$

ومن المعادلات الثلاثة نجد أن:-

$$R_C = 4{,}5kN \quad , \quad R_F = 5{,}5kN$$

بعد أن وجدنا ردود الافعال 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):-

$$\sum F_y \uparrow^{+} = 0 \;;$$

$$5{,}5 - \frac{4}{3}F_A = 0 \qquad F_A = 6{,}88kN.C$$

$$\sum F_x \xrightarrow{+} = 0 \ ;$$

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

$$FE = 4{,}13 kN.T$$

حيث ان الاشارات C،T 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 نهايتيه 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:-

$$\sum F_x \xrightarrow{+} = 0 \ ;$$

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

$$\sum F_y \uparrow^{+} = 0 \ ;$$

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

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:-

$$\sum F_x \xrightarrow{+} = 0 \ ;$$

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

$$\sum F_y \uparrow^{+} = 0 \ ;$$

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

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

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

openkandil.com

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

نلاحظ الآن ان في المفصل (D) تؤثر ثلاث قوى وهي في حالة اتزان، حيث ان القوتيـــن ED،DC على استقامة واحدة وان الاتزان في النقطة D يتحقق فقط اذا كانت هاتان القوتـــــان 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 القـــوة في الضلع 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 التـــي يتعـــرض اليها الجمالون.

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

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

أما عدم تطابق النتائج فإنه يدل على ان هناك خطأ ما ويتوجب عندئـــذٍ مراجعـــة الحـــل لاكتشافه واعادة تصحيحه.

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

$$\sum F_x \longrightarrow = 0;$$

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

أو بالاماكن ايجاد القوة في العضو BC كما يلي:-

$$\sum F_y \downarrow^{-} = 0$$

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

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

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

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

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 الاتية.

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

5.7 الهياكل الإنشائية (Frames)

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

أن الهياكل الانشائية 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 أخر بين نهايتي الاعضاء، مما يجعل هذه الاعضاء خاضعة لاكثر من قوتين وبالتالي يكون من غير الممكن استخدام طريقة حل الجمالونات لحل مثل هذه المنشئات.

5.7 تصميم وتحليل الهياكل الانشائية.

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

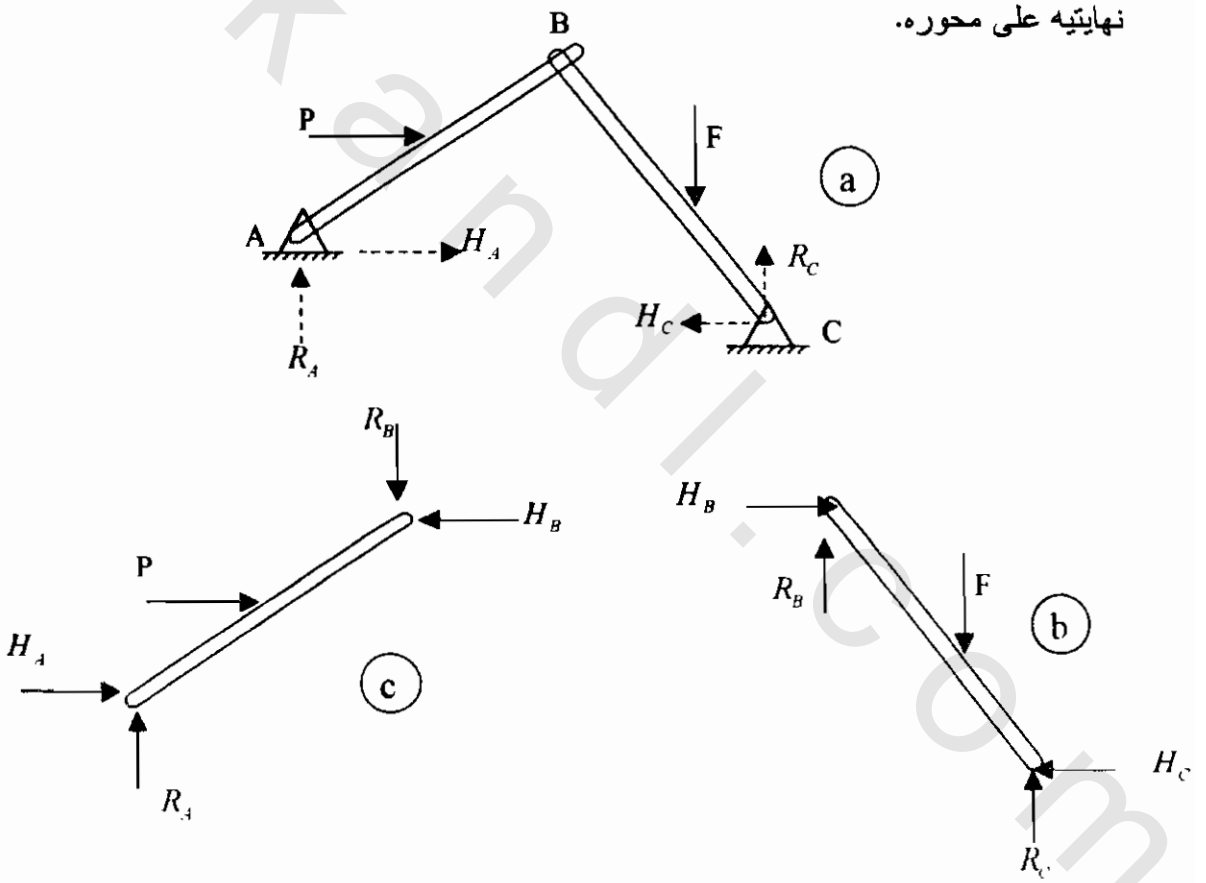
وتسمى بالاضلاع الانحنائية وذلك لانها تخضع بالاضافة الى قوى الشد أو الضغط ، الى أنحناء. أي بمعنى أخر أن الحمل الخارجي المسلط يؤدي عاده الى حني الاضلاع كما اشرنا سابقاً، والهياكل من هذا النوع لا تكون فيها قوى در فعل والفعل منطبقة على حماور الاضلاع كما في الجمالونات. ولهذا فعند تحليل هذه المنشئات يجب تطبيق 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 طريقة المفاصل في الجمالونات، كما أن الطريقة العامة في تحليل المنشئات الهيكلية الخاضعة لحمل معين هي تعيين مقادير واتجاهات القوى التي تنتقل من ضلع الى أخر بواسطة المفصل أو تعين 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 AC،AB متصلين مع بعض في المفصل B، وبما أن كل ضلع خاضع لقوة تؤثر عليه في نقطة بين نهايتيه فهو أذنٍ خاضع للأنحناء، ولاتنطبق القوتان الواقعتان في نهايتيه على محوره.



الشكل (11.7)

أي أننا لا نستطيع أن نعين اتجاه رد الفعل في C،A ولهذا نقوم بتمثيل ردود الافعال بمركباتها القائمة. H_A, R_A, H_C, R_C ما هو مبين في الشكل (a.11.7) نلاحظ انه 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 استاتيكياً.

ولحل هذه المسألة نقوم بفصل الضلعين في المفصل B وتعزل كل منهما بوضعه جسماً حراً (الشكل c.b.11.7) وهكذا نلاحظ انه باستخدام هذه العملية قد اضفنا الى القوى المجهولة مركبتين قائمتين H_B, R_B تمثلان القوة المنقولة من أحد الضلعين الى الاخر خلال المفصل B.

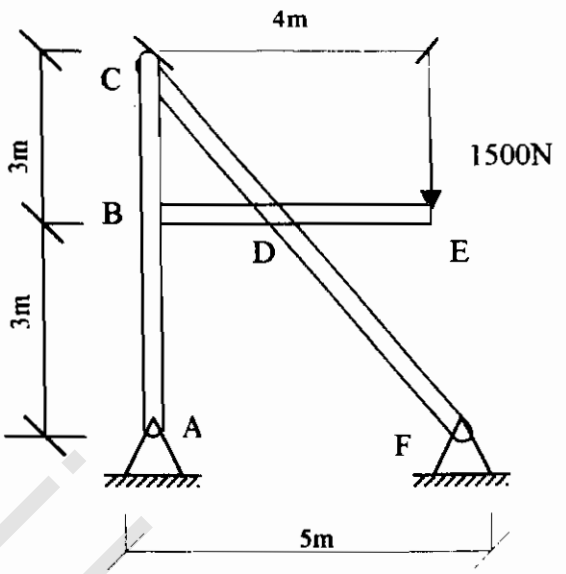
وليس هناك فرق لدينا أي اتجاه تتخذه المركبتان H_B, R_B ما دامتا متعاكستين في الجسمين الطليقين. فاذا كان فرض الاتجاه خطأ. فإن النتيجة بعد الحل ستظهر بإشارة سالبة والتي بدورها تعني أن أتجاهها بعكس الاتجاه المفروض.

بعد رسم مخططات الجسم الحر (الشكل c.b.11.7) يتبين لدينا ستة مجاهيل، عندئذ يمكن القول أن المسألة اصبحت محددة استاتيكيا 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 الانشـائي المبين في الشكل (12.7)



الشكل (12.7)

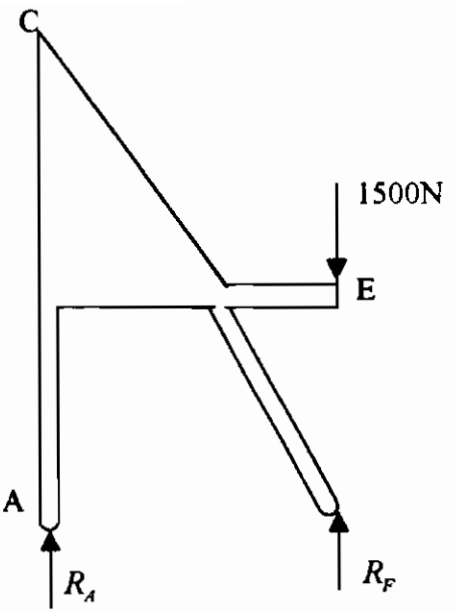
الحل:-

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

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

كما نلاحظ بإن مركبتـي رد الفعـل فـي المسـاند الافقيـة تسـاويان الصفـر أي أن $(H_A = H_B = 0)$

obeikandi.com



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 اماكنها 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 اماكنها 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

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

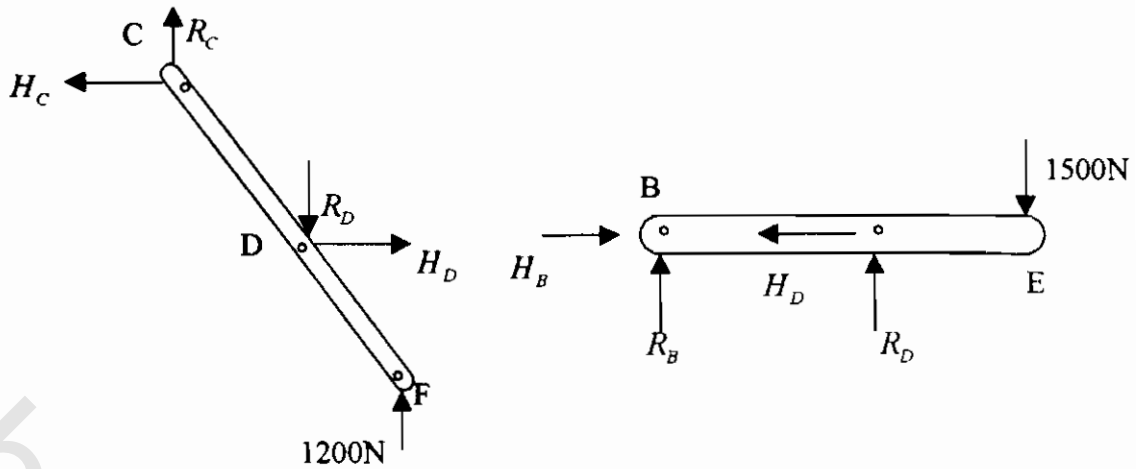
وبالنسبة للجزء CF

$$\sum M_C = 0 ;$$
$$-2400(2,5) + H_D(3) + 1200(5) = 0$$
$$\Rightarrow H_D = 0$$

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 هـــذه الاجزاء الحصول على القوة المسلطة عند المفصل D حيث أن هذه القوة تؤثر الى الأعلى.

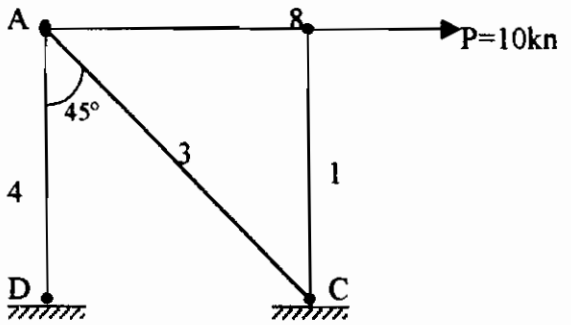
من دراسة المثال السابق يمكننا استنتاج واتباع الخطوات التالية اللازمة لتحليل ردود فعـل الهياكل:

1. يرسم الرسم البياني الحر للهيكل ككل، وتستخدم المعادلات الثلاثة للاتزان لايجـــاد ردود الافعال الخارجية قدر الامكان.
2. أن القوه المشتركة لعضوين، تؤثر بمقادير متساوية ولكن باتجاهات متعاكسة على الرســم البياني للجسم الحر لهذه الاعضاء. تذكر أن الاعضاء ثنائية القوة، تؤثر عليها قوة واحـدة غير معلومة، أي أن القوة تؤثر على طول خط يصل بين نقاط نهاية العضو. وفي كثـــير الحالات يمكن تعين الاتجاه الذي تؤثر فيه القوى الغير معلومة بالملاحظـــة أو بـــالخبرة، واذا تعذر ذلك فيمكن فرض الاتجاه مبدئيا.

3. تستخدم معادلات الاتزان الثلاث لمجموعة القوى المبينة على الرسم البياني لمخطط الجســم الحر (F.B.D) لكل عضو لأيجاد القوى الغير معلومة. وكما اشرنا ســـابقا اذا وجـــد أن مقدار القوة الغير معلومة كمية موجبة، فإن ذلك يدل على أن الاتجاه المفروض صحيـــح، ويعكس الاتجاه اذا كانت الكمية سالبة.

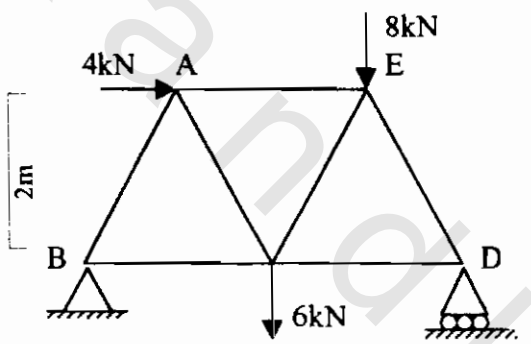
تمارين (7)

س1:- عين القوى الناشئة في قضبان الجمالون المبين في الشكل (15.7) من فعل القوى الافقية P=10kN.



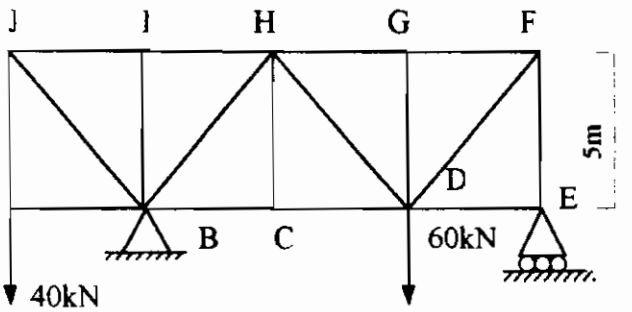
الشكل (15.7)

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



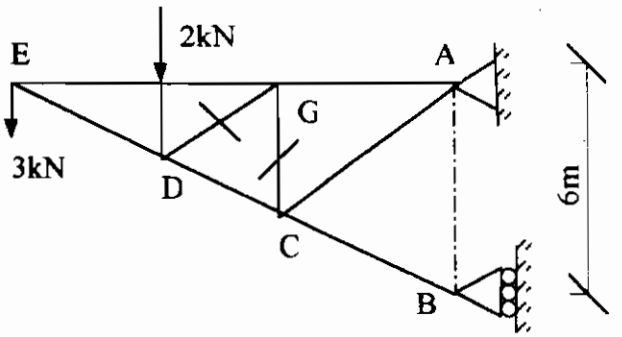
الشكل (16.7)

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



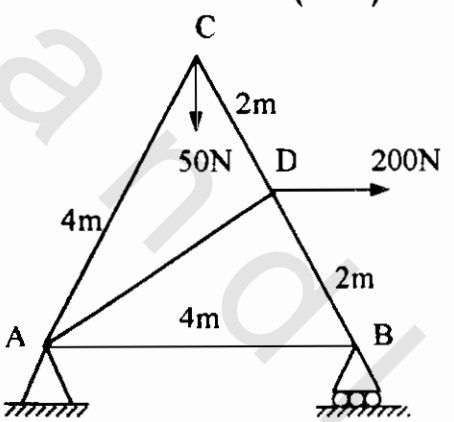
شكل (17.7)

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



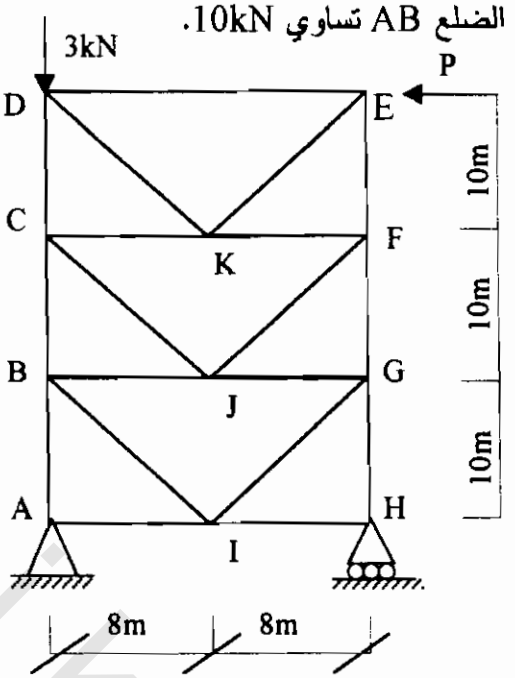
الشكل (18.7)

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



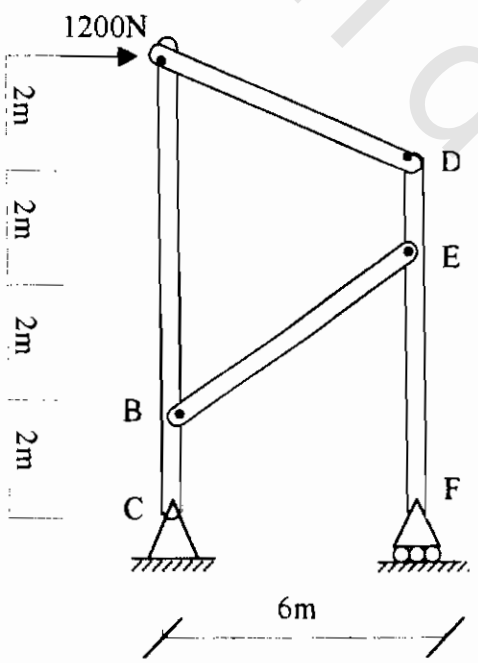
الشكل (19.7)

س6:- احسب قيمة القوة P، وكذلك القوة في الضلع EF للمسنم المبين في الشكل (20.7) عندما تكون القوة في الضلع AB تساوي 10kN.



الشكل (20.7)

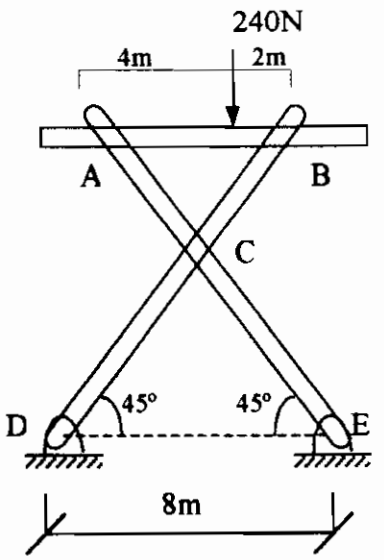
س7:- أحسب القوى المؤثرة على الاضلاع العمودية (الشاقولية) AC، DF في الهيكل المبين في الشكل (21.7)



الشكل (21.7)

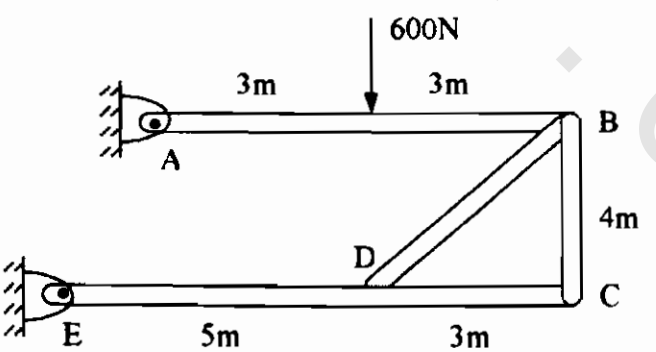
obeikandl.com

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



الشكل (22.7)

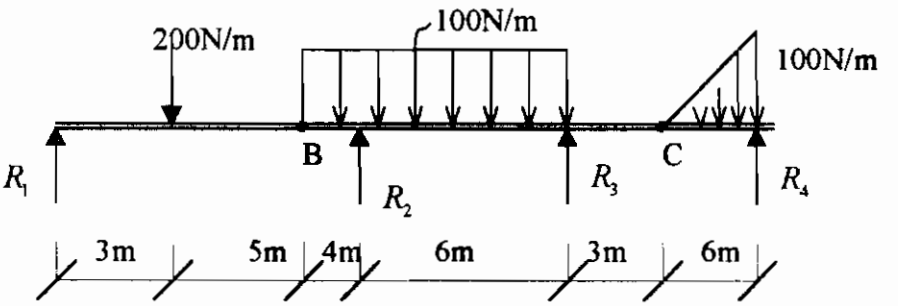
س9:- جد مركبات القوى في الضلعين BC، BD وكذلك في المفصلين E،A للهيكل المبيـن في الشكل (23.7).



الشكل (23.7)

obeikandl.com

س10:- عارضة أفقية تتألف من ثلاثة أجزاء تؤثر عليها الاحمال المبينـــة بالشـــكل (24.7). العارضة تستند الى أربعة مساند عمودية واجزائها الثلاثة تتصل بالمفصلين B,C جد قيم ردود الافعال الاربعة.



الشكل (24.7)

obeikandl.com

المراجع

1.الميكانيكا للمهندسين ،،الاستاتيكا،، -د.فاروق احمد البرقي -كليه 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.ميكتنيك المواد- أيان جون هيران- بريطانيا برمنكهام- ترجمة د.صلاح محمد جميل-جامعة الموصل 1989.

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

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

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

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

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

obeikandl.com