الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

كلية هندسة البترول

PETROLEUM ENGINEERING COLLAGE

الإبداع في التصميم الهندسي

CREATIVITY IN ENGINEERING DESIGN

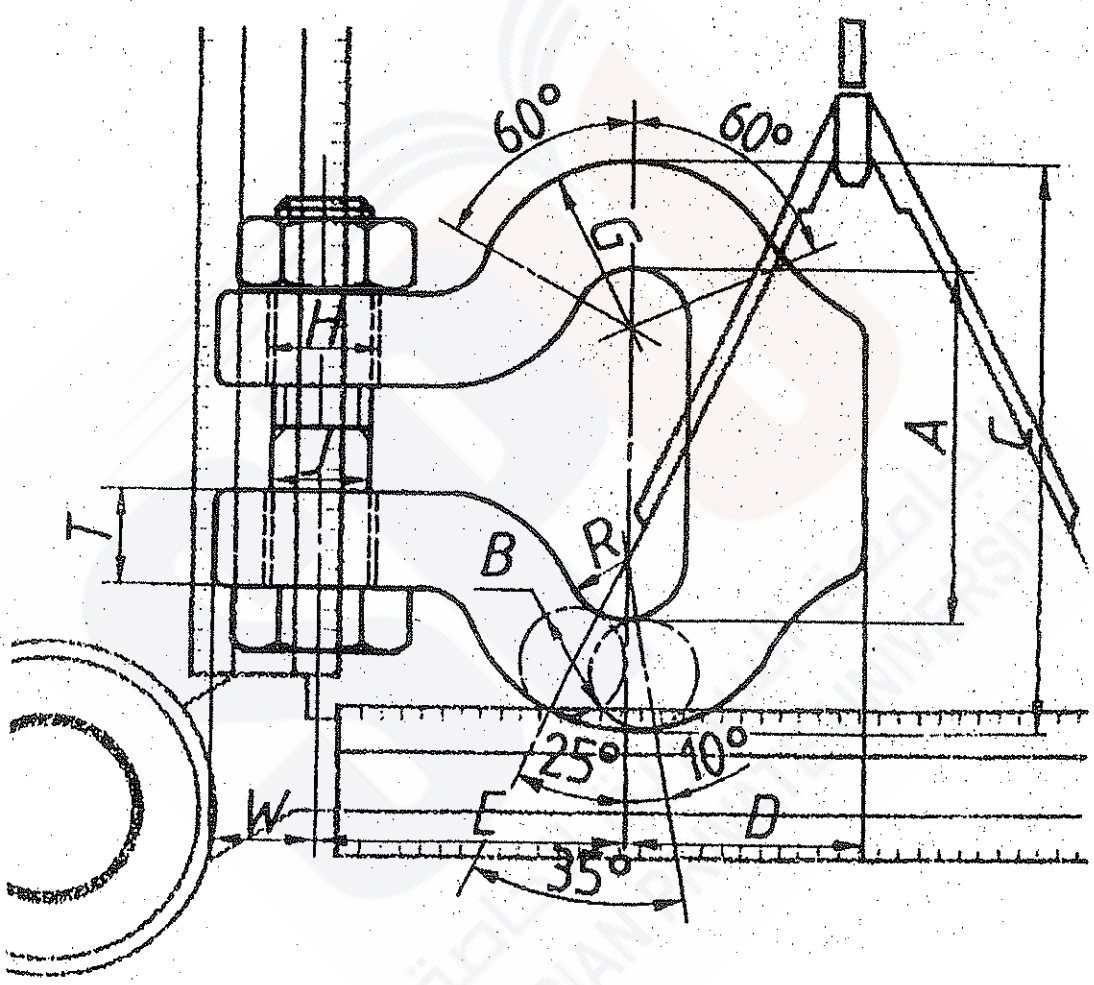
استاذ المقرر

د.م. مفيد العفيف

2016 -2017

الفصل الأول

الاعتبارات العامة في تصميم الآلات



إن التصـــميم هو ملتقى الكثير من العلوم الأساسية الهندسية بالإضافة إلى الخبرة والمهارة والذوق الرفيع والمقدرة على الابتكار والاقتصاد في التصميم والمقدرة عـــلى المنافسة. فعند تصميم آلة لعمل ما فإننا سنجد أنفسنا بحاجة لكثير من العلوم مـــثل مقاومـــة المواد والمعادن والرسم الهندسي والميكانيك الستاتيكي والديناميكي بالإضافة إلى الرياضيات والفيزياء والكيمياء وديناميك الآلات... إلخ.

يتضـــمن التصميم إذن تطبيق المبادئ الأساسية في إنشاء آلات جديدة بعد فهم كل أبعاد المسألة المطلوب معالجتها تصميماً. فإذا كان هذا الفهم حقيقياً فليس هـــناك تناقض بين النظريات الهندسية وبين التطبيق العملي كما يعتقد بعضهم، بل لابد أن تتفق النظريات العلمية مع الخبرة العملية في أي تصميم ناجح.

يمكـــن أن يكون التصميم عقلياً Rational design وذلك عندما نتمكن مـــن تطبيق الحساب الرياضي لإيجاد القياسات وشكل الأجزاء المختلفة استناداً إلى الإجهـــادات المسموح بها وهذا يتطلب إلماماً جيداً بمبادئ الميكانيك ومقاومة المواد إضـــافة إلى المهارة والدقة في طرق الحساب (مثل تصميم الجسور والهياكل المعدنية والمـــراجل والـــرافعات)، وهـــذا النوع من التصميم يستخدم كوسيلة تدقيق عند تصميم الآلات التي تحتاج إلى صلابة كبيرة (بعض القطع تكون قياساتها أكبر بكثير مـــن النـــتائج الحسابية) فيلجأ في هذه الحالة إلى التصميم التجريبي Empirical design الـــذي هو استخدام المعلومات والأرقام المستنبطة من الآلات والتصاميم المســـتعملة بنجاح سابقاً أي استخدام الخبرة والمعرفة السابقة أي استخدام الجداول الهندســـية Hand books المتضمنة لهذه المعلومات والقيم والأرقام فيأخذ المصمم النقاط الحسنة في التصميم كما يعتقد ويتجنب ما لا يجده مناسباً.

يمكـــن أن يكون التصميم عقلياً وتجريبياً بآن واحد يضاف إليه التجريب الفعلي للآلة قبل اعتمادها بصورة نهائية، بهذه الحالة يكون المردود جيداً خاصة في التصـــاميم المعقدة التي يتعذر بها حساب الإجهادات بدقة، وهنا لابد من الإشارة

بشـــكل واضـــح وجـــلي إلى إن الخبرة والمعرفة الشخصية للمصمم تؤثر في نجاح التصميم ومقدرته على المنافسة.

إن تصـــميم آلـــة بشكل جيد وناجح يوجب علينا أن نضع نصب أعيننا تحقيق الكثير من النقاط الهامة والأساسية نذكر أهمها:

١- أن يكون مردود الآلة عالياً وكذلك قدرتها الإنتاجية كماً ونوعاً.

٢- تحقـــيق المـــتانة وتخفـــيف الـــوزن ما أمكن وإمكانية استخدام المواد المتوفرة والرخيصة في إنتاجها.

٣-تحاشـــي اســـتخدام الحركات الترددية ما أمكن والاستعاضة عنها بالحركات الدورانية.

٤-مـــراعاة الـــذوق الرفـــيع والاستخدام السهل لتتمكن من المنافسة في الأسواق التجارية.

٥-أن تكون الصيانة وطرق إصلاح الآلة سهلة ومتوفرة واقتصادية.

٦- إجـــراء دراســـة اقتصادية لتكاليف التصنيع للآلة وفق الأعداد المطلوبة، حيث يؤثـــر عدد القطع المصنوعة على التصميم من عدة وجوه، فمثلاً المصاريف الثابتة للورشـــة تـــتوزع على عدد القطع المصنوعة وكذلك دراسة تكاليف الإنتاج عند اســـتخدام هـــذه الآلـــة لمعرفة الجدوى الاقتصادية لها، إذ إن غلاء إنتاج سلعة ما بواسطة الآلة المصممة قد يمنع تداولها أو استعمالها ولا يمكنها من المنافسة تجارياً.

٧-دراســـة طـــرق مقاومة الاحتكاك بين الأجزاء المتحركة وطرق التزييت. وهذه مســـألة هامة (لأن قسماً من الاستطاعة يضيع بسبب الاحتكاك) لذا يجب دراسة مشـــكلة التزييت كجزء من عملية التصميم وتأمين الوسائل الكافية للتزييت. يجب أن تـــبين المخططـــات والرسوم التصميمية حجم ثقوب الزيت ومجاريه ومواقعها لجمـــيع القطـــع التي تحتاج إلى تزييت، وكذلك تركيب المشاحم والمزايت للقطع البعـــيدة عن نظر المكلف بمراقبة الآلة وذلك لكي يتم التشحيم والتزييت بين الحين والآخر.

٨- استخدام قطع قياسية، حيث إن استخدام القطع القياسية يوفر كثيراً من كلفة صنع الآلة المصممة. إن نفقات القطعة القياسية أقل بكثير من صنع القطعة محلياً وتفضل دوماً القطع الجاهزة. من أمثال هذه القطع: المسننات، البكرات، المساند، والقطع الصغيرة القياسية كالبراغي والصواميل (يفضل تجنب كثرة أنواع البراغي لأن هذا يسبب تأخر الصنع، حيث يتطلب تغيير المثاقب والسكاكين واستخدام أنواع عديدة من المفاتيح للفك والربط).

٩-دراسة سلامة الشخص المكلف بتشغيل الآلة، وهذه نقطة هامة جداً لأن الإنسان قبل الآلة وأهم منها بالرغم من أن وسائل الأمان تزيد في تكاليف صنع الآلة إلا أن المصمم مجبر على تأمين سلامة التشغيل إلى أقصى حد ممكن، لأن هناك آلات خطرة جداً مثل آلات الإنتاج السريع التي تدور بسرعات كبيرة، وكذلك الآلات التي تقوم بأعمال ثقيلة وغيرها. الحوادث المؤسفة التي تسببها هذه الآلات يمكن تقليلها عن طريق إزالة أسباب الخطر وبإرشاد الأفراد إلى طرق الوقاية الصحيحة (ضمن قواعد الأمن الصناعي).

١٠-دراسة طريقة تجميع القطع المختلفة للآلة فكثيراً ما تكون الأخطاء المكتشفة عند التجميع وسببها عدم الدقة باهضة الثمن ومسببة لضياع المال والجهد والوقت.

١١-دراسة طرق نقل الآلة ولإمكانيته من مكان إنتاجها إلى مكان استخدامها واستثمارها، حيث يجب الإشارة إلى أن هناك قيوداً مفروضة (إلا في الحالات الاستثنائية) على مقاسات وحجوم وأوزان صناديق النقل وهذا يؤثر على عملية التصميم بمراحلها الأولى.

إن مسار عملية التصميم أو الخطوات التي تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم آلة يختلف قليلاً من مشروع تصميمي إلى آخر ولكنه بشكل عام يسير على النحو التالي:

١- فهم مشروع التصميم والغرض منه وتدوين كافة معطياته.

٢- اختيار مجموعات الميكانيزمات Groups of mechanisms التي تعطي الحركة أو الحركات المطلوبة. حيث يجب اختيار أبسط ميكانيزم يستطيع القيام بالحركة المطلوبة، ويفضل استخدام الميكانيزمات المعروفة التي أثبتت التجارب والخبرة صلاحيتها لأداء حركات معينة. إذا كان من الضروري ابتكار طريقة جديدة فهذا يحتم معرفة جيدة للقوانين الأساسية للعلوم الفيزيائية والرياضية النظرية والآلات والميكانيزمات.

٣-تحديد أو تقدير الاستطاعة المراد نقلها أو تحديد قيمة الأحمال أو القوى المؤثرة ونوعيتها على كل جزء من أجزاء الآلة.

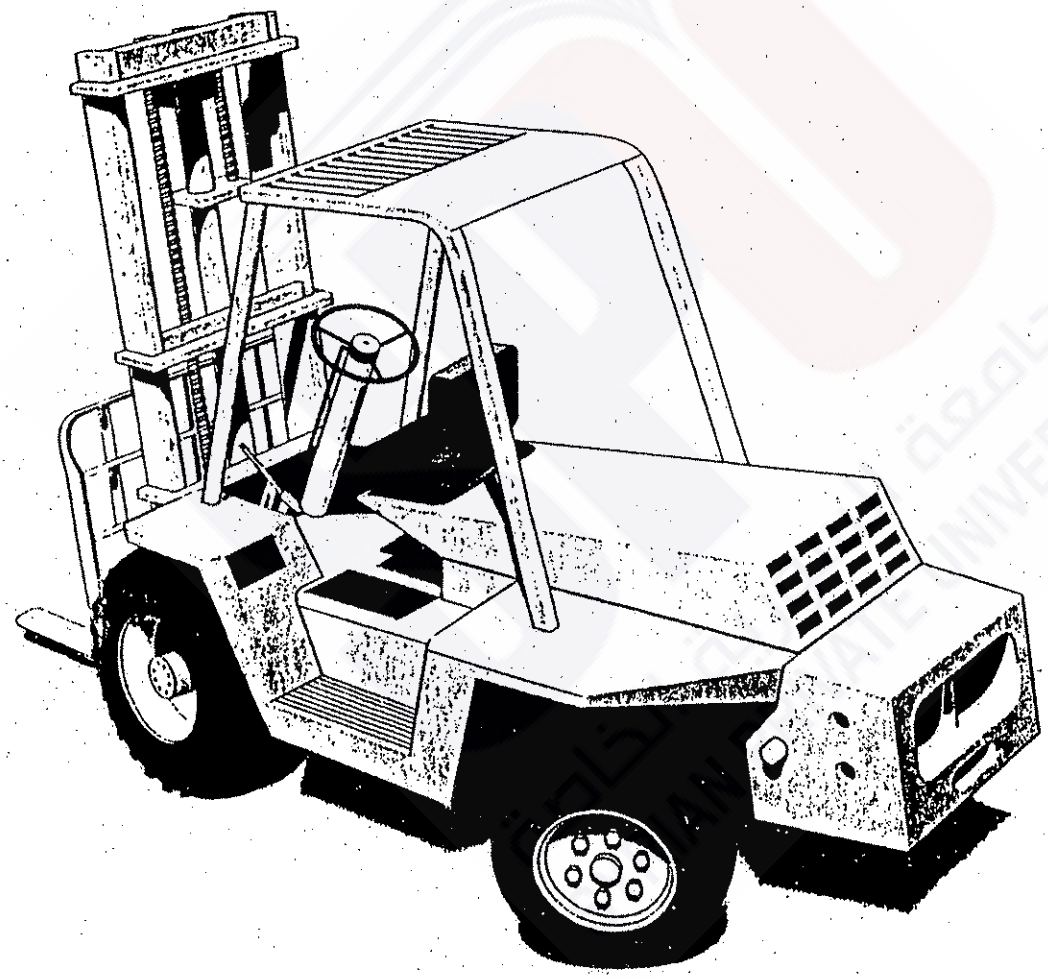
٤-اختيار المواد المناسبة لكل جزء اعتماداً على خواصها الفيزيائية والميكانيكية وقابلية تشغيلها وتوفرها وتكاليفها. وهذا يتطلب إلماماً جيداً بخواص المواد ومقاومتها Strength وتحملها Durability ومرونتها Flexibility ووزنها ومقاومتها للحرارة والتآكل Corrosion وقابليتها للصهر والصب أو اللحام وصلاحيتها للتشغيل على الآلات وكذلك ناقليتها للكهرباء أو عازليتها، يضاف إلى ذلك ثمنها.

٥-نحدد بعض الأبعاد الرئيسية بالحساب ونعدها أبعاد مبدئية لأن الحمل قد يحدث إجهادات متغيرة بالإضافة إلى بعض الخواص الميكانيكية المتغيرة، حيث يجبرنا هذا على تعديل التصميم ليتناسب مع الواقع الفعلي ويسهل عملية التصنيع، وهنا يكون للخبرة والذوق والمهارة أثر كبير. كما تجري حسابات تدقيق التصميم لإيجاد معاملات الأمان والإجهادات المختلفة في المقاطع الخطرة، وتقارن بالقيم المسموح بها (في حال عدم التوافق بين القيم التصميمية والقيم المسموح بها يعمد إلى تغيير التصميم وإعادة الحسابات).

ويمكن تلخيص كل ما سبق ذكره على أن المهندس المصمم هو المسؤول الأول والأخير الذي تقع على عاتقه مهمة تقديم آلة متطورة تكنولوجياً ومنافسة اقتصادياً.

الفصل الثاني

تعاريف أساسية



لأن التصـــميم يتعلق بشكل أساسي ببعض المعلومات والمواد التي سبق أن درسها الطالب، نجد من الضروري إجراء تذكرة لهذه المبادئ الأساسية وخاصة ما يتعلق بمقاومة المواد.

١- القوى والأحمال The load (P):

إن القـــوى الخارجية المؤثرة على منشأة أو جزء منه تؤلف ما يطلق عليه الحمل، وفيمايلي بعض أنواع هذه القوى:

١-قوى ناتجة عن حمل ساكن أو ميت Dead or steady: مثال ذلك وزن المنشأة نفسه.

٢-قوى ناتجة عن حمل صغير أو حي Varying or live load مثال ذلك:

أ- قـــوى عطالة ناتجة عن تغير سرعة كتلة ما، كالقوى الناتجة عن تحرك الأجزاء الترددية.

ب- قوى نابذة ناتجة عن دوران كتلة، مثال ذلك البكرات والحدافات.

جـــ-قـــوى احـــتكاك ناتجـــة عن تماس جزأين متحركين، مثال ذلك الاحتكاك في فرامل السيارة.

تؤثر هذه القوى عادة على نهاية قضيب أو ذراع فتسبب انحناء أو التواء في المادة.

٣-قوى ناتجة عن حمل التصادم أو الخبط Impact or shock .

٢-الإجهادات Stresses (σ) :

كما نعلم فإنه لا وجود في الطبيعة لمادة مطلقة الصلابة، فهي تحت تأثير القوى الخارجية تنفعل وتغير من شكلها، يختلف مقدار هذا التغير من مادة إلى أخرى، فهو كـــبير وملحوظ في المطاط والمواد البلاستيكية بشكل عام مثلاً، وصغير يحتاج إلى قياسات دقيقة في الفولاذ. لكن في جميع الحالات تتولد قوى داخلية في المادة تقاوم الحمـــل ويطلـــق علـــيها اسم (الإجهادات)، (وتعرف كذلك بأنها قابلية تماسك

جزيئات المادة للمحافظة على وضعها النسبي عند محاولة القوى الخارجية فصل هذه الجزيئات عن بعضها) وتقدر شدتها بالقوة المؤثرة على وحدة السطح أي أن :

$$\sigma = \frac{P}{A}(kg_{f/cm^2}) \text{ or } (kg_{f/mm^2}) \qquad (1\text{-}2)$$

حيث : σ : الإجهاد الناتج.

P: القوة المؤثرة.

A: سطح المقطع المعرض للقوة.

تعتمد قيمة الإجهاد على المادة المجهدة ونوع الإجهاد المطبق عليها إذا زاد الحمـــل وكانت مساحة المقطع ثابتة فإننا نصل إلى درجة تفقد فيها المادة مقاومتها بحيـــث يحدث ضعف أو كسر في المادة. يسمى الإجهاد الذي تضعف عنده العينة بأكبر إجهاد Ultimats stress ويرمز له بالرمز (σ_u).

الجـــدول رقم (1) يعطينا قيم الإجهادات المختلفة (σ_u) في حالات الشد والضغط والقص لبعض المعادن الشائعة الاستعمال.

مثال محلول رقم (2-1):

يؤثـــر حمل شد ثابت مقداره (5000 kg) على قضيب من الفولاذ القاسي Hard steel. المطلوب إيجاد مقطع هذا القضيب في الحالات التالية:

١-دائري المقطع.

٢-مربع المقطع.

٣-مستطيل المقطع عرضه يساوي ضعف سماكته.

الحل: من الجدول رقم (1) نجد أن $\sigma_{ut} = 5280 \text{ kg/cm}^2$ ومن الجدول رقم (9) نجد أن (f.s =5)، فيكون الإجهاد المسموح به:

$$[\sigma_t] = \frac{5280}{5} = 1056 \text{ kg/cm}^2$$

وحيث أن : $[\sigma_t] = \frac{P}{A} = \frac{5000}{A}$

إذن يكون: $A = \frac{5000}{1056} = 4.74 \ cm^2$

١- المقطع دائري : $A = \frac{\pi.d^2}{4} = 4.74 \ cm^2$

$d = 2.46 \ cm$

٢-المقطع مربع ضلعه (a): $A = a^2$

ومنه: $a = 2.18 \ cm$

٣- المقطع مستطيل عرضه (b) وسماكته (t):

$A = b.t$

وحيث أن : $b = 2t$ إذن $A = 2.t^2$

$4.74 = 2.t^2$

$t = 1.54 \ cm$ $\qquad$ $b = 3.08 \ cm$

٣- الانفعال (ζ) The strain :

هـــو المقياس النسبي للتغير الناتج عن القوى الخارجية المؤثرة في المادة فمثلاً عندما يتعرض قضيب مستقيم لحمولة شد فإنه يستطيل، يدعى مقدار الاستطالة أو الـــتمدد بالانفعال strain ويدعى مقدار الاستطالة لكل وحدة من طول القضيب بوحدة الانفعال Unit strain.

في الحقـــيقة أن معظم المهندسين يطلقون كلمة strain وهم يعنون بذلك وحدة الانفعال Unit strain والتي تساوي إلى :

$$\zeta = \frac{X}{L} \qquad (2\text{-}2)$$

حيث: X : مقدار الاستطالة الإجمالية.

L: الطول الأصلي للقضيب.

وذلك بفرض أن :

١- مقطع القضيب ثابت ويبقى ثابتاً.

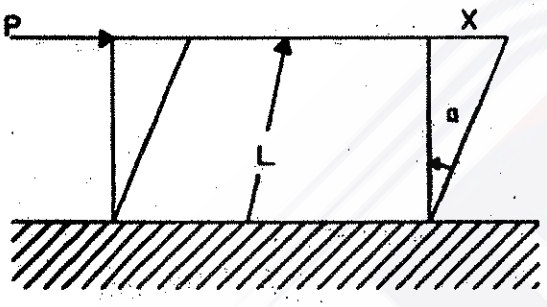
٢- المادة متجانسة.

٣- الانفعال موزع بانتظام.

نفـــس العلاقة تنطبق على حالة الضغط بشروط انعدام الانحناء أو التحدب على القضيب (أي أن يكون طوله قصيراً).

انفعال القص shearing strain أو الانفعال الزاوي يساوي إلى :

$$\zeta_s = \frac{X}{L}.\tan\theta \qquad (3\text{-}2)$$



الشكل (2-1)

حيث الخطوط الوهمية كما بالشكل (2-1تـــبين حالـــة التغير الناتجة عن القص وحيث أن الزاوية عملياً صغيرة جداً فإنه يمكن التعبير عنها بالراديان ونكتب :

$$\zeta_s = \theta$$

انفعال القص shearing strain للأعمـــدة المعرضة لعزوم التواء يعطى بالعلاقة التالية:

$$\gamma = \frac{r.\theta}{L} \qquad (4\text{-}2)$$

حيـــث : θ : انتقال الزاوية للمقاطع المتجاورة للقضيب الدائري المنتظم المعرض للالتواء.

L (cm) : المسافة بين المقاطع

r (cm) : نصف قطر القضيب.

هذه العلاقة صحيحة استناداً إلى نفس الاقتراحات السابقة، إلا أنه يجب الإشارة إلى أن التوزيع المنتظم لقوة القص أمر صعب التحقيق.

يمكـــن أن يكون الانفعال ثنائي الأبعاد (الانفعال السطحي) كما يمكن أن يكـــون ثلاثـــي الأبعاد (الانفعال الحجمي ζ_v) ويمكن البرهنة ببعض التقريب أن الانفعال الحجمي يساوي إلى مجموع الانفعالات الخطية في الاتجاهات الثلاثة أي :

$$\zeta_v = \zeta_x = \zeta_y + \zeta_z \qquad (5\text{-}2)$$

٤- المرونة Elasticity :

هـــي تلـــك الخاصـــة التي تستطيع المادة بموجبها استعادة شكلها الأصلي وأبعادها الأصلية عند رفع الحمولة المؤثرة عليها، هناك قيمة حدية للحمل لا يزول عـــندها الانفعال تماماً بزوال الحمل، قيمة الإجهاد الموافقة لهذا الحمل يطلق عليها حد المرونة Limited of elasticity والانفعال المتبقي يقال له (التوضع الدائم).

يـــنص قـــانون هوك Hoole's law على أن الإجهاد الذي تخضع له المادة يتناسب ضمن حدود معينة مع الانفعال الذي ولد ذلك الإجهاد، أي أن كل مادة تخضع لقانون هوك تكون مرنة.

تعطي علاقة تناسب الإجهاد مع الانفعال على الصورة التالية:

$$\sigma = E.\zeta \qquad (6\text{-}2)$$

$$\tau = G.\zeta_s \qquad (7\text{-}2)$$

حيـــث G ، E هـــما ثابـــتا التناسب، ووحداتهما هي نفس وحدات الإجهاد أي (kg/cm^2).

-يدعـــى الثابت E بمعامل المرونة Modulus of elasticity أو عامل يونغ Factor of Young.

-يدعـــى الثابـــت G بمعامل مرونة القص Shearing modulus of elasticity أو معامل الجسوء أو الصلابة Modulus of rigidity.

هذان الثابتان يمثلان صفات أساسية من صفات المادة والجدول رقم (2) يعطي قيم بعض أنواع المواد الشائعة الاستعمال.

بتعويض العلاقة $\sigma = \frac{P}{A}$ والعلاقة $\varepsilon = \frac{X}{L}$ في العلاقة نحصل على العلاقة:

$$x = \frac{P.L}{A.E} \qquad (8\text{-}2)$$

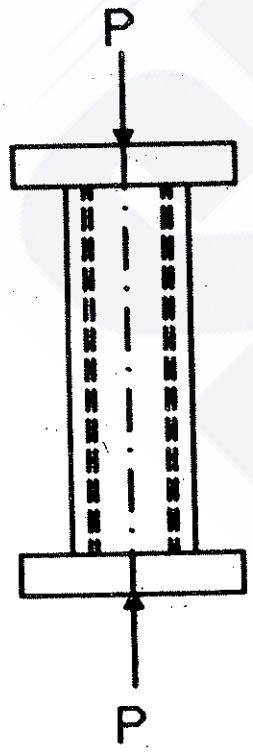
مثال : محلول رقم (2-2) :

قضيب فولاذي صلب طوله 50cm وقطره (7cm) يتوضع داخل أنبوب ألمنيوم قطره الداخلي (7.5cm) والخارجي (10cm)، أسطوانة الألمنيوم أكثر طولاً بـ (0.015 cm) من أسطوانة الفولاذ يؤثر حمل محوري مقداره (60000 kg) على القضيب والأسطوانة من خلال صفائح صلبة بالأعلى والأسفل.

أوجد الإجهادات المتولدة في القضيب الفولاذي وأسطوانة الألمنيوم علماً بأن :

$$E_s = 2.2\times10^6 \qquad kg/cm^2$$

$$E_a = 0.7\times10^6 \qquad kg/cm^2$$



الحل :

بما أن أنبوب الألمنيوم أكثر طولاً من القضيب الفولاذي بـ (0,015cm) فإنه بتأثير الحمل المحوري سوف ينضغط الألمنيوم حتى يتساويا بالطول.

جزء من الحمل سيؤخذ لجعل أسطوانة الألمنيوم بطول (50cm) إذن:

الحمل المطلوب P_1 يساوي إلى :7220 kg.

$$P_1 = \frac{\delta}{\ell}\times A\times E$$

$$= \frac{0.015}{50}\times\frac{\pi}{4}\left[(10)^2-(7.5)^2\right]\times0.7\times10^6 = 7220 \quad kg$$

الآن أنـــبوب الألمنـــيوم والقضيب الفولاذي أصبحا بطول واحد ويمكن اعتبارهما كعمود مركب يؤثر عليه ما تبقى من الحمل وهو (P_2):

$$P_2 = 60000 - 7220 = 52780 \text{ kg}$$

إن الانفعال للمقطع المركب هو :

$$e = \frac{P_s}{E_s} = \frac{P_a}{E_a}$$

$$P_s = \frac{E_s}{E_a} \times P_a = \frac{2.2}{0.7} P_a = \frac{22}{7} P_a$$

$$P_2 = P_a A_a + P_s A_s$$

$$52780 = \left[P_a \times \frac{\pi}{4}(10^2 - 7.5^2) + \frac{22}{7} P_a \frac{\pi}{4}(7^2) \right]$$

$$= P_a \left[\frac{\pi}{4} \times (100 - 7.5^2) + \frac{22}{7} \times \frac{\pi}{4} \times 49 \right]$$

$$P_a = 340 \text{ kg/cm}^2$$

وبالتالي يكون :

$$P_s = \frac{22}{7} \times 340 = 1068 \text{ kg/cm}^2$$

إذن الإجهاد الكلي في أنبوب الألمنيوم :

$$= 340 + \frac{7220}{\frac{\pi}{4}(100 - 7.5^2)} = 550 \text{ kg/cm}^2$$

٥- عامل أو نسبة بواسون Poisson's ratio :

في الحقـــيقة إنـــه عند تحميل مادة ما شداً أو ضغطاً، فإن تغيراً في الاتجاه العرضـــي المتعامد مع الحمل ينتج (الانفعال العرضي) بالإضافة إلى التغير في الاتجاه الطولي أي باتجاه الحمل نفسه.

إن النسبة بين الانفعال العرضي والانفعال الطولي في مادة ما ثابتة ويطلق عليها اسم عامل بواسون (μ) وتتراوح قيمته بين (0.25-0.35) في المعادن المستعملة، وفيمايلي جدولاً يعطي قيم هذا العامل لبعض المواد المستعملة صناعياً:

المادة	μ
فولاذ	0.28 – 0.32
نحاس	0.30 – 0.33
ألمنيوم	0.32 – 0.35
حديد صب	0.23 – 0.26
زجاج	0.24 – 0.25
مطاط	0.40 – 0.50

والعلاقة التي تربط بين عامل المرونة الخطية (يونغ) (E) وعامل الصلابة (G) ومعامل بواسون (μ) هي :

$$E = 2.G(1+\mu) \qquad (9\text{-}2)$$

٦- عزم العطالة (عزم القصور الذاتي) Moment of Inertia:

إن عزم العطالة (عزم القصور الذاتي) يساوي إلى جداء الكتلة في مربع البعد عن المحور. فإذا كانت (A) نقطة مادية أو ذرة وزنها (W) فتكون كتلتها تساوي (W/g) وتبعد عن المحور (x-x) بالبعد (r) فيكون عزم العطالة يساوي :

$$\frac{W}{g} x r^2$$

يمكن تعريف عزم القصور الذاتي لسطح أو خط كالسابق مع استبدال الكتلة بالمساحة أو الطول بالتناظر.

r : نصـــف قطـــر القصور الذاتي ويساوي إلى الجذر التربيعي لحاصل قسمة عزم القصور الذاتي على كتلة الجسم أو مساحته على التوالي

إذا كان المراد إيجاد عزم القصور الذاتي لجسم ما حول محور يمر من مركز الثقل أو السطح فيدعى هذا المحور بمحور الخمول.

- الجدول رقم (3) يعطي قيم عزم العطالة (I) للقطاعات الهامة والشهيرة.

- يمر المحور المستخدم في تصميم الجوائز من مركز الثقل ويكون وضعه أفقياً دائماً عـــندما تكون القوى المؤثرة عمودية. يقدر عزم العطالة بـــ (cm^4) لأنه عبارة عن جداء مساحة (cm^2) في مربع المسافة (cm^2).

٧- الجوائز Beams :

الجائز هو عبارة عن قضيب أفقي غالباً ويرتكز على دعامتين أو أكثر، أو يثبت من نقطة واحدة أو أكثر، ومن أنواع الجوائز :

١-الجائز البسيط Simple beam

٢-الجائز الكابول Cantilever beam

٣-الجائز المتدلي overhung beam

٤- الجائز المقيد الحركة Restrained beam

يكـــون الجائز متوازناً عندما يكون مجموع عزوم القوى الخارجية مساوياً للصـــفر والقوى الخارجية تشمل كل من الأحمال المؤثرة وردود الأفعال عند نقاط الاستناد.

قـــوة القـــص (shearing. F) عند أي مقطع من جائز محمل تساوي إلى المجموع الجبري للمركبات العمودية لجميع القوى المؤثرة في جهة من جهتي المقطع ويرمز لها بـــ (S.F)، أما المخطط البياني الممثل لها فيرمز له بـــ (S.F.D).

يمكن أن تكون الأحمال الخارجية المؤثرة على نوعين: