الفصل الأول

مدخل إلى مقاومة المواد

1 علم مقاومة المواد

يطلق اسم مقاومة المواد على العلم الذي يتناول الطرق الهندسية لحساب عناصر الآلات و المنشآت على المتانة و الصلابة والاستقرار.

خلال عملية استثمار الآلات والمنشآت الهندسية فإن عناصرها (القضبان ،الجوائز ، الصفائح ، مسامير الربط ، البراشيم ...الخ) تشترك بشكل أو بآخر في العمل وتخضع لتأثير حمولات مختلفة. فلكي يعمل التصميم الهندسي بشكل طبيعي يجب ان تتحقق الشروط الضرورية للمتانة و الصلابة و الاستقرار حيث

تعرف المتانة أنها قدرة المنشآت أو الآلة وأجزاؤها وعناصرها على تحمل حمولة معينة دون أن تتحطم.

ونعرف الصلابة أو الجساءة أنها قدرة الآلة أو المنشأة و عناصرها على مقاومة التشوه الناتج عن تأثير القوى الخارجية (تغير الشكل و الأبعاد). يجب ألا يتجاوز التشوه الناشئ عن حمولات معينة قيمة محددة و ذلك وفقاً للشروط التي تعمل بها المنشأة الهندسية.

نعرف الاستقرار أنها قدرة الآلة أو المنشأة وعناصرها على الحفاظ على الشكل الأولي للتوازن المرن.

لكي يحقق التصميم متطلبات المتانة، الصلابة والاستقرار بشكل كلي ولكي يتمتع بالوثوقية أثناء عملية الاستثمار فمن الضروري إعطاء عناصره شكلاً أكثر ملائمة، كما أن معرفة صفات المواد التي سوف يصنع منها يسمح لنا تحديد الأبعاد المناسبة وذلك تبعاً لقيم و خصائص القوى المؤثرة.

نظن للوهلة الأولى بجدوى زيادة أبعاد عناصر التصميم لجعلها أكثر مقاومة للحمولات الخارجية ، وإن كان هذا يؤدي في بعض الحالات إلى نتائج مرغوبة ، إلا أن في الحالات التي يشكل فيها الوزن الذاتي جزءً أساسياً من الحمولات المؤثرة على التصميم وهذا يعني أن زيادة الوزن لا يؤدي إلى رفع المتانة. كما أن زيادة أبعاد العناصر المتحركة في الآلات و الميكانزمات يؤدي إلى تزايد قوى العطالة و بالتالي زيادة الحمولة وهذا بالطبع غير مرغوب فيه وقد يؤدي إلى التحطم.

كما أن زيادة الأبعاد يؤدي إلى زيادة كمية المواد المستخدمة، وبالتالي رفع سعر الكلفة. لذلك يجب يتم تصميم الآلات و المنشآت بحيث تتمتع بالمتانة والوثوقية أثناء استثمارها، كما يجب أن تكون خفيفة الوزن وذات كلفة منخفضة.

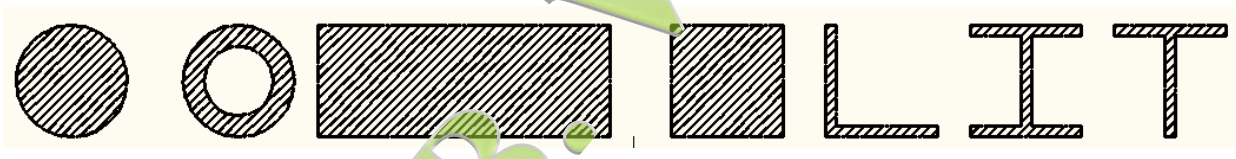
D.A.B WATTAR

يعتمد علم مقاومة المواد في حل المسائل المشار إليها على معطيات نظرية وتجريبية ،كما يعتمد على الميكانيك النظري (التوازن)، الرياضيات، الفيزياء وخواص المواد. فهو العلم المشترك للمهندسين بجميع اختصاصاتهم. حيث يستحيل انشاء أي نوع من التصميم للآلات، الميكانزمات، المنشآت الصناعية أو المدنية، الجسور، خطوط نقل القدرة ، السفن ، الطائرات ، المروحيات، العنفات، ...الخ دون الرجوع إلى مقاومة المواد. أن هذا العلم لا يحيط بكافة مسائل مكانيك الأجسام التي يتغير شكلها تبعاً للحمولة. حيث تتناول هذه المواضيع علوم أخرى مثل الميكانيك الإنشائي للمجموعات القضبانية، نظرية المرونة، نظرية اللدونة. ولا يمكن أن نجد بين هذه العلوم حدوداً واضحة.

رغم الاختلاف الكبير في شكل العناصر المصممة التي نصادفها في الآلات و المنشآت فإنه يمكن إرجاعها إلى عدد غير كبير من الأشكال الرئيسة، والتي تعتبر نموذجاً للحساب على المتانة والصلابة والاستقرار، حيث ينتمي إلى هذه المجموعات كلاً من القضبان، القشريات، الصفائح.

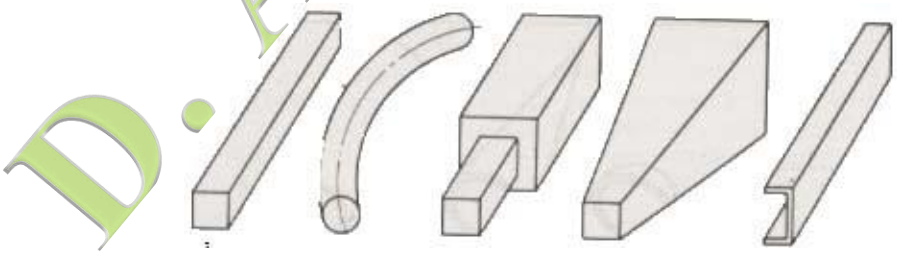
تعاريف ومصطلحات

1– **القضيب** : هو جسم مادي أحد أبعاده أكبر بكثير من بعديه الآخرين، مقطعه العرضي يمكن أن يأخذ أي شكل هندسي، فقد يكون بشكل دائري أو حلقي أو مستطيل أو مربع أو بشكل زاوية قائمة أو بشكل حرف I أو T ... الخ ،كما هو مبين على الشكل (1).



الشكل (1)

يمكن أن نستخدم في الآلات و المنشآت قضبان مستقيمة الشكل (2) أعمدة، محاور، الجوائز، قضبان ثابتة المقطع، قضبان متغيرة المقطع وقضبان منحنية الشكل. القضبان رقيقة الجدران هي قضبان تكون سماكة جدرانها أصغر بكثير من بقية أبعاد المقطع، حيث تستخدم على نطاق واسع في هياكل السيارات و الطائرات و السفن ...الخ.

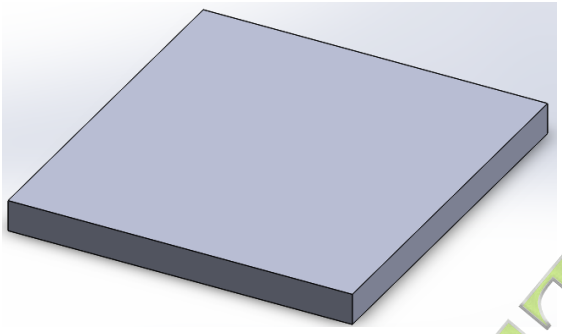


الشكل (2)

2– **الصفيحة** : كل جسم أحد أبعاده t أصغر بكثير من بعديه الآخرين L ، b ندعوه بالصفيحة الشكل (3). حيث t تعبر عن سماكة الصفيحة ، b عرض الصفيحة ، L طول الصفيحة. ويمكن أن نذكر كمثال على الصفائح

D.A.B.WATTAR

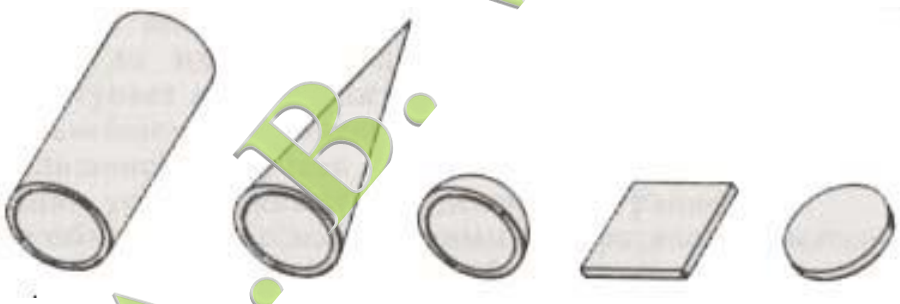
ألواح الزجاج ،الألواح البلاستيكية والألواح المعدنية التي يصنع منها خزانات المياه والغازات والسوائل وهياكل السيارات أو الآلات.



الشكل (3)

يمكن أن نصادف صفائح مستديرة أو صفائح ذات زوايا قائمة وغير ذلك من الأشكال. حيث تعتبر أغطية و أرضية الخزانات المستوية وكذلك أغطية المنشآت الهندسية و أقراص العنفات ...الخ على أنها صفائح.

3– القشرة : عبارة عن جسم محدد بسطوح منحنية، قد تكون القشرة اسطوانية الشكل أو مخروطية الشكل أو كروية الشكل أو غير ذلك الشكل (4). ينتمي للقشريات خزانات الصهاريج و المراجل، القبب، أجنحة الطائرات وهياكل الغواصات ...الخ.



الشكل (4)

4 – المنشأة الهندسية : وهي عبارة عن مجموعة من القضبان والصفائح التي تتجمع مع بعضها البعض بطريقة ما لتعطي شكلا" هندسيا" معينا" يؤدي الغرض الذي صمم من أجله .

5– الأجسام الكتلية: هي الأجسام التي أبعادها الثلاثة من مرتبة واحدة. ينتمي إلى هذه الأجسام المنشآت و قواعد الجدران ...الخ.

6 – القوى : هي الشكل الرياضي الذي يصف تأثير الأجسام على بعضها البعض ولها نوعين :

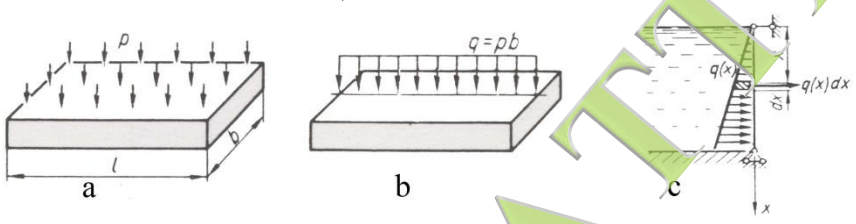
آ – **القوى الخارجية:** وهي التأثير المتبادل بين الأجسام المحيطة ببعضها البعض. حيث عند دراسة جسم أو منشأة ما فإننا نحررهما من جميع القيود والروابط بينهما وبين الأجسام المحيطة بهما، و نستبدل تأثير الأجسام المحيطة بهذا

D.A.B. WATTAR

الجسم أو المنشأة بقوى، تدعى هذه القوى بالقوى الخارجية ونرمز لها بالرمز P وتقدر بـ K_{gf} أو N (نيوتن). هذا وتقسم القوى الخارجية إلى ثلاثة أقسام :

- **قوى حجمية:** وهي القوى التي تتوزع على كامل حجم الجسم أو على جزء منه، مثل قوى الجذب المغناطيسي، دافعة أرخميدس، قوى ضغط مياه البحار على الغواصات .... إلخ .

- **قوى سطحية:** وهي القوى التي تتوزع على كامل سطح الجسم أو على مساحة معينة منه الشكل (5)، وهذه القوى يمكن أن تكون موزعة على سطح الجسم بانتظام أو بعدم انتظام. وبناءً على ذلك فإن القوى الناتجة عن وزن الجليد على الأسطح يمكن اعتباره كمثال على القوى الموزعة بانتظام، كما أن قوى الضغط على جدران الخزانات أو بوابات السدود يمكن أخذها كمثال على القوى الغير موزعة بانتظام.



الشكل (5)

- **قوى مركزة:** وهي تلك القوى التي تؤثر على مساحة صغيرة جداً من الجسم ، ولتسهيل الحسابات نعتبر أن هذه القوى تؤثر في نقطة.

إن جميع أشكال القوى التي ذكرت سابقاً يمكن أن تكون ساكنة (ستاتيكية) أو ديناميكية (تحريكية). ففي حالة القوى الستاتيكية فإننا نعتبر أن القوى التي يتعرض لها الجسم أو المنشأة لا تؤثر فجأةً وإنما تزداد بشكل تدريجي من الصفر وحتى تصل إلى قيمتها النهائية وكمثال على هذا النوع من القوى، بأن نتخيل أن رافعة تحمل خزاناً فارغاً قد وضع تحت صنبور الماء وهو يمتلئ بالماء تدريجياً وبالتالي فالحمولة على الرافعة تزداد تدريجياً أيضاً إلى أن يمتلئ الخزان بالماء فتكون الحمولة (القوة) المؤثرة على الرافعة قد بلغت قيمتها وزن الخزان والماء الذي بداخله. أما إذا كان التحميل فجائي أي لا تزداد الحمولة تدريجياً فإننا نسمي هذه القوى بالقوى الديناميكية، وكمثل على هذا النوع من القوى يمكن أخذ القوى الناتجة عن انفجار الخليط الغازي في محركات الاحتراق الداخلي، حيث أن تأثير ضغط الغازات المشتعلة في حجرة الاحتراق على المكبس هو تأثير فجائي، كما أن سقوط كتلة مادية على جسم أو منشأة ما يؤدي إلى أحمال تصادمية قيمتها أكبر بكثير من وزن هذه الكتلة ...إلخ .

ب – **القوى الداخلية:** وهي القوى التي تنشأ بين ذرات الجسم الواحد عند تعرضه إلى قوى خارجية، حيث كلما زادت قوى الترابط والتماسك بين ذرات المعدن كلما زادت قدرة تحمل المعدن للقوى الخارجية.

D.A.B.WATTAR

إن علم مقاومة المواد هو العلم الذي يقوم بحساب القوى الداخلية التي تنشأ في العناصر التي تتكون منها المنشأة، وذلك بالاعتماد على الميكانيك الهندسي ومعادلاته ومبادئ التوازن وفرضيات مقاومة المواد التي تطبق على المنشأة أو الجسم المدروس لحساب القوى الداخلية المتشكلة فيه، ويتم ذلك بطريقة المقاطع.

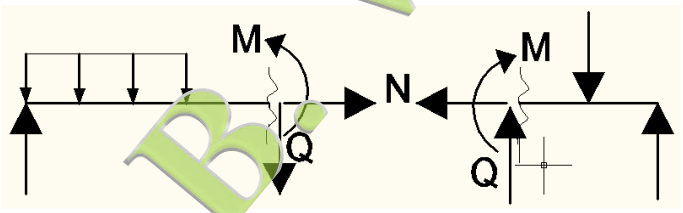
8- **طريقة المقاطع لإيجاد القوى الداخلية** : يتم إحداث مقطع وهمي في المنشأة أو الجسم المدروس وفي المكان المراد معرفة مقدار القوى الداخلية المتولدة من جراء تأثير القوى الخارجية، فعند إجراء المقطع الوهمي ينقسم الجسم إلى قسمين، نقوم بإبعاد هذين الجزأين عن بعضهما ووضع على كل جزء عدد من القوى والعزوم بحيث يبقى كل جزء محافظاً على وضعية توازنه (الوضعية التي كان عليها الجسم قبل عمل المقطع به). إن عدد هذه القوى والعزوم يتبع لنوع القوى الخارجية المؤثرة على الجسم، لذلك نميز حالتين:

آ – **القوى الخارجية بما فيها ردود الأفعال تقع في مستوي واحد** : في هذه الحالة القوى الداخلية التي تظهر في المقاطع تكون أيضاً مستوية، وتظهر فيها قوتان N، Q وعزم M كما هو مبين على الشكل (6) وهي مجهولة ،حيث:

1 – قوة شد أو ضغط ونرمز لها بالرمز N

2 _ قوة قاصة ونرمز لها بالرمز Q

3 – عزم يقع في مستوي (N، Q) ونرمز له بالرمز M



الشكل (6)

ب – **القوى الخارجية بما فيها ردود الأفعال لا تقع في مستوي واحد** : في هذه الحالة تكون القوى الداخلية التي تظهر في المقطع العرضي ستة مجهول N ، Q_x ، Q_y ، M_y ، M_x و M_Z كما هو مبين في الشكل (7) وهي:

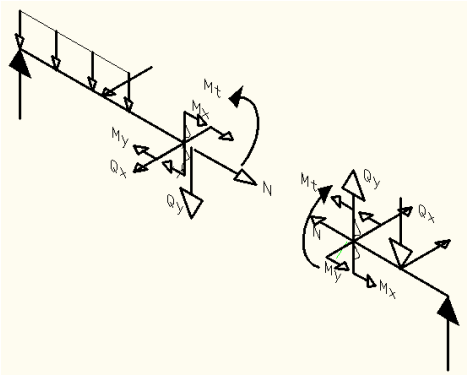
1 – قوة شاد أو ضغط نرمز لها بالرمز N .

2 _ قوتين قاصتين ونرمز لهما بالرمز Q_x و Q_y متعامدتان وتقعان في مستوي (X Y) المتعامد مع خط تأثير القوة N .

3 – عزم فتل M_t مستوي تأثيره متعامد مع خط تأثير القوة N أي يقع في نفس المستوي (X Y).

4 – عزم انحناء M_x يقع في المستوي المؤلف من N و Q_y .

5 – عزم انحناء M_y يقع في المستوي المؤلف من N Q_x .



الشكل (7)

إن تحديد مقدار واتجاه القوى الداخلية التي تظهر في مقاطع الجسم يتم باستخدام معادلات التوازن، حيث نقوم بإهمال أحد جزئي المقطع وغالباً ما نهمل الجزء ذو عدد القوى الأكثر، ونطبق معادلات التوازن على الجزء الآخر.

إن عدد معادلات التوازن للحالة (آ) هي ثلاث معادلات، بينما للحالة (ب) فهي ستة معادلات.

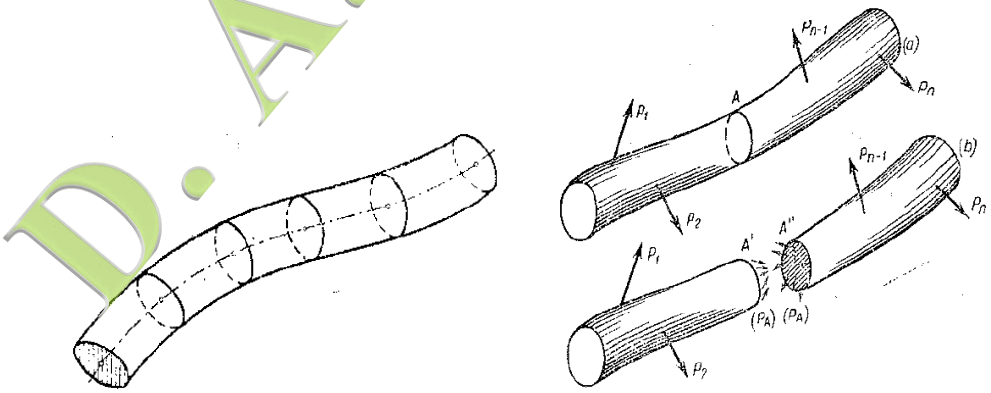
إن القوى الداخلية التي تظهر في المقطع على كل جزء تكون متساوية بالقيمة ومتعاكسة بالإشارة.

إن المقاطع التي نحدثها في أماكن مختلفة من الجسم أو المنشأة تؤدي إلى ظهور قوى داخلية تختلف قيمها من مقطع لآخر.

9– الإجهاد و الانفعال :

– الإجهاد: هو المقياس الذي نقيس بواسطة شدة القوى الداخلية التي تظهر في أي مقطع من مقاطع الجسم أو المنشأة الشكل (8) a.

لندرس المقطع A من القضيب المحمل بقوى خارجية الشكل (8)b .

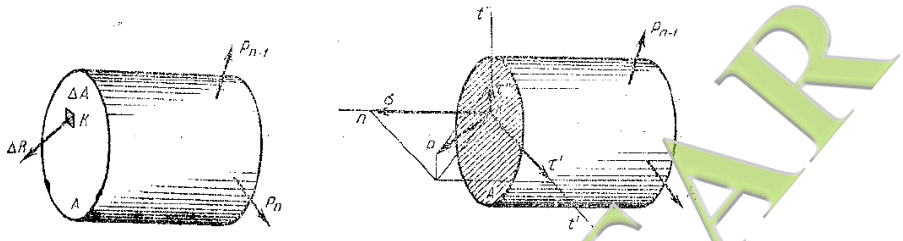


a b

الشكل (8)

بأخذ عنصر المساحة Δ_A من المساحة الكلية للمقطع A الشكل (9) a، وبفرض أن محصلة القوى الداخلية المؤثرة على العنصر Δ_A هي Δ_R. يمكن تحليل Δ_R إلى مركبتين، الأولى ناظمة على سطح المقطع و نرمز لها بالرمز σ، والثانية

مماسة لسطح المقطع، ونرمز لها بالرمز τ. ندعو النسبة $\frac{\Delta_R}{\Delta_A}$ بالإجهاد الوسطي على المساحة Δ_A ، بتصغير هذه المساحة إلى أن تنتهي إلى الصفر نحصل على قيمة P ندعوها بالإجهاد الكلي في النقطة K الشكل (9) b.



a b

الشكل (9)

يمكن تحليل الإجهاد الكلي إلى ثلاث مركبات

1 – مركبة وفق الناظم على المقطع وندعوها بالإجهاد الناظمي ونرمز له بالرمز σ وهو يحاول إبعاد أوتقريب جزيئات الجسم بالنسبة لبعضها البعض وفق اتجاه عمودي على مستوي القطع.

$$\lim_{\Delta A\to 0}\frac{\Delta R}{\Delta A}=\mathrm{p} \qquad (1,1)$$

هذه المعادلة تعطينا مقدار الإجهاد في نقطة، أما إذا أردنا أن نوجد مقدار الإجهاد في السطح A فإننا نكتب:

$$\sigma=\lim_{\Delta A\to 0}\frac{\Delta N}{\Delta A} \qquad (1,2)$$

2 – مركبتان تقعان في مستوي القطع ومتعامدتان مع بعضهما البعض، ندعوهما بالإجهاد المماسي ونرمز لهما بـ $\tau`,\tau``$. هذا الإجهاد يحاول إزاحة جزيئات الجسم بالنسبة لبعضها البعض في مستوى القطع، لذلك ندعو الإجهادات المماسية بإجهاد الإنزياح أو إجهاد القص.

إن إجهادات القص التي تظهر في مستوي القطع هي في الأساس هي قيمة واحدة محصلة، وقد حصلنا على القيمتين $\tau`,\tau``$ بإسقاطها على محورين متعامدين X و Y فنحصل على τ_x ، τ_y .

يقاس الإجهاد بـ $\frac{K_{gf}}{Cm^2}$ أو أجزائهما أو الباسكال Pa حيث $1\ \mathrm{Pa}=1\ \frac{N}{m^2}$.

بتغيير المستوي القاطع A تتغير قيمة الإجهاد. وإن مجمل هذه الإجهادات الناتجة عن تغيرات وضعية المستوي القاطع والتي تمر جميعها من نقطة واحدة K تعطي ما يسمى بالحالة الإجهادية في النقطة K.

يمكن حساب القوى و العزوم التي تظهر في مقاطع الجسم وذلك باستخدام معادلات التوازن. بأخذ عنصر تفاضلي من السطح المقطوع dA من قضيب يتعرض لقوى خارجية بما فيها ردود الأفعال لا تقع في مستوي واحد ونحسب منه القوى الجزئية التي تظهر فيه وهي: $\sigma\cdot dA$ ، $\tau_x\cdot dA.$ ، $\tau_y\cdot dA.$ ثم نقوم بعملية جمع لهذه الأسطح الصغيرة والتي يعبر عنها بالتكامل، وبهذه العملية نحصل على قيمة القوى الداخلية في المقطع العرضي، وقيمة هذه القوى تحسب من العلاقات التالية:

D. A. B. WATTAR

$$N = \int_A \sigma \cdot dA \qquad (1,3)$$

$$Q_x = \int_A \tau_x \cdot dA \qquad (1,4)$$

$$Q_y = \int_A \tau_y \cdot dA \qquad (1,5)$$

بنفس الطريقة يمكن أن نحصل على العزوم الداخلية التي تظهر في المقاطع العرضية، وبالتالي يمكننا كتابة المعادلات التي تعطي قيم هذه العزوم وهي:

$$M_z = \int_A (\tau_x \cdot y - \tau_y \cdot X) \cdot dA \qquad (1,6)$$

$$M_x = \int_A \sigma \cdot y) \cdot dA \qquad (1,7)$$

$$M_Y = \int_A \sigma \cdot X) \cdot dA \qquad (1,8)$$

حيث A مساحة مقطع الجسم المدروس.

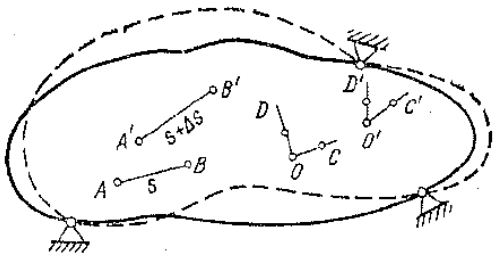
- الانفعالات (التشوهات):

إن تطبيق الأحمال على أي جسم أو منشأة يؤدي إلى تشوه أو إزاحة جزيئات الجسم أو المنشأة بالنسبة لبعضها البعض. وهذه الحالة طبيعية ناتجة عن التحميل، فإذا كانت هذه الإزاحة أو التشوه ليست كبيراً بحيث لا تفقد الجسم متانته، في هذه الحالة يزول التشوه بزوال القوى الخارجية ولا يبقى أثراً لهذه الإزاحة، أي يعود الجسم إلى شكله و وضعه الأولي قبل التحميل. من هنا نجد أن التشوه هو من أهم الخواص التي يجب متابعتها في الأجسام المحملة بقوى خارجية. بناءً على ذلك يمكن أن نميز نوعين للتشوه هما :

1 – تشوه مرن: وهو التشوه الذي يزول تماماً بزوال القوى المسببة له.

2 – تشوه لدن: وهو التشوه الذي لا يزول كله بزوال القوى المسببة له وإنما يبقى جزء منه. إن معرفة مقدار التشوه المتبقي ضروري جداً لدراسة عمليات التشكيل على المعادن كالسحب ،الدرفلة والثني ... إلخ.

لتعيين الإزاحة في نقطة ما نقوم بأخذ الجزء الصغير AB الذي طوله S قبل التحميل الشكل (10). (الخط المستمر يعبر عن وضع الجسم قبل الانفعال، أما وضع الجسم بعد الانفعال فيعبر عنه بالخط المنقط).



الشكل (10)

D. A. B. WATTAR

نتيجة تطبيق القوى على الجسم فإنه ينفعل وبالتالي فإن النقطتين A ، B تنتقلان إلى مكانين أخريين هما $A`$، $B`$ وطول الجزء الصغير AB يكبر أو يصغر بمقدار Δ S. والاستطالة الوسطية ζ_{CP} يمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية :

$$\zeta_{CP} = \frac{\Delta s}{s} \qquad (1,9)$$

بتصغير طول الجزء S حتى تقترب النقطة A من النقطة B نحصل على خط التشوه في النقطة A وباتجاه AB.

$$\varepsilon_{AB} = \lim_{S\to 0} \frac{\Delta S}{S} \qquad (1,10)$$

إذا مررنا محاور الإحداثيات Z ، Y ، X من النقطة A فيمكن تحديد مقدار التشوه أو الانفعال في اتجاه محاور الإحداثيات وهي ζ_x ، ζ_y ، ζ_z. وهذا ما يسمى بالانفعال الطولي والانفعال العرضي وهما انفعالين خطيين. علماً بأن ليس للانفعالات واحدة قياس، وغالباً ما تعطى كنسبة مئوية، وهي عادة غير كبيرة، حيث في حدود المرونة تكون قيمها واقعة ضمن المجال [1 - 1.5]% .

بالإضافة إلى الانفعالات الخطية يوجد انفعالات زاوية. لنأخذ الزاوية القائمة COD قبل التشوه الشكل (10). هذه الزاوية تتشكل من الضلعين CO ، DO. الزاوية COD تتغير وتصبح C`O`D` وذلك نتيجة التشوه من تأثير القوى الخارجية المؤثرة على الجسم الصلب. إن الفرق بين قيمتي هاتين الزاويتين يعبر عنه بالانفعال الزاوي و نرمز له بالرمز γ ويتعين بالعلاقة التالية :

$$\gamma = CO\hat{}D - C`\hat{}O`D` \qquad (1,11)$$

يمكن تحليل الانفعال الزاوي γ وفق محاور الإحداثيات Z ، Y ، X فنحصل على الانفعال الزاوي في المستويات التي تؤلف الجملة الإحداثية وهي γ_x ، γ_y ، γ_z .

تتحدد الحالة الانفعالية في لأي نقطة نقطة من الجسم بشكل كلي من خلال مركبات الانفعال الستة أي بثلاث انفعالات نسبية طولية ε_X ، ε_Y و ε_Z و بثلاثة انفعالات زاوية نسبية γ_{XY} ، γ_{XZ} و γ_{YZ}، وبتعيينها جميعاً تتعين الحالة الانفعالية في نقطة .

– **جساءة المنشأة**: وهي قدرة المنشأة على الصمود من تأثير القوى الخارجية، والمحافظة على وضعها الأولي التي كانت عليه قبل تأثير القوى الخارجية .

– **قانون هوك**: وجد العالم الإنكليزي هوك في عام 1687 أن التشوهات الخطية للجسم في جميع نقاطه تكون متناسبة مع الإجهاد، وهذا التناسب يتحقق عند تطبيق القوى الخارجية على الجسم أو المنشأة أو عند نزع هذه القوى من على الجسم أو المنشأة، وهذا المبدأ صحيح حتى قيمة معينة للإجهاد ولأغلب المواد الإنشائية ويعتبر هذا القانون أساساً في نظرية مقاومة المواد. حيث يمكن التعبير عن قانون هوك بالعلاقة التالية .

$$\Delta = K \cdot P \qquad (1,12)$$

D. A. B. WATTAR

حيث: Δ الانتقال من تأثير القوى الخارجية P المطبقة على الجسم أو المنشأة.

K ثابت يتعلق بالصفات الفيزيائية للمادة المصنوع منها الجسم أو المنشأة .

كما أن قانون هوك يعطي العلاقة الخطية بين الإجهاد والانفعال. لحالة الانفعال الخطي يمكن أن نكتب

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \qquad (1,13)$$

أما لحالة الانتقالات الزاوية فيمكن أن نكتب:

$$\tau = \gamma \cdot G \qquad (1,14)$$

حيث:

E معامل المرونة الأول للمادة، وقيمة تابعة للصفات الفيزيائية للمادة المصنوع منها الجسم أو المنشأة، واحدة تماثل واحدة الإجهاد.

فولاذ	$E = (2.0 \div 2.1)\ (10)^6\ \mathrm{kgf/cm^2}$
نحاس	$E = 1.2\ (10)^6\ \mathrm{kgf/cm^2}$
لاتون	$E = (1.0 \div 1.2)\ (10)^6\ \mathrm{kgf/cm^2}$
الومنيوم وخلائط الومينية	$E = (0.7 \div 0.8)(10)^6\ \mathrm{kgf/cm^2}$
خشب (على طول الألياف)	$E = (0.08 \div 0.12)\ (10)^6\ \mathrm{kgf/cm^2}$

اسم المادة	معامل المرونة (غيغا باسكال)
الصلب	193
مسبوكة كوبالت كروم	235
كوبالت-كروم مشكل ميكانيكياً	235
سبيكةTi-6Al-4V	117
تيتانيوم صرف	100
أكسيد الألمنيومAl_2O_3	380
خليطة كربون-سيليسيوم	21

G معامل المرونة الثاني للمادة، قيمة تابعة للصفات الفيزيائية للمادة المصنوع منها الجسم أو المنشأة، واحدة تماثل واحدة الإجهاد.

والجدول (1) يعطي قيم G، E لبعض أنواع المعادن الأكثر استخداماً .

اسم المادة	معامل المرونة الأول E .10^{-5} Mpa	معامل المرونة الثاني G . 10^{-5} Mpa
فولاذ	2 – 2.1	0.8 – 0.84

فولاذ كرومي 40x	2.185	0.808
فولاذ كرومي45x	2.109	0.8015
فولاذ خلائطي$20XH_3A$	2.04	0.815
فولاذ خلائطي30XrCA	1.98	0.83
ألمنيوم وخلائطه	0.7-0.72	0.27
تيتانيوم	1.12-1.15	0.4-0.43
نحاس	0.98-1.15	0. 35
مواد بلاستيكية	0.00037-0.18	0.00015-0.00019
كوشك طبيعي	$(0.6-1)\cdot 10^{-4}$	_
زجاج	0.48-0.85	0.022-0.032

10– مبدأ استقلال تأثير القوى: لعناصر الإنشاء العامل في حدود قانون هوك فإن نتيجة تأثير القوى الخارجية بما فيها ردود الأفعال يساوي إلى مجموع تأثير كل قوة لوحدها، وبالتالي فإن اختلاف تسلسل وضع القوى على الجسم أو المنشأة لا يؤثر على النتيجة النهائية لتشوهاتهما. وبالتالي يمكن نعير عن قانون هوك بقولنا كما تكون القوة يكون الانتقال. باعتبار أن الانتقال صغيراً ولا يؤثر على توضع القوى بالنسبة لبعضها البعض ولا على البعد بينها وبين أي نقطة من نقاط الجسم.

11– طريقة حسب عناصر الإنشاء: عند عمل الآلات فإن كل عنصر من عناصرها (أجزائها) يتعرض لحمولة خارجية والتي تقوده إلى تشوه غير مسموح به أو إلى تحطمه. وحتى لا يحدث ذلك فمن الضروري الاختيار الصحيح لشكل ومادة كل عنصر من عناصر الآلة أو المنشأة وذلك بالاعتماد على القوى الخارجية المؤثرة في هذه العناصر وشروط عمله. ثم معرفة إذا كان هذا الاختيار يؤدي الغرض الذي صمم من أجله ضمن هذه الآلة أو الإنشاء.

إن أهم طريقة لحساب الإنشاء هي طريقة الحساب وفق الإجهاد. وهنا نعتبر أن مقياس صحة وأمان الإنشاء هو أكبر إجهاد ينشأ في نقاط الجسم والذي هو عبارة عن إجهاد ناظمي وإجهاد مماسي. أي دراسة الحالة الإجهادية في كل نقطة من نقاط الجسم أو المنشأة وإيجاد أكبر إجهاد يتعرض له هذا الجسم ومقارنة مع إجهاد حدي لنفس مادة هذا العنصر المحدد مسبقاً بتجارب مخبرية تمت على عينات من نفس المادة المستخدمة في هذا الجسم أو المنشأة. فإذا كانت قيمة الإجهاد الحدي أكبر من أكبر إجهاد نشأ في الجسم فالتصميم يكون مقبول. وإذا كان غير ذلك فيجب تغيير التصميم من حيث الشكل أو المادة.

D. A. B. WATTAR

إن مسائل حساب عناصر الإنشاء تنحصر في ثلاثة أشكال:

– حسابات التصميم : وفيها نحدد مقاييس الجسم (أبعاد مقاطعه العرضية) ونوع المادة المستخدمة في الإنشاء.

– حسابات مراقبة وتأكد (تدقيق): وفيها يتم التأكد من قيم الإجهاد ومقاييس الجسم المركب في الآلة أو المنشأة.

– معرفة حدود زيادة الحمولة: في هذه الحالة يتم معرفة أكبر قوة خارجية يمكن تعريض عناصر الآلة أو المنشأة لها.

12– فرضيات مقاومة المواد:

1 – نعتبر جميع المواد المستخدمة في المنشأة صلبة ومتجانسة (لها صفات واحدة في كافة الاتجاهات).

2 – القوى الخارجية التي تتعرض لها الأجسام تزداد قيمها بشكل تدريجي من الصفر وحتى قيمتها النهائية، وبالتالي فإن الجسم ينفعل أيضاً بشكل تدريجي، أي القوى الداخلية التي تظهر في الأجسام من تأثير القوى الخارجية تتزايد بشكل تدريجي.

3 – نعتبر الجسم ساكناً قبل وبعد التحميل أو يتحرك بحركة منتظمة لا تتغير بعد التحميل عنها قبل التحميل.

ملاحظة : نقصد بالتحميل تطبيق القوى الخارجية على الجسم أو المنشأة .

4 – يكون التشوه صغير جداً بالمقارنة مع أبعاد الجسم أو المنشأة .

5 – الإجهادات والانفعالات التي يتعرض لها الجسم أو المنشأة تخضع لقانون هوك.

6 – المقاطع المستوية للأجسام تبقى مستوية قبل وبعد التحميل، وهذا ما ندعوه بفرضية المقاطع المستوية.

13– أشكال انفعال القضيب

إن الأجسام الحقيقية قابلة للتشوه أي قابلة لتغير شكلها وأبعادها عند تعرضها لقوى خارجية أو لتغير في درجة حرارتها. عند تشوه الجسم فإن مختلف نقاط القضيب تنتقل نسبة لبعضها البعض ونسبة لوضعها الأولي.

عند تحميل الجسم الصلب تنشأ فيه قوى داخلية بحيث تعاكس التأثير المتبادل بين جزيئاته. هذه القوى الداخلية تعمل على إرجاع جزيئات الجسم إلى الوضعية التي كانت عليها قبل تعرض الجسم للانفعال.

يمكن للانفعال أن يكون مرناً، أي أنه يختفي بعد إزالة تأثير القوى المسببة له، أو يكون الانفعال لدناً بحيث يبقى الانفعال بعد تلاشي القوى المؤثرة.

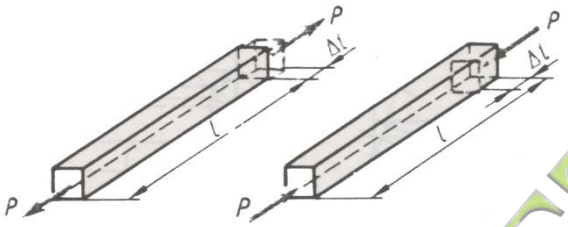
مع تزايد القوى الخارجية فإن القوى الداخلية تتزايد كذلك، إلا أن تزايدها يقف عند حد معين يتعلق بمواصفات المادة. إلى أن تأتي لحظة لم يعد للجسم القدرة على الاستمرار في مقاومة تلك القوى الخارجية، عندها يبدأ الجسم بالتحطم. لذلك ولمعظم الحالات يتم وضع حدود معينة لانفعال عناصر التصميم ويحظر تجاوزها.

إن العنصر الرئيس والنموذجي الذي يتناول دراسة مقاومة المواد عبارة عن قضيب ذو محور مستقيم.

D.A.B.WATTAR

في مادة مقاومة المواد سنقوم بدراسة الانفعالات الرئيسة للحالات التالية: الشد والضغط، الانزياح (القص)، الفتل، والانحناء، كما ستتم دراسة الانفعالات الأكثر تعقيداً الناتجة من ترافق أكثر من نوع من الانفعالات الرئيسة.

– الشد والضغط ينشأ من تطبيق قوى متعاكسة في الاتجاه على طول محور قضيب الشكل (11)، في هذه الحالة يحدث انتقال لأي مقطع على طول محور القضيب، فيستطيل عند الشد ويقصر عند الضغط. يسمى أي تغير في الطول الأولي للقضيب L بالاستطالة ΔL التي يمكن أن تكون استطالة مطلقة عند الشد أو انكماش مطلق عند الضغط. ندعو النسبة $\frac{\Delta L}{L}$ بالاستطالة الوسطية للطول L وتحسب بالعلاقة: $\varepsilon_{cp} = \frac{\Delta L}{L}$

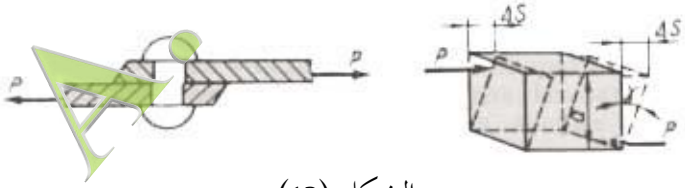


الشكل (11)

كثير من عناصر التصميم تعمل على الشد أو الضغط، مثل الأعمدة، أذرع مكابس الآلات البخارية، المضخات المكبسية، القضبان الملولبة وغيرها من عناصر الآلات.

– ينشأ الانزياح أو القص عندما تقوم القوى الخارجية بإزاحة مستويين لمقطعين متوازيين للقضيب بالنسبة لبعضها مع بقاء المسافة بينهما ثابتة الشكل (12). تسمى قيمة الإزاحة ΔS بالانزياح المطلق. حيث نسبة الانزياح المطلق إلى المسافة a بين المستويات المزاحة (ظل الزاوية γ) التي تسمى بالانزياح النسبي (انفعالاً زاوياً). نتيجة لصغر الزاوية γ في حالة الانفعالات المرنة فإن ظل الزاوية يؤخذ مساوياً إلى زاوية انحراف العنصر المدروس. ويحسب بالعلاقة: $\gamma = \frac{\Delta S}{a}$

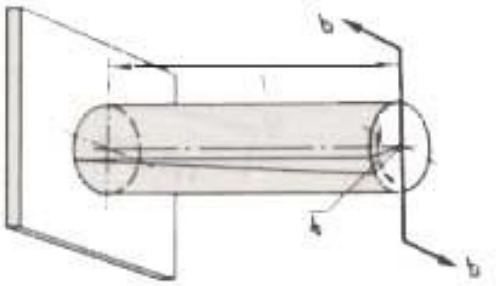
يعتبر الانزياح النسبي يعبر عن التواء العنصر يقدر بالراديان. من بين العناصر التي تعمل على الانزياح أو القص هي البراشيم، مسامير الربط و عناصر التثبيت...الخ.



الشكل (12)

- ينشأ الفتل عندما تؤثر في القضيب قوى خارجية، مشكلة عزماً بالنسبة لمحور القضيب الشكل (13). يترافق انفعال الفتل مع دوران المقاطع العرضية للقضيب بالنسبة لبعضها البعض حول محوره. تسمى زاوية دوران مقطع ما بالنسبة لمقطع آخر يبعد عنه مسافة L بزاوية الفتل على الطول L. نسبة زاوية الدوران φ إلى الطول L تسمى بزاوية الفتل النسبية لواحدة الطول $\theta = \frac{\varphi}{L}$

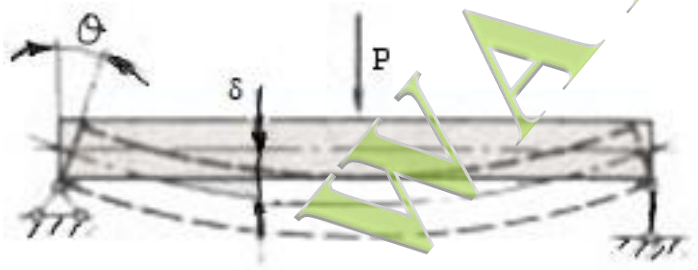
D. A. B. WATTAR



الشكل (13)

من بين العناصر التي تعمل على الفتل نذكر: المحاور الدوارة (محاور المخارط والمثاقب) وعلب السرعة وغيرها.

– انفعال الانحناء الشكل (14) يتلخص في انحناء محور قضيب مستقيم أو تغيير في نصف قطر تقوس قضيب منحني. إن الانتقال الحاصل لأياً من نقاط محور القضيب يعبر عنه بشعاع تنطبق بدايته مع الوضع الأولي للنقطة و نهايته في الوضع الذي أخذته النقطة قضيب بعد انفعاله. يسمى الانتقال العمودي لنقاط القضبان المستقيمة بالنسبة للوضع الأولي للقضيب بالتدلي و يرمز له بالحرف δ . عند الانحناء يحدث كذلك دوران لمقطع القضيب حول المحاور المتوضعة في مستوي القطع. يرمز إلى زوايا دوران المقاطع بالنسبة لوضعهم الابتدائي بالرمز θ. من بين العناصر التي تعمل على الانحناء محاور عربات القطارات، النوابض الصفائحية، أسنان المسننات، مرتكزات العجلات، الجوائز ...إلخ.



الشكل (14)

نتيجة لتأثير أكثر من نوع من الانفعالات الرئيسية المشار إليها على الجسم بوقت واحد فإنه ينشأ انفعالاً أكثر تعقيداً. وهكذا ففي كثير من الحالات تتعرض عناصر الآلات و المنصاميم إلى تأثير قوى تؤدي بنفس الوقت إلى نشوء انحناء و فتل، انحناء وشد أو ضغط وغير ذلك.

D. A. B. WATTAR