الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

كلية هندسة البترول
Faculty of petroleum engineering

مقاومة المواد

استاذ المقرر
د. مفيد العفيف

العام الدراسي 2017 – 2018

الباب الاول

مبادئ اساسية

١ – مهام كتاب «مقاومة المواد»

ان مختلف الانشاءات والمكائن، التى يقوم المهندس بتصميمها وبنائها، خلال نشاطه العملى، يجب ان تتصف، اضافة الى الصفات الاخرى، بالمتانة (التى يقصد بها مقاومة المادة) اى القابلية لمقاومة الانهيار تحت تأثير القوى الخارجية المسلطة عليها (الاحمال).

ولهذا فان اجزاء الانشاءة او المكنة يجب ان تكون مصنوعة من مادة مناسبة وحسب الابعاد الضرورية .

ان شرح طرق حساب متانة اجزاء الانشاءة يشكل المهمة الاولى لكتاب «مقاومة المواد».

والى جانب هذا، يتحتم فى كثير من الحالات تحديد تلك التغييرات فى الشكل والابعاد (التشوهات) التى تحدث فى اجزاء الانشاء عند تأثير الحمل عليها.

ان الاجسام التى تدرس فى الميكانيكا النظرية باعتبارها اجساما مطلقة الصلابة او اجساما لا تتشوه، لا وجود لها فى الواقع.

ومن الطبيعى، الا يحصل تشوه كبير تحت التأثير العادى للحمل. ثم لا يمكن اكتشاف ذلك التشوه الا بواسطة اجهزة خاصة تسمى «التنزومتر».

والتشوهات البسيطة لا تظهر تأثيرا ملموسا على قوانين توازن الاجسام وحركتها. ولذا فانها تهمل فى الميكانيكا النظرية. وبدون دراسة تلك التشوهات لا يمكن حل مسألة مهمة بالنسبة للمهندس، وهى فى اية الحالات يمكن ان تخرب الاجزاء، وفى اية الحالات يمكنها ان تعمل بأمان.

وعدا ذلك، ففى اكثر الحالات يجب تحديد مقدار التشوهات، بغض النظر عن صغرها بالنسبة الى ابعاد الجزء اذ يستحيل الاستعمال الطبيعى للهيكل فى حالة عدم تحديد التشوهات. فنتيجة للتشوهات الحاصلة فى نفس الجزء او فى اجزاء المكنة اثناء عملية الصنع الميكانيكية لذلك الجزء، تقل دقة الصناعة وهذا امر لا يسمح به.

ان قابلية اجزاء الانشاءة لمقاومة التشوه تسمى الصلادة. ومن هنا تبرز المهمة الثانية للكتاب : شرح طرق حساب صلادة اجزاء الانشاء .

اما المهمة الاخرى لكتاب «مقاومة المواد» فتتعلق بدراسة استقرار اشكال التوازن للاجسام الحقيقية (اى التى تتشوه).

ويراد بالاستقرار: قابلية الجزء لمقاومة الانحرافات الكبيرة عن التوازن عند تأثيرات انفعالية صغيرة.

ومن الممكن اعتبار التغييرات القليلة للاحمال المؤثرة بمثابة تأثير انفعالى.

ويمكننا ان نعبر عن مفهوم الاستقرار بالشكل التالى: يعتبر توازن الجزء مستقرا اذا صاحب التغيير القليل للحمل تغييرا قليلا للتشوه .

وفى حالات خاصة للتحميل يمكن اعتبار قابلية الجزء للمحافظة على شكل واحد للتوازن مقياسا للاستقرار.

وكمثال على ذلك نأخذ حالة ضغط جزء رفيع بقوة تؤثر باتجاه محوره لنرى الى اية قيمة محددة (حرجة) تصل القوة الضاغطة التى تتعلق بنوع مادة الجسم وابعاده ونوعية تثبيته، بحيث يبقى الجسم محتفظا بشكله الخطى المستقيم.

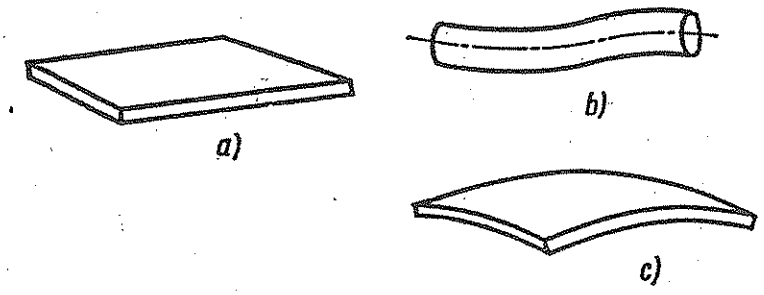
ولدى الحصول على القيمة الحرجة للقوة نفسها الى جانب الشكل الخطى المستقيم للتوازن، يمكن الحصول على شكل منحنى للتوازن يكون اكثر خطرا على الجزء .

ويمكن حدوث فقدان الاستقرار عند مقادير الاحمال التى تعتبر غير خطرة مطلقا من وجهة نظر متانة الجزء او صلادته.

ان شرح طرق حساب استقرار اجزاء الانشاءة يشكل المهمة الثالثة لكتاب «مقاومة المواد».

وعند تطبيق طرق الحسابات المذكورة يتحتم السعي الى اقصى حد للاقتصاد فى المواد. وهذا يعنى الاكتفاء دون الاكثار من ابعاد اجزاء المكائن والانشاءات. ولتنفيذ ذلك تتضح ضرورة الدراسة الكاملة والعميقة لخواص المواد المستعملة ولطبيعة الاحمال المؤثرة على الجزء المحسوب. ويمكن التوصل الى ذلك عن طريق الابحاث التجريبية الشاملة والدراسة العميقة للخبرة المتراكمة نتيجة لتصميم واستثمار الانشاءات.

ومن ناحية اخرى، فعند استنتاج الحسابات الاساسية المتعلقة بمقاومة المواد يلزمنا ادخال مختلف الفرضيات التى تسهّل العمل. ان صحة هذه الفرضيات وكذلك مقدار الخطأ الذى تحدثه فى الصيغ الحسابية، يمكن التأكد منهما بمقارنة نتائج الحسابات بواسطة الصيغ مع المعطيات التجريبية.



الشكل ١ – ١

ان الانشاءات التى يتحتم على المهندس مجابهتها فى التطبيق هى فى اكثر الحالات ذات شكل معقد، ولكن يمكن عرض اجزائها المنفردة على الاشكال البسيطة التالية:

١ – القضيب (*rod*): هو الجسم الذى يحتوى على بعدين صغيرين نسبة الى البعد الثالث (الشكل ١ – ١، *b*) وفى حالة خاصة قد تكون مساحة المقطع العرضى للقضيب ثابتة ومحوره مستقيما. والخط الموصل لمراكز ثقل القضيب فى مقاطعه العرضية يسمى محور القضيب. والقضيب ذو المحور المستقيم يسمى غالبا بالقضيب المستقيم (*bar*).

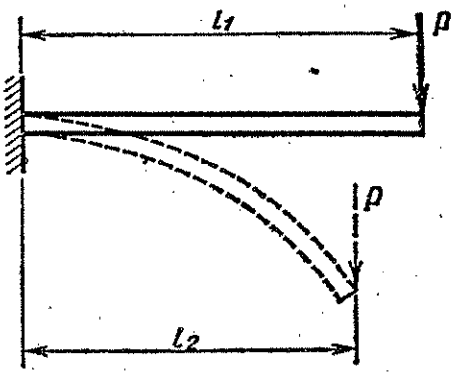
٢ ــ اللوح: هو جسم محدد بسطحين مستويين بحيث تكون المسافة بينهما صغيرة نسبة للابعاد الاخرى (الشكل ١ ــ ١، a).

٣ ــ الغلاف: هو جسم محدد بسطحين منحنيين بحيث تكون المسافة بينهما صغيرة نسبة للابعاد الاخرى (الشكل ١ ــ ١، c).

٤ ــ الكتلة: هى جسم ذو ثلاثة ابعاد من درجة واحدة.

ويدرس كتاب «مقاومة المواد» خواص الاجسام التى لها شكل القضبان الثابتة المقطع والمجموعة السهلة المتكونة منها. وتأخذ بنظر الاعتبار القضبان التى تمتاز بصلادة كافية اى التى لا تتشوه كثيرا بتأثير الحمل.

وتظهر تشوهات كثيرة فى القضبان المستقيمة اللدنة جدا (الشكل ١ ــ ٢) لا يمكن اهمالها حتى عند تحديد رد فعل الارتكاز. ان تحديد المسافة الجديدة l_2 التى تختلف عن المسافة الاولى l_1 كثيرا يعتبر مسألة معقدة.



الشكل ١ ــ ٢

ان طرق حساب القضبان اللدنة، الالواح، الاغلفة والكتل تبحث فى كتاب «نظرية المرونة» حيث لا تستعمل فيها الفرضيات المسهلّة التى تستعمل فى كتاب «مقاومة المواد».

وطرق نظرية المرونة تمكننا من الحصول على حلول مضبوطة للمسائل التى تبحث فى كتاب مقاومة المواد علاوة على حل مسائل اكثر تعقيدا لا يسمح باستعمال الفرضيات المسهلّة عند حلها.

وتدرس فى كتاب «نظرية الانشاءات» (وتسمى ايضا ميكانيكا البناء) طرق حساب مجموعة القضبان المستقيمة (*bars*).

ان تطور علم مقاومة المواد كباقى العلوم الاخرى المذكورة يتصل بتطور التكنيك اتصالاً مباشرا.

ويعود ظهور علم مقاومة المواد الى القرن السابع عشر ويتصل باعمال غاليليو. وقد ساهم العلماء البارزون هوك، ى. بيرنوللى، سين ــ فينان، كوشى،

لاميه وغيرهم مساهمة كبيرة فى تطوير نظرية «مقاومة المواد» و«نظرية المرونة» اذ انهم صاغوا الفرضيات الاساسية، ووضعوا بعض المعادلات الحسابية لها.

وتجدر الاشارة بصورة خاصة الى الابحاث القيمة (القرن الثامن عشر) التى قام بها العالم الشهير ليونارد ايلر عضو اكاديمية العلوم فى بتربورغ. وكانت ابحاثه مخصصة لحساب استقرار القضبان المضغوطة وتستخدم هذه الابحاث حتى يومنا هذا.

وقد حازت ابحاث العالمين الروسيين د. جورافسكى وخ. غولوفين وغيرهما فى القرن التاسع عشر شهرة عالمية.

وتستخدم صيغة جورافسكى حتى الآن لتحديد اجهادات القص عند الانحناء.

وفى نهاية القرن التاسع عشر قام ف. ياسينسكى بابحاث هامة ورائعة حول حساب استقرار القضبان المضغوطة لم تفقد اهميتها حتى الوقت الحاضر.

ومنذ بداية القرن العشرين يتعاظم دور العلماء الروس فى علم «مقاومة المواد» حيث ظهرت ابحاث قيمة للبروفسور ى. بوبنوف والاكاديمى ا. كريلوف وغيرهما، كلها مكرسة لمتابعة تطوير واتقان طرق مقاومة المواد. ونالت طريقة بوبنوف لحل المسائل المعقدة فى مقاومة المواد شهرة عالمية.

وقد ساهم س. تيموشينكو ــ مؤلف العديد من الكتب الممتازة والابحاث العلمية حول حساب متانة الانشاءات واستقرارها واهتزازها بدور كبير جدا فى تطوير علم «مقاومة المواد».

وفى ظل الحكم السوفيتى انشئت فى البلاد شبكة واسعة من معاهد الابحاث العلمية التى تعمل فى حقل حساب الانشاءات. وقد قام العاملون فى المعاهد الى جانب العاملين فى المدارس العليا بحل مسائل كبيرة ومهمة لتطوير التكنيك الحديث ووضعوا طرقا فعالة لحساب الاجزاء المعقدة الشكل الواقعة تحت تأثير احمال مختلفة.

وهنا تجدر الاشارة الى اعمال الاكاديمى ن. دافيدينكوف حول نظرية المتانة، واعمال الاكاديمى س. سيرنسين حول دراسة متانة الاجزاء عند الاحمال المتغيرة، والاكاديمى ا. دينيك حول الاستقرار وغيرها من الاعمال الاخرى.

ويجب الاشارة بصورة خاصة الى الاعمال الرائعة للبروفسور ف. فلاسوف حول حساب القضبان الرقيقة الجدران والمنشآت القشرية التى تستعمل فى التكنيك الحديث بكثرة.

وهناك ابحاث اخرى هامة قام بها عدد من العلماء السوفييت.

٢ – الفرضيات المستعملة فى كتاب «مقاومة المواد»

نظرا لظهور صعوبات عند اجراء حسابات اجزاء الانشاءات ففى مقاومة المواد تستخدم بعض الفرضيات المسهلة التى تتعلق بصفات المادة والاحمال وطبيعة الفعل المتبادل للاجزاء والاحمال.

وقد اظهرت التجارب العملية ان الحسابات التى حصل عليها نتيجة استعمال الفرضيات المذكورة ادناه، تؤدى الى اخطاء قليلة جدا. وبحيث يمكن اهمالها فى الاغراض العملية.

الافتراض الاول: لمادة الجسم تركيب أصم متماسك. وهكذا فاننا لم نأخذ التركيب الذرى للمواد بالاعتبار. وقد اثبت التطبيق صحة الافتراض المذكور. وذلك لان تركيب معظم المواد البنائية مكون من حبيبات دقيقة وهى من الكثرة بحيث يمكن اعتبارها متماسكة دون انقطاع مع عدم ملاحظة الاخطاء. وحتى بالنسبة للمواد مثل الخشب، الخرسانة والحجر فان الحسابات المستندة على افتراض تماسك موادها (*solidity*) تعطى فى التطبيق نتائج مرضية.

ويفسر هذا بان ابعاد الاجزاء الحقيقية هى اكثر بكثير من المسافات بين الذرات.

وهذا الافتراض سيمكننا فى المستقبل من استعمال اجهزة الحسابات الرياضية للدوال المتصلة.

الافتراض الثانى: مادة الجسم متجانسة، اى ان الخواص فى جميع نقاط الجسم واحدة. ويلاحظ فى هذا المجال ان المعادن ذات خواص متجانسة جدا

اى ان جميع نقاط الجزء لها نفس الخاصية عمليا . إما الخشب والخرسانة والحجر والبلاستيك فانها تعتبر اقل تجانسا. فمثلا تحتوى الخرسانة فى خليطها على احجار صغيرة وحصى وآجر وهى تختلف فى خواصها عن خواص الاسمنت. وفى الخشب توجد العقد التى تختلف خواصها كثيرا عن خاصية كتلة الخشب. اما فى البلاستيك فتختلف خواص الراتينج عن خواص الخليط.

ومع ذلك فقد اظهرت التجارب، ان الحسابات المستندة على افتراض تجانس مواد الجزء تعطى نتائج مرضية للمواد الانشائية الاساسية.

الافتراض الثالث: مادة الجزء متشابهة الخواص (*isotropic*)، اى ان خواص المادة هى واحدة فى جميع الاتجاهات. لقد اظهرت التجارب ان خواص البلورات المكونة لكثير من المواد تكون مختلفة جدا فى مختلف الاتجاهات. فمتانة بلورات النحاس في بعض الاتجاهات مثلا تختلف عن الاتجاهات الاخرى باكثر من ثلاث مرات.

ولكن من الممكن عمليا اعتبار المواد التى لها تركيب دقيق الحبيبات مواد متشابهة الخواص وذلك بفضل الكمية الكبيرة للبلورات غير المنتظمة والتى تتوازن خواصها فى الاتجاهات المختلفة.

وبالنسبة للمواد كالخشب والخرسانة المسلحة والبلاستيك، فان الافتراض المذكور يطبّق بصورة تقريبية فقط. وتسمى هذه المواد (التى تختلف خواصها فى مختلف الاتجاهات) بالمواد المتباينة الخواص.

وعند حل بعض المسائل الخاصة بمواد مثل البلاستيك، يجب علينا ان نأخذ بنظر الاعتبار تباين خواصه، وذلك عن طريق تطبيق طرق «نظرية المرونة».

الافتراض الرابع: ليست فى الجسم اية قوى داخلية (اولية) قبل وضع الحمل عليه. يلاقى تغير شكل الجسم وابعاده تحت تأثير الحمل مقاومة من قوى الفعل المتبادل بين جزيئات المادة التى تتغير المسافات بينها. وعند تطرقنا للقوى الداخلية (او قوى المرونة)، نقصد هذه القوى بالذات، دون اخذنا فى الاعتبار القوى الجزيئية التى يملكها حتى الجسم غير المحمل.

'ن هذا الافتراض لا ينطبق على اية مادة كانت ففى الاجزاء الفولاذية تر جد قوى داخلية نشأت بفعل التبريد غير المنتظم، وفى الخشب نتيجة التيبس غير المنتظم، وفى الخرسانة خلال عملية التجمد.

ولا تكون مقادير هذه القوى عادة معروفة للمصمم، غير انه يسعى لتحديدها بالطرق التجريبية فى الحالات التى يقدر فيها بان هذه القوى قد تكون كبيرة.

الافتراض الخامس او مبدأ التراكب (*superposition*): اذا اثرت مجموعة من القوى على جسم ما، فان تأثيرها على هذا الجسم يساوى مجموع نتائج تأثيرات القوى المكونة لها على نفس الجسم بالتوالى وباى ترتيب كان. ويقصد بـ«نتيجة التأثيرات» التشوه والقوى الداخلية التى تنشأ فى الجسم، والازاحة التى تتعرض لها النقاط على انفراد.

وتجدر الاشارة هنا الى وجوب بحث تأثير كل من القوى التى تشترك فى مجموعة ما مع ما تسببه هذه القوى من رد فعل عند تثبيتها.

ان مبدأ تراكب القوى يستعمل بكثرة فى الميكانيكا النظرية للاجسام المطلقة الصلابة. وبالنسبة للاجسام التى تتشوه تستعمل فى حالتين فقط:

١ — عندما تكون ازاحة نقاط تأثير القوى صغيرة بالمقارنة مع ابعاد الجسم.

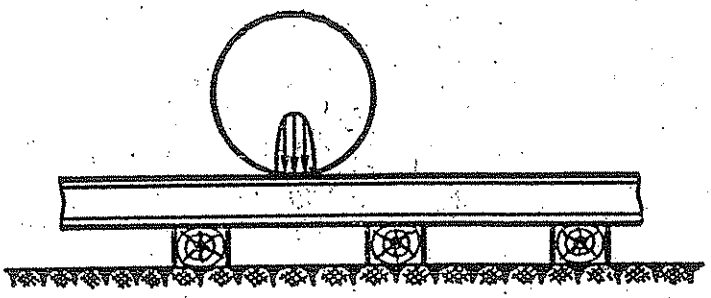
٢ — عندما تكون الازاحة الناتجة عن تشوه الجسم مرتبطة بعلاقة خطية مع القوى المؤثرة. وتسمى مثل هذه الاجسام بالاجسام ذات التشوه الخطى.

وتنطبق هاتان الحالتان على الانشاءات العادية، ولذلك يستعمل مبدأ تراكب القوى عند تصميم الانشاءات بكثرة.

الافتراض السادس او مبدأ سين — فينان: اذا كانت النقاط الواقعة فى جسم ما تبعد عن نقاط تأثير الاحمال على ذلك الجسم بما فيه الكفاية فان القوى الداخلية الناشئة فيها تعتمد على طبيعة التحميل اعتمادا ضئيلا.

وفى كثير من الحالات يسمح هذا المبدأ باستبدال نظام قوى بآخر مكافئ «استاتيكيا» باستطاعته ان يسهل الحسابات. ففى مثال قضيب السكة الحديدية (الشكل ١ — ٣) باعتباره قضيبا مستندا على عدة ركائز (فلنكة)، يمكننا استبدال الحمل الحقيقى للعجلة الموزع على مساحات الاتصال حسب قانون خاص (يصعب تحديده) بقوة متمركزة.

وقد اظهرت الابحاث النظرية والعملية ان عند تحديد القوى الداخلية فى النقاط التى تبعد عن منطقة التحميل بمسافة تزيد بمرة ونصف او مرتين على اكبر ابعاد سطح التلامس، يمكن استبدال اى حمل بآخر مكافئ له استاتيكيا.
وسنذكر بعض الافتراضات الاخرى فى أماكن مناسبة من هذا البحث.



الشكل ١ – ٣

٣ – انظمة وحدات القياس الميكانيكية

عند دراسة كتاب مقاومة المواد سنلاقى كميات: كالقوة والكتلة والشغل والقدرة... الخ.

ولقياس هذه الكميات تستعمل انظمة وحدات مختلفة. وكان نظام وحدات القياس م كجم ق ث (*mkgfs*) اكثر انتشارا فى التطبيق الهندسى حتى المدة الاخيرة، لانه يضم الوحدات الاساسية: وحدة الطول – المتر، وحدة القوة – الكيلوجرام (كجم ق او *kgf*)، وحدة الزمن – الثانية. غير ان لهذا النظام بعض العيوب. اولا: ان الوحدة الاساسية كيلوجرام قوة تعبر كمية متغيرة لانها متعلقة بموقعها الجغرافى من خطوط العرض والارتفاع عن مستوى سطح البحر وتتراوح فى مدى ٢ر. ٪ تقريبا. ثانيا: ظهر انه لا يمكن استعمال نظام م كجم ق ث (*mkgfs*) لقياس وحدات الكهرباء والمغنطيس، ولذا لا يعتبر هذا النظام عاما.

وفى المؤتمر العام الحادى عشر للقياسات والاوزان (اكتوبر ١٩٦٠) اتخذ قرار حول تثبيت نظام عملى عام لوحدات القياس، يضم ست وحدات اساسية

وهى : وحدة الطول ــ متر ، وحدة الكتلة ــ كجم ، وحدة الزمن ــ ثانية ، وحدة الحرارة ــ درجة كلفن * ، وحدة التيار ــ امبير ، وحدة قوة الضوء ــ شمعة. وسمى نظام وحدات القياس هذا بنظام وحدات القياس العالمى ويرمز اليه بـ *Si* .

ان الاختلاف الجوهرى بين نظام س ى (*Si*) ونظام م كجم ق ث (*mkgfs*) لدى استعمالهما فى مسائل مقاومة المواد ينحصر فى ان نظام *Si* يستعمل الـ كجم كوحدة اساسية لقياس الكتلة اما وحدة قياس القوة فهى مشتقة.

وان وحدة القوة فى نظام *Si* تعتبر تلك القوة التى تعطى لكتلة قدرها ١ كجم ، تسارعا قدره ١ م/ث ٢. وتسمى هذه الوحدة « نيوتن».

وتبعا لهذا تتغير وحدات القياس والمقادير الاخرى (العزوم ، الاجهاد ، والقدرة ، وغيرها).

وللانتقال من نظام م كجم ق ث (*mkgfs*) الى نظام *Si* وبالعكس يجب استعمال العلاقات التالية:

القوة:

١ كجم ق=٩ر٨٠٦٦٥ نيوتن ≈ ١٠ نيوتن

١ نيوتن=١٠١٩٧ر٠ كجم ق≈١ر٠ كجم ق

الكتلة:

١ كجم ق ٠ ث٢/م=٨١ر٩≈ ١٠ كجم

١ كجم≈١ر٠ كجم ق ث٢/م.

الضغط:

١ كجم ق/سم٢ ≈ ١٠ نيوتن/سم٢=٥١٠ نيوتن/م٢

١ نيوتن/سم٢≈١ر٠ كجم ق/سم٢.

وتوجد وحدة سهلة لقياس الضغط لا تدخل النظام وهى بار وتساوى (١٠)٥ نيوتن/م٢. ومن السهولة الانتقال من نظام م كجم ق ث (*mkgfs*) الى نظام س ى (*Si*) عند استعمال هذه الوحدة وذلك لان:

١ كجم ق/سم٢ ≈ ١ بار.

*درجة الصفر بجدول درجات كلفن تساوى ــ ٢٧٣ درجة مئوية.

الشغل (الطاقة):

١ كجم ق م ≈ ١٠ نيوتن · م = ١٠ جول

١ نيوتن · م = ١ جول ≈ار٠ كجم م.

وكوحدة للشغل فى نظام س ى (Si) يستعمل شغل قوة ١ نيوتن لمسافة متر واحد. وهذه الوحدة تسمى «جول».

القدرة:

١ كجم ق · م/ث = ١٠ نيوتن · م/ث = ١٠ جول/ث = ١٠ واط.

١ قوة حصان = ٧٥ كجم ق م/ث = ٧٣٦ واط = ٧٣٦ر٠ كيلوواط.

١ كيلوواط = ١٠٠٠ جول/ث = ١٠٠٠ نيوتن · م/ث = ١٠٠ كجم ق م/ث.

فى المرفق رقم ٣ توجد قائمة بقياسات المقادير الميكانيكية الاخرى حسب نظام س ى (Si). وفى المرفق رقم ٢ توجد مقادير الوحدات، التى نحصل عليها عن طريق اضافة كلمات الى الوحدة الاساسية مثل: ميكرو ، مللى هكتو، ميجا .... الخ.

٤ ـ القوى الخارجية (الاحمال)

تعتبر الاحمال التى تؤثر على الانشاءات وعلى اجزائها، قوى او ازدواجات قوى (عزوم) ويمكن بحثها اما مركزة او موزعة.

القوى المركزة لا وجود لها فى الطبيعة. والقوى الحقيقية ـ هى تلك القوى الموزعة على بعض المساحات والحجوم. فضغط العجلة على قضيب السكة الحديدية مثلا ينتقل عمليا خلال مساحة صغيرة تكونت نتيجة لتشوه العجلة والقضيب. (انظر الشكل ١ ـ ٣). وبغية ايجاد القوى الداخلية التى تظهر فى العجلة والقضيب على مسافة معينة من المساحة التى ينتقل بواسطتها الضغط، يمكن استبدال الاحمال الموزعة باخرى مركزة مساوية لها فى قوة تأثيرها، وذلك لتسهيل الحسابات استنادا الى مبدأ سين ـ فينان المذكور اعلاه.

اما عند حساب القوى الداخلية التى تنشأ فى الاماكن الملاصقة مباشرة لمساحات الاتصال، وتسمى فى هذه الحالة قوى التلامس فلا يمكن تحديدها بطرق مقاومة المواد وانما تحدد حسب طرق نظرية المرونة.

وتقاس الاحمال المركزة بالكيلوجرامات او بالاطنان (فى النيوتنات بنظام س ى Si).

ويمكن ان تكون الاحمال الموزعة سطحية (مثل ضغط الريح او الماء على حائط) او حجمية (مثل وزن الجسم نفسه).

ان وزن القضبان مع أخذ ابعاد المقطع العرضى الصغيرة نسبة الى طوله بنظر الاعتبار، يبحث عادة ليس كحمل حجمى ولكن كحمل موزع على طول القضيب (حمل طولى).

وتقاس الاحمال الموزعة بوحدات القوة، المنسوبة الى وحدة الطول او وحدة السطح او الحجم. ويمكن ان تكون الاحمال المركزة او الموزعة استاتيكية (ثابتة) او ديناميكية (حركية).

والاحمال الاستاتيكية هى تلك الاحمال التى تغير مقاديرها او نقاط تأثيرها او اتجاهها بسرعة ضئيلة جدا، بحيث يمكننا اهمال العجلة التى تحدث هنا. ويمكن اهمال اهتزاز المنشآت واقسامها تحت تأثير مثل هذه الاحمال.

اما الاحمال الديناميكية فهى تلك الاحمال التى تتغير مع الزمن بسرعة كبيرة (مثل الاحمال التصادمية). ويصاحب تأثير مثل هذه الاحمال ظهور اهتزاز فى الانشاءة.

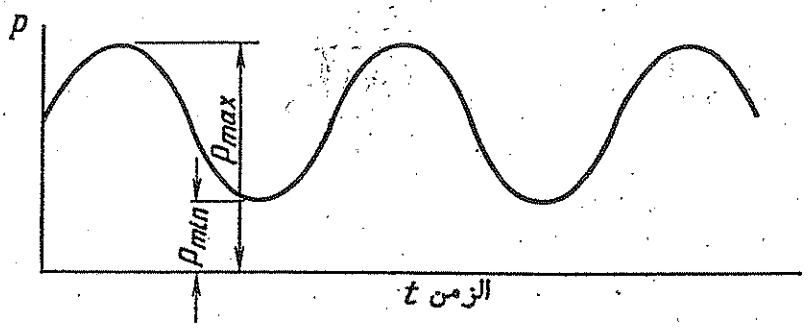
ومع حدوث الاهتزاز نتيجة لتغير سرعة الكتل المهتزة تظهر قوى القصور الذاتى التى تتناسب (حسب قانون نيوتن الثانى) مع الكتل المهتزة والعجلة طرديا. ومن الممكن ان تكون مقادير القصور الذاتى هذه اكثر من الاحمال الاستاتيكية بعدة مرات.

وقد يكون لقوانين تغير الاحمال مع الزمن طبيعة معقدة جدا.

وفى حالات خاصة يمكن ان يحمل تغير الحمل طابعا تكراريا دوريا، بحيث تتكرر القيمة العظمى للحمل خلال مدة معينة.

وتسمى الاحمال من هذا النوع بالاحمال ذات الحالة الثابتة او ذات التكرار الدورى (الشكل ١ — ٤). ويبحث الباب الثانى عشر الحسابات الخاصة بالمتانة عند تأثير مثل هذه الاحمال.

وفى حالات كثيرة اخرى لا يكون لتغير الحمل مع الزمن طبيعة ثابتة (الشكل ١ — ٥). كالاحمال التى تؤثر على اجزاء السيارات والجرارات والمكائن والاحمال التى تؤثر على الانشاءات (البيوت والصوارى ..... وما شابه ذلك) من ضغط الرياح والثلوج.... الخ. وتسمى هذه الاحمال بالاحمال المكررة للانظمة غير المثبتة (*unsteady*) .

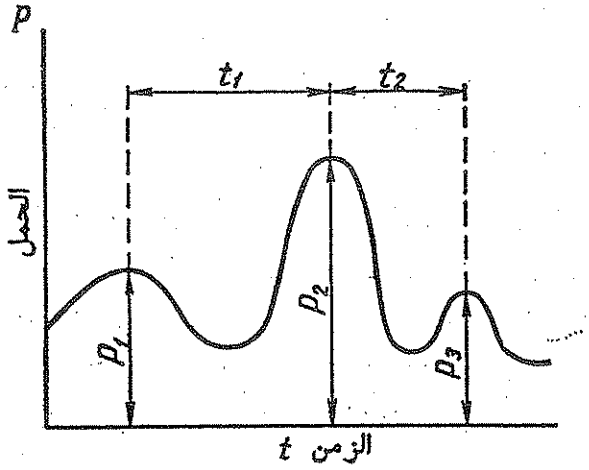


الشكل ١ — ٤

ولا يمكن دراسة مثل هذه الاحمال بشكل اعمق الا بمساعدة الطرق الاستاتيكية ونظرية الاحتمالات التى تستعمل عند دراسة المقادير العفوية.

وكمثال على ذلك نأخذ الحمل الذى يحدثه الريح، والذى يعتمد عليه حساب الابراج رافعات الاثقال (*tower crane*)، الجسور، البيوت والانشاءات الاخرى.

ومن المعروف ان سرعة الريح التى تحدد الحمل الناتج عنها، تتغير فى منطقة جغرافية واحدة باستمرار.



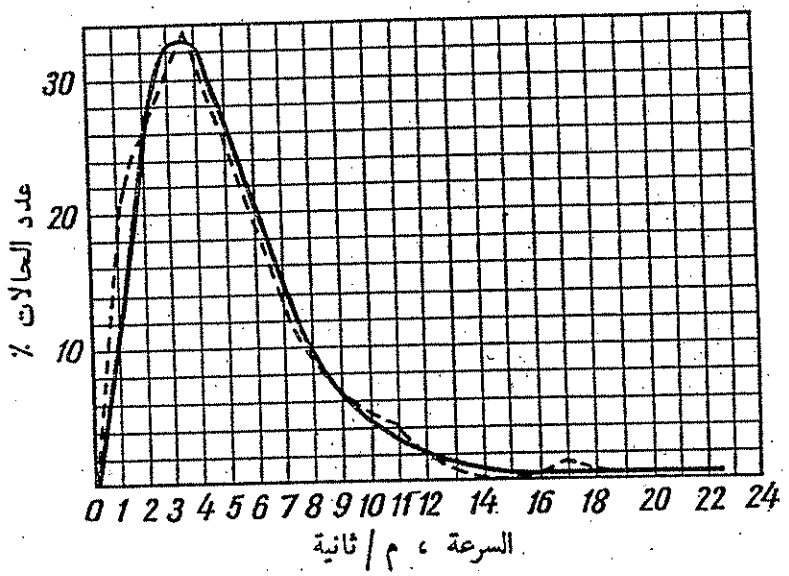
الشكل ١ — ٥

فبالنسبة لمنطقة موسكو — بعد اجراء ابحاث استغرقت مدة طويلة — تبين ان سرعة الريح تتغير فى مدى واسع (الشكل ١—٦). وكانت سرعة الريح فى اكثر الحالات (٣٣٪ من جميع الحالات) ٣ر٥ م/ث.

وظهرت حالات وصلت فيها سرعة الريح الى ١٢ م/ث (٢٪ من جميع الحالات) واكثر.

ومن جهة اخرى ظهرت حالات كانت فيها سرعة الريح اقل من ٥ر٣ م/ث واحيانا صفرا (قليلة جدا).

وتسمى الانحناءات المذكورة اعلاه بانحناءات التوزيع وتعطى فكرة واضحة عن درجة تفاوت هذه المعطيات. فما هى اذن سرعة الريح التى يجب الأخذ بها عند الحساب؟



الشكل ١ — ٦

كاقتراح اولى من الممكن ان نأخذ اكبر سرعة سجلتها الريح. ولكن اولا: ليست هناك اية ضمانة بعدم تعرض الانشاءة فيما بعد لتأثير ريح اشد قوة من تلك التى سجلت سابقا. ثانيا: من الواضح ان اتخاذ سرعة للريح تحدث مرة واحدة فى كل ٢٠٠ او ١٠٠ سنة عند حساب الانشاءات ذات العمر القصير (مثل البيوت الخشبية) لا يكون امرا اقتصاديا.

فيجب اذن ان يكون مقدار الحمل المحسوب مرتبطا بمدة استخدام الانشاءة ودرجة اهميتها.

ان كل ما ذكر عن حمل الريح ينطبق على الكثير من الاحمال الا خرى.

وعند حساب الانشاءات البنائية فان تحديد الاحمال ينظم حسب الظروف التكنيكية وقواعد التصميم.

وفى انتاج المكنات فان حساب الاحمال يحدد الظروف الملموسة لعمل المكنة: القيمة الاسمية للقدرة، عدد اللفات (الدورات) للاجزاء، وزنها، قوى القصور الذاتى... الخ. مثلا عند حساب اجزاء سيارة ذات حمولة ثلاثة اطنان يجب الاخذ بالحسبان ان الاثقال الحقيقية يجب ان تساوى ثلاثة اطنان. فاذا زادت قابلية السيارة على تحمل مقدار اكثر من هذا فذلك يرجع الى ان ابعاد مقاطع الاجزاء حسبت مع بعض احتياطى المتانة.

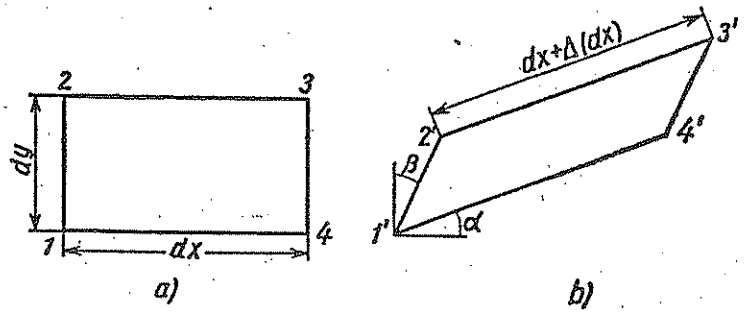
ومقدار احتياطى المتانة هذا سنأتى على ذكره بصورة مفصلة فى الباب الثانى عشر.

٥ – التشوه والازاحة

سبق وان ذكرنا بان كل الاجسام تتشوه بهذه الدرجة او تلك تحت تأثير القوى الخارجية، اى ان ابعادها او اشكالها او كلها معا تتغير.

ان تغير الابعاد الطولية (الخطية) للجسم يسمى بالتشوه الطولى وتغير مقادير الزوايا يسمى بالتشوه الزاوى.

وزيادة ابعاد الجسم تسمى بالاستطالة، اما قلة الابعاد فتسمى بالتقلص. واذا تغير التشوه فى حجم الجسم الكلى فعند ذلك يقال بان التشوه حدث فى نقطة معلومة من الجسم وباتجاه معين.



الشكل ١ – ٧