

# مقاومة المواد

## Strength of Materials

المهندس

عبد المجيد مسعود الكبلو  
(ماجستير هندسة ميكانيكية)

الدكتور

أمجد ابراهيم شحادة  
(دكتوراه هندسة مدنية)

دار الفجر للنشر والتوزيع

2005

# مقاومة المواد Strength of Materials

م. عبد المجيد مسعود الكبللو

د. أمجد ابراهيم شحادة

رقم الإيداع

5605

الترقيم الدولي I.S.B.N.

977-358-089-x

حقوق النشر

الطبعة الأولى 2005 م

جميع الحقوق محفوظة للناشر

دار الفجر للنشر و التوزيع

4 شارع هاشم الأشقر - التزهة الجديدة - القاهرة

ت : (00202) 6246252 ف : (00202) 6246265

لا يجوز نشر أي جزء من الكتاب أو اختزان مادته بطريقة الاسترجاع أو نقله على أي نحو أو بأي طريقة سواء كانت إلكترونية أو ميكانيكية أو بخلاف ذلك إلا بموافقة الناشر على هذا كتابة و مقدما .

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ قُلْ لَوْ كَانَ الْبَحْرُ مَدْحًا لَمَلَأْتَهُ رِيبِي لَنَفِثَ الْبَحْرُ قَبْلَ أَنْ تَنْفِثَ  
كَلِمَاتِي رِيبِي وَلَوْ جُنُودًا بِمِثْلِهِ مَدْحًا ﴾

صدق الله العظيم

## الإهداء

إلى كل من يؤمن بأن الأسلوب العظمي هو الطريق الصحيح للنجاح ..... وإلى  
جميع الذين عملوا على تقديم العون لإنجاز هذا العمل ..... أجلاً وتقديراً  
واحتراماً نهدي هذا العمل .

المؤلفان



## محتويات الكتاب

7	مقدمة الكتاب .....
11	الباب الأول : مدخل في علم مقاومة المواد .....
41	الباب الثاني : الشد والضغط .....
147	الباب الثالث : القص .....
175	الباب الرابع : الخواص الهندسية للمساحات والمقاطع .....
241	الباب الخامس : الالتواء .....
287	الباب السادس : الانحناء .....
402	المراجع .....



## مقدمة الكتاب

أن مختلف الإنشاءات والآلات والمكانن الهندسية ، بمختلف أنواعها يجب أن تتصف عند تصميمها ، بالمقاومة المطلوبة المتانة ، أي القابلية لمقاومة الانهيار تحت تأثير القوى الخارجية المسبطة عليها . ولهذا فإن أجزاء هذه الإنشاءات الهندسية المختلفة يجب أن تكون مصنوعة من مواد مناسبة وحسب المواصفات والأبعاد الضرورية المطلوبة . بالإضافة إلى ذلك يتحتم في كثير من الحالات تحديد التغيرات في الشكل والأبعاد (التشوهات) التي تحدث في أجزاء الإنشاءات عند تأثير الأحمال المختلفة عليها .

أن الأجسام التي تدرس في " الميكانيكا النظرية " باعتبارها أجساماً مطلقة الصلابة أو أجساماً لا تتشوه لا وجود لها في الواقع ، وحيث أن التشوهات البسيطة تحت تأثير الحمل العادي لا تظهر تأثيراً ملموساً على قوانين توازن الأجسام لذا فأنها تهمل في الميكانيكا النظرية . لكن في أكثر الحالات يجب تحديد مقدار الانفعالات التشوهات ، بغض النظر عن صغرها بالنسبة إلى أبعاد الجزء المدروس إذ يستحيل الاستخدام الطبيعي للإنشاءات الهندسية المختلفة في حالة عدم تحديد هذه الانفعالات والتشوهات .

أن قابلية أجزاء الإنشاءات لمقاومة التشوه ( الصلادة) تعتبر إحدى الخواص التصميمية المطلوبة والهامة ، كما أن أجزاء الإنشاءات الهندسية المختلفة يجب أن تتصف بالاستقرار أي القابلية لمقاومة الانحرافات الكبيرة عن التوازن عند تأثيرات انفعالية صغيرة . أن هذه القضايا وغيرها هي موضوع دراسة علم مقاومة المواد وهو ما يتضمنه هذا الكتاب .

يعتبر علم مقاومة المواد (Strength of Materials) أحد فروع العلوم الطبيعية التي تخصص في حل جميع المشاكل الهندسية المتعلقة بشرح طرق حساب متانة وصلادة واستقرار أجزاء الإنشاءات الهندسية بمختلف أنواعها .

ويعد علم مقاومة المواد أحد أقدم العلوم الطبيعية حيث أن العلماء اليونانيون القدماء كانوا قد تطرقوا في كتابتهم إلى أسس ونظريات وسلوك واستقرار الأجسام المختلفة ، ومن أشهرهم العالم أرخميدس (Archimedes 212-287 ق.م) الذي قدم نظريات في توازن الأجسام واستقرارها بصورة صحيحة ودقيقة لا تزال مستخدمة ليومنا هذا .

وفي القرن السابع عشر استطاع العالم الإيطالي المعروف غاليليو (Galileo 1564 – 1642 م) ، لأول مرة تفسير تصرف أجزاء الإنشاءات بطريقة علمية ومنطقية وقد أطلق عليه " مؤسس طرق العلوم التطبيقية " ، وقد ساهم في بداية القرن التاسع عشر مجموعة من العلماء في تطوير هذا العلم أمثال ( هوك بيرنولي ، وبويسن ، وسين فينان ، وكوش لامييه ) وغيرهم مساهمة كبيرة في تطوير نظرية " مقاومة المواد " إذ أنهم صاغوا الفرضيات الأساسية ووضعوا بعض القواتين والمعادلات الحسابية لها ، كما وتدرج الإشارة إلى الأبحاث القيمة التي قام بها العالم السويسري (ليوناردو ايلر) في حساب استقرار القضبان المضغوطة والتي تستخدم حتى يومنا هذا . كما حازت أبحاث العالمين الروسيين (جورافسكي وغولفين) في القرن التاسع عشر شهرة عالمية ، حيث تستخدم صيغة العالم جورافسكي حتى الآن لتحديد أجهادات القص عند الانحناء .

أما بالنسبة للعلماء العرب والمسلمين فلا يفوتنا أن نذكر فضلهم في تقدم العلوم الرياضية بشكل عام ، وعلم مقاومة المواد وسلوك الأجسام واستقرارها بشكل خاص ومنهم العلماء ( ثابت بن قره ، وأبن الهيثم ، وأبو يوسف الكندي ، والعالم الفارابي ، ومحمد البيروني ، وابن رشد ) وغيرهم من العلماء النابغين الذين لا يزال يذكرهم التاريخ بالفخر والإجلال ، ويتحدث عن إنجازاتهم وأثارهم بالإعجاب والتقدير .

وقد تطور علم مقاومة المواد منذ بداية القرن العشرين تطوراً نوعياً نظراً لارتباطه المباشر بمرحلة النمو المطرد للصناعة ، عندما برزت الحاجة إلى إنشاء عدد كبير من المعامل والمصانع والجسور والموانئ والإنشاءات الهندسية المختلفة ، ونتيجة لتراكم الأبحاث والمعطيات التجريبية ، حيث ظهرت أبحاث قيمة جداً كلها مكرسة لمتابعة تطوير وإتقان الطرق الحسابية المستخدمة في هذا العلم ، حيث أصبح في الوقت الحاضر يعتمد على طرق ونظريات وفرضيات علمية محددة ، تستخدم لحل معظم القضايا الهندسية المتعلقة بالمتانة والاستقرار للإنشاءات الهندسية المختلفة .

أن هذا الكتاب مخصص أساساً لطلبة الجامعات والمعاهد المهنية العليا ، وخصوصاً الطلبة الذين يدرسون الهندسة بمختلف فروعها في المراحل الجامعية الأولى ، ونظراً لأن برامج الدراسة مختلفة في فروع الهندسة كافة فقد روعي قبل كل شيء عند عرض مادة هذا الكتاب أن يكون المنهاج متكاملًا بقدر الأمكان ، وأن يعطي صورة كافية عن المبادئ الأساسية والطرق اللازمة للمهندسين في مجالات تطبيق علم مقاومة المواد بشكل واضح ومبسط .

ولقد أحتوى الكتاب جزءً كبيراً من الأمثلة والمسائل المحلولة ، كما تحتوي حلول المسائل على إرشادات وملاحظات تساعد الطالب عبر دراسته لعلم مقاومة المواد بدون مدرس ، لذا فإن هذا الكتاب مفيد للطلبة الذين يتعلمون بأنفسهم .

أن المشكلة الحقيقية المطروحة الآن أمام العالم وخاصة في مجال التطبيقات الهندسية هي اقتصاد المواد الأولية المستخدمة في تصميم الإنشاءات الهندسية الحديثة بمختلف أنواعها واستخداماتها وتطوير وتحسين طرق إنتاجها وذلك عن طريق استخدام المواد مناسبة ذو مواصفات وأبعاد ضرورية معينة ورفدها بأحدث الوسائل العلمية والفنية ، ورفع نوعية

ومستوى أعداد الكوادر الهندسية وتوسيع القاعدة النظرية لمعلوماتهم ، وأن دراسة علم مقاومة المواد يعتبر أحد البنيات الأساسية العلمية الحديثة في إنجاز هذا المهام .

وأخيراً نتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى كل من ساهم في أعداد وطباعة هذا الكتاب ونخص بالذكر الدكتورة انتصار طالب الباجه جي لمساهمتها القيمة في طباعة هذا الكتاب وظهوره بهذه الصورة المشرفة . كما نتقدم بالشكر الخالص إلى الأخت آسيا خمير لمساعدتها الطيبة في طباعة هذا العمل .

كما نود أن نشكر الدكتور علي إبراهيم سعد والدكتور علي أشطية والدكتور عصام إبراهيم شحادة والدكتور جمال طه لتشجيعهم على الإقبال لإنجاز هذا العمل . كما نتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الإخوة الدكتور نضال شحادة والمهندس عبد الله الباجه جي لمساعدتهم الطيبة في إصدار هذا الكتاب .

وأخيراً نتقدم بالشكر نحو كل العاملين في إدارة المركز العالي للمهن الميكانيكية- جنزور ، وإدارة المركز العالي للمهن الشاملة- 2 مارس - طرابلس لما أولوه من دعم معنوي كبير في أعداد هذا العمل .

والله الموفق

المؤلفان