SAWA UNIVERSITY

ENGINEERING MATERIAL

جامعة ساوة

كلية التقنية الهندسية

قسم هندسةالتبريد والتكييف

المرحلة/ الاولى

اسم المحاضر/م.م مريم علي سامي

المواد الهندسية

هذه مادة تعريفية حول دراسة المواد من الناحية الهندسية ومعرفة خصائصها وسلوكها، تقدم إلى طلبة المرحلة الأولى في الكليات الهندسية كمقدمة لفهم أهمية هذا العلم في عملية التصميم الهندسي في مجالات التصنيع والبناء المختلفة. تقرأ هذه المحاضرات بالتلازم مع الكتاب المنهجي الرئيسي:

William D. Callister Jr., and David G. Rethwisch, *Materials science and engineering: an introduction*, 10th edition, John Wiley & Sons, Inc., 2018.

ويرجع أيضاً إلى المصادر التالية:

Jones D. A., *Principles and prevention of corrosion*, 2nd edition, Prentice Hall, 1996.

William Bolton, and R. A. Higgins, *Materials for engineers and technicians*, 7th edition, Routledge, 2021.

1. الفصل الأول: المقدمة

1.1. نبذة تاريخية

يعتمد الانسان في العصر الحديث في جميع متطلباته المادية على مواد بعضها طبيعية وأغلبها مصنعة، فكل ما حولنا من الاشياء بسيطة كانت كالأطعمة والملابس أو معقدة كالمنشآت الصناعية والحواسيب الالكترونية إنما تعتمد في تصنيعها على مواد أولية. وقد بلغ من أهمية القدرة على تطويع المواد وتصنيعها في قياس مدى تطور المجتمعات عبر التاريخ أن سميت العصور القديمة بأسماء المواد مثل العصر الحجري، والعصر البرونزي، والعصر الحديدي.

كانت إمكانية الحصول على المواد محدودة جداً للانسان القديم، وتقتصر على المواد الطبيعية مثل الحجر والخشب والطين والجلود. ومع مرور الوقت، اكتشفوا تقنيات لإنتاج مواد تتمتع بخصائص تتفوق على تلك المواد الطبيعية؛ وكانت هذه المواد الجديدة تشمل الفخار ومعادن متنوعة. وعلاوة على ذلك، تم اكتشاف أن خصائص المواد يمكن تعديلها عن طريق المعالجة الحرارية وإضافة مواد أخرى. وفي هذا السياق، كانت عملية استخدام المواد تعتمد بشكل كامل على عملية الإختيار، حيث يقومون باختيار من بين مجموعة محدودة من المواد، الأفضل منها لتطبيق معين بناءً على خصائصه. غير أن المعرفة المكتسبة خلال الـ 100 عام الأخيرة قد جعلتنا نفهم العلاقات بين العناصر التركيبية للمواد وخصائصها مما منح العلماء قدرة كبيرة على تشكيل خصائص المواد. وبالتالي، تطورت عشرات الآلاف من المواد المختلفة (مثل المعادن والبلاستيك والزجاج والألياف) ذات الخصائص المتخصصة لتلبية احتياجات المجتمع الحديث.

إن تطور التكنولوجيا الحديثة التي جعلت ظروف المعيشة مريحة جداً كان مرتبطًا ارتباطًا وثيقًا بإمكانية الوصول إلى المواد المناسبة. إذ يسبق كل تطور تكنولوجي ما تقدم في دراسة وفهم نوع معين من المواد، ومثال ذلك صناعة السيارات التي لم يكن من الممكن تطورها قبل توفر حديد الصلب رخيص الثمن. وفي العصر الحالي، تعتمد صناعة الأجهزة الالكترونية المتطورة بشكل رئيسي على المواد التي تعرف بأشباه الموصلات.

2.1. تعريفات أساسية

علم المواد **(Material Science)** هو العلم الذي يدرس العلاقة بين تركيب المادة وخواصها.

هندسة المواد **(Materials Engineering)** هي العلم التطبيقي الذي يهتم بتصميم مادة جديدة أو تغيير خصائص مادة معينة اعتماداً على الفهم المتحصل من دراسة علم المواد.

تركيب المادة **(Structure of Material)** يشير هذا المصطلح إلى **الترتيب الداخلي لمكونات المادة.** ونعني بالمكونات في هذا السياق الوحدات التي تتألف منها المادة حسب مقياس الرسم قيد الدراسة، وهو على مراتب:

- التركيب دون الذري (Subatomic Structure): يعنى بدراسة الالكترونات وطاقتها داخل الذرة الواحدة وعلاقتها مع النواة.
- التركيب الذري (Atomic Structure): يعنى بدراسة ترتب الذرات مع بعضها لتكوين جزيئات أو بلورات.
- التركيب النانوي (Nanostructure): يعنى بدراسة تراكم الذرات التي تكوّن جسيمات نانوية (ذات أقطار أقل من 100 نانومتر).
- التركيب المجهري (Microstructure): يعنى بدراسة ما يخضع للملاحظة بواسطة أي نوع من المجاهر، وتتراوح أقطار الجسيمات في هذا التركيب من 100 نانومتر الى عدة مليمترات.
- التركيب الكبير (Macrostructure): يعنى بدراسة ما يمكن مشاهدته بالعين المجردة، أي من عدة مليمترات الى متر أو أكثر.

خاصية المادة (Property of Material) يشير هذا المصطلح إلى **سلوك المادة فيما يتعلق بدرجة ونوع الاستجابة لمحفز خارجي ما.** ولا يعتبر في هذا التعريف شكل أو حجم المادة المراد دراسة خواصها. تصنف خواص المادة حسب نوع المؤثر الخارجي المسلط عليها إلى ست مجموعات:

- الخواص الميكانيكية (Mechanical Properties): العلاقة بين التشوه الحاصل في المادة نتيجة لحمل (أو قوة) مسلط عليها. من الامثلة على الخواص الميكانيكية معامل المرونة، ومقاومة التشققات.
- الخواص الكهربائية (Electrical Properties): المؤثر الخارجي هو مجال كهربائي مسلط، والامثلة على هذه الخواص الموصلية الكهربائية وثابت العزل الكهربائي.
- الخواص الحرارية (Thermal Properties): هذا النوع من الخواص يتعلق بتغير درجة الحرارة في المحيط الخارجي للمادة أو بإنحدار درجات الحرارة خلال المادة. الامثلة تشمل معامل التمدد الحراري والسعة الحرارية.
- الخواص المغناطيسية (Magnetic Properties): المؤثر الخارجي هو مجال مغناطيسي مسلط، والامثلة تشمل القابلية المغناطيسية والتمغنط.
- الخواص البصرية (Optical Properties): المؤثر الخارجي هو إشعاع ضوئي أو كهرومغناطيسي، والامثلة تشمل معامل الانكسار والانعكاسية.
- الخواص الاندثارية (Deteriorative Properties): تتعلق هذه الخواص بالتفاعلية الكيميائية للمادة، ومثالها مقاومة الصدأ في المعادن.

بالاضافة إلى ما تقدم، هناك مصطلحان مهمان في علم وهندسة المواد هما المعالجة (Processing) أي طريقة التصنيع والتشكيل، والأداء (Performance) وهو سلوك المادة الجديدة الناتجة ومدى مطابقته للخواص المطلوبة. تشكل المصطلحات الاربعة (المعالجة – التركيب – الخواص – الأداء)ما يسمى بـ **"النموذج المركزي لعلم وهندسة المواد"** أو "نموذج المواد" إختصاراً، وهو وصف لبروتوكول إختيار وتصميم

مواد معينة كي تخدم أغراضاً محددة. ينفع هذا النموذج في تركيز اهتمام المهندس على أهمية العلاقة بين خواص المادة الجديدة وتركيبها الداخلي على كافة المستويات، انظر الشكل (1.2).

3.1. تصنيف المواد

تصنف المواد عموماً إلى ثلاث مجموعات: المعادن Metals، والخزفيات Ceramics، والبوليمرات Polymers وذلك بناءً على بنيتها الكيميائية وتركيبها الذري. فضلاً عن ذلك، هناك مجموعة رابعة تتمثل في مواد مركبة تصنع من تجميع عدد من مواد المجموعات الثلاث وتسمى بمجموعة المواد المركبة Composite Materials وفيما يلي تعريف موجز بكل مجموعة.

كما تجدر الاشارة إلى أن أنواعاً أخرى من المواد يتم تطويرها لأغراض التطبيقات التكنولوجية المتطورة، وسوف نصنفها باسم المواد المتقدمة ونشرحها في الفقرة القادمة، ومن أمثلتها أشباه الموصلات، والمواد الحيوية، والمواد الذكية، والمواد المعالجة نانوياً.

المعادن – Metals هي المواد التي تتكون من عنصر أو أكثر من العناصر المعدنية كالحديد، والألمنيوم، والنحاس، والتيتانيوم، والذهب، والقصدير، ...الخ، وكثيراً ما تحتوي على كمية قليلة نسبياً من عناصر غير معدنية مثل الكاربون، والأوكسجين، والنيتروجين. يكون ترتيب الذرات في المعادن والسبائك المعدنية[1] شديد الانتظام وعالي الكثافة مقارنة مع الخزفيات والبوليمرات كما نلاحظ في الشكل (1.4). وتمتلك المعادن جساءة ومقاومة عاليتين نسبياً كما نلاحظ في الشكلين (1.5) و(1.6) وهذا يمنحها مطيلية (Ductility) عالية ومقاومة للتشققات، لاحظ الشكل (1.7). تحتوي المعادن على عدد كبير من الالكترونات الحرة (غير المرتبطة بنواة محددة) وهذا يمنحها العديد من الخصائص المرغوبة مثل الموصلية العالية للحرارة والكهرباء.

الخزفيات - Ceramics المعروفة أيضاً باسم **السيراميك** هي مواد تتكون من مركبات غير عضوية معدنية أو غير معدنية، وغالباً ما تكون بهيئة أوكسيدات، أو نتريدات، أو كاربيدات. من أهم الأمثلة على المواد الخزفية أوكسيد الألمنيوم (الألومينا) AL_2O_3، وأوكسيد السيليكون (السيليكا) SiO_2، وكاربيد السيليكون SiC، ونتريد السيليكون Si_3N_4؛ ويضاف الى ذلك ما يعرف **بالسيراميك التقليدي** الذي يتكون من معادن طينية (مثل البورسلين)، والاسمنت والزجاج. من ناحية السلوك الميكانيكي للخزفيات فهي تتميز بالجساءة والمقاومة العالية عموماً إلى درجة تقارب المعادن كما يوضح الشكلان (1.5) و(1.6). أما من ناحية مقاومة التشققات فمن المعروف أن الخزفيات مواد قصيفة (Brittle) جداً (أي غير مطيلية)، فهي تتشقق بسرعة عند تعرضها لأقل إجهاد، لاحظ الشكل (1.7). وبرغم ذلك، فإن بعض المواد السيراميكية المنتجة بالطرق الحديثة قد تمت هندستها بحيث تبدي مقاومة تشققات مطورة. مثل هذه المواد تستخدم في صناعة أدوات الطبخ، وآلات القطع، وبعض أجزاء محركات السيارات. تعتبر الخزفيات مواد عازلة للحرارة وذات مقاومة عالية للظروف البيئية القاسية، كما تعتبر عوازل جيدة للكهربائية، لاحظ الشكل (1.8). أما الخواص البصرية، فيمكن ان تصنع الخزفيات بحيث تكون شفافة (transparent)، أو شبه شفافة (translucent)، أو معتمة (opaque) مما يمنحها مجالاً واسعاً للاستخدام في تطبيقات مختلفة.

البوليمرات – Polymers هي مواد تتكون من سلاسل طويلة من وحدات جزيئية مكررة متصلة مع بعضها، تسمى هذه الوحدات بالجزيئات الضخمة (Macromolecules)، وتتكون الكثير من البوليمرات من مواد عضوية (تتكون في تركيبها الكيميائي من الكاربون والهيدروجين بشكل أساسي بالاضافة الى عناصر غير معدنية أخرى كالأوكسجين والنيتروجين والسيليكون). والبوليمرات نوعان طبيعية ومصنعة، فمن أهم الامثلة على البوليمرات المصنعة اللدائن (البلاستيك) والمواد المطاطية مثل البولي-أثيلين PE والنايلون و الفينيل متعدد الكلوريد Polyvinyl Chloride الذي يسمى اختصاراً PVC وغيرها. أما البوليمرات الطبيعية فأمثلتها البروتينات والحامض النووي الرايبوزي منقوص الأوكسجين Deoxyribonucleic Acid – DNA. لا تمتلك البوليمرات جساءة ولا مقاومة عاليتين مثل المعادن والخزفيات، لاحظ الشكلين (1.5) و(1.6). أما من حيث المطيلية فيمكن لبعض البوليمرات ان تظهر مطيلية عالية جداً مما يسهل قابلية

تشكيلها الى أشكال معقدة. وتعتبر البوليمرات عموماً خاملة كيميائياً ولا تتفاعل في الكثير من الظروف، كما تمتلك موصلية كهربائية منخفضة ولا تمتلك أي خواص مغناطيسية.

المواد المركبة – Composite Materials هي مواد مركبة من مادتين أو أكثر من المواد أعلاه (معادن – خزفيات – بوليمرات). يتم تصميم لهدف محدد وتحقيق خواص جديدة لا تظهر في أي من المواد المستخدمة في تركيب المادة الجديدة، وأيضاً الاستفادة من الخواص المرغوبة الموجودة في المواد المذكورة إلى أقصى حد ممكن. توجد بعض المواد المركبة بصورة طبيعية مثل العظام والأخشاب، غير أن معظمها مواد اصطناعية يتم تصميمها وفق احتياجات هندسية ما. من أهم الأمثلة على المواد المركبة المصنعة الألياف الزجاجية، حيث تمزج الياف زجاجية صغيرة ذات مقاومة عالية (لكنها قصيفة) مع مواد بوليمرية ذات مطيلية عالية فيكون الناتج أليافاً زجاجية جديدة تملك كلا المقاومة والمرونة المرغوبتين.

مما تقدم رأينا كيف تمكن المقارنة بين المواد بناءً على خواصها حيث تبين الأشكال من (1.4) حتى (1.8) أين يقع كل صنف من المواد مقارنة مع أقرانه لكل خاصية فيزيائية. غير أن هنالك طريقة إيضاحية أخرى للتعبير عن خواص المواد وذلك بأن يتم تمثيل إحدى خواص المادة في محور الصادات وخاصية أخرى في محور السينات، على أن يكون مقياس المحورين لوغاريتمياً وأن يغطي ثلاثة مراتب من الأعداد على الأقل، أنظر الشكل (1.12) الذي ترسم فيه الجساءة (بدلالة معامل المرونة) مقابل الكثافة. وفي هذا النوع من الأشكال تظهر أصناف المواد على شكل تجمعات – Clusters أو عائلات – Families أو فقاعات – Bubbles يحيط بكل فقاعة خط يقال له ظرف Envelop، وبذلك يتم فصل كل صنف من أصناف المواد عن الآخر بأسلوب واضح متكامل يشرح توزيع هذه الأصناف وعلاقتها مع بعضها فيما يخص الخاصيتين موضوع الدراسة (الممثلتين على محوري الصادات والسينات). يسمى هذا النوع من الرسوم بـ (مخطط خواص المواد – Materials Property Chart) أو (مخطط اختيار المواد – Materials Selection Chart) أو (مخطط الفقاعات – Bubble Chart) أو (مخطط آشبي – Ashby Chart) نسبة لواضعه المهندس البريطاني مايكل آشبي سنة 1992. ويعتبر هذا المخطط أداةً عظيمة الفائدة في التصميم الهندسي حيث يستخدم لإختيار المادة المراد استعمالها في تطبيق ما من بين عدد من الاختيارات والبدائل قد يكون كبيراً.

عند النظر في الشكل (1.12) نلاحظ وجود أصناف لم ندرسها فيما تقدم وهي:

- البوليمرات المرنة – **Elastopolymers** هي بوليمرات ذات سلوك مطاطي (تملك درجة عالية من المرونة).
- المواد الطبيعية – **Natural Materials** هي التي تتكون في الطبيعة مثل الخشب والجلد والفلين.
- الرغوات – **Foams** هي مواد ذات مسامية عالية (المسامية هي نسبة حجم الفراغات ضمن المادة إلى الحجم الكلي للمادة) مما يجعل كثافتها قليلة.

1 . 4 . المواد المتقدمة Advanced Materials

يقصد بها المواد التي تصمم بطرق هندسية معقدة نسبياً لأغراض التطبيقات التكنولوجية الحديثة. فمن تطبيقاتها المعدات الإلكترونية، والحواسيب، وأنظمة الألياف الضوئية، والبطاريات ذات الطاقة العالية، وأنظمة خزن الطاقة، والطائرات. وهذه المواد قد تكون من أي صنف من أصناف المواد المذكورة أعلاه (معادن - خزفيات - بوليمرات) لكن بخصائص محسنة وأداء متطور، وعادة ما تكون غالية الثمن. وهي إما أن تكون من المواد الموجودة فعلاً لكنها معدلة، أو قد تكون مواداً جديدة يتم تطويرها وفق الحاجة. وسنذكر أدناه أنواعاً من المواد المتقدمة. **أشباه الموصلات - Semiconductors المواد الحيوية - Biomaterials المواد الذكية - Semiconductors**

المواد النانوية - Nanomaterials