آخر تحديث: November 1, 2026

🗺️ خريطة طريق لأربع سنوات · السنة 1, الخريف

عن هذه الدورة

يتضمن هذا المقرر المجاني 9 وحدات و4 مختبرات. هذه الأعداد الحقيقية وليست منهجًا أطول جرى اختصاره.

التحقق هو رقم أو نتيجة برمجية في صفحة مقرر يعيد سكربت حسابها قبل النشر. يجب أن يطابق الرقم المعروض الرقم المعاد حسابه.

هذا مخطط دورة مجانية للتعلّم الذاتي كتبته Saving Planets. وهو ليس مقررًا جامعيًا، ولا يمنح ساعات معتمدة، ولا تشارك فيه أي مؤسسة تعليمية.

يتبع نطاقه مقررات الرسم والتصميم الهندسي في السنة الأولى مثل MIT 2.007 و2.00b، ومقررات الهندسة ورسومات الحاسوب في Purdue، ومقرر ME 1770 في Georgia Tech، وسلسلة الرسم الهندسي في Embry-Riddle، باستخدام أدوات مجانية: خطة Onshape Free وFreeCAD. نضع روابط لمواد مجانية في كل مكان. لا تتبنى أي من هذه المؤسسات هذه الصفحة.

ما نضيفه: كل وحدة تربط قرارات التصميم بالمادة والطاقة والهدر، وكل رقم في الصفحة يعيد حسابه نص برمجي للتحقق قبل النشر، وأربعة مختبرات عملية تنقلك من رسم حر إلى قطعة مطبوعة أخف.

تابعها بالترتيب. في كل وحدة أهداف وأفكار أساسية ومعادلات وأمثلة خطوة بخطوة وتمارين بإجابات كاملة وأخطاء شائعة وبطاقات تعليمية واختبار قصير. يُحفظ تقدّمك في هذا المتصفح فقط.

كيف تساعد هذه الدورة في إنقاذ الكوكب

يُحسم معظم مادة المنتج وطاقته وهدره على طاولة الرسم. المهندسون الذين يجيدون النمذجة والرسم يستطيعون إزالة المادة التي لا تؤدي عملًا، واختيار قطع تدوم ويمكن إصلاحها، وتحديد تفاوتات ليست أضيق من اللازم.

تنتهي كل وحدة بقسم قصير موثق المصادر يبيّن كيف تساعد أفكارها الناس والكوكب.

للمعلمين

يمكنك تدريس هذا المقرر، أو أن يتابعه الطالب وحده. إنه مجاني. Saving Planets لا تمنح درجة ولا ساعات معتمدة.

- هذه الصفحة هي المقرر كاملًا: 9 وحدات و4 مختبرات (ENGR 120).
- خطّط لخمسة عشر أسبوعًا، نحو 6 إلى 9 ساعات في الأسبوع، بما في ذلك أسابيع المختبر.
- اتبع جدول الخمسة عشر أسبوعًا. اقرأ الوحدة، حلّ التمارين على الورق، ثم افتح الإجابة. في أسبوع المختبر، نفّذ المختبر أو نسخته المنزلية.
- التحقق هو رقم أو نتيجة برمجية في الصفحة يعيد سكربت حسابها قبل النشر. يجب أن يطابق الرقم الظاهر الرقم المعاد حسابه.
- استخدم طباعة هذه الصفحة، أو نزّل دليل الدراسة PDF. ورقة القوانين قرب النهاية.

- اسأل: كيف تساعد هذه الوحدة الناس والكوكب؟ في كل وحدة مربع أخضر فيه حقيقة مع مصدرها.
- انسخ نموذج دليل المعلم واكتب اسم صفك والوقت المتاح والأسئلة التي ستطرحها. افتح نموذج دليل المعلم

قبل أن تبدأ

المتطلبات السابقة

- الهندسة وحساب المثلثات في المرحلة الثانوية.
- الارتياح لاستخدام الحاسوب والفأرة؛ والفأرة ذات الأزرار الثلاثة تساعد في العمل ثلاثي الأبعاد (3D).
- لا تلزم موهبة في الرسم: الرسم الحر مهارة ستتدرب عليها.

كيف تذاكر

- ارسم باليد قبل أن تنمذج. خمس دقائق على الورق توفر ساعة في CAD.
- أعد بناء كل مثال محلول في CAD بنفسك.
- سمِّ رسوماتك وميزاتك؛ وسيشكرك نفسك في المستقبل.
- افحص كل رسم كأنك مضطر إلى صنع القطعة منه وحده.
- حل كل تمرين قبل فتح الإجابة.
- أعد الاختبارات القصيرة بعد بضعة أيام. التدرّب المتباعد أفضل من جلسة طويلة واحدة.

ماذا تحتاج

- حاسوب فيه متصفح ويب (يعمل Onshape في المتصفح؛ ويلزم حساب مجاني) أو FreeCAD مثبت.
- ورق مربعات أو ورق متساوي القياس، وقلم رصاص، وممحاة، ومسطرة.
- قدمة قياس (تكفي قدمة رقمية منخفضة التكلفة).
- اختياري: الوصول إلى طابعة ثلاثية الأبعاد (3D) في مكتبة أو مدرسة أو مساحة صناع.

جدول مقترح من 15 أسبوعًا

نحو 6 إلى 9 ساعات أسبوعيًا: قراءة وتمارين، وفي أسابيع المختبر، المختبر.

الأسبوع	الوحدة	الموضوعات	القراءة
1	الرسم الحر والتصور	الرسم الحر، وأنواع الخطوط، ومقياس الرسم	MIT 2.00b
2	الإسقاط العمودي والإسقاط المتساوي القياس	الإسقاط العمودي؛ الزاوية الأولى والثالثة	اصطلاحات ASME Y14
3	الإسقاط العمودي والإسقاط المتساوي القياس	الرسم المتساوي القياس؛ الطول الحقيقي	Onshape Learning Center
4	القطاعات والمساقط المساعدة	القطاعات والمساقط المساعدة	FreeCAD TechDraw
5	وضع الأبعاد وأساسيات GD&T	قواعد وضع الأبعاد؛ المراجع	ASME Y14.5
6	وضع الأبعاد وأساسيات GD&T	GD&T: الشكل، والاتجاه، والموضع؛ MMC	ASME Y14.5

الأسبوع	الوحدة	الموضوعات	القراءة
7	التفاوتات والتوافقات	الحدود، وتوافقات ISO، وتراكم التفاوتات؛ تمارين منتصف الفصل	ISO 286
8	النمذجة ثلاثية الأبعاد (3D) البارامترية	الرسومات، والقيود، والبثق والدوران	Onshape / FreeCAD
9	النمذجة ثلاثية الأبعاد (3D) البارامترية	الميزات، والمتغيرات، وخصائص الكتلة؛ المختبر A	Onshape Learning Center
10	التجميعات والرسومات	التجميعات، وعلاقات التزاوج، والآليات	ويكي FreeCAD
11	التجميعات والرسومات	رسومات التفاصيل والتجميع، وقائمة المواد؛ المختبر B	FreeCAD TechDraw
12	الطباعة ثلاثية الأبعاد (3D) والتصميم من أجل التصنيع	عمليات التصنيع؛ DFM/DFA	MIT 2.007
13	الطباعة ثلاثية الأبعاد (3D) والتصميم من أجل التصنيع	التصميم والتقديرات للطباعة ثلاثية الأبعاد (3D)؛ المختبر C	NIST AM
14	التصميم من أجل الاستدامة وتخفيف الوزن	تخفيف الوزن والتصميم من أجل الاستدامة؛ المختبر D	DOE; EPA
15	المراجعة	مراجعة ومجموعة تمارين نهائية	كل الوحدات

تقدّمك

ضع علامة على الوحدات والمختبرات عند إنهائها، وخض الاختبارات. يُحفظ التقدم ونتائج الاختبارات في هذا المتصفح فقط، ولا تُرسل إلينا أبدًا.

الوحدات

الرسم الحر والتصور

الرسم الحر باليد بوصفه أداة هندسية: الخطوط، والدوائر، والتناسب، ورؤية الأجسام ثلاثية الأبعاد (3D) في ذهنك.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- ارسم باليد خطوطًا مستقيمة ودوائر وأقواسًا بتناسب جيد.
- استخدم صناديق الإنشاء لرسم الأجسام بتناسب.
- اقرأ وارسم أجسامًا بسيطة في مناظر تصويرية مائلة ومتساوية القياس.
- اشرح دور الرسم الحر في عملية التصميم.

المفاهيم الأساسية

- يرسم المهندسون ليفكروا، وليستكشفوا أفكارًا كثيرة بسرعة، وليتواصلوا. الرسم السريع يكلف دقائق؛ ونموذج CAD الخاطئ قد يكلف ساعات.
- حدد الحجم الكلي أولًا بصندوق إنشاء خفيف، ثم أضف الميزات، ثم اجعل الخطوط النهائية داكنة.
- التناسب أهم من الحجم الدقيق في الرسم الحر: قدّر نسبًا مثل العرض : الارتفاع.
- التصور المكاني، أي القدرة على تدوير الأجسام وتقطيعها ذهنيًا، مهارة تتحسن بالممارسة.
- لسماكات الخطوط معنى: خطوط مرئية سميكة، وخطوط مخفية رفيعة (متقطعة)، وخطوط محاور رفيعة (شرطة طويلة وقصيرة).

المعادلات الأساسية

$$\text{scale} = \frac{\text{drawing size}}{\text{real size}}$$

```
scale= sizereal size
```

مقياس الرسم

$$\frac{w}{h} = \frac{w'}{h'}$$

```
w/h=(w')/(h')
```

حافظ على التناسب عند تغيير المقياس

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 1.1 عرض كتلة 120 mm وارتفاعها 80 mm. ترسم عرضها 60 mm. ما الارتفاع الذي يجب أن يكون للرسم؟

1. المقياس 0.5 = 60/120 =.
2. الارتفاع 0.5 × 80 =.

الإجابة: 40 mm (رسم بمقياس 1:2).

مثال 1.2 طول قطعة 450 mm. أي مقياس قياسي يجعلها تتسع في مساحة رسم طولها 250 mm: 1:1 أم 1:2 أم 1:5؟

1. 450 mm → 1:1 (كبير جدًا).
2. 225 mm → 1:2 (يتسع).

الإجابة: 1:2، وهو أكبر مقياس يتسع، فتبقى التفاصيل مقروءة.

مثال 1.3 بمقياس 2:1، ما الحجم الذي يُرسم به ثقب قطره 3 mm؟

1. 2 × 3.

الإجابة: 6 mm على الورق (ويبقى البعد المكتوب هو الحقيقي 3 mm).

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. بمقياس 1:5، كم يبلغ طول عارضة طولها 1200 mm على الورق؟

   240 mm.

2. رسم بمقياس 1:2. طول خط فيه 35 mm. ما الطول الحقيقي؟

   70 mm.

3. أي نوع من الخطوط يبيّن حافة مخفية؟

   خط رفيع متقطع.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الرسم الحر للفنانين فقط.
في الحقيقة: إنه مهارة هندسية يمكن تعلمها وتتحسن بسرعة مع الممارسة.

خرافة: الأبعاد على رسم بمقياس تبيّن الحجم المرسوم.
في الحقيقة: إنها تبيّن الحجم الحقيقي دائمًا.

خرافة: ابدأ بالتفاصيل.
في الحقيقة: حدد الإطار العام أولًا، ثم أضف التفاصيل.

بطاقات تعليمية

خطوط الإنشاء

خطوط إرشادية خفيفة تُمحى أو تُترك باهتة.

الخط المرئي

سميك ومتصل.

الخط المخفي

رفيع ومتقطع.

خط المحور

رفيع، بشرطة طويلة وقصيرة.

المقياس

الحجم المرسوم ÷ الحجم الحقيقي.

التصور المكاني

تدوير الأجسام ثلاثية الأبعاد (3D) وتقطيعها ذهنيًا.

اختبار ذاتي

1. يُرسم خط المحور...

سميكًا متصلًا

رفيعًا متقطعًا

رفيعًا بشرطة طويلة وقصيرة

متعرجًا

رفيعًا بشرطة طويلة وقصيرة. اصطلاح الخطوط القياسي.

2. بمقياس 1:2، تُرسم قطعة طولها 100 mm...

200 mm

50 mm

100 mm

25 mm

50 mm. بنصف حجمها.

3. الخطوة الأولى في رسم جسم هي...

تغميق الحواف

تحديد صندوق إنشاء خفيف

إضافة الأبعاد

تظليله

تحديد صندوق إنشاء خفيف. الإطار العام أولًا.

4. الحواف المخفية تستخدم...

خطوطًا متقطعة

خطوطًا سميكة

لا خطوط

خطوطًا حمراء

خطوطًا متقطعة. خطوط رفيعة متقطعة.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

أرخص مكان لتوفير المادة هو الرسم الحر. أفكار مثل تقليل عدد القطع، والمثبتات القياسية، والوصلات القابلة للإصلاح سهلة الاستكشاف على الورق ومكلفة التغيير بعد صنع العُدد.

يتناول نهج EPA للإدارة المستدامة للمواد المواد عبر دورة حياتها كاملة، بدءًا من التصميم.

على Saving Planets: مقدمة في هندسة الطيران والفضاء

المصادر: EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics) · MIT OpenCourseWare 2.00b: Toy Product Design (https://ocw.mit.edu/courses/2-00b-toy-product-design-spring-2008/)

مصادر تعلّم مجانية

- MIT OpenCourseWare 2.00b: Toy Product Design (https://ocw.mit.edu/courses/2-00b-toy-product-design-spring-2008/): مقرر MIT لتصميم المنتجات القائم على الرسم الحر بكثافة.

- MIT OpenCourseWare 2.007: Design and Manufacturing I (https://ocw.mit.edu/courses/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/): التصميم والتصنيع في MIT.

أنهيت هذه الوحدة

الإسقاط العمودي والإسقاط المتساوي القياس

لغة الرسم الفني: الإسقاط متعدد المساقط (العمودي) والمناظر المتساوية القياس.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- أنشئ المساقط الأمامي والعلوي والجانبي الأيمن بمحاذاة صحيحة.
- اعرف رمزي الإسقاط بالزاوية الأولى والزاوية الثالثة.
- ارسم مناظر متساوية القياس لقطع بسيطة.
- أوجد الطول الحقيقي والتقصير.

المفاهيم الأساسية

- يُظهر الإسقاط العمودي الجسم بخطوط إسقاط متوازية عمودية على كل مستوى مسقط. ثلاثة مساقط (أمامي، علوي، أيمن) تصف القطعة عادةً وصفًا كاملًا.
- الإسقاط بالزاوية الثالثة (الولايات المتحدة، ASME) يضع المسقط العلوي فوق الأمامي؛ والإسقاط بالزاوية الأولى (معظم أوروبا وآسيا، ISO) يضعه تحته. ويبيّن رمز في إطار العنوان أيهما المستخدم.
- تبقى المساقط متحاذية: يشترك الأمامي والعلوي في العرض، والأمامي والجانبي في الارتفاع، والعلوي والجانبي في العمق.
- يميل المنظر المتساوي القياس الجسم بحيث تكون محاوره الثلاثة متباعدة بزاوية 120°. تتقاصر الحواف الموازية للمحاور بمعامل √(2/3) ≈ 0.816؛ والرسم المتساوي القياس يتجاهل ذلك ويرسمها بطولها الكامل.
- لا يظهر الخط بطوله الحقيقي إلا في مسقط موازٍ له.

المعادلات الأساسية

$$k = \sqrt{2/3} \approx 0.816$$

k=2/3≈0.816

معامل التقصير المتساوي القياس

$$L_{true} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

L_true=Δ x^2+Δ y^2+Δ z^2

الطول الحقيقي لحافة من الإحداثيات

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 2.1 طول حافة مكعب 100 mm. كم يبلغ طولها في إسقاط متساوي القياس حقيقي، وفي رسم متساوي القياس؟

1. الإسقاط: 0.816 × 100.
2. الرسم: بالطول الكامل اصطلاحًا.

الإجابة: 81.6 mm في الإسقاط؛ و100 mm في الرسم المتساوي القياس.

مثال 2.2 تمتد حافة من (0, 0, 0) إلى (30, 40, 0) mm. ما طولها الحقيقي، وفي أي مسقط تظهر بطولها الحقيقي؟

1. $\sqrt{(30^2 + 40^2)} = 50$.

الإجابة: 50 mm؛ بطولها الحقيقي في المسقط بالنظر على امتداد z (فهي تقع في المستوى x–y).

مثال 2.3 تمتد حافة من (0, 0, 0) إلى (20, 20, 10). أوجد طولها الحقيقي.

1. $\sqrt{(400 + 400 + 100)} = \sqrt{900}$.

الإجابة: 30 mm. لا يُظهرها أي مسقط رئيسي بطولها الحقيقي؛ وتحتاج إلى مسقط مساعد (الوحدة 3).

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. في الإسقاط بالزاوية الثالثة، أين يوضع المسقط الجانبي الأيمن؟

   على يمين المسقط الأمامي.

2. أي مسقطين يشتركان في بُعد العمق؟

   العلوي والجانبي.

3. أوجد الطول الحقيقي لحافة من (0, 0, 0) إلى (12, 16, 0).

   20.

4. في إسقاط متساوي القياس حقيقي، كم يبدو طول حافة طولها 50 mm على امتداد محور؟

   ≈ 40.8 mm.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: تُرسم الرسومات المتساوية القياس بنسبة 81.6%.
في الحقيقة: الرسومات المتساوية القياس تستخدم الطول الكامل؛ والإسقاط المتساوي القياس وحده هو المقصَّر.

خرافة: الزاوية الأولى والثالثة مجرد أسلوبين مختلفين.
في الحقيقة: إنهما تبدّلان مواضع المساقط؛ وقراءة الرمز خطأً تعكس القطعة.

خرافة: مساقط أكثر أفضل دائمًا.

في الحقيقة: استخدم أقل عدد من المساقط يصف القطعة وصفًا كاملًا.

بطاقات تعليمية

الإسقاط العمودي

خطوط إسقاط متوازية وعمودية؛ مساقط متعددة.

الزاوية الثالثة

العلوي فوق الأمامي (الولايات المتحدة).

الزاوية الأولى

العلوي تحت الأمامي (ISO في معظم العالم).

متساوي القياس

محاور متباعدة بزاوية 120°.

التقصير

تبدو الحافة أقصر من طولها الحقيقي.

الطول الحقيقي

لا يُرى إلا في مسقط موازٍ.

اختبار ذاتي

1. في الإسقاط بالزاوية الثالثة يكون المسقط العلوي...

تحت المسقط الأمامي

فوق المسقط الأمامي

يسار المسقط الأمامي

غير مستخدم

فوق المسقط الأمامي. اصطلاح ASME.

2. تفصل بين المحاور المتساوية القياس...

90°

120°

45°

60°

°120. زوايا متساوية.

3. معامل التقصير المتساوي القياس ≈

0.5

0.707

0.816

1

.0.816. √(2/3)

4. يشترك المسقطان الأمامي والعلوي في...

الارتفاع

العرض

العمق

لا شيء

العرض. إنهما متحاذيان رأسيًا.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

الرسومات الواضحة تمنع الهالك. فقراءة رمز الإسقاط خطأً قد تنتج قطعة معكوسة، وكل قطعة هالكة تهدر المادة والطاقة اللتين دخلتا فيها.

تتيح المعايير الدولية للإسقاط والتفاوتات صنع الرسم نفسه بشكل صحيح في أي مكان، فيمكن توريد القطع محليًا وصنع قطع الغيار لتتوافق.

على Saving Planets: التفاضل والتكامل 1

المصادر: ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing (https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-5-dimensioning-tolerancing) · EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics)

مصادر تعلّم مجانية

- Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/): مقررات في الرسم والنمذجة.
- ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing (https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-5-dimensioning-tolerancing): معيار الرسم الأمريكي.

- [ ] **أنهيت هذه الوحدة**

القطاعات والمساقط المساعدة

افتح القطع لإظهار ما بداخلها، ودوّر المسقط لرؤية الأوجه المائلة بحجمها الحقيقي.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- ارسم قطاعات كاملة ونصفية ومنكسرة وجزئية مع التهشير.
- طبّق اصطلاحات القطاعات (لا تُهشّر الأضلاع والأعمدة والمثبتات المقطوعة طوليًا).
- أنشئ مسقطًا مساعدًا أوليًا لسطح مائل.
- أوجد الحجم الحقيقي والطول الحقيقي.

المفاهيم الأساسية

- يتخيل مسقط القطاع مستوى قطع يشق القطعة؛ والنصف المزال يتيح ظهور المعالم الداخلية بخطوط مرئية بدل خطوط مخفية مربكة.
- تُهشَّر المادة المقطوعة بخطوط رفيعة، عادةً بزاوية 45°. والأضلاع الرقيقة والأعمدة والمسامير والمسامير الوتدية المقطوعة طوليًا لا تُهشَّر اصطلاحًا.
- يبيّن خط مستوى القطع بأسهمه وحروفه (A–A) مكان القطع واتجاه النظر.
- يظهر السطح المائل مقصّرًا في المساقط الرئيسية. ويُسقط المسقط المساعد على مستوى موازٍ له، فيبيّن حجمه الحقيقي.
- الطول المائل = √(الأفقي² + الرأسي²) في المسقط الذي يظهر فيه كحافة.

المعادلات الأساسية

$$L = \sqrt{a^2 + b^2}$$

L=^2+b^2

الطول الحقيقي لحافة مائلة

$$A_{true} = \frac{A_{proj}}{\cos\theta}$$

A_true=_projθ

المساحة الحقيقية لوجه مائل بزاوية θ عن مستوى المسقط

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 3.1 يظهر وجه مائل كحافة في المسقط الأمامي، ويرتفع 30 mm على امتداد 40 mm. عمق القطعة 25 mm. أوجد الحجم الحقيقي للوجه.

1. طول الحافة = √(30² + 40²) = 50 mm.
2. الحجم الحقيقي = 50 × 25.

الإجابة: $1{,}250\ \text{mm}^2 = 25\ \text{mm} \times 50\ \text{mm}$.

مثال 3.2 يُسقط هذا الوجه في المسقط العلوي. ما المساحة التي يبدو عليها هناك؟

1. يرى المسقط العلوي الامتداد الأفقي $25\ \text{mm} \times 40\ \text{mm}$.

الإجابة: $1000\ \text{mm}^2$، أي $1250 \times \cos\theta$ حيث $\cos\theta = 40/50 = 0.8$.

مثال 3.3 أنبوب قطره الخارجي 40 mm وسماكة جداره 3 mm. في قطاع كامل، ما عرض كل شريط مهشّر؟

1. سماكة الجدار في كل جانب = 3 mm.
2. القطر الداخلي = 40 − 6 = 34 mm.

الإجابة: شريطان مهشّران عرض كل منهما 3 mm، بينهما تجويف مفتوح عرضه 34 mm.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. لماذا لا تُهشَّر الأضلاع عند قطعها طوليًا؟

   لأن التهشير سيجعل الضلع الرقيق يبدو كتلة مصمتة ويسيء تمثيل القطعة.

2. وجه يرتفع 5 mm على امتداد 12 mm. ما الطول الحقيقي لحافته؟

   13 mm.

3. وجه طوله 60 mm مائل بحيث $\cos\theta = 0.6$ في المسقط العلوي. ما الطول الذي يبيّنه المسقط العلوي؟

   36 mm.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: القطاعات تُظهر الخطوط المخفية أيضًا.
في الحقيقة: عادةً تُحذف الخطوط المخفية في القطاعات.

خرافة: يجب أن تُظهر المساقط المساعدة القطعة كلها.
في الحقيقة: المساقط المساعدة الجزئية التي تُظهر المعلم المائل فقط هي المعتادة.

خرافة: كل سطح مقطوع يُهشَّر.
في الحقيقة: الأضلاع والأعمدة والمثبتات المقطوعة طوليًا تُترك دون تهشير اصطلاحًا.

بطاقات تعليمية

مسقط القطاع

قطع تخيلي لإظهار الداخل.

خط مستوى القطع

خط سميك بأسهم وحروف.

التهشير

خطوط رفيعة على المادة المقطوعة.

نصف قطاع

يُزال ربع؛ ويُظهر النصف الداخل.

المسقط المساعد

مسقط موازٍ لوجه مائل.

الحجم الحقيقي

شكل ومساحة دون تشويه.

اختبار ذاتي

1. يُظهر التهشير...

الحواف المخفية

المادة المقطوعة

اللوالب

تشطيب السطح

المادة المقطوعة. المادة التي يمر بها مستوى القطع.

2. يكون المسقط المساعد موازيًا...

للمسقط الأمامي

للسطح المائل

للأرضية

لإطار العنوان

للسطح المائل. ليُظهر الحجم الحقيقي.

3. يُظهر نصف القطاع...

إزالة نصف القطعة

إزالة ربع واحد

الخارج فقط

مسقط مدوَّر

إزالة ربع واحد. الداخل والخارج معًا للقطع المتماثلة.

4. الطول الحقيقي لحافة ترتفع 9 على امتداد 12 هو...

21

15

10.5

3

.15 .√(81 + 144)

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

القطاعات هي وسيلة المصممين لفحص سماكات الجدران، والجدران الأرق حيث تسمح الأحمال تعني مادة أقل. هذا هو تخفيف الوزن على طاولة الرسم (الوحدة 9).

تفيد وزارة الطاقة الأمريكية (DOE) بأن استبدال قطع الفولاذ الثقيلة بمواد أخف يمكن أن يخفض وزن المكونات بنسبة 10–60% على المدى القصير.

على Saving Planets: الفيزياء I

المصادر: U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks) · ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing (https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-5-dimensioning-tolerancing)

مصادر تعلّم مجانية

- FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started): القطاعات في FreeCAD TechDraw.
- Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/): مقررات الرسم في Onshape.

- [ ] أنهيت هذه الوحدة

وضع الأبعاد وأساسيات GD&T

حدد بدقة الحجم والشكل اللذين يجب أن تكون عليهما القطعة: قواعد وضع الأبعاد، والمراجع، والتفاوتات الهندسية.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- ضع أبعاد القطع بوضوح وفق اصطلاحات ASME Y14.5.
- اختر المراجع بناءً على الوظيفة.
- اقرأ إطارات التحكم في المعالم للاستواء والتعامد والموضع والمقطع الجانبي.
- احسب خطأ الموضع والتفاوت الإضافي عند MMC.

المفاهيم الأساسية

- يوضع بُعد كل معلم مرة واحدة، في المسقط الذي يُظهره على أفضل وجه، دون أبعاد مكررة أو متسلسلة تراكم الأخطاء.
- الأبعاد والتفاوتات الهندسية (GD&T)، الموحدة في ASME Y14.5 (الإصدار الحالي 2018)، تضبط الشكل والاتجاه والموقع والمقطع الجانبي نسبةً إلى المراجع، وهي الأسطح المرجعية التي تتزاوج في التجميع.
- يُقرأ إطار التحكم في المعلم هكذا: الرمز | التفاوت (مع Ø لمنطقة أسطوانية) | المعدِّل | المراجع، مثل ⌖ Ø0.1 A B C Ⓜ.
- خطأ موضع الثقب ⌀pos = 2√(Δx² + Δy²)؛ ويجب أن يقع داخل منطقة التفاوت الأسطوانية.
- عند حالة المادة القصوى (MMC) يحصل الثقب على تفاوت إضافي: كلما ابتعد عن MMC (أي كبر)، يزداد تفاوت الموضع المسموح بالمقدار نفسه.

المعادلات الأساسية

$$\varnothing_{pos} = 2\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

_pos=2Δ x^2+Δ y^2

خطأ الموضع المقيس (قطر)

$$t_{allowed} = t_{MMC} + (d_{actual} - d_{MMC})$$

t_allowed=t_MMC+(d_actual-d_MMC)

التفاوت الإضافي لثقب عند MMC

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 4.1 يجب أن يكون ثقب عند (50, 30). وقيس عند (50.03, 29.98). تفاوت الموضع Ø0.1. هل يُقبل؟

1. Δx = 0.03, Δy = 0.02.
2. Ø = 2√(0.0009 + 0.0004) = 0.072.

الإجابة: Ø0.1 ≥ Ø0.072: مقبول.

مثال 4.2 الثقب Ø10.0–10.2 بموضع Ø0.1 عند MMC. وقيس Ø10.15. ما تفاوت الموضع المسموح؟

1. MMC للثقب = أصغر مقاس = 10.0.
2. التفاوت الإضافي = 10.15 − 10.0 = 0.15.
3. المسموح = 0.1 + 0.15 = 0.25.

الإجابة: Ø0.25.

مثال 4.3 ثلاثة أبعاد متسلسلة كل منها 20 ± 0.1 تحدد موضع معلم. ما أسوأ تغير محتمل في المجموع؟

1. تتجمع التفاوتات: 3 × 0.1.

الإجابة: 0.3 mm ±. ووضع كل بُعد من مرجع واحد يحصره في 0.1 ±.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. ثقب منحرف 0.04 في x و0.03 في y. ما خطأ الموضع؟

   Ø0.10.

2. مع Ø0.1 عند MMC، ما تفاوت الموضع المسموح لثقب Ø10.0–10.2 قيس عند Ø10.05؟

   Ø0.15.

3. ماذا يمثل المرجع؟

   مرجعًا دقيقًا نظريًا، عادةً حيث تتزاوج القطعة أو تُثبَّت.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: خطأ الموضع يساوي مقدار الانحراف.
في الحقيقة: منطقة التفاوت قطر، لذا الخطأ × 2 = الانحراف نصف القطري.

خرافة: التفاوتات الأضيق تصنع دائمًا قطعًا أفضل.
في الحقيقة: إنها ترفع التكلفة والهالك؛ فلا تضع تفاوتًا إلا بقدر ما تحتاجه الوظيفة.

خرافة: MMC للثقب هو أكبر مقاس له.

في الحقيقة: المادة القصوى للثقب هي أصغر ثقب.

بطاقات تعليمية

GD&T

الأبعاد والتفاوتات الهندسية.

المرجع

معلم مرجعي دقيق.

إطار التحكم في المعلم

الرمز | التفاوت | المعدِّلات | المراجع.

الموضع

تفاوت الموقع، وعادةً منطقة قطرية.

MMC

حالة المادة القصوى.

التفاوت الإضافي

تفاوت إضافي كلما ابتعد المعلم عن MMC.

اختبار ذاتي

1. يغطي ASME Y14.5...

اللحام

الأبعاد والتفاوتات

الرموز الكهربائية

المواد

الأبعاد والتفاوتات. معيار GD&T.

2. ثقب منحرف 0.03 و0.04 يكون خطأ موضعه...

Ø0.05

Ø0.07

Ø0.10

Ø0.14

Ø0.10. 2 × 0.05.

3. MMC للعمود هو...

أصغر مقاس

أكبر مقاس

المقاس الاسمي

صفر

أكبر مقاس. أكبر قدر من المادة.

4. الأبعاد المتسلسلة...

تقلل الخطأ

تراكم التفاوتات

إلزامية

تزيل المراجع

تراكم التفاوتات. تتجمع الأخطاء على امتداد السلسلة.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

حُسن وضع التفاوتات أداة لتقليل الهدر. فـ GD&T الوظيفي والتفاوت الإضافي عند MMC يقبلان قطعًا ستتجمع وتعمل، بدل إهدارها بسبب أرقام ضيقة اعتباطية.

يعمل NIST على التعريف القائم على النموذج، الذي يضع التفاوتات مباشرة في النموذج ثلاثي الأبعاد (3D) كي تقرأها الآلات والمفتشون بشكل صحيح، مما يقلل الأخطاء وإعادة العمل.

على Saving Planets: مقدمة في هندسة الطيران والفضاء

المصادر: ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing (https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-5-dimensioning-tolerancing) · NIST: Model-based enterprise and PMI testing (https://www.nist.gov/el/systems-integration-division-73400/mbe-pmi-validation-and-conformance-testing)

مصادر تعلّم مجانية

- ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing (https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-5-dimensioning-tolerancing): المعيار.
- NIST: Model-based enterprise and PMI testing (https://www.nist.gov/el/systems-integration-division-73400/mbe-pmi-validation-and-conformance-testing): التفاوتات في النماذج ثلاثية الأبعاد (3D).

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

التفاوتات والتوافقات

مقدار التغير المسموح في مقاس القطع مع بقائها متوافقة: الحدود، وتوافقات ISO، وتراكم التفاوتات.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- احسب الحدود والخلوص والتداخل.
- اقرأ توافقات ISO على أساس الثقب مثل H7/g6 وH7/p6.
- أجرِ تراكم التفاوتات بأسوأ حالة وبالجذر التربيعي لمجموع المربعات (RSS).
- اختر توافقًا يناسب الوظيفة.

المفاهيم الأساسية

- الحدود هي أكبر وأصغر مقاسين مسموحين. التفاوت = الحد الأعلى − الحد الأدنى.
- توافقات الخلوص تترك فجوة دائمًا؛ وتوافقات التداخل تتراكب دائمًا (تُكبس معًا)؛ والتوافقات الانتقالية قد تفعل هذا أو ذاك.
- يرمّز ISO 286 التوافقات بحرف/رقم الثقب فوق حرف/رقم العمود. ثقوب H تبدأ من المقاس الاسمي؛ والرقم هو درجة IT. للمقاسات 18–30 mm، IT7 = 21 µm وIT6 = 13 µm.
- تراكم أسوأ حالة يجمع كل التفاوتات؛ وRSS يفترض تغيرًا عشوائيًا مستقلًا: √(Σtᵢ²)، وهو أصغر وأكثر واقعية للقطع الكثيرة.

المعادلات الأساسية

$$c_{\max} = H_{\max} - s_{\min}, \quad c_{\min} = H_{\min} - s_{\max}$$

```
c_=H_-s_, c_=H_-s_
```

حدود الخلوص

$$T_{wc} = \sum t_i$$

```
T_wc= t_i
```

تراكم أسوأ حالة

$$T_{RSS} = \sqrt{\sum t_i^2}$$

```
T_RSS= t_i^2
```

تراكم الجذر التربيعي لمجموع المربعات

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 5.1 توافق Ø25 H7/g6: الثقب 25.000–25.021، والعمود 24.980–24.993. أوجد مدى الخلوص.

1. c_min = 25.000 − 24.993 = 0.007.
2. c_max = 25.021 − 24.980 = 0.041.

الإجابة: خلوص 0.007–0.041 mm: توافق انزلاقي دقيق.

مثال 5.2 توافق Ø25 H7/p6: الثقب 25.000–25.021، والعمود 25.022–25.035. أوجد التوافق.

1. أصغر تراكب = 25.022 − 25.021 = 0.001.
2. أكبر تراكب = 25.035 − 25.000 = 0.035.

الإجابة: تداخل 0.001–0.035 mm: توافق كبس.

مثال 5.3 قطع مقاساتها 10 ± 0.05 وmm 30 ± 0.05 وmm 20 ± 0.10 تتراكم. أوجد التفاوت بأسوأ حالة وبـ RSS.

1. أسوأ حالة: 0.10 + 0.05 + 0.05 = 0.20.
2. RSS: √(0.01 + 0.0025 + 0.0025) = 0.122.

الإجابة: 60 ± 0.20 mm بأسوأ حالة؛ و60 ± 0.12 mm بـ RSS.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. ثقب مقاسه 12.000–12.018 وعمود 11.984–11.995. ما مدى الخلوص؟

   0.005–0.034 mm.

2. ما تفاوت ثقب H7 أعلاه؟

   0.021 mm = 21 µm.

3. أربع قطع كل منها 0.05 ±: ما أسوأ حالة وما RSS؟

   0.20 ± و0.10 ±.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: RSS آمن دائمًا.
في الحقيقة: إنه يفترض تغيرًا مستقلًا ومتمركزًا؛ وللتوافقات الحرجة للسلامة استخدم أسوأ حالة.

خرافة: توافقات التداخل لا تحتاج إلى حساب.
في الحقيقة: التداخل الزائد قد يشقق القطع؛ فاحسب المدى.

خرافة: رقم التفاوت بالمليمترات.

في الحقيقة: تقابل درجات IT قيمًا بالميكرومتر تعتمد على المقاس.

بطاقات تعليمية

الحدود

أكبر وأصغر مقاسين مسموحين.

توافق الخلوص

فجوة دائمًا.

توافق التداخل

تراكب دائمًا.

التوافق الانتقالي

فجوة أو تراكب.

تراكم أسوأ حالة

Σt_i.

تراكم RSS

$\sqrt{\Sigma t_i^2}$.

اختبار ذاتي

1. H7/g6 هو…

توافق كبس

توافق خلوص

توافق انتقالي

لولب

توافق خلوص. أعمدة g تقع تحت ثقب H.

2. RSS لـ ±0.3 و±0.4 يساوي…

±0.7

±0.5

±0.35

±0.1

±0.5. √(0.09 + 0.16).

3. IT7 للمقاسات 18–30 mm يساوي...

7 µm

13 µm

21 µm

0.7 mm

21 µm. جدول ISO 286.

4. الحد الأدنى لثقب H يكون...

فوق الاسمي

الاسمي تمامًا

تحت الاسمي

عشوائيًا

الاسمي تمامًا. نظام أساس الثقب.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

التوافقات الجيدة تجعل المنتجات قابلة للإصلاح: توافقات ISO القياسية تتيح استبدال المحامل والمسامير الوتدية والجلب بقطع جاهزة بعد سنوات، فتبقى الآلة في الخدمة بدل مكب النفايات.

اختيار RSS حيث يناسب يسمح بتفاوتات فردية أوسع، أي عمليات أرخص وهالك أقل بجودة التجميع نفسها.

على Saving Planets: التفاضل والتكامل 2

المصادر: ISO 286-1: ISO code system for tolerances and fits (https://www.iso.org/standard/45975.html) · EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics)

مصادر تعلّم مجانية

- ISO 286-1: ISO code system for tolerances and fits (https://www.iso.org/standard/45975.html): نظام توافقات ISO.
- MIT OpenCourseWare 2.007: Design and Manufacturing I (https://ocw.mit.edu/courses/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/): التوافقات في تصميم الآلات.

- [ ] **أنهيت هذه الوحدة**

النمذجة ثلاثية الأبعاد (3D) البارامترية

ابنِ نماذج مصمتة من رسومات مقيدة وميزات في Onshape أو FreeCAD، واجعلها سهلة التغيير.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- أنشئ رسومات 2D مقيدة تقييدًا كاملًا.
- استخدم ميزات البثق والدوران والتدوير والشطف والثقب والتجويف والنمط.
- تحكّم في النماذج بالمتغيرات والمعادلات (نية التصميم).
- احسب خصائص الكتلة واستخدمها في التصميم.

المفاهيم الأساسية

- النموذج البارامتري وصفة: رسومات وميزات في شجرة سجل. غيّر بُعدًا فيُعاد بناء النموذج.
- يكون الرسم مقيدًا تقييدًا كاملًا عندما تثبّت القيود الهندسية (التوازي، والتماس، والتطابق) والأبعاد كل درجة حرية. لكل نقطة 2D حرة 2 من درجات الحرية.
- نية التصميم: ضع الأبعاد بحسب طريقة عمل القطعة. إذا وجب أن تبقى الثقوب في المنتصف، فقيّدها بنقطة المنتصف لا بحافة.
- المتغيرات (Onshape) وجداول البيانات أو التعابير (FreeCAD) تتيح لرقم واحد أن يتحكم في ميزات كثيرة.
- يحسب CAD الحجم والكتلة ومركز الكتلة وعزوم القصور الذاتي من كثافة المادة.

المعادلات الأساسية

$$m = \rho V$$

`m=ρ V`

الكتلة من الحجم

$$\text{DOF}_{sketch} = 2n_{pts} - \sum \text{constraints}$$

`DOF_sketch=2n_pts-`

درجات حرية الرسم (النقاط فقط)

$$V_{rev} = 2\pi \bar{r} A$$

`V_rev=2π r A`

بابوس: حجم الدوران

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 6.1 لوح ألومنيوم مقاسه 5 mm × 60 × 100 فيه أربعة ثقوب نافذة Ø6. أوجد كتلته ($\rho = 2.70\ \text{g/cm}^3$).

1. $V = 100 \times 60 \times 5 - 4 \times \pi \times 3^2 \times 5 = 30{,}000 - 565.5 = 29{,}434.5\ \text{mm}^3$.
2. $m = 29.43\ \text{cm}^3 \times 2.70$.

الإجابة: $\approx 79.5\ \text{g}$.

مثال 6.2 مستطيل مرسوم بأداة المستطيل له 4 نقاط زوايا (8 درجات حرية) ويأتي مع 2 من القيود الأفقية و2 من القيود الرأسية. كم بُعدًا أو قيدًا إضافيًا يقيّده تقييدًا كاملًا؟

1. تبقى $8 - 4 = 4$ درجات حرية: العرض، والارتفاع، والموضع في x وy.
2. أضف العرض والارتفاع، ثم اجعل إحدى الزوايا منطبقة على نقطة الأصل (تزيل 2).

الإجابة: 4 إضافية: بُعدان واثنان للموضع (مثل زاوية منطبقة على نقطة الأصل).

مثال 6.3 تُصنع حلقة بتدوير مستطيل 4 mm × 10 يبعد مركزه 25 mm عن المحور. أوجد حجمها.

1. $A = 40\ \text{mm}^2$.
2. $V = 2\pi \times 25 \times 40$.

الإجابة: $\approx 6{,}283\ \text{mm}^3$ ($6.28\ \text{cm}^3$).

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. كتلة فولاذية ($\rho = 7.85\ \text{g/cm}^3$) 20 mm × 50 × 50. ما الكتلة؟

   $50\ \text{cm}^3 \times 7.85 \approx 392.5\ \text{g}$.

2. لماذا نقيّد الرسومات تقييدًا كاملًا؟

   كي يُعاد البناء بعد التغييرات بشكل متوقع؛ فالرسومات الناقصة القيود تنزاح عند التعديل.

3. مكعب PLA طول ضلعه 20 mm، مصمت ($\rho = 1.24\ \text{g/cm}^3$). ما الكتلة؟

   $8\ \text{cm}^3 \times 1.24 \approx 9.9\ \text{g}$.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: النموذج الذي يبدو صحيحًا صحيح.

في الحقيقة: افحص الرسومات الناقصة القيود والمراجع الهشة؛ فهي تنكسر عند التعديل.

خرافة: ضع الأبعاد من أي حافة في متناولك.

في الحقيقة: ضع الأبعاد من المراجع الوظيفية لتجسيد النية.

خرافة: خصائص الكتلة دقيقة.

في الحقيقة: دقتها بقدر دقة الكثافة والنموذج اللذين تدخلهما.

بطاقات تعليمية

النموذج البارامتري

ميزات تتحكم فيها أبعاد قابلة للتعديل.

القيد

علاقة هندسية، مثل التماس.

نية التصميم

يتصرف النموذج كما تتطلب الوظيفة.

الميزة

بثق، دوران، تدوير، ثقب، نمط...

شجرة السجل

قائمة مرتبة بالميزات.

خصائص الكتلة

الحجم، والكتلة، ومركز الكتلة، والقصور الذاتي.

اختبار ذاتي

1. الرسم المقيد تقييدًا كاملًا ليس فيه...

أي أبعاد

أي درجات حرية متبقية

إلا القيود

إلا الأبعاد

أي درجات حرية متبقية. كل درجة حرية مثبتة.

2. تسجّل شجرة السجل...

رسائل البريد الإلكتروني

تسلسل الميزات

المواد فقط

إعدادات العرض

تسلسل الميزات. الوصفة البارامترية.

3. تدوير مساحة A عند نصف قطر مركزها r̄ يعطي حجمًا...

πr̄A

2πr̄A

r̄A

2πA

2πr̄A. مبرهنة بابوس.

4. يعمل Onshape...

على Linux فقط

في متصفح الويب

دون اتصال فقط

على الهواتف فقط

في متصفح الويب. CAD سحابي أصيل.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تجعل النماذج البارامترية تجربة نسخ أخف رخيصة: غيّر متغير سماكة الجدار فتتحدث القطعة كلها بكتلتها الجديدة. وهذا يحوّل تخفيف الوزن من تخمين إلى دراسة سريعة (المختبر D).

تضع الخطة المجانية من Onshape وFreeCAD النمذجة الاحترافية في يد أي شخص، فيمكن مشاركة التصاميم مفتوحة المصدر لقطع الإصلاح والتقنيات الملائمة وتحسينها.

على Saving Planets: مقدمة في هندسة الطيران والفضاء

المصادر: FreeCAD (https://www.freeca/d.org) · Onshape Free plan (مجاني، مفتوح المصدر) (https://www.onshape.com/en/products/free)

مصادر تعلّم مجانية

- Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/): مقررات نمذجة مجانية بالسرعة التي تناسبك.
- FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started): أساسيات FreeCAD Part Design.
- Onshape Free plan (https://www.onshape.com/en/products/free): سجّل في الخطة المجانية.

أنهيت هذه الوحدة

التجميعات والرسومات

اجمع القطع بعلاقات التزاوج، وافحص الحركة والتداخل، وأنتج رسومات يمكن لأحد أن يصنع منها.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- جمّع القطع بعلاقات التزاوج (مثبتة، دورانية، انزلاقية) وعُدّ درجات الحرية.
- افحص التداخل والخلوص.
- أنتج رسومات تفاصيل وتجميع بإطار عنوان وقائمة مواد وفقاعات ترقيم.
- استخدم معادلة غروبلر للآليات المستوية.

المفاهيم الأساسية

- للجسم الجاسئ الحر 6 درجات حرية (3 انتقالات، 3 دورانات). علاقة التزاوج الدورانية تُبقي 1؛ والانزلاقية تُبقي 1؛ والمثبتة تُبقي 0.
- التجميع من الأسفل إلى الأعلى يُدرج قطعًا جاهزة؛ والتصميم من الأعلى إلى الأسفل يصمم القطع في سياق التجميع.
- حركية الآلية المستوية $M = 3(n-1) - 2j_1 - j_2$ (غروبلر)، حيث n عدد الوصلات بما فيها القاعدة، وj_1 المفاصل الكاملة، وj_2 أنصاف المفاصل.
- تأتي الرسومات من النموذج: مساقط، وقطاعات، وأبعاد وملاحظات، وإطار عنوان (القطعة، والمادة، والمقياس، ورمز الإسقاط، والوحدات، والتفاوتات)، وللتجميعات قائمة مواد (BOM) بفقاعات ترقيم.
- فحوص التداخل تكشف القطع المتراكبة قبل صنع أي شيء.

المعادلات الأساسية

$$M = 3(n-1) - 2j_1 - j_2$$

```
M=3(n-1)-2j_1-j_2
```

معادلة غروبلر (المستوية)

$$\text{DOF}_{3D} = 6 - \text{removed}$$

```
DOF_3D=6-removed
```

درجات الحرية المتبقية لقطعة مزاوَجة

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 7.1 أوجد حركية آلية رباعية الوصلات (4 وصلات بما فيها القاعدة، و4 مفاصل محورية).

1. $M = 3(4-1) - 2(4) = 9 - 8 = 1$.

الإجابة: 1 = M: مُدخل واحد يحركها.

مثال 7.2 آلية منزلقة-ذراع تدوير: القاعدة، والذراع، وذراع التوصيل، والمنزلقة؛ 3 مفاصل محورية و1 مفصل انزلاقي.

1. $n = 4$، $j_1 = 4$ (المفاصل المحورية والانزلاقية مفاصل كاملة).
2. $M = 9 - 8$.

الإجابة: 1 = M، كما في المحرك.

مثال 7.3 تسرد قائمة مواد 4 × براغي M5 وزن كل منها 1.2 g، و1 لوحًا وزنه 79.5 g، و2 من الدعامات وزن كل منها 15.0 g. ما الكتلة الكلية للتجميع؟

1. $30.0 + 79.5 + 4.8$.

الإجابة: 114.3 g.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. حركية 5 وصلات و5 مفاصل محورية؟

   $M = 12 - 10 = 2$.

2. حركية 3 وصلات و3 مفاصل محورية؟

   $M = 6 - 6 = 0$: بنية جاسئة (مثلث).

3. ماذا يجب أن يذكر كل إطار عنوان؟

   اسم القطعة/رقمها، والمادة، والمقياس، والوحدات، وطريقة الإسقاط، والتفاوتات العامة، والمؤلف، والمراجعة.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: علاقات تزاوج أكثر أكثر أمانًا.
في الحقيقة: علاقات التزاوج الزائدة تفرط في التقييد وقد تمنع الحل أو تخفي الأخطاء.

خرافة: رسومات التجميع تحتاج إلى كل الأبعاد.
في الحقيقة: رسومات التفاصيل تحمل أبعاد القطع؛ ورسومات التجميع تبيّن كيف تتركب القطع معًا.

خرافة: إذا توافق النموذج فستتوافق القطع الحقيقية.

في الحقيقة: فقط إذا فُحصت التفاوتات (الوحدة 5).

بطاقات تعليمية

علاقة التزاوج

علاقة تحدد مواضع القطع.

دورانية

مفصل محوري؛ 1 درجة حرية دورانية.

غروبلر

$M = 3(n - 1) - 2j_1 - j_2$.

BOM

قائمة المواد.

فقاعة الترقيم

إشارة مرقمة تربط القطعة بقائمة المواد.

إطار العنوان

هوية الرسم ومقياسه ووحداته وتفاوتاته.

اختبار ذاتي

1. للجسم الجاسئ الحر في 3D...

3 DOF

6 DOF

1 DOF

12 DOF

3 .6 DOF انتقالات، 3 دورانات.

2. حركية الآلية رباعية الوصلات تساوي...

0

1

2

3

1. غروبلر.

3. تسرد قائمة المواد...

التفاوتات

القطع والكميات

الألوان فقط

علاقات التزاوج

القطع والكميات. قائمة المواد.

4. علاقة التزاوج الدورانية تُبقي...

0 DOF

1 DOF

2 DOF

6 DOF

1 DOF. دورانًا واحدًا.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

رسم التجميع الواضح وقائمة المواد دليل إصلاح. التصاميم التي تستخدم مثبتات قياسية ويمكن تفكيكها أسهل في الإصلاح والتجديد وإعادة التدوير، وهي فكرة جوهرية في الإدارة المستدامة للمواد.

عدّ القطع في قائمة المواد هو أيضًا فحص للتصميم من أجل التجميع: القطع الأقل تعني عادةً مادة أقل وطاقة أقل وأعطالًا أقل.

على Saving Planets: الفيزياء ا

المصادر: EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics) · FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started)

مصادر تعلّم مجانية

- FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started): تجميعات FreeCAD وTechDraw.
- Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/): تجميعات Onshape ورسوماته.
- MIT OpenCourseWare 2.007: Design and Manufacturing I (https://ocw.mit.edu/courses/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/): الآليات في MIT 2.007.

أنهيت هذه الوحدة

الطباعة ثلاثية الأبعاد (3D) والتصميم من أجل التصنيع

كيف تُصنع القطع فعلًا، وكيف تصممها لتكون سهلة الصنع ورخيصة وقليلة الهدر، بما في ذلك الطباعة 3D.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- صف عمليات الإضافة (الطباعة 3D)، والإزالة (التشغيل الآلي)، والتشكيل.
- صمّم لطباعة FDM: البروزات، والدعامات، وسماكة الجدار، والاتجاه.
- قدّر كتلة الطباعة وطول الخيط والزمن.
- طبّق قواعد التصميم من أجل التصنيع والتجميع (DFM/DFA).

المفاهيم الأساسية

- يبني التصنيع بالإضافة القطع طبقة فوق طبقة؛ ويعمل NIST على علوم القياس والمعايير لجعل قطع AM موثوقة. والتشغيل الآلي يزيل المادة؛ والقولبة والسباكة تشكّلانها.
- الطباعة بالخيط المنصهر (FDM): البروزات الأشد ميلًا من نحو 45° عن الرأسي تحتاج عادةً إلى دعامات؛ ووجّه القطع بحيث لا تفصل الأحمال الطبقات، لأن روابط الطبقات هي الاتجاه الضعيف.
- الحشو (غالبًا 10–20%) وبضعة جدران محيطية تجعل المطبوعات خفيفة؛ والمطبوعات المصمتة تهدر المادة والوقت.
- طول الخيط لكل غرام (1/(ρπr²) =. لخيط PLA قطره 1.75 mm (ρ = 1.24 g/cm³) يبلغ ذلك نحو 33.5 cm لكل غرام.
- DFM/DFA: قطع أقل، ومعالم ومثبتات قياسية، وأنصاف أقطار سخية، ومعالم ذاتية التموضع، وتجنب التفاوتات الضيقة بلا داعٍ.

المعادلات الأساسية

$$\ell = \frac{m}{\rho \, \pi r^2}$$

=(m)/(ρ π r^2)

طول الخيط لمطبوعة كتلتها m

$$t \approx \frac{V}{w \, h \, v}$$

زمن الطباعة من الحجم وعرض الخط w وارتفاع الطبقة h والسرعة v

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 8.1 كم يستهلك من خيط PLA قطره 1.75 mm لمطبوعة كتلتها 10 g؟

1. المقطع π(0.0875 cm)² = 0.02405 cm².
2. الطول لكل غرام 1/(1.24 × 0.02405) = 33.5 cm.
3. 10 ×.

الإجابة: 3.35 m ≈.

مثال 8.2 قدّر زمن طباعة 10 g من PLA بخط 0.4 mm وطبقات 0.2 mm بسرعة 50 mm/s.

1. $V = 10/1.24 = 8.065\ cm^3 = 8{,}065\ mm^3$.
2. المعدل $= 50 \times 0.2 \times 0.4 = 4\ mm^3/s$.
3. $t = 8{,}065/4 = 2{,}016\ s$.

الإجابة: 34 ≈ دقيقة من البثق (المطبوعات الحقيقية تستغرق أطول بسبب حركات الانتقال).

مثال 8.3 مكعب PLA مصمت طول ضلعه 20 mm يزن 9.9 g. بحشو نحو 15% مع الجدران، يزن نحو 3.5 g. ما نسبة المادة الموفَّرة؟

1. $(9.9 - 3.5)/9.9$.

الإجابة: 65% ≈ بلاستيك أقل (تقدير نموذجي؛ برنامج التقطيع لديك يعطي الرقم الحقيقي).

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. كم غرامًا يزن 1 m من خيط PLA قطره 1.75 mm؟

   100/33.5 ≈ 2.98 g.

2. لماذا تُطبع الدعامة بحيث تمتد الطبقات على مسار الحمل؟

   روابط الطبقات أضعف من الخطوط المبثوقة.

3. اذكر قاعدتين من قواعد DFA.

   قلّل عدد القطع؛ واستخدم معالم ذاتية التموضع ومثبتات قياسية.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الطباعة 3D أكثر مراعاة للبيئة دائمًا.
في الحقيقة: قد توفر المادة، لكن الطاقة والمطبوعات الفاشلة والنفايات غير المعاد تدويرها مهمة؛ فقارن لكل قطعة.

خرافة: المطبوعات متساوية المتانة في كل الاتجاهات.
في الحقيقة: قطع FDM أضعف ما تكون بين الطبقات.

خرافة: الحشو 100% هو الأمتن، لذا فهو الأفضل دائمًا.

في الحقيقة: الجدران تحمل معظم حمل الانحناء؛ والحشو الزائد يضيف كتلة ووقتًا بفائدة قليلة.

بطاقات تعليمية

التصنيع بالإضافة

البناء طبقة فوق طبقة.

FDM

الطباعة 3D بالخيط المنصهر.

الحشو

نسبة الشبكة الداخلية.

الدعامة

بنية مؤقتة تحت البروزات.

DFM

التصميم من أجل التصنيع.

DFA

التصميم من أجل التجميع.

اختبار ذاتي

1. قطع FDM أضعف ما تكون...

على امتداد الخيط

بين الطبقات

عند السطح

في أي مكان

بين الطبقات. التصاق الطبقات.

2. البروزات التي تتجاوز نحو 45° تحتاج عادةً إلى...

دعامات

حشو أكثر

سرعة أعلى

طلاء

دعامات. لا شيء يُطبع عليه.

3. الخيط لكل غرام لخيط PLA قطره ≈ 1.75 mm

3.4 cm

33.5 cm

3.35 m

335 m

.33.5 cm. 1/(ρπr²)

4. من قواعد DFA الأساسية...

إضافة قطع

تقليل عدد القطع

تضييق كل التفاوتات

استخدام براغٍ مخصصة

تقليل عدد القطع. قطع أقل، خطوات أقل.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

البلاستيك تيار نفايات كبير: تفيد EPA بأن إنتاج البلاستيك في الولايات المتحدة بلغ 35.7 مليون طن في 2018، أي 12.2% من النفايات البلدية الصلبة، ولم يُعد تدوير سوى 8.7%. تصميم المطبوعات بحشو منخفض ودعامات قليلة ومحاولات فاشلة أقل يقلل هذا الهدر مباشرة.

يمكن للتصنيع بالإضافة أن يضع المادة فقط حيث تحتاجها الأحمال، مما يتيح قطعًا أخف؛ ويهدف عمل NIST إلى جعل هذه القطع موثوقة بما يكفي للاستخدامات الصعبة.

على Saving Planets: مقدمة في هندسة الطيران والفضاء

المصادر: EPA: Plastics, material-specific data (https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/plastics-material-specific-data) · NIST: Additive manufacturing (https://www.nist.gov/additive-manufacturing)

مصادر تعلّم مجانية

- NIST: Additive manufacturing (https://www.nist.gov/additive-manufacturing): المعايير والقياس للطباعة 3D.
- MIT OpenCourseWare 2.007: Design and Manufacturing I (https://ocw.mit.edu/courses/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/): عمليات التصنيع.
- EPA: Plastics, material-specific data (https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/plastics-material-specific-data): بيانات البلاستيك.

أنهيت هذه الوحدة

التصميم من أجل الاستدامة وتخفيف الوزن

استخدم مهاراتك في CAD لجعل القطع أخف وأطول عمرًا وأسهل في الإصلاح وإعادة التدوير، وقدّر العائد.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- قارن المقاطع من حيث الكتلة والجساءة (عزم المساحة الثاني).
- قدّر وفورات الوقود وCO_2 الناتجة عن تخفيف وزن المركبات.
- طبّق مبادئ التصميم من أجل الإصلاح والتفكيك وإعادة التدوير.
- اختر المواد مع مراعاة دورة حياتها كاملة.

المفاهيم الأساسية

- تعتمد جساءة الانحناء على EI. إبعاد المادة عن المحور المحايد (الأنابيب، والعوارض I) يرفع I بكتلة أقل.
- تفيد DOE بأن خفض وزن المركبة بنسبة 10% يمكن أن يحسن اقتصاد الوقود بنسبة 6–8%، وأن المواد الخفيفة يمكن أن تخفض وزن المكونات بنسبة 10–60% على المدى القصير.
- تفيد EPA بأن كل غالون بنزين يُحرق ينتج نحو 8887 g من CO_2 (نحو 2.35 kg لكل لتر).
- التصميم من أجل التفكيك: البراغي بدل الغراء، ومواد أحادية حيثما أمكن، وبلاستيك موسوم.
- الأخف ليس دائمًا الأكثر مراعاة للبيئة: قارن المواد عبر دورة الحياة، بما في ذلك طاقة الإنتاج وقابلية إعادة التدوير.

المعادلات الأساسية

$$I_{rect} = \frac{b h^3}{12}, \quad I_{tube} = \frac{B^4 - b^4}{12}$$

```
I_rect=(bh^3)/(12), I_tube=(B^4-b^4)/(12)
```

عزم المساحة الثاني: قضيب مصمت وأنبوب مربع

$$\Delta \mathrm{CO_2} = \Delta \mathrm{fuel} \times 2.35\ \mathrm{kg/L}$$

```
ΔCO_2=Δfuel×2.35\ kg/L
```

CO_2 الموفَّر من البنزين

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 9.1 قارن قضيبًا مربعًا مصمتًا 20 mm × 20 بأنبوب مربع 25 mm × 25 بجدران 2 mm: المساحة (الكتلة) وا.

1. القضيب: $A = 400\ \mathrm{mm^2}$، $I = 20^4/12 = 13333\ \mathrm{mm^4}$.
2. الأنبوب: $A = 625 - 441 = 184\ \mathrm{mm^2}$، $I = (25^4 - 21^4)/12 = 16345\ \mathrm{mm^4}$.

الإجابة: يستخدم الأنبوب مادة أقل بنسبة 54% وهو أكثر جساءة في الانحناء بنسبة 23%.

مثال 9.2 سيارة كتلتها 1500 kg خُفف وزنها بنسبة (150 kg) 10%. تستهلك 8 L/100 km وتقطع 15000 km سنويًا. باستخدام نسبة DOE 6–8%، قدّر الوقود الموفَّر سنويًا.

1. الوقود السنوي = 8 × 15000/100 = 1200 L.
2. 6%: 72 L; 8%: 96 L.

الإجابة: نحو 72–96 L سنويًا.

مثال 9.3 حوّل ذلك إلى CO_2 باستخدام رقم EPA 8887 g لكل غالون.

1. 8.887 kg / 3.785 L = 2.35 kg/L.
2. 72 × 2.35 = 169; 96 × 2.35 = 225.

الإجابة: 170–225 kg ≈ من CO_2 لكل سيارة سنويًا (تقدير مبسط).

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. ما I لقضيب مصمت 30 mm × 10 ينحني حول محوره الذي عرضه (h = 30) 10 mm؟

   $10 \times 30^3/12 = 22{,}500\ mm^4$.

2. القضيب نفسه موضوعًا بشكل مسطح (h = 10، b = 30)؟

   $30 \times 10^3/12 = 2500\ mm^4$: أقل جساءة بـ 9 مرات.

3. كم لترًا من البنزين ينتج 1 طن من CO_2؟

   1,000/2.35 ≈ 426 L.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: الأخف يعني دائمًا الأكثر مراعاة للبيئة.
في الحقيقة: بعض المواد الخفيفة تحتاج إلى طاقة أكبر بكثير لإنتاجها؛ فاحكم عبر دورة الحياة.

خرافة: الجساءة تعتمد على كمية المادة فقط.
في الحقيقة: موضع المادة (I) أهم.

خرافة: الغراء يجعل المنتجات أفضل.

في الحقيقة: إنه غالبًا يعيق الإصلاح وإعادة التدوير.

بطاقات تعليمية

عزم المساحة الثاني

I؛ جساءة الانحناء الهندسية.

تخفيف الوزن

إزالة الكتلة دون فقدان الوظيفة.

قاعدة DOE

أخف بنسبة → 10% اقتصاد وقود أفضل بنسبة 6–8%.

CO_2 البنزين

≈ 8887 g/gal ≈ 2.35 kg/L.

التصميم من أجل التفكيك

سهل التفكيك للإصلاح وإعادة التدوير.

دورة الحياة

المواد، والصنع، والاستخدام، ونهاية العمر.

اختبار ذاتي

1. تعتمد جساءة الانحناء على...

E فقط

EI

الكتلة فقط

اللون

EI. المعامل × عزم المساحة الثاني.

2. DOE: مركبة أخف بنسبة → 10% يتحسن اقتصاد الوقود بنسبة...

1–2%

6–8%

20–30%

50%

6–8%. رقم DOE.

3. يُنتج غالون البنزين المحروق نحو...

889 g CO_2

8,887 g CO_2

88 kg CO_2

2 g CO_2

8,887 g CO_2. رقم EPA.

4. من خيارات التصميم من أجل التفكيك...

الغراء في كل مكان

البراغي والمواد الأحادية

البلاستيك المصفح المختلط

الأغطية الملحومة

البراغي والمواد الأحادية. إصلاح وإعادة تدوير أسهل.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تخفيف الوزن من أكثر أدوات المناخ مباشرة في يد مستخدم CAD. تفيد DOE بأن المركبة الأخف بنسبة 10% قد تحقق اقتصاد وقود أفضل بنسبة 6–8%، وتقدّر EPA كل غالون بنزين بنحو 8887 g من CO_2.

التصميم من أجل الإصلاح وإعادة التدوير يُبقي المواد قيد الاستخدام؛ وتصف EPA الإدارة المستدامة للمواد بأنها نهج منهجي لاستخدام المواد وإعادة استخدامها بإنتاجية أكبر عبر دورات حياتها كاملة.

على Saving Planets: الفيزياء I

المصادر: U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks) · EPA: Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle (https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle)

مصادر تعلّم مجانية

- U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks): بيانات المواد الخفيفة.
- EPA: Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle (https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle): أرقام CO_2 للمركبات.
- EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics): التفكير في دورة الحياة.

أنهيت هذه الوحدة

مجموعات المسائل

هذه التمارين داخل كل وحدة. حلّها على الورق أولًا، ثم افتح الإجابة.

1. الرسم الحر والتصور
   3 مسائل
2. الإسقاط العمودي والإسقاط المتساوي القياس
   4 مسائل
3. القطاعات والمساقط المساعدة
   3 مسائل
4. وضع الأبعاد وأساسيات GD&T
   3 مسائل
5. التفاوتات والتوافقات
   3 مسائل
6. النمذجة ثلاثية الأبعاد (3D) البارامترية
   3 مسائل
7. التجميعات والرسومات
   3 مسائل
8. الطباعة ثلاثية الأبعاد (3D) والتصميم من أجل التصنيع
   3 مسائل
9. التصميم من أجل الاستدامة وتخفيف الوزن
   3 مسائل

المختبرات

تنقل أربعة مختبرات قطعةً من الورق إلى البلاستيك: دعامة بارامترية في Onshape، وتجميع ورسم في FreeCAD، وتقدير للطباعة 3D وطباعة فعلية، ودراسة لتخفيف الوزن.

البيانات النموذجية موسومة بذلك. ستختلف قياساتك، وشرح سبب الاختلاف جزء من المختبر.

مرجع السلامة: NIST: Additive manufacturing (https://www.nist.gov/additive-manufacturing)

المختبر A: دعامة بارامترية في Onshape

الأسبوع 9

الهدف: نمذج دعامة على شكل L تتحكم فيها المتغيرات، ثم غيّر متغيرًا واحدًا وراقب تحديث النموذج وكتلته.

$$m = \rho V$$

m=ρ V

الكتلة من الحجم

الإجراء

1. أنشئ حسابًا مجانيًا في Onshape (الخطة المجانية) أو استخدم FreeCAD.
2. عرّف المتغيرات: لوح 100 × 60 mm، والسماكة t = 5 mm، وثقب Ø6، وبُعد الثقب عن الحافة 10 mm.
3. ارسم، وابثق، وأضف أربعة ثقوب بنمط، واضبط المادة على الألومنيوم (2.70 g/cm³).
4. سجّل الكتلة. غيّر t إلى 4 mm وسجّلها مرة أخرى.

جدول البيانات

السماكة t (mm)	الحجم (mm³)	الكتلة (g)
5	29,434	79.5
4	23,548	63.6
3	17,661	47.7

قيم محسوبة للوح المسطح بأربعة ثقوب Ø6؛ وستختلف دعامتك الكاملة.

مثال حسابي

1. $V = (100 \times 60 - 4\pi \times 3^2) \times t = 5{,}886.9 \times t$ mm³.
2. الكتلة $m = V \times 2.70$ g/cm³ := 79.5 g عند 5 mm. كل مليمتر من السماكة يكلف 15.9 g.

السلامة

- لا شيء يتجاوز الاستخدام العادي للحاسوب.

بديل منزلي أو افتراضي

- يعمل في متصفح الويب.

Onshape Free plan (https://www.onshape.com/en/products/free) · Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/)

الصلة بالكوكب: دراسات السماكة البارامترية أسرع طريقة لإيجاد أخف قطعة ما زالت تؤدي عملها. U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر B: التجميع والرسم في FreeCAD

الأسبوع 11

الهدف: جمّع آلية رباعية الوصلات، وافحص حركتها وحركيتها، وأنتج رسمًا بإطار عنوان وقائمة مواد.

$$M = 3(n-1) - 2j_1$$

M=3(n-1)-2j_1

معادلة غروبلر

الإجراء

1. نمذج وصلة القاعدة (100 mm)، وذراع التدوير (40 mm)، وذراع الربط (120 mm)، والذراع المتأرجح (80 mm)، عرض كل منها 10 mm وفي طرفيها ثقبان Ø6.
2. جمّعها بمفاصل محورية (دورانية) وحرّك ذراع التدوير.
3. افحص هل يدور ذراع التدوير دورة كاملة (غراسهوف: الأقصر + الأطول ≥ مجموع الاثنين الآخرين).
4. أعدّ رسمًا: مساقط، وأبعاد، وإطار عنوان، وقائمة مواد، وفقاعات ترقيم.

جدول البيانات

الفحص	القيمة
الحركية M	1
الأقصر + الأطول (mm)	160
الاثنان الآخران (mm)	180
هل يمكن لذراع التدوير أن يدور دورة كاملة؟	Yes

قيم محسوبة لأطوال الوصلات المعطاة.

مثال حسابي

1. M = 3(4 − 1) − 2 × 4 = 1.
2. غراسهوف: 40 + 120 = 160 ≤ 100 + 80 = 180، وأقصر وصلة هي ذراع التدوير، لذا يمكنه أن يدور دورة كاملة.

السلامة

- لا شيء يتجاوز الاستخدام العادي للحاسوب.

بديل منزلي أو افتراضي

- FreeCAD مجاني لأنظمة Windows وMac وLinux.

FreeCAD (مجاني، مفتوح المصدر) (https://www.freecad.org/) · FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started)

الصلة بالكوكب: الرسومات ذات قوائم المواد الواضحة تجعل المنتجات أسهل في الإصلاح والصيانة. EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics)

- [ ] **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر C: اطبعها (أو قدّرها)

الأسبوع 13

الهدف: قطّع مكعب معايرة طول ضلعه 20 mm بإعدادات حشو مختلفة، وقارن الكتلة والزمن، واطبع واحدًا إن استطعت، ثم قِسه.

$$\ell = \frac{m}{\rho \pi r^2}$$

=(m)/(ρπ r^2)

طول الخيط

الإجراء

1. صدّر المكعب بصيغة STL وافتحه في برنامج تقطيع مجاني.
2. سجّل كتلة الطباعة وزمنها من برنامج التقطيع عند حشو 100% و20% و10%.
3. اطبع مكعبًا واحدًا إن أتيح لك؛ وقِسه بالقدمة في x وy وz.
4. احسب خطأ الأبعاد وطول الخيط.

جدول البيانات

المحور المقيس	الاسمي (mm)	المقيس (mm)
x	20.00	20.12
y	20.00	20.08
z	20.00	19.90

قياسات نموذجية للتدريب، وليست طباعة حقيقية.

مثال حسابي

1. الأخطاء: 0.12+ و0.08+ و0.10 mm−، أي 0.6%+ و0.4%+ و0.5%−.
2. المكعب المصمت يزن 3.32 m ≈ 9.9 g من خيط قطره 1.75 mm؛ وستكون قيم برنامج التقطيع عند الحشو المنخفض أقل بكثير.

السلامة

- فوهات الطابعات وأسرّتها ساخنة (غالبًا 200 °C+ و60 °C): لا تلمسها أثناء الطباعة أو بعدها مباشرة.
- اطبع في غرفة جيدة التهوية واتبع قواعد الطابعة ومساحة الصناع.

بديل منزلي أو افتراضي

- تصلح طابعة مكتبة أو مساحة صناع؛ أو أكمل جزء برنامج التقطيع فقط.

NIST: Additive manufacturing (https://www.nist.gov/additive-manufacturing)

الصلة بالكوكب: الحشو المنخفض والاتجاه الجيد يقللان استهلاك البلاستيك والمطبوعات الفاشلة. EPA: Plastics, material-specific data (https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/plastics-material-specific-data)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر D: دراسة تخفيف الوزن

الأسبوع 14

الهدف: قارن مقاطع العوارض من حيث الكتلة والجساءة في CAD وباليد، ثم قدّر قيمة تخفيف الوزن لسيارة.

$$I_{tube} = \frac{B^4 - b^4}{12}$$

```
I_tube=(B^4-b^4)/(12)
```

عزم المساحة الثاني لأنبوب مربع

الإجراء

1. نمذج عوارض طولها 500 mm: قضيبًا مصمتًا 20 mm × 20 وأنبوبين 25 mm × 25 بجدران 2 mm و1.5 mm.
2. اقرأ كتلة كل عارضة (فولاذ، 7.85 g/cm³) وخصائص مقطعها من CAD.
3. احسب I باليد وقارن.
4. استخدم قاعدة DOE 6–8% ورقم EPA لـ CO_2 لتقدير الوفورات السنوية لسيارة الوحدة 9.

جدول البيانات

المقطع	المساحة (mm²)	I (mm⁴)	الكتلة، فولاذ (g) 500 mm
مصمت 20 × 20	400	13,333	1,570
أنبوب 2 × 25 × 25	184	16,345	722
أنبوب 1.5 × 25 × 25	141	13,031	553

قيم محسوبة.

مثال حسابي

1. الأنبوب ذو الجدار 1.5 mm في حدود نحو 2% من جساءة القضيب المصمت (13031 مقابل 13333 mm⁴) بنسبة 35% من الكتلة.
2. الكتلة = المساحة 400 mm² × 500 mm × 7.85 g/cm³: → 1570 g.

السلامة

- لا شيء يتجاوز الاستخدام العادي للحاسوب.

بديل منزلي أو افتراضي

- يكفي جدول بيانات وCAD.

U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks)

الصلة بالكوكب: DOE: المركبة الأخف بنسبة 10% قد تحقق اقتصاد وقود أفضل بنسبة 6–8%. U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks) · EPA: Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle (https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

مجموعات تدريب للامتحان

وقّت نفسك: نحو 10 دقائق لكل مسألة. ثم قارن بالحلول الكاملة.

مجموعة تمارين منتصف الفصل (الوحدات 1–5)

1. بمقياس 1:5، كم يبلغ طول عارضة طولها 1200 mm على الورق؟

   أ. 1,200/5.

   الإجابة: 240 mm.

2. أوجد الطول الحقيقي لحافة من (0, 0, 0) إلى (20, 20, 10).

   أ. √(100 + 400 + 400).

   الإجابة: 30 mm.

3. ثقب منحرف 0.04 في x و0.03 في y. ما خطأ الموضع؟

   أ. 2√(0.0009 + 0.0016).

   الإجابة: Ø0.10.

4. الثقب 25.000–25.021، والعمود 24.980–24.993. ما مدى الخلوص؟

   أ. 25.000 − 24.993; 25.021 − 24.980.

   الإجابة: 0.007–0.041 mm.

5. التراكم 10 ± 20، 05 ± 30، 05 ± 10: أسوأ حالة وRSS؟

   أ. 0.20; √0.015.

   الإجابة: 0.20 ± و0.12 mm ±.

مجموعة التدريب النهائية (كل الوحدات)

1. كتلة لوح ألومنيوم 5 mm × 60 × 100 فيه أربعة ثقوب Ø6؟

   أ. V = 29,434.5 mm³; × 2.70 g/cm³.

الإجابة: ≈ 79.5 g.

2. حركية آلية مستوية من 5 وصلات و5 مفاصل محورية؟

   1. 10 − 3(4).

الإجابة: 2.

3. طول الخيط لمطبوعة PLA كتلتها 10 g (1.75 mm)؟

   1. 10 × 33.5 cm.

الإجابة: ≈ 3.35 m.

4. قارن I لقضيب مصمت 20 × 20 وأنبوب 2 × 25 × 25.

   1. 13,333 vs 16,345 mm⁴.

الإجابة: الأنبوب أكثر جساءة بنسبة 23% بمادة أقل بنسبة 54%.

5. سيارة توفر 72 L من البنزين سنويًا. كم CO_2 يُوفَّر؟

   1. 2.35 × 72.

الإجابة: ≈ 169 kg.

ورقة الصيغ

$$\text{scale} = \text{drawing}/\text{real}$$

$$L = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

$$\varnothing_{pos} = 2\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$c_{\min} = H_{\min} - s_{\max},\ c_{\max} = H_{\max} - s_{\min}$$

$$m = \rho V$$

$$M = 3(n-1) - 2j_1 - j_2$$

$$t \approx V/(whv)$$

$$k_{iso} = \sqrt{2/3} \approx 0.816$$

$$A_{true} = A_{proj}/\cos\theta$$

$$t_{allowed} = t_{MMC} + |d - d_{MMC}|$$

$$T_{wc} = \sum t_i,\ T_{RSS} = \sqrt{\sum t_i^2}$$

$$V = 2\pi \bar{r} A$$

$$\ell = m/(\rho \pi r^2)$$

$$I = bh^3/12$$

$$I_{tube} = (B^4 - b^4)/12$$

$$\mathrm{CO_2} \approx 2.35\ \mathrm{kg\ per\ L\ gasoline}$$

الثوابت

الثابت	القيمة
التقصير المتساوي القياس	√(2/3) ≈ 0.816
زوايا المحاور المتساوية القياس	متباعدة 120° (30° عن الأفقي)
نسبة أبعاد أوراق ISO من السلسلة A	√2 ≈ 1.414
ورقة A4	210 × 297 mm
كثافة PLA (نموذجية)	1.24 g/cm³
قطر الخيط الشائع	1.75 mm
تفاوت IT7، للمقاسات 18–30 mm	21 µm
تفاوت IT6، للمقاسات 18–30 mm	13 µm

المصدر: ISO 286-1: ISO code system for tolerances and fits (https://www.iso.org/standard/45975.html)

أدوات ومراجع مجانية

استخدم هذه الأدوات المجانية إلى جانب المقرر.

- CAD: Onshape Free plan (https://www.onshape.com/en/products/free) احترافي في المتصفح، مجاني للمشاريع العامة غير التجارية.
- Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/): مقررات Onshape مجانية بالسرعة التي تناسبك.
- FreeCAD (مجاني، مفتوح المصدر) (https://www.freecad.org/): CAD بارامتري مجاني ومفتوح المصدر لأنظمة Windows وMac وLinux.
- FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started): دليل FreeCAD الرسمي للمبتدئين.
- MIT OpenCourseWare 2.007: Design and Manufacturing I (https://ocw.mit.edu/courses/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/): مقرر MIT في التصميم والتصنيع.

مسرد المصطلحات

المسقط المساعد
مسقط يُسقط موازيًا لسطح مائل.

قائمة المواد
قائمة القطع والكميات في التجميع.

توافق الخلوص
توافق يترك فجوة دائمًا.

المرجع
معلم مرجعي دقيق للقياس.

التصميم من أجل التجميع
تصميم قطع يسهل تركيبها معًا.

نية التصميم
كيف يجب أن يتصرف النموذج عند تغييره.

إطار التحكم في المعلم
إطار تحكم GD&T.

GD&T
الأبعاد والتفاوتات الهندسية.

الحشو
نسبة الحشو الداخلي لمطبوعة 3D.

توافق التداخل
توافق بتراكب مضمون.

متساوي القياس
منظر تصويري بمحاور متباعدة 120°.

تخفيف الوزن
تقليل الكتلة مع الحفاظ على الوظيفة.

MMC
حالة المادة القصوى.

الإسقاط العمودي
رسم متعدد المساقط بخطوط إسقاط عمودية.

النموذج البارامتري
نموذج CAD تتحكم فيه أبعاد وميزات قابلة للتعديل.

تراكم RSS
مجموع إحصائي للتفاوتات $\sqrt{\Sigma t^2}$.

عزم المساحة الثاني
الخاصية الهندسية I التي تحدد جساءة الانحناء.

مسقط القطاع
مسقط لقطع تخيلي.

الإسقاط بالزاوية الثالثة
الاصطلاح الأمريكي: المسقط العلوي فوق الأمامي.

إطار العنوان
منطقة معلومات الرسم.

معايير التقييم الذاتي

لا تُمنح درجة ولا ساعات معتمدة. استخدم هذا لتقيّم بصدق أين أنت في كل وحدة.

المستوى	كيف يبدو
4 · إتقان	الرسومات والنماذج كاملة وواضحة وتجسد نية التصميم؛ والخيارات مبررة بالأرقام.
3 · متمكن	عمل صحيح مع إغفالات عرضية.
2 · قيد التطور	يتبع الدروس التعليمية لكن الرسومات ناقصة أو تنكسر النماذج عند التعديل.
1 · مبتدئ	مساقط غير متحاذية أو أبعاد ناقصة؛ راجع الوحدة.

الأوزان المقترحة إذا أردت درجة

الجزء	الوزن
تمارين	20%
المختبرات	30%
مجموعة تدريب منتصف الفصل	20%
مجموعة التدريب النهائية	30%

استهدف المستوى 3 أو أعلى في كل وحدة قبل الانتقال إلى الدورة التالية.

دورات ذات صلة

- مقدمة في هندسة الطيران والفضاء AERO 101
- مقدمة في البرمجة ENGR 130
- الكيمياء العامة + 1 المختبر CHEM 110 + CHEM 110L
- كل الدورات