المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

التصميم الهندسي

التعليم الثانوي - نظام المسارات

السنة الثالثة

طبعة 1447-2025

يُوزع مجاناً ولا يُباع
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ⓒ المركز الوطني للمناهج، ١٤٤٦ هـ

المركز الوطني للمناهج
التصميم الهندسي - المرحلة الثانوية - نظام المسارات - السنة الثالثة.
المركز الوطني للمناهج . - الرياض، ١٤٤٦ هـ
٢٢٤ ص ؛ ٢١ x ٢٥,٥ سم

رقم الإيداع: ١٤٤٦/١٨٧٢٨
ردمك: ٩٧٨-٦٠٣-٥١٤-٠١٥-٧

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم
www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

ien.edu.sa

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:
يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.

fb.ien.edu.sa

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الناشر: شركة تطوير للخدمات التعليمية

تم النشر بموجب اتفاقية خاصة بين شركة Binary Logic SA وشركة تطوير للخدمات التعليمية (عقد رقم 2022/0003) للاستخدام في المملكة العربية السعودية

حقوق النشر © Binary Logic SA 2025

جميع الحقوق محفوظة. لا يجوز نسخ أي جزء من هذا المنشور أو تخزينه في أنظمة استرجاع البيانات أو نقله بأي شكل أو بأي وسيلة إلكترونية أو ميكانيكية أو بالنسخ الضوئي أو التسجيل أو غير ذلك دون إذن كتابي من الناشرين.

يُرجى ملاحظة ما يلي: يحتوي هذا الكتاب على روابط إلى مواقع إلكترونية لا تُدار من قبل شركة Binary Logic. ورغم أنَّ شركة Binary Logic تبذل قصارى جهدها لضمان دقة هذه الروابط وحداثتها وملاءمتها، إلا أنها لا تتحمل المسؤولية عن محتوى أي مواقع إلكترونية خارجية.

إشعار بالعلامات التجارية: أسماء المنتجات أو الشركات المذكورة هنا قد تكون علامات تجارية أو علامات تجارية مُسجَّلة وتُستخدم فقط بغرض التعريف والتوضيح وليس هناك أي نية لانتهاك الحقوق. تنفي شركة Binary Logic وجود أي ارتباط أو رعاية أو تأييد من جانب مالكي العلامات التجارية المعنيين. تُعد Excel علامة تجارية مُسجَّلة لشركة Microsoft Corporation. تُعد Tinkercad علامة تجارية مُسجَّلة لشركة Autodesk Inc. تُعد "Python" وشعارات Python علامات تجارية مسجلة لشركة Python Software Foundation. تُعد Jupyter علامة تجارية مُسجَّلة لشركة Project Jupyter. تُعد PyCharm علامة تجارية مُسجَّلة لشركة JetBrains s.r.o. تُعد Multisim Live علامة تجارية مُسجَّلة لشركة National Instruments Corporation. تُعد CupCarbon علامة تجارية مُسجَّلة لشركة CupCarbon. تُعد Arduino علامة تجارية مُسجَّلة لشركة Arduino SA. تُعد Micro:bit علامة تجارية مُسجَّلة لشركة Micro:bit Educational Foundation. تُعد Ultimaker Cura علامة تجارية لشركة PIT Ultimaker Holding B.V. تُعد FreeCAD علامة تجارية مُسجَّلة لشركة FreeCAD Project Association.
ولا ترعى الشركات أو المنظمات المذكورة أعلاه هذا الكتاب أو تصرح به أو تصادق عليه.

حاول الناشر جاهدًا تتبع ملاك الحقوق الفكرية كافة، وإذا كان قد سقط اسم أيٍّ منهم سهوًا فسيكون من دواعي سرور الناشر اتخاذ التدابير اللازمة في أقرب فرصة.

binarylogic

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مقدمة

إن تقدم الدول وتطورها يقاس بمدى قدرتها على الاستثمار في التعليم، ومدى استجابة نظامها التعليمي لمتطلبات العصر ومتغيراته. وحرصًا من وزارة التعليم على ديمومة تطوير أنظمتها التعليمية، واستجابة لرؤية المملكة العربية السعودية 2030 فقد بادرت الوزارة إلى اعتماد نظام «مسارات التعليم الثانوي» بهدف إحداث تغيير فاعل وشامل في المرحلة الثانوية.

إن نظام مسارات التعليم الثانوي يقدم أنموذجًا تعليميًا متميزًا وحديثًا للتعليم الثانوي بالمملكة العربية السعودية يسهم بكفاءة في:

- تعزيز قيم الانتماء لوطننا المملكة العربية السعودية، والولاء لقيادته الرشيدة حفظهم الله، انطلاقًا من عقيدة صافية مستندة على التعاليم الإسلامية السمحة.
- تعزيز قيم المواطنة من خلال التركيز عليها في المواد الدراسية والأنشطة، اتساقًا مع مطالب التنمية المستدامة، والخطط التنموية في المملكة العربية السعودية التي تؤكد على ترسيخ ثنائية القيم والهوية، والقائمة على تعاليم الإسلام والوسطية.
- تأهيل الطلبة بما يتوافق مع التخصصات المستقبلية في الجامعات والكليات أو المهن المطلوبة؛ لضمان اتساق مخرجات التعليم مع متطلبات سوق العمل.
- تمكين الطلبة من متابعة التعليم في المسار المفضل لديهم في مراحل مبكرة، وفق ميولهم وقدراتهم.
- تمكين الطلبة من الالتحاق بالتخصصات العلمية والإدارية النوعية المرتبطة بسوق العمل، ووظائف المستقبل.
- دمج الطلبة في بيئة تعليمية ممتعة ومحفزة داخل المدرسة قائمة على فلسفة بنائية، وممارسات تطبيقية ضمن مناخ تعليمي نشط.
- نقل الطلبة عبر رحلة تعليمية متكاملة بدءًا من المرحلة الابتدائية حتى نهاية المرحلة الثانوية، وتُسهِّل عملية انتقالهم إلى مرحلة ما بعد التعليم العام.
- تزويد الطلبة بالمهارات التقنية والشخصية التي تساعدهم على التعامل مع الحياة، والتجاوب مع متطلبات المرحلة.
- توسيع الفرص أمام الطلبة الخريجين عبر خيارات متنوعة إضافة إلى الجامعات مثل: الحصول على شهادات مهنية، والالتحاق بالكليات التطبيقية، والحصول على دبلومات وظيفية.

ويتكون نظام المسارات من تسعة فصول دراسية تُدرّس في ثلاث سنوات، تتضمن سنة أولى مشتركة يتلقى فيها الطلبة الدروس في مجالات علمية وإنسانية متنوعة، تليها سنتان تخصصيتان، يُسكّن الطلبة بها في مسار عام وأربعة مسارات تخصصية تتسق مع ميولهم وقدراتهم، وهي: المسار الشرعي، مسار إدارة الأعمال، مسار علوم الحاسب والهندسة، مسار الصحة والحياة، وهو ما يجعل هذا النظام هو الأفضل للطلبة من حيث:

- وجود مواد دراسية جديدة تتوافق مع متطلبات الثورة الصناعية الرابعة والخطط التنموية، ورؤية المملكة 2030، تهدف لتنمية مهارات التفكير العليا وحل المشكلات، والمهارات البحثية.
- برامج المجال الاختياري التي تتسق مع احتياجات سوق العمل وميول الطلبة، حيث يُمكّن الطلبة من الالتحاق بمجال اختياري محدد وفق مصفوفة مهارات وظيفية محددة.
- مقياس ميول يضمن تحقيق كفاءة الطلبة وفاعليتهم، ويساعدهم في تحديد اتجاهاتهم وميولهم، وكشف مكامن القوة لديهم، مما يعزز من فرص نجاحهم في المستقبل.
- العمل التطوعي المصمم للطلبة خصيصًا بما يتسق مع فلسفة النشاط في المدارس، ويعد أحد متطلبات التخرج؛ مما يساعد على تعزيز القيم الإنسانية، وبناء المجتمع وتنميته وتماسكه.
- التجسير الذي يمكن الطلبة من الانتقال من مسار إلى آخر وفق آليات محددة.
- حصص الإتقان التي يتم من خلالها تطوير المهارات وتحسين المستوى التحصيلي، من خلال تقديم حصص إتقان إثرائية وعلاجية.

- خيارات التعليم المدمج، والتعلم عن بعد، والذي بُني في نظام المسارات على أسس من المرونة، والملاءمة والتفاعل والفعالية.
- مشروع التخرج الذي يساعد الطلبة على دمج الخبرات النظرية مع الممارسات التطبيقية.
- شهادات مهنية ومهارية تمنح للطلبة بعد إنجازهم مهامَّ محددة، واختبارات معينة بالشراكة مع جهات تخصصية.

وبالتالي فإن مسار علوم الحاسب والهندسة كأحد المسارات المستحدثة في المرحلة الثانوية يسهم في تحقيق أفضل الممارسات عبر الاستثمار في رأس المال البشري، وتحويل الطالب إلى فرد مشارك ومنتج للعلوم والمعارف، مع إكسابه المهارات والخبرات اللازمة لاستكمال دراسته في تخصصات تتناسب مع ميوله وقدراته أو الالتحاق بسوق العمل.

وتعد مادة التصميم الهندسي أحد المواد الرئيسة في مسار علوم الحاسب والهندسة التي تقدم في كتاب شامل، حيث تسهم في توضيح مفاهيم التصميم الهندسي والتقنيات المرتبطة به، وذلك مع التركيز بشكل خاص على مهارات التصميم والطباعة ثلاثية الأبعاد. وتهدف المادة إلى تعريف الطالب بأهمية التصميم الهندسي في مختلف الصناعات مثل تصميم المنتجات والهندسة، كما تغطي أساسيات التصميم الهندسي بما في ذلك التفكير، والنماذج الأوَّلية، والنمذجة ثلاثية الأبعاد، والطباعة ثلاثية الأبعاد. ويوفر الكتاب تمارين ومشاريع عملية لتعزيز فهم الطالب للمفاهيم التي يتم تناولها من خلال تطوير نموذج أولي فعلي باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد. ويؤكد الكتاب على أهمية التصميم الذي يركز على المستخدِم، والنماذج الأوَّلية الفعّالة، واستخدام الأدوات الرقمية في عملية التصميم الهندسي.

ويتميز كتاب التصميم الهندسي بأساليب حديثة، تتوافر فيه عناصر الجذب والتشويق، والتي تجعل الطلبة يقبلون على تعلمه والتفاعل معه، من خلال ما يقدمه من تدريبات وأنشطة متنوعة، كما يؤكد هذا الكتاب على جوانب مهمة في تعليم التصميم الهندسي وتعلمه، تتمثل في:

- الترابط الوثيق بين المحتويات والمواقف والمشكلات الحياتية.
- تنوع طرائق عرض المحتوى بصورة جذابة ومشوقة.
- إبراز دور المتعلم في عمليات التعليم والتعلم.
- الاهتمام بترابط محتوياته مما يجعل منه كلًّا متكاملًا.
- الاهتمام بتوظيف التقنيات المناسبة في المواقف المختلفة.
- الاهتمام بتوظيف أساليب متنوعة في تقويم الطلبة بما يتناسب مع الفروق الفردية بينهم.

ولمواكبة التطورات العالمية في هذا المجال، فإن كتاب مادة التصميم الهندسي سوف يوفر للمعلم مجموعة متكاملة من المواد التعليمية المتنوعة التي تراعي الفروق الفردية بين الطلبة، بالإضافة إلى البرمجيات والمواقع التعليمية، التي توفر للطلبة فرصة توظيف التقنيات الحديثة والتواصل المبني على الممارسة؛ مما يؤكد دوره في عملية التعليم والتعلم.

ونحن إذ نقدم هذا الكتاب لأعزائنا الطلبة، نأمل أن يستحوذ على اهتمامهم، ويُلبي متطلباتهم، ويجعل تعلّمهم لهذه المادة أكثر متعة وفائدة.

والله ولي التوفيق


بسم الله الرحمن الرحيم

الفهرس

1. مبادئ التصميم الهندسي 8

الدرس الأول

مقدمة في التصميم الهندسي 9

تمرينات 15

الدرس الثاني

القياسات والمواد 19

تمرينات 27

الدرس الثالث

دورة حياة المُنتَج 31

تمرينات 39

الدرس الرابع

تخطيط المشروع 44

تمرينات 60

الدرس الخامس

برمجيات إدارة المشاريع 63

تمرينات 80

المشروع 82

2. التصميم والنمذجة الأوَّلية 84

الدرس الأول

التصميم والنماذج الأوَّلية 85

تمرينات 93

الدرس الثاني

التصميم ثنائي وثلاثي الأبعاد 96

تمرينات 118

الدرس الثالث

تصميم التروس ثلاثية الأبعاد 122

تمرينات 153

المشروع 156

3. تطوير المُنتَجات ثلاثية الأبعاد 158

الدرس الأول

مقدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد 159

تمرينات 180

الدرس الثاني

تصميم وإنشاء مُنتَج ثلاثي الأبعاد 184

تمرينات 210

الدرس الثالث

الاختبار والتنقيح 214

تمرينات 219

المشروع 222

1. مبادئ التصميم الهندسي

سيتعرّف الطالب في هذه الوحدة على مبادئ التصميم الهندسي وفُرص العمل المتاحة في هذا المجال، ثم سيتعرّف على القياسات الأساسية وخصائص المواد المستخدَمة في التصميم الهندسي، كما سيُحلِّل الطالب دورة حياة المُنتَج وسيتعرّف على الجوانب الفنية لإدارة المشروع، وفي الختام سيُطبِّق الطالب ما تعلمه لإنشاء خطّة مشروع بهدف تطوير مُنتَج معين.

أهداف التعلُّم

بنهاية هذه الوحدة سيكون الطالب قادرًا على أن:

- يُوضِّح المقصود بالتصميم الهندسي.
- يُعَدِّد الأدوار الوظيفية المختلفة في التصميم الهندسي.
- يُعرِّف التفكير التصميمي.
- يُميِّز بين استراتيجيات التصميم المختلفة.
- يُفسِّر القياسات في مشاريع التصميم الهندسي.
- يُوضِّح كيفية اختيار المواد في المشاريع.
- يُصنِّف الأنواع المختلفة لخصائص المواد.
- يُوضِّح المقصود بدورة حياة المُنتَج ومراحلها.
- يُحدِّد عمليات هندسة المُنتَج وأفضل الممارسات.
- يُحلِّل عمليات وتقنيات إدارة دورة حياة المُنتَج.
- يُفسِّر المقصود بهرم نُظُم الإنتاج.
- يُعرِّف المقصود بإدارة المشاريع.
- يُحدِّد السمات التي يجب توافرها في مدير المشروع.
- يُنشِئ خطّة إدارة مشروع لتطوير مُنتَج تصميم هندسي.

الأدوات

- قانت بروجكت (GanttProject)

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

الدرس الأول

مقدمة في التصميم الهندسي

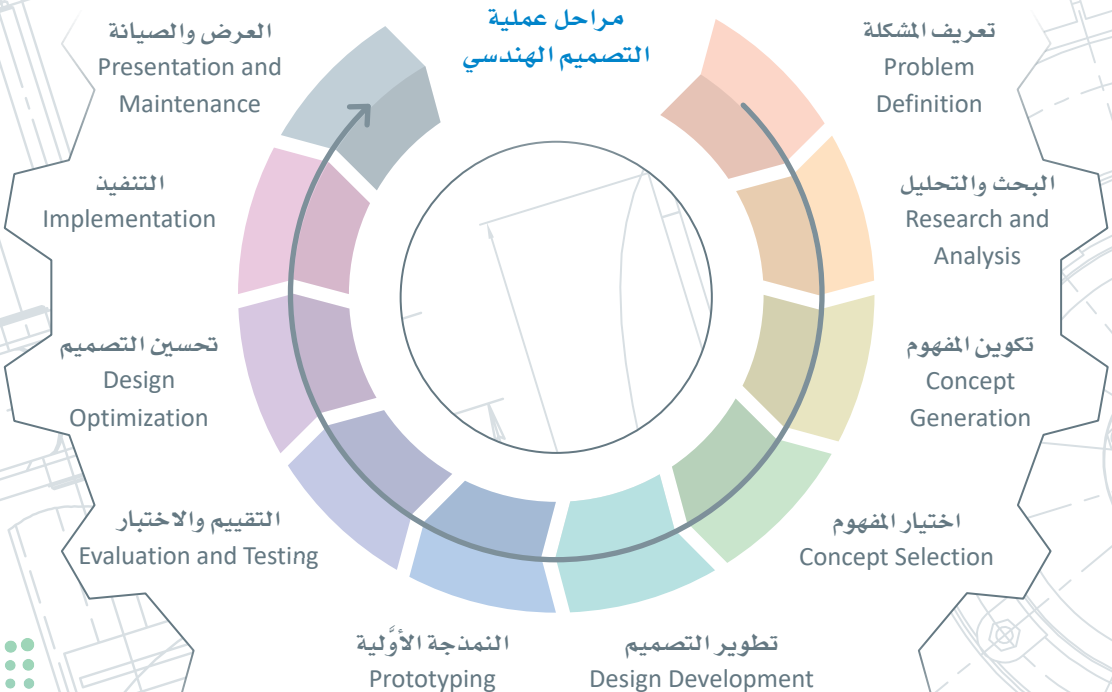
ما التصميم الهندسي؟
What is Engineering Design

يتضمَّن التصميم الهندسي إنشاء نظام أو مُكوِّن أو عملية لتلبية احتياجات محدَّدة، فهو عملية تنطوي على التوظيف الإبداعي للمبادئ العلمية والتحليل الرياضي من أجل تصميم وتطوير وتحسين حلول تلبي الاحتياجات لمشكلة أو مُهِمَّة معينة مع أخذ القيود المحدَّدة في هذا الإطار في الاعتبار. تتضمَّن عملية التصميم غالبًا إنشاء نماذج أوَّلية متكررة وإجراء اختبارات وعمليات تحسينية، كما تتضمَّن التعاون بين المهندسين والعلماء وأصحاب المصلحة، وتتناول هذه العملية أيضًا قيام المهندسين بالتعرف على مشكلة معينة، ومن خلال سلسلة من الخطوات والعمليات، يقومون بتطوير حل يُمكِن إنتاجه واختباره واستخدامه.

تُشير مراحل التصميم الهندسي إلى الخطوات التدريجية المتتالية التي يتبعها مهندسو العمليات عند تطوير نظام أو مُكوِّن أو عملية جديدة، مع العِلم أنه قد تختلف المراحل المحدَّدة لعملية التصميم اعتمادًا على المشروع والضبط الهندسي المطلوب، ولكن العديد من عمليات التصميم الهندسي تتضمَّن المراحل التالية:

عملية التصميم (Design Process):

إن عملية التصميم هي نهج مُنظَّم لحل مشكلة، أو تطوير نظام، أو مُكوِّن أو عملية جديدة، وتتكون هذه العملية من سلسلة من الخطوات التي يتبعها المهندسون أو المصمِّمون لنقل المشروع من المفهوم الأوَّلي إلى التنفيذ النهائي.



شكل 1.1: مراحل عملية التصميم الهندسي

مراحل عملية التصميم الهندسي Stages of the Engineering Design Process



1. تعريف المشكلة
تحديد وتعريف المشكلة أو الحاجة التي سيعالجها التصميم بشكل واضح.



2. البحث والتحليل
البحث وجمع المعلومات والبيانات حول المشكلة بما في ذلك الحلول والقيود الموجودة.



3. تكوين المفهوم
العصف الذهني واستكشاف الحلول والمفاهيم والأفكار المتعددة والمحتمَلة للتصميم.



4. اختيار المفهوم
تقييم أفضل مفهوم، واختياره بناءً على معايير الجدوى والتكلفة والأداء.



5. تطوير التصميم
تطوير المواصفات والخُطط التفصيلية للفكرة المحدَّدة، بما في ذلك المُخطَّطات والنماذج ثنائية وثلاثية الأبعاد.



6. النمذجة الأوَّلية
بناء نماذج واقعية أو افتراضية للتصميم، وتصنيعها.



7. التقييم والاختبار
تقييم النموذج الأوَّلي بناءً على متطلبات التصميم والمعايير والقيود، واختبار وظائفه وأدائه.



8. تحسين التصميم
إجراء تحسينات وتعديلات على التصميم بناءً على اختبار النتائج وتقييمها.



9. التنفيذ
إنتاج التصميم النهائي، وتنفيذ ما يتطلبه من تصنيع، وتركيب، وتدريب.



10. العرض والصيانة
مراقبة التصميم وصيانته بصورة دورية، وتقييم أدائه.

تجدر الإشارة إلى أن عملية التصميم غالبًا ما تكون تكرارية، حيث يرجع المهندسون إلى المراحل السابقة لإجراء التغييرات والتعديلات حسب الحاجة، مما يؤدي إلى إنشاء تصميم أفضل وأكثر قوة.

الأدوار الوظيفية في التصميم الهندسي Job Roles in Engineering Design

تختلف الأدوار الوظيفية في التصميم الهندسي حسب المجال المحدد والمراحل المختلفة في عملية التصميم، وتشمل بعض الأدوار الوظيفية الشائعة ما يلي:



مهندس تصميم

وهو المسؤول عن إنشاء تصاميم ومُنتَجات وأنظمة جديدة، وتطويرها، حيث يستخدِم المعرفة والمبادئ الهندسية لإنشاء تصاميم جديدة فعّالة وعملية وآمنة.

مهندس مشروع

وهو المسؤول عن إدارة تصميم مشروع معين وتطويره، حيث يعمل مع المصمِّمين والمهندسين الآخرين لضمان اكتمال المشروع في وقته المحدد، وضمن حدود الميزانية والمواصفات المطلوبة.

مهندس نُظُم

وهو المسؤول عن التصميم الشامل للأنظمة المعقدة وتكاملها، حيث يعمل مع المهندسين والمصمِّمين الآخرين للتأكد من عمل جميع المُكوِّنات والأنظمة الفرعية معًا بفعالية وكفاءة.

مهندس باحث

وهو المسؤول عن إجراء البحث والتطوير لتحسين المُنتَجات والأنظمة الحالية، أو تطوير مُنتَجات وأنظمة جديدة، كما يُعدُّ مسؤولًا عن جمع البيانات وتحليلها واختبار التصاميم الجديدة وتطوير تقنيات جديدة.

مهندس تصنيع

وهو المسؤول عن تصميم عمليات التصنيع الجديدة، والأجهزة والأدوات وتطويرها، حيث يشمل عمله ضمان أن عملية الإنتاج تتسم بالكفاءة والفعالية من حيث التكلفة، وأن بإمكانها إنتاج مُنتَجات عالية الجودة.

مهندس جودة

يضمن مهندس الجودة أن التصميم يُلبِّي معايير الجودة والمواصفات، ويعمل مع المهندسين والمصمِّمين الآخرين على تحديد المشكلات، وحلّها وتنفيذ ضوابط الجودة في عملية التصميم.

مهندس التصميم بمساعدة الحاسب

يقوم مهندس **التصميم بمساعدة الحاسب** (Computer-Aided Design – CAD) بإنشاء وصيانة المُخطَّطات الفنية التفصيلية للتصميم، والنماذج ثنائية وثلاثية الأبعاد، والمواصفات الخاصة بالتصميم باستخدام برامج **التصميم بمساعدة الحاسب** (CAD)، كما يتعاون مهندس التصميم بمساعدة الحاسب مع مهندسِي التصميم والمشاريع لإنشاء المُخطَّطات والنماذج الفنية، وتحديثها.

مهندس الاختبار والتقييم

يُعدُّ مهندس الاختبار والتقييم مسؤولًا عن اختبار التصميم وتقييمه؛ للتأكد من تلبيته لمعايير الأداء والسلامة والموثوقية المطلوبة، حيث يُجري مهندس الاختبار التحليلات والاختبارات على التصميم، ويُقدِّم التغذية الراجعة إلى فريق التصميم لإجراء أي تحسينات ضرورية.

تتضمَّن عملية التصميم الهندسي العديد من الأدوار الوظيفية الأخرى إلى جانب الأدوار المذكورة هنا، ويُمكن أن تختلف الأدوار والمسؤوليات الدقيقة حسب نطاق المشروع والمؤسسة.

التفكير التصميمي Design Thinking

التفكير التصميمي هو نهج يُستخدم لحل مشكلات التصميم الهندسي؛ لتلبية حاجات المُستخدِم وبناء النماذج الأوَّلية السريعة، ويُعدُّ التفكير التصميمي بمثابة عملية تصميم تتمحور حول المُستخدِم، وتساعد في إنشاء حلول مبتكرة وفعّالة من خلال فَهم احتياجات المُستخدِمين ورغباتهم والقيود المحيطة بالاستخدام، وتتضمَّن عملية التفكير التصميمي عادةً المراحل التالية:



الفَهم

فَهم احتياجات المُستخدِم ورغباته والقيود المحيطة به من خلال البحث والملاحظة والمقابلات.

التعريف

تحديد المشكلة عن طريق تكوين معلومات مما تم جمعه خلال مرحلة الفهم، ثم تحديد المشكلة بدقة بناءً على النتائج المرجوة واحتياجات المُستخدِم.

التفكير

توليد مجموعة واسعة من الأفكار للبحث عن الحلول من خلال العصف الذهني ورسم الخرائط الذهنية وغيرها من التقنيات.

النموذج الأوَّلي

إنشاء نماذج واقعية أو افتراضية للأفكار المتولِّدة في مرحلة التفكير.

الاختبار

اختبار النماذج الأوَّلية مع المُستخدِمين، وجمع التعليقات لتحسين التصميم بشكل متكرر.

التفكير التصميمي عملية مرنة وقابلة للتكييف، تسمح بالتكرار والتحسين في أي مرحلة من مراحل عملية التصميم، مع إمكانية عمل التجارب والتكرار وتصميم النماذج الأوَّلية السريعة، مما يسمح لفِرَق العمل باختبار الافتراضات والتحقق منها، وجمع التغذية الراجعة، وإجراء التعديلات اللازمة. إن التفكير التصميمي عملية تعاونية تتضمَّن فريقًا متعدد التخصصات من المصمِّمين والمهندسين والباحثين وأصحاب المصلحة الذين يعملون معًا لإنشاء حلولٍ تُلبِّي احتياجات المُستخدِمين.

يُستخدم التفكير التصميمي على نطاق واسع في عمليات التصميم الهندسي مما يساعد فِرَق العمل على إنشاء حلول مبتكرة مرتكزة على المُستخدِم لتلبية احتياجات المُستخدِمين وتشجيع الإبداع والتجريب.

استراتيجيات التصميم Design Strategies

اعتمادًا على متطلبات واحتياجات كل مشروع، يُمكن اتِّباع استراتيجيات تصميم مختلفة عند تطوير حل التصميم الهندسي، حيث تتبع كل استراتيجية تصميم عملية محدَّدة.

التصميم الخطِّي Linear Design

عملية التصميم الخطِّي هي نهج متدرِّج يتضمَّن التنقل عبر سلسلة من المراحل بطريقة خطية أحادية الاتجاه، مع تكرار محدود أو دون وجود التكرار. يُستخدم هذا النهج في المشاريع التي تكون فيها المشكلة محدَّدة والحل متاح وفق متطلبات ثابتة، ومن الأمثلة على ذلك عملية تصميم الجسور، حيث يجب إكمال كل مرحلة من مراحل العملية الخطِّية قبل الانتقال إلى المرحلة التالية، دون وجود فُرص حقيقية للتكرار أو لإجراء تغييرات على التصميم بمجرد بدء الإنشاء.

تُعدُّ عملية التصميم الخطِّي أقل مرونة من عمليات التصميم الحديثة مثل: التصميم الرشيق، والتصميم المرتكز على المُستخدِم، والتفكير التصميمي، والتي تتيح التكرارية وتسمح بالاختبار والتغذية الراجعة بشكل متكرر.



شكل 1.2: التصميم الخطِّي في صناعة السيارات

التصميم التكراري Iterative Design

يُعدُّ التصميم التكراري بمثابة عملية صقل وتحسين مستمرة، حيث يتم تكرار الخطوات للحصول على تصميم أفضل، ويُسمح في هذا النوع بالتغذية الراجعة والتكرار في كل خطوة وِفق عملية دورية بطبيعتها، ومن الأمثلة على التصميم التكراري تطوير طائرة دون طيار، حيث يتم تكرار كل خطوة بدءًا من تحديد المشكلة إلى النماذج الأوَّلية والاختبار، وذلك حتى تصبح الطائرة دون طيار جاهزة للتسويق، مع الاستعانة بالتغذية الراجعة من المُستخدِمين لتحسين تصميمها بشكلٍ مستمر.

يُعدُّ التصميم التكراري أكثر مرونة من التصميم الخطِّي، حيث يتيح جمع التغذية الراجعة والقيام بتغييرات متكررة، ويُستخدم بشكلٍ شائع في **التطوير الرشيق** (Agile Development) والتصميم المرتكز على المُستخدِم، والتفكير التصميمي.



شكل 1.3: اختبار الجودة أثناء تصنيع المُنتَج

التصميم الشامل Inclusive Design

التصميم الشامل هو نهج يأخذ بالاعتبار احتياجات جميع المُستخدِمين بغضّ النظر عن قدراتهم أو أعمارهم أو أجناسهم أو ثقافتهم أو وضعهم الاجتماعي والاقتصادي، ويهدف هذا النوع من التصميم إلى إنشاء حلول مرنة وقابلة للتكيُّف مع معطيات مختلفة مثل: إمكانية الوصول، وسهولة الاستخدام، وشمولية التصميم. ومن الأمثلة عليه: تطوير جهاز حاسب يتمتع بتصميم مريح ويُمكن استخدامه بشكل مناسب من قِبل الأشخاص ذوي الاحتياجات الخاصة وكبار السن والأطفال، ويتضمَّن تصميم هذا الحاسب إيجاد ميزات مثل: قابلية تعديل الارتفاع، واستخدام بنط كبير للكتابة، وإمكانية تحويل النص إلى كلام منطوق لتسهيل تفاعل المُستخدِمين ذوي الاحتياجات المختلفة مع الحاسب.

يشارك في التصميم الشامل العديد من المُستخدِمين وأصحاب المصلحة ضمن عملية تصميم تكرارية محورها المُستخدِم أو الإنسان، مما يعزِّز الاندماج الاجتماعي، ويُنشئُ حلولًا يُمكن الوصول إليها من قِبل المُستخدِمين ذوي القدرات أو الخلفيات المتنوعة.



شكل 1.4: توفير رصيف منحدر مُخصَّص يُمكن استخدامه من قِبل الأشخاص ذوي الإعاقة الجسدية في وسائل النقل العام

التصميم المرتكز على المُستخدِم User-Centered Design

يتضمَّن التصميم المرتكز على المُستخدِم (User-Centered Design – UCD) فهم احتياجات المُستخدِم ومعالجتها من خلال الفَهم والبحث والتصميم التكراري، وتبدأ عملية التصميم المرتكز على المُستخدِم بجمع البيانات حول احتياجات المُستخدِم لتوظيفها في عملية التصميم التي تشمل فهم شخصيات المُستخدِمين، وسلوكهم، ثمّ اختبار مفاهيم التصميم معهم، واستخدام التغذية الراجعة لتحسين التصميم بشكلٍ متكرر.

من الأمثلة على هذه العملية: تطوير السيارة، حيث يقوم المصمِّمون بإجراء الأبحاث على المُستخدِمين لفَهم احتياجات السائقين والركاب، ثمّ تطوير ميزات سهلة الاستخدام مثل: أدوات التحكم البسيطة، والمقاعد القابلة للتعديل، وأنظمة التحكم في درجة الحرارة لتلبية احتياجاتهم.



شكل 1.5: عجلة قيادة فورمولا 1 مثال مميّز للتصميم المرتكز على المُستخدِم

التصميم المُستدام Sustainable Design

التصميم المُستدام هو نهج تكراري متعدد المجالات يهدف إلى إنشاء حلول صديقة للبيئة وعالية الكفاءة في استخدام الموارد، ويتضمَّن هذا التصميم عملية تقييم الأثر البيئي للتصميم، والبحث عن فُرص الاستخدام الفعّال للموارد، وفحص دورة حياة التصميم بدءًا من مصادر المواد المستخدَمة إلى التخلص منها في نهاية عمرها الافتراضي. يُعدُّ تطوير مصباح يدوي يعمل بالطاقة الشمسية من أمثلة التصميم المُستدام لمُنتَج مادي، وذلك باعتباره يَستخدِم إحدى مصادر الطاقة المتجددة التي تساهم في الحدّ من النفايات والتلوث، وتُعزّز استخدام الموارد بكفاءة.



شكل 1.6: مُنتَجات مصنوعة من ورق الكرافت الصديق للبيئة

التصميم المريح Ergonomic Design

يُركِّز التصميم المريح على إنشاء مُنتَجات وبيئات مُحسَّنة تهدِف لراحة المُستخدِمين وسلامتهم وزيادة كفاءتهم، وتتضمَّن عملية التصميم المريح تقييم المتطلبات المادية والمعرفية للمهام وللمُستخدِمين، وتحديد فُرص التحسين، ودمج الميزات القابلة للتعديل والتخصيص. تُعدُّ فأرة جهاز الحاسب مثالًا على التصميم المريح الناجح، حيث تم تطويرها لاستبدال أوامر لوحة المفاتيح الأقل كفاءة، وتم تصميمها وفق حركة اليد الطبيعية للمُستخدِم من أجل سهولة الاستخدام.



شكل 1.7: كرسي خشبي عصري ذو تصميم مريح

تمرينات

1

حدِّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:	صحيحة	خاطئة
1. يعتمد التصميم الهندسي حصرًا على التحليل الرياضي.	○	○
2. تتبع مرحلة تطوير النماذج الأوَّلية مرحلة توليد الأفكار الأوَّلية في التصميم.	○	○
3. لا يُمكن تحسين مشروع التصميم الهندسي بعد اكتماله.	○	○
4. يُركِّز مهندسو النُظُم على التواصل والتعاون في التطوير مع فِرَق العمل الأخرى.	○	○
5. يراعي التفكير التصميمي تنوع احتياجات المُستخدِمين المختلفين.	○	○
6. لا يشارك أصحاب المصلحة في عملية التفكير التصميمي.	○	○
7. يعتمد التصميم الخطِّي على خطوات عمل رشيقة (Agile).	○	○
8. يولِي التصميم الشامل اهتمامًا كبيرًا بمرحلة بحث وتحليل المشروع.	○	○
9. يُستخدم التصميم المرتكز على المُستخدِم بشكل حصري في مشاريع التصميم الهندسي.	○	○
10. يُركِّز التصميم المريح بشكل كبير على قدرات المُستخدِمين المعرفية والجسدية.	○	○

2 وضِّح المقصود بالتصميم الهندسي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

3 حلِّل مراحل عملية التصميم الهندسي.

4 عَدِّد الأدوار الوظيفية المختلفة في التصميم الهندسي مع توضيح كل منها.

5 ضَع قائمة بمراحل عملية التفكير التصميمي.

6 قارن بين استراتيجيات التصميم الخطِّي والتصميم التكراري.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

7 اشرح كيف يضع التصميمُ الشاملُ المُستخدِمَ البشريَّ في صدارة عملية التصميم.

8 اشرح سبب تركيز التصميم المرتكز على المُستخدِم على التغذية الراجعة في مرحلة الاختبار.

9 اشرح سبب اعتبار التصميم المُستدام النموذج الأكثر أهمية في الوقت الحاضر.

www.ien.edu.sa

مقدمة في القياسات في التصميم الهندسي
Introduction to Measurements in Engineering Design

تُحدِّد القياسات في التصميم الهندسي حجم وشكل وموقع المُكوِّنات والأنظمة، وتُجرى هذه القياسات عادةً باستخدام أدوات متخصصة مثل: المساطر، والمِسماك (Calipers)، والمُستشعرات **الحرارية** (Thermocouples)، وأجهزة **قياس الضغط** (Pressure Gauges)، و**خلايا قياس الحِمل** (Load Cells)، و**مُستشعرات عزم الدوران** (Torque Sensors)، بالإضافة إلى ذلك، يتم استخدام برامج **التصميم بمساعدة الحاسب** (CAD) لإنشاء نماذج مفصَّلة ومحاكاة الأنظمة الهندسية، والتي يُمكن استخدامها لتحليل الأداء وتحسينه.

جدول 1.1: وحدات القياس الشائعة المستخدَمة في التصميم الهندسي

	النظام الدولي للوحدات (SI Units)	النظام الأمريكي للوحدات (US Units)
الطول	متر (m)، وسنتيمتر (cm)، ومليمتر (mm)	بوصة (in)، وقدم (ft)
الكتلة	كيلوجرام (kg)، جرام (g)	رطل (lb)
الوقت	ثانية (s)، ودقيقة (min)، وساعة (hr)	ثانية (s)، ودقيقة (min)، وساعة (hr)
درجة الحرارة	درجة مئوية (°C)	درجة فهرنهايت (°F)
الضغط	باسكال (Pa)	رطل لكل بوصة مربعة (psi)
القوة	نيوتن (N)	رطل قوة (lbf)
القُدرة	واط (W)	قوة حصانية (hp)
الطاقة	جول (J)	واط ساعة (Wh)

من المهم ملاحظة الاختلاف في استخدام الوحدات بين الدول والصناعات المختلفة حول العالم، وأن بعض الوحدات أكثر ملاءمة لتطبيق معيَّن دون غيره، فعلى سبيل المثال: يتم اعتماد **النظام الدولي للوحدات** (SI Units) على نطاق واسع في العديد من المناطق في جميع أنحاء العالم بما فيها المملكة العربية السعودية، بينما يتم اعتماد **النظام الأمريكي للوحدات** (US Units) في الولايات المتحدة الأمريكية. يُمكن لسياق المشكلة أو التطبيق تحديد الوحدة الأمثل للاستخدام، فعلى سبيل المثال: تُستخدم الدرجة المئوية بشكل أكثر شيوعًا لقياس درجة الحرارة في الأجهزة الإلكترونية وذلك مقارنة بالفهرنهايت، ويوضِّح الجدول 1.1 وحدات القياس المختلفة في النظام الدولي والنظام الأمريكي للوحدات.



شكل 1.8: استخدام المسماك الإلكتروني للقياسات الدقيقة

عند التعامل بوحدات القياس، لا يستخدِم المهندسون وحدات القياس بصورة مستقلة، بل يستخدِمون مضاعفاتها الرئيسة والفرعية، فعلى سبيل المثال: تُستخدم وحدات المليمتر أو النانومتر لقياس المسافات الصغيرة نسبيًا، ويوضِّح الجدول 1.2 المضاعفات الرئيسة والفرعية الأكثر استخدامًا مع النظام الدولي للوحدات.

جدول 1.2: المضاعفات الرئيسة والفرعية الأكثر استخدامًا في النظام الدولي للوحدات

البادئة	Exa	Peta	Tera	Giga	Mega	Kilo	Hecto	Deca	Deci	Centi	Milli	Micro	Nano	Pico
الرمز	E	P	T	G	M	k	h	da	d	c	m	µ	n	p
معامل الضرب (10^n)	18	15	12	9	6	3	2	1	−1	−2	−3	−6	−9	−12

استخدام القياسات في التصميم الهندسي Using Measurements in Engineering Design

يستخدِم المهندسون مجموعة من الحسابات اليدوية والبرامج الحاسوبية المتخصصة لإجراء القياسات والعمليات الحسابية في عملية التصميم، وعلى الرغم من أنه يُمكن إجراء بعض الحسابات يدويًا، إلّا أن العديد منها يتَّسم بالتعقيد ويتطلب أدوات برمجية متخصصة لتنفيذها بكفاءة ودقّة. على سبيل المثال: تُستخدم برامج **التصميم بمساعدة الحاسب** (CAD) على نطاق واسع في الهندسة لإنشاء نماذج تفصيلية ومحاكاة الأنظمة الهندسية والتي يُمكن استخدامها لتحليل أدائها وتحسينه، كما يُستخدم برنامج **تحليل العناصر المحدودة** (Finite Element Analysis – FEA) على نطاق واسع لمحاكاة استجابة الهياكل والمواد لمختلَف الأحمال والظروف. يُمكن لأدوات البرامج هذه أتمتة العديد من العمليات الحسابية، وتوفير رسومات للأنظمة المعقدة، وإجراء عمليات محاكاة لمساعدة المهندسين على تحسين تصميم مُنتَج أو نظام، ويعتمد المهندسون على هذه الأدوات لإجراء حسابات دقيقة وفعّالة، حيث يُعدُّ ذلك أمرًا بالغ الأهمية لعملية التصميم.

تجدُر الإشارة إلى أن استخدام قياسات دقيقة وثابتة ومُحدَّدة يُعدُّ جانبًا مهمًا من جوانب التصميم الهندسي؛ لأثره الكبير على نجاح المشروع أو المُنتَج، ومع ذلك يجب مراعاة بعض الاعتبارات عند التعامل مع القياسات مثل: أخطاء القياس، وعدم التأكد من معايرة الأدوات قبل استخدامها في القياسات، وتداخلات الظروف البيئية وتأثيرها على عمليات القياس، حيث يجب على المهندسين الانتباه إلى هذه الاعتبارات واستخدام الأدوات والتقنيات المناسبة لضمان الحصول على قياسات دقيقة وموثوقة، فعلى سبيل المثال: الميزان المنزلي ذو سعة 100 كجم ونسبة خطأ 1% قد يُعطي قراءة خاطئة للوزن بمقدار 1 كجم، ويوضِّح الجدول 1.3 مزايا واعتبارات استخدام قياسات دقيقة في مشروع تصميم هندسي.

جدول 1.3: مزايا واعتبارات استخدام قياسات دقيقة

المزايا	الاعتبارات
تسمح بالتوصيف المُحكَم والدقيق للمُكوِّنات والأنظمة.	يجب اختيار وحدات القياس بعناية ومراعاة اتساقها طوال عملية التصميم.
تساعد في تمييز قيود التصميم ومتطلباته، وتحديدها.	يجب تقييم نسبة الخطأ وعدم التيقّن في القياس وتقليلهما.
تُمكِّن من تحليل أداء التصميم وتحسينه.	يجب معايرة معدات وتقنيات القياس وصيانتها بشكل صحيح.
تُسهِّل التواصل بين أعضاء فريق التصميم والتعاون بينهم.	قد تتطلب الأنظمة المعقدة أنواعًا متعددة من القياسات والأدوات المتخصصة.
تتيح استخدام برامج **التصميم بمساعدة الحاسب** (CAD) وبرامج المحاكاة لتحليل التصميم وتحسينه.	يجب إجراء القياسات في بيئة مناسبة وتحت ظروف خاضعة للرقابة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مقدمة في مواد التصميم الهندسي

Introduction to Materials in Engineering Design

تلعب خصائص المواد دورًا خاصًا ومهمًا في التصميم الهندسي، ويتمثل ذلك في تحديد أداء وملاءمة مادة معينة لتطبيق معين، ويُعدُّ اختيار المواد خطوة حاسمة في التصميم الهندسي ؛ حيث يأخذ المهندسون بالاعتبار خصائص المواد لتحديد أفضلها للتطبيق وللتصميم المعينَين، ويوضِّح الجدول 1.4 الاعتبارات الأكثر شيوعًا للمهندسين عند اختيارهم لمواد المشاريع.

جدول 1.4: الاعتبارات عند اختيار المواد

الاعتبار		الوصف
	الخصائص الميكانيكية	تُحدِّد الخصائص الميكانيكية مثل: القوة، والصلابة، ومعامل يونغ (معامل المرونة)، والليونة، والمتانة قُدرةَ المادة على تحمُّل الأثقال والتشوهات.
	الخصائص الفيزيائية	تُحدِّد خصائص المواد مثل: الكثافة، ودرجة الانصهار، والتمدد الحراري، والخصائص الكهربائية والمغناطيسية الأخرى مدى ملاءمة استخدام المادة في بيئات وتطبيقات محدَّدة.
	الخصائص الكيميائية	تُحدِّد الخصائص الكيميائية للمادة مثل: مقاومة التآكل، وقابلية الاشتعال، والتفاعلية، والسُمية، والتوافق الحيوي مدى ملاءمتها للاستخدام المباشر مع البشر أو البيئة.
	التكلفة	تلعب تكلفة المواد بما فيها تكلفة الشراء والمعالجة والتصنيع دورًا هامًا في اختيارها لأغراض مختلفة.
	التوافر	يشير إلى توافر المواد وجاهزيتها للتطبيق المحدَّد، بما في ذلك سلسلة التوريد ووقت التسليم.
	إعادة التدوير والتخلص	يشير إلى الأثر البيئي للمادة بما في ذلك سهولة إعادة التدوير أو سهولة التخلص منها ونهاية عمرها الافتراضي.
	المعايير واللوائح	من المهم للغاية الامتثال للمعايير واللوائح ذات العلاقة، كمعايير السلامة والبيئة والمعايير الصناعية الأخرى.

أنواع خصائص المواد Types of Material Properties

الخصائص الميكانيكية

تُحدِّد الخصائص الميكانيكية سلوك المادة عند تعرضها لقوى خارجية، ويوضِّح الجدول 1.5 الخصائص الميكانيكية الأكثر شيوعًا للمواد المستخدَمة في التصميم الهندسي.

جدول 1.5: الخصائص الميكانيكية للمواد

الخاصية	الوصف
معامل يونغ (Young's Modulus) أو معامل المرونة (Elastic Modulus)	مقياس مقاومة المادة للتشوه المرن عند التعرض للقوة.
مقاومة الشَّد (Tensile Strength)	مقياس مقاومة المادة للانكسار عند التعرض لقوة الشَّد.
مقاومة الخضوع للمادة (Yield Strength)	الإجهاد الذي تبدأ عنده المادة في التشوه بصورة دائمة.
مقاومة الإجهاد (Fatigue Strength)	قياس قُدرة المادة على تحمُّل دورات الأحمال المتكررة.
مقاومة القص (Shear Strength)	مقياس مقاومة المادة لإجهاد القص.
مقاومة الانضغاط (Compressive Strength)	مقياس مقاومة المادة لإجهاد الضغط.
المتانة (Toughness)	مقياس قُدرة المادة على امتصاص الطاقة قبل الانكسار.
الليونة (Ductility)	مقياس قُدرة المادة على التشكل بليونة دون الانكسار.
الصلابة (Hardness)	مقياس مقاومة المادة للخدش أو التسنين.

يجب على المهندسين معاينة هذه الخصائص واختيار المادة ذات الخصائص الميكانيكية المناسبة للتطبيق المحدد. على سبيل المثال: تُعدُّ المادة ذات المقاومة المرتفعة للشَّد والخضوع مناسبة للمُكوِّنات التي تتعرض لقوى سحب عالية، وفي المقابل تُعدُّ المادة عالية المتانة والليونة أكثر ملاءمة للمُكوِّنات الخاضعة لقوى ذات تأثير مرتفع، كما تُعدُّ خاصية الصلابة مهمة للمواد التي تكون عُرضةً للتآكل والتلف. يضمن اختيار الخصائص الميكانيكية الصحيحة تمتع مُكوِّنات التصميم بالقوة والمتانة والاعتمادية لتعمل بشكل فعّال لمدة طويلة.

الخصائص الحرارية

الخصائص الحرارية هي مجموعة من الصفات التي تُحدِّد سلوك المادة عند تعرضها للتغيرات في درجة الحرارة، وتشمل هذه الخصائص: التوصيل الحراري، والانتشار الحراري، والحرارة النوعية، والتمدد الحراري، ودرجتي الانصهار والغليان، ومن المهم أخذ هذه الخصائص بالاعتبار في التصميم الهندسي وذلك لتأثيرها الكبير على أداء وملاءمة مادة ما لتطبيقٍ معين، ويوضِّح الجدول 1.6 الخصائص الحرارية الأكثر شيوعًا للمواد المستخدَمة في التصميم الهندسي.

جدول 1.6: الخصائص الحرارية للمواد

الخاصية	الوصف
التوصيل الحراري (Thermal Conductivity)	قابلية المادة لتوصيل الحرارة.
الانتشار الحراري (Thermal Diffusivity)	قابلية إنتقال الحرارة خلال مادة ما.
الحرارة النوعية (Specific Heat)	كمية الحرارة المطلوبة لرفع درجة حرارة وحدة واحدة من كتلة المادة بمقدار درجة واحدة.
التمدد الحراري (Thermal Expansion)	التَغيُّر في طول المادة أو مساحتها أو حجمها بتغير درجة حرارتها.
درجة الانصهار (Melting Point)	درجة الحرارة التي تتحول عندها المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة.
درجة الغليان (Boiling Point)	درجة الحرارة التي تتحول عندها المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية.

تبرز أهمية هذه الخصائص عند استخدام المواد في بيئات ذات درجة حرارة عالية أو لأغراض العزل الحراري. على سبيل المثال: عند تصميم **المشتت الحراري** (Heat Sink) لمعالج الحاسب يُعدُّ كلٌّ من التوصيل الحراري والحرارة النوعية و التمدد الحراري من الخصائص المهمة التي يجب مراعاتها لأهميتها، كما تُعدُّ درجتا الانصهار والغليان مهمتين أيضًا؛ لأن المشتت الحراري يجب أن يتحمل درجات حرارة عالية دون أن يفقد كفاءته.

الخصائص الكيميائية

تُحدِّد الخصائص الكيميائية سلوك المادة عند تعرُّضها لمواد كيميائية أو بيئات مختلفة، ويوضِّح الجدول 1.7 الخصائص الكيميائية الأكثر شيوعًا للمواد المستخدَمة في التصميم الهندسي.

جدول 1.7: الخصائص الكيميائية للمواد

الخاصية	الوصف
مقاومة التآكل (Corrosion Resistance)	قُدرة المادة على مقاومة التآكل أو التلف عند تعرضها لبيئات مختلفة مثل: الهواء أو الماء أو المواد الكيميائية.
قابلية الاشتعال (Flammability)	قُدرة المادة على الاحتراق أو الاشتعال.
التفاعلية (Reactivity)	قُدرة مادة ما على التفاعل مع مواد أخرى مثل: المواد الكيميائية أو الغازات؛ لتكوين مُركَّبات جديدة.
السُّمِّيَّة (Toxicity)	قُدرة مادة ما على التسبب في ضرر أو إصابة الكائنات الحية، سواء من خلال الاتصال المباشر أو من خلال إطلاق مواد سامة.
التوافق الحيوي (Biocompatibility)	قُدرة المادة على التوافق مع الأنسجة الحية دون التسبب في آثار أو ردود فعل سلبية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

يكون اختيار المواد أمرًا بالغ الأهمية في التطبيقات التي تُستخدم فيها مواد تكون على تلامس مع الإنسان أو البيئة المحيطة به، كما أن خصائص هذه المواد مهمة أيضًا في تصنيع المواد والتخلص منها أو إعادة تدويرها.

الخصائص الكهربائية

تُحدِّد الخصائص الكهربائية سلوك المادة عند تعرضها لمجال كهربائي، ويوضِّح الجدول 1.8 الخصائص الكهربائية الأكثر شيوعًا للمواد المستخدَمة في التصميم الهندسي.

جدول 1.8: الخصائص الكهربائية للمواد

الخاصية	الوصف
الموصلية الكهربائية (Electric Conductivity)	قُدرة المادة على توصيل الكهرباء.
المقاومة الكهربائية (Electric Resistivity)	قُدرة المادة على مقاومة التيار الكهربائي.
ثابت العزل الكهربائي (Dielectric Constant)	قُدرة مادة ما على تخزين الطاقة الكهربائية في مجال كهربائي وهو ما يُعرف أيضًا بالسعة.
مقاومة العزل الكهربائي (Dielectric Strength)	المجال الكهربائي الأقصى الذي يُمكن للمادة أن تتحمله دون تلف.
معامل تبديد الطاقة (Loss Tangent)	نسبة الطاقة المفقودة إلى الطاقة المخزَّنة في مادة ما عند مرور تيار متردِّد.

تُعدُّ خصائص الموصلية الكهربائية والمقاومة وثابت العزل الكهربائي مهمة في تحديد الأداء الكهربائي للمادة، كما تُعدُّ مقاومة العزل الكهربائي مهمة في تحديد ملاءمة المادة لتطبيقات الجهد العالي للكهرباء، كما يلعب مقدار معامل تبديد الطاقة دورًا هامًا في تحديد ملاءمة المادة لتطبيقات الاتصالات اللاسلكية.

الخواص المغناطيسية

تُحدِّد الخصائص المغناطيسية سلوك المادة عند تعرضها لمجال مغناطيسي، ويوضِّح الجدول 1.9 الخصائص المغناطيسية الأكثر شيوعًا للمواد المستخدَمة في التصميم الهندسي.

جدول 1.9: الخصائص المغناطيسية للمواد

الخاصية	الوصف
المغنطة (Magnetization)	قُدرة المادة على أن تصبح مُمغنطة عند تعرضها لمجال مغناطيسي.
القابلية المغناطيسية (Magnetic Susceptibility)	نسبة مغنطة مادة ما إلى شدة المجال المغناطيسي.
النفاذية المغناطيسية (Magnetic Permeability)	نسبة شدة المجال المغناطيسي داخل المادة إلى شدة المجال المغناطيسي خارجها.
درجة حرارة كوري (Curie Temperature)	درجة الحرارة التي تفقد عندها المادة خصائها المغناطيسية الدائمة.

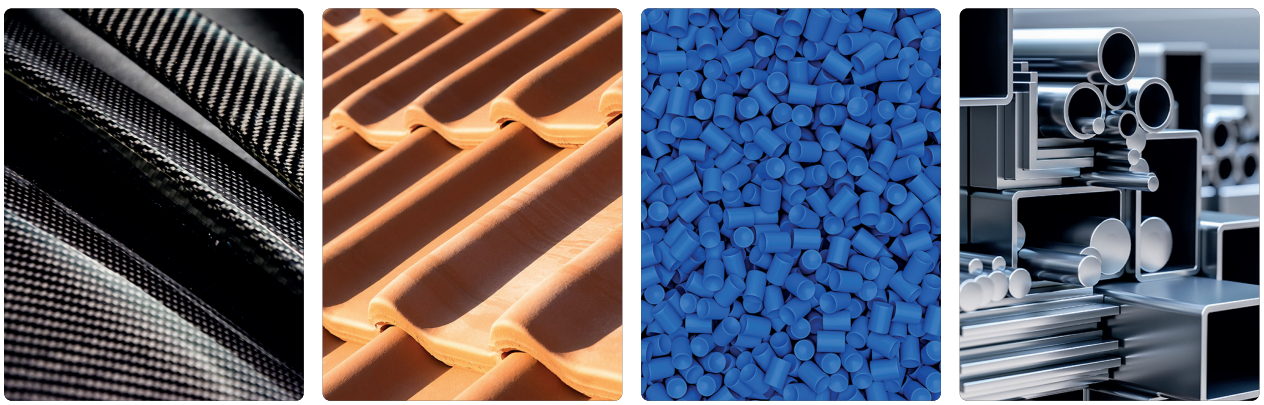
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

يتم أخذ هذه الخصائص في الاعتبار في التطبيقات التي يتم فيها استخدام المواد في المجالات المغناطيسية أو الأجهزة الكهرومغناطيسية كالمحركات والمولدات والمحولات، وتُعدُّ خصائص المغنطة، والقابلية المغناطيسية، والنفاذية المغناطيسية، والتوصيل الكهربائي جميعها مهمة في تحديد الأداء المغناطيسي للمادة، كما تُعدُّ درجة حرارة كوري مهمة أيضًا في تحديد مدى ملاءمة المادة لتطبيقات درجات الحرارة العالية.

المواد المستخدَمة في التصميم الهندسي Materials Used in Engineering Design

يُمكن تصنيف المواد على نطاق واسع إلى عدة تصنيفات: المعادن والبوليمرات والسيراميك والمواد المركّبة والمواد الطبيعية. يوجد لكل فئة مجموعة فريدة من الخصائص والمزايا والقيود التي يجب مراعاتها عند اختيار مادة ما لتطبيق معين. على سبيل المثال: تُعرف المعادن بقوتها العالية ومتانتها، بينما تُعرف البوليمرات بمرونتها وسهولة تشكيلها، ويُعرف السيراميك بصلابته العالية ومقاومته الحرارية، بينما تُعرف المواد الطبيعية بمظهرها وملمسها الطبيعي.

يُعدُّ اختيار مادة ما لتطبيق معين خطوة حاسمة في التصميم الهندسي، مما يتطلب فهمًا شاملًا لخصائص المواد المختلفة وسلوكها، ويجب على المهندسين مراعاة متطلبات البيئة والسلامة والأداء للمُنتَج أو الهيكل، وكذلك تكلفة المواد وتوافرها لاتخاذ قرار صحيح، ويوضِّح الجدول 1.10 تصنيفات المواد المستخدَمة في التصميم الهندسي، ويوضِّح الشكل 1.9 أمثلة على تصنيفات المواد.



شكل 1.9: تصنيفات المواد

جدول 1.10: المواد في التصميم الهندسي

الوصف	أمثلة المواد	أمثلة التطبيقات
المعادن		
فئة من المواد تتميز بترابطها المعدني، وتوصيلها الحراري والكهربائي المُرتفع، وقدرتها على التشكل.	الحديد، والفولاذ، والألمنيوم، والنحاس والتيتانيوم.	البناء، والسيارات، وتقنيات الفضاء، والآلات والمعدات، والأجهزة الطبية، والأجهزة التعويضية.

الوصف	أمثلة المواد	أمثلة التطبيقات
البوليمرات		
فئة من المواد تتميز ببنيتها الجزيئية طويلة السلسلة وقدرتها على النمذجة أو التشكيل.	البولي ايثيلين، والبولي بروبيلين، وكلوريد البولي الفينيل (PVC)، والنايلون، والمطاط.	التعبئة والتغليف، والسلع الاستهلاكية، والسيارات، والأجهزة الطبية، والمُكوِّنات الكهربائية والإلكترونية.
السيراميك		
تتميز هذه الفئة بصلابتها العالية وقوتها ومقاومتها الكهربية والحرارية.	أكسيد الألمنيوم، وكربيد السيليكون، ونيتريد السيليكون، والزركونيا.	أدوات القَطع، وقطع غيار السيارات، والسيراميك الحديث، والمُكوِّنات الكهربائية والإلكترونية.
المواد المركّبة		
فئة من المواد تتكون من مادتين مختلفتين أو أكثر، يتم مزجها لإنشاء مادة جديدة بخصائص مُحسَّنة.	الألياف الزجاجية، والألياف الكربونية، وألياف كيفلار الصناعية.	تقنيات الفضاء، وصناعة السيارات، والأجهزة الرياضية، ومواد البناء، وشفرات توربينات الرياح.

مثال



يُمثِّل برج ساعة مكة مَعلَمًا معماريًا ورمزًا للثقافة والتراث الإسلامي، فقد تمت كسوة واجهة البرج بالحجر الجيري الطبيعي الذي يُضفي على البرج مظهرًا أنيقًا ومميزًا، كما صُنعت نوافذ البرج وقبته من الزجاج الشفَّاف الذي يسمح بدخول الضَوء الطبيعي إليه.

تمرينات

1

حَدِّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:	صحيحة	خاطئة
1. القوة الحصانية (hp) هي وحدة لقياس القوة.	○	○
2. تحتاج الأنظمة المعقدة أنواعًا متعددة من القياسات والأجهزة المتخصصة.	○	○
3. تناسب المواد منخفضة مقاومة الشَّد والخضوع المُكوِّنات التي تتعرض لقوى سحب عالية.	○	○
4. يُعدُّ التمدد الحراري مهمًا عند اختبار المواد في ظل ظروف قاسية.	○	○
5. يُعدُّ التوافق الحيوي أحد الخصائص الكيميائية للمواد.	○	○
6. نقطة الانصهار للمادة هي درجة الحرارة التي تتحول عندها المادة إلى غاز.	○	○
7. ترمز درجة حرارة كوري إلى الدرجة التي تكتسب عندها المادة خصائص مغناطيسية.	○	○
8. يُعدُّ السيراميك من المواد اللينة.	○	○
9. تقتصر أهمية اختيار المواد على الجدوى الاقتصادية للمُنتَج.	○	○
10. يتم تصنيع المواد المركّبة لإنشاء مواد ذات خصائص جديدة.	○	○

2 اذكر وحدتي قياس لكل نوع من الوحدات.

3 ما سبب عدم استخدام المشاريع الهندسية المختلفة لوحدة القياس نفسها؟

4 اذكر ثلاث مزايا واعتبارات يجب أخذها بالاعتبار عند استخدام قياسات دقيقة في مشاريع التصميم الهندسي.

5 صَنِّف الاعتبارات الأكثر شيوعًا عند اختيار المواد لمشروع التصميم الهندسي.

6 حَدِّد الفرق بين متانة المادة وليونتها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

7 ميِّز بين سُمية المادة والتوافق الحيوي، واشرح سبب أهميتهما.

8 متى يتم أخذ مقاومة العزل الكهربائي ومعامل تبديد الطاقة في الاعتبار عند اختيار المادة؟

9 اكتب ثلاثة تصنيفات من المواد، وقَدِّم وصفًا لكل منها، ثم اذكر بعض الأمثلة والتطبيقات.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

الدرس الثالث

دورة حياة المُنتَج

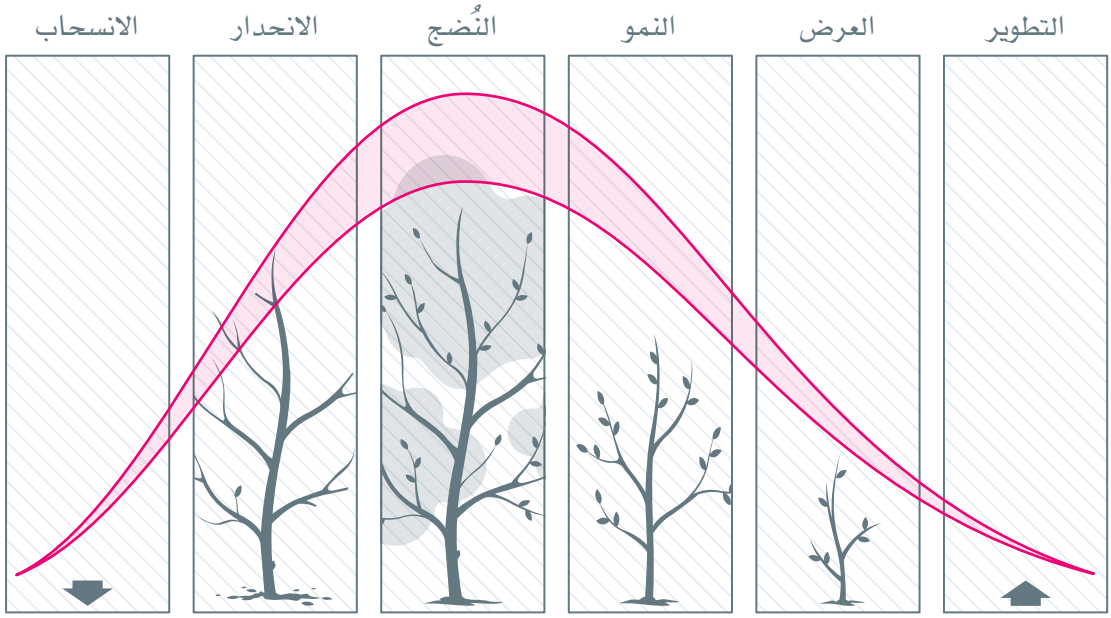
ما دورة حياة المُنتَج؟ What is the Product Life Cycle

دورة حياة المُنتَج هي الإطار الذي يصف المراحل التي يمر بها المُنتَج، بدءًا من تكوين المفهوم الأوَّلي لذلك المُنتَج وتطويره، وحتى انتهائه أو سحبه من السوق، ويُستخدم مفهوم دورة حياة المُنتَج بشكل شائع في التسويق والإدارة الاستراتيجية لمساعدة الشركات على التخطيط لتطوير مُنتَجاتها المختلفة، وتحديد موعد تقديم مُنتَجات جديدة والتخلص من المُنتَجات القديمة، وكيفية تحقيق الحد الأقصى من الربح في المراحل المختلفة، ويوضِّح الشكل 1.10 مراحل دورة حياة المُنتَج.

مراحل دورة حياة المُنتَج Stages of a Product Life Cycle

تمرُّ دورة حياة المُنتَج بالمراحل التالية:

- **التطوير**: يتم في هذه المرحلة البحث عن فكرة المُنتَج وتطويرها واختبارها.
- **العرض**: يتم طرح المُنتَج في السوق، ثم تبدأ الشركة في الترويج له وبيعه.
- **النمو**: يكتسب المُنتَج قبولًا في السوق وترتفع المبيعات بسرعة.
- **النُضج**: يصل المُنتَج إلى ذروته من ناحية تحقيق المبيعات والأرباح، ويصبح السوق مشبعًا بمُنتَجات مماثلة.
- **الانحدار**: تنخفض مبيعات المُنتَجات، حيث تتضاءل حصتها في السوق بسبب ظهور مُنتَجات منافسة أو تقنيات جديدة.
- **الانسحاب**: يتم التخلص التدريجي من المُنتَج في النهاية وإزالته من السوق، والتوقف عن تصنيعه أو استبداله بمُنتَج جديد.



شكل 1.10: مراحل دورة حياة المُنتَج

ما المقصود بهندسة المُنتَج؟ What is Product Engineering

تتضمَّن هندسة المُنتَج وضع تصوُّر للمُنتَج وتقديمه إلى السوق من خلال التصميم والتطوير، وهو مجال متعدد التخصصات يشتمل على جوانب مختلفة من تطوير المُنتَجات تشمل الهندسة الميكانيكية، والهندسة الكهربائية، وهندسة البرمجيات، والتصميم الصناعي وعلوم المواد.

يُعدُّ مهندسو المُنتَج مسؤولين عن تصميم وتطوير المُنتَجات التي تُلبّي احتياجات العملاء ومتطلبات السوق، حيث يعمل هؤلاء المسؤولون عن كثب مع فِرَق متعددة الوظائف، تشمل المصمِّمين والمسوِّقين ومهندسي التصنيع؛ لضمان أن المُنتَج يؤدّي وظيفته وأنه موثوق وفعّال من حيث التكلفة.

تتضمَّن هندسة المُنتَج العديد من الأنشطة الرئيسة مثل:

- تصوُّر متطلبات المُنتَج وتحديدها.
- تصميم المُنتَج وإنشاء المواصفات التفصيلية والمُخطَّطات الهندسية.
- إجراء البحث والتطوير للتعرف على التقنيات والمواد الجديدة.
- إنشاء نماذج أوَّلية واختبار وظائف المُنتَج، وأدائه، ومدى موثوقيته.
- إدارة عملية تطوير المُنتَج، وتشمل العمل مع المورِّدين والمصنِّعين.
- إدارة دورة حياة المُنتَج، وتشمل الصيانة والدعم.

تُعدُّ هندسة المُنتَج جزءًا مهمًا من عملية تطويره؛ حيث إنها تضمن أن المُنتَج النهائي يُلبّي احتياجات العملاء، وأنّ تصنيعه يتمّ بكفاءة وفعالية من حيث التكلفة.

مراحل هندسة المُنتَج Product Engineering Phases

تتضمَّن هندسة المُنتَج بشكل عام المراحل التالية:



1. **تطوير المفهوم:** تتضمَّن هذه المرحلة تكوين الفكرة الأوَّلية ووضع تصوُّر للمُنتَج، كما تشمل إجراء أبحاث السوق وتحليل احتياجات العملاء، وعمل دراسات الجدوى لتحديد أهمية المُنتَج ومتطلباته.



2. **التصميم والتطوير:** تشمل هذه المرحلة تصميم المُنتَج وتطويره، وتتضمَّن إنشاء المواصفات التفصيلية والمُخطَّطات الهندسية، وتطوير النموذج الأوَّلي.



3. **الاختبار والتحقق:** تشمل هذه المرحلة اختبار المُنتَج والتحقق من تلبيته للمتطلبات والمواصفات التي تم تحديدها أثناء مرحلة تطوير المفهوم، وتتضمَّن هذه المرحلة اختبار تصميم المُنتَج، وأدائه وموثوقيته.



4. **التصنيع والإنتاج:** تشمل هذه المرحلة تصنيع المُنتَج وإنتاجه، وتتضمَّن إنشاء أدوات ومعدَّات الإنتاج وتجميع المُنتَج النهائي.



5. **الصيانة والدعم:** تتضمَّن هذه المرحلة صيانة المُنتَج ودعمه بعد طرحه في السوق، وأيضًا معالجة مشكلات العملاء، وتقديم الدعم الفني، وإصدار التحديثات أو الترقيات.



6. **السحب أو الإلغاء التدريجي:** تمثِّل هذه المرحلة انتهاء دورة حياة المُنتَج، إما بالوصول إلى نهاية عمره الافتراضي، أو بالانتقال التدريجي إلى نموذج جديد، ويتضمَّن ذلك عمليات إيقاف المُنتَج والتخلص منه بأمان.

قد يكون هناك اختلافات لدى الشركات أو الصناعات المختلفة في هذه المراحل وقد يُعبّر عنها باستخدام مصطلحات أخرى.

أفضل ممارسات هندسة المُنتَج Product Engineering Best Practices

فيما يلي عرض لبعض أفضل الممارسات لهندسة المُنتَج من خلال مثال لتطوير وتصنيع سيارة جديدة من قِبل إحدى الشركات، ويوضِّح الجدول 1.11 كيف يُمكن لهذه الشركة تطبيق أفضل الممارسات الهندسية لإنتاج السيارة، وتطويرها.

جدول 1.11: تطبيق أفضل الممارسات الهندسية لشركة سيارات

أفضل الممارسات	التطبيق
فهم احتياجات المستهلك ومتطلباته	
إجراء أبحاث السوق ومقابلات العملاء ومجموعات التركيز يُمكن أن يساعد مهندسي المُنتَج على فهم ما يبحث عنه العملاء في المُنتَج.	قد تنتهي نتيجة أبحاث السوق ومقابلات العملاء ومجموعات التركيز بفكرة إنشاء سيارة كهربائية بدلًا من سيارة عادية تعمل بالوقود.
تحديد متطلبات المُنتَج	
تضمن المتطلبات المحدَّدة بوضوح أن المُنتَج قد تم تطويره لتلبية احتياجات السوق المستهدفة، كما تساعد على تحديد المشكلات المحتملة في وقت مبكر من عملية التطوير.	يتم تحديد متطلبات المُنتَج مثل: المدى المطلوب من السيارة، والسرعة القصوى لها، ووقت الشحن، وتقدير السعر المطلوب لتلبية احتياجات العملاء.
استخدام نهج متعدد التخصصات	
هندسة المُنتَج مجال متعدد التخصصات يتطلب تعاون العديد من الخبراء مثل: المهندسين الميكانيكيين، والمهندسين الكهربائيين، ومهندسي البرمجيات، والمصمِّمين الصناعيين وعلماء المواد.	يتم استخدام نهج يضم العديد من الخبراء؛ لإنشاء تصميم السيارة ومُكوِّناتها بشكل مُحسَّن لتحقيق أفضل أداء مع مراعاة السلامة والجماليات.
تنفيذ عملية اختبار وتحقق قوية	
تضمن هذه العملية أن المُنتَج يُحقِّق المتطلبات والمواصفات المحدَّدة أثناء مرحلة تطوير المفهوم، وتتضمَّن اختبار تصميم المُنتَج وأدائه وموثوقيته.	يتم تنفيذ عملية الاختبار والتحقق بدقة للتأكد من مطابقة السيارة للمتطلبات المحدَّدة خلال مرحلة تطوير المفهوم.
الاستفادة من التقنية والابتكار	
يجب أن يبقى مهندسو المُنتَج على اطِّلاع دائم بالتقنيات والمواد الجديدة التي يُمكن استخدامها لتحسين أداء المُنتَج وتقليل التكاليف وزيادة الاستدامة.	يتم الاستفادة من التقنية والابتكارات الجديدة لتحسين أداء السيارة وخفض التكاليف وزيادة الاستدامة.
استخدام منهجيات إدارة المشروع	
يضمن نهج إدارة المشروع الجيد التزام المشروع بالمُخطَّط الزمني والميزانية المحدَّدة، وتحقيق الأهداف المحدَّدة خلال مرحلة تطوير المفهوم.	تُستخدم منهجيات إدارة المشروع لموازنة الوقت والتكلفة والجودة أثناء تطوير السيارة.
التحسين المستمر	
هندسة المُنتَج عملية تكرارية، تتطلب من مهندسي المُنتَج الاستمرار في جمع ملاحظات العملاء وتحليل البيانات وتحسين المُنتَج منذ إطلاقه.	يُعدُّ التحسين المستمر لتصميم السيارة وميزاتها وأدائها بناءً على ملاحظات العملاء أمرًا ضروريًا لتلبية التوقعات والاحتياجات المتطورة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ما المقصود بإدارة دورة حياة المُنتَج؟ What is Product Life Cycle Management

إدارة دورة حياة المُنتَج (Product Life cycle Management – PLM) هي عملية تُستخدم لإدارة دورة حياة المُنتَج الكاملة من البداية إلى النهاية، وتتضمَّن هذه الدورة تنسيق وإدارة جميع البيانات والوثائق والعمليات المتعلقة بالمُنتَج، ويشمل ذلك التصميم، والهندسة، والإنتاج، والدعم، وتهدف دورة حياة المُنتَج إلى تحسين الكفاءة والتعاون في جميع مراحل تطوير المُنتَج، والتأكد من إمكانية وصول جميع أصحاب المصلحة إلى أحدث المعلومات عن المُنتَج وأكثرها دقة.

مراحل إدارة دورة حياة المُنتَج Product Life Cycle Management Stages



مرحلة بداية الحياة للمُنتَج

تتضمَّن هذه المرحلة تطوير مفهوم المُنتَج وتصميمه وتطويره، وهي المرحلة التي يتم فيها إنشاء فكرة المُنتَج وتقييمه من حيث الجدوى، بالإضافة إلى تحديد متطلباته، كما تتضمَّن هذه المرحلة الأنشطة التالية:

أبحاث السوق

فهم احتياجات السوق المستهدَفة، وتحديد الفُرص المحتملة للمُنتَج.

التصور

إنشاء فكرة أوَّلية للمُنتَج، وتقييم احتمالات نجاحه في السوق.

تعريف المتطلبات

تحديد المتطلبات الوظيفية وغير الوظيفية للمُنتَج، وتعريفها.

التصميم والتطوير

تطوير المواصفات التفصيلية والمُخطَّطات الهندسية ونماذج المُنتَج.

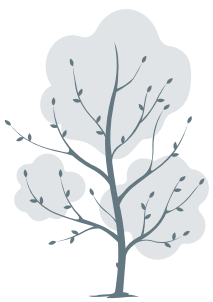
الاختبار والتحقق من الصحة

التأكد من استيفاء المُنتَج للمتطلبات والمواصفات المحدَّدة خلال مرحلة تطوير المفهوم.

الموافقة

الحصول على الموافقات من أصحاب المصلحة مثل: العملاء والجهات التنظيمية.

تُعدُّ هذه المرحلة حاسمة في نجاح المُنتَج، حيث تُشكِّل حَجَرَ الأساس لبقية المراحل في دورة حياة المُنتَج، فالمُنتَج المُعرَّف جيدًا والذي يُمكن تطويره وإنتاجه بكفاءة يملك فرصة أكبر للنجاح خلال المراحل اللاحقة من دورة حياة المُنتَج.



مرحلة منتصف العمر للمُنتَج

يتم تصنيع المُنتَج، وإنتاجه، وتسويقه، وإطلاقه على نطاق تجاريّ في مرحلة **منتصف العمر** (Middle Of life – MOL)، وتتضمَّن هذه المرحلة الأنشطة التالية:

التصنيع والإنتاج

إنشاء أدوات ومعدات الإنتاج وتجميع المُنتَج النهائي.

إدارة الإمدادات

إدارة تدفق المواد والمُكوِّنات لدعم عملية الإنتاج.

مراقبة الجودة
التأكد من استيفاء المُنتَج لمعايير الجودة المطلوبة قبل طرحه في السوق.

الإطلاق والتسويق
طرح المُنتَج في السوق وإتاحته للاستخدام التجاري، ويشمل ذلك أنشطة التسويق والمبيعات والتوزيع.

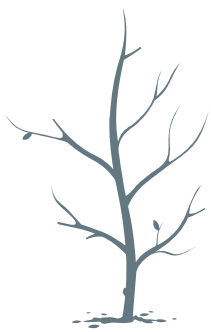
التسعير والربحية
وضع استراتيجية التسعير ومراقبة أرباح المُنتَج.

تحليل السوق
تحليل أداء السوق بالنسبة للمُنتَج وتحديد فُرص التحسين.

يتم طرح المُنتَج تجاريًا على نطاق واسع خلال هذه المرحلة، ويكون من المهم تحسين المبيعات والتكاليف وسلاسل التوريد، وخفض التكاليف لزيادة الأرباح، كما يُركِّز فريق المُنتَج على الحفاظ على أدائه وتحسينه ومعالجة كافة المشكلات، وتُعدُّ هذه المرحلة مهمة أيضًا في تحديد الفُرص المحتملة لتحسينات المُنتَج أو الإصدارات الجديدة والتوسع في أسواق جديدة.

مرحلة نهاية العمر للمُنتَج

إن المرحلة الأخيرة من تطوير المُنتَج هي وصوله إلى نهاية عمره الافتراضي، والتخلص منه بشكلٍ تدريجي ينتهي بالتوقف عن إنتاجه والتخلص منه بأمان، وتتضمَّن هذه المرحلة الأنشطة التالية:



التخلص التدريجي من المُنتَج
التخطيط للتخلص التدريجي من المُنتَج، ويشمل ذلك تحديد توقيت مناسب للتوقف عن إنتاجه مع تحديد طريقة ذلك.

إدارة عمليات البيع الختامية
إدارة إنتاج وتسليم الطلبات الأخيرة من المُنتَج للعملاء.

إدارة المخزون
إدارة المخزون المتبقي من المُنتَج والتأكد من بيعه قبل التوقف عن توزيعه.

السحب
سحب المُنتَج من السوق وايقاف إنتاجه ودعمه.

التخلص
التخلص مما تبقى من مخزون المُنتَج ومُكوِّناته بشكل آمن ومتوافق مع الأنظمة البيئية.

الدعم بعد السحب
تقديم الدعم للمُنتَج لفترة محدودة بعد سحبه.

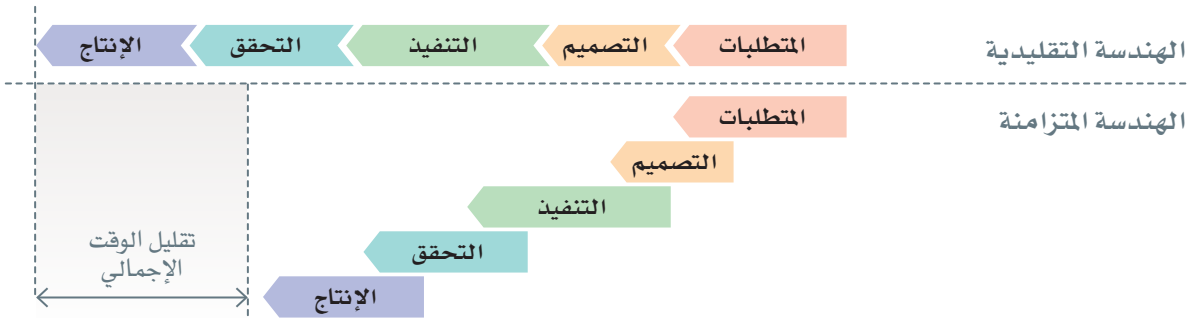
يُركِّز فريق الإنتاج خلال هذه المرحلة على إدارة نهاية عمر المُنتَج، وضمان الانتقال السلس إلى المُنتَج أو الإصدار التالي،كما يتم العمل أيضًا على استرداد أكبر قدر ممكن من قيمة المُنتَج قبل أن يتم سحبه عن طريق بيع المخزون المتبقي، وتُعدُّ هذه المرحلة مهمة أيضًا للتخطيط لنهاية أي خدمات أو أي دعم مقدَّم للمُنتَج.

تقنيات إدارة دورة حياة المُنتَج Product Life Cycle Management Techniques

الهندسة المتزامنة

تُعرَّف **الهندسة المتزامنة** (Concurrent Engineering) والمعروفة أيضًا باسم الهندسة التعاونية بأنها نهج لتطوير المُنتَج يتضمَّن قيام فِرَق عمل متعددة بالعمل بشكلٍ متزامن على جوانب مختلفة من المُنتَج، ويهدِف هذا النهج إلى تسريع عملية تطوير المُنتَج، وذلك بالحد من التأخير الذي يَنتُج عادة عن العمل بالتتابع في مراحل مختلفة من هذه العملية.

تتبع الهندسة المتزامنة نهجًا قائمًا على تكوين فريق مشترَك يشمل المهندسين والمصمِّمين وغيرهم من الخبراء، حيث يعملون معًا لتطوير مُنتَج من مرحلة الفكرة حتى إطلاقه في السوق. تعمل الفِرَق في الوقت نفسه على جوانب مختلفة من عملية تطوير المُنتَج وإنتاجه مثل: التصميم والتصنيع والاختبار والتسويق، ويسمح هذا النهج بالتعرف السريع على المشكلات المحتملة وإجراء التغييرات على التصميم أو الخُطط المختلفة في مراحل مبكرة من عملية التطوير. يقارن الشكل 1.11 بين المُخطَّطات الزمنية للخطّة الهندسية التقليدية والخطّة الهندسية المتزامنة، وستلاحظ في هذا الشكل ميزة تقليل الوقت الإجمالي الذي تقدمه تقنية الهندسة المتزامنة.



شكل 1.11: تقليل التأخير في عملية التطوير باستخدام الهندسة المتزامنة

تشمل مزايا الهندسة المتزامنة ما يلي:

- تقليل وقت تطوير المُنتَج.
- زيادة الكفاءة والتعاون بين الفِرَق.
- تحسين جودة وموثوقية المُنتَج.
- خفض التكلفة من خلال الحدّ من التعديلات على التصميم وإعادة العمل.
- التشخيص المبكر للمشكلات المحتملة وإمكانية إجراء تغييرات في وقت مبكر من عملية التطوير.

التصميم من الأسفل إلى الأعلى

يُعرَّفُ نموذج **التصميم من الأسفل إلى الأعلى** (Bottom-Up Design) بأنه نهج لتصميم المُنتَج وتطويره بدءًا من المُكوِّنات الفردية للنظام وصولًا إلى بناء النظام بأكمله، وتبدأ هذه العملية بإنشاء تصميم مُفصَّل للمُكوِّنات من المستوى الأدنى، كالأجزاء الفردية أو المُجمّعة، ثم دمجها معًا في مُجمعات أو أنظمة فرعية أكبر، وتتكرر هذه العملية حتى يتم تصميم النّظام، ودمجه بالكامل.

إن الميزة الرئيسة للتصميم من الأسفل إلى الأعلى هي إمكانية إكمال تصميم المُكوِّنات الفردية والأنظمة الفرعية قبل الانتهاء من تصميم النظام الكلي، ويسمح هذا الأمر بتحسين المُكوِّنات الفردية والكشف عن أي مشكلات قد تنشأ خلال جمع المُكوِّنات وتكامل الأنظمة الفرعية.

التصميم من الأعلى إلى الأسفل

يُعرَّفُ **التصميم من الأعلى إلى الأسفل** (Top-Down Design) بأنه نهج لتصميم المُنتَج وتطويره يبدأ من تصميم النظام بأكمله ثم العمل على المُكوِّنات الفردية، وتبدأ هذه العملية بتحديد هيكلية النظام الكلية ثم تقسيمها إلى أنظمة فرعية ومُكوِّنات أصغر، ويتم الانتهاء من تصميم المُكوِّنات الفردية بعد الانتهاء من التصميم العام للنظام.

الميزة الرئيسة للتصميم من الأعلى إلى الأسفل تتمثَّل في أنه يسمح بتقديم فهم واضح لمتطلبات النظام الكاملة قبل البدء بتصميم المُكوِّنات الفردية، كما يسمح هذا النهج بتحسين النظام بأكمله ومساعدته على ضمان تلبية المُنتَج النهائي لاحتياجات العميل أو المُستخدِم النهائي.

التصميم ذو الطرفين المتقابلين

يُعدُّ **التصميم ذو الطرفين المتقابلين** (Both Ends Against the Middle Design) نهجًا لتطوير المُنتَج يجمع بين عناصر نظامي التصميم من الأعلى إلى الأسفل ومن الأسفل إلى الأعلى، ويبدأ هذا النهج بتصميم النظام الكامل وكذلك المُكوِّنات الفردية، ويستخدِم عملية تكرارية لتطوير المُنتَج من خلال العمل على المستويَين في وقت واحد.

الميزة الرئيسة للتصميم ذي الطرفين المتقابلين هي إتاحة إمكانية تحسين كل من النظام العام والمُكوِّنات الفردية في الوقت نفسه، وضمان تلبية المُنتَج النهائي لاحتياجات العميل أو المُستخدِم النهائي، والكفاءة والموثوقية من حيث التكلفة وسهولة التصنيع.

تصميم التحميل الأمامي وسير العمل

يُعدُّ **تصميم التحميل الأمامي وسير العمل** (Front-Loading Design and Workflow) نهجًا لتطوير المُنتَج يُركِّز على أهمية التخطيط المبكِّر والتصميم والتطوير في عملية تطوير المُنتَج، ويهدِف هذا النهج إلى تحديد المشكلات المحتمَلة وحلّها في وقت مبكر من عملية التطوير، قبل استثمار موارد كبيرة في عمليات الإنتاج.

يعتمد نهج التحميل الأمامي وسير العمل على مبدأ تقليل التكلفة من خلال تحديد المشكلات وحلها في وقت مبكِّر من عملية التطوير وليس في وقت متأخر، كما يُقلِّل هذا النهج من الوقت والتكلفة والمخاطر التي تنطوي عليها عملية تطوير المُنتَج.

التصميم في سياق

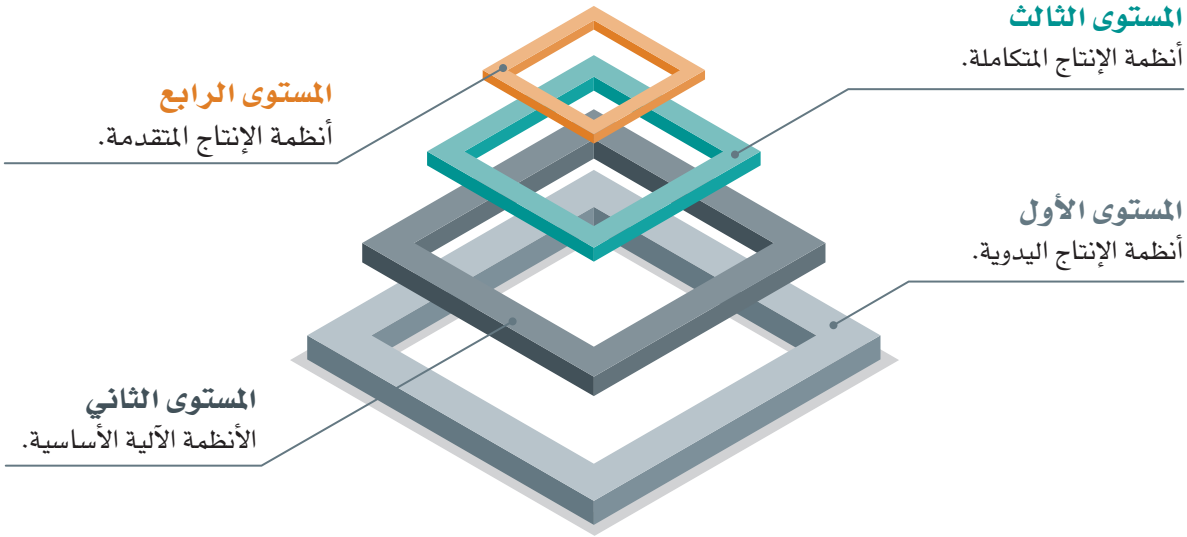
يعتمد نهج **التصميم في سياق** (Design in Context) على المجال الذي سيُستخدم فيه المُنتَج عند تصميمه، ويتضمَّن ذلك مراعاة عوامل مختلفة مثل: البيئة والفئة العمرية للمُستخدِم، وكيفية استخدامه لذلك المُنتَج، ويهدف التصميم في سياق إلى إنشاء مُنتَجات مناسبة تمامًا للسياق الذي سيتم استخدامها فيه، والتي تلبي احتياجات الفئة المستهدَفة من المُستخدِمين.

يُعدُّ التصميم في سياق مهمًا في ضمان مناسبة المُنتَجات للهدف المحدَّد الذي سيتم استخدامها فيه وتلبية احتياجات الفئة المستهدَفة من المُستخدِمين.

يُمكن أن يؤدي اعتماد هذا التصميم إلى تطوير وإنتاج مُنتَجات أكثر قابلية للاستخدام، وأكثر سهولة واستدامة، ويُستخدم هذا التصميم على نطاق واسع في تصميم المُنتَجات في الصناعات عالية التقنية كصناعات الفضاء والسيارات، والإلكترونيات، والمعدات الطبية والتقنيات البيئية.

هرم نُظُم الإنتاج Pyramid of Production Systems

هرم نُظُم الإنتاج هو إطار يُستخدم لتصنيف وفهم المستويات المختلفة لأنظمة الإنتاج، فهو نموذج هرمي يمثِّل تعقيد أتمتة أنظمة الإنتاج ومستوياتها، بدءًا من الأنظمة اليدوية البسيطة التي تقع في المستويات المنخفضة ووصولًا إلى أنظمة آلية أكثر تقدمًا في المستوى الأعلى. عادةً ما يتضمَّن هرم نُظُم الإنتاج المستويات التالية:



شكل 1.12: مستويات أتمتة نظام الإنتاج

المستوى الأول

أنظمة الإنتاج اليدوية: تعتمد هذه الأنظمة على العمل اليدوي وتتميز بطبيعتها التي تفتقر للتشغيل الآلي وبإنتاجيتها المنخفضة، وتُستخدم هذه الأنظمة لمهام الإنتاج البسيطة منخفضة الحجم.

المستوى الثاني

الأنظمة الآلية الأساسية: تستخدِم هذه الأنظمة تقنيات الأتمتة الأساسية لأتمتة جوانب معينة من عملية الإنتاج، وتتميز بمستويات أعلى من الأتمتة والإنتاجية مقارنة بالأنظمة اليدوية.

المستوى الثالث

أنظمة الإنتاج المتكاملة: تستخدِم هذه الأنظمة تقنيات أتمتة متقدمة مثل: **التصميم بمساعدة الحاسب** (CAD) **والتصنيع بمساعدة الحاسب** (Computer-Aided Manufacturing – CAM) لدمج الجوانب المختلفة من عملية الإنتاج مما يسمح بوجود مستويات عالية من الأتمتة والإنتاجية.

المستوى الرابع

أنظمة الإنتاج المتقدمة: تستخدِم هذه الأنظمة تقنيات متقدمة مثل: الروبوتات والذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء لتحسين عملية الإنتاج، وتتميز بمستويات عالية جدًا من الأتمتة والإنتاجية.

على سبيل المثال، تُنتِج شركة أثاث كراسي خشبية مصنوعة يدويًا باستخدام أنظمة إنتاج يدوية في ورشة صغيرة، ومع ازدياد الطلب على هذه الكراسي، تستثمر الشركة في نظام آلي من خلال شراء آلة للمساعدة في قَطع وتشكيل الخشب بشكلٍ أكثر كفاءة. في النهاية، ستتوسَّع الشركة إلى نظام إنتاج متكامل من خلال استثمارها في خط إنتاج يستخدِم آلاتٍ متقدمة لأتمتة عملية التجميع وزيادة حجم الإنتاج، وأخيرًا ستتبنَّى الشركة نظام إنتاج متطور من خلال دمج أنظمة روبوتية للمساعدة في عملية التجميع وتحقيق مستويات أعلى من الدقة في المُنتَج النهائي.

تمرينات

1

حَدِّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:	صحيحة	خاطئة
1. تقتصر دورة حياة المُنتَج على عمليتي البحث الأوَّلي وتصميم المُنتَج.	○	○
2. تهتم مرحلة التصنيع في هندسة المُنتَج بكيفية تجميع مُنتَج لإنتاجه بالجملة.	○	○
3. يجب أن يتعاون المهندسون من المجالات المختلفة مع مهندسي البرمجيات لإنتاج مُنتَجات ذات جودة أعلى.	○	○
4. يتواصل مديرو إدارة دورة حياة المُنتَج مع إدارة المستوى الأعلى أيضًا.	○	○
5. تشتمل مرحلة بداية الحياة للمُنتَج فحوصات مراقبة الجودة.	○	○
6. تختص مرحلة نهاية العمر للمُنتَج بسحب المُنتَج من السوق.	○	○
7. تُركِّز الهندسة المتزامنة على فصل العمليات الهندسية.	○	○
8. تستغرق المُنتَجات التي تم تطويرها مع تصميم التحميل الأمامي وسير العمل الكثيرَ من الوقت في المراحل الأولى من التخطيط والتصميم.	○	○
9. يُستخدم نهج التصميم في سياق لتطوير المُنتَجات ذات الأغراض العامة.	○	○
10. يهتم المستوى الرابع من هرم نُظُم الإنتاج بموضوعات الجيل الرابع من الصناعة.	○	○

2 عرِّف المقصود بدورة حياة المُنتَج.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

3 ضَعْ قائمة بمراحل دورة حياة المُنتَج.

4 حَلِّلْ مراحل هندسة المُنتَج.

5 قارِنْ بين أفضل ممارسات هندسة المُنتَج.

6 وَضِّح المقصود بإدارة دورة حياة المُنتَج.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

7 صَنِّفْ مراحل إدارة دورة حياة المُنتَج.

8 ضَعْ قائمة بمزايا استخدام منهجية الهندسة المتزامنة.

9 كيف يساهم التصميم ذو الطرفين المتقابلين في الجمع بين نموذجي التصميم من الأسفل إلى الأعلى ومن الأعلى إلى الأسفل؟

10 اشرحْ مستويات هرم نُظُم الإنتاج.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

الدرس الرابع

تخطيط المشروع

ما المقصود بالمشروع؟ What is a Project

المشروع هو نشاط مؤقت بطبيعته لتحقيق هدف معين أو نتيجة محدَّدة، وتُعدُّ المشاريع فريدةً من نوعها، حيث إنها عادةً ما تكون مُستقلةً عن العمليات الاعتيادية للمؤسسة، وتهدف إلى إنشاء مُنتَج، أو خدمة، أو تحقيق نتيجة معينة.

يمتاز كل مشروع بتاريخ بداية وتاريخ نهاية مُحددين، وعادة ما يُقيَّد بميزانية ونطاق محدَّد للعمل وبمُخطَّط زمني، ويتضمَّن المشروع غالبًا مشاركة العديد من أصحاب المصلحة والموارد، والكثير من الاجتماعات والتواصل والاستشارات. أما إدارة المشروع فهي مجال تخطيط وتنظيم وإدارة الموارد لتحقيق أهداف المشروع وغاياته.

تختلف أهداف المشاريع وطبيعتها، فقد يكون المشروع عبارة عن إنشاء جسر جديد، أو تطوير تطبيق برمجي، أو تنظيم حدث أو مهرجان، أو إجراء بحث، أو إطلاق حملة تسويقية، وهناك مشاريع كبيرة وأخرى صغيرة، ومنها البسيطة ومنها المعقدة، ويُمكن العثور على المشاريع في شتى المجالات والصناعات.

المشروع (Project):

المشروع عبارة عن سلسلة من الأنشطة أو المهام التي يتعين إكمالها خلال إطار زمني محدَّد وضِمن ميزانية محدَّدة من أجل إنشاء مُنتَج أو خدمة.

خصائص المشروع:

- له مُخطَّط زمني ثابت يُحدَّد فيه تاريخ بداية المشروع ونهايته.
- له نطاق عملٍ محدَّد وأهداف واضحة.
- مستقل بميزانية وموارد محدَّدة.
- ينطوي على سلسلة من الأنشطة المتسلسلة والمترابطة.
- قد يواجه مخاطر وتحديات يجب الحذر منها.

تخطيط المشروع Project Planning

تخطيط المشروع هو عملية تحديد النطاق والأهداف والمهام اللازمة لإكمال المشروع، ويتضمَّن إنشاء مُخطَّط لتحديد الأنشطة المختلفة ونقاطه المحورية والموارد اللازمة لتحقيق أهداف المشروع ضمن إطار زمني محدَّد.

التصميم الجيد لأي مشروع يتطلب أن تُحدِّد خطّتُه، والغرض منه، والموارد المطلوبة، والميزانية، والمُخطَّط الزمني لتحقيق ذلك، كما يجب أن تُحدِّد أدوار ومسؤوليات أعضاء الفريق، وخطّة الاتصال، واستراتيجيات إدارة المخاطر، وطرائق تتبع وتقييم مدى التقدم.

يساعد التخطيط الفعّال للمشروع على ضمان وجود فهم واضح لدى كافة أعضاء الفريق لأهداف المشروع ومتطلباته، ويسمح لهم بالعمل معًا بشكل أكثر كفاءة وفعالية لتحقيق تلك الأهداف، كما أنه يساعد على تحديد المخاطر والعقبات المحتملة، مما يسمح لفريق المشروع بتفاديها بشكل استباقي ومنع التأخير أو الآثار السلبية الأخرى على المشروع.

يتضمَّن **تخطيط المشروع** (Project Planning) عادةً الخطوات التالية:

1. **تحديد نطاق المشروع:** من خلال تحديد متطلبات المشروع، والنتائج المتوقعة، وأصحاب المصلحة المعنيين.
2. **تطوير خطّة المشروع:** من خلال إنشاء خطّة مشروع مفصلة تحدِّد المهام، والمُخطَّطات الزمنية، والموارد اللازمة لإكمال المشروع.
3. **تحديد مخاطر المشروع:** من خلال تحديد المخاطر المحتملة التي قد تظهر أثناء تنفيذ المشروع ووضع استراتيجيات للحدّ منها.

4. **تحديد أدوار ومسؤوليات أعضاء المشروع:** من خلال تكوين فريق العمل المشارك في المشروع وتحديد الأدوار والمسؤوليات لأعضاء الفريق.

5. **تحديد النقاط المحورية (Milestones) للمشروع:** من خلال تعريف نقاطٍ محدَّدة لتقدم المشروع حيث يُمكن قياس مستوى التقدم وتقييمه.

6. **مراقبة وتقييم المشروع:** من خلال تَتبُّع تقدم المشروع، وتحديد القضايا والاعتبارات المختلفة، واتخاذ الإجراءات التصحيحية حسب الضرورة.

يُعدُّ **تخطيط المشروع** (Project Planning) مهمًا لعدة أسباب، ويشمل:

وضوح الأهداف

يساعد تخطيط المشروع على تحديد أهدافه بوضوح، ويشمل ذلك النتائج المتوقَّعة والمُخطَّطات الزمنية والميزانيات الخاصة به، ويضمن هذا الأمر التناغم والتوافق بين أصحاب المصلحة، وذلك لتحقيق الهدف المشترك وهو نجاح المشروع.

تخصيص الموارد

يساعد تخطيط المشروع في تحديد الموارد المطلوبة لإكماله، ويشمل ذلك الموظَّفين والأجهزة والمواد، ويتيح التخطيط السليم تخصيص الموارد بشكل فعّال، مما يساعد في تقليل التكاليف وفي تحسين الكفاءة.

إدارة المخاطر

يساعد تخطيط المشروع على تحديد المخاطر المحتملة ووضع استراتيجيات للتخفيف منها، ومن خلال معالجة المشكلات المحتملة قبل ظهورها يُمكن لمديري المشاريع تقليل احتمالات التأخير أو تجاوز الميزانيات المحدَّدة وحتى الإخفاق الكامل للمشروع.

يؤدي عدم وجود خطّة لإدارة المشروع إلى إضاعة الوقت وضعف الأداء، ولذلك يجب تنظيم المشروع وإدارته بأكثر الطرائق فعالية وكفاءة. يُعدُّ التخطيط الفعّال للمشروع أمرًا ضروريًا لضمان اكتمال المشروع في الوقت المحدَّد وفي حدود الميزانية المحدَّدة، وعلى الشكل الذي يُرضي أصحاب المصلحة، كما يسهم التخطيط الفعّال في تقليل المخاطر وضمان تحقيق أهداف المشروع.

أداة التحليل الرباعي SWOT Analysis

أداة التحليل الرباعي (SWOT) هي إحدى التقنيات التي تُستخدم في إدارة المخاطر في المشاريع، حيث تُنتِج مُخطَّطًا مرئيًا يُمكن استخدامه لتحليل شركة أو مشروع أو مُنتَج. يتم تقسيم **أداة التحليل الرباعي** إلى أربعة أقسام: **نقاط القوة** (Strengths)، و**نقاط الضعف** (Weaknesses)، و**الفُرص** (Opportunities)، و**التهديدات** (Threats). يُمثِّل كل قسم من أقسام **أداة التحليل الرباعي** جانبًا مختلفًا من جوانب التحليل، حيث تشير نقاط القوة والضعف إلى العوامل الداخلية، بينما تشير الفُرص والتهديدات إلى العوامل الخارجية التي تكون عادة خارج نطاق سيطرة الشركة أو المشروع.

- **نقاط القوة** (Strengths) هي الأمور التي تجيدها الشركة أو المشروع أو المُنتَج أو تتمتع بميزة فيها، وتُعدُّ بمثابة عوامل داخلية بالنسبة للشركة.
- **نقاط الضعف** (Weaknesses) هي الأمور التي تُشكِّل تحديًا للشركة أو المشروع أو المُنتَج وقد تتسبب بمشكلات لها، وتُعدُّ بمثابة عوامل داخلية بالنسبة للشركة أيضًا.
- **الفُرص** (Opportunities) هي عوامل خارجية تُميز الشركة أو المشروع أو المُنتَج بحيث يُمكن الاستفادة منها لتحقيق النجاح.
- **التهديدات** (Threats) هي عوامل خارجية يُمكن أن تؤثر سلبًا على الشركة أو المشروع أو المُنتَج.

يلخِّص الشكل 1.13 عوامل **أداة التحليل الرباعي** (SWOT).

عوامل داخلية	عوامل خارجية
نقاط القوة	التهديدات
نقاط الضعف	الفُرص

شكل 1.13: المُخطَّط النموذجي لأداة التحليل الرباعي (SWOT)

يُمكن للشركة تكوين فهم أفضل لنقاط القوة والضعف والفُرص والتهديدات من خلال القيام بعمليات التحليل الرباعي، كما يُمكن أن يساعد ذلك الشركة في اتخاذ قرارات أفضل وتطوير استراتيجيات أكثر فاعلية لتحقيق النجاح. يُظهر الشكل 1.14 مُخطَّطًا **لأداة التحليل الرباعي** (SWOT) في إحدى الشركات.

	نقاط القوة	نقاط الضعف
عوامل داخلية	السمعة الجيدة للعلامة التجارية، والقدرات المميزة للموظَّفين.	محدودية ميزانية التسويق، وعدم توفر التقنية الحديثة.
	الفُرص	**التهديدات**
عوامل خارجية	وجود سوق ناشئة واعدة بالتوسع للمُنتَج.	وجود منافسة قوية وتغييرات في اللوائح تُصعِّب العمل.

شكل 1.14: مثال على أداة التحليل الرباعي (SWOT)

ما المقصود بإدارة المشروع؟

What is Project Management

إدارة المشروع هي عملية تخطيط وتنظيم وإدارة الموارد لتحقيق أهداف وغايات معينة ضمن نطاق مشروع محدَّد ومُخطَّط زمني وميزانية محدَّدة، وتضمن إدارة المشروع التنسيق والتحكم في جوانب المشروع بأكمله مثل: النطاق، والوقت، والتكلفة، والجودة، والمخاطر، والاتصالات، والموارد بشكل يضمن اكتمال المشروع بنجاح.

تشمل المكونات الرئيسة لإدارة المشروع: تهيئة المشروع، والتخطيط، وتنفيذ الخطّة، ومراقبة المشروع والتحكم به وإنهائه، وتتضمَّن هذه العمليات: تحديد أهداف المشروع، وإنشاء خطته، وتخصيص الموارد، ومراقبة التقدم، وإجراء التعديلات اللازمة، وتقييم نتائج المشروع.

إدارة المشروع (Project Management):
إدارة المشروع هي عملية تخطيط الموارد وإدارتها والتحكم فيها؛ لتحقيق الأهداف المحدَّدة ضمن مُخطَّط زمني محدَّد.

تتطلب الإدارة الفعّالة للمشروع مجموعة كبيرة من المهارات، تشمل القيادة والتواصل وحل المشكلات وصُنع القرار وإدارة المخاطر، كما تتضمَّن أيضًا العمل بشكل وثيق مع أصحاب المصلحة في المشروع كالعملاء والجهات الراعية وأعضاء فريق العمل والموردين؛ لضمان تلبية احتياجاتهم وتوقُّعاتهم. تُستخدم إدارة المشاريع في مجموعة واسعة من الصناعات والمجالات، بما في ذلك مجالات البناء والهندسة وتطوير البرمجيات، والتسويق، والرعاية الصحية، والتعليم، ويُمكن للمؤسسات تحسين كفاءتها وإنتاجيتها ونجاحها العام في إنجاز المشاريع من خلال تطبيق أفضل ممارسات إدارة المشاريع.

تتيح إدارة المشروع المزايا التالية:

- توفير الوقت والجهد من خلال التركيز على الأولويات.
- تجاوز الصعوبات والحد من فُرص الفشل.
- تحقيق درجة عالية من المتابعة.
- التكيُّف مع المتغيرات.
- الإدارة الفعّالة للميزانية المخصصة للمشروع.

توفِّر إدارة المشروع إطارًا عامًا للتحكم بالمشروع، وباستخدام البرمجيات والأدوات مثل **قانت بروجكت** (Gantt Project) وكذلك التقنيات الأخرى يُمكن قيادة فريق العمل لتحقيق الأهداف المرجوة من المشروع في الوقت المحدَّد وفي إطار الميزانية المخصصة له.

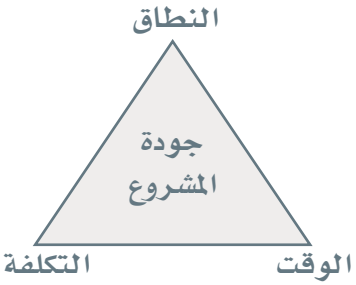
مثلث إدارة المشروع (النطاق - الوقت - التكلفة)
Project Management Triangle (Scope-Time-Cost)

لضمان نجاح المشروع يجب دراسة التغيُّرات التي قد تحدث في المُحدِّدات الرئيسة المرتبطة به وفهمها والتعامل معها؛ لتحقيق الجودة المطلوبة للمُنتَج أو الخدمة، وهذه المُحدِّدات هي: **النطاق** (Scope)، و**الوقت** (Time)، و**التكلفة** (Cost) كما هو موضَّح في الجدول 1.12.

جدول 1.12: مُحدِّدات إدارة المشروع

النطاق	المهام المطلوبة لتحقيق أهداف المشروع.
الوقت	المُخطَّط الزمني للمشروع لإنشاء المُنتَج.
التكلفة	ميزانية المشروع.

يُطلق على هذه المُحدِّدات الثلاثة اسم مثلث إدارة المشروع، وتُشكِّل نموذجًا يساعد مديري المشاريع على: تحسين النتائج من خلال الحفاظ على التوازن بينها، ومراقبة التغييرات التي تحدث على أي منها أثناء سير المشروع، ومعرفة تأثير زيادة أو نقص كل محدَّد على بقية المُحدِّدات وتأثيره النهائي على الجودة. على سبيل المثال: زيادة نطاق عمل المشروع المراد إنجازه سيؤدي حتمًا إلى زيادة وقت الإنجاز أو التكلفة المطلوبة أو كليهما. قد تبدو هذه المُحدِّدات بسيطة، ولكن يُمكن تفسير كل منها بصورة موسعة لاستكشافها.



شكل 1.15: مثلث إدارة المشروع

النطاق

يشير **النطاق** (Scope) إلى كافة الأعمال والأنشطة التي يجب تنفيذها لإنشاء المُنتَج أو الخدمة المطلوبة، وإذا لم يكن من الممكن التحكم في نطاق المشروع، فلا يُمكن تسليمه في الوقت المحدَّد أو في حدود الميزانية. من المهم تحديد الأولويات للتمكُّن من تخطيط الموارد وتخصيصها بفعالية، فيجب التأكد من إدارة المهام الأساسية التي تُمكِّن المشروع من التقدم بسلاسة، وبهذه الطريقة يُمكن إسناد مهام المشروع المهمة للأشخاص المناسبين وتمكين التعاون على مستوى المُهِمَّة نفسها.

الوقت

يتم احتساب **الوقت** (Time) عن طريق تدوين جميع المهام المطلوب تنفيذها من بداية المشروع حتى نهايته، ثم يتم تحديد الوقت المطلوب لكل مُهِمَّة وأولويات تنفيذ كل من هذه المهام.

التكلفة

تعتمد **التكلفة** (Cost) المالية للمشروع على عدة متغيرات مثل: الموارد البشرية المطلوبة، والأدوات والمعدات المستخدَمة، وتكلفة المواد الخام وغيرها.

يتم تقسيم التكلفة إلى قسمين:

1. تكاليف ثابتة مثل: تكلفة رواتب العمال والإيجار والتكاليف الأخرى.
2. تكاليف متغيرة مثل: تكلفة الكهرباء والمياه والمواد المستخدَمة في الإنتاج.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الحفاظ على التوازن في مثلث إدارة المشروع:
Maintaining Balance in the Project Management Triangle

عندما تدير مشروعًا ما، وتجد مشكلة قد تؤثر على جودة المشروع أو أهدافه، فيجب عليك:

أولًا:

تحديد تأثير تلك المشكلة بالنسبة لعناصر المُحدِّدات الثلاثة وفق ما هو ثابت وما هو متغير، وهل تتعلق المشكلة بالوقت المتاح لتنفيذ المشروع؟ أم أنها تتعلق بازدياد حجم المشروع، ونطاقه؟ أو ربما يتعلق الأمر بنقص التمويل والموارد المطلوبة؟

ثانيًا:

إجراء التعديلات الممكنة لتحقيق التوازن اللازم للوصول إلى الجودة المطلوبة لتحقيق أهداف المشروع.

مَنْ هو مدير المشروع؟
What is a Project Manager?

مدير المشروع هو شخص محترف مسؤول عن قيادة الفريق وإدارة المشروع من بدايته إلى نهايته، فهو المسؤول عن نجاح المشروع، وضمان اكتماله في الوقت المحدَّد وفي إطار الميزانية المحدَّدة، وبشكلٍ ينال رضا أصحاب المصلحة.

يتضمَّن دور مدير المشروع مجموعة من المسؤوليات، وتشمل:

تخطيط المشروع

من خلال تحديد أهداف المشروع ونطاقه ومتطلباته، وإنشاء خطّته والمُخطَّط الزمني لتنفيذه، وتحديد الموارد وتخصيصها، ووضع خطّة الاتصال.

تنفيذ المشروع

من خلال إدارة أعضاء فريق المشروع والموارد والتنسيق بينهم، ومراقبة التقدم الذي يتم إحرازه وفق الخطّة، وحل القضايا والخلافات، والتأكد من تلبية مُخرَجات المشروع لمعايير الجودة.

المراقبة والتحكم في المشروع

من خلال تتبُّع التقدّم في المشروع ومراقبته وتحديد أي اختلاف عن الخطّة، وإجراء التعديلات على خطّته حسب الحاجة، وإدارة مخاطر المشروع، والتواصل مع أصحاب المصلحة لتقديم التقارير حول حالة المشروع.

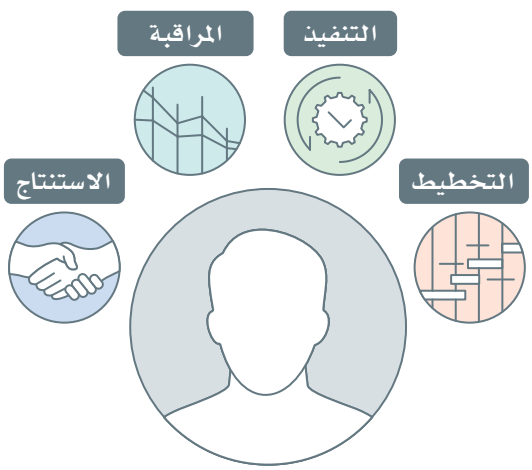
إغلاق المشروع

من خلال إجراء مراجعة نهائية للمشروع، والحصول على الموافقة على مُخرَجاته، كالمُنتَج مثلًا، وإنهاء العقود والاتفاقيات، وأرشفة مستندات المشروع، وجمع الدروس المستفادة.

يجب أن يمتلك مدير المشروع الناجح مجموعة مهمة وواسعة من المهارات وهي: مهارات القيادة، والتواصل، وحل المشكلات، وصُنع القرار، وإدارة المخاطر، كما يجب أن يمتلك فهمًا عميقًا لمنهجيات وأدوات إدارة المشاريع، إضافة إلى المعلومات التقنية المتعلقة بمجال المشروع.

مدير المشروع (Project Manager):

يؤدي مدير المشروع دورًا رئيسًا في المشروع بصفته مسؤولًا بشكل أساسي عن إتمامه بنجاح، وتتمثل مُهِمَّة المدير في ضمان تقدم المشروع وفق المُخطَّط الزمني والميزانية المحدَّدة لتحقيق أهدافه، ومن المهم امتلاكه لما يرتبط بالمشروع من خلفية وخبرة كافية.



شكل 1.16: مهام مدير المشروع



واجبات مدير المشروع:

- تطوير خطّة المشروع.
- تعيين فريق المشروع.
- قيادة وإدارة فريق المشروع.
- تطوير المُخطَّط الزمني للمشروع وتحديد كل مرحلة.
- تعيين المهام لأعضاء فريق المشروع.
- تقديم التقارير بشكلٍ دوري إلى الإدارة العليا.

تقع على عاتق مدير المشروع مسؤولية تحديد دور كل عضو في الفريق، والتأكد من عملهم معًا كفريق واحد، كما يجب عليه تحفيز الفريق، والاستماع إلى أفكار الجميع، والتأكد من التزام كافة أعضاء الفريق بتنفيذ جدول المشروع المحدَّد.

سمات مدير المشروع الفعَّال:

- يمتلك مهارات التواصل الفعَّال.
- يمتلك مهارات القيادة.
- يمتلك مهارات صُنع القرار.
- لديه خبرة تقنية.
- لديه القدرة على بناء مهارات الفريق.
- يعمل بشكل جيد تحت ضغط العمل.
- لديه القدرة على النقاش والتفاوض الفعَّال.
- يراعي الجوانب الإنسانية في العمل.

الخطط الأخرى التي على مدير المشروع تطويرها
Other Plans Needed by the Project Manager

بالإضافة إلى تحديد نطاق المشروع، توضِّح خطّة المشروع الفترة الزمنية لتنفيذ المهام والعمليات وتكلفتها المالية، كما تتضمَّن العديد من العناصر الأخرى التي تساهم في تَقدُّم العمل وجودة المُنتَج النهائي للمشروع. تتفرع خطط أخرى من خطّة المشروع الأساسية، وتشمل:

- خطّة إدارة الموارد.
- الخطّة المالية.
- خطّة قبول المشروع.
- خطّة التواصل.
- خطّة المشتريات.
- خطّة المخاطر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تخطيط نطاق المشروع Project Scope Planning

تتضمَّن عملية تخطيط نطاق المشروع تحديدَ جميع الأعمال والمهام المطلوب إنجازها لتنفيذه، وتتكون من:

تحديد نطاق المشروع Determining the Scope of the Project

يتم في هذه المرحلة تحديد المهام الرئيسة التي يجب القيام بها لتنفيذ المشروع.

على سبيل المثال، تمُرّ عملية توظيف شخص لوظيفة معينة بعدة مراحل هي:

- الإعلان عن الوظيفة.
- اختيار المرشَّح.
- مقابلة المرشَّح.
- تقديم عرض عمل رسمي للمرشَّح.



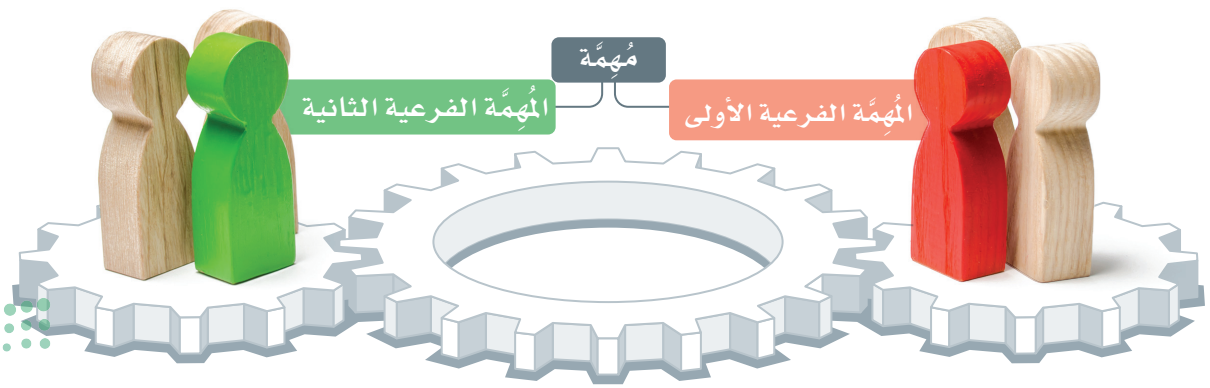
شكل 1.17: تحديد نطاق المشروع

تقسيم المشروع إلى مهام أصغر Breaking the Project into Smaller Tasks

تتمثل فكرة العمل الجماعي في تقسيم فريق العمل إلى مجموعات أصغر تؤدي المهام الفرعية الموكلة لكل منها.

على سبيل المثال، تتضمَّن عملية التصميم الهندسي لبناء منزل المهام التالية:

- إنشاء المُخطَّط المعماري.
- إعداد مستندات البناء.
- الموافقة على المُخطَّط المعماري.



شكل 1.18: تقسيم المشروع إلى مهام أصغر

المُخطَّط الزمني Timeline

تقدير الوقت Estimating Time

يُعدُّ عامل الوقت أحد المُحدِّدات الأساسية الثلاثة في مثلث إدارة المشروع، ويأتي تخطيط الوقت فور الانتهاء من تحديد نطاق المشروع وأنشطته الرئيسة والمهام التي يتضمَّنها. يجب على مدير المشروع تقدير الوقت المطلوب لإكمال كل مُهِمَّة بالتعاون مع فريق المشروع، وقد يتطلب ذلك الكثير من النقاشات خاصةً إذا كان للمشروع مواعيد نهائية للتسليم. على سبيل المثال، يجب أن يوافق كل عضو في فريق بناء المنزل على تقدير الوقت اللازم لإتمام كل نشاط أو مُهِمَّة، لذلك يجب على مدير المشروع ومشغِّل الآلات الثقيلة والمهندس المعماري والبنائين والموظَّفين الاتفاق على مقدار الوقت المخصص لإنجاز كل مُهِمَّة من مهامهم، فإذا كان تقدير المدة التي قد يستغرقها النشاط أمرًا صعبًا، فسيتم تقدير تلك المدة في أفضل وأسوأ الحالات، والتوصل إلى متوسط تقديري للمدة.

تحديد أولويات المهام حسب الاحتياجات
Prioritizing Tasks According to Needs

تحتاج في هذه المرحلة إلى:

- وضع المهام في تسلسل منطقي.
- تقدير مدة تنفيذ كل مُهِمَّة.
- التوثيق الكامل لعمليات تقدير الوقت لمساعدتك في وضع مُخطَّط زمني كامل للمشروع.

ترتيب وجدولة المهام

بعد إنشاء قائمة المهام المطلوبة لإكمال المشروع، يحتاج مدير المشروع إلى النظر في تسلسل تلك المهام وكيفية ارتباطها ببعضها، ثم يقرِّر تلك المهام التي تُشكِّل أساسًا للمشروع، وتلك التي يجب أن يبدأ تنفيذها أو إكمالها على الفور قبل الانتقال إلى المهام التالية. على سبيل المثال، لا يُمكن إنجاز تصميم أو تخطيط مواقع الأثاث أو وضع المعدات المنزلية في البيت قبل اكتمال المُخطَّط المعماري، كما لا يُمكن بناء سقف البيت إذا لم يتم الانتهاء من الطابق الأول للبناء. يوضِّح الشكل 1.19 أساسيات تحديد أولويات المهام.



شكل 1.19: النصائح الأساسية لتحديد أولويات المهام

طرائق تحديد أولويات المهام Methods for Prioritizing Tasks

هناك طريقتان يمكنك استخدامهما لتحديد أولويات مهام مشروعك:

طريقة تحليل ABC

تُستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع منذ زمن طويل لتصنيف البيانات الضخمة إلى مجموعات، وعادةً ما يتم تمييز هذه المجموعات بالعلامات: A و B و C متبوعة بالاسم، ويتم تصنيف الأنشطة وفقًا لهذه المعايير العامة إلى:

- A: مهام ذات أهمية وعاجلة.
- B: مهام ذات أهمية وغير عاجلة.
- C: المهام غير الهامة وغير العاجلة.

ثم يتم ترتيب أولويات كل مجموعة، ولتحديد الأولويات يختار البعض إعادة تصنيف جميع العناصر في المجموعة B إلى A أو C، وقد يتضمَّن التحليل ABC أكثر من ثلاث مجموعات.

طريقة ايزنهاور (Eisenhower Method)

يتم تقييم جميع المهام وفقًا للمعايير التالية: ذات أهمية أو غير هامة، أو عاجلة أو غير عاجلة، ويتم تقسيمها إلى أرباع وفقًا لذلك.

يتم في هذه الطريقة إضافة المهام غير الهامة وغير العاجلة في المرتبة الأخيرة من حيث الأولوية، ويتم تحديد أولويات المهام ذات الأهمية والعاجلة ليتم تنفيذها على الفور من قِبَلْ مدير المشروع، في حين يتم تفويض الآخرين للقيام بالمهام غير الهامة والعاجلة، ويتم تعيين تاريخ انتهاء المهام غير العاجلة وجدولتها بواسطة مدير المشروع أيضًا. يوضِّح الشكل 1.20 مثالًا لطريقة أيزنهاور (Eisenhower).

	عاجلة	غير عاجلة
ذات أهمية	• مرحلة التخطيط لمشاركة المدرسة في المسابقة. • الاستعداد للمسابقة. • إعداد الأندرويد (Android). • برمجة الأندرويد. • الاختبار النهائي. • حضور المسابقة الوطنية.	التعرف على إجراءات السلامة.
غير هامة	• المقاطعات من الآخرين. • المشتتات الأخرى.	تسمية الفريق.

يسمى بصندوق أيزنهاور، ويساعد في تقييم المهام من حيث أهميتها وأولويتها، حيث يُمكن وضع العناصر في مكانها المناسب داخل كل مربع في الصندوق.

يقال إن هذا الأسلوب استخدمه الرئيس الأمريكي دوايت أيزنهاور (Dwight Eisenhower) ووصف في اقتباس منسوب إليه جاء فيه: "المهم نادرًا ما يكون عاجلًا، وما هو عاجل نادرًا ما يكون مهمًا".

شكل 1.20: طريقة أيزنهاور

تحديد النقاط المحورية والمواعيد النهائية للمشروع
Determining Project Milestones and Deadlines

النقطة المحورية (Milestone):
النقطة المحورية في المشروع هي نقطة تمثِّل حدثًا رئيسًا في دورة حياة المشروع، وعندما يتم الوصول إليها ينتقل المشروع إلى المرحلة التالية.

ما النقاط المحورية للمشروع؟

تُعدُّ النقاط المحورية في إدارة المشروع حدثًا رئيسًا يتطلب اهتمامًا خاصًا. على سبيل المثال، تُعدُّ عملية إنشاء الروبوت عند المشاركة في مسابقة الروبوت الوطنية نقطة محورية في المشروع، وتُعدُّ عملية استكمال برمجة الروبوت بشكلها النهائي بمثابة النقطة المحورية الثانية في المشروع.

ما المقصود بالموعد النهائي؟

الموعد النهائي للمُهِمَّة أو المشروع هو آخر وقت أو تاريخ يُمكن من خلاله إكمال المُهِمَّة أو المشروع.

لماذا يُعدُّ الموعد النهائي مهمًا؟

يُعدُّ تحديد الموعد النهائي أمرًا مهمًا للغاية في كل ما تقوم به في حياتك كما هو في المهام والمشاريع أيضًا، وهو ببساطة وسيلة للتعامل مع الوقت بحكمة نظرًا لمحدوديته. على سبيل المثال، تشبه المواعيد النهائية من حيث أهميتها التواريخ المحدَّدة للاختبارات المدرسية، فعليك مثلًا الانتهاء من دراسة المادة الدراسية والإعداد للامتحان قبل حلول موعد الامتحان، وللقيام بذلك عليك أن تخطّط وتضع جدولًا زمنيًّا للدراسة، وتلتزم بذلك الجدول، وسيؤدي الفشل في التخطيط السليم أو عدم الالتزام بجدولك الزمني إلى عدم إكمالك لدراسة المادة الدراسية في الوقت المحدَّد، مما قد ينجُم عنه الفشل في الامتحان وربما تأخير عام دراسي كامل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

خصائص الموعد النهائي: Deadline Features

- يضع جدولًا محدَّدًا للإنتاجية.
- يُحسِّن الانضباط وأخلاقيات العمل.
- يقرِّبك باستمرار من تحقيق الأهداف.
- يُوفِّر شعورًا بالإنجاز.
- يُقلِّل من التسويف والتردد.

النقاط الواجب مراعاتها عند تحديد الموعد النهائي:

Points to Consider When Setting a Deadline

- يجب أن تكون المواعيد النهائية واقعية، ومتوازنة لتجنب ضغوط العمل أو نُضُوب الموارد.
- يجب وضع هامش منطقي للخطأ أو التأخير في تقدير وقت المشروع.
- إعلام الموظَّفين والعاملين بالخطّة الزمنية لتنفيذ المشروع وتذكيرهم بها بشكل دوري.
- التأكد من كفاية موارد المشروع للإنجاز في الوقت المحدَّد.

إدارة الموارد Resource Management

تشير إدارة الموارد إلى عملية تخصيص الموارد المتاحة، واستخدامها بكفاءة وفعالية من أجل تحقيق أهداف وغايات محدَّدة، وتشمل كلًا من الموارد الملموسة مثل: الموظَّفين أو العاملين، والأموال، والمعدات، والمواد، وكذلك الموارد غير الملموسة مثل: الوقت والخبرة.

تتضمَّن الإدارة الفعّالة للموارد التخطيط الدقيق، والتنسيق والاستغلال الأمثل للموارد المتاحة؛ لضمان استخدامها بكفاءة وفعالية، ويُمكن أن يشمل ذلك تحديد احتياجات ومتطلبات المشروع أو المؤسسة، وتحديد أولويات المهام والأنشطة، وتخصيص الموارد لمهام محدَّدة، ومراقبة استخدامها، وإجراء التعديلات حسب الحاجة لضمان استخدام الموارد بشكل فعّال. يُمكن أن تكون إدارة الموارد عاملًا حاسمًا في نجاح أي مشروع أو مؤسسة، ويُمكن أن يؤدي ضعف إدارة الموارد إلى ضعف الكفاءة، والتأخير أو الفشل في إنجاز الأعمال، وتجاوز الميزانيات المحدَّدة، والكثير من المشكلات التي يُمكن أن تؤثر سلبًا على نتائج المشروع. من ناحية أخرى، تساعد الإدارة الفعّالة للموارد في ضمان إنجاز المشاريع في وقتها المحدَّد وفق حدود الميزانية ومعايير الجودة المطلوبة.

تُستخدم إدارة الموارد و إدارة المشاريع لجدولة أنشطة العمل والتخطيط لها، مما يجعل عملية التخطيط العام للمشروع أكثر كفاءة، ويُمكن أن يساعد التنفيذ السليم لتقنيات إدارة الموارد في استخدام الموارد في المؤسسة بشكل أكثر فعالية.

تكاليف المشروع Project Cost

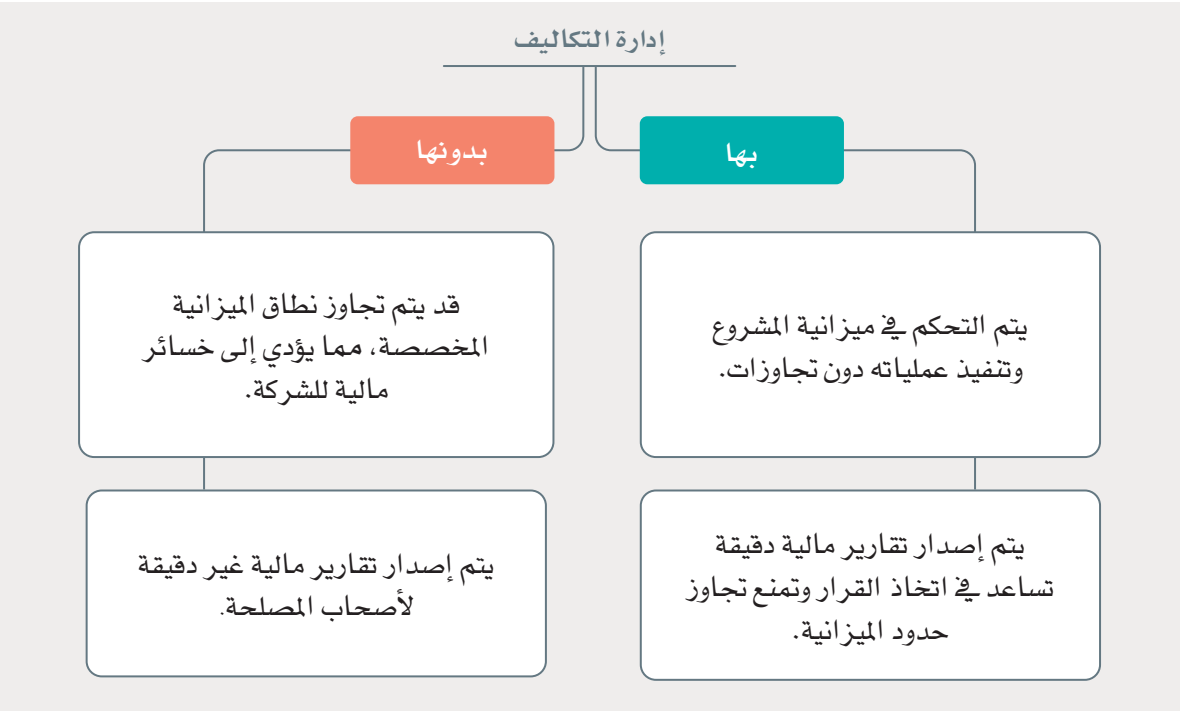
تكتسب إدارة التكاليف أهمية خاصة في إدارة المشاريع، ولفهم هذه الأهمية بشكل أفضل، ستتعرّف على مكونات إدارة التكاليف وكيفية تقدير التكاليف والتحديات التي تواجهها، وأنواع الموارد في المشاريع، وعلى الأدوار والمهام التي يتم تعيينها لإدارة التكاليف.

هناك نوعان من التكاليف لأي مشروع:

التكاليف المباشرة:
وتشمل نفقات العمالة والمواد والأدوات.

التكاليف غير المباشرة:
وتشمل نفقات التشغيل مثل: الكهرباء والإنترنت والوقود.

أهمية إدارة التكاليف: Importance of Cost Management



العناصر التي تؤخذ في الاعتبار في تقدير تكاليف المشروع:
Elements Taken into Account in Project Cost Estimation

الموارد البشرية:
تتمثل في تكلفة أجور أعضاء الفريق ومدة العمل في المشروع.

المواد والمعدات:
تتمثل في تكلفة الاستحواذ على الأدوات، والبرمجيات، وتكلفة المعدات، والتصاريح القانونية وغيرها.

المرافق:
تتمثل في الإيجارات المدفوعة لمساحة العمل.

الموردون:
هم المقاولون الخارجيون أو الداخليون.

التحديات والمخاطر:
تؤدي بعض المشكلات أو التحديات إلى انحراف المشروع عن مساره المحدَّد مما يؤدي إلى زيادة التكاليف، وبالتالي يجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة خلال عملية تقدير التكاليف.

تقدير التكاليف Cost Estimation

تقدير التكاليف في إدارة المشاريع هي عملية التنبؤ بالموارد المالية وغيرها من الموارد المطلوبة لإكمال المشروع ضمن نطاقه المحدَّد.

التحديات التي تواجه عملية تقدير التكاليف

عملية تقدير التكاليف ليست سهلة، وقد تكون غير دقيقة في بعض الأحيان، خاصةً في المشاريع التقنيّة الحديثة، ويوضِّح الجدول 1.13 بعض المشكلات التي تواجه عملية تقدير التكاليف.

جدول 1.13: التحديات في عملية تقدير التكاليف

التعجُّل في تقدير التكاليف	قد يتم في كثير من الحالات تقدير التكاليف قبل وضوح متطلبات المشروع بشكلٍ كامل، وبالتالي يجب مراجعة التكاليف بشكلٍ دوري أثناء سير المشروع؛ لتجنب تجاوز الميزانيات المحدَّدة.
قلة الخبرة في تقدير التكاليف	تلعب الخبرة دورًا مهمًا في دقة تقدير التكاليف، ويساهم وجود بيانات من مشاريع سابقة أو مشابهة في تقديرها بدقة أكبر.
ميل الطبيعة البشرية لتقليل التكاليف	قد يميل مدير المشروع إلى تقدير التكاليف بشكلٍ أقل مما هي عليه بالفعل، وذلك مثلًا لعدم إدراكه للجوانب الفنية الدقيقة للمشروع، ومن المهم أن يقوم مدير المشروع بإشراك أعضاء الفريق في عملية تقدير التكاليف؛ للاستفادة من خبراتهم الفردية في الجوانب الفنية المختلفة للمشروع.
ضغوطات الإدارات وأصحاب المصلحة لخفض التكاليف	تمارس الإدارات وأصحاب المصلحة ضغوطًا على مدير المشروع لخفض التكاليف، ويُمكن أن يؤدي هذا الضغط إلى حدوث أخطاء في تقدير التكاليف.

تعيين الموارد Resource Mapping

يتطلب تنفيذ مهام المشروع الكثير من الموارد، ويُمكن أن تكون هذه الموارد الضرورية لإنجاز مهام المشروع على شكل معدات أو مرافق أو تمويل أو موارد بشرية (موظَّفو المشروع)، حيث يُمثِّل العجز أو عدم كفاية بعض هذه الموارد عائقًا أمام إكمال مهام المشروع. على سبيل المثال، في مشروع بناء المنزل لا يُمكن إنشاء مُخطَّط هندسي له دون مدير المشروع والمهندس المعماري.

أنواع الموارد Resource Types



موارد قابلة للتخزين:

هي موارد ملموسة، ويُمكن تخزينها أو تحويلها إلى أموال عند الحاجة مثل: الأدوات، والآلات، والمعدات.



موارد غير قابلة للتخزين:

هي موارد غير ملموسة، ويصعب تقدير قيمتها المالية، ولكنها تساهم في تنفيذ عمليات المشروع وجودة المُنتَج مثل: التراخيص، والعلامات التجارية، وسمعة الشركة المنفِّذة للمشروع وغيرها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الموارد وإدارة المشاريع الناجحة Resources and Successful Project Management

تَتَّسِمُ الموارد بمحدوديتها، ويعتمد تخصيصها للمهام المختلفة على الأولوية الممنوحة لكل مُهِمَّة في المشروع، ويتم ترتيب أولويات هذه الموارد باستخدام طريقة **المسار الحرج** (Critical Path)، والتي ستدرسها بمزيد من التفصيل لاحقًا. يمثِّل أعضاء فريق بناء المنزل الذين يعملون في المشروع الموارد الحيوية لهذا المشروع، والهدف الأساسي هو إنشاء مُخطَّط زمني أكثر كفاءة. على سبيل المثال، يُمكن أن يحتوي فريق بناء المنازل على ما يقرب من ثلاثة بنَّائين، مما يسمح بتقليل مدة المشروع إلى أقصى حد ممكن.



شكل 1.21: كفاءة استخدام الموارد

الموارد البشرية Human Resources (HR)

تُعدُّ إدارة الموارد البشرية من أهم الإدارات في المؤسسات والشركات، حيث تركِّز على العنصر البشري الذي سيقوم بتنفيذ المهام والأنشطة في تلك المؤسسة أو الشركة.

فريق المشروع (Project Team):
فريق المشروع هو فريق تم اختياره لتنفيذ مشروع معين.

العمل كفريق Working as a Team

فوائد العمل الجماعي:

- يُعزِّز الإبداع والتعلُّم.
- يمزج بين نقاط قوة أعضاء الفريق، مما يخلق نوعًا من التكامل.
- يُعزِّز بناء الثقة.
- يُعلِّم مهارات حل النزاعات.
- يُعزِّز الشعور بالانتماء.

التقسيم إلى فِرَق عمل فرعية Division into Sub-Teams

للقيام بالعمل بشكلٍ فعّال، قد يكون ضروريًا تقسيم فريق العمل إلى فِرَق فرعية، حيث يساهم تشكيل فِرَق عمل أصغر في تقسيم العمل إلى أجزاء أصغر وأبسط، مما يعني أن كل فريق فرعي يمكنه أداء مُهِمَّته المحدَّدة خلال فترة زمنية محدَّدة. على سبيل المثال، يُمكن تنفيذ مُهِمَّة إعداد تصميمات بناء المنزل الخارجية بشكلٍ متزامن مع مُهِمَّة التصميم الداخلي، وبهذه الطريقة يُمكن إكمال المهام غير المرتبطة ببعضها في الوقت نفسه من قبل فِرَق فرعية مختلفة وبالتالي إنجاز العمل في أقل وقت ممكن.

أهم معايير اختيار فريق العمل
The Most Important Criteria for Selecting a Work Team

التخصص والخبرات السابقة:
يُنصح باختيار أعضاء الفريق المتخصصين وذوي الخبرة السابقة في مجالات عملهم في المشروع.

مهارات أعضاء الفريق:
اختيار أعضاء الفريق بمهارات متنوعة ومتكاملة تخدم طبيعة المشروع.

السمات الشخصية لأعضاء الفريق:
مراعاة الجوانب الشخصية لأعضاء الفريق مثل: الالتزام، والحماس، والاستعداد للعمل وغير ذلك من السمات المرغوبة.

نقاط يجب مراعاتها للعمل الجماعي الناجح
Points to be Considered for Successful Teamwork

فريق المشروع هو كيان ديناميكي يتمتع باستقلالية نسبية واتصال داخلي قوي، ويتطلب:

- تنوع التخصصات والمهارات وتكاملها بين أعضاء الفريق.
- توزيع المهام على الأعضاء بشكلٍ متوازن، والتي لكل منها طبيعتها الخاصة.
- المشاركة الفعّالة للأعضاء في صُنع القرار داخل الفريق.
- وجود قنوات اتصال فعّالة بين مدير المشروع وأعضاء الفريق، وكذلك مع الأطراف الأخرى المشاركة في المشروع.
- توفير بيئة عمل تسمح بالتعبير عن الرأي والنقد البنّاء وتوليد الأفكار والمقترحات التي تساهم في رفع جودة الأداء في المشروع.
- حل الخلافات والنزاعات بين الأعضاء بسرعة والحفاظ على وحدة الفريق والتركيز على تحقيق أهداف المشروع.

العلاقات Relationships

ترتبط معظم مهام المشروع ببعضها، فعلى سبيل المثال يجب إكمال مُهِمَّة لبدء مهام أخرى؛ حيث تعتمد كثير من المهام على مهام أخرى بشكلٍ يُسمَّى تَبعِيَّات العلاقات بين المهام، وقد يكون لمُهِمَّة متعددة المهام مُهِمَّة سابقة وأخرى لاحقة. **فالتَبَعِيَّة** (Dependency) تعني اعتماد المُهِمَّة بشكل كلي أو جزئي على تنفيذ مهام أخرى في المشروع، و يُشار إلى تلك التبعيات أيضًا بالعلاقات المنطقية، حيث يُمكن أن تكون العلاقة المنطقية تبعية بين مهام المشروع، أو بين النقاط المحورية للمشروع والمهام.

يُعدُّ فهم تبعية المهام في إدارة المشروع عنصرًا أساسيًا في إدارة المسار الحرج للمشروع. على سبيل المثال، أثناء إنشاء مبنى، لا يُمكن إعداد مستندات البناء قبل اكتمال المُخطَّط الهندسي للمبنى، ولا يُمكن لفريق البناء الموافقة على المُخطَّط الهندسي دون تحضير مستندات البناء.

توجد لإدارة المشروع أربعة أنواع من العلاقات المنطقية:

الانتهاء للبداية



يجب إكمال المُهِمَّة المحدَّدة قبل أن تبدأ المُهِمَّة التالية.

الانتهاء للانتهاء



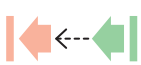
من الضروري أن تنتهي مُهِمَّة محدَّدة حتى تنتهي المُهِمَّة الأخرى (تنتهي كلتا المُهِمَّتين).

البداية للبداية



يجب أن تبدأ المُهِمَّة المحدَّدة حتى تبدأ المُهِمَّة الأخرى (تبدأ كلتا المُهِمَّتين معًا).

البداية للنهاية



يجب أن تبدأ المُهِمَّة المحدَّدة قبل أن تنتهي المُهِمَّة الأخرى.

تُعدُّ عملية تقسيم مهام المشروع إلى مجموعة من المهام الفرعية أحد المبادئ الأساسية في إدارة المشروع، وذلك للمساعدة في متابعة سير العمل وضمان اكتمال المشروع في الوقت المحدَّد، وكذلك لتطوير خطّة إدارة المخاطر وتحليلها والاستجابة لها.

خطّة إدارة المخاطر Risk Management Plan

تهدف هذه الخطّة إلى تقليل أي مشكلات محتملة تنشأ عن المخاطر التي قد تؤثر سلبًا على إكمال المشروع، ومن أمثلة المخاطر في العمل تعرُّض عامل بناء لحادث أثناء عمله في بناء منزل، أو توقف بطارية الروبوت عن العمل أثناء المشاركة في مسابقة. من المهم ترتيب المخاطر حسب أولويتها، وتحديد مجموعة من الإجراءات؛ لتقليل احتمالية وجود مخاطر والحدّ من تأثيرها على المشروع في حالة حدوثها.

فيما يلي أبرز المخاطر التي قد تواجهها معظم المشاريع:

أنواع المخاطر وإجراءات الحدّ منها Types of Risks and Actions to Mitigate them

- **التخطيط غير الدقيق للمشروع:** يجب مراجعة خطّة المشروع وتحديثها بشكل دوري.
- **التغييرات المستمرة في نطاق العمل:** يجب عقد اجتماعات دورية مع أصحاب المصلحة وفريق المشروع والاتفاق على آلية واضحة لتعديل نطاق العمل، أو تغييره.
- **غياب أو استبدال قيادة الفريق أو أعضائه:** يجب وضع خطّة احتياطية تتضمَّن بدائل لأعضاء الفريق وخاصة أولئك الذين يعتمد عليهم نجاح المشروع.
- **الحساب الخاطئ لتكلفة المشروع:** يجب القيام بمراجعة الخطّة المالية بشكلٍ دوري، وتخصيص أموال احتياطية من ميزانية المشروع لاحتواء المخاطر أو التكاليف الطارئة.
- **سوء تقدير الوقت المطلوب لإنهاء المشروع:** مراجعة جدول المشروع، ووضع إجراءات احتياطية لإكمال العمل في الوقت المناسب مثل: زيادة الموارد البشرية، أو استخدام الحلول التقنيّة لمتابعة العمل عند الحاجة.

العمل عن بُعد Remote Work

يشير مصطلح **العمل إلكترونيًا** (Telecommuting) إلى نوع من المرونة في العمل يُصرَّح فيه للموظَّف بأداء الواجبات والمسؤوليات والأنشطة الوظيفية في موقع مختلف عن موقع الشركة أو الوظيفة التي يعمل بها.

على سبيل المثال، في مشروع بناء منزل، قد لا يكون الوجود الفعلي للمهندس المعماري مطلوبًا لجميع المهام مثل مُهِمَّة اختيار الأثاث، وفي مثل هذه الحالة يمكنه أن يعمل من المنزل، ويؤدّي المهام المحدَّدة لذلك.

مزايا وعيوب العمل عن بُعد للشركات:
Advantages and Disadvantages of Remote Work for Companies

المزايا:

- تقليل التكلفة المالية لعدم وجود حاجة لتوفير مقر عمل للموظَّف.
- يُمكن أن يكون العاملون عن بُعد أكثر إنتاجية وذلك لعدم تعرضهم للمقاطعات التي تحدث أثناء العمل في المكتب أو مقر العمل.
- تحسين الدافعية للعمل والالتزام، وخفض مستويات التوتر، والحدّ من الغياب بسبب المرض.
- استمرار الموظَّف في العمل بدوام جزئي من المنزل عند مواجهته ظروفًا شخصية معينة.

العيوب:

- زيادة التكاليف على الشركة بسبب الحاجة إلى توفير أجهزة الحاسب ووسائل الاتصال للعمل عن بُعد.
- صعوبة إدارة ومراقبة أداء العاملين عن بُعد.
- يحمل بعض المخاطر الأمنية المتعلقة بالمعلومات التي يستخدمها العامل عن بُعد.
- بعض أنواع الوظائف غير مناسبة للعمل عن بُعد مثل أعمال البناء.

مزايا وعيوب العمل عن بُعد للموظَّف:

Advantages and Disadvantages of Remote Work for the Employee

المزايا:

- يوفِّر العمل عن بُعد الوقت الذي يقضيه الموظَّف كل يوم في الذهاب إلى مكان العمل.
- يوفِّر العمل عند بُعد تكلفة استخدام السيارات أو وسائل النقل العام للتنقل من وإلى العمل.
- يوفِّر المرونة في أداء العمل ضمن حدود المسؤولية المهنية.
- يساهم في تحقيق توازن أفضل بين العمل والحياة الأسرية.

العيوب:

- قد يشعر العامل عن بُعد بالعُزلة؛ لأنه يفقد قدرًا كبيرًا من التفاعل الاجتماعي مع زملائه في العمل.
- قد لا تكون بيئة المنزل مناسبة للعمل عن بُعد بشكل فعّال، وذلك بسبب الإزعاج المتكرر فيها.
- قد لا يحتوي المنزل على المساحة المطلوبة لتوفير بيئة مناسبة للعمل عن بُعد.
- قد تؤدي البيئة المنزلية إلى عدم الانضباط الذاتي للعمل عن بُعد دون إشراف.

أمثلة على المخاطر في مشروع بناء المنازل: Examples of Home Construction Project Risks

قد تنشأ في عملية البناء المخاطر التالية، كما هو موضَّح في الجدول 1.14.

جدول 1.14: المخاطر وأسبابها في مشروع بناء منزل

المخاطر	الأسباب
المخاطر المالية والاقتصادية	• توافر الميزانيات اللازمة للعمل. • تقلبات أسعار الصرف. • العجز المالي.
المخاطر المتعلقة بالإنشاء	• النزاعات العمالية. • إنتاجية الموظَّف. • التغييرات المتكررة في التصميم. • تعطل المعدات.
المخاطر البيئية	• شروط الحصول على التصاريح اللازمة. • التلوث وقواعد السلامة.
المخاطر المتعلقة بالتصميم	• نطاق التصميم غير المكتمل. • خلل في التصميم. • حدوث أخطاء وتجاوزات. • متطلبات غير مكتملة.

تمرينات

1

حَدِّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:	صحيحة	خاطئة
1. المشروع هو نشاط مؤقت بطبيعته لتحقيق هدف معين أو نتيجة محدَّدة.	○	○
2. تتضمَّن إدارة المشروع إنشاء خريطة طريق تحدد المهام المختلفة والنقاط المحورية له، والموارد اللازمة لتحقيق أهدافه ضمن إطار زمني محدَّد.	○	○
3. يشمل تخطيط المشروع البدء والتخطيط والتنفيذ والمراقبة والتحكم وإغلاق المشروع.	○	○
4. مدير المشروع هو شخص محترف مسؤول عن قيادة فريق العمل وإدارة المشروع من البداية إلى النهاية.	○	○
5. يجب مراعاة العناصر الأساسية للمشروع، وهي النطاق والوقت والتكلفة، قبل تحديد أولويات المهام.	○	○
6. تشير النقاط المحورية والمواعيد النهائية للمشروع إلى الأمر ذاته.	○	○
7. تقدير تكاليف المشروع هو أحد المهام الأساسية لمدير المشروع.	○	○
8. يُمكن تقسيم مهام المشروع إلى مهام فرعية.	○	○
9. تقتصر منافع العمل عن بُعد على الموظَّفين فقط.	○	○
10. تهدف خطّة إدارة المخاطر إلى تقليل المشكلات المحتملة الناشئة عن المخاطر التي قد تؤثر سلبًا على إكمال المشروع.	○	○

2

صِفْ الفرق بين تخطيط المشروع وإدارة المشروع.

3 افترض أنك تعمل في مشروع تصميم هندسي لصنع بطارية لسيارة كهربائية في بلدك. قم بإجراء أداة التحليل الرباعي (SWOT) لهذا المشروع.

4 اشرح الفرق بين مصطلحات المُخطَّط الزمني، والموعد النهائي، والنقطة المحورية.

5 اشرح الفرق بين الطريقتين الأساسيتين لتحديد أولويات المهام.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

6 اشرح الفرق بين إدارة التكاليف وإدارة الموارد.

7 كيف تساهم الموارد البشرية في الأداء الفعّال للشركة؟

8 اشرح أنواع العلاقات بين المهام في إدارة المشروع.

9 اشرح بإيجاز أهمية خطّة الإدارة في الشركة.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

الدرس الخامس

برمجيات إدارة المشاريع

خطّة المشروع Project Plan

تُعدُّ خطّة المشروع مستندًا رسميًا يُجهَّز لغرض مراقبة المشروع ومتابعة تنفيذه، كما أنها بمثابة المفتاح لنجاح المشروع، وتكتسب أهمية خاصة في كونها أهم مستند يجب إعداده قبل البدء بأي مشروع، وهي أيضًا من أهم مكونات عملية إدارة المشروع، ولذلك يجب إنشاؤها بعناية، مع مراعاة تجزئة المشروع إلى مهام فرعية يجب القيام بها لإتمامه.

دورة حياة إدارة المشروع Project Management Life Cycle

يمُرّ كل مشروع بالمراحل التالية:

1. التهيئة وتكوين المفهوم.
2. التعريف والتخطيط.
3. الإطلاق والتنفيذ.
4. الأداء والتحكم.
5. إنهاء المشروع.

برمجيات إدارة المشاريع Project Management Software

يشكِّل حجم فريق العمل وحجم المشروع نفسه أهم معايير اختيار برمجيات إدارة المشاريع، وتوجد العديد من البرامج المتخصصة للتعامل مع المشاريع الكبيرة مثل **مايكروسوفت بروجكت** (Microsoft Project)، كما توجد برامج أخرى مخصصة للهواتف الذكية والأجهزة اللوحية، وكذلك تلعب منهجية التطوير التي يتم اختيارها دورًا في اختيار البرنامج المناسب. ستستخدِم في مشروعك برنامج **قانت بروجكت** (Gantt Project) الذي يُستخدم على نطاق واسع في مشاريع البناء، والإعلانات، والمشاريع الصناعية متوسطة الحجم، وفي متابعة المهام اليومية لبعض المشاريع.



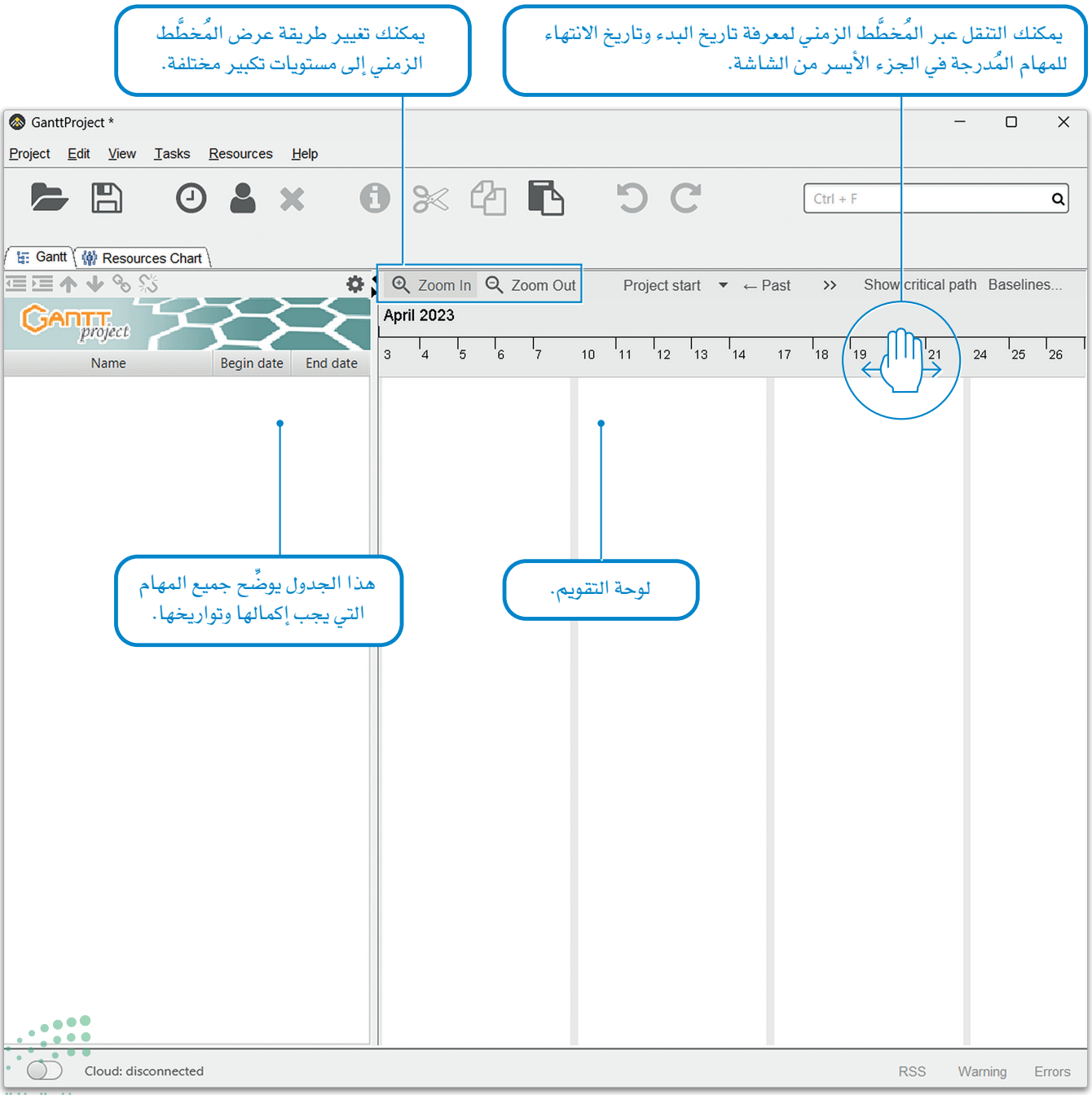
شكل 1.22: تخطيط مشروع باستخدام مُخطَّطات قانت (Gantt)

مُخطَّط قانت Gantt Chart



يوفِّر **مُخطَّط قانت** (Gantt Chart) نطاقًا زمنيًا يساعد في تخطيط مهام محدَّدة في مشروع ما، وتنسيقها، ومتابعتها.

ستقوم بإنشاء مُخطَّط قانت لمشروع تصميم هندسي نموذجي يتبع المراحل الرئيسة لتطوير المُنتَج التي تم ذِكرها سابقًا في الوحدة، ستستخدِم برنامج **قانت بروجكت** (Gantt Project) لتخطيط المشروع ولإنشاء مُخطَّط قانت. يُمكن تنزيل أداة قانت بروجكت مجانًا من الرابط التالي: https://www.ganttproject.biz/.



شكل 1.23: واجهة مُستخدِم قانت بروجكت

لإنشاء مشروع جديد:

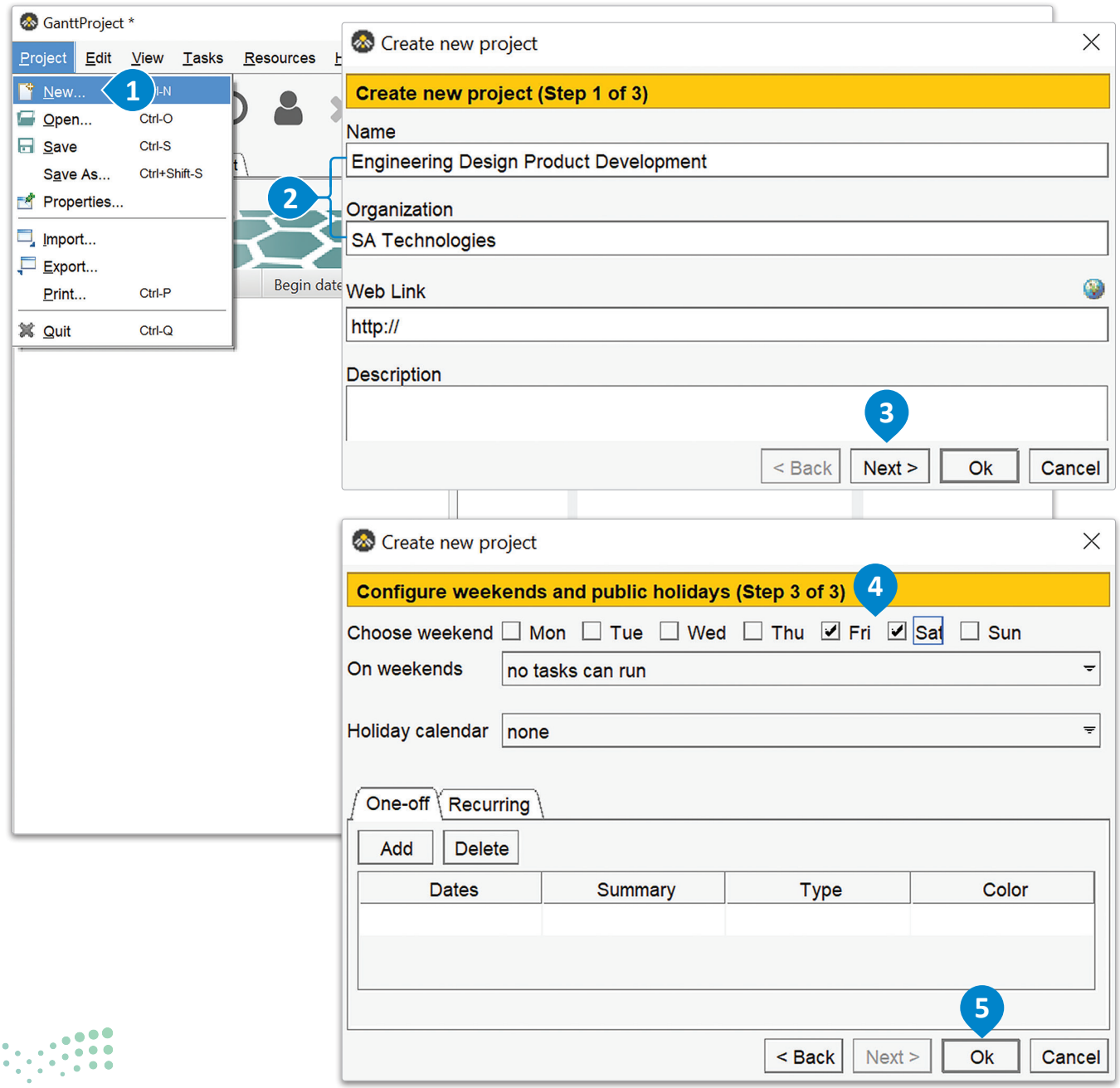
> اضغط على قائمة Project (المشروع)، ثم اضغط على أمر New (جديد). 1

> املأ حقلي Name (الاسم) و Organization (المؤسسة). 2

> اضغط مرتين متتاليتين على زرّ Next (التالي). 3

> اضبط يومي Fri (الجمعة) و Sat (السبت) كتواريخ نهاية الأسبوع. 4

> اضغط على Ok (موافق). 5



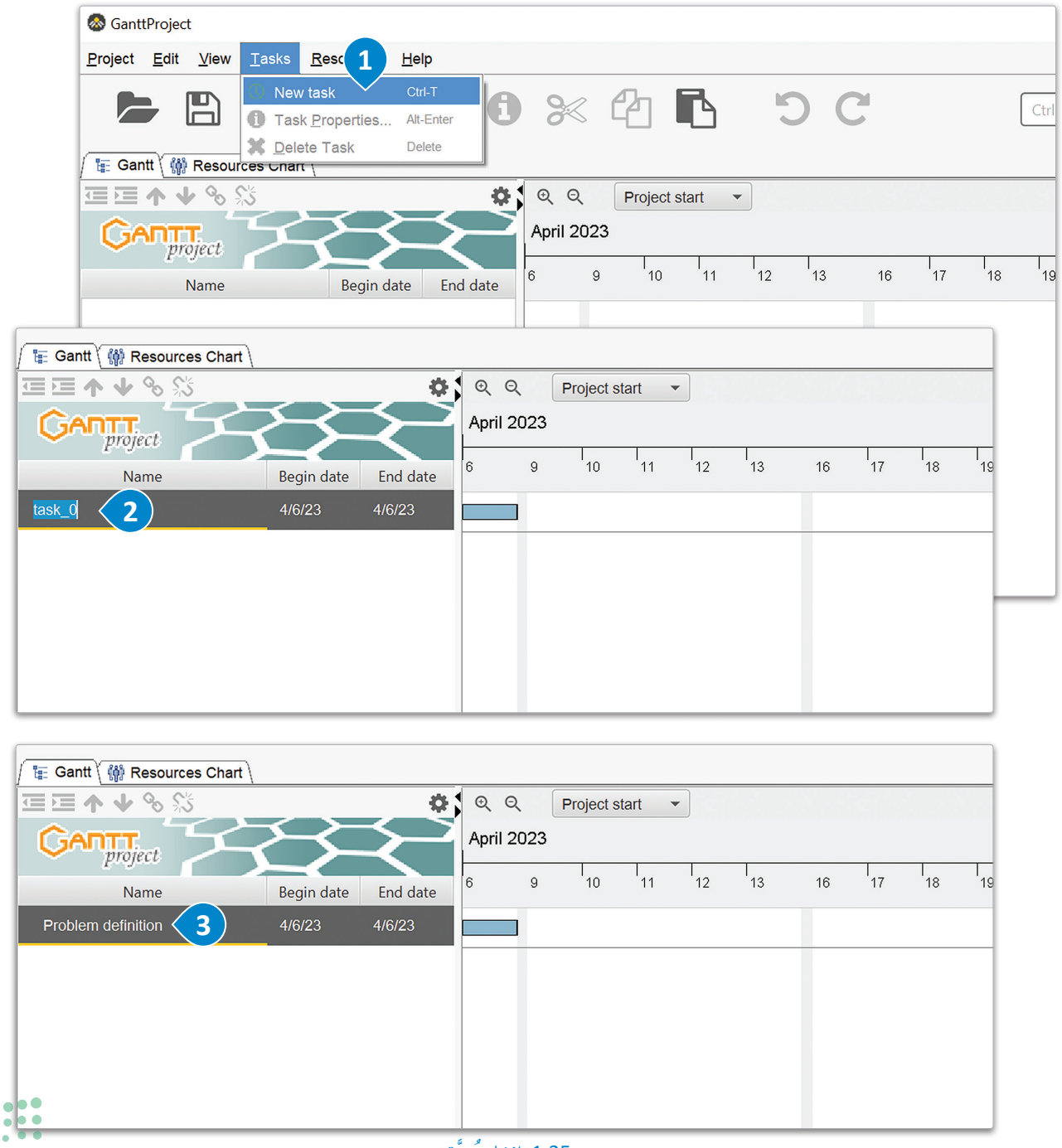
شكل 1.24: إنشاء مشروع جديد

لإنشاء مُهِمَّة جديدة:

> اضغط على قائمة Tasks (المهام)، ثم اضغط على أمر New task (مُهِمَّة جديدة). 1

> سيتم إنشاء مُهِمَّة جديدة باسم افتراضي. 2

> اكتب اسمًا للمُهِمَّة الأولى، على سبيل المثال Problem definition (تعريف المشكلة). 3



شكل 1.25: إنشاء مُهِمَّة جديدة

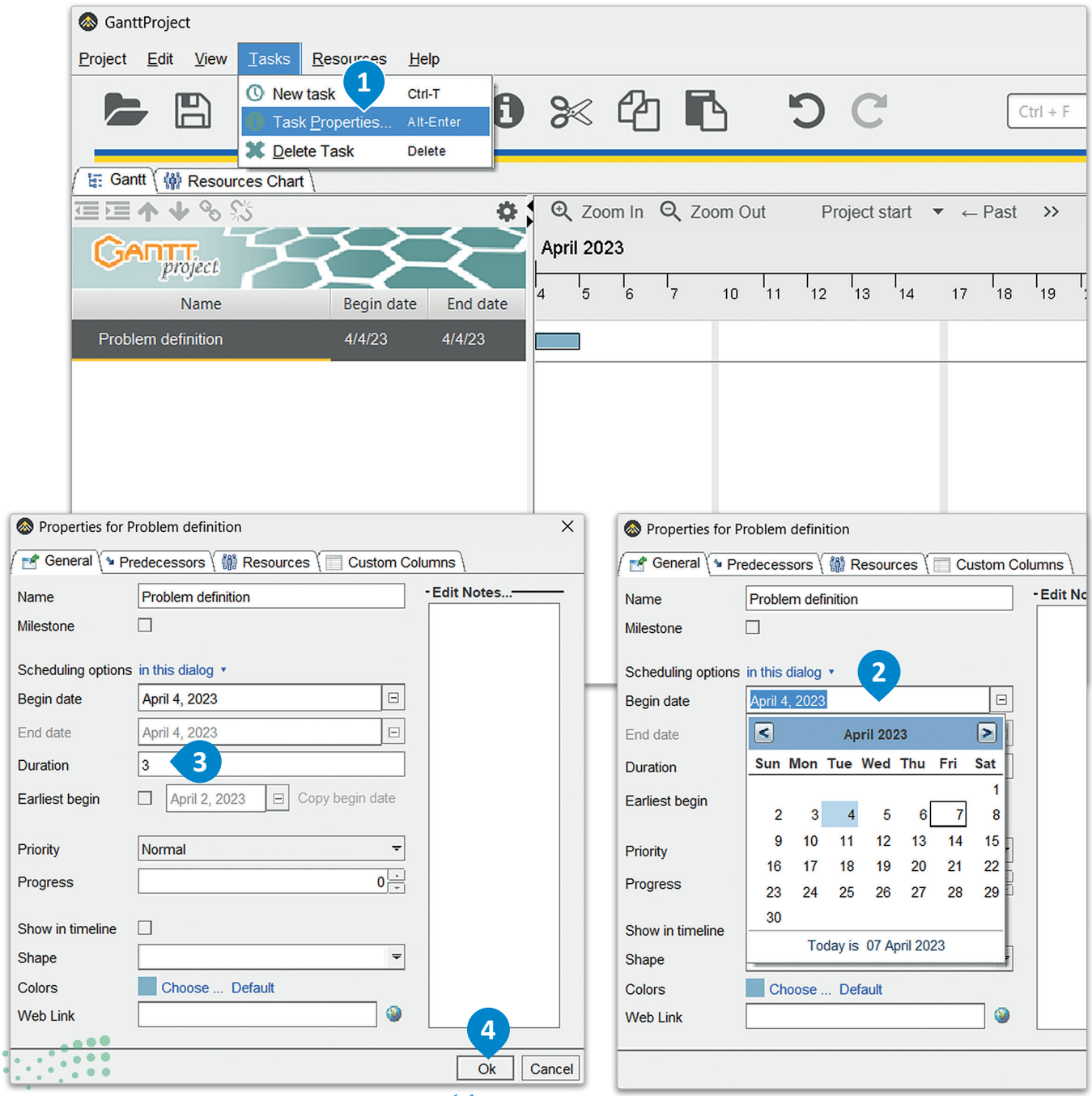
لتغيير خصائص المُهِمَّة:

> من قائمة Tasks (المهام)، حدِّد أمر Task Properties (خصائص المُهِمَّة). 1

> اضبط Begin Date (تاريخ البدء) من خلال الضغط على الزرّ المجاور لحقل النص. 2

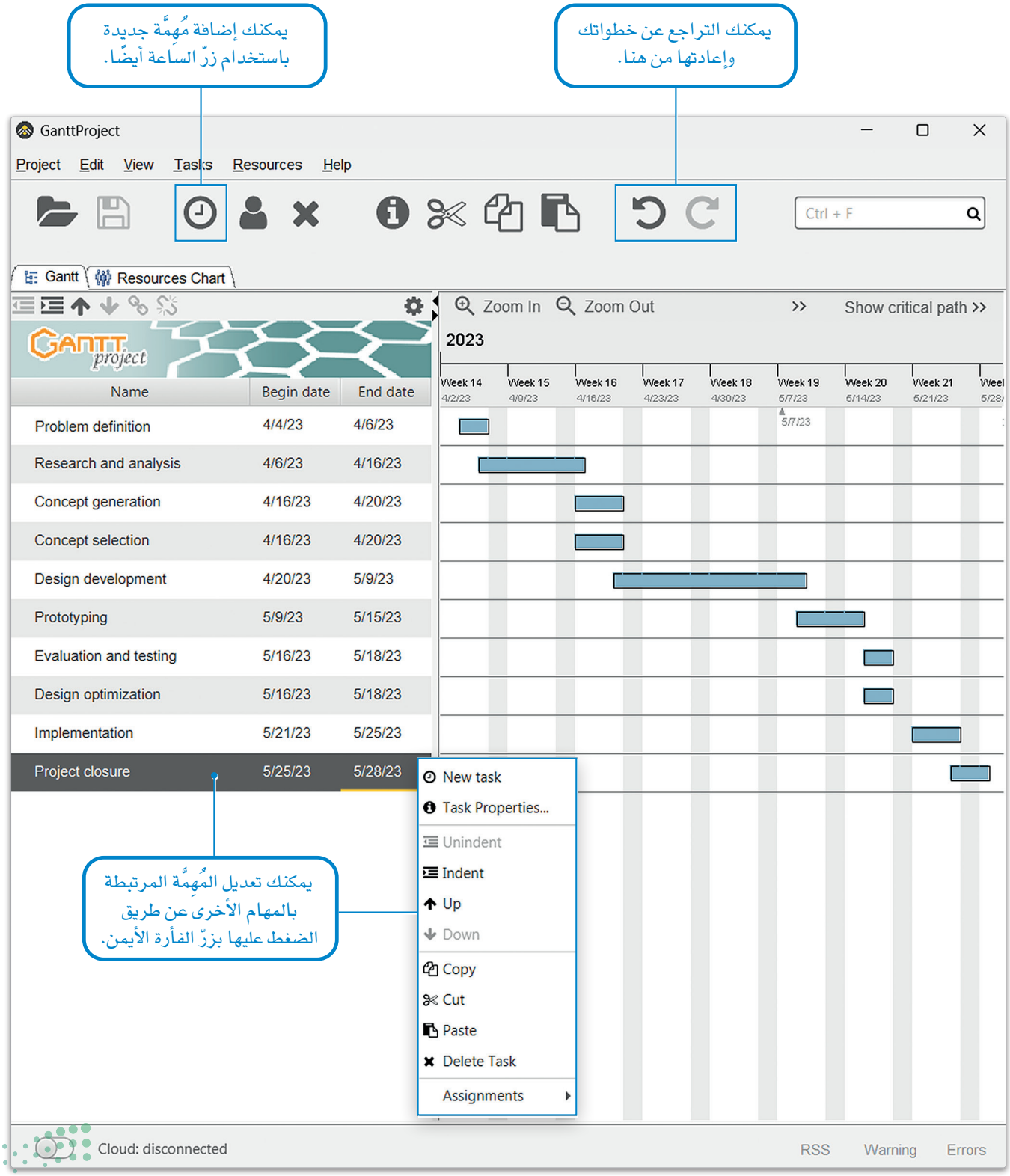
> أضف Duration (مدة) المُهِمَّة لتكون عدد أيام العمل. 3

> اضغط على Ok (موافق). 4



شكل 1.26: تغيير خصائص المُهِمَّة

املأ باقي المُخطَّط بالمراحل التالية لعملية تطوير مُنتَج التصميم الهندسي وبفترات زمنية متوافقة، وسيظهر المُخطَّط بالشكل التالي:



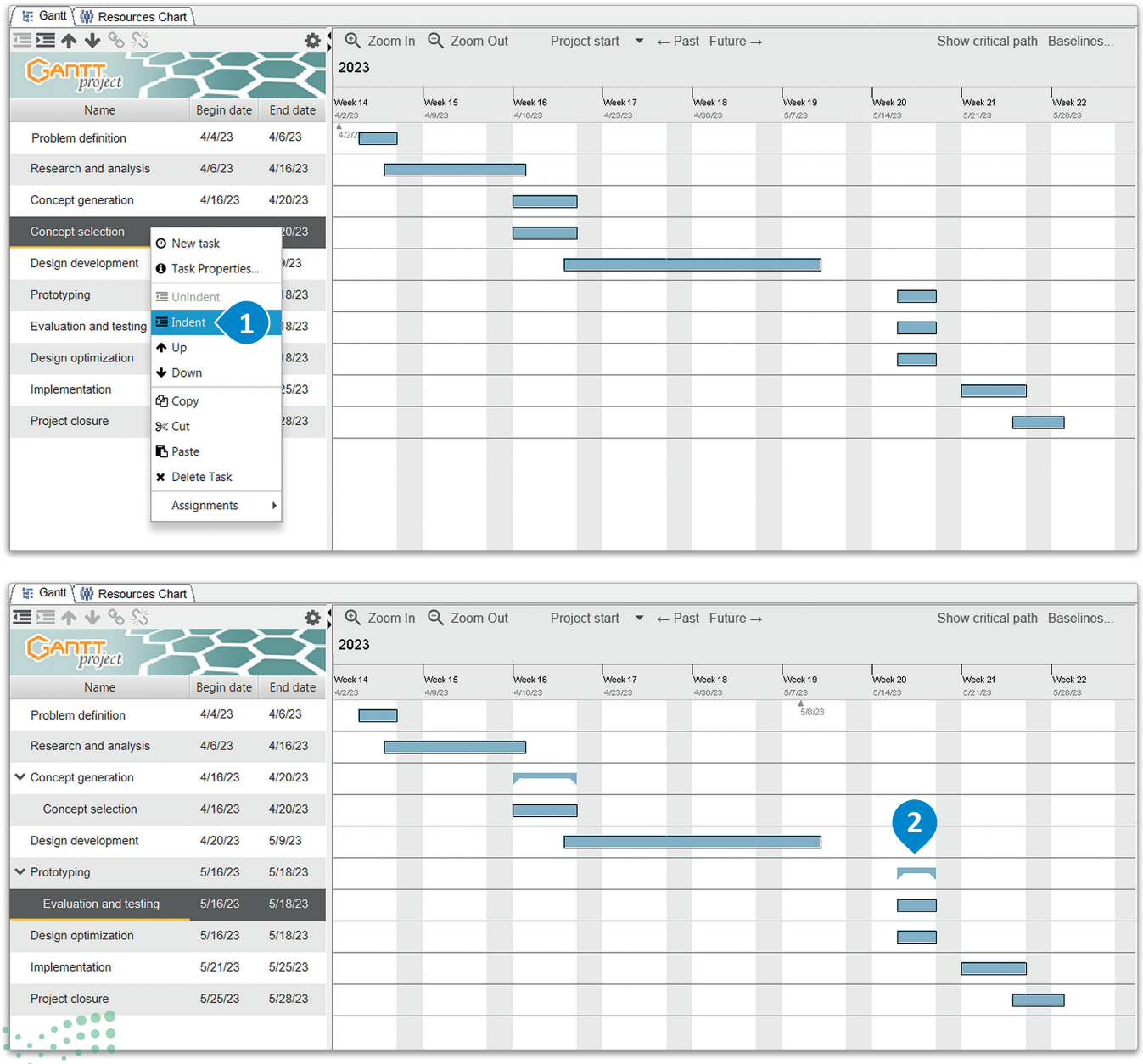
شكل 1.27: تغيير تسلسل المهام

قد تتضمَّن المُهِمَّة الرئيسة مهام فرعية أخرى أيضًا، حيث يتيح لك برنامج قانت بروجكت تحديد المهام الرئيسة والمهام الفرعية أيضًا، وفي هذا المثال ستدمِج مهام **تكوين المفهوم** (Concept Generation)، و**النماذج الأوَّلية** (Prototyping)، و**الاختبار** (Testing)، و**تحسين العمليات** (Optimizing Processes) في مُهِمَّتين رئيستين تتضمَّنان مهام فرعية.

لإنشاء المهام الفرعية:

> اضغط بزرّ الفأرة الأيمن على المُهِمَّة التي تريدها، ثم اضغط على خيار Indent (المسافة البادئة) لجعلها مُهِمَّة فرعية للمُهِمَّة أعلاه. 1

> افعل الشيء ذاته بالنسبة لبقية المهام التي لها مهام فرعية. 2



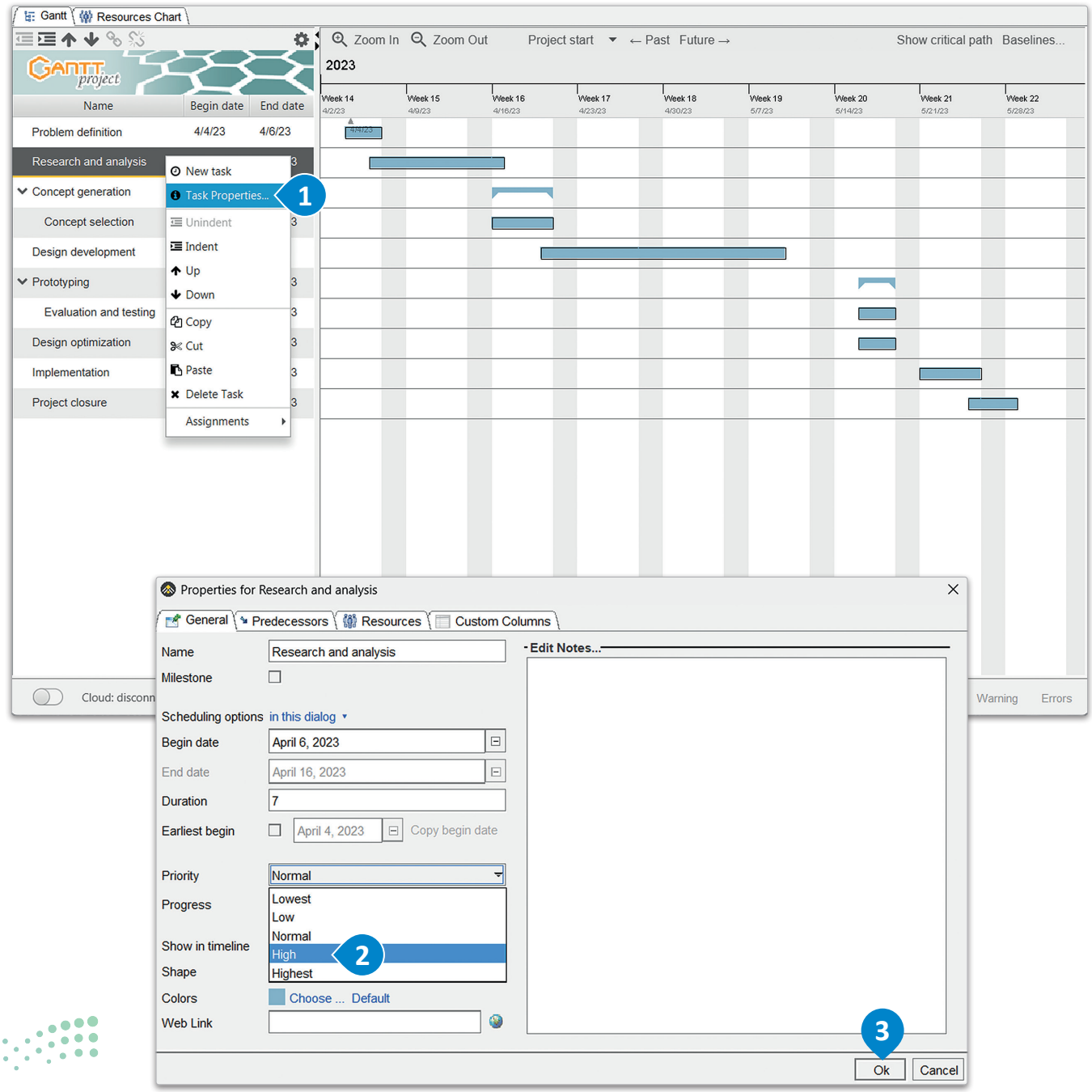
شكل 1.28: إنشاء المهام الفرعية

لتغيير أولوية المُهِمَّة:

> اضغط بزرّ الفأرة الأيمن على المُهِمَّة التي تريدها، ثم اضغط على خيار Task Properties (خصائص المُهِمَّة). 1

> غيِّر أولوية المُهِمَّة من خلال الاختيار من قائمة Priority (الأولوية) المنسدلة. 2

> اضغط على Ok (موافق). 3



شكل 1.29: تغيير أولوية المُهِمَّة

ستُنشئ الآن النقاط المحورية للمشروع، وتتمثل في النقاط الهامة في المشروع وهي: اختيار مفهوم التصميم، وتطوير التصميم، ومراحل التنفيذ النهائية.

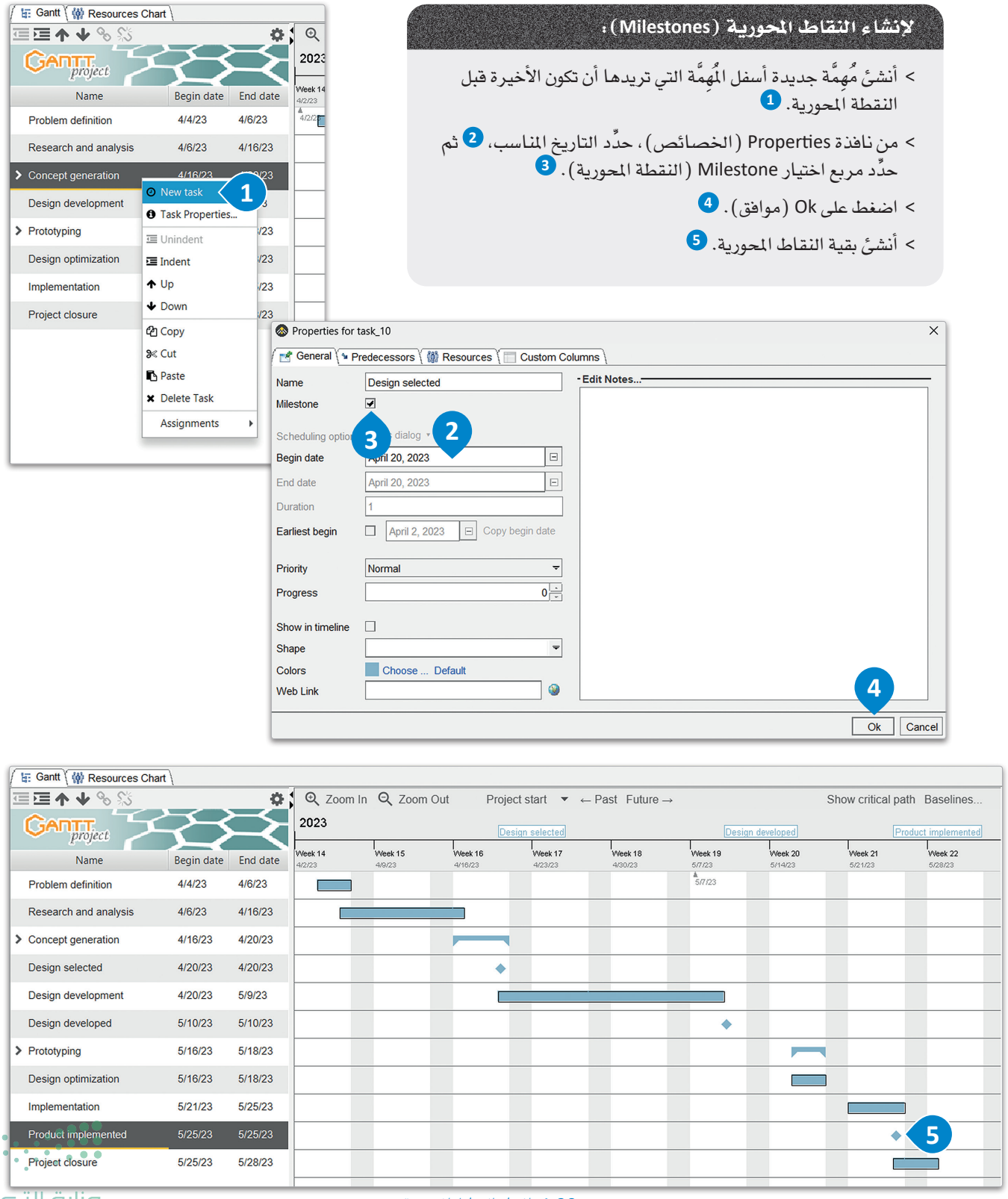
لإنشاء النقاط المحورية (Milestones):

> أنشئ مُهِمَّة جديدة أسفل المُهِمَّة التي تريدها أن تكون الأخيرة قبل النقطة المحورية. 1

> من نافذة Properties (الخصائص)، حدِّد التاريخ المناسب، 2 ثم حدِّد مربع اختيار Milestone (النقطة المحورية). 3

> اضغط على Ok (موافق). 4

> أنشئ بقية النقاط المحورية. 5



شكل 1.30: إنشاء النقاط المحورية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

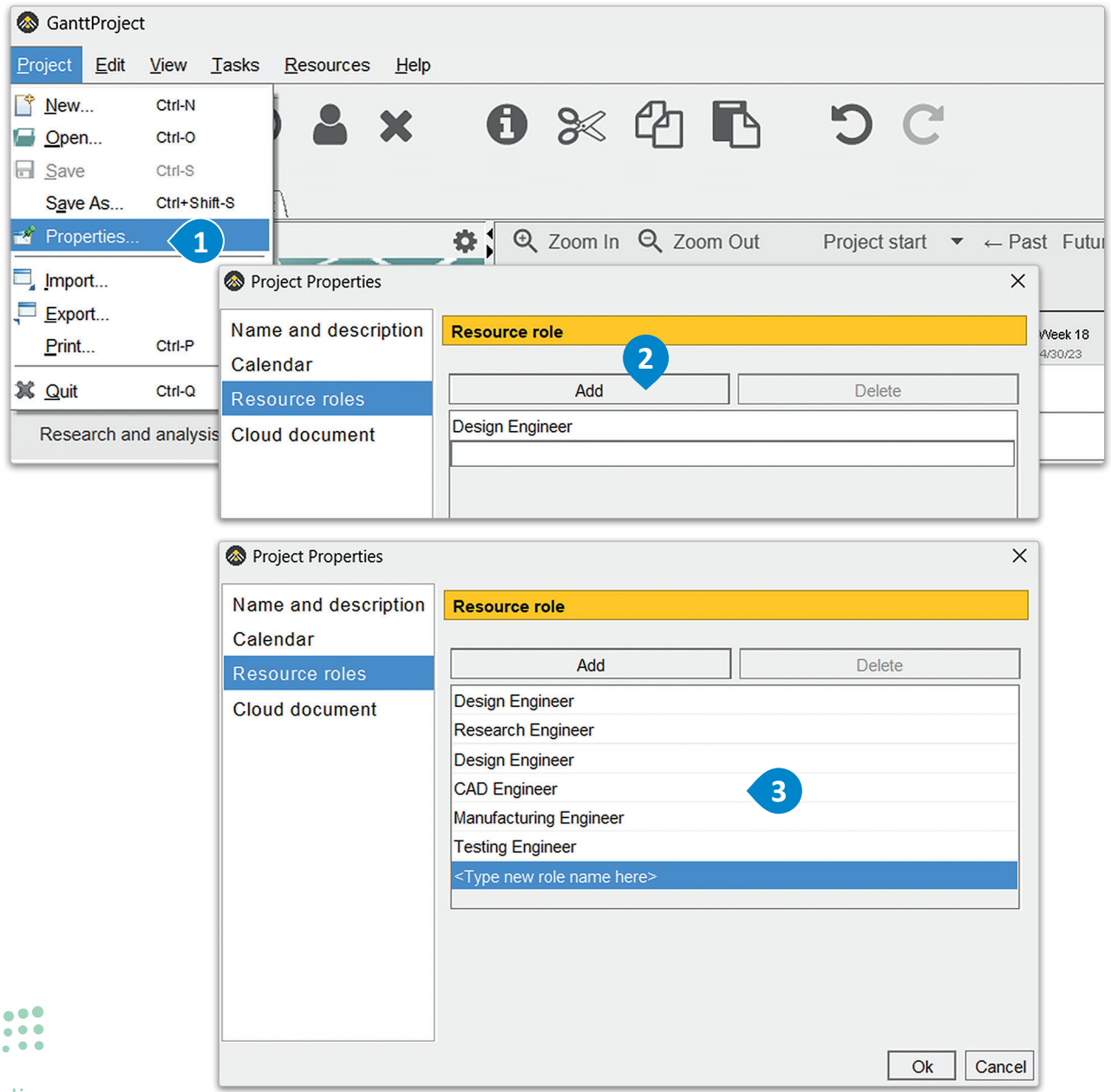
في برنامج قانت بروجكت، يتم تقديم **الأدوار** (Roles) في شكل **موارد** (Resources)، ولتعيين شخص ما إلى دور محدَّد، ستحتاج أولًا إلى إنشاء أنواع الموارد ثم إضافة الأشخاص مع اختيار نوع المَوْرد المناسب. الدور الوظيفي الافتراضي في برنامج قانت بروجكت هو مدير المشروع.

لإنشاء أدوار الموارد:

> من قائمة Project (المشروع)، حدِّد الأمر Properties (الخصائص). 1

> من علامة تبويب Resource roles (أدوار الموارد)، اكتب اسم الدور في مربع النص، ثم اضغط على زرّ Add (إضافة). 2

> أضف بقية أدوار الموارد بالطريقة نفسها. 3



شكل 1.31: إنشاء أدوار الموارد

ستُنشئ الآن الأدوار المناسبة للأشخاص الذين سيتمّ تعيينهم كموارد لكل مُهِمَّة.

لإنشاء الموارد:

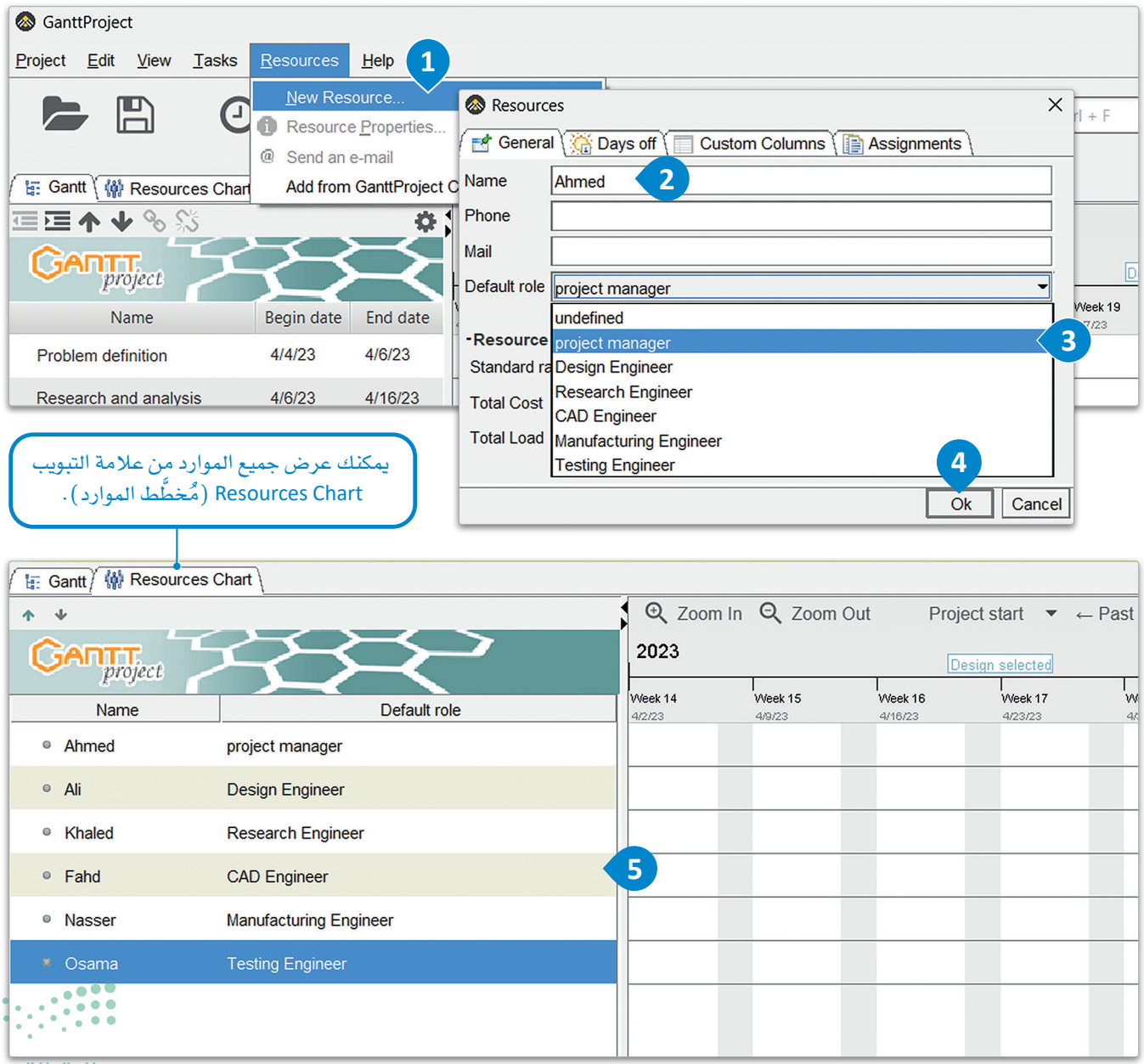
> من قائمة Resources (الموارد)، اختر الأمر New Resource (مَوْرِد جديد). 1

> اكتب Name (الاسم). 2

> أضف دورًا للمَوْرِد الجديد. 3

> اضغط على Ok (موافق). 4

> أضف شخصًا واحدًا لكل دور. 5



شكل 1.32: إنشاء الموارد

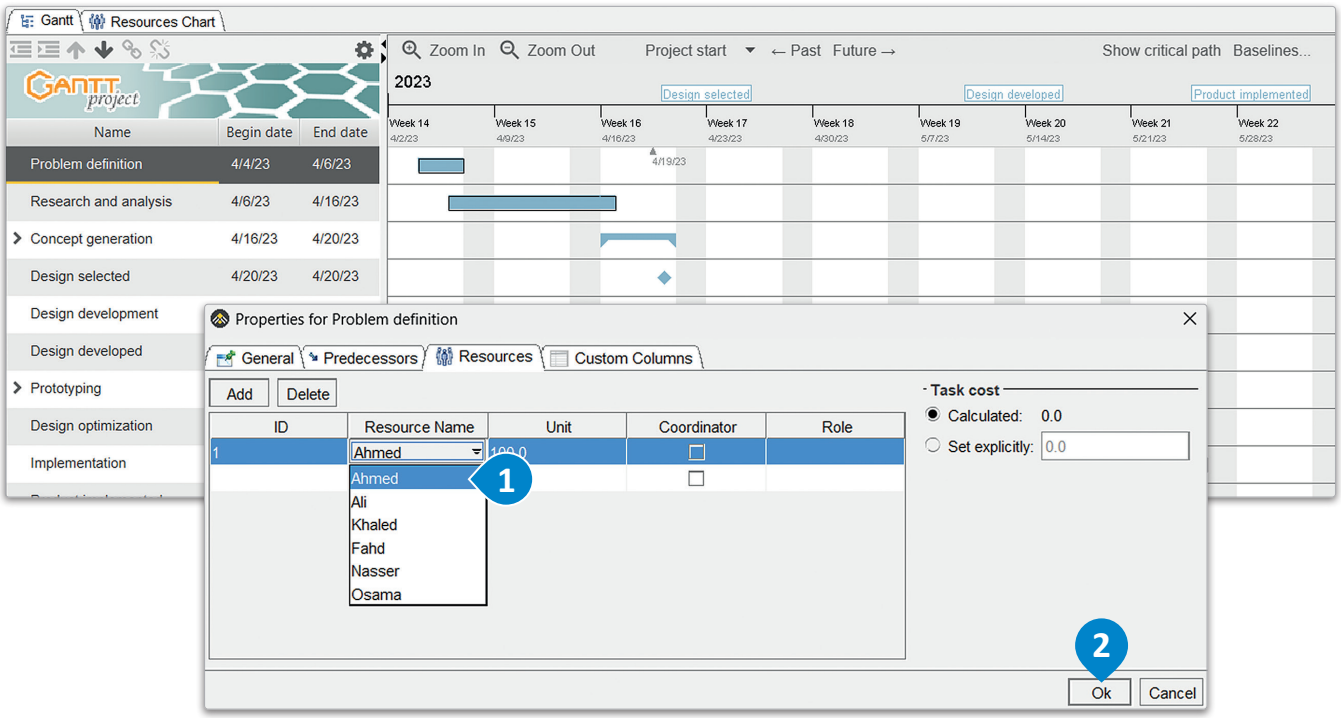
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

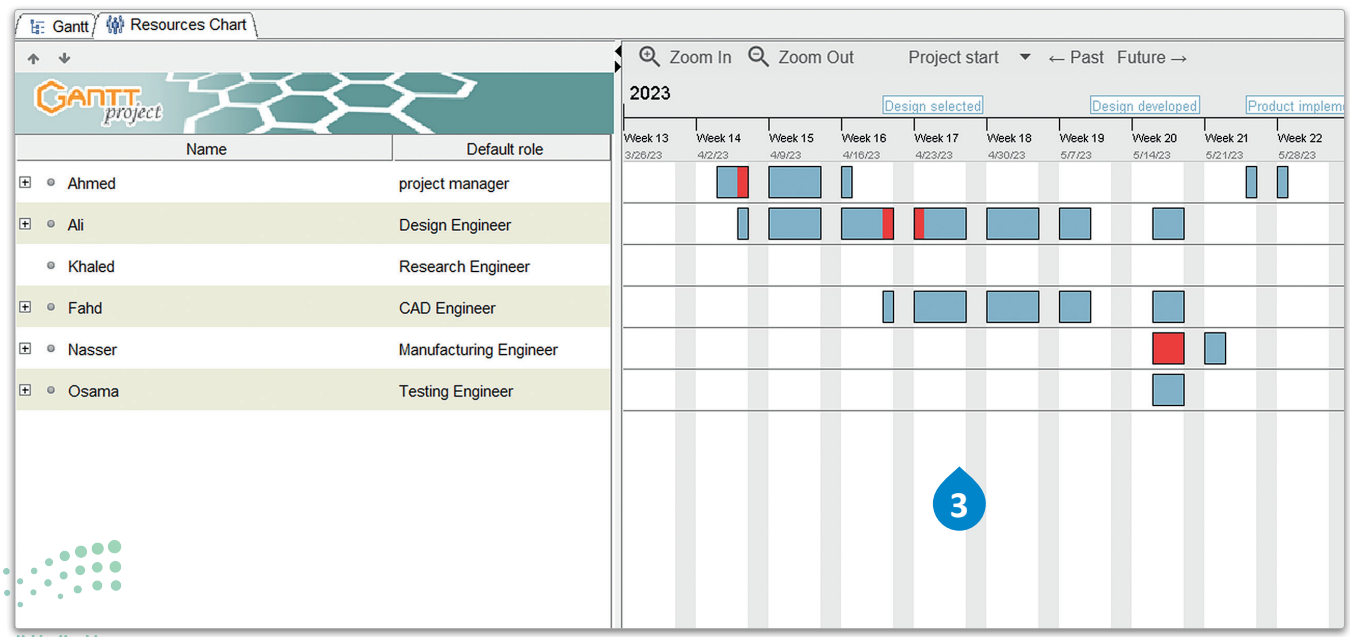
لتعيين موارد للمهام:

> في Properties (خصائص) المُهِمَّة، انتقل إلى علامة تبويب Resources (الموارد)، ثم اختر Resource Name (اسم المَوْرِد) للمَوْرِد الذي تريد تعيينه لهذه المُهِمَّة. 1

> اضغط على Ok (موافق). 2

> عيِّن الموارد لبقية المهام. 3





شكل 1.33: تعيين الموارد للمهام

ستضيف الآن العلاقات بين المهام، وستُنشئ علاقة **الانتهاء للبداية** (Finish to Start) و**البداية للبداية** (Start to Start). ستبدأ مُهِمَّة **تكوين المفهوم** (Concept generation) بعد انتهاء مُهِمَّة **البحث والتحليل** (Research and analysis)، ولذلك ستكون علاقتهما **الانتهاء للبداية** (Finish to Start)، كما يمكنكَ أن تبدأ بمُهِمَّتي **النماذج الأوَّلية** (Prototyping) و**التنفيذ** (Implementation) بشكل متزامن بسبب طبيعتهما التكرارية، ولهذا السبب ستكون علاقتهما **البداية للبداية** (Start to Start).

لإضافة علاقات بين المهام:

> من Properties (الخصائص) لمُهِمَّة Concept generation (تكوين المفهوم)، انتقل إلى علامة تبويب Predecessors (السابقة) وأضف Task name (اسم المُهِمَّة) للمُهِمَّة التي تريد أن تسبقها. 1

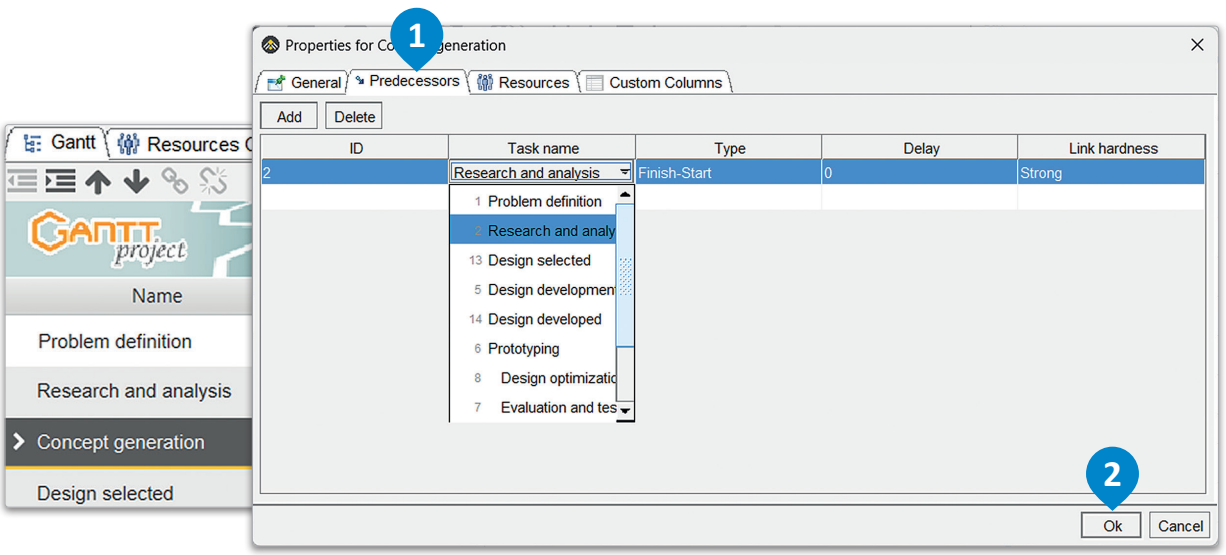
> اضغط على Ok (موافق). 2

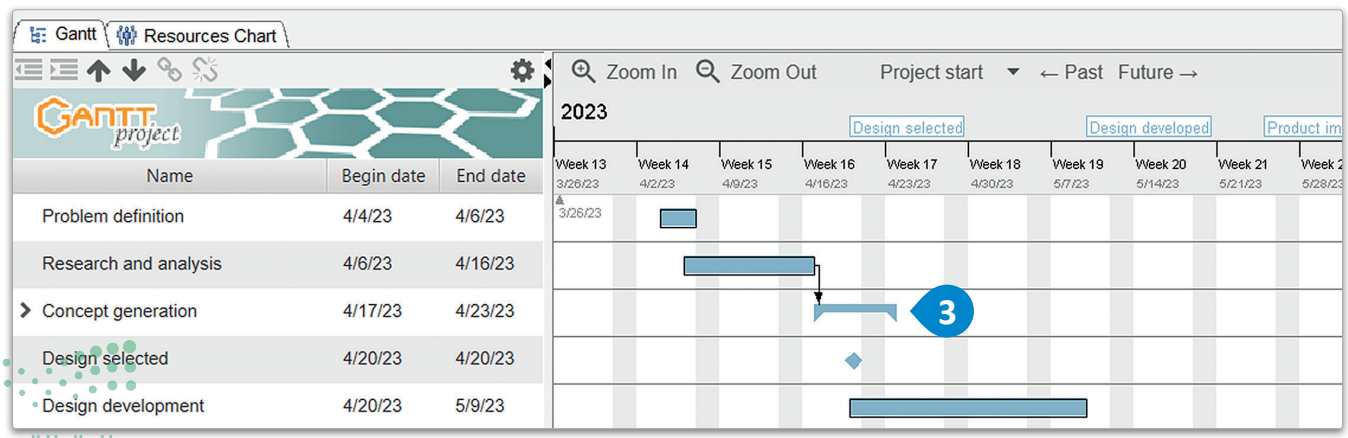
> العلاقة الافتراضية بين المهام هي Finish to Start (الانتهاء للبداية). 3

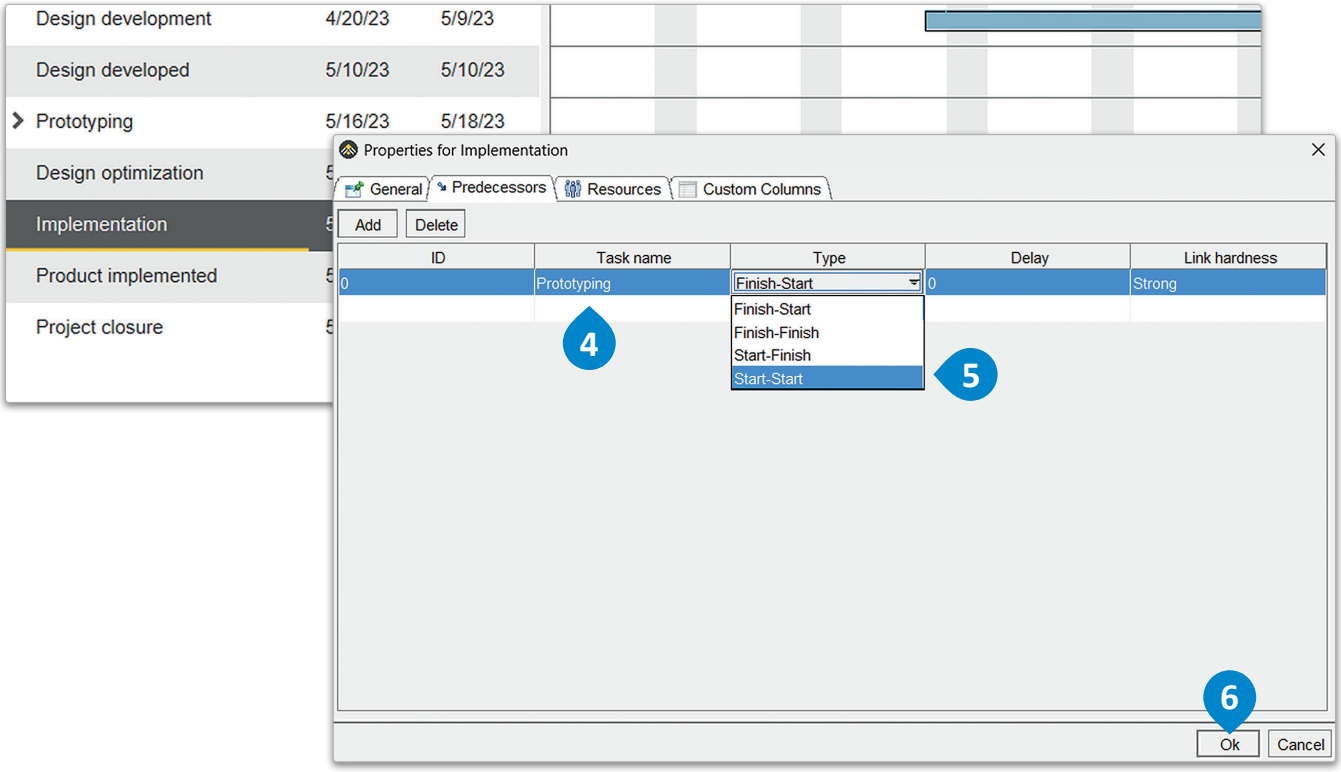
> من Properties (الخصائص) لمُهِمَّة Implementation (التنفيذ)، انتقل إلى علامة تبويب Predecessors (السابقة) وأضف Task name (اسم المُهِمَّة) للمُهِمَّة التي تريد أن تسبقها. 4

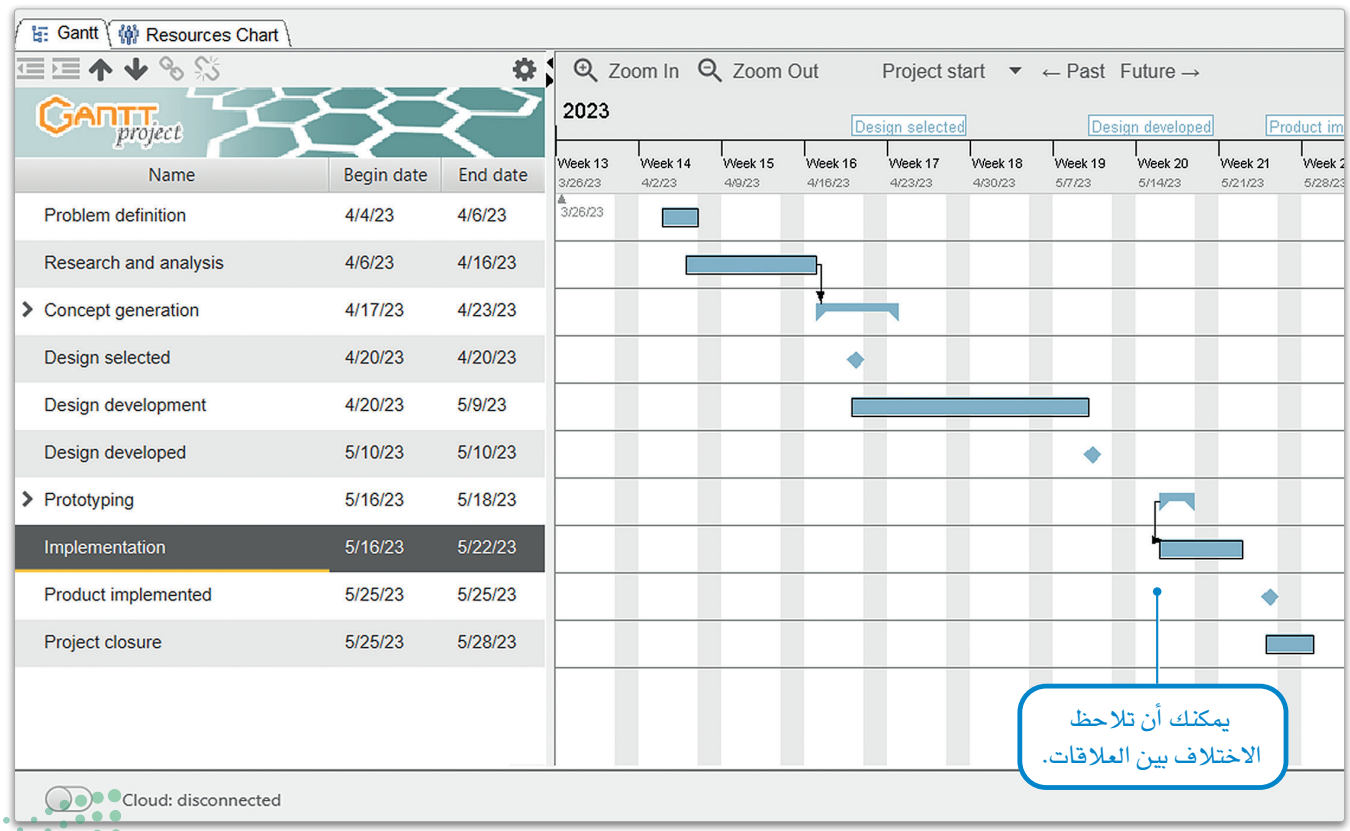
> اضبط نوع العلاقة ليكون Start to Start (البداية للبداية). 5

> اضغط على Ok (موافق). 6









شكل 1.34: إضافة العلاقات بين المهام

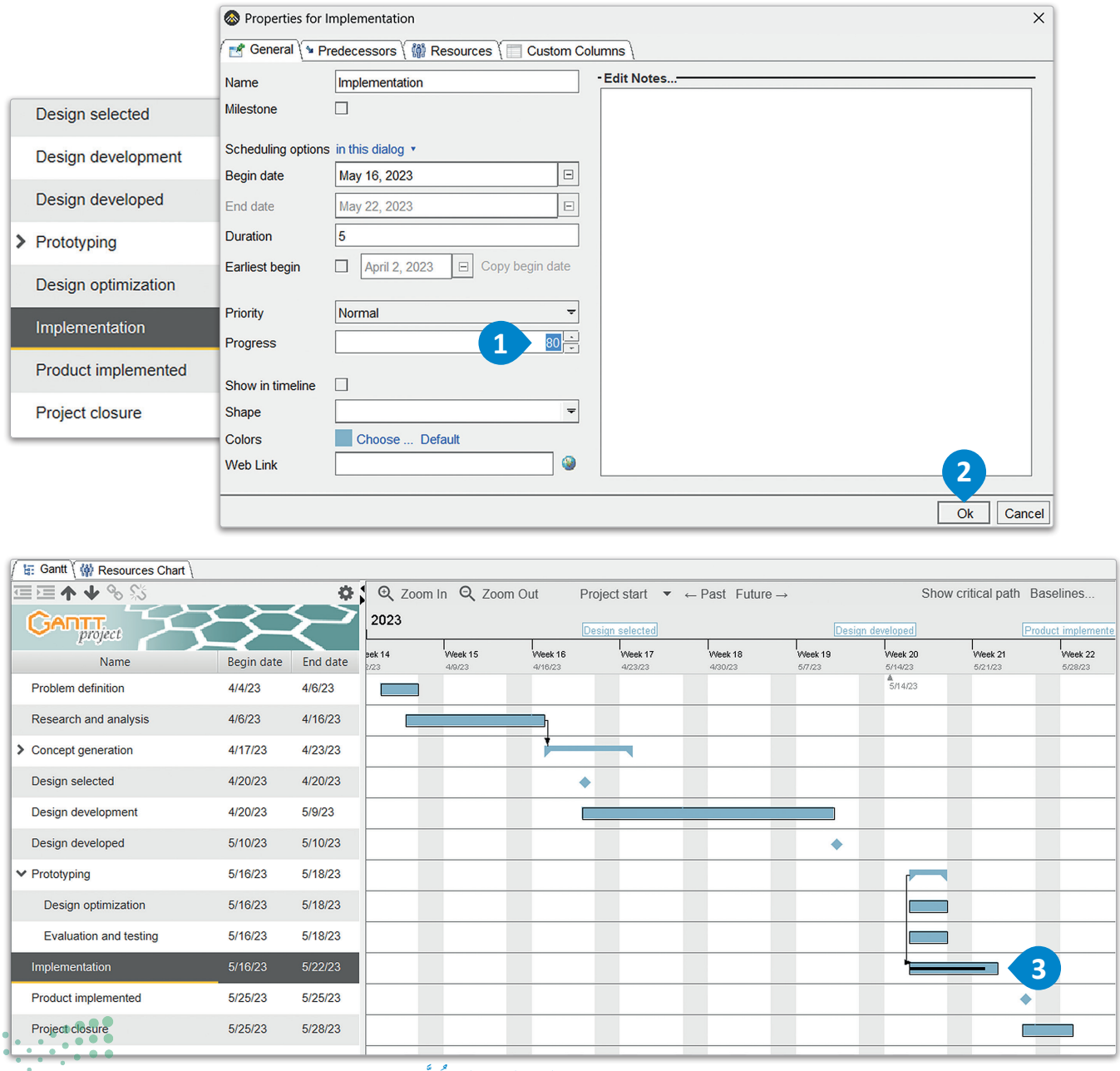
ستحتاج إلى إضافة نِسَب الإكمال إلى المهام لمعاينة حالة جميع المشاريع.

لإضافة حالة إكمال المُهِمَّة:

> من Properties (خصائص) المُهِمَّة، انتقل إلى مربع Progress (التقدم)، وعيِّن حالة المُهِمَّة كنسبة مئوية. 1

> اضغط على Ok (موافق). 2

> يمثِّل الشريط الأسود حالة إكمال المُهِمَّة. 3



شكل 1.35: إضافة حالة إكمال المُهِمَّة

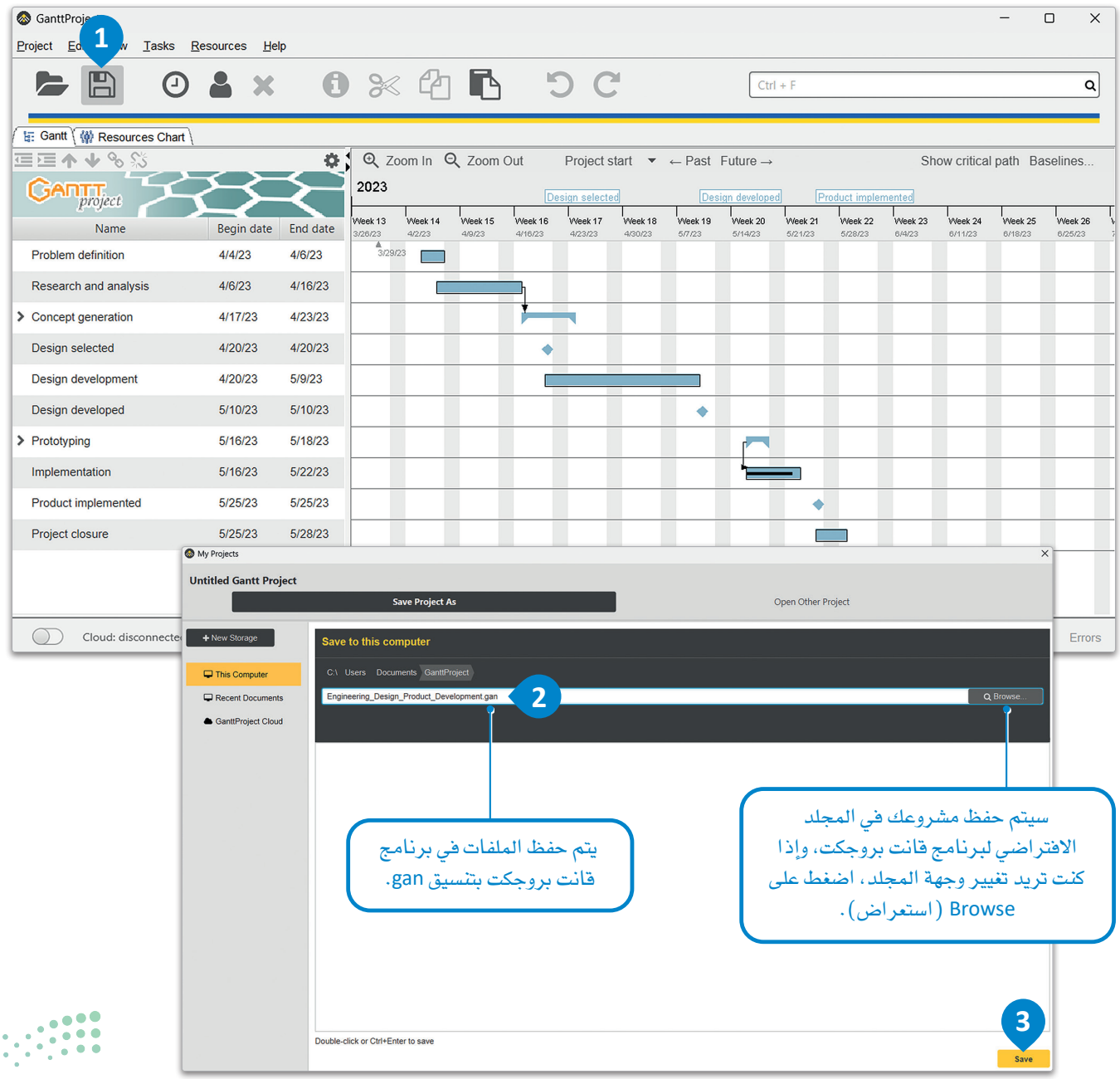
يتم تغيير الجداول الزمنية في خطّة المشروع وتكرارها باستمرار، لذا من المهم جدًا حفظ جدول خطتك بشكل متكرر.

لحفظ مشروعك:

> لحفظ جدول خطّة مشروعك، اضغط على أيقونة القرص المرن في الزاوية اليسرى العلوية من النافذة. 1

> اكتب اسمًا من اختيارك. 2

> اضغط على Save (حفظ). 3



شكل 1.36: حفظ مشروعك

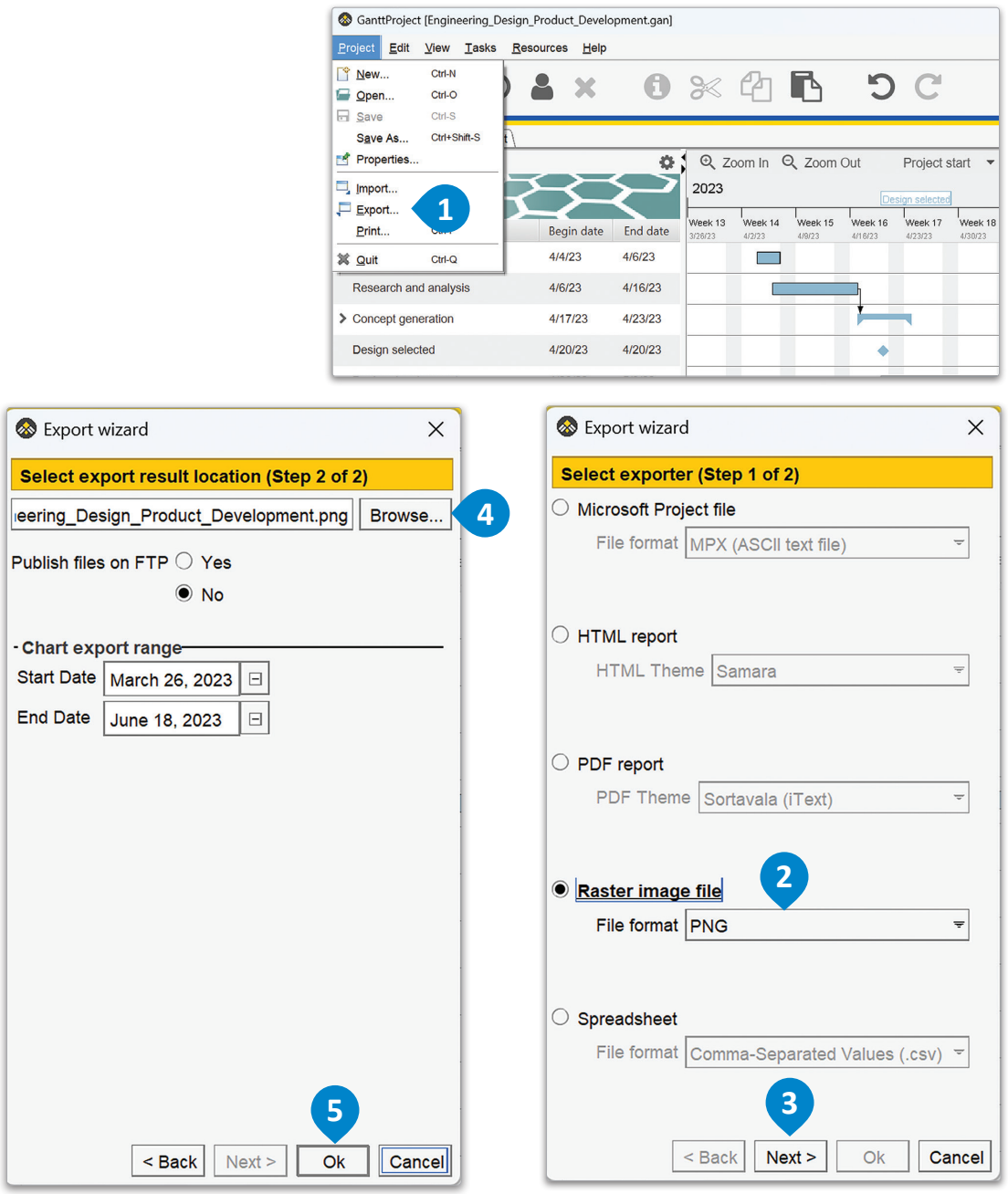
يمكنك تصدير مُخطَّطك بتنسيق صورة بحيث يُمكن مشاركته مع أشخاص آخرين في فريق عملك.

لتصدير خطة مشروعك كصورة:

> من قائمة Project (المشروع)، اختر أمر Export (تصدير). 1

> حدِّد خيار Raster image file (ملف صورة نقطية)، 2 ثم اضغط على زرّ Next (التالي). 3

> من النافذة التالية، اختر المجلد الذي تريد حفظ مشروعك فيه، 4 ثم اضغط على Ok (موافق). 5



شكل 1.37: تصدير مشروعك كصورة

تمرينات

1 افترض أنك تريد إنهاء مشروعك في وقت أبكر مما خُطِّط له من قبل. حدِّد المهام الرئيسة أو الفرعية التي يُمكن اختصارها، أو الموارد المختلفة التي يُمكن تخصيصها.

حَدِّثْ خطّة إدارة المشروع في برنامج قانت بروجكت لتتوافق مع الموعد النهائي الجديد.

2 ضَعْ خطّةً لجمع التبرعات المدرسية من خلال القيام ببعض الأنشطة كبيع المخبوزات أو غسيل السيارات، وأنشئ خطّة مشروع تتضمَّن مهامًا ذات علاقة مثل: تنظيم المتطوعين، والترويج للحدث، وجمع التبرعات، وإعداد الطعام أو اللوازم، وحساب الأموال التي يتم جمعها. استخدِم برنامج قانت بروجكت لتخصيص الموارد وتعيين المهام وتتبُّع التقدم في العمل.

3 خطِّط لمشروع تجديد غرفة في منزل، وأنشئ خطّة المشروع التي تتضمَّن مهامَّ مثل: البحث عن التصاميم والمواد، وشراء اللوازم، وإعداد المساحة، والقيام بأعمال الصيانة. استخدِم برنامج قانت بروجكت لتعيين المواعيد النهائية وتعيين المهام وتتبُّع التقدم.

4 خطِّط لمشروع تصميم موقع ويب كمدونة شخصية مثلًا، وأنشئ خطّة المشروع التي تتضمَّن مهامَّ مثل: اختيار المنصة أو البرنامج المناسب، وإعداد مُخطَّط الموقع وتجهيز المحتوى، وبرمجة موقع الويب، واختباره، ونشر المُنتَج النهائي. استخدِم برنامج قانت بروجكت لتحديد المواعيد النهائية وتخصيص الموارد وتتبُّع التقدم في العمل.

5 خطِّط لمشروع بحثي حول موضوع مثير للاهتمام مثل استخدام وسائل التواصل الاجتماعي، وأنشئ خطّة المشروع التي تتضمَّن مهامَّ مثل: تحديد الموارد، وجمع البيانات وتحليلها، وتنظيم النتائج، وعرضها. استخدِم برنامج قانت بروجكت لتحديد المواعيد النهائية وتخصيص الموارد وتتبُّع التقدم.

المشروع

افترض أنك كُلِّفت بتطوير محطات شحن السيارات الكهربائية في إحدى المُدن الصغيرة في المملكة العربية السعودية، وذلك بهدف دعم انتشار هذه السيارات الصديقة للبيئة، حيث تكون في هذا المشروع مسؤولًا عن تطوير محطات الشحن ثم دمجها في شبكة كهرباء المدينة.

سيكون الموعد النهائي للمشروع ثلاث سنوات بدءًا من الآن.

1 عليك إنشاء المتطلبات لما يجب أن تكون محطات الشحن قادرة على القيام به، وكيف يجب وضع تلك المحطات داخل المدينة، ثم فَكِّر في أنواع المتخصصين الذين سيعملون على التطوير ثم التكامل بين الخدمات.

2 اكتب مهام العمل الرئيسة والفرعية التي يجب إكمالها لتطوير محطات الشحن وخدماتها المتكاملة، وستُنشئ بعد ذلك خطّة مشروع للتطوير والتكامل.

3 ضَعْ جدولًا مُفصلًا لجميع المهام وفكر في المتخصصين الذين سيعملون في كل مُهِمَّة، وأعِدّ النقاط المحورية الضرورية للمشروع، ثم فكِّر في العلاقات بين المهام وأي منها يجب إكماله بالتسلسل، وأي منها يُمكن أن يعمل بشكل متزامن.

4 استخدِم برنامج قانت بروجكت لإنشاء خطّة المشروع بجميع الخصائص المذكورة أعلاه، وعَيِّن الأدوار الوظيفية المناسبة للمهام.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ماذا تعلّمت

- تحديد المقصود بالتصميم الهندسي.
- التمييز بين الأدوار الوظيفية في مشروع التصميم الهندسي.
- تعريف التفكير التصميمي.
- تحليل استراتيجيات التصميم المختلفة للمشروع.
- التدقيق في القياسات في مشاريع التصميم الهندسي.
- تقييم كيفية اختيار المواد في المشاريع.
- استكشاف أنواع مختلفة من خصائص المواد.
- تحليل دورة حياة المُنتَج ومراحلها.
- سرد عمليات هندسة المُنتَج وأفضل الممارسات.
- تحديد عمليات وتقنيات إدارة دورة حياة المُنتَج.
- تفسير هرم نُظُم الإنتاج.
- تقديم لمحة عامة عن إدارة المشروع.
- تحليل التفاصيل الفنية لخطّة المشروع.
- تصميم خطّة مشروع مُفصلة لمُنتَج تصميم هندسي.

المصطلحات الرئيسة

إدارة المشروع	Project Management
النقاط المحورية للمشروع	Project Milestones
تخطيط المشروع	Project Planning
المُخطَّط الزمني للمشروع	Project Timeline
هرم نُظُم الإنتاج	Pyramid of Production Systems
إدارة الموارد	Resource Management
تعيين الموارد	Resource Mapping
إدارة المخاطر	Risk Management
النطاق	Scope
أصحاب المصلحة	Stakeholders

الميزانية	Budget
إدارة التكاليف	Cost Management
المواعيد النهائية	Deadlines
عملية التصميم	Design Process
استراتيجيات التصميم	Design Strategies
التفكير التصميمي	Design Thinking
إدارة الموارد البشرية	Human Resource Management
التكامل	Integration
النظام الدولي للوحدات	International System of Units (SI)
هندسة المُنتَج	Product Engineering
إدارة دورة حياة المُنتَج	Product Life Cycle Management (PLM)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

2. التصميم والنمذجة الأوَّلية

سيتعرّف الطالب في هذه الوحدة على أساسيات تصميم المُنتَجات وإنشاء نماذجها الأوَّلية، كما سيتعلَّم كيفية استخدام برنامج فري كاد (FreeCAD) لإنشاء أشكال بسيطة ثلاثية الأبعاد، وسيتعرّف الطالب أيضًا على آلية عمل التروس ومدى أهميتها، وفي الختام سيصمِّم تروسًا بسيطة، وسيتعرّف على كيفية تحديد حجمها وموضعها واتجاهها الصحيح، وكذلك التأكد من عملها بشكلٍ صحيح.

أهداف التعلُّم

بنهاية هذه الوحدة سيكون الطالب قادرًا على أن:

- يَصِف دورة التصميم الرئيسة لإنشاء نموذج أوَّلي.
- يُحلِّل عملية تحويل النماذج الأوَّلية من أفكار إلى مجسّمات ملموسة.
- يُعرِّف مفهوم التصميم الهندسي والنماذج الأوَّلية.
- يُميِّز الاختلافات بين الرسومات ثنائية وثلاثية الأبعاد.
- يَستخدِم برنامج فري كاد للنمذجة.
- يَستخدِم أسطح العمل في برامج التصميم بمساعدة الحاسب.
- يُنشِئ أشكالًا أساسية ثنائية وثلاثية الأبعاد.
- يُميِّز الاختلاف بين البطانة والبثق.
- يُحدِّد القيود في عمليات التصميم ودورها في ابتكار تصاميم دقيقة.
- يَستخدِم أسطح العمل للرسم الهندسي في تحديد موضع المجسّمات، واتّجاهها.
- يَتعرّف على طرائق العرض ثلاثية الأبعاد المختلفة.
- يَذكر أساسيات تصميم التروس وكيفية عملها.
- يُميِّز كيفية استخدام هياكل متعددة لإنشاء تصميم ثلاثي الأبعاد أكثر تعقيدًا.
- يَستنتِج كيفية حساب المسافة المركزية بين ترسين.

الأدوات

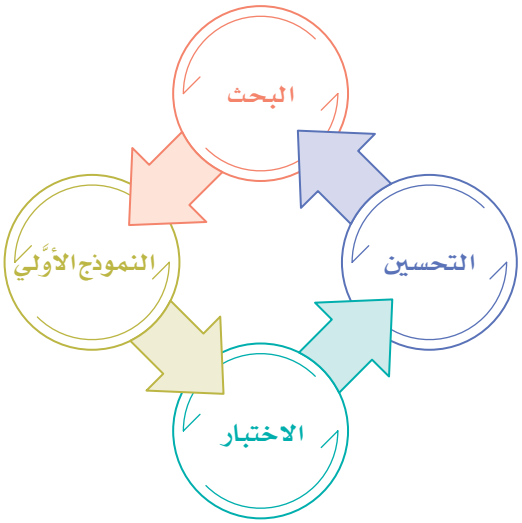
- فري كاد (FreeCAD)

الدرس الأول

التصميم والنماذج الأوَّلية

عملية التصميم Design Process

يتبع المهندسون والمُصمِّمون منهجية تُسمّى دورة التصميم (Design Cycle)؛ لتصميم مُنتَج وإنشاء نموذج أوَّلي له، وتُعرف دورة التصميم كذلك باسم عملية التصميم الهندسي، وهي بطبيعتها عملية تكرارية تسمح للشخص بحل مشكلة ووضع خطّة فعّالة لتطوير المُنتَج، وتتبع دورة التصميم أربعة مراحل كما هو موضَّح في الشكل 2.1.



شكل 2.1: عملية التصميم

مرحلة البحث Research Phase

وهي الخطوة الأولى في دورة التصميم، وتهدف إلى تحديد الغرض من المُنتَج، ووصف المشكلة التي يحلها، والاحتياجات المتوقَّعة للمُستخدِمين، ويجب أخذ الخصائص التالية في الاعتبار عند إنشاء مُنتَج لحل مشكلة معيَّنة:

الجماليات

تُحدِّد الجماليات مظهر المُنتَج بالنسبة لحواس الإنسان المختلفة، حيث تشير إلى شكل المُنتَج ولونه وملمسه وتناسقه وأبعاده وشكله العام، ويسعى مُصمِّمو المُنتَجات الموجهة للمُستهلِك إلى إنشاء مُنتَجات جذابة، وذلك للفت أنظار العملاء إليها وتعزيز المبيعات، مع التركيز على عدم حصر الاهتمام بالجانب الجمالي على حساب الوظائف الأساسية للمُنتَج، بل إيجاد التوازن بين مظهر المُنتَج ووظيفته، ويولي التصميم الهندسي اهتمامًا بالغًا بوظيفة المُنتَج قبل مظهره، وذلك على الرغم من التداخل الكبير بينهما، حيث أصبحت الكثير من التصاميم الشائعة تدمج بين المظهر الجمالي الممتع والوظائف الجيدة للمُنتَج على حد سواء.


شكل 2.2: أريكة ذات تصميم جمالي

العوامل الإنسانية

تهتم العوامل الإنسانية بدراسة كيفية استخدام البشر للأشياء والتفاعل مع البيئة، وتأخذ بالاعتبار شكل المُنتَج وحجمه وهندسته، بالإضافة إلى قابليته للاستخدام، حيث يجب أن يكون المُنتَج سهل الاستخدام ومريحًا ومناسبًا لحاجات المُستخدِم، وبما أن البشر يتفاوتون في أحجامهم فمنهم القصير والطويل والنحيل وغير ذلك، فإنه يجب أن تكون المُنتَجات قابلة للتخصيص لتناسب مختلف المُستهلِكين، فعلى سبيل المثال: إذا كان كرسي المكتب مصمَّمًا بطريقة مريحة، فلن يسبب جلوس المُستخدِم علية حدوث أي إجهاد أو إصابات، ومن المهم تصميم الأشياء لتكون مريحة عند الاستخدام بغض النظر عن صغرها أو بساطتها، وينطبق هذا الأمر مثلًا على تصميم المُنتَجات الصحية، وعلى تصميم أدوات المائدة التي يتم تصميمها لتناسب اليدين بحيث يُمكن للشخص إمساكها والتحكم بها بسهولة. تتطلب المُنتَجات المعقدة أيضًا تصميمًا مريحًا، فالسيارة مثلًا تحتوي على كثير من أدوات التحكم وعلى واجهة مُستخدِم معقدة، فالتصميم الجيد للسيارة يتيح للسائق الوصول إلى جميع أدوات التحكم بسهولة.


شكل 2.3: كرسي مكتبي ذو تصميم مريح

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

عِلم القياسات البشرية

يختص عِلم القياسات البشرية بقياس الخصائص البشرية والمقاييس الفسيولوجية التي تتعلق بالإنسان، ويتم جمع البيانات التي تتعلق بالقياسات البشرية بواسطة أشخاص من مختلف الأعمار والأجناس والأحجام، حيث يتم سردها في جداول ومُخطَّطات بيانية ليتمكن المُصمِّمون من التحقق من مناسبة مُنتَجاتهم لأولئك الأشخاص بصفتهم المُستخدِمين النهائيين للمُنتَجات، كما يجب على المُصمِّمين أن يكونوا على دراية كافية بالجمهور المستهدَف للمُنتَج، وبالتالي إنشاؤه وفقًا لمتطلباتهم، فعلى سبيل المثال: يجلس أشخاص ذوي أحجام مختلفة على مقاعد السيارة، ولذلك على المُصمِّم أن يجعل المقاعد ملائمة للجميع، حيث يتم تضمين القياسات البشرية الخاصة بالمُستخدِمين في مواصفات التصميم.



شكل 2.4: تحليلات ثنائية وثلاثية الأبعاد للوضعية

السلامة

يأتي معيار السلامة كأولوية عند تطوير المُنتَج الجديد، ويجب أن يضمن المُصمِّمون أن المُنتَجات آمنة للمُستهلِكين وللبيئة. قد تواجه الشركات إجراءات قانونية وغرامات وإضرارًا بعلامتها التجارية في حال تسبُّب المُنتَج بضرر للمستهلِك أو البيئة، ويجب مراعاة سلامة المُنتَج عند اختيار معايير تصميم المُنتَج، أو تطويره، وتتضمَّن تلك المعايير التأكد من عدم سُمِّية المواد المستخدَمة لتصنيع المُنتَج وسلامتها، وتطبيق تدابير السلامة الضرورية لتجنب الإضرار بالمُستهلِكين. تتضمَّن معظم المُنتَجات الموجَّهة للمُستهلِك نوعًا من التفاعل بين المُنتَج وذلك المُستهلِك، ولذلك يجب الأخذ بالاعتبار كيفية استخدام المُنتَج ومدى خطورة أجزائه المختلفة عند تقييم احتياجات المُستخدِم.



شكل 2.5: التأكد من سلامة المُنتَج وفقًا لاحتياجات المُستخدِم

مرحلة النموذج الأوَّلي Prototype Phase

تشمل الخطوات الرئيسة في مرحلة إنشاء النموذج الأوَّلي ما يلي:

تصميم النموذج الأوَّلي: يقوم المُصمِّمون بإنشاء تصميم نموذج أوَّلي مبدئي يُحدِّد الميزات والمواصفات الرئيسة بناءً على الأفكار التي تم توليدها خلال المراحل المبكرة من دورة التصميم.

اختيار المواد: يُعدُّ اختيار المواد المناسبة للنموذج الأوَّلي أمرًا ضروريًا لتمثيل المُنتَج النهائي بدقة، حيث يُمكن للمُصمِّمين الاختيار من بين المواد المختلفة، بما فيها البلاستيك والمعادن والأخشاب والمواد الرغوية السائلة.

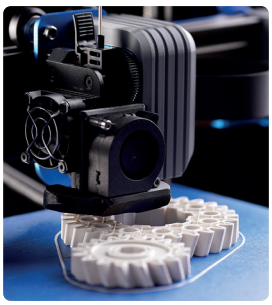
إنشاء النموذج الأوَّلي: بعد تصميم النموذج واختيار المواد، يتم إنشاء النموذج الأوَّلي بشكل يدوي، أو باستخدام **تقنيات التصنيع بالإضافة** (Additive Manufacturing Techniques)، كتلك التي تعتمد على تطوير النماذج الأوَّلية السريعة من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد، أو **بتقنيات التصنيع من خلال الإزالة** (Subtractive Manufacturing Techniques) مثل: آلات **التحكم الرقمي باستخدام الحاسب** (Computer Numerical Control – CNC)، وآلات السحب والحفر، وآلات القطع بالليزر، ويجب إنشاء النموذج الأوَّلي على مستوى عالٍ من الدقة للتأكد من أنه يمثِّل المُنتَج النهائي بدقة.



شكل 2.6: رسم تجميعي لجهاز باستخدام برنامج تصميم بمساعدة الحاسب ثلاثي الأبعاد

التنقيح: يتم تنقيح النموذج الأوَّلي وتحسينه بناءً على التغذية الراجعة من المُستخدِم، وقد يتضمَّن ذلك إجراء تعديلات على التصميم، أو اختيار مواد مختلفة لإنتاج المُنتَج، أو إجراء تغييرات أخرى لضمان أن النموذج الأوَّلي يمثِّل المُنتَج النهائي بدقة.

تكرار العملية: بناءً على درجة تعقيد التصميم والتغذية الراجعة المستمرة من العميل، قد يتطلب الوصول إلى التصميم النهائي للمُنتَج تكرار مرحلة النموذج الأوَّلي عدة مرات، فكل تكرار للعملية يُقرِّب التصميم إلى النتيجة المرجوة لإنتاج المُنتَج النهائي الذي يلبي احتياجات المُستخدِم وتوقعاته.



شكل 2.7: طباعة ثلاثية الأبعاد لنموذج أوَّلي

النماذج الفعلية

توجد أسباب عديدة تجعل من إنشاء النماذج الفعلية أمرًا ضروريًا، فيُمكن مثلًا إنشاء نموذج أوَّلي فعلي لتمكين العميل أو المُستخدِم من الاطلاع على الجوانب الجمالية للمُنتَج قبل بدء إنتاجه، وفي حالات أخرى قد يحتوي المُنتَج على مكوِّنات متعددة، مما يولد الحاجة إلى إنشاء نماذج أوَّلية فعلية لضمان تجميع تلك المكوِّنات بشكلٍ سليم؛ لتكوين المُنتَج المناسب والتأكد من عملها معًا بشكلٍ متناسق. يحتاج تطوير أغلب المُنتَجات التي يستخدمها الإنسان بشكلٍ مباشر إلى نماذج أوَّلية قبل الانتقال إلى المُنتَج النهائي، ويتم في بعض الأحيان إنشاء نموذج أوَّلي فعليٍ يُمكن للشخص استخدامه وتقديم تغذية راجعة للمسؤولين عن عملية تصميمه، كما يُمكن للمُصمِّمين تعديل مظهر بعض الميزات أو إدخال بعض التعديلات لجعلها أكثر مناسبةً أو راحةً للمُستخدِم، ويتم تطوير بعض النماذج الأوَّلية لتكون نسخًا طبق الأصل من المُنتَج النهائي، وذلك بسبب الحاجة إلى إنتاجها من المادة نفسها التي ستُستخدم لتصنيع المُنتَج النهائي. يتيح ذلك اختبار النماذج لاحقًا في دورة التصميم في ظل ظروف واقعية، مما يعطي المُصمِّم الثقة بأن المُنتَج آمِن لترويجه وبيعه، وتوجد طرائق مختلفة لتصنيع النماذج الأوَّلية المادية، ولكن أكثرها شيوعًا هو التصنيع من خلال **التحكم الرقمي باستخدام الحاسب** (CNC)، والتصنيع بالإضافة بواسطة الطباعة ثلاثية الأبعاد.

مرحلة الاختبار Testing Phase

يتعيَّن خلال مرحلة الاختبار وجود إجراءات دقيقة ومعايير واضحة؛ لاختبار وإصلاح المشكلات أو الخلل في التصميم المحتمل أو النموذج الأوَّلي قبل دخوله مرحلة التصنيع. إن تخصيص الوقت والموارد الكافية لاختبار المُنتَج في المراحل الأولى من تطويره، كفيل بتوفير تكاليف الإصلاح والتعديل في مراحل التطوير اللاحقة، وهناك أنواع مختلفة من الاختبارات التي يتم إجراؤها أثناء عمليتَي التصميم وإنشاء النماذج الأوَّلية للمُنتَج، منها:

اختبار قابلية الاستخدام

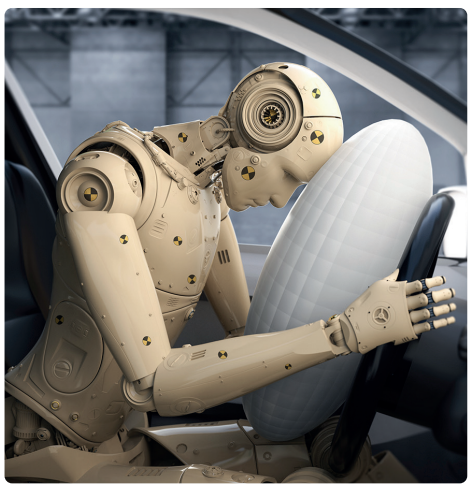
من الضروري اختبار التوافق بين التصاميم والنماذج الأوَّلية للمُنتَج واحتياجات السوق، وقد يشارك المُصمِّم أو الشركة النماذج الأوَّلية أو المظهر النهائي للتصميم مع عينة من المُستخدِمين للحصول على التغذية الراجعة، كما تقوم **مجموعات التركيز** (Focus Groups) باختبار المُنتَج وتقديم الملاحظات، ويُمكن للمُصمِّم بعد ذلك إجراء تغييرات طفيفة قبل الإنتاج، وكذلك يُمكن للشركات استخدام تقنيات اختبار السوق المختلفة، مثل مجموعات التركيز، والاستبانات والمقابلات، وذلك لقياس مدى اهتمام المُستهلِك بالمُنتَج الجديد، والتعرف بشكلٍ أكثر عمقًا على المُستهلِكين أو السوق المستهدَفة، ويُمكن أيضًا مقارنة النتائج التي يتم الحصول عليها بأبحاث السوق التي تم إجراؤها في الماضي للتأكد من تلبية المُنتَج لاحتياجات المُستخدِم.

اختبار الأداء

يُمكن للاختبارات الواقعية للمُنتَج أن تساهم في تحسينه بشكلٍ كبير، حيث تساهم تجارب المُستخدِمين الحقيقيين للمُنتَج باختباره بطرائق واقعية مختلفة بهدف تحسين وظيفته أو بيئة عمله، وتُمكِّن الاختبارات الواقعية المُصمِّمين من اختبار حدود تحمُّل النموذج الأوَّلي للظروف المختلفة والشديدة، وذلك لضمان قدرته على الصمود خلال الاستعمال الحقيقي من قِبَل المُستخدِمين، كما يتضمَّن اختبار حدود تحمل المُنتَج تحطيم النموذج الأوَّلي، فعلى سبيل المثال عند إطلاق سيارة

المظهر النهائي للتصميم (Final Render):

يتم إجراء محاكاة واقعية للنماذج التي تم إنشاؤها بواسطة الحاسب، والتي تعطي عادة فكرةً عامة عن مظهر المُنتَج المكتمل دون الحاجة إلى تصنيع نسخة حقيقية منه.



شكل 2.8: اختبار التصادم باستخدام دمية ثلاثية الأبعاد

بتصميم جديد، يتم تطوير العديد من النماذج الأوَّلية وتدميرها خلال محاكاة الحوادث، ويُعدُّ تطوير هذه النماذج الأوَّلية باهظة الثمن أمرًا لازمًا للتحقق من سلامة تصميم المُنتَج قبل إنتاجه على نطاقٍ تجاري وبيعه، حيث أنّ فشله أو قصور معايير السلامة فيه يعني تعريض حياة البشر للخطر. يجب على المُصمِّمين التأكُّد من قدرة المُنتَج، وكذلك جميع مكوِّناته على العمل في الظروف القاسية، ويتحقق **الاختبار غير المُدمر** (Non-Destructive Testing – NDT) من سلامة مكوِّنات المُنتَج، كنقاط اللحام مثلًا. أصبح بالإمكان إجراء اختبارات افتراضية دقيقة للمُنتَجات باستخدام أدوات **التصميم بمساعدة الحاسب** (CAD) وتقنيات المحاكاة الحديثة، ويُمكن للنماذج الافتراضية تقليل وقت التطوير والتكلفة، ولكنها نادرًا ما تصلح كبديل عن النماذج الأوَّلية الفعلية، وتوضِّح الاختبارات الافتراضية كيفية عمل الآليات المختلفة في المُنتَج من خلال تقنية تحريك الصور للمُكوِّنات المجمَّعة، واختبارات المحاكاة باستخدام **تحليل العناصر المحدودة** (Finite Element Analysis – FEA)، وذلك بشكل أساسي لتحليل إجهاد المواد وتأثير القوى الخارجية، ولتحليل الموائع باستخدام **ديناميكا الموائع الحسابية** (Computational Fluid Dynamics – CFD).

يُمكن كذلك استخدام هذه الاختبارات لمحاكاة عمليات التصنيع، وتمثيل عمليات المحاكاة لكيفية صب المعدن السائل لصناعة مُكوِّن معيَّن، أو كيفية تدفق البلاستيك في أداة قوالب الحقن، مما يساعد المُصمِّمين على ضمان مُنتَج خالٍ من الأخطاء. يوضِّح الشكلان 2.9 و 2.10 مثالين على طريقة تحليل العناصر المحدودة وطريقة ديناميكا الموائع الحسابية.

الاختبار غير المدمر (Non-Destructive Testing - NDT):

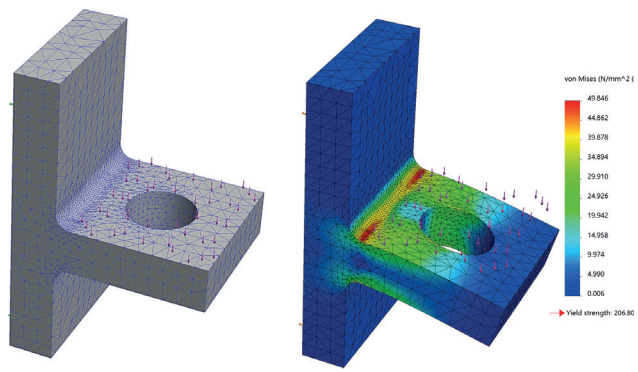
هو اختبار للمُنتَجات بالقرب من حدودها، دون الوصول إلى نقاط تدميرها أو التسبب في تلفها.

تحليل العناصر المحدودة (Finite Element Analysis - FEA):

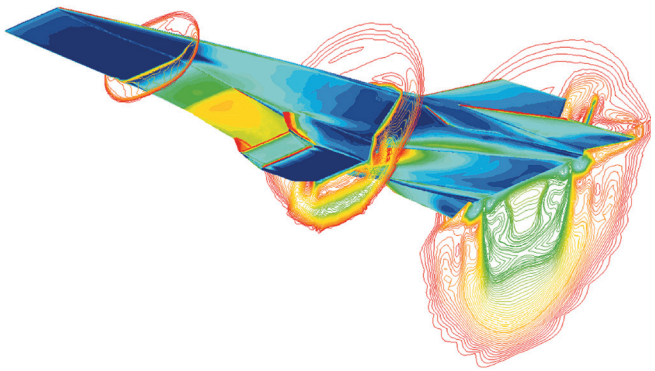
هي محاكاة حاسوبية تختبر تفاعل العناصر والمكوِّنات مع التطبيقات المختلفة للقوى الخارجية والضغط.

ديناميكا الموائع الحسابية (Computational Fluid Dynamics - CFD):

هي محاكاة حاسوبية تختبر كيفية تفاعل السوائل والغازات مع المكوِّنات والعناصر المختلفة الخاصة بالمُنتَج.



شكل 2.9: تحليل العناصر المحدودة ناتج عن نموذج صلب



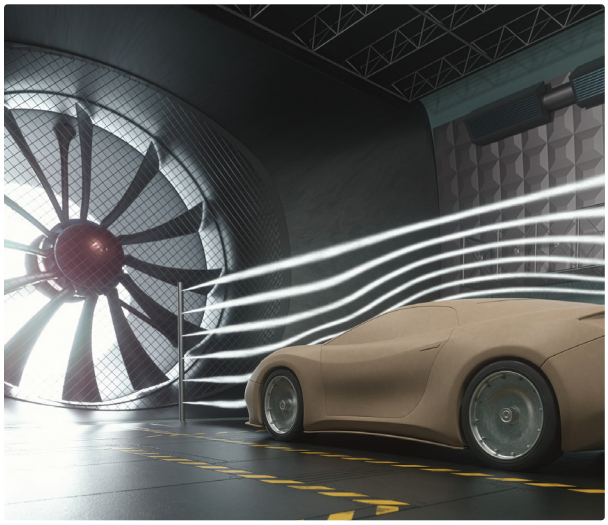
شكل 2.10: صورة لديناميكا الموائع الحسابية لطائرة ناسا هايبر إكس (Hyper – X) خلال تشغيل محركها بسرعة ماخ– 7

مرحلة التحسين Optimization Phase

يتم في هذه المرحلة من دورة التصميم تحسين التصميم المقترح للوصول إلى أفضل حل ممكن، وللقيام بذلك ينشئ المُصمِّمون مكوِّنًا أو نموذجًا أوَّليًا للمُنتَج، ثم يتم اختباره وإجراء التحسينات على التصميم، ويتم تكرار عملية إنشاء النموذج الأوَّلي واختباره، ثم تعديل التصميم من جديد، ويساهم إعادة تكرار الإنتاج في تحسين التصميم والنماذج الأوَّلية.

قد تتضمَّن مرحلة التحسين إنشاء المئات من النماذج الأوَّلية وتغيير التصميم، مع إجراء تحسيناتٍ تدريجية ومدروسة في كل تكرار، ويُمكن أن تؤدي مرحلة التحسين إلى رفع كفاءة التصنيع، أو كفاءة الأداء، أو جعل التصميم أكثر قابلية للاستخدام.

على سبيل المثال، يمُرّ الجناح الخلفي لسيارة السباق في **الفورمولا 1** (F1) بمراحل إنتاج متعددة لتحسين الديناميكا الهوائية، حيث يصنع المُصمِّمون نماذج أجنحة متعددة لاختبارات التصاميم المختلفة، ثم يجرون تغييرات طفيفة على التصاميم، ويُنْشِئون نماذج أوَّلية جديدة، ويقومون باختبارها للوصول إلى أفضل تصميم. ويتطلب تحسين التصميم تقديم بعض التنازلات ووضع بعض القيود على حدود عملية التحسين، حيث أن مشاريع تطوير المُنتَجات غالبًا ما تكون مقيدة بجدول زمني وميزانية محدَّدة وموارد محدودة أخرى، وفي الحالات التي تتطلب أعلى معايير السلامة للمُنتَج، تكتسب فيها مرحلة عملية التحسين أهمية خاصة في الحدّ من أي تأخير في تطوير المُنتَج.

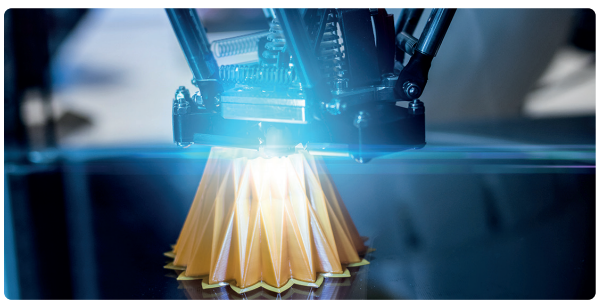


شكل 2.11: نموذج أوَّلي داخل النفق الديناميكي الهوائي

هناك عملية أخرى تتضمَّنها مرحلة التحسين، وهي تحسين عمليات التصنيع واستخدام المواد الجديدة، كما يُمكن أن يؤدي التصنيع بالإضافة والأتمتة الذكية إلى تغيير أداء التصميم.

التصنيع بالإضافة Additive Manufacturing

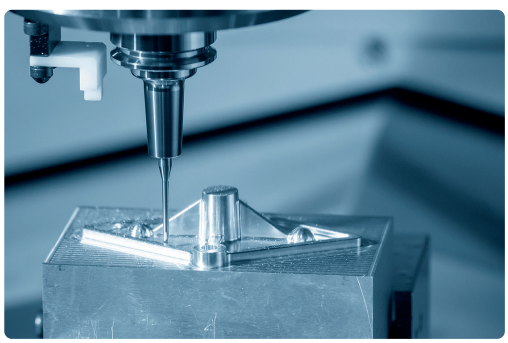
التصنيع بالإضافة هو عملية إنشاء مجسّمات صلبة ثلاثية الأبعاد من خلال إضافة طبقة تلو الأخرى، ويسمح التصنيع بالإضافة بالتخلص من الكثير من القيود الهندسية التي تقيِّد طرائق التصنيع التقليدية، كما يُمكن تبسيط تعليمات التصميم للسماح بتصنيع النموذج الأوَّلي بشكل أكثر كفاءة بواسطة الآلات المؤتمتة الذكية. وفي حال تم تصنيع المُنتَج بكميات كبيرة، فسيتمكن المُصمِّم أيضًا من تحسين عملية تجميعه.



شكل 2.12: عملية التصنيع بالإضافة

التصنيع من خلال الإزالة Subtractive Manufacturing

التصنيع من خلال الإزالة هو عملية إنشاء مجسّمات ثلاثية الأبعاد عن طريق إزالة المواد من قطعة أو مادة لها كتلة أكبر، ويتم ذلك باستخدام مجموعة متنوعة من أدوات القطع مثل: المناشير والمثاقب والمخارط والمطاحن وغيرها من الأدوات المتخصصة، والتي تُستخدم لإزالة المواد تدريجيًا من القطعة أو الكتلة حتى يتشكّل المُنتَج النهائي، كما تبدأ هذه العملية عادةً باستخدام كتلة من المادة الخام أكبر من حجم المُنتَج النهائي، ثم إزالة أجزاء من المادة تدريجيًا حتى يتم الوصول إلى الشكل المطلوب.



شكل 2.13: عملية التصنيع من خلال الإزالة

الإنتاج الآلي الذكي Smart Automated Production

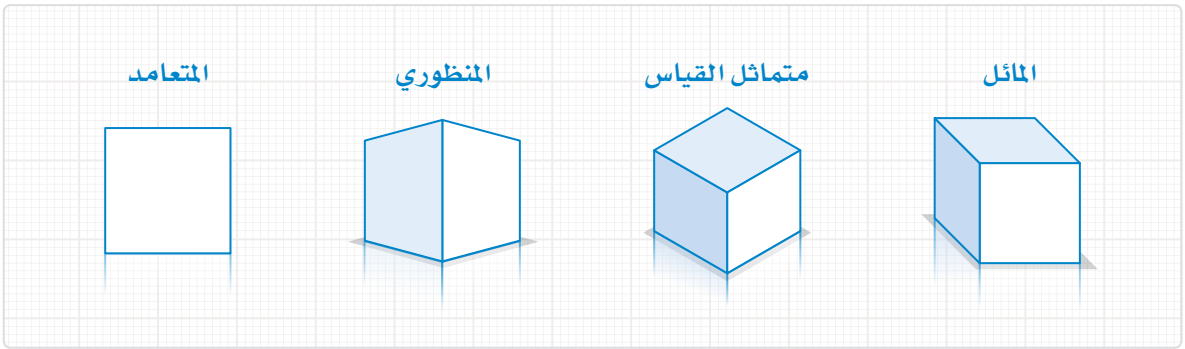
يتطلب الإنتاج الآلي الذكي استثمارًا ماليًا كبيرًا في شراء أجهزة التصنيع الحديثة، ولذلك يجب على المُصمِّمين النظر إلى تقييم هذا الاستثمار بشكلٍ جيد، ودراسة تأثيره على سعر البيع النهائي للمُنتَج، وكثيرًا ما يفكر المُصمِّمون في المواد ذات الخواص المتقدمة التي يُمكن استخدامها لتحسين مُنتَجاتهم، وأحد الأمثلة على ذلك تصنيع الشاحنات، حيث تعمل محركات الشاحنات التقليدية بالوقود الأحفوري مثل: الديزل أو السولار، ولكن الانتقال لتشغيلها بالمحركات الكهربائية يعني الحاجة لتركيب بطاريات ليثيوم أيون ثقيلة، ولذلك بدأ مصنعو الشاحنات بتصميمها باستخدام مواد مركبة خفيفة مثل الألياف الكربونية للتخفيف من أثر الوزن الزائد للبطاريات الكهربائية على الوزن العام للشاحنات.

النمذجة الأوَّلية Prototyping

كانت عملية رسم المُخطَّطات الهندسية التقليدية تتم يدويًا على الورق ولوحات الرسم الهندسي حتى وقتٍ قريب، وذلك باستخدام الأقلام والأدوات الهندسية كالمساطر والمربعات والمنقلة والفرجار، ويتم إنشاء معظم المُخطَّطات على جهاز الحاسب الآن باستخدام برامج **التصميم بمساعدة الحاسب** (CAD)، والتي تُستخدم على نطاق واسع لإنشاء الرسومات الهندسية ثنائية وثلاثية الأبعاد، وعادةً ما يقوم المُصمِّم أو المهندس بإنشاء الرسم ثلاثي الأبعاد، ثم تحسينه بصورة ثنائية الأبعاد لنقل التفاصيل الكافية لتصنيعه.

تقنيات الرسم ثلاثي الأبعاد 3D Drawing Techniques

الرسومات التصويرية (Pictorial Drawings) هي التقنية الرئيسة المستخدَمة في الرسم ثلاثي الأبعاد بواسطة الحاسب، وتقدِّم تلك الرسومات التصويرية أشكالًا ثلاثية الأبعاد لمجسّم يتم معاينته من خلال طرائق عرض محدَّدة، وهناك أربعة أنواع رئيسة من الرسوم التصويرية:

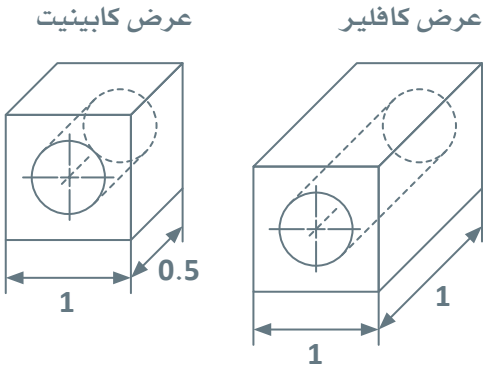


شكل 2.14: تقنيات الرسم ثلاثي الأبعاد

الرسم الهندسي المائل

يُركِّز النموذج ثلاثي الأبعاد في الرسم الهندسي المائل على واجهة النموذج بحيث يتم عرضه بزاوية خمس وأربعين درجة بالنسبة للمحور السيني. هناك نوعان من الرسم الهندسي المائل يختلفان في نِسَب النموذج في واجهة العرض. يسمى النوع الأول **عرض كافلير** (Cavalier View)، ويسمى النوع الثاني **بعرض كابينيت** (Cabinet View).

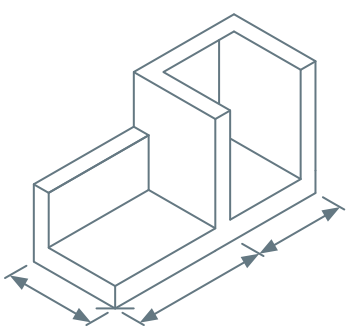
عند استخدام عرض كافلير، يتم عرض جميع نِسَب وأضلع النموذج بحجمها الأصلي، أما في عرض كابينيت، فيتم عرض الواجهة الأمامية للنموذج بحجمها الأصلي، ولكن النِسَب الأخرى تُعرض بنصف حجمها.



شكل 2.15: مثالان على الرسم الهندسي المائل

الرسم متماثل القياس

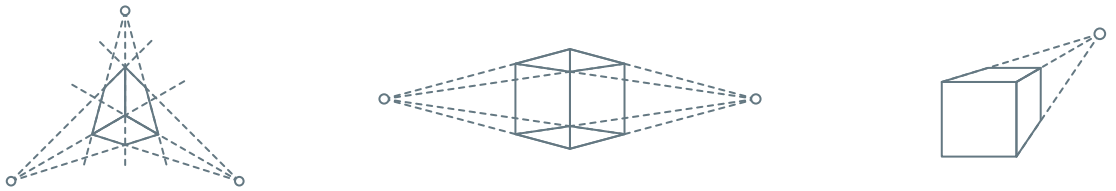
يُركِّز النموذج ثلاثي الأبعاد في الرسم متماثل القياس على جانب النموذج، حيث يتم عرض النموذج بزاوية ثلاثين درجة على المحور السيني، وذلك خلافًا لعرض كابينيت في الرسم المائل، حيث يتم عرض النِسَب الأصلية للمجسّم.



شكل 2.16: مثال على الرسم المتماثل القياس

الإسقاط المنظوري

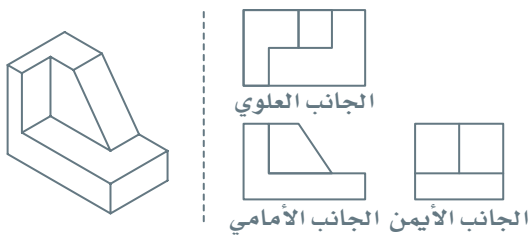
- يتم في الإسقاط المنظوري عرض النموذج ثلاثي الأبعاد بطريقة تُحاكي العمق المكاني، وهناك ثلاثة أنواع من الرسم المنظوري:
- **منظور ببؤرة تلاشي واحدة** (One-Point Perspective): يتم عرض النماذج ثلاثية الأبعاد على سطح ثنائي الأبعاد باستخدام خطوط رأسية وأفقية متقاطعة، وتبدأ هذه الخطوط من نقطة واحدة على السطح تسمى بؤرة التلاشي، وتُعرَّف بؤرة التلاشي بأنها نقطة في الرسم المنظوري، حيث تبدو الخطوط المتوازية متقاربة وتلتقي عند نقطة واحدة في الأفق.
- **منظور ببؤرتَي تلاشي** (Two-Point Perspective): تبدأ الخطوط الأفقية من نقطتين مختلفتين على السطح.
- **منظور بثلاث بؤر تلاشي** (Three-Point Perspective): تبدأ الخطوط الأفقية من ثلاث نقاط مختلفة على السطح.



شكل 2.17: أمثلة الإسقاط المنظوري

الإسقاط المتعامد

يوفِّر الإسقاط المتعامد عرضًا ثنائي الأبعاد للمُنتَج من الجهات الثلاث: الأمامية، والجانبية، والعلوية، حيث توفِّر هذه الجهات المعلومات التفصيلية اللازمة لتصنيع المُنتَج، بما في ذلك القياسات المحدَّدة لكل مُكوِّن، وكيفية ارتباطه بالمكوِّنات الأخرى، وتُستخدم الرسومات التي تعتمد الإسقاط المتعامد على نطاق واسع.



شكل 2.18: أمثلة على الإسقاط المتعامد

إضافةً إلى التقنيات التي ذُكرت أعلاه، يتم إنشاء رسومات التجميع، بما فيها **العرض التفصيلي** (Exploded Views)، لتمثيل العلاقات المختلفة بين المكوِّنات وكيفية وترتيب تجميعها.

رسومات التجميع

يمثِّل **الرسم التجميعي** (Assembly Drawing) طريقة تجميع مُنتَج مُكوَّن من عناصر مترابطة متعدِّدة، وذلك بهدف إنتاج المُنتَج النهائي، ويتم إنتاج هذه الرسومات في تطبيقات الرسومات ثلاثية الأبعاد بواسطة الحاسب التي تسمح للمصنِّعين والعملاء بمشاهدة النموذج قبل تجميعه.



شكل 2.19: عرض تفصيلي لتجميع مرشح الزيت

قائمة المواد (Bill of Materials - BOM):

قائمة المواد هي قائمة شاملة لجميع المواد والمكوِّنات والتجميعات الفرعية اللازمة لتصنيع المُنتَج النهائي.

البند	الكمية	التكلفة لكل وحدة	التكلفة الإجمالية
لوح خشبي	قطعة واحدة	15	15
غراء خشب	زجاجة واحدة	5	5
براغي	ثمانية	0.25	2
ورق صنفرة	مجموعة واحدة	5	5
طلاء خشب	علبة واحدة	10	10
التكلفة الإجمالية			37

شكل 2.20: عيِّنة من قائمة المواد الخاصة بتصنيع مقعد خشبي

العرض التفصيلي

العرض التفصيلي هو رسومات تجميع تُظهر كل جزء من المُنتَج على حدة، وعلاقته بالأجزاء الأخرى، وكيفية تجميعه بشكل نهائي. عادةً ما يتم ترقيم كل جزء من أجزاء المُنتَج بما يتوافق مع قائمة الأجزاء، وعلى الرغم من استخدام رسومات التجميع والرسومات التفصيلية لفهم طبيعة المُنتَج، إلا أنها لا توفِّر المعلومات الكافية واللازمة لآلات التصنيع لإنتاج الأجزاء المختلفة للمُنتَج.

توفِّر الرسومات ثنائية الأبعاد تفاصيل محدَّدة حول نِسَب المكوِّنات التي يجب تصنيعها.



شكل 2.21: عرض تفصيلي لتجميع سيارة

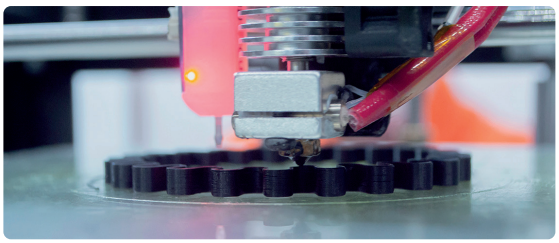
عرض وتصنيع النموذج الأوَّلي Prototype Rendering and Manufacturing

يجب عرض النموذج ثلاثي الأبعاد للمُنتَج بعد تجهيزه، ويتم تطبيق نوع المواد، والنِسَب المختلفة لها، ونتائج عمليات المحاكاة الفيزيائية أثناء مرحلة العرض لإنشاء نموذج أوَّلي افتراضي يبدو أقرب ما يُمكن إلى المُنتَج الحقيقي، ويُستخدم هذا النموذج الأوَّلي لعرضه على أصحاب المصلحة والمُصنِّعين، ومن الطبيعي أن تتم في مرحلة العرض مراجعات أخرى قبل تصنيع النموذج الأوَّلي، مما يوفِّر المال والوقت.



شكل 2.22: اختلاف طرائق عرض النموذج الأوَّلي

ويُعدُّ تصنيع النموذج الأوَّلي الخطوة الأخيرة في هذه العملية، ويُمكن القيام بذلك من خلال استخدام تقنيات التصنيع منخفضة التكلفة مثل الطابعات ثلاثية الأبعاد، أو استخدام طرائق التصنيع بالإضافة، أو استخدام **التحكم الرقمي باستخدام الحاسب** (CNC) عند الحاجة لإنتاج نماذج أوَّلية أكثر واقعية، ويعطي النموذج الأوَّلي الفعلي التمثيل الأكثر دقة للمُنتَج، مما يتيح **لدورة التصميم التكراري** (Iterative Design Cycle) أن تستمر حتى نهايتها.



شكل 2.23: طباعة ثلاثية الأبعاد لنموذج أوَّلي باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد

تمرينات

1

حدِّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:	صحيحة	خاطئة
1. يُمكن إنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد فقط باستخدام أدوات التصميم الهندسي بمساعدة الحاسب (CAD).	○	○
2. لا يتم استخدام المواد المركَّبة في مرحلة التحسين من دورة التصميم.	○	○
3. تُعدُّ محاكاة ديناميكا الموائع الحسابية (CFD) جزءًا من الاختبار الافتراضي للنموذج الأوَّلي.	○	○
4. تُستخدم الرسومات متماثلة القياس لإنتاج نماذج ثنائية الأبعاد.	○	○
5. لا تقدِّم طريقة عرض كابينيت النِسَب الأصلية للنموذج ثلاثي الأبعاد.	○	○
6. لا تُعدُّ طرائق العرض التفصيلية نوعًا من الرسم التجميعي.	○	○
7. تُستخدم الرسومات الفنية والهندسية ثنائية الأبعاد مع معلومات التجميع لتصنيع المكوِّنات.	○	○
8. يقتصر استخدام الإسقاط المنظوري على الخطوط الأفقية لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد.	○	○
9. ينطبق مصطلح العرض (Rendering) على عملية إنتاج مواد النموذج الأوَّلي فقط.	○	○
10. لا يُمكن إنشاء النماذج الأوَّلية باستخدام التحكم الرقمي باستخدام الحاسب (CNC).	○	○

2 صنِّف الأنواع الرئيسة للأبحاث خلال مرحلة البحث في دورة التصميم.

3 وضِّح الاختلاف بين الاختبار الحقيقي والاختبار الافتراضي للمُنتَج أثناء مرحلة الاختبار في دورة التصميم.

4 صِفْ كيف يعمل المُصمِّمون جنبًا إلى جنب مع المصنِّعين في مرحلة النموذج الأوَّلي لدورة التصميم.

5 اذكر كيفية استخدام عمليات التصميم التكراري في مرحلة تحسين دورة التصميم.

6 صِفْ كيفية استخدام محاكاة ديناميكا الموائع الحسابية (CFD) وتحليل العناصر المحدودة (FEA) في اختبار النماذج الأوَّلية للمُنتَج.

7 وضِّح أوجه الاختلاف بين أنواع الرسومات ثلاثية الأبعاد المائلة، ومتماثلة القياس، وإسقاطيّة المنظور.

8 صنِّف الأنواع الثلاثة لطرائق الرسم المنظوري للنماذج ثلاثية الأبعاد.

9 وضِّح كيف يساعد العرض التفصيلي الشركات المُصنِعة على فهم المُنتَج قبل مرحلة التصنيع.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

الدرس الثاني

التصميم ثنائي وثلاثي الأبعاد

ستتعرّف في هذا الدرس على عالم التصميم ثنائي وثلاثي الأبعاد بشكلٍ مُفصَّل. تُستخدم الرسومات ثنائية الأبعاد والرسومات ثلاثية الأبعاد في الهندسة لعرض مواصفات التصميم ومعلوماته، وتُستخدم الرسومات ثنائية الأبعاد، والتي تُعرف أيضًا بالرسومات الفنية أو المُخطَّطات، لنقل المعلومات حول التصميم بوضوح ودقة، كما توفِّر الرسومات ثلاثية الأبعاد، والتي تُعرف أيضًا بالنماذج ثلاثية الأبعاد تمثيلًا أكثر واقعية لمجسّمٍ أو هيكلٍ معيَّن.

التصميم ثنائي وثلاثي الأبعاد 2D and 3D Design



يشير التصميم **ثنائي الأبعاد** (2D– Two-Dimensional) إلى تمثيل مجسّم باستخدام بُعدَين، وهما الطول والعرض دون العمق، ويُمكن تمثيل هذا التصميم على سطح مستوٍ، كقطعة من الورق أو شاشة الحاسب، وتُعدُّ الرسومات واللوحات والنصوص المكتوبة على الورق من أمثلة النماذج ثنائية الأبعاد.

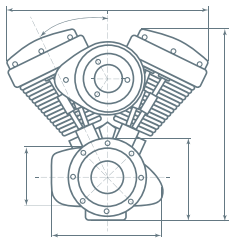


يشير التصميم **ثلاثي الأبعاد** (3D– Three-Dimensional) إلى تمثيل مجسّم باستخدام ثلاثة أبعاد: الطول و العرض والعمق، ويُمكن تمثيل هذا التصميم في العالم الواقعي على شكل مجسّم ذي حجم، مثل المكعب أو الكرة.

يتيح الحاسب استخدام النماذج الرياضية لإنشاء رسومات تمثِّل النماذج والرسوم المتحركة ثلاثية الأبعاد، ويُمكن عرض هذه النماذج على شاشة ثنائية الأبعاد، مما يعطي نوعًا من الإحساس بالعمق. تتضمَّن أمثلة النماذج ثلاثية الأبعاد التماثيل والمنحوتات والمباني، وتتضمَّن كذلك شخصيات الأفلام وألعاب الفيديو الكرتونية ثلاثية الأبعاد، والتي يتم إنشاؤها بواسطة الحاسب أيضًا.

مقارنة بين الرسومات ثنائية وثلاثية الأبعاد Comparing 2D and 3D Drawings

يتم في الهندسة استخدام كل من الرسومات ثنائية الأبعاد والرسومات ثلاثية الأبعاد؛ لتوصيل معلومات ومواصفات التصميم، ومع ذلك توجد بعض الاختلافات الرئيسة بينهما.



الرسومات ثنائية الأبعاد

تُقدِّم الرسومات ثنائية الأبعاد (الرسومات الفنية والمُخطَّطات) معلومات دقيقة حول التصميم، وغالبًا ما تُستخدم في عملية التصنيع لإنشاء الأجزاء **والتجميعات** (Assemblies) وفي المشاريع المعمارية والإنشائية، وعادة ما يتم إنشاء الرسومات ثنائية الأبعاد باستخدام برامج **التصميم بمساعدة الحاسب** (CAD)، ويُعدُّ إنشاؤها ومشاركتها أمرًا سهلًا نسبيًا، كما يُمكن طباعتها أو عرضها على شاشة الحاسب.



شكل 2.24: رسم ثنائي الأبعاد ونموذج ثلاثي الأبعاد لمحرك V2

الرسومات ثلاثية الأبعاد

تسمح الرسومات ثلاثية الأبعاد، والتي تعرف أيضًا بالنماذج ثلاثية الأبعاد، للمهندسين والمُصمِّمين بتصور التصميم من كافة زواياه، كما توفِّر هذه الرسومات تمثيلًا أكثر واقعية للمجسّم، بحيث يُمكن استخدامها لمحاكاة سلوك المُنتَج النهائي، ويتم إنشاء هذا النوع من الرسومات عادةً باستخدام برامج حاسوبية خاصة للتصميم ثلاثي الأبعاد؛ لإنشاء صور ورسوم متحركة واقعية تُستخدم غالبًا في تصميم المُنتَجات وتطويرها، و تُستخدم هذه الرسومات كذلك في المشاريع المعمارية والإنشائية، ومع ذلك يُمكن أن يكون إنشاء رسومات ثلاثية الأبعاد أكثر تعقيدًا واستهلاكًا للوقت مقارنة بإنشاء رسومات ثنائية الأبعاد، كما يُمكن أن يكون أكثر استهلاكًا للموارد عند تخزينها ومشاركتها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

في الجدولين 2.1 و 2.2 نستعرض بعض الأمثلة على الأشكال ثنائية وثلاثية الأبعاد.

جدول 2.1: أمثلة على أشكال ثنائية الأبعاد

الاسم	الخصائص	الصورة
الدائرة	شكل ذو خط منحنٍ يُشكِّل حلقة مغلقة، بحيث تقع النقاط الموجودة على هذه الحلقة على مسافة متساوية من نقطة المركز.	
المربع	شكل ذو أربعة أضلاع مستقيمة متساوية الطول، وأربع زوايا قائمة.	
المثلث	شكل ذو ثلاثة أضلاع مستقيمة وثلاث زوايا.	
المستطيل	شكل ذو أربعة أضلاع مستقيمة وأربع زوايا قائمة، بحيث تتساوى فيه الأضلاع المتقابلة في الطول.	

جدول 2.2: أمثلة على أشكال ثلاثية الأبعاد

الاسم	الخصائص	الصورة
الكرة	شكل ذو سطح منحنٍ متماثل حول نقطة مركزية، بحيث تقع جميع النقاط الموجودة على السطح على مسافة متساوية من نقطة المركز.	
المكعب	شكل ذو ستة أوجه مربَّعة، واثنا عشر ضلعًا، وثمانية رؤوس.	
الأسطوانة	شكل ذو طرفين دائريين، وجانب واحد منحنٍ.	
المخروط	شكل ذو قاعدة دائرية وجانب منحنٍ واحد يتناقص تدريجيًا إلى نقطة معيَّنة.	
الهرم	شكل ذو قاعدة متعدِّدة الأضلاع، وجوانب مثلثة تلتقي عند نقطة واحدة تسمى قمة الهرم.	

معلومة

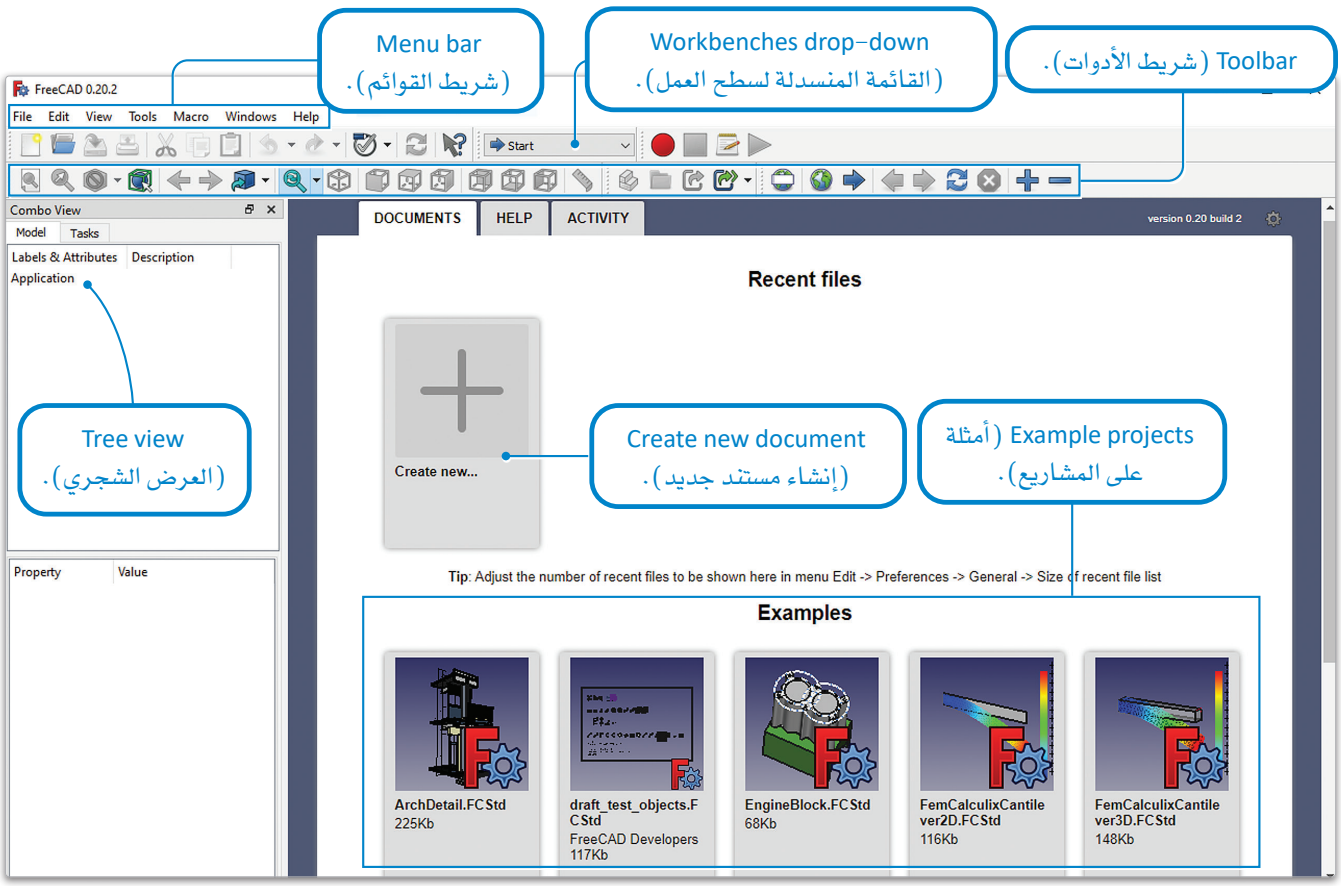
تشير الأشكال ثنائية وثلاثية الأبعاد في الهندسة إلى عدد الأبعاد الخاصة بالشكل أو المجسّم.

مقدمة في برنامج فري كاد Introduction to FreeCAD

فري كاد هو برنامج مجاني ومفتوح المصدر لتصميم النماذج ثلاثية الأبعاد بمساعدة الحاسب، يُستخدم لإنشاء وتحرير نماذج للمشاريع المعمارية والهندسية ومشاريع البناء، كما يسمح هذا البرنامج للمُستخدِمين بإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد للمباني، وللأجزاء الميكانيكية للآلات والمعدَّات الأخرى، وذلك باستخدام مجموعة متنوعة من الأدوات والميزات، ويتوفر برنامج فري كاد لأنظمة تشغيل ويندوز (Windows)، وماك أو أس (macOS) ولينكس (Linux)، كما يتضمَّن مجموعة متنوعة من أدوات النمذجة مثل:

- **تصميم قطعة** (Part Design): لإنشاء أجزاء وتجميعات ميكانيكية ثلاثية الأبعاد.
- **العمارة وتقنية البيم** (Arch & BIM): للتصميم المعماري ونمذجة معلومات البناء.
- **الراسم التخطيطي** (Sketcher): لإنشاء رسومات ثنائية الأبعاد يُمكن تحويلها إلى أشكال ثلاثية الأبعاد.
- **جدول البيانات** (Spreadsheet): لإنشاء جداول البيانات وتحريرها.
- **تحليل العناصر المحدودة** (FEM): لتحليل الهياكل والأجزاء الميكانيكية.
- **تتبُّع الأشعة** (Raytracing): لإنشاء تصورات واقعية للنماذج.
- **الروبوتية** (Robotics): لتصميم حركات الذراع الآلية، ومحاكاتها.

النمذجة ثلاثية الأبعاد هي عملية إنشاء تمثيل رقمي لمجسَم أو بيئة ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج متخصص.



شكل 2.25: واجهة المُستخدِم لبرنامج فري كاد

يسمح برنامج التصميم فري كاد بتغيير حجم وشكل المجسّمات والأشكال الهندسية عن طريق ضبط مُعامِلاتها، مما يسهّل إجراء تغييرات على التصميم ومعاينة النتائج بصورة فورية، ويمكنك أيضًا إنشاء تجميعات للأجزاء، وإنشاء قيود أو تحريرها لإنشاء نماذج أكثر تعقيدًا. يمكنك تنزيل البرنامج من الرابط التالي:

https://github.com/FreeCAD/FreeCAD/releases/download/0.20.2/FreeCAD-0.20.2-WIN-x64-installer-2.exe

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

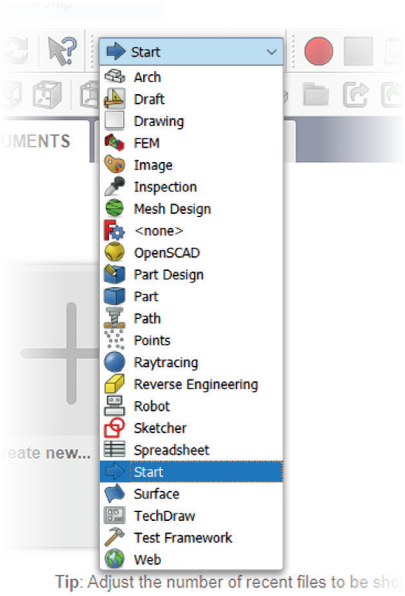
أسطح العمل Workbenches

يُعرَّف سطح العمل في برامج **التصميم بمساعدة الحاسب** (CAD) بأنه مجموعة الأدوات والميزات التي يتم تنظيمها وتجميعها معًا لأداء مُهِمَّة أو مجموعة من المهام المحدَّدة، وتوفر لك أسطح العمل في برامج التصميم بمساعدة الحاسب مجموعة من الأدوات المُصمَّمة خصيصًا لنوع محدَّد من الأعمال أو الأنشطة في ذلك البرنامج، مما يتيح الوصول بسرعة وسهولة إلى الأدوات التي تحتاجها لمُهِمَّة معيَّنة دون الحاجة إلى التنقل عبر مجموعة كبيرة من الأدوات التي قد لا تكون ذات علاقة بمُهِمَّتك الحالية.

يوجد في برنامج فري كاد مجموعة متنوعة من أسطح العمل المُصمَّمة لمهام ووظائف محدَّدة، ويمكنك استكشاف بعض أسطح العمل الرئيسة في هذا البرنامج من خلال الجدول أدناه.

جدول 2.3: أسطح عمل فري كاد

الاسم	الوصف
Spreadsheet Start Surface البداية	هذا هو سطح العمل الافتراضي عند بدء تشغيل برنامج فري كاد، ويوفِّر سطح العمل هذا واجهة بسيطة لفتح وإنشاء مستندات جديدة.
OpenSCAD Part Design Part تصميم قطعة	يُستخدم سطح العمل هذا لإنشاء أجزاء وتجميعات صلبة ثلاثية الأبعاد، ويتضمَّن أدوات لرسم الأشكال ثنائية الأبعاد، وتدويرها وسحبها وتشكيلها لإنشاء أجزاء ثلاثية الأبعاد، كما يتضمَّن أدوات لإنشاء وتحرير ميزات المواد مثل: التبطين وعمل الثقوب وقص الحواف.
Robot Sketcher Spreadsheet الراسم التخطيطي	يُستخدم سطح العمل هذا لإنشاء رسومات ثنائية الأبعاد، ويتضمَّن أدوات لإنشاء وتحرير الأشكال الهندسية مثل: الخطوط والدوائر والأقواس، بالإضافة إلى أدوات لتطبيق القيود من أجل تحديد شكل الرسم التخطيطي.
Arch Draft Drawing مسودة	يُستخدم سطح العمل هذا لإنشاء رسومات ثنائية الأبعاد ورسومات تقنية، ويتضمَّن أدوات لإنشاء وتحرير الأشكال مثل: الخطوط، والدوائر، والمضلعات والأدوات لإنشاء الأبعاد والتعليقات التوضيحية والتظليل.
Start Arch Draft العمارة	يُستخدم سطح العمل هذا لإنشاء العناصر المعمارية مثل: الجدران، والأبواب، والنوافذ، ويتضمَّن أدوات لإنشاء وتحرير المجسّمات، وكذلك أدوات معمارية لإنشاء وتحرير هياكل المباني.
Part Design Part Path قطعة	يُستخدم سطح العمل هذا لإنشاء الأشكال ثلاثية الأبعاد وتحريرها وتحليلها، ويتضمَّن أدوات لإنشاء وتحرير الأشكال مثل: الصناديق، والأسطوانات والكرات، بالإضافة إلى أدوات للقيام بالعمليات المنطقية وإنشاء التشابكات وتحريرها.





وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تحويل الأشكال ثنائية الأبعاد إلى نماذج ثلاثية الأبعاد
Transforming 2D Shapes into 3D Models

ستتعلَّم في هذا الدرس كيفية استخدام برنامج فري كاد لإنشاء أشكال ثنائية الأبعاد، ثم تحويلها إلى أشكال ثلاثية الأبعاد، وستقوم بإنشاء أشكال ثلاثية الأبعاد من البداية، وذلك بدلًا من استخدام الأشكال الموجودة سابقًا في سطح العمل.

ستبدأ أولًا بإنشاء شكل بسيط مثل المربع، وستتعلَّم كيفية تحويله إلى شكل ثلاثي الأبعاد مثل المكعب، كما ستستخدِم تقنية تسمى **الرسم التخطيطي** (Sketching)، حيث سترسم الشّكل على سطح مستوٍ يسمى المستوى، ثم ستتعلَّم كيفية استخدام أدوات مختلفة لرسم الشّكل، وضبط حجمه وموضعه. ستتعلَّم أيضًا خلال عملية الرسم كيفية تطبيق القيود على الأشكال، وهي بمثابة القواعد التي يمكنك استخدامها للحفاظ على اتساق الرسم التخطيطي.

بمجرد أن يصبح الشكل ثنائي الأبعاد جاهزًا، ستتعلَّم كيفية إضافة العمق ليتحول إلى شكل ثلاثي الأبعاد، وستستخدِم تقنية تسمى **البطانة** (Padding) لإضافة سماكة موحَّدة للشكل ثنائي الأبعاد.

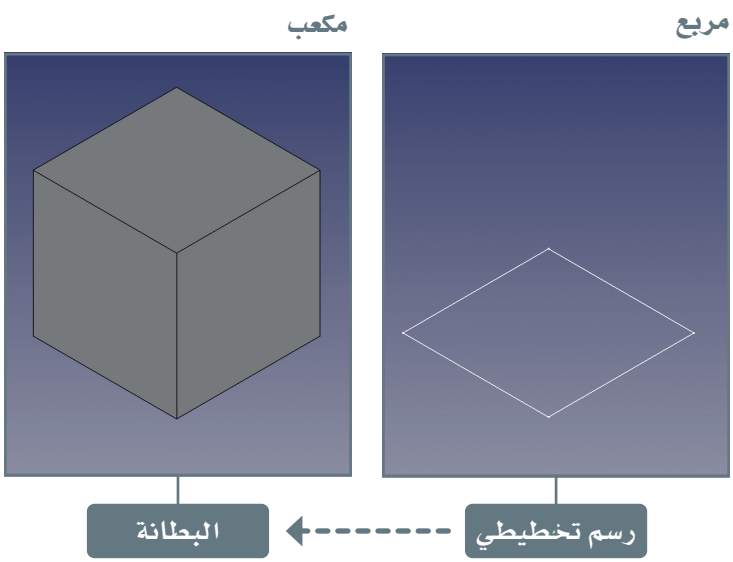
عند إنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد، من المفيد إنشاء رسم تخطيطي ثنائي الأبعاد للشكل الذي تريد إنشاءه، حيث يتيح لك ذلك العمل مع الشكل الأساسي ونِسَب الشكل قبل إضافة البُعد الإضافي للنموذج، ممّا يوفِّر لك الوقت والجهد على المدى الطويل؛ لأنه من الأسهل إجراء التغييرات على الرسم ثنائي الأبعاد بدلًا من المجسّم ثلاثي الأبعاد الذي تم تصميمه بالكامل، وعند إتمامك العمل على الرسم ثنائي الأبعاد، يمكنك استخدام تقنيات مثل: **البطانة** (Padding) أو **البثق** (Extrusion) لتحويله إلى شكل ثلاثي الأبعاد.

الرسم التخطيطي (Sketching):

الرسم التخطيطي هو تقنية مستخدَمة في برنامج التصميم بمساعدة الحاسب؛ لإنشاء أشكال ثنائية الأبعاد، وتتضمَّن العملية الأساسية في الرسم التخطيطي إنشاء تمثيل ثنائي الأبعاد لمجسّم على سطح مستوٍ يسمى المستوى، كما يُمكن استخدام هذا التمثيل كأساسٍ لإنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد للمجسّم.

البطانة (Padding):

البطانة هي تقنية مستخدَمة في برنامج التصميم بمساعدة الحاسب؛ لإنشاء مجسّم ثلاثي الأبعاد بناءً على شكل ثنائي الأبعاد، وذلك عن طريق إضافة السماكة لذلك الشكل، وتتم عملية تحويل الشكل ثنائي الأبعاد إلى مجسّم ثلاثي الأبعاد عن طريق تحديد مسافة أو قيمة تلك السماكة، وينتج عن ذلك مجسّم وسماكة متناسقة في كافة أجزائه. تُستخدم هذه التقنية بشكل واسع في إنشاء مجسّمات مثل: الصناديق والأسطوانات وكذلك الأشكال الأساسية الأخرى.



معلومة

تُنشئ البطانة شكلًا ثلاثي الأبعاد بسماكة ثابتة من شكل ثنائي الأبعاد، بينما ينشئ البثق شكلًا ثلاثي الأبعاد بسماكة متغيرة من شكل ثنائي الأبعاد، من خلال سحبه على طول محور معيَّن.

إنشاء شكل ثنائي الأبعاد Creating a 2D Shape

التصميم والنمذجة الأوَّلية Design and Prototyping

يُعدُّ كل من التصميم والنمذجة الأوَّلية من المفاهيم المهمة في عملية إنشاء المُنتَجات وتطويرها، وتبرز أهميتهما أيضًا من خلال استخدام برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد مثل برنامج فري كاد، حيث يتيح هذا البرنامج إنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد التي يُمكن استخدامها في تصميم وإنشاء النماذج الأوَّلية، وتحريرها، وتعديلها، ويمكنك من خلال هذا البرنامج إنشاء رسومات ثنائية الأبعاد وأشكال ثلاثية الأبعاد، وإجراء عمليات منطقية وتطبيق تحويلات مختلفة، كما يمكنك استيراد وتصدير تنسيقات ملفات مختلفة، وكذلك استخدام البرنامج لإجراء عمليات المحاكاة والعرض، وإنشاء نموذج أوَّلي افتراضي للتصميم واختباره قبل إنشاء النموذج الأوَّلي الفعلي.

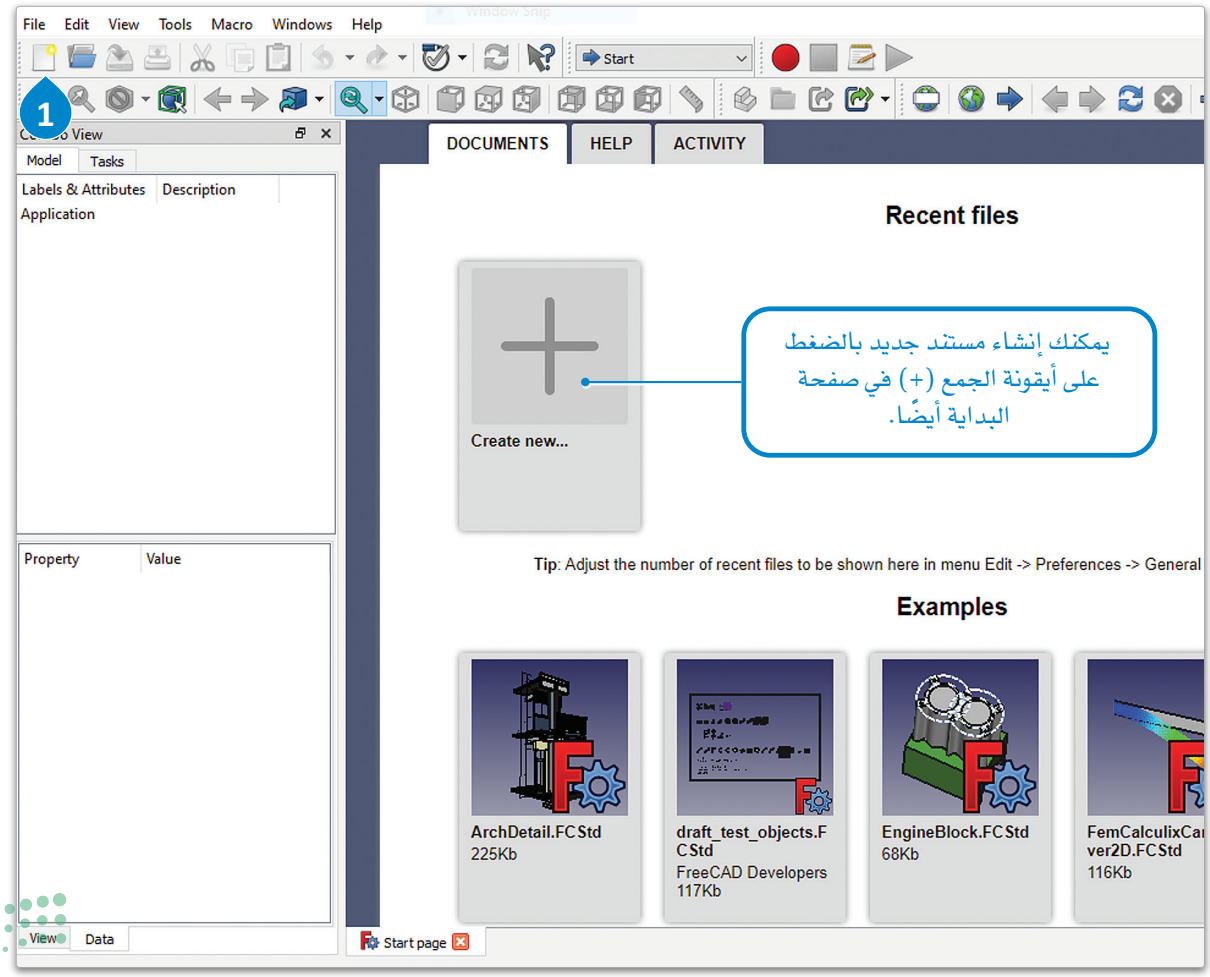
ستقوم الآن بإنشاء مستند جديد لبدء العمل مع برنامج فري كاد.

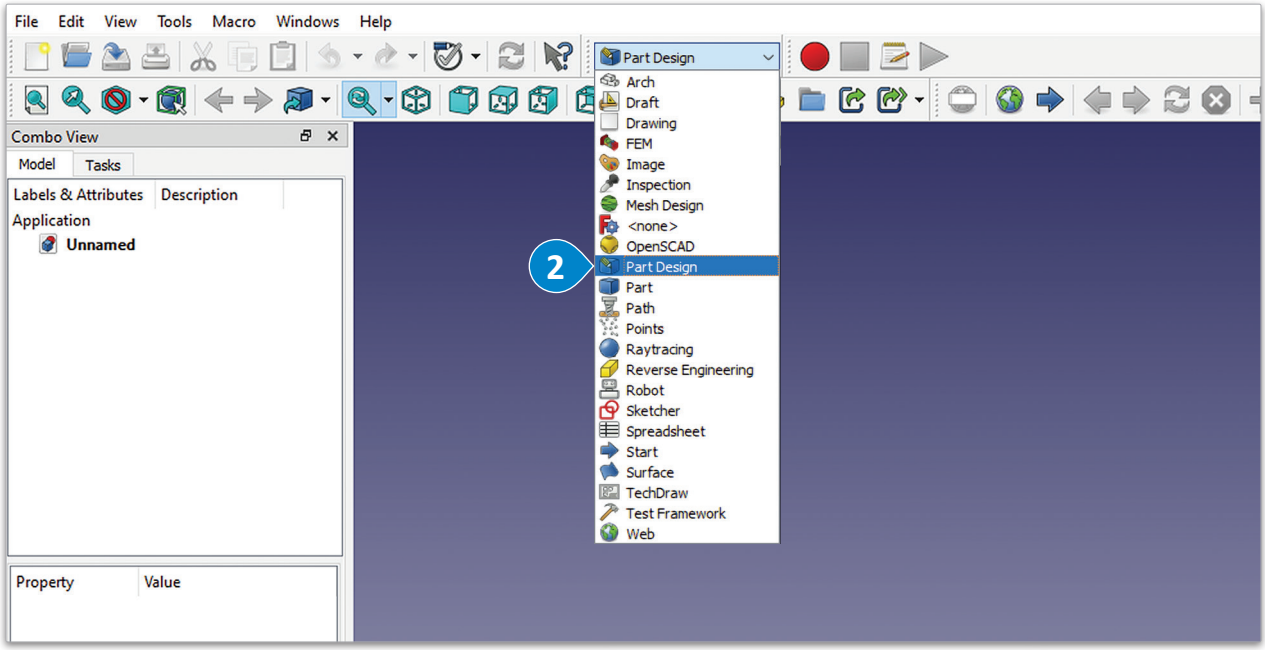
لإنشاء مستند جديد:

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أيقونة New (جديد). 1

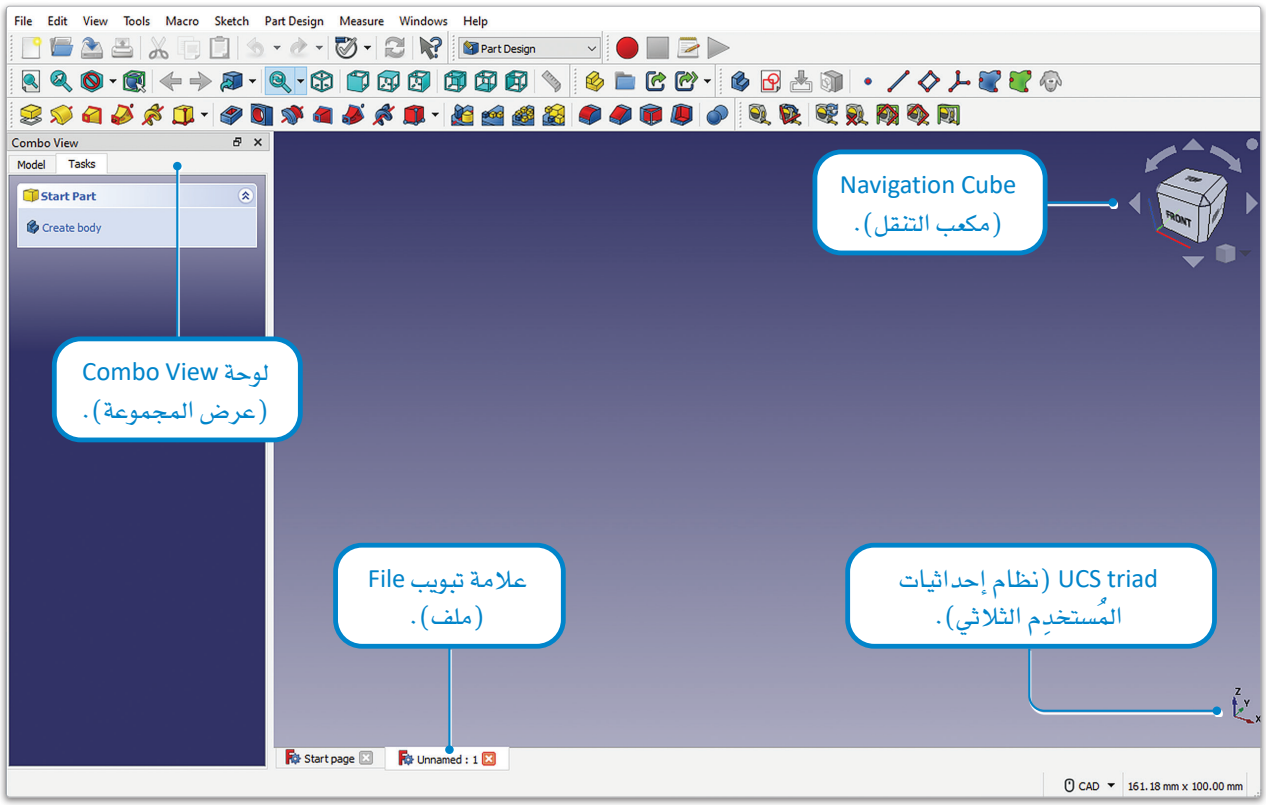
> من Workbenches drop-down (القائمة المنسدلة لسطح العمل)، اختر Part Design (تصميم قطعة). 2

يشبه استخدام برنامج فري كاد استخدامك لأدوات الكتابة الرقمية، فبدلًا من الرسم على الورق، سترسم بالقلم الرقمي على الحاسب.





شكل 2.26: إنشاء مستند جديد واختيار سطح العمل تصميم قطعة (Part Design)



شكل 2.27: واجهة المُستخدِم

نظام إحداثيات المُستخدِم (User Coordinate System – UCS) الثلاثي في برنامج فري كاد هو تمثيل مرئي للمحاور الثلاثة (X وY وZ) لنظام الإحداثيات ثلاثي الأبعاد.

إنشاء هيكل Creating a Body

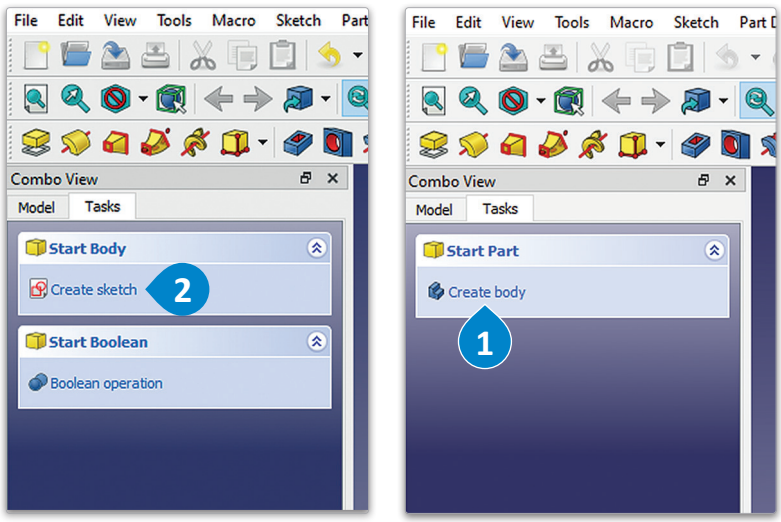
يشير مصطلح **الهيكل** (Body) في سياق برامج التصميم بمساعدة الحاسب إلى التمثيل ثلاثي الأبعاد لجسم مادي، فهو نموذج رقمي يُمكن إنشاؤه وتحريره ومعالجته باستخدام أدوات وميزات برامج التصميم بمساعدة الحاسب.

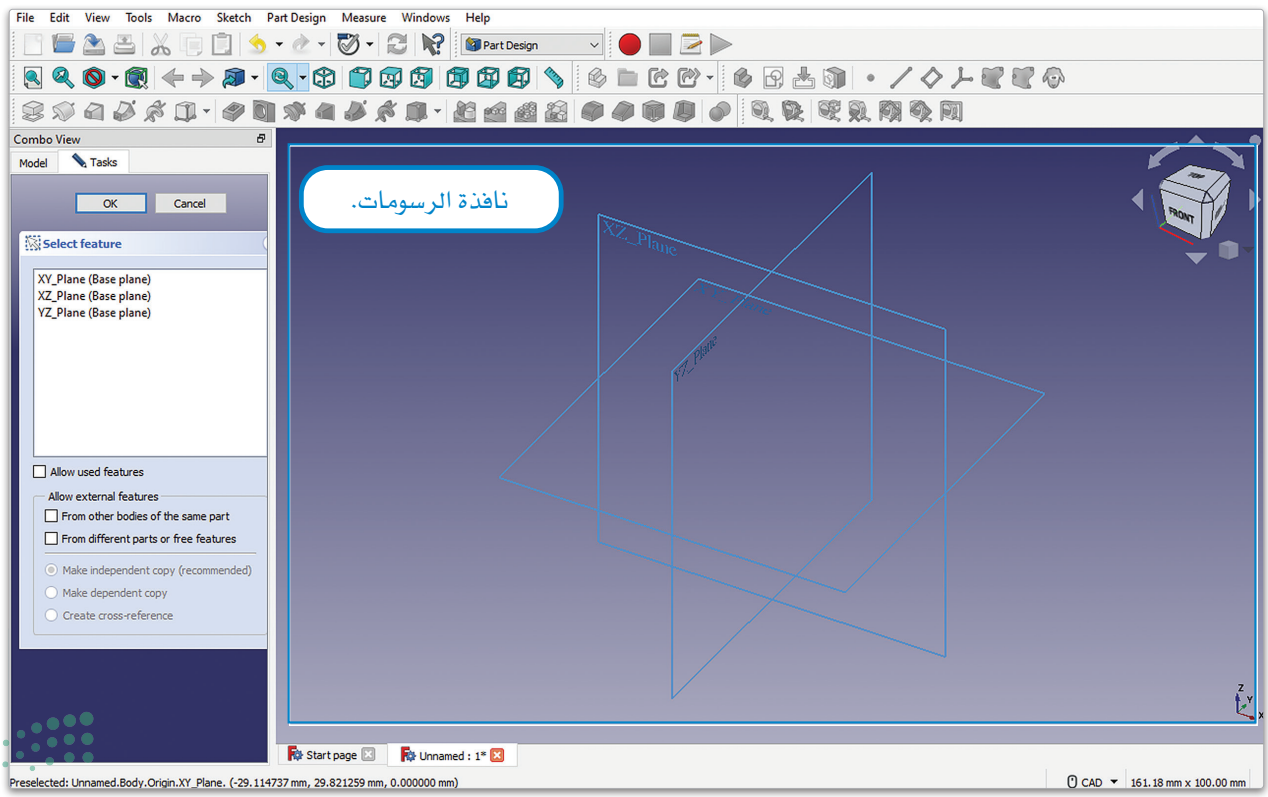
قد تكون الهياكل بسيطة أو معقدة، وقد تتكون من جزء واحدٍ أو أكثر، وفي معظم برامج التصميم بمساعدة الحاسب، يُشار إلى الجسم الصلب على أنه مجسّم ذو حجم معيَّن، ويُمكن تمثيله بمجموعة معادلات رياضية ورؤوس هندسية. يُعدُّ إنشاء الهيكل في برامج التصميم بمساعدة الحاسب خطوة أساسية في عملية التصميم والتصنيع، فهو يسمح للمُستخدِم بتمثيل التصميم وتحليله وإيصاله بشكل فعّال، كما يساعد عملية التصنيع بأن تكون فعّالة، ودقيقة، ومضبوطة من حيث التكلفة.

لإنشاء هيكل في برنامج فري كاد، يمكنك استخدام مجموعة متنوعة من الأدوات وفقًا للمتطلبات المحدَّدة لمشروعك، والآن ستنشئ هيكلًا باستخدام سطح العمل **تصميم قطعة** (Part Design).

لإنشاء هيكل:

- من قائمة Start Part (جزء البداية)، ومن علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Create body (إنشاء هيكل). 1
- من علامة تبويب Start Body (بداية الهيكل)، اضغط على Create sketch (إنشاء رسم تخطيطي). 2

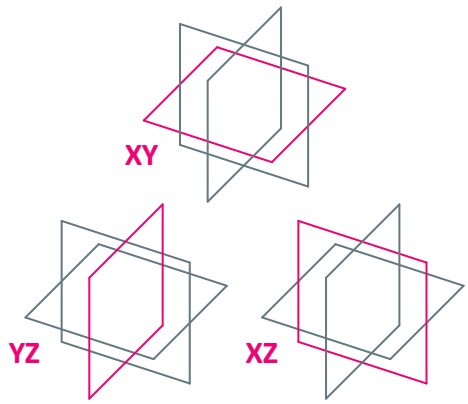




شكل 2.28: إنشاء هيكل

أسطح العمل للرسم الهندسي Planes

سطح العمل للرسم الهندسي (Plane) هو سطح ثنائي الأبعاد يُمكن استخدامه كمرجِع لإنشاء الأشكال للمجسّمات، وتحديد موضعها في مساحة ثلاثية الأبعاد، ويتم استخدامها في سطح عمل **الراسم التخطيطي** (Sketcher) لإنشاء رسومات تخطيطية ثنائية الأبعاد يُمكن بثقها أو تدويرها أو إضافة البطانة لها في أشكال ثلاثية الأبعاد. يتم استخدام نظام الإحداثيات العام كإطار مرجعي ثلاثي الأبعاد يعتمد على الإحداثيات X وY وZ لتحديد موضع أي نقطة في الفراغ بالنسبة إلى نقطة أصل ثابتة.

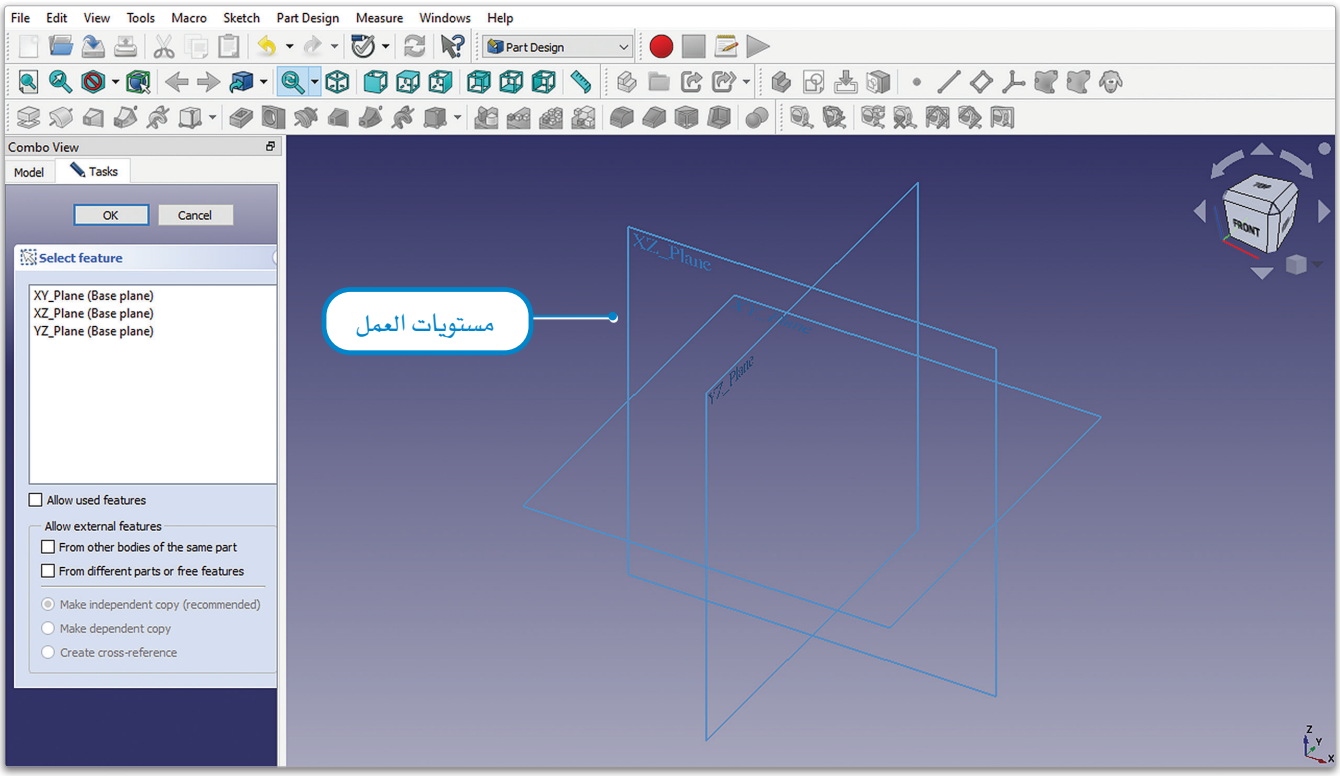


شكل 2.29: تمثيل أسطح عمل الرسم الهندسي في برنامج فري كاد

يوجد في برنامج فري كاد ثلاثة أسطح عمل رئيسة للرسم الهندسي، هي: مستوى XY، ومستوى YZ، ومستوى XZ، ويُمكن استخدام كل منها لأغراض مختلفة.

- مستوى XY: هو المستوى الافتراضي المُستخدَم عند إنشاء رسم تخطيطي جديد، وهو مستوىً أفقي يوازي مستوى XY في نظام الإحداثيات العام.
- مستوى YZ: يوازي هذا المستوى مستوى YZ في نظام الإحداثيات العام، ويُعدُّ مفيدًا بشكلٍ خاص عند إنشاء رسومات تخطيطية موجَّهة عموديًا.
- مستوى XZ: يوازي هذا المستوى مستوى XZ في نظام الإحداثيات العام، ويُعدُّ مفيدًا عند إنشاء رسومات تخطيطية موجَّهة أفقيًا.

يوضِّح الشكل 2.30 المستويات الثلاثة الرئيسة.

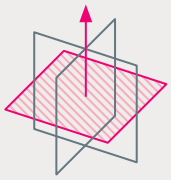


شكل 2.30: أسطح العمل للرسم الهندسي

معلومة

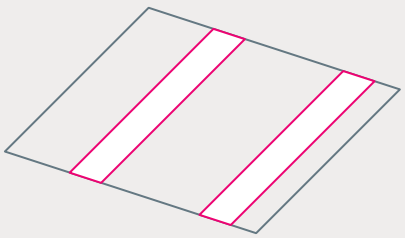
يوجد سطح عمل للرسم الهندسي يطلق عليه المستوى المُخصَّص من قبل المُستخدِم (User-Defined Plane)، ويتم إنشاؤه بواسطة المُستخدِم، حيث يسمح بإنشاء سطح مرجعي في أي مكان واتجاه داخل متَّجَه الفراغ ثلاثي الأبعاد.

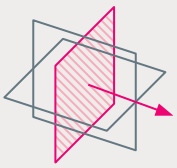
وهذه بعض الأمثلة التي يمكنك استعراضها لتفهم أسطح عمل الرسم الهندسي في برنامج فري كاد بشكل أفضل.



سطح عمل الرسم الهندسي XY

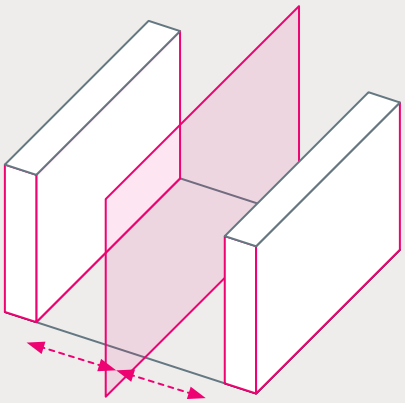
يُمكن استخدامه كسطح مرجعي لإنشاء رسومات ثنائية الأبعاد. على سبيل المثال، إذا كنت ترغب في إنشاء رسم ثنائي الأبعاد للرسم التخطيطي لمبنى معيَّن، فيمكنك إنشاء رسم تخطيطي جديد على السطح XY، واستخدام أدوات الرسم لتمثيل الجدران والأبواب والإضافات الأخرى للرسم التخطيطي للمبنى.





سطح عمل الرسم الهندسي YZ

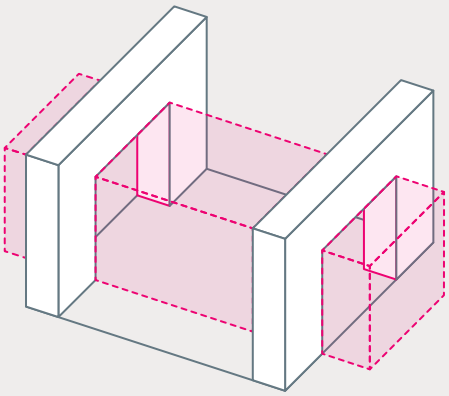
يُمكن استخدامه كسطح مرجعي لمحاذاة الاشكال والمجسّمات. على سبيل المثال، إذا كنت تنشئ تجميعًا لأجزاء متعددة، يمكنك إنشاء سطح موازٍ لسطح عمل الرسم الهندسي YZ ومحاذاة كافة الأجزاء إليه، حيث سيضمن ذلك إضافة الأجزاء بشكل صحيح بالنسبة لبعضها البعض.





سطح عمل الرسم الهندسي XZ

يُمكن استخدامه كسطح مرجعي لإنشاء مقاطع عرضية للنماذج ثلاثية الأبعاد. على سبيل المثال، إذا كنت تريد إنشاء مقطع عرضي لنموذج ثلاثي الأبعاد لأحد المباني، يمكنك إنشاء سطح جديد موازٍ لسطح عمل الرسم الهندسي XZ واستخدامه كمستوى مقطعي لإنشاء جزء من المبنى.



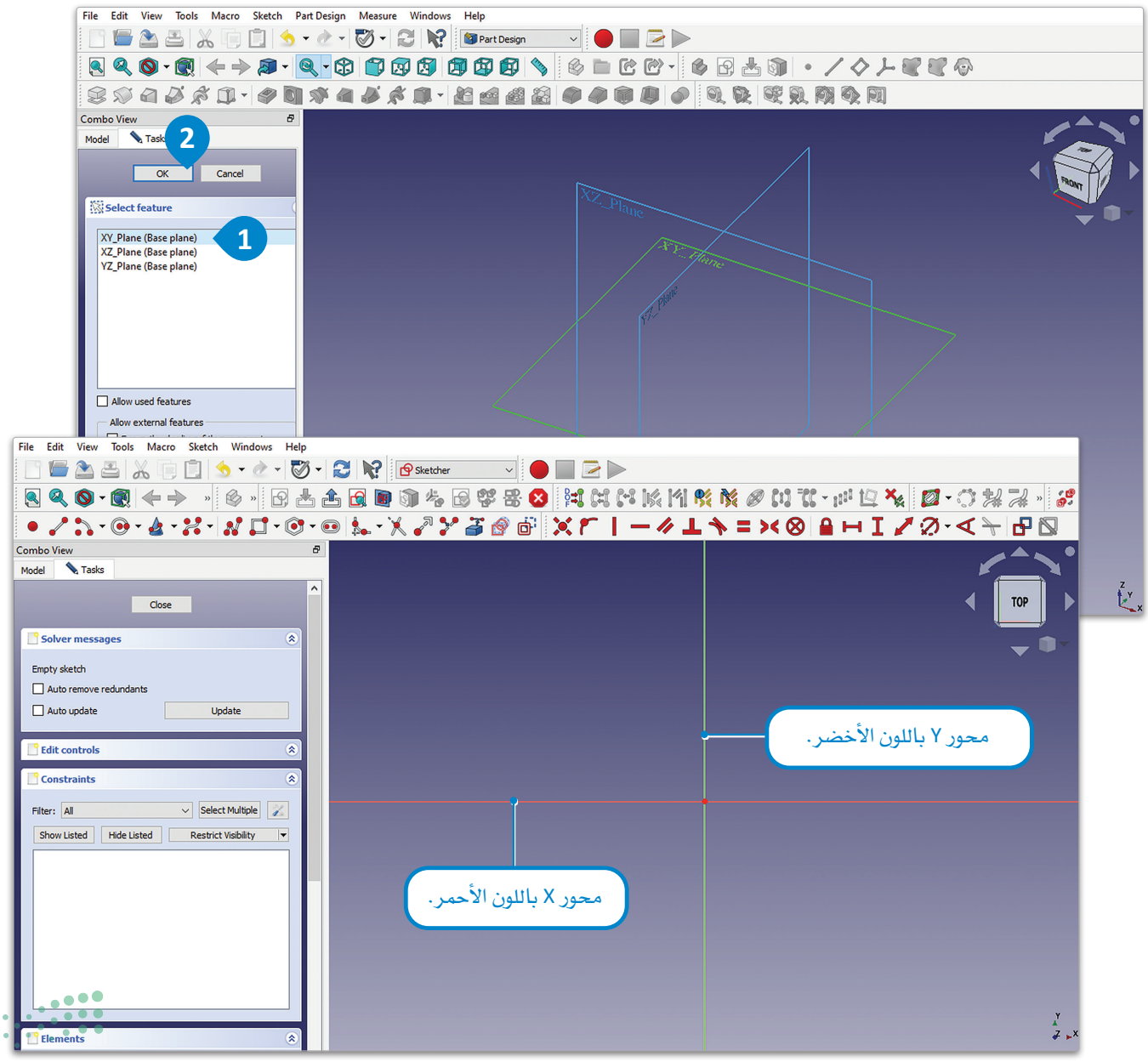
هذه بعض الأمثلة لكيفية استخدام أسطح العمل للرسم الهندسي في برنامج فري كاد، وهناك العديد من الميزات الأخرى التي تعتمد على برنامج التصميم المُستخدَم. تكمُن الفكرة الرئيسة بأنه يُمكن استخدام كل سطح عمل للرسم الهندسي كسطح مرجعي لأغراض مختلفة. يُستخدم السطح XY بشكل أساسي لإنشاء الرسومات التخطيطية، ويُستخدم السطح YZ في الغالب للمحاذاة، بينما يُستخدم السطح XZ بشكل أساسي لإنشاء المقاطع العرْضية.

ستختار الآن سطح العمل للرسم الهندسي XY في برنامج فري كاد عن طريق تحديد السطح XY من قائمة أسطح العمل للرسم الهندسي، وسينتُج عن ذلك رسم تخطيطي جديد موازٍ للسطح XY. يشبه هذا الأمر إلى حد كبير الرسم على قطعة ورق على مكتبك، حيث تُمثِّل الورقة هنا السطح XY، وما ترسمه عليها هو الرسم التخطيطي.

لاختيار مستوى العمل:

- من علامة تبويب Tasks (المهام) في Combo View (عرض المجموعة)، اضغط على XY-Plane (السطح- XY). 1
- من علامة تبويب Tasks (المهام) في Combo View (عرض المجموعة)، اضغط على Ok (موافق). 2

سيقوم برنامج فري كاد تلقائيًا بتغيير سطح العمل من تصميم قطعة (Part Design) إلى الراسم التخطيطي (Sketcher) عند إنشاء رسم تخطيطي جديد.



شكل 2.31:: اختيار سطح العمل للرسم الهندسي

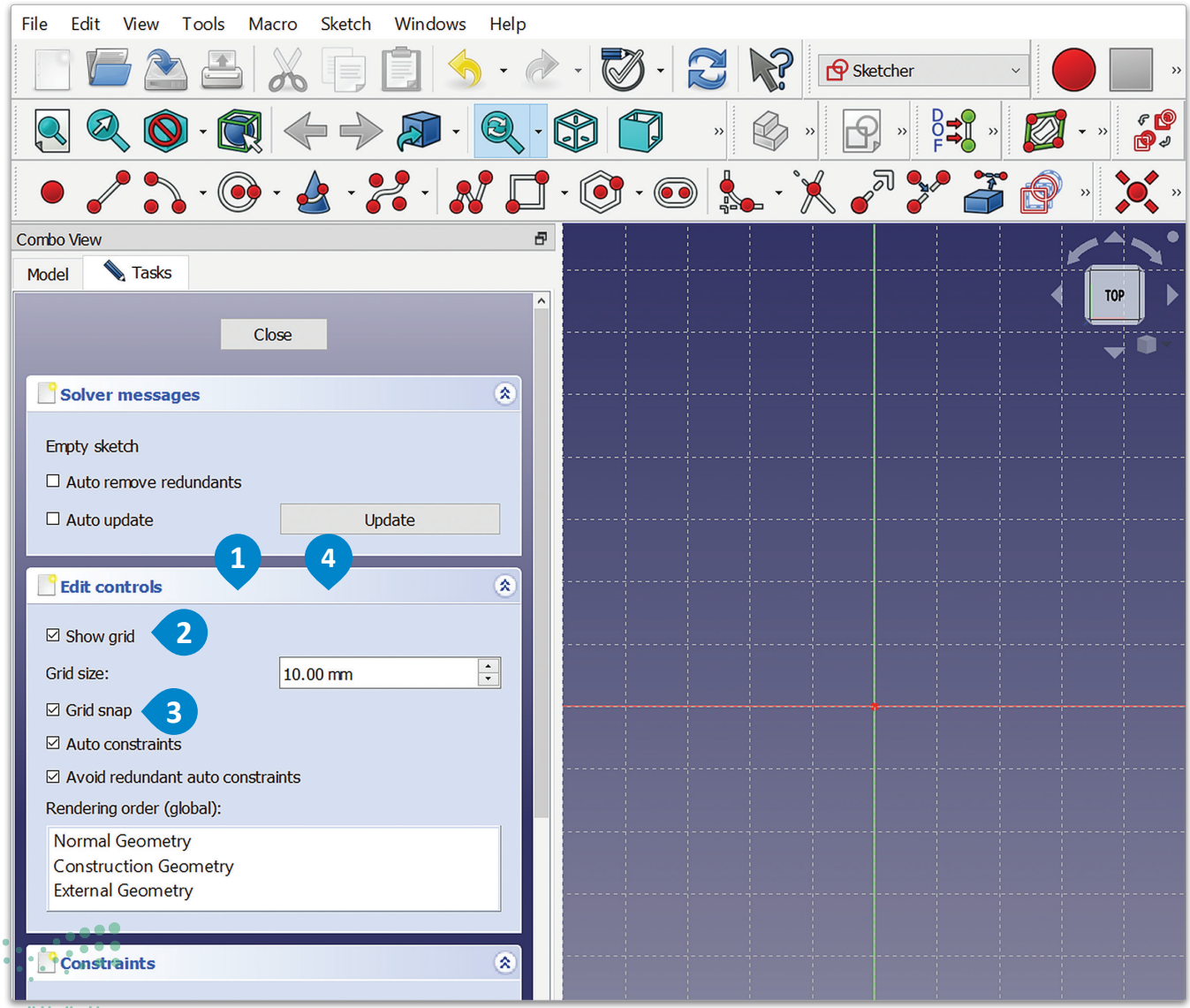
الشبكة The Grid

يُعدُّ تفعيل الشبكة عند استخدام برنامج فري كاد أمرًا ضروريًا؛ لأنه يسمح لك بإنشاء المجسّمات وتعديلها بدقة أكبر، حيث تتكون الشبكة من مجموعة خطوط يتم عرضها على الشاشة، وتساعد هذه الخطوط على محاذاة النقاط والحواف وأوجه المجسّم بخطوط الشبكة، مما يجعل تطبيق عملية النمذجة أكثر سهولة ودقة.

لتفعيل الشبكة:

- من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Edit Controls (تحرير عناصر التحكم). 1
- من علامة تبويب Tasks (المهام) في علامة تبويب Edit Controls (تحرير عناصر التحكم)، اختر Show grid (عرض الشبكة)، 2 ثم اختر Grid snap (جذب الشبكة). 3
- من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Edit Controls (تحرير عناصر التحكم) لتصغير علامة التبويب. 4

جذب الشبكة (Grid snap) ميزة تسمح بجذب المؤشر إلى خطوط الشبكة.



شكل 2.32: تفعيل الشبكة

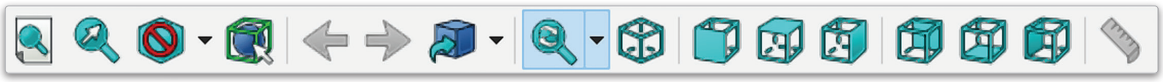
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

سطح عمل الراسم التخطيطي Sketcher Workbench

لكي تُنشئ شكلًا ثنائي الأبعاد، ستعمل على سطح عمل **الراسم التخطيطي** (Sketcher)، حيث يوفِّر هذا السطح مجموعة أدوات وميزات تسمح لك بإنشاء الرسومات ثنائية الأبعاد، وتحريرها، وتطبيق قيود هندسية على نقاط الرسم التخطيطي، وخطوطه. ستتعرّف فيما يلي على بعض الأدوات الرئيسة في شريط أدوات سطح عمل **الراسم التخطيطي** (Sketcher) قبل البدء بإنشاء المربع:

أدوات العرض

تتيح لك هذه الأدوات التحكم في عرض الرسم التخطيطي مثل: التكبير والتصغير، والتحريك والتدوير.



أدوات الراسم التخطيطي

تتيح لك هذه الأدوات بدء رسم تخطيطي أو الخروج منه.



أدوات الراسم التخطيطي الهندسية

تتيح لك هذه الأدوات إنشاء الأشكال الأساسية للرسم مثل: الخطوط، والأقواس، والدوائر والمستطيلات.

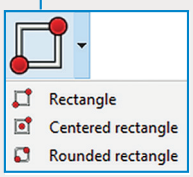


أدوات القيود

تتيح لك هذه الأدوات تطبيق قيود على نقاط وخطوط الرسم التخطيطي مثل: قيود المسافة والزوايا والتماثل.



ستستخدِم الآن أداة **المستطيل** (Rectangle) لإنشاء مستطيل في الرسم التخطيطي.



تتيح لك أداة Rectangle (المستطيل) في برنامج فري كاد إنشاء مستطيلات على مستوى ثنائي الأبعاد بمواضع وأبعاد دقيقة. تتوفر خيارات ثلاثة عند استخدام هذه الأداة:

- Rectangle (مستطيل): يُنشئ هذا الخيار مستطيلًا قياسيًا، ويمكنكَ تحديده بالضغط على نقطة ثم سحب المؤشر لتعيين الزاوية المقابلة للمستطيل، أو بالضغط على زاويتين متقابلتين لتحديده.
- Centered rectangle (مستطيل مركزي): ينشئ هذا الخيار مستطيلًا مع خيار تحديد نقطة المركز، حيث يمكنك ضبط نقطة المركز و كذلك المسافة من مركز المستطيل إلى الزوايا لإنشاء المستطيل.
- Rounded rectangle (مستطيل مستدير الزوايا): ينشئ هذا الخيار مستطيلًا بزوايا مستديرة، حيث يمكنك ضبط نصف قطر الزوايا لإنشاء مستطيل بزوايا مستديرة وفقًا لمتطلباتك.

لإنشاء مستطيل:

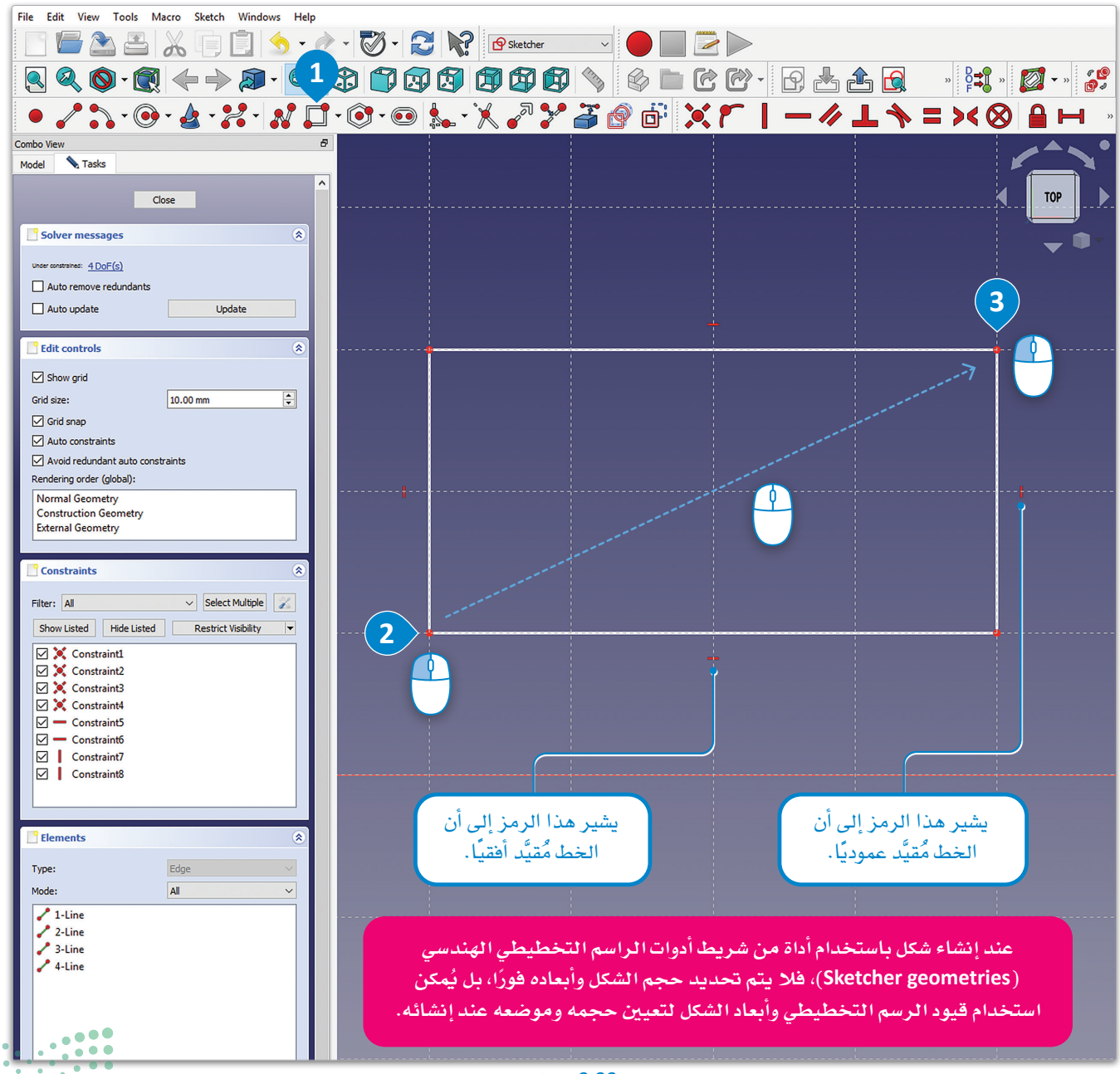
> من شريط toolbar (الأدوات)، اختر أداة Create rectangles (إنشاء مستطيلات). 1

> اضغط على الرسم التخطيطي لتعيين الزاوية الأولى للمستطيل. 2

> حرِّك المؤشر لتعيين الزاوية المقابلة في المستطيل، واضغط مرة أخرى لإنشاء المستطيل. 3



يمكنك إلغاء تحديد أداة عن طريق الضغط بزر الفأرة الأيمن على المساحة الفارغة خارج الشكل، مما يؤدي إلى إلغاء تنشيط الأداة، وبذلك تتمكن من اختيار أداة أخرى.



شكل 2.33: إنشاء مستطيل

قيود المجسّمات Object Constraints

تُستخدم القيود لتعريف الخصائص الهندسية والعلاقات بين العناصر المختلفة للرسم مثل: النقاط والخطوط والأشكال، كما تُستخدم القيود لتعريف سلوك مجسّم والتأكد من محافظته على شكله وموضعه أثناء تطبيق تغييرات عليه، فعندما تُنشئ شكلًا كالمستطيل مثلًا في برنامج فري كاد، فإن هذا الشكل يتضمَّن مجموعة محدَّدة سابقًا من القيود، ويتم تطبيق هذه القيود تلقائيًا على المستطيل لضمان احتفاظه بخصائصه الهندسية وإمكانية تعديله وتغييره بشكل مناسب ومتناسق.

درجات الحرية Degrees of Freedom (DoF)

تشير **درجات الحرية** (DoF) إلى عدد المتغيرات المستقلة التي يمتلكها الرسم أو العنصر المحدَّد، كما تحدِّد عدد الاتجاهات التي يمكنه التحرك بها، وإمكانية تعديلها. يتم تحديد عدد **درجات الحرية** (DoF) من خلال عدد القيود الهندسية المطبقة على رسم أو عنصر، وعدد الأبعاد التي تحدِّده.

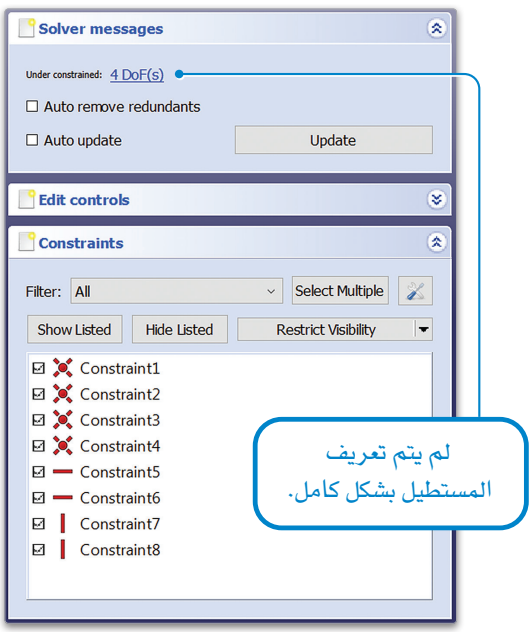
ومن خلال الجدول 2.4، يمكنك التعرّف بشكلٍ تفصيلي على بعض أدوات القيود في برنامج فري كاد.

جدول 2.4: أدوات القيود

الأيقونة	الأداة
	تقييد الالتقاء: تُستخدم هذه الأداة لمحاذاة نقطتين أو خطين معًا، فهي تضمن تطابق النقاط أو الخطوط المحدَّدة (في الموقع نفسه).
	تقييد النقطة على مجسّم: تُستخدم هذه الأداة لتقييد نقطة لتظهر على مجسّم معيَّن.
	التقييد الأفقي: تُستخدم هذه الأداة لجعل الخط أفقيًا وضمان أن الخط المحدَّد موازٍ للمحور X.
	التقييد العمودي: تُستخدم هذه الأداة لجعل الخط رأسيًا وضمان أن الخط المحدَّد موازٍ للمحور Y.
	التقييد بالتساوي: تُستخدم هذه الأداة لتقييد خطين أو قوسين أو دائرتين ليكون لهما الطول نفسه، أو نصف القطر أو الزاوية نفسها بينهما.
	تقييد التناظر: تضمن هذه الأداة أن يكون المجسّم متناظرًا (متماثلًا) عند نقطة أو خط معيَّن.
	تقييد المسافة الأفقية: تُستخدم هذه الأداة لتعيين مسافة أفقية ثابتة بين نقطتين أو خطين، حيث تضمن بأن النقاط أو الخطوط المحدَّدة تحافظ على مسافة أفقية ثابتة.
	تقييد المسافة الرأسية: تُستخدم هذه الأداة لتعيين مسافة رأسية ثابتة بين نقطتين أو خطين، فهي تضمن أن النقاط أو الخطوط المحدَّدة تحافظ على مسافة عمودية ثابتة.
	تقييد الزاوية: تضمن هذه الأداة احتفاظ خطين بزاوية ثابتة بينهما.

القيد (Constraint):

القيد هو قاعدة أو شرط يتم تطبيقه على مجسّم للتحكم في كيفية تعديله أو نقله.



يجب توفير رسم تخطيطي مُعرف بالكامل دون أية درجات حرية لاستخدام أدوات إنشاء الأشكال ثلاثية الأبعاد.

يُمكن أن يؤثر الترتيب الذي تطبق به القيود على مجسّم معيَّن في برنامج فري كاد على سلوك المجسّم وإمكانية رسمه، ومن الأفضل تطبيق القيود الأساسية في البداية، كتحديد موضع النقطة أو طول الخط، ثم إضافة قيود أكثر تعقيدًا حسب الحاجة.

على سبيل المثال، يتطلب تحويل مستطيل إلى مربع تقييد طول ضلعين متجاورين ليكونا متساويين، ويجب تطبيق قيود المسافة على ضلع واحد، ثم استخدام هذا الضلع كمرجِع لتقييد الضلع المجاور.

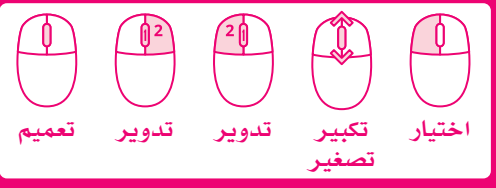
لتقييد المسافة الأفقية:

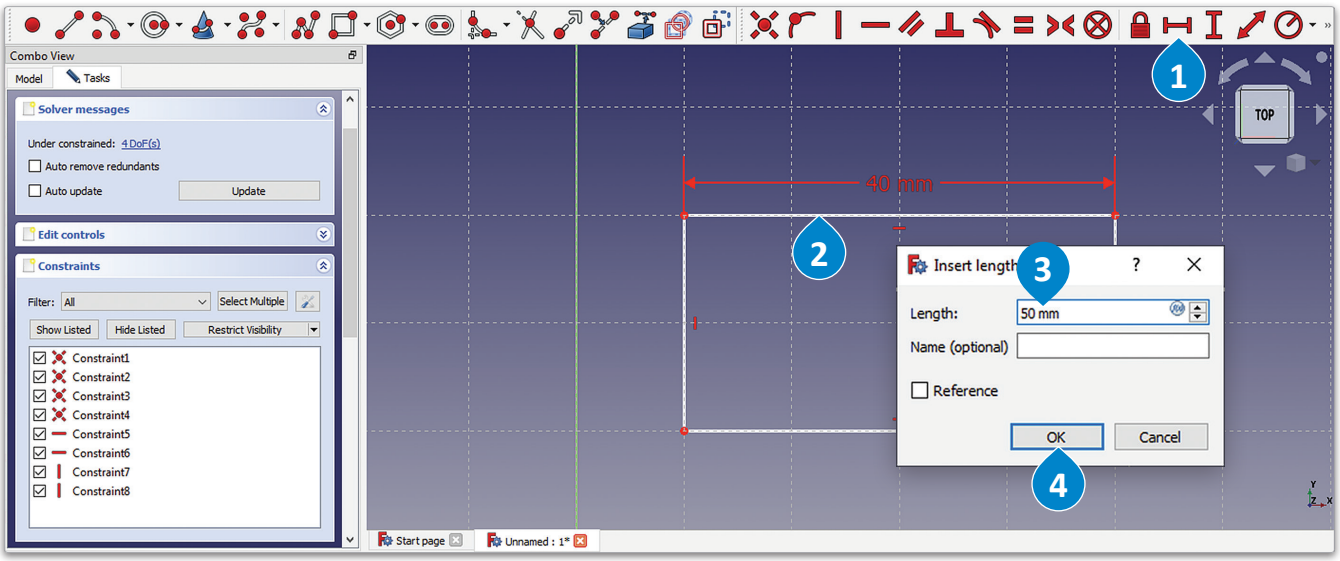
> من شريط أدوات Constraints (القيود)، اختر أداة Constraint horizontal distance (تقييد المسافة الأفقية). 1

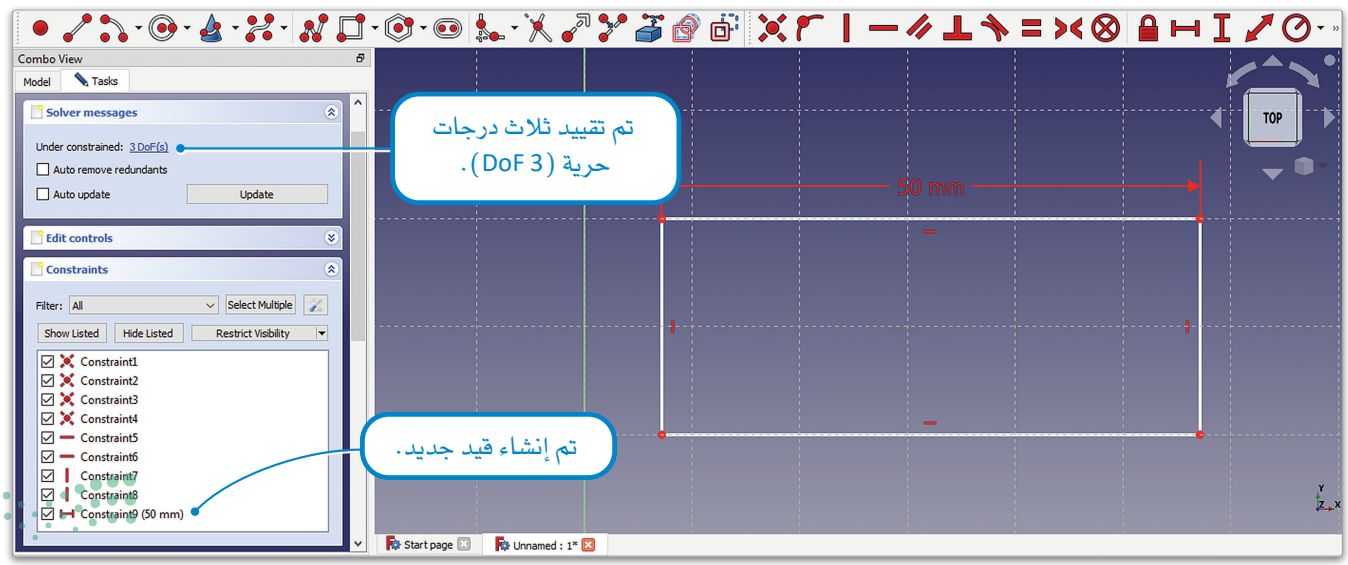
> اضغط على الحافة العلوية للمستطيل. 2

> اضبط Length (الطول) على 50 mm (50 مليمتر)، 3 ثم اضغط على OK (موافق). 4

طريقة التنقل والحركة بصورة تفاعلية مع نموذج ثلاثي الأبعاد في برنامج فري كاد.







شكل 2.34: تقييد المسافة الأفقية

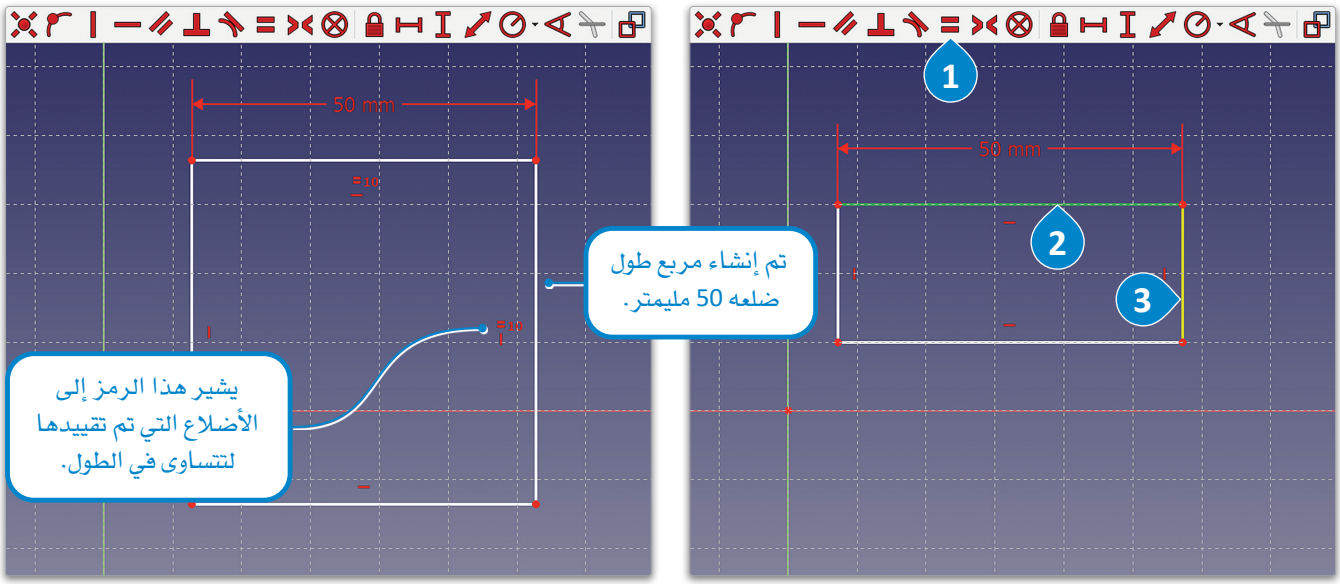
ستستخدِم أداة **التقييد بالتساوي** (Constrain Equal) من أجل إنشاء المربع، وذلك بجعل أضلاع المستطيل متساوية.

لجعل الأضلاع متساوية:

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Constrain equal (التقييد بالتساوي). 1

> اختر الحافة العلوية، 2 ثم اختر الحافة اليمنى للمستطيل. 3

عند اختيارك لأداة وتُمريرك لمؤشر الفأرة فوق خط ما، فسيتحول لون الخط إلى الأصفر، للإشارة إلى أنه تم اختياره، وبأنه يُمكن تحديده بالضغط عليه. يتحول الخط إلى اللون الأخضر عند الضغط عليه، مما يشير إلى أن الخط قد تم تحديده، وحينها يُمكن استخدامه أو تعديله بواسطة الأداة الحالية.



شكل 2.35: جعل الأضلاع متساوية

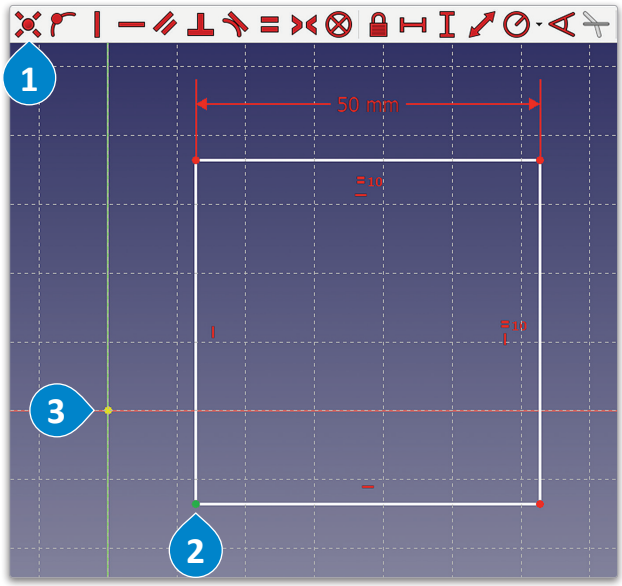
في الختام، لتحصل على مربع مقيد بالكامل، ستحتاج إلى استخدام أداة **تقييد الالتقاء** (Constrain Coincidence) لتقييد موضع إحدى زوايا المربع عند تقاطع المحاور.

لتقييد النقاط:

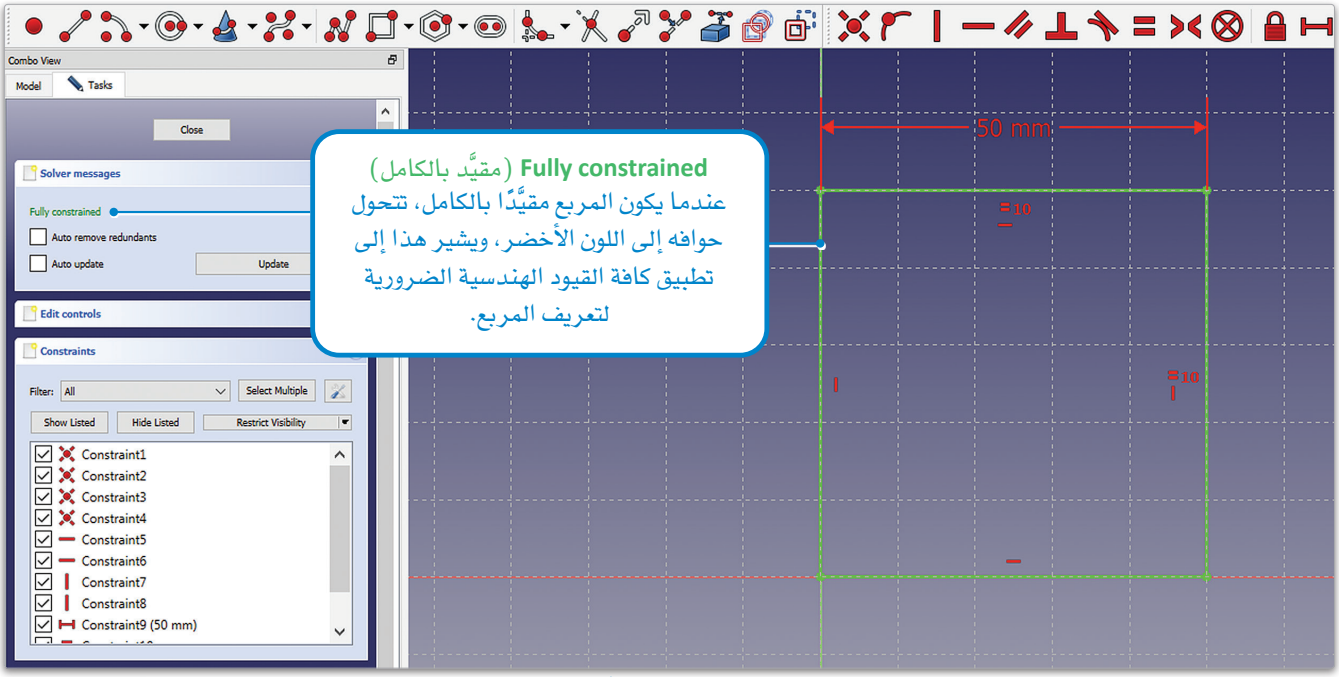
> من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Constrain coincidence (تقييد الالتقاء). 1

> حدِّد الزاوية اليسرى السفلية للمربع، 2 ثم حدِّد مركز المحور. 3

بمجرد تقييد المربع بالكامل، لا يمكنك تغيير شكله أو حجمه دون تجاوز قيد واحد أو أكثر من تلك القيود.



شكل 2.36: تقييد النقاط

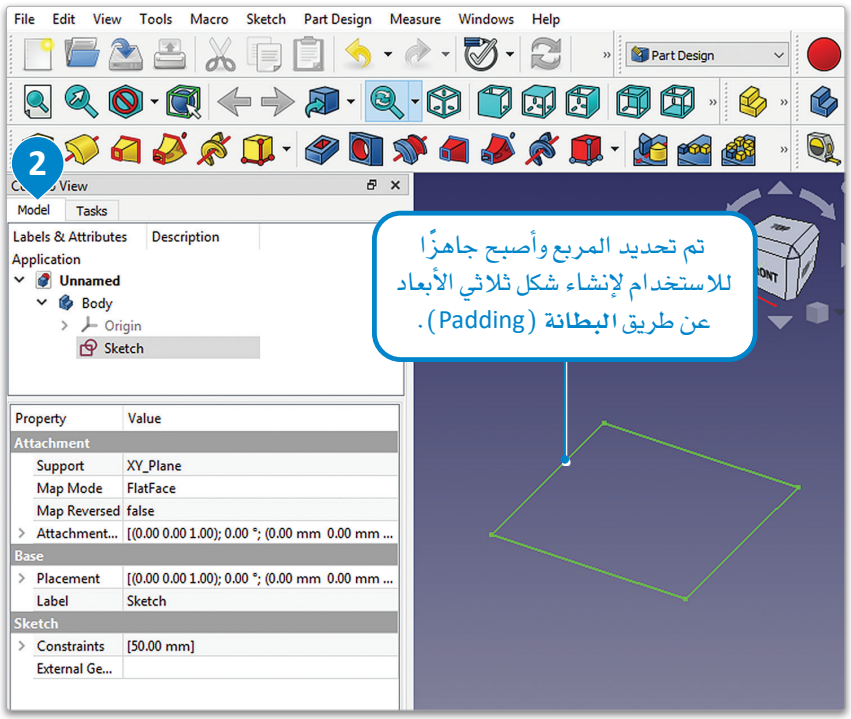


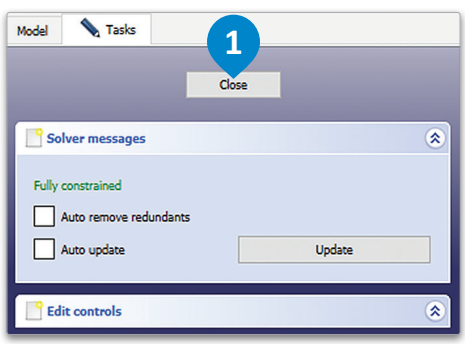
شكل 2.37: شكل مقيَّد بالكامل

يمكنك إغلاق الرسم التخطيطي بعد القيام بتقييد المربع بالكامل.

لإغلاق الرسم التخطيطي:

- من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Close (إغلاق). 1
- من Combo View (عرض المجموعة)، اضغط على علامة تبويب Model (النموذج). 2





شكل 2.38: إغلاق الرسم التخطيطي

معلومة

يشير المربع المقيد بالكامل إلى أن الشكل جاهز للاستخدام كقاعدة لعمليات أخرى مثل: إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد بالبثق، أو لاستخدامه كمَرجِع لأشكال أو قياسات أخرى.

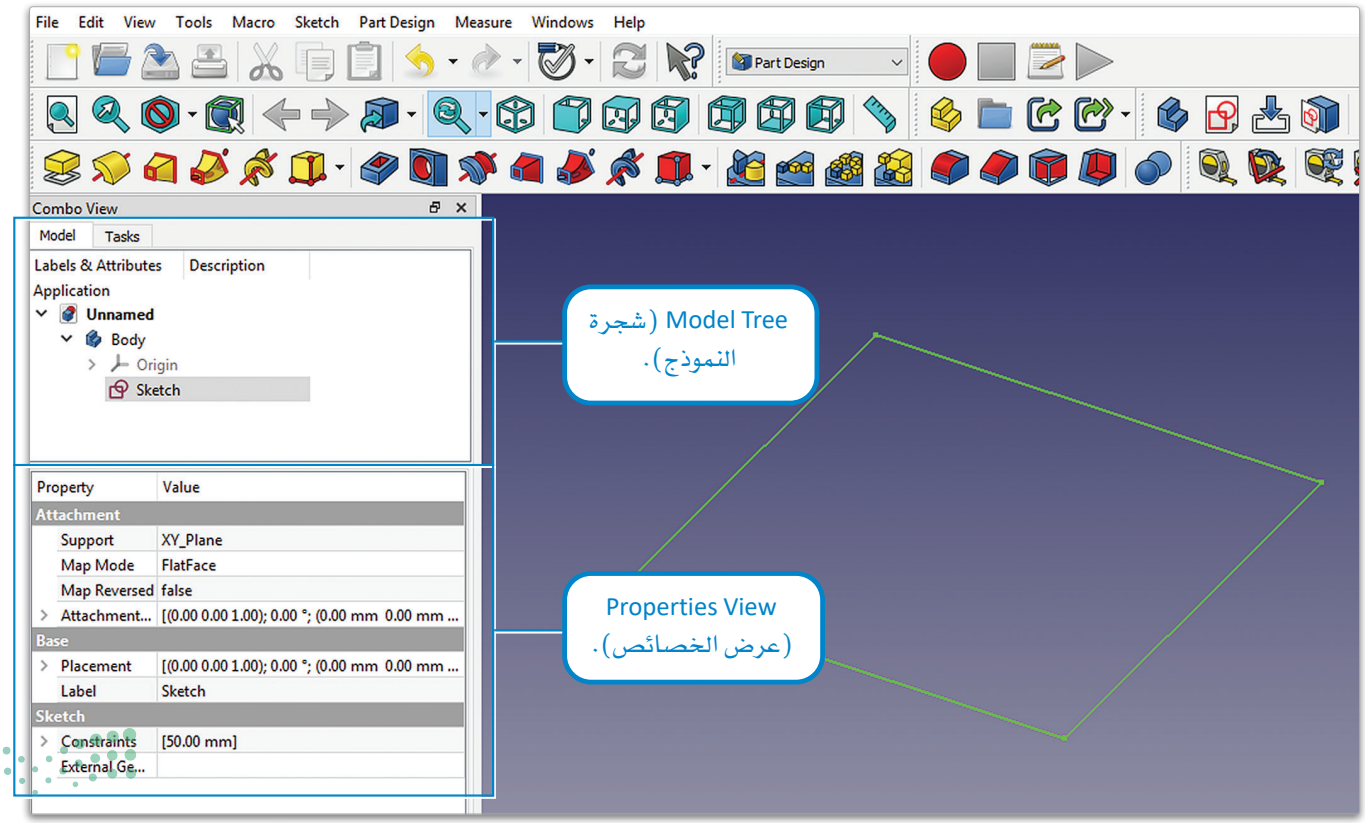
عندما تنتهي من رسم المربع وتطبيق القيود، ستظهر التغييرات التي أجريتها في علامة تبويب **النموذج** (Model)، بحيث يمكنك معاينة الهيكل العام لتصميمك.

سترى المربع الذي أنشأته كإضافة جديدة في شجرة النموذج بالخصائص والقيود نفسِها التي طبقتها في الرسم التخطيطي، وسيكون للمربع اسم فريد أيضًا، وستُعرض خصائص المجسّم في **عرض الخصائص** (Properties view)، حيث يمكنك رؤية طول المجسّم وعرضه وموضعه وخصائص أخرى.

إذا كنت تريد استخدام المربع كمرجع لأشكال أو ميزات أخرى، فيمكنك تحديده من شجرة النموذج واستخدامه كأساس لعملك التالي.

جدول 2.5: علامة تبويب النموذج (Model)

الاسم	الوصف
شجرة النموذج (Model Tree)	هي عرض هرمي لجميع المجسّمات في تصميمك، فهي تعرض بنية النموذج بدءًا من المستوى الأعلى والذي يُمثِّل المستند أو الملف، ونزولًا إلى الأشكال والعناصر والميزات الفردية لكل شكل.
عرض الخصائص (Properties View)	هي لوحة تعرض خصائص المجسّم المحدَّد، حيث يتم عرض الاسم والموضع والحجم والخصائص الأخرى له، ويمكنك استخدام لوحة العرض لتغيير خصائصه.



إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد Creating a 3D Shape

البطانة Padding

بعد أن انتهيت من إنشاء المربع، ستتعرف على إمكانية تحويله إلى مكعب ثلاثي الأبعاد باستخدام تقنية البطانة، حيث تسمح لك هذه التقنية بإضفاء العُمق إلى شكل ثنائي الأبعاد مثل المربع من خلال إضافة السماكة إليه، وسيؤدي هذا إلى إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد ذي حجم مثل المكعب، ويُمكن عرضه ومعالجته في مساحة ثلاثية الأبعاد.

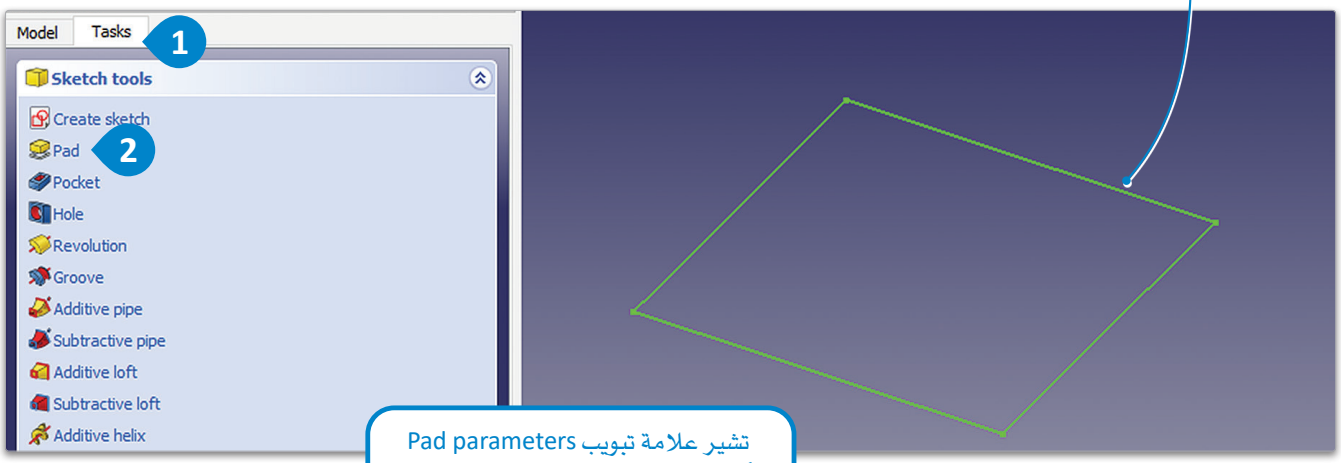
اضغط من جديد على علامة تبويب **المهام** (Tasks) لإنشاء شكل ثلاثي الأبعاد.

يُمكن استخدام المكعب الذي يتم تمثيله في العرض ثلاثي الأبعاد لتنفيذ المزيد من العمليات، مثل إضافة التفاصيل أو إنشاء التجميعات أو محاكاة المجسّم.

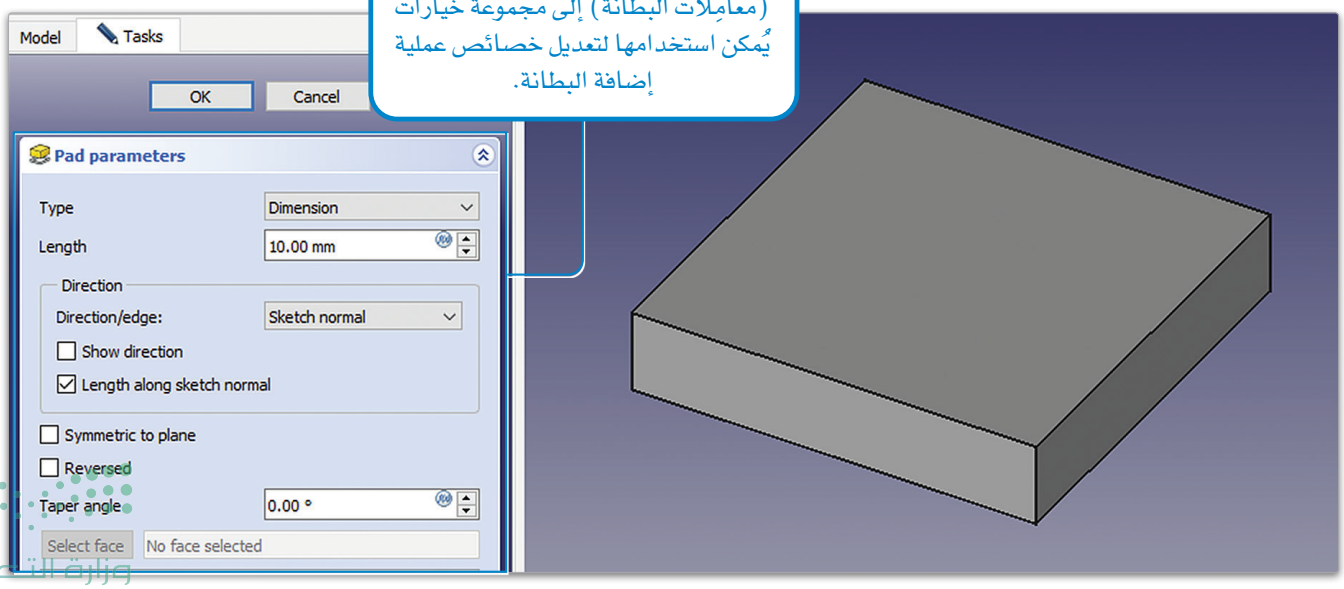
لإنشاء شكل ثلاثي الأبعاد:

- من Combo View (عرض المجموعة)، اختر علامة تبويب Tasks (المهام). 1
- من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Pad (البطانة). 2
- من علامة تبويب Tasks (مهام)، غيِّر Length (الطول) إلى 50 mm (50 مليمتر)، 3 ثم اضغط على OK (موافق). 4

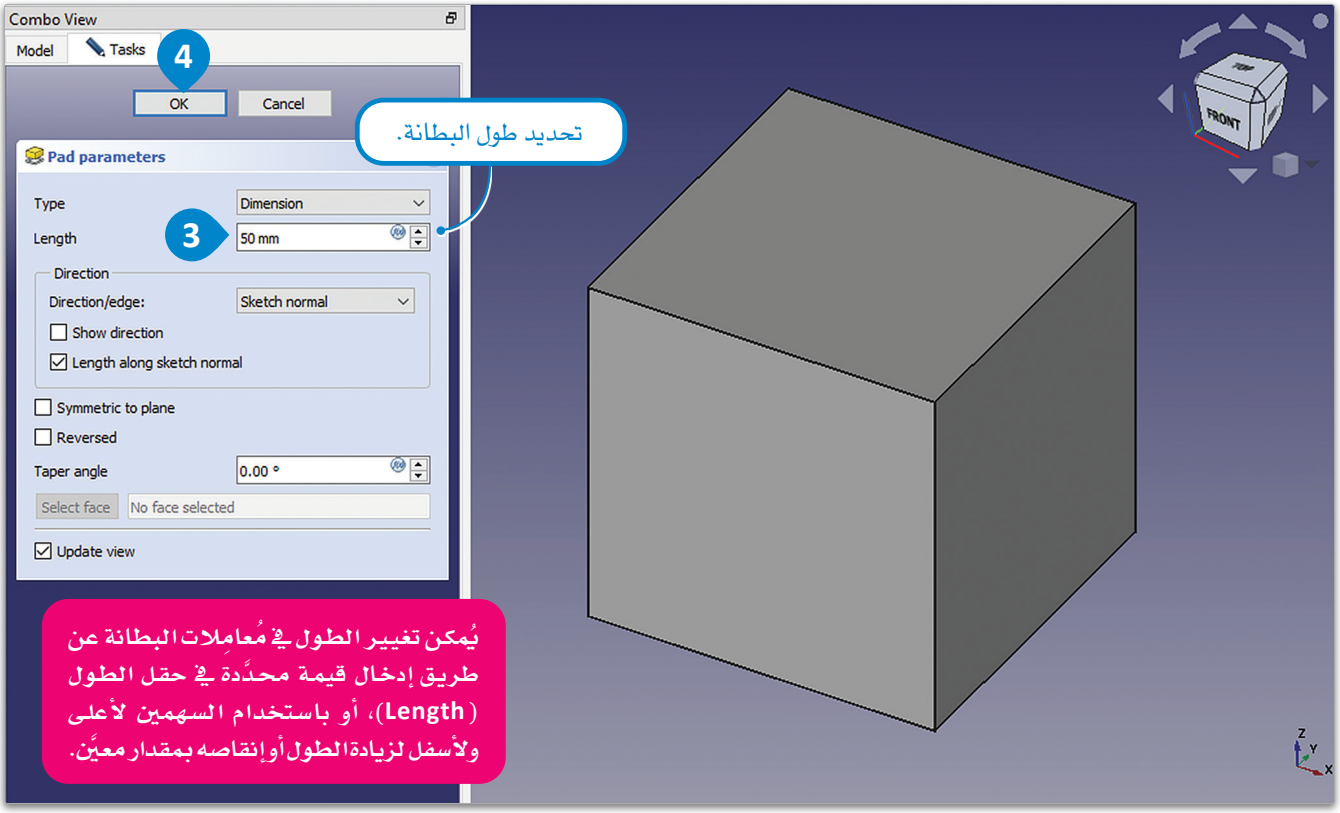
يشير اللون الأخضر إلى أنه تم تحديد الشكل.

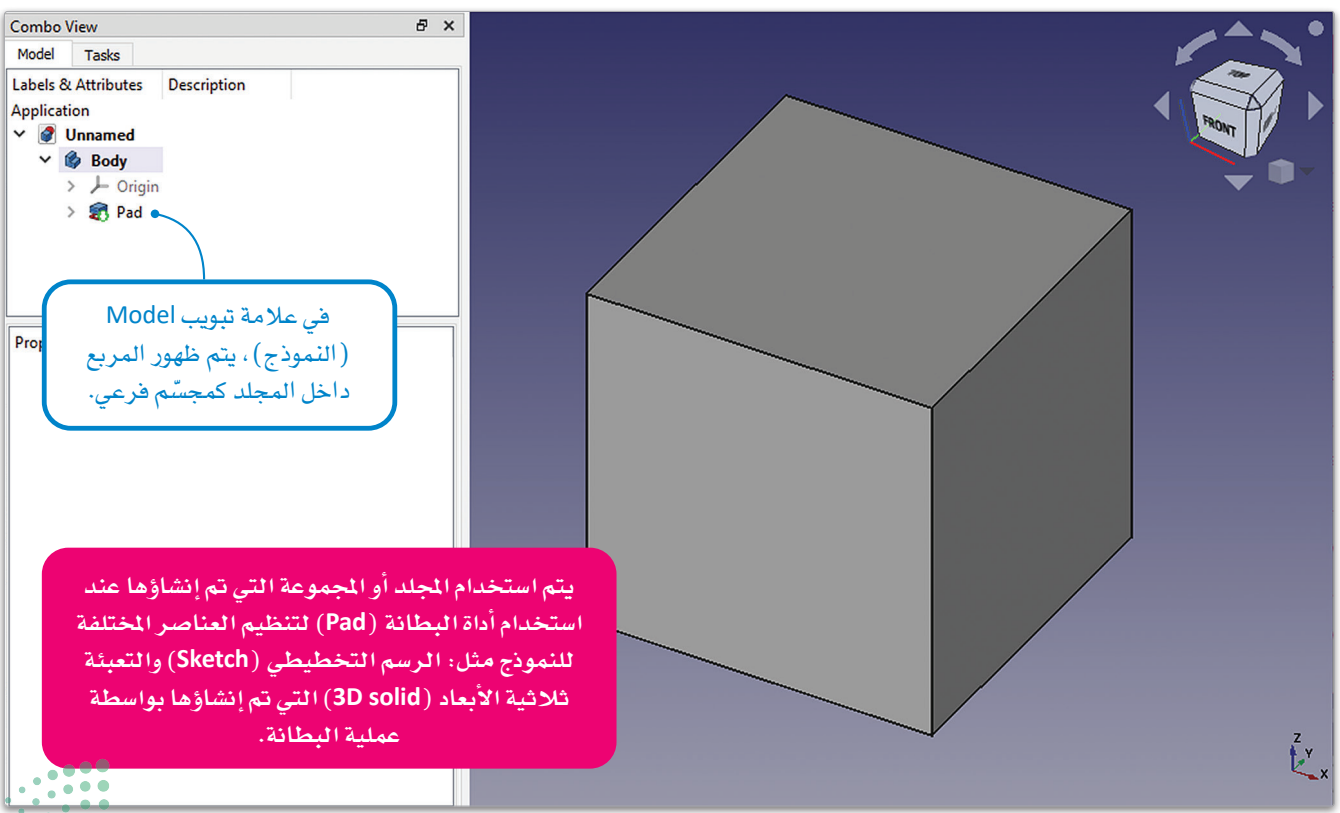


تشير علامة تبويب Pad parameters (مُعامِلات البطانة) إلى مجموعة خيارات يُمكن استخدامها لتعديل خصائص عملية إضافة البطانة.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447





شكل 2.39: إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد

الآن وبعد أن أنشأت النموذج ثلاثي الأبعاد، ألقِ نظرة على طرائق العرض المختلفة للنماذج ثلاثية الأبعاد التي يمكنك من خلالها الاطلاع على نموذجك بشكلٍ أفضل.

طرائق العرض ثلاثية الأبعاد 3D Views

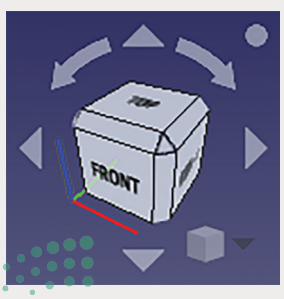
تُقدِّم طريقة العرض ثلاثية الأبعاد نموذجًا ثلاثي الأبعاد يتم التفاعل معه من منظور معيَّن، وتتيح طرائق العرض ثلاثية الأبعاد للمُصمِّمين والمهندسين في عمليتي التصميم والنّمذجة عرض نماذجهم ومعالجتها من زوايا مختلفة.

يُمكن في برنامج فري كاد استخدام العديد من طرائق العرض ثلاثية الأبعاد لتحريك المجسّم ثلاثي الأبعاد ومعالجته.

جدول 2.6: طرائق العرض ثلاثية الأبعاد

الاسم	الأيقونة	الوصف
المتماثل		طريقة عرض توضِّح النموذج ثلاثي الأبعاد بزاوية 45 درجة، مما يوفِّر تمثيلًا أكثر واقعية لشكل المجسّم وحجمه.
الأمامي		طريقة عرض توضِّح النموذج من الأمام مع إظهار محوري X وY.
العلوي		طريقة عرض توضِّح النموذج من الأعلى مع إظهار محوري X وZ.
الأيمن		طريقة عرض توضِّح النموذج من الجانب الأيمن مع إظهار محوري Y وZ.
الخلفي		طريقة عرض توضِّح النموذج من الخلف مع إظهار محوري X وY.
السفلي		طريقة عرض توضِّح النموذج من الأسفل مع إظهار محوري X وZ.
الأيسر		طريقة عرض توضِّح النموذج من الجانب الأيسر مع إظهار محوري Y وZ.

هناك أداة أخرى يمكنك استخدامها لتغيير طريقة العرض وهي **مكعب التنقل** (Navigation Cube)، وتتميز برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد بهذه الأداة التي تسمح بتغيير طريقة عرض النموذج بسرعة وسهولة، فمن خلال ضغط الأوجه المختلفة للمكعب وسحبها، يمكنك تدوير النموذج لمشاهدته من زوايا مختلفة.



يُعدُّ مكعب التنقل (Navigation Cube) مفيدًا عند التعامل مع نموذج معقد يلزم معاينته من مناظير مختلفة لإجراء التعديلات أو التحقق من وجود أخطاء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تمرينات

1

حدِّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:	صحيحة	خاطئة
1. أبعاد الرسومات ثنائية الأبعاد تقتصر على الطول والعرض دون العمق.	○	○
2. تُستخدم الرسومات ثنائية الأبعاد لتقديم المعلومات حول التصميم بطريقة دقيقة وواضحة.	○	○
3. يُمكن استخدام النماذج ثلاثية الأبعاد لمحاكاة سلوك المُنتَج النهائي.	○	○
4. المثلث هو شكل ثلاثي الأبعاد ذو ثلاثة أضلاع مستقيمة وثلاث زوايا.	○	○
5. عند إتمام تقييد المربع، لا يُمكن تغيير شكله أو حجمه دون الإخلال بقيد واحد أو أكثر.	○	○
6. شجرة النموذج (Model Tree) هي عرض هرمي لجميع مجسّمات التصميم، حيث يظهر هيكل النموذج من المستوى الأعلى وصولًا إلى الأشكال والعناصر والميزات الفردية.	○	○
7. عرض الخصائص (Properties View) هو لوحة تعرض خصائص المجسّم المحدَّد، بما في ذلك طول المجسّم وعرضه وموضعه وخصائص أخرى.	○	○
8. تتيح طرائق العرض ثلاثية الأبعاد للمُصمِّمين والمهندسين عرض نماذجهم دون إمكانية التعديل عليها.	○	○
9. مكعب التنقل (Navigation Cube) هو ميزة في برنامج النمذجة ثلاثية الأبعاد تتيح تغيير طريقة عرض النموذج بسرعة وسهولة.	○	○
10. طريقة العرض المتماثل (Isometric View) في برنامج فري كاد تعرض النموذج ثلاثي الأبعاد بزاوية 90 درجة.	○	○

2 وضِّح الغرض من أداة تقييد الالتقاء (Constraint Coincident) واستخدامها.

3 اختر الإجابة الصحيحة فيما يلي:

- ما الأداة التي يُمكن استخدامها لتقييد زاوية المربع على تقاطع المحاور؟

○	○	○	○
أداة التحديد (Select).	أداة تقييد الالتقاء (Constrain Coincident).	أداة البثق (Extrude).	أداة البطانة (Pad).

- إلى ماذا يشير اللون الأخضر على الخط؟

○	○	○	○
تم تحديد الخط.	تم اختيار الخط.	الخط مخفي.	الخط مقفل.

- ما التقنية المستخدَمة لإضفاء العمق على شكل ثنائي الأبعاد مثل المربع من خلال إضافة السماكة إليه؟

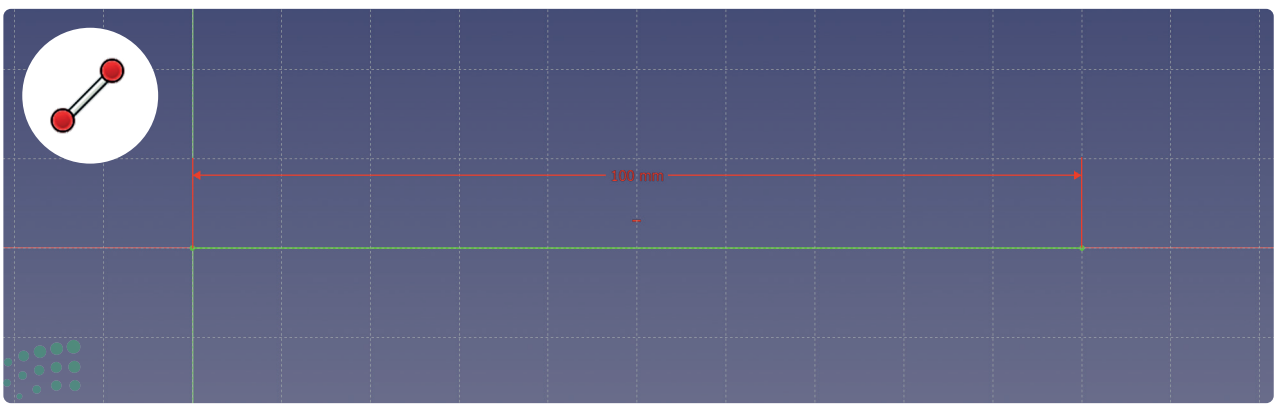
○	○	○	○
البثق (Extrusion).	التقييد (Constraining).	البطانة (Padding).	الدوران (Rotation).

4 وضِّح أوجه الاختلاف بين أداتي تقييد الالتقاء (Constrain Coincident) وتقييد النقطة على مجسّم (Constrain Point Onto Object).

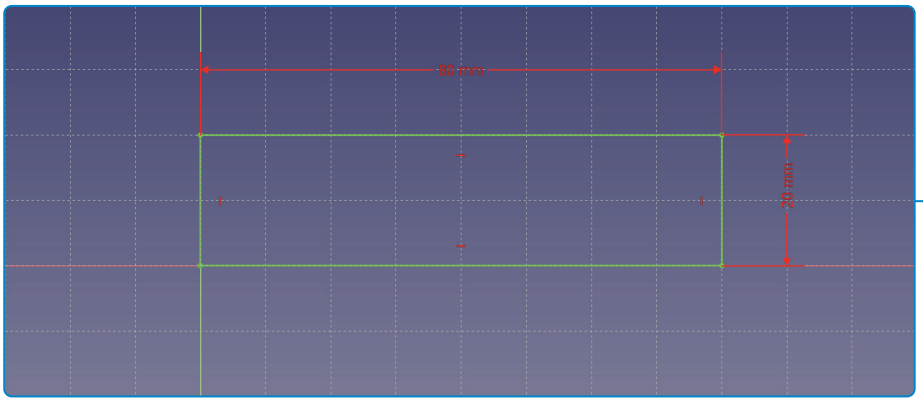
5 اشرح الغرض من أداتي تقييد المسافة الأفقية (Constrain horizontal distance) وتقييد المسافة الرأسية (Constrain vertical distance).

6 صِفْ عملية إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد باستخدام تقنية البطانة (Padding).

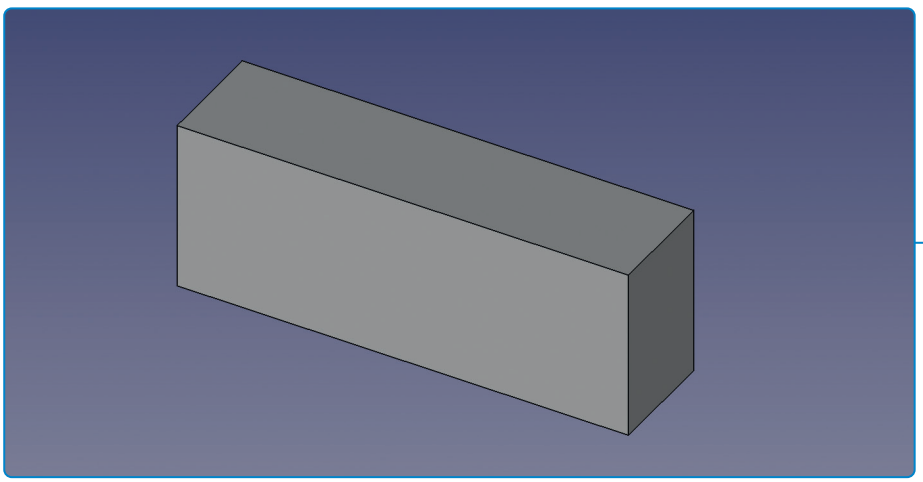
7 استخدِم أداة إنشاء خط (Create Line) لإنشاء خط بوحدة طول تساوي 100، وقيّده بشكل تام.



8 أنشئ مستطيلًا مُقيدًا بشكل تام بأضلاع طويلة بطول 80 مليمتر، وأضلاع قصيرة بطول 20 مليمتر، ثم استخدِم أداة Pad (البطانة) لإضافة السماكة للمستطيل بارتفاع 30 مليمتر.



رسم تخطيطي ثنائي الأبعاد



نموذج ثلاثي الأبعاد

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

الدرس الثالث

تصميم التروس ثلاثية الأبعاد

مقدمة في التروس Introduction to Gears

التِّرس هو عجلة مسنَّنة تتصل بترسٍ آخر مماثل عادةً ما يكون أكبر أو أصغر منها. تُعدُّ التروس جزءًا مهمًا من الأنظمة الميكانيكية، وقد تم استخدامها على مدى قرون طويلة لنقل الطاقة والحركة، حيث تعمل التروس معًا لنقل الحركة الدورانية من ترس إلى آخر، ويحدِّد تصميم التروس: نوع الحركة التي يُمكن نقلها، وسرعة الحركة، والعزم الذي يُمكن نقله. تأتي التروس بأشكال وأحجام مختلفة، وتشمل: التروس الأسطوانية القائمة، والتروس الحلزونية، والتروس المخروطية، والتروس الدودية، وفي هذا الدرس سيتم التركيز على النوع الأكثر شيوعًا من التروس وهي التروس الأسطوانية المنحنية.

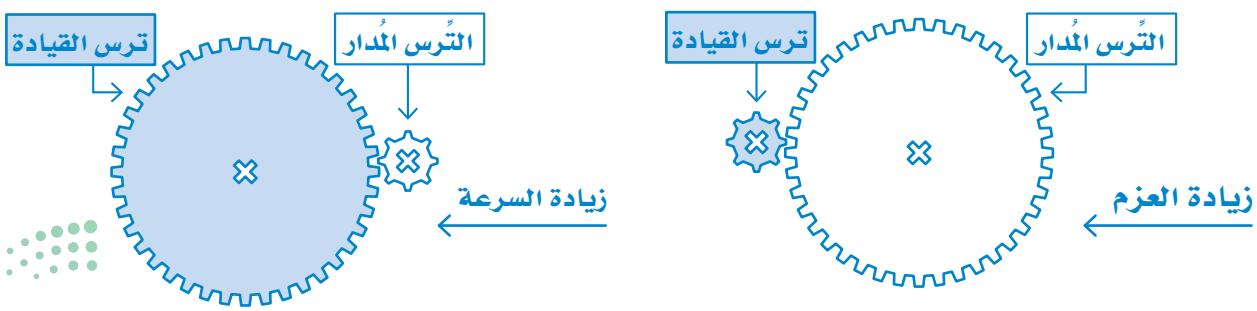
يُمكن استخدام التِّرس لتغيير السرعة أو الاتجاه أو عزم الدوران، حيث تؤدي زيادة عزم الدوران في آلة مثل الدراجة أو السيارة إلى خفض السرعة، بينما يؤدي انخفاض عزم الدوران إلى زيادة السرعة دون الحاجة إلى زيادة القُدرة في المُحرِّك، وذلك حسب القانون التالي:

القُدرة (واط) = عزم الدوران (نيوتن متر) × السرعة الزاوية (راديان/ ثانية)

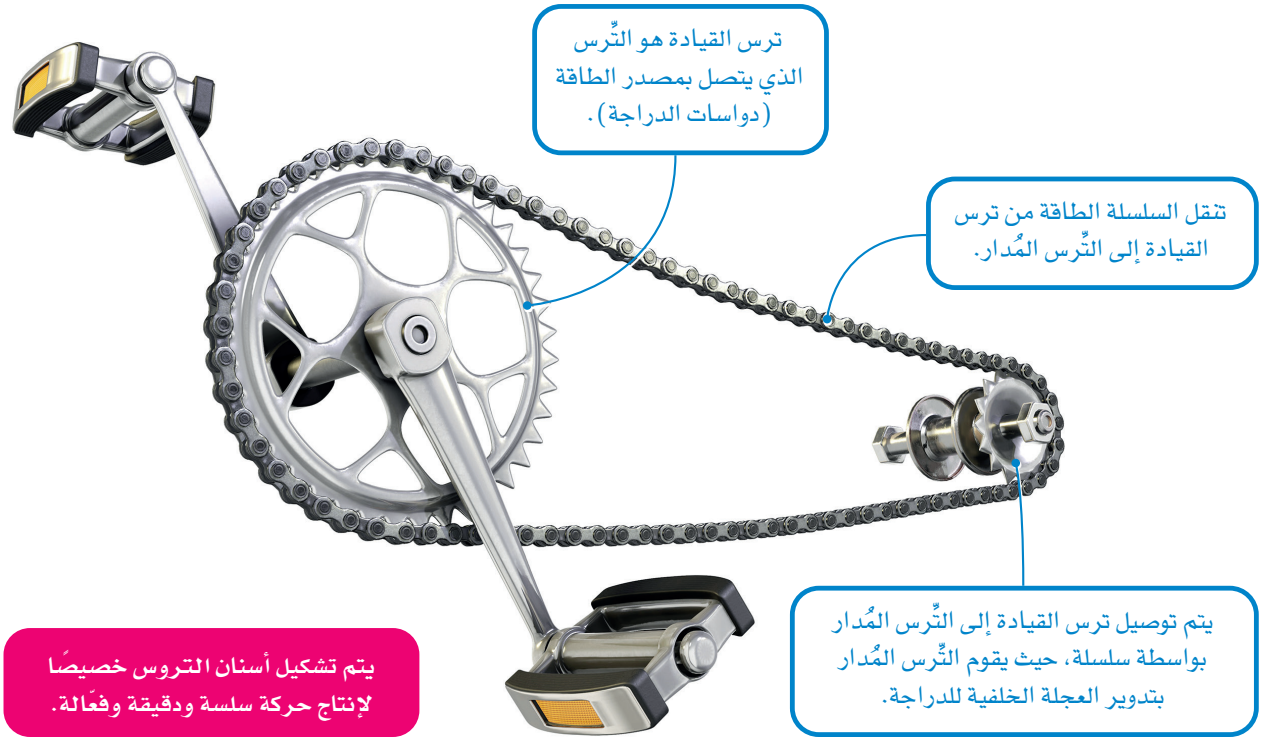
$$\text{عزم الدوران (نيوتن متر)} = \frac{\text{القُدرة (واط)}}{\text{السرعة الزاوية (راديان/ ثانية)}}$$

فيما يلي بعض المعلومات الأساسية حول التروس:

- يمكنك قياس التِّرس عن طريق عَدِّ أسنانه.
- يتم تجميع التروس معًا حسب نصف قطرها وسماكتها.
- تحتوي التروس على ثقب يقع في مركزها يُمكن وضعها من خلاله على المحاور ونقل الدوران من محور إلى آخر.
- عادةً ما يتم توصيل ترس القيادة (باللون الأزرق في الرسم التخطيطي) بمصدر حركة (على سبيل المثال: مُحرِّك).
- يتحرك التِّرس المُدار (باللون الأبيض في الرسم التخطيطي) بناءً على حركة ترس القيادة، وغالبًا ما يتصل بجزء الآلة الذي ينفذ المُهِمَّة الأساسية للآلة (مثل: رأس المثقاب، أو المنشار الدائري، أو عجلة الدراجة).



شكل 2.40: زيادة عزم الدوران مقابل زيادة السرعة

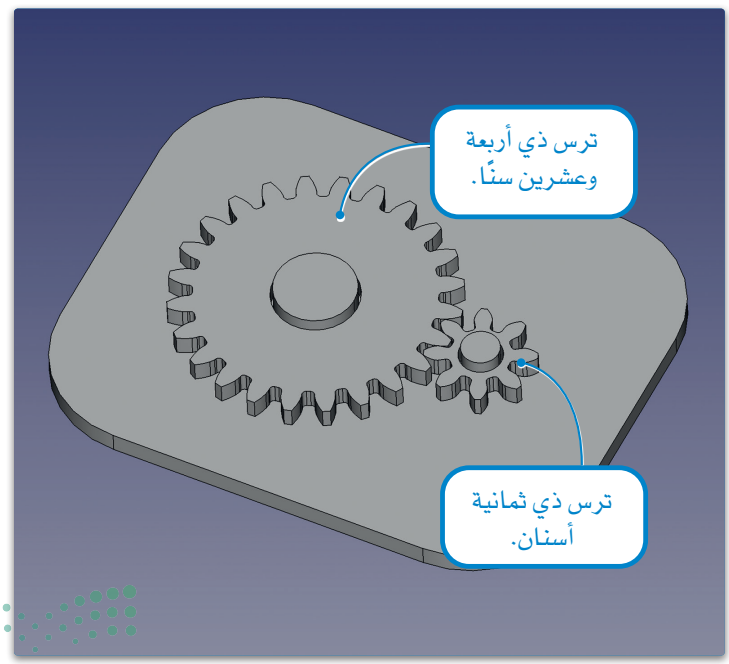


شكل 2.41: آلية الحركة في الدراجة

إنشاء آلة حركية بسيطة Creating a Simple Machine

ستتعلّم في هذا الدرس كيفية تصميم وإنشاء قاعدة أسطوانة بسيطة ثنائية التروس، حيث ستضع على القاعدة ترسين من التروس الأسطوانية المنحنية لكل منها عدد مختلف من الأسنان، وذلك لإنشاء آلة حركة بسيطة، وبعد الانتهاء من إنشاء النماذج، ستقوم بتصدير التصميمات الخاصة بها للطابعة ثلاثية الأبعاد.

عندما يتم توصيل ترسين، فإن عدد أسنان كل ترس يُحدِّد سرعة دوران كل منهما ومقدار القوة التي يمتلكها. إذا تم توصيل ترس صغير ذي ثمانية أسنان بترس كبير ذي أربعة وعشرين سنًا، فإنّ التِّرس الكبير سيدور مرة واحدة لكل ثلاث دورات للتِّرس الصغير، و هذا يجعل التِّرس الكبير يُنتِج عزم دوران أكبر، بحيث يُمكنه دفع أو رفع أشياء أثقل من قدرة التِّرس الصغير في حدِّ ذاته.



شكل 2.42: تصميم ثلاثي الأبعاد لآلة حركية بسيطة

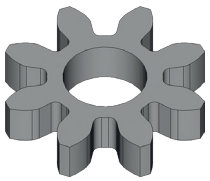
$$\text{نسبة التروس} = \frac{T1}{T2}$$

T1 هو عدد الأسنان، ويساوي ثمانية في التِّرس الأول.

T2 هو عدد الأسنان ويساوي أربعة وعشرين في التِّرس الثاني.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تصميم ترس ذي ثمانية أسنان Designing an 8 -Tooth Gear



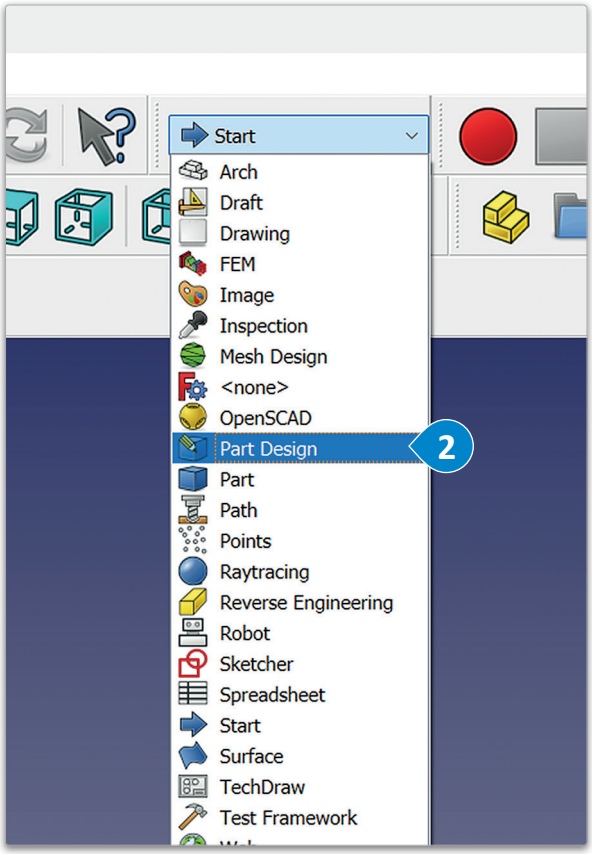
ستبدأ بتصميم ترس بثمانية أسنان لمشروعك، حيث سيعمل هذا التِّرس كأحد مكوِّنات قاعدة الأسطوانة ذات التِّرسين. باستخدام ميزة **التِّرس الأسطواني المنحني** (Involute Gear) في برنامج **فري كاد** (FreeCAD)، يمكنك إنشاء ترس بأسنان دقيقة بسرعة وسهولة، وسيساعدك ذلك على ضمان التشغيل السلس والفعّال عند توصيل التِّرسين معًا.

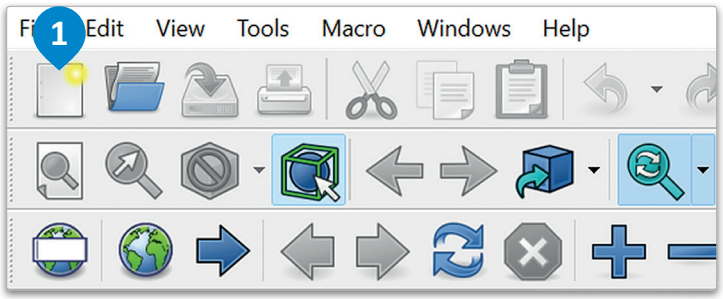
لتبدأ بإنشاء مستند جديد.

التِّرس الأسطواني المنحني هو نوع من التروس ذي شكل أسنان منحنية، حيث تُصمَّم أسنان هذا التِّرس لتقليل الإجهاد والتآكل، مما يجعله مثاليًا للتطبيقات التي تتطلب عزم دوران عالٍ وتحكمًا دقيقًا في الحركة. تُستخدم التروس الأسطوانية المنحنية على نطاق واسع في العديد من التطبيقات منها: أنظمة نقل الحركة، والآلات الصناعية، وأنظمة السيارات.

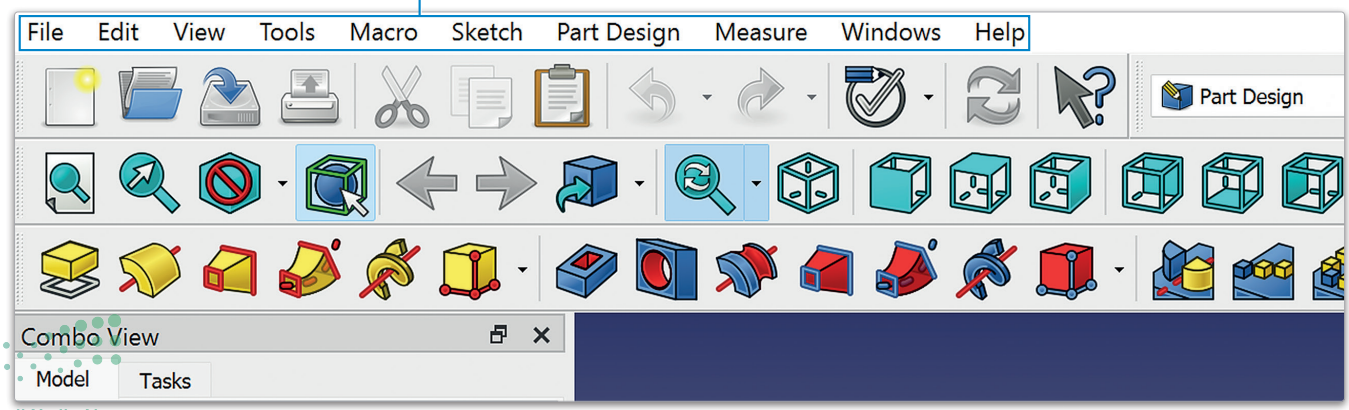
لإنشاء مستند جديد:

- من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أيقونة New (جديد). 1
- من القائمة المنسدلة workbench (سطح عمل) اختر سطح العمل Part Design (تصميم قطعة). 2





يؤدي تغيير سطح العمل في البرنامج إلى تغير شريط القائمة، لتظهر الأدوات والميزات المتوفرة في سطح العمل المحدَّد.



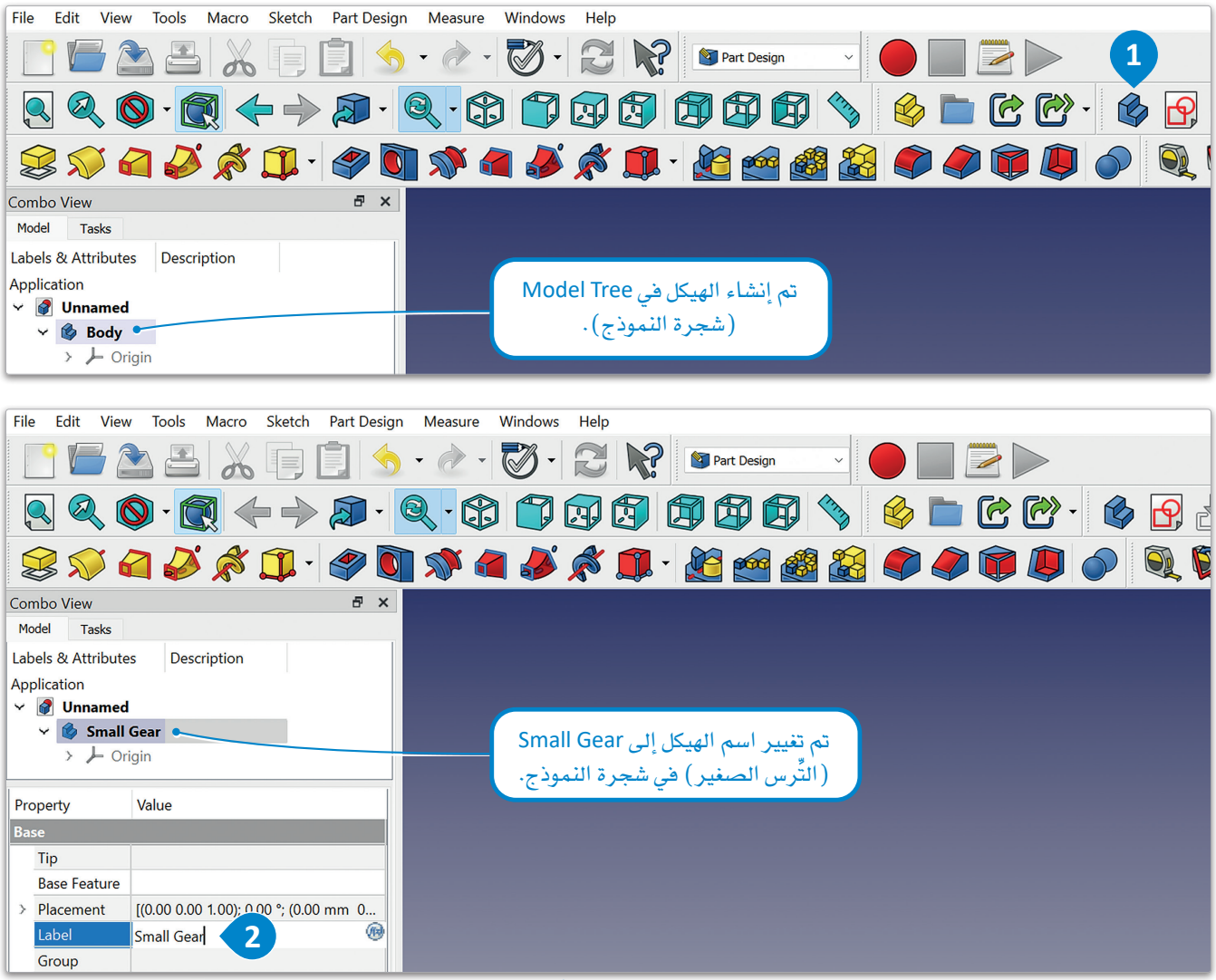
شكل 2.43: إنشاء مستند جديد

لتصميم ترس في برنامج فري كاد، تحتاج أولًا إلى إنشاء هيكل صلب باستخدام أدوات النمذجة الصلبة مثل: **تصميم قطعة** (Part Design)، أو **سطح عمل الجزء** (Part Workbench). لإنشاء هيكل للتِّرس المُكوَّن من ثمانية أسنان، ستستخدِم أداة **إنشاء هيكل** (Create body) من سطح عمل **تصميم قطعة** (Part Design).

لإنشاء هيكل ترس مُكوَّن من ثمانية أسنان:

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create body (إنشاء هيكل). 1

> من علامة تبويب Data (البيانات)، غيِّر Label (التسمية) إلى Small Gear (التِّرس الصغير). 2



شكل 2.44: إنشاء هيكل ترس مكوَّن من ثمانية أسنان

معلومة

عندما يكون لديك العديد من الهياكل في التصميم، قد يَصعُب تتبُّع الهيكل الذي يمثِّل أي جزء من المشروع، ولذلك فإن تسمية الهياكل بأسماء ذات دلالة تتيح لك التعرف بسهولة على كل هيكل عند الحاجة إليه.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

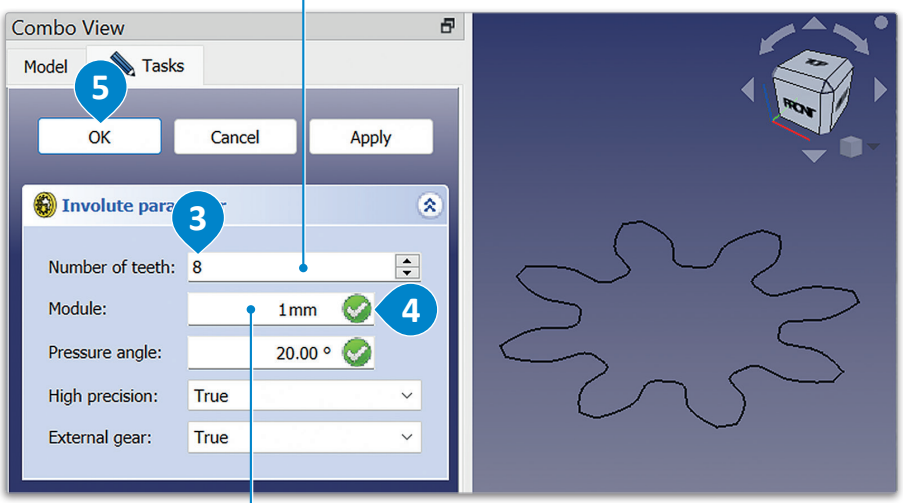
بعد أن أنشأت الهيكل الصلب، يمكنك استخدام أداة **التِّرس الأسطواني المنحني** (Involute Gear)، وهي وحدة **ماكرو** (Macro) مُدمجة في حزمة برنامج فري كاد تسمح لك بتحديد عدد الأسنان والوحدة القياسية وزاوية الضغط والمُعامِلات الأخرى. يمكنك إنشاء ترس أسطواني منحنٍ يناسب احتياجاتك من خلال إدخال هذه المُعامِلات والضغط على **موافق** (OK).

الماكرو (Macro) هو برنامج نصي أو برمجي حاسوبي يقوم بأتمتة سلسلة من المهام أو الأوامر في البرنامج، فأداة التِّرس الأسطواني المنحني (Involute gear) هي ماكرو يوفِّر طريقة ملائمة لإنشاء ترس أسطواني منحنٍ دون الحاجة إلى إجراء العمليات الحسابية والهندسية المعقدة يدويًا.

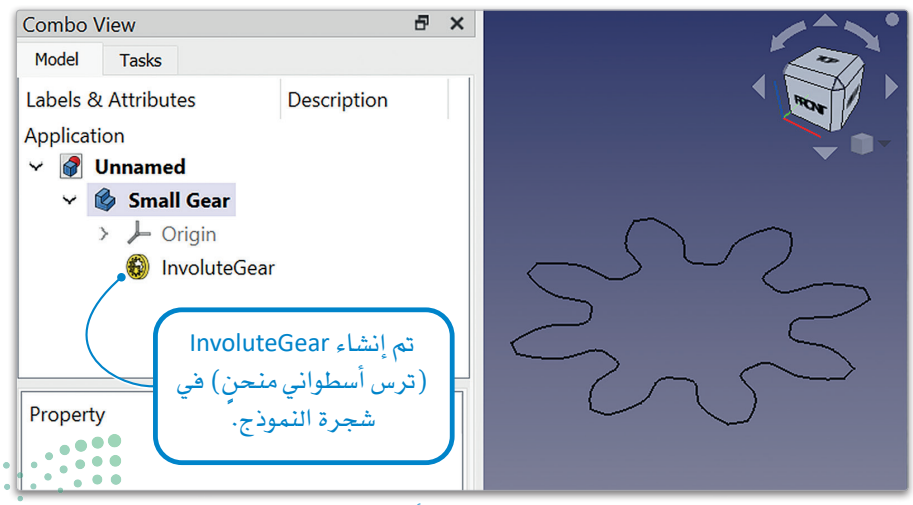
لإضافة ترس أسطواني منحنٍ:

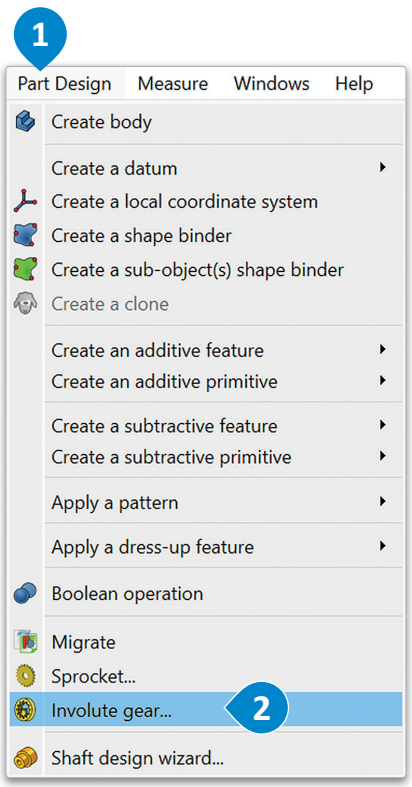
- من Menu bar (شريط القائمة)، اضغط على Part Design (تصميم قطعة)، 1 ثم اختر Involute gear (ترس أسطواني منحنٍ). 2
- غيِّر Number of teeth (عدد الأسنان) إلى 8. 3
- غيِّر Module (الوحدة القياسية) إلى 1mm (1 مليمتر)، 4 ثم اضغط على OK (موافق). 5

يحدِّد هذا عدد أسنان الترس.



يؤثر مُعامِل Module (الوحدة القياسية) على المسافة بين ترسين متجاورين، ويتم استخدامه لتحديد حجم التِّرس.

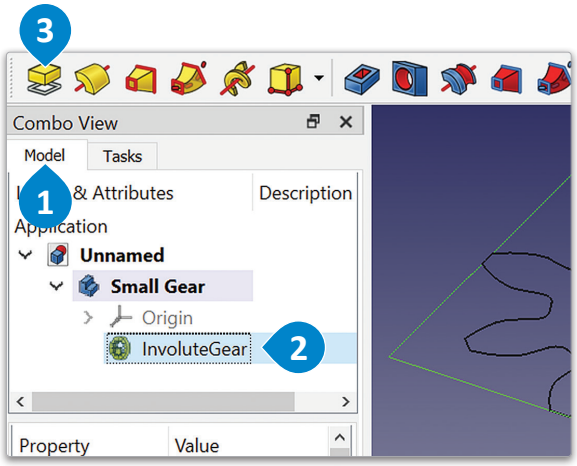




سيكون التِّرس الذي تم إنشاؤه نموذجًا صلبًا ثلاثي الأبعاد، ويمكنك بعد ذلك تعديله ومعالجته بشكل أكبر.

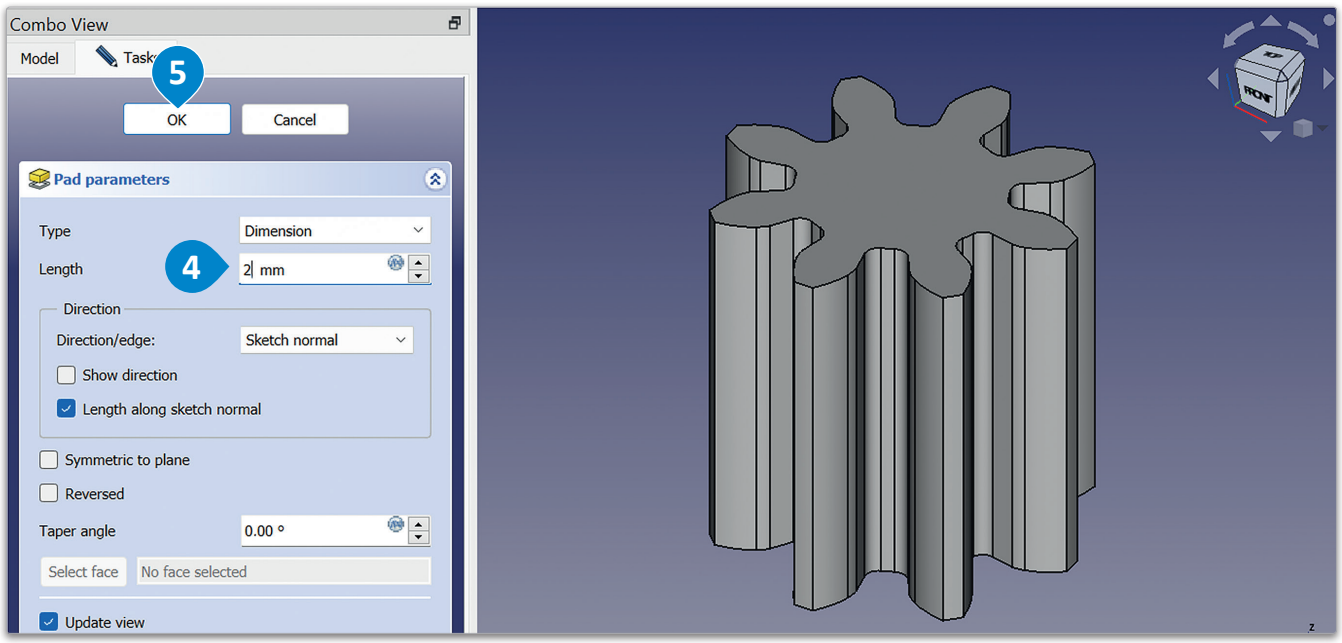
شكل 2.45: إضافة ترس أسطواني منحنٍ

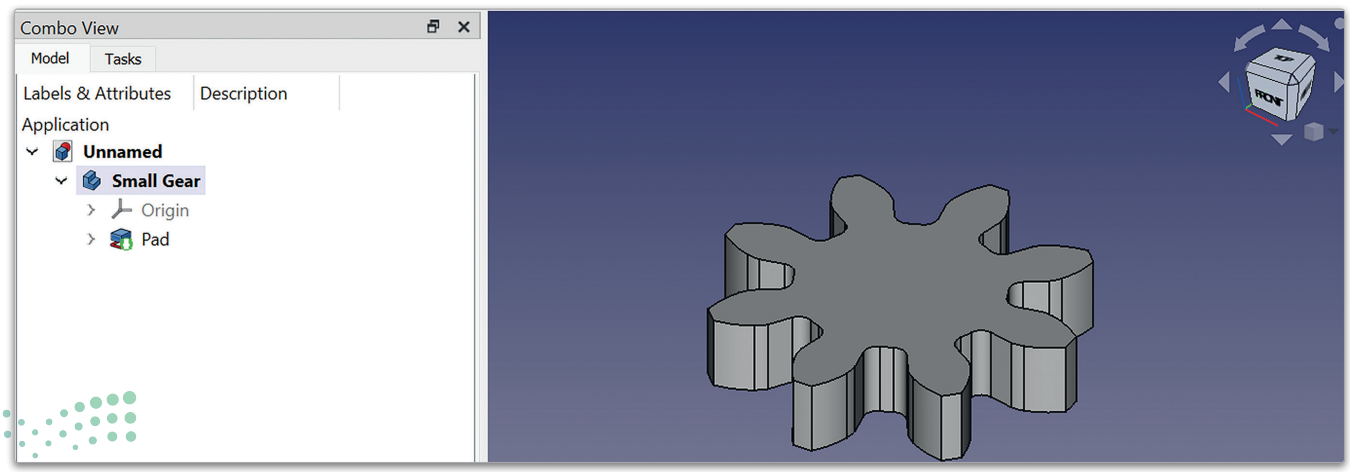
بعد إدخال جميع المُعامِلات المطلوبة وإنشاء التِّرس المُكوَّن من ثمانية أسنان كمجسّم ثنائي الأبعاد، ستستخدِم أداة **البطانة** (Pad) لتغييره إلى ترس ثلاثي الأبعاد.



لِجعل التِّرس شكلًا ثلاثي الأبعاد:

- من Combo View (عرض المجموعة)، اضغط على علامة تبويب Model (النموذج). 1
- من علامة تبويب Model (النموذج)، اختر InvoluteGear (ترس أسطواني منحنٍ). 2
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Pad (البطانة). 3
- من علامة تبويب Tasks (المهام)، غيِّر Length (الطول) إلى 2 mm (2 مليمتر)، 4 ثم اضغط على OK (موافق). 5





شكل 2.46: جعل التِّرس شكلًا ثلاثي الأبعاد



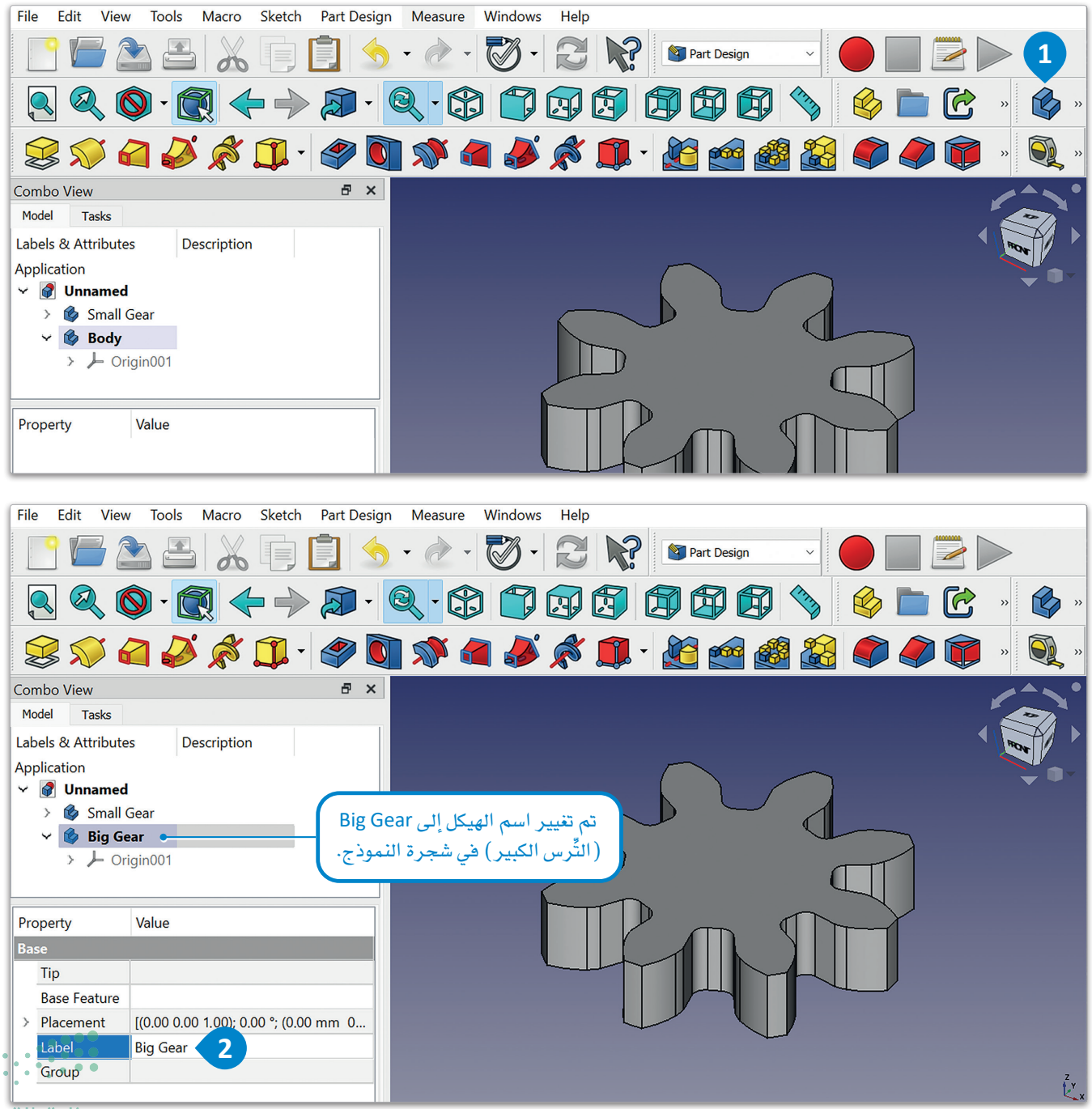
تصميم ترس ذي أربعة وعشرين سنًا Designing a 24 -Tooth Gear

ستُنشئ الآن هيكلًا ثانيًا تستخدِمه لإنشاء ترس ذي أربعة وعشرين سنًا.

لإنشاء هيكل التِّرس ذي أربعة وعشرين سنًا:

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create body (إنشاء هيكل). 1

> من علامة تبويب Data (البيانات)، غيِّر Label (التسمية) إلى Big Gear (التِّرس الكبير). 2

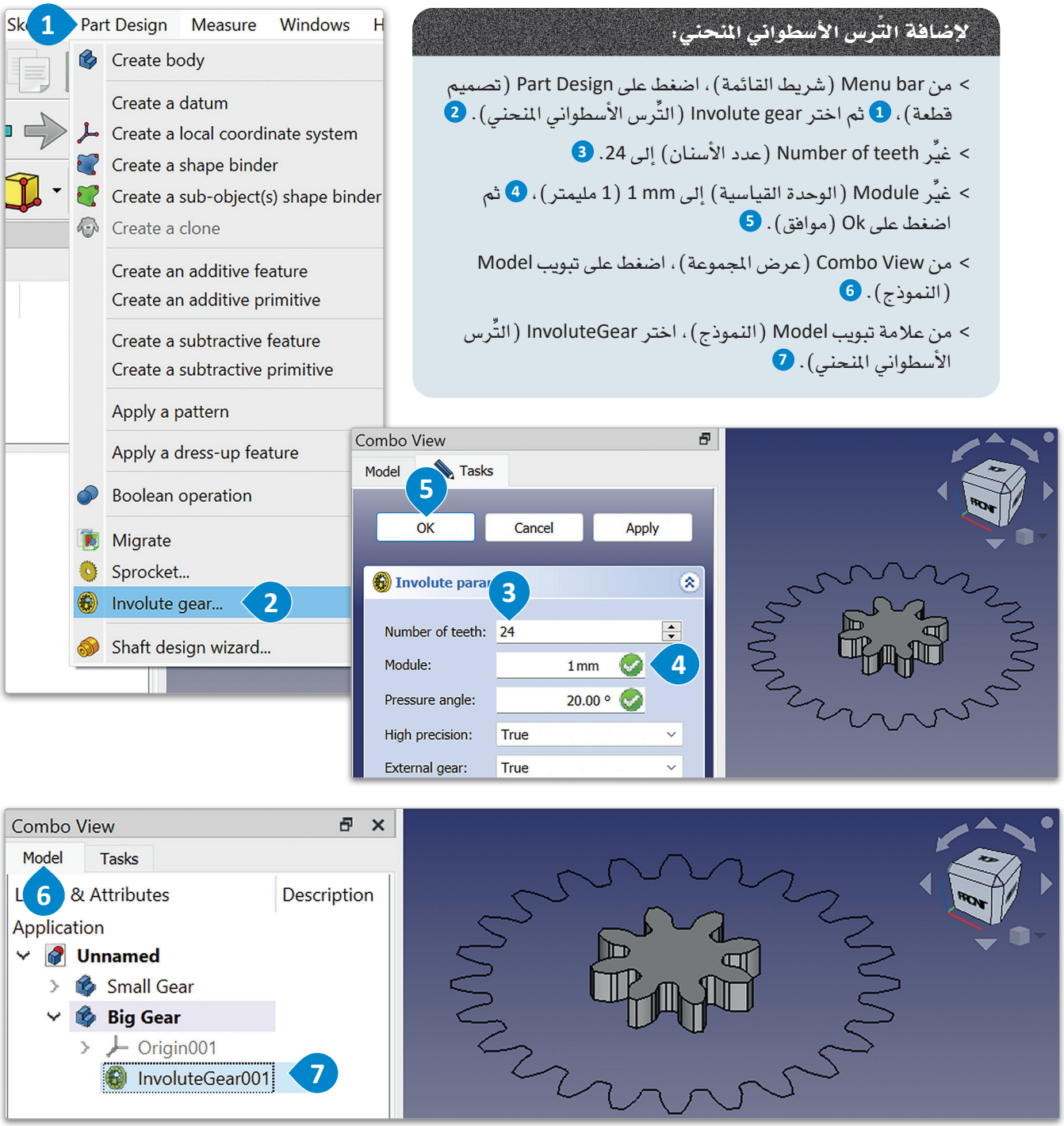


شكل 2.47: إنشاء هيكل التِّرس ذي أربعة وعشرين سنًا

بعد أن أنشأت الهيكل الصلب، استخدِم أداة **التِّرس الأسطواني المنحني** (Involute Gear) لإنشاء التِّرس المُكوَّن من أربعة وعشرين سنًّا.

لإضافة التِّرس الأسطواني المنحني:

- من Menu bar (شريط القائمة)، اضغط على Part Design (تصميم قطعة)، 1 ثم اختر Involute gear (التِّرس الأسطواني المنحني). 2
- غيِّر Number of teeth (عدد الأسنان) إلى 24. 3
- غيِّر Module (الوحدة القياسية) إلى 1 mm (1 مليمتر)، 4 ثم اضغط على Ok (موافق). 5
- من Combo View (عرض المجموعة)، اضغط على تبويب Model (النموذج). 6
- من علامة تبويب Model (النموذج)، اختر InvoluteGear (التِّرس الأسطواني المنحني). 7



شكل 2.48: إضافة التِّرس الأسطواني المنحني

معلومة

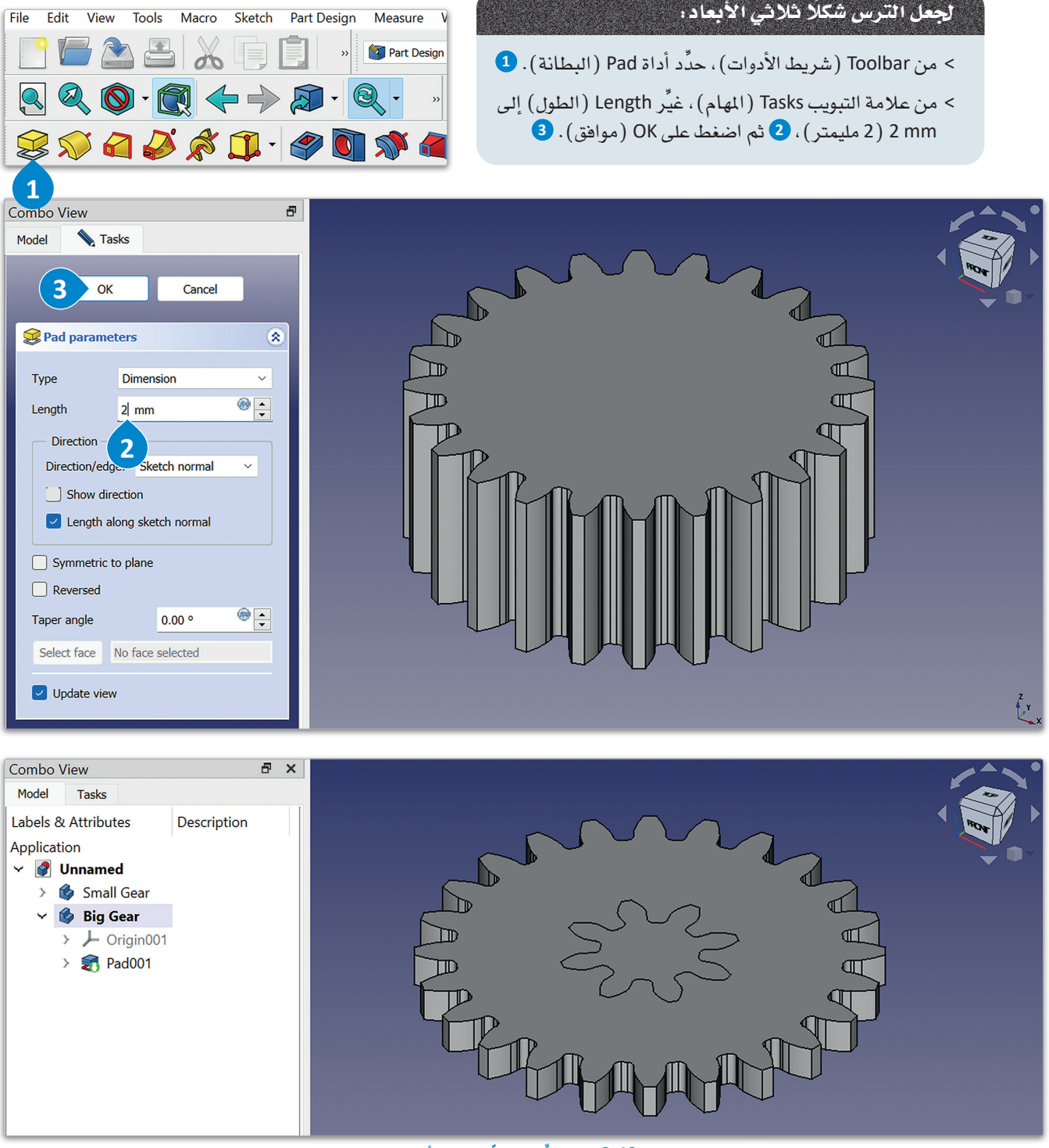
يشير ضبط قيمة الوحدة القياسية إلى 1.00 مليمتر إلى أن أسنان التروس ستكون بعرض 1.00 مليمتر وارتفاع 1.00 مليمتر، وهو المقاس الشائع للتروس الصغيرة المستخدَمة في مختلف التطبيقات.

بعد إدخال جميع المُعامِلات المطلوبة وإنشاء التِّرس ذي الأربعة والعشرين سنًا، ستستخدِم أداة **البطانة** (Pad) لتغيير النموذج إلى ترس ثلاثي الأبعاد.

لجعل التُرس شكلًا ثلاثي الأبعاد:

> من Toolbar (شريط الأدوات)، حدِّد أداة Pad (البطانة). 1

> من علامة التبويب Tasks (المهام)، غيِّر Length (الطول) إلى 2 mm (2 مليمتر)، 2 ثم اضغط على OK (موافق). 3



شكل 2.49: جعل التِّرس شكلًا ثلاثي الأبعاد

تشابك التروس Gears Engagement

عند استخدام التروس، من الضروري تحديد المسافة المركزية بينها لضمان تشابكها وعملها بالشكل السليم، ولتحديد المسافة المركزية بين الترسين في مشروعك، يمكنك استخدام الصيغة التالية:

الوحدة القياسية (Module) هي قطر الخطوة (Pitch Diameter) مقسومًا على عدد الأسنان.

$$\text{المسافة} = \frac{(\text{الوحدة القياسية} * (T1 + T2))}{2}$$

"T1" و "T2" هما عدد الأسنان في الترسين الكبير والصغير.

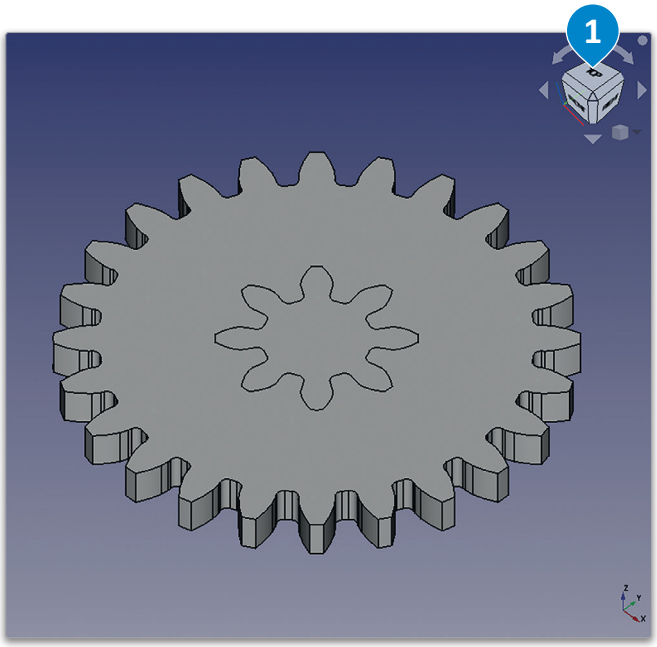


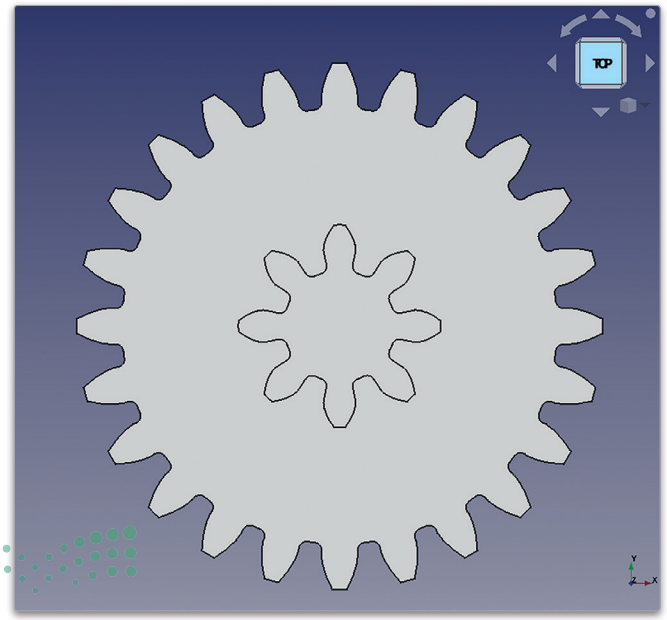
ستضمن باستخدام هذه الصيغة أن التروس ستدور بسلاسة ودون تآكل أو اهتزاز مُفرط.

ستستخدِم الآن الصيغة أعلاه لتحريك التِّرس المُكوَّن من ثمانية أسنان للتأكد من أن التروس تتشابك بشكل صحيح وتعمل على النحو السليم.

لتحريك التِّرس الصغير:

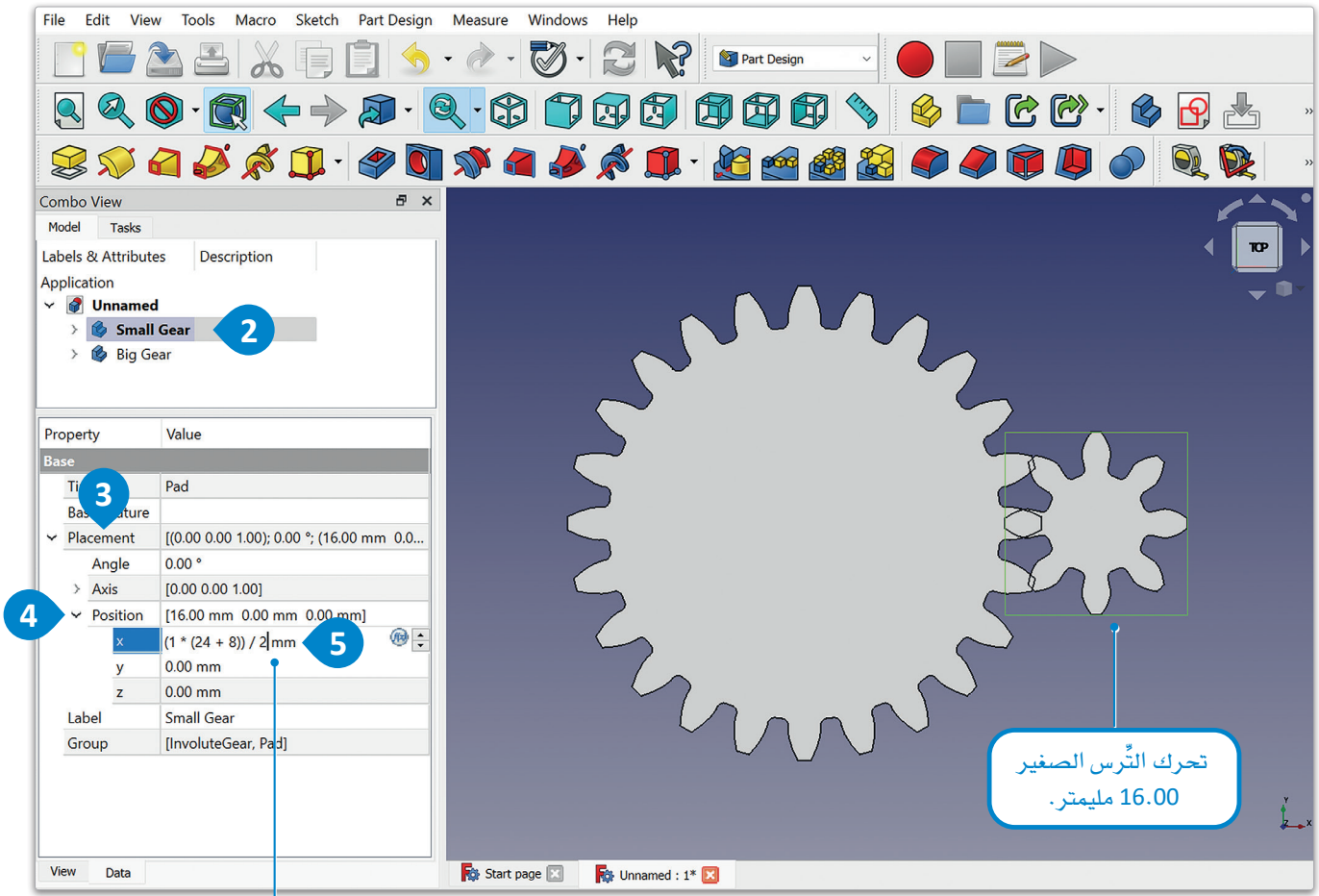
> من Navigation cube (مكعب التنقل)، اضغط على TOP view (طريقة العرض العلوي). 1
> من Model Tree (شجرة النموذج)، اختر Small Gear (التِّرس الصغير). 2
> من علامة تبويب Data (البيانات)، اضغط على Placement (وضع). 3
> من القائمة المنسدلة Placement (وضع)، اضغط على Position (الموضع). 4
> في المربع x من قائمة Position (الموضع) المنسدلة، اكتب "(1×(8 + 24))/2". 5





وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تُعرَّف المسافة المركزية بأنها المسافة بين النقطتين المركزيتين لترسين، ويجب تحديد هذه المسافة بدقة لكي يتشابك الترسان بشكلٍ صحيح وتنتقل الطاقة الحركية بينهما بكفاءة.



يتم تحديد مسافة المركز في الاتجاه x، لذلك يجب تطبيق الصيغة على الموضع x من علامة تبويب Data (البيانات).

Placement	[(0.00 0.00 1.00); 0.00 °; (16.00 mm 0.0...
Angle	0.00 °
Axis	[0.00 0.00 1.00]
Position	[16.00 mm 0.00 mm 0,00 mm]
x	16.00 mm
y	0.00 mm
z	0.00 mm
Label	Small Gear
Group	[InvoluteGear, Pad]

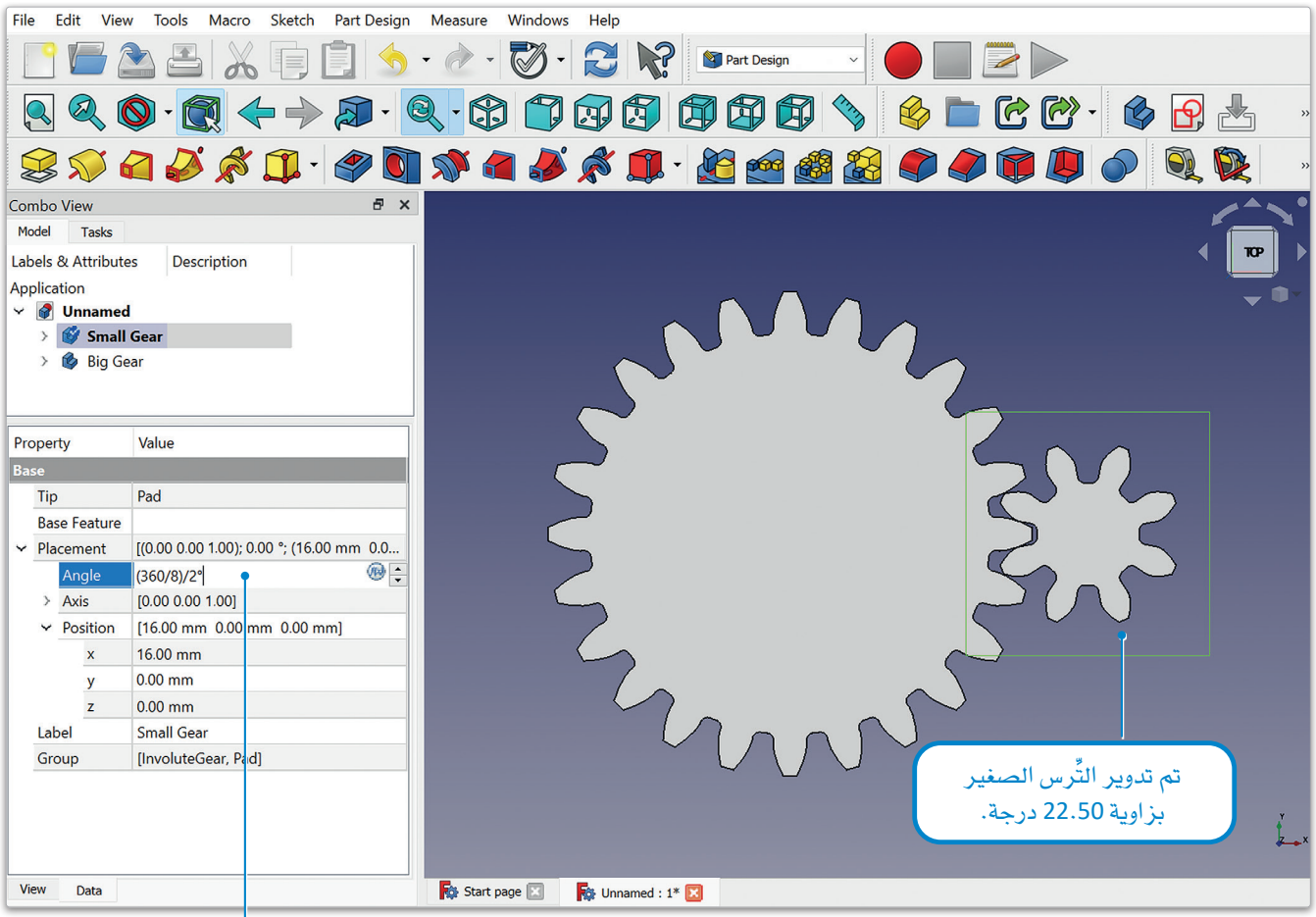
شكل 2.50: تحريك التِّرس الصغير

معلومة

إذا كانت المسافة المركزية بين الترسين غير صحيحة، فلن يتشابك الترسان بشكل صحيح، ولن تنتقل الطاقة الحركية بينهما بكفاءة، مما سينتج عنه محاذاة غير صحيحة وحدوث ضجيج، وانخفاض في الأداء كذلك.

ستقوم بعد ذلك بتدوير التِّرس الصغير لوضعه في الاتجاه الصحيح للتشابك، وستستخدِم الصيغة التالية لإيجاد زاوية الدوران بالدرجات:

$$\text{زاوية الدوران} = \frac{(360 \text{ درجة} \ / \ \text{عدد الأسنان})}{2°}$$



استخدِم الصيغة (360/8) / 2° لتدوير التِّرس الصغير.

Placement	[(0.00 0.00 1.00); 22.50 °; (16.00 mm 0...
Angle	22.50 °
Axis	[0.00 0.00 1.00]
Position	[16.00 mm 0.00 mm 0.00 mm]
x	16.00 mm
y	0.00 mm
z	0.00 mm
Label	Small Gear
Group	[InvoluteGear, Pad]

شكل 2.51: تدوير التِّرس الصغير

إنشاء ثقوب داخل التروس Making Holes in the Gears

إنشاء ثقب في التِّرس الصغير Making a Hole in the Small Gear

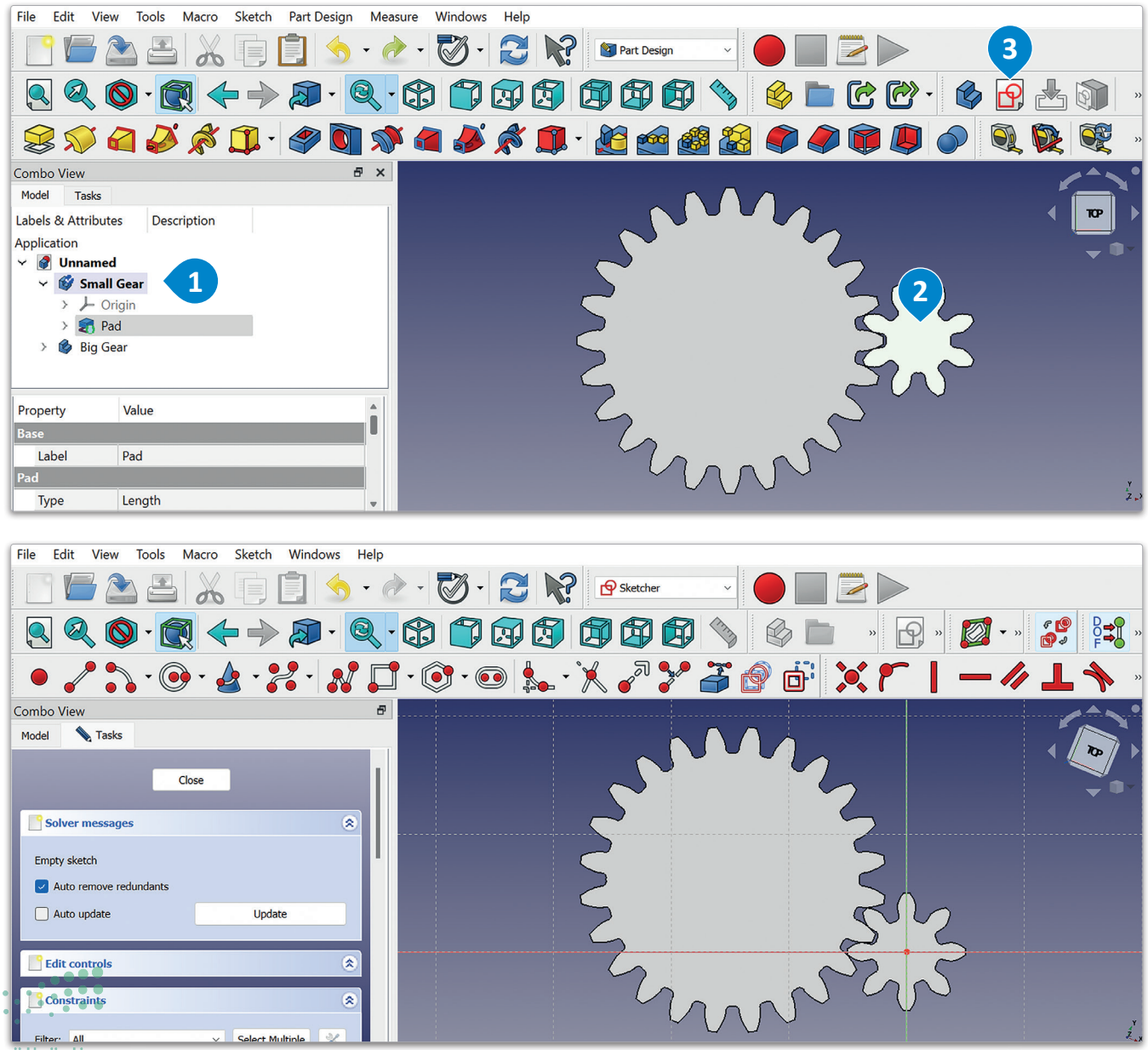
بعد أن أنشأت التِّرسين وضبطت موضعهما بالشكل الصحيح، حان الوقت لإنشاء ثقب في كل منهما، من أجل دمجهما بالقاعدة. لتبدأ بالتِّرس الصغير.

لإنشاء رسم تخطيطي في السطح العلوي للتِّرس الصغير:

> من علامة تبويب Model (النموذج)، اضغط ضغطًا مزدوجًا لتحديد Small Gear (التِّرس الصغير). 1

> اضغط على Small Gear (التِّرس الصغير) لتحديد سطحه العلوي. 2

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create sketch (إنشاء رسم تخطيطي). 3

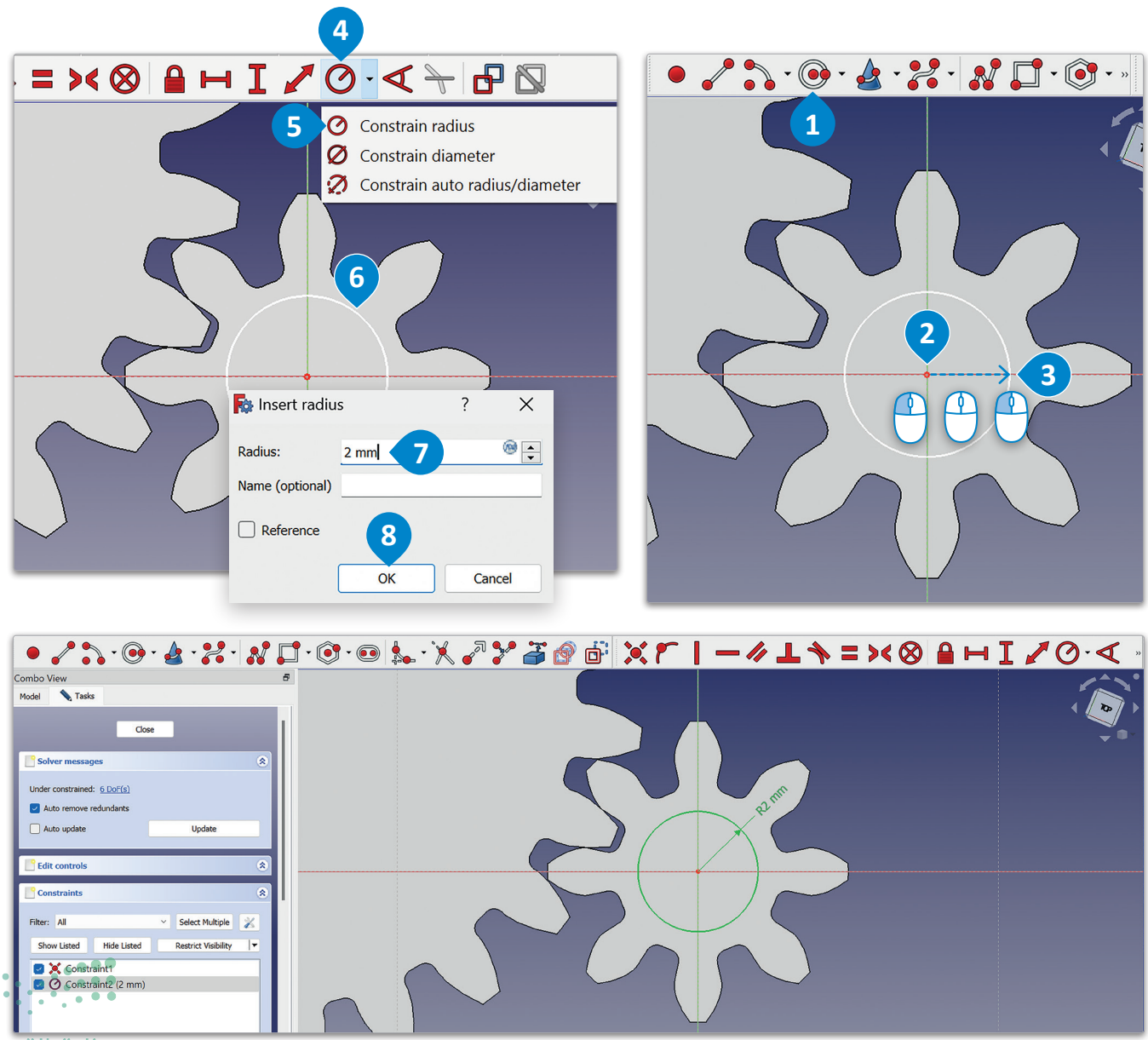


شكل 2.52: إنشاء رسم تخطيطي في السطح العلوي للتِّرس الصغير

لإنشاء ثقب في التِّرس الصغير، يجب أن تُحدِّد مكان الثقب، وحجمه. ستبدأ باستخدام أداة **إنشاء دائرة** (Create circle) لإنشاء دائرة، ثم استخدام أداة **تقييد نصف القطر** (Constrain radius) لتحديد نصف قطر الدائرة.

لإنشاء دائرة:

- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create circle (إنشاء دائرة)، 1 وحدِّد مركز الترس، 2 ثم اسحب المؤشر بعيدًا عن مركز التِّرس واضغط لإنشاء الدائرة. 3
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على رمز السهم، 4 واختر أداة Constrain radius (تقييد نصف القطر)، 5 ثم اختر الدائرة. 6
- في نافذة Insert Radius (إدراج نصف القطر)، اكتب 2 mm (2 مليمتر)، 7 ثم اضغط على OK (موافق). 8



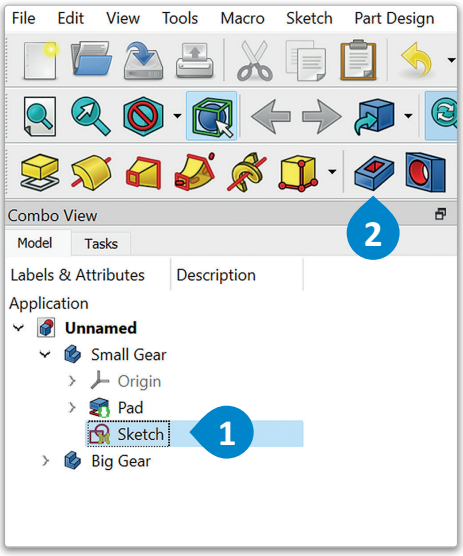
شكل 2.53: إنشاء دائرة

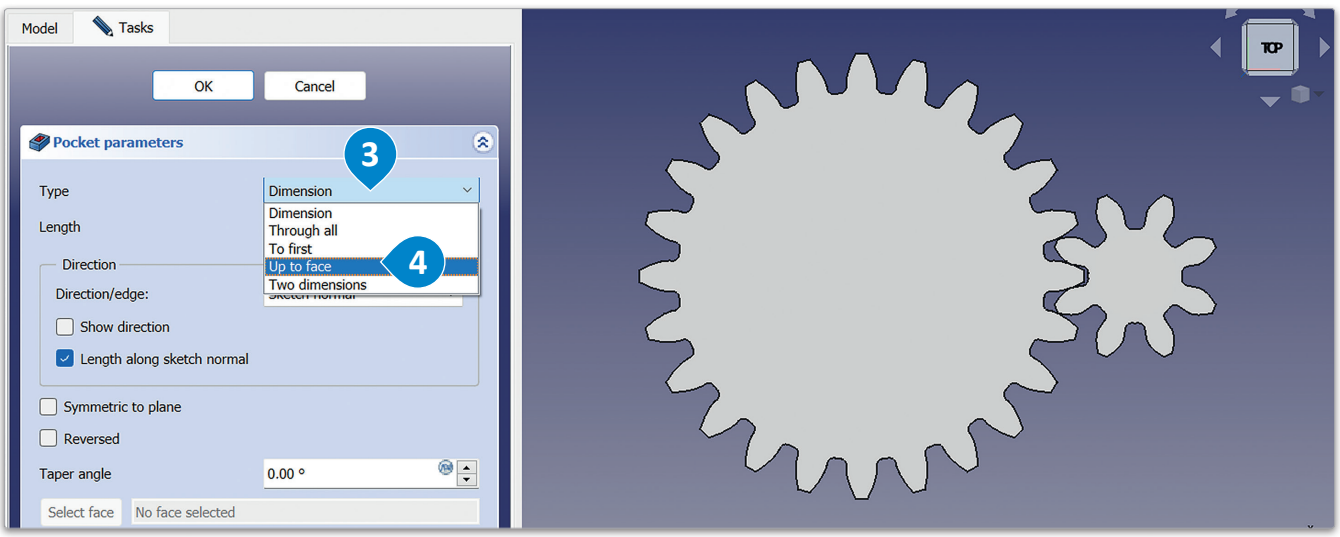
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

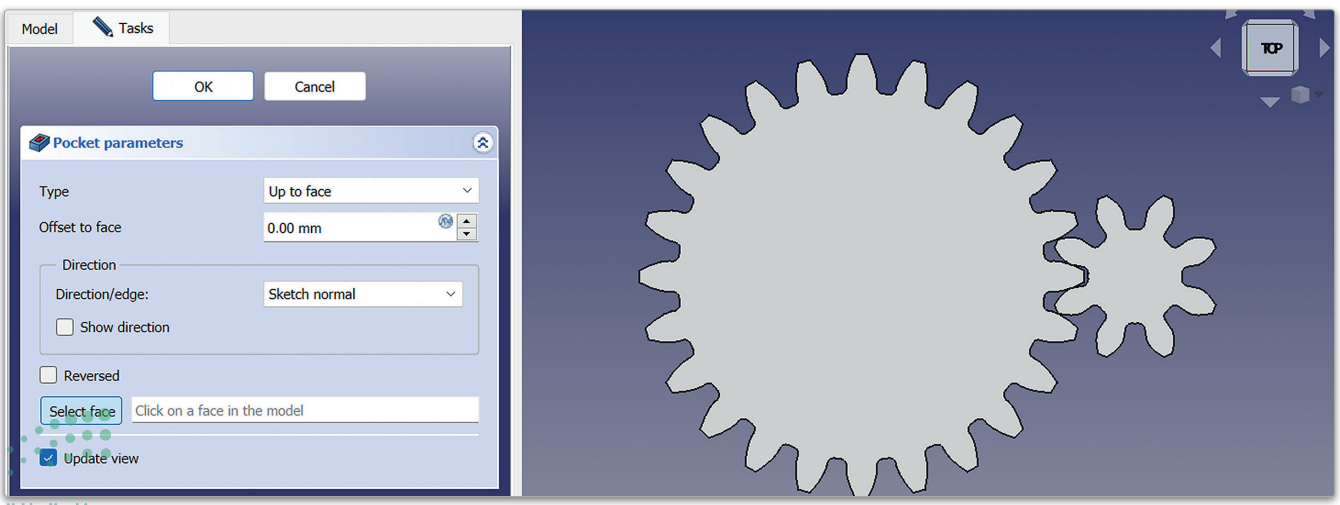
ستستخدِم الآن أداة **التجويف** (Pocket) التي تتيح لك إنشاء ثقب أو تجويف في الهيكل.

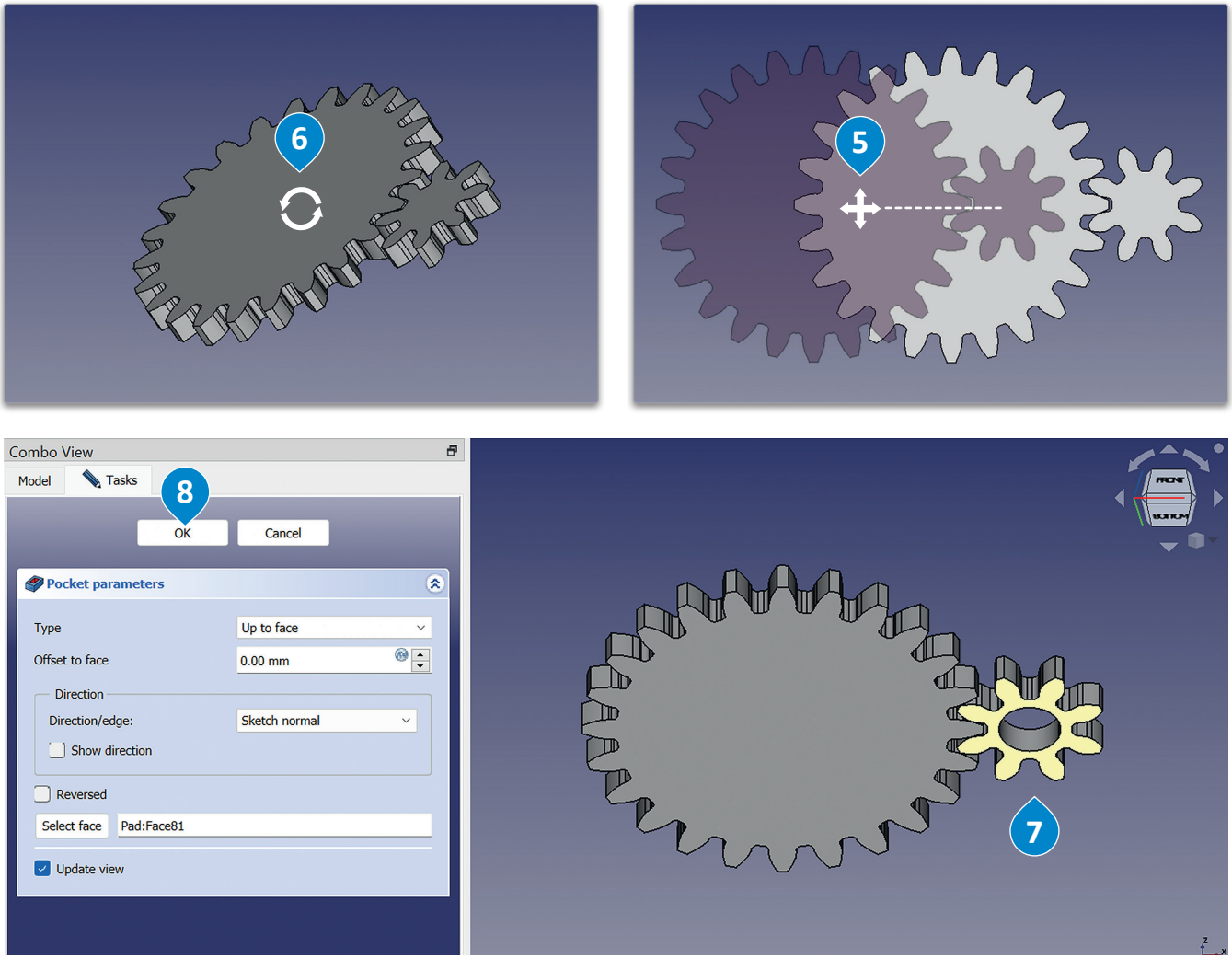
لإنشاء ثقب:

- من Model Tree (شجرة النموذج)، حدِّد Sketch (رسم تخطيطي). 1
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Pocket (التجويف). 2
- في نافذة Parameters Pocket (مُعامِلات التجويف)، اضغط على القائمة المنسدلة، 3 ثم حدِّد Up to face (لأعلى الوجه). 4
- اضغط باستمرار على عجلة التمرير وحرِّك الفأرة لإحضار التِّرس الصغير إلى منتصف الشاشة. 5
- اضغط باستمرار على مفتاح ⇧ Shift، ثم اضغط على زر الفأرة الأيمن واسحب لإظهار الجزء السفلي من التِّرس. 6
- اضغط على الجانب السفلي من التِّرس الصغير لإنشاء الثقب، 7 ثم اضغط على OK (موافق). 8









شكل 2.54: إنشاء ثقب

جدول 2.7: خيارات العرض

الأيقونة	الوصف
	يمكنك الضغط باستمرار على زر الفأرة الأوسط (عجلة التمرير) وتحريك الفأرة لتحريك العرض.
	يمكنك الضغط باستمرار على مفتاح Shift والضغط على زر الفأرة الأيمن وسحبه لتدوير طريقة العرض.

من خلال ضبط نوع التجويف (Pocket) إلى أعلى الوجه (Up to face)، فإنك تحدّد أن التجويف (Pocket) سيمُرّ عبر الهيكل بأكمله وصولًا إلى الوجه المحدَّد، ويُعدُّ هذا مفيدًا لإنشاء الثقوب في التروس، حيث يتيح لك توصيلها بأجزاء أخرى في المستقبل.

معلومة

يمكنك تمرير عجلة الفأرة لأعلى ولأسفل للتكبير والتصغير، أو استخدام زِرّي التكبير والتصغير من شريط الأدوات.

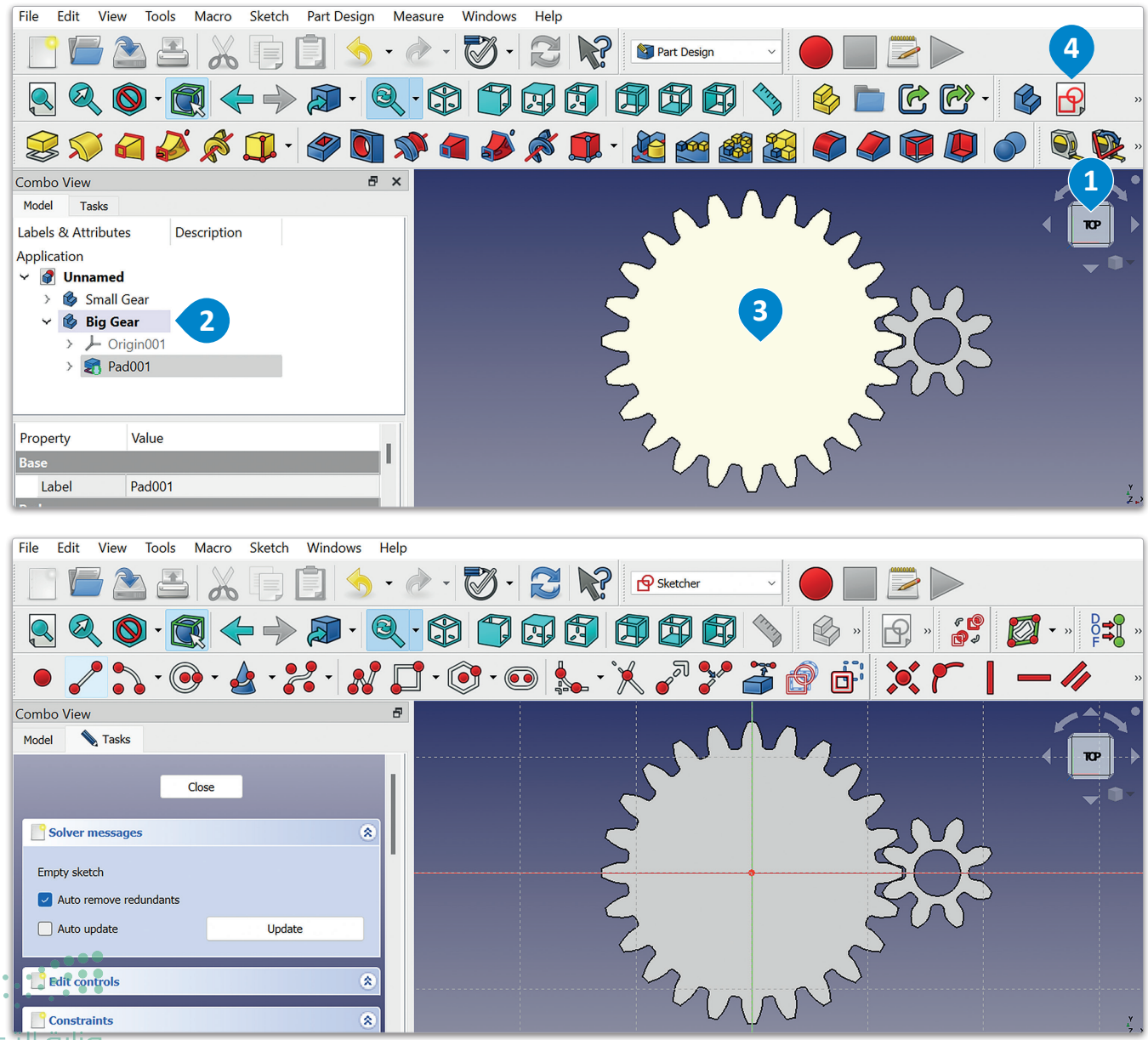
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

إنشاء ثقب في التِّرس الكبير Making a Hole in the Big Gear

الآن وبعد أن انتهيت من العمل على التِّرس الصغير، عليك تكرار الخطوات نفسها لإنشاء ثقب في التِّرس الكبير، وسيكون قطر الثقب أكبر في هذا التِّرس.

لإنشاء رسم تخطيطي على السطح العلوي للتِّرس الكبير:

- استخدِم Navigation Cube (مكعب التنقل) لتدوير النماذج إلى TOP view (طريقة العرض العلوي). 1
- من علامة تبويب Model (النموذج)، اضغط ضغطًا مزدوجًا لتحديد Big Gear (التِّرس الكبير). 2
- اضغط على Big Gear (التِّرس الكبير) لتحديد سطحه العلوي. 3
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create sketch (إنشاء رسم تخطيطي). 4



شكل 2.55: إنشاء رسم تخطيطي على السطح العلوي للتِّرس الكبير

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

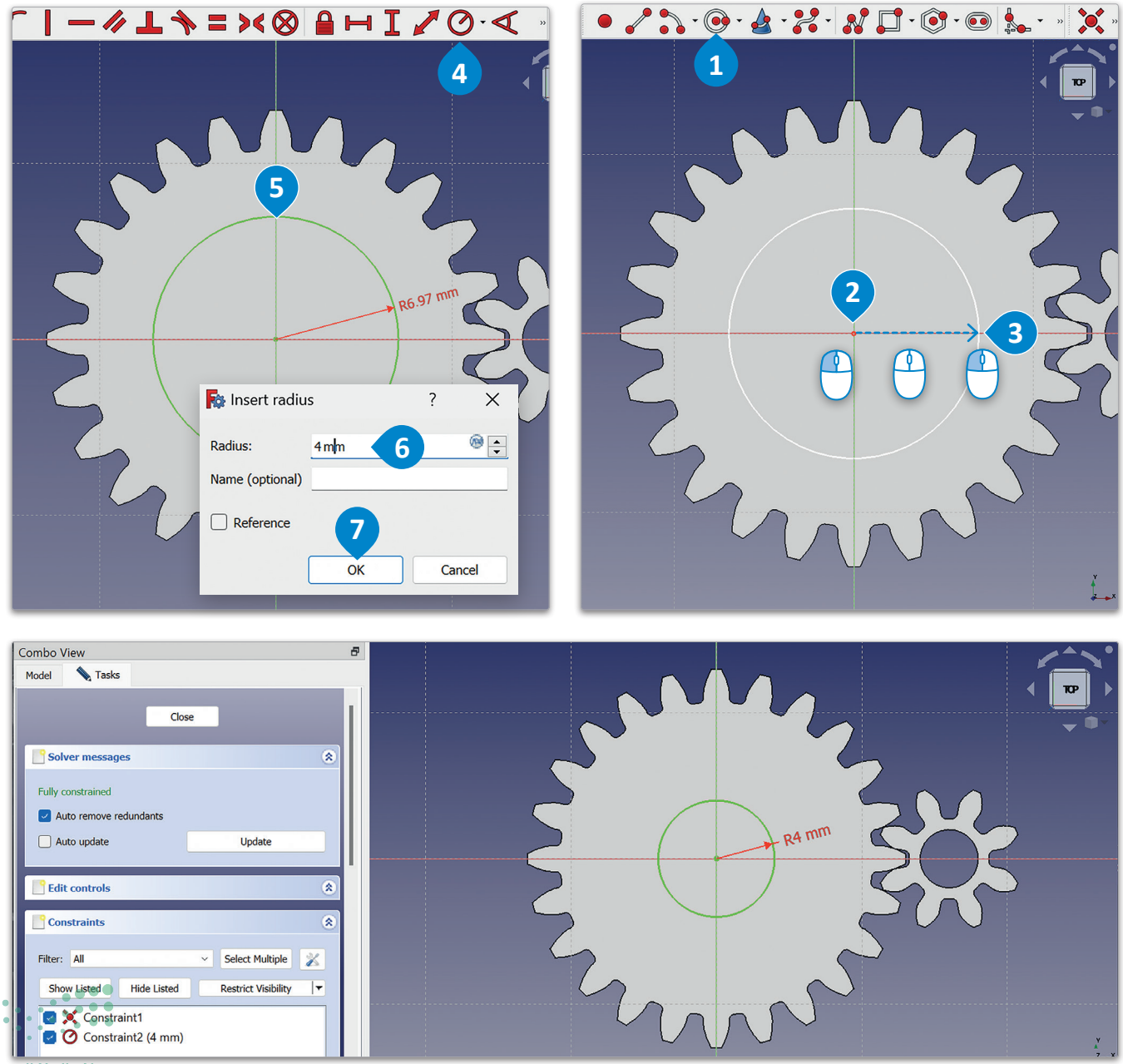
استخدِم أداة **إنشاء دائرة** (Create circle) لإنشاء دائرة الثقب، ثم استخدِم أداة **تقييد نصف القطر** (Constrain radius) لتحديد نصف قطر الدائرة، وسيكون نصف القطر 4 مليمتر.

لإنشاء دائرة:

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create circle (إنشاء دائرة)، 1 وحدِّد مركز المحور، 2 ثم اضغط لإنشاء الدائرة. 3

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Constrain radius (تقييد نصف القطر)، 4 ثم اختر الدائرة. 5

> من نافذة Insert radius (إدراج نصف القطر)، اكتب 4 mm (4 مليمتر)، 6 ثم اضغط على OK (موافق). 7

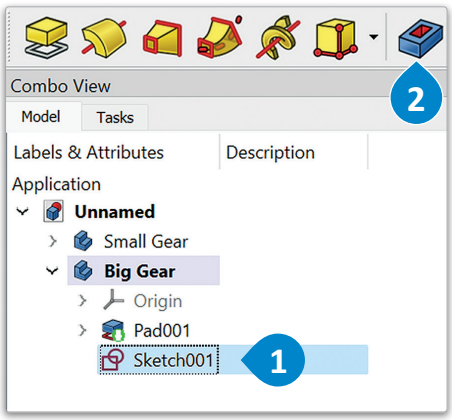


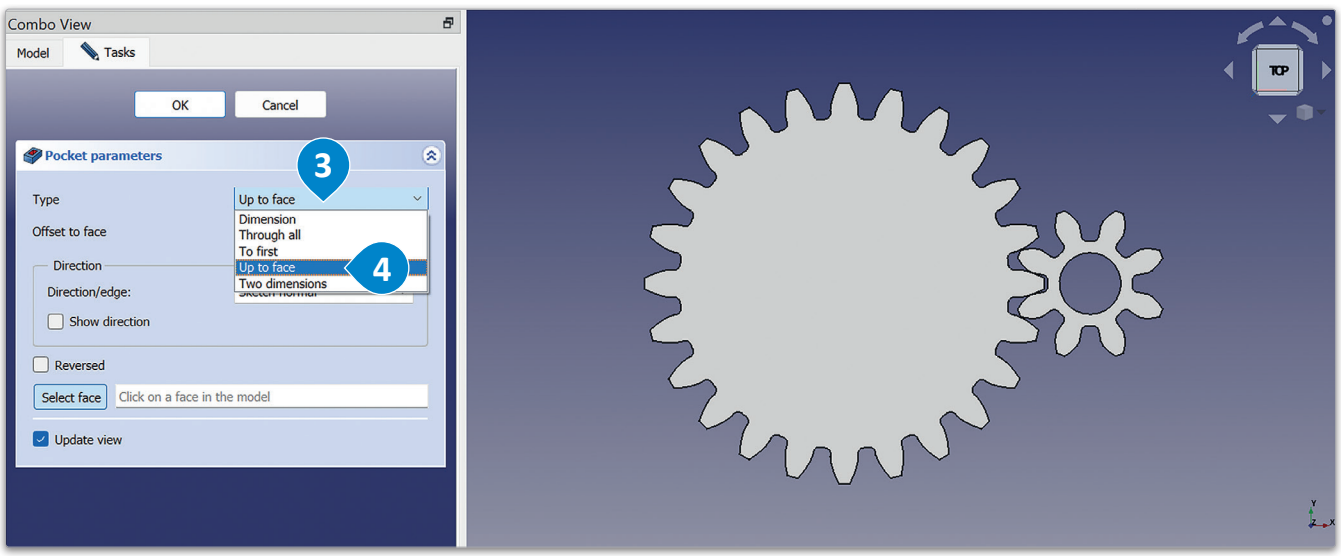
شكل 2.56: إنشاء دائرة

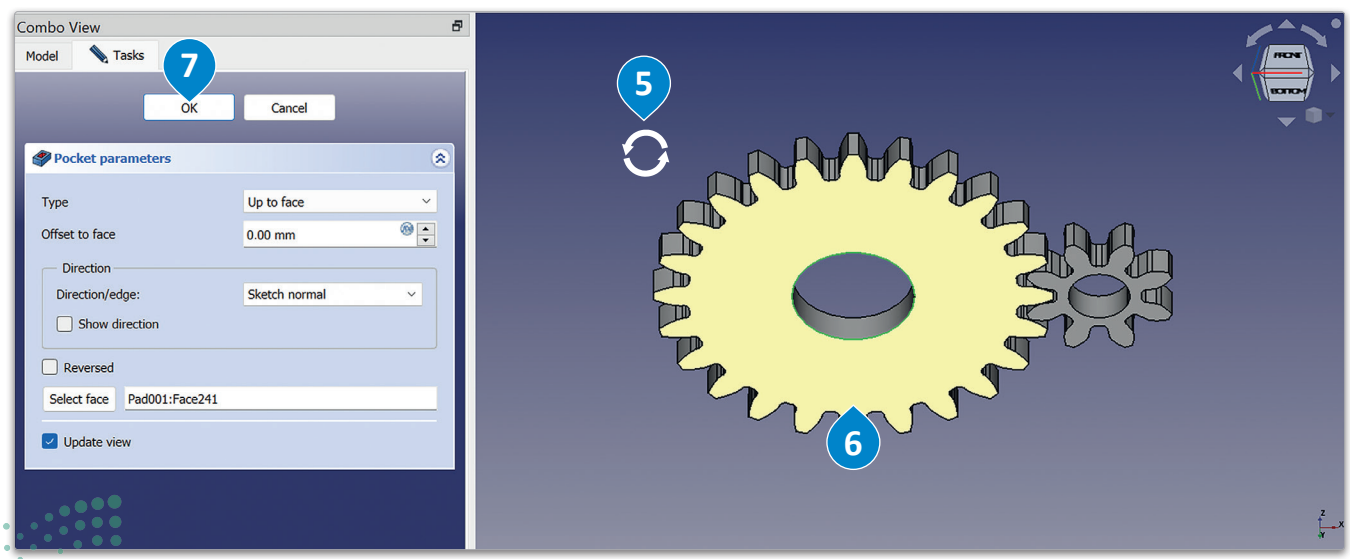
الآن وبعد أن أنشأت الدائرة، استخدِم أداة **التجويف** (Pocket) لإنشاء ثقب في **التِّرس الكبير** (Big Gear).

لإنشاء ثقب:

- من Model Tree (شجرة النموذج)، حدِّد Sketch (رسم تخطيطي). 1
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Pocket (التجويف). 2
- في نافذة Parameters Pocket (مُعامِلات التجويف)، اضغط على القائمة المنسدلة، 3 ثم اختر Up to face (لأعلى الوجه). 4
- اضغط باستمرار على مفتاح ⇧ Shift في لوحة المفاتيح، ثم اضغط على زر الفأرة الأيمن واسحبه للقيام بالتدوير لإظهار الجزء السفلي من التِّرس. 5
- اضغط على الجانب السفلي من التِّرس الكبير لإنشاء الثقب، 6 ثم اضغط على Ok (موافق). 7



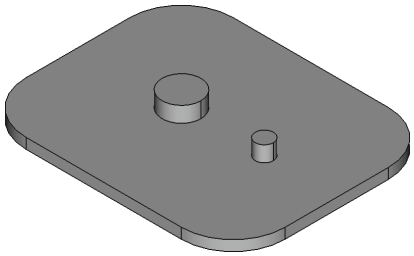




شكل 2.57: إنشاء ثقب

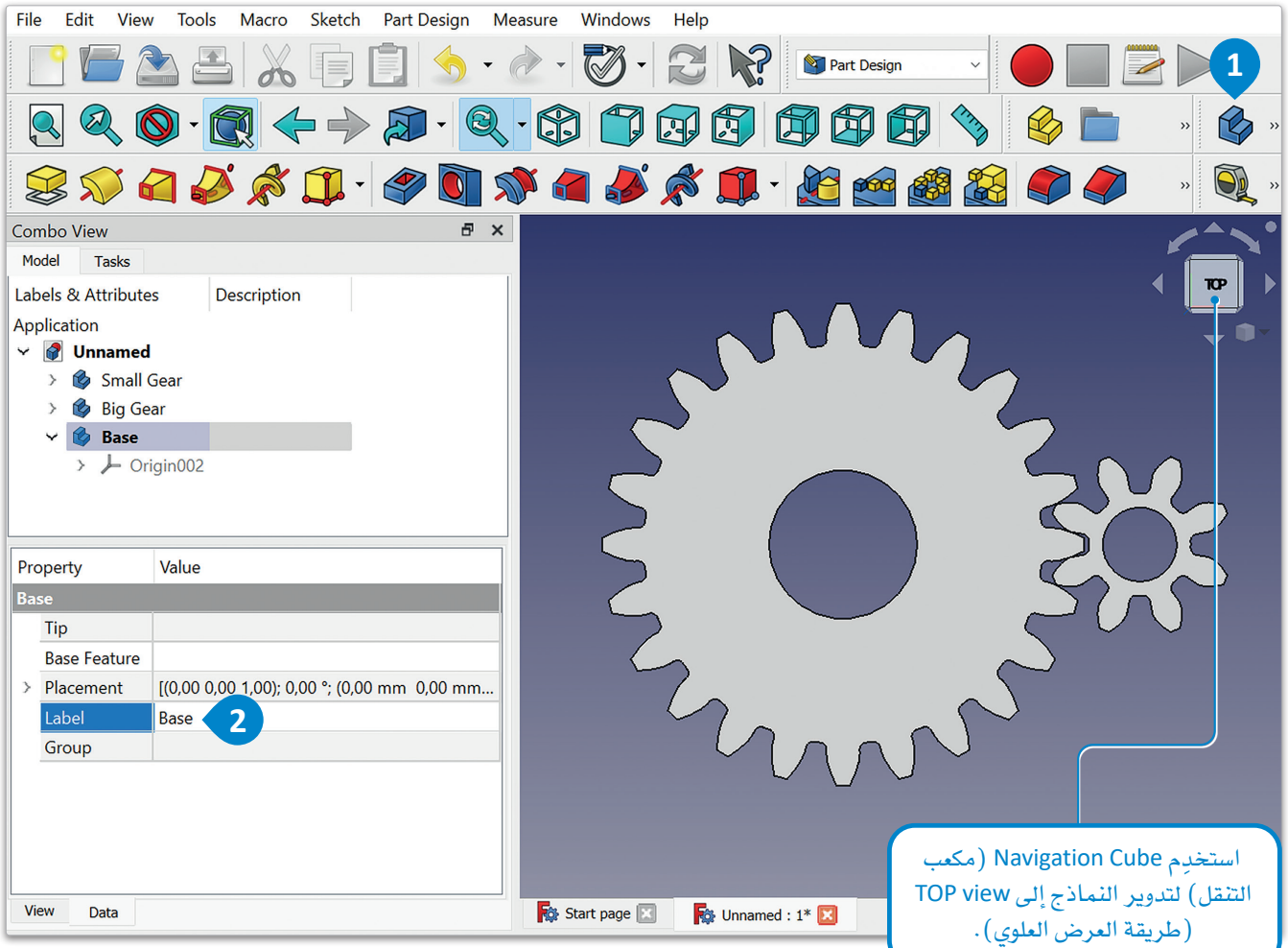
تصميم قاعدة لربط التروس Designing a Base to Connect the Gears

لكي يكتمل المشروع، يجب أن تُنشئ قاعدة التروس، وستكون القاعدة على شكل سطح مستوٍ مع أسطوانتين متصلتين على مسافة محدَّدة، تُعدُّ هذه المسافة مهمة لكي تعمل التروس بشكلٍ صحيح.



لإنشاء هيكل القاعدة:

- من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create body (إنشاء هيكل). 1
- من علامة تبويب Data (البيانات)، غيِّر Label (التسمية) إلى Base (القاعدة). 2



شكل 2.58: إنشاء هيكل القاعدة

معلومة

تُعدُّ المحاذاة الصحيحة للتروس أمرًا بالغ الأهمية لنجاح عملية تشابك أسنان التروس معًا، ويتم تحقيق ذلك بالتأكُّد من ترابط محاور التروس، أي أنها على امتداد خط واحد، وبأنّ مراكز التروس تقع على مسافة ثابتة من بعضها.

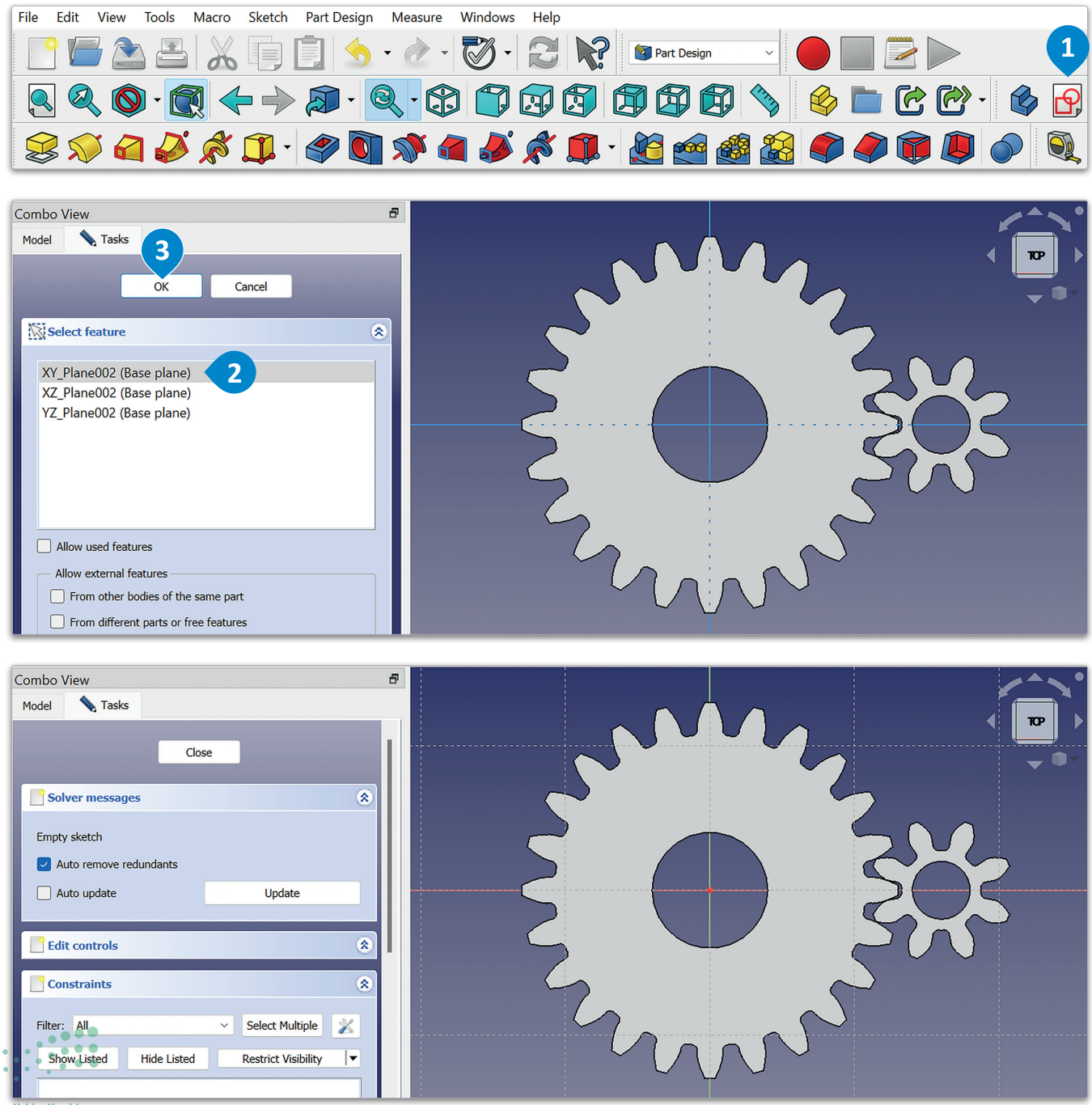
ستستخدِم أولًا أداة **إنشاء رسم تخطيطي** (Create sketch) لإنشاء رسم تخطيطي في سطح العمل للرسم الهندسي XY.

لإنشاء رسم تخطيطي:

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create sketch (إنشاء رسم تخطيطي). 1

> من علامة تبويب Tasks (المهام)، وفي Combo View (عرض المجموعة)، اضغط على XY–Plane (السطح XY). 2

> من علامة تبويب Tasks (المهام)، وفي Combo View (عرض المجموعة)، اضغط على OK (موافق). 3



شكل 2.59: إنشاء رسم تخطيطي

استخدِم الآن أداة **إنشاء مستطيل** (Create rectangle) لإنشاء محيط القاعدة.

لإنشاء مستطيل:

- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create rectangle (إنشاء مستطيل). 1
- اضغط على الرسم التخطيطي لتعيين الزاوية الأولى للمستطيل. 2
- حرِّك المؤشر لتعيين الزاوية المقابلة للمستطيل، واضغط مرة أخرى لإنشاء المستطيل. 3
- من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Close (إغلاق). 4

لا تنسَ تفعيل خياري الشبكة (Grid) وجذب الشبكة (Grid snap) لمساعدتك في التصميم.



شكل 2.60: إنشاء مستطيل

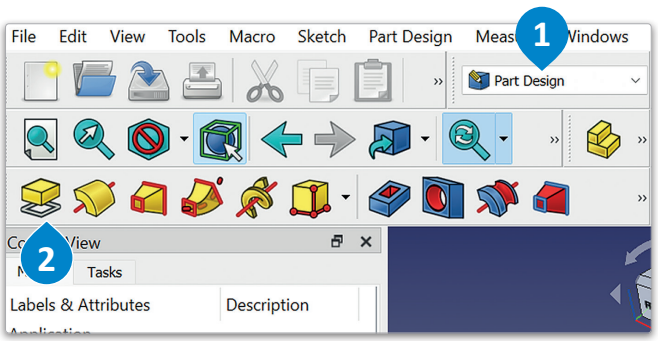
معلومة

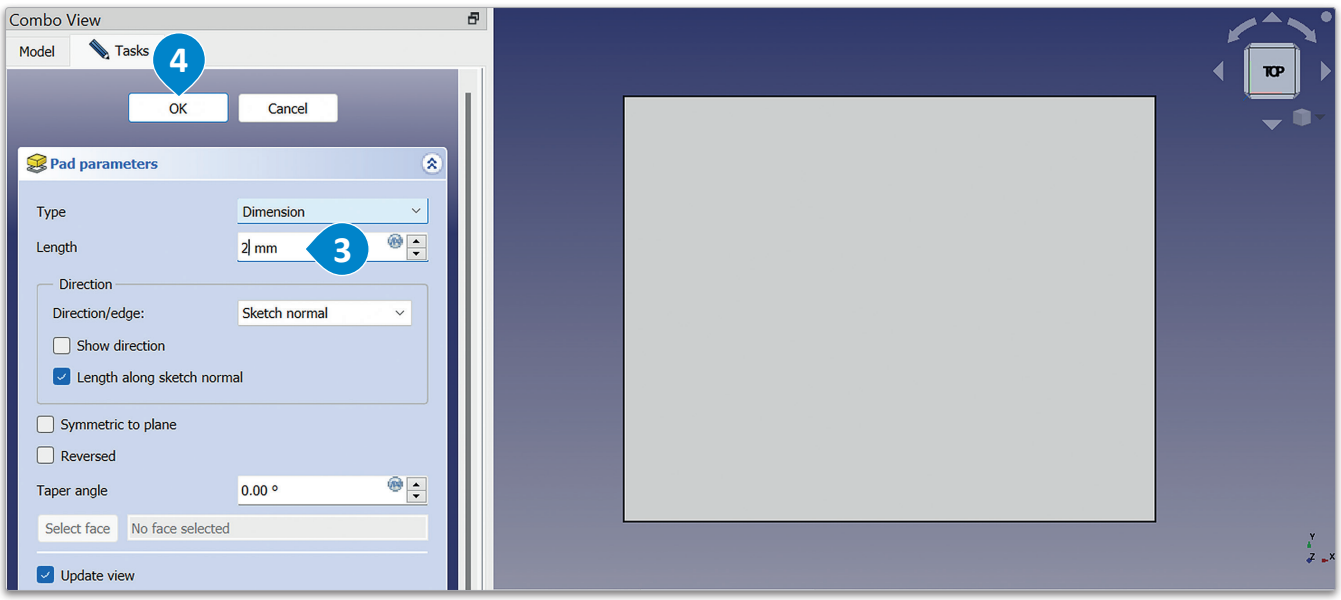
لا يتعين تقييد جميع الرسومات التخطيطية بشكل تام، ففي بعض الحالات قد يكفي تحديد بعض القيود، أو حتى عدم وضع قيود على الإطلاق، وذلك اعتمادًا على الغرض المقصود من الرسم التخطيطي.

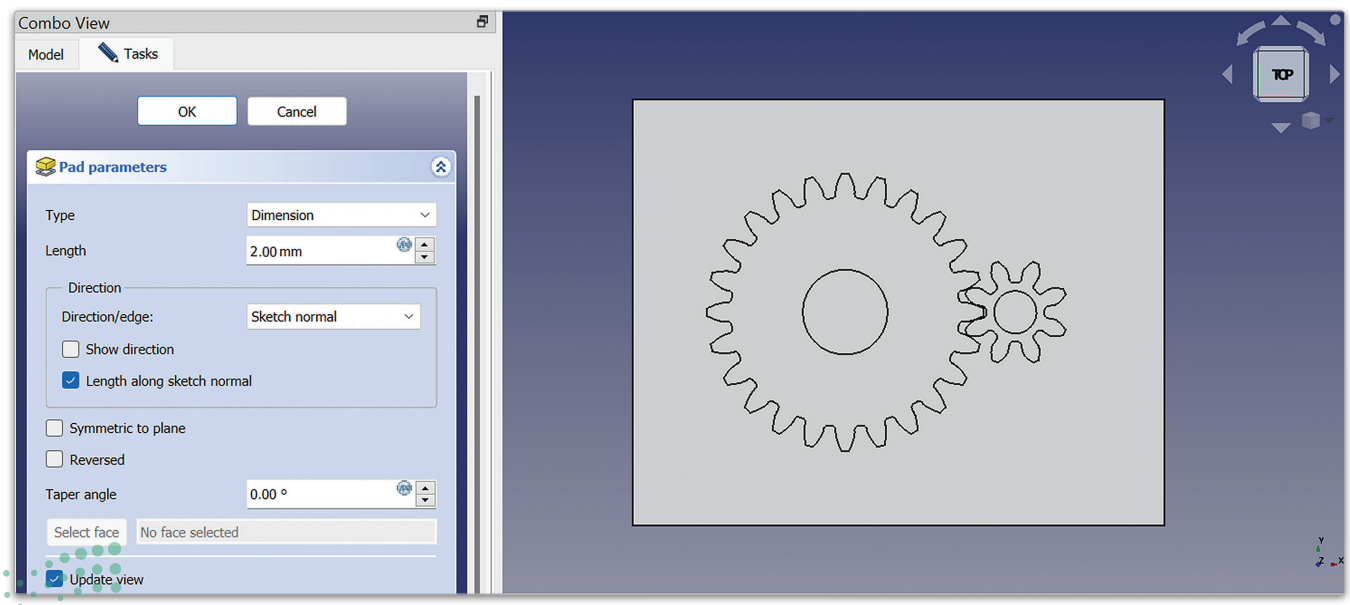
اختر سطح عمل **تصميم قطعة** (Part Design) واستخدِم أداة **البطانة** (Pad) لتغيير المستطيل إلى شكل ثلاثي الأبعاد.

لإنشاء شكل ثلاثي الأبعاد:

- من Workbenches drop-down (القائمة المنسدلة لسطح العمل)، اختر Part Design (تصميم قطعة). 1
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Pad (بطانة). 2
- من علامة التبويب Tasks (المهام)، غيِّر Length (الطول) إلى 2 mm (2 مليمتر)، 3 ثم اضغط على OK (موافق). 4





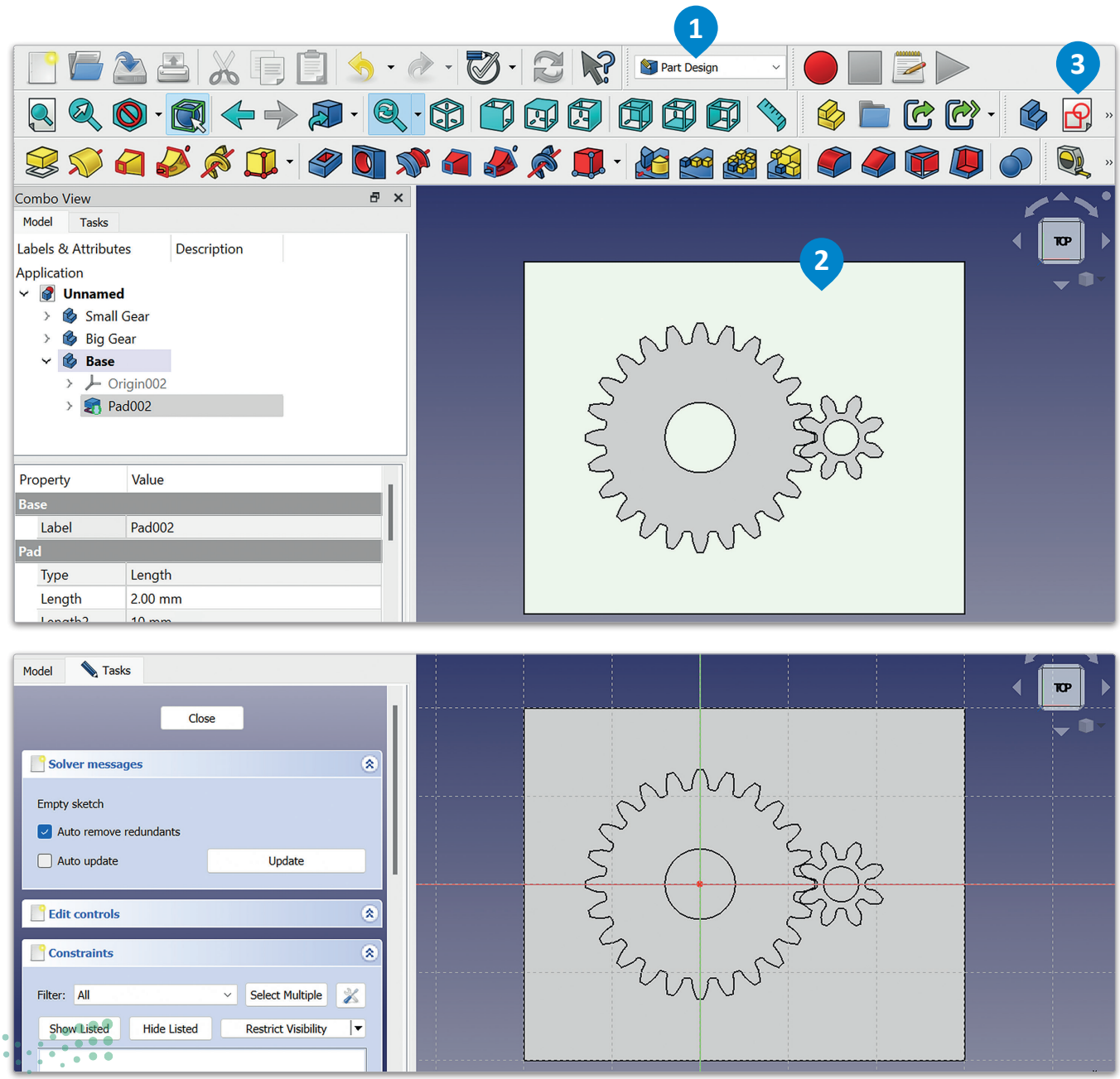


شكل 2.61: إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد

بالعودة إلى علامة تبويب **النموذج** (Model)، وبعد تحديد الوجه العلوي للقاعدة، استخدِم أداة **إنشاء رسم تخطيطي** (Create Sketch) لإنشاء رسم جديد للأسطوانة الأولى.

لإنشاء رسم تخطيطي على السطح العلوي للقاعدة:

- من Workbenches drop-down (القائمة المنسدلة لسطح العمل)، اختر Part Design (تصميم قطعة). 1
- اضغط على القاعدة لتحديد سطحها العلوي. 2
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create sketch (إنشاء رسم تخطيطي). 3



شكل 2.62: إنشاء رسم تخطيطي على السطح العلوي للقاعدة

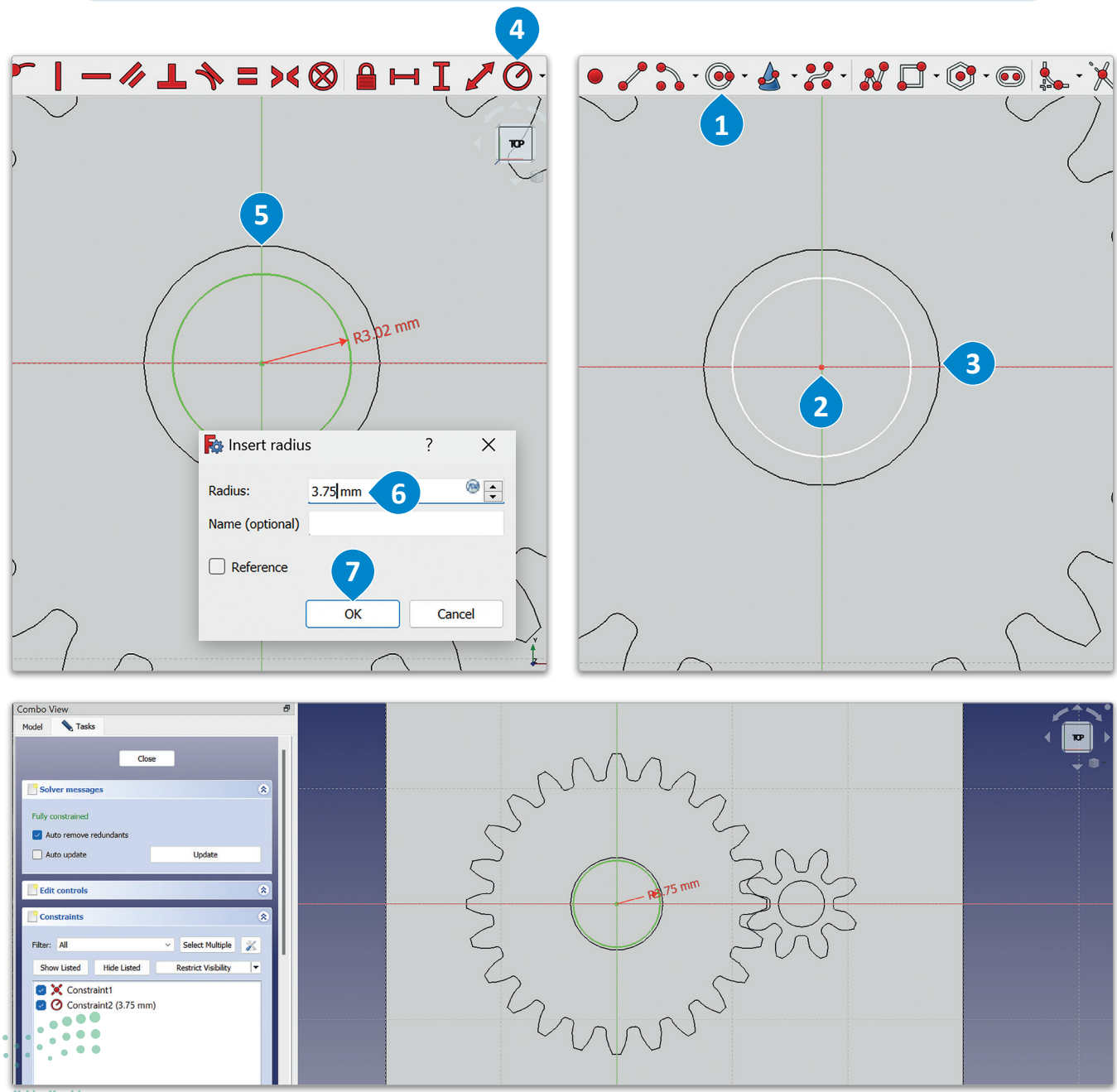
استخدِم أداة إنشاء دائرة (Create circle) لإنشاء دائرة للثقب، ثم استخدِم أداة **تقييد نصف القطر** (Constrain radius) لتعيين نصف قطر الدائرة إلى 3.75 مليمتر.

لإنشاء الدائرة الكبيرة:

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create circle (إنشاء دائرة)، 1 ثم حدِّد مركز المحور، 2 واضغط عليه لإنشاء الدائرة. 3

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Constrain radius (تقييد نصف القطر)، 4 واضغط على الدائرة. 5

> من نافذة Insert radius (إدراج نصف القطر)، اكتب 3.75 mm (3.75 مليمتر)، 6 ثم اضغط على OK (موافق). 7

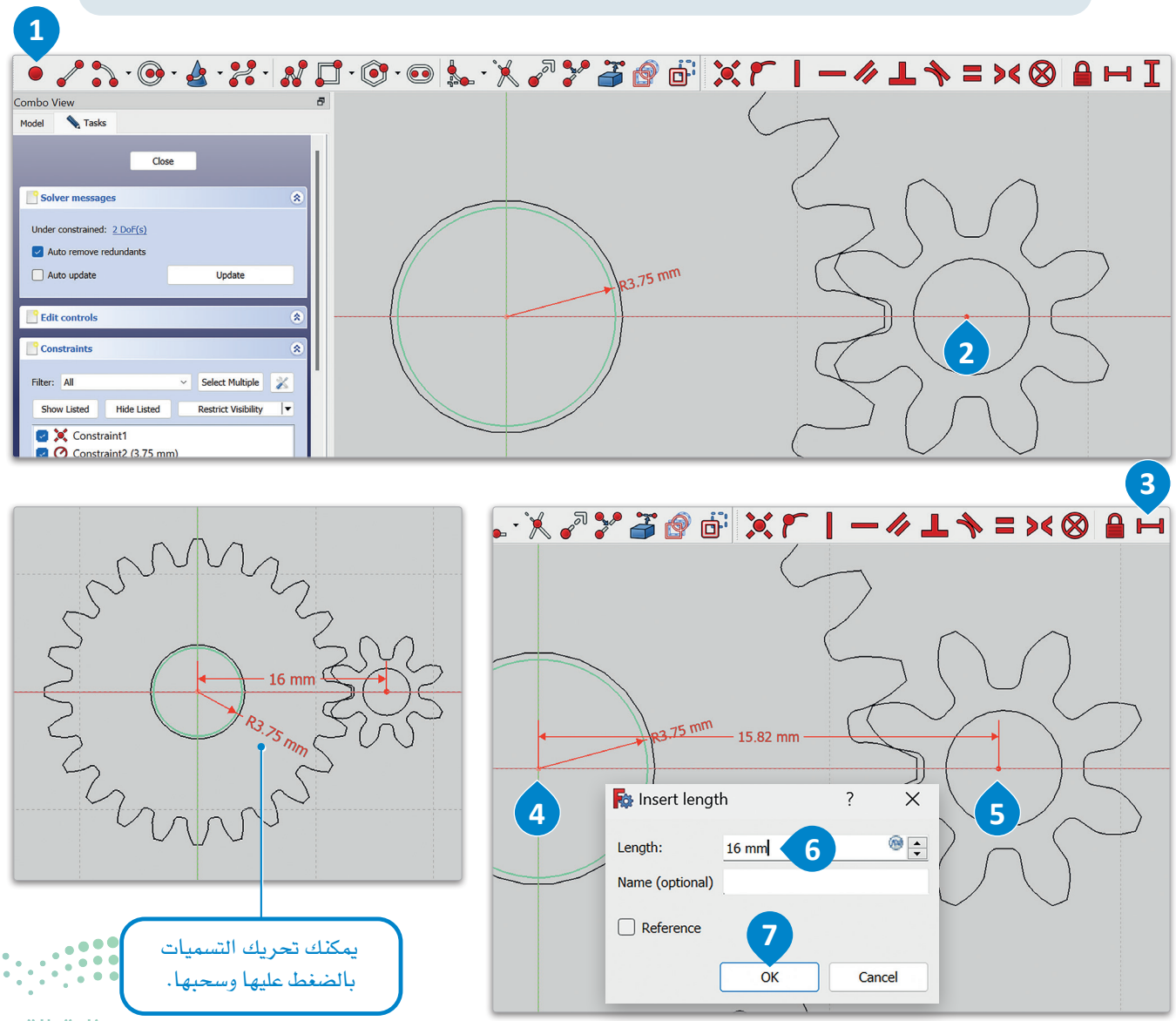


شكل 2.63: إنشاء الدائرة الكبيرة

كان تحديد مركز الدائرة الكبيرة في المثال السابق أمرًا سهلًا، وذلك لوقوعها في منتصف المحور. أما بالنسبة لمركز الدائرة الصغيرة، فستستخدِم أداة **إنشاء نقطة** (Create point) لإنشاء نقطة محدَّدة على المسافة الصحيحة من مركز الدائرة الكبيرة. تُظهر نتيجة الصيغة الحسابية "المسافة = (الوحدة القياسية × (T1 + T2) / 2)" التي استخدمتها سابقًا في الدرس إلى أن المسافة بين مركزي التِّرسين هي 16 مليمتر، فباستخدام أداة **تقييد المسافة الأفقية** (Constrain horizontal distance)، يمكنك تعيين المسافة بين مركزي الدائرتين إلى 16 مليمتر، وبالتالي تحديد مركز الدائرة الصغيرة.

لإنشاء مركز الدائرة الصغيرة:

- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create point (إنشاء نقطة)، 1 ثم اضغط في منتصف الثقب في التِّرس الصغير. 2
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Constrain horizontal distance (تقييد المسافة الأفقية)، 3 ثم اضغط على مركز الدائرة الكبيرة، 4 والنقطة التي أنشأتها للتو. 5
- في نافذة Insert length (إدراج الطول)، اكتب 16 mm (16 مليمتر)، 6 ثم اضغط على OK (موافق). 7



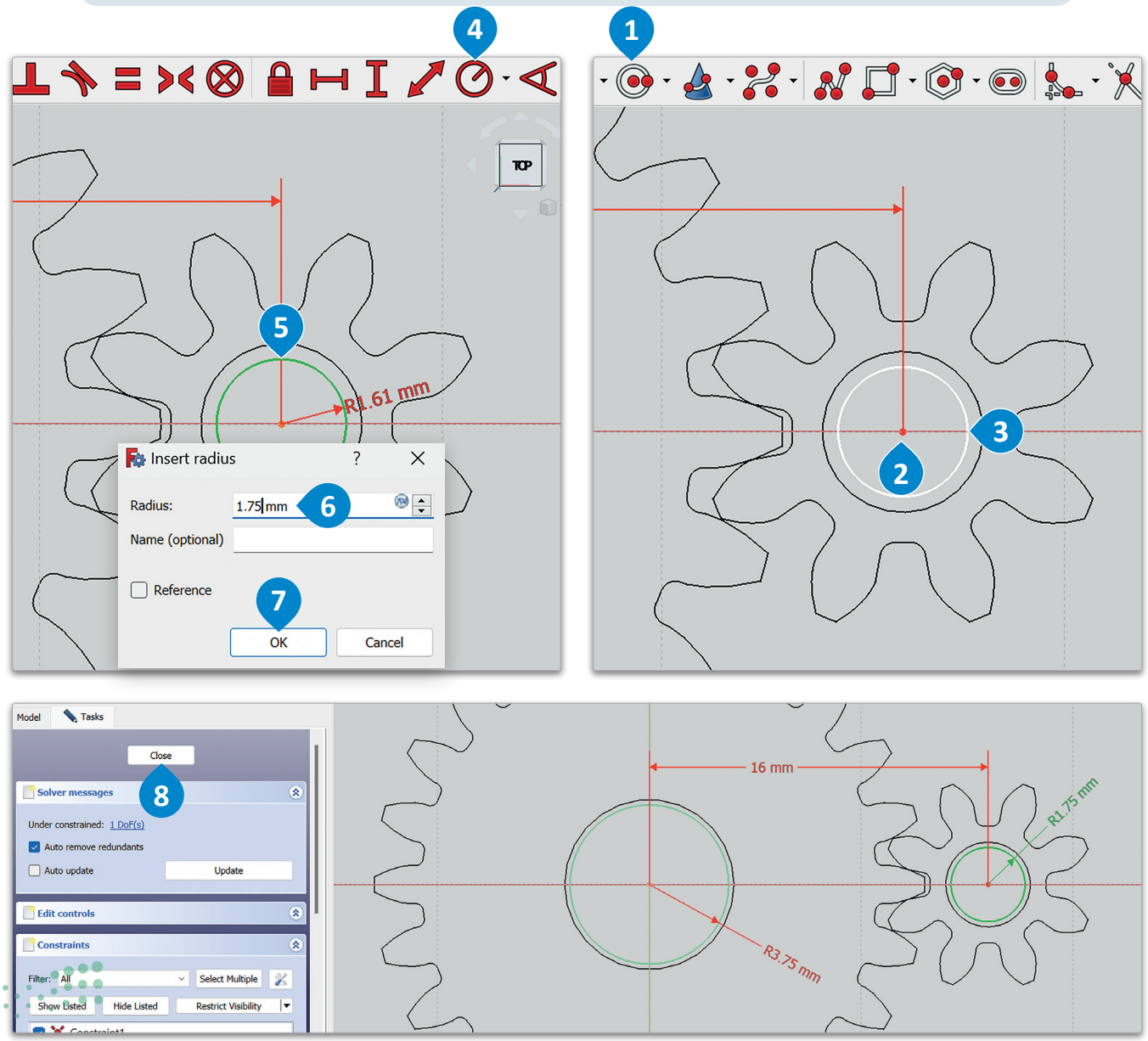
شكل 2.64: إنشاء مركز الدائرة الصغيرة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الآن وبعد أن حدَّدت مركز الدائرة الصغيرة، عليك أن تنشئ دائرة للثقب باستخدام أداة **إنشاء دائرة** (Create circle)، ثم ستستخدِم أداة **تقييد نصف القطر** (Constrain radius) لتعيين نصف قطر الدائرة إلى 1.75 مليمتر.

لإنشاء دائرة صغيرة:

- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create circle (إنشاء دائرة)، 1 ثم حدِّد مركز المحور، 2 واضغط عليه لإنشاء الدائرة. 3
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Constrain radius (تقييد نصف القطر)، 4 ثم اضغط على الدائرة. 5
- في نافذة Insert radius (إدراج نصف القطر)، اكتب 1.75 mm (1.75 مليمتر)، 6 ثم اضغط على OK (موافق). 7
- من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Close (إغلاق). 8

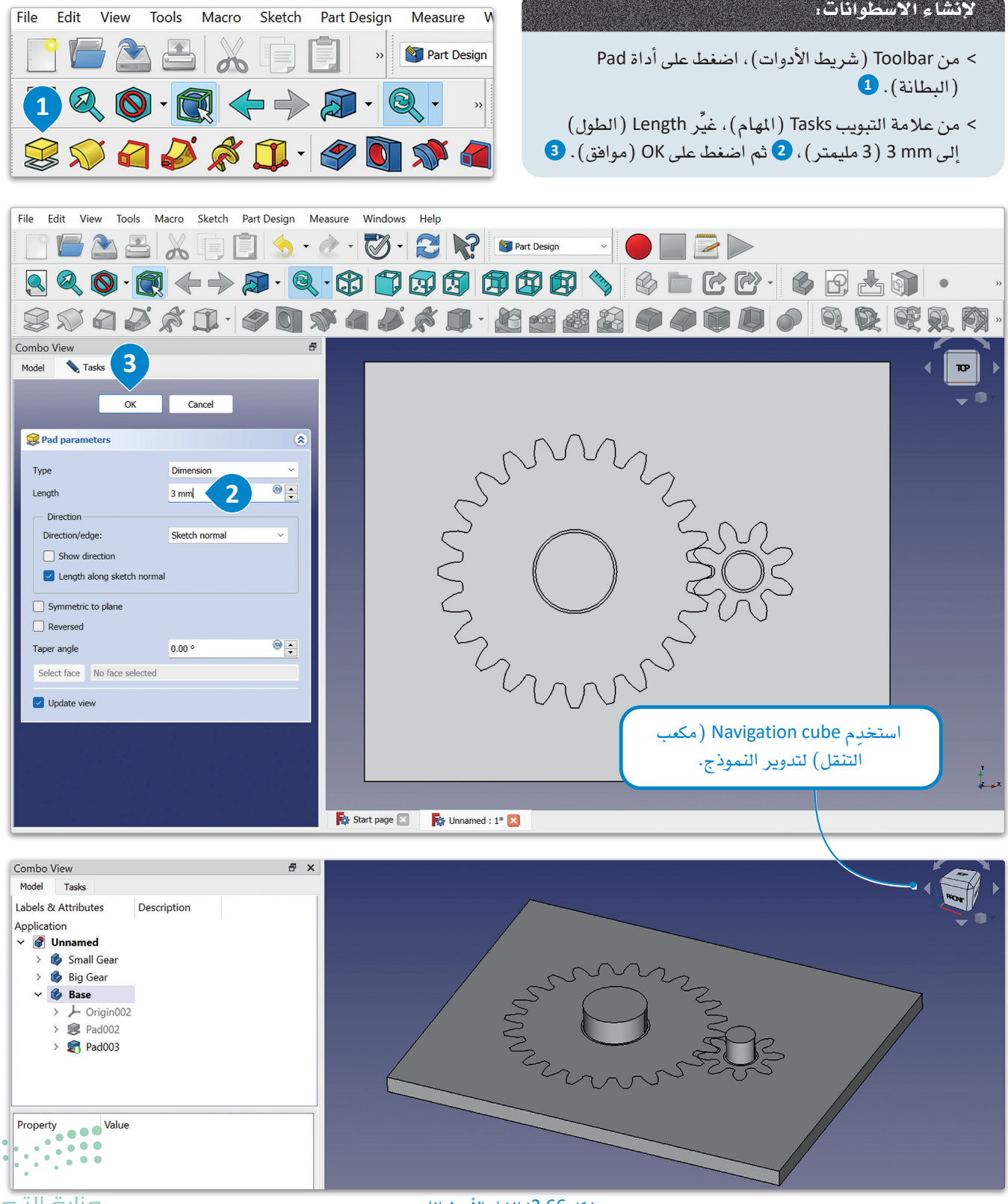


شكل 2.65: إنشاء دائرة صغيرة

والآن استخدِم أداة **البطانة** (Pad) لتحويل الدوائر ثنائية الأبعاد إلى أسطوانات ثلاثية الأبعاد.

لإنشاء الأسطوانات:

- من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Pad (البطانة). 1
- من علامة التبويب Tasks (المهام)، غيِّر Length (الطول) إلى 3 mm (3 مليمتر)، 2 ثم اضغط على OK (موافق). 3



شكل 2.66: إنشاء الأسطوانات

الآن وبعد أن انتهيت من النموذج، يجب أن تحرِّك التِّرسين إلى الأعلى بمقدار 2 مليمتر على المحور z.

لتحريك التِّرسين:

> من علامة تبويب Model (النموذج)، اختر Small Gear (التِّرس الصغير). 1

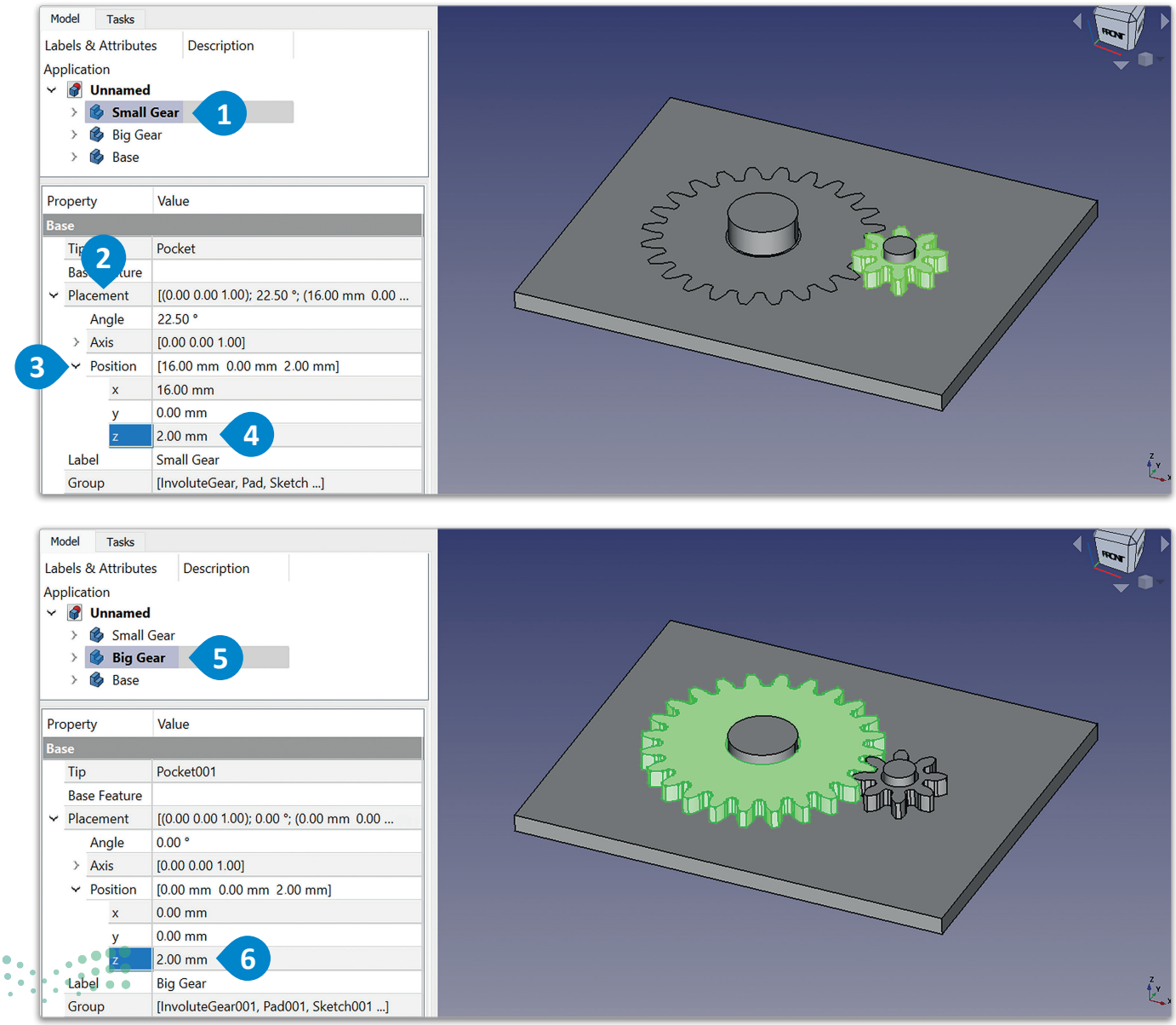
> من علامة تبويب Data (البيانات)، اضغط على Placement (وضع). 2

> من قائمة Placement (وضع)، اضغط على Position (الموضع). 3

> في المربع z من القائمة المنسدلة Position (الموضع)، اكتب 2 mm (2 مليمتر). 4

> من علامة تبويب Model (النموذج)، اختر Big Gear (التِّرس الكبير). 5

> في المربع z من القائمة المنسدلة Position (الموضع)، اكتب 2 mm (2 مليمتر). 6



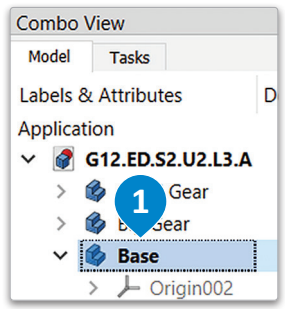
شكل 2.67: تحريك التِّرسين

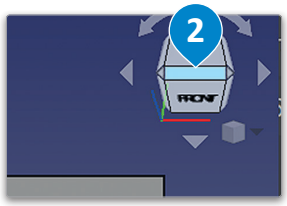
في آخر خطوة من هذا الدرس، ستستخدِم أداة **شريحة** (Fillet) لتحسين مظهر القاعدة.

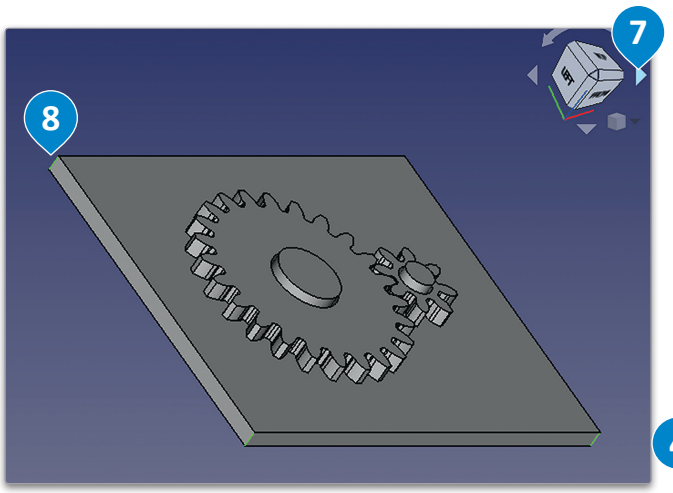
تمثِّل **الشريحة** (Fillet) سطحًا منحنيًا يقع بين سطحين متقاطعين، وستستخدِمها في هذه الحالة لإنشاء انتقال سلس بين حواف القاعدة، ويُمكن أن تؤدي إضافة الشرائح إلى تصميمك إلى منحه مظهرًا أكثر احترافًا، وتحسين وظائفه وذلك بالتقليل من حدة الزوايا.

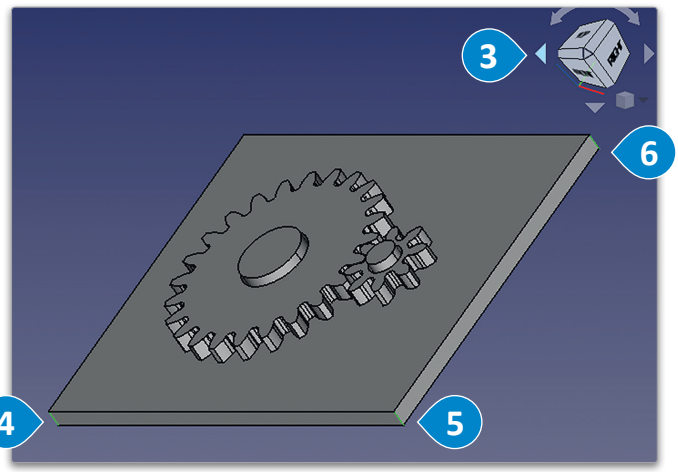
لجعل القاعدة منحنية:

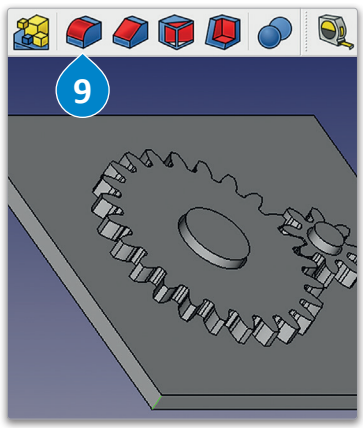
- من علامة تبويب Model (النموذج)، اضغط ضغطًا مزدوجًا لتحديد Base (القاعدة). 1
- من Navigation cube (مكعب التنقل)، اضغط على الزاوية لتغيير طريقة العرض. 2
- من Navigation cube (مكعب التنقل)، اضغط على السهم الأيسر. 3
- اضغط باستمرار على مفتاح **Ctrl** وحدِّد الزاوية السفلية اليسرى، 4 والزاوية اليمنى السفلية، 5 والزاوية اليمنى العلوية. 6
- من Navigation cube (مكعب التنقل)، اضغط على السهم الأيمن مرتين. 7
- اضغط على مفتاح **Ctrl** وحدِّد الزاوية اليسرى العليا. 8
- من Toolbar (شريط الأدوات)، حدِّد أداة Fillet (شريحة). 9
- من علامة تبويب Tasks (المهام)، غيِّر Radius (نصف القطر) إلى 10 mm (10 مليمتر)، 10 ثم اضغط على OK (موافق). 11

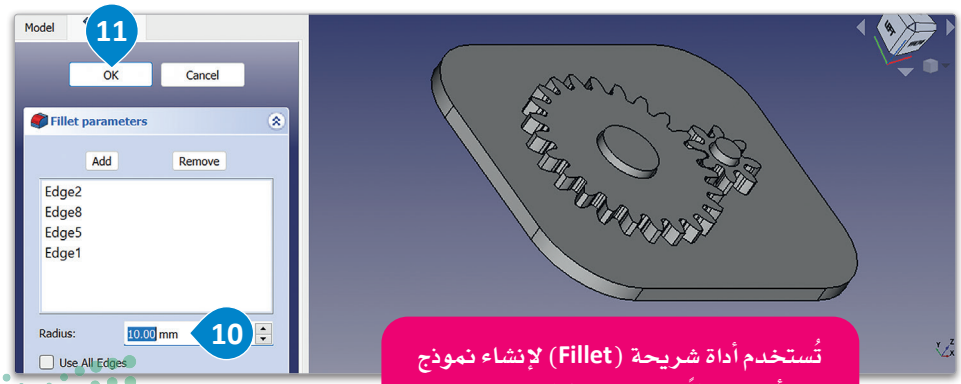












تُستخدم أداة شريحة (Fillet) لإنشاء نموذج أكثر جمالًا وسلاسة في الاستخدام.

شكل 2.68: جعل القاعدة منحنية

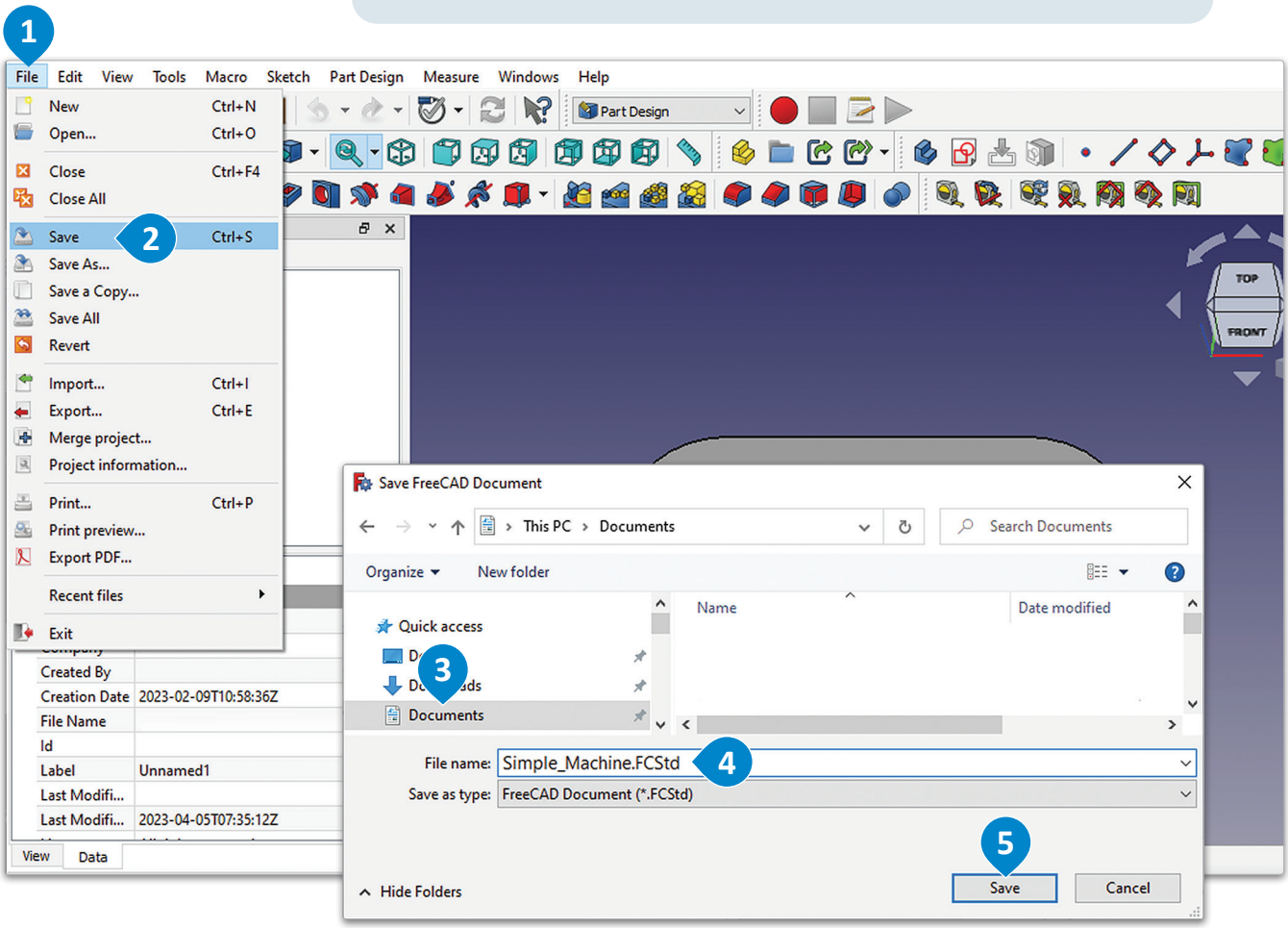
في الختام، ستحفظ ملفك.

لحفظ ملفك:

> من شريط Menu (القائمة)، اضغط على File (ملف) 1، ثم اختر Save (حفظ) 2.

> اضغط على مجلد Documents (المستندات) 3.

> اكتب اسمًا للملف، 4 ثم اضغط على Save (حفظ) 5.



شكل 2.69: حفظ ملفك



وبذلك تكون قد صمَّمت نظامك الحركي الآلي الأول.

ستتعلّم في الوحدة التالية كيفية تنسيق الملف وتجهيزه للطباعة.

نموذج مطبوع لتجميع التِّرسين على قاعدة.

تمرينات

1

حدِّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:	صحيحة	خاطئة
1. تعمل التروس معًا لنقل الطاقة والحركة.	○	○
2. يُمكن استخدام التِّرس لتغيير السرعة وعزم الدوران.	○	○
3. يمكنك قياس التِّرس عن طريق عَدِّ أسنانه.	○	○
4. عادةً ما يتم توصيل ترس القيادة بمصدر الحركة (مثل: المُحرِّك).	○	○
5. يتحرك ترس القيادة بناءً على حركة التِّرس المُدار، ويتم توصيله بوجهة الحركة (محور حركة أو أداة قطع).	○	○
6. تزداد السرعة عندما يكون ترس القيادة أكبر من التِّرس المُدار.	○	○
7. يتم التعبير عن العلاقة بين التروس من خلال النسبة بين عدد أسنانها.	○	○
8. التِّرس الأسطواني المنحني هو نوع من التروس التي لها أسنان ذات شكل منحنٍ.	○	○
9. تناسب التروس الأسطوانية المنحنية التطبيقات التي تتطلب عزم دوران عالٍ.	○	○
10. الوحدة القياسية (Module) هي قطر الخطوة مقسومًا على عدد الأسنان.	○	○

2 ما التروس؟ وكيف تعمل؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

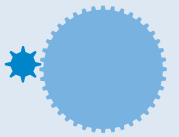
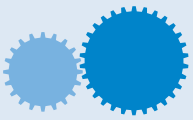
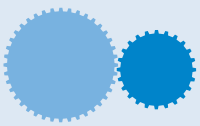
3 اشرح آلية عمل تروس الدراجة.

4 ابحث في الإنترنت للعثور على تطبيقات تستخدِم التروس الإسطوانية المنحنية، ثم صِفْ تطبيقين منهما واشرح خصائص هذا النوع من التروس.

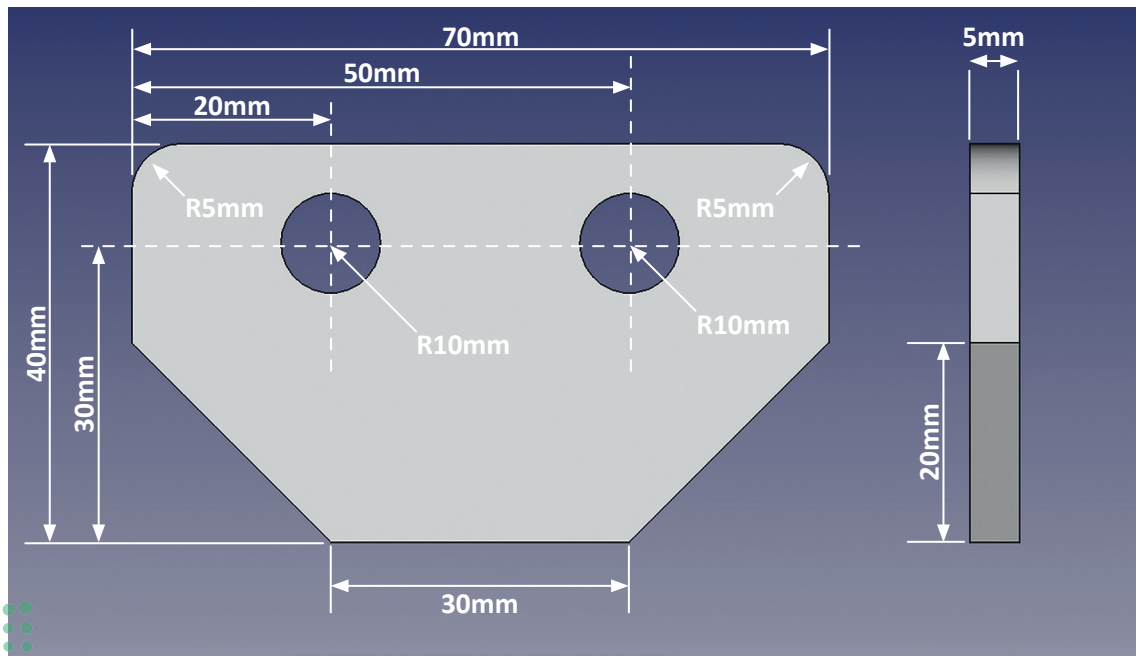
5 ما أهمية تحديد المسافة المركزية بين ترسين؟

6 استخدِم معادلة نسبة التروس لحساب نسبة كل مجموعة من التروس.

ضع علامة (✓) على مجموعات التروس التي تعطي سرعة أكبر وتلك التي تعطي عزم دوران متزايد.

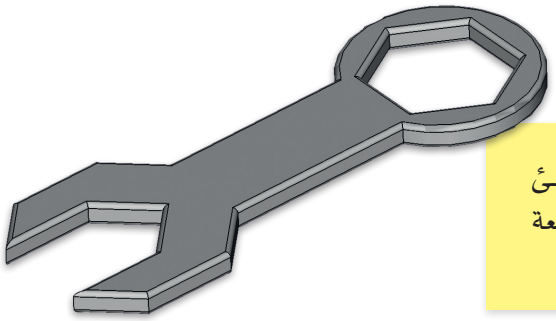
	النسبة	زيادة السرعة	زيادة العزم
	ترس القيادة 8 التِّرس المُدار 40	○	○
	التِّرس المُدار 20 ترس القيادة 30	○	○
	التِّرس المُدار 4 ترس القيادة 24	○	○
	التِّرس المُدار 40 ترس القيادة 24	○	○

7 استخدِم الأدوات التي تعرفت عليها في هذه الوحدة لإنشاء النموذج التالي في برنامج فري كاد (FreeCAD)، حيث ستساعدك القياسات التالية على فهم كيفية إنشاء كل جانب من جوانب النموذج:



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المشروع

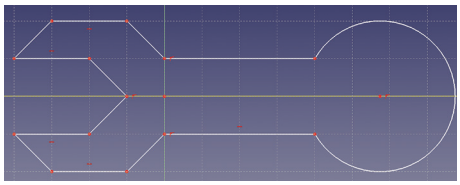


لكي تصبح ماهرًا في إنتاج تصميمات ثلاثية الأبعاد، عليك أن تُنشئ أشكالًا مفيدة، ويُعدُّ مفتاح الربط أحد أكثر المُنتَجات المفيدة والشائعة التي يمكنك إنشاؤها.

1

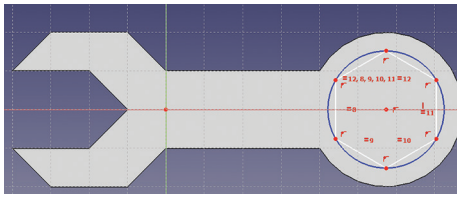
استخدِم أداتي **إنشاء خط** (Create line) و**إنشاء خط متصل** (Create polyline) لإنشاء محيط مفتاح الربط.

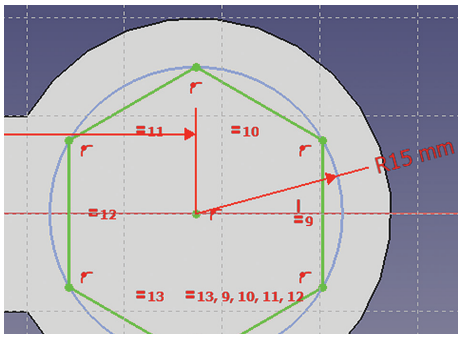
استخدِم أداة **إنشاء قوس** (Create arc) لإنشاء هيكل مفتاح الربط.



2

استخدِم أداة **إنشاء شكل سداسي** (Create hexagon) لتصميم الشكل السداسي، ثم استخدِم أداة **التجويف** (Pocket) لإنشاء ثقب سداسي الشكل في مفتاح الربط، ويجب أن يكون سُمك المفتاح 5 مليمتر.



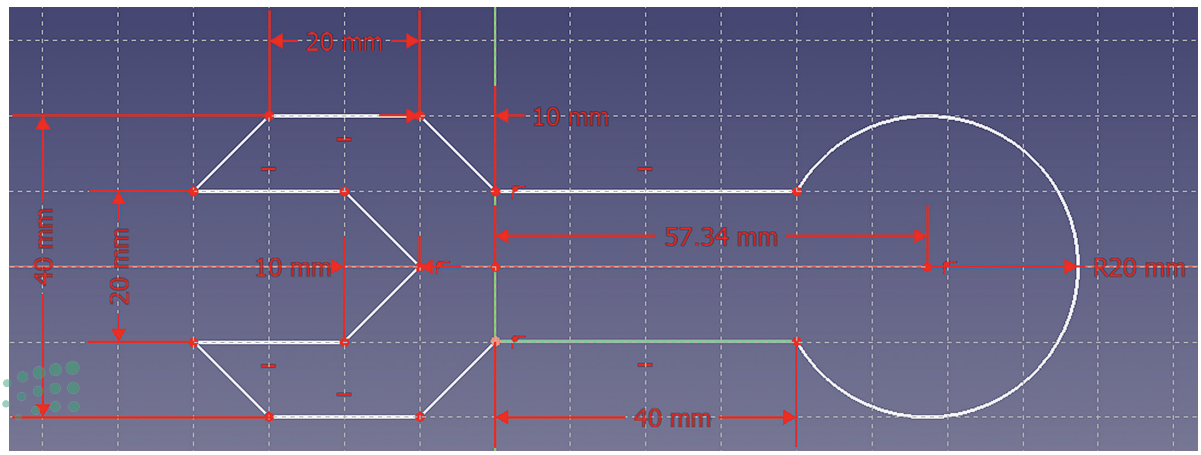


3

يمكنك إضافة تفاصيل مثل **الشرائح** (Fillets) لتحسين مظهر مفتاح الربط بعد إنشاء النموذج ثلاثي الأبعاد للمفتاح.

4

استخدِم الرسومات التخطيطية التالية لتصميم مفتاح الربط:



ماذا تعلّمت

- التمييز بين التصميم والنمذجة الأوَّلية.
- استخدام برنامج فري كاد.
- استخدام أسطح العمل في برنامج التصميم بمساعدة الحاسب.
- إنشاء أشكال أساسية ثنائية وثلاثية الأبعاد.
- إضافة قيود على المجسّمات.
- استخدام أسطح العمل للرسم الهندسي لتحديد موضع المجسّمات واتّجاهها.
- استخدام طرائق العرض ثلاثية الأبعاد.
- استخدام هياكل متعددة لإنشاء تصميمات ثلاثية الأبعاد أكثر تعقيدًا.
- استخدام التروس لإنشاء آلة حركية بسيطة.

المصطلحات الرئيسة

البطانة	Padding
الإسقاط المنظوري	Perspective Projection
أسطح العمل للرسم الهندسي	Planes
نموذج أوَّلي	Prototype
أسطح العمل	Workbenches

القيود	Constraints
العرض التفصيلي	Exploded Views
بثق	Extrude
الرسم متماثل القياس	Isometric Drawing
الرسم الهندسي المائل	Oblique Drawing
الرسم المتعامد	Orthographic Drawing

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

3. تطوير المُنتَجات ثلاثية الأبعاد

سيتعرّف الطالب في هذه الوحدة على تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد وتطبيقاتها، وسيتعرّف كذلك على أنواع الطابعات، وعلى المواد المستخدَمة في هذا النّوع من الطّباعة، كما سيميِّز بين المراحل المختلفة لاختبار المُنتَجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة، وتنقيحها، ويميِّز بين الأدوات المستخدَمة في هذه العملية. سيصمِّم أيضًا نموذجًا متقدمًا ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج فري كاد (FreeCAD)، وسيستخدِم برنامج كيورا (Cura) لطباعته، ثم سيتعرّف على القيود الخاصة باختبار المُنتَجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة وكيفية تنقيحها، وكذلك أهمية مراقبة الجودة في هذه العمليّة.

أهداف التعلُّم

بنهاية هذه الوحدة سيكون الطالب قادرًا على أن:

- يَصِف استخدامات الطباعة ثلاثية الأبعاد.
- يُصنِّف أنواع الطابعات ثلاثية الأبعاد.
- يُحدِّد أنواع مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد.
- يُحلِّل تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد.
- يَطبع مجسّمًا معقَّدًا ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج كيورا (Cura).
- يَضع قائمة بالمراحل المختلفة لاختبار المُنتَجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة، وتنقيحها.
- يُحدِّد الأدوات المستخدَمة لاختبار المُنتَجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة وتنقيحها.
- يُحدِّد قيود اختبار المُنتَجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة وتنقيحها.

الأدوات

- فري كاد (FreeCAD)
- كيورا (Cura)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

الدرس الأول

مقدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد

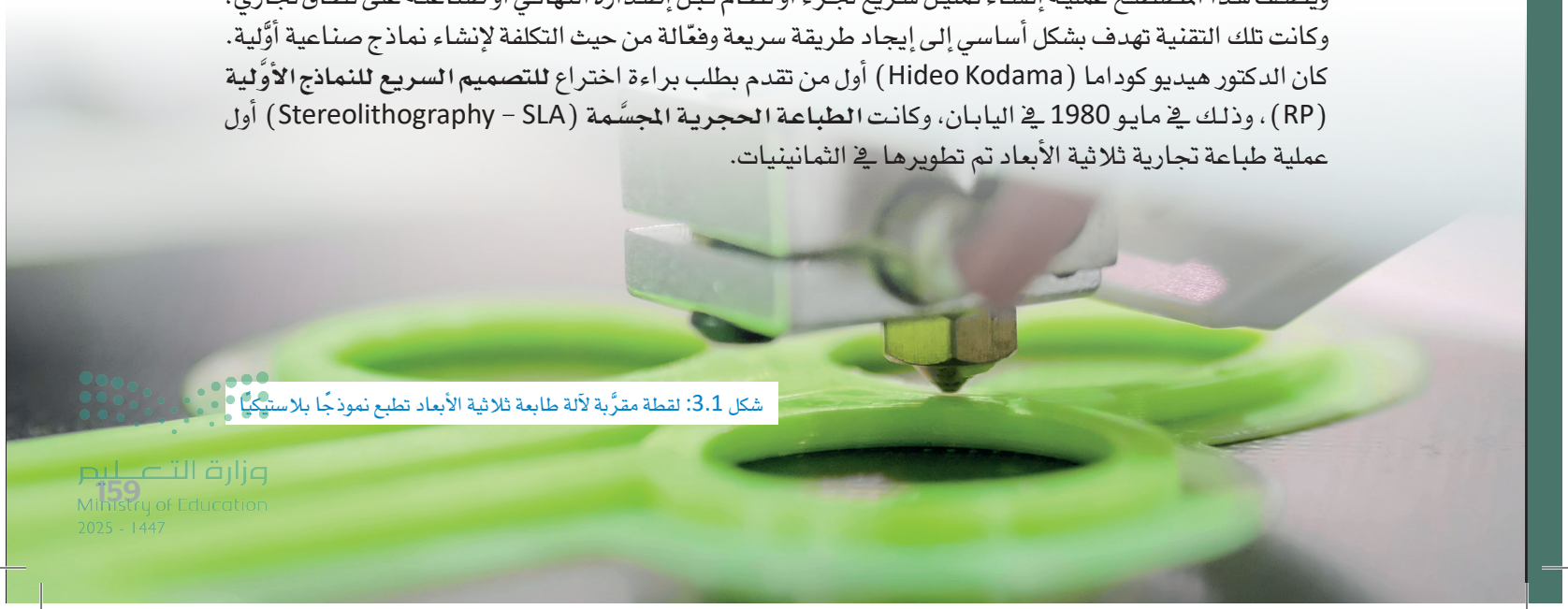
أساسيات الطباعة ثلاثية الأبعاد Basics of 3D Printing

تُنتِج الطابعات ثلاثية الأبعاد مجسّمًا واقعيًا من ملف النموذج الرقمي ثلاثي الأبعاد، عن طريق تطبيق عدة طبقات رقيقة من المواد المحدَّدة بالتتابع، وتكمُن الخطوة الأولى في الطباعة ثلاثية الأبعاد في إنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد للمجسّم المطلوب طباعته، ويمكنك تصميم هذا النموذج باستخدام برنامج خاص بالنمذجة ثلاثية الأبعاد، أو بمسح المجسّم باستخدام ماسح ضوئي ثلاثي الأبعاد، وتختلف المُخرَجات وفقًا لنوع الطابعة والمواد المستخدَمة، وتُعدُّ لدائن البلاستيك، والمعادن، والسيراميك والرمل من أكثر مواد الإنتاج والنمذجة شيوعًا في الطباعة ثلاثية الأبعاد، وتجري حاليًا أبحاث متقدمة على استخدام المواد الحيوية لصناعة الأغذية باستخدام هذا النوع من الطباعة، كما تتوفَّر عِدَّة طابعات من هذا النوع بسعر مناسب للمبتدئين.

يستخدِم المهندسون والمُصمِّمون الطابعات ثلاثية الأبعاد لاختبار النماذج الأوَّلية، كما تستخدِم شركات التصنيع هذه الطابعات لتصنيع بعض الأجزاء المعقدة لمُنتَجاتها. إضافةً إلى ذلك، يُمكن للأفراد والشركات استخدام هذه الطباعة للتصنيع **الذاتي** (Do It Yourself – DIY)، حيث يشير هذا المصطلح إلى إنشاء أو بناء شيء ما باستخدام الأدوات والمواد والتقنيات المتاحة بشكل شائع من قِبل الأفراد، دون الحاجة إلى التدريب المهني أو المعدات المتخصصة، مما يتيح للأشخاص تصنيع أشياء ومُنتَجات لم يكن بإمكانهم إنشاؤها من قبل. تُعدُّ الطباعة ثلاثية الأبعاد عملية تصنيع دون استخدام اليدين، حيث كان على المهندسين استخدام آلات الحفر والطحن، والمخارط، إضافةً إلى تقنيات المحاذاة والقياس، وكذلك معالجة قِطع العمل يدويًا، الأمر الذي كان عُرضةً للأخطاء البشرية وواجه تحديات كبيرة في سبيل تحقيق دقة عالية، بينما تسمح الطباعة ثلاثية الأبعاد بإنتاج مجسّمات معقدة ومركَّبة، مع تقليل احتمالية حدوث خطأ بشري مثل: معايرة سطح الطباعة فيها، وضبط الإعدادات المناسبة لبرنامج **المُقطِّع** (Slicer) وتحديد إعدادات التصنيع المناسبة.

تاريخ الطباعة ثلاثية الأبعاد History of 3D Printing

في الثمانينيات كانت الطباعة ثلاثية الأبعاد تُسمَّى **بالتصميم السريع للنماذج الأوَّلية** (Rapid Prototyping – RP)، ويصف هذا المصطلح عملية إنشاء تمثيل سريع لجزء أو نظام قبل إصداره النهائي أو صناعته على نطاق تجاري، وكانت تلك التقنية تهدف بشكل أساسي إلى إيجاد طريقة سريعة وفعّالة من حيث التكلفة لإنشاء نماذج صناعية أوَّلية. كان الدكتور هيديو كوداما (Hideo Kodama) أول من تقدم بطلب براءة اختراع **للتصميم السريع للنماذج الأوَّلية** (RP)، وذلك في مايو 1980 في اليابان، وكانت **الطباعة الحجرية المجسَّمة** (Stereolithography – SLA) أول عملية طباعة تجارية ثلاثية الأبعاد تم تطويرها في الثمانينيات.



شكل 3.1: لقطة مقرَّبة لآلة طابعة ثلاثية الأبعاد تطبع نموذجًا بلاستيكيًا

أنواع الطابعات ثلاثية الأبعاد Types of 3D Printers

تُعدُّ الطباعة ثلاثية الأبعاد أحد أنواع **التصنيع بالإضافة** (Additive Manufacturing)، حيث تتم خلالها إضافة المواد طبقة تلو الأخرى لإنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد، وتُصنَّف عمليات التصنيع بالإضافة إلى عدة أنواع، وتتضمَّن عملية **صهر طبقة المسحوق** (Powder Bed Fusion)، وعملية **بثق المواد** (Material Extrusion)، وعملية **البلمرة** (Polymerization)، و**تجميع الرقائق** (Sheet Lamination)، و**الربط الطبقي** (Binder Jetting)، و**الترسيب بالطاقة الموجهة** (Directed Energy Deposition)، حيث تتضمَّن هذه العمليات ترسيب ودمج طبقات من المواد باستخدام تقنيات مختلفة مثل: الليزر عالي الطاقة، أو الأشعة الإلكترونية عالية الطاقة، أو التسخين، أو استخدام الصمغ السائل، أو قطع رقائق المواد وربطها، أو ترسيب مادة رابطة، أو صهر وترسيب المواد باستخدام مصدر طاقة مرتفعة.

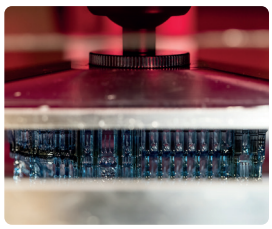
الطباعة الحجرية المجسَّمة Stereolithography

الطباعة الحجرية المجسَّمة (SLA) هي طريقة تعتمد على الليزر واستخدام أصماغ البوليمرات الضوئية لصنع أجزاء دقيقة، حيث توضع البوليمرات الضوئية في حاوية مع منصة مدعمة قابلة للحركة، وينبعث ليزر ساخن في محورَي X-Y على سطح الصمغ في النموذج ثلاثي الأبعاد، مما يؤدي إلى تصلّب الصمغ بشكلٍ دقيق حيث يقع شعاع الليزر، وبمجرد اكتمال الطبقة، تتحرك المنصة والحاوية في المحور Z، ويتتبَّع الليزر الطبقة التالية، وتستمر هذه العملية حتى يكتمل النموذج ويُمكن حينها إزالة المنصة. بعد الطباعة باستخدام هذا النوع من الطابعات، لابد من تنظيف المجسَّمات التي تم إنشاؤها ومعالجتها، وتُستخدم في عملية المعالجة إضاءة شديدة من خلال آلية تشبه الفُرن لتقوية الصمغ. وتُعدُّ الطباعة الحجرية المجسَّمة واحدة من أكثر تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد دِقّة وسلاسة، وتَظهر بعض التحديات أمام هذه الطريقة في إجراءات المعالجة المطلوبة بعد الطباعة، وهشاشة النموذج مع مرور الوقت، ويوضِّح الشكل 3.2 مجسّمًا مطبوعًا بطريقة الطباعة الحجرية المجسَّمة.



شكل 3.2: مجسّم مطبوع بالبوليمرات الضوئية بواسطة طابعة ثلاثية الأبعاد

معالجة الضوء الرقمي Digital Light Processing



شكل 3.3: طباعة ثلاثية الأبعاد بمعالجة الضوء الرقمي

معالجة الضوء الرقمي (Digital Light Processing – DLP) هي تقنية طباعة ثلاثية الأبعاد تستخدِم البوليمرات الضوئية، كما هو الحال في **الطباعة الحجرية المجسَّمة** (SLA)، مع اختلاف مصدر الإضاءة المُستخدَم في كل منهما، حيث يتم في هذه التقنية استخدام مصدر إضاءة عام مع لوحة **شاشة العرض البلوري السائل** (Liquid Crystal Display – LCD) أو **جهاز مرآة قابل للتعديل** (Deformable Mirror Device – DMD) يتم تطبيقه في مسار واحد على الحاوية التي تحتوي على صمغ البوليمر الضوئي، مما يجعلها أسرع من **الطباعة الحجرية المجسَّمة** (SLA). تُنشئ **معالجة الضوء الرقمي** (DLP) نماذج عالية الدقة، ولكنها تتطلب هيكل الدعم ومتطلبات ما بعد المعالجة نفسها التي تتطلّبها **الطباعة الحجرية المجسَّمة** (SLA)، وتتميز تقنية **معالجة الضوء الرقمي** (DLP) بحاجتها إلى حاوية صغيرة من الصمغ فقط، مما يقلل من المخلفات ومن نفقات التشغيل، ويوضِّح الشكل 3.3 عملية الطباعة **بمعالجة الضوء الرقمي** (DLP).

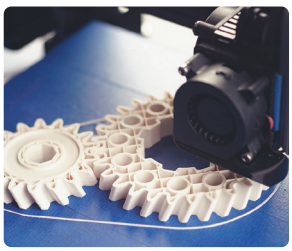
التلبيد والإنصهار بالليزر Laser Sintering and Laser Melting

يُستخدم الليزر في عملية التلبيد والإنصهار المعروفة أيضًا بإسم تقنية **ذوبان الليزر الانتقائي** (Selective Laser Melting – *SLM*)، لدمج مادة المسحوق المُستخدَم في طباعة الجسم الصلب طبقةً تلو الأخرى، وتعمل حاوية المسحوق كهيكل داعم مما يسمح بتنفيذ التصميمات المعقدة. تشكِّل المسامية وأوقات التبريد الطويلة أهم التحديات لهذه التقنية، ولكن تم إحراز تقدم في طباعة مجسّمات بكثافة عالية، كما يُمكن أن يعالج التلبيد بالليزر كلًا من البلاستيك والمعدن، حيث يتطلب المعدن ليزرًا بطاقة أكبر ودرجات حرارة أعلى، وتُنتِج هذه الطريقة أجزاء مطبوعة أقوى من تلك التي تُنتِجها **الطباعة الحجرية المجسَّمة** (SLA) والطباعة **بمعالجة الضوء الرقمي** (DLP)، ولكن بدقة ولمعان أقل، ويوضِّح الشكل 3.4 قطعة من محرك مطبوع بتقنية التلبيد بالليزر.



شكل 3.4: مجسّم مطبوع بواسطة آلة تلبيد بالليزر

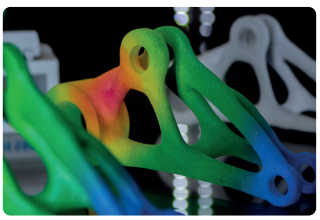
نمذجة الترسيب المنصهر Fused Deposition Modeling



شكل 3.5: تروس تم إنتاجها بواسطة طابعة سوداء صغيرة تعمل بتقنية نمذجة الترسيب المنصهر

نمذجة الترسيب المنصهر (Fused Deposition Modeling - FDM) هي تقنية اقتصادية ذات تكلفة منخفضة ومتوفرة على نطاق واسع، وتعمل هذه التقنية من خلال إذابة خيوط بلاستيكية يتم ترسيبها طبقة تلو الأخرى على منصة إنشاء باستخدام بيانات ثلاثية الأبعاد، وتتصلَّب كل طبقة وتترابط بمجرد ترسيبها. تتطلب طباعة **الأشكال الهندسية المتدلِّية** (Overhanging Geometries) وجود هياكل دعم، وتفتقر طابعات **نمذجة الترسيب المنصهر** (FDM) إلى هذه الهياكل، ولكن يُمكن تجاوز ذلك باستخدام رأسين للبثق في هذه الأنظمة. يُمكن استخدام رأس بثق ثانٍ تنبعث منه مادة قابلة للذوبان في الماء لإنشاء هياكل داعمة يُمكن التخلص منها بعد الطباعة، وكذلك تُستخدم مواد دعم منفصلة للهيكل يُمكن إزالتها يدويًا بعد انتهاء الطباعة، وتُعدُّ تقنية **نمذجة الترسيب المنصهر** (FDM) طريقة دقيقة وموثوقة للطباعة ثلاثية الأبعاد، ولكنها تتطلب معالجة لاحقة على نطاق واسع، حيث تتسم بالبطء عند إعادة إنتاج الأشكال الهندسية المعقَّدة، ويتسبب التصاق الطبقات ببعضها البعض في حدوث خلل في تشكُّل الأجزاء. تُنتِج أجهزة الطباعة **بنمذجة الترسيب المنصهر** (FDM) المبكرة نماذج أقل دقة، ولكن هناك تحسُّن في دقة النماذج مع كل جيلٍ جديدٍ من هذه الطابعات، ويوضِّح الشكل 3.5 تروسًا تم إنتاجها بنمذجة الترسيب المنصهر.

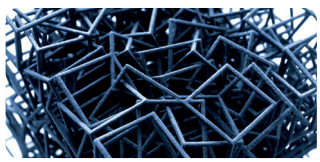
الطابعة ثلاثية الأبعاد بالحبر النفَّاث 3D Inkjet Printing



شكل 3.6: نموذج مطبوع باستخدام عملية الربط الطبقي

الربط الطبقي

يقوم **الربط الطبقي** (Binder Jetting) برش مادة رابطة من مسحوق أساسي لإنشاء طبقة تندمج بطبقة أخرى بشكل انتقائي لإنشاء النموذج النهائي، وبمجرد اكتمال الطبقة، تنخفض قاعدة المسحوق بشكل تدريجي، كما تقوم مسطرة أو شفرة بنشر المسحوق بشكلٍ أملس على القاعدة لتجهيز الطبقة التالية. تتيح هذه الطريقة إضافة طبقات بألوان مختلفة لإنشاء مجسّمات بألوان متعددة، وتُعدُّ المُنتَجات المطبوعة بهذه التقنية أقل قوة من تلك التي يتم طباعتها بأنواع الطابعات الأخرى، ويتطلب الحصول على المُنتَج النهائي عملية معالجة وتنظيف لذلك المُنتَج، ويوضِّح الشكل 3.6 نموذجًا مطبوعًا بالربط الطبقي.



شكل 3.7: نموذج مطبوع باستخدام عملية النفث المادي

النفث المادي

النفث المادي (Material Jetting) هو طريقة طباعة ثلاثية الأبعاد، يتم بها نفث مواد إنشاء سائلة أو منصهرة من خلال عدة رؤوس نفث، ويُعالِج الضوء فوق البنفسجي البوليمرات الضوئية السائلة بعد ترسيب كل طبقة. تسمح هذه الطابعات بإنشاء طبقات متزامنة من عدة مواد، بحيث يُمكن صُنع مُنتَج واحد من مواد ذات خصائص مختلفة، ويَنتُج عن النفث المادي مُنتَجات ثلاثية الأبعاد دقيقة وسلسة، ويوضِّح الشكل 3.7 نموذجًا لمكعب مُعقد مطبوع بطريقة النفث المادي.

الترسيب الانتقائي التدريجي بالطبقات Selective Deposition Lamination

تتم الطباعة ثلاثية الأبعاد في تقنية **الترسيب الانتقائي التدريجي بالطبقات** (Selective Deposition Lamination – SDL) باستخدام ورق الطباعة ومواد لاصقة لطبقات المجسّم، حيث تنبعث كمية أكبر من المادة اللاصقة في المنطقة التي ستكون الهيكل الرئيس للنموذج، ويتم إضافة كمية أقل في المنطقة المحيطة التي تعمل كدعم. يتم إدخال طبقة ورق في الطابعة وتوضع على المادة اللاصقة أعلى الطبقة السابقة، ثم يتم تسخين حاوية التصميم والضغط عليها، فيربط هذا الضغط الورقتين بالمادة اللاصقة، وتعود بعد ذلك حاوية التصميم إلى موضعها الأصلي، حيث تقطع شفرة قابلة للضبط مصنوعة من مادة كربيد التنقستن كل طبقة ورق لإنتاج حواف الأجزاء، ويوضِّح الشكل 3.8 ورق الطباعة الذي يُمكن استخدامه لطابعات **الترسيب الانتقائي التدريجي بالطبقات** (SDL).



شكل 3.8: طابعة الترسيب الانتقائي التدريجي بالطبقات ثلاثية الأبعاد باستخدام ورق طباعة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



شكل 3.9:مُكوِّن سبيكة اللحام بالشعاع الإلكتروني

اللحام بالشعاع الإلكتروني Electron Beam Melting

تعتمد تقنية **اللحام بالشعاع الإلكتروني** (Electron Beam Melting – EBM) على استخدام شعاع إلكتروني وليس ليزري كمصدر حراري، ولذلك يجب استخدام هذه التقنية في بيئة خالية من الهواء (فراغ)، وباستخدام تلك التقنية يُمكن إنشاء أجزاء كثيفة كاملة من سبائك معدنية مختلفة، مما يسمح بصناعة المُنتَج بدقة وتخصيصه، كما يُستخدم **اللحام بالشعاع الإلكتروني** (EBM) بكثافة في صناعات السيارات والطيران لتصنيع الأجزاء المعقدة، ويوضِّح الشكل 3.9 مكوِّنًا كرويًا معقدًا مطبوعًا باستخدام تقنية اللحام بالشعاع الإلكتروني.

يوضِّح جدول 3.1 المزايا والعيوب الرئيسة لكل من تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد.

جدول 3.1: مزايا وعيوب تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد

المزايا	العيوب
الطباعة الحجرية المجسَّمة	
تتميّز بالدقة والوضوح العالي، وبالأسطح الناعمة، وبإمكانية إنتاج أشكال هندسية معقَّدة.	خيارات المواد محدودة، وتكلفة التشغيل مرتفعة، كما تتطلب معالجة لاحقة.
معالجة الضوء الرقمي	
تتميّز بالسرعة العالية، والدقة والأسطح المصقولة جيدًا.	خيارات المواد محدودة، وتكلفة المعدات عالية، بالإضافة إلى أن المعالجة اللاحقة لازمة.
التلبيد والإنصهار بالليزر	
يُمكن أن يُنتِج أجزاءً قوية ومتينة، كما يُمكن أن يستخدِم مجموعة متنوعة من المواد بما فيها المعادن، ويُعدُّ جيدًا لإنتاج أشكال هندسية معقدة.	تكلفة المعدات مرتفعة، ويحتاج إلى وقت طويل لتبريد المُنتَج، مع تشطيب سطحي منخفض الجودة.
نمذجة الترسيب المنصهر	
تتميّز بانخفاض تكلفة الأجهزة، وتوفُّر مجموعة كبيرة ومتنوعة من المواد المتاحة، وتتميز بسرعة طباعة عالية.	تشطيب سطحي منخفض الجودة، ودقة محدودة، وبطيئة عند إعادة إنتاج الأشكال الهندسية المعقَّدة.
الربط الطبقي	
يُتيح طباعة أجسام وهياكل كبيرة الحجم، ويتميز بانخفاض تكلفة المعدات، والتشطيب الجيِّد للأسطح.	خيارات المواد محدودة، وأجزاؤه ضعيفة نسبيًا، كما أنه منخفض الدقّة.
النفث المادي	
يتميّز بالدقة العالية والوضوح، وتشطيب جيد للأسطح، وإمكانية طباعة مُنتَجات تحتوي على مواد متعددة.	خيارات المواد محدودة، وتكلفة المعدات عالية، وغير مناسب لإنتاج أجسام أو هياكل كبيرة.
الترسيب الانتقائي التدريجي بالطبقات	
يُتيح طباعة أجسام وهياكل كبيرة، ويتميز بانخفاض تكلفة المعدات، ويتيح نماذج بألوان متعددة.	خيارات المواد محدودة، وأجزاؤه ضعيفة نسبيًا، مع تشطيب سطحي منخفض الجودة.
اللحام بالشعاع الإلكتروني	
يُمكن أن يُنتِج أجزاء معدنية معقَّدة وعالية الأداء، بدقة ووضوح عالٍ، وتشطيب سطحي جيد.	تكلفة المعدات عالية، وخيارات المواد محدودة، مع الحاجة إلى المعالجة اللاحقة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D Printing Mterials

تحسَّنت المواد المستخدَمة لإنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد بشكلٍ كبير منذ بداية ظهور الطباعة ثلاثية الأبعاد، وتتوفَّر العديد من المواد التي يُمكن استخدامها في حالات مختلفة، وتتمتع بخصائص كيميائية مختلفة، كما يتم الآن إنتاج مواد محدَّدة للمنصات التي تنفِّذ تطبيقات مخصَّصة، وذلك بشكلٍ يتوافق مع خصائص كل تطبيق.

البلاستيك Plastics

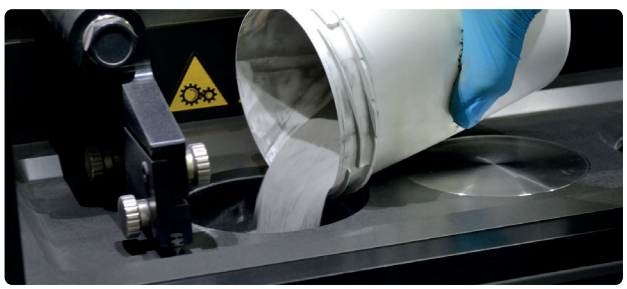
يُستخدم النايلون البلاستيكي على شكل مسحوق في عملية التلبيد والإنصهار وذلك في **نمذجة الترسيب المنصهر** (FDM)، ويتميّز هذا النوع من البلاستيك بالقوة والمتانة والمرونة في عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد، وتتوفَّر المادة عادةً باللون الأبيض، ولكن يُمكن تلوينها قبل الطباعة أو بعدها، كما يُمكن استخدامها مع مسحوق الألومنيوم لصنع مواد طباعة ثلاثية الأبعاد. ومن المواد الأخرى مادة **أكريلونيتريل بوتادين ستايرين** (Acrylonitrile Butadiene Styrene - ABS) التي تُستخدم على نطاق تجاري واسع وتتوفَّر على شكل خيوط في طابعات **نمذجة الترسيب المنصهر** (FDM) الأساسية، وتتميّز هذه المادة البلاستيكية بالقوة، وتتوفَّر منها ألوان عديدة كما هو موضَّح في الشكل 3.10، وتُستخدم مادة **حمض اللبنيك** (Polylactic Acid – PLA) كمادة لاصقة للطباعة في تقنية **الطباعة الحجرية المجسَّمة** (SLA) وتقنية **معالجة الضوء الرقمي** (DLP) وفي خيوط **نمذجة الترسيب المنصهر** (FDM)، وتتميّز هذه المادة البلاستيكية بأنها قابلة للتحلل، وتتوفَّر بعدة ألوان بما فيها اللون الشفَّاف، وتُعدُّ مثالية للطباعة ثلاثية الأبعاد على الرغم من أنها أقل متانة ومرونة من سابقتها **أكريلونيتريل بوتادين ستايرين** (ABS).



شكل 3.10: مواد بلاستيكية للطباعة ثلاثية الأبعاد

المعادن Metals

يُعدُّ مسحوق الفولاذ المقاوم للصدأ أحد أقوى المعادن وأكثرها استخدامًا لتطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد المختلفة كما هو موضَّح في الشكل 3.11. يُمكن طلاء الفولاذ ليبدو كالذهب أو البرونز، كما يُمكن طباعة الذهب والفضة باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد مباشرة بغرض صناعة المجوهرات. يتوفَّر التيتانيوم على شكل مسحوق أيضًا، ويُعدُّ واحدًا من أقوى المعادن للتلبيد الصناعي والطباعة ثلاثية الأبعاد في تقنية **اللحام بالشعاع الإلكتروني** (EBM).



شكل 3.11: مسحوق الفولاذ المقاوم للصدأ للطباعة ثلاثية الأبعاد

السيراميك Ceramics

يُمكن طباعة السيراميك ثلاثي الأبعاد لأغراض الزينة المنزلية، أو للمُنتَجات التي تحتاج إلى مادة متخصصة، ويجب حرق أجزاء السيراميك وصقلها بعد الطباعة تمامًا كما هو الحال في التطبيقات التقليدية لمواد السيراميك، ويتضح ذلك في الشكل 3.12.



شكل 3.12: الطباعة ثلاثية الأبعاد بمادة السيراميك

الورق Paper

يُستخدم ورق الطباعة القياسي بشكلٍ أساسي في تطبيقات الطباعة **بالترسيب الانتقائي التدريجي بالطبقات** (SDL) ثلاثية الأبعاد، وتتمثَّل الميزة الرئيسة للورق في سهولة الحصول عليه، ورخص ثمنه، وفي إمكانية شرائه بكميات كبيرة. تتميّز النماذج ثلاثية الأبعاد التي يتم إنشاؤها باستخدام الورق وطريقة **الترسيب الانتقائي التدريجي بالطبقات** (SDL) بأنها آمنة بيئيًا، ويُمكن إعادة تدويرها بسهولة، كما تتطلب القليل من المعالجة والتنظيف لاحقًا، ويوضِّح الشكل 3.13 نموذجًا مطبوعًا بالألوان لأحد أنواع الفاكهة.

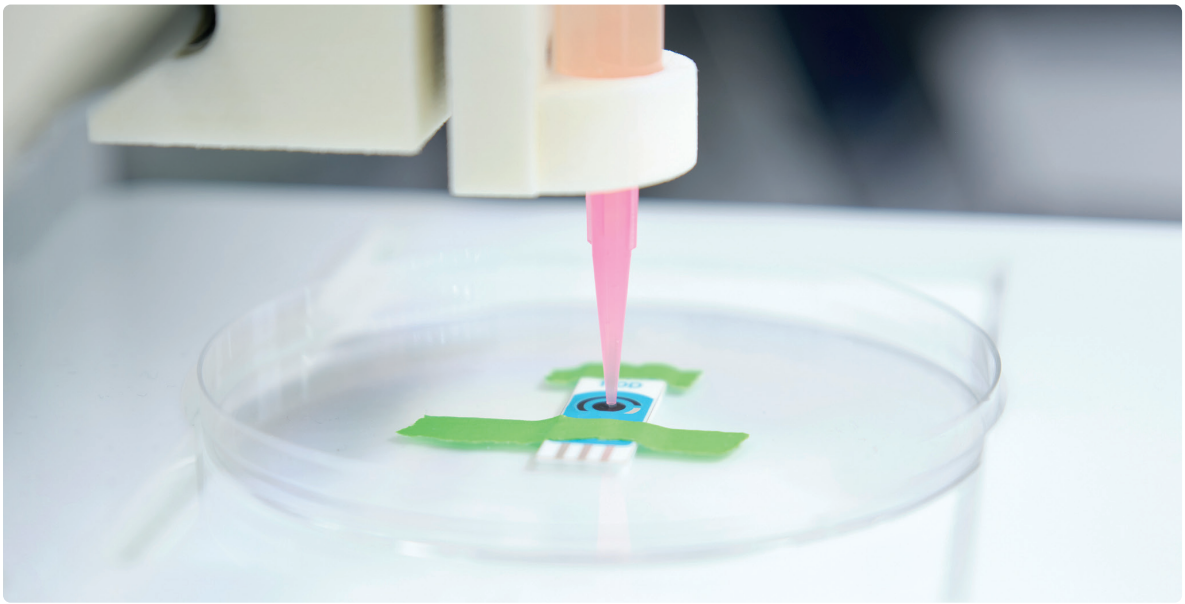


شكل 3.13: نموذج مطبوع بالألوان الكاملة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المواد الحيوية والغذاء Biomaterials and Food

يتم إجراء الأبحاث على استخدام المواد الحيوية في الطباعة ثلاثية الأبعاد لأغراض التطبيقات الطبية الحيوية على نطاق واسع. تعمل بعض المؤسسات الرائدة في هذا المجال على تطوير أنسجة حية بهدف طباعة الأعضاء البشرية لزراعتها، وكذلك طباعة الأنسجة الخارجية عند الحاجة لاستبدال بعض الأعضاء في جسم الإنسان. تُركِّز الأبحاث الأخرى على تطوير الطباعة ثلاثية الأبعاد للمواد الغذائية، وتتضمَّن موادًا مثل مُنتَجات اللحوم والسكر والمعكرونة. تهدف الأبحاث المستقبلية إلى استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنشاء وجبات مطبوعة ثلاثية الأبعاد مغذية واقتصادية، ويوضِّح الشكل 3.14 استخدام طابعة بيولوجية ثلاثية الأبعاد.



شكل 3.14: طابعة بيولوجية ثلاثية الأبعاد جاهزة لطباعة خلايا ثلاثية الأبعاد على قطب كهربائي

فوائد الطباعة ثلاثية الأبعاد Benefits of 3D Printing

هناك فوائد عديدة للطباعة ثلاثية الأبعاد في المجالات المختلفة، سواءً الشخصية أو التجارية أو الصناعية، ويوضِّح الجدول 3.2 المزايا الرئيسة للطباعة ثلاثية الأبعاد.

جدول 3.2: مزايا الطباعة ثلاثية الأبعاد

الميزة	الوصف
السرعة	توفِّر الطباعة ثلاثية الأبعاد القدرة على إنتاج نموذج أو مُنتَج معيَّن في غضون ساعات أو حتى دقائق، وذلك مقارنة بأساليب التصنيع التقليدية التي قد تستغرق أيامًا أو أسابيع.
القدرة على التخصيص	تتيح الطباعة ثلاثية الأبعاد التخصيص الشامل للمُنتَجات حسب الاحتياجات المحدَّدة، كما تسمح بتصنيع العديد من المُنتَجات في الموقع نفسه دون أي تكلفة إضافية.
تصنيع المكوِّنات المعقَّدة	تتيح الطباعة ثلاثية الأبعاد إنشاء مجسّمات معقَّدة لا يُمكن صنعها بأي طريقة أخرى، وقد استخدَم المُصمِّمون والفنانون هذه الميزة بشكل كبير، وكان لها تأثير كبير على التطبيقات الصناعية التي تهدف إلى إنتاج مكوِّنات معقَّدة تكون أخفّ وأقوى من سابقاتها.

الميزة	الوصف
استخدام أقل للأدوات والآلات	يُعدُّ إنتاج الأدوات والآلات المستخدَمة في تطوير المُنتَجات الصناعية أمرًا مكلِّفًا وشاقًا، إلا أن الطباعة ثلاثية الأبعاد يُمكن أن تساعد في خفض تكاليف الإنتاج، وتقليص عدد العمّال والوقت المستغرَق في إنتاج المُنتَجات المتوسطة وصغيرة الحجم. لذا فقد قامت العديد من الشركات باستغلال هذه الميزات، مما أتاح لها تصميم المُنتَجات والمكوِّنات دون الحاجة للتصميم المعقَّد هندسيًا للأجزاء المختلفة، وبالتالي التقليل بشكل كبير من الحاجة للعمالة للتجميع والتكاليف الأخرى للإنتاج.
الاستدامة	تُعدُّ الطباعة ثلاثية الأبعاد تقنية موفرة للطاقة، حيث يُمكن الحدّ من مخلّفات التصنيع، وصناعة مُنتَجات تدوم لوقت أطول، وتتضمَّن تصميمًا أخف وأقوى وبصمة كربونية أقل من المُنتَجات التي يتم إنشاؤها تقليديًا.
سهولة الاستخدام	تتَّسِم عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد بخطواتها البسيطة، مما يسمح للأفراد ذوي المعرفة التقنية المحدودة بتصميم الأشياء وطباعتها دون الحاجة إلى مهارات أو تدريب مخصص.

تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد Applications of 3D Printing

الرعاية الصحية Healthcare

كان القطاع الطبي من أوائل القطاعات التي بدأت باستخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد، وذلك نظرًا لإمكانية تخصيص المُنتَجات حسب حاجة كل مريض، ولإمكانية استخداماتها المحتملة لتحسين حياة الإنسان، وذلك مع التقدم السريع في العمليات الجراحية والحاجة لإنشاء مواد طبية مختلفة، وتشمل استخدامات الطباعة ثلاثية الأبعاد صنع تيجان الأسنان، وأجهزة تقويمها، وتُستخدم هذه التقنية أيضًا لتصنيع مفاصل الورك والركبة الاصطناعية، وسماعات الأذن الطبية، والنِّعال التقويمية للأحذية، والأطراف الصناعية المخصصة، والأطراف الصناعية للمرضى ذوي الاحتياجات الخاصة.

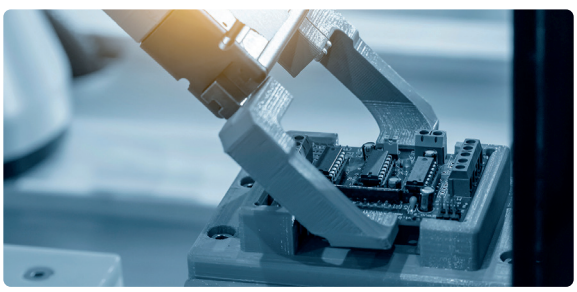
تساعد المعينات الجراحية المطبوعة ثلاثية الأبعاد الجراحين في علاج المرضى خلال مراحل التعافي من الجراحة، ويوضِّح الشكل 3.15 فكًا علويًا وسفليًا تم طباعته بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد.



شكل 3.15: فك علوي وسفلي مطبوعان على طابعة ثلاثية الأبعاد

الروبوتية Robotics

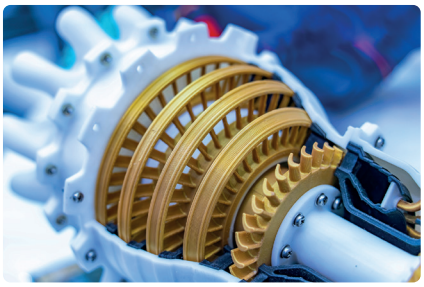
تُستخدم تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد على نطاق واسع في الروبوتات، وذلك لقدرتها على إنشاء أجزاء مخصصة بسرعة وسهولة، مما يسمح بعمل نماذج أوَّلية بشكل أسرع وبتخصيص أكبر. تتيح هذه التقنيات إنتاج أشكال معقَّدة وخفيفة الوزن، مما ينتج عنه تطوير أنظمة روبوتية أكثر تعقيدًا، ولكنها أكثر رشاقة وأفضل أداءً، ويوضِّح الشكل 3.16 ذراع روبوت مطبوع بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد أثناء تنفيذ مهمة آلية في خط الإنتاج.



شكل 3.16: استخدام ذراع آلية مطبوعة ثلاثية الأبعاد في خط إنتاج لقطع ودوائر إلكترونية

الفضاء والسيارات Aerospace and Automobiles

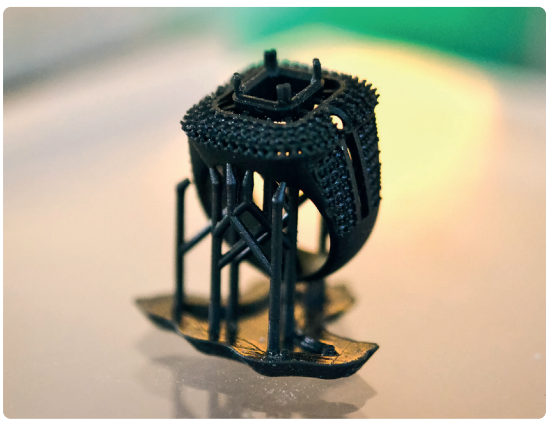
تنطوي صناعة الطيران ومجال تطوير الطائرات على معايير صناعية صارمة، ولذلك يتم استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد الصناعية على نطاق واسع لإنشاء أجزاء وأدوات دقيقة. أدّى التطور السريع في عمليات التّصنيع وموادّه إلى استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في إنتاج بعض الأجزاء البسيطة للطائرات وجعله أمرًا واقعًا. اتبع العديد من صانعي السيارات مسار صناعة الطيران كما هو موضَّح في الشكل 3.17. فقد لجأ المصنِّعون أولًا إلى استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج النماذج الأوَّلية، ثم تكييف إجراءات التصنيع لأجزاء السيارات وتطويرها؛ للاستفادة من هذه التقنيات في تصنيع أجزائها المختلفة، وينظر العديد من صانعي السيارات إلى الطباعة ثلاثية الأبعاد كوسيلة لإنتاج أجزاء وقطع غيار بديلة للسيارات عند الطلب، وذلك بدلًا من الاحتفاظ بمخزون احتياطي من هذه الأجزاء والقطع في المخازن.



شكل 3.17: محرك نفَّاث مطبوع على شكل نموذج بلاستيكي معدني

المجوهرات Jewellery

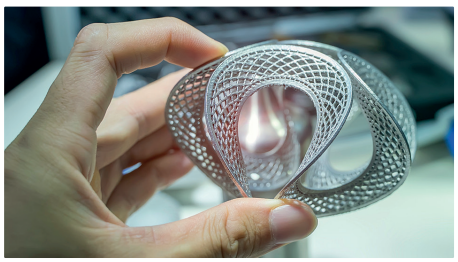
يتطلَّب تصميم وتصنيع المجوهرات مستويات عالية من المعرفة والخبرة في التصنيع، وصُنع القوالب، والصب، والطلاء بالكهرباء، وكذلك في التشكيل والصياغة والحفر، والنقش، والتلميع للذهب والفضة. تطوّرت هذه المجالات بمرور الوقت وأصبحت تتطلب فهمًا تقنيًا عميقًا في هذه الصناعة، وتعمل الطباعة ثلاثية الأبعاد على تغيير الطرائق التقليديّة لصناعة المجوهرات، وقد أحدثت بالفعل تغييرًا كبيرًا في هذه الصناعة بأكملها، بدءًا من إتاحة إنشاء تصاميم حديثة، كما هو واضح في الشكل 3.18، إلى تحسين التقنيات التقليدية، ثم التحوُّل بشكلٍ كامل للطباعة ثلاثية الأبعاد لصنع المجوهرات، والذي يتجاوز المراحل التقليدية في هذه الصناعة.



شكل 3.18: خاتم بوليمر ضوئي مطبوع باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد

الفن Art

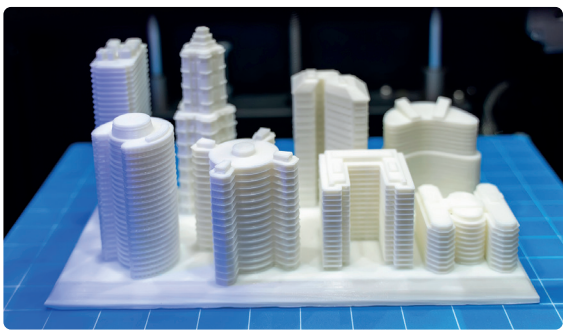
يستخدِم الفنانون والنحَّاتون الطباعة ثلاثية الأبعاد لاستكشاف الأشكال والوظائف بطرائق جديدة، فقد بدأ العديد من الفنانين باستخدام النمذجة ثلاثية الأبعاد والمسح الضوئي والطباعة، حيث يوفِّر المسح الضوئي والطباعة ثلاثية الأبعاد كما يتضح في الشكل 3.19 إمكانيات تسمح للفنانين والمبتدئين بإعادة إنتاج أعمال احترافية سابقة، وإنشاء نُسَخ طِبْق الأصل للروائع التاريخية بدقة عالية.



شكل 3.19: قطعة فنية مطبوعة باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد

البناء Architecture

تُستخدم الطباعة ثلاثية الأبعاد منذ سنوات طويلة لإنشاء نماذج معمارية دقيقة وفق رؤية الهندسة المعمارية، ويُعدُّ هذا النّوع من الطباعة طريقة سريعة وسهلة واقتصادية لإنتاج نماذج مفصَّلة بشكلٍ مباشر من ملفات التصميم ثلاثية الأبعاد المنتَجة بمساعدة الحاسب والبيانات الرقمية الخاصة بالمهندسين المعماريين، وتستخدِم العديد من الشركات المعمارية الناجحة الطباعة ثلاثية الأبعاد، كما يتضح في الشكل 3.20 لتعزيز الابتكار والتصميم السريع للنماذج الأوَّلية.



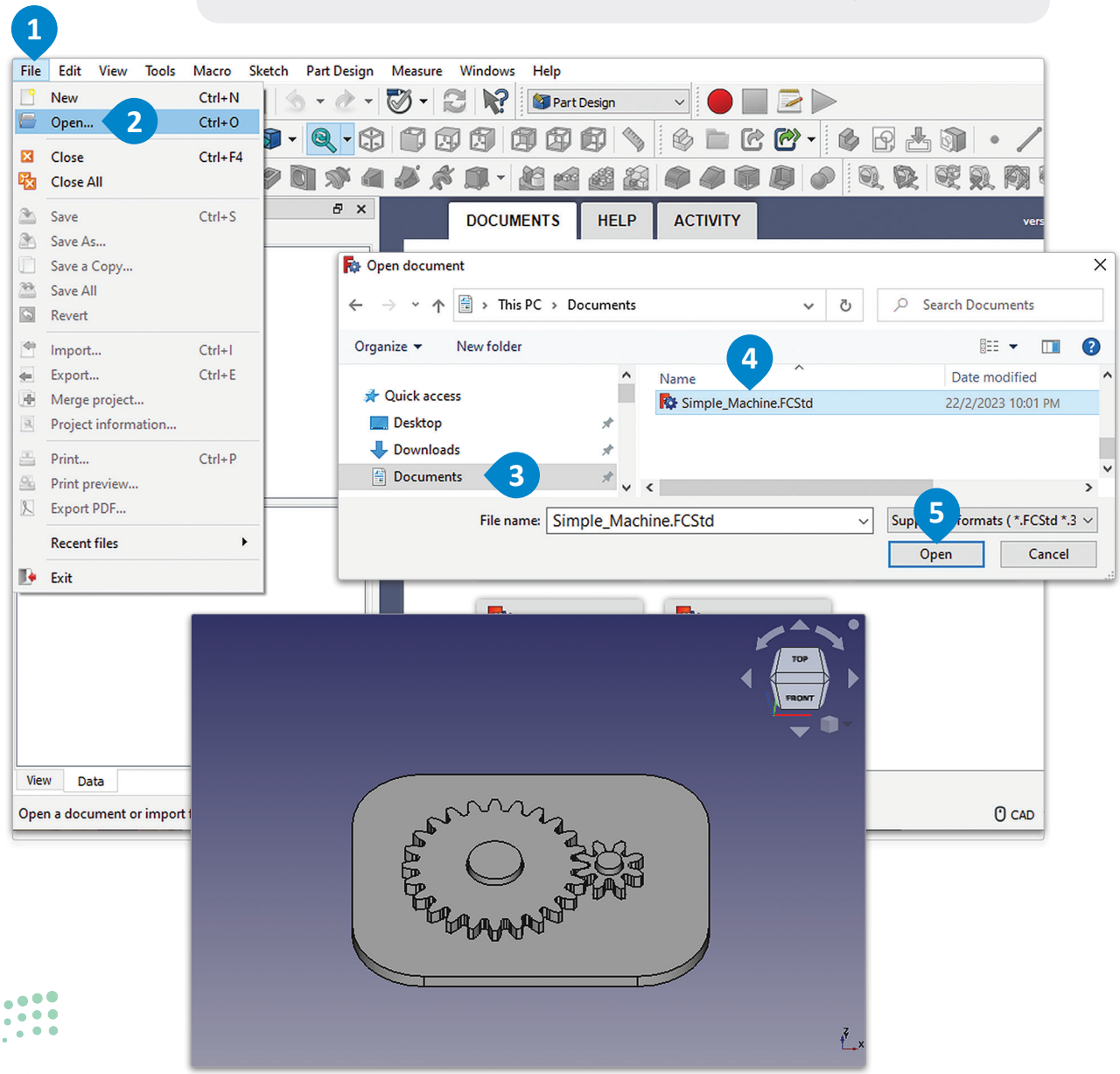
شكل 3.20: نموذج معماري مطبوع باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد

عملية طباعة نموذج ثلاثي الأبعاد Printing Process of a 3D Model

تُعدُّ طباعة النموذج ثلاثي الأبعاد مرحلة ممتعة في عملية التصميم، فهي المرحلة التي يصبح فيها إبداعك الافتراضي نموذجًا ملموسًا يمكنك حمله وفحصه وعرضه، وللوصول إلى هذه المرحلة ستحتاج إلى تجهيز ملفك الرقمي لطباعته، ويتضمَّن تجهيز الملف الرقمي للطباعة عددًا من الخطوات، بدءًا من تصدير ملف فري كاد كملف بامتداد ".obj"، ثم تجهيزه للطباعة باستخدام برنامج خاص بالطباعة ثلاثية الأبعاد. ستقوم بفتح برنامج فري كاد وتحميل النموذج ثلاثي الأبعاد الذي أنشأته في الوحدة السابقة لتجهيزه للطباعة.

لفتح ملف محفوظ:

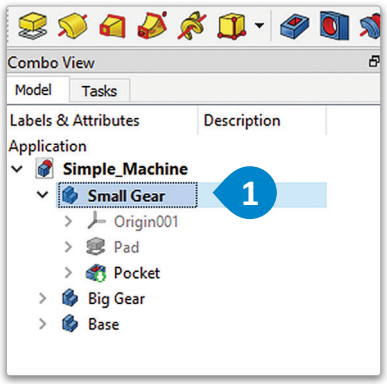
- من Menu bar (شريط القائمة)، اضغط على File (ملف) 1، ثم اختر Open (فتح) 2.
- اضغط على مجلد Documents (المستندات) 3.
- اختر الملف، 4 ثم اضغط على Open (فتح) 5.



شكل 3.21: فتح ملف محفوظ

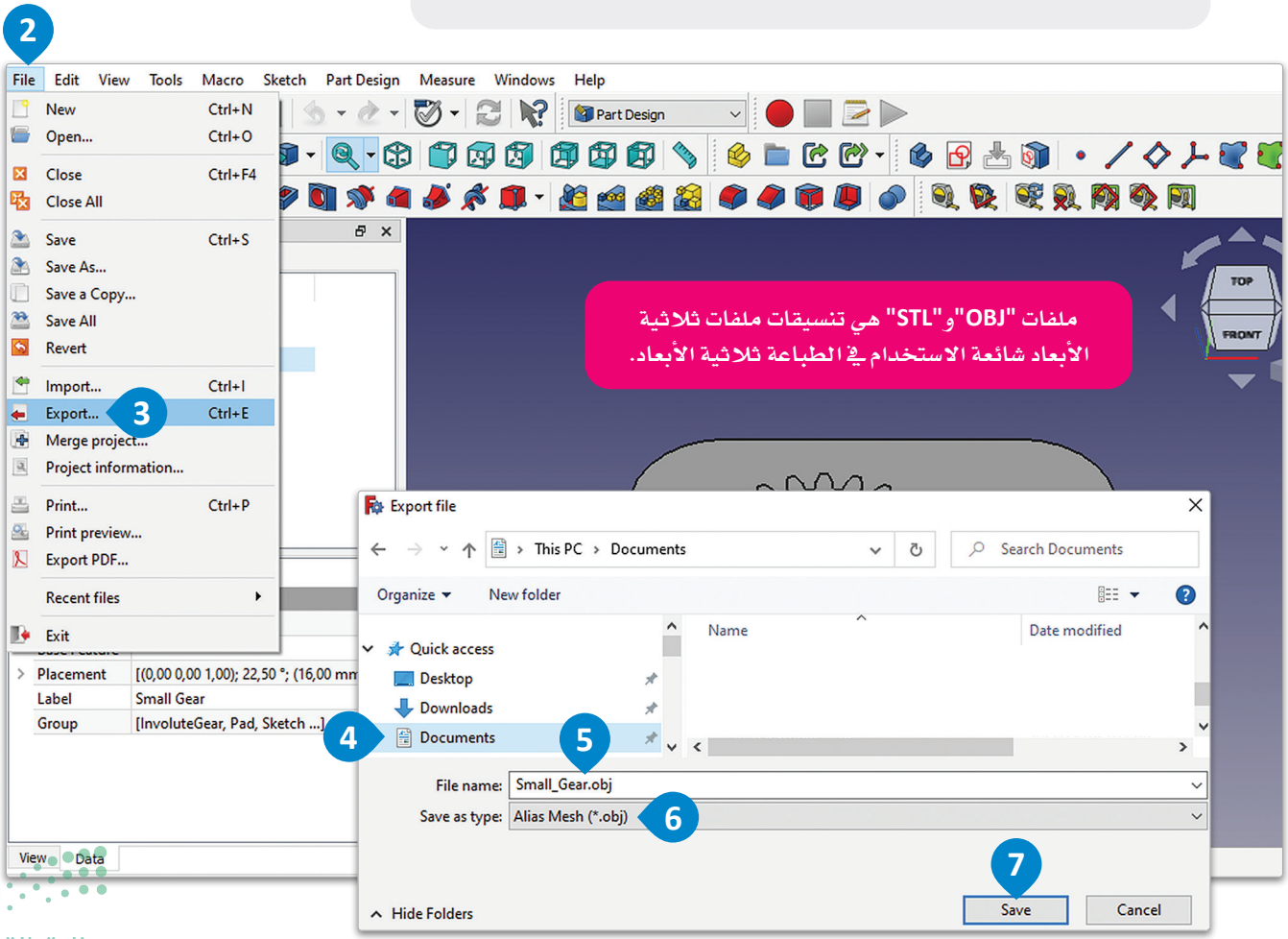
تصدير ملف Exporting a File

لتصدير ملف من برنامج فري كاد، تحتاج إلى اختيار **التِّرس الصغير** (Small Gear) المطلوب ثم تصديره بتنسيق "OBJ" أو "STL"، ثم تسمية الملف وتحديد الموقع الذي تريد حفظه فيه، ويمكنك تكرار هذه العملية لأي هياكل إضافية مثل: **التِّرس الكبير** (Big Gear)، و**القاعدة** (Base) اللذين تريد تصديرهما، فمجرد تصدير جميع الهياكل يمكنك استيرادها إلى برنامج التقطيع الخاص بالطباعة ثلاثية الأبعاد، مثل برنامج **ألتيميكر كيورا** (Ultimaker Cura)، الذي سيجهّزها لعملية الطباعة ثلاثية الأبعاد.



لتصدير نموذج ثلاثي الأبعاد:

- من علامة تبويب Model (النموذج)، اضغط ضغطة مزدوجة لاختيار Small Gear (التِّرس الصغير). 1
- من Menu bar (شريط القائمة)، اضغط على File (ملف)، 2 ثم اختر Export (تصدير). 3
- اضغط على مجلد Documents (المستندات). 4
- اكتب اسمًا للملف، 5 ومن القائمة المنسدلة Save as type (حفظ كنوع) اختر النوع Alias Mesh (*.obj). 6
- اضغط على Save (حفظ). 7



شكل 3.22: تصدير نموذج ثلاثي الأبعاد

استخدِم الطريقة نفسها لتصدير النماذج ثلاثية الأبعاد **للتِّرس الكبير** (Big Gear) **والقاعدة** (Base) كملفات "OBJ".

برامج الطباعة Printing Software

ألتيميكر كيورا (Ultimaker Cura) هو برنامج مجاني مفتوح المصدر يُستخدم لإعداد نماذج ثلاثية الأبعاد للطباعة، ويتيح لك هذا البرنامج إمكانية تخصيص الإعدادات وتحسينها مثل: سرعة الطباعة، والجودة، وهياكل الدعم في الطابعة ثلاثية الأبعاد، ويتوافق هذا البرنامج مع مجموعة كبيرة من الطابعات ثلاثية الأبعاد، كما يوفِّر واجهة سهلة الاستخدام لتقطيع النماذج ثلاثية الأبعاد وإعدادها للطباعة. يمكنك تنزيل برنامج **ألتيميكر كيورا** (Ultimaker Cura) من الرابط التالي:

https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura

يأخذ برنامج التقطيع النموذج ثلاثي الأبعاد الخاص بك ويقسمه إلى طبقات فردية يُمكن للطابعة استخدامها بعد ذلك لإنشاء النموذج النهائي.

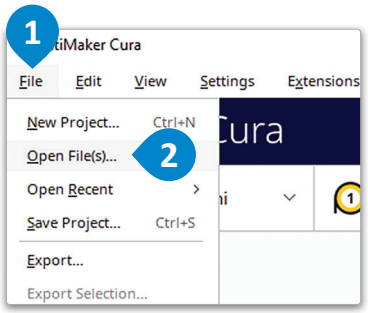
الآن وبعد أن تم تصدير جميع الملفات الثلاثة بتنسيق "OBJ"، يمكنك فتح برنامج التقطيع.



شكل 3.23: برنامج ألتيميكر كيورا

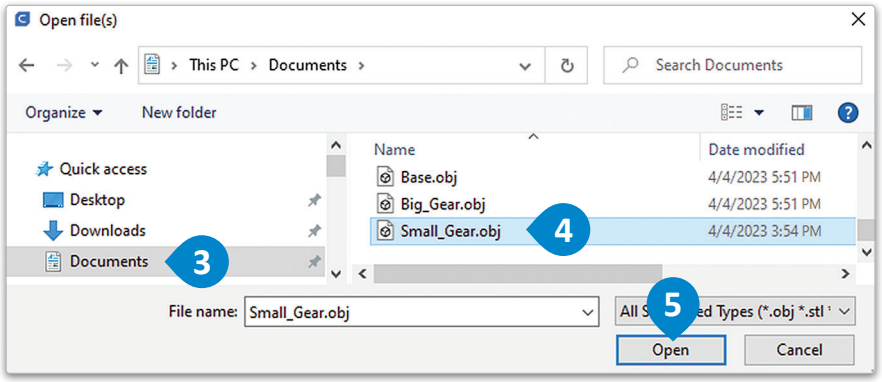
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

افتح بعد ذلك ملف نموذج **التِّرس الصغير ثلاثي الأبعاد** (Small Gear 3D).



لفتح ملف ".obj" :

- من Menu bar (شريط القائمة)، اضغط على File (ملف)، 1 ثم حدِّد Open Files (افتح الملفات). 2
- اضغط على مجلد Documents (المستندات)، 3 ثم اختر الملف الذي تريد فتحه. 4
- اضغط على Open (فتح). 5



عند الضغط على زر Slice (تقطيع)، يمكنك معاينة الوقت المطلوب لطباعة نموذجًا ثلاثي الأبعاد.



شكل 3.24: فتح ملف ".obj"

قبل إضافة النموذجَين الآخرين ثلاثيّي الأبعاد، ستتعرّف على أدوات التصفح والتنقل في برنامج كيورا (Cura).

عند اختيارك مجسّمًا، ستظهر قائمة بمجموعة متنوعة من الأدوات يمكنك استخدامها لضبط موضع ذلك المجسّم وحجمه واتجاهه ومظهره، وتتضمَّن هذه الأدوات خيارات: التحرك، والقياس، والتدوير، والمضاعفة، وتطبيق إعدادات كل نموذج، بالإضافة إلى أداة Support Blocker (هياكل الدعم)، التي تسمح للمُستخدِمين بإضافة هياكل الدعم أو إزالتها بشكل انتقائي لمناطق معيَّنة من النموذج.



في كل مرة تقوم فيها بإجراء تغيير (تحريك، تحجيم، تدوير، إلخ) على جزء من المُجسَّم، يجب عليكَ أن تضغط على زر المُقطِّع (Slicer) لإجراء عمليات الحساب والتقطيع.

المجسّم المحدَّد.

المجسّم الذي تم تحميله.

الوقت اللازم للطباعة.

شكل 3.25: نموذج ثلاثي الأبعاد لتُّرس ذي ثمانية أسنان

طريقة التنقل التفاعلية مع نموذج ثلاثي الأبعاد والتحرك خلاله في برنامج ألتيميكر كيورا:

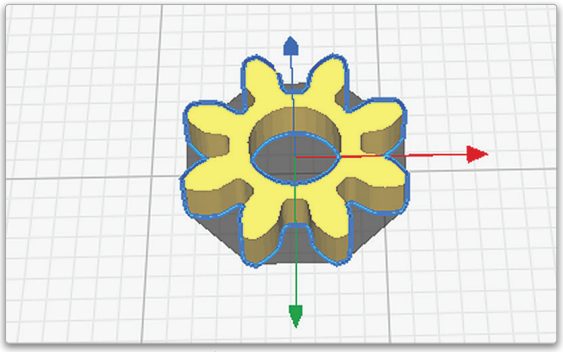


- تحديد أو إلغاء تحديد المجسّمات.
- التكبير والتجول بطريقة العرض.
- تدوير طريقة العرض.

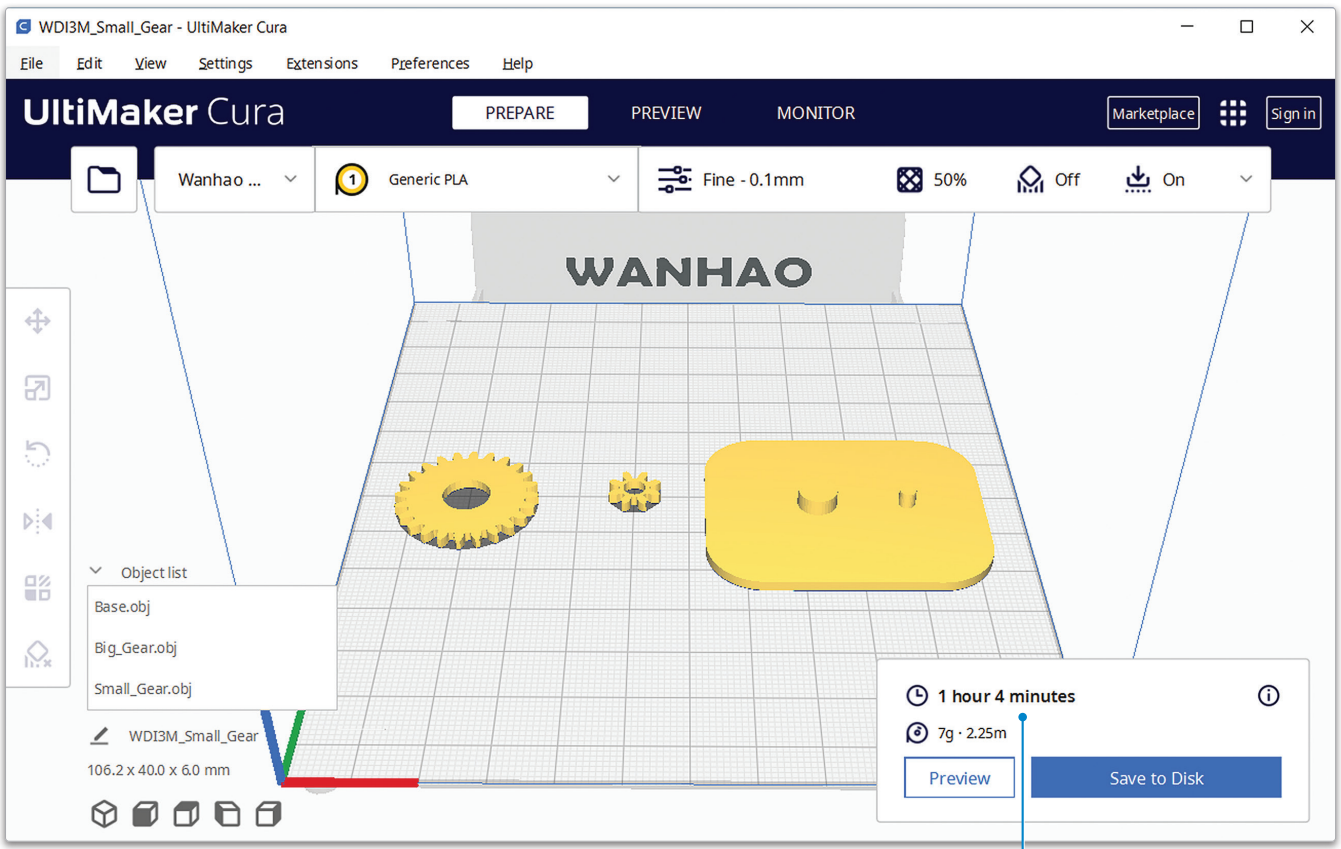
يجب أن تستخدِم **محورًا متحركًا** (Transformation Axis) لاحتواء النماذج الثلاثة ثلاثية الأبعاد في لوحة التصميم.

يمثِّل السهم الأحمر المحور X، ويمثِّل السهم الأخضر المحور Y، ويمثِّل السهم الأزرق المحور Z، كما تشير هذه الأسهم إلى الاتجاه الذي يُمكن أن يتحرك به المجسّم كما هو موضَّح في الشكل 3.26.

بمجرد إضافة النماذج الثلاثة ونقلها إلى لوحة التصميم، ستحصل على النتيجة الظاهرة في الشكل 3.27 الموضَّح أدناه.



شكل 3.26: نموذج ثلاثي الأبعاد مكوَّن من ثمانية أسنان



شكل 3.27: النماذج الثلاثة الموجودة على لوحة التصميم

عند إضافة المجسّمات الثلاثة والضغط على زر Slicer (المُقطِّع)، يمكنك أن تلاحظ أن الزمن تغير إلى 1 hour and 4 minutes (ساعة وأربع دقائق).

معلومة

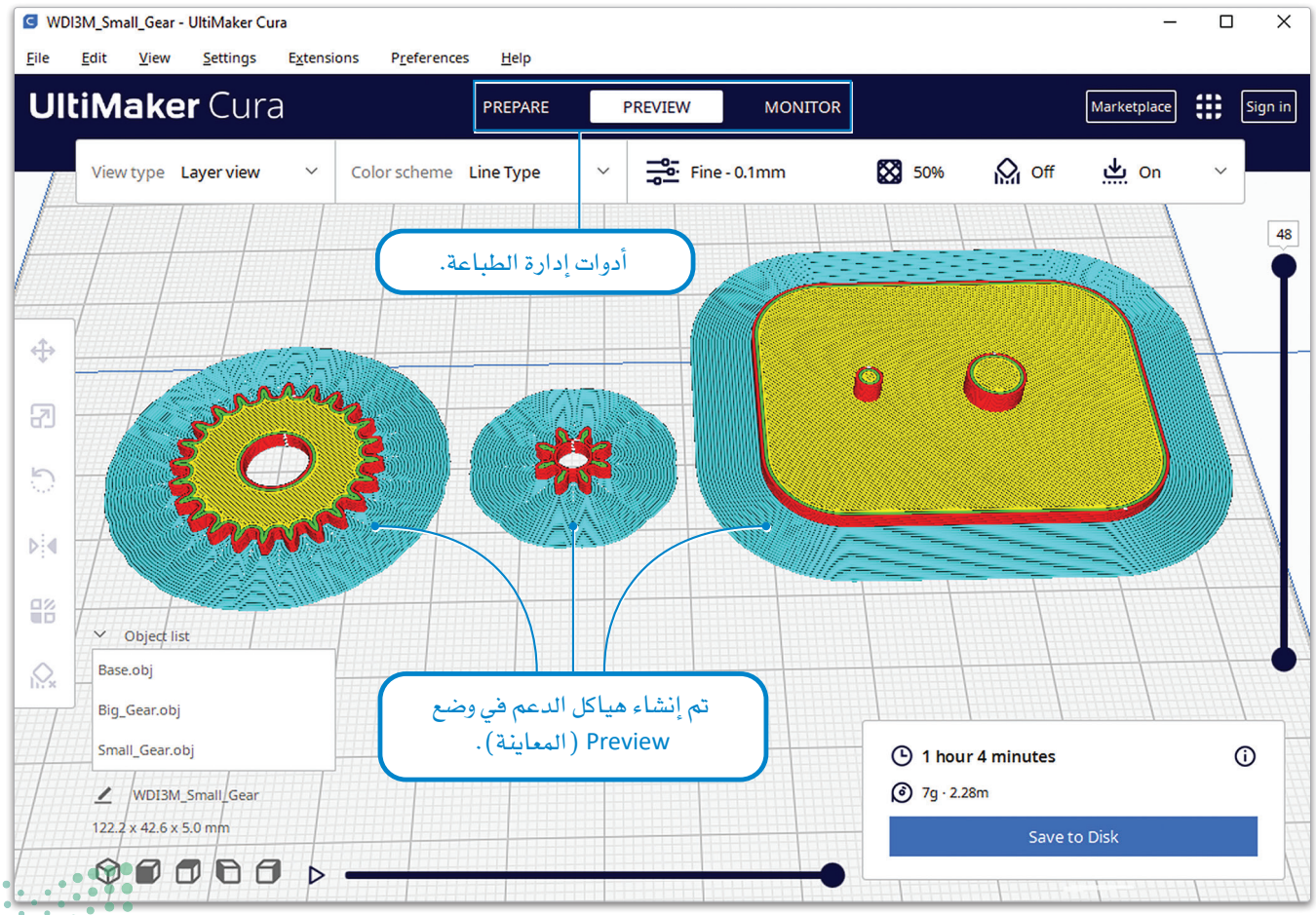
يعتمد قرار طباعة المجسّمات بشكل منفصل أو بشكل مُجمَّع على حجم النماذج، وتعقيدها، وعلى إمكانيات الطابعة، ويُمكن أن توفِّر طباعة مجسّمات متعددة معًا الوقت والمواد، ولكنها تزيد من خطر فشل الطباعة، خاصةً إذا كانت النماذج كبيرة أو تتطلب إعدادات مختلفة.

أدوات الإدارة Management Tools

تميِّز الألوان المختلفة في وضع المعاينة بين أجزاء الطباعة المختلفة، حيث يشير اللون الأزرق السماوي إلى موضع الهياكل الداعمة، ويشير اللون الأصفر إلى وجوه النماذج، أما اللون الأحمر فيُبرز الحواف، وتساعد هذه الألوان في تمثيل النتيجة النهائية للطباعة ثلاثية الأبعاد قبل طباعتها الفعلية، مما يسهِّل عملية تحديد المشكلات أو إيجاد المواضع التي تحتاج للتعديل قبل الطباعة. ألقِ نظرة على الجدول 3.3 لفهم أفضل لأدوات إدارة الطباعة المختلفة.

جدول 3.3: أدوات إدارة الطباعة

اسم الأداة	الوصف
التجهيز (PREPARE)	يتيح لك ضبط إعدادات الطباعة، وإدارة ملفات تعريف الطباعة، وتقسيم النماذج ثلاثية الأبعاد إلى ملفات "G-code" يُمكن للطابعة التعامل معها.
المعاينة (PREVIEW)	تتيح لك عرض تمثيل ثلاثي الأبعاد لنموذجك المُقطَّع، بالإضافة إلى هياكل الدعم، والتحقق من أي مشكلات محتملة في الطباعة.
المراقبة (MONITOR)	توفِّر معلومات فورية حول عملية الطباعة الجارية مثل: حالة الطباعة، والوقت المقدَّر المتبقي، وأي أخطاء تحدث خلال الطباعة، وتتوفَّر وظيفة المراقبة عند توصيل الطابعة ثلاثية الأبعاد عبر سلك أو اتصال **يو إس بي** (USB) أو **واي فاي** (WiFi) أو **بلوتوث** (Bluetooth).



شكل 3.28: وضع المعاينة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

في الختام، ستحفظ مشروعك بتنسيق " gcode." لكي تتمكَّن طابعتك من طباعة النماذج ثلاثية الأبعاد.

لإنشاء ملف للطباعة:

> اضغط على زر Slice (تقطيع). 1

> من Menu bar (شريط القائمة)، اضغط على File (ملف)، 2 ثم اضغط على Export (تصدير). 3

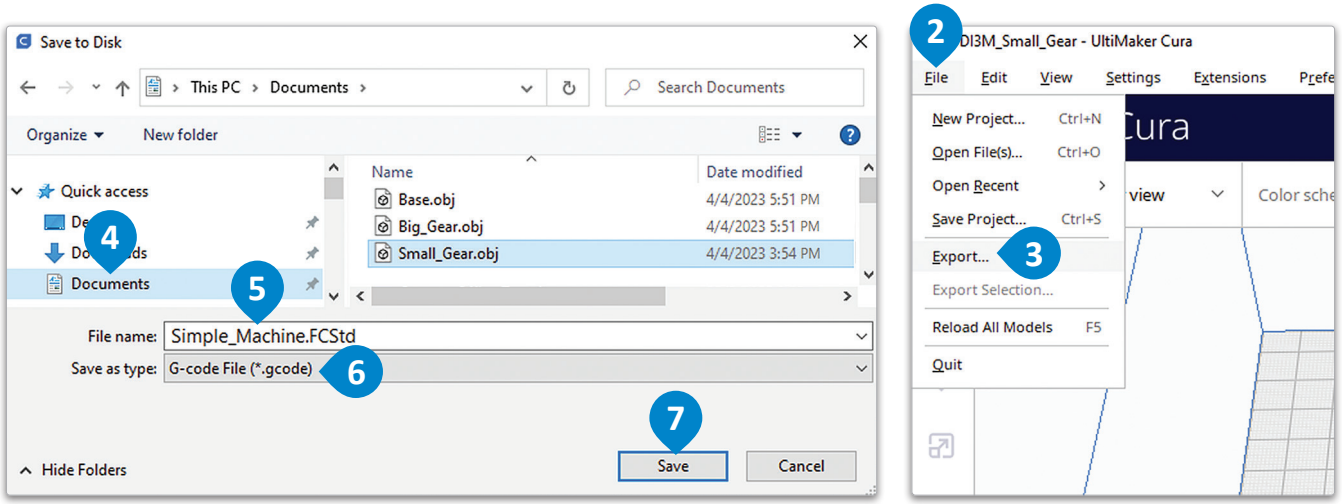
> اضغط على مجلد Documents (المستندات). 4

> اكتب اسمًا للملف. 5

> من القائمة المنسدلة Save as type: (حفظ كنوع:)، اختر G-code File (*.gcode)، 6 ثم اضغط على Save (حفظ). 7

ملف "gcode." ملف نصي عادي يحتوي على تعليمات للطابعة لإنشاء مجسّم ثلاثي الأبعاد.





شكل 3.29: إنشاء الملف للطباعة

إن خيارات التصدير الأخرى التي يمكنك استخدامها للطباعة هي تنسيقات ملفات "OBJ" و "STL".

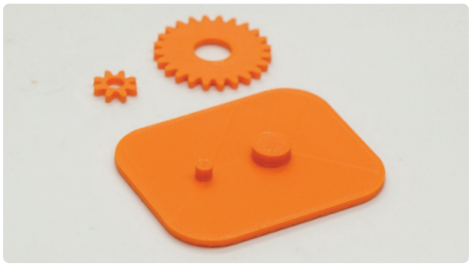
- "OBJ" أو ".obj" تعني "مجسّمًا" وهو تنسيق لملف تخزين بيانات النماذج ثلاثية الأبعاد، بما في ذلك الشكل الهندسي ومعلومات مادة الصناعة وخصائص المواد الأخرى، وهو تنسيق ملفات يُستخدم على نطاق واسع ويُدعم من قِبل العديد من تطبيقات البرامج ثلاثية الأبعاد.
- "STL" أو ".stl" تعني "الطباعة الحجرية المجسَّمة" وهو تنسيق لملف يحتوي فقط على الشكل الهندسي لسطح النموذج ثلاثي الأبعاد، ممثَّلًا بمجموعة من المثلثات المتصلة، ويُستخدم بشكل شائع في الطباعة ثلاثية الأبعاد، حيث يوفِّر نموذجًا مبسطًا يُمكن استخدامه لإنشاء مجسّم مادي طبقة تلو الأخرى.

معلومة

أحد الجوانب المهمة التي يجب مراعاتها عند العمل مع الطباعة ثلاثية الأبعاد هو التوافق في تنسيقات الملفات. قد تدعم الطابعات ثلاثية الأبعاد وبرامج التقطيع المختلفة تنسيقات متعددة للملفات، ولذلك فمن المهم اختيار التنسيق المناسب لتجنب مشكلات التوافق، وتتضمَّن تنسيقات الملفات الشائعة للطباعة ثلاثية الأبعاد تنسيقَي "STL" و "OBJ" المدعومان على نطاق واسع من قِبل معظم الطابعات وبرامج التقطيع.

بعد أن حصلت على الملف بتنسيق "gcode." عليك نقله من حاسبك إلى الطابعة ثلاثية الأبعاد، ويمكنك توصيل حاسبك بالطابعة عبر سلك **يو إس بي** (USB)، أو نقل الملف إلى **شريحة التخزين إس دي** (SD Card) وإدخاله في الطابعة، ويمكنك استخدام واجهة الطابعة لتحديد الملف وبدء الطباعة بمجرد نقل الملف.

من المهم مراقبة عمل الطابعة خلال الطباعة، وذلك للتأكُّد من عملها بشكل صحيح.



شكل 3.30: النماذج المطبوعة



شكل 3.31: النماذج المطبوعة مجمّعة

في الجدول 3.4 يمكنك التعرف على الممارسات السليمة لتشغيل الطابعة ثلاثية الأبعاد:

جدول 3.4: نصائح مفيدة للطباعة

النصيحة	الوصف
تسوية لوحة التصميم	تُعدُّ تسوية لوحة التصميم أمرًا بالغ الأهمية لجودة الطباعة ثلاثية الأبعاد؛ لذلك تأكد من استواء لوحة التصميم بشكل صحيح قبل بدء أي طباعة.
مراقبة الطباعة	راقب حالة تَقدُّم الطباعة للتأكُّد من أنها تسير بسلاسة، للتحقق من وجود أي مشكلات قد تتطلَّب تدخلًا منك لحلها، مثل الالتواء أو وجود إزاحة للطبقة أو انحشار خيوط الطباعة.
تنظيف قاعدة الطباعة	تأكد قبل بدء الطباعة من أن لوحة التصميم نظيفة وخالية من بقايا المواد وبصمات الأصابع والزيوت، حيث يساعد هذا على تجنب المشكلات الناجمة عن الالتصاق ويضمن لك الحصول على سطح أملس.
استخدام خيوط الطباعة الصحيحة	استخدِم الخيوط المناسبة لمهمة الطباعة، حيث تتطلب المواد المختلفة إعدادات ودرجات حرارة مختلفة.
ضبط إعدادات الطباعة	قم بتعديل إعدادات الطباعة لتحقيق النتيجة المرجوة، حيث يتضمَّن ذلك ضبط ارتفاع الطبقة وسرعة الطباعة ودرجة الحرارة.
معايرة الطابعة	قم بمعايرة الطابعة بانتظام لضمان دقَّة المطبوعات، حيث يتضمَّن ذلك معايرة الباثق والقاعدة والمحور.
التهوية المناسبة	استخدِم الطابعة في منطقة جيدة التهوية؛ لتجنب استنشاق الأبخرة التي قد تنبعث أثناء عملية الطباعة.
تخزين الخيوط بطريقة سليمة	خزِّن خيوط الطباعة في مكان بارد وجاف؛ لمنع امتصاصها للرطوبة، الأمر الذي قد يؤدِّي إلى طباعة رديئة المستوى.
استخدام الهياكل السليمة	استخدِم الهياكل الداعمة للأشكال المتدلية، أو الأشكال الهندسية المعقدة لضمان طباعة ناجحة.
الصيانة الجيدة	نظِّف الطابعة، واحرص على صيانتها بانتظام لضمان طول عمرها والحصول على الأداء الأمثل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

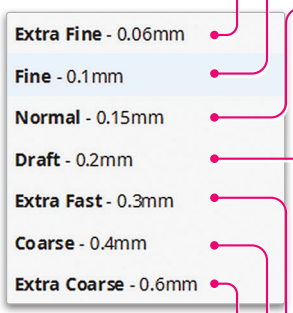
إعدادات الطباعة Printing Settings

كيورا (Cura) هو تطبيق برمجي شائع يُستخدم للطباعة ثلاثية الأبعاد، ويوفِّر العديد من إعدادات الطباعة المتقدمة التي يُمكن تخصيصها لتحقيق النتائج المرغوبة في الطباعة.

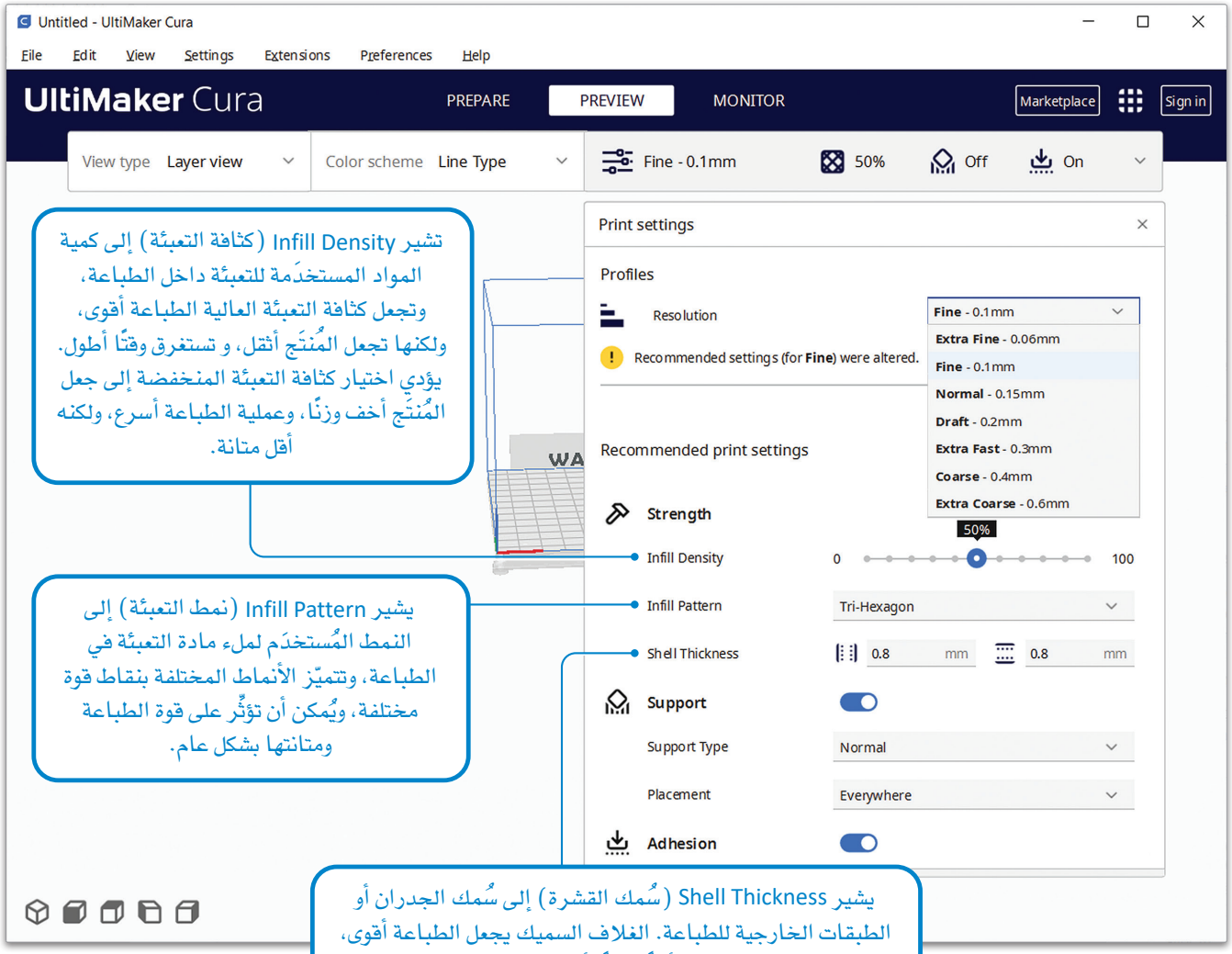
في الجدول 3.5 نستعرض بعض التفاصيل حول إعدادات الطباعة الموصى بها في برنامج كيورا، كما يمكنك معاينة خيارات الدِّقة المختلفة المتاحة وخصائصها.

جدول 3.5: إعدادات دقة برنامج كيورا

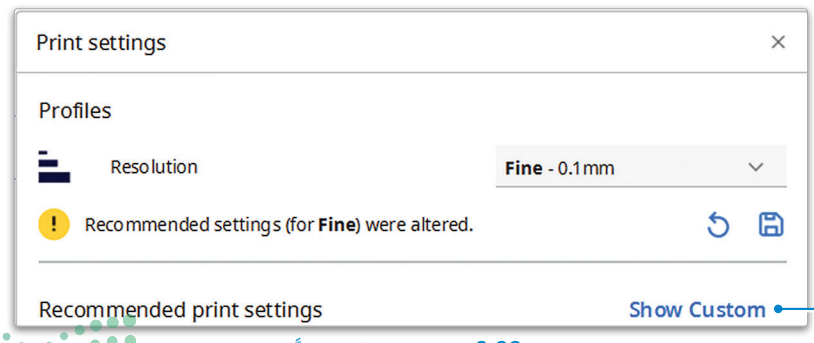
الإعداد	الوصف
نعومة فائقة (Extra Fine)	تُنتِج هذه الدقة أعلى جودة للطباعة، وذلك بارتفاع طبقة يبلغ 0.06 مليمتر، وتستغرق هذه الدقة وقتًا أطول في عملية الطباعة.
نعومة (Fine)	تُنتِج هذه الدقة نماذج مطبوعة عالية الجودة بارتفاع طبقة يبلغ 0.1 مليمتر.
عادي (Normal)	هذه الدقة هي الإعداد الافتراضي في برنامج **ألتيميكر كيورا** (Ultimaker Cura) بارتفاع طبقة يبلغ 0.15 مليمتر، وتُنتِج نماذج مطبوعة عالية الجودة مع وقت طباعة مناسب.
مُسودَّة (Draft)	تُنتِج هذه الدقة نماذج مطبوعة بارتفاع طبقة يبلغ 0.2 مليمتر، مما يجعلها أسرع في الطباعة، ولكن بجودة أقل.
سريع جدًّا (Extra Fast)	تُنتِج هذه الدقة نماذج مطبوعة بسرعة عالية، وذلك بارتفاع طبقة يبلغ 0.3 مليمتر، وتتأثر جودة الطباعة بشكلٍ ملموس عند استخدام هذا الخيار.
خشن (Coarse)	تُنتِج هذه الدقة نماذج مطبوعة بارتفاع 0.4 مليمتر مما يجعلها أسرع في الطباعة، ولكن بجودة أقل من الخيارات الأخرى.
أكثر خشونة (Extra Coarse)	تُنتِج هذه الدقة نماذج مطبوعة بسرعة، وذلك بارتفاع طبقة يبلغ 0.6 مليمتر، ويتناسب هذا الخيار مع النماذج التي لا تتطلب تفاصيل دقيقة.



تشير الدِّقَة (Resolution) في برنامج كيورا إلى ارتفاع طبقة النموذج أو المجسّم ثلاثي الأبعاد المطبوع، ويُحدِّد ارتفاع الطبقة جودة المجسّم المطبوع ودقّته، بالإضافة إلى الوقت المستغرَق في عملية الطباعة.



شكل 3.32: إعدادات الطباعة



يُمكن تغيير هذه الإعدادات من نافذة Print settings (إعدادات الطباعة) في علامة تبويب Show Custom (عرض مخصص).

شكل 3.33: إعدادات طباعة مخصَّصة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

استعرض محتوى الجدول 3.6 للتعرف على بعض الإعدادات المخصصة.

جدول 3.6: إعدادات الطباعة المخصَّصة

الإعداد	الوصف
الجودة (Quality)	يُحدِّد هذا الإعداد الجودة الإجمالية للطباعة، حيث إنّ إعدادات الجودة الأعلى يَنتُج عنها تفاصيل أدق في المُنتَج، وأسطحًا أكثر نعومة، وتتضمَّن هذه الخاصية إعدادات مثل **ارتفاع الطبقة** (Layer Height)، و**سُمك الطبقة الأوَّلية** (Initial Layer Thickness)، و**عرض الخط** (Line Width).
الجدران (Walls)	يُحدِّد هذا الإعداد عدد الجدران أو الحواف التي ستتم طباعتها حول محيط المجسّم، كما يؤثر هذا الإعداد على قوة الطباعة ومتانتها، حيث توفِّر المزيد من الحواف قوة أكبر للنموذج.
أعلى أو أسفل (Top/Bottom)	يُحدِّد هذا الإعداد سماكة ونمط الطبقات العلوية والسفلية للطباعة، كما يؤثر على نعومة الأسطح العلوية والسفلية.
التعبئة (Infill)	يُحدِّد هذا الإعداد كثافة التعبئة ونمطها، أو الهيكل الداخلي للطباعة، ويؤثر هذا الإعداد على قوة المُنتَج ووزنه ومرونته.
المادة (Material)	يُحدِّد هذا الخيار نوع المادة المستخدَمة للطباعة، مثل PLA أو ABS أو PETG، مما يؤثر على خصائص المُنتَج كالقوة والمرونة ومقاومة الحرارة.
السرعة (Speed)	يُحدِّد هذا الإعداد السرعة التي ستتحرك بها الطابعة وسرعة بثق المواد أثناء الطباعة، ويؤثر أيضًا على الوقت المطلوب للطباعة وعلى جودتها، حيث تُنتِج السرعات الأعلى المُنتَج بشكلٍ أسرع، ولكن بجودة أقل.
المسار (Travel)	يُحدِّد هذا الإعداد السرعة والمسار اللذين ستستخدِمهما الطابعة عند التنقل بين أجزاء مختلفة من المُنتَج خلال الطباعة، ويؤثر هذا الإعداد على وقت وجودة الطباعة بشكل عام، حيث يتيح التنقل الأكثر سلاسةً إنتاج مُنتَجٍ ذو جودة أفضل.
التبريد (Cooling)	يُحدِّد هذا الإعداد سرعة المروحة ووقت التبريد المُستخدَم أثناء الطباعة، مما يؤثر على جودة الطباعة. يَحُد التبريد الأفضل من مخاطر الالتواء والتشوه والعيوب الأخرى في المُنتَج.
الدعم (Support)	يُحدِّد هذا الإعداد ما إذا كانت هياكل الدعم ستُطبع أم لا، لدعم طباعة العناصر المتدلية أو المعقَّدة، ويؤثر هذا الإعداد على وقت وجودة الطباعة بشكل عام، حيث يسهم وجود المزيد من هياكل الدعم في ضمان جودة الطباعة بشكل أفضل، ولكنه يتطلب وقتًا أطول للطباعة.
لاصق لوحة الإنشاء (Build Plate Adhesion)	يُحدِّد هذا الإعداد نوع اللاصق المستخدَم لإلحاق الجزء المطبوع بلوحة التصميم، حيث تتضمَّن هذه الأنواع **الحافة** (Brim)، و**الطوف** (Raft)، و**الصمغ** (Glue Stick)، ويؤثر هذا الإعداد على جودة الطباعة الإجمالية وقدرة الطباعة على الارتباط بلوحة التصميم أثناء الطباعة.
البثق المزدوج (Dual Extrusion)	يُحدِّد إعداد البثق المزدوج ما إذا كانت الطابعة ستستخدِم آلات بثق متعددة لطباعة مواد أو ألوان مختلفة في الوقت نفسه أم لا، ويؤثر هذا الإعداد على وقت الطباعة وجودتها بشكل عام، حيث يَنتُج عن البثق المزدوج مطبوعات أكثر تعقيدًا وملونة، ولكنه يزيد أيضًا من مخاطر حدوث عيوب في الطباعة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

يمكنك في الجدول 3.7 معاينة بعض إعدادات الطباعة المخصصة الإضافية في برنامج كيورا مع شرح موجز:

جدول 3.7: إعدادات الطباعة في برنامج كيورا

الإعداد	الوصف
الجودة	
ارتفاع الطبقة (Layer Height)	هو ارتفاع كل طبقة تتم طباعتها، ويُمكن أن يؤدي ارتفاع الطبقة الأقل إلى صقل السطح بشكلٍ أكثر نعومة، ولكنه يزيد أيضًا من وقت الطباعة.
الدعم	
الذيل (Skirt)	هو طرف خيط من المادة المستخدَمة في الطباعة يتم طباعته حول النموذج ولكنه لا يرتبط به، كما يساعد على تمهيد الباثق في الطابعة، وفي التأكد من أن خيط الطباعة يتدفق بسلاسة قبل طباعة المُنتَج الفعلي.
الحافة (Brim)	هي امتداد مُسطَّح لقاعدة النموذج يساعد على زيادة الالتصاق بحاوية الطباعة، وتفيد الحافة بشكل خاص في طباعة النماذج ذات القاعدة الصغيرة، التي قد لا ترتبط جيدًا بالحاوية.
الطوف (Raft)	هو طبقة أساس مطبوعة تقع بين النموذج وحاوية الطباعة، ويوفِّر الطوف دعمًا إضافيًا والتصاقًا، وخاصةً للنماذج ذات القاعدة الكبيرة أو تلك التي تتطلب كثيرًا من الدعم.
التعبئة	
كثافة التعبئة (Infill Density)	تُحدِّد كثافة التعبئة النسبة المئوية للحجم الداخلي للمجسّم الذي سيتم تعبئته بمادة التعبئة، والتي يُمكن أن تكون مادة بلاستيكية أو مادة أخرى، وتُشير النسبة المئوية الأعلى إلى نموذج أكثر كثافة بالمزيد من مادة الحشو، بينما تعني النسبة المئوية الأقل مجسّمًا أخف وزنًا مع كمية أقل من مادة التعبئة.
نمط التعبئة (Infill Pattern)	يُحدِّد نمط التعبئة النمط الذي سيتم فيه وضع مادة التعبئة، وتُعدُّ الشبكة والخطوط والمثلثات من أكثر أنماط التعبئة شيوعًا، كما توجد أنماط أخرى متاحة أيضًا، ويُمكن أن يؤثر اختيار نمط التعبئة على القوة والمرونة والجودة الإجمالية للطباعة النهائية.
النفث المادي	
سرعة الطباعة (Print Speed)	تشير سرعة الطباعة إلى سرعة حركة الطابعة أثناء عملها، حيث يُمكن أن تقلل السرعة الأعلى من وقت الطباعة، ولكنها قد تزيد أيضًا من احتمالات حدوث الأخطاء، وانخفاض الدقة في الطباعة النهائية.

يُمكن ضبط هذه الإعدادات بناءً على المتطلبات المحدَّدة للنموذج أو المُنتَج الجاري طباعته، ويساهم الضبط السليم لهذه الإعدادات في تحسين جودة الطباعة وتقليل وقتها وتوفير تكاليف المواد.

تمرينات

1

حدِّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:	صحيحة	خاطئة
1. لا يُمكن إنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد إلا باستخدام أدوات التصميم بمساعدة الحاسب (CAD).	○	○
2. يُمكن للطابعات ثلاثية الأبعاد العمل على محورَي X-Y فقط.	○	○
3. تُقلِّل الطابعات ثلاثية الأبعاد من مخاطر الأخطاء البشرية.	○	○
4. تُعالِج الطباعة الحجرية المجسَّمة (SLA) مادة الصمغ السائل بشعاع الليزر.	○	○
5. يستخدِم التلبيد بالليزر المسحوق كمادة أساسية.	○	○
6. يُستخدم الورق في الطابعات ثلاثية الأبعاد كمادة أساسية للطباعة.	○	○
7. لا يُمكن طباعة الأنسجة البشرية الحية ثلاثية الأبعاد.	○	○
8. تمتاز المُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد ببصمة كربونية أقل من تلك التي تُصنع بالطرائق التقليدية.	○	○
9. لا يُمكن استخدام المجسّمات المطبوعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج قطع الغيار.	○	○
10. يُمكن استخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد لطباعة نماذج جديدة من الأعمال الفنية القديمة.	○	○

2 عرِّف الطباعة ثلاثية الأبعاد، وصِفْ مدى تأثيرها على عمل المهندسين والمُصمِّمين.

3 حَلِّل الاختلافات الرئيسة بين طابعات الطباعة الحجرية المجسَّمة (SLA)، وطابعات معالجة الضوء الرقمي (DLP).

4 صِفْ كيف يختلف استخدام المسحوق كمادة أساسية للطباعة عن استخدام الصمغ السائل (Liquid Resin) للطباعة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

5 اشرح كيفية عمل طابعة اللحام بالشعاع الإلكتروني (EBM)، واذكر سبب استخدامها بكثرة في التطبيقات الصناعية.

6 اذكر الأنواع المختلفة من المواد البلاستيكية المستخدَمة كمواد أساسية في الطباعة ثلاثية الأبعاد.

7 ضَع قائمة بالفوائد الرئيسة للطباعة ثلاثية الأبعاد في الاستخدامات الصناعية والشخصية.

8 وضِّح كيف تختلف معالجة المعادن عن معالجة السيراميك في الطباعة ثلاثية الأبعاد.

9 صِفْ كيفية استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد لتطوير تطبيقات الرعاية الصحية.

10 ناقش كيف تستخدِم صناعات الطيران والسيارات الطباعة ثلاثية الأبعاد في النواحي المختلفة من عملها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

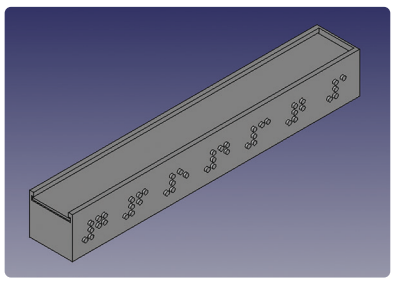
www.ien.edu.sa

الدرس الثاني

تصميم وإنشاء مُنتَج ثلاثي الأبعاد

تصميم صندوق أقراص الدواء Design a Pill Box

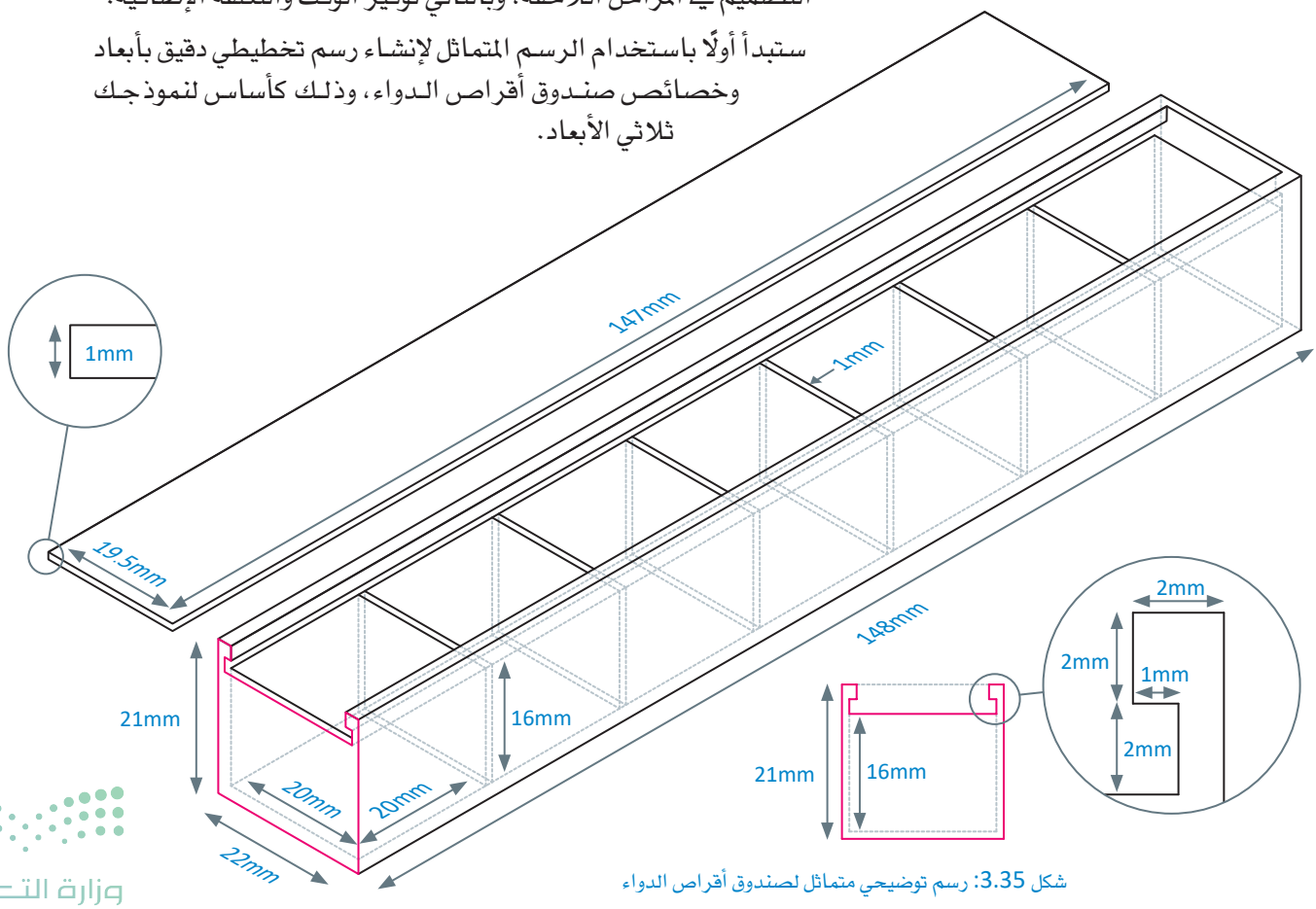
صندوق أقراص الدواء هو وعاء صغير يُستخدم لتخزين وتوزيع أقراص الدواء حسب أيام الأسبوع، وفي هذا الدرس ستصمِّم هذا الصندوق، وتطبعه باستخدام الطابعة ثلاثية الأبعاد، بحيث يحتوي على على حيز يُمكن إغلاقه لحفظ الأقراص داخله، وستميّز أيّام الأسبوع باستخدام الأرقام بنظام برايل (Braille) على الصندوق كما هو موضَّح في الشكل 3.34.



شكل 3.34: نموذج ثلاثي الأبعاد لصندوق أقراص الدواء

ستُركِّز بشكلٍ خاص على التعرف على مرحلة النموذج الأوَّلي في عملية التصميم، حيث يُنتِج المُصمِّمون أفكارًا أوَّلية لإنشاء هذا النموذج، وذلك لاستكشاف إمكانات وخيارات التصميم المختلفة، ثم ستقوم باستخدام طريقة الرسم المتماثل لإنشاء رسم تخطيطي مفصّل يمكنك من خلاله معاينة آلية عمل صندوق أقراص الدواء والتأكد من تصميم مكوِّناته بطريقة مناسبة لعملية التصنيع. سيُمكِّنك هذا من إنشاء تصوير مرئي دقيق للمُنتَج، وجعل عملية التصميم أكثر كفاءة، والحدّ من التغيير في التصميم في المراحل اللاحقة، وبالتالي توفير الوقت والتكلفة الإضافية.

ستبدأ أولًا باستخدام الرسم المتماثل لإنشاء رسم تخطيطي دقيق بأبعاد وخصائص صندوق أقراص الدواء، وذلك كأساس لنموذجك ثلاثي الأبعاد.

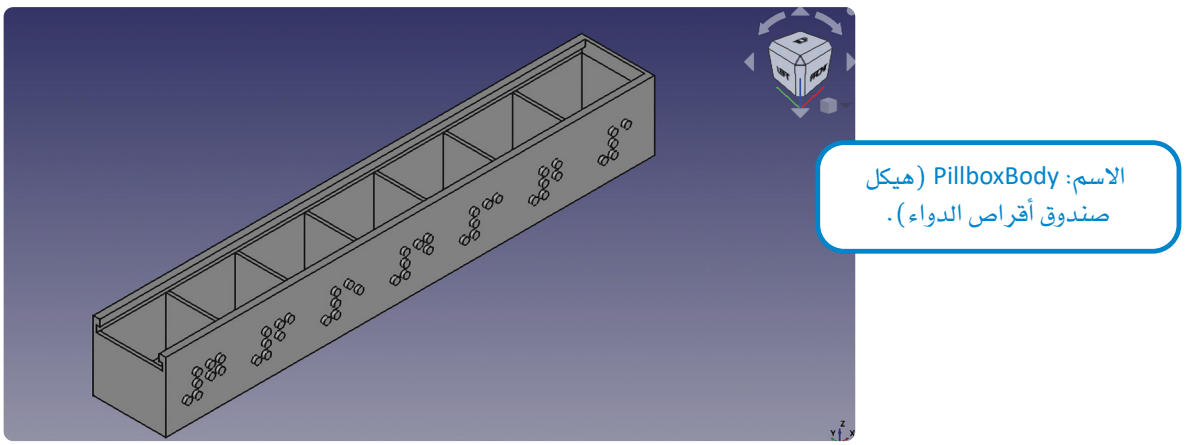


شكل 3.35: رسم توضيحي متماثل لصندوق أقراص الدواء

سيتكون نموذج صندوق أقراص الدواء من هيكلين مختلفين هما:

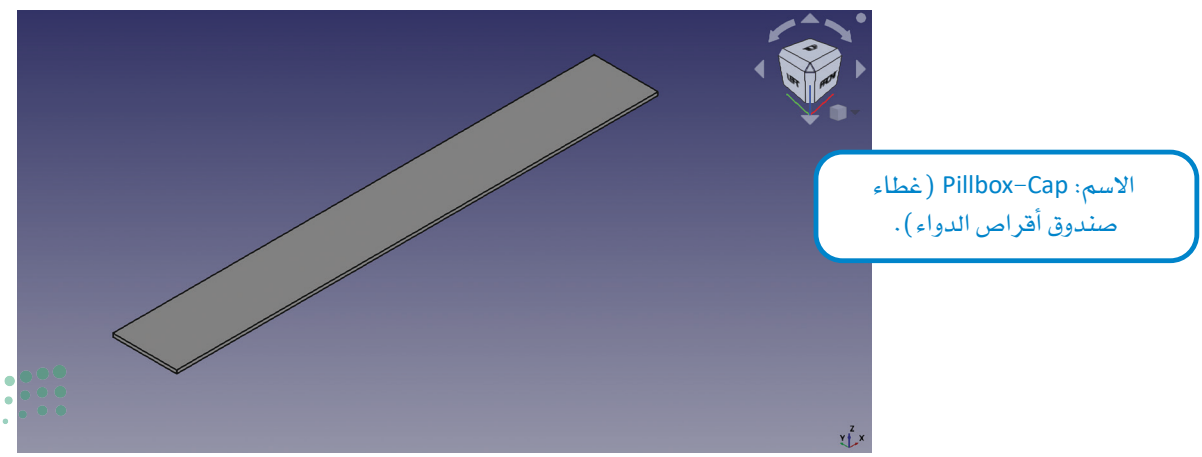


هيكل صندوق أقراص الدواء (Pillbox-Body) هو صندوق مستطيل مُصمَّم لتخزين وتوزيع الأقراص لكل يوم من أيام الأسبوع، ويبلغ طوله 148 مليمتر، وعرضه 21 مليمتر وعمقه 21 مليمتر، كما يحتوي الصندوق على فجوة بالأعلى حيث سيتم إدخال الغطاء، ويتم عمل الفجوة باستخدام تجويف طوله 147 مليمتر. يحتوي **هيكل صندوق أقراص الدواء** (Pillbox-Body) على سبعة صناديق منفصلة كل منها بأبعاد 20×20 مليمتر، وتجويف بعمق 16 مليمتر، بحيث يوجد فاصل مقداره 1 مليمتر بين الصناديق، ولكل منها نقاط تشير إلى الأرقام من 1 إلى 7 لأيام الأسبوع باستخدام نظام برايل.



شكل 3.36: صندوق أقراص الدواء

غطاء صندوق أقراص الدواء (Pillbox-Cap) هو غطاء مُصمَّم ليلائم الجزء العلوي من **هيكل صندوق أقراص الدواء** (Pillbox-Body)، ويبلغ طوله 147 مليمتر، وعرضه 19.5 مليمتر وعمقه 1 مليمتر، وسيوضع هذا الغطاء أعلى هيكل صندوق أقراص الدواء، ليغطي الصناديق السبعة ويحافظ على الأقراص في مكانها.



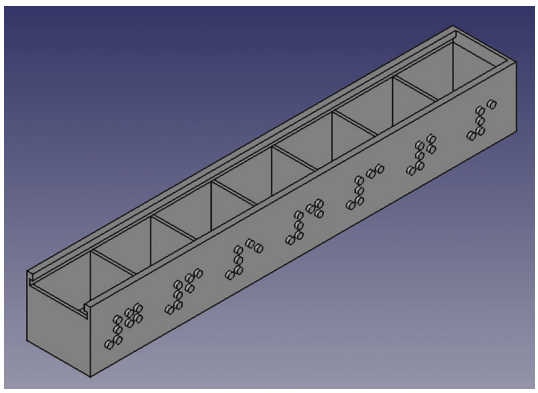
شكل 3.37: غطاء صندوق أقراص الدواء

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

في البداية عليك أن تنشئ هيكل صندوق أقراص الدواء (Pillbox-Body).

تصميم هيكل صندوق أقراص الدواء
Design the Pillbox-Body

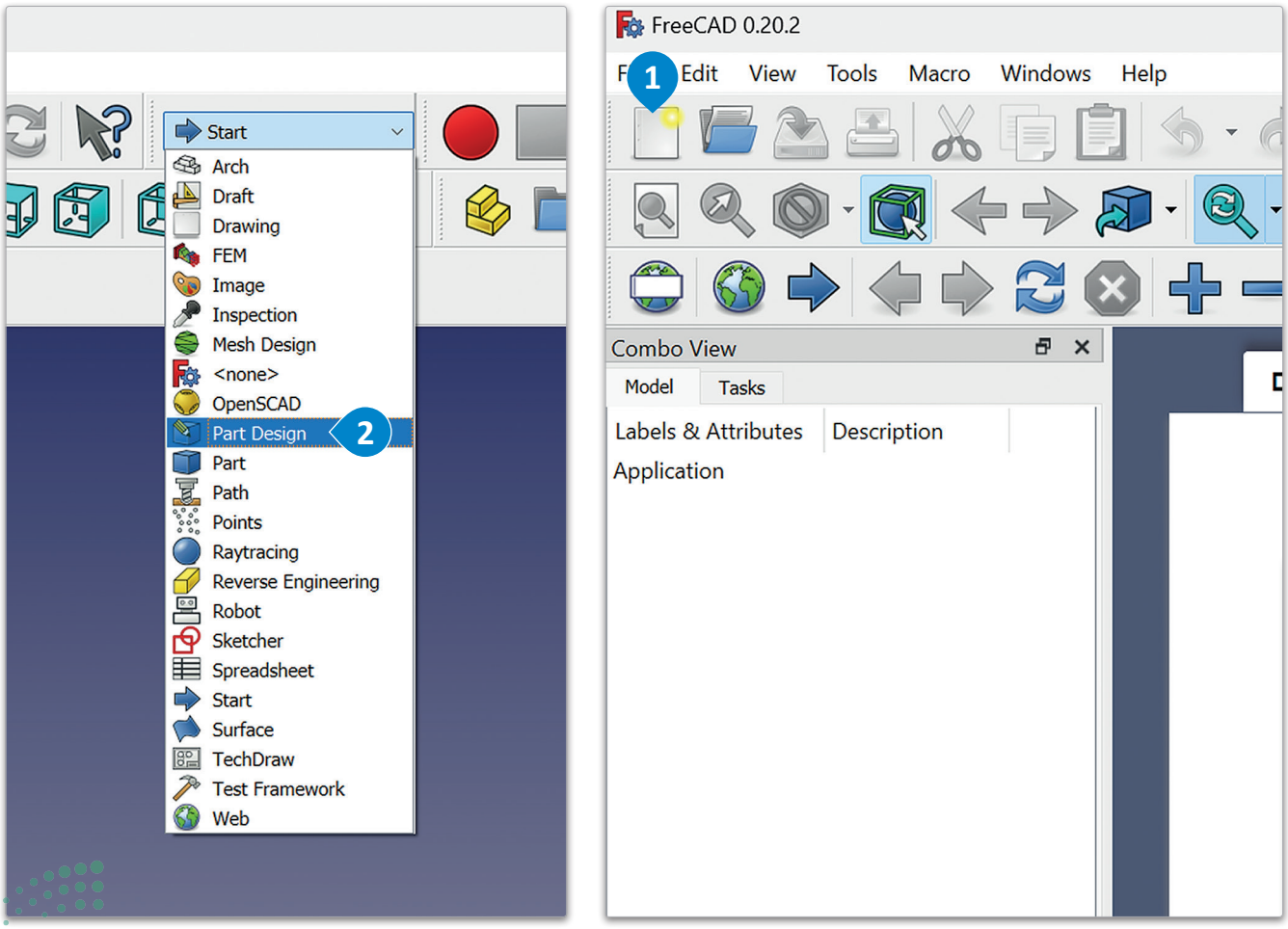
يُمثِّل هيكل صندوق أقراص الدواء (Pillbox-Body) حاوية مقسّمة إلى سبعة صناديق منفصلة لتخزين الأقراص لكل يوم من أيام الأسبوع، وستحتوي الحاوية أيضًا على نقاط تستخدِم نظام برايل للإشارة إلى الأرقام من 1 إلى 7 لأيام الأسبوع. ستبدأ أولًا بإنشاء مستند جديد لتصميم نموذجك ثلاثي الأبعاد.



شكل 3.38: صندوق أقراص الدواء

لإنشاء مستند جديد:

- من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أيقونة New (جديد). 1
- من Workbenches drop-down (القائمة المنسدلة لسطح العمل)، اختر Part Design (تصميم قطعة). 2



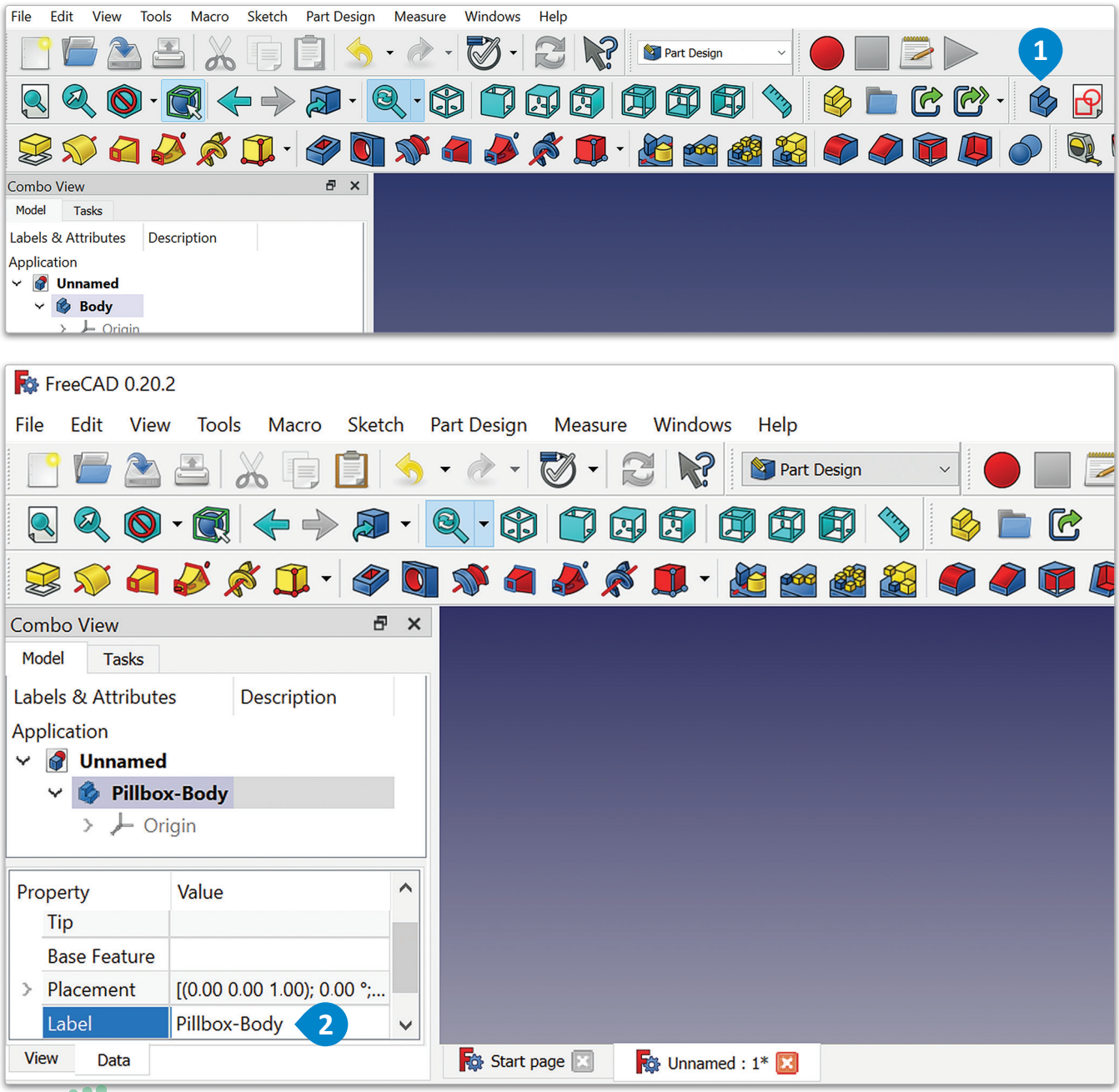
شكل 3.39: إنشاء مستند جديد

ستنشئ الآن هيكلًا وتسميه **هيكل صندوق أقراص الدواء** (Pillbox-Body).

لإنشاء هيكل صندوق أقراص الدواء:

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create body (إنشاء هيكل). 1

> من علامة تبويب Data (البيانات)، غيِّر الاسم إلى Pillbox–Body (هيكل صندوق أقراص الدواء). 2



شكل 3.40: إنشاء هيكل صندوق أقراص الدواء

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

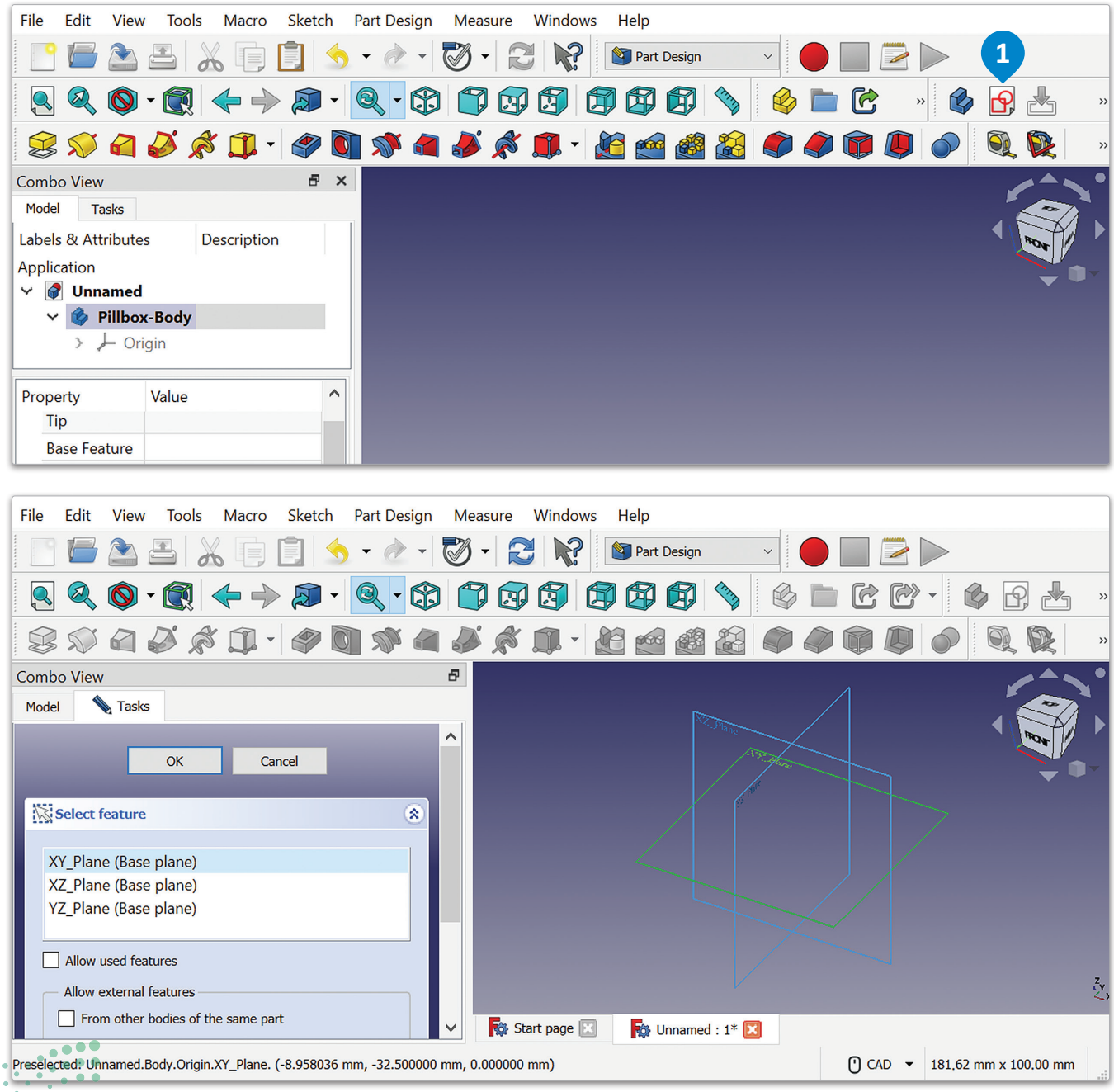
بعد ذلك أنشئ رسمًا تخطيطيًا جديدًا، ثم اختر سطح عمل الرسم الهندسي XY.

لإنشاء رسم تخطيطي واختيار السطح XY:

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create sketch (إنشاء رسم تخطيطي). 1

> من علامة تبويب Tasks (المهام) في Combo View (عرض المجموعة)، اضغط على XY–Plane (السطح– XY). 2

> من علامة تبويب Tasks (المهام) في Combo View (عرض المجموعة)، اضغط على OK (موافق). 3



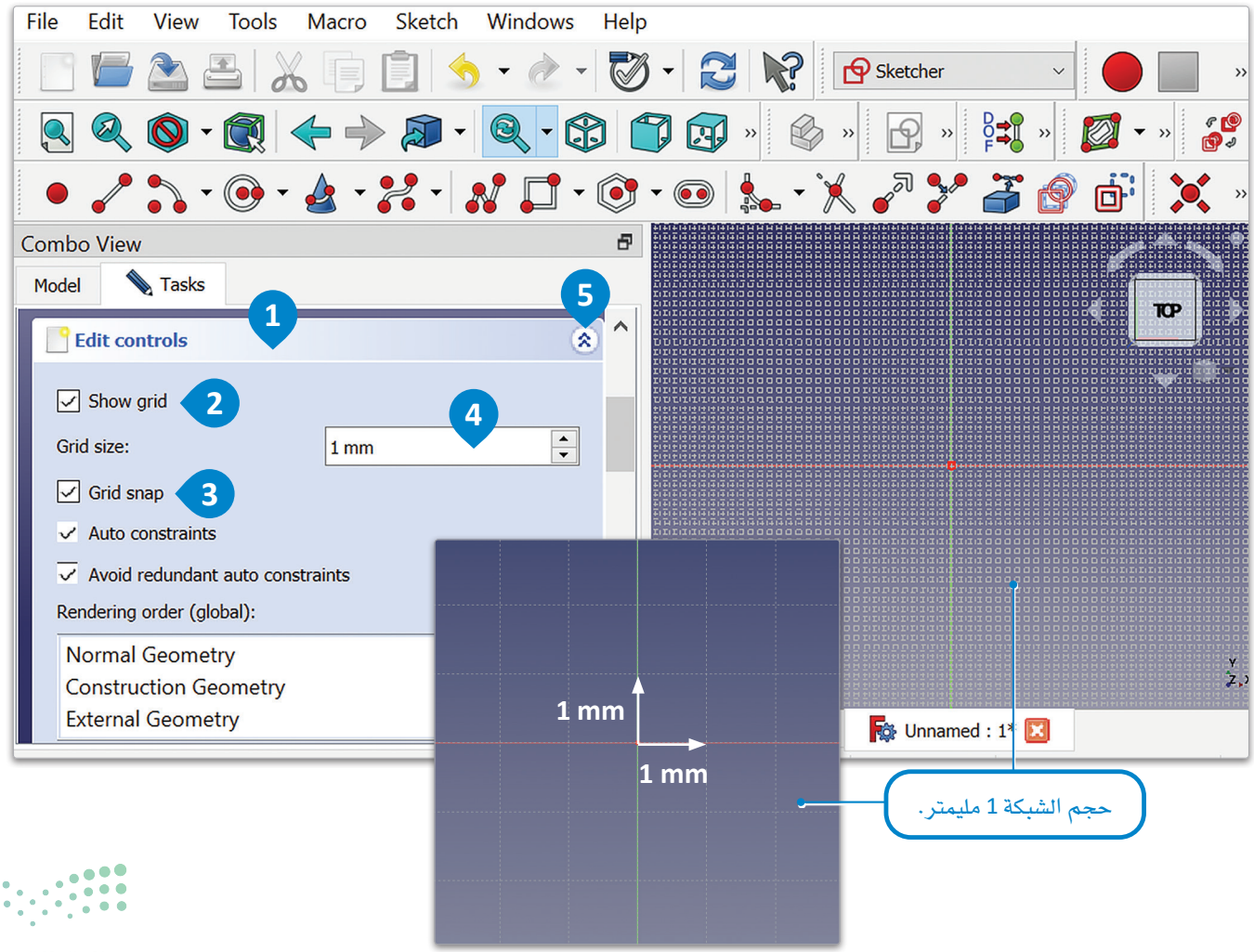
شكل 3.41: إنشاء رسم تخطيطي واختيار السطح XY

يُعدُّ ضبط **الشبكة** (Grid) على 1 مليمتر أمرًا ضروريًا، حيث يسمح بالتصميم بشكلٍ أكثر دقة، فباستخدام شبكة أصغر يمكنك إنشاء تفاصيل بدقة عالية، وهي مهمة لوظيفة المُنتَج النهائي ومظهره، وتساعد في التأكد من تصميم جميع الأجزاء بالقياس والنِسَب الصحيحة، وهو أمر ضروري لتركيب القطع معًا وإنشاء نموذج يعمل بالشكل الصحيح.

لتغيير حجم الشبكة:

- من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Edit controls (تحرير عناصر التحكم). 1
- من علامة تبويب Tasks (المهام)، في علامة تبويب Edit controls (تحرير عناصر التحكم)، اختر Show grid (عرض الشبكة)، 2 ثم اختر Grid snap (جذب الشبكة). 3
- من علامة تبويب Tasks (المهام)، غيِّر Grid size (حجم الشبكة) إلى 1mm (1 مليمتر). 4
- من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Edit controls (تحرير عناصر التحكم) لتصغير علامة التبويب. 5

يُسهم العمل مع شبكة أصغر في تطوير مهاراتك في التصميم والاهتمام بالتفاصيل التي تُعدُّ ذات أهمية لأي مشروع هندسي أو تصميمي.



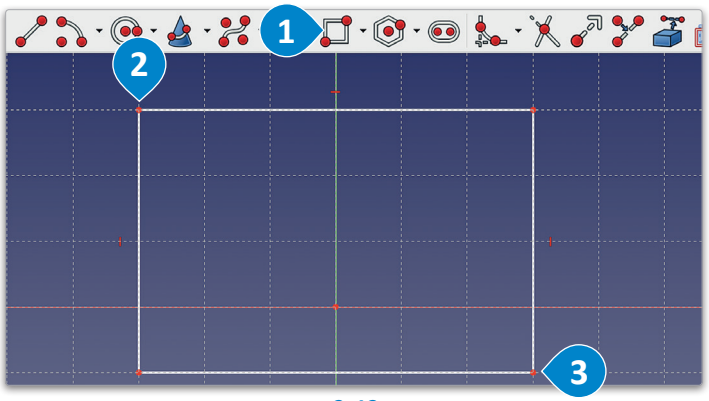
شكل 3.42: تغيير حجم الشبكة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

بعد ذلك استخدِم أداة **المستطيلات** (Rectangles) لإنشاء مستطيل.

لإنشاء المستطيل:

- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create rectangles (إنشاء مستطيلات). 1
- اضغط على الرسم التخطيطي لتعيين الزاوية الأولى للمستطيل. 2
- حرِّك المؤشر لتعيين الزاوية المقابلة للمستطيل، واضغط مرة أخرى لإنشاء المستطيل. 3

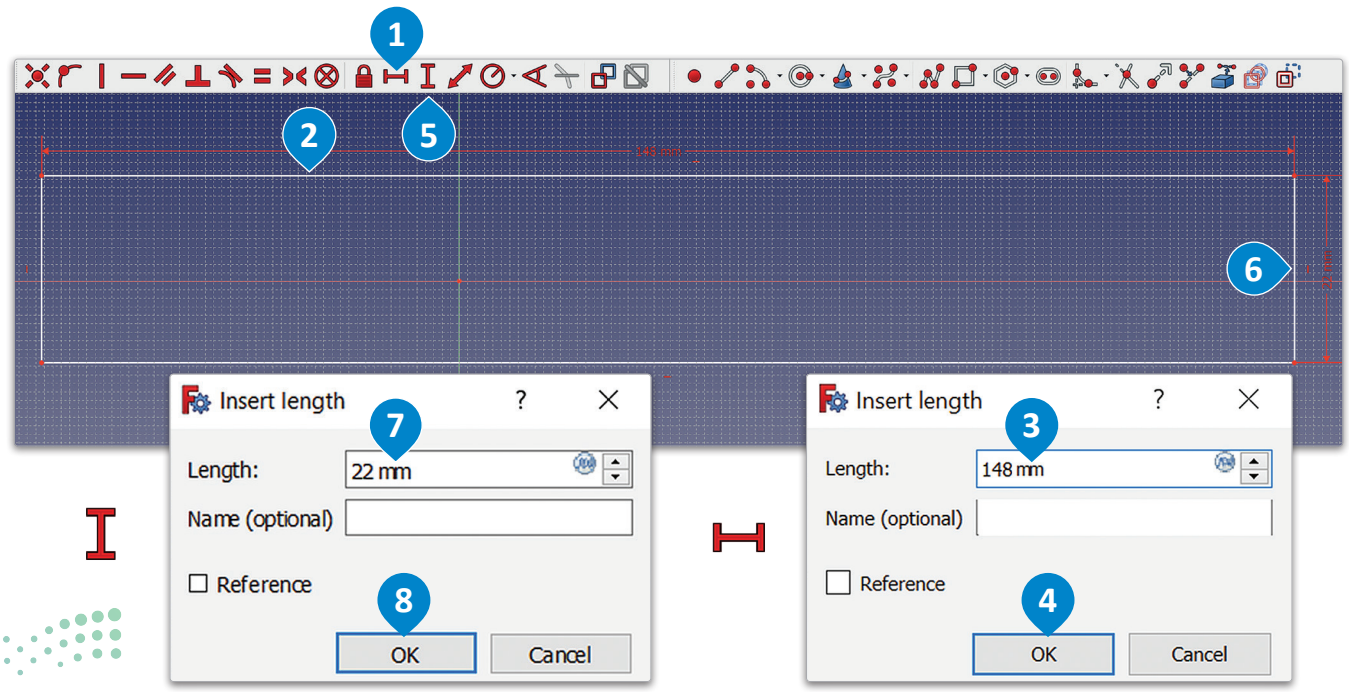


شكل 3.43: إنشاء مستطيل

استخدِم القيود لضبط طول المستطيل إلى 148 مليمتر، وعرضه إلى 22 مليمتر.

لتقييد المسافة الأفقية والرأسية:

- من شريط أدوات Constraints (القيود)، اختر أداة Constrain horizontal distance (تقييد المسافة الأفقية). 1
- اضغط على الحافة العلوية للمستطيل. 2
- اضبط Length (الطول) إلى 148 mm (148 مليمتر)، 3 ثم اضغط على OK (موافق). 4
- من شريط أدوات Constraints (القيود)، اختر أداة Constrain vertical distance (تقييد المسافة الرأسية). 5
- اضغط على الحافة اليمنى للمستطيل. 6
- اضبط Length (الطول) إلى 22 mm (22 مليمتر)، 7 ثم اضغط على OK (موافق). 8



شكل 3.44: تقييد المسافة الأفقية والرأسية

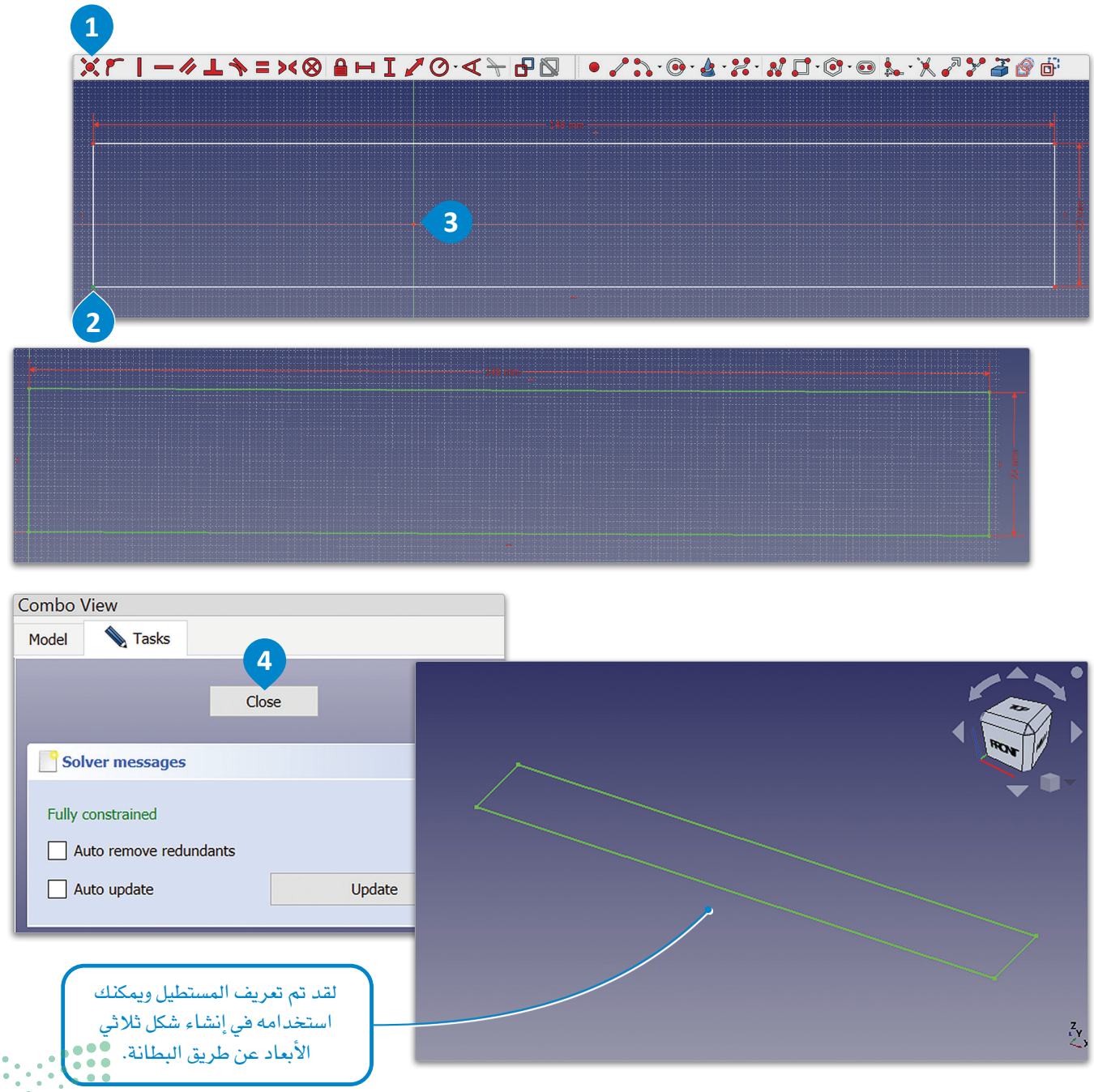
قيِّد موضع المستطيل بالنسبة للمحور.

لتقييد النقاط:

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Constrain coincident (تقييد الالتقاء). 1

> حدِّد الزاوية اليسرى السفلية للمستطيل، 2 ثم اختر مركز المحور. 3

> من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Close (إغلاق). 4

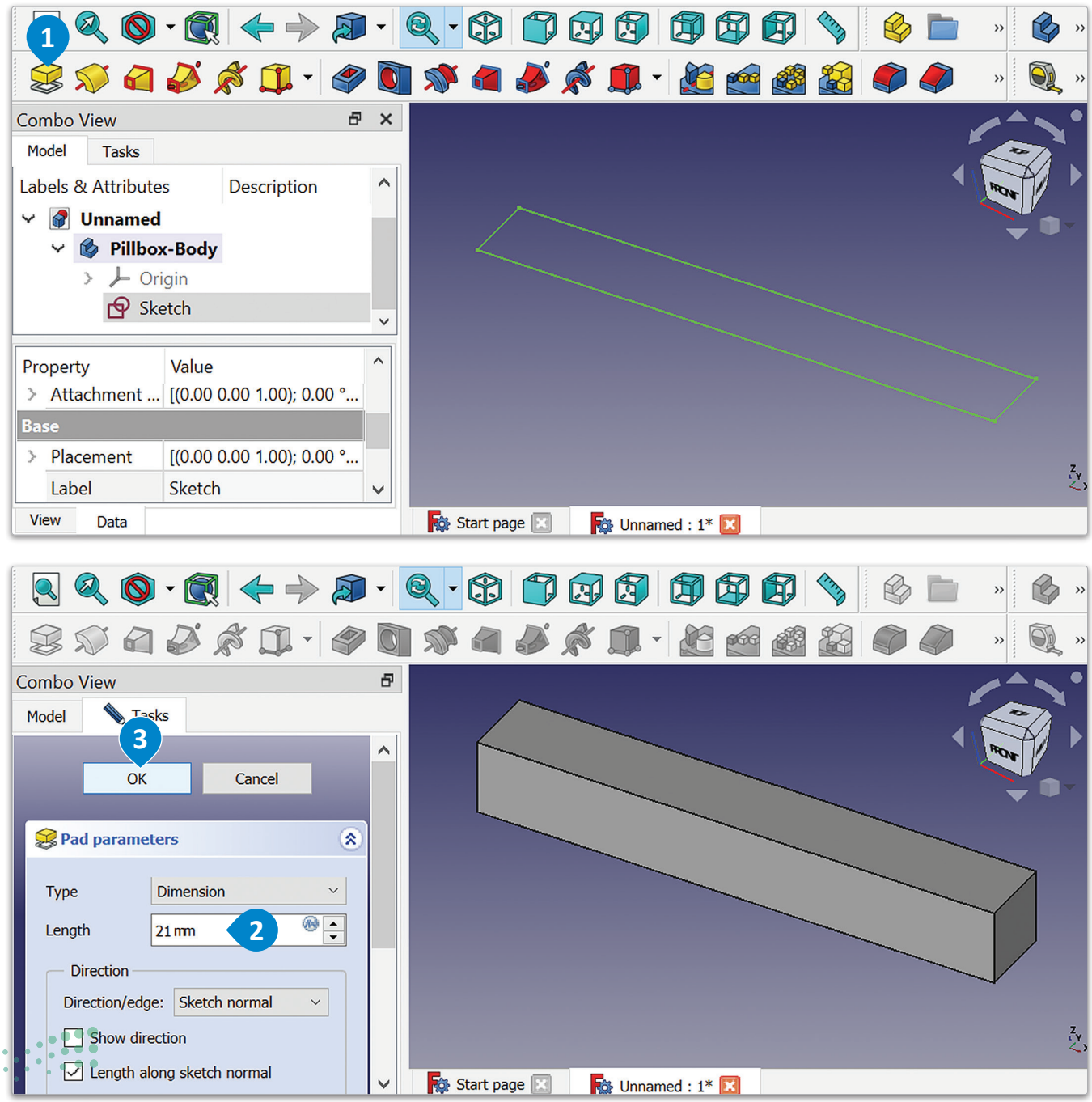


شكل 3.45: تقييد النقاط

استخدِم أداة **البطانة** (Pad) لتحويل المستطيل إلى شكل ثلاثي الأبعاد.

لإنشاء شكل ثلاثي الأبعاد:

- من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Pad (البطانة). 1
- من علامة تبويب Tasks (المهام)، غيِّر Length (الطول) إلى 21 mm (21 مليمتر)، 2 ثم اضغط على OK (موافق). 3

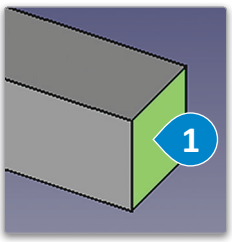


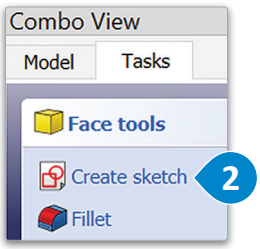
شكل 3.46: إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد

يُمكن استخدام أداة **الخط المتصل** (Polyline) لإنشاء سلسلة خطوط مترابطة تُكوِّن شكلًا مغلقًا، حيث يُمكن لهذه الأداة إنشاء رسومات معقدة تتكون من العديد من القطع التي يُمكن تحريرها وتعديلها بسهولة. ستستخدِم أداة **الخط المتصل** (Polyline) لإنشاء شكل التجويف في الجزء العلوي من هيكل **صندوق أقراص الدواء** (Pillbox-Body)، ثم ستستخدِم أداة **تجويف** (Pocket) لقص الشكل وإنشاء الفجوة حيث سيتم تركيب الغطاء، وسيكون عمق هذا التجويف 1 مليمتر، وذلك ليتناسب مع سُمك غطاء صندوق أقراص الدواء.

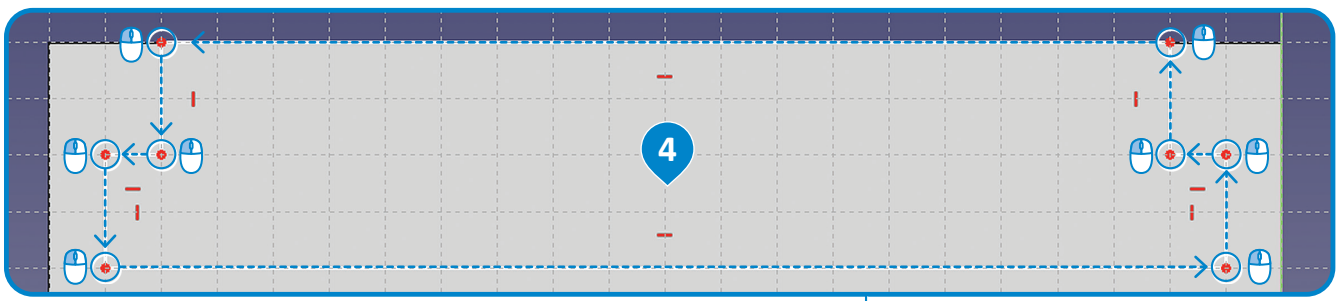
لإنشاء رسم تخطيطي على السطح العلوي:

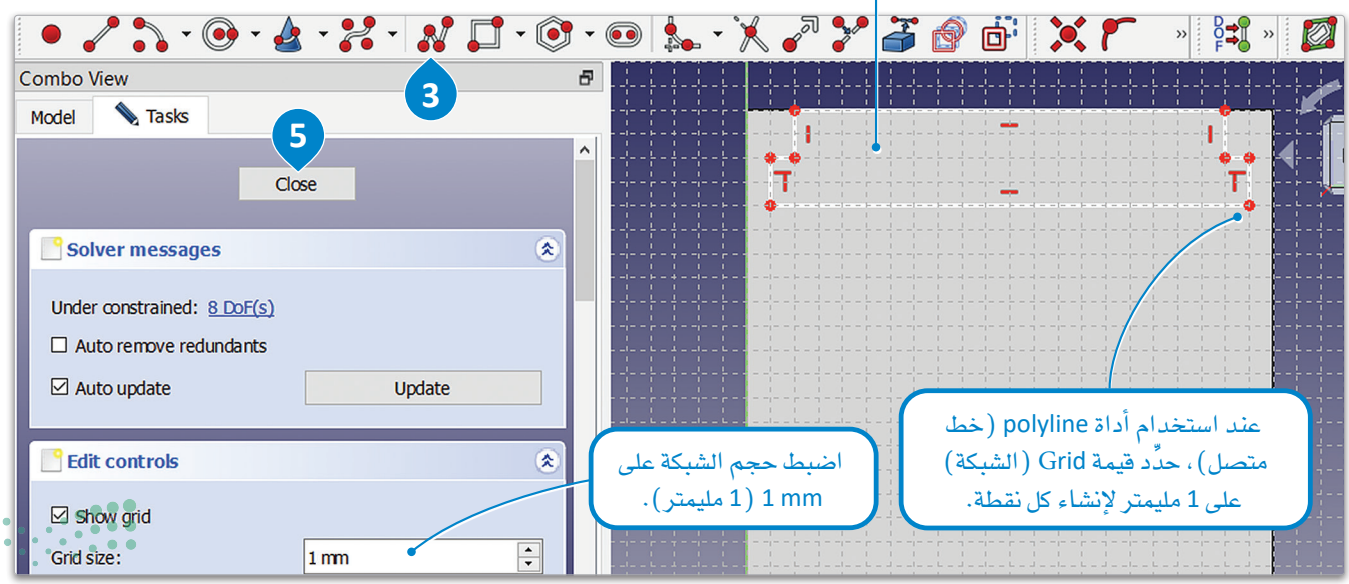
- اضغط على Pillbox-Body (هيكل صندوق أقراص الدواء) لاختيار سطحه الأمامي صغير الحجم. 1
- من Face tools (أدوات الوجه) في علامة تبويب Tasks (المهام)، اختر أداة Create sketch (إنشاء رسم تخطيطي). 2
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create polyline (إنشاء خط متصل). 3
- اضغط على الرسم التخطيطي لتعيين النقطة الأولى للشكل، ثم أنشئ سبع نقاط أخرى كما في الصورة. 4
- من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Close (إغلاق). 5





عند إنشاء رسم تخطيطي جديد، سينشئ البرنامج مستندًا جديدًا خاصًا به، وبالتالي قد لا تكون إعدادات المستند مماثلة لإعدادات المستند السابق. ستحتاج إلى ضبط حجم الشبكة يدويًا مرة أخرى في المُخطَّط الجديد.





شكل 3.47: إنشاء رسم تخطيطي على السطح العلوي

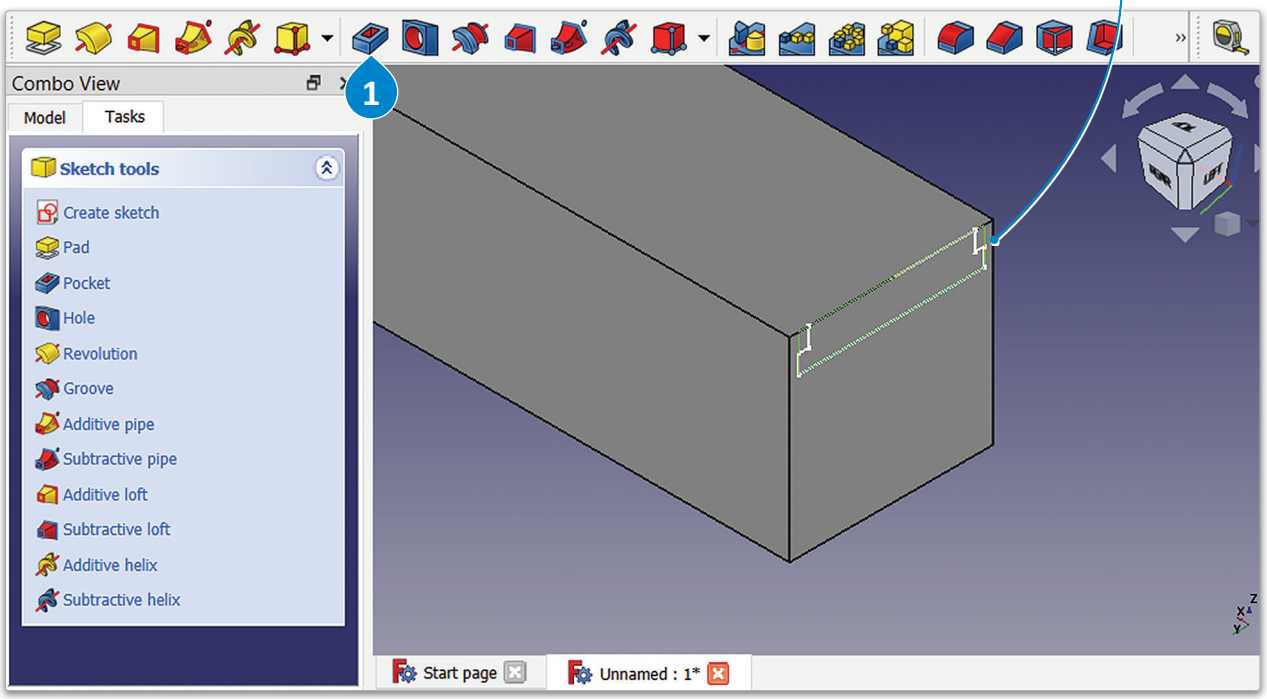
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

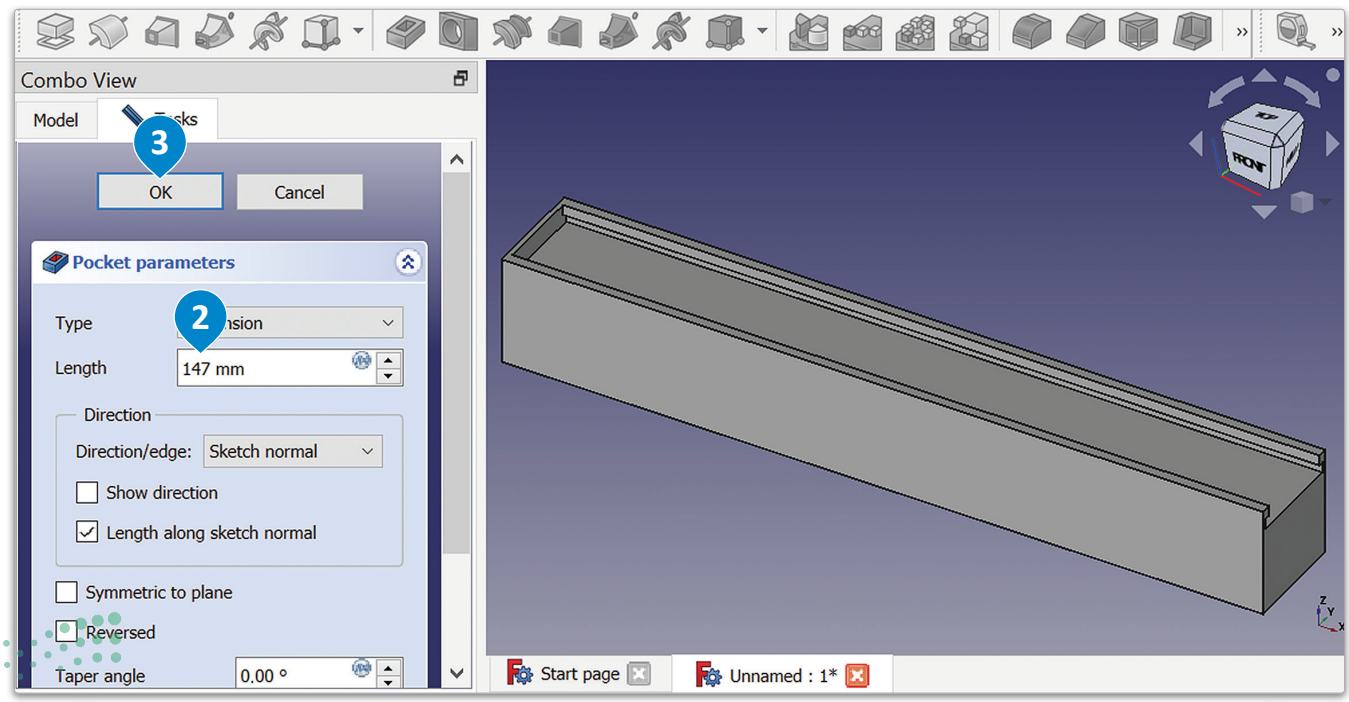
لإنشاء تجويف:

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Pocket (تجويف). 1

> من نافذة Pocket parameters (مُعامِلات التجويف)، غيِّر Length (الطول) إلى 147 mm (147 مليمتر)، 2 ثم اضغط على OK (موافق). 3

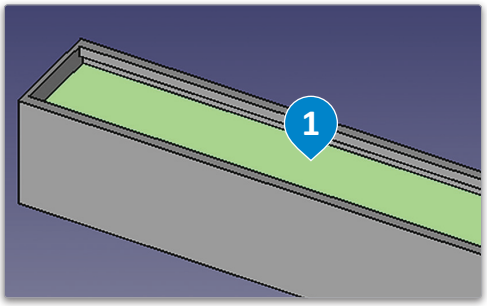
الشكل الذي تم إنشاؤه على وجه Pillbox–Body (هيكل صندوق أقراص الدواء).

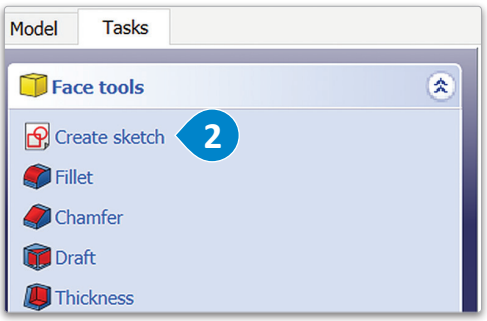




شكل 3.48: إنشاء التجويف

لإنشاء الصناديق السبعة لأقراص الدواء، ستحتاج إلى استخدام أداة **المستطيل** (Rectangle)، والضغط على الوجه الطويل والمجوف **لهيكل صندوق أقراص الدواء** (Pillbox-Body) الذي قَصصته سابقًا، وستحتاج إلى التأكد من وجود مسافة فاصلة تبلغ 1 مليمتر بين كل صندوقين.





لإنشاء سبعة مربعات:

> اضغط على Pillbox-body (هيكل صندوق أقراص الدواء) لاختيار السطح العلوي. 1

> من Face tools (أدوات الوجه)، اختر أداة Create sketch (إنشاء رسم تخطيطي). 2

> اختر أداة Create rectangles (إنشاء مستطيلات). 3

> اضغط على الرسم التخطيطي لتعيين الزاوية الأولى من المربع. 4

> حرِّك المؤشر لتعيين الزاوية المقابلة للمربع واضغط مرة أخرى لإنشاء المربع. 5

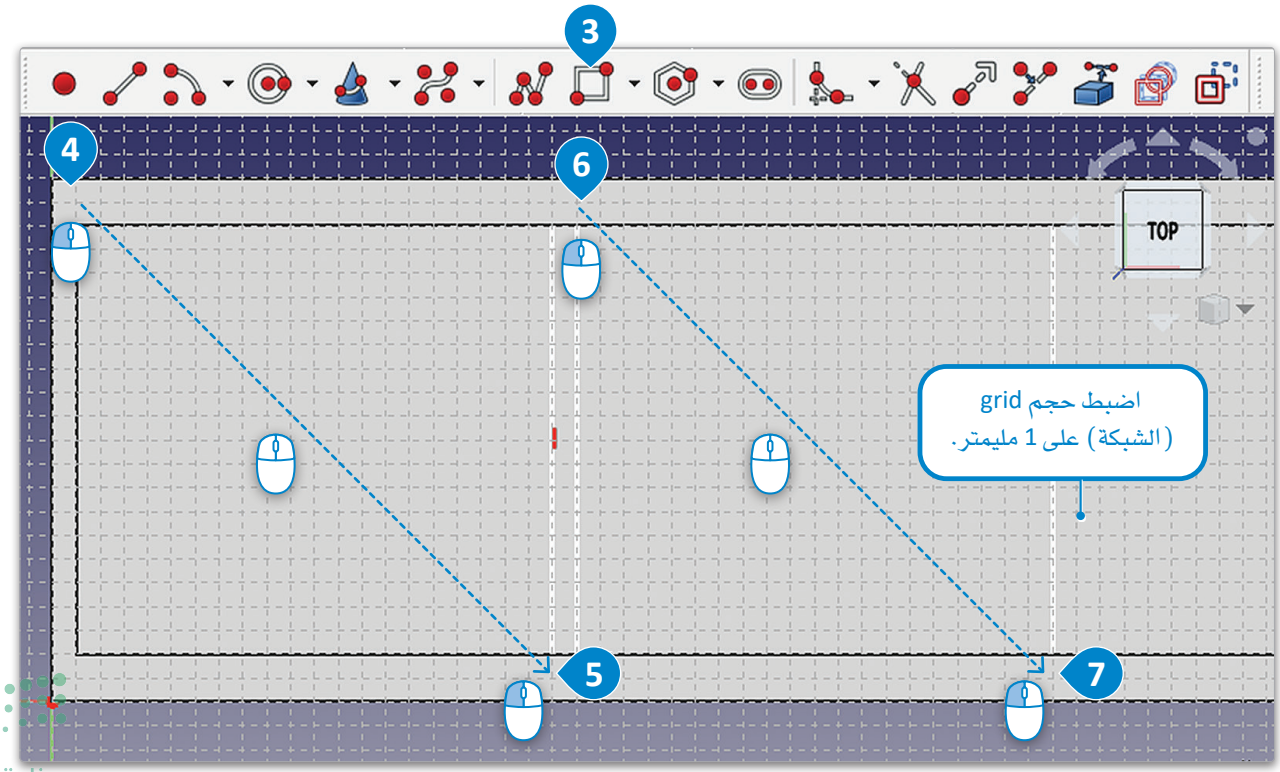
> اضغط على الرسم التخطيطي مرة أخرى لتعيين الزاوية الأولى من المربع الثاني. 6

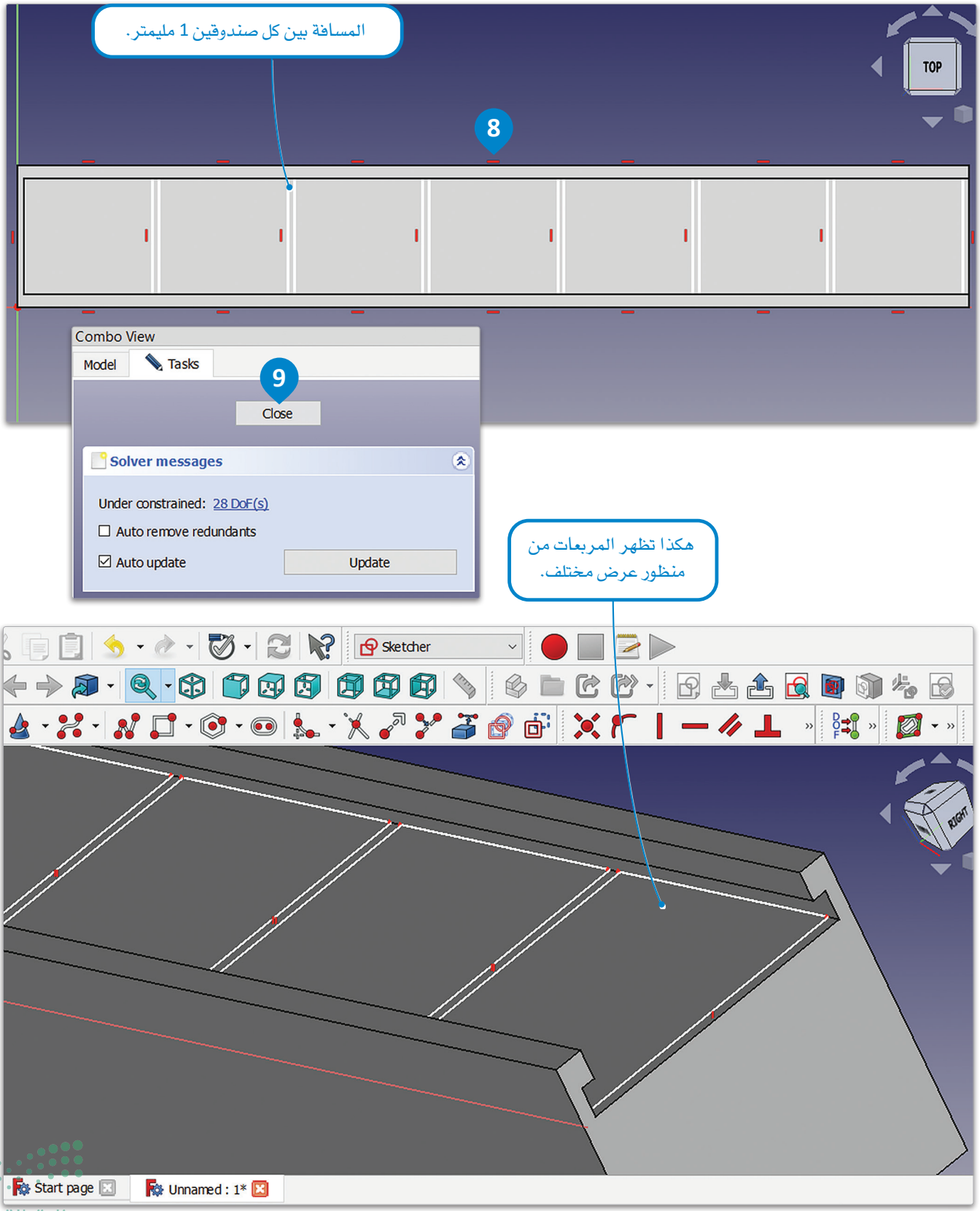
> حرِّك المؤشر لتعيين الزاوية المقابلة للمربع واضغط مرة أخرى لإنشاء المربع. 7

> استمر بالعمل حتى يتكون لديك سبعة مربعات. 8

> من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Close (إغلاق). 9

عندما ترسم المربع بالأبعاد 20×20، ستلاحظ أنه لا يمكنك رؤية الشكل الذي أنشأته من نقطة البدء ولمسافة 1 مليمتر، وذلك لوقوعه تحت التجويف. ينطبق الأمر ذاته على آخر 1 مليمتر من المربع.





شكل 3.49: إنشاء سبعة مربعات

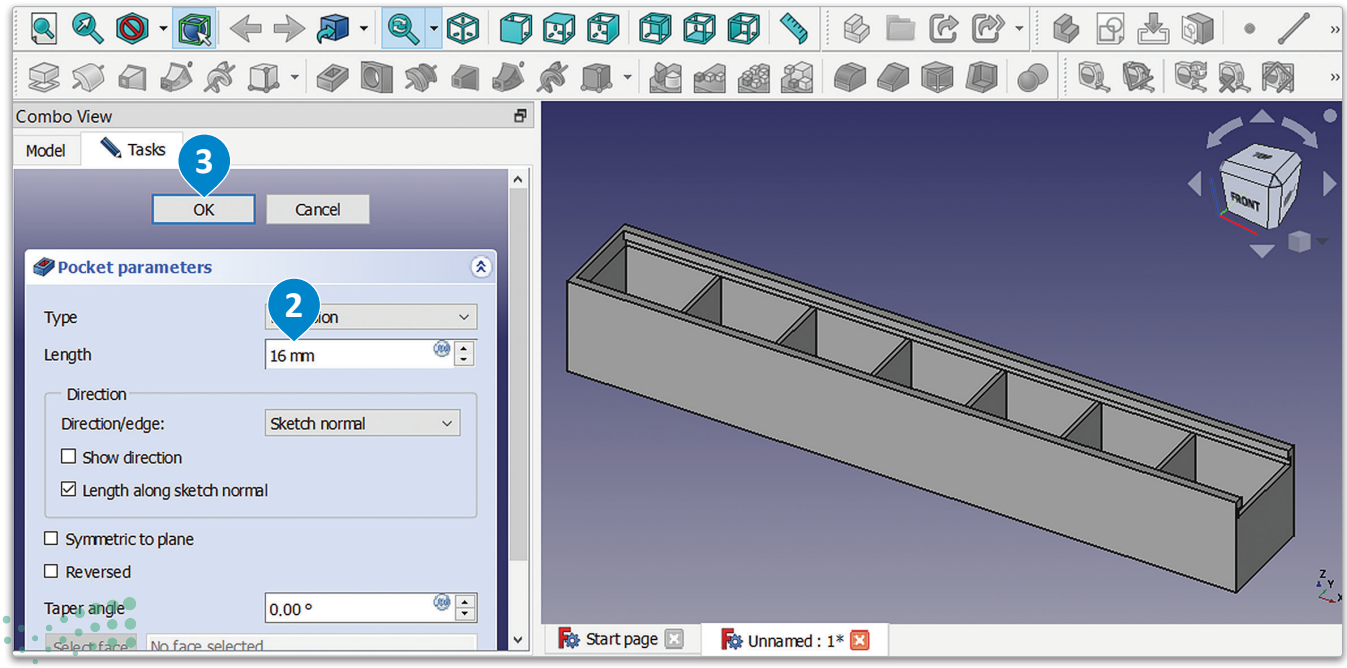
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

استخدم الآن أداة **تجويف** (Pocket) لإنشاء الصناديق السبعة.

لإنشاء تجويف:

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Pocket (تجويف). 1

> من نافذة Pocket parameters (مُعامِلات التجويف)، غيِّر Length (الطول) إلى 16 mm (16 مليمتر)، 2 ثم اضغط على OK (موافق). 3



شكل 3.50: إنشاء التجويف

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

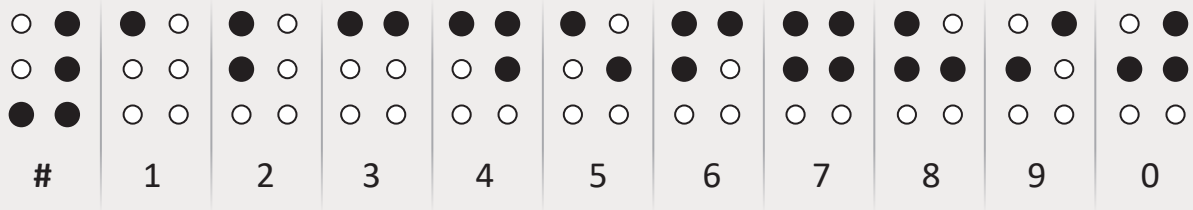
نظام برايل Braille System

نظام برايل هو نظام للكتابة اللمسية يستخدمه المكفوفون وضعاف البصر للقراءة، حيث يتم استخدام نقاط بارزة لتمثيل الحروف والأرقام وعلامات الترقيم. ستستخدِم نظام برايل لتسمية أيام الأسبوع على صندوق أقراص الدواء، وستنشئ نقاط برايل باستخدام أداة **الدائرة** (Circle)، ثم ستستخدِم أداة **البطانة** (Pad) لبثقها، وسيتم وضع نقاط برايل على أحد الوجوه الطويلة **لهيكل صندوق أقراص الدواء** (Pillbox-Body) وسط كل حاوية، بحيث تمثِّل النقاط نمطًا محدَّدًا لكل يوم من أيام الأسبوع. على سبيل المثال، أول يوم في الأسبوع يُمثَّل بالرقم 1، واليوم الثاني من الأسبوع بالرقم 2، وهكذا.

الكتابة اللمسية (Tactile Writing):

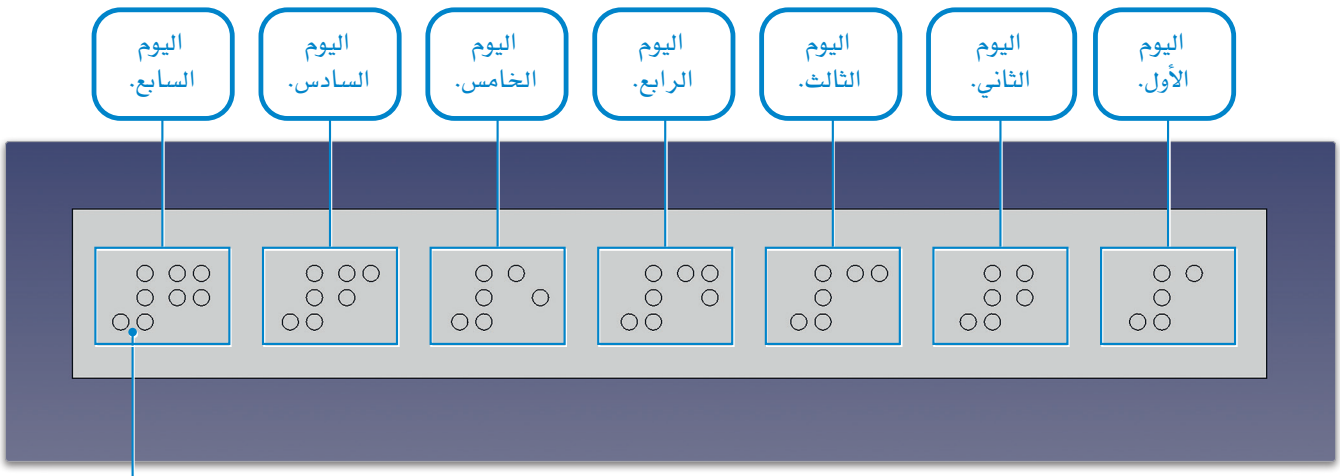
الكتابة اللمسية هي طريقة تواصل كتابية يُمكن قراءتها عن طريق اللمس من قِبل الأشخاص ضعاف البصر أو المكفوفين في العادة.

ألقِ نظرة على كيفية تمثيل الأرقام في نظام برايل:



يُمكن استخدام ترميز برايل لتمثيل الأبجدية والأرقام وعلامات الترقيم والرموز الأخرى.

أيام الأسبوع



يتم استخدام النقاط التي تشكِّل علامة الترقيم (#) في نظام برايل للدلالة على أن النقاط التالية تمثِّل أرقامًا وليس حروفًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

لإنشاء النقاط في نظام برايل، ستضغط على جانب **هيكل صندوق أقراص الدواء** (Pillbox-Body)، ثم ستنشئ مستطيلًا باستخدام أداة **إنشاء مستطيلات** (Create rectangles)، وستستخدمه لتوسيط نقاط نظام برايل.

لإنشاء رسم تخطيطي على سطح الصندوق:

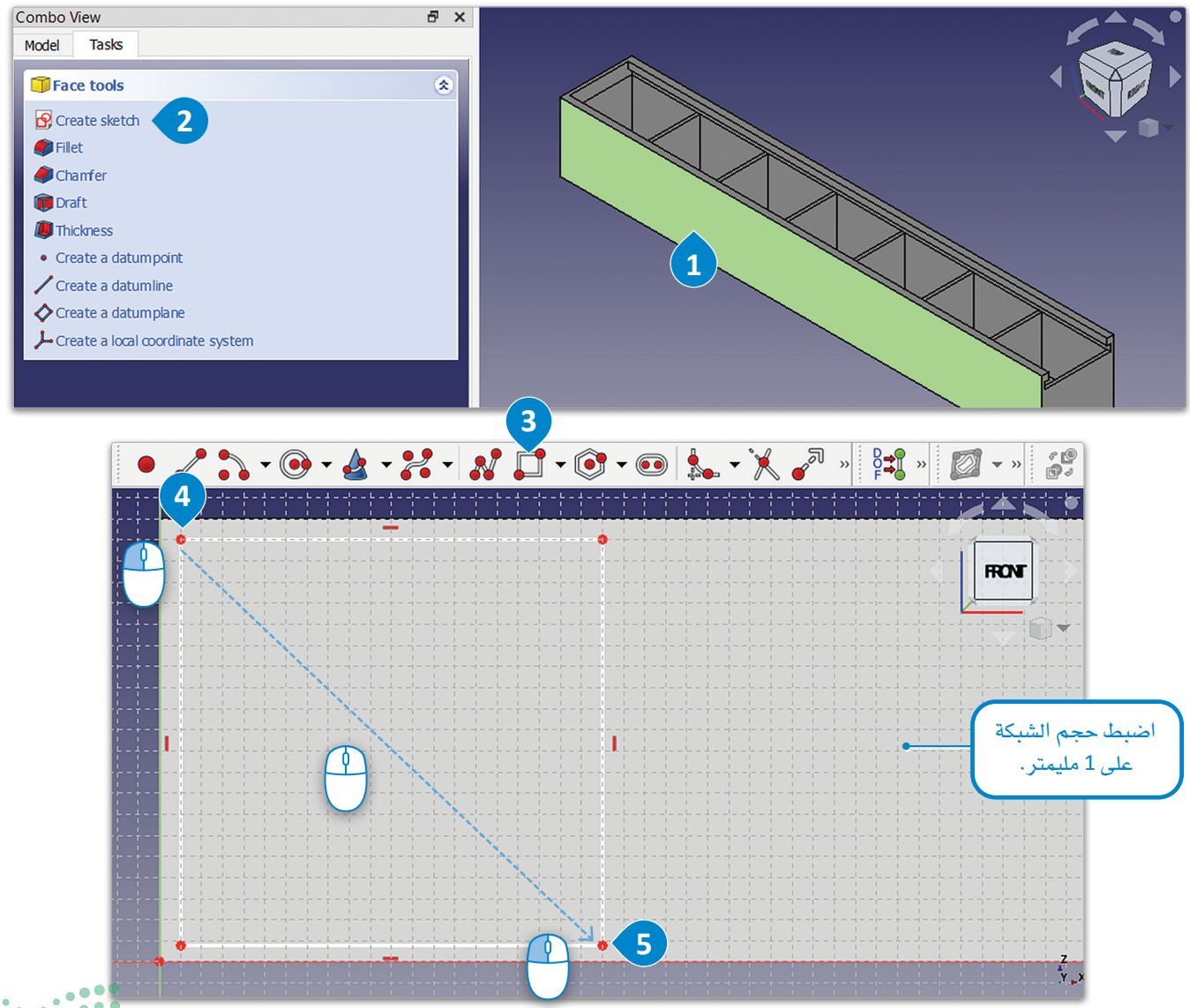
> اضغط على Pillbox-Body (هيكل صندوق أقراص الدواء) لتحديد سطحه. 1

> من Face tools (أدوات الوجه)، اختر أداة Create sketch (إنشاء رسم تخطيطي). 2

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create rectangles (إنشاء مستطيلات). 3

> اضغط على الرسم التخطيطي لتعيين الزاوية الأولى من الشكل. 4

> حرِّك المؤشر لتعيين الزاوية المقابلة للشكل، واضغط مرة أخرى لإنشاء الشكل. 5



شكل 3.51: إنشاء رسم تخطيطي على سطح الصندوق

ستنشئ الرقم الأول على هيكل **صندوق أقراص الدواء** (Pillbox-Body) باستخدام نظام برايل، وبعد إنشاء الدائرة الأولى ستستخدِم أداة **النَّسخ** (Copy) لإنشاء الدوائر المتبقية.

لنسخ رسم تخطيطي:

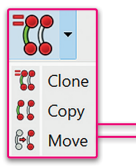
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create circle (إنشاء دائرة)، 1 ثم اضغط مرة واحدة لتحديد مركز الدائرة ومرة ثانية لإنشاء دائرة نصف قطرها 1 مليمتر. 2
- اضغط على الرسم التخطيطي، 3 ثم استمر بالضغط على زرّ الفأرة، وحرِّك المؤشر على الدائرة، ثم حرِّر زرّ الفأرة لتحديده. 4
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Copy (النَّسخ)، 5 ثم اضغط على الرسم التخطيطي لإنشاء دائرة جديدة. 6
- كرِّر الأمر حتى الانتهاء من رسم رمز برايل كما في الصورة. 7

الاستنساخ (Clone):
تنشئ أداة **الاستنساخ** (Clone) نسخة من مجسّم أو مجموعة مجسّمات، لكنها تبقى مرتبطة بالمجسّم الأصلي.

النَّسخ (Copy):
تُنشئ أداة **النَّسخ** (Copy) نسخة جديدة ومستقلة عن المجسّم أو مجموعة المجسّمات.

النقل (Move):
تتيح لك أداة **النقل** (Move) تحديد مجسّم واحد أو أكثر ونقلها إلى موضع جديد في مساحة العمل.

إذا لم تقم بتحديد أي شكل، فلن تستطيع استخدام أداة النَّسخ (Copy).





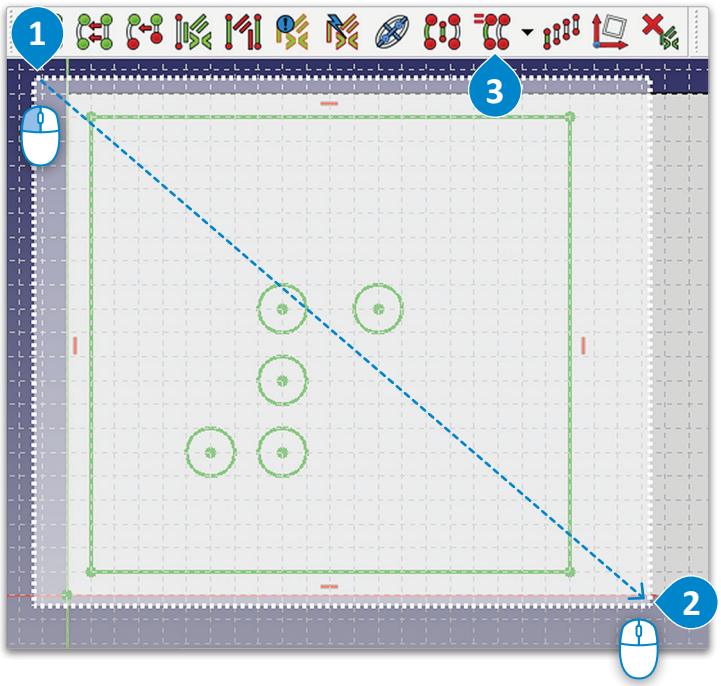
شكل 3.52: نسخ رسم تخطيطي

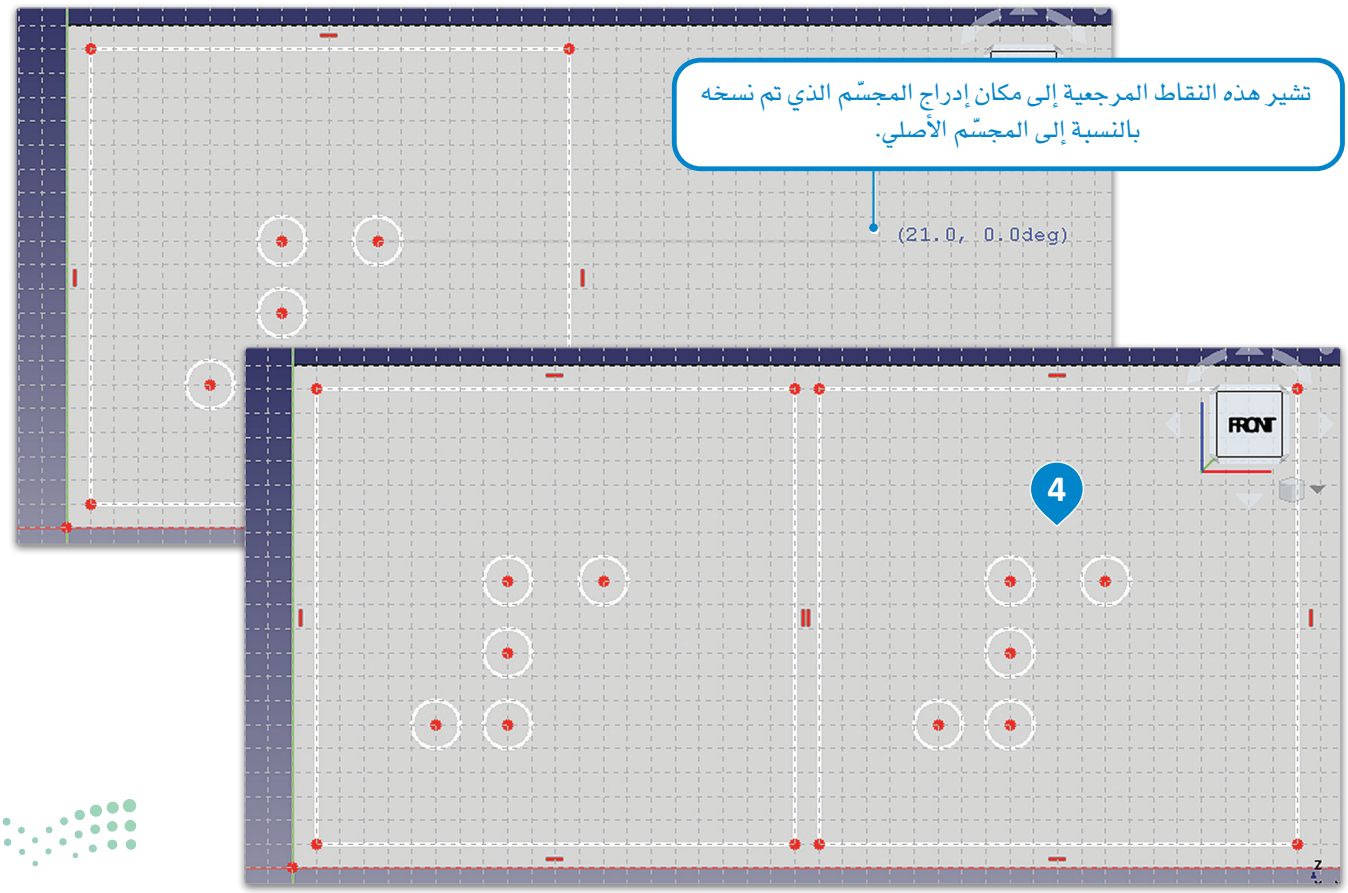
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

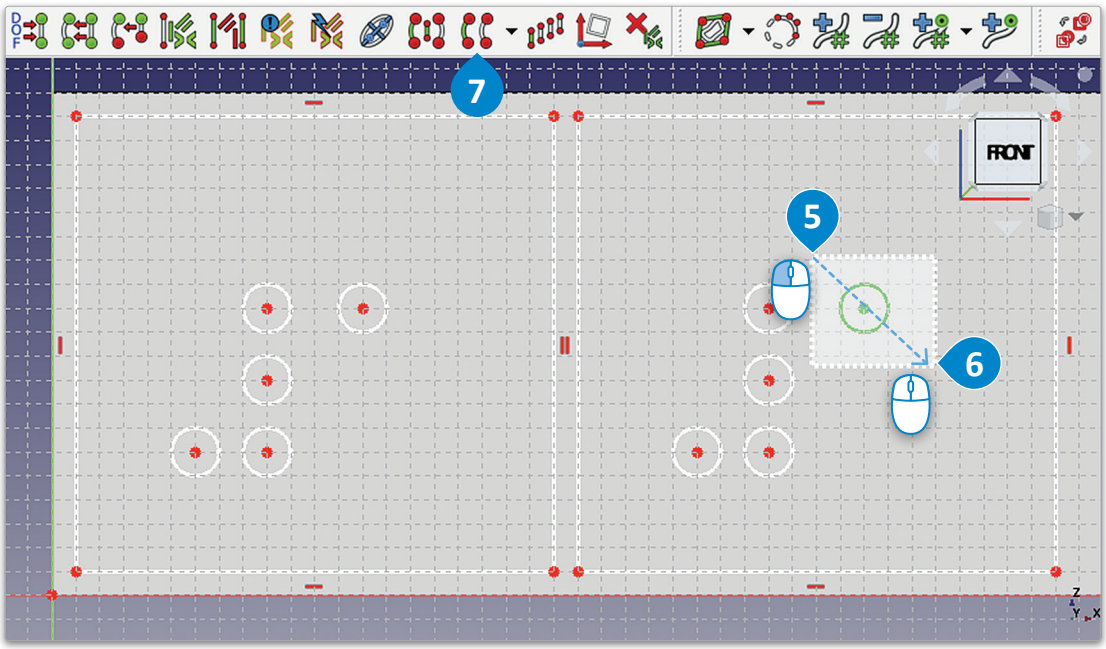
بعد ذلك، ستنسخ جميع الرسومات التخطيطية التي أنشأتها وتقوم بمضاعفتها على بعد 21 مليمتر لليمين من أجل إنشاء الرقم الثاني على **هيكل صندوق أقراص الدواء** (Pillbox-Body)، ثم ستحرِّر الرسم التخطيطي لإنشاء الرقم 2.

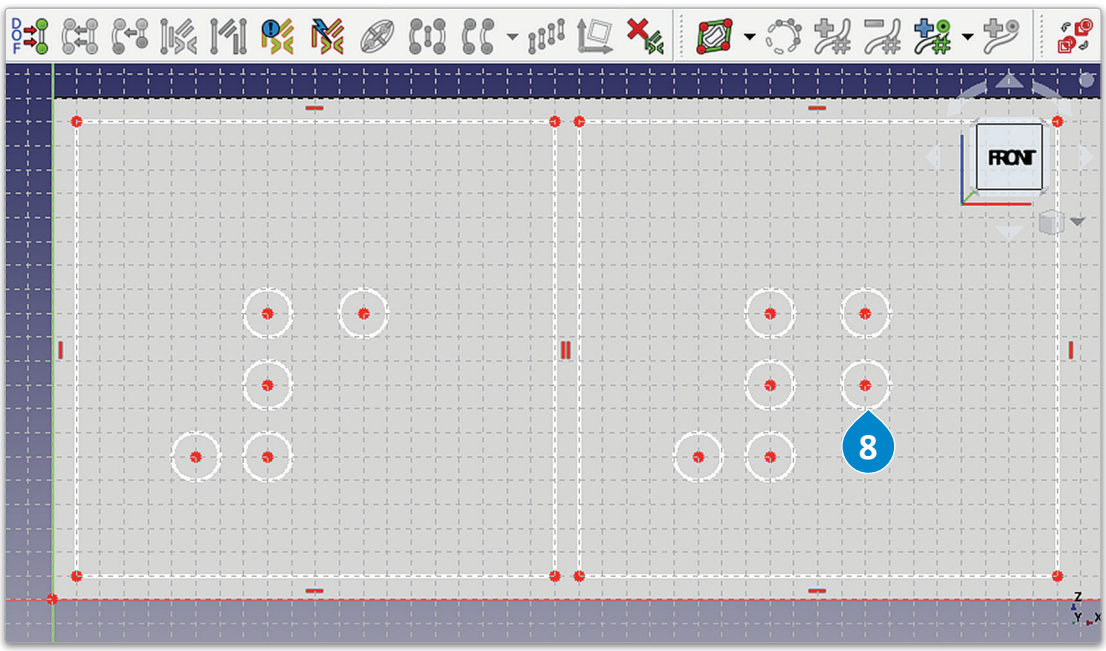
لنسخ الرسومات التخطيطية:

- اضغط على الرسم التخطيطي، 1 واستمر بالضغط على زرّ الفأرة، وحرِّك المؤشر على الرسم التخطيطي، ثم حرِّر زرّ الفأرة لتحديده. 2
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Copy (النَّسخ)، 3 ثم اضغط على الرسم التخطيطي لإنشاء دائرة جديدة على مسافة 21 مليمتر إلى اليمين. 4
- اضغط على الرسم التخطيطي، 5 ثم استمر بالضغط على زرّ الفأرة، وحرِّك المؤشر على الدائرة، ثم حرِّر زرّ الفأرة لتحديده. 6
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Copy (النَّسخ)، 7 ثم اضغط على الرسم التخطيطي لإنشاء دائرة جديدة. 8

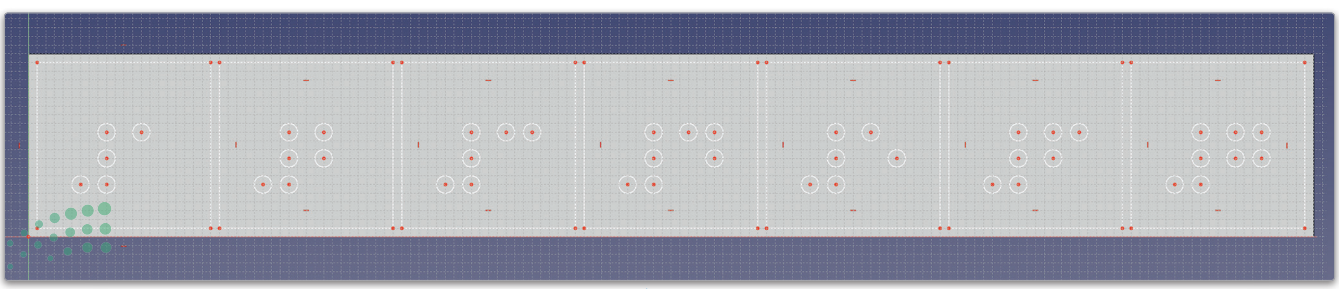






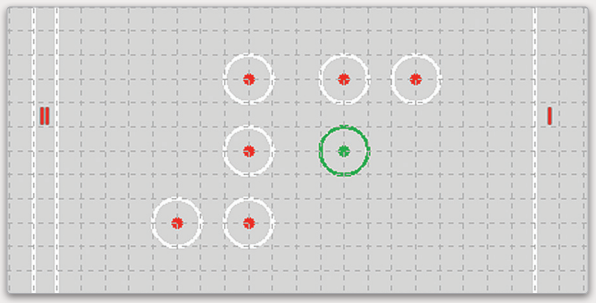


استخدِم أداة **النَّسخ** (Copy) لإنشاء الأرقام الخمسة المتبقية لإكمال مجموعة الرموز الرقمية لأيام الأسبوع السبعة.



شكل 3.53: أيام الأسبوع ممثَّلة بنظام برايل

لحذف رسم تخطيطي، يمكنك تحديده ثم الضغط على مفتاح حذف (Delete) من لوحة المفاتيح. على سبيل المثال، إذا قمت بنسخ ومضاعفة الرسوم التخطيطية للرقم 2 وأردت إنشاء الرقم 3، يمكنك حذف الدائرة الخضراء الموضَّحة في الشكل 3.54.

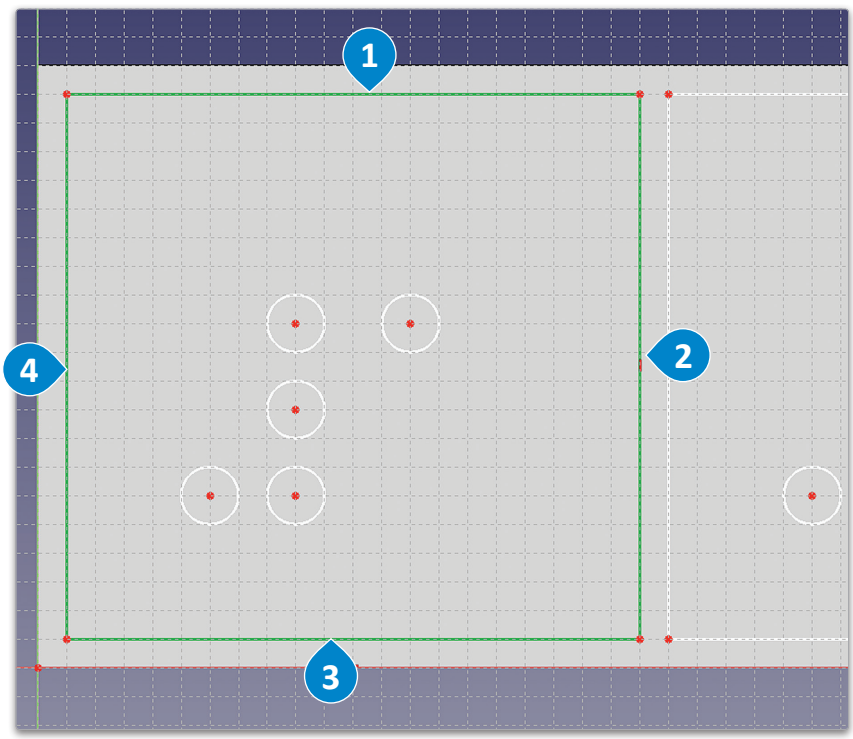


شكل 3.54: حذف الرسم التخطيطي

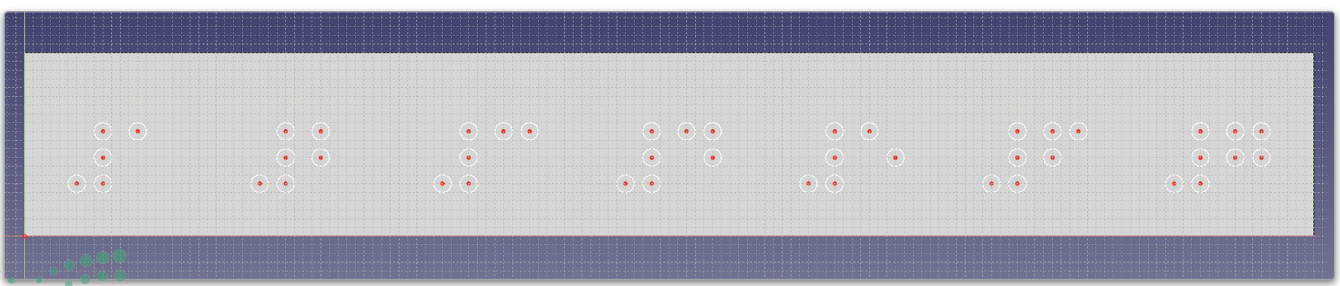
بعد الانتهاء من إنشاء الأرقام، حدِّد المستطيلات التي استخدمتها لإضافة النقاط وحذفها.

لنسخ رسم تخطيطي:

- اضغط على مفتاح **Ctrl** ثم حدِّد الجانب العلوي، 1 والجانب الأيمن، 2 والجانب السفلي الأيمن، 3 والجانب الأيسر. 4
- اضغط على مفتاح **Delete** في لوحة المفاتيح.



يجب أن يبدو الرسم التخطيطي في صورته النهائية كما يلي:



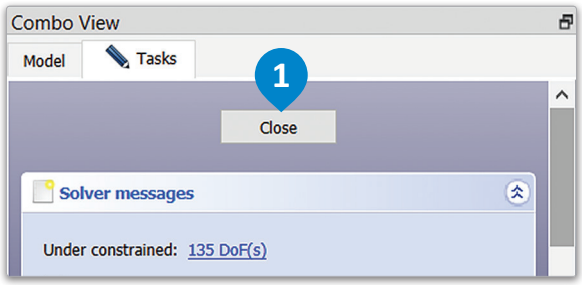
شكل 3.55: الرسم التخطيطي النهائي

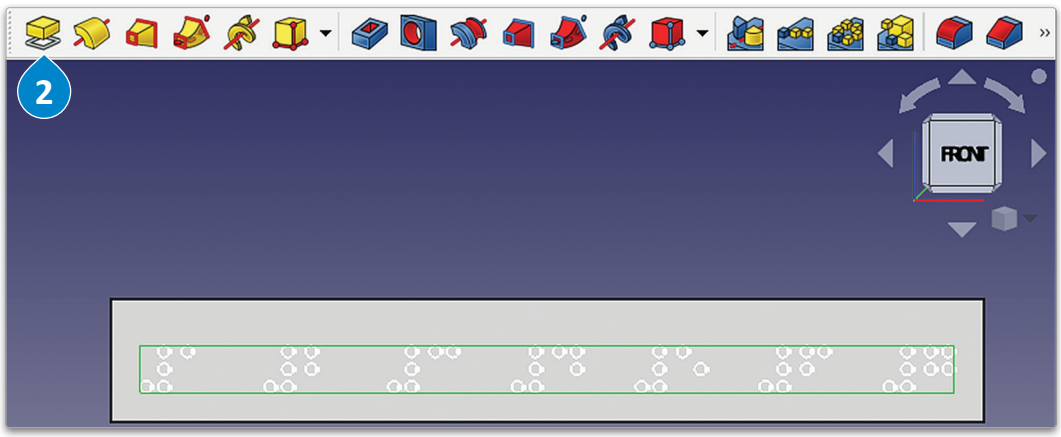
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

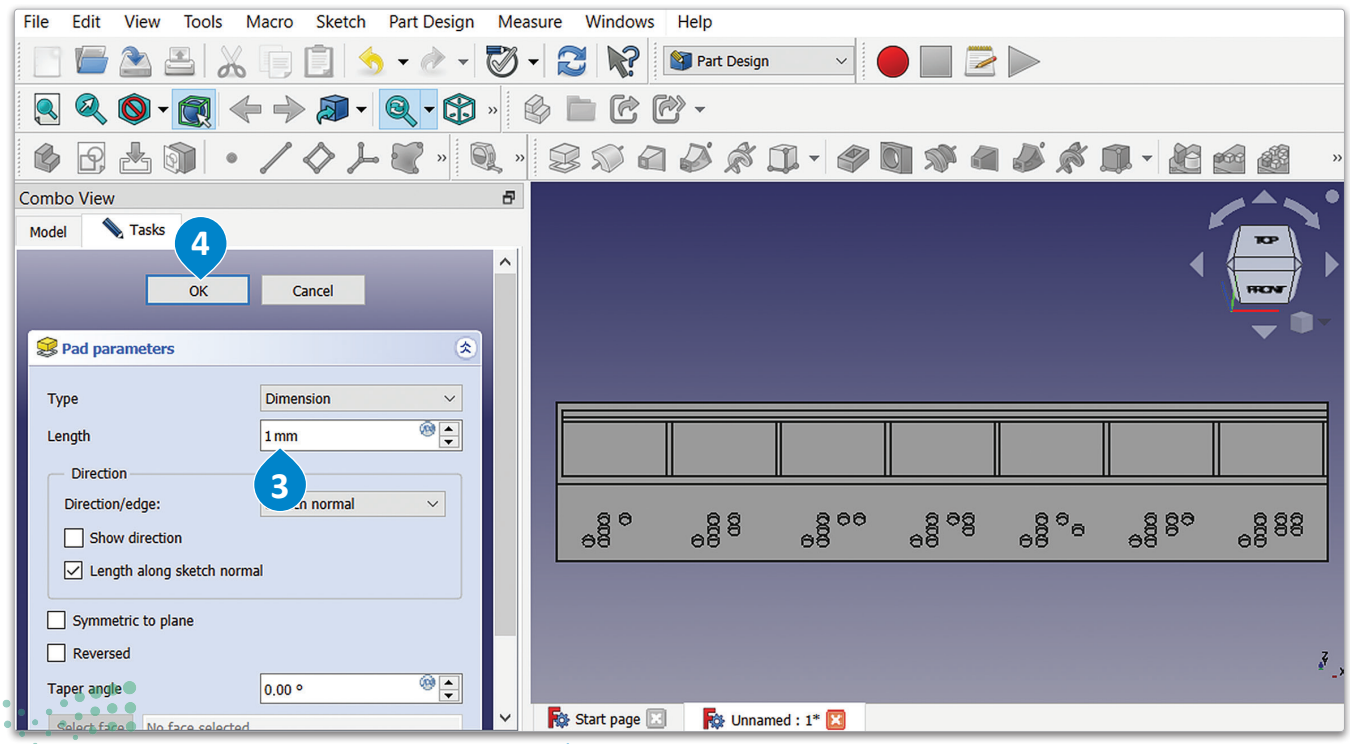
يستخدِم نظام برايل نقاطًا مرتفعة أو نتوءات يُمكن الإحساس بها بأطراف الأصابع لتمثيل الحروف والرموز الأخرى، ولإنشاء إحساس مماثل، ستستخدِم أداة **البطانة** (Pad) لرفع الدوائر للأعلى بمقدار 1 مليمتر.

لإنشاء شكل ثلاثي الأبعاد:

- من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Close (إغلاق). 1
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Pad (البطانة). 2
- من علامة تبويب Tasks (المهام)، غيِّر Length (الطول) إلى 1 mm (1 مليمتر)، 3 ثم اضغط على OK (موافق). 4

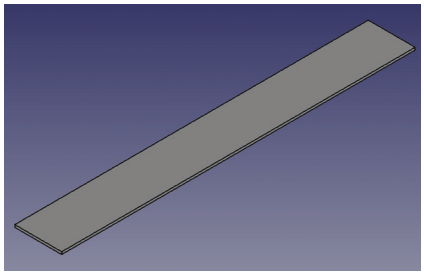






شكل 3.56: إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد

تصميم غطاء صندوق أقراص الدواء
Designing the Pillbox-Cap



الآن وبعد أن انتهيت من تصميم هيكل صندوق أقراص الدواء، ستنشئ غطاءً لإغلاق الصندوق والحفاظ على الدواء.

يُعدُّ غطاء صندوق أقراص الدواء مكوِّنًا مهمًّا، حيث يمنع تلوث الدواء، وسقوطه، ويضمن بقاءه آمنًا ومحميًا.

من الممارسات الجيدة في النمذجة ثلاثية الأبعاد أن يتم إخفاء الهياكل الموجودة في التصميم عند إنشاء هيكل آخر، وذلك لمعاينة الهيكل الجديد والتعامل معه بشكل أكثر كفاءة. يؤدي عرض الهياكل المتعددة معًا إلى تداخلها أو تشابكها، مما يُصعب من عملية معاينة الهيكل الجديد والتعامل معه. ستقوم بإخفاء **هيكل صندوق أقراص الدواء** (Pillbox-Body) لكي تتمكن من التعامل مع **غطاء صندوق أقراص الدواء** (Pillbox-Cap) بشكلٍ أفضل.

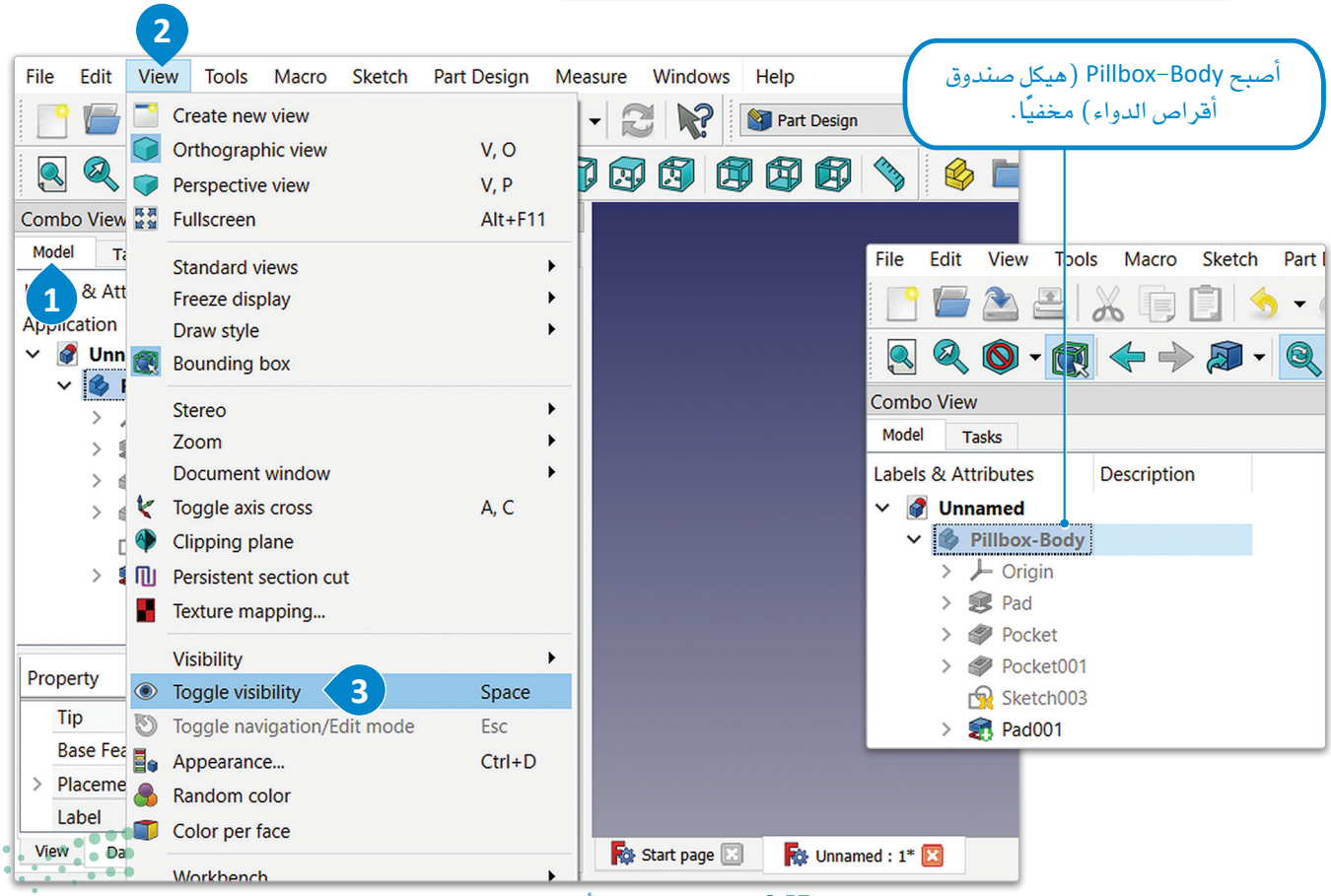
لإخفاء هيكل صندوق أقراص الدواء:

> من Combo View (عرض المجموعة)، اضغط على علامة تبويب Model (نموذج). 1

> من Menu bar (شريط القوائم)، اضغط على View (عرض)، 2 ثم اختر Toggle visibility (تبديل قابلية العرض). 3

يجب تحديد المجسّم بأكمله لكي يتم تفعيل خيار تبديل قابلية العرض (Toggle visibility).

أصبح Pillbox-Body (هيكل صندوق أقراص الدواء) مخفيًا.

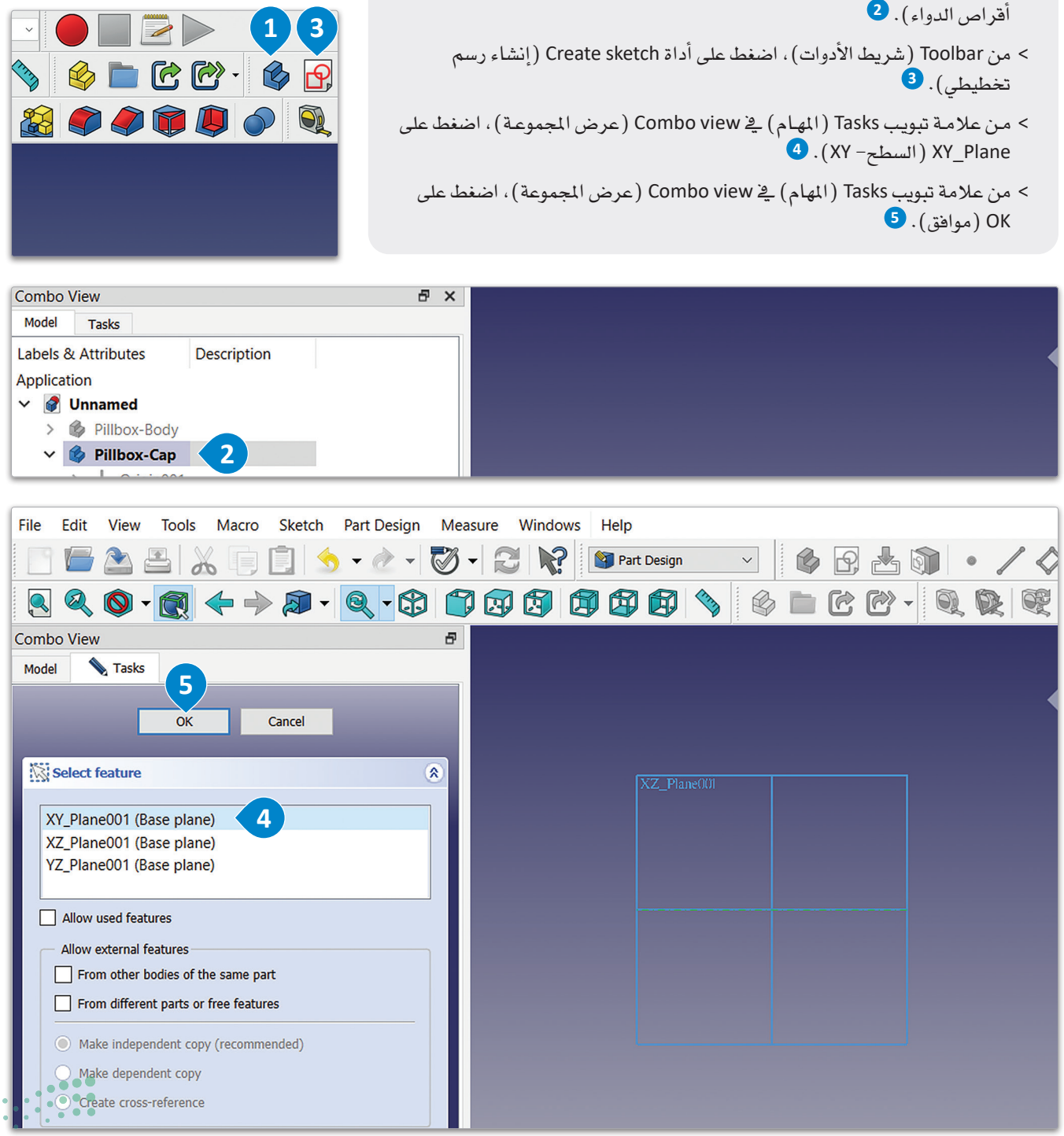


شكل 3.57: إخفاء هيكل صندوق أقراص الدواء

ستنشئ الآن هيكلًا جديدًا للغطاء، وستختار سطح عمل الرسم الهندسي XY.

لإنشاء غطاء صندوق أقراص الدواء:

- من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create body (إنشاء هيكل). 1
- من علامة تبويب Model (النموذج)، غيِّر التسمية إلى Pillbox-Cap (غطاء صندوق أقراص الدواء). 2
- من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create sketch (إنشاء رسم تخطيطي). 3
- من علامة تبويب Tasks (المهام) في Combo view (عرض المجموعة)، اضغط على XY_Plane (السطح- XY). 4
- من علامة تبويب Tasks (المهام) في Combo view (عرض المجموعة)، اضغط على OK (موافق). 5

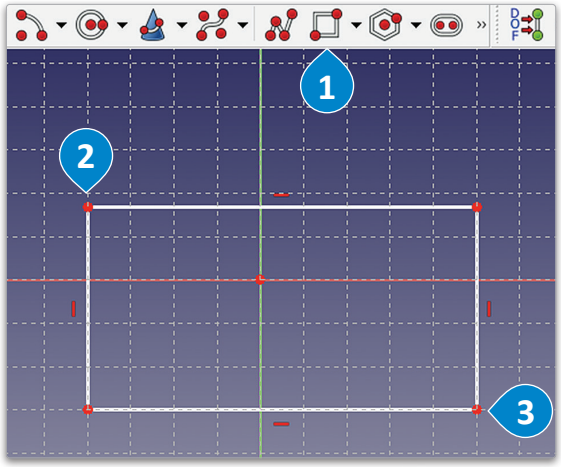


شكل 3.58: إنشاء غطاء صندوق أقراص الدواء

استخدِم أداة **إنشاء مستطيلات** (Create rectangles) لإنشاء مستطيل بطول 147 مليمتر وعرض 19.5 مليمتر.

لإنشاء مستطيل:

- من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create rectangles (إنشاء مستطيلات). 1
- اضغط على الرسم التخطيطي لتعيين الزاوية الأولى للمستطيل. 2
- حرِّك المؤشر لتعيين الزاوية المقابلة للمستطيل، واضغط مرة أخرى لإنشاء المستطيل. 3

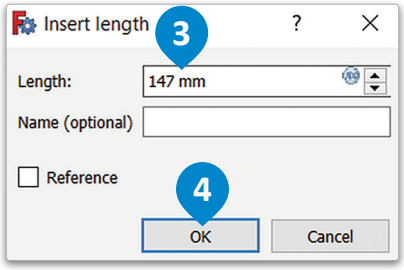


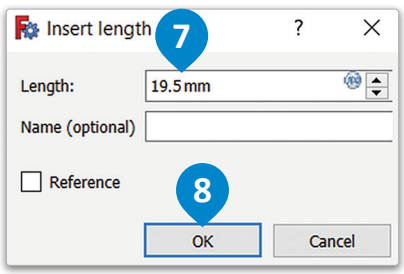
شكل 3.59: إنشاء مستطيل

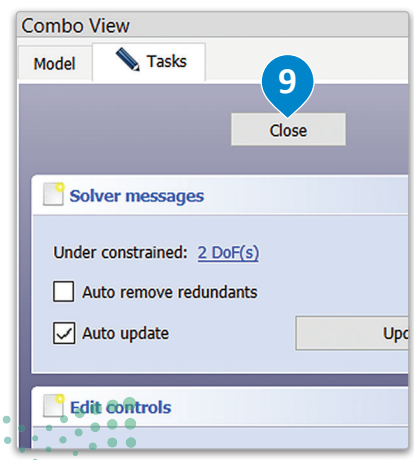
استخدِم القيود لضبط طول المستطيل إلى 147 مليمتر، وعرضه إلى 19.5 مليمتر.

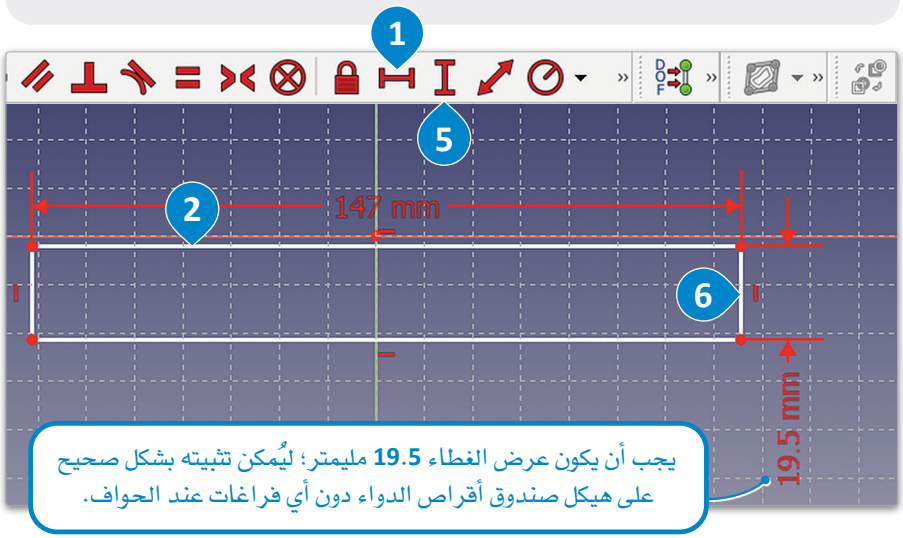
لتقييد المسافة الأفقية والرأسية:

- من شريط أدوات Constraints (القيود)، اختر أداة Constrain horizontal distance (تقييد المسافة الأفقية). 1
- اضغط على الحافة العلوية للمستطيل. 2
- اضبط Length (الطول) إلى 147 mm (147 مليمتر)، 3 ثم اضغط على OK (موافق). 4
- من شريط أدوات Constraints (القيود)، اختر أداة Constrain vertical distance (تقييد المسافة الرأسية). 5
- اضغط على الحافة اليمنى للمستطيل. 6
- اضبط Length (الطول) إلى 19.5 mm (19.5 مليمتر)، 7 ثم اضغط على OK (موافق). 8
- من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Close (إغلاق). 9









يجب أن يكون عرض الغطاء **19.5** مليمتر؛ ليُمكن تثبيته بشكل صحيح على هيكل صندوق أقراص الدواء دون أي فراغات عند الحواف.

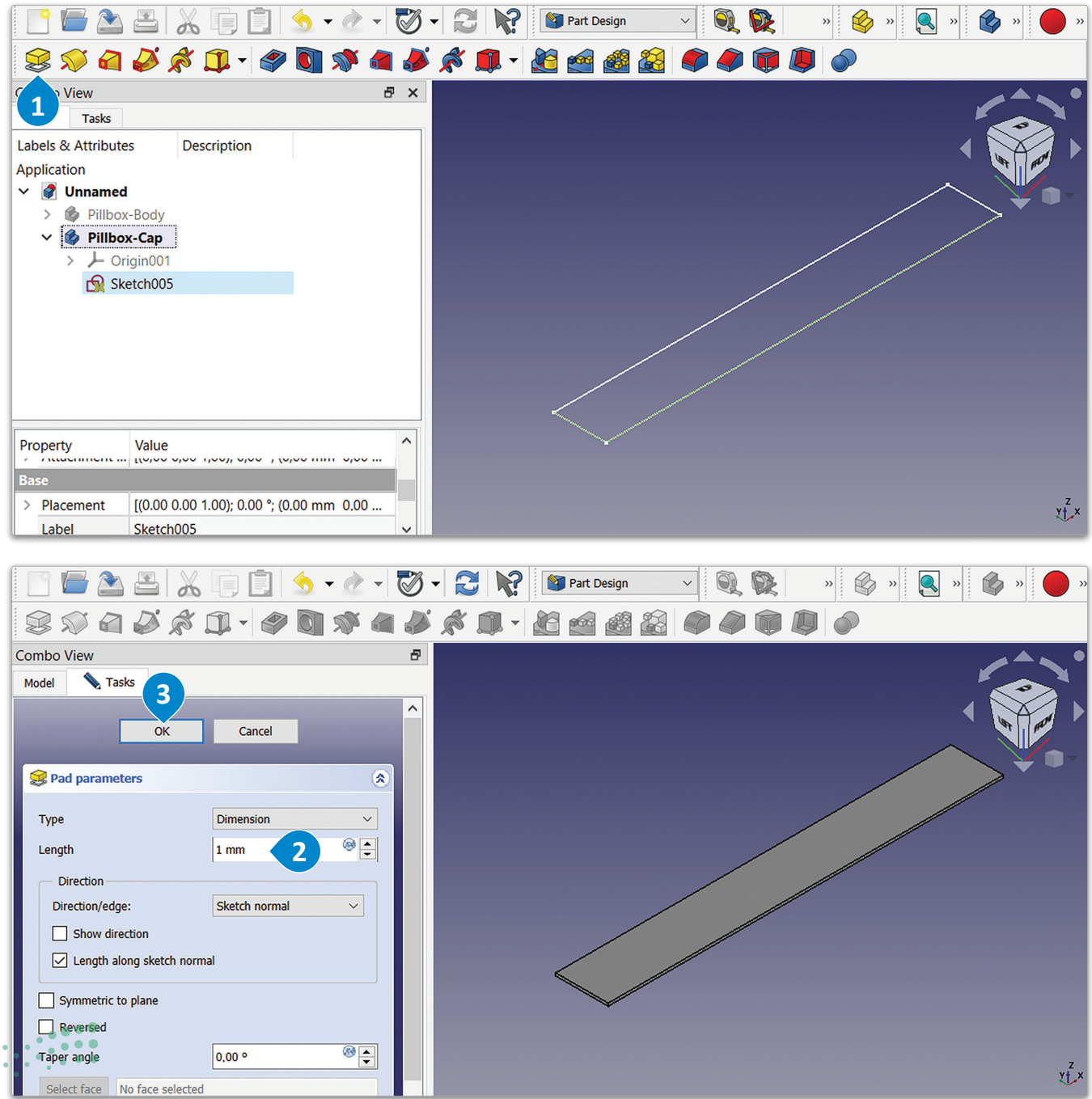
شكل 3.60: تقييد المسافة الأفقية والرأسية

في الختام، استخدِم أداة **البطانة** (Pad) لتحويل المستطيل إلى شكل ثلاثي الأبعاد.

لإنشاء شكل ثلاثي الأبعاد:

> من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Pad (البطانة). 1

> من علامة تبويب Tasks (المهام)، غيِّر Length (الطول) إلى 1 mm (1 مليمتر)، 2 ثم اضغط على OK (موافق). 3



شكل 3.61: إنشاء غطاء صندوق أقراص الدواء

بعد أن أكملت مرحلة تصميم صندوق أقراص الدواء، حان الآن وقت إعداد الملف للطباعة.

ستجهِّز ملف "OBJ" للطباعة، ثم ستستخدِم برنامج **ألتيميكر كيورا** (Ultimaker Cura) لإنشاء ملف "GCODE" اللازم للطباعة ثلاثية الأبعاد لطباعة صندوق أقراص الدواء.

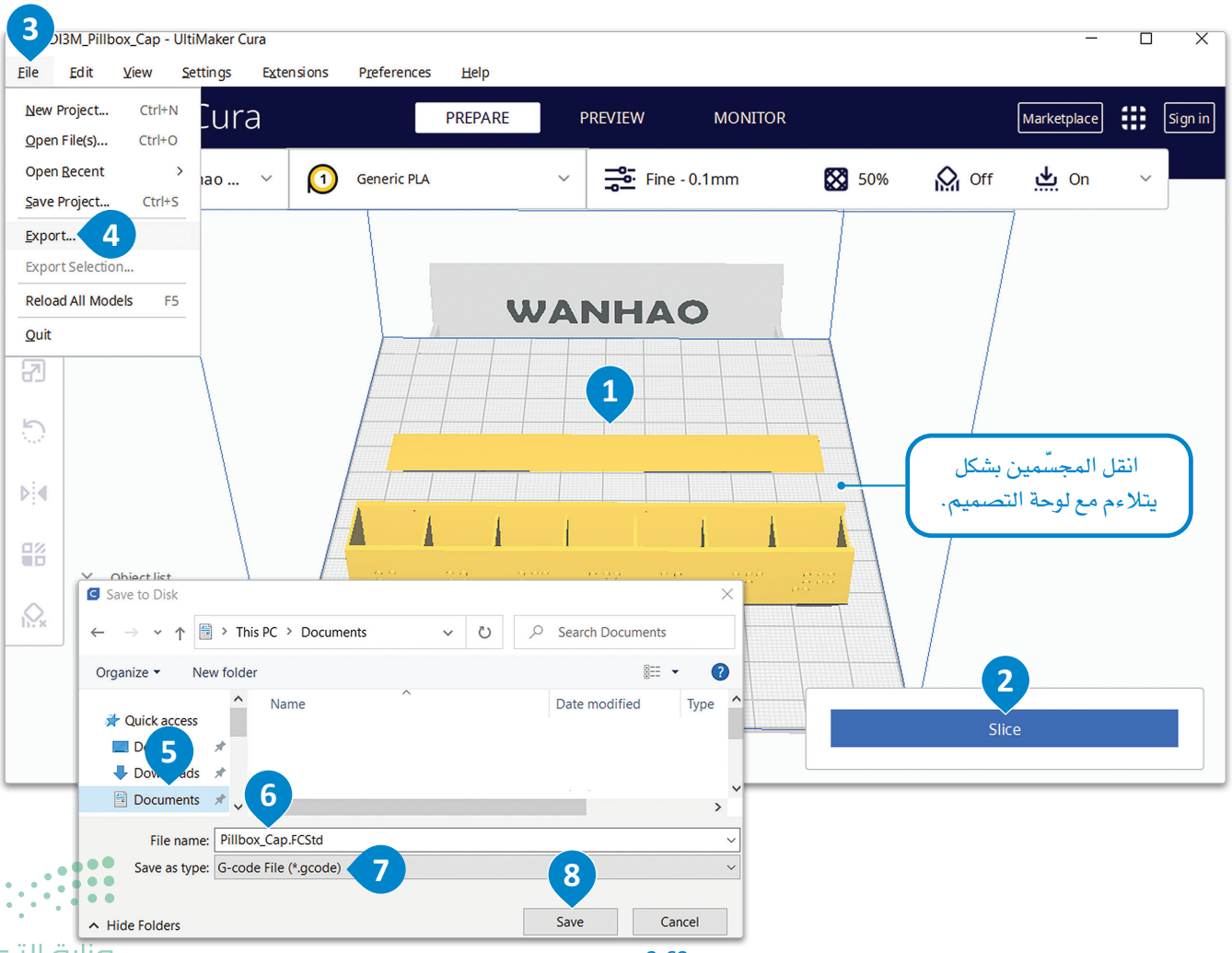
صدِّر الهيكلين كملفات obj بحيث يمكنك تجهيزهما للطباعة ثلاثية الأبعاد.

Pillbox_Body.obj
Pillbox_Cap.obj

يُعدُّ اختيار تنسيق ملف متوافق مع الطابعة ثلاثية الأبعاد والبرنامج المستخدَم أمرًا ضروريًا.

لإنشاء ملف للطباعة:

> في برنامج Ultimaker Cura (ألتيميكر كيورا)، افتح ملفات ".obj". 1
> اضغط على زرّ Slice (تقطيع). 2
> من Menu bar (شريط القائمة)، اضغط على File (ملف)، 3 ثم اضغط على Export (تصدير). 4
> اضغط على مجلد Documents (المستندات). 5
> اكتب اسمًا للملف. 6
> من القائمة المنسدلة Save as type: (حفظ كنوع:)، اختر G-code File (*.gcode)، 7 ثم اضغط على Save (حفظ). 8



شكل 3.62: تصدير النموذجين

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تمرينات

1

حدِّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:	صحيحة	خاطئة
1. يُمكن استخدام أداة خط متصل (Polyline) لإنشاء سلسلة من قطع الخطوط المتصلة التي تشكل معًا شكلًا مغلقًا.	○	○
2. لا يُعدُّ حجم الشبكة مهمًّا لإنشاء تصميمات دقيقة وصحيحة.	○	○
3. تقوم أداة الاستنساخ (Clone) بإنشاء نسخة جديدة مستقلة من مجسّم أو مجموعة مجسّمات.	○	○
4. عند استخدام أداة النَّسخ (Copy) لمضاعفة مجسّم، يتم إنشاء نقاط مرجعية تلقائيًا للإشارة إلى موضع ذلك المجسّم الذي تم نسخه بالنسبة للمجسّم الأصلي.	○	○
5. تتيح لك أداة النقل (Move) في برنامج فري كاد اختيار مجسّم أو أكثر ونقلها إلى موضع جديد في مساحة العمل.	○	○
6. تلعب إمكانية إخفاء الهيكل المعروض أهمية كبيرة عند إنشاء هيكل آخر، حيث تتيح معاينة الهيكل الجديد والتعامل معه بشكل أكثر كفاءة.	○	○
7. عند استخدام أداة تجويف (Pocket) لقص شكل ما، يجب ضبط عمق التجويف ليتناسب مع سماكة المادة المستخدَمة.	○	○
8. عند استخدام أداة خط متصل (Polyline) لإنشاء سلسلة من قطع الخطوط المتصلة التي تشكل شكلًا مغلقًا، لا يُمكن تحرير الشكل أو تعديله بعد إنشائه.	○	○

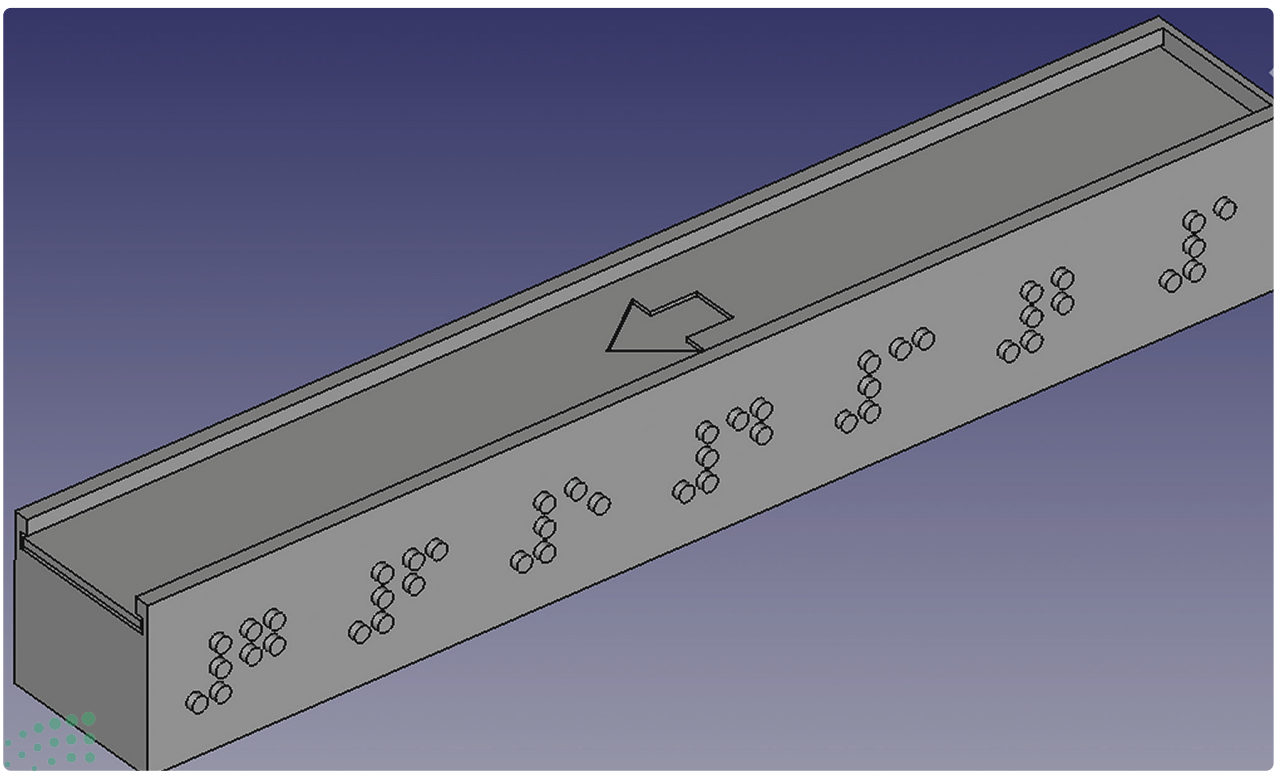
2 وضِّح أهمية اختيار الحجم المناسب لصندوق أقراص الدواء عند تصميمه في الطباعة ثلاثية الأبعاد.

3 ما سبب التوصية باستخدام حجم شبكة أصغر لتطوير مهارات التصميم والاهتمام بالتفاصيل؟ ابحث على الإنترنت لمعرفة كيف يُمكن الاستفادة من هذه المهارات في مجالات أخرى من الهندسة أو أعمال التصميم.

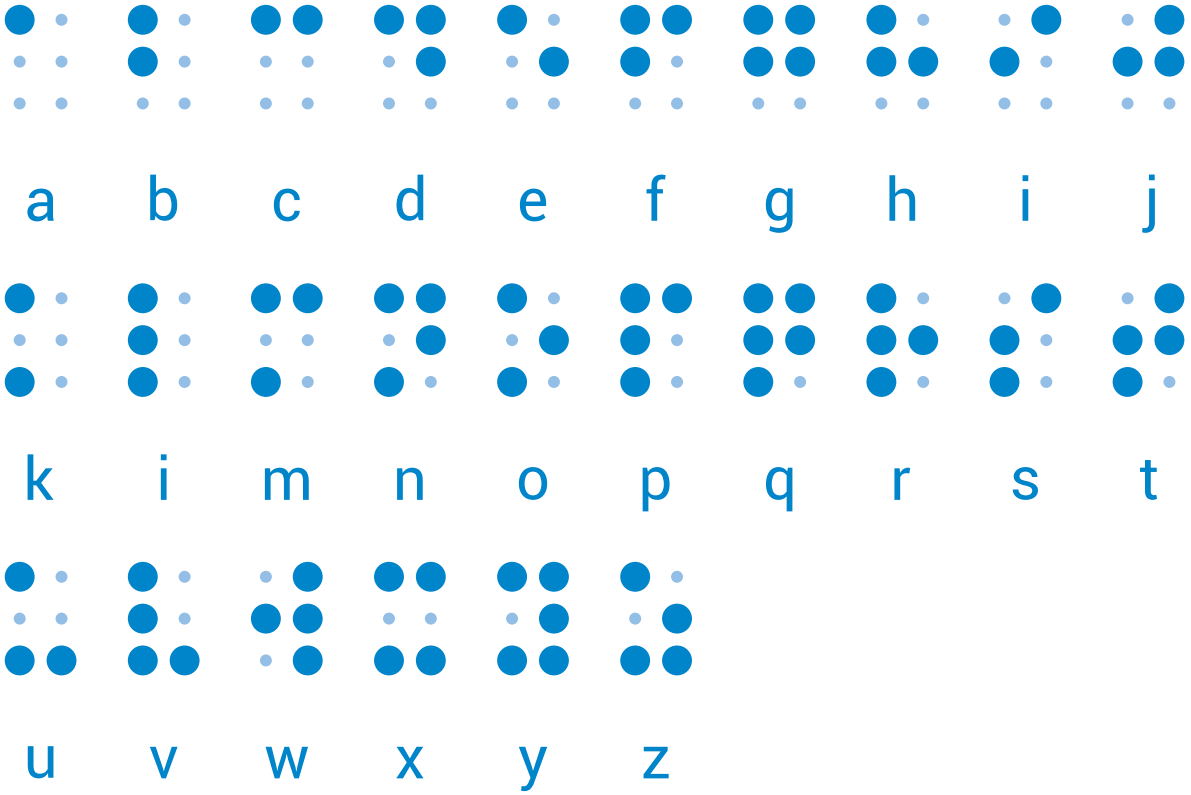
4 يتضمَّن تصميم صندوق أقراص الدواء تجويفًا لغطاء الصندوق، وذلك لحفظ الأقراص داخل الحاويات.

قم بتحسين هذا التصميم لجعل استخدامه أكثر سهولة للأفراد ذوي الإعاقة أو القدرات الحركية المحدودة.

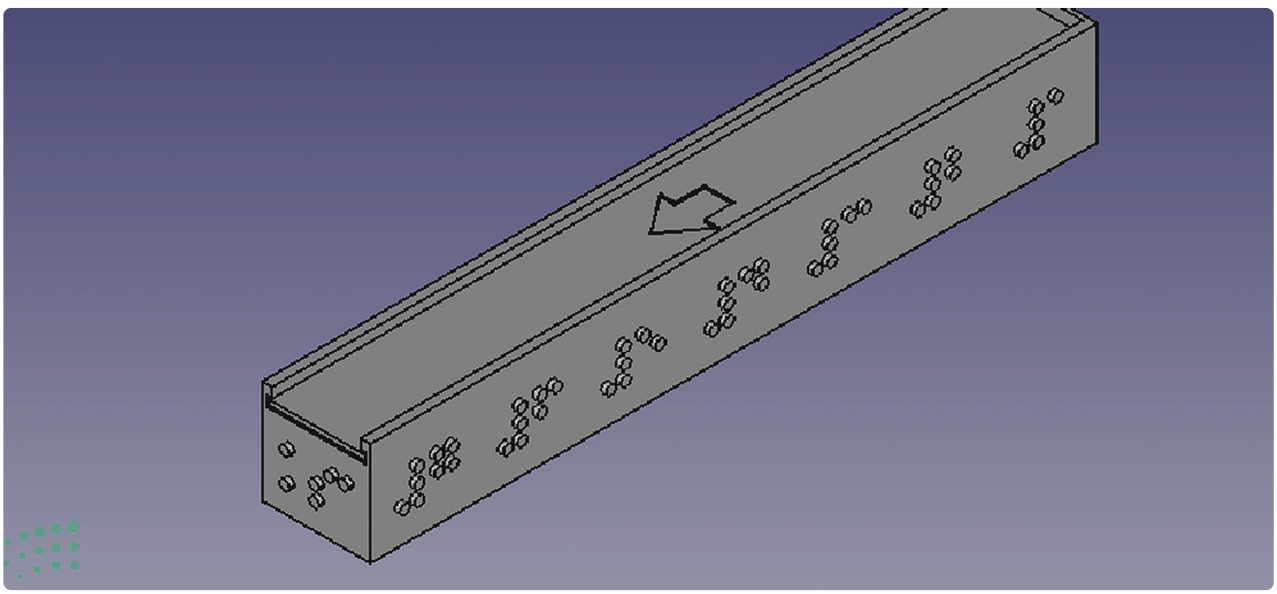
استخدِم الصورة أدناه لإنشاء شكل سهم على غطاء صندوق أقراص الدواء (Pillbox-Cap) يسمح للمُستخدِمين بتحريك الغطاء بسهولة أكبر.



5 صَمِّم حروف الاختصار KSA بنظام برايل، باستخدام أبجدية برايل الموضَّحة أدناه.



استخدِم الصورة التالية لمساعدتك على فهم كيفية تصميم الحروف:

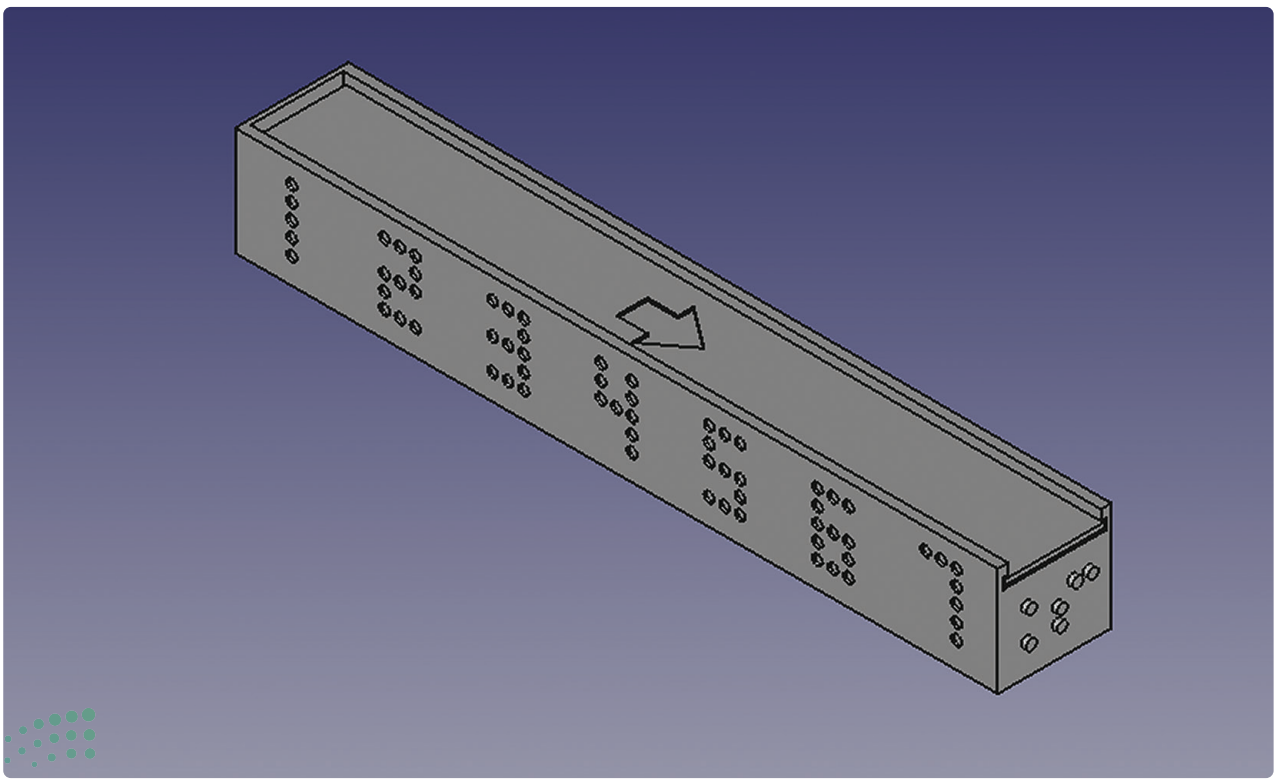


6 يتضمَّن تصميم صندوق أقراص الدواء استخدام نقاط برايل لتسمية أيام الأسبوع.

كيف يمكنك تعديل هذا التصميم لجعله قابلًا للاستخدام من قِبل الأشخاص الذين لا يتقنون نظام برايل، أو أولئك الذين لا يعانون من الإعاقات البصرية؟

استخدِم الصورة التالية كدليل لإنشاء التسميات الرقمية للأيام، أو أنشئ التسميات الخاصة بك:

ملاحظة: ستستخدِم أداة تجويف (Pocket) لكتابة التسميات بطول 0.50 مليمتر.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

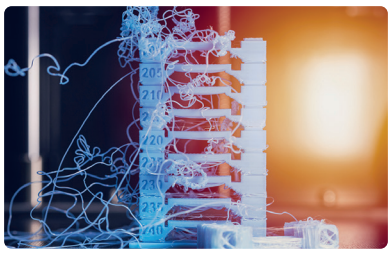
www.ien.edu.sa

الدرس الثالث

الاختبار والتنقيح

اختبار وتنقيح مُنتَج مطبوع ثلاثي الأبعاد
Testing and Refining a 3D Printed Product

تُواجه عملية إنشاء النماذج الأوَّلية باستخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد احتمال حدوث أنواع مختلفة من الأخطاء الخاصة بالتصميم وغيرها، وذلك عند الانتقال من التصميمات المنفّذة بمساعدة الحاسب إلى المجسّمات الفعلية، ويُمكن أن يؤدي تشخيص المشكلات وتصحيحها في وقت مبكر إلى توفير الوقت والتكلفة قبل الانتقال إلى مرحلة التصنيع باستخدام مواد أكثر تكلفة. يتيح التصميم السريع للنماذج الأوَّلية إنشاء تصميم واختبار وظائفه وتوثيق مشكلاته، وتحسين تصميمه، وطباعة النسخة التالية من النموذج الأوَّلي دون هدر الوقت والموارد ذات التكلفة المرتفعة.



شكل 3.63: مثال على خلل في نموذج مطبوع ثلاثي الأبعاد

الاختبار Testing

التهيئة للاختبار

لابد أن يتم تجهيز خطّة للاختبار قبل البدء بتنفيذ أي اختبار، ويجب أن تُحدِّد هذه الخطّة الاختبارات والمعايير والمعلومات الأخرى المتعلقة بعملية الاختبار، كما يجب أن تُحدِّد الموارد اللازمة للاختبار، كالمواد والمعدَّات والموظفين، فعلى سبيل المثال عند تطبيق اختبار لطرف صناعي مطبوع ثلاثي الأبعاد، كما يظهر في الشكل 3.63، يجب أخذ الخطّة التالية بعين الاعتبار:



1. **تحديد أهداف الاختبار:** الخطوة الأولى هي تحديد أهداف عملية التهيئة للاختبار، وقد يشمل ذلك تقييم التصميم، ووظائف المُنتَج وتجربة المُستخدِم للطرف الصناعي، وتحديد العيوب أو المشكلات الفنية التي تحتاج إلى المعالجة.

2. **وضع معايير الاختبار:** يجب وضع معايير محدَّدة لاستخدامها في عملية تقييم الطرف الصناعي، وقد يشمل ذلك الجوانب الجمالية، ومستوى راحة المُستخدِم، وفعاليته في تأدية الوظيفة التي صُنِع من أجلها، فضلًا عن متانته وسهولة صيانته.

3. **تحديد عمليات الاختبار:** يجب تحديد الاختبارات التي ستُجرى لتقييم الطرف الصناعي، وقد يتضمَّن ذلك تكليف المختبِرين بمهام يوميّة مختلفة، مثل التقاط الأشياء أو الكتابة على لوحة المفاتيح أو صعود السلالم، وذلك أثناء ارتداء الطرف الصناعي.

4. **تحديد موارد الاختبار:** يجب تحديد المواد والأدوات والمعدَّات اللازمة لعملية الاختبار، وقد يشمل ذلك الطابعات ثلاثية الأبعاد، وبرامج الاختبار، وكذلك وجود فريق مختبِرين ذوي خبرة.

5. **إنشاء مُخطَّط زمني للاختبار:** يجب وضع مُخطَّط زمني لعملية التهيئة للاختبار، بما في ذلك وقت الاختبار، وتحليل النتائج، وتنفيذ أي تغييرات أو تصحيحات ضرورية.

6. **إعداد تقرير للاختبار:** بعد الانتهاء من عملية التهيئة للاختبار، يجب إعداد تقرير يوضِّح نتائج الاختبار، ويحدِّد أي مشكلات موجودة أو مجالات يجب تحسينها، ويقدِّم التوصيات بالتغييرات التي يجب إجراؤها قبل طرح الطرف الصناعي للمُستخدِمين.

الاختبار الافتراضي

من الشائع إجراء الاختبار الافتراضي باستخدام عمليات المحاكاة بمساعدة الحاسب، وذلك قبل إجراء الاختبارات الفعلية، وتساعد عمليات المحاكاة في تحديد المشكلات المحتملة في تصميم المُنتَج وأدائه قبل اختباره فعليًا. على سبيل المثال، يوضِّح الشكل 3.64 محاكاة لمُكوِّن بديل لمفصل صناعي بديل للركبة، يتم إدخاله في بنية عظام المريض. ويشمل الاختبار أيضًا محاكاة الإجهاد والانفعال، وديناميكيا الموائع، والتحليل الحراري للأداء، وأنواعًا أخرى من الاختبارات التي تتعلق بطبيعة المُنتَج، وتتضمَّن عملية الاختبار الافتراضي للطرف الصناعي ما يلي:

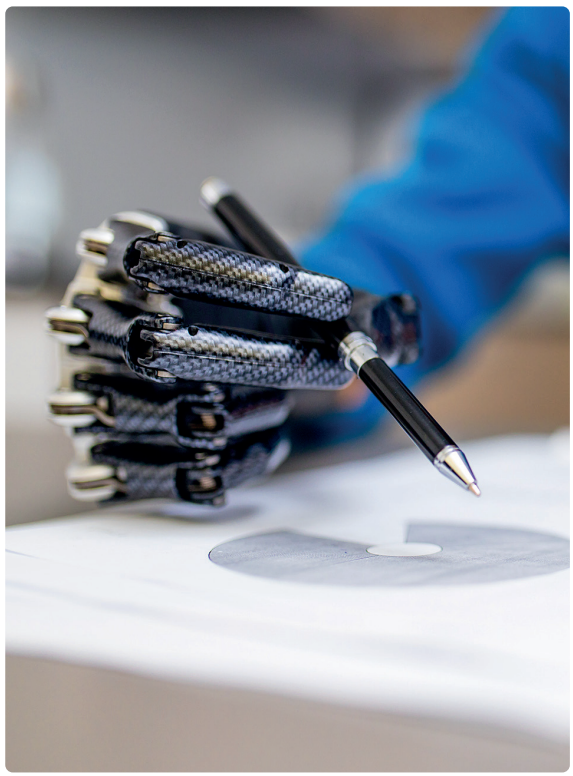
1. **تطوير بيئات افتراضية:** إنشاء بيئات افتراضية تحاكي السيناريوهات الحقيقية لاستخدام الطرف الصناعي، وقد يشمل ذلك عمليات محاكاة افتراضية للمهام اليومية للإنسان مثل: المشي، وقيادة السيارة، والجلوس والكتابة.

2. **إجراء الاختبار:** دعوة المختبِرين إلى استخدام الطرف الصناعي المطبوع ثلاثي الأبعاد في البيئات الافتراضية لأداء مهام محدَّدة تتعلق بسيناريوهات الاختبار، وجمع التغذية الراجعة من المختبِرين حول تجربتهم، بما في ذلك أي مشكلات أو أخطاء واجهوها.

3. **تحليل النتائج:** تحليل نتائج الاختبار لتحديد أي مشكلات أو أنماط غير مرغوبة ظهرت أثناء الاختبار.



شكل 3.64: تمثيل ثلاثي الأبعاد لاستبدال الركبة



شكل 3.65: اختبار يد صناعية

الاختبار الفعلي

تتضمَّن هذه المرحلة إجراء الاختبار الفعلي للنموذج الأوَّلي ثلاثي الأبعاد المطبوع؛ لتقييم أدائه وتحديد أي مشكلات تحتاج إلى المعالجة. يُمكن إجراء العديد من الاختبارات الفعلية مثل: اختبارات القوة والمتانة، واختبارات دقة الأداء، والاختبارات البيئية، ويوضِّح الشكل 3.65 عملية اختبار فعلي لطرف صناعي، وتتضمَّن ما يلي:

1. **تطوير بيئات الاختبار الفيزيائية:** إنشاء بيئات اختبار فعلية تحاكي سيناريوهات حقيقية سيتم فيها استخدام الطرف الصناعي، وقد يتضمَّن ذلك إنشاء عوائق أو تحديات يجب على مُستخدِم الطرف الصناعي تجاوزها، مثل السلالم أو أماكن الحركة غير المستوية.

2. **إجراء الاختبار:** تتم دعوة المختبِرين إلى ارتداء الطرف الصناعي المطبوع ثلاثي الأبعاد واستخدامه في بيئات الاختبار الواقعية؛ لأداء مهام محدَّدة تتعلق بسيناريوهات الاختبار، ثم يتم جمع التغذية الراجعة من المختبِرين حول تجربتهم، بما في ذلك أي مشكلات أو أخطاء واجهوها.

3. **تحليل النتائج:** يتم تحليل نتائج الاختبار لتحديد أي مشكلات أو أنماط غير مرغوبة ظهرت أثناء الاختبار، وقد يتضمَّن ذلك استخدام معدَّات اختبار متخصصة لقياس أداء الطرف الصناعي وملاءمته للبيئة وللمُستخدِم.

تنقيح المُنتَج المطبوع ثلاثي الأبعاد Refining a 3D Printed Product

تُعدُّ مرحلة التنقيح في تطوير المُنتَج المطبوع ثلاثي الأبعاد خطوة حاسمة في هذه العملية، حيث تتم خلال هذه المرحلة مراجعة تصميم المُنتَج وتحسينه بناءً على التغذية الراجعة من عمليات الاختبار والتقييم، وفيما يلي سيتم عرض مراحل تنقيح المُنتَج المطبوع:

صَّقل الأجزاء المطبوعة ثلاثية الأبعاد

تُعدُّ عملية صَّقل الأجزاء المطبوعة ثلاثية الأبعاد خطوة مهمة خلال مرحلة التنقيح، حيث يمكنها أن تساعد بشكل كبير في الحصول على سطح أملس وجميل للمُنتَج النهائي، كما يُمكن استخدام تقنيات مختلفة بناء على المادة التي تم استخدامها لطباعة المُنتَج وعلى مستوى التنقيح النهائي المطلوب، وتتضمَّن تلك التقنيات، الصنفرة اليدوية أو الآلية والتنعيم الكيميائي، ويُعدُّ الصَّقل مهمًا خاصةً عند استخدام تقنيات الطباعة **بذوبان الليزر الانتقائي** (SLM)، حيث يكون سطح المُنتَج في الغالب خشنًا ومساميًّا بسبب طبيعة العملية.

تحليل نتائج الاختبار

تتمثّل الخطوة الأولى في عملية تنقيح الطرف الصناعي ثلاثي الأبعاد في تحليل نتائج الاختبار، ويتضمَّن ذلك مراجعة البيانات التي تم جمعها أثناء الاختبار وتحديد أي عيوب أو مشكلات يجب معالجتها. على سبيل المثال، إذا لم يكن الطرف الصناعي مناسبًا أو مريحًا للمُستخدِم، فسيحتاج الفريق إلى تحديد أجزاء الطرف الصناعي التي تحتاج إلى تعديل أو إعادة تصميم، وتظهر هذه العملية في الشكل 3.66.

تحديد تعديلات التصميم

بناءً على تحليل نتائج الاختبار، سيحدِّد الفريق التعديلات المطلوبة في التصميم التي يجب إجراؤها على النموذج ثلاثي الأبعاد، ويُمكن أن تشمل هذه التعديلات إجراء تغييرات في أبعاد الطرف الصناعي، أو ميزاته، أو المادة التي ستُستخدم لإنتاجه، أو لأي من عناصر التصميم الأخرى. على سبيل المثال، في حال كان الطرف الصناعي ثقيلًا جدًا، فقد يقوم الفريق بتعديل التصميم لتقليل الوزن مع الحفاظ على القوة والمتانة الضرورية له.

تعديلات التصميم المتكررة

بمجرد تحديد التعديلات في التصميم، يتم تحديث النموذج ثلاثي الأبعاد بتلك التعديلات، وطباعة نموذج أوَّلي جديد للطرف الصناعي. سيكرِّر الفريق بعد ذلك عملية الاختبار مع النموذج الأوَّلي الجديد للتحقق من أن التغييرات عالجت المشكلات المحدَّدة، ويُمكن تكرار هذه العملية عدة مرات حتى الوصول إلى التصميم النهائي للطرف الصناعي.

المراجعة والموافقة

تتم مراجعة تصميم الأطراف الصناعية طوال مرحلة التنقيح من قِبل أولئك المختصين بالعملية وأصحاب المصلحة، بما في ذلك المُصمِّمين والمهندسين والعملاء، ويتم جمع التعليقات وإجراء التغييرات للتأكد من أن الطرف الصناعي النهائي يلبي جميع المتطلبات، ويستمر الفريق في مراجعة التصميم وتعديله حتى الوصول إلى الجودة المطلوبة واعتماده من قِبل أصحاب المصلحة.

التوثيق

في الختام، يقوم فريق التطوير بتوثيق جميع التعديلات التي تم إدخالها على التصميم، وكذلك نتائج الاختبارات للتأكد من أن الطرف الصناعي النهائي يفي بجميع المواصفات، ويُمكن إعادة إنتاجه في المستقبل. يُمكن أن تتضمَّن هذه الوثائق نماذج ثلاثية الأبعاد، وبيانات الاختبار، ومعلومات أخرى حول عملية تصميم الأطراف الصناعية وتطويرها، ويُعدُّ التوثيق ضروريًا في مرحلة التنقيح حيث يضمن أن الطرف الصناعي النهائي يفي بالمتطلبات الأصلية ويتوافق بشكلٍ تام مع مواصفات التصميم.



شكل 3.66: اختبار النموذج الأوَّلي للذراع الصناعية

أدوات اختبار المُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد
Testing Tools for 3D Printed Products

برنامج تحليل العناصر المحدودة

يحاكي برنامج **تحليل العناصر المحدودة** (FEA) سلوك المُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد تحت أحمال وضغوط مختلفة، ويُمكن لهذا البرنامج تحديد المشكلات المحتملة ومجالات التحسين في تصميم المُنتَج قبل إجراء الاختبار الفعلي عليه.

المِسماك الرقمي

يُعدُّ **المِسماك الرقمي** (Digital Calipers) أداة أساسية في قياس أبعاد المُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد، ويُمكن استخدامه لضمان مطابقة قياسات المُنتَج المطبوع للنموذج ثلاثي الأبعاد، ومطابقته للمواصفات المطلوبة.

جهاز اختبار مقاومة الشدّ

يُمكن **لجهاز اختبار مقاومة الشد** (Tensile Testing Machine) اختبار قوة ومتانة المُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد، ويُمكن لهذا الجهاز تطبيق القوة على المُنتَج حتى ينهار أو ينكسر، مما يسمح لفريق الاختبار بتحديد نقاط الضعف التي يجب معالجتها في التصميم.

جهاز الفحص بالأشعة السينية

يُمكن **لجهاز الفحص بالأشعة السينية** (X-ray Machine) فحص الهيكل الداخلي للمُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد، ويُمكن أن يساعد ذلك في تحديد العيوب التي قد لا تكون مرئية من الخارج.

جهاز اختبار خشونة السطح

يُمكن لجهاز **اختبار خشونة السطح** (Surface Roughness Tester) قياس درجة صقل السطح للمُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد، ويُمكن أن يساعد ذلك في ضمان أن يكون للمُنتَج سطح أملس ويحقق المواصفات المطلوبة.

مجهر المسح الإلكتروني

يُمكن استخدام **مجهر المسح الإلكتروني** (Scanning Electron Microscope) لفحص أسطح المُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد على المستوى المجهر، ويُمكن أن يساعد هذا في تحديد العيوب الصغيرة جدًا التي لا يُمكن رؤيتها بالعين المجردة.

مقياس الطيف الضوئي

يُعدُّ **مقياس الطيف الضوئي** (Spectrophotometer) أداة يمكنها قياس لون المُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد، ويُمكن أن يكون هذا مفيدًا بشكل خاص للمُنتَجات التي تتطلب مطابقة معيَّنة للألوان، كالمُنتَجات الاستهلاكية وأجزاء محدَّدة من الآلات.

اختبار اختراق الصبغة

يُعدُّ **اختبار اختراق الصبغة** (Dye Penetrant Testing) طريقة اختبار غير تدميرية تُستخدم لتحديد العيوب السطحية في المُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد، ويتم طلاء المُنتَج بالصبغة التي بدورها تخترق العيوب والتشققات السطحية إن وجدت، ثم تتم بعد ذلك إزالة الصبغة الزائدة وإضافة مادة خاصة تبرز العيوب أو التشققات في السطح.

آلة قياس الإحداثيات

آلة قياس الإحداثيات (Coordinate Measuring Machine – CMM) هي جهاز يُمكنه قياس أبعاد المُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد بدقة، ويُمكن لهذه الآلة قياس طول المُنتَج وعرضه وارتفاعه وأبعاده الأخرى.

آلة اختبار التأثير

آلة اختبار التأثير (Impact Testing Machine) هي جهاز يُمكنه اختبار مقاومة المُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد للصدمات، وتحاكي هذه الآلة تأثير القوة المفاجئة على المُنتَج وتقيس درجة مقاومته.

الاختبار بالموجات فوق الصوتية

الاختبار بالموجات فوق الصوتية (Ultrasonic Testing) هو طريقة اختبار غير تدميرية تستخدِم موجات صوتية عالية التردد لفحص الهيكل الداخلي للمُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد، ويُمكن لهذه الطريقة أن تساعد في تحديد العيوب أو المشكلات الموجودة في الهيكل الداخلي للمُنتَج والتي قد لا تكون ظاهرة من الخارج للعيان.

غرفة الاختبار البيئي

يُمكن استخدام **غرف الاختبار البيئي** (Environmental Testing Chambers) لمحاكاة الظروف البيئية المختلفة مثل: درجة الحرارة، والرطوبة والضغط، حيث يتم اختبار أداء المُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد في ظل التغير في هذه الظروف.

القيود عند اختبار المُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد وتنقيحها

Constraints When Testing and Refining 3D Printed Products

توجد العديد من القيود التي يحتمل ظهورها أثناء عمليات اختبار وتنقيح المُنتَجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة، ومن الضروري تحديد تلك القيود المحتملة أثناء عمليتَي الاختبار والتنقيح، وبالتالي تطوير استراتيجيات للتغلُّب عليها، حيث يتيح التغلُّب على هذه القيود والعقبات للمُصنِّعين ضمان تطوير مُنتَجات مطبوعة ثلاثية الأبعاد عالية الجودة تلبي جميع المتطلبات، وتلقى النجاح المنشود عند تسويقها للمُستهلِكين، ويوضِّح الجدول 3.8 القيود الأكثر شيوعًا.

جدول 3.8: القيود الشائعة عند اختبار المُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد وتنقيحها

القيد	الوصف
 قيود المادة	يؤثِّر نوع المواد المستخدَمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد على جودة المُنتَج النهائي، فقد لا تناسب بعض المواد متطلبات مُنتَج معيَّن، أو قد يكون توافرها محدودًا أو مرتفع التكلفة.
 قيود الطباعة	تحدّ قيود التصميم المختلفة كالحجم والدقة ودرجة الوضوح من إمكانيات استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد للأغراض المختلفة، وقد تحدّ أيضًا من القدرة على استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد لمُنتَجاتٍ معيَّنة ذات طبيعة معقَّدة.
 توافر مُعدَّات الاختبار	قد لا تُتاح بعض مُعدَّات الاختبار المطلوبة للاختبار الفيزيائي بسهولة، أو قد يكون الحصول عليها أو تشغيلها باهظ التكلفة، ومن المحتمل أن يقيِّد هذا الأمر طبيعة الاختبارات التي يُمكن إجراؤها، كما قد يؤدي إلى نتائج اختبار ناقصة أو غير دقيقة.
 قيود الوقت والميزانية	يُمكن أن يستغرق اختبار المُنتَج المطبوع ثلاثي الأبعاد وتنقيحه وقتًا طويلًا وكذلك تكلفة عالية، ويُمكن لمحدودية الوقت أو الميزانية تقييد عدد الاختبارات التي يُمكن إجراؤها، وأنواعها، وبالتالي الحصول على نتائج اختبار ناقصة أو على مُنتَج نهائي لم يتم اختباره بالشكل الكافي.
 الخطأ البشري	يُمكن أن تؤدي الأخطاء البشرية أثناء عمليات الاختبار والتنقيح إلى جمع أو تحليل البيانات بشكلٍ غير دقيق، ومن هنا تنبع أهمية وجود الموظفين المهَرة الذين تلقوا التدريب الكافي لإجراء الاختبار والتحليل، وذلك لتقليل مخاطر الخطأ البشري.
 قيود المِلكية الفكرية	قد تتطلب عملية التنقيح التعاون مع الخبراء وأصحاب المصلحة الآخرين، بما في ذلك المُصمِّمين والمهندسين والعملاء. يُمكن أن يؤدي ذلك إلى إنشاء قيود على الملكية الفكرية لبعض المكوِّنات أو التصميمات مثلًا، مما يوجب إدارة هذه العملية بعناية لحماية مصالح جميع الأطراف المعنية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تمرينات

1

حدِّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:	صحيحة	خاطئة
1. تسمح الطباعة ثلاثية الأبعاد بإنشاء التصميم السريع للنماذج الأوَّلية.	○	○
2. تتضمَّن مرحلة التهيئة للاختبار الاختبار الفعلي للنموذج الأوَّلي.	○	○
3. يجب وضع معايير واضحة للاختبار قبل بدء عملية الاختبار.	○	○
4. لا يُعدُّ وضع مُخطَّط زمني للاختبار أمرًا ضروريًا لعملية الاختبار الفعَّالة.	○	○
5. لا يُمكن الاستعانة بأطراف أو خبراء خارجيين عند إجراء الاختبارات.	○	○
6. تُعدُّ مرحلة تحليل النتائج أول خطوة في مرحلة تنقيح المُنتَج.	○	○
7. لا تُعدُّ التغييرات المتكررة على التصميم ضرورية عند تنقيح المُنتَج ثلاثي الأبعاد المطبوع.	○	○
8. لا تُعدُّ التغذية الراجعة الواردة من الخبراء أو أصحاب المصلحة ضرورية في مرحلة التنقيح.	○	○
9. يُمكن استخدام غرف الاختبار البيئي لمحاكاة الظروف البيئية المختلفة لاختبار المُنتَجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد.	○	○
10. لا توجد قيود على تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد من حيث حجم ودقة المُنتَج ودرجة وضوحه.	○	○

2 وضِّح الغرض من وضع معايير للاختبار قبل إجرائه.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

3 قَيِّم فوائد استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد للنماذج الأوَّلية مقارنة بأساليب التصنيع التقليدية.

4 قَيِّم أهمية تقرير الاختبار في عملية تنقيح المُنتَج ثلاثي الأبعاد المطبوع.

5 قَيِّم فعالية عملية التصميم التكراري خلال مرحلة التنقيح.

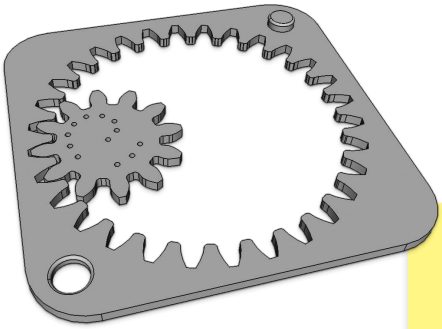
6 صِف أهمية التوثيق في مرحلة تنقيح المُنتَج المطبوع ثلاثي الأبعاد.

7 اشرح كيف يُستخدم مجهر المسح الإلكتروني أثناء عملية تنقيح المُنتَج ثلاثي الأبعاد المطبوع.

8 حلِّل القيود المحتملة التي قد تواجهها عند اختبار مُنتَج مطبوع ثلاثي الأبعاد وتنقيحه، وناقش تأثيرها على جودة المُنتَج النهائي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

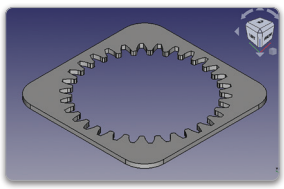
المشروع



يُعدُّ إنشاء جهاز **سبيروجراف** (Spirograph) مشروعًا شيّقًا يُمكن أن يساعدك في استكشاف عالم التصميم ثلاثي الأبعاد بشكل أكبر. سيساعدك هذا المشروع في أن تصبح أكثر كفاءة في استخدام الأدوات والتقنيات المختلفة في برنامج فري كاد، كما سيتيح لك أيضًا إنشاء أداة تفاعلية.

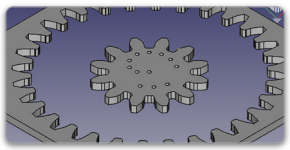
1

لتصميم جهاز سبيروجراف، ستنشئ قاعدة باستخدام أداة **المستطيل** (Rectangle)، وستنشئ ثقبًا في القاعدة باستخدام ترس أسطواني منحنٍ.



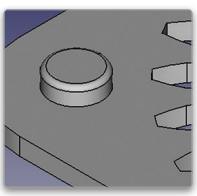
2

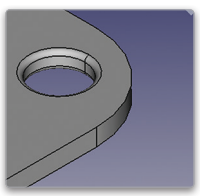
ستنشئ ترسًا أسطوانيًا منحنيًا آخر لتدويره على القاعدة، بحيث يحتوي على ثقوب في أماكن مختلفة ليتمكَّن المُستخدِم من إدخال قلم لرسم أشكالٍ مختلفة.



3

أنشئ حاملًا وثقبًا لمساعدتك في الحفاظ على استقرار القاعدة عند استخدام جهاز سبيروجراف.



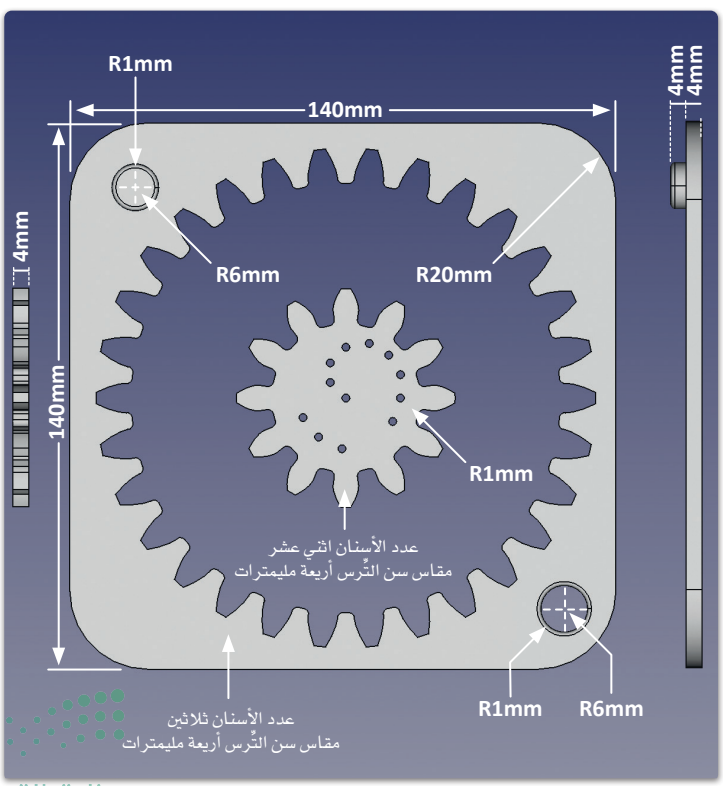


4

استخدِم الرسومات التخطيطية المقابلة لتصميم جهاز سبيروجراف.

5

بمجرد الطباعة، ستقوم بتركيب التِّرسَين معًا لإنشاء جهاز سبيروجراف.



جهاز سبيروجراف مطبوع.



قاعدة مطبوعة لجهاز سبيروجراف.



ترس اسطواني منحنٍ مطبوع.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ماذا تعلّمت

- تحليل الاستخدامات المختلفة للطابعات ثلاثية الأبعاد وأنواعها.
- تحديد تصنيفات مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد.
- تصنيف تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد.
- إنشاء نموذج أوَّلي لمجسّم ثلاثي الأبعاد مطبوع.
- تصميم صندوق أقراص دواء يحتوي على رموز رقمية بنظام برايل.
- استخدام الرسم متماثل القياس لإنشاء تمثيل مرئي دقيق للمُنتَج.
- استخدام أداتَي الخط المتصل والبطانة لإنشاء تفاصيل معقَّدة في التصميم.
- تحديد مراحل اختبار مُنتَج ثلاثي الأبعاد مطبوع وتنقيحه.
- وصف الأدوات المستخدَمة لاختبار المُنتَجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة وتنقيحها.
- تحليل القيود الموجودة عند اختبار المُنتَجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة وتنقيحها.

المصطلحات الرئيسة

Physical Testing	الاختبار الفعلي
Pre-Testing	التهيئة للاختبار
Prototype	النموذج الأوَّلي
Rapid Prototyping	التصميم السريع للنماذج الأوَّلية
Virtual Testing	الاختبار الافتراضي

3D Inkjet Printing	الطابعة ثلاثية الأبعاد بالحبر النفَّاث
3D Printing	الطباعة ثلاثية الأبعاد
Additive Manufacturing	التصنيع بالإضافة
Braille System	نظام برايل
Human Error	الخطأ البشري

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447