

3. تطوير المنتجات ثلاثية الأبعاد

سيتعرف الطالب في هذه الوحدة على تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد وتطبيقاتها، وسيتعرف كذلك على أنواع الطابعات، وعلى المواد المستخدمة في هذا النوع من الطباعة، كما سيميز بين المراحل المختلفة لاختبار المنتجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة، وتنقيحها، ويميز بين الأدوات المستخدمة في هذه العملية. سيصمم أيضًا نموذجًا متقدمًا ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج فري كاد (FreeCAD)، وسيستخدم برنامج كيورا (Cura) لطباعته، ثم سيتعرف على القيود الخاصة باختبار المنتجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة وكيفية تنقيحها، وكذلك أهمية مراقبة الجودة في هذه العملية.

أهداف التعلم

بنهاية هذه الوحدة سيكون الطالب قادرًا على أن:

- < يصف استخدامات الطباعة ثلاثية الأبعاد.
- < يصنف أنواع الطابعات ثلاثية الأبعاد.
- < يحدد أنواع مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد.
- < يحلّل تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد.
- < يطبع مجسمًا معقدًا ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج كيورا (Cura).
- < يضع قائمة بالمراحل المختلفة لاختبار المنتجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة، وتنقيحها.
- < يحدد الأدوات المستخدمة لاختبار المنتجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة وتنقيحها.
- < يحدد قيود اختبار المنتجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة وتنقيحها.

الأدوات

- < فري كاد (FreeCAD)
- < كيورا (Cura)



الدرس الأول مقدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد

أساسيات الطباعة ثلاثية الأبعاد Basics of 3D Printing

تُنتج الطابعات ثلاثية الأبعاد مجسّمًا واقعيًا من ملف النموذج الرقمي ثلاثي الأبعاد، عن طريق تطبيق عدة طبقات رقيقة من المواد المحددة 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 المُخرجات وفقًا لنوع الطابعة والمواد المستخدمة، 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 تتوفر عدّة طابعات من هذا النوع بسعر مناسب للمبتدئين.

يستخدم المهندسون والمُصمّمون الطابعات ثلاثية الأبعاد لاختبار النماذج الأولية، كما تستخدم شركات التصنيع هذه الطابعات لتصنيع بعض الأجزاء المعقدة لمنتجاتها. إضافةً إلى ذلك، يمكن 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 ومُنتجات 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 قطع العمل يدويًا، الأمر الذي كان عُرضةً للأخطاء البشرية وواجه تحديات كبيرة في سبيل تحقيق دقة عالية، بينما تسمح الطباعة ثلاثية الأبعاد بإنتاج مجسّمات معقدة ومركّبة، مع تقليل احتمالية حدوث خطأ بشري مثل: معايرة سطح الطباعة فيها، وضبط الإعدادات المناسبة لبرنامج المُقطّع (Slicer) وتحديد إعدادات التصنيع المناسبة.

تاريخ الطباعة ثلاثية الأبعاد History of 3D Printing

في الثمانينيات كانت الطباعة ثلاثية الأبعاد تُسمّى بالتصميم السريع للنماذج الأولية (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 أولية. كان الدكتور هيديو كوداما (Hideo Kodama) أول من تقدم بطلب براءة اختراع للتصميم السريع للنماذج الأولية (RP)، وذلك في مايو 1980 في اليابان، وكانت الطباعة الحجرية المجسّمة (Stereolithography – SLA) أول عملية طباعة تجارية ثلاثية الأبعاد تم تطويرها في الثمانينيات.

شكل 3.1: لقطة مقرّبة لآلة طباعة 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، وتتضمن عملية صهر طبقة المسحوق (Powder Bed Fusion)، وعملية بثق المواد (Material Extrusion)، وعملية البلمرة (Polymerization)، وتجميع الرقائق (Sheet Lamination)، والربط الطبقي (Binder Jetting)، والترسيب بالطاقة الموجهة (Directed Energy Deposition)، حيث تتضمن 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 المجسّمة Stereolithography

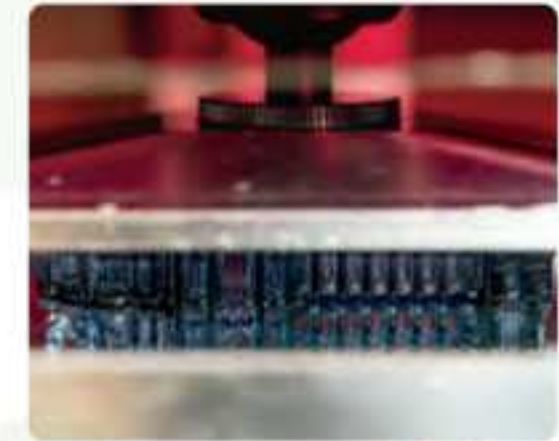


شكل 3.2: نموذج مطبوع بالبوليمرات الضوئية بواسطة طابعة ثلاثية الأبعاد

الطباعة الحجرية المجسّمة (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 محوري X-Y على سطح الصمغ في النموذج ثلاثي الأبعاد، مما يؤدي إلى تصلب الصمغ بشكل دقيق حيث يقع شعاع الليزر، وبمجرد اكتمال الطبقة، تتحرك المنصة والحاوية في المحور Z، ويتتبع الليزر الطبقة التالية، وتستمر هذه العملية حتى يكتمل النموذج ويمكن حينها إزالة المنصة. بعد الطباعة باستخدام هذا النوع من الطابعات، لابد من تنظيف المجسّمات التي تم إنشاؤها ومعالجتها، وتستخدم في عملية المعالجة إضاءة شديدة من خلال آلية تشبه القرن لتقوية الصمغ، وتُعدُّ الطباعة الحجرية المجسّمة واحدة من أكثر تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد دقة وسلاسة، وتظهر بعض التحديات أمام هذه الطريقة في إجراءات المعالجة المطلوبة بعد الطباعة، وهشاشة النموذج مع مرور الوقت، ويوضّح الشكل 3.2 مجسّمًا مطبوعًا بطريقة الطباعة الحجرية المجسّمة.

معالجة الضوء الرقمي Digital Light Processing

معالجة الضوء الرقمي (Digital Light Processing - DLP) هي تقنية طباعة ثلاثية الأبعاد تستخدم البوليمرات الضوئية، كما هو الحال في الطباعة الحجرية المجسّمة (SLA)، مع اختلاف مصدر الإضاءة المستخدم 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 المجسّمة (SLA). تُنشئ معالجة الضوء الرقمي (DLP) نماذج عالية الدقة، ولكنها تتطلب هيكل الدعم ومتطلبات ما بعد المعالجة نفسها التي تتطلبها الطباعة الحجرية المجسّمة (SLA)، وتتميز تقنية معالجة الضوء الرقمي (DLP) بجاعتها إلى حاوية صغيرة من الصمغ فقط، مما يقلل من المخلفات ومن نفقات التشغيل، ويوضّح الشكل 3.3 عملية الطباعة بمعالجة الضوء الرقمي (DLP).



شكل 3.3: طباعة ثلاثية الأبعاد بمعالجة الضوء الرقمي

التليد والإنصهار بالليزر Laser Sintering and Laser Melting

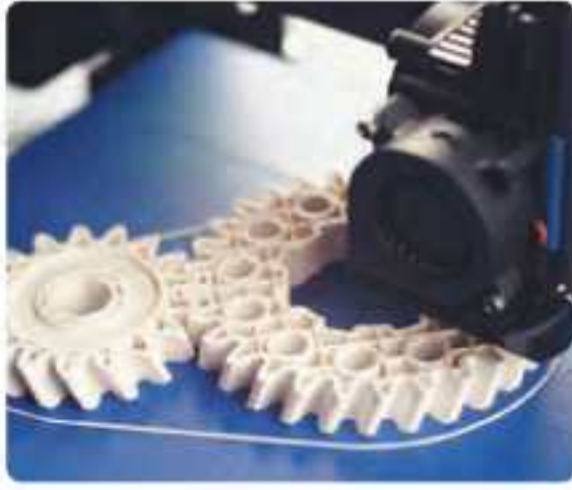


شكل 3.4: مجسّم مطبوع بواسطة آلة تليد بالليزر

يُستخدم الليزر في عملية التليد والإنصهار المعروفة أيضًا باسم تقنية ذوبان الليزر الانتقائي (Selective Laser Melting - SLM)، لدمج مادة المسحوق المستخدم في طباعة الجسم الصلب طبقة تلو الأخرى، وتعمل حاوية المسحوق كهيكّل داعم مما يسمح بتنفيذ التصميمات المعقدة. تشكّل المسامية وأوقات التبريد الطويلة أهم التحديات لهذه التقنية، ولكن تم إحراز تقدم في طباعة مجسّمات بكثافة عالية، كما يمكن أن يعالج التليد بالليزر كلاً من البلاستيك والمعدن، حيث يتطلب المعدن ليزراً بطاقة أكبر ودرجات حرارة أعلى، وتنتج هذه الطريقة أجزاء مطبوعة أقوى من تلك التي تُنتجها الطباعة الحجرية المجسّمة (SLA) والطباعة بمعالجة الضوء الرقمي (DLP)، ولكن بدقة ولعان أقل، ويوضّح الشكل 3.4 قطعة من محرك مطبوع بتقنية التليد بالليزر.



نمذجة الترسيب المنصهر Fused Deposition Modeling



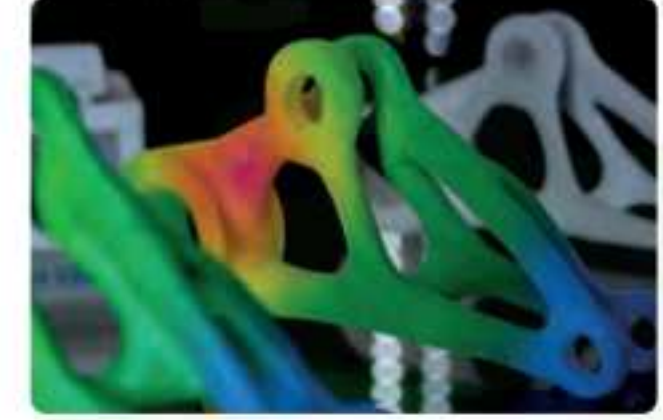
شكل 3.5: تروس تم إنتاجها بواسطة طابعة سوداء صغيرة تعمل بتقنية نمذجة الترسيب المنصهر

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، وتتصلب كل طبقة وتترابط بمجرد ترسيبها. تتطلب طباعة الأشكال الهندسية المتداخلة (Overhanging Geometries) وجود هياكل دعم، وتقتصر طابعات نمذجة الترسيب المنصهر (FDM) إلى هذه الهياكل، ولكن يمكن تجاوز ذلك باستخدام رأسين للبتق في هذه الأنظمة. يمكن استخدام رأس بتق ثانٍ تتبعث منه مادة قابلة للذوبان في الماء لإنشاء هياكل داعمة يمكن التخلص منها بعد الطباعة، وكذلك تُستخدم مواد دعم منفصلة للهيكل يمكن إزالتها يدوياً بعد انتهاء الطباعة، وتُعدُّ تقنية نمذجة الترسيب المنصهر (FDM) طريقة دقيقة وموثوقة للطباعة ثلاثية الأبعاد، ولكنها تتطلب معالجة لاحقة على نطاق واسع، حيث تتسم بالبلاء عند إعادة إنتاج الأشكال الهندسية المعقدة، ويتسبب التصاق الطبقات ببعضها البعض في حدوث خلل في تشكُّل الأجزاء. تنتج أجهزة الطباعة بنمذجة الترسيب المنصهر (FDM) المبكرة نماذج أقل دقة، ولكن هناك تحسن في دقة النماذج مع كل جيل جديد من هذه الطابعات، ويوضح الشكل 3.5 تروساً تم إنتاجها بنمذجة الترسيب المنصهر.

الطباعة ثلاثية الأبعاد بالحبر النفث 3D Inkjet Printing

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 بشكل أملس على القاعدة لتجهيز الطبقة التالية. تتيح هذه الطريقة إضافة طبقات بألوان مختلفة لإنشاء مجسمات بألوان متعددة، وتُعدُّ المنتجات المطبوعة بهذه التقنية أقل قوة من تلك التي يتم طباعتها بأنواع الطابعات الأخرى، ويتطلب الحصول على المنتج النهائي عملية معالجة وتنظيف لذلك المنتج، ويوضح الشكل 3.6 نموذجاً مطبوعاً بالربط الطبقي.



شكل 3.6: نموذج مطبوع باستخدام عملية الربط الطبقي

النفث المادي

النفث المادي (Material Jetting) هو طريقة طباعة ثلاثية الأبعاد، يتم بها نفث مواد إنشاء سائلة أو منصهرة من خلال عدة رؤوس نفث، ويعالج الضوء فوق البنفسجي البوليمرات الضوئية السائلة بعد ترسيب كل طبقة. تسمح هذه الطابعات بإنشاء طبقات متزامنة من عدة مواد، بحيث يمكن صنع مُنتج واحد من مواد ذات خصائص مختلفة، وينتج عن النفث المادي مُنتجات ثلاثية الأبعاد دقيقة وسلسة، ويوضح الشكل 3.7 نموذجاً لمكعب مُعقد مطبوع بطريقة النفث المادي.



شكل 3.7: نموذج مطبوع باستخدام عملية 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 المجسم، حيث تتبعث 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 للضغط مصنوعة من مادة كربيد التنقستن كل طبقة ورق لإنتاج حواف الأجزاء، ويوضح الشكل 3.8 ورق الطباعة الذي يمكن استخدامه لطابعات الترسيب الانتقائي التدريجي بالطبقات (SDL).



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

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 يمكن إنشاء أجزاء كثيفة كاملة من سبائك معدنية مختلفة، مما يسمح بصناعة المنتج بدقة وتخصيصه، كما يُستخدم اللحام بالشعاع الإلكتروني (EBM) بكثافة في صناعات السيارات والطيران لتصنيع الأجزاء المعقدة، ويوضح الشكل 3.9 مكوناً كروياً معقداً مطبوعاً باستخدام تقنية اللحام بالشعاع الإلكتروني.



شكل 3.9: مكون سبيكة اللحام بالشعاع الإلكتروني

يوضح جدول 3.1 المزايا والعيوب الرئيسية لكل من تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد.

جدول 3.1: مزايا وعيوب تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد

العيوب	المزايا
الطباعة الحجرية المجسمة	
خيارات المواد محدودة، وتكلفة التشغيل مرتفعة، كما تتطلب معالجة لاحقة.	تتميز بالدقة والوضوح العالي، وبالأسطح الناعمة، وبإمكانية إنتاج أشكال هندسية معقدة.
معالجة الضوء الرقمي	
خيارات المواد محدودة، وتكلفة المعدات عالية، بالإضافة إلى أن المعالجة اللاحقة لازمة.	تتميز بالسرعة العالية، والدقة والأسطح المصقولة جيداً.
التليد والإنصهار بالليزر	
تكلفة المعدات مرتفعة، ويحتاج إلى وقت طويل لتبريد المنتج مع تشطيب سطحي ومنخفض الجودة.	يمكن أن ينتج أجزاء قوية ومتينة، كما يمكن أن يستخدم مجموعة متنوعة من المواد بما فيها المعادن، ويُعد جيداً لإنتاج أشكال هندسية معقدة.
نمذجة الترسيب المنصهر	
تشطيب سطحي منخفض الجودة، ودقة محدودة، وبطيئة عند إعادة إنتاج الأشكال الهندسية المعقدة.	انخفاض تكلفة الأجهزة، وتوفر مجموعة كبيرة ومتنوعة من المواد المتاحة، وتتميز بسرعة طباعة عالية.
الربط الطبقي	
خيارات المواد محدودة، وأجزاؤه ضعيفة نسبياً كما أنه منخفض الدقة.	يتيح طباعة أجسام وهياكل كبيرة الحجم، ويتميز بانخفاض تكلفة المعدات، والتشطيب الجيد للأسطح.
النفت المادي	
خيارات المواد محدودة، وتكلفة المعدات عالية، وغير مناسب لإنتاج أجسام أو هياكل كبيرة.	دقة عالية ووضوح، وتشطيب جيد للأسطح، وإمكانية طباعة منتجات تحتوي على مواد متعددة.
الترسيب الانتقائي التدريجي بالطبقات	
خيارات المواد محدودة، وأجزاؤه ضعيفة نسبياً، مع تشطيب سطحي منخفض الجودة.	يتيح طباعة أجسام وهياكل كبيرة، ويتميز بانخفاض تكلفة المعدات، ويتيح نماذج بألوان متعددة.
اللحام بالشعاع الإلكتروني	
تكلفة المعدات عالية، وخيارات المواد محدودة، مع الحاجة إلى المعالجة اللاحقة.	يمكن أن ينتج أجزاء معدنية معقدة وعالية الأداء، بدقة ووضوح عالٍ، وتشطيب سطحي جيد.

مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D Printing Mterials

تحسّنت المواد المستخدمة لإنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد بشكل كبير منذ بداية ظهور الطباعة ثلاثية الأبعاد، وتتوفر العديد من المواد التي يمكن استخدامها في حالات مختلفة، وتتمتع بخصائص كيميائية مختلفة، كما يتم الآن إنتاج مواد محدّدة للمنصات التي تنفّذ تطبيقات مخصّصة، وذلك بشكل يتوافق مع خصائص كل تطبيق.

البلاستيك Plastics

يُستخدم النايلون البلاستيكي على شكل مسحوق في عملية التليد والإنصهار وذلك في نمذجة الترسيب المنصهر (FDM)، ويتميز هذا النوع من البلاستيك بالقوة والمتانة والمرونة في عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد، وتتوفر المادة عادةً باللون الأبيض، ولكن يمكن تلوينها قبل الطباعة أو بعدها، كما يمكن 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 وتتوفر على شكل خيوط في طابعات نمذجة الترسيب المنصهر (FDM) الأساسية، وتتميز هذه المادة البلاستيكية بالقوة، وتتوفر منها ألوان عديدة كما هو موضح في الشكل 3.10، وتستخدم مادة حمض اللبنيك (Polylactic Acid - PLA) كمادة لاصقة للطباعة في تقنية الطباعة الحجرية وتقنية معالجة الضوء الرقمي DLP / SL وفي خيوط نمذجة الترسيب المنصهر (FDM)، وتتميز هذه المادة البلاستيكية بأنها قابلة للتحلل، وتتوفر بعدة ألوان بما فيها اللون الشفاف، وتعدّ 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 استخداماً لتطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد المختلفة كما هو موضح في الشكل 3.11. يمكن طلاء الفولاذ ليبدو كالذهب أو البرونز، كما يُمكن طباعة الذهب والفضة باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد مباشرة بغرض صناعة المجوهرات. يتوفر التيتانيوم على شكل مسحوق أيضاً، ويُعدُّ واحداً من أقوى المعادن للتليد الصناعي والطباعة ثلاثية الأبعاد في تقنية اللحام بالشعاع الإلكتروني (EBM).



شكل 3.11: مسحوق الفولاذ المقاوم للصدأ للطباعة ثلاثية الأبعاد

الورق Paper

يُستخدم ورق الطباعة القياسي بشكل أساسي في تطبيقات الطباعة بالترسيب الانتقائي التدريجي بالطبقات (SDL) ثلاثية الأبعاد، وتتمثل الميزة الرئيسة للورق في سهولة الحصول عليه، ورخص ثمنه، وفي إمكانية شرائه بكميات كبيرة. تتميز النماذج ثلاثية الأبعاد التي يتم إنشاؤها باستخدام الورق وطريقة الترسيب الانتقائي التدريجي بالطبقات

(SDL) بأنها آمنة بيئياً، ويمكن إعادة تدويرها بسهولة، كما تتطلب القليل من المعالجة والتنظيف لاحقاً، ويوضح الشكل 3.13 نموذجاً مطبوعاً بالألوان لأحد أنواع الفاكهة.



شكل 3.13: نموذج مطبوع بالألوان الكاملة

السيراميك Ceramics

يمكن طباعة السيراميك ثلاثي الأبعاد لأغراض الزينة المنزلية، أو للمنتجات التي تحتاج إلى مادة متخصصة، ويجب حرق أجزاء السيراميك وصلبها بعد الطباعة تماماً كما هو الحال في التطبيقات التقليدية لمواد السيراميك، ويتضح ذلك في الشكل 3.12.



شكل 3.12: الطباعة ثلاثية الأبعاد بمادة السيراميك

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. تركز الأبحاث الأخرى على تطوير الطباعة ثلاثية الأبعاد للمواد الغذائية، وتتضمن موادًا مثل مُنتجات اللحوم والسكر والمعكرونة. تهدف الأبحاث المستقبلية إلى استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنشاء وجبات مطبوعة ثلاثية الأبعاد مغذية واقتصادية، ويوضح الشكل 3.14 استخدام طباعة بيولوجية ثلاثية الأبعاد.



شكل 3.14: طباعة 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، سواء الشخصية أو التجارية أو الصناعية، ويوضح الجدول 3.2 المزايا الرئيسية للطباعة ثلاثية الأبعاد.

جدول 3.2: مزايا الطباعة ثلاثية الأبعاد

الميزة	الوصف
السرعة	توفّر الطباعة ثلاثية الأبعاد القدرة على إنتاج نموذج أو مُنتج معين 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 للمُنتجات حسب الاحتياجات المحددة، كما تسمح بتصنيع العديد من المُنتجات في الموقع نفسه دون أي تكلفة إضافية.
تصنيع المكونات المعقدة	تتيح الطباعة ثلاثية الأبعاد إنشاء مجسّمات معقدة لا يمكن صنعها بأي طريقة أخرى، وقد استخدم المصمّمون والفنانون هذه الميزة بشكل كبير، وكان لها تأثير كبير على التطبيقات الصناعية التي تهدف إلى إنتاج مكونات معقدة تكون أقوى وأخفّ من سابقتها.

الميزة	الوصف
استخدام أقل للأدوات والآلات	يُعدُّ إنتاج الأدوات والآلات المستخدمة في تطوير المنتجات الصناعية أمرًا مكلفًا وشاقًا، إلا أن الطباعة ثلاثية الأبعاد يمكن أن تساعد في خفض تكاليف الإنتاج، وتقليل عدد العمّال والوقت المستغرق في إنتاج المنتجات المتوسطة وصغيرة الحجم. لذا فقد قامت العديد من الشركات باستغلال هذه الميزات، مما أتاح لها تصميم المنتجات والمكونات دون الحاجة للتصميم المعقّد هندسيًا للأجزاء المختلفة، وبالتالي التقليل بشكل كبير من الحاجة للعمالة للتجميع والتكاليف الأخرى للإنتاج.
الاستدامة	تُعدُّ الطباعة ثلاثية الأبعاد تقنية موفرة للطاقة، حيث يمكن الحدّ من مخلفات التصنيع، وصناعة مُنتجات تدوم لوقت أطول، وتتضمن تصميمًا أخف وأقوى وبصمة كربونية أقل من المنتجات التي يتم إنشاؤها تقليديًا.
سهولة الاستخدام	تتّسم 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



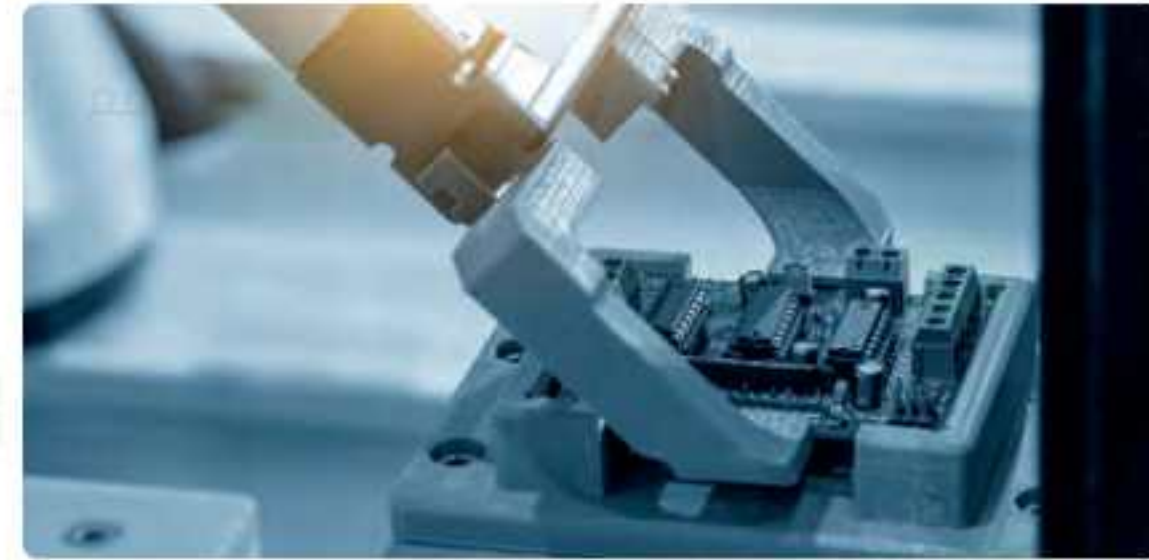
شكل 3.15: فك علوي وسفلي مطبوعان على طابعة ثلاثية الأبعاد

كان القطاع الطبي من أوائل القطاعات التي بدأت باستخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد، وذلك نظرًا لإمكانية تخصيص المنتجات حسب حاجة كل مريض، وإمكانية 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، وتستخدم هذه التقنية أيضًا لتصنيع مفاصل الورك والركبة الاصطناعية، وسماعات الأذن الطبية، والنعال 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، ويوضح الشكل 3.15 فكًا علويًا وسفليًا تم طباعته بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد.

الروبوتية Robotics

تستخدم تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد على نطاق واسع في الروبوتات، وذلك لقدرتها على إنشاء أجزاء مخصصة بسرعة وسهولة، مما يسمح بعمل نماذج أولية بشكل أسرع وبتخصيص أكبر. تتيح هذه التقنيات إنتاج أشكال معقّدة وخفيفة الوزن، مما ينتج عنه تطوير أنظمة روبوتية أكثر تعقيدًا، ولكنها أكثر رشاقة وأفضل أداءً، ويوضح 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



شكل 3.17: محرك نفثات مطبوع على شكل نموذج بلاستيكي معدني

تتطوي صناعة الطيران ومجال تطوير الطائرات على معايير صناعية صارمة، ولذلك يتم استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد الصناعية على نطاق واسع لإنشاء أجزاء وأدوات دقيقة. أدى التطور السريع في عمليات التصنيع ومواده إلى استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في إنتاج بعض الأجزاء البسيطة للطائرات وجعله أمراً واقعاً. اتبع العديد من صانعي السيارات مسار صناعة الطيران كما هو موضح في الشكل 3.17. فقد لجأ المصنعون أولاً إلى استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج النماذج الأولية، 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 بدلاً من الاحتفاظ بمخزون احتياطي من هذه الأجزاء والقطع في المخازن.

المجوهرات Jewellery

يتطلب تصميم وتصنيع المجوهرات مستويات عالية من المعرفة والخبرة في التصنيع، وصنع القوالب، والصب، والطلاء بالكهرباء، وكذلك في التشكيل والصياغة والحفر، والنقش، والتلميع للذهب والفضة. تطورت هذه المجالات بمرور الوقت وأصبحت تتطلب فهماً تقنياً عميقاً في هذه الصناعة، وتعمل الطباعة ثلاثية الأبعاد على تغيير الطرائق التقليدية لصناعة المجوهرات، وقد أحدثت بالفعل تغييراً كبيراً في هذه الصناعة بأكملها، بدءاً من إتاحة إنشاء تصاميم حديثة، كما هو واضح في الشكل 3.18، إلى تحسين التقنيات التقليدية، ثم التحول بشكل كامل للطباعة ثلاثية الأبعاد لصنع المجوهرات، والذي يتجاوز المراحل التقليدية في هذه الصناعة.



شكل 3.18: خاتم بوليمر ضوئي مطبوع باستخدام طباعة ثلاثية الأبعاد

الفن Art

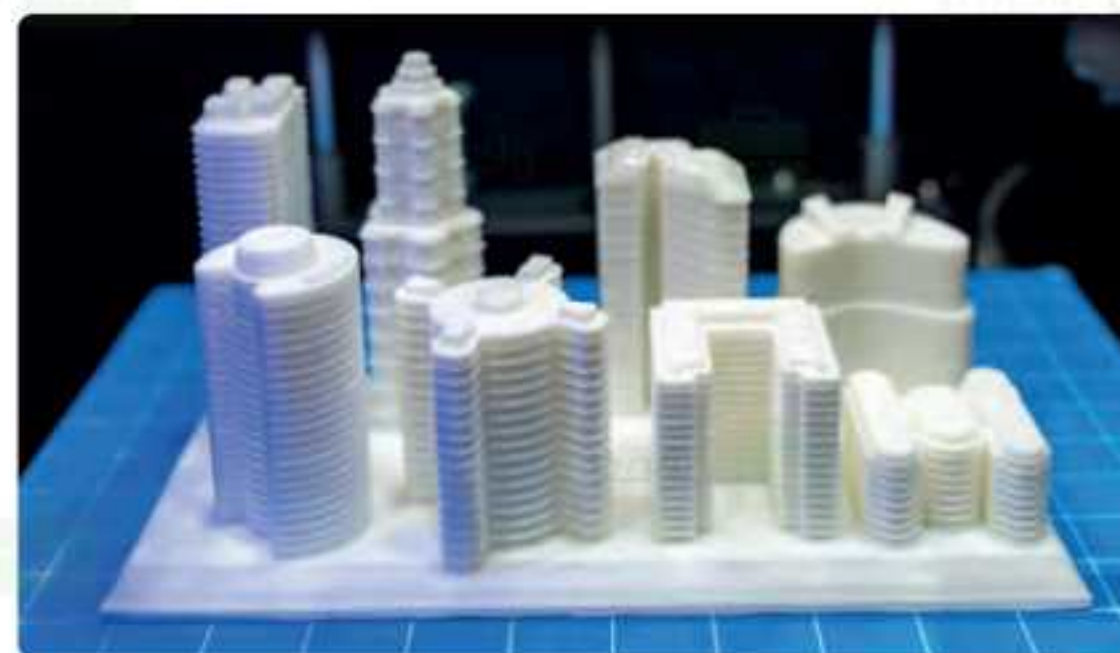
يستخدم الفنانون والنحاتون الطباعة ثلاثية الأبعاد لاستكشاف الأشكال والوظائف بطرائق جديدة، فقد بدأ العديد من الفنانين باستخدام النمذجة ثلاثية الأبعاد والمسح الضوئي والطباعة، حيث يوفر المسح الضوئي والطباعة ثلاثية الأبعاد كما يتضح في الشكل 3.19 إمكانيات تسمح للفنانين والمبتدئين بإعادة إنتاج أعمال احترافية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



شكل 3.19: قطعة فنية مطبوعة باستخدام طباعة ثلاثية الأبعاد

البناء Architecture

تستخدم الطباعة ثلاثية الأبعاد منذ سنوات طويلة لإنشاء نماذج معمارية دقيقة وفق رؤية الهندسة المعمارية، ويُعد هذا النوع من الطباعة طريقة سريعة وسهلة واقتصادية لإنتاج نماذج مفصلة بشكل مباشر من ملفات التصميم ثلاثية الأبعاد المنتجة بمساعدة الحاسب والبيانات الرقمية الخاصة بالمهندسين المعماريين، وتستخدم العديد من الشركات المعمارية الناجحة الطباعة ثلاثية الأبعاد، كما يتضح في شكل 3.20 لتعزيز الابتكار والتصميم السريع للنماذج الأولية.



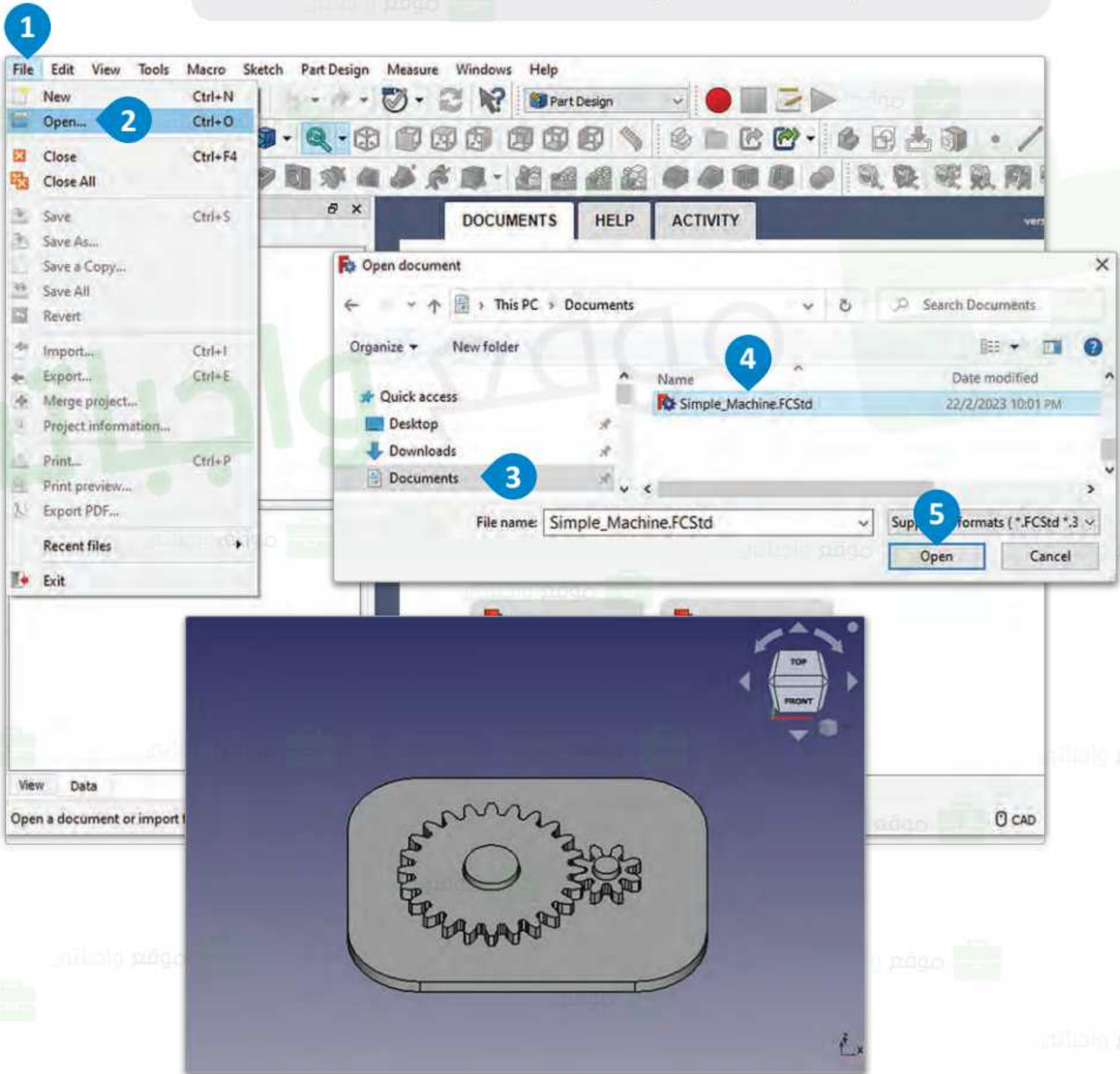
شكل 3.20: نموذج معماري مطبوع باستخدام طباعة ثلاثية الأبعاد

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

تعد طباعة النموذج ثلاثي الأبعاد مرحلة ممتعة في عملية التصميم، فهي المرحلة التي يصبح فيها إبداعك الافتراضي نموذجاً ملموساً يمكنك حمله وفحصه وعرضه، وللوصول إلى هذه المرحلة ستحتاج إلى تجهيز ملفك الرقمي لطابعته، ويتضمن تجهيز الملف الرقمي للطباعة عدداً من الخطوات، بدءاً 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.

افتح 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



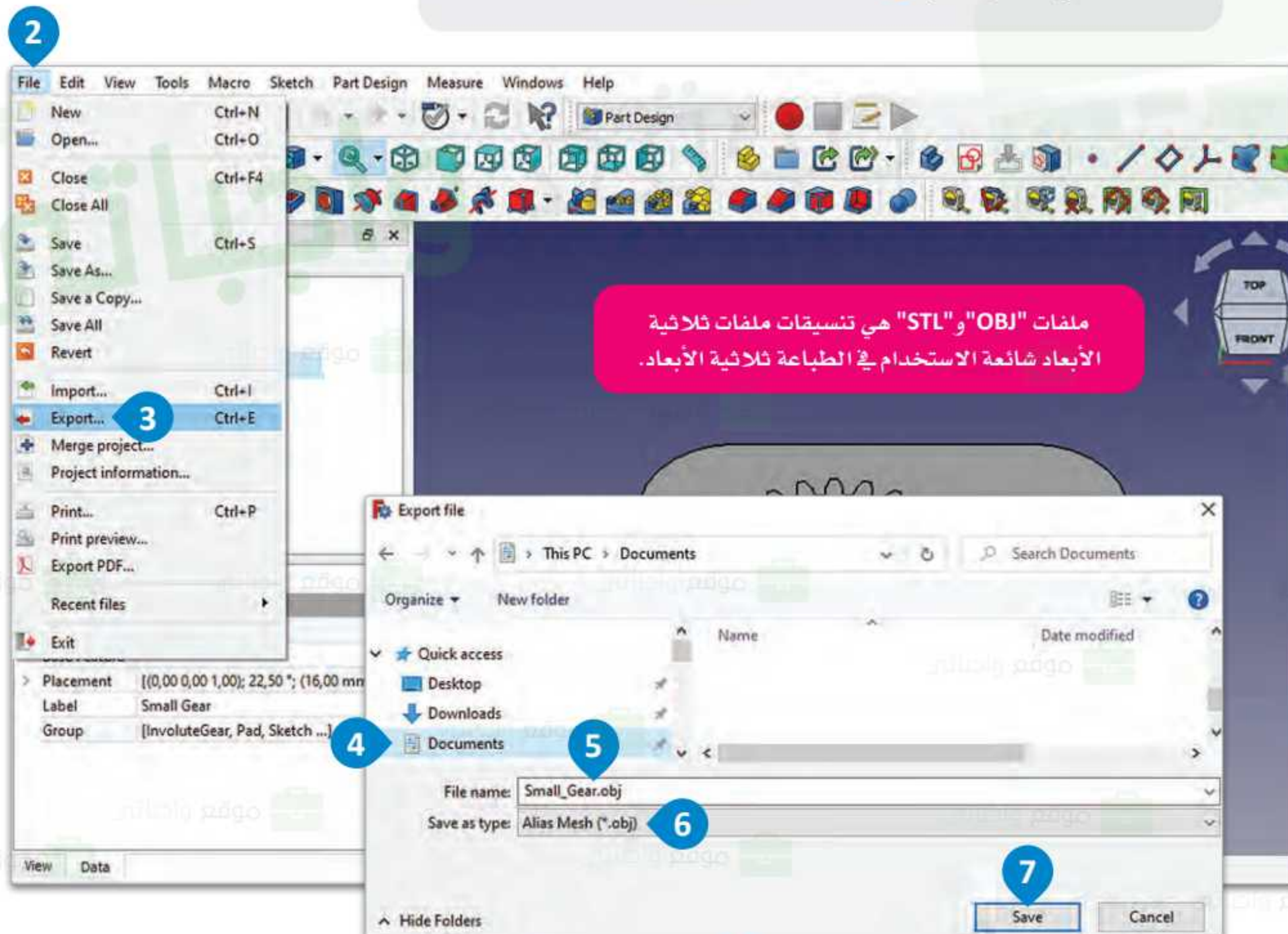
تصدير ملف Exporting a File

لتصدير ملف من برنامج فري كاد ، تحتاج إلى اختيار الترس الصغير (Small Gear) المطلوب ثم تصديره بتنسيق "OBJ" أو "STL" ، ثم تسمية الملف وتحديد الموقع الذي تريد حفظه به ، ويمكنك تكرار هذه العملية لأي هياكل إضافية مثل: الترس الكبير (Big Gear) ، والقاعدة (Base) التي تريد تصديرها ، فمجرد تصدير جميع الهياكل يمكنك استيرادها إلى برنامج التقطيع الخاص بالطباعة ثلاثية الأبعاد ، مثل برنامج ألتيميكور كيورا (Ultimaker Cura) ، الذي سيجعلها لعملية الطباعة ثلاثية الأبعاد.



لتصدير نموذج ثلاثي الأبعاد:

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



شكل 3.22: تصدير نموذج ثلاثي الأبعاد

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

ألتيميكور 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 الطباعة ثلاثية الأبعاد، ويتوافق هذا البرنامج مع مجموعة كبيرة من الطابعات ثلاثية الأبعاد، كما يوفر واجهة سهلة الاستخدام لتقطيع النماذج ثلاثية الأبعاد وإعدادها للطباعة. يمكنك تنزيل برنامج ألتيميكور كيورا (Ultimaker Cura) من الرابط التالي:

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

الطابعة المحددة.

مادة الطباعة.

قائمة ضبط
اعدادات الطباعة.

طرائق عرض مختلفة
لنموذج ثلاثي الأبعاد.





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

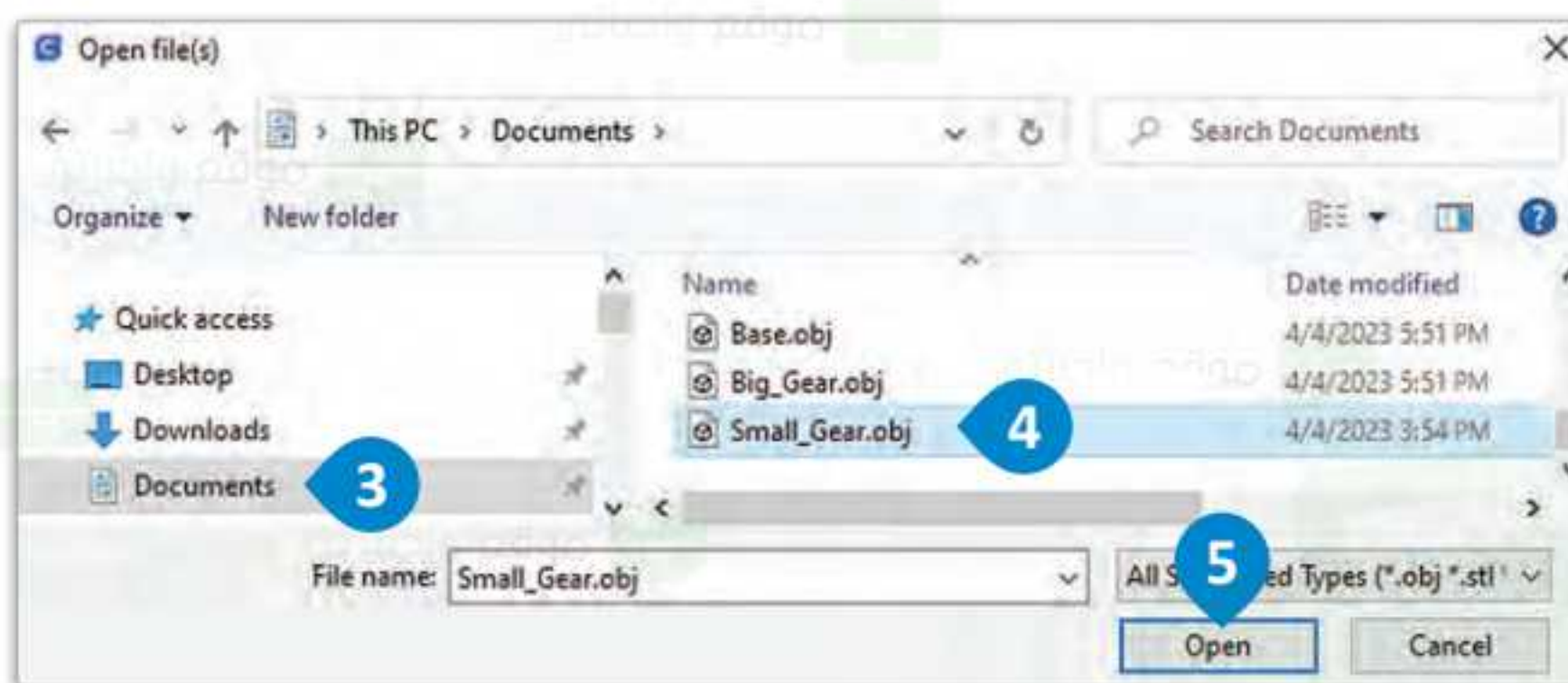


افتح ملف ".obj" :

< من Menu bar (شريط القائمة) ، اضغط على File (ملف) ، ثم حدّد Open Files (افتح الملفات) .

< اضغط على مجلد Documents (المستندات) ، ثم اختر الملف الذي تريد فتحه .

< اضغط على Open (فتح) .



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



شكل 3.24: فتح ملف ".obj"

قبل إضافة النموذجين الآخرين ثلاثي الأبعاد، ستتعرف على أدوات التصفح والتنقل في برنامج كيورا (Cura).

عند اختيارك مجسمًا، ستظهر قائمة بمجموعة متنوعة من الأدوات يمكنك استخدامها لضبط موضع ذلك المجسم وحجمه واتجاهه ومظهره. وتتضمن هذه الأدوات خيارات: للتحرك، والقياس، والتدوير، والمضاعفة، وتطبيق إعدادات كل نموذج، بالإضافة إلى أداة Support Blocker (هياكل الدعم)، التي تسمح للمستخدمين بإضافة هياكل الدعم أو إزالتها بشكل انتقائي لمناطق معينة من النموذج.



شكل 3.25: نموذج ثلاثي الأبعاد
لترس ذي ثمانية أسنان

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



تدوير طريقة
العرض.

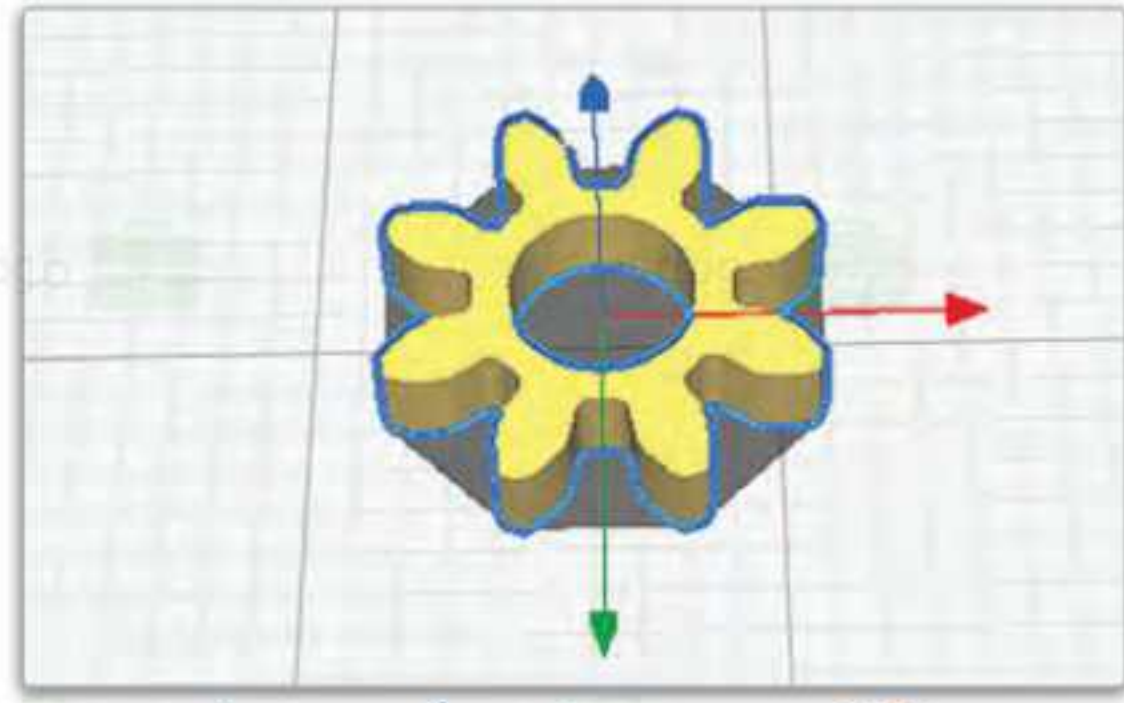


التكبير والتجول
بطريقة العرض.



تحديد أو إلغاء
تحديد المجسمات.

الوقت اللازم
للطباعة.



شكل 3.26: نموذج ثلاثي الأبعاد مكون من ثمانية أسنان

يجب أن تستخدم محاوراً متحركاً (Transformation Axis) لاحتواء النماذج الثلاثة ثلاثية الأبعاد في لوحة التصميم.

يمثل السهم الأحمر المحور X، ويمثل السهم الأخضر المحور Y، ويمثل السهم الأزرق المحور Z، كما تشير هذه الأسهم إلى الاتجاه الذي يمكن أن يتحرك به الجسم كما هو موضح في الشكل 3.26.

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



شكل 3.27: النماذج الثلاثة الموجودة على لوحة التصميم

عند إضافة المجسمات الثلاثة والضغط على زر Slicer (المُقطّع)، يمكنك أن تلاحظ أن الزمن تغير إلى 1 hour (ساعة) و 4 minutes (أربع دقائق).

معلومة

يعتمد قرار طباعة المجسمات بشكل منفصل أو بشكل مُجمّع على حجم النماذج، وتعقيدها، وعلى إمكانيات الطابعة، ويمكن أن توفر طباعة مجسمات متعددة معاً الوقت والمواد، ولكنها تزيد من خطر فشل الطباعة، خاصة إذا كانت النماذج كبيرة أو تتطلب إعدادات مختلفة.

أدوات الإدارة Management Tools

تميّز 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 فيبرز الحواف، وتساعد هذه الألوان في تمثيل النتيجة النهائية للطباعة ثلاثية الأبعاد قبل طباعتها الفعلية، مما يسهّل عملية تحديد المشكلات أو إيجاد المواضع التي تحتاج للتعديل قبل الطباعة. ألق نظرة على الجدول 3.3 لفهم أفضل لأدوات إدارة الطباعة المختلفة.

جدول 3.3: أدوات إدارة الطباعة

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



شكل 3.28: وضع المعاينة

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

ملف "gcode". ملف نصي عادي يحتوي على تعليمات للطباعة لإنشاء مجسم ثلاثي الأبعاد.



لإنشاء ملف للطباعة:

- 1 < اضغط على زر Slice (تقطيع).
- 2 < من Menu bar (شريط القائمة)، اضغط على File (ملف)، ثم
- 3 < اضغط على Export (تصدير).
- 4 < اضغط على مجلد Documents (المستندات).
- 5 < اكتب اسماً للملف.
- 6 < من القائمة المنسدلة: Save as type: (حفظ كنوع:)، اختر G-code File (*.gcode).
- 7 < ثم اضغط على Save (حفظ).



شكل 3.29: إنشاء الملف للطباعة

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

- "OBJ" أو "obj". تعني "مجسماً" وهو تنسيق ملف 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 قبل العديد من تطبيقات البرامج ثلاثية الأبعاد.
- "STL" أو "stl". تعني "الطباعة الحجرية المجسمة" وهو تنسيق ملف يحتوي فقط على الشكل الهندسي لسطح النموذج ثلاثي الأبعاد، ممثلاً بمجموعة من المثلثات المتصلة، ويُستخدم بشكل شائع في الطباعة ثلاثية الأبعاد، حيث يوفر نموذجاً مبسطاً يمكن استخدامه لإنشاء مجسم 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، وتتضمن تنسيقات الملفات الشائعة للطباعة ثلاثية الأبعاد تنسيقي "STL" و "OBJ" المدعومان على نطاق واسع من قبل معظم الطابعات وبرامج التقطيع.

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

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.



شكل 3.31: النماذج المطبوعة مجمعة



شكل 3.30: النماذج المطبوعة

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

جدول 3.4: نصائح مفيدة للطباعة

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

إعدادات الطباعة Printing Settings

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

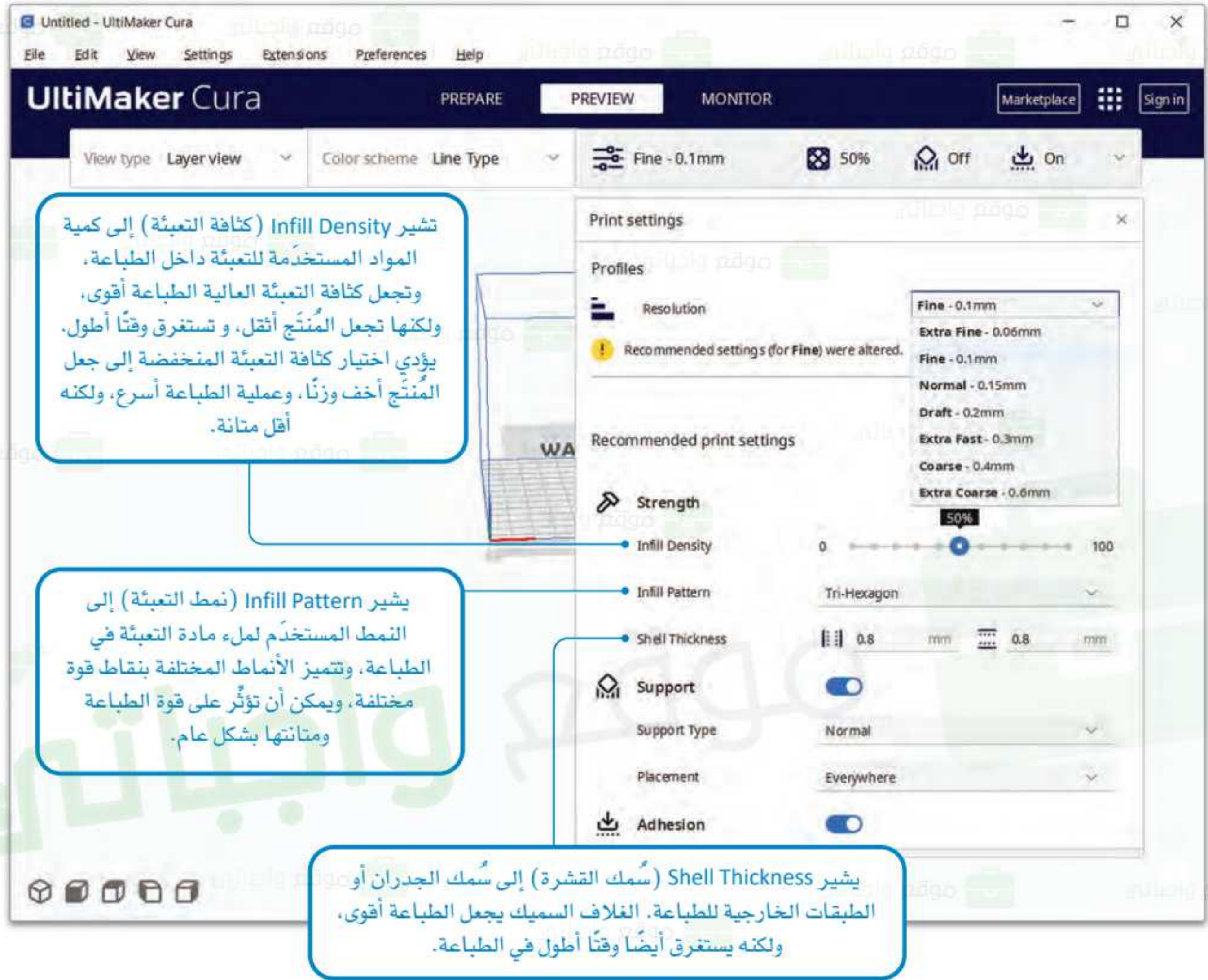
في الجدول 3.5 نستعرض بعض التفاصيل حول إعدادات الطباعة الموصى بها في برنامج كيورا، كما يمكنك معاينة خيارات الدقة المختلفة المتاحة وخصائصها.

جدول 3.5: إعدادات دقة برنامج كيورا

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

Extra Fine - 0.06mm
Fine - 0.1mm
Normal - 0.15mm
Draft - 0.2mm
Extra Fast - 0.3mm
Coarse - 0.4mm
Extra Coarse - 0.6mm

تشير الدقة (Resolution) في برنامج كيورا إلى ارتفاع طبقة النموذج أو الجسم ثلاثي الأبعاد المطبوع، ويحدد ارتفاع الطبقة جودة الجسم المطبوع ودقته، بالإضافة إلى الوقت المستغرق في عملية الطباعة.



شكل 3.32: إعدادات الطباعة



شكل 3.33: إعدادات طباعة مخصصة

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

استعرض محتوى الجدول 3.6 للتعرف على بعض الإعدادات المخصصة.

جدول 3.6: إعدادات الطباعة المخصصة

الوصف	الخاصية
يُحدّد هذا الإعداد الجودة الإجمالية للطباعة، حيث إنّ إعدادات الجودة الأعلى يُنتج عنها تفاصيل أدق في المُنتج، وأسطحًا أكثر نعومة، وتتضمن هذه الخاصية إعدادات مثل ارتفاع الطبقة (Layer Height)، وسُمك الطبقة الأولية (Initial Layer Thickness)، وعرض الخط (Line Width).	الجودة (Quality)
يحدّد هذا الإعداد عدد الجدران أو الحواف التي ستتم طباعتها حول محيط الجسم، كما يؤثر هذا الإعداد على قوة الطباعة ومتانتها، حيث توفر المزيد من الحواف قوة أكبر للنموذج.	الجدران (Walls)
يحدّد هذا الإعداد سماكة ونمط الطبقات العلوية والسفلية للطباعة، كما يؤثر على نعومة الأسطح العلوية والسفلية.	أعلى أو أسفل (Top/Bottom)
يحدّد هذا الإعداد كثافة التعبئة ونمطها، أو الهيكل الداخلي للطباعة، ويؤثر هذا الإعداد على قوة المُنتج ووزنه ومرونته.	التعبئة (Infill)
يحدّد هذا الخيار نوع المادة المستخدمة للطباعة، مثل PLA أو ABS أو PETG، مما يؤثر على خصائص المُنتج كالقوة والمرونة ومقاومة الحرارة.	المادة (Material)
يحدّد هذا الإعداد السرعة التي ستتحرك بها الطباعة وسرعة بثق المواد أثناء الطباعة، ويؤثر أيضًا على الوقت المطلوب للطباعة وعلى جودتها، حيث تُنتج السرعات الأعلى المُنتج بشكل أسرع، ولكن بجودة أقل.	السرعة (Speed)
يحدّد هذا الإعداد السرعة والمسار اللذين ستستخدمهما الطباعة عند التنقل بين أجزاء مختلفة من المُنتج خلال الطباعة، ويؤثر هذا الإعداد على وقت وجودة الطباعة بشكل عام، حيث يتيح التنقل الأكثر سلاسة إنتاج مُنتج ذو جودة أفضل.	المسار (Travel)
يحدّد هذا الإعداد سرعة المروحة ووقت التبريد المستخدم أثناء الطباعة، مما يؤثر على جودة الطباعة. يُحدّ التبريد الأفضل من مخاطر الالتواء والتشوه والعيوب الأخرى في المُنتج.	التبريد (Cooling)
يحدّد هذا الإعداد ما إذا كانت هياكل الدعم ستُطبع أم لا، لدعم طباعة العناصر المتدلية أو المعقّدة، ويؤثر هذا الإعداد على وقت وجودة الطباعة بشكل عام، حيث يساهم وجود المزيد من هياكل الدعم في ضمان جودة الطباعة بشكل أفضل، ولكنه يتطلب وقتًا أطول للطباعة.	الدعم (Support)
يحدّد هذا الإعداد نوع اللاصق المستخدم لإلحاق الجزء المطبوع بلوحة التصميم. تتضمن هذه الأنواع الحافة (Brim)، والطوف (Raft)، والصمغ (Glue Stick)، ويؤثر هذا الإعداد على جودة الطباعة الإجمالية وقدرة الطباعة على الارتباط بلوحة التصميم أثناء الطباعة.	لاصق لوحة الإنشاء (Build Plate Adhesion)
يحدّد إعداد البثق المزدوج ما إذا كانت الطباعة ستستخدم آلات بثق متعددة لطباعة مواد أو ألوان مختلفة في الوقت نفسه أم لا، ويؤثر هذا الإعداد على وقت الطباعة وجودتها بشكل عام، حيث يُنتج عن البثق المزدوج مطبوعات أكثر تعقيدًا وملونة، ولكنه يزيد أيضًا من مخاطر حدوث عيوب في الطباعة.	البثق المزدوج (Dual Extrusion)

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

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

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

تمرينات

خاطئة	صحيحة	1 حدّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:
✓	•	1. لا يمكن إنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد إلا باستخدام أدوات التصميم بمساعدة الحاسب (CAD). يتم إنشاؤها باستخدام أنواع أخرى من البرامج أيضا.
✓	•	2. يمكن للطابعات ثلاثية الأبعاد العمل على محوري X-Y فقط. يمكنها العمل على المحور Z أيضا.
•	✓	3. تقلّل الطابعات ثلاثية الأبعاد من مخاطر الأخطاء البشرية.
•	✓	4. تعالج الطباعة الحجرية المجسّمة (SLA) مادة الصمغ السائل بشعاع الليزر.
•	✓	5. يستخدم التليد بالليزر المسحوق كمادة أساسية.
•	✓	6. يُستخدم الورق في الطابعات ثلاثية الأبعاد كمادة أساسية للطباعة.
✓	•	7. لا يمكن طباعة الأنسجة البشرية الحية ثلاثية الأبعاد. يمكن طباعتها.
•	✓	8. تمتاز المنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد ببصمة كربونية أقل من تلك التي تُصنع بالطرائق التقليدية.
✓	•	9. لا يمكن استخدام المجسمات المطبوعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج قطع الغيار. يتم استخدامها على نطاق واسع لإنشاء قطع غيار.
•	✓	10. يمكن استخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد لطباعة نماذج جديدة من الأعمال الفنية القديمة.

2 عرّف الطباعة ثلاثية الأبعاد، وصِف مدى تأثيرها على عمل المهندسين والمصممين.

هي طباعة تنتج مجسّماً واقعياً من ملف النموذج الرقمي ثلاثي الأبعاد، عن طريق تطبيق عدة طبقات رقيقة من المواد المحددة بالتتابع. يستخدم المهندسون والمصممون الطابعات ثلاثية الأبعاد لاختبار النماذج الأولية، كما تستخدم شركات التصنيع هذه الطابعات لتصنيع بعض الأجزاء المعقدة لمنتجاتها. إضافة إلى ذلك، يمكن 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 قبل الأفراد، دون الحاجة إلى التدريب المهني أو المعدات المتخصصة، مما يتيح للأشخاص تصنيع أشياء ومنتجات لم يكن بإمكانهم إنشاؤها من قبل. تُعدّ الطباعة ثلاثية الأبعاد عملية تصنيع دون استخدام اليدين، حيث كان على المهندسين استخدام آلات الحفر والطحن، والمخارط، إضافة إلى تقنيات المحاذاة والقياس، وكذلك معالجة قطع العمل يدوياً، الأمر الذي كان عُرضة للأخطاء البشرية وواجه تحديات كبيرة في سبيل تحقيق دقة عالية، بينما تسمح الطباعة ثلاثية الأبعاد بإنتاج مجسمات معقدة ومركّبة، مع تقليل احتمالية حدوث خطأ بشري.

3 حَلُّ الاختلافات الرئيسية بين طابعات الطباعة الحجرية المجسّمة (SLA)، وطابعات معالجة الضوء الرقمي (DLP).

- الطباعة الحجرية المجسّمة (SLA) هي طريقة تعتمد على الليزر واستخدام أصماغ البولييمرات الضوئية لصنع أجزاء دقيقة، حيث توضع البولييمرات الضوئية في حاوية مع منصة مدعّمة قابلة للحركة، وينبعث ليزر ساخن في محوري X-Y على سطح الصمغ في النموذج ثلاثي الأبعاد، مما يؤدي إلى تصلّب الصمغ بشكل دقيق حيث يقع شعاع الليزر، بينما طابعات معالجة الضوء الرقمي (DLP) هي تقنية طباعة ثلاثية الأبعاد تستخدم البولييمرات الضوئية كما هو الحال في الطباعة الحجرية المجسّمة.

- الفرق بين الطباعة الحجرية المجسّمة (SLA)، ومعالجة الضوء الرقمي (DLP) هو في مصدر الإضاءة، حيث تستخدم طابعات معالجة الضوء الرقمي (DLP) مصدر إضاءة عام مع لوحة شاشة العرض البلوري السائل (LCD) أو جهاز مرآة قابل للتعديل (DMD) يتم تطبيقه في مسار واحد على الحاوية التي تحتوي على صمغ البولييمر الضوئي، مما يجعلها أسرع من الطباعة الحجرية المجسّمة (SLA).

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

يعتمد استخدام المسحوق على الترابط الطبقي، حيث تُرش مادة من مسحوق أساسي لإنشاء طبقة تندمج بشكل انتقائي مع طبقة أخرى لتكوين النموذج النهائي، وفي الوقت نفسه يدخل الصمغ السائل في الطباعة مثل: الطباعة الحجرية المجسّمة التي تستخدم أصماغ البولييمرات الضوئية.

عند استخدام المسحوق يكون لديك تحكم أكبر في كمية مادة الطباعة المنبعثة، ويكون هيكل المنتج المطبوع أكثر كثافة وغير قابل للكسر بشكل أكبر.

5 اشرح كيفية عمل طباعة اللحام بالشعاع الإلكتروني (EBM)، واذكر سبب استخدامها بكثرة في التطبيقات الصناعية. تعتمد تقنية اللحام بالشعاع الإلكتروني (EBM) على استخدام شعاع إلكتروني وليس ليزري كمصدر حراري، ولذلك يجب استخدام هذه التقنية في بيئة خالية من الهواء (فراغ)، وباستخدام تلك التقنية يمكن إنشاء أجزاء كثيفة كاملة من سبائك معدنية مختلفة، مما يسمح بصناعة المنتج بدقة وتخصيصه، كما تُستخدم بكثافة في صناعات السيارات والطيران لتصنيع الأجزاء المعقدة.

6 اذكر الأنواع المختلفة من المواد البلاستيكية المستخدمة كمادة أساسية في الطباعة ثلاثية الأبعاد.

- يُستخدم النايلون البلاستيكي على شكل مسحوق في عملية التليد والإنصهار وذلك في نمذجة الترسيب المنصهر (FDM)، ويتميز هذا النوع من البلاستيك بالقوة والمتانة والمرونة في عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد، وتتوفر المادة عادةً باللون الأبيض، ولكن يمكن تلوينها قبل الطباعة أو بعدها، كما يمكن استخدامها مع مسحوق الألومنيوم لصنع مواد طباعة ثلاثية الأبعاد.

- مادة أكريلونيتريل بوتادين ستايرين (ABS) التي تُستخدم على نطاق تجاري واسع وتتوفر على شكل خيوط في طابعات نمذجة الترسيب المنصهر (FDM) الأساسية، وتتميز هذه المادة البلاستيكية بالقوة، وتتوفر منها ألوان عديدة.

- تستخدم مادة حمض اللبنيك (PLA) كمادة لاصقة للطباعة في تقنية الطباعة الحجرية وتقنية معالجة الضوء الرقمي DLP / SL وفي خيوط نمذجة الترسيب المنصهر (FDM)، وتتميز هذه المادة البلاستيكية بأنها قابلة للتحلل، وتتوفر بعدة ألوان بما فيها اللون الشفاف، وتعدُّ مثالية للطباعة ثلاثية الأبعاد على الرغم من أنها أقل متانة ومرونة من سابقتها أكريلونيتريل بوتادين ستايرين (ABS).

- السرعة: توفر الطباعة ثلاثية الأبعاد القدرة على إنتاج نموذج أو منتج معين في غضون ساعات أو حتى دقائق، وذلك مقارنة بأساليب التصنيع التقليدية التي قد تستغرق أياماً أو أسابيع.
- القدرة على التخصيص: تتيح الطباعة ثلاثية الأبعاد التخصيص الشامل للمنتجات حسب الاحتياجات المحددة، كما تسمح بتصنيع العديد من المنتجات في الموقع نفسه دون أي تكلفة إضافية.
- تصنيع المكونات المعقدة: تتيح الطباعة ثلاثية الأبعاد إنشاء مجسمات معقدة لا يمكن صنعها بأي طريقة أخرى، وقد استخدم المصممون والفنانون هذه الميزة بشكل كبير، وكان لها تأثير كبير على التطبيقات الصناعية التي تهدف إلى إنتاج مكونات معقدة تكون أخف وأقوى من سابقتها.
- استخدام أقل للأدوات والآلات: يُعد إنتاج الأدوات والآلات المستخدمة في تطوير المنتجات الصناعية أمراً مكلفاً وشاقاً، إلا أن الطباعة ثلاثية الأبعاد يمكن أن تساعد في خفض تكاليف الإنتاج، وتقليل عدد العمال والوقت المستغرق في إنتاج المنتجات المتوسطة وصغيرة الحجم. لذا فقد قامت العديد من الشركات باستغلال هذه الميزات، مما أتاح لها تصميم المنتجات والمكونات دون الحاجة للتصميم المعقد هندسياً للأجزاء المختلفة، وبالتالي التقليل بشكل كبير من الحاجة للعمالة للتجميع والتكاليف الأخرى للإنتاج.
- الاستدامة: تُعد الطباعة ثلاثية الأبعاد تقنية موفرة للطاقة، حيث يمكن الحد من مخلفات التصنيع، وصناعة منتجات تدوم لوقت أطول، وتتضمن تصميمًا أخف وأقوى وبصمة كربونية أقل من المنتجات التي يتم إنشاؤها تقليدياً.
- سهولة الاستخدام: تتسم عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد بخطواتها البسيطة، مما يسمح للأفراد ذوي المعرفة التقنية المحدودة بتصميم الأشياء وطباعتها دون الحاجة إلى مهارات أو تدريب مخصص.

- يُعد مسحوق الفولاذ المقاوم للصدأ أحد أقوى المعادن وأكثرها استخداماً لتطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد المختلفة، ويمكن طلاء الفولاذ ليبدو كالذهب أو البرونز، كما يُمكن طباعة الذهب والفضة باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد مباشرة بغرض صناعة المجوهرات، ويتوفر التيتانيوم على شكل مسحوق أيضاً، ويُعد واحداً من أقوى المعادن للتليد الصناعي والطباعة ثلاثية الأبعاد في تقنية اللحام بالشعاع الإلكتروني (EBM).
- يمكن طباعة السيراميك ثلاثي الأبعاد لأغراض الزينة المنزلية، أو للمنتجات التي تحتاج إلى مادة متخصصة، ويجب حرق أجزاء السيراميك وصقلها بعد الطباعة تماماً كما هو الحال في التطبيقات التقليدية لمواد السيراميك.

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

كان القطاع الطبي من أوائل القطاعات التي بدأت باستخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد، وذلك نظراً لإمكانية تخصيص المنتجات حسب حاجة كل مريض، وإمكانية 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، وتستخدم هذه التقنية أيضاً لتصنيع مفاصل الورك والركبة الاصطناعية، وسماعات الأذن الطبية، والنعال التقويمية للأحذية، والأطراف الصناعية المخصصة، والأطراف الصناعية للمرضى ذوي الاحتياجات الخاصة، وتساعد المعينات الجراحية المطبوعة ثلاثية الأبعاد الجراحين في علاج المرضى خلال مراحل التعافي من الجراحة.

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

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، وأدى التطور السريع في عمليات التصنيع ومواده إلى استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في إنتاج بعض الأجزاء البسيطة للطائرات وجعله أمراً واقعاً. اتبع العديد من صانعي السيارات مسار صناعة الطيران، وقد لجأ المصنعون أولاً إلى استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج النماذج الأولية، 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 بدلاً من الاحتفاظ بمخزون احتياطي من هذه الأجزاء والقطع في المخازن.



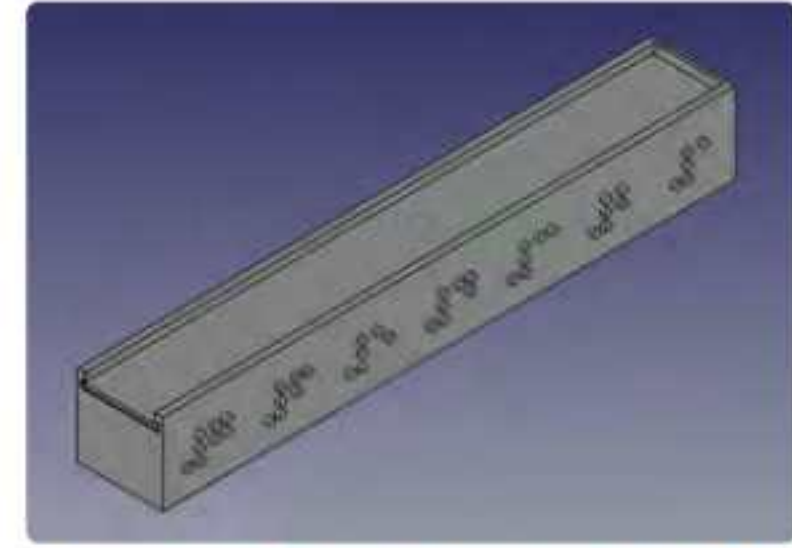
الدرس الثاني تصميم وإنشاء مُنتج ثلاثي الأبعاد

تصميم صندوق أقراص الدواء Design a Pill Box

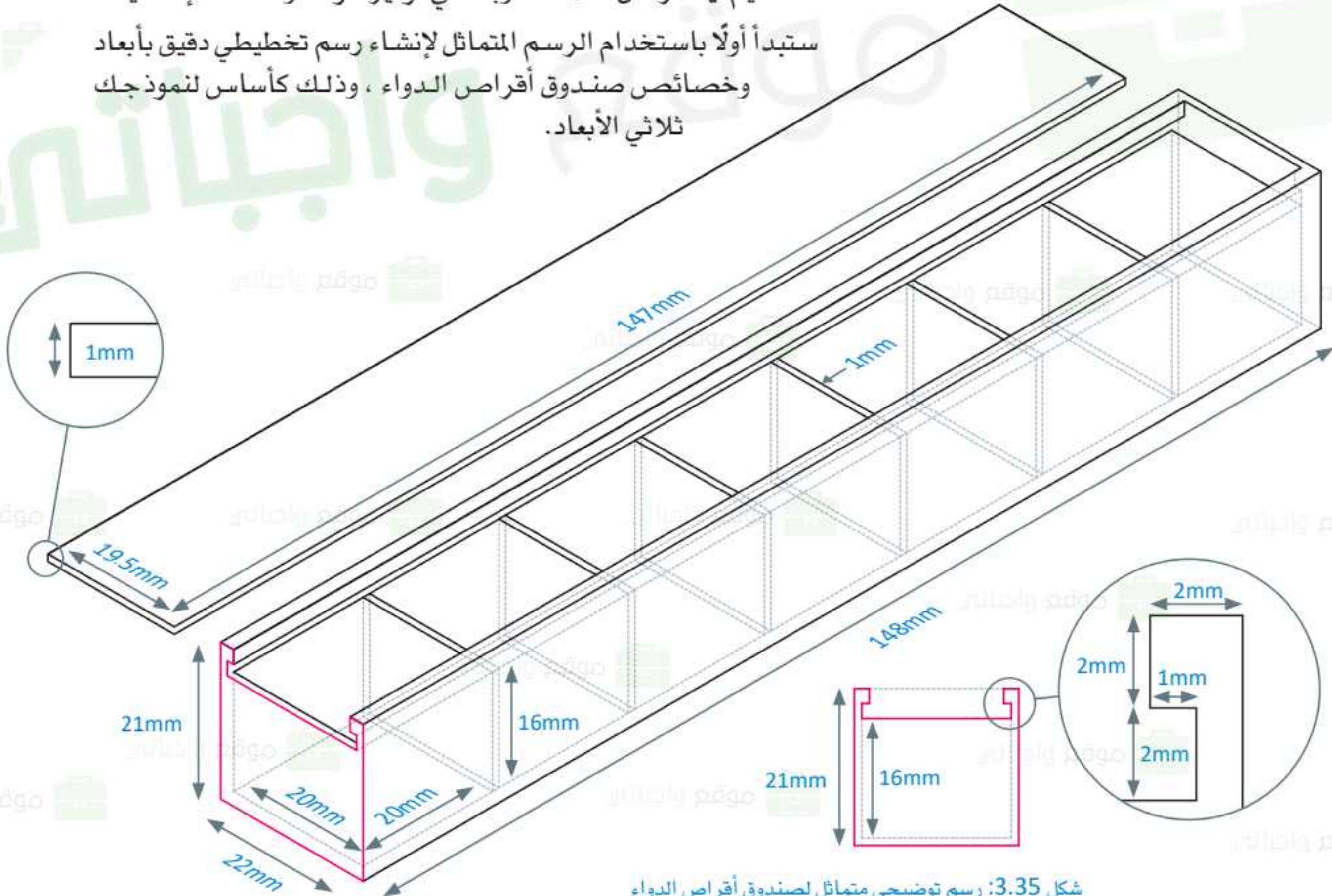
صندوق أقراص الدواء هو وعاء صغير يُستخدم لتخزين وتوزيع أقراص الدواء حسب أيام الأسبوع، وفي هذا الدرس ستصمم هذا الصندوق، وتطبقه باستخدام الطابعة ثلاثية الأبعاد، بحيث يحتوي على حيز يُمكن إغلاقه لحفظ الأقراص داخله، وستتميز أيام الأسبوع باستخدام الأرقام بنظام برايل (Braille) على الصندوق كما هو موضح في الشكل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

ستركّز بشكل خاص على التعرف على مرحلة النموذج الأولي في عملية التصميم، حيث ينتج المصممون أفكاراً أولية لإنشاء هذا النموذج، وذلك لاستكشاف إمكانيات وخيارات التصميم المختلفة، ثم ستقوم باستخدام طريقة الرسم المتماثل لإنشاء رسم تخطيطي مفصل يمكنك من خلاله معاينة آلية عمل صندوق أقراص الدواء والتأكد من تصميم مكوناته بطريقة مناسبة لعملية التصنيع. سيمكنك هذا من إنشاء تصوير مرئي دقيق للمنتج، وجعل عملية التصميم أكثر كفاءة، والحد من التغيير في التصميم في المراحل اللاحقة، وبالتالي توفير الوقت والتكلفة الإضافية.

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



شكل 3.34: نموذج ثلاثي الأبعاد لصندوق أقراص الدواء



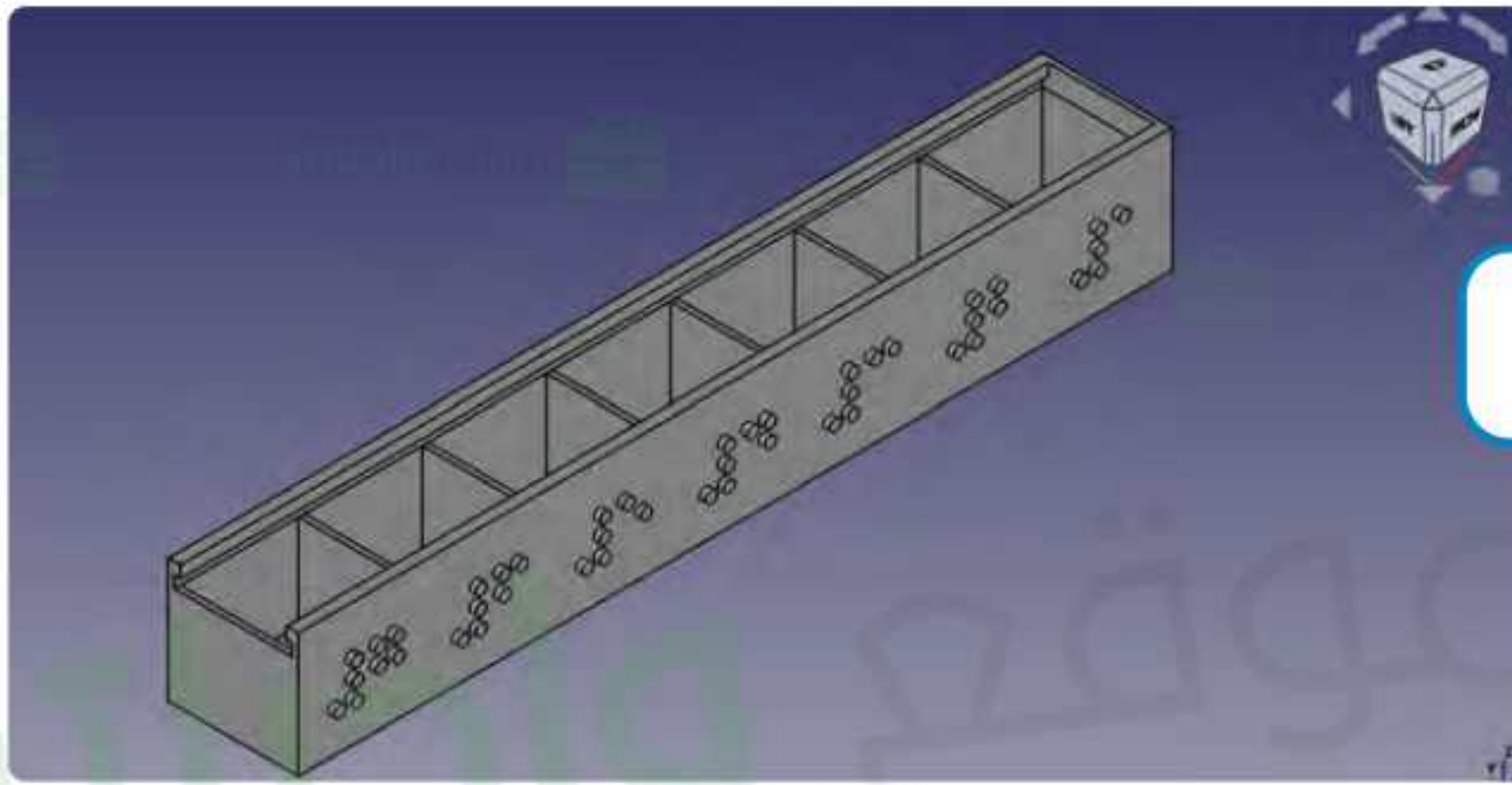
شكل 3.35: رسم توضيحي متماثل لصندوق أقراص الدواء



سيكون نموذج صندوق أقراص الدواء من هيكليين مختلفين هما:



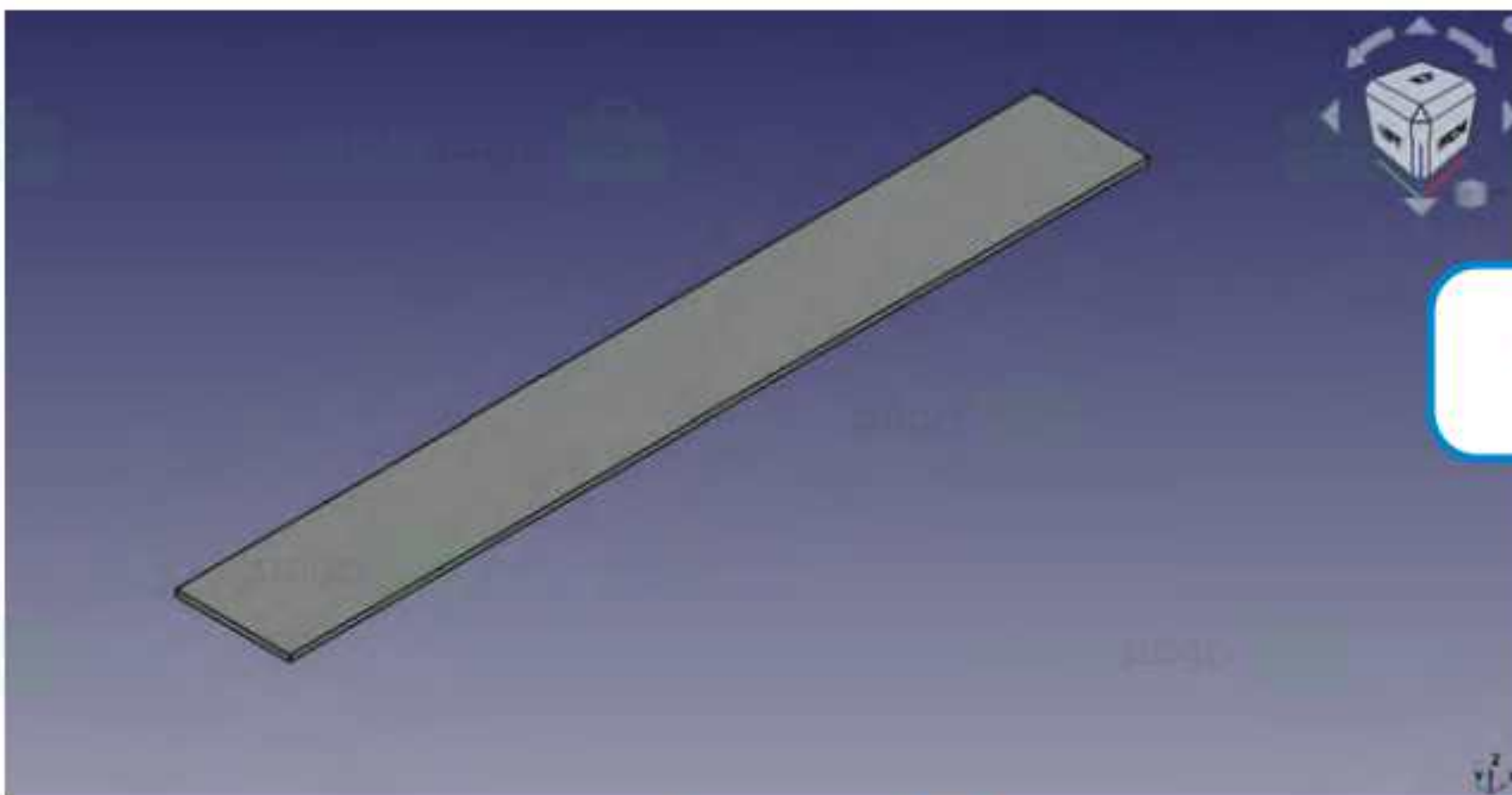
هيكل صندوق أقراص الدواء (Pillbox-Body) هو صندوق مستطيل مُصمَّم لتخزين وتوزيع الأقراص لكل يوم من أيام الأسبوع، ويبلغ طوله 148 ملليمتر، وعرضه 21 ملليمتر وعمقه 21 ملليمتر، كما يحتوي الصندوق على فجوة بالأعلى حيث سيتم إدخال الغطاء، ويتم عمل الفجوة باستخدام تجويف طوله 147 ملليمتر. يحتوي هيكل صندوق أقراص الدواء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



الاسم: PillboxBody (هيكل صندوق أقراص الدواء).

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 ملليمتر، وعرضه 19.5 ملليمتر وعمقه 1 ملليمتر، وسيوضع هذا الغطاء أعلى هيكل صندوق أقراص الدواء، ليغطي الصناديق السبعة ويحافظ على الأقراص في مكانها.

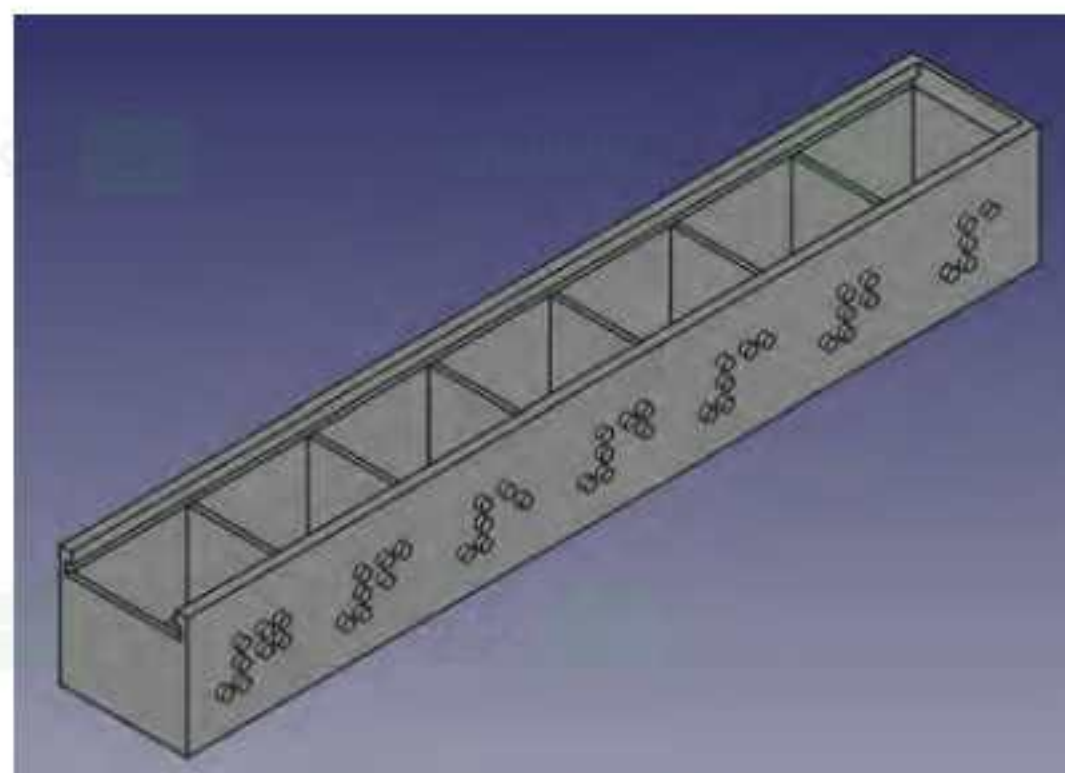


الاسم: Pillbox-Cap (غطاء صندوق أقراص الدواء).

شكل 3.37: غطاء صندوق أقراص الدواء



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



شكل 3.38: صندوق أقراص الدواء

تصميم هيكل صندوق أقراص الدواء

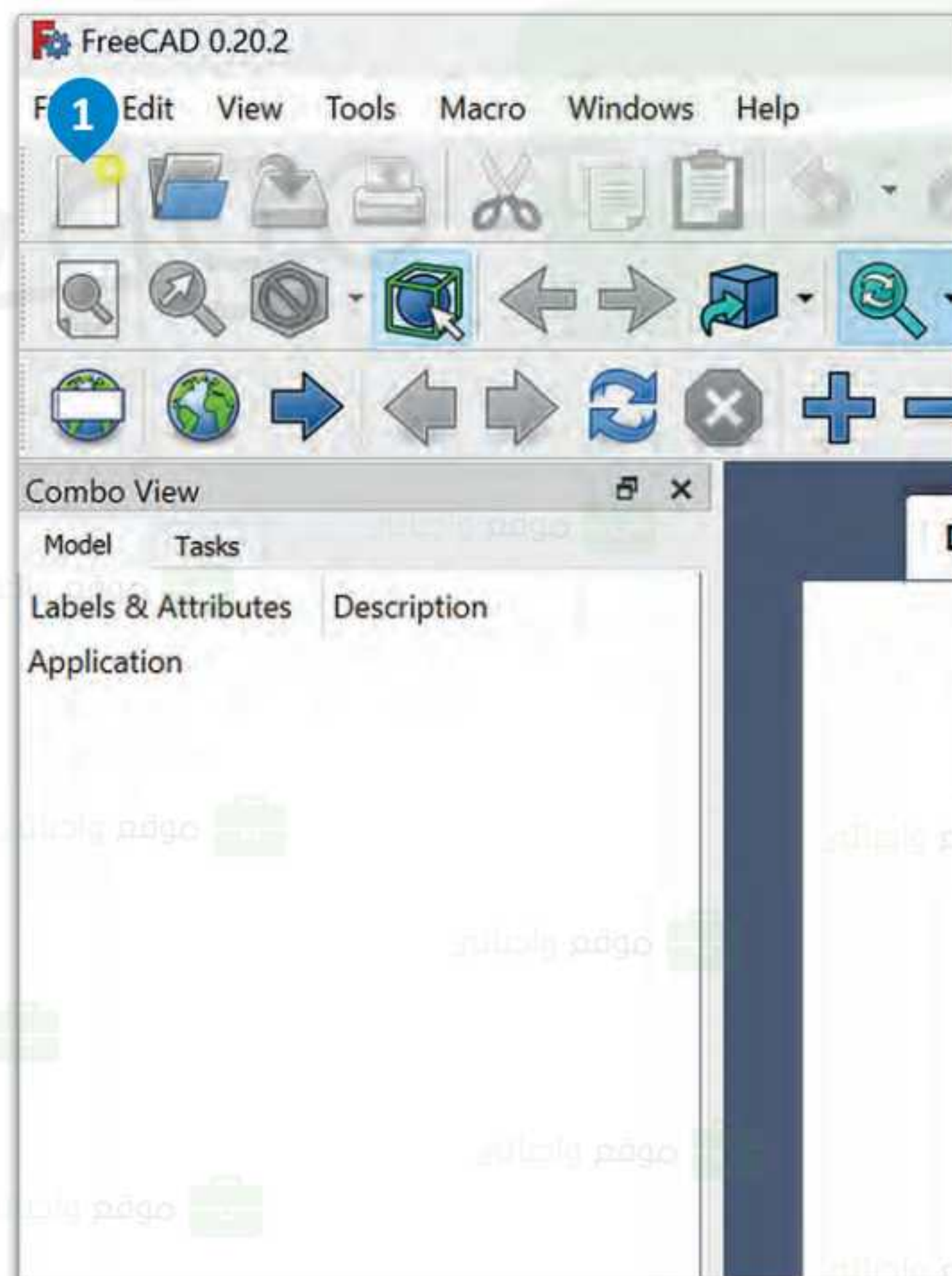
Design the Pillbox-Body

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

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



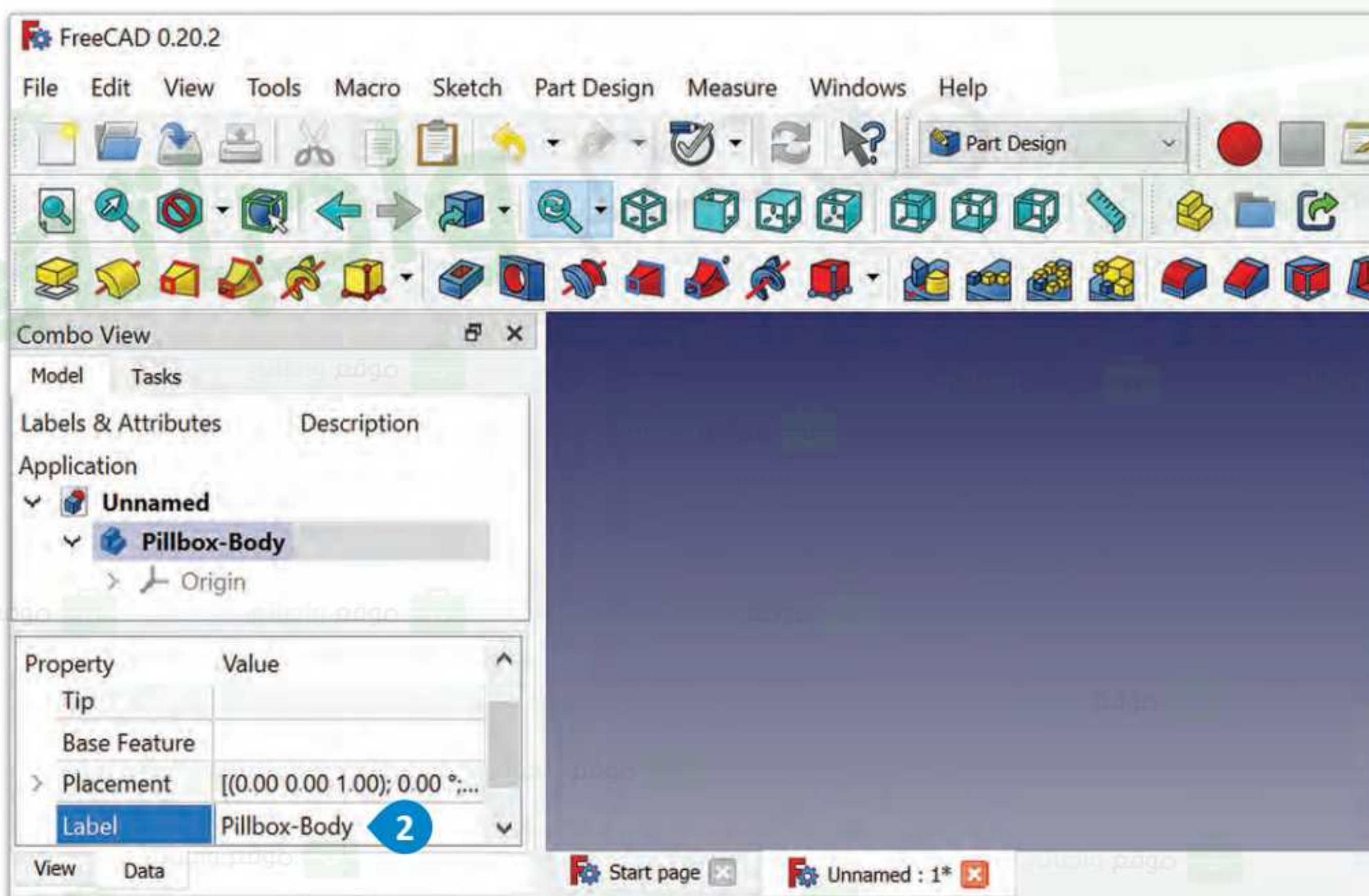
شكل 3.39: إنشاء مستند جديد



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

لإنشاء هيكل صندوق أقراص الدواء:

- 1 < من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create body (إنشاء هيكل).
- 2 < من علامة تبويب Data (البيانات)، غير الاسم إلى Pillbox-Body (هيكل صندوق أقراص الدواء).



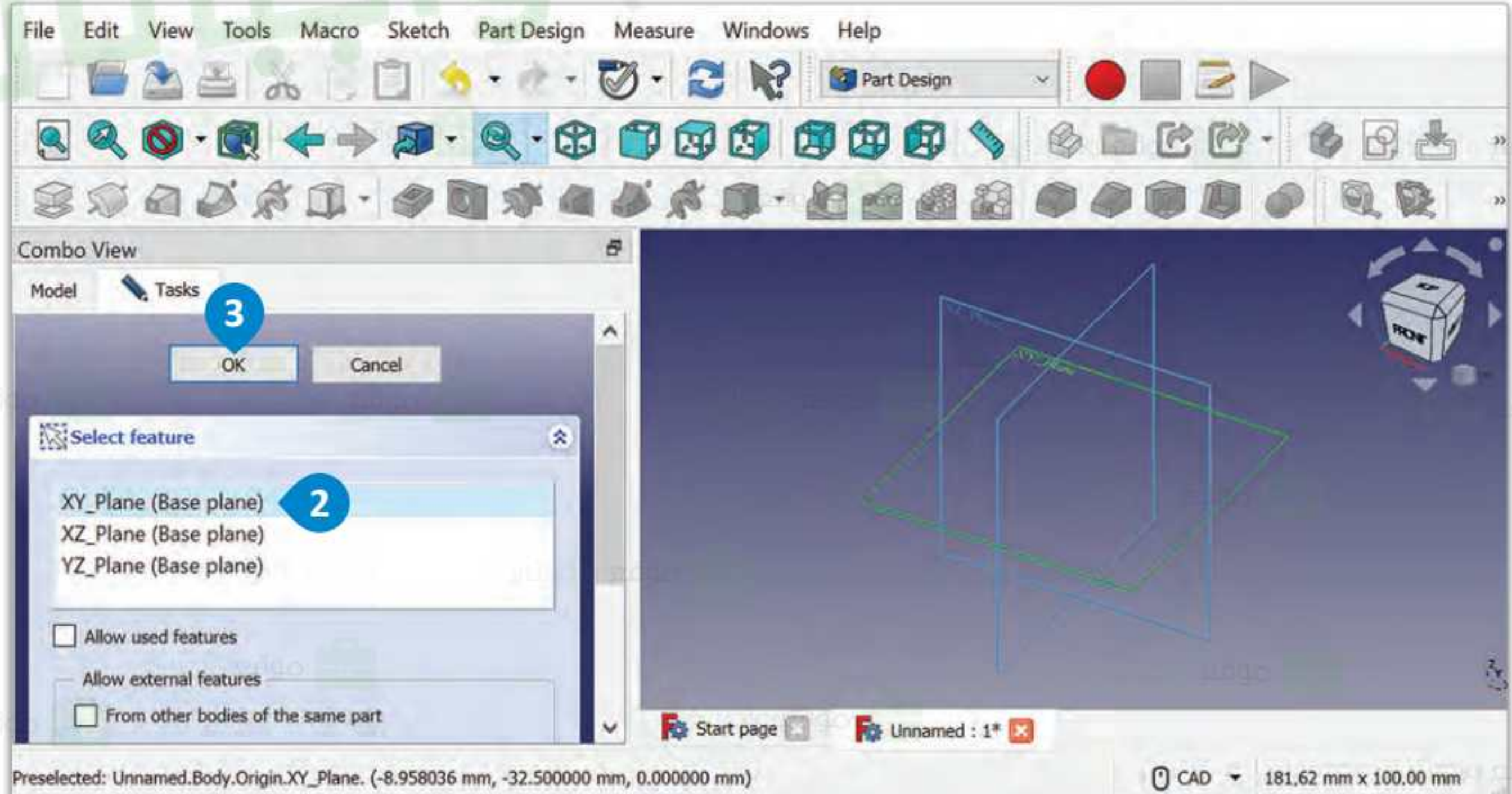
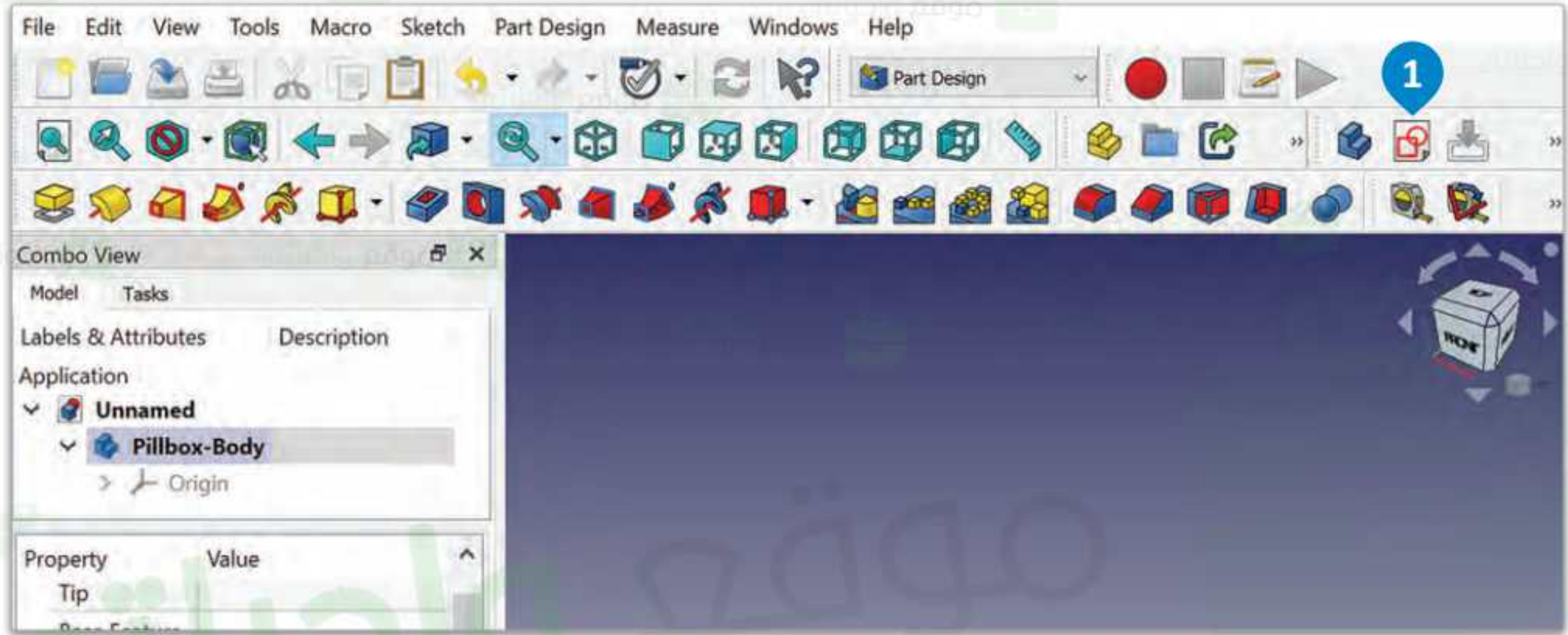
شكل 3.40: إنشاء هيكل صندوق أقراص الدواء



بعد ذلك أنشئ رسماً تخطيطياً جديداً ثم اختر سطح عمل الرسم الهندسي XY.

لإنشاء رسم تخطيطي واختيار السطح XY:

- 1 < من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create sketch (إنشاء رسم تخطيطي).
- 2 < من علامة تبويب Tasks (المهام) في Combo View (عرض المجموعة)، اضغط على XY-Plane (السطح - XY).
- 3 < من علامة تبويب Tasks (المهام) في Combo View (عرض المجموعة)، اضغط على OK (موافق).



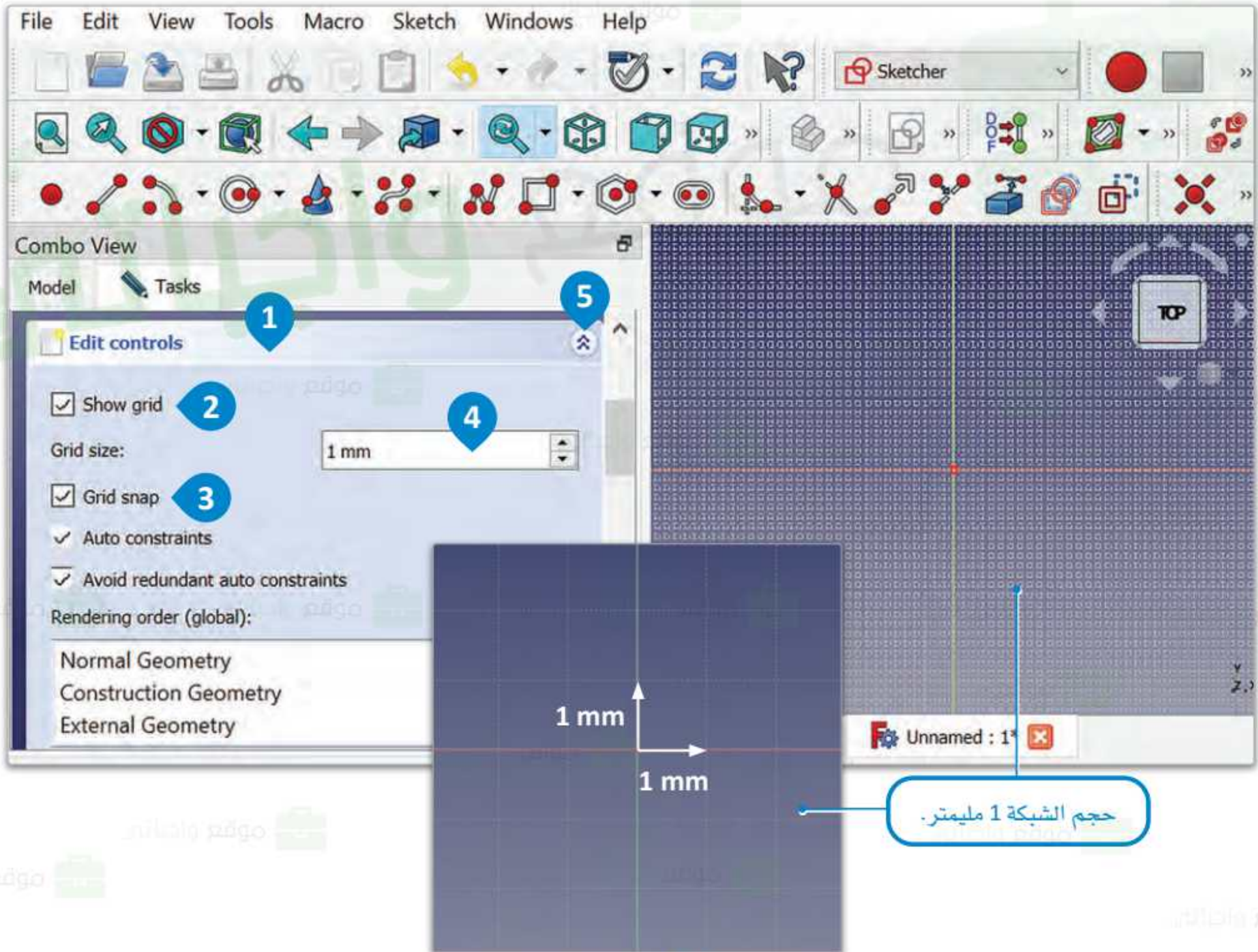
شكل 3.41: إنشاء رسم تخطيطي واختيار السطح XY

يُعدُّ ضبط الشبكة (Grid) على 1 ملليمتر أمراً ضرورياً، حيث يسمح بالتصميم بشكل أكثر دقة، فباستخدام شبكة أصغر يمكنك إنشاء تفاصيل بدقة عالية، وهي مهمة لوظيفة المنتج النهائي ومظهره، وتساعد في التأكد من تصميم جميع الأجزاء بالقياس والنسب الصحيحة، وهو أمر ضروري لتركيب القطع معاً 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) ، غير Grid size (حجم الشبكة) إلى 1mm (1 ملليمتر). ④
- < من علامة تبويب Tasks (المهام) ، اضغط على Edit controls (تحرير عناصر التحكم) لتصغير علامة التبويب. ⑤

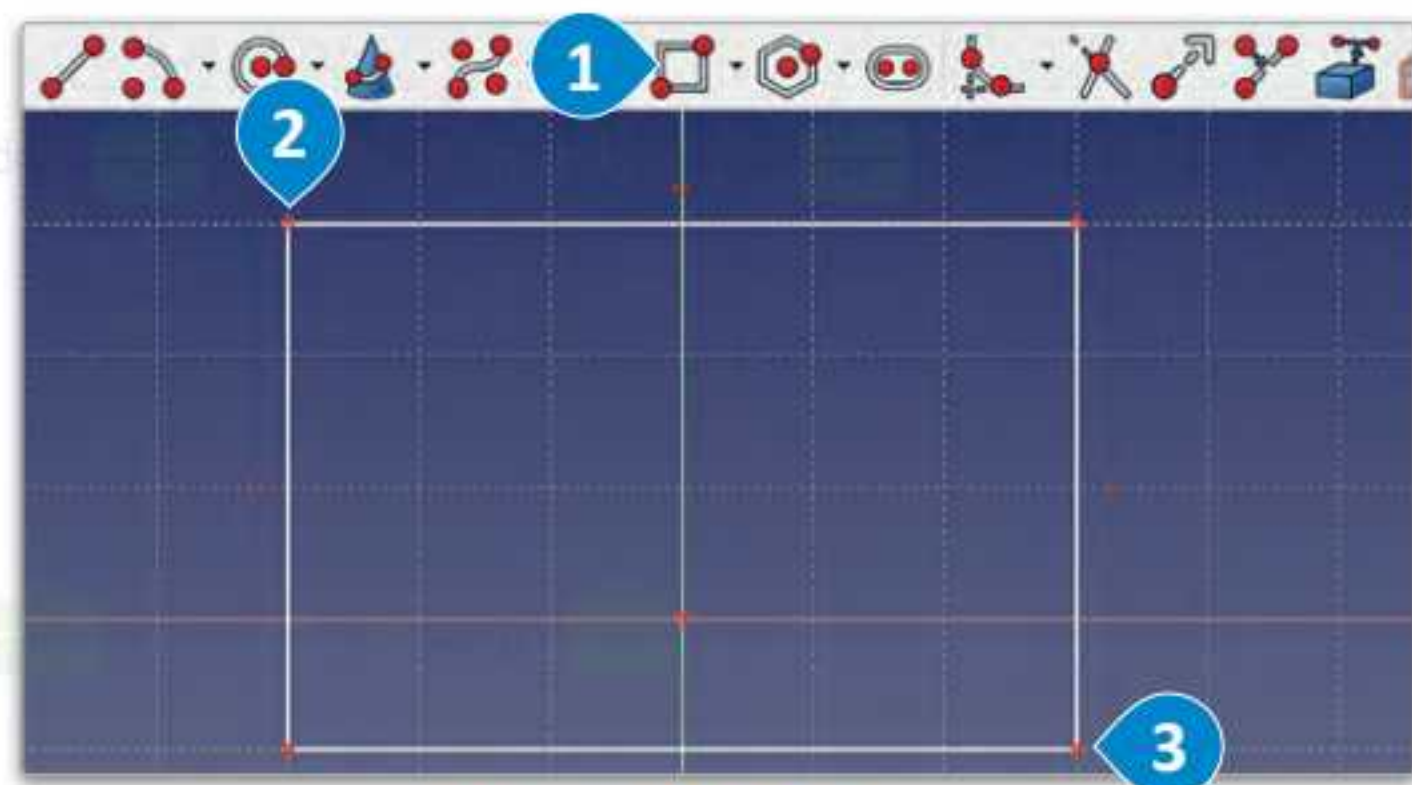
يسهم العمل مع شبكة أصغر في تطوير مهاراتك في التصميم والاهتمام بالتفاصيل التي تُعد ذات أهمية لأي مشروع هندسي أو تصميمي.



شكل 3.42: تغيير حجم الشبكة



بعد ذلك استخدم أداة المستطيلات (Rectangles) لإنشاء مستطيل.



شكل 3.43: إنشاء مستطيل

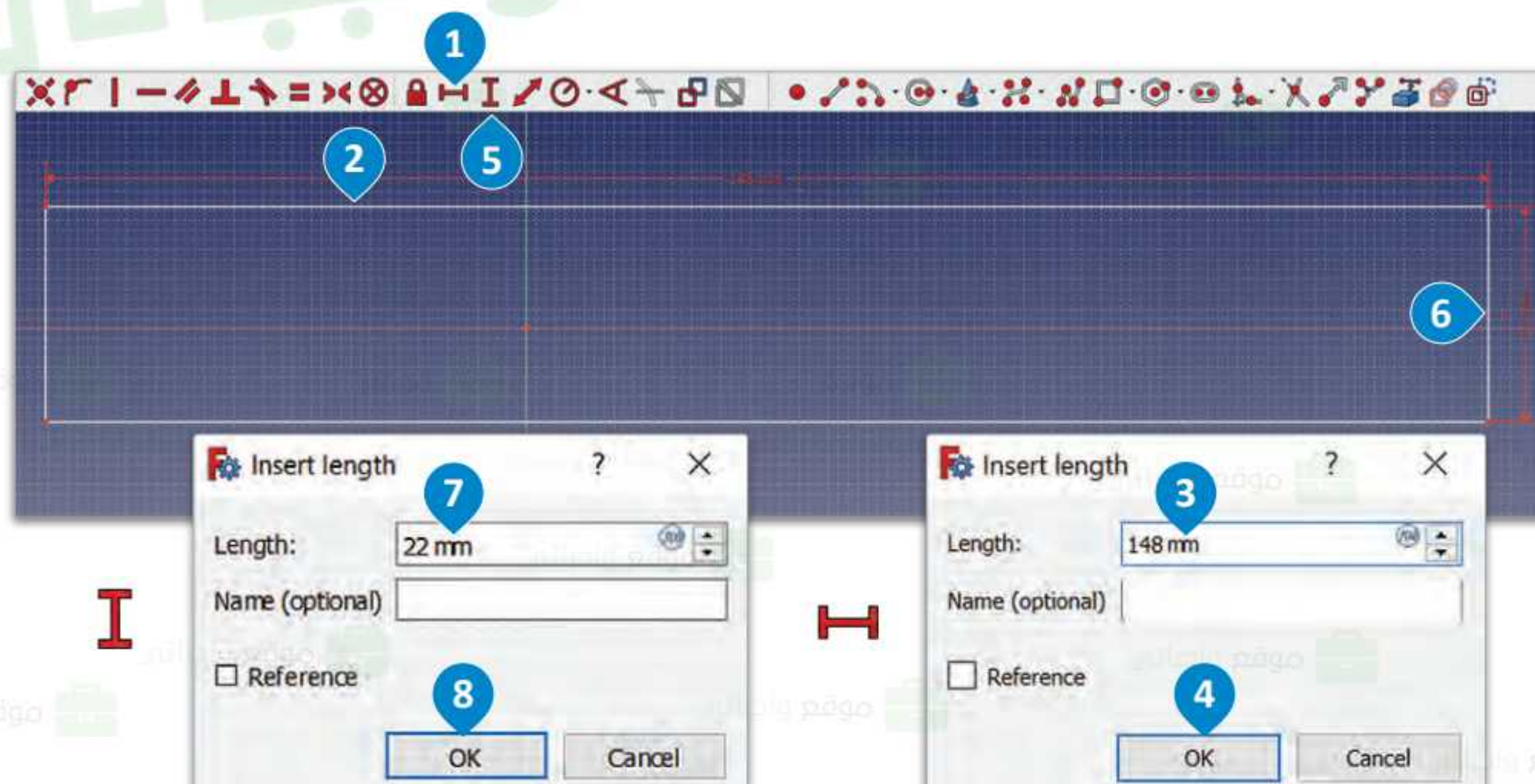
لإنشاء المستطيل:

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

استخدم القيود لضبط طول المستطيل إلى 148 ملليمتر، وعرضه إلى 22 ملليمتر.

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 ملليمتر)، **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 ملليمتر)، **7** ثم اضغط على OK (موافق). **8**



شكل 3.44: تقييد المسافة الأفقية والرأسية

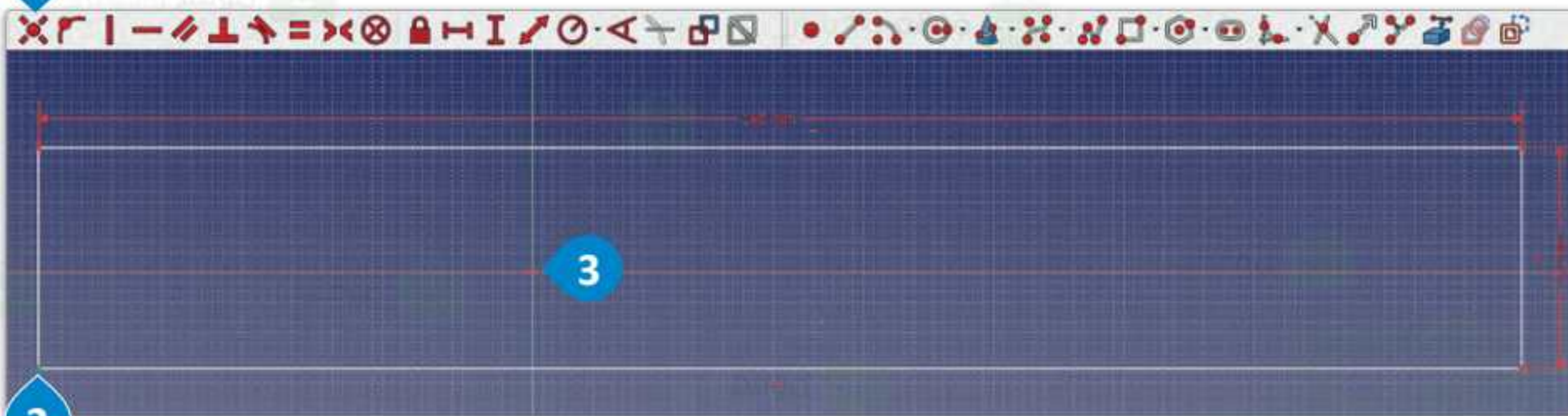


قيّد موضع المستطيل بالنسبة للمحور.

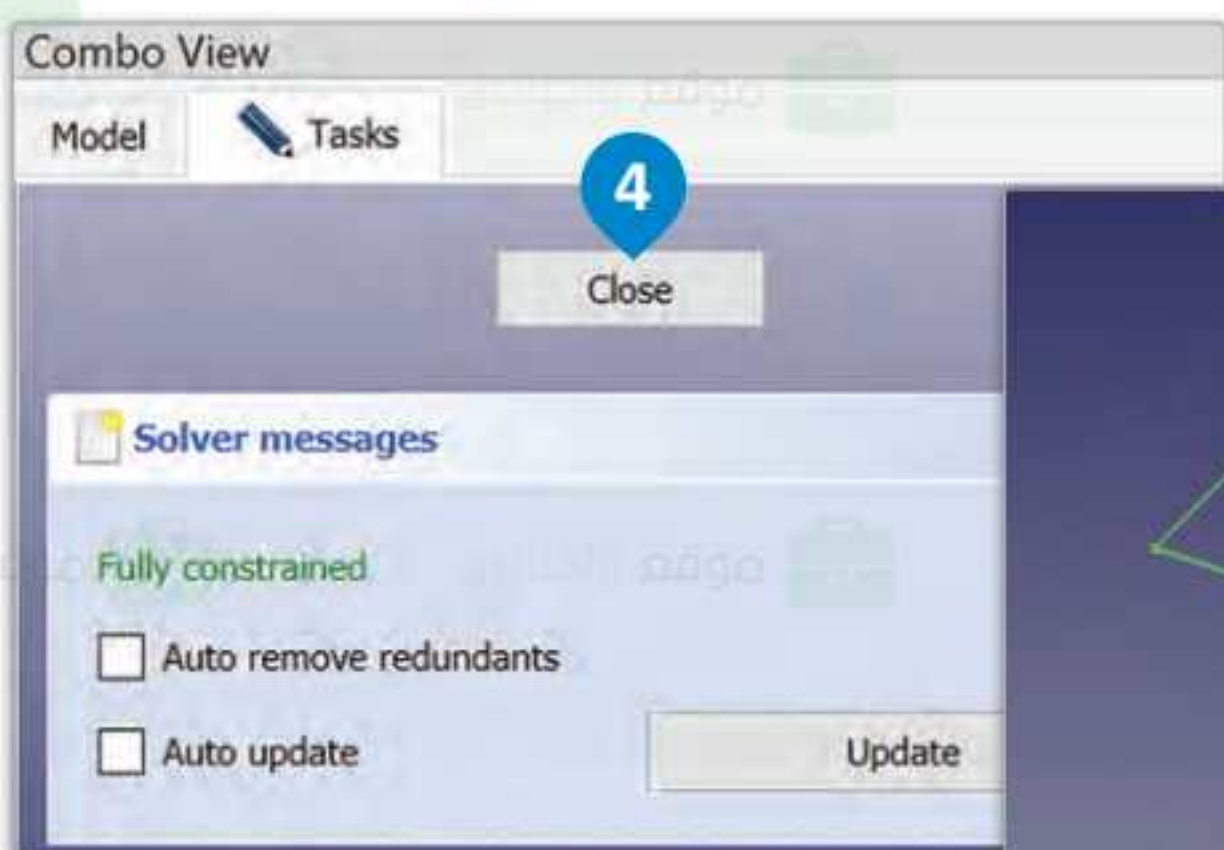
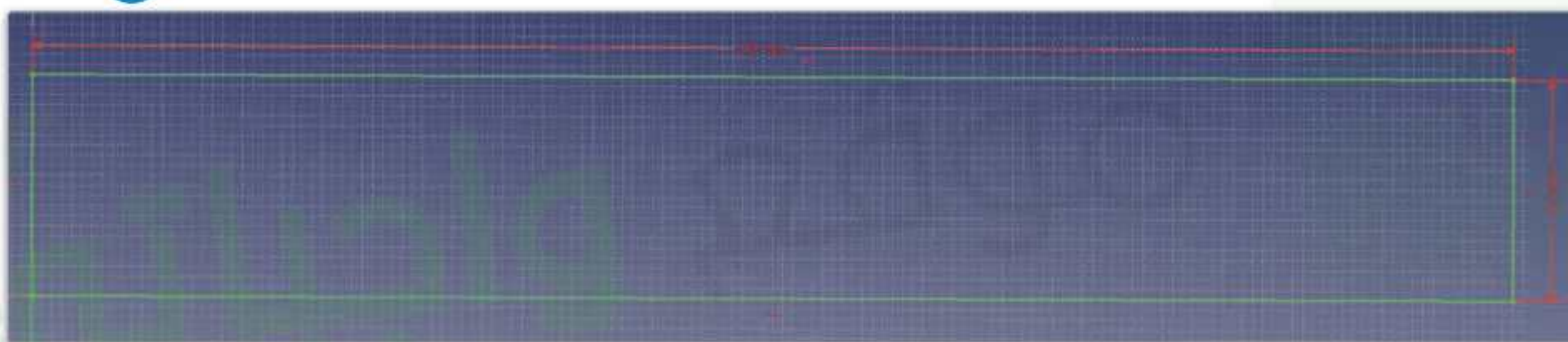
تقييد النقاط:

- < من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Constrain coincident (تقييد التلاقي). ¹
- < حدّد الزاوية اليسرى السفلية للمستطيل، ² ثم اختر مركز المحور. ³
- < من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Close (إغلاق). ⁴

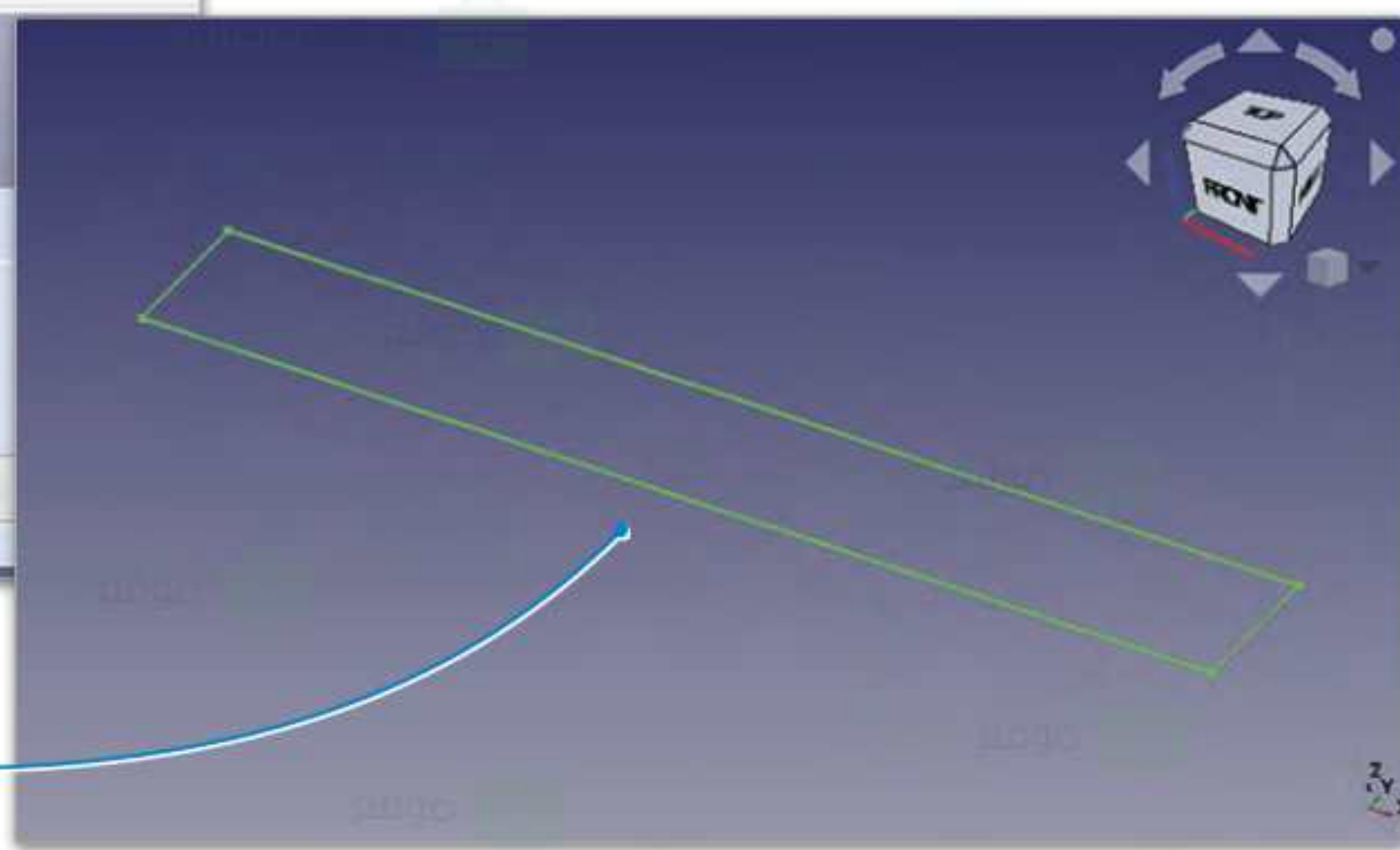
1



2



لقد تم تعريف المستطيل ويمكنك استخدامه في إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد عن طريق البطانة.



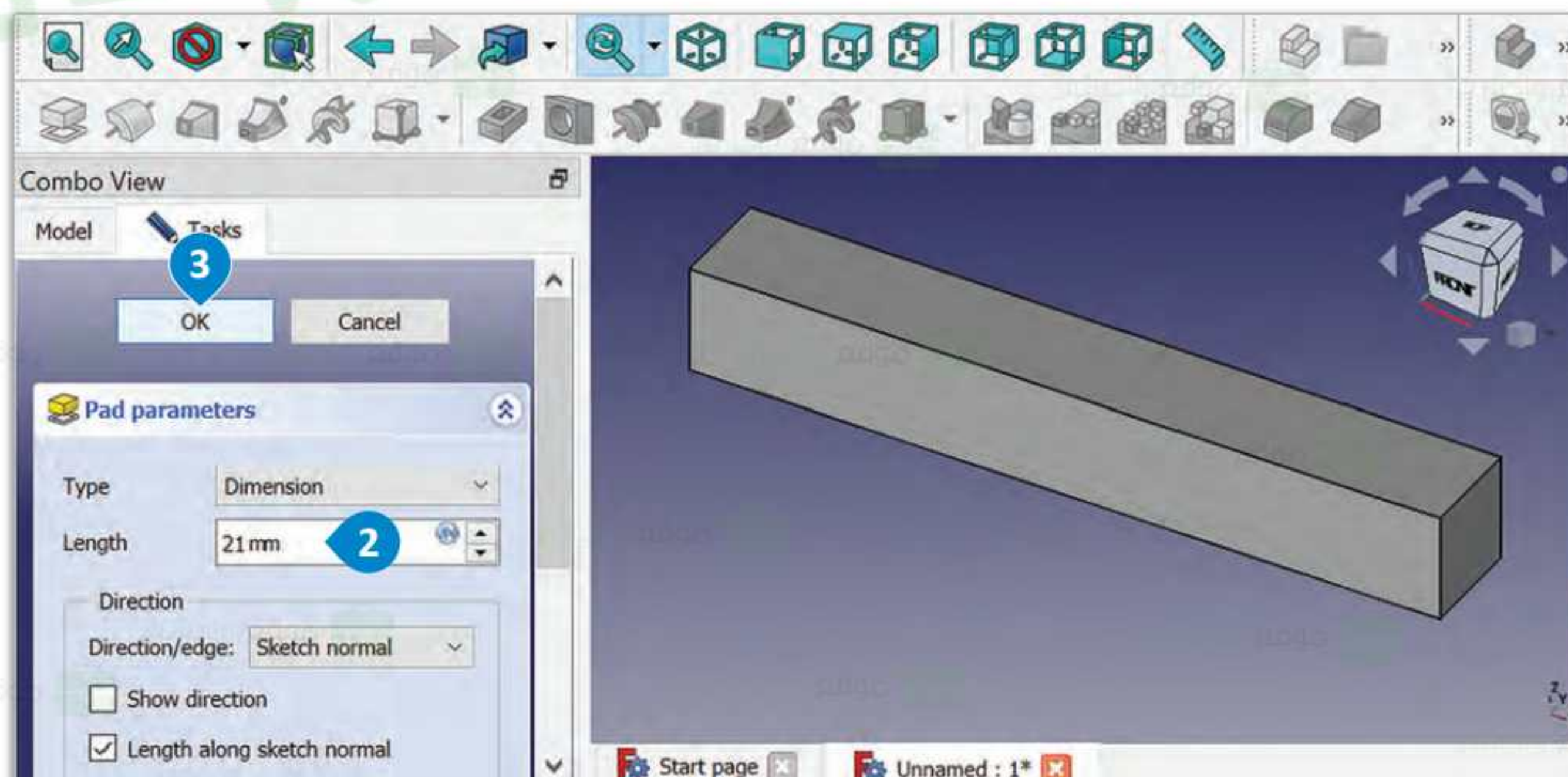
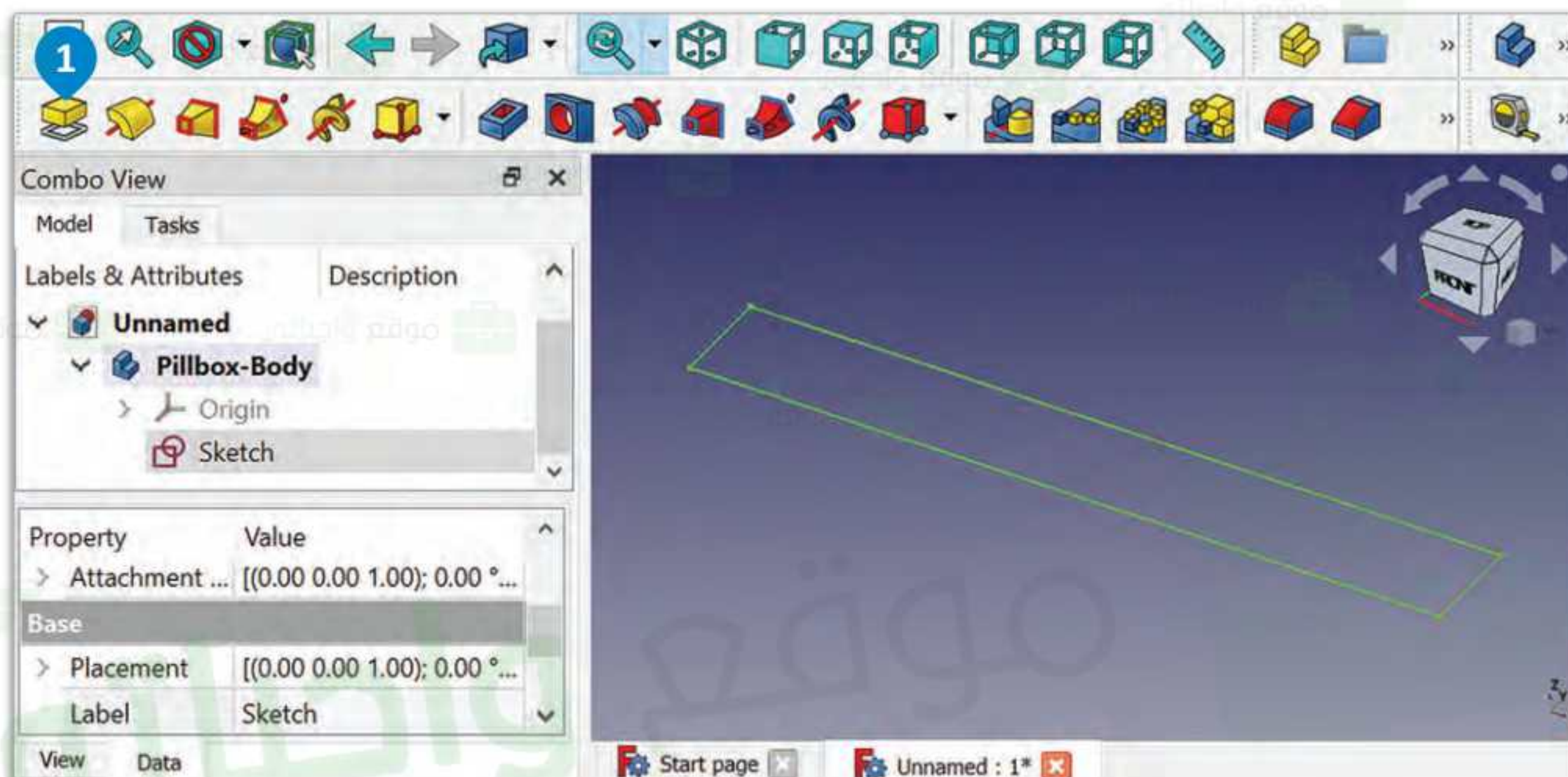
شكل 3.45: تقييد النقاط



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

لإنشاء شكل ثلاثي الأبعاد:

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



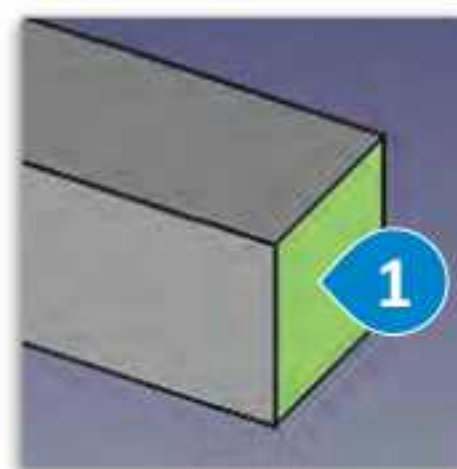
شكل 3.46: إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد





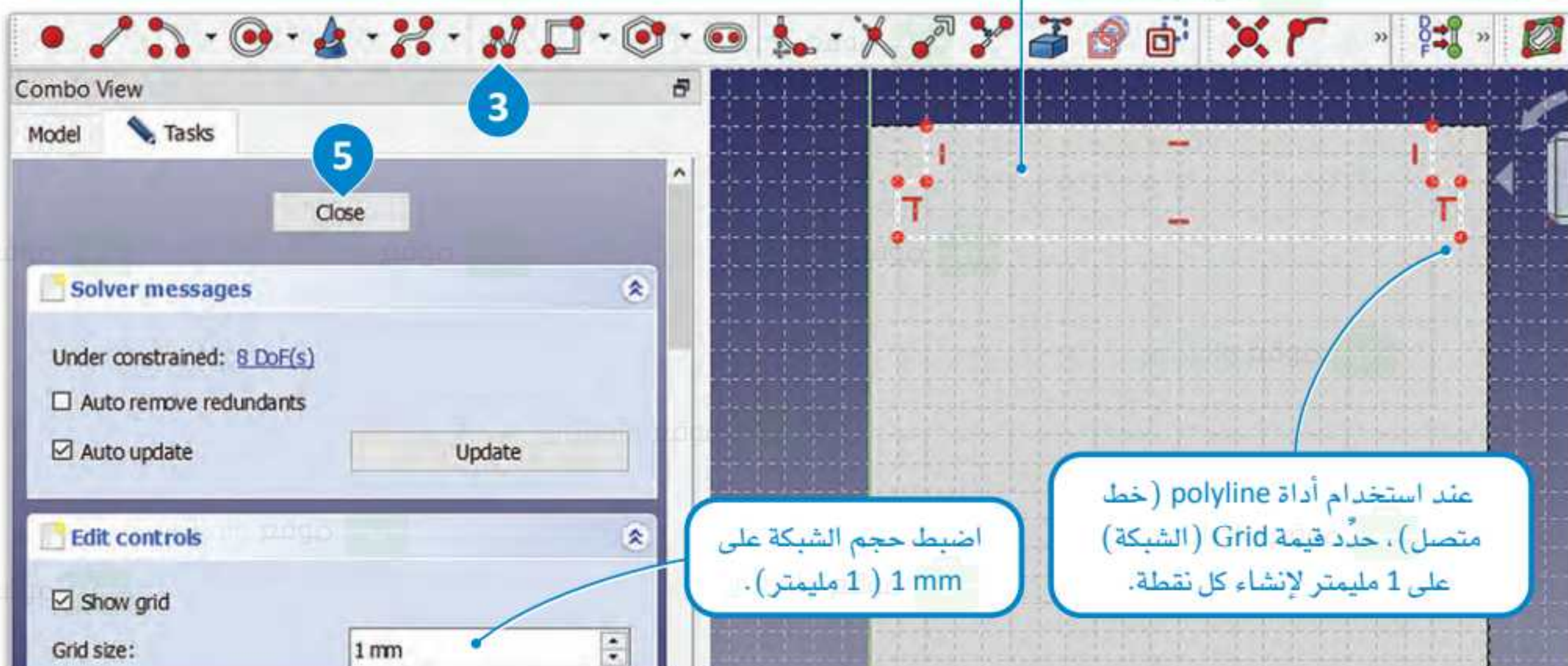
يمكن استخدام أداة الخط المتصل (Polyline) لإنشاء سلسلة خطوط مترابطة تُكوّن شكلاً مغلقاً، حيث يمكن لهذه الأداة إنشاء رسومات معقدة تتكون من العديد من القطع التي يمكن تحريرها وتعديلها بسهولة. ستستخدم أداة الخط المتصل (Polyline) لإنشاء شكل التجويف في الجزء العلوي من هيكل صندوق أقراص الدواء (Pillbox-Body)، ثم ستستخدم أداة تجويف (Pocket) لقص الشكل وإنشاء الفجوة حيث سيتم تركيب الغطاء، وسيكون عمق هذا التجويف 1 ملليمتر، وذلك ليتناسب مع سمك غطاء صندوق أقراص الدواء.

عند إنشاء رسم تخطيطي جديد، سينشئ البرنامج مستنداً جديداً خاصاً به، وبالتالي قد لا تكون إعدادات المستند مماثلة لإعدادات المستند السابق. ستحتاج إلى ضبط حجم الشبكة يدوياً مرة أخرى في المخطط الجديد.



إنشاء 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**



اضبط حجم الشبكة على 1 mm (1 ملليمتر).

عند استخدام أداة polyline (خط متصل)، حدّد قيمة Grid (الشبكة) على 1 ملليمتر لإنشاء كل نقطة.

شكل 3.47: إنشاء رسم تخطيطي على السطح العلوي

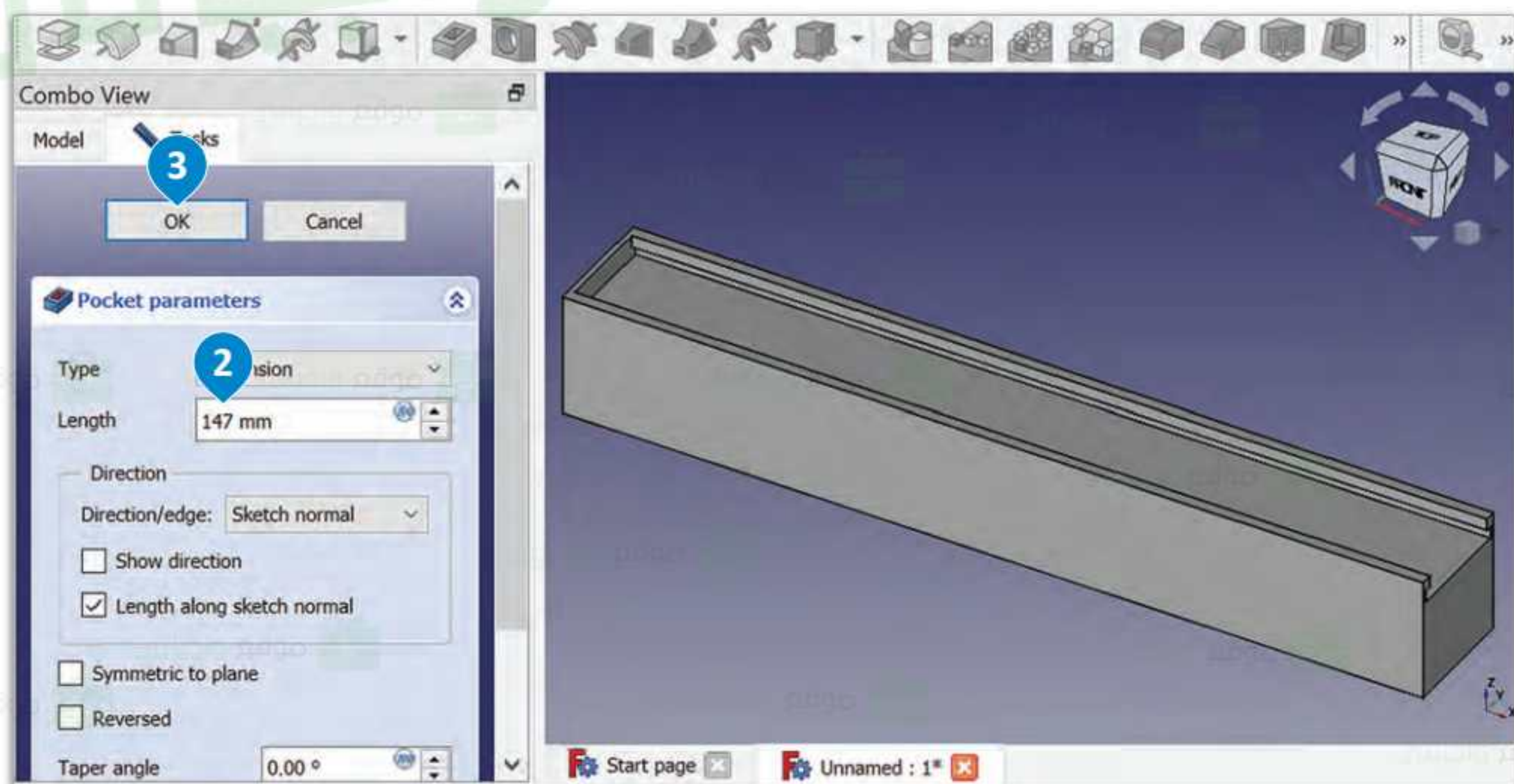
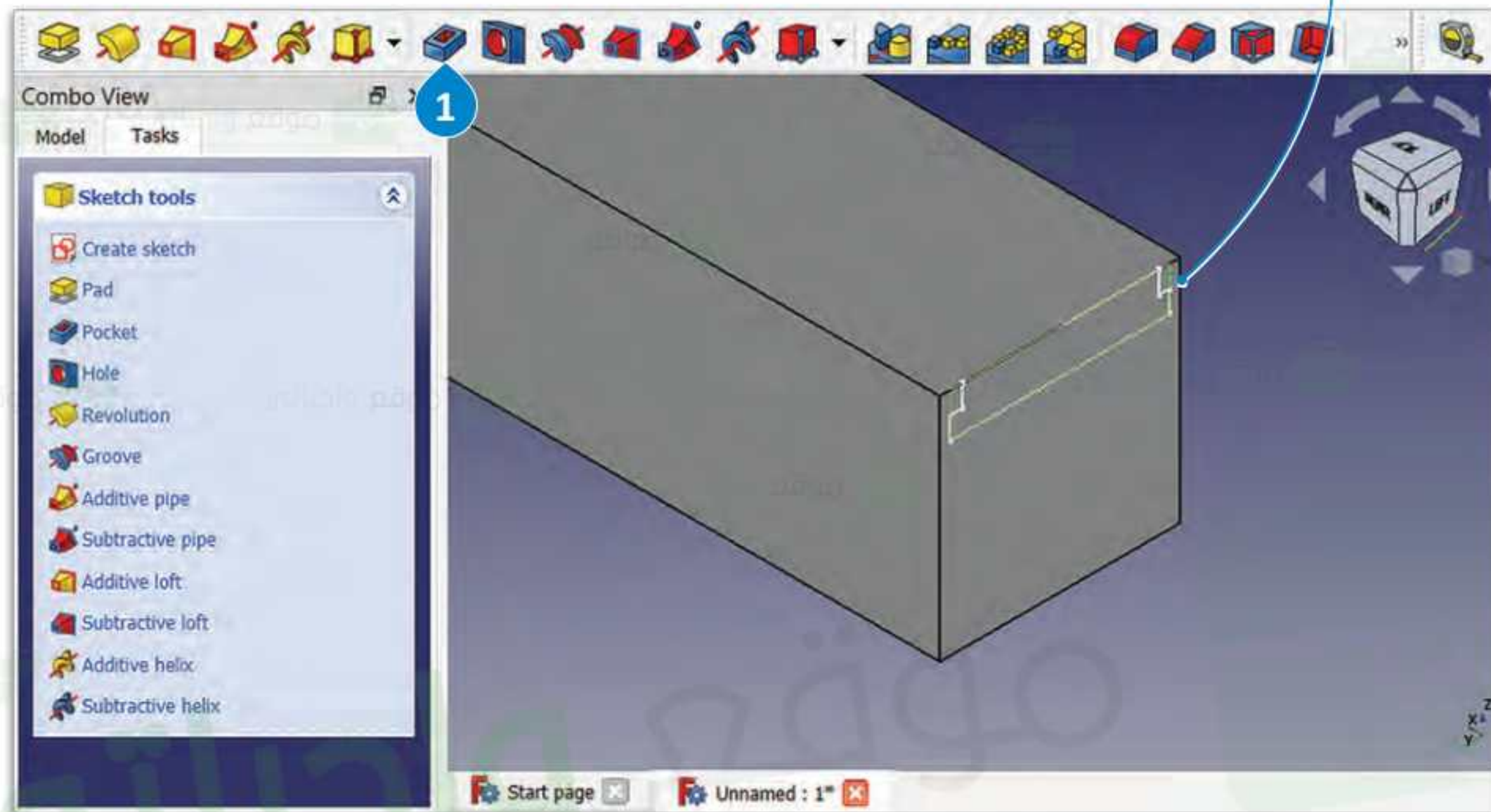




لإنشاء تجويف:

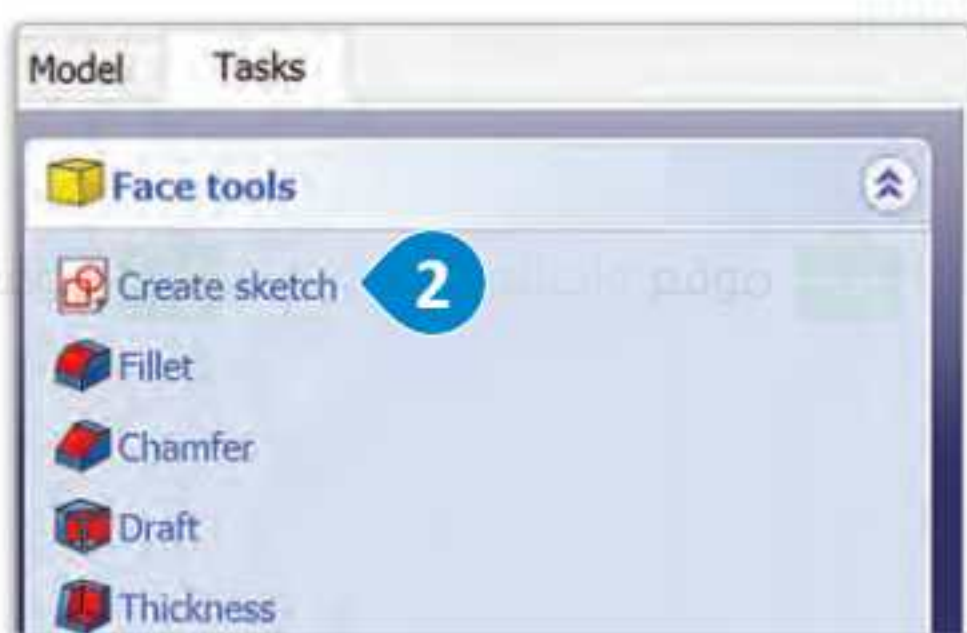
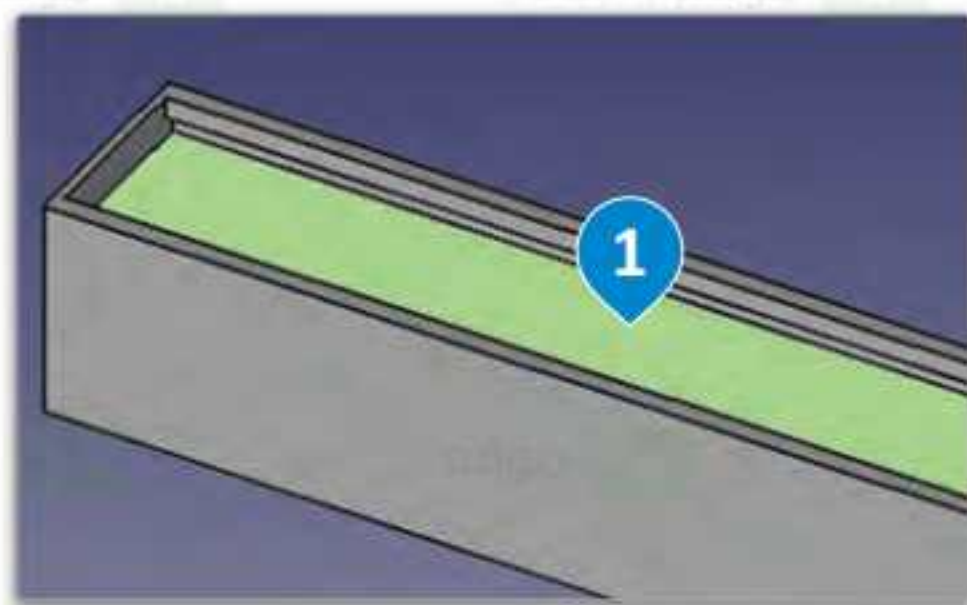
- 1 < من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Pocket (تجويف).
- 2 < من نافذة Pocket parameters (مُعاملات التجويف)، غير Length (الطول) إلى 147 mm (147 مليمتراً)، ثم اضغط على OK (موافق).
- 3

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 قصصته سابقاً، وستحتاج إلى التأكد من وجود مسافة فاصلة تبلغ 1 ملليمتر 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 rectangle (إنشاء مستطيل). 3

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

< حرك المؤشر لتعيين الزاوية المقابلة للمربع واضغط مرة أخرى لإنشاء المربع. 5

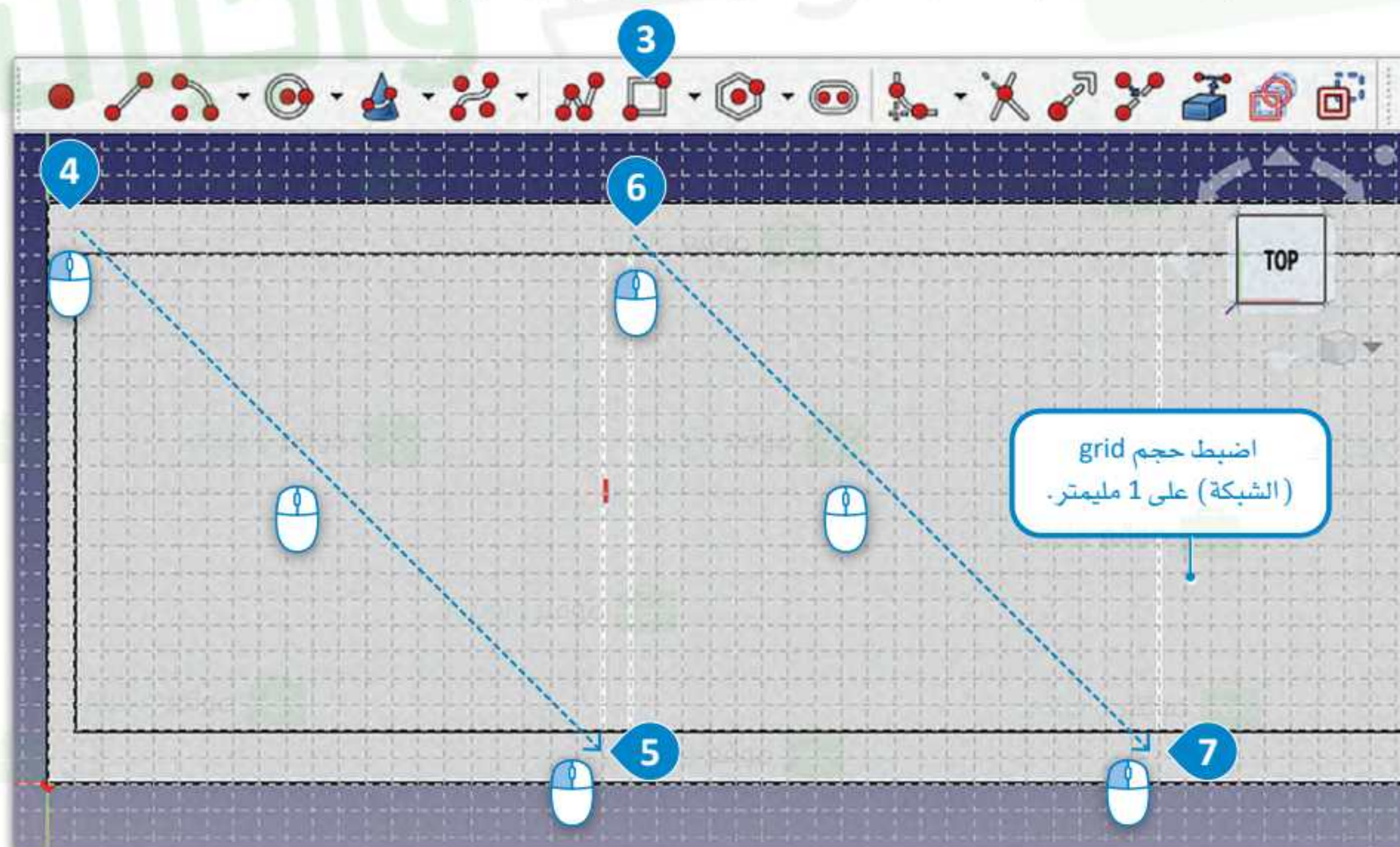
< اضغط على الرسم التخطيطي مرة أخرى لتعيين الزاوية الأولى من المربع الثاني. 6

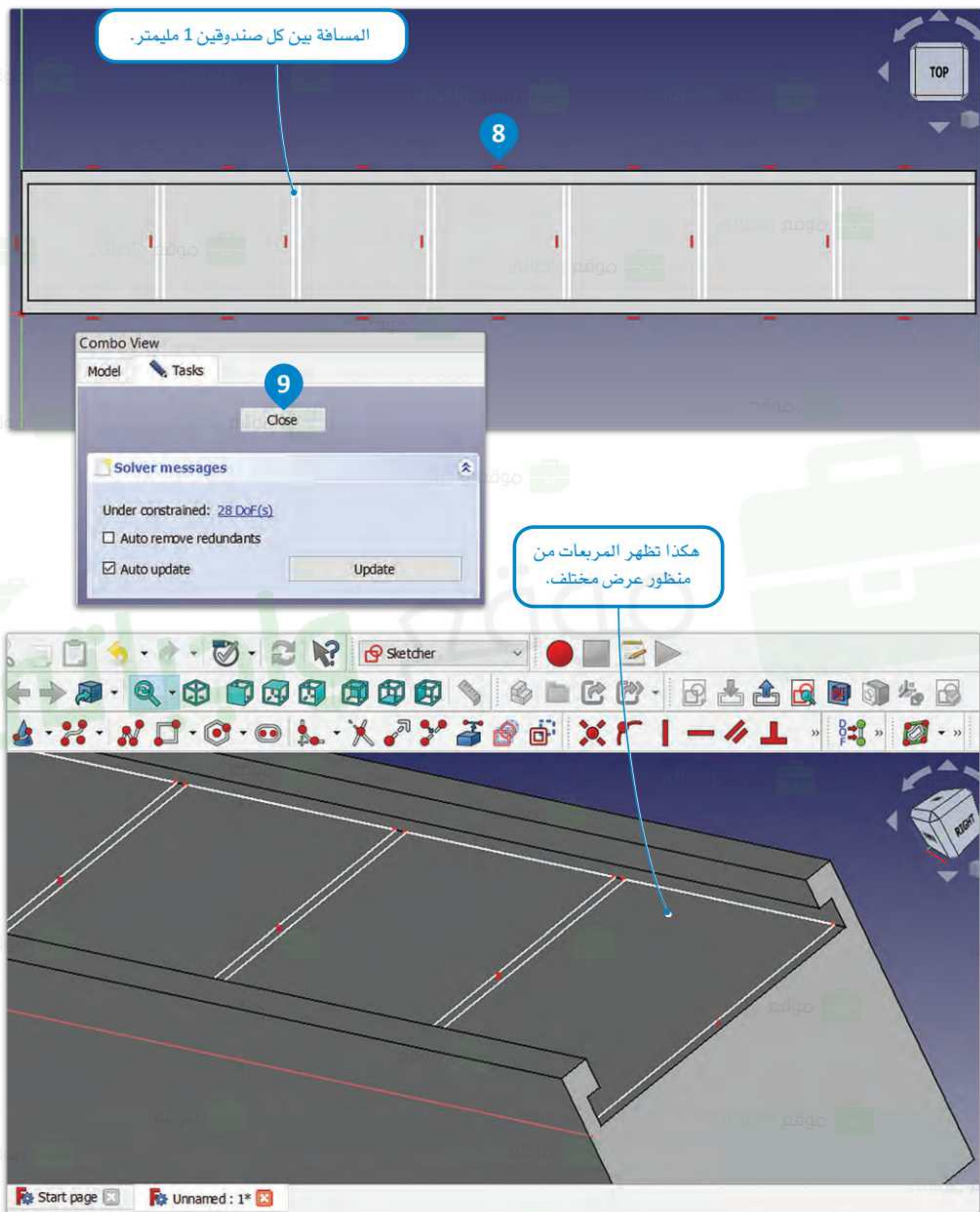
< حرك المؤشر لتعيين الزاوية المقابلة للمربع واضغط مرة أخرى لإنشاء المربع. 7

< 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 ملليمتر، وذلك لوقوعه تحت التجويف. ينطبق الأمر ذاته على آخر 1 ملليمتر من المربع.





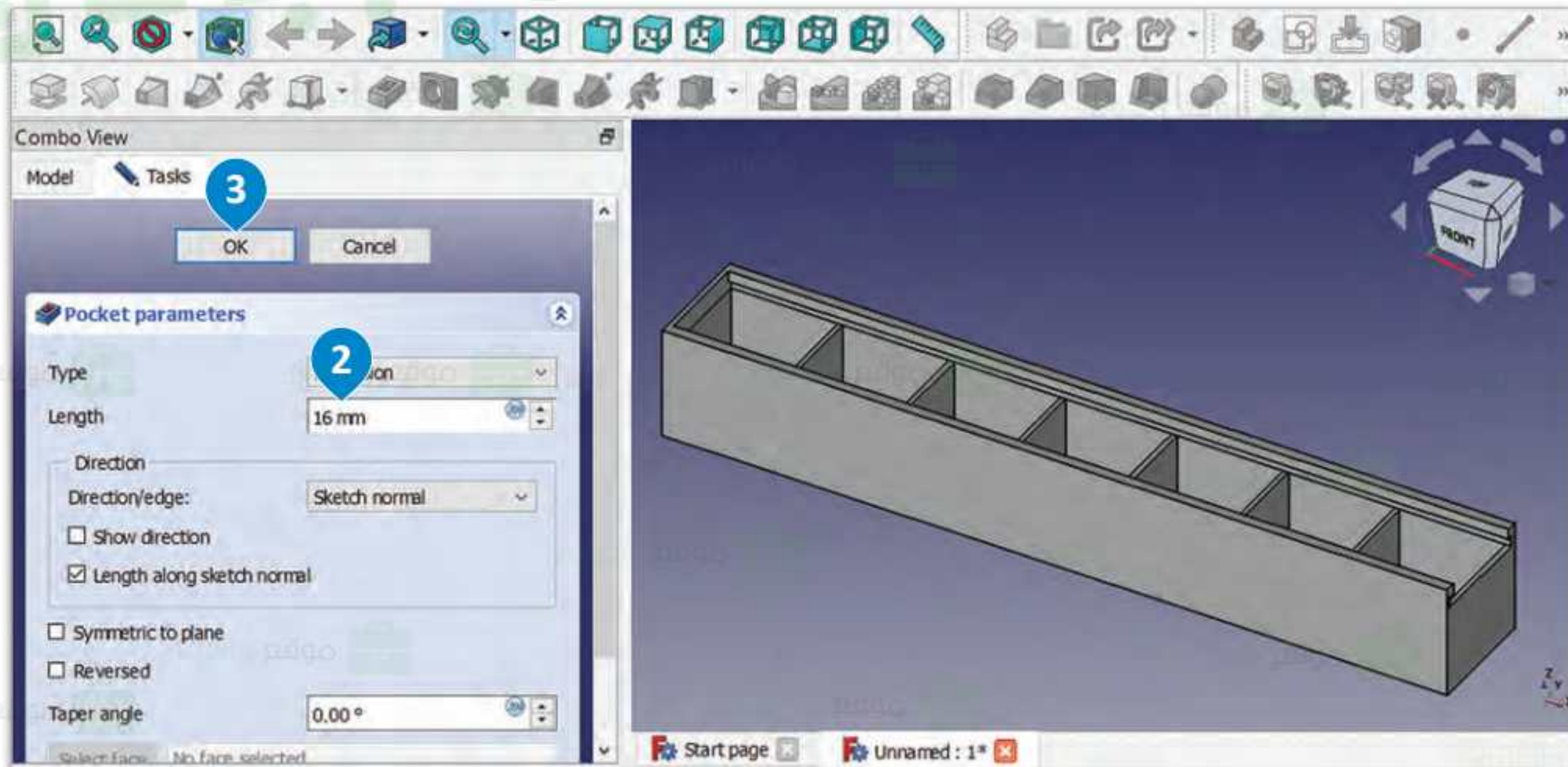
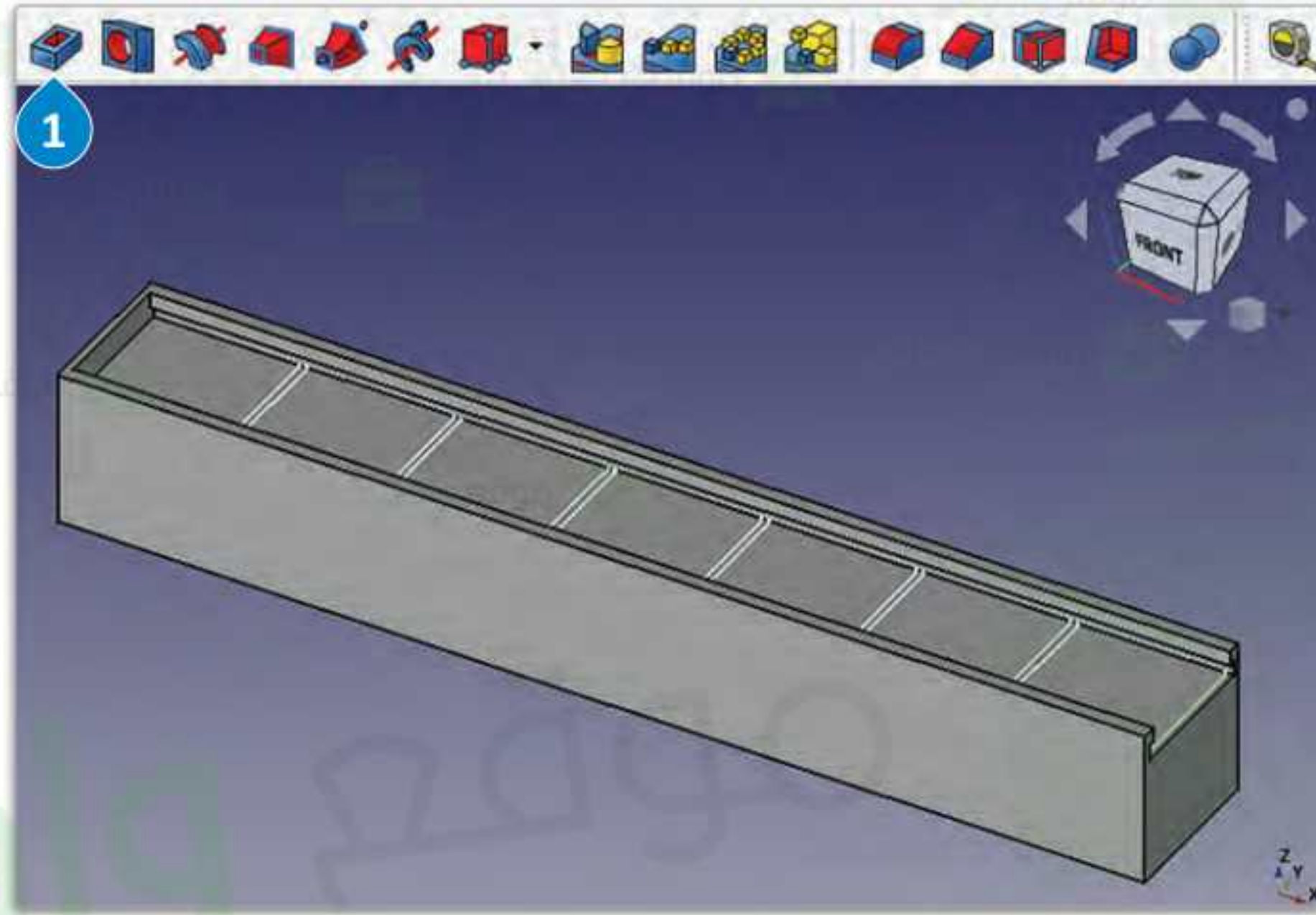
شكل 3.49: إنشاء سبعة مربعات



استخدم الآن أداة تجويف (Pocket) لإنشاء الصناديق السبعة.

لإنشاء تجويف:

- 1 < من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Pocket (تجويف).
- 2 < من نافذة Pocket parameters (مُعاملات التجويف)، غير Length (الطول) إلى 16 mm (16 ملليمتر)، ثم اضغط على OK (موافق).
- 3



شكل 3.50: إنشاء التجويف

نظام برايل Braille System

الكتابة المسية (Tactile Writing):

الكتابة المسية هي طريقة تواصل كتابية يمكن قراءتها عن طريق اللمس من قبل الأشخاص ضعاف البصر أو المكفوفين في العادة.

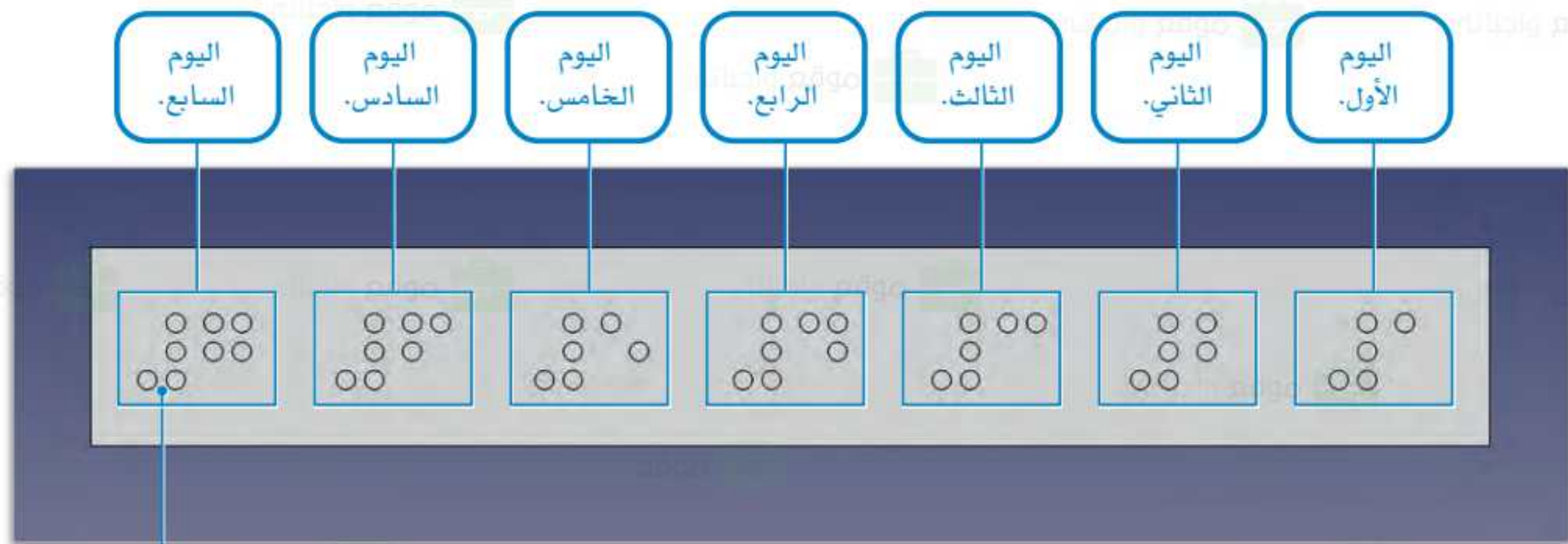
نظام برايل هو نظام للكتابة المسية يستخدمه المكفوفون وضعاف البصر للقراءة، حيث يتم استخدام نقاط بارزة لتمثيل الحروف والأرقام وعلامات الترقيم. ستستخدم نظام برايل لتسمية أيام الأسبوع على صندوق أقراص الدواء، وستنشئ نقاط برايل باستخدام أداة الدائرة (Circle) ثم ستستخدم أداة البطانة (Pad) لبتقها، وسيتم وضع نقاط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

ألقِ نظرة على كيفية تمثيل الأرقام في نظام برايل:

○ ●	● ○	● ○	● ●	● ●	● ○	● ●	● ●	● ○	○ ●	○ ●
○ ●	○ ○	● ○	○ ○	○ ●	○ ●	● ○	● ●	● ●	● ○	● ●
● ●	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

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

أيام الأسبوع

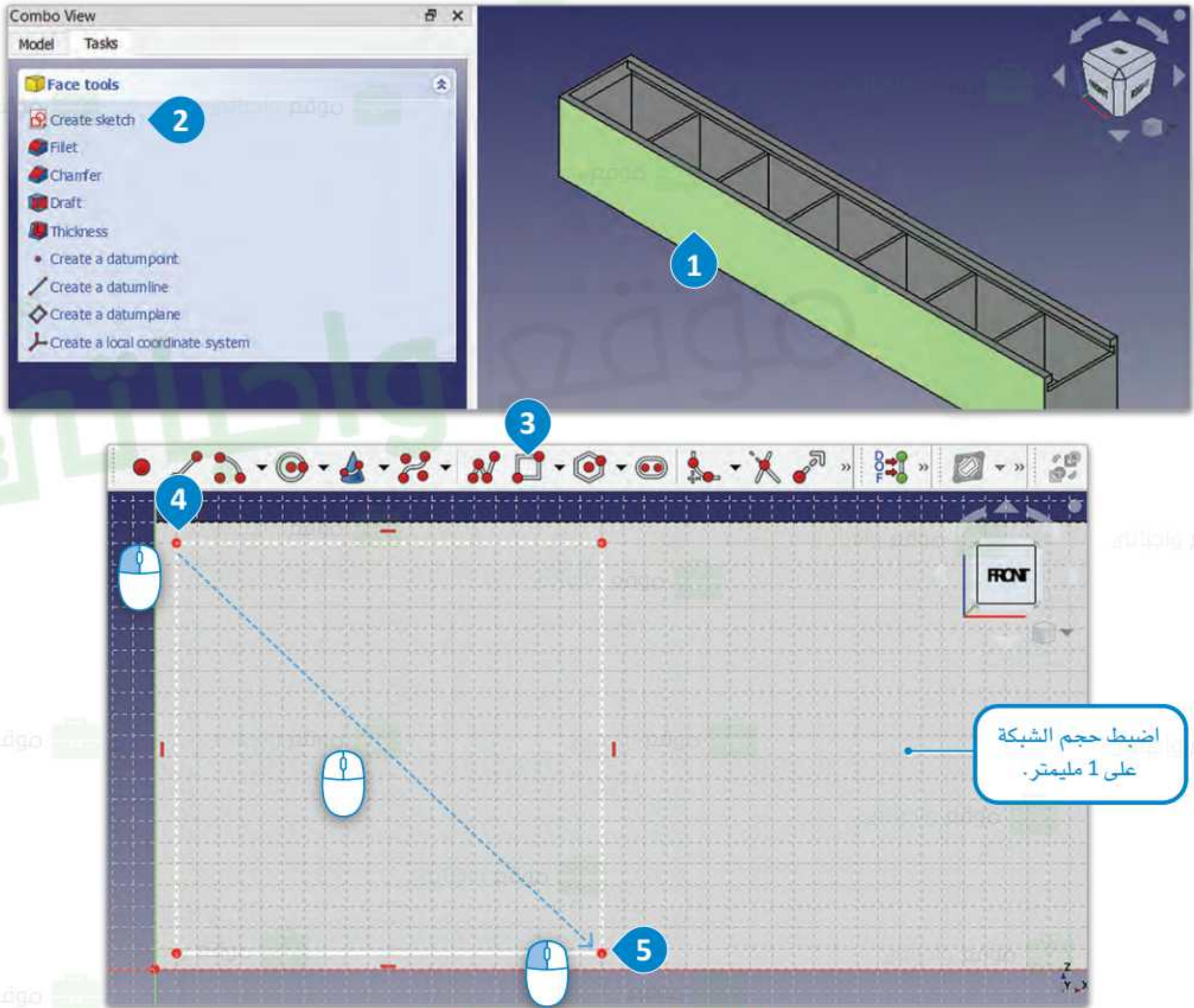


يتم استخدام النقاط التي تشكّل علامة الترقيم (#) في نظام برايل للدلالة على أن النقاط التالية تمثل أرقامًا وليس حروفًا.

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

لإنشاء رسم تخطيطي على سطح الصندوق:

- 1 < اضغط على Pillbox-Body (هيكل صندوق أقراص الدواء) لتحديد سطحه.
- 2 < من Face tools (أدوات الوجه)، اختر أداة Create sketch (إنشاء رسم تخطيطي).
- 3 < من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create rectangles (إنشاء مستطيلات).
- 4 < اضغط على الرسم التخطيطي لتعيين الزاوية الأولى من الشكل.
- 5 < حرّك المؤشر لتعيين الزاوية المقابلة للشكل، واضغط مرة أخرى لإنشاء الشكل.



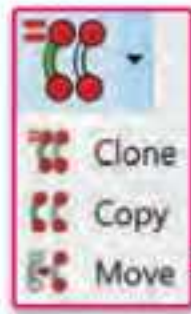
شكل 3.51: إنشاء رسم تخطيطي على سطح الصندوق



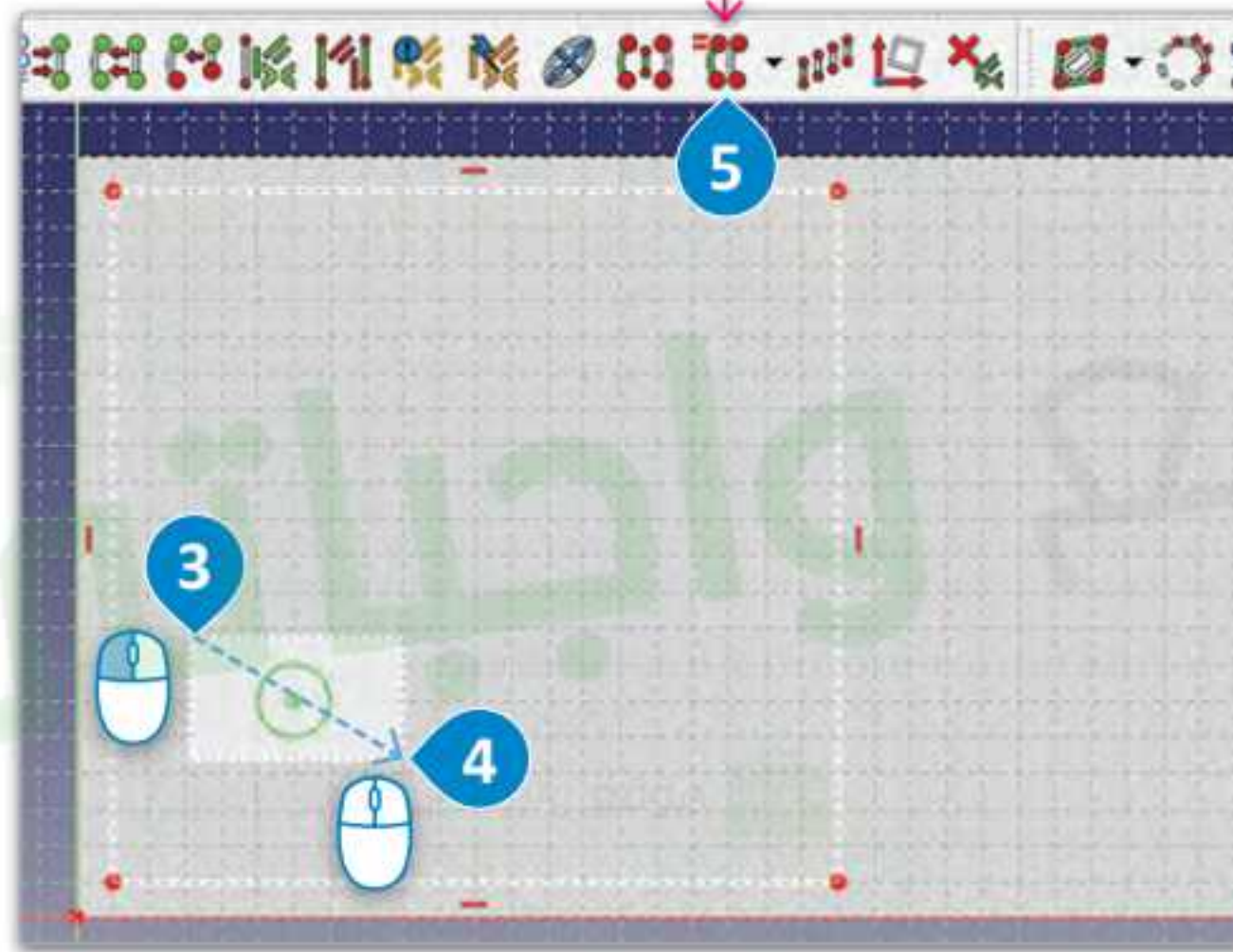
الاستنساخ (Clone):
تُنشئ أداة الاستنساخ (Clone) نسخة من مجسم أو مجموعة مجسمات، لكنها تبقى مرتبطة بالمجسم الأصلي.

النسخ (Copy):
تُنشئ أداة النسخ (Copy) نسخة جديدة ومستقلة عن المجسم أو مجموعة المجسمات.

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



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



سنتشئ الرقم الأول على هيكل صندوق أقراص الدواء (Pillbox-Body) باستخدام نظام برايل، وبعد إنشاء الدائرة الأولى ستستخدم أداة النسخ (Copy) لإنشاء الدوائر المتبقية.

لنسخ رسم تخطيطي:

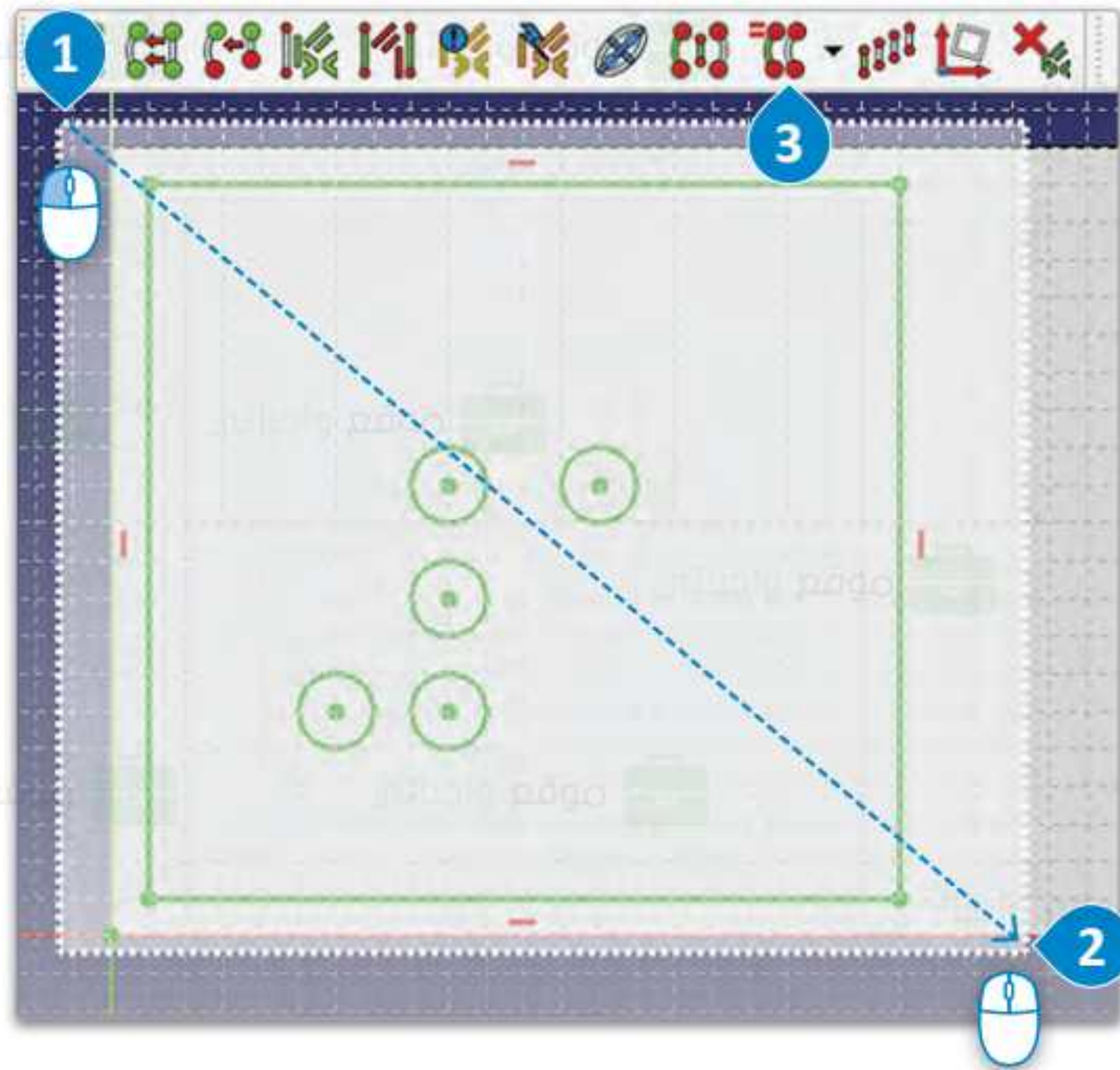
< من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create circle (إنشاء دائرة)، ثم اضغط مرة واحدة لتحديد مركز الدائرة ومرة ثانية لإنشاء دائرة نصف قطرها 1 مليمتراً.

< اضغط على الرسم التخطيطي، ثم استمر بالضغط على زر الفأرة، وحرك المؤشر على الدائرة، ثم حرر زر الفأرة لتحديده.

< من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Copy (النسخ)، ثم اضغط على الرسم التخطيطي لإنشاء دائرة جديدة. < كرر الأمر حتى الانتهاء من رسم رمز برايل كما في الصورة.



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



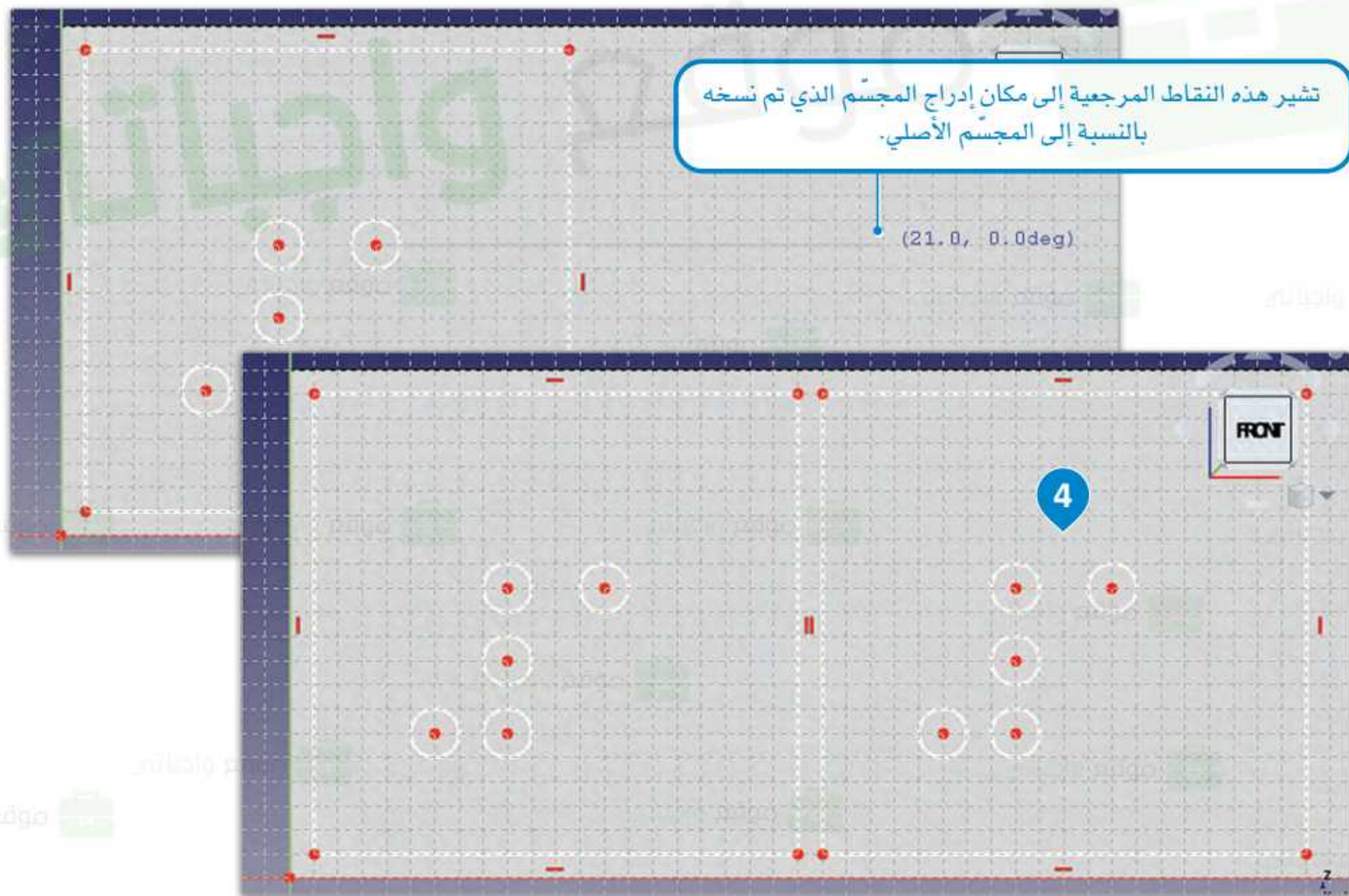
لنسخ الرسومات التخطيطية:

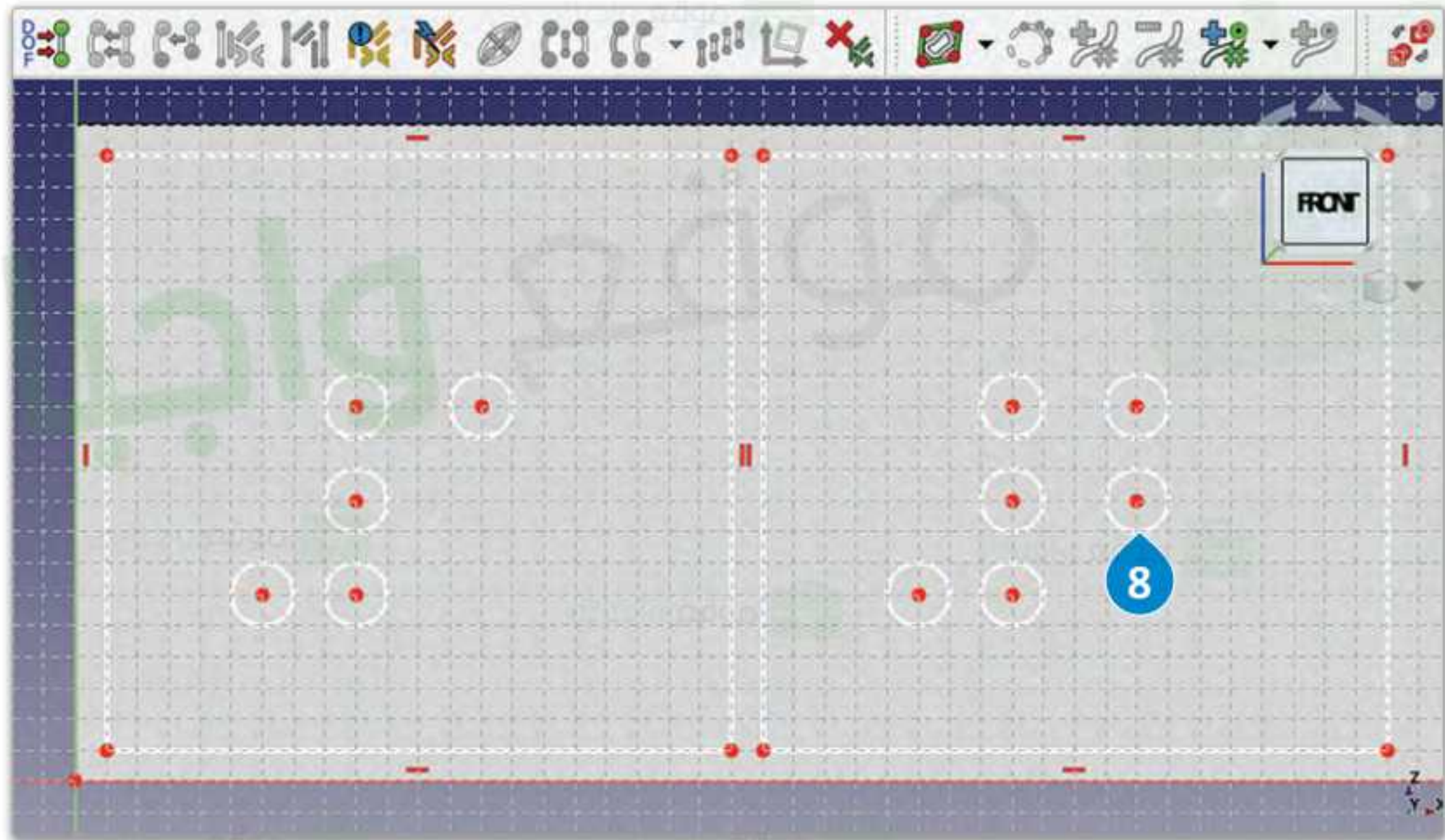
< اضغط على الرسم التخطيطي، ¹ واستمر بالضغط على زرّ الفأرة، وحرك المؤشر على الرسم التخطيطي، ثم حرّر زرّ الفأرة لتحديده. ²

< من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Copy (النسخ)، ³ ثم اضغط على الرسم التخطيطي لإنشاء دائرة جديدة على مسافة 21 ملليمتر إلى اليمين. ⁴

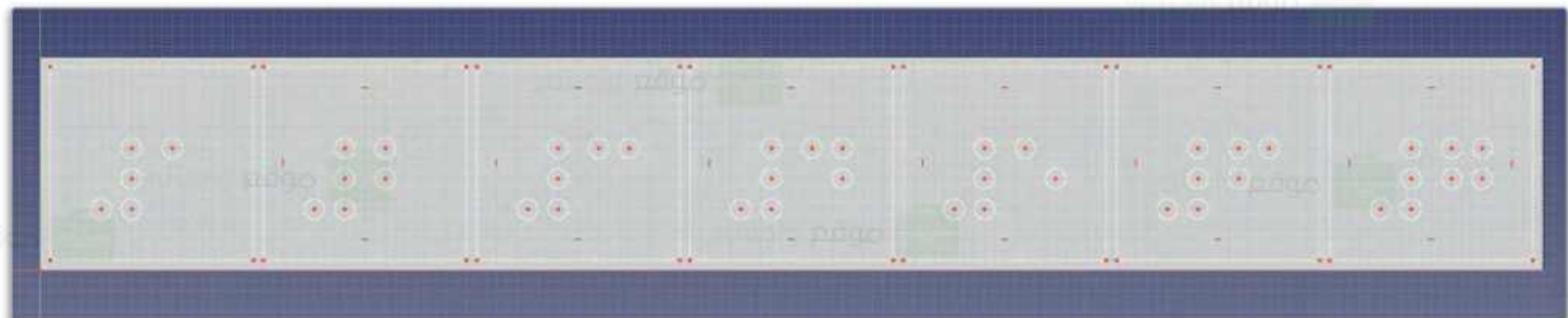
< اضغط على الرسم التخطيطي، ⁵ ثم استمر بالضغط على زرّ الفأرة، وحرك المؤشر على الدائرة، ثم حرّر زرّ الفأرة لتحديده. ⁶

< من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Copy (النسخ)، ⁷ ثم اضغط على الرسم التخطيطي لإنشاء دائرة جديدة. ⁸

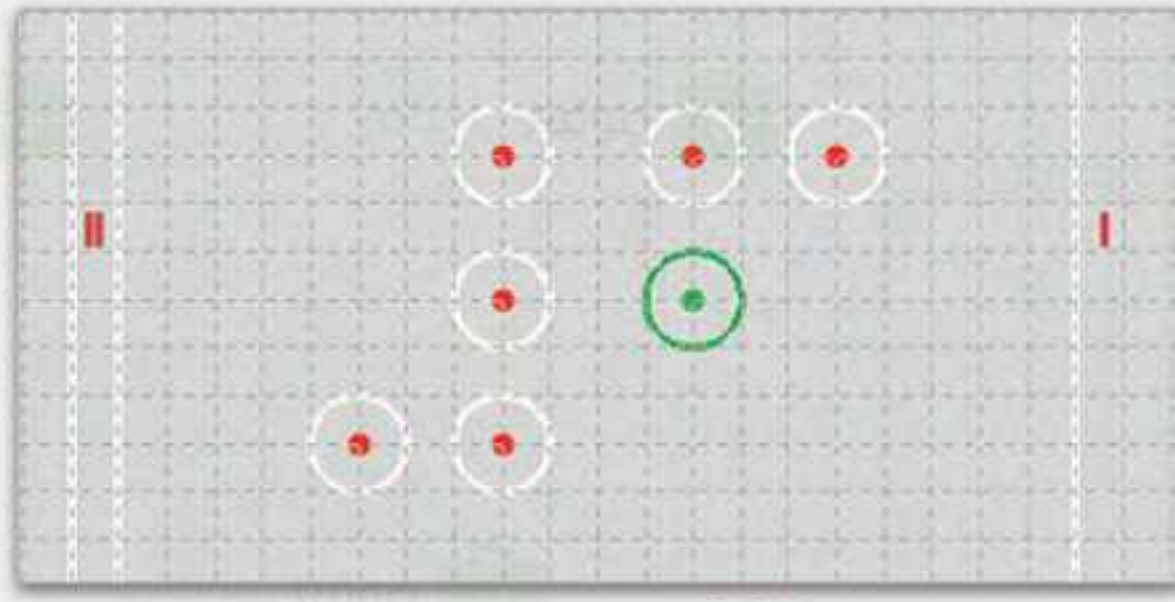




استخدم أداة النسخ (Copy) لإنشاء الأرقام الخمسة المتبقية لإكمال مجموعة الرموز الرقمية لأيام الأسبوع السبعة.



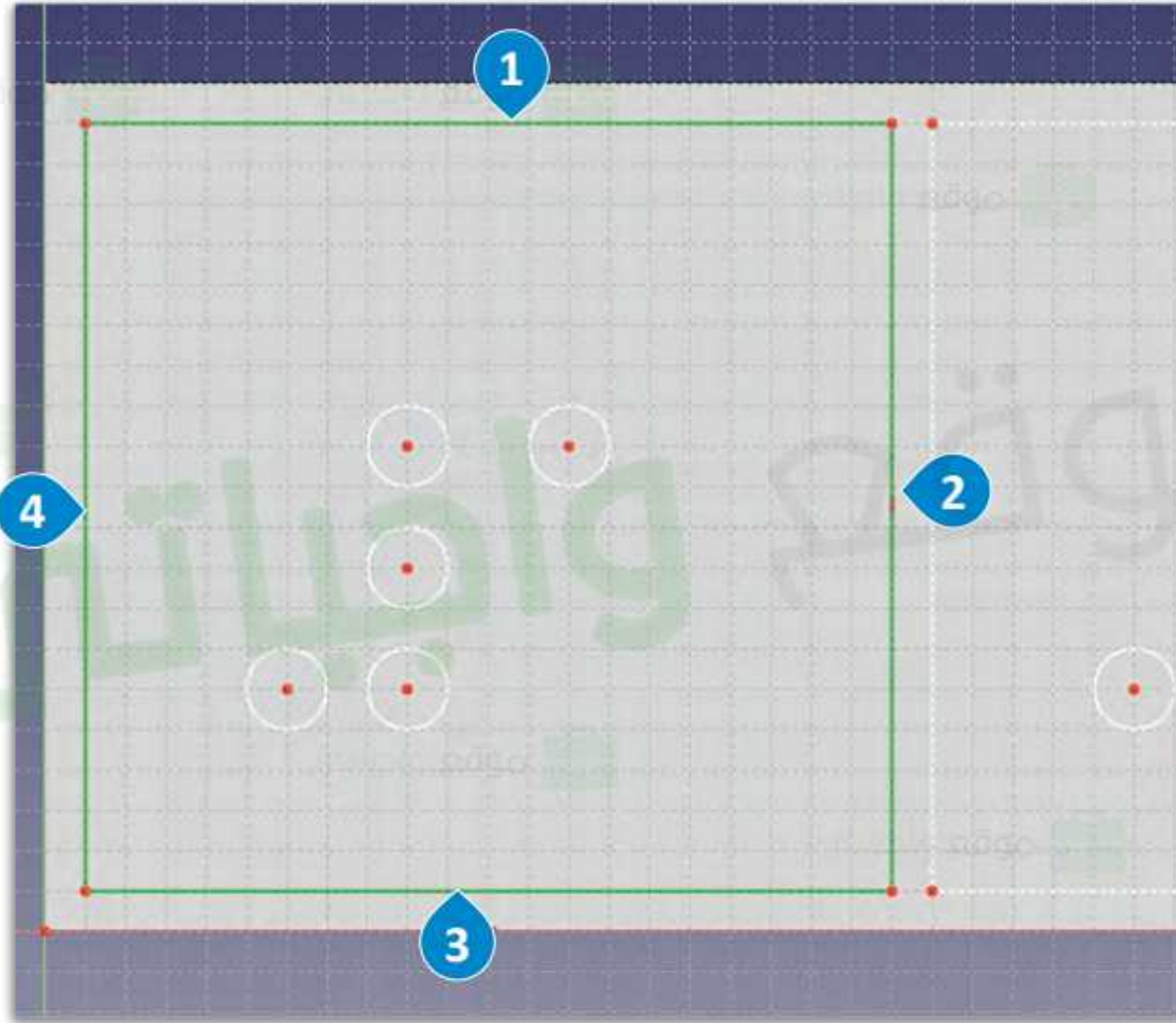
شكل 3.53: أيام الأسبوع ممثلة بنظام برايل



شكل 3.54: حذف الرسم التخطيطي

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 الموضحة في الشكل 3.54.

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

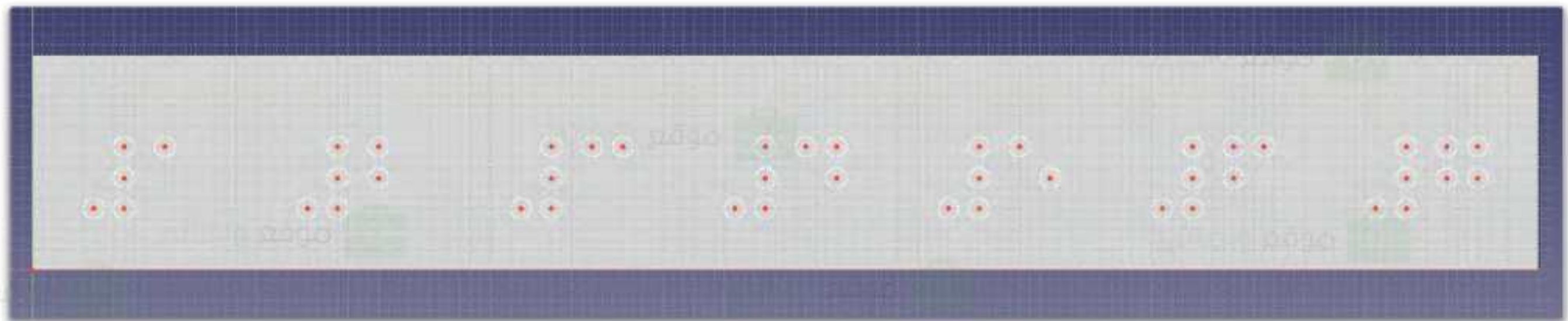


شكل 3.55: الرسم التخطيطي النهائي

لنسخ رسم تخطيطي،

- < اضغط على مفتاح **CTRL** ثم حدّد 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:



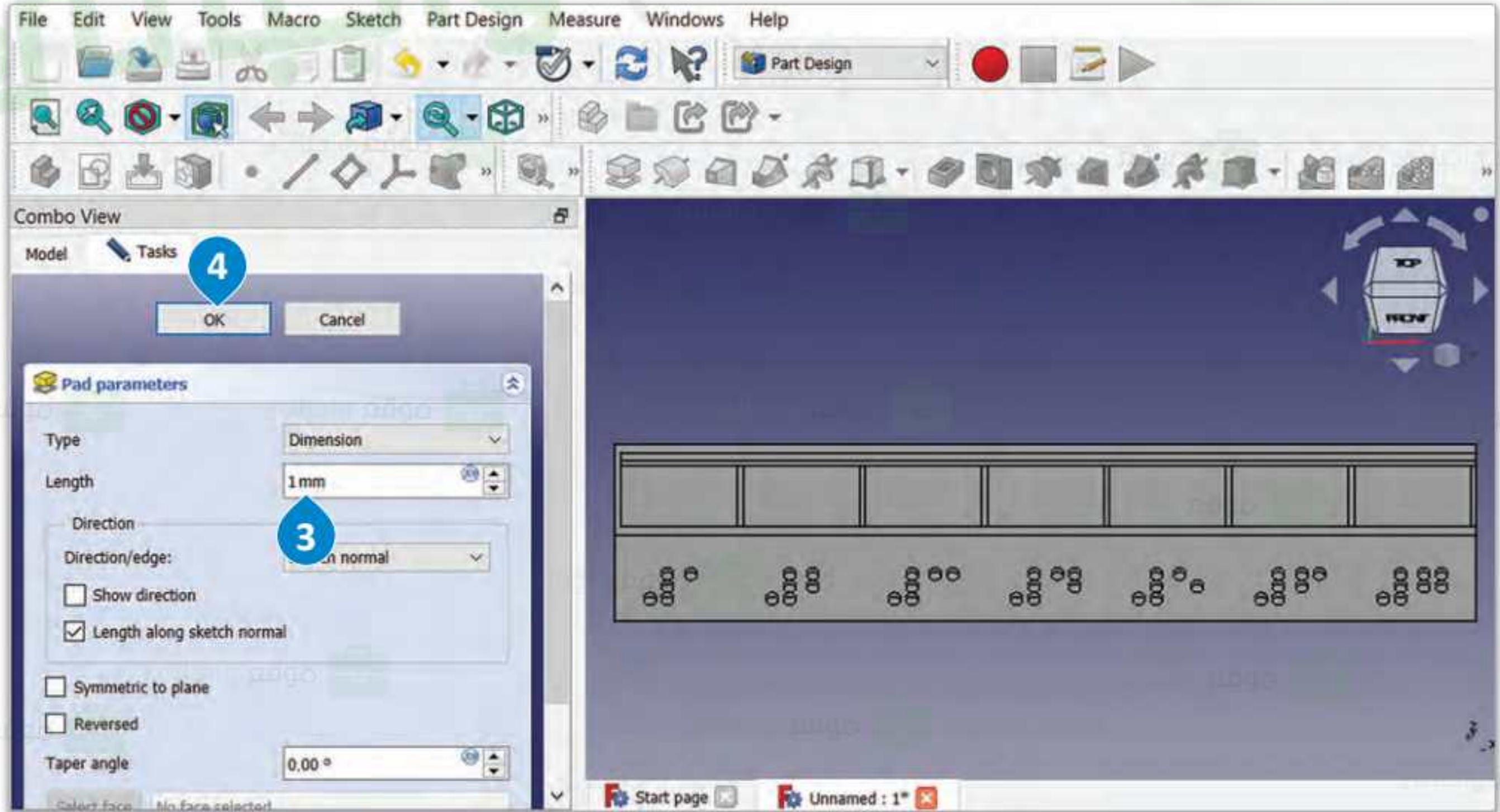
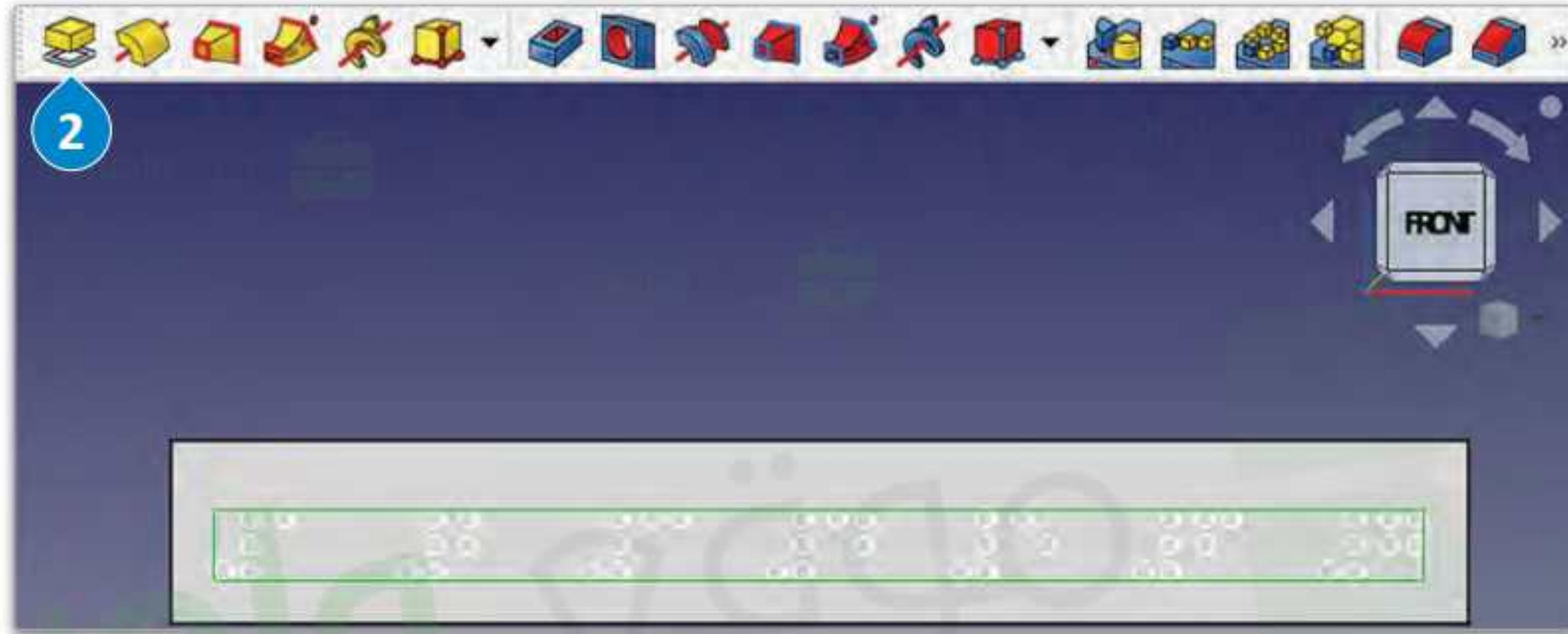
يستخدم نظام برايل نقاطًا مرتفعة أو نتوءات يمكن الإحساس بها بأطراف الأصابع لتمثيل الحروف والرموز الأخرى، ولإنشاء إحساس مماثل، ستستخدم أداة البطانة (Pad) لرفع الدوائر للأعلى بمقدار 1 ملليمتر.



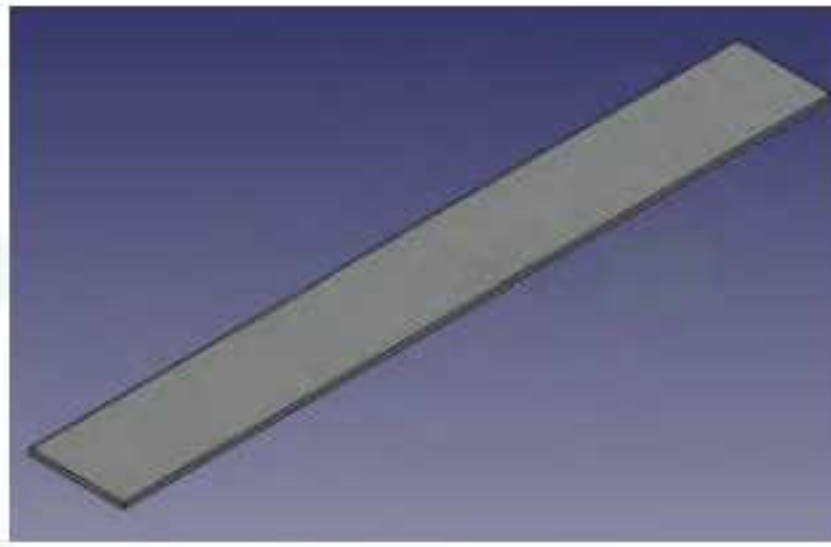
لإنشاء شكل ثلاثي الأبعاد:

< من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Close (إغلاق). 1

< من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Pad (البطانة). 2
< من علامة تبويب Tasks (المهام)، غير Length (الطول) إلى 1 mm (1 ملليمتر)، 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. يُعد غطاء صندوق أقراص الدواء مكوناً مهماً، حيث يمنع تلوث الدواء، وسقوطه، ويضمن بقاءه آمناً ومحماً.

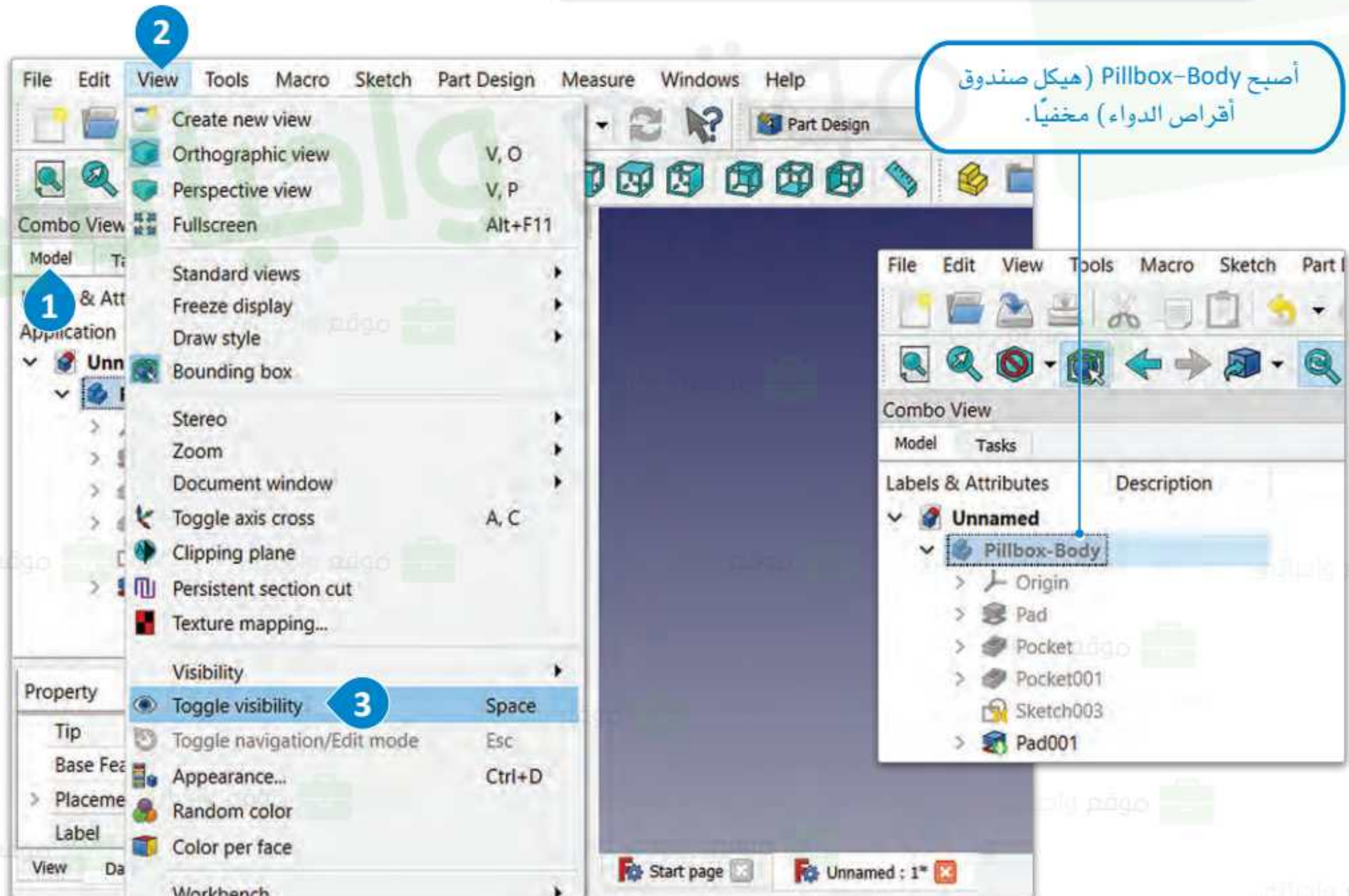
من الممارسات الجيدة في النمذجة ثلاثية الأبعاد أن يتم إخفاء الهياكل الموجودة في التصميم عند إنشاء هيكل آخر، وذلك لمعاينة الهيكل الجديد والتعامل معه بشكل أكثر كفاءة. يؤدي عرض الهياكل المتعددة معاً إلى تداخلها أو تشابكها، مما يُصعب من عملية معاينة الهيكل الجديد والتعامل معه. ستقوم بإخفاء هيكل صندوق أقراص الدواء (Pillbox-Body) لكي تتمكن من التعامل مع غطاء صندوق أقراص الدواء (Pillbox-Cap) بشكل أفضل.

يجب تحديد الجسم بأكمله لكي يتم تفعيل خيار تبديل قابلية العرض (Toggle visibility).

إخفاء 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



شكل 3.57: إخفاء هيكل صندوق أقراص الدواء

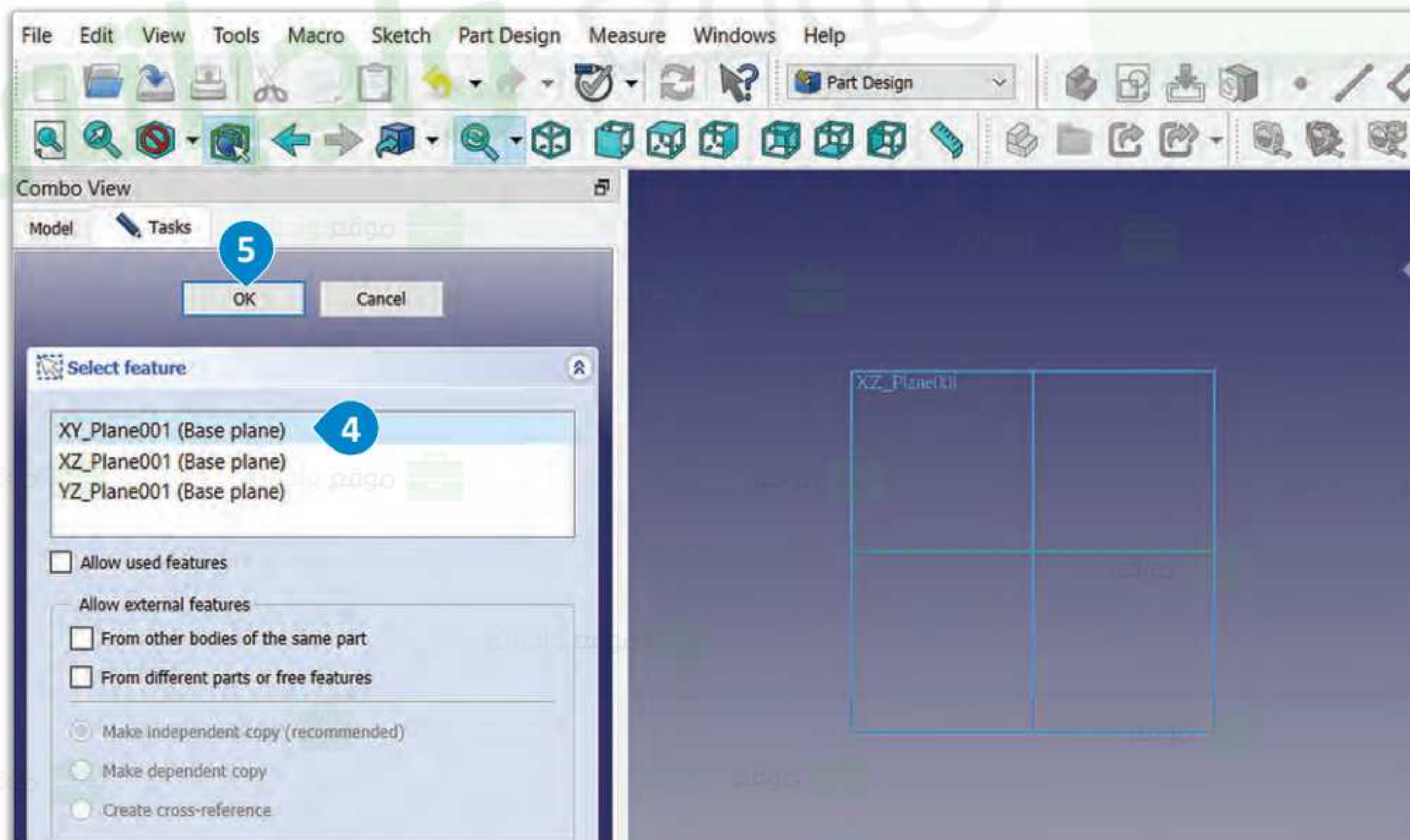


ستنشئ الآن هيكلًا جديدًا للغطاء، وستختار سطح عمل الرسم الهندسي XY.

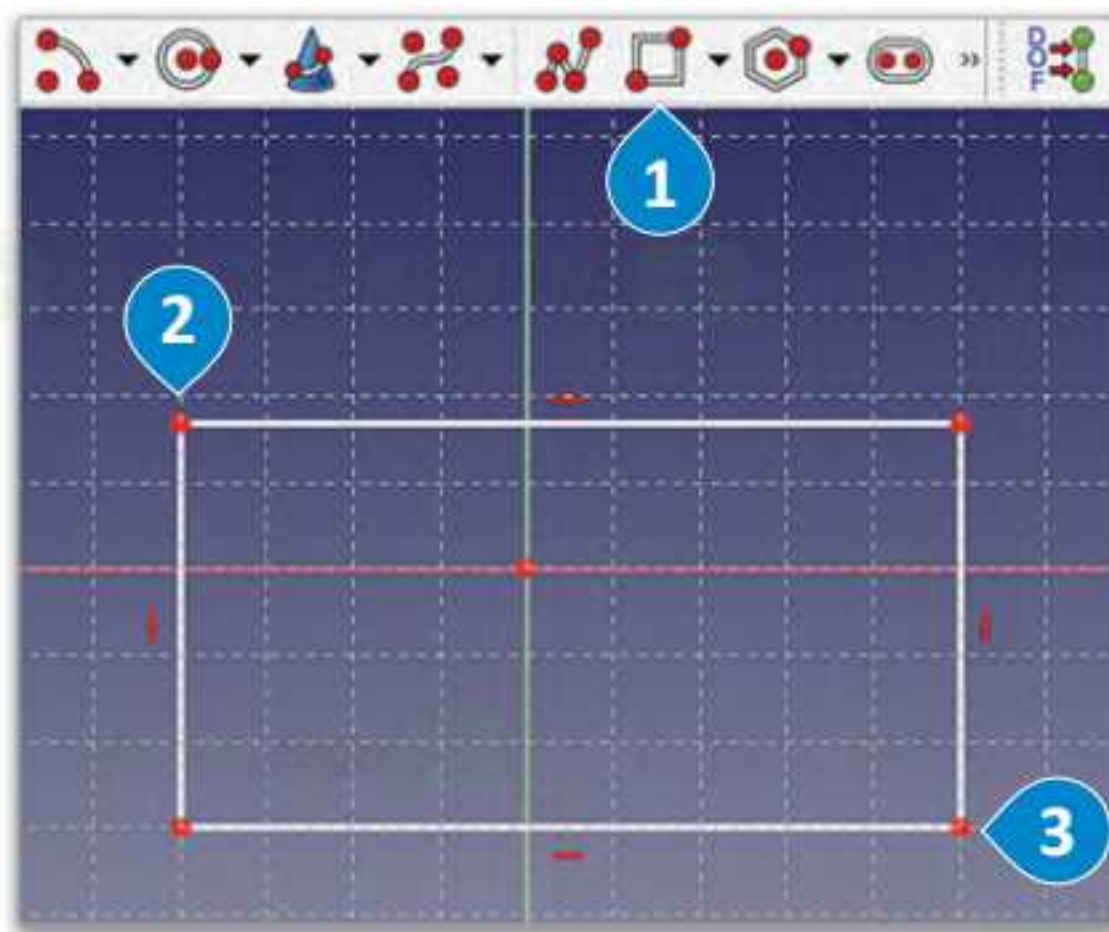
لإنشاء غطاء صندوق أقراص الدواء:



- < من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create body (إنشاء هيكل). 1
- < من علامة تبويب Model (النموذج)، غير التسمية إلى Pillbox-Cap (غطاء صندوق أقراص الدواء). 2
- < من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create sketch (إنشاء الرسم التخطيطي). 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



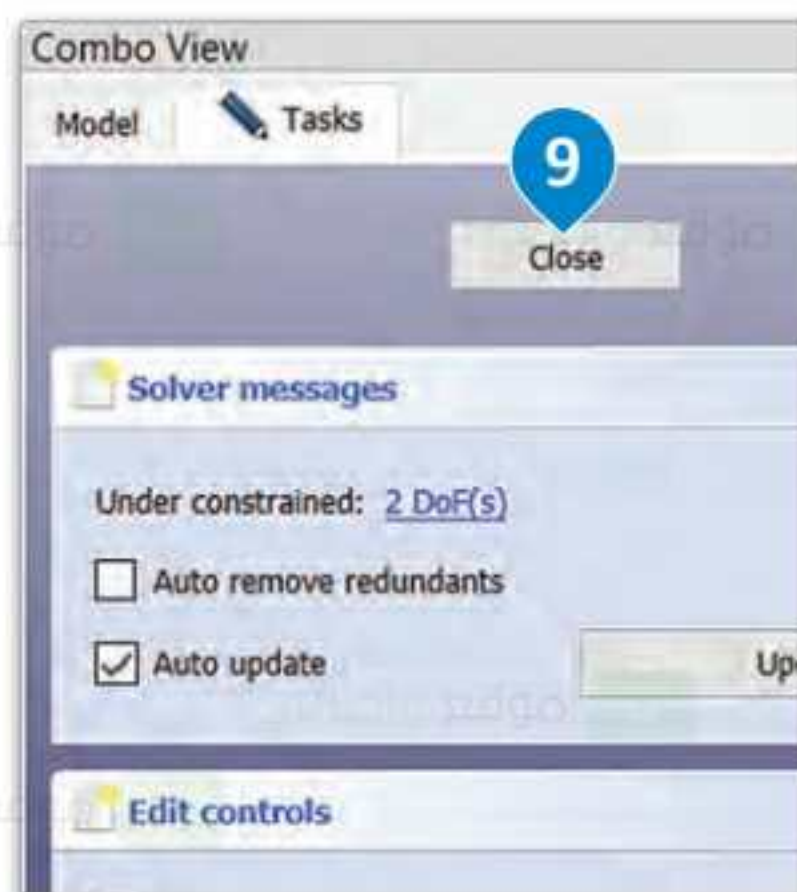
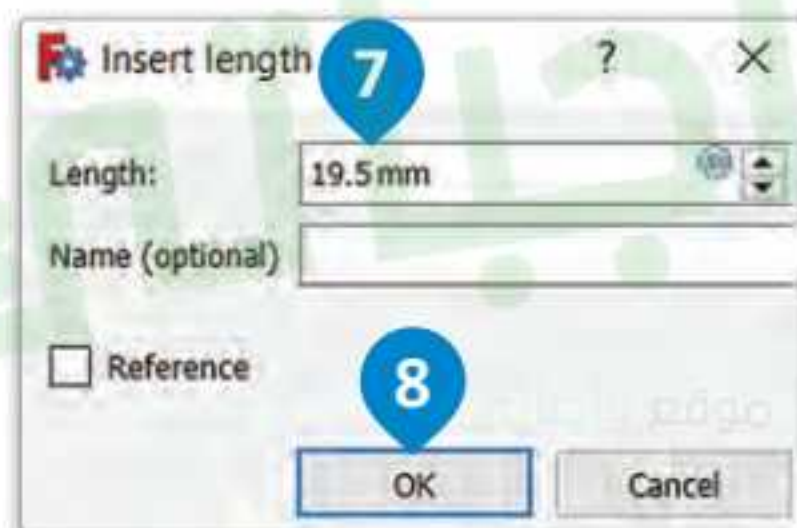
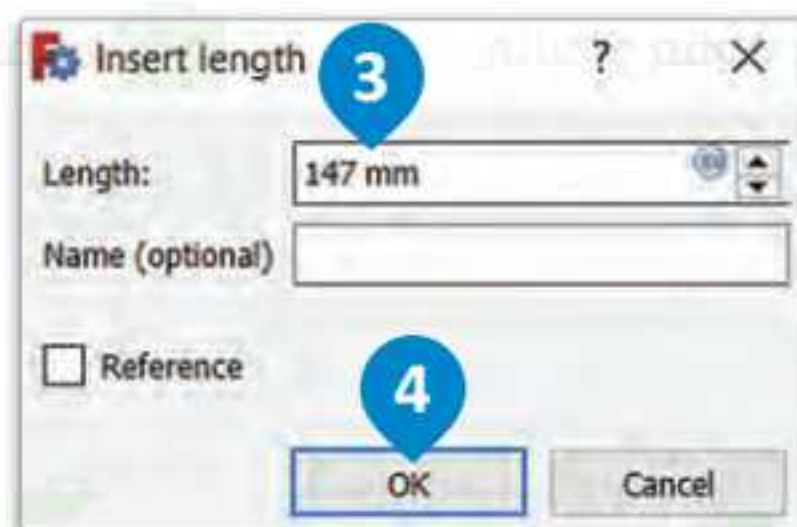
شكل 3.59: إنشاء مستطيل

استخدم أداة إنشاء مستطيلات (Create rectangles) لإنشاء مستطيل بطول 147 ملليمتر وعرض 19.5 ملليمتر.

لإنشاء مستطيل:

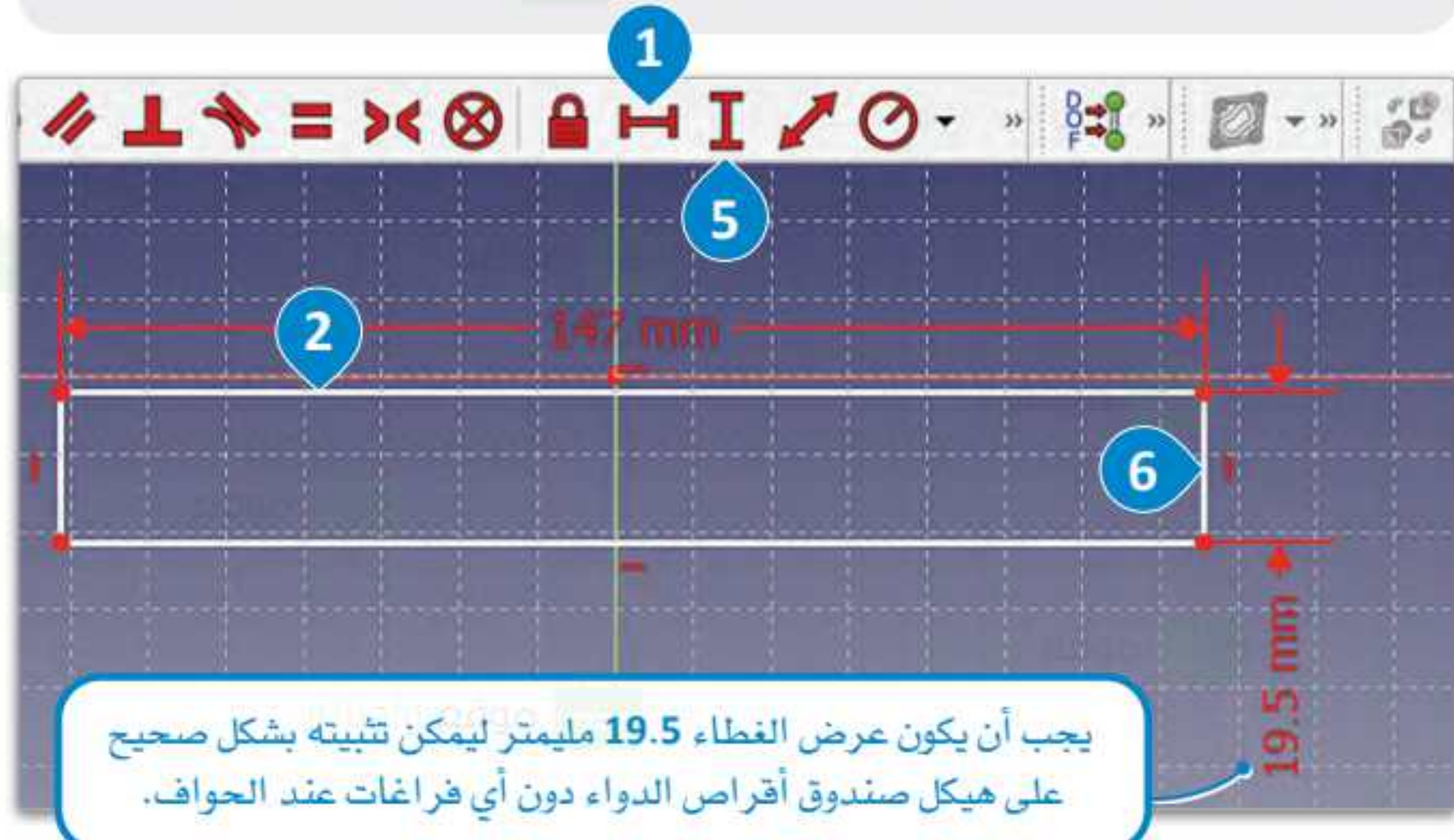
- < من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create rectangles (إنشاء مستطيلات). 1
- < اضغط على الرسم التخطيطي لتعيين الزاوية الأولى للمستطيل. 2
- < حرك المؤشر لتعيين الزاوية المقابلة للمستطيل، واضغط مرة أخرى لإنشاء المستطيل. 3

استخدم القيود لضبط طول المستطيل إلى 147 ملليمتر، وعرضه إلى 19.5 ملليمتر.



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 ملليمتر)، 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 ملليمتر)، ثم اضغط على OK (موافق). 8
- < من علامة تبويب Tasks (المهام)، اضغط على Close (إغلاق). 9



يجب أن يكون عرض الغطاء 19.5 ملليمتر ليتمكن تثبيته بشكل صحيح على هيكل صندوق أقراص الدواء دون أي فراغات عند الحواف.

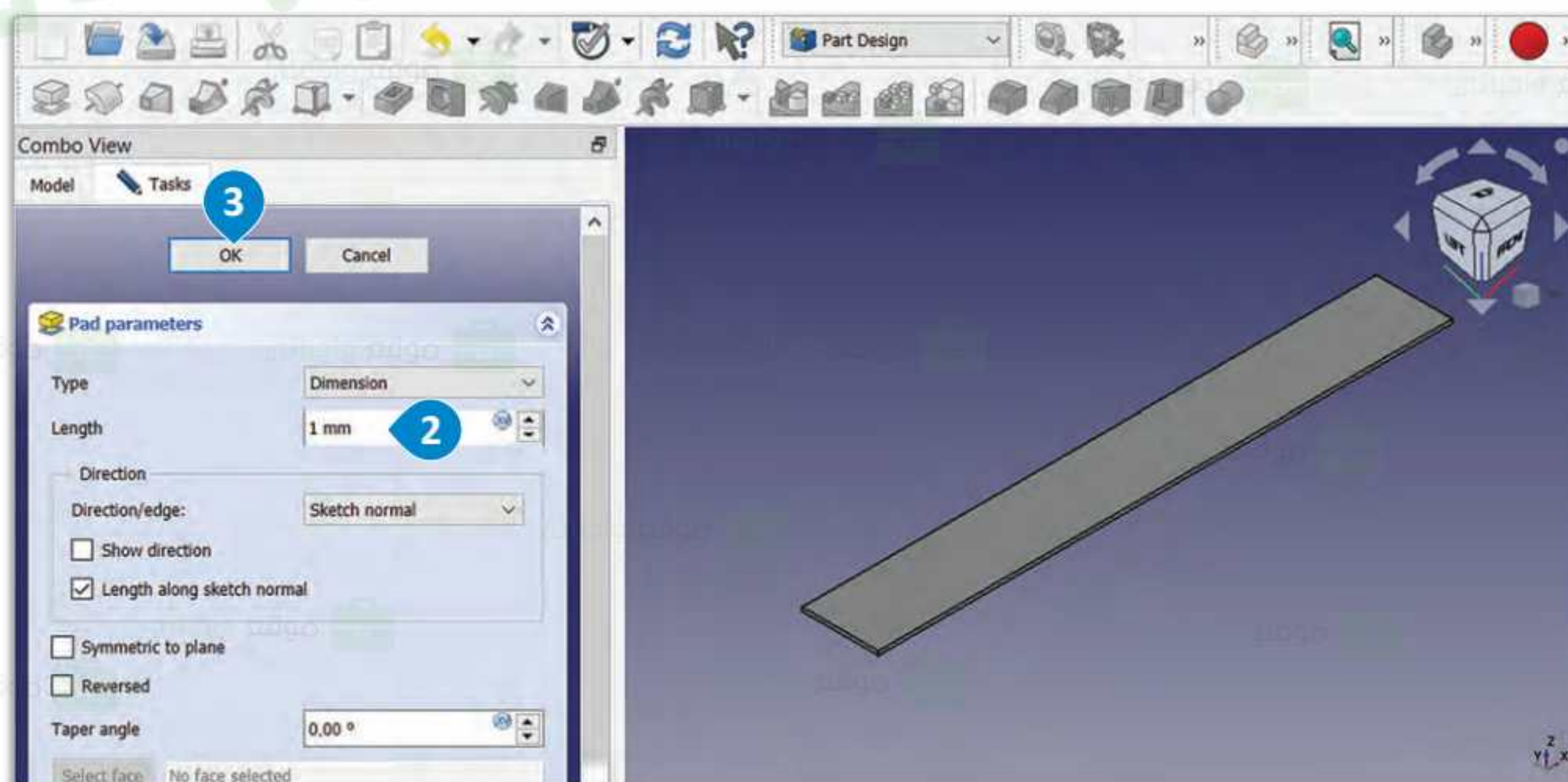
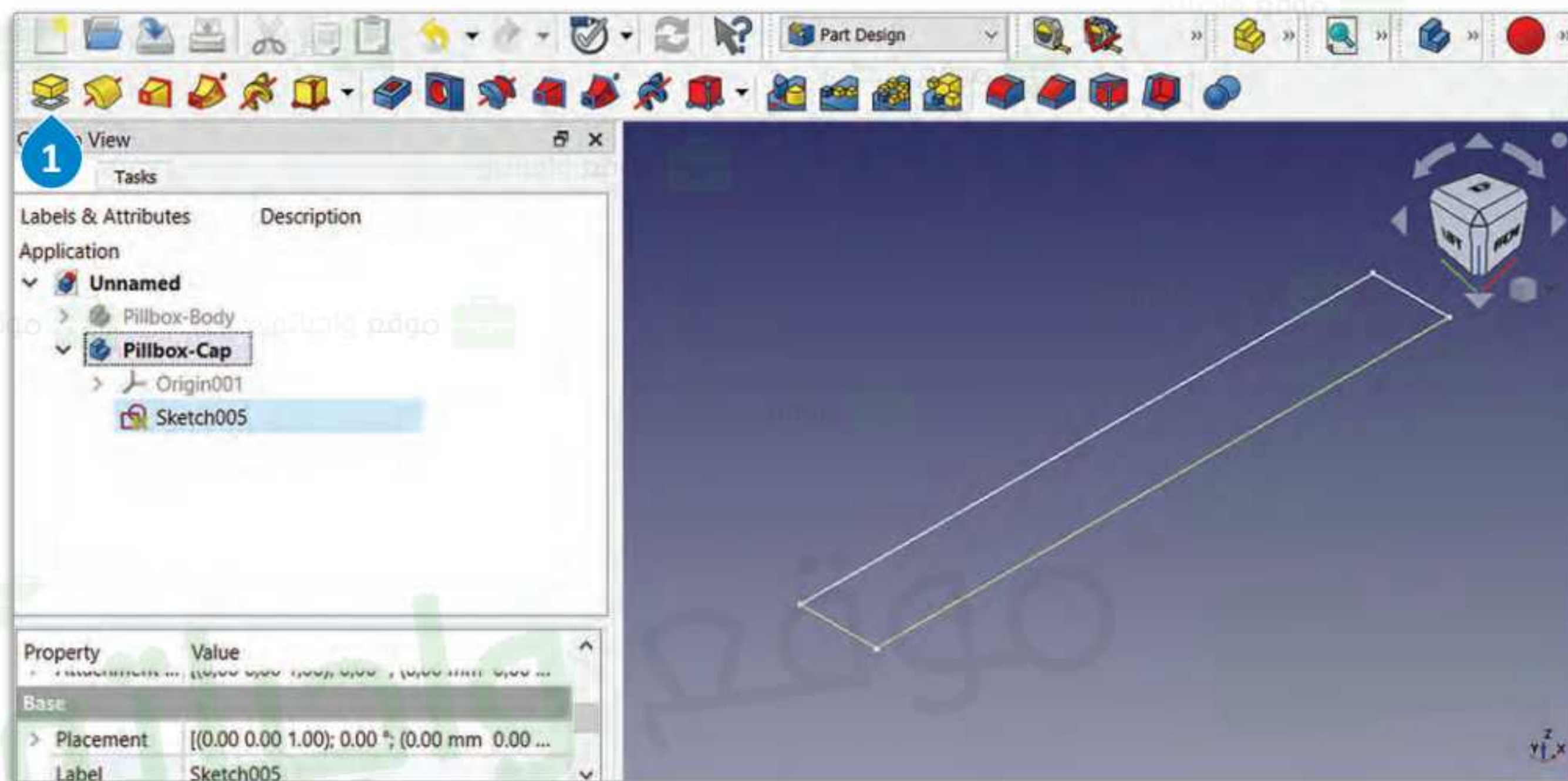
شكل 3.60: تقييد المسافة الأفقية والرأسية



في الختام، استخدم أداة البطانة (Pad) لتحويل المستطيل إلى شكل ثلاثي الأبعاد.

إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد:

- 1 < من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Pad (البطانة).
- < من علامة تبويب Tasks (المهام)، غير Length (الطول) إلى 1 mm (1 ملمتر).
- 2 ثم اضغط على OK (موافق).



شكل 3.61: إنشاء غطاء صندوق أقراص الدواء



بعد أن أكملت مرحلة تصميم صندوق أقراص الدواء، حان الآن وقت إعداد الملف للطباعة.

صدّر الهيكلين كملفات **obj** بحيث يمكنك تجهيزهما للطباعة ثلاثية الأبعاد.

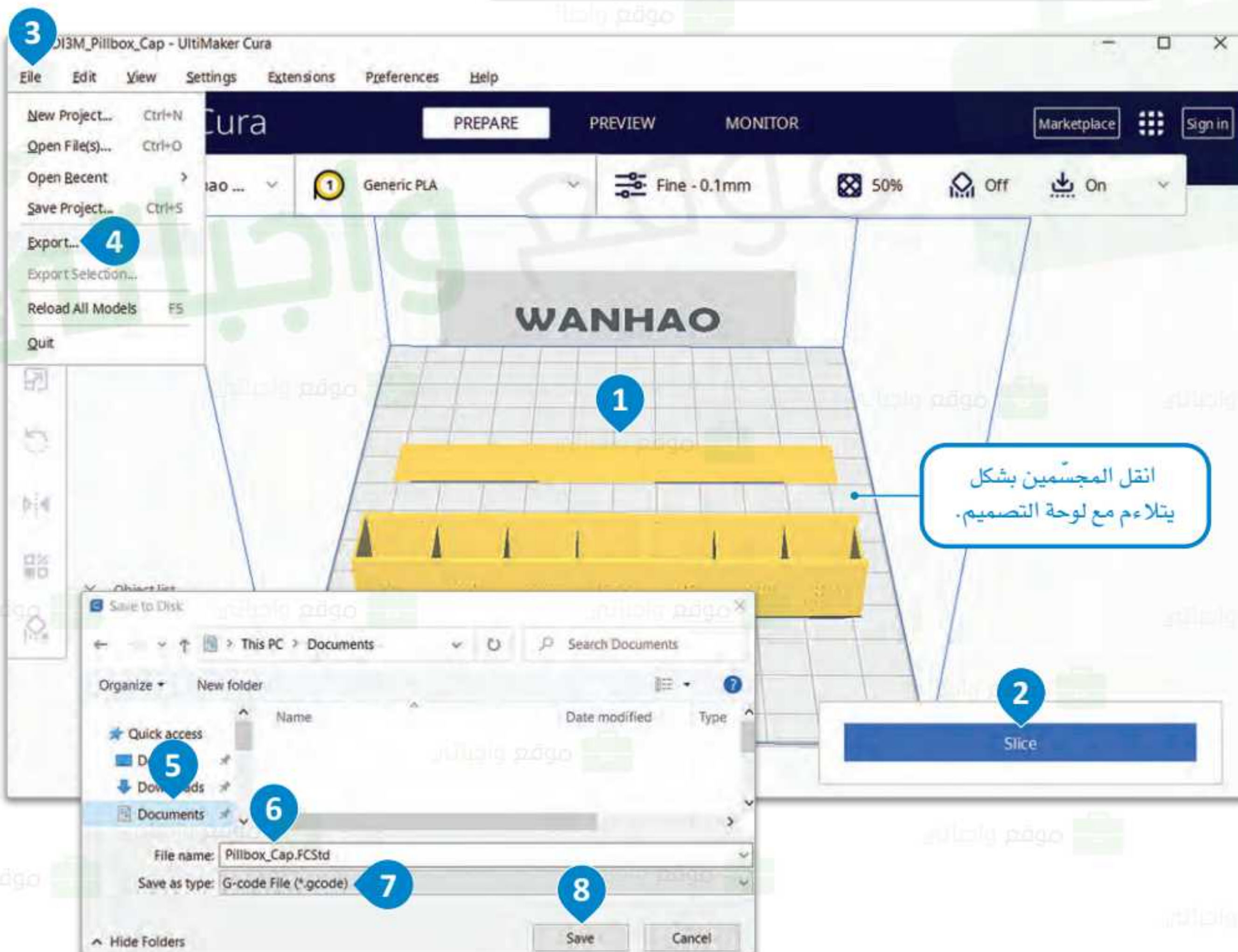
Pillbox_Body.obj
Pillbox_Cap.obj

يُعدُّ اختيار تنسيق ملف متوافق مع الطباعة ثلاثية الأبعاد والبرنامج المستخدم أمراً ضرورياً.

ستجهّز ملف "OBJ" للطباعة، ثم ستستخدم برنامج ألتيميكور كيورا (Ultimaker Cura) لإنشاء ملف "GCODE" اللازم للطباعة ثلاثية الأبعاد لطباعة صندوق أقراص الدواء.

لإنشاء ملف للطباعة :

- 1 < في برنامج Ultimaker Cura (ألتيميكور كيورا)، افتح ملفات ".obj".
- 2 < اضغط على زرّ Slice (تقطيع).
- 3 < من Menu bar (شريط القائمة)، اضغط على File (ملف)، ثم
- 4 < اضغط على Export (تصدير).
- 5 < اضغط على مجلد Documents (المستندات).
- 6 < اكتب اسماً للملف.
- 7 < من القائمة المنسدلة: Save as type: (حفظ كنوع:)، اختر
- 8 < G-code File (*.gcode)، ثم اضغط على Save (حفظ).



شكل 3.62: تصدير النموذجين

تمريبات

1

خاطئة	صحيحة	حدّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:
☐	☒	1. يمكن استخدام أداة خط متصل (Polyline) لإنشاء سلسلة من قطع الخطوط المتصلة التي تشكل معاً شكلاً مغلقاً.
☒	☐	2. لا يُعدّ حجم الشبكة مهماً لإنشاء تصميمات دقيقة وصحيحة. يُعدّ حجم الشبكة في فري كاد مهماً لإنشاء تصميمات دقيقة، ويجب تعيينه على قيمة مناسبة لحجم التصميم وتعقيده.
☒	☐	3. تقوم أداة الاستنساخ (Clone) بإنشاء نسخة جديدة مستقلة من مجسم أو مجموعة مجسمات. تنشئ أداة الاستنساخ نسخة من مجسم أو مجموعة مجسمات، لكنها تبقى مرتبطة بالمجسم الأصلي، مما يعني أن أي تغييرات يتم إجراؤها على النموذج الأصلي ستنعكس على النموذج المستنسخ أيضاً.
☐	☒	4. عند استخدام أداة النسخ (Copy) لمضاعفة مجسم، يتم إنشاء نقاط مرجعية تلقائياً للإشارة إلى موضع ذلك المجسم الذي تم نسخه بالنسبة للمجسم الأصلي.
☐	☒	5. تتيح لك أداة النقل (Move) في برنامج فري كاد اختيار مجسم 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 المستخدمة.
☒	☐	8. عند استخدام أداة خط متصل (Polyline) لإنشاء سلسلة من قطع الخطوط المتصلة التي تشكل شكلاً مغلقاً، لا يمكن تحرير الشكل أو تعديله بعد إنشائه. عند استخدام أداة خط متصل (polyline) في برنامج فري كاد لإنشاء سلسلة من مقاطع الخطوط المتصلة التي تشكل شكلاً مغلقاً، فإنه يمكن تحرير الشكل أو تعديله بمجرد إنشائه.

2

وضّح أهمية اختيار الحجم المناسب لصندوق أقراص الدواء عند تصميمه في الطباعة ثلاثية الأبعاد. الحجم عامل أساسي يجب مراعاته عند تصميم صندوق أقراص الدواء للطباعة ثلاثية الأبعاد لأنه يمكن أن يؤثر على جودة الطباعة وقوة الطباعة النهائية، فقد يتطلب صندوق الأقراص ذو الحجم الكبير هياكل دعم إضافية أو جدراناً أكثر سمكاً للحفاظ على السلامة الهيكلية، وقد يتطلب صندوق الأقراص ذو الحجم الصغير دقة طباعة أعلى لضمان تمثيل التفاصيل بدقة، بالإضافة إلى ذلك قد يستغرق صندوق الأقراص الكبير وقتاً أطول في الطباعة ويتطلب المزيد من المواد.

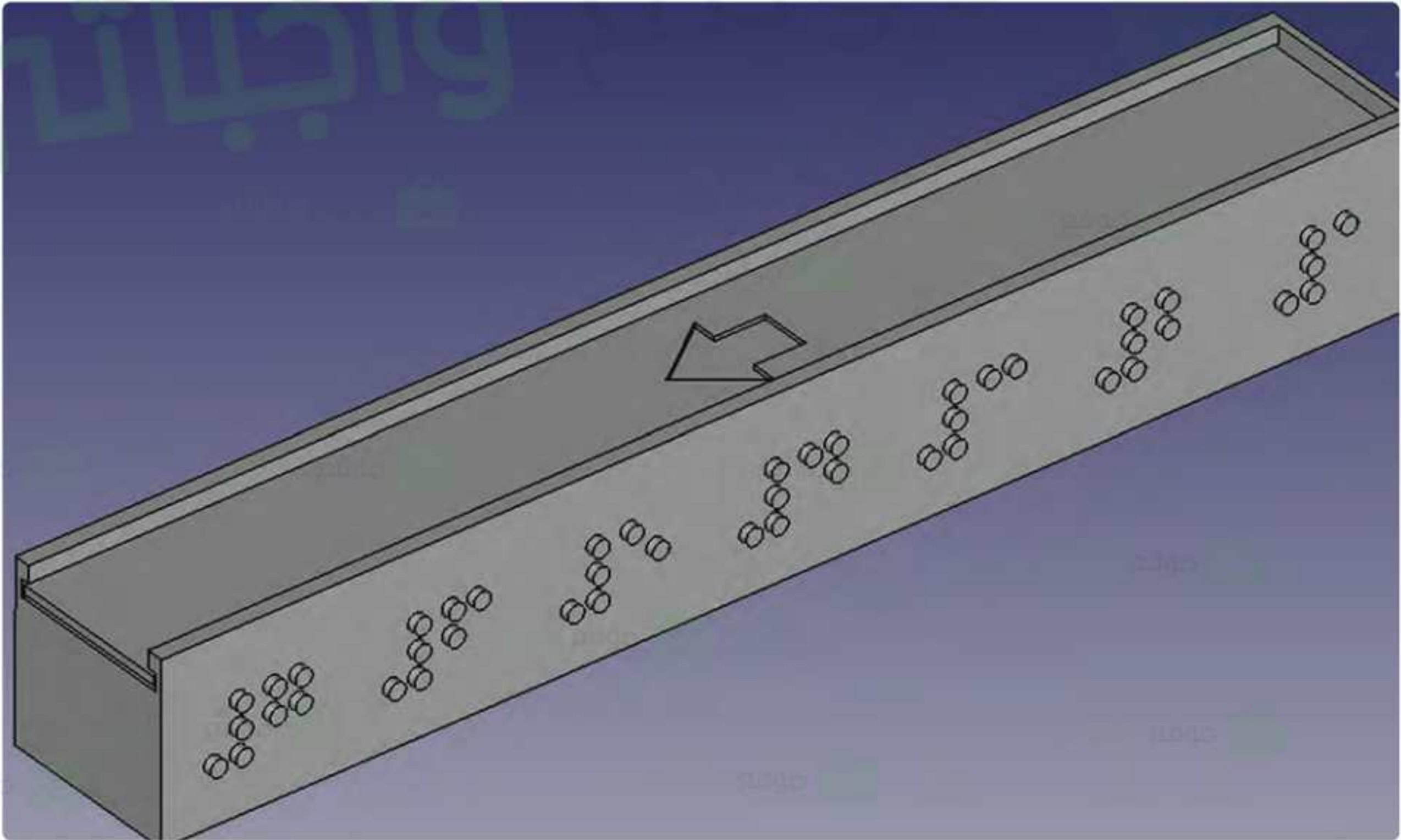
3

ما سبب التوصية باستخدام حجم شبكة أصغر لتطوير مهارات التصميم والاهتمام بالتفاصيل؟ ابحث على الإنترنت لمعرفة كيف يمكن الاستفادة من هذه المهارات في مجالات أخرى من الهندسة أو أعمال التصميم.

يمكن أن يساعد استخدام حجم شبكة أصغر في تطوير مهارات التصميم والاهتمام بالتفاصيل من خلال السماح للمصممين بإنشاء تفاصيل أصغر وأكثر تعقيداً، ويمكن أن تكون هذه المهارات مفيدة في مجالات أخرى من الهندسة أو أعمال التصميم مثل: إنشاء المخططات الفنية التفصيلية أو تصميم الأنظمة الميكانيكية المعقدة.

4

يتضمن تصميم صندوق أقراص الدواء تجويفاً لغطاء الصندوق، وذلك لحفظ الأقراص داخل الحاويات. قم بتحسين هذا التصميم لجعل استخدامه أكثر سهولة للأفراد ذوي الإعاقة أو القدرات الحركية المحدودة. استخدم الصورة أدناه لإنشاء شكل سهم على غطاء صندوق أقراص الدواء (Pillbox-Cap) يسمح للمستخدمين بتحريك الغطاء بسهولة أكبر.



5 صَمَم حروف الاختصار KSA بنظام برايل، باستخدام أبجدية برايل الموضَّحة أدناه.



a b c d e f g h i j

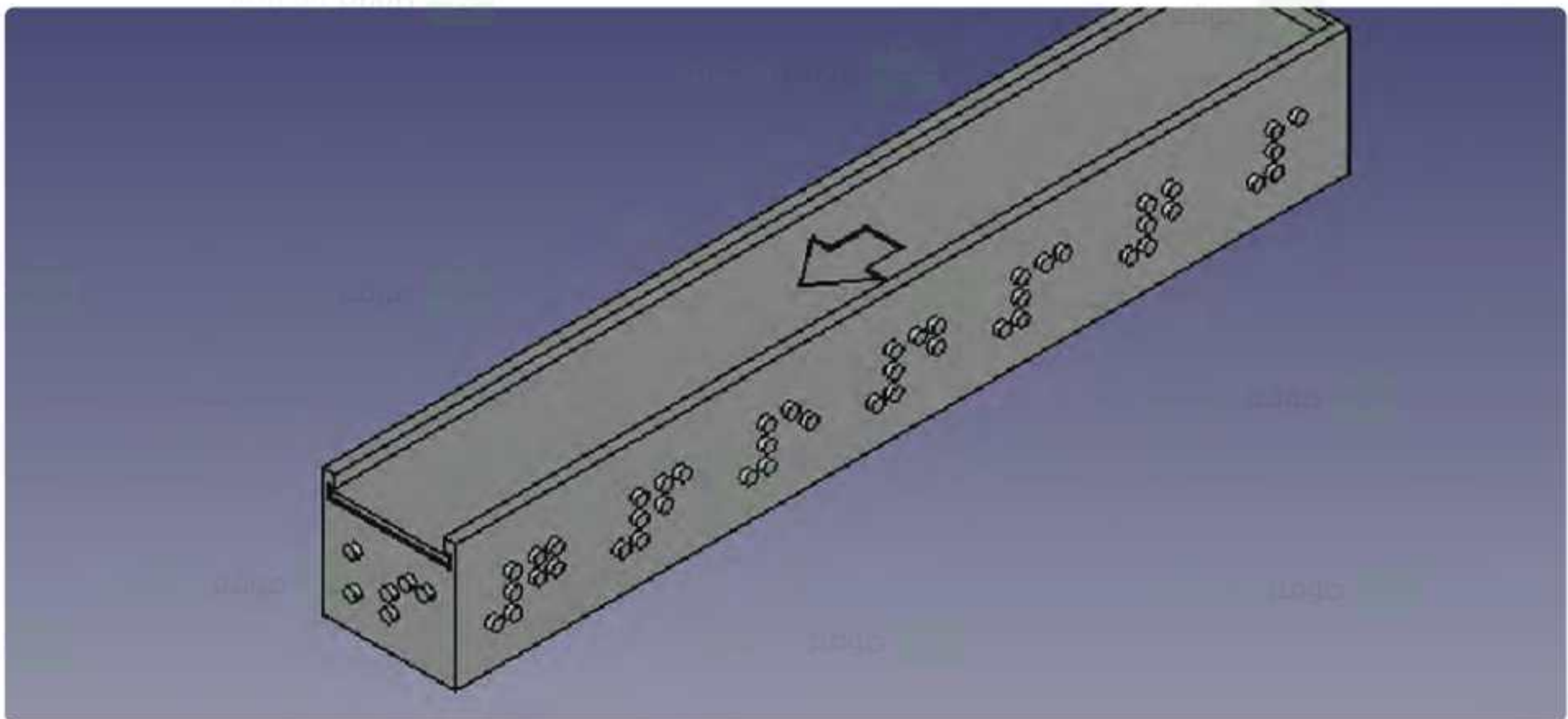


k l m n o p q r s t



u v w x y z

استخدم الصورة التالية لمساعدتك على فهم كيفية تصميم الحروف:



6

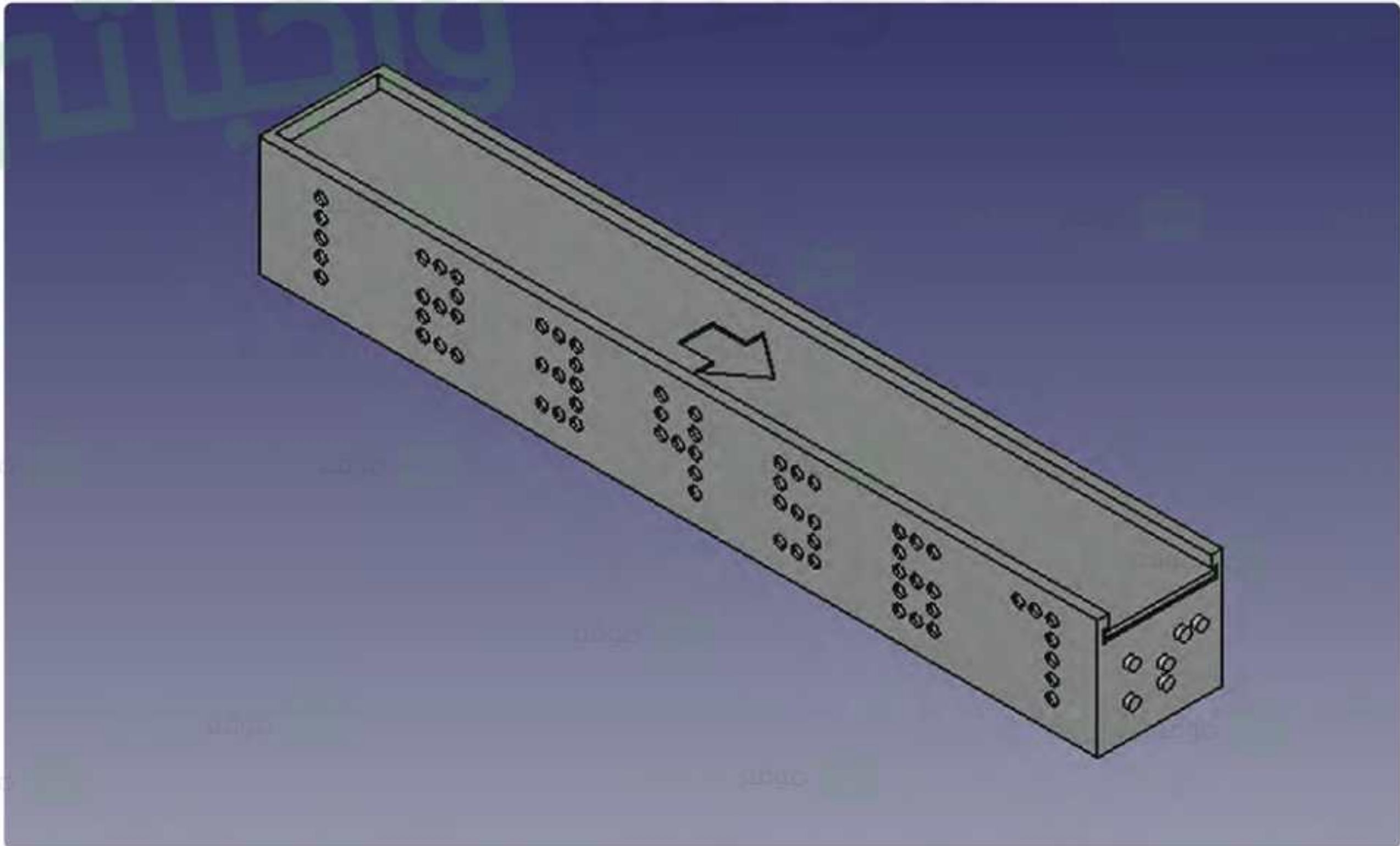
يتضمن تصميم صندوق أقراص الدواء استخدام نقاط برايل لتسمية أيام الأسبوع.

كيف يمكنك تعديل هذا التصميم لجعله قابلاً للاستخدام من قبل الأشخاص الذين لا يتقنون نظام برايل، أو أولئك الذين لا يعانون من الإعاقات البصرية؟

لجعل تصميم صندوق أقراص الدواء قابلاً للاستخدام من قبل الأشخاص الذين لا يتقنون نظام برايل، أو أولئك الذين لا يعانون من الإعاقات البصرية فإنه يمكن استخدام طرائق بديلة لوضع التسميات، حيث أن أحد الخيارات هو كتابة الحروف أو الأرقام البارزة على الصناديق باستخدام نقاط برايل، حيث يسمح هذا للأشخاص الذين يعانون من الإعاقات البصرية بتحديد أيام الأسبوع من خلال اللمس، والخيار الآخر هو استخدام الترميز اللوني (Color-Coding) أو غيره من الإشارات المرئية لتمييز أيام الأسبوع، فعلى سبيل المثال: يمكن تلوين الصناديق بظلال أو أنماط مختلفة لكل يوم من أيام الأسبوع، حيث يسمح ذلك للأفراد الذين لا يعانون من إعاقات بصرية بالتمييز بين الصناديق بناءً على لونها أو نمطها.

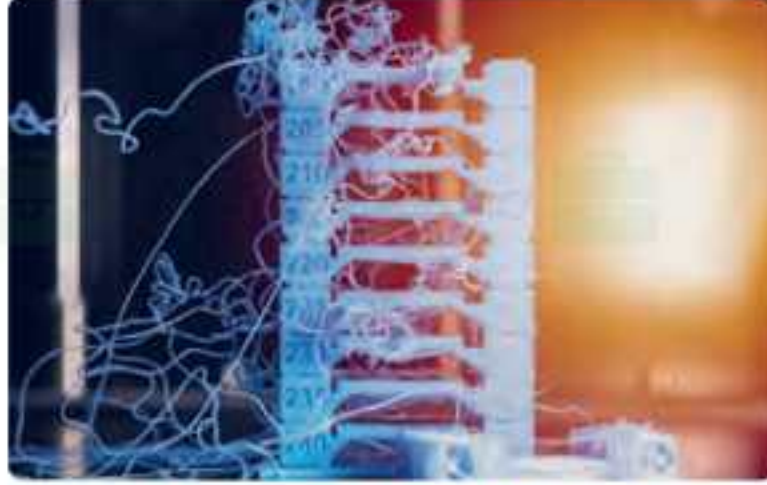
استخدم الصورة التالية كدليل لإنشاء التسميات الرقمية للأيام، أو أنشئ التسميات الخاصة بك:

ملاحظة: ستستخدم أداة تجويف (Pocket) لكتابة التسميات بطول 0.50 ملليمتر.





الدرس الثالث الاختبار والتنقيح



شكل 3.63: مثال على خلل في نموذج مطبوع ثلاثي الأبعاد

اختبار وتنقيح مُنتج مطبوع ثلاثي الأبعاد Testing and Refining a 3D Printed Product

تُواجه عملية إنشاء النماذج الأولية باستخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد احتمال حدوث أنواع مختلفة من الأخطاء الخاصة بالتصميم وغيرها، وذلك عند الانتقال من التصميمات المنفّذة بمساعدة الحاسب إلى المجسمات الفعلية، ويمكن 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 الأولية إنشاء تصميم واختبار وظائفه وتوثيق مشكلاته، وتحسين تصميمه، وطباعة النسخة التالية من النموذج الأولي دون هدر الوقت والموارد ذات التكلفة المرتفعة.

الاختبار Testing

التهيئة للاختبار

لا بد أن يتم تجهيز خطة للاختبار قبل البدء بتنفيذ أي اختبار، ويجب أن تُحدّد هذه الخطة الاختبارات والمعايير والمعلومات الأخرى المتعلقة بعملية الاختبار، كما يجب أن تُحدّد الموارد اللازمة للاختبار، كالمواد والمعدات والموظفين، فعلى سبيل المثال عند تطبيق اختبار لطرف صناعي مطبوع ثلاثي الأبعاد، كما يظهر في الشكل 3.63، يجب أخذ الخطة التالية بعين الاعتبار:

1. تحديد أهداف الاختبار: الخطوة الأولى هي تحديد أهداف عملية التهيئة للاختبار، وقد يشمل ذلك تقييم التصميم، ووظائف المنتج وتجربة المُستخدم للطرف الصناعي وتحديد العيوب أو المشكلات الفنية التي تحتاج إلى المعالجة.
2. وضع معايير الاختبار: يجب وضع معايير محدّدة لاستخدامها في عملية تقييم الطرف الصناعي، وقد يشمل ذلك الجوانب الجمالية، ومستوى راحة المُستخدم، وفعاليته في تأدية الوظيفة التي صُنِع من أجلها، فضلاً عن متانته وسهولة صيانته.
3. تحديد عمليات الاختبار: يجب تحديد الاختبارات التي ستُجرى لتقييم الطرف الصناعي، وقد يتضمن ذلك تكليف المختبرين بمهام يومية 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 والمعدات اللازمة لعملية الاختبار، وقد يشمل ذلك الطابعات ثلاثية الأبعاد، وبرامج الاختبار، وكذلك وجود فريق مختبرين ذوي خبرة.
5. إنشاء مخطط زمني للاختبار: يجب وضع مخطط 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 يوضح نتائج الاختبار، ويحدّد أي مشكلات موجودة أو مجالات يجب تحسينها، ويقدم التوصيات بالتغييرات التي يجب إجراؤها قبل طرح الطرف الصناعي للمُستخدمين.





شكل 3.64: تمثيل ثلاثي الأبعاد لاستبدال الركبة

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 المنتج وأدائه قبل اختباره فعلياً. على سبيل المثال، يوضح الشكل 3.64 محاكاة لمكوّن بديل لمفصل صناعي بديل للركبة، يتم إدخاله في بنية عظام المريض، ويشمل الاختبار أيضاً محاكاة الإجهاد والانفعال، وديناميكيا الموائع، والتحليل الحراري للأداء، وأنواعاً أخرى من الاختبارات التي تتعلق بطبيعة المنتج، وتتضمن عملية الاختبار الافتراضي للطرف الصناعي ما يلي:

1. تطوير بيانات افتراضية: إنشاء بيانات 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 المختبرين إلى استخدام الطرف الصناعي المطبوع ثلاثي الأبعاد في البيئات الافتراضية لأداء مهام محددة تتعلق بسيناريوهات الاختبار، وجمع التغذية الراجعة من المختبرين حول تجربتهم، بما في ذلك أي مشكلات أو أخطاء واجهوها.
3. تحليل النتائج: تحليل نتائج الاختبار لتحديد أي مشاكل أو أنماط غير مرغوبة ظهرت أثناء الاختبار.

الاختبار الفعلي

تتضمن هذه المرحلة إجراء الاختبار الفعلي للنموذج الأولي ثلاثي الأبعاد المطبوع؛ لتقييم أدائه وتحديد أي مشكلات تحتاج إلى المعالجة. يمكن إجراء العديد من الاختبارات الفعلية مثل: اختبارات القوة والمتانة، واختبارات دقة الأداء، والاختبارات البيئية، ويوضح الشكل 3.65 عملية اختبار فعلي لطرف صناعي، وتتضمن ما يلي:

1. تطوير بيانات الاختبار الفيزيائية: إنشاء بيانات اختبار فعلية تحاكي سيناريوهات حقيقية سيتم فيها استخدام الطرف الصناعي، وقد يتضمن ذلك إنشاء عوائق أو تحديات يجب على مُستخدم الطرف الصناعي تجاوزها، مثل السلالم أو أماكن الحركة غير المستوية.
2. إجراء الاختبار: تتم دعوة المختبرين إلى ارتداء الطرف الصناعي المطبوع ثلاثي الأبعاد واستخدامه في بيئات الاختبار الواقعية؛ لأداء مهام محددة تتعلق بسيناريوهات الاختبار، ثم يتم جمع التغذية الراجعة من المختبرين 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 يتضمن ذلك استخدام معدّات اختبار متخصصة لقياس أداء الطرف الصناعي وملاءمته للبيئة وللمستخدم.



شكل 3.65: اختبار يد صناعية

تنقيح المنتج المطبوع ثلاثي الأبعاد Refining a 3D Printed Product

تُعدُّ مرحلة التنقيح في تطوير المنتج المطبوع ثلاثي الأبعاد خطوة حاسمة في هذه العملية، حيث تتم خلال هذه المرحلة مراجعة تصميم المنتج وتحسينه بناءً على التغذية الراجعة من عمليات الاختبار والتقييم، وفيما يلي سيتم عرض مراحل تنقيح المنتج المطبوع:

صقل الأجزاء المطبوعة ثلاثية الأبعاد

تُعدُّ عملية صقل الأجزاء المطبوعة ثلاثية الأبعاد خطوة مهمة خلال مرحلة التنقيح، حيث يمكنها أن تساعد بشكل كبير في الحصول على سطح أملس وجميل للمنتج النهائي، كما يمكن استخدام تقنيات مختلفة بناءً على المادة التي تم استخدامها لطباعة المنتج وعلى مستوى التنقيح النهائي المطلوب، وتتضمن تلك التقنيات، الصنفرة اليدوية أو الآلية والتنعيم الكيميائي، ويُعدُّ الصقل مهماً خاصةً عند استخدام تقنيات الطباعة بدو بان الليزر الانتقائي (SLM)، حيث يكون سطح المنتج في الغالب خشناً ومسامياً بسبب طبيعة العملية.

تحليل نتائج الاختبار

تتمثل الخطوة الأولى في عملية تنقيح الطرف الصناعي ثلاثي الأبعاد في تحليل نتائج الاختبار، ويتضمن ذلك مراجعة البيانات التي تم جمعها أثناء الاختبار وتحديد أي عيوب أو مشكلات يجب معالجتها. على سبيل المثال، إذا لم يكن الطرف الصناعي مناسباً أو مريحاً للمستخدم، 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، سيحدد الفريق التعديلات المطلوبة في التصميم التي يجب إجراؤها على النموذج ثلاثي الأبعاد، ويمكن أن تشمل هذه التعديلات إجراء تغييرات في أبعاد الطرف الصناعي، أو ميزات، أو المادة التي ستستخدم لإنتاجه، أو لأي من عناصر التصميم الأخرى. على سبيل المثال، في حال كان الطرف الصناعي ثقیلاً جداً، 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 أولي جديد للطرف الصناعي. سيكرر الفريق بعد ذلك عملية الاختبار مع النموذج الأولي الجديد للتحقق من أن التغييرات عالجت المشكلات المحددة، ويمكن تكرار هذه العملية عدة مرات حتى الوصول إلى التصميم النهائي للطرف الصناعي.

المراجعة والموافقة

تتم مراجعة تصميم الأطراف الصناعية طوال مرحلة التنقيح من قبل أولئك المختصين بالعملية وأصحاب المصلحة، بما في ذلك المصممين والمهندسين والعلماء، 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 قبل 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، ويمكن إعادة إنتاجه في المستقبل. يمكن أن تتضمن هذه الوثائق نماذج ثلاثية الأبعاد، وبيانات الاختبار، ومعلومات أخرى حول عملية تصميم الأطراف الصناعية وتطويرها، ويُعدُّ التوثيق ضرورياً في مرحلة التنقيح حيث يضمن أن الطرف الصناعي النهائي يفي بالمتطلبات الأصلية ويتوافق بشكل تام مع مواصفات التصميم.



شكل 3.66: اختبار النموذج الأولي للذراع الصناعية

أدوات اختبار المنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد Testing Tools for 3D Printed Products

برنامج تحليل العناصر المحدودة

يحاكي برنامج تحليل العناصر المحدودة (FEA) سلوك المنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد تحت أحمال وضغوط مختلفة، ويمكن لهذا البرنامج تحديد المشكلات المحتملة ومجالات التحسين في تصميم المنتج قبل إجراء الاختبار الفعلي عليه.

المسالك الرقمي

يُعدُّ المسالك الرقمي (Digital Calipers) أداة أساسية في قياس أبعاد المنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد، ويمكن استخدامه لضمان مطابقة قياسات المنتج المطبوع للنموذج ثلاثي الأبعاد، ومطابقته للمواصفات المطلوبة.

جهاز اختبار مقاومة الشد

يمكن لجهاز اختبار مقاومة الشد (Tensile Testing Machine) اختبار قوة ومتانة المنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد، ويمكن لهذا الجهاز تطبيق القوة على المنتج حتى ينهار أو ينكسر، مما يسمح لفريق الاختبار بتحديد نقاط الضعف التي يجب معالجتها في التصميم.

جهاز الفحص بالأشعة السينية

يمكن لجهاز الفحص بالأشعة السينية (X-ray Machine) فحص الهيكل الداخلي للمنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد، ويمكن أن يساعد ذلك في تحديد العيوب التي قد لا تكون مرئية من الخارج.

جهاز اختبار خشونة السطح

يمكن لجهاز اختبار خشونة السطح (Surface Roughness Tester) قياس درجة صقل السطح للمنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد، ويمكن أن يساعد ذلك في ضمان أن يكون للمنتج سطح أملس ويحقق المواصفات المطلوبة.

مجهر المسح الإلكتروني

يمكن استخدام مجهر المسح الإلكتروني (Scanning Electron Microscope) لفحص أسطح المنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد على المستوى المجهر، ويمكن أن يساعد هذا في تحديد العيوب الصغيرة جداً التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة.

مقياس الطيف الضوئي

يُعدُّ مقياس الطيف الضوئي (Spectrophotometer) أداة يمكنها قياس لون المنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد، ويمكن أن يكون هذا مفيداً بشكل خاص للمنتجات التي تتطلب مطابقة معينة للألوان، كالمنتجات الاستهلاكية وأجزاء محدّدة من الآلات.

اختبار اختراق الصبغة

يُعدُّ اختبار اختراق الصبغة (Dye Penetrant Testing) طريقة اختبار غير تدميرية تُستخدم لتحديد العيوب السطحية في المنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد، ويتم طلاء المنتج 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 يمكنه قياس أبعاد المنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد بدقة، ويمكن لهذه الآلة قياس طول المنتج وعرضه وارتفاعه وأبعاده الأخرى.

آلة اختبار التأثير

آلة اختبار التأثير (Impact Testing Machine) هي جهاز يمكنه اختبار مقاومة المنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد للصدمات، وتحاكي هذه الآلة تأثير القوة المفاجئة على المنتج وتقيس درجة مقاومته.

الاختبار بالموجات فوق الصوتية

الاختبار بالموجات فوق الصوتية (Ultrasonic Testing) هو طريقة اختبار غير تدميرية تستخدم موجات صوتية عالية التردد لفحص الهيكل الداخلي للمنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد، ويمكن لهذه الطريقة أن تساعد في تحديد العيوب أو المشكلات الموجودة في الهيكل الداخلي للمنتج والتي قد لا تكون ظاهرة من الخارج للعيان.

غرفة الاختبار البيئي

يمكن استخدام غرف الاختبار البيئي (Environmental Testing Chambers) لمحاكاة الظروف البيئية المختلفة مثل: درجة الحرارة، والرطوبة والضغط، حيث يتم اختبار أداء المنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد في ظل التغير في هذه الظروف.

قيود عند اختبار المنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد وتنقيحها

Constraints When Testing and Refining 3D Printed Products

توجد العديد من القيود التي يحتمل ظهورها أثناء عمليات اختبار وتنقيح المنتجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة، ومن الضروري تحديد تلك القيود المحتملة أثناء عمليتي الاختبار والتنقيح، وبالتالي تطوير استراتيجيات للتغلب عليها، حيث يتيح التغلب على هذه القيود والعقبات للمصنعين ضمان تطوير منتجات مطبوعة ثلاثية الأبعاد عالية الجودة تلبي جميع المتطلبات، وتلقى النجاح المنشود عند تسويقها للمستهلكين، ويوضح الجدول 3.8 القيود الأكثر شيوعاً.

جدول 3.8: القيود الشائعة عند اختبار المنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد وتنقيحها

الوصف	القيود
يؤثر نوع المواد المستخدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد على جودة المنتج النهائي، فقد لا تناسب بعض المواد متطلبات منتج معين، أو قد يكون توافرها محدوداً أو مرتفع التكلفة.	 قيود المادة
تحدد قيود التصميم المختلفة كالحجم والدقة ودرجة الوضوح من إمكانيات استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد للأغراض المختلفة، وقد تحد أيضاً من القدرة على استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد لمنتجات معينة ذات طبيعة معقدة.	 قيود الطباعة
قد لا تتاح بعض معدات الاختبار المطلوبة للاختبار الفيزيائي بسهولة، أو قد يكون الحصول عليها أو تشغيلها باهظ التكلفة، ومن المحتمل أن يقيّد هذا الأمر طبيعة الاختبارات التي يمكن إجراؤها، كما قد يؤدي إلى نتائج اختبار ناقصة أو غير دقيقة.	 توافر معدات الاختبار
يمكن أن يستغرق اختبار المنتج المطبوع ثلاثي الأبعاد وتنقيحه وقتاً طويلاً وكذلك تكلفة عالية، ويمكن لمحدودية الوقت أو الميزانية تقييد عدد الاختبارات التي يمكن إجراؤها، وأنواعها، وبالتالي الحصول على نتائج اختبار ناقصة أو على منتج نهائي لم يتم اختباره بالشكل الكافي.	 قيود الوقت والميزانية
يمكن أن تؤدي الأخطاء البشرية أثناء عمليات الاختبار والتنقيح إلى جمع أو تحليل البيانات بشكل غير دقيق، ومن هنا تتبع أهمية وجود الموظفين المهرة الذين تلقوا التدريب الكافي لإجراء الاختبار والتحليل، وذلك لتقليل مخاطر الخطأ البشري.	 الخطأ البشري
قد تتطلب عملية التنقيح التعاون مع الخبراء وأصحاب المصلحة الآخرين، بما في ذلك المصممين والمهندسين والعملاء. يمكن أن يؤدي ذلك إلى إنشاء قيود على الملكية الفكرية لبعض المكونات أو التصميمات مثلاً، مما يوجب إدارة هذه العملية بعناية لحماية مصالح جميع الأطراف المعنية.	 قيود الملكية الفكرية

خاطئة	صحيحة	حدّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:
☐	☒	1. تسمح الطباعة ثلاثية الأبعاد بإنشاء التصميم السريع للنماذج الأولية.
☒	☐	2. تتضمن مرحلة التهيئة للاختبار الاختبار الفعلي للنموذج الأولي. عادة ما يتضمن التخطيط للاختبارات نفسها.
☐	☒	3. يجب وضع معايير واضحة للاختبار قبل بدء عملية الاختبار.
☒	☐	4. لا يُعدُّ وضع مخطط زمني للاختبار أمراً ضرورياً لعملية الاختبار الفعّالة. من الضروري وجود عملية اختبار سلسلة والمتابعة بشكل صحيح.
☒	☐	5. لا يُمكن الاستعانة بأطراف أو خبراء خارجيين عند إجراء الاختبارات. تقوم العديد من الشركات في مختلف الصناعات بالاستعانة بأطراف أو خبراء خارجيين عند إجراء الاختبارات، وهو خيار صالح لاختبار النماذج الأولية المطبوعة ثلاثية الأبعاد.
☐	☒	6. تُعدُّ مرحلة تحليل النتائج أول خطوة في مرحلة تنقيح المنتج.
☒	☐	7. لا تُعدُّ التغييرات المتكررة على التصميم ضرورية عند تنقيح المنتج ثلاثي الأبعاد المطبوع. جزء أساسي من مرحلة التنقية.
☒	☐	8. لا تُعدُّ التغذية الراجعة الواردة من الخبراء أو أصحاب المصلحة ضرورية في مرحلة التنقيح. التغذية الراجعة من أصحاب المصلحة هي مُدخلات مهمة للغاية خلال مرحلة التنقيح.
☐	☒	9. يمكن استخدام غرف الاختبار البيئي لمحاكاة الظروف البيئية المختلفة لاختبار المنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد.
☒	☐	10. لا توجد قيود على تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد من حيث حجم ودقة المنتج ودرجة وضوحه. تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد لها قيود من حيث الحجم والدقة.

وضّح الغرض من وضع معايير للاختبار قبل إجرائه.

لا بد أن يتم تجهيز خطة للاختبار قبل البدء بتنفيذ أي اختبار، ويجب أن تُحدّد هذه الخطة الاختبارات والمعايير والمعلومات الأخرى المتعلقة بعملية الاختبار، كما يجب أن تُحدّد الموارد اللازمة للاختبار، كالمواد والمعدات والموظفين.

3

قِيم فوائد استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد للنماذج الأولية مقارنة بأساليب التصنيع التقليدية.

- السرعة: توفر الطباعة ثلاثية الأبعاد القدرة على إنتاج نموذج أو مُنتَج معيَّن في غضون ساعات أو حتى دقائق، وذلك مقارنة بأساليب التصنيع التقليدية التي قد تستغرق أياماً أو أسابيع.
- القدرة على التخصيص: تتيح الطباعة ثلاثية الأبعاد التخصيص الشامل للمُنتَجات حسب الاحتياجات المحددة، كما تسمح بتصنيع العديد من المُنتَجات في الموقع نفسه دون أي تكلفة إضافية.
- تصنيع المكونات المعقدة: تتيح الطباعة ثلاثية الأبعاد إنشاء مجسمات معقدة لا يمكن صنعها بأي طريقة أخرى، وقد استخدم المصممون والفنانون هذه الميزة بشكل كبير، وكان لها تأثير كبير على التطبيقات الصناعية التي تهدف إلى إنتاج مكونات معقدة تكون أخف وأقوى من سابقتها.

4

قِيم أهمية تقرير الاختبار في عملية تنقيح المُنتَج ثلاثي الأبعاد المطبوع.

ضمان الجودة: يوثق تقرير الاختبار نتائج الاختبارات المختلفة التي تم إجراؤها على المُنتَج المطبوع ثلاثي الأبعاد، مما يسمح بإجراء تقييم منهجي لأداء المُنتَج مقابل المتطلبات المحددة، وهذا يضمن جودة المُنتَج ووظائفه، وهو أمر حيوي لضمان الجودة.

تحديد العيوب والمشكلات: يمكن تحديد كافة العيوب والمشكلات في المُنتَج المطبوع ثلاثي الأبعاد من خلال الاختبار، حيث يقدم التقرير سجلاً مفصلاً له، مما يساعد فريق التصميم على فهم ما يحتاج إلى تنقيح أو تصحيح في التكرار التالي.

التحقق من صحة تغييرات التصميم: إذا تم إجراء تغييرات على تصميم المُنتَج، فإن تقرير الاختبار يقدم دليلاً على ما إذا كانت هذه التغييرات قد أدت إلى التحسينات المتوقعة أو تحتاج مزيداً من التعديلات.

5

قِيم فعالية عملية التصميم التكراري خلال مرحلة التنقيح.

الابتكار والإبداع: الطبيعة التكرارية لهذه العملية تشجع التفكير الإبداعي؛ لأنها تسمح باستكشاف حلول التصميم المختلفة، مما يسمح للمهندسين بالإبداع وتجريب الأفكار المختلفة، كما يمكن تحديد أي مشكلات ومعالجتها في التكرارات اللاحقة.

6 صف أهمية التوثيق في مرحلة تنقيح المنتج المطبوع ثلاثي الأبعاد.

- نقل المعرفة: إذا كان المشروع بحاجة إلى أن يتم تسليمه إلى فريق آخر، أو إذا انضم أعضاء جدد إلى المشروع فإن التوثيق المفصل يجعل عملية الانتقال أكثر سلاسة، حيث يضمن عدم فقدان قرارات التصميم والتغييرات، مما يمكن الأعضاء الجدد من فهم الوضع الحالي للتصميم وتاريخه.

- الامتثال القانوني والتنظيمي: في العديد من الصناعات يُعد التوثيق الشامل ضرورياً للامتثال للمعايير القانونية والتنظيمية، وقد يكون أيضاً مهماً لطلبات براءة الاختراع، حيث يلزم وجود سجل مفصل للتصميم وتطويره.

- مرجع للمشاريع المستقبلية: يمكن أن يكون التوثيق لعمليات التصميم السابقة بمثابة موارد قيمة للمشاريع المستقبلية، كما يمكنه تقديم رؤى وأن يكون بمثابة دروس مستفادة لتجنب أخطاء الماضي وتكرار النجاح.

7 اشرح كيف يمكن استخدام مجهر المسح الإلكتروني أثناء عملية تنقيح المنتج ثلاثي الأبعاد المطبوع.

يمكن استخدام مجهر المسح الإلكتروني لفحص أسطح المنتجات المطبوعة ثلاثية الأبعاد على المستوى المجهرى، ويمكن أن يساعد هذا في تحديد العيوب الصغيرة جداً التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة.

حلّ القيود المحتملة التي قد تواجهها عند اختبار مُنتج مطبوع ثلاثي الأبعاد وتنقيحه، وناقش تأثيرها على جودة المُنتج النهائي.

- **قيود المادة:** يؤثر نوع المواد المستخدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد على جودة المُنتج النهائي، فقد لا تناسب بعض المواد متطلبات مُنتج معين، أو قد يكون توافرها محدوداً أو مرتفع التكلفة.

- **قيود الطباعة:** تحدّ قيود التصميم المختلفة كالحجم والدقة ودرجة الوضوح من إمكانيات استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد للأغراض المختلفة، وقد تحدّ أيضاً من القدرة على استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد لمنتجات معينة ذات طبيعة معقدة.

- **توافر مُعدّات الاختبار:** قد لا تُتاح بعض مُعدّات الاختبار المطلوبة للاختبار الفيزيائي بسهولة، أو قد يكون الحصول عليها أو تشغيلها باهظ التكلفة، ومن المحتمل أن يقيّد هذا الأمر طبيعة الاختبارات التي يمكن إجراؤها، كما قد يؤدي إلى نتائج اختبار ناقصة أو غير دقيقة.

- **قيود الوقت والميزانية:** يمكن أن يستغرق اختبار المُنتج المطبوع ثلاثي الأبعاد وتنقيحه وقتاً طويلاً وكذلك تكلفة عالية، ويمكن لمحدودية الوقت أو الميزانية تقييد عدد الاختبارات التي يمكن إجراؤها، وأنواعها، وبالتالي الحصول على نتائج اختبار ناقصة أو على مُنتج نهائي لم يتم اختباره بالشكل الكافي.

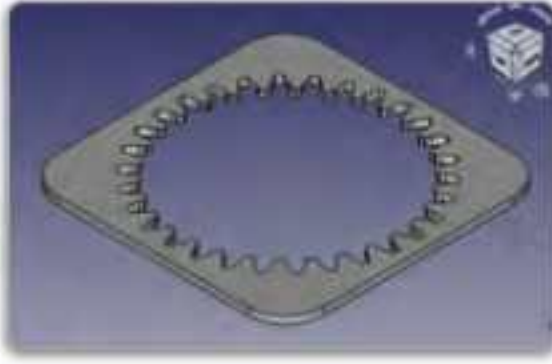
- **الخطأ البشري:** يمكن أن تؤدي الأخطاء البشرية أثناء عمليات الاختبار والتنقيح إلى جمع أو تحليل البيانات بشكل غير دقيق، ومن هنا تنبع أهمية وجود الموظفين المهرة الذين تلقوا التدريب الكافي لإجراء الاختبار والتحليل، وذلك لتقليل مخاطر الخطأ البشري.

- **قيود الملكية الفكرية:** قد تتطلب عملية التنقيح التعاون مع الخبراء وأصحاب المصلحة الآخرين، بما في ذلك المصممين والمهندسين والعملاء. يمكن أن يؤدي ذلك إلى إنشاء قيود على الملكية الفكرية لبعض المكونات أو التصميمات مثلاً، مما يوجب إدارة هذه العملية بعناية لحماية مصالح جميع الأطراف المعنية.

المشروع



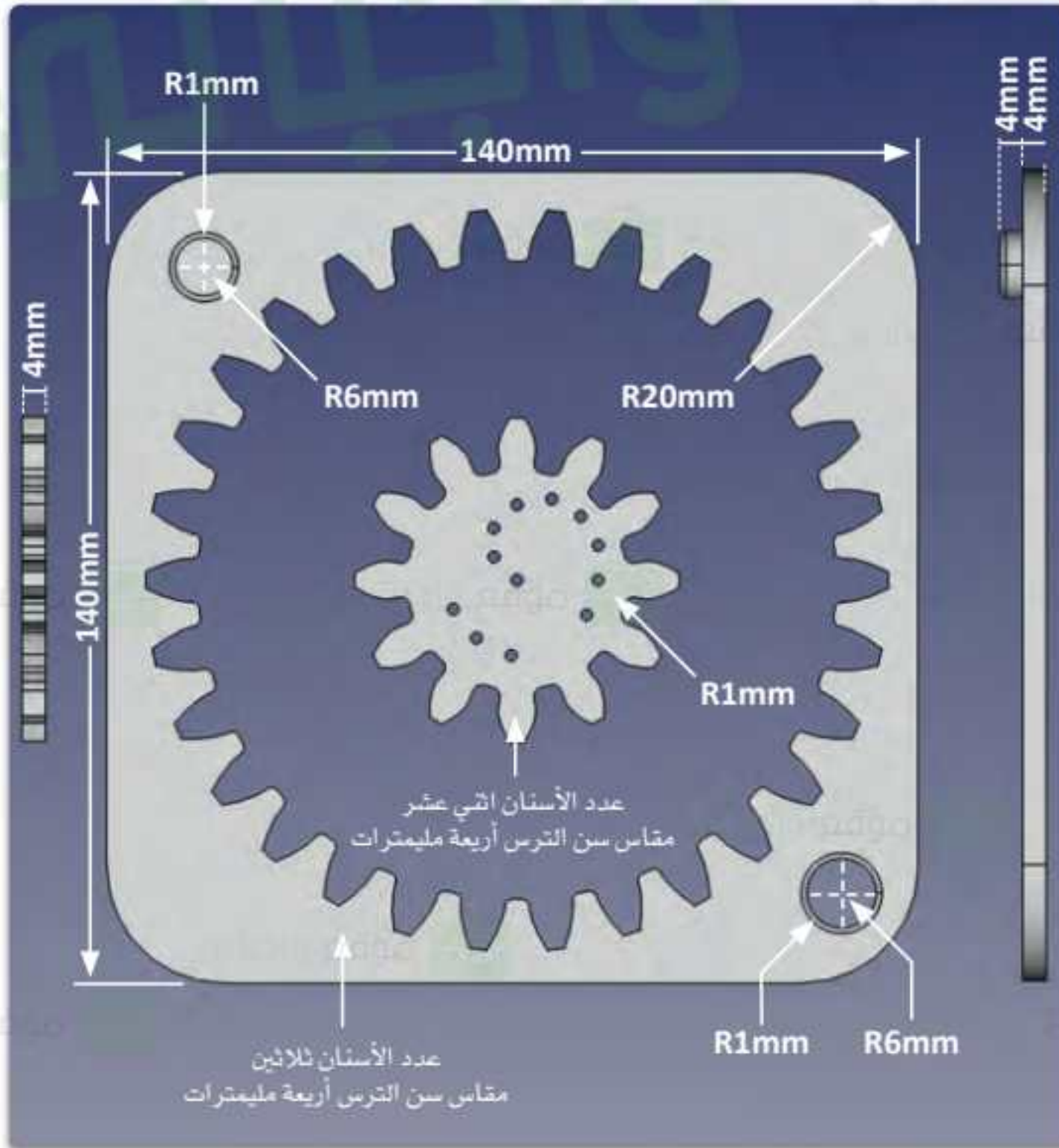
يُعد إنشاء جهاز سبيروجراف (Spirograph) مشروعًا شيقًا يمكن أن يساعدك في استكشاف عالم التصميم ثلاثي الأبعاد بشكل أكبر. سيساعدك هذا المشروع في أن تصبح أكثر كفاءة في استخدام الأدوات والتقنيات المختلفة في برنامج فري كاد، كما سيتيح لك أيضًا إنشاء أداة تفاعلية.



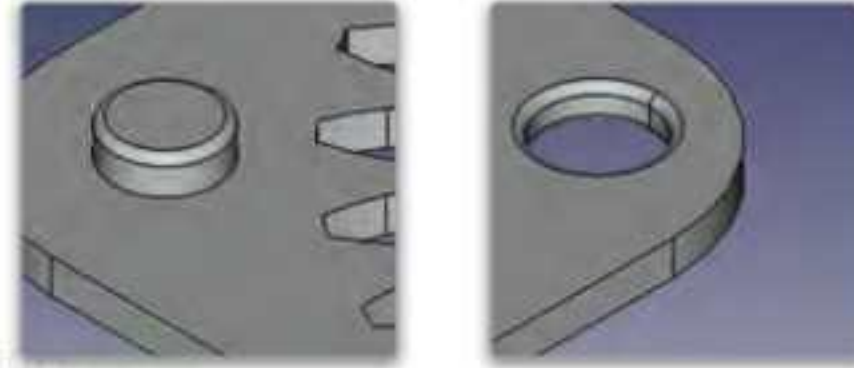
1 لتصميم جهاز سبيروجراف، ستنشئ قاعدة باستخدام أداة المستطيل (Rectangle)، وستنشئ ثقبًا في القاعدة باستخدام ترس أسطواني منحني.



2 ستنشئ ترسًا أسطوانيًا منحنياً آخر لتدويره على القاعدة، بحيث يحتوي على ثقوب في أماكن مختلفة ليتمكن المستخدم من إدخال قلم لرسم أشكال مختلفة.



3 أنشئ حاملًا وثقبًا لمساعدتك في الحفاظ على استقرار القاعدة عند استخدام جهاز سبيروجراف.



4 استخدم الرسومات التخطيطية المقابلة لتصميم جهاز سبيروجراف.

5 بمجرد الطباعة، ستقوم بتركيب الترسين معًا لإنشاء جهاز سبيروجراف.

جهاز سبيروجراف مطبوع.



قاعدة مطبوعة لجهاز سبيروجراف.



ترس اسطواناني منحنٍ مطبوع.



ماذا تعلّمت

- < تحليل الاستخدامات المختلفة للطابعات ثلاثية الأبعاد وأنواعها.
- < تحديد تصنيفات مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد.
- < تصنيف تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد.
- < إنشاء نموذج أولي لمجسم ثلاثي الأبعاد مطبوع.
- < تصميم صندوق أقراص دواء يحتوي على رموز رقمية بنظام برايل.
- < استخدام الرسم متماثل القياس لإنشاء تمثيل مرئي دقيق للمنتج.
- < استخدام أداتي الخط المتصل والبطانة لإنشاء تفاصيل معقدة في التصميم.
- < تحديد مراحل اختبار منتج ثلاثي الأبعاد مطبوع وتنقيحه.
- < المقارنة بين الأدوات المستخدمة لاختبار المنتجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة وتنقيحها.
- < تحليل القيود الموجودة عند اختبار المنتجات ثلاثية الأبعاد المطبوعة وتنقيحها.

المصطلحات الرئيسية

3D Inkjet Printing	الطباعة ثلاثية الأبعاد بالحبر النفّاث
3D Printing	الطباعة ثلاثية الأبعاد
Additive Manufacturing	التصنيع بالإضافة
Braille System	نظام برايل
Human Error	خطأ بشري

Physical Testing	الاختبار الفعلي
Pre-Testing	التهيئة للاختبار
Prototype	النموذج الأولي
Rapid Prototyping	التصميم السريع للنماذج الأولية
Virtual Testing	الاختبار الافتراضي