

2. التصميم والنمذجة الأولية

سيتعرف الطالب في هذه الوحدة على أساسيات تصميم المنتجات وإنشاء نماذجها الأولية، كما سيتعلم كيفية استخدام برنامج فري كاد (FreeCad) لإنشاء أشكال بسيطة ثلاثية الأبعاد، وسيتعرف الطالب أيضاً على آلية عمل التروس ومدى أهميتها، وفي الختام سيصمم تروساً بسيطة، وسيتعرف على كيفية تحديد حجمها وموضعها واتجاهها الصحيح، وكذلك التأكد من عملها بشكل صحيح.

أهداف التعلم

بنهاية هذه الوحدة سيكون الطالب قادراً على أن:

- < يصف دورة التصميم الرئيسية لإنشاء نموذج أولي.
- < يحلل عملية تحويل النماذج الأولية من أفكار إلى مجسمات ملموسة.
- < يعرف مفهوم التصميم الهندسي والنماذج الأولية.
- < يميز الاختلافات بين الرسومات ثنائية وثلاثية الأبعاد.
- < يستخدم برنامج فري كاد للنمذجة.
- < يستخدم أسطح العمل في برامج التصميم بمساعدة الحاسب.
- < ينشئ أشكالاً أساسية ثنائية وثلاثية الأبعاد.
- < يميز الاختلاف بين البطانة والبطق.
- < يحدد القيود في عمليات التصميم ودورها في ابتكار تصاميم دقيقة.
- < يستخدم أسطح العمل للرسم الهندسي في تحديد موضع المجسمات، واتجاهها.
- < يتعرف على طرائق العرض ثلاثية الأبعاد المختلفة.
- < يذكر أساسيات تصميم التروس وكيفية عملها.
- < يميز كيفية استخدام هياكل متعددة لإنشاء تصميم ثلاثي الأبعاد أكثر تعقيداً.
- < يستنتج كيفية حساب المسافة المركزية بين ترسين.

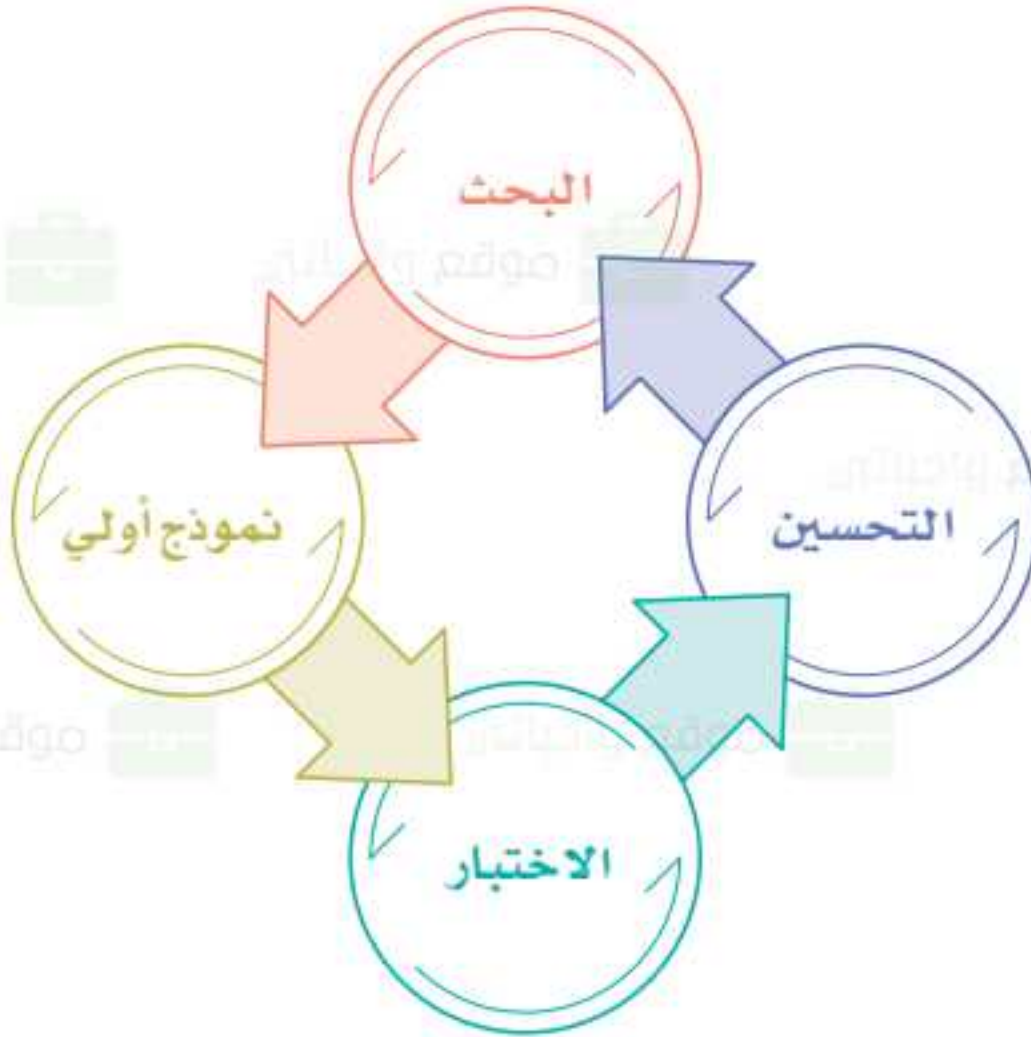
الأدوات

< فري كاد (FreeCAD)



www.iem.edu.sa

الدرس الأول التصميم والنماذج الأولية



شكل 2.1: عملية التصميم

عملية التصميم Design Process

يتبع المهندسون والمصممون منهجية تُسمى دورة التصميم (Design Cycle)؛ لتصميم منتج وإنشاء نموذج أولي له، وتُعرف دورة التصميم كذلك باسم عملية التصميم الهندسي، وهي بطبيعتها عملية تكرارية تسمح للشخص بحل مشكلة ووضع خطة فعالة لتطوير المنتج، وتتبع دورة التصميم أربعة مراحل كما هو موضح في الشكل 2.1.

مرحلة البحث Research Phase

وهي الخطوة الأولى في دورة التصميم، وتهدف إلى تحديد الغرض من المنتج، ووصف المشكلة التي يحلها، والاحتياجات المتوقعة للمستخدمين، ويجب أخذ الخصائص التالية في الاعتبار عند إنشاء منتج لحل مشكلة معينة:

الجماليات

تُحدّد الجُماليات مظهر المنتج بالنسبة لحواس الإنسان المختلفة، حيث تشير إلى شكل المنتج ولونه وملامسه وتناسقه وأبعاده وشكله العام، ويسعى مصممو المنتجات الموجهة للمستهلك إلى إنشاء منتجات جذابة، وذلك للفت أنظار العملاء إليها وتعزيز المبيعات، مع التركيز على عدم حصر الاهتمام بالجانب الجمالي على حساب الوظائف الأساسية للمنتج، بل إيجاد التوازن بين مظهر المنتج ووظيفته، ويولي التصميم الهندسي اهتماماً بالغاً بوظيفة المنتج قبل مظهره، وذلك على الرغم من التداخل الكبير بينهما، حيث أصبحت الكثير من التصميمات الشائعة تدمج بين المظهر الجمالي الممتع والوظائف الجيدة للمنتج على حد سواء.



شكل 2.2: أريكة ذات تصميم جمالي

العوامل الإنسانية

تهتم العوامل الإنسانية بدراسة كيفية استخدام البشر للأشياء والتفاعل مع البيئة، وتأخذ بالاعتبار شكل المنتج وحجمه وهندسته، بالإضافة إلى قابليته للاستخدام، حيث يجب أن يكون المنتج سهل الاستخدام ومريحاً ومناسباً لاحتياجات المستخدم، وبما أن البشر يتفاوتون في أحجامهم فمنهم القصير والطويل والنحيل وغير ذلك، فإنه يجب أن تكون المنتجات قابلة للتخصيص لتناسب مختلف المستخدمين، فعلى سبيل المثال إذا كان كرسي المكتب مصمماً بطريقة مريحة، فلن يسبب جلوس المستخدم عليه حدوث أي إجهاد أو إصابات، ومن المهم تصميم الأشياء لتكون مريحة عند الاستخدام بغض النظر عن صغرها أو بساطتها، وينطبق هذا الأمر مثلاً على تصميم المنتجات الصحية، وعلى تصميم أدوات المائدة التي يتم تصميمها لتناسب اليدين بحيث يمكن للشخص إمساكها والتحكم بها بسهولة. تتطلب المنتجات المعقدة أيضاً تصميمًا مريحاً، فالسيارة مثلاً تحتوي على كثير من أدوات التحكم وعلى واجهة مستخدم معقدة، فالتصميم الجيد للسيارة يتيح للسائق الوصول إلى جميع أدوات التحكم بسهولة.



شكل 2.3: كرسي مكتبي ذو تصميم مريح



علم القياسات البشرية



شكل 2.4: تحليلات ثنائية وثلاثية الأبعاد للوضعية

يختص علم القياسات البشرية بقياس الخصائص البشرية والمقاييس الفسيولوجية التي تتعلق بالإنسان، ويتم جمع البيانات التي تتعلق بالقياسات البشرية بواسطة أشخاص من مختلف الأعمار والأجناس والأحجام، حيث يتم سردها في جداول ومخططات بيانية ليتمكن المصممون من التحقق من مناسبة منتجاتهم لأولئك الأشخاص بصفاتهم المستخدمين النهائيين للمنتجات، كما يجب على المصممين أن يكونوا على دراية كافية بالجمهور المستهدف للمنتج، وبالتالي إنشاؤه وفقاً لمتطلباتهم، فعلى سبيل المثال، يجلس أشخاص ذوي أحجام مختلفة على مقاعد السيارة، ولذلك فعلى المصمم أن يجعل المقاعد ملائمة للجميع، حيث يتم تضمين القياسات البشرية الخاصة بالمستخدمين في مواصفات التصميم.

السلامة

يأتي معيار السلامة كأولوية عند تطوير المنتج الجديد، ويجب أن يضمن المصممون أن المنتجات آمنة للمستهلكين والبيئة. قد تواجه الشركات إجراءات قانونية وغرامات وإضراراً بعلامتها التجارية في حال تسبب المنتج بضرر للمستهلك أو البيئة، ويجب مراعاة سلامة المنتج عند اختيار معايير تصميم المنتج، أو تطويره، وتتضمن تلك المعايير التأكد من عدم سمية المواد المستخدمة لتصنيع المنتج وسلامتها، وتطبيق تدابير السلامة الضرورية لتجنب الإضرار بالمستهلكين. تتضمن معظم المنتجات الموجهة للمستهلك نوعاً من التفاعل بين المنتج وذلك المستهلك، ولذلك يجب الأخذ بالاعتبار كيفية استخدام المنتج ومدى خطورة أجزائه المختلفة عند تقييم احتياجات المستخدم.



شكل 2.5: التأكد من سلامة المنتج وفقاً لاحتياجات المستخدم

مرحلة النموذج الأولي Prototype Phase

تشمل الخطوات الرئيسية في مرحلة إنشاء النموذج الأولي ما يلي:

تصميم النموذج الأولي: يقوم المصممون بإنشاء تصميم نموذج أولي مبدئي يحدد الميزات والمواصفات الرئيسية بناءً على الأفكار التي تم توليدها خلال المراحل المبكرة من دورة التصميم. اختيار المواد: يعد اختيار المواد المناسبة للنموذج الأولي أمراً ضرورياً لتمثيل المنتج النهائي بدقة، حيث يمكن للمصممين الاختيار من بين المواد المختلفة، بما فيها البلاستيك والمعادن والأخشاب والمواد الرغوية السائلة.



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

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

التنقيح: يتم تنقيح النموذج الأولي وتحسينه بناءً على التغذية الراجعة من المستخدم، وقد يتضمن ذلك إجراء تعديلات على التصميم، أو اختيار مواد مختلفة لإنتاج المنتج، أو إجراء تغييرات أخرى لضمان أن النموذج الأولي يمثل المنتج النهائي بدقة.

تكرار العملية: بناءً على درجة تعقيد التصميم والتغذية الراجعة المستمرة من العميل، قد يتطلب الوصول إلى التصميم النهائي للمنتج تكرار مرحلة النموذج الأولي عدة مرات، فكل تكرار للعملية يقرب التصميم إلى النتيجة المرجوة لإنتاج المنتج النهائي الذي يلبي احتياجات المستخدم وتوقعاته.

النماذج الفعلية

توجد أسباب عديدة تجعل من إنشاء النماذج الفعلية أمراً ضرورياً، فيمكن مثلاً إنشاء نموذج أولي فعلي لتمكين العميل أو المُستخدم من الاطلاع على الجوانب الجمالية للمنتج قبل بدء إنتاجه، وفي حالات أخرى قد يحتوي المنتج على مكونات متعددة، مما يولد الحاجة إلى إنشاء نماذج أولية فعلية لضمان تجميع تلك المكونات بشكل سليم؛ لتكوين المنتج المناسب والتأكد من عملها معاً بشكل متناسق. يحتاج تطوير أغلب المنتجات التي يستخدمها الإنسان بشكل مباشر إلى نماذج أولية قبل الانتقال إلى المنتج النهائي، ويتم في بعض الأحيان إنشاء نموذج أولي فعلي يُمكن للشخص استخدامه وتقديم تغذية راجعة للمسؤولين عن عملية تصميمه، كما يُمكن للمصممين تعديل مظهر بعض الميزات أو إدخال بعض التعديلات لجعلها أكثر مناسبة أو راحة للمستخدم، ويتم تطوير بعض النماذج الأولية لتكون نسخاً طبق الأصل من المنتج النهائي، وذلك بسبب الحاجة إلى إنتاجها من المادة نفسها التي ستستخدم لتصنيع المنتج النهائي. يتيح ذلك اختبار النماذج لاحقاً في دورة التصميم في ظل ظروف واقعية، مما يعطي المصمم الثقة بأن المنتج آمن لترويجه وبيعه، وتوجد طرائق مختلفة لتصنيع النماذج الأولية المادية، ولكن أكثرها شيوعاً هو التصنيع من خلال التحكم الرقمي باستخدام الحاسب (CNC)، والتصنيع بالإضافة بواسطة الطباعة ثلاثية الأبعاد.



شكل 2.7: طباعة ثلاثية الأبعاد لنموذج أولي

مرحلة الاختبار Testing Phase

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

اختبار قابلية الاستخدام

من الضروري اختبار التوافق بين التصميم والنماذج الأولية للمنتج واحتياجات السوق، وقد يشارك المصمم أو الشركة النماذج الأولية أو المظهر النهائي للتصميم مع عينة من المستخدمين للحصول على التغذية الراجعة، كما تقوم مجموعات التركيز (Focus Groups) باختبار المنتج وتقديم الملاحظات، ويمكن للمصمم بعد ذلك إجراء تغييرات طفيفة قبل الإنتاج، وكذلك يمكن للشركات استخدام تقنيات اختبار السوق المختلفة، مثل مجموعات التركيز، والاستبيانات والمقابلات، وذلك لقياس مدى اهتمام المستهلك بالمنتج الجديد، والتعرف بشكل أكثر عمقاً على المستهلكين أو السوق المستهدفة، ويمكن أيضاً مقارنة النتائج التي يتم الحصول عليها بأبحاث السوق التي تم إجراؤها في الماضي للتأكد من تلبية المنتج لاحتياجات المستخدم.

اختبار الأداء

يمكن للاختبارات الواقعية للمنتج أن تساهم في تحسينه بشكل كبير، حيث تساهم تجارب المستخدمين الحقيقيين للمنتج باختباره بطرائق واقعية مختلفة بهدف تحسين وظيفته أو بيئة عمله، وتُمكن الاختبارات الواقعية المصممين من اختبار حدود تحمل النموذج الأولي للظروف المختلفة والشديدة، وذلك لضمان قدرته على الصمود خلال الاستعمال الحقيقي من قبل المستخدمين، كما يتضمن اختبار حدود تحمل المنتج تحطيم النموذج الأولي، فعلى سبيل المثال عند إطلاق سيارة

المظهر النهائي للتصميم (Final Render)

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



شكل 2.8: اختبار التصادم باستخدام دمية ثلاثية الأبعاد

الاختبار غير المدمر

(Non-Destructive Testing - NDT) :

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

تحليل العناصر المحدودة

(Finite Element Analysis - FEA) :

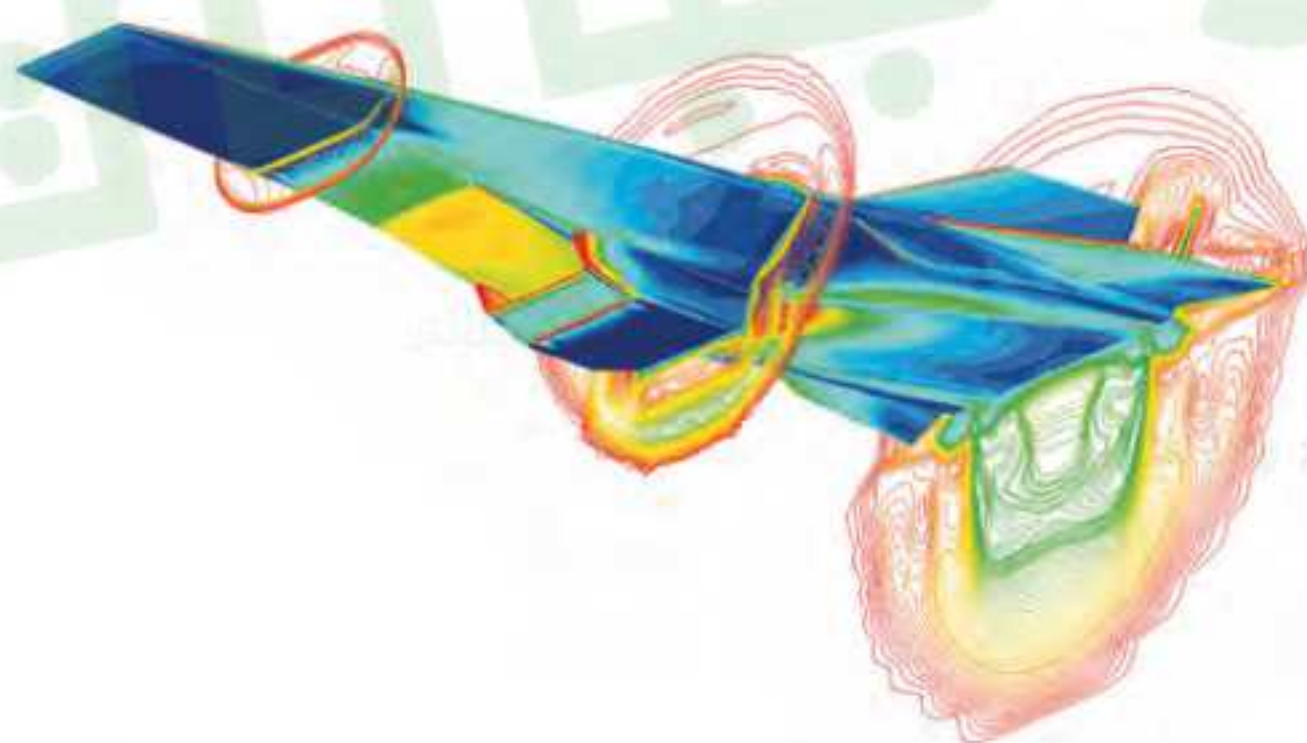
هي محاكاة حاسوبية تختبر تفاعل العناصر والمكونات مع التطبيقات المختلفة للقوى الخارجية والضغط.

ديناميكا الموائع الحسابية

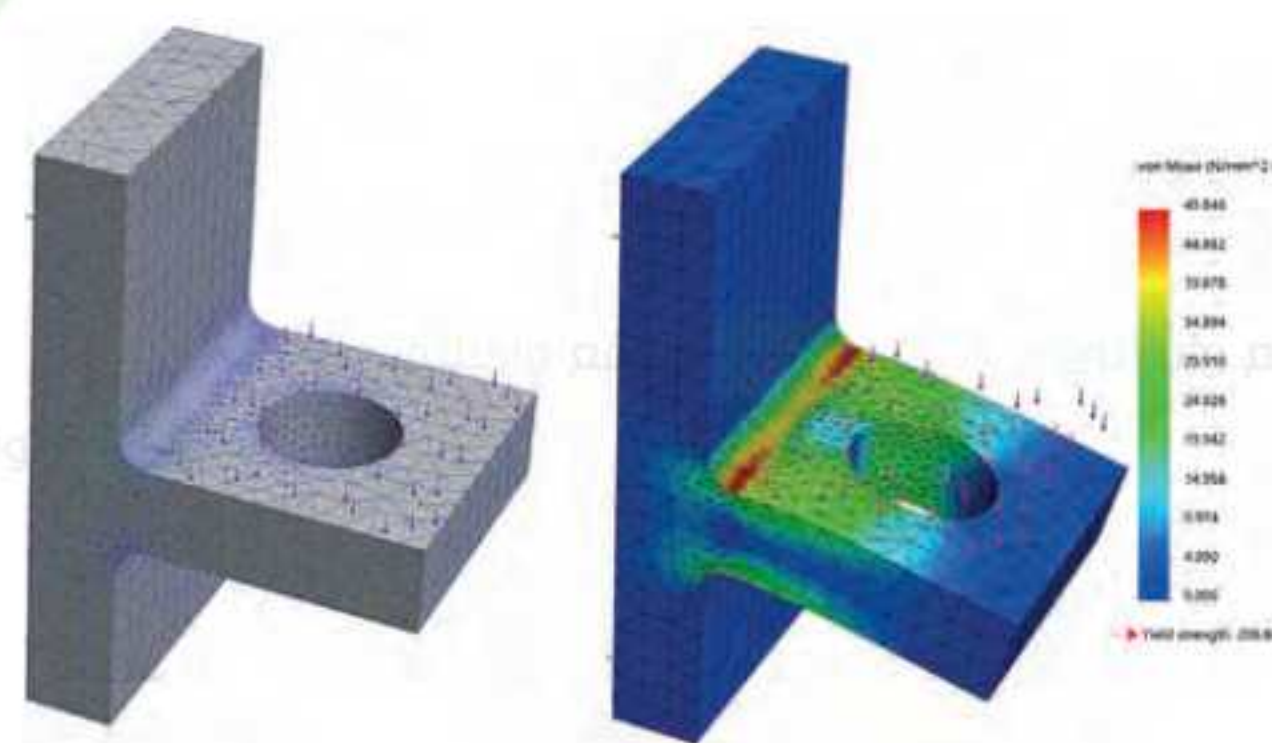
(Computational Fluid Dynamics - CFD) :

هي محاكاة حاسوبية تختبر كيفية تفاعل السوائل والغازات مع المكونات والعناصر المختلفة الخاصة بالمنتج.

بتصميم جديد، يتم تطوير العديد من النماذج الأولية وتدميرها خلال محاكاة الحوادث، ويُعدُّ تطوير هذه النماذج الأولية باهظة الثمن أمرًا لازمًا للتحقق من سلامة تصميم المنتج قبل إنتاجه على نطاق تجاري وبيعه، حيث أن فشله أو قصور معايير السلامة فيه يعني تعريض حياة البشر للخطر. يجب على المصممين التأكد من قدرة المنتج، وكذلك جميع مكوناته على العمل في الظروف القاسية، ويتحقق الاختبار غير المدمر (Non-Destructive Testing - NDT) من سلامة مكونات المنتج، كنقاط اللحام مثلاً. أصبح بالإمكان إجراء اختبارات افتراضية دقيقة للمنتجات باستخدام أدوات التصميم بمساعدة الحاسب (CAD) وتقنيات المحاكاة الحديثة، ويمكن للنماذج الافتراضية تقليل وقت التطوير والتكلفة، ولكنها نادرًا ما تصلح كبديل عن النماذج الأولية الفعلية، وتوضح الاختبارات الافتراضية كيفية عمل الآليات المختلفة في المنتج من خلال تقنية تحريك الصور للمكونات المجمعة، واختبارات المحاكاة باستخدام تحليل العناصر المحدودة (Finite Element Analysis - FEA)، وذلك بشكل أساسي لتحليل إجهاد المواد وتأثير القوى الخارجية، وتحليل الموائع باستخدام ديناميكا الموائع الحسابية (Computational Fluid Dynamics - CFD). يمكن كذلك استخدام هذه الاختبارات لمحاكاة عمليات التصنيع، وتمثيل عمليات المحاكاة لكيفية صب المعدن السائل لصناعة مكون معين، أو كيفية تدفق البلاستيك في أداة قوالب الحقن، مما يساعد المصممين على ضمان منتج خالٍ من الأخطاء. يوضح الشكلان 2.9 و 2.10 مثالين على طريقة تحليل العناصر المحدودة وطريقة ديناميكا الموائع الحسابية.



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

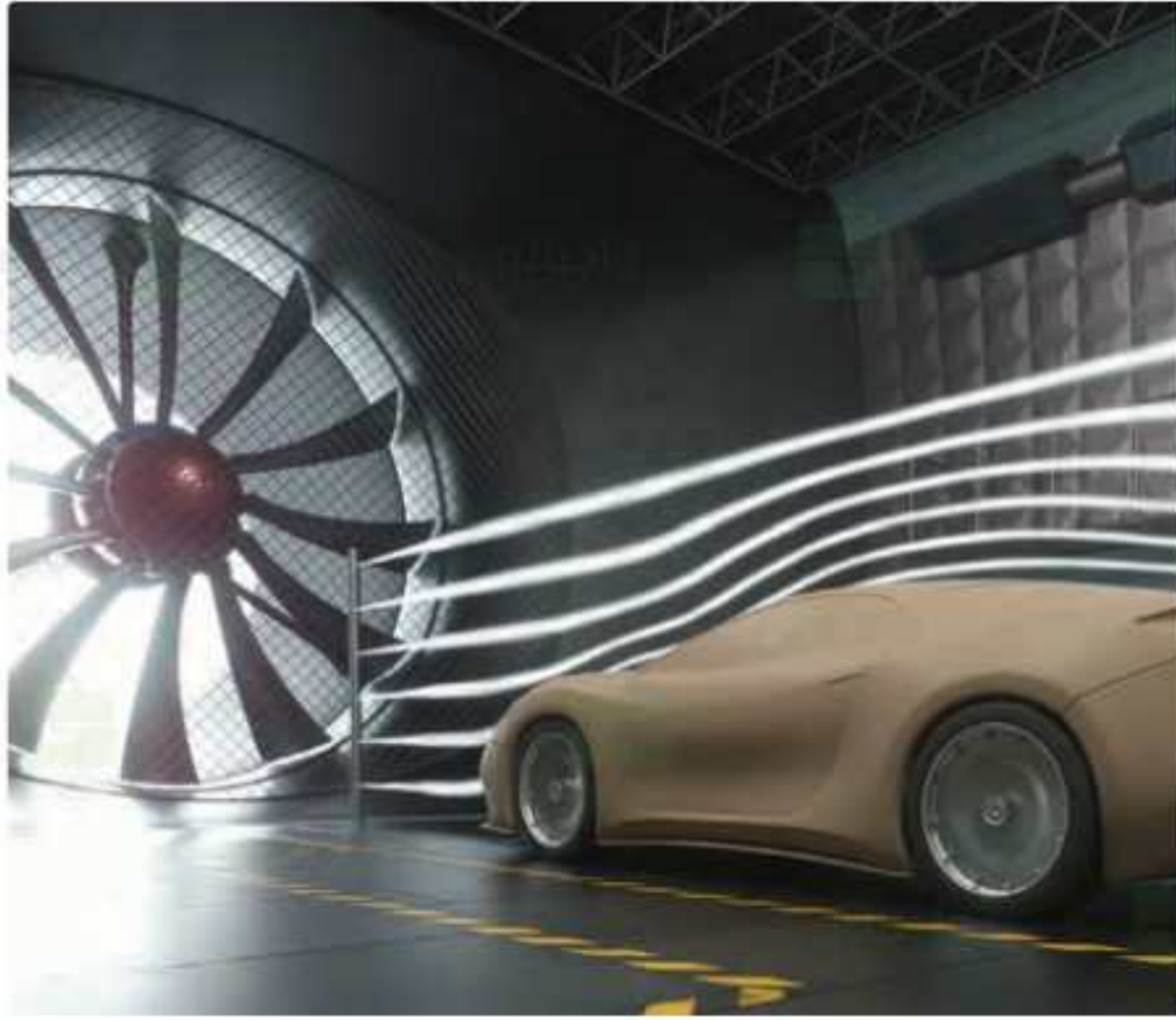


شكل 2.9: تحليل العناصر المحدودة ناتج عن نموذج صلب

مرحلة التحسين Optimization Phase

يتم في هذه المرحلة من دورة التصميم تحسين التصميم المقترح للوصول إلى أفضل حل ممكن، وللقيام بذلك ينشئ المصممون مكونًا أو نموذجًا أوليًا للمنتج، ثم يتم اختباره وإجراء التحسينات على التصميم، ويتم تكرار عملية إنشاء النموذج الأولي واختباره، ثم تعديل التصميم من جديد، ويساهم إعادة تكرار الإنتاج في تحسين التصميم والنماذج الأولية.

قد تتضمن مرحلة التحسين إنشاء المئات من النماذج الأولية وتغيير التصميم، مع إجراء تحسينات تدريجية ومدرسة في كل تكرار، ويمكن أن تؤدي مرحلة التحسين إلى رفع كفاءة التصنيع، أو كفاءة الأداء، أو جعل التصميم أكثر قابلية للاستخدام.



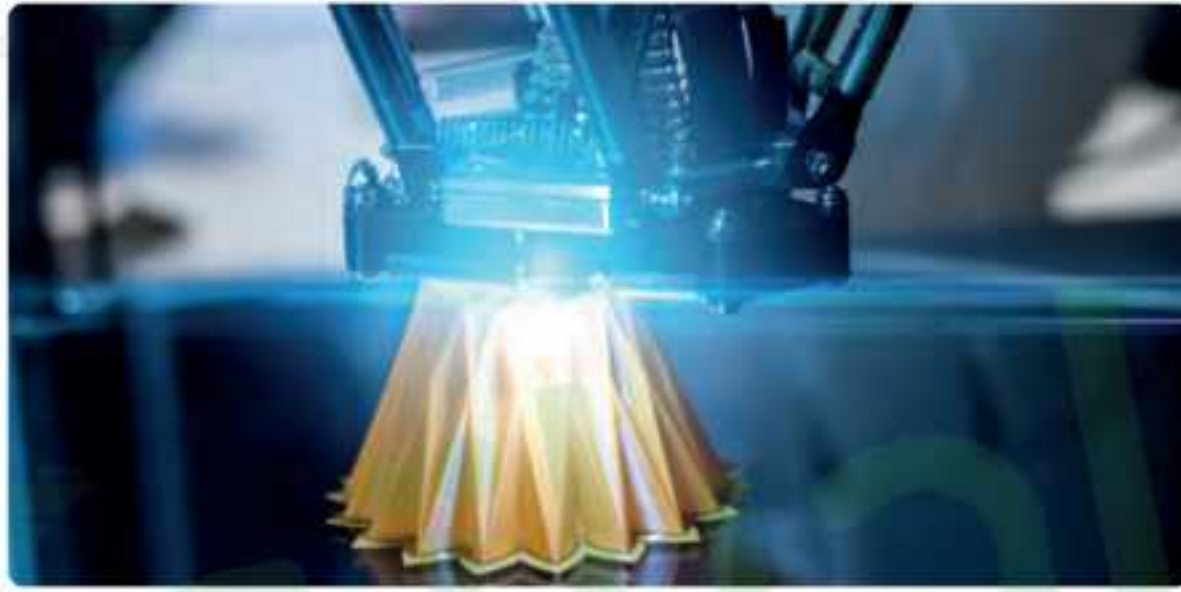
شكل 2.11: نموذج أولي داخل النفق الديناميكي الهوائي

على سبيل المثال، يمر الجناح الخلفي لسيارة السباق في الفورمولا 1 (F1) بمراحل إنتاج متعددة لتحسين الديناميكا الهوائية، حيث يصنع المصممون نماذج أجنحة متعددة لاختبارات التصميم المختلفة، ثم يجرون تغييرات طفيفة على التصميم، وينشئون نماذج أولية جديدة، ويقومون باختبارها للوصول إلى أفضل تصميم. ويتطلب تحسين التصميم تقديم بعض التنازلات ووضع بعض القيود على حدود عملية التحسين، حيث أن مشاريع تطوير المنتجات غالباً ما تكون مقيدة بجدول زمني وميزانية محدودة وموارد محدودة أخرى، وفي الحالات التي تتطلب أعلى معايير السلامة للمنتج، تكتسب فيها مرحلة عملية التحسين أهمية خاصة في الحد من أي تأخير في تطوير المنتج.

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

التصنيع بالإضافة Additive Manufacturing

التصنيع بالإضافة هو عملية إنشاء مجسمات صلبة ثلاثية الأبعاد من خلال إضافة طبقة تلو الأخرى، ويسمح التصنيع بالإضافة بالتخلص من الكثير من القيود الهندسية التي تقيد طرائق التصنيع التقليدية، كما يمكن تبسيط تعليمات التصميم للسماح بتصنيع النموذج الأولي بشكل أكثر كفاءة بواسطة الآلات المؤتمتة الذكية. وفي حال تم تصنيع المنتج بكميات كبيرة، فسيتمكن المصمم أيضاً من تحسين عملية تجميعه.



شكل 2.12: عملية التصنيع بالإضافة

التصنيع من خلال الإزالة Subtractive Manufacturing

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



شكل 2.13: عملية التصنيع من خلال الإزالة

الإنتاج الآلي الذكي Smart Automated Production

يتطلب الإنتاج الآلي الذكي استثماراً مالياً كبيراً في شراء أجهزة التصنيع الحديثة، ولذلك يجب على المصممين النظر إلى تقييم هذا الاستثمار بشكل جيد، ودراسة تأثيره على سعر البيع النهائي للمنتج، وكثيراً ما يفكر المصممون في المواد ذات الخصائص المتقدمة التي يمكن استخدامها لتحسين منتجاتهم، وأحد الأمثلة على ذلك تصنيع الشاحنات، حيث تعمل محركات الشاحنات التقليدية بالوقود الأحفوري مثل: الديزل أو السولار، ولكن الانتقال لتشغيلها بالمحركات الكهربائية يعني الحاجة لتركيب بطاريات ليثيوم أيون ثقيلة، ولذلك بدأ مصنعو الشاحنات بتصميمها باستخدام مواد مركبة خفيفة مثل الألياف الكربونية للتخفيف من أثر الوزن الزائد للبطاريات الكهربائية على الوزن العام للشاحنات.

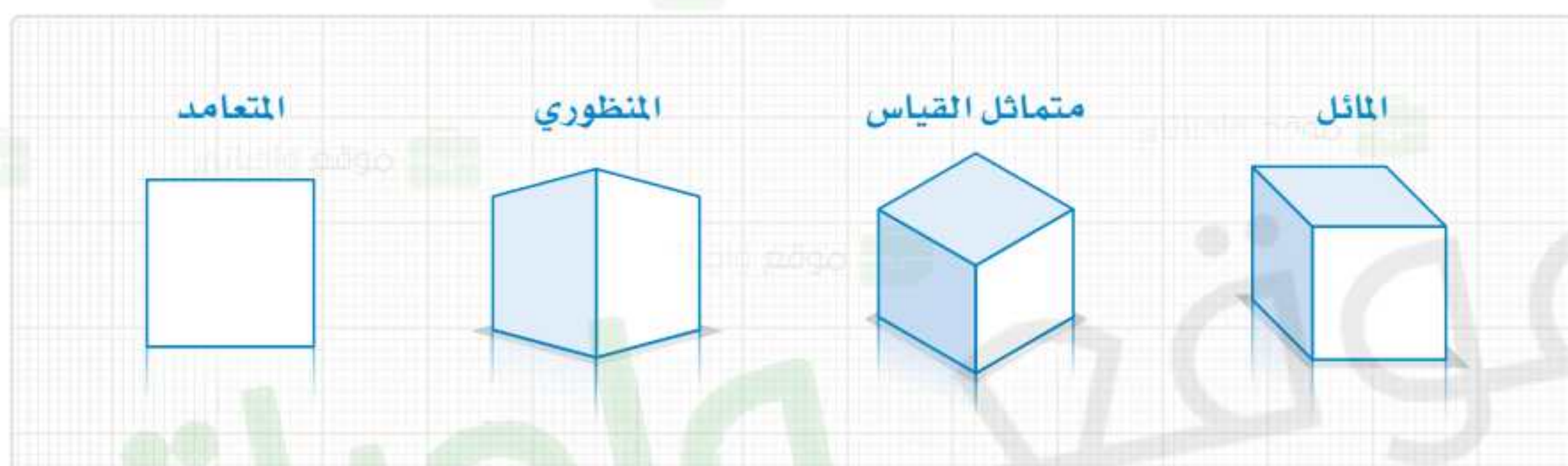


النمذجة الأولية Prototyping

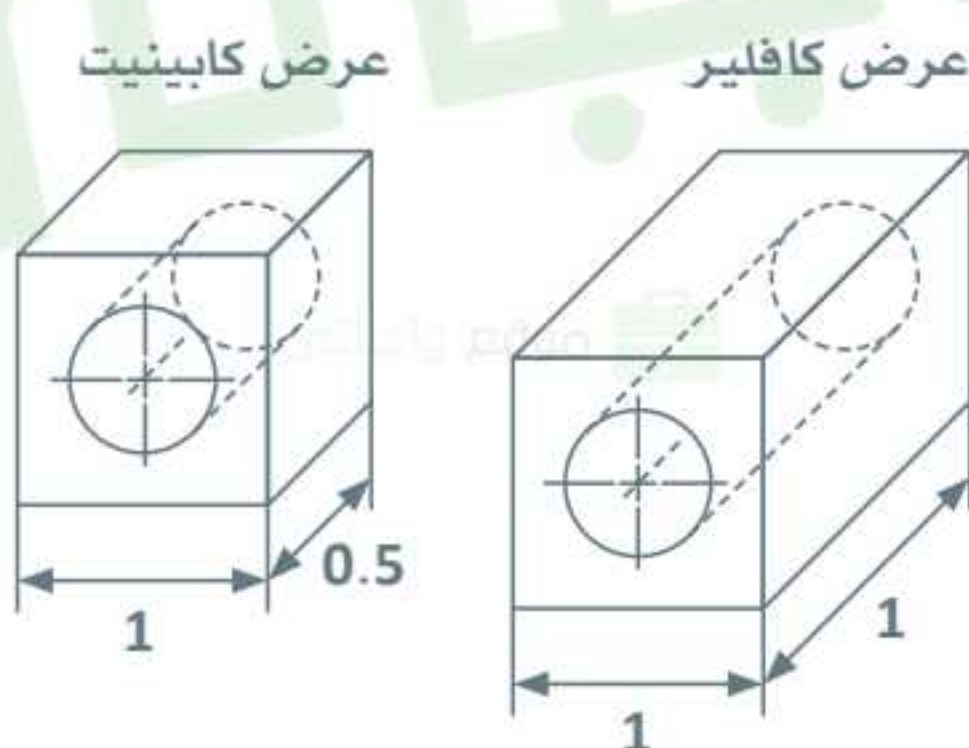
كانت عملية رسم المخططات الهندسية التقليدية تتم يدوياً على الورق ولوحات الرسم الهندسي حتى وقت قريب، وذلك باستخدام الأقلام والأدوات الهندسية كالمسطر والمربعات والمنقلة والفرجار، ويتم إنشاء معظم المخططات على جهاز الحاسب الآن باستخدام برامج التصميم بمساعدة الحاسب (CAD)، والتي تُستخدم على نطاق واسع لإنشاء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

تقنيات الرسم ثلاثي الأبعاد 3D Drawing Techniques

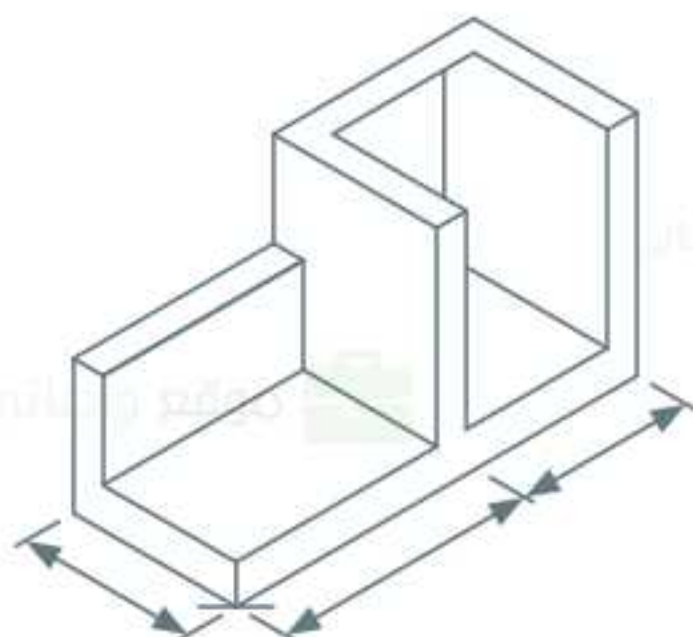
الرسومات التصويرية (Pictorial Drawings) هي التقنية الرئيسة المستخدمة في الرسم ثلاثي الأبعاد بواسطة الحاسب، وتقدم تلك الرسومات التصويرية أشكالاً ثلاثية الأبعاد لمجسم يتم معاينته من خلال طرائق عرض محدّدة، وهناك أربعة أنواع رئيسة من الرسوم التصويرية:



شكل 2.14: تقنيات الرسم ثلاثي الأبعاد



شكل 2.15: مثالان على الرسم الهندسي المائل



شكل 2.16: مثال على الرسم المتمائل القياس

الرسم الهندسي المائل



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

عند استخدام عرض كافليير، يتم عرض جميع نسب وأضلع النموذج بحجمها الأصلي، أما في عرض كابينييت، فيتم عرض الواجهة الأمامية للنموذج بحجمها الأصلي، ولكن النسب الأخرى تُعرض بنصف حجمها.

الرسم متمائل القياس



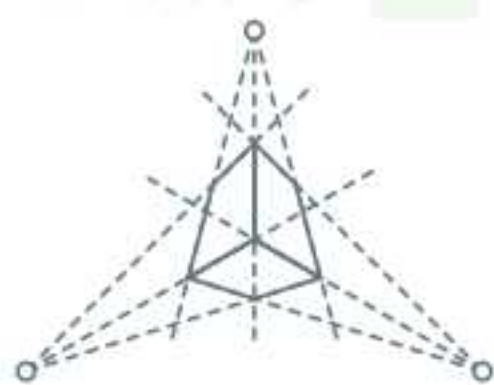
يركز النموذج ثلاثي الأبعاد في الرسم متمائل القياس على جانب النموذج، حيث يتم عرض النموذج بزاوية ثلاثين درجة على المحور السيني، وذلك خلافاً لعرض كابينييت في الرسم المائل، حيث يتم عرض النسب الأصلية للمجسم.



الإسقاط المنظوري



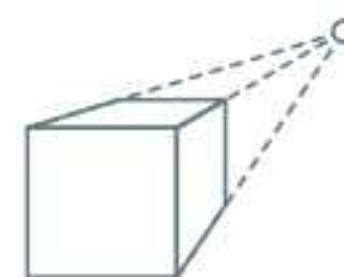
- يتم في الإسقاط المنظوري عرض النموذج ثلاثي الأبعاد بطريقة تُحاكي العمق المكاني، وهناك ثلاثة أنواع من الرسم المنظوري:
- منظور بيؤرة تلاشي واحدة (One-Point Perspective): يتم عرض النماذج ثلاثية الأبعاد على سطح ثنائي الأبعاد باستخدام خطوط رأسية وأفقية متقاطعة، وتبدأ هذه الخطوط من نقطة واحدة على السطح تسمى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



منظور بثلاث بيؤر تلاشي



منظور بيؤرتي تلاشي



منظور بيؤرة تلاشي واحدة

شكل 2.17: أمثلة الإسقاط المنظوري

الإسقاط المتعامد



الجانب الأيمن الجانب الأمامي

شكل 2.18: أمثلة على الإسقاط المتعامد

يوفر الإسقاط المتعامد عرضاً ثنائي الأبعاد للمنتج من الجهات الثلاث: الأمامية، والجانبية، والعلوية، حيث توفر هذه الجهات المعلومات التفصيلية اللازمة لتصنيع المنتج، بما في ذلك القياسات المحددة لكل مكون، وكيفية ارتباطه بالمكونات الأخرى، وتستخدم الرسومات التي تعتمد الإسقاط المتعامد على نطاق واسع.

إضافة إلى التقنيات التي ذكرت أعلاه، يتم إنشاء رسومات التجميع، بما فيها العرض التفصيلي (Exploded Views)، لتمثيل العلاقات المختلفة بين المكونات وكيفية وترتيب تجميعها.

رسومات التجميع

يمثل الرسم التجميعي (Assembly Drawing) طريقة تجميع منتج مكون من عناصر مترابطة متعددة، وذلك بهدف إنتاج المنتج النهائي، ويتم إنتاج هذه الرسومات في تطبيقات الرسومات ثلاثية الأبعاد بواسطة الحاسب التي تسمح للمصنعين والعملاء بمشاهدة النموذج قبل تجميعه.



شكل 2.19: عرض تفصيلي لتجميع مرشح الزيت

قائمة المواد (Bill of Materials - BOM):

قائمة المواد هي قائمة شاملة لجميع المواد والمكونات والتجميعات الفرعية اللازمة لتصنيع المنتج النهائي.

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

شكل 2.20: عينة من قائمة المواد الخاصة بتصنيع مقعد خشبي



شكل 2.21: عرض تفصيلي لتجميع سيارة

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

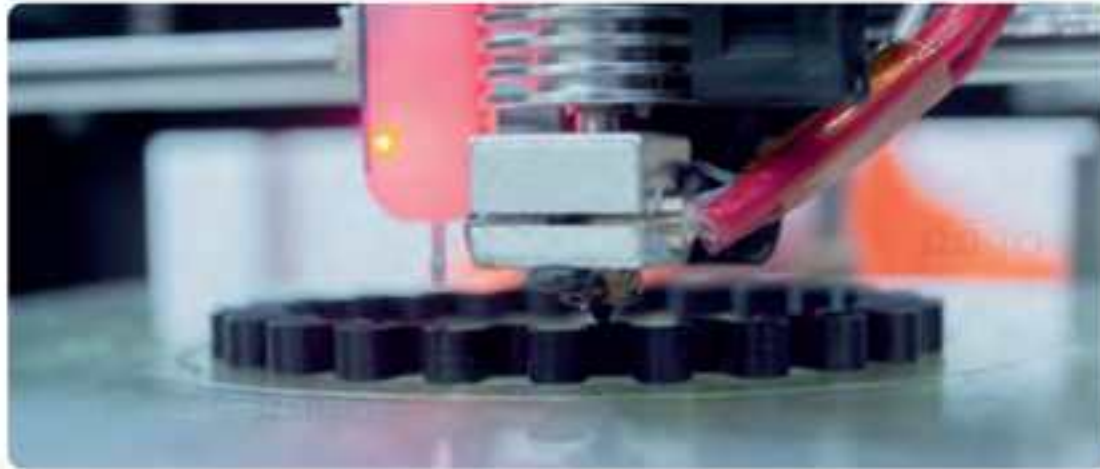
توفر الرسومات ثنائية الأبعاد تفاصيل محدّدة حول نسب المكونات التي يجب تصنيعها.

عرض وتصنيع النموذج الأولي Prototype Rendering and Manufacturing

يجب عرض النموذج ثلاثي الأبعاد للمنتج بعد تجهيزه، ويتم تطبيق نوع المواد، والنسب المختلفة لها، ونتائج عمليات المحاكاة الفيزيائية أثناء مرحلة العرض لإنشاء نموذج أولي افتراضي يبدو أقرب ما يمكن إلى المنتج الحقيقي، ويُستخدم هذا النموذج الأولي لعرضه على أصحاب المصلحة والمُصنّعين، ومن الطبيعي أن تتم في مرحلة العرض مراجعات أخرى قبل تصنيع النموذج الأولي، مما يوفر المال والوقت.



شكل 2.22: اختلاف طرائق عرض النموذج الأولي



شكل 2.23: طباعة ثلاثية الأبعاد لنموذج أولي باستخدام طباعة ثلاثية الأبعاد

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

تمرينات

1

خاطئة	صحيحة	حدّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:
☒	☐	1. يمكن إنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد فقط باستخدام أدوات التصميم الهندسي بمساعدة الحاسب (CAD). هي ليست الخيار الوحيد لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد، فهناك أدوات مثل أجهزة المسح الضوئي ثلاثي الأبعاد (3D Scanner).
☒	☐	2. لا يتم استخدام المواد المركّبة في مرحلة التحسين من دورة التصميم. يتم استخدامها في مرحلة التحسين لخصائصها الفريدة.
☐	☒	3. تُعدّ محاكاة ديناميكا الموائع الحاسوبية (CFD) جزءاً من الاختبار الافتراضي للنموذج الأولي.
☒	☐	4. تُستخدم الرسومات متماثلة القياس لإنتاج نماذج ثنائية الأبعاد. يتم استخدامها لإنتاج رسومات ثلاثية الأبعاد.
☐	☒	5. لا تقدّم طريقة عرض كابينيت النسب الأصلية للنموذج ثلاثي الأبعاد.
☒	☐	6. لا تُعدّ طرائق العرض التفصيلية نوعاً من الرسم التجميعي. هي من أنواع الرسم التجميعي ثلاثي الأبعاد.
☐	☒	7. تُستخدم الرسومات الفنية والهندسية ثنائية الأبعاد مع معلومات التجميع لتصنيع المكونات.
☒	☐	8. يقتصر استخدام الإسقاط المنظوري على الخطوط الأفقية لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد. يستخدم الخطوط الرأسية والقطرية والأفقية.
☒	☐	9. ينطبق مصطلح العرض (Rendering) على عملية إنتاج مواد النموذج الأولي فقط. يتم استخدامه على نطاق واسع أثناء عملية التصميم مثل، اختلاف طرائق عرض النموذج الأولي.
☒	☐	10. لا يمكن إنشاء النماذج الأولية باستخدام التحكم الرقمي باستخدام الحاسب (CNC). يتم استخدامه على نطاق واسع لبناء نماذج أولية أيضاً.

تمرينات

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

خلال مرحلة البحث في عملية التصميم والنماذج الأولية، يتم إجراء بحث حول الجماليات، والعوامل الإنسانية، وعلم القياسات البشرية، والسلامة.

3 وضح الاختلاف بين الاختبار الحقيقي والاختبار الافتراضي للمنتج أثناء مرحلة الاختبار في دورة التصميم.

يتضمن اختبار المنتج الحقيقي بناء نموذج أولي مادي أو نموذج للمنتج واختباره في الواقع، بينما يتضمن اختبار المنتج الافتراضي (المعروف أيضاً باسم المحاكاة أو الاختبار بمساعدة الحاسب) إنشاء نموذج للمنتج باستخدام الحاسب ومحاكاة أدائه في ظل مجموعة من الظروف.

توجد أسباب عديدة تجعل من إنشاء النماذج الفعلية أمراً ضرورياً، فيمكن مثلاً إنشاء نموذج أولي فعلي لتمكين العميل أو المُستخدم من الاطلاع على الجوانب الجمالية للمنتج قبل بدء إنتاجه، وفي حالات أخرى قد يحتوي المنتج على مكونات متعددة، مما يولد الحاجة إلى إنشاء نماذج أولية فعلية لضمان تجميع تلك المكونات بشكل سليم؛ لتكوين المنتج المناسب والتأكد من عملها معاً بشكل متناسق. يحتاج تطوير أغلب المنتجات التي يستخدمها الإنسان بشكل مباشر إلى نماذج أولية قبل الانتقال إلى المنتج النهائي، ويتم في بعض الأحيان إنشاء نموذج أولي فعلي يُمكن للشخص استخدامه وتقديم تغذية راجعة للمسؤولين عن عملية تصميمه، كما يُمكن للمصممين تعديل مظهر بعض الميزات أو إدخال بعض التعديلات لجعلها أكثر مناسبة أو راحة للمستخدم، ويتم تطوير بعض النماذج الأولية لتكون نسخاً طبق الأصل من المنتج النهائي، وذلك بسبب الحاجة إلى إنتاجها من المادة نفسها التي ستُستخدم لتصنيع المنتج النهائي. يتيح ذلك اختبار النماذج لاحقاً في دورة التصميم في ظل ظروف واقعية، مما يعطي المصمم الثقة بأن المنتج آمن لترويجه وبيعه، وتوجد طرائق مختلفة لتصنيع النماذج الأولية المادية، ولكن أكثرها شيوعاً هو التصنيع من خلال التحكم الرقمي باستخدام الحاسب، والتصنيع بالإضافة بواسطة الطباعة ثلاثية الأبعاد.

تُستخدم عمليات التصميم التكراري التالية في مرحلة تحسين دورة التصميم:

الاختبار: يتم اختبار النماذج الأولية لتقييم الأداء والكفاءة والمتانة والوظائف وسهولة الاستخدام من خلال عمليات المحاكاة واختبار المستخدم وطرائق أخرى.

التحليل: يتم تحليل البيانات والتغذية الراجعة لتحديد المشكلات والتحسينات المحتملة في التصميم، حيث يبحث الفريق في سبب عدم نجاح بعض الخصائص، وفي الصعوبات التي يواجهها المستخدمون، وكيفية تحسين التصميم.

التنقيح: بناءً على التحليل يتم تنقيح التصميم فيما بعد، وقد يتضمن ذلك تصحيح المشكلات، أو إضافة ميزات جديدة، أو إزالة العناصر غير الضرورية.

6 صنف كيفية استخدام محاكاة ديناميكا الموائع الحسابية (CFD) وتحليل العناصر المحدودة (FEA) في اختبار النماذج الأولية للمنتج.

باستخدام أدوات التصميم بمساعدة الحاسب (CAD) وتقنيات المحاكاة الحديثة، ويمكن للنماذج الافتراضية تقليل وقت التطوير والتكلفة، ولكنها نادراً ما تصلح كبديل عن النماذج الأولية الفعلية، وتوضح الاختبارات الافتراضية كيفية عمل الآليات المختلفة في المنتج من خلال تقنية تحريك الصور للمكونات المجمعة، واختبارات المحاكاة باستخدام تحليل العناصر المحدودة (FEA) وذلك بشكل أساسي لتحليل إجهاد المواد وتأثير القوى الخارجية، وتحليل الموائع باستخدام ديناميكا الموائع الحسابية (CFD).

7 وضح أوجه الاختلاف بين أنواع الرسومات ثلاثية الأبعاد المائلة، ومتماثلة القياس، وإسقاطية المنظور.

- في الرسم المائل: يركز النموذج ثلاثي الأبعاد على واجهة النموذج بحيث يتم عرضه بزاوية خمس وأربعين درجة بالنسبة للمحور السيني، وهناك نوعان من الرسم الهندسي المائل يختلفان في نسب النموذج في واجهة العرض، حيث يسمى النوع الأول عرض كافلير، ويسمى النوع الثاني بعرض كابينيت.

- في الرسم متماثل القياس، يركز النموذج ثلاثي الأبعاد على جانب النموذج، حيث يتم عرض النموذج بزاوية ثلاثين درجة على المحور السيني.

- في الإسقاط المنظوري، يتم عرض النموذج ثلاثي الأبعاد بطريقة تحاكي العمق المكاني.

8 صنف الأنواع الثلاثة لطرائق الرسم المنظوري للنماذج ثلاثية الأبعاد.

هناك ثلاثة أنواع لطرائق الرسم المنظوري للنماذج ثلاثية الأبعاد وهي:

● منظور ببؤرة تلاشي واحدة: يتم عرض النماذج ثلاثية الأبعاد على سطح ثنائي الأبعاد باستخدام خطوط رأسية وأفقية متقاطعة، وتبدأ هذه الخطوط من نقطة واحدة على السطح تسمى ببؤرة التلاشي، وتعرف ببؤرة التلاشي بأنها نقطة في الرسم المنظوري، حيث تبدو الخطوط المتوازية متقاربة وتلتقي عند نقطة واحدة في الأفق.

● منظور ببؤرتي تلاشي: تبدأ الخطوط الأفقية من نقطتين مختلفتين على السطح.

● منظور بثلاث بؤر تلاشي: تبدأ الخطوط الأفقية من ثلاث نقاط مختلفة على السطح.

9 وضح كيف يساعد العرض التفصيلي الشركات المصنعة على فهم المنتج قبل مرحلة التصنيع.

العرض التفصيلي هو رسومات تجميع تظهر كل جزء من المنتج على حدة، وعلاقته بالأجزاء الأخرى، وكيفية تجميعه بشكل نهائي، وعادة ما يتم ترقيم كل جزء من أجزاء المنتج بما يتوافق مع قائمة الأجزاء.

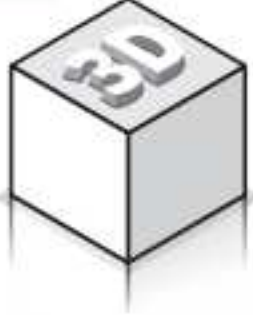


التصميم ثنائي وثلاثي الأبعاد

ستتعرف في هذا الدرس على عالم التصميم ثنائي وثلاثي الأبعاد بشكل مُفصّل. تُستخدم الرسومات ثنائية الأبعاد والرسومات ثلاثية الأبعاد في الهندسة لعرض مواصفات التصميم ومعلوماته، وتُستخدم الرسومات ثنائية الأبعاد، والتي تُعرف أيضًا بالرسومات الفنية أو المخططات، لنقل المعلومات حول التصميم بوضوح ودقة، كما توفر الرسومات ثلاثية الأبعاد، والتي تُعرف أيضًا بالنماذج ثلاثية الأبعاد تمثيلًا أكثر واقعية لمجسم أو هيكل معين.

التصميم ثنائي وثلاثي الأبعاد 2D and 3D Design

2D



يشير التصميم ثنائي الأبعاد (Two-Dimensional - 2D) إلى تمثيل مجسم باستخدام بُعدين، وهما الطول والعرض دون العمق، ويمكن تمثيل هذا التصميم على سطح مستو، كقطعة من الورق أو شاشة الحاسب، وتُعدّ الرسومات واللوحات والنصوص المكتوبة على الورق من أمثلة النماذج ثنائية الأبعاد.

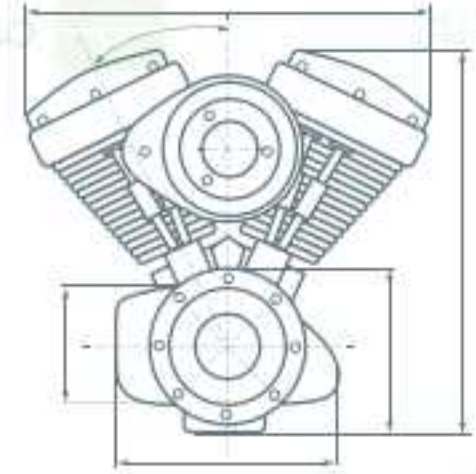
يشير التصميم ثلاثي الأبعاد (Three-Dimensional - 3D) إلى تمثيل مجسم باستخدام ثلاثة أبعاد: الطول والعرض والعمق، ويمكن تمثيل هذا التصميم في العالم الواقعي على شكل مجسم ذي حجم، مثل المكعب أو الكرة. يتيح الحاسب استخدام النماذج الرياضية لإنشاء رسومات تمثل النماذج والرسوم المتحركة ثلاثية الأبعاد، ويمكن عرض هذه النماذج على شاشة ثنائية الأبعاد، مما يعطي نوعًا من الإحساس بالعمق. تتضمن أمثلة النماذج ثلاثية الأبعاد: التماثيل والمنحوتات والمباني، وتتضمن كذلك شخصيات الأفلام وألعاب الفيديو الكرتونية ثلاثية الأبعاد، والتي يتم إنشاؤها بواسطة الحاسب أيضًا.

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

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

الرسومات ثنائية الأبعاد

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



الرسومات ثلاثية الأبعاد

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



شكل 2.24: رسم ثنائي الأبعاد ونموذج ثلاثي الأبعاد لمحرك V2

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

جدول 2.1: أمثلة على أشكال ثنائية الأبعاد

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

جدول 2.2: أمثلة على أشكال ثلاثية الأبعاد

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

معلومة

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

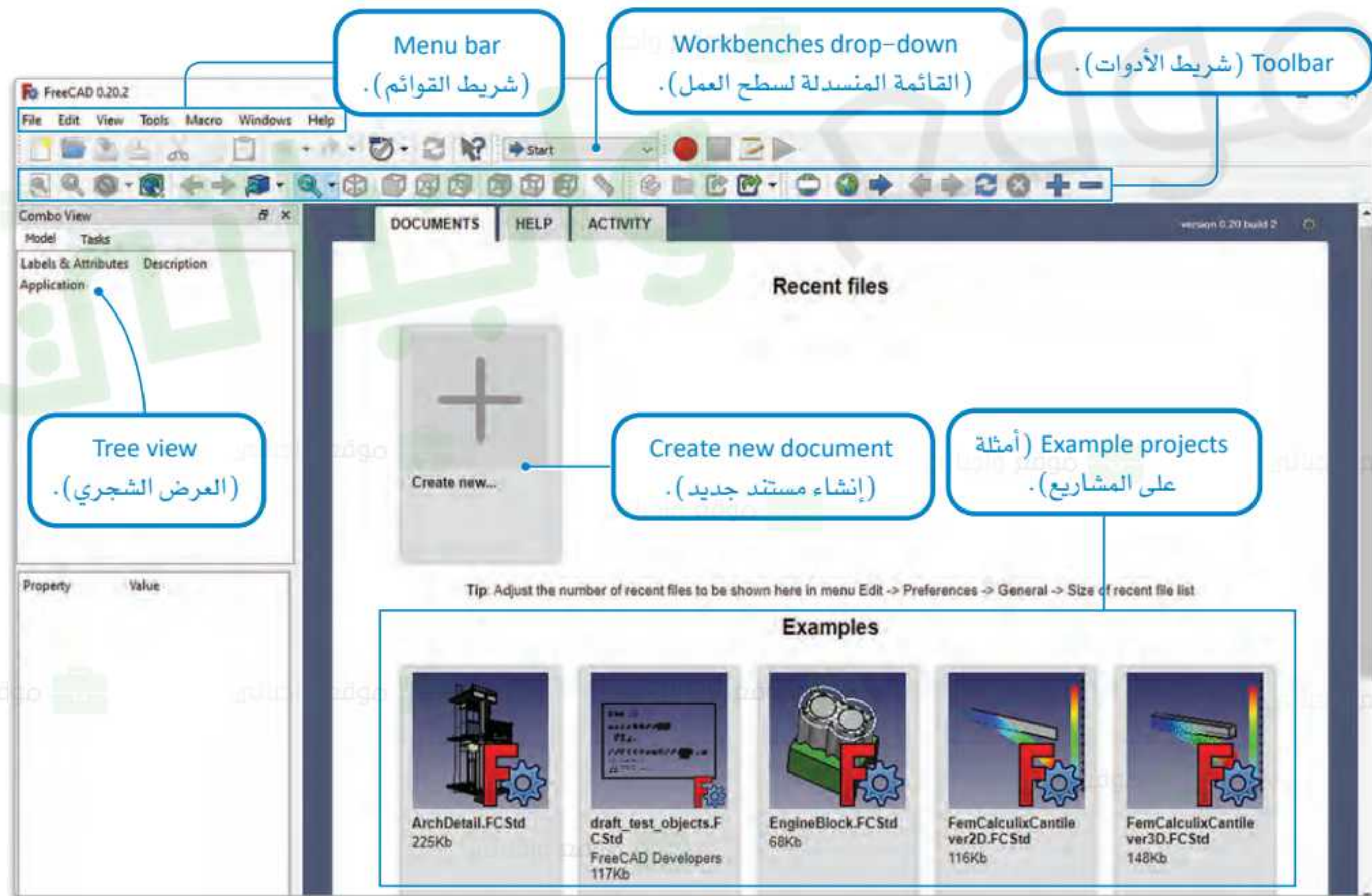


النمذجة ثلاثية الأبعاد هي عملية إنشاء تمثيل رقمي لمجسم أو بيئة ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج متخصص.

مقدمة في برنامج فري كاد Introduction to FreeCAD

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

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



شكل 2.25: واجهة المستخدم لبرنامج فري كاد

يسمح برنامج التصميم فري كاد بتغيير حجم وشكل المجسمات والأشكال الهندسية عن طريق ضبط معالماتها، مما يسهل إجراء تغييرات على التصميم ومعاينة النتائج بصورة فورية، ويمكنك أيضًا إنشاء تجميعات للأجزاء، وإنشاء قيود أو تحريرها لإنشاء نماذج أكثر تعقيدًا. يمكنك تنزيل البرنامج من الرابط التالي: <https://www.freecad.org/downloads.php>.



أسطح العمل Workbenches

يُعرف سطح العمل في برامج التصميم بمساعدة الحاسب (CAD) بأنه مجموعة الأدوات والميزات التي يتم تنظيمها وتجميعها معاً لأداء مهمة أو مجموعة من المهام المحددة، وتوفر لك أسطح العمل في برامج التصميم بمساعدة الحاسب مجموعة من الأدوات المُصممة خصيصاً لنوع محدد من الأعمال أو الأنشطة في ذلك البرنامج، مما يتيح الوصول بسرعة وسهولة إلى الأدوات التي تحتاجها لمهمة معينة دون الحاجة إلى التنقل عبر مجموعة كبيرة من الأدوات التي قد لا تكون ذات علاقة بمهمتك الحالية. يوجد في برنامج فري كاد مجموعة متنوعة من أسطح العمل المُصممة لمهام ووظائف محددة، ويمكنك استكشاف بعض أسطح العمل الرئيسية في هذا البرنامج من خلال الجدول أدناه.

جدول 2.3: أسطح عمل فري كاد

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



Tip: Adjust the number of recent files to be shown.





إنشاء هيكل Creating a Body

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

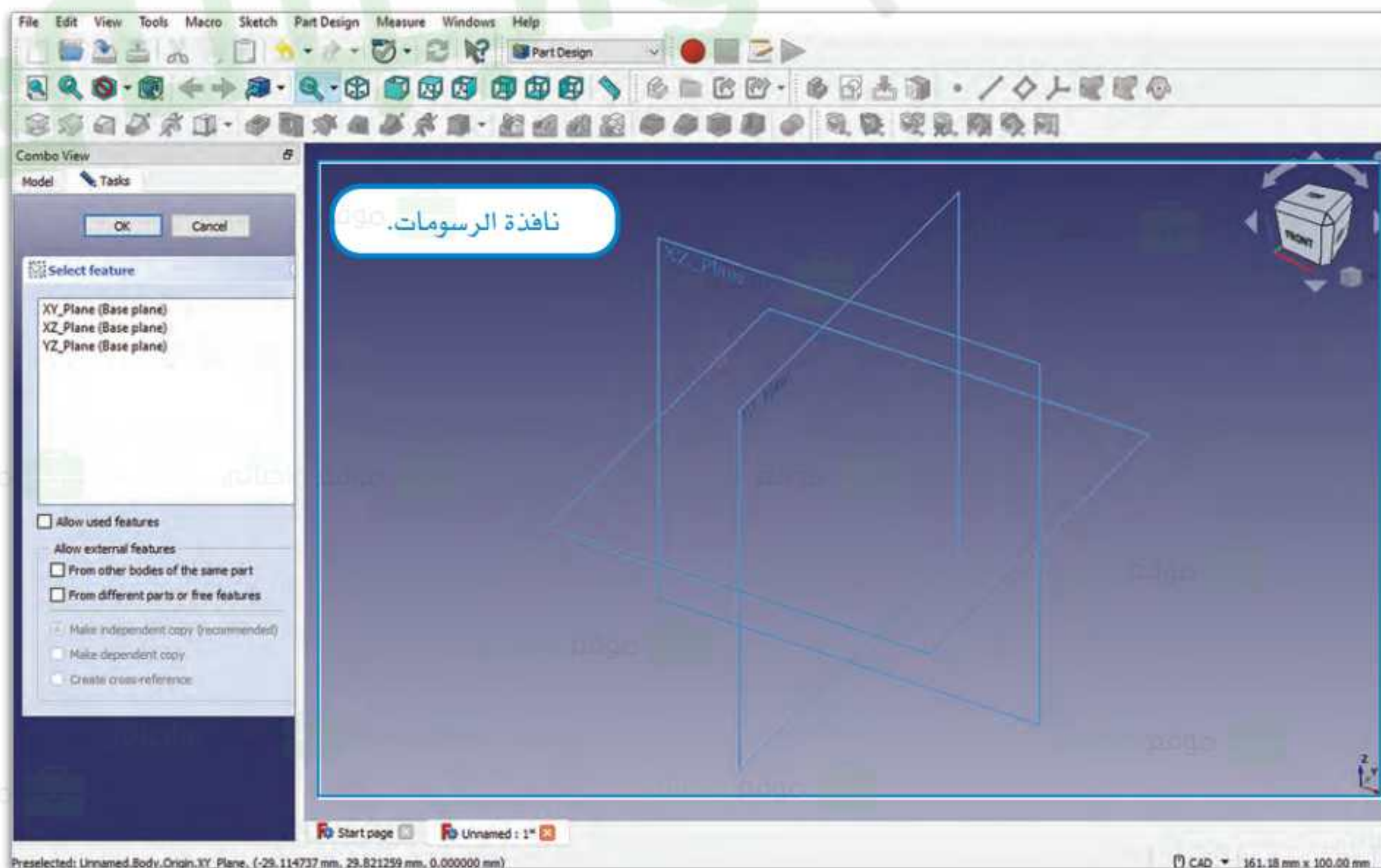
قد تكون الهياكل بسيطة أو معقدة، وقد تتكون من جزء واحد أو أكثر، وفي معظم برامج التصميم بمساعدة الحاسب، يُشار إلى الجسم الصلب على أنه مجسم ذو حجم معين، ويمكن تمثيله بمجموعة معادلات رياضية ورؤوس هندسية. يُعد إنشاء الهيكل في برامج التصميم بمساعدة الحاسب خطوة أساسية في عملية التصميم والتصنيع، فهو يسمح للمستخدم بتمثيل التصميم وتحليله وإيصاله بشكل فعال، كما يسمح لعملية التصنيع بأن تكون فعالة، ودقيقة، ومضبوطة من حيث التكلفة.



لإنشاء هيكل في برنامج فري كاد، يمكنك استخدام مجموعة متنوعة من الأدوات وفقاً للمتطلبات المحددة لمشروعك، والآن سنتشئ هيكلًا باستخدام سطح العمل تصميم قطعة (Part Design).

لإنشاء هيكل:

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



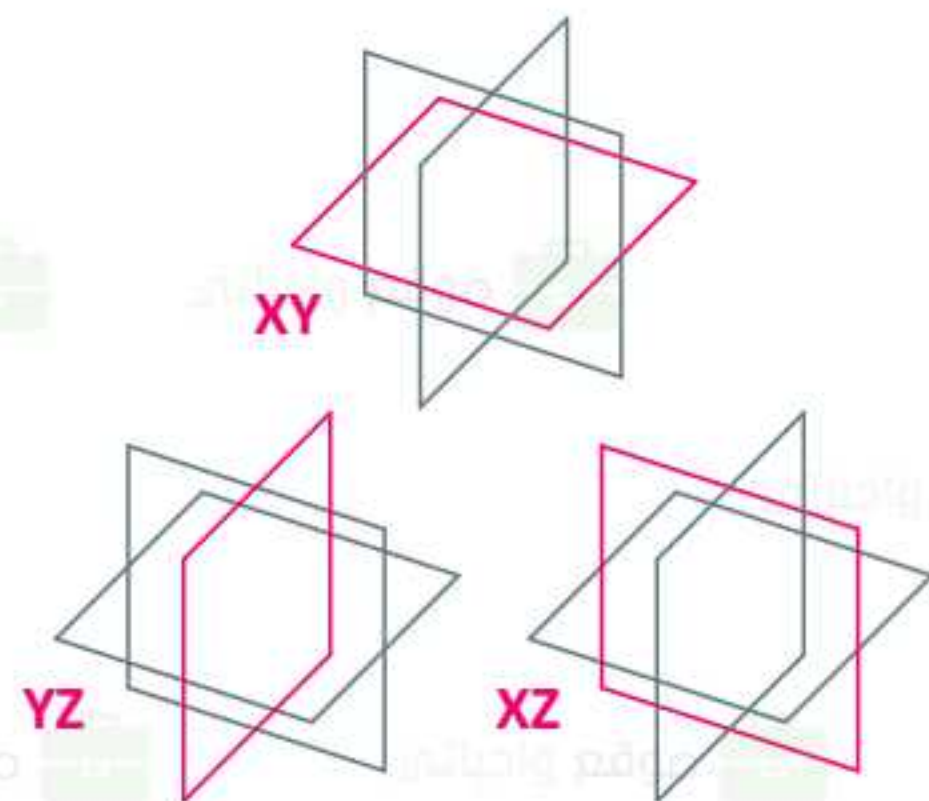
شكل 2.28: إنشاء هيكل





أسطح العمل للرسم الهندسي Planes

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

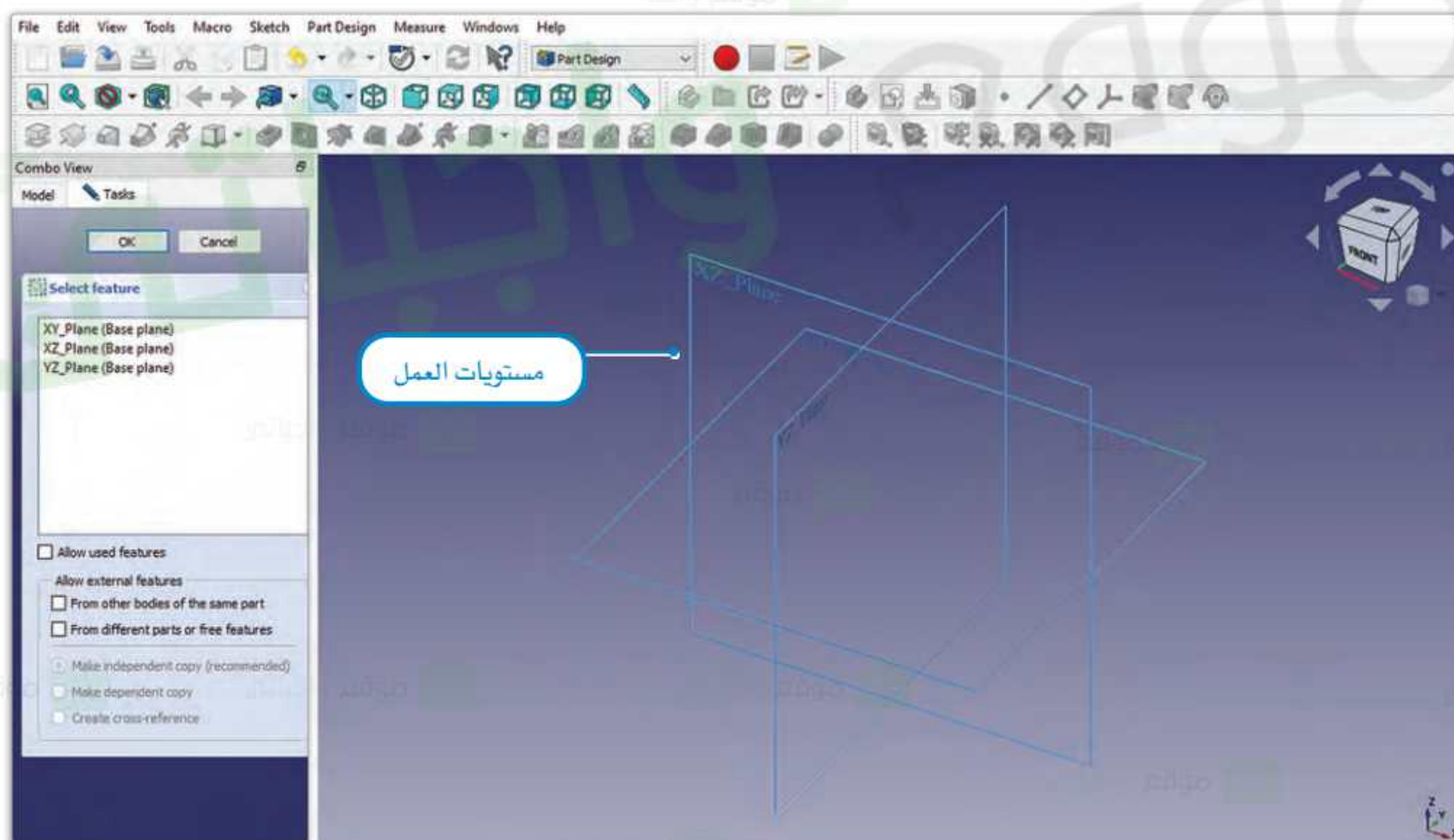


شكل 2.29: تمثيل أسطح عمل الرسم الهندسي في برنامج فري كاد

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

- مستوى XY: هو المستوى الافتراضي المستخدم عند إنشاء رسم تخطيطي جديد، وهو مستوى أفقي يوازي مستوى XY في نظام الإحداثيات العام.
- مستوى YZ: يوازي هذا المستوى مستوى YZ في نظام الإحداثيات العام، ويُعد مفيداً بشكل خاص عند إنشاء رسومات تخطيطية موجهة عمودياً.
- مستوى XZ: يوازي هذا المستوى مستوى XZ في نظام الإحداثيات العام، ويُعد مفيداً عند إنشاء رسومات تخطيطية موجهة أفقياً.

يوضح الشكل 2.30 المستويات الثلاثة الرئيسية:



شكل 2.30: أسطح العمل للرسم الهندسي

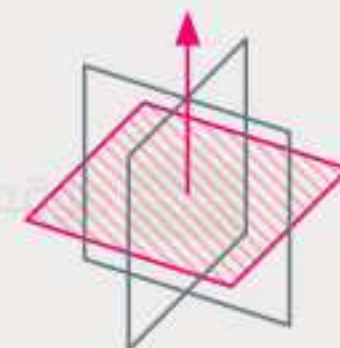
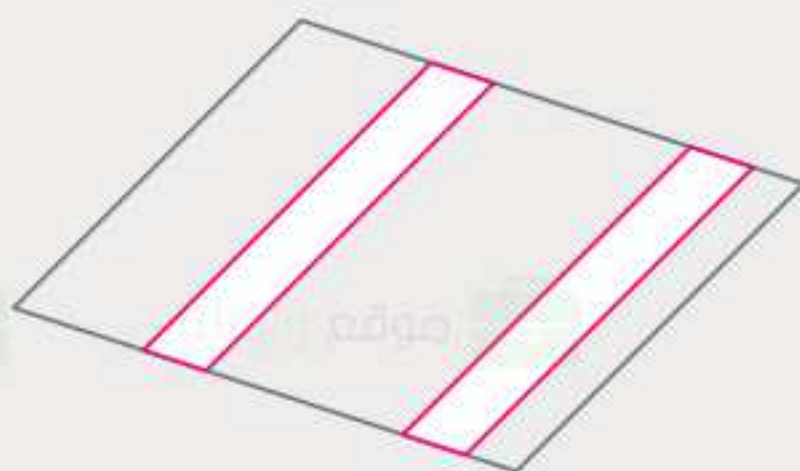
معلومة

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

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

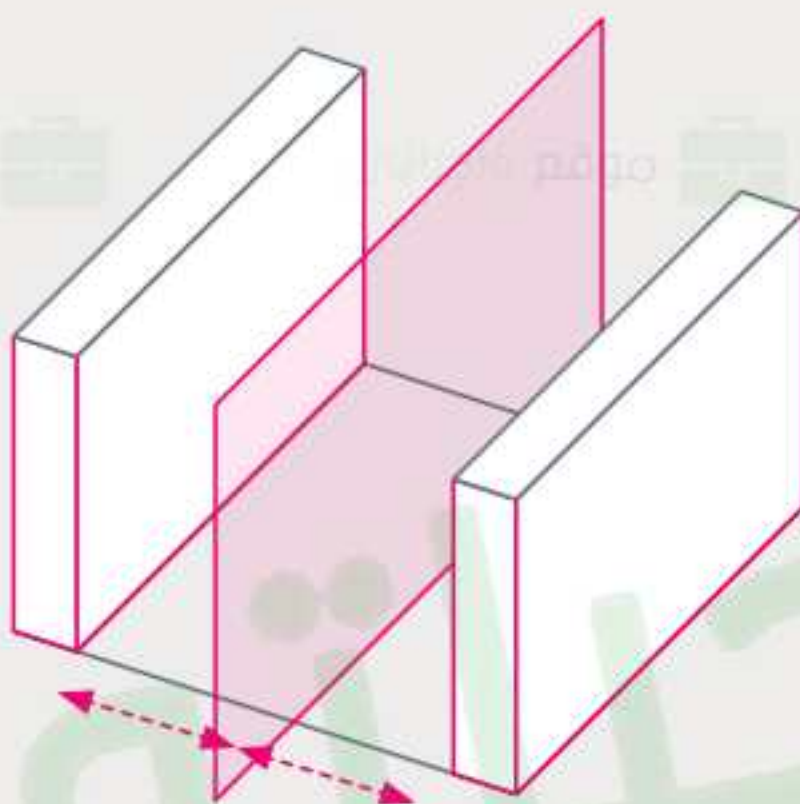
سطح عمل الرسم الهندسي XY

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



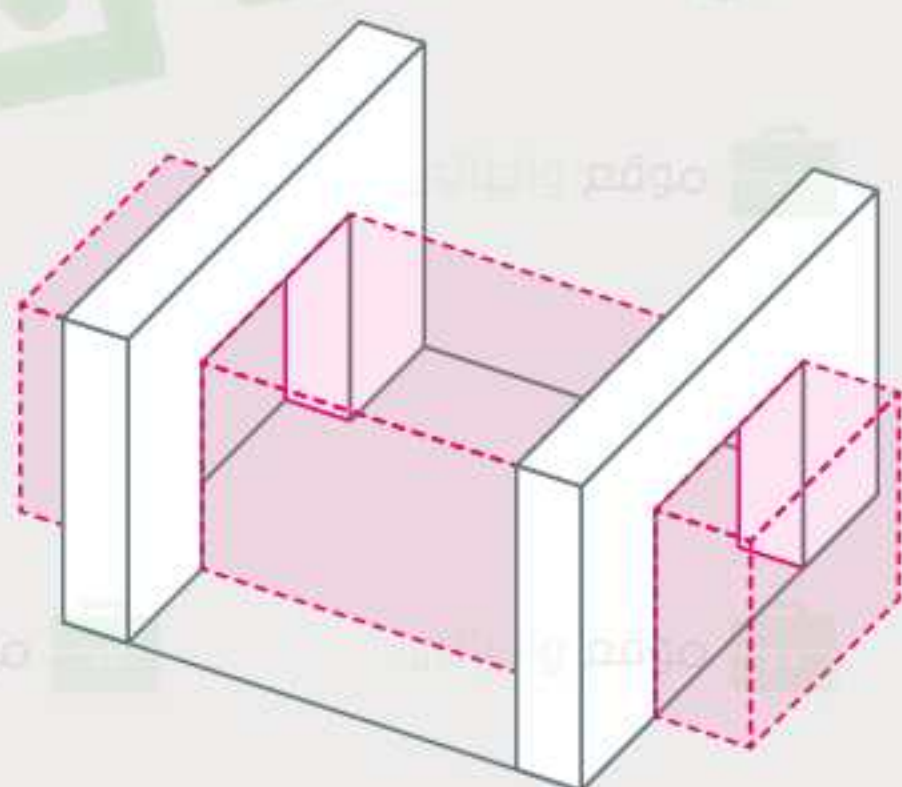
سطح عمل الرسم الهندسي YZ

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



سطح عمل الرسم الهندسي XZ

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



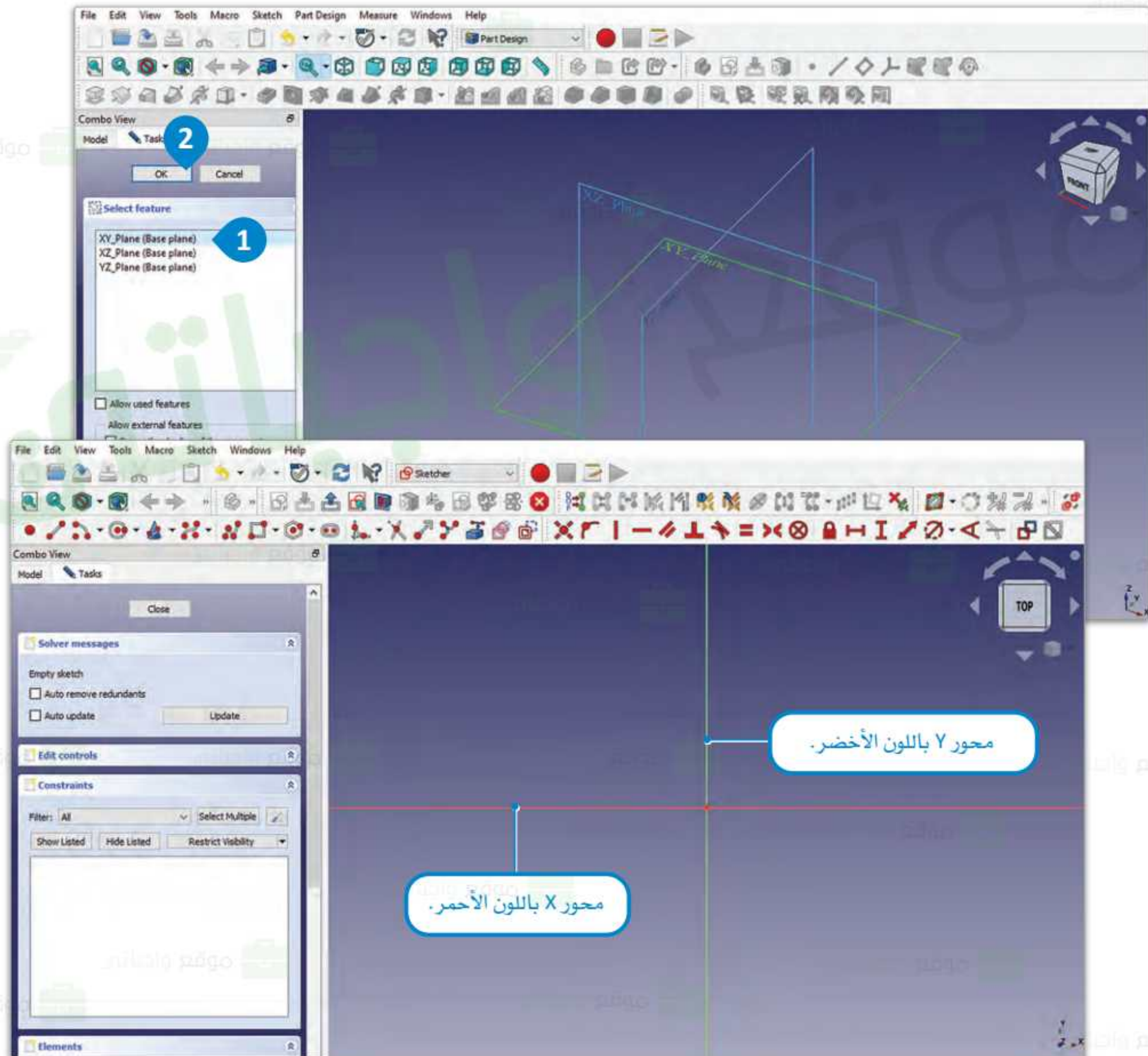
هذه بعض الأمثلة لكيفية استخدام أسطح العمل للرسم الهندسي في برنامج فري كاد، وهناك العديد من الميزات الأخرى التي تعتمد على برنامج التصميم المستخدم. تكمن الفكرة الرئيسة بأنه يمكن استخدام كل سطح عمل للرسم الهندسي كسطح مرجعي لأغراض مختلفة. يتم استخدام السطح XY بشكل أساسي لإنشاء الرسومات التخطيطية، ويُستخدم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

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

لاختيار مستوى العمل:

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

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



شكل 2.31: اختيار سطح العمل للرسم الهندسي



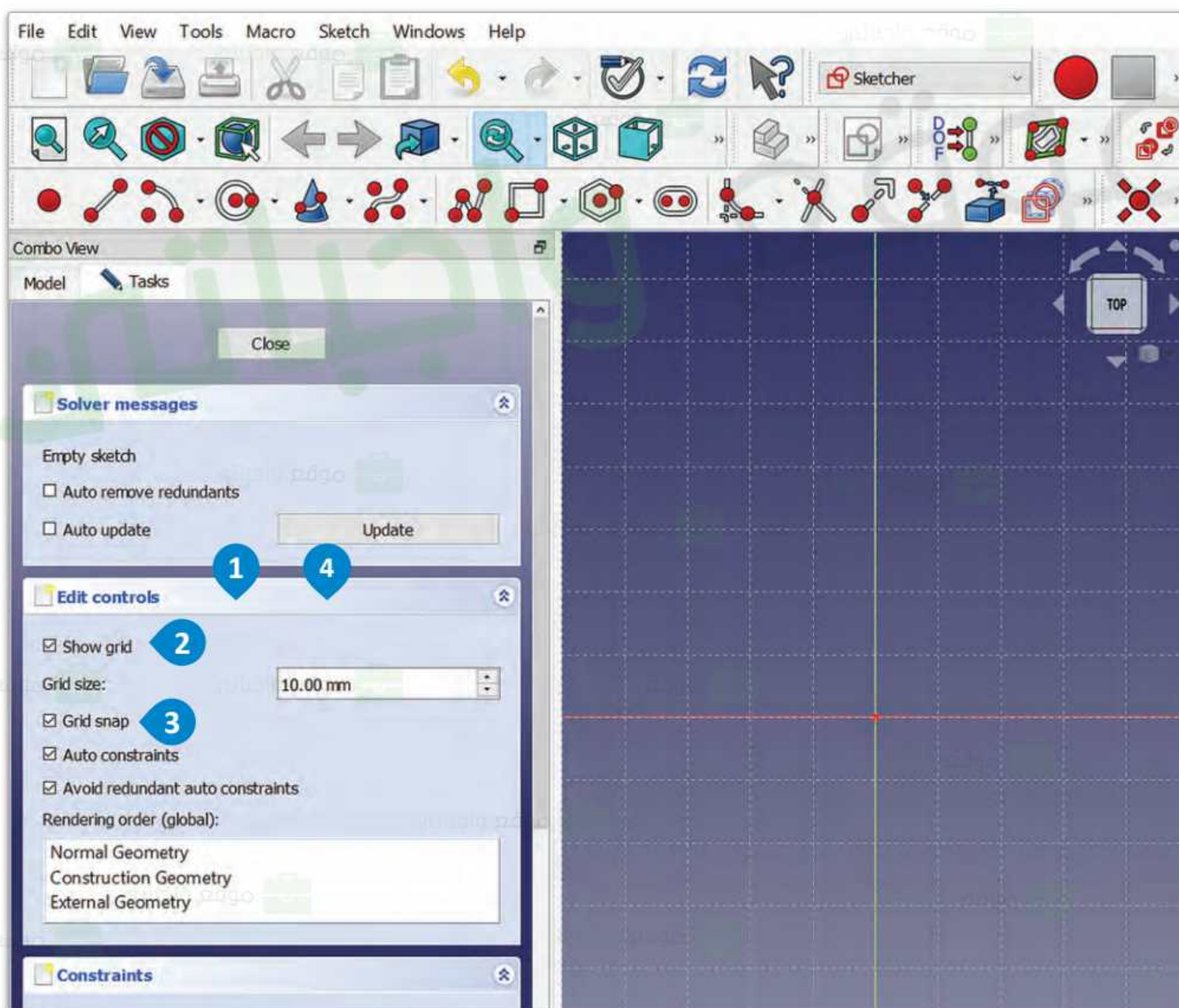
الشبكة The Grid

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

لتفعيل الشبكة :

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

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



شكل 2.32: تفعيل الشبكة

سطح عمل الراسم التخطيطي Sketcher Workbench

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

أدوات العرض

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



أدوات الراسم التخطيطي

تتيح لك هذه الأدوات بدء رسم تخطيطي أو الخروج منه.



أدوات الراسم التخطيطي الهندسية

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

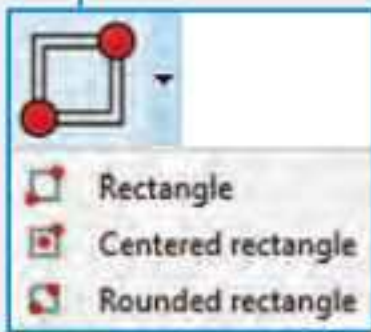


أدوات القيود

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



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



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

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



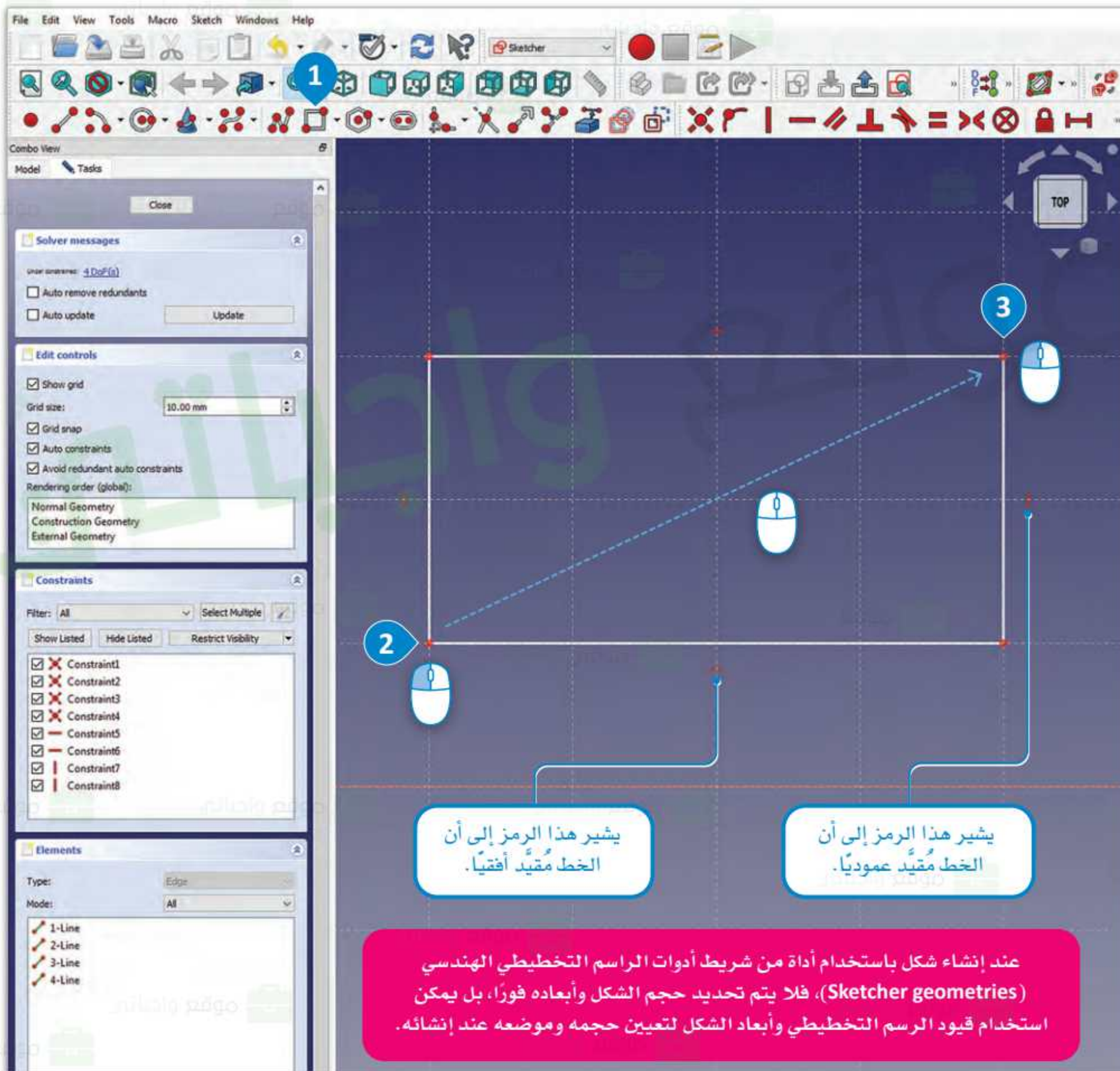
يمكنك إلغاء تحديد أداة عن طريق الضغط بزر الفأرة الأيمن على المساحة الفارغة خارج الشكل، مما يؤدي إلى إلغاء تنشيط الأداة، وبذلك تتمكن من اختيار أداة أخرى.

إنشاء مستطيل:

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

< اضغط على الرسم التخطيطي لتعيين الزاوية الأولى للمستطيل. 2

< حرك المؤشر لتعيين الزاوية المقابلة في المستطيل، واضغط مرة أخرى لإنشاء المستطيل. 3



شكل 2.33: إنشاء مستطيل

قيود المجسمات Object Constraints

تُستخدم القيود لتعريف الخصائص الهندسية والعلاقات بين العناصر المختلفة للرسم مثل: النقاط والخطوط والأشكال، كما تُستخدم القيود لتعريف سلوك مجسم والتأكد من محافظته على شكله وموضعه أثناء تطبيق تغييرات عليه، فعندما تُنشئ شكلاً كالمستطيل مثلاً في برنامج فري كاد، فإن هذا الشكل يتضمن مجموعة محدّدة سابقاً من القيود، ويتم تطبيق هذه القيود تلقائياً على المستطيل لضمان احتفاظه بخصائصه الهندسية وإمكانية تعديله وتغييره بشكل مناسب ومتناسق.

درجات الحرية (DoF) Degrees of Freedom

تشير درجات الحرية (DoF) إلى عدد المتغيرات المستقلة التي يمتلكها الرسم أو العنصر المحدّد، كما تحدّد عدد الاتجاهات التي يمكنه التحرك بها، وإمكانية تعديله. يتم تحديد عدد درجات الحرية (DoF) من خلال عدد القيود الهندسية المطبقة على رسم أو عنصر، وعدد الأبعاد التي تحدّده.

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

جدول 2.4: أدوات القيود

الأيقونة	الأداة
	تقييد الالتقاء: تُستخدم هذه الأداة لمحاذاة نقطتين أو خطين معاً، فهي تضمن تطابق النقاط أو الخطوط المحدّدة (في الموقع نفسه).
	تقييد النقطة على مجسم: تُستخدم هذه الأداة لتقييد نقطة لتظهر على مجسم معيّن.
	التقييد الأفقي: تُستخدم هذه الأداة لجعل الخط أفقياً وضمان أن الخط المحدّد مواز للمحور X.
	التقييد العمودي: تُستخدم هذه الأداة لجعل الخط رأسياً وضمان أن الخط المحدّد مواز للمحور Y.
	التقييد بالتساوي: تُستخدم هذه الأداة لتقييد خطين أو قوسين أو دائرتين ليكون لهما الطول نفسه، أو نصف القطر أو الزاوية نفسها بينهما.
	تقييد التناظر: تضمن هذه الأداة أن يكون المجسم متناظراً (متماثلاً) عند نقطة أو خط معيّن.
	تقييد المسافة الأفقية: تُستخدم هذه الأداة لتعيين مسافة أفقية ثابتة بين نقطتين أو خطين، حيث تضمن بأن النقاط أو الخطوط المحدّدة تحافظ على مسافة أفقية ثابتة.
	تقييد المسافة العمودية: تُستخدم هذه الأداة لتعيين مسافة رأسية ثابتة بين نقطتين أو خطين، فهي تضمن أن النقاط أو الخطوط المحدّدة تحافظ على مسافة عمودية ثابتة.
	تقييد الزاوية: تضمن هذه الأداة احتفاظ خطين بزاوية ثابتة بينهما.

القيود (Constraint):

القيود هو قاعدة أو شرط يتم تطبيقه على مجسم للتحكم في كيفية تعديله أو نقله.



لم يتم تعريف المستطيل بشكل كامل.

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



يمكن أن يؤثر الترتيب الذي تطبق به القيود على مجسم معين في برنامج فري كاد على سلوك المجسم وإمكانية رسمه، ومن الأفضل تطبيق القيود الأساسية في البداية، كتحديد موضع النقطة أو طول الخط، ثم إضافة قيود أكثر تعقيداً حسب الحاجة. على سبيل المثال، يتطلب تحويل مستطيل إلى مربع تقييد طول ضلعين متجاورين ليكونا متساويين، ويجب تطبيق قيود المسافة على ضلع واحد، ثم استخدام هذا الضلع كمرجع لتقييد الضلع المجاور.

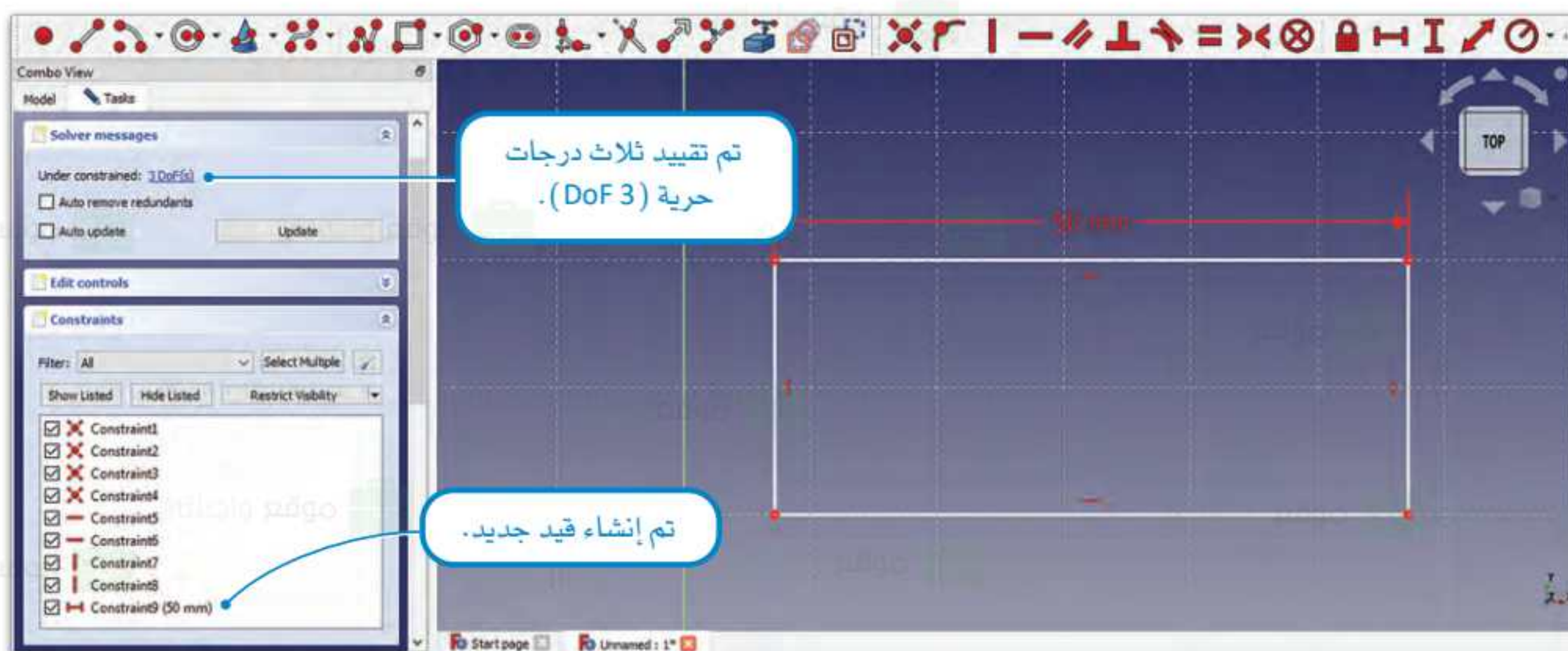
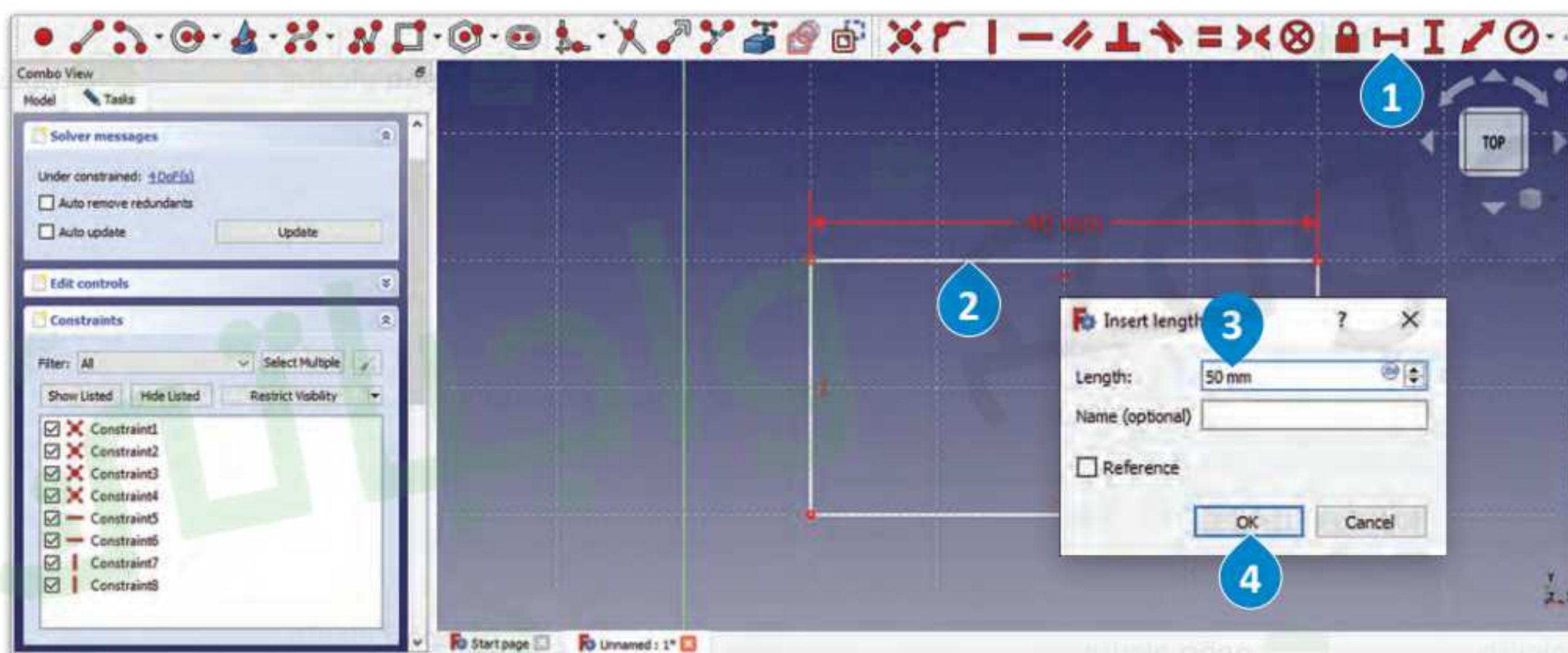
طريقة التنقل والحركة بصورة تفاعلية مع نموذج ثلاثي الأبعاد في برنامج فري كاد.



اختيار تكبير تدوير تدوير تعميم تصغير

لتقييد المسافة الأفقية:

- 1 < من شريط أدوات Constraints (القيود)، اختر أداة Constraint horizontal distance (تقييد المسافة الأفقية).
- 2 < اضغط على الحافة العلوية للمستطيل.
- 3 < اضبط Length (الطول) على 50 mm (50 ملليمتر)، ثم اضغط على OK (موافق).
- 4



شكل 2.34: تقييد المسافة الأفقية



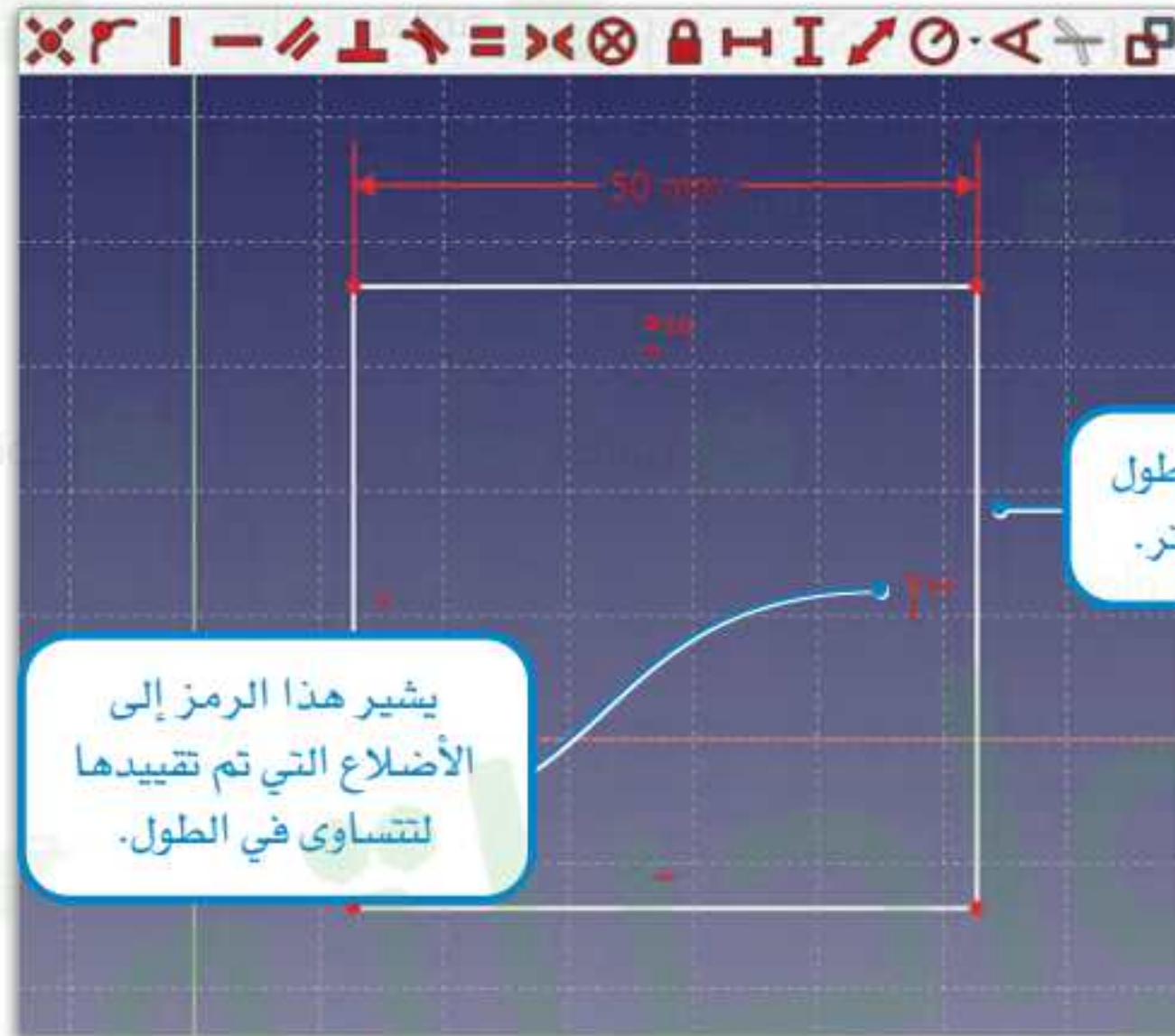


ستستخدم أداة التقييد بالتساوي (Constrain Equal) من أجل إنشاء المربع، وذلك بجعل أضلاع المستطيل متساوية.

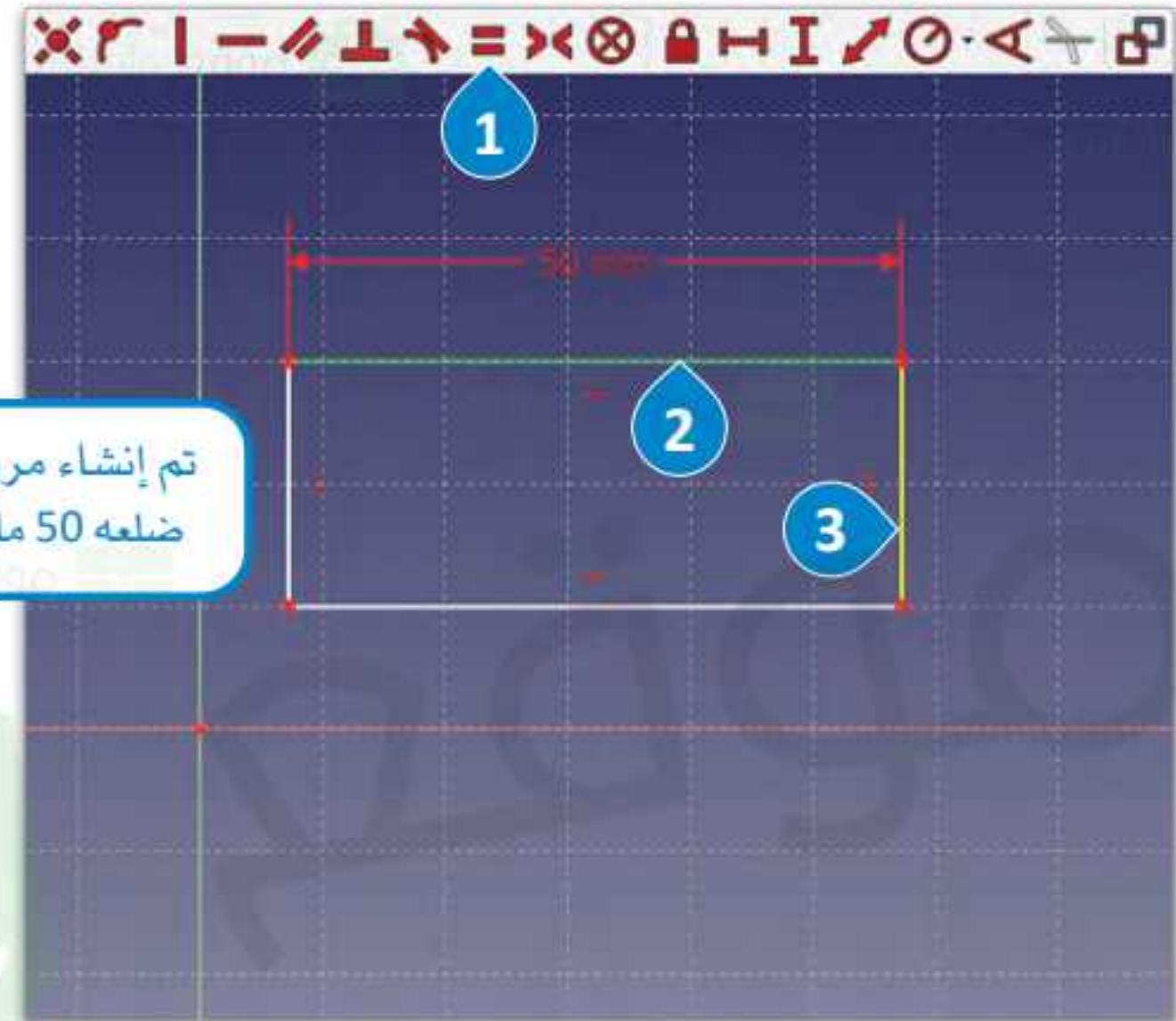
لجعل الأضلاع متساوية:

- < من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Constrain equal (التقييد بالتساوي). 1
- < اختر الحافة العلوية، 2 ثم اختر الحافة اليمنى للمستطيل. 3

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



تم إنشاء مربع طول ضلعه 50 ملليمتر.



شكل 2.35: جعل الأضلاع متساوية

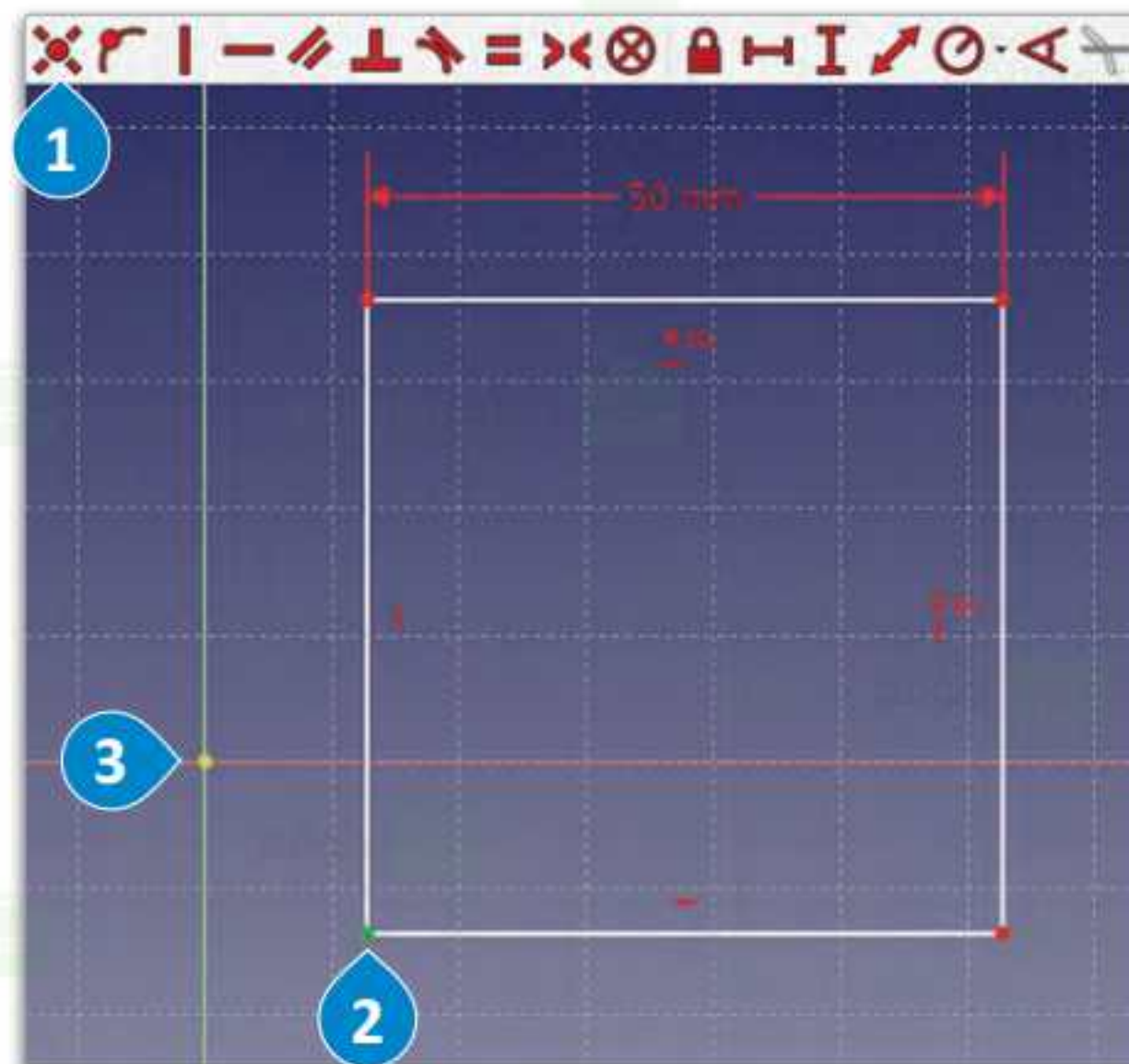
في الختام، لتحصل على مربع مقيد بالكامل، ستحتاج إلى استخدام أداة تقييد الالتقاء (Constrain Coincidence) لتقييد موضع إحدى زوايا المربع عند تقاطع المحاور.



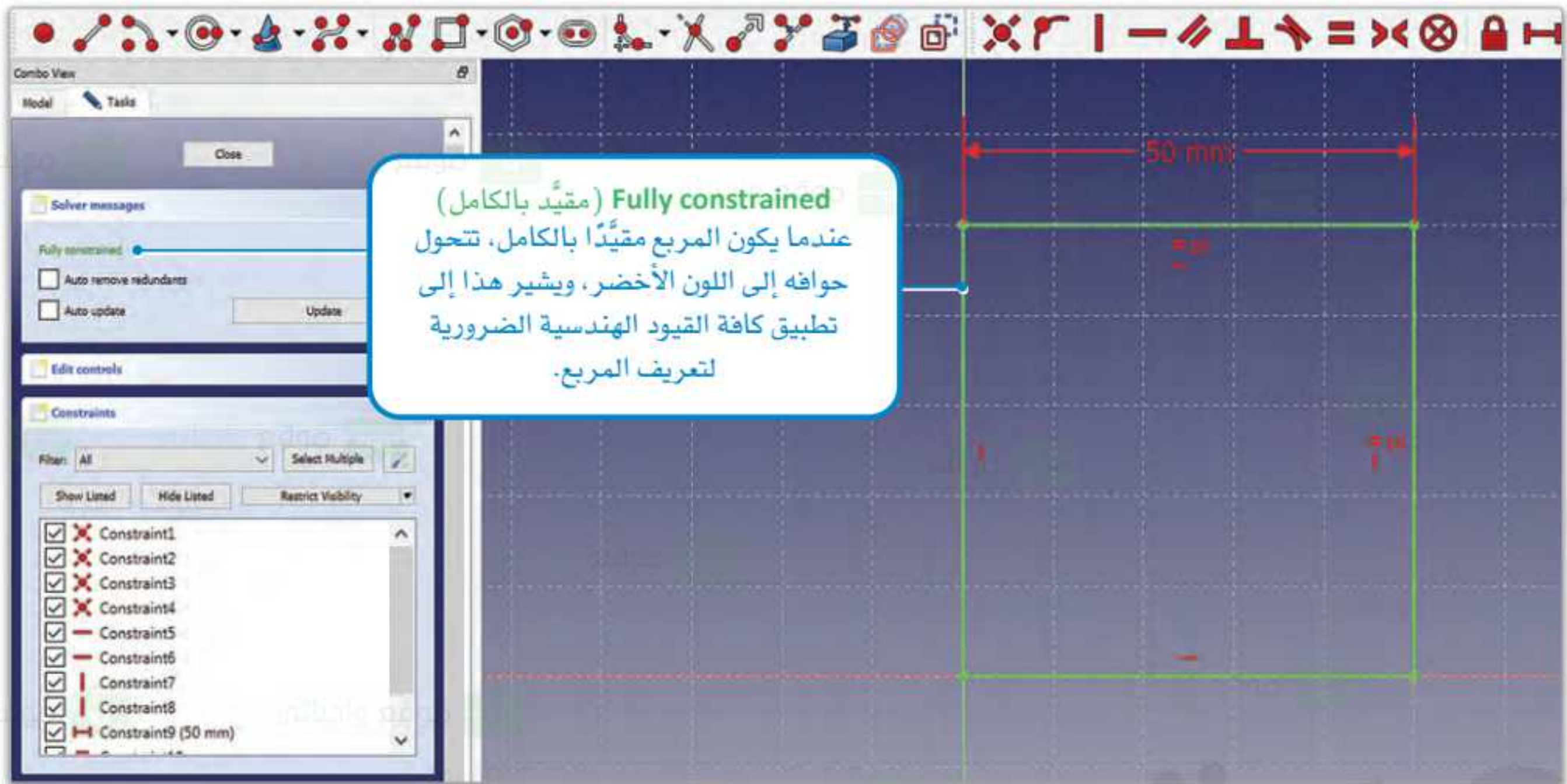
لتقييد التقاط:

- < من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Constrain coincidence (تقييد الالتقاء). 1
- < حدّد الزاوية اليسرى السفلية للمربع، 2 ثم حدّد مركز المحور. 3

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

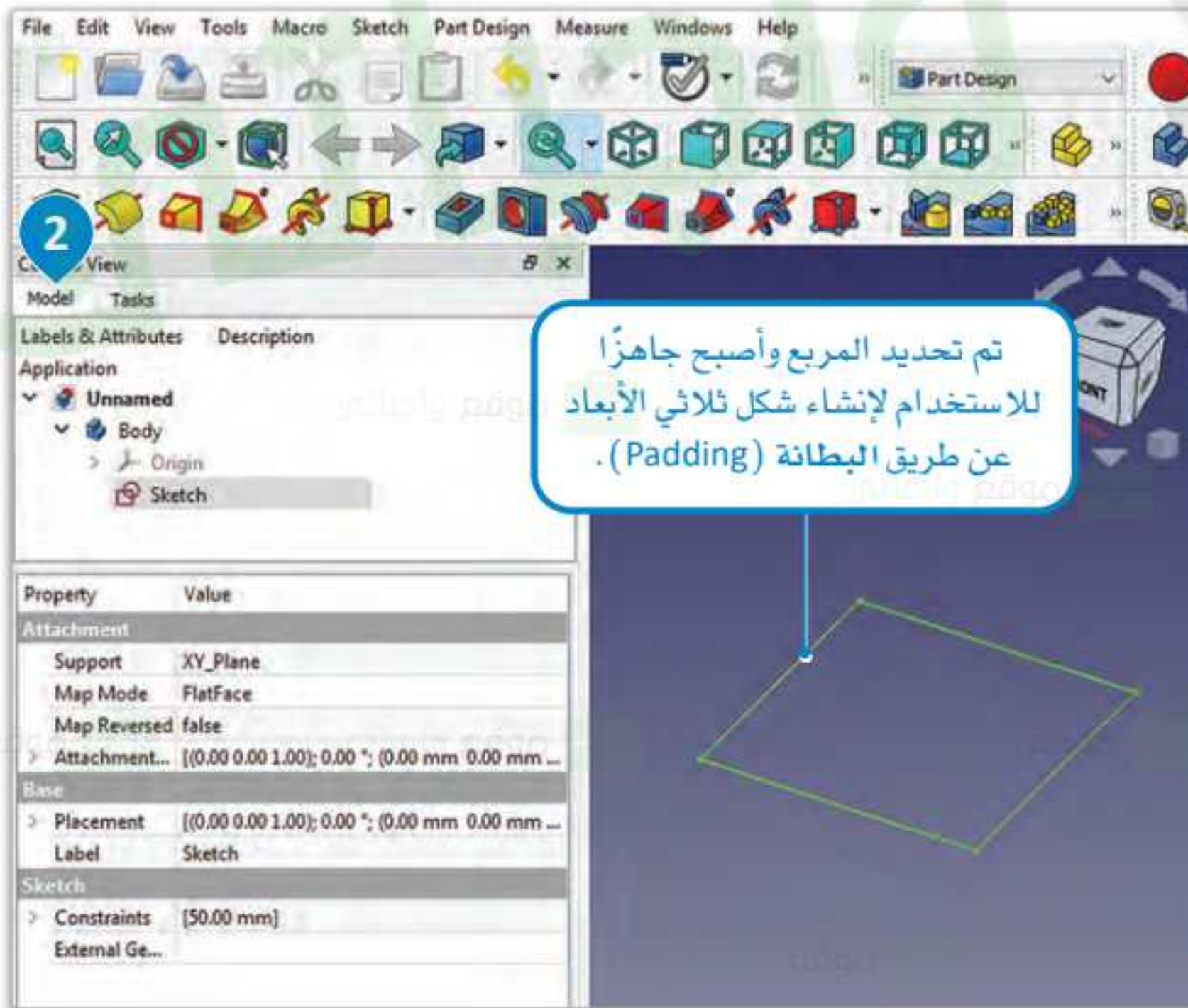


شكل 2.36: تقييد التقاط



شكل 2.37: شكل مقيّد بالكامل

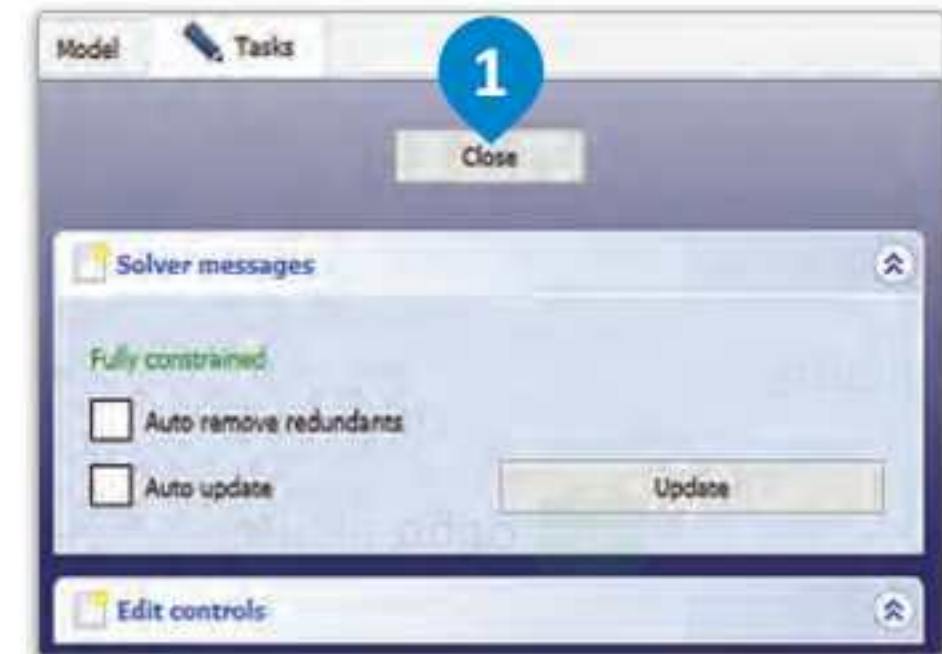
يمكنك إغلاق الرسم التخطيطي بعد القيام بتقييد المربع بالكامل.



شكل 2.38: إغلاق الرسم التخطيطي

لإغلاق الرسم التخطيطي:

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



معلومة

يشير المربع المقيّد بالكامل إلى أن الشكل جاهز للاستخدام كقاعدة لعمليات أخرى مثل: إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد بالبطق، أو لاستخدامه كمرجع لأشكال أو قياسات أخرى.

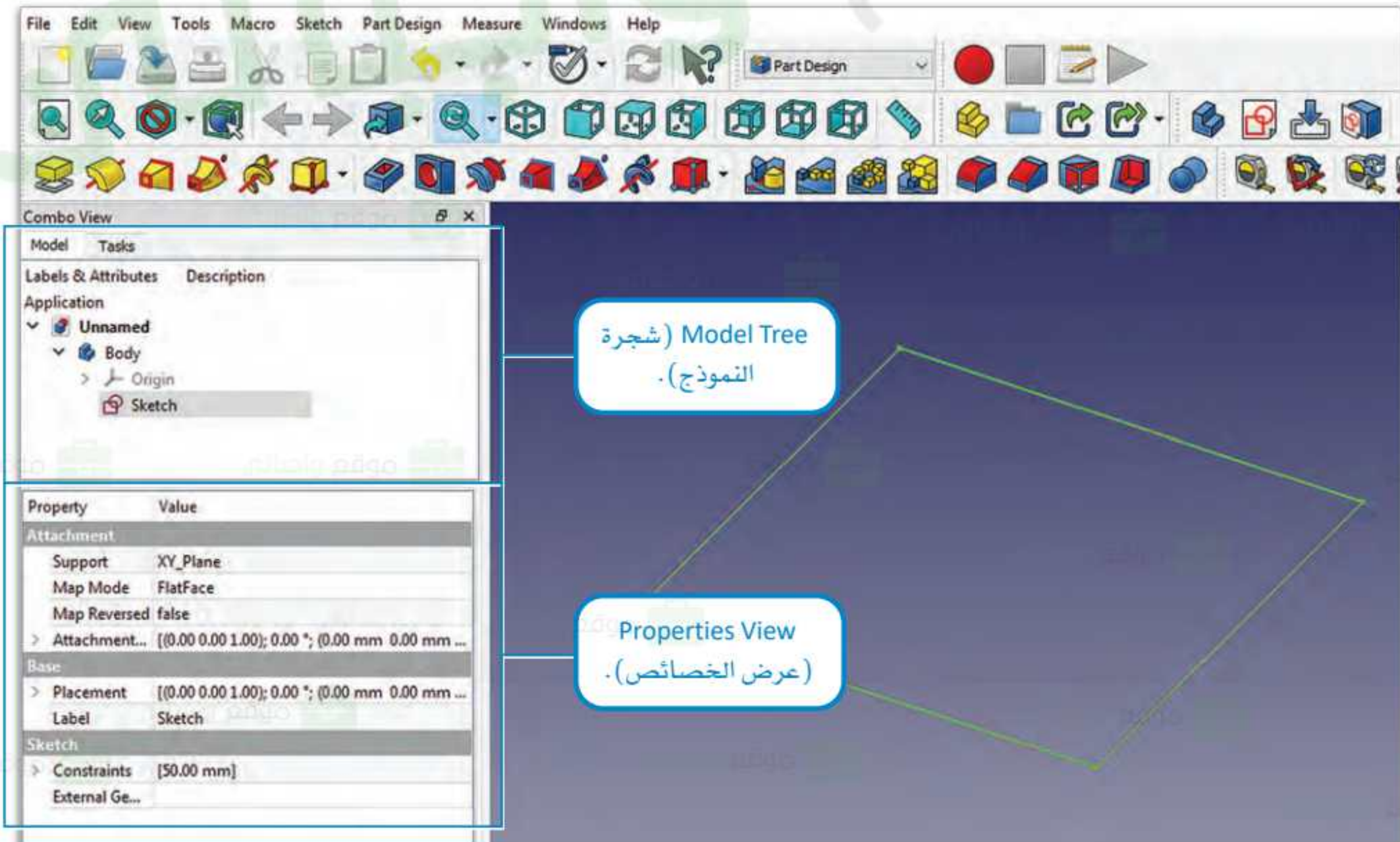
عندما تنتهي من رسم المربع وتطبيق القيود، ستظهر التغييرات التي أجريتها في علامة تبويب النموذج (Model)، بحيث يمكنك معاينة الهيكل العام لتصميمك.

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

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

جدول 2.5: علامة تبويب النموذج (Model)

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





إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد Creating a 3D Shape

البطانة Padding

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

بعد أن انتهيت من إنشاء المربع، ستتعرف على إمكانية تحويله إلى مكعب ثلاثي الأبعاد باستخدام تقنية البطانة، حيث تسمح لك هذه التقنية بإضفاء العمق إلى شكل ثنائي الأبعاد مثل المربع من خلال إضافة السماكة إليه، وسيؤدي هذا إلى إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد ذي حجم مثل المكعب، ويمكن عرضه ومعالجته في مساحة ثلاثية الأبعاد. اضغط من جديد على علامة تبويب المهام (Tasks) لإنشاء شكل ثلاثي الأبعاد.

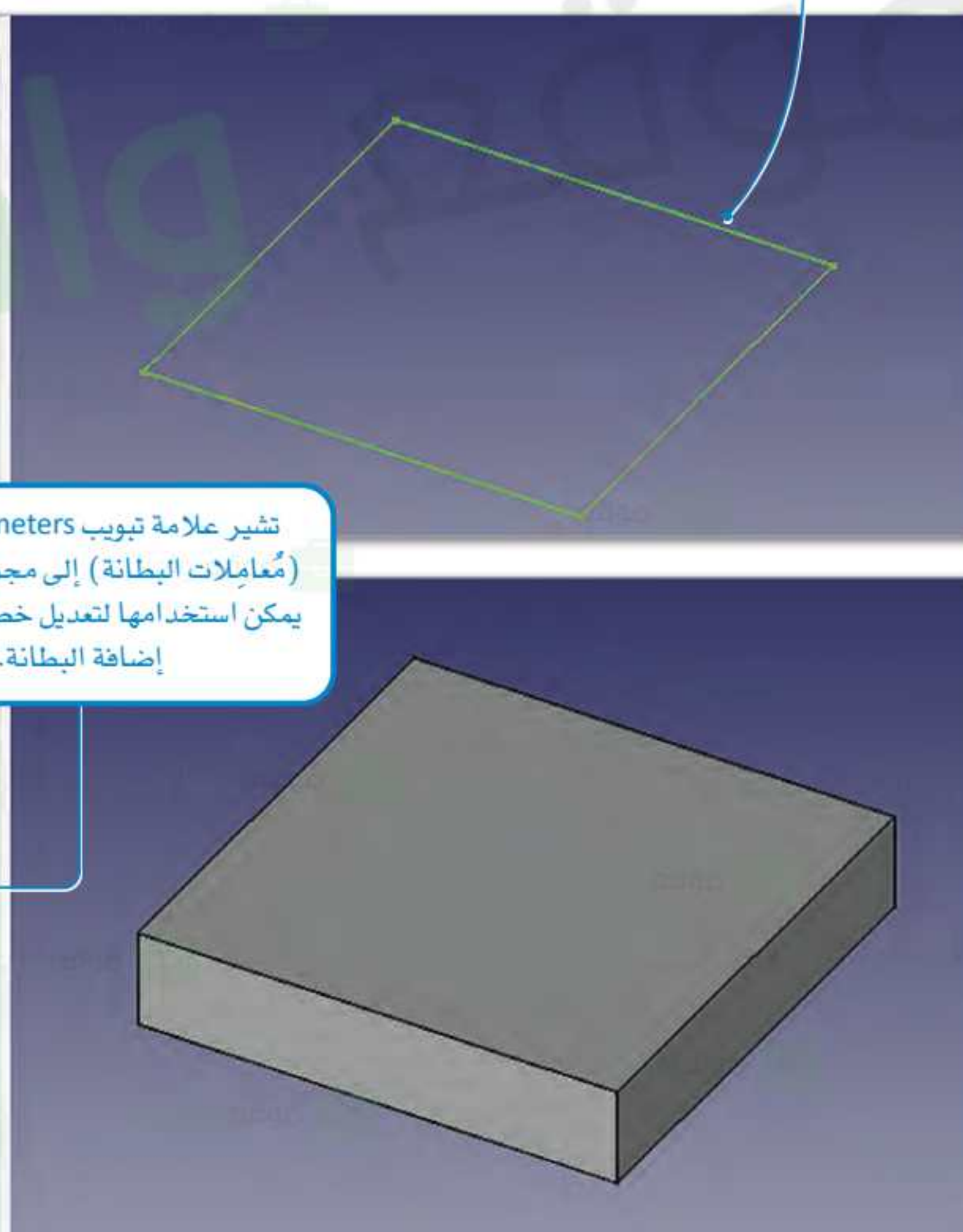
لإنشاء شكل ثلاثي الأبعاد:

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

يشير اللون الأخضر إلى أنه تم تحديد الشكل.



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





يمكن تغيير الطول في معاملات البطانة عن طريق إدخال قيمة محددة في حقل الطول (Length)، أو باستخدام السهمين لأعلى ولأسفل لزيادة الطول أو إنقصاه بمقدار معين.



يتم استخدام المجلد أو المجموعة التي تم إنشاؤها عند استخدام أداة البطانة (Pad) لتنظيم العناصر المختلفة للنموذج مثل: الرسم التخطيطي (Sketch) والتعبئة ثلاثية الأبعاد (3D solid) التي تم إنشاؤها بواسطة عملية البطانة.

شكل 2.39: إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد



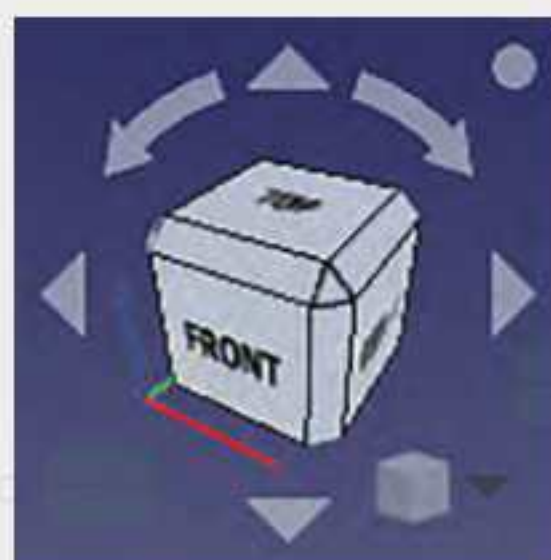
الآن وبعد أن أنشأت النموذج ثلاثي الأبعاد، ألقِ نظرة على طرائق العرض المختلفة للنماذج ثلاثية الأبعاد التي يمكنك من خلالها الاطلاع على نموذجك بشكل أفضل.

طرائق العرض ثلاثية الأبعاد 3D Views

تُقدّم طريقة العرض ثلاثية الأبعاد نموذجًا ثلاثي الأبعاد يتم التفاعل معه من منظور معين، وتتيح طرائق العرض ثلاثية الأبعاد للمصممين والمهندسين في عمليتي التصميم والنمذجة عرض نماذجهم ومعالجتها من زوايا مختلفة. يمكن في برنامج فري كاد استخدام العديد من طرائق العرض ثلاثية الأبعاد لتحريك الجسم ثلاثي الأبعاد ومعالجته.

جدول 2.6: طرائق العرض ثلاثية الأبعاد.

الوصف	الأيقونة	الاسم
طريقة عرض توضح النموذج ثلاثي الأبعاد بزاوية 45 درجة، مما يوفر تمثيلًا أكثر واقعية لشكل الجسم وحجمه.		المتماثل
طريقة عرض توضح النموذج من الأمام مع إظهار محوري X و Y.		الأمامي
طريقة عرض توضح النموذج من الأعلى مع إظهار محوري X و Z.		العلوي
طريقة عرض توضح النموذج من الجانب الأيمن، مع إظهار محوري Y و Z.		الأيمن
طريقة عرض توضح النموذج من الخلف، مع إظهار محوري X و Y.		الخلفي
طريقة عرض توضح النموذج من الأسفل، مع إظهار محوري X و Z.		السفلي
طريقة عرض توضح النموذج من الجانب الأيسر، مع إظهار محوري Y و Z.		الأيسر



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

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

تمريعات

1

خاطئة	صحيحة	حدّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:
☐	☒	1. أبعاد الرسومات ثنائية الأبعاد تقتصر على الطول والعرض دون العمق.
☐	☒	2. تُستخدم الرسومات ثنائية الأبعاد لتقديم المعلومات حول التصميم بطريقة دقيقة وواضحة.
☐	☒	3. يمكن استخدام النماذج ثلاثية الأبعاد لمحاكاة سلوك المنتج النهائي.
☒	☐	4. المثلث هو شكل ثلاثي الأبعاد ذو ثلاثة أضلاع مستقيمة وثلاث زوايا.
☐	☒	المثلث هو شكل ثنائي الأبعاد 2D مع ثلاثة جوانب مستقيمة وثلاث زوايا.
☐	☒	5. عند إتمام تقييد المربع، لا يمكن تغيير شكله أو حجمه دون الإخلال بقيد واحد أو أكثر.
☐	☒	6. شجرة النموذج (Model Tree) هي عرض هرمي لجميع مجسمات التصميم، حيث يظهر هيكل النموذج من المستوى الأعلى وصولاً إلى الأشكال والعناصر والميزات الفردية.
☐	☒	7. عرض الخصائص (Properties View) هو لوحة تعرض خصائص الجسم المحدد، بما في ذلك طول الجسم وعرضه وموضعه وخصائص أخرى.
☒	☐	8. تتيح طرائق العرض ثلاثية الأبعاد للمصممين والمهندسين عرض نماذجهم دون إمكانية التعديل عليها.
☐	☒	تسمح طرق العرض ثلاثية الأبعاد للمصممين والمهندسين بعرض نماذجهم ومعالجتها في مساحة ثلاثية الأبعاد.
☐	☒	9. مكعب التنقل (Navigation Cube) هو ميزة في برنامج النمذجة ثلاثية الأبعاد تتيح تغيير طريقة عرض النموذج بسرعة وسهولة.
☒	☐	10. طريقة العرض المتماثل (Isometric View) في برنامج فري كاد تعرض النموذج ثلاثي الأبعاد بزاوية 90 درجة.
		يعرض النموذج ثلاثي الأبعاد بزاوية 45 درجة.

2

وضّح الغرض من أداة تقييد الالتقاء (Constraint Coincident) واستخدامها.

تستخدم أداة تقييد الالتقاء في برنامج التصميم بمساعدة الحاسب (CAD) لمحاذاة نقطتين أو خطين معاً، وذلك لضمان تطابق النقاط أو الخطوط المحددة في الموقع نفسه.

3 اختر الإجابة الصحيحة فيما يلي:

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

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

- إلى ماذا يشير اللون الأخضر على الخط؟

☐	☐	☒	☐
الخط مقفل.	الخط مخفي.	تم اختيار الخط.	تم تحديد الخط.

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

☐	☒	☐	☐
الدوران (Rotation).	البطانة (Padding).	التقييد (Constraining).	البثق (Extrusion).

4 صف كيف يعمل المصمم مع الشركات المصنعة في مرحلة النموذج الأولي لدورة التصميم؟

خلال مرحلة النموذج الأولي لدورة التصميم يعمل المصممون بشكل وثيق مع الشركات المصنعة للتأكد من إمكانية التصميم والإنتاج باستخدام تقنيات وموارد التصنيع المتاحة، وقد يزود المصمم الشركة المصنعة بنموذج ثلاثي الأبعاد أو رسومات للنموذج الأولي يمكن للشركة المصنعة استخدامها لتقييم التصميم وتحديد كيفية إنتاجه.

5 وُضِّحَ أوجه الاختلاف بين أداتي تقييد الالتقاء (Constrain Coincident) وتقييد النقطة على مجسم (Constrain Point Onto Object).

تُستخدم أداة تقييد الالتقاء وأداة تقييد النقطة على مجسم في برنامج التصميم بمساعدة الحاسب (CAD) لإنشاء قيود بين أجزاء مختلفة من التصميم، وتُستخدمان لأغراض مختلفة، حيث تُستخدم أداة تقييد الالتقاء لمحاذاة نقطتين أو خطين بحيث يكونان في نفس الموقع، ويمكن استخدام ذلك لمحاذاة زوايا المربع إلى مركز المحور، فعلى سبيل المثال: تُستخدم هذه الأداة لتقييد موضع نقطة أو حافة إلى نقطة أو حافة أخرى، بينما تُستخدم أداة تقييد النقطة على مجسم لتقييد نقطة لتظهر على سطح أو مجسم معين، ويمكن استخدامها لتقييد قمة نموذج ثلاثي الأبعاد لتظهر على مستوى معين.

6 اشرح الغرض من أداتي تقييد المسافة الأفقية (Constrain Horizontal Distance) وتقييد المسافة الرأسية (Constrain Vertical Distance).

تُستخدم أداة تقييد المسافة الأفقية وأداة تقييد المسافة الرأسية لتحديد المسافة بين نقطتين في رسم تخطيطي أو رسم. تتيح أداة تقييد المسافة الأفقية تحديد مسافة أفقية بين نقطتين في رسم تخطيطي، ويمكن أن يفيد ذلك عند الحاجة إلى الحفاظ على نفس المسافة بين نموذجين بغض النظر عن أي تغييرات قد تحدث في الرسم، بينما تتيح أداة تقييد المسافة الرأسية تحديد المسافة الرأسية بين نقطتين في رسم تخطيطي، ويفيد ذلك عند الحاجة إلى الحفاظ على مسافة محددة بين نموذجين في المستوى الرأسي.

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

تتضمن عملية إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد باستخدام تقنية الحشو الخطوات التالية:

1. افتح برنامج بناء نموذج ثلاثي الأبعاد مثل: فري كاد (FreeCAD)، وأنشئ مستنداً جديداً.

2. اختر مستوى لإنشاء الشكل عليه.

3. أنشئ رسماً تخطيطياً للشكل باستخدام الخطوط والأقواس والدوائر وأشكال ثنائية الأبعاد.

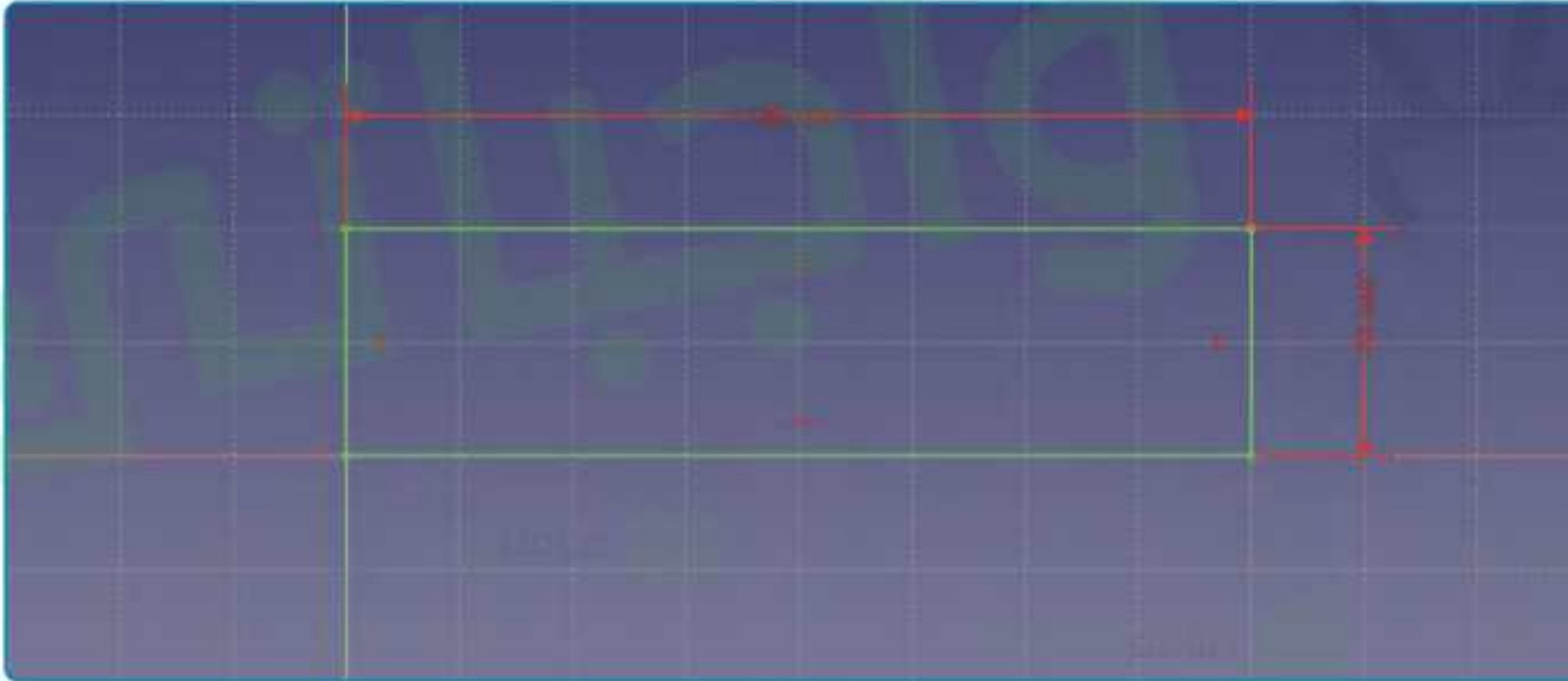
4. استخدم أداة البطانة لتحويل الشكل ثنائي الأبعاد إلى شكل ثلاثي الأبعاد.

5. اختر اتجاه ومسافة البثق.

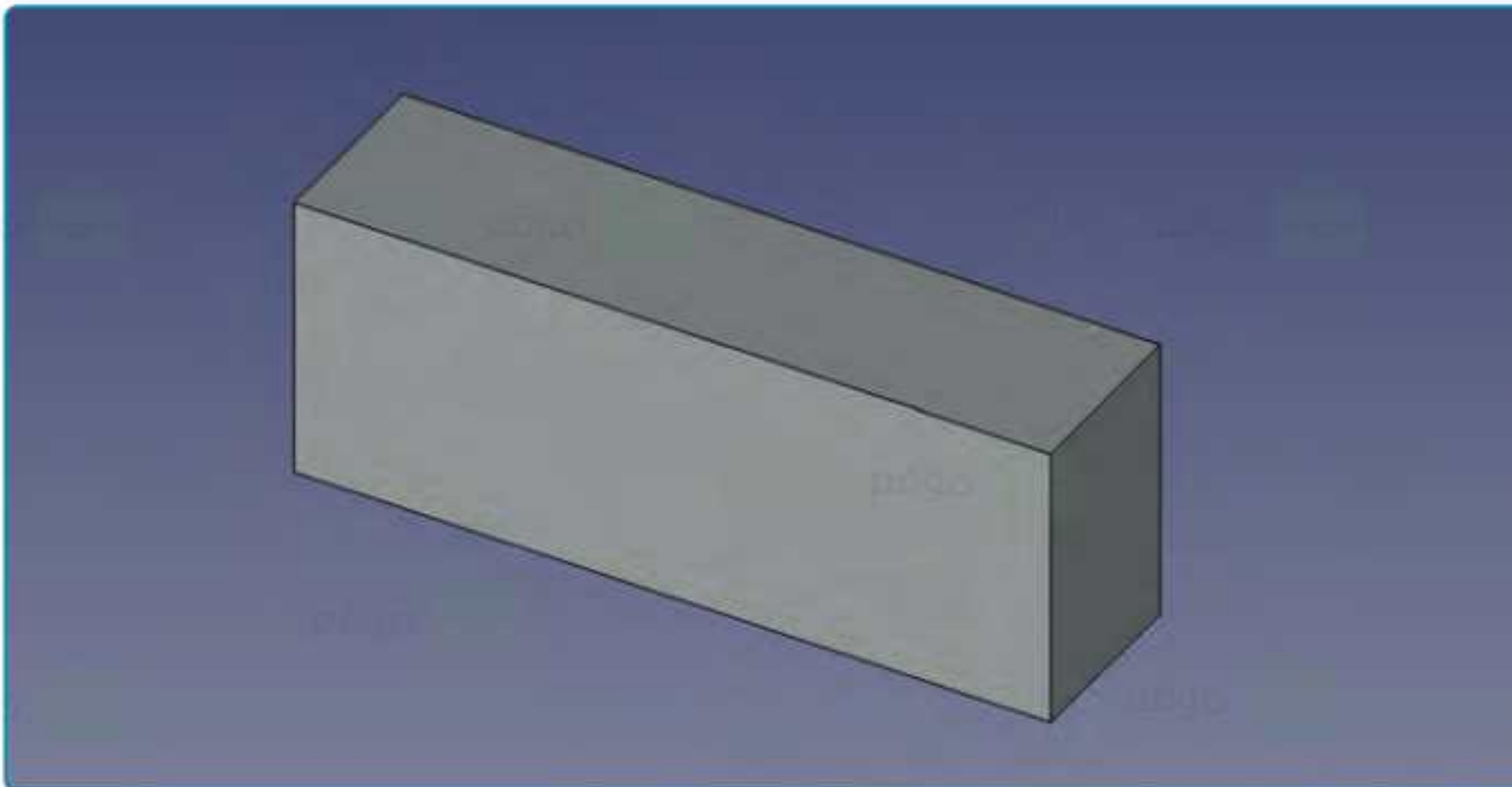
8 استخدام أداة إنشاء خط (Create Line) لإنشاء خط بوحدة طول تساوي 100، وقيده بشكل تام.



9 أنشئ مستطيلاً مُقيداً بشكل تام بأضلاع طويلة بطول 80 ملليمتر، وأضلاع قصيرة بطول 20 ملليمتر، ثم استخدم أداة Pad (البطانة) لإضافة السماكة للمستطيل بارتفاع 30 ملليمتر.



رسم تخطيطي ثنائي الأبعاد



نموذج ثلاثي الأبعاد



تصميم التروس ثلاثية الأبعاد

مقدمة في التروس Introduction to Gears

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

يمكن استخدام الترس لتغيير السرعة أو الاتجاه أو عزم الدوران، حيث تؤدي زيادة عزم الدوران في آلة مثل الدراجة أو السيارة إلى خفض السرعة، بينما يؤدي انخفاض عزم الدوران إلى زيادة السرعة دون الحاجة إلى زيادة القدرة في المحرك، وذلك حسب القانون التالي:

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

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

فيما يلي بعض المعلومات الأساسية حول التروس:

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



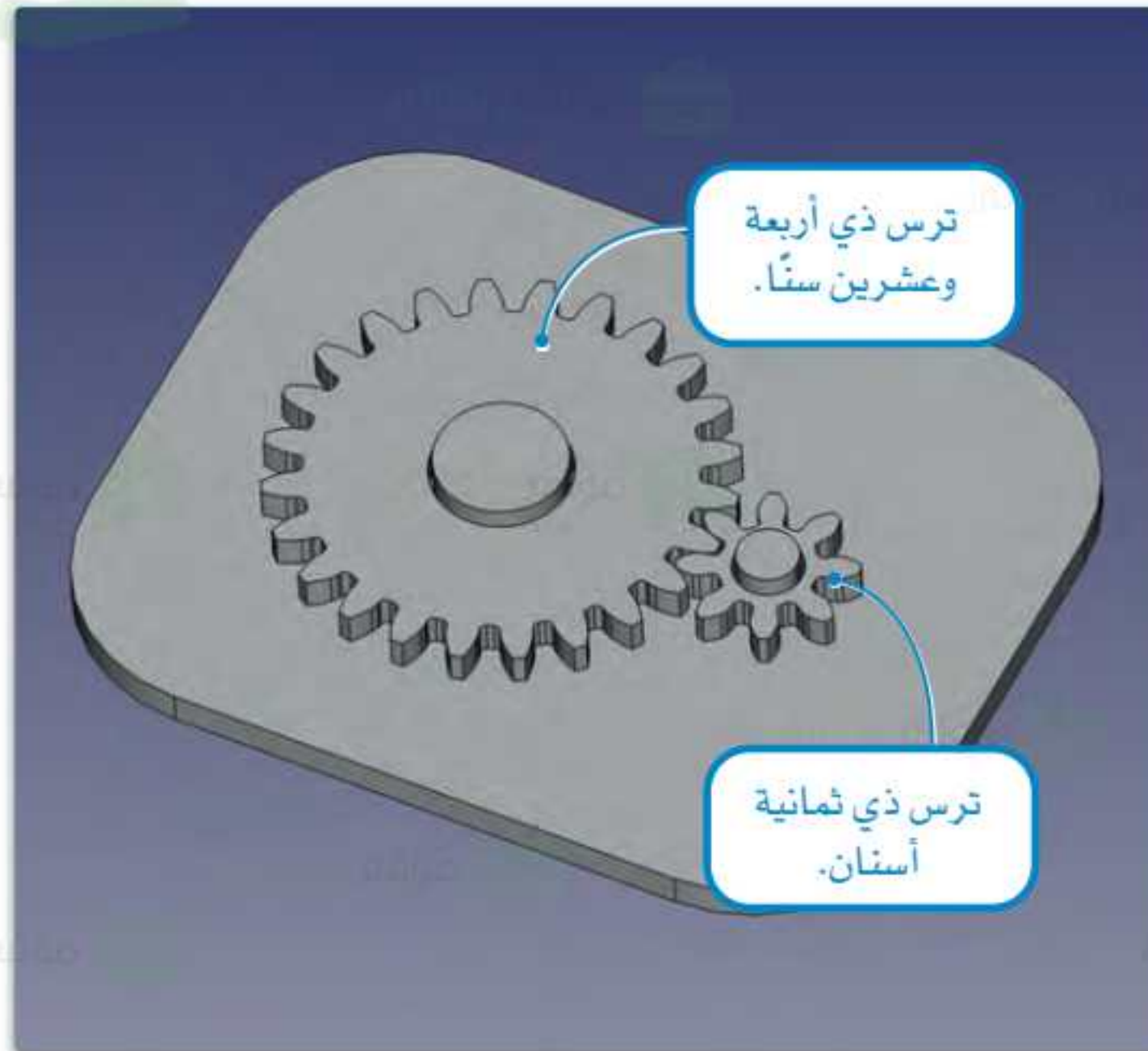
شكل 2.40: زيادة عزم الدوران مقابل زيادة السرعة



شكل 2.41: آلية الحركة في الدراجة

إنشاء آلة حركية بسيطة Creating a Simple Machine

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



شكل 2.42: تصميم ثلاثي الأبعاد لآلة حركية بسيطة

عندما يتم توصيل ترسين، فإن عدد أسنان كل ترس يُحدّد سرعة دوران كل منهما ومقدار القوة التي يمتلكها. إذا تم توصيل ترس صغير ذي ثمانية أسنان بترس كبير ذي أربعة وعشرين سنّاً، فإنّ الترس الكبير سيدور مرة واحدة لكل ثلاث دورات للترس الصغير، وهذا يجعل الترس الكبير يُنتج عزم دوران أكبر، بحيث يمكنه دفع أو رفع أشياء أثقل من قدرة الترس الصغير في حدّ ذاته.

T1 هو عدد الأسنان، ويساوي ثمانية في الترس الأول.

T2 هو عدد الأسنان، ويساوي أربعة وعشرين في الترس الثاني.

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



تصميم ترس ذي ثمانية أسنان Designing an 8-Tooth Gear

ستبدأ بتصميم ترس بثمانية أسنان لمشروعك، حيث سيعمل هذا الترس كأحد مكونات قاعدة الأسطوانة ذات الترسين. باستخدام ميزة الترس الأسطواني المنحني (Involute Gear) في برنامج فري كاد (FreeCAD)، يمكنك إنشاء ترس بأسنان دقيقة بسرعة وسهولة، وسيساعدك ذلك على ضمان التشغيل السلس والفعال عند توصيل الترسين معاً.

لتبدأ بإنشاء مستند جديد.



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

لإنشاء مستند جديد:

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



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



شكل 2.43: إنشاء مستند جديد

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

لإنشاء هيكل ترس مكوّن من ثمانية أسنان:

- 1 < من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create body (إنشاء هيكل).
- 2 < من علامة تبويب Data (البيانات)، غير Label (التسمية) إلى Small Gear (الترس الصغير).



شكل 2.44: إنشاء هيكل لترس مكوّن من ثمانية أسنان

معلومة

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

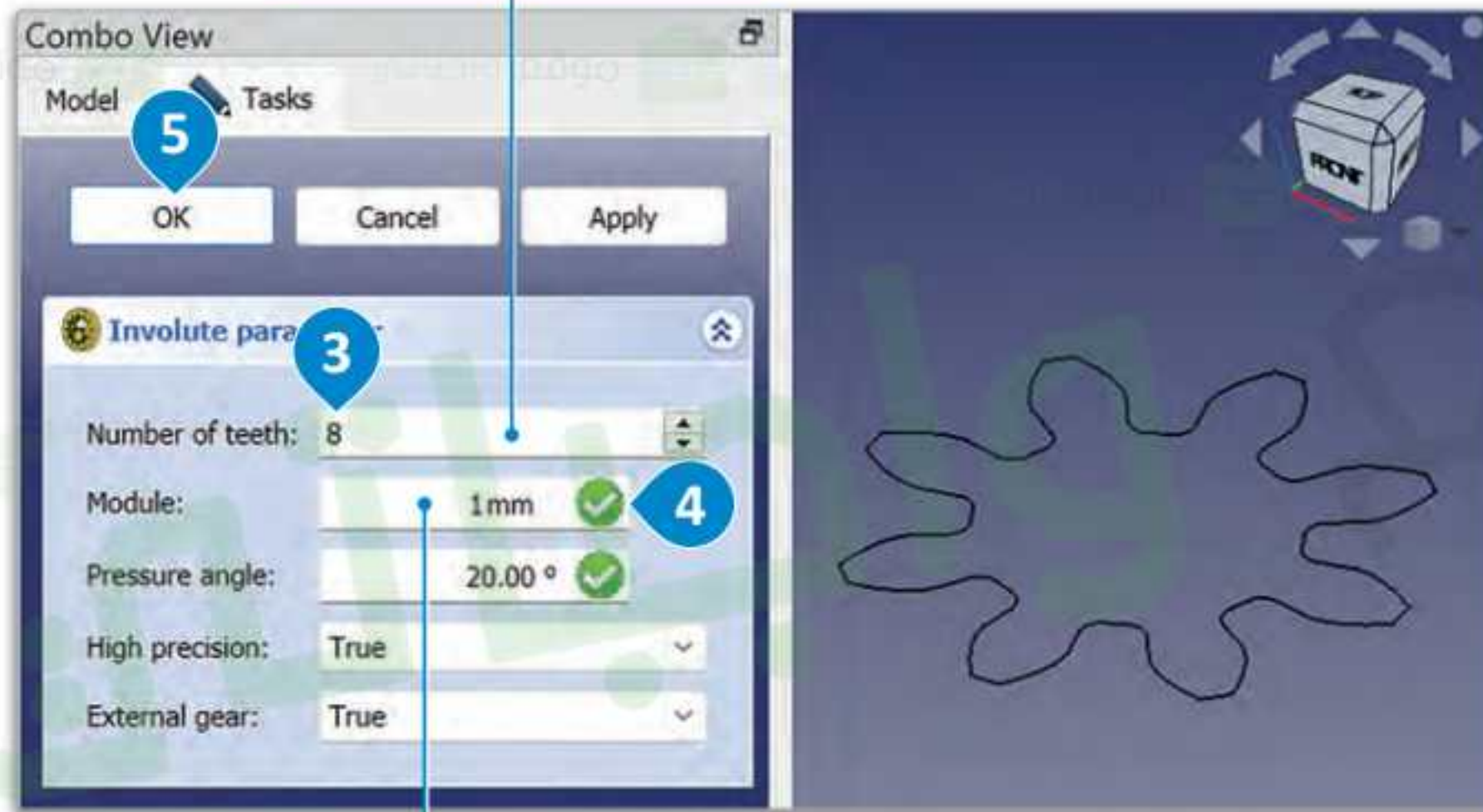
بعد أن أنشأت الهيكل الصلب، يمكنك استخدام أداة الترس الأسطواناني المنحني (Involute Gear)، وهي وحدة ماكرو (Macro) مُدمجة في حزمة برنامج فري كاد تسمح لك بتحديد عدد الأسنان والوحدة القياسية وزاوية الضغط والمعاملات الأخرى. يمكنك إنشاء ترس أسطواناني منحني يناسب احتياجاتك من خلال إدخال هذه المعاملات والضغط على موافق.

إضافة ترس منحني:

- 1 < من القائمة، اضغط على Part Design (تصميم قطعة)،
- 2 ثم اختر Involute gear (ترس أسطواناني منحني).
- 3 < غير Number of teeth (عدد الأسنان) إلى 8.
- 4 < غير Module (الوحدة القياسية) إلى 1mm (1 ملمتر)،
- 5 ثم اضغط على OK (موافق).

الماكرو (Macro) هو برنامج نصي أو برمجي حاسوبي يقوم بأتمتة سلسلة من المهام أو الأوامر في البرنامج، فأداة الترس الأسطواناني المنحني (Involute gear) هي ماكرو يوفر طريقة ملائمة لإنشاء ترس أسطواناني منحني دون الحاجة إلى إجراء العمليات الحسابية والهندسية المعقدة يدوياً.

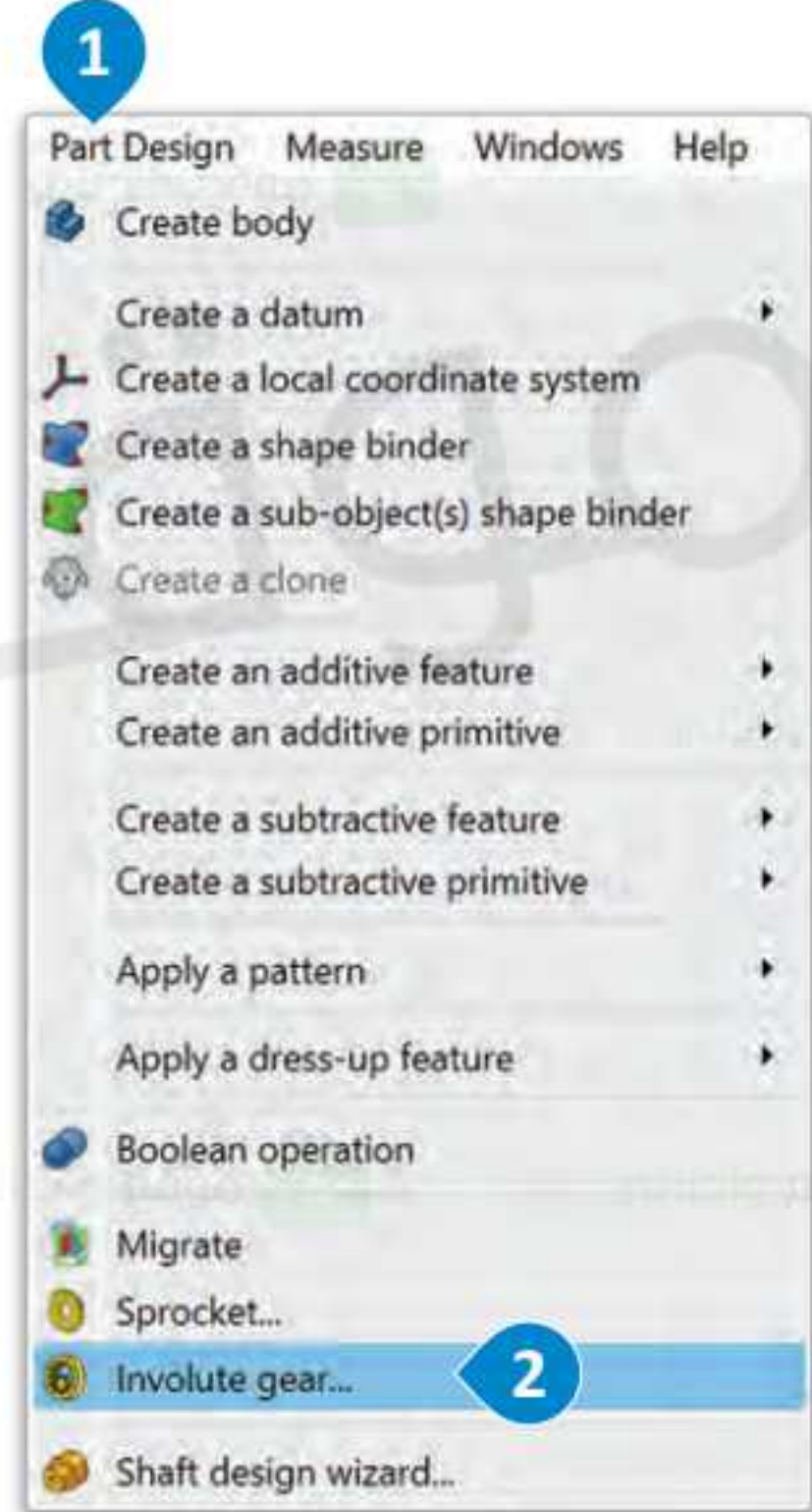
يحدد هذا عدد أسنان الترس.



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



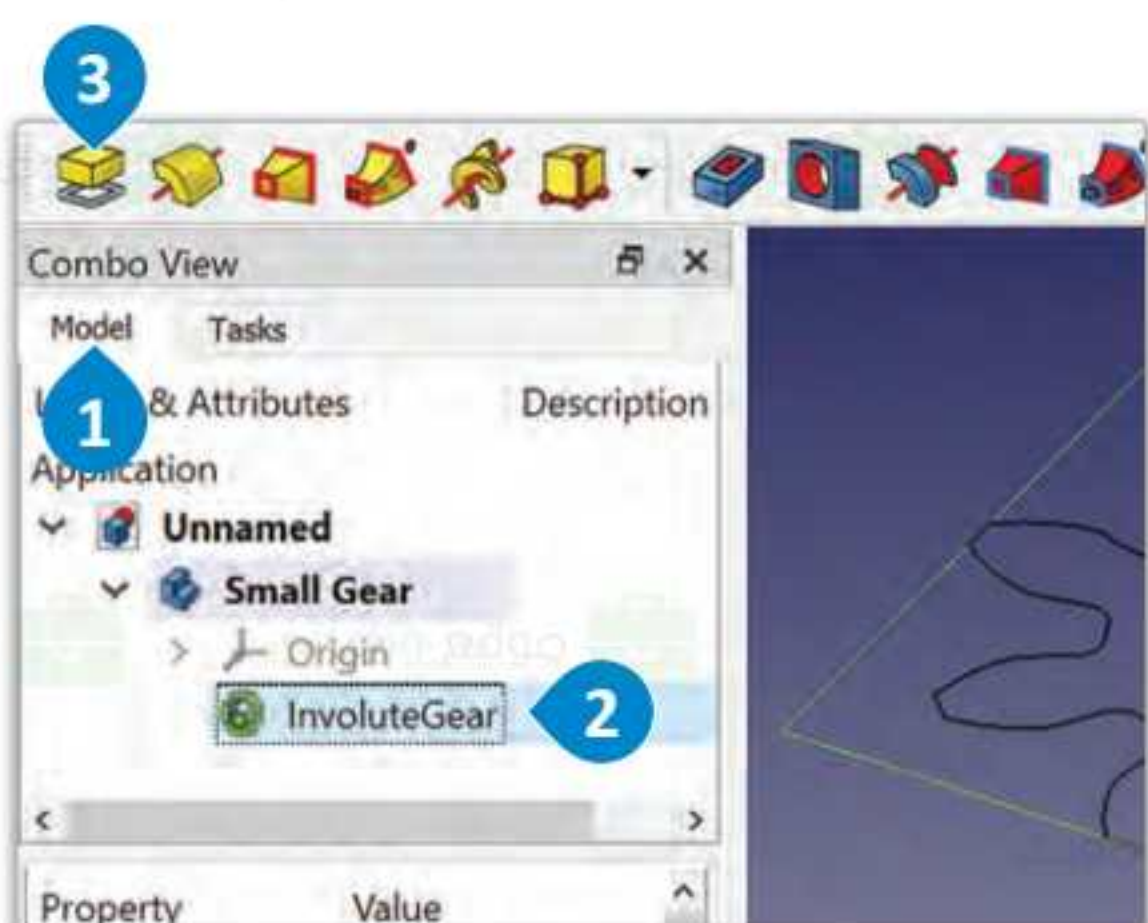
تم إنشاء InvoluteGear (ترس أسطواناني منحني) في شجرة النموذج.



سيكون الترس الذي تم إنشاؤه نموذجاً صلباً ثلاثي الأبعاد، ويمكنك بعد ذلك تعديله ومعالجته بشكل أكبر.

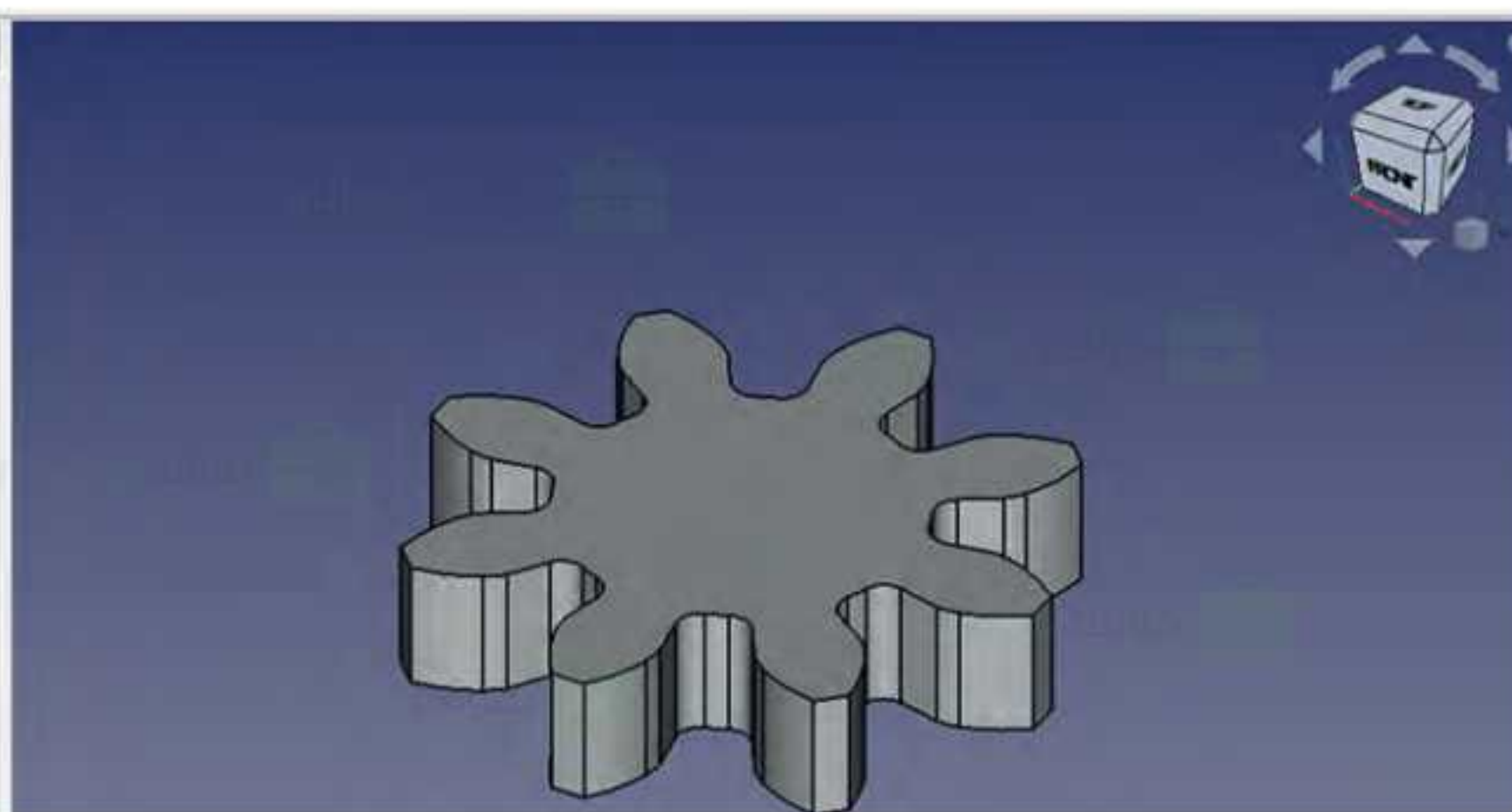
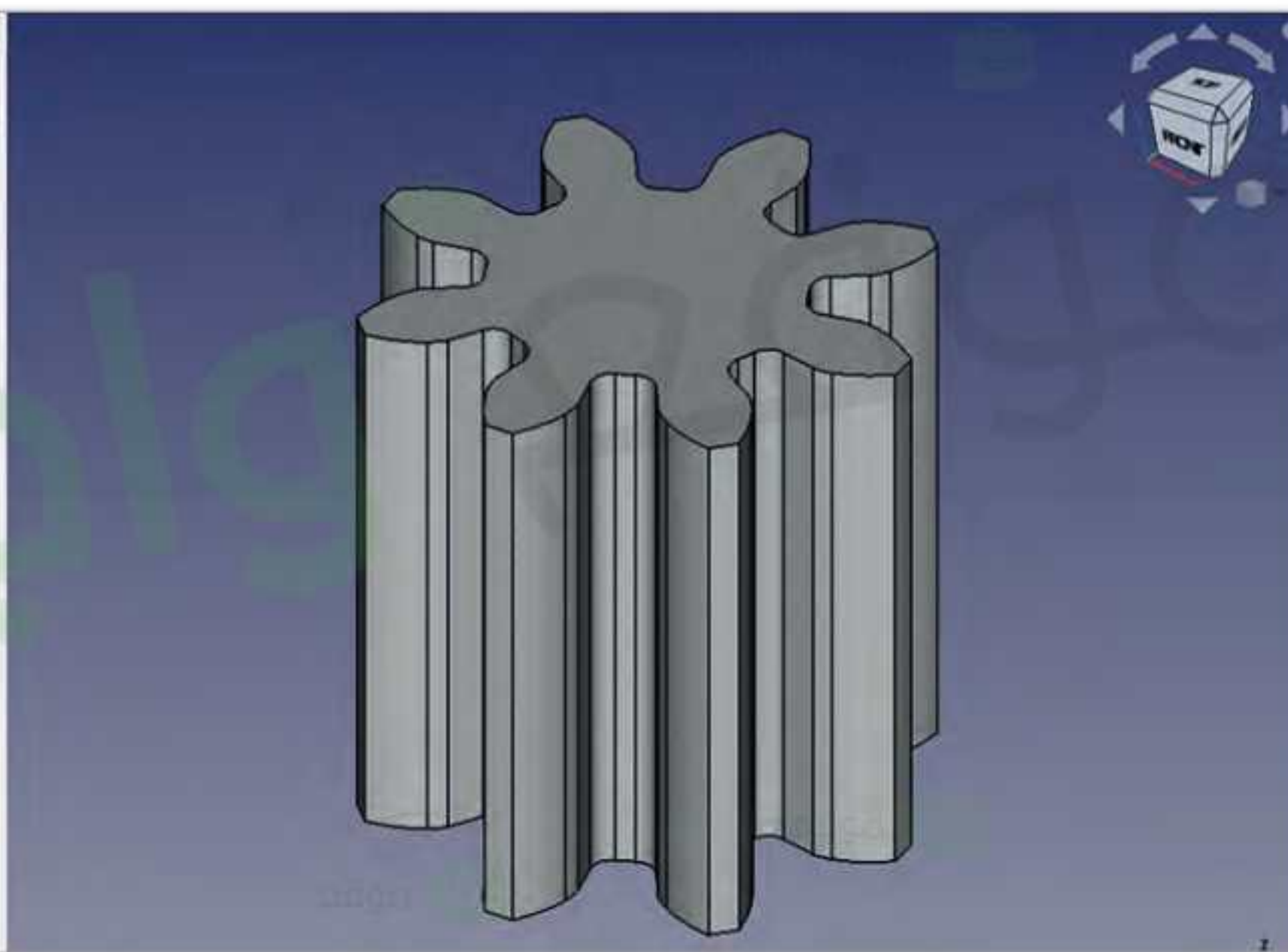
شكل 2.45: إضافة ترس أسطواناني منحني

بعد إدخال جميع المعاملات المطلوبة وإنشاء الترس المكوّن من ثمانية أسنان كمجسم ثنائي الأبعاد، ستستخدم أداة البطانة (Pad) لتغييره إلى ترس ثلاثي الأبعاد.



لجعل الترس شكلاً ثلاثي الأبعاد:

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



شكل 2.46: جعل الترس شكلاً ثلاثي الأبعاد

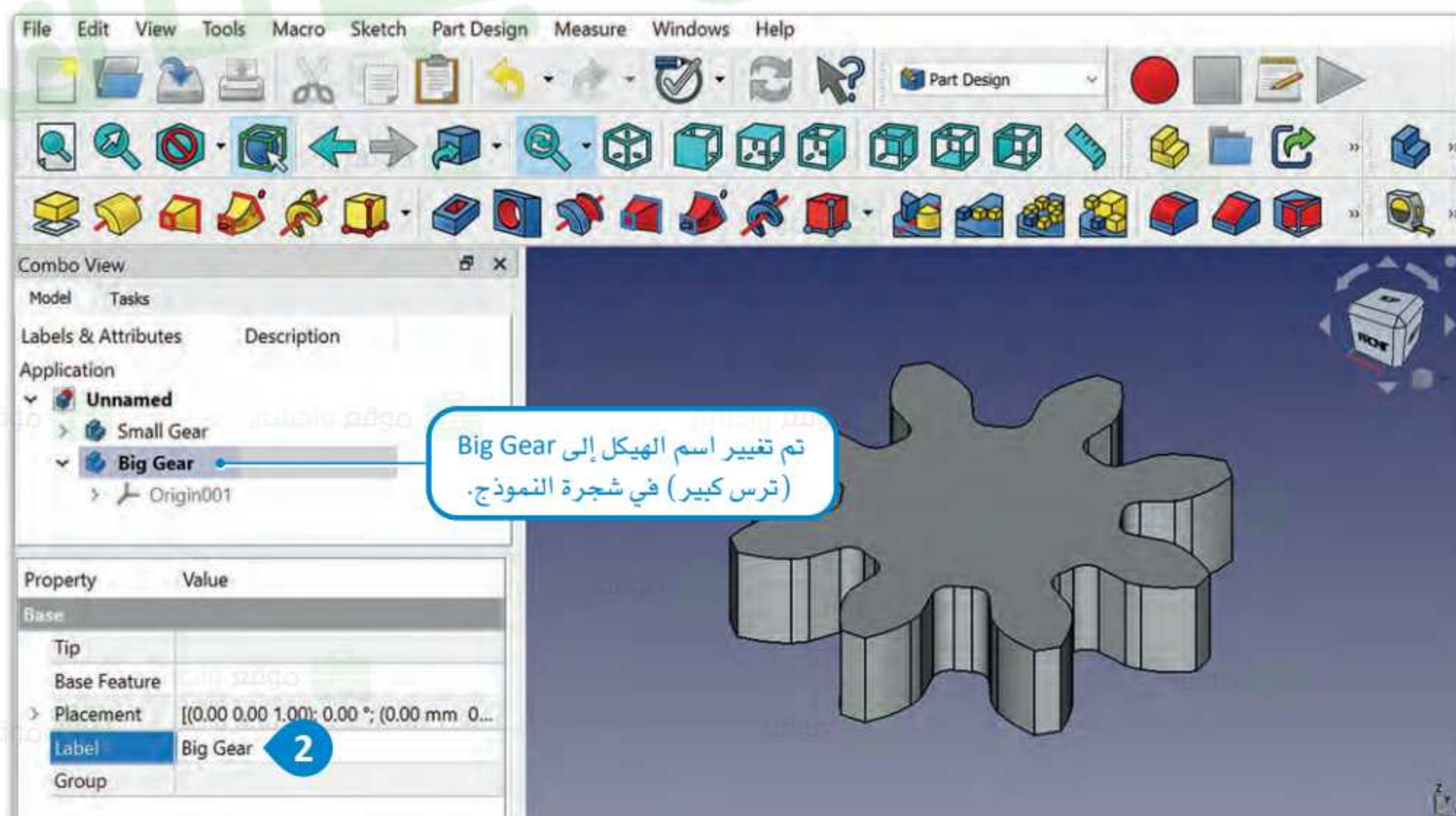
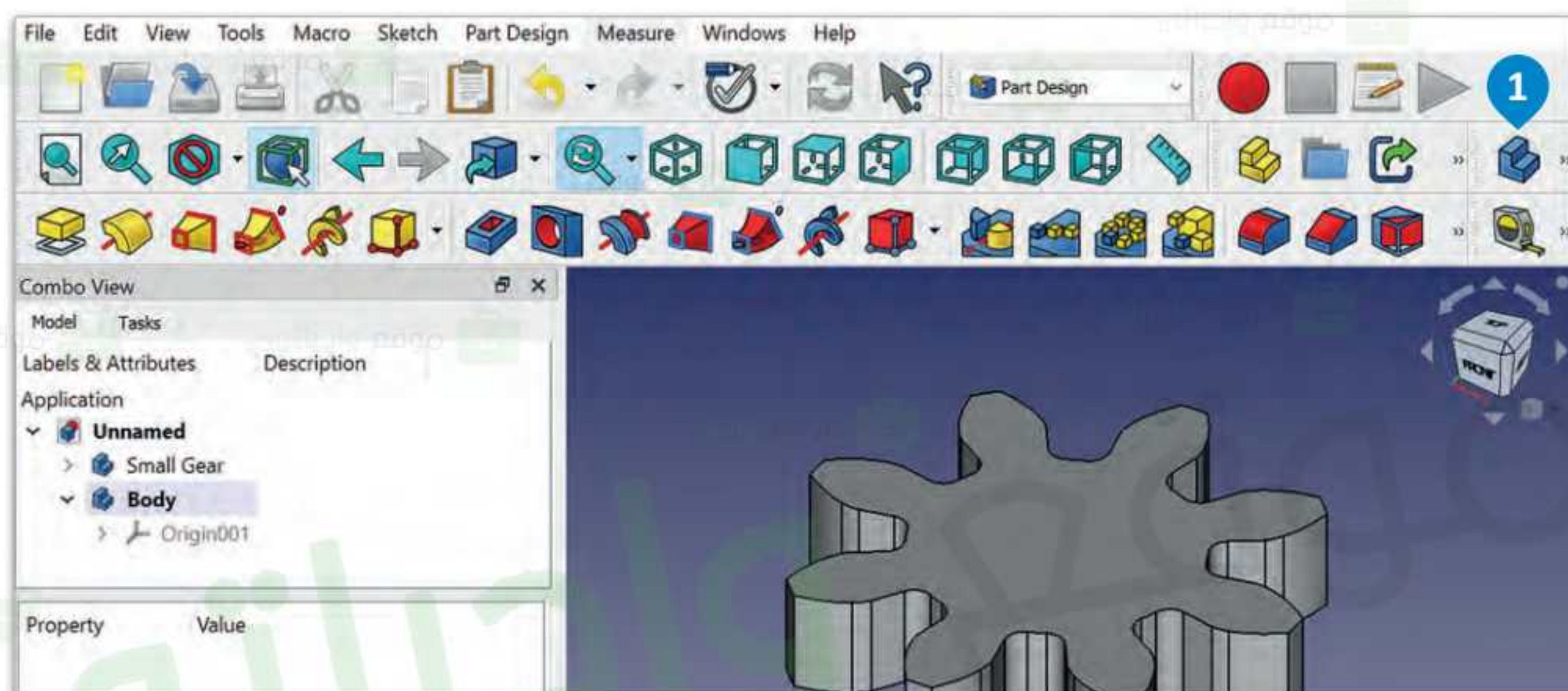


تصميم ترس ذي أربعة وعشرين سنًا

سُتُنشَى الآن هيكلًا ثانيًا نستخدمه لإنشاء ترس ذي أربعة وعشرين سنًا.

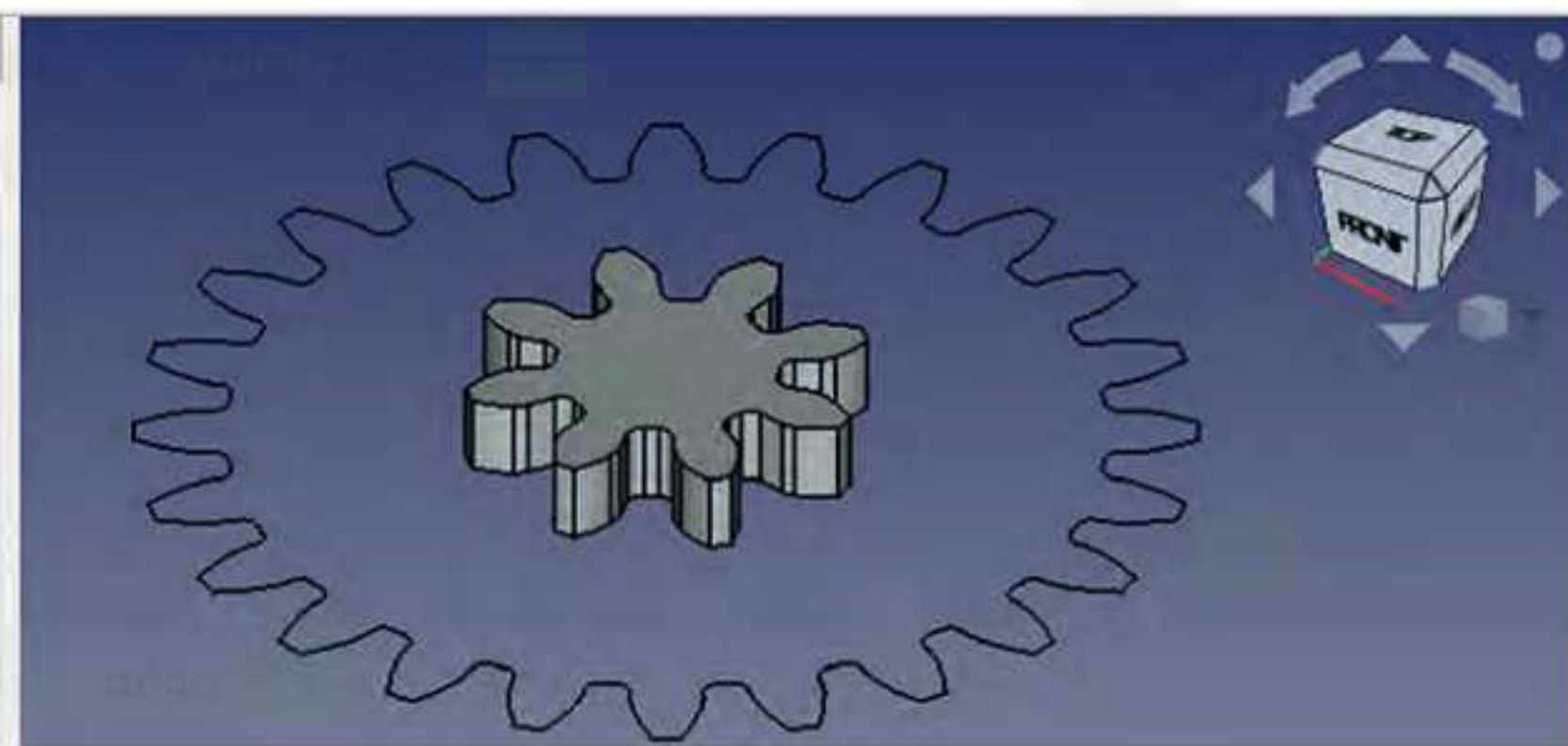
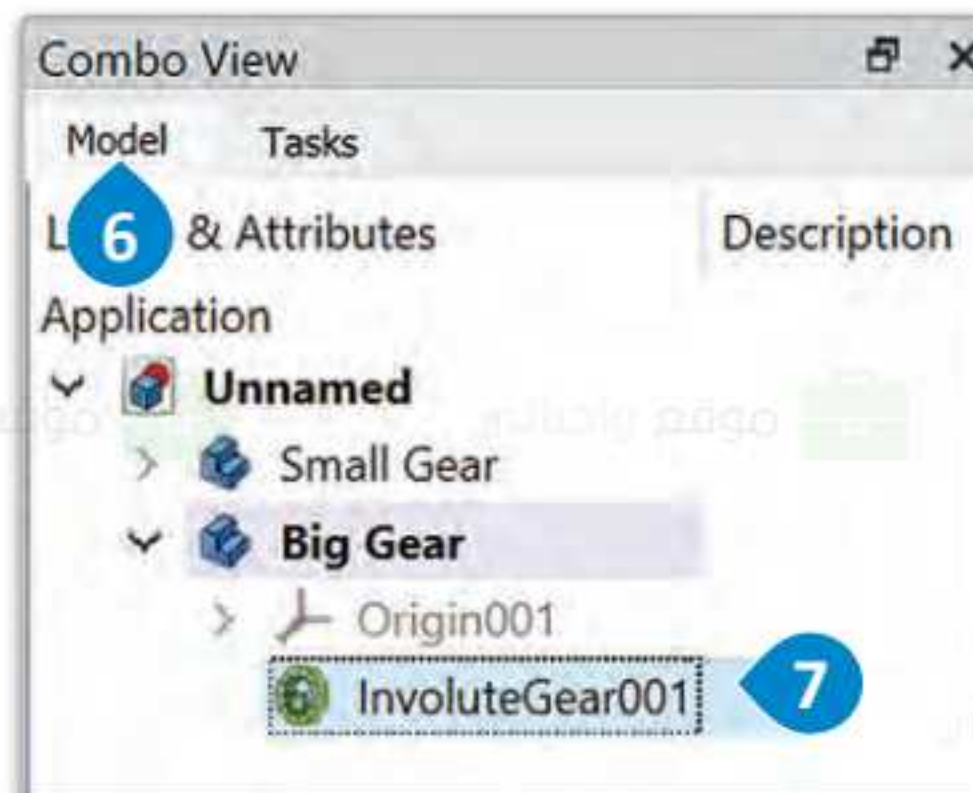
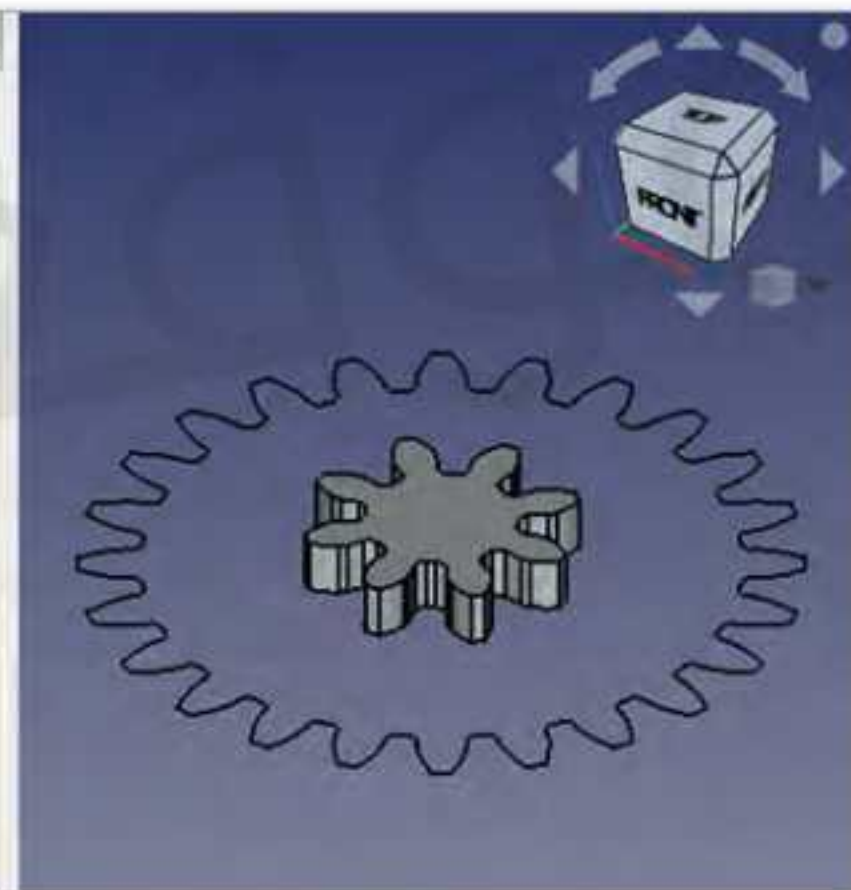
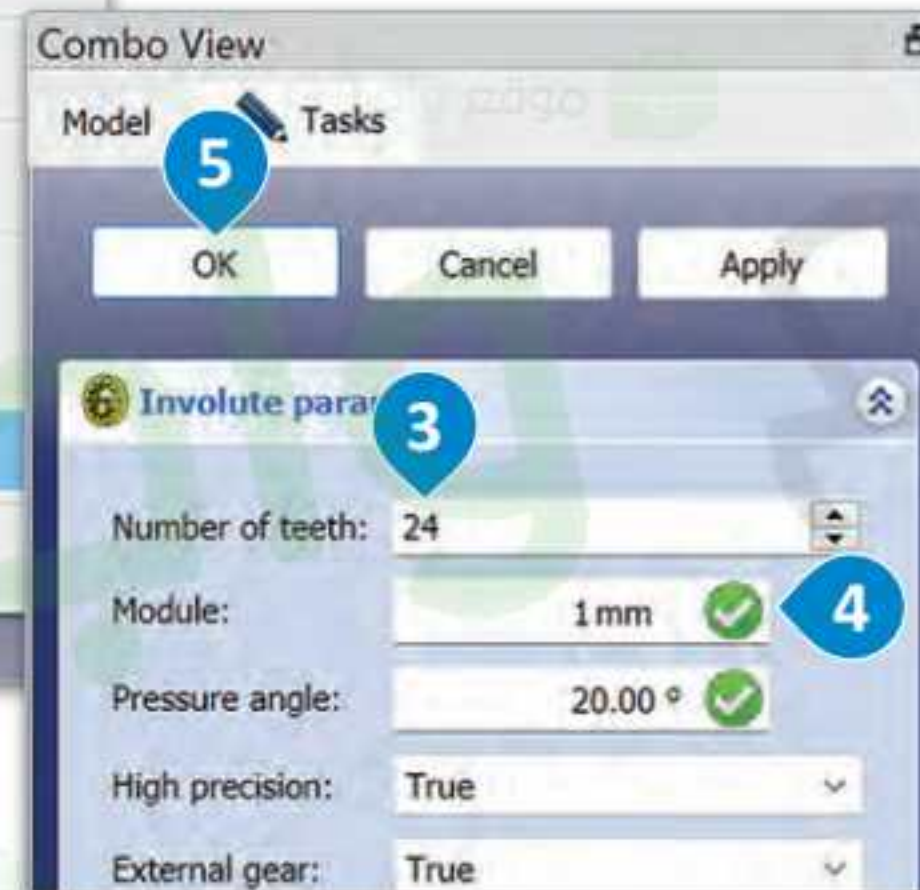
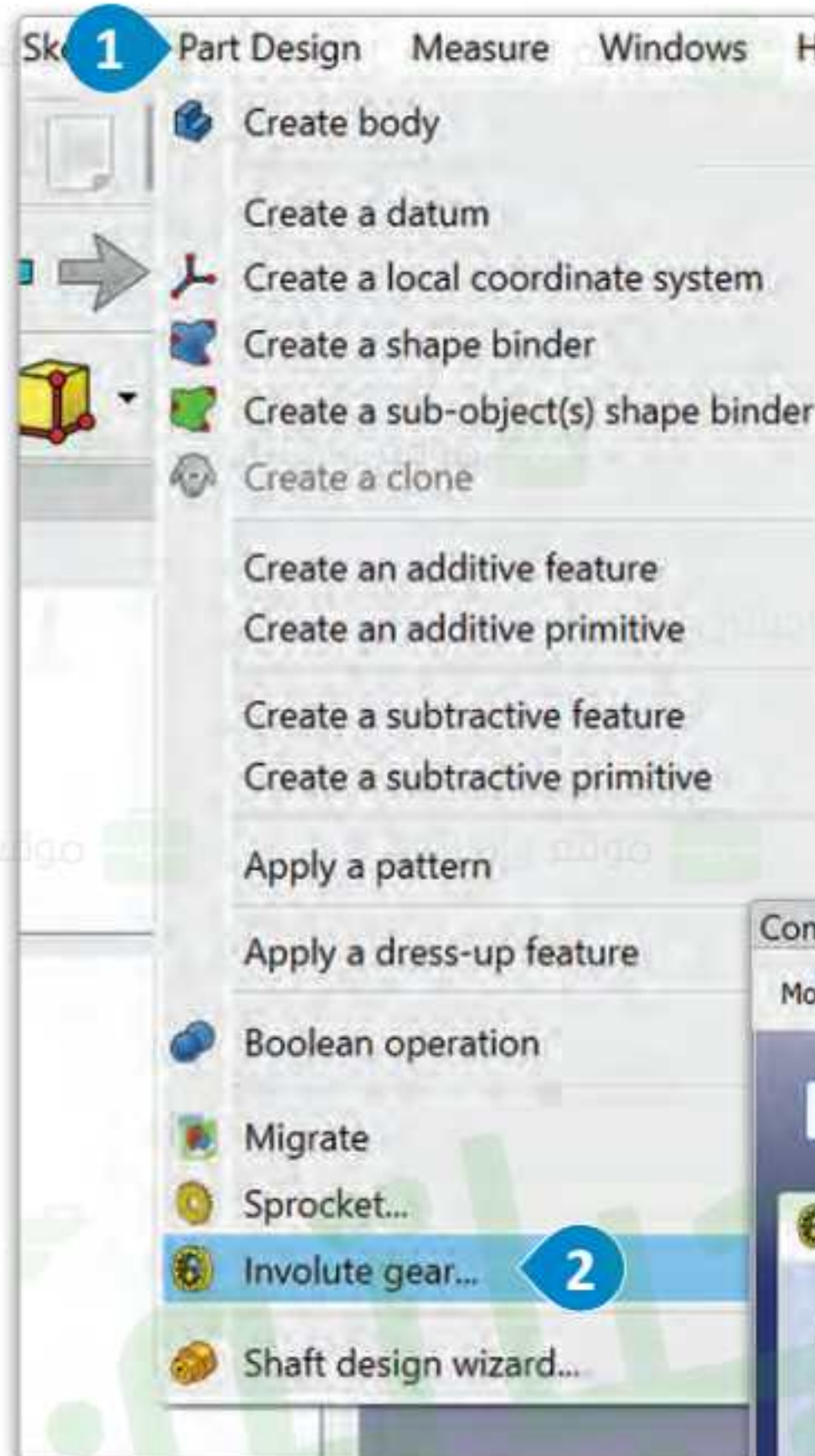
لإنشاء هيكل الترس ذي أربعة وعشرين سنًا:

- 1 < من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create body (إنشاء هيكل).
- 2 < من علامة تبويب Data (البيانات)، غير Label (التسمية) إلى Big Gear (الترس الكبير).



شكل 2.47: إنشاء هيكل ترس ذي أربعة وعشرين سنًا

بعد أن أنشأت الهيكل الصلب، استخدم أداة الترس الأسطواناني المنحني (Involute Gear) لإنشاء الترس المكوّن من أربعة وعشرين سنًا.



شكل 2.48: إضافة الترس الأسطواناني المنحني

معلومة

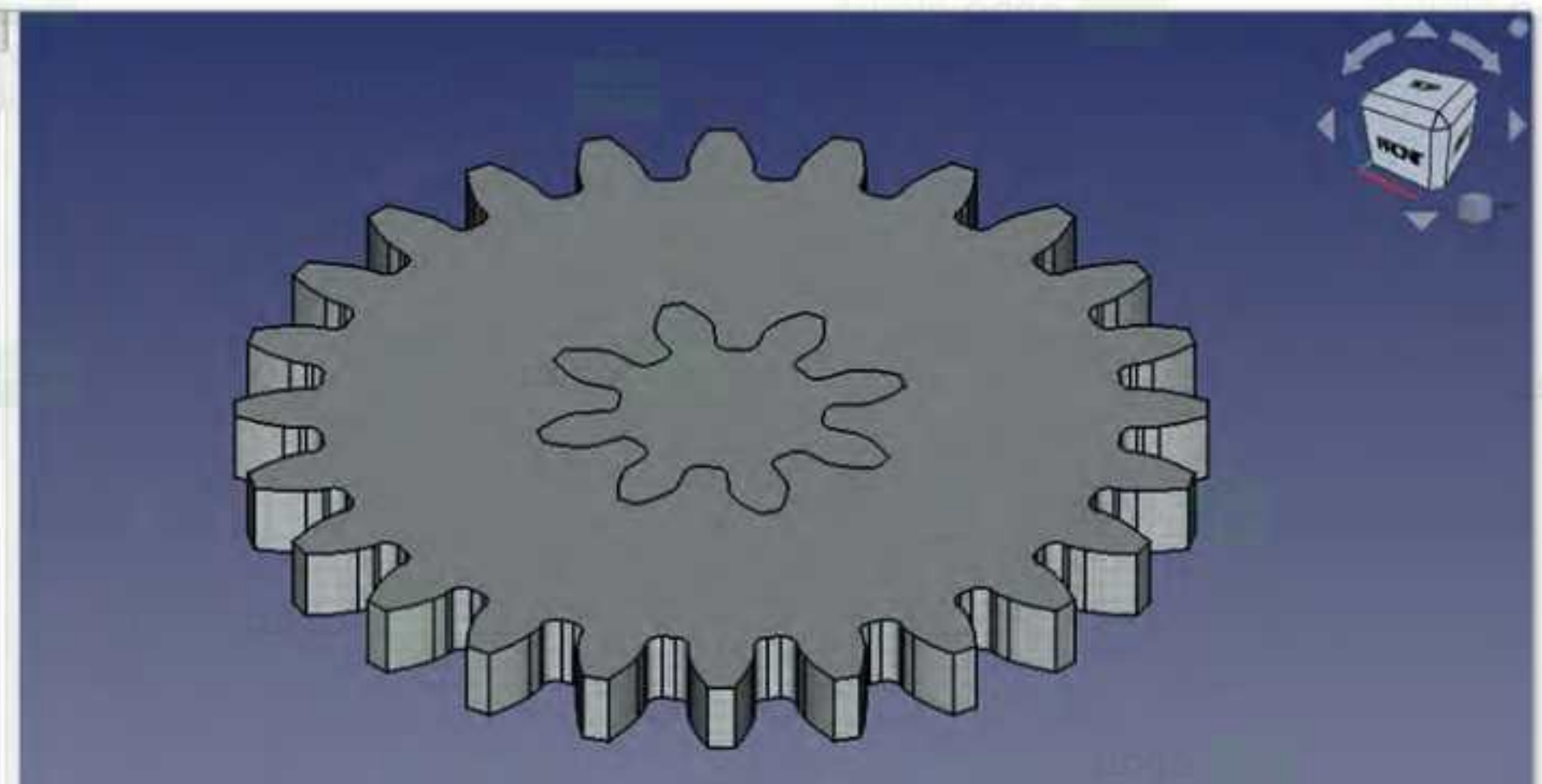
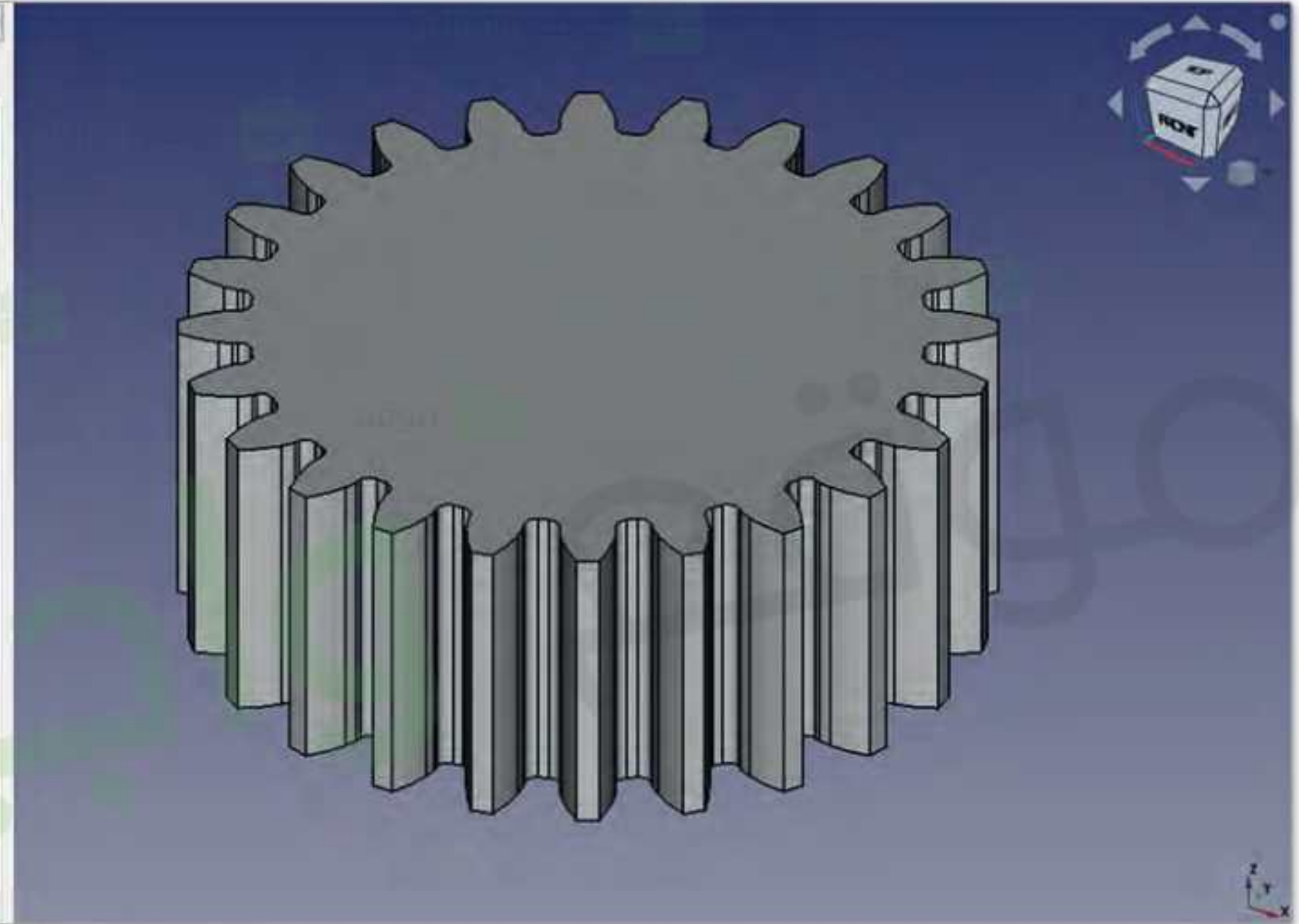
يشير ضبط قيمة الوحدة القياسية على 1.00 ملليمتر إلى أن أسنان التروس ستكون بعرض 1.00 ملليمتر وارتفاع 1.00 ملليمتر، وهو المقياس الشائع للتروس الصغيرة المستخدمة في مختلف التطبيقات.

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



لجعل الترس شكلًا ثلاثي الأبعاد:

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



شكل 2.49: جعل الترس شكلًا ثلاثي الأبعاد

تشابك التروس Gears Engagement

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



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

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

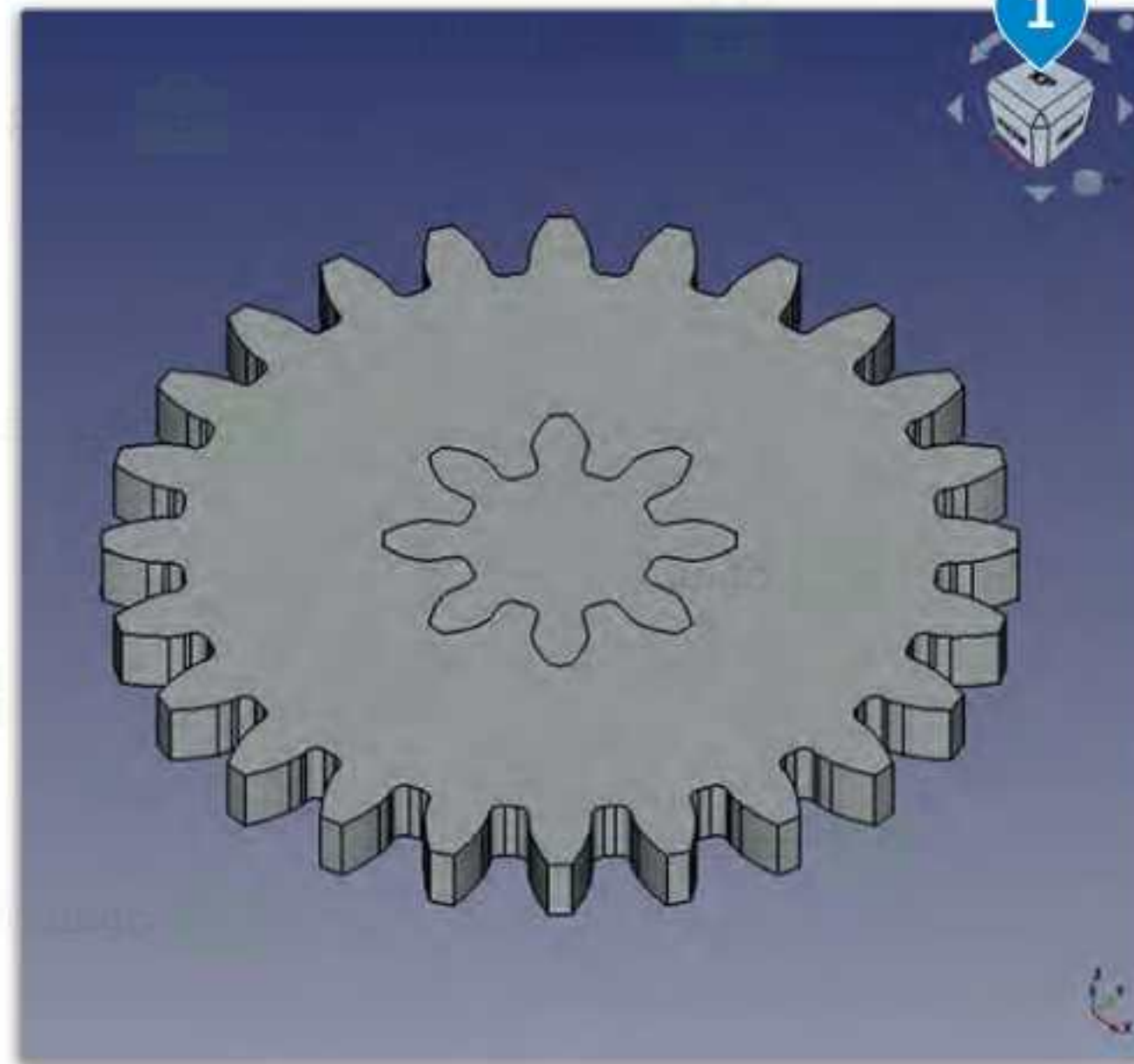
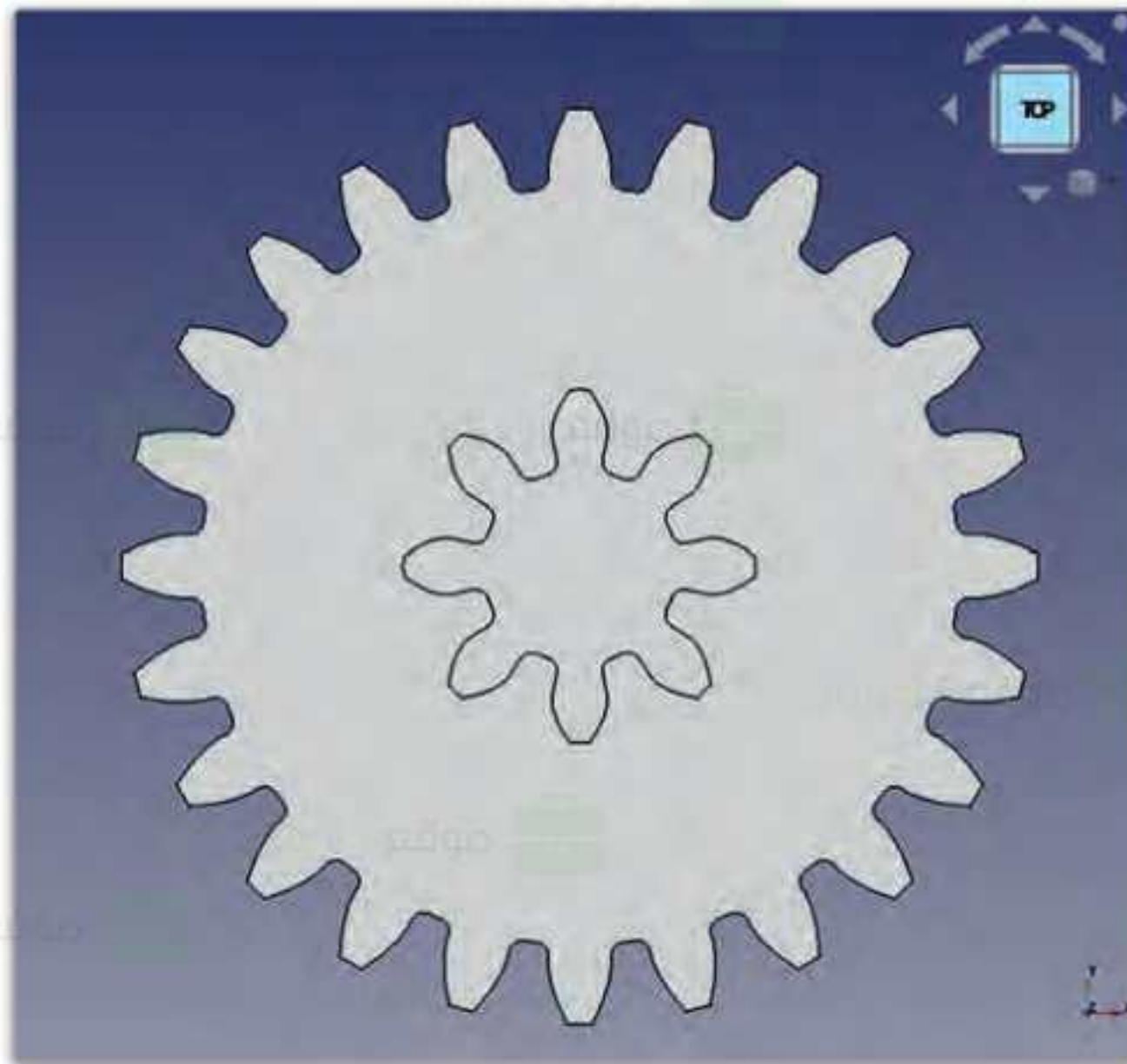
في الترسين الكبير والصغير. "T1" و "T2" هما عدد الأسنان

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

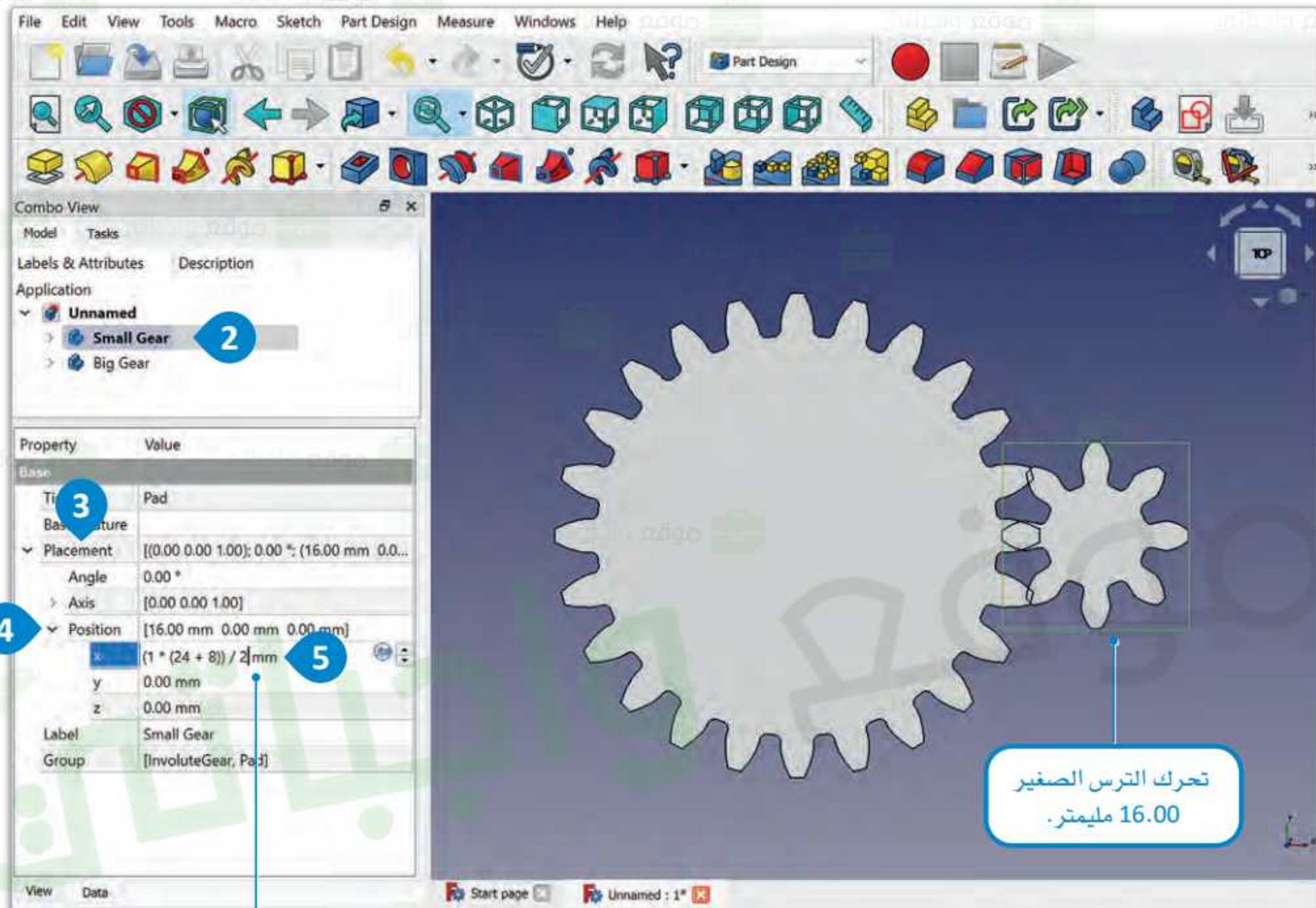
ستستخدم الآن الصيغة أعلاه لتحريك الترس المكوّن من ثمانية أسنان للتأكد من أن التروس تتشابك بشكل صحيح وتعمل على النحو السليم.

لتحريك الترس الصغير:

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



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



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

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

شكل 2.50: تحريك الترس الصغير

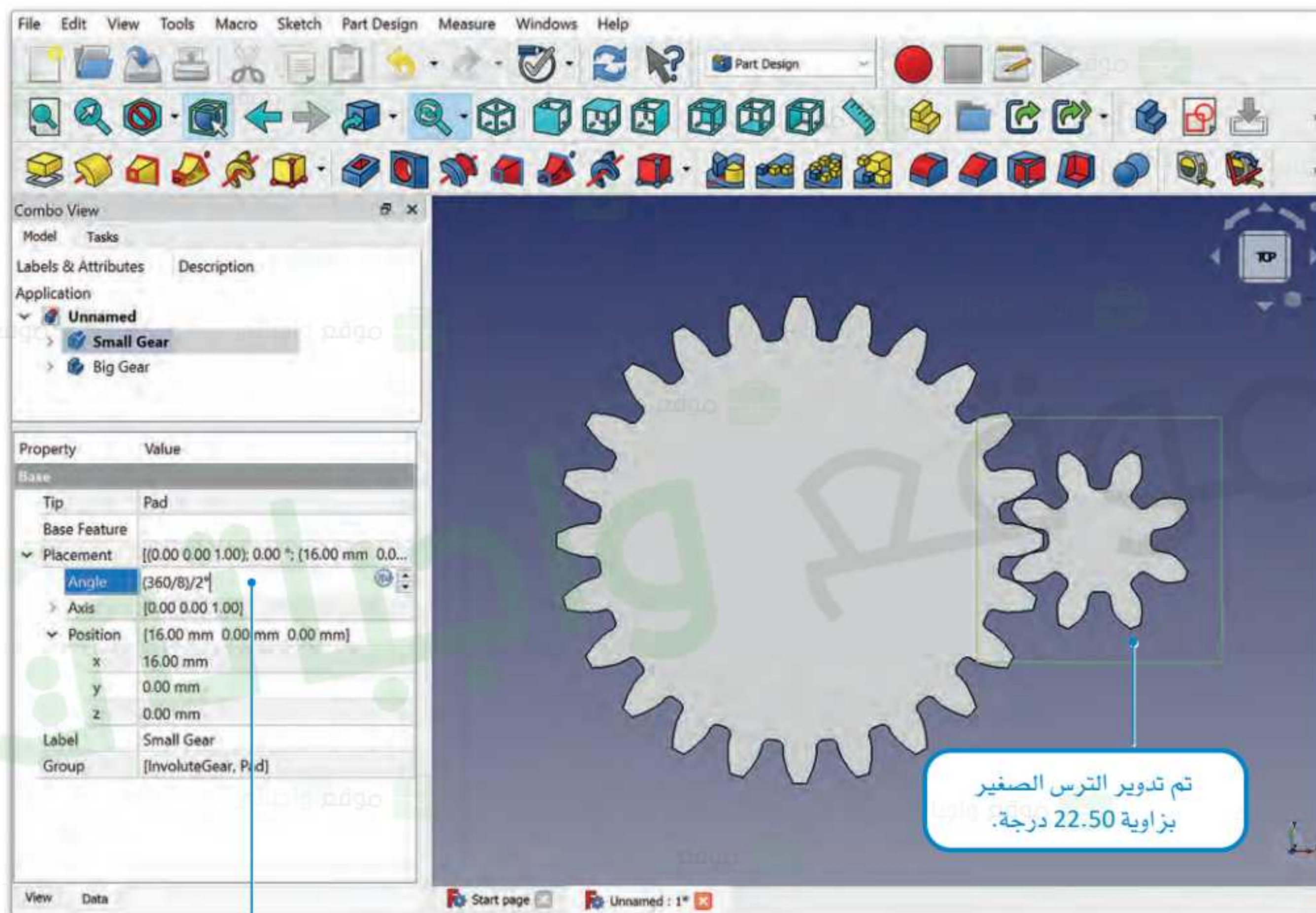
معلومة

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



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

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



استخدم الصيغة
(360/8) / 2°
لتدوير الترس الصغير.

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

شكل 2.51: تدوير الترس الصغير

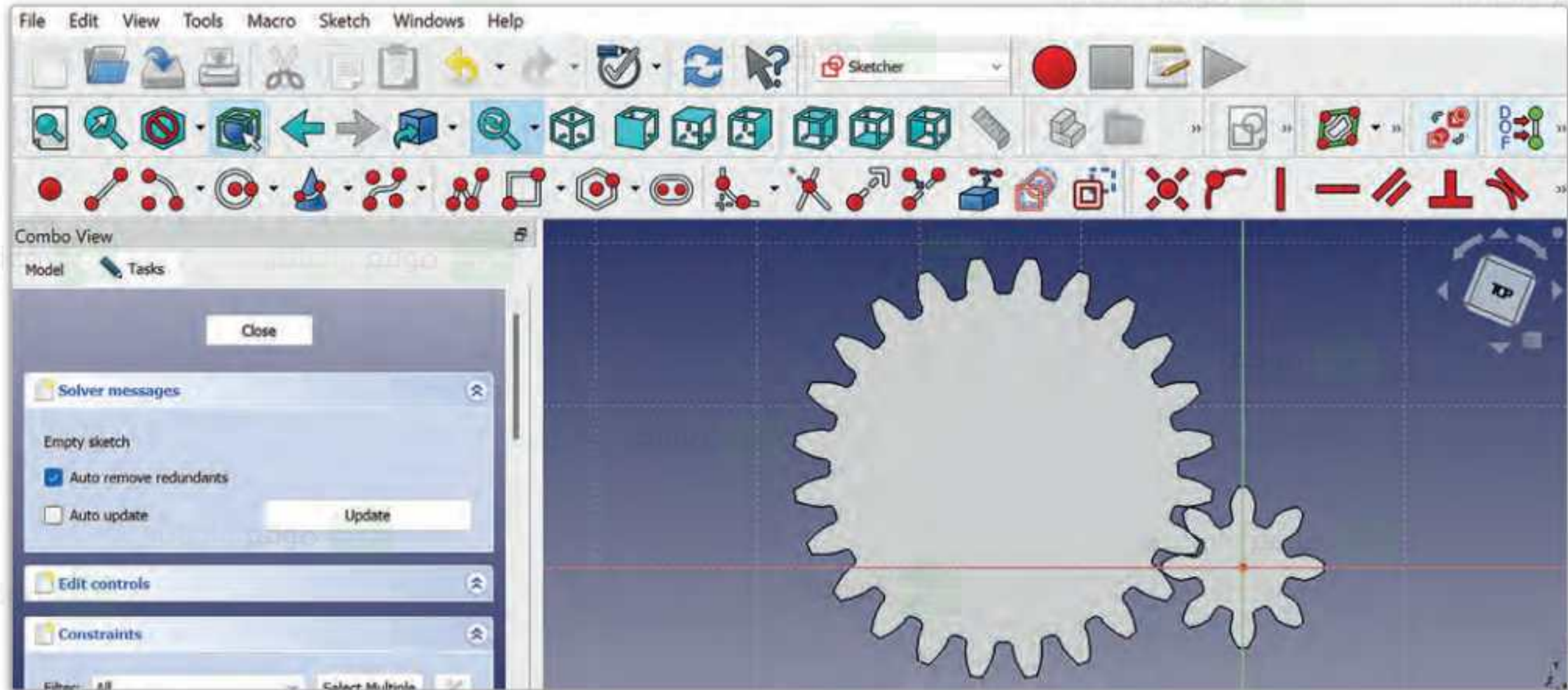
إنشاء ثقب داخل التروس Making Holes in the Gears

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

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

لإنشاء رسم تخطيطي في السطح العلوي للترس الصغير:

- 1 < من علامة تبويب Model (النموذج)، اضغط ضغطًا مزدوجًا لتحديد Small Gear (الترس الصغير).
- 2 < اضغط على Small Gear (الترس الصغير) لتحديد سطحه العلوي.
- 3 < من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Create sketch (إنشاء رسم تخطيطي).

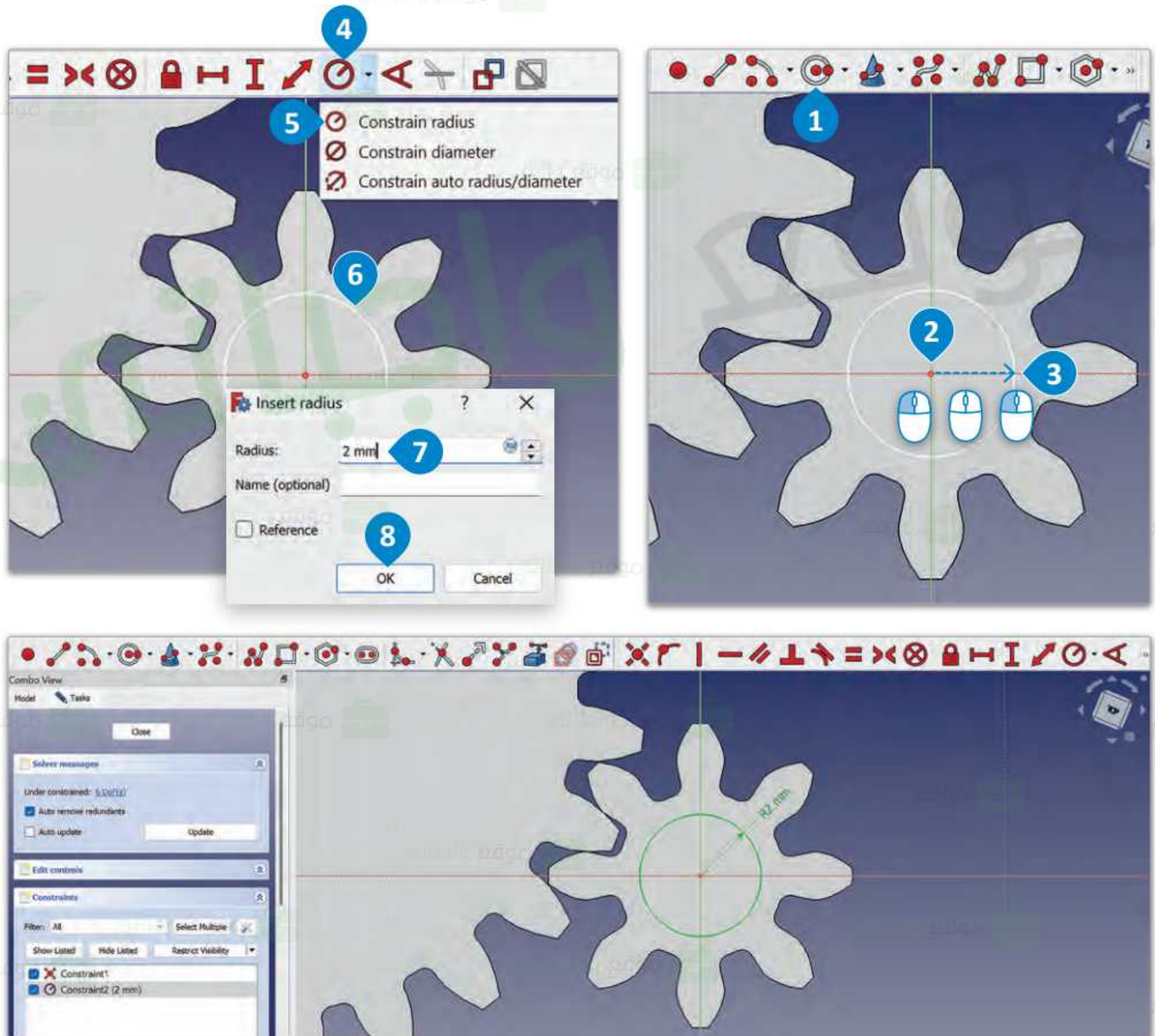


شكل 2.52: إنشاء رسم تخطيطي في السطح العلوي للترس الصغير

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

لإنشاء دائرة:

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



شكل 2.53: إنشاء دائرة

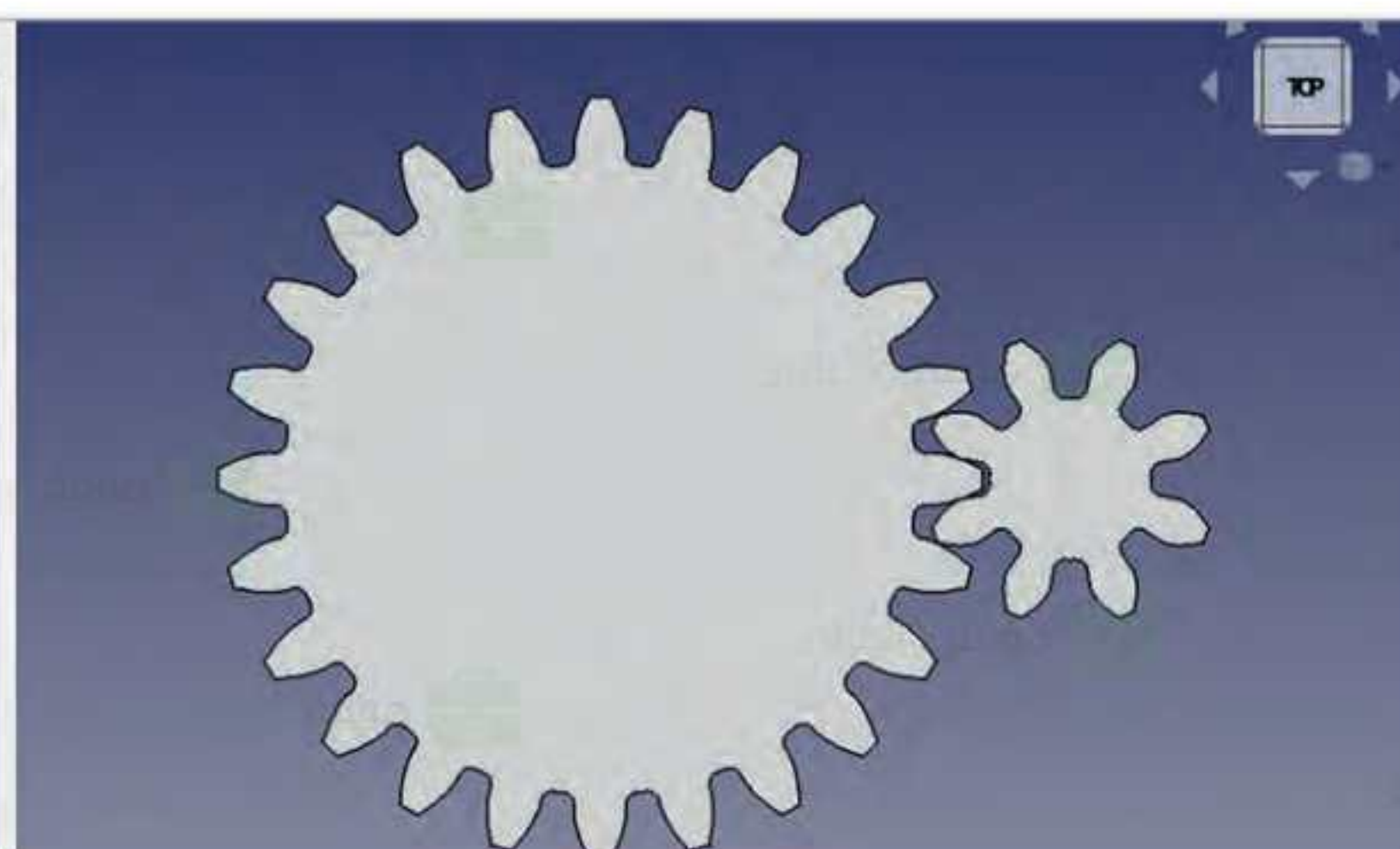
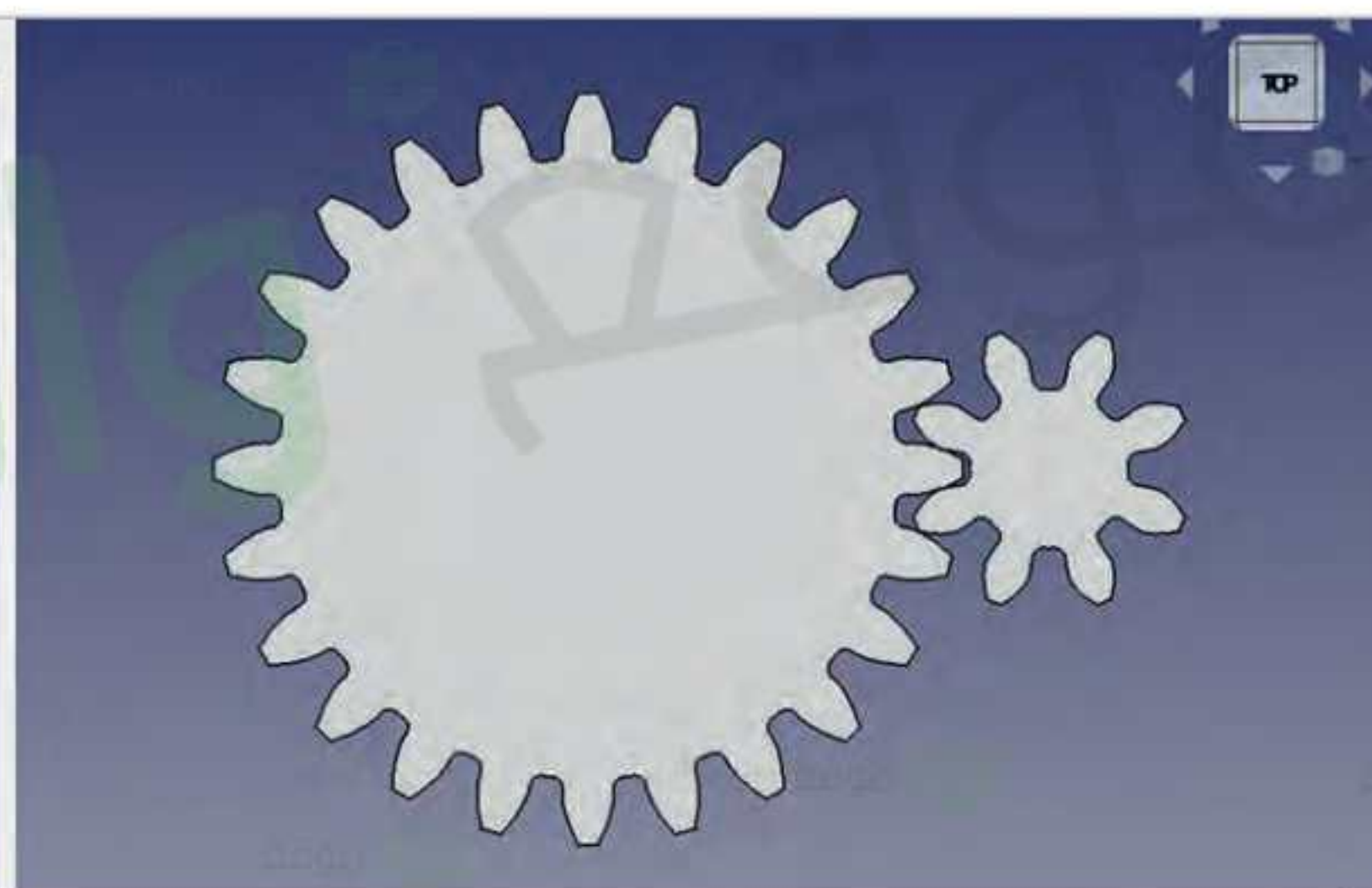


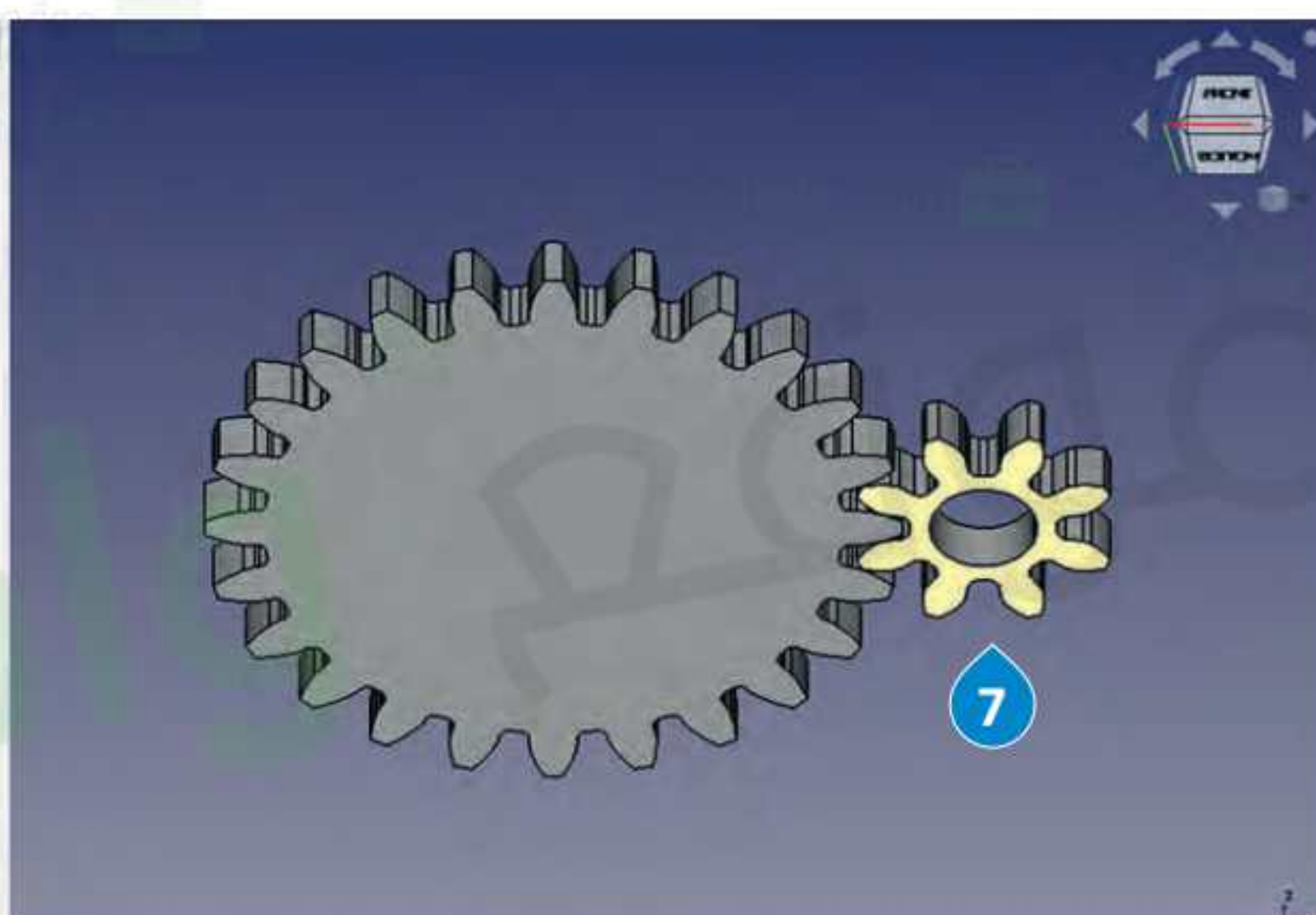
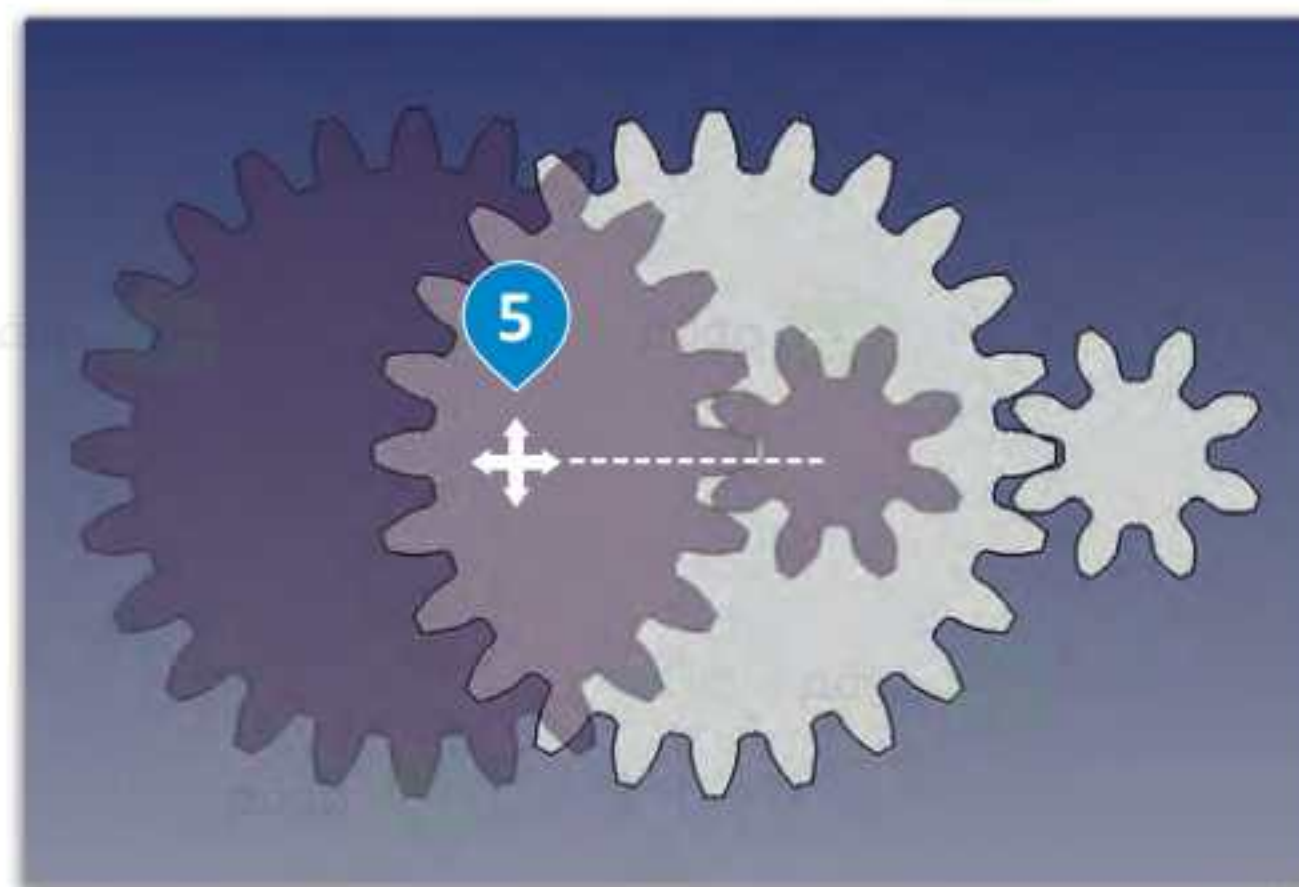
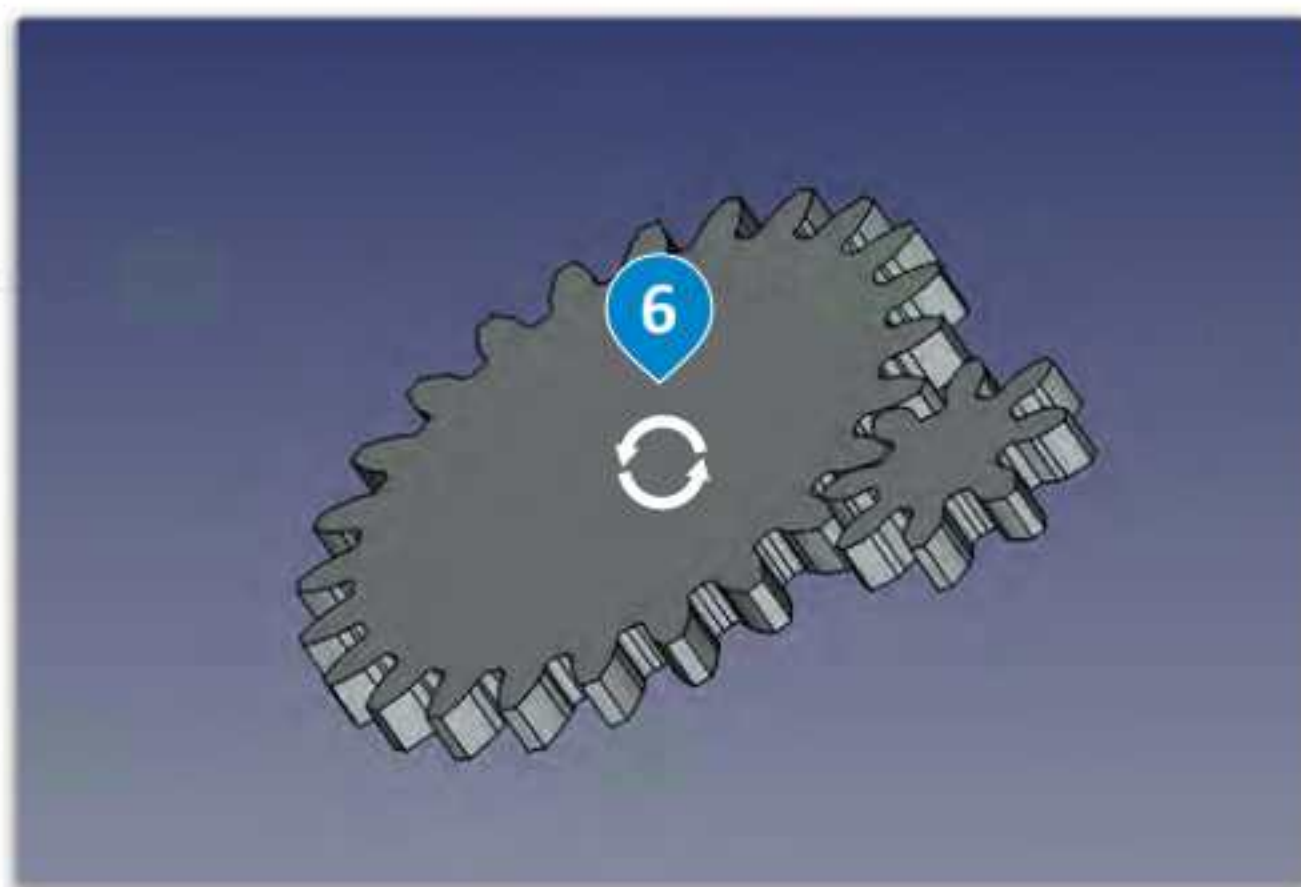
ستستخدم الآن أداة التجويف (Pocket) التي تتيح لك إنشاء ثقب أو تجويف في الهيكل.



لإنشاء ثقب:

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





شكل 2.54: إنشاء ثقب

جدول 2.7: خيارات العرض

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

من خلال ضبط نوع التجويف (Pocket) إلى أعلى الوجه (Up to face)، فإنك تحدد أن التجويف (Pocket) سيمر عبر الهيكل بأكمله وصولاً إلى الوجه المحدد، يُعد هذا مفيداً لإنشاء الثقوب في التروس، حيث يتيح لك توصيلها بأجزاء أخرى في المستقبل.

معلومة

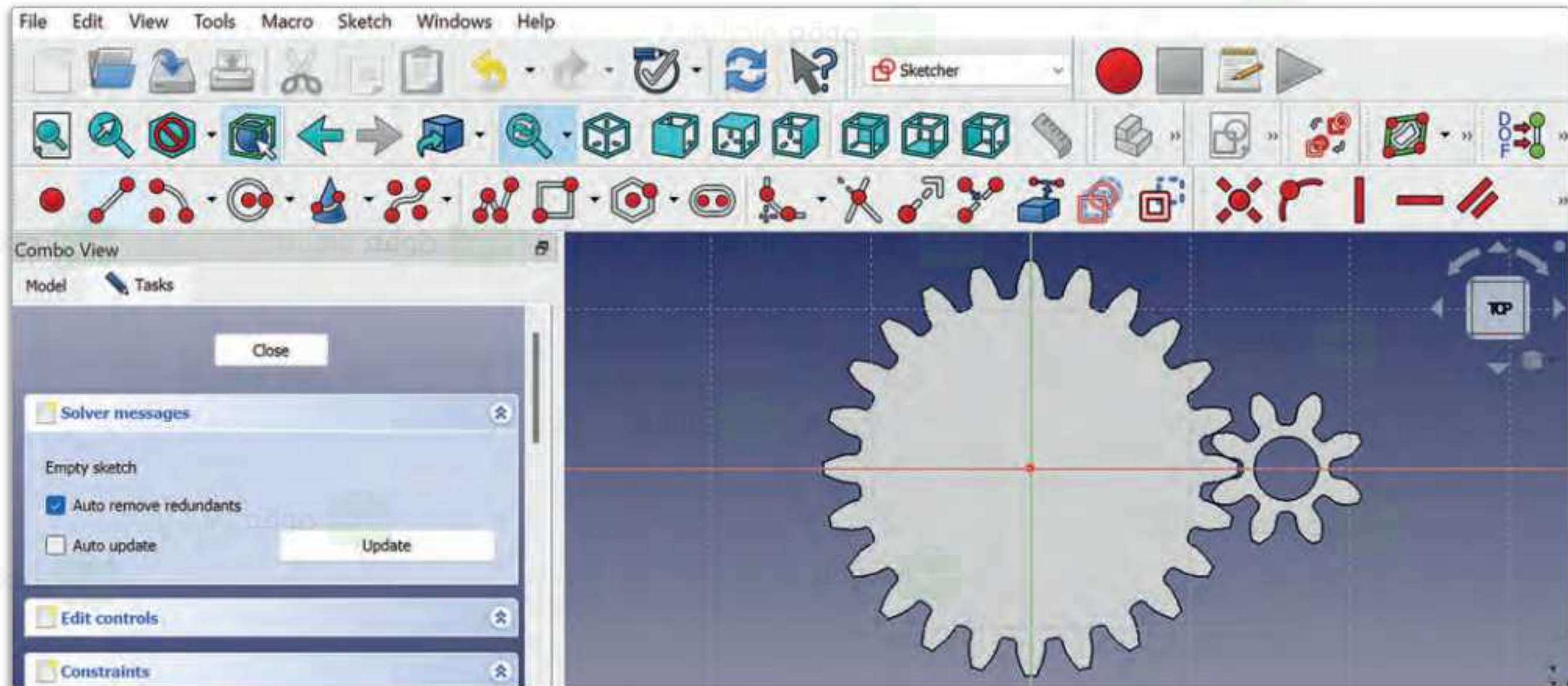
يمكنك تمرير عجلة الفأرة لأعلى ولأسفل للتكبير والتصغير، أو استخدام أزرار التكبير والتصغير من شريط الأدوات.

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

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

لإنشاء رسم تخطيطي على السطح العلوي للترس الكبير:

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

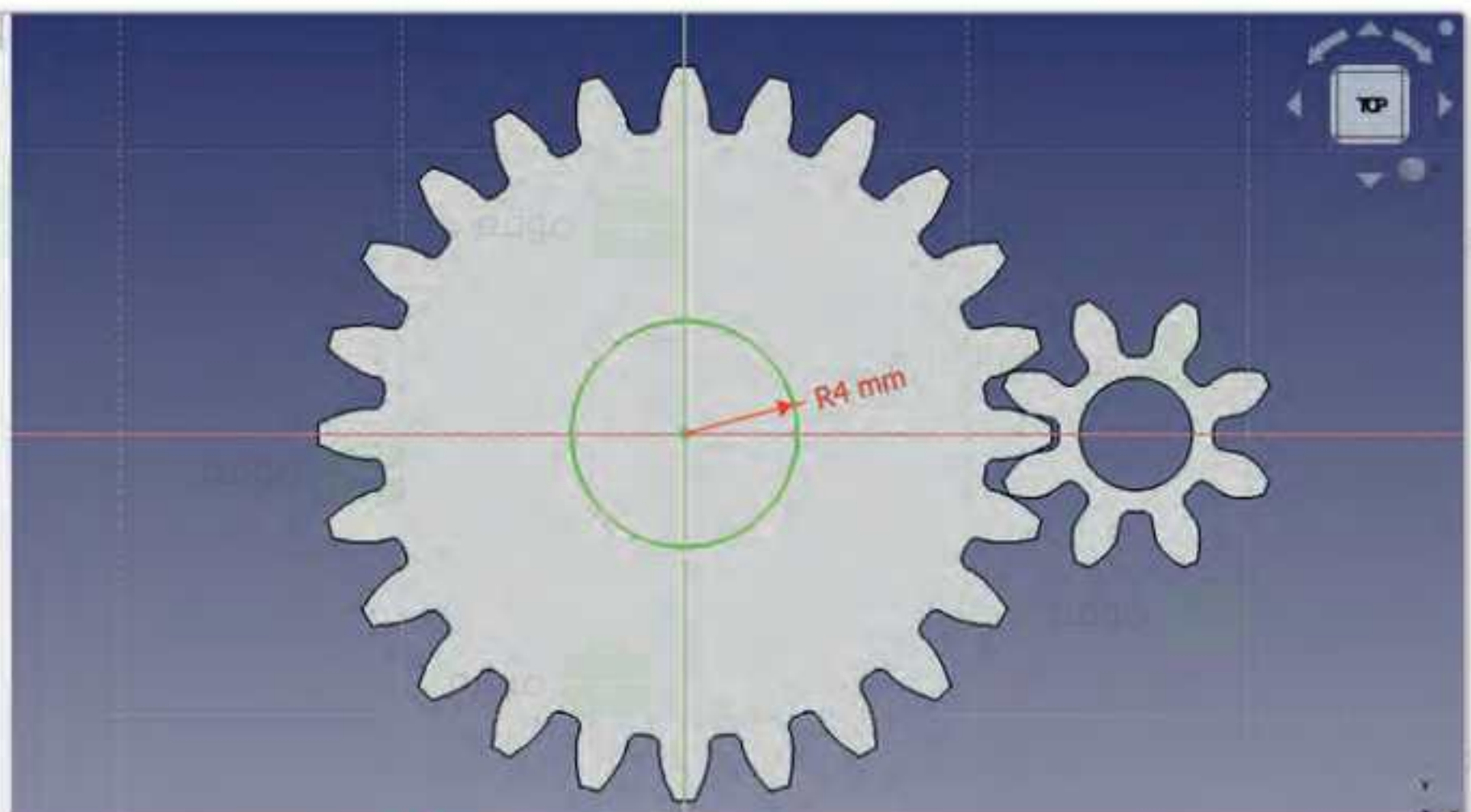
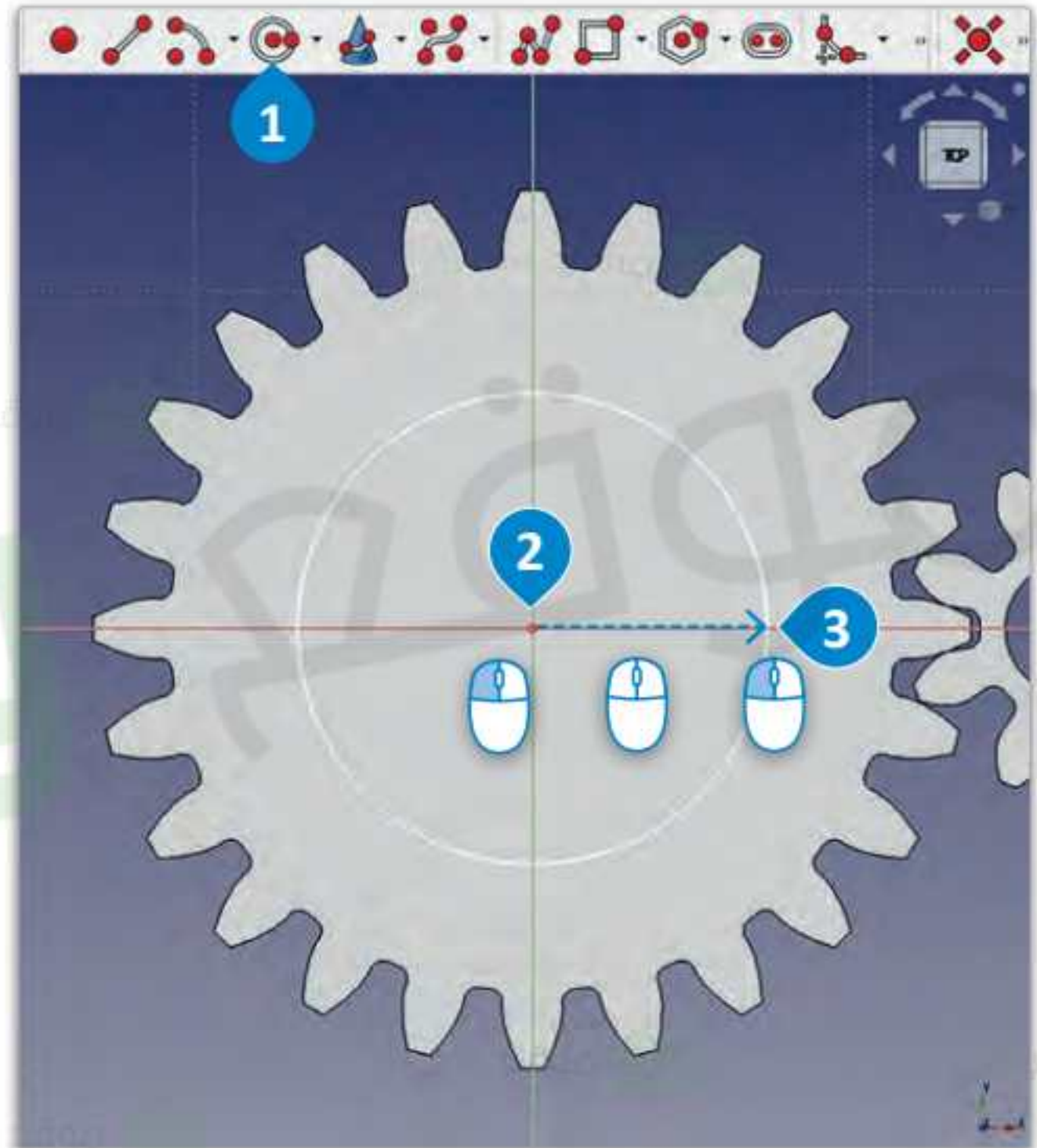
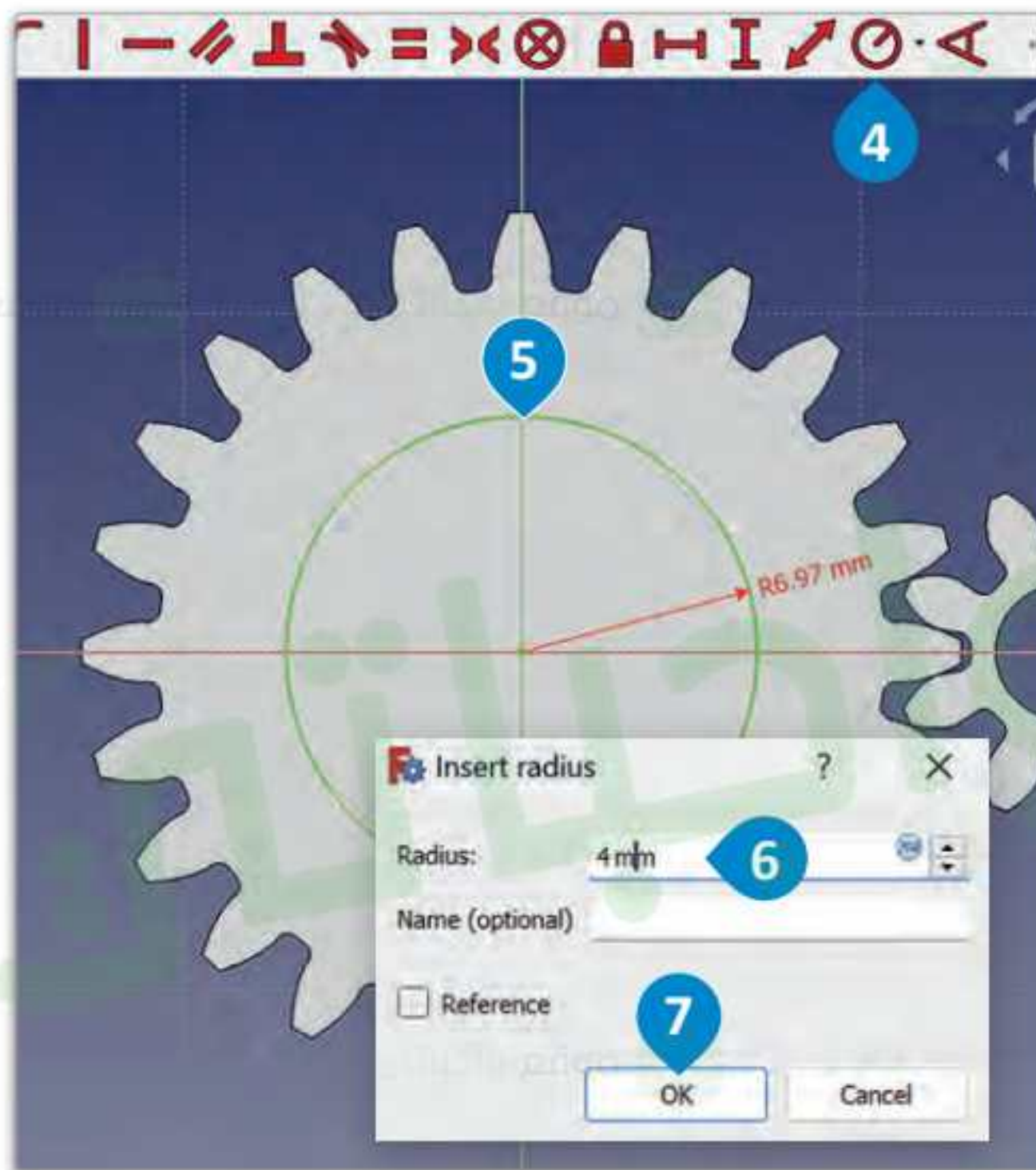


شكل 2.55: إنشاء رسم تخطيطي على السطح العلوي للترس الكبير

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

لإنشاء دائرة:

- < من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create circle (إنشاء دائرة)، وحدد مركز المحور، ثم اضغط لإنشاء الدائرة. 3
- < من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Constrain radius (تقييد نصف القطر)، ثم اختر الدائرة. 5
- < من نافذة Insert radius (إدراج نصف القطر)، اكتب 4 mm (4 ملمتر)، ثم اضغط على OK (موافق). 7

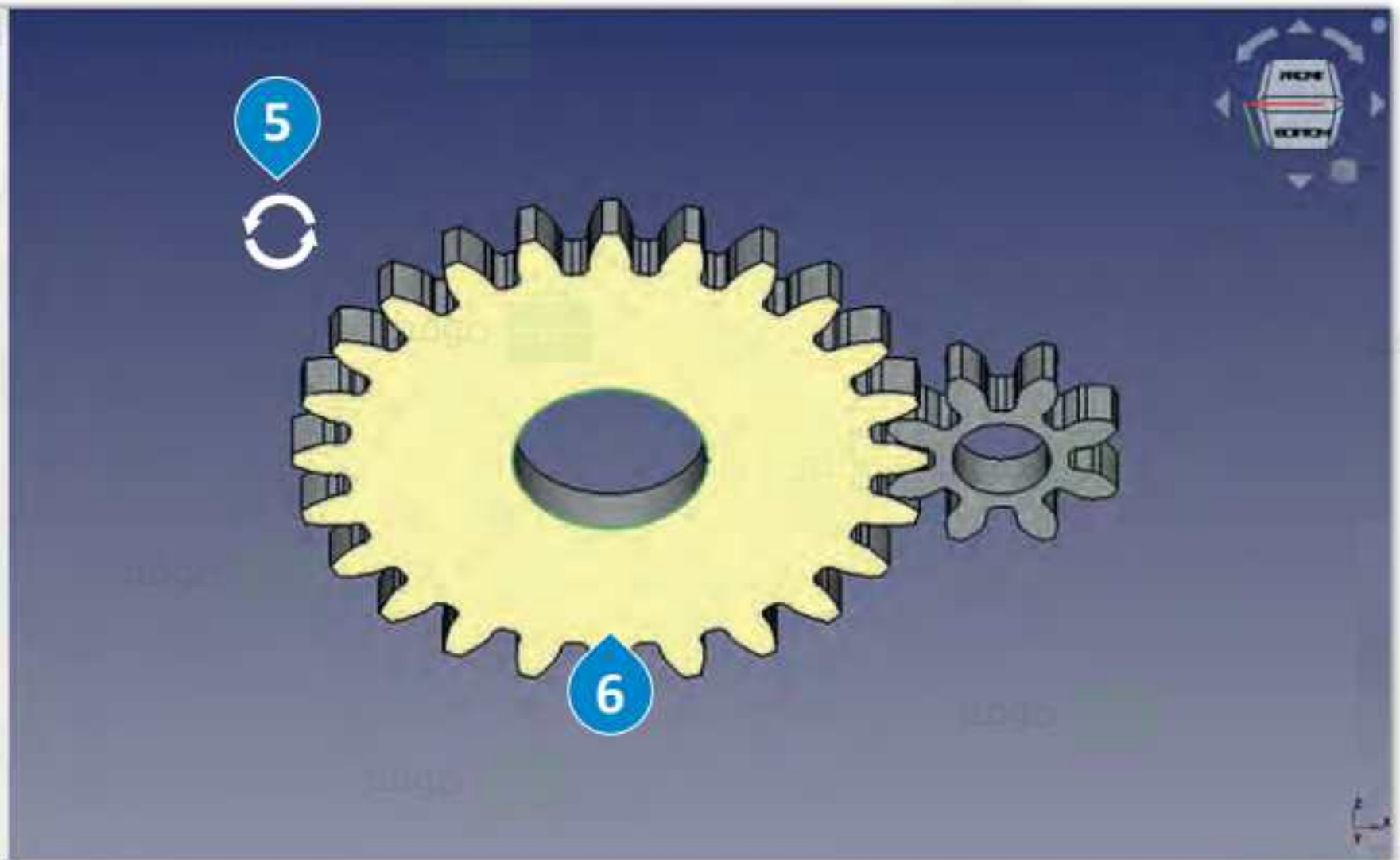
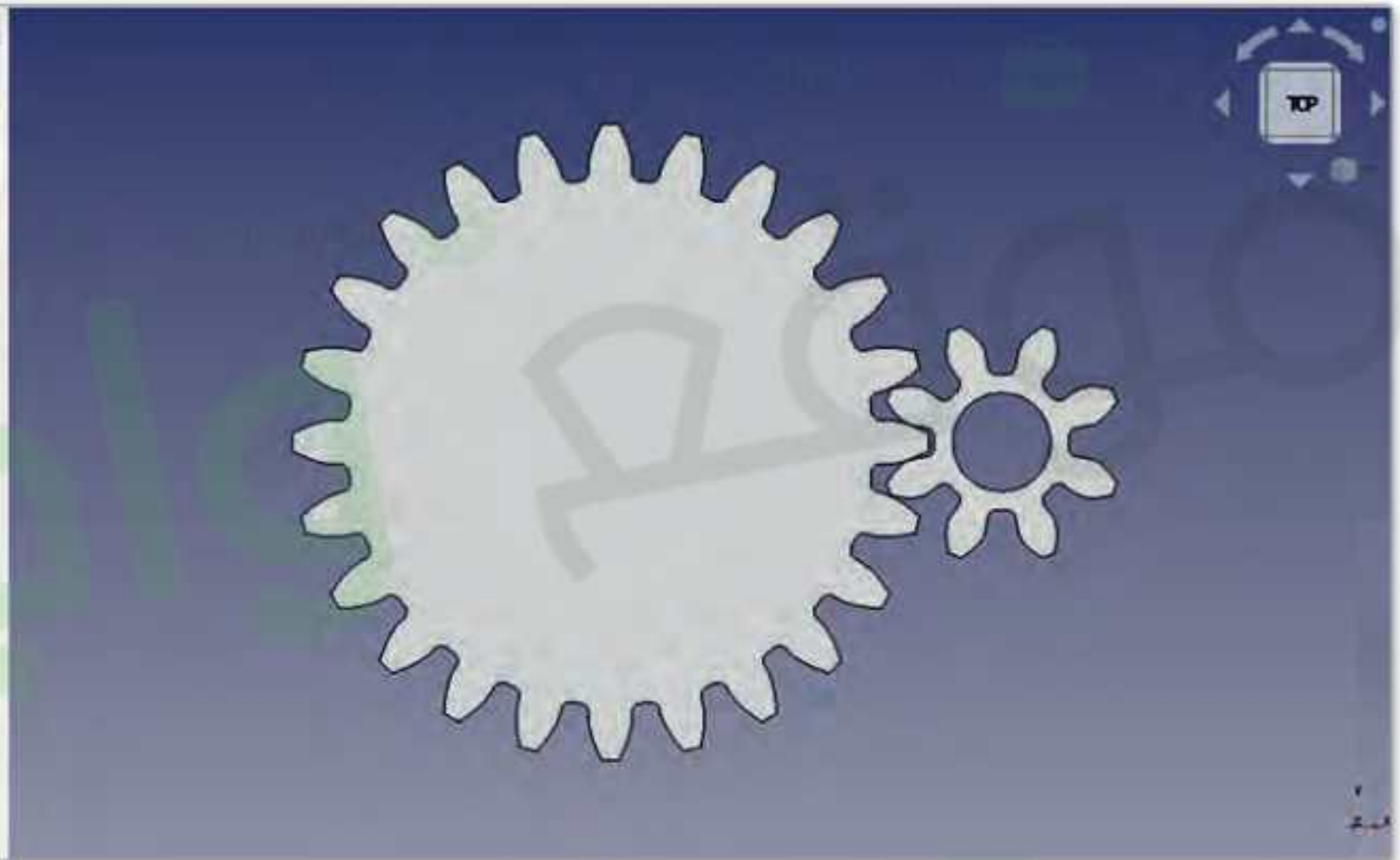


شكل 2.56: إنشاء دائرة

الآن وبعد أن أنشأت الدائرة، استخدم أداة التجويف (Pocket) لإنشاء ثقب في الترس الكبير (Big Gear).



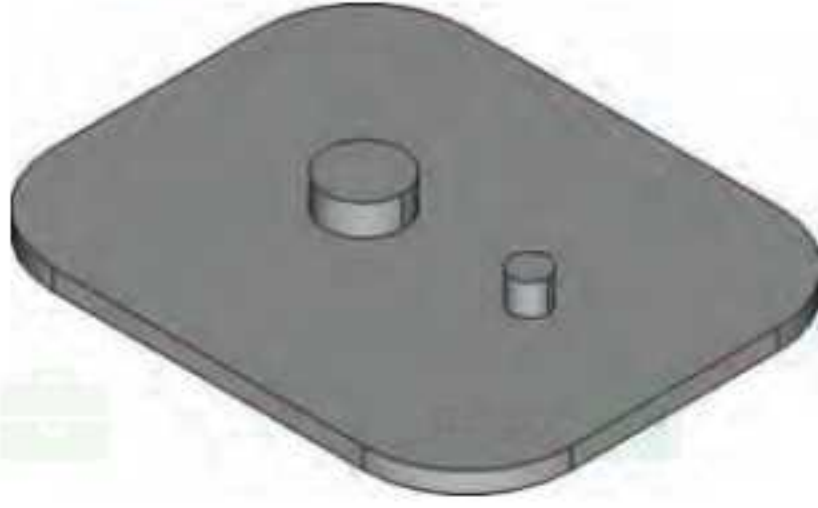
- لإنشاء ثقب:**
- < من Model Tree (شجرة النموذج)، حدد Sketch (رسم تخطيطي). 1
 - < من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Pocket (التجويف). 2
 - < في نافذة Parameters Pocket (مُعامِلات التجويف)، اضغط على القائمة المنسدلة، ثم اختر Up to face (لأعلى الوجه). 3
 - < اضغط باستمرار على مفتاح Shift في لوحة المفاتيح،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



شكل 2.57: إنشاء ثقب

تصميم قاعدة لربط التروس Designing a Base to Connect the Gears

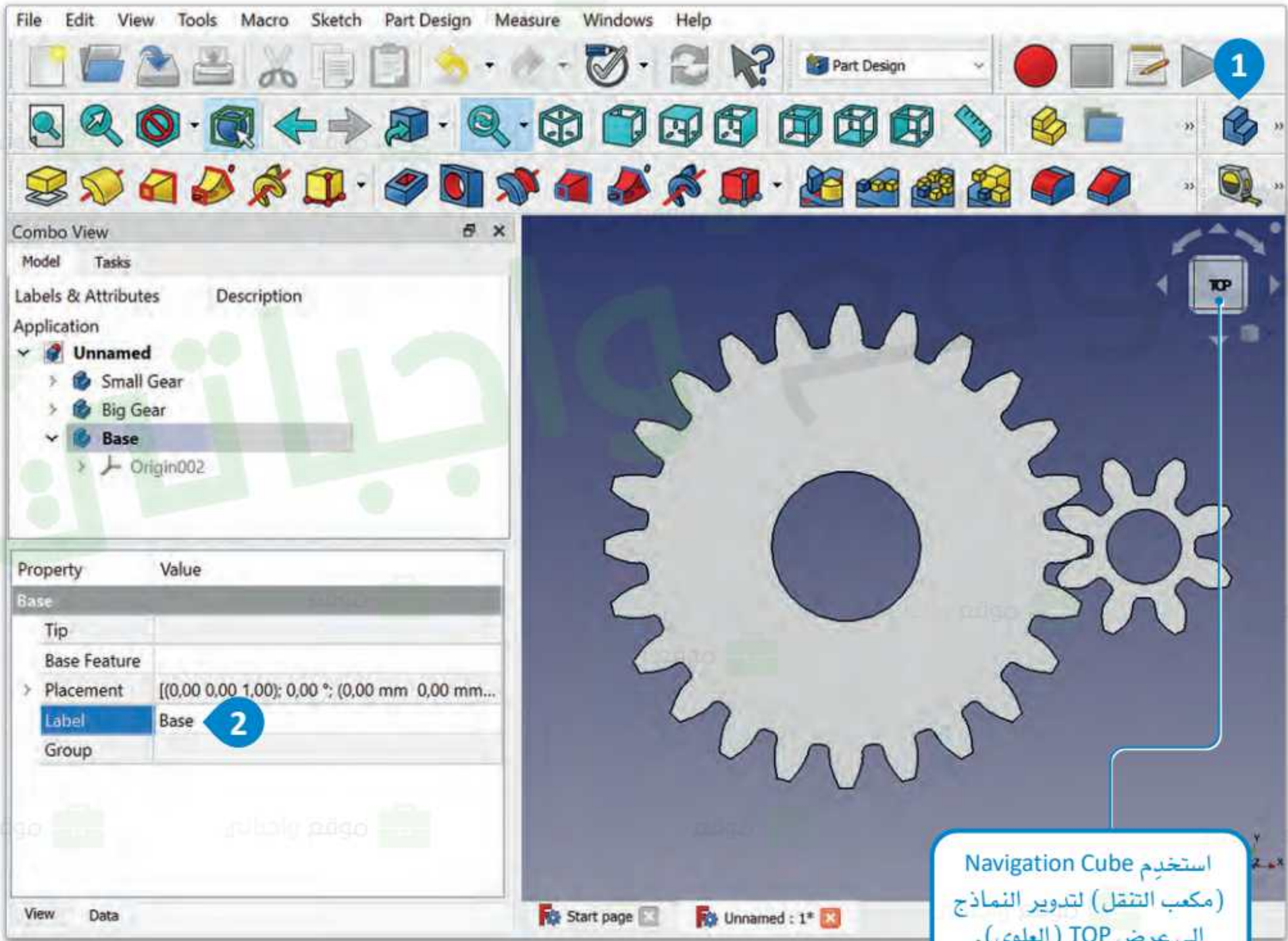
لكي يكتمل المشروع، يجب أن تُنشئ قاعدة التروس، وستكون القاعدة على شكل سطح مستوٍ مع أسطوانتين متصلتين على مسافة محددة، تُعدُّ هذه المسافة مهمة لكي تعمل التروس بشكل صحيح.



لإنشاء هيكل القاعدة:

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

< من علامة تبويب Data (البيانات)، غير Label (التسمية) إلى Base (القاعدة). 2



شكل 2.58: إنشاء هيكل القاعدة

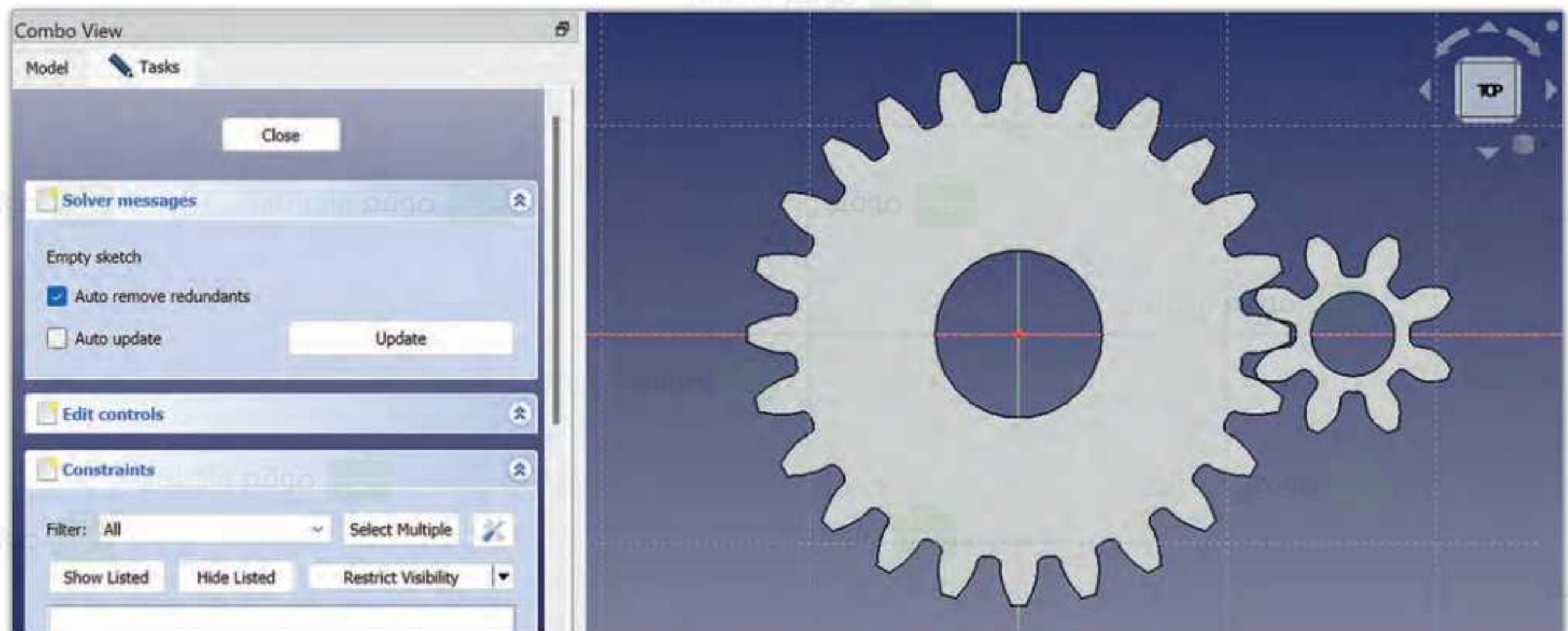
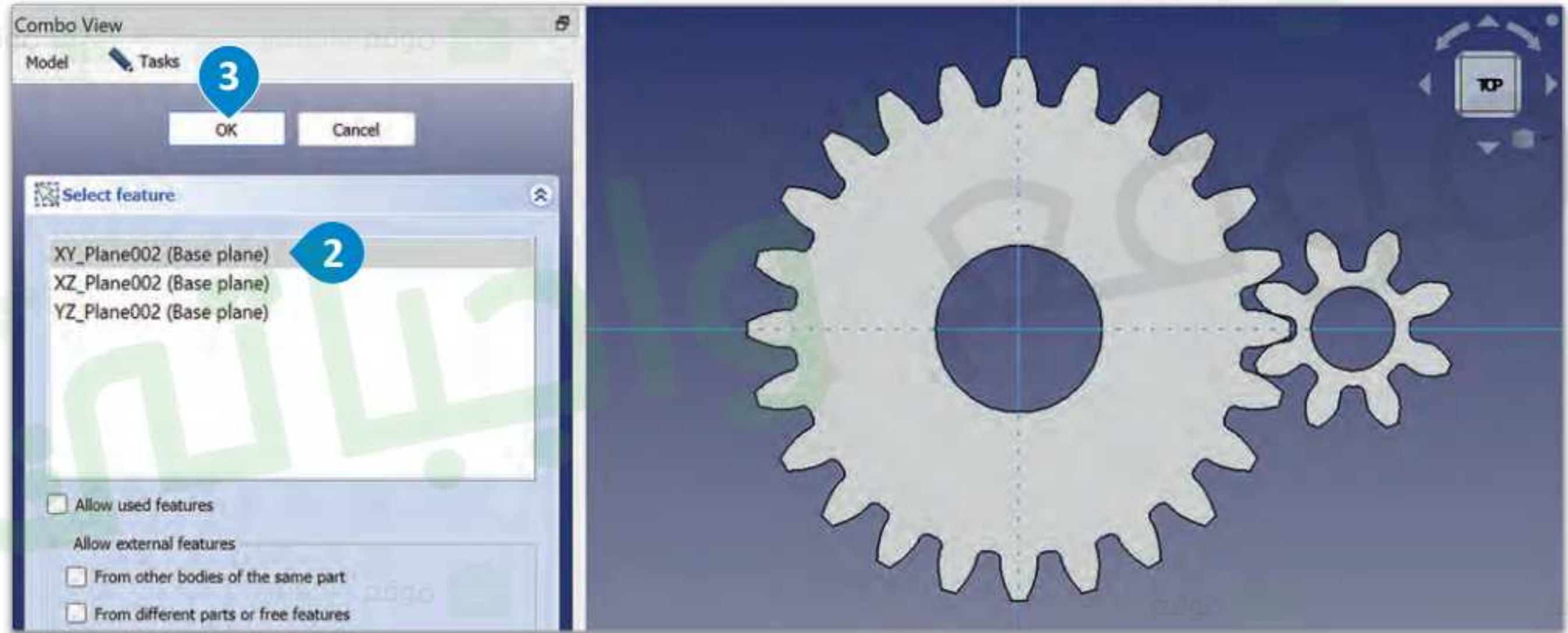
معلومة

تُعدُّ المحاذاة الصحيحة للتروس أمراً بالغ الأهمية لنجاح عملية تشابك أسنان التروس معاً، ويتم تحقيق ذلك بالتأكد من ترابط محاور التروس، أي أنها على امتداد خط واحد، وبأن مراكز التروس تقع على مسافة ثابتة من بعضها.

ستستخدم أولاً أداة إنشاء رسم تخطيطي (Create sketch) لإنشاء رسم تخطيطي في سطح العمل للرسم الهندسي XY.

لإنشاء رسم تخطيطي:

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



شكل 2.59: إنشاء رسم تخطيطي

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

لإنشاء مستطيل:

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

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



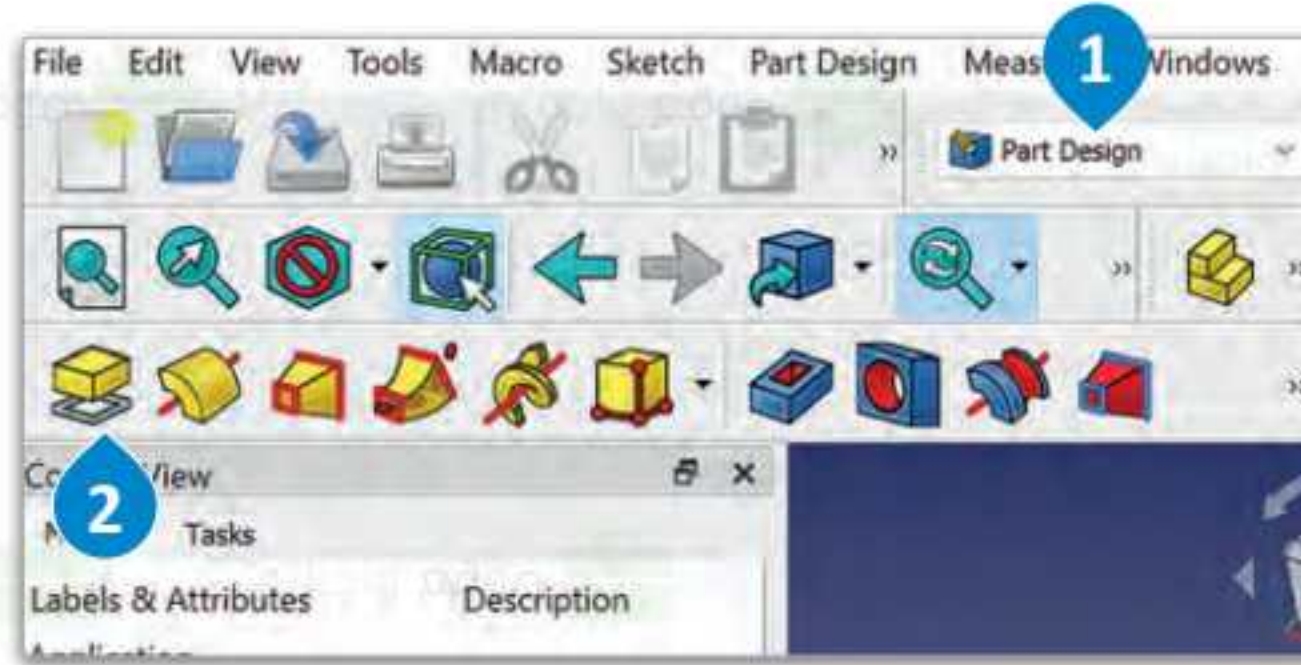
إذا تم تكبير الرسم التخطيطي الخاص بك بطريقة لا تتيح لك إنشاء القاعدة، يمكنك استخدام عجلة الفأرة لتصغير العرض.

شكل 2.60: إنشاء مستطيل

معلومة

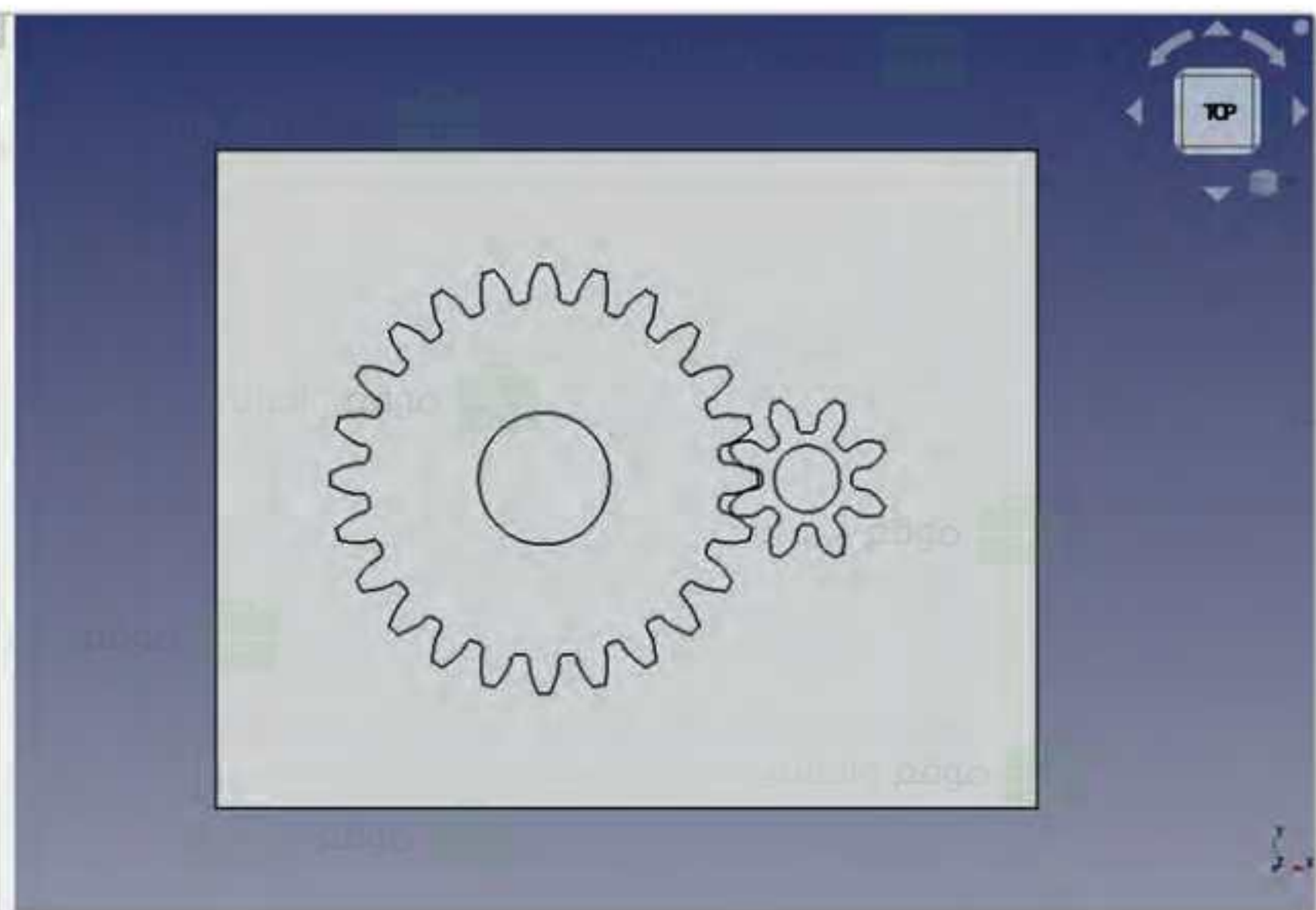
لا يتعين تقييد جميع الرسومات التخطيطية بشكل تام، ففي بعض الحالات قد يكفي تحديد بعض القيود، أو حتى عدم وضع قيود على الإطلاق، وذلك اعتماداً على الغرض المقصود من الرسم التخطيطي.

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



لإنشاء شكل ثلاثي الأبعاد:

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

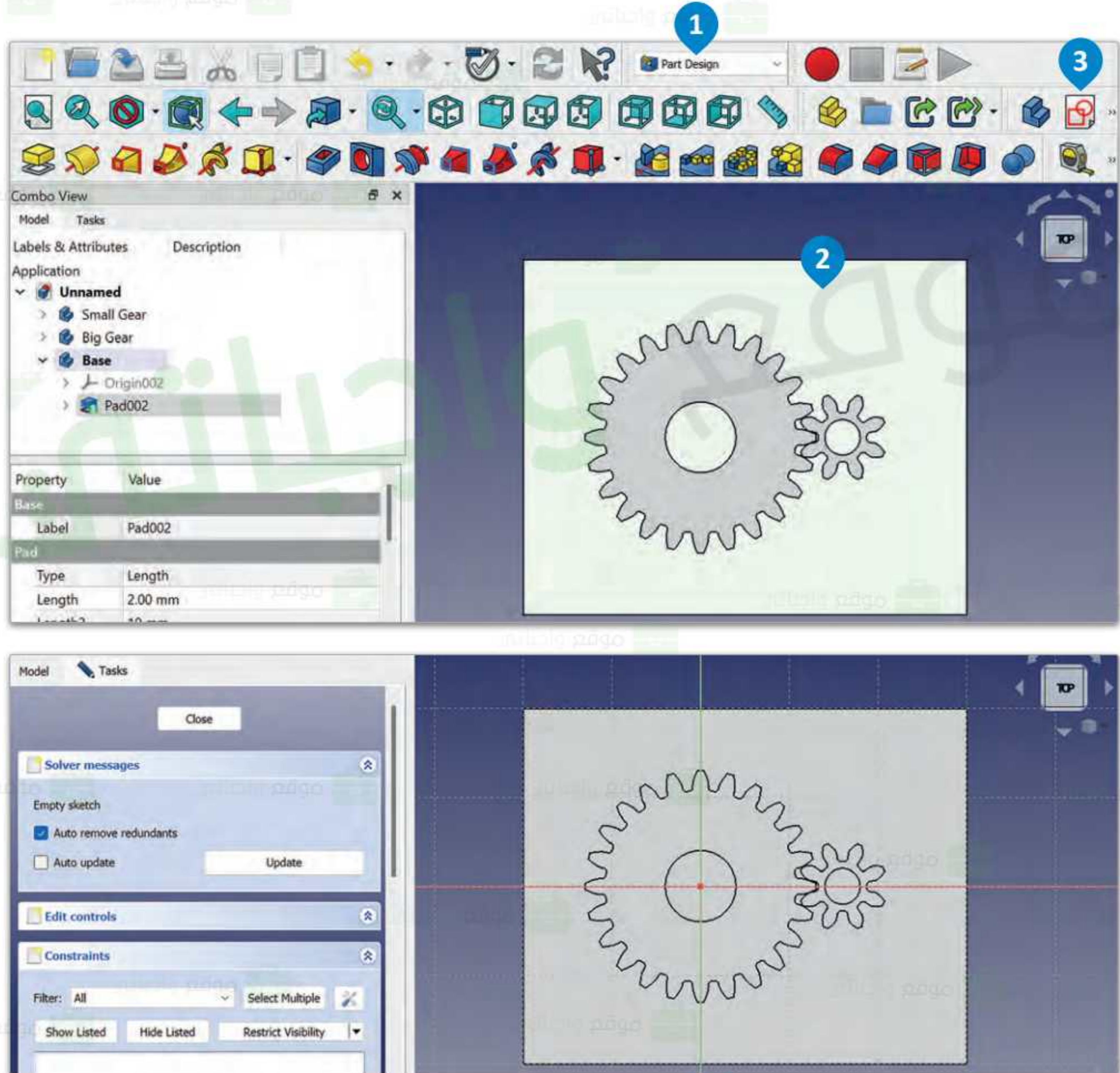


شكل 2.61: إنشاء شكل ثلاثي الأبعاد

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

إنشاء رسم تخطيطي على السطح العلوي للقاعدة:

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

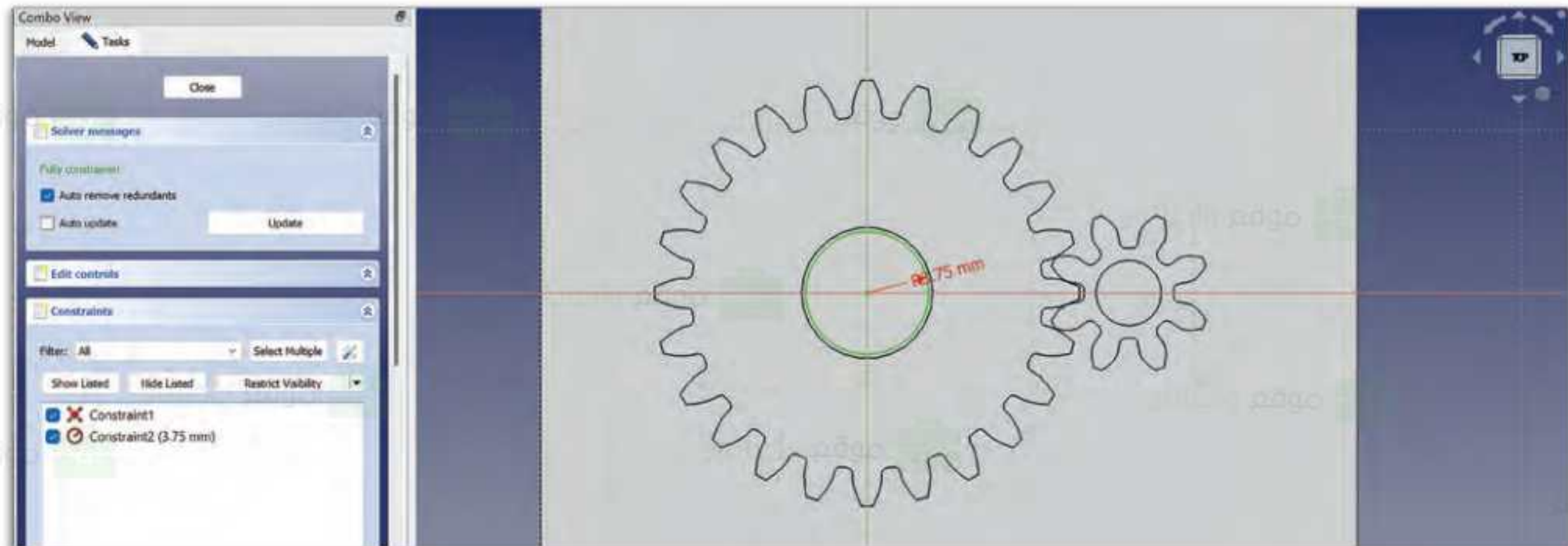
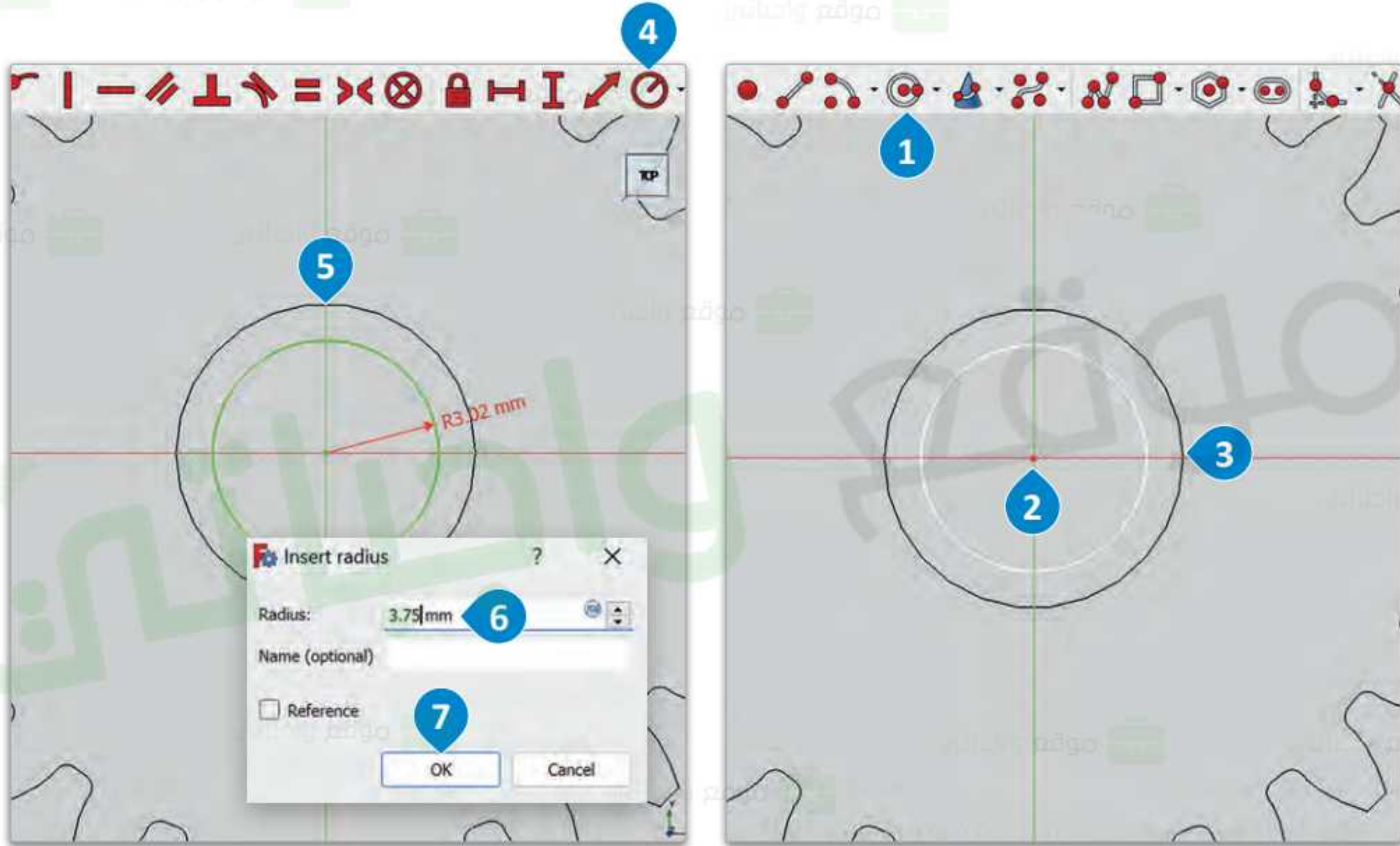


شكل 2.62: إنشاء رسم تخطيطي على السطح العلوي للقاعدة

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

إنشاء الدائرة الكبيرة:

- < من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Create circle (إنشاء دائرة)، ثم حدد منتصف المحور، واضغط عليه لإنشاء الدائرة. 3
- < من Toolbar (شريط الأدوات)، اختر أداة Constrain radius (تقييد نصف القطر)، واضغط على الدائرة. 5
- < من نافذة Insert radius (إدراج نصف القطر)، اكتب 3.75 mm (3.75 ملمتر)، ثم اضغط على OK (موافق). 7



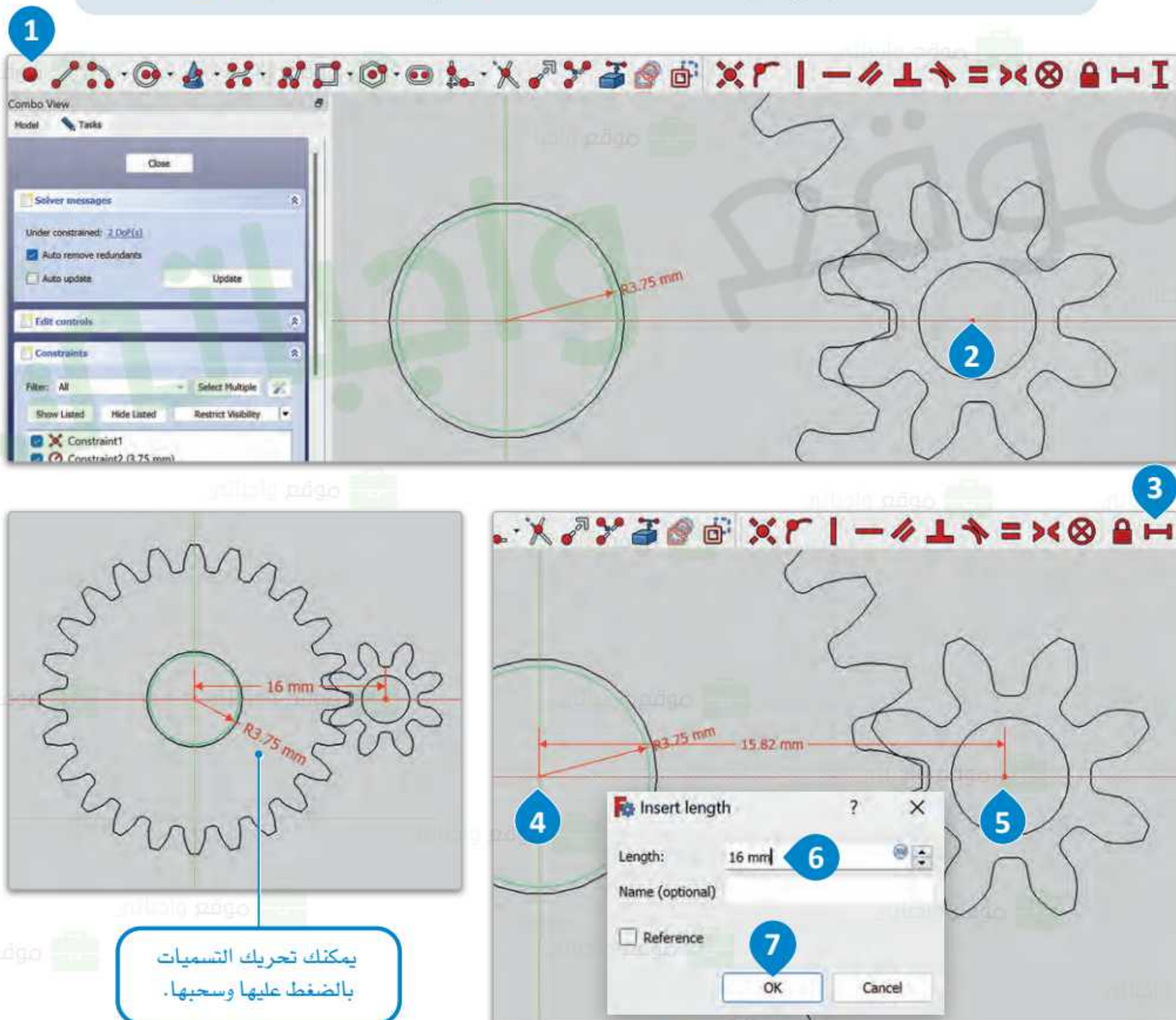
شكل 2.63: إنشاء الدائرة الكبيرة



كان تحديد مركز الدائرة الكبيرة في المثال السابق أمراً سهلاً، وذلك لوقوعها في منتصف المحور. أما بالنسبة لمركز الدائرة الصغيرة، فستستخدم أداة إنشاء نقطة (Create Point) لإنشاء نقطة محددة على المسافة الصحيحة من مركز الدائرة الكبيرة. تُظهر نتيجة الصيغة الحسابية "المسافة" $(\text{الوحدة القياسية} \times (T1 + T2) / 2)$ التي استخدمتها سابقاً في الدرس إلى أن المسافة بين مراكز التروس هي 16 ملم، فباستخدام أداة تقييد المسافة الأفقية (Constrain horizontal distance)، يمكنك تعيين المسافة بين مركزي الدائرتين إلى 16 ملم، وبالتالي تحديد مركز الدائرة الصغيرة.

لإنشاء مركز الدائرة الصغيرة:

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

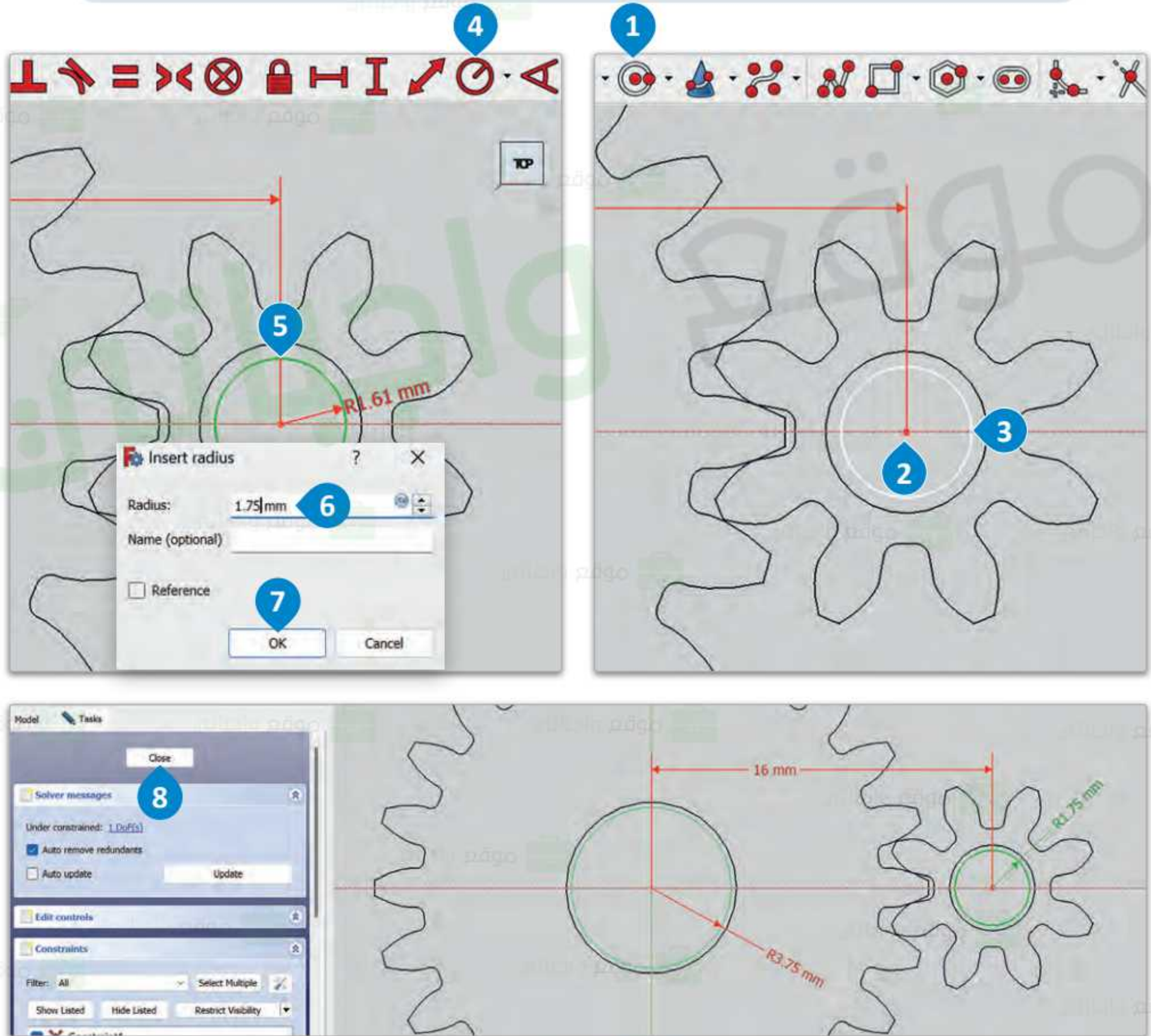


شكل 2.64: إنشاء مركز الدائرة الصغيرة

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

لإنشاء دائرة صغيرة:

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



شكل 2.65: إنشاء دائرة صغيرة

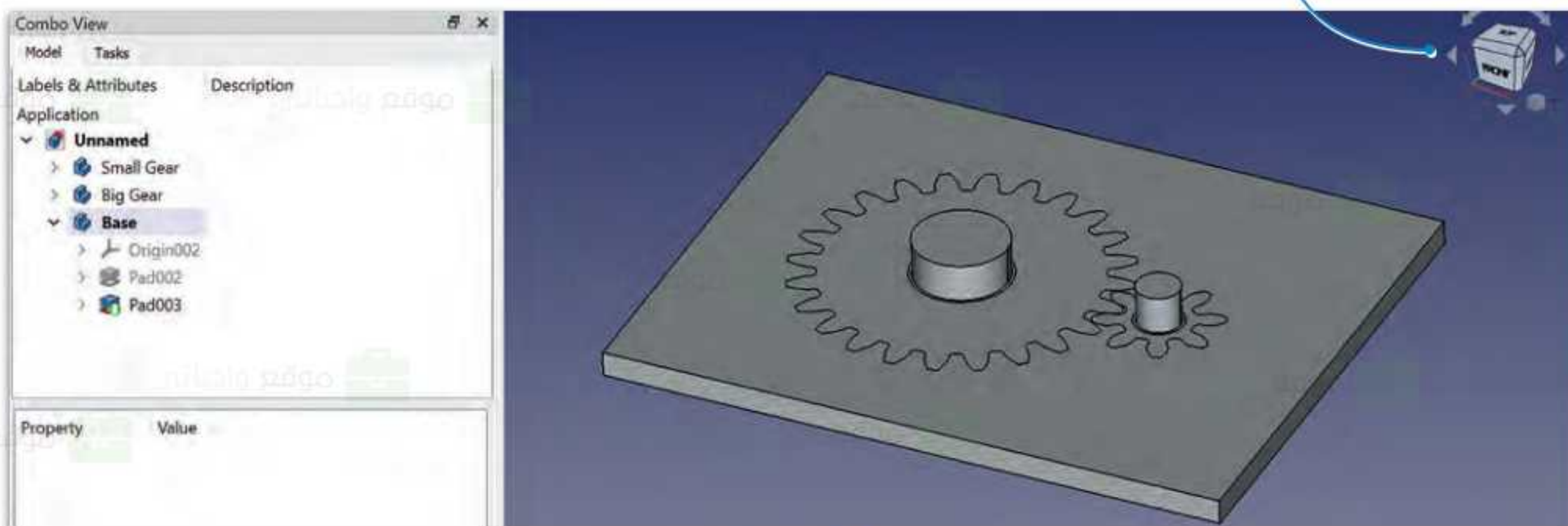
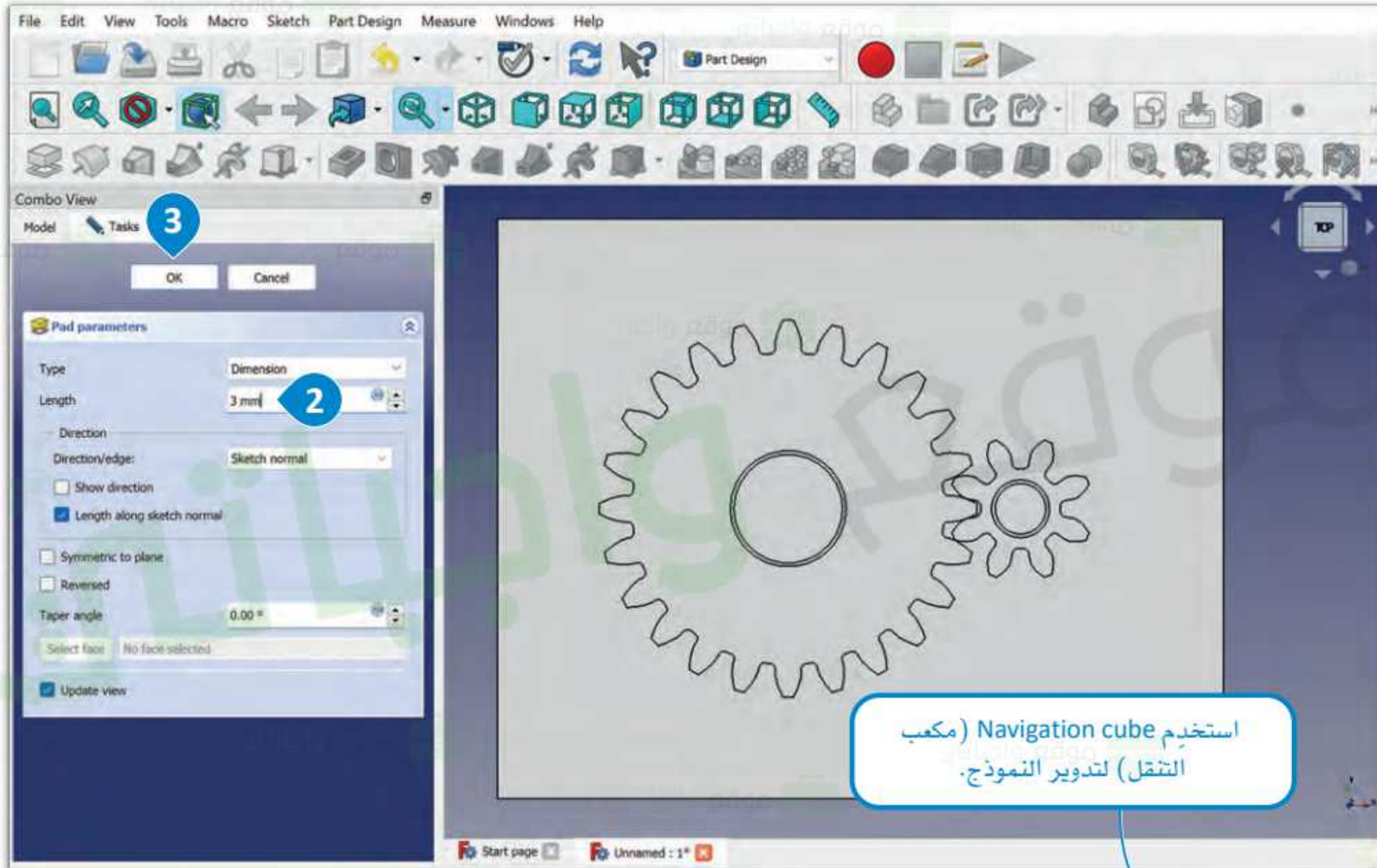
والآن استخدم أداة البطانة (Pad) لتحويل الدوائر ثنائية الأبعاد إلى أسطوانات ثلاثية الأبعاد.



إنشاء الأسطوانات:

< من Toolbar (شريط الأدوات)، اضغط على أداة Pad (البطانة). 1

< من علامة التبويب Tasks (المهام)، غير Length (الطول) إلى 3 mm (3 ملمتر)، 2 ثم اضغط على OK (موافق). 3

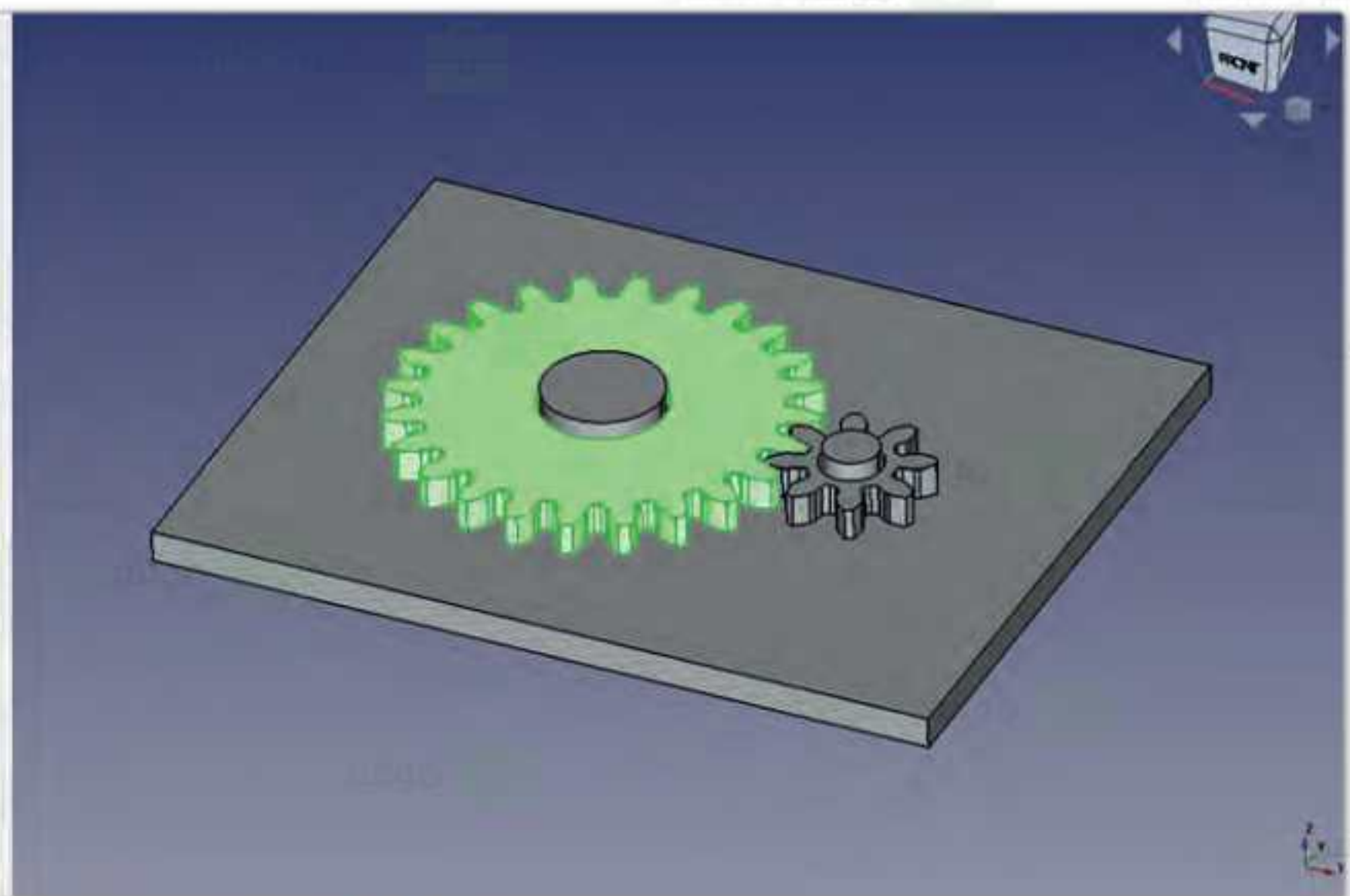
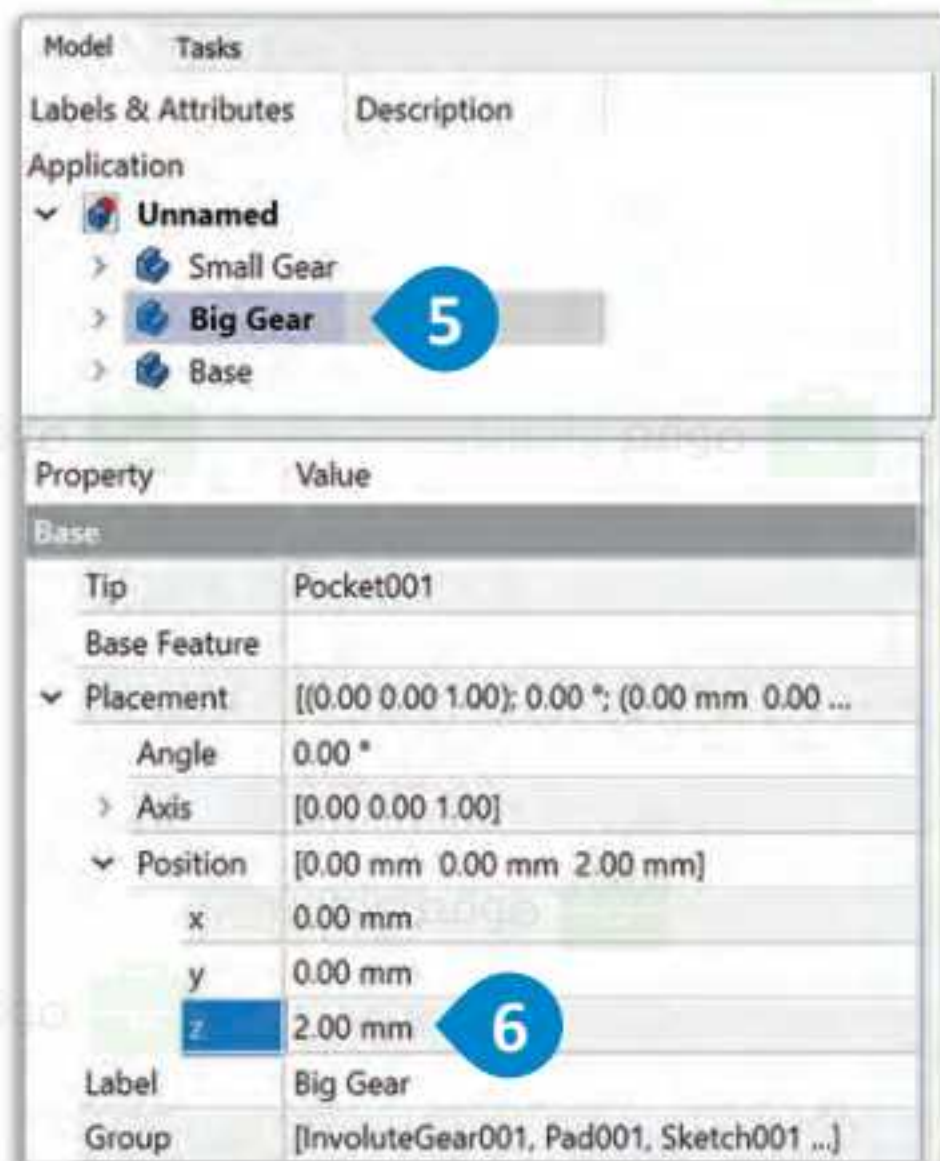
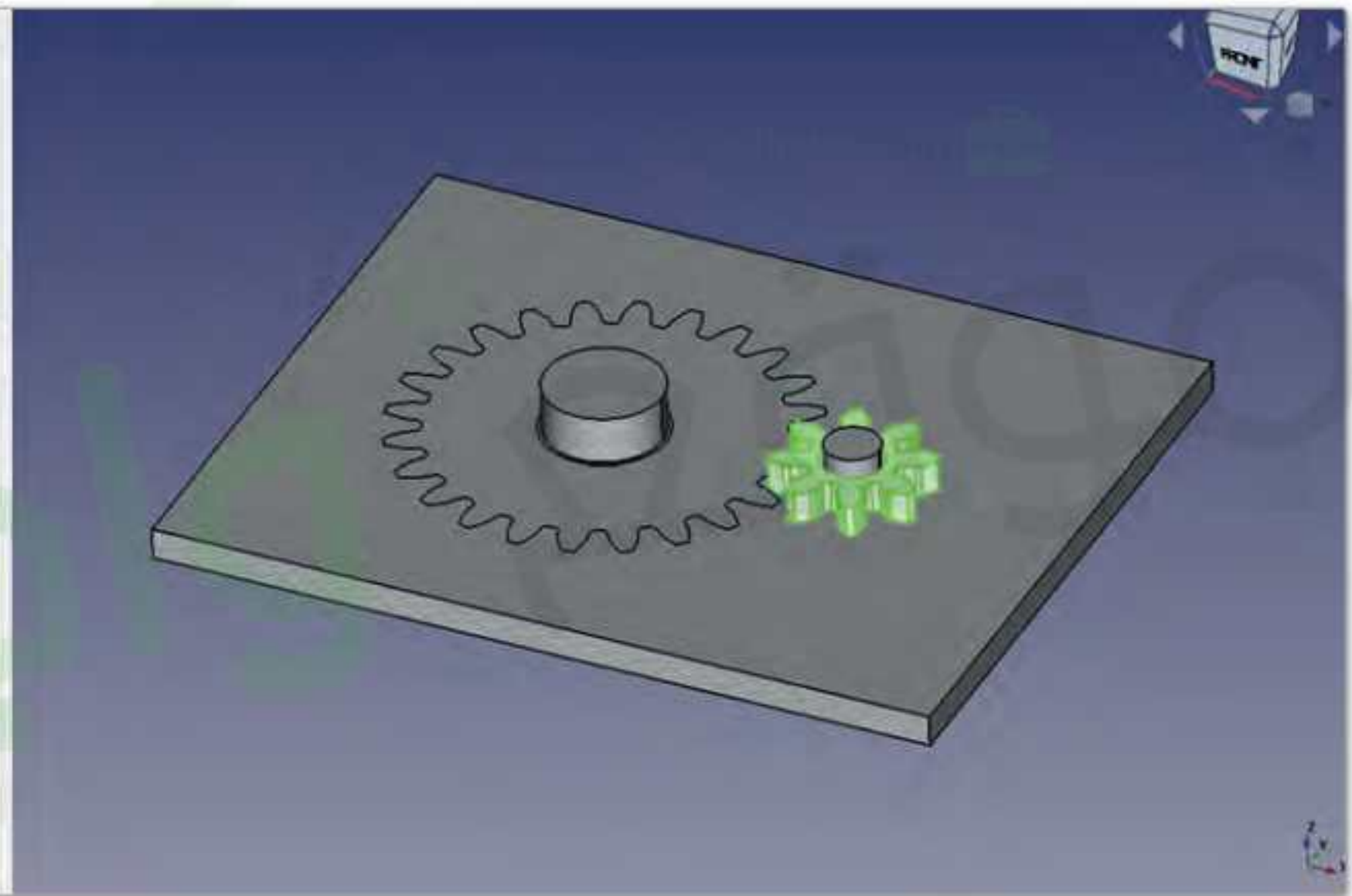


شكل 2.66: إنشاء الأسطوانات

الآن وبعد أن انتهيت من النموذج، يجب أن تحرّك الترسين إلى الأعلى بمقدار 2 ملليمتر على المحور Z.

لتحريك الترسين:

- 1 < من علامة تبويب Model (النموذج)، اختر Small Gear (الترس الصغير).
- 2 < من علامة تبويب Data (البيانات)، اضغط على Placement (وضع).
- 3 < من قائمة Placement (وضع)، اضغط على Position (موضع).
- 4 < في المربع Z من القائمة المنسدلة Position (موضع)، اكتب 2 mm (2 ملليمتر).
- 5 < من علامة تبويب Model (النموذج)، اختر Big Gear (الترس الكبير).
- 6 < في المربع Z من القائمة المنسدلة Position (موضع)، اكتب 2 mm (2 ملليمتر).



شكل 2.67: تحريك الترسين

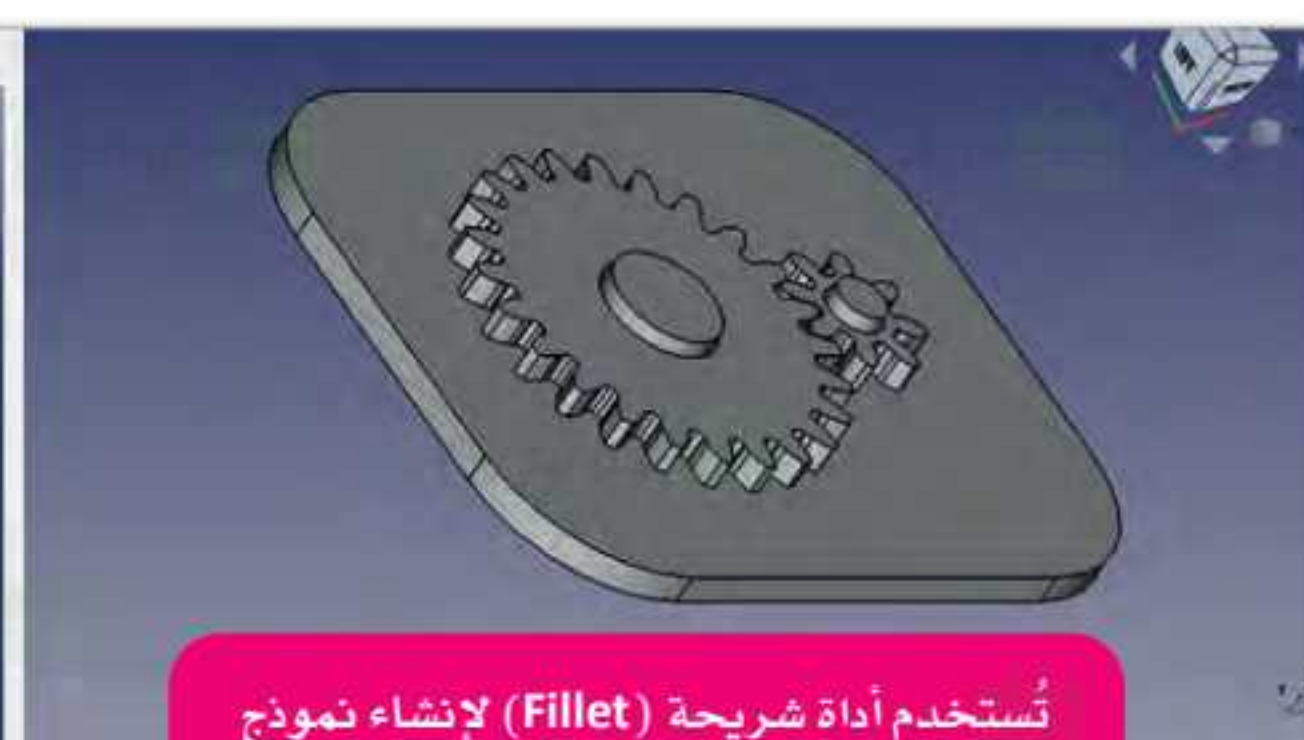
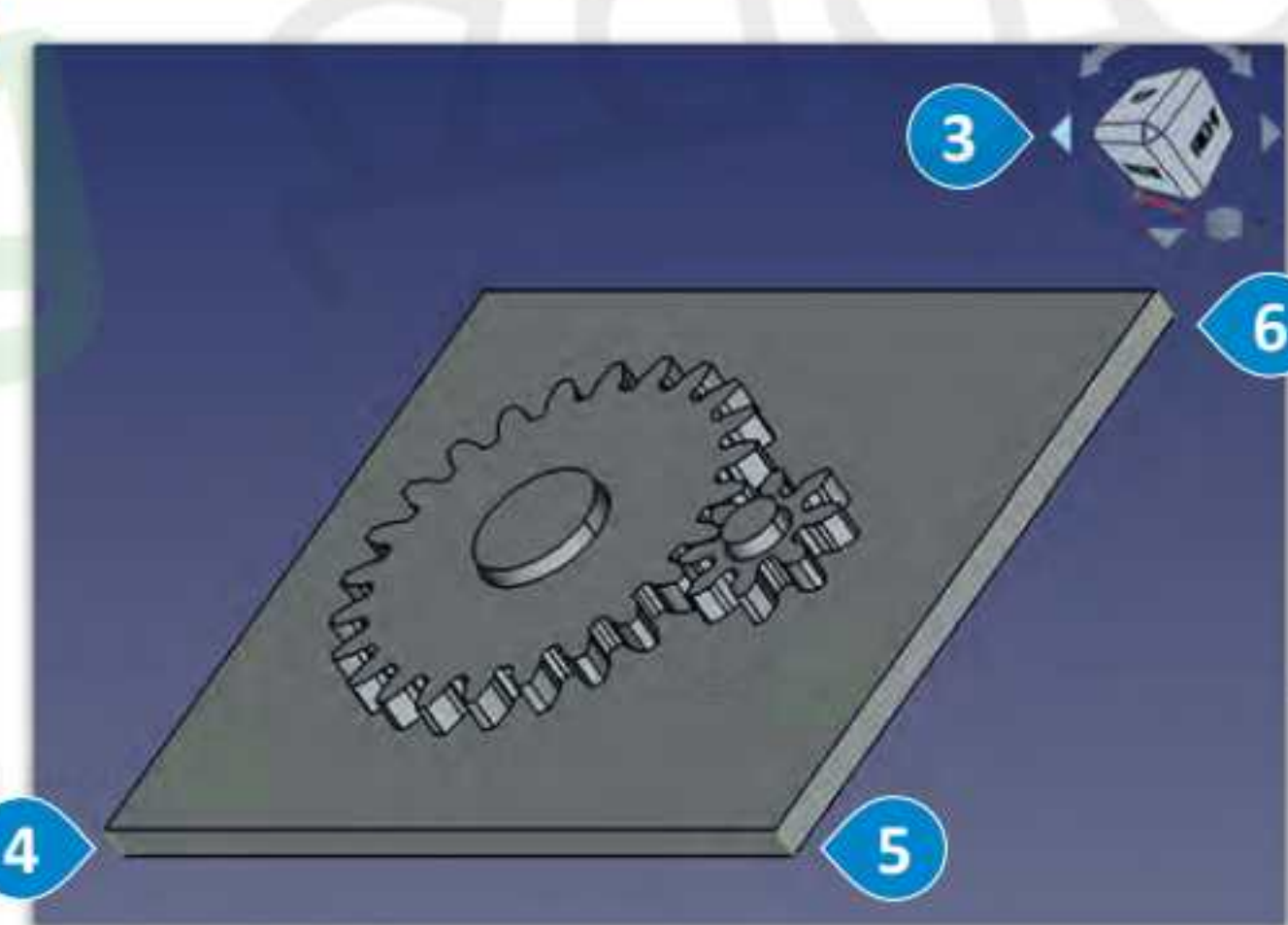
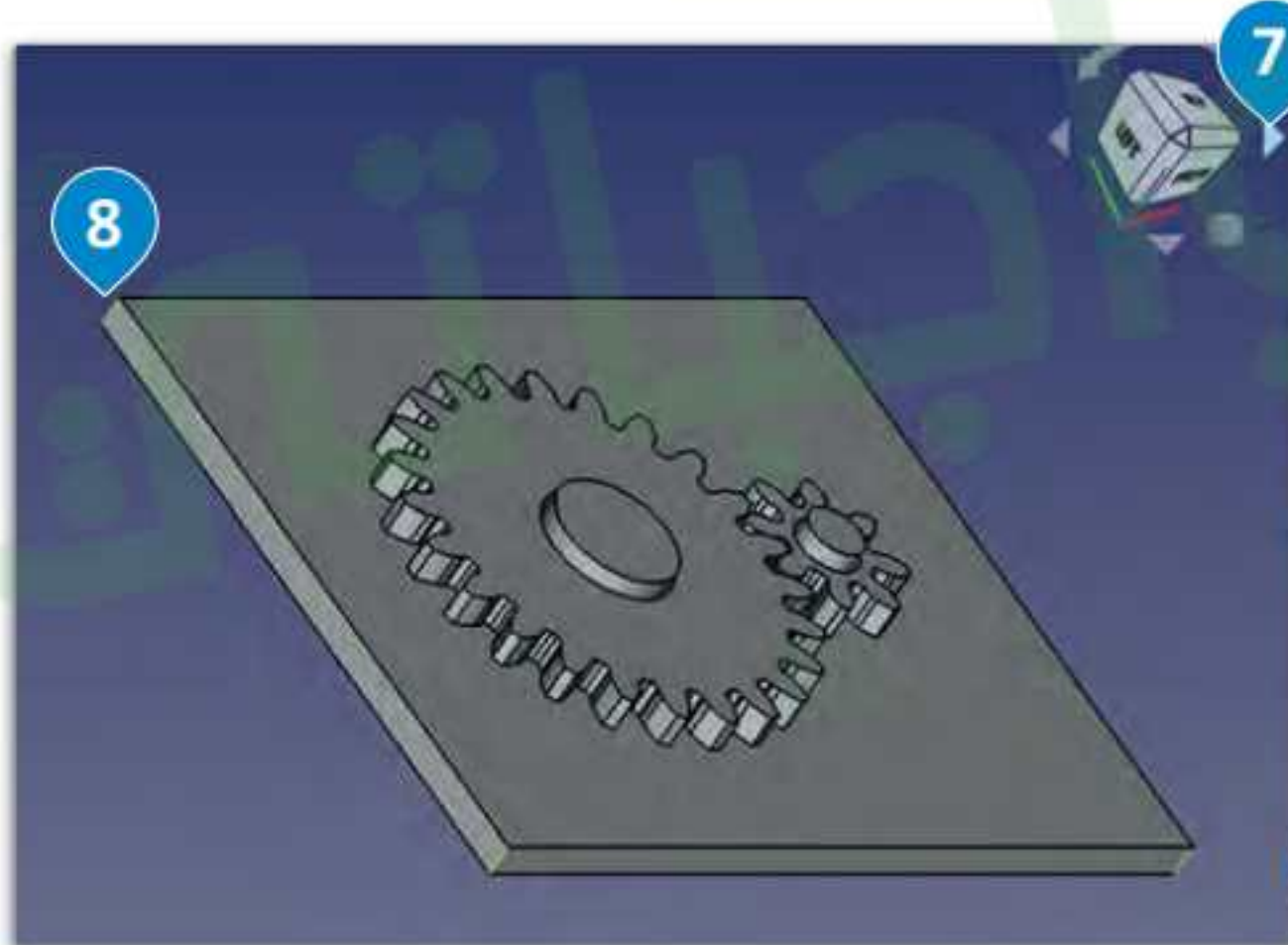
في آخر خطوة من هذا الدرس، ستستخدم أداة شريحة (Fillet) لتحسين مظهر القاعدة.

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



اجعل القاعدة منحنية:

- 1 < من علامة تبويب Model (النموذج)، اضغط ضغطًا مزدوجًا لتحديد Big Gear (الترس الكبير).
- 2 < من Navigation cube (مكعب التنقل)، اضغط على الزاوية لتغيير طريقة العرض.
- 3 < من Navigation cube (مكعب التنقل)، اضغط على السهم الأيسر.
- 4 < اضغط باستمرار على مفتاح CTRL وحدد الزاوية السفلية اليسرى، والزاوية اليمنى السفلية،
- 5 والزاوية اليمنى العلوية.
- 6 < من Navigation cube (مكعب التنقل)، اضغط على السهم الأيمن مرتين.
- 7 < اضغط على مفتاح CTRL وحدد الزاوية اليسرى العليا.
- 8 < من Toolbar (شريط الأدوات)، حدد أداة Fillet (شريحة).
- 9 < من علامة تبويب Tasks (المهام)، غير Radius (نصف القطر) إلى 10 mm (10 ملمتر)، ثم
- 10 اضغط على OK (موافق).
- 11



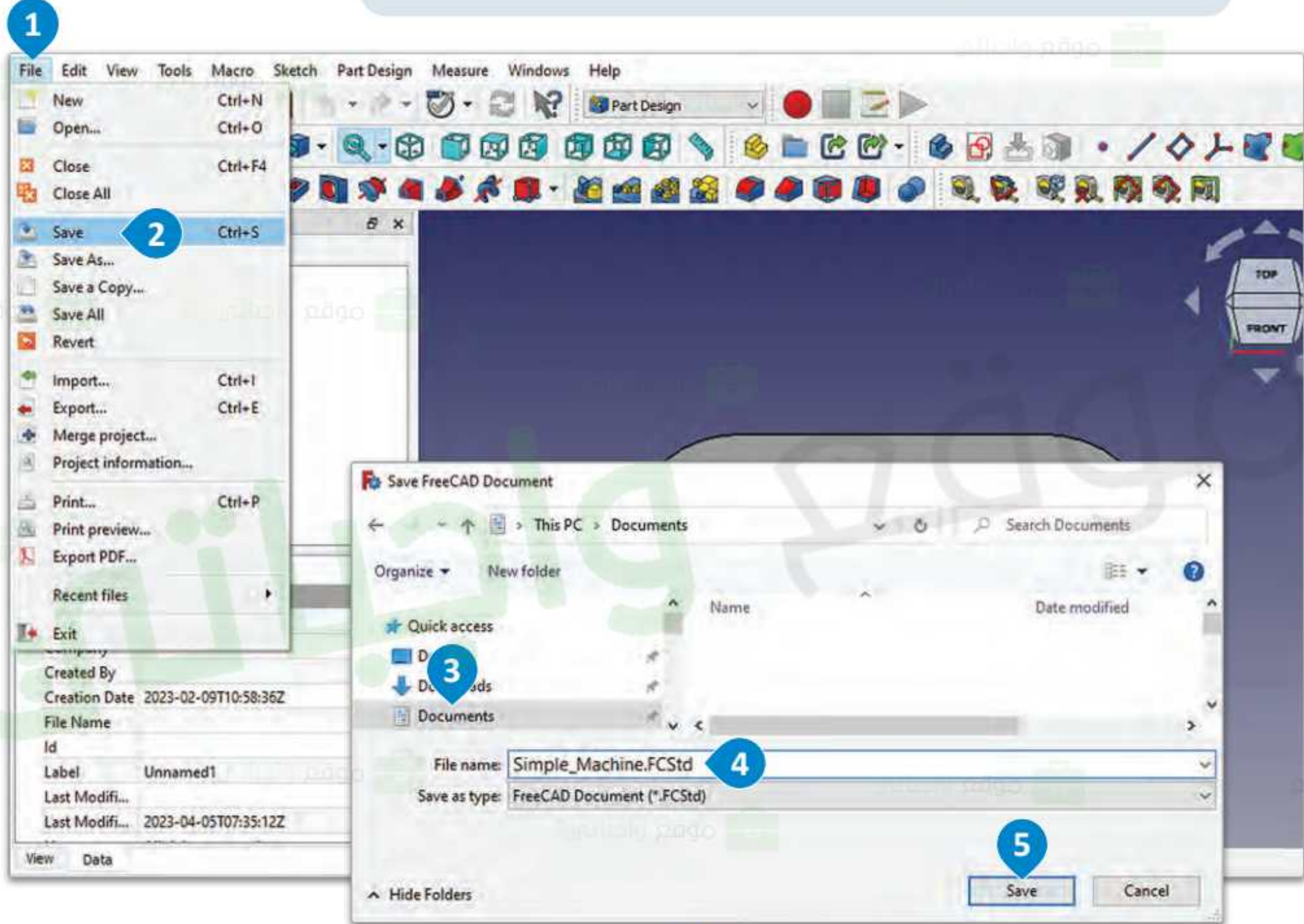
تستخدم أداة شريحة (Fillet) لإنشاء نموذج أكثر جمالاً وسلاسة في الاستخدام.

شكل 2.68: جعل القاعدة منحنية

في الختام، ستحفظ ملفك.

لحفظ ملفك:

- < من شريط Menu (القائمة)، اضغط على File (ملف)، 1 ثم اختر Save (حفظ). 2
- < اضغط على مجلد Documents (المستندات). 3
- < اكتب اسماً للملف، 4 ثم اضغط على Save (حفظ). 5



شكل 2.69: حفظ ملفك



وبذلك تكون قد صممت نظامك الحركي الآلي الأول.
ستتعلم في الوحدة التالية كيفية تنسيق الملف وتجهيزه للطباعة.

نموذج مطبوع لتجميع الترسين على قاعدة.

تمريعات

1

خاطئة	صحيحة	حدّد الجملة الصحيحة والجملة الخاطئة فيما يلي:
☐	☒	1. تعمل التروس معاً لنقل الطاقة والحركة.
☒	☐	2. يمكن استخدام الترس لتغيير السرعة وعزم الدوران. والاتجاه.
☐	☒	3. يمكنك قياس الترس عن طريق عدّ أسنانه.
☐	☒	4. عادةً ما يتم توصيل ترس القيادة بمصدر الحركة (مثل: المحرك).
☒	☐	5. يتحرك ترس القيادة بناءً على حركة الترس المدار، ويتم توصيله بوجهة الحركة (محور حركة أو أداة قطع). ترس القيادة المعاكس - ترس القيادة.
☐	☒	6. تزداد السرعة عندما يكون ترس القيادة أكبر من الترس المدار.
☐	☒	7. يتم التعبير عن العلاقة بين التروس من خلال النسبة بين عدد أسنانه.
☐	☒	8. الترس الأسطواناني المنحني هو نوع من التروس التي لها أسنان ذات شكل منحني.
☐	☒	9. تناسب التروس الأسطوانانية المنحنية التطبيقات التي تتطلب عزم دوران عالٍ.
☐	☒	10. الوحدة القياسية (Module) هي قطر الخطوة مقسوماً على عدد الأسنان.

2

ما التروس؟ وكيف تعمل؟

التروس هي مكونات ميكانيكية ذات أسنان تتشابك مع بعضها البعض لنقل الطاقة والحركة بين الأعمدة الدوارة، كما تعمل عن طريق نقل عزم الدوران وسرعة الدوران من ترس إلى آخر، فعندما يتشابك ترسان معاً، يؤدي دوران أحد الترسين إلى دوران الترس الآخر في الاتجاه المعاكس.

تُستخدم التروس لمساعدة الراكب في الحفاظ على سرعة مناسبة في ظروف مختلفة مثل: الصعود، أو الانحدار، أو الرياح المعاكسة، حيث تنقل سلسلة الدراجة الطاقة من ترس القيادة إلى الترس المدار، وعندما يدوس الراكب يدور الترس الأمامي، مما يؤدي إلى تدوير السلسلة والتروس الخلفية. يحدد حجم التروس الأمامية والخلفية نسبة الدوران بين الدواسات والعجلة الخلفية.

4 ابحث في الإنترنت للعثور على تطبيقات تستخدم التروس الإسطوانية المنحنية، ثم صف تطبيقين منهما وشرح خصائص هذا النوع من التروس.

تُستخدم التروس الأسطوانية المنحنية في مجموعة واسعة من التطبيقات نظراً لخصائصها الفائقة مثل: الكفاءة العالية، والضوضاء المنخفضة، والتشغيل السلس. فيما يلي مثالان على التطبيقات التي تستخدم التروس المطوية:

- ناقل حركة السيارات: تُستخدم التروس الأسطوانية المنحنية على نطاق واسع في ناقل حركة السيارات نظراً لكفاءتها العالية وموثوقيتها، حيث تم تصميم أسنان التروس ليكون لها مظهر جانبي منحنٍ، مما يسمح بنقل سلس وفعال للطاقة من المحرك إلى العجلات، بالإضافة إلى ذلك يساعد استخدام التروس المنحنية على تقليل الضوضاء والتآكل، مما يؤدي إلى عمر أطول لناقل الحركة.

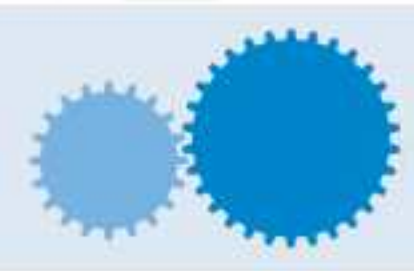
- الآلات الصناعية: تُستخدم التروس الأسطوانية المنحنية بشكل شائع في الآلات الصناعية مثل: المعدات الثقيلة، والمضخات، والضواغط، حيث تم تصميم هذه التروس لنقل عزم الدوران العالي والقوة، مما يجعلها مثالية للتطبيقات التي تتطلب رفعاً ثقيلاً أو معالجة، ويسمح المظهر الجانبي المنحني لأسنان التروس بنقل سلس للطاقة، مما يقلل من الاهتزاز والتآكل على الآلة، بالإضافة إلى ذلك يمكن تشكيل التروس الأسطوانية المنحنية وتصنيعها بسهولة، مما يجعلها حلاً فعالاً من حيث التكلفة للعديد من التطبيقات الصناعية.

5 ما أهمية تحديد المسافة المركزية بين ترسين؟

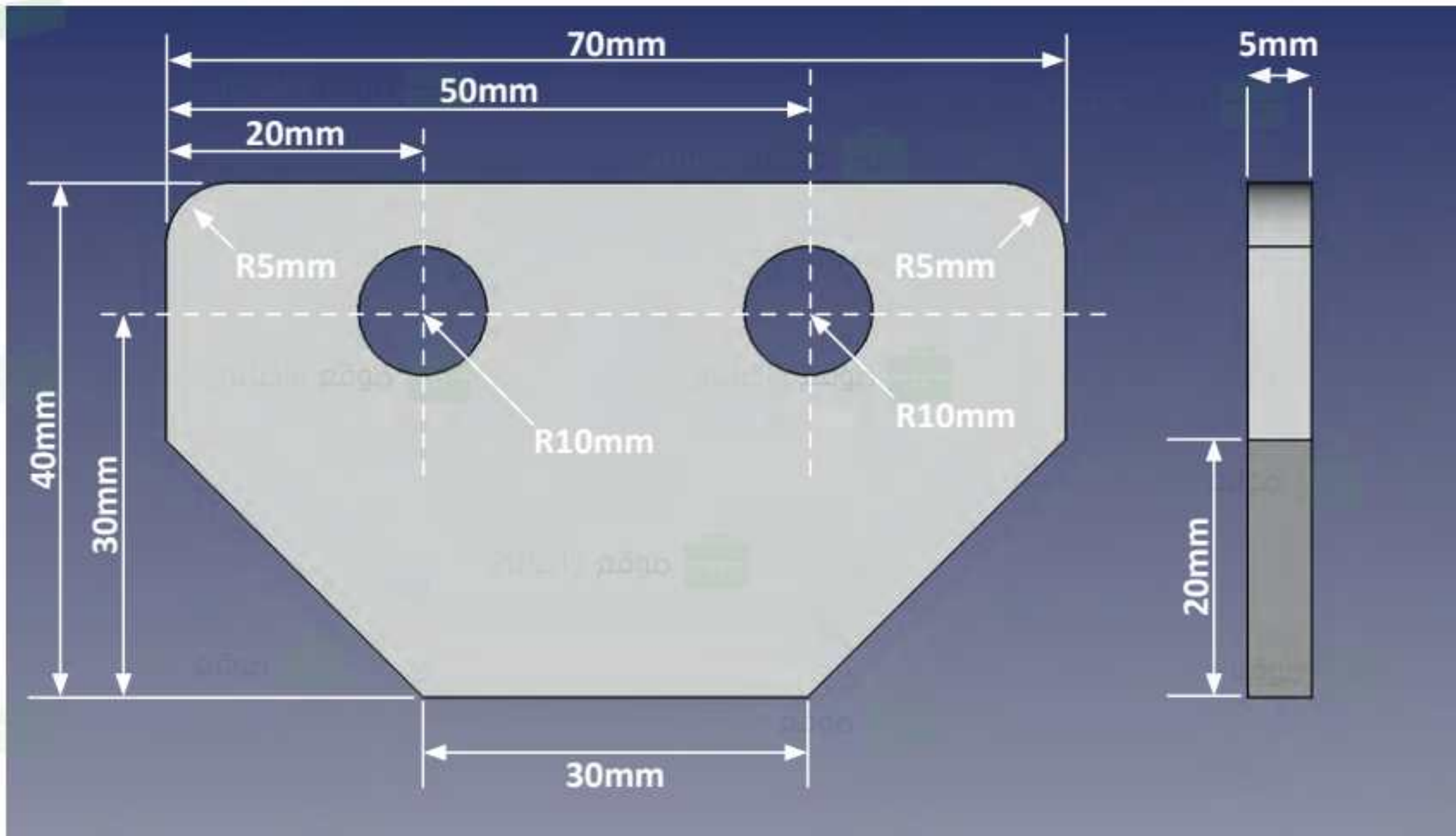
يُعد تحديد المسافة المركزية بين ترسين أمراً مهماً لأنه يضمن تشابك التروس بشكل صحيح ونقل الطاقة بكفاءة. إذا كانت المسافة المركزية صغيرة جداً، فسوف تتشابك التروس بإحكام شديد وتنشئ تآكلاً مفرطاً وضوضاء وحرارة، أما إذا كانت المسافة المركزية كبيرة جداً، فلن تتشابك التروس بشكل صحيح وقد تنزلق أو تفشل في نقل الطاقة تماماً. بالإضافة إلى ذلك تؤثر المسافة المركزية على نسبة التروس التي تحدد سرعة وعزم دوران الترس المدفوع بالنسبة لترس القيادة، ولذلك يُعد الحساب الدقيق للمسافة المركزية بين الترسين أمراً مهماً لتصميم أنظمة تروس فعالة.

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

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

النسبة	زيادة السرعة	زيادة العزم
 ترس القيادة 8 الترس المُدار 40	•	✓
 الترس المُدار 20 ترس القيادة 30	✓	•
 الترس المُدار 4 ترس القيادة 24	✓	•
 الترس المُدار 40 ترس القيادة 24	•	✓

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



[illegible]

Technical drawing of a mechanical part with dimensions. The part features a central horizontal section with a semi-circular end on the right. Key dimensions include a total width of 40 mm, a central horizontal section width of 20 mm, and a semi-circular end with a radius of R20 mm. The drawing is overlaid on a grid with red dimension lines and white text labels.