

## **كتيب ماكينة الطحن**

### **الفهرس**

#### **الفصل الأول**

- دور القياسات في حضارات البشرية
- مساهمات العرب وتطوير أنظمة القياس
- مقدمة النظام المترى في العالم العربي
- تطور الدقة: تطوير واستخدام كتل المعايرة
- ما هي كتل المعايرة؟
- الوحدات الرئيسية في النظام المترى وأساسها
- أدوات وتقنيات القياس الحديثة
- تطبيقات القياس في التصنيع الرقمي

#### **الفصل الثاني التصميم الهندسي - من الفن القديم إلى التصميم بمساعدة الحاسوب**

- مقدمة عن التصميم البياني والهندسي
- أصول التصميم الهندسي
- الانتقال إلى التمثيل البياني الحديث
- التصميم الهندسي الحديث والإدراك
- تطبيقات التصميم الهندسي في التصنيع الرقمي
- الخاتمة: قوة الهندسة في التصميم الحديث

#### **الفصل الثالث الرسم البياني والتصميم الهندسي - من الفن القديم إلى التصميم بمساعدة الحاسوب الحديث**

- مقدمة عن الرسم البياني و التصميم الهندسي
- أصول التصميم الهندسي والإدراك البشري
- التصميم الهندسي الحديث والإدراك
- تطبيقات التصميم الهندسي في التصنيع الرقمي

#### **الفصل الرابع تاريخ الرسومات والخطط التقنية**

- مقدمة
- الحضارات القديمة ونشأة الرسم التقني
- العصور الوسطى: الحفاظ على المعرفة وتحويلها
- عصر النهضة وثورة المنظور
- الثورة الصناعية: تقنيات الرسومات التقنية
- القرن العشرون وتحديث الرسومات التقنية
- العصر الرقمي: CAD وما بعده

- الخلاصة: تأثير الرسومات التقنية على المجتمع

## الفصل الخامس مكونات مكنة الطحن و تشغيلها

- مكونات الماكينة
- أنواع ماكينات الطحن:
- تطبيقات ماكينات الطحن:
- فوائد استخدام ماكينات الطحن:
  - 1. التحكم اليدوي:
  - إدخال الأنظمة الميكانيكية:
  - التحكم الرقمي الأولي (NC):
  - تطور تكنولوجيا الكمبيوتر
  - ظهور ماكينات CNC
  - التحسينات المستمرة
- الفوائد التي جلبتها ماكينات CNC
- النحت ثنائي الأبعاد (2D)
- النحت ثلاثي الأبعاد (3D)
- فيديوهات توضيحية على يوتوب
- ماكينات 3 محاور (Axis CNC-3)
- ماكينات 4 محاور (Axis CNC-4)
- ماكينات 5 محاور (Axis CNC-5)
- ماكينات 6 محاور (Axis CNC-6)

## الفصل الأول

### دور القياسات في حضارات البشرية

الطرق الأولى: استخدام أجزاء الجسم كأدوات في العصور القديمة، قبل اختراع الأدوات القياسية، اعتمد الناس على أجسادهم لقياس الأشياء. نشأت فكرة القياس استجابةً للاحتياجات العملية في البناء والتجارة والزراعة. ورغم أن هذه القياسات المستندة إلى الجسم كانت مفيدة للمهام اليومية، إلا أنها كانت تفتقر إلى الدقة والتلائقي المطلوبين للمهام الأكثر تعقيداً مع تطور المجتمع البشري. مع مرور الوقت، تم استبدال هذه الأساليب البدائية بأدوات وأنظمة أكثر تطوراً، حيث طورت الحضارات في جميع أنحاء العالم وحداثتها ومعاييرها الخاصة.

#### 1. القياسات المستندة إلى الجسم في الحضارات القديمة

استخدمت المجتمعات البشرية الأولى أجزاء من الجسم لتقريب المسافات والأحجام والكميات. فيما يلي بعض الوحدات الأكثر شيوعاً المستندة إلى جسم الإنسان:

- **الذراع:** تم استخدامه على نطاق واسع في مصر القديمة، وكان يعتمد على طول الساعد من المرفق إلى طرف الإصبع الأوسط. كان هذا القياس محورياً في بناء المعابد والأهرامات والهيكلات الكبيرة الأخرى.
- **القدم:** كما يشير الاسم، يعتمد هذا القياس على طول قدم الشخص. تم استخدامه في العديد من الثقافات القديمة، بما في ذلك الإغريق والرومان، وأصبح الأساس لوحدة "القدم" الحديثة المستخدمة اليوم في بعض البلدان.
- **اليد:** استخدمت بشكل أساسي في مصر، ولاحقاً في أوروبا في العصور الوسطى، وكانت "اليد" تمثل عرض أربعة أصابع، وكانت تُستخدم بشكل أساسي في قياس ارتفاع الخيول، وهي ممارسة تستمر حتى اليوم في سياقات الفروسية.
- **الكف:** كان الكف وحدة مصرية أخرى، تمثل عرض كف الإنسان، واستخدم جنباً إلى جنب مع الذراع واليد.

بينما كانت هذه الوحدات مفيدة للمهام الصغيرة مثل بناء المنازل أو صناعة الأدوات، إلا أن دقتها كانت محدودة لأن حجم الأجزاء الجسدية يختلف بين الأفراد. على سبيل المثال، يمكن أن يكون قدم شخص أو ذراع شخص مختلفاً بشكل كبير عن الآخر، مما يؤدي إلى تفاوت في القياسات.

#### 2. تطور أدوات القياس عبر الحضارات

مع تطور المجتمعات وزيادة احتياجاتها، خاصة في التجارة والبناء الكبير، أدركت المجتمعات أهمية التلائقي في القياسات. أدى هذا إلى تطوير أدوات وطرق أكثر تنظيماً عبر مختلف الحضارات.

### **مصر القديمة: رواد في القياس**

كانت مصر القديمة من أولى الحضارات التي أدركت الحاجة إلى قياسات معيارية، خاصة في بناء الهياكل الضخمة مثل الأهرامات. لمعالجة التفاوتات في القياسات المستندة إلى الجسم، طورت مصر عصا الذراع، وهي عصا خشبية أو حجرية تمثل ذراعاً معيارياً (حوالي 52.3 سم). هذا سمح بدقة وتناسق أكبر، خاصة عند بناء الهياكل الكبيرة.

- **عصا الذراع:** عصا مقاسة بدقة ساعدت في إنشاء الاتساق في المشاريع المعمارية والهندسية.
- **الأهمية في العمارة:** اعتمدت الأهرامات والمعابد والأنظمة المائية في مصر القديمة بشكل كبير على قياسات تستند إلى الذراع. كانت المحاذاة الدقيقة لهم الجizء العظيم، على سبيل المثال، مستحيلة دون وجود وحدة قياس ثابتة.



### **بلاد ما بين النهرين واختراع عجلة القياس**

في بلاد ما بين النهرين القديمة، تم استخدام أدوات مثل حبل القياس لقياس الحقول وتقسيم الأراضي لأغراض زراعية. كما طور سكان بلاد ما بين النهرين أوزاناً مصنوعة من الحجر، استخدمت في التجارة لقياس السلع مثل الحبوب والمعادن.

- **حبل القياس:** سلف للأشرطة القياسية الحديثة، كان يتم استخدام الحال التي تحتوي على عقد أو علامات على فترات منتظمة لقياس الأرضي لأغراض الزراعة، خاصة في بلاد ما بين النهرين ومصر.

- **عجلة القياس:** كانت عجلات القياس الأولى تستخدم لقياس المسافات الطويلة عن طريق التدحرج على الأرض. كانت هذه الأدوات هي الأسلاف للأدوات الحديثة المستخدمة في المسح.

- **معايير الأوزان:** تم استخدام أوزان الحجر والمعادن ذات الأحجام القياسية في التجارة لوزن السلع. تم تبني هذه الممارسة على نطاق واسع عبر الشرق الأدنى القديم وساعدت في توحيد التبادلات التجارية.

### **اليونان القديمة: الدقة الرياضية**

في اليونان، أسهمت التطورات في الهندسة والرياضيات خلال الفترة الكلاسيكية في طرق قياس جديدة، خاصة في البناء والفالك.

- **الستاديون اليوناني:** وحدة طول تستند إلى طول الاستاد المستخدم في سباقات القدم، وقد أثرت لاحقاً على قياس "الاستاد" المستخدم حتى اليوم في الرياضة. كان يقيس حوالي 600 قدم وكان حيوياً في تخطيط المدن ومشاريع البنية التحتية.
- **الجnomون:** أداة استخدمت لقياس الوقت وموقع الأجرام السماوية، كانت الجنومون أداة مبكرة تشبه الساعة الشمسية، حيث كانت تقيس مرور الزمن بناءً على موقع الشمس. توضح هذه الأداة كيف امتد القياس إلى ما وراء المساحة المادية إلى الوقت.
- **الديوپترا:** سلف الثيودوليت الحديث، كان الديوپترا أداة يونانية قديمة تستخدم لمسح الأراضي ومراقبة النجوم. كانت تتكون من قرص دوار يساعد في قياس الزوايا، وكانت مهمة بشكل خاص للبنية التحتية الكبيرة مثل القنوات.
- **الهندسة الرومانية: الحاجة إلى التوحيد**  
تبني الرومان وحسنوا تقنيات القياس اليونانية والمصرية، مما ضمن التوحيد عبر إمبراطوريتهم الواسعة.
- **القدم الروماني (Pes):**

  - كان القدم الروماني، الذي يعادل حوالي 29.6 سم، وحدة قياس معيارية مستخدمة في بناء الطرق والقنوات والمباني. كان المساحون الرومان يحملون أدوات مثل الغروما، وهي أداة على شكل صليب تستخدم لقياس الزوايا القائمة ومحاذاة الطرق والمدن.
  - **الميل الروماني:** مشتق من اللاتينية "mille passus" (ألف خطوة)، كان الميل يقيس حوالي 1000 خطوة لجندي روماني. كانت هذه وحدة حيوية في شبكة الطرق الرومانية التي امتدت عبر أوروبا والشرق الأوسط وشمال أفريقيا.
  - **الليبرا الرومانية:** وحدة وزن قياسية مستخدمة في التجارة، أثرت الليبرا في نهاية المطاف على تطوير الجنيه الحديث. كانت الأوزان والموازين الرومانية حاسمة لضمان العدالة في التجارة عبر الإمبراطورية.

العصور الوسطى وعصر النهضة: تطوير أدوات أكثر تعقيداً

أثناء العصور الوسطى، ازدهرت التجارة عبر أوروبا والشرق الأوسط وآسيا، مما أدى إلى الحاجة إلى أدوات قياس أكثر تطوراً. ورغم أن القياسات المستندة إلى الجسم ما زالت موجودة، إلا أن أدوات أكثر دقة ظهرت.

- **البيرديارد والمسطرات:** أصبحت المساطر الخشبية والمعدنية أدوات شائعة للحرفيين والبنيان. مثل البيرديارد، الذي تم إدخاله في إنجلترا، وهو يمثل طولاً قياسياً (36 بوصة) واستخدم في البناء والتجارة.

- **الأسطر لاب:** في العصر الذهبي الإسلامي، طور العلماء الأسطر لاب، وهي أداة معقدة لقياس ارتفاع الأجرام السماوية. كان هذا الجهاز أساساً في الملاحة والفالك، مما يوضح العلاقة المتطورة بين القياس والبحث العلمي.
  - **الموازين و التجارة:** بحلول عصر النهضة، أصبحت الموازين أكثر دقة، حيث استخدمت الأوزان الدقيقة في المختبرات العلمية والتجارة. أصبحت الأوزان المعدنية موحدة، مما يضمن تنسقاً أكبر في التجارة والقياسات العلمية.
- 

## **مساهمات العرب وتطوير أنظمة القياس**

قامت الحضارات العربية والإسلامية، خاصة خلال العصر الذهبي الإسلامي (القرن الثامن إلى الرابع عشر)، بإحراز تقدم كبير في أنظمة القياس. وكانت هذه المساهمات مدفوعة بالحاجة إلى قياسات دقيقة في التجارة والفالك والملاحة والهندسة والدراسات الدينية مثل تحديد أوقات الصلاة واتجاه القبلة.

- ٠ **تطوير أنظمة القياس في العالم العربي**  
**الفترة المبكرة: التأثير من الحضارات القديمة**  
كانت القياسات العربية خلال الفترة الإسلامية المبكرة متاثرة بشكل كبير بالحضارات السابقة مثل المصريين والبابليين والفرس. ومع ذلك، طور العرب نظاماً خاصاً بهم بناءً على احتياجاتهم في التجارة والبناء والعلم.
  - **القصبة:** كانت وحدة قياس للمسافات الطويلة، تعادل حوالي 5 كيلومترات، وغالباً ما كانت تستخدم في المسوحات الإسلامية المبكرة.
  - **الذراع:** كان الذراع معيلاً للذراع في القياس العربي. استخدم هذا المقياس بشكل مكثف في التجارة والبناء، مع وجود اختلافات حسب المنطقة. على سبيل المثال، كان الذراع المصري يختلف قليلاً عن الذراع الحجازي.
  - **الشّبر:** وحدة تستخدم للقياسات القصيرة، تمثل امتداد المسافة بين الإبهام والخنصر عند بسط اليد. كانت تُستخدم بشكل متكرر في البناء، خاصة في العمارة.
- التوحيد خلال الخلافة العباسية**
- شهدت الخلافة العباسية (750-1258 م) تقدماً كبيراً في توحيد القياسات لتسهيل التجارة والبحث العلمي والحكم عبر إمبراطوريتهم الشاسعة.
- **المثقال:** وحدة وزن كانت تستخدم بشكل أساسي لقياس المعادن الثمينة مثل الذهب والفضة، وتم توحيدها خلال العصر العباسى. أصبحت الأساس للمعاملات التجارية عبر العالم الإسلامي وما وراءه.

- الدرهم والدينار: كان الدرهم والدينار يُستخدمان كوحدات وزن بالإضافة إلى كونهما عملات. كان وزن الدرهم حوالي 3 جرامات، بينما كان الدينار حوالي 4.25 جرام. لعبت هذه الوحدات دوراً رئيسياً في ازدهار شبكات التجارة من الأندلس إلى شبه القارة الهندية.

- الفدان: كانت هذه وحدة لقياس الأراضي الزراعية، خاصة في مصر. كانت تشير إلى مساحة الأرض التي يمكن حرثها بفريق من الثيران في يوم واحد ولا تزال تستخدم حتى اليوم في بعض أجزاء العالم العربي.

**العصر الذهبي الإسلامي:** التقدم في الفلك والهندسة خلال العصر الذهبي الإسلامي، دفع العلماء والمهندسين العرب حدود المعرفة في مجالات مثل الفلك والرياضيات والهندسة، التي تطلب قياسات دقيقة. **القياسات الفلكية**

- الأسطرلاب: قام الفلكيون العرب بتنقيح وتوسيع استخدام الأسطرلاب، وهو اختراع يوناني قديم. كان هذا الجهاز يقيس موقع الأجرام السماوية وكان أساسياً في الملاحة وتحديد أوقات الصلاة وتحديد اتجاه القبلة. كان بإمكانه قياس الزوايا بدقة كبيرة، وهو ما كان ضرورياً لأغراض علمية ودينية.

- بوصلة القبلة: كانت هذه الأداة تساعد المسلمين في تحديد اتجاه مكة للصلوة. كان مثالاً على كيفية ارتباط القياسات بالفلك وتأثيرها المباشر على الحياة اليومية.

### الإنجازات المعمارية

- المقلّس: أداة استخدمها المهندسون والمعماريون العرب، مشابهة للبندول، لضمان استقامة المباني. كان هذا الأمر مهماً بشكل خاص لبناء المساجد والمآذن والهيكل المعماري الأخرى.

### المساهمات العثمانية

مع انتشار الإمبراطورية الإسلامية، امتدت تأثيراتها على أنظمة القياس العالمية. تبنت الإمبراطورية العثمانية، التي ظهرت في القرن الرابع عشر، العديد من أنظمة القياس العربية وطبقتها عبر أراضيها الشاسعة.

- المسطرة الهاشمية: استخدمت لقياس الأطوال والمسافات الصغيرة في الحرف الدقيقة، وكانت هذه المسطرة مهمة بشكل خاص في الإمبراطورية العثمانية لتفاصيل العمارة.

- الصاع: وحدة حجم استخدمت للسلع الجافة مثل الحبوب والتمور، وكان الصاع جزءاً لا يتجزأ من التجارة والزراعة. ولا يزال يستخدم حتى اليوم في بعض الممارسات الدينية مثل الزكاة.

- الباع: وحدة طول تستخدم في العالم العربي والعثماني، تقارب 2 متر، وكان هذا المقياس مهمًا بشكل خاص لقياس الأعماق البحرية في طرق التجارة.

## **مقدمة النظام المترى في العالم العربي**

مع انتقال العالم نحو العولمة في القرنين التاسع عشر والعشرين، بدأ النظام المترى، الذي نشأ في فرنسا، في الانتشار. تبنت الدول العربية هذا النظام تدريجياً بسبب بساطته وتوسيعه وتوحيده العالمي.

- **اعتماد الوحدات المترية:** دول مثل مصر ولبنان والأردن انتقلت رسمياً إلى النظام المترى في منتصف القرن العشرين. ومع ذلك، ظلت الوحدات التقليدية مثل الذراع والفدان مستخدمة لأغراض معينة، خاصة في المناطق الريفية.
- **الثورة المترية في التجارة والصناعة:** ساعد تبني النظام المترى في تحديث الاقتصادات العربية، وربطها بالمعايير الدولية وتسيير التجارة مع أوروبا والعالم.

---

### **خاتمة: تطور القياس في العالم العربي**

من الوحدات المستندة إلى الجسم مثل الذراع والمتر إلى الأدوات المتطرفة للعصر الذهبي الإسلامي واعتماد النظام المترى، تطورت القياسات في العالم العربي استجابةً للاحتياجات المتزايدة في العلم والتجارة والدين. تركت مساهمات العالم العربي في القياس، خاصة في مجالات الفلك والعمارة والتجارة، إرثاً دائماً في تطوير الأنظمة الحديثة.

## **تطور الدقة: تطوير واستخدام كتل المعايير**

### **الثورة الصناعية وال الحاجة إلى الدقة**

مع تقدم الثورة الصناعية في أواخر القرن الثامن عشر وأوائل القرن التاسع عشر، أصبحت عمليات التصنيع أكثر تعقيداً. كانت المصانع تنتج آلات وأدوات على نطاق واسع، تتطلب أن تتناسب المكونات مع بعضها البعض بدقة غير مسبوقة. في السابق، كان الحرفيون والمُشغلون يعتمدون على المساطر والمقاييس الميكانيكية لقياس الأجزاء. وعلى الرغم من أن هذه الأدوات كانت دقيقة، إلا أنها لم تكن تفي بمتطلبات الإنتاج الضخم للأجزاء القابلة للتبادل والتي يمكن أن تتناسب معًا بدون الحاجة إلى تعديلات إضافية.

أدى الطلب المتزايد على التصنيع الدقيق والمعياري إلى اختراع كتل المعايير، المعروفة أيضاً باسم "مقاييس يوهانسون" نسبة إلى مخترعها، الميكانيكي السويدي كارل إدفارد يوهانسون.

لماذا تم تطوير كتل المعايير  
تم تطوير كتل المعايير استجابةً لعدة تحديات رئيسية في التصنيع:

1. **البيانات في القياس:** يمكن للأدوات التقليدية مثل المساطر والمقاييس أن تتسبب في حدوث أخطاء بسبب التقسيم البشري أو تأكل الأدوات. حتى الفروقات الصغيرة في القياسات قد تؤدي إلى عدم تطابق الأجزاء بشكل صحيح، مما يسبب تأخيرات في التجميع وزيادة في التكاليف.

2. التبادل القياسي للأجزاء: مع زيادة الإنتاج الضخم، ظهرت الحاجة إلى أجزاء قابلة للتبدال بين الآلات والمصانع المختلفة. إذا لم تُصنع الأجزاء بدقة وفقاً للمواصفات، فلن تتناسب مع الآلات أو الأدوات بدون تعديلات إضافية، مما يحد من فائدة الإنتاج الضخم.

3. التوحيد القياسي: مع نمو الاقتصاد العالمي، احتاج المصنعون إلى وسيلة موثوقة لتوحيد القياسات عبر مختلف الصناعات والدول. كانت الدقة وقابلية التكرار للقياسات ضرورية لضمان أن المنتجات من مختلف المصنعين يمكن تجميعها معًا بدون مشكلات.

4. معايرة الأدوات: كان لا بد من معايرة الآلات والأدوات التصنيعية بانتظام لضمان دقتها. أتاحت كتل المعايرة معايرة الأدوات مثل الميكانيكيات والمقاييس على أساس معيار معروف، مما يضمن أن تكون القياسات دقيقة باستمرار.

## ما هي كتل المعايرة؟

كتل المعايرة هي كتل مستطيلة أو مربعة مصنوعة من المعدن، عادة من الفولاذ أو السيراميك، تم تشكيلها بدقة إلى سماكات محددة. تم تصميم هذه الكتل بحيث تكون أسطحها مسطحة ومتوازية ويمكن تجميعها معًا لخلق قياسات دقيقة وقابلة للتخصيص.

المواد: تُصنع كتل المعايرة عادةً من الفولاذ المقاوم للصدأ أو الفولاذ المطلية بالكريبيت أو الكريبيت. يتم اختيار المادة لقدرتها على مقاومة التآكل والحفاظ على الاستقرار الأبعادي تحت ظروف بيئية مختلفة (مثل تغيرات درجة الحرارة).

الدقة: تشكل جودة السطح ذات أهمية قصوى. يتم تلميع الكتل إلى سطح يشبه المرآة، مما يسمح لها بالالتصاق ببعضها عند تمريرها معًا، وذلك نتيجة لجاذبية جزيئية وفراغ جزئي.

الدقة: يتم صنع كتل المعايرة بتحملات دقيقة تصل إلى بضعة مليونيات من البوصة (أو الميكرونات). هذا يسمح باستخدامها لقياسات دقيقة ومعايرة الأدوات الأخرى بأعلى درجات الدقة.

### كيف تعمل كتل المعايرة

تأتي كتل المعايرة في مجموعة متنوعة من السماكات، عادةً بفارق تصل إلى 0.0001 مليمتر أو 0.0001 بوصة. لتحقيق قياس محدد، يتم "تجمیع" كتل المعايرة معًا عن طريق تمرير أسطحها المسطحة للغاية ضد بعضها البعض. هذا الإجراء يزيل الهواء بين الكتل ويخلق التصافًا طفيفًا، مما يسمح للكتل بالالتصاق معًا مؤقتًا.

من خلال تجمیع تركیبات مختلفة من الكتل، يمكن للمشغلين والمهندسين خلق أي طول أو سماكة مطلوبة بدقة فائقة.

مثال: لقياس أو معايرة مسافة 25.386 ملم، قد يقوم المشغل بتجمیع عدة كتل معايرة مثل:

- كتلة 20 ملم
- كتلة 5 ملم
- كتلة 0.3 ملم

• كتلة 0.08 ملم

• كتلة 0.006 ملم

يتم تجميع هذه الكتل معًا لخلق القياس المطلوب بدقة تامة.

تطبيقات واستخدامات كتل المعايرة

أصبحت كتل المعايرة أدوات لا غنى عنها في الصناعات التي تتطلب دقة عالية. إليك كيف تم استخدامها:

1. **معاييرة الأدوات القياسية:** أصبحت كتل المعايرة المعيار لمعاييرة الأدوات الأخرى مثل المقاييس والميكانيكيات. نظرًا لدقة كتل المعايرة العالية، يمكن للمشغلين ضمان أن أدواتهم تقدم قياسات دقيقة من خلال مقارنتها بكل المعايرة.

2. **إعداد الآلات:** في التصنيع الدقيق، تم استخدام كتل المعايرة لضبط ومحاذاة الآلات. من خلال تجميع كتل المعايرة على أبعاد محددة، يمكن للمشغلين ضمان أن الآلات تقطع أو تحفر الأجزاء بدقة وفقاً للمواصفات.

3. **مراقبة الجودة:** تم استخدام كتل المعايرة بشكل مكثف في مراقبة الجودة لفحص دقة الأبعاد للأجزاء المصنعة. من خلال مقارنة أبعاد الأجزاء بكل المعايرة، يمكن للمفتشين التأكد مما إذا كانت الأجزاء تلبي التحملات المطلوبة.

4. **صنع الأدوات والقوالب:** استخدم صانعو الأدوات والقوالب كتل المعايرة لضمان أن القوالب والأدوات وأجزاء الآلات تُصنع وفقاً للتحملات الدقيقة. كانت هذه الأدوات ضرورية لضمان أن الأجزاء المنتجة منها تناسب وتعمل بشكل صحيح.

5. **قابلية تبادل كتل المعايرة:** سمحت دقة كتل المعايرة باستخدامها على مستوى عالمي كمعيار لقياس. على سبيل المثال، يمكن استخدام مجموعة من كتل المعايرة المنتجة في السويد في الولايات المتحدة أو اليابان لمعاييرة أدوات القياس، مما يضمن أن المصنعين حول العالم يعملون بنفس المعاير.

6. **البحث العلمي:** وجدت كتل المعايرة أيضًا تطبيقات في المختبرات العلمية، حيث كانت هناك حاجة إلى قياسات عالية الدقة للتجارب والاختبارات الهندسية. سمحت القدرة على تجميع كتل المعايرة لخلق أبعاد دقيقة باستخدامها في تجارب تحتاج إلى قياسات قابلة للتكرار والدقة.

كيف أحدثت كتل المعايرة ثورة في التصنيع الدقيق

1. **الإنتاج الضخم للأجزاء القابلة للتبدال:** قبل كتل المعايرة، كان التصنيع يعتمد بشكل كبير على الأجزاء المخصصة التي تحتاج إلى تركيب يدوياً مع بعضها البعض. أتاحت كتل المعايرة إنتاج الأجزاء القابلة للتبدال، مما يعني أن المكونات يمكن أن تُصنع في مصانع مختلفة وتظل تناسب بشكل مثالي دون تعديلات إضافية. كان هذا ضروريًا لتطوير صناعات مثل صناعة السيارات، حيث كان لابد من أن تكون الملبيين من الأجزاء متطابقة.

**2. زيادة كفاءة التصنيع:** من خلال توفير معيار قياس عالي الدقة، قلل كتل المعايرة من الأخطاء وإعادة العمل في التصنيع. يمكن للعمال الوثيق بأنه إذا قاموا بقطع جزء وفقاً للمواصفات المقدمة من كتل المعايرة، فسيكون الجزء مناسباً بشكل صحيح. أدى ذلك إلى زيادة كفاءة خطوط الإنتاج وتقليل الهدر.

**3. التوحيد القياسي العالمي:** ساعدت كتل المعايرة في إنشاء معيار عالمي لقياس الدقيق. نظراً لأنها كانت مصنوعة بتحملات دقيقة للغاية، أصبحت كتل المعايرة الأساس لنظام الوحدات الدولي (SI) لقياس الطول، بما في ذلك المتر. سمح هذا التوحيد القياسي للمصنعين حول العالم بالعمل من نفس القياسات الدقيقة، مما يسهل التجارة والتعاون الدوليين.

#### **إرث كتل المعايرة**

على الرغم من أن التكنولوجيا قد تطورت منذ اختراع كتل المعايرة، إلا أنها لا تزال أداة أساسية في التصنيع الدقيق والمعايرة. تعتمد الصناعات الحديثة مثل الطيران والسيارات والإلكترونيات على كتل المعايرة لمعايير الأدوات ومراقبة الجودة، مما يضمن أن المكونات تلبي التحملات الصارمة المطلوبة في هذه المجالات.

مع تطور الأدوات الرقمية وأدوات القياس القائمة على الليزر، قد لا تُستخدم كتل المعايرة بشكل مكثف كما كانت من قبل لقياس الاستخدام اليومي. ومع ذلك، لا يزال دورها في المعايرة ضرورياً، حيث لا تزال الأدوات الرقمية المتقدمة بحاجة إلى أن تقارن بالمعايير المادية.

#### **الخلاصة: حجر الزاوية في الدقة**

كتل المعايرة هي أكثر من مجرد كتل معدنية بسيطة؛ فهي تمثل واحدة من أهم التطورات في القياس الدقيق. تم تطويرها في وقت كان التصنيع يتطلب دقة أكبر، وأصبحت كتل المعايرة المعيار الذهبي لضمان جودة الأجزاء المصنعة واتساقها. لا يمكن المبالغة في دورها في تطوير الإنتاج الضخم والتجارة العالمية والبحث العلمي، ولا تزال تخدم كأساس للهندسة الدقيقة في العالم الحديث.

#### **0. فجر القياس الحديث**

مع التقدم العلمي في عصر النهضة والثورة الصناعية، تطورت أدوات القياس إلى الأدوات المعقّدة التي نعرفها اليوم.

**0. المقياس الفيرنيير:** اختراع في القرن السابع عشر، سمح هذا الأداة بقياسات دقيقة للغاية للطول والعمق والقطر، مما أحدث ثورة في التصنيع والهندسة.

**0. النظام المترى:** في عام 1799، قدمت فرنسا النظام المترى الذي وحد القياسات عبر العالم. اعتمد المتر، المستند إلى المسافة من خط الاستواء إلى القطب الشمالي، كوحدة عالمية لقياس الطول، واستخدم الكيلوغرام لقياس الكتلة.

**0. الثيودوليت:** كان هذا التقدم في أداة الديوبترالى القديمة يستخدم للمسح الدقيق للأراضي والهياكل، وكان ضرورياً لتطوير المدن والبحث العلمي.

## **الخلاصة: تطور القياس كتعبير عن التقدم البشري**

من استخدام أجزاء الجسم كأدوات بدائية إلى تطوير أدوات معقّدة ودقيقة، كان القياس محوراً في تقدّم البشرية. يمثل الرحلة من "الذراع" و"القدم" إلى المقاييس الحديثة والنظام المترى الجهد المستمر للبشرية لجلب الانساق والدقة والفهم للعالم. يمثل تطور القياس شهادة على براعتنا، وشكل العمارة والتجارة والعلم والتكنولوجيا التي بنيت عليها الحضارات.

## **النظام المترى: معيار عالمي للقياس**

### **أصول النظام المترى**

تم تطوير النظام المترى في فرنسا خلال أوّل القرن الثامن عشر، كجزء من حركة نحو العقلانية والتّوحيد القياسي بعد الثورة الفرنسية. قبل إنشاء النظام المترى، استخدمت معظم الدول، بما في ذلك فرنسا، مجموعة متنوعة من الأنظمة المحلية للقياس والتي كانت غير متناسقة، غالباً ما كانت تعتمد على وحدات عشوائية مشتقة.

من أجزاء الجسم أو المعايير المحلية التي تختلف اختلافاً كبيراً من منطقة إلى أخرى. تسبّب هذا التباين في الارتباك، وأعاق التجارة، وعرقل البحث العلمي.

استجابة لهذه المشكلات، كلفت الحكومة الفرنسية العلماء بتطوير نظام قياس موحد يمكن استخدامه عالمياً ويستند إلى الثوابت الطبيعية، بدلاً من المعايير البشرية العشوائية.

### **إنشاء النظام المترى**

كان تطوير النظام المترى يعتمد على ثلاثة مبادئ رئيسية:

1. **التطبيق العالمي:** تم تصميم النظام ليكون قابلاً للتطبيق عالمياً في جميع المجالات، من التجارة والصناعة إلى العلوم والاستخدام اليومي. الهدف منه القضاء على الفروق الإقليمية في القياس وخلق نظام يمكن استخدامه بالتساوي من قبل جميع الناس بغض النظر عن موقعهم.

2. **الهيكل العشري:** ينظم النظام المترى حول قوى العدد عشرة، مما يجعله بسيطاً وسهلاً الاستخدام في الحسابات. كان هذا الهيكل العشري خروجاً كبيراً عن الأنظمة السابقة، التي غالباً ما استخدمت تقسيمات غير منتظمة.

3. **الثوابت الطبيعية:** على عكس أنظمة القياس السابقة المستندة إلى أجزاء الجسم أو المعايير العشوائية الأخرى، استند النظام المترى إلى الثوابت الطبيعية. على وجه التحديد، تم اشتراك وحدات الطول والكتلة من حجم الأرض وخصائص الماء، مما يضمن التناسق العالمية.

## **الوحدات الرئيسية في النظام المترى وأسسها**

الوحدات الأساسية لنظام المترى هما المتر والكيلوغرام، وكلاهما يستند إلى خصائص فيزيائية يمكن قياسها باستمرار في أي مكان على الأرض.

- **المتر (m):** تم تعريف المتر على أنه جزء من عشرة ملايين من المسافة من القطب الشمالي إلى خط الاستواء، والتي تم قياسها على طول خط زوال يمر عبر باريس. ربط هذا التعريف وحدة الطول بحجم الأرض، مما يضمن أنها تستند إلى ثابت طبيعي. لاحقاً، تم تحسين تعريف المتر لزيادة الدقة. في عام 1983، تم إعادة تعريف المتر على أنه المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ خلال  $1/299,792,458$  من الثانية، مما يجعله متواافقاً مع سرعة الضوء الثابتة.
- **الكيلوغرام (kg):** كان الكيلوغرام في الأصل معروفاً على أنه كتلة لتر من الماء عند أقصى كثافته (4 درجات مئوية). تم اختيار هذا الارتباط بالماء لأنها مادة شائعة وسهلة التكرار. لاحقاً، تم إنشاء نموذج أولي رسمي للكيلوغرام مصنوع من البلاتين-الإيريديوم وتم تخزينه في فرنسا. في عام 2019، تم تحديث تعريف الكيلوغرام ليعتمد على ثابت بلانك، وهو ثابت أساسى في الفيزياء، لضمان الدقة بشكل أكبر.
- **اللتر (L):** اللتر هو وحدة الحجم في النظام المترى ويُعرف على أنه الحجم الذي يشغل مكعب أضلاعه 10 سنتيمترات لكل جانب. يرتبط اللتر مباشرةً بالمتر، مما يعكس الاتساق الجوهرى بين وحدات الطول والحجم في النظام.
- **الثانية (s):** على الرغم من أنها ليست حصرية للنظام المترى، إلا أن الثانية تُستخدم كوحدة أساسية للزمن. يعتمد التعريف الحديث للثانية على اهتزازات ذرات السبيزيوم، مما يضمن أن قياس الوقت متناسق وموثوق.
- **مقياس سلسليوس ( $C^\circ$ ):** يشمل النظام المترى مقياساً لدرجة الحرارة يعتمد على نقاط التجمد والغليان للماء. يتم تعريف درجة الصفر سلسليوس على أنها نقطة تجمد الماء، و100 درجة سلسليوس على أنها نقطة غليان الماء عند الضغط الجوى القياسي. هذا المقياس الحراري بدأ يُستخدم على نطاق واسع في البحث العلمي والحياة اليومية.

#### النظام العشري: البساطة والكافأة

إحدى الابتكارات الأكثر أهمية في النظام المترى هي هيكله العشري. جميع الوحدات في النظام المترى تعتمد على قوى العدد عشرة، مما يجعل الحسابات بسيطة وبديهية. على سبيل المثال، الكيلومتر الواحد يعادل 1000 متر، والمليمتر الواحد يعادل  $1/1000$  من المتر. هذا يلغي الحاجة إلى التحويلات المعقدة بين الوحدات، والتي كانت مشكلة رئيسية في الأنظمة القديمة التي استخدمت تقسيمات غير منتظمة، مثل البوصات والأقدام أو الأرطال والأوقية.

**الرموز:** يستخدم النظام المترى الرموز للإشارة إلى المضاعفات أو الكسور للوحدات الأساسية. هذه الرموز موحدة عبر جميع وحدات القياس، سواء كنت تقيس المسافة أو الحجم أو الكتلة، فإن الرموز هي نفسها. من بين الرموز الشائعة:

- **ميلى (m):** واحد من الألف ( $1/1000$ )
- **سنتي (c):** واحد من المائة ( $1/100$ )

- كيلو (K): ألف (1000)
- ميغا (M): مليون (1,000,000)

هذه الاستخدام الموحد للرموز يبسط النظام بشكل كبير ويسمح بالتحويل السهل بين الوحدات. يساعد استخدام المتر المتر المتر على تبسيط النظام بشكل كبير ويسمح بالتحويل السهل بين الوحدات. على سبيل المثال، يتطلب التحويل من الأمتار إلى المليمترات ضرب القيمة في 1000، بينما يتطلب التحويل من الكيلوغرامات إلى الغرامات أيضاً ضرب القيمة في 1000.

#### **التبني العالمي للنظام المتر**

اعتمدت الحكومة الفرنسية رسمياً النظام المتر في عام 1795، مما جعل فرنسا أول دولة تقنن قياساتها باستخدام هذا النظام الجديد. بمرور الوقت، ظهرت فوائد النظام المتر للدول الأخرى، وانتشر تدريجياً في جميع أنحاء أوروبا والأمريكتين وفي النهاية معظم دول العالم.

#### **أسباب التبني العالمي:**

- **البساطة وسهولة الاستخدام:** جعل النظام المتر، المعتمد على النظام العشري، التعلم والاستخدام أسهل بكثير من الأنظمة القديمة التي اعتمدت على وحدات غير منتظمة وتحويلات معقدة.
- **التجارة الدولية:** مع ازدياد التجارة بين الدول خلال القرنين التاسع عشر والعشرين، أصبح من الواضح الحاجة إلى نظام موحد لقياس. أتاح النظام المتر للدول تبادل السلع والخدمات دون الحاجة إلى التحويلات أو سوء الفهم المتعلق بالوحدات المختلفة.
- **البحث العلمي:** أصبح النظام المتر سريعاً المعيار في المجتمع العلمي نظراً لدقته وعالميته. كان العلماء بحاجة إلى لغة مشتركة لقياس من أجل التعاون الفعال، وقدم النظام المتر ذلك.
- **التصنيع:** مع تصاعد التصنيع في البلدان، أصبحت الحاجة إلى الدقة في التصنيع أكثر وضوحاً. سمح التناسق في النظام المتر للمهندسين بإنشاء أجزاء ومنتجات يمكن إنتاجها وفقاً للمواصفات الدقيقة، مما أدى إلى تحسين كفاءة المصانع وتقليل الهدر.
- **المعايير الدولية:** في عام 1875، تم توقيع اتفاقية المتر من قبل 17 دولة، مما أدى إلى إنشاء إطار عمل دولي لاستخدام النظام المتر وإنشاء المكتب الدولي للأوزان والمقاييس (BIPM). تستمرة هذه المنظمة في الإشراف على توحيد القياسات على مستوى العالم، مما يضمن بقاء النظام المتر متسقاً بين جميع الدول التي تستخدمه.

#### **تأثير النظام المتر على العلم والصناعة**

أدى التبني الواسع للنظام المتر إلى ثورة في كل من العلوم والصناعة خلال القرنين التاسع عشر والعشرين.

- **البحث العلمي:** قدم النظام المترى للعلماء لغة عالمية لقياس، مما مكّن من التعاون والمقارنة بين الأبحاث عبر الحدود. تعتمد مجالات مثل الكيمياء والفيزياء والبيولوجيا بشكل كبير على القياسات الدقيقة، ويضمن تناصق النظام المترى إمكانية تكرار التجارب والنتائج بدقة.
- **التصنيع الصناعي:** في مجال التصنيع، سمح النظام المترى بمزيد من الدقة والتوحيد القياسي. بفضل النظام المترى، يمكن تصنيع الأجزاء في مصانع مختلفة وما زالت تتلاعماً تماماً، مما يمهد الطريق للإنتاج الضخم وصعود الصناعة الحديثة.
- **الرعاية الصحية والطب:** في المجال الطبى، يستخدم النظام المترى لكل شيء بدءاً من حساب جرعات الأدوية إلى قياس درجة حرارة الجسم وزن والطول. تعد دقة النظام ضرورية لضمان أن العلاجات تدار بأمان وفعالية.
- **الهندسة والبناء:** يعتمد المهندسون والمعماريون على النظام المترى لقياسات دقيقة في تصميم المباني والجسور والآلات والبنية التحتية. يساهم التناصق وسهولة الاستخدام في ضمان سلامة وسلامة الهياكل.

#### **التحديات التي تواجه التبني في بعض الدول**

على الرغم من هيمنة النظام المترى عالمياً، إلا أن هناك بعض الدول التي لم تتبناه بالكامل. على سبيل المثال، لا تزال الولايات المتحدة تستخدم النظام الإمبراطوري لمعظم القياسات اليومية (مثل البوصات والأقدام والأرطال والجالونات)، على الرغم من استخدام النظام المترى على نطاق واسع في المجالات العلمية والطبية. تشمل أسباب ذلك المقاومة الثقافية، وتكليف الانتقال إلى نظام جديد، وتعمق النظام الإمبراطوري في التعليم والصناعة الأمريكية.

ومع ذلك، حتى في دول مثل الولايات المتحدة، هناك اعتراف متزايد بمزایا النظام المترى، خاصة في التجارة العالمية والبحث العلمي. تستخدم العديد من الصناعات، مثل صناعة السيارات والتكنولوجيا، القياسات المترية لتنماشى مع المعايير الدولية.

#### **النظام المترى الحديث (SI)**

اليوم، تطور النظام المترى ليصبح النظام الدولي للوحدات (SI)، وهو الشكل الحديث للنظام المترى. يشمل نظام SI سبع وحدات أساسية تستمد منها جميع الوحدات الأخرى:

- **المتر (m):** لقياس الطول
- **الكيلوغرام (kg):** لقياس الكتلة
- **الثانية (s):** لقياس الزمن
- **الأمبير (A):** لقياس التيار الكهربائي
- **الكلفن (K):** لقياس درجة الحرارة

- المول (mol): لقياس كمية المادة
- الشمعة (cd): لقياس شدة الضوء

تشكل هذه الوحدات الأساسية لجميع القياسات الحديثة، مما يجعل النظام المتري هو المعيار في كل بلد تقريباً وفي كل مجال علمي حول العالم

## أدوات وتقنيات القياس الحديثة

### الأدوات الدقيقة

في عالم اليوم، أصبحت الدقة في القياسات حجر الزاوية في العديد من الصناعات مثل الهندسة، التصنيع، البناء، والتصنيع الرقمي. لقد ساعدت الأدوات الحديثة في تمكين القياسات الدقيقة للغاية، والتي تعتبر حاسمة في تصميم وإنتاج وضمان جودة المنتجات. دعونا نستعرض بعض الأدوات الدقيقة الحديثة المستخدمة على نطاق واسع:

- **المقاييس الرقمية والمكاييل الدقيقة:**  
المقاييس الرقمية والمكاييل الدقيقة أحدثت ثورة في الهندسة الدقيقة من خلال توفير قياسات فائقة الدقة. تُستخدم المقاييس الرقمية لقياس الأبعاد الداخلية والخارجية لجسم ما، بالإضافة إلى قياس العمق، بدقة تصل إلى 0.01 ملم. وهي ضرورية في مجالات التصنيع والهندسة حيث أن أي خطأ صغير يمكن أن يؤثر على ملائمة أو وظيفة المكونات.  
من ناحية أخرى، تخصص المكاييل الدقيقة في قياسات أدق بكثير، تصل عادةً إلى 0.001 ملم، وتستخدم لقياس الأبعاد الصغيرة مثل سمك أو قطر الأشياء. هذه الأدوات ضرورية في إنتاج المكونات الدقيقة في صناعات مثل السيارات، الطيران، والإلكترونيات، حيث تكون القياسات الدقيقة ضرورية لضمان الأداء الأمثل.

- **أدوات القياس بالليزر:**  
تعتبر أدوات القياس بالليزر تقنية أساسية في البناء، الهندسة، والتصنيع الرقمي. هذه الأجهزة، مثل مقاييس المسافات بالليزر والمساحات الضوئية بالليزر، تُستخدم أشعة ضوئية لقياس المسافات والزوايا والموقع بدقة مذهلة. في البناء، تُستخدم لأغراض المسح الموقعي، والتأكيد من المحاذاة الصحيحة للهيكل والجدران والتركيبات. في التصنيع، غالباً ما تُستخدم أدوات القياس بالليزر لقياس ورسم مكونات مفصلة، مما يضمن إنتاج كل جزء من التصميم بدقة. هذا النوع من الأدوات لا غنى عنه عندما تكون الدقة العالية مطلوبة عبر مسافات طويلة، حيث قد تفشل الطرق التقليدية.

- **آلات قياس الإحداثيات (CMM):**  
آلات قياس الإحداثيات هي أجهزة متقدمة تقيس الأشكال الهندسية للأشياء باستخدام مسبار يلامس سطح الجسم لجمع الإحداثيات الدقيقة. تُستخدم آلات قياس الإحداثيات بشكل واسع في مراقبة الجودة للتحقق من دقة الأبعاد للأجزاء المصنوعة. وهي مهمة بشكل خاص في صناعات مثل الطيران

وصناعة السيارات، حيث تكون التسامحات ضيقة للغاية. تضمن هذه الآلات أن الأجزاء مصنعة وفقاً للمواصفات الموضحة في نماذج CAD، وهو أمر حاسم للأجزاء التي يجب أن تتلاءم أو تعمل معًا بدقة.

### التقنيات الناشئة

تتطور تكنولوجيا القياس باستمرار لتحسين الدقة والسرعة والمرونة في التطبيقات المختلفة:

- **المسح ثلاثي الأبعاد:**

تقنية المسح ثلاثي الأبعاد أصبحت مغيرة للعبة في مجالات مثل الهندسة العكسية، الأرشفة الرقمية، والنماذج الأولية السريعة. تستخدم هذه الماسحات الليزر أو الضوء الهيكلي لالتقطان الشكل الهندسي الدقيق لجسم ما، مما يخلق نموذجاً ثلاثي الأبعاد يمكن تعديله أو تحليله باستخدام برامج CAD. في الهندسة العكسية، يتيح المسح ثلاثي الأبعاد للمصنعين إعادة إنتاج الأجزاء التي لم تعد لها رسومات أو قوالب أصلية، مما يجعل من السهل إنتاج بدائل مخصصة. في سياق الأرشفة الرقمية، يُستخدم للحفظ على وإنشاء نسخ رقمية من القطع الأثرية الثقافية أو الأشياء التاريخية للأجيال القادمة. يعتبر المسح ثلاثي الأبعاد أيضاً جزءاً لا يتجزأ من عملية النماذج الأولية، حيث يتيح التقاط وتكرار سريع للأشياء المادية أثناء التطوير.

- **أدوات القياس غير التلامسية:**

تمثل أدوات القياس غير التلامسية أحد تقنيات القياس. تستخدم هذه الأدوات الليزر، الموجات فوق الصوتية، أو موجات كهرومغناطيسية أخرى لقياس الأجسام دون الاتصال المادي. على سبيل المثال، يمكن للأنظمة المعتمدة على الليزر قياس المسافة أو نسيج السطح بدقة عالية، مما يجعلها مفيدة في الصناعات التي تتطلب ظروف قياس حساسة مثل تصنيع الأجهزة الطبية، حيث يمكن أن يؤدي الاتصال إلى تلف المنتج. تستخدم أدوات القياس بالموجات فوق الصوتية الموجات الصوتية لقياس المسافات أو السمك أو حتى خصائص المواد، وهي شائعة في اختبارات المواد حيث تكون الدقة مطلوبة دون تغيير المادة المقاسة. توفر هذه التقنيات المتقدمة عدة مزايا، بما في ذلك القياس الأسرع، والقدرة على قياس الأماكن التي يصعب الوصول إليها، وعدم وجود خطر إتلاف الأسطح الحساسة.

---

## تطبيقات القياس في التصنيع الرقمي

في عالم التصنيع الرقمي، تعد الدقة والقياسات الدقيقة حجر الزاوية لنجاح أي مشروع. من المراحل الأولى للتصميم باستخدام برامج CAD إلى مرحلة الإنتاج ومراقبة الجودة، تعد القياسات ضرورية في كل خطوة.

- **إعداد المشاريع: أهمية القياسات الدقيقة في تصميمات CAD:**

يُعد التصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD) الخطوة الأولى في معظم مشاريع التصنيع الرقمي، حيث يقوم المصممون بإنشاء نماذج افتراضية لمنتجاتهم. القياسات الدقيقة في مرحلة CAD مهمة جدًا

لأنها تشكل الخطة الأساسية لعملية الإنتاج بأكملها. أي أخطاء في القياسات في هذه المرحلة قد تؤدي إلى حدوث أخطاء عند نقل التصميم إلى آلات التصنيع مثل ماكينات CNC، الطابعات ثلاثية الأبعاد، أو القواطع بالليزر. تضمن نماذج CAD الدقة أن التصميم الرقمي يمكن أن يتم ترجمته تماماً إلى جسم مادي، مما يمنع إهدار المواد ويقلل من وقت الإنتاج. تتيح أدوات CAD قياسات دقيقة مثل القياس المقياسي، المحاذة، وملائمة المكونات، مما يضمن أن المنتج النهائي يلتزم بالمواصفات المطلوبة.

## التطبيقات الواقعية

### • تطوير النماذج الأولية: كيف تؤدي القياسات الدقيقة إلى نماذج أولية أفضل؟

تعد النماذج الأولية خطوة أساسية في تطوير المنتج، حيث يتم إنشاء نموذج مادي للمنتج لاختبار شكله ووظيفته وجوداه. القياسات الدقيقة ضرورية لضمان أن النموذج الأولي يعكس المنتج النهائي بشكل دقيق. قد تؤدي القياسات غير الدقيقة إلى تكرارات وتصميمات مكلفة، لأن النموذج المادي قد لا يلبي المتطلبات الوظيفية أو الجمالية للمشروع. من خلال الحفاظ على معايير القياس الصارمة، يمكن للمصممين والمهندسين إنتاج نماذج أولية عالية الجودة تمثل تمثيلاً دقيقاً للمنتج النهائي، مما يسرع دورة التطوير ويقلل من الوقت للوصول إلى السوق.

### • ضمان الجودة: دور القياس في ضمان معايير المنتج

في مرحلة الإنتاج، تعتمد مراقبة الجودة (QA) بشكل كبير على القياسات الدقيقة لضمان أن كل جزء مُصنَّع يلبي المواصفات المطلوبة. باستخدام أدوات مثل آلات قياس الإحداثيات، المقاييس الرقمية، أو أجهزة القياس بالليزر، يقوم فرق مراقبة الجودة بقياس الأبعاد، جودة السطح، ومحاذة الأجزاء. تساعد القياسات الدقيقة في مراقبة الجودة في الكشف عن الانحرافات أو العيوب في وقت مبكر من عملية الإنتاج، مما يسمح بإجراء تصحيحات قبل أن تصبح مشاكل على نطاق واسع. هذا يضمن أن المنتج النهائي يلبي معايير السلامة، الوظيفة، والجمالية، وهو أمر بالغ الأهمية في الصناعات مثل الطيران، السيارات، والإلكترونيات الاستهلاكية، حيث تكون الدقة العالية أمراً لا غنى عنه.

في الختام، أصبحت أدوات وتقنيات القياس الحديثة لا غنى عنها في بيئة التصنيع والتصنيع الرقمي اليوم. فهي لا تضمن الدقة والجودة فحسب، بل تدفع الابتكار والكفاءة في كل من النماذج الأولية والإنتاج على نطاق واسع.

## **الفصل الثاني: التصميم الهندسي - من الفن القديم إلى التصميم بمساعدة الحاسوب**

مقدمة عن التصميم البياني والهندسي

**التعريف والدور:**

التصميم الهندسي هو جزء أساسي من الفن، العمارة، والتصنيع الرقمي. فهو ليس علم دراسة الأشكال والعلاقات بين النقاط، الخطوط، الزوايا، والأسطح فحسب بل هو لغة تعلم البشر من خلالها إدراك العالم من حولهم وتفسيره وتحويله. من الرسومات على الكهوف إلى العمارة الحديثة والتصنيع الرقمي، كانت المبادئ الهندسية توجه الطريقة التي نتعامل بها مع الشكل، الهيكل، والفهم المكاني. وأدى تطوير هذه المبادئ، إلى جانب النظريات الرياضية، إلى تمكين البشر من تحسين إدراكيهم للتوازن، النسب، والتناغم، مما أثرى كل من الفن والتكنولوجيا فإن التصاميم الهندسية أداة قوية يرتكز عليها تخطيط المساحات، والبناء، وتصميم المنتجات. قد شهدنا استخدام الهندسة في الحضارات القديمة مثل مصر القديمة واليونان، واستمر تطورها لتصبح أساساً للعديد من الصناعات الحديثة. اليوم، يستخدم التصميم الهندسي في كل شيء من التصنيع الرقمي إلى الفن المعماري.

**السياق التاريخي:**

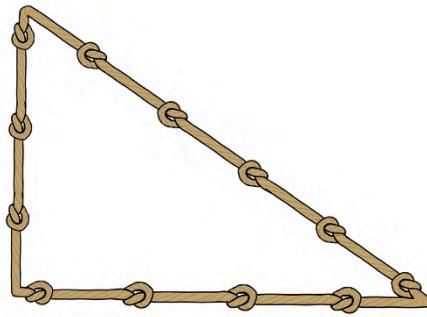
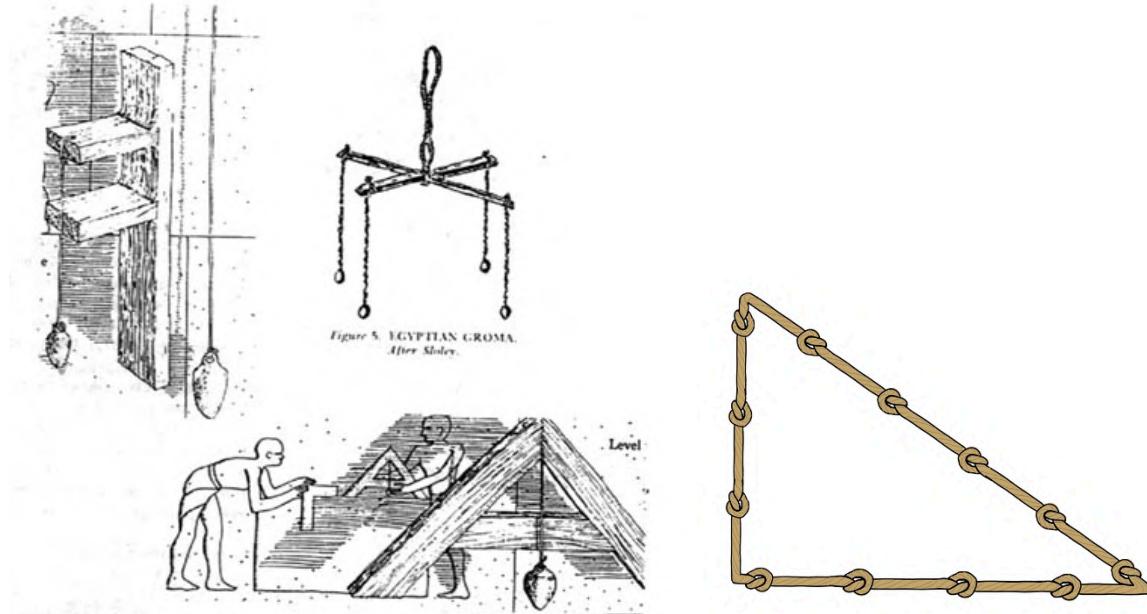
منذ العصور القديمة، أدرك البشر بشكل بدائي الأنماط الهندسية في الطبيعة، من الحذون في صدفة إلى التناظر في الزهرة. كانت هذه الملاحظات الهندسية الطبيعية مصدر إلهام لطرق التصميم المبكرة، حيث كانت النسب والتوازن مفتاحاً للنجاح الجمالي والوظيفي على حد سواء. وبمرور الوقت، طورت الحضارات الأدوات والأنظمة الرياضية والرسم البياني أو الهندسي لتدوين هذه الأفكار، مما أدى إلى ظهور العجائب المعمارية مثل أهرامات مصر، البارثينون في اليونان، والمساجد العظيمة في العالم الإسلامي. خلال العصور الوسطى وعصر النهضة، شهدنا تطوراً كبيراً في الفهم الرياضي للهندسة، خاصةً مع ظهور الهندسة الإقليدية وتطوير أساليب جديدة لتمثيل الفضاء والمنظور. ومع مرور الوقت أدى نضوج هذه المبادئ إلى إسهامات في الثورة العلمية والتقدم التكنولوجي الحديث، مؤثرة على كل شيء بدءاً من كيفية إدراكتنا للكون إلى البناء التي نسكنها و المصنوعات المستخدمة في حياتنا يومياً .

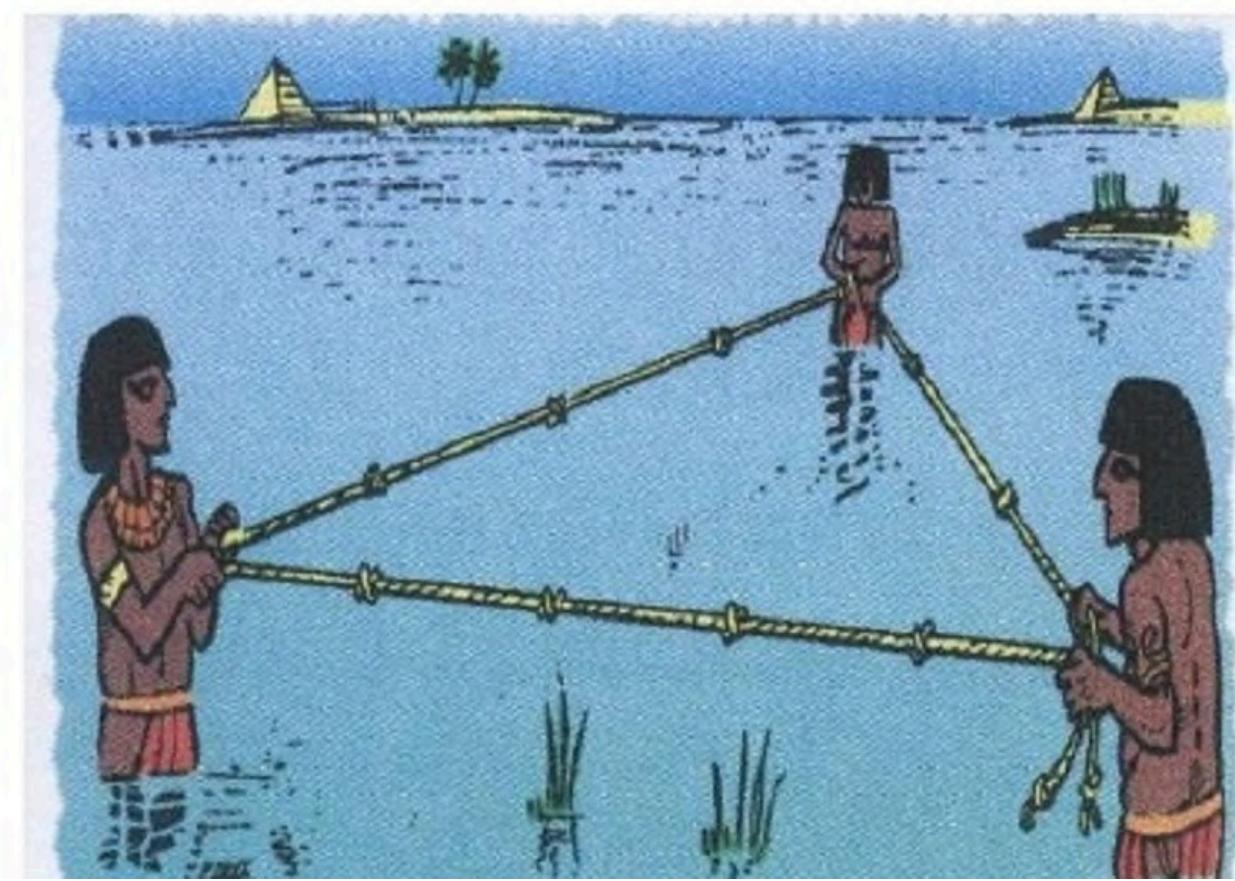
### الحضارات القديمة:

استخدم البشر الأوائل الهندسية كوسيلة للبقاء - كان فهم المسافة، العمق، والمكان أمراً حاسماً للصيد، الجمع، وبناء الملاجئ. مع مرور الوقت، أصبحت الهندسة أداة للتعبير عن الأفكار المجردة، مما أدى إلى تقدم في كل من الفن والهندسة.

### المصريون والهندسة:

طبق المصريون القدماء الهندسة لمحاذاة وتتناسب هياكلهم الضخمة مع النجوم والبيئة الطبيعية. تعد أهرامات الجيزة، على سبيل المثال، إنجازات هندسية رائعة وتعبر عن فهم متقدم للإدراك المكاني. فكانت الهندسة أدلة ضرورية لتحديد الزوايا الصحيحة، وإنشاء المخطوطات، وضمان استقامة الهياكل. فاستخدام مبادئ النسب والتناظر وقياس الزوايا والمسافات الدقيقة كان ضروريًا لتحقيق الدقة في بناء مثل هذه الهياكل العظيمة. لعكس النظام الإلهي والطموحات البشرية.





### اليونانيون وتطوير الهندسة الإقليدية:

قام اليونانيون بتدوين هذه المفاهيم من خلال عمل علماء الرياضيات مثل إقليدس، الذي وضع نظاماً شاملأً لفهم الفضاء، الزوايا، والعلاقات بين الأشكال. هذا العمل غير الطريقة التي كان الناس يفكرون بها حول الفضاء والمنظور، مقدماً إطاراً جعل ليس فقط الأشياء المادية بل أيضاً المجردة مفهومة. احتضنت الفلسفة اليونانية الهندسة كعدسة لرؤيه الكون، حيث قال أفلاطون الشهير إن "الهندسة كانت موجودة قبل خلق العالم". هذا الفهم العميق للنسب، المقياس، والتناظر عمّق إدراك البشر وتعبيراتهم الفنية والمعمارية.

### الفن الإسلامي:

في العالم الإسلامي، وصل التصميم الهندسي إلى مستويات جديدة من التعقيد، خاصة في شكل التبليطات والأنمط المعقّدة. كانت هذه التصميمات، التي غالباً ما تُستخدم في العمارة، تعبرًا عن فهم أعمق للكون، حيث تمثل الأنماط المتكررة اللانهائية فكرة الكون الأزلي وتعكس الانسجام والتغاير الذي يُعتقد أنه يحاكي النظام الكوني. لم يكن الفن الهندسي الإسلامي زخرفياً فحسب، بل عكس أيضًا التفاعل العميق مع الرياضيات، التناظر، وفلسفة الترابط. استخدم الفنانون والمهندسو المسلمون الأشكال الهندسية بشكل

متكرر لتزيين المساجد والقصور، مما ساهم في تطوير هيكل معمارية فريدة تعتمد على القيم الجمالية والعلمية، وساهم هذا في تكوين إدراك أعمق للتوازن والتناغم في الحياة اليومية.

#### أدوات العمل:

##### البواصلات والمساطر:

في الحضارات القديمة، كانت البواصلةة والمسطرة أدوات لا غنى عنها لإنشاء الدوائر والخطوط والزوايا الدقيقة. سمحت هذه الأدوات للمهندسين المعماريين والفنانين بتصور تصاميم معقدة بوضوح. كان رسم دائرة مثالية أو خط مستقيم تطوراً في الإدراك البشري - فجأة، أصبح بإمكان البشر تمثيل المفاهيم المجردة مثل الكمال واللامادية بشكل مرئي.

سمحت هذه الأدوات للمصممين بإنشاء دوائر دقيقة وخطوط مستقيمة، مما كان حاسماً في تحديد الزوايا والقياسات الصحيحة.

##### المقسمات النسبية:

استخدمت المقسمات النسبية بشكل واسع في فنون عصر النهضة، حيث ساعدت الفنانين في قياس النسب الصحيحة للأجسام البشرية والهيكل المعماري. كانت هذه الأدوات تساعد في تحقيق التوازن والجمال في الأعمال الفنية، مما أثر بشكل كبير على الفنون الجميلة والعمارة.

#### الفن والهندسة الإسلامية:

##### أدوات المهنة: البواصلات والمسطرة:

##### المنقلة النسبية:

مع تطور فهم النسب البشرية، تم تطوير أدوات مثل المنقلة النسبية خلال عصر النهضة لحفظ على التوازن والنسب في الفن والهندسة المعمارية. ساعدت هذه الأدوات فنانين مثل ليوناردو دافنشي على تحقيق التناغم المثالي بين العناصر المختلفة في التركيبة، بناءً على النسبة الذهبية والعلاقات الرياضية الأخرى. أدى هذا التشكيل المنهجي للنسب إلى زيادة الإحساس بالتناسق البصري والاتصال الأعمق بين الرياضيات والجماليات البشرية.

## 2.3 الانتقال إلى التمثيل البياني الحديث

- عصر النهضة:

شهد عصر النهضة إعادة اكتشاف واستخدام المنظور في التصميم. كان هذا الاكتشاف مفتاحاً لفهم الفضاء ثلاثي الأبعاد بشكل أفضل، مما سمح للفنانين والمهندسين بتمثيل الأبعاد العميقة والمسافات بطرق أكثر دقة. كانت هذه الثورة في التصوير الفني أساسية في تطوير العمارة والفن الغربي.

- الهندسة الوصفية:

كانت الهندسة الوصفية بمثابة الأساس للرسومات الهندسية الحديثة. سمحت هذه التقنية للمهندسين بتوصيل المعلومات ثلاثية الأبعاد باستخدام رسومات ثنائية الأبعاد، مما مكّنهم من إنشاء خطط معمارية ومخيطات فنية معقدة.

- إحداثيات ديكارتية:

قدم رينيه ديكارت النظام الإحداثي الذي وضع الأساس للتصميم البياني الحديث. ساعد هذا النظام في تبسيط العمليات الحسابية الهندسية وربط الأشكال بالنقاط في الفضاء. سمح لنا هذا النظام بفهم الفضاء بطريقة جديدة وتطوير رسومات دقيقة تعتمد على النقاط والخطوط.

---

## 2.4 التصميم الهندسي الحديث والإدراك

### المفاهيم الأساسية في الهندسة:

#### التماثل والتناسب:

التماثل والتناسب هما عنصران أساسيان في الطبيعة والتصميم البشري. في الطبيعة، غالباً ما يُنظر إلى التمايز كعلامة على الجمال والصحة، كما يظهر في جناحي الفراشة أو وجه الإنسان. هذه الملاحظة قادت المصممين والفنانين الأوائل إلى تصميم التمايز في أعمالهم، حيث يرونه كوسيلة لتعكس النظام الطبيعي للكون. في التصميم الحديث، لا يزال التمايز حجر الزاوية، ليس فقط في الجماليات، ولكن أيضاً في الوظائف. فهو يساعد على خلق شعور بالاستقرار والتناسق، سواء كان في تصميم المبني أو البرمجيات.

#### الفسيفساء ونظم الكسورية والتفسيرات الحديثة لأنماط الهندسية القديمة:

فتحت الأشكال الهندسية الحديثة الباب أمام اكتشافات جديدة في الفهم العلمي، مثل الكسور، وهي أنماط معقدة تتكرر على كل المستويات. تُستخدم هذه الأشكال في الفن الرقمي، والهندسة المعمارية، وحتى في الأبحاث البيولوجية. تسهم الكسور في إنشاء تصاميم معقدة ودقيقة تعكس تعقيد الطبيعة وجمالها.

**تطور برامج التصميم المدعم بالحاسوب:**

برامج التصميم المدعم بالحاسوب تطورت بشكل كبير على مر الزمن. ما بدأ كأدوات بسيطة للرسم ثنائي الأبعاد أصبح الآن أنظمة معقدة النمذجة ثلاثية الأبعاد. قدمت هذه الأدوات للمصممين القدرة على إنشاء نماذج رقمية دقيقة يمكن اختبارها قبل أن تتحول إلى منتجات حقيقة. مع مرور الوقت، أصبحت برامج التصميم المدعم بالحاسوب أكثر تعقيداً، مما يسمح للمصممين بتحقيق الدقة والابتكار في آن واحد.

**المبادئ الأساسية:**

**ال تصاميم البارامتриكية:**

التصميم المعتمد على المعايير يسمح للمصممين بإنشاء نماذج تعتمد على قواعد محددة مسبقاً. هذه القواعد تجعل من السهل تعديل النموذج والحفاظ على الدقة في كل أجزاء التصميم.

**النمذجة الصلبة:**

النمذجة الصلبة هي طريقة لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد ذات حجم مادي. تُستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع في الهندسة لتصميم المنتجات واختبارها قبل تصنيعها.

**النمذجة السطحية:**

تُستخدم النمذجة السطحية لإنشاء أشكال معقدة ومنحنيات، وهي أساسية في الصناعات مثل صناعة السيارات والطيران، حيث تكون الديناميكا الهوائية مهمة جداً.

**نظرة عامة على أدوات وبرامج التصميم المدعم بالحاسوب:**

**أدوات التخطيط:**

أدوات التخطيط في برامج التصميم المدعم بالحاسوب تتيح للمصممين رسم الأشكال والخطوط كأساس للنمذج ثلاثية الأبعاد. تمكن هذه الأدوات المصممين من تحويل الأفكار المفاهيمية إلى نماذج قابلة للتنفيذ.

**التقييس:**

يوفر التقييس في برامج التصميم المدعم بالحاسوب أدوات لضبط القياسات بدقة، مما يضمن أن النماذج تلتزم بالمواصفات الدقيقة. بعد هذا الأمر ضروريًا في التصنيع والبناء لضمان عدم حدوث أخطاء تؤدي إلى زيادة التكاليف أو مشاكل الأمان.

**العمليات البوليانية (جبر بول):**

العمليات البوليانية تسمح بدمج أو طرح الأشكال المختلفة لإنشاء نماذج أكثر تعقيداً. تُستخدم هذه العمليات في التصميم المدعم بالحاسوب لتشكيل كل شيء من الأجزاء الميكانيكية البسيطة إلى المكونات المعمارية الضخمة.

**التقديم والتصوير الافتراضي :**

**أدوات التصوير والإخراج في برامج التصميم المدعم بالحاسوب**

تحول التصاميم الرقمية إلى نماذج واقعية بإضافة القوام والإضاءة والظلال، مما يسهل على العملاء وأصحاب المصلحة تصور المنتج النهائي قبل تصنيعه.

---

## 2.5 تطبيقات التصميم الهندسي في التصنيع الرقمي

### تطوير النماذج الأولية:

بعد التصميم الهندسي الدقيق أساساً لنجاح تطوير النماذج الأولية. باستخدام أدوات التصميم المدعوم بالحاسوب

، يمكن للمصممين إنشاء نماذج افتراضية مفصلة يمكن تحويلها إلى نماذج فعلية باستخدام تقنيات التصنيع الرقمي مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد والقطع بالتحكم الرقمي.

### الدمج مع آلات CNC:

التصميم الهندسي هو جوهر التصنيع بالتحكم الرقمي، حيث يتم تحويل النماذج الرقمية إلى أجزاء فعلية. تعتمد آلات CNC على بيانات هندسية دقيقة لقطع وتشكيل المواد بدقة عالية. بدءاً من القطع البسيط إلى النماذج ثلاثية الأبعاد المعقدة، تمكن آلات CNC من إنتاج أجزاء متسبة ودقيقة على نطاق واسع.

### دراسات الحال: التصاميم الهندسية الناجحة:

يعتمد العديد من المنتجات الحديثة على مبادئ التصميم الهندسي. من المنحنيات الأنوية للسيارات عالية الأداء إلى التصميمات المريحة للمنتجات اليومية، يساعد التصميم الهندسي على تحقيق التوازن بين الشكل والوظيفة. في العمارة، ساهم استخدام الهندسة المتقدمة في إنشاء هيكل مذهلة مثل هرم اللوفر أو برج خليفة، حيث يلقي الحساب الدقيق مع الرؤية الفنية.

---

### الخاتمة: قوة الهندسة في التصميم الحديث

لقد ساهم التطور المستمر للتصميم الهندسي، من الفن القديم إلى أدوات CAD الحديثة، في توسيع إدراك الإنسان وقدراته. من خلال تعميق فهمنا للتناسب، التماثل، والمنظور البصري، لم نغير فقط طريقة إنشاء الأشياء، بل أيضاً الطريقة التي نفهم بها العالم من حولنا. تستمر الهندسة في كونها جسراً بين التجريدي والمحسوس، تشكل مستقبل الإبداع والوظائف البشرية.

## الفصل الثالث: الرسم البياني والتصميم الهندسي - من الفن القديم إلى التصميم بمساعدة الحاسوب الحديث

### 2.1 مقدمة عن الرسم البياني والتصميم الهندسي

## 2.2 أصول التصميم الهندسي والإدراك البشري

### الحضارات القديمة:

استخدم البشر الأوائل الأشكال الهندسية كوسيلة للبقاء - كان فهم المسافة، العمق، والمكان أمراً حاسماً للصيد، الجمع، وبناء الملاجئ. مع مرور الوقت، أصبحت الهندسة أداة للتعبير عن الأفكار المجردة، مما أدى إلى تقدم في كل من الفن والهندسة.

### المصريون والهندسة:

طبق المصريون القدماء الهندسة لمحاذاة وتناسب هياكلهم الضخمة مع النجوم والبيئة الطبيعية. تعد أهرامات الجيزة، على سبيل المثال، إنجازات هندسية رائعة وتعبيرًا عن فهم متقدم لإدراك المكاني. تمكن المصريون من تصور هياكل ضخمة باستخدام مبادئ النسب والتناظر لعكس النظام الإلهي والطموحات البشرية.

### اليونانيون: الهندسة الإقليدية:

قام اليونانيون بتدوين هذه المفاهيم من خلال عمل علماء الرياضيات مثل إقليدس، الذي وضع نظاماً شاملأً لفهم الفضاء، الزوايا، والعلاقات بين الأشكال. هذا العمل غير الطريقة التي كان الناس يفكرون بها حول الفضاء والمنظور، مقدماً إطاراً جعل ليس فقط الأشياء المادية بل أيضاً المجردة مفهومة. احتضنت الفلسفة اليونانية الهندسة كعدسة لرؤية الكون، حيث قال أفلاطون الشهير إن "الهندسة كانت موجودة قبل خلق العالم". هذا الفهم العميق للنسب، المقياس، والتناظر عمق إدراك البشر.

### الفن والهندسة الإسلامية:

في العالم الإسلامي، وصل التصميم الهندسي إلى مستويات جديدة من التعقيد، خاصة في شكل التباريقات والأنماط المعقدة. كانت هذه التصميمات، التي غالباً ما تُستخدم في العمارة، تعبيراً عن فهم أعمق للكون، حيث تمثل الأنماط المتكررة اللانهائية فكرة الكون الأزلي. لم يكن الفن الهندسي الإسلامي زخرفياً فحسب، بل عكس أيضاً التفاعل العميق مع الرياضيات، التناظر، وفلسفة الترابط. سمح الدقة الهندسية في المساجد والقصور للناس بتجربة النظام البصري، مما ساهم في إدراك أعمق للتوازن والتاغم في الحياة اليومية.

### أدوات المهنة: البوصلات والمسطرة:

في الحضارات القديمة، كانت البوصلة والمسطرة أدوات لا غنى عنها لإنشاء الدوائر والخطوط والزوايا الدقيقة. سمحت هذه الأدوات للمهندسين المعماريين والفنانين بتصور تصاميم معقدة بوضوح. كان رسم دائرة مثالية أو خط مستقيم تطوراً في الإدراك البشري - فجأة، أصبح بإمكان البشر تمثيل المفاهيم المجردة مثل الكمال واللانهائية بشكل مرئي.

### المنقلة النسبية:

مع تطور فهم النسب البشرية، تم تطوير أدوات مثل المنقلة النسبية خلال عصر النهضة لحفظ على التوازن والنسب في الفن والهندسة المعمارية. ساعدت هذه الأدوات فنانين مثل ليوناردو دافنشي على تحقيق التاغم المثالي بين العناصر المختلفة في التركيبة، بناءً على النسبة الذهبية والعلاقات الرياضية الأخرى.

أدى هذا التشكيل المنهجي للنسب إلى زيادة الإحساس بالتناسق البصري والاتصال الأعمق بين الرياضيات والجماليات البشرية.

### 2.3 الانقال إلى التمثيل البياني الحديث والفهم البشري

عصر النهضة: المنظور والثورة البصرية:

أدخل عصر النهضة طريقة جديدة لرؤية العالم، حيث بدأ الفنانون في استكشاف مفهوم المنظور في الرسم والهندسة المعمارية. اكتشفت شخصيات مثل برونليسكي وليوناردو دافنشي كيفية تمثيل الفضاء ثلاثي الأبعاد على الأسطح ثنائية الأبعاد، باستخدام نقاط التلاشي وخطوط الأفق لإنشاء إحساس بالعمق. أدى هذا التطور إلى ثورة في الإدراك البشري، حيث سمح للناس بتصور الفضاءات المعقدة بواقعية جديدة. كان استخدام المنظور في التصميم يعكس فهماً متزايداً للمكانة البشرية في الكون، حيث دفعت كل من الفن والعلم حدود المعرفة.

الهندسة الوصفية والإحداثيات الكارتيزية:

غيرت الهندسة الوصفية، التي طورها غاسبار مونج، ونظام الإحداثيات الكارتيزية لرينيه ديكارت، جذرياً الطريقة التي تصور بها البشر الفضاء والأشكال. سمحت الهندسة الوصفية للمهندسين والمهندسين المعماريين بتمثيل الأجسام ثلاثية الأبعاد على الورق بدقة لا مثيل لها، مما مهد الطريق للهندسة الحديثة والتصميم. قدمت الإحداثيات الكارتيزية نهجاً رياضياً للفضاء، مما أتاح تصور الأشكال الهندسية من خلال المعادلات الجبرية. معًا، حولت هذه التطورات الإدراك البشري نحو طريقة تفكير أكثر تنظيماً ومنطقية وتجريداً، مما ساعد في نمو الثورة العلمية والصناعية.

### 2.4 التصميم الهندسي الحديث والإدراك

المفاهيم الأساسية في الهندسة: التناظر والنسب:

التناول والنسب هما عنصراً أساسياً في كل من التصاميم الطبيعية والمصنوعة من قبل البشر، حيث يوفران التوازن والتلاغم. في الطبيعة، يُنظر إلى التناظر غالباً كعلامة على الصحة والجمال - فكر في تناظر أجنحة الفراشة أو وجه الإنسان. أدى هذا الملاحظة إلى أن يتبنى المصممون والفنانون التناظر في أعمالهم، حيث رأوا فيه وسيلة لعكس النظام الطبيعي للكون. في التصميم الحديث، لا يزال التناظر حجر الزاوية، ليس فقط في الجماليات بل أيضاً في الوظيفة. إنه يساعد على خلق إحساس بالاستقرار والتناسق، سواء في تخطيط المبنى أو هيكل البرنامج.

أما النسب، فتحدد العلاقات بين الأجزاء المختلفة للتصميم. يعد مفهوم "النسبة الذهبية"، وهي نسبة موجودة في الطبيعة وتستخدم في العمارة الكلاسيكية وفن النهضة، مثالاً واحداً. يساعد فهم النسب المصممين على إنشاء أشياء ممتعة بصرياً وعملية. إنه يلعب دوراً حاسماً في كل شيء بدءاً من تصميم المنتجات إلى التخطيط الحضري، حيث يوجه وضع العناصر لضمان جاذبية بصرية ووظيفة عملية.

الكسور الهندسية والتطبيقات:

أدت التقنيات الحديثة لأنماط الهندسية القديمة إلى استكشاف الكسور الهندسية والتطبيقات. الكسور هي

أنماط معقدة تتكرر على جميع المستويات، كما تُرى في الطواهر الطبيعية مثل رفاقات الثلج، السواحل، والجبال. هذه الهياكل التي تتكرر ذاتياً تتحدى المفاهيم التقليدية للهندسة وفتحت طرفاً جديداً في مجالات مثل الفن الرقمي، العمارة، وحتى علم الأحياء. في التصميم، تُستخدم الكسور لإنشاء أنماط تحاكي تعقيد وجمال الطبيعة، مما يسمح بإثراء جمال وسلامة هيكلية على حد سواء.

أما التبليطات، فتتعلق بتعطية سطح بأشكال في نمط متكرر دون فجوات أو تداخلات. هذه التقنية، التي تعود جذورها إلى الفن الإسلامي، أثرت على التصميم الحديث في مجالات مثل البلاط، النسيج، وحتى العمارة الحديثة. تضييف الدقة الرياضية للتบليطات الجمال والوظيفة إلى الأسطح، مما يجعلها أداة أساسية في التصميم الهندسي المعاصر.

مقدمة في التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD): تطور برمجيات CAD غيرت برمجيات CAD الطريقة التي ندرك بها ونرسم بها التصميمات. ما بدأ كأدوات رسم ثنائية الأبعاد بسيطة تطور إلى أنظمة نمذجة ثلاثية الأبعاد قوية قادرة على محاكاة الفيزياء والمواد في العالم الحقيقي. سمحت برامج CAD المبكرة للمهندسين والمهندسين المعماريين باستبدال الرسومات التقليدية اليدوية بخطط دقة يتم إنشاؤها بواسطة الكمبيوتر. بمرور الوقت، أصبحت أنظمة CAD أكثر تعقيداً، حيث دمجت مبادئ التصميم المعتمدة على المعايير التي تتيح للمصممين التلاعب بالنمذج وتعديلها في الوقت الفعلي، استناداً إلى القيود المحددة مسبقاً.

أدى التقدمة من CAD ثالثي الأبعاد إلى ثورة في صناعات مثل العمارة، التصنيع، والتصنيع الرقمي. باستخدام أدوات CAD المتقدمة، يمكن للمصممين الآن إنشاء أشكال هندسية معقدة، وتصور كيفية عمل المنتج في العالم الحقيقي، وحتى محاكاة التفاعلات بين المكونات المختلفة قبل بناء أي نموذج فعلي.

المبادئ الأساسية: التصميم المتغير (Parametric Design): التصميم المتغير هو طريقة يتم فيها التحكم في هندسة النموذج بواسطة المعلمات والمتغيرات. يمكن للمصممين تحديد العلاقات بين العناصر المختلفة للنموذج، مما يتاح مرونة أكبر ودقة. على سبيل المثال، يمكن أن يؤدي تغيير حجم جزء من التصميم تلقائياً إلى تعديل الأجزاء المرتبطة، مما يضمنبقاء النموذج بأكمله متناسباً بشكل صحيح. أدى هذا المبدأ إلى تبسيط سير العمل في مجالات مثل الهندسة المعمارية وتصميم المنتجات، مما يسمح بتكرارات أسرع وحلول مخصصة أكثر.

النمذجة الصلبة (Solid Modeling): تشير النمذجة الصلبة إلى إنشاء أشياء ثلاثة الأبعاد لها حجم، وليس مجرد أسطح. إنها أداة حاسمة في الهندسة، حيث تتيح للمصممين إنشاء أشياء متينة يمكن اختبارها للخصائص الفيزيائية مثل الوزن، الإجهاد، وتحمل الحرارة. تعزز النمذجة الصلبة القدرة على تصور الهيكل الداخلي والخارجي للكائن، مما يجعلها ضرورية في تطوير كل شيء بدءاً من محركات السيارات إلى الأجهزة الطبية.

النمذجة السطحية (Surface Modeling): تُستخدم النمذجة السطحية لإنشاء أسطح منحنية معقدة يصعب تحديدها باستخدام النماذج الصلبة التقليدية. يتم

استخدامها غالباً في صناعات مثل السيارات والفضاء، حيث تكون الديناميكا الهوائية والجماليات مهمة. تتيح النمذجة السطحية للمصممين إنشاء تصميمات أنيقة وجذابة بصرياً، مع الحفاظ على سلامة المنتج.

## 2.5 تطبيقات التصميم الهندسي في التصنيع الرقمي

### تطوير النماذج الأولية:

بعد التصميم الهندسي الدقيق أساس النماذج الأولية الناجحة. عند تصميم نموذج أولي، تضمن القياسات الدقيقة أن المنتج يعمل كما هو مقصود، من الناحيتين الجمالية والميكانيكية. في صناعات مثل الفضاء، السيارات، والإلكترونيات الاستهلاكية، يمكن أن توفر الدقة الهندسية خلال مرحلة التصميم ملايين الدولارات من تكاليف التطوير والوقت. تتيح أدوات CAD للمصممين إنشاء نماذج افتراضية مفصلة لنماذجهم الأولية، والتي يمكن بعد ذلك تحويلها إلى كائنات فعلية باستخدام تقنيات التصنيع الرقمي مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد والتصنيع باستخدام الحاسوب CNC.

### الدمج مع ماكينات CNC:

التصميم الهندسي هو أساس التصنيع باستخدام التحكم الرقمي (CNC)، حيث يتم تحويل النماذج الرقمية إلى أجزاء فعلية. تعتمد ماكينات CNC على بيانات هندسية دقيقة لقطع وتشكيل وتشكيل المواد إلى مكونات مفصلة ودقيقة للغاية. من القطع البسيطة إلى التشكيل ثلاثي الأبعاد المعقد، تتيح ماكينات CNC الإنتاج الضخم للأجزاء مع الحفاظ

---

باللغة الدقة.

### دراسات الحال: التصاميم الهندسية الناجحة:

تدرين العديد من المنتجات الحديثة بنجاحها لمبادئ التصميم الهندسي. من المنحنيات الديناميكية الهوائية للسيارات عالية الأداء إلى الأشكال المريحة للمنتجات الاستهلاكية اليومية، يساعد التصميم الهندسي على تحقيق التوازن بين الشكل والوظيفة. في مجال الهندسة المعمارية، سمح استخدام الهندسة المتقدمة بإنشاء هيكل مبهراً مثل هرم اللوفر أو برج خليفة، حيث تتلاقى الدقة الرياضية مع الرؤية الفنية.

### الخلاصة: قوة الهندسة في التصميم الحديث

أدى تطوير التصميم الهندسي، من الفن القديم إلى أدوات التصميم بمساعدة الحاسوب، إلى توسيع إدراك وقدرات البشر باستمرار. من خلال تعميق فهمنا للنسب والتراكم والمنظور البصري، لم نغير فقط الطريقة التي نبدع بها، بل أيضاً الطريقة التي نفهم بها العالم من حولنا. ساعد هذا التطور على تعزيز الابتكار في العلوم والفنون والتكنولوجيا. يواصل التصميم الهندسي دوره كجسر بين المجرد والمحسوس، مشكلاً مستقبلاً الإبداع البشري والوظائفية.

# الفصل الرابع : تاريخ الرسومات والخطط التقنية

## 1. مقدمة

الرسومات التقنية، التي يشار إليها غالباً بالخططات أو الرسومات الهندسية، هي تعليمات بصرية مفصلة تُستخدم لتصميم وبناء وتحليل الأشياء أو الأنظمة. تُعد الرسومات التقنية ضرورية في مجالات مثل العمارة والهندسة والتصنيع. يهدف هذا الدرس إلى تتبع تطور الرسومات التقنية من الحضارات القديمة إلى برامج التصميم الحديثة بمساعدة الحاسوب (CAD).

## 2. الحضارات القديمة ونشأة الرسم التقني

### • مصر القديمة: الهندسة المعمارية الضخمة

٠ الأهرامات والمعابد: أدلة مبكرة على فهم المصريين للهندسة واستخدامهم الدقيق لقياسات في الخطط المعمارية.

٠ الورق البردي والنقوش الحجرية: استخدم المصريون أشكالاً مبكرة من الرسومات التقنية لتصميم الهياكل الكبيرة مثل الأهرامات والمعابد.

٠ الأدوات: استخدم المصريون أدوات مثل الحال المقاسة والمسطرة الهندسية وأدوات الهندسة المبكرة.

### • اليونان القديمة: أسس الرسم الهندسي

٠ الهندسة الإقليدية: علماء الرياضيات اليونانيون مثل إقليدس طوروا مبادئ شكلت الرسومات الهندسية.

٠ فيتروفيوس والهندسة الرومانية: كتاب فيتروفيوس "عن الهندسة المعمارية" يُعد أحد أول النصوص التي استكشفت نظرية العمارة، بما في ذلك التناسب والمنظور في التصميم.

### • روما القديمة: الهندسة العملية

٠ الطرق الرومانية والقنوات: استخدم الرومان رسومات مفصلة لبناء بنى تحتية متقدمة مثل القنوات والجسور والطرق.

٠ الرق والحبر: استخدم الرومان الرق (جلود الحيوانات) في خططهم التقنية وال تصاميم المعمارية.

## 3. العصور الوسطى: الحفاظ على المعرفة وتحويلها

### • العصر الذهبي الإسلامي (من القرن الثامن إلى القرن الرابع عشر)

- ٥ التقدمات الرياضية: العلماء المسلمين مثل الحسن بن الهيثم ساهموا في تطوير النظريات الهندسية والبصرية التي أثرت في التصاميم المعمارية، وخاصة في القباب والمساجد.
- ٥ الهندسة المعمارية الزخرفية: استخدام الأنماط الهندسية المعقدة في الخطط التقنية للمباني الدينية مثل قصر الحمراء.
- القلاع والكاتدرائيات في أوروبا العصور الوسطى
  - ٥ الهندسة المعمارية القوطية: الكنائس والكاتدرائيات من هذه الحقبة، مثل نوتردام، تضمنت مخططات أرضية مفصلة ورسومات ارتفاعات ومناظير مقطوعية.
  - ٥ نقابات المعماريين: نقلت المعرفة المتعلقة بالرسومات التقنية من خلال النقابات المتخصصة التي استخدمت الرسومات اليدوية للتواصل حول تقنيات البناء.
- ٤. عصر النهضة وثورة المنظور
  - رسومات ليوناردو دا فينشي التقنية
    - ٥ دا فينشي قام بإنشاء رسومات دقيقة لآلات والدراسات التشريحية والهيكل المعماري، مما أدخل الدقة الفنية والتقنية.
    - ٥ الرسم المنظوري: اكتشف فنانو ومهندسي عصر النهضة، مثل برونليسكي وليوناردو، مفهوم المنظور، والذي سمح بتمثيل الفضاء ثلاثي الأبعاد على سطح ثانوي الأبعاد.
    - تأثير البرتي على العمارة
      - ٥ "في العمارة": نص ليون باتيستا البرتي قدم أحد أولى المقاربات المنهجية للرسم المعماري، مع التركيز على التناسب والمنظور والرياضيات.
  - ٥. الثورة الصناعية: تكنولوجيا الرسومات التقنية
    - نشأة الهندسة كعلم
      - ٥ شهدت الثورة الصناعية الحاجة إلى رسومات تقنية موحدة في التصنيع والتصميم الميكانيكي والهندسة المدنية.
      - ٥ المخططات الزرقاء: اختراع عملية السيانوتابيب بواسطة جون هيرشيل عام 1842 أدى إلى إنشاء المخططات الزرقاء، التي غيرت طريقة نسخ الرسومات التقنية.
      - ٥ تطوير الأنظمة الموحدة: احتاج المهندسون والمصنعون إلى قياسات ورموز موحدة. ظهرت معايير مثل ISO (المنظمة الدولية للتوحيد القياسي) لاحقاً.
      - المكينة المبكرة والمحركات البخارية

٥ أصبحت الرسومات الميكانيكية التفصيلية للمركبات والتروس والمصانع هي القاعدة، حيث اعتمد مخترعون مثل جيمس وات على خطط دقيقة للتطوير.

## ٦. القرن العشرون وتحديث الرسومات التقنية

- الحرب العالمية الأولى والثانية: ازدهار الهندسة الدقيقة

٥ كانت الرسومات التقنية ضرورية لتصميم المعدات العسكرية والمركبات والآلات المعقدة. تطلب التقدم في مجال الطيران والأسلحة دقة غير مسبوقة.

- النمو التكنولوجي بعد الحرب

٥ التصنيع والإنتاج الضخم: أكدت خطوط التجميع وتقنيات الإنتاج الضخم الحاجة إلى رسومات تقنية موحدة وسهلة التفسير.

٥ ظهرت مهنة الرسم: أصبح الرسامون جزءاً حيوياً من عملية التصميم والتصنيع، حيث كانوا مهرة في إنشاء رسومات تقنية دقيقة باليد.

## ٧. العصر الرقمي: CAD وما بعده

- اختراق التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD)

٥ أنظمة CAD المبكرة: في السبعينيات، قامت برامج مثل Sketchpad بتغيير التصميم من خلال السماح للمهندسين والمعماريين بإنشاء رسومات تقنية رقمية.

٥ التصميم الباراميترى: مع برامج مثل AutoCAD، أصبح بإمكان المهندسين تعديل التصميم في الوقت الفعلى، مما جعل الرسومات التقنية أسرع وأكثر دقة وقابلة للتكييف.

- النمذجة ثلاثية الأبعاد والتصنيع الرقمي

٥ النمذجة المتقدمة: تطور CAD إلى النمذجة ثلاثية الأبعاد، مما سمح بإشكال معقدة ومحاكاة. أصبح ذلك ضرورياً في مجالات مثل الفضاء الجوى والسيارات والبناء.

٥ BIM (نمذجة معلومات البناء): يدمج BIM الرسومات التقنية مع النماذج الرقمية التي تسمح بالتعاون الفورى بين المعماريين والمهندسين والبنائين.

٥ الطباعة ثلاثية الأبعاد والنمذاج الأولية: تُستخدم تصاميم CAD الآن مباشرة في النماذج الأولية والتصنيع من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد والتشغيل باستخدام الحاسوب CNC، مما يحول العملية من المفهوم إلى التنفيذ.

## ٨. الخلاصة: تأثير الرسومات التقنية على المجتمع

لقد تطورت الرسومات التقنية من الرسومات البدائية على ورق البردي إلى النماذج الرقمية المعقّدة التي تدفع الهندسة والعمارة والتصنيع الحديث. لقد شكلت هذه الرسومات تقدّم البشرية من الأهرامات القديمة إلى ناطحات السحاب الحديثة والمكوكات الفضائية والتكنولوجيا اليومية.

---

#### مواد إضافية:

1. صور لرسومات تقنية تاريخية: عرض صور لرسومات تقنية من فترات مختلفة، مثل رسومات دافنشي، وخطط القنوات الرومانية، والمخططات الزرقاء المبكرة.
  2. نشاط عمل: تزويد الطلاب بأمثلة لأشياء بسيطة لرسم خطط تقنية لها باستخدام الأساليب اليدوية وبرامج CAD البسيطة.
  3. موارد الفيديو: استخدام عروض فيديو توضح كيف غيرت CAD الرسومات التقنية وتطبيقاتها في صناعات مثل الفضاء المعماري والهندسة.
- 

هذا الدرس يوفر نظرة معمقة لتطور الرسومات التقنية، مما يربط الفن بالرياضيات والتكنولوجيا عبر التاريخ، ويوضح دورها الحيوي في تشكيل الحضارة.

## ماكينة Milling (الطحن)

ماكينة Milling (الطحن) هي آلة تُستخدم في تصنيع الأجزاء المعدنية والبلاستيكية عن طريق إزالة المواد من قطعة العمل باستخدام أدوات القطع الدوارة. تعد واحدة من أهم الآلات في ورش التصنيع والصناعة الهندسية، ولها العديد من الاستخدامات والتطبيقات.

#### مكونات ماكينة الطحن:

1. الطاولة: المكان الذي يتم وضع قطعة العمل عليه وتنبيتها. يمكن أن تتحرك الطاولة في محاور X .Z
2. العمود: الجزء الذي يحتوي على المحور الرئيسي (Spindle) والأداة القطع (Tool). يمكن أن يتحرك العمود في المحور Z.
3. المحور الرئيسي (Spindle): يحمل أداة القطع ويدورها بسرعات مختلفة.

4. **أداة القطع (Tool)**: الأداة التي تقوم بعملية القطع والطحن. تأتي بأشكال وأحجام مختلفة بناءً على نوع العمل المطلوب.

5. **نظام التحكم (Control System)**: يمكن أن يكون يدوياً أو رقمياً (CNC) لتحريك الأدوات وقطعه العمل بدقة.

#### أنواع ماكينات الطحن:

1. **ماكينات الطحن الأفقي (Horizontal Milling Machines)**: يكون المحور الرئيسي أفقياً بالنسبة للطاولة.

2. **ماكينات الطحن العمودي (Vertical Milling Machines)**: يكون المحور الرئيسي عمودياً بالنسبة للطاولة.

3. **ماكينات الطحن ذات التحكم الرقمي (CNC Milling Machines)**: يتم التحكم بها بواسطة الحاسوب لتحقيق دقة عالية في التصنيع.

#### تطبيقات ماكينات الطحن:

- تصنيع الأجزاء الميكانيكية الدقيقة.
- تشكيل الأسطح المختلفة.
- إنشاء القوالب والأشكال المعقدة.
- قطع وتجويف الأجزاء المعدنية.

#### فوائد استخدام ماكينات الطحن:

- دقة عالية في التصنيع.
- إمكانية تصنيع أشكال معقدة ومتعددة.
- توفير الوقت والجهد مقارنة بالطرق اليدوية التقليدية.
- تحسين جودة المنتجات النهائية.

ماكينات الطحن تعتبر جزءاً أساسياً في عملية التصنيع، ولها دور كبير في إنتاج القطع الدقيقة والمتنوعة في مختلف الصناعات الهندسية والمعدنية.

تطورت ماكينات الطحن التقليدية لتصبح ماكينات التحكم الرقمي (CNC) عبر عدة مراحل وتطورات تقنية. هذا التطور ساهم في زيادة الدقة، الكفاءة، والقدرة على تصنيع الأشكال المعقدة. إليك كيف حدث هذا التطور:

#### 1. التحكم اليدوي:

- **البداية:** كانت ماكينات الطحن الأولية تعمل يدوياً بالكامل. كان العامل يقوم بتحريك الأدوات وقطعة العمل يدوياً، مما يتطلب مهارة عالية ودقة كبيرة.
- **التحديات:** الاعتماد الكبير على مهارة العامل وعدم القدرة على إنتاج أشكال معقدة بدقة عالية وبكميات كبيرة.

#### 2. إدخال الأنظمة الميكانيكية:

- **التطوير الميكانيكي:** تم إدخال أنظمة ميكانيكية مثل التروس والبراغي الكروية لتحسين دقة الحركة وتقليل الجهد اليدوي.
- **التحسينات:** زادت هذه الأنظمة من الدقة وسهلت عمليات التصنيع.

#### 3. التحكم الرقمي الأولي (NC):

- **التحكم الرقمي:** بدأت الماكينات باستخدام الشرائط المتقوبة والبطاقات المتقوبة لتوجيه عمليات الطحن. كانت هذه التكنولوجيا تُعرف بالتحكم العددي (NC).
- **الفوائد:** ساعدت في تقليل الأخطاء البشرية وزيادة الدقة، ولكن كانت محدودة في المرونة.

#### 4. تطور تكنولوجيا الكمبيوتر:

- **الكمبيوترات:** مع تقدم التكنولوجيا، تم إدخال الكمبيوترات لقراءة الشرائط والبطاقات المتقوبة، مما زاد من المرونة والكفاءة.
- **البرمجة:** بدأ استخدام لغات برمجة مثل G-code لبرمجة العمليات، مما سمح بتصنيع أشكال معقدة بدقة عالية.

#### 5. ظهور ماكينات CNC:

- **التحكم الكامل بالكمبيوتر:** أصبحت الماكينات تعتمد بالكامل على الكمبيوترات للتحكم في كافة حركات الأدوات وقطعة العمل.
- **تكامل البرمجيات:** تم تطوير برمجيات متقدمة لتصميم الأجزاء (CAD) وبرمجيات للتحكم في عمليات التصنيع (CAM)، مما سمح بتصميم وتنفيذ الأجزاء بدقة وسهولة أكبر.
- **الاستجابة السريعة:** أصبحت ماكينات CNC قادرة على الاستجابة للتغيرات في التصميم بسرعة، مما يعزز الإنتاجية ويقلل من وقت التصنيع.

## 6. التحسينات المستمرة:

- الدقة العالية: تطورت ماكينات CNC لتصبح أكثر دقة، بفضل استخدام مستشعرات متقدمة وتقنيات التحكم في الحركة.
- التكامل مع تقنيات أخرى: بدأت ماكينات CNC تتكامل مع تقنيات أخرى مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد، الروبوتات، وإنترنت الأشياء (IoT)، مما يزيد من كفاءة التصنيع ويفتح إمكانيات جديدة.

الفوائد التي جلبتها ماكينات CNC:

- دقة عالية: القدرة على تصنيع أجزاء بدقة تصل إلى الألف من المليمتر.
- إنتاجية عالية: القدرة على إنتاج كميات كبيرة من الأجزاء بنفس الدقة والجودة.
- مرونة التصميم: سهولة تعديل التصاميم وتنفيذها بسرعة.
- تقليل الجهد البشري: تقليل الاعتماد على المهارة اليدوية والحد من الأخطاء البشرية.
- تحسين الكفاءة: تحسين استخدام المواد وتقليل الفاقد.

تحولت ماكينات الطحن من آلات يدوية بسيطة إلى ماكينات CNC متقدمة، مما أحدث ثورة في عالم التصنيع وفتح آفاقًا جديدة للإنتاج الدقيق والفعال.

كيف تعمل الآلة: CNC machining - What is it and How Does it Work? (Must Know Basics) (youtube.com

<https://youtu.be/6utic73skbQ?feature=shared>



في نحت القطع باستخدام ماكينات CNC، يمكن التمييز بين 2.5D، 2D، و3D بناءً على كيفية تحريك الأداة وتتنفيذ النحت:

### 1. النحت ثنائي الأبعاد (2D):

- الوصف: الأداة تتحرك في مستويين فقط: المحور X والمحور Y.
- الاستخدامات: قطع أشكال مسطحة مثل اللوحات أو النقوش البسيطة.
- الأمثلة: نقش لوحات الاسم، قص أشكال من الصفائح.

### 2. النحت ثنائي الأبعاد ونصف (2.5D):

- الوصف: الأداة تتحرك في المحاور X وY، وتقوم بالانتقال في المحور Z بين مستويات ثابتة. تعتبر بمثابة قطع "طبقات" مختلفة في الارتفاع، لكنها لا تستطيع تنفيذ أشكال منحنية أو معقدة بشكل كامل.

- الاستخدامات: حفر النقوش البارزة، صناعة القوالب.

- الأمثلة: حفر التجاويف، نحت القوالب المعدنية.

### 3. النحت ثلاثي الأبعاد (3D):

- الوصف: الأداة تتحرك بحرية في المحاور X وY وZ، مما يسمح بإنشاء أشكال معقدة ومنحنية بالكامل.

- الاستخدامات: تصنيع الأجزاء المعقدة والمنحوتات التفصيلية.

- الأمثلة: نحت التمايل، صناعة الأجزاء الدقيقة ذات الأشكال المعقدة.  
فيديوهات توضيحية على يوتيوب:

**2D CNC Milling:** [2D CNC Milling Example](#) •

**2.5D CNC Milling:** [2.5D CNC Milling Example](#) •

**3D CNC Milling:** [3D CNC Milling Example](#) •

ماكينات CNC Milling تصنف حسب عدد المحاور التي تحكم فيها، وهذه المحاور تحدد مدى تعقيد ودقة الأجزاء التي يمكن تصنيعها. إليك أنواعها الرئيسية:

#### 1. ماكينات 3 محاور (Axis CNC-3)

هذه هي النوع الأساسي من ماكينات CNC، حيث تتحرك الأداة في ثلاثة محاور: X (الأفقي)، Y (العمودي)، و Z (العمق). تستخدم هذه الماكينات عادةً في تصنيع الأجزاء البسيطة.

رابط يوتيوب: [Axis CNC Milling Machine-3](#)

#### 2. ماكينات 4 محاور (Axis CNC-4)

بالإضافة إلى المحاور الثلاثة السابقة، تحتوي هذه الماكينات على محور رابع (A أو B) يمكنه الدوران حول أحد المحاور الأفقيتين. هذا يسمح بتصنيع أجزاء أكثر تعقيداً.

رابط يوتيوب: [Axis CNC Milling Machine-4](#)

#### 3. ماكينات 5 محاور (Axis CNC-5)

تعتبر الأكثر تقدماً وشيوعاً في التطبيقات الصناعية المتقدمة. تضيف محوري دوارين (A و C) إلى المحاور الثلاثة الأساسية، مما يسمح بمعالجة الأجزاء من زوايا متعددة في عملية واحدة.

رابط يوتيوب: [Axis CNC Milling Machine-5](#)

#### 4. ماكينات 6 محاور (Axis CNC-6)

تضيف محوراً سادساً يمكنه تدوير قطعة العمل أو الأداة حول المحور السادس، مما يوفر مرونة قصوى في التصميم والتصنيع.

رابط يوتيوب: [Axis CNC Milling Machine-6](#)

هذه الأنواع توفر مرونة وتنوعاً في عمليات التصنيع، مما يسمح بإنتاج أجزاء معقدة ودقيقة.

[\(Fab Academy 2015: CNC Milling | PPT \(slideshare.net](#)

:Cam software