1- مقدمة

الهدف من هذه المحاضرة هو فهم ماهية النمذجة، التعرف على أنواع النمذجة ثلاثية الأبعاد، كيفية استخدامها في الألعاب، الأفلام، الهندسة، الطب، وما هي الأدوات والتقنيات الحديثة المستخدمة في هذا القطاع.

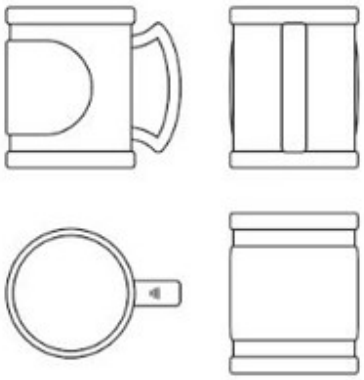
النمذجة: هي عملية إنشاء تمثيل رقمي لكائن حقيقي أو خيالي باستخدام الحاسوب.

النوع	الوصف
نقطة	(x, y, z)
مستقيم	نقطتان
مضلع	3 نقاط أو أكثر
سطح	مجموعة مضلعات
كائن ثلاثي الأبعاد	مجموعة أسطح

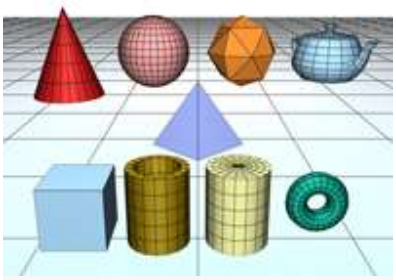
الخطوات الأساسية للنمذجة:

الفكرة ◄ رسم تخطيطي ◄ النمذجة الأولية ◄ النمذجة التفصيلية ◄ التظليل ◄ الهيكلة ◄ الإخراج

1 الفكرة: ما هو الغرض الذي نريد نمذجته (كوب على سبيل المثال) ممكن رسم الفكرة بالورقة والقلم.

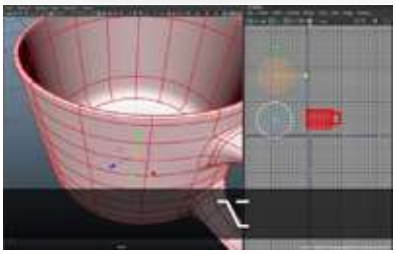


2 رسم تخطيطي (Sketch / Blueprint): رسومات توضيحية للشكل من زوايا مختلفة.



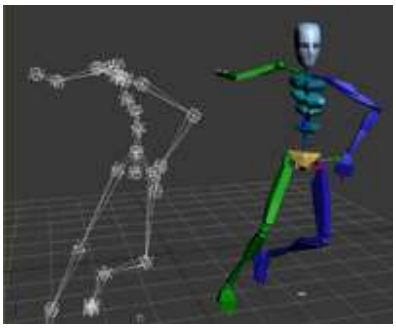
3 النمذجة الأولية (Blocking / Base Mesh): بناء الشكل العام باستخدام أشكال بدائية Primitives (مكعب، أسطوانة) لتحديد الحجم والتناسب الأساسي للنموذج.

4 النمذجة التفصيلية (Detailing / High-Poly): تحسين الشكل وإضافة التفاصيل الدقيقة مثل مقبض الكوب، سمك الجدران، حواف فم الكوب، والتأكد من طوبولوجيا النموذج (أي سلامة توزيع المضلعات).



5 التظليل UV Mapping: تحويل المجسم إلى خريطة من المسطحات ثنائية البعد Texture باستخدام UV والتي هي عبارة عن إحداثيات ثنائية الأبعاد (مثل x,y) تُطبق على الأسطح ثلاثية الأبعاد.

إضافة الألوان (اللمعة، الخشونة) لخرائط النسيج باستخدام الـ Materials لإعطاؤه مظهرًا واقعيًا.



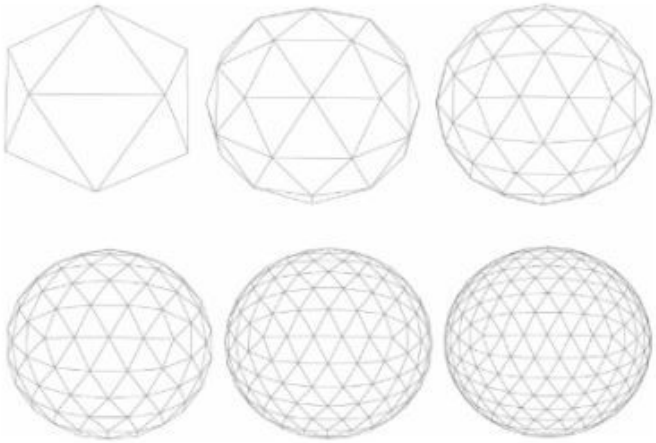
6 الهيكلة Rigging: إضافة هيكل عظمي (Skeleton) لتحريك النماذج المتحركة.

7 الإخراج (Rendering): هي عملية تحويل المشهد ثلاثي الأبعاد بالكامل (النماذج، الإضاءة، المواد) إلى صورة أو فيلم ثنائي الأبعاد.

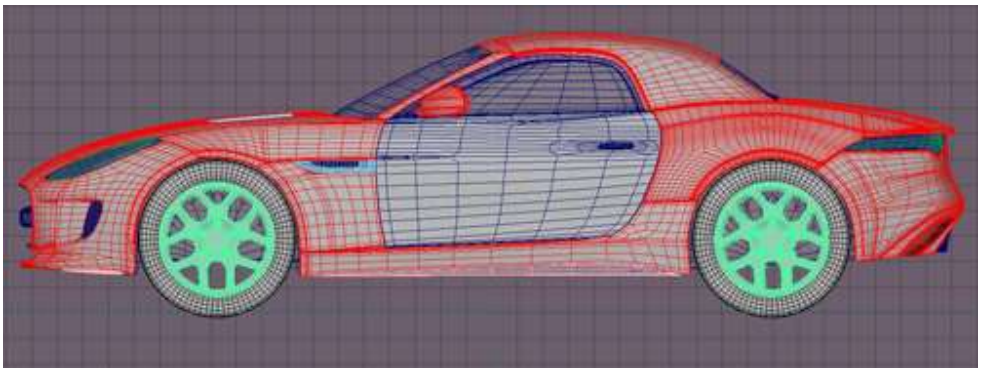
2- أنواع النمذجة:

هناك عدة أساليب، كل منها يناسب مشاريع وتقنيات مختلفة...

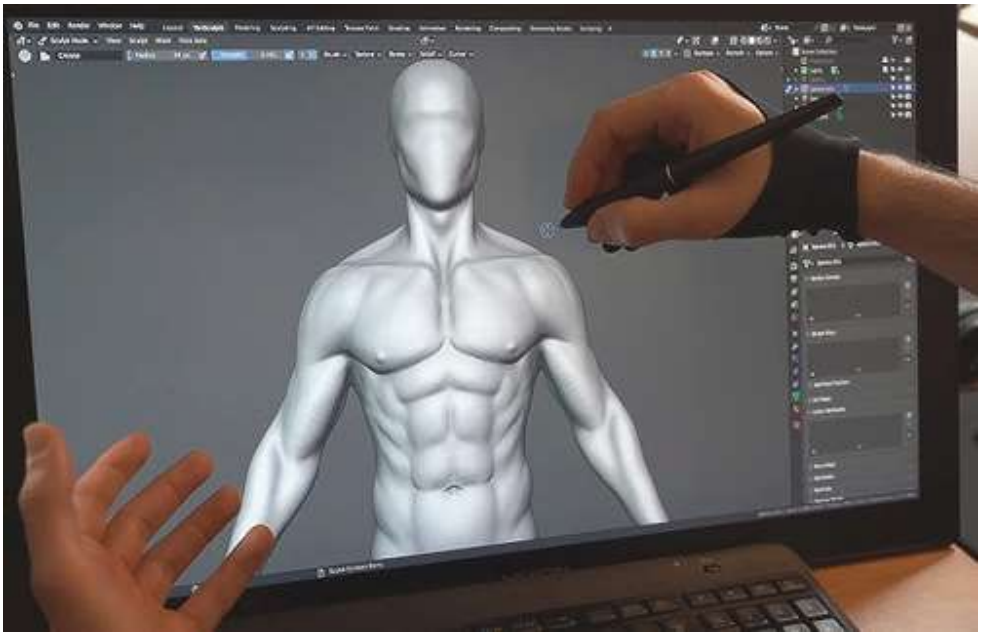
أ. نمذجة المضلعات (Polygonal Modeling) وهي الأكثر شيوعاً واستخداماً، خاصة في ألعاب الفيديو والرسوم المتحركة، ويعتمد بناؤها على الرؤوس والحواف والأوجه، وهي مرنة ومدعومة بشكل واسع إلا أنها تحتاج إلى عدد كبير من المضلعات High Poly لإنشاء أسطح ملساء.



ب. نمذجة الأسطح الرياضية الناعمة NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) وهذا النوع يعتمد على المنحنيات الرياضية (Curves) لوصف الأسطح، مما يسمح ببناء أسطح ناعمة ودقيقة جداً، دون الحاجة لكثافة عالية من المضلعات، وتستخدم في تصميم السيارات، المنتجات الصناعية، والأسطح العضوية المعقدة.



ج. نمذجة النحت الرقمي (Digital Sculpting) وهي تشبه النحت الحقيقي في الطين الرقمي، تسمح بإنشاء تفاصيل عضوية عالية الدقة (مثل التجاعيد، العضلات، الطيات).



د. النمذجة الإجرائية (Procedural Modeling) وتعتمد على القواعد والخوارزميات لتوليد النماذج تلقائياً، وتستخدم لإنشاء: المناظر الطبيعية، المباني، الأنماط المعقدة، والمحتوى العشوائي.

النوع	الوصف	أدوات النمذجة	الاستخدام
Polygon	نمذجة المضلعات (مثلثات)	Maya	**الألعاب، الأفلام**
NURBS	نمذجة الأسطح الرياضية الناعمة	Rhino	**السيارات، الطائرات**
Sculpting	نمذجة النحت الرقمي	ZBrush	**الشخصيات، التماثيل**
Procedural	نمذجة الخوارزميات	Houdini	**المدن، الغابات**

1- نمذجة المضلعات

هي عملية بناء الأجسام ثلاثية الأبعاد باستخدام المضلعات Polygons والمضلعات هي أشكال هندسية مسطحة تتكون عادة من رؤوس Vertices و حواف Edges و أوجه Faces.

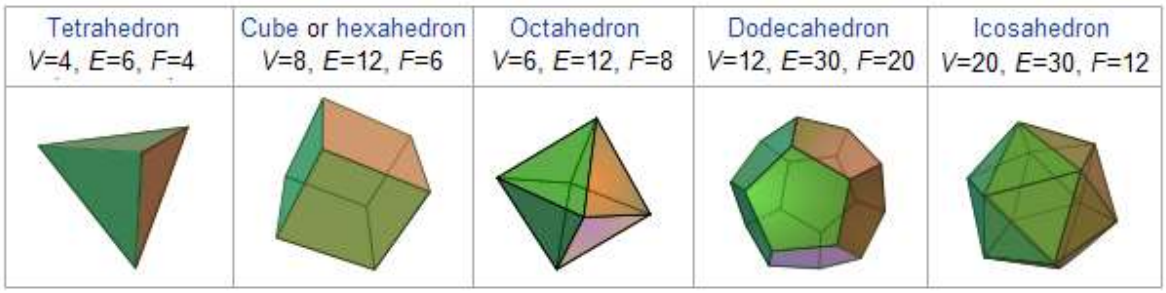
الرؤوس Vertices : الرأس هو نقطة فردية في فضاء ثلاثي الأبعاد (إحداثياته X, Y, Z) .

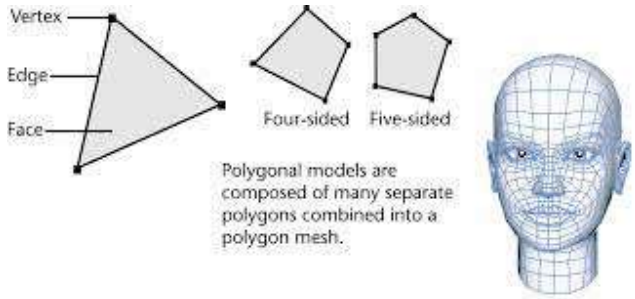
الحواف Edges : خط مستقيم يربط بين رأسين، وهي تحدد حدود وشكل النموذج.

الوجوه Faces : وهي المسطح المغلق الذي يتشكل عند ربط ثلاثة حواف أو أكثر، وهذه "الأسطح" هي التي نراها فعلياً في النموذج النهائي.

المضلع Polygon : هو مجموعة من الأوجه، متصلة ببعضها وتشكل جزءً من الشكل النهائي.

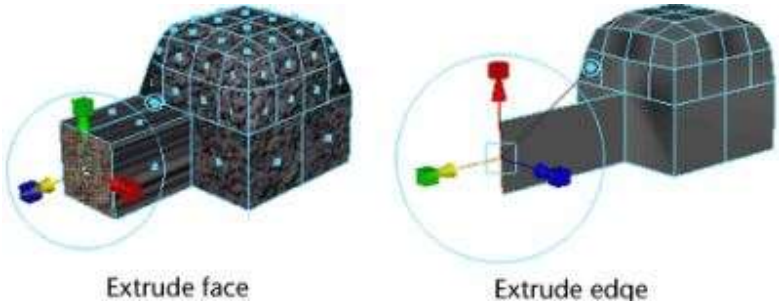
الشبكة Mesh : هي الجسم الكامل المكوّن من المضلعات المتصلة ببعضها.



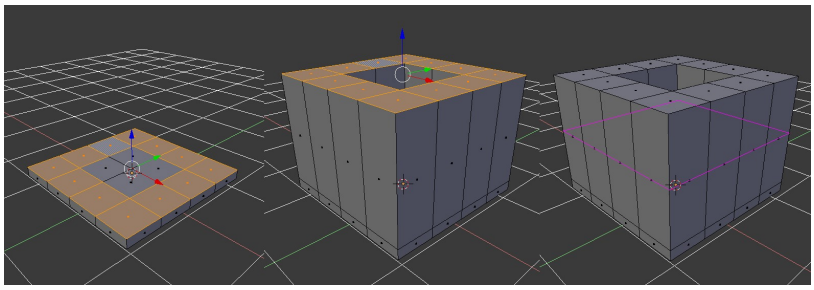


أهم الأدوات التي نستخدمها في تشكيل الأغراض في نمذجة المضلعات :

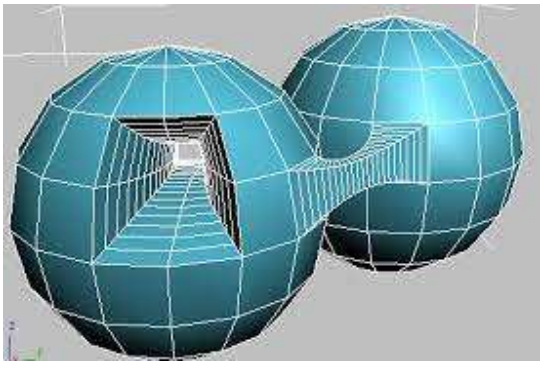
1- الإنبثاق Extrude : ويعني أخذ وجه أو مجموعة أوجه وسحبها للخارج مع إنشاء وجوه جديدة على الجوانب، مثلاً لصنع ذراع من صندوق نقوم ببثق الوجه الجانبي.



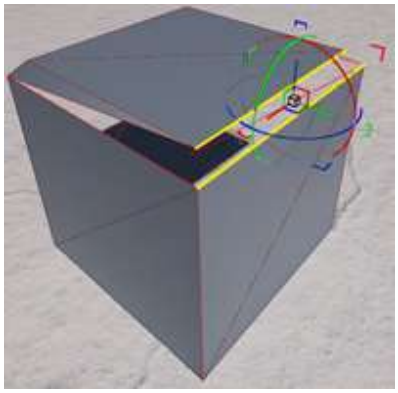
2- **الحلقة Loop Cut & Slide** : إضافة حلقة من الحواف الجديدة حول النموذج



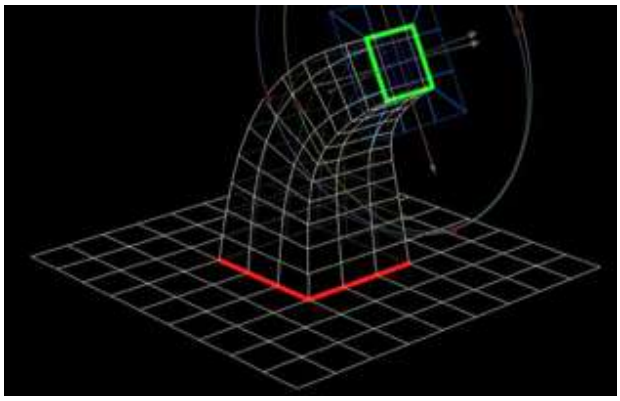
3- **الربط Bridge** : ربط حافتين أو وجهين ببعضهما لإنشاء نفق أو جسر بينهما.



4- **اللحام Weld/Vertices Merge** : دمج رأسين أو أكثر في رأس واحد لتقليل التعقيد أو إغلاق الفجوات.



5- **العزل Extrude & Scale** : طريقة تستخدم لإنشاء حواف حادة عن طريق البثق ثم تحجيم الوجه الجديد إلى الداخل.



طوبولوجيا النمذجة المضلعة هي ليست مجرد مضلعات وإنما هي طريقة لترتيب وتوزيع الرؤوس والحواف والوجوه على سطح النموذج ثلاثي الأبعاد (طوبولوجيا: خصائص الفراغات الثابتة تحت أي تشوه مستمر).

أهمية طوبولوجيا النمذجة المضلة :

1- التحريك (Animation) : الطوبولوجيا الجيدة تعني تدفقاً صحيحاً لحلقات المضلعات حول المفاصل والأجسام، بينما الطوبولوجيا السيئة تؤدي إلى تشوهات عند ثني المفاصل أو تحريك الأجسام.

2- التظليل (Texturing & UV Unwrapping) : الطوبولوجيا المنتظمة تجعل عملية فك النموذج إلى خريطة UV أسهل وأكثر دقة.

3- التقسيم أو تنعم النموذج (Subdivision Surface) : الطوبولوجيا الجيدة تضمن أن النموذج المنعم يحافظ على شكله المطلوب ويطور تجاعيد وأنحناءات صحيحة.

ما الذي يجعل الطوبولوجيا جيدة؟

- الرباعيات المنتظمة بقدر الإمكان.
- تدفق حلقات المضلعات مع شكل الجسم (مثل دوائر حول العينين والفم).
- الكثافة المتوازنة : وجود المضلعات عندما تكون التفاصيل مطلوبة فعلاً، وليس في المناطق المسطحة.

2- نمذجة الأسطح الرياضية الناعمة NURBS

بالوقت الذي تهيمن فيه النمذجة المضلعة على معظم المشاريع البصرية، توجد تقنية أخرى قائمة على أساس رياضي متين تتفوق في مجالات محددة، هي نمذجة الأسطح الرياضية الناعمة.

NURBS هي اختصار لـ: Non-Uniform Rational B-Splines

وهي تمثيل رياضي للهندسة ثلاثية الأبعاد، تُستخدم لتمثيل وتحليل الأسطح والمنحنيات المعقدة، مما يسمح بالتحكم غير المنتظم في توزع النقاط على المنحنيات.

وهي تشبه رسم المنحيات في برامج مثل Illustrator ولكن في فضاء ثلاثي الأبعاد.

المكونات الأساسية في NURBS

أ. النقاط Control Points (CVs) : نقاط في الفضاء ثلاثي الأبعاد تتحكم في شكل المنحنى أو السطح.

ليست بالضرورة على المنحنى نفسه (على عكس النقاط في المضلعات)، تشكل ما يسمى الهيكل التحكمي Control Hull.

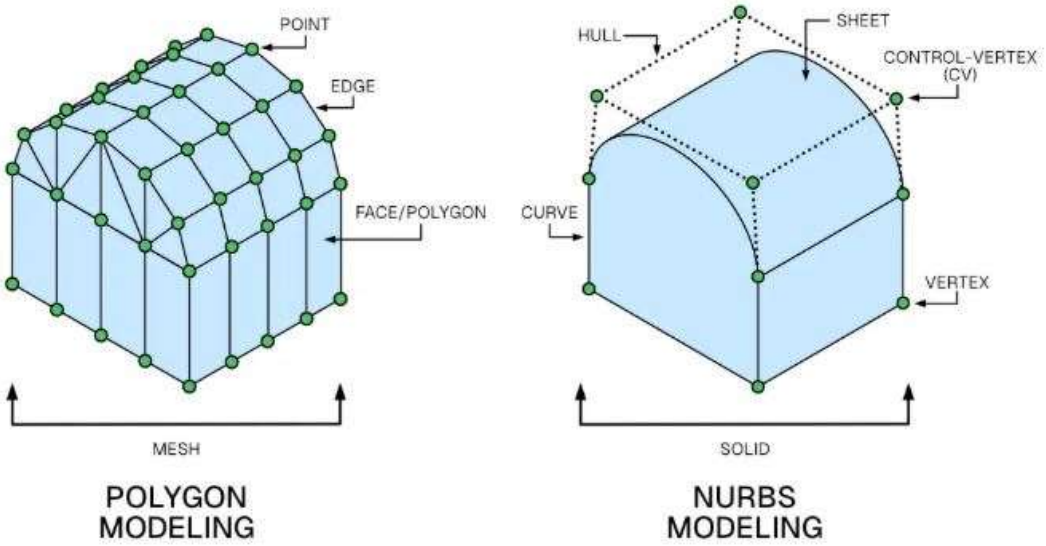
ب. المنحنيات Curves : وتتشكل بناءً على مواضع نقاط التحكم CVs ولديها خاصية (درجة) تحدد مدى نعومة المنحنى، ويمكن أن تكون مفتوحة أو مغلقة.

ج. الأسطح Surfaces : يتم إنشاؤها من خلال شبكة من المنحنيات في اتجاهين U و V ، تشبه شبكة مطاطية ممتدة بين منحنيات التحكم، السطح نفسه دائماً أملس ومستمر رياضياً.

المقارنة بين النمذجة المضلعة ونمذجة NURBS

المعيار	النمذجة المضلعة	النمذجة بـ NURBS
الأساس	شبكة من الوجوه المسطحة	معادلات رياضية لا أسطح منحنية
الدقة	تقريبية – تحتاج لمضلعات أكثر لدقة أعلى	دقيقة رياضياً –السطح مثالي دائماً
المرونة	مرنة جداً لأشكال معقدة وعشوائية	ممتازة للأسطح العضوية والمنتظمة
التحكم	تحكم مباشر بكل وجه وحافة	تحكم من خلال نقاط التحكم CVs

الخلاصة NURBS دقيقة رياضياً، بينما المضلعات عمليّة أكثر.



تُستخدم نمذجة NURBS في :

- التصميم الصناعي والمنتجات (سيارات، طائرات، الأجهزة الإلكترونية، الأثاث)
- هندسة العمارة (التصميمات المعمارية ذات الأسطح المنحنية ، الهياكل الزجاجية المعقدة)
- الرسوم المتحركة (إنشاء الأسطح الناعمة للشخصيات ، نمذجة المركبات والبيئات العضوية)
- التصنيع باستخدام الحاسب CAM (التحكم المباشر في آلات CNC لتصميم القوالب والقطع الهندسية)

البرامج التي تعتمد نمذجة NURBS :

- Autodesk Alias برنامج متخصص في التصميم الصناعي.
- Rhino البرنامج الأكثر شيوعاً ومرونة للتصميم المعماري والصناعي.
- Maya يحتوي على أدوات NURBS قوية بجانب المضلعات.
- Siemens NX / CATIA يستخدم في البيئات الهندسية والتصنيعية المتقدمة.
- Blender يتضمن دعم أساسي لـ NURBS.

3- نمذجة النحت الرقمي

هي عملية استخدام أدوات رقمية لمحاكاة عملية النحت التقليدية على مواد مثل الطين أو الرخام، ولكن في بيئة افتراضية ثلاثية الأبعاد.

الفرق الجوهري بينها وبين النمذجة المضلعة هو أن النمذجة المضلعة تركز على الطوبولوجيا والهيكل ، بينما يركز النحت الرقمي على الشكل والتفاصيل، إذ يمكنه العمل مع ملايين أو مليارات المضلعات، مما يسمح باضافة تفاصيل دقيقة جداً.

تستخدم نمذجة النحت الرقمي في ألعاب الفيديو، الأفلام السينمائية، الطباعة ثلاثية الأبعاد مثل المجوهرات، التماثيل، النماذج الأولية.

أدوات النحات الأساسية:

- Standard Brush: الفرشاة الأساسية للرفع والخفض.
- Clay Buildup: لبناء الطبقات بشكل طبيعي مثل الطين.
- Move Brush: لسحب وتشويه أجزاء كبيرة من النموذج.
- Smooth Brush: لتنعيم السطح وإزالة الحواف الحادة.
- Dam Standard: لإنشاء حواف حادة وتفاصيل خطية.
- Slash Brush: لإنشاء شقوق وتجاعيد عميقة.
- Inflate/Deflate: للنفخ أو التفريغ.
- Pinch Brush: لضم الحواف وجعلها أكثر حدة.

البرامج التي تعتمد نمذجة النحت الرقمي:

- ZBrush – يستخدم لإنشاء الشخصيات، المخلوقات، التفاصيل العضوية.
- Mudbox من Autodesk يستخدم لإنشاء البيئات والتفاصيل السطحية.
- Blender مناسب للمبتدئين والمشاريع الصغيرة.

طريقة النحت:

1- التشكيل البسيط (Blocking) و نحدد فيه الكتلة والحجم والتناسب الأساسي (باستخدام ZSpheres).
2- التشكيل (Sculpting) التركيز على بناء الأشكال الكبيرة (باستخدام Dynamesh للحفاظ على توزيع متساوٍ للمضلعات).
3- التفصيل (Detailing) إضافة التفاصيل المتوسطة ثم الدقيقة بزيادة كثافة المضلعات (باستخدام Alpha Brushes).
4- الاخراج (Extraction) النموذج المنحوت يكون عالي الدقة ولا يصلح للألعاب لذلك يتم إنشاء نسخة منخفضة الدقة واستخراج خرائط التشويه (Maps) مثل:

- Normal Maps: لمحاكاة التفاصيل على النموذج منخفض الدقة.
- Displacement Maps: لتشويه هندسة النموذج أثناء العرض.
- Ambient Occlusion: لإضافة ظلال طبيعية.

4- النمذجة الإجرائية

هي طريقة لإنشاء محتوى ثلاثي الأبعاد باستخدام الخوارزميات والقواعد الرياضية بدلاً من الأدوات اليدوية التقليدية.

هذه التقنية تعيد تعريف مفهوم الإبداع الرقمي، على سبيل المثال بدلاً من بناء كل مبنى في مدينة يدوياً، يمكن كتابة مجموعة من القواعد التي تبني المدينة بأكملها تلقائياً، هذا هو جوهر النمذجة الإجرائية.

المبدأ الأساسي"Write the rules, not the geometry"

تُستخدم النمذجة الإجرائية في بيئات الألعاب الضخمة (إنشاء مدن كاملة) ، التأثيرات البصرية (انفجارات) ، هندسة العمارة (تخطيط المدن، توليد واجهات معمارية معقدة)، تصميم المنتجات (كرسي مخصص بناء على وزن المستخدم).

المبادئ الأساسية للنمذجة الإجرائية:

١ .المعاملات (Parameters) : تسمح بتغير النتيجة النهائية ببساطة بتعديل قيم إدخال

مثال ذلك : تغيير عدد طوابق المبنى، كثافة الغابة، تعقيد الشبكة.

٢ .العشوائية (Randomness) : استخدام البذور العشوائية (Seed) لإنشاء طبيعية متغيرة.

مثال ذلك : كل شجرة تكون فريدة بشكلها، لكنها تتبع نفس القواعد الأساسية.

٣ .التكرار (Iteration) : تطبيق نفس القاعدة بشكل متكرر لإنشاء أنظمة معقدة

مثال ذلك : فرع ينقسم إلى فروع أصغر، والتي تنقسم بدورها لفروع أخرى...

٤ .عدم التدمير (Non-Destructive) : يمكن الرجوع وتعديل أي خطوة في أي وقت وهذه ميزة فارقة عن النمذجة التقليدية.

الجدول التالي يلخص الفارق بين النمذجة التقليدية و النمذجة الإجرائية :

النمذجة التقليدية	النمذجة الإجرائية
تحكم مباشر بكل مضلع	تحكم بالخوارزميات والقواعد
عملية يدوية	عملية تلقائية
ثابتة – يصعب التعديل	ديناميكية – سهلة التعديل
مثالية للأشكال الفريدة	مثالية للأنماط والأنظمة

البرامج التي تعتمد النمذجة الإجرائية:

- Houdini يستخدم للتأثيرات البصرية، وإنشاء البيئات.
- SideFX Houdini إصدار مخصص للألعاب.
- Unreal Engine إطار عمل لإنشاء المحتوى الإجرائي.

طريقة تنفيذ النمذجة الإجرائية

- التخطيط للقواعد
  - تحليل العنصر إلى مكوناته الأساسية
  - تحديد العلاقات بين المكونات

مثال لشجرة : جذر ← جذع ← فروع رئيسية ← فروع ثانوية ← أوراق

- البناء
  - استخدام نظام العقد (Nodes) لبناء الخوارزمية
  - كل عقدة تمثل عملية أو تحويل

مثال Mesh → Subdivide → Extrude → Randomize

- التحكم والمعاملات
  - إضافة مدخلات المستخدم (Parameters)
  - ضبط نطاقات القيم المسموحة

مثال: معاملات لارتفاع المبنى من ١ إلى ١٠٠ طابق

- التصدير والتكامل
  - تحويل النتيجة إلى مضلعات ثابتة إذا لزم الأمر
  - تصدير إلى محركات الألعاب أو برامج العرض

المزايا

- كفاءة غير مسبوقة في إنشاء كميات هائلة من المحتوى
- مرونة في التعديل والتجريب، اتساق في النمط والجودة
- إمكانية إعادة الاستخدام للأنظمة

التحديات

- صعوبة التعلم
- صعوبة التحكم الدقيق في النتيجة النهائية
- صعوبة تحقيق لمسة فنية يدوية
- متطلبات حاسوبية عالية للأنظمة المعقدة