أساليب بناء النماذج ودورها في تصميم منتجات الأثاث والإنشاءات المعدنية

ياسر محمد الصادق عبد العزيز

استاذ مساعد بقسم تصميم الأثاث والإنشاءات المعدنية، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، مصر.

Submit Date: 2023-06-18 00:40:23 | Revise Date: 2023-09-19 13:25:20 | Accept Date:2023-09-19 13:56:43

DOI:10.21608/jdsaa.2023.218366.1291

ملخص البحث:-

تمر عمليه تصميم المنتجات بالعديد من المراحل بداية من وضع الأفكار الأولية للتصميمات المقترحة ووصولا لعمل العينات الأولى للمنتجات، وفي تلك المراحل يحتاج المصمم لشكل مادي يجسد من خلاله أفكاره التصميمية لعرضها ودراستها من قبل فريق التصميم ثم عرضها على عينه من العملاء، وتلك هي الوظيفه المزدوجة لنماذج المنتج فهي من جهة تعرض الأفكار التصميمية على المستهلكين ومن جهة أخرى تكون فرصة لأخذ الملاحظات التقنية قبل الخوض في عمليات التصنيع والإنتاج للمنتج النهائي ، فالنمذجة هي جزء مهم في عمليه تصميم المنتج، فهي تساعد المصممين والمستهلكين على التواصل حول الأفكار التصميمية المقترحة للمنتجات. وتعدد أنواع النماذج وتتفاوت في دقه تفاصيلها ارتباطاً بالمراحل المختلفة لعمليه تصميم المنتج، وهناك العديد من الأساليب المتبعة لعمل النماذج والتي لا تخرج عن كونها أساليب يدوية أوأساليب رقميه، وكلا منها يتطلب العديد من المهارات ، ومن هنا تنبع مشكله البحث في ضرورة دراسة الأساليب المختلفة المُتَبعة في بناء نماذج المنتجات ومدي الاستفادة منها في المراحل المختلفة لعمليه تطوير واختبار الأفكار التصميمية لمنتجات الأثاث والإنشاءات المعدنية ، وتلك الاستفادة او هذا الأثر تمثل ما يهدف اليه البحث ، ولتحقيق هدف البحث اتبع الباحث المنهج الوصفي التحليلي، وقد اختتم البحث بمناقشه واستخلاص لمجموعه من النتائج من أهمها:

- هناك العديد من الأساليب المتبعة لعمل نماذج للمنتجات وكلا منها يتطلب مهارات وتجهيزات مختلفة.
- إن لنماذج المنتجات دور مهم في استلهام بعض الأفكار لتصميم المنتجات .
- النماذج الرقمية للمنتجات هي الاتجاه الأكثر اتباعا حاليا في ظل التطور التكنولوجي الهائل في برامج الحاسب.
- لكل من النماذج الرقمية والنماذج الافتراضية والنماذج المادية مميزات وعيوب ، فيمكن باستخدامهم معا أن يحصل المصمم على أداة قوية لتطوير المنتجات المختلفة.

الكلمات المفتاحية:-

نماذج الاسكتش ،النماذج التجريبية ،النماذج الرقميه ،النمذجة السريعة ،النمذجة الافتراضية

المقدمة :

في إطار عمليه تصميم المنتجات التي تمر بالعديد من المراحل بداية من وضع الأفكار الأولية للتصميم concept ideas وصولا لعمل العينات الأولى للمنتجات prototypes يحتاج المصمم خلال تلك المراحل لتجسيد أفكاره التصميمية في شكل مادي لعرضها ودراستها من قبل فريق التصميم لتطوير تلك الأفكار ومن ثم عرضها على عينه من العملاء لقياس مدي رضاهم عن الأفكار التصميمية المقترحة، وفي هذا الإطار يكون لكل مصمم اسلوبه المميز لتمثيل أفكاره التصميمية بداية من الاسكتشات اليدوية ومروراً بعمل النماذج التي تتفاوت في دقه تفاصيلها ارتباطاً بالمراحل المختلفة لعمليه تصميم المنتج،وهناك العديد من الأساليب المتبعة لعمل النماذج والتي لا تخرج عن كونها أساليب يدوية أوأساليب رقميه، فالعديد من المصممين يستخدمون الأساليب اليدوية في بناء نماذج للمنتجات و ذلك يتطلب مهارات يدوية عالية في التنفيذ من خامات رخصيه كالكرتون أو الفوم..... ، بينما يلجأ آخرون الي استخدام الكمبيوتر في بناء نماذج للمنتجات وهو الاتجاه الأكثر اتباعا حاليا خاصه في ظل التطور التكنولوجي الهائل في برامج الرسم والتصنيع باستخدام الحاسب وكذلك التطور الهائل في تقنيات التصنيع والخامات المستحدثة (تقنيات القطع بالليزر، الطباعة ثلاثية الأبعاد....) ، لذلك يستخدم مصطلحي " models" و " prototypes" حاليا لوصف أي وسائل لتمثيل المنتج بداية من اسكتشات المفهوم " concept sketches" مرورا بالنماذج الرقمية "Cad " و النماذج الافتراضية " Virtual prototyping" وصولا للنماذج المادية التجريبية والتي تهدف كلها لمساعدة المصممين والمستهلكين على التواصل حول الأفكار المقترحة للمنتجات.

إن النمذجه Modelingهي جزء مهم في عمليه تصميم المنتج، ففيها يتم تطوير واتمام السمات التقنية والجمالية للأفكار التصميمية، فنماذج المنتج تقوم بوظيفه مزدوجة فهي من جهة تعرض الأفكار التصميمية على المستهلكين ومن جهة أخرى تكون فرصة لأخذ الملاحظات التقنية قبل الخوض في عمليات التصنيع والإنتاج للمنتج النهائي، ففي بعض الأحيان يتطلب الأمر عمل عدد قليل من النماذج للتوصل للشكل النهائي للمنتج وفي أحيان اخري يتطلب الأمر تكرار الكثير من النماذج للتوصل للشكل النهائي للمنتج ويتحكم في هذا الأمر الكثير من الأمور منها درجه بساطه أو تعقيد المنتج.

وتكمن مشكله البحث في ضرورة دراسة الأساليب المختلفة المُتَبعة في بناء نماذج المنتجات وبيان مدي الاستفادة منها في المراحل المختلفة لعمليه تطوير واختبار الأفكار التصميمية لمنتجات الأثاث والإنشاءات المعدنية.

ويهدف البحث الي دراسة أثر استخدام النماذج المختلفة للمنتجات في عمليه تصميم منتجات الأثاث والإنشاءات المعدنية.

ولتحقيق هدف البحث اتبع الباحث المنهج الوصفي التحليلي.

المحور الأول: نماذج المنتجات (المفهوم والخصائص)

إن لنماذج المنتجات أشكال كثيره وتخدم الكثير من الأهداف طبقا للمراحل المختلفة لتصميم المنتج، فقد يكون الهدف من النماذج في بداية مراحل تصميم المنتج هو عرض الأفكار المبدئية لتصميم المنتج على فريق التصميم و رصد الانطباع الأولي عنها ، أما الهدف من النماذج في المرحلة النهائية لتصميم المنتج فيتعلق برصد الصورة النهائية الكاملة للمنتج، وقد تكون النماذج حقيقيه real او افتراضيه Virtual، فمصطلحات "Maquette "، "model " و " prototype " كلها تعبر عن نماذج للمنتجات ولكنها على الترتيب تماثل مصطلحات " الاسكتش sketch"، "الرسم الهندسي Drawing " و" الإخراج rendering" فهي تعبر عن ثلاثة مستويات لنماذج المنتجات تختلف حسب سرعه التنفيذ / التهذيب و الدقة / ومدى تطورها ، وذلك في المراحل المختلفة لتصميم المنتج ،ولكن بشكل عام كل تلك النماذج تُستخدم كأدوات لعرض الأفكار التصميمية والعمليات المتعلقة بالمنتج ،وعلى المصمم أن يحدد أي مستوي من تلك النماذج يحتاج حسب الهدف الذي ينشده من وراء عمل تلك النماذج .

وعن استخدام النماذج في تصميم المنتج يذكر كل من كاترين هيرن Katherine Hearn ، وانطوني كين Anthony Quinn [1] أن: "النموذج Maquette هو النقطة حيث تتجسد فكرة التصميم في شكل ثلاثي الأبعاد بدون التقيد بقيود التصنيع والتسويق، يمكن ان يقال ان النماذج تُشكل جوهر نشاط عمليه التصميم" (2006, p.6)

ويصف "دانيال تشارني Daniel charny [2]"**الافتتان بنماذج المنتجات في حد ذاتها** بقوله "ان نماذج المنتجات هي الأقرب الي خيال المصمم وفي نفس الوقت تُمثل خطوه نحو الصناعة وغالبا ما تتغير او تتطور تلك عندما يُطبق عليها محددات التصنيع و التسويق، فنماذج المنتجات قد تتميز بتناقض مادي (في الخامات) او تقني مقارنة بالمنتج النهائي بسبب عدم تمكن المصمم من التقنية في هذه المرحلة من مراحل تصميم المنتج" (2008, p.8)

ويقول Konstantin Grcic[3] "إن النماذج تمثل اول اختبار حقيقي للفكرة التصميمية للمنتج، وان كل النماذج في الاستديو الخاص بنا يتم بناؤها بحجم حقيقي بحيث تتيح الفرصة للتفاعل مع كيان مادي حقيقي للتصميم المقترح " (Tim Parsons, 2009, p.184) إن المنتجات التي يصممها " Grcic" تتكلف كثيرا لإنتاجها باستخدام ماكينات انتاج ذات تقنيه عالية ، ومع ذلك تلك المنتجات لديها أصول متواضعة من النماذج ، حيث تصنع تلك النماذج من خامات رخيصة كالكرتون او الأسلاك او أي خامه تتيح تعبيرا سريعا عن الأفكار التصميمية المقترحة ، فليس مُهماً عرض تلك النماذج على العملاء، بل الأهم عرضها على " Grcic" وفريق التصميم لتطويرها واختبار الافتراضات المسبقة وتحديد المعلومات الأساسية .

مما سبق يتضح بشكل عام اهميه النماذج في تصميم المنتجات، ومن المؤكد أيضا أن لنماذج المنتجات دور مهم في استلهام بعض الأفكار لتصميم المنتجات سواء على مستوي المصممين المحترفين او على مستوي تعليم التصميم للطلاب حيث يعتمد الطلاب على النماذج في

---

١) أساتذة بكليه سانت مارتنز المركزية بلندن للفن والتصميم.

٢) أستاذ التصميم بجامعه كينج ستون بلندن.

3) هو مُصمم صناعي ألماني معروف للأثاث والمنتجات المنزلية، وُصفت تصميماته بأنها ذات جماليات مختزلة ، وتتميز بأشكال هندسية وزوايا غير متوقعة

استلهام بعض الأفكار التصميمية، وسيتم توضيح اهميه النماذج في تصميم المنتجات بشكل مفصل عند التعرض لأنواع النماذج المستخدمة في التصميم .

المحور الثاني : انواع النماذج في عملية تصميم المنتجات

تمر عمليه تصميم المنتجات بالعديد من المراحل كما سبق وذكرنا بداية من وضع الأفكار الأولية للتصميم، ووصولا لعمل العينات الأولى للمنتجات وخلال تلك المراحل المختلفة يلجأ المصمم لعمل العديد من النماذج وفيما يلي سنعرض لبعض من تلك النماذج بالدراسة والتحليل لإيضاح مدي أهميتها خلال مراحل تصميم المنتج المختلفة

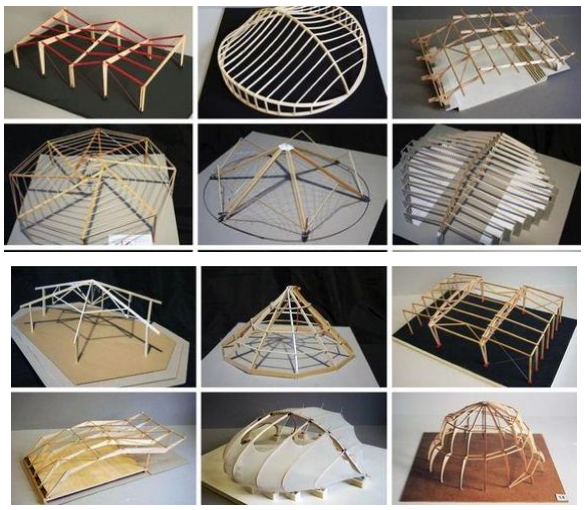
٢-١) نماذج الاسكتش Sketch Models:

إن ما يطلق عليه نماذج الاسكتش Sketch Models أو الماكيت Maquette أو نماذج المفهوم Concept Models جميعها مترادفات لشيء واحد، وهي نماذج للمنتجات بمقياس رسم صغير، يتم عملها لتجسيد أفكار التصميم المبدئية للمصمم او لفريق التصميم ، تلك النماذج الأولية المعبرة و السريعة في انتاجها سوف يتم تطويرها لاحقا لنماذج اخري اكثر تعقيدا ودقه وتحتاج لوقت أطول لعملها، إ"ن نماذج الاسكتش يتم انتاجها يدويا من خامات جاهزة متاحه مثل الواح الفوم ، بولي يوريثان فوم، الورق، الكرتون، السلك، الجبس .....،وبسبب تلك الخامات المستخدمة في عمل نماذج الاسكتش و السرعة في التنفيذ فان تلك النماذج تكون بسيطة ولا تمثل بشكل كامل المنتجات النهائية ولكنها تمثلها بشكل عام" (شكل 1) (Alex Milton, Paul Rodgers, 2013, p.95)

شكل رقم (1)
المصدر : https://www.pinterest.com/pin/715650197051061475/

إن السرعة في تنفيذ نماذج الاسكتش شيء حاسم وضروري، فإن تلك النماذج مثلها مثل رسم الاسكتش لابد ان يتم تنفيذها بسرعة تناسب سرعه تدفق الأفكار لفريق التصميم في تلك المرحلة المبكرة من مراحل تصميم المنتج والتي تحتاج لتجسيد أفكار التصميم وما يلحقها من تعديلات في شكل ثلاثي الأبعاد سريعاً، لتحقيق امكانيه رؤيتها وتحليها واتخاذ ردود الفعل المناسبة تجاهها.

كذلك يتم عمل نماذج الاسكتش لاختبار جانب واحد فقط او اثنين من جوانب التصميم ومن خلال تلك النماذج مجتمعه يمكن التوصل للمعلومات المطلوبة فمثلا يتم عمل نماذج لاختبار الجانب الجمالي والنسب للتصميم المقترح ولكن لا يمكن استخدام نفس تلك النماذج لاختبار الجانب الانشائي للمنتج، فخامات النموذج وسرعه تنفيذه لا تسمح بذلك وهذا بخلاف نموذج العينة الأولى الكامل للمنتج والذى يمكن من خلاله اختبار كل جوانب التصميم.
من الخطأ الشائع الانتقال مباشره من الاسكتشات الأولية لتصميم المنتج الي النموذج النهائي للمنتج الذي يتطلب الكثير من المجهود والنفقات لإنتاجه، فغالبا ما سيحتوي هذا النموذج على الكثير من العيوب الأساسية، التي كان من الممكن تلافيها بشكل سريع وغير مكلف من خلال عمل نماذج الاسكتش والتي من خلالها يمكن تجربة مدي واسع ومختلف من الأفكار التصميمية ، فالخامات الجاهزة والغير مكلفه لنماذج الاسكتش وكذلك اساليب تشكيلها البسيطة تُمكن المصمم من العمل دون التقيد بشعور الخوف من اتلاف الخامات ذات القيمة، مما يعطي المصمم الحرية في عمل العديد من نماذج الاسكتش ومن خلال المقارنة بينها وتصحيح الخطأ يمكنه في النهاية ضبط النتائج للتصميم المقترح.
كما تساعد نماذج الاسكتش المصمم في عرض أفكاره المقترحة لتصميم المنتجات على فريق التصميم، فيمكنه أيضا من خلال تلك النماذج عرض تلك الأفكار المقترحة لتصميم المنتج على عينة من المستهلكين لاختبار رد الفعل العام تجاه التصميم المقترح وتقييم مدي ملائمته للسوق.
اما على مستوى تعليم التصميم، فنماذج الاسكتش تساعد الطلاب ليس فقط في عرض أفكارهم التصميمية على القائمين بالتدريس ولكن قبل ذلك تساهم بشكل فعال في فهمهم و تخيلهم الكامل لأفكارهم التصميمية المقترحة، فهم يتعلمون التفكير في التصميم من خلال صنع النموذج (Design thinking Through making)، شكل (2)



شكل (2)
نماذج الاسكتش في مواد تصميم الإنشاءات المعدنية تساعد الطلاب في عرض أفكارهم التصميمية على القائمين بالتدريس وتساهم أيضا في فهمهم و تخيلهم الكامل لأفكارهم التصميمية المقترحة
المصدر: https://www.pinterest.com/pin/281543713658504/

٢-٢) النماذج التجريبية Mock-ups :

إن النموذج التجريبي **Mock-ups** هو "نموذج مادي بالحجم الحقيقي للمنتج يتكون من خامات سهله التصنيع مثل الكرتون الصلب، الخشب والفوم وتستخدم النماذج التجريبية لتقييم التفاعل المادي مع التصميم المقترح، كنسب وأبعاد التصميم المقترح، ويكون ذلك في بداية مراحل عمليه التصميم وكذلك في منتصف تلك المراحل". (Alex Milton, Paul Rodgers, 2013, p.96) وتستخدم النماذج التجريبية بشكل شائع في تصميم الأثاث الغير نمطي (حسب الطلب)، فيمكن للمصمم عمل نسخه طبق الأصل للمنتج النهائي باستخدام خامات غير مكلفه وذلك للتحقق من شكل ونسب وأرجونومية التصميم المقترح ومدي ارتباطه بالفضاء المكاني المحيط به (شكل ٣)

شكل رقم (٣)

علي اليمين: كرسي "كيت Kit" للمصمم "ستيفن دايز Stefan Diez"
علي اليسار: نموذج تجريبي بمقياس رسم حقيقي للكرسي "كيت Kit" من الكرتون لاختبار بعض سمات التصميم المقترح للكرسي من خطوط التصميم والنسب وابعاد الكرسي، ولكن لا يصلح هذا النموذج لتحمل وزن شخص جالس بدون جزء مساعد من الخشب يُوضع تحت الكرسي (الصورة في المنتصف)
المصدر: https://www.diezoffice.com/stories/kitt-for-hay/

هناك نوع اخر من النماذج التجريبية لا تستخدم في التحقق من شكل و نسب التصميم المقترح للمنتج وإنما تُستخدم في مرحله متقدمة من مراحل تصميم المنتج لمحاكاة حركه ميكانيكيه بالمنتج او تُستخدم لاختبار سمه ماديه للتصميم المقترح مثل اختبار مدي قوه تحمله او متانته او مدى الراحة التي يوفرها تسمى تلك النماذج بـ "منصات اختبار Test rigs"،
فبينما تستخدم بعض برامج الحاسب الآلي في تحليل واختبار النماذج الرقمية للمنتجات لإمداد المصمم بالمعلومات الخاصة بالكيفية المحتملة لأداء مكونات التصميم المقترح للمنتج عند تعرضه للاستخدام التخيلي، فان نتائج تلك البرامج كلها تعتمد على التخمين والمقاربات للسلوك الحقيقي لمكونات المنتج المقترح، ولكن التحقق الكامل للتصميم يتم التوصل اليه فقط عن طريق الاختبارات العملية الحقيقية لمنصات الاختبار "representative test rigs" أوعينات النماذج التجريبية "Mock-up prototypes " (شكل4)
، ويقوم بتلك الاختبارات مهندسين متخصصين ويكونون على تواصل بفريق التصميم لإمدادهم بنتائج الاختبارات التي تسهم في تطوير المنتج المقترح ليتم إنتاجه.

شكل رقم (4)

علي اليمين: كرسي "one chair" للمصمم "Konstantin Grcic"
على اليسار : عينه نموذج تجريبي Mock-up prototype أو منصة اختبار Test rigs للكرسي فيها المقعد ومسند الظهر مثبت على شاسيه وارجل معدنيه لاختبار مدي الراحة وقوه التحمل للمقعد ومسند الظهر ، رغم اختبارها باستخدام احد برامج الاختبار كما هو موضح اقصى اليسار
المصدر : https://www.gerhardtkellermann.com/kgchapterone.php

ومما سبق يتضح أن النماذج التجريبية"Mock-ups " هي مفتاح التطوير واداه اختبار قياسيه للتصميم المقترح، تساعد فريق التصميم في التحقق من اختيارات التصميم المقترح للمنتج وتحدد موضع التطوير التالي والاختبار الضروريين، كذلك النماذج تساعد مهندسي الإنتاج في اجراء الفحص الأخير لاكتشاف عيوب التصميم قبل الخوض في عمليات انتاج المنتج ، فإن تكاليف عمل النماذج التجريبية لا تقارن بتكاليف انتاج منتج يحتاج للتطوير.
ان عدد النماذج التجريبية المطلوبة لتطوير التصميم المقترح يختلف من منتج لآخر ويعتمد على حجم المنتج المطلوب تطويره، وعلى الميزانية المتاحة ومع ذلك فان الحاجة لتطوير شكل المنتج، تركيب مكوناته، الخامات المستخدمة، وعمليات الإنتاج يتطلب عمل العديد من النماذج التجريبية

٢-٣) النماذج الرقميه CAD models:

يعد التصميم بمساعده الحاسب(computer-aided design - CAD) أحد التقنيات التي ساعدت على بناء نماذج رقميه للمنتجات قابله للدراسة والتحليل من قبل فريق التصميم دون الحاجه لعمل نماذج ماديه خاصه في المراحل الأولية لعمليه التصميم ، حيث تُتيح برامج ال CAD أداء مجموعة من الأنشطة ، بدءًا من النمذجة الهندسية ثنائية وثلاثية الأبعاد إلى إنشاء الرسومات التي توثق التصميم للتصنيع، كما هو موضح بشكل (٥) وتتمثل ميزة برامج ال (3D-CAD) في أنه بمجرد إنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد للمنتجات او أجزاء منها ، يمكنك تغيير اتجاه العرض في أي وقت لطرق العرض المتعامدةorthographic أو متساوية القياس isometric أو المنظورية perspective، يمكنك أيضًا تطبيق خامات مختلفة على المنتجات وتظليلها لإنتاج درجة عالية من الواقعية في العرض التصويري the pictorial view،كما هو موضح بشكل (٥)

شكل رقم (٥)

على اليمين: يوضح استخدام برنامج Autocad في عمل نموذج ثلاثي الأبعاد لمنضده معدنيه ومنه تم عمل المساقط والقطاعات والمناظير الهيكليه والمفككة .
على اليسار: يوضح استخدام برنامج Autocad في عمل النموذج ثلاثي الابعاد لسرير و كمود معدني بالاضافه لاستخدام برامج اخري في الإخراج، مما يجعل الأفكار التصميميه غايه في الواقعيه. (الأفكار التصميميه الموضحه من مخرجات مقرر تصميم اثاث معدني - للفرقه الأولى٢٠٢٢)
المصدر: الباحث

مما يمكن المصمم من عرض أفكاره التصميمية للمنتجات بشكل سريع واقل تكلفة وأكثر جاذبيه ووضوح، تلك الخيارات تجعل عرض النموذج الرقمي ثلاثي الأبعاد مفهومًا لمجموعة واسعة من الأفراد الذين يشاركون في تحسين التصميم المقترح.

٢-4) النماذج الأولية السريعة Rapid prototypes:

في المراحل المتقدمة من عمليه تصميم المنتج، تكون هناك حاجه لنموذج ذو مستوي مواصفات راقي يفوق مستوى نماذج الماكيت أونماذج الاسكتش، حيث يكون هناك حاجه لاختبار المعايير المختلفة المُضمنة في المنتج وذلك في نموذج واحد للتأكد من ان تلك المعايير لا تتضارب مع بعضها البعض، في السابق كان يقوم بصنع تلك النماذج المتقدمة حرفيين ذوى مهاره عالية، أما الان يتم الاعتماد على تقنيات النمذجة السريعة **Rapid prototyping** (RP) إلي حد كبير في صنع تلك النماذج المتقدمة.

ان عمليه النمذجة السريعة هي البناء الآلي لنموذج مُفصل ثلاثي الأبعاد باستخدام احد تقنيات الطباعة الثلاثية الأبعاد(3D printing technologies) ، ويتم ذلك من خلال ملف رقمي ثلاثي الأبعاد مكتمل التفاصيل تم رسمه من قبل بأحد برامج التصميم باستخدام الحاسب (CAD)،ثم يتم تحويل ملف (CAD)الي صيغة (Stl) standard tessellation language وهي الصيغة المدعومة في الطباعة ثلاثية الأبعاد، حيث يتم تقسيم سطح مجسم النموذج الي مثلثات ، ثم تحول ملف (Stl) إلى (جي كود G Cod) تفهمه الطابعة ثلاثية الابعاد، وذلك باستخدام برامج وسيطه، تقوم بتقطيع مجسم النموذج الي مقاطع افقية منفصله رقيقه جدا(طبقات Layers) تلك المقاطع هي التي ستقوم بطباعتها الطابعة ثلاثية الأبعاد.

"ولقد أصبحت تلك التقنية متاحه منذ ثمانينات القرن العشرين، ففي البداية كانت تستخدم النمذجة السريعة في بناء نماذج تصلح فقط للنقاش حولها ولا تصلح للاختبار حيث انها لم تبلغ المستوي المطلوب لتقييمها بشكل نهائي، اما الان فقط تطورت بشكل كبير مجموعه من تقنيات النمذجة السريعة ، حيث تستخدم تلك التقنيات في انتاج نماذج تصلح لكل مراحل عمليه تصميم المنتج بداية من مرحله المفاهيم وصولا لنماذج المظهرAppearance Models ومرورا بالنماذج الوظيفية Functional prototypes والنماذج التجريبية Mock-ups." (Alex Milton, Paul Rodgers, 2013, p.107)،كما هو موضح بشكل(٦)

شكل رقم (٦)

في الأعلى: نماذج اوليه سريعة لكراسي في المراحل الأولية لعمليه التصميم(مرحله المفاهيم)

المصدر: https://arch-graphic.com/product-category/scaled-model

في الأسفل : نموذج تجريبيMock- up لمسند يد لكرسي محوري تم تصميمه بأحد برامج التصميم التوليدي generative design وتم انتاجه بتقنيه الطباعة الثلاثية الأبعاد

المصدر (Martin Pollák, Jozef Török ,2022, p.7)

وكذلك تُستخدم حالياً تقنيات النمذجة السريعة في انتاج أجزاء من منتجات او منتجات نهائية كامله بأعداد قليله نسبيا عند مقارنتها بتقنيات الإنتاج الكمي، فتستخدم تقنيات النمذجة السريعة في انتاج دفعات صغيره من المنتجات حسب الطلب، أو إنتاج منتجات لمره واحده فقط، فتحولت النمذجة السريعة من مجرد أداة نمذجة الي تقنيه تصنيع، كما هو موضح بشكل (٧)، (٨)

شكل رقم (٧)

على اليمن: كرسي " Gradient chair" منتج بالطباعة ثلاثية الأبعاد من الألومنيوم، وهو يمثل بنيه خلويه cellular structure تصميم المصمم الألماني "Joris laarman "،

المصدر: https://maverickcult.wordpress.com/joris-laarman-lab-the -aluminum-gradient-chair/

على اليسار: كرسي "Bone chair" منتج بالطباعة ثلاثية الأبعاد لنفس المصمم.

المصدر: https://www.moma.org/collection/works/110207

شكل رقم (٨)

على اليمن: كوبري معدني على نهر بمدينه أمستردام بهولندا منتج بالطباعة ثلاثية الأبعاد من الصلب من تصميم المصمم الألماني " Joris laarman"

المصدر: https://gizmodo.com/the-first-3d-printed-steel-bridge-looks -like-it-broke-o-1824252512

على اليسار: " Rio collection" من تصميم وإنتاج " Integrate & Morgan studios" ويتكون من كرسي ومنضده فيهما عناصر تم انتاجهم بالطباعة ثلاثية الأبعاد كمسند الظهر في الكرسي وجزء من قاعده المنضدة ، فكانت النتيجة قطعه اثاث فيها مزيج بين الحرفة والتقنية المستحدثة

المصدر: https://www.designguildmark.org.uk/project/rio-table-by-morgan-studio-studio-integrat

في ماكينات النمذجة السريعة تُستَخدم العديد من التقنيات والخامات في بناء النموذج الأولي السريع او المنتج ذاته، ومع ذلك في كل الماكينات يتم التعامل مع الشكل المجسم ثلاثي الأبعاد كمجموعه من الطبقات المُقطعة بشكل افقي وتقوم ماكينات النمذجة السريعة ببناء طبقه تلو الأخرى حتى يكتمل بناء النموذج بالكامل، ويكمن الاختلاف بين تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في تكلفة الطباعة والخامات المستخدمة في الطباعة وسمات النموذج الناتج،

ومن اهم مميزات النمذجة السريعة: (Laura Slack, 2006 , p.95)

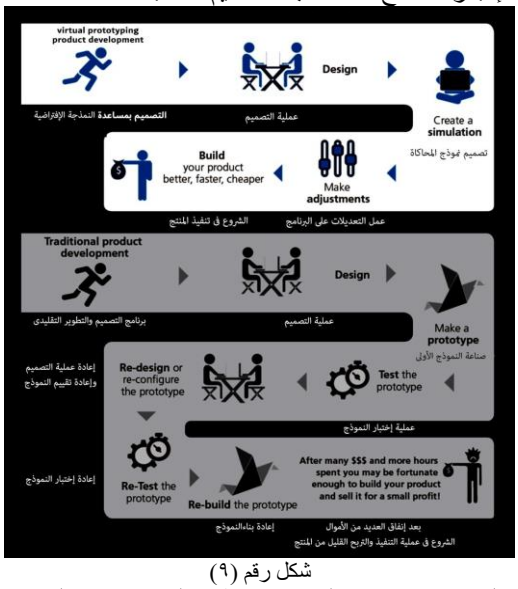
أ) أتاحت الحرية للمصممين لابتكار اشكال جديده للمنتجات أكثر تعقيدا، لم يكن متاح انتاجها من قبل بسهولة وفي وقت قصير نسبيا مقارنة بمحاولة انتاجها بتقنيات الانتاج الأخرى، فما كان يتم إنتاجه بطرق الانتاج المعتادة في شهور واسابيع أصبح يتم انتاجه في ساعات.

ب) تقليل الوقت المطلوب والتكلفة المطلوبة لإنتاج النماذج، وبالتالي تسريع عمليه تصميم المنتج، وذلك من خلال الدقة والكفاءة المتناهية في انتاج النماذج حتي ذات الأشكال الصعبة مما يقلل من تكلفة الإنتاج.

ج) اتاحت امكانية تجنب الإنتاج الكمي للمنتجات بفضل القدرة على انتاج دفعات صغيره حسب الطلب، أو إنتاج قطع لمره واحده فقط.
د) ان استخدام برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد في رسم النماذج تعطي امكانيه اجراء العديد من الحسابات مثل التحليل الإنشائي للمنتجات او أجزاء المنتجات للتنبؤ بكيفية سلوك تلك المنتجات في الواقع كما لو تم إنتاجها واختبارها.
هـ) هذا التمازج بين تقنيات النمذجة السريعة وبرامج الرسم ثلاثي الأبعاد والاظهار مكنت المصمم من عرض التصميمات المقترحة للمنتجات على العملاء بشكل مفصل لم يكن متاحا من قبل مما يعني عدم ترك أي شيء للصدفة، مما يضمن كفاءه النماذج السريعة وبالتالي المنتجات النهائية.

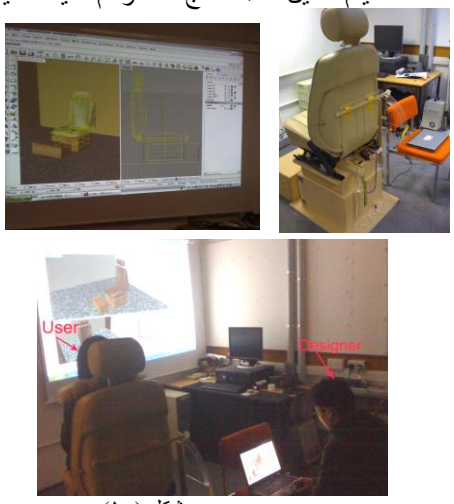
٢-5) النماذج الافتراضية Virtual prototypes:

من المعروف أن عملية تصميم وتطوير المنتجات تعتمد على خبرات المصممين في إخراج الأفكار الأولية للتصميم في شكل اسكتشات او نماذج اسكتش ثمّ يتم إنشاء نماذج تجريبيه ومنها يتم عمل نموذج أوّلي مادّي واختباره لتقييم أدائه، ومن المتوقع ألا يفي النموذج الأولي بكل متطلبات التصميم دون وجود قصور في أي من تلك المتطلبات، فيتم تعديل النموذج الأولي عدة مرات لمعالجة نقاط الضعف التي ظهرت في الاختبارات او قد يتم إعادة تصميم الفكرة الأوّلية للتصميم برمتها، مما يتطلب بذل الكثير من الوقت والجهد والتكاليف، مما يؤدي للتأخر في عمليه تصميم المنتجات وهذا لا يتلاءم مع الأوضاع الحالية للأسواق المتخمة بالعديد من المنتجات ، حيث تشهد الأسواق صراعات ومنافسات شرسة بين المنتجين للوصول بالمنتجات للمستهلكين في أسرع وقت ممكن (كما هو موضح بشكل 9)، لذلك تعد السرعة حاليا عامل أساسي فيما يتعلق بتصميم وتطوير المنتجات، فتم استخدام تقنيات النمذجة السريعة كحل لإنجاز النماذج المصاحبة لعمليات التصميم ولكن صاحب هذه التقنيات عيوباً مثل ارتفاع تكلفة النماذج السريعة وطول الوقت المُستغرق لإنجاز النماذج، فتم اللجوء الي ما يسمى **بالنمذجة الافتراضية Virtual prototyping** كتقنية متطورة يتم من خلالها إنجاز النماذج المصاحبة لتصميم المنتجات،

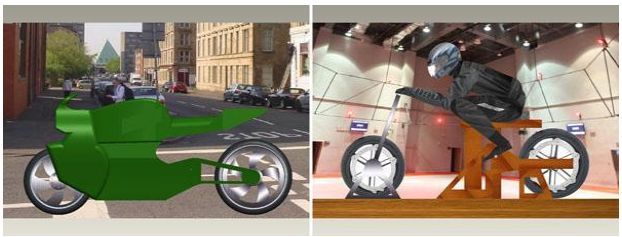


شكل رقم (٩)
يوضح المقارنة بين سرعه عمليه تصميم وتطوير المنتج باستخدام النماذج الأولية الافتراضية، وبطء عمليه تصميم وتطوير المنتج باستخدام النماذج الأولية المادية
المصدر: (عامر ؛ البيطار، ٢٠٢١، ص ٢١٣)

يمكن وصف النمذجة الافتراضية بأنها تقنية حديثه تتضمن استخدام مجموعه من تقنيات الحاسب (كتقنيه الواقع الافتراضي Virtual Reality، تقنيه الواقع المعزز Augmented Reality ، تقنية الافتراض المعزز Augmented Virtuality ، الواقع المختلط Mixed Reality) بالإضافة الي برمجيات حاسب أخرى (كبرمجيات التصميم بمساعدة الكمبيوتر CAD، وبرمجيات الهندسة بمساعدة الكمبيوتر CAE) لإنشاء نماذج افتراضية virtual prototypes كاملة التفاصيل للمنتجات، حيث يمكن من خلال عمليات المحاكاة والتحليل لتلك النماذج الافتراضية اجراء نفس الاختبارات التي تتم على النماذج الأولية المادية، وذلك للتحقق من صحة التصميم قبل تنفيذ نموذج أولي مادي ، ومن هنا رأى البعض انه يمكن الاستغناء عن النماذج الأولية المادية للمنتجات واستبدالها بالنماذج الافتراضية ،حيث تتم عملية محاكاة للمنتج وأيضا يمكن عمل محاكاه للتفاعل المادي بين المستخدم والمنتج داخل برنامج حاسوبي خلال المراحل المختلفة لتصميم المنتج، وخلال تلك المحاكاة يتم تحليل أداء المنتج كما لو تم تنفيذه فعليا،



شكل (١٠)
في الأعلى يمين: عمل نموذج مادي لكرسي سياره.
في الأعلى يسار: عمل نموذج افتراضي للكرسي باستخدام برنامج Rhino
في الأسفل: الربط بين اختبار النموذج المادي للكرسي والنموذج الافتراضي
المصدر: (Bingjian Liu, 2011,p.153,154)



شكل (١١)
نموذج مادي ونموذج افتراضي لموتوسيكل تم وضع في بيئه واقعيه
المصدر: (Bingjian Liu, 2011,p.178)

و تتميزتقنية النمذجة الافتراضية بـ :

١) السرعة في بناء النماذج لأنّه يتم إنتاج النماذج الأولية الافتراضية بشكلٍ أسرع بكثير من النماذج الأوّلية المادية وهو ما يتوافق مع التغير المستمر لمتطلبات السوق.
٢) توفير حلاً منخفض التكلفة يصلح لأن تتبناه الشركات الكبيرة أو المؤسسات الصغيرة أو متوسطة الحجم على حد سواء، حيث

تُستخدم في بناء النماذج الافتراضية برامج المحاكاة الهندسية للتنبؤ بالأداء قبل إنشاء نماذج مادية، فيمكن استكشاف أداء العديد من بدائل التصميم بسرعةٍ دون إنفاق الوقت والمال اللازم لبناء نماذج أولية مادية ، بالإضافة الي أن ذلك يؤدي إلى تحسيناتٍ في جودة التصميم و الأداء (كما هو موضح بشكل 9)، فالنماذج الافتراضية تمثل الحل الأمثل للشركات الصغيرة والمطورين الأفراد الذين لا يملكون المال الكافي لإنتاج نماذج ماديه وتجربتها.
(ويكيبيديا الموسوعه الحرة - نمذجة أولية افتراضية-(4/7/٢٠٢٢)

٣) القابلية للتجربة والاختبار من قبل عدد كبير من الأشخاص، حيث انه من الممكن نقل النموذج الافتراضي عبر الأنترنت مما يتيح امكانية تجربته لمشاركين من اي مكان بالعالم، بعكس النماذج الأولية المادية قابله للتجربة والاختبار من قبل عينه محدودة من الأشخاص الذين يحصلون على النموذج ويجربونه لفتره من الزمن.
٤) توافر العديد من البرامج المجانية على الإنترنت المخصصة لإنشاء النماذج الافتراضية مثل برنامج (Unity 3D) وبرنامج (Blender) حيث تتوفر العديد من الموارد على شبكه الانترنت لتعلم كيفية انشاء نماذج افتراضيه باستخدام تلك البرامج.
٥) سهوله تعديل النموذج الأولي الافتراضي بعكس النموذج الأولي المادي، كما يمكن وضع النموذج الافتراضي في بيئات عديده ومتنوعة عند اختباره.
(ام تي اي تكنولوجي ريفيو- النماذج الافتراضية الأولية تساعد في تقييم المنتجات الجديدة وتحسينها (25/8/٢٠٢٢)
٦) الحفاظ على المعلومات الخاصة بالمنتجات الجديدة التي لم يتم طرحها بالأسواق، فالنماذج الافتراضية تمكن الشركات المالكة للمنتجات الجديدة من الاحتفاظ بكافه المعلومات الخاصة بتلك المنتجات داخل الشركة وعدم اتاحه الفرصة لتسرب أي معلومة عن تلك المنتجات الي الخارج ، كما كان يحدث اذا لجئت الشركه الي احد المختصين في صناعة النماذج من خارج الشركة.

وعلى الرغم من أن النماذج الأولية الافتراضية حاليا قد حلت محل النماذج المادية في العديد من الجوانب، **إلا أن النماذج الأولية المادية لا تزال مفيدة ولا يمكن الاستغناء عنها في بعض الظروف في عمليه تصميم المنتج، كما هو موضح في النقاط التاليه:**
(Bingjian Liu, 2011,p.70. 71)
١) النموذج الأولي المادي قادر على إعطاء المصمم إحساسًا بتقدير حجم التصميم المقترح، وهو ما لا يمكن أن يحققه النموذج الافتراضي، حيث يمكن أن يكون حكم المصمم على الحجم خاطئًا لأن الأجزاء غالبًا ما يتم تحديد حجمها تلقائيًا لتناسب نافذة العرض.
٢) إن التمثيل اللمسي tactile representation، وهو أحد السمات الفريدة للنماذج الأولية المادية، مما يجعلها أسهل في الفهم من مجرد محاكاة مرئية للمنتج.
٣)ان النماذج المادية هي الأقرب والأسهل لإدراك الانسان للأشياء وذلك بسبب إحساسه الطبيعي بها، لذلك يعطي المصمم أولوية أعلى للنماذج المادية.
٤) النماذج المادية الأولية أكثر نفعا من النماذج الافتراضية في بعض تقييمات المنتج، كتقييم المنتج من الناحية المادية والناحية الأرجونوميه physics and ergonomic issues، كذلك في تقييم واختبار المنتجات ذات الهياكل البسيطه (غير معقدة البنيان)
٥) إن النماذج المادية هي الحل المفضل في نمذجة واختبار المنتجات ذات الهياكل البسيطة، حيث ان النماذج الأولية الافتراضية تتطلب أجهزة مكلفة وبرامج مرتبطة ووقت تعلم طويل نسبيًا.

والجدول التالي يلخص المقارنة بين النماذج الافتراضية والنماذج المادية وفي أي المواقف التصميمية تكون إحداهما اكثر ملائمه من الأخرى.

وجه المقارنه	النماذج الافتراضية	النماذج المادية
تكلفة النموذج	√	
الوقت المستغرق لإنجاز النموذج	√	
التقييم الارجونومي		√
التقييم الجمالي		√
تقييم الملامس		√
تقييم المنتجات معقدة التصميم	√	
تقييم المنتجات ذات الهياكل البسيطة		√
التحليل الديناميكي	√	
الاختبارات الوظيفية		√
التواصل مع المستخدم		√

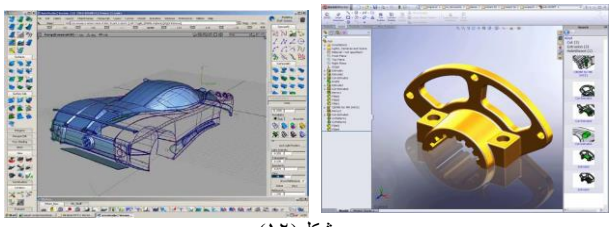
جدول رقم (١)
المصدر: (Bingjian Liu, 2011,p 71)

ومما سبق يتضح ان النماذج الافتراضية والنماذج الماديه هما تقنيات او أدوات ووسائل يستخدمها المصمم في تصميم المنتجات ولكل منهما نقاط القوة والمزايا التي تعالج نقاط الضعف والعيوب الموجودة في الأخرى، فيمكن باستخدام الاداتين معا أن يحصل المصمم على أداة قوية للتطوير السريع للمنتج المعقد.

ولدراسة طرق النمذجة الافتراضية فإن ذلك يشمل دراسة جزئين اساسين:

<u>الجزء الأول: خاص بدراسة طرق انشاء النماذج الافتراضية:</u>

يتطلب إنشاء نماذج افتراضيه للمنتجات استخدام برامج نمذجة ثلاثية الأبعاد، حيث تستخدم العديد من برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد في بناء تلك النماذج، ومن اكثر تلك البرامج استخداما Rhino, Pro/Engineer, Alias Studio, 3D SolidWorks،كما هو موضح بشكل (١٢)



شكل(١٢)
في الأعلى: بناء نموذج ثلاثي الأبعاد واخراجه ببرنامج 3D SolidWorks ، **في الاسفل:** بناء نموذج لسطح ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج Alias Studio
المصدر:(Bingjian Liu, 2011,p.63)

وتتمايز كل من تلك البرامج عن بعضها البعض بمميزات مختلفة في عمليات النمذجة، على سبيل المثال تعتبر برامج 3D

SolidWorks، Pro/Engineer الأفضل في بناء النماذج ثلاثية الأبعاد، ، بينما يعتبر برنامجAlias Studio افضل في بناء السطوح ثلاثية الأبعاد ، (Bingjian Liu, 2011,p.63)

بالإضافة إلى استخدام برامج النمذجة أعلاه لبناء نموذج أولي افتراضي، هناك طريقة أخرى للحصول على نموذج أولي هندسي عن طريق ما يسمى بالهندسة العكسية (reverse engineering- RE) وهي عملية استخراج معلومات التصميم من منتج موجود، حيث تكون هذه المعلومات غير متاحه او مفقودة، فيمكّن إعادة بناء نموذج رقمي هندسي من خلال عمليه مسح ثلاثي الأبعاد للمنتج الحالي، كما هو موضح بشكل (١٣)

شكل (١٣)
نموذج رقمي لجزء معدني من كرسي ناتج من مسح ثلاثي الأبعاد باستخدام ماسح ثلاثي الأبعاد بأحد برامج الهندسة العكسية
المصدر : https://www.3dhub.co.nz/3d-scanning-and-reverse-engineerin

الجزء الثاني يختص بدراسة طرق اختبار النماذج الافتراضية :

إلى جانب قدرة برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد على بناء نموذج افتراضي ثلاثي الأبعاد، فإن معظم تلك البرامج لها وظائف لاختبار النماذج الأولية الافتراضية وتحليلها، فعلى سبيل المثال يحتوي برنامج Pro / Engineer على ميزة تسمى "تحليل النموذج model analysis " تتيح للمستخدمين إجراء ثلاثة أنواع مختلفة من تقييم النموذج: النمذجة السلوكية behavioral modelling ، فحص النموذجmodel checking، وتعديل التصميم design editing. (Bingjian Liu, 2011,p.67)

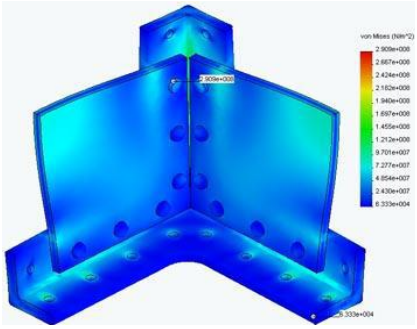
هناك تقنيات أخرى مستخدمة في الصناعة لاختبار النماذج الأولية الافتراضية وتحليلها، مثل:

أ) ديناميكيات الموائع الحسابية Computational Fluid Dynamics (CFD):

تستخدم تقنيه ديناميكيات الموائع الحسابية CFD للتنبؤ بما سيحدث للنماذج الأولية الافتراضية عند تدفق السوائل بالإضافة الي التدفق المتزامن للحرارة، ونقل الكتلة، والحركة الميكانيكية ، وما إلى ذلك.
Cham (2020) Introduction to computational fluid dynamics

ب) تحليل العناصر المحدودة Finite Element Analysis (FEA):

تتكون تقنيه تحليل العناصر المحدودة FEA من نموذج حاسوبي لمادة أو تصميم ما، يتم فيه تعريض تلك المادة او التصميم لأحمال افتراضيه وتحليل نتائج الاختبار للتأكد من مدي مطبقتها لنتائج محددة ، يمكن الاستفادة من تلك التقنية في تحليل خصائص متعددة للنموذج المُختبر ، مثل مقاومة احمال الضغط (الانضغاط) (انظر شكل ١٤) ، الاجهاد الحراري ، ومقاومه أحمال الطرد المركزي.
(Sv.vt (2021). Introduction to Finite Element Analysis.)



شكل (١٤)
تحليل الإجهاد لنموذج باستخدام FEA
المصدر: Sv.vt (2021). Introduction to Finite Element Analysis.

المحور الثالث: دور النماذج في تصميم منتجات الاثاث والانشاءات المعدنية

من خلال البحث اتضح أهميه النماذج في عمليه تصميم المنتجات ، ولقد تم التعرض لدور كل نوع من أنواع النماذج التي تم دراستها في البحث وفقا للمراحل المختلفة لعملية تصميم المنتجات ، وفي الجدول التالي يتم التأكيد بشكل موجز على ما سبق ذكره حول دور النماذج المختلفة في عملية تصميم منتجات الأثاث والانشاءات المعدنية، كما هو موضح فيما يلي :

نوع النموذج	اسم النموذج	دوره في تصميم المنتجات
مادي	**نماذج الاسكتش** Sketch Models	- تجسيد أفكار التصميم المبدئية. - تجربة مدي واسع ومختلف من الأفكار التصميمية - عرض الأفكار المقترحة لتصميم المنتجات على فريق التصميم، ثم على عينة من المستهلكين لاختبار رد الفعل العام تجاه التصميم . - على مستوى تعليم التصميم، تساعد الطلاب في عرض أفكارهم التصميمية و تساهم كذلك في فهمهم و تخيلهم الكامل لأفكارهم التصميمية المقترحة، فهم يطورون التصميم من خلال صنع النموذج.
مادي	النماذج التجريبية Mock-ups	- تقييم نسب وأبعاد التصميم المقترح، وذلك في بداية ومنتصف مراحل عمليه التصميم - هناك نوع اخر من النماذج التجريبية تسمى بـ "منصات اختبار Test rigs تُستخدم في مرحله متقدمة من مراحل تصميم المنتج لمحاكاة حركه ميكانيكيه بالمنتج او لاختبار مدي قوه تحمله او متانته او مدى الراحة التي يوفرها . - تساعد فريق التصميم في التحقق من اختيارات التصميم المقترح للمنتج وتحدد موضع التطوير التالي - تساعد مهندسي الإنتاج في اجراء الفحص الأخير لاكتشاف عيوب التصميم قبل الخوض في عمليات انتاج المنتج .
مادي	النماذج الأولية السريعة Rapid prototypes	- تستخدم في انتاج نماذج تصلح لكل مراحل عمليه تصميم المنتج. - تُستخدم حالياً في انتاج أجزاء من منتجات او منتجات نهائية كامله لمره واحده أو بأعداد قليله

		حسب الطلب. - أتاحت الحرية للمصممين لابتكار اشكال جديده للمنتجات أكثر تعقيدا، لم يكن متاح انتاجها من قبل بسهولة وفي وقت قصير وبتكلفه أقل نسبيا مما يسرع بعمليه تصميم المنتج. - عرض التصميمات المقترحة للمنتجات على العملاء بشكل مفصل لم يكن متاحا من قبل، مما يضمن كفاءه المنتجات النهائية.
في بيئه الحاسب	النماذج الرقميه CAD models	- عرض الأفكار التصميمية للمنتجات بشكل سريع واقل تكلفة وأكثر جاذبيه ووضوحاً، دون الحاجة لعمل نماذج ماديه للمنتجات خاصه في المراحل الأولي لعمليه التصميم.
في بيئه الحاسب	النماذج الافتراضية Virtual prototypes	- السرعة في بناء النماذج وهي عامل أساسي فيما يتعلق بتصميم وتطوير المنتجات في العصر الحالي الذي يتميز بالتغير المستمر لمتطلبات السوق. - استكشاف أداء العديد من بدائل التصميم بسرعة دون إنفاق الوقت والمال اللازم لبناء نماذج أولية مادية وذلك بفضل برامج المحاكاة الهندسية التي تُستخدم في بناء النماذج الافتراضية، - القابلية للتجربة والاختبار من قبل عدد كبير من الأشخاص، حيث انه من الممكن نقل النموذج الافتراضي عبر الأنترنت - رغم ما تتميز به النماذج الافتراضية مقارنةً بالنماذج المادية من انخفاض الوقت والتكلفة وامكانيه تقييم المنتجات ذات التصميم المعقد، إلا انها تتطلب أجهزة مكلفة وبرامج مرتبطة ووقت تعلم طويل نسبيًا، لذلك تكون الأفضلية للنماذج المادية عند تقييم المنتجات ذات الهياكل البسيطة او عند تقييم الجانب الجمالي و الارجونومي للمنتجات

جدول (٢) من عمل الباحث

نتائج البحث :

- هناك العديد من الأساليب المتبعة لعمل نماذج للمنتجات وكلا منها يتطلب مهارات وتجهيزات مختلفة.
- إن لنماذج المنتجات دور مهم في استلهام بعض الأفكار لتصميم المنتجات سواء على مستوي المصممين المحترفين او على مستوي تعليم التصميم.
- تتميز نماذج الاسكتش بالسرعة في التنفيذ من خامات بسيطة لتناسب سرعه تدفق الأفكار التصميمية وما يلحقها من تعديلات في المراحل المبكرة لعملية التصميم.
- أن النماذج التجريبية"Mock-ups " للمنتجات هي مفتاح التطوير واداه اختبار قياسيه للتصميم المقترح، فعليها يعتمد فريق التصميم للتحقق من اختيارات التصميم المقترح للمنتج وتحديد مواضع التطوير التالية.

- النماذج الرقمية للمنتجات هي الاتجاه الأكثر اتباعا حاليا في ظل التطور التكنولوجي الهائل في برامج الرسم والتصنيع باستخدام الحاسب.
- تحولت النمذجة السريعة من مجرد اداه نمذجة الي تقنيه تصنيع، ولكن بأعداد قليلة.
- النمذجة الافتراضية هي تقنية حاسوبيه متطورة تستخدم لعمل نماذج للمنتجات بشكل سريع واقتصادي، وهو ما يتوافق مع التغير المستمر لمتطلبات السوق.
- إن كثيراً من برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد لها القدرة على اختبار تلك النماذج وتحليلها فيمكن التنبؤ بأداء العديد من بدائل التصميم دون إنفاق الوقت والمال اللازم لبناء نماذج أولية مادية.
- لكل من النماذج الرقمية والنماذج الافتراضية والنماذج المادية مميزات وعيوب ، فيمكن باستخدامهم معا أن يحصل المصمم على أداة قوية لتطوير المنتجات المختلفة، كلٌ حسب الحاجة.

مراجع البحث :

أولا : المراجع العربيه

١- عامر، أيمن محمد عفيفي ؛ البيطار، مصطفى محمود فوزي حافظ (٢٠٢١).**النمذجة الافتراضية ودورها في عملية تصميم المنتجات**، مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانيةع٢٨،ص:204-219. مسترجع من http://search.mandumah.com/Record/117932

ثانيا: المراجع الأجنبيه :

2) Alex Milton, Paul Rodgers, (2013): **Research Methods for product design**, Laurance king publishing, London.

3) Bingjian Liu,(2011)**: Integration of physical and virtual prototyping,** A Doctoral Thesis, Loughborough University's Institutional Repository

4) Charny, D , (2008): Prototype and Experiments ,The Aram Gallery ,press release for exhibition.

5) Fredreick E.Giesecke, Shawna Lockhart, Marla Goodman, Cindy M.Johnson (2016)**:Technical Drawing with Engineering Graphics** -15th editions, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall,USA.

6) Laura Slack, (2006): **What is product design,** Rotot vision, Switzerland.

7) Martin Pollák, Jozef Török (2022):**Use of Generative Design Tools in the Production of Design Products using 3D Printing Technology,** TEM Journal. Volume 11, Issue 1, pages 249-255, February 2022

8) Quinn, A and Hearn, K , (2006):**The *Craft of Design*** ,Blueprint, December.

9) Tim Parsons, (2009):**Thinking objects-contemporary approaches to product design** ,AVA publishing(UK).

ثالثا : مواقع أنترنت :

١٠) ويكيبيديا الموسوعه الحرة(٢٠٢٢) نمذجة أولية افتراضية.
URL:
https://ar.wikipedia.org/wiki/ نمذجة أولية افتراضية
(تاريخ الزيارة ٢٠٢٢/٧/٤م)

١١) ام تي اي تكنولوجي ريفيو(٢٠٢٢)النماذج الافتراضية الأولية تساعد في تقييم المنتجات الجديدة وتحسينها
URL: https://technologyreview.ae/-نماذج-افتراضية-لتقييم-المنتجات/
(تاريخ الزيارة ٢٥ /٢٠٢٢/٨م)

12) Cham (2020). **Introduction to computational fluid dynamics**. URL:http://www.cham.co.uk/website/new/cfdintro.htm
(Accessed:3 July 2020)

13) Sv.vt (2021). **Introduction to Finite Element Analysis.** URL:http://www.sv.vt.edu/classes/MSE2094_NoteBook/97ClassProj/num/widas/history.htm
(Accessed:16 October2021)