الاستفادة من تقنيات النماذج الأولية المتطورة في مجال التصميم الصناعي في ضوء الثورة الصناعية الرابعة

Utilization Evolving Prototype Technologies in Industrial Design in the Light of Industry 4.0

أ.م.د/ محمد محمد رياض عبدالسلام

أستاذ مساعد بقسم التصميم الصناعى - كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان

معار لقسم تصميم المنتجات - كلية الفنون التطبيقية - جامعة بدر K mohamedryead@yahoo.com

ملخص البحث: Abstract

توفر الثورة الصناعية الرابعة مجموعة من الفرص الجديدة نتيجة لظهور تقنيات جديدة ومتطورة تمثل إمكانات هائلة للتصميم الصناعي والنماذج الأولية، ويمثل التصميم الصناعى في عصر التحول المستمر والتجارب التكنولوجية فرصا جديدة لتحقيق الابتكارات التكنولوجية الحالية وترجمتها إلى منتجات ملموسة، وإنشاء جسر مباشر بين التكنولوجيا والمجتمع وعالم الإنتاج، ويلعب التصميم دورًا مركزيًا في بيئة التصنيع الجديدة من أجل ضمان الابتكار في تصميم المنتجات وإدارة عملياتها، وذلك بإدخال التقنيات المتطورة مثل النمذجة السريعة والنمذجة الرقمية والواقع المعزز والواقع الافتراضي للنماذج الأولية وتطوير المنتجات فى برنامج التصميم، مما يسمح بإنشاء منتجات عالية المرونة بتكلفة معقولة.

ومن هنا جاءت فكرة البحث الذي يسعى إلى تعظيم الاستفادة من تلك التقنيات الجديدة والمتطورة للنماذج الاولية وتصنيفها وامكانيات تطبيقها فى مجال التصميم الصناعى، حيث يتيح الجمع بين النماذج الأولية المادية والافتراضية أو المعززة إنشاء منتجات ذكية تتسم بالمرونة وتوفر عرضاً واقعياً لمظهر المنتج وسلوكه. وقد تم تناول الثورة الصناعية الرابعة من خلال توضيح مفهومها والتقنيات التى تقوم عليها، ثم الانتقال إلى استكشاف أنواع تكنولوجيات النماذج الأولية الجديدة والمتطورة فى ضوء تكنولوجيات الثورة الصناعية الرابعة تمهيداً للوصول إلى وضع تصنيف تلك التكنولوجيات تمهيداً للاستفادة منها وتطبيقها فى مراحل برنامج تصميم وتطوير المنتجات فى مجال التصميم الصناعى، حيث يؤدى تبنى تلك التقنيات الجديدة والمتطورة والاستفادة منها فى مجال التصميم الصناعى إلى خلق بيئات تصميمية أكثر تعاوناً بين فريق التصميم، بالإضافة إلى تدعيم إسراع عمليات تصميم وتطوير المنتجات، ودعم القدرة التنافسية للشركات فى سوق العمل.

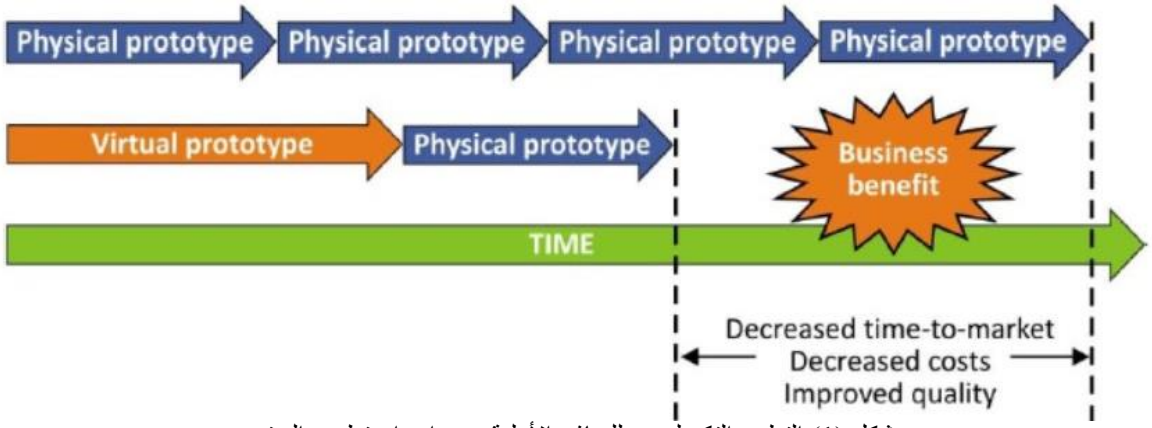
كلمات دالة: Keywords

الثورة الصناعية الرابعة Industry 4.0- التصنيع بالإضافة Additive Manufacture- النماذج الافتراضية Virtual Prototype- البيئات الافتراضية Virtual Environment- الواقع الافتراضى Virtual reality- الواقع المعزز Augmented reality- الواقع الممتد Extend reality- التوام الرقمى Digital Twin- المحاكاة Simulation- النمذجة ثلاثية الأبعاد 3D Modeling- الطباعة ثلاثية الابعاد 3D printing- الطباعة رباعية الابعاد 4D printing

Paper received 5th November 2022, Accepted 24th December 2022, Published 1st of March 2023

المقدمة: Introduction

تواجه عمليات تصميم وتطوير المنتجات تحدياً، بالإضافة إلى ازدياد تعقد تصميم المنتجات الهندسية، ولذا فإن هناك حاجة إلى تكنولوجيات جديدة ومتطورة وفعالة تساعد على تحقيق التصميم المتكامل طوال عملية التطوير. وتعد النماذج الأولية نشاطاً رئيسياً لحل المشكلات في مراحل تصميم المنتج ، وتتطور تكنولوجيا إنتاج النماذج الأولية جنباً إلى جنب مع عملية التصميم، وتتيح النماذج الأولية العمل الجماعي والتعاون أثناء عملية تصميم وتطوير المنتج، وذلك لما توفره لجميع أعضاء فريق التصميم من القدرة على المناقشة والتفكير بالتعامل مع قضايا حقيقية، بالإضافة إلى استخدامها فى دراسة ومقارنة الأساليب البديلة واختبار كل شئ بداية من تحديد المتطلبات الفنية لبناء المنتج إلى التحقق من سهولة الاستخدام للمنتج من جانب المستخدمين ، ويوضح الشكل (1) نتيجة تطور تكنولوجيا النماذج الأولية فى تقليل الزمن المستغرق فى عملية التصميم، وبالتالى إسراع عملية تصميم وتطوير المنتج وتحقيق الميزة التنافسية للشركات فى اقتناص الفرص المتوفرة، وزيادة حصتها التنافسية فى الأسواق.



شكل (1) التطور التكنولوجى للنماذج الأولية يدعم إسراع تطوير المنتج

مشكلة البحث: Statement of the Problem

حملت المحاولات الصناعية فى الفترات السابقة أنشطة النمذجة والمحاكاة واستكشاف التصميم بهدف تحسين المعرفة في وقت مبكر واتخاذ قرارات داخلية في المراحل المفاهيمية لعملية تصميم وتطوير المنتج (Tatipala et al., 2021). وتوفر الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) مجموعة من الفرص الجديدة خصوصا مع ظهور تقنيات جديدة ومتطورة تشتمل على منصات الحوسبة المتقدمة مثل: تكنولوجيا الواقع الافتراضى (VR) وتكنولوجيا الواقع المعزز (AR) تساهم في إعادة كتابة قواعد عمليات تصميم وتطوير المنتج وتمثل إمكانات هائلة للتصميم الصناعي والنماذج الأولية. ويتمثل الجانب الهام في الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) في جعل عملية التصميم والتصنيع سريعة وفعالة من خلال إدخال اتجاهات وأدوات تكنولوجية جديدة ، تؤدي إلى عمليات مبتكرة وطرق جديدة لدمج المعلومات مثل: استخدام النماذج الأولية السريعة والافتراضية والمُعززة لتحقيق تصميم

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

المنتج و التصور معاً، ولذلك فإن البحث يتناول استكشاف وتصنيف تلك التقنيات المتطورة للنماذج الاولية التى تساعد على اندماج العوالم المادية والرقمية والافتراضية والاستفادة منها ودمجها فى برنامج التصميم الصناعى .

هدف البحث: Research Objectives

يهدف البحث إلى الاستفادة من التقنيات المتطورة للنماذج الأولية- والتى تساعد على اندماج العوالم المادية والرقمية والافتراضية فى ضوء تكنولوجيات الثورة الصناعية الرابعة- من خلال تصنيفها ودمجها وتطبيقها ضمن مراحل عملية تصميم وتطويرالمنتج فى مجال التصميم الصناعى .

أهمية البحث: Research Significance

1- تنمية القدرة المعرفية والمهنية للمصممين الصناعيين بالتقنيات المتطورة للنماذج الأولية وتضمينها فى إدارة عمليات تصميم وتطوير المنتج .

2- إدخال اتجاهات وأدوات تكنولوجية جديدة تؤدي إلى عمليات مبتكرة وطرق جديدة لدمج المعلومات، مثل استخدام النماذج الأولية السريعة والافتراضية والمُعزَّزة لتحقيق تصميم المنتج و التصور معاً.

3- تبنى التطورات التكنولوجية للثورة الصناعية الرابعة ودمجها ضمن برنامج تعليم التصميم الصناعى.

4- لفت انتباه الشركات واصحاب المصلحة إلى تبنى تكنولوجيات الثورة الصناعية الرابعة يؤدى إلى إسراع عملية تطوير المنتج وتحقيق الميزة التنافسية لها فى الأسواق.

منهج البحث: Research Methodology

يتبع البحث المنهج التحليلى التجريبى.

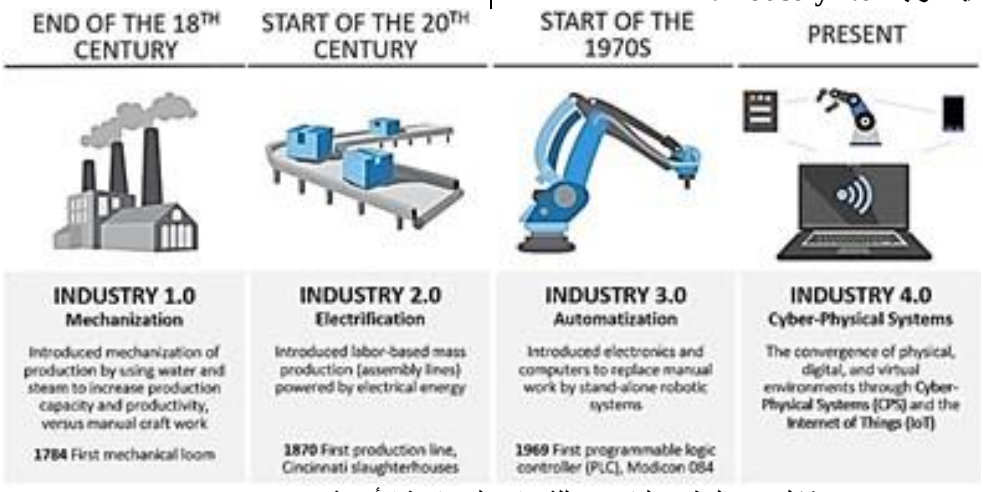
الإطار النظري: Theoretical Framework

1- الثورة الصناعية الرابعة Industry 4.0:

يشهد القرن الحادي والعشرون حاليًا الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) التى تعتمد على مفهوم التصنيع الذكي، وتتمثل الرؤية في استخدام الرقمنة فى تصميم وتطوير وبناء عالم افتراضي يمكن من شأنه توجيه العالم المادي (Kumar & Nayyar, 2020). وقد ظهر هذا المصطلح لأول مرة من خلال شركة بوش الالمانية في معرض هانوفر التجاري في عام 2011 لوصف تطبيقات المعلومات الحديثة والابتكارات التكنولوجية في الإنتاج، وتبنت الحكومة الألمانية تقديمها من خلال استراتيجية التكنولوجيا الفائقة لعام 2020(Nunes et al., 2017) .

وقد سبقت الثورة الصناعية الرابعة ثلاث ثورات صناعية هى:

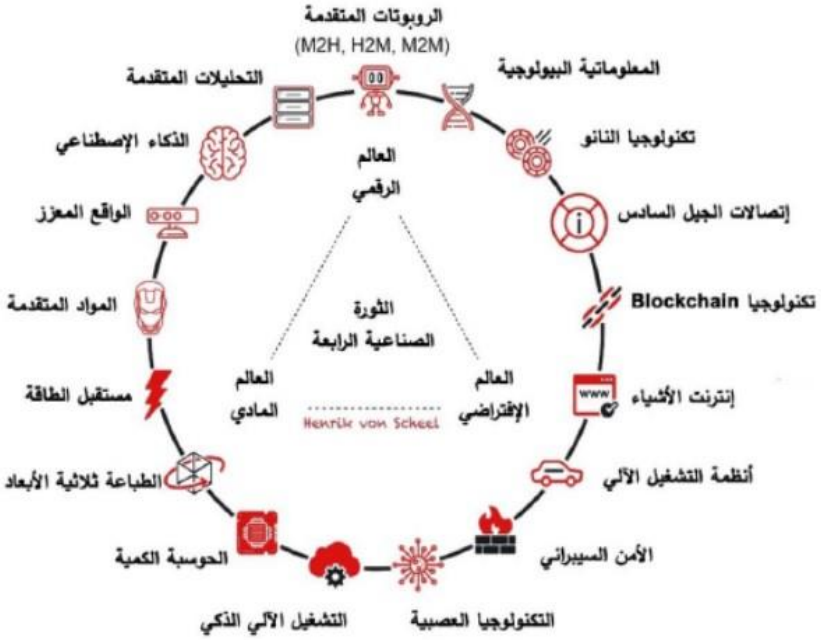
- **الثورة الصناعية الأولى:** التى انتقلت من استخدام الحركة اليدوية إلى الحركة الميكانيكية بتوظيف الطاقة المائية والبخارية لتحل محل القدرة العضلية للإنسان .
- **الثورة الصناعية الثانية:** قامت على الاستفادة من الطاقة الكهربائية وخطوط التجميع لتحقيق الانتاج الكمى.
- **الثورة الصناعية الثالثة:** قامت على الاستفادة من الإلكترونيات والبرمجة في البيئة الصناعية مما أدى ذلك إلى ظهور حقبة من الأتمتة عالية المستوى .
- **الثورة الصناعية الرابعة:** هي الثورة التي تحدث الآن وتقوم على تلاقى العالم المادي والعالم الرقمي والعالم الافتراضي معًا، مما يؤدى إلى إنشاء منتجات وإجراءات وعمليات ومصانع ذكية بالاعتماد بشكل أساسي على الأنظمة الفيزيائية الإلكترونية وإنترنت الأشياء لإنشاء نظام تصنيع بيئي ذكي ومتكامل ومؤتمت بالكامل يمتد إلى ما هو أبعد من "أرضية المصنع" التقليدية، ويوضح الشكل (2) التطور التاريخى للثورات الصناعية الأربعة.



شكل (2) التطور التاريخى للثورات الصناعية الأربعة (Winter, n.d.)

1-1- مفهوم الثورة الصناعية الرابعة:

أتاحت الثورة الصناعية الرابعة إمكانية الحصول على منتجات وخدمات جديدة تزيد من كفاءة حياتنا الشخصية كمستهلكين، حيث تضمن مفهوم الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) مجموعة من التطورات التكنولوجية التي تهتم بتعزيز الجمع بين التصنيع والابتكار باستخدام التقنيات الرقمية في عمليات الإنتاج من خلال الجمع بين العالم المادي والعالم الافتراضي مما يسمح بإنشاء منتجات ذكية من خلال التكامل بين العالم الرقمي والمادي. ويؤدى الجمع بين العوالم الرقمية والمادية والافتراضية الى خلق فرصا للنمو والإنتاجية، حيث انه من المتوقع أن تصبح أنظمة الإنتاج أسرع بنسبة 35٪ وأكثر كفاءة بنسبة 30٪ من خلال إمكانات الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) مما يتيح القدرة على إنشاء منتجات مخصصة بسرعة عالية وعلى نطاق لم يكن ممكنًا من قبل (Henrik von Scheel, n.d.)، ويوضح الشكل (3) التكنولوجيات المستخدمة لجمع العوالم الرقمية والمادية والافتراضية والتى تشكل من خلالها الثورة الصناعية الرابعة.

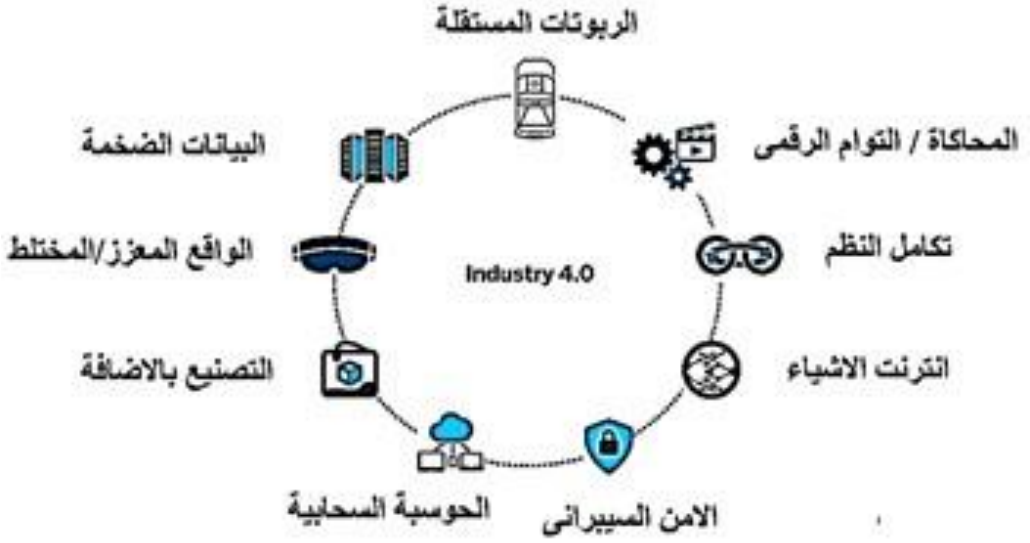


شكل (3) تكنولوجيات الثورة الصناعية الرابعة لجمع العوالم الرقمية والمادية والافتراضية (Scheel, 2019).

ويقوم السيناريو الأساسي الذي يتم من خلاله تصور الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) على العلاقة الجديدة بين العالم المادي للبشر (مثل: الجهات الفاعلة في النظام الاقتصادي والاجتماعي، مثل رواد الأعمال، العمال والمستهلكون...الخ) والعالم الرقمي (مثل: أجهزة الكمبيوتر، وأجهزة الاستشعار، والعالم الافتراضي للمحاكاة...الخ) وتعرف الثورة الصناعية الرابعة بأنها "مدخل استراتيجي لدمج أنظمة التحكم المتقدمة مع تكنولوجيا الإنترنت التي تتيح الاتصال بين الأشخاص والمنتجات والأنظمة المعقدة، ويتمثل المدخل الرئيسي في تزويد المنتجات وأنظمة الإنتاج المستقبلية بأنظمة مدمجة كأساس لأجهزة الاستشعار والمشغلات الذكية لتمكين الاتصال والتحكم الذكي في العمليات" (Anderl, 2014) . وتعد الثورة الصناعية الرابعة تحديًا اجتماعيًا واقتصاديًا يعيد التفكير في المصانع من خلال الرقمية، وكيفية تصميم الأشياء، وإنشاء نماذج أولية، ومراقبة عملية الانتاج في الوقت الفعلي . (Laudante & Caputo, 2016)

1-2- تكنولوجيات الثورة الصناعية الرابعة:

تتميز الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) بأنها نهجاً صناعياً جديدًا يحتضن مجموعة من التطورات الصناعية المستقبلية والتقدم التكنولوجي الذي سيعزز إنتاجية وكفاءة الشركات من خلال الاستعانة بالتقنيات الناشئة مثل إنترنت الأشياء، والتصنيع الإضافي، والإنترنت المحمول، والمحاكاة، وتحليلات البيانات الضخمة، والحوسبة السحابية، والمصانع الفيزيائية السيبرانية، وتكنولوجيا النانو، والترابط البيني للآلات، والروبوتات والذكاء الاصطناعي فى عمليات التصميم والانتاج وتقديم منتجات عالية المرونة بتكلفة مقبولة (Tatipala et al., 2021) ، وسيكون لهذا النموذج الصناعي الجديد تأثير كبير في القطاع الصناعي لأنه يمثل مجموعة من التطورات التكنولوجية المتعلقة بالروبوتات الذكية والأنظمة السيبرانية الفيزيائية (CPS) والبيانات الضخمة والواقع المعزز (AR) وإنترنت الأشياء (IoT)، ويوضح الشكل (4) التكنولوجيات الاساسية التى قامت عليها الثورة الصناعية الرابعة، وتم توضيح مفهوم كل تكنولوجية من خلال الجدول (1).



شكل (4) التكنولوجيات الاساسية للثورة الصناعية الرابعة (Sreekanth, 2019)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

جدول (1) تصنيف تكنولوجيات الثورة الصناعية الرابعة (الباحث)

التكنولوجيا	الخصائص
تحليلات البيانات الضخمة Big Data Analytics	تساعد تحليلات البيانات الضخمة الشركات فى: - تحديد الفرص الجديدة واكتساب رؤى جديدة تساعد فى اتخاذ القرارت التجارية (مثل تصميم، تطوير، إضافة منتج جديد ...الخ) - استخلاص البيانات من مواقع الويب والبريد الالكترونى والوسائط الاجتماعية والاستبيانات ...الخ . - استخلاص البيانات من اجهزة الاستشعار التى تم التقاطها بانترنت الاشياء. - تحديد اتجاهات الاسواق والتفضيلات للعملاء لتحقيق الميزة التنافسية لتلك الموسسات.
Autonomous Robots الروبوتات المستقلة	تلعب الروبوتات المستقلة دورًا رئيسيًا في عمليات تنفيذ الثورة الصناعية الرابعة حيث يتم استخدامها فى اتمتة العمليات الانتاجية داخل المصانع ، والتى يتم انجاز تلك المهام بدرجة عالية من الاستقلالية .
Simulation المحاكاة	تعتبر المحاكاة احد التكنولوجيات الهامة التى تستخدم فى : - انشاء واختبار النماذج الافتراضية فى مراحل تصميم المنتج . - تنفيذ عمليات الانتاج ، حيث يساعد ذلك المشغلين على اختبار إعدادات الماكينة وتحسينها للمنتج التالي في العالم الافتراضي قبل التغيير المادي ، وبالتالي تقليل أوقات إعداد الماكينة وزيادة الجودة.
تكامل النظم System Integration	تستخدم تكنولوجيا تكامل النظم فى : - الربط الشبكي بين المصانع الذكية والمنتجات الذكية وأنظمة الإنتاج الذكية الأخرى . - إنشاء وصيانة الشبكات التي تخلق القيمة وتضيفها. - سيكون التكامل الأفقي بين شركاء العمل والعملاء أو يمكن أن يكون تكاملًا لنماذج أعمال جديدة عبر البلدان ، مما يجعلها شبكة عالمية.
Industrial Internet of things إنترنت الأشياء الصناعي	يستخدم تكنولوجيا انترنت الاشياء الصناعى فى - الحوسبة المدمجة والشبكات مطلوبة لتسهيل العمليات المتكاملة والآلية بالكامل في الصناعة 0.4. - تصميم الأجهزة الميدانية وتجهيزها للشبكات ، بحيث تكون قادرة على التفاعل والتواصل مع بعضها البعض ، مع الاتصال أيضًا بمركز تحكم أو أمر. - دمج التعلم الآلي وتقنيات البيانات الضخمة لتسخير بيانات الاستشعار ، وتقنيات الاتصال من آلة إلى آلة والأتمتة لتعزيز التصنيع والعمليات الصناعية.
Cybersecurity الأمن السيبراني	يجب أن تكون استراتيجيات الأمن السيبراني يقظة ومرنة بالإضافة إلى دمجها بالكامل في الإستراتيجية التنظيمية للشركات ، وتستخدم تكنولوجيا الامن السيبرانى فى : - حماية الشركات من الهجمات الالكترونية . - حماية النظم الصناعية التى اصبحت عرضة بشكل متزايد للتهديدات. - تامين كمية وطبيعة البيانات أو المعلومات التي يتم تحميلها أو مشاركتها في الشبكات.
Computing cloud الحوسبة السحابية	تلعب الحوسبة السحابية دورًا مهمًا في الابتكار التقني حيث يتم من خلالها التخزين وقابلية التوسع وتسهيل تبادل البيانات في الوقت الفعلي ، مما يؤدي إلى إنشاء بيئة من التعاون والتكامل الرقمي وتعزيزها سواء فى عمليات التصميم او الانتاج .
Additive manufacturing التصنيع الإضافي	تعتبر تكنولوجيا التصنيع الإضافي من التكنولوجيات الهامة فى التصميم والانتاج لما لها من القدرة على : - إنتاج منتجات مخصصة بتكاليف تطوير أقل ، ومهلة أقصر ، واستهلاك أقل للطاقة أثناء التصنيع ونفايات أقل للمواد. - تصنيع الأجزاء المعقدة وتمكين الشركات المصنعة من تقليل المخزون ، وصنع المنتجات عند الطلب . - إنشاء بيئات تصنيع محلية أصغر مع تقليل أوجه القصور في التكلفة والوقت.
Augmented reality الواقع المعزز	تكنولوجيا الواقع المعزز لها اهمية كبيرة فى مجال التصميم والتصنيع لانها تعتبر : - أحد التقنيات الرئيسية في الصناعة 4.0 عند الحديث عن التصنيع الذكي . - تدعم الأنظمة القائمة على الواقع المعزز العديد من الخدمات ، مثل اختيار الأجزاء في المستودع وإرسال تعليمات الإصلاح عبر الأجهزة المحمولة. - ستستخدم الشركات هذه التكنولوجيا المتطورة على نطاق أوسع لتزويد العمال بمعلومات في الوقت الفعلي لتحسين عملية اتخاذ القرار وإجراءات العمل.

2- تكنولوجيا النماذج الأولية فى ضوء الثورة الصناعية الرابعة:

يحتاج مصممو المنتجات إلى امتلاك الكفاءة في العديد من المهارات، بما في ذلك الرسم وصنع النماذج، وقد غيرت تكنولوجيا الحاسب الآلى تماماً الطريقة التي يتم بها تصميم وتطوير المنتجات، حيث تسمح لنا نماذج الحاسوب الافتراضية بتصور شكل المنتج، ومعرفة كيفية تجميع الأجزاء معاً، وحساب الوزن، وتنفيذ عمليات محاكاة الأداء بالاضافة إلى استخدام تكنولوجيا إنتاج النماذج الأولية المادية لتحقيق التكامل المطلوب أثناء مراحل عملية تصميم المنتج.

ويرى البحث أن تكنولوجيا النماذج الأولية قد تطورت فى الثورة الصناعية الرابعة ولابد من الاستفادة منها فى برنامج التصميم من خلال تصنيفها إلى:

- النمذجة الأولية السريعة (التصنيع بالإضافة).
- النمذجة الافتراضية (الرقمية).
- البيئات الافتراضية (الواقع الافتراضى، الواقع المعزز، الواقع الممتد).

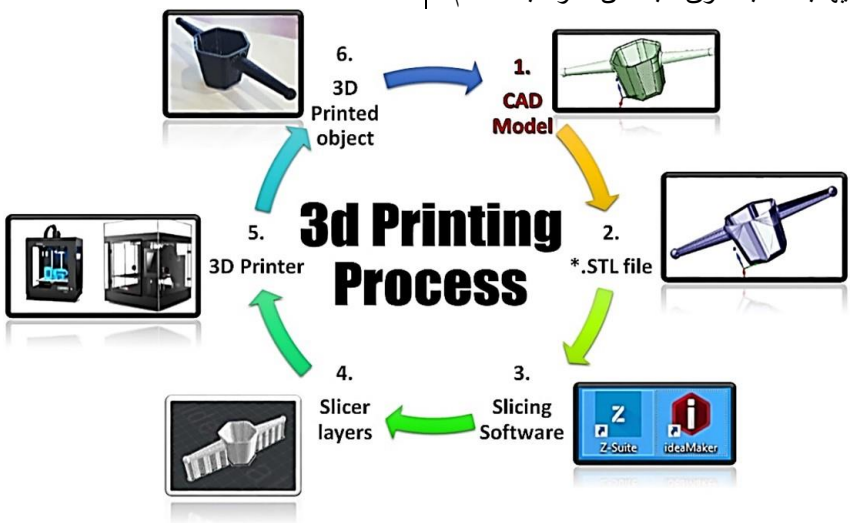
2-1- النمذجة الأولية السريعة (التصنيع بالإضافة Additive Manufacture):

تتزايد التطبيقات التجارية والصناعية لتكنولوجيا التصنيع بالإضافة بشكل رئيسي ومستمر، ونتيجة للتطور الهائل في مجال تكنولوجيا التصنيع بالإضافة (Additive Manufacture) أمكن ابتكار حلول تكنولوجية لتطبيقات النماذج الأولية السريعة فى مجالات متعددة مثل: المنازل المطبوعة ثلاثية الأبعاد والطائرات بدون طيار المصنوعة من التيتانيوم...الخ. وقد احتوت تكنولوجيا التصنيع بالإضافة على مجالًا ناشئًا جديدًا تماماً عرف باسم الطباعة رباعية

الأبعاد (4D printing)، وتم تعريفها بأنها "عملية يقوم فيها كائن مطبوع ثلاثي الأبعاد بتحويل نفسه إلى بنية أخرى نتيجة لتأثير مدخلات الطاقة الخارجية، مثل درجة الحرارة أو الضوء أو المحفزات البيئية الأخرى، وله تطبيقات متنوعة في مجالات الطب الحيوي والدفاع والروبوتات ...الخ" (Salonika et al., 2022)، وبذلك تشتمل النمذجة الأولية السريعة القائمة على تكنولوجيا التصنيع بالإضافة إلى مجالين هما: الطباعة ثلاثية الأبعاد (3D printing)، والطباعة رباعية الابعاد (4D printing) .

2-1-1- الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D Printing:

تعرف المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO) الطباعة ثلاثية الأبعاد بأنها "عملية يتم فيها بناء طبقة فوق طبقة من المواد باستخدام بيانات النموذج الرقمي ثلاثي الأبعاد أو نموذج التصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD)" (Thakar et al., 2022)، ونتيجة للتطورات الحديثة في مجال الطباعة ثلاثية الأبعاد يمكن للطابعات الصناعية بناء طبقات صغيرة تصل إلى 16 ميكرومتر (Salonika et al., 2022) ، ويوضح الشكل (5) مراحل عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد، والتى تتطلب للحصول على منتج مطبوع: وجود نموذج رقمى ثلاثى الأبعاد 3D بأحد برامج التصميم بالحاسب (CAD)، ثم تصدير ملف التصميم الرقمى بصيغة (STL) إلى برنامج الطباعة الذى يتم من خلاله تقسيم النموذج الرقمى إلى طبقات تمهيدا لإرساله إلى آلة الطباعة وطباعته.



شكل (5) مراحل عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد (Printing, 2017)

ويمكن استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في أشكال مختلفة من طباعة المواد والتى يوضحها الشكل (6) لتصنيف تكنولوجيات الطباعة ثلاثية الابعاد التى تنقسم إلى (Jian, 2020):

شكل (6) تصنيف تكنولوجيات الطباعة ثلاثية الابعاد (Jian, 2020)

- **الطباعة بالبثق للمواد Material Extrusion:** ويتم فيها ترسيب اللدائن الحرارية المنصهرة من خلال فوهة ساخنة وتبرد فى درجة حرارة الغرفة العادية وتكون المواد المستخدمة من البوليمرات والرمل.
- **الطباعة باستخدام بودر المواد Powder Bed Fusion:** يتم دمج جزيئات المسحوق بواسطة شعاع ليزر عالي الطاقة، وتكون المواد المستخدمة فى الطباعة من البوليمرات والمعادن وانواع من السيراميك والرمل والكربون.
- **البلمرة الضوئية بالتصلد الحرارى Vat Polymerization** يستخدم في هذه التقنية بوليمر ضوئي حيث يتكون من بوليمر حساس للأشعة فوق البنفسجية، وليزر من الأشعة فوق البنفسجية، وبعد أن يمر شعاع الليزر فوق سطح البوليمر، يتجمد ويصبح صلبا، وهكذا تبنى الطبقات الواحدة فوق الأخرى، وتكون المواد المستخدمة فى الطباعة البوليمرات والسيراميك والشمع.
- **نفث المواد Material Jetting:** يتم ترسيب قطرات من سائل الانصهارالحساس للضوء على طبقة مسحوق ويتم معالجتها بالضوء وتكون المواد المستخدمة البوليمرات والمعادن والشمع والخامات البيولوجية.
- **نفث الرابط السائل Binder Jetting:** يتم ترسيب قطرات من عامل الربط السائل على طبقة من المواد الحبيبية ، والتي يتم تلبيدها لاحقًا معًا وتكون المواد المستخدمة البوليمرات والمعادن والزجاج .

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

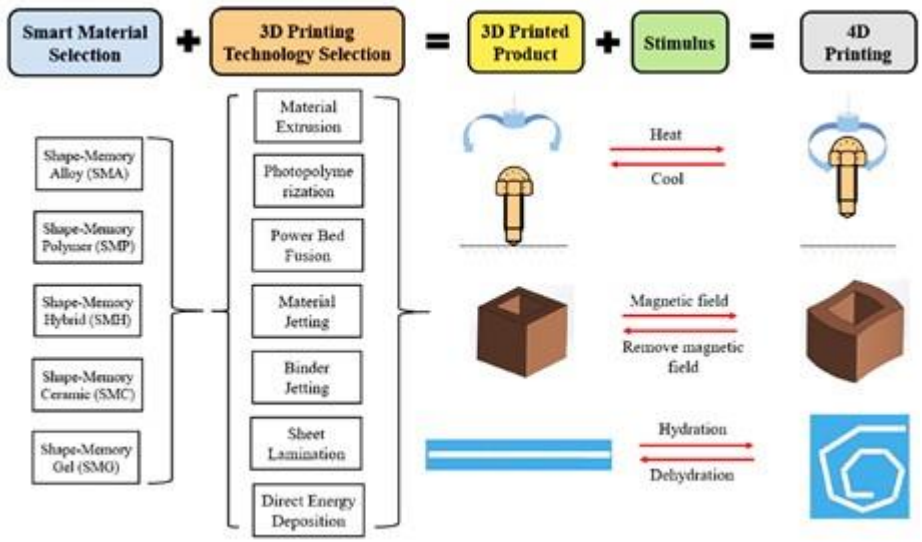
- **ترسيب بالطاقة الموجهة Direct Energy Deposition** : يتم فى هذه التقنية صهر المعدن وترسيبه فى نفس الوقت وتكون المواد المستخدمة المعادن والبودر.
- **تصفيح الرقائق Sheet Lamination :** هى عملية يتم من خلالها الصاق رقائق من الخامة لتكون الشكل المطلوب وتكون المواد المستخدمة فى الطباعة هى البوليمرات والمعادن .

ويتوقع أنه بحلول عام 2025 سيتم إنتاج 5% من المنتجات الاستهلاكية باستخدام تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد (Schwab, 2016) ، ولذلك فإن الطباعة ثلاثية الأبعاد أصبحت جزءًا لا يتجزأ من نظام متعدد العمليات ليتناسب مع تطوير مواد ومتطلبات جديدة للمنتجات، وتظهر الطباعة ثلاثية الأبعاد كتقنية تمكينية لمجموعة كبيرة من التطبيقات مثل:

- إنشاء نماذج أولية ونماذج مفاهيمية لإسراع عمليات التصميم وما قبل الإنتاج، بالإضافة إلى تحسين وظيفة المنتجات النهائية.
- تصنيع القوالب والتركيبات والأدوات الأخرى المستخدمة في صنع المنتجات النهائية.
- إنتاج أجزاء أو مكونات لمنتجات تحتاج إلى إجراء عمليات الاختبار.
- إنتاج منتجات نهائية دون الحاجة إلى تصنيع سلسلة كاملة من القوالب لتصنيع المنتج .
- إنتاج أجزاء معقدة يصعب تصنيعها (غير ممكن أو يصعب القيام به في وقت سابق) .
- تسريع التعلم والفهم فى المؤسسات التعليمية التي تستخدم الطباعة ثلاثية الأبعاد .

2-1-2- الطباعة رباعية الأبعاد 4D printing:

تعد الطباعة رباعية الأبعاد فرعاً ناشئاً من الطباعة ثلاثية الأبعاد، ويمثل عنصر الزمن (Time) البعد الرابع فى هذه التقنية، ويمكن اعتباره من خلال المزج بين تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد والمواد الذكية (Smart Material) التى تتغير خصائصها وحالتها وشكلها ووظيفتها استجابة للموثرات التى تتعرض لها فى بيئتها، ويوضح شكل (7) مكونات تقنية الطباعة رباعية الأبعاد، والتى تستخدم حالياً فى مجالات متعددة مثل طباعة الأجهزة الإالكترونية والأجهزة الطبية والصمامات والملابس الذكية...الخ.



شكل (7) مكونات تقنية الطباعة رباعية الأبعاد (Mohol & Sharma, 2021)

ويتضح من الشكل السابق أن الطباعة رباعية الأبعاد تعتمد على تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد السابق ذكرها بالإضافة إلى المواد الذكية التى تتأثر بالمثيرات (مثل: الحرارة والبرودة والمجال المغناطيسى... الخ) وبالتالى يتغير سلوك المنتج المطبوع طبقاً لنوع المثير الذى يتعرض له ويؤدى إلى تغير فى الشكل أو الحجم أو الخصائص أو الوظيفة وطبقاً لنوع المادة الذكية المختارة.

2-2- النمذجة الافتراضية (الرقمية) Virtual Prototype

تلعب النمذجة الافتراضية دوراً هاماً فى برنامج التصميم، حيث يتم من خلالها عرض التصميمات ثلاثية الأبعاد باستخدام برامج التصميم بمساعدة الحاسب، وأيضاً فى إجراءات التحقق من المنتج من خلال المحاكاة فى التصميم والتصنيع، وأخيراً ظهور تكنولوجيا التوام الرقمى التى يتم من خلالها دمج العالم المادى بالعالم الرقمى والافتراضى باستخدام تكنولوجيات البيئات الافتراضية مثل: الواقع المعزز والمختلط والافتراضى، وقد تم تصنيف تكنولوجيات النمذجة الافتراضية إلى:

2-2-1- النمذجة ثلاثية الأبعاد 3D Modeling:

تعد النمذجة ثلاثية الأبعاد أحد المهارات الأساسية التى يجب أن يمتلكها مصممي المنتجات، حيث يمكنهم عرض تصميمهم في مساحة ثلاثية الأبعاد وتجربة الشكل والألوان والملامس، والتحقق من قدرة المنتج على العمل من خلال النمذجة ثلاثية الأبعاد والعرض والرسوم المتحركة باستخدام برامج التصميم بمساعدة الحاسب Computer-Aided Design (CAD) فى المرحلة الأولى من عملية تصميم وتطوير المنتج لرسم تصميم المفهوم. ويشير مصطلح التصميم بمساعدة الحاسب (CAD) إلى "عملية استخدام أجهزة الحاسب الآلى والبرامج المتخصصة لإنشاء نماذج افتراضية ثلاثية الأبعاد، ورسومات ثنائية الأبعاد للمنتجات" (Bryden, 2014). وقد تم تطوير أنواع مختلفة من برامج التصميم بمساعدة الحاسب (CAD) للاستخدام عبر مجموعة من التطبيقات والصناعات لمساعدة مصممي المنتجات لتطوير أفكارهم بسرعة أكبر، واستكشاف البدائل، بالإضافة إلى إنشاء نماذج أولية دقيقة، جنبًا إلى جنب مع النماذج الأولية السريعة باستخدام برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد مثل: Solid Edge أو SolidWorks أو Creo أو أي برنامج نمذجة آخر. وتساعد برامج التصميم بمساعدة الحاسب CAD على التقليل من زمن وتكلفة تطوير التصميم بداية من الرسم التخطيطي إلى المنتج المصنّع، مما يتيح للمصنعين طرح المنتجات في السوق بسرعة أكبر. ويمكن تقسيم اساليب النمذجة ثلاثية الابعاد فى برامج التصميم بمساعدة الحاسب CAD إلى تقنيتين أساسيتين هما:

- **نمذجة الأسطح Surface modelling:** هي عملية بناء نموذج ثلاثي الأبعاد من خلال تحديد كل وجه من الوجوه الموجودة في هندسته، وتتيح تلك التقنية بناء أشكال المنتجات

ذات الأسطح المنحنية المعقدة الشكل والتى تستخدم على نطاق واسع فى تصميم السيارات والفضاء ...الخ .

- **النمذجة الصلبة Solid modelling:** وتتيح تلك التقنية إنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد من خلال سلسلة من عمليات الحذف والإضافة مع الحفاظ دائماً على الحجم القابل للحساب، ويستفاد من تلك التقنية فى إنشاء المكونات الميكانيكية والهندسية للمنتج.

ويتم بناء النماذج ثلاثية الأبعاد بطرق البناء السابق ذكرها مع إضافة الخامة وإجراء عمليات الإخراج من خلال صور عالية الجودة أو ملف فيديو يستعرض فيه المنتج وتفاصيله.

2-2-2- المحاكاة لأداء المنتج (تحليل الحركة، تحليل الهيكل البنائى، تحليل الاحمال والاجهادات، تقييم اعتمادية المنتج)

تستخدم المحاكاة فى تصميم المنتج لتقييم بدائل التصميم، ودراسة أداء المنتج وتأثيره أثناء استخدامه على البيئة، بالإضافة إلى التحقق من التفاعل بين المنتج والمستخدم. وتعرف المحاكاة بأنها "عملية تصميم يتم فيها تنفيذ الجزء الأكبر من مرحلة التصميم التفصيلي باستخدام نماذج المنتجات بمساعدة الحاسب" (Arjomandi Rad, 2022). ويتم استخدام المحاكاة فى مجال تصميم المنتجات من خلال:

- **اختبارات الصلاحية والتحقق للمنتجات:** يتم باستخدام برامج الهندسة بمساعدة الحاسب Computer- Aided Engineering (CAE)، وتتناول عملية تقييم محاكاة تصميم المنتج من خلال اختبارات تتعلق بخصائص مختلفة لنظام ما على سبيل المثال: الخصائص الارجنومية والميكانيكية والكهربائية والكيميائية والبرمجيات وهندسة التحكم...الخ، ويتم إجراء تحليل CAE باستخدام برامج مثل ANSYS وABAQUS وCOMSOL، ويوضح الشكل (8) مثال لاختبارات الصلاحية والتحقق للمنتجات.

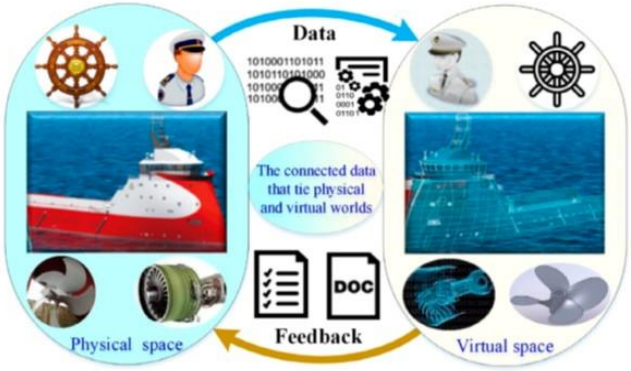
شكل (8) اختبارات التصميم ببرامج الهندسة بمساعدة الحاسب (Srivathsen V, 2019)

- **إجراء عمليات محاكاة إضافية للتنبؤ بمعايير التصنيع والتكاليف والمتطلبات المتعلقة بمواصفات المنتج:** باستخدام برامج محاكاة عملية التصنيع Computer-Aided Manufacture (CAM) المعروف أيضًا باسم التصنيع بمساعدة الكمبيوتر، حيث يتم اختبار عمليات التصنيع بصورة افتراضية قبل الإنتاج الفعلى باستخدام تقنيات التصنيع بالإضافة أو التصنيع بالحذف أو التصنيع فى قوالب على حسب اختيار أسلوب الإنتاج المتاح داخل المصنع.

2-2-3- التوام الرقمى Digital Twin:

نشأت فكرة "التوأم الرقمي" في عام 2002 عندما قدمت شركة Challenge Advisory فكرة من مايكل جريفز (Michael Grieves) من جامعة ميشيغان فيما يتعلق بالتطور التكنولوجي المعاصر فى إدارة دورة حياة التطوير للمنتجات. وتضمن هذا العرض التقديمي جميع التفاصيل الأساسية ذات الصلة بتقنية "التوأم الرقمي" مثل المساحة المادية، والفضاء الافتراضي، وتبادل البيانات والمعلومات ذات الصلة بين العالمين المادي والافتراضي والموضحة بشكل (9) (Piromalis & Kantaros, 2022) وقد تم وضع عدد من المفاهيم للتوام الرقمى منها:

- التوأم الرقمي (DT) عبارة عن مجموعة من النماذج التي يتم إنشاؤها بواسطة الكمبيوتر والتي تعين كائنًا ماديًا في مساحة افتراضية، وتتبادل العناصر المادية والافتراضية المعلومات لرصد حالة وسلوك الكائن المادي داخل الفضاء الافتراضي ومحاكاته والتنبؤ به وتشخيصه والتحكم فيه (Segovia & Garcia-Alfaro, 2022) .
- التوأم الرقمي هو صورة افتراضية لمنتج مادي، كلاهما متصل بالشبكة وقادر على التواصل مع بعضهما البعض، ويمكن أن يكون التوأم المادي عبارة عن منتجات نهائية بالإضافة إلى مكونات فردية أو مصانع أو عمليات إنتاج كاملة (Hofbauer et al., 2019a) .
- التوأم الرقمي هو بناء لمجموعة من المعلومات الافتراضية التي تصف بشكل كامل منتجًا ماديًا محتملًا أو فعليًا من المستوى الجزئي إلى المستوى الهندسي الكلي، ويمكن من خلاله الحصول على نفس المعلومات التى يمكن الحصول عليها من فحص منتج مادي الصنع (Grieves, 2016).



ويوضح شكل (9) الأساس البنائى للتوام الرقمى (Tao et al., 2018)

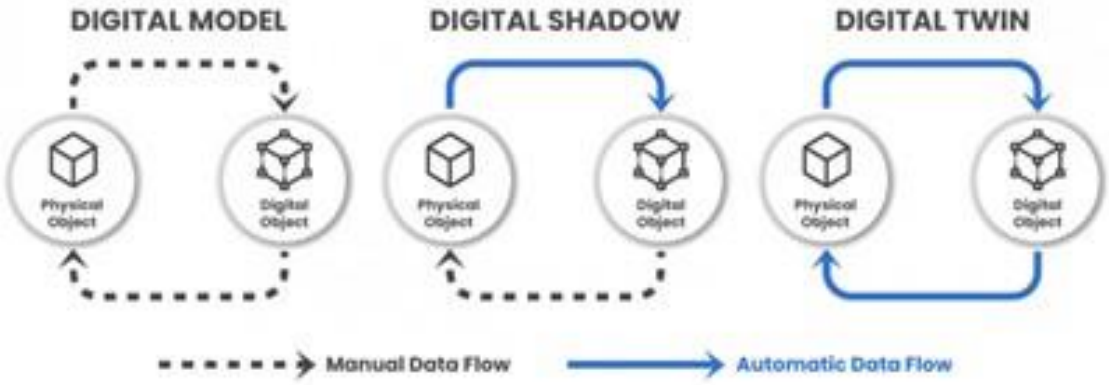
ويرى جون فيكرز John Vickers، مدير المركز الوطني للتصنيع المتقدم التابع لناسا أن "الرؤية النهائية للتوأم الرقمي تتمثل في إنشاء واختبار وبناء التجهيزات في بيئة افتراضية"، ويتم ربط الهيكل المادي بالتوأم الرقمي من خلال أجهزة الاستشعار التى تقوم بجمع بيانات التشغيل في الوقت الفعلي وإدخالها في الصور الرمزية الافتراضية التي تتصرف كما لو كانت في العالم المادي بحيث يحتوي التوأم الرقمي على جميع المعلومات التي يمكن أن نحصل عليها من خلال فحص البنية المادية (Bouchard, 2016).

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

2-2-3-1- تصنيف انواع ومستويات نماذج التوام الرقمى:

التوائم الرقمية هي تمثيلات افتراضية للمنتجات أو العمليات المادية التي يمكن استخدامها لفهم أدائها والتنبؤ به وتحسينه، وقد تم تصنيف مستويات نماذج التوام الرقمى وفقاً لقدرتها على تبادل البيانات الموضحة بالشكل (10) الى ثلاثة أنواع أساسية هى (Botin et al., 2022):

- **النموذج الرقمي Digital Model:** لن يدمج النموذج الرقمي في مفهومه الأساسي أي تدفق تلقائي للمعلومات من العالم المادي إلى العالم الافتراضي، ويعنى ذلك أن العالم الافتراضي والمادي لا يتم توصيلهما تلقائيًا، لذا يجب أن ينعكس أي تغيير من خلال التعديل اليدوي .
- **الظل الرقمي Digital Shadow:** يختلف عن النموذج الرقمي، فهو يحتوي على تدفق تلقائي للبيانات من الظل المادي إلى الظل الرقمي، ويتم تمثيل ذلك بشكل أفضل من خلال نظام تقيس فيه المستشعرات المعلومات من النموذج المادي وتنقل الإشارات إلى النموذج الافتراضي، ويمكن أن يتداخل التغيير في الكائن المادي مع الرقم الرقمي، لكن العكس لا يحدث.
- **التوأم الرقمي Digital Twin:** توأم متكامل حيث يتفاعل العالم الافتراضي والمادي بطريقة ثنائية الاتجاه. هذا يعني أن المعلومات تتدفق تلقائيًا من وإلى كل عالم. في هذه الحالة، ستكون المعلومات المتدفقة من العالم الافتراضي مفيدة لإجراء تغييرات في النموذج المادي أو لتوجيه المشغلين لإجراء عملية. على العكس من ذلك، قد تؤثر البيانات من التوأم المادي على التوأم الافتراضي تلقائيًا بحيث يمثل التوأم الافتراضي بدقة الحالة الحالية وتطور نظيره المادي.



شكل (10) تصنيف مستويات نماذج التوام الرقمى وفقاً لقدرتها على تبادل البيانات (Andrade, 2022)

ويمكن تقسيم التوأم الرقمي إلى اربعة أنواع توضح من خلالها الأوقات المختلفة التي يمكن فيها استخدام العملية (Hofbauer et al., 2019b):

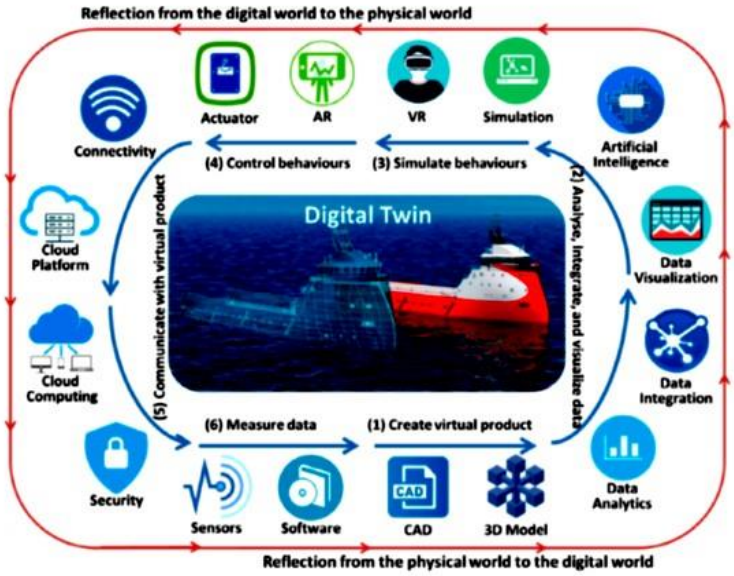
- **التوأم الرقمي المادى DT Prototype (DTP):** يتم تنفيذ ذلك قبل إنشاء منتج مادي.
- **التوأم الرقمي المثيل DT Instance (DTI):** يتم ذلك بمجرد تصنيع المنتج لإجراء اختبارات على سيناريوهات استخدام مختلفة.
- **التوام الرقمى الشامل Digital Twin Aggregate (DTA):** يجمع هذا معلومات التوأم الرقمي المثيل DTI لتحديد إمكانيات المنتج وتشغيل الإنذارات واختبار معلومات التشغيل.
- **التوام الرقمى الذكى Intelligent Digital Twin(IDT):** يتميز هذا النوع بالاضافة القدرة على تبادل المعلومات، بقدرته أيضاً على إجراء تنبؤات بناءً على البيانات التي نجمعها ، يمكن أن يتنبأ استخدام التوائم الرقمية الذكية بكيفية تصرف هذا المنتج في المستقبل القريب أو البعيد بناءً على الحالة الحالية للمنتج، ويؤدى ذلك الى امكانية تجنب الأخطاء مقدمًا ومحاكاة دورة الحياة الكاملة للمنتج.

ومن خلال فهم ما يمثله التوأم الرقمي الشامل، من الممكن التمييز بين مجالات التطبيق المختلفة للأداة في الصناعة، والتي تنقسم إلى 4 أنواع رئيسية (Parks, 2018) :

- **توأمة الأجزاء Component/Part Twins:** أساس التوأمة الرقمية هو الحاجة إلى توأمة أجزاء قوية. في هذا المستوى، تمنح التمثيلات الافتراضية للمكونات الفردية المهندسين القدرة على فهم الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والكهربائية للجزء. على سبيل المثال ، تقدم العديد من حلول التصميم/ التصنيع بمساعدة الكمبيوتر (CAD/ CAM) اليوم القدرة على إجراء مجموعة متنوعة من التحليلات المتعلقة بالمتانة، بما في ذلك الإجهاد الساكن والضغط الحراري.
- **توأمة المنتج Product Twins:** يوفر توأمة الأجزاء الفردية رؤى مفيدة ولكن توأمة قابلية التشغيل البيني للأجزاء أثناء عملها معًا يساعد في تمكين توأمة المنتج. وتسمح القدرة على فهم كيفية تفاعل الأجزاء مع بعضها البعض وبيئتها بتحسين الأجزاء المكونة، وبالتالي تعظيم خصائص التشغيل وتقليل الأشياء مثل متوسط الوقت بين حالات الفشل (MTBF) ومتوسط الوقت للإصلاح (MTTR).
- **توأمة النظام System/Unit Twins:** تسمح توأمة النظم للمهندسين بتشغيل وصيانة أساطيل كاملة من المنتجات المتباينة التي تعمل معًا لتحقيق نتيجة على مستوى النظام من خلال مراقبة وتجربة أنظمتها لتحقيق كفاءة وفعالية لا مثيل لها.
- **توأمة العمليات Process Twins:** تمكِن توأمة العمليات من تحسين العمليات وتمكين القيادة العليا للشركات من مراقبة مقاييس العمل الرئيسية بطريقة تعتمد على البيانات أكثر بكثير مما كان ممكنًا في السابق.

2-2-3-2- خطوات بناء توأم رقمي فى تصميم المنتج:

ينقسم بناء التوام الرقمى إلى 6 خطوات رئيسية موضحة فى الشكل (11) وهى (Tao et al., 2018):



شكل (11) خطوات بناء التوام الرقمى (Tao et al., 2018)

1) بناء التمثيل الافتراضي للمنتج المادي:

يتم بناء النموذج الافتراضى من خلال النمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام برامج التصميم بمساعدة الحاسب (CAD)، ويشتمل المنتج الافتراضى على ثلاثة جوانب هى :

- **العناصر:** وتشمل النموذج الهندسى والمادى والمستخدم والبيئة...الخ .
- **السلوك:** وفيه يتم تحليل المنتج وتفاعل المستخدم الناتج عن السلوك والنمذجة.
- **القواعد:** تشتمل على نماذج التقييم والتحسين والتنبؤ التي تم إنشاؤها وفقًا لقانون تشغيل المنتج.

2) معالجة البيانات لتسهيل اتخاذ القرار التصميمي:

يتم معالجة البيانات من خلال استخدام تقنيات الثورة الصناعية الرابعة وتشتمل على:

- تحليل البيانات التى تم جمعها من مصادر مختلفة (أي بشكل رئيسي من المنتج المادي، وكذلك من الإنترنت) للحصول من خلالها على معلومات تفيد التصميم .
- تكامل البيانات التى تم تجميعها لكشف الانماط التي لا يمكن الكشف عنها استنادًا إلى مصدر بيانات واحد.
- دمج تقنيات تصور البيانات لتقديمها بطريقة أكثر وضوحًا .
- دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي المتقدمة لتعزيز القدرة المعرفية لـDT (مثل التفكير وحل المشكلات وتمثيل المعرفة)، بحيث يمكن تقديم بعض التوصيات البسيطة نسبيًا تلقائيًا.

3) محاكاة سلوك المنتج في البيئة الافتراضية:

يشتمل محاكاة سلوك المنتج على تقنيات:

- **المحاكاة:** يستخدم لمحاكاة الوظائف والسلوكيات الرئيسية للمنتج المادي في العالم الافتراضي.
- **تقنيات الواقع الافتراضى (VR):** يتم استخدام تقنيات الواقع الافتراضى بشكل متزايد لدعم النماذج الأولية الافتراضية وتصميم المنتجات، حيث تلعب تلك التقنية دورًا رئيسيا في إشراك المصممين وحتى المستخدمين للتفاعل "المباشر" مع المنتج الافتراضي في بيئة المحاكاة.

4) أمر المنتج المادي بأداء السلوكيات الموصى بها بناءً على توصيات DT:

يتم تزويد المنتج المادى بالقدرة على ضبط وظيفته وسلوكه وهيكله بناء على التوام الرقمى الذى يتضمن:

- المستشعرات (Sensors) التى تلعب دورًا في استشعار العالم الخارجي.
- المحركات Actuator التى تلعب دوراً في تنفيذ التعديلات المرغوبة التي تطلبها التوام الرقمى.
- استخدام تقنيات الواقع المعزز (AR) لعكس بعض أجزاء المنتج الافتراضي إلى العالم المادي، على سبيل المثال: يمكّن الواقع المعزز المستخدمين النهائيين من عرض حالة منتجاتهم في الوقت الفعلي، وفي الآونة الأخيرة تم تطبيق تقنيات الواقع المعزز بشكل متزايد في مجال هندسة إنتاج المصانع .

5) إنشاء اتصالات في الوقت الحقيقي وثنائية الاتجاه وآمنة بين المنتج المادي والافتراضي:

يتم تمكين الاتصالات باستخدام عدد من التقنيات المستخدمة فى الثورة الصناعية الرابعة مثل: الحوسبة السحابية وانترنت الاشياء وامن الشبكات ، ويستفاد من هذه المرحلة فى :

- تمكّين المنتج من إرسال بياناته المستمرة إلى "السحابة" لتشغيل المنتج الافتراضي بتقنيات مثل: Bluetooth، ورمز QR، والباركود، وWi-Fi، وZ-Wave.
- تتيح الحوسبة السحابية تطوير المنتج الافتراضي ونشره وصيانته بالكامل في "السحابة"، بحيث يمكن الوصول إليها بسهولة من قبل كل من المصممين والمستخدمين من أي مكان مع إمكانية الوصول إلى الإنترنت.
- تأمين الاتصالات نظرًا لأن بيانات المنتج تتعلق بشكل مباشر وغير مباشر بتفاعلات المستخدم مع المنتج.

6) جمع جميع أنواع البيانات المتعلقة بالمنتج من مصادر مختلفة بشكل عام:

تتعلق هذه المرحلة بجمع كل أنواع البيانات المتعلقة بالمنتج باستخدام تقنية الاستشعار وتكنولوجيا إنترنت الأشياء ومعالجتها بواسطة التوام الرقمى من مصادر مختلفة بشكل عام، ويمكن تصنيفها الى ثلاثة أنواع هى:

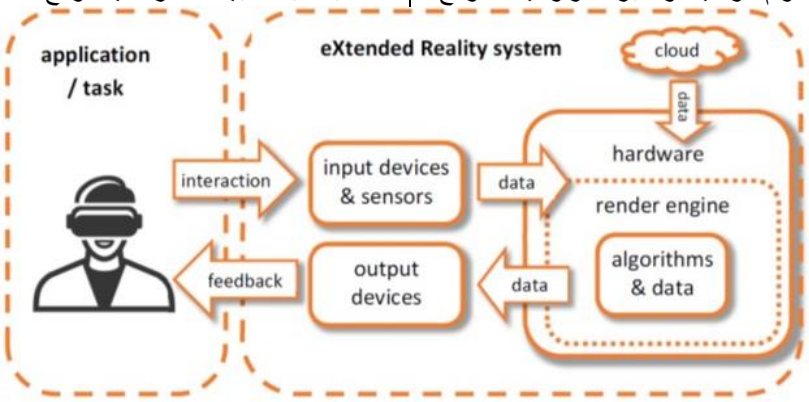
- بيانات المنتج على تعليقات العملاء وعرض السجلات وتنزيلها.
- البيانات التفاعلية من تفاعل المستخدم مع البيئة، مثل الإجهاد والاهتزاز وما إلى ذلك.
- تحميل سجلات تصفح العملاء لصفحة الويب، وردود الفعل التقييمية، وما إلى ذلك، الحصول على بقية البيانات.

وأخيراً يتم تغذية البيانات المجمعة إلى الخطوة (1) من أجل إغلاق الحلقة نحو بناء منتج افتراضي أكثر فاعلية.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

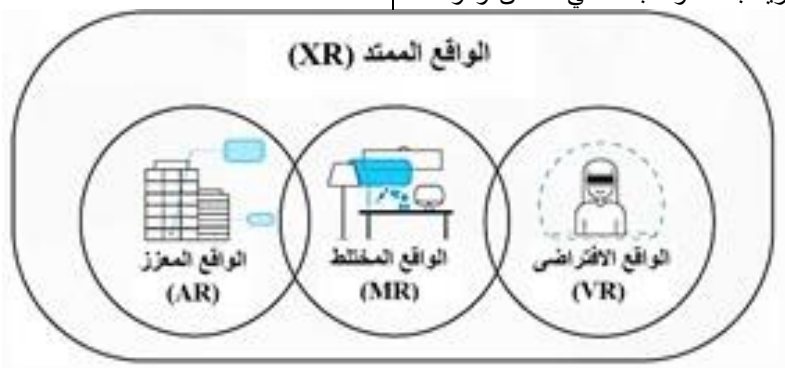
3-2- تكنولوجيات البيئات الافتراضية Virtual Environment Technology

تستخدم تكنولوجيات البيئات الافتراضية التى تطورت فى إطار الثورة الصناعية الرابعة فى دمج الواقع المادى بالواقع الافتراضى من خلال مجموعة من التكنولوجيات التى يتم استخدامها فى مراحل التصميم والتصنيع وانتاج التوام الرقمية. وتعتبر تكنولوجيا "الواقع الممتد" Extend Reality (XR) هى تكنولوجية شاملة لأنواع من التكنولوجيات الافتراضية. وتشير تكنولوجيا الواقع الممتد إلى جميع البيئات المدمجة الواقعية والافتراضية بالإضافة إلى تفاعلات الآلة البشرية الناتجة عن تكنولوجيا الحاسب والأجهزة القابلة للارتداء (Fast-Berglund et al., 2018)، ويوضح الشكل (12) متطلبات بناء البيئة الافتراضية للواقع الممتد (XR).



شكل (12) متطلبات بناء البيئة الافتراضية الواقع الممتد (XR) (Schreer et al., 2020)

وتشتمل تقنية الواقع الممتد (XR) على أنواع من التكنولوجيات التجريبية المختلفة تتراوح بين الواقع المعزز (AR) والواقع الافتراضي (VR) والواقع المختلط (MR)، والتى تثري العالم المادي بشاشات رقمية بصرية بحتة أو طبقات في المكان والوقت المناسب، ويوضح الشكل (13) تصنيف التكنولوجيات التمكينية للواقع الممتد والتى يمكن تصنيف الاختلافات الجوهرية بين هذه التكنولوجيات من خلال النقاط الآتية:



شكل (13) تصنيف تكنولوجيات الواقع الممتد (Dow, 2022)

3-1-1- تكنولوجيا الواقع الافتراضى Virtual Reality (VR)

يعد استخدام الواقع الافتراضي مثاليًا لمحاكاة موقف في العالم الحقيقي، ويتم من خلال هذه التقنية تصميم تجارب تغمس المستخدمين فى بيئة افتراضية بالكامل، باستخدام أدوات مثل (Abdulrahman, 2021):

- **النظارات المحمولة على الرأس Head mounted display (HMD):** وهي الجيل الجديد من وسائل العرض، يتم وضعها كما النظارات تمامًا. تحتوي على شاشتين، واحدة أمام كل عين وتعرضان نفس الرسوميات ولكن أحدهما بتأخير زمني بسيط جًدا، وتمنح الشاشتان إدراك برؤية ثلاثية الابعاد بالتكامل مع المؤثرات الأخرى.
- **تقنية الكهف (The Cave)**: هي عبارة عن غرفة مغلقة يتم فيها عرض الرسوميات المولدة من قبل الحاسوب على الجدران والأرضية والسقف، ويستخدم الشخص نظارات ثلاثية الأبعاد مصممة لتتوافق مع زوايا رؤية المستخدم وتصميم الغرفة.
- **قبضة التحكم:** لهذه القبضة عدد من المهام تتكامل مع التقنيات السابقة، وتحتوي هذه القبضة على أزرار تحكم للقيام بحركات معينة كالتقاط الأشياء، وحساسات للحركة وزوايا الميل من أجل معرفة مكان اليدين في الفضاء وتتبع حركتهما باستمرار، وتتم معالجة جميع هذه البيانات ومزامنتها مع بعضها لتولد بالنتيجة إدراك ثلاثى الابعاد للمستخدم

ويشار إلى الواقع الافتراضي (VR) على أنه مستقبل التدريب، حيث يتعلم المشاركون في الدورات التدريبية باستخدام تكنولوجيا الواقع الافتراضي (VR) بمعدل أسرع بأربع مرات من التدريب في الفصول الدراسية، ويفسر ذلك بان المشاركين يظهرون ارتباطًا عاطفيًا أعلى بالمحتوى الافتراضي أثناء التدريب (PricewaterhouseCoopers, 2022) .

3-1-2- تكنولوجيا الواقع المعزز Augmented Reality (AR):

الواقع المعزز (AR) هو تقنية تساعد المصممون فى إنشاء محتوى رقمى يستجيب لتغيرات بيئة الاستخدام فى الوقت الفعلى، وبالتالى تحسين أجزاء من العالم المادي للمستخدمين من خلال المدخلات التى تتراوح بين الصوت والفيديو والرسومات إلى تراكبات نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)...الخ، والتي يتم إنشاؤها بواسطة برامج الحاسب الآلى. ويعرف الواقع المعزز (AR) أيضاً بأنه "نسخة محسّنة من العالم المادي الحقيقي يتم تحقيقه من خلال استخدام العناصر المرئية الرقمية أو الصوت أو المحفزات الحسية الأخرى ويتم توفيره عبر التكنولوجيا" (HAYES, 2022)، ويعرف أيضاً بأنه "عملية اسقاط عناصر افتراضية غير موجودة مادياً وإظهارها بشكل واضح في العالم الحقيقي أمام المستخدم ولا يمكن رؤيتها إلا عند استخدام أجهزة تحوي كميرات يمكن النظر من خلالها ورؤية الأجسام والصور العائمة" (Mohamed et al.,

(2022. وهناك طريقتان رئيسيتان لعرض محتوى الواقع المعزز هما:

- **واقع معزز غير غامر:** يتم باستخدام الهواتف أو الأجهزة اللوحية أو أي شئ آخرمثل الأجهزة الذكية المحمولة مع الكاميرات.
- **واقع معزز غامر:** يتم باستخدام النظارات الذكية أو غيرها من النظارات البصرية التى تشتمل على شاشات عرض مثبتة على الرأس (OHMDs).

ويوضح الشكل (14) الادوات المستخدمة فى انشاء المحتوى الرقمى بيئة الواقع المعزز واساليب عرضها من خلال النظارات الذكية أو الهواتف المحمولة او الاجهزة اللوحية .

شكل (14) الأدوات المستخدمة فى إنشاء المحتوى الرقمى بيئة الواقع المعزز وأساليب عرضها (Mohamed et al., 2022)

ونظراً لتزايد الاهتمام بتكنولوجيا الواقع المعزز فى إطار الثورة الصناعية الرابعة، فإن هناك هناك خمسة مكونات مهمة لبناء بيئة عرض الواقع المعزز وهى :(Corporation, n.d.)

1- **الذكاء الاصطناعي:** حيث تحتاج معظم حلول الواقع المعزز إلى الذكاء الاصطناعي (AI) للعمل، مما يسمح للمستخدمين بإكمال الإجراءات باستخدام الأوامر الصوتية، بالإضافة إلى معالجة المعلومات لتطبيق الواقع المعزز الخاص بك.
2- **برنامج الواقع المعزز:** وتمثل الأدوات والتطبيقات المستخدمة للوصول إلى الواقع المعزز، وهناك منصات متخصصة فى عرض بيئات الواقع الافتراضى من خلال برمجيات موجودة على السحابة الافتراضية وعلى الاجهزة الذكية مثل التليفونات المحمولة والاجهزة اللوحية والنظارات الذكية ، ويمكن لاى شركة إنشاء التطبيق الخاص بها من برامج الواقع المعزز .
3- **المعالجة:** ستحتاج إلى قوة معالجة لتعمل تكنولوجيا AR، بشكل عام عن طريق الاستفادة من نظام التشغيل الداخلي لجهازك.
4- **العدسات:** ستحتاج إلى عدسة أو منصة صور لعرض المحتوى أو الصور الخاصة بك، وكلما كانت جودة شاشتك أفضل، ستظهر صورتك أكثر واقعية.
5- **أجهزة الاستشعار:** تحتاج أنظمة الواقع المعزز إلى استيعاب البيانات المتعلقة ببيئتها لمواءمة العالمين الحقيقي والرقمي، وعندما ترصد الكاميرا معلومات، فإنها ترسلها عبر البرنامج للمعالجة.

3-1-3- تكنولوجيا الواقع المختلط Mixed Reality (MR):

يعرف الواقع المختلط بأنه "مجموعة من التجارب الشاملة، التي يتم من خلالها ربط العوالم المادية والرقمية ومزجهما في الواقع المعزز وتطبيقات الواقع الافتراضي" (qianw211, 2022). ويمثل الواقع المختلط (MR) المستوى التالي من الواقع المعزز، حيث إنه لا يشتمل فقط تراكب العناصر الرقمية على العالم الحقيقي، ولكن يتعلق بالتفاعل بين الاثنين. وهذا المزج بين الواقع المعزز (AR) والواقع الافتراضى (VR) هو الذي يخلق مفهوم الواقع المختلط (MR). ويعتمد نظام الواقع المختلط (MR) على تقنية مسح البيئة المحيطة بالمستخدم بدقة عالية عبر كاميرات ومستشعرات توضع في جهاز العرض المثبت على الرأس، ثم تُنشئ تقنية الواقع المختلط بيئة حقيقية ثلاثية الأبعاد مطابقة لواقع المستخدم، ثم تُسقط المحتوى الرقمي والأجسام الافتراضية في بيئة المستخدم، ويتم التحكم بمواقع المحتوى عبر إيماءات العين أو من خلال عناصر تحكم في اليدين، وتتطلب وجود سماعة رأس MR وقدرة معالجة أكبر بكثير من (VR) أو (AR) (Ryead, 2022). وتستخدم سماعات الرأس Microsoft HoloLens من مايكروسوفت فى عرض الحقيقة المختلطة لدمج كلا من العالمين المادي والرقمي حيث يمكن أن يتفاعل البشر وأجهزة الكمبيوتر والبيئة. ويوضح الشكل (15) نماذج لشاشات العرض المثبتة على الرأس.

شكل (15) الأنواع الثلاثة لشاشات العرض المثبتة على الرأس (Kress, 2019)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

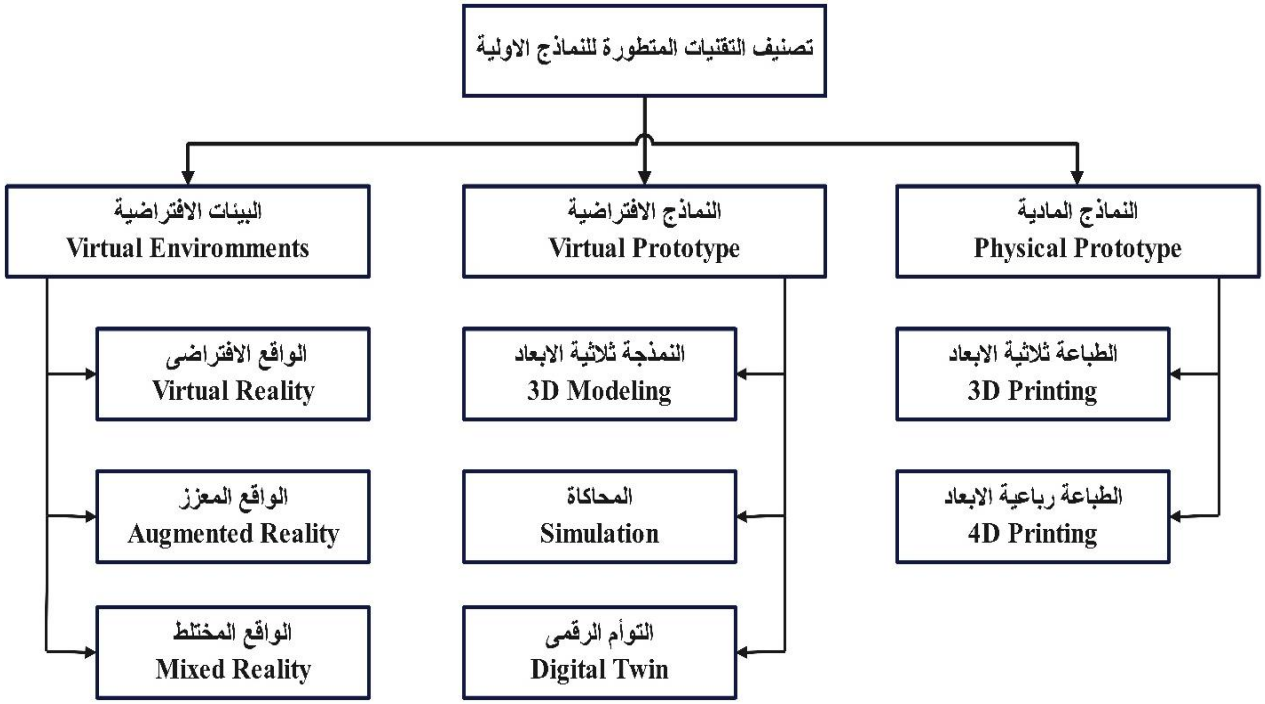
3- التكنولوجيات المتطورة للنماذج الأولية وتطبيقاتها فى مجال التصميم الصناعى:

يتناول هذا الجزء نتيجة تحليل الإطار النظرى حول الموضوعات الخاصة بالثورة الصناعية الرابعة والتطورات التكنولوجية التى قامت عليها، بالإضافة إلى استكشاف ودراسة التقنيات المتطورة للنماذج الأولية واستعراض أنواعها فى ضوء الثورة الصناعية الرابعة، وربطها بمجال التصميم الصناعى من خلال:

3-1- تصنيف التقنيات المتطورة للنماذج الأولية:

من خلال تحليل الإطار النظرى للبحث أمكن التوصل إلى استكشاف وتصنيف التقنيات المتطورة للنماذج الأولية فى ضوء الثورة الصناعية الرابعة إلى ثلاثة أنواع رئيسية هى والموضحة بشكل (16):

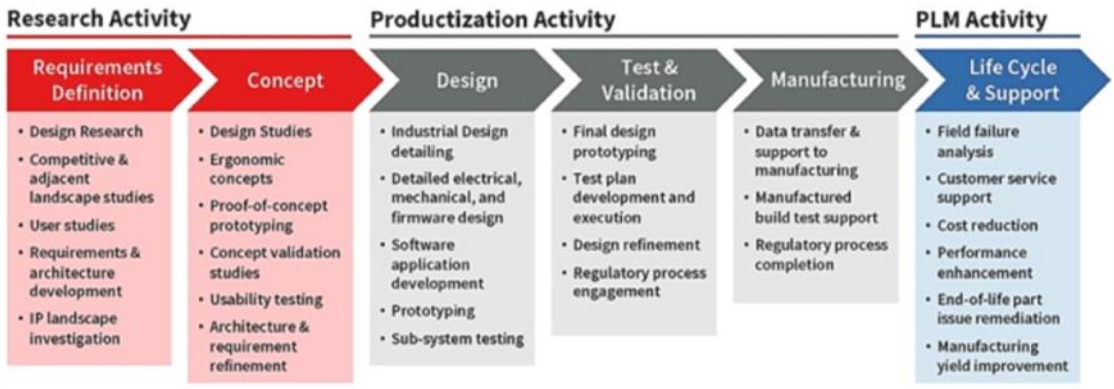
- **النماذج المادية Physical Prototype:** واشتملت على تقنيات التصنيع بالاضافة من خلال تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد ورباعية الأبعاد.
- **النماذج الافتراضية Virtual Protype:** وهى عبارة عن نماذج يعتمد إنشائها على برمجيات الحاسب الآلى وتم تصنيفها إلى النمذجة ثلاثية الأبعاد 3D modeling، والمحاكاة Simulation، والتوام الرقمى Digital Twin.
- **البيئات الافتراضية Virtual Environments:** وهى عبارة عن بيئات افتراضية بالكامل تستخدم لعرض المنتجات داخل البيئة الخاصة بها، أو بيئات يمكن من خلالها مزج الواقع المادى بالواقع الافتراضى من خلال اسقاط تصميمات ثلاثية الأبعاد داخل بيئة حقيقية، وقد اشتملت على تقنيات الواقع لافتراضى (VR)، والواقع المعزز (AR)، والواقع المختلط (MR).



شكل (16) تصنيف التقنيات المتطورة للنماذج الأولية (الباحث)

3-2- تطبيقات التقنيات المتطورة للنماذج الأولية فى مراحل برنامج تصميم وتطوير المنتج فى مجال التصميم الصناعى:

يشتمل برنامج تصميم وتطوير المنتج على 6 مراحل أساسية موضحة بالشكل (17) وهى:

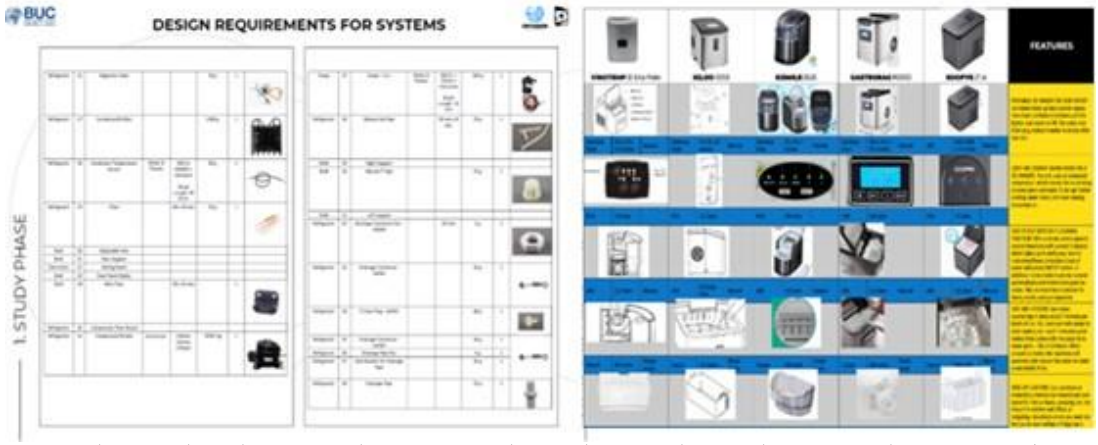


شكل (17) مراحل برنامج تصميم وتطوير المنتج (Castello, 2021)

3-2-1 مرحلة تحديد المتطلبات Requirement Definition:

وتشتمل تلك المرحلة جمع المعلومات حول التصميم المطلوب من خلال إعداد دراسات عن المستخدمين والمنافسين والأسواق. ويمكن الاستفادة فى هذه المرحلة من تكنولوجيات الثورة الصناعية الرابعة خلال **تكنولوجيا الحوسبة السحابية Cloud Computing** **البيانات الضخمة Big- Data** التى يمكن من خلالها الحصول على المعلومات وتحليلها والاستفادة منها فى تحديد متطلبات التصميم.

ويوضح شكل (18) الاستفادة من الحوسبة السحابية وتحليل البيانات الضخمة فى أحد المشروعات التصميمية بقسم تصميم المنتجات بجامعة بدر بالقاهرة، حيث تم تجميع المعلومات الخاصة بمشروع التصميم من خلال دراسة المستخدمين والمنافسين بالإضافة إلى دراسة النظرية الهندسية المبنى عليها وظيفة المشروع المطلوب تصميمه ثم الانتهاء بعد تحليل تلك البينات بمتطلبات التصميم.

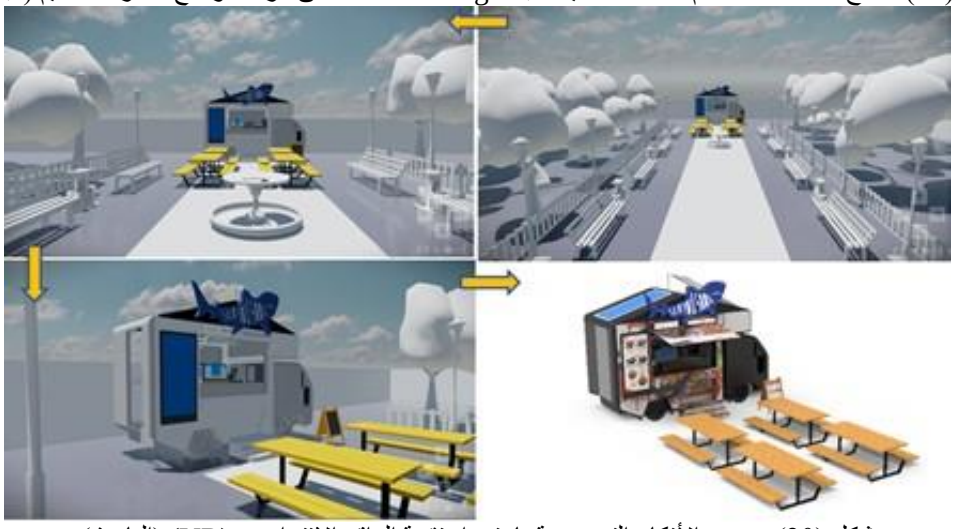


شكل (18) نموذج للاستفادة من الحوسبة السحابية والبيانات الضخمة فى مرحلة وضع متطلبات التصميم (الباحث)

3-2-2- مرحلة المفهوم Concept:

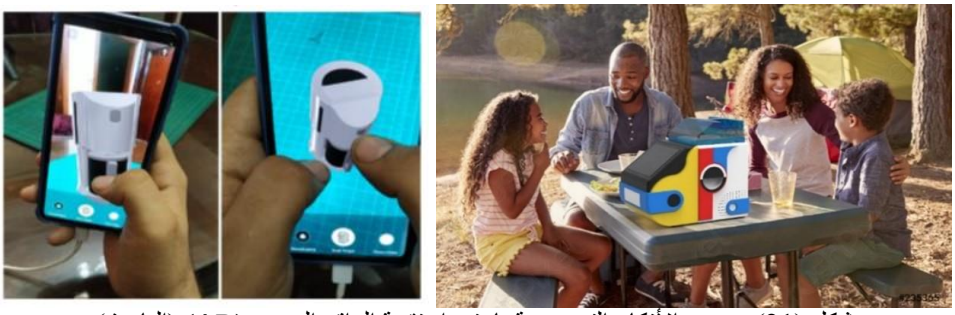
وتشتمل تلك المرحلة على وضع أفكار التصميم الأولية واختبارها من خلال الاستعانة بالنماذج الافتراضية مثل النمذجة ثلاثية الأبعاد 3D modeling بالإضافة إلى عمل نماذج مادية باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D Printing ، ويمكن الاستعانة بعض الافكار باستخدام البيئات الافتراضية مثل تقنية الواقع الافتراض (VR) او الواقع المعزز (AR) لمشاهدة الشكل الخارجى والجمالى للتصميمات المقترحة لتصفيتها واختيار التصميم الذى يعبر إلى المرحلة التالية . ويوضح الشكل (19) نماذج لمرحلة وضع الأفكار تم تنفيذها من خلال برامج التصميم بمساعدة الحاسب، بينما يوضح شكل (20) نموذج لتصميم عربة مأكولات متنقلة كأحد موضوعات التصميم، وتم عرض الفكرة التصميمية باستخدام تقنية الواقع الافتراضى (VR) فى عرض التصميم حيث تم بناء بيئة افتراضية تمثل بيئة عمل المنتج ووضع المنتج بها من خلال أحد برامج التصميم مثل solid works أو 3dmax والعرض من خلال الاستعانة بنظارة الواقع الافتراضى والهاتف المحمول، ويوضح شكل (21) أسلوب العرض باستخدام تقنية الواقع المعزز (AR) حيث يتم اسقاط نموذج افتراضى للمنتج (3D Modeling) على بيئة عمل حقيقية من خلال استخدام هاتف محمول أو تابلت محمل علية برنامج مخصص لعرض الواقع المعزز والمتصل بموقع العرض من خلال انترنت الأشياء مما يساعد فى ربط العالم الافتراضى بالعالم المادى وتحقيق أحد مبادئ الثورة الصناعية الرابعة.

شكل (19) نماذج مختلفة لاستخدام النمذجة ثلاثية الأبعاد 3D Modeling فى مرحلة وضع أفكار التصميم (الباحث)



شكل (20) عرض الأفكار التصميمية باستخدام تقنية الواقع الافتراضى (VR) (الباحث)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



شكل (21) عرض الأفكار التصميمية باستخدام تقنية الواقع المعزز (AR) (الباحث)

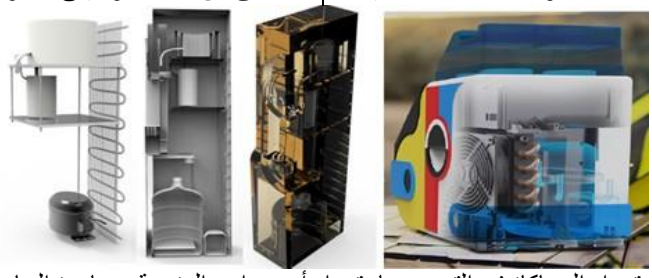
3-2-3- مرحلة التصميم (التطوير) Design:

يتم فى هذه المرحلة تطوير الفكرة النهائية وعمل الرسومات التفصلية باستخدام النمذجة ثلاثية الأبعاد 3DModeling ببرامج التصميم بمساعدة الحاسب (CAD) مثل برامج SOLIED WORKS وCATIA وNX...الخ، والحصول من خلالها على نماذج ثلاثية الأبعاد تحدد من خلالها التفاصيل الفنية للتصميم من خلال عدد الأجزاء والخامات وأساليب الإنتاج، ويمكن الاستعانة بنموذج يحاكى المنتج المطلوب إنتاجه باستخدام تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد. ويوضح شكل (22) نموذج لأحد التصميمات فى مرحلة التطوير تم وضع الرسومات الهندسية والقطاعات التصميمية بالاضافة إلى عمل منظور مفكك لأجزاء التصميم لتوضيح أسلوب التجميع والخامات التى سيتم إنتاج التصميم من خلالها.

شكل (22) نموذج لاستخدام النمذجة ثلاثية الأبعاد لرسم المساقط والقطاعات الهندسية والمنظور مفكك لأسلوب التجميع (الباحث)

3-2-4- مرحلة التحقق والاختبار Test & Validation

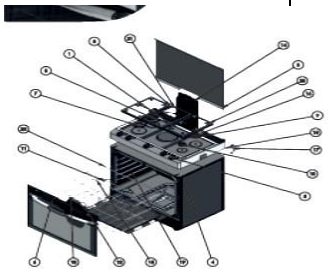
يتم فى هذه المرحلة اجراء الاختبارات الوظيفية على التصميم للتأكد من كفاءة المنتج فى أداءه لوظائفه الهندسية وذلك من خلال استخدام النماذج الافتراضية ممثلة فى اختبارات المحاكاة Simulation حيث يتم الاختبار ببرامج الهندسة بمساعدة الحاسب (CAE) مثل ANSYS وABAQUS وCOMSOL وSledworks، حيث يتم إضافة السلوك للنموذج الافتراضى ثلاثى الأبعاد من خلال توجيه الضغوط والأحمال المختلفة وكافة الظروف التى سيتعرض لها المنتج فى بيئة العمل وقياس مدى كفاءته فى تأدية وظائفه فى ظل الظروف التى يتعرض لها. ويوضح شكل (23) استخدام المحاكاة باستخدام برامج الهندسة بمساعدة الحاسب (CAE) فى التحقق من الأداء الوظيفى للمكونات الهندسية للمنتج.



شكل (23) نموذج لاستخدام المحاكاة فى التصميم باستخدام أحد برامج الهندسة بمساعدة الحاسب (CAE) (الباحث)

3-2-5- مرحلة التصنيع Manufacturing:

ويتم فى هذه المرحلة إجراء اختبارات المحاكاة Simulation باستخدام برمجيات التصنيع بمساعدة الحاسب (CAM) للتأكد من عدم حدوث أى مشاكل محتملة أثناء تصنيع أجزاء المنتج وتجميعه. يوضح شكل (24) التصميم النهائى للمنتج فى صورة منظور مفكك لتوضيح أسلوب التجميع والخامات المستخدمة فى كل جزء أثناء عملية الإنتاج بالإضافة لإمكانية استخدام تكنولوجيا التصنيع بالإضافة لإنتاج منتجات كاملة أو أجزاء منها، بالإضافة إلى مساهمتها فى تصنيع القوالب الإنتاجية، ويوضح شكل (25) استخدام تكنولوجيا التصنيع بالإضافة من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد فى تنفيذ المشروعات التصميمية للطلاب.



ITEM NO.	PART NAME	QTY.
1	Oven upper part	1
2	Burner holder 2	1
3	Top-cover	1
4	Oven lower part	1
5	Knob	7
6	oven cover	1
7	Burner 1	1
8	Burner 2	1
9	Burner 3	1
10	Burner 4	1
11	Chicken grill	1
12	oven fan	1
13	fan cover	1
14	Surface grill	2
15	Gas inlet	4
16	Surface body	1
17	Gas inlets Connector	2
18	oven rack	2
19	Oven side holders	2
20	Burner holder	1
21	Middel burner holder	1
22	oven grill	1

شكل (24) منظور مفكك لأسلوب التصنيع والخامات المستخدمة لإنتاج كل جزء (الباحث)

شكل (25) استخدام تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد فى مشروعات الطلاب (الباحث)

3-2-6- مرحلة الدعم ودورة الحياة Life Cycle $ Support

يتم فى هذه المرحلة تقديم المنتجات إلى الأسواق ومتابعتها من خلال تقنيات إنترنت الأشياء ممثلة فى البيانات الضخمة والحوسبة السحابية لدراسة ردود الأفعال من المستخدمين تجاه المنتج المقدم وتقديم الدعم الفنى إذا احتاج الأمر لذلك. وتعتبر تقنية الواقع المعزز والمختلط من التقنيات الهامة التى يتم استخدامها فى إجراءات الصيانة وتقديم الدعم الفنى للمستخدمين من خلالها، بالإضافة إلى تقنية التوأم الرقمى الذى يسمح بوجود اتصال مباشر مع المنتج الواقعى ويتبادل معه البيانات وتقديم الحلول المطلوبة فى نفس الوقت.

4ـ النتائج العامة والتوصيات:

1.4ـ نتائج البحث: Results

من خلال تحليل الإطار النظرى بالإضافة إلى التطبيقات فى مجال التصميم الصناعى توصل البحث إلى النتائج الآتية:

- التأكيد على أهمية تكنولوجيات الثورة الصناعية الرابعة وتأثيرها على مستقبل تصميم وتعليم التصميم الصناعى.
- الاستفادة من التقنيات المتطورة للنماذج الأولية فى مراحل تصميم المنتج وتصنيفها إلى: النماذج المادية (واشتملت على تكنولوجيا التصنيع بالإضافة من خلال الطباعة ثلاثية ورباعية الأبعاد) والنماذج الافتراضية (النمذجة ثلاثية الأبعاد، والمحاكاة، والتوام الرقمى) والبيئات الافتراضية (واشتملت على الواقع الافتراضى، والواقع المعزز، والواقع المختلط).
- الاستفادة من التقنيات المتطورة للنماذج الأولية ودمجها وتطبيقها فى مراحل تصميم المنتج فى مجال التصميم الصناعى.
- ظهور تقنيات جديدة ومتطورة مثل الطباعة رباعية الأبعاد والتوام الرقمى الذى يمكن من خلاله ربط العالم الافتراضى بالعالم المادى والرقمى.
- وصف التوأم الرقمي بأنه برنامج كمبيوتر يتم تغذيته باستمرار بمدخلات من كائن حقيقي. ضمن هذا البرنامج، تتم معالجة هذه المدخلات وستكون مخرجاتها نتائج هذه الحسابات، مما يؤدي إلى تكوين رؤى حول الأداء والمشكلات المحتملة.
- تصنيف التوام الرقمى إلى أربعة أنواع هى التوام الرقمى المادى، والتوام الرقمى المثيل، والتوام الرقمى الشامل والتوام الرقمى الذكى.
- تصنيف مستويات نماذج التوام الرقمى وفقاً لقدرتها على تبادل البيانات الى ثلاثة هى : النموذج الرقمي Digital Model والظل الرقمي Digital Shadow والتوأم الرقمي Digital Twin .
- الاستفادة من التوام الرقمى فى محاكاة استخدام المنتج في الظروف الفعلية بدقة، مما يساعد المصممين على فهم وصياغة المتطلبات الوظيفية للمنتج بشكل أكثر دقة.
- يجب توفير ثلاثة مكونات أساسية لعمل للتوام الرقمى وهى الكيان المادي، والتخطيط الرقمي والاتصال الذى يتيح التواصل بين العالم المادى والافتراضى .
- التمييز بين مفهوم التوأم الرقمي والمحاكاة البسيطة، فبينما يوجد في المحاكاة إنشاء سيناريو لما قد يحدث لمنتج في ظرف معين، يمثل التوام الرقمى ما يحدث بالفعل في الوقت الفعلي في أحد الأصول .

2.4ـ التوصيات: Recommendation

- تضمين تقنيات الثورة الصناعية الرابعة وما يليها ضمن مناهج تعليم التصميم الصناعى.
- إجراء أبحاث علمية حول الطباعة رباعية الأبعاد ومجالات الاستفادة منها فى التكنولوجيا القابلة للارتداء.
- إجراء أبحاث حول تكنولوجيا التوأم الرقمى باعتبارها أحد التكنولوجيات التى تطورت بصورة كبيرة مع الثورة الصناعية الرابعة وأثرها على تصميم المنتجات.

المراجع: Reference

1- Abdulrahman, H. (2021, November 20). أدوات التحكم بالواقع الافتراضي. موقع الأكاديمية بوست. https://elakademiapost.com/أدوات-التحكم-بالواقع-الافتراضي/

2- Anderl, R. (2014). Industrie 4.0—Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production.

3- Andrade, A. (2022, August 9). The 3 Levels of the Digital Twin Technology. Vidya. https://vidyatec.com/blog/the-3-levels-of-the-digital-twin-technology-2/

4- Arjomandi Rad, M. (2022). Data-driven and real-time prediction models for iterative and simulation-driven design processes.

5- Botin, D., Adriana Simona, M., Peimbert-García, R., Ramírez Moreno, M. A., Ramirez-Mendoza, R. A., & Lozoya-Santos, J. (2022). Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review. Remote Sensing, 14, 1335. https://doi.org/10.3390/rs14061335

6- Bouchard, J. (2016). Digital Twins: Identical, But Different. https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2016/oct/digital-twins.html

7- Bryden, D. (2014). CAD and Rapid Prototyping for Product Design. Laurence King Publishing.

8- Castello, A. (2021, January 11). End-to-End Product Realization: PD Process Wrap Up.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

19- Kumar, A., & Nayyar, A. (2020). si3-Industry: A Sustainable, Intelligent, Innovative, Internet-of-Things Industry. In A. Nayyar & A. Kumar (Eds.), A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development (pp. 1–21). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14544-6_1

20- Laudante, E., & Caputo, F. (2016). Design and Digital Manufacturing: An ergonomic approach for Industry 4.0. https://doi.org/10.4995/ifdp.2016.3297

21- Mohamed, O. Y., Zahran, A. K. S., & Ryad, M. M. (2022). The Role of Industry 4.0 Technologies in Design Process Management. 12(2), 14.

22- Mohol, S. S., & Sharma, V. (2021). Functional applications of 4D printing: A review. Rapid Prototyping Journal, 27(8), 1501–1522. https://doi.org/10.1108/RPJ-10-2020-0240

23- Nunes, M., Pereira, A., & Alves, A. (2017). Smart products development approaches for Industry 4.0. Procedia Manufacturing, 13, 1215–1222. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.035

24- Parks, M. (2018). Types of Digital Twins | Mouser. https://eu.mouser.com/applications/digital-twinning-types/

25- Piromalis, D., & Kantaros, A. (2022). Digital Twins in the Automotive Industry: The Road toward Physical-Digital Convergence. Applied System Innovation, 5(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/asi5040065

26- PricewaterhouseCoopers. (2022, September 15). What does virtual reality and the metaverse mean for training? PwC. https://www.pwc.com/us/en/tech-effect/emerging-tech/virtual-reality-study.html

27- Printing, R. (2017, August 24). ReCreate3D 3D Printing. Recreate3d.Co.Za. https://www.recreate3d.co.za/recreate3d-3d-printing/

28- qianw211. (2022, May 25). What is mixed reality? - Mixed Reality. https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality

29- Ryead, M. (2022). Visual literacy approaches to develop the innovative capabilities of industrial design students (Application in Product presentation design course). مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية, 7(6), 707–732. https://doi.org/10.21608/mjaf.2022.124244.2671

30- Salonika, A., Marko, H., Salonika, A., & Marko, H. (2022). New Industrial Sustainable Intelligent Product Solutions. https://intelligentproduct.solutions/process-blog/process-series-wrap-up/

9- Corporation, M. (n.d.). ما الواقع المعزز (AR) | Microsoft Dynamics 365. Retrieved 29 November 2022, from https://dynamics.microsoft.com/ar-sa/mixed-reality/guides/what-is-augmented-reality-ar/

10- Dow, K. (2022, November 11). What Is the Difference Between VR vs. AR vs. MR vs. XR? METAFLIX. https://www.metaflix.com/what-is-the-difference-between-vr-vs-ar-vs-mr-vs-xr/

11- Fast-Berglund, Å., Gong, L., & Li, D. (2018). Testing and validating Extended Reality (xR) technologies in manufacturing. Procedia Manufacturing, 25, 31–38. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.054

12- Grieves, M. (2016). Origins of the Digital Twin Concept. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26367.61609

13- HAYES, A. (2022, October 29). Augmented Reality (AR) Defined, with Examples and Uses. Investopedia. https://www.investopedia.com/terms/a/augmented-reality.asp

14- Henrik von Scheel. (n.d.). An inside look at the drivers for Industry 4.0. Nokia. Retrieved 2 November 2022, from https://www.nokia.com/networks/insights/industry-4-0/three-key-drivers-for-success/

15- Hofbauer, G., Sangl, A., & Engelhardt, S. (2019a). The Digital Transformation of the Product Management Process: Conception of Digital Twin Impacts for the Different Stages 1. INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE AND BUSINESS ADMINISTRATION, 5, 74–86. https://doi.org/10.18775/ijmsba.1849-5664-5419.2014.54.1005

16- Hofbauer, G., Sangl, A., & Engelhardt, S. (2019b). The Digital Transformation of the Product Management Process: Conception of Digital Twin Impacts for the Different Stages 1. INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE AND BUSINESS ADMINISTRATION, 5, 74–86. https://doi.org/10.18775/ijmsba.1849-5664-5419.2014.54.1005

17- Jian, B. (2020). Origami-based design for 4D printing of deployable structures.

18- Kress, B. (2019). Meeting the optical design challenges of mixed reality | Electro Optics. https://www.electrooptics.com/analysis-opinion/meeting-optical-design-challenges-mixed-reality

Growth: 3D and 4D Printing. In Trends and Opportunities of Rapid Prototyping Technologies. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.104728

31- Scheel, H. von. (2019, May). 2nd wave of Industry 4.0 by Henrik von Scheel 2019. Digital Enterprise Show 2019., Madrid. https://www.researchgate.net/publication/333451078_2nd_wave_of_Industry_40_by_Henrik_von_Scheel_2019

32- Schreer, O., Pelivan, I., Kauff, P., Schäfer, R., Hilsmann, A., Chojecki, P., Koch, T., Gül, S., Shehu, A., Hu, W., Sabbah, Y., Royan, J., Deschanel, M., Murienne, A., Launay, L., Verly, J., Gallez, A., Grain, S., Gérard, A., … Gaspar, L. (2020). XR4ALL - eXtended Reality for All. 141.

33- Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. 172.

34- Segovia, M., & Garcia-Alfaro, J. (2022). Design, Modeling and Implementation of Digital Twins. Sensors (Basel, Switzerland), 22(14), 5396. https://doi.org/10.3390/s22145396

35- Sreekanth, S. (2019, January 15). Industry 4.0—The Top 9 Technology Trends. Medium. https://medium.com/@shalinisreekanth/industry-4-0-the-top-9-technology-trends-28c1b3cf1a9a

36- Srivathsen V. (2019, June 21). Simulation-driven product development. Medium. https://medium.com/@srivathsen/simulation-driven-product-development-3bcb01728e34

37- Tao, F., Sui, F., Liu, A., Qi, Q., Zhang, M., Song, B., Guo, Z., Lu, S., & Nee, A. (2018). Digital twin-driven product design framework. International Journal of Production Research, 57, 1–19. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1443229

38- Tatipala, S., Larsson, T., Johansson, C., & Wall, J. (2021). The Influence of Industry 4.0 on Product Design and Development: Conceptual Foundations and Literature Review. In A. Chakrabarti, R. Poovaiah, P. Bokil, & V. Kant (Eds.), Design for Tomorrow—Volume 2 (pp. 757–768). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0119-4_61

39- Thakar, C. M., Parkhe, S. S., Jain, A., Phasinam, K., Murugesan, G., & Ventayen, R. J. M. (2022). 3d Printing: Basic principles and applications. Materials Today: Proceedings, 51, 842–849. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.272

40- Winter, J. (n.d.). What Is Industry 4.0? Retrieved 3 November 2022, from https://blog.isa.org/what-is-industry-40

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License