التوأم الرقمى: منهجيات نمذجة بيئة العمل أثناء عمليات التصميم والتطوير

Digital Twin: Methodologies for modeling the Work Environment during the Design and Development processes

أسامة على السيد ندا

أستاذ مساعد بقسم التصميم الصناعى، كلية الفنون التطبيقية، جامعة بنها، osama.alinada@sapa.du.edu.eg

مينا إسحق توفيلس داود

مدرس بقسم التصميم الصناعى، كلية الفنون التطبيقية، جامعة دمياط، minaeshaq@du.edu.eg, eshaqmina@gmail.com

الملخص Abstract:

يتمثل النهج الأساسى لعلوم الإرجونوميكس كونها الأساس العام لأنشطة القياس والتحقق لعملية تصميم المنتجات فى إيجاد التكامل داخل بيئات العمل بين العنصر البشرى والعناصر الأخرى داخل النظام، ودائماً ما يبحث متخصصى الإرجونوميكس عن طرق متنوعة لنمذجة المنتجات والأنظمة الصناعية داخل بيئاتها الحقيقية، لتُمكنهم من وضع الحلول للمشكلات المتعلقة بالمخاوف والعقبات التى قد تطرأ فيما بعد وتؤثر على المُكون الإنسانى للنظام؛ فتعد النمذجة بوجه عام هى الأداة الأعلى موثوقية لدى مصمم التفاعلات، والتى من خلالها يتمكن من وضع خطط مرنه للمراحل المستقبلية المختلفة لعملية تصميم المنتجات، ومع تطور تكنولوجيا المعلومات بشكل متسارع فى عصرنا الحالى، تطورت معها مفاهيم نمذجة بيئات العمل بداية من النمذجة الفيزيائية التقليدية مروراً بالنمذجة الإفتراضية بأنواعها المختلفة وصولاً إلى نمذجة التوأم الرقمى، والتى من شأنها تطوير جميع مراحل علوم التصميم، وكذلك دراسة إمكانية إعادة التراكب فيما بينها للحصول على تمثيلات واقعية مدروسة بعناية، ومن خلالها يمكن وضع صور الممكنات المستقبلية وحدود التطور العام لأى نظام تفاعلى، وفى هذه الحالة يمكن أن نطلق عليها سيناريوهات إستكشافية أو إستباقية تختص بتكوين إطار التفاعل العام لأحداث مستقبلية، وكذلك تكوين حالة تقييم معيارى ووصف الوضع المستقبلى للموقف التفاعلى بشكل قبلى، ويلجأ إليها المصمم من أجل صياغة موقف التفاعل بشكل أكثر إحترافية ودقة، ليتم التأكيد على مدى إستجابة العنصر البشرى داخل تجربة التفاعل.

الكلمات الدالة Keywords:

الإرجونوميكس Ergonomics
التصميم التفاعلى Interaction Design
التوأم الرقمى Digital Twin
نمذجة بيئة العمل Work Environment Modeling
تفاعل الإنسان/الروبوت HRI
إرجونوميكس الروبوت Robot Ergonomics

Paper received 10th April 2022, Accepted 16th July 2022, Published 1st of September 2022

المقدمة: Introduction

شغلت فكرة محاكاة الواقع الكثير من العقول قديماً، وتم صياغة عدد لا يحصى من النظريات حول تبنى نظرية المحاكاة وبناء واقع محاكى (Barricelli et al., 2019)، ومنذ أن نشأت الحياة على الأرض صاغ الكثير من الفلاسفة والمفكرين والفيزيائيون العديد من النظريات حول هذا الموضوع، وفى كتاب الفيلسوف اليونانى القديم الجمهورية The Republic، قدم أفلاطون Plato قصة رمزية الكهف Allegory of the Cave، وفرضية الشيطان الشرير Evil Demon للفيلسوف الفرنسى رينيه ديكارت René Descartes، وكلاهما يحتوى على تأملات فى الإدراك، وكأن الأمر درب من الخيال، لكن الفيلسوف السويدى نيك بوستروم Nick Bostrom أظهر فى بحثه بعنوان "هل تعيش فى محاكاة حاسوبية؟" أن الموضوع ممكن أكثر مما قد يتخيله المرء، والأجيال القادمة سيكون لديها القدرة على ذلك، وسيكون لديهم القدرة على محاكاة أسلافهم Ancestor Simulations، والتى يتم فيها المحاكاة بنوع من الوعى الإصطناعى (Thomas, 2022).

ومع التطورات التكنولوجية وتطور تصميم المنتجات دائماً ما يحتاج المصمم إلى عمليات النمذجة بأشكالها المختلفة لإختبار وتقييم المنتجات والأنظمة وكذلك بيئات العمل، وكانت النماذج الفيزيائية أحد أهم الطرق الشائعة لتمثيل المنتجات لفترة طويلة جداً، ومازالت تمثل الطريقة التقليدية لإختبار المنتجات الصناعية والتحقق من كفاءة الأداء للمهام المحددة لها (Pang et al., 2021)، ولا يمكن إنكار مدى واقعيتها فى التمثيل الحقيقى للمنتج بكامل تفاصيله أثناء عمليات الاستخدام الفعلى، ومع التطور التكنولوجى المتسارع فى عالمنا اليوم، تطورت معه جميع أشكال النمذجة لتتيح للمصمم عدة خيارات متاحة للإستفادة منها أثناء عمليات التصميم والتطوير (Albert et al., 2020)، ومع تطور التكنولوجيا الرقمية ومستحدثاتها عملت على تطور العديد من وسائل النمذجة المختلفة، وتيسير الكثير من وسائل القياس والتحقق من فاعلية بيئات العمل، ويمكن من خلالها تدعيم المصمم بجميع المعلومات اللآزمة لعملية التصميم.

أيضاً شهد العالم تقدماً ملحوظاً فى تعدد أساليب النمذجة فى عصرنا الحالى بين وسائل نمذجة مادية ورقمية وإفتراضية ثلاثية الأبعاد ومحاكاة فعلية رباعية الأبعاد (Korovin, 2021)، وتُقدم هذه النوعيات من أساليب النمذجة حلولاً عملية جديدة لتمثيل عملية التفاعل، وتقديم المعلومات التى يحتاجها المصمم وإيجاد حلول لكافة المشاكل التى قد تواجه المستخدم مستقبلاً، كما أنها وسيلة فعالة فى تدفق الكثير من المعلومات التى تساعد فى نمذجة وصفية تحليلية للعناصر المختلفة داخل بيئات العمل، ومنها محاكاة وهيكلة الأنظمة المختلفة مما يتيح إجراء تحليلات هيكلية لجميع العناصر بما فيها تواجد العنصر البشرى بشكل أكثر تفصيلاً، وكذلك تمكين المصمم من تحديد العلاقات بين المكونات المختلفة مدى الترابط فيما بينها، وإجراء الإختبارات المختلفة عليها بدقة وفاعلية (Brylina et al., 2020).

وتميزت التوائم الرقمية عن نظيراتها من نماذج المحاكاة والتمثيلات الإفتراضية (Tomczyk & van der Valk, 2022)، كونها أداة إستثنائية لمساعدة المصمم على عرض بيئات العمل الخاصة بتجارب التفاعل الحقيقى، وإجراء عمليات محاكاة لتقييم معايير العوامل البشرية والإرجونوميكس داخلها؛ فالتوأم الرقمى هو تمثيل

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

إفتراضى ثلاثى الأبعاد لبيئة عمل حقيقية موجودة بالفعل أو فى طور التصميم والإنشاء، ويُضاف عليها البُعد الرابع وهو عامل الزمن أثناء عمليات المحاكاة لتكوين نتائج واقعية ومدروسة بعناية (Tao et al., 2019)، ويمكن أن تحتوى بيئات العمل داخل التوأم الرقمى على كائنات متعددة مثل الآلات والمعدات وناقلات الحركة والأنظمة الروبوتية بجميع أنواعها (Xiang et al., 2022)، وكذلك العنصر البشرى والمتمثل فى المُشغل الإنسانى والذى هو مركز عملية التصميم، كما يمكن ربط التوائم الرقمية بنظيراتها الحقيقية فى الوقت الفعلى، أو أن تكون مستقلة وتستخدم كعمليات محاكاة مستقلة وقائمة بذاتها (Jones, 2021).

مشكلة البحث: Statement of the Problem

من خلال الدور الهام لنمذجة بيئات العمل المختلفة كأحد الأعمدة الأساسية لعمليات التصميم والتطوير، والتى تزود المصمم بالبيانات المجهزة المطلوبة والعيوب الموجودة داخل بيئة التفاعل المستهدفة، وفى ظل التطور الهائل لمستحدثات التكنولوجيا الحالية، وظهور منتجات/أنظمة جديدة ذات عمليات تصميم وتصنيع معقدة وذات تكلفة إنتاج مرتفعة، تتمثل إشكالية البحث فى ظهور تلك التحديات الجديدة أمام المصمم فى عمليات النمذجة كإحتياج أساسى للمصمم لا غنى عنه، وكذلك الإفتقار إلى البحوث الإستكشافية التى تعمل على تطور عمليات التصميم، ومن خلالها يمكن للمصمم تحدى للمفاهيم الجامدة لعمليات النمذجة التقليدية التى إستمرت طويلاً، والتوأم الرقمى أحد طرق النمذجة الرقمية المتقدمة التى تفتح مجالاً جديداً أمام متخصصى الإرجونوميكس لصياغة بيئة العمل، ويمده بالمعرفة والمنهجية التى تمكنه من وضع كافة السيناريوهات المستقبلية المحتملة، وإجراء عمليات النمذجة والمحاكاة لتلافى جميع العيوب فى مرحلة مبكرة.

فرض البحث: Hypothesis

دراسة متخصصى وممارسى أنشطة التصميم لتطور منهجيات نمذجة المنتجات وبيئات العمل أثناء عمليات التصميم والتطوير، وبيان الدور الهام لعمليات النمذجة الرقمية ضمن مراحل عملية التصميم؛ فإن هذا من شأنه تسهيل إجراءات عمليات التصميم، وذلك من خلال وضع السيناريوهات المحتمل حدوثها، وبيان المعوقات التى قد يواجهها المصمم والمستخدم مستقبلاً، وإيجاد حلول مبتكرة لها فى مراحل مبكرة من عملية التصميم، مما يؤدى إلى تعزيز الفهم العام بين جودة التصميم ومدى ملاءمة بيئة العمل وتفاعل العنصر البشرى مع المنتج/النظام وأداء المهام المحددة له.

هدف البحث: Objective

يهدف البحث إلى تقديم إطار عام يستخدم التوأم الرقمى كأحد نماذج المحاكاة الرقمية المتقدمة فى محاكاة مراحل عمليات التصميم المنتجات/الأنظمة الصناعية بوجه عام، واستخدامه فى التحقق الدائم أيضاً من مدى فاعليتها ومن صحة جميع الإجراءات المتبعة فى كل خطوة يتخذها المصمم أثناء عمليات التصميم والتطوير، ويكون التوأم الرقمى بمثابة مؤشر هام فى عمليات القياس والتحقق، وذلك بتصحيح جميع الأخطاء التى قد تحدث مستقبلاً أثناء المراحل المبكرة من عملية التخطيط والتصميم وليس فى المراحل المتقدمة كالتصنيع والإنتاج.

أهمية البحث: Significance

التأكيد على دور النمذجة بوجه عام فى مراحل تصميم وتطوير المنتجات/الأنظمة، وخاصة دور التوأم الرقمى ضمن وسائل النمذجة الرقمية الحديثة لتمثيل بيئة العمل بجميع عناصرها مثل العنصر البشرى والمنتجات التفاعلية وباقى عناصر بيئة التفاعل، والتى تقوم على تسهيل إجراءات التفاعلات المستقبلية، وذلك من خلال تقديم محاكاة لجميع بدائل السيناريوهات المحتمل حدوثها، ووضع خطة عامة للتطوير وحل المشكلات التى قد تطرأ فيما بعد، ومنها تكوين حلول مبتكرة غير تقليدية لإجراء التغييرات المطلوبة قبل البدء فى عمليات التصنيع والإنتاج الفعلى.

منهج البحث: Methodology

إعتمد البحث على المنهج الإستقرائى لدراسة المشكلة، وتحقيق فرض البحث، وبيان أهميته.

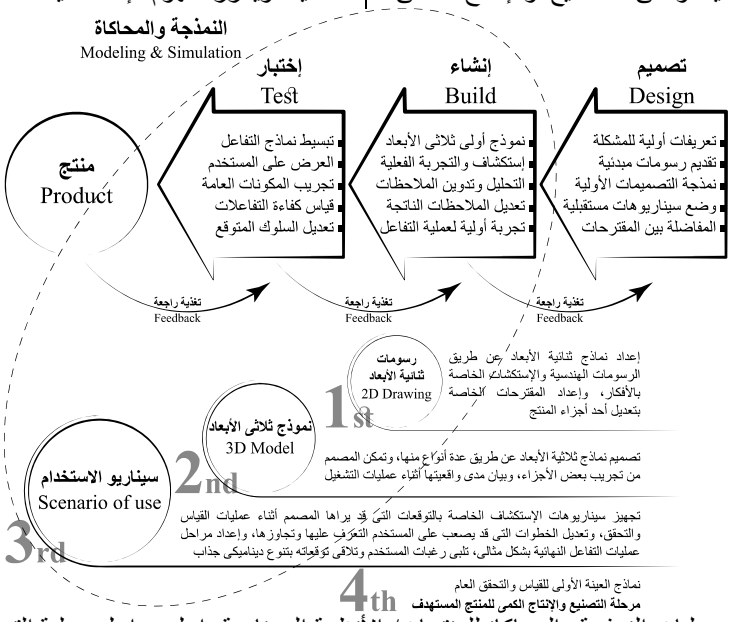
الدراسة النظرية: Framework Theoretical

1- تكنولوجيا النمذجة والمحاكاة والتحول من المادية إلى الإفتراضية:

تظل دائماً عمليات النمذجة أحد أهم مراحل عمليات التصميم التى يمكن من خلالها تجريب المنتج/النظام، والتأكد من مدى فاعلية المنتج/النظام فى أداء المهام المستهدفة (Chang, 2014)، وكذلك هى المرحلة الفاصلة فى إستيضاح الكثير من الأمور التى تظل عالقة طوال مراحل عمليات التصميم، والتى تستهدف مراحل القياس والتحقق الدائم من تكامل جميع الجوانب فى المراحل النهائية قبل عمليات التصنيع الكمى للمنتج المصمم للاستخدام البشرى (Pahng et al., 1998)؛ فمع تطور عملية تصميم المنتجات/الأنظمة بوجه عام تطور معها جميع العلوم المصاحبة، ومن بينها عمليات النمذجة التى تستهدف التأكيد على صلاحية جميع خطوات عملية التصميم، بداية من عمليات الرسومات ثنائية الأبعاد 2D Drawing والتى من خلالها يمكن للمصمم التعبير عن التصميم (Ahmed et al., 2022)، وهى تُعد أحد أهم الطرق المستخدمة لتوصيل وتبادل المعلومات المتعلقة بعملية تصميم الشكل العام للمنتجات.

ومع التطورات التكنولوجية منذ بداية عصر المعلومات والرقمنة، ومما لا شك فيه أن عملية التصميم كنشاط ابتكارى تعتمد فى المقام الأول على دقة المعلومات، والتى هى أهم مدخلات عملية التصميم (Baek & Lee, 2012)، أدت بالضرورة إلى تمثيل المنتجات/الأنظمة وإظهارها بالنماذج ثلاثية الأبعاد 3D Model والمجسمات التقليدية (Gilles, 1991)، ولها العديد من المميزات التى من بينها تمكين المصمم المتخصص أو حتى المستخدم من تبادل الأدوار وتدوين المقترحات العامة، والعمل على تحسين جودة المنتج المُصمم بشكل كبير لتلبية رغبات المستخدم، والعمل كذلك على سد الفجوة بين نطاق النظرية الشفوية والتطبيق العملى الملموس (Otto, 2003)، مما كان له بالغ الأثر فى الإرتقاء بمستوى الأداء الإبداعى للمصمم الصناعى، وظهور منتجات/أنظمة تتسم بالواقعية ومناسبة للاستخدام البشرى وتراعى الكثير من العومل البشرية والإرجونوميكس (Amer & Dawood, 2020).

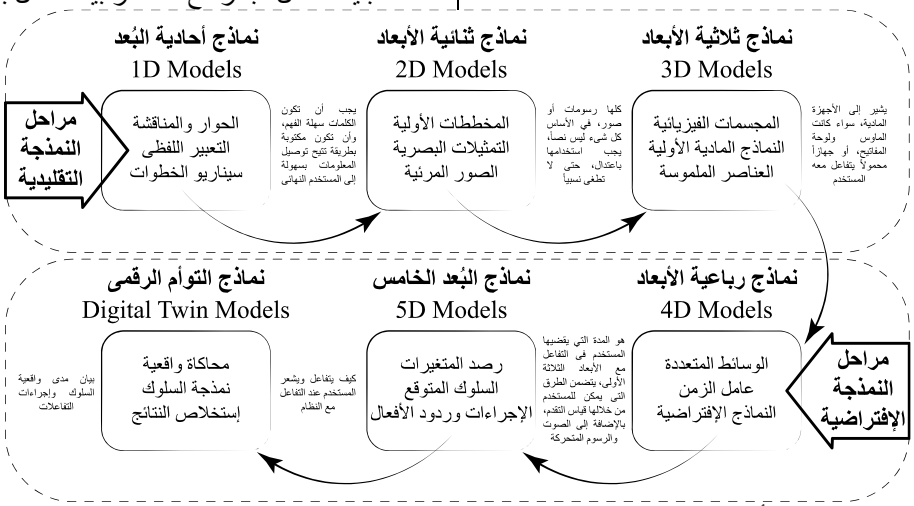
فدائماً ما تكون لعمليات النمذجة والمحاكاة النصيب الأكبر فى بيان دقة خطوات عملية التصميم، والتحقق من كافة تفاصيل المنتج أو النظام المُصمم (Dawood, 2021b)، ويوضح شكل (1) الأهمية الكبيرة التى تحتلها عمليات النمذجة والمحاكاة المتنوعة بداية من مراحل عملية التصميم الأساسية وحتى التصنيع والإنتاج الفعلى للمنتج/النظام المقترح، وبيان التنوع داخل عمليات النمذجة التقليدية بوجه عام، والمُكونة من نمذجة ثنائية وثلاثية الأبعاد وكذلك تصميم سيناريو الاستخدام التى تهتم جميعها برصد توقعات المصمم والمستخدم معاً، وذلك للوصول إلى تصميم منتج/ نظام ذو جودة عالية، ويعزز مفهوم الإستعمالية.



شكل (1) بيان عمليات النمذجة والمحاكاة للمنتجات/ الأنظمة الصناعية داخل مراحل عملية التصميم الأساسية

لم تتوقف عمليات التطوير عند هذا الحد فقط، وإنما ظل التطور قائماً للوصول إلى أكثر من تمثيل المجسمات بشكل ثلاثى الأبعاد (Pahng et al., 1997)، ودخول عامل الزمن والذى يتمثل فى البُعد الرابع 4D كانت أهم الخطوات الفارقة فى إحداث التطور الثورى فى علوم التصميم بوجه عام، ولكن كانت علوم الإرجونوميكس تحديداً أكثر مجالات إستفادة، لإرتباطها الوثيق بمراعاة العنصر البشرى فى المقام الأول (Kim et al., 2007)، وتم الإنتقال بتطبيقات علوم الإرجونوميكس فى مجال تصميم المنتجات/الأنظمة إلى مستوى جديد من تصميم المنتجات التفاعلية أُطلق عليه الإرجونوميكس رباعى الأبعاد 4D Ergonomics؛ فكانت تلك المحطة بمثابة محاولة لمحاكاة البشر أثناء أداء أنشطتهم داخل بيئات العمل المختلفة (Dawood, 2017)، والتفاعل مع عناصرها فى وقت محدد، ومِنْ ثَمَّ معالجة مواقف العمل الممثلة من الجوانب التشريحية والفيزيائية، كلها بهدف تطوير أساليب القياس والتحقق، لتعزيز الفهم بين جودة عملية التصميم كإطار نظرى، وجودة بيئة العمل فى العالم الحقيقى.

ومع التطورات التى تختص بجانب شديد الأهمية داخل تلك الحقبة الزمنية التى نعيشها، وهو علم الذكاء الإصطناعى وتعلم الآلة، ظهر جيل جديد من المنتجات التى يمكنها التفوق على المنتجات التقليدية وحتى التفاعلية أيضاً، لإحتوائها الذكاء بداخلها وتتضمن العديد من المميزات التى لم يسبق لمنتجات سابقة أن تمتلكها، وهى القدرة على التعبير وأطلق عليها الكائنات السلوكية Behavioral Objects (Pierrot et al., 2001)، وذلك لإظهارها العديد من السلوكيات شبه المعقدة التى يمكن أن تتفاعل بها مع البشر، وأدت الحاجة إلى ضرورة تطور نمذجة بيئات العمل إلى المراحل الإفتراضية لوضع سيناريو السلوك الخاص بتلك الأنواع من المنتجات المستحدثة (Dawood, 2021a)، وهذا النوع من النمذجة خاص بالبُعد الخامس 5D ويوضح نمذجة سلوك المنتجات Product Behavior، ويوضح شكل (2) الأبعاد المختلفة لرصد عمليات نمذجة المنتجات/الأنظمة داخل مراحل عمليات التصميم والتصنيع، وكانت النمذجة الإفتراضية بمثابة الحل الأمثل لنمذجة العديد من المنتجات التفاعلية والروبوت، والتنبؤ بالكثير من السيناريوهات المستقبلية لتفاعل البشر مع عناصر بيئة العمل بكافة أنواعها.



شكل (2) الأبعاد المختلفة الخاصة بعمليات النمذجة داخل مراحل وعمليات تصميم التفاعلات

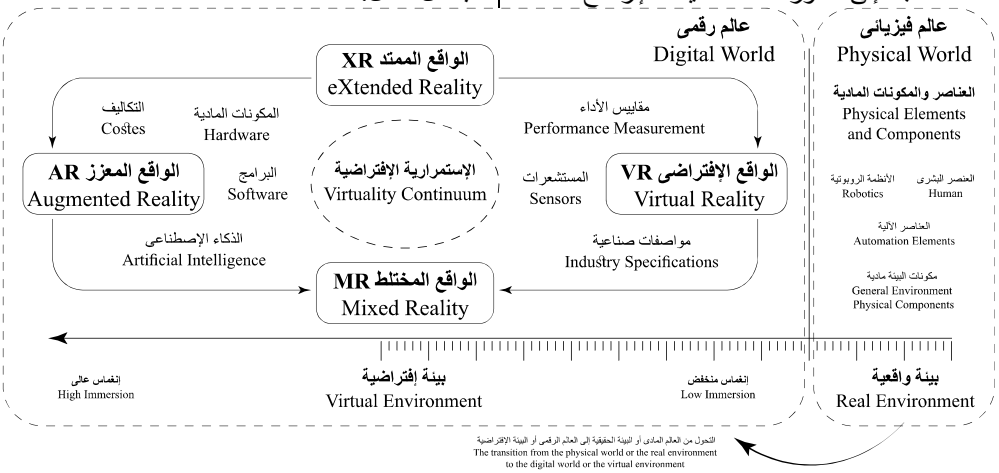
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

لا يمكن إنكار مدى أهمية النمذجة بوجه عام داخل مراحل عملية التصميم لتمثيل واقعية المنتجات، والتحقق من فاعلية المنتج وتحقيقة للهدف المرجو منه، وبتطور علوم التصميم كان من الضرورى تطور العلوم المصاحبة له، لتتلاءمع طبيعة المنتجات المستقبلية وتواكب تلك التطورات السريعة فى عصر تكنولوجيا المعلومات والذكاء الإصطناعى داخل تلك الحقبة الزمنية الحالية (Tao et al., 2019)، وإتجاه العالم نحو الميتافيرس Metaverse وهو التطور من البيئات الفيزيائية ثنائية الأبعاد 2D وثلاثية الأبعاد 3D إلى البيئات الإفتراضية رباعية الأبعاد 4D والنمذجة فى البُعد الخامس 5D وتمثيل عام لسلوك المنتجات والأنظمة داخل بيئات العمل، وظهور جيل جديد من النماذج يطلق عليه التوأم الرقمى Digital Twin، وإمكانية التفاعل مع جميع عناصر بيئة العمل بشكل طبيعى (Zhao et al., 2020)، وتمكين المستخدم من الإكتشاف العام للمساحات والمحتوى داخل بيئات تفاعلية؛ فتجدر الإشارة إلى أن نمذجة السلوك هى أهم أنواع النمذجة التى يمكن أن يعتمد عليها المصمم فى إختبار المنتجات المستقبلية التفاعلية والروبوت، خاصة مع تواجد الأنظمة الروبوتية فى الكثير من المجتمعات الحالية، وإعتماد البشر عليه فى الكثير من العمليات وأداء المهمات المختلفة (Tao et al., 2019).

2- تطور بيئات العمل الإفتراضية ودورها فى إختبار المنتجات/ الأنظمة:

بداية من دخول العالم الثورة الصناعية الرابعة وإتجاة العديد من المنتجات والأنظمة الصناعية إلى الأتمتة، لا يمكن إقتصار عمليات نمذجة وإختبار المنتجات/الأنظمة على النماذج الفيزيائية الأولية التقليدية، ولكن أدت الحاجة إلى تطور تلك العمليات لإرتفاع تكلفة إنتاج نماذج أولية للعديد من المنتجات المتطورة المستحدثة (Shchurov, 2018)؛ فلا يمكن للمصمم إنتاج نموذج أولى لطائرة ركاب لتطبيق الإختبارات عليها، لإرتفاع التكلفة وزيادة المخاطر التى سيتعرض لها العنصر البشرى أثناء عمليات القياس والتحقق الأولى لبيان عيوب المنتج، كذلك المنتجات المتعلقة بالأداء السلوكى والتفاعلات المباشرة تجاه البشر كالأنظمة الروبوتية الإجتماعية (Demirel & Duffy, 2007)، لا يمكن لأى منها التفاعل المباشر دون خوض الكثير من الإختبارات الميدانية والتى قد تكون ذات تكلفة باهظة جداً، وتحمل العديد من المخاطر التى قد تحدث للعنصر البشرى أثناء تلك التجارب التفاعلية المباشرة، هنا كانت بيئة العمل الإفتراضية حقلاً خصباً لمثل تلك التفاعلات التى قد يلجأ إليها المصمم فى إختبار العديد من المنتجات المستقبلية التفاعلية والروبوت، والتى بدورها كانت البديل الأمثل للتمثيلات الإفتراضية والأقرب إلى الواقعية (Kraatz et al., 2014)، وتقوم بعمل النمذجة الأولية لعمليات القياس والتحقق المطلوبة.

بعد أن كانت النمذجة الفيزيائية هى الحل الأمثل لبيان واقعية المنتجات، ومع التطورات التكنولوجية فى العصر الرقمى الحالى، تطورت عمليات النمذجة إلى العديد من العمليات داخل عالم رقمى يتم نمذجته عن طريق الحاسبات الآلية، ويكون حينها بديلاً مؤقتاً عن العالم المادى لنمذجة المنتجات والتفاعلات بوجه عام (Zhang et al., 2021)، ويوضح شكل (3) تطور بيئات العمل التفاعلية والتحول من العالم الفيزيائى نحو البيئة الإفتراضية بمكوناتها المتنوعة، وتوفير إنغماس أقرب ما يكون إلى العالم الحقيقى داخل تجارب التفاعل، وإستكشاف جميع عناصر ومكونات بيئة العمل بشكل كامل.



شكل (3) تطور بيئات العمل الفيزيائية والتحول نحو البيئة الإفتراضية لتمثيل التفاعلات

ولنمذجة العالم المادى Physical World، والتحول به نحو البيئات الإفتراضية Virtual Environment، نجد العديد من أنواع نمذجة تمثيلات المجسمات والتفاعلات التى قد يستخدمها المصمم مثل الواقع الإفتراضى Virtual Reality، الواقع المعزز Augmented Reality، الواقع المختلط Mixed Reality، والواقع الممتد eXtended Reality، وجميعها تعزز الإستمرارية الإفتراضية Virtuality Continuum لحدوث التفاعلات بوجهات نظر مختلفة (Vachalek et al., 2017)، كما يمكن مناقشة تلك الأنواع من البيئات الإفتراضية من حيث الإمكانات التى تقدمها للمستخدم، وكذلك المميزات والعيوب العامة على النحو التالى:

أ. الواقع الإفتراضى VR، ويمكن فيه إنشاء بيئة محاكاة بواسطة الحاسبات الآلية، ويضع المستخدم داخل تجربة شبه تفاعلية ثلاثية الأبعاد عن طريق إرتداء نظارات واقية أو سماعات رأس أو قفازات أو بدلات للجسم بدلاً من مشاهدة شاشة الحاسب، وينغمس المستخدمون داخل محيط عالم تفاعلى ثلاثى الأبعاد ويبدو واقعى (Havard et al., 2019)، ويوحى للمستخدم أيضاً أنه أحد العناصر الداخلة فى التجربة، أو ممارسة بعض الوظائف إفتراضياً لتحقيق أقصى قدر من الأداء عند ممارسة التجربة فى العالم الحقيقى، وكانت تقنية الواقع الإفتراضى فى البداية تستخدم فى عرض الأفلام، عن طريق آلة ذات مقعد مدمج داخل قاعة السينما، وينبعث منه الروائح ويولد الإهتزازات لجعل التجربة حية قدر الإمكان، وكانت التطورات داخل برمجيات التشغيل اللاحقة جلبت معها تطوراً تدريجياً فى طريقة العرض وتصميم واجهات التفاعل (Berni & Borgianni, 2020)؛ فكانت تقنية الواقع الإفتراضى هى الحل الأمثل لزيارة الأماكن التى لا يمكن الوصول لها كزيارة المتاحف والمناطق الأثرية، ومكنت تلك التقنية أيضاً من عبور الحدود التى لا يمكن تصورها كتشريح جسم الإنسان أوالنظر بتمعن إلى أجزاء معقدة داخل الآلات (Ye et al., 2007).

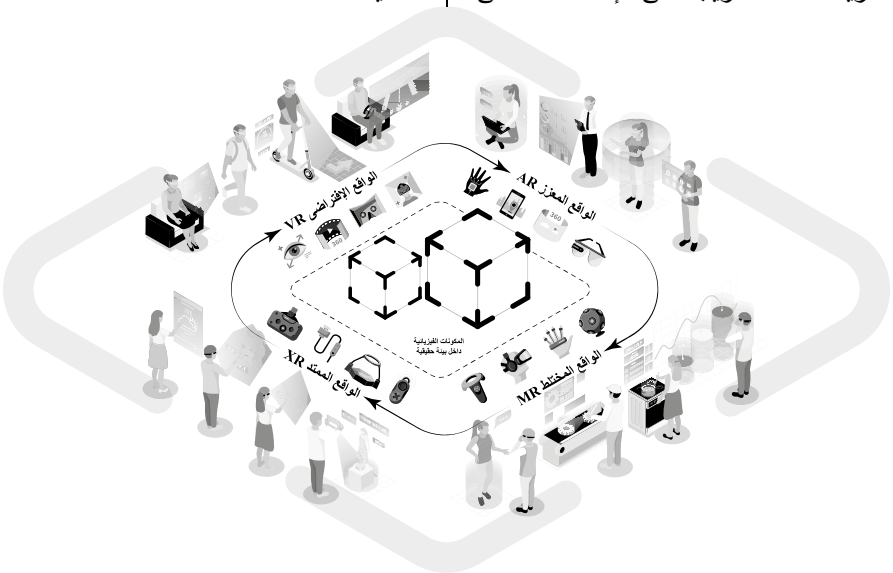
ب. الواقع المعزز AR، وهو تجربة تفاعلية لبيئة العالم الحقيقى فى الوقت الفعلى، وفيها يتم تحسين الكائنات والعناصر المرئية الموجودة داخل العالم الحقيقى من خلال المعلومات والمدخلات الإدراكية والتى يتم نمذجتها عن طريق الحاسب الآلى، وأحياناً أخرى عبر طرائق حسية أخرى بما فى ذلك البصر والسمع واللمس والبصر والشم، ويقوم الواقع المعزز على دمج الواقع أمام نظر المستخدم مع كائنات ثلاثية الأبعاد يمكن وضعها وبيان مدر ملاءمة

المحيط العام (Shen et al., 2010)، وتمتد جذور هذه التقنية إلى عام 1901، ولكن وصف توماس كادول Thomas Caudell المصطلح بأنه تقنية فى عام 1990، أثناء تصميم خاص لمساعدة عمال شركة بوينج العالمية Boeing على تصور أنظمة الطائرات المعقدة، ويمكن عرض معلومات التصميم المُحسن لتظهر داخل العالم الحقيقى وأحياناً بتفاعل محدود بينهم عن طريق الهواتف الذكية، ولهذه التقنية العديد من الأهداف وتسهيل الحياة، مثل حساب المسافات داخل العالم الحقيقى، ومساعدة المكفوفين على الرؤية ووصف الأشكال، ورؤية المنتج الذى تريد شراءة بألوان مختلفة، وتوفير العديد من المعلومات الإخبارية عن العنصر الذى تبحث عنه (Sahin & Togay, 2016; Geiger et al., 2003).

ج. الواقع المختلط MR، وتعد هى التقنية الهجينة بين الواقع الإفتراضى والواقع المعزز، التى فيها يمكن للمستخدم رؤية الأشياء الإفتراضية داخل العالم الحقيقى، وبناء تجربة تفاعلية لا يمكن داخلها تمييز العناصر المادية والرقمية عملياً، وهو ما يُدعى وهم التواجد أو التواجد عن بُعد (Ong & Shen, 2009)، والواقع المختلط هو من لديه إمكانية وضع بيئة رقمية فوق البيئة المادية الحقيقية، ويمزج بين الإعدادات الرقمية والعالم الواقعى، ويكون لديه القدرة الكافية لتمكين المستخدم من التفاعل بين العالم الحقيقى والعناصر الرقمية وتعديلها لتتلاءم مع المحيط العام؛ فيكون الواقع المختلط بداية هامة للمزج بين الواقع والتخيل بما لدية من إمكانية تداخل البيئة الحقيقية من طرف والواقع الإفتراضى من طرف آخر، ويُمكن المصمم حينها من التلاعب بسيناريوهات المستخدم وتعديلها طبقاً لإحتياجات ومتطلبات محددة (Maurya et al., 2020)، وعلى الرغم من حداثة تلك التقنية إلا أنها تُستخدم بالفعل على نطاق واسع، وفى العديد من الصناعات والأغراض التعليمية أيضاً، وعلى سبيل المثال تُستخدم كطريقة فعالة للتدريب على الإصلاحات التى تتم على آلات ذات تكلفة مرتفعة، والتدريب على فك وتركيب محركات الطائرات (Kent et al., 2021).

د. الواقع الممتد XR أو ما يُدعى الواقع الهجين Hybrid Reality، والذى يتمكن المصمم من خلاله إستنباط رؤى ذكية فيما يتفاعل مع الواقع المادى والمحتوى الرقمى بطريقة تُمكن من التفاعل مع الكائنات الواقعية والعناصر الإفتراضية معاً، كلها تكون داخل بيئة غامرة وبشكل أكثر إمتاعاً (Kharvari & Kaiser, 2022)؛ فيعد مصطلح الواقع الممتد مصطلحاً شاملاً أو المظلة التى تحوى أى تقنية تعمل على تغيير الواقع، عن طريق إضافة عناصر رقمية إلى بيئة مادية أو واقعية، وسيتم تصنيف أى تقنية مستقبلية كذلك على أنها XR، وهى تتضمن أى تقنيات حالية أو جديدة قد يتم إنشاؤها فى المستقبل (Fast-Berglund et al., 2018)، والتى تعمل على المزج بين العالم الرقمى والعالم المادى، أو عن طريق إنشاء وتصميم بيئة إفتراضية بالكامل، وتبدأ عملية محاكاة بيئات العمل الإفتراضية بهذه التقنية عن طريق دراسة تدفق سلوكيات المستخدم وتكوين الإطار العام للعناصر بالأحجام الطبيعية، وتعريف دقيق لكل الكائنات داخل تجربة التفاعل للتركيز على المحتوى الأساسى والهدف المحدد، ومنها تعيين الإجراءات العامة للتفاعل المباشر بين العناصر والكائنات المختلفة (Fjeld, 2003).

ومع ذلك، هناك حاجة ملحة دائمة إلى إعداد المزيد من الدراسات والبحوث لإنشاء معايير محددة لإجراءات التفاعل، وبيان أفضل الممارسات لتجربة المستخدم فى بيئة العمل (Chandrasegaran et al., 2013)، ويوضح شكل (4) طرق تمثيلات النماذج الإفتراضية المختلفة كأسلوب نمذجة الواقع الإفتراضى VR، الواقع المعزز AR، الواقع المختلط MR، والواقع الممتد XR، وبيان الطرق المختلفة لنمذجة المحيط العام للمستخدم عن طريق تلك التقنيات.



شكل (4) أسلوب نمذجة الواقع الإفتراضى VR، الواقع المعزز AR، الواقع المختلط MR، والواقع الممتد XR

قبل تقديم أى من التقنيات السابقة للتجريب والإختبار لابد من فهم ما يتوقعه المستخدم فى سياقات التفاعل المختلفة، ويمكن صياغة المحددات الهامة التى يجب إتباعها، ولابد من توافرها لإتمام النمذجة الإفتراضية داخل العالم الرقمى، وتوفر من خلالها الإستمرارية الإفتراضية داخل نموذج العالم الإفتراضى (Sahin & Togay, 2016)، كالتالى:

- **عامل الأمان-** إلتصاق المصمم بالسياق الواقعى للمستخدم، لتجنب تشتيت الإنتباة وتقليل الأخطاء.
- **تقليل المبالغة-** تجنب المصمم إغراق حواس المستخدم داخل بيانات كثيرة، ومراعاة الخبرات السابقة له.
- **الشخصية-** تركيز المصمم على الإحتياجات والمتطلبات الفعلية للمستخدم، وإكتساب خبرات جديدة.
- **التخصيص-** مراعاة المصمم قدرات وحدود المستخدم، والتدقيق فى الإختلافات الفردية والإحتياجات المتفاوتة.
- **عنصر الراحة-** تصميم بيئة عمل لا تؤدى إلى إجهاد المستخدم على المستوى البدنى، وتقليل العبء المعرفى.

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

- **الوضوح**– إمكانية التعرف المبدئى على معظم عناصر التجربة، أو إعطاء المستخدم بيانات أولية عنها.
- **القيود المادية**- مدى إمكانية تقليل الأدوات المستخدمة فى عمليات النمذجة الإفتراضية، وتصغير حجمها.
- **واجهات التفاعل**- جعل المصمم واجهات التفاعل تلقائية وسهلة القراءة، وتقديم خيارات تفاعل موضوعية.
- **الأولويات**- تفعيل إمكانية الوصول إلى الخيارات المتاحة داخل تجربة التفاعل، وكذلك تنوع خبرات التفاعل المرن.
- **خطأ التأثير**- عرض القرائن للمستخدم للمفاضلة بينهم، والحفاظ على أقصى قدر من القدرة على التنبؤ بالخطوات.
- **الإسترشاد**- تقديم محاكاة برسوم بسيطة لتعليم المستخدم، لتمثيل إنعكاس واقعى للخبرات المكتسبة حديثاً.
- **التوافق العام**- إستجابة التصميم لحركات رأس المستخدم، وكذلك الإيماءات الجسدية بشكل ديناميكى، بحيث يمكن للمستعمل الخبير التصرف بشكل حدسى، وبحرية تامة دون الحاجة إلى إرشادات سابقة.

وفقاً لتلك المحددات يمكن صياغة إطار عام لبيئة التفاعل الإفتراضى، وتمكين المصمم من تحليل وتقييم عناصر التصميم بشكل تفصيلى، ودراسة المكونات المادية والعناصر الشكلية المُكونة لبيئة العمل، وطرق التفاعلات المباشرة مع العنصر البشرى (Revetria et al., 2019)، ومنها وضع السيناريوهات المحتملة كنهج عام لعمليات القياس والتحقق من كافة مراحل عملية التصميم، وتعمل على بيان مدى كفاءة العملية التفاعلية بشكل عام؛ فكل تلك الأنواع من النماذج يمكنها محاكاة أى بيئة عمل بشكل إفتراضى، عن طريق إرتداء أجهزة ومعدات خاصة، لكنها لا يمكنها تمثيل واقعية العناصر، أو إختبارها للتواجد الشعورى للعناصر البشرية داخل تلك التجارب (Romero et al., 2022)، وهى المحدد التى يمكن للمصمم من خلالة الوصول إلى مثالية بيئة العمل، وتقليل الفجوة بين التمثيلات الإفتراضية وبيئة العمل الحقيقية، وكذلك إعطاء ردود فعل منطقية للمصمم تعبر عن واقع تفاعلات المستخدم، والحصول من خلالها على عملية تفاعلية ناجحة فى إستقبال البيانات وتفسيرها وإعطائها معان ومفاهيم مبنية على خبرات سابقة، وإكتساب خبرات جديدة (Tuegel, 2012).

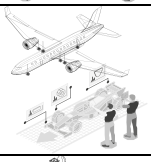
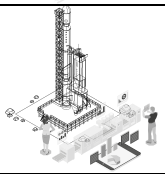
3- التوأم الرقمى وتحسينات نمذجة سلوك المنتجات:

نصت الكثير من النظريات القديمة على أن الواقع يمكن أن يكون محاكاة حاسوبية فائقة التقنية، ولكن من وجهة نظر تجريبية بحتة، يبدو أن الواقع هو أى شئ يمكننا إدراكه باستخدام واحد أو أكثر من حواسنا البشرية كالتذوق والشم واللمس والسمع والبصر، ولكن مع تطور التقنيات المستحدثة داخل عمليات النمذجة، نجد مزيج ناجح بين الواقع والمحاكاة، لتأصيل التواجد الشعورى للمستخدم داخل عملية النمذجة (Gehrmann & Gunnarsson, 2020)، وكان نتاج التطورات الأخيرة ابتكار نمذجة الواقع المحاكى Simulated Reality، والذى يمكن وصفه على أنه الفرضية التى من خلالها محاكاة الواقع بشكل مباشر، لدرجة لا يمكن تمييزها بدرجة كبيرة عن الواقع الحقيقى، مما يجعله متقدماً عن المفهوم الحالى القابل للتطبيق عن طريق تقنيات المحاكاة الإفتراضية، وفى القريب العاجل قد لا يمكننا فصل الواقع الإفتراضى عن الواقع الحقيقى للمستخدمين (Seth et al., 2010).

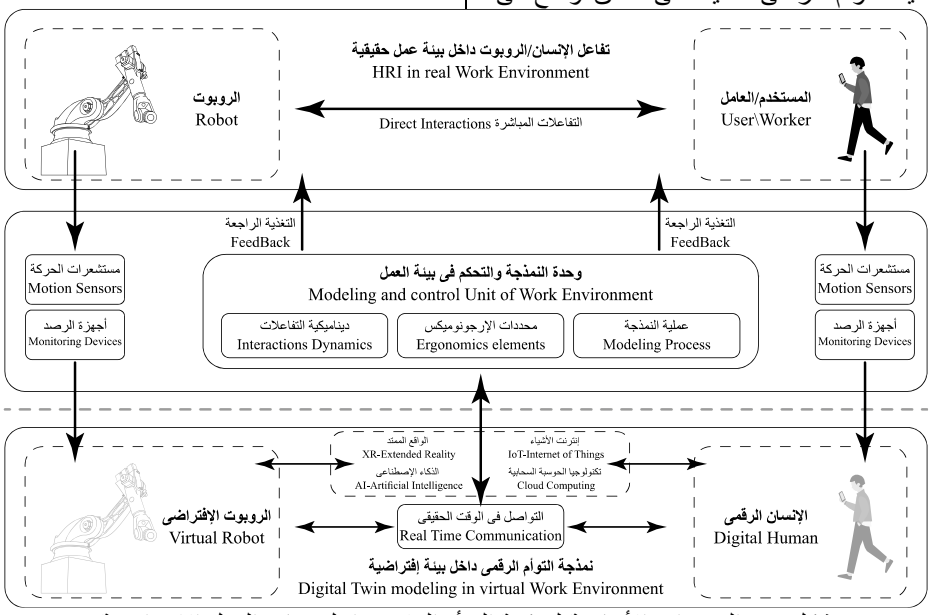
ونمذجة الواقع المحاكى SR ناتج تطورات تقنية الواقع الممتد XR، والذى يوفر للمستخدم بيئات تفاعلية غامرة فى مساحات متعددة الأبعاد، وتضمين معلومات رقمية داخل البيئة الإفتراضية باستخدام عرض بزاوية 360 درجة وتواجد العمق الإدراكى وخاصية تتبع الحركة، وتبع ذلك العديد من التطورات داخل نمذجة الفضاء الإفتراضى، مثل اللمس والصوت المكانى وتتبع اليد وإلتقاط الأشياء وما إلى ذلك (Lee et al., 2004)، ومع كل تلك الخطوات لابد من توشيع المفهوم الحالى لتصميم تجربة المستخدم، وتطوير العديد من الأنماط المعمول بها، وإنشاء تجارب تفاعلية بإمكانات مستحدثة ويتم دمجها مع تلك الأنواع من التقنيات؛ فالواقع المحاكى هو تصور واقع تفاعلى يمكن للمستخدم الإنغماس داخله دون الحاجة إلى أجهزة مادية يتم إرتدائها، ويمكن من خلاله تصميم عدد لا نهائى من سيناريوهات الاستخدام التى يمكن للمصمم من خلالها إجراء العديد من تجارب التفاعل (Dimenco, 2022).

لكن لم يقتصر التطور على هذه المرحلة فقط، وإنما تم ابتكار جيل جديد من تقنيات النمذجة أُطلق عليه التوأم الرقمى Digital Twin، والذى هو تمثيل رقمى لكيان مادى منتج/نظام داخل بيئة عمل محددة، يتم فيه تغذية البيئة الإفتراضية داخله بالعناصر المقترحة للتفاعل (Ferguson et al., 2017)، وربط جميع العناصر بتقنية إنترنت الأشياء IoT-Internet of Things، لتتم مزامنة جميع التفاعلات فى الوقت الحقيقى (Söderberg et al., 2017)، ونمذجة التوأم الرقمى تعد من التقنيات المستحدثة داخل سياق الميتافيرس Metaverse والمعروف عالمياً بإسم العالم الإفتراضى، وتتم نمذجة التوأم الرقمى كنموذج لبيئة تفاعلية متعدد الأبعاد وتطابق الواقع بشكل كبير؛ فعلى الرغم من أنها تقنية تبدو مستقبلية، إلا أنها تعمل على سد الفجوة بين العالم المادى ورؤية المصمم الإبداعية لتحقيق هدف التصميم، لأنها توفر داخلها الواقعية الإفتراضية، ويمكن من خلالها إجراء العديد من الإختبارات الميدانية (Jones et al., 2020)، وذلك لتوافر تطبيق قوانين الفيزياء والعديد من الإجراءات التى تجعل التجربة التفاعلية تبدو منطقية بشكل كبير، وتعمل على جعل بيئة العمل أكثر واقعية من تقنيات المحاكاة السابقة وأكثر إقناعاً، ويوضح جدول [1] أنواع تقنية التوأم الرقمى المستخدمة فى نمذجة بيئات العمل التفاعلية.

جدول [1] أنواع تقنية التوأم الرقمى لنمذجة بيئات العمل التفاعلية (adapted from: MRICS, 2020)

	النوع	التوصيف
	التوأم الرقمى المستقل	يعد هذا نموذج إفتراضى طبق الأصل للمنتجات/المعدات الشخصية، ويمكن من خلاله المساعدة فى مراقبة أداء العناصر البشرية بشكل فردى، وكذلك الأشخاص والموارد المادية الأخرى.
	التوأم الرقمى المكرر	هو نموذج يساعد فى مراقبة وتحسين استخدام مجموعة من التوائم الرقمية المنفصلة ذات الصلة بنفس المنتج، على سبيل المثال النماذج الإفتراضية لأنظمة متعددة الأجزاء، مثل السيارات أو الآلات الصناعية الكبيرة كالطائرات أو المبانى الضخمة.
	التوأم الرقمى المُحسَّن	هذه نماذج إفتراضية لكيانات معقدة وواسعة النطاق ومتعددة الأجزاء، مثل مؤسسة بأكملها أو مدينة، وتكون مكونة من توائم رقمية منفصلة للأجزاء المكونة لها، فهى تساعد فى مراقبة الأداء العالى، وتحسين المستوى العام.

نجد أن التوأم الرقمي هو تمثيل رقمى لكيان أو نظام فى العالم الحقيقي، ويمكن للتوأم الرقمى تنفيذ نماذج مأخوذة عن كائناً أو نموذجاً برمجياً مغلفاً يعكس كائناً مادياً فريداً أو عملية أو منظمة أو شخصاً أو أى تجريد آخر (BENTLEY , 2022)، ويمكن تجميع البيانات من توائم رقمية متعددة لعرض مركب عبر عدد من كيانات العالم الحقيقى، مثل محطة طاقة أو مدينة وكذلك العمليات المرتبطة بها (PTC, 2022)، ولبناء التوأم الرقمى يتم استخدام إطار عمل نمذجة بيئة محددة قائم على المحاكاة، يتم فيه جمع البيانات العامة للعناصر وتحليلها، ويتكون من ثلاثة وحدات، الأولى وحدة جمع البيانات، والثانية وحدة تحليل المدخلات والتغذية الراجعة، والثالثة وحدة رصد النتائج التجريبية (Adamenko et al., 2020)؛ فتستخدم تطبيقات تقنية التوأم الرقمى حالياً على نطاق واسع فى العديد من المجالات، حيث أن نمذجة التوأم الرقمى تقدم تمثيل إفتراضى دقيق للأشياء والعناصر، بالإضافة إلى محاكاة واقعية للعمليات التشغيلية، وكذلك نمذجة السلوك العام لبيئة العمل بشكل إفتراضى، كما تتيح للمصمم إنشاء عناصر مختلفة ليتم التجريب عليها وتحسين المستوى العام للنظام (Schroeder et al., 2021)، وتساعد المستخدم على تخطى الكثير من الحواجز المكانية والفيزيائية داخل البيئة الحقيقية، مما يؤدى إلى تحسين عملية التصميم وتطوير المنتجات/الأنظمة والأداء العام للبيئة التفاعلية، ويوضح شكل (5) المحددات الأساسية لنمذجة التوأم الرقمى، والتحول من بيئة العمل الفيزيائية إلى بيئات العمل التفاعلية الإفتراضية.



شكل (5) المحددات الأساسية لنمذجة التوأم الرقمى داخل بيئات العمل الإفتراضية

وفى الآونة الأخيرة، قدمت نمذجة التوأم الرقمى العديد من التطورات فى شتى المجالات (Augustine, 2020)، وساهمت بشكل مباشر فى الكثير من التطور الملحوظ فى مجال علوم الإرجونوميكس وتقييم المنتجات التى تلائم الاستخدام البشرى، وخاصة فى المجالات التى تحتاج إلى تمويلات مالية ضخمة، أوقد يكون بها مخاطر يصعب على العنصر البشرى التعامل معها بشكل مباشر قبل إجراء الإختبارات عليها، وكذلك الصناعات العملاقة التى يتم فيها إنتاج آلة واحدة فقط على المستوى العالمى، وأيضاً فى مجالات إختبارات التشغيل الأولية والصيانة فيما بعد (Liu et al., 2021)؛ فتُمكن تقنية التوأم الرقمى المصمم من وضع العديد من السيناريوهات المستقبلية، والتى يمكن رؤيتها إفتراضياً، وإختبار مدى واقعيتها بشكل قبلى، وتشمل نمذجة التوأم الرقمى التصميم الحركى، والتحقق من صحة التصميم بشكل عام، وأتمتة بيئة العمل كاملة، والتأكيد على إستمرارية ديناميكة العمل والتفاعلات المباشرة بين جميع عناصر التفاعل (Qi & Tao, 2018)، ومن بين تلك المجالات التى ساهمت فيها تقنية التوأم الرقمى بشكل مباشر:

أ. مجال الصناعات العملاقة:

تظل الصناعات الحربية والأسلحة المستفيد الأكبر لعمليات التصميم والنمذجة الإفتراضية، نظراً لتوافر العديد من التمويلات المالية على المستوى الدولى، وكذلك تواجد ضرورة ملحة لإختبار تلك الأنواع من المنتجات بصورة نظرية وبعدها بصيغة إفتراضية، لضمان قدرتها على أداء مهامها بشكل دقيق، وكذلك التدريب على عملية الاستخدام فى المستقبل، وبيان كيفية التشغيل للعديد من المستخدمين فيما بعد، لأنه من الصعب تواجد أماكن للتدريب المستمر على تلك المنتجات؛ فالتوأم الرقمى يساعد أيضاً الجيوش على إتخاذ القرارات الصائبة والمستنيرة فى الوقت المناسب بشأن التكلفة والأفراد والمعدات (Glaessgen & Stargel, 2012).

كذلك إعتماد تصميم الطائرات المدنية بشركة بوينج Boeing العالمية، وفى سياق حلقة نقاش خلال مؤتمر Morgan Stanley Laguna فى Dana Point، قد أوضح الرئيس التنفيذى لشركة Boeing Dennis Muilenburg أن استخدام التوائم الرقمية زاد من جودة الأجزاء والأنظمة المستخدمة فى إنتاج الطائرات بنسبة 40%، ووصفت الشركة أن الهندسة القائمة على النموذج لأول مرة فى مقال نشر عام 2017، واستخدمت الشركة النماذج فى تطوير مراجع بيانات الطقس والهواء لطائرة Boeing 777X، والذى يعالج نظام البيانات مثل سرعة الرياح وإرتفاع الطيران، ويتم تحويلها على هيئة معلومات رقمية لشاشات قمرة القيادة (Freist, 2018)، وتوفر تقنية التوأم الرقمى للمصنعين مشاهدة الماكينات والمكونات إفتراضياً، ودراسة البدائل المتاحة حالياً ذات المواصفات الفنية الأخرى، مما يضمن أن لديهم المواصفات المثالية والتحليل الهيكلى لبيئة العمل والتى يحتاجون لها (Tuegel et al., 2011)، وسوف يتيح التوأم الرقمى إدارة أفضل للمنتجات بوجه عام طوال فترة عملها، وسيكون لدى المهندسين مزيد من المعلومات حول حالة المنتج/النظام وسيحصلون عليها بسهولة، وسيسمح هذا بإتخاذ قرارات صيانة أفضل فى الوقت المناسب.

ب. مجال التعليم والتدريب:

يظل مجال التعليم أحد الحقول الخصبة لتطبيق الكثير من التقنيات المستقبلية، وأصبحت الفصول الدراسية الهجينة أكثر شيوعاً خلال جائحة كورونا، ونجد أن التقنيات الرقمية تساعد على الإنتقال إلى جامعات المستقبل، ويستخدم التوأم الرقمى فى إنشاء نماذج محاكاة بناء على متطلبات الدورة الدراسية والتدريبية، وتساعد المعلمين فى جعل تجربة التعلم أكثر متعة، وتجسيم الكثير من العلوم الدراسية مثل التشريح المختبرى لضفدع بشكل عملى، ويمكن للطلاب مراجعة مثل تلك العمليات بمنتهى الدقة العديد من المرات، وذلك

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

باستخدام التوأم الرقمى الإفتراضى دون الحاجة إلى تشريح جسم حقيقى (Lian & Yan, 2022).

يمكن حينها لأعضاء هيئة التدريس تحقيق أقصى مستوى تعلم تفاعلى، عن طريق المشاركة لمساعدة كل طالب على تعلم المفاهيم المجردة عن طريق نمذجة التوأم الرقمى، ومن خلال تشغيل عمليات المحاكاة، يمكن للطلاب إستكشاف سلوك المنتجات/الأنظمة بشكل أفضل داخل بيئة العمل الإفتراضية، وتأثير أى عنصر على الأخر من خلال نتائج أكثر دقة؛ فطبقت جامعة ستانفورد Stanford University تقنية التوأم الرقمى Digital Twin technology فى مناهجها التعليمية، خاصة على الهندسة المعمارية والإنشائية وداخل العديد من المشاريع التنفيذية، وقامت مدرسة كوبنهاجن للهندسة البحرية وإدارة التكنولوجيا Copenhagen School of Marine Engineering and Technology Management بدمج محتوى التوأم الرقمى فى مناهج التدريس الخاصة بهم، وبشكل عام، تزيد التقنيات المستقبلية مثل التوأم الرقمى فى التعليم العالى من تحفيز الطلاب، وتحسين تجربة التعلم الشاملة، وتساعد الطلاب على الفهم والإدراك وإكتساب العديد من المهارات التى سيحتاجون لها فى المستقبل القريب (Saracco, 2018).

ج. مجال الإختبارات الهندسية:

فى السابق، كان على فرق العمل أن تمر بعملية تجربة وخطأ مطولة لإختبار تصنيع منتج جديد أو محدث فى نظام موجود، وباستخدام التوائم الرقمية يمكن للمصنعين إختبار التكوينات المحدثة مع تقليل مخاطر الحسابات الخاطئة المكلفة، كما تعد محاكاة العديد من السيناريوهات المختلفة أسرع وأسهل من الاختبار الفعلى؛ فيستخدم فريق العمل المكون من المهندسين والفنيين التوائم الرقمية لتخطيط وإختبار خطوط الإنتاج الجديدة، هذا يعنى أنه يمكنهم العثور على المشكلات والمجالات المحتملة للتحسين قبل إنشاء النظام المادى، مما يوفر الوقت والمال والجهد المبذول، على نفس المنوال، يمكن تخطيط تصاميم المستودعات بسهولة وفعالية أكبر باستخدام التوائم الرقمية، ويمكن لتقنيات التصور الرقمى الإفتراضى أن تجعل المشاكل أكثر وضوحا. كما أنها تساعد فى تحسين التواصل داخل فريق العمل بأكمله (Durão et al., 2018).

ومن خلال رقمنة أصول مقدمى الخدمات الصناعية باستخدام التوائم الرقمية، سيمنح التوأم الرقمى المصنعين الفرصة لبدء التصرف والتفكير بشكل مختلف، ولن تساعد كمية البيانات التى سيتم إنشاؤها باستخدام هذه التقنية الشركات المصنعة فقط فى خفض جميع تكاليف التطوير التى تأتى مع اختبار المنتج، بل ستساعدهم على إتخاذ قرارات تعتمد على البيانات، من خلال إمتلاك الرفاهية لاتخاذ إجراءات مستقبلية لها تأثير إيجابى لأنها تستند إلى كميات هائلة من البيانات الدقيقة والمعدة سابقاً، فإن معظم الشركات فى القطاع الصناعى ستشهد عائد إستثمار إيجابياً كبيراً، إذا كانت ستستخدم هذه المحاكاة بشكل صحيح، والتحقق من صحتها بشكل متزامن، مما يتيح للمصممين التحقق من صحة تصميماتهم أثناء خطوات العمل على تطوير المنتجات/الأنظمة (Nokia, 2020).

د. مجال إدارة العمليات:

كانت إدارة دورة حياة الأصول ALM-Asset Lifecycle Management أحد مجالات التركيز الأولية لتنفيذ التوائم الرقمية، والمفهوم الأساسى للتوائم الرقمية ليس جديداً، ويتضمن ذلك دمج النماذج الهندسية الإفتراضية مع المنتج المادى أو المعدات فى بيئة تسمح بتغيير وتحسين المنتج المصمم لهدف معين، ونظراً للتقدم والتطور فى التقنيات التمكينية والنمذجة الإفتراضية، فإننا نشهد تركيزاً متجدداً على تنفيذ نموذج التوأم الرقمى والفوائد المرتبطة به التى يمكن إكتسابها باستخدام التوائم الرقمية التى تمثل المنتج وأنظمة الإنتاج، يمكن للمصممين والمصنعين تقليل الوقت والتكلفة المرتبطين بتجميع أنظمة إنتاج المصنع وتركيبها والتحقق من صحتها، بالإضافة إلى ذلك، عادةً ما يوفر تطبيق التوائم الرقمية لإدارة الأصول فوائد قابلة للقياس الكمى للحفاظ على المعدات فى الميدان (Global, 2019).

وإستناداً إلى تطبيقات العالم الحقيقى، يدرس المصنعون نماذج أعمال جديدة حيث يبيعون الخدمة بدلاً من المنتج نفسه ثم يستخدمون التوأم الرقمى لمراقبة توافره وأدائه وتحسينهما، يُعرض على العملاء استخدام المنتج/النظام جنباً إلى جنب مع الصيانة الكاملة والتحسين التشغيلى بناءً على القدرات التنبؤية/الوصفية للتوأم الرقمى، وتحتفظ الشركة المصنعة بملكية المعدات مع تقديم خدمة الصيانة على أساس التوأم الرقمى كنموذج أعمال أكثر ربحية وأكثر قابلية للإدارة، ومنها تحسين تجارب المستخدم وجودة الخدمات الصناعية باستخدام التوائم الافتراضية (Adamenko et al., 2020).

هـ. مجال الصيانة الدورية:

دائماً ما تقوم فرق الصيانة بجمع المعلومات حول المنتجات/الأنظمة على مدى فترات طويلة، لتعزيز عمليات الصيانة الدورية، ولفهم طبيعة الأعطال المعتادة التى قد تحدث على فترات منتظمة، ومع تواجد جيل جديد من المنتجات/الأنظمة التى تدعم نمذجة التوأم الرقمى، ومرتبطة ببعضها عن طريق تقنية إنترنت الأشياء، يمكن حينها للمهندسين متابعة كل هذه المعلومات بدمجها داخل عرض شامل للنظام على مدار الساعة، وضمان التزامن فى الوقت الحقيقى بين جميه العناصر المكونة للنظام، حينها يصبح من السهل متابعة الأعطال وأى تغيير مفاجئ للنظام وتباين سلوكيات العناصر داخل بيئة العمل التفاعلية، ويكون المهندس على دراية تامة بأى تغيرات قبل أن تصبح مصدراً للتهديد بالخطر (Centomo et al., 2020; Mark, 2022).

لا يخلو أى منتج/نظام/خدمة من ضرورة أعمال الصيانة بصورة ملحة، وبتضمين هذه التقنية داخل المؤسسات الصناعية، يمكن للمصمم استخدام بيانات التوأم الرقمى للتنبؤ بالأعطال المحتملة قبل حدوثها، والتدخل فى الوقت المناسب وفقاً للمعلومات المتاحة، نظراً لأن التوأم الرقمى يمكنه عمل نسخة رقمية إفتراضية لجميع عناصر ومكونات بيئة العمل، وكأنها عملية إنشاء خطوط إنتاج مماثلة إضافية كإحتياطى للإختبار والدعم الفنى دون تكلفة، بالإضافة إلى إمكانية تدريب مهندسين وعمال الصيانة فيما يتعلق بكيفية تفكيك الآلات وإصلاحها بالترتيب الصحيح، وكذلك استخدام الأجزاء المناسبة لتلك العملية، كل هذا دون التأثير على المعدات والآلات المادية الموجودة فى الواقع(Židek et al., 2020) .

و. مجال دراسة علوم الفضاء:

بداية من غريزة الإستكشاف الفعلى للفضاء فى القرن السابع عشر (Becker, 2008)، وتحديداً فى عام 1610 حينما كتب عالم الفلك الألمانى جوهانس كبلر Johannes Kepler رسالة إلى صديقة عالم الفلك الإيطالى جاليليو جاليلى Galileo Galilei معبراً فيها عن تخيله للسفر إلى الفضاء – سفن وأشرعة تتكيف مع نسائم السماء – كونها وسيلة نقل للفضاء (Cornish, 2022)، ومِنْ ثَمَّ سباق الفضاء والذى بدأ أثناء فترة الحرب الباردة، ويحتل إستكشاف الفضاء إهتمام العديد من الدول العظمى، ونظراً لتعدد فروع علوم دراسة الفضاء، وتتضمنها العديد من المجالات المختلفة كالتعليم وإدارة العمليات والصناعة والإختبارات الهندسية والصيانة الدورية وأيضاً تحليل إحصائيات كبيرة، كان لمجال علوم الفضاء النصيب الأكبر فى تطبيق تقنية التوأم الرقمى فى العديد من المشروعات البحثية، نظراً لإنخفاض نسبة التسامح فى تواجد الأخطاء، وإرتفاع التكلفة المادية إلى حد كبير مقارنة بأى مجال آخر، وبتواجد تقنية التوأم الرقمى يمكن للمصممين إختبار نماذجهم الأولية، وتحديثها إفتراضياً قبل بذل الوقت والمال والجهد فى بناءها مادياً، وكذلك عناء تشغيلها وتجربتها وتدوين الملاحظات حول الأخطاء التى تحدث.

ومن بين المشروعات العملاقة الحالية التى تم تطبيق فيها تقنية التوأم الرقمى تلسكوب جيمس ويب JWST-James Webb Space Telescope، والذى تم تصميمه فى المقام الأول ليكون عين البشر لإستكشاف الفضاء، وتصويره بتقنية يمكنها تصوير

الأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء أيضاً بدقة وحساسية محسَّنتان تفوقان تلسكوب هابل Hubble Space Telescope، وطُوِّر بشكل مباشر من قِبل وكالة ناسا NASA ووكالة الفضاء الأوروبية ESA ووكالة الفضاء الكندية CSA، وسيتموضع التلسكوب على بُعد 1.5 مليون كيلومتر عن كوكب الأرض أى أبعد بأربع مرات عن القمر (NASA, 2022)، والمسافة الكبيرة تعنى أنه لا يمكن إجراء عمليات صيانة، ونظراً لضيق الوقت وإرتفاع التكلفة وضرورة وجود عامل الدقة؛ فكان لابد من إجراء جميع الإختبارات اللازمة للتأكد من عمل التلسكوب بشكل فعلى وفعال، ودون تواجد أى أخطاء مطلقاً، وذلك عن طريق النمذجة الإفتراضية بمختلف التقنيات المستحدثة.

كذلك نجد العديد من المشروعات المستقبلية التى تم الإعلان عنها، مثل محطة Gateway Space Station الأمريكية، وهى أول محطة فضاء فى مدار حول القمر والمقرر إطلاقها عام 2024، كجزء من مشروع أرتميس لوكالة ناسا NASA's Artemis campaign لدعم خطط الوكالة لإستكشاف الفضاء العميق (Mars, 2016)، ومحطة الصين الذى أطلق عليها إسم Tiangong space station ويعنى القصر السماوى Heavenly Palace (Song & Tauschinski, 2022)، وهى محطة فضاء تابعة لإدارة الفضاء الوطنية الصينية China National Space Administration، والمقرر إتمام إطلاقها عام 2024 على مدار أرضى منخفض (Jones, 2022)، وكذلك المحطة الروسية للخدمات المدارية ROSS-Russian Orbital Service Station، والمقرر بدأ عملها عام 2028 (Howell, 2022)، وكلها مشروعات ذات تكلفة مرتفعة ودقة متناهية، ويكون على المصمم دائماً الإهتمام بمراحل عملية النمذجة بشكل كبير، والإستعانة بتقنيات النمذجة المستحدثة مثل تقنية التوأم الرقمى DT لسد الفجوة بين النظرية والتطبيق العملى للمنتج، وبيان جميع الأخطاء والأعطال التى قد تحدث مستقبلاً، وإجراء كافة الإختبارات الميدانية المطلوبة إفتراضياً، وإتمام عمليات القياس والتحقق فى خطوات عملية التصميم بكفائة كبيرة ودقة عالية.

ز. مجال التنقيب وإستكشاف الآثار:

دائماً ما تُحاط عملية تفسير التاريخ بالأساطير والتكهنات منذ أقدم العصور، ومن المؤكد وجود الكثير من الإلتباس يحيط بالإكتشافات الأثرية بصفة عامة (Tomasas, 2022)، ومن الممارسات الشائعة فى دراسة علم الآثار إقتراح الغرض ووظيفة الأثر المُكتشَف، وكذلك الكيفية وطريقة البناء للعديد من تلك الإكتشافات، والتعامل معها على أنها سؤال غامض ويحتاج إلى مقترحات بحثية منطقية للإجابة عليها؛ فالسعى وراء إستكشاف وقراءة التاريخ بدقة دائماً ما يُسفِر عن رؤى هامة فى عمليات التخطيط واللوجستيات وراء عملية التفسيرات المنطقية المُقترحة، والمعنية بإستكشاف الخطوات والخامات والمعدات المستخدمة قديماً فى العمل، وتقديم سجل وافى من السرد العلمى والموثق لعملية التخطيط والتجميع التدريجى لتلك الأثريات الغامضة (Farkas, 2019)؛ فتخلق هنا تقنية التوأم الرقمى حلاً قابلاً للإختبار والتطبيق، وكذلك تقديم المرونة فى تنوع التصورات الممكنة للتجربة الواحدة، وبتضمين قوانين الفيزياء وإحتوائها على جميع البيانات والمعلومات للمنتج المستهدف يمكن خضوعها للإختبار والتقييم الفعلى.

ويعد الهرم الأكبر بمنطقة الجيزة The Great Pyramid of Giza هو آخر عجائب العالم القديم المتبقية (Whitaker, 2009)، وحتى الأن يتم فرض العديد من النظريات حول كيفية تصميم وبناء قبر الملك خوفو بهذا القدر العالى من الدقة الهندسية والمعمارية، ومع إختلاف الأدوات والتقنيات القديمة عن ما يوجد الأن من آلات ومعدات ضخمة، وأيضاً ندرة الفرص فى إمكانية بناء هرم بنفس الحجم والدقة (Markings, 2019)، وكذلك خضوعه للإختبارات العملية، والتجربة والخطأ داخل حيز التطبيق العملى التكرارى، وبيان مقدار واقعيتها ومدى قابليتها للتطبيق العملى ودخولها حيز التنفيذ الفعلى على أرض الواقع، كان لابد من إجراء محاكاة العمليات التشغيلية من خلال وضع العديد من السيناريوهات الإفتراضية التى تحقق العبور عبر حدود الخيال إلى أرض الواقع الملموس، ومِنْ ثَمَّ كانت المقترحات النظرية عديدة ومتنوعة من علماء علم المصريات Egyptology حول تفسير هذا الأمر (History.com Editors, 2009; NOVA, 2019)، ولكن كان أقربهم إلى الواقع هو إقترح جان بيير هودين Jean-Pierre Houdin المهندس والمعمارى الفرنسى نظريته الخاصة عن كيفية بناء الهرم الأكبر الذى يحمل قبر الفرعون العظيم خوفو (Hague, 2021)، وقدم للعالم أحدث الأدلة من الأبحاث الأثرية الرائدة التى غيرت فهمنا للمشروع الهندسى الأكثر طموحاً فى العالم القديم، عن طريق العمل على جهاز الحاسب الآلى الخاص به عشر ساعات يومياً ولمدة خمس سنوات، وإنشاء سيناريوهات متنوعة بواسطة بناء نماذج ثلاثية الأبعاد مفصلة عن التخطيط المعمارى الداخلى للهرم الأكبر (Bier & Houdin, 2009).

وعلم المصريات Egyptology ملئ بالكثير من الغموض حول الإكتشافات الأثرية، ويحوى العديد من الأسرار القديمة التى لم تُكتشف بعد (La Nasa et al., 2022; Barras, 2022)؛ فعلى سبيل المثال إحدى عجائب العالم القديم، وهو كيفية صناعة قناع الملك توت عنخ آمون Mask of Tutankhamun وتشكيلُه من معدن الذهب والأحجار النادرة معاً، وبدقة قد لا نجدها فى عالمنا الحديث وبتواجد التكنولوجيات الرقمية الجديدة (McDonald, 2017).

مع إقتراب العالم من إنشاء عالم رقمى متكامل Metaverse، أصبح مصممى التفاعلات قادرين على إنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد وجعلها تتفاعل داخل بيئة رقمية جاهزة لإستضافة أى نماذج إفتراضية (Palla, 2022)؛ فهناك العديد من المجالات التى يمكنها الإستفادة بشكل مباشر من تلك التقنيات المستحدثة لإجراء عمليات النمذجة، وخاصة تقنية التوأم الرقمى Digital Twin كونها بيئة رقمية مأخوذة عن أصل مادى فى البيئة الحقيقة وتتضمن جميع الخصائص الفيزيائية للأجسام، وتحاكى الواقع بدرجة كبيرة داخل بيئات رقمية غامرة، وتكون متصلة مع العالم الحقيقى ولها نفس وقت التزامن مع قواعد البيانات وقادرة على التحليلات البيانية (Guo et al., 2018)، ويكون التوأم الرقمى هو الحل الأمثل لإستعراض المشاريع الكبيرة والعملاقة، والترويج لها بطريقة فعالة دون الخوض فى مراحل الإنتاج، ويساعد المصمم على توصيل الميزات الأساسية للتصميم دون عناء إنتاج النماذج المادية (Lo et al., 2021)، ومن خلال تحسين تفاعلات المستخدم مع العناصر التفاعلية، يعمل التوأم الرقمى كأساس لإنشاء تصميمات منطقية وتتسم بالواقعية، وتنتج التوائم الرقمية نمذجة رقمية يمكنها بعد ذلك تمكين تدفق المعلومات، وتوفير عرض متكامل لبيانات الأصول المادية (VanDerHorn & Mahadevan, 2021)، هذه النماذج الرقمية هى مفتاح دورة حياة المنتج وتساعد على تحسين بيئة العمل بشكل عام، يمكن لمحاكاة النموذج الرقمى تحديد الفجوات فى الكفاءات التشغيلية، وإنتاج ثروة من فرص تحسين العمليات.

4- استخدام نمذجة التوأم الرقمى فى مراحل التصميم والتطوير:

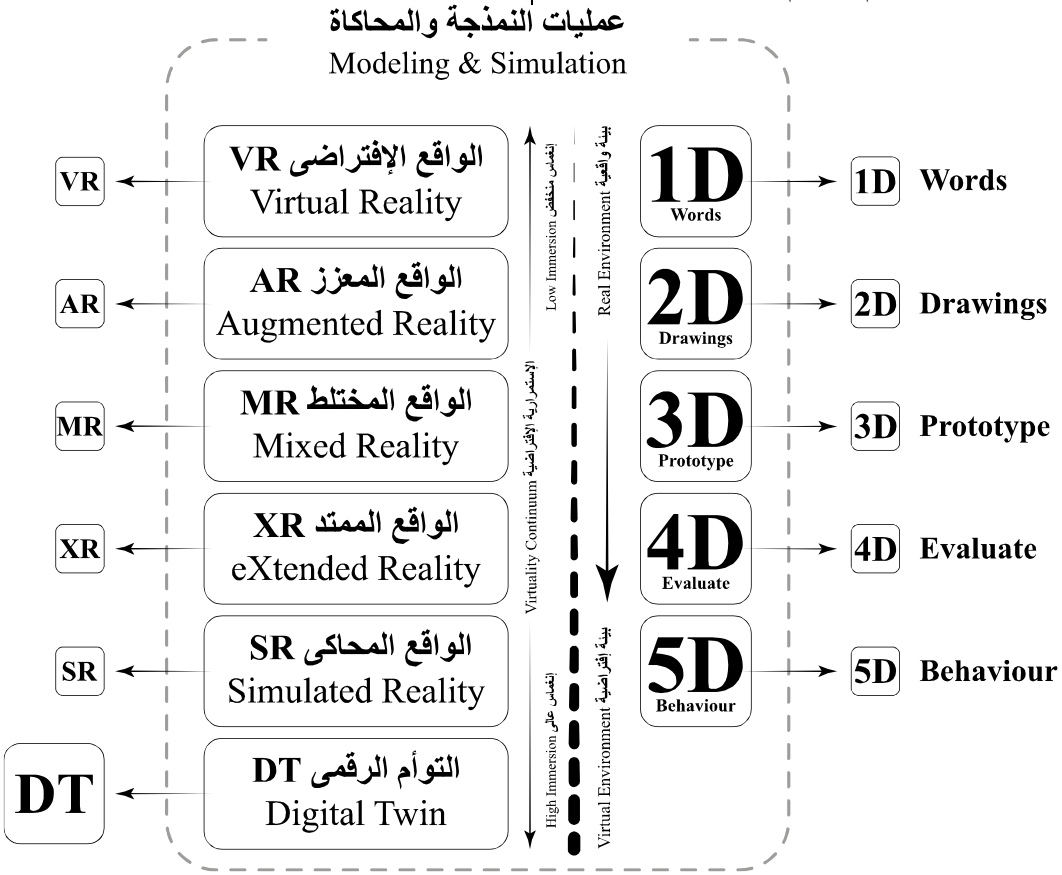
مع تواجد العديد من المنتجات التى يصعب وضعها فى نموذج إختبار تقليدى بسيط، وذلك لكثرة المتغيرات والقيود داخل تفاصيلها (Kong et al., 2021)، مثل الصناعات العملاقة كالسفن والطائرات وقواعد الصواريخ لإطلاق الأقمار الصناعية، وأيضاً إجراء الإختبارات التى قد لا يمكن أن تحدث إلا مرة واحدة مثل التجارب الصواريخ النووية والصيانات العملاقة لتفادى أى أخطاء كارثية، ظهرت تقنيات نمذجة متعددة فى السنوات الأخيرة، وتلعب دوراً أساسياً فى دعم نمذجة المنتجات الصناعية بصورة رقمية وبتفاصيل دقيقة تقارب الواقع (Bilberg & Malik, 2019)، وتعمل على تطوير مراحل عملية التصميم والتطوير والتصنيع بشكل كبير، وتشمل هذه التقنيات التحليلات المتقدمة للبيانات ونمذجة الأنظمة الفيزيائية التشغيلية وإنترنت الأشياء IoT والذكاء الإصطناعى AI وتعلم الآلة ML؛ فتكون تقنية التوأم الرقمى

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

Digital Twin أحدث تلك التقنيات المستخدمة فى عمليات النمذجة والمحاكاة (Singh et al., 2021; Zohdi, 2021).

والتوأم الرقمى DT هو تمثيل إفتراضى لنسخة رقمية ذات تفاصيل معقدة، يُسمح فيها بنمذجة أى كيان مادى منتج/نظام حقيقى، ويتم إنشاؤه عن طريق رقمنة جميه البيانات المجمعة من بيئة العمل المادية مشتملاً جميع عناصرها، وتحديثه فى الوقت الفعلى وتضمينه القوانين الفيزيائية، ولذلك يمكن إجراء تنبؤات مختلفة من خلال فهم سلوك جميع العناصر المادية والمنتجات والأنظمة داخل بيئة العمل التفاعلية (Liu et al., 2021)؛ فتتميز تقنية التوأم الرقمى بإنتاج العديد من الحلول الفعالة للكثير من المشاكل الفنية والتقنية وزيادة الكفاءة والجودة، ومِنْ ثَمَّ مناقشة التوقعات المستقبلية المُقترحة للمراقبة والتحسين (Kritzinger et al., 2018)، وسيوفر المستقبل الرقمى فرصاً عديدة أمام المصمم لمواجهة التحديات داخل عمليات التصميم والتطوير للمنتجات المختلفة (Durão et al., 2018)، حيث تثبت السيناريوهات الإفتراضية أن المنتجات أكثر إستدامة وأعلى تنافسية.

ويوضح شكل (6) التقنيات المستخدمة فى عمليات نمذجة ومحاكاة بيئة العمل داخل مراحل عملية تصميم المنتج/النظام، والإنتقال من البيئة الواقعية داخل العالم الحقيقى إلى البيئة الإفتراضية داخل عالم رقمى معقد، وكذلك الأبعاد الخمسة لنمذجة وتقييم المنتجات بداية من مناقشات وضع الأفكار وحتى بيان سلوكياتها من حيث إستعمالية المنتجات/الأنظمة، وكلما كانت التكنولوجيا تُمكن المصمم من التقارب إلى الواقع بشكل يبدو مطابقاً، كانت درجة إنغماس وتفاعل الشخص كبيرة داخل بيئة إفتراضية غامرة.

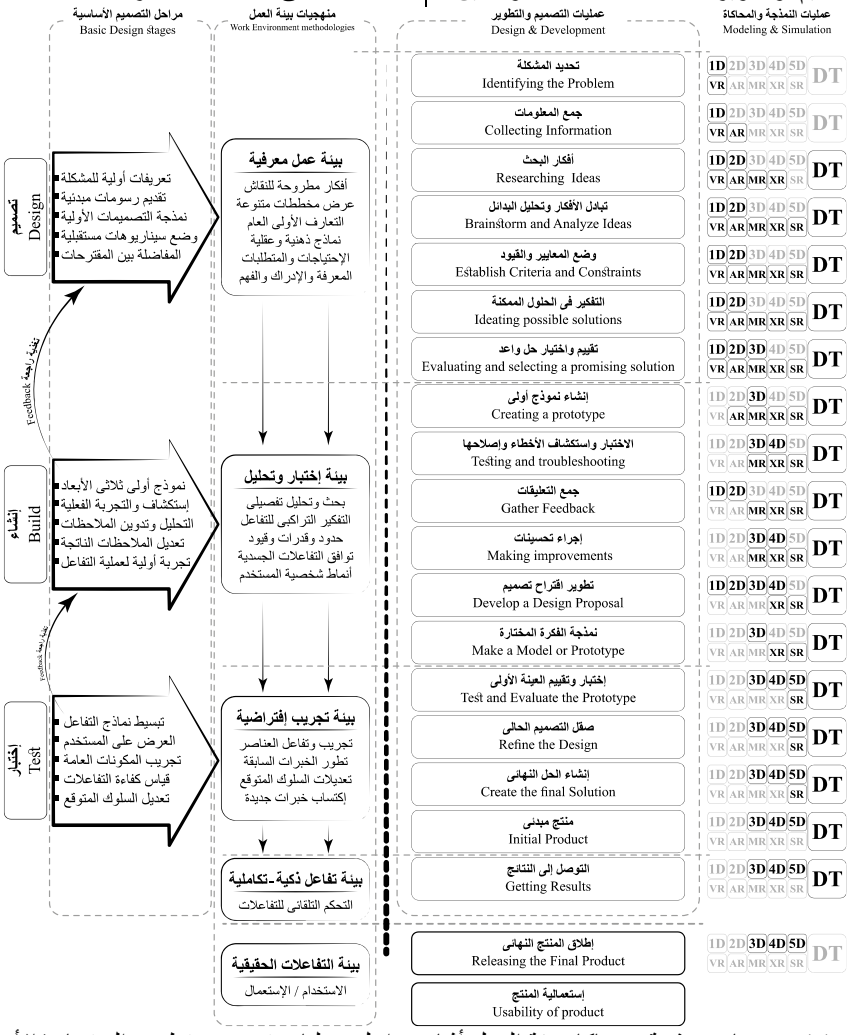


شكل (6) تدرج تقنيات نمذجة بيئات العمل التفاعلية من حيث درجة مطابقة بيئاتها الإفتراضية للواقع

عندما يتم دمج تلك التقنيات المستحدثة داخل مراحل عملية التصميم، هذا من شأنة تعزيز الكثير من العمليات والخطوات التمهيدية التى يحتاج فيها المصمم لرؤية مدى واقعية المنتج، ويمكن نمذجة المنتجات/الأنظمة حينها بما يتلاءم من التقنيات المقترحة مع خصائص خطوات العملية التصميمية (Roy et al., 2020; Židek et al., 2020)، بداية من بيئة العمل المعرفية والتى بها تحديد المشكلة وجمع المعلومات عنها ووضح مقترحات وأفكار للبحث، وكذلك العصف الذهنى وتبادل الأفكار بين أعضاء فريق العمل ووضع المعايير والقيود العامة والتفكير فى الحلول الممكنة لها وإختيار الحل المناسب لكل منها، وبعد ذلك بيئة إختبار وتحليل والمختصة بإنشاء نموذج أولى للإختبار وإكتشاف الأخطاء الواردة به وجمع التعليقات حول عملية إجراء تحسينات مبدئية وتطوير النموذج تبعاً للمقترح النهائى ونمذجة الفكرة المختارة بعد التطوير، يأتى بعدها بيئة تجريب إفتراضية وتختص بعمل إختبار وتقييم العينة الأولى والتوصل إلى القصور داخل المنتج/النظام وإجراء عملية صقل للتصميم ومنها إنشاء الحل النهائى والذى يتفادى جميع الأخطاء والمشاكل السابقة وينتج عن هذه المرحلة منتج مبدئى حقيقى، هنا تأتى بيئة تفاعل ذكية-تكاملية وبها مرحلة الحصول على النتائج العامة من جميع المراحل السابقة والمتضمنة سيناريو به سرد وافى لجميع ما حدث، وبعدها يأتى دور بيئة التفاعلات الحقيقية

وعملية إطلاق المنتج/النظام النهائى للسوق الاستخدامى وبيان مدى إستعماليتة الحقيقة.

ويوضح شكل (7) منهجيات نمذجة ومحاكاة بيئة العمل الإفتراضية أثناء مراحل عمليات تصميم وتطوير المنتجات/الأنظمة، وتمكين المصمم من الإستعانة بتقنية التوأم الرقمى على نمذجة أنواع مختلفة من بيئات العمل، وبيان مدى إمكانية استخدام أكثر من تقنية فى أى من مراحل عملية تصميم وتطوير المنتجات/الأنظمة، وكذلك الأبعاد المختلفة التى تُناسب تلك المراحل.



شكل (7) منهجيات نمذجة ومحاكاة بيئة العمل أثناء مراحل عمليات تصميم وتطوير المنتجات/الأنظمة

ولكل خطوة من خطوات سيناريو عملية تصميم وتطوير المنتجات/الأنظمة لها خصائص هامة، يجب على المصمم أن يعرف كيفية استخدامها والغرض الحقيقى منها، وتنفيذها فى المرحلة الخاصة بها لتحقيق أقصى قدر من الكفاءة داخل تصميم المنتج/النظام المطلوب، ويوضح جدول [2] توصيف عام لمراحل وخطوات سيناريو عملية تصميم وتطوير المنتجات/الأنظمة، والتى يمكن أن يستعين بها المصمم للتوصل إلى منتج/نظام ذات كفاءة استخدامية عالية.

جدول [2] توصيف خصائص خطوات ومراحل سيناريو عملية تصميم وتطوير المنتجات/ الأنظمة

منهجيات بيئة العمل	مرحلة التصميم والتطوير	خصائص المرحلة
بيئة عمل معرفية	تحديد المشكلة	ما هى المشكلة؟ من هى الفئة المستهدفة من تصميم المنتج/النظام؟، ما هى القيود والمتطلبات العامة الواجب توافرها؟
	جمع المعلومات	جمع البيانات الممكنة حول المنتجات المشابهة والمنافسة، وكذلك المعلومات حول المشكلة القائمة وإقتراحات المستخدمين لها
	أفكار البحث	وضع رسومات لأفكار مبدئية حول إمكانية حل المشكلة مؤقتاً، وما إذا كانت تحتاج إلى حلول جديدة ومبتكرة أو تعديلات جوهرية
	تبادل الأفكار وتحليل البدائل	عمل جلسات للعصف الذهنى يتشارك فيها جميع أفراد فريق العمل، وتبادل الأفكار فيما بينهم وبناء قائمة بأكبر عدد ممكن من الحلول، والبحث عن إمكانية دمجها للحصول على أفكار مُحسَّنة
	وضع المعايير والقيود	إستكشاف العوامل التى قد تقيد أو تعيق تنفيذ التصميم أو التطوير المقترح، ويمكن القيام بذلك عن طريق إعادة النظر فى المتطلبات الخاصة بالمنتج، وجمع النتائج والأفكار من الخطوات السابقة
	التفكير فى الحلول الممكنة	من الأفضل تجنب الحكم المبكر على التصميمات وبدلاً من ذلك دع الأفكار تتدفق، وإدراج الحلول المحتملة والممكنة وتحديد إحتياجات المشروع الاساسية، والتفكير فى

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

منهجيات بيئة العمل	مرحلة التصميم والتطوير	خصائص المرحلة
		حلول أخرى لمقارنة النتائج المحتملة والعثور على أفضل نهج، وسيتضمن ذلك تكرار بعض الخطوات السابقة لكل فكرة قد تبدو منطقية وقابلة للتطبيق
	تقييم واختيار حل واعد	استخدم خبرات الآخرين لإستكشاف الإحتمالات، ومن خلال البحث فى المشاريع السابقة يمكنك تجنب المشاكل التى يواجهها الآخرون، ويجب التحدث إلى أشخاص من خلفيات مختلفة، بما فى ذلك المستخدمين، قد تجد بعض الحلول التى لم تفكر فيها من قبل
بيئة إختبار وتحليل	إنشاء نموذج أولى	يتم إنشاء نموذج إفتراضى ثلاثى الأبعاد للمنتج/النظام داخل بيئة العمل، وذلك توضيح الشكل العام وكذلك المكونات الداخلية وطريقة العمل الصحيحة، والعمل على قراءة تفاعل المنتج بشكل صحيح
	الإختبار وإستكشاف الأخطاء وإصلاحها	إجراء إختبارات إفتراضية داخل بيئة رقمية من حيث الاستخدام وإتمام إجراءات التفاعل بطريقة رقمية، ويقوم المصمم بتدوين جميع الملاحظات للأخطاء المُكتشفة حديثاً، والعمل على وضع الحلول
	جمع التعليقات	مشاركة جميع أعضاء فريق العمل فى إتمام إجراء الإختبارات داخل بيئة إفتراضية، والعمل على تصميم سيناريو التفاعل بين المستخدم وجميع عناصر بيئة العمل، من أجل إيجاد نقاط الضعف والقوة
	إجراء تحسينات	بمجرد القيام بتقييم خيارات فريق العمل المختلفة، يمكن للمصمم تحديد النهج الأفضل الذى يلبى متطلبات وتطلعات المستخدم، مع أخذ توقعات المستخدم المستقبلية للتصميم بعين الإعتبار
	تطوير إقتراح تصميم	بعد إختيار النهج الخاص والمناسب للمستخدم، فإن الخطوة التالية هى إجراء تطوير شامل لإنشاء إقتراح تصميمى جديد يشمل إجراءات التحسينات، يمكن أن تستمر هذه المرحلة طوال مدة عملية التصميم بجميع مراحلها، وحتى بعد تسليم المنتج النهائى للمستخدم
	نمذجة الفكرة المختارة	استخدم إقتراح التصميم الخاص بك لعمل نموذج للفكرة المختارة، يسمح للمصمم بإختبار كيفية أداء المنتج النهائى رقمياً، والتحضير للمرحلة التالية عن طريق عرض سيناريو التفاعل على المستخدم الحقيقى، والعمل على إمداده بجميع المعلومات التى يحتاجها
بيئة تجريب إفتراضية	إختبار وتقييم العينة الأولى	سيحتاج كل نموذج أولى إلى الإختبار وإعادة التقييم والتحسين، يسمح لك الإختبار والتقييم بمعرفة المواضع التي تحتاج فيها إلى أى تحسينات، وغالباً ما تُصنع النماذج الأولية من مواد مختلفة عن الإصدار النهائى ويتم الإنتهاء منها وفقاً لمعيار فنية أقل
	صقل التصميم الحالى	بمجرد إكتمال الإختبار، والعمل على التعديل وفق جميع ملاحظات ومشاهدات المراحل السابقة، يمكن مراجعة التصميم والعمل على توفير أقصى درجة مثالية يمكن أن يكون عليها المنتج، مع إمكانية تكرار هذه الخطوة عدة مرات، حيث يتم إنشاء وتقييم المزيد من النماذج الأولية الإفتراضية أو الفيزيائية
	إنشاء الحل النهائى	بعد إكتمال عملية صقل التصميم، والتأكد من صلاحية جميع المكونات وإختبارها بالكامل، يمكن للمصمم إتخاذ القرار النهائى بشأن عملية إنتاج التصميم كعينة أولى مادية، قد يأخذ هذا شكل نموذج أولى ليوضح للمستخدمين عملية التفاعل المباشر داخل بيئة العمل الحقيقية، على أساس خلفية المستخدم داخل الإطار الإفتراضى
	منتج مبدئى	يتم فى هذه المرحلة إنتاج فعلى للمنتج وليس بشكل كمى، وإنما عينات مطابقة للإختبار الميدانى على نطاق ضيق من المستخدمين الخبراء، وكذلك يكون لهم وضع الملاحظات النهائية لعملية التفاعل
بيئة تفاعل ذكية- تكاملية	التوصل إلى النتائج	المرحلة النهائية لجميع الخطوات السابقة هى توصل المصمم إلى النتائج، ويمكن أن يكون هذا فى شكل تقرير أو عرض تقديمى أو لوحة عرض أو مجموعة من الأساليب كأسلوب السيناريو، ويسمح التوثيق الشامل بتصنيع المنتج النهائى وفقاً لمعايير الجودة المطلوبة
بيئة التفاعلات الحقيقية	إطلاق المنتج النهائى	عملية الإنتاج للمنتج/النظام النهائى بشكل كمى، وطرحه فى السوق لدخوله المنافسة مع نظيره من المنتجات المماثلة والتى يمكنها تأدية الوظيفة، ومقارنة المستخدمين بين كفاءة كل منهم
	إستعمالية المنتج	يتمكن المصمم فى هذه المرحلة عمل إستبيانات عن مدى تطابق المنتج لتوقعات المستخدمين، وكذلك مفهوم الإستعمالية

وخلال الخطوات المتبعة فى سيناريو عملية تصميم وتطوير المنتجات/ الأنظمة داخل بيئات إفتراضية عن طريق تقنيات النمذجة المستحدثة يوجد عدة محددات هامة، وتساعد على مرونة التفاعل بكفاءة عالية وضمان ديناميكية التفاعلات بين العنصر البشرى وباقى عناصر بيئة العمل الإفتراضية، وهى كالتالى:

- **قابلية التعرف على ترتيب الأشياء وتحديدها بدقة:**

وضوح عناصر التفاعل المصممة داخل بيئة العمل، للتسهيل على المستخدم التعرف عليها دون إكتساب خبرات جديدة، وتجنب أى عناصر قد تبدو غريبة على خبرات المستخدم السابقة.

- **تنظيم البيئة التفاعلية لتحقيق أقصى قدر من الكفاءة**

تأصيل أماكن العناصر والمجسمات كما هو فى البيئات المادية، واستخدام المصمم المساحة العامة كأداة تنظيمية، وذلك لإنشاء بيئة

تفاعل تطبق عوامل الإرجونوميكس وتقلل القدر اللآزم لإدراك الأشياء.

- **إنشاء تفاعلات ديناميكية وبيئات مرنة:**

تزويد المستخدم بالقدرة على تغيير أماكن المجسمات وإعادة ترتيبها وفق خبرته الحالية وتفضيلاته الشخصية، وتلبى رغباته وتكون وفق توقعاته السابقة، مع مراعاة مستويات إختلاف خبرات المستخدمين.

- **إعطاء الأولوية وترتيبها لراحة المستخدم:**

يجب الحفاظ على شعور المستخدم بعامل الأمان داخل بيئة العمل، من خلال إتخاذ كافة الإحتياطات للتأكيد على الراحة الجسدية والفسيولوجية والبيئية، طوال فترة التفاعل مع العناصر العامة للتجربة.

- **الحفاظ على البساطة لتجنب إرباك المستخدم:**

تقليل عدد العناصر الجديدة كلياً، والغير متوافقه مع خبرات المستخدم السابقة، وإنشاء عناصر بسيطة وذات صلة مباشرة بالمستخدم، ولا يقوم المصمم بتشتيت إنتباه المستخدم وتوزيعة على عناصر عديدة.

- **مراعاة الحدود والقيود العامة للعناصر:**

تعتمد طريقة تفاعل المستخدم مع تجارب التفاعل بالدرجة الأولى على خبراتهم السابقة، وكيفية إستكشاف البيئة التفاعلية بوجه عام فى البداية، مع مراعاة المصمم لإمكانيات الأجهزة والمعدات المستخدمة.

- **تصميم وسائل بيان مساعدة للمستخدم:**

إنشاء المصمم إشارات وعلامات لتسهيل عملية التفاعل فى البداية، وتوفير كذلك معلومات إضافية عن ام هو قادم، وتصميم علامات بسيطة وذات إختيارات قليلة لتجنب إرباك المستخدم بكم كبير من المعلومات.

- **تصميم تجربة تفاعلية تتسم بالواقعية:**

تتيح دائما تقنيات النمذجة الإفتراضية إنغماس عالى للمستخدم، وإتسامها بالواقعية يعمل على تعزيز حواسهم من خلال العناصر المرئية المتعارف عليها والأصوات المألوفة، وتنامى الإحساس بالتواجد الفعلى.

- **إنشاء تجارب تفاعل بناءاً على المعرفة الواقعية:**

مساعدة المصمم على معرفة وفهم طبيعة التجربة، وما قد يقدمة أى من عناصر التفاعل، عن طريق واقعية الشكل العام للتجربة ووظيفة كل عنصر، ومن خلال تصميم تفاعلات لمجسمات موجودة فى العالم الحقيقى.

- **تقديم الملاحظات الواقعية للتفاعل:**

استخدام المصمم لعملية التغذية الراجعة لفهم أعمق للتفاعلات، بالإضافة إلى تنمية خبرات المستخدم من خلال توضيح لما يمكن فعله أو لا يمكن فعله من الأحداث والتصورات داخل بيئة العمل الإفتراضية.

- **شعور المستخدم بالتحكم فى التجربة:**

يجب أن تكون تجربة التفاعل الإفتراضية ذات مرونة عالية، وتستجيب بطريقة ديناميكية تسمح للمستخدم بالشعور على أنه المتحكم، ويمكنه فعل العديد من التفاعلات داخل بيئة العمل الإفتراضية.

- **السماح للمستخدم بالتجربة والخطأ:**

يسمح المصمم بأن تكون الإجراءات العامة لتجربة التفاعل قابلة لإعادة الإجراء الواحد مرات كثيرة، وتكون بلا عواقب كارثية مهما تصرف المستخدم، ويساعد ذلك على تخفيف قلق المستخدم حول التفاعلات، وتعزيز إستكشاف تجربة التفاعل بمتعة بالغة.

دائماً ما يغذى التحول الرقمى العالمى المستمر الابتكار فى جميع الصناعات، وأحد هذه الابتكارات التوأم الرقمى DT والذى يعد – كونه النسخة المتماثلة الرقمية المأخوذة عن بيئة حقيقية بما فى ذلك تطبيق خصائصها الفيزيائية والوظيفية – مدخلاً كبيراً إلى لعديد من الحلول للكثير من المشكلات التى تواجة المتخصصين فى كافة المجالات؛ فكلما زادت التكلفة المادية للمنتجات العملاقة أو الحجم العام للمشروعات الضخمة، وكذلك كبر عمليات الصيانة الدورية أو صعوبتها، زادت الحاجة إلى التأكد من كل خطوة من مراحل عملية التصميم والتطوير وحتى التصنيع، وكان على المصمم اللجوء إلى عمليات النمذجة المستحدثة، والمتمثلة فى تقنية التوأم الرقمى التى تبدأ على الفور فى إبلاغ المصمم بجميع المعوقات التى قد يواجهها مستقبلاً، وذلك بإجراء العديد من الإختبارات والحصوص على النتائج الواقعية، وتأكيداً على الدور الهام التى تقوم به تلك الانواع من تقنيات النمذجة المستقبلية فى إجراءات القياس والتحقق من جميع جوانب عملية التصميم، لجعل تصميم المنتج عملية أقرب إلى المثالية.

5- نتائج البحث: Results

- يقدم البحث إطاراً منهجياً قائماً على نمذجة التوأم الرقمى، ويهدف إلى تقييم الأداء العام لبيئة العمل أثناء عمليات التصميم والتطوير، من خلال نمذجة سيناريوهات إفتراضية ثلاثية الأبعاد وإجراء فحص دقيق عليها، وبهذه الطريقة يمكن تقييم كافة المؤشرات التى تدل على المخاطر التى قد تحدث وتقديم الحلول المقترحة لها.
- يمكن من خلال التوأم الرقمى إجراء دراسة أى حالة بها تكلفة إنتاج باهظة، وتحليل المهام بداخل مراحل العمليات المختلفة، وإستنتاج مدى فاعلية الإطار العام المقترح بواسطة نمذجة دورة العمل كاملة؛ فيمكن تقييم المخاطر مبكراً التى تتعلق بأوضاع العمل، والقوى المبذولة، المناولات اليدوية، والإجراءات المتكررة، ومصادر الحمل الميكانيكى الزائد.
- تحدد المحاكاة الأولية للتوأم الرقمى المشكلات المتعلقة لمصادر الخطر المتوقع، والتى كانت تتم عن طريق المراقبة قديماً، وتستغرق وقتاً طويلاً قد يصل إلى عدة ساعات، ومِنْ ثَمَّ إجراء تعديلات داخل السيناريو المقترح، وإجراء محاكاة أخرى قائمة على إختبار الحلول، ومنها ظهور إنخفاضاً كبيراً فى مؤشر المخاطر بوجه عام داخل عمليات الإنتاج.
- يسمح إطار العمل المقترح من خلال نمذجة التوأم الرقمى بتقييم بيئة العمل بطريقة أسرع وأكثر دقة، ومنها تقليل أوقات التقييم بشكل ملحوظ، بالإضافة إلى إمكانية تكرار التقييم عدد لا نهائى من المرات، للوصول إلى الحل الأقرب والأمثل، وكذلك تنفيذ البيانات التجريبية النهائية على عمليات التصنيع والاستخدام الفعلى للحصول على نتائج مبهرة.
- الإجراءات المتبعة داخل نمذجة التوأم الرقمى تقدم تحسينات على تقنيات الفحص خلال عمليات القياس والتحقق الفعلى، عن طريق توفير تحليلات منطقية فى الوقت الفعلى لعملية التفاعل، ومِنْ ثَمَّ تحقيق حلول مبتكرة فى بيئة العمل وإجراء تغييرات فى التخطيط العام عن طريق المحاكاة قبل البدء فى عمليات التنفيذ الفعلى.
- تتيح تقنية التوأم الرقمى خاصية الإتصال المباشر بين عناصر التفاعل داخل بيئات العمل، لاستخدامها محاكاة خاصة بها تراعى القوانين الفيزيائية، لضمان عوامل أكثر إنضباطاً داخل بيئة التفاعل، وإغراق المستخدمين بشكل أكثر واقعية من التقنيات السابقة، مما يجعل تقييمات السلامة أكثر وضوحاً، وأقرب إلى الواقع الفعلى داخل بيئة التفاعل الحقيقة.

6- توصيات البحث Recommendation:

- ضرورة توجه مؤسسات البحث العلمى المتخصصة فى علوم الإرجونوميكس إلى دراسة النمذجة الإفتراضية، والبحث عن تمويلات بهدف إعداد معامل متخصصة لنمذجة التوأم الرقمى، وذلك لتعليم الطلاب أهمية النمذجة الرقمية والإفتراضية داخل عمليات تصميم وتطوير المنتجات المصممة خصيصاً للاستخدام البشرى.

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

- تبنى المؤسسات الصناعية المحلية فكرة النمذجة الإفتراضية للمنتجات الصناعية، وبيان مدى أهمية إرتكاز عملية تصميم وتطوير المنتج على النمذجة الإفتراضية، وإتمام عمليات القياس والتحقق أثناء جميع خطوات عملية التصميم وقبل إتمام عملية التصنيع بشكل كامل، وذلك لبيان مدى ملاءمة المنتج لتحقيق الهدف المرجو منه.

7- الخلاصة: Conclusion

فى الآونة الأخيرة، ومع التطور التكنولوجى المتسارع فى عصرنا الحالى، أصبحت النمذجة الرقمية بوجه عام أحد أكثر الأساليب الواعدة لتحسين مراحل عملية التصميم والإنتاج والتطوير على المنتجات، وكذلك إعداد السيناريوهات المتعلقة ببيئة العمل التفاعلية مشتملاً جميع عناصرها، ومن بين الجوانب المهمة هو الإختبارات التى يمكن للمصمم إجرائها والحصول على النتائج فى أسرع وقت بأقل تكلفة ودون التعرض إلى المخاطر، خاصة عندما يتعلق الأمر بعمليات تصميم وتصنيع كبيرة ومعقدة مثل صناعات السيارات والطائرات وغيرها، يمكن أن تقدم نمذجة التوأم الرقمى حلول مقترحة كثيرة يستند لها المصمم، ويقوم بتجنب النتائج السلبية فى مراحل مبكرة من عمليات التصميم إستناداً إلى نهج الهندسة المتزامنة Based on a concurrent engineering؛ فإن الهدف الرئيسى من هذا البحث هو تقديم إطار يستخدم التوأم الرقمى فى محاكاة مراحل عمليات التصميم والتصنيع وكذلك الاستخدام، والتحقق أيضاً من فاعليتها لتقليل الوقت اللآزم لإكتشاف وتعديل الأخطاء التى قد تحدث مستقبلاً، ومنها إمكانية تحقيق تصميم مثالى يقوم بتصحيح أخطاء التصميم أثناء مراحل عملية التصميم الأولى وليس مراحل الإنتاج؛ فيقدم التوأم الرقمى مؤشراً لتقييم نتائج تجريبية كثيرة يمكن الحصول عليها دون تكلفة الإنتاج الكبيرة، والتحقق الدائم من صحة جميع الإجراءات المتبعة فى كل خطوة يتخذها المصمم.

8- المراجع: References

1- Adamenko, D., Kunnen, S., & Nagarajah, A. (2020). Digital Twin and product lifecycle management: What is the difference? Product Lifecycle Management Enabling Smart X, 150–162. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62807-9_13

2- Adamenko, D., Kunnen, S., Pluhnau, R., Loibl, A., & Nagarajah, A. (2020). Review and comparison of the methods of designing the digital twin. *Procedia CIRP*, *91*, 27–32. https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.146

3- Ahmed, ElSamany AbdElmoteleb, Dawood, Mina Eshaq Tawfilis, & Ebrahim, Omar Mohamed Ahmed. (2022). Ergonomics For Upgrading User Experience and Improve Usability. *Alqulzum Scientific Journal*, *13*. Article 5. 93-110.

4- Albert, J. A., Owolabi, V., Gebel, A., Brahms, C. M., Granacher, U., & Arnrich, B. (2020). Evaluation of the pose tracking performance of the Azure Kinect and Kinect v2 for Gait Analysis in comparison with a gold standard: A pilot study. *Sensors*, *20*(18), 5104. https://doi.org/10.3390/s20185104

5- Amer, Ayman Mouhamed Afifi, & Dawood, Mina Eshaq Tawfilis. (2020). Robot Ergonomics: A cognitive scenario of the new Behavioral Objects. *International Design Journal, 10* (3). Article 26. 319-331. DOI: 10.21608/idj.2020.96353.

6- Augustine, P. (2020). The industry use cases for the Digital Twin Idea. *Advances in Computers*, *117*(1), 79–105. https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.10.008

7- Baek, S.-Y., & Lee, K. (2012). Parametric human body shape modeling framework for human-centered product design. *Computer-Aided Design*, *44*(1), 56–67. https://doi.org/10.1016/j.cad.2010.12.006

8- Barras, C. (2022). Ancient smells reveal secrets of Egyptian tomb. *Nature*, *604*(7906), 414–414. https://doi.org/10.1038/d41586-022-00903-z

9- Barricelli, B. R., Casiraghi, E., & Fogli, D. (2019). A survey on Digital Twin: Definitions, characteristics, applications, and design implications. *IEEE Access*, *7*, 167653–167671. https://doi.org/10.1109/access.2019.2953499

10- Becker, B. J. (2008). *Conversation with the Sidereal Messenger Recently Sent to Mankind by Galileo Galilei, Mathematician of Padua (1610) by Johannes Kepler (1571-1630)*. Week 4 readings. Retrieved August 17, 2022, from http://faculty.humanities.uci.edu/bjbecker/exploringthecosmos/week4e.html

11- BENTLEY . (2022). *Digital Twin Services for Infrastructure: Bentley Systems*. Digital Twin Services for Infrastructure | Bentley Systems. Retrieved August 20, 2022, from https://www.bentley.com/en/products/product-line/digital-twins

12- Berni, A., & Borgianni, Y. (2020). Applications of virtual reality in engineering and product design: Why, what, how, when and where. *Electronics*, *9*(7), 1064. https://doi.org/10.3390/electronics9071064

13- Bier, B., & Houdin, J.-P. (2009). *The secret of the great pyramid: How one man's obsession led to the solution of Ancient Egypt's Greatest Mystery*. Smithsonian.

14- Bilberg, A., & Malik, A. A. (2019). Digital Twin Driven Human–Robot Collaborative Assembly. *CIRP Annals*, *68*(1), 499–502. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.011

15- Brylina, O. G., Kuzmina, N. N., & Osintsev, K. V. (2020). Modeling as the foundation of Digital Twins. *2020 Global Smart Industry Conference (GloSIC)*. https://doi.org/10.1109/glosic50886.2020.9267812

16- Centomo, S., Dall'Ora, N., & Fummi, F. (2020). The design of a digital-twin for predictive maintenance. *2020 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*. https://doi.org/10.1109/etfa46521.2020.9212071

17- Chandrasegaran, S. K., Ramani, K., Sriram, R. D., Horváth, I., Bernard, A., Harik, R. F., & Gao, W. (2013). The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. *Computer-Aided Design*, *45*(2), 204–228. https://doi.org/10.1016/j.cad.2012.08.006

18- Chang, K. H. (2014). *Product design modeling using CAD/CAE: the computer aided engineering design series*. Academic Press.

19- Cornish, P. (2022, June 17). *Read: Science fiction in the age of witchcraft*. We The Curious. Retrieved August 17, 2022, from https://www.wethecurious.org/curious-stuff/stargazing-night-sky/science-fiction-witchcraft

20- Dawood, Mina Eshaq Tawfilis. (2017). *4D Ergonomics Modeling in the Interaction Design field*.

34- Glaessgen, E., & Stargel, D. (2012). The Digital Twin Paradigm for future NASA and U.S. Air Force Vehicles. *53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference≪BR≫20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference≪BR≫14th AIAA*. https://doi.org/10.2514/6.2012-1818

35- Global, E. Y. (2019, December 4). *How a digital twin can model product life cycle management complexity*. EY. Retrieved August 20, 2022, from https://www.ey.com/en_gl/consulting/how-a-digital-twin-can-model-product-life-cycle-management-complexity

36- Guo, J., Zhao, N., Sun, L., & Zhang, S. (2018). Modular based flexible digital twin for factory design. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, *10*(3), 1189–1200. https://doi.org/10.1007/s12652-018-0953-6

37- Hague, S. (2021, March 31). *Interview with Jean-Pierre Houdin*. Sharon Janet Hague, Author. Retrieved August 18, 2022, from https://sharonjanethague.com/interview-with-jean-pierre-houdin/

38- Havard, V., Jeanne, B., Lacomblez, M., & Baudry, D. (2019). Digital Twin and virtual reality: A co-simulation environment for design and assessment of Industrial Workstations. *Production & Manufacturing Research*, *7*(1), 472–489. https://doi.org/10.1080/21693277.2019.1660283

39- History.com Editors. (2009, October 14). *Egyptian pyramids*. History.com. Retrieved August 18, 2022, from https://www.history.com/topics/ancient-history/the-egyptian-pyramids

40- Howell, E. (2022, July 28). *Russia wants to build its own space station, as early as 2028*. Space.com. Retrieved August 17, 2022, from https://www.space.com/russian-space-station-ross-2028-timeline

41- Jones, A. (2022, August 13). *See the huge solar wings of China's Space Station in motion above Earth (video)*. Space.com. Retrieved August 17, 2022, from https://www.space.com/china-tiangong-space-station-solar-array-video

42- Jones, D. (2021). Artificial Cognitive Systems: The next generation of the Digital Twin. an opinion. *Digital Twin*, *1*, 3. https://doi.org/10.12688/digitaltwin.17440.1

43- Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., & Hicks, B. (2020). Characterising the Digital Twin: A Systematic Literature Review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, *29*, 36–52. https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.02.002

44- Kent, L., Snider, C., Gopsill, J., & Hicks, B. (2021). Mixed reality in Design Prototyping: A systematic review. *Design Studies*, *77*, 101046. https://doi.org/10.1016/j.destud.2021.101046

45- Kharvari, F., & Kaiser, L. E. (2022). Impact of extended reality on architectural education and the design process. *Automation in Construction*, *141*, 104393. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104393

46- Kim, H., Park, J. H., Hwang, H., & Lee, C.-M. (2007). Evaluation of Navy shipboard habitability for Unpublished Master Thesis. Arab Republic of Egypt: Faculty of Applied Arts, Helwan University.

21- Dawood, Mina Eshaq Tawfilis. (2021a). *The Impact of Interaction Design in Innovating a Scenario of Robot Ergonomics*. Unpublished Ph.D. Thesis. Arab Republic of Egypt: Faculty of Applied Arts, Damietta University.

22- Dawood, Mina Eshaq Tawfilis. (2021b). Robot Ergonomics: Giving the Behavioral Objects a dynamic presence. *International Design Journal, 11*(5). Article 23. 293-304. DOI: 10.21608/idj.2021.191705.

23- Demirel, H. O., & Duffy, V. G. (2007). Applications of digital human modeling in industry. *Digital Human Modeling*, 824–832. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73321-8_93

24- Dimenco, e. (2022). *Simulated reality*. Dimenco. Retrieved July 5, 2022, from https://www.dimenco.eu/simulated-reality

25- Durão, L. F., Haag, S., Anderl, R., Schützer, K., & Zancul, E. (2018). Digital twin requirements in the context of industry 4.0. *Product Lifecycle Management to Support Industry 4.0*, 204–214. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01614-2_19

26- Farkas, I. (2019, January 17). *10 amazing secrets recently revealed at Historical Landmarks*. Listverse. Retrieved August 18, 2022, from https://listverse.com/2019/01/02/10-amazing-secrets-recently-revealed-at-historical-landmarks/

27- 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

28- Ferguson, S., Bennett, E., & Ivashchenko, A. (2017). Digital twin tackles design challenges. *World Pumps*, *2017*(4), 26–28. https://doi.org/10.1016/s0262-1762(17)30139-6

29- Fjeld, M. (2003). Introduction: Augmented reality-usability and collaborative aspects. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *16*(3), 387–393. https://doi.org/10.1207/s15327590ijhc1603_1

30- Freist, R. (2018, October 2). *Digital Twin: Boeing aims to virtualize the development of aircraft*. https://www.hannovermesse.de. Retrieved August 2, 2022, from https://www.hannovermesse.de/en/news/news-articles/boeing-aims-to-virtualize-the-development-of-aircraft

31- Gehrmann, C., & Gunnarsson, M. (2020). A digital twin based industrial automation and Control System Security Architecture. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *16*(1), 669–680. https://doi.org/10.1109/tii.2019.2938885

32- Geiger, C., Oppermann, L., & Reimann, C. (2003). 3D-registered interaction-surfaces in augmented reality space. *2003 IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop*. https://doi.org/10.1109/art.2003.1320417

33- Gilles, W. (1991). *Form organization: new design procedures for numerical control*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

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

59- Mars, K. (2016, August 17). *Gateway*. NASA. Retrieved August 17, 2022, from https://www.nasa.gov/gateway/overview

60- Maurya, S., Mougenot, C., & Takeda, Y. (2020). Impact of mixed reality implementation on early-stage interactive product design process. *Journal of Engineering Design*, *32*(1), 1–27. https://doi.org/10.1080/09544828.2020.1851662

61- McDonald, D. K. (2017). *The gold mask of tutankhamun*. The Global Egyptian Museum | The Gold Mask of Tutankhamun. Retrieved August 18, 2022, from http://www.globalegyptianmuseum.org/detail.aspx?id=15062

62- MRICS, C. C. (2020). *How to make a digital twin: The options, types and outputs*. Vercator Info. Retrieved August 1, 2022, from https://info.vercator.com/blog/how-to-make-a-digital-twin-the-options-types-and-outputs

63- NASA. (2022). *Webb Space Telescope GSFC/NASA*. NASA. Retrieved August 17, 2022, from https://webb.nasa.gov/

64- Nokia. (2020). *How Digital Twins are driving the future of Engineering*. Nokia. Retrieved August 20, 2022, from https://www.nokia.com/networks/insights/technology/how-digital-twins-driving-future-of-engineering/

65- NOVA. (2019, February 7). *Decoding the Great Pyramid: New archeological evidence sheds light on the stunning engineering of the Great Pyramid of Giza*. PBS. Retrieved August 18, 2022, from https://www.pbs.org/wgbh/nova/video/decoding-the-great-pyramid/

66- Ong, S. K., & Shen, Y. (2009). A mixed reality environment for Collaborative Product Design and Development. *CIRP Annals*, *58*(1), 139–142. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2009.03.020

67- Otto, K. N. (2003). Product design: techniques in reverse engineering and new product development. 清华大学出版社有限公司.

68- Pahng, F., Senin, N., & Wallace, D. (1997). Modeling and evaluation of Product Design Problems in a distributed design environment. *Volume 4: Design for Manufacturing Conference*. https://doi.org/10.1115/detc97/dfm-4356

69- Pahng, F., Senin, N., & Wallace, D. (1998). Distribution modeling and evaluation of product design problems. *Computer-Aided Design*, *30*(6), 411–423. https://doi.org/10.1016/s0010-4485(98)00005-0

70- Palla, K. (2022, August 5). *Council post: The rise of Digital Twin Technology*. Forbes. Retrieved August 20, 2022, from https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2022/08/03/the-rise-of-digital-twin-technology/?sh=98ecff82f97d

71- Pang, T. Y., Pelaez Restrepo, J. D., Cheng, C.-T., Yasin, A., Lim, H., & Miletic, M. (2021). Developing a digital twin and digital thread framework for an 'industry 4.0' shipyard. *Applied Sciences*, *11*(3), 1097. https://doi.org/10.3390/app11031097

a warship design using human model. *Digital Human Modeling*, 884–893. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73321-8_100

47- Kong, T., Hu, T., Zhou, T., & Ye, Y. (2021). Data Construction Method for the applications of Workshop Digital Twin System. *Journal of Manufacturing Systems*, *58*, 323–328. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.02.003

48- Korovin, G. (2021). Modeling the digital transformation of the region's industry. *Lecture Notes in Information Systems and Organisation*, 49–55. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73261-5_5

49- Kraatz, J., Sanchez, A., & Hampson, K. (2014). Digital Modeling, Integrated Project Delivery and Industry Transformation: An australian case study. *Buildings*, *4*(3), 453–466. https://doi.org/10.3390/buildings4030453

50- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital Twin In Manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, *51*(11), 1016–1022. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474

51- La Nasa, J., Degano, I., Modugno, F., Guerrini, C., Facchetti, F., Turina, V., Carretta, A., Greco, C., Ferraris, E., Colombini, M. P., & Ribechini, E. (2022). Archaeology of the invisible: The scent of kha and merit. *Journal of Archaeological Science*, *141*, 105577. https://doi.org/10.1016/j.jas.2022.105577

52- Lee, S., Chen, T., Kim, J., Kim, G. J., Han, S., & Pan, Z. geng. (2004). Affective property evaluation of virtual product designs. *IEEE Virtual Reality 2004*, 207–292. https://doi.org/10.1109/vr.2004.1310076

53- Lian, L., & Yan, Y. (2022). Digital Visual Sensing Design Teaching Using Digital Twins. *Advances in Civil Engineering*, *2022*, 1–11. https://doi.org/10.1155/2022/9311246

54- Liu, M., Fang, S., Dong, H., & Xu, C. (2021). Review of digital twin about concepts, technologies, and Industrial Applications. *Journal of Manufacturing Systems*, *58*, 346–361. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.017

55- Liu, Q., Leng, J., Yan, D., Zhang, D., Wei, L., Yu, A., Zhao, R., Zhang, H., & Chen, X. (2021). Digital twin-based designing of the configuration, motion, control, and optimization model of a flow-type smart manufacturing system. *Journal of Manufacturing Systems*, *58*, 52–64. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.04.012

56- Lo, C. K., Chen, C. H., & Zhong, R. Y. (2021). A review of digital twin in product design and development. *Advanced Engineering Informatics*, *48*, 101297. https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101297

57- Mark. (2022, February 23). *Digital Twins and the power of Predictive Maintenance: Zuken En*. Zuken English. Retrieved August 20, 2022, from https://www.zuken.com/en/blog/digital-twins-and-the-power-of-predictive-maintenance/

58- Markings, S. (2019, March 2). *How much did the pyramids weigh?* Sciencing. Retrieved August 18, 2022, from https://sciencing.com/much-did-pyramids-weigh-7499289.html

and Development. *Design Studies*, *31*(2), 118–145. https://doi.org/10.1016/j.destud.2009.11.001

85- Singh, M., Fuenmayor, E., Hinchy, E., Qiao, Y., Murray, N., & Devine, D. (2021). Digital Twin: Origin to Future. *Applied System Innovation*, *4*(2), 36. https://doi.org/10.3390/asi4020036

86- Söderberg, R., Wärmefjord, K., Carlson, J. S., & Lindkvist, L. (2017). Toward a digital twin for real-time geometry assurance in individualized production. *CIRP Annals*, *66*(1), 137–140. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.038

87- Song, W., & Tauschinski, J. (2022, July 26). *China space station: What is the Tiangong?* BBC News. Retrieved August 17, 2022, from https://www.bbc.com/news/world-asia-china-61511546

88- Tao, F., Sui, F., Liu, A., Qi, Q., Zhang, M., Song, B., Guo, Z., Lu, S. C.-Y., & Nee, A. Y. (2019). Digital twin-driven product design framework. *International Journal of Production Research*, *57*(12), 3935–3953. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1443229

89- Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. Y. (2019). Digital Twin in industry: State-of-the-art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *15*(4), 2405–2415. https://doi.org/10.1109/tii.2018.2873186

90- Tao, F., Zhang, M., & Nee, A. Y. C. (2019). Applications of Digital Twin. *Digital Twin Driven Smart Manufacturing*, 29–62. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817630-6.00002-3

91- Thomas, M. (2022). *What is simulation theory? are we living in a computer simulation?* Built In. Retrieved July 2, 2022, from https://builtin.com/hardware/simulation-theory.

92- Tomasas. (2022, August 4). *Top 14 wonderful historic monuments*. Places To See In Your Lifetime. Retrieved August 18, 2022, from https://www.pandotrip.com/top-10-wonderful-historic-monuments-1567/

93- Tomczyk, M., & van der Valk, H. (2022). Digital Twin Paradigm Shift: The journey of the digital twin definition. *Proceedings of the 24th International Conference on Enterprise Information Systems*. https://doi.org/10.5220/0010997600003179

94- Tuegel, E. (2012). The airframe digital twin: Some challenges to realization. *53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference≪BR≫20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference≪BR≫14th AIAA*. https://doi.org/10.2514/6.2012-1812

95- Tuegel, E. J., Ingraffea, A. R., Eason, T. G., & Spottswood, S. M. (2011). Reengineering aircraft structural life prediction using a digital twin. *International Journal of Aerospace Engineering*, *2011*, 1–14. https://doi.org/10.1155/2011/154798

96- Vachalek, J., Bartalsky, L., Rovny, O., Sismisova, D., Morhac, M., & Loksik, M. (2017). The digital twin of an industrial production line within the industry 4.0 concept. *2017 21st International Conference on Process Control (PC)*. https://doi.org/10.1109/pc.2017.7976223

97- VanDerHorn, E., & Mahadevan, S. (2021). Digital Twin: Generalization, characterization and

72- Pierrot, F., Marquet, F., Company, O., & Gil, T. (2001). H4 parallel robot: Modeling, design and preliminary experiments. *Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.01CH37164)*. https://doi.org/10.1109/robot.2001.933120

73- PTC. (2022, August 18). *What is Digital Twin?* PTC. Retrieved August 20, 2022, from https://www.ptc.com/en/industry-insights/digital-twin

74- Qi, Q., & Tao, F. (2018). Digital Twin and big data towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 degree comparison. *IEEE Access*, *6*, 3585–3593. https://doi.org/10.1109/access.2018.2793265

75- Revetria, R., Tonelli, F., Damiani, L., Demartini, M., Bisio, F., & Peruzzo, N. (2019). A real-time mechanical structures monitoring system based on digital twin, IOT and augmented reality. *2019 Spring Simulation Conference (SpringSim)*. https://doi.org/10.23919/springsim.2019.8732917

76- Romero, V., Pinquié, R., & Noël, F. (2022). A user-centric computer-aided verification process in a virtuality-reality continuum. *Computers in Industry*, *140*, 103678. https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103678

77- Roy, R. B., Mishra, D., Pal, S. K., Chakravarty, T., Panda, S., Chandra, M. G., Pal, A., Misra, P., Chakravarty, D., & Misra, S. (2020). Digital Twin: Current scenario and a case study on a manufacturing process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *107*(9-10), 3691–3714. https://doi.org/10.1007/s00170-020-05306-w

78- Sahin, D., & Togay, A. (2016). Augmented reality applications in product design process. *New Trends and Issues Proceedings on Humanities and Social Sciences*, *2*(1), 115–125. https://doi.org/10.18844/gjhss.v2i1.288

79- Sahin, D., & Togay, A. (2016). Augmented reality applications in product design process. *New Trends and Issues Proceedings on Humanities and Social Sciences*, *2*(1), 115–125. https://doi.org/10.18844/gjhss.v2i1.288

80- Saracco, R. (2018, February 21). *What would education be like in 2050? Digital Twins*. IEEE Future Directions. Retrieved August 20, 2022, from https://cmte.ieee.org/futuredirections/2018/02/21/what-would-education-be-like-in-2050-digital-twins/

81- Schroeder, G. N., Steinmetz, C., Rodrigues, R. N., Henriques, R. V., Rettberg, A., & Pereira, C. E. (2021). A methodology for digital twin modeling and deployment for industry 4.0. *Proceedings of the IEEE*, *109*(4), 556–567. https://doi.org/10.1109/jproc.2020.3032444

82- Seth, A., Vance, J. M., & Oliver, J. H. (2010). Virtual Reality for Assembly Methods Prototyping: A Review. *Virtual Reality*, *15*(1), 5–20. https://doi.org/10.1007/s10055-009-0153-y

83- Shchurov, I. A. (2018). Discrete solid modeling as basis of Technological Systems Digital doubles. *2018 Global Smart Industry Conference (GloSIC)*. https://doi.org/10.1109/glosic.2018.8570099

84- Shen, Y., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C. (2010). Augmented reality for Collaborative Product Design

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

Contactor Operation Simulation. *2021 13th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications (LDIA)*. https://doi.org/10.1109/ldia49489.2021.9505888

102- Zhao, N., Guo, J., & Zhao, H. (2020). Digital Twin Driven Factory Design. *Digital Twin Driven Smart Design*, 205–235. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818918-4.00008-7

103- Židek, K., Piteľ, J., Adámek, M., Lazorík, P., & Hošovský, A. (2020). Digital Twin of Experimental Smart Manufacturing Assembly System for Industry 4.0 Concept. *Sustainability*, *12*(9), 3658. https://doi.org/10.3390/su12093658

104- Zohdi, T. I. (2021). A digital-twin and machine-learning framework for the design of Multiobjective Agrophotovoltaic Solar Farms. Computational Mechanics, 68(2), 357–370. https://doi.org/10.1007/s00466-021-02035-z

Implementation. *Decision Support Systems*, *145*, 113524. https://doi.org/10.1016/j.dss.2021.113524

98- Whitaker, A. (2009). *Architectural Analysis of the Great Pyramid: The architectural features of the Great pyramid offer an invaluable insight into the builders, their methods and the process of construction.* Great Pyramid Architecture. Retrieved August 18, 2022, from http://www.ancient-wisdom.com/Ghizaarchitecture.htm

99- Xiang, F., Fan, J., Ke, S., & Zuo, Y. (2022). Digital twin-driven service collaboration. *Digital Twin Driven Service*, 33–58. https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91300-3.00002-4

100- Ye, J., Badiyani, S., Raja, V., & Schlegel, T. (2007). Applications of virtual reality in product design evaluation. *Human-Computer Interaction. HCI Applications and Services*, 1190–1199. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73111-5_130

101- Zhang, B., Zhang, M., & Dong, T. (2021). High-Fidelity Digital Twin Modeling Method for