العلاقة التفاعلية بين التوأم الرقمي وأنشطة التصميم الصناعي

The Interactive Relationship between Digital Twin and Industrial Design Activities

أ.د/ نرمين كامل الجداوي

أستاذ بقسم التصميم الصناعي- كلية الفنون التطبيقية-جامعة حلوان

Prof. Nermin KAmel Elgedawy

Professor, Department of Industrial Design, Faculty of Applied Arts, Helwan University

ا.م.د/ أسامه علي السيد ندا

أستاذ مساعد بقسم التصميم الصناعي - وكيل الكلية لشئون الدراسات العليا والبحوث كلية الفنون التطبيقية جامعة بنها

Assist. Prof. Dr. Osama Ali Elsaid

Assistant Professor, Department of Industrial Design - Vice Dean for Postgraduate Studies and Research, Faculty of Applied Arts, Benha University

م/ أسماء جمال محمد الجز

معيد بقسم التصميم الصناعي -كلية الفنون التطبيقية -جامعة بنها

Assist. Lect. Asmaa Gamal Mohamed

Teaching assistant in the Department of Industrial Design - Faculty of Applied Arts - Benha University

asmaa.elgazz@fapa.bu.edu.eg

ملخص البحث:

مع ظهور وتطور تكنولوجيا المعلومات في الصناعة وتصميم المنتجات، تطور تصميم المنتج القائم علي البيانات الضخمة؛ لقد جذب التوأم الرقمي الكثير من الاهتمام كتقنية رقمية جديدة ناشئة وسريعة النمو تربط العالم المادي و العالم الافتراضي معاً، أصبح نهج التوأم الرقمي أحد أهم الاتجاهات التكنولوجية خلال السنوات الأخيرة، حيث إن الفكرة الأساسية لمنهج التوأم الرقمي هوانه نظام يتضمن بيئة حقيقية بمكونات وأنظمة مادية و بيئة رقمية تشمل أجهزة استشعار رقمية لاستقبال البيانات المرسلة من البيئة المادية المقابلة بحيث تكون البيئة الرقمية كانعكاس للبيئة الحقيقية بالخصائص ذات الصلة التي تعتمد على مراحل دورة حياة المنتج بأكمله مثل التصميم والتصنيع، والإنتاج، وفحص الجودة ،والصيانة. الخ حيث يتم مراقبة المراحل وتحليلها لتحسين الجودة واكتشاف المشاكل التي يتطلب حلها والتي تمكن من تقليل التكاليف والوقت وتزويد المنتج المادي بسياسات عمل أفضل.

يتم تطبيق منهجية تكنولوجيا التوأم الرقمي خلال مراحل تصميم المنتج المختلفة وذلك من خلال الاتصال والتطور المشترك بين المنتج المادي وتمثيله الرقمي اثناء مراحل دورة حياة المنتج حيث تحويل البيانات الضخمة نحو مجموعة صغيرة من المعلومات التي يمكن للمصمم استخدامها مباشرة لدعم اتخاذ قرارات فعالة في عملية التصميم بالإضافة لدمج البيانات المختلفة حول المنتج والمستخدم والبيئة للاستجابة لمتطلبات المستخدمين.

تكنولوجيا التوأم الرقمي تعمل على زيادة المرونة و التكيف والذكاء للمنتج حيث انه بتطبيق تكنولوجيا التوأم الرقمي يكون للمنتج الحقيقي صورة رقمية تتكون من نماذج مختلفة، هذه النماذج لها خمس وظائف رئيسية: إعادة إنتاج الخصائص والسلوك والقواعد الخاصة بالمنتج المادي بدقة لإنشاء صورة رقمية دقيقة ؛ التشغيل المستقل للنماذج من خلال محاكاة السلوكيات المختلفة للمنتج والتي يمكن استخدامها بعد ذلك لتوجيهه تشغيل المنتج المادي ؛ مراقبة حالة المكونات عن بعد ؛ القدرة على التنبؤ بالمشاكل قبل حدوثها ؛ التحقق من الأداء قبل انتهاء تصميم المنتج وإنتاجه.

الكلمات المرشدة:
التوأم الرقمي ،تصميم المنتج الصناعي ، البيانات الضخمة، النماذج الافتراضية، المحاكاة.

Abstract:

With the advent and development of information technology in industry and product design, product design-driven big data has evolved; Digital twin, a new emerging and fast-growing technology which connects the physical and virtual world, has attracted much attention recently, the digital twin approach has become one of the most important technological trends in recent years, The basic idea of a digital twin approach is that it is a system that includes a real environment with physical components and systems and a digital environment with digital sensors to receive data sent from the corresponding physical environment, where the digital environment reflects the real environment with relevant characteristics that depend on the stages of the entire product's life cycle Such as design, manufacture, production, quality inspection, and maintenance. Etc., where the stages are monitored and analyzed to improve quality and discover problems that require solving, which enables to reduce costs and time and provide the physical product with better work policies.

An approach is presented to apply digital twin technology during the various stages of product design through communication and co-evolution between the physical product and its digital representation during the stages of the product lifecycle, where Converting Big data into a small set of information that the designer can use directly to support effective decision-making In the design process, as well as integrating a variety of different data about the product, the user and the environment effectively to respond to the requirements of the users .

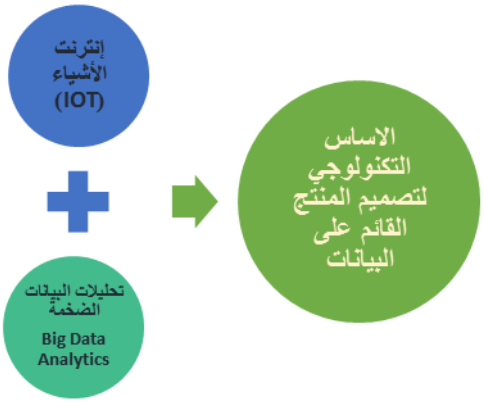
Digital twin technology increases the flexibility, adaptability and intelligence of the product since by applying digital twin technology the real product has a digital image consisting of different models, and these models have five main functions: To reproduce accurately the characteristics, behavior and rules of the physical product to create an accurate digital image; The independent operation of the models by simulating the different behaviors of the product, which can then be used to guide the operation of the physical product; Remote control of the status of components; Predictability of problems before they occur; Check performance before product design and production is finished.

Key Words:

Digital Twin, Industrial Product Design, Big Data, Virtual Models, Simulation.

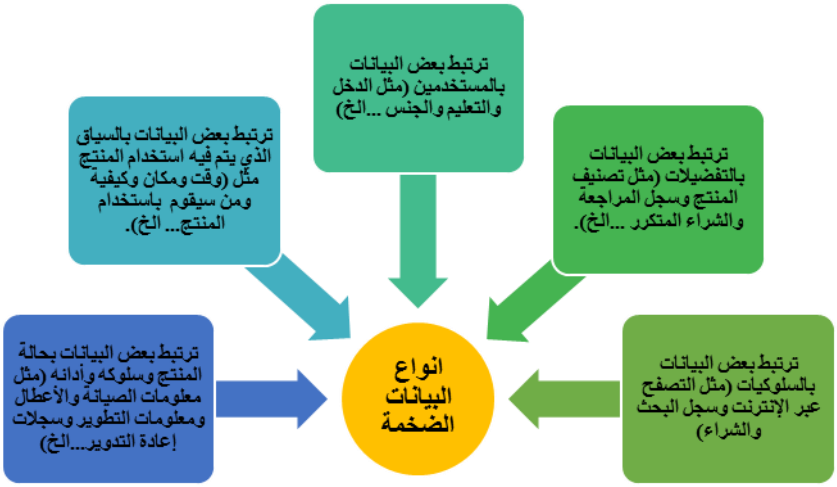
المقدمة :

أصبحت اليوم عملية التصميم رقمية حيث انتقلت عملية التصميم من المرحلة التقليدية الي المرحلة الرقمية وظهر نموذج جديد لتصميم المنتج القائم علي البيانات شكل (١).



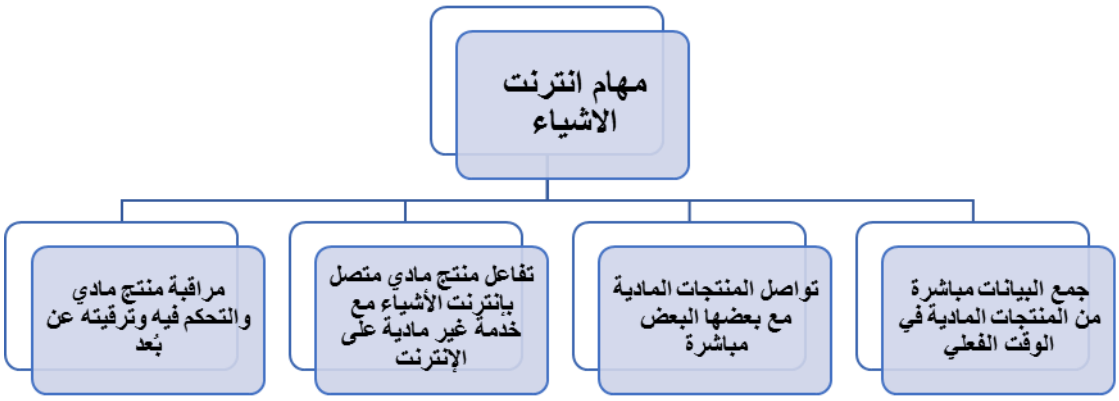
شكل (١) الاساس التكنولوجي لتصميم المنتج القائم على البيانات

البيانات الضخمة هي أصول معلوماتية تتميز بالحجم الكبير والسرعة والتنوع ،وتهدف تحليلات البيانات الضخمة إلى تجريد المعلومات لتسهيل الاستفادة من البيانات الغير منظمة والغير مترابطة حيث يتم إنشاء بعض البيانات الضخمة من قبل المستخدمين من الانترنت مثل تقييمات المستخدمين على منصات التجارة الإلكترونية والاجتماعية (Amazon ، Facebook) وتختلف أنواع البيانات شكل (٢)



شكل (٢) يوضح أمثله انواع البيانات الضخمة.

يقوم **انترنت الأشياء(IOT)** بمهام متعددة شكل (٣) حيث أصبح ممكنًا باستخدام إنترنت الأشياء جمع البيانات مباشرة من المنتجات الذكية باستخدام تقنيات الاستشعار المتقدمة ونقلها إلى السحابة (Cloud) وتحليلها باستخدام تحليلات البيانات الضخمة لذا أصبح نجاح تصميم المنتج يتوقف على القدرة على التعامل مع البيانات وتجميعها خلال مراحل مختلفة من دورة حياة المنتج بداية من التصميم والإنتاج والتوزيع والاستخدام و حتي الصيانة وإعادة التدوير. الخ.



شكل (٣) يوضح مهام انترنت الاشياء .

خلال عملية التصميم التقليدية يتم بناء المنتجات الافتراضية والمنتجات المادية وتحليلهما وتطويرهما بطريقة منفصلة عن بعضها البعض، لكن في ضوء تصميم المنتج القائم على البيانات يتطلب التكامل والمزامنة والتفاعل بينهما نظراً للبيانات المترابطة الكثيرة وذلك من خلال تقنية التوأم الرقمي (DT) حيث يختلف التوأم الرقمي عن CAD (الذي يركز على العالم الرقمي) و أنترنت الاشياء (الذي يركز على العالم المادي) ويتميز بالربط بين العالمين الرقمي والمادي.

موضوع ومشكلة البحث:

عدم تطبيق تكنولوجيا التوأم الرقمي في مراحل عملية تصميم المنتج، حيث إنه مع ظهور تقنية التوأم الرقمي تعددت مجالات استخدامه مثل (الصيانة التنبؤية واكتشاف الأخطاء وتحليل الأداء وتصميم وتشغيل وصيانة الأنظمة المعقدة كمحركات الطائرات وتوربينات الرياح ومحطات الطاقة ..الخ) الا انه لم يتم استخدامه في مراحل عملية تصميم المنتج.

هدف البحث :

تطبيق تقنية التوأم الرقمي لدعم عملية تصميم المنتج.

فرض البحث :

بتطبيق منهجية التوأم الرقمي في مراحل عملية تصميم المنتج سيؤدي إلى تطور عملية التصميم.

منهج البحث :

يتبع البحث المنهج الوصفي التحليلي الاستنباطي ويتضمن عدداً من المحاور وهي:

المحور الاول.: تعريف ومفهوم وتطبيقات التوأم الرقمي.

المحور الثاني : منهج بناء تكنولوجيا التوأم الرقمي.

المحور الثالث: تطبيق منهجية التوأم الرقمي في عملية تصميم المنتج.

المحور الاول: تعريف ومفهوم وتطبيقات التوأم الرقمي:

ان التوأم الرقمي كتقنية جديدة ناشئة لها عدة تعريفات ومفاهيم وتطبيقات:

1. تعريف التوأم الرقمي:

هناك عدة تعريفات للتوأم الرقمي منها يلي:

1.1 التوأم الرقمي هو مجموعة من نظم المعلومات الافتراضية التي تصف بشكل كامل منتجًا ماديًا حيث يتكون من تمثيل افتراضي لجميع مكونات المنتج المادي أو النظام عبر دورة حياته وذلك باستخدام بيانات الوقت الفعلي (البيانات المادية) والبيانات الافتراضية وبيانات التفاعل فيما بينها(١١).

2.1 التوأم الرقمي هو " نسخة افتراضية عالية الدقة للأصل المادي مع اتصال ثنائي الاتجاه في الوقت الفعلي بهدف المحاكاة والمساعدة في اتخاذ القرار لتحسين خدمة المنتج "(٤).

3.1. " أن التوأم الرقمي عبارة عن محاكاة واقعية متعددة الفيزياء Multiphysics (أي متزامنة للجوانب المختلفة لنظام مثل الضغط المادي على جسم ما وتوزيع درجة الحرارة)، ومتعددة النطاقات (أي متزامنة لعملية واحدة على مقاييس زمنية متعددة) للأنظمة أو المنتجات، حيث انها تعكس حياة التوأم المقابل باستخدام النماذج المادية المتاحة، وسجل البيانات، وبيانات الوقت الفعلي ".(١٢)

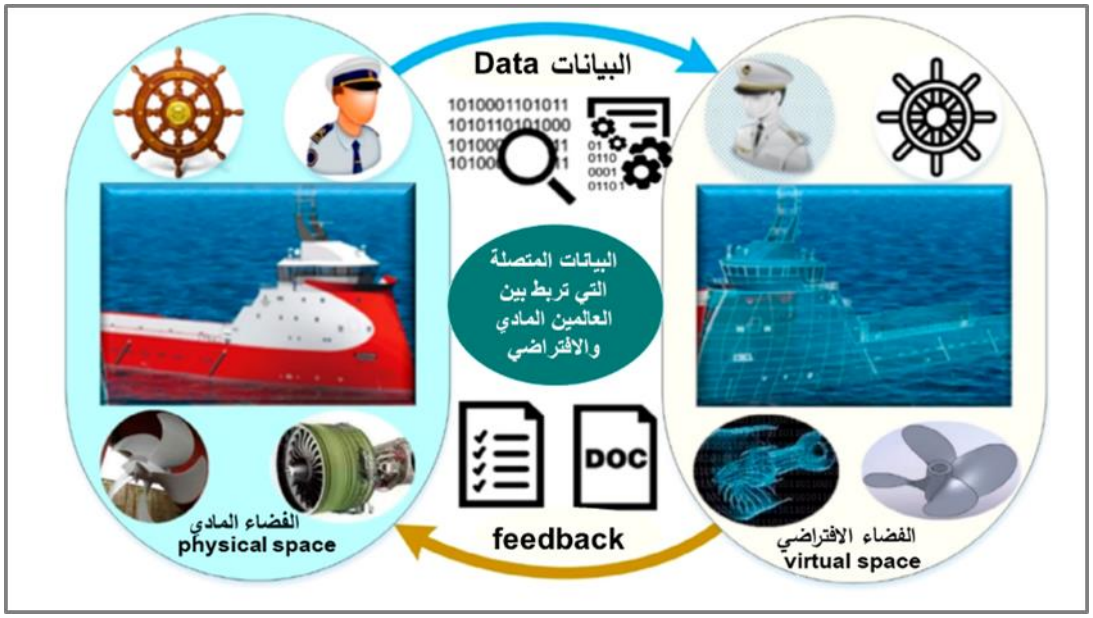
2. المفهوم العام لنموذج التوأم الرقمي(١):

إن التوأم الرقمي هو نظام يشتمل على بيئة حقيقية بأشياء وأنظمة حقيقية (مثل المستخدمين والأنظمة التقنية وأنظمة تكنولوجيا المعلومات والاتصالاتICT ...الخ)، و بيئة رقمية بأنواع بيانات مختلفة (مثل نموذج CAD ونموذج المحاكاة والنموذج الوظيفي والواقع الافتراضي VR والخوارزميات...الخ) وتحتوي البيئة الرقمية على أجهزة استشعار مختلفة لتتمكن من استقبال البيانات المرسلة من البيئة المادية المقابلة؛ **يتكون نموذج التوأم الرقمي العام للمنتج من ثلاثة أجزاء شكل (٤)**، وهم الكيانات المادية في الفضاء المادي، والنماذج الافتراضية في الفضاء الافتراضي، والبيانات المتصلة التي تربط بين العالمين المادي والافتراضي:

1.2 **الكيانات المادية Physical Entities** :هي المنتجات الحقيقية الذي يمكن للمستخدمين تشغيلها والذي يتم تصنيعها من المواد الخام والأجزاء من خلال المعالجة الآلية والتجميع والعمليات الأخرى حيث تتميز الكيانات المادية بخصائص وأداء وسلوكيات مختلفة في سياق التصنيع والاستخدام والصيانة والإصلاح والتخلص والعمليات الأخرى ، ومن خلالها يتم الحصول علي الكثير من البيانات.

2.2 **النماذج الافتراضية Virtual Models:** هي صوره طبق الأصل من المنتجات المادية في المساحة الافتراضية حيث تعكس دورة الحياة بأكملها ، و تقوم بمحاكاة ومراقبة وتشخيص وتوقع وتحكم في حالة وسلوكيات الكيانات المادية المقابلة؛ تشمل النماذج الافتراضية (النماذج الهندسية وجميع القواعد والسلوكيات مثل خصائص المواد والتحليل الميكانيكي ومراقبة الصحة).

3.2 **البيانات المتصلة Connected Data**: تتضمن مجموعات من البيانات المادية والبيانات الافتراضية، وكذلك بعض البيانات الجديدة التي يتم الحصول عليها بعد دمج وتكامل وتحليل ومعالجه البيانات المادية والبيانات الافتراضية معاً ، نظرًا لحجم البيانات الكبير الذي يتم التعامل معه يجب أن يتميز النظام الرقمي المزدوج بموثوقية في نقل البيانات وبنية تحتية لتخزين البيانات لتحويل البيانات إلى معلومات .



شكل (٤) النموذج العام للتوأم الرقمي[١٢].

3. تطبيقات التوأم الرقمي[١٤]:

تم استخدام مفهوم التوأم الرقمي لأول مرة في مجال تنبؤات المنتج والمعدات والإدارة الصحية؛ يتم تلخيص أمثلة التطبيقات الحالية للتوائم الرقمية في الصناعة على النحو التالي:

1.3. استخدام التوأم الرقمي لإدارة الصحة الهيكلية للطائرات حيث التنبؤ بموقع الضرر وحجمه واتجاهه مثل(Airframe Digital Twin) تستخدم لتقييم حالة الرحلة مما يساعد في تحديد الضرر اللاحق في الوقت الحقيقي.

2.3. تطبيق التوأم الرقمي على العديد من الصناعات مثل المدن الذكية والسيارات والفضاء والتصنيع والتنبؤات وإدارة الصحة ،.. إلخ؛ حيث كان تطبيق التوأم الرقمي رائدًا من قبل شركات مثل GE[١] و PTC[٢] و Siemens[٣] و ANSYS[٤] و Dassault[٥] ...الخ، حيث قامت شركة Tesla بتطوير التوأم الرقمي لكل سيارة مُنتجة وتمكين نقل البيانات المتزامنة بين السيارة والمصنع ، تقوم جنرال إلكتريك GE باستخدام التوأم الرقمي للتنبؤ بصحة المنتج مما يجعل العمليات والصيانة أكثر دقة.

المحور الثاني: منهج بناء تكنولوجيا التوأم الرقمي[١٢]:

تتطلب عملية بناء توأم رقمي ست خطوات لإنشاء توأم رقمي يعمل بفاعلية طبقا لمنتج مادي موجود شكل (٥) ،كما يمكن تنفيذ هذه الخطوات بشكل متزامن:

1. بناء النموذج الافتراضي للمنتج المادي:

التقنيات المستخدمة هي التصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD) والنمذجة ثلاثية الأبعاد، ويشتمل المنتج الافتراضي على ثلاثة جوانب:

1.1 العناصر: يشمل النموذج الهندسي والنموذج المادي للمنتج والمستخدم والبيئة ...الخ.

2.1 السلوكيات: يتم تحليل سلوك المنتجات والمستخدمين وتحليل المنتج وتفاعل المستخدم مع المنتج.

3.1 القواعد: يتضمن نماذج التقييم والتحسين والتنبؤ التي تم إنشاؤها وفقًا لتشغيل المنتج.

2. معالجة البيانات المساعدة في اتخاذ القرارات المتعلقة بالتصميم:

يتم تحليل البيانات التي تم جمعها من مصادر مختلفة (من المنتج المادي و الإنترنت. الخ) ويتم تكاملها وتصورها حيث:

1.2 تعد تحليلات البيانات ضرورية لتحويل البيانات إلى معلومات أكثر واقعية يمكن للمصممين استخدامها مباشرة لاتخاذ القرار.

2.2 يتم جمع بيانات المنتج من مصادر متنوعة لذلك فإن تكامل البيانات يستخدم لاكتشاف النماذج غير الواضحة التي لا يمكن الكشف عنها استنادًا إلى مصدر بيانات واحد.

3.2 يتم دمج تقنيات تصور البيانات لتقديم البيانات بطريقة أكثر وضوحًا.

4.2 يتم دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي المتقدمة لتعزيز القدرة المعرفية للتوأم الرقمي(مثل التفكير وحل المشكلات) بحيث يمكن تقديم بعض الاقتراحات تلقائيًا.

5.2

3. محاكاة سلوكيات المنتج في البيئة الافتراضية:

يتم محاكاة الوظائف والسلوكيات الرئيسية للمنتج المادي في العالم الافتراضي وتستخدم تقنيات المحاكاة والواقع الافتراضي (VR) لتمكين المصمم والمستخدم التفاعل المباشر مع المنتج الافتراضي في بيئة المحاكاة وكذلك رؤية الوضع الحالي بشكل واضح من خلال النماذج المختلفة التي تحتوي على معلومات محدثة للمنتج أو النظام .

شكل (٥) منهج بناء تكنولوجيا التوأم الرقمي .

4. التحكم في السلوك:

يتم توجيه المنتج المادي لأداء السلوكيات الموصي بها طبقا لمنهج التوأم الرقمي حيث يتم تجهيز المنتج المادي بالقدرة على تعديل وظيفته وسلوكه وهيكله بشكل تكيفي في العالم المادي عن طريق المستشعرات.

المستشعرات والمشغلات actuators هما الاساس التكنولوجي للتوأم الرقمي، يلعب الأول دورًا في استشعار العالم الخارجي ، بينما يلعب الأخير دورًا في تنفيذ التعديلات المرجوة التي يوصي بها التوأم الرقمي؛ المشغلات الشائعة الاستخدام للمنتجات الاستهلاكية (مثل المحركات الهيدروليكية، والهوائية، والكهربائية، والميكانيكية)، تستخدم تقنيات الواقع المعزز (AR) لنقل بعض أجزاء المنتج الافتراضي إلى العالم المادي مثل تمكّين المستخدمين النهائيين من عرض حالة المنتجات أو النظام في الوقت الفعلي والتفاعل مع النماذج عالية الدقة والحصول على تعليقات تمكن من تحسين المنتج والنظام.

5. إنشاء اتصالات ثنائية الاتجاه بين المنتج المادي والافتراضي في الوقت الحقيقي:

يتم استخدام تقنيات مثل اتصالات الشبكة والحوسبة السحابية (٦ وأمن الشبكات حيث:

1.5 تمكّن تقنيات الشبكات المنتج من إرسال البيانات المستمرة إلى السحابة لتشغيل المنتج الافتراضي مثل، Bluetooth، ورمز QR، والباركود، وWi-Fi، وZ-Wave(٦)، الخ.

2.5 تتيح الحوسبة السحابية تطوير المنتج الافتراضي وصيانته بالكامل في السحابة، بحيث يمكن الوصول إليه بسهولة من قبل كل من المصممين والمستخدمين من أي مكان.

3.5 ضمان أمان الاتصالات نظرًا لأن بيانات المنتج تتعلق بشكل مباشر وغير مباشر بتفاعلات المستخدم مع المنتج.

4.5

6. قياس البيانات ومعالجتها :

يتم تجميع كل البيانات المتعلقة بالمنتج ومعالجتها وتقييم ردود الفعل بواسطة التوأم الرقمي حيث تشمل البيانات: بيانات المنتج (تعليقات المستخدمين وعرض السجلات) وبيانات البيئة وبيانات المستخدمين والبيانات التفاعلية (تفاعل المستخدم مع البيئة ، مثل الإجهاد والاهتزاز .الخ)،وذلك باستخدام تقنية الاستشعار وتكنولوجيا إنترنت الأشياء في الوقت الفعلي.

يتم تغذية البيانات التي تم جمعها إلى الخطوة الاولي من أجل تحقيق الحلقة المغلقة Closed-Loop نحو بناء منتج افتراضي أكثر فاعلية.

هناك بعض القصور في أساليب التصميم التقليدية لدعم تصميم المنتج القائم على البيانات حيث ان(٤):

- خلال عملية التصميم التقليدية يعتمد المصممون بشكل كبير على خبراتهم لتحديد وفهم البيانات عالية القيمة وتحويل البيانات إلى معلومات مفيدة ، فإن هذه الاستراتيجية بها بعض القصور أمام البيانات الضخمة.
- طرق التصميم التقليدية تم تطويرها لمعالجة المعلومات المنظمة التي تتميز بدرجة عالية من التنظيم والوضوح؛ لذلك فهي غير مناسبة للتعامل مع المعلومات غير المهيكلة التي تم إنشاؤها بدون أي نماذج أو تنسيقات محددة.
- أساليب التصميم التقليدية ليست قادرة على الاستجابة بسرعة للبيانات المتغيرة والمواقف الجديدة الناشئة.

لذلك يتم تناول منهجية لدعم تصميم المنتج القائم على البيانات من خلال تكنولوجيا التوأم الرقمي.

المحور الثالث: تطبيق منهجية التوأم الرقمي في عملية تصميم المنتج:

قبل تناول منهجية تطبيق التوأم الرقمي في عملية تصميم المنتج هناك بعض التحديات الرئيسية والعوامل المؤثرة في تصميم المنتج القائم علي البيانات:

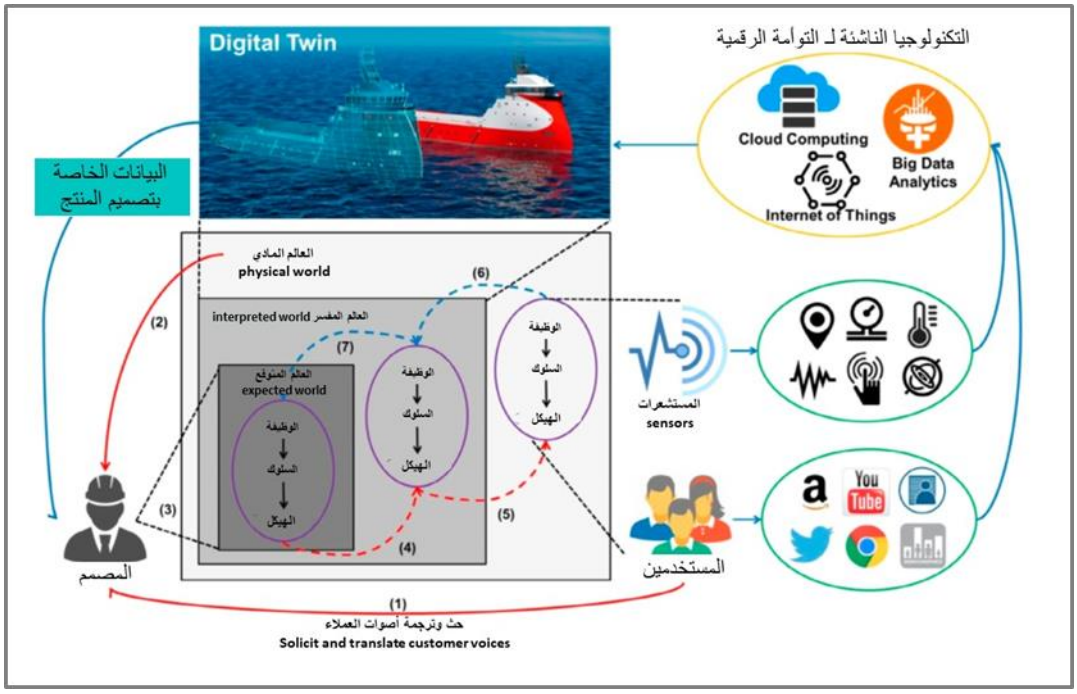
- كيفية التحويل الفعال لكمية هائلة من البيانات نحو مجموعة صغيرة من المعلومات المفيدة التي يمكن للمصممين الاستعلام عنها مباشرة لدعم اتخاذ قرارات التصميم في مراحل مختلفة من عملية التصميم.
- كيفية دمج مجموعة متنوعة من البيانات المختلفة حول المنتج والمستخدم والبيئة التي يتم جمعها من مصادر متنوعة (مثل الإنترنت وإنترنت الأشياء) للاستجابة لمتطلبات المستخدمين.
- كيفية الاستجابة بسرعة لحدث حالي يحدث في العالم الحقيقي بناءً على بيانات الوقت الفعلي ، وكيفية التنبؤ بحدث مستقبلي سيحدث بناءً على سجلات البيانات.

1. تطبيق التوأم الرقمي في عملية تصميم المنتج[١١]:

ان التوأم الرقمي له القدرة على تزويد المصمم بالمعلومات والتوصيات والتقييم خلال عملية تصميم المنتج؛ عند استخدام لغة التصميم لوصف التوأم الرقمي ، فيمكن اعتباره تمثيلًا متداخلًا لنوايا المصمم وحقائق العالم الواقعي، وفقًا لإطار FBS (الوظيفة Function والسلوك Behavior والهيكل Structure) يتضمن التصميم تفاعلات بين ثلاثة عوالم: العالم المتوقع ، و العالم المفسر والعالم المادي شكل(٦)، يمكن وصف المنتج فيما يتعلق بوظيفته وهيكله وسلوكه في جميع العوالم الثلاثة ،عندما يتم نقل منتج من العالم المتوقع إلى العالم المفسر ، وفي النهاية إلى العالم المادي ، تتم إضافة المزيد من التفاصيل والمعلومات تدريجياً إلى المنتج حيث ينتقل المنتج إلى العالم المادي من العالم الرقمي (في ذهن المصمم).

أن المنتج الافتراضي هو انعكاس مزدوج لكل من العالم المتوقع والعالم المادي؛ من ناحية ، يعكس المنتج الافتراضي توقعات المصمم بشأن الكيفية التي يجب أن يعمل بها المنتج والتفاعل مع المستخدمين ويكون منظمًا ماديًا؛ من ناحية أخرى يعكس المنتج الافتراضي الحالة الفعلية للمنتج المادي بدقة في العالم الحقيقي.

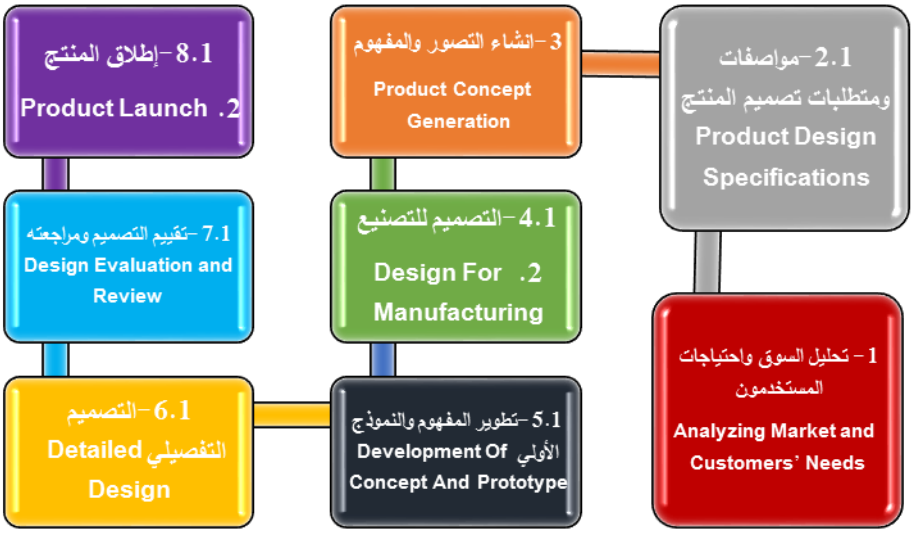
يُمكّن التوأم الرقمي المنتج المادي والمنتج الافتراضي من التواصل مع بعضهما البعض في الوقت الفعلي كما في شكل (٣): حيث أنه في العالم المتوقع ، بناءً على فهم المصمم للمستخدمين(السهم ١) ومعرفة العالم المادي(السهم ٢)، يقترح المصمم الوظيفة المتوقعة للمنتج والسلوك والهيكل (السهم ٣)، بعد ذلك ، يتم تصور التوقعات ومحاكاتها وتحليلها وتحسينها في العالم المفسر (السهم ٤)عن طريق CAD والنمذجة ثلاثية الأبعاد والنماذج الأولية الافتراضية ..الخ، ثم يتم نقل المنتج من العالم المفسر إلى العالم المادي (السهم ٥)، مع انتقال المنتج إلى العالم المادي ، يفقد المصمم تدريجيًا مسار المعلومات المختلفة المتعلقة بالمنتج، حيث يتم تصنيع المنتج وتوزيعه واستخدامه من قبل المستخدمين وصيانته...الخ، لذلك يقوم المصمم بالحصول علي التقييمات من المستخدمين باستخدام أساليب التصميم (مثل الدراسة الاستقصائية ، والمقابلة ،..الخ)، او جمع تعليقات المستخدم عبر الإنترنت على مواقع الويب مثل Amazon وYouTube لفهم طلب المستخدم؛ او جمع بيانات تشغيل المنتج من خلال المستشعرات لتحليل سلوكيات المستخدمين وتفضيلاتهم، يتمثل جوهر التوأم الرقمي في إنشاء نموذج رقمي لمنتج مادي في العالم المفسر(السهم ٦) ، ثم الانعكاس من العالم المفسر إلى العالم المتوقع (السهم ٧).



شكل (٦). دور التوأم الرقمي في تصميم المنتج القائم على البيانات [١٢].

2. خطوات ومراحل عملية تصميم المنتج :

تتضمن عملية تصميم المنتج وتطويره المراحل التالية شكل (٧):



شكل (٧) مراحل عملية تصميم المنتج وتطويره

3. عملية التصميم في ضوء سيادة فكرة التوأم الرقمي للمنتجات:

يمكن لنموذج التوأم الرقمي لمنتج ما جمع البيانات بشكل مستمر لمراحل دورة حياة المنتج بأكملها مثل التصميم والتصنيع، والإنتاج، وفحص الجودة ،والصيانة. الخ؛ لذلك، يمكن لنموذج التوأم الرقمي إدارة وتتبع وصيانة المنتج من خلال الاستشعار وتخزين وتقديم بيانات دورة حياة المنتج بالكامل؛ يتمثل دور التوأم الرقمي في عملية تصميم المنتج القائم على البيانات فيما يلي:

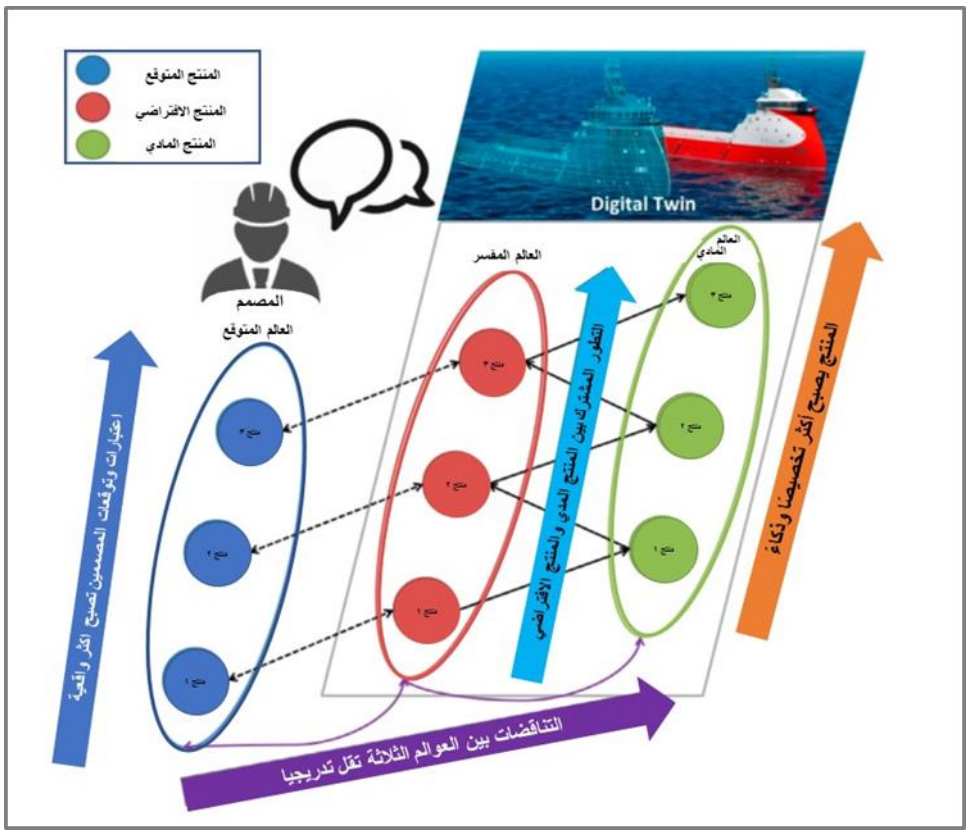
1.3 الاتصال بين التوأم الرقمي والمصمم(تحليل احتياجات المستخدمون) [١٢]:

هناك بعض القيم الناتجة عن الاتصال بين التوأم الرقمي والمصمم شكل (٨):

1.1.3التفاعل بين المنتج الافتراضي والمنتج المادي (يشير التسلسل السفلي إلى أجيال المنتج)، حيث يتجه المصمم لتعديل توقعاته بناءً على نتائج التطور المشترك التي يتم تناولها في كل من العالمين المفسَّر والمادي فتصبح التوقعات والاعتبارات أكثر واقعية، وبالتالي اتخاذ قرارات تصميم أكثر ابتكاراً حيث يتم تقليل التناقض بين المنتج المتوقع ، والمنتج الافتراضي ، والمنتج المادي تدريجيًا.

2.1.3يصبح المنتج المادي أكثر تخصيصًا وذكاءً من خلال النتائج المتنوعة المستفادة من المنتج الافتراضي.

يوجد تفاعلات متبادلة بين المنتج والمستخدم ،نظرًا لأن التوأم الرقمي يُعد تمثيلًا رقميًا في الوقت الفعلي للمنتج المادي فيمكنه التفاعل مباشرة مع المستخدم النهائي وتقديم معلومات حالة المنتج في الوقت الفعلي و اقتراحات في الوقت المناسب لخدمات الاستخدام والصيانة والتطوير، مثل (الصورة الرمزية للمنتج Avatar وهو تمثيل رقمي للمنتج المادي من أجل التفاعل مع المستخدم النهائي على Facebook)، وكذلك المعلومات المتاحة على الإنترنت لبناء ملفات تعريف المستخدمين User Profiles، حيث انه يمكن اعتبار ملف تعريف المستخدم بمثابة التمثيل الرقمي لمستخدم معين في العالم الرقمي.



الشكل (٨) العلاقة التفاعلية بين المصمم والتوأم الرقمي .

2.3تحديد متطلبات و مواصفات المنتج :

في مرحلة تحديد المتطلبات ، يتم تحويل احتياجات المستخدمين إلى متطلبات وظيفية في ظل معايير التصميم ، حيث يعمل التوأم الرقمي كمترجم فوري لتسهيل توضيح احتياجات المستخدمين حيث[١٢] :

1.2.3 يعمل التوأم الرقمي على زيادة فهم المصمم للمستخدم ومتطلباته حيث يتم تجميع البيانات المتعلقة بالمستخدم من مختلف منصات التجارة الإلكترونية والاجتماعية والبحثية على الإنترنت (مثل الأنشطة الحيوية والعادات الشخصية) ،وايضاً يتم تجميع البيانات مباشرة من مختلف الأجهزة الذكية (مثل الهاتف الذكي والساعة الذكية وآلة القهوة الذكية) من خلال إنترنت الأشياء، حيث أن المعلومات المرتبطة تستخدم لتحسين إضفاء الطابع الشخصي للمنتج مع القدرة على التكيف وتقديم و اقتراح وظائف وخصائص جديدة للمنتج من خلال تحليل مراجعات المستخدمين على المنصات الإلكترونية.

2.2.3 يعمل التوأم الرقمي على توجيه المصمم إلى صياغة المتطلبات الوظيفية بشكل واقعي، حيث يمكن تمثيل الوظائف التي يمكن اكتشافها جميعًا بواسطة أجهزة الاستشعار وتحليلها بواسطة التوأم الرقمي الي معلومات أساسية مثل عدد مرات الاستخدام ، ومدة الاستخدام في كل مرة، وعدد المستخدمين ،... الخ.

3.2.3 يعمل التوأم الرقمي على تزويد المصممين بمعلومات عن القدرة[1] حيث تشير القدرة إلى الوظائف المحتملة لمنتج يقوم به المستخدم في العالم الحقيقي حيث يمكن جمع المعلومات مباشرة بناءً على سلوكيات المستخدم من العديد من المنتجات الذكية او من خلال تقنيات الواقع الافتراضي.

4.2.3 يعمل التوأم الرقمي على توضيح قيود التصميم المختلفة للمنتج لأن التوأم الرقمي موجه من إدارة دورة حياة المنتج، فيكون قادرًا على تجميع قيود التصميم التي يفرضها جميع أصحاب المصلحة المعنيين، تتضمن بعض أمثلة القيود الوزن والحجم والميزانية والجدول الزمني والقدرة على التصنيع والمعايير البيئية ومعايير السلامة،...الخ.

3.3 التصميم التصوري :

في مرحلة التصميم المفاهيمي يمكن للمصمم التحقق إذا كان المفهوم يتوافق مع القيود المختلفة من خلال التحقق الافتراضي عن طريق جمع المعلومات عن طريق المستشعرات مباشرة من المنتج المادي مثل استخدام الكاميرا الخلفية للسيارة لاكتشاف قيود الركن المختلفة في العالم المادي؛ يلعب التوأم الرقمي دورًا في تحديد وتقييم مفاهيم التصميم الجديدة وتحديد المتطلبات الوظيفية لمعايير التصميم حيث[2]:

1.3.3 يساعد التوأم الرقمي المصمم لتحديد الاختلافات والمشكلات الخاصة بمعايير المنتج (مثل الوزن ، والسرعة ، والقوة ، والضغط ، ودرجة الحرارة ، والإضاءة ، والطاقة ، الخ) وذلك استنادًا إلى تحليل الارتباط للبيانات التي تم جمعها من أجهزة الاستشعار، يتم تحديد أيضًا مدى سوء الاختلافات.

2.3.3 يعمل التوأم الرقمي على تحديد أوجه عدم اليقين المرتبطة بالمنتج في العالم المادي التي يمكن أن تأثر علي أداء ووظيفة المنتج وسلوكه وهيكله في مراحل مختلفة طوال دورة حياة المنتج ومحاكاتها في العالم الرقمي ، بحيث يمكن إنشاء حلول تصميم أكثر قوة والتحقق من صحتها فعليًا.

3.3.3 يعمل التوأم الرقمي على تحديد التعقيدات المختلفة المرتبطة بالمنتج؛ هناك أربعة أنواع من التعقيدات الناتجة عن قرارات التصميم ، وهي التعقيد الحقيقي والتعقيد التخيلي والتعقيد التجميعي والتعقيد الدوري ، فمن الممكن لـ التوأم الرقمي اكتشاف أنواع مختلفة من التعقيدات بناءً على ارتباطها ببيانات الوقت الفعلي مثل (إذا كان هناك تعقيد يعاني منه جميع المستخدمين في جميع الأوقات فمن المحتمل أن يكون تعقيدًا حقيقيًا؛ في المقابل إذا كان هناك مضاعفات فقط من قبل عدد محدود من المستخدمين طوال الوقت ، فمن المحتمل أن يكون تعقيدًا خياليًا).

4.3.3 يعمل التوأم الرقمي على دمج المعلومات السياقية في انشاء التصميم، بعض المعلومات السياقية مثل الوقت (متي يستخدم المنتج)، والموقع (مكان استخدام المنتج)، وكيف (الأنشطة التي يستخدم المنتج لأدائها)، من (أي ملف تعريف المستخدم) والظروف البيئية (مثل درجة الحرارة والضوء والصوت والرطوبة)؛ من خلال مقارنة السياق الافتراضي

والسياق المادي، يمكن للمصمم زيادة فهم السياقات المثالية والحقيقية التي يتم فيها استخدام المنتج، لتحسين قدرة المنتج على التكيف.

4.3 التقييم والتحقق الافتراضي :

الغرض من التقييم الافتراضي القائم علي التوأم الرقمي هو تقليل التناقضات بين السلوك الفعلي والسلوك المتوقع ، حيث يشمل التحقق الافتراضي بيانات من العالم المادي يتم جمعها من خلال أجهزة استشعار مختلفة مثبتة على المنتج الحقيقي، تشمل البيانات كلاً من سجلات البيانات وبيانات الوقت الفعلي؛ بناءً على البيانات المادية الواردة يتم تطوير النموذج الافتراضي وتحسينه تدريجياً وبالتالي اكتشاف عيوب التصميم بدقة وإجراء تغييرات سريعة ويقترح حلولًا تتعلق بالأنظمة الحقيقية تؤدي إلى تحسين التصميم بكفاءة ، لم تعد هناك حاجة إلى الانتاج الجزئي حيث انه في عملية التصميم التقليدية يجب اختبار المنتجات الجديدة بشكل متكرر قبل الإنتاج الضخم؛ باستخدام التوأم الرقمي يمكن للمصمم التنبؤ بسلوك المنتج وتصحيح الأخطاء من خلال الاستفادة الكاملة من البيانات المختلفة مما يجعله أكثر فعالية ويقصر دورات التصميم بشكل كبير ويقلل التكاليف؛ وبالتالي باستخدام تكنولوجيا التوأم الرقمي يمكن للمصممين إنشاء سيناريوهات محاكاة حية، وتطبيق اختبارات المحاكاة بفعالية على النماذج الأولية ، والتنبؤ بدقة بالأداء الفعلي للمنتجات المادية بأكبر قدر ممكن من الدقة.

5.3 التصنيع بالإضافة:

يستخدم التوأم الرقمي كنهج لتقييم المكونات المطبوعة ثلاثية الابعاد، وتتمثل الأهداف في خفض عدد الاختبارات التجريبية واختبارات الأخطاء من أجل الحصول على خصائص المنتج المرغوب وتقصير الوقت بين التصميم والإنتاج.

6.3 نظم الموارد البشرية:

يتم انشاء نموذج للتفاعل البشري المتطور في التوأم الرقمي ويساعد في تعاون الإنسان الآلي على اكتساب رؤى ثاقبة بشأن نظم الإنتاج المعقدة ويتيح اختبار سياسات التشغيل الجديدة قبل تنفيذها في إطار الإنتاج الفعلي في العالم الحقيقي باستخدام التجارب الافتراضية والتحقق من صحة نظم الإنتاج خلال مرحلة التطوير[٢].

7.3 محاكاة نظم الإنتاج:

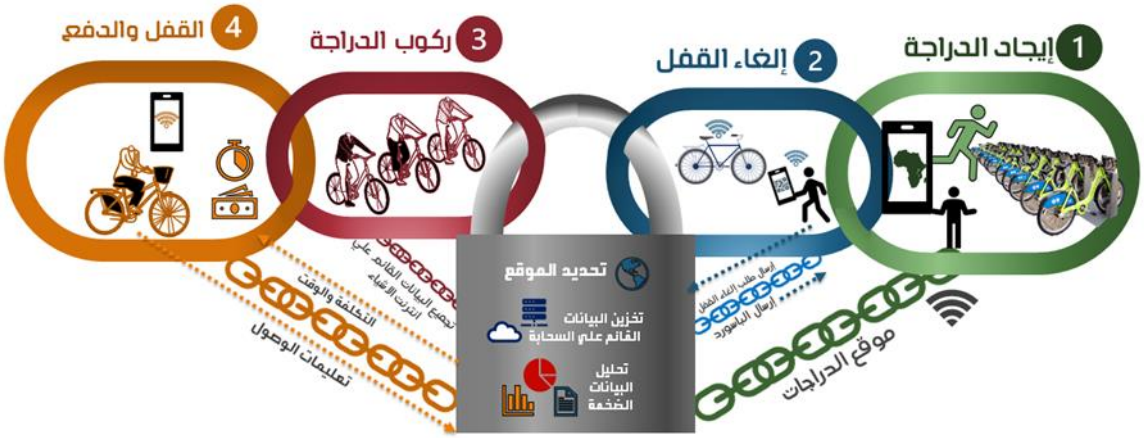
يتمثل دور التوأم الرقمي في عملية الإنتاج في تقليل الوقت المطلوب لطرح المنتج في السوق من خلال إنشاء سيناريوهات محاكاة حية وتطبيق اختبارات المحاكاة بفعالية على النماذج الأولية للتنبؤ بالأداء الفعلي للمنتج المادي أو النظام بدقة قبل اكتماله والتنبؤ بما إذا كان من الممكن تحقيق الخصائص والوظائف المطلوبة أثناء تخطيط وتطوير المنتج أو العملية، مما يُمكن من القضاء على نقاط الضعف ومصادر الخطأ المحتملة لضمان السلوك السليم وبالتالي تحسين الأداء مسبقًا مما يؤدي إلى تقليل التكاليف والوقت.

8.3 التخطيط للصيانة:

باستخدام الصيانة التنبؤية يتم توقع عمر المكونات وتحديد المشاكل المستقبلية من خلال جمع البيانات وتحليلها والمحاكاة بشكل مستمر طبقاً لسجلات البيانات وبذلك يمكن استبدال هذه المكونات قبل حدوث الأعطال أو الأخطاء مما يؤدي إلى أساليب أكثر كفاءة للصيانة.

4. مثال تطبيقي : تطبيق نموذج التوأم الرقمي في تصميم الدراجات:

مشاركة الدراجات هو نموذج لاستخدام الدراجات كنوع من الخدمة العامة، عندما يريد المستخدم الحصول على دراجة فإنه يقوم بفتح التطبيق الخاص بالخدمة، ثم يعرف مكان الحصول على دراجة طبقا لوظيفة تحديد الموقع، بعد حصول المستخدم على الدراجة يقوم بمسح رمز الاستجابة السريعة QR code الموجود على اللوحة فيتم إرسال كلمة المرور إلى واجهة التطبيق الخاصة به، أو يتم فتح القفل الذكي للدراجة تلقائيًا، ثم يمكنه ركوب الدراجة، عندما يصل المستخدم إلى مكانه، يقوم بقفل قفل الدراجة ويدفع مقابل الاستخدام عبر التطبيق شكل (٩).



شكل (٩). خطوات الاستخدام والتفاعل في نموذج مشاركة الدراجات

من خلال تكنولوجيا المعلومات يتم جمع بيانات الدراجات المادية وبيانات الوقت الحقيقي (مثل الموقع والطريق والحالة ..الخ) باستخدام إنترنت الأشياء أثناء الاستخدام، ومن خلال الحوسبة السحابية cloud computing يتم تنفيذ جميع عمليات تخزين بيانات الدراجات ومعالجتها وتحليلها (مثل الحوسبة والإحصاءات وتحديد المواقع ..الخ) .

يربط الإنترنت بين المستخدمين والدراجات و السحابة مثل (ارسال المستخدم طلب إلغاء القفل وإرشادات الوصول إلى السحابة، ثم تغذي السحابة الموقع وكلمة المرور والوقت والتكلفة للمستخدم، يتم جمع تعليقات المستخدم أيضًا من التطبيقات من خلال الاجهزة الذكية (مثل الهواتف الذكية وأجهزة iPad الخ)، ومع تقنيات تكنولوجيا المعلومات يتم الحصول على البيانات الضخمة من الدراجات وتحليلها، تساعد هذه البيانات في بناء التوأم الرقمي للدراجات ودعم المصمم لإعادة تصميم الدراجات.

إعادة تصميم الدراجات القائم علي التوأم الرقمي:

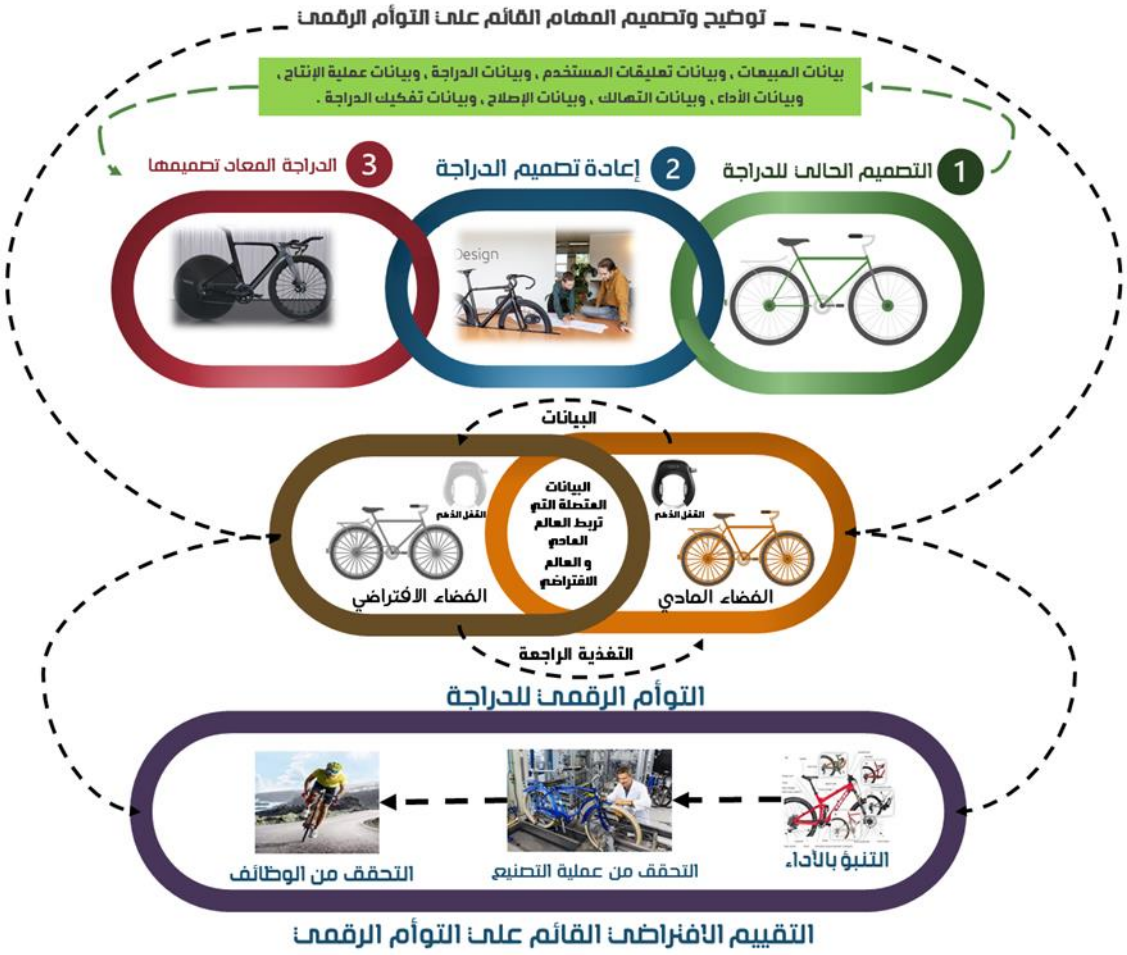
تعتمد أساليب تصميم الدراجات التقليدية على معرفة وخبرة المصمم، إن التوأم الرقمي يمهد طريقة جديدة لتصميم الدراجات شكل (١٠) ، يتكون التوأم الرقمي للدراجة بشكل أساسي من ثلاثة أجزاء:

الدراجة الافتراضية في الفضاء الافتراضي ، والدراجة الحقيقية في الفضاء المادي ، والبيانات التفاعلية بين الدراجة الافتراضية والحقيقية.

من خلال إنترنت الأشياء والإنترنت يمكن للفضاء الافتراضي الحصول على البيانات الخاصة بالدراجة الحقيقية ، مثل السرعة والتسارع وضغط العجلة وتعليقات المستخدم وبيانات البيئة ...الخ.

باستخدام هذه البيانات ، يمكن إنشاء نموذج افتراضي في الفضاء الافتراضي، وهو انعكاس حقيقي للدراجة الحقيقية خلال دورة حياة الدراجة بأكملها ، ثم يتفاعل الفضاء الافتراضي مع الفضاء المادي من خلال جمع البيانات وتحليلها وتجميعها ، والتي يمكن استخدامها لتصميم أو إعادة تصميم دراجات الجيل التالي.

تتضمن دورة حياة الدراجة التصميم والتصنيع والمبيعات والصيانة ، إلخ. كما هو موضح في شكل (١٠) ، يمكن للمصمم الحصول على جميع بيانات الجيل الأخير من الدراجات من خلال التوأم الرقمي ، لإعادة تصميم الجيل التالي. في مرحلة تحديد المتطلبات ، يمكن للمصمم الحصول علي تعليقات المستخدم عبر الإنترنت ، بدلاً من الطرق التقليدية كالاستبيان ، ثم من خلال تحليل هذه التعليقات ، يمكن للمصمم اكتشاف عيوب تصميم الدراجة ، والاحتياجات الخاصة للمستخدمين ، وتصور التطوير المستقبلي.



شكل (١٠). تصميم الدراجة القائم علي التوأم الرقمي والتحقق الافتراضي.

من خلال عملية التوأم الرقمي للدراجة ، يتم تحويل متطلبات المستخدم إلى متطلبات وظيفية مثل (معظم دراجات المشاركة لا تحتوي على مقاعد خلفية التي يفضلها المستخدم حيث تكون مفيدة لحمل شيء أو شخص وبالتالي يؤخذ المصمم في الاعتبار تصميم المقاعد الخلفية).

عند تحديد المتطلبات الوظيفية يتم تعيين معايير التصميم ومبادئ العمل والهياكل المادية للدراجة القائم على التوأم الرقمي. من خلال مثال تصميم المقعد الخلفي ، فإن المصمم يقارن الفرق بين المقعد الخلفي الفعلي والمقعد الخلفي المتوقع ، لتعميق

فهمهم للسياقين المثالي والحقيقي، ثم باستخدام طريقة تصميم المنتج القائم علي التوأم الرقمي ، يمكن للمصمم إجراء مقارنة شاملة وتحليل معايير الدراجة ، وجمهور المستخدمين ، وتعليقات المستخدم حول الغرض من الاستخدام. اخيرا، يتم تصميم المقعد الخلفي للدراجة ليكون ارتفاعه مناسبًا. وكذلك ، نظرًا لأن المقعد الخلفي يجب أن يكون قادرًا على تحمل وزن معين، يجب مراعاة اختيار الخامة ، وكذلك الشكل والمساحة ..الخ.

التقييم الافتراضي القائم علي التوأم الرقمي ، والذي يتضمن ثلاث خطوات شكل (١١):

شكل (١١) خطوات التقييم الافتراضي القائم علي التوأم الرقمي في تصميم الدراجة

نتائج البحث :

1. تكنولوجيا التوأم الرقمي تعمل على زيادة المرونة و التكيف والذكاء للمنتج حيث الحفاظ على أداء المنتج أو النظام من خلال تحليل الأداء الفعلي وعند تغيير الظروف البيئية أو ظروف التشغيل يتم تعديل الخصائص تلقائيًا بحيث يعمل المنتج أو النظام دائمًا كما هو مخطط له.
2. بتطبيق تكنولوجيا التوأم الرقمي خلال مراحل تصميم المنتج يتم مراقبة المراحل وتحليلها لتحسين الجودة واكتشاف السلوك غير الطبيعي والتي تمكن من تقليل التكاليف والوقت وتزويد المنتج المادي بسياسات عمل أفضل.
3. باستخدام تكنولوجيا التوأم الرقمي يمكن للمنتج الافتراضي (الرقمي) أن يدرك بشكل أفضل العالم الحقيقي من خلال ردود الفعل في الوقت الحقيقي من منتجها المادي ،كما يمكن للمنتج الافتراضي توليف بيانات الاستشعار باستخدام البيانات

من أجيال المنتجات السابقة وتحليلها لاكتساب المعرفة للاستفادة منها في المراحل الأولى من الجيل الجديد للمنتج لتحقيق أفضل التصاميم الجديدة.

توصيات البحث:

1. توجيه الكثير من الاهتمام للاستفادة من إمكانات التوأم الرقمي في مراحل عملية تصميم وتطوير المنتج وفي مراحل الإنتاج وما بعد الإنتاج .
2. توجيه المصممين لاستخدام تكنولوجيا التوأم الرقمي في عملية تصميم المنتج الصناعي.

المراجع

1. Adamenko, D., Kunnen, S., Pluhnau, R., Loibl, A., & Nagarajah, A. Review and comparison of the methods of designing the Digital Twin. Procedia CIRP, 91, (2020) 27–32.
2. Bellalouna, F. Case study for design optimization using the digital twin approach. Procedia CIRP, 100, (2021),595–600.
3. E.H. Glaessgen, D. Stargel, The Digital Twin Paradigm for Future NASA and US Air Force Vehicles, in: 53rd Struct. Dyn. Mater. Conf. Special Session: Digital Twin, Honolulu, HI, US, 2012, 1–14.
4. Fei T, Fangyuan S, Ang L, Qinglin Q, Meng Z, Boyang S, Zirong G, Stephen C, Nee Fei T. Digital twin-driven product design framework. In: International Journal of Production Research; 2018. p. 1-19.
5. Grieves M. Digital and Physical Twins. In: Complex Systems Engineering: Theory and Practice, Virtually Intelligent Product Systems, 2019.
6. Grieves M. Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking. In: McGraw-Hill, New York; 2006.
7. Grieves M. Product Lifecycle Management: the new paradigm for enterprises. In: Int. J. Product Development; 2005. p. 71-84.
8. Grieves M. Virtually Perfect: Driving Innovative and Lean Products through Product Lifecycle Management, In: Space Coast Press, Cocoa Beach; 2011.
9. Lin, T. Y., Jia, Z., Yang, C., Xiao, Y., Lan, S., Shi, G., Zeng, B., & Li, H. Evolutionary digital twin: A new approach for intelligent industrial product development. Advanced Engineering Informatics, 47 (2021).
10. Schleich B, Anwer N, Mathieu L, Wartzack S. Shaping the digital twin for design and production engineering. CIRP Annals 2017; p.141-144.
11. Singh, S., Weeber, M., & Birke, K. P. Advancing digital twin implementation: A toolbox for modelling and simulation. Procedia CIRP, 99, (2021),567–572.
12. Tao, F., Sui, F., Liu, A., Qi, Q., Zhang, M., Song, B., Guo, Z., Lu, S. C. Y., & Nee, A. Y. C. Digital twin-driven product design framework. International Journal of Production Research, 57(12), (2019) 3935–3953.
13. Wagner, R., Schleich, B., Haefner, B., Kuhnle, A., Wartzack, S., & Lanza, G. Challenges and potentials of digital twins and industry 4.0 in product design and production for high performance products. Procedia CIRP, 84, (2019) ,88–93.

14. Zheng, P., & Hong Lim, K. Y. Product family design and optimization: A digital twin-enhanced approach. Procedia CIRP, 93, (2020), 246–250.

(١)جنرال إلكتريك هي شركة صناعية وتكنولوجية ضخمة في مدينة نيويورك ، تعمل في قطاعات الطيران، والرعاية الصحية، والطاقة، والطاقة المتجددة، وصناعة التكنولوجيا الرقمية.

(٢)مؤسسة بارامترك تكنولوجي Parametric Technology Corporationهي شركة لخدمات وبرامج الكمبيوتر تعمل في تطوير برنامج النمذجة البارامترية والتصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD) و المنتج القائم على الإنترنت لإدارة دورة حياة المنتج.

(٣) سيمنز أكبر شركة صناعية في أوروبا، تعمل الشركة في العديد من المجالات مثل الصناعة، الطاقة، الرعاية الصحية، البنية التحتية.

(٤) أنسيس ANSYS هي شركة تقوم بتطوير وتسويق برامج المحاكاة الهندسية، يستخدم برنامج أنسيس لتصميم المنتجات وأشباه الموصلات، وكذلك لإنشاء المحاكاة التي تختبر متانة المنتج، وتوزيع درجة الحرارة، وحركات السوائل، والخصائص الكهرومغناطيسية.

(٥) داسوا للطيران (Dassault) هي شركة صانعة طائرات متمركزة بفرنسا. وتنتج خاصة طائرات حربية، و طائرات رجال الأعمال.

(٦) الحوسبة السحابية Cloud Computing هو مصطلح يشير إلى الأنظمة الحاسوبية عبر الشبكة ويشمل موارد مثل مساحة لتخزين البيانات والنسخ الاحتياطي والمزامنة الذاتية، كما يشمل قدرات معالجة برمجية وجدولة للمهام ودفع البريد الإلكتروني والطباعة عن بعد... الخ.

(٧) Z-Wave هو بروتوكول اتصال لاسلكي يستخدم بشكل أساسي في أتمتة المنازل تستخدم موجات راديو لبناء اتصال بين جهاز وآخر في المنزل، مما يسمح بالتحكم اللاسلكي بالأجهزة المنزلية كالتحكم في الأنوار، وأنظمة الحماية، وجهاز تنظيم الحرارة، والنوافذ، والأقفال.

(٨) يتمثل الاختلاف الأساسي بين القدرة والوظيفة في أن القدرة تعتمد بالضرورة على منتج محدد ، في حين أن الوظيفة يمكن أن تكون مستقلة عن المنتج حيث يمكن صياغة وظائف جديدة بناءً على احتياجات المستخدمون.