تعزيز استدامة الأنظمة الذكية في تصميم الأثاث باستخدام التوأمة الرقمية المدعومة بالتعلم العميق

Enhancing the Sustainability of Smart Systems in Furniture Design Using Digital Twin Technology Supported by Deep Learning

م.م/إسراء مجدى عبد الحسيب ابراهيم
مدرس مساعد بقسم التصميم الداخلى والاثاث - كلية الفنون التطبيقية – جامعة 6 اكتوبر
Assist. Lect. Esraa Magdy Abdel-Haseeb Ibrahim
Assistant Lecturer, Department of Interior Design and Furniture - Faculty of Applied Arts – 6th of October University
esraamagdy2812@gmail.com

الملخص:
يشهد مجال تصميم الأثاث تحولات جوهرية مع تطور تقنيات الثورة الصناعية الرابعة، التي تشمل إنترنت الأشياء (Internet of Things - IoT)، التوأمة الرقمية (Digital Twin)، الحوسبة السحابية (Cloud Computing) والتعلم العميق (Deep Learning-DL)، بهدف تحقيق استدامة بيئية واقتصادية متقدمة. تواجه هذه المجالات تحديات متزايدة تتطلب تطوير أنظمة تصميم أثاث ذكية توازن بين الابتكار الوظيفي والجمالي وتقليل الأثر البيئي.

يركز هذا البحث على استكشاف دور التوأمة الرقمية (DT) المدعومة بالتعلم العميق (DL) في تعزيز استدامة الأنظمة الذكية في تصميم الأثاث، من خلال بناء نموذج افتراضي ديناميكي يحاكي الأداء الحقيقي للمنتج. يُجمع هذا النموذج بيانات حية من أجهزة استشعار ذكية ضمن منظومة إنترنت الأشياء(IOT)، مما يتيح مراقبة دورة حياة المنتج وتحليل الأداء في الوقت الحقيقي. تستخدم خوارزميات التعلم العميق (DL) لتحليل البيانات بهدف تحسين جودة التصميم، تخصيص المنتجات، والتنبؤ بالأعطال لتعزيز الصيانة التنبؤية وتقليل والتكاليف. تدعم الحوسبة السحابية تخزين ومعالجة البيانات، فيما يسهم تحليل البيانات الضخمة في استخراج رؤى دقيقة لتحسين اتخاذ القرار التصميمي. تم اعتماد منهج الوصفي التحليلي من خلال وصف وتحليل تقنيات الثورة الصناعية الرابعة مثل التوأمة الرقمية والتعلم العميق والحوسبة السحابية على تصميم الأثاث، بهدف تقييم أثر تكامل هذه التقنيات في تعزيز استدامة تصميم الأثاث.

تشير النتائج إلى أن دمج التوأمة الرقمية (DT) والتعلم العميق (DL) وإنترنت الأشياء (IOT) والحوسبة السحابية للبيانات تتيح نقلة نوعية في تصميم أثاث ذكي ومستدام، يوفر حلول تصميم مرنة، مخصصة، وفعالة بيئيًا واقتصاديًا، تدعم الاقتصاد الدائري والتنمية المستدامة. مما يعزز قدرة المصممين والمصنعين على اتخاذ قرارات مستنيرة، وتحسين جودة المنتج، وتقليل الهدر، مما يعزز تجربة المستخدم و مكانة صناعة الأثاث ضمن توجهات الصناعة الذكية.

الكلمات المفتاحية :
التوأمة الرقمية، التعلم العميق، إنترنت الأشياء، الحوسبة السحابية، الاقتصاد الدائرى.

Doi: 10.21608/mjaf.2025.393979.3755

Abstract:

The field of furniture design is undergoing fundamental transformations with the advancement of Fourth Industrial Revolution technologies, including the Internet of Things (IoT), Digital Twins, Cloud Computing, and Deep Learning (DL), aiming to achieve advanced environmental and economic sustainability. These domains face growing challenges that require the development of intelligent furniture design systems that balance functional and aesthetic innovation while reducing environmental impact.

This model aggregates live data from smart sensors within an IoT framework, enabling real-time monitoring of the product's lifecycle and performance analysis. Deep learning algorithms are employed to analyze data, improving design quality, product customization, and predictive maintenance to reduce costs. Cloud computing supports data storage and processing, while big data analytics extracts precise insights to enhance design decision-making.

A descriptive-analytical methodology was adopted to examine the impact of Fourth Industrial Revolution technologies—such as digital twins(DT) , deep learning(DL), and cloud computing—on furniture design, evaluating how their integration promotes sustainability. Findings indicate that combining digital twins(DT), deep learning(DL), Internet of Things (IoT), and data computing enables a qualitative shift toward smart, sustainable furniture design. This approach offers flexible, customized, and eco-efficient solutions, supporting the circular economy and sustainable development. It empowers designers and manufacturers to make informed decisions, improve product quality, and minimize waste, strengthening User experience and the furniture industry's position within smart manufacturing trends.

Keywords:

Digital Twin, Deep Learning, Internet of Things, Cloud Computing, Circular Economy.

المقدمة:

يشهد قطاع تصميم الأثاث تحولًا متسارعًا في ظل الثورة الصناعية الرابعة، التي ترتكز على تقنيات متقدمة مثل إنترنت الأشياء (IoT) ، والتوأمة الرقمي (Digital Twin) ، والحوسبة السحابية (Cloud Computing) ، والتعلم العميق . (Deep Learning) تتيح هذه التقنيات إعادة تشكيل العمليات التصميمية من خلال نماذج افتراضية ذكية مدعومة ببيانات حية، ما يسهم في دعم اتخاذ قرارات تصميمية دقيقة وفعّالة، تُسهم بدورها في تقليل التكاليف التشغيلية وتحسين الأداء البيئي. يمثل هذا التكامل الرقمي أساسًا لتطوير أنظمة تصميم أثاث ذكية تتمتع بدرجة عالية من التخصيص والكفاءة، بما يتماشى مع متطلبات الاستدامة البيئية والاقتصاد الدائري. وفي ظل تصاعد التحديات البيئية وتغير أنماط استهلاك المستخدمين، لم تعد الاستدامة خيارًا ثانوياً، بل أصبحت ركيزة جوهرية في استراتيجيات التصميم الحديثة. ومن هذا المنطلق، أصبح من الضروري أن تتبنى صناعة الأثاث هذه التقنيات المتقدمة لتعزيز مرونة الإنتاج، وتحقيق قدرة تنافسية مستدامة، والاستجابة الفعالة للتغيرات المتسارعة في السوق الرقمي المعاصر.

مشكلة البحث:

تكمن مشكلة البحث فى مدى اغفال الدراسات فى دمج تطبيق التوأمة الرقمية والتعلم العميق في نظم التصميم الذكية، مما يعيق قدرة صناعة الأثاث على تحقيق توازن فعّال بين الابتكار والاستدامة.

أهداف البحث:

- تحليل دور البيانات الحية الناتجة عن أجهزة إنترنت الأشياء في تحسين جودة التصميم ودعم تخصيص الأثاث الذكي وفقًا لاحتياجات المستخدم.
- دراسة أثر تحليل العلاقة التكاملية بين الاقتصاد الدائري والتوأمة الرقمية والتعلم العميق وأثرها على تصميم الأثاث الذكي والمستدام.

فروض البحث:

يفترض البحث:
أن دمج التوأمة الرقمية والتعلم العميق مع إنترنت الأشياء والحوسبة السحابية يؤدى الى تعزيز كفاءة الموارد، يقلل الهدر، يحسن جودة الأثاث الذكي، ويدعم استدامة عمليات التصميم والإنتاج من خلال مراقبة وتحليل مستمرين لدورة حياة المنتج.

أهمية البحث:

تأتى أهمية البحث فى:

- تُسهم التوأمة الرقمية وتحليل البيانات الحية عبر إنترنت الأشياء في تعزيز استدامة تصميم الأثاث من خلال محاكاة الأداء الفعلي للمنتج وتحسين كفاءته التشغيلية طوال دورة حياته.
- يُساعد استخدام خوارزميات التعلم العميق في تمكين المصممين من تحسين جودة التصميم، تخصيص المنتجات، الصيانة التنبؤية، وتقليل التكاليف والهدر بشكل أكثر دقة وفاعلية.
- توفر الدراسة دمج تقنيات الثورة الصناعية الرابعة إطارًا تقنيًا متكاملًا يُسهم في تطوير أنظمة تصميم أثاث ذكي، مرن ومستدام تدعم الاقتصاد الدائري وتعزز من قدرة الصناعة على المنافسة.

منهجية البحث:

لتحقيق فروض البحث سيتم إتباع المناهج الأتية:
منهج الوصفى التحليلى: من خلال وصف وتحليل تقنيات الثورة الصناعية الرابعة مثل التوأمة الرقمية والتعلم العميق والحوسبة السحابية على تصميم الأثاث، مما يسمح بتقييم مدى قدرتها على دعم استدامة المنتجات وتلبية احتياجات المستخدمين المتنوعة.

حدود البحـــث:

- **الحدود الموضوعية:** التوأمة الرقمية – التعلم العميق – إنترنت الأشياء – تصميم الأثاث الذكي المستدام.
- **الحدود الزمنية:** بداية الثورة الصناعية الرابعة حتى عام 2030 مع توقع استمرار التطور والتوسع في مجال تصميم الأثاث.

المحـــور الأول: التحول الرقمي في تصميم الأثاث فى إطار الثورة الصناعية الرابعة:

يشهد تصميم الأثاث تطورًا جوهريًا في ظل التطور السريع لتقنيات التحول الرقمي مثل التوأمة الرقمية، التعلم العميق، وإنترنت الأشياء، التى أصبحت محركًا رئيسيًا نحو تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية.
وتُسهم هذه التقنيات في دعم اتخاذ قرارات تصميمية مستنيرة توازن بين الابتكار الوظيفي والجمالي وتقليل الأثر البيئي.

1-1:المفاهيم المرتبطة بموضوع الدراسة:

1-1-1:إنترنت الأشياء Internet of Things (IoT) : هى تقنية تسعى إلى استخدام الأجهزة والأنظمة المتصلة بذكاء للإستفادة من البيانات التي تم جمعها بواسطة أجهزة الأستشعار والمحركات المضمنة في الآلات والأشياء المادية الأخرى. بحيث يتم التحكم بها من خلال شبكة الانترنت. اطلق هذا التقارب بُعدًا جديداً من الخدمات التي تعمل على تحسين جودة حياة المستهلكين وإنتاجية المؤسسات، مما يفتح فرصة تشير إليها*GSMA بأسم "الحياة المتصلة".

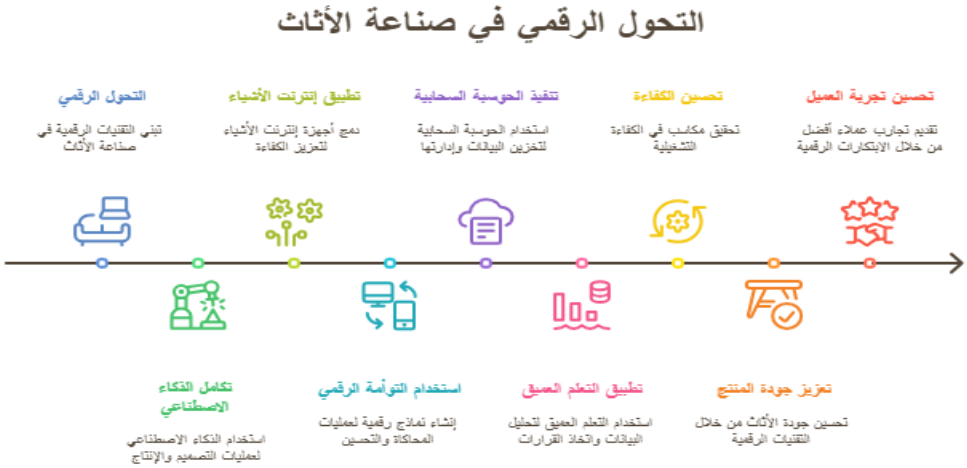
1-1-2:الحوسبة السحابية (Cloud Computing) : تشير الي الأنظمة الحاسوبية التى تُمكّن المستخدمين من الوصول إلى البيانات والمعلومات عبر شبكة الإنترنت، وتوفير مجموعة متكاملة من الخدمات الحاسوبية دون الحاجة إلى امتلاك البنية التحتية أو إدارتها بشكل مباشر. وتشمل هذه الخدمات مساحات لتخزين البيانات، النسخ الاحتياطي، المزامنة الذاتية، بالإضافة إلى قدرات المعالجة البرمجية، وجدولة المهام. وتُستخدم هذه التقنية على نطاق واسع في دعم الابتكار، وتحليل البيانات الضخمة، وتشغيل الأنظمة الذكية بكفاءة ومرونة عالية.

1-1-3:التعلم العميق Deep Learning (DL) : هو مجموعة جزئية من التعلم الآلي، حيث أنه الفرع الأكثر تطوراً في الذكاء الاصطناعي ، والمعني بتمكين الآلات من التعلم والتفكير مثل الإنسان ويتطلب التعلم العميق بنية معقدة تحاكي الشبكات العصبية للدماغ البشرية، وذلك بهدف فهم الأنماط، حتى مع وجود عناصر تشويش، وتفاصيل مفقودة.

1-1-4: التوأمة الرقمية Digital Twin (DT): هي نموذج افتراضي ديناميكي يُحاكي الأصول المادية والعمليات والأشخاص باستخدام تحليلات البيانات الفعلية في الزمن الحقيقي، بما يُمكّن من فهم الواقع الحالي للأشياء بدقة، وتعزيز كفاءة ودقة اتخاذ القرار. تُستخدم كأداة استراتيجية لسد الفجوة بين العالمين الفيزيائي والرقمي.
وفقًا لتعريف "اتحاد التوأمة الرقمية (Digital Twin Consortium) " بأنها:
"تمثيل افتراضي متكامل قائم على البيانات لكيانات وعمليات العالم الحقيقي، مع تفاعل متزامن عند تردد ودقة محددين".

2-1:التحول الرقمي في صناعة الأثاث:

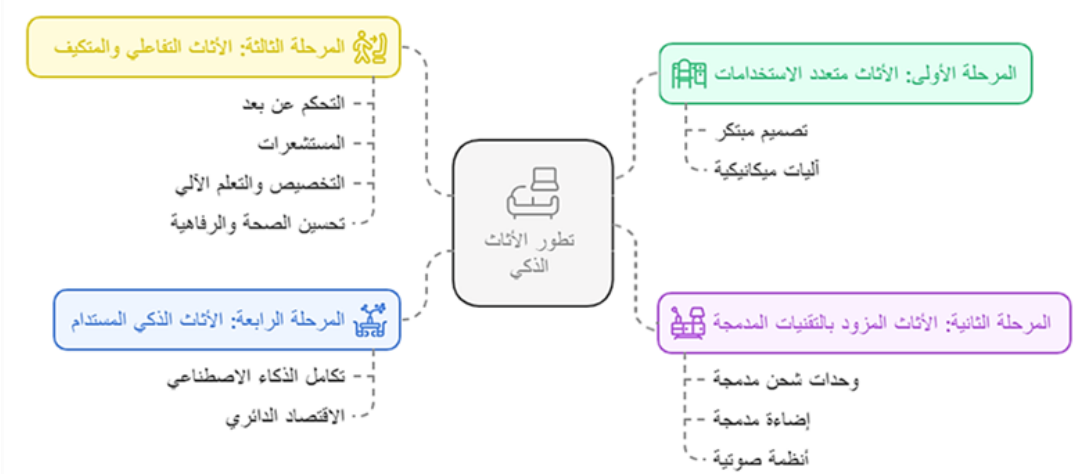
شهدت صناعة الأثاث خلال السنوات الأخيرة تحولًا رقميًا أدى إلى تغيير جذري في طرق التصميم، الإنتاج، والتسويق، مما ساهم في تحسين الكفاءة، جودة المنتج، وتجربة العميل. يعتمد التحول الرقمي في هذه الصناعة على دمج تقنيات حديثة مثل الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence) ، إنترنت الأشياء (Internet of Things) ، والتوأمة الرقمية (Digital Twin)، والحوسبة السحابية (Cloud Computing) ، والتعلم العميق(Deep Learning) . كما هو موضح بالشكل رقم (1).



شكل (1) يوضح التحول الرقمى فى صناعة الأثاث(الشكل من عمل الباحثة)

1-2-1: تطور تصميم الأثاث الذكى :

شهد تصميم الأثاث تحولاً جذريًا من كونه ثابتًا واستاتيكيًا إلى أثاث ديناميكي قادر على التغيير والتكيف مع احتياجات المستخدم والبيئة المحيطة، ثم إلى أثاث ذكي يعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي والرقمنة ليصبح قادراً على التفاعل والاستجابة لاحتياجات المستخدمين. ومع تطور تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، أصبحت قطع الأثاث قائمة على التفاعل والرقمنة. حيث اصبحت قادرة على الاستجابة للمؤثرات، وتقديم خدمات وظيفية وصحية وترفيهية متقدمة. كما هو موضح بالشكل رقم (2) تصنيف هذا التطور الى أربع مراحل .



شكل (2) يوضح مراحل تطور الاثاث الذكى(الشكل من عمل الباحثة)

2-2-1: تصنيف مراحل تطور الاثاث الذكى:

نتيجة لهذا التكامل أصبح من الضروري إعادة تصور تصميم الأثاث بما يتلاءم مع مفاهيم الذكاء والاتصال والاستجابة التفاعلية. ولم يعد الأثاث مجرد كائن مادي يؤدي وظيفة محددة، بل تحول إلى **نظام ذكي** قادر على التفاعل والتكيف والتخصيص بما يحسن من تجربة المستخدم وتحقيق أهداف الاستدامة الذكية، ويمكن تصنيف أنماط الى اربع فئات:

1. المرحلة الأولى: الأثاث متعدد الاستخدام او الوظائف:

- كان كان الاعتماد على التصميم المبتكر والآليات الميكانيكية بهدف تحسين استغلال المساحات. أمثلة على ذلك: الأرائك التي تتحول إلى أسرة، طاولات الطعام القابلة للطي أو التمدد، ووحدات التخزين المخفية.

صورة (1) توضح قطعة اثاث متعددة الوظائف او الإستخدام(صورة من تجميع الباحثة)

2. المرحلة الثانية : الأثاث المزود بالتقنيات المدمجة:

- دمج عناصر تكنولوجية بسيطة بقطع الأثاث، مثل :
  - وحدات شحن مدمجة :منافذ USB ومقابس كهرباء مدمجة في الأرائك والطاولات.
  - أنظمة صوتية :مكبرات صوت بلوتوث مدمجة في الطاولات أو المقاعد.

صورة (2) توضح قطعة اثاث (طاولة) مدمجة بوحدات شحن

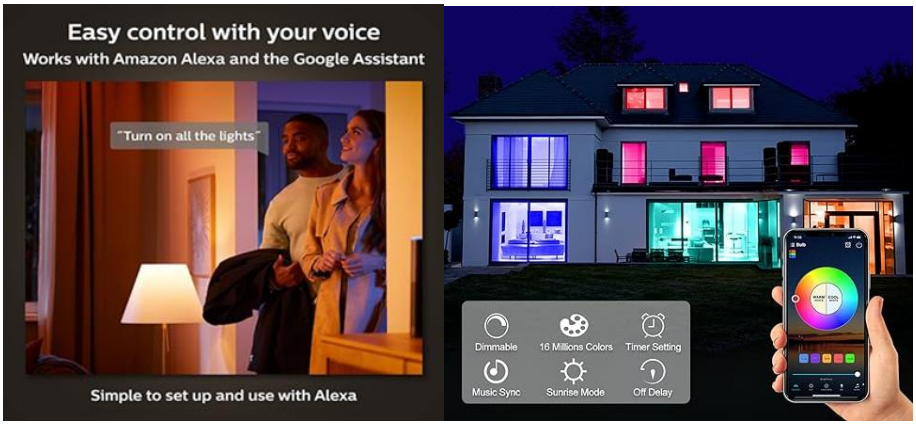
صورة (3) توضح قطعة اثاث (طاولة) مدمجة بأنظمة صوتية

3. المرحلة الثالثة :الأثاث التفاعلي والمتكيف الأثاث الذكي(Smart Furniture) :

- مع ظهور إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI)، أصبح الأثاث الذكي يجمع بين الاستشعار، المعالجة، والاتصال.مما جعلة جزءًا من أنظمة المنزل الذكي، مثل :
  - التحكم عن بعد :التحكم في وظائف الأثاث (مثل ضبط ارتفاع المكتب، أو وضع السرير) عبر تطبيقات الهواتف الذكية أو الأوامر الصوتية.

صورة (4) توضح وحدة مدمجة تتحكم بضبط ارتفاع المكتب عبر تطبيقات الهواتف الذكية لشركة reddot winner

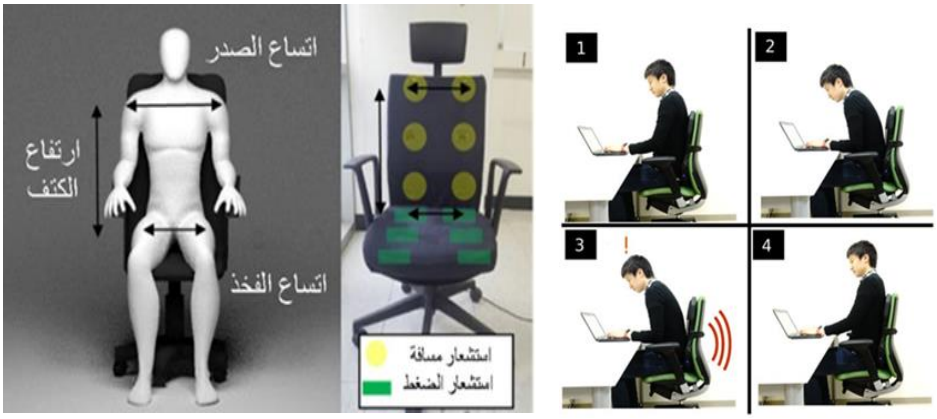
- المستشعرات :دمج مستشعرات الحركة، درجة الحرارة، أو الضوء لضبط وظائف الأثاث تلقائيًا (مثل إضاءة تلقائية عند الدخول للغرفة، أو تعديل وضع السرير بناءً على حركة المستخدم).



صورة (5) توضح مصباح الإضاءة الذكى Philips Hue Smart Bulb

- التخصيص والتعلم الآلي :بعض قطع الأثاث الذكي تتعلم تفضيلات المستخدم بمرور الوقت وتعدل وظائفها لتوفير أقصى درجات الراحة والإنتاجية. وفق تفضيلات المستخدم، تُسهم هذه التقنية في دعم الصحة من خلال أسرّة تتابع النوم وكراسي تُنبه المستخدم لتغيير وضعيته.

صورة (6) توضح امكانيات الأسرّة ذكية بها خاصية الـ Chatbots(صورة من تجميع الباحثة)



صورة (7) توضح كرسى المكتبى الذكى لشركة Smart Office

4. المرحلة الرابعة: الأثاث الذكي المستدام (المستقبل):

- يتجه الأثاث الذكي نحو التكامل الأعمق مع الذكاء الاصطناعي (التعلم العميق، التوأمة الرقمية)، مما يتيح له توقع احتياجات المستخدم والاستجابة لها بشكل استباقي، مما يدعم التوجه نحو الاقتصاد الدائري

3-2-1: تكامل الأنظمة الذكية في تصميم الأثاث بين الذكاء والاستدامة:

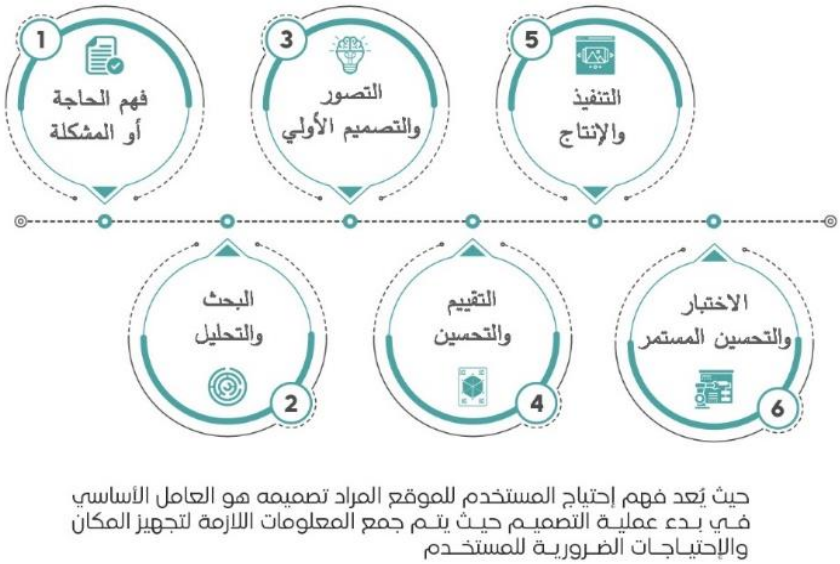
تُعرف الأنظمة الذكية في مجال الأثاث بأنها تلك المنتجات أو المكونات التي تتضمن تقنيات حاسوبية، استشعار، واتصال، مما يمكنها من التفاعل الذاتي أو شبه الذاتي مع المستخدم والبيئة المحيطة. تتيح الأنظمة الذكية فرصًا فريدة لتعزيز الاستدامة من خلال تحسين كفاءة الاستخدام تهدف هذه التقنيات إلى رفع كفاءة الموارد وتقليل الهدر وتحسين جودة التصميم وتحقيق استدامة شاملة من خلال دمج الواقع المادي بالرقمي. ويتحقق ذلك من خلال توظيف مكونات تقنية تشتمل على:

- **وحدات المعالجة:** التي تتيح اتخاذ قرارات بناءً على تحليلات مدخلات محددة، سواء من المستخدم أو البيئة المحيطة(مثل الحوسبة السحابية).
- **أجهزة استشعار:** تراقب العوامل البيئية (مثل الضوء، الحركة، الحرارة، الرطوبة).
- **وحدات اتصال :** تعتمد على تقنيات مثل البلوتوث، الواي فاى(Wi-Fi) ، أو إنترنت الأشياء(IoT) ، بهدف الربط والتكامل مع أجهزة أو أنظمة خارجية، مما يتيح تبادل البيانات وتحقيق تواصل فعال في البيئات الذكية.

أدى هذا التطور إلى تغيير النظرة للأثاث من كونه مجرد عنصر مادي وظيفي إلى نظام ديناميكي ذكي قادر على التفاعل، التكيف، والتخصيص، ما يعزز من الاستدامة والراحة وتجربة المستخدم.

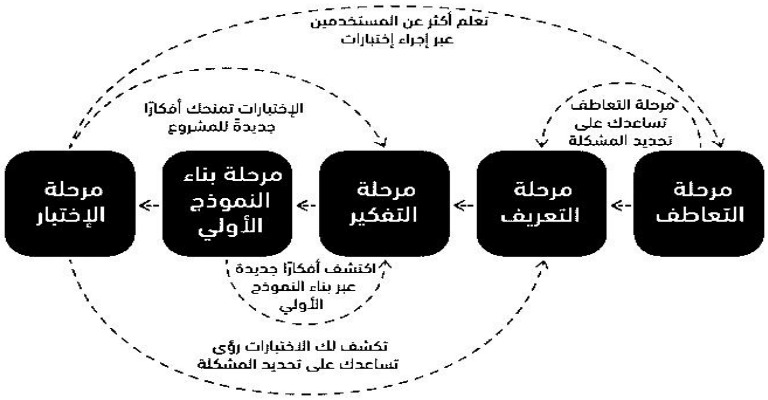
3-1: تطور المنهجيات التصميمية في ظل الثورة الصناعية الرابعة:

مع التغيرات المتسارعة التي فرضتها الثورة الصناعية الرابعة، لم يقتصر التحول في تصميم الأثاث على مستوى الشكل أو التقنيات المستخدمة فحسب، بل شمل كذلك البنية الفكرية والمنهجية لعملية التصميم ذاتها. تقليديًا، كانت العملية التصميمية تُنفّذ وفق نموذج خطي متتابع يشمل مراحل ثابتة تبدأ بتحديد المشكلة، تليها مرحلة البحث والتحليل، ثم توليد الأفكار، ثم التقيم والتحسين، وأخيرًا التنفيذ والانتاج ثم الاختبار.كما هو موضح بشكل رقم(3) ورغم نجاح هذا النموذج في بيئات إنتاجية مستقرة، إلا أنه أثبت محدوديته في الاستجابة للمتغيرات المعقدة والديناميكية في البيئة المعاصرة.



شكل (3) يوضح مخطط لمراحل عملية التصميم التقليدى

نتيجة لذلك، ظهر ما يُعرف بـ"التفكير التصميمي(Design Thinking) "، وهو إطار منهجي تفاعلي يتميز بكونه غير خطي وتكراري، حيث يمكن الرجوع إلى أي مرحلة في أي وقت تبعًا لمتطلبات المشروع أو تفاعل المستخدمين أو نتائج الاختبار.كما هو موضح بالشكل رقم(4). يتسم التفكير التصميمي بالمرونة العالية ويضع المستخدم في قلب العملية الإبداعية، مما يجعله متسقًا تمامًا مع تطبيقات الذكاء الاصطناعي، والتوأمة الرقمية، والتعلم العميق التي تتطلب تحديثات مستمرة بناءً على بيانات واقعية حية



شكل (4) يوضح أن التفكير التصميمى عملية غير خطية

وبذلك، فإن تطور المنهج التصميمي من النموذج الخطي إلى التفكير التصميمي التكراري يمثل نقلة جوهرية تسهم في توظيف التقنيات الذكية ضمن عملية تصميم الأثاث الذكي المستدام، عبر التفاعل المستمر مع بيانات الاستخدام، والتحسين المتواصل للأداء والوظيفة والجماليات.

1-3-1: مقارنة بين التفكير التقليدى و التصميمى:

التفكير التقليدي والتصميمي هما نهجان مختلفان لحل المشكلات وتطوير الأفكار. التفكير التقليدي هو النهج التقليدي الذي يركز على حل المشكلات بطريقة تقليدية ومعتادة، بينما التفكير التصميمي هو نهج إبداعي يهدف إلى حل المشكلات من خلال الابتكار والتفكير الإبداعي. كما هو موضح بالجدول رقم (1).

م	وجه المقارنة	التفكير التقليدي	التفكير التصميمي
1	التوجيه الرئيسي	يعتمد على خبرة المصمم ورؤيته الشخصية.	يركز على فهم احتياجات المستخدم وتضمينه في العملية التصميمية.
2	التسلسل	يتبع تسلسلًا خطيًا، مثل تحديد المتطلبات، ثم التصميم، ثم التنفيذ.	لا يتبع تسلسلًا خطيًا، بل يشجع على التكامل المرحلي والتجارب التكرارية، مع إمكانية تعديل الحلول بناءً على التفاعلات.
3	التركيز الرئيسي (الهدف)	يكون التركيز أكثر على الإنتاج النهائي والشكل الخارجي.	يجعل المستخدم محورًا أساسيًا، مع تركيز على سهولة الاستخدام والفعالية.
4	الحلول المحددة مسبقًا	قد تكون الحلول محددة مسبقًا وتعتمد على الخبرة التقنية.	يعتمد على التفكير الاستدلالي، مع تحديد التحديات واقتراح الحلول بناءً على التجارب والاستفادة المستمرة.
5	التفاعل المستمر	قد يفتقد إلى التفاعل المستمر مع المستخدمين أثناء عملية التصميم.	يشجع على التفاعل المستمر مع المستخدمين وتكرار التحسينات بناءً على ردود الفعل.
6	المرونة والتجديد	يميل إلى الاستمرار في الإجراءات التقليدية والتكنولوجيا المتاحة.	يشجع على المرونة والتجديد، مع تجنب القيود وتشجيع على الأفكار الجديدة والتكنولوجيا الحديثة.

جدول (1) مقارنة بين التفكير التقليدى و التصميمى(جدول من عمل الدارسة)

4-1: تكامل الأبعاد الوظيفة والجمال والبيئة لتصميم الأثاث الذكي المستدام:

تتمثل عملية تصميم الأثاث الذكي المستدام تحديًا متعدد الأبعاد يتطلب تكاملًا دقيقًا بين الوظيفة والجماليات والاستدامة البيئية. ويُعد هذا التكامل عنصرًا جوهريًا لتحقيق منتجات تُلبي احتياجات المستخدم وتعززها، مع مراعاة الكفاءة التشغيلية وجودة التصميم وتقليل الأثر البيئي. كما هو موضح بالجدول رقم (2).

م	البُعد	الوصف	التقنيات المستخدمة	النتائج المتوقعة
1	الوظيفي	تحقيق أداء متعدد الوظائف يتفاعل ويتكيف مع سلوك واحتياجات المستخدم بشكل ديناميكي.	إنترنت الأشياء(IoT) ، الحساسات الذكية، التوأمة الرقمية.	تحسين مستوى الراحة والصحة- زيادة فعالية وكفاءة استخدام الأثاث.
2	الجمالي	دمج الجماليات مع الوظائف الذكية لتحسين تجربة المستخدم دون التأثير السلبي على التصميم.	الذكاء الاصطناعي لتحليل تفضيلات المستخدم، الواقع المعزز(AR) و الواقع المختلط (MR).	تعزيز جاذبية المنتج، وتحقيق تجربة مستخدم مخصصة تجمع بين الأداء والهوية الجمالية.

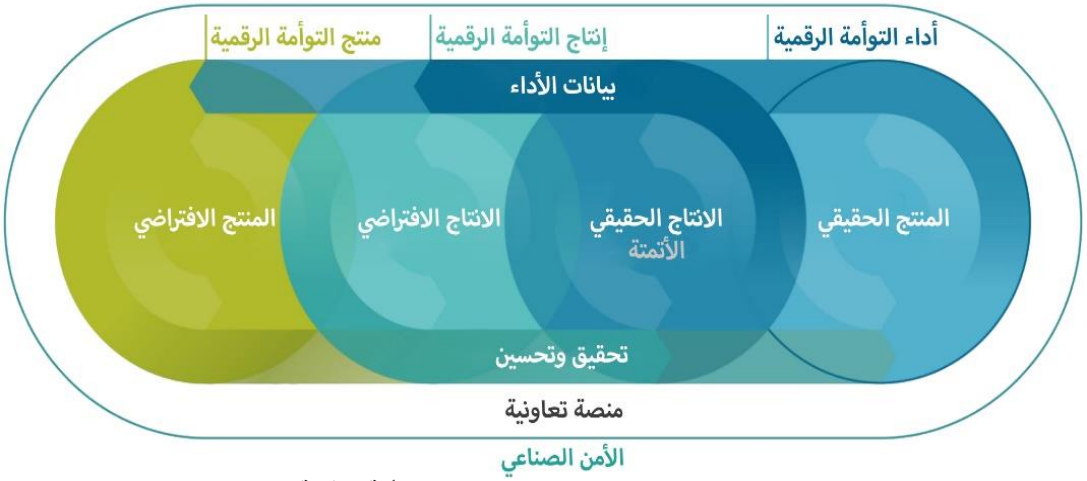
3	البيئي	تحسين دورة حياة المنتج عبر التحليل الرقمي والتنبؤ البيئي لتقليل البصمة البيئية لتحسين قرارات التصميم و استخدام المواد لإطالة دورة حياة المنتج.	التوأمة الرقمية (DT)، تحليل دورة الحياة *(LCA) لتحليل التنبؤي.	تقليل النفايات، خفض استهلاك الموارد، دعم مبادئ الاقتصاد الدائري بطرق ذكية.
4	الاستدامة الذكية	بناء نظام ذكي متكامل قادر على مراقبة وتحليل وتحسين أداء المنتج والمواد والتصميم بشكل مستمر بناءً على البيانات المتولدة من الاستخدام الفعلي.	التعلم العميق، التوأمة الرقمية، الحوسبة السحابية.	دورة حياة أطول للمنتج تقليل التكاليف الاقتصادية والبيئية، تحقيق تجربة مستخدم عالية التخصيص والفعالية .

جدول(2) يوضح تكامل الأبعاد التصميمية للاثاث الذكى(الجدول من عمل الباحثة)

المحور الثاني: التوأمة الرقمية والتعلم العميق لتعزيز دورة حياة الأثاث المستدامة:

2-1: التصميم من خلال التوأمة الرقمية Digital Twin (DT):

يتم استخدام التوائم الرقمية عبر سلسلة القيمة. في مرحلة التصميم ، يمثل التوأم الرقمي المنتج الافتراضي ، وفي معظم الحالات ، يكون تصميم التوأم الرقمي لا يقتصر على المحاكاة ثلاثية الأبعاد، بل تتجاوز ذلك لتوفير بيئة متكاملة لرصد الأداء، والتنبؤ بسلوكيات المنتج، وتحسينه على مدار دورة حياته. كما هو موضح بالشكل رقم (5).



شكل(5) يوضح مراحل التصميم من خلال التوأمة الرقمية

هذا التوسع في استخدام التوأمة الرقمية في التصميم يُحدث تحولاً نوعياً في فهم العلاقة بين الواقع الافتراضي والفيزيائي، حيث يُمكّن المصممين من محاكاة تفاعلات المنتج مع المستخدمين والبيئة، بما يعزز من كفاءة الموارد، ويقلل الهدر، ويرفع من جودة المنتج النهائي.

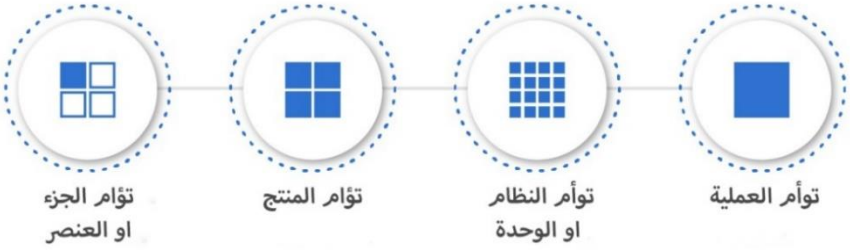
2-1-1: مكونات التوأم الرقمي:

يتكوّن التوأم الرقمي من مجموعة مكونات تشمل: البيانات الرقمية، النماذج ثلاثية الأبعاد، تقنيات الاستشعار، الذكاء الاصطناعي، البيانات الواقعية، الاتصالات السحابية وإنترنت الأشياء، التحليل والمحاكاة. تُمكّن هذه العناصر التوأم من التفاعل مع البيئة وتحسين الأداء في الزمن الحقيقي. كما هو موضح بالشكل رقم (6).

شكل(6) يوضح مراحل التصميم من خلال التوأمة الرقمية

2-1-2: أنواع التوأم الرقمي:

يمكن تصنيف التوائم الرقمية إلى أربعة أنواع أساسية (توأم المكون، وتوأم المنتج، وتوأم النظام، وتوأم العملية)، كل منها مصمم لتطبيقات محددة ومستويات التعقيد. تساعد هذه الفئات المؤسسات على توظيف التوأمة الرقمية بفعالية في مراحل التصميم والتشغيل المختلفة، هذا التصنيف يُعد أداة استراتيجية تتيح للمؤسسات والمصممين اختيار النموذج الأنسب لحالة الاستخدام المستهدفة، مما يعزز دقة التصميم ويقلل من الفجوة بين النموذج الافتراضي والواقع التنفيذي. كما هو موضح بالشكل رقم (7).

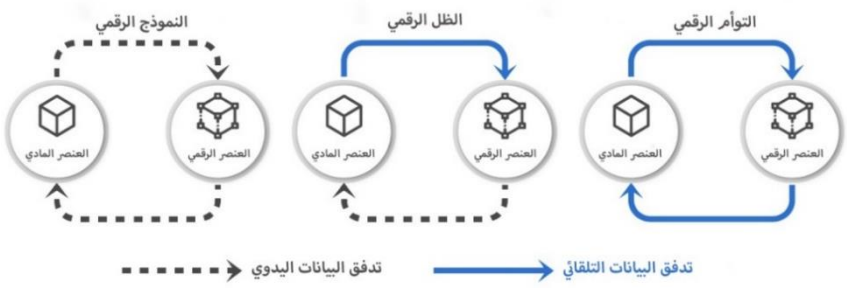


شكل(7) يوضح مستويات التوأم الرقمي

توأم الجزء او العنصر، الذي يُمثّل نموذجًا رقمياً لأصغر جزء فردي من المنتج، مثل الحساس أو الوصلة، ويُستخدم لتحليل الأداء تحت ظروف مختلفة. يليه توأم المنتج، الذي يُحاكي المنتج بأكمله كوحدة واحدة ويساعد على تقييم أدائه العام وتحسين تصميمه. أما توأم النظام، فيعكس مجموعة مترابطة من المنتجات ضمن نظام متكامل، ما يُتيح تطوير التكامل الوظيفي. وأخيرًا، يأتي توأم العملية، الذي يُستخدم لمحاكاة ومراقبة العمليات الصناعية أو التشغيلية الكاملة، مثل خطوط الإنتاج أو سلاسل التوريد.

2-1-3:مستويات التوأم الرقمي وفقا لإمكانية تبادل البيانات:

تُصنَّف التوائم الرقمية حسب إمكانية تبادل البيانات إلى ثلاثة مستويات: النموذج الرقمي، والظل الرقمي، والتوأم الرقمي الكامل. ويُعد التوأم الكامل الأعلى تكاملاً، حيث يتيح تبادلاً ثنائي الاتجاه للبيانات بين النموذج الفيزيائي والرقمي، مما يُعزز التفاعل والتحسين المستمر. كما هو موضح بالشكل رقم (8).



شكل(8) يوضح مستويات التوأم الرقمي

2-1-4: فوائد التوأم الرقمي للجهات المصنعة:

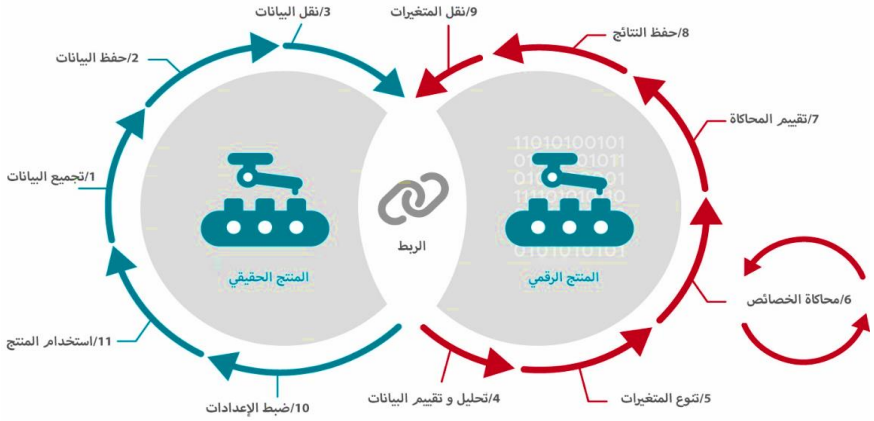
- يساهم التوأم الرقمي في خفض التكاليف وتسريع العمليات من خلال المحاكاة الدقيقة وتحليل البيانات اللحظي.
- يوفّر رؤية شاملة تساعد في تحسين التخطيط ودعم اتخاذ قرارات مبنية على بيانات دقيقة.
- يُحسّن تجربة المستخدم من خلال التخصيص والتفاعل الذكي مع احتياجاته المتغيرة.
- يعزز الكفاءة التشغيلية ويُسهم في استدامة الموارد عبر مراقبة الأداء وتحسينه باستمرار.
- يسرّع من وتيرة الابتكار من خلال اختبار النماذج افتراضياً قبل تنفيذها فعلياً.
- يربط الأنظمة والجهات المختلفة لتحقيق تنسيق أفضل وتكامل في الأداء.
- يرفع من مستوى الأمان والسلامة عبر التنبؤ بالمخاطر والتحكم الاستباقي في التهديدات.

شكل(9) يوضح فوائد التوأم الرقمي

2-1-5: التوأمة الرقمية كأداة لتعزيز دورة حياة الأثاث:

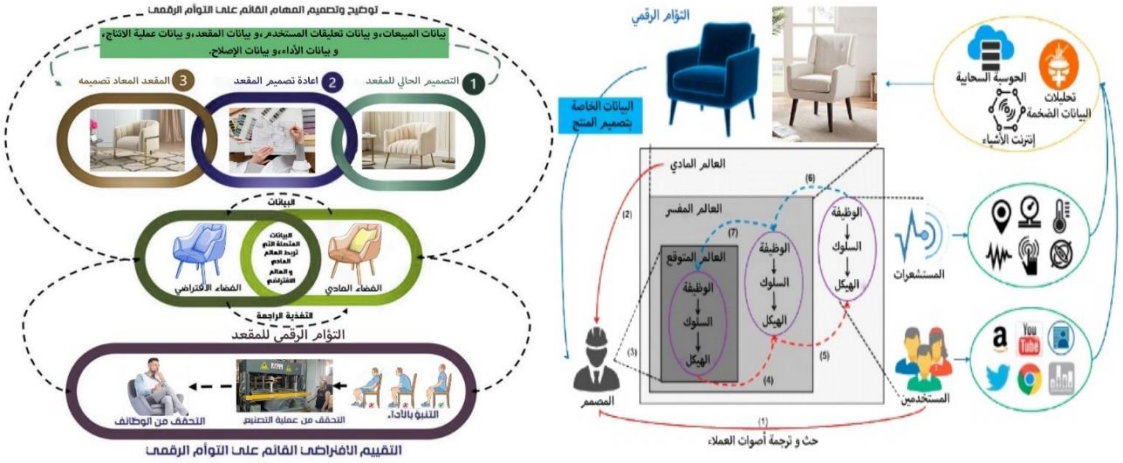
تُعد التوأمة الرقمية (Digital Twin) من أبرز التقنيات الحديثة الداعمة لاستدامة المنتجات في مختلف مجالات التصميم والتصنيع، بما في ذلك الأثاث. يُمكّن من رصد الأداء البيئي والوظيفي للمنتج على مدار دورة حياته. مما يسهم في تعزيز الكفاءة وتقليل الأثر البيئي، كما هو موضح بالشكل رقم (10).

- **البيانات المتكاملة والدقيقة:** تتطلب نماذج رقمية ثلاثية الأبعاد تعكس الخصائص الفيزيائية للأثاث مع جمع بيانات الأداء والتشغيل الفعلي عبر المستشعرات لقياس التآكل والظروف البيئية.
- **بنية تحتية رقمية:** تعتمد على أنظمة الحوسبة السحابية وربط إنترنت الأشياء لتحديث التوأم الرقمي في الزمن الحقيقي، مع استخدام منصات برمجية متخصصة وتقنيات المحاكاة الرقمية، مثل الشركات المتحصصة بتطوير البرمجيات Dassault Systèmesو.Siemens Digital Twin.
- **تحقيق الصيانة التنبؤية**: يتم تحليل بيانات الأداء لتحديد الأعطال المحتملة قبل وقوعها، مما يطيل عمر المنتج من خلال توجيه المستخدم للصيانة المثلى.



شكل (10) يوضح دورة تفاعل ديناميكية بين التوأم الرقمي والتوأم الحقيقي

يعرض هذا المثال تطبيق التوأم الرقمي في تصميم وتصنيع كرسي ذكي، حيث تُجمع بيانات من المستخدمين والإنتاج والأداء لتكوين نموذج رقمي يعكس الكرسي الحقيقي. يتم استخدام بيئة افتراضية لمحاكاة التصميم قبل التصنيع الفعلي، مما يتيح التحقق من الجودة والتنبؤ بالأداء، وايضاً تقييمًا افتراضيًا دقيقًا قبل تنفيذ التعديلات فعليًا. كما هو موضح بالشكل رقم (11).

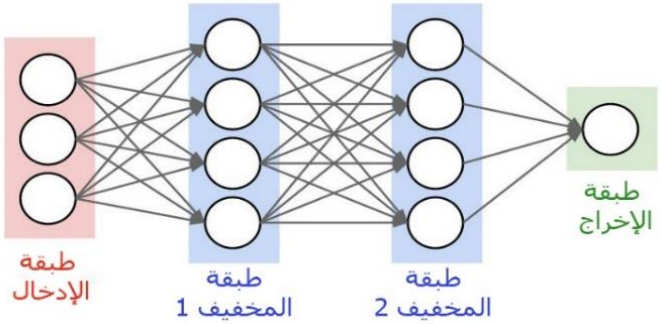


شكل (11) يوضح دورة تفاعل ديناميكية بين التوأم الرقمي والتوأم الحقيقي مما يعزز تجربة المستخدم(مخطط تم التعديل علية من قبل الباحثة)

2-2: التعلم العميق Deep Learning (DL):

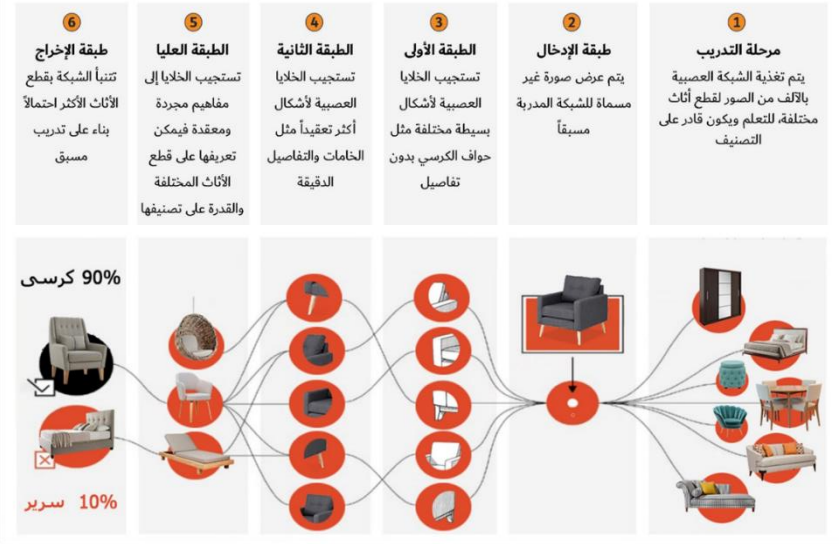
هو فئة فرعية من تعلم الآلة Machine Learning الذي يعتمد على الشبكات العصبية الاصطناعية إلى جانب التعلم التمثيلي*. لذلك، فإنه عبارة عن تقنية حاسوبية تحاكي العقل البشري من خلال تصميم خوارزميات مستوحاة من بنية القشرة الدماغية ووظيفتها حتى يمكنها تقليد جميع قدرات الدماغ مثل فهم اللغة والأصوات ومحتوى الصور والقدرة على تنفيذ العديد من الأوامر والتعليمات كما يفعل الإنسان.

ويعد التعلم العميق من العلامات الفارقة المميزة في العصر الحديث، فقد نجح العلماء في إنشاء شبكات البيرسيبترون العصبونية (Perceptron)* القائمة على فكرة وظائف الشبكات العصبية، فهو يتضمن بناء شبكات عصبية قادرة على معالجة البيانات المعقدة بدرجة أكثر شمولًا وتركيزًا من تقنيات الذكاء الاصطناعي الأخرى . فالشبكة العصبية البسيطة تتكون من عقد" تستلم البيانات وتقوم بحساب قيمة معينة من خلال ضرب البيانات بأوزان* وإضافة قيمة انحياز، ثم تمرر هذه القيمة إلى دالة تنشيط لإنتاج الإخراج. تتكون الشبكة عادة من طبقة مدخلات وطبقات مخفية لمعالجة البيانات وطبقة إخراج لإنتاج النتيجة النهائية. بشكل مبسط فهى تتكون من طبقة مدخلات وطبقات مخفية لمعالجة البيانات وطبقة إخراج لإنتاج النتيجة النهائية. كما هو موضح بشكل رقم (12).



شكل (12) يوضح شبكة عصبية بسيطة

فالشبكة العصبية للتعلم العميق، تقوم الطبقات الأولى بتعلم الأشياء البسيطة مثل الخطوط والأشكال البسيطة في الصور، ثم تمر البيانات إلى الطبقات التالية التي تعلم أنماطًا أكثر تعقيدًا مثل الميزات والأشكال، وهكذا حتى تتعلم الطبقات العليا المفاهيم الكبيرة مثل وجوه الأشخاص أو الأشياء التفصيلية في الصور. بعد التدريب، تستطيع الشبكة التعرف على الأشياء والتصنيفات في الصور بشكل دقيق. كما هو موضح بشكل رقم (13).



شكل (13) يوضح مثال للشبكة العصبية للتعلم العميق(مخطط من عمل الباحثة)

2-2-1: مميزات الشبكة العصبية القائمة على التعلم العميق:

- عند تعطيل عنصر فى الشبكة العصبية، يمكن الاستمرار فى العمل دون أي مشكلة.
- تتعلم الشبكات العصبية ولا تحتاج إلى إعادة برمجتها.
- يمكن تنفيذها في أي تطبيق.
- تؤدي الشبكات العصبية مهامًا لا يستطيع البرنامج الخطي القيام بها.

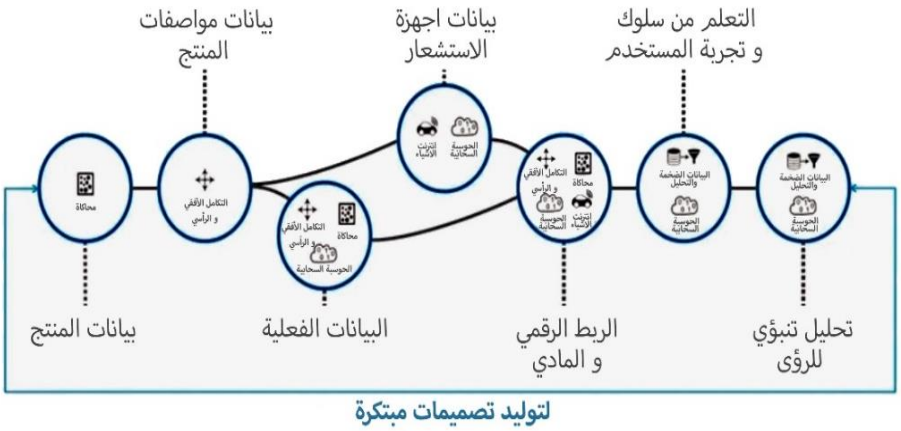
شكل (14) يوضح مميزات الشبكة العصبية

2-2-2: خوارزميات التعلم العميق في تصميم الأثاث الذكي:

يُعد التعلم العميق أداة محورية في تطوير الأثاث الذكي المستدام، حيث تمكّن شبكاته العصبية من تحليل بيانات التوأم الرقمي والتنبؤ بتآكل المواد، واكتشاف أنماط الاستخدام المكثف، ودعم قرارات التصميم المعتمدة على الأداء الفعلي. ومن خلال دمج خوارزميات تحليل البيانات والرؤية الحاسوبية والشبكات التوليدية، يمكن تحسين جودة الإنتاج، وتخصيص التصميمات، وتقليل الهدر، وتعزيز الاستدامة. كما تسهم هذه النماذج في اقتراح تحسين التصميم أو توجيه قرارات إعادة الاستخدام وإعادة التصنيع بما يعزز كفاءة الموارد و إطالة العمر الافتراضي للمنتج. كما هو موضح بالشكل رقم (15).

تشمل أبرز تطبيقاته:

1. **تحليل البيانات الضخمة :**لاستخراج الأنماط السلوكية وتحديد الأعطال المحتملة.
2. **الصيانة التنبؤية والتخصيص :**لتوقّع المشكلات وتكييف المنتجات مع تفضيلات المستخدم.
3. **الشبكات العصبية التوليدية :**لتوليد تصميمات مبتكرة ومستدامة وفعالة تصنيعيًا.
4. **الرؤية الحاسوبية :**للفحص الآلي واكتشاف العيوب وتحسين مراقبة الجودة.
5. **التنبؤ بسلوك المواد :**لتحسين استراتيجيات الصيانة والإطالة العمرية.
6. **تحسين سلاسل التوريد :**لضبط الإنتاج وتقليل الفاقد ورفع الكفاءة.



شكل (15) يوضح خوارزميات التعلم العميق في تصميم الأثاث الذكي مما يعزز تجربة المستخدم

2-3: التكامل الذكي بين التوأمة الرقمية والتعلم العميق عبر الحوسبة السحابية:

يُعد التكامل بين التوأمة الرقمية والتعلم العميق أحد المحاور الجوهرية في تطوير أنظمة تحليلية وتنبؤية عالية الكفاءة في مجال الأثاث الذكي. ويعتمد هذا التكامل على الاستفادة من البيانات الحية التي يوفرها التوأم الرقمي، بما يتيح نمذجة دقيقة لحالة المنتج في الزمن الحقيقي، وتحليل سلوكياته الوظيفية والمادية على مدار دورة حياته الكاملة.

وفي هذا الإطار، تبرز الحوسبة السحابية كعنصر أساسي يُمكّن هذا التكامل من العمل بكفاءة واستمرارية. فهى توفر بيئة حوسبية مرنة وآمنة لتخزين ومعالجة البيانات الضخمة في الزمن الحقيقي، مما يعزز من التفاعل الفوري بين مختلف الأطراف الفاعلة، مثل المصممين والمصنعين والمستخدمين ضمن بيئة تفاعلية متصلة، مما يسهم في اتخاذ قرارات تصميمية وصناعية مستنيرة تعزز من طول العمر الافتراضي للمنتج و تحقيق نموذج أثاث مستدام رقميًا، يواكب تطلعات الثورة الصناعية الرابعة ويعزز الممارسات البيئية الذكية في قطاع التصميم والتصنيع. كما هو موضح بالجدول رقم (3).

م	العنصر	الوظيفة الأساسية	الدور في تعزيز دورة حياة المنتج
1	**التوأمة الرقمية**	إنشاء نموذج رقمي ديناميكي يعكس خصائص الأثاث الفيزيائي وسلوكياته	-مراقبة الأداء . -دعم قرارات التصميم. -تحسين الصيانة والتحديث.
2	**التعلم العميق**	تحليل البيانات الضخمة المتولدة من التوأم الرقمي باستخدام الشبكات العصبية.	-التنبؤ بالأعطال. -تحسين الكفاءة التشغيلية. - تقديم توصيات ذكية. -دعم التخصيص الذكي.
3	**الحوسبة السحابية**	توفير بيئة حوسبية مرنة وآمنة لمعالجة البيانات وتشغيل النماذج الذكية في الزمن الحقيقي.	-دعم الاتصال المستمر. -دعم النماذج التنبؤية في الزمن الحقيقي. تسهيل التعاون متعدد الاطراف (المصممين والمصنعين والمستخدمين)

جدول(3) يوضح تكامل الذكي عبر الحوسبة السحابية(الجدول من عمل الباحثة)

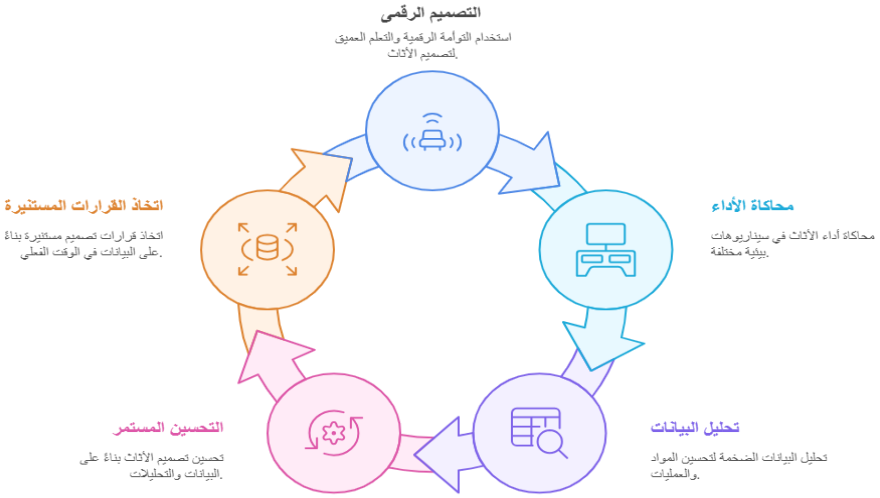
المحور الثالث: الاقتصاد الدائري والتحول الرقمي كمدخل لاستدامة تصميم الأثاث الرقمى:

3-1: مفهوم الاقتصاد الدائري في صناعة الأثاث:

الاقتصاد الدائري هو نموذج اقتصادي يهدف إلى تعزيز الاستدامة من خلال الحفاظ على المنتجات والمواد في دورة استخدام مستمرة، بأعلى قيمة ممكنة ولأطول فترة زمنية. يركّز هذا النموذج على تقليل الفاقد، وإعادة الاستخدام، والتدوير، بخلاف النموذج الخطي التقليدي القائم على "خذ - صنّع - تخلص". يُعد الاقتصاد الدائري نظاماً متجدداً، يهدف إلى تحقيق أقصى استفادة من الموارد، يعتبر هذا النموذج حجر الزاوية في مجال صناعة أثاث مستدامة.

3-1-1: دور (LCA) للأثاث الذكي المدعوم بالتقنيات الرقمية المتقدمة:

يُعد تحليل دورة حياة المنتج (Life Cycle Assessment - LCA) أداة محورية لتقييم الأثر البيئي للأثاث عبر جميع مراحل حياته، من التصميم والإنتاج حتى الاستخدام وإعادة التدوير. وعند دمجه مع التوأمة الرقمية والتعلم العميق والحوسبة السحابية، يصبح التصميم أكثر ذكاءً واستجابةً، حيث تُستخدم النماذج الرقمية لمحاكاة أداء الأثاث في سيناريوهات بيئية متعددة، وتُحلل البيانات الضخمة لتحسين المواد والعمليات. تتيح هذه الدمج تصميم منتجات مستدامة، قابلة للتتبع، قابلة للتحسين المستمر، وتدعم اتخاذ قرارات تصميمة مدروسة تعتمد على بيانات حقيقية، مما يعزز من كفاءة الموارد للأثاث.



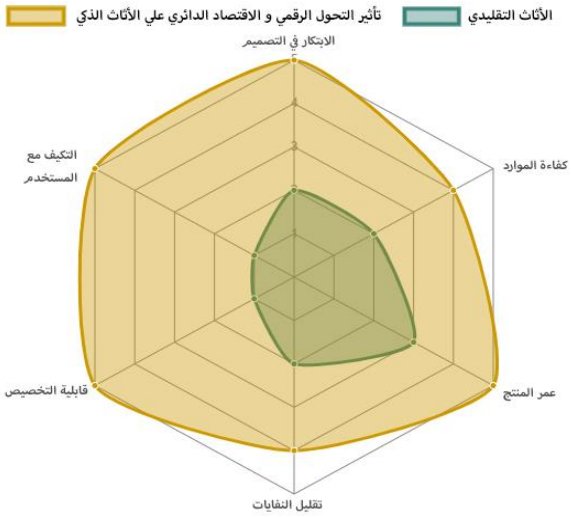
شكل(16) يوضح دور (LCA) للأثاث الذكي المدعوم بالتقنيات الرقمية المتقدمة(مخطط من عمل الباحثة)

3-2: التكامل بين التحول الرقمي والاقتصاد الدائري في مجال صناعة الاثاث:

يشكل اقتصاد دائري إطاراً استراتيجياً لاستدامة صناعة الأثاث فيعد نموذجًا بديلًا عن المنظور الخطي التقليدي، يهدف إلى "إطالة عمر المنتجات وإرجاعها إلى النظام" عبر تدوير وإعادة استخدام الموارد .() وتمثل التقنيات الرقمية – مثل التوأمة الرقمية والذكاء الاصطناعي إلى جانب الحوسبة السحابية، قِطاعًا حيويًا، يدعم الشفافية والتتبع والتصميم المستند إلى البيانات . كما هو موضح بالشكل رقم (17).

شكل(17) يوضح تكامل التحول الرقمى والاقتصاد الدائري في مجال صناعة الاثاث

وبذلك، يُظهر الأثاث الذكي تفوقًا ملحوظًا في مجال صناعة الاثاث عن طريق الابتكار في التصميم، كفاءة الموارد، وطول عمر المنتج، إضافة إلى قدرته العالية على التخصيص والتكيف مع المستخدم، وكل ذلك بفضل دمج التقنيات المتقدمة ومبادئ الاقتصاد الدائري. على النقيض، يظهر الأثاث التقليدي قدرات محدودة في هذه الجوانب، مما يؤكد على أهمية التوجه نحو تصميم مستدام و رقمى. كما هو موضح بالشكل رقم (18).



شكل(18) يوضح هذا المخطط مقارنة بين الأثاث التقليدي و تأثير التحول الرقمي والاقتصاد الدائري على الأثاث الذكي (مخطط من عمل الباحثة)

3-3: نموذج تحليلي مقترح لتكامل دورة حياة الأثاث الذكي بين المصمّم والمصنع والمستخدم في إطار التحول الرقمى:

يعرض النموذج دورة حياة الأثاث الذكي ضمن إطار تشاركي ثلاثي الأطراف :المصمّم، المصنع، والمستخدم .ويعكس آلية التفاعل بينهم في بيئة رقمية تعتمد على التكامل السيبراني الفيزيائي عبر:

- نقل البيانات في الزمن الحقيقي.
- تحليل الأنماط السلوكية.
- وتكييف المنتج بناءً على النتائج.

يُترجم هذا التفاعل من خلال تضمين ثلاث تقنيات مركزية :التوأمة الرقمية، التعلم العميق، الحوسبة السحابية:

م	العناصر	التفسير المرتبط بالمفهوم الرقمي
4	**التوأمة الرقمية**	تمثل ارتباطًا حيًا بين النموذج الافتراضي والنموذج الفيزيائي للأثاث، ما يسمح بالمراقبة، والتحليل، والتعديل استنادًا إلى البيانات الفعلية.
5	**التعلم العميق**	تُستخدم خوارزميات شبكات عصبونية عميقة لتحليل بيانات الاستخدام واستخراج الأنماط التنبؤية، كالكشف المبكر عن الأعطال أو استشراف التفضيلات السلوكية للمستخدم.
6	**الحوسبة السحابية والطرفية**	تُعالَج البيانات عبر البنية التحتية السحابية لتوفير قوة معالجة عالية، أو محليًا في نقطة التشغيل (Edge) عند الحاجة إلى استجابة فورية دون تأخير.

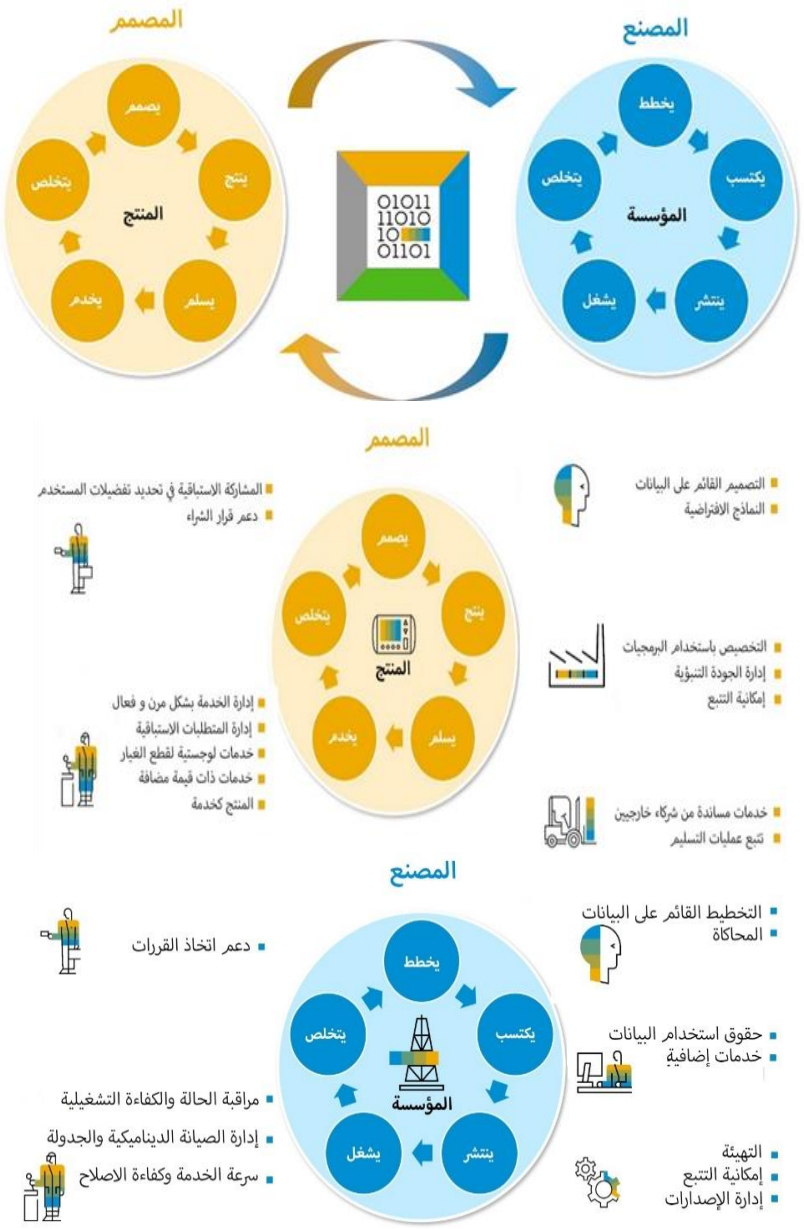
جدول(4) يوضح دورة حياة الأثاث الذكي من خلال ثلاث تقنيات مركزية: التوأمة الرقمية، التعلم العميق، الحوسبة السحابية (الجدول من عمل الباحثة)

يمثل هذا النموذج مثالًا متقدمًا على تكامل البيانات وسير العمل بين المصنع والمصمم في بيئة صناعية رقمية، حيث يُعاد توظيف البيانات المتبادلة لتعزيز الابتكار، وتقليل التكاليف، وتحقيق الكفاءة والاستدامة في دورة حياة المنتج والمؤسسة معًا، مما يؤدى الى:

- تحسين التصاميم بناءً على الاستخدام الفعلي.
- التحكم في دورة حياة المنتج بشكل دقيق.
- التحليل التنبؤي والصيانة الاستباقية.
- تحقيق الاقتصاد الدائري وإعادة التدوير الذكي.
- وتوليد افكار تصميمية مبتكرة بناء على البيانات.

م	العنصر	التقنية المستخدمة	التوصيف
1	**المصمم**	**التوأمة الرقمية**	يخلق نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد للأثاث الذكي ويربطه بنظام تتبع.
2	**المصنع**	**الحوسبة السحابية + التوأمة الرقمية**	يتلقى النموذج الرقمي مباشرةً، ويستخدم تقنيات التصنيع الذكي بناءً على بيانات في الوقت الفعلي.
3	**المستخدم**	**تعلم الآلة + الحوسبة الطرفية**	بيانات الاستخدام تُجمع بواسطة مستشعرات في الأثاث وترسل تلقائيًا للمنظومة الذكية.

جدول(5) يوضح تكامل البيانات وسير العمل بين المصنع والمصمم لتعزيز تجربة المستخدم(الجدول من عمل الباحثة)



شكل(19) يوضح نموذجًا تكامليًا بين "المصمم" و"المصنع" مما يعزز من تجربة المستخدم

مثال توضيحى من الباحثة: تصميم وتصنيع كرسي ذكي باستخدام التوأمة الرقمية والتعلم العميق والحوسبة السحابية:

1. **المرحلة الأولى – التصميم الرقمي**

- يقوم المصمم بإنشاء نموذج ثلاثي الأبعاد للكرسي باستخدام التوأمة الرقمية.
- يُدمج في التصميم مستشعرات لقياس الضغط، درجة الحرارة، ووضعية الجلوس.

2. **المرحلة الثانية – جمع البيانات من المستخدم**

- يُستخدم الكرسي من قبل المستخدم في بيئة حقيقية.
- تقوم أجهزة إنترنت الأشياء (IoT) بإرسال بيانات الاستخدام إلى النظام السحابي.(cloud)

3. **المرحلة الثالثة – التحليل والتعلم العميق**

- تُحلل البيانات باستخدام خوارزميات التعلم العميق لتحديد سلوك المستخدم (مثل فترات الجلوس الطويلة أو الوضعيات غير المريحة).
- تُكتشف أنماط الاستخدام المتكررة أو المشكلات المحتملة.

4. **المرحلة الرابعة – التعديل والتصنيع الذكي**

- يُعدّل المصمم النموذج الرقمي بناءً على التحليل لتحسين الراحة أو تقوية جزء معين.
- تُرسل البيانات إلى المصنع، الذي يُنفذ التعديلات مباشرة عبر أنظمة التصنيع الذكي.

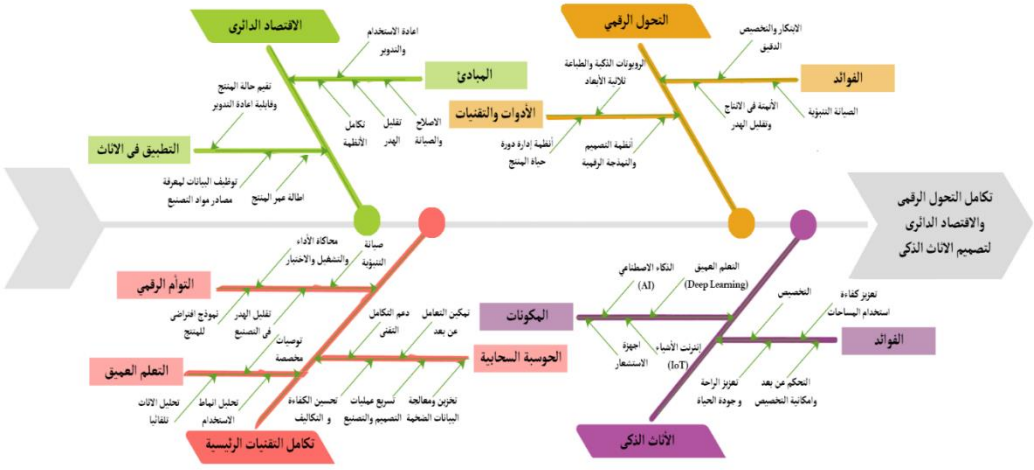
5. **المرحلة الخامسة – التغذية الراجعة المستمرة**

- بعد التصنيع، يتم تتبع أداء المنتج الجديد ومقارنته بالنموذج السابق.
- يُعاد توظيف هذه البيانات لتحسين التصميمات المستقبلية.

شكل(20) يوضح مثال توضيحى من الباحثة: لتصميم وتصنيع كرسي ذكي باستخدام التوأمة الرقمية والتعلم العميق والحوسبة السحابية(مخطط من عمل الباحثة)

النتائـــج:

تشير نتائج هذه الدراسة إلى أن مستقبل تصميم الأثاث الذكي والمستدام يرتبط ارتباطًا وثيقًا بالتكامل بين التوأمة الرقمية والتعلم العميق والاقتصاد الدائري. ومن خلال الاستفادة المثلى من هذه التقنيات، يمكن تحقيق قفزة نوعية في جودة المنتجات، وتقليل الأثر البيئي، وتلبية متطلبات المستهلك الذكي في العصر الرقمي. كما هو موضح بالشكل رقم(21).



شكل(21) يوضح هذا المخطط تكامل التحول الرقمى والاقتصاد الدائرى لتصميم الاثاث الذكى لتعزيز تجربة المستخدم (مخطط من عمل الباحثة)

1. أثبت التكامل بين الاقتصاد الدائري والتوأمة الرقمية والتعلم العميق فعالية كبيرة في تحسين كفاءة التصميم والإنتاج للأثاث الذكي والمستدام.
2. يسهم الاقتصاد الدائري في تقليل الفاقد والحد من الأثر البيئي من خلال إعادة التدوير و الاستخدام مما يحقق نموذج مرون في مواجهة التغيرات المستقبلية.
3. يتيح التوأم الرقمي محاكاة دقيقة لأداء الأثاث قبل التصنيع، مما يقلل من الأخطاء ويرفع جودة المنتج النهائي.
4. ساعد دمج التوأمة الرقمية على مراقبة دورة حياة المنتج وتقديم تنبؤات استباقية لعمليات الصيانة وتحسين الكفاءة التشغيلية.
5. مكّن التعلم العميق المصممين من تحليل سلوك المستخدمين لتوليد تصميمات ذكية وتخصيص التصميمات بما يتوافق مع أنماط الاستخدام الفعلية.
6. أدى التكامل بين التوأمة الرقمية والتعلم العميق إلى تحقيق تصميمات ديناميكية تتفاعل في الزمن الحقيقي مع متغيرات الاستخدام.
7. ساعد تطبيق نموذج التفكير التصميمي على دمج هذه التقنيات الثلاثة بسلاسة ضمن دورة التصميم، مما عزز من فعالية العملية الإبداعية.
8. أدى الانتقال من التصميم التقليدي إلى التصميم المعتمد على البيانات إلى تسريع مراحل التطوير، وخفض التكاليف، وتحقيق توازن بين الوظيفة والجمال والاستدامة.

التوصيات:

توصيات خاصة بالمصممين:

- اعتماد التوأمة الرقمية كأداة أساسية في المراحل المبكرة للتصميم لاختبار سيناريوهات الأداء قبل التصنيع.
- استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي، خاصة تقنيات التعلم العميق، لتحليل تفضيلات العملاء وإنشاء تصميمات تخصيصية.
- تطبيق مبادئ الاقتصاد الدائري من خلال تبني مواد قابلة لإعادة التدوير وتسهيل عمليات التفكيك والإصلاح في التصميم.
- تطوير مهارات التفكير التصميمي لدمج الحلول التقنية مع البعد الإنساني والبيئي في المنتج النهائي.

توصيات خاصة للهيئات الصناعية:

- استثمار البنية التحتية الرقمية لإنشاء توائم رقمية لخطوط الإنتاج وتحسين الرقابة على الجودة في الزمن الحقيقي.
- إنشاء منصات بيانات مشتركة تسمح بتبادل البيانات بين فرق التصميم والتصنيع والصيانة لتحقيق أقصى كفاءة.
- إعادة هيكلة سلاسل الإمداد بما يتوافق مع مبادئ الاقتصاد الدائري، لتقليل الهدر وتحسين العائد الاقتصادي.
- تبني تقنيات الحوسبة السحابية والذكاء الاصطناعي لدعم اتخاذ القرار وتحسين استجابة السوق للتغيرات السريعة في أذواق المستهلكين.

توصيات خاصة للمؤسسات التعليمية والأكاديمية:

- دمج مفاهيم التوأمة الرقمية والتعلم العميق والاقتصاد الدائري ضمن مناهج التصميم الصناعي وعلوم الحاسوب.
- إنشاء معامل تعليمية محاكاة لبيئات التصميم الذكي والمستدام باستخدام أدوات رقمية واقعية.
- تشجيع الأبحاث التطبيقية متعددة التخصصات في مجالات التصميم، الذكاء الاصطناعي، والهندسة البيئية.
- إعداد جيل جديد من المصممين قادر على الربط بين التقنيات الحديثة والاعتبارات البيئية والاجتماعية.

المراجع:

اولاً: المراجع العربية:

1. احمد الكواز، الاقتصاد الدائرى: المفهوم، وبعض التطبيقات والمقترحات، مع إشارة لتجربة عربية ، المؤتمر العلمي الخامس عشر الجمعية العربية للبحوث الاقتصادية، المؤتمر العلمى الخامس عشر، بيروت – الجمهورية اللبنانية 2019.ص(6-9).كتاب.

1-.ahmad alkawazi, alaqtisad aldaayraa: almafhuma, wabaed altatbiqat walmuqtarahati, mae 'iisharat litajribat earabiat , almutamar aleilmiu alkhamis eashar aljameiat alearabiat lilbuhuth alaiqtisadiati, almutamar alealmaa alkhamis eashr, bayrut - aljumhuriat allubnania .2019.sa(6-9).ktab.

2. أحمد سعيد كرم البكل، ريهام عبد الغني متولي مطاوع. الاقتصاد الدائري بين النظرية والتطبيق: دراسة حالة للاقتصاد المصري .مجلة الدراسات السياسية والاقتصادية - كلية السياسة والاقتصاد - جامعة السويس, السنة الثالثة، العدد الأول،(2023). ص. 160-164.

2-ahmad saeid karam albakli, riham eabd alghani mutawaliy matawiea. alaiqtisad aldaayiriu bayn alnazariat waltatbiqi: dirasatan halatan lilaiqtisad almisrii. majalat aldirasat alsiyasiat walaiqtisadiat - kuliyat alsiyasat walaiqtisad - jamieat alsuwis, alsanat althaalithata, aleadad al'uwli,(2023). si. 160-164.

3. إسراء مجدى، علا سمير، مها محمود، احمد رموزى، تطور التصميم الداخلى والأثاث فى ظل الثورة الصناعية الرابعة وتأثيره على تجربة المستخدم، رسالة ماجستير.كلية الفنون التطبيقية.جامعة حلون.2024.ص.(63-66/148-151/155-158).

3-iisra' mijdaa, eala smir, miha mahmud, aihmad ramuzaa, tatawur altasmim aldaakhilaa wal'athath faa zala althawrat alsinaeiat alraabieat watathiruh ealaa tajribat almustakhdima, risalat majistir.kaliat alfunun altatbiqiatu.jamieat halun.2024.sa.(63-66/148-151/155-158).

4. شلتوت، م. ش. (2014). الحوسبة السحابية (Cloud Computing) بين الفهم والتطبيق .مجلة التعليم الإلكتروني، 11(8). (تم الاسترجاع في 2 نوفمبر، 2025، من http://emag.mans.edu.eg/index.php?page=news&task=show&id=365

4- .shiltuta, mi. shi. (2014). alhawsabat alsahabia (Cloud Computing) bayn alfahm waltatbiqi. majalat altaelim al'iilikturuni, 11(8). tama aliastirjae fi 2 nufimbir, 2025, min http://emag.mans.edu.eg/index.php?page=news&task=show&id=365

5. محمد حميد محمد. الاقتصاد الدائري ودوره في تحقيق التنمية المستدامة .*مجلة ريادة الأعمال للتمويل والأعمال* , 2(3),(2021).ص(159-168) pdf.

5-muhamad hamid muhamad. aliaqtisad aldaayiriu wadawruh fi tahqiq altanmiat almustadamati. majalat riadat al'aemal liltamwil wal'aemali, 2(3), (2021).s(159-168) pdf.

ثانياً: المراجع الأجنبية:

6. Grieves, M., & Vickers, J). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In F.-J. Kahlen, S. Flumerfelt, & A. Alves (Eds.), Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems . (2017).(pp. 85–113). Springer.PDF
7. Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. Y. C). Digital twin in industry: State-of-the-art. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 15(4), 2405-2415. (2019) https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186

8. Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In F.-J. Kahlen, S. Flumerfelt, & A. Alves (Eds.), *Transdisciplinary perspectives on complex systems* (pp. 85–113). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4
9. Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. IEEE Access, 8, 108952-108971. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358
10. 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
11. john Hutchinson ,john r.karsnitz –delmar publishers -Design and problem solving in technology.pg18-19
12. Christian Müller-Roterberg, Handbook of Design Thinking, research gate,pdf.pg1
13. Fei Tao.Fangyuan Sui.Ang Liu. Digital twin-driven product design framework. Researchgate. 57(1):1-19.(2018)P.P10-12.PDF
14. Gary Marcus, Deep Learning:A Critical Appraisal, arxiv,2 Jan 2018,pdf,pg.3-6.
15.

ثالثاً: المواقع الإكترونية:

16. Digital Twin. gfos .[ONLINE]Available.at: https://www.gfos.com/en/glossary/digital-twin/(Accessed: 28- JUN -2025)
17. Digital.Twins.and.the.Internet.of.Things(IoT).community.sap.[ONLINE]:Available.at:https://community.sap.com/t5/technology-blog-posts-by-sap/digital-twins-and-the-internet-of-things-iot/ba-p/13335196 (Accessed:26-MAY-2025)
18. Digital.Twins.in.Logistics. A DHL perspective on the impact of digital twins on the logistics industry [ONLINE]:Available.at:https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/glo-core-digital-twins-in-logistics.pdf (Accessed:29-MAY-2025)
19. digitaltwinconsortium Digital Twin.[ONLINE]Available.at: https://www.digitaltwinconsortium.org/initiatives/the-definition-of-a-digital-twin/ (Accessed: 23-May-2025)
20. geeksforgeeks:(MachineLearningTutorial)[ONLINE]Available.at: https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning/(Accessed: 2-JUN-2025)
21. Harish Kollana .linkedin. What are the differences between Artificial Intelligence, Machine.Learning,.Deep.Learning,.and.Data.Science?.[ONLINE]:Available.at:https://www.linkedin.com/pulse/what-differences-between-artificial-intelligence-machine-kollana (Accessed:29-MAY-2025)
22. Neural.Networks.and.Deep.Learning.[ONLINE]Available.at:http://neuralnetworksanddeeplearning.com/ (Accessed: 2- JUN -2025)

---

* **تحليل دورة الحياة (LCA - Life Cycle Assessment)** هو أداة علمية منهجية تُستخدم لتقييم التأثيرات البيئية المرتبطة بمنتج أو خدمة أو نظام عبر جميع مراحل دورة حياته، بدءًا من استخراج المواد الخام مرورًا بعمليات التصنيع والتوزيع والاستخدام حتى مرحلة انتهاء العمر الافتراضي أو إعادة التدوير. ويهدف هذا التحليل إلى قياس استهلاك الموارد (مثل الطاقة والمياه) والانبعاثات إلى الهواء والتربة، بهدف دعم اتخاذ قرارات تصميمية وإنتاجية مستدامة بيئيًا.

* **الشبكات العصبية Perceptron** هي نوع من الشبكات العصبية الاصطناعية التي تتكون من عقد مترابطة تسمى perceptrons يتم استخدامها لمهام التصنيف الثنائي وتستخدم خوارزمية التعلم لضبط الأوزان وعمل تنبؤات بناءً على بيانات الإدخال من الطبقة الأمامية إلى النهائية مباشرة.

* **الأوزان:** هي القيم التي تحدد مقدار تأثير كل مدخل على قيمة العقدة. فيتم ضرب كل مدخل في وزن معين، ويتم إضافة هذه المنتجات جميعًا للحصول على قيمة مجمعة تمثل إشارة الإدخال الموجهة إلى العقدة.