الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي
الجامعة الافتراضية السورية

# " أهمية تطبيق تكنولوجيا التوائم الرقمية ومعوقاتها في المشاريع الهندسية في سوريا "

بحث مقدم لنيل درجة ماجستير التأهيل والتخصص في إدارة و نمذجة معلومات البناء BIMM

**إشراف**

**د.م. سونيا سليم أحمد**

**إعداد**

**إباء نديم شريبه**

**Ibaa_170264**

**العام الدراسي 2021-2022**

بـــســـــــــــــــــم الله الرحمن الرحيم

{الرَّحْمَٰنُ ﴿١﴾ عَلَّمَ الْقُرْآنَ ﴿٢﴾ خَلَقَ الْإِنسَانَ ﴿٣﴾ عَلَّمَهُ الْبَيَانَ ﴿٤﴾}

صدق الله العظيم

## الإهداء

الى منابع الحنان ومكانز الفضائل والأخلاق ..... أهم أسرار نجاحي

أمي وأبي الغاليين

الى شركاء البسمة والفرح وسندي وأملي الدائم ..... أخوة الروح

علاء وخليل

الى كل من له فضل علي واهداني دعوة بظاهر الغيب ..... كل المخلصين

أقاربي وأصدقائي

أهدي هذا العمل لكم جميعاً يا مصدر قوتي ودعمي .....

إباء

# شكر وتقدير

بعد رحلة مضنية من البحث والجهد الدؤوب يطيب لي عرفانا بالجميل أن أتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى كل من وقف معي وساندني خلال فترة دراستي في الجامعة الافتراضية السورية , وأخص بالذكر دكتورتنا الغالية ، المشرفة على الرسالة **الدكتورة المهندسة سونيا سليم أحمد** لكرم عطائها وصبرها ودعمها المستمر من خلال توجيهاتها وملاحظاتها التي ساهمت بشكل كبير في إنجاز هذا العمل.

كما أتقدم بالشكر لجميع أعضاء **الكادر التدريسي في الجامعة الافتراضية السورية** لما قدموه لي خلال فترة دراستي من علم ودعم.

وأتقدم بوافر التقدير والامتنان **للجنة المناقشة الأفاضل** الذين شرفوني بمناقشة المشروع وعلى دورهم في إثراءه بملاحظاتهم وتوجيهاتهم .

شكرا لكم من القلب .....

م.**إباء نديم شريبه**

# ملخص البحث

**الطالب : إباء نديم شريبه**

**العنوان : أهمية تطبيق تكنولوجيا التوائم الرقمية ومعوقاتها في المشاريع الهندسية في سوريا**

**الجامعة الإفتراضية السورية** **عام :2021-2022**

**إشراف الدكتورة : سونيا سليم أحمد**

يتناول هذا البحث التعريف بالثورة الصناعية والتحول الرقمي والتقنيات المرافقة لها وأثرها في تطوير مجالات الصناعة والبناء . ثم يقدم شرحا لتقنية التوأم الرقمي و نشأتها وتعريفه ومراحله ومستويات نضجه ومقياسها , ويوضح مكونات التوأم الرقمي ونظامه البيئي وخصائصه وأهم المميزات لتطبيقه. ثم يعرف بالتوأم الرقمي في مجال البناء وأهم مكوناته وتداخلها مع نمذجة معلومات البناء خلال دورة حياة المبنى . ويوضح دور البيانات وأهميتها في تشكيل نموذج التوام الرقمي والمعاييرالتي يمكن الاستناد عليها . ويسلط الضوء على منصات التوأم الرقمي بمجال البناء والأنظمة وخوارزميات التعلم الالي المستخدمة, ثم يوضح استخدامات التوام الرقمي في قطاع التشييد و الفوائد الناتجة عنه وتوضيح أهم معوقات تطبيقه في المشاريع الهندسية.

أستهدفت الدراسة مجموعة متنوعة من العاملين في قطاع البناء في سوريا بهدف تقدير درجة وعي العاملين في هذا القطاع بتقنية التوام الرقمي ومدى معرفتهم بها وكيفية تطبيقها وماهي أهم العوائق لإستخدامها في المشاريع الهندسية . ولتحقيق هذا الهدف تم إعتماد المنهج الوصفي وتم تصميم استمارة استبيان حيث تم توزيعها لعينة الدراسة التي بلغت 36 فردا بمستويات تعليم مختلفة وبخبرات هندسية متنوعة, استخدم فيها مقياس لايكرت الخماسي، كما تم استخدام البرنامج الاحصائي SPSS لتحليل نتائج الاستبيان بشكل كمي.

و خلصت الدراسة إلى ضعف مستوى الوعي والمعرفة بتكنولوجيا التوأم الرقمي بوجه عام، مما ادى الى ضعف الإدراك بأهميتها و أهمية تطبيقها في المشاريع الهندسية. ، و يرجع الامر الى أسباب كثيرة منها عدم مواكبة الدراسات والأبحاث الجديدة ونتيجة الازمة التي مرت على البلاد .

وانتهت الدراسة بتقديم مجموعة من المقترحات والتوصيات منها ضرورة الاهتمام بالتدريب وتأهيل العاملين بمجال البناء ودعم البنية التحتية ودعم المزيد من الدراسات المتعلقة بالتوأم الرقمي في قطاع البناء .

**الكلمات المفتاحية:** الثورة الصناعية الرابعة ،التحول الرقمي، التوأم الرقمي، BIM، صناعة التشييد.

# Abstract

**Researcher: Ibaa Nadim Shriba**

**Title: The importance of applying digital twin technology and its obstacles in engineering projects in Syria.**

**Supervisor: Prof. Sonia Salim Ahmad.**

This research deals with the definition of the industrial revolution and digital transformation and the accompanying technologies and their impact on the development of the fields of industry and construction. Then it provides an explanation of the digital twin technology, its origin, definition, stages, maturity levels and scale, and explains the components of the digital twin, its ecosystem, its characteristics and the most important features of its application. Then it is known as the digital twin in the field of construction and its most important components and their overlap with building information modeling during the life cycle of the building. It explains the role and importance of data in shaping the digital twin model and the standards that can be relied upon. It highlights the digital twin platforms in the field of construction, systems and machine learning algorithms used, then explains the uses of digital twin in the construction sector and the benefits resulting from it, and clarifies the most important obstacles to its application in engineering projects.

This study aims a variety of workers in the construction sector in Syria, with the aim of estimating the degree of awareness of workers in this sector with digital twin technology, the extent of their knowledge of it, how to apply it, and what are the most important obstacles to its use in engineering projects. To achieve this goal, the descriptive approach was adopted, and a questionnaire was designed, as it was distributed to the study sample, which amounted to 36 individuals with different levels of education and various engineering experiences, in which the five-point Likert scale was used, and the statistical program SPSS was used to analyze the results of the questionnaire quantitatively.

The study concluded that there is a weak level of awareness and knowledge of digital twin technology in general, which led to a weak awareness of its importance and the importance of its application in engineering projects. This is due to many reasons, including the failure to keep pace with new studies and research, and as a result of the crisis that the country has passed.

The study ended with a set of proposals and recommendations, including the need to focus on training and qualifying construction workers, supporting infrastructure, and supporting more studies related to the digital twin in the construction sector.

**Keywords:** the fourth industrial revolution, digital transformation, Digital Twins, BIM, construction industry.

## قائمة المحتويات

الإهداء ..... أ
شكر وتقدير ..... ب
ملخص البحث ..... ج
Abstract ..... د
قائمة المحتويات ..... ه
قائمة الجداول ..... ز
قائمة الأشكال ..... ز
المصطلحات ..... ط
الفصل الأول: الإطارالعام للدراسة ..... 1
المقدمة ..... 2
مشكلة الدراسة: ..... 2
أسئلة الدراسة: ..... 2
فرضيات الدراسة: ..... 3
أهمية الدراسة: ..... 3
أهداف الدراسة: ..... 3
منهجية الدراسة: ..... 3
أدوات الدراسة: ..... 3
مجتمع الدراسة وعينتها : ..... 4
حدود الدراسة: ..... 4
صعوبات الدراسة: ..... 4
الدراسات السابقة: ..... 4
الفصل الثاني ..... 8
الثورة الصناعية الرابعة Fourth Industrial Revolution : ..... 9
التحول الرقمي Digital Transformation: ..... 10
تقنيات الثورة الصناعية الرابعة Fourth Industrial Revolution Technologies : ..... 13
إنترنت الأشياء/ الصناعي Industrial / Internet of Things ..... 15
تكنولوجيا الروبوتات المتقدمة Advanced Robots ..... 17
الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D Printing: ..... 18
المحاكاة المتقدمة Advanced Simulation ..... 19
الحوسبة السحابية The Cloud Computing (CC) ..... 20
الأمن السيبراني Cybersecurity (CS) ..... 21
تحليل البيانات الضخمة Big Data Analytics (BDA) ..... 21

تكامل النظام الافقي والرأسي Horizontal and Vertical System Integration ..... 22
الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence ..... 23
تعليم الالة Machine Learning ..... 23
التعلم العميق Deep Learning ..... 25
الواقع الافتراضي Virtual Reality VR ..... 26
الواقع المعزز Augmented Reality AR ..... 27
الواقع المختلط Mixed Reality MR ..... 27
الواقع الممتد Extended Reality XR ..... 28
الفصل الثالث : التوأم الرقمي Digital Twin ..... 29
أصل التوأم الرقمي ونشأتها Origins of the Digital Twin : ..... 30
تعاريف التوأم الرقمي Definitions of digital twins : ..... 32
مكونات التوأم الرقمي ونظامه البيئي The Digital Twin component and its Ecosystem ..... 34
مراحل التوأم الرقمي The Digital Twin Stages ..... 38
مستويات نضج التوأم الرقمي و مقاييس التوأم الرقمي Digital Twins Maturity levels & Digital Twins Metrics ..... 39
خصائص التوأم الرقمي Digital Twin Properties : ..... 41
مميزات وتطبيقات التوأم الرقمي Benefits and Use of Digital Twins ..... 42
التوأم الرقمي للعمارة والهندسة والبناء Digital Twins in AEC : ..... 43
العناصر التأسيسية Foundational Elements : ..... 43
مكونات التوأم الرقمي Components of a digital twin : ..... 45
الخيط الذهبي والتوائم الرقمية Golden thread and Digital Twins ..... 47
أهمية البيانات والمعلومات وإدارة المعلومات Importance of data, information&infoManagement ..... 47
تكامل تقنيات التوأم الرقمي ونمذجة معلومات البناء Integration of DT and BIM technologies ..... 48
التوأم الرقمي والنمذجة الإفتراضية Digital Twin and Visual Modeling : ..... 50
التوأم الرقمي والبيم وتكامل البيانات BIM,DT and Data Integration : ..... 51
خوارزميات التعلم الالي Machine learning Algorithms : ..... 53
البيم والتوأم الرقمي في قطاع البناء BIM & Digital Twins in Building Sector : ..... 54
منصات التوأم الرقمي Digital Twin Platform : ..... 56
معايير التوأم الرقمي Digital Twin Standards ..... 57
الفرق بين التوأم الرقمي والانظمة الاخرى Difference Between (DT) & Other Systems : ..... 58
استخدامات التوأم الرقمي في قطاع التشييد Digital Twins in AEC : ..... 59
فوائد التوأم الرقمي في قطاع التشييد Benefits of Digital Twins for AEC : ..... 63
معوقات تطبيق التوأم الرقمي في قطاع التشييد Barrier of Digital Twins for AEC : ..... 65
دراسة حالة ..... 66
1- التوأم الرقمي لمستشفى شنغهاي Digital Twins in Shanghai Hospital ..... 66
2- التوأم الرقمي لمدينة نيورون Neuron/ هونغ كونغ ..... 72

3- التوأم الرقمي لمكتب انترنت الاشياء / طوكيو..... 74
الدراسة والنتائج ..... 75
إجراءات الدراسة:..... 75
نتائج الدراسة: ..... 80
التوصيات: ..... 80
المراجع References : ..... 82

## قائمة الجداول

جدول (1) مجالات تطبيق التحول الرقمي وانعكساته على عمل الشركات ..... 11
جدول (2) أراء الخبراء بالتحول الرقمي في الشركات..... 13
جدول (3) محاور الاستبيان ومستويات الاستجابة ..... 76
جدول (4) النسبة المئوية لجنس عينة البحث..... 76
جدول (5) النسبة المئوية للفئات العمرية لعينة البحث ..... 76
جدول (6) النسبة المئوية للمستوى التعليمي لعينة البحث..... 76
جدول (7) النسبة المئوية لعدد سنوات الخبرة لعينة البحث ..... 77
جدول (8) النسبة المئوية لمجال عمل عينة البحث..... 77
جدول (9) اختبار ألفا كرونباخ ..... 77
جدول (10) نتائج المحور الأول ..... 78
جدول (11) نتائج المحور الثاني..... 79
جدول (12) نتائج المحور الثالث ..... 79

## قائمة الأشكال

شكل (1) التطور التاريخي للثورات الصناعية..... 9
شكل (2) المراحل الاساسية لعملية التحول الرقمي..... 10
شكل (3) عناصر رئيسية لوضع استراتيجية تحول رقمي ..... 12
شكل (4) تقنيات الثورة الصناعية الرابعة وتكاملها في سلسلة القيمة..... 14
شكل (5) الاتجاهات والمبادئ التصميمية التكنولوجية للثورة الصناعية الرابعة (Ghobakhloo,2018) ..... 14
شكل (6) التقنيات الرقمية القابلة للتطبيق خلال صناعة البناء (BCG,march 2016) ..... 15
شكل (7) النظام البيئي لإنترنت الأشياء..... 16
شكل (8) العناصر الرئيسية لإنترنت الأشياء الصناعي (YOKOGAWA,2020) ..... 17
شكل (9) الفوائد المتعلقة بالروبوتات المتقدمة ..... 18
شكل (10) نماذج روبوتات تستخدم بالمناطق الضيقة..... 18
شكل (11) طباعة هياكل بإستخدام طابعة ثلاثية الابعاد..... 19
شكل (12) فوائد تقنية المحاكاة المتقدمة..... 19
شكل (13) مكونات الحوسبة السحابية NIST ..... 20
شكل (14) خصائص الحوسبة السحابية..... 20
شكل (15) مفهوم تكامل الأنظمة السيبرانية الفيزيائية ..... 21
شكل (16) البيانات الضخمة وفوائد تحليلها في صناعة البناء..... 22
شكل (17) التكامل الافقي والرأسي بين وحدات الاعمال والعمليات..... 22
شكل (18) مفردات الذكاء الاصطناعي..... 23
شكل (19) مفهوم تعليم الألة..... 24
شكل (20) تطبيقات تقنية تعليم الألة ..... 25
شكل (21) مقارنة بين التعلم الآلي والتعلم العميق ..... 26

شكل (22) تقنيات الواقع الافتراضي ..... 26
شكل (23) تطبيق تقنية الواقع المعزز في الموقع ..... 27
شكل (24) تقنية الواقع المختلط..... 28
شكل (25) تقنية الواقع المختلط..... 28
شكل (26) الخط الزمني لتقنية التوأم الرقمي..... 30
شكل (27) فكرة مفاهيمية ل Product Lifecycle Management(PLM) ..... 30
شكل (28) تصور رقمي بياني..... 31
شكل (29) أهم اتجاهات التكنولوجيا الإستراتيجية لعام 2022..... 32
شكل (30) رسم توضيحي للتوأم الرقمي ..... 33
شكل (31) رسم توضيحي للتوأم الرقمي حسب DTC..... 33
شكل (32) رسم توضيحي لمكونات التوأم الرقمي في التصنيع(Deloitte University Press) ..... 35
شكل (33) رسم توضيحي لمكونات نظام التوأم الرقمي ..... 36
شكل (34) رسم توضيحي لبنية نظام التوأم الرقمي..... 37
شكل (35) رسم توضيحي لبنية نظام التوأم الرقمي..... 37
شكل (36) رسم توضيحي لبنية نظام التوأم الرقمي..... 38
شكل (37) رسم توضيحي لمراحل التوأم الرقمي ..... 38
شكل (38) مقاييس التوأم الرقمي..... 39
شكل (39) مستويات نضج التوأم الرقمي ..... 40
شكل (40) خصائص التوأم الرقمي..... 41
شكل (41) مميزات وتطبيقات التوأم الرقمي (Emerson,2019)..... 42
شكل (42) العناصرالتأسيسه للتوأم الرقمي بقطاع البناء حسب (DTC) ..... 43
الشكل (43) التزامن أحادي الاتجاه وثنائي الاتجاه (Sepasgozar 2021) ..... 45
الشكل (44) مكونات التوأم الرقمي..... 46
الشكل (45) أهمية البيانات والمعلومات وإدارة المعلومات للتوأم الرقمي ..... 48
شكل(46) توجه البيانات بين العالم الافتراضي والمادي..... 49
شكل (47) مستويات تقنيات البيم والتوأم الرقمي ..... 49
شكل (48) العلاقة بين تقنيات البيم والتوأم الرقمي خلال دورة حياة المنشأة ..... 50
شكل (49) النمذجة الافتراضية والتوأم الرقمي ..... 51
شكل (50) نموذج للبيم والتوأم الرقمي للصيانة التنبؤية ..... 52
شكل (51) مكونات COBie..... 52
شكل (52) رسم توضيحي للبيم والتوأم الرقمي..... 54
شكل (53) رسم توضيحي خطوات عمل التوأم الرقمي في قطاع البناء ..... 55
شكل (54) نموذج توضيحي لخصائص منصة التوأم الرقمي..... 56
شكل (55) نموذج توضيحي لوحة قيادة منصة التوأم الرقمي..... 57
شكل (56) نماذج لمعايير قياسية تتضمن معايير للتوأم الرقمي ..... 58
شكل (57) التوأم الرقمي لمشفى شنغهاي ..... 67
شكل (58) يوضح غرفة التحكم الرئيسية وشاشة العرض..... 68
شكل (59) يوضح إدارة الطاقة..... 69
شكل (60) يوضح إدارة تدفق الزوار..... 70
شكل (61) يوضح إدارة المرافق والمعدات ..... 70
شكل (62) يوضح عمليات الفحص والصيانة ..... 71
شكل (63) خصائص التوأم الرقمي لمدينة هونج كونج ..... 72
شكل (64) واجهة القيادة لمنصة نيورون..... 72
شكل (65)عرض لمقطع من مبنى داخل منصة نيورون..... 73
شكل (66) يوضح شاشة لوحة القيادة وفراغ مكتب طوكيو مع مستشعر البطريق..... 74

## المصطلحات

| إختصار | إنكليزي | عربي |
|---|---|---|
| Industry 4.0 | Fourth Industrial Revolution | الثورة الصناعية الرابعة |
| | Digital Transformation | التحول الرقمي |
| | Digital Technology | التكنولوجيا الرقمية |
| | Digitization | الترقيم او التحويل الرقمي |
| | Digitalization | الرقمنة |
| AEC | Architecture, Engineering, Construction | قطاع التشييد |
| BIM | Building information modeling | نمذجة معلومات البناء |
| CAD | Computer-aided design | التصميم بمساعدة الكمبيوتر |
| IOT | Internet of Things | إنترنت الأشياء |
| AI | Artificial Intelligence | الذكاء الإصطناعي |
| | Big Data | البيانات الضخمة |
| | Bytes | وحدة بيانات / بايت |
| | Binary Signals | إشارات رقمية ثنائية |
| CPS | Cyber-physical systems | الأنظمة الفيزيائية الالكترونية/السيبرانية |
| CS | Cyber Security | الأمن السيبراني |
| | Cloud Computing | الحوسبة السحابية |
| | Point cloud | السحابة النقطية |
| | 3D Printing | الطباعة الثلاثية الأبعاد |
| | Digital Currency | العملة الرقمية |
| | Global Supply Chain | سلسلة التوريد العالمية |
| VR | Virtual reality | الواقع الافتراضي |
| AR | Augmented Reality | الواقع المعزز |
| | Ecosystems | النظم المتكاملة |
| | Economic Stakeholders | الفئات الإقتصادية |
| MV | Machine Vision | رؤية الألة |
| DTs | Digital Twins | التوأم الرقمي |
| DS | Digital shadow | الظل الرقمي |
| | Digital Mode | النموذج الرقمي |
| | Golden/Digital thread | الخيط الرقمي/ الذهبي |
| | Information Management | إدارة المعلومات |
| | Laser scanning | المسح الليزري |
| ML | Machine learning | تعلم الالة |
| BrIM | Bridge information modeling | نمذجة معلومات الجسور |
| CDE | Common data environment | بيئة البيانات المشتركة |
| CDBB | Centre for Digital Built Britain | مركزبريطانيا الرقمية المبنية |
| DTC | Digital Twin Consortium | إتحاد التوأم الرقمي |
| | Asset (Built/Constructed asset) | الأصول(مبنى/ أصل مبني) |
| | Platform | منصة |

# الفصل الأول
# الإطار العام للدراسة

- المقدمة
- مشكلة الدراسة
- أسئلة الدراسة
- فرضيات الدراسة
- أهمية الدراسة
- أهداف الدراسة
- منهجية الدراسة
- أدوات الدراسة
- مجتمع الدراسة وعينتها
- حدود الدراسة
- صعوبات الدراسة
- الدراسات السابقة

## المقدمة

شهدت السنوات القليلة الماضية تطورا هائلاً في مجالات المعرفة وتكنولوجيا المعلومات، حيث باتت التكنولوجيا عنصرا اساسياً لا غنى عنه في كافة مجالات الحياة، وقد انعكس هذا الأمر جلياً في المسميات التي أطلقت على العصر الحالي والتي منها عصر المعلوماتية، عصر الثورة التكنولوجية وعصر الثورة المعرفية، كما أًصبح تقدم الدول لا يقاس بما تمتلكه من معلومات فحسب، بل ما تستطيع تنظيمه وتوظيفه من خلال هذه المعلومات لخدمة الإنسان، وأصبحت الدول الأكثر تطورا في مجال التكنولوجيا والمعلومات هي الأكثر قوة اقتصاديا ومالياً.

إن مجال البناء والمشاريع الهندسية من أكثر المجالات التي تحتاج إلى التطور بشكل دائم وخاصة بعد الثورة الصناعية الرابعة والتطور التكنولوجي والرقمي الذي رافقها ومجموعة التقنيات الحديثة التي شكلتها مثل البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي والطباعة ثلاثية الأبعاد و إنترنت الأشياء و التوأم الرقمي وغيرها. إن دمج هذه التقنيات في مجال الهندسة والبناء من اهم الأهداف التي تطمح لها كافة البلدان والحكومات و الشركات لما لها من فوائد كبيرة عليها تمكنها من حل المشكلات وتسريع عجلة التطور فيها.

ومع إقتراب العالم من إنشاء عالم رقمى متكامل Metaverse أصبح المهندسين قادرين على إنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد وجعلها تتفاعل داخل بيئة رقمية وجاهزة لإستضافة أى نماذج إفتراضية وهناك العديد من المجالات التى يمكنها الإستفادة بشكل مباشر من تلك التقنيات المستحدثة لإجراء عمليات النمذجة والمحاكاة 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 تفاعلية وتكون متصلة مع العالم الحقيقى ولها نفس وقت التزامن مع قواعد البيانات وقادرة على التحليلات البيانية ويمكن ان تشكل الحل الأمثل لإستعراض المشاريع الكبيرة دون الخوض فى مراحل الأنشاء وتكاليفها وإختصار عامل الزمن والاستفادة من البيانات السابقة في تدارك الاخطاء السابقة. كما وتعمل التوأم الرقمي على تغيير الطريقة التي سيتم بها تخطيط المباني وتشييدها واستخدامها وإدارتها. يأخذ هذا التحول المباني إلى مستويات جديدة تماماً من الكفاءة والأمان والراحة. مع تثبيت المستشعرات في جميع أنحاء المنشأة إلى جانب التحليل الشامل للبيانات المجمعة ،يمكن للمباني الاستجابة بذكاء لبيئاتها والاستفادة من مزاياها على المدى الطويل بالاقتران مع المباني والبنى التحتية الأخرى.

تتمتع تقنية التوام الرقمي بالعديد من المزايا والقابلة للتحديث والتطور وذات الكفاءة العالية بترشيد واستهلاك الطاقة وتوصف بأنها صديقة للبيئة والانسان.

## مشكلة الدراسة:

نتيجة الازمة التي أصابت البلد خلال الأعوام السابقة والحصار التي تعرضت له مختلف الصناعات و مجالات الحياة بما فيها الشركات العامة والخاصة, وما لحقه من انعكاسات أثرت بشكل كبير على التطور التكنولوجي بمجال صناعة البناء ونتج عنه تراجع الوعي بأهمية متابعة التطور وضعف الامكانات التكنولوجية وعدم القدرة على تطبيقها والحاجة الضرورية لها لدعم التنسيق الكامل بين مجالات الصناعة المختلفة وإعادة رسم خطة استراتيجية تجعل سوريا تنهض بإعادة الاعمار و تحقيق المستقبل الأفضل، من هنا جاءت اهمية الدراسة في بحث فوائد تطبيق تكنولوجيا التوام الرقمي وتقييم مستوى الوعي بأهمية تطبيقها والعوائق لتنفيذها على المشاريع الهندسية في سوريا، لتكمن مشكلة الدراسة في البحث عن أهمية تطبيق تكنولوجيا التوائم الرقمية ومعوقاتها في المشاريع الهندسية بسوريا .

## أسئلة الدراسة:

**في ضوء عرض مشكلة الدراسة ، فانه يمكن تلخيص التساؤلات الرئيسية التي تطرحها الدراسة على النحو التالي:**

ما هي درجة الوعي بتطبيق تكنولوجيا التوائم الرقمية في المشاريع الهندسية.

ما هي أهمية استخدام تكنولوجيا التوائم الرقمية في المشاريع الهندسية.

ما هي عوائق استخدام تكنولوجيا التوائم الرقمية على المشاريع الهندسية.

## فرضيات الدراسة:

**اعتمد البحث على عدد من الفرضيات التالية:**

علاقة طردية بين درجة الوعي بتكنولوجيا التوأم الرقمي واهمية تطبيقها.

علاقة طردية بين تطبيق تطبيق تكنولوجيا التوأم الرقمي والعائد على المشروعات الإنشائية.

علاقة عكسية بين درجة الوعي بتكنولوجيا التوأم الرقمي ومعوقات تطبيقها.

## أهمية الدراسة:

ندرة الدراسات التي تتناول تطبيق تكنولوجيا التوأم الرقمي في قطاع الإنشاءات بسوريا وبالتالي فهي تغطي جانب بحثي هام.

تتناول الدراسة الجانب التكنولوجي والتقني من تقنيات البيم والتوأم الرقمي مما سيساهم بفاعلية في تعزيز دورها ودور البيم في سوريا.

تبرز الدراسة أهمية التوأم الرقمي وفوائدها في مراحل المشروع من التصميم والتحليل والتشييد والتشغيل والإدارة والاستدامة.

تسعى لتأكيد الارتباط بين قلة الوعي بتكنولوجيا التوأم الرقمي وانتشارها في المشاريع الهندسية بسوريا.

تحديد العقبات التي تحول دون تطبيق تكنولوجيا التوأم الرقمي في المشاريع الهندسية بسوريا.

البحث في سبل تعميم تطبيق تكنولوجيا التوأم الرقمي في المشاريع الهندسية في سوريا.

## أهداف الدراسة:

تهدف الدراسة الى ما يلي:

التعريف بتكنولوجيا التوام الرقمي وتوضيح نشأتها وخصائصها ومكونات نظام التوام الرقمي ومنصاته .

إيضاح العلاقة بين التوام الرقمية ونمذجة معلومات البناء وأهمية مشاركة البيانات وتبادلها ودورها بين التقنيتين.

التعرف على مميزات التوام الرقمية وأستخداماتها في المشاريع الهندسية .

التعرف على معوقات تطبيق تكنولوجيا التوأم الرقمي في المشاريع الهندسية.

تقدير درجة وعي المشاركين في صناعة التشييد بتكنولوجيا التوأم الرقمي.

وضع التوصيات المناسبة لتذليل عقبات تطبيق تكنولوجيا التوأم الرقمي في سوريا.

قد تفتح هذه الدراسة آفاق جديدة في البحث بمجال العمل الهندسي والتوأم الرقمي في المستقبل.

## منهجية الدراسة:

اتبعت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لتحقيق الأهداف وتم استخدام أداة الإستبانة للعينة التي شملت عدد كبير من الأطراف ذات العلاقة بتشييد المشروعات من المهندسين والإستشاريين والمقاولين والعاملين بالتدريب التقني بسوريا لتحليل العلاقة بين فرضيات الدراسة المختلفة وإستنتاج درجة الوعي بتكنولوجيا التوأم الرقمي ومعوقات تطبيقه محلياً.وقد تم اعداد الإستبانة في ضوء نتائج الدراسات السابقة وفرضيات الدراسة من أسئلة متعددة الإختيارات تشمل كل عناصر الدراسة حيث شملت طبيعة عمل المدعو للإستبيان ودرجة الوعي بتكنولوجيا التوأم الرقمية واهميتها ومعوقاتها.

## أدوات الدراسة:

الاساليب جمع البيانات سوف يتم استخدام الاستبانة كوسيلة لجمع المعلومات حيث يتم تصميم استبانة تحتوى على محاور رئيسية تغطى أسئلة ومتغيرات البحث الأساسية، كما يسعى الباحث للحصول على معلومات وبيانات من الكتب والمواقع الإلكترونية ذات الاختصاص، ومن الدراسات الحديثة ذات العلاقة بالموضوع.

## مجتمع الدراسة وعينتها :

يتكون من شركات القطاع الهندسي والمكاتب الهندسية ومؤسسات التعليم الهندسي والتقني بقطاع البناء والتشييد في سوريا.

سوف يتم اختيار عينة عشوائية من مجتمع الدراسة .

## حدود الدراسة:

**الحدود الموضوعية:** أهمية تطبيق تكنولوجيا التوأم الرقمية ومعوقاتها على المشاريع الهندسية .

**الحدود المكانية:** المحافظات السورية.

**الحدود البشرية:** تشمل الممثلين عن الشركات العامة والخاصة للمقاولات والمكاتب الاستشارية ومالكي العقارات ومؤسسات التعليم الهندسي والتقني بقطاع البناء والتشييد في سوريا.

**الحدود الزمانية:** الفصل الدراسي 2022.

## صعوبات الدراسة:

واجهتنا عدة صعوبات في إعداد وتوفير المعلومات المناسبة لهذا البحث نظرا لحداثة الموضوع ونتيجة قلة الدراسات المتعلقة بطبيعة البحث بشكل عام وقلة المراجع العربية بشكل خاص.

## الدراسات السابقة:

تناولت هذه الدراسة مراجعة المواضيع المتعلقة بتقنية التوأم الرقمي في مواضيع متعددة كنشأة التوأم الرقمي و إستخداماته على مستوى المباني والمدن والبنية التحتية, حيث تمت مراجعة المواضيع التي تخص أقرب الجوانب لهذه الدراسات وسيتم استعراضها وذكر النتائج التي توصلت إليها وفي النهاية سيتم التعليق على جميع هذه الدراسات :

**أولاً: الدراسات العربية:**

**دراسة (مروة سليمان و إبراهيم والي و منية محمد, 2022) بعنوان:**

**"دور تكنولوجيا إنترنت الأشياء وتكنولوجيا التوائم الرقمية على فاعلية التدريب العملي في مجال الطباعة"**

تناول هذا البحث بشكل عام تكنولوجيا إنترنت الأشياء وتكنولوجيا التوائم الرقمية وهدف الى دمج تكنولوجيا إنترنت الأشياء وتكنولوجيا التوائم الرقمية لزيادة فاعلية التدريب العملي في مجال الطباعة من خلال التغلب على المشاكل التي التدريب العملي و تحديد نقاط القوة والضعف لعملية تطبيق دمج تكنولوجيا إنترنت الأشياء وتكنولوجيا التوائم الرقمية أثناء التدريب العملي في مجال الطباعة وتحليل الفرص والتحديات المرتبطة و وضع خطة شاملة لزيادة فاعلية التدريب. حيث استخدام المنهج الوصفي التحليلي واستمارة التحليل الرباعي للحصول على نتائجه والتي تضمنت الوقوف على مفهوم تكنولوجيا التوائم الرقمية في مجال التدريب العملي الطباعي والتعريف بالتقنيتين حيث انه لم تكن هذه التكنولوجيا مألوفة للطلاب والمتدربين من قبل وأكدت على أهميتها من أجل تسهيل تعلم الطلاب وتحسين إمكانية الوصول للتدريب العملي في مجال الطباعة، وأهمية التعليم الافتراضي في زيادة المرونة وعدم الحاجة لتعطيل العمل داخل المؤسسات الطباعية.

**دراسة (اسامة ندا ومينا داود,2022) بعنوان:**

**"التوأم الرقمى: منهجيات نمذجة بيئة العمل أثناء عمليات التصميم والتطوير"**

تناول هذا البحث ا لتأكيد 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 من خلال بيئات الواقع الافتراضي و 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 وإعتمد البحث على المنهج الإستقرائى لدراسة المشكلة،والتوصل الى نتائجه التي تمثلت بطرح اطاراً منهجياً قائماً على نمذجة التوأم الرقمى،ويهدف إلى تقييم الأداء العام لبيئة العمل أثناء عمليات التصميم والتطوير، من خلال نمذجة سيناريوهات إفتراضية ثلاثيةالأبعاد وإجراء فحص دقيق عليها, يسمح إطار العمل المقترح بتقييم بيئة العمل بطريقة أسرع وأكثر دقة، ومنها تقليل أوقات التقييم بشكل ملحوظ، و تقديم تحسينات على تقنيات الفحص خلال عمليات القياس والتحقق الفعلى، عن طريق توفير تحليلات منطقية فى الوقت الفعلى لعملية التفاعل وتحديد المشكلات المتعلقة بمصادرالخطر المتوقع عبر المحاكاة الأولية . وخلص البحث الى توصيات بضرورة توجه مؤسسات البحث العلمى المتخصصة فى علومالإرجونوميكس إلى دراسة النمذجة الإفتراضية والبحث عن تمويلات بهدف إعداد معامل متخصصة لنمذجة التوأم الرقمى،وذلك لتعليم الطلاب أهمية النمذجة الرقمية والإفتراضية . والى تبنى المؤسسات الصناعية المحلية فكرة النمذجة الإفتراضية للمنتجات الصناعية وأهميتها لتحقيق أهداف التصنيع بشكل كامل.

**ثانيا: الدراسات الأجنبية:**

**ورقة عمل (مايكل جريفز وجون فيكرز,2016) بعنوان "أصل مفهوم التوأم الرقمي"**

**" Origins of the Digital Twin Concept " (Grieves, 2016)**

تناولت هذه الورقة التعريف بمفهوم التوأم الرقمي وشرح للمفهوم الاساسي لنظام التوأم الرقمي ومجالات إستخدامه في بداياته وإقتراح لنماذج التوأم الرقمي والبيئة التي يعمل فيها وكيفة تشكيله وتعريف بإستخداماته خلال مراحل النمذجة والمحاكاة ودورة حياة المنتج والتوقعات المقترحة في المستقبل.

**دراسة(كيوشين لو, وأخرون , 2020) بعنوان "من البيم الى التوأم الرقمي الإستراتيجية والمستقبل تطويرإدارة الأصول الذكية"**

**"From BIM towards digital twin Strategy and future development for smart asset management"**

**(Qiuchen Lu,et al,2020)**

تناول هذا البحث نمذجة معلومات البناء لإدارة الأصول في قطاع الهندسة المعمارية والهندسة والبناء ودعم البيم لإدارة الأصول في مرحلة التشغيل والصيانة واقتراح إطار عمل للتطوير المستقبلي لإدارة الأصول الذكية ، يدمج مفهوم التوأم الرقمي بالذكاء الاصطناعي و التعلم الآلي وتحليلات البيانات لإنشاء نماذج رقمي ةديناميكية قادرة على التعلم وتحديث حالة النظير المادي من مصادر متعددة. كما تطرق الى تطوير معايير الصناعة لإدارة الاصول ومعايير البيم في مرحلة الصيانة والتشغيل وقابلية التشغيل البيني وخلص الى أهمية تفعيل دور البيم والتوأم الرقمي في إدارة الاصول وخلصت الى توصيات استناداً إلى إطار العمل الذي وضعوه تتضمن تطوير المفاهيم التفصيلية ودراسة الحالة الحقيقية لإدارة الأصول الذكية التي تدعمها التوأم الرقمية وأهمية توسيع إدارة الأصول الذكية المدعومة بالتوأم الرقمي المبنى و البنية التحتية لتشمل التطوير على مستوى المدينة كما وينبغي إجراء بحث للتحقيق في مواءمة إطار العمل المقترح مع المجال الناشئ للمدن الذكية .

**دراسة (مولشيري سينغ و ديكلان ديفين وأخرون, 2021) بعنوان "التوأم الرقمي: الأصل إلى المستقبل"**

**"Digital Twin: Origin to Future "(Singh, M, et al,2021)**

تناول هذا البحث التعريف بمفهومات مختلفة من التوأم الرقمي لتسهيل فهمه وتوضيح بنيته ومصطلحاته مثل " صورة المنتج " و " الخيط الرقمي " و " النموذج الرقمي" إضافة لخصائصه وتوضيح مفهومه منذ نشأته الى المستقبل كما و تقدم الورقة لمحة عامة عن أحدث ما توصل إليه العلم في مجال التوأم الرقمي بالإضافة إلى نظام تصنيف لما يجب اعتباره توأم رقمي بناءً على الوظائف الرئيسية المطلوبة.

وتهدف الورقة إلى تحليل دور ومزايا التوأم الرقمي وكيف يمكن أن تحقق قيمة للأنظمة الحالية.كما تناولت هذه الورقة المزايا التي يوفرها تطبيق هذه التقنية وقارنتها بالتحديات. وخلصت لنتائج تشمل الفوائد تخفيضات في التكلفة ، وزيادة النواتج ، والوصول عن بعد ، وتبسيط الخدمات والعمليات ، وكل ذلك يمكن الحصول عليه من خلال تشغيل النظام رقميًا بدلاً من فعليًا دون أي مواد إضافية أو تكلفة استثمارية.وأكدت على الفرص التي يقدمها لتطوير أدوات الثورة الصناعية الرابعة من قدرات المحاكاة والتنبؤ إلى حفظ السجلات واستكشاف الأخطاء وإصلاحها.

**دراسة (مين دينغ, وأخرون , 2021) بعنوان "من البيم الى التوأم الرقمي مراجعة منهجية لتطور تمثيلات المباني الذكية في صناعة AEC-FM"**

**"From BIM to Digital Twins- a Systematic Review of The Evolution of Intelligent Building Representations in the AEC-FM Industry"( Deng ,M, et al,2021)**

أجرت هذه الورقة مراجعة منهجية لتحديد تطور التقنيات الناشئة التي تسهل تطور البيم الى التوأم الرقمي في تطبيقات البيئة المبنية ، وقد طور المؤلفون نظام تصنيف سلم من خمسة مستويات يعتمد على دورة حياة المبنى ليعكس الحالة الحالية . و تشمل المستويات الخمسة المستوى الاول البيم ,والمستوى الثاني البيم مدعوما بالمحاكاة والمستوى الثالث البيم متكامل مع إنترنت الأشياء ،والمستوى الرابع البيم متكامل مع تقنيات الذكاء الاصطناعي للتنبؤ ، والمستوى الخامس التوائم الرقمية المثالية. في كل مستوى من هذا التصنيف ، تم تصنيف التطبيقات بشكل أكبر بناءً على مجالات البحث الخاصة بها (على سبيل المثال ، عملية البناء ، وأداء طاقة المبنى ، ومراقبة البيئة الداخلية). بالإضافة إلى ذلك ، تم تلخيص أحدث التقنيات الحالية في تمكين التوأم الرقمية من الأدبيات التي تمت مراجعتها. و تم تلخيص الميزات والقدرات المتوقعة للجيل التالي من التوائم الرقمية على النحو التالي :

- تصورلبيانات البيئة المبنية في الوقت الفعلي كتقدم البناء ودرجة الحرارة الداخلية والرطوبة ومواقع الركاب والراحة الحرارية.
- تستندالتنبؤات إلى لقطات لمعلومات البناء الديناميكي المرتبطة باستشعار البيانات في الوقت الفعلي لدعم اتخاذالقرار.
- يجب أن يتمتع التوأم الرقمي المثالي العام التالي بالقدرة على دعم مقاييس مختلفة من المباني ، بدءاً من مبنى واحدإلى مخزون المباني على مستوى المدينة ،
- ردود فعل التحكم الآلي مع استراتيجيات الإدارة المحسنة لتقديم التدخلات في البيئة المبنية.

**دراسة (حيدر ومحسن حسامو, 2022) بعنوان "تقنية التوأم الرقمي لصيانة الجسر باستخدام المسح الليزري ثلاثي الابعاد"**

**"Digital Twin Technology for Bridge Maintenance using 3D Laser Scanning" (Hosamo ,H, et al,2022)**

تناول هذا البحث دراسة مرجعية حول تكنولوجيا التوأم الرقمي في صيانة الجسور. وشملت مواضيع تتعلق بالذكاء الصناعي, انترنت الأشياء, المسح الليزري, ونمذجة معلومات الجسور وإقترحت إطار جديد لبناء التوأم الرقمي للجسور من خلال الأعتماد على دمج التحليل الكمي والنوعي لتقييم الأبحاث وتحديد الثغرات المعرفية ضمن مجال صيانة الجسور. ووضحت اليات فحص الجسر وصيانته عبر تقنيا ت الثورة الصناعية الرابعة والضرورات المتعلقة بالصيانة وصعوبة العمليات التقليدية كما وأشارت الى تقنية المسح الليزري ثلاثي الأبعاد في البناء والصيانة من خلال الحصول على بيانات السحابة النقطية ثلاثية الأبعاد . ,اشارت الى أهمية تقنية التوأم الرقمي وأجهزة الاستشعار ونمذجة معلومات الجسر BrIM ونظام إدارة الجسور BMS في صيانة الجسور.. وخلصت الدراسة الى مجموعة من النقاط منها ضروروة ان يشتمل نظام التوأم الرقمي لتقنيات متداخلة مه الهيكل الانشائي للجسر و أهمية عملية المسح وتطلبها لكمية كبيرة من

النقاط والبيانات ومراعات عوامل الطقس التي تواثر على خطوات تشكيل النظام و جلب البيانات والتحديات المستقبلية كتبادل البيانات الدقيقة وتكامل المعرفة والتنبؤ عبر دورة حياة المشروع.

**دراسة ( هيو سيتون , وأخرون , 2022) بعنوان "التوأم الرقمي من التصميم الى تسليم الاصول المبنية"**

**"Digital Twins from design to handover of constructed assets" (Seaton ,H, et al,2022)**

أجرت هذه الدراسة دراسة إحصائية ومقابلات لخبراء تضمنت أستخدامات التوأم الرقمي في البناء و وضعه الحالي التي تلخص منها بأن هنالك ارتباك في تعريف التوام الرقمي واستخدامه في قطاع البيئة المبنية .ولذلك قام الباحثون بالتعريف بالتوأم الرقمي من خلال الاستشهاد باكثر من جهة هندسية كمركز بريطانيا الرقمي وأوضحت مكونات التوأم الرقمي ونظام التوام الرقمي في البيئة المبنية و الميزات المتعلقة به من مرحلة التصميم الى مرحلة التسليم وأكدت على دور التوأم الرقمي في قطاع البيئة المبنية خلال مرحلة تشغيل وصيانة الأصول, واكدت أهمية نضج البيم للأستخدام الامثل للتوأم الرقمي كما واشارت الى أهمية البيانات والخيط الرقمي في نظام التوام الرقمي والبيم وبيئة البيانات المشتركة . وخلصت الدراسة الى اهمية التقنيات الحديثة(رؤية الالة و تحليل البيانات الضخمة وانترنت الاشياء وتقنية الذكاء الصناعي والتعلم الالي و الحوسبة السحابية والمنصات الرقمية) في مستقبل التوأم الرقمي .

**تقييم الدراسات السابقة وأوجو التشابه والاختلاف بين الدراسة الحالية والدراسات السابقة:**

أوضحت الدراسات السابقة مجموعة من التعاريف المتعلقة بالتوام الرقمي و عرفت بمكونات التوام الرقمي في مجالات محتلفة كالتصميم والصناعة والطباعة ومراحل البناء و البنية التحتية ووضحت بعض خصائصه في هذه المجالات, وتناولت أثر البيم والتوام الرقمي في بعض المجالات كصيانة الجسور و مرحلة التشغيل والصيانة للمنشأة كما وتطرقت بعضها الى بيئة البيانات المشتركة ودورها بالتوام الرقمي وأشارت الى بعض تقنيا ت الثورة الصناعية وضرورتها لمستقبل التوأم التوام الرقمي .

اهم ما يميز هذه الدراسة هو تناول مفهوم التحول الرقمي وأثرالثورة الصناعية وأستخدام تقنياتها االمتعددة في قطاع المشاريع الهندسية و التعريف بمفهوم التوام الرقمي ومكوناته إضافة لخصائصة ومميزاته وايضاح العلاقة بين البيم والتوام الرقمي وأهمية البيانات لصنع نموذج التوام الرقمي ودور بيئة البيانات المشتركة و تبادل البيانات في نظام التوام الرقمي . والتعريف بمستويات نضج التوام الرقمي و تكاملها مع مستويات نضج البيم , إضافة الى التعريف بالمعاييرالقياسية المحتملة للتوأم الرقمي و منصات التوأم الرقمي ودورها,وتوضيح استخدامات التوام الرقمي خلال دورة حياة المشروع وفوائد تطبيق التوام الرقمي مع بعض التحديات لتطبيقه. وشملت الدراسة أيضا دراسة حالة لمبنى و منصة توام رقمي لمدينة ولفراغ مكتب . وتم من خلال الدراسة الاستبيانية التعريف بواقع التوأم الرقمي وأستخدامته وتحديد بعض المعوقات الرئيسية لأستخدامه في المشاريع الهندسية في سوريا .

# الفصل الثاني

1. الثورة الصناعية الرابعة Fourth Industrial Revolution
2. التحول الرقمي Digital Transformations
3. تقنيات الثورة الصناعية الرابعة Fourth Industrial Revolution Technologies

- إنترنت الأشياء/ الصناعي Internet of Things / Industrial
- تكنولوجيا الروبوتات المتقدمة Advanced Robots
- الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D Printing
- المحاكاة المتقدمة Advanced Simulation
- الحوسبة السحابية The Cloud Computing (CC)
- الأمن السيبراني Cybersecurity (CS)
- تحليل البيانات الضخمة Big Data Analytics (BDA)
- تكامل النظام الافقي والرأسي Horizontal and Vertical System Integration
- الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence
- تعليم الالة Machine Learning
- التعلم العميق Deep Learning
- الواقع الافتراضي Virtual Reality VR
- الواقع المعزز Augmented Reality AR
- الواقع المختلط Mixed Reality MR
- الواقع الممتد Extended Reality XR

## الثورة الصناعية الرابعة Fourth Industrial Revolution :

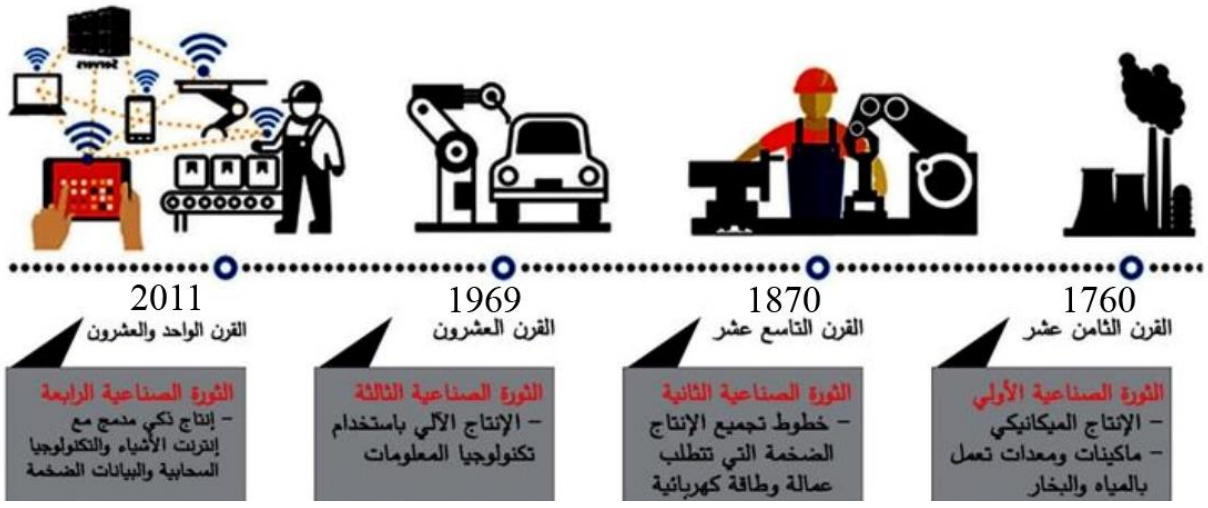
مرت نشأة التحول الرقمي بمجموعة ثورات على الشكل التالي: (كورانا والعلماء، 2016)

-الثورة الصناعية الأولى عام 1765 : ثورة الآلات : في عام 100 ميلادي تم اكتشاف مبدأ القوة البخارية، لكن الأمر استغرق ما يقارب ألفاً وست مائة سنة أخرى لاستخدام الطاقة البخارية في الصناعة .وفي عام 1769 تم إستخدام المحرك البخاري في التطبيقات الصناعية. فاندفعت الثورة الصناعية الأولى في ختام القرن الثامن عشر وشهد العالم ظهور المكننة، حينها تم إختراع المحرك البخاري .

-الثورة الصناعية الثانية عام 1870 : ثورة العمليات : انطلقت الثورة الصناعية الثانية في أوائل القرن العشرين، عندما تم تنفيذ عملية التصنيع الشامل باستخدام الكهرباء ومحركات الاحتراق لتزويد الآلات بالطاقة. و تم في ذاك الوقت تقديم خطوط التجميع لأول مرة، كما تم إحداث ثورة في أساليب الاتصال مع اختراع التلغراف والهاتف ووسائل النقل وظهور السيارات والطائرة في بداية القرن العشرين. تجدر الاشارة الى أن الفترة بين اكتشاف التكنولوجيا وتطبيقها في الصناعة كانت حوالي 90 عاماً.

الثورة الصناعية الثالثة عام 1969 : ثورة الإلكترونيات : في النصف الثاني من القرن العشرين، ظهرت ثورة صناعية ثالثة مع ظهور نوع جديد من الطاقة وهي الطاقة النووية. وشهدت هذه الثورة تطور الإلكترونيات، مع إكتشاف الترانزستور والمعالجات الدقيقة ووسائل الاتصالات وأجهزة الكمبيوتر والانترنت . أدت هذه الثورة إلى عصر الأتمتة في الإنتاج بفضل اختراعين رئيسيين هما وحدات التحكم القابلة للبرمجة والروبوتات.

-الثورة الصناعية الرابعة العصر الحاضر والمستقبل: ثورة المعلوماتية : بدأت بعد عام 2011 وحتى الآن ، وبالاستناد إلى أنظمة الإنتاج الإلكتروني الملموس، التي تعمل على ربط العالم بالإنتاج المادي والافتراضي، فإن الثورة الصناعية الرابعة والعمليات الرقمية تمزج ما بين عمليات التحويل الرقمي وتكامل سلاسل القيمة والمنتجات أو الخدمات ، فإن تكنولوجيا المعلومات والآلات والإنسان متناغمين مًعا ويتجاوبون في الوقت الحقيقي مما تفضي إلى وجود طريقة تصنيع مخصصة ومرنة مع كفاءة في استخدام الموارد وهو ما يعادل المصنع الذكي الذي يستعين بإنترنت الأشياء في العمل، وعليه يجسد تحليل البيانات المتكامل والتعاون محركات القيمة الجوهرية للثورة الصناعية الرابعة. فهي أول ثورة صناعية تعتمد على الرقمنة وليس على ظهور نوع جديد من الطاقة. ويمكن أن تكون هذه الثورة حافزاً لدمج المزيد والمزيد من الإمكانيات لتشغيل العمليات الإنتاجية بموارد بديلة. فهي تستند الى طاقة الرياح والشـــمس والطاقة الحرارية الأرضية وتساهم في إنشاء المدن الذكية.




شكل (1) التطور التاريخي للثورات الصناعية

أطلق على تلك التحولات " الثورة الصناعية الرابعة Industrial Revolution 4"أو الجيل الرابع من العولمة Globalization 4" التي تشير لعملية الدمج بين العلوم الفيزيائية أو المادية بالأنظمة الرقمية والبيولوجية في عمليات التصنيع عبر آلات يتم التحكم فيها إلكترونيا وآلات ذكية متصلة بالإنترنت مثل إنترنت الأشياء والطباعة ثلاثية الأبعاد والذكاء الاصطناعي والروبوتات وغيرها في شكل

تطبيقات تدخلت في جميع مجالات الحياة والعمل. وقد تم وضع أول تعريف لمصطلح الثورة الصناعية الرابعةبواسطة (FU) Free University of Berlin في عام 2011 وهو يعرف بأنه "مستوى جديد من التنظيم والتحكم في سلاسل القيمة بأكملها على مدار دورة حياة المنتجات بالكامل" (Jacobi, 2013)

## التحول الرقمي s: Digital Transformation

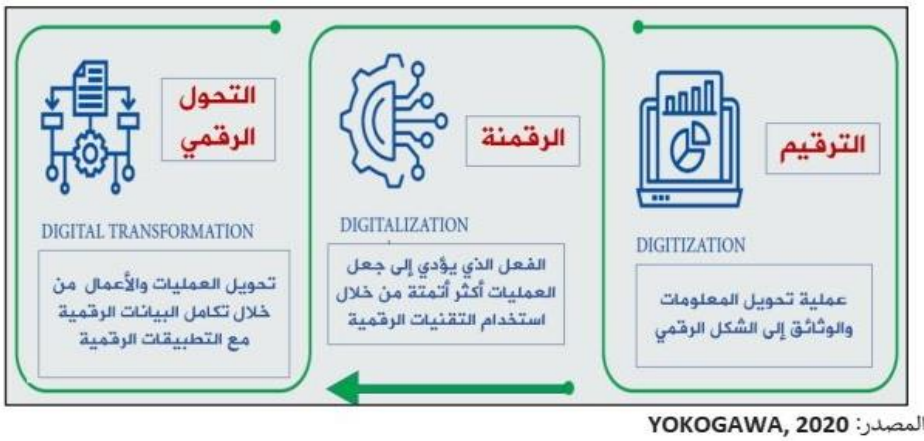
يعرف التحول الرقمي **Digital Transformation** بأنه "عملية تحويل المواد المطبوعة، و/أو المخزنة على الميكروفيلم أو الميكروفيش، والمواد ذات الشكل التناظري، والتي من مظاهرها الأشرطة الصوتية، وأشرطة الفيديو المرئية من خلال المسح الضوئي، و/أو إعادة الإدخال إلى مواد ذات شكل رقمي وهو الشكل الذي يستطيع للحاسب التعامل معه. وذلك من خلال تنسيقها إلى وحدات متفرقة من البيانات تسمى" Bytes " وتخزينها على وسائط تخزين داخلية كالأقراص الصلبة، و/أو خارجية كالأقراص المليزرة. (يس،2015).

ويمكن تعريف التحول الرقمي **Digital Transformation** بأنه عملية استخدام التكنولوجيا الرقمية Digital Technology بهدف تحقيق التميز في أداء المؤسسات والشركات وتعزيز قدرتها التنافسية من خلال تسهيل عملية تنفيذ الخطط الاستراتيجية للأعمال.

الترقيم او التحويل الرقمي **Digitization** كما ورد في قاموس ODLIS ومكتبة معلومات العلوم "عملية تحويل البيانات إلى مظهر رقمي بهدف معالجتها بواسطة الحاسب الإلكتروني وفي سياق نظم المعلومات وتشير الترقيم إلى تبديل النصوص المطبوعة أو الصور (سواء كانت صورة فوتوغرافية أو إيضاحات أو خرائط .. الخ) إلى إشارات رقمية ثنائية "Binary Signals" باستخدام نوع ما من أنظمة المسح الضوئي Scanning (Dalia, 2014). ولعل أبسط مثال على عملية الترقيم هو مسح ضوئي لصورة ورقية وتحويلها إلى ملف إلكتروني رقمي.

أما الرقمنة **Digitalization** فتعني استعمال التكنولوجيات والبيانات لغرض تحسين الأداء والإنتاجية من خلال خلق بيئة أعمال رقمية حيث تستخدم فيها المعلومات الرقمية بشكل أساس. كما ترمز إلى إجراءات الانتقال إلى الأعمال الرقمية أو استخدام التكنولوجيا الرقمية لتحسين جودة العمل والحصول على فرص لتعظيم القيمة والربحية.ومن الامثلة استخدام التكنولوجيا الرقمية في تحويل عمليات إعداد التقارير وجمعها وتحليل بياناتها بشكل لحظي واستعمال النتائج في تخفيف الأخطار وتعظيم الكفاءة في المشاريع المستقبلية.

يمكن وصف **الفرق بين الترقيم والرقمنة** في أن الترقيم Digitization يشير إلى المعلومات بينما تشير الرقمنة Digitalization إلى العمليات وأن الترقيم هو الطريق للوصول إلى تطبيق الأعمال الرقمية وأنه لا يمكن تحقيق الرقمنة بدون ترقيم الأوراق والوثائق والعمليات. (Gartner, 2014)




المصدر: YOKOGAWA, 2020

شكل (2) المراحل الاساسية لعملية التحول الرقمي

يهدف تطبيق عملية التحول الرقمي في مجال الصناعة والبناء بشكل أساس إلى تحسين مستوى الصحة والسلامة في العمليات ورفع الكفاءة الإنتاجية وخفض تكاليف التشغيل. وعكس ما يظن البعض أنها تؤدي إلى الاستغناء عن العنصر البشري، تساهم عملية التحول الرقمي في تغيير نوع الوظائف وطبيعتها، وبالتالي فإنها تخلق فرص عمل جديدة. (World Economic Forum, 2017)

إذا تبدأ عملية التحول الرقمي بتحويل المواد والوثائق الورقية والصور والأصوات من الشكل الفيزيائي إلى صيغة رقمية صالحة للتداول على الأجهزة الرقمية والإنترنت وقابلة للتخزين على الوسائط الحديثة من أقراص صلبة ومرنة. ولا تقتصر على تعزيز التكامل والربط بين تكنولوجيا العمليات التشغيلية Operational Technologies وحلول تكنولوجيا المعلومات Information Technology Solutions إنما يرتكز توجهها نحو تشغيل هذه النظم بطريقة تشاركية أكثر فعالية.

فيمايلي جدول يوضح مجالات تطبيق التحول الرقمي وأثره ومنعكساته على عمل الشركات:

| المجال | قبل | بعد |
|---|---|---|
| الزبائن | التواصل مع الزبائن يكون بشكل جماعي، والشركة هي المؤثر الأساسي في إقناع الزبون. | التواصل مع الزبائن تفاعلي، والزبون هو المؤثر الرئيسي في تسويق المنتج. |
| المنافسة | الشركات المنافسة محددة ومعروفة. | المنافسة مفتوحة، والمنافسون غير معروفين. |
| البيانات | • إنتاج البيانات يتم عبر تخطيط مسبق لعمليات استطلاع رغبات الزبائن.<br>• ينحصر استخدام البيانات بشكل أساسي للتقييم والتنبؤ واتخاذ القرار. | • يتم إنشاء البيانات بشكل مستمر من خلال كل محادثة، أو تفاعل، أو نشاط داخل، أو خارج الشركة عبر وسائل التواصل الحديثة.<br>• تستخدم البيانات الضخمة" في الحصول على أنواع جديدة من التنبؤات، وكشف الأنماط غير المتوقعة من النشاط التجاري، وفتح مصادر لتحسين القيمة. |
| الابتكار | • تتركز جهود الشركات نحو الابتكار في المنتج النهائي.<br>• تستند القرارات المتعلقة بالابتكار إلى تحليل المديرين وحدسهم. | • يعتمد الابتكار على التعلم المستمر.<br>• سهولة اختبار الأفكار الابداعية من خلال آراء الزبائن ومتطلبات الأسواق. |
| القيمة | قيمة الشركة ثابتة ولا تتغير | القيمة متغيرة حسب متطلبات السوق |

المصدر: **(European Union, 2019)**

جدول (1) مجالات تطبيق التحول الرقمي وانعكساته على عمل الشركات

تجمع الثورة الرابعة بين التحول الرقمي الشامل لكافة الأصول المادية والتكامل في المنظومة الرقمية مع الشركاء في سلسلة القيمة. حيث يمكننا ان نرى بأن الثورة الصناعية الرابعة يحركها :

**التحول الرقمي والتكامل لسلاسل القيمة العمودية والأفقية:**

تعمل الثورة الصناعية الرابعة على تحويل العمليات رقميا وتكاملها بشكل عمودي في المؤسسة بأكملها بدءاً من تطوير المنتج والشراء ووصولاً إلى عمليات التصنيع والخدمات اللوجستية وتقديم الخدمة. كما تعد جميع بيانات عمليات التشغيل وكفاءة العملية وإدارة الجودة بالإضافة إلى تخطيط العمليات متوفرة في الوقت الحقيقي ومدعومة بالواقع المعزز ومحسنة ضمن شبكة متكاملة.

أما التكامل الأفقي فيمتد إلى ما بعد العمليات الداخلية بدءاً من المزودين ووصولاً إلى العملاء وجميع شركاء سلسلة القيمة. كما أنه يشمل جميع التقنيات التي تتنوع بين أجهزة التتبع والتعقب وعمليات التخطيط والتنفيذ المتكامل في الوقت الحقيقي .

**التحول الرقمي في المنتجات والخدمات:**

يشمل تحويل المنتجات رقمياً إلى توسعة المنتجات الموجودة مثل إضافة المستشعرات الذكية أو أجهزة الاتصال التي يمكن استخدامها مع أدوات تحليل البيانات بالإضافة إلى إيجاد منتجات رقمية جديدة تركز على تقديم حلول متكاملة وسوف تتمكن الشركات عبر تكامل الطرق الجديدة لعمليات جمع البيانات وتحليلها من توليد بيانات حول كيفية استخدام المنتج وتحسين المنتجات لتلبية الطلب المتزايد من العملاء.

**تطوير نماذج أعمال رقمية للوصول إلى العملاء :**

تعمل الشركات الرائدة على توسعة ما تقدمه من خلال تقديم حلول رقمية ثورية مثل الخدمات المبنية على البيانات وحلول المنصات المتكاملة. وتركز نماذج الأعمال الثورية على توليد إيرادات رقمية إضافية وتحسين التفاعل مع العملاء والوصول إليهم. كما و تسعى المنتجات والخدمات الرقمية إلى خدمة العملاء بتقديم حلول متكاملة في منظومة رقمية مميزة.

وتتضمن عملية وضع استراتيجية للتحول الرقمي الأخذ بعين الاعتبار **أربعة عناصر رئيسية** هي:

**العنصر الأول: البنية التحتية المعلوماتية**

والتي تتكون من شبكات الاتصالات الثابتة ومراكز البيانات ومنصات خدمات متكاملة وبوابات للدفع الإلكتروني وتحليل البيانات ومستشعرات متصلة والبيانات المفتوحة والخرائط الجغرافية والثقة الرقمية.

**العنصر الثاني: يرتبط بالبيئة الرقمية Digital Environment**

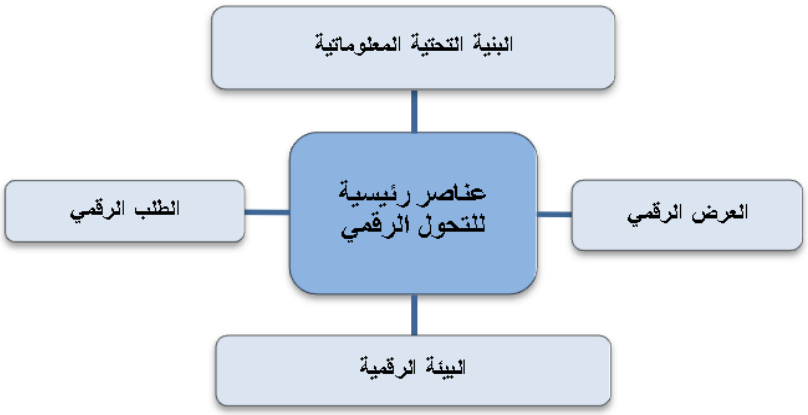
وهي ترتبط بتوافر الحوكمة والمهارات الرقمية والتمويل والتنظيم والتشريع والإبداع وريادة الأعمال والشراكات.

**عنصر الثالث: جانب العرض الرقمي Digital Supply**

يتكون من الحكومة الإلكترونية وتطبيقات الخدمات الصحية والتعليم الإلكتروني الاستخدامات الذكية والأمن الإلكتروني والتمويل الرقمي والإعلام الرقمي والمواصلات الذكية والمدن الذكية.

**العنصر الرابع: يرتبط بعنصر الطلب الرقمي Digital Deman**

يتكون من فئات الأفراد ورجال الأعمال والحكومة وتشمل أركان التغيير للدخول في التحول الرقمي من جانب الحكومات أهمية تبني استراتيجية للتحول الرقمي وارتباط التحول بالموظفين والعملاء وتنمية ثقافة الإبداع وتوفير البنية التحتية المعلوماتية وتبني مشروعات لتطوير الصناعات التكنولوجية والبرمجيات وتحديث الأطر التشريعية والقانونية إلى جانب أهمية البيانات والتحليلات في التطوير والرصد.




شكل (3) عناصر رئيسية لوضع استراتيجية تحول رقمي

إن الترابط الرقمي بين الحكومات والبنوك والشركات يدعو كافة الاطراف الى التركيز على تنمية رأس المال البشري والمهارات والمواهب وهو ما يرتبط بتنمية المهارات الخاصة بالاقتصاد الرقمي لقطاعات كبيرة من السكان واشراك كافة الشرائح, والتحول إلى منصات للتطبيقات للتواصل مع المواطنين وجمع المعلومات ثم تحليلها مما يساعد الدولة والقطاع الخاص للعمل من خلال بيئة سليمة للأعمال في المستقبل.**ويتوقف ذلك على أربعة أبعاد منها:**

**الأول: البعد التكنولوجي:** حيث إن التقدم في مجال الذكاء الاصطناعي والروبوتات والطباعة ثلاثية الأبعاد وانترنت الأشياء سيضغط على الشركات من أجل التشغيل الآلي وأن تبقى ذات تنافسية مع ضغوط التكلفة مما سيؤدي إلى تقليص كبير في عدد العمال "التقليديين" واعادة تعيين مجموعة كبيرة من الوظائف الأخرى.

**الثاني: البعد الاقتصادي:** أن كانت الأرض والعمالة ورأس المال والمشروعات هي عوامل الإنتاج والنمو الاقتصادي فان العالم لا يملك سوى52% من القدرة على تنظيم المشروعات(1)، والتي تقل بشكل كبير تدريجياً وعلى الرغم من امتلاك الشركات الكبيرة القدرة على التكيف مقارنة بالشركات الأصغر إلا أن عملية دعم الشركات الصغيرة ومتوسطة الحجم له دور كبير في الاقتصاد العالمي.

**الثالث: البعد الاجتماعي:** يرتبط بقدرة التطور التكنولوجي على تغيير القيم المجتمعية والثقافية، فعلى سبيل المثال 36% من القوى العاملة في الولايات المتحدة يعملون لحسابهم الخاص، وبخاصة مع تمكين التكنولوجيا من العمل في أي وقت وفي أي مكان.

**الرابع: التعليم والتدريب:** وهو جزء لا يتجزأ من التنمية الاقتصادية وأن يكون قائماً على المهارات التي يتطلبها سوق العمل الجديد، وأهمية التعليم المستمر لمواكبة التغير في الطلب على الوظائف.

فيما يلي جدول يوضح اراء بعض كبار الشركات العالمية بالتحول الرقمي :

| **أراء خبراء بمتطلبات للتحول الرقمي** | | |
|---|---|---|
| حدد Catlin زميل رئيسي بشركة mckinsey الدولية للاستشارات | حدد Doug Suriano نائب رئيس والمدير العام لشركة Orcale Communications | حددت Delta Munoz رئيس تنفيذي شركة Ascension Global Technology |
| - التزام الإدارة العليا.<br>- وضع أهداف طموحة وواضحة.<br>- تأمين الاستثمارات المالية لإطلاق التحول الرقمي والإسراع به.<br>-البدء بالمشروعات سريعة الحوافز.<br>- تعيين فريق إطلاق التحول الرقمي من شخصيات ذات اطلاع.<br>- إجراء التنظيم اللازم لطرق جديدة ورشيقة للعمل (عبر إنشاء وحدة رقمية في الهيكل التنظيمي).<br>- تعزيز الثقافة الرقمية (عبر بناء الزخم اللازم للتغير الثقافي).<br>- مبادرات رقمية للحصول على عوائد سريعة.<br>-بناء القدرات الرقمية (تحديث تكنولوجيا المعلومات لتقوم بدور استراتيجي ) | - الربط بين النقاط (تطور الشبكة والأعمال الرقمية وتجارب العملاء.)<br>- دمج ثم دمج ثم دمج (لتأسيس بنية تحتية متكاملة للشبكات والاتصالات السحابية والأنظمة الأساسية.)<br>- توفير تجربة كاملة للعميل (من خلال إشراك العملاء على القناة الصحيحة في الوقت المناسب).<br>- تقديم خدمات رقمية مبتكرة (عبر الذكاء الاصطناعي (AI) والتعلم الآلي(ML) و البيانات الضخمة.)<br>- الاستفادة من أحدث الابتكارات التكنولوجية (كالسحابة العالية القابلة للتوسع في البنية التحتية والتواصل عبر الجيل الرابع والجيل الخامس والقياسات الحيوية biometrics وقواعد البيانات المتسلسلةblockchain .) | - التركيز على تجربة العملاء أولاً ( العملاء الساخطون يمكن أن ينقلوا أفكارهم إلى العملاء المحتملين والحاليين عبر الإنترنت ووسائل التواصل الاجتماعي)<br>-اختيار الشبكات القوية والموثوقة لتحقيق التحول الرقمي.<br>-بناء فريق تعاوني متعدد التخصصات ملتزم بالثقافة الرقمية. |

جدول (2) أراء الخبراء بالتحول الرقمي في الشركات

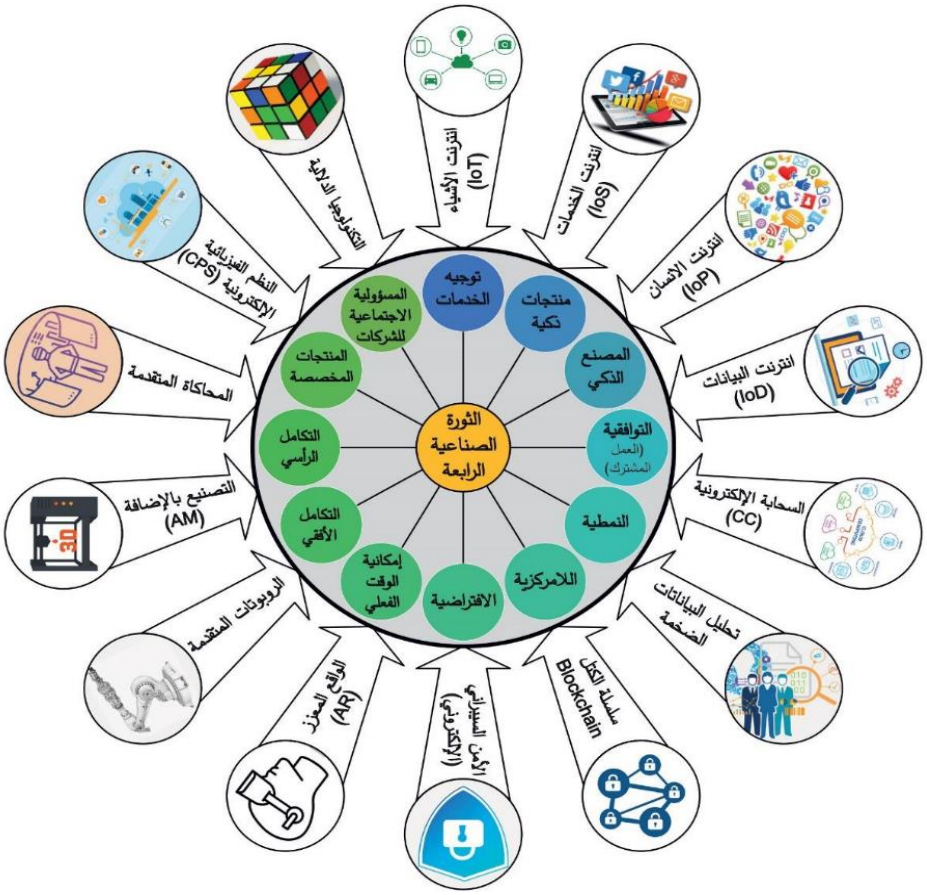
## تقنيات الثورة الصناعية الرابعة Fourth Industrial Revolution Technologies :

**مفهوم التكنولوجيا:**هي عملية شاملة تقوم بتطبيق العلوم والمعارف بشكل منظم في ميادين عدة؛ لتحقيق أغراض ذات قيمة عملية للمجتمع. وتعرف التكنولوجيا بأنّها الاستخدام الأمثل للمعرفة العلمية، وتطبيقاتها، وتطويعها لخدمة الإنسان ورفاهيته. (المقصود,2017)

تقود هذه الثورة أربعة مجموعات تكنولوجية متقدمة هي تكنولوجيا المواد المتقدمة والتكنولوجيا الرقمية والتكنولوجيا البيولوجية وتكنولوجيات الطاقة والبيئة. وتشتمل هذه التكنولوجيات على تطبيقات في مجال الذكاء الاصطناعي، وبرمجة الجينات، والروبوتات، وإنترنت الأشياء، والطابعات الثلاثية الأبعاد والسيارات ذاتية القيادة، والطائرات بدون طيار. تنتشر اليوم مجموعة من التكنولوجيات

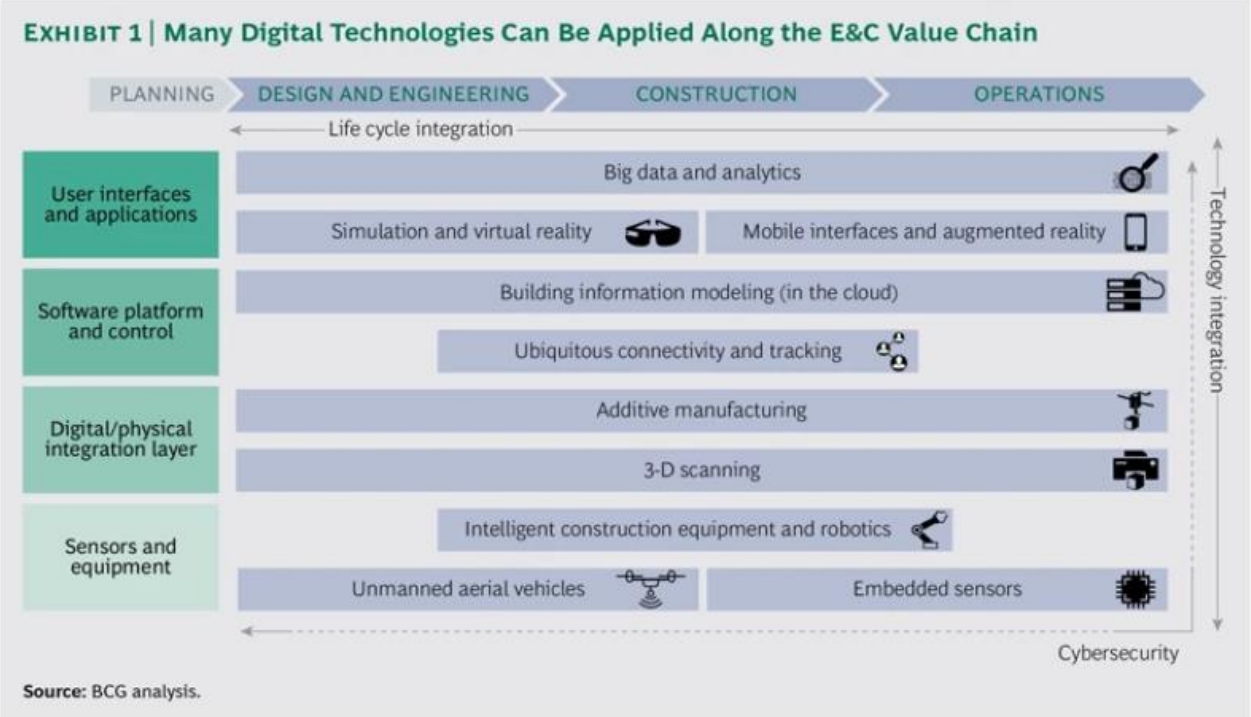
المتقدمة الجديدة التي يزيد عددها عن مائة تكنولوجيا وفقا لدراسة أجريت مؤخرا في بلدان منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية والاتحاد الأوربي. (OECD,2016) وتؤكد الثورة الصناعية الرابعة على فكرة الرقمنة المتناسقة والمترابطة مع جميع الوحدات الإنتاجية في التصنيع والاقتصاد وضرورة الترابط التكنولوجي, هناك العديد من المجالات التكنولوجية والتي تدعم الثورة الصناعية الرابعة منها:

شكل (4) تقنيات الثورة الصناعية الرابعة وتكاملها في سلسلة القيمة




شكل (5) الاتجاهات والمبادئ التصميمية التكنولوجية للثورة الصناعية الرابعة (Ghobakhloo,2018)

فيما يلي شكل يبين مجموعة التقنيات الرقمية وإتجاهات تطبيقها في مجال الصناعة والبناء خلال مراحل سلسلة القيمة:




شكل (6) التقنيات الرقمية القابلة للتطبيق خلال صناعة البناء (BCG,march 2016)

## إنترنت الأشياء/ الصناعي Industrial / Internet of Things

إنترنت الأشياء هي عبارة عن شبكة من الأجهزة المادية والمركبات والأجهزة المنزلية وغيرها من العناصر المتصلة بالأجهزة الإلكترونية والبرامج وأجهزة الاستشعار والمحركات والاتصال والتي تمكن هذه الأشياء من الاتصال وجمع وتبادل البيانات فيما بينها من بروتوكول الإنترنت (شبكة المعلومات الدولية). التي تتميز بالاستشعار السلس في كل مكان وتحليلات البيانات وتمثيل المعلومات مع الحوسبة السحابية The Computing Cloud كإطار عمل موحد. ينطوي إنترنت الأشياء على توسيع نطاق الاتصال بشبكة الإنترنت مما يتجاوز الأجهزة القياسية مثل أجهزة الكمبيوتر المكتبية / المحمولة والهواتف الذكية والأجهزة اللوحية إلى أي مجموعة من الأجهزة المادية والأشياء العادية. ومن خلال هذه التقنية المدمجة يمكن لهذه الأجهزة الاتصال والتفاعل عبر الإنترنت ويمكن مراقبتها والتحكم فيها عن بُعد. وأن الجمع بين المكونات المادية (الأجهزة) والمكونات الذكية (المستشعرات والبرامج وتحليلات البيانات) والاتصال (اتصال سلكي أو لاسلكي) يسمح بالتحسين المستمر للقيمة. حيث تعمل المكونات الذكية على تعزيز قدرات المنتج المادي، بينما تعمل مكونات الاتصال على تعزيز قدرة المكونات الذكية. يمنح الاتصال المنتج الذكي القدرة على تبادل المعلومات بين المنتج وبيئته (سواء كان ذلك المستخدم أو المؤسسة أو غيرها من المنتجات الذكية) والقدرة على تقديم وظائف موجودة خارج الجهاز المادي وتوجد مثل هذه الوظائف في المنتج "السحابة". وغالباً ما تنقسم المجموعة الواسعة من تطبيقات أجهزة إنترنت الأشياء إلى :

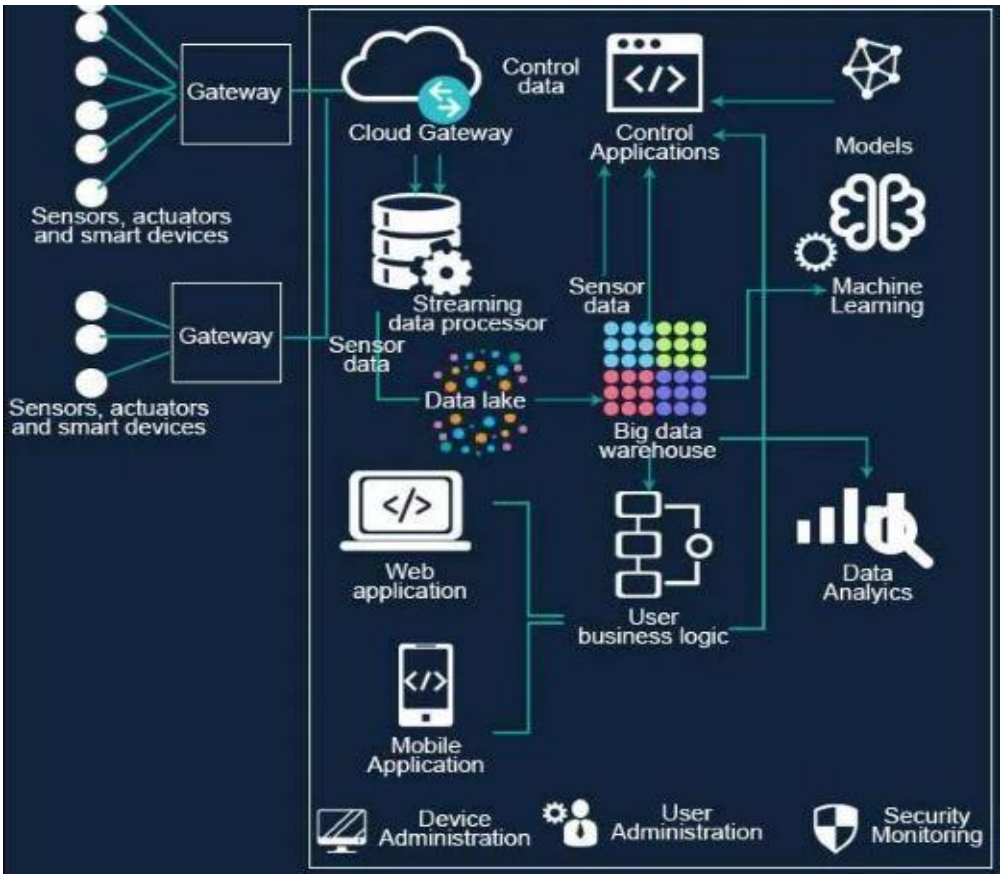
تطبيقات المستهلك لإنترنت الأشياء: وتشمل التكنولوجيا القابلة للارتداء والأجهزة المراقبة عن بعد وغيرها..

التطبيقات التجارية لإنترنت الأشياء: وتشمل الرعاية الطبية والرعاية الصحية والنقل والبناء والتشغيل الآلي للمنزل وغيرها .

التطبيقات الصناعية لإنترنت الأشياء: وتشمل التصنيع والزراعة.

تطبيقات البنى التحتية لإنترنت الأشياء: وتشمل الطاقة والبيئة.

ويوضح الشكل 7 النظام البيئي لانترنت الاشياء ومكوناته.



شكل (7) النظام البيئي لإنترنت الأشياء

**الفرق بين إنترنت الأشياء IOT وإنترنت الأشياء الصناعيIIO**

تتشابه كل من إنترنت الأشياء وإنترنت الأشياء الصناعي في العديد من التقنيات منها المنصات السحابية والمستشعرات والاتصال بين الآلات وتحليل البيانات، لكنها تختلف فيما بينها في مجال الاستخدام، حيث أن الأولى تستخدم الأجهزة والتطبيقات الذكية في المجالات التي لا ينتج عنها حالت طارئة خطرة في حال حدوث أي خلل في المنظومة. منها على سبيل المثال التطبيقات الزراعية وعمليات التسويق. أما إنترنت الأشياء الصناعي فيرتبط بالآلات والأجهزة في الصناعات الخطرة مثل صناعة النفط والغاز، وبعض الصناعات الإنتاجية الأخرى التي ينتج عنها حوادث وأخطار جسيمة في الحالات الطارئة.( Posey, 2021 )

شكل (8) العناصر الرئيسية لإنترنت الأشياء الصناعي (YOKOGAWA,2020)

ويعتبر إنترنت الأشياء الصناعي IIOT أحد الأدوات الأساسية لعمليات تجميع المعلومات وأتمتة العمليات الإنتاجية والوصول إلى منشأة رقمية جنبا إلى جنب مع التقنيات السحابية والتحليلات والذكاء الاصطناعي (Neelam, Natarajan, & Diwanji, 2018) من الخدمات التي يوفرها إنترنت الأشياء الصناعي إمكانية مراقبة موقع العمل أو المعدات عن بعد.ويشهد هذا المجال تطورات سريعة من حيث تعزيز الحماية من الاختراق، وتطوير دوره في خفض التكاليف وتخفيف الجهد المبذول في تنفيذ عمليات المراقبة التقليدية التي تفرض تواجد العمال في الموقع، فضلا عن إمكانية تزويد مهندس العمليات والصيانة بمزيد من فرص إجراء التحليلات التي تمكنهم من اتخاذ القرارات الصائبة في الوقت المناسب.( Pawlewitz & Doyle, 2020 ) كما وتساعد تقنية إنترنت الأشياء الصناعي في تحسين أداء عمليات التشغيل والإنتاج والصيانة، ومراقبة المخزون، وتحسين اللتزام بمتطلبات الصحة والسلامة المهنية، فضلا عن إمكانية منع الخسائر المادية والبشية، وتقليل التكاليف، وتحسين الأداء التشغيل. وقد أظهرت بعض الأبحاث أن عملية الأتمتة باستعمال إنترنت الأشياء الصناعي يمكن أن تساعد في زيادة الإنتاجية بنسبة تصل إلى 30% وتوفير ما يصل إلى 12%من عمليات الإصلاح المجدولة، وتقليل تكاليف الصيانة الدورية حتى 30% وتخفيض الأعطال بنسبة تصل إلى 70%. وبالرغم من الفوائد الناتجة عنها هنالك معوقات لتطبيقها يأتي في مقدمتها المخاوف الأمنية Security Concerns حيث تزداد احتمالات تعرض أجهزة إنترنت الأشياء للهجوم من قبل قراصنة تستخدم برامج ضارة للدخول إلى البيانات وتخريبها أو سرقتها. وتزداد احتمالات الخطر كلما كانت الأجهزة غير مشفرة .( Ustundag & Cevikcan, 2018) ولتفادي مشكلة الهجمات الإلكترونية وتحصين الأجهزة المتصلة بالإنترنت، يمكن اتخاذ إجراءات وقائية كاستخدام كلمات مرور صعبة الاختراق، وتحديث مستمر لبرمجيات الحماية (Posey, 2021)

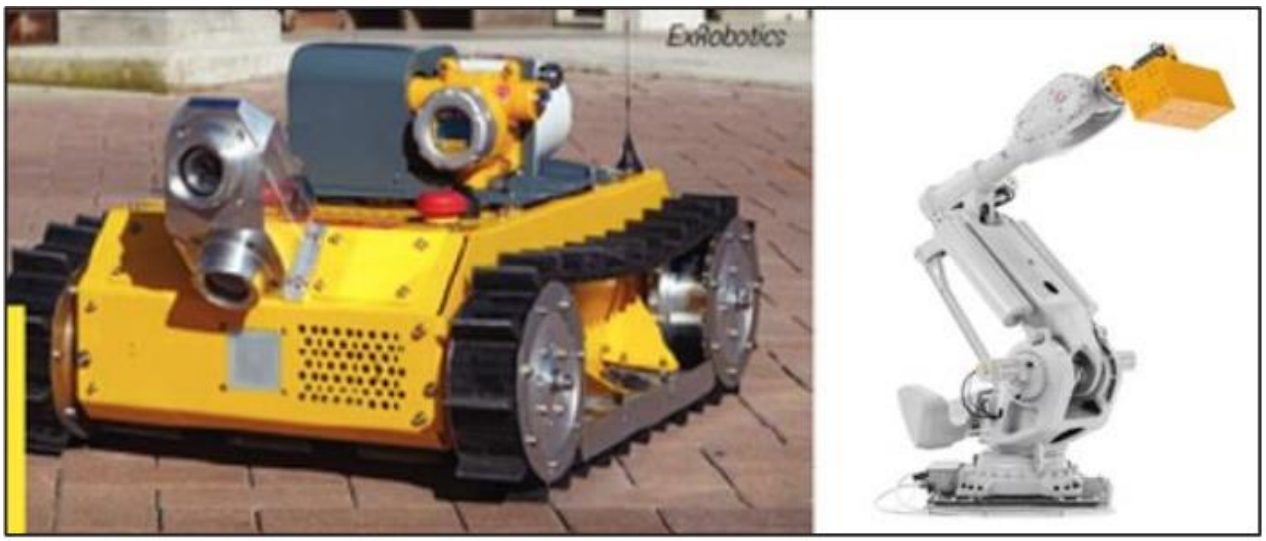
## تكنولوجيا الروبوتات المتقدمة Advanced Robots

يعتمد مبدأ عمل الروبوتات المتقدمة على الجمع بين المعالجات الدقيقة Microprocessors وتقنيات الذكاء الاصطناعي فهي تتمتع بإدراك متفوق وقابلية تكاملية وقابلية للتكيف وقابلية للتنقل تسمح هذه المميزات بالإعداد والتشغيل وإعادة التكوين بشكل أسرع بالإضافة إلي عمليات أكثر كفاءة واستقرارا. وتعني هذه التحسينات والمميزات أن الروبوتات المتقدمة ستكون قادرة على أداء العديد من المهام بشكل اقتصادي بهدف تسهيل عمليات تصنيع المنتجات وتخفيض تكاليف الإنتاج وزيادة الإنتاجية والمرونة في كل من المصنع والموقع وسلسلة التوريد. تستخدم الروبوتات المتقدمة لتنفيذ المهام في الأماكن المحصورة أو الخطرة والتي تفوق القدرة الجسدية للإنسان أو لتسريع عمليات الإنتاج وتقليل التكاليف في ضوء تنامي المنافسة في بيئة الأعمال(Jenkins, 2020) ويوجد الكثير من الفوائد المتعلقة بالروبوتات المتقدمة كما يوضح شكل (9) كما ساهم التقدم التكنولوجي في دمج المستشعرات المتقدمة Advanced sensors مع تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء الصناعي والفضاء السحابي والبيانات الضخمة في تطوير تصميم الروبوتات بحيث أصبحت تستخدم لمواجهة الحوادث الخطرة ومراقبة مواقع العمل، وفي المساهمة بصنع القرار والتنبؤ بحدوث الأعطال وإجراء عمليات الصيانة الذكية، من خلال المساعدة والعمل جنبا إلى جنب مع الكوادر البشرية.( Bahrin, Othman,2016)

شكل (9) الفوائد المتعلقة بالروبوتات المتقدمة

يجب أن تتوفر في التطبيقات التي تعتمد على الروبوتات المتقدمة الخصائص العامة التالية:

- الاتصال عبر الشبكة الداخلية Ethernetأو Wi-Fi لنقل البيانات بسرعة عالية.
- سهولة التكامل مع أنظمة اتصالات المعدات .
- معالجة الصور لتحديد المواقع.
- وجود نظام متكامل للتحكم بالروبوت.
- استخدام تقنية تعليم الآلة Machine Learning القائمة على الذاكرة.




شكل (10) نماذج روبوتات تستخدم بالمناطق الضيقة

## الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D Printing :

تقنية تصنيع مضافة (AM) لتصنيع مجموعة واسعة من الهياكل والأشكال الهندسية المعقدة من بيانات نموذج ثلاثي الأبعاد (3D) . ويتم الإنتاج بإستخدام مواد مختلفة عن طريق طبقة فوق طبقة والذي يسمى بالتصنيع التجميعي Additive Manufacturingوالذي يتناقض مع الطريقة التقليدية مثل طرق الطرح Subraction Methods أوعمليات القوالب والصب Moulding &Casting (البلاوالي 2015,

شكل (11) طباعة هياكل بإستخدام طابعة ثلاثية الابعاد

## المحاكاة المتقدمة Advanced Simulation

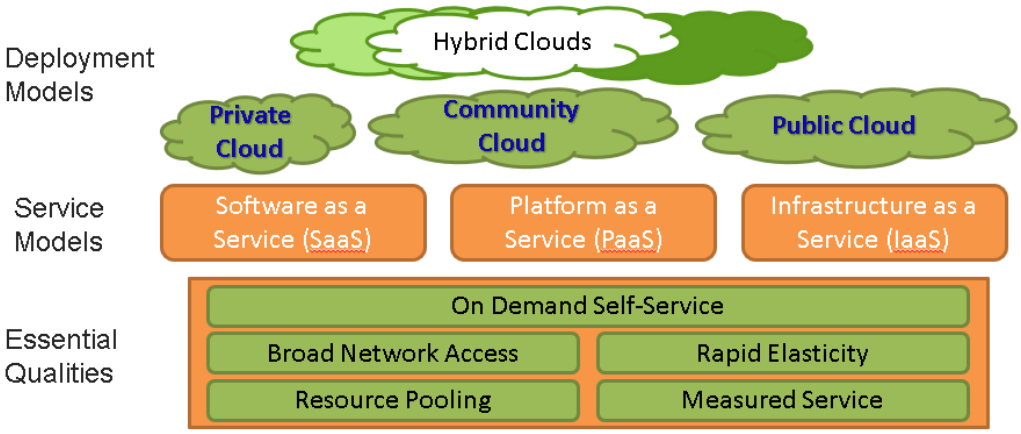
تعد أدوات المحاكاة ضرورية لضمان التصميم المستدام للمنتج والتحقق من صحته وتصنيعه. ويمكن أن يؤدي الاستخدام السليم والمتكامل لأدوات المحاكاة إلى تمكين المصممين من تصميم منتجات أكثر استدامة وفعالية من حيث التكلفة وأفضل أداء. كما يوضح شكل (12) الاستفادة من استخدام تقنية المحاكاة المتقدمة في جميع المجالات.( Boston Consulting Group,2016 )

شكل (12) فوائد تقنية المحاكاة المتقدمة

غالبا ما تكون الأشكال الهندسية للمنتج معقدة للغاية بالنسبة للحسابات اليدوية والنماذج الأولية المادية ومكلفة من حيث الثمن. لذلك يجب استخدام أدوات المحاكاة أو الهندسة بمساعدة الكمبيوتر (CAE) في وقت مبكر خلال مرحلة التصميم لضمان منتج ناجح وتنافسي يمكن المصمم من استكشاف أفضل أفكار التصميم وتعديلها وتثبيتها والمراحل المبكرة جدا من خلال التكامل CAD و CAE و CAM وتقليل مخاطر أخطاء التصميم المكلفة واستكشاف خيارات التصميم الأكثر فاعلية.

## الحوسبة السحابية The Cloud Computing (CC)

يعرّف المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا (NIST) الحوسبة السحابية (CC) "نموذج الدفع لكل استخدام لتمكين الوصول إلى الشبكة المتاحة والمريحة وعند الطلب إلى مجموعة مشتركة من موارد الحوسبة القابلة للتكوين (مثل الشبكات والخوادم والتخزين والتطبيقات والخدمات) التي يمكن توفيرها وإصدارها بسرعة بأقل جهد إداري أو تفاعل مع مزود الخدمة. "ويتكون نموذج السحابة هذا من خمس صفات أساسية وثلاثة نماذج خدمة وأربعة نماذج نشر




شكل (13) مكونات الحوسبة السحابية NIST

تمثل السحابة الإلكترونية إطارا لتطوير النظام أو الخدمة المدمج بالسحابة الإلكترونية التي تنشر وتدير معلومات النظام وخدمات الإدارة المستدامة للوصول إلى شبكة المعلومات الدولية واستغلالها بأفضل شكل. ويمكن تشبيه الحوسبة السحابية بعملية الاستعانة بخدمات من مصادر خارجية .

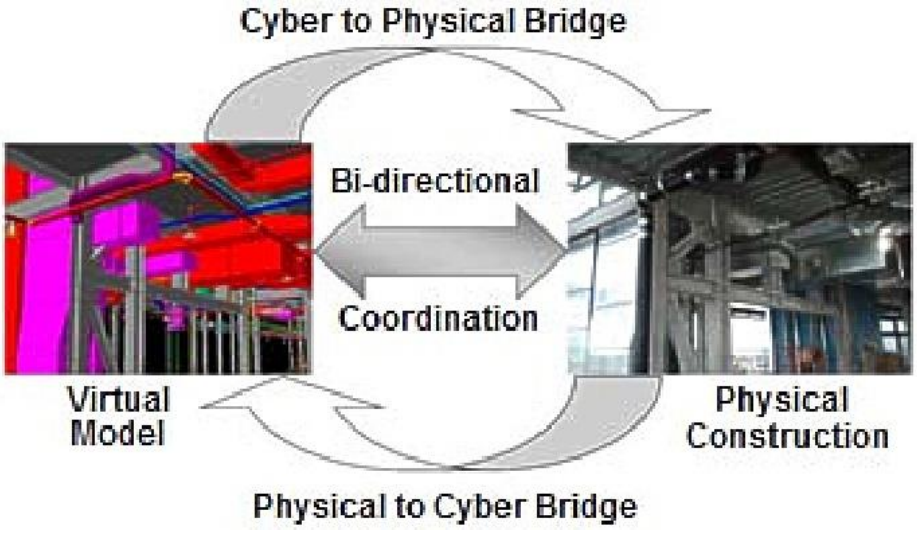
يتوفر في العمليات التي تعتمد على الفضاء السحابي ربط التطبيقات المبنية على البيانات ضمن بنية تحتية قائمة على السحابة، وتوصيل كل مستخدم أو عنصر من عناصر سلسلة التوريد من خلال النظام السحابي , ويتم استخدام تحليلات البيانات في الوقت الحقيقي للتنبيه عن الأخطاء والتشوهات باستخدام قاعدة بيانات سحابية مستقلة, كما يتم الاستفادة من البيانات المتوفرة لتحسين أداء النظام وفقا للتغيرات الخارجية والمفاجئة . تتميز تقنية الحوسبة الفضائية بخصائص وفوائد عديدة تجعلها واسعة الانتشار في العديد من المجالات حسب ما هو مبين في الشكل 14 . (Flair Data, 2021)

شكل (14) خصائص الحوسبة السحابية

فبالإضافة إلى إمكانية الاستغناء عن الأماكن اللازمة لإنشاء مراكز بيانات تكنولوجيا المعلومات ،IT Data Centers والخادم المحلي، توفر هذه التقنية سهولة الوصول إلى معدات الحوسبة الافتراضية، وتخزين كميات هائلة من البيانات التي تصبح جاهزة للاستخدام في صناعة القرار.( Weinelt, 2017 )

## الأمن السيبراني Cybersecurity (CS)

الأمن السيبراني هو حماية الشبكات وأنظمة المعلومات، وأنظمة التقنيات التشغيلية ومكوناتها، وما تقدمه من خدمات وما تحويه من بيانات من أي إختراق أو تعطيل أو إستغلال غير مشروع . "للأمن السيبراني" بحسب قاموس Oxford إن مصطلح (سيبراني) هو صفة لأي شئ مرتبط بثقافة الحواسيب وتقنية المعلومات أو الواقع الإفتراضي.ويشمل مفهوم الأمن السيبراني مفهوم أمن المعلومات التقنية والأمن الإلكتروني والأمن الرقمي .وفي الثورة الصناعية تعمل مرافق الإنتاج بشكل متزايد على دمج أجهزة إنترنت الأشياء(IoT) لمراقبة أنظمة الإنتاج والتحكم فيها و تدخل أجهزة الاستشعار والشبكات والأجهزة المحمولة المتصلة لاسلكيا مثل الهواتف الذكية والأجهزة اللوحية والأجهزة القابلة للارتداء إلى مكان العمل. وبذلك تسمح أنظمة التحكم الصناعية الحديثةICSs( Industrial Control Systems) للمهندسين والمصممين من التحكم في المعدات والآلات من المواقع المادية داخل وخارج مواقع العمل. ونظرا لأن أنظمة التحكم هذه أصبحت أكثر ارتباطا بالإنترنت فقد أصبح تهديد الانتهاكات الأمنية والضرر المحتمل للمصانع والعمليات أمرا حقيقيا للغاية. فيتزايد شبح التهديدات والهجمات الإلكترونية (القرصنة الإلكترونية) التي تستهدف الشبكات والأنظمة بشكل كبير. ويمكن التعريف بالأنظمة الفيزيائية السيبرانية ( Cyber-Physical Systems) بانها الأنظمة التي تتضمن تكامل الحسابات والشبكات والعمليات المادية مع حلقات التغذية الراجعة حيث تؤثر العمليات المادية على الحسابات والعكس صحيح. فهو يتيح التحكم القائم على تحليل البيانات للموارد أو البيئات المادية ، تجمع الأنظمة الفيزيائية المعلومات الحسية من العالم الحقيقي وإرسالها إلى الوحدات الحسابية الرقمية المزدوجة من خلال تقنيات الاتصال (لاسلكي).وكمثال على نظام Cyber-Physical هو التوام الرقمي حيث يحتوي المبنى على نموذج افتراضي يتم ملؤه ببيانات المستشعر من ذلك المبنى ، ويستخدم الحساب لتغيير حالة المبنى - مثل فتح النوافذ أو خفض درجة الحرارة . (Broo et al., 2020)




شكل (15) مفهوم تكامل الأنظمة السيبرانية الفيزيائية

## تحليل البيانات الضخمة Big Data Analytics (BDA)

هي عملية جمع كميات كبيرة من المعلومات وتوفير البيانات والمعلومات ذات الصلة بالموارد الحالية والموارد المستخدمة وكفاءة الطاقة والنفايات ومستويات التلوث واستخلاص رؤى مفيدة من خلال التحليل التفصيلي وخوارزميات المعالجة وهذه البيانات يمكن أن تكون أي معلومات تم جمعها من مصادر مختلفة منها:المجسات و الحساسات و طائرات بدون طيار والأجهزة القابلة للارتداء وأنظمة تحديد المواقع العالمية والبريد إلكتروني والمعاملات المالية وبيانات الطقس وغيرها من المصادر (Brian l., 2017).

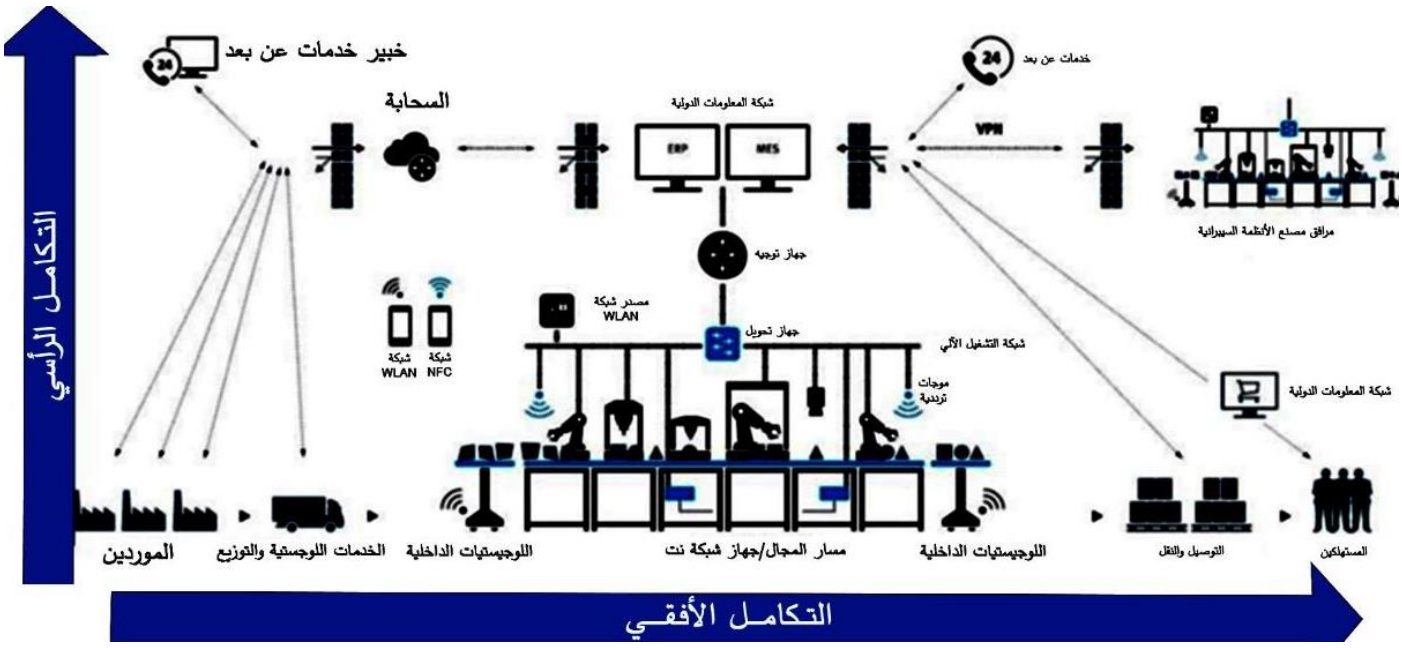
يستخدم بعض العلماء مصطلح تحليلات البيانات الضخمة Big Data Analytics (BDA) للتأكيد على العمليات والأدوات المستخدمة لاستخراج المعلومات والافكار من البيانات الضخمة، وذلك من خلال تلقي البيانات والمعلومات وأرشفتها وتحليلها ومشاركتها، مما يتيح للمؤسسات والشركات والمصانع من اتخاذ قرارات أكثر واقعية بناء على هذه المعلومات الحقيقية وتنظيمها ومعالجتها بشكل صحيح والوصول إليها في الوقت الفعلي. (Mikalef P,2018)

ويمكن الاستفادة من تحليل البيانات الضخمة في إدارة برنامج عمليات التصميم من خلال تجميع المعلومات والبيانات الخاصة بالبحوث المتعلقة بعمليات تصميم منتج ما والتي تشتمل على بحوث السوق والعملاء والموردين ثم يتم تنظيم وتحليل هذه المعلومات ومشاركتها مع فريق التصميم، مما يتيح اتخاذ القرارات الصحيحة.

شكل (16) البيانات الضخمة وفوائد تحليلها في صناعة البناء

## تكامل النظام الافقي والرأسي Horizontal and Vertical System Integration

تسعي تقنيات الثورة الصناعية الرابعة لتحقيق هدف المصنع الذكي فيكون للتكامل الأفقي والرأسي معنى مختلف يركز على التقنيات والعمليات والأنظمة التي تمكن من جمع البيانات وترتيبها والاتصال بها واستخدامها. يضمن التكامل الأفقي عمل الآلات وأجهزة إنترنت الأشياء والعمليات الهندسية معا بسلاسة. بينما يتضمن التكامل الرأسي ربط جميع وحدات الأعمال والعمليات داخل المؤسسات الصناعية. ويعني بذلك تقارب التكنولوجيا التشغيلية(OT) على مستوى الإنتاج مع تكنولوجيا المعلومات(IT) على مستوى المؤسسة ككل. مما يعمل على تدفق البيانات بين جميع وحدات الأعمال وإتاحتها. ويتضمن ذلك أرضية المنشأة والتسويق والمبيعات وخدمة العملاء والشراء والمحاسبة والموارد البشرية ومراقبة الجودة والبحوث والتطوير وغيرها من أعمال المؤسسات الصناعية. (G. Culot,2019)




شكل (17) التكامل الافقي والرأسي بين وحدات الاعمال والعمليات.

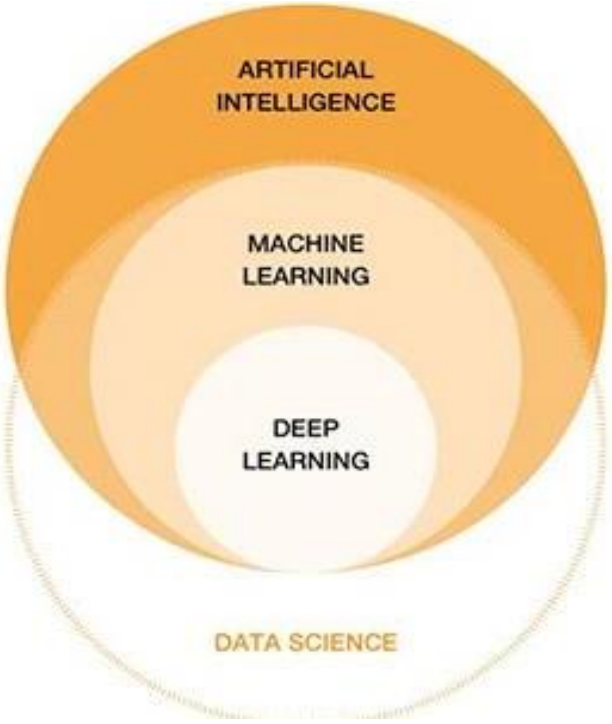
## الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence

يعتبر الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence أحد فروع علم الحاسوب، واحدى الركائز الأساسية التي تقوم عليها صناعة التكنولوجيا في العصر الحالي، ويُمكن تعريف مصطلح الذكاء الاصطناعي - الذي يُشار له بالاختصار (AI) بأنه قدرة الآلات والحواسيب الرقمية على القيام بمهام معينة تحاكي وتشابه تلك التي تقوم بها الكائنات الذكّية، كالقدرة على التفكيرأو التعلم من التجارب السابقة أو غيرها من العمليات الأُخرى التي تتطلب عمليات ذهنية، كما يهدف الذكاء الاصطناعي إلى الوصول إلى أنظمة تتمتع بالذكاء وتتصرف على النحو الذي يتصرف به البشر من حيث التعلم والفهم، بحيث تقدم تلك الأنظمة لمستخدميها خدمات مختلفة من التعليم والإرشاد والتفاعل وما إلى ذلك (Copeland, 2019) .

كما ويعرف الذكاء الاصطناعي ب "قدرة النظام على تفسير البيانات الخارجية بشكل صحيح، والتعلم من هذه البيانات، واستخدام تلك المعرفة لتحقيق أهداف ومهام محددة من خلال التكيف المرن. (Kaplan, Haenlein, 2019)

تستخدم تقنية الذكاء الصطناعي AI للاستفادة من البيانات والتجارب السابقة في تشغيل أجهزة التحكم والألات. و من الأمثال على الذكاء الإصطناعي جهاز Google Nest هو أداة تنظيم للحرارة لديه القدرة على برمجة نفسه عن طريق تشغيل وإيقاف النظام أو الاختيار بين التدفئة وتكييف الهواء بناءً على درجة الحرارة التي يكتشفها في الغرفة. يتعلم Nest السلوك من خلال فهم الأنماط ودرجات الحرارة المرغوبة لأيام وأوقات معينة خلال الأسبوع ، ثم يقوم بإنشاء جدول زمني للتدفئة والتهوية وتكييف الهواء فهو يشتمل على عنصر التعلم ، ويتخذ القرارات نيابة عن مستخدميها بهدف توفير بيئة أكثر راحة .( Google)

ويوجد العديد من المصطلحات التي تشكل مفردات للذكاء الاصطناعي، وهي :

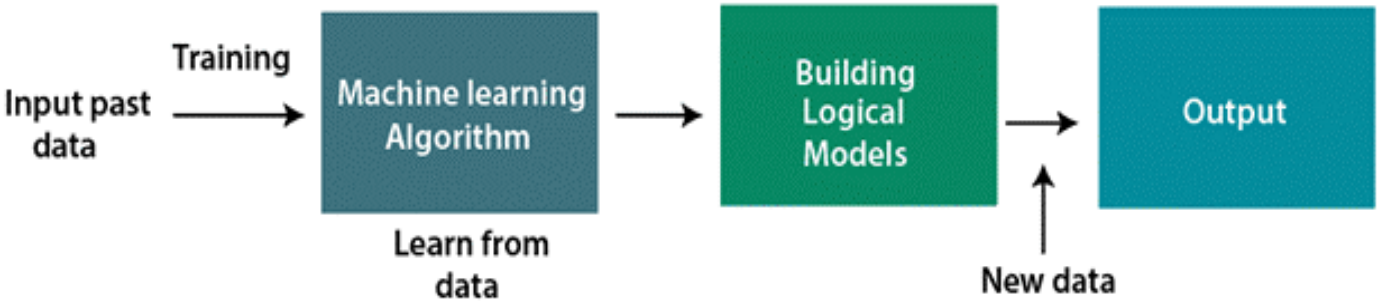



شكل (18) مفردات الذكاء الاصطناعي

## تعليم الالة Machine Learning

طرح هذا المصطلح لأول مرة في العام 1959 من قبل عالم الكمبيوتر آرثر صموئيل Arthur Samuel . يعتبر تعليم اللألة تطبيق للذكاء الاصطناعي يهتم بتصميم وتطوير خوارزميات وتقنيات تسمح للحواسيب بامتلاك خاصية التعلم، لكي تقوم بتصرفات مماثلة لما

يفعله البشر، مع تحسين تعلمهم بمرور الوقت بطريقة ذاتية، من خلال تزويد هذه الأجهزة بالبيانات والمعلومات على شكل ملاحظات وتفاعلات في الزمن الحقيقي. ويتم ذلك باستخدام الخوارزميات التي يمكنها تحليل البيانات الضخمة والتعلم منها، ثم اتخاذ قرار أو التنبؤ بحدث متوقع، أو اكتشاف كيفية إنجاز الأعمال المهمة من خلال التعلم من الأمثلة. بشكل عام هناك مستويين من التعلم: الاستقرائي والاستنتاجي. وللتوضيح مثلا يقال أَنَّ برنامجا حاسوبياً يتعلَّم من خبرة 'x' بالنسبة إلى صنف ما من الأَشغال 'y' وبالنسبة إلى مقياس الإتمامِ .z إذا تحسَن إتمام البرنامج على أشغال في 'y'بعد خبرة'x' ، بمقياسz (Mitchell, T,1997)




شكل (19) مفهوم تعليم الألة

يتم تصنيف خورازميات تعلم الآلة إلى عدة أنواع: (Hastie,2001)

- التعلم بالإشراف (Supervised Learning): وهو أحد أشهر أنواع التعلم الآلي ويقوم على وجود بيانات وقرائنها الصحيحة عند وقت التعلم بحيث تشكل هذه البيانات امثلة حقيقية يمكن للنموذج التعلم منها.
- شبه التعلم بالإشراف (Semi-supervised learning): وهو عند وجود بيانات مع قرائنها الصحيحة ولكنها محدودة أو غير مكتملة.
- التعلم بدون إشراف (Unsupervised Learning): يَنتُج عن وجود بيانات بدون قرائنها الصحيحة كالتحليل العنقودي Clustering.
- التعلم المعزز (Reinforcement learning): وهو أحد أنواع التعلم بدون إشراف، وفيه تتفاعل الآلة مع البيئة وتبني خبراتها بناءً على هذا التفاعل يستخدم التعليم المعزز عندما تكون البئية غير معروفه.

يتضمن التعلم الآلي عدداً كبيراً من التطبيقات: معالجة اللغات الطبيعية (natural language processing) وتمييز الأنماط (syntactic pattern recognition) ومحركات البحث ( search engines) والتشخيص الطبي وتمييز الكلام ( speech recognition) وتمييز الكتابة (handwriting recognition) كما ويتضمن تمييز الأشياء ( object recognition)، رؤية الحاسوب ( computer vision) وتحريك الروبوت (robot locomotion).

تساعد تقنية تعليم الآلة في إنشاء نماذج يمكنها معالجة كميات كبيرة من البيانات المعقدة وتحليلها لتقديم نتائج وقرارات دقيقة. كما يمكن للشركات من خلالها أتمتة المهام الروتينية والاستفادة من الفرص المربحة وتجنب المخاطر غير المتوقعة. وتستخدم لذلك التطبيقات الذكية Intelligent Apps ، التي تتضمن تقنيات مثل المساعدين الشخصيين الافتراضيين virtual personal assistants (VPAs) ، لديها القدرة على تغيير مكان العمل من خلال جعل المهام اليومية أسهل (تحديد أولويات رسائل البريد الإلكتروني) ومستخدميها أكثر فعالية (تسليط الضوء على المحتوى والتفاعلات المهمة ومن أحد الأمثلة على تطبيق تقنية تعليم الآلة تجربة شركة شل في تقليل عبء العمل على موظفي الشركة في أماكن عملها بعدة مجالات باستخدام المساعدين الافتراضيين الموزعين في أكثر من 151موقعا، يمكنهم التحدث بلغات متعددة، بما في ذلك الصينية والألمانية والروسية. يتعلمون من تجاربهم السابقة لتحسين أنظمتهم لتلبية احتياجات العملاء في المستقبل. تتضمن بعض المهام التي يمكن أن يؤديها المساعدون الافتراضيين تقديم معلومات عن مواقع المخازن المحلية، وتوفير أوراق البيانات الفنية، علاوة على تقليل حجم المكالمات للوكلاء المباشرين .40%.

شكل (20) تطبيقات تقنية تعليم الألة

## التعلم العميق Deep Learning

التعلّم العميق هو مجال بحثي جديد في علوم الذكاء الاصطناعي و يعد فرع من فروع علوم التعلم الآلي يتناول إيجاد نظريات وخوارزميات تتيح للآلة أن تتعلم بنفسها عن طريق محاكاة الخلايا العصبية في جسم الإنسان . تركز معظم أبحاث التعلم المتعمق على إيجاد أساليب استنباط درجة عالية من المتجردات بتحليل مجموعة بيانات ضخمة باستخدام متحولات خطية وغير خطية.

(Bengio,2009)

يتميز التعلم العميق باستبدال ميزات التعلم الالي التي يتم تحديدها بشريا بميزات يتم انتاجها بواسطة الآلة نفسها عن طريق خوارزميات فعالة في استنباط الميزات بصورة ألية أو نصف آلية.(Song,2013 )

تتعلم الآلة من البيانات الضخمة باستخدام خوارزميات مختلفة لشبكات التعلم العميق منها:

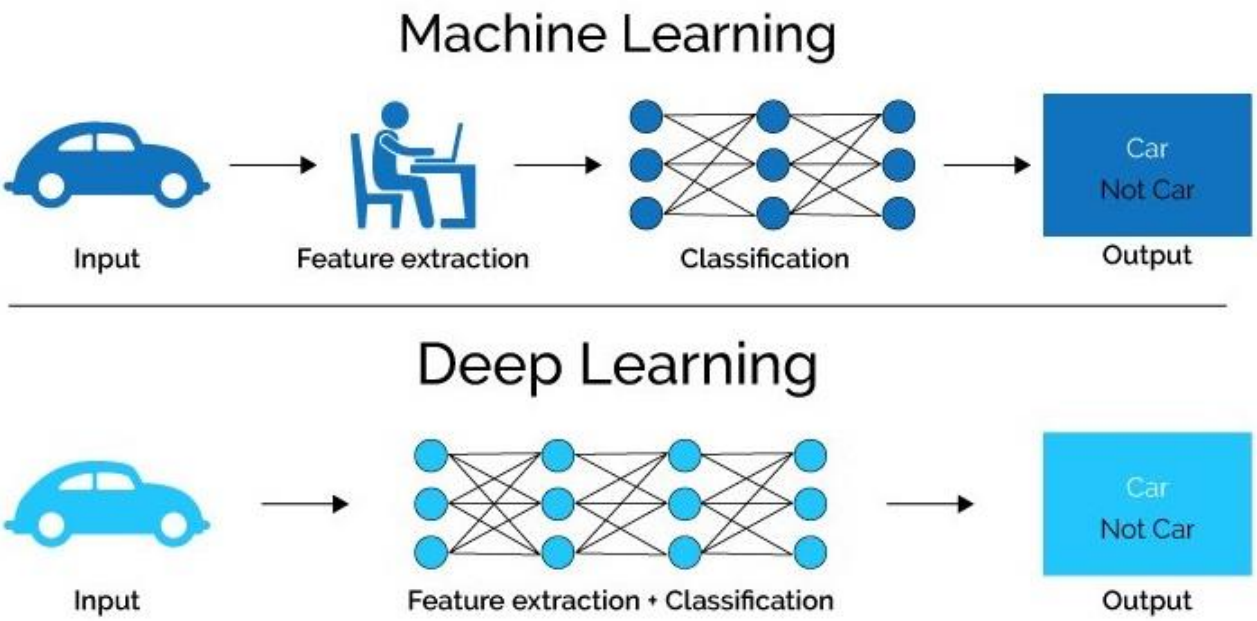
الشبكات العصبية الاصطناعية ( Artificial Neural Network ANN)

الشبكات العصبية المحاكية (Simulated Neural Network SNN)

الشبكات العصبية الالتفافية (Convolution Neural Networks CNN)

الشبكات العصبية المتكررة (Recurrent Neural Networks RNN)

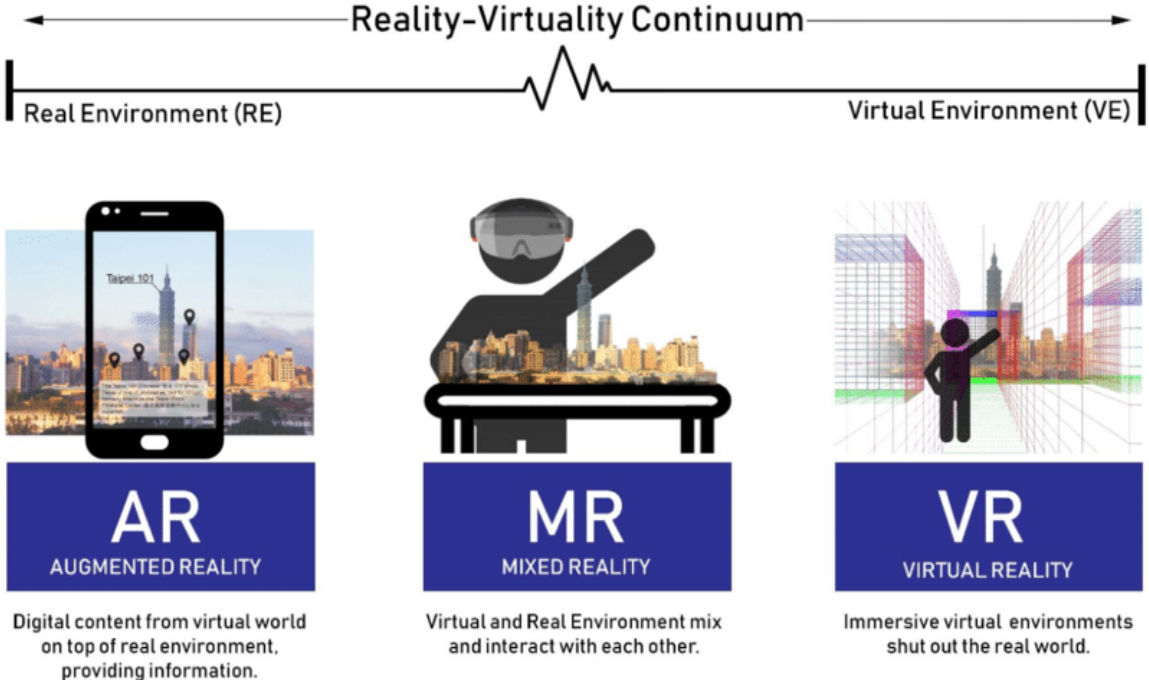
الشكل النموذجي لهذه الشبكات هو ثلاث طبقات للأعصاب على الأقل تدعى (طبقة الإدخال input layer، طبقة مخفية hidden layer، طبقة الإخراج output layer) طبقة الإدخال لا تقوم بأي عملية معالجة فهي ببساطة مكان تغذية الشبكة بشعاع البيانات، تقوم طبقة الإدخال بعد ذلك بتغذية (نقل المعلومات) الطبقة المخفية ومن ثم تقوم الطبقة المخفية بتغذية طبقة الإخراج. تتم المعالجة الفعلية للبيانات Data في الطبقة المخفية وطبقة الإخراج. عندما يكون هناك عدد كاف من الأعصاب، تكون الشبكة قادرة على التدرب (training) للقيام بأشياء مفيدة بالاستعانة بخوارزميات التدريب (training algorithm) . (Deng,2014)




شكل (21) مقارنة بين التعلم الآلي والتعلم العميق

## الواقع الافتراضي Virtual Reality VR

هو محاكاة يتم إنشاؤها بواسطة الكمبيوتر لعالم افتراضي أو واقع بديل في هيئة بيئة ثلاثية الأبعاد. بما في ذلك رسومات الكمبيوتر والفيديو بنطاق 360درجة والتي تحيط بالمستخدم وتستجيب لأفعال الفرد بشكل طبيعي. وينشئ الواقع الافتراضي عمليات محاكاة تهدف إلى إقصاء العالم الحقيقي وإحاطة المشاهد أو "غمره- انغماسه" - باستخدام أجهزة الكمبيوتر وأجهزة حسية مثل خوذات الرأس والقفازات التي تستخدم لتتبع حركة اليدين إضافة الى استخدام برامج الواقع الافتراضي.




شكل (22) تقنيات الواقع الافتراضي

## الواقع المعزز Augmented Reality AR

الواقع المعزز هو التكنولوجيا القائمة على إسقاط الأجسام الافتراضية والمعلومات في بيئة المستخدم الحقيقية لتوفير معلومات إضافية على نقيض الواقع الافتراضي القائم على إسقاط الأجسام الحقيقية في بيئة افتراضية. ويستطيع المستخدم التعامل مع المعلومات والأجسام الافتراضية في الواقع المعزز من خلال عدة أجهزة سواء أكانت محمولة كالهاتف الذكي أو من خلال الأجهزة التي يتم ارتداؤها كالنظارات والعدسات اللاصقة. وجميع هذه الأجهزة تستخدم نظام التتبع الذي يوفر دقة بالإسقاط، وعرض المعلومة في المكان المناسب كالنظام العالمي لتحديد المواقع والكاميرا والبوصلة ويتم التفاعل معها من خلال التطبيقات. فهي تجربة تفاعلية لبيئة العالم الحقيقي حيث يتم زيادة الكائنات الموجودة في العالم الحقيقي من خلال المعلومات الإدراكية التي يتم إنشاؤها بواسطة الكمبيوتر، وفي بعض الأحيان عبر طرق حسية متعددة، بما في ذلك البصرية، والسمعية واللمسية والحسية والجسدية وحاسة الشم. بهدف تمكين المستخدم من تصورها بشكل أوضح وأشمل. فعل سبيل المثال، يحتاج المهندس المبتدئ الذي يقوم بإصلاح محرك سيارة إلى استشارة خبير أو العودة إلى دليل ارشادي يساعده في اكتشاف العطل. وتؤثر طريقة الوصول إلى هذه الوسائل المساعدة في سرعة وجودة تنفيذ عملية الإصلاح، وهذا ما يوفره نظام الواقع المعزز الذي يتكون من أربعة أجزاء رئيسية هي جهاز حاسوب وجهاز عرض وجهاز تتبع وجهاز إدخال.

وبهذه الوظائف يمكن توفير الإرشادات عل شكل معلومات مرئية يتم إنشاؤها بواسطة الحاسوب، أو مقاطع فيديو، أو نماذج ثلاثية الأبعاد، أو نصوص، أو عبارات صوتية. أحد الأمثلة في مجال عمليات الصيانة التي تضمن العديد من الأنشطة، مثل تحليل أسباب العطل، والفحص، والتركيب، والإزالة، والإصلاح، وغيرها. وهذا يتطلب أن يلجأ القائم بهذه الأعمال إلى استخدام كتاب إرشادات ورقي، أو حاسوب محمول للاطلاع على تعليمات تنفيذ إجراءات الصيانة وإرشادات السلامة، أو يحتاج إلى استشارة أحد الخبراء من خلال الاتصال الهاتفي. وكل هذه المحاولات تستغرق وقتا طويلا. ما عند تطبيق تقنية الواقع المعزز فتظهر تعليمات افتراضية على لوحة عرض تبين مراحل عملية التفتيش وإجراءات الفحص والإصلاح في موقع الآلة التي ظهر فيها العطل، وفي نفس الوقت يتم بث صور مباشرة إلى خبراء الصيانة توضح الأجزاء التالفة أو التي تحتاج إلى إصلاح، فيقوم الخبراء بإرسال رسائل نصية معززة بالمخططات التي توضح مراحل عملية إصلاح العطل.

شكل (23) تطبيق تقنية الواقع المعزز في الموقع

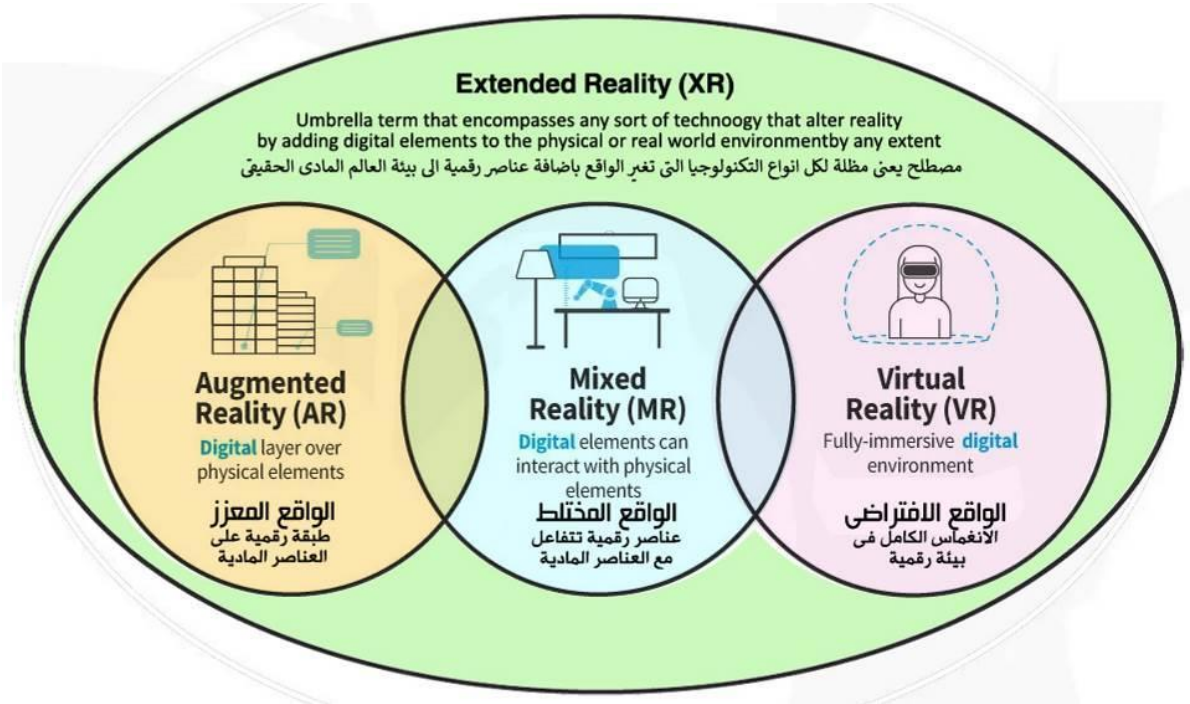
## الواقع المختلط Mixed Reality MR

هو دمج العالمين الواقعي والافتراضي لإنتاج بيئات وتصورات جديدة، تتعايش فيها الأشياء المادية والرقمية وتتفاعل في الوقت الفعلي Real time.

شكل (24) تقنية الواقع المختلط

## الواقع الممتد Extended Reality XR

هو مصطلح يشير إلى جميع البيئات المدمجة الواقعية والافتراضية والتفاعلات بين الإنسان والآلة الناتجة عن تكنولوجيا الكمبيوتر والأجهزة القابلة للارتداء. على سبيل المثال وهي تتضمن أشكالا تمثيلية مثل الواقع المعززAR والواقع المختلطMR والواقع الافتراضيVR والمناطق التي تم إقحامها فيما بينها.تتراوح مستويات الواقعية من المدخلات الحسية جزئيًا إلى الظاهرية الغامرة.



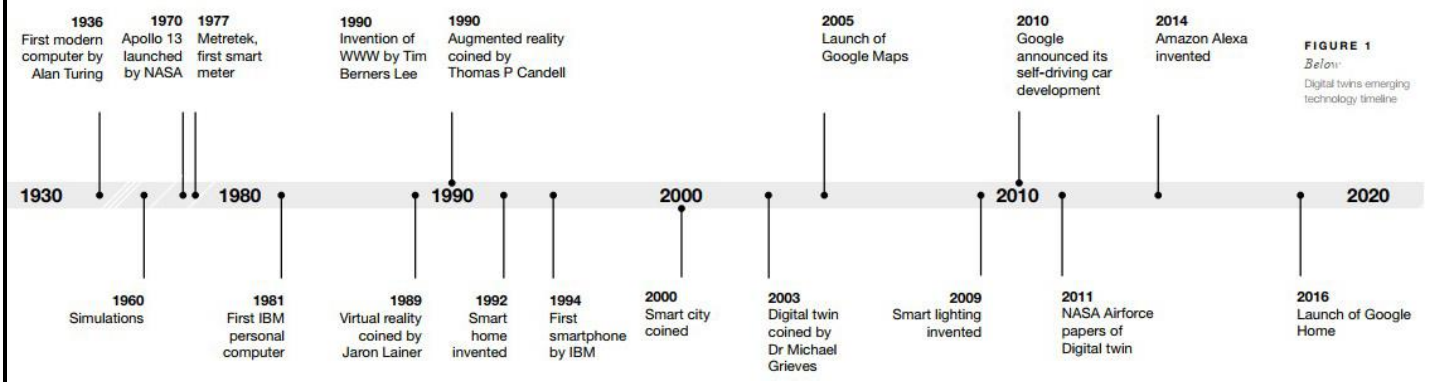

شكل (25) تقنية الواقع المختلط

الفصل الثالث

# التوأم الرقمي Digital Twin

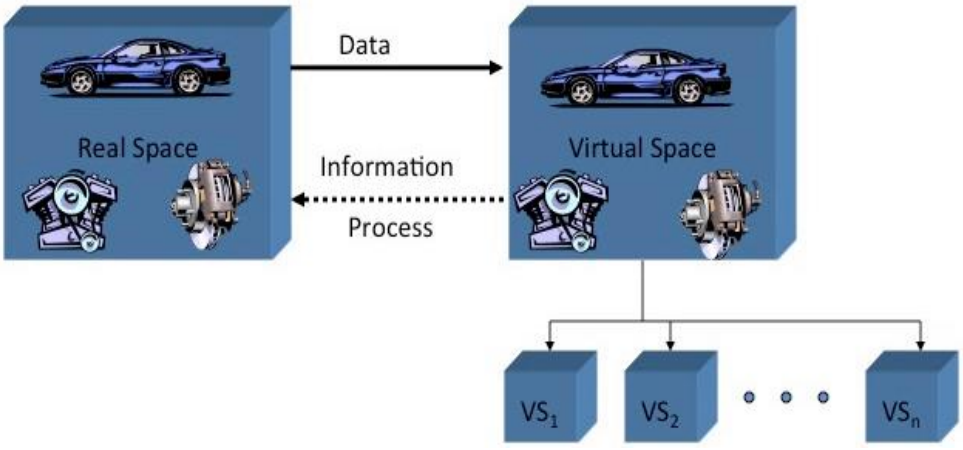
- التوأم الرقمي Digital Twin
- أصل التوأم الرقمي ونشأتها Origins of the Digital Twin
- تعاريف التوأم الرقمي Definitions of digital twins
- مكونات التوأم الرقمي ونظامه البيئي The Digital Twin component and its Ecosystem
- مراحل التوأم الرقمي The Digital Twin Stages
- مستويات نضج التوأم الرقمي و مقاييس التوأم الرقمي Digital Twins Maturity levels & Digital Twins Metrics
- خصائص التوأم الرقمي Digital Twin Properties
- مميزات وتطبيقات التوأم الرقمي Benefits and Use of Digital Twins
- التوأم الرقمي للعمارة والهندسة والبناء Digital Twins in AEC
- العناصر التأسيسية Foundational Elements
- مكونات التوأم الرقمي Components of a digital twin
- الخيط الذهبي والتوائم الرقمية Golden thread and Digital Twins
- أهمية البيانات والمعلومات وإدارة المعلومات Importance of data, information &info Management
- تكامل تقنيات التوأم الرقمي ونمذجة معلومات البناء Integration of DT and BIM technologies
- التوأم الرقمي والنمذجة الإفتراضية Digital Twin and Visual Modeling
- التوأم الرقمي والبيم وتكامل البيانات BIM,DT and Data Integration
- خوارزميات التعلم الالي Machine learning Algorithms
- البيم والتوأم الرقمي في قطاع البناء BIM & Digital Twins in Building Sector
- منصات التوأم الرقمي Digital Twin Platform
- معايير التوأم الرقمي Digital Twin Standards
- الفرق بين التوأم الرقمي والانظمة الاخرى Difference Between (DT) & Other Systems
- استخدامات التوأم الرقمي في قطاع التشييد Digital Twins in AEC
- فوائد التوأم الرقمي في قطاع التشييد Benefits of Digital Twins for AEC
- معوقات تطبيق التوأم الرقمي في قطاع التشييد Barrier of Digital Twins for AEC

## أصل التوأم الرقمي ونشأتها Origins of the Digital Twin :




شكل (26) الخط الزمني لتقنية التوأم الرقمي

نشأت الفكرة لأول مرة في وكالة ناسا حيث عملت على نماذج بالحجم الطبيعي لكبسولات الفضاء ، والتي استخدمت على الأرض لتعكس وتشخص المشاكل فيها، نتج عنها محاكاة رقمية بالكامل من خلال اعداد نموذج برمجي ديناميكي لشيء مادي أو لنظام .ثم نشأ مفهوم استخدام "التوأم" من برنامج Apollo والذي تم من أجله بناء مركبتين فضاء متطابقتين ، مما يسمح للمهندسين بعكس ظروف المركبة الفضائية أثناء المهمة ، والمركبة المتبقية على الأرض تسمى التوأم , وفي عام 1991، تنبأ البروفيسور ديفيد جيليرنتر ، أستاذ علوم الكمبيوتر بجامعة ييل ، بأننا "سنتمكن من رؤية الواقع على شاشة الكمبيوتر "يوماً ما. في كتابه "Mirror Worlds" "تظهر المدينة بأكملها على شاشتك في صورة واحدة كثيفة ومباشرة ونابضة ومليئة بالحركة ومتغيرة . إن عالم المرآة الذي تنظر إليه يغذيه التدفق المستمر للبيانات الجديدة التي تتدفق عبر الكابلات." (Gelernter, 1991). ثم تم تقديم التكنولوجيا الحالية المعروفة باسم Digital Twin (DT)لأول مرة في عام 2002 بواسطة الدكتور مايكل جريفز Michael Grieves من جامعة ميشيغان خلال عرض تقديمي لتشكيل مركز إدارة دورة حياة المنتج Product Lifecycle Management (PLM) كما هو موضح في الشكل (27)كانت تسمى "فكرة مفاهيمية لـPLM". وفيها كان يحتوي على جميع عناصر التوأم الرقمي: فضاء حقيقية وفضاء افتراضية ورابط لتدفق البيانات من الفضاء الحقيقي إلى الفضاء الافتراضي ورابط تدفق المعلومات من الفضاء الافتراضي إلى الفضاء الحقيقي والمساحات الفرعية الافتراضية.




شكل (27) فكرة مفاهيمية ل Product Lifecycle Management (PLM)

يشبه التوأم الرقمي تمثيل برمجي لكائن مادي لذلك يستخدم لتحقيق هدفه أجهزة تقدم معلومات إضافية- مثل المعلومات الحسية (الموضع، ودرجة الحرارة، والرطوبة، وما إلى ذلك) و/أو قدرات التشغيل (تشغيل/ إيقاف تشغيل المصباح، وما إلى ذلك) غالبًا ما تتضمن التوأم الرقمي بيانات مساعدة إضافية، مثل إصدار البرنامج الثابت للجهاز والتكوين والمعايرة وبيانات الضبط . فالتوأم الرقمي يعمل كجسر بين

العالمين المادي والرقمي باستخدام أجهزة استشعار لجمع بيانات في الوقت الفعلي حول عنصر مادي، ثم يتم استخدام هذه البيانات لإنشاء نسخة مكررة من العنصر، مما يتيح فهمه أو معالجته أو تحسينه الشكل (28) يوضح تصور رقمي بياني مكونات المبنى وطبقات البيانات والمستشعرات المرتبطة بكل طبقة ومستوى

شكل (28) تصور رقمي بياني

بعام 2017 صنفت شركة Gartner التوأم الرقمية كأحد أهم 10 اتجاهات تقنية استراتيجية حيث توقعت خلال من ثلاث إلى خمس سنوات بان أكثر من 20 مليار جهاز استشعار ونقطة نهاية متصلة، سيتم توصيلها ببعضها البعض بحلول عام 2020 مما سيؤدي أيضاً إلى توليد 40 زيتابايت من البيانات في شكلها الأولي باعتبارها غير منظمة وشبه منظمة (Mourtzis,2016)

ومن ثم هناك حاجة لتنظيم وتحليل واستخراج المعلومات من هذه البيانات الأولية للحصول على معلومات قيمة باستخدام آليات وخوارزميات الحوسبة المتقدمة (Yaqoob,2015)

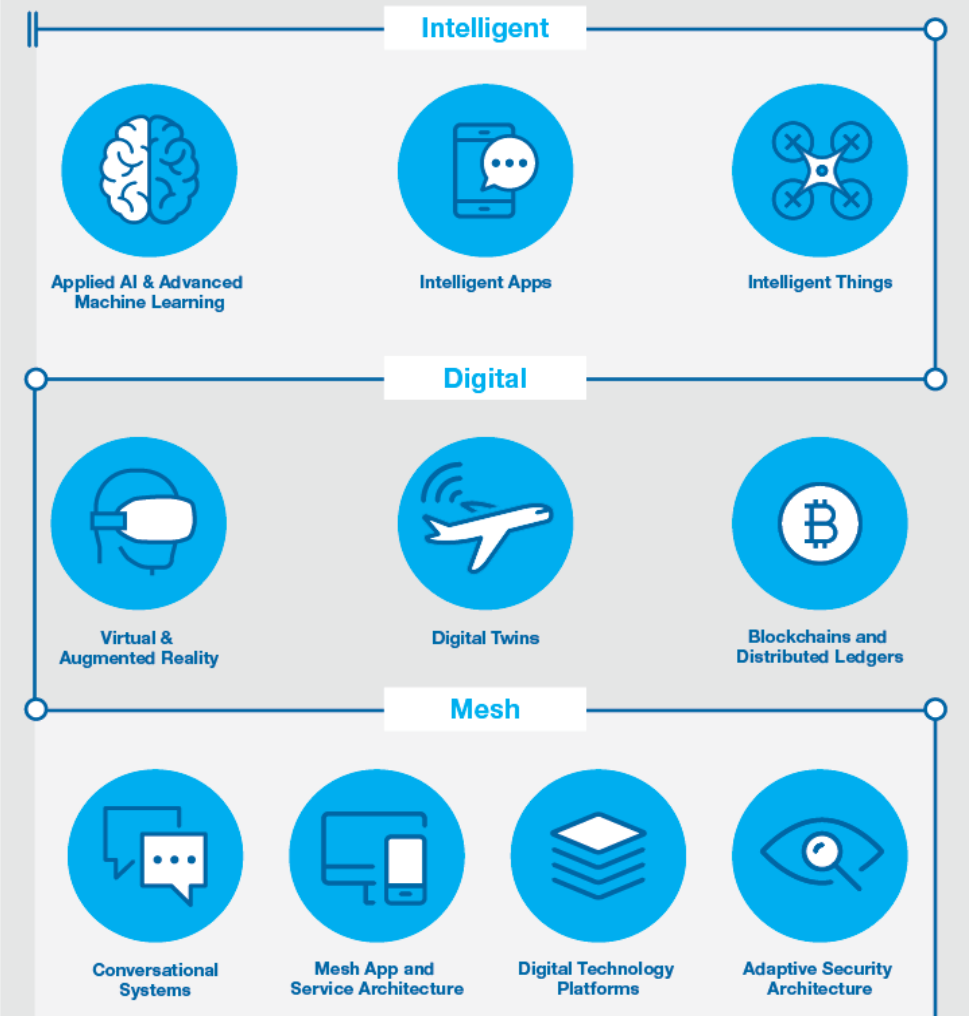
يستخدم المصممون أدوات المحاكاة والهندسة بمساعدة الكمبيوتر لتصميم دورة الحياة والتنبؤ بها وتنفيذ آليات اختبار فيزيائية مختلفة. فهم يقومون بتحسين التصميم لزيادة الأداء وتقليل تكلفة التصميم. وإن تطوير صناعة الحوسبة باستخدام الذكاء الاصطناعي والمعالجة الأسرع والخوارزميات المحسنّة وزيادة القوة الحسابية في مجال المنتجات وخطوط الإنتاج - التوأم الرقمي - يتيح القدرة على التحكم في الوقت الفعلي والرقمنة . (Wang,2016)

يمكن تمثيل الكائن المادي أو العملية أو النظام بمساعدة التوأم الرقمي من خلال الجمع بين البيانات والذكاء الذي يمثل بنية نظام مادي وسياقه وسلوكه ، فإنه يوفر واجهة تسمح بمراقبة العمليات السابقة والحالية والتنبؤ بالمستقبل(Wan, J ,2017)

فالتوأم الرقمي يدمج الذكاء الاصطناعي وتحليلات البرامج وبيانات التعلم الآلي لإنشاء نماذج محاكاة رقمية يتم تحديثها وتغييرها مع تغير معادلاتها المادية. يوفر هذا مراقبة في الوقت الفعلي وتحديثات من مصادر متعددة في نفس الوقت. يقوم بإنشاء نماذج افتراضية للأشياء المادية بالطريقة الرقمية لمحاكاة سلوكهم (Constante, T.A.D.S.L,2018)

يمكن للنماذج الافتراضية فهم حالة الكيانات المادية من خلال بيانات الاستشعار ، لتقدير وتحليل التغيرات الديناميكية. سيحقق التوأم الرقمي تحسين عملية الإنتاج بأكملها من خلال تحليل البيانات ومراقبة الأنظمة لمنع حدوث المشكلات وتفادي التوقف عن العمل. (Tao,2018)

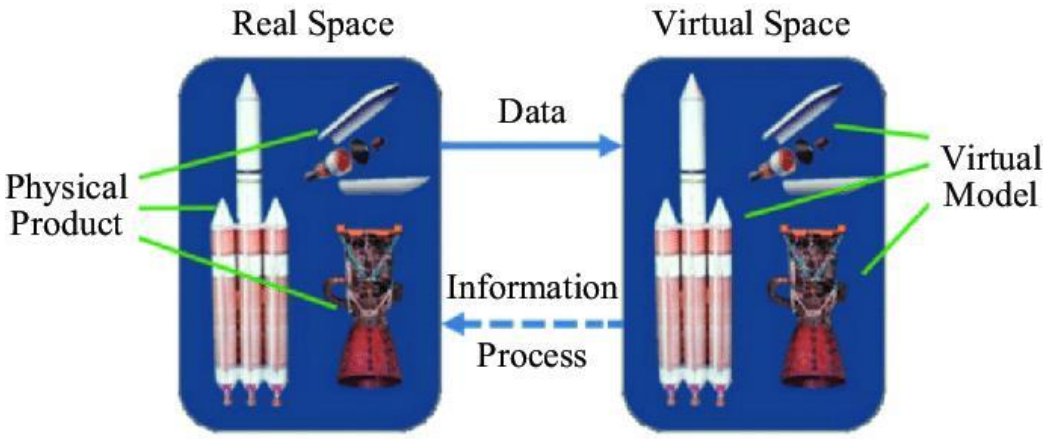
فالتوائم الرقمية تعمل كوكلاء للجمع بين الأفراد المهرة (الفنيين) وأجهزة المراقبة التقليدية والضوابط (كمقاييس الضغط). وسيتطلب انتشارها تغييرًا ثقافيًا يتطلب يتعاون الخبراء والمهندسين في العالم الحقيقي مع علماء البيانات ومتخصصي تكنولوجيا المعلومات في الفضاء السيبراني. ستتيح التوأم الرقمية للأصول المادية جنبًا إلى جنب مع التمثيل الرقمي للمرافق والبيئات وكذلك الأشخاص والشركات والعمليات تمثيلًا رقميًا تفصيليًا بشكل متزايد للعالم الحقيقي من أجل المحاكاة والتحليل والتحكم. ولذلك يجب على الشركات إظهار المزيد من الاهتمام والاستثمار في هذه التقنية، حيث تتوقع شركة Gartner أنه بحلول عام 2021، ستستخدم نصف الشركات الصناعية الكبيرة التوأم الرقمية لتحسين نتائج البحث والتطوير، وهذا يسمح بتحقيق زيادة فعالية بنسبة 10 ٪ في قطاع العقارات والهندسة المعمارية والبناء، مما يؤدي إلى تحقيق وفورات في الصيانة وأضافه قيمة لكامل دورة حياة العقارات، وإن استخدامها في السنوات الخمس إلى العشر القادمة سيؤدي لتحسين إدارة الأصول العقارية ومرونتها وموثوقيتها وكفاءتها.(Gartner, Top Strategic Technology Trends, 2022 )




شكل (29) أهم اتجاهات التكنولوجيا الإستراتيجية لعام 2022

## تعاريف التوأم الرقمي Definitions of digital twins :

عرف التوأم الرقمي بأنه برنامج كمبيوتر يأخذ بيانات من العالم الحقيقي حول كائن مادي أو نظام كمدخلات وينتج كمخرجات تنبؤات أو محاكاة لكيفية تأثر هذا الكائن المادي أو النظام بهذه المدخلات. كما ويعرف التوأم الرقمي بأنه استنساخ إلكتروني لكائن حي أو آلة، يشتمل على تفاصيل تتعلق بالأجزاء والأداء وما إلى ذلك، ويخزن المعلومات الحالية والسابقة حول العنصر، باستخدام أجهزة الاستشعار والمحركات، كما يتم إدخال هذه البيانات في النماذج التحليلية لإنتاج رؤى مهمة. فالتوأم الذي تم استنساخه على منصة افتراضية هو نسخة شبه رقمية من كائن مادي وبذلك يتشكل جسر بين العالم الرقمي والعالم المادي.

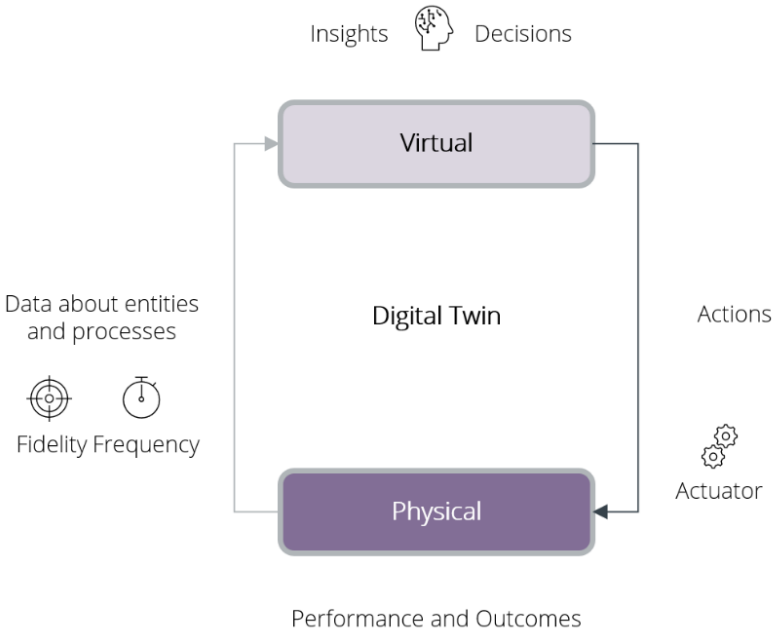



شكل (30) رسم توضيحي للتوأم الرقمي

كما وتحدد المواصفة القياسية ISO 23247-1 التوائم الرقمية في سياق قطاع التصنيع على أنها" تمثيل رقمي ملائم لأغراض تصنيع العناصر, يمكن من التزامن بين العنصر و تمثيله الرقمي" إن هذا التعريف يركز على فكرة مزامنة التمثيل الرقمي والواقع الكامن وراءه الذي هو النمذجة . هذا التزامن هو ما يجعلها "توأم".

ويوفر اتحاد التوأم الرقمي Digital Twin Consortium (DTC) تعريفاً غير محدد القطاع للتوائم الرقمية يحدده بشكل هرمي بدءاً من المستوى الأكثر تجريداً وانتقالا إلى فوائد استخدام التوائم الرقمية. "التوأم الرقمي هو تمثيل افتراضي لكيانات وعمليات العالم الحقيقي ، تتم مزامنتها بتردد ودقة محددين"ومن فوائد التوائم الرقمية:

- "استخدام البيانات التاريخية والوقت الحقيقي لتمثيل الماضي والحاضر ومحاكاة العقود الآجلة المتوقعة "
- "تحويل الأعمال من خلال تسريع الفهم الشامل واتخاذ القرار الأمثل والعمل الفعال "
- "تحفيز النتائج ، مصممة لحالات الاستخدام ، مدعومة بالتكامل ، مبنية على البيانات ، تسترشد بمعرفة المجال ،ويتم تنفيذها في أنظمة تكنولوجيا المعلومات. "




شكل (31) رسم توضيحي للتوأم الرقمي حسب DTC

إن تعريف التوأم الرقمي حسب DTC يضيف نقاط أساسية فهم : يقدمون المعلومات السابقة لبناء نماذج يمكنها قيادة المحاكاة. تعتبر فكرة المحاكاة مهمة لأنها تتيح للمديرين استكشاف العديد من التكوينات المختلفة لأصولهم. وهذا بدوره يؤدي إلى النقطة التالية حول تسريع الفهم الشامل واتخاذ القرارات بشكل أفضل من خلال استخدام هذه النماذج والمحاكاة. وفيما يلي مجموعة من التعاريف للتوأم الرقمي لكبرى الشركات العالمية:

يعرف مركز بريطانيا الرقمية المبنية Centre for Digital Built Britain (CDBB) في جامعة كامبريدج التوأم الرقمي" تمثيلات رقمية واقعية للأصول المادية" على سبيل المثال ، تمثيل رقمي لطائرة يمكن استخدامه لمراقبة الأداء والتنبؤ به وتغذية الأفكار والتدخلات.(CDBB,2019 )

تعرف شركة البرمجيات( DASSAULT Systems)التوأم الأفتراضي" هوتمثيل افتراضي لما تم إنتاجه. يمكننا مقارنة التوأم الافتراضي بتصميمها الهندسي لفهم ما تم إنتاجه مقابل ما تم تصميمه بشكل أفضل والتقارب بين التصميم والتنفيذ"(Grieves,2017 )

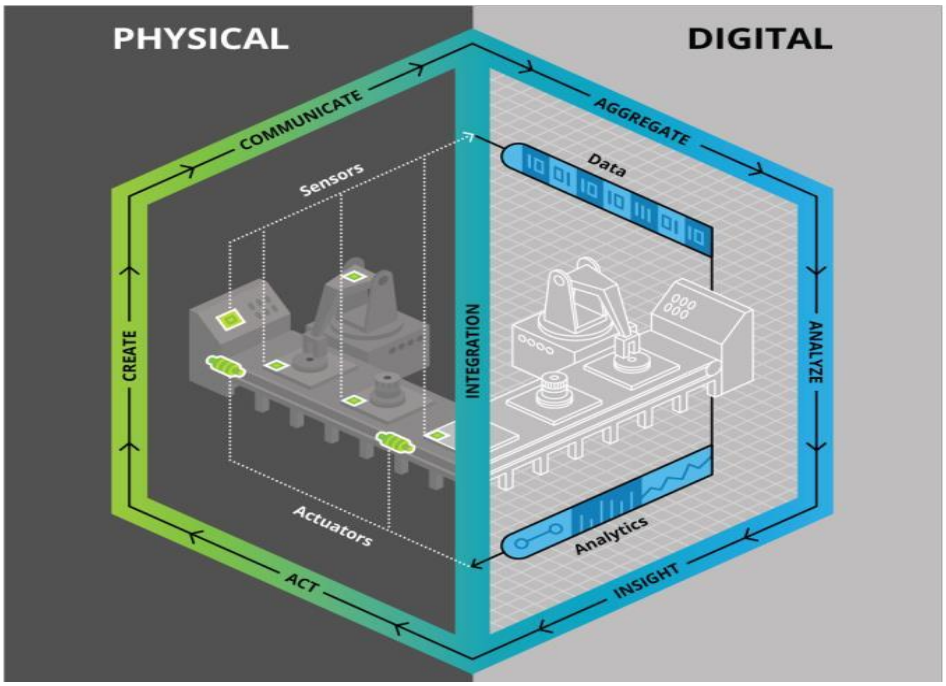
تعرف شركة (DELOITTE Consulting) التوأم الرقمي هو صورة رقمية في الوقت الفعلي تقريباً لكائن مادي أو عملية تساعد في تحسين أداء الأعمال(Parrott A,2017)

تعرف شركة (MICROSOFT Software) التوأم الرقمي هو نموذج افتراضي لعملية أو منتج أو أصل إنتاج أو خدمة. يمكن استخدام الأجهزة والأجهزة التي تدعم أجهزة الاستشعار والمتصلة بإنترنت الأشياء جنباً إلى جنب مع التعلم الآلي والتحليلات المتقدمة ، لعرض حالة الجهاز في الوقت الفعلي. عند دمجها مع كل من معلومات التصميم ثنائية وثلاثية الأبعاد ، يمكن للتوائم الرقمية تصور العالم المادي وتوفير طريقة لمحاكاة نتائج النظام الإلكترونية والميكانيكيةمع بعضها ( Microsoft,2019)

تعرف شركة (SIEMENS) التوأم الرقمي هو تمثيل افتراضي لمنتج مادي أو عملية ، تسُتخدم لفهم خصائص أداء النظير المادي والتنبؤ بها . (Siemens,2019)

## مكونات التوأم الرقمي ونظامه البيئي The Digital Twin component and its Ecosystem

تؤكد تعاريف التوأم الرقمي على أن كل نظام يتكون من نظامين هما النظام المادي والنظام الظاهري الرقمي والذي يحتوي على جميع المعلومات حول النظام المادي. وبذلك تم بناء مفهوم التوأم الرقمي بحيث يمكنه الحصول على مدخلات من أجهزة استشعار تجمع المعلومات من نظير له في العالم الحقيقي.حيث يُسمح هذا للتوأم بمحاكاة الكائن المادي في الوقت الفعلي، في العملية التي تقدم رؤى حول الأداء والمشكلات المحتملة. يمكن أيضا أن يتم تنظيم التوأم الرقمي اعتمادًا على نموذج نظيره المادي، وفي هذه الحالة يمكن أن ينتقد التوأم أثناء تحسين المنتج؛ ويمكن أن يملأ التوأم كنموذج أولي نفسه قبل تجميع أي تكيف فيزيائي وبذلك يسمح التوأم الرقمي بأن تكون تكاليف الإنتاج محدودة، حيث ستوفر المؤسسات التكاليف عندما تكون المنتجات صحيحة في أول تشغيل، ولا توجد متطلبات لاختبارات مادية مكلفة أو تحديثات للمنتجات أو إجراءات اخرى إضافية .فالتوأم الرقمي نسخةٌ رقمية مماثلة تماما لجسم موجود في الواقع تجمع الحساسات المشغلة بواسطة إنترنت الأشياء البيانات المتعلقة بالجسم الواقعي، وترسلها نحو نظام قادر على تشكيل نسخة افتراضية من الجسم الحقيقي لتشكل توأمه الرقمي وتحلل البيانات الملتقطة من الجسمين الواقعي والافتراضي لتطوير التدريب العملي وجعله أذكى وأكثر كفاءة دون الحاجة للزيارات الفعلية وما يترتب على ذلك من تعطيل لسير العمليات التشغيلية داخل المؤسسة.




شكل (32) رسم توضيحي لمكونات التوأم الرقمي في التصنيع(Deloitte University Press)

يتضح لنا من الشكل السابق العناصر المكونة للتوأم الرقمي وهي كالتالي:

**المجسات Sensors :**

أجهزة الاستشعار موزعة طوال عملية التصنيع تخلق إشارات تمكن التوأم من التقاط البيانات التشغيلية والبيئية المتعلقة بالعملية الفيزيائية في العالم الحقيقي .

**البيانات Data :**

البيانات التشغيلية والبيئية في العالم الحقيقي من أجهزة الاستشعارمجمعة ودمجها مع بيانات من المؤسسة ،مثل فاتورة المواد وأنظمة المؤسسة ومواصفات التصميم. وقد تحتوي البيانات أيضاً على عناصر أخرى مثل الرسومات الهندسية والبيانات الخارجية .

**الاندماج Integration:**

المستشعرات توصل البيانات بين العالم المادي والعالم الرقمي وبالعكس عبر تقنية التكامل (كواجهات الاتصال والأمن والخيط الرقمي).

**التحليل Analytics:**

تستُخدم تقنيات التحليلات في تحليل البيانات من خلال عمليات المحاكاة الحسابية وإجراءات التصور .

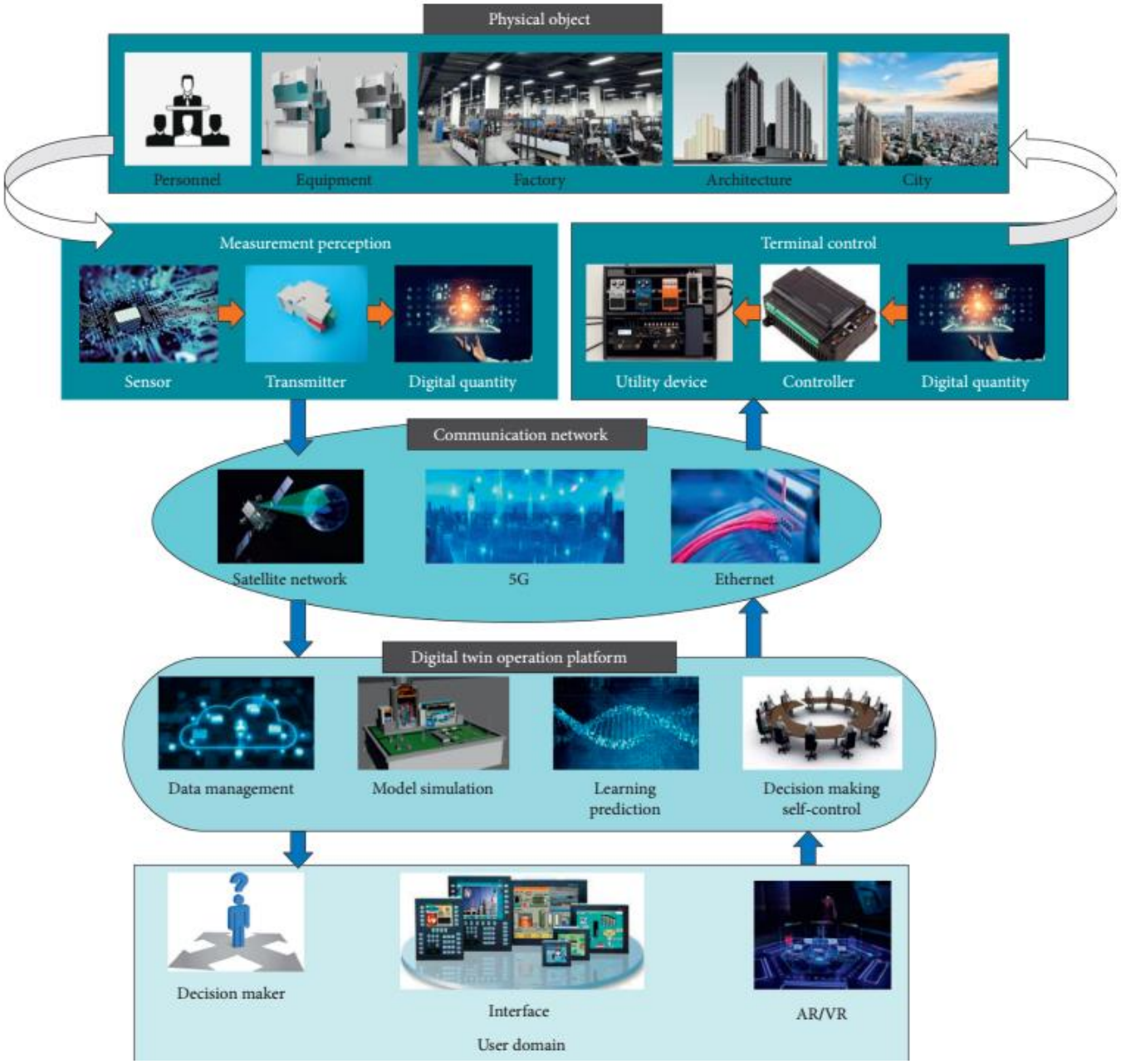
**التوأم الرقمي Digital Twin :**

وتعني الجانب الرقمي من التوأم الرقمي والتي تجمع المكونات السابقة في نموذج رقمي شبه حقيقي للعالم المادي والعمليات .

**المحركات Actuators:**

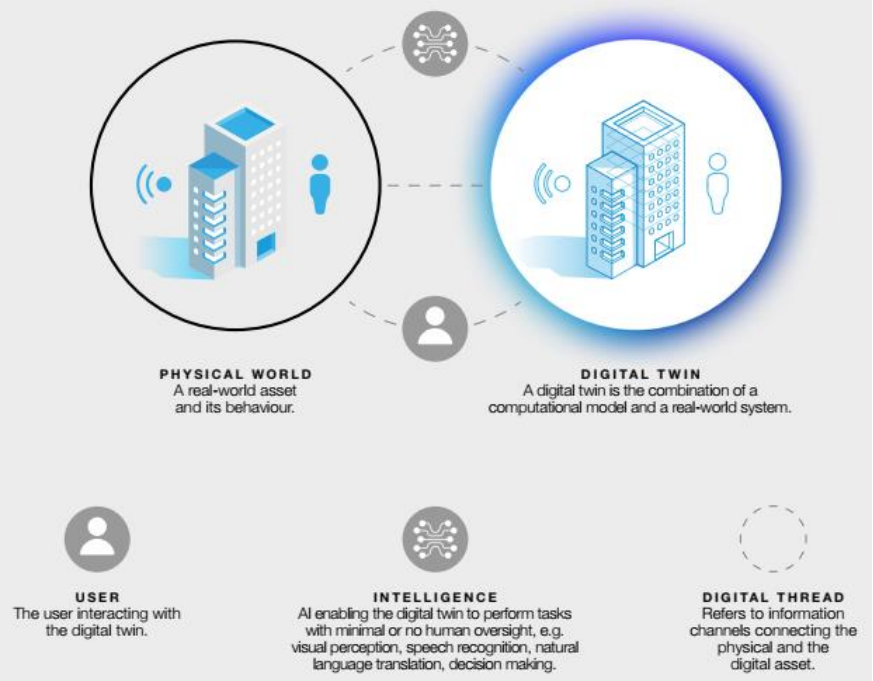
وهي المشغلات التي تعكس رؤية التوأم الرقمي للعمليات وتؤدي الى تشغيل العملية الفيزيائية . والتي قد تخضع للتدخل البشري.

قد يختلف التوأم الرقمي ونظامه البيئي من حيث الحجم والتعقيد فيما يتعلق بالحجم والنطاق. الحجم هو دقة التمثيل (مدى دقه المقياس المكاني والزماني) والنطاق هو جزء من العالم الحقيقي الذي يستخدمه النموذج (كالمحرك أو المدينة) .وتتكون البيئة المبنية للتوائم الرقمية من خمسة مفردات هي المكونات(كالحساسات والمستشعرات ..) والأصول(كالمبنى اوالمدينة...)والعمليات (بناء أو هدم أوإدارة...) والنظام (الخوارزميات او المنصات او المحاكاة) ونظم الشبكات (لاسلكية او سلكية ...) بالاضافة الى الية التفاعل (الواقع الافتراضي أو واجهات المستخدم...) كما هو موضح في الشكل 33.



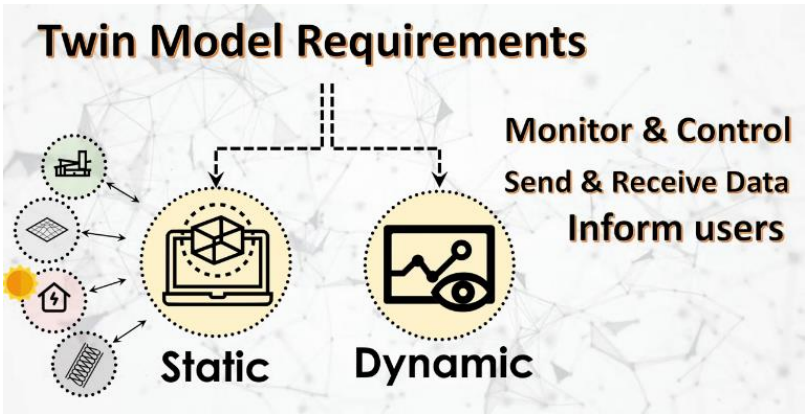

شكل (33) رسم توضيحي لمكونات نظام التوأم الرقمي

يمكن أن يكون للتوائم الرقمية أصحاب مصلحة فرديون أو متعددون ، ويمكن أن تستخدم عمليات المحاكاة ثلاثية الأبعاد ، وأجهزة إنترنت الأشياء ، وشبكات الجيل الرابع والجيل الخامس والبلوك تشين والحوسبة المتطورة والحوسبة السحابية والذكاء الاصطناعي. اعتمادًا على مدى تعقيدها ، قد يكون لكل توأم رقمي إمكانية الوصول إلى البيانات التشغيلية السابقة والحالية والمستقبلية وزيادة القدرات التنبؤية .يمكن النظر إلى التوأم الرقمي كنظام داخل نظام بيئي. على سبيل المثال ، في الشكل 32



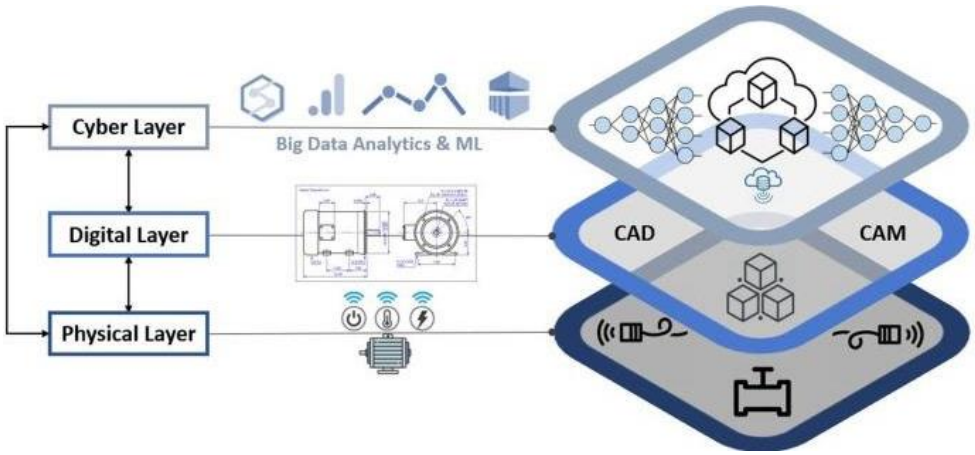

شكل (34) رسم توضيحي لبنية نظام التوأم الرقمي

يتكون النظام البيئي للتوائم الرقمي من الأصل مادي وتوأمه الرقمي والمستخدم وتطبيقات الذكاء والخيط الرقمي . يتفاعل المستخدم مع التوأم الرقمي من خلال الذكاء التطبيقي بينما يربط الخيط الرقمي بين العالمين المادي والرقمي. فالخيط الرقمي عبارة عن خيط مستمر وسلس من البيانات يربط كل مرحلة من مراحل دورة حياة المنتج من التصميم إلى البناء إلى الاستخدام في الموقع.فهو يؤمن القناة التي تنتقل من خلالها البيانات حول المنتج. ( التخزين والوصول والنمذجة والتحليل ) هي التي تخلق القدرة على نمذجة الإنتاج ودفع سلسلة التوريد الفعالة. (DUP,Industry-4.0,digital-twin,2017) تتمثل إحدى الوظائف المهمة بشكل خاص في التوأم الرقمية في قدرتها على الفهم والتعلم وتقديم القيمة باستخدام نهج الأنظمة. وبتفسير أخر نجد ان نظام التوأم الرقمي يتطلب مكونات مادية ومكونات ديناميكية وبالاعتماد على الخيط الرقمي المتصل بين العالمين تتم عملية التحكم والسيطرة وارسال واستقبال البيانات المهمة للمستخدم .




شكل (35) رسم توضيحي لبنية نظام التوأم الرقمي

كما ويمكن تفسير النظام البيئي للتوائم الرقمي بمجموعة من الطبقات المترابطة فيما بينها انطلاقا من الطبقة المادية للمكون كالالة او المصنع والمجسات المتصله بها وصولا الى الطبقة السبرانية لتحليل البيانات وخوارزميات التعلم الذكي ويتوسطهما الطبقة الرقمية التي تتضمن واجهات التفاعل ومنصات القيادة كما في الشكل 36.




شكل (36) رسم توضيحي لبنية نظام التوأم الرقمي

تمثل التوأم الرقمية المستخدمة حاليًا نسخا عن أجسام غير حية، كالمحركات والمباني و الفراغات والجسور، ويتطلع المبتكرون لمستقبل نتمكن فيه من إنشاء توائم رقمية للأجسام الحية كالبشر والحيوانات، فسماعة الطبية الرقمية تتمتع بالقدرة على تسجيل وتخزين أصوات ضربات القلب والجهاز التنفسي. وفي المستقبل يمكن أن تعمل سماعة الطبيب "كشيء ذكي" من خلال جمع قدر هائل من هذه البيانات ، وربط البيانات بمعلومات التشخيص والعلاج ، وبناء تطبيق مساعدة مدعوم بالذكاء الاصطناعي لتزويد الطبيب بالدعم التشخيصي في الوقت الحقيقي.

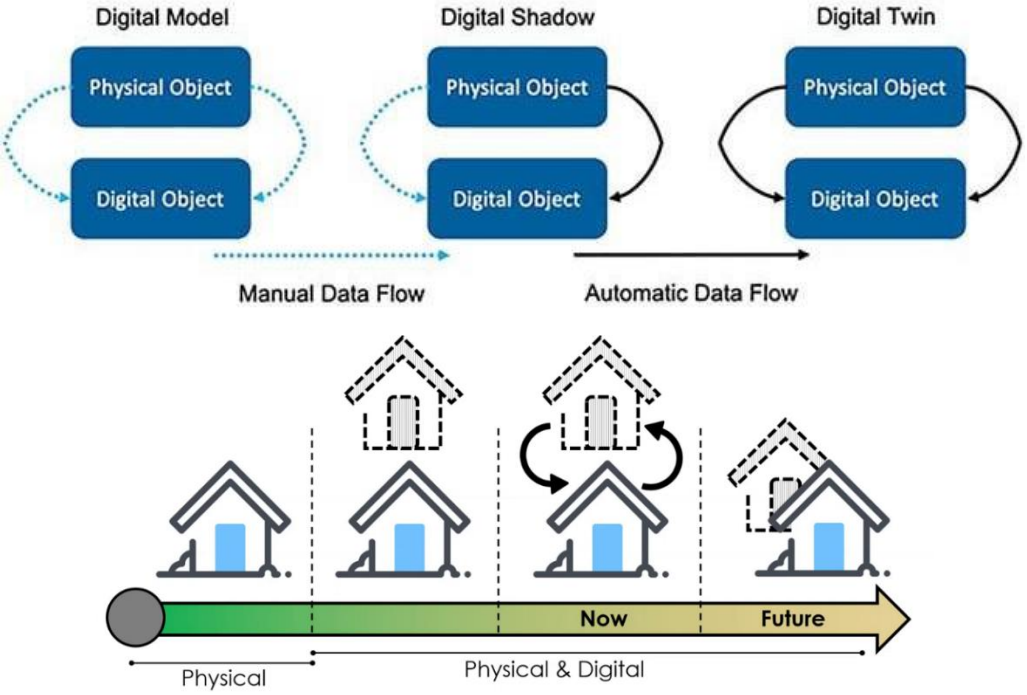
## مراحل التوأم الرقمي The Digital Twin Stages

يمر التوأم الرقمي بثلاث مراحل فرعية:

أ -**النموذج الرقمي Digital Model:**وهو عبارة عن تمثيل رقمي لشيء مادي موجود أو مخطط له، مع عدم وجود تبادل تلقائي للبيانات بين العناصر المادية الرقمية.

ب -**الظل الرقمي Digital shadow:**والذي يوجد كتدفق آلي أحادي الاتجاه للبيانات بين العناصر أو النماذج الرقمية المادية الموجودة.

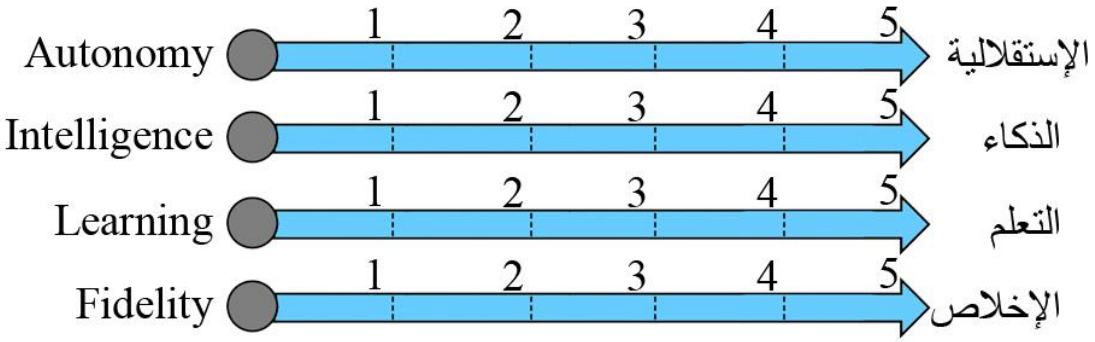
ج -**التوأم الرقمي Digital twin:**حيث تتدفق البيانات بين الأشياء المادية الرقمية التي يتم دمجها بالكامل في كلا الاتجاهين.




شكل (37) رسم توضيحي لمراحل التوأم الرقمي

## مستويات نضج التوأم الرقمي و مقاييس التوأم الرقمي Digital Twins Maturity levels & Digital Twins Metrics

هنالك اربعة مقاييس للتوائم الرقمية من حيث استقلاليتها وذكائها وتعلمها وإخلاصها يتم قياسها بكل مستوى من المستويات وفي يلي تعريف بكل مقياس:




شكل (38) مقاييس التوأم الرقمي

**الإستقلالية Autonomy :**

وتعني قدرة النظام على التصرف دون تدخل بشري .هناك خمسة مستويات من الحكم الذاتي .في المستوى الاول هناك غياب كامل للاستقلالية حيث يتحكم المستخدم في جميع جوانب التوأم الرقمي ويتم المستوى الثاني بمساعدة المستخدم ومن المتوقع ظهور التنبيهات والاشعارات الخاصة بنشاط النظام ، ولكن تبقى ميزة الاستقلالية محدودة. وفي المستوى الثالث يمتلك النظام استقلالية جزئية ، فلدى التوأم القدرة على التنبيه والتحكم في النظام بطرق معينة. اما في المستوى الرابع فيمتلك النظام استقلالية عالية ،ويصبح التوأم الرقمي قادر على أداء المهام الحرجة ومراقبة الظروف مع القليل من التدخل البشري . وفي المستوى الخامس يستطيع التوأم أن يعمل بأمان في حالة الغياب التام للتدخل البشري.

**الذكاء Intelligence :**

وتعني قدرة التوأم الرقمية على تكرار العمليات الإدراكية البشرية وأداء المهام. وهناك خمسة مستويات من الذكاء. في المستوى الاول لا يتمتع التوأم بميزة الذكاء. وفي المستوى الثاني يكون لدى التوأم قدرة الذكاء التفاعلي حيث يستجيب التوأم فقط للمنبهات ولا يستطيع استخدام الخبرات المكتسبة سابقًا. في المستوى الثالث يستخدم التوأم التعلم لتحسين استجابته ويكون قادرًا أيضًا على التعلم من البيانات التاريخية لاتخاذ القرارات. اما في المستوى الرابع فيتفهم التوأم احتياجات الأنظمة الذكية الأخرى. و في المستوى الخامس يكون التوأم مدركًا لذاته بذكاء يشبه الإنسان ووعي بالذات.

**التعلم Learning :**

وتعني قدرة التوأم على التعلم تلقائيًا من البيانات من أجل تحسين الأداء دون أن تتم برمجته بشكل صريح للقيام بذلك. من خلال التعلم الآلي ، يصنف التوأم جوانب الأنظمة (الكائنات والسلوكيات) باستخدام التعلم المعزز. هناك خمسة مستويات من التعلم. المستوى الاول ليس لدى التوأم أي مكون تعليمي. وفي المستوى الثاني تتم برمجة التوأم باستخدام قائمة طويلة من الأوامر. في المستوى الثالث يتم تدريب التوأم باستخدام نهج التعلم الخاضع للإشراف (باستخدام البيانات المصنفة القادرة على تقديم التغذية الراجعة وأداء التنبؤ). اما في المستوى الرابع فيتم تدريب التوأم باستخدام التعلم غير الخاضع للإشراف ويحاول فهم البيئة بمفرده. وفي المستوى الخامس يستخدم التوأم التعلم المعزز من خلال التفاعل مع بيئته وبذلك يتعلم التوأم من التعليقات والخبرات السابقة لإيجاد الطريقة المثلى لتحسين الأداء .

**الإخلاص Fidelity :**

ويعني مستوى تفاصيل النظام أي الدرجة التي تقترب بها القياسات أو الحسابات أو المواصفات من القيمة الحقيقية أو المعيار المطلوب. وهناك خمسة مستويات من الإخلاص. المستوى الاول يتمتع التوأم بدقة منخفضة ويمكن اعتباره نموذجًا مفاهيميًا. وفي المستوى الثاني يتمتع التوأم بنطاق منخفض إلى متوسط من الدقة ويمكن استخدامه لاستخراج القياسات. في المستوى الثالث يتمتع التوأم بنطاق متوسط من الدقة ويمكن استخدامه كتمثيل موثوق للعالم المادي. اما في المستوى الرابع فيمكن أن يوفر التوأم قياسات دقيقة للعالم المادي وفي المستوى الخامس يتمتع التوأم بدرجة عالية من الدقة ويمكن استخدامه في حالة سلامة الحياة والقرارات التشغيلية الحاسمة.

**مستويات نضج التوأم الرقمية:**

اقترح Verdantix نموذج نضج للتوائم الرقمية يتألف من 5 مستويات تتحول رقميا بشكل متناسب مع مستوى نضج البيم وتقدم قيمة أكبر للأعمال كلما زاد نضج التوأم الرقمي ومستوى نضج البيم. وهي كالتالي:

**المستوى الأساسي: التوأم الوصفي Descriptive Twin :**

نموذج رقمي مرتبط بنظام العالم الحقيقي يتكون من نسخة حية قابلة للتحرير من بيانات التصميم والبناء .ولكنه يفتقر إلى الذكاء أو التعلم أو الاستقلالية وتكون وظائفه محدودة على سبيل المثال نموذج أساسي للخريطة.

**المستوى الثاني: التوأم المعلوماتي Informative Twins :**

نموذج رقمي مع بعض القدرة على التغذية الراجعة والتحكم وغالبًا ما يقتصر على نمذجة الأنظمة الصغيرة تشكل فيه البيانات التشغيلية والمستشعرات كتوأم واحد على سبيل المثال أجهزة استشعار درجة حرارة المبنى التي تغذي المعلومات إلى المشغل البشري.

**المستوى الثالث: التوأم التنبؤية Predictive Twins :**

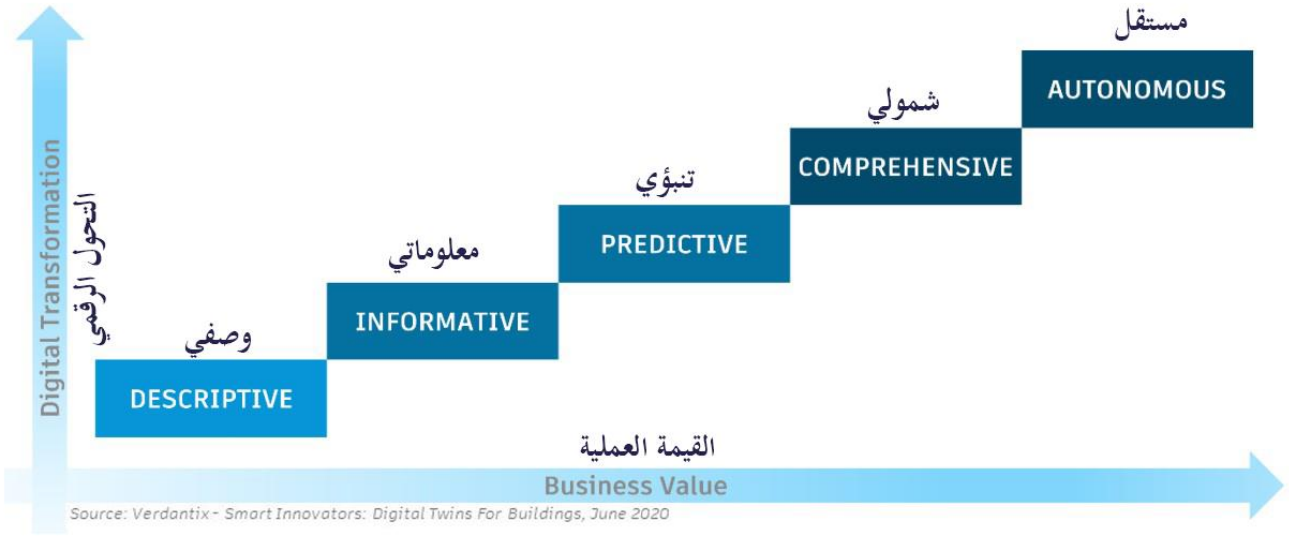
نموذج رقمي قادر على الاستفادة من تلك البيانات التشغيلية للحصول على توقعات للصيانة وتحليلات ورؤى التنبؤية مثل توقع متوسط العمر المتوقع للبنية التحتية للسكك الحديدية ، مما يتيح عمليات الإصلاح أو الاستبدال قبل فشل الأصول.

**المستوى الرابع: التوأم الشاملة Comprehensive Twins :**

نموذج رقمي قادر على التعلم بكفاءة من مصادر البيانات المختلفة بما في ذلك البيئة المحيطة. يكون للنموذج القدرة على استخدام هذا التعلم لصنع القرار المستقل أي انه قادر على محاكاة لسيناريوهات ماذا لو في المستقبل على سبيل المثال يمكن للنموذج توصيل توصيات المسار في الوقت الفعلي تلقائيًا من خلال أساليب مختلفة (التطبيق ، واللافتات ، والراديو) ، مما يسمح للسائقين بالتخطيط بشكل أفضل خلال عملهم.

**المستوى الخامس: التوأم المستقلة Autonomous Twins :**

نموذج رقمي مع مجموعة واسعة من القدرات والمسؤوليات ، ويقترب في النهاية من القدرة على التفكير المستقل والتصرف نيابة عن المستخدمين .مثل نموذج إدارة حي في مدينة ذكية كما يديرها مشغل بشري ، بالإضافة إلى الاستجابة للسيناريوهات غير المرئية سابقًا. السمة المميزة الأخرى لهذا المستوى هي الدمج المترابط للتوائم المنخفضة المستوى .




شكل (39) مستويات نضج التوأم الرقمي

## خصائص التوأم الرقمي Digital Twin Properties :

**الهوية :** يمثل التوأم الرقمي أصلا ماديا واحدا وفريدا يمكن إنشاء مثيل التوأم الرقمي بمرحلة الإنشاء في التصميم والإنتاج والتركيب والتثبيت ويستمر حتى يتم إيقاف الأصل أو بعد ذلك إذا كانت البيانات التاريخية مطلوبة .

**التمثيل :** التقاط المظهر المادي الأساسي للأصل الحقيقي في تنسيق رقمي، باستخدام تنسيقات مثل CADأو MESأوالنماذج الهندسية مع البيانات الوصفية والتصنيفات المقابلة ويتم ضمان إمكانية التتبع بين التوأم الرقمي والشيء المادي على التسلسل.

**الحالة والأحداث:** تعكس حالة الأصول الحقيقية كحالة التشغيل والموقع والسرعة والبيئة في الوقت الفعلي مما يوفر معلومات عن الخصائص التي تصف الجوانب المختلفة التي تم بناء التوأم الرقمي من أجلها, كما يقوم بتشغيل التنبيهات والأحداث نيابة عن الكائن.

**السياق:** يصف سياق التشغيل مثل التركيب المادي، والإشارة إلى المعلومات المالية أو معلومات إدارة الأصول والأدوارو مستوى الخدمة، وأعمال الخدمة المنفذة على الأصل.

**التفاعل:** يتم الاستعلام عن جميع الخصائص بشكل آمن ورقمي في نظام برمجي عبر واجهات برمجية التطبيقات .

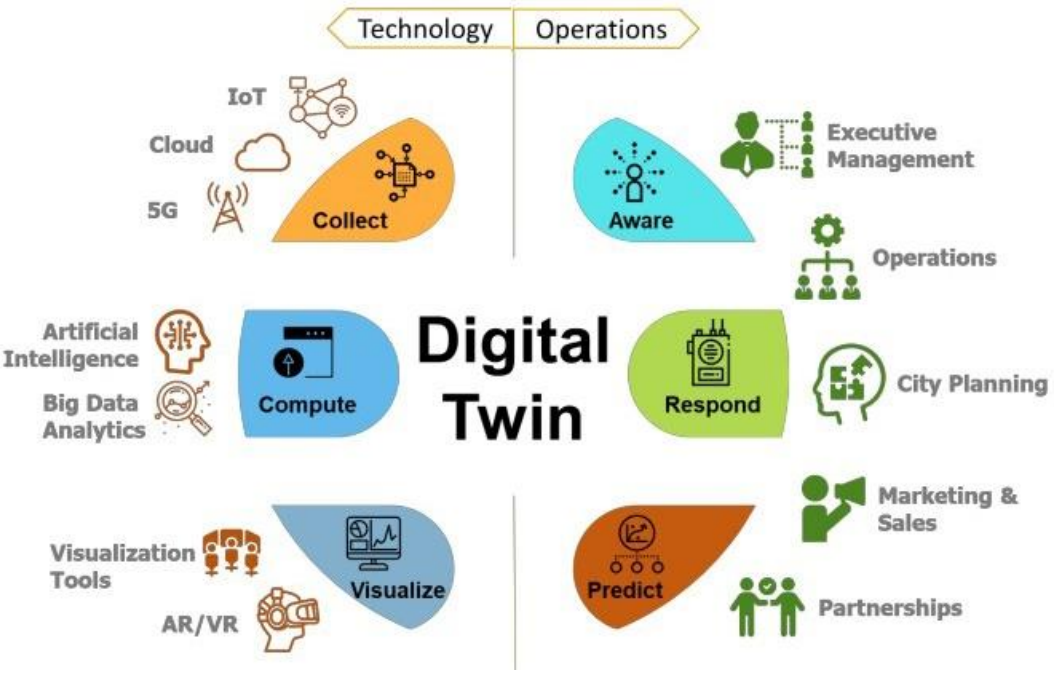
**التركيب:** حيث يتم تمثيل تكوين للكائن في التوأم الرقمي كتسلسل هرمي أو رسم بياني أو شبكة أو نموذج متعدد الأبعاد.

**المحاكاة والسلوك:** كالنماذج القائمة على الفيزياء (التحليل البنيوي النيوتوني، وديناميات السوائل الحسابية) والنماذج الإحصائية (التصنيف، واكتشاف الخطأ) أو خوارزميات التعلم الآلي (تحريك روبوت) توفر نظرة ثاقبة واستبصارا لسلوك كائن

**التحكم:** التحكم عن بعد في الكائن المادي عبر مشغلات.

**التوزيع:** لا يحتاج نموذج البيانات الرقمية المزدوجة إلى التواجد في نظام برمجي واحد، بل يمكن توزيعه بالقرب من الكائن المادي أو في المنصة المركزية بشكل السحابة.

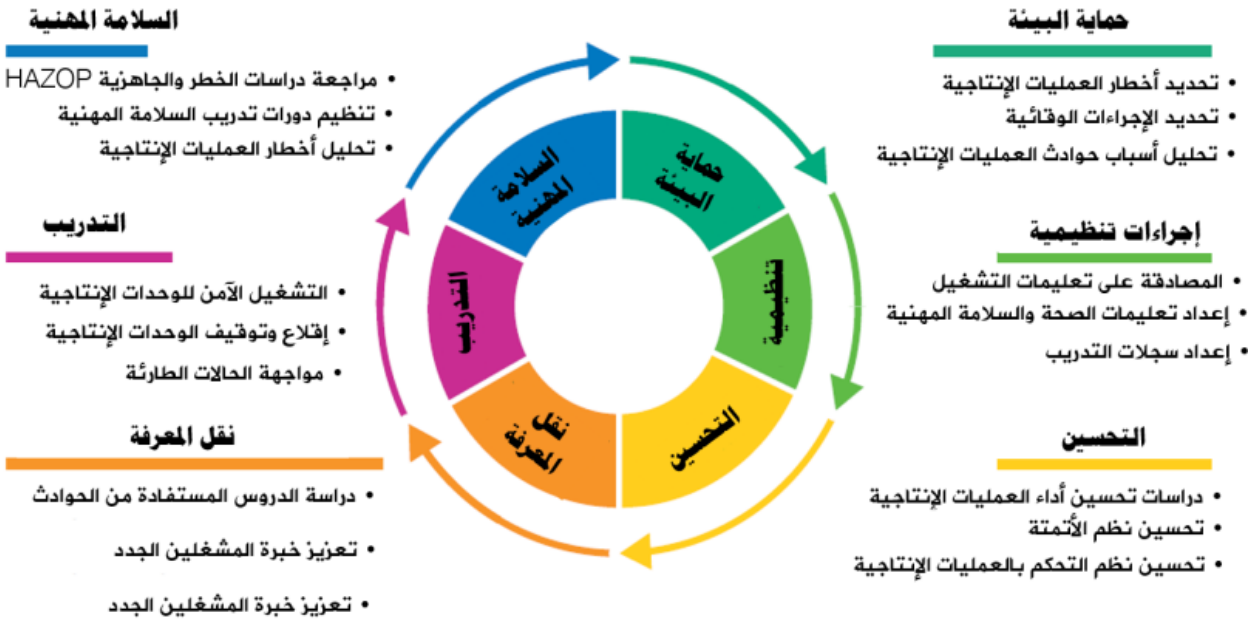
**التصور والتحليلات:** مراقبة حالة الاصول من قبل المستخدم عبر الويب او الجوال بما في ذلك المعلومات المحاكاة ولاستعلام عن السلوك التاريخي أو إعادة عرضه أو التنبؤ بالسلوك المستقبلي وتلقي التنبيهات والإشعارات و قد يتضمن ذلك تمثيلا ثنائي الأبعاد أو ثلاثي الأبعاد كتقنيات الواقع المعزز .




شكل (40) خصائص التوأم الرقمي

## مميزات وتطبيقات التوأم الرقمي Benefits and Use of Digital Twins

تتكون مجالات استخدام التوأم الرقمي من التحكم بشروط العمليات الإنتاجية، وفي أعمال الصيانة الدورية والتنبؤية، وفي مجال تطبيق اشتراطات الصحة والسلامة المهنية، وتدريب العاملين في التشغيل والصيانة، وتنفيذ إجراءات تحسين الأداء. (**Menachery, 2020**)




شكل (41) مميزات وتطبيقات التوأم الرقمي (Emerson,2019)

**توفير التكاليف الاقتصادية والجهد والوقت من خلال التقليل من تأثير تعطل المعدات :**يمكن أن يستخدم "توأم صحة الماكينة" العملية وبيانات المعدات لمراقبة الأعطال واستكشافها وإصلاحها وتشخيصها والتنبؤ بها معدات.

**تحسين تخطيط الإنتاج والجدولة :**يمكن أن يقوم "التوأم الجدولة والتوجيه" بجمع البيانات من مختلف الأنظمة، مثل معدات الإنتاج وأنظمة تنفيذ التصنيعMES وأنظمة تخطيط موارد المؤسساتERP لتحليل الوضع الحالي لنظام الإنتاج وأي تقلبات في طلب العملاء والمخزون والموارد. مما يمكن من التسليم في الوقت المحدد، وتحسين الموارد (أي المواد والعمالة والمعدات)، وتقليل وقت الدورة، وخفض تكلفة المخزون.

**التمكين من التحسين المستمر. من خلال تمكين التمثيل الافتراضي :**حيث يمكن أن يستخدم "التوأم الرقمي" بتحليل البيانات التي تم جمعها من خلال مراقبة أداء المعدات الجديدة أثناء التشغيل. يمكن أن تسمح هذه المعلومات باكتشاف وحل المشكلات قبل الاستثمار وتجنب الحاجة إلى تعديلات مكلفة أثناء التثبيت أو بعده وبالتالي تقليل التكاليف والوقت.

**ويعتمد تقييم أداء وإمكانية تطبيق التوأم الرقمي على ثلاثة عوامل رئيسية:**

**التطبيق :**يحدد التطبيق المحدد للتوأم الرقمي ما إذا كان يحتاج إلى دعم التحديث في الوقت الفعلي أو دون اتصال بالإنترنت بالإضافة إلى الدقة اللازمة لدعم القرار أو إجراء التحكم المستهدف. يحدد نطاق وأهداف التوأم الرقمي الجوانب التي يجب تضمينها حيث يتم تحديد فائدة التوأم الرقمي بالدقة وليس التعقيد. وذلك لتجنب ما لا يلزم من لمكونات والوظائف توفر الوقت والجهد كما تحد من الأخطاء المحتملة.

**وجهة المراقبة :**تحدد وجهة او مكان المراقبة القرار المطلوب أو إجراء التحكم ما إذا كان النموذج، عملية، أو هناك حاجة إلى نظام التوأم. وبالمثل، تحدد وجهة النظر الأساليب والأدوات مطلوب، مثل ما إذا كان يجب أن يحاكي التوأم الرقمي السلوك الذي يمكن ملاحظته للنظام (أي، مضاهاة) أو ما إذا كان ينبغي لها نمذجة حالة النظام (أي المحاكاة)

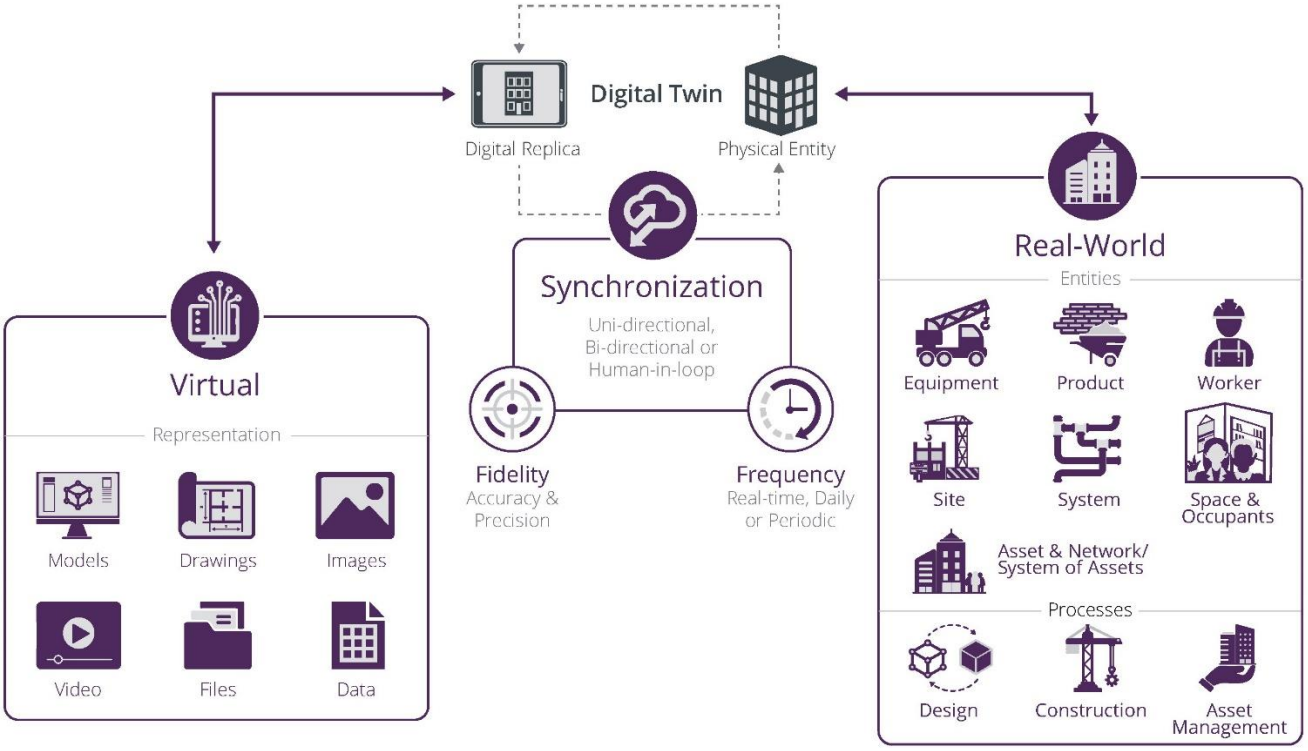
**الحالة :**الحالة او السياق المطلوب لدعم وجهة المراقبة يحدد كيفية توفير المعلومات من التوأم الرقمي. على سبيل المثال، قد لا تكون هناك حاجة للتخيل بناء على متطلبات حالة الاستخدام والقيود على الوقت والميزانية. وبالمثل، يمكن لوجهة النظر ذات الصلة ان تؤثر على أنواع المعلومات التي تشكل السياق الذي يوفره التوأم الرقمي.

## التوأم الرقمي للعمارة والهندسة والبناء Digital Twins in AEC :

تركزمعظم الدراسات حول التوائم الرقمية في قطاع البناء على مرحلة تشغيل وصيانة الأصول كما أن فوائد التوائم الرقمية بعد مرحلة التسليم موثقة جيداً وقد أدى ذلك إلى رؤية مفادها أن التوائم الرقمية تعمل بشكل أساسي على تحسين تشغيل الأصول وصيانتها. في حين أن للتوام الرقمي امكانات وفوائد عديدة متاحة في مراحل متعددة من دورة حياة المنشأة.حيث يمكن للمصممين إنشاء نماذج رقمية لتصور أهداف التصميم بالوقت الفعلي التحديثات والتغييرات أثناء البناء. فتحسين التصميم ومقاييس الأداء كالوقت والتكلفة والأثر البيئي تؤثرفي الواقع على المراحل اللاحقة ،فمن المهم أن يتم تصويرها بأكبر قدر ممكن من التمثيل بالوقت الفعلي ، والتوائم الرقمية هي أفضل طريقة للقيام بذلك.

## العناصر التأسيسية Foundational Elements :

يوضح الشكل (42) العناصر الأساسية لتوأم رقمي باستخدام التعريف المقدم من DTC . حيث يتم تقديم هذه العناصر في سياق الأصل المبني وعمليات التصميم والبناء والتسليم والتشغيل والصيانة والتجديد ونهاية العمر الافتراضي للمنشأة.




شكل (42) العناصر التأسيسه للتوأم الرقمي بقطاع البناء حسب (DTC)

**التمثيل الافتراضي Virtual representation :** هي النسخة المتماثلة الرقمية للكائنات وعمليات البناء قيد الدراسة وتتكون من:

- مجموعة من الأصول الرقمية المرتبطة بالمبنى (الأصل الرقمي هو أي تنسيق رقمي مستخدم في عمليات البناء ) مثل نماذج لنمذجة معلومات البناء BIM ونماذج التصميم بمساعدة الكمبيوترCAD والصور ومقاطع الفيديو والسحب النقطية والمستندات وجداول البيانات وما تلتقطه المجسات من بيانات بالواقع.
- البيانات الداعمة حول كائنات وعمليات البناء ، على سبيل المثال بيانات حول المنتجات والأنظمة والمواد والعناصر والكيانات والعمليات وأداء العمل وما إلى ذلك والتي توفر معلومات متماسكة حول الكيانات والعمليات في العالم الحقيقي.

تساعد الأصول الرقمية والبيانات الداعمة في إنشاء نماذج حسابية تمثيلية ومتصلة لحالات الأصول التاريخية والحالية والمستقبلية المحتملة. يتغير التمثيل الافتراضي أو يتطور من التصميم إلى مرحلة نهاية عمر المنشأة حيث تتم إضافة بيانات ومعلومات إضافية

والكتابة فوقها أو أرشفتها عندما تكون زائدة عن الحاجة. مما يتيح المزيد من الكفاءات واستخراجها من أجل رؤية أعمق أو تخطيط سيناريو محدد.

**الكيانات والعمليات في العالم الحقيقي Real-world entities and processes :** يمكن اعتبار الكيانات على ثلاثة مستويات:

- كائنات البناء مثل منتج أو مكون أو نظام أو أجزاء مجمعة أو مساحة.
- مبنى أو منشأة مثل مبنى مدرسة أو جسر أو منشأة صناعية.
- مجموعة من الأصول مثل مباني سكنية (ضاحية) أوشبكة الطرق .

يتم أيضاً مراعاة البيئة المادية مع العمليات الإنتاجية المستخدمة لتصميم وبناء واستخدام هذه الكيانات. من أمثلة الكيانات الواقعية مضخة أو حفارة أو رافعة برجية أو غرفة مستشفى أو مبنى أو عامل أو حي أو مدينة ....إلخ. لضمان تلبية متطلبات أصحاب المصلحة الامر الذي يساعد مطوري التوأم الرقمي على تحديد بنية النظام والمواصفات الفنية .

**التزامن Synchronisation :** هو "الاتصال " بين التمثيل الافتراضي وكيانات العالم الحقيقي. فالتزامن أمر حيوي ويميز التوأم الرقمي عن أي نموذج رقمي آخر لأنه يسمح بحلقة افتراضية-فيزيائية-افتراضية للإدارة والمحاكاة والتنبؤات والتحسين.

المزامنة المرنة تسمح للإتصال بأن يكون أحادي الاتجاه (يتضمن أجهزة استشعار توفر البيانات المتعلقة بأداء كيان العالم الحقيقي ) أو ثنائي الاتجاه (مع إضافة أوامر تحكم للمشغلات ) مع او بدون تفاعل الإنسان. كما وتساعد المزامنة في تواصل التوأم الرقمي مع التوائم الرقمية الأخرى (مما يجعلها جزءاً من نظام بيئي للتوائم الرقمية) وفي الحصول على بيانات إضافية خارجية مثل بيانات الطقس المحلية والبيانات البيئية والبيانات الاقتصادية ، إلخ.

**التكرار Frequency :** يحدد توقيت مزامنة الكيانات المادية إلى النموذج الافتراضي. يحدد تردد المزامنة عدد مرات تحديث التمثيل الافتراضي لمطابقة الحالة الحالية للكيانات والعمليات. يمكن أن يكون هذا التحديث في الوقت الفعلي أو يومياً أو بفاصل زمني محدد.

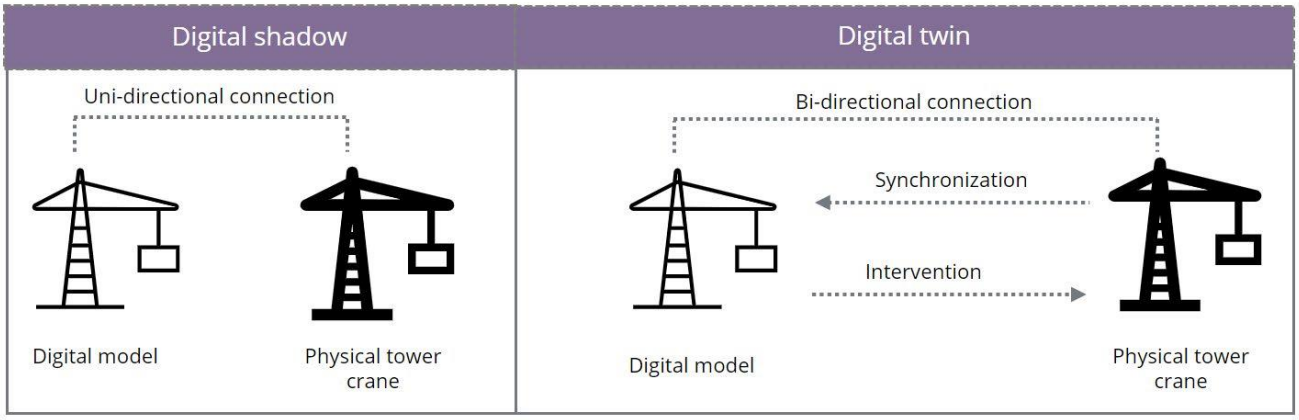
يختلف التكرار حسب حالة الاستخدام والموارد المتاحة ونوع الكيان أو العملية في العالم الحقيقي وتقنيات جمع البيانات. بدون هذا التحديث المنتظم يصبح النموذج الافتراضي قديما مما يحد من استخدام التوأم الرقمي.

**الإخلاص Fidelity :** هي درجة الدقة المطبقة على التمثيل الافتراضي وعلى آليات تزامنه. الدقة هي إحدى خصائص البيانات وهي في النهاية تعبير عن حوكمة البيانات أو إطار عمل إدارة المعلومات المعمول به ، وتركزعلى كيفية جمع البيانات وتتبعها وصيانتها بعناية طوال الوقت. ولها مستويات مختلفة تختلف بناءً على حالات الاستخدام التي يتم تقديمها. المحرك الأساسي للإخلاص في التوأم الرقمي هو دقة المعلومات المطلوب مزامنتها. على سبيل المثال قد يكون من المناسب مزامنة بيانات السلاسل الزمنية المتعلقة باستخدام الطاقة للمبنى ككل ،أوقد يكون من الضروري مزامنة البيانات المتعلقة باستخدام الطاقة من قبل أنظمة أو معدات في كل طابق من المبنى.

يمكن أيضاً معايرة التوأم الرقمي لاستقبال أنواع مختلفة من البيانات من تدفقات بيانات متعددة (مثل أجهزة الفيديو والماسحات الضوئية بالليزر وأجهزة استشعار ) يسمى الإخلاص في هذه الحالة بالإخلاص المتعدد لأنه يمكن تحديده وتنويعه بواسطة تدفق البيانات.

عند استخدام التوائم الرقمية في قطاع البيئة المبنية ، يحدد عنصرا - التردد والدقة - الجهد المطلوب للحفاظ على تحديث التمثيل الافتراضي. تعتبر قضية المزامنة ، أحادية الاتجاه أو ثنائية الاتجاه ، ذات صلة بشكل خاص وذات أهمية بالغة.

يوضح الشكل 43 مثالاً على التزامن أحادي الاتجاه مقابل التزامن ثنائي الاتجاه بين النموذج الرقمي للرافعة البرجية والرافعة البرجية نفسها. عندما يكون الاتصال أحادي الاتجاه ، تتدفق البيانات في اتجاه واحد فقط من النموذج الرقمي إلى الرافعة البرجية أو العكس. يسمى التوأم الناتج بالظل الرقمي. ومع ذلك ، عندما يكون الاتصال بين الرافعة ونسختها الرقمية ثنائي الاتجاه ، فإن حلقة إلكترونية-فيزيائية-إلكترونية تحول هذا إلى توأم رقمي. هذا التمييز بين هذين النوعين من الاتصالات مهم لأنه يساعد على التمييز بين الأصول الرقمية التي تم إنشاؤها واستخدامها على مدى عمر المنشأة والتوأم الرقمي المتصل.




الشكل (43) التزامن أحادي الاتجاه وثنائي الاتجاه (Sepasgozar 2021)

مثال آخر على الظل الرقمي هو البيانات التي تم جمعها حول منشأة عبر المسح بالليزر والصور ومقاطع الفيديو واستخدامها لرصد التقدم المستند إلى BIM حيث يكون نموذجاً رقمياً للأصل لا يمكن أن يتفاعل تلقائياً مع الأصل ولكن يمكن استخدامه لتصور التغييرات الحاصلة للمبنى.

## مكونات التوأم الرقمي Components of a digital twin :

يتكون التوأم الرقمي لكائن مادي من عدة مكونات. قد تختلف هذه المكونات وبنية النظام حسب نوع المنشأة ودورة حياتها و حالة الإستخدام الحالية لها والهدف المطلوب تحقيقه. فيجب أن يكون للعنصر المادي أو الأصل تمثيل افتراضي يتكون من نماذج وأصول رقمية.

يشكل هذا التمثيل البيانات الثابتة (static data) التي توثق مثلا بيانات التصميم والبناء ومعلومات حول الكيان المادي والعديد من مكوناته ومكوناته الفرعية. تتم إدارة البيانات الثابتة بواسطة طبقة إدارة البيانات التي توفر ميزات التخزين والتشغيل البيني والمزامنة (كمثال عليها الحوسبة السحابية لبيئة البيانات المشتركة CDE \Common Data Environment) ثم يضاف اليها البيانات الملتقطة في الوقت الفعلي والتي تعبر عن البيانات الديناميكية (Dynamic data) حول حالة وأداء الأصل المادي والتي يتم الحصول عليها عبر أنظمة أتمتة المباني أو أنظمة إدارة المباني أوأجهزة استشعار إنترنت الأشياء أوالمسح بالليزر والصور ومقاطع الفيديو وتتم مزامنتها بشكل مستمر.وبذلك تشمل التوائم الرقمية جميع أنواع البيانات والتفاعل في الوقت الفعلي بين الأشخاص والعمليات والاصول والأشياء المتصلة بها. فلذلك نجد إن نظام التوأم الرقمي يتضمن مجموعة من المكونات هي :

**البيانات Data :** وتتضمن :

- بيانات ومعلومات حول الاصول والاجهزة و العمليات والأشخاص.
- بيانات نمذجة معلومات البناء، خلال مراحله واكواد البناء، والمواصفات والمحددات الأخرى الخاصة بالمبني.
- بيانات عن البناء مدعومة بنظام إدارة المباني (BMS) ونظام أتمتة المباني (BAS) وانظمة ادارة الطاقة (BEMS) .
- البيانات الخارجية الخاصة بحالة الطقس، والبيانات الخاصة بجهات التعامل مع حالة الطوارى.

**الاستنتاج المنطقي Reason :**

الحاجة إلى طريقة لتطبيق التفكير المنطقي على البيانات لدفع العمل. وغالبا يعتمد الاستدلال على قواعد معالجة غير متزامنة مدعوم بنظام الذكاء الاصطناعي (AI) ونظام تعلم (ML) القواعد غير خطية Nonlinear Rules لقياس التقدم أو التطور المحرز المتوقع أو غير متوقع.

**مؤشرات الأداء الرئيسية KPIs :**

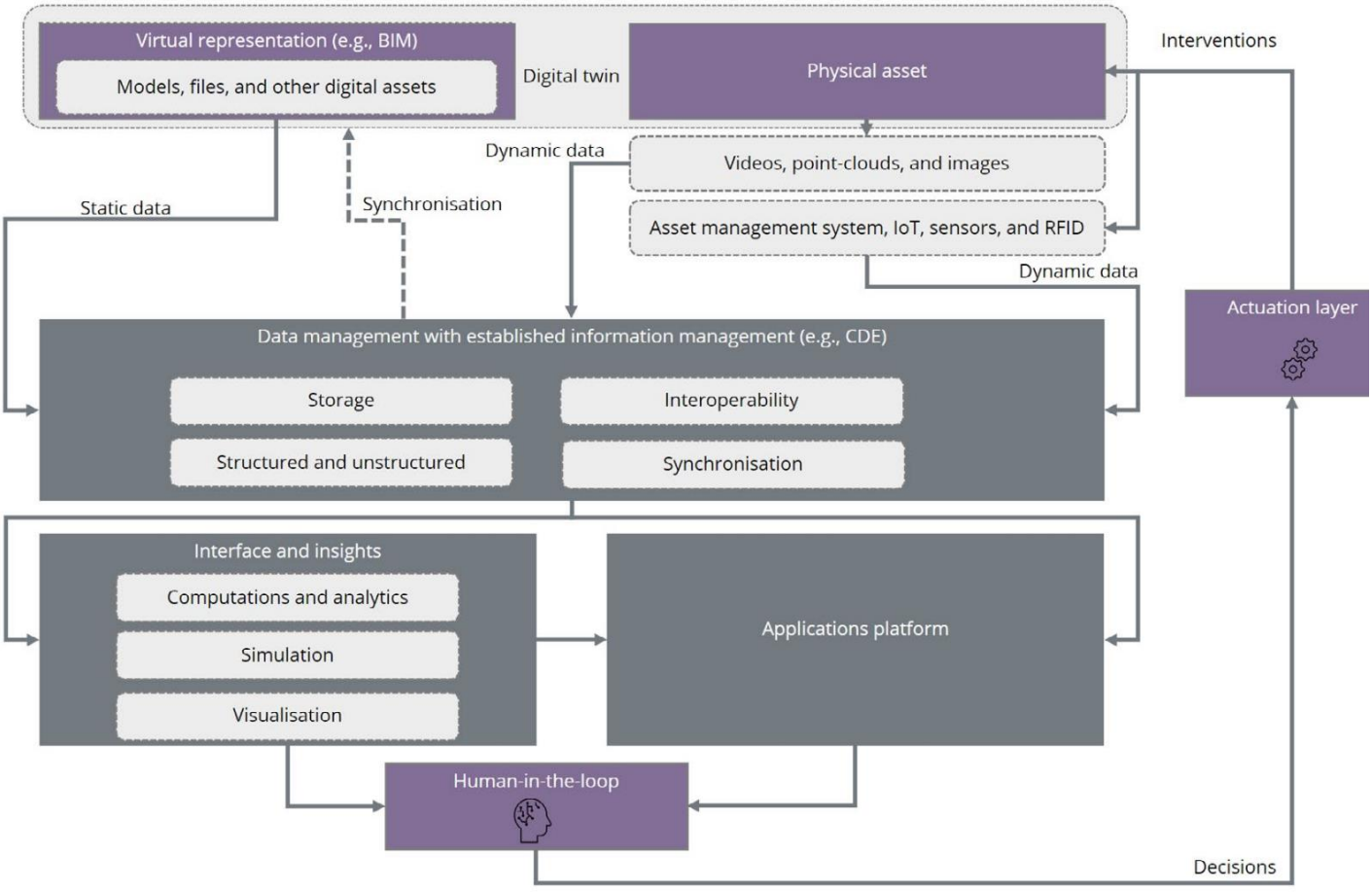
مؤشرات الأداء الرئيسية مطلوبة لتوفير سياق عمل هادف ولضمان التوافق بين أهداف المنشأة وقياس الأداء و تحقيق الاستنتاج المنطقي من خلالها وهي مجموعة من المؤشرات القابلة للقياس الكمي التي يستخدمها النظام لقياس أدائها.و تستخدم هذه المقاييس لتحديد التقدم الذي

تم تحقيقه في المهام التشغيلية، وكذلك لمقارنة الأداء الفعلي مع الأداء المطلوب تحقيقه. وتكون أهميته معرفة ما إذا كان القائمون بالعمليات يحققون المتطلبات أم لا، وللتأكد من أن القرارات مبنية على الحقائق والمعلومات والأرقام، تحديد السلبيات ومواطن القصورولمراقبة الأداء أول باول.ويذكرمنها مصطلح الكفاءة الذي يشير إلى مستوى الذروة للأداء الذي يستخدم أقل كمية من المدخلات لتحقيق أكبر قدر من المخرجات. وهو مفهوم قابل للقياس يمكن تحديده بإستخدام نسبة المخرجات المفيدة إلى إجمالي المدخلات.و صافي دخل التشغيل وهو الفرق بين كافة العوائد والمكاسب وكافة النفقات والخسائر خلال فترة محددة. إضافة الى الموشرات البيئية كإنبعاثات الغازات بشكل عام والكربون بشكل خاص مع التأكيد على مؤشرات السلامة والأمان.

**السياق الموقف Context :**

يتضمن السياق معلومات في الوقت الفعلي حول الحالة الفعلية للمنشأة والأفراد داخلها وتفاعلاتهم بين بعضهم البعض. وهي الظروف التي ينتج فيها حدث عندما نتفاعل مع الآخرين، يلعب السياق الذي تحدث فيه أفعالنا دورا رئيسيا في سلوكنا (مثل سلوك المستخدمين، وسلوك النظام / الجهاز، وتدفق سير العمل) .

وبذلك تتجمع كمية كبيرة من البيانات الغير منظمة والتي من الصعب على الانسان إستيعابها, وهنا تساعد منصة التوأم الرقمية وواجهاتها بمعالجة ووضع الرؤى للتغلب على هذه الصعوبات من خلال توفير إمكانات التحليلات والمحاكاة والتصور. وتستخدم لذلك تقنيات الواقع الافتراضي VR والواقع المعززAR . كما ويمكن أن يحتوي التوأم الرقمي على منصة تطبيق تساعد في إنشاء تطبيقات مخصصة مطلوبة لحالات استخدام معينة.




الشكل (44) مكونات التوأم الرقمي

## الخيط الذهبي والتوائم الرقمية Golden thread and Digital Twins

تمثل التوائم الرقمية عملية جمع وإدارة واستخدام البيانات بسلاسة من مرحلة ما قبل المشروع إلى نهاية عمر المنشأة. وفي حال عدم تحديد متطلبات البيانات وعدم تنظيمها بالشكل المناسب , فإن الفائدة المرجوة من التوأم الرقمي تتضائل ولذلك من الضروري الاحتفاظ بسجل دقيق وحديث للبيانات حول كل مكون ومكون فرعي للمشروع المدروس خلال طيلة دورة حياته. ويتم ذلك عبر تقنية نمذجة معلومات البناء BIM . كما وتتطلب التوائم الرقمية جميع بيانات المشروع وتخزينها وربطها بمنصة سحابية، ومتابعة التحديث المتزامن.ويتم ذلك من خلال فكرة الخيط الذهبي للبيانات أو المعلومات. وبحسب وزارة الإسكان والمجتمعات والحكومة المحلية في المملكة يعرف "الخيط الذهبي "كأداة لاستخدام المعلومات المتصلة لتصميم الأصول المبنية وإنشائها وتشغيلها بأمان وفعالية. جاء في تقريرها "بناء مستقبل أكثر أمانا":(يتم تمرير خيط ذهبي قوي من المعلومات الأساسية إلى مالكي المباني المستقبليين لدعم إدارة أكثر فعالية للسلامة طوال دورة حياة المبنى)(UK Ministry of Housing, Communities, and Local Government,2016, Building a safer future)

ويسمى الخيط الذهبي بالخيط الرقمي لأنه يتم تخزين الخيط الذهبي للمعلومات كمعلومات رقمية منظمة تساهم بتتبع التوأم الرقمي وفقاً للمتطلبات وقرارات التصميم والبناء واختيار الكائنات وأنظمة التحكم التي تشكل الأصل المادي. ويضمن أن ما تم تصميمه قد تم فهمه بالكامل من قبل جميع أصحاب المصلحة. ويساهم بتقليل مخاطر السلامة والضمان والأداء وتقليل تكاليف التشغيل والصيانة على مدى عمر المنشىء.

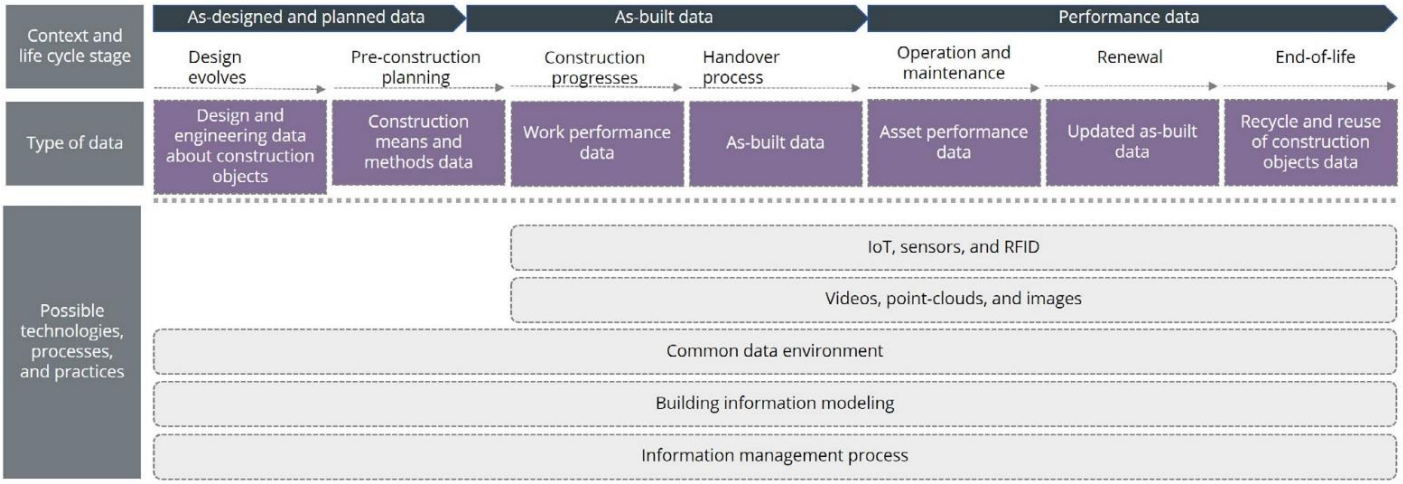
## أهمية البيانات والمعلومات وإدارة المعلومات Importance of data, information&infoManagement

تعتمد التوائم الرقمية على بيانات ومعلومات دقيقة وموثوقة حول الكيانات والعمليات في العالم الحقيقي على مدار دورة حياتها. فالبيانات هي المعطيات والحقائق غير المعالجة التي يتم جمعها ثم معالجتها وتحليلها وأستخلاص الروئ منها. تتصف هذه البيانات بتنوع مصادرها وإختلاف احجامها ومعطياتها وتوقيت إنشائها و طريقة استخدامها الامر الذي يزيد من التعقيد في عملية إدارتها وتنظيمها. ووفقاً لبعض التقديرات ، فإن 95٪ من البيانات التي يتم إنتاجها على مدار عمر أحد الأصول ، خاصة أثناء مرحلة الاستخدام لا يتم استخدامها. يسميها البعض "البيانات المظلمة "شهدت السنوات الأخيرة زيادة في الاهتمام والاهتمام باستخدام البيانات في البناء. و تلعب نمذجة معلومات البناء دورا في عملية إنشاء وإدارة المعلومات الرقمية حول المنشأة فهو يقدم آلية فعالة لإنشاء تمثيل افتراضي دقيق وعالي القيمة ويوفر أساساً لإطار عمل إدارة المعلومات للبيانات والمعلومات. كما وتعتبر بيئة البيانات المشتركة CDE هي المستودع الرقمي لهذه المعلومات التي يمكن استخدامها لجمع وإدارة ونشر الوثائق والنموذج الرسومية والبيانات غير الرسومية لفريق المشروع بأكمله. وبذلك يمكن اعتبار BIMو CDEجوهر التوائم الرقمية. جنباً إلى جنب مع عملية إدارة المعلومات ، يمكنهم المساعدة في تحديد وإنشاء وتخزين وتوصيل ومشاركة وتحديث وتأمين واستخدام البيانات المعلومات على مدار دورة حياة كائن أو أصل قيد الدراسة.

نظراً لأنه يُنظر إلى BIMعلى أنها مركزية لفكرة التوائم الرقمية ، فإن جميع التحديات التي يواجهها قطاع البناء في تنفيذ BIM قد يتم توريثها الى التوائم الرقمية. على سبيل المثال ، لا تزال التعريفات والمعايير والمصطلحات المستخدمة لوصف كائنات البناء أو الأصول أو شبكات الأصول تتطلب الكثير من الاهتمام. وبالمثل ، لا تتوفر معايير بيانات متفق عليها دولياً لتبسيط بيانات الأداء المضمنة في الوقت الفعلي المستلمة من أنظمة إدارة الأصول والمرافق والسحابة النقطية وأجهزة الاستشعار وأجهزة إنترنت الأشياء الأخرى. يرى الكثيرون أن هذا يمثل تحدياً في قطاع البناء وبطئ في تبني التوائم الرقمية.

يعرفّ مركز بريطانيا الرقمية CDBB إطار إدارة المعلومات بأنه آلية رسمية لضمان إتاحة المعلومات الصحيحة في الوقت المناسب ، تستُخدم أطر إدارة المعلومات لجمع البيانات وهيكلتها وتخزينها ومشاركتها وتحديثها واستخدامها لأداء وظائف الأعمال الأساسية عبر دورة حياة الأصول. نضجت عمليات إدارة المعلومات بسبب اعتماد وتنفيذ BIM وسلسلة معايير ISO19650 ذات الصلة من BIM.تعد هذه العملية المنظمة ضرورية أيضاً للتوائم الرقمية لأنها تدمج البيانات والمعلومات بشكل منهجي وتدمجها على الكائن أو الأصل بأكمله في نسخته الرقمية المتماثلة. يوضح الشكل 45 كيف تساهم عملية إدارة البيانات والمعلومات والمعلومات بشكل فعال في تطوير ونشر

واستخدام وتحديث التوأم الرقمي. من خلال ثلاث طبقات تمثل التقنيات والعمليات والممارسات ونوع البيانات والسياق ومرحلة دورة الحياة تصف أهمية البيانات والمعلومات وإدارة المعلومات. وبذلك نجد جوهر إدارة البيانات والمعلومات هو التكنولوجيا وعوامل التمكين العملية مثل إدارة المعلومات و BIMو CDE. ويجب أن يكون دور عملية إدارة المعلومات جزءاً لا يتجزأ من دورة حياة المشروع بأكملها.




الشكل (45) أهمية البيانات والمعلومات وإدارة المعلومات للتوأم الرقمي

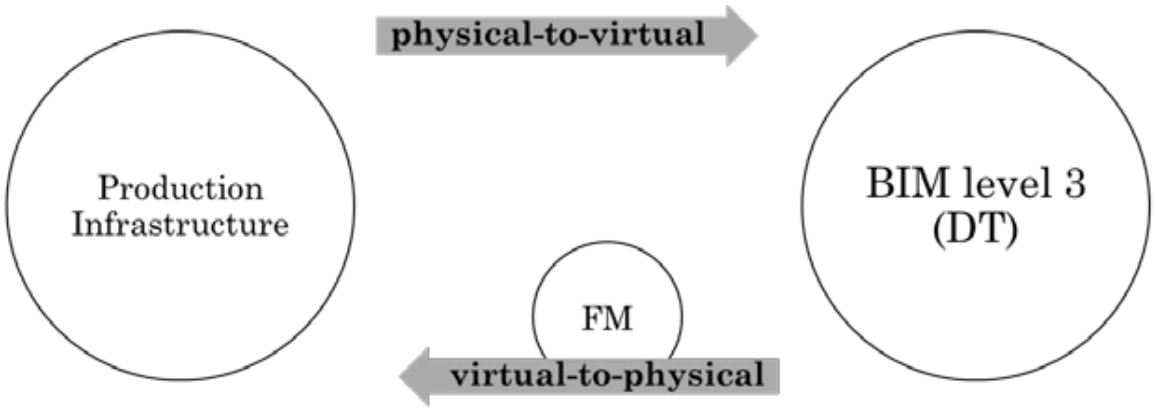
## تكامل تقنيات التوأم الرقمي ونمذجة معلومات البناء Integration of DT and BIM technologies

تعرف اللجنة الدولية لمعايير أنظمة البناء نمذجة معلومات البناء على انها التمثيل الرقمي للخصائص الوظيفية و الفيزيائية للمبنى. فهي منظومة متكاملة تشمل كل ما يتعلق بالمشروع و تضعه في قالب واحد . فهي تعتبر قاعدة بيانات مركزية تغذي جميع اطراف المشروع و تحتوي على كل مستندات المشروع سواء كانت مخططات او مواصفات او جداول كميات او الجدول الزمني لتنفيذ اعمال المشروع و توفر للمستخدم معلومات دقيقة و منسقة و متاحة خلال مراحل المشروع و جميع الوظائف اللازمة لاتمام المبنى. في تقنية BIM يتم إجراء الاختبارات الافتراضية على جميع مستويات الكائن: عنصر مادي - منتج بناء (Dinis, F.M,2020).

ويمكن إجراء التحقق من صحة الكائنات على أساس البيانات المفهرسة خلال مرحلة التصميم وعلى أساس اختبارات مواد البناء والعناصر الفردية للمباني والهياكل وأجزاء المباني - الأعمدة ، العتبات ، وما إلى ذلك أثناء عملية البناء. ولا يمكن الانتقال إلى الاختبار الشامل للبناء بالكامل إلا عند أنتهاء الاعمال وبدء مرحلة التشغيل، وبالتالي تم تأجيل التحقق من صحة نموذج BIM للمبنى أو الهيكل لفترة التشغيل والصيانة (O&M). إذا أخذنا في عين الاعتبار وبناءً على الخبرة المتراكمة لتقنية DT ، فيمكن افتراض أن محرك تطوير تقنيات BIM لمشاريع البناء يمكن أن يكون تراكم قاعدة بيانات اختبار ميداني أثناء البناء والتشغيل يتم عبراستخدام المستشعرات الذكية وخوارزميات المعالجة لهذه البيانات وتجميعها ثم استخدام الظلال الرقمية (DS-Digital Shadows) والبيانات الضخمة وصولا ألى التوئم الرقمي بمرحلة تشغيل المنشاة. إي أن تقنية BIM تركز على عمل المستخدمين أكثر من التركيز على الكائن نفسه (Jones, D,2020 ) .

يتم توضيح هذه الملاحظة بوضوح من خلال مثال تحليل تدفق المعلومات من العالم الافتراضي إلى العالم الحقيقي ومن المادي إلى الحقيقي والتي تم النظر فيها بالتفصيل من قبل مؤسس مفهوم التوأم الرقمي (Grieves,2012)

فإذا لم يتم تنظيم تدفق البيانات فيمكن الإشارةإلى نموذج المعلومات فقط على أنه النموذج الرقمي(DM-Digital model) وفي حال تنظيم تدفق البيانات المادي إلى الظاهري يصبح النموذج ظلاً رقمياً (DS-Digital Shadows) إذا كان كلا التدفقات مؤتمتة ، فيمكننا البدء في الحديث عن Digital Twin من خلال الاتصال الكامل ثنائي الاتجاه بين الكائنات الافتراضية والمادية. بالنسبة لنمذجة معلومات البناء إن تدفقات المعلومات هذه مهمة أيضاً إلا أن هذا التدفق يتم التحكم فيه أيضاً من قبل مدير المنشأة FM والذي يكشف عن جوهر التوجه من BIM إلى DT لحد ما في هذه الايام والمستقبل.




شكل(46) توجه البيانات بين العالم الافتراضي والمادي

يتوافق المستوى BIM Level3 الموضح في الشكل 46 مع الدرجة الأكثر اكتمالاً لتطوير نموذج BIM وفقاً لدليل نمذجة معلومات البناء (Eastman, 2011)

تعتبر المستويات السابقة من BIM-0وBIM-1و BIM-2 كالنموذج ثنائي الأبعادغير محدد المعلمات والنموذج ثلاثي الأبعاد بدون معلمات وبذلك يختلف المستوى الثالث BIM-3عن المستوى الثاني عن طريق إضافة معلمات من النموذج الافتراضي إلى المادي بشكل يشبه التحول من DS إلىDT . يعد تحديد العلاقات في تصنيفي BIMو DT أحد أدوات التكامل بينهما (Jones, D,2020 ) .

ويمكن تقييم العلاقة بين مستويات البيم مع مستويات التوأم الرقمي كخط متوازي بين المستويين الأول والثاني من BIM و النموذج الرقمي والظل الرقمي والتوأم الرقمي (Kritzinger, W,2018)

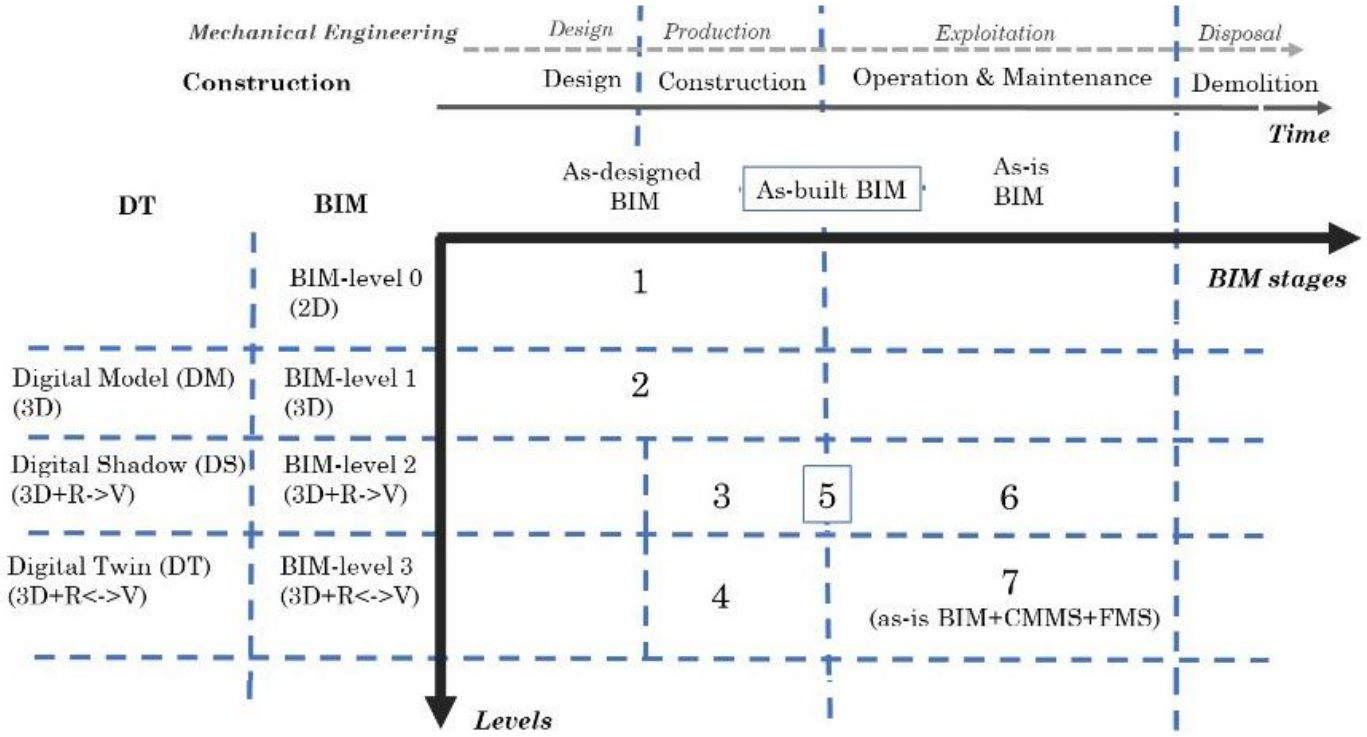
على الرغم من مسارات التطوير المختلفة لتقنيات BIM و DT ، هناك نقاط اتصال في تصنيف وصياغة مستويات التطوير ، حيث تهدف كلتا التقنيتين في النهاية إلى تكوين تناظرية رقمية (افتراضية) لكائن مادي من العالم الحقيقي وإقامة روابط بين الأشياء الحقيقية والمادية كما يوضح الشكل 47 وتم الإشارة إلى الكائنات الحقيقية والافتراضية بالحرفين R و V.

| Level | Digital Twin (DT) technology | Building Information Modelling (BIM) technology |
|---|---|---|
| 2D CAD drawings | | BIM-level 0 |
| 3D | Digital Model | BIM-level 1 |
| 3D+R→V | Digital Shadow | BIM-level 2 |
| 3D+R↔V | Digital Twin | BIM-level 3 |

شكل (47) مستويات تقنيات البيم والتوأم الرقمي

يتضح أن استخدام تقنيات CAD ثنائية الأبعاد (مستوى الصفر BIM) غير كافٍلتنظيم عملية إدارة كائنات البناء وتبدأ تقنيات BIM من المستويين الثاني والثالث بتدفق أحادي الاتجاه أو ثنائي الاتجاه للمعلومات بين الكائنات المادية والافتراضية لتحقيق أفضل إدارة للمنشأة.

ويوضح الشكل 48 العلاقة بين BIMوDT خلال دورة حياة المنشأة. فيشير الرقمين 1و2 لاستخدام رسومات ثنائية الأبعاد ونماذج ثلاثية الأبعاد بدون معلمات .ويشير الرقم 3 الى الضل الرقمي في حال تم تحديث نموذج BIMالرقمي المصمم وفقاً لبيانات البناء الفعلية .ويشير الرقمي 4 حالة من التوأم الرقمي إذا تم إدخال تعديلات على نتائج البيانات تؤثر على العمليات الحقيقية لبناء الأصل مادي . ويشير الرقم 5 لمفهوم تطابق النموذج مع العالم الحقيقي (وفقاً لنتائج المستشعرات والقياسات وما إلى ذلك) . ويشير الرقم 6 الظل الرقمي عندما يتم تحديث النموذج الرقمي للأصل بناءً على قراءات أجهزة الاستشعار. ويشير الرقم 7 لحالة التوأم الرقمي عندما يتم إنشاء القرارات واتخاذها حول التأثير على الكائن المادي بناءً على البيانات الافتراضية وهو التوأم الرقمي للمنشأة. ومن الجدير بالذكر ان هذا التصنيف يعتمد على درجة تطور صناعة البناء والامكانيات المستخدمة من كلا التقنيتين.

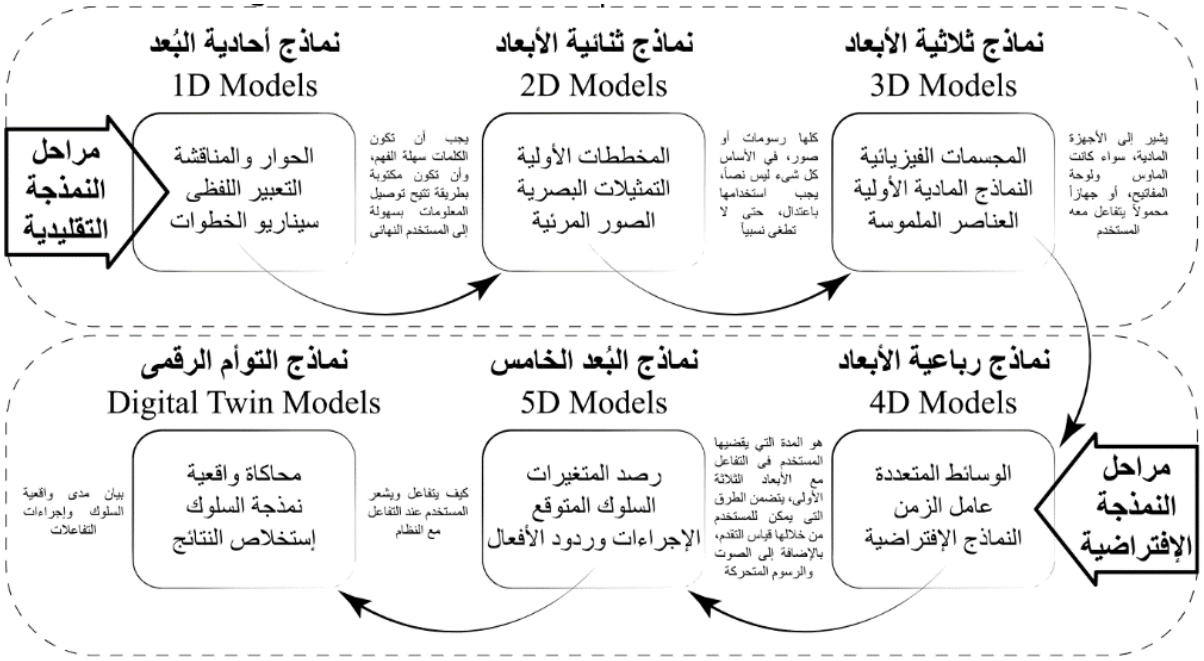



شكل (48) العلاقة بين تقنيات البيم والتوأم الرقمي خلال دورة حياة المنشأة

## التوأم الرقمي والنمذجة الإفتراضية Digital Twin and Visual Modeling :

مع 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 والأنظمة وإظهارها بالنماذج ثلاثية الأبعاد 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 المصمم بشكل كبير لتلبية رغبات المستخدم، مما كان له بالغ الأثر فى الإرتقاء بمستوى الأداء والواقعية.و لعمليات النمذجة والمحاكاة النصيب الأكبر فى بيان دقة خطوات عملية التصميم، بداية من مراحل عملية التصميم الأساسية وحتى التصنيع والإنتاج الفعلي، وبيان التنوع داخل عمليات النمذجة التقليدية بوجه عام، والمكونة من نمذجة ثنائية وثلاثية الأبعاد وكذلك تصميم سيناريو الاستخدام التى تهتم جميعها برصد توقعات المصمم والمستخدم معاً، وذلك للوصول إلى تصميم ذو جودة عالية، ويعزز مفهوم الإستعمالية. ولذلك لم تتوقف عمليات التطوير عند هذا الحد فقط، وإنما ظل التطور قائماً للوصول إلى أكثر من تمثيل المجسمات بشكل ثلاثى الأبعاد ودخول عامل الزمن والذى يتمثل في البعد الرابع 4D وتم الإنتقال إلى مستوى جديد من محاولة لمحاكاة البشر أثناء أداء أنشطتهم داخل بيئات العمل المختلفة (Dawood, 2017) والتفاعل مع عناصرها فى وقت محدد. ومع التطورات التقنية في 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 السلوكيةBehavioral 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 وهذا النوع من النمذجة خاص بالبُعد الخامس 5Dويوضح نمذجة سلوك المنتجات Product Behavior ويوضح شكل (49 ) الأبعاد المختلفة لرصد عمليات النمذجة م النمذجة

التقليدية وصولا الى النمذجة الإفتراضية التي بمثابة الحل الأمثل لنمذجة العديد من المنتجات التفاعلية والروبوت، والتنبؤ بالكثير من السيناريوهات المستقبلية لتفاعل البشر مع عناصر بيئة العمل بكافة أنواعها.



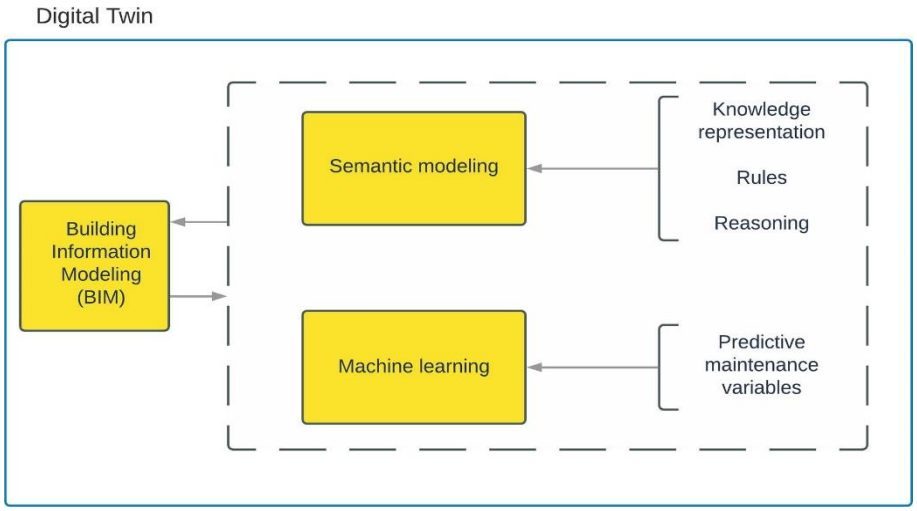

شكل (49) النمذجة الافتراضية والتوأم الرقمي

## التوأم الرقمي والبيم وتكامل البيانات BIM,DT and Data Integration :

نظرا لحداثة التوأم الرقمي في الأبحاث فإن الاستخدام الاوضح لتبادل البيانات يظهرمن خلال إدارة المرافق وصيانتها حيث تعد قابلية التشغيل البيني للبيانات ضرورية لنجاح مشاريع البناء. فلا يمكن أن تنجح صيانة المباني والعمليات اليومية إلا إذا كانت مدعومة بمعلومات دقيقة وفي الوقت المناسب. ففي إدارة المرافقFM يتم قضاء 80 بالمائة من الوقت في البحث عن المعلومات مفيدة (B. Atkin,2021) حيث لا تزال البيانات تنتقل على نطاق واسع من خلال أنظمة صيانة المباني مثل أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة (CMMS/computerized maintenance management systems) باستخدام التقارير الورقية وجداول بيانات Excel .قد تؤدي طرق النقل التقليدية إلى تأخير الخدمات وهدر بإجراءات الصيانة (D. Sapp,2017)

تم تطوير مجموعة متنوعة من برامج إدارة المرافق (كـ EcoDomus و ARCHI BUS وIBM Tririga و BIM 360) لتتبع أنشطة الصيانة وأوامر العمل وعقود الخدمة لتلبية احتياجات إدارة المرافق وأعمال الصيانة. وتتعتبر لوحدها غيرقادرة على تلبية متطلبات الصناعة (McGraw-Hill,2010)

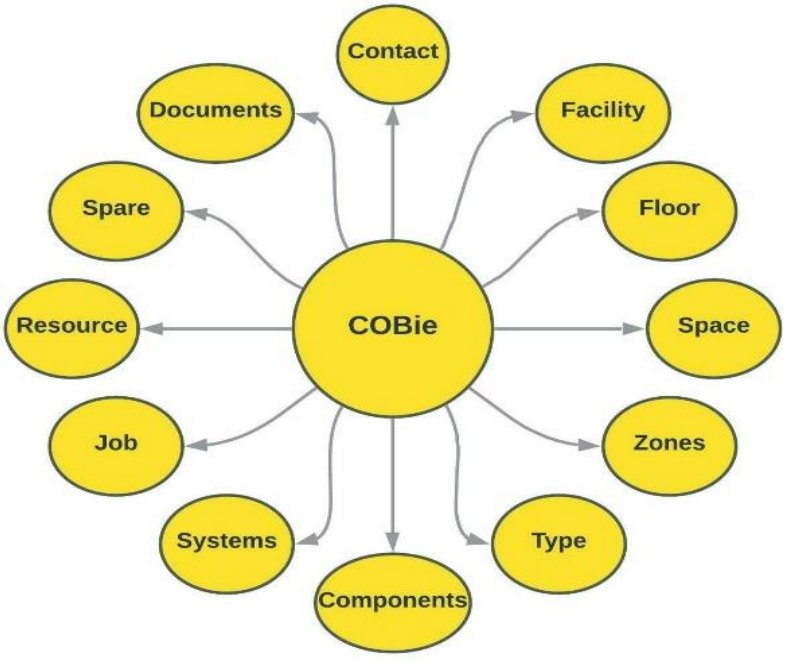
تعتبر أنظمة CMMS بيئة جيدة لنظام إدارة المرافق وبالرغم من مميزاتها لكنها تعتبر مكلفة (P. Parsanezhad,2014) إضافة لان مرحلة تطابق المبنى في البيم(As-Build) المدمج بمستوى التفاصيل LODمن 400إلى 500 يتطلب نظام CMMS ديناميكياً يتضمن الصيانة التنبؤية (H. Alavi,2019.)قد يساهم BIM في إدارة المرافق من خلال العمل كمصدرومستودع للمعلومات للمساعدة في التخطيط وإدارة عمليات صيانة المباني في كل من الهياكل الجديدة والقائمة. (Ding,2009)




شكل (50) نموذج للبيم والتوأم الرقمي للصيانة التنبؤية

يستخدم كل من COBie و IFC لتبادل البيانات خلال بيئة العمل في البيم ويشير الباحثون لتحديات كبيرة لمعالجة قضايا تبادل البيانات وقابلية التشغيل البيني وتطوير تقنيات لدمج البيانات خلال نظام التوأم الرقمي . أظهرت دراسة حالة دار أوبرا سيدني كيف يمكن لأنظمة إدارة المرافق (TRIM,Mainpac,HARDEST) أن توفر اتساق بيانات إدارة المرافق وتبادل المعلومات من خلال IFC والبيم.(L.Sabol,2008)

تعد COBie (Construction Operations Building Information Exchange)(تبادل معلومات عمليات البناء ) وIFC (Industrial Foundation Classes) (المواصفات التأسيسية بالصناعة) مواصفات لإلتقاط وتبادل ونقل المعلومات مفتوحة المصدر مدى الحياة (P. Teicholz,2013) يتم تخزين المعلومات في ملفات IFC حول مكونات المبنى وعلاقاتها المتبادلة. حيث تشكل فئات الكائنات والعلاقات والموارد بنية ملف IFC ويتم تخزين معلومات دلالية مختلفة كالطول والارتفاع واي معلومات إضافية أخرى مثل تكلفة عنصرالبناء والجدول الزمني (M.A. Hassanain,2001) و توفر COBie معلومات عن تشغيل وصيانة وإدارة المشاريع لمديري المرافق (thenbs.com) ومعلومات مثل المعلومات المكانية وتفاصيل الأصول والوثائق و معلومات رسومية والعديد من الميزات أخرى.




شكل (51) مكونات COBie

## خوارزميات التعلم الالي Machine learning Algorithms :

تعريف الخوارزميات (Algorithm) وهي مجموعة من الخطوات الرياضية والمنطقية المتسلسلة اللازمة لحل مشكلة ما .وسميت الخوارزمية بهذا الاسم نسبة إلى العالم أبو جعفر محمد بن موسى الخوارزمي الذي ابتكرها في القرن التاسع الميلادي .تتميز الخوارزميات بالقدرة على وصف خطوات الحل بشكل واضح ومحدد ، وعدم اعتمادها على أسلوب محدد في المعالجة ، واستخدامها لحل جميع المشاكل المشابهة ، وسهولة فهم خطوات حل المشكلة واستيعابه. وفي الأصل كان معناها يقتصر على ثلاث تراكيب لبناء البرامج وكتابة الخوارزميات والفكرة ، فأى برنامج أو خوارزمية يتكون من التراكيب الثلاثة التالية :

التسلسل Sequence : حيث تكون الخوارزميات عبارة عن مجموعة من العمليات المتسلسلة .

الاختيار Selection : تحتاج بعض المشكلات إلى اختبار بعض الشروط وتنظر لنتيجة الإختبار. فإذا كانت صحيحة تتبع مسار يحوى تعليمات متسلسلة ، واذا كانت خاطئة تتبع مسار آخر مختلف من التعليمات ، وهذه الطريقة تسمى باتخاذ القرار أو إختيار الأفضل .

التكرار Repetition : عند حل بعض المشاكل لابد من إعادة نفس تسلسل الخطوات عدد من المرات ، وهذا ما يطلق عليه التكرار، وباستخدام تلك التراكيب يسهل فهم الخوارزميات وإكتشاف الأخطاء الواردة بها وتغييرها .(شريف 2004)

توجد مجموعة من الخوارزميات المتعلقة بالذكاء الاصطناعي كالخوارزميات الجينية والشبكات العصبية والمنطق الضبابي والمجموعات الضبابية والتعلم الآلي (Darko,2020)

تعتمد معظم تطبيقات الذكاء الاصطناعي في صناعة البناء على الخوارزميات المتعلقة برؤية الكمبيوتر(Computer Vision). تُستخدم منهجيات الرؤية والواقع الافتراضي على نطاق واسع في سياق نمذجة معلومات البناء والبناء الذكي والمدن الذكية (Luckey,2021) حيث تُستخدم الشبكة العصبية المتكررة (RNN) لتصنيف التعرف على النشاط البشري (HAR) بدقة 80-90٪ (Slaton,2020) طور العلماء مجموعة واسعة من تطبيقات التعلم العميق (DL) لمعالجة فحص الهيكل الآلي ومراقبة السلامة في الموقع ، مثل تحديد العيوب الهيكلية وأنماط التدهور وسلوكيات القوى العاملة غير الآمنة وعوامل الخطر الكامنة ومن تطبيقاته الفحص القائم على الصور للعيوب الملموسة حيث يمكن أن تصل دقة التصنيف للنتائج إلى 95.6٪ (Chow,2020)

تعتبر الشبكات ANN مناسبة للغاية للتعامل مع مشكلات التصنيع المستمر التي يصعب حلها بالطرق الرياضية والنمذجة التقليدية وقد تم استخدامها في صناعة العمارة والهندسة والبناء منذ أوائل التسعينيات . (Lesniak,2018)

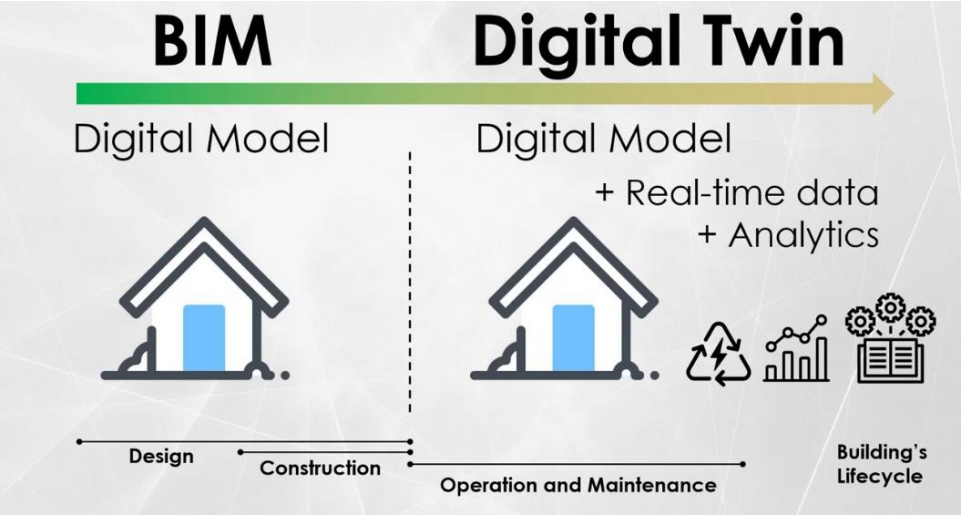
فهي تلعب دورًا في التنبؤ والتحسين والتصنيف واتخاذ القرار في إدارة المشاريع و ساعدت بنجاح في حل مشاكل محددة طوال دورة حياة المشروع من مرحلة التخطيط إلى مرحلة التشغيل والصيانة.(Darko,2020 )

تعتبر خوارزمية Support Vector Machine SVM طريقة جديدة للتعلم الآلي يجمع بين النظرية الإحصائية والتعليم الموجه طوِرت من قبل الباحث فابنيك Vapnik عام 1998 وأستخدمت لأول مرة لإنشاء نموذج تشخيص أعطال النظام الميكانيكي بواسطة Jack and Nandi لتحقيق تصنيف خطأ محمل التدحرج.(Tian,2011 )

كما و تستخدم خوارزميات الكشف عن الأخطاء وتشخيصها (Fault detection and diagnosis FDD) بيانات تشغيلية للبناء لتحديد وجود الأعطال وعزل أسبابها الجذرية.من خلال تقنيات مثل جهاز الكشف عن أعطال القوس الكهربائي (AFDD) وهي تعتمد على التحليلات لتحسين النماذج المطورة لتحديد الأخطاء وحسابها ،وتستخدم على أجزاء من المبنى كأنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) وعلى البنية التحتية لمعالجة كفاءة الطاقة وتحسينها وتقليل الهدر.

## البيم والتوأم الرقمي في قطاع البناء BIM & Digital Twins in Building Sector :

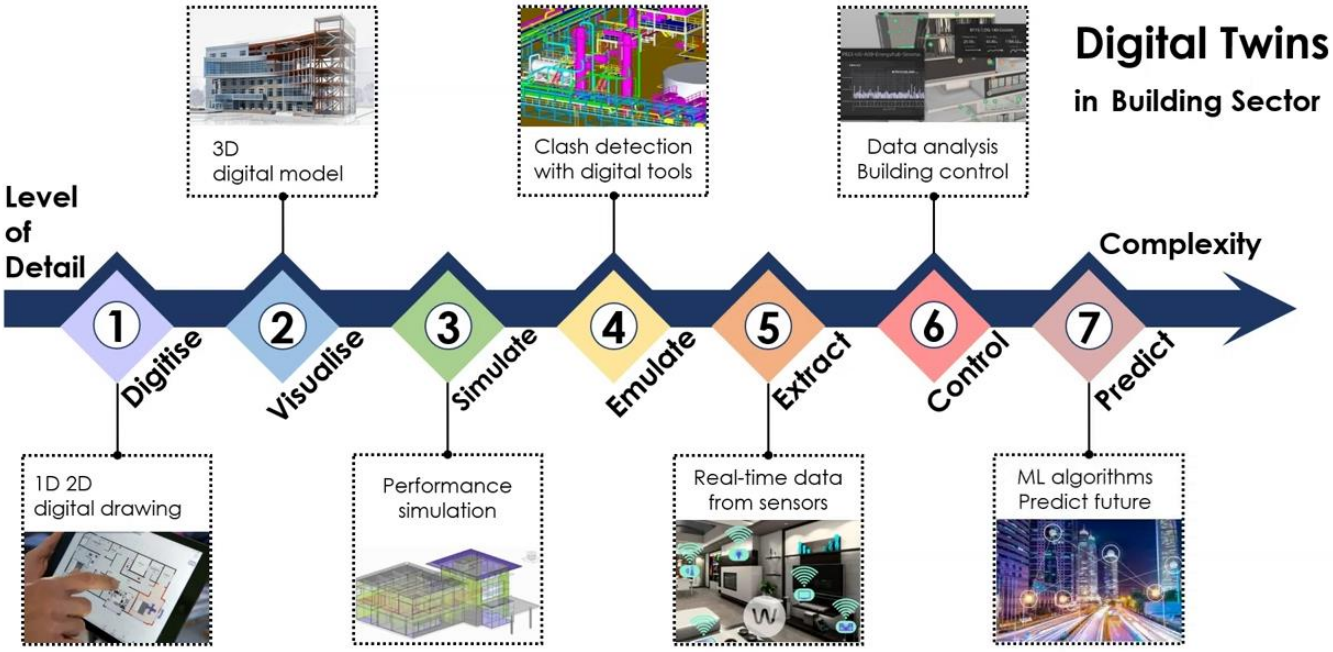
جميع المباني لها دورة حياة. يبدأ الأمر بفكرة من قبل المالك أو صاحب العمل حول كيفية تحويل مبنى قائم أو إنشاء مبنى جديد. وهنا تبدأ دورة الحياة ويبدء المهندسين مرحلة التصميم المفاهيمي والهندسي ثم تنتقل إلى مرحلة البناء ، وبعد ذلك تمتد مرحلة التشغيل و إدارة المنشأ لعدة سنوات وإعادة ترميم طفيفة للمبنى ، وبمرحلة لاحقة يقرر المالك لفكرة جديدة وتشرع في إعادة تشكيل أو هدم المبنى القائم وتبدأ الدورة من جديد.




شكل (52) رسم توضيحي للبيم والتوأم الرقمي

أن وجود توأم رقمي لجميع خطوات دورة حياة المبنى يفتح بعض الإمكانات القوية. تاريخيا كانت هناك تمثيلات رقمية للمبنى ، ولكن عادةً ما تتجاهل كل مرحلة من دورة حياة المبنى التمثيل الرقمي من المرحلة السابقة ، لذلك لم يتم استخدام البيانات من مرحلة التصميم في مرحلة التشغيل ، ولم يتم الاحتفاظ ببيانات التشغيل محدثة في مرحلة العمليات. هذا يعني أنه لم يكن أي من التمثيلات الرقمية للمبنى مكتملاً أو محدثاً ، وبالتالي لم يكن أبداً بنفس القوة التي يمكن أن يكون عليها التوأم الرقمي المثالي.

ويفضل أن يولد التوأم الرقمي أولاً قبل نظيره المادي بوقت طويل نسبيا حيث يقوم المصمم بالخطوة الأولى 1 بإنشاء النسخة التصميمية الأولى(2D- digital drawing) بشكلها الرقمي (Digitize)،ثم الخطوة الثانية (Visualize) التصور الرقمي عبرتشكيل النموذج ثلاثي الابعاد(3D-digital model) , ثم الخطوة الرابعة (Simulate) عملية محاكاة الأداء/التنفيذ ( Performance simulation) ثم الخطوة الخامسة (Emulate) عملية محاكاة الصدامات (Clash detection) ثم الخطوة السادسة (Extract) فيقوم التوأم بإستخراج البيانات من اجهزة الإستشعار بالوقت الفعلي (Real-time data from sensors) تليها الخطوة السابعة (Control) التحكم ويقوم فيها التوأم بتشخيص وتحليل البيانات والتحكم بها (Data analysis Building control) وتأتي الخطوة الثامنة (Predict) بتوقع وأستنتاج الأفضل للعمليات عبر خوارزميات الذكاء الصنعي وتعلم الألة (ML algorithms Predict future) ومع تغير التصميم يقوم التوأم الرقمي بدوره بتحديث نفسه وإعادة حساب وتقييم الخصائص الفيزيائية للمبنى ، مثل نمذجة تدفق الهواء أو استخدام الطاقة ، أو يمكنه تقييم تأثير المبنى على تدفق حركة المرور في الحي. قد يمر التوأم الرقمي بآلاف التغييرات والملايين من عمليات المحاكاة قبل أن يتم استخدامه في النهاية لتوجيه بناء شقيقه المادي.




شكل (53) رسم توضيحي خطوات عمل التوأم الرقمي في قطاع البناء

وفي حالة المباني القائمة يولد التوأم الرقمي بشكل جيد بعد إنشاء النسخة المادية ووضعها قيد الاستخدام. في هذه الحالة يكون الإصدار الأول من التوأم الرقمي مقارب نسبيا للتوائم المادية ، وبمرور الوقت وزيادة القياسات والبيانات عبر تقنيات المسح او الحصول عليها من خلال دمج أجهزة استشعار إضافية في الوقت الفعلي ، تصبح الإصدارات الرقمية والمادية أكثر تشابهاً بالتفصيل والخصائص.

وبذلك نجد أن التوأم الرقمي يعمل من خلال دمج بيانات نظام المبنى، وأجهزة الاستشعار، وإعدادات المرافق مع نماذج رقمية ذكية متعددة الأبعاد. ليتم إنشاء تمثيل رقمي للأصول المادية كنُسخ مكررة ويتضح لنا الية تشكيل التوأم عبر المراحل التالية:

**جمع البيانات Data collection :**

لإنشاء توأم رقمي لأي أصل مادي، يقوم المهندسون بجمع وتوليف البيانات من مصادر مختلفة بما في ذلك البيانات المادية وبيانات التصنيع والبيانات التشغيلية والرؤى من برامج التحليلات. يتم دمج كل هذه المعلومات جنبا إلى جنب مع خوارزميات الذكاء الاصطناعي في نموذج افتراضي . يساعد التدفق المتسق للبيانات في الحصول على أفضل تحليل ممكن ورؤى فيما يتعلق بالأصل مما يساعد في تحسين نتائج الأعمال.

**النمذجة Modeling :**

بإستخدام البيانات المجمعة وبرامج النمذجة، ينشئ المهندسون نموذجا رياضيا يعكس بدقة جميع تفاصيل نظيره في العالم الحقيقي. النموذج له مظهر مماثل للمنشأة، ويتصرف بنفس الطريقة التي يتصرف بها الكائن الأصلي.

**الاندماج Integration :**

يتم دمج الأصول الخاصة مع نموذجها الرقمي لتمكين المراقبة المستمرة في الوقت الفعلي. للقيام بذلك، تم تجهيز الأصل بأجهزة استشعار وأجهزة تتبع يمكنها نقل البيانات إلى منصة إنترنت الأشياء حيث سيتم تصورها وتحليلها. يتم تحميل البيانات إلى منصة إنترنت الأشياء القائمة على السحابة للمعالجة، حيث تقوم خوارزميات الذكاء الاصطناعي أو تعلم الآلة بتحليلها وتحديد السيناريوهات المحتملة؛ وبالتالي نحصل على نموذج رقمي مزدوج ومجموعة توصيات حول كيفية تحسين النتائج(Lee, E. A. 2008).

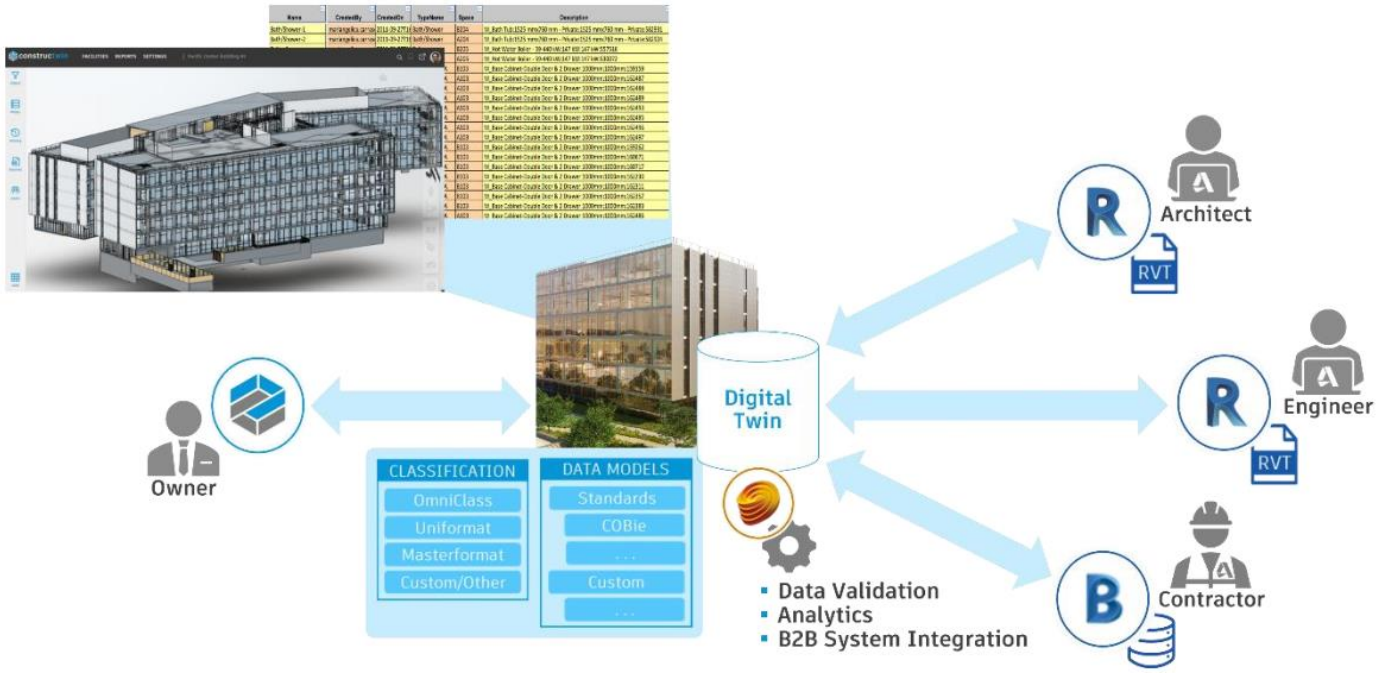
## منصات التوأم الرقمي Digital Twin Platform :

تشكل منصات التوأم الرقمي النظام الأساسي لتقنية التوام الرقمي حيث تعرض إمكانية إنشاء رسوم بيانية مزدوجة تعتمد على نماذج رقمية لبيئات بأكملها سواء مباني أو مدينة أو مصانع ومزارع وشبكات طاقة وسكك حديدية وملاعب وأكثر من ذلك . ويمكن استخدام تلك النماذج الرقمية لاكتساب رؤى تؤدي إلى الحصول على منتجات أفضل وعمليات محسّنة وتكاليف أقل وخدمات للعملاء. تسمح المنصة بالتواصل مع إجهزة الذكاء الصنعي وبإرسال البيانات المباشرة وتلقيها في الوقت الفعلي ,في تشكل بيئة رقمية للتوأم الرقمي وتعرض كافة المتغيرات والنتائج المتعلقة بالاصول عبر لوحة قيادة شاملة تتضمن متصفح للعناصر المكون منها التوأم وحالة العنصر إضافى الى مقترحات وتفاصيل بيانية إخرى . توجد مجموعة من الشركات التي تتيح هذه الخدمات عبر الانترنت ومنها شركة مايكروسوفت ومنصتها Azure وشركة سيمينس وشركة جينرال الكتريك و العديد غيرها ومن الأمثلة المستخدمة الان منصة Autodesk Tandem عبارة عن منصة رقمية مزدوجة قائمة على السحابة؛ تسمح لمشروع بناء بالبدء رقميا والاستمرار رقميا، من التصميم إلى البناء إلى العمليات، وتحويل البيانات المجمعة الي مؤشرات يمكن اتخاذ القرارات من خلالها بسهولة (Khaled,2020)

يقوم المنصة بتسخير بيانات نمذجة معلومات البناء التي تم إنشاؤها طوال دورة حياة المشروع الضرورية لإنشاء توأم رقمي حقيقي للأصل.

**خصائص منصة التوام الرقمي:**

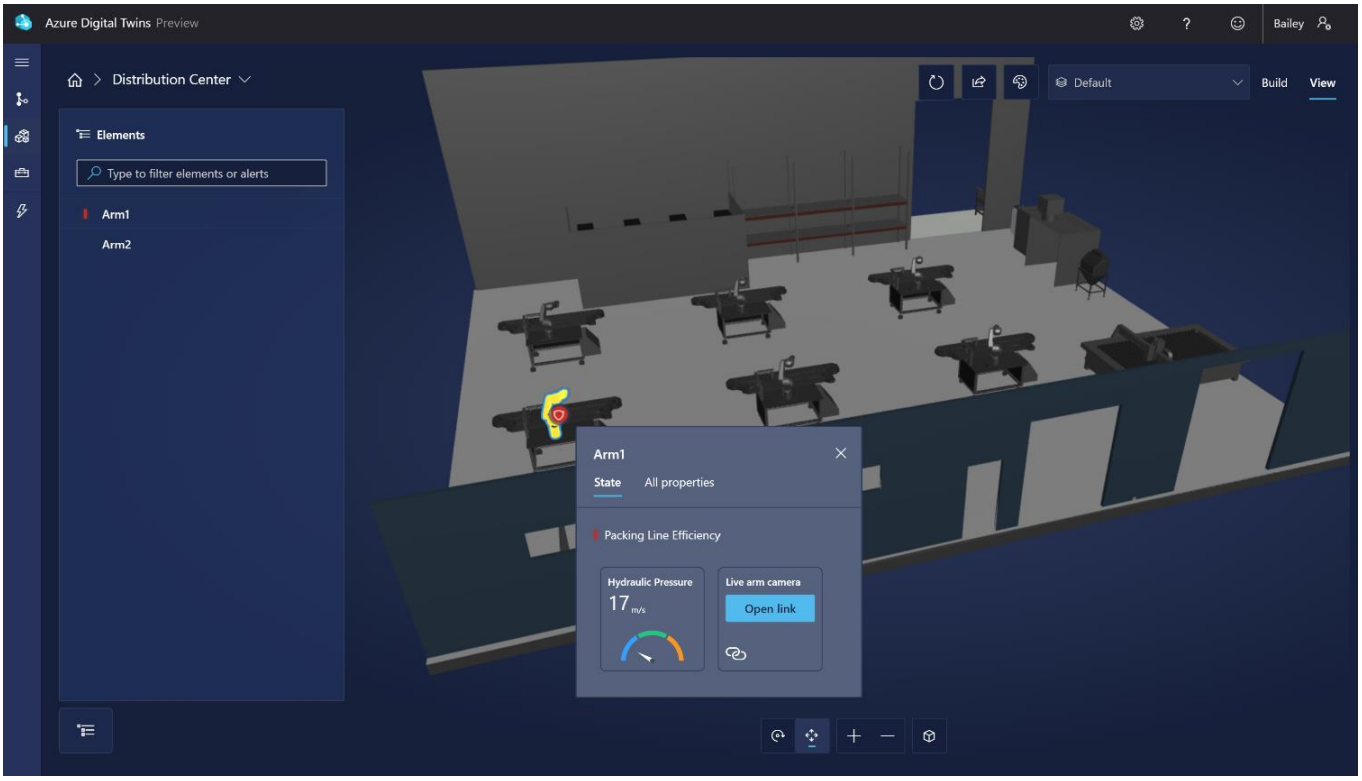
- تصميم بيئة التوأم الرقمي بطريقة قابلة للتطوير وآمنة.
- توصيل الأصول مثل أجهزة الذكاء الصنعي وأنظمة المبنى بالمنصة الرقمية.
- جمع المعلومات عن بيئة العمل المباشر لاستخراج رؤى في الوقت الحقيقي .
- عرض البيانات بشكل تحاليل وجداول مرئة و نماذج ثلاثية الأبعاد توضح حالة الأصول والبيانات المتعلقة بها.
- تخزين البيانات الحالية والتاريخية بشكل دائم وسهولة الوصول اليها.
- معالجة وتحليل البيانات المخزنة والحالية عبر خوارميات مختلفة.
- تطبيق تقنيات تعلم الألة لتتبع الماضي بشكل أفضل والتنبؤ بالمستقبل.
- سهولة الوصول لكافة أطراف المشروع للبيانات .




شكل (54) نموذج توضيحي لخصائص منصة التوأم الرقمي

**الاستخدامات المتعددة لمنصات التوام الرقمي :**

- تصور كامل لمبنى أو مدينة او منشأة يوضح كافة الطبقات والخصائص المختلفة له كبيانات إشغال الغرفة واستخدامها وبيانات التدفئة والتهوية وتكييف الهواء والانبعاثات الغازية وغيرها وتحليل جودة الهواء الخارجي في المدن ومستوى التلوث والطقس المحلي وسرعة الرياح وغيرها .
- على صعيد الطاقة عرض استهلاك الطاقة واستهلاك المياه والكهرباء وكفاءة الطاقة الحالية للمبنى وتشخيص حالة شبكة المياه، شبكة الصرف الصحي وغيرها
- تحليل مخاطر البناء والبيانات المرتبطة بها ، مثلا موشرات التلف او التأكل ومؤشر جودة الهواء الداخلي ، وما إلى ذلك.
- البيانات التي ينشئها المستخدمون،كملاحظات المستأجرين ، وإدارة القوى العاملة ، وما إلى ذلك.
- تحليل حالة الحركة وتدفق حركة المرور للأشخاص و السيارات وبيانات موقف السيارات.




شكل (55) نموذج توضيحي لوحة قيادة منصة التوأم الرقمي

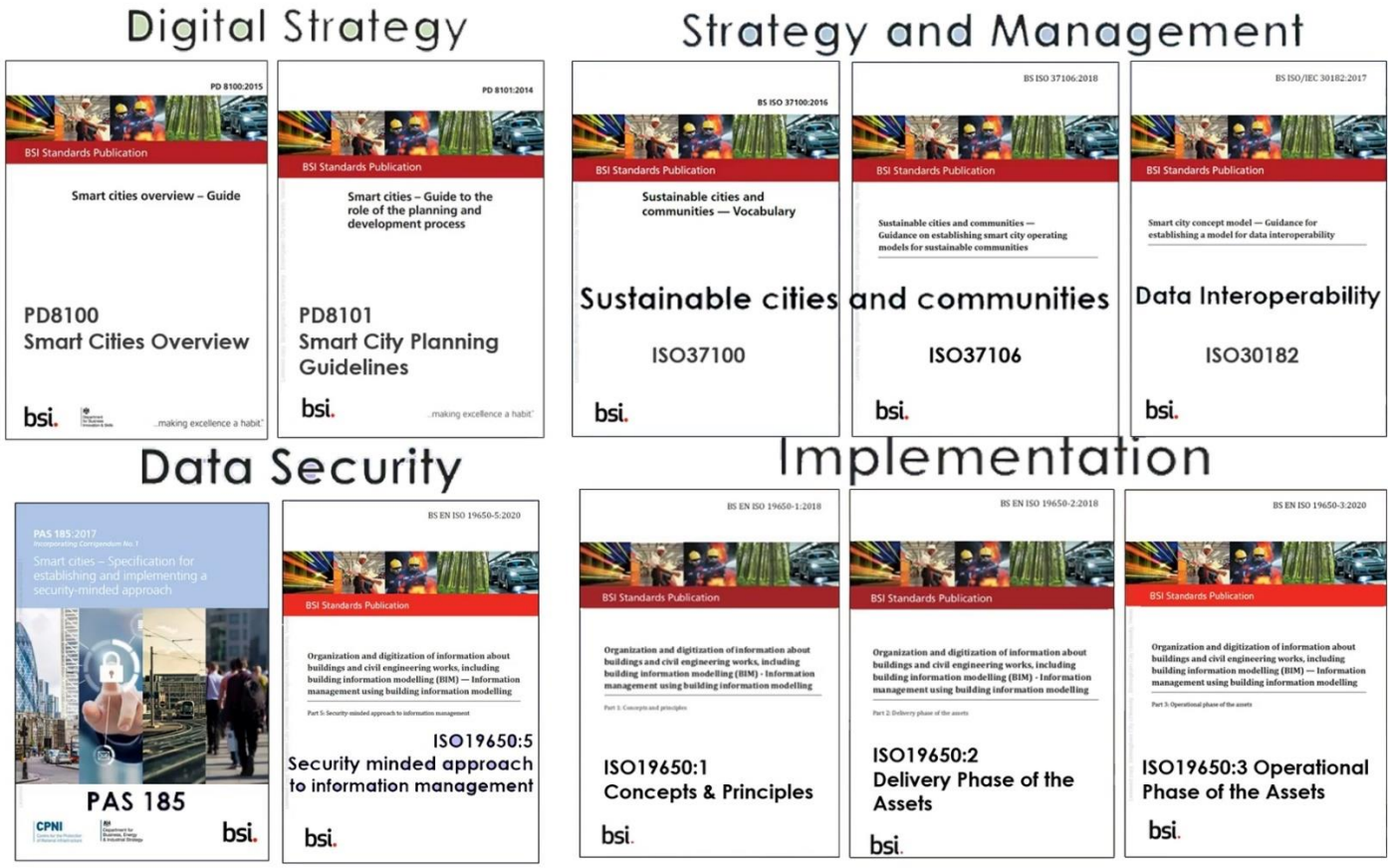
## معايير التوأم الرقمي Digital Twin Standards

في صناعة البناء يوجد نقص في المعلومات المعيارية عالية الجودة التي تتبع بروتوكولات وعمليات تبادل المعلومات المتفق عليها للتوأم الرقمي على عكس نمذجة معلومات البناء التي تم تطوير العمليات القياسية الخاصة بها في السنوات الأخيرة ، ولا سيما PAS 1192و ISO 19650 فالتوأم الرقمي لم يتم وصفها على أنها كيانات رقمية وظيفية وفقاً للمواصفات القياسية الخاصة بصناعة البناء . في حين انه خلال معايير قطاع التصنيع نجد بأن سلسلة معايير ISO 23247 التي نشُرت في عام 2021 قد وضعت إطاراً يدعم تطوير التوأم الرقمي (ISO 23247-1)

فالتوأم الرقمي بحاجة لمجموعة مشتركة من القواعد الأساسية والمواصفات لتحديد الارتباط والتوافق بين النموذج الرقمي وأنظمة البناء الذكية (أجهزة الاستشعار الذكية) المستخدمة لمزامنة البيانات في الوقت الفعلي. في حين أن ISO 19650-1 أسس لمفهوم حاوية المعلومات (information container) على أنها "مجموعة مسماة ثابتة من المعلومات يمكن استرجاعها من داخل ملف أو نظاماً و تسلسل هرمي لتخزين التطبيقات".و يمكن أن تتضمن هذه الحاويات بيانات أجهزة الاستشعار وربطها بشكل صريح بمكونات النموذج ،

وبالتالي ضمان توافق التوأم الرقمي مع أدوات برامج BIM والمواصفات الفنية المستخدمة في جميع أنحاء العالم ، والتي تفرضها التشريعات الوطنية والإقليمية. وقد أظهرت بعض الدراسات امكانية اعتباره سلسلة لتبادل البيانات بين البيم والتوأم الرقمي. حيث قدم Tagliabue et al مصطلح اسموه التوأم الرقمي المستدام (SDT) كتقييم ديناميكي للإستدامة تم تصميمه ليكون متوافق مع ISO 19650-3 كما وقدم تشاو وآخرون إطار عمل للتوأم الرقمي لإدارة المرافق مستخدما أدارة المعلومات وفقا لسلسلة ISO 19650.

وبمنظور أحر يمكن لبعض المعايير المتعلقة بالبيانات والمتضمنة داخل مجموعة المعاييرالقياسية ان تشكل بيئة لمعايير التوأم الرقمية ويذكر منها معايير الإستراتيجية الرقمية (Digital Strategy) التي تتضمن معاييرالمدينة الذكية (PD8100/PD8101) ومعايير استراتيجية الإدارةو البيانات (strategy management and data) ومعايير تتعلق بأمن البيانات (data security) والمرتبطة بالتوأم الرقمي ومعاييرنمذجة معلومات البناء .




شكل (56) نماذج لمعايير قياسية تتضمن معايير للتوأم الرقمي

## الفرق بين التوأم الرقمي والانظمة الاخرى Difference Between (DT) & Other Systems :

**نمذجة معلومات البناء والتوأم الرقمي**

تستخدم نمذجة معلومات البناء بشكل واسع من قبل المهندسين فهي تحتوي على بيانات مفصلة للبناء ولكن لا يتم تحديثها بانتظام لتعكس أحداث العالم الحقيقي. نمذجة معلومات البناء ليست توأم رقمي ولكنها مجموعة فرعية من التوائم الرقمي مجمدة تستخدم في الوقت المناسب عادةً أثناء مرحلة التصميم والبناء (R. Bortolini,2020)

فهي أداة مضبوطة لتحقيق المزيد من الدقة في التصميم والتعاون والتصور والتكلفة ومراحل تسلسل البناء في عمر المبنى. لم يتم تصميم البيم لمراحل التشغيل والصيانة فهو ليس مصما لاستيعاب أو اتخاذ إجراء بشأن كميات هائلة من بيانات إنترنت الأشياء و لا يوجد فيه مزامنة في الوقت الحقيقي. الغرض الأساسي منه هو تصميم وبناء المبنى وبعد التشييد فإنه يعمل على توفير سجل رقمي للمنشأ .(Knapp, G. L.,2017)

تختلف التوأم الرقمية عن نمذجة معلومات البناء في أن البيم هو ملف معالجة والتوأم الرقمية هي تمثيلات افتراضية في الوقت الفعلي. حيث يتضمن البيم توليد وإدارة النسخ الرقمية للخصائص الفيزيائية والوظيفية للأماكن ، في حين أن التوأم الرقمية تكون بمثابة مستودعات لبيانات البيم بالإضافة إلى مجموعة أوسع بكثير من أنظمة أتمتة البناء وشبكات الاستشعار.

يركز البيم على المباني، وليس على الأشخاص أو العمليات. يمكن أعتبار البيم برنامج إدخال مفيد للتوأم الرقمي يوفرسجل أصول رقمي دقيق وبيانات موقع، وهو نقطة انطلاق فعالة لإنشاء توأم رقمي. .و يتوقع العديد من الخبراء أن التوائم الرقمية و البيم ستندمج بشكل فعال في مجموعة واحدة من الأنظمة.

**نظام إدارة المباني (BMS) والتوائم الرقمية**

نظام إدارة مبنى هو الأكثر شيوعا في ادارة المباني. وظيفته الأساسية هي إدارة البيئة داخل المبنى والتحكم بخصائصها كالحرارة وغيرها إضافة للسيطرة على البيئة الداخلية للمبنى كبوابات الدخول والخروج و أنظمة الحماية الأخرى مثل كاميرات المراقبة CCTV وأجهزة كشف الحركة وأنظمة إنذار الحريق والمصاعد فإذا تم الكشف عن حريق فالنظام يمكن أن يغلق الصمامات في نظام التهوية لمنع انتشار الدخان ويرسل جميع المصاعد إلى الطابق الأرضي ويوقفهم لمنع الناس من إستخدامهم في حال حدوث حريق. وكل ذلك يعتمد على البرمجة المسبقة (M. Schluse,2018) .

كما وتستطيع أنظمة إدارة المبنى الحالية تحديد الموقع أو المصدر في حالة الطوارئ، إلا أنها تفتقر إلى القدرة في إخطار المستخدمين وتوجيههم بأمان إلى مناطق آمنة. بينما يوفر التوأم الرقمي عرضا في الوقت الفعلي لما يحدث داخل المبنى ويمكنه إخطار المستخدمين بأمان وتوجيههم الي مسارات الهروب أو اماكن امنة لتأمين المواقع ووضع السناريوهات بناء على العدد المتواجد بالمكان وبالمثل، في حالة الهجوم على المكان، يمكن أن يحدد التوأم المصدر الدقيق للدخول والمناطق الآمنة عن طريق إغلاق الأبواب والمصاعد وهذه الإجراءات لا يمكن أن يقوم بها نظام إدارة المبنى (Wildfire C,2018).

وهي الاجراءات التي تعتمد على التفاعل المباشر وجمع البيانات في الوقت الحقيقي وتحليلها لحظيا لاتخاذ القرار المناسب من خلال انظمة الذكاء الاصطناعي وانظمة تعلم الالة والتي يعتمد عليها التوائم الرقمية في اتخاذ القرارات.

## استخدامات التوأم الرقمي في قطاع التشييد Digital Twins in AEC :

التوأم الرقمي في البناء والهندسة المعمارية هو نسخة متماثلة ديناميكية ومحدثة من أصل مادي أو مجموعة من الأصول – سواء كانت مبنى أو مدينة أو بنية تحتية - تجمع بين التصميم والبناء وبيانات التشغيل في الوقت الفعلي. تعمل التوائم الرقمية على محاكاة القرارات والتنبؤ بها وإبلاغها. يمكن اعتبار التوائم الرقمية نسخة محسنة من نمذجة معلومات البناء تستخدم أجهزة الاستشعار والطائرات بدون طيار والمدخلات الأخرى لجمع المعلومات حول المبنى. ثم يتم إستخدام هذه البيانات لتحديث نموذج رقمي تلقائيا (Y. Schwartz, S,2016) يمكن أن يستخدم التوأم الرقمي تحليل البيانات المتقدم والذكاء الاصةقطناعي للتعرف باستمرار على المنشأة. يوفر هذا رؤى حول كيفية إدارة المبنى ومعداته بشكل أفضل. يمكن إستخدام المفهوم لتحليل كيفية تأثير تعديلات المبنى على الأداء، مما يسمح بقرارات استثمارية أفضل. ومما سبق يمكن اعتبار إستخدام التوائم الرقمي كأداة فعالة لمساعدة المشاركين في المشروع لتخيل عملية البناء والاكتشاف المبكر لمشاكل التنفيذ. وكذلك كأداة للاتصال بين أطراف وفي نفس الوقت تتبع تقدم البناء لجميع خطوات عملية البناء، من التصميم والتخطيط إلى إدارة المشتريات والبناء (D. Greenbaum, A,2018)

**البدائل الاستثمارية والتسويق للمشروعات investment and projects marketing :**

يعد التوأم الرقمي للمبنى أداة تسويق قوية لمطوري العقارات. نظرا لوجود نسخة متطابقة من المبنى الاصلي في بيئة افتراضية، يمكن للعملاء والمستأجرين المحتملين "زيارة" المشروع حتى قبل بدء البناء. يمكنهم التجول في المبني، حتى لو لم يكن المبنى الفعلي موجودًا بعد. يمكن أن تكون التوائم الرقمية مفيدة كأدوات مبيعات لشركات العقارات، خاصة أثناء حالات الطوارئ الصحية مثل تفشي فيروس

كورونا. قد يكون لقاء العملاء المحتملين محفوفًا بالمخاطر أو مستحيلا في الوقت الحالي. ومع ذلك، يمكن للمالكين والمستأجرين "السير" عبر المبنى معًا عبرتقنيات الواقع الإفتراضي.و يمكن تقديم المشروع للمؤسسات المالية والمستثمرين المحتملين (fmsystems.com) ولذلك يمكن الاعتماد على التوائم الرقمي كأداة للاتصال بين أطراف في مختلف التخصصات والتوجهات في المشروع. يتوفر لأصحاب المباني العديد من خيارات الاستثمار، يمكنهم إستخدام التوأم الرقمي لاختبارها. يمكن بعد ذلك مقارنة النتائج، وإيجاد الخيار الذي يحقق أعلى عائد على الاستثمار.

**مرحلة التصميم Design stage :**

تلعب التوأم الرقمي دورا رئيسيا في إنتاج وإنشاء أصول رقمية كالرسومات والصور والنماذج المختلفة الأبعاد من البيم إضافة لأنواع أخرى من بيانات التصميم وكيفية أدائها، بما في ذلك سلوك المستخدمين وأنماط الإستخدام وإستخدام المساحة. يتطلب ذلك التعريف الدقيق لعنصر الدراسة لمعرفة بياناته وتسجيلها لتلبية متطلبات الاستخدام. ويجب التحقق من صحة البيانات وتحديثها . تساعد التوأم الرقمي بإدارة المعلومات الشاملة لهذه الاصول وتسليمها كتمثيل إفتراضي يحوي البيانات الرسومية والحسابية.كما وتساعد المجسات(مثل أجهزة الاستشعار وأجهزة إنترنت الأشياء ونظام إدارة الأصول والمرافق ) بعملية التخطيط الدقيق لطبقة الاستشعار ودمجها مع تصميم الأصل المادي. يتم تحديث هذا التوأم الرقمي بانتظام ويمكنه إنشاء تنبيهات عند اكتشاف المشكلات. فضلاً عن تقييم السلامة الهيكلية للمواد بمرور الوقت وكذلك المساعدة في منع التضاربات وزيادة التنسيق بين مكونات الأنظمة المختلفة .و يمكن أن يؤدي استخدام التوأم الرقمي إلى تعزيز عملية التصميم وإنشاء الأصول الرقمية. هذا يحدث بطريقتين:

**1.** تساعد التوائم الرقمية للمصممين والمهندسين بالنمذجة ومحاكاة وتنفيذ سيناريوهات ماذا لو؟ لتحسين تصميمهم وتطويرها في بيئة متصلة بالواقع تمكنهم من التكيف بتصميم أصولهم مع الأصول الحالية والبيئة المحيطة. يتم ذلك على مستوى الأصول الفردية كمبنى او مفردة هندسية . وعلى مستوى الحي أو المدينة.

**2.** يمكن أن يكون التصميم مستوحى من البيانات والمعلومات والأدلة الواردة من مصادر مختلفة في نظام بيئي متصل يشكل إتصال وثيقاً بين تصميم أصول البيئة المبنية وبنائها وتشغيلها. تساعد التوأم الرقمي بتحسين الكفاءة التشغيلية للبيئة المبنية من خلال دمج وأتمتة البيانات والمعلومات التاريخية من المراحل المبكرة كإدارة وصيانة المنشأة لتحسين أداء التصميم القائم. إن إدخال البيانات التاريخية لعمليات التنفيذ وإدارة الأصول والمرافق جنباً إلى جنب مع استخدام التوائم الرقمية يمكن أن يعزز عملية التصميم التفصيلية. على سبيل المثال ، يمكن استخدام التوأم الرقمي في هذه المرحلة لدراسة المعايير البيئية والاجتماعية ومعايير الحوكمة قبل اتخاذ قرارات الاستثمار. كما وتسمح التوأم الرقمي بإنشاء عمليات محاكاة لكيفية عمل الأصل وكيف سيستخدمه المستخدمون النهائيون . كما وتسمح بتقدير تكلفة ومواصفات ومتطلبات المعدات الخاصة بالعمليات والأصول .

**مرحلة البناء Construction stage :**

يتم في هذه المرحلة دمج البيانات المصممة والمخططة حول الأصل وإنشاء كميات كبيرة من البيانات وتحديثها واستخدامها وتخزينها أثناء عملية البناء. مع مراعات أي تغييرات تم التقاطها بالمجسات اوالصور أو الفيديو والسحب النقطية والطائرات بدون طيار والمسح بالليزر و يمكن دمجها في التمثيل الافتراضي.كما ويتم تجميع طبقة الاستشعار (مثل أجهزة الاستشعار وأجهزة إنترنت الأشياء ونظام إدارة الأصول والمرافق )وتثبيتها كجزء من الأصول المادية وتمييزها على التمثيل الافتراضي لتنقل البيانات الحقيقية للعمليات و الأصول من موقع العمل . و **يتم** دمج تقنية البيم في كل مستوى من مراحل العمل تقريبا حيث تلعب ابعاد البيم المتعددة دورا مهم في تبسيط إدارة البيانات والمعلومات وتنظيمها وتقدير عامل الزمن ( 4D-BIM) والتكلفة ( 5D-BIM) مما يزيد من أمكانيات ضبط لسلسلة التوريد وتتبع الأحتياجات اللازمة من تدفق المواد والمكونات الجاهزة و معرفة الإحتياطيات الموجودة في المستودعات ولدى الموردين.ويمكن إستخدام التوأم الرقمي للمبنى لمحاكاة عملية البناء قبل وضع أي كائن في الموقع للكشف عن التضاربات، أو التداخل بين الأنشطة المجدولة

في وقت واحد، مما يسمح باكتشاف تضارب سير العمل؛ ومن ثم تحسين جدول البناء. توفر محاكاة البناء بإستخدام التوأم الرقمي فكرة أفضل عن كيفية إستخدام المشروع لميزانيته طوال مرحلة البناء (Surjya Kanta Pal,2021)

وهذا مفيد لتخطيط المشتريات المتعلقة بالمشروع، وعند التفاوض على التمويل من مؤسسات خارجية و يساعد في تحسين التنسيق. بين الاطراف المشاركة في المشروع، تُعد محاكاة البناء مفيدة لإدارة المقاولين من الباطن حيث يشكل عدم التنسيق بين المهن سببا متكررا للتأخير والأخطاء في مشاريع البناء(Knapp, G. L.,2017)

يمكن لمديري المشروعات تحليل العديد من التعديلات المحتملة من حيث التكلفة والأداء واختيار تلك التي تقدم أعلى قيمة للمشروع. بمعنى آخر، يمكن تجربة العديد من المشاريع في بيئة إفتراضية بدون أخطار قبل التعديل الفعلي. إحدى التحديات الرئيسية لمديري البناء هو معرفة الوضع الحالي للمشروع في الوقت الفعلي؛ حيث تتغير حالة المشروع باستمرار وتقارير التقدم قد لا تعكس الحالة الفعلية للمشروع. في حين عند إستخدام التوأم الرقمي أثناء البناء، يمكن تحديثه باستمرار بمعلومات الموقع. ليست هناك حاجة للقيام بزيارات عديدة من قبل مختلف الأطراف المعنية، حيث يمكنهم ببساطة التحقق من النموذج الرقمي. المحدث باستمرار(Surjya Kanta Pal,2021)

بإستخدام الأجهزة المحمولة، ويمكن أن يؤدي إستخدام الطائرات بدون طيار إلى تسهيل جمع البيانات ومع إنترنت الأشياء والماسحات الضوئية بالليزر، لم يعد المهندسون بحاجة إلى التواجد المادي المستمر في موقع البناء. يعد تقليل عدد زيارات الموقع مفيدًا بشكل خاص أثناء حالات الطوارئ الصحية (Oliver, D.,2018)

من خلال تتبع التقدم بإستخدام نموذج رقمي، يمكن لأصحاب المصلحة اتباع تدابير التباعد الاجتماعي بشكل أكثر فعالية. التوأم الرقمي مفيد ايضا لإدارة أوامر التغيير. من خلال محاكاة التغييرات على نموذج المبنى أو لاً، بهذه الطريقة، يمكن معالجة أمر التغيير قبل بدء الأنشطة المقابلة، وتجنب إهدار المواد والعمالة. إذا كان للقرار تأثير سلبي على التوأم الرقمي، فيمكن ببساطة التراجع عن التغييرات . كما ويتم استخدام التوأم الرقمي في الاشراف على إداء العمال مراعاة جوانب الصحة والسلامة وفي تتبع المعدات الموجودة في الموقع وإدارة الإنتاج و العمل ومراقبة التقدم إضافة لعوامل السلامة والمخاطر .

**التسليم Handover**

تلعب قابلية التشغيل البيني المدمجة بنماذج البيم دورا هام للمنشأة بنقل وتبادل البيانات في مراحل التصميم والتنفيذ وتزداد اهمية هذه البيانات عند مرحلة إدارة المرافق وتشغيلها. وفي نظام التوأم الرقمي تدمج هذه البيانات الضخمة ويتم معالجتها وتشخيصها للوصول الى الحلول الامثل لتفادي حصول المشاكل الطارئة ووضع المبنى في حالة الجاهزية . حيث يجمع التوأم الرقمي جميع معلومات التسليم في نموذج معلومات متماسك يسهل الوصول إليه واستخدامه وتحديثه أثناء مراحل التشغيل والصيانة والتجديد ونهاية العمر الافتراضي ويعزز أفضل ممارسات إدارة المعلومات ويقلل من المخاطر .

**مرحلة التشغيل والصيانة Operations & Maintenance**

يستخدم المبنى العديد من الأنظمة المعقدة للحفاظ على الظروف المناسبة للإستخدام. واتباع نهج الصيانة الاستباقية أكثر كفاءة، وأقل تكلفة من إصلاح المشكلات بعد حدوثها، ويسهل نموذج التوأم الرقمي القيام بذلك حيث يحتوي على معلومات مفصلة عن جميع المعدات والمكونات، بما في ذلك خصائصها المادية وتكلفتها؛ يمكن أن يعكس النموذج الحالة الدقيقة لعناصر البناء، مع إظهار مشكلات مثل التآكل الميكانيكي أو ضعف اداء وكفاءة المعدات والاجهزة. يمكن إستخدام التوائم الرقمية كأدوات محاكاة لتحليل كيفية تصرف المبنى في ظل ظروف مختلفة ومنها حالات الطوارى. (Shyam Varan Nath,2021)

يوفر التوأم الرقمي المحدث لقطة مفصلة للمبنى، ويمكن لموظفي الصيانة جدولة الإصلاحات بعيداً عن اوقات الذروة. كما يمكن إستخدام الذكاء الاصطناعي لتحليل ظروف البناء في الوقت الفعلي، والتنبؤ بالمشكلات والأعطال غير الواضحة مما يجعل الصيانة المخطط لها أكثر فعالية(fmsystems.com)

تقوم التوائم الرقمية بمعالجة المعلومات مثل: بيانات التشغيل لأنظمة التكيف (HVAC) والانظمة الميكانيكية والكهربائية والسباكة وبيانات قطع الغيار التي يتم جمعها من خلال مستشعرات إنترنت الأشياء. يتم إنشاء التوأم الرقمي في بداية المشروع، حيث تعمل فرق المالك وشركة الإلكترونيات المتقدّمة معًا لتحديد أهداف الأداء والنتائج المرجوة. مع تقدم المشروع، يتم جمع البيانات باستمرار وتعيينها إلى النموذج، بإستخدام منصة البيانات التشغيلية لضبط الأداء وإدارة الصيانة على المدى الطويل. وبعد جائحة كورونا أصبحت تقنية التوأم الرقمي في التشغيل والصيانة أكثر أهمية من أي وقت مضى وخصوصا في مباني مثل المستشفيات؛ بحيث تتخذ جميع التدابير لتقليل أخطار الفيروس داخل مبانيها مع الاستمرار في أداء المهام اليومية، سواء من توفير بيئات عمل نظيفة وصحية وخالية من الفيروسات، او تحقيق التباعد الاجتماعي والحركة داخل كل فراغ طبقا لإستخدام الامن

**أصحاب المصلحة Stockholders**

إن نفص التنسيق بين أصحاب المصلحة المختلفين يؤدي الى مشاكل خطيرة أثناء مراحل البناء , تلعب نمذجة معلومات البناء دورا بتطوير المنشأة بأكملها بكافة الاختصاصات وذلك عبرتقنيات البيم المتعددة ويأتي التوأم الرقمي لمخاكاة المبنى المادي مما يسهل من التخلص من أي أخطاء أو تناقضات , ويمكن استخدام التوأم الرقمي لتحليل الاستجابة الديناميكية للمبنى للتغيرات في المهنة أو إمدادات الطاقة و يشير إلى أوقات الصيانة أو والتحديث ويساعد هذا التخطيط في كفاءة الطاقة المثلى وتوفير التكاليف وزيادة الاستدامةو يلبي رغبة المالكين والمشغلين . ويسمح عبر مختلف التخصصات في نفس الوقت بإنشاء حل منسق متعدد التخصصات مع التحقق المبكر من خيارات التصميم التفصيلية لتحسين أداء المبنى. وبالنتيجة هي عملية تصميم وبناء أكثر فعالية من حيث التكلفة ومباشرة واستدامة تؤدي إلى بناء أكثر أماناً وكفاءة .

**التصميم المستدام Sustainability**

يتم إستخدام التوأم الرقمي لإجراء اختبارات التصميم البيئي لتحسين أداء المبنى خلال دورة حياته بأكملها، مع تقليل تكاليف التشغيل والصيانة وما إلى ذلك. يمكن لأصحاب المباني الذين يسعون للحصول على شهادة الريادة في الطاقة والتصميم البيئي (LEED) إستخدام التوائم الرقمية لمحاكاة العديد من التصميمات والخيارات. من خلال مقارنة السيناريوهات المختلفة و تعظيم النقاط المكتسبة بموجب نظام تسجيل (LEED) وذلك من خلال مقارنة عدة خيارات للتصميم البيئي للحصول على شهادة (LEED) مهمة تستغرق وقتًا طويلاً مع الطرق التقليدية ولكن مع التوأم الرقمي يسمح بمقارنة خيارات التصميم المتعددة بطريقة أسرع وأكثر فعالية. على سبيل المثال يمكن للتوائم الرقمية محاكاة العديد من التكوينات لأنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء ومغلفات المبنى لتحديد التكوين الذي يوفر أعلى كفاءة في إستخدام الطاقة(M. Batty, 2018).

نظرا لأن التوأم الرقمي يتطور مع البيانات التي يوفرها التوأم المادي يمكنه إجراء عمليات المحاكاة والتنبؤات استجابةً لظروف الوقت الفعلي. على سبيل المثال يمكن إستخدام التوأم الرقمي في التصميم البيئي لمحاذاة الواجهة الشمسية للمبنى لتتبع مسار الشمس أو تعديل تدفق الهواء الداخلي .

**إدارة المخاطر Risk Management**

يتم إستخدام التوأم الرقمي لتمكين أفراد المشروع من توقع السيناريوهات من خلال دمج الخوارزميات والبيانات التي تم جمعها من مستشعرات إنترنت الأشياء الذكية لإنشاء تنبؤات واتخاذ التدابير الوقائية اللازمة في دورة حياة المشروع. ويمكن لمديري وضباط السلامة تتبع موقع مناطق الخطر والعاملين والمعدات ومنع الإصابات التي قد تكون ناجمة عن السلوكيات غير الآمنة القائمة على الموقع بشكل فعال. ويمكن تتبع المواد الخطرة لضمان تخزينها بشكل صحيح و مراقبتها لإرسال إشارات تحذير مبكر لمنع أي كوارث في موقع العمل ويمكن للتوائم الرقمية تحسين تدريب الموظفين للتعامل مع الطوارى من خلال إعادة إنتاج مواقف خطرة في الحياة الواقعية لتدريب العمال. حيث يمكن للموظفين أن يكونوا مستعدين للتعامل مع المعدات التي لا يمكن التدرب عليها عمليا. ويمكنهم تشغيل عمليات المحاكاة في المختبر لفهم أخطار ومزايا الإجراءات الجديدة، وتجربتها لمعرفة التعديلات التي تقدم أفضل النتائج. بإستخدام التوائم الرقمية يمكن

إستخدامه للتدريب للعاملين الفنيين بدون احتكاك مباشر معهم، كذلك يعمل على تحسين الفعالية والإنتاجية؛ من خلال المحاكاة والتحليل والقياس والمقارنة مع المعدلات القياسية أو السابقة ويمكن توقع منحنى تعليمي لكل فني و تقيم ادائه من خلاله.كما ويتيح استخدام البيانات التاريخية التي تم الحصول عليها من مشاريع مختلفة لأمكانية أستخدامها لمشروع مستقبلي لتشغيل محاكاة السلامة وتحديد المخاطر المحتملة قبل حدوثها. ويمكن إستخاد التوأم الرقمي للمباني المعقدة ذات التدفق الكبير للأشخاص لتحسين إدارة السلامة الداخلية عن طريق إدخال أجهزة استشعار داخل المباني وتشغيل محاكاة مخاطر مختلفة على سبيل المثال الاقتحام غير القانوني والإزدحام والحرائق. إضافة لتحسين سلامة أعمال البناء من خلال توثيق حدوث جميع السلوكيات الخطرة المحتملة.

## فوائد التوأم الرقمي في قطاع التشييد Benefits of Digital Twins for AEC :

بعد عرض إستخدام التوائم الرقمية خلال مراحل المشروع المختلفة نستنتج ان التوأم الرقمي هو أكثر من مجرد نموذج ثلاثي الأبعاد، بل هو نهج تعاوني يعرض نسخة طبق الأصل من مبنى ويعرض جميع أنواع المعلومات المطلوبة، في بيئة افتراضية. ولذلك له العديد من الفوائد في تحسين العديد من جوانب مشاريع البناء اهمها

**الرصد المستمر لتقدُّم البناء:**

- تتحقق المراقبة الفعلية لموقع البناء عن طريق التوأم الرقمي من أن العمل المنجز يتوافق مع الخطط والمواصفات.
- تتبع التغييرات في نموذج ما يتم إنشاؤه يوميًا و ساعيا وفي حالة حدوث أي انحراف، يمكن اتخاذ إجراء فوري.
- يمكن بسهولة التحقق من حالة الخرسانة أو التشققات في الأعمدة أو أي إزاحة للمواد في موقع البناء. تؤدي هذه الاكتشافات إلى عمليات تفتيش إضافية ويتم اكتشاف المشكلات بسرعة أكبر، مما يؤدي إلى حلول أكثر فعالية.

**الاستخدام الأمثل للموارد:**

- توفير البيانات المتعلقة بالمعدات والادوات و مواد البناء في قاعدة بيانات يمكن استخدامها في المشاريع المستقبلية .
- إدارة سلسلة التوريد والمشتريات إدارة الوقت والموارد ومنع حدوث تضارب في سير العمل.
- تتبع عمليات التصنيع المسبق لضمان توفيرها في الوقت المحدد وتحديد طرق زيادة الإنتاجية.
- تخصيص أفضل للموارد و تجنب إضاعة وقت الانتاج في عمليات غير مفيدة والتعامل مع المواد غير الضرورية.
- تجنب التخصيص المفرط للموارد و التنبؤ بمتطلبات الموارد على الموقع ديناميكيًا.
- تتبع استخدام المعدات و الأليات وإستخدام الغير مستخدم منها في وظائف أخرى مما يوفر الوقت والمال.

**عامل الزمن والسرعة :**

- سرعة الانجاز في تصميم المشروع والموافقة عليه، حيث جمع البيانات الرقمية مع نماذج الإدخال المخصصة يقلل بشكل كبير من الأخطاء، نتيجة النسخ الإلكتروني مقارنة بالنماذج الورقية.
- يمكن مديري المشاريع وفرقهم استعادة الوقت الذي يقضونه في المهام الروتينية، مع التركيز على الأنشطة القيمة؛ وبالتالي تقليل الأعمال الورقية بشكل كبير واستبدالها بنظام رقمي.

**تقليل تكاليف البناء و التشغيل:**

- تحسين التكلفة وتقليل التغيرات اثناء تنفيذ المشروع، عكس الطرق التقليدية التي تؤدي التغييرات فيها اثناء التنفيذ إلى زيادة الميزانية ووقت الانتهاء.
- يمكن للمالكين والمشغلين من خفض التكاليف وتجنب التكاليف المستقبلية وزيادة معدلات الإشغال وتحسين القيمة الإجمالية للأصول.
- يمكن تشغيل السيناريوهات الافتراضية لتسلسل البناء والخدمات اللوجستية وتصورها ، وتعريف العمال بالمهام المطلوبة وتقليل عمليات إعادة الأعمال المكلفة. من خلال اتخاذ القرارات المستندة إلى البيانات والذكاء الاصطناعي و تعلم الآلة .

- يمكن التنبؤ بأنشطة وأحداث الصيانة والتي ستساعد في تقليل التدخلات غير المتوقعة وتبسيط التكاليف في نهاية المطاف طوال العمر التشغيلي للأصل.

**زيادة الإنتاجية والتعاون:**

- يمكن تخزين المعلومات الحيوية حول الأصل المُنشأ وتحليلها طوال دورة حياته ، وتحديثها باستمرار.يمكن الوصول بسهولة إلى هذه المعلومات (مثل وثائق التصميم وقوائم الجرد ومواصفات المواد و الجداول )واستخدامها للمساعدة في اتخاذ القرار وإزالة العيوب .

تعزيز التنسيق والتعاون بين العمال عن بعد وتطبق إدارة العمليات افتراضيا يمكن من مواجهة انعكاسات الأزمات بسرعة وسهولة أكبر.

**تحسين السلامة والأمن :**

- تتبع الأفراد والأماكن الخطرة في موقع البناء.
- تجنب استخدام المواد والأنشطة غير الآمنة في المناطق الخطرة، بناءً على المعلومات في الوقت الفعلي.
- القضاء على عنصر الخطأ البشري، وتقليل الوقت الذي يقضيه في حل المشكلات، واستكشاف الأخطاء وإصلاحها، وتحديث التغييرات، وإعادة العمل، وما إلى ذلك.
- يمكن للعاملين في الموقع الحصول على معلومات في الوقت الفعلي وتنبيهات حول الموقع ,و إرسال إشعار وتعليمات الاستجابة لحالة الطوارئ. إلى الجهاز المحمول للعامل لمنع حدوث خطر.
- يمكن تطوير نظام إشعار مبكر يسمح لمدير الإنشاء بمعرفة وقت وجود عامل ميداني في منطقة غير آمنة.
- توقع الازدحام في الموقع من خلال استخدام برنامج محاكاة المشاة،وإدخال التغييرات اللازمة لحركة فعاليات الموقع والافراد لتجنب المخاطر.
- السّماح لعمليات المحاكاة بتقدير إمكانيّة تحمُّل الضّرر الناجم عن الكوارث الطبيعيّة والكوارث التي من صنع الإنسان.

**تحسين أداء الأصول و الاستدامة:**

- أتحسين أداء المباني التي تم تجديدها من خلال محاكاة العمليات والتنبؤ بأداء المواد المختلفة.
- تُتيح التوأم الرقمية لمشغلي المباني الجمع بين الأنظمة غير المتصلة سابقًا - بدءًا من الأمان وحتى أنظمة التكييف والتهوية والتكييف وأنظمة ربط الطرق - لاكتساب رؤى جديدة وتحسين تدفق العمل ومراقبة العمليات عن بُعد.
- المراقبة والتحكم في استهلاك المياه والطاقة للوصول إلى مبنى صديق للبيئة.
- تساهم في تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من خلال متابعة وتحليل انبعاثات الكربون.
- تساهم في خفض انبعاثات وسائل النقل من خلال تطبيق نظم الاتصال المرئي لفرق العمل بدلا من اللقاءات المباشرة.
- جمع البيانات باستمرار من التجهيزات الكهربائية والميكانيكية في المباني ليتم دمجها في استراتيجية مكافحةالحرائق.

**مجال التعليم والتدريب:**

- يستخدم التوأم الرقمى فى إنشاء نماذج محاكاة بناء على متطلبات العمليات في الموقع .
- تساعد المهندسين في أيضاح المشكلات المتعلقة العمليات الموقع وتجسيم تلك العمليات بمنتهى الدقة ونقلها الى الاطراف الاخرى.
- يمكن لأطراف المشروع إستكشاف العمليات والأنظمة وتفاصيل المشروع بشكل أفضل داخل بيئة العمل الإفتراضية، وتأثير أى عنصر على الأخربدقة.

**في المستقبل:**

- جمع وتحليل البيانات خلال عمر المنشأة لتطوير قاعدة بيانات يمكن نقلها للمشاريع المستقبلية وتقديم رؤى حول معايير تصميم المنشأة .
- توفير بيانات غنية لتحسين تصميم المشاريع المستقبلية للاستفادة المثلى من المساحة وتلبية متطلبات السكان.
- تزويد سلطة البناء بإمكانية الوصول إلى معلومات المبنى المحدثة خلال دورة حياته مما يتيح التخطيط الذكي للمشاريع المستقبلية.

- استخدم البيانات خلال عمر المنشأة لتشغيل سيناريوهات ماذا لو؟ لاختبار استراتيجيات مختلفة للتنبؤ بتقدم المشروع وضمان نجاحه.
- ا ستخدم البيانات التي تم جمعها طوال دورة حياة المشروع لتطوير خطة الهدم بشكل فعال وأمن

## معوقات تطبيق التوأم الرقمي في قطاع التشييد Barrier of Digital Twins for AEC :

من أهم التحديات التي تواجه تكنولوجيا التوائم الرقمية:

**المستشعرات والبيانات:**لا يزال فقدان البيانات أثناء عملية النقل يمثل مشكلة لأسباب مختلفة مثل عدم توافق البرامج وتلاشي البيانات بسبب تداخلات البيئة الخارجية. بالإضافة إلى ذلك ، تجمع أنواع عديدة من مستشعرات إنترنت الأشياء إما نفس بيانات البيئة أو بيانات مختلفة ، في حين أن نوع البيانات الخاص بها قد لا يكون متجانسا مما قد يمثل العديد من الصعوبات في عملية تحليل البيانات.

**تحديات تصميمية:** تحديات في بناء نموذج رقمي مزدوج يجمع بين إدارة دورة حياة المنتج ونظام تنفيذ التصنيع ونظام إدارة العمليات ومن أكبر المشكلات التي تواجه إنشاء توأم رقمي .

**تحسين إستراتيجية التحكم:**لا يزال البشر يلعبون دوراً مهماً في عملية التطبيق الحالية لتوأم الرقمي وغالباً ما يعتمد صنع القرار عليهم أستنادا الى النتائج التي تم الحصول عليها من دراسة السيناريوهات لذلك يتطلب تحسين أستراتيجية التحكم من خلال اتخاذ القرارات التلقائية وحلقات التغذيةالراجعة و تمكين التحكم الآلي في الوقت الفعلي مع إمكانية زيادة عدد السيناريوهات التي تم تحليلها لتحسين كفاءة وموثوقية أنظمة التحكم.

**تحديات اقتصادية:** الاعتبارات اقتصادية وحجم الاستثمارات التي تواجه تطبيق تكنولوجيا التوائم الرقمية والتقنيات المكملة لها .

**تحديات تكنولوجية:** منها تنفيذ خوارزميات حقيقية في برامج المحاكاة - قدرات حوسبة محدودة حتى من خلال مهام المحاكاة البسيطة نسبيًا وكذلك دمج تحليلات البيانات الضخمة أثناء التصميم في نموذج التوأم الرقمي. وعند جمع البيانات في الوقت الفعلي مباشرة من الالات والمجسات.

- من أبرز التحديات التهيئة البيئية والتكنولوجية والمتدربين للتحول التدريجي لاستخدام التكنولوجيا.

## دراسة حالة

### 1-التوأم الرقمي لمستشفى شنغهاي Digital Twins in Shanghai Hospital

مستشفى شنغهاي الشرقي التابع لجامعة تونغجي Tongji University Shanghai مستشفى جامعي يضم العلاج الطبي والتعليم والبحث العلمي والرعاية الصحية. يقع في منطقة الأعمال في شنغهاي، شرق الصين. والمبني المخصص للدراسة هو المركز السريري الجديد الذي يدمج العلاج الطبي والتعليم والبحث العلمي ركز هذا المبنى الجديد بشكل أساسي على خدمات الرعاية الطبية عالية المستوى. يتكون المبنى من 24طابقا فوق الأرض و 2طابق تحت الأرض مع 500سرير، بمساحة بناء إجمالية تبلغ حوالي 83000متر مربع. المبنى يشتمل على المعدات الميكانيكية والكهربائية وعلى أنظمة معقدة تعمل بشكل منفصل، بما في ذلك الأنظمة الطبية مثل أنظمة الغاز وأنظمة معالجة مياه الصرف الصحي ونظام المعدات الطبية يحتاج مبنى المستشفى إلى تشغيل مستمر لمدة 24ساعة كل يوم؛ لذلك، سيتعرض قسم إدارة التشغيل والصيانة لضغوط كبيرة. كانت الادارة سابقا تعتمد على الدفاتر اليدوية التقليدية ولذلك من المستحيل تقريبا مراقبة وتحليل مجموعات البيانات الكبيرة من مصادر عديدة بهذه الطريقة القديمة. ومن هنا كانت الفكرة الرئيسية في الاعتماد على التوائم الرقمي تحت استراتيجية تسمي "القيام بالأشياء الصحيحة في الوقت المناسب" وفقًا لذلك، تم تقسيم دورة الحياة الكاملة إلى عدة مراحل، هي مرحلة التصميم، ومرحلة البناء، ومرحلة التشغيل والصيانة، وما إلى ذلك، وتعتبر مرحلة التشغيل والصيانة ذات أهمية خاصة لأنها تشغل الحيز الرئيسي من عمر المبنى . شارك فريق استشاري مختص بالتوأم الرقمي مع أصحاب المصلحة المعنيين والمسؤولين والمقاول العام في مرحلة مبكرة من التخطيط والتصميم لضمان أن جميع معلومات التوأم الرقمي متكاملة وتغطي دورة حياة المبنى.

**بناء التوأم الرقمي للمشفى :**

بدأت الخطوة الاولى برقمنه المستشفى من خلال النمذجة الهندسية بإستخدام رسومات CAD من مرحلة التصميم، بينما تم مسح لموقع المشروع عن طريق المسح بالليزر والقياس التصويري ثم بعد ذلك، كانت عملية نمذجة معلومات البناء كإحدى خطوات التكامل الرئيسية. وتم تقسيم البيانات الي بيانات الأنطولوجيا ontology data الثابتة والمعلومات المولدة ديناميكيا لضمان أمن البيانات وتحديد ملاءمة استراتيجيات التخزين المناسبة من خلال دمج البيانات السابقة ومراقبة العمليات من خلال أنظمة الأعمال وأجهزة الاستشعار. تم إضافه محركات التحليل ذات المعرفة المحددة مسبقًا ونموذج الذكاء الاصطناعي لإرسال اقتراحات التشخيص مرة أخرى إلى مبنى المستشفى في العالم الحقيقي. وتمت فلترة البيانات المدخلة حتى لا تكون المعلومات غير متكررة؛ لتوفير الكثير من تكاليف النمذجة غير الضرورية. وتم تطوير نموذج التوأم الرقمي عبر مجموعة المراحل الرئيسية وهي:

**أو لا:** مرحلة التخطيط، من أجل تحقيق الأهداف والغايات الإستراتيجية للمنظمة.

**ثانيا:** مرحلة المتطلبات والتحليل، وتتكون من متطلبات النظام وإجراء تحليل يحدد الوظيفة التي يجب أن يقدمها النظام لتلبيتها.

**ثالثا:** مرحلة التصميم، والتي تأخذ نتائج مرحلة التحليل وتحولها إلى نموذج مفاهيمي يمكن تنفيذه.

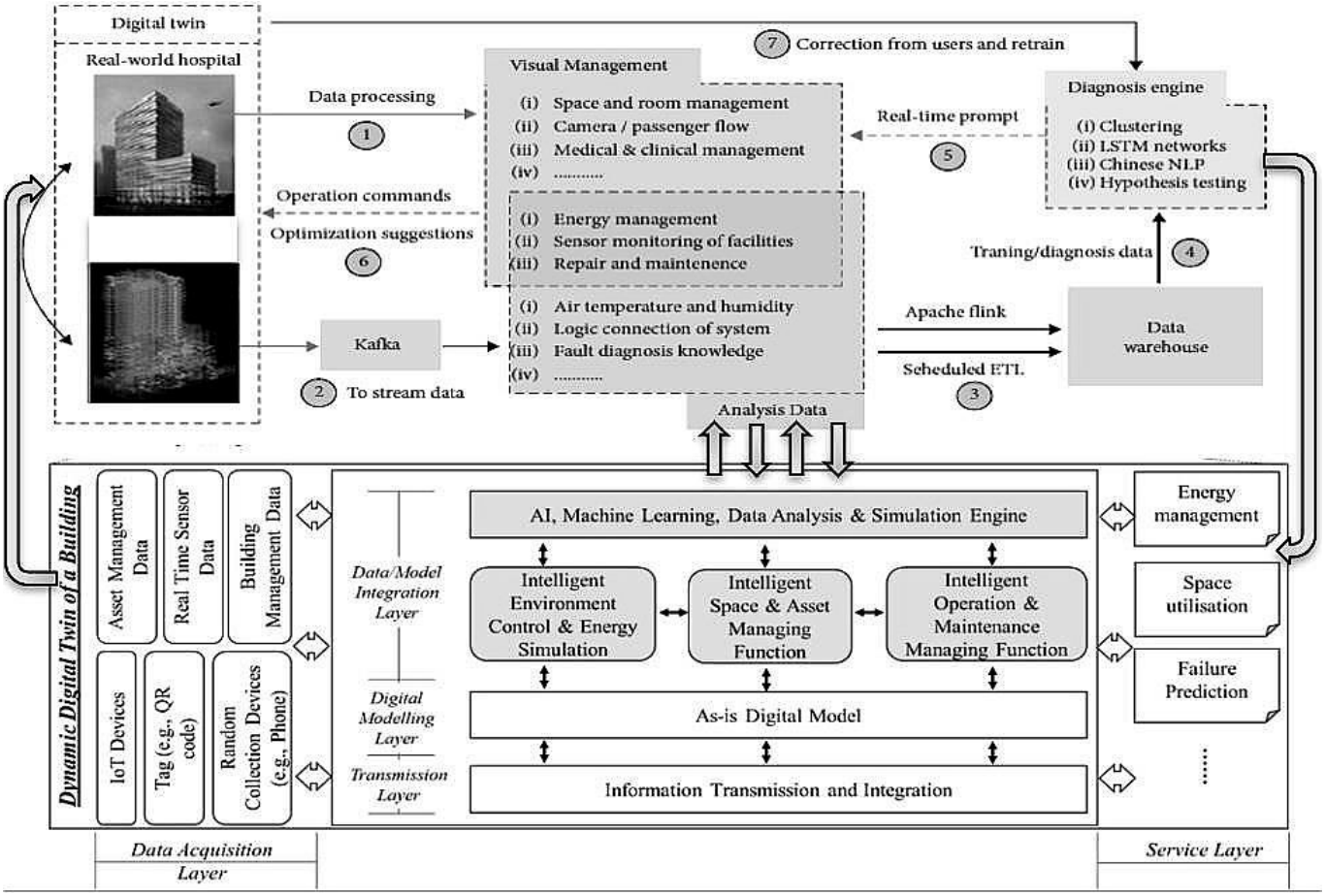
**رابعا:** مرحلة التطوير، والتي تتكون من تنفيذ التصميم من حيث تقنيات معينة مثل لغات البرمجة، وتحويله إلى نظام عمل.

**خامسا:** مرحلة الاختبار، حيث يتم التحقق من ان التنفيذ يفي بمتطلبات النظام.

**سادسا:** مرحلة التشغيل والنشر للبيانات، حيث يتم تشغيل النظام بمجرد اختباره والتحقق من تحقيقه لأهداف المرجوة. ويمكن استقبال جميع الإصدارات من التوائم الرقمي عبر حواسيب سطح المكتب وتطبيق الهاتف الذكي والتطبيق اللوحي واي اجهزة استقبال ذكية.

يوضح الشكل (55) التالي إطار تطبيقي للمكونات الرئيسية للنظام ومنطق التشغيل الخاص بها. أولاً تمت معالجة البيانات الاولية من مبنيالمستشفى الحقيقي وتوائمها الرقمي من خلال محرك Apache Kafkaهو تطبيق مراسلة واستقبال فرعي يدعم معالجة التدفق البيانات كبيانات تدفق عالي الكثافة (الخطوة 1+2) ثم محركان متخصصان في تنسيق وتخزين البيانات الضخمة، على سبيل المثال محرك Apache Flink و Extract-Transform-Load (ETL) كلاهما يحول بيانات تحليل حالة المبنى إلى بيانات ذو تنسيق مرتب مناسب لأغراض الاستعلام والتحليل؛ وفي نفس الوقت يقوم Apache Flink بترتيب عشرات الملايين من الأحداث في الثانية في

مجموعات مختلفة بدعم من تطبيقات الذكاء الاصطناعي (الخطوة3) ثم تنقل البيانات من مستودع البيانات الي محرك التشخيص والتحليل، ومقارنتها بمؤشرات الاداء المدخلة مسبقا اعتمادا على نماذج الذكاء الاصطناعي. وتستمر هذه العملية بشكل متكرر (الخطوة4) بمجرد اكتشاف اي انحراف بواسطة المحرك، تتم إعادتها فورا إلى واجهات الإدارة المرئية للمراجعة والتصحيح (الخطوة5) ثم يتم تقديم بعض الأوامر أو الاقتراحات المستهدفة نحو المستشفى أو النموذج الرقمي (الخطوة6) واخيراً إذا تم تأكيد أي اقتراح للتشخيص على أنه غير صحيح، فسيتم إرساله مرة أخرى إلى محرك التشخيص لإعادة تحليله واعادة الخطوات السابقة، وتقوم خوارزميات الذكاء الاصطناعي بإجراء التعديلات المقابلة (الخطوة7) .




شكل (57) التوأم الرقمي لمشفى شنغهاي

استغرقت مرحلة التصميم والبناء وتجميع ونمذجة البيانات للتوأم الرقمي مدة ثلاث سنوات تقريبا. على الرغم من أنه تم جمع معظم البيانات الديناميكية في مرحلة التشغيل والصيانة. و للتأكد من أن البيانات من التصميم والبناء تبقى متسقة تم عمل كتيبا تفصيليا لمعايير البيانات الداخلية، وكيفية التعامل معها. هذا الكتيب مكن العاملين في قسم جمع البيانات المتنوعة الي معالجتها بتنسيقات قياسية موحدة، كما قام متخصصي النمذجة بإنتاج نماذج رقمية سهلة الدمج بأسلوب موحد. والمشكلة التي واجهتهم أثناء النمذجة الثابتة هي حجم البيانات؛ حيث كانت بيانات الهندسة تزداد حجما جنبا إلى جنب مع ملفات التشغيل باستمرار، وصلت بيانات الهندسة الاولية إلى 15جيجابايت، وبالتالي كانت ثقيلة جدًا بالنسبة لوحدات معالجة الرسومات. تم تنفيذ سلسلة من الخوارزميات لتخفيف حجم البيانات بما في ذلك دمج الاجزاء المرتبطة معاً، وعمل الفلترة بالتخلص من التفاصيل الصغيرة غير الضرورية، وهذه الاجراءات كان له الاثر في تقليل حجم الملفات إلى أقل من 20 %.

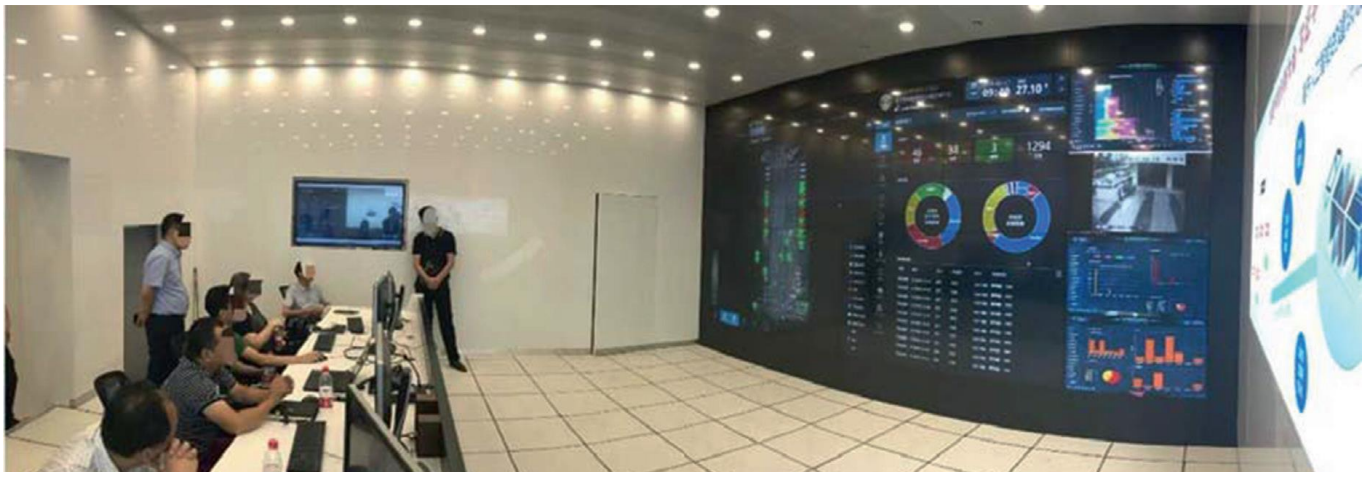
**بنية نظام التوأم الرقمي للمشفى :**

تم دمج ستة جوانب من الأنظمة الديناميكية في منصة التوأم الرقمي كمصادر للبيانات. مثل انظمة الطاقة، انظمة الصيانة، انظمة الإمدادات بالغازات الطبية، الانظمة الطبية المختلفة الخاصة بمتابعة المرضي، نظام المراقبة الأمنية وتدفق الحركة داخل المستشفى. للحد من التكاليف ولتخفيض الميزانية، كانت خدمات البيانات الضخمة مدعومة بمحركات مجانية مفتوحة المصدر. هذه المحركات قادرة على تحويل بيانات التدفق السريع والكثيف التي تم إرسالها باستمرار من العديد من أجهزة الاستشعار. تتكون شبكات الأجهزة التابعة للمستشفى واجهزة الاستشعار المستخدمة أكثر من 1900جهاز استشعار ذكي من 13نظاما فرعيا بما في ذلك نظام المصعد، وفي الوقت نفسه حوالي 230 مقياساً رقميا لمراقبة المرافق (إمدادات الكهرباء والمياه)، و 100جهاز استشعار لأنظمة الغازات الطبية. يمكن دمج البيانات الديناميكية تلقائيا في التوأم الرقمي من خلال وضع رموز تسلسلية لجميع أجهزة الاستشعار بشكل متسق مع انظمة التوأم .أنتجت هذه الأجهزة حوالي 2مليون سجل يوميا وأكثر من 10 تيرابايت من بيانات السجل في المجموع.

خلال فترة تطوير النظام، كان تعيين الكائن الصحيح ( عناصر البناء/ الاجهزة والمعدات الرئيسية) من المستشفى الحقيقي إلى التوأم الرقمي ذو أهمية كبيرة. إذا لم تكن موضع عناصر البناء، أو حجمها، أو خصائصها، أو علاقاتها في الجزء الرقمي متسقة مع جزء العالم الحقيقي، سيؤدي الي ارتباك؛ وسيعتبر التشخيص المقابل بناء على البيانات الخاطئة عديم الفائدة. ولذلك تم إستخدام الواقع المختلط من أجل المساعدة في التحقق من التعيين الصحيح للشي المراد التحقق منه وخصائصه، تم تطوير تطبيق على الجهاز اللوحي لتسهيل الإستخدام. وبإستخدام نظارات الخوذة. يسهل اكتشاف أي اختلافات في الموقف والتعامل معها. وهذا ساعد على تشكيل نظام صحيح للتوأم الرقمي.

**الإدارة والتحكم بنظام التوأم الرقمي للمشفى :**

تم الانتهاء من تطوير منصة إدارة المبنى بنجاح قبل تسليم البناء مباشرة. وتم تكليف عشرة أعضاء من العاملين بقسم التشغيل بعد تدريبهم بتولي إدارة والاشراف الفني والتشغيلي للتوائم الرقمي . و تولت مجموعة استشارية من فريق التوأم الرقمي مسؤولية تدريب مستخدمي ومستقبلي الاشعارات في الموقع. في مرحلة التصميم، تم تجهيز مركز التحكم وغرفة الخادم والشبكة الداخلية بظروف عمل مثالية لضمان التشغيل الأفضل(مانع انقطاع التيار الكهربائي) أستخدمت شاشة كبيرة (الارتفاع والعرض: 2.6م × 4.7م) كجهاز العرض الرئيسي للمراقبة والتحكم في نظام التوأم الرقمي , تحتوي الشاشة في الجزء الأيسر نموذج ثلاثي الأبعاد كامل يدعم التحول المرئي واختيار العنصر، والتبديل بين أنظمة المختلف.و يحتوي الجزء الأيمن المعلومات الأكثر أهمية التي يجب فحصها باستمرار مثل أجهزة الاستشعار المنبهة، ومخاطر أعطال الماكينة المتوقعة، وطلبات الإصلاح غيرالمعالجة، واتجاه تدفق الزائرين والمرضي، ومراقبة الفيديو في المناطق السريرية، وما إلى ذلك

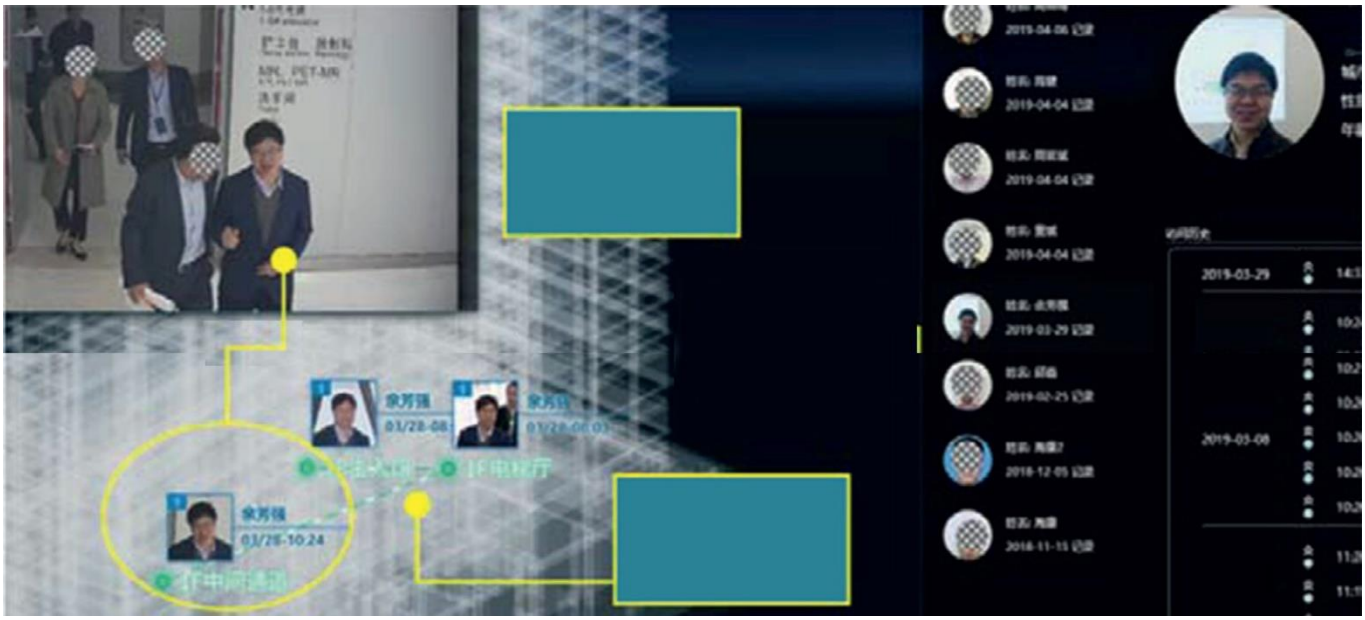


شكل (58) يوضح غرفة التحكم الرئيسية وشاشة العرض

تم إنشاء المعلومات المكانية من خلال دعم تحديد المواقع تلقائيا، وبمساعدة الكاميرات واجهزة الاستشعار لتحديد اشغال الغرف والقاعات والمناطق السريرية ,وتم تقديم بعض التحليلات الإحصائية لإستخدام الفضاء. و حساب معدل إشغال وإستخدام المساحة لكل قسم طبي. وبمساعدة التحليل الإحصائي والعرض ثلاثي الأبعاد يتم عرض وتحليل المعلومات المكانية وربطها بإدارة وتشخيص الطاقة. كما وتم مراقبة استهلاك الطاقة واستهلاك المياه والكهرباء والمرافق الأخرى.حيث تم تقسيم إستخدام المياه إلى الاقسام الرئيسية مثل المطابخ والحمامات والاستخدامات الطبية. تم مراقبة استهلاك الكهرباء من خلال تقسيم إستخدام الكهرباء إلى فئات قياسية مثل الإضاءة والمفاتيح ونظام الطاقة وتكييف الهواء. . . الخ. تم عرض الاجمالي لاستهلاك الطاقة بواسطة المخططات الخطية، بينما تم إدراج النسب المئوية المرتبطة حسب الفئات وحسب الاستخدام لكل فئة. وتم إعتماد نظام لوني رسومي ودلت الألوان القريبة من اللون الأحمر على إستخدام الطاقة الكثيف نسبيا.

شكل (59) يوضح إدارة الطاقة

تم دمج جميع الكاميرات الأمنية الخاصة بالمراقبة داخل نظام التوأم الرقمي و يشتمل النظام على المراقبة في الوقت الفعلي ومراقبة المسار بكاميرات محيطة تحقق 360درجة. من خلال النقر فوق رموز الكاميرا في نموذج المبنى ثلاثي الأبعاد، يتم استدعاء مقاطع الفيديو في الوقت الفعلي مباشرةً، مما يحقق تتبعًا سلسا للأشخاص . بمساعدة النظام الأمني الفرعي، سيتم تشغيل تحذيرات التعرف على الوجه بمجرد دخول إحدى الاشخاص غير المرغوب فيهم نطاق أي من الكاميرات الأمنية، بناءً على ملفات تعريف الصور الخاصة بهم. ويقوم مركز التحكم بإبلاغ أقرب حراس الأمن للتعامل مع الحالة. كذلك من خلال كاميرات التعرف على الوجه في جميع المداخل يتم تحقيق إدارة تدفق الزائرين في الوقت الفعلي. يتم حساب مجموع تدفق الزائرين كل خمس دقائق. بمجرد أن يتجاوز متوسط التدفق حد معين، سيتم إرسال تحذير إلى مركز التحكم؛ وفي نفس الوقت سيتلقى الأمن مطالبة على تطبيقات الأجهزة المحمولة لإيقاف التدفق أو توزيعة، وتم استغلال هذه الميزة خلال جائحة كورنا لتحقيق التباعد الاجتماعي. كذلك تم استخدام تضمين التعرف على لوحة رقم السيارة في كاميرات المدخل الرئيسي. وتحديد وقت دخول ووقت مغادرة ومسار وقوف كل سيارة،



شكل (60) يوضح إدارة تدفق الزوار

كما ويتم عرض معلومات المنشأة الرئيسية، وحالة التشغيل والاشعارات الخاصة بكل جهاز في النموذج ثلاثي الأبعاد. من خلال بيانات المنشأة الديناميكية لأنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء وإمدادات المياه والصرف وتوزيع الطاقة والأنظمة الأخرى. يعرض النظام بيانات المراقبة التاريخية لكل نقطة مراقبة في شكل قائمة ومخطط اتجاه لتسهيل فهم تشغيل جميع الآلات الرئيسية بشكل مباشر وتقييم أدائها . علي سبيل المثال تم تحديد 12 نقطة مراقبة تفصليه لوحدة التكيف المركزي؛ مثل حالة المرشح ودرجة حرارة إمداد الهواء والرطوبة وتركيز ثاني أكسيد الكربون. بعد تحديد القيم المطلوبة من درجة الحرارة والرطوبة للهواء وتركيز ثاني أكسيد الكربون، إذا تم تجاوز هذه القيم المحددة، يصدر النظام تحذير أو إنذارات بألوان مختلفة حسب حالة الانذار ويتلقى عمال الإصلاح مهمة عمل على هواتفهم الذكية في نفس الوقت. أضافة لمراقبة نظام المصعد. حيث يتم إرسال إشارات تحديد الموقع لجميع المصاعد ال 18كل خمس ثوان. وفي حالة وجود عدد انتظار كبير لمصعد ما، سيتصل مركز التحكم بالسماعات القريبة ويوجه انتظار الركاب إلى مصعد آخر متاح.

شكل (61) يوضح إدارة المرافق والمعدات

**التشخيص الذكي وإجراءات الإصلاح الفورية أو الوقائية :**

يتم التحكم في الدوائر الكهربائية المختلفة في المستشفى طبقاً لسناريوهات الإستخدام الفعلي. على سبيل المثال، تستهلك إضاءة منطقة انتظار المرضى الخارجيين كهرباء أكثر في النهار، وأقل في المساء، وتقريباً صفر في الليل، وبالتالي يكون استهلاك نظام الطاقة أعلى

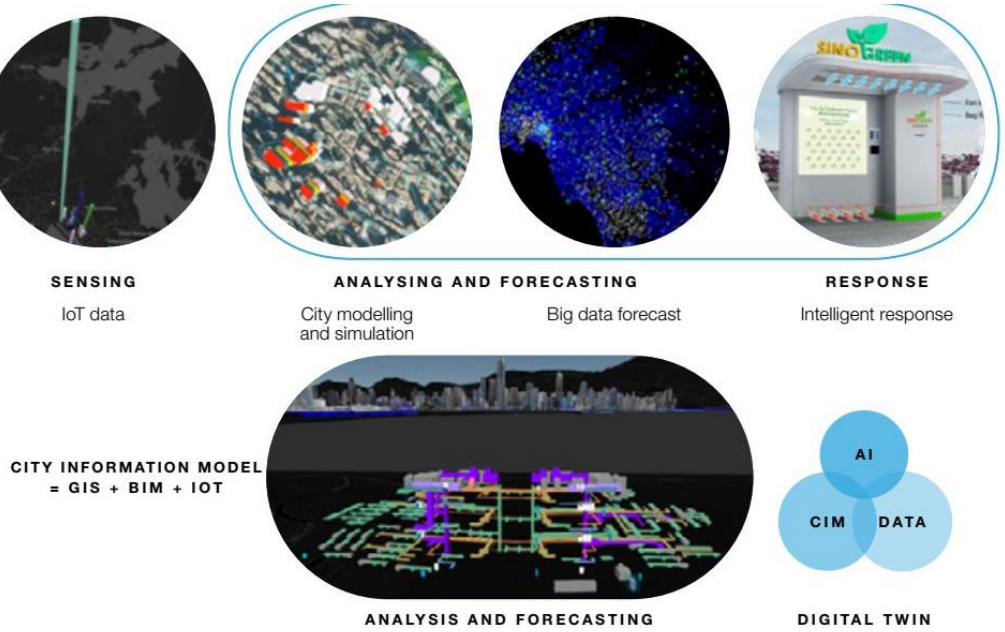
في الصباح ويظل منخفضًا نسبيا بعد ذلك. وكذلك إذا انخفض مستوى الإشغال إلى الصفر داخل فراغ ما، فسيتلقى موظفو التشغيل إشعارا لإطفاء جميع الأضواء في تلك الغرفة. يمكن أن يسجل نظام التوأم الرقمي ان الغرفة بها تدفق هواء دون المستوى أو درجة الحرارة غير مناسبة، مما يسبب عدم راحة المستخدمين، وبالتالي يعدل من درجة حرارة المكيف وسرعة الهواء ليكون مناسب لإستخدام الحالي. يمكن لهذه المستشعرات مراقبة مستويات الرطوبة وتدفق الهواء وجودة الهواء ويمكن تنظيمها للتكيف مع المعايير المثلى. تم تصنيف بيانات المراقبة ل 287عدادًا ذكيا لجميع المرافق يدار بطريقة آلية بالكامل ويتم مراقبة الإستخدام بشكل مستمر وتحديد أي عداد غير طبيعي يتجاوز أو يقل عن نسبة 20٪من السلوك الطبيعي المقابل. وتتم المطالبة بالتحقق من المهام عبر تطبيق الهاتف . وبالنسبة لساعات الاستهلاك المرتفعة بشكل غير طبيعي، يتم اخطار المسؤول لوقف استهلاك الطاقة غير الضروري. بالنسبة للاستهلاك المنخفض بشكل غير طبيعي، يتم تواجهيهم بالتحقق من توقف أي آلة عن العمل.

يتيح النظام للمستخدمين على أي مستوى بدء طلبات الإصلاح أو خطط الصيانة والتعامل معها بشكل ملائم. سوء كانت الصيانة طارئة، أو الصيانة اليومية، أو عمليات الصيانة عند الطلب ومتطلبات الآلات المختلفة. يمكن ايضا للمستخدم العادي في المبنى بدء طلب إصلاح عبر تطبيق الهاتف المحمول، وإرسال أوصاف بمساعدة الوسائط المتعددة أو الرسائل النصية للتوضيح. يدعم التطبيق النصوص والصور والتسجيل الصوتي ومقاطع الفيديو. بالإضافة الي تجميع الطلبات من وحدات تشخيص الأعطال التلقائية. تم تعيين المهام اليدوية والتلقائية لأقرب عامل من مكان الاصلاح في مبنى المستشفى. تم إستخدام نموذج توأم رقمي للمساعدة في تحديد الموقع المكاني للأعطال وتحليلها ثم الحكم على نطاق التأثير أو النقاط الرئيسية للأخطاء؛ مما أدى ذلك إلى تحسين كفاءة الصيانة بشكل عام.

شكل (62) يوضح عمليات الفحص والصيانة

## 2-التوأم الرقمي لمدينة نيورون Neuron/ هونغ كونغ

تعمل التوأم الرقمي للمدن على رسم خريطة للمساحة والأشخاص والأنشطة في المدينة الفعلية إلى مدينة افتراضية. من خلال بناء بيانات مغلقة على مستوى المدينة في المدينة الافتراضية ، يمكن تحقيق المراقبة والتنبؤ والتحكم في المدينة المادية ، من أجل حل المشكلات المعقدة لدورة الحياة الحضرية.الصين هي إحدى مناطق الاختبار الرائدة في العالم للمدن الذكية. تقوم Arup Hong Kong ببناء منصة رقمية مزدوجة على مستوى المدينة لرسم خريطة للمساحة والأشخاص والأنشطة في المدينة الفعلية إلى مدينة افتراضية. يشتمل التوأم الرقمي على GISو BIMو IoT والحوسبة السحابية والذكاء الاصطناعي. غالباً ما تكون الأنظمة في المدينة مجزأة ومعزولة مثل النقل أو الأمن وبشكل عام مع درجة منخفضة من الذكاء الاصطناعي. لذلك اقترح بناء منصة قادرة على التغلب على هذه التحديات.




شكل (63) خصائص التوأم الرقمي لمدينة هونج كونج

تم بناء توأم رقمي لمدينة هونج كونج يسمى مدينة نيورون. تقوم المنصة بتخطيط المساحات المادية والأشخاص إلى مدينة افتراضية يتم به مراقبة جوانب المدينة المادية والتنبؤ بها والتحكم فيها من خلال دمج تدفق بيانات الحلقة المغلقة. مما ادى إلى حل مشكلات معقدة نوعاً ما في دورة الحياة الحضري.

شكل (64) واجهة القيادة لمنصة نيورون

تم بناء نظام تشغيل منصة لنموذج معلومات مقياس المدينة CIM يضمن النموذج الأولي مجموعة من الوظائف منها النمذجة ثلاثية الأبعاد والتحليل المكاني وتصور بيانات المحاكاة والإحصاءات وبناء لوحة بيانات و وحدة تصميم حدودي إضافة لتصور وتحليل البيانات في الوقت الحقيقي. تمتلك المنصة خصائص إدارة بيانات إنترنت الأشياء. وأنتاج عروض توضيحياً لسيناريو التصميم الكامل إضافة لخوارزمية التعلم الآلي لتوفير تنبؤات باستخدام البيانات على نطاق المدينة. وتضيف المنصة قيمة من خلال دمج البيانات من أجل التعاون واتخاذ القرار ، ومن خلال تطوير تطبيقات مبتكرة للتنبؤ بالمدينة والتحكم فيها. ومثال على ذلك :

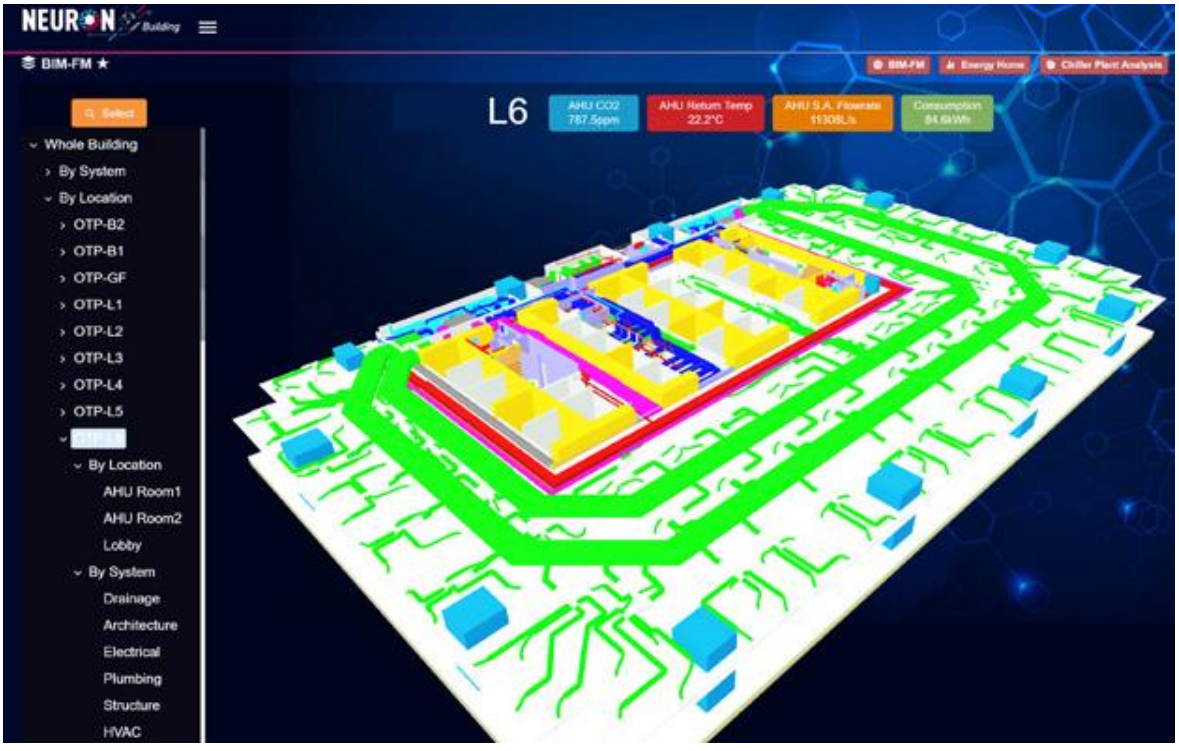
**توزيع أسعار المساكن:** تم جمع بيانات أسعار المنازل عبر الإنترنت وتصورها حسب الموقع كجزء من Neuron City.يوفر هذا أساساً كمياً لاتخاذ القرار وإلقاء نظرة ثاقبة على سوق العقارات والأسكان.

**التحليل المكاني متعدد المصادر:** استخدم صورة الاستشعار عن بعد متعددة الأطياف من "لاندسات"(landsat ) لتحقيق توزيع نوع أرض معين عن طريق إنشاء صورة نقطية لمؤشر رطوبة الطبيعي وقد سمح ذلك بتحقيق الاستشعار عن بعد بدرجات عالية من الدقة.

**تكامل الانظمة :** تتمثل إحدى الميزات الأكثر ابتكاراً في النظام الأساسي في التفاعل بين نموذج BIM ثلاثي الأبعاد للمبنى وبيانات الوقت الفعلي التي يتم التقاطها تلقائياً من أنظمة إدارة المباني وأنظمة HVAC.يتم تحقيق ذلك باستخدام البروتوكولات المفتوحة بما في ذلك أتمتة المباني وشبكات التحكم BACnet و Modbus.من خلال النقر فوق عنصر في نموذج BIM ثلاثي الأبعاد ،يمكن للمشغلين تصور معلمات وإحصائيات محددة للعنصر بمساعدة لوحات المعلومات التفاعلية والمتجاوبة ،مما يجعل أداء المبنى أكثر شفافية إصافة الى تحسين القدرة على المراقبة في الوقت الفعلي لمعلمات نظام البناء.

**الإستدامة :** يتم توفير قياس دقيق لمعلمات البيئة الداخلية مثل درجة الحرارة والرطوبة وجودة الهواء الداخلي ومستويات تلوث الهواء من خلال شبكة من مستشعرات إنترنت الأشياء وبوابات المعدات. باستخدام القوة الحسابية للذكاء الاصطناعي جنباً إلى جنب مع التعلم الآلي ، ويمكن تحليل مجموعات البيانات التاريخية الكبيرة من أجل تحسين نظام البناء و تقدير استخدام الطاقة في المستقبل بشكل أفضل والسماح بالتخطيط الأفضل.

**الصيانة الوقائية:** يساعد الذكاء الاصطناعي في مراقبة حالة المعدات ومكوناتها وتقديرها من خلال تحليل أنماط الاستخدام وتكرار الصيانة والمعلمات التشغيلية مثل الاهتزازات والصوتيات. و جدولة صيانة النظام .




شكل (65)عرض لمقطع من مبنى داخل منصة نيورون

### 3-التوأم الرقمي لمكتب انترنت الاشياء / طوكيو

مكتب Arup Tokyo بمساحة تقارب 700م تم تجهيزه بـ 12مستشعراً بيئياً و 16مستشعراً للإحصاء البشري لتغطية غرف الاجتماعات والغرف الخاصة والمساحات المفتوحة كما وتم تثبيت كاميرات ذكية وجهاز تحليل المشاعر (emotion analysis device) في مساحة مفتوحة تسُتخدم لأحداث مختلفة. تم تسمية هذا الجهاز المطبوع ثلاثي الأبعاد باسم "مستشعر البطريق" (penguin sensor)

تقوم مستشعرات البيئية ومستشعرات البطريق بأخذ قراءات كل خمس دقائق. وفي الوقت نفسه ، يقيس جهاز استشعار آخر عدد الأشخاص كل دقيقة. ويتم إرسال جميع البيانات إلى قاعدة بيانات سحابية واحدة (InfluxDB) ويتم تصورها باستخدام لوحة معلومات.

يتم عرض لوحة القيادة هذه على شاشة مثبتة عند مدخل المكتب ، مما يعطي نظرة عامة سريعة في الوقت الفعلي عن حالة المكتب أجهزة الاستشعار البيئية التجارية تقيس درجة الحرارة والرطوبة وثاني أكسيد الكربون ومستوى الضوضاء .يكتشف مستشعر حركة آخر عدد الأشخاص داخل منطقة الاستشعار باستخدام كاميرا الأشعة تحت الحمراء .يتم تحليل صور الكاميرا من خلال الشبكة العصبية المدمجة للحصول على عدد الموظفين في الوقت الفعلي. وتسجيل البيانات الصوتية من أولئك الموجودين في الجوار وتحليل تلك البيانات باستخدام خدمة سحابية .

من خلال هذه التقنيات تبين أن تركيز ثاني أوكسيد الكربون ترتبط بعدد الافراد خلال كل يوم من الأسبوع . ففي بداية الأسبوع هناك اتجاه تصاعدي في ساعات العمل مع ارتفاعين في فترة ما بعد الظهر ، لكن شكل هذا الاتجاه التصاعدي يتغير مع كل يوم من أيام الأسبوع.

وينخفض كل ما أقترب إلى عطلة نهاية الأسبوع. كما ويرتبط التركيز بشكل أكبر بكل من الموظفين الذين يغادرون المكتب مباشرة بعد ساعات العمل والموظفين الذين يعملون ساعات إضافية.

شكل (66) يوضح شاشة لوحة القيادة وفراغ مكتب طوكيو مع مستشعر البطريق

## الدراسة والنتائج

### إجراءات الدراسة:

**منهج الدراسة:**

تم استخدام المنهج الوصفي التحليلي في البحث الحالي، حيث أن استخدام هذا المنهج سيساعد في التوصل إلى الأهداف المرجوة والخروج بتوصيات ومقترحات قد تسهم في إيجاد حلول لمشكلة البحث. قام الباحث بتجميع بيانات عن أثر تكنولوجيا التوائم الرقمية على المشاريع الهندسية , وتم وضع أسئلة محددة وصياغتها في شكل استبيان تم توزيعه على أفراد العينة ومن ثم وصف هذه البيانات وتحليلها.

**مجتمع الدراسة:**

يتكون من شركات القطاع الهندسي والمكاتب الهندسية ومؤسسات التعليم الهندسي والتقني بقطاع البناء والتشييد في سوريا.

**عينة الدراسة:**

العينة هي وحدات جزئية من المجتمع يتم اختيارها وفقاً لأسس وقواعد إحصائية.حيث تم اختيار عينة عشوائية من مجتمع الدراسة، وتم التوصل إلى استجابة(36) .

**أداة الدراسة:**

تم استخدام الاستبانة كأداة لهذه الدراسة، لجمع المعلومات كالبيانات المتعمقة بها، نظرا لطبيعتها من حيث أهدافها ومنهجها ومجتمعها .وتعتبر الاستبانة من أكثر أدوات البحث انتشارا واستخداماً في مجالات العلوم المختلفة، فهي أكثر فاعلية من حيث توفير الوقت وتقليل التكلفة، وإمكانية جمع البيانات عن عدد أكبر من الأفراد مقارنة بالوسائل الأخرى، كما أنها تسهل الإجابة على بعض الأسئلة التي تحتاج إلى وقت.(نوري ،2014)

**خطوات الإعداد :**

**الخطوة الأولى** :قام الباحث بوضع الهدف الرئيسي للبحث وهو دراسة أثر تطبيق تكنولوجيا التوائم الرقمية على المشاريع الهندسية.

**الخطوة الثانية** :تحديد مجالات القياس لأداة البحث : تمثلت مجالات القياس لأداة البحث في قسمين هما:

**القسم الأول:** البيانات الشخصية :واشتملت على :الجنس– العمر- المستوى التعليمي- سنوت الخبرة- مجال العمل .

**القسم الثاني :**يحتوي على 15 عبارة موزعة على ثلاث محاور كالآتي:

**المحور الأول: تقدير مستوى الوعي بتطبيق تكنولوجيا التوائم الرقمية على المشاريع الهندسية** ، ويحتوى على 5 عبارات.

**المحور الثاني: اكتشاف أهمية استخدام تكنولوجيا التوائم الرقمية على المشاريع الهندسية** ، ويحتوى على 5عبارات.

**المحور الثالث: تقييم عوائق استخدام تكنولوجيا التوائم الرقمية على المشاريع الهندسية** ، ويحتوى على 5عبارات.

**الخطوة الثالثة :**صياغة عبارات أداة البحث في صورتها الأولية.حسب كل مجال وفقاً للتعريفات الإجرائية للمجال الذي تم قياسه بالاستبانة والاستفادة من بعض العبارات الواردة في الأدوات المستخدمة في دراسات سابقة ذات الصلة.

**الخطوة الرابعة** : تدريج الاستجابات للعبارات .حيث تم تدريج الاستجابات نحو العبارات باستخدام مقياس ليكرت للتدريج الخماسي .

**الخطوة الخامسة :** صياغة تعليمات أداة البحث :تمت صياغة تعليمات الاستبانة بغرض تعريف أفراد مجتمع الدراسة على الهدف من أداة الدراسة، مع مراعاة وضوح العبارات وملائمتها لمستوى المستجيبين، كالتأكيد على كتابة البيانات الخاصة بمتغيرات الدراسة.

**الخطوة السادسة:** تم إخراج الاستبانة في صورتها النهائية وتطبيقها على العينة المستهدفة، وذلك بعد تحويلها إلى استمارة إلكترونية عن طريق موقع google ومن ثم إرسال الرابط الإلكتروني للعينة المستهدفة عن طريق تطبيقات الهاتف والايميل وبعض مواقع التواصل الاجتماعي.

**محاور الاستبيان ومستويات الاستجابة لكل محور:**

| المحور | مستويات الاستجابة | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| تقدير مستوى الوعي بتطبيق تكنولوجيا التوائم الرقمية على المشاريع الهندسية | اطلاقاً | بدرجة ضعيفة | بدرجة متوسطة | بدرجة قوية | بدرجة قوية جدا |
| اكتشاف أهمية استخدام تكنولوجيا التوائم الرقمية | غير مهم | قليل الاهمية | معتدل الاهمية | مهم | مهم جدا |
| تقييم عوائق استخدام تكنولوجيا التوائم الرقمية | ضعيف جدا | ضعيف | متوسط | قوي | قوي جدا |
| المقياس | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

جدول (3) محاور الاستبيان ومستويات الاستجابة

**المواصفات الديموغرافية للعينة:**

**الجنس:**

جدول (4) النسبة المئوية لجنس عينة البحث

| 1. ماهو جنسك؟ | |
|---|---|
| ذكر | %40 |
| أنثى | %60 |

المصدر: من نتائج التحليل الاحصائي بالاعتماد على برنامج SPSS

تألفت عينة الدراسة من 40%ذكور و 60%إناث، أي أن غالبية أفراد العينة هم من الاناث، هذا وقد توزعت فئاتهم العمرية كما يظهر في المخط البياني التالي:

**العمر:**

جدول (5) النسبة المئوية للفئات العمرية لعينة البحث

| 2. كم هو عمرك؟ | |
|---|---|
| أقل من 25 | %29 |
| من 25 الى 35 | %55 |
| من 35 الى 49 | %16 |

المصدر: من نتائج التحليل الاحصائي بالاعتماد على برنامج SPSS

من الواضح من المخط البياني السابق أن غالبية أفراد العينة تتراوح أعمارهم بين ال 25وال 35سنة وذلك بنسبة 55%أي حوالي نصف العينة المدروسة تقريباً أما بالنسبة للأشخاص الذين أعمارهم أقل من 25 فانت نسبتهم 29% ثم يأتي الأشخاص الذين تراوحت أعمارهم بين 35 و 49 في النهاية لتكون نسبتهم هي 16% من العدد الكلي ، أي أن الغالبية في عينة الدراسة هم من فئة الشباب .

**المستوى التعليمي:**

جدول (6) النسبة المئوية للمستوى التعليمي لعينة البحث

| 3. ما هو المستوى التعليمي ؟ | |
|---|---|
| ثانوي | %8 |
| معهد متوسط | %10 |
| جامعة | %63 |
| دراسات عليا | %19 |

المصدر: من نتائج التحليل الاحصائي بالاعتماد على برنامج SPSS

أما بالنسبة للمستوى التعليمي فقد تبين أن المستويات التعليمية لأفراد العينة كانت بأغلبها من حملة الشهادة الجامعية بأغلبية ،63% أما 19% فكانوا من حملة شهادة الدراسات العليا، ليأتي بعدها حملة شهادة المعهد المتوسط بنسبة ،10% وأخيراً يأتي الأشخاص ذوي حملة الشهادة الثانوية وذلك بنسبة ،% 8ومما سبق يتوضح أن غالبية أفراد العينة هم من الطبقة المثقفة.

**عدد سنوات الخبرة:**

جدول (7) النسبة المئوية لعدد سنوات الخبرة لعينة البحث

| 4. ما هو عدد سنوات الخبرة ؟ | |
|---|---|
| من 1 الى 3 سنوات | %55 |
| من 4 الى 6 سنوات | %21 |
| من 7 الى 10 سنوات | %6 |
| أكثر من 10 سنوات | %18 |

المصدر: من نتائج التحليل الاحصائي بالاعتماد على برنامج SPSS

فبعد تحليل عينة البحث تبين أن غالبية المستجيبين تراوحت عدد سنوات خدمتهم بين السنة وال 3 سنوات وذلك بنسبة 55%أي حوالي نصف العينة تقريباً ، ثم يأتي الأشخاص ذوي الخبرة من 4سنوات إلى 6 سنوات بنسبة ،21% يليها الأشخاص ذوي الخبرة التي تتجاوز ال 10سنوات بنسبة ،18%وفي النهاية توجد الفئة الذين تراوحت سنوات خبرتهم بين ال 7سنوات وال 10سنوات وكانت نسبتهم 6%من مجمل أفراد العينة.

**مجال العمل:**

جدول (8) النسبة المئوية لمجال عمل عينة البحث

| 3. ما هو مجال العمل ؟ | |
|---|---|
| مقاولات إنشائية | %39 |
| إستشارات هندسية | %44 |
| تعليم هندسي وتقني | %17 |

المصدر: من نتائج التحليل الاحصائي بالاعتماد على برنامج SPSS

تبين أن عينة الدراسة توزعت على 44% نسبة المشاركين من المكاتب الاستشارية الهندسية و 39% من العاملين بمجال المقاولات الانشائية و17 % من العاملين بمجال التعليم والتقانة.

**ثبات الاستبانة:**

لمعرفة درجة وثوقية وثبات محاورالاستبانة تم تطبيق اختبار ألفا كرونباخ عليها، فكانت النتيجة كما يلي:

| المحور | ألفا كرونباخ |
|---|---|
| تقدير مستوى الوعي بتطبيق تكنولوجيا التوائم الرقمية | 0.719 |
| اكتشاف أهمية استخدام تكنولوجيا التوائم الرقمية | 0.963 |
| تقييم عوائق استخدام تكنولوجيا التوائم الرقمية | 0.918 |

جدول (9) اختبار ألفا كرونباخ

مما سبق من نتائج فإنه يتضح ثبات الاستبانة وصلاحيتها لقياس أهداف الدراسة. وللإجابة على تساؤلات الدراسة فقد تم تحليل عبارات محاور الاستبانة وذلك كما يلى:

**المحور الاول: تقدير مستوى الوعي بتطبيق تكنولوجيا التوائم الرقمية في المشاريع الهندسية.**

اشتمل المحور الاول على خمس بنود لقياس مستوى الوعي لدى المشاركين بالاستبيان ويوضح الجدول 0 تحليل بنود المحور الاول والمتوسط المرجح للمحور.

| البند | النسب المئوية لمستويات الاستجابة | | | | | المتوسط المرجح | الانحراف المعياري | الإتجاه العام درجة موافقة |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | اطلاقاً | بدرجة ضعيفة | بدرجة متوسطة | بدرجة قوية | بدرجة قويةجدا | | | |
| هل لديك دراية ومعرفة بمفهوم التوأم الرقمي | 11.8 | 35.3 | 29.4 | 23.5 | 0 | 2.65 | 0.925 | متوسط |
| هل تعلم أن التوأم الرقمي يستخدم في مجال البناء | 17.9 | 23.4 | 27.6 | 24.7 | 0 | 2.52 | 0.852 | ضعيف |
| هل تعلم كيف يستخدم التوأم الرقمي في مجال البناء | 15.6 | 18.1 | 17.6 | 14.5 | 0 | 2.24 | 0.832 | ضعيف |
| هل تعلم كيف يتم تطبيق التوأم الرقمي في مجال البناء | 12.7 | 14.7 | 13.5 | 11.4 | 0 | 2.03 | 0.785 | ضعيف |
| هل تقوم بتطبيق التوئم الرقمي في المشاريع الهندسية | 11.8 | 12.3 | 11.1 | 10.1 | 0 | 1.92 | 0.658 | إطلاقا |
| المتوسط المرجح للمحور الاول | | | | | | 2.12 | | ضعيف |

جدول (10) نتائج المحور الأول

من النتائج بالجدول السابق، يتضح ان درجة المعرفة بمفهوم التوام الرقمي بشكل عام متوسطة ، وربما يعود السبب لكون التوأم الرقمية جديدة المنشأ والأستخدام في مجالات العمل عامة وانحصر استخدامه بداية في المجالات الصناعية وانتقل الى المجالات الطبية ثم بدء منذ فترة قريبة بالتحول الى المجال الهندسي. ويدل المتوسط المرجح العام للمحور الاول على ضعف درجة المعرفة ومستوى الوعي بالتوأم الرقمي وبطريقة استخدامها وتطبيقها في المجال الهندسي .

**المحور الثاني: اكتشاف أهمية استخدام تكنولوجيا التوائم الرقمية في المشاريع الهندسية .**

اشتمل المحور الثاني على خمس بنود لقياس أهمية إستخدام تكنولوجيا التوائم الرقمية لدى المشاركين بالاستبيان ويوضح الجدول 0 تحليل بنود المحور الثاني والمتوسط المرجح للمحور.

| البند | النسب المئوية لمستويات الاستجابة | | | | | المتوسط المرجح | الانحراف المعياري | الإتجاه العام درجة موافقة |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | غير مهم | قليل الاهمية | معتدل الاهمية | مهم | مهم جدا | | | |
| ماهي أهمية التوأم الرقمي في مرحلة التصميم | 6.2 | 0 | 0 | 23.5 | 49.6 | 4.95 | 0.925 | مهم جدا |
| ماهي أهمية التوأم الرقمي في مرحلة التنفيذ | 6.2 | 0 | 27.2 | 24.7 | 47.8 | 4.60 | 0.852 | مهم جدا |
| ماهي أهمية التوأم الرقمي في مرحلة التسليم | 0 | 0 | 6.2 | 14.5 | 51.4 | 4.53 | 0.832 | مهم |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ماهي أهمية التوأم الرقمي في مرحلة الصيانة و إدارة المنشأة | 0 | 0 | 0 | 11.4 | 53.5 | 4.86 | 0.885 | مهم جدا |
| ماهي أهمية التوأم الرقمي في مرحلة الهدم | 6.2 | 6.2 | 11.4 | 23.8 | 35.9 | 4.12 | 0.898 | مهم |
| المتوسط المرجح للمحور الثاني | | | | | | 4.35 | | مهم جدا |

جدول (11) نتائج المحور الثاني

من النتائج بالجدول السابق، يتضح ان أهمية استخدام التوأم الرقمي في مجال التصميم تلعب دورا كبيرا ومهم في المراحل التالية من أعمال البناء وذلك لكونها تساعد في تقليل العقبات وتسهيل العمل في المراحل التالية وتاتي أهمية التوام الرقمي في مرحلة الصيانة وإدارة المنشأة لما لها من مميازات وخصائص بالحفاظ على المنشأة بأفضل جهوزية. وتأتي أهمية استخدام التوأم الرقمي بمرحلتي التنفيذ والتسليم بتقارب واضح كون العقبات في هذه المرحلة تتضائل نتيجة أهمية جودة مرحلة التصميم .وقد تكون تراجع أهمية مرحلة الهدم نتيجة تشكل معلومات كافية عن طبيعة و خصائص المبنى . ويدل المتوسط المرجح العام للمحور الثاني على الأهمية الكبيرة لإستخدام التوأم الرقمي في كافة مراحل دورة حياة المشاريع الهندسية وأهمية تطبيقها في المجال الهندسي .

**المحور الثالث: تقييم عوائق استخدام تكنولوجيا التوائم الرقمية على المشاريع الهندسية .**

اشتمل المحور الثالث على خمس بنود لقياس عوائق إستخدام تكنولوجيا التوائم الرقمية لدى المشاركين بالاستبيان ويوضح الجدول 0 تحليل بنود المحور الثالث والمتوسط المرجح للمحور.

| البند | النسب المئوية لمستويات الاستجابة | | | | | المتوسط المرجح | الانحراف المعياري | الإتجاه العام درجة موافقة |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ضعيف جدا | ضعيف | متوسط | قوي | قوي جدا | | | |
| هل تشكل قلة المعرفة بالتكنولوجيا عائق لاستخدام التوأم الرقمي | 0 | 6.2 | 11.4 | 35.5 | 55.5 | 4.95 | 0.935 | قوي |
| هل تشكل ضعف البنية التحتية عائق لاستخدام التوأم الرقمي | 6.2 | 5.9 | 29.4 | 34.3 | 47.3 | 4.60 | 0.855 | قوي |
| هل يشكل نقص التدريب والمؤهلين عائق لاستخدام التوأم الرقمي | 0 | 0 | 6.2 | 14.5 | 51.4 | 4.53 | 0.845 | قوي |
| هل يشكل ضعف الامكانات المادية عائق لاستخدام التوأم الرقمي | 5.9 | 0 | 11.4 | 17.4 | 43.5 | 4.86 | 0.735 | متوسط |
| هل يشكل عدم وجود قوانين ملزمة عائق لاستخدام التوأم الرقمي | 0 | 6.2 | 11.4 | 48.4 | 35.9 | 4.12 | 0.832 | قوي |
| المتوسط المرجح للمحور الثالث | | | | | | 4.12 | | قوي |

جدول (12) نتائج المحور الثالث

من النتائج بالجدول السابق، يتضح ترتيب العقبات امام أستخدام تكنولوجيا التوأم الرقمي بالمشاريع الهندسية حيث كان لقلة المعرفة بالتكنولوجيا العامل القوي في هذا المجال مما جاء مؤكدا للمحور الاول بالدراسة ثم يشكل ضعف البنية التحتية عقبة قوية امام استخدام التوأم الرقمي لعدم وجود التجهيزات المطلوبة إضافة لعدم وجود قوانين ملزمة باستخدام هذه التكنولوجيا بينما تراجعت حدة قوة العقبات الاخرى كنقص التدريب والتأهيل والامكانات المادية نظرا لسعي الدولة والجامعات المختلفة على تحديث التعليم والتطوروموكبة المستجدات العلمية ولامكانية وضع خطط للتدريب والتعليم في هذا المجال وتأمين المستلزمات المطلوبة.

## نتائج الدراسة:

1- أظهرت كافة الدراسات السابقة أن تكنولوجيا التوأم الرقمي أحدثت تحولاً كبير بالمشاريع الهندسية في كافه مراحل المنشاة بدءاً من التخطيط والتصميم والتحليل والتنفيذ والتشغيل وادارة البيانات والصيانة وإدارة المبنى وصولا ألى مرحلة الهدم ، حيث كان لها العديد من المميزات منها سرعة وفعالية العمليات داخل المشروع لسهولة تشارك المعلومات مع اطراف المشروع وكفاءة التصميم استخدام التكنولوجيا في تحليل المبنى والمحاكاة السريعة وتوقعات الاداء قبل وخلال دورة التشغيل مما يساعد على اجراء التحسينات والحلول المبتكرة ، بالإضافة الى التقليل من التكلفة ورفع جودة وانتاجية المشروع ينتج عنها تقديم خدمة افضل للعملاء ويتيح لهم فهم افضل للمشروع فضلاً عن الدعم المعلوماتي على مدار عمر المبنى.

2- اظهرت نتائج الدراسة ضعف مستوى الوعي والمعرفة بتكنولوجيا التوأم الرقمي بالمشاريع الهندسية ، مما ادى الى ضعف الوعي بأهميتها و أهمية تطبيقها ، و يرجع الامر الى أسباب عدة منها عدم مواكبة الدراسات والأبحاث الجديدة وقلة الأهتمام عدم وجود مجلات علمية وبرامج علمية توضح أهمية التكنولوجيا وفوائدها في هذا القطاع ونتيجة الازمة التي مرت على البلاد في المرحلة السابقة والحصار اللذي تبعها.

3- اظهرت نتائج الدراسة أهمية تطوير البنية التحتية ومواكبة التطورات التقنية والتكنولوجية لمواجهة العقبات امام استخدام التقنيات الحديثة في مجال صناعة البناء وتحسين الواقع الخدمي والعمراني.

4 - أظهرت الدراسة أهمية التوأم الرقمي لتحقيق الإدارة المرئية في الوقت الفعلي فيمكن لأفراد المشروع فهم الحالة التفصيلية للمنشأة بالكامل من خلال الإدارة المرئية حيث تتم معالجة وتحليل تدفقات البيانات عالية الكثافة باستمرار في الوقت الفعلي عبر منصة تحكم مركزي والتي تعد أكثر كفاءة بكثير من العمل اليدوي التقليدي.

5- أظهرت الدراسة أهمية الذكاء الإصطناعي ومهارات تحليل البيانات في المشاريع الهندسية وودورها في التشخيص و التققيم والمعالجة لحالة المبانى بالتعاون مع تقنيات الواقع الافتراضي والادارة المرئية.

6- أظهرت الدراسة إّن عدم وجود خبرات كافية ونقص الكوادر المدّربة يعتبر من أبرز الصعوبات التي تواجه التوأم الرقمي.

## التوصيات:

1. ضرورة الاهتمام بالتدريب وتأهيل العاملين بمجال البناء على تكنولوجيا التوأم الرقمي بالإضافة الى ادراجه ضمن المقررات التدريبية بالمعاهد والكليات الهندسية وتوفير المقرارت والمدربين المؤهلين، والتعاون مع الشركات المؤهلة لتقديم الدعم اللازم , التركيز على الدوارت التدريبية المتخصصة والمعتمدة في هذا المجال.

2. تفعيل دور النقابات في التوعية ونشر التوأم الرقمي في الوسط الهندسي وعقد ورشات عمل لزيادة الوعي بأهميته وللتدريب إضافة الى فعاليات وندوات تضم كافة العاملين بقطاعات البناء واصحاب المصلحة والعقاريين.

3. تهيئة وتشجيع الشركات والمؤسسات بقطاع الانشاءات للتحول الرقمي بالمشاريع الهندسية بالانتقال التدريجي بعد انهاء كافة الاستعدادات اللازمة للتطبيق من تدريب ودعم فني وبرامج وتأهيل للعاملين لتقبل الانتقال الى التطبيق الفعلي ، حيث يتم تطبيقه بدايا على عدد محدود من المشروعات ثم الانتقال لمستويات أعلى من المشاريع.

4. تقديم الدعم الحكومي لرقمنة المشاريع وتبني تقنيتي البيم والتوأم الرقمي وإصدار القواعد الملزمة لاستخدامهما في المشروعات الكبرى وذات الطابع الخاص وللحصول على الموافقات والتراخيص من الجهات الحكومية المعنية، والتهيئة لاعداد المواصفات والكودات والعقود الملائمة, وبدء الانتقال التدريجي للتعميم على باقي المشروعات.

5. توفيرالامكانيات المادية الالزمة ورفع سوية البنية التحتية للقدرة على مواكبة التطور التقني اللازم لتبني التوأم الرقمي كتقنيات الذكاء الاصطناعي وشبكات الجيل الخامس والأجهزة الروبوتية وغيرها لتحقيق بنية تاسيسية مساعدة لتطبيق التوأم الرقمي.

6 . دعم المزيد من الدراسات المتعلقة بالتوأم الرقمي في كافة مجالات قطاع البناء كالتصميم والتشغيل والصيانة والتأكيد على أهميتها وإجراء مقارنات لدراسات مشابهة ودورها في رفع سوية العمل الهندسي.

## المراجع References :

**المراجع العربية:**


- (سليمان و والي, 2022) "دور تكنولوجيا إنترنت الأشياء وتكنولوجيا التوائم الرقمية على فاعلية التدريب العملي في مجال الطباعة" كلية الفنون التطبيقية- جامعة حلوان
- (ندا و داود,2022) "التوأم الرقمى: منهجيات نمذجة بيئة العمل أثناء عمليات التصميم والتطوير" كلية الفنون التطبيقية، جامعة بنها
- كورانا، أنيل والعلماء، وبدر ( 2016،) الثورة الصناعية الرابعة: بناء المؤسسات الصناعية الرقمية، استطلاع الثورة الصناعية الرابعة في الشرق الأوسط
- يس، نجلا احمد ( 2015،)نحو التحول الرقمي للدوريات: دراسة لواقع مبادرات المكتبات ومؤسسات المعلومات العربية، مجلة المكتبات والمعلومات، دار النخلة للنشر، ع 14، ص ص .
- محمد جمال محمد عبد المقصود.2017 "دراسة توظيف امكانيات التكنولوجيا الرقمية الحديثة والمتعددة لتطويرالفكر التصميمي والابداعي لإنتاج الاعلان الصحفي المطبوع." الإصدار المجلد 2-العدد 6 .433-419
- البلاوالي، علي عبد الحكيم محمود 2015. .الطباعة ثلاثية الأبعاد-تاريخ الإنشاء :فبراير12
- شريف محمد ربيع ": استخدام الحاسب الآلى كأداه للتقييم في العمليات التصميمية تقييم الجوانب الوظيفية للمراكز التجارية " رسالة دكتوراه – كلية الهندسة – جامعة القاهرة .2004
- غنام،ثابت (2022) التحول الرقمي والتنمية المستدامة في مصر 2030 المجلة العربية للعلوم التربوية والنفسية المؤسسة العربية للتربية والعلوم والاداب
- Doi: 10.21608/jasep.2022.216282
- محرم الحداد ومحمد إبراهيم "الثورة الصناعية الرابعة (الذكاءالاصطناعي – التحول الرقمي(" سلسلة أوراق السياسات في التخطيط والتنمية المستدامة رقم (8) ISBN: 978.6641.74.7
- أوبك (2021) كتاب "دور التحول الرقمي في تحسين أداء صناعة التكرير والبتروكيماويات"
- د.سهى معاد (2019) كتاب "الثورة الصناعية الرابعة الفرص والتحديات "


**المراجع الأجنبية:**


- Grieves, Michael. (2016). Origins of the Digital Twin Concept. 10.13140/RG.2.2.26367.61609
- Singh, M. Fuenmayor, E.Hinchy, E.P. Qiao, Y. Murray, N.Devine, D. Digital Twin: Origin to Future. Appl. Syst. Innov. 2021, 4, 36.https://doi.org/10.3390/asi4020036
- Qiuchen Lu, Xiang Xie, James Heaton, Ajith Kumar Parlikad, and Jennifer Schooling.(2020) From BIM towards digital twin Strategy and future development for smart asset management . University of Cambridge, Cambridge.
- Min Deng, Carol C. Menassa, Vineet R. Kamat (2021). From BIM to digital twins: a systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), Special issue: ‘Next Generation ICT - How distant is ubiquitous computing,’? Vol. 26, pg. 58-83, DOI: 10.36680/j.itcon.2021.005.

- Haidar Hosamo , Mohsen Hosamo .(2022)"Digital Twin Technology for Bridge Maintenance using 3D Laser Scanning" (Hindawi) Advances in Civil Engineering Volume 2022, Article ID 2194949, 15 pages https://doi.org/10.1155/2022/2194949
- Hugh Seaton , Cristina Savian, Samad M. E. Sepasgozar , Anil Sawhney (2022) Digital Twins from design to handover of constructed assets. Published by the Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) RICS, Parliament Square, London www.rics.org
- Jacobi, H.-F.; Landherr, M. (2013): Bedeutung des Treibers Informations- und Kommunikationstechnik für die Wettbewerbsfähigkeit industrieller Produktion In: Westkämper, Berlin: Springer, pp. 41-44
- Dalia Mendelsson , Edith Falk ,and Amalya L. Oliver ,"The Albert Einstein archives digitization project: opening hidden treasures". Library Hi Tech, 32, No. 2, (2014) :318 – 335. Retrieved From Emerald Group Publishing Limited
- Gartner (2014), Digitization, Gartner IT Glossary, https://www.gartner.com/itglossary/digitzation/.
- Forum (2017) Digital Maturity Model Project, https://www.tmforum.org.
- European Union. (2019). Process Model For The Digitalization Transformation of SMEs
- YOKOGAWA. (2020). Digital Transformation in Process Industries, A Journey Towards Autonomous Operations. Japan.
- (2016c). An OECD Horizon Scan of Megatrends and Technology Trends in the Context of Future Research Policy. Bredgade: Danish Agency for Science, Technology and Innovation.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward 26 Industry 4.0. Journal of Manufacturing Technology Management, doi: 10.1108/JMTM-02- 27 2018-0057
- Boston Consulting Group.( MARCH 08, 2016 ) Digital in Engineering and Construction, https://www.bcg.com/publications/2016/engineered-products-infrastructure-digital-transformative-power-building-information-modeling
- Posey, B. (2021). Industrial Internet of Things (IIoT). Retreived from:https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/IndustrialInternet-of-Things-IIoT?vgnextfmt=print
- Neelam, P., Natarajan, V., & Diwanji, V. (2018). Is Your Organization Ready to Embrace a Digital Twins? NJ, USA: Cognizant.
- Pawlewitz, J., & Doyle, A. (2020, February 11). Managing Dark Data andVisualizing Your Digital Twin. Hydrocarbon Processing.

- Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). Industry 4: Managing The Digital Transformation. Istanbul: Springer International Publishing
- Jenkins, s. (2020, December).AI and Position-Senseng Drive Robotics Expantion. Chemical Engineering, p. 11
- Mohd Aiman Kamarul Bahrin*, Mohd Fauzi Othman, nor Hayati nor Azli, Muhamad Farihin Talib. INDUSTRY 4.0: A REVIEW ON INDUSTRIAL AUTOMATION AND ROBOTIC. Centre for Artificial Intelligence and Robotic, Universiti Teknologi Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia. 2016
- Daniel Küpper, Kristian Kuhlmann, Sebastian Köcher, Thomas Dauner, and Peter Burggraaff. 6/12/2016. The factory of the future. BLOG on Boston Consulting Group. The Factory of the Future (bcg.com)
- Malik, M. I., Wani, S. H., & Rashid, A. (2018, March-April ). Cloud Computing Technologies. International Journal of Advanced Research in Computer Science. Retrieved from www.ijarcs.info
- Flair Data. (2021). Flair Data. Retrieved 2021, from Features of Cloud Computing 10 Major Characteristics of Cloud Computing: https://dataflair.training/blogs/features-of-cloud-computing/
- Weinelt, B. (2017). Digital Transformation Initiative: Oil and Gas Industry. Geneva: World Economic Forum
- Gürdür Broo, D., Lamb, K., Juvenile Ehwi, R., Anneli Pärn, E., 2020. Four Futures, One Choice: Options for the Digital Built Britain of 2040..
- Hill, Brian L. “Digging for the Big Data Gold in Today’s Construction Projects”. Xpera Group. 2017
- Mikalef P, Pappas I, Krogstie J, Giannakos M. Big Data analytics capabilities: A systematic literature review and research agenda. Information Systems and e-Business Management. 2018; 16:547-578. DOI: 10.1007/s10257-017-0362-y
- G. Culot, F. Fattori, M. Podrecca, and M. Sartor, ‘‘Addressing industry 4.0 cybersecurity challenges,’’ IEEE Eng. Manag. Rev., vol. 47, no. 3, pp. 79–86, Sep. 2019
- B.J. Copeland, "Artificial intelligence", Retrieved 7-10-2019. Edited.
- Andreas Kaplan, Michael Haenlein, (2019) Siri, Siri in my Hand, who's the Fairest in the Land? On the Interpretations, Illustrations and Implications of Artificial Intelligence, Business Horizons, Vol. 62, Issue. 1, PP. 15-25
- Google. Nest Learning Thermostat. Accessed November 17, 2019. https://store.google.com/gb/product/nest_learning_thermostat_3rd_gen
- Mitchell, T. (1997). Machine' Learning, McGraw Hill. ISBN 0-07-042807-7, p.2.

- Trevor Hastie, Robert Tibshirani and Jerome Friedman (2001). The Elements of Statistical Learning, Springer. ISBN 0-387-95284-5
- Bengio ،Yoshua (2009). "Learning Deep Architectures for AI" . Foundations and Trends in Machine Learning. 2 . doi:10.1561/2200000006.
- Song ،H.A ؛.Lee ،S. Y. (2013). "Hierarchical Representation Using NMF". Neural Information Processing. Lectures Notes in Computer Sciences. doi:10.1007/978-3-642-42054-2_58. ISBN 978-3-642-42053-5.
- Deng ،L ؛.Yu ،D. (2014). "Deep Learning: Methods and Applications". doi:10.1561/2000000039.
- Mourtzis, D., Vlachou, E., Milas, N.: Industrial Big Data as a result of IoT adoption in manufacturing. Procedia CIRP. **55**, 290–295 (2016)
- Hashem, I.A.T., Yaqoob, I., Anuar, N.B., Mokhtar, S., Gani, A., Khan, S.U.: The rise of big data on cloud computing: Review and open research issues. Inf. Syst. **47**, 98–115 (2015)
- Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., Zhang, C.: Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data-based feedback and coordination. Comput. Netw. **101**, 158–168 (2016)
- Wan, J., Tang, S., Li, D., Wang, S., Liu, C., Abbas, H., Vasilakos, A.V.: A manufacturing big data solution for active preventive aintenance. IEEE Trans. Industr. Inf. **13**(4), 2039–2047 (2017)
- Constante, T.A.D.S.L.: Contribution for a Simulation Framework for Designing and Evaluating Manufacturing Systems. (2018)
- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., Sui, F.: Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. Int. J. Adv. Manuf. Technol. **94**(9–12), 3563–3576 (2018)
- Centre for Digital Built Britain. National Digital Twin Programme. Published 2019. https://www.cdbb.cam.ac.uk/national-digital-twin-programme
- Grieves M, Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems BT - Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches. 2017:85-113.
- Parrott A, Warshaw L. Industry 4.0 and the digital twin. Deloitte Univ Press. Published 2017.
- Microsoft. The promise of a digital twin strategy, 2019. https://info.microsoft.com/rs/157-GQE-382/images/Microsoft%27s Digital Twin %27HowTo%27 Whitepaper.pdf
- Siemens. Digital Twin, 2019. https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/digital-twin/24465.
- Menachery, M. (2020, July). Digital Twins are the Key to Operational Excellence in Refineries. Refining & Petrochemicals

- Emerson. (2019). Emerson Digital Twin: A Key Technology for DigitalTransformation. Emerson. Retrieved from www.emerson.com/mimic
- Dinis, F.M., Sanhudo, L., Martins, J.P., Ramos, N.M. Improving project communication in the architecture, engineering and construction industry: Coupling virtual reality and laser scanning. Journal of Building Engineering. 2020. 30. 101287. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101287
- Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., Hicks, B. Characterising the Digital Twin: A systematic Manufacturing Science and Technology In Press. 2020.. DOI: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002
- Grieves, M.W. Virtually Indistinguishable. In IFIP International Conference on Product Lifecycle Management 2012. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-642-35758-9_20
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K., 2011, BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. John Wiley Sons
- Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., Hicks, B. Characterising the Digital Twin: A systematic Manufacturing Science and Technology In Press. 2020.. DOI: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., Sihn, W. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. IFAC-PapersOnLine. 2018. 5111. Pp. 1016–1022. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.08.474
- Dawood, Mina Eshaq Tawfilis. (2017). *4D Ergonomics Modeling in the Interaction Design field*. Master Thesis. Arab Republic of Egypt: Faculty of Applied Arts, Helwan University
- 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/productline/digital-twins
- 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
- 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
- B.Atkin, A. Brooks, Total Facility Management, John Wiley & Sons (2021), google-Books-ID: 09QnEAAAQBAJ
- D. Sapp, Facilities Operations & Maintenance – An Overview – WBDG – Whole Building Design Guide (2017). URL: https://www.wbdg.org/facilitiesoperations-maintenance.

- McGraw-Hill, Energy Efficiency Trends in Residential and Commercial Buildings – August 2010, Tech. Rep. 1218835, McGraw-Hill (Aug. 2010).doi:10.2172/1218835
- P. Parsanezhad, J. Dimyadi, Effective Facility Management and Operations via a BIM-based Integrated Information System, CIB W070 (2014), https://doi.org/10.13140/2.1.2298.9764.
- S.H. Alavi, N. Forcada, BIM LOD for facility management tasks, in: Proceedings of the 2019 European Conference on Computing in Construction, Vol. 1 of Computing in Construction, University College Dublin, Chania, Crete, 2019, doi:10.35490/ec3.2019.187.
- L. Ding, R. Drogemuller, P. Akhurst, R. Hough, S. Bull, C. Linning, Toward sustainable facilities management, in: Technology, Design and Process Innovation in Built Environment, Taylor & Francis, 2009, pp. 373–392.
- L. Sabol, Challenges in Cost Estimating with Building Information Modeling,Design Constr. Strategies(2008)
- P. Teicholz, BIM for Facility Managers, John Wiley & Sons (2013), googleBooks-ID: wHQDghScf2YC
- M.A. Hassanain, T.M. Froese, D.J. Vanier, Development of a maintenance management model based on IAI standards, Artif. Intell. Eng. 15 (2) (2001), https://doi.org/10.1016/S0954-1810(01)00015-2
- What is COBie? (2022). URL: https://www.thenbs.com/knowledge/what-iscobie
- A. Darko, A. P. C. Chan, M. A. Adabre, D. J. Edwards, M. R. Hosseini and E. E. Ameyaw, "Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities", Autom. Construct., vol. 112, Apr. 2020.
- D. Luckey, H. Fritz, D. Legatiuk, K. Dragos and K. Smarsly, "Artificial intelligence techniques for smart city applications", Proc. Int. Conf. Comput. Civil Building Eng., vol. 98, pp. 3-15, Aug. 2021.
- T. Slaton, C. Hernandez and R. Akhavian, "Construction activity recognition with convolutional recurrent networks", Autom. Construct., vol. 113, May 2020
- J. K. Chow, Z. Su, J. Wu, Z. Li, P. S. Tan, K.-F. Liu, et al., "Artificial intelligence-empowered pipeline for image-based inspection of concrete structures", *Autom. Construct.*, vol. 120, Dec. 2020.
- Lesniak, A.; Juszczyk, M. Prediction of site overhead costs with the use of artificial neural network based model. Arch. Civ. Mech Eng. 2018, 18, 973–982.
- Darko, A.; Chan, A.P.C.; Adabre, M.A.; Edwards, D.J.; Hosseini, M.R.; Ameyaw, E.E. Ameyaw. artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. Autom. Constr. 2020, 112, 103081

- J Tian, H Gu, W Liu. Imbalanced classification using support vector machine ensemble. Neural Computing and Applications, 2011, 20(2): 203–209
- Lee, E. A. 2008, “Cyber physical systems: Design challenges”, In Proc., 11th IEEE Int. Symp. On Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing, 363–369. New York: IEEE
- Nassim Khaled, Bibin Pattel, Affan Siddiqui, 2020 “Digital Twin Development and Deployment on the Cloud”, Academic Press is an imprint of Elsevier, Publisher: Mara Conner, United Kingdom, and ISBN: 978-0-12-821631-6.
- ISO 23247-1; Automation Systems and Integration—Digital Twin Framework for Manufacturing—Part 1: Overview and General Principles. ISO: Geneva, Switzerland, 2021 .
- R. Bortolini and N. Forcada, “Analysis of building maintenance requests using a text mining approach: building services evaluation”, Building Research & Information, vol. 48, no. 2, pp. 207–217, 2020.
- Knapp, G. L., T. Mukherjee, J. S. Zuback, H. L. Wei, T. A. Palmer, A. De,and T. DebRoy. 2017, “Building blocks for a digital twin of additive manufacturing”, Acta Mater. 135 (Aug): 390–399. https://doi.org/10.1016/j.actamat.2017.06.039.
- M. Schluse, M. Priggemeyer, L. Atorf, J. Rossmann, 2018, “Experimentable digital twins-streamlining simulation-based systems engineering for industry 4.0”, IEEE Transactions on Industrial Informatics 14 (2018) 1722–1731, https://doi.org/10.1109/TII.2018.2804917.
- Wildfire C, (2018), “How can we spearhead city-scale digital twins? Infrastructure Intelligence”, Available at: www.infrastructure-intelligence.com/article/may-2018/how-can-we-spearhead-city-scale-digital-twins
- Y. Schwartz, S. Eleftheriadis, R. Raslan, and D. Mumovis, “Semantically enriched BIM life cycle assessment to enhance buildings” environmental performance, in Proceedings of the CIBSE Technical Symposium, Edinburgh, UK, 2016.
- D. Greenbaum, A. Lavazza, K. Beier, K. Bruynseels, F. Santoni De Sio, and J. Van Den Hoven, “Digital Twins in Health Care: Ethical Implications of an Emerging Engineering Paradigm”, Front. Genet. |www.frontiersin.org, vol. 9, p. 31, 2018, doi: 10.3389/fgene.2018.00031
- FM system, Manage Your Facilities & Real Estate More Effectively, Available at: https://fmsystems.com/our-software/, (2016)
- Surjya Kanta Pal, Debasish Mishra, Arpan Pal, Samik Dutta, 2021, “Digital Twin – Fundamental Concepts to Applications in Advanced Manufacturing”, SpringerLink, Springer Nature Switzerland AG, 2021, ISBN 978-3-030-815-9.

- Knapp, G. L., T. Mukherjee, J. S. Zuback, H. L. Wei, T. A. Palmer, A. De,and T. DebRoy. 2017, “Building blocks for a digital twin of additive manufacturing”, Acta Mater. 135 (Aug): 390–399. https://doi.org/10.1016/j.actamat.2017.06.039.
- Surjya Kanta Pal, Debasish Mishra, Arpan Pal, Samik Dutta, 2021, “Digital Twin – Fundamental Concepts to Applications in Advanced Manufacturing”, SpringerLink, Springer Nature Switzerland AG, 2021, ISBN 978-3-030-815-9.
- Oliver, D., D. Adam, and A. P. Hudson-Smith. 2018, “Living with a digital twin: Operational management and engagement using IoT and mixed realities at UCL’s Here East Campus on the Queen Elizabeth Olympic Park”, In Proc., GIScience and Remote Sensing. Leicester, UK: Geographical Information Science Research UK.
- Shyam Varan Nath, Pieter van Schalkwyk, 2021, “Building Industrial Digital Twins”, 2021, Published by Packt Publishing Ltd, Birmingham, UK, ISBN 978-1-83921-907-8.
- FM system, Manage Your Facilities & Real Estate More Effectively, Available at: https://fmsystems.com/our-software/, (2016)
- M. Batty, 2018, “Digital twins”, Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science 45 (2018) 817–820, https://doi.org/10.1177/2399808318796416.
- Gartner. (2014). Taming the Digital Dragon: The 2014 CIO Agenda. USA: Gartner. Retrieved from www.gartner.com/cioagenda
- Sendler, U. (2016). The Internet of Things, Industry 4.0 Unleached. Springer.
- Siemens. (2020). The Industrial IT, OT, and IoT Challenge. Siemens.
- Siemens. (2018). “Digital Asset Management – Siemen”
- Autodesk.com “Autodesk TandemTM (Project Constructwin) Delivering the Value of BIM to Owners with a Digital Twin”
- Badenko, V.L., Bolshakov, N.S., Tishchenko, E.B., Fedotov, A.A., Celani, A.C., Yadykin, V.K. ”Integration of Digital Twin and BIM Technologies within Factories of the Future. ” Magazine of Civil Engineering. 2020. 101(1). Article No. 10114 DOI: 10.34910/MCE.101.14
- Singh, M.; Fuenmayor, E.;Hinchy, E.P.; Qiao, Y.; Murray, N.;Devine, D. ”Digital Twin: Origin to Future”. Appl. Syst. Innov. 2021, 4, 36. https://doi.org/10.3390/asi4020036
- Dalia Mendelsson , Edith Falk ,and Amalya L. Oliver ,”The Albert Einstein archives digitization project: opening hidden
  treasures”. Library Hi Tech, 32, No. 2, (2014) :318 – 335. Retrieved From Emerald Group Publishing Limited