Ministry of Higher Education
and Scientific Research
Syrian Virtual University
Program Master of BIMM

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة الافتراضية السورية
برنامج نمذجة معلومات البناء
وإدارتها BIMM

تطوير إطار عمل متكامل لتعزيز صيانة الأنظمة الكهربائية باستخدام النموذج الرقمي المزدوج (Digital Twin) المكون من نموذج BIM وإنترنت الأشياءIOT والذكاء الاصطناعي AI

Developing an integrated framework to enhance the maintenance of electrical systems using the Digital Twin model composed of BIM, IoT, and AI.

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

إعداد المهندس:

بشار العبود
Bashar_274447

إشراف الدكتور المهندس:

بلال زعرور

F2024

كلمة الشكر والإهداء:

كل الشكر والتقدير إلى السيد **الدكتور المهندس بلال زعرور** لجهوده المبذولة و تفانيه في التوجيه والعطاء.

وأيضاًشكر وتقدير **للدكتورة سونيا أحمد** مديرة البرنامج وكافة السادة المدرسين والفنيين العاملين في البرنامج واللذين كانوا السند والشريك في كل المراحل... شكراً جزيلاً لكم.

إلى أهلى وأخي وأخواتي وعائلاتهم...كل الشكر لدعمكم.

إلى زوجتي وأطفالي التوأم الغالي جود وجاد... السند والدافع لكل شيء جميل

فهرس البحث:

I. كلمة الشكر والإهداء.....

II. فهرس البحث.....1

III. جدول المصطلحات والكلمات المفتاحية.....5

IV. Abstract.....7

V. ملخص البحث.....9

الفصل الأول: الإطار العام للبحث.....10

1.1 مقدمة البحث: 10

1-2مشكلة البحث:.....10

1-3أهداف البحث:.....11

الهدف العام: 11

الأهداف التفصيلية:.....11

1-4أهمية البحث:.....11

1-5أسئلة البحث:.....12

1-6فرضيات البحث : 12

1-7منهجية البحث:.....12

1-8أدوات البحث:.....13

1-9حدود البحث: 13

1-10هيكلية البحث: 13

1-11 مراحل البحث:.....15

الفصل الثاني: القسم النظري.....16

2.3.1 أبرز الأوراق العلمية الأكاديمية الأكثر استشهادًا:.....17

نظرة سريعة حسب الموضوع والتأثير:.....19

ماذا تعني هذه القوائم؟ 19

2.3.2 الباحثون الخمسة الأكثر إنتاجية: 20

1. Jack C.P. Cheng 20

2. Wilson Lu.....20

3. Heap-Yih (John) Chong.....20

4. Jiansong Zhang 20

5. Xiangyu Wang.....20

الخلاصة 21
2.3.3 الجهة الأكاديمية الأكثر نشرًا: 21
ترتيب أبرز المؤسسات حسب عدد الأبحاث المنشورة: 22
2.4.1 الجدول التحليلي النوعي : 23
2.4.2 الاستنتاجات النوعية : 26
2.5 الصيانة الكهربائية (تعريفها ، إدارتها ،أهميتها):.....27
2-6 نمذجة معلومات البناء(BIM) :.....29
2-6-2 التطور التاريخي لـBIM : 30
2-6-3مكونات وعناصرBIM :.....31
2-6-3-1البعد الثالث 3D BIM (النمذجة الهندسية):.....31
2-6-3-2البعد الرابع 4D BIM(إدارة الوقت والجداول الزمنية): 32
2-6-3-3البعد الخامس 5D BIM (تقدير التكاليف).....32
2-6-3-4البعد السادس6D BIM (الاستدامة وكفاءة الطاقة): 33
2-6-3-5البعد السابع7D BIM (إدارة المرافق والصيانة) : 33
2-6-3-6البعد الثامن8D BIM(السلامة والوقاية من المخاطر): 34
2-6-3-7البعد التاسع 9D BIM (البناء الذكي والتصنيع المسبق) :.....34
الخلاصة 35
جدول ملخص لأبعادBIM : ..... Error! Bookmark not defined.35
2-6-4الأبعاد الأساسية قبل 3D BIM من 0D إلى 2D : 36
مقارنة بين الأبعاد من 0 Dإلى D3 38
الجدول (6) يوضح مقارنة بين الأبعاد من 0 Dإلى D3(بتصرف الباحث).....38
هل تُعتبر 0D إلى 2D أبعاد "BIM فعلًا؟.....38
2-6-5فوائد تطبيقBIM : 39
2-6-6التحديات والعقبات: 39
2-6-7مستقبلBIM :.....40
2.7 نمذجة معلومات البناء (BIM) في الهندسة الكهربائية: التكامل، التطبيقات، والتحديات: 40
2.8إنترنت الأشياء(IoT) : 43
2.8.1 تعريف إنترنت الأشياء: 43
2.8.2المكونات الرئيسية لإنترنت الأشياء:.....44
2.8.3 البنية المعمارية لإنترنت الأشياء: 45
2.8.4 بروتوكولات اتصال إنترنت الأشياء: 46

مقارنة سريعة بينهم:.....48
الجدول (7) يوضح مقارنة بين بروتوكولات طبقة الشبكة.....48
ملخص الاختيار: 48
2.8.4.1 بروتوكولات إدارة الأجهزة: 48
جدول مقارن بين بروتوكولات إدارة الأجهزة 50
متى تستخدم كل بروتوكول؟.....51
2.8.5 تطبيقات إنترنت الأشياء: 51
2.8.6التقنيات المستخدمة في مجال الهندسة الكهربائية باستخدام تقنيات إنترنت الأشياء(IoT) : 53
2.8.7أنظمة التحكم والمراقبة في الأنظمة الكهربائية الحديثة:.....55
2.8.7.1مقدمة:.....55
2.8.7.2مكونات أنظمة التحكم والمراقبة الكهربائية:.....55
أ. أنظمة المراقبة(Monitoring Systems) 55
ب. أنظمة التحكم(Control Systems) 56
2.8.7.3 أنواع أنظمة التحكم في الأنظمة الكهربائية:.....56
أ. التحكم اليدوي(Manual Control) 56
ب. التحكم الآلي(Automatic Control) 56
ج. التحكم الذكي(Intelligent Control) 56
2.8.7.4 تقنيات الاتصال اللاسلكي:(Wireless Communication Protocols) : 57
2.8.7.5أنظمة المراقبة والتحكم الأساسية: 58
أ. أنظمةSCADA 58
ب. أنظمة إنترنت الأشياء الصناعي(IIoT) 58
ج. أنظمة إدارة المباني الذكية(BMS) 58
2.8.7.6تقنيات متقدمة لتحسين الأداء: 58
أ. الحوسبة الطرفية(Edge Computing) 58
ب. الذكاء الاصطناعي والتحليل التنبؤي 58
ج. البلوك تشين (Blockchain) للأمان.....59
2.8.7.7التحديات التقنية والأمنية: 59
1تحديات أمنية 59
2تحديات تقنية 59
2.8.7.8 التوجهات المستقبلية: 59

2.9 الذكاء الاصطناعي في الهندسة الكهربائية ونمذجة معلومات البناء(BIM) :.....61
2.9.5 أطر التكامل بين الذكاء الاصطناعي وBIM : 66
2.9.6 التطبيقات في الهندسة الكهربائية: 66
2.9.7 التطبيقات في نمذجة معلومات البناء(BIM) 67
2.9.8 التحديات والأخلاقيات : 68
2.9.9 الاتجاهات المستقبلية :.....69
الفصل الثالث: القسم العملي.....78
.1البرمجيات الرئيسية داخلTIA Portal: 78
2. المكونات المستخدمة : 79
.1الأجهزة المادية:.....79
الجدول (9)يوضح الأجهزة المستخدمة في المنظوم 80
2. طريقة التوصيل :.....80
الشكل(21) يوضح التوصيل والاتصال بين الأجهزة.....80
3 . التصميم والبرمجة باستخدام TIA Portal: 82
د)واجهة HMI تحكم وعرض 82
4. سيناريو التشغيل:.....84
3.3التصميم وبناء نموذج الذكاء الصنعي باستخدام Spyder (Python):.....93
مميزات النظام ككل:.....98
الفصل الرابع : التقييم.....97
4.1 التقييم.....97
فيما يلي بحث تطبيقي قدم بحث مشابه: 99
4.2.أبحاث وتطبيقات أخرى جديرة بالذكر: 100
الفصل الخامس: النتائج والتوصيات.....100
5.1 النتائج 101
5.2 التوصيات : 103
5.3التحديات واقتراحات التطوير المستقبلية: 104
المراجع: 105
المعايير: 108

جدول المصطلحات والكلمات المفتاحية:

الاختصار	المصطلح بالإنجليزية	المصطلح بالعربية
BIM	Building Information Modeling	نمذجة معلومات البناء
3D BIM	3D BIM (Geometric Modeling)	البعد الثالث (النمذجة الهندسية)
4D BIM	4D BIM (Time Management)	البعد الرابع (إدارة الوقت)
5D BIM	5D BIM (Cost Estimation)	البعد الخامس (تقدير التكاليف)
6D BIM	6D BIM (Sustainability & Energy Efficiency)	البعد السادس (الاستدامة وكفاءة الطاقة)
7D BIM	7D BIM (Facility Management & Maintenance)	البعد السابع (إدارة المرافق والصيانة)
8D BIM	8D BIM (Safety & Risk Management)	البعد الثامن (السلامة والوقاية من المخاطر)
9D BIM	9D BIM (Smart Construction & Prefabrication)	البعد التاسع (البناء الذكي والتصنيع المسبق)
DT	Digital Twin	التوأم الرقمي
IoT	Internet of Things	إنترنت الأشياء
IIoT	Industrial Internet of Things	إنترنت الأشياء الصناعي
AI	Artificial Intelligence	الذكاء الاصطناعي
ML	Machine Learning	التعلم الآلي
DL	Deep Learning	التعلم العميق
PM	Preventive Maintenance	الصيانة الوقائية
PdM	Predictive Maintenance	الصيانة التنبؤية
SM	Smart Maintenance	الصيانة الذكية
CM	Corrective Maintenance	الصيانة التصحيحية
CBM	Condition-Based Maintenance	الصيانة المعتمدة على الحالة
PLC	Programmable Logic Controller	التحكم المنطقي القابل للبرمجة
HMI	Human Machine Interface	واجهة الإنسان-الآلة
CMMS	Computerized Maintenance Management System	نظام إدارة الصيانة
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	نظام المراقبة والتحكم الإشرافي

الاختصار	المصطلح بالإنجليزية	المصطلح بالعربية
BMS	Building Management System	نظام إدارة المباني الذكية
–	Edge Computing	الحوسبة الطرفية
–	Blockchain	البلوك تشين
–	Metadata	البيانات الوصفية
–	Availability Rate	معدل توفر النظام
–	Downtime	وقت التوقف
–	Failure Analysis	تحليل الأعطال
–	Totally Integrated Automation Portal	منصةTIA Portal
–	Autodesk Revit	برنامجRevit
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport	بروتوكولMQTT
CoAP	Constrained Application Protocol	بروتوكولCoAP
AMQP	Advanced Message Queuing Protocol	بروتوكولAMQP
LwM2M	Lightweight Machine-to-Machine	بروتوكولLwM2M
TR-069	Technical Report 069	بروتوكولTR-069
–	Zigbee (IEEE 802.15.4 Standard)	بروتوكول زيغبي
–	Z-Wave Protocol	بروتوكولZ-Wave
BLE	Bluetooth Low Energy	البلوتوث منخفض الطاقة
–	Surge Protectors	الحمايات الكهربائية
–	Smart Meters	العدادات الذكية
–	Smart Circuit Breakers	القواطع الكهربائية الذكية
–	Energy Monitoring Devices	أجهزة مراقبة الطاقة
–	Smart Switches & Relays	مفاتيح التحكم والريلايات الذكية
–	Smart Distribution Boards	أنظمة التوزيع الكهربائي الذكية
–	Wearables	الأجهزة القابلة للارتداء
VR	Virtual Reality	الواقع الافتراضي
AR	Augmented Reality	الواقع المعزز

Abstract

- Modern facilities are witnessing rapid advancements in the complexity of their electrical systems, posing significant challenges for their management and maintenance. Traditional maintenance methods predominantly rely on fixed schedules or reactive interventions after a failure occurs. This leads to increased operational costs, reduced equipment lifespan, and disruptions to essential services. In this context, advanced digital modeling and Fourth Industrial Revolution technologies are emerging as transformative solutions capable of redefining the concept of facility management.
- Building Information Modeling (BIM) is the core of this transformation, representing a comprehensive digital model that reflects the physical and functional characteristics of a facility. However, the true value of this model is realized when it is integrated with other innovative technologies. The Internet of Things (IoT) brings the static model to life through a network of smart sensors that monitor electrical performance data—such as temperature, current, and vibrations—in real-time. This massive, real-time data creates tremendous opportunities for intelligent analysis.
- Here, the third component, Artificial Intelligence (AI), integrates into the system to act as its mastermind. Machine learning and deep learning algorithms analyze the data streams from IoT sensors to detect patterns and anomalies that indicate potential faults. This enables maintenance teams to shift from a reactive approach to a proactive and predictive one.

Consequently, this research aims to develop an integrated framework that combines the power of BIM for digital representation, the capabilities of IoT for continuous monitoring, and the intelligence of AI for predictive analysis,

all to enhance electrical maintenance operations. This integration will contribute to improving energy efficiency, reducing costs, increasing reliability, and enhancing safety, thereby laying the foundation for smart, adaptable, and resilient future facilities.

ملخص البحث

- تشهد المنشآت الحديثة تطوراً متسارعاً في تعقيد أنظمتها الكهربائية، مما يفرض تحديات جسيمة في إدارتها وصيانتها. تعتمد أساليب الصيانة التقليدية في الغالب على الجداول الزمنية الثابتة أو التدخلات التفاعلية بعد حدوث العطل، مما يؤدي إلى زيادة تكاليف التشغيل، وتقليل عمر المعدات الافتراضي، وتعطيل الخدمات الأساسية. في هذا السياق، يبرز دور النمذجة الرقمية المتقدمة وتقنيات الثورة الصناعية الرابعة كحلول تحويلية قادرة على إعادة تعريف مفهوم إدارة المرافق.

- تعد نمذجة معلومات البناء (BIM) نواة هذه التحول، حيث تمثل نموذجاً رقمياً شاملاً يعكس الخصائص الفيزيائية والوظيفية للمنشأة. لكن القيمة الحقيقية لهذا النموذج تتحقق عند دمجه مع تقنيات أخرى مبتكرة. يأتي إنترنت الأشياء (IoT) ليمد النموذج الثابت بالحياة، من خلال شبكة من المستشعرات الذكية التي ترصد بيانات الأداء الكهربائي في الوقت الفعلي، مثل درجة الحرارة، التيار، والاهتزازات. هذه البيانات الضخمة والآنية تخلق فرصاً هائلة للتحليل الذكي.

- هنا يتكامل المحور الثالث، وهو الذكاء الاصطناعي(AI) ، ليكون العقل المدبر لهذه المنظومة. تقوم خوارزميات التعلم الآلي والتعلم العميق بتحليل تدفقات البيانات من مستشعراتIoT ، للكشف عن الأنماط والشذوذ التي تشير إلى أعطال محتملة، مما يمكن فرق الصيانة من التحول من نهج رد الفعل إلى الاستباقية والتنبؤ.

وعليه، يهدف هذا البحث إلى تطوير إطار عمل متكامل يجمع بين قوة BIM في التمثيل الرقمي، وقدرات IoTفي الرصد المستمر، وذكاء AI في التحليل التنبؤي، وذلك لتحسين عمليات الصيانة الكهربائية. سيساهم هذا التكامل في رفع كفاءة الطاقة، وخفض التكاليف، وزيادة الموثوقية، وتعزيز السلامة، مما يضع أساساً للمنشآت الذكية والقادرة على التكيف والصمود في المستقبل.

الفصل الأول : الإطار العام للبحث

1.1 مقدمة:

أصبحت إدارة الصيانة الكهربائية عنصرًا حاسمًا في المنشآت الحديثة، نظرًا لاعتمادها على أنظمة معقدة تتطلب موثوقية عالية واستدامة في التشغيل. ومع التوجه العالمي نحو **المدن الذكية** و**الصناعة 4.0**، برزت الحاجة إلى دمج تقنيات رقمية متقدمة لتحسين إدارة هذه الصيانة. 【1】 (Azhar, 2011)

تلعب **نمذجة معلومات البناء (BIM)** دورًا محوريًا في تمثيل البيانات الهندسية والمعمارية بشكل متكامل 【2】 (Eastman et al., 2018)، بينما يتيح **إنترنت الأشياء (IoT)** جمع بيانات لحظية حول أداء المعدات والأنظمة . 【15】 (Atzori, Iera, & Morabito, 2010) ويأتي **الذكاء الاصطناعي (AI)** ليضيف بعدًا تحليليًا وتنبؤيًا يعتمد على خوارزميات التعلم الآلي والتعلم العميق (Russell & Norvig, 2021) 【11】 .

إن تكامل هذه التقنيات الثلاثة يشكل نقلة نوعية في مجال الصيانة، حيث يمكن الانتقال من الصيانة الوقائية التقليدية إلى **الصيانة التنبؤية الذكية**، مما يقلل الأعطال المفاجئة ويخفض التكاليف التشغيلية ويعزز استدامة الطاقة. 【10】 (McKinsey & Company, 2022)

2-1مشكلة البحث:

تشير الدراسات الحديثة إلى أن معظم أنظمة الصيانة الكهربائية لا تزال تعتمد على جداول زمنية دورية بدلاً من مراقبة الأداء الفعلي للأجهزة 【9】 (Volk, Stengel, & Schultmann, 2014) ، مما يؤدي إلى ضعف القدرة التنبؤية للأعطال. كما أن غياب التكامل بين بيانات BIM والمعلومات التشغيلية القادمة من IoTيقلل من كفاءة الصيانة. 【32】 (Cheng, Ma, & Zhang, 2019)

إضافةً إلى ذلك، فإن تكاليف الأعطال المفاجئة مرتفعة، سواء على مستوى خسائر التشغيل أو تعطل الخدمة . 【7】 (Smith, Hammad, & Al-Hussein, 2020) ومن هنا تبرز المشكلة البحثية:

"كيف يمكن دمج تقنيات BIM و IoTو AIلتحسين إدارة الصيانة الكهربائية في المنشآت الذكية بما يسهم في تقليل الأعطال وخفض التكاليف؟"

3-1أهداف البحث:

الهدف العام:

تطوير إطار تكاملي يجمع بين BIM و IoTو AIلتحسين إدارة الصيانة الكهربائية في المنشآت الذكية.

الأهداف التفصيلية:

1. دراسة دور BIM في توفير قاعدة بيانات متكاملة لدعم قرارات الصيانة (Eastman et al., 2018)【2】.
2. تحليل مساهمة IoT في جمع بيانات تشغيلية دقيقة وآنية. (Atzori et al., 2010)【15】
3. استكشاف تطبيقات AI في التنبؤ بالأعطال وتحليل الأداء الكهربائي (Russell & Norvig, 2021)【11】.
4. تصميم إطار متكامل (BIM–IoT–AI) للصيانة الذكية (Sacks, Girolami, & Brilakis, 2018)【36】.

4-1أهمية البحث:

- **علميًا** :يسهم في سد فجوة معرفية حول دمج BIM و IoTوAI. (Succar, 2009) AI【25】
- **عمليًا** :يقدم حلولًا قابلة للتطبيق في منشآت حيوية كالمستشفيات والمطارات(Teicholz, 2013) 【8】.
- **اقتصاديًا** :يساهم في خفض تكاليف التشغيل. (McGraw Hill Construction, 2014)【4】
- **بيئيًا** :يدعم أهداف الاستدامة من خلال ترشيد استهلاك الطاقة【(Chen, Xu, & Xie, 2023) [33].

1-5أسئلة البحث:

1. ما دور BIM في تحسين الصيانة الكهربائية؟ [2]
2. كيف يسهم IoT في مراقبة الأداء وتشخيص الأعطال؟[15]
3. ما دور AI في التنبؤ بالأعطال وتحسين اتخاذ القرار؟[11]
4. ما الإطار الأنسب لتكامل BIM و IoTوAI؟[36]
5. ما الإطار الأنسب لتكامل BIM و IoTوAI ؟[31]

1-6فرضيات البحث :

1. اعتماد BIM يعزز فعالية إدارة الصيانة. 【2】 (Eastman et al., 2018)
2. إدماج IoT في الأنظمة الكهربائية يقلل الأعطال المفاجئة عبر المراقبة اللحظية (Atzori et al., 2010) 【15】.
3. تطبيق AI في تحليل البيانات التشغيلية يحسن دقة التنبؤ بالأعطال(Russell & Norvig, 2021) 【11】.
4. الإطار التكاملي (BIM–IoT–AI) يؤدي إلى خفض تكاليف الصيانة وزيادة الاعتمادية (McKinsey & Company, 2022) 【10】.
5. التكامل بين BIM و IoTو AIيسهم في رفع كفاءة الطاقة الكهربائية ودعم الاستدامة (Chen et al., 2023) 【33】.

1-7منهجية البحث:

يعتمد البحث على منهجية متعددة المستويات:

- **المنهج الوصفي التحليلي** :مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة المتعلقة بالموضوع (Volk et al., 2014) 【9】.
- **المنهج التطبيقي** :اختبار الإطار المقترح من خلال دراسة حالة فعلية أو محاكاة واقعية (Smith et al., 2020) 【7】.

1-8أدوات البحث:

لتحقيق الأهداف سيتم استخدام:

- **مصادر علمية** (Vermesan & Friess, 2011)【23】. : *Scopus, Web of Science, IEEE Xplore*
- **برمجيات النمذجة والتحليل**【2】 *Autodesk Revit (BIM)* :، *ETAP*و *TIA Portal* (Smith et al., 2020)【7】.
- **أدوات إنترنت الأشياء** :حساسات وعدادات ذكية. (Kodali & Sarjerao, 2016)【18】
- **أدوات الذكاء الاصطناعي** (Redmon et al., 2023)【13】. : *Python (TensorFlow, Scikit-learn, Pandas)*
- **تحليل ببليومتري**. (Boje et al., 2020)【31】 : *VOSviewer, Biblioshiny*

1-9حدود البحث:

- **موضوعية** :يقتصر على الصيانة الكهربائية دون الأنظمة الميكانيكية أو المدنية.
- **زمنية** :يغطي الأدبيات بين 2009 و2024.
- **مكانية** :دراسة حالة واحدة أو نموذج تطبيقي محدد.
- **تقنية** :يركز على BIM و IoTو AIدون التوسع في تقنيات أخرى مثل الروبوتات.

1-10هيكلية البحث:

يتكون البحث من خمسة فصول:

1. **الفصل الأول** :خطة البحث.
2. **الفصل الثاني** :الإطار النظري والدراسات السابقة.
3. **الفصل الثالث**: القسم العملي والتصميم والمحاكاة.
4. **الفصل الرابع** :التحليل والمناقشة (كمي ونوعي + دراسة حالة).
5. **الفصل الخامس** :الخاتمة والتوصيات والمقترحات المستقبلية.

1.11 مراحل البحث:

المرحلة 1: الدراسة النظرية

- **تحليل الدراسات:**
  - دراسات سابقة حول تطبيق BIM في الصيانة.
  - دراسات سابقة حول التصميم الهندسي باستخدام IOT
  - مقارنة بين أدوات البرمجيات المختلفة.

المرحلة 2: الدراسة التطبيقية

- **اختيار حالة دراسة:** مبنى كبير (سكني أو مستشفى أو مركز تجاري أو معمل).
- **جمع البيانات:**
  - تفاصيل العمل والتشغيل.
  - المخططات الكهربائية.
  - مواصفات المعدات.
- **إنشاء نموذج:BIM**
  - تطوير نموذج ثلاثي الأبعاد للأنظمة الكهربائية.
- **إضافة البيانات الوصفية (Metadata) مثل:**
  - تاريخ تركيب المعدات.
  - إرشادات الصيانة.
  - جهات الاتصال للموردين.
- **تصميم نظام التحكم والمراقبة: TIA Portal**
  - برمجة المتحكم المنطقي القابل للبرمجة PLC.
  - تصميم لوحة HMI للتفاعل بين الإنسان والآلة.

- ❖ تضمين الإنذارات والإشارات لتصديرها.

- ❖ **التكامل مع أنظمة إدارة الصيانة:**

  - ❖ تصدير بيانات BIM و TIA PORTAL للأرشفة والتحليل.

- ❖ **تحليل البيانات :**

  - ❖ تصديرها لخوارزمية الذكاء الصنعي المصمة بلغة Python باستخدام Spyder للتحليل و للتنبؤ بالأعطال.

المرحلة 3: التقييم

مقاييس الأداء:

- ❖ الوقت المستغرق لاكتشاف الأعطال.
- ❖ التكلفة الإجمالية للصيانة.
- ❖ معدل توفر النظام الكهربائي.(Availability Rate)
- ❖ مقارنة النتائج قبل وبعد تطبيق.

الفصل الثاني : الإطار النظري

2.1 استراتيجيات البحث العملي وجمع البيانات:

بالنسبة للمنهج العلمي:

1. **المنهج الوصفي التحليلي** :لدراسة الأدبيات والدراسات السابقة وتحليلها لفهم الإطار النظري للتكامل بين (BIM, IoT, AI)في الصيانة.
2. **المنهج التطبيقي التجريبي** :من خلال تصميم نموذج عملي (Prototype) وتطبيقه على حالة دراسة محددة لقياس فعالية الإطار المقترح.

أما بالنسبة لجمع البيانات:

- **المراجع العلمية** :تحليل الأوراق البحثية المنشورة في قواعد البيانات مثل (IEEE Xplore, ScienceDirect, Scopus)ذات العلاقة بـBIM ، IoT، الذكاء الاصطناعي، والصيانة الكهربائية.
- **المعايير والمواصفات** :الرجوع إلى المعايير الدولية مثل (ISO 19650, IEC 60364, NFPA 70B, IEEE Standards)لفهم المتطلبات وأفضل الممارسات.
- **الوثائق الفنية** :دراسة المخططات الكهربائية(Single Line Diagrams) ، كتالوجات المعدات (Equipment Datasheets)، والخبرة الفنية للناشر.

2.2 معايير الاستدراج والاستبعاد وآلية العمل:

لضمان جودة التحليل الببليومتري، تم اتباع المعايير التالية:

- **معايير الشمول:(Inclusion Criteria)**
  - الدراسات المنشورة في مجلات محكمة.
  - الدراسات التي تركز على تكامل BIM مع IoT و AI.

- الدراسات التي تطبق على إدارة المرافق أو الصيانة الكهربائية.
- الدراسات المنشورة بين عامي 2009 – 2024.

- **معايير الاستبعاد:(Exclusion Criteria)**

- الدراسات غير ذات الصلة المباشرة بموضوع البحث.
- الملخصات والمؤتمرات غير الكاملة.

2.3 التحليل الكمي للدراسات السابقة(Bibliometric Analysis) :

2.3.1 أبرز الأوراق العلمية الأكاديمية الأكثر استشهادًا:

1. "**Building Information Modelling (BIM) for Existing Buildings—Literature Review and Future Needs**" – **Volk وآخرون (2014)**

الأكثر استشهادًا، بمعدل **1149استشهادًا** .ركّزت الدراسة على تطبيقات BIM للمباني القائمة، واستعراض فجوات استخدامه في إدارة المرافق وتطوير HBIM و Digital Twins

2. "**Building Information Modelling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders**" – **Succar (2009)**

حصلت على **758استشهادًا** .قدمت إطارًا منهجيًا لتبنيBIM ، مع تعريف مستويات النضج والكفاءات المطلوبة، ويُعد مرجعًا حكوميًا في تطوير سياسات.BIM

3. "**Towards Sustainable Smart Cities: A Review of Trends, Architectures, Components, and Open Challenges in Smart Cities**" – **Silva وآخرون (2018)**

تم الاستشهاد بها **721مرة** .بحثت تكامل BIM وIoT و AI في الاستدامة الحضرية، مع تركيز على مراقبة البيانات الحية وبنية المدن الذكية .

4. "**Automatic Reconstruction of As-Built Building Information Models from Laser-Scanned Point Clouds: A Review...**" – **Tang وآخرون (2010)**

حصدت **615استشهادًا** .ركّزت على تقنيات المسح بالليزر لتحويل السحب النقطية إلى نماذج BIM، مع تأثير كبير على مجالات HBIM وتوثيق التراث

5. "**Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management**" – **Becerik-Gerber وآخرون (2012)**

نالت **489استشهادًا** .فسّرت كيف يمكن لبيانات BIM تحسين إدارة الأصول والمرافق، مع تحديد تحديات التوافق بين الأنظمة ورفع الكفاءة باستخدام IoT.

6. "**Building Information Modelling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules**" – **Zhang وآخرون (2013)**

تم الاستشهاد بها **479 مرة** .ركّزت على التحقق الآلي من السلامة ضمن نماذجBIM ، ووضعت اللبنات الأولى لأنظمة سلامة تعتمد على AI في البناء

نظرة سريعة حسب الموضوع والتأثير:

الترتيب	الورقة والمجال الأساسي	عدد الاستشهادات	مجال التركيز
1	Volk et al. (2014)	1149	BIMللمباني القائمة، HBIM، التوأم الرقمي
2	Succar (2009)	758	إطار تنفيذ BIM وسياسات النضج
3	Silva et al. (2018)	721	التكامل بين BIM و IoTو AIفي المدن الذكية
4	Tang et al. (2010)	615	التحويل من مسح ليزري إلى BIM
5	Becerik-Gerber et al. (2012)	489	BIMفي إدارة المرافق والأصول
6	Zhang et al. (2013)	479	الأتمتة والسلامة ضمن BIM باستخدامAI

الجدول (1) يوضح المقالات الأكثر استشهاداً(بتصرف الباحث)

ماذا تعني هذه القوائم؟

- معظم هذه الأوراق ركزت علىBIM ، لكن العديد منها أسس المسارات المتقدمة لتكامل **IoT و AI** لاحقًا، خاصة في المراقبة الذاتية، التوأم الرقمي، والسلامة التلقائية.
- الرقم الأعلى في الاستشهادات يعني أن هذه الدراسات شكلت الدعامة النظرية والتطبيقية لتوسع المجال.

2.3.2 الباحثون الخمسة الأكثر إنتاجية:

1. Jack C.P. Cheng

- أكثر مؤلف إنتاجًا في مجال التكامل بين BIM وIoT وDigital Twin في البناء، بعدد **34ورقة علمية** و **936استشهادًا** .

2. Wilson Lu

- صاحب **22منشورًا** بمنهجية متماسكة، وحصل على **816استشهادًا**

3. Heap-Yih (John) Chong

- نُشِر لديه **18ورقة علمية**، مع **173استشهادًا**

4. Jiansong Zhang

- أيضًا حقق **18منشورًا** و **125استشهادًا**، ما يجعله من بين الباحثين الأكثر إنتاجًا في هذا الموضوع

5. Xiangyu Wang

- رغم أن عدد منشوراته هو **17ورقة فقط**، إلا أن **عدد الاستشهادات يصل إلى 972**، مما يعكس جودة وتأثير عالٍ للأبحاث المقدمة .

الخلاصة

الترتيب	الباحث	عدد المنشورات	عدد الاستشهادات
1	Jack C.P. Cheng	34	936
2	Wilson Lu	22	816
3	Heap-Yih Chong	18	173
4	Jiansong Zhang	18	125
5	Xiangyu Wang	17	972

الجدول (2) يوضح أهم الباحثين بحسب الانتاجية (بتصرف الباحث)

- تضم القائمة عاملي الإنتاج (عدد المنشورات) والاستشهادات (مدى التأثير وجودة الأبحاث).
- **Jack C.P. Cheng** يتصدر القائمة من حيث كمية الإنتاج.
- **Xiangyu Wang** يتميز بقوة تأثيره البحثي، رغم أنه سادس من حيث عدد المنشورات في تحليل عام أوسع.

2.3.3 الجهة الأكاديمية الأكثر نشرًا:

بحسب تحليل **Bibliometric** منشور في المجلة ***Buildings*** لعام 2020، فقد جاءت **جامعة هونغ كونغ (The University of Hong Kong)** في الصدارة عالميًا من حيث عدد المستندات المنشورة ضمن هذا المجال، بعدد **51ورقة**

ترتيب أبرز المؤسسات حسب عدد الأبحاث المنشورة:

الترتيب	المؤسسة	عدد المنشورات	الترتيب
1	University of Hong Kong	51	1
2	University of Florida	50	2
3	Hong Kong Polytechnic University	48	3
4	Tongji University	43	4
5	Georgia Institute of Technology	39	5
6	Hong Kong University of Science & Tech.	39	6
7	Curtin University	37	7

الجدول (3) يوضح أهم الجهات الناشرة بحسب الانتاجية (بتصرف الباحث)

من هذا الجدول يتضح أن المؤسسات القادمة من **آسيا**، خاصة هونغ كونغ، الصين، بالإضافة إلى جامعات في الولايات المتحدة مثل Florida وGeorgia Tech، هي من الروّاد في نشر أبحاث تكامل BIM و IoT و AI.

2.4 التحليل النوعي للدراسات:

سأقدّم لك تحليلًا نوعيًا للأبحاث الأكثر تأثيرًا في مجال **دمج BIM و IoT وAI**، مع تصنيفها ضمن جدول وفق **الأهمية، التأثير العلمي (عدد الاستشهادات)، الموضوع، ونقاط القوة/الضعف**. هذا التحليل يعتمد على مراجعة منهجية للأدبيات.(bibliometric + qualitative review)

2.4.1 الجدول التحليلي النوعي :

الترتيب	المرجع (المؤلف/السنة)	الموضوع الرئيس	عدد الاستشهادات*	نقاط القوة	نقاط الضعف
1	**Volk et al. (2014)** – *BIM for Existing Buildings*	BIMللمباني القائمة، HBIM، Digital Twin	1149	مراجعة شاملة، فتح مجال التوأم الرقمي	لم يتناول IoT/AI بشكل كافٍ
2	**Succar (2009)** – *BIM Framework*	إطار تبني BIM، مستويات النضج	758	تأسيس نظري قوي، مرجع للسياسات	قديم نسبيًا، قبل انتشار IoT/AI

3	**Silva et al. (2018)** – *Smart Cities*	المدن الذكية، تكامل BIM+IoT+AI	721	ربط BIM بالتحول الحضري، معماري تقني	تركيز واسع، محدود في البناء
4	**Tang et al. (2010)** – *Laser–Scanned BIM*	تحويل Point Cloud إلى BIM	615	أساس تقني متين للتوثيق و HBIM	لم يعالج IoT/AI
5	**Becerik–Gerber et al. (2012)** – *FM Applications*	BIM لإدارة المرافق و IoT	489	ربط مبكر بين BIM و IoT في FM	محدود في تحليل الذكاء الاصطناعي
6	**Zhang et al. (2013)** – *BIM & Safety*	السلامة باستخدام BIM+AI	479	أوليات تطبيق AI للتحقق التلقائي	نطاق ضيق (السلامة فقط)
7	**Ferdous (2017)** – *IoT in*	تكامل BIM+IoT	108	أوضح دمج عملي بين	الاستشهادات قليلة نسبيًا

	BIM وIoT			*Prefabricated Construction*	
ما زال مفاهيميًا، تطبيقات محدودة	يقدم اتجاه مستقبلي واضح	200	Digital Twin مع BIM+IoT+AI	**Boje et al. (2020)** – *Semantic Digital Twin*	**8**
محدودية التعميم عالميًا	دراسات حالة قوية، أطر عمل عملية	150	تطبيقات تشغيلية وصيانة تنبؤية	**Cheng et al. (2019–2021)** – *BIM+IoT Integration in Smart FM*	**9**
ما زال حديثًا والاستشهادات قليلة	جديد، يربط بالبيئة والطاقة	50	أحدث دراسة حول الاستدامة	**Chen et al. (2023)** – *BIM+IoT for Sustainability*	**10**

الجدول (4) يوضح التحليل النوعي للأبحاث (بتصرف الباحث)

2.4.2 الاستنتاجات النوعية :

1. **الأكثر أهمية وتأثيرًا:**

- أسس مسار HBIM و Volk et al. Digital Twin. (2014)
- وضع الإطار المرجعي المعتمد عالميًا لتطبيقBIM Succar (2009) .

2. **الأكثر ابتكارًا في الدمج الثلاثي:(BIM+IoT+AI)**

- مدن ذكية (2018) Silva.
- (Semantic Digital Twin) (2020) Boje.
- الصيانة الذكية (2019–2021) Cheng .

3. **الأكثر عملية وتطبيقيًا:**

- (FM + IoT) (2012) Becerik-Gerber.
- السلامة Zhang (2013) .
- البناء الجاهز(2017) Ferdous .

2.5 الصيانة الكهربائية (تعريفها ، إدارتها ،أهميتها):

تعد إدارة صيانة الأنظمة الكهربائية عنصراً حاسماً في ضمان استمرارية التشغيل الآمن والموثوق للبنية التحتية الكهربائية في مختلف القطاعات الصناعية والتجارية والسكنية [5] ,[6]

2.5.1 تعريف إدارة صيانة الأنظمة الكهربائية:

إدارة صيانة الأنظمة الكهربائية هي عملية منهجية تشمل التخطيط والتنظيم والرقابة على جميع الأنشطة المتعلقة بالحفاظ على الأداء الأمثل للمعدات والأنظمة الكهربائية، بما في ذلك المكونات مثل المحولات، والمفاتيح الكهربائية، وأنظمة التوزيع، وأنظمة التحكم [5] ,[6]

2.5.2 أهداف إدارة الصيانة الكهربائية:

تهدف إدارة الصيانة الكهربائية إلى:

1. ضمان السلامة الكهربائية للعاملين والمستخدمين [1] ,[25]
2. تعزيز موثوقية النظام الكهربائي[6]
3. تحسين كفاءة الطاقة[1]
4. تقليل تكاليف الصيانة على المدى الطويل[6]
5. إطالة العمر الافتراضي للمعدات الكهربائية[25]
6. الامتثال للمعايير واللوائح التنظيمية[5]

2.5.3 استراتيجيات الصيانة الكهربائية:

2-5-3-1 الصيانة الوقائية(Preventive Maintenance) :

تشمل الفحوصات الدورية والاختبارات المخطط لها مسبقاً للمعدات الكهربائية وفقاً لجدول زمني محدد، وتعتمد على تحليل تاريخ المعدات، توصيات المصنعين، والمعايير الصناعية مثل IEEE و NFPA [14], [24].

2-5-3-2 الصيانة التنبؤية(Predictive Maintenance) :

تستخدم تقنيات متقدمة للكشف المبكر عن المشاكل المحتملة مثل: التحليل الحراري بالأشعة تحت الحمراء،

تحليل الموجات الصوتية والاهتزازات، اختبارات العزل والموجات الجزئية، ومراقبة حالة الزيوت في المحولات [14], [10]

2-5-3-3 الصيانة القائمة على الحالة(Condition-Based Maintenance) :

تعتمد على المراقبة المستمرة لمعايير أداء المعدات باستخدام أنظمة IoT وأجهزة الاستشعار الذكية [15]، [16]، [17], [32]

2-5-3-4 الصيانة التصحيحية(Corrective Maintenance) :

تتضمن التدخل عند حدوث عطل فعلي، وتشمل تحليل جذري للأسباب، توثيق الأعطال، وتطوير خطط تحسين لمنع التكرار [6], [24]

2-5-4 معايير وإرشادات الصيانة الكهربائية:

1. معايير IEEE: مثل IEEE 902 ودليل صيانة الأنظمة الكهربائية و IEEE 3007الصيانة أنظمة الطاقة الصناعية والتجارية[14]
2. NFPA 70B: الممارسات الموصى بها لصيانة المعدات الكهربائية[24]
3. OSHA: متطلبات السلامة الكهربائية في بيئات العمل[24]
4. IEC 60364: المعايير الدولية للأنظمة الكهربائية[3]

2-5-5 تحديات إدارة الصيانة الكهربائية:

تشمل التحديات: تعقيد الأنظمة الكهربائية الحديثة، نقص الكوادر الفنية المؤهلة، التكلفة العالية لأدوات التشخيص المتقدمة، صعوبة التخطيط لعمليات الصيانة في المنشآت التي تعمل على مدار الساعة، والتحديات اللوجستية في المنشآت الموزعة جغرافياً [5]، [9], [30]

2-5-6التوجهات الحديثة في إدارة الصيانة الكهربائية:

1. دمج الذكاء الاصطناعي: استخدام خوارزميات التعلم الآلي للتنبؤ بالأعطال [10]، [11]، [12], [14]
2. الصيانة الرقمية: استخدام النمذجة الرقمية للأنظمة الكهربائية عبر التوأم الرقمي [9], [31]

3. إنترنت الأشياء الصناعي: شبكات أجهزة الاستشعار للرصد المستمر [15]، [16]، [17]، [32], [33]
4. الواقع المعزز: لمساعدة الفنيين في عمليات الصيانة المعقدة [26] ,[28]
5. التحليلات التنبؤية: لتحسين جداول الصيانة واستهلاك قطع الغيار [10] ,[14]]

2-6 نمذجة معلومات البناء (BIM) :

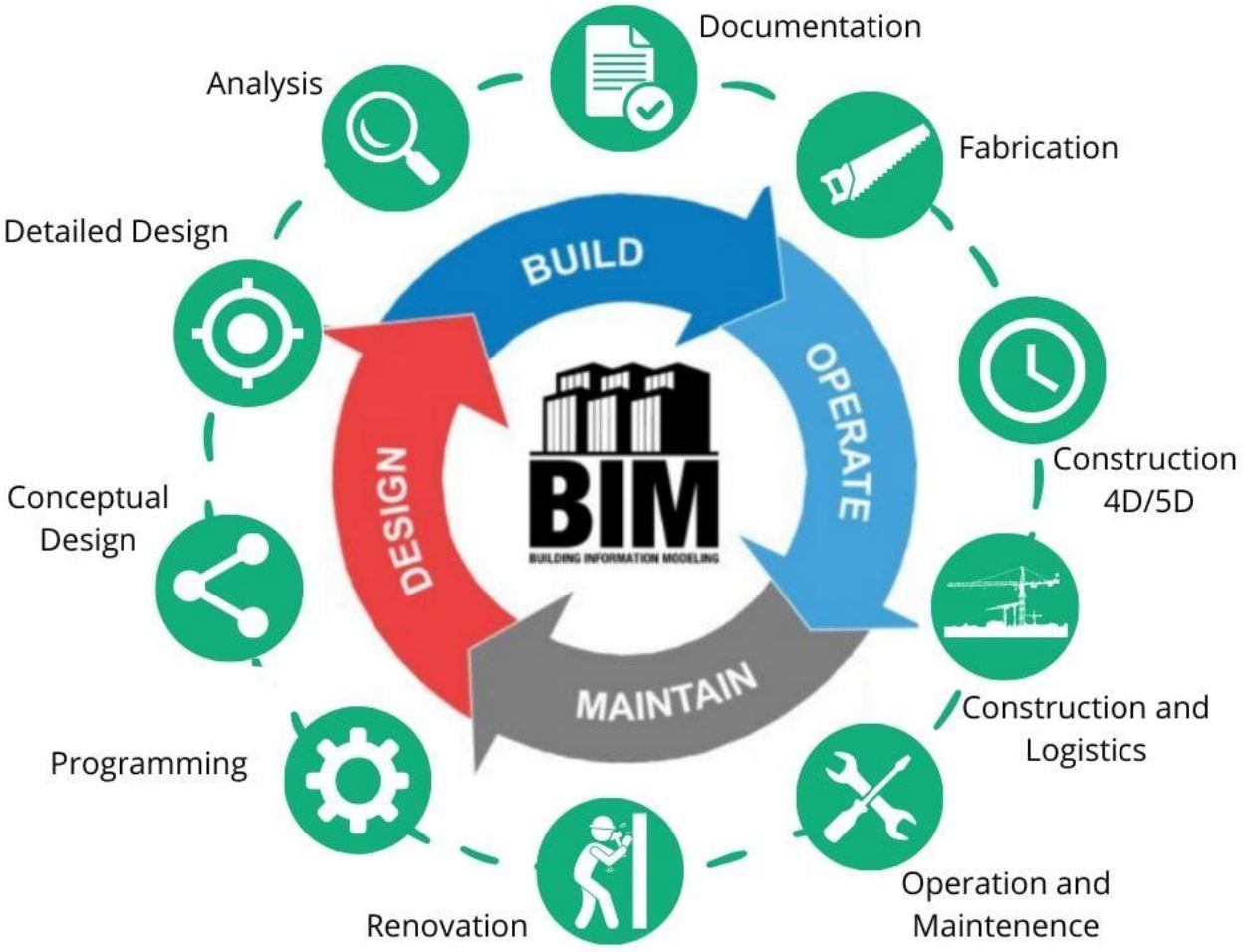
في عصر التكنولوجيا الرقمية المتقدمة، يشهد قطاع الهندسة المعمارية والهندسة المدنية والبناء (AEC) تحولاً جذرياً بفضل تبني نموذج معلومات البناء .(BIM – Building Information Modeling) يُعد BIM منهجية متكاملة تعتمد على النمذجة الرقمية ثلاثية الأبعاد، والتي تتجاوز مجرد التصميم لتشمل إدارة دورة حياة المبنى بالكامل، من التخطيط والتصميم إلى البناء والتشغيل والصيانة [2] ,[6]

2-6-1 مفهوم BIM وتعريفه:

يعرّف BIM على أنه عملية إنشاء وإدارة البيانات المتعلقة بالمبنى خلال دورة حياته باستخدام نموذج رقمي ديناميكي. فهو يتجاوز كونه مجرد أداة نمذجة ثلاثية الأبعاد، حيث يشمل:

- **المكونات الهندسية** :العناصر الإنشائية، المعمارية، الميكانيكية، الكهربائية.
- **البيانات الوصفية** :المواد، التكاليف، الجداول الزمنية، أداء الطاقة.
- **التكامل بين التخصصات** :التنسيق بين المهندسين، المصممين، والمقاولين [1] ,[2]

وفقاً للمعهد الوطني الأمريكي لعلوم البناء(NIBS) ، فإن BIM هو "تمثيل رقمي للخصائص الفيزيائية والوظيفية للمنشأة"، مما يجعله أداة حيوية لاتخاذ القرارات في مراحل المشروع المختلفة [5]



الشكل (1) يوضح دورة حياة المبنى حسب BIM(asecbim.com)

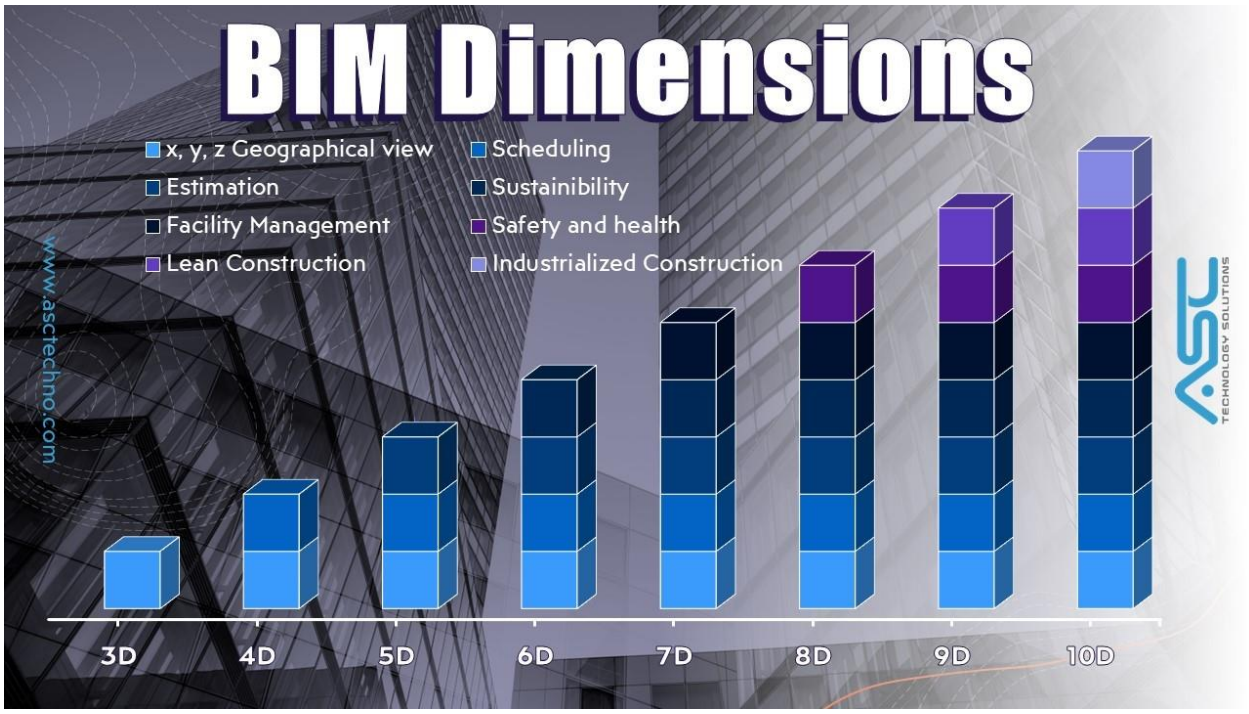
2-6-2 التطور التاريخي لـBIM :

ظهرت جذور BIM في الستينيات مع تطوير برامج التصميم بمساعدة الحاسوب(CAD) ، لكن التطور الحقيقي بدأ في السبعينيات والثمانينيات مع أبحاث تشارلز إيستمان حول "نموذج المبنى المتكامل[2] وفي التسعينيات، ظهرت برامج عززت مفهوم النمذجة الذكية، بينما أصبح BIM اليوم معياراً عالمياً بفضل:

- **معايير ISO 19650** التي تنظم إدارة المعلومات في المشاريع[3]
- **تبني الحكومات**، مثل المملكة المتحدة التي فرضت استخدام BIM في المشاريع الحكومية منذ 2016 [4], [5].

2-6-3 مكونات وعناصر BIM :

تطور مفهوم نموذج معلومات البناء (BIM) من مجرد تمثيل ثلاثي الأبعاد إلى نظام متكامل يشمل أبعاداً إضافية تضيف طبقات من البيانات والوظائف الذكية. وتُعرف هذه الأبعاد بـ **BIM Dimensions**، وهي تمثل تطوراً تدريجياً في استخدام النمذجة الرقمية لإدارة دورة حياة المشروع بالكامل [1]، [2] ,[6]



الشكل (2) يوضح أبعاد البيم من 3D حتى 10D (buildext.com)

في هذا البحث، سنستعرض كل بعد من أبعاد BIM بالتفصيل، مع شرح وظيفته وتطبيقاته العملية

2-6-3-1 البعد الثالث 3D BIM (النمذجة الهندسية):

التعريف:

3D BIMهو الأساس الذي تُبنى عليه جميع الأبعاد الأخرى، حيث يمثل النموذج الرقمي ثلاثي الأبعاد للمبنى أو المنشأة. يتكون من عناصر ذكية (مثل الجدران، الأعمدة، الأنابيب) تحمل خصائص فيزيائية ووظيفية [1] ,[2]

المميزات:

- التصور البصري الدقيق للمشروع.
- الكشف عن التعارضات (Clash Detection) بين التخصصات (إنشائي مقابل ميكانيكي)[29]
- تحسين التواصل بين الفرق عبر نموذج موحد [2] ,[6]

أمثلة تطبيقية:

استخدام Revit أو ArchiCAD لإنشاء التصاميم المعمارية والإنشائية[2.]

2-3-6-2البعد الرابع 4D BIM(إدارة الوقت والجداول الزمنية):

التعريف:

يدمج 4 D BIMعنصر الزمن مع النموذج ثلاثي الأبعاد، مما يسمح بمحاكاة مراحل البناء وتسلسلها [2][6]

المميزات:

- تخطيط المراحل الإنشائية (مثال: متى يتم صب الأساسات؟ متى يبدأ تشييد الهيكل؟).
- تحسين الجدولة وتجنب التأخيرات[4]
- محاكاة البناء (Construction Simulation) لعرض تقدم المشروع[2]

أمثلة تطبيقية:

برامج مثل Navisworks و Synchro Proتربط النموذج 3 Dبجداول Microsoft Project أو Primavera [6].

3-3-6-2البعد الخامس 5D BIM (تقدير التكاليف)

التعريف:

5D BIMيربط النموذج ثلاثي الأبعاد مع التحليل المالي، مما يتيح تقدير التكاليف في الوقت الفعلي [1][6]

المميزات:

- حساب الكميات (Quantity Take-off) تلقائياً من النموذج.
- تتبع الميزانية وتجنب تجاوز التكاليف.
- تحليل التكلفة بناءً على التصميمات البديلة[25]

أمثلة تطبيقية:

أدوات مثل CostX و RIB iTWOتُستخدم في إدارة التكاليف[6]

4-3-6-2البعد السادسBIM 6D (الاستدامة وكفاءة الطاقة):

التعريف:

يركز 6 BIM Dعلى الأداء البيئي للمبنى، بما في ذلك استهلاك الطاقة والمواد المستدامة[26]

المميزات:

- تحليل دورة حياة المبنى.(LCA)
- تحسين كفاءة الطاقة عبر محاكاة الإضاءة والتدفئة باستخدام برامج مثل EnergyPlus أو IESVE [8], [26].
- اختيار مواد صديقة للبيئة [26] ,[33]

أمثلة تطبيقية:

مشاريع تحمل شهادات LEED أو BREEAM تعتمد على 6D BIM [26]

5-3-6-2البعد السابعBIM 7D (إدارة المرافق والصيانة) :

التعريف:

يُستخدم 7D BIMفي مرحلة التشغيل والصيانة، حيث يصبح النموذج أداة لإدارة المنشأة بعد التسليم [7] [8

المميزات:

- تتبع أعطال المعدات وبرامج الصيانة.
- إدارة الأصول.(CAFM)
- توثيق بيانات الضمان والصيانة الدورية[28]

أمثلة تطبيقية:

أنظمة مثل IBM Maximo وARCHIBUS تتكامل مع نماذج.[8] ,[7] BIM

6-3-6-2البعد الثامن8D BIM(السلامة والوقاية من المخاطر):

التعريف:

يركز 8 D BIM(حديث نسبياً) على إدارة المخاطر والسلامة خلال البناء والتشغيل [29]

المميزات:

- محاكاة مخاطر البناء (مثل السقوط من الارتفاع أو انهيار الهيكل).
- تخطيط إجراءات الطوارئ[29]
- تحليل تأثير الكوارث (مثل الزلازل)[26]

أمثلة تطبيقية:

استخدام BIM مع الواقع الافتراضي (VR) لتدريب العمال على إجراءات السلامة[28]

7-3-6-2البعد التاسع 9D BIM (البناء الذكي والتصنيع المسبق) :

التعريف:

يتعلق 9D BIM بالتصنيع خارج الموقع (Off-site Manufacturing) والبناء المعياري (Modular Construction) [30].

المميزات:

- تصميم مكونات قابلة للتجميع.[30] (Prefabrication)
- تقليل النفايات عبر التخطيط الدقيق للمواد [30] ,[33]

الخلاصة:

تظهر أبعاد BIM تطوراً متزايداً في صناعة البناء، حيث تتحول النمذجة من مجرد تمثيل مرئي إلى نظام متكامل لإدارة **التكلفة، الوقت، الاستدامة، التشغيل، والسلامة** .كل بعد يضيف قيمة جديدة، مما يجعل BIMأداة لا غنى عنها للمشاريع المعقدة. مع التقدم التكنولوجي، من المتوقع ظهور أبعاد جديدة مثل **10D BIM**الذي قد يشمل الذكاء الاصطناعي والتحليل التنبؤي.

البعد	الوظيفة	الأدوات المستخدمة
3D	النمذجة الهندسية	Revit, ArchiCAD
4D	إدارة الوقت	Navisworks, Synchro
5D	تقدير التكاليف	CostX, iTWO
6D	الاستدامة	Green Building Studio
7D	إدارة المرافق	ARCHIBUS, Maximo
8D	السلامة	VR + BIM
9D	التصنيع المسبق	BIM + Robotics

الجدول (5) يوضح ملخص لأبعاد البيم من 3D وحتى 9D

باختصار، فهم أبعاد BIM يساعد فرق المشروع على تحقيق **الكفاءة، التوفير، والجودة** في جميع مراحل دورة حياة المبنى.

4-6-2الأبعاد الأساسية قبل 3D BIM من 0D إلى 2D :

على الرغم من أن أبعاد BIM تبدأ عادةً من D3، إلا أن بعض المصادر تذكر وجود مستويات أو "أبعاد" سابقة تمثل التطور التاريخي لنمذجة المعلومات في صناعة البناء. هذه الأبعاد تعكس المراحل التكنولوجية التي سبقت ظهور النمذجة ثلاثية الأبعاد [2] ,[6]

2.6.4.1 التخطيط المفاهيمي البعد 0D:

التعريف:

- يمثل 0 BIM Dالمرحلة الأولية للمشروع، حيث يتم تحديد الفكرة العامة دون أي نمذجة رقمية.
- يعتمد على الرسومات اليدوية أو الملاحظات النصية[2]

المميزات:

- التركيز على المتطلبات الأساسية مثل الغرض من المبنى، والميزانية التقريبية.
- لا يوجد استخدام لبرامج متخصصة[6]

أمثلة تطبيقية:

- مخططات بدائية مرسومة باليد.
- وثائق الجدوى الأولية.[2]

2-6-4-2 الدراسة والتحليل الأولي البعد الأول1D :

التعريف:

- يتضمن 1 BIM Dتحليل الجدوى باستخدام بيانات أولية مثل التكلفة التقريبية، الموقع العام، والمتطلبات الوظيفية.[25]

المميزات:

- تقييم جدوى المشروع قبل الدخول في التفاصيل.
- لا يزال يعتمد على البيانات النصية والجداول أكثر من النماذج المرئية.[6]

أمثلة تطبيقية:

- تقارير الجدوى الاقتصادية.
- تحليل الموقع باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.[25] (GIS)

2-6-4-3 الرسومات المسطحة(CAD) البعد الثاني 2D :

التعريف:

- يمثل 2 BIM Dالرسومات التقليدية ثنائية الأبعاد (المخططات الأفقية، القطاعات، الواجهات).
- يعتمد على برامج CAD مثل AutoCAD دون عناصر ذكية [2] ,[9]

المميزات:

- توثيق التصميم بشكل واضح.
- معيار قديم لا يزال مستخدمًا في بعض المكاتب[6]

القيود:

- لا يوجد تكامل بين التخصصات (مثل العزل الحراري مقابل الهيكل الإنشائي).

- صعوبة اكتشاف الأخطاء قبل التنفيذ[4]

أمثلة تطبيقية:

- المخططات المعمارية والإنشائية المرسومة باستخدام أوتوكاد[9]

مقارنة بين الأبعاد من 0 Dإلى D3

البعد	الوصف	الأدوات المستخدمة	القيود
0D	التخطيط المفاهيمي	رسومات يدوية، ملاحظات	غياب النمذجة الرقمية
1D	دراسة الجدوى	Excel، تقارير نصية	لا يوجد تمثيل مرئي
2D	رسومات CAD ثنائية الأبعاد	AutoCAD، MicroStation	عدم وجود ذكاء أو تكامل
3D	نموذج معلوماتي ذكي	Revit، ArchiCAD، Tekla Structures	الأساس لجميع الأبعاد المتقدمة

الجدول (6) يوضح مقارنة بين الأبعاد من 0 Dإلى D3(بتصرف الباحث)

هل تُعتبر 0D إلى 2D أبعاد "BIM فعلًا؟

- **وجهة نظر تقليدية** :يعتبر الكثيرون أن BIM يبدأ من **3D**، لأن الأبعاد السابقة تفتقر إلى "الذكاء" و"التكامل" المميزين لـ.BIM
- **وجهة نظر موسعة** :بعض الخبراء يصنفون 0D–1D–2D كمراحل تمهيدية ضرورية لفهم تطور BIM ، خاصة في سياق إدارة دورة حياة المشروع.(PLM)

2-6-5 فوائد تطبيقBIM :

2-6-5-1 تحسين التنسيق بين الفرق:

يساعد BIM على تقليل التصادمات (Clash Detection) بين التخصصات المختلفة (مثل تعارض أنابيب التكييف مع الهيكل الإنشائي)، مما يرفع من جودة التصميم ويقلل إعادة العمل [2] ,[29]

2-6-5-2 توفير التكاليف والوقت:

تشير دراسات ماكينزي إلى أن BIM يقلل من الأخطاء بنسبة تصل إلى 40%، مما يؤدي إلى خفض التكاليف وتسريع إنجاز المشاريع [4] ,[6]

2-6-5-3 تعزيز الاستدامة:

يمكن استخدام BIM لتحليل أداء الطاقة باستخدام أدوات مثلGreen Building Studio ، الأمر الذي يدعم المباني الخضراء ويعزز الاستدامة [8] ,[26]

2-6-5-4 إدارة أفضل للمشاريع الكبيرة:

أثبتت تطبيقات BIM فعاليتها في إدارة المشاريع الكبرى مثل مطار هيثرو في المملكة المتحدة وبرج خليفة في دبي، حيث ساعد على تحسين التنسيق وتقليل التكاليف التشغيلية [5] ,[7]

2-6-6التحديات والعقبات:

رغم مزاياBIM ، إلا أن تطبيقه يواجه عدة تحديات:

- **التكلفة العالية** للبرامج والتدريب [6] ,[9]
- **مقاومة التغيير** من بعض المهنيين المعتادين على برامج CAD التقليدية[30]
- **الحاجة إلى معايير موحدة**، خاصة في الدول النامية [3] ,[25]
- **مسائل الملكية الفكرية** :من يملك نموذجBIM ؟ هل هو المصمم أم المالك؟[24]

7-6-2مستقبلBIM :

تشمل الاتجاهات المستقبلية لتطوير BIM ما يلي:

- **الدمج مع الذكاء الاصطناعي (AI)** للتنبؤ بالأعطال وتحسين إدارة الصيانة [10]، [11], 12]
- **استخدام الواقع الافتراضي (VR) والواقع المعزز (AR)** لتحسين التصور ودعم عمليات التدريب والصيانة [26], [28]
- **التكامل مع إنترنت الأشياء (IoT)** لتطوير المباني الذكية عبر المراقبة الفورية للأداء والتشغيل [15]، [16]، [32], [33].

2.7 نمذجة معلومات البناء (BIM) في الهندسة الكهربائية: التكامل، التطبيقات، والتحديات:

أصبح BIM (نموذج معلومات البناء) منهجية أساسية في صناعة التشييد، حيث يوفر بيئة تعاونية متعددة التخصصات (Eastman et al., 2018). وفي مجال الهندسة الكهربائية يقدم BIM فوائد جوهرية تشمل تحسين التنسيق بين التخصصات، تقليل الأخطاء، ورفع كفاءة إدارة دورة حياة المنشآت .(Azhar, 2011)

2.7.1 مفهوم BIM في الهندسة الكهربائية:

يعرف BIM في سياق الهندسة الكهربائية بأنه "التمثيل الرقمي للخصائص الوظيفية والفيزيائية للأنظمة الكهربائية" وفق معيار ISO 19650-1:2018 [3].
ويتجاوز BIM كونه مجرد أداة نمذجة ثلاثية الأبعاد ليشمل:

- بيانات الأداء الكهربائي.
- مواصفات المعدات.
- جداول الصيانة [6], [7]

2.7.2 التطور التاريخي:

شهد تطبيق BIM في الهندسة الكهربائية تطوراً ملحوظاً:

- **1990–2000**: ظهور برامج مثل AutoCAD Electrical [9].
- **2005–2015**: تكامل أنظمة **MEP** في منصات مثل Revit [2], [7].
- **2020–الحاضر**: دمج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء IoT في نماذج BIM [10], [14], [32].

2.7.3 تطبيقات BIM في الهندسة الكهربائية:

2.7.3.1 تصميم أنظمة التوزيع الكهربائي:

يمكّن BIM من نمذجة متكاملة لأنظمة:

- لوحات التوزيع الرئيسية والفرعية.
- أنظمة التأريض.
- نظم الحماية من الصواعق.

وقد أظهرت دراسات حديثة أن استخدام BIM يقلل من أخطاء التصميم بنسبة تصل إلى 40 % [29]

2.7.3.2 تحليل الأحمال الكهربائية:

توفر أدوات مثل ETAP تكاملاً مع نماذج BIM لتحليل:

- توزيع الأحمال.
- حساب معامل القدرة.
- محاكاة حالات الطوارئ [7], [9].

2.7.4الفوائد المكتسبة:

2.7.4.1 تحسين التنسيق بين التخصصات:

أثبتت دراسات أن BIM يقلل مشاكل التداخل بين الأنظمة الكهربائية والميكانيكية والإنشائية بنسبة تصل إلى 60% [2], [29]

2.7.4.2 توفير التكاليف:

يوفر BIM توفيراً يصل إلى 30% في تكاليف المشاريع عبر تقليل الأخطاء وتحسين إدارة الموارد [6][25]

2.8 إنترنت الأشياء (IoT) :

يُعد إنترنت الأشياء (Internet of Things – IoT) أحد أهم التحولات التكنولوجية في العقدين الأخيرين، حيث يُعيد تعريف طريقة تفاعل الأجهزة الذكية مع بعضها البعض ومع البيئة المحيطة [15], [16]
وتشير التقديرات إلى أنه بحلول عام 2025 سيصل عدد الأجهزة المتصلة بشبكة إنترنت الأشياء إلى نحو **75مليار جهاز** على مستوى العالم، مما يخلق نظاماً بيئياً معقداً ومترابطاً على نطاق غير مسبوق[32][33]

2.8.1 تعريف إنترنت الأشياء :

يمكن تعريف إنترنت الأشياء وفقاً لـ IEEE على أنه:

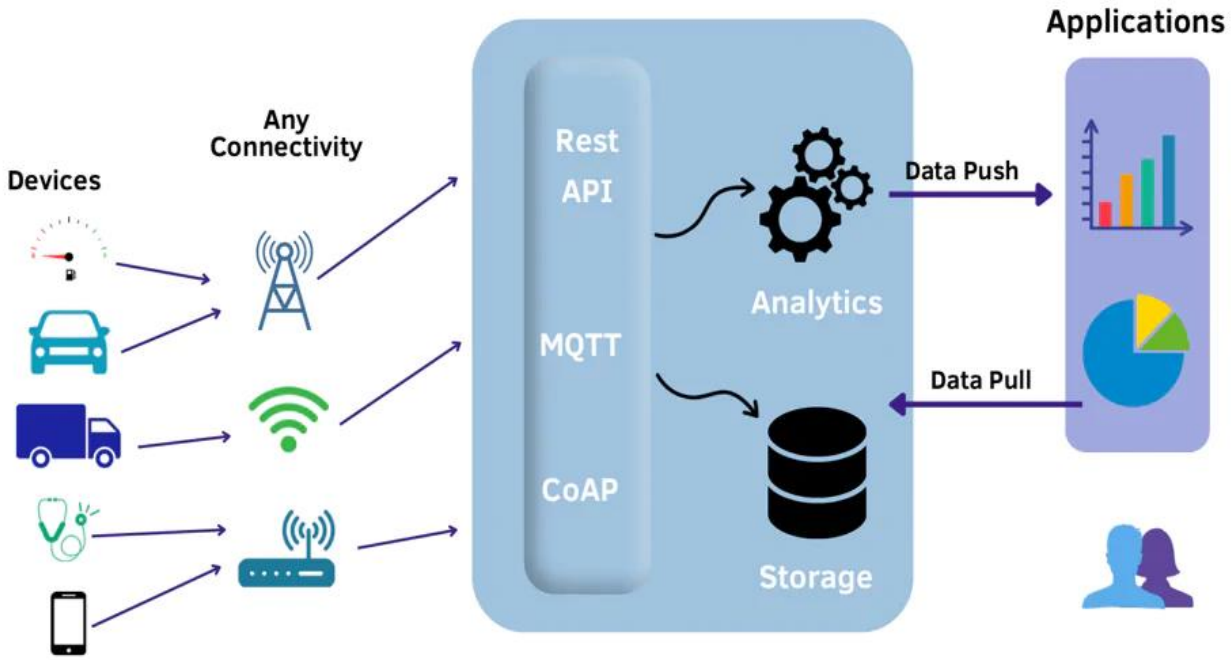
"شبكة من العناصر المادية المدمجة مع أجهزة استشعار، وبرمجيات، وتقنيات اتصال تمكنها من جمع وتبادل البيانات عبر شبكة الإنترنت دون الحاجة إلى تدخل بشري مباشر[15]

الشكل(3) يوضح انتشار تطبيقات IOT في العالم(مولدة بالذكاء الصنعي)

2.8.2المكونات الرئيسية لإنترنت الأشياء:

يتكون نظام إنترنت الأشياء من عدة مكونات مترابطة، تشمل:

1. **الأجهزة وأجهزة الاستشعار** :مسؤولة عن جمع البيانات من البيئة (مثل درجة الحرارة، الاهتزاز، التيار الكهربائي)[15] [16]
2. **شبكات الاتصال** :مثلWi-Fi ، ZigBee، 5G، التي تتيح نقل البيانات من الأجهزة إلى منصات المعالجة] 32.]
3. **منصات المعالجة والتخزين** :حيث يتم تحليل البيانات باستخدام تقنيات الحوسبة السحابية أو الحوسبة الطرفية.[17] (Edge Computing)
4. **التطبيقات والخدمات** :تمثل الواجهة النهائية التي يستخدمها الأفراد أو المؤسسات للحصول على الفائدة من البيانات.[33]

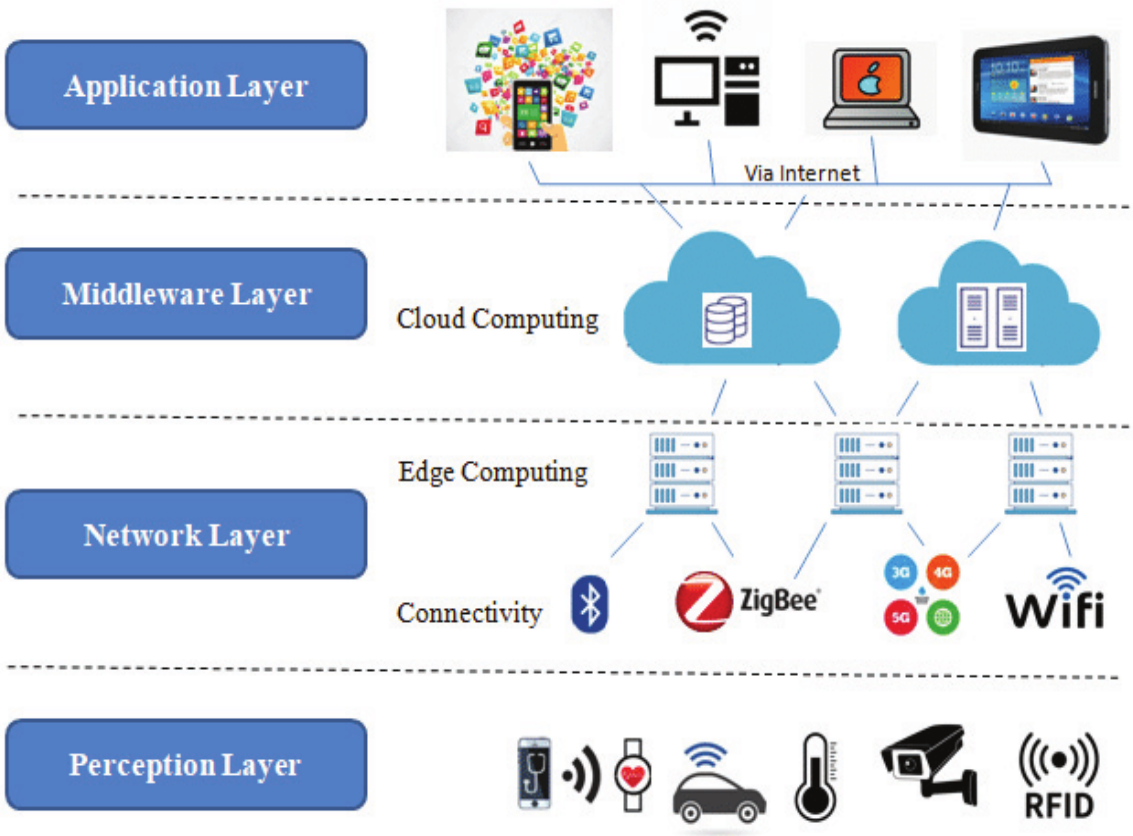


الشكل(4) يوضح طبقات تكنولوجيا إنترنت الأشياء [40]

2.8.3 البنية المعمارية لإنترنت الأشياء:

عادة ما يتم توصيف البنية المعمارية لإنترنت الأشياء بثلاث طبقات رئيسية [17:15]

1. **طبقة الإدراك (Perception Layer):** وتشمل أجهزة الاستشعار والمستشعرات الذكية التي تجمع البيانات.
2. **طبقة الشبكة (Network Layer):** تتولى نقل البيانات باستخدام بروتوكولات اتصال متنوعة مثل IPv6 وMQTT.
3. **طبقة التطبيق (Application Layer):** حيث يتم تقديم الخدمات للمستخدم النهائي مثل المراقبة والتحكم عن بعد



الشكل (5) يوضح مكونات طبقات إنترنت الأشياء[39]

2.8.4 بروتوكولات اتصال إنترنت الأشياء :

2.8.4.1 بروتوكولات الطبقة المادية:

تُستخدم بروتوكولات الطبقة المادية لربط الأجهزة الذكية ضمن شبكات منخفضة الطاقة والموارد [15:[16] ,

- **زيجبي:(Zigbee)**

يعد بروتوكول شبكي لاسلكي منخفض الطاقة يعتمد على معيار IEEE 802.15.4 ، صُمم خصيصًا لشبكات إنترنت الأشياء. يتميز بمعدل نقل بيانات منخفض، مما يجعله مثاليًا لتطبيقات تعتمد على إرسال بيانات صغيرة بشكل متكرر (مثل قراءات المستشعرات).

كما يتيح تكوين **شبكات متشابكة(Mesh Networks)** ، مما يزيد من موثوقية الشبكة ويوسع نطاقها.

يُستخدم بشكل واسع في أتمتة المنازل الذكية والأجهزة المعتمدة على البطاريات [32].16] ,

- **Z-Wave و Bluetooth Low Energy (BLE) :**

تشترك مع Zigbee في كونها بروتوكولات منخفضة الطاقة، وتستخدم بشكل رئيسي في تطبيقات المنازل الذكية والأجهزة القابلة للارتداء [33].16] ,

---

2.8.4.2 بروتوكولات طبقة الشبكة:

توفر بروتوكولات طبقة الشبكة آليات اتصال بين الأجهزة والتطبيقات عبر الإنترنت [15] ,17]

1. **MQTT (Message Queuing Telemetry Transport):**

- **الوصف** :بروتوكول خفيف الوزن قائم على نموذج النشر/الاشتراك(Publish/Subscribe) ، مصمم للأجهزة محدودة الموارد.
- **المميزات:**
  - يعمل فوق TCP لضمان موثوقية التسليم.
  - يدعم الاتصالات ثنائية الاتجاه.
  - يعتمد على وسيط (Broker) لإدارة الرسائل.

- يوفر مستويات مختلفة لجودة الخدمة.(QoS)

- **العيوب** :لا يدعم التشفير المباشر، ويحتاج إلى طبقة TLS/SSL للأمان.
- **الاستخدامات** :المراقبة عن بعد، المنازل الذكية، الزراعة الذكية [32,16]

2. CoAP (Constrained Application Protocol):

- **الوصف** :بروتوكول مبسط يعمل فوقUDP ، مصمم للأجهزة محدودة الموارد.
- **المميزات:**
  - يعتمد على نموذج طلب/استجابة (Request/Response) مشابه لـ.HTTP
  - خفيف مقارنة بـ.TCP
  - يدعم خاصية المراقبة (Observing) للتغيرات في بيانات أجهزة الاستشعار.
  - يمكن دمجه مع DTLS لدعم التشفير.
- **العيوب** :يعتمد على UDP غير الموثوق، مما يستلزم آليات تأكيد إضافية.
- **الاستخدامات** :أنظمة الإضاءة الذكية، الشبكات اللاسلكية لأجهزة الاستشعار.[17] ,[15] (WSN)

3. AMQP (Advanced Message Queuing Protocol):

- **الوصف** :بروتوكول متقدم لتبادل الرسائل، صُمم للأنظمة الموزعة واسعة النطاق.
- **المميزات:**
  - يعمل فوق TCP مع موثوقية عالية.
  - يدعم أنماط اتصال متعددة مثل النشر/الاشتراك والطلب/الاستجابة.
  - يقدم ميزات مثل التوجيه الذكي (Routing) والتحكم في التدفق.
  - يدعم التشفير باستخدام.TLS/SSL
- **العيوب** :أثقل من MQTT وCoAP، لذا غير مناسب للأجهزة محدودة الموارد.
- **الاستخدامات** :الأنظمة المصرفية، أنظمة الحجز، والتطبيقات المالية [16] ,[33].

مقارنة سريعة بينهم:

المعيار	MQTT	CoAP	AMQP
نموذج الاتصال	نشر/اشتراك	طلب/استجابة	نشر/اشتراك + طلب/استجابة
البروتوكول	TCP	UDP	TCP
الوزن	خفيف	خفيف جدًا	ثقيل نسبيًا
التشفير	يحتاجTLS	يدعمDTLS	يدعمTLS
الاستخدام	IoTمراقبة/تحكم	أجهزة محدودة الطاقة	أنظمةenterprise

الجدول (7) يوضح مقارنة بين بروتوكولات طبقة الشبكة

ملخص الاختيار:

- **MQTT**الأفضل لـ IoT عندما تحتاج إلى اتصال خفيف وموثوق مع وسيط مركزي.(Broker)
- **CoAP**الأفضل للأجهزة ذات الموارد المحدودة جدًا (مثل الحساسات اللاسلكية).
- **AMQP**الأفضل للأنظمة المعقدة التي تحتاج إلى توجيه مرن وموثوقية عالية (مثل الخوادم السحابية).

2.8.4.1 بروتوكولات إدارة الأجهزة:

تُستخدم بروتوكولات إدارة الأجهزة في بيئات إنترنت الأشياء لتسهيل عمليات التكوين(Configuration) ، المراقبة(Monitoring) ، تحديث البرمجيات(Firmware Updates) ، وإدارة الأجهزة عن بُعد. وتعتبر من العناصر الجوهرية لتمكين الصيانة التنبؤية والإدارة الذكية للبنية التحتية [15]، [33.16]

1. بروتوكول LwM2M (Lightweight M2M)

- **الوصف** :بروتوكول خفيف الوزن صُمم خصيصًا لإدارة أجهزة إنترنت الأشياء محدودة الموارد مثل المستشعرات والأجهزة الذكية.
- **المطور**.(Open Mobile Alliance (OMA :
- **آلية العمل:**
  - يعتمد على بروتوكول **CoAP** فوق UDP مما يجعله سريعًا وخفيفًا.
  - يدعم **DTLS** لتأمين الاتصال.
- **المميزات:**
  - إدارة دورة حياة الجهاز (تسجيل، تحديث، حذف).
  - تحديث البرامج الثابتة عن بُعد.(FOTA)
  - جمع بيانات القياس والمراقبة.(Telemetry)
  - يعتمد على نموذج موارد (Object/Resource Model) موحد.
- **العيوب:**
  - لا يدعم TCP افتراضيًا) يعتمد فقط على.(UDP
  - أقل انتشارًا في البيئات الصناعية الكبيرة مقارنة بـ.TR-069
- **الاستخدامات:**
  - العدادات الذكية.(Smart Meters)
  - أجهزة الزراعة الذكية.
  - شبكات **LPWAN** مثل NB-IoT و.[32] ,[16] LoRaWAN

---

2. بروتوكول TR-069 (Technical Report 069)

- **الوصف** :بروتوكول لإدارة أجهزة العميل (**CPE**) مثل أجهزة التوجيه(Routers) ، المودمات، وبوابات.VoIP
- **المطور**.(Broadband Forum (BBF :
- **آلية العمل:**
  - يعمل فوق **HTTP/HTTPS** باستخدام.TCP

- يعتمد على **RPC (Remote Procedure Call)** في الاتصال بين الخادم والجهاز.

- **المميزات:**
  - يدعم التكوين الآلي.(Auto-Configuration)
  - يوفر تحديث البرامج الثابتة.(Firmware Updates)
  - يدعم التشخيص عن بُعد.(Remote Diagnostics)
  - مناسب لشبكات الاتصالات واسعة النطاق.
- **العيوب:**
  - أثقل من LwM2M وغير مناسب للأجهزة محدودة الموارد.
  - يعتمد على TCP/HTTP مما يجعله أقل كفاءة في بعض سيناريوهات IoT.
- **الاستخدامات:**
  - إدارة أجهزة التوجيه لمزودي خدمة الإنترنت.(ISP Routers)
  - أجهزة **FTTH** .(Fiber-to-the-Home)
  - بوابات الاتصالات الصوتية.[33] ,[15] VoIP

جدول مقارن بين بروتوكولات إدارة الأجهزة

البروتوكول	المطور	بروتوكول النقل	المميزات	العيوب	الاستخدامات
LwM2M	OMA	UDP/CoAP + DTLS	خفيف، يدعمFOTA ، إدارة دورة حياة الأجهزة، Telemetry	لا يدعم TCP افتراضيًا، انتشار محدود صناعيًا	العدادات الذكية، LPWAN، الزراعة الذكية
TR-069	BBF	TCP/HTTP(S) + RPC	تكوين آلي، تحديث برمجيات، تشخيص أعطال، مناسب للشبكات الواسعة	أثقل، غير مناسب للأجهزة محدودة الموارد	راوترات ISP ، FTTH، VoIP

الجدول(8) يوضح مقارنة بين بروتوكولات إدارة الأجهزة

متى تستخدم كل بروتوكول؟

- **LwM2Mإذا:**
  - لديك أجهزة **IoTمحدودة الموارد** بطارية منخفضة، ذاكرة صغيرة
  - تحتاج إلى **بروتوكول خفيف** يعمل على **CoAP/UDP**.
  - تريد دعم **إدارة دورة حياة الجهاز** بكفاءة.
- **TR-069إذا:**
  - تتعامل مع **أجهزة شبكات ISP** راوترات، مودمات.
  - تحتاج إلى **موثوقية عالية** عبر **HTTP/TCP**.
  - تريد ميزات **التكوين الآلي والتحديثات المركزية**.

2.8.5 تطبيقات إنترنت الأشياء :

2.8.5.1 المدن الذكية(Smart Cities) :

تشكل المدن الذكية أحد أبرز مجالات تطبيق إنترنت الأشياء، حيث يتم توظيف الأجهزة الذكية والشبكات المتصلة لتحسين جودة الحياة والاستدامة. تشمل التطبيقات الرئيسية:

- **القواطع الذكية وعدادات الطاقة** :تساهم في تقليل استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة الشبكات الكهربائية (Atzori et al., 2010).16], [15]
- **إدارة حركة المرور الذكية** :عبر أنظمة استشعار الطرق وربطها بمراكز التحكم لتقليل الازدحام.
- **أنظمة إنارة الشوارع الذكية** :تعمل على ترشيد الاستهلاك وتحسين الأمان.
- **إدارة النفايات الذكية** :من خلال حاويات متصلة ترسل إشارات عند امتلائها.
- **مراقبة جودة الهواء** :باستخدام حساسات بيئية لقياس الملوثات والتنبؤ بمستويات التلوث.

2.8.5.2 الرعاية الصحية(Healthcare) :

تُعد الرعاية الصحية من القطاعات الأكثر استفادة من تقنيات إنترنت الأشياء، حيث ساهمت في تطوير ما يعرف بـ **الطب الرقمي** .وتشمل أبرز التطبيقات:

- **الأجهزة القابلة للارتداء (Wearables):** مثل الساعات الذكية لمراقبة معدل ضربات القلب وضغط الدم.
- **المراقبة الطبية عن بُعد:** تمكّن الأطباء من متابعة حالات المرضى المزمنة بشكل لحظي.
- **إدارة الأدوية الذكية:** عبر عبوات دواء متصلة تذكّر المريض بمواعيد الجرعات.
- **المستشفيات الذكية:** التي تستخدم IoT لإدارة الأسرة، الأجهزة الطبية، وأنظمة الطوارئ [33.16] ,

---

2.8.5.3 الصناعة(Industry 4.0) :

مع التحول إلى **الثورة الصناعية الرابعة**، أصبح إنترنت الأشياء جزءًا أساسيًا من أنظمة التصنيع والإنتاج. ومن أبرز التطبيقات:

- **الصيانة التنبؤية للمعدات:** حيث تعتمد المصانع الذكية على أجهزة استشعار لمراقبة الطاقة والكشف المبكر عن الأعطال.(Lee et al., 2015)
- **إدارة سلسلة التوريد الذكية:** بفضل المستشعرات التي تتابع حركة المواد الخام والمنتجات.
- **المراقبة الذاتية للعمليات الصناعية:** عبر أنظمة تحكم متصلة تقلل الأخطاء البشرية.
- **الروبوتات المتصلة:** التي تعمل بشكل تعاوني مع أنظمة الإنتاج الأخرى [17.15]

2.8.5.4 الزراعة الذكية(Smart Agriculture) :

تتيح تقنيات إنترنت الأشياء تطوير الزراعة الدقيقة (Precision Agriculture) من خلال:

- **أنظمة الري الذكية:** التي تضبط معدلات الري تلقائيًا بناءً على رطوبة التربة.
- **مراقبة التربة والمحاصيل:** عبر حساسات لقياس المغذيات ومستويات الرطوبة.
- **تربية الماشية الذكية:** باستخدام أجهزة استشعار لمراقبة صحة الحيوانات.
- **الدفيئات الذكية:** التي تنظم درجة الحرارة والرطوبة والإنارة بشكل أوتوماتيكي [16]، [32]

2.8.6 التقنيات المستخدمة في مجال الهندسة الكهربائية (IoT):

تلعب التجهيزات الكهربائية دوراً محورياً في ضمان كفاءة وأمان أنظمة إنترنت الأشياء .(IoT) ومع التطور المستمر للتقنيات الذكية، يصبح دمج هذه التجهيزات مع منصات IoT ضرورياً لتحقيق استدامة الطاقة والموثوقية التشغيلية (Atzori et al., 2010 [15]; Al-Fuqaha et al., 2015 [17]; Wu et al., 2020 [20]).ومن أهم التجهيزات الكهربائية المستخدمة في أنظمة IoT ما يلي:

2.8.6.1 القواطع الكهربائية الذكية(Smart Circuit Breakers) :

تُعد القواطع الكهربائية من أهم مكونات الحماية في أنظمةIoT ، حيث تمنع الأضرار الناجمة عن التحميل الزائد أو قصر الدارة .(Al-Fuqaha et al., 2015 [17]) وتشمل الأنواع الرئيسية:

- **القواطع المصغرة :(MCBs)** تعمل على حماية الدوائر الكهربائية من التيارات الزائدة(Al-Fuqaha et al., 2015 [17]).
- **قواطع التسريب الأرضي :(RCCBs/GFCI)** تقلل من مخاطر الصعق الكهربائي وتضمن سلامة المستخدمين.(Kodali & Sarjerao, 2016 [18])
- **القواطع الذكية القابلة للبرمجة** :تتيح المراقبة والتحكم عن بُعد عبر تطبيقات الهاتف أو منصات IoTمثل Google Home و.(Zanella et al., 2014 [19]) Amazon Alexa

2.8.6.2 مفاتيح التحكم والريلايات الذكية(Smart Switches & Relays) :

تستخدم الريلايات الذكية في أنظمة الأتمتة للتحكم في الأجهزة الكهربائية عبر بروتوكولات اتصال متقدمة مثل MQTT و .(Wu et al., 2020 [20]) Zigbeeومن أبرز تطبيقاتها:

- إدارة الإنارة الذكية داخل المباني.(Wu et al., 2020 [20]; Silva et al., 2018 [26])
- تشغيل أنظمة التكييف والتدفئة عن بُعد لتحقيق الراحة وتقليل استهلاك الطاقة (Wu et al., 2020 [20]; Silva et al., 2018 [26]).

2.8.6.3 أجهزة مراقبة الطاقة(Energy Monitoring Devices) :

تلعب أجهزة مراقبة الطاقة دوراً مهماً في تتبع استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة التشغيل:

- **العدادات الذكية (Smart Meters):** تقيس استهلاك الطاقة في الوقت الفعلي وتُستخدم ضمن الشبكات الذكية.([23] Farhangi, 2010 [21]; Vermesan & Friess, 2011)
- **أجهزة استشعار الجهد والتيار (Voltage & Current Sensors):** تُدمج مع أنظمة IoT للتنبؤ بالأعطال المحتملة وتحليل الأداء الكهربائي (Jia et al., 2019 [22]; Silva et al., 2018 [26]).

2.8.6.4 أنظمة التوزيع الكهربائي الذكية(Smart Distribution Boards) :

تعتمد المباني الذكية على لوحات توزيع ذكية متصلة بالسحابة (Cloud) لتحسين توزيع الأحمال الكهربائية، مما يقلل من فقد الطاقة ويزيد من كفاءة التشغيل (Vermesan & Friess, 2011 [23]; Silva et al., 2018 [26]).

2.8.6.5 الحمايات الكهربائية(Surge Protectors) :

تعمل الحمايات الكهربائية على حماية الأجهزة الإلكترونية الدقيقة المستخدمة في أنظمة IoT من التلف الناتج عن العواصف الرعدية أو التقلبات الكهربائية المفاجئة (Parikh & Parikh, 2015 [24]; Al-Fuqaha et al., 2015 [17]).

2.8.7 أنظمة التحكم والمراقبة في الأنظمة الكهربائية الحديثة:

2.8.7.1مقدمة:

تعد أنظمة التحكم والمراقبة في الأنظمة الكهربائية عنصرًا حيويًا في العصر الحديث، حيث تطورت من التحكم التقليدي الذي كان يعتمد على شبكة واسعة من الأجهزة والتوصيلات السلكية إلى أنظمة ذكية تعتمد على الأجهزة اللاسلكية، البيانات الضخمة، والذكاء الاصطناعي (AI) (Russell & Norvig, 2021 [11]; Atzori et al., 2010 [15]).ومع تزايد تعقيد الشبكات الكهربائية واعتمادها على الطاقة النظيفة، تصبح هذه الأنظمة أكثر أهمية لضمان كفاءة الطاقة، استقرار التشغيل، والأمن والسلامة (Lee et al., 2015 [16]).

التحكم والمراقبة هما عمليتان متكاملتان تهدفان إلى ضمان التشغيل الآمن والمستقر والكفء للشبكات والمعدات الكهربائية، وتعتمد هذه العمليات على نظم متطورة تجمع بين الأجهزة الكهربائية، الإلكترونية، والبرمجيات لمراقبة أداء النظام وتعديله تلقائيًا عند الحاجة (Smith et al., 2020 [7]; Silva et al., 2018 [26]).

2.8.7.2 مكونات أنظمة التحكم والمراقبة الكهربائية:

أ. أنظمة المراقبة(Monitoring Systems)

تقوم بجمع البيانات في الوقت الفعلي لتحليل أداء النظام، وتشمل:

- **أجهزة الاستشعار (Sensors):** قياس الجهد، التيار، التردد، درجة الحرارة، إلخ (Jia et al., 2019 [22]).
- **أجهزة القياس:** مثل Voltage Measurement Units.
- **شاشات المراقبة (SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition):** لجمع البيانات وعرضها.(Wu et al., 2020 [20])
- **أنظمة تحليل البيانات (Big Data Analytics):** تحليل البيانات الضخمة لتحديد الأخطاء والأنماط التشغيلية.(Russell & Norvig, 2021 [11]; Lee et al., 2015 [16])

ب. أنظمة التحكم(Control Systems)

تتلقى البيانات من أنظمة المراقبة وتتخذ إجراءات تصحيحية، وتشمل:

- **المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة.(PLC)**
- **أنظمة التحكم في المحركات.(VFD – Variable Frequency Drives)**
- **أنظمة الحماية** :مثل Relays و Circuit Breakers (Al-Fuqaha et al., 2015 [17]; Kodali & Sarjerao, 2016 [18]).
- **التحكم الذكي** :مثلPID Control ، التحكم الضبابي، الشبكات العصبية (Russell & Norvig, 2021 [11]; Zhang et al., 2021 [12]).

2.8.7.3 أنواع أنظمة التحكم في الأنظمة الكهربائية:

أ. التحكم اليدوي(Manual Control)

- يعتمد على المشغل البشري لاتخاذ القرارات.
- يستخدم في الأنظمة البسيطة أو كنسخة احتياطية أو في حالات الطوارئ (Russell & Norvig, 2021 [11]).

ب. التحكم الآلي(Automatic Control)

- يعتمد على متحكمات منطقية مبرمجة مسبقًا لتنفيذ المهام وفق خوارزميات تشغيلية معينة (Wu et al., 2020 [20]).

ج. التحكم الذكي(Intelligent Control)

- التحكم المبرمج وفق أهداف محددة، يتم وضعها وربط المتحكمات مع حساسات وأجهزة قياس لرصد القراءات المطلوبة ومعالجتها وتنفيذ الإجراءات (Russell & Norvig, 2021 [11]; Zhang et al., 2021 [12]).

2.8.7.4 تقنيات الاتصال اللاسلكي:(Wireless Communication Protocols) :

اختيار التقنية المناسبة يعتمد على المسافة، معدل نقل البيانات، استهلاك الطاقة، والتكلفة:

التقنية	المدى	معدل البيانات	الاستخدام الأمثل
Wi-Fi (IEEE 802.11ac/ax)	~100m	عالي (حتى 1 Gbps)	أنظمة المراقبة بالفيديو، SCADA، التحكم في المعدات([20] Wu et al., 2020)
Bluetooth Low Energy (BLE 5.0+)	~50m	منخفض (1 Mbps)	أجهزة الاستشعار القريبة، مثل الأجهزة الطبية([15] Atzori et al., 2010)
Zigbee (IEEE 802.15.4)	~100m	منخفض (250 kbps)	شبكات أجهزة الاستشعار (إنذار الحريق، التكييف) (Al-Fuqaha et al., 2015 [17])
LoRaWAN	5-15km	منخفض جدًا (50 kbps)	المراقبة عن بُعد، مثل استهلاك الطاقة (Vermesan & Friess, 2011 [23])
NB-IoT	واسع (شبكة خلوية)	منخفض	التطبيقات الصناعية مثل تتبع المعدات (Farhangi, 2010 [21])
5G Private Networks	~500m	عالي جدًا (1+ Gbps)	المصانع الذكية، الروبوتات، التحكم في الوقت الفعلي([16] Lee et al., 2015)

الجدول (9)يوضح مقارنة بين تقنيات الاتصالات اللاسلكية

2.8.7.5 أنظمة المراقبة والتحكم الذكية الأساسية:

أ. أنظمةSCADA

- تستخدم في المراقبة الصناعية والتحكم عن بُعد.([20] Wu et al., 2020)
- تدعم اتصالاتWi-Fi ، LoRa، وشبكات G/5G.4
- أمثلةIgnition SCADA :، .Siemens SIMATIC WinCC

ب. أنظمة إنترنت الأشياء الصناعي(IIoT)

- تعتمد على أجهزة استشعار لاسلكية + سحابة IoT (Atzori et al., 2010 [15]; Silva et al., 2018 [26]).
- منصات مثلAWS IoT Core :، Microsoft Azure IoT، Google Cloud IoT.

ج. أنظمة إدارة المباني الذكية(BMS)

- تُستخدم في المستشفيات والمصانع لمراقبةHVAC :، الإنارة، أنظمة الأمان (الكاميرات، إنذار الحريق).([28] Becerik-Gerber et al., 2012 ;[8] Teicholz, 2013)
- أمثلةSiemens Desigo :، .Honeywell EBI

2.8.7.6 تقنيات متقدمة لتحسين الأداء:

أ. الحوسبة الطرفية(Edge Computing)

- معالجة البيانات محليًا لتقليل زمن الانتقال.(Latency)
- مفيد في التحكم في الوقت الفعلي مثل الروبوتات الصناعية.([16] Lee et al., 2015)

ب. الذكاء الاصطناعي والتحليل التنبؤي

- الكشف عن الأعطال قبل حدوثها.([14] IEEE, 2023) (Predictive Maintenance)
- تحسين استهلاك الطاقة باستخدام خوارزميات التعلم الآلي.([11] Russell & Norvig, 2021)

ج. البلوك تشين (Blockchain) للأمان

- تأمين بيانات المراقبة من التلاعب، مهم في المستشفيات والمصانع الحساسة (Russell & Norvig, 2021 [11]; Atzori et al., 2010 [15]).

2.8.7.7 التحديات التقنية والأمنية:

1تحديات أمنية

- هجمات الحرمان من الخدمة.(DDoS)
- اختراق خصوصية البيانات.
- نقاط الضعف في بروتوكولات الاتصال.
- تحديات المصادقة للأجهزة.([17] Al-Fuqaha et al., 2015)

2تحديات تقنية

- مشاكل قابلية التشغيل البيني.([20] Wu et al., 2020) (Interoperability)
- إدارة الطاقة في الأجهزة ذات الطاقة المحدودة.
- معالجة الكميات الهائلة من البيانات.([11] Russell & Norvig, 2021) (Big Data)
- زمن الوصول المنخفض في التطبيقات الحساسة للزمن.([16] Lee et al., 2015)

2.8.7.8 التوجهات المستقبلية:

1. **الحوسبة الطرفية (Edge Computing):** معالجة البيانات بالقرب من مصدرها.
2. **الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء (AIoT):** دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي مع إنترنت الأشياء (Russell & Norvig, 2021 [11]; Atzori et al., 2010 [15]).
3. **إنترنت الأشياء الكمي (Quantum IoT):** تطبيقات الحوسبة الكمية في التحكم والمراقبة.
4. **شبكات 6 Gوإنترنت الأشياء:** الجيل القادم من الاتصالات لتطبيقات عالية السرعة والزمن الحقيقي.

5. **إنترنت الأشياء الحيوي (Bio-IoT):** تطبيقات في المجال الطبي الحيوي (Farhangi, 2010 [21]; Silva et al., 2018 [26]).

خلاصة :يشكل إنترنت الأشياء نقلة نوعية في طريقة تفاعل الإنسان مع التكنولوجيا والبيئة المحيطة، ويخلق نظامًا بيئيًا ذكياً ومترابطاً. ومع تطور تقنيات الذكاء الاصطناعي، الحوسبة الطرفية، وشبكات الجيل الخامس والسادس، سيستمر إنترنت الأشياء في التطور ليصبح العمود الفقري للتحول الرقمي في مختلف القطاعات.

2.9 الذكاء الاصطناعي في الهندسة الكهربائية ونمذجة معلومات البناء (BIM) :

يشهد العقد الحالي طفرة غير مسبوقة في مجال الذكاء الاصطناعي(Artificial Intelligence – AI) ، الذي أصبح أحد أهم محركات التحول الرقمي والثورة الصناعية الرابعة. من المتوقع أن يساهم الذكاء الاصطناعي بما يقارب 15.7 تريليون دولار في الاقتصاد العالمي بحلول عام 2030، مما يجعله أحد أكثر التقنيات تأثيراً في العصر الحديث.([10] McKinsey & Company, 2022)

أصبح الذكاء الاصطناعي محركاً رئيسياً للابتكار في الصناعات الهندسية، حيث تشير الدراسات إلى أن حوالي 47% من شركات الهندسة الكهربائية قد بدأت في تبني حلول الذكاء الاصطناعي بحلول عام 2023 .([10] McKinsey & Company, 2022) وفي سياق نمذجة معلومات البناء(BIM) ، يعيد الذكاء الاصطناعي تشكيل عمليات التصميم والبناء وإدارة المرافق، من خلال تحسين الدقة والكفاءة وخفض التكاليف.([32] Cheng et al., 2019; [33] Chen et al., 2023)

2.9.1 تعريف الذكاء الاصطناعي :

يعرف الذكاء الاصطناعي حسب جمعية الذكاء الاصطناعي الأمريكية (AAAI) بأنه:

"فرع من فروع علم الحاسوب يهتم ببناء أنظمة ذكية قادرة على أداء مهام تتطلب عادةً ذكاءً بشرياً، مثل الإدراك الحسي، والتعلم، وحل المشكلات، واتخاذ القرارات، والفهم اللغوي."

وفي السياق الهندسي يمكن تعريف الذكاء الاصطناعي على أنه:

"نظم حاسوبية قادرة على أداء المهام التي تتطلب عادةً الذكاء البشري، مثل الإدراك البصري، التعرف على الأنماط، اتخاذ القرارات، والترجمة بين اللغات.([11] Russell & Norvig, 2021) "

2.9.2 التصنيفات الرئيسية للذكاء الاصطناعي :

1. **الذكاء الاصطناعي الضيق (Narrow AI):** أنظمة متخصصة في مجال محدد، مثل التعرف على الصور أو التنبؤ بالأعطال.
2. **الذكاء الاصطناعي العام (General AI):** أنظمة تمتلك ذكاءً شاملاً مماثلاً للبشر، لم يتحقق بعد عملياً.
3. **الذكاء الاصطناعي الفائق (Super AI):** أنظمة تفوق الذكاء البشري في جميع المجالات، وتعتبر حالياً تصنيفاً نظرياً.

2.9.3 التقنيات الأساسية في الذكاء الاصطناعي :

2.9.3.1 التعلم الآلي(Machine Learning) :

- **التعلم تحت الإشراف (Supervised Learning):** مثل خوارزميات الانحدار والتصنيف.
- **التعلم غير المشرف (Unsupervised Learning):** مثل التجميع وتحليل المكونات الرئيسية.
- **التعلم المعزز (Reinforcement Learning):** أنظمة تتعلم من خلال التجربة والخطأ (Russell & Norvig, 2021 [11]; Zhang et al., 2021 [12]).

2.9.3.2 الشبكات العصبية العميقة(Deep Neural Networks) :

- **الشبكات العصبية التلافيفية (CNNs):** لمعالجة الصور.
- **الشبكات العصبية المتكررة (RNNs):** لمعالجة السلاسل الزمنية.
- **المحولات (Transformers):** لمعالجة اللغات الطبيعية (Redmon et al., 2023 [13]; Zhang et al., 2021 [12]).

2.9.3.3 معالجة اللغات الطبيعية(NLP) :

- نماذج اللغة الكبيرة (LLMs) مثل GPT و BERT.
- تحليل المشاعر (Sentiment Analysis).
- الترجمة الآلية (Machine Translation) (Russell & Norvig, 2021 [11]).

2.9.4 تطبيقات الذكاء الاصطناعي :

2.9.4.1 القطاع الصحي:

- تشخيص الأمراض عبر تحليل الصور الطبية.
- اكتشاف وتصميم الأدوية.
- الجراحة الروبوتية المساعدة.
- المراقبة الصحية الشخصية.(Russell & Norvig, 2021 [11])

2.9.4.2 القطاع المالي:

- كشف الاحتيال المالي.
- التقييم الائتماني الذكي.
- التداول الآلي والمساعدين الماليين الافتراضيين.(Russell & Norvig, 2021 [11])

2.9.4.3 النقل والمواصلات:

- المركبات ذاتية القيادة.
- إدارة حركة المرور الذكية.
- التخطيط الأمثل للطرق.
- أنظمة النقل الذكية.(Lee et al., 2015 [16])

2.9.4.4 الصناعة والتصنيع:

- الصيانة التنبؤية.(IEEE, 2023 [14])
- مراقبة الجودة الذكية.
- إدارة سلسلة التوريد.
- الروبوتات الصناعية الذكية.(Lee et al., 2015 [16])

الجدول التالي **يربط تقنيات الذكاء الاصطناعي بتطبيقاتها في الهندسة الكهربائية و BIMمع المراجع :**

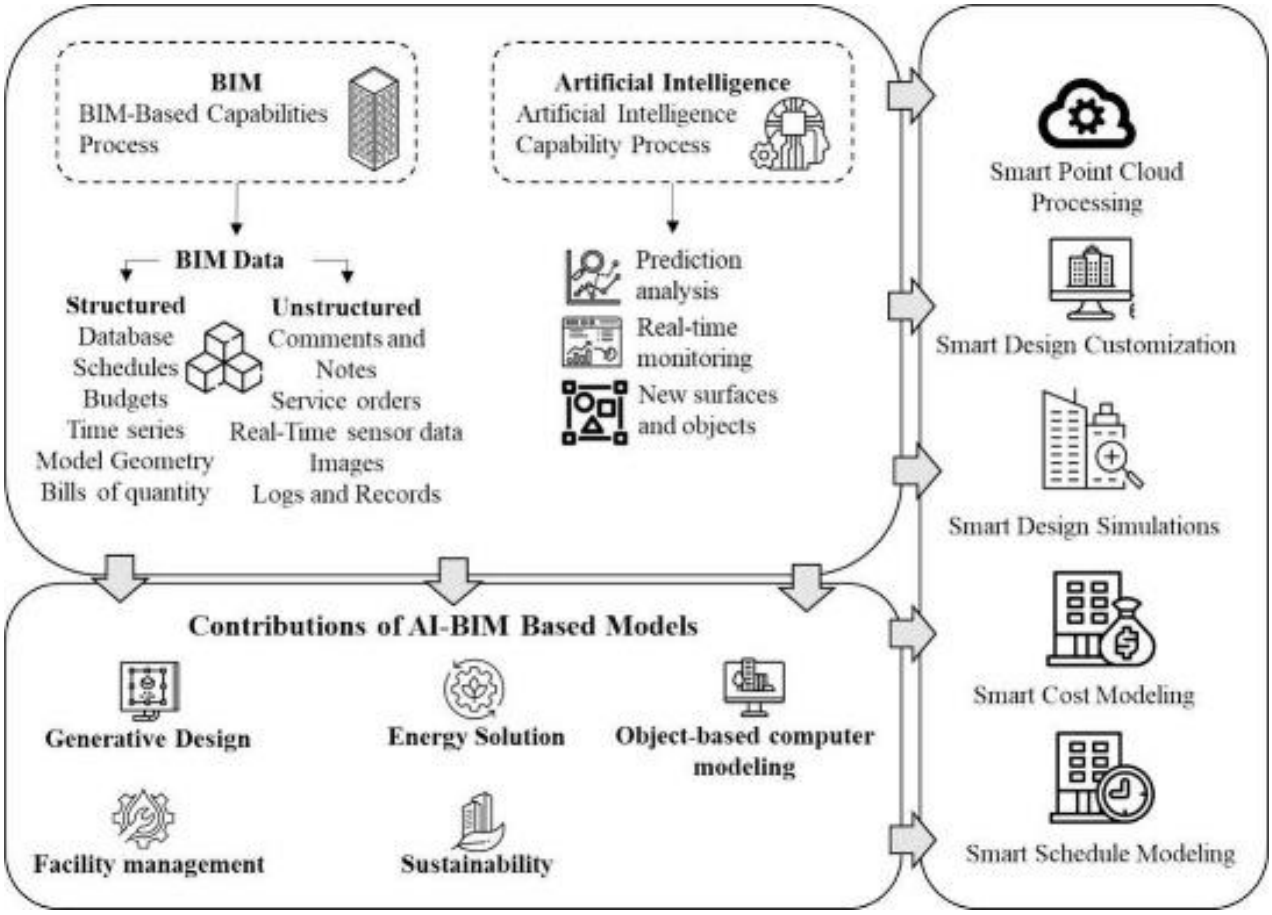
التقنية / التصنيف	الوصف	التطبيقات في الهندسة الكهربائية و BIM	المراجع
التعلم تحت الإشراف (Supervised Learning)	أنظمة تتعلم من بيانات موسومة مسبقاً لإنشاء نماذج تنبؤية	التنبؤ بالأعطال، تحسين استهلاك الطاقة، تصنيف مكونات البناء	Russell & Norvig, 2021 [11]; Zhang et al., 2021 [12]
التعلم غير المشرف (Unsupervised Learning)	تحليل البيانات لاكتشاف أنماط أو مجموعات دون إشراف	تحليل بيانات الاستهلاك، تصنيف الأعطال، تحسين تصميم المباني	Russell & Norvig, 2021 [11]; Zhang et al., 2021 [12]
التعلم المعزز (Reinforcement Learning)	أنظمة تتعلم من خلال التجربة والخطأ لتحقيق أهداف محددة	تحسين التحكم في الشبكات الكهربائية، إدارة الأحمال، الروبوتات الصناعية	Russell & Norvig, 2021 [11]; Zhang et al., 2021 [12]
الشبكات العصبية التلافيفية(CNNs)	معالجة وتحليل الصور والبيانات المكانية	مراقبة جودة البنية التحتية، التعرف على الأعطال، فحص المعدات الكهربائية	Redmon et al., 2023 [13]; Zhang et al., 2021 [12]
الشبكات العصبية المتكررة (RNNs)	معالجة السلاسل الزمنية والبيانات التسلسلية	تحليل بيانات الاستهلاك الكهربائي، الصيانة التنبؤية	Redmon et al., 2023 [13]; Zhang et al., 2021 [12]
المحولات (Transformers)	معالجة اللغات الطبيعية والنصوص	إدارة وثائقBIM ، تحليل تعليمات التشغيل والصيانة، دعم اتخاذ القرار	Redmon et al., 2023 [13]; Russell & Norvig, 2021 [11]
نماذج اللغة الكبيرة (LLMs)مثل GPT وBERT	أنظمة فهم اللغة وإنتاج النصوص	تحليل تقارير الصيانة، توليد توصيات إدارة	Russell & Norvig, 2021 [11]

المراجع	التطبيقات في الهندسة الكهربائية و BIM	الوصف	التقنية / التصنيف
	المباني، دعم العمليات الهندسية		
IEEE, 2023 [14]	الصيانة الذكية للمعدات الكهربائية، تقليل الأعطال المفاجئة	توقع الأعطال قبل حدوثها باستخدام بيانات استشعار الوقت الفعلي	الصيانة التنبؤية
Lee et al., 2015 [16]	تركيب وتجميع مكونات كهربائية، إدارة سلسلة التوريد	أنظمة أوتوماتيكية متقدمة لتنفيذ مهام دقيقة	الروبوتات الصناعية الذكية
Lee et al., 2015 [16]	تخطيط النقل الذكي للمواقع الصناعية، نقل المعدات الثقيلة	أنظمة ذكية لإدارة الحركة والنقل	المركبات ذاتية القيادة وأنظمة النقل الذكية

الجدول (10) يربط تقنيات الذكاء الاصطناعي بتطبيقاتها في الهندسة الكهربائية و BIM مع المراجع

2.9.5 أطر التكامل بين الذكاء الاصطناعي و BIM :

يوضح الشكل (1) الإطار النظري للتكامل:



الشكل (6) إطار تكامل الذكاء الاصطناعي مع BIM والهندسة الكهربائية[41]

2.9.6 التطبيقات في الهندسة الكهربائية:

2.9.6.1 تصميم الأنظمة الكهربائية :

- **التوليد التلقائي للتصاميم** :استخدام خوارزميات GANs (Generative Adversarial Networks)لتصميم أنظمة التوزيع الكهربائي.([12] Zhang et al., 2021)

- **تحسين تخطيط المسارات** :استخدام خوارزميات التعلم المعزز لتحديد المسارات المثلى للكابلات والمكونات الكهربائية.([11] Russell & Norvig, 2021)

2.9.6.2 إدارة الشبكات الكهربائية :

- **الصيانة التنبؤية** :استخدام نماذج LSTM للتنبؤ بأعطال المحولات بدقة تصل إلى 92 ,IEEE) % 2023 [14]).
- **تحليل الأحمال** :استخدام شبكات Bayesian للتنبؤ بذروة استهلاك الطاقة وتحسين توزيع الأحمال (Russell & Norvig, 2021 [11]).

2.9.6.3 أنظمة الطاقة المتجددة:

- **تحسين توجيه الألواح الشمسية** :خوارزميات Particle Swarm Optimization (PSO) لتحديد المواقع الأمثل للألواح الشمسية.
- **إدارة تخزين الطاقة** :استخدام أنظمة Q-learning للتحكم الذكي في البطاريات وتحسين كفاءة الشبكات الشمسية.([11] Russell & Norvig, 2021)

2.9.7 التطبيقات في نمذجة معلومات البناء (BIM)

2.9.7.1 التصميم الذكي :

- **التصميم التوليدي** :**(Generative Design)** استخدام الذكاء الاصطناعي لإنشاء آلاف البدائل التصميمية بسرعة ودقة.([12] Zhang et al., 2021)
- **كشف التعارضات الآلي** :دقة تصل إلى 98% باستخدام YOLOv8 لتحليل النماذج ثلاثية الأبعاد واكتشاف التعارضات.([13] Redmon et al., 2023)

2.9.7.2 إدارة المشاريع:

- **توقع التأخيرات** :استخدام نماذج الانحدار اللوجستي للتنبؤ بمخاطر الجدولة في المشاريع.

- **إدارة الموارد** :أنظمة التوصية القائمة على التعلم العميق لتحسين تخصيص الموارد وتقليل الهدر (Cheng et al., 2019 [32]; Chen et al., 2023 [33]).

2.9.7.3 التشغيل والصيانة:

- **الوحدات التنبؤية لأعطال المعدات** :دمج بيانات أجهزة IoT مع نماذج الذكاء الاصطناعي لتقليل الأعطال المفاجئة.(IEEE, 2023 [14]; Silva et al., 2018 [26])
- **إدارة الطاقة** :خوارزميات التعلم العميق لتحسين استهلاك الطاقة في المباني الذكية (Chen et al., 2023 [33]).

مثال عملي :مستشفى كليفلاند كلينك (أبوظبي)

- **التطبيق** :تكامل BIM مع الذكاء الاصطناعي لإدارة المرافق.
- **النتائج** :تحسين كفاءة الطاقة بنسبة% 28.(Cheng et al., 2019 [32])

2.9.8 التحديات والأخلاقيات :

2.9.8.1 التحديات التقنية :

- جودة البيانات الضخمة واختلاف مصادرها.
- صعوبة تفسيرية النماذج.(Explainability)
- استهلاك الطاقة الكبير للنماذج المعقدة.
- التحيز في خوارزميات التعلم الآلي.(Russell & Norvig, 2021 [11])

2.9.8.2 التحديات الأخلاقية :

- حماية الخصوصية والبيانات الشخصية.
- البطالة التكنولوجية الناتجة عن الأتمتة.
- استخدام أنظمة ذاتية القرار في الأسلحة.
- المساءلة القانونية عن قرارات الأنظمة الذكية.

2.9.9 الاتجاهات المستقبلية :

1. **الذكاء الاصطناعي التوليدي (Generative AI):** مثل نماذج DALL-E و ChatGPT (Zhang et al., 2021 [12]; Redmon et al., 2023 [13]).
2. **الذكاء الاصطناعي الحاسوبي (Cognitive AI):** أنظمة تحاكي الإدراك البشري.
3. **الحوسبة العصبية (Neuromorphic Computing):** معالجات تحاكي الدماغ البشري لتحسين كفاءة الذكاء الاصطناعي.
4. **الذكاء الاصطناعي الكمي (Quantum AI):** دمج الحوسبة الكمية مع خوارزميات الذكاء الاصطناعي.
5. **الذكاء الاصطناعي البيئي (Green AI):** حلول ذكاء اصطناعي مستدامة تقلل استهلاك الطاقة وتدعم حماية البيئة.

القسم العملي

3.1 مقدمة:

- **يتمحور المشروع حول دمج تقنيات BIM & IOT & AI لتحقيق إطار عمل متكامل يضمن الدقة والوضوح في التصميم ، سهولة التحكم المراقبة ، أتمتة عمليات الصيانة والتنبؤ بها. وذلك لتحقيق الاستدامة طوال دورة حياة المبنى عند أقل تكلفة وأعلى مستوى أداء مع إمكانية التطوير المستمر .**
  - أي سوف نقوم بربط تفاصيل التصميم التي تقدمها نماذج البيم للمشاريع ،مع الدقة والموثوقية التي تقدمها منظومات التحكم والمراقبة المدعومة بتقنيات إنترنت الأشياء، وتزويدهم بخوارزميات الذكاء الصنعي. ممايقدم إطار عمل ثوري ومتكامل.
  - يوجد العديد من التقنيات والاستراتيجات المستخدمة في هذه المجالات ويوجد سباق وتنافس دولي حقيقي (خاصة بين الصين والولايات المتحدة) للتفوق في هذا المجال مع تقديم العديد من الحلول التقنية والبرمجية الفعالة ، حيث كل حل يتمتع بمييزات معينة تجعل الاختيار فيما بينها يرتبط بشكل مباشر بتفاصيل المشروع المطلوب تحقيقه.

- في هذا المشروع مثلا تم استخدام **Revit** للنمذجة والتصميم ، واستخدام **TIA Portal** لتصميم وأتمتة نظام التحكم والمراقبة (Scada System) ، واستخدام **Spyder (Python)** لتصميم نموذج الذكاء الصنعي .

1. بعد القيام بنمذجة المشروع وتصميم المنظومة الكهربائية سنقوم بتصدير المعلومات اللازمة من تفاصيل المعدات والكميات والمواصفات الفنية والأحمال عن طريق جداول الكميات ، أيضاً سنقوم بتصدير جداول لوحات التوزيع الكهربائية المتضمنة تفاصيل شاملة عن الأحمال والقواطع المستخدمة.

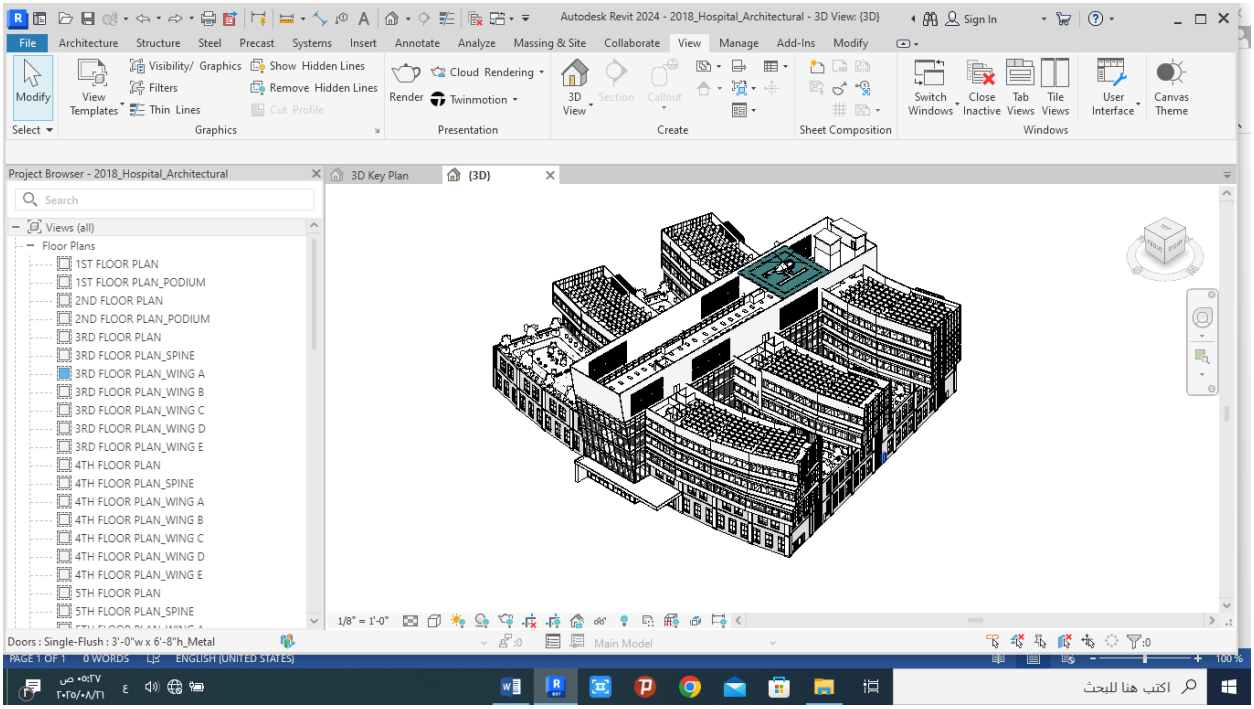
2. ثم ثانياً سنقوم بتصميم برنامج المراقبة والتحكم لأنظمة التغذية الكهربائية و الطاقة الشمسية و إطفاء الحريق إستناداً إلى التجهيزات المستخدمة ومتطلبات المنشأة وأساسيات الأمن والسلامة مع الأخذ بعين الإعتبار قابلية النظام للتوسعة من حيث عدد الأجهزة المستخدمة ونوعها.
3. ثم أخيراً سنقوم بتصميم خوارزمية ذكاء صنعي تعتمد على قاعدة بيانات تتضمن معلومات الأجهزة والمعدات وتفاصيلها التقنية(من Revit) مع القراءات اللحظية والمؤرشفة والإنذارات من المنشأة (من Scada System).

3.2 خطوات العمل:

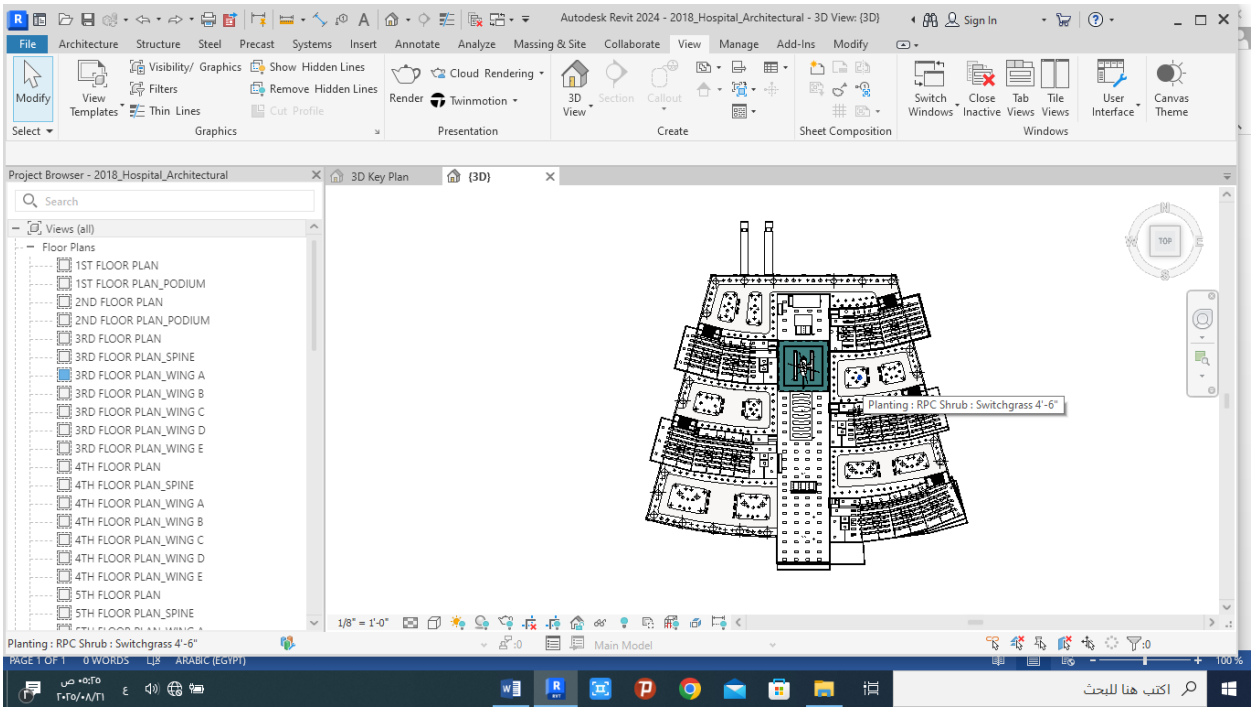
3.2.1 أولاً النمذجة باستخدام الريفيت Revit :

من اهم أدوات التصميم المستخدمة في مجال BIM حيث يقدم نموذجاً متكاملاً ثلاثي الأبعاد يجمع كامل التصاميم الهندسية (Civil – Arch – MEP) ضمن تصميم واحد مع تقديم أدق التفاصيل والمواصفات الفنية للمعدات والتجهيزات. فيما يلي تصميم افتراضي متكامل لمشفى كبير:

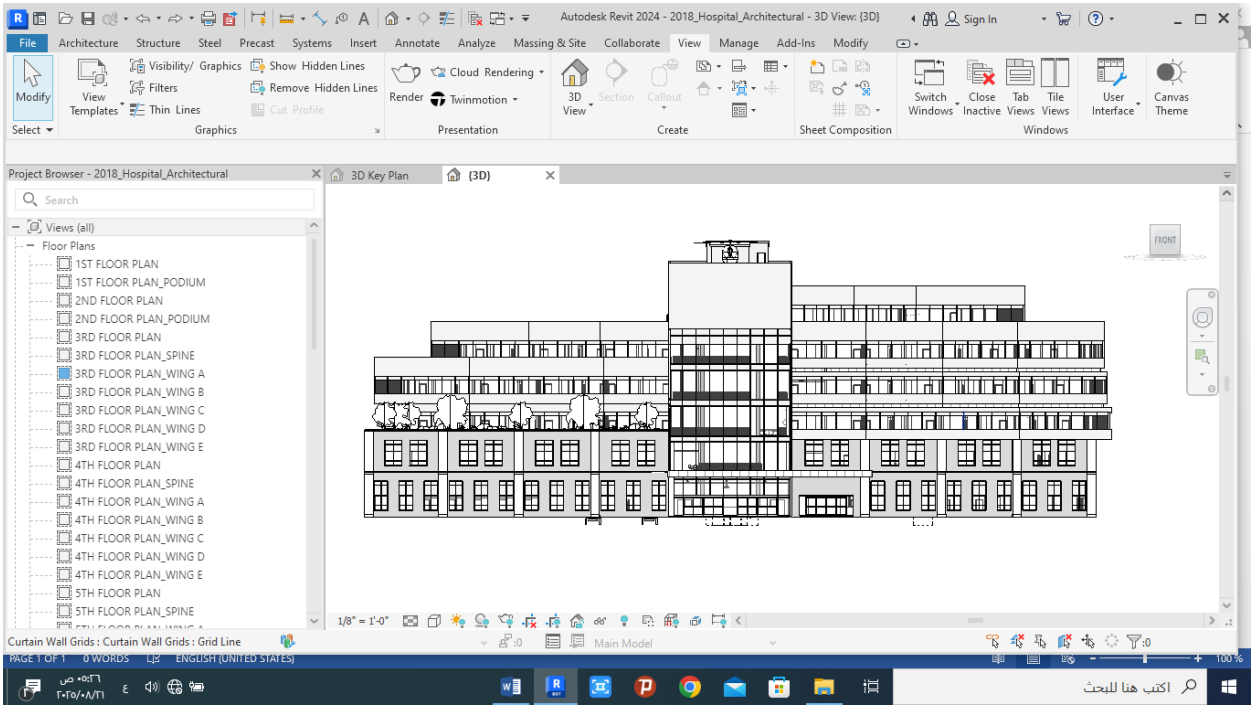
الشكل (7) يوضح النموذج بعد Rendiring



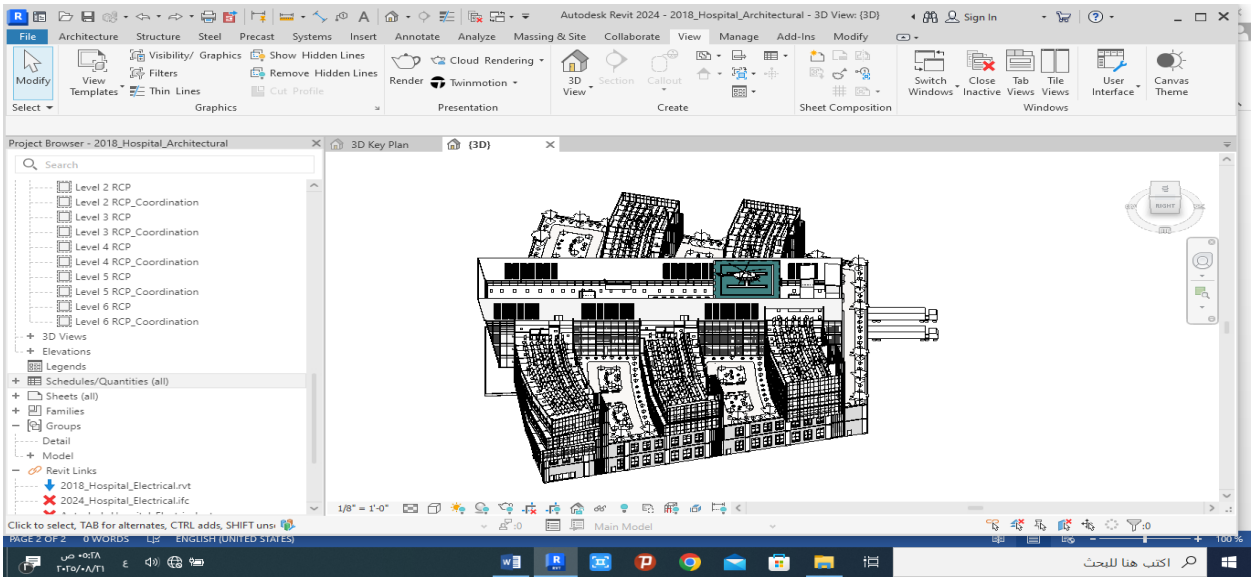
الشكل(8) يوضح النموذج الثلاثي الأبعاد



الشكل(9) يوضح المسقط الأفقي للنموذج

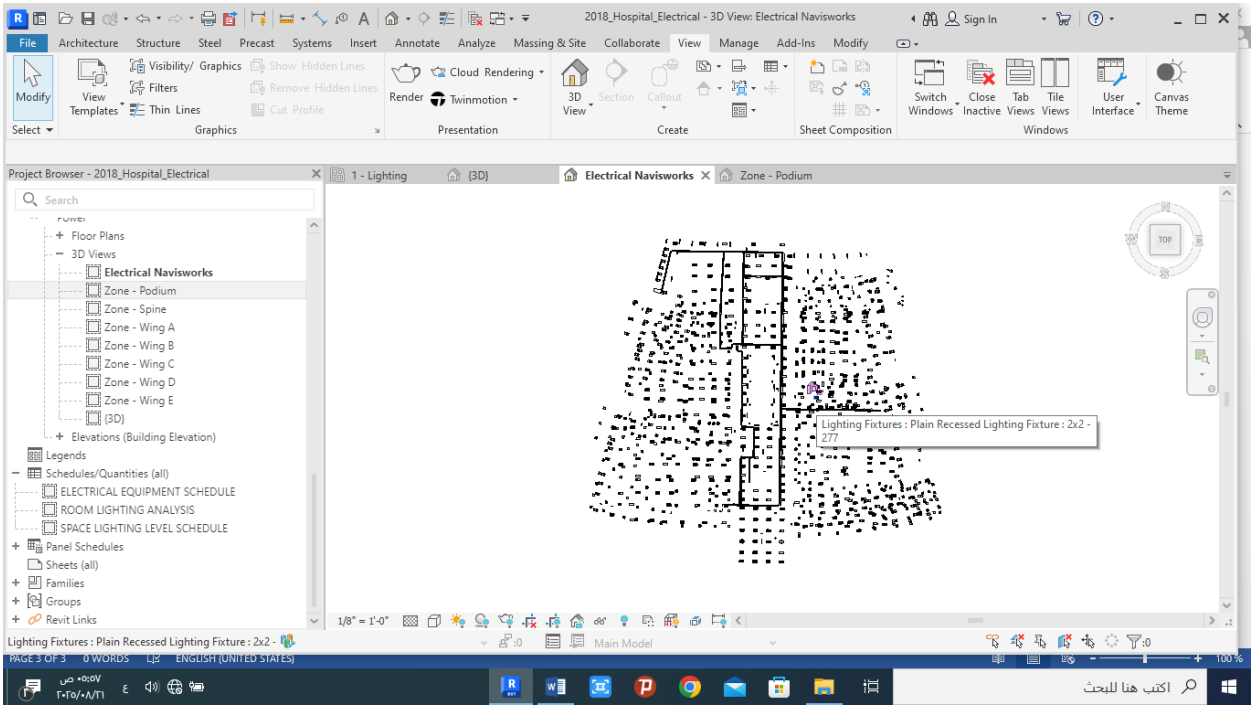


الشكل (10)يوضح المسقط الأمامي للنموذج

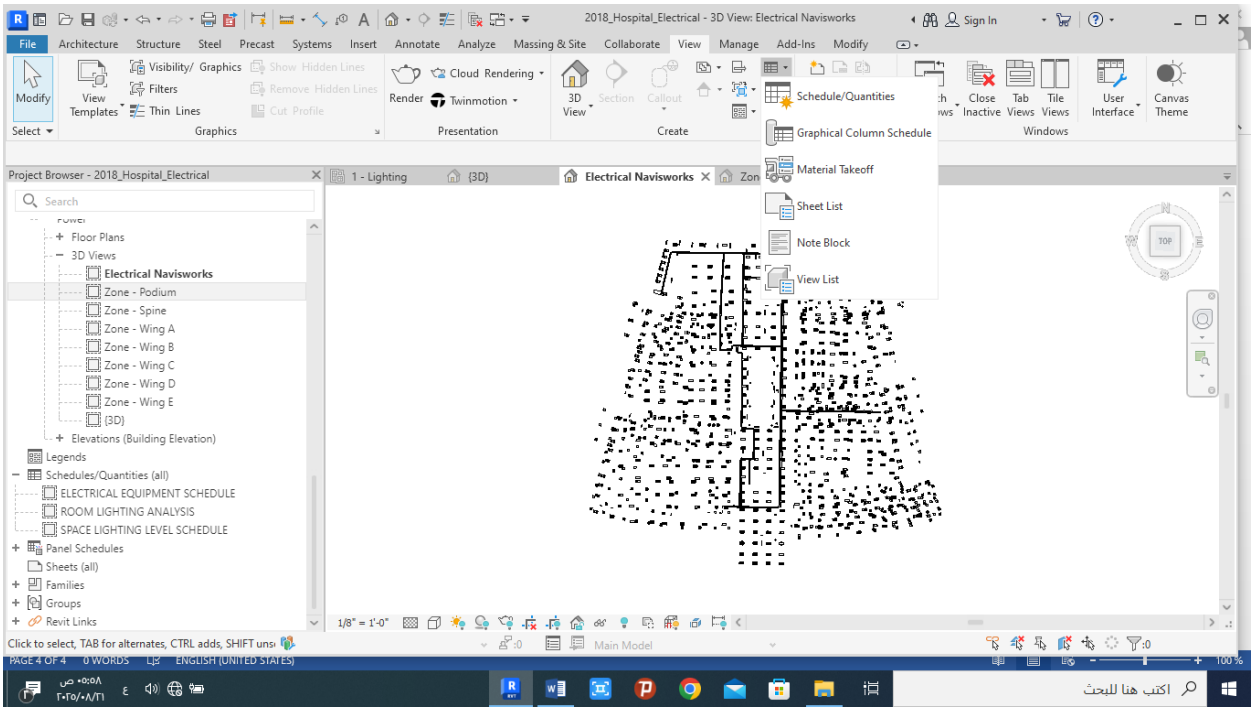


الشكل (11)يوضح المسقط الجانبي للنموذج

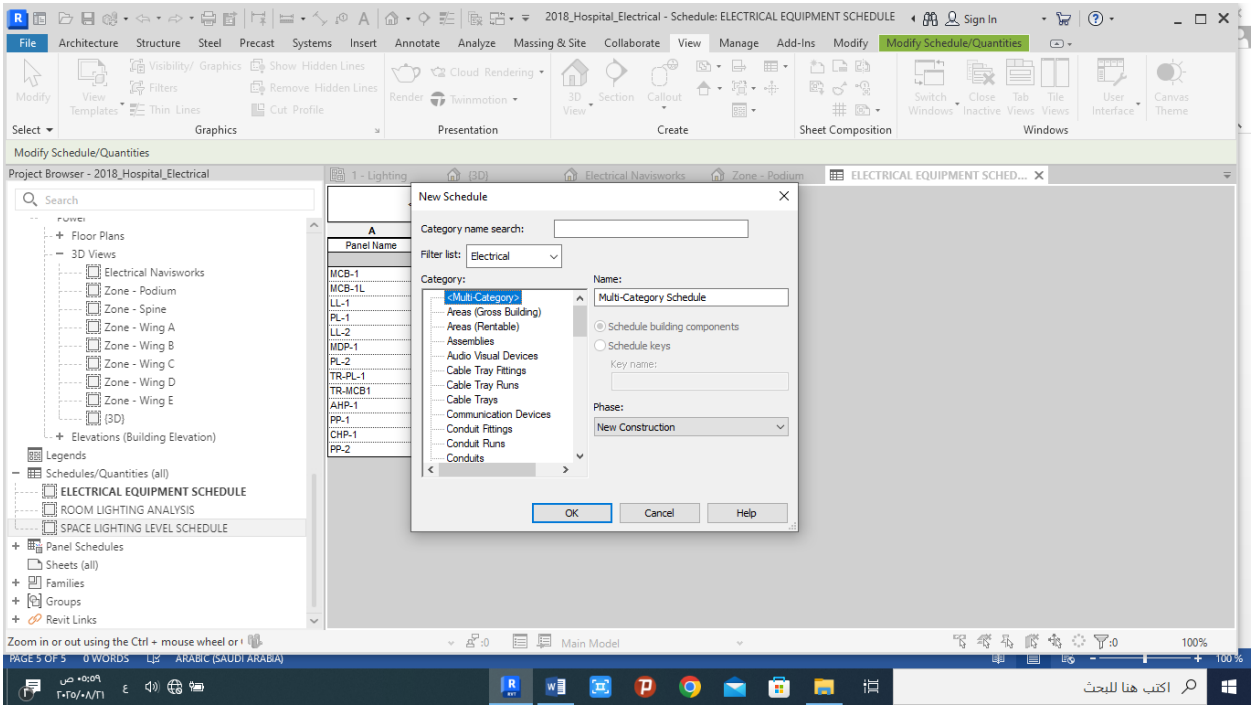
والآن النموذج الكهربائي والذي من خلاله سنقوم بتوزيع الأجهزة وربط الدارات وتوزيع الأحمال الكهربائية:



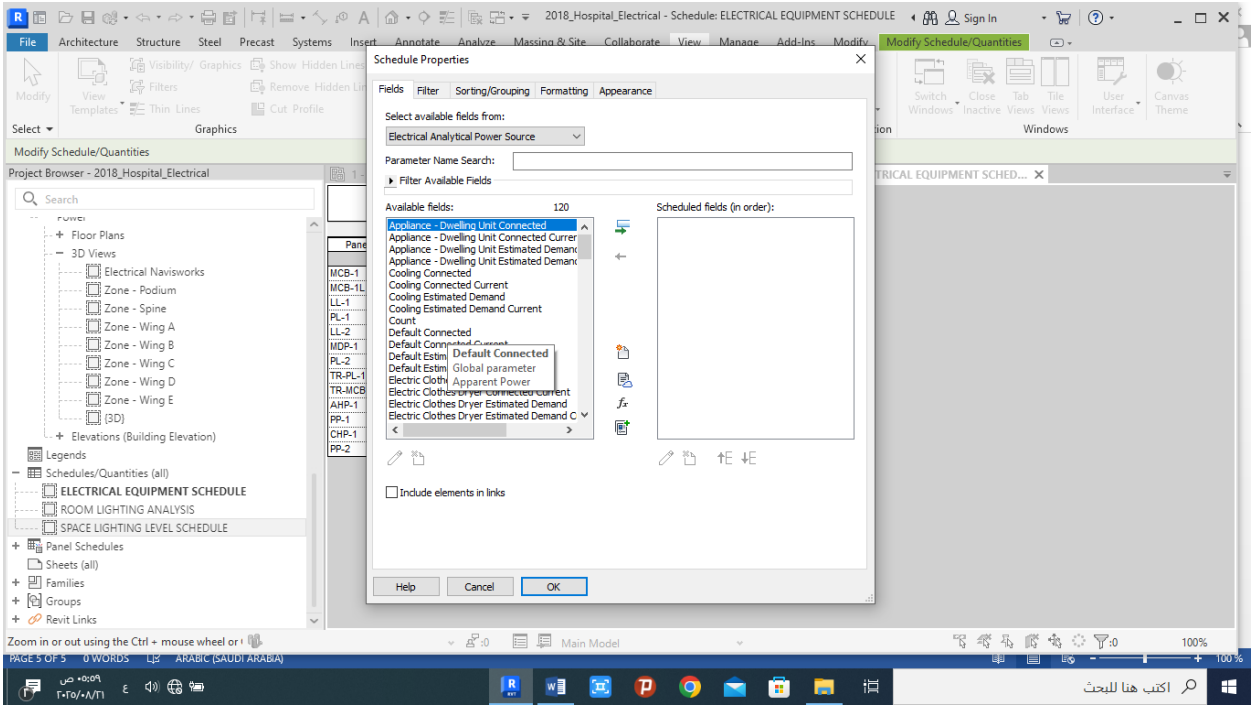
الشكل(12) يوضح المسقط الأفقي للنموذج الكهربائي



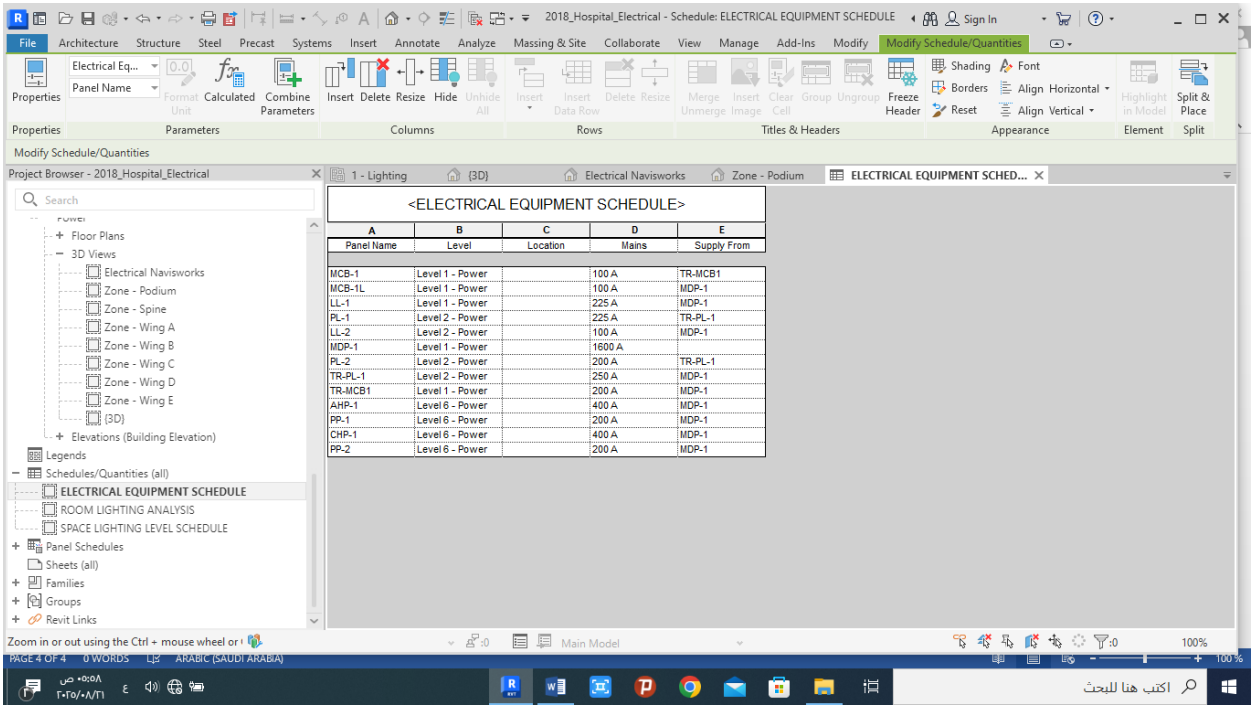
الشكل(13) يوضح استخراج جداول الكميات



الشكل (14)يوضح طريقة تسمية الجدول وذكر محتوياته

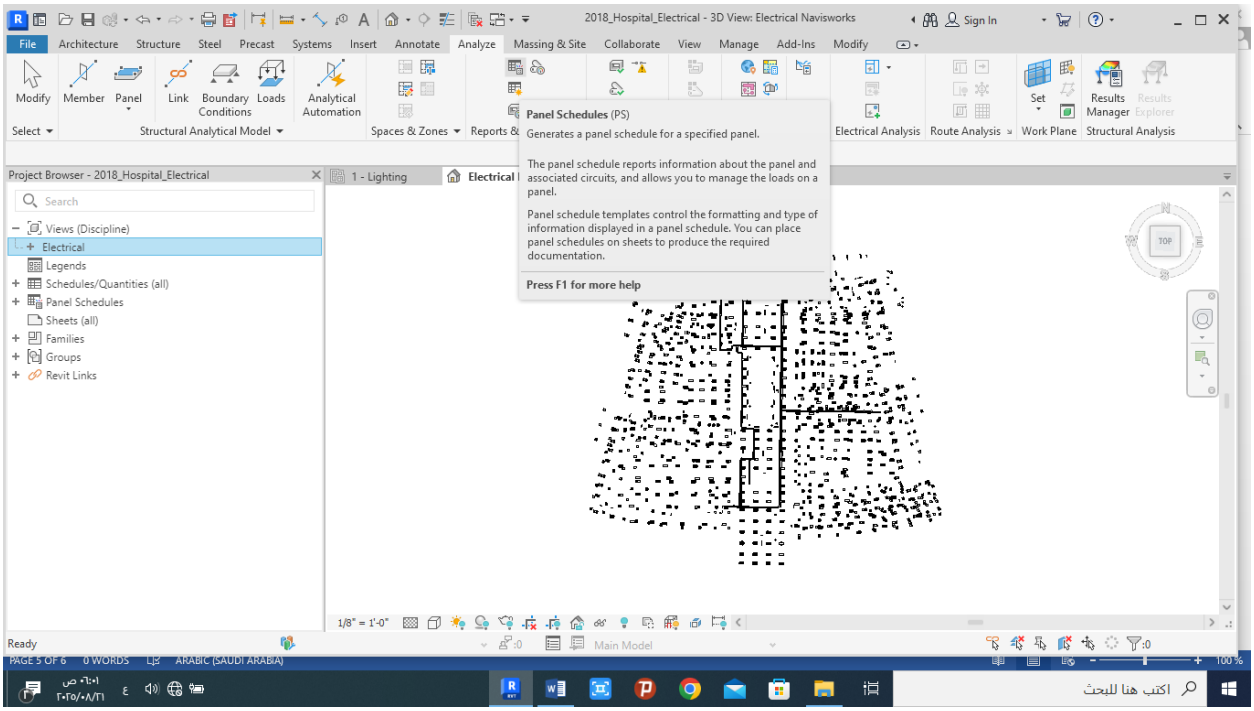


الشكل (15) بوضح طريقة إختيار التفاصيل التقنية المطلوبة

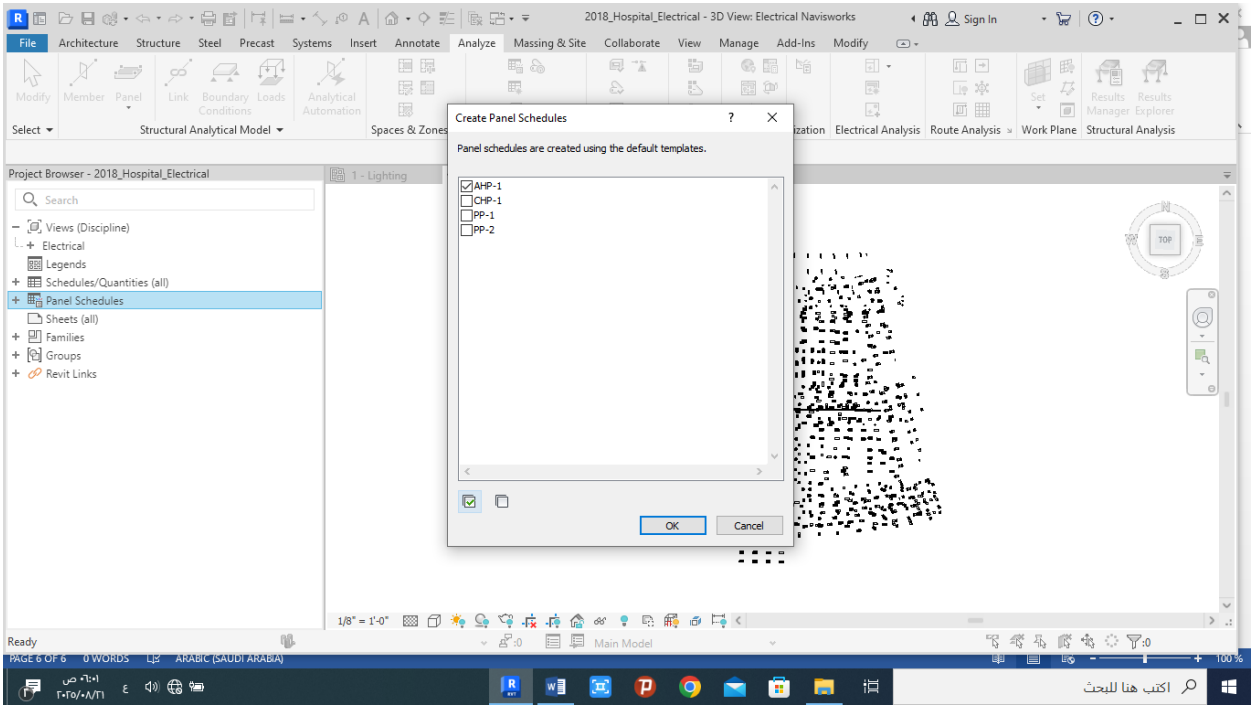


A	B	C	D	E
Panel Name	Level	Location	Mains	Supply From
MCB-1	Level 1 - Power		100 A	TR-MCB1
MCB-1L	Level 1 - Power		100 A	MDP-1
LL-1	Level 1 - Power		225 A	MDP-1
PL-1	Level 2 - Power		225 A	TR-PL-1
LL-2	Level 2 - Power		100 A	MDP-1
MDP-1	Level 1 - Power		1600 A	
PL-2	Level 2 - Power		200 A	TR-PL-1
TR-PL-1	Level 2 - Power		250 A	MDP-1
TR-MCB1	Level 1 - Power		200 A	MDP-1
AHP-1	Level 6 - Power		400 A	MDP-1
PP-1	Level 6 - Power		200 A	MDP-1
CHP-1	Level 6 - Power		400 A	MDP-1
PP-2	Level 6 - Power		200 A	MDP-1

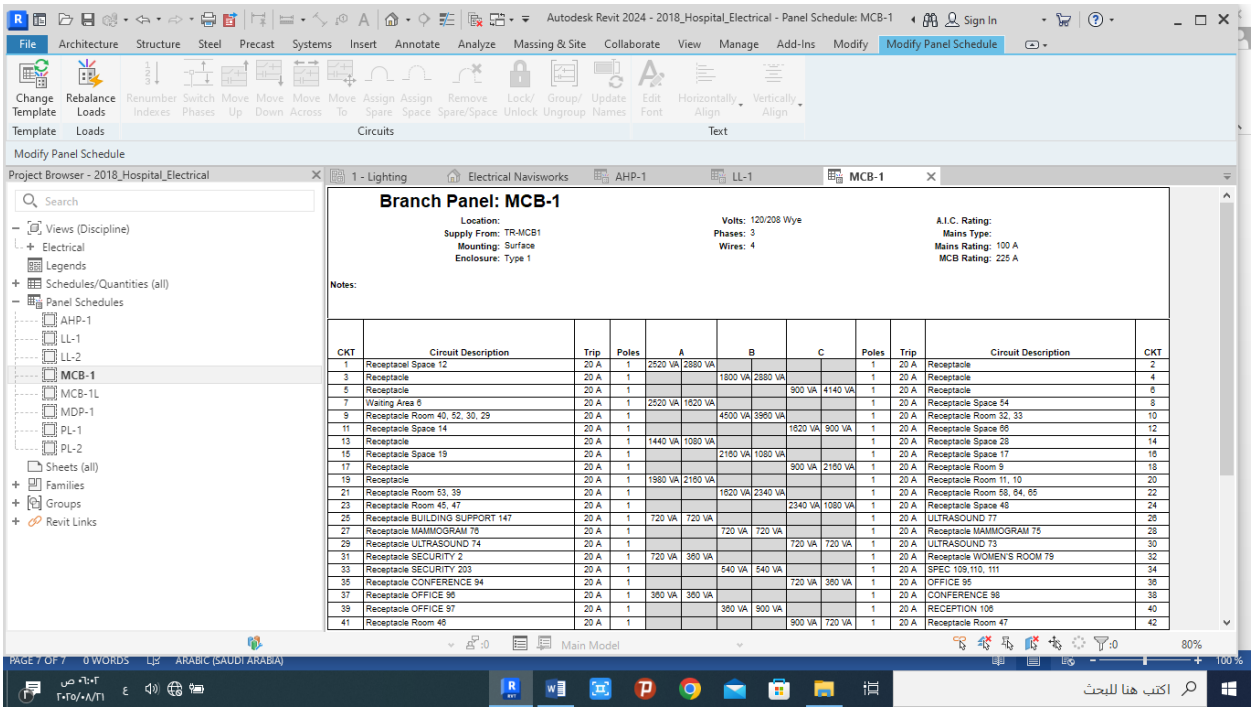
الشكل (16) يوضح شكل الجدول بعد التوليد



الشكل (17) يوضح طريقة توليد جداول اللوحات الكهربائية

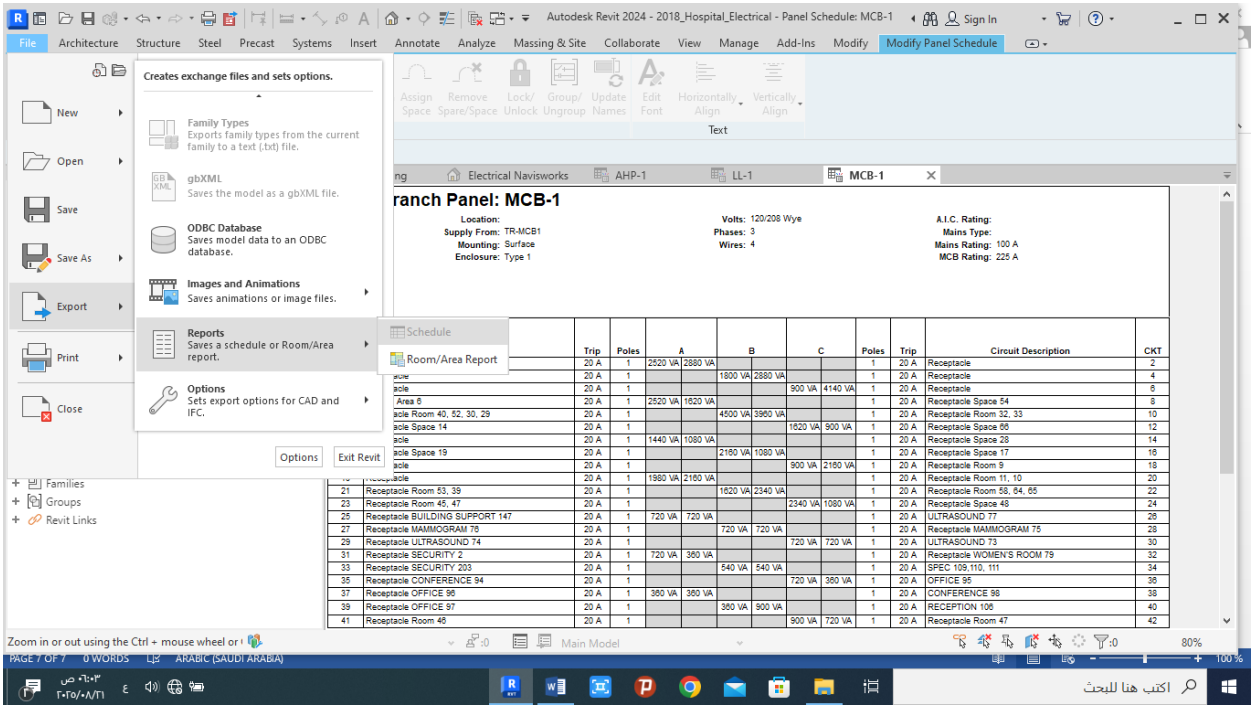


الشكل(18) يوضح طريقة إختيار اللوحة الكهربائية المطلوبة



CKT	Circuit Description	Trip	Poles	A		B		C		Poles	Trip	Circuit Description	CKT
1	Receptacl Space 12	20 A	1	2520 VA	2880 VA					1	20 A	Receptacle	2
3	Receptacle	20 A	1			1800 VA	2880 VA			1	20 A	Receptacle	4
5	Receptacle	20 A	1					900 VA	4140 VA	1	20 A	Receptacle	6
7	Waiting Area 6	20 A	1	2520 VA	1620 VA					1	20 A	Receptacle Space 54	8
9	Receptacle Room 40, 52, 30, 29	20 A	1			4500 VA	3960 VA			1	20 A	Receptacle Room 32, 33	10
11	Receptacle Space 14	20 A	1					1620 VA	900 VA	1	20 A	Receptacle Space 66	12
13	Receptacle	20 A	1	1440 VA	1080 VA					1	20 A	Receptacle Space 28	14
15	Receptacle Space 19	20 A	1			2160 VA	1080 VA			1	20 A	Receptacle Space 17	16
17	Receptacle	20 A	1					900 VA	2160 VA	1	20 A	Receptacle Room 9	18
19	Receptacle	20 A	1	1980 VA	2160 VA					1	20 A	Receptacle Room 11, 10	20
21	Receptacle Room 53, 39	20 A	1			1620 VA	2340 VA			1	20 A	Receptacle Room 58, 64, 65	22
23	Receptacle Room 45, 47	20 A	1					2340 VA	1080 VA	1	20 A	Receptacle Space 48	24
25	Receptacle BUILDING SUPPORT 147	20 A	1	720 VA	720 VA					1	20 A	ULTRASOUND 77	26
27	Receptacle MAMMOGRAM 76	20 A	1			720 VA	720 VA			1	20 A	Receptacle MAMMOGRAM 75	28
29	Receptacle ULTRASOUND 74	20 A	1					720 VA	720 VA	1	20 A	ULTRASOUND 73	30
31	Receptacle SECURITY 2	20 A	1	720 VA	360 VA					1	20 A	Receptacle WOMEN'S ROOM 79	32
33	Receptacle SECURITY 203	20 A	1			540 VA	540 VA			1	20 A	SPEC 109,110, 111	34
35	Receptacle CONFERENCE 94	20 A	1					720 VA	360 VA	1	20 A	OFFICE 95	36
37	Receptacle OFFICE 96	20 A	1	360 VA	360 VA					1	20 A	CONFERENCE 98	38
39	Receptacle OFFICE 97	20 A	1			360 VA	900 VA			1	20 A	RECEPTION 106	40
41	Receptacle Room 46	20 A	1					900 VA	720 VA	1	20 A	Receptacle Room 47	42

الشكل (19) يوضح جدول القواطع والمواصفات ضمن اللوحة الكهربائية



الشكل(20) يوضح كيفية تصدير الجداول وحفظها

بعد ذلك نقوم بتخريج كل الجداول المطلوبة كملفات Excel.

3.2.2 ثانياً التحكم المؤتمت والمراقبة باستخدام TIA Portal :

TIA Portal .هو اختصار لـ Totally Integrated Automation Portal، وهو المنصة البرمجية الموحدة والشاملة من شركة سيمنز (Siemens) لبرمجة وتكوين وتشغيل أنظمة الأتمتة والتحكم الصناعي.

يمكن اعتباره "بيئة تطوير متكاملة (IDE) "للمهندسين والعاملين في مجال الأتمتة، حيث يجمع جميع الأدوات اللازمة تحت واجهة مستخدم واحدة.

1. البرمجيات الرئيسية داخلTIA Portal:

1. **STEP_7 لبرمجة PLCs** هذا هو القلب الأساسي. يستخدم لبرمجة متحكمات سيمنز المنطقية (PLCs) وتنفيذ المهام المتعلقة بها مثل:

- ✓ إنشاء منطق التحكم باستعمال لغات البرمجة Ladder Logic – LAD ، Function Block Diagram – FBD، Structured Text – ST.
- ✓ تكوين أجهزة الـ PLC (Hardware Configuration).
- ✓ تشخيص الأعطال والصيانة.

2. **WinCC لبرمجة واجهات التشغيل HMIs** : يستخدم لتصميم شاشات التحكم والمراقبة (لوحات اللمس التفاعلية إنسان آلة) مثل:

- ✓ إنشاء واجهات المستخدم الرسومية.(GUI)
- ✓ ربط العناصر على الشاشة (أزرار، مؤشرات، رسوم بيانية) بمتغيرات الـ PLC مباشرة.
- ✓ تسجيل البيانات وإنشاء التقارير.

3. **Start Drive لضبط وتهيئة المحركات والإنفرترات**:لتكوين وبرمجة محركات سيمنز SINAMICS Drives من داخل البيئة نفسها.

2. المكونات المستخدمة :

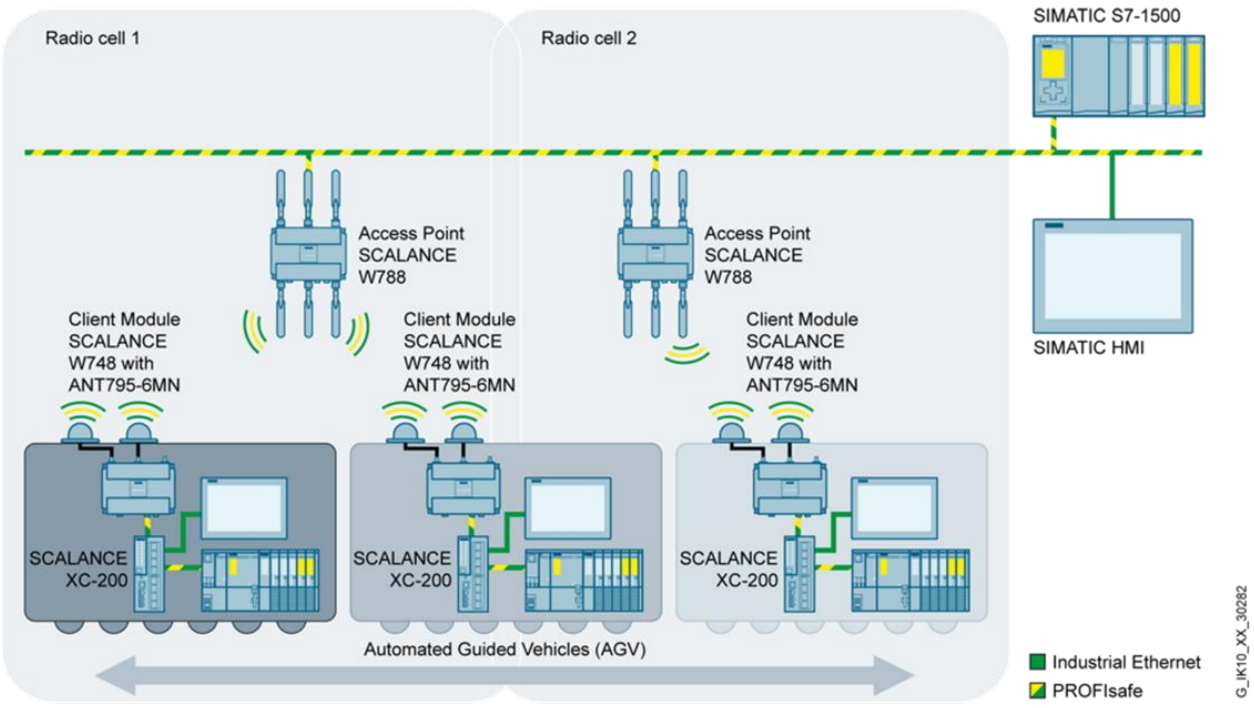
1.الأجهزة المادية:

المكون	الموديل/النوع	الوظيفة
PLC	**Siemens SIMATIC S7-1511-1 PN**	**التحكم المركزي في النظام.**
الحساسات وأجهزة القياس	**Siemens**	**-قياس درجة الحرارة -قياس المستوى - قياس الضغط -قياس الجهد والتيار -كشف الدخان**

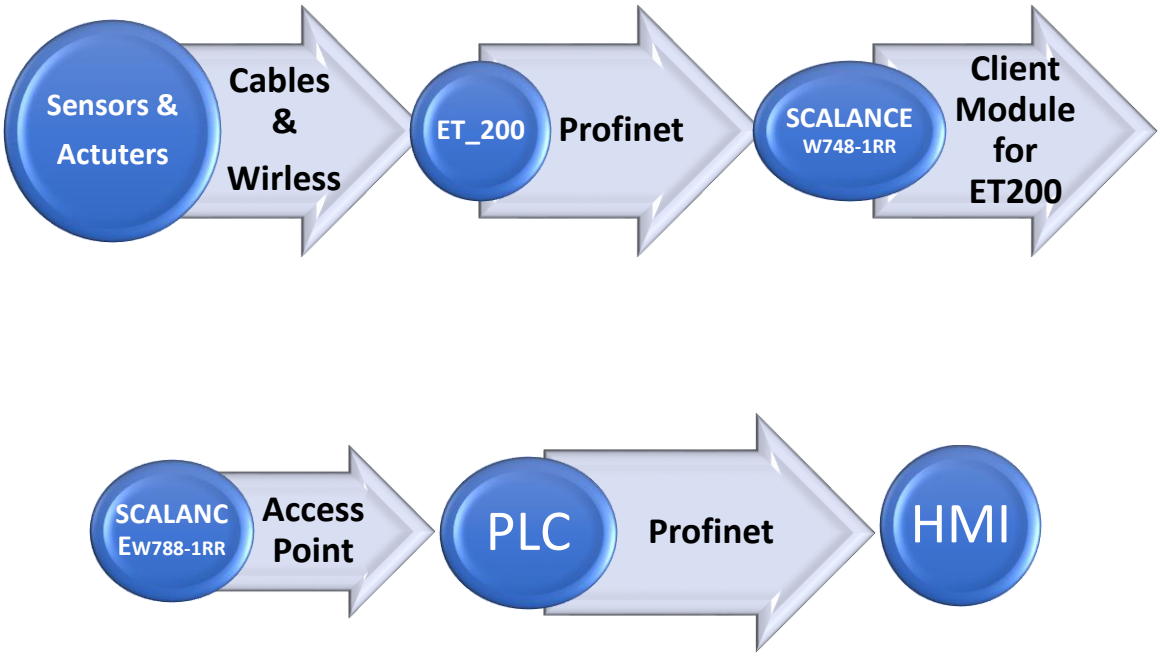
القواطع الذكية	Siemens 3VA1 COM Module	-مراقبة التيار الكهربائي. -إيقاف التشغيل في حالة العطل.
المحركات	Siemens simicode Pro V pn	تشغيل محرك مضخة الإطفاء
بوابة الاتصال	Siemens SCALANCE W788-1 M12 W78-1M12 XB005	ربط الأجهزة مع PLC عبر IWALN

الجدول (9)يوضح الأجهزة المستخدمة في المنظوم

2. طريقة التوصيل :



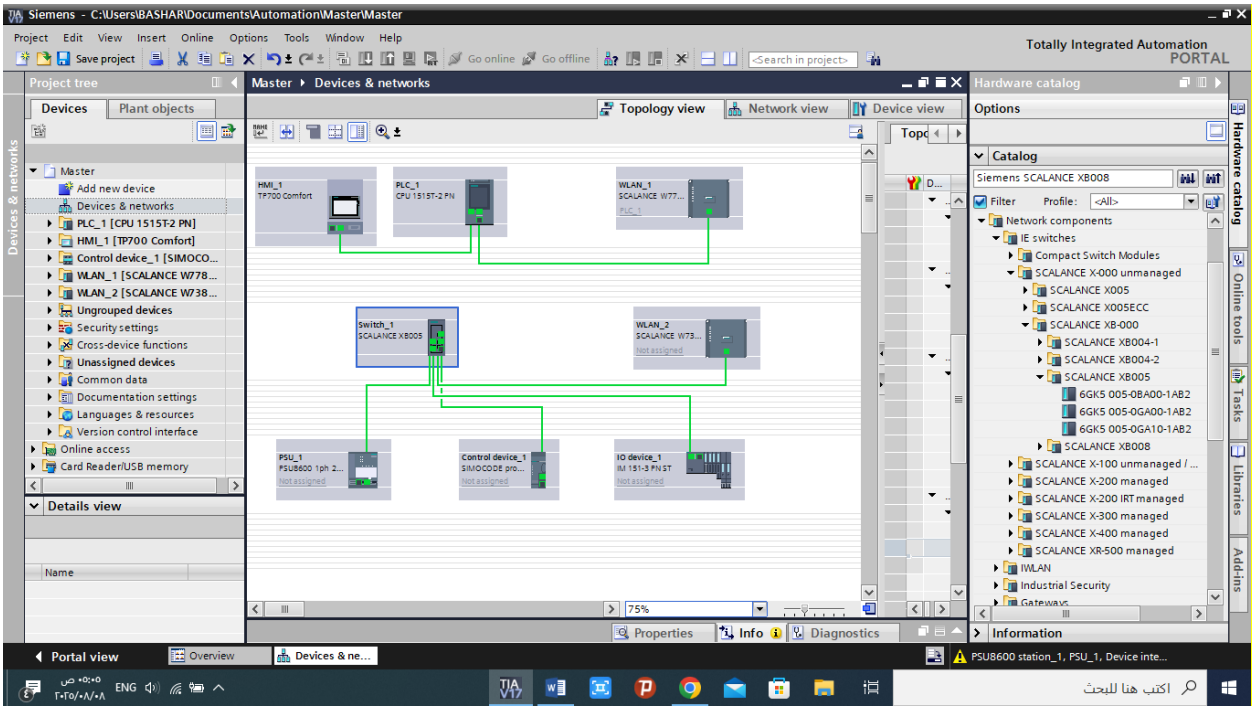
الشكل(21) يوضح التوصيل والاتصال بين الأجهزة



الشكل(22) يوضح هرمية شبكة التوصيل بين الأجهزة بتصرف الباحث

شرح طريقة التوصيل:

- تتصل كافة الأجهزة سلكياً أو لاسلكياً مع أجهزة التوسعة ET-200 والتي بدورها تجمع الإشارات وترسلها عبر كبل اتصال Profinet إلى جهاز SCALANCE W748-1RR (Client Module for ET200) والذي بدوه يرسل الإشارات لاسلكياً عبر شبكة IWALN إلى جهاز الإتصال SCALANCEW788-1RR (Access Point) الذي يتصل عبر كبل اتصال Profinet مع الPLC ، أيضاً يتصل مع شاشة ال HMI عبر كبل اتصال Profinet



الشكل(23) يوضح شبكة الاتصال بين الأجهزة من TIA Portal

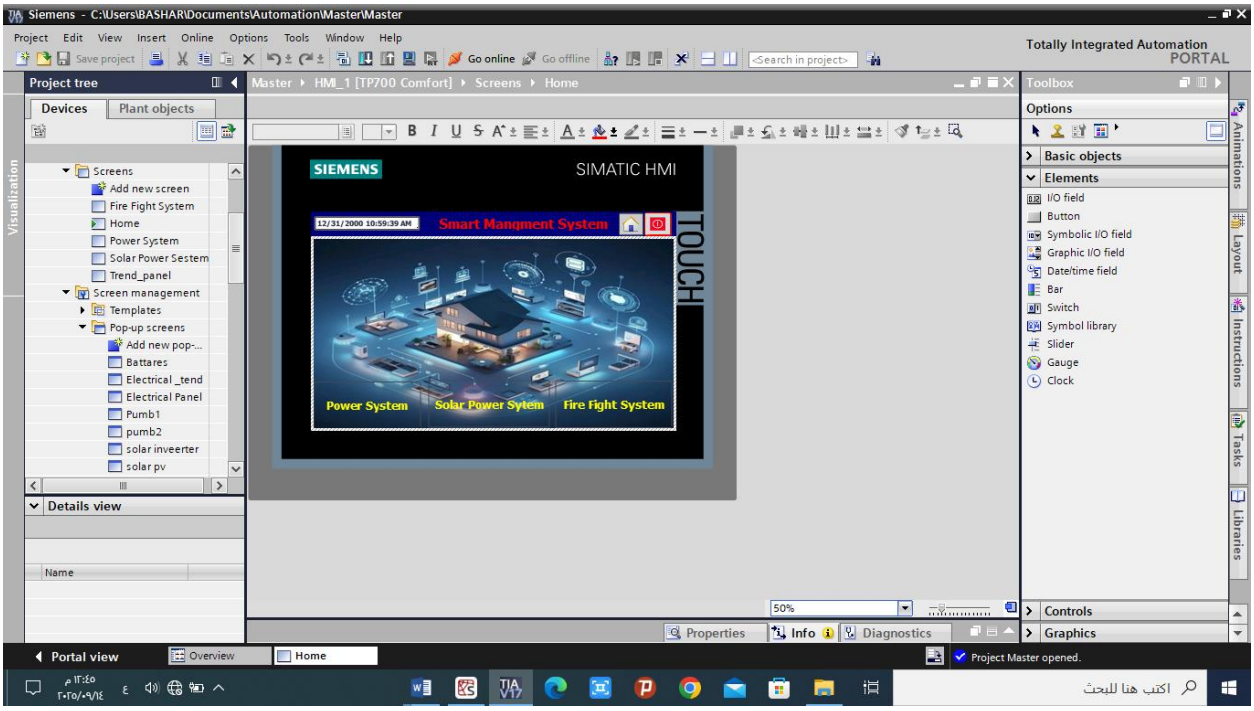
3 . التصميم والبرمجة باستخدام TIA Portal:

أ) قراءة بيانات الحساسات

ب) التحكم في المحركات

ج) مراقبة القواطع

د)واجهة HMI تحكم وعرض



الشكل (24) يوضح واجهة TIA Portal وتصميم شاشة الHMI

- عرض بيانات الحساسات (درجة الحرارة، المستوى، الضغط وغيرها)
- أزرار تحكم يدوي (إيقاف/تشغيل المحركات).
- إنذارات في حالة خطأ (مثل ارتفاع الحرارة أو إنخفاض الضغط أو تيار غير طبيعي).
- عرض منحنيات بيانية للقراءات .
- شاشة لمس تفاعلية.

الشكل(25) يوضح الواجهة الرئيسية للمنظومة

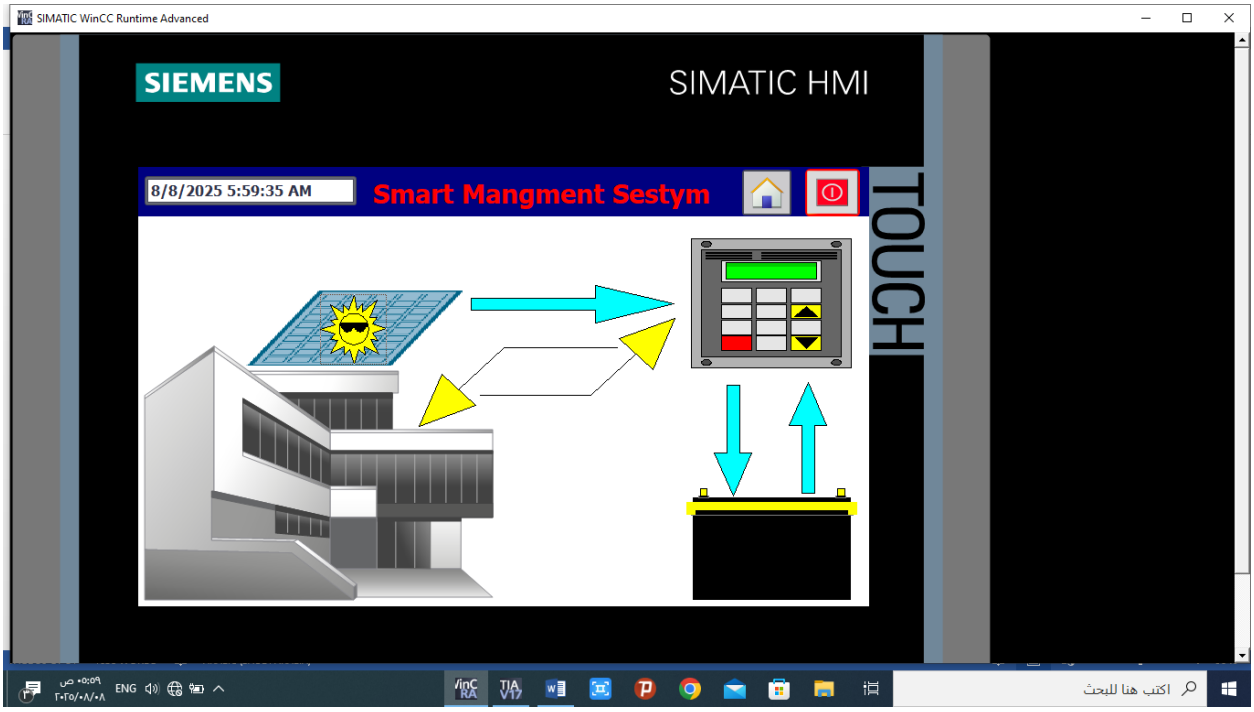
4. سيناريو التشغيل:

يعتمد النظام على هيكلية مركزية ولاسلكية لربط كافة الأجهزة ضمن خوارزميات عمل تضمن الدقة والأمان والتنبؤ المبكر بالمشاكل والأعطال.

وفي نفس الوقت هي أنظمة قابلة للاسقاط والتوسع على أي منشأة بغض النظر عن حجمها أو تعقيدها، فيمكن ببساطة استخدام توسعات وإضافة المزيد من التجهيزات.

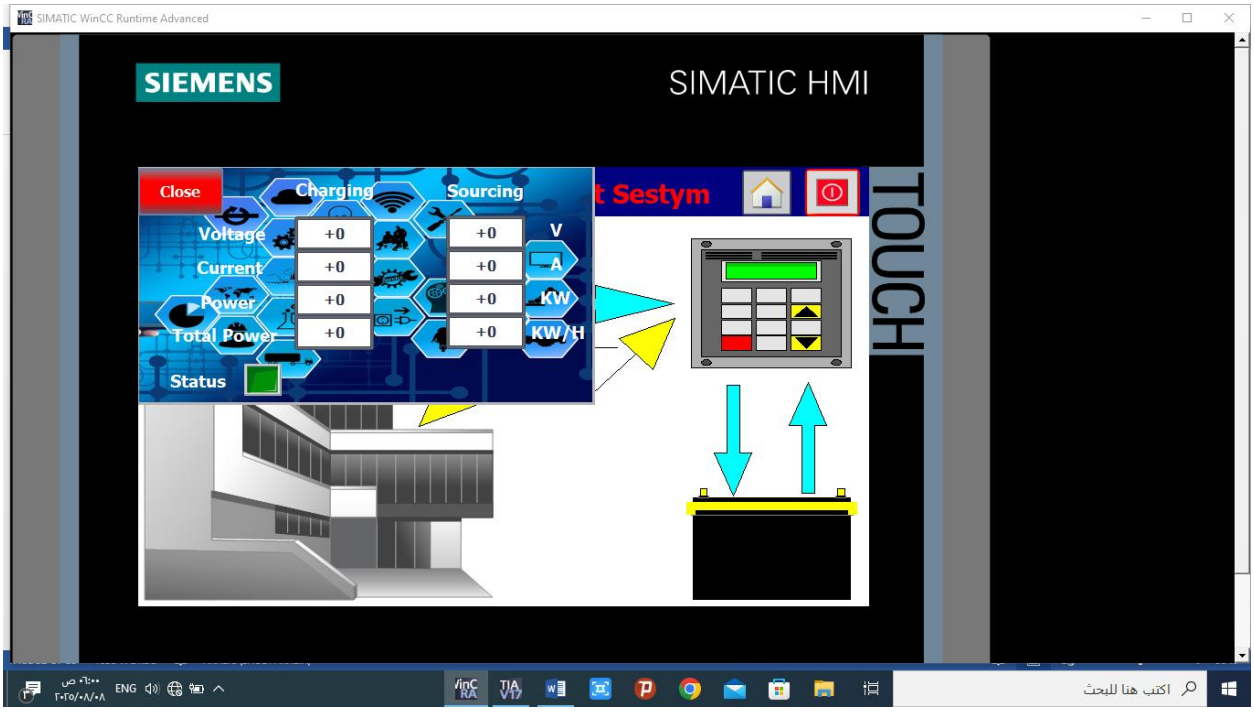
1. نظام الطاقة الشمسية Solar Power System:

عند الضغط على أيقونة Solar Power System يظهر الشاشة التالية والتي توضح نظام متكامل يتضمن التحكم والمراقبة للألواح والبطاريات والانفرتر.



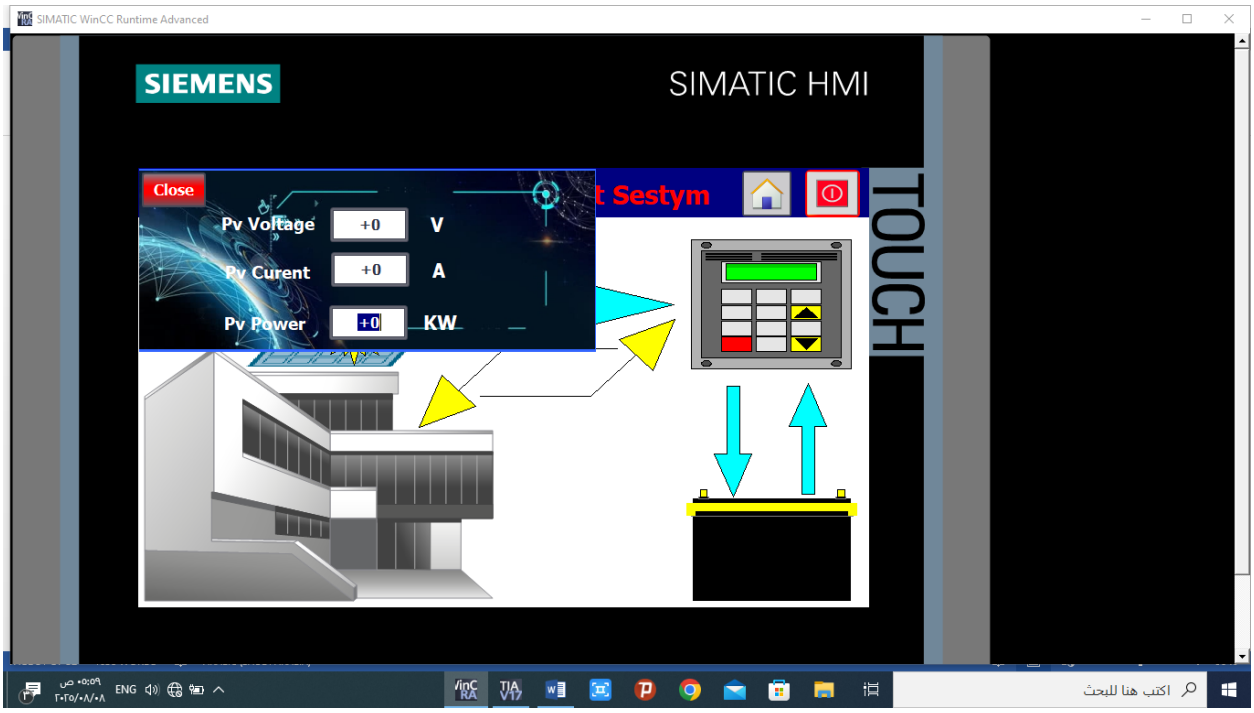
الشكل (26) يوضح الشاشة التفاعلية لنظام Solar Power System

عند الضغط على رمز الانفرتر الشمسي تظهر شاشة صغيرة تفاعلية تبين قيم الجهد والتيار والاستطاعة اللحظية والاستطاعة التجميعية في حالتي الشحن والتغذية مع إشارة دلالية للحالة الفنية لعمل الانفرتر تتحول للأحمر عند وجود أي خلل.



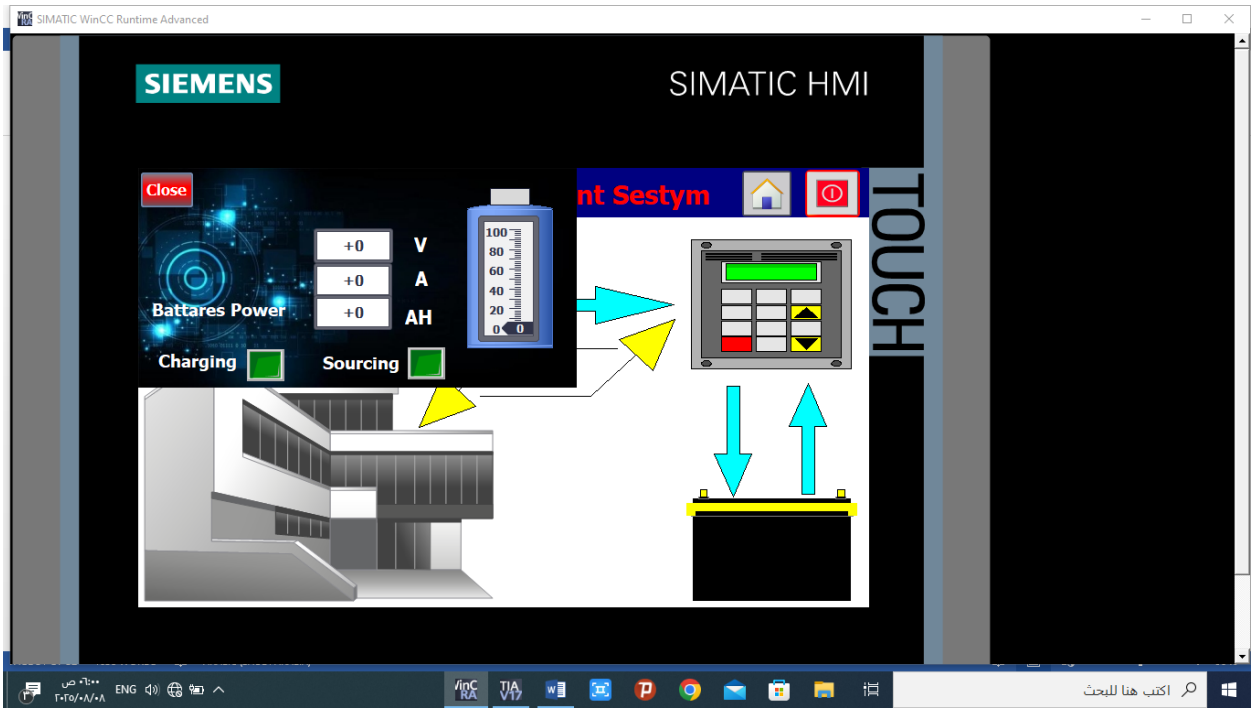
الشكل(27) يوضح الشاشة التفاعلية للإنفرتر الشمسي.

وعند الضغط على أيقونة الألواح تظهر لنا شاشة تفاعلية صغيرة تظهر قيمة الجهد والتيار والاستطاعة المقدمة من الألواح.



الشكل (28)يوضح الشاشة التفاعلية الخاصة بألواح الطاقة الشمسية

وعند الضغط على أيقونة البطارية تظهر لنا شاشة تفاعلية تظهر قيمة الجهد والتيار ومشتوى الشحن للبطاريات.

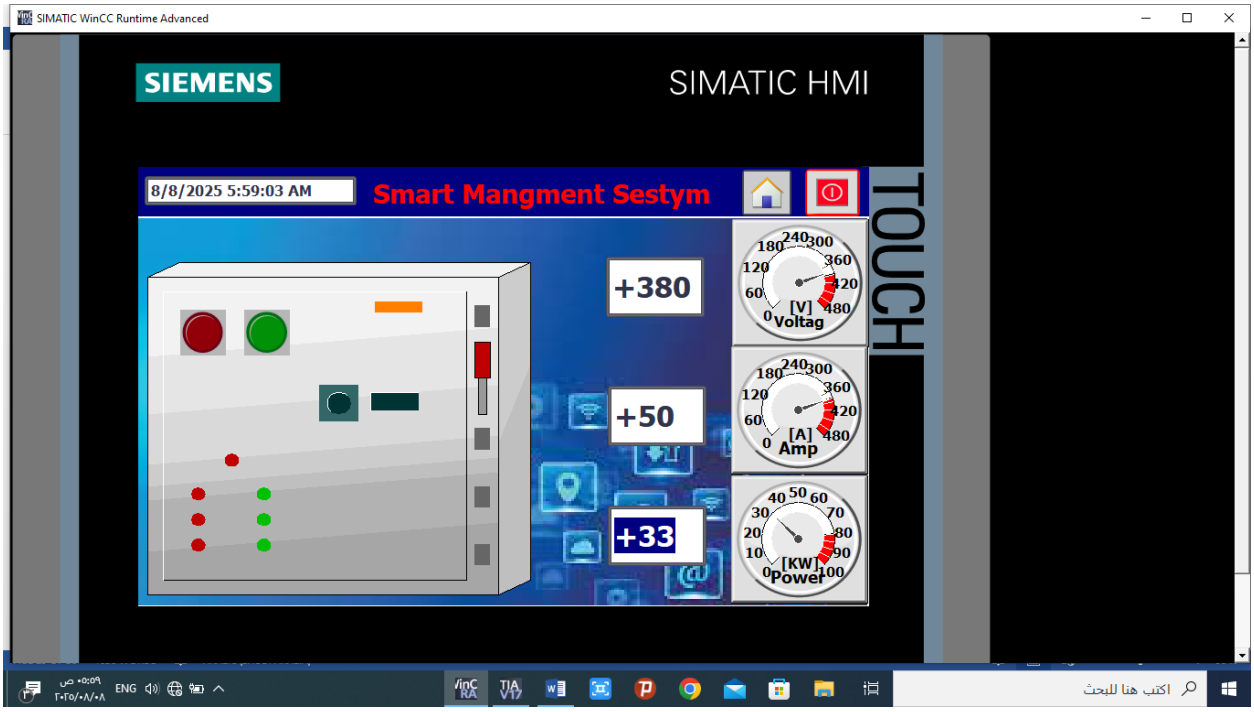


الشكل(29) يوضح الشاشة التفاعلية الخاصة بالبطاريات

2. نظام الطاقة الكهربائية: Electrical Power System

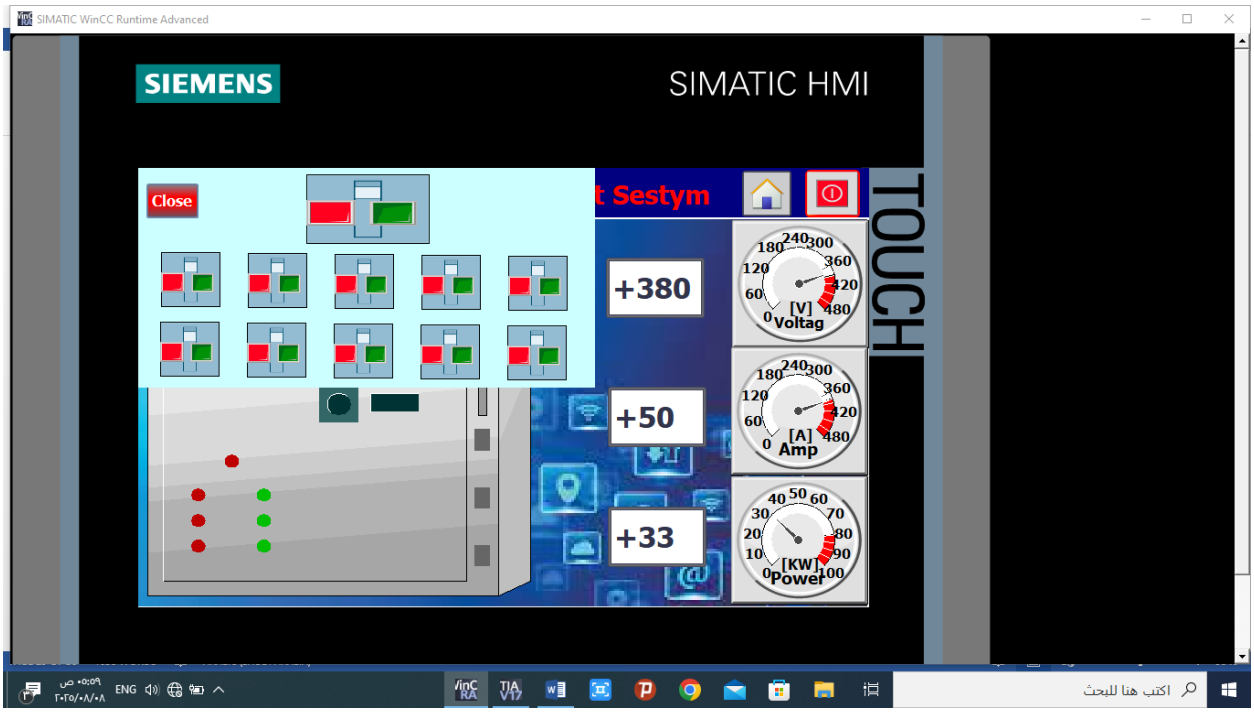
عند الضغط على أيقونة Electrical Power System تظهر لنا شاشة تفاعلية تقدم لنا نظام متكامل يشمل التحكم والمراقبة في اللوحة الكهربائية الرئيسية للمنشأة.

هذا الشاشة توضح مقاييس للجهد والتيار والاستطاعة كما تظهر أيقونة لوحة التوزيع الكهربائية ويظهر عليها إشارات دلالية للحالة الفنية للمنظومة.



الشكل (30) يوضح الشاشة التفاعلية لمنظومة Electrical Power System

عند الضغط على أيقونة اللوحة الكهربائية تظهر لنا شاشة تفاعلية صغيرة تبين القواطع الكهربائية الخاصة بالمنظومة مع إمكانية التحكم بالقاطع وإظهار الحالة الفنية.



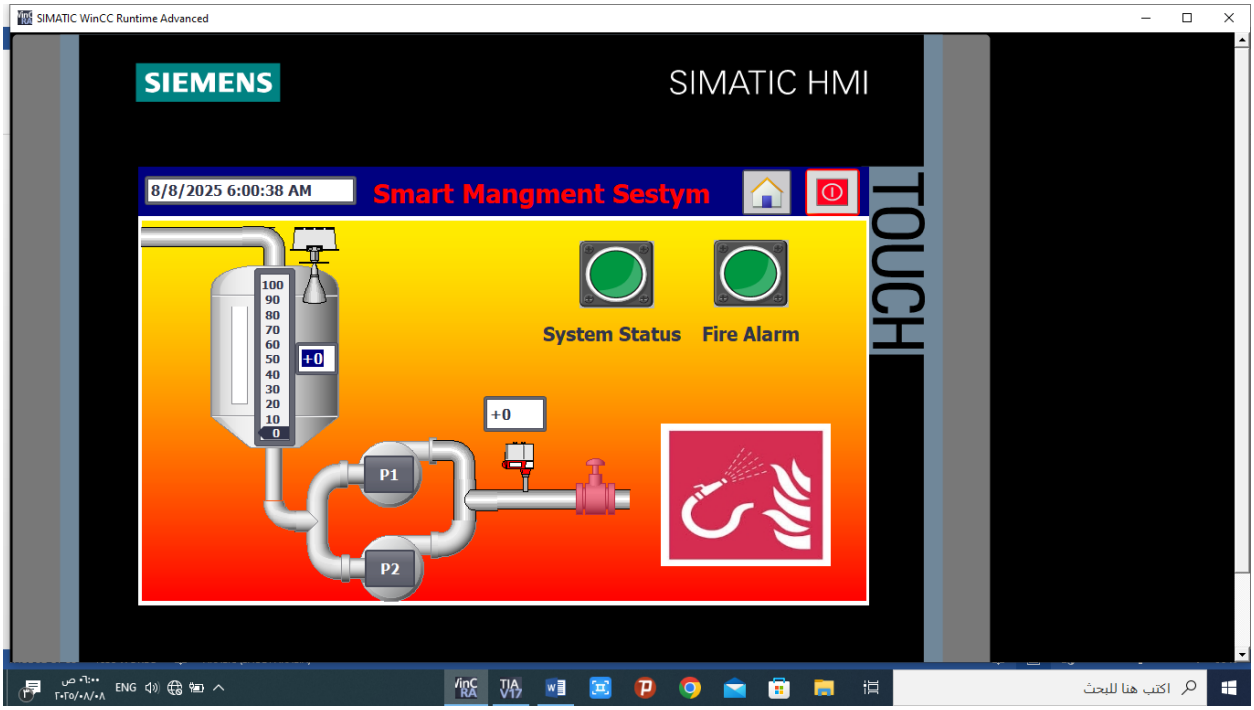
الشكل(31) يوضح الشاشة التفاعلية الخاصة باللوحة الكهربائية

3. نظام مكافحة الحريق Fire Fighting System :

عند الضغط على أيقونة Fire Fighting System تظهر لنا شاشة تفاعلية لنظام متكامل يشمل منظومة مكافحة الحريق من إنذارت الكشف المبكر ونظام الضخ والإطفاء المؤتمت.

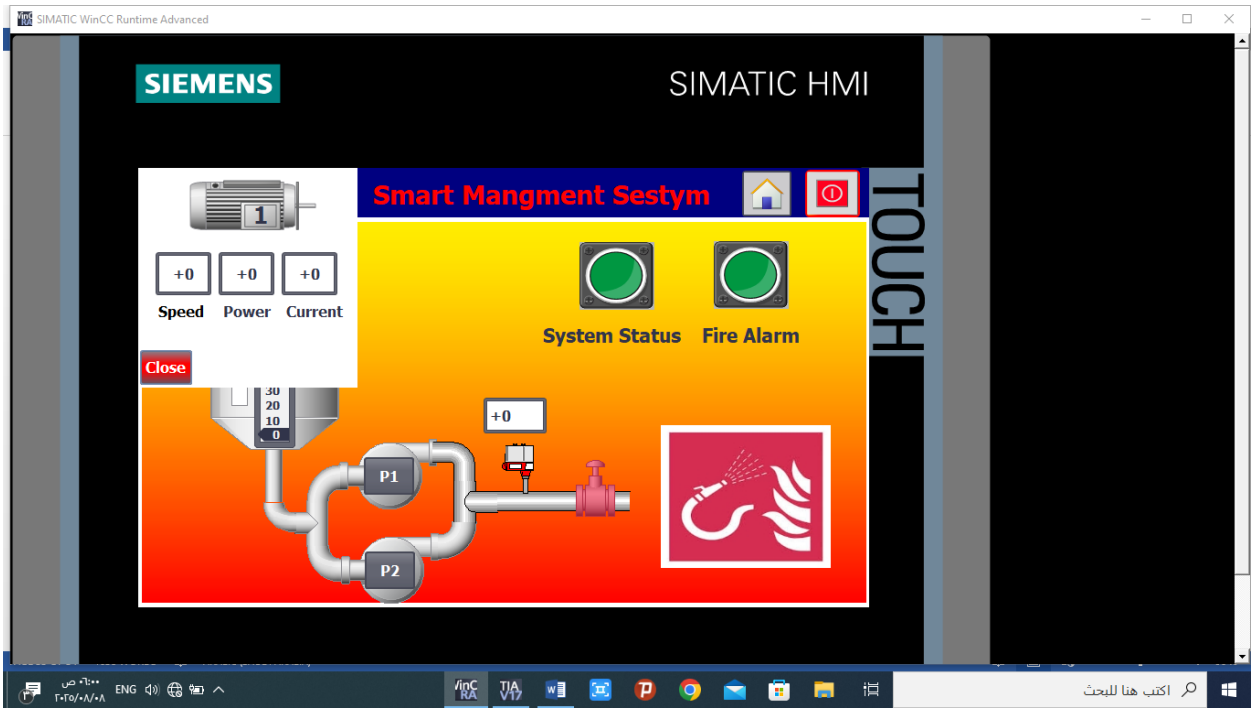
هذه الشاشة توضح خزان الإطفاء والمزود بحساس مستوى أعلاه والمتصل بمضختين يعملان Work/Stand by مع حساس ضغط لضمان بقاء ضغط الدارة عند 7 بار مع صمام مؤتمت يفتح عند حصول حريق.

بالإضافة إلى إشارات للدلاة لى إنذار الحريق أو خلل في المنظومة.



الشكل (32) يوضح الشاشة التفاعلية Fire Fighting System

أيضا عند الضغط على أيقونة المحرك تظهر شاشة تفاعلية صغيرة تبين معلومات التشغيل للمحرك من سرعة وجهد واستطاعة.



الشكل (33) تظهر الشاشة التفاعلية الخاصة بالمحرك

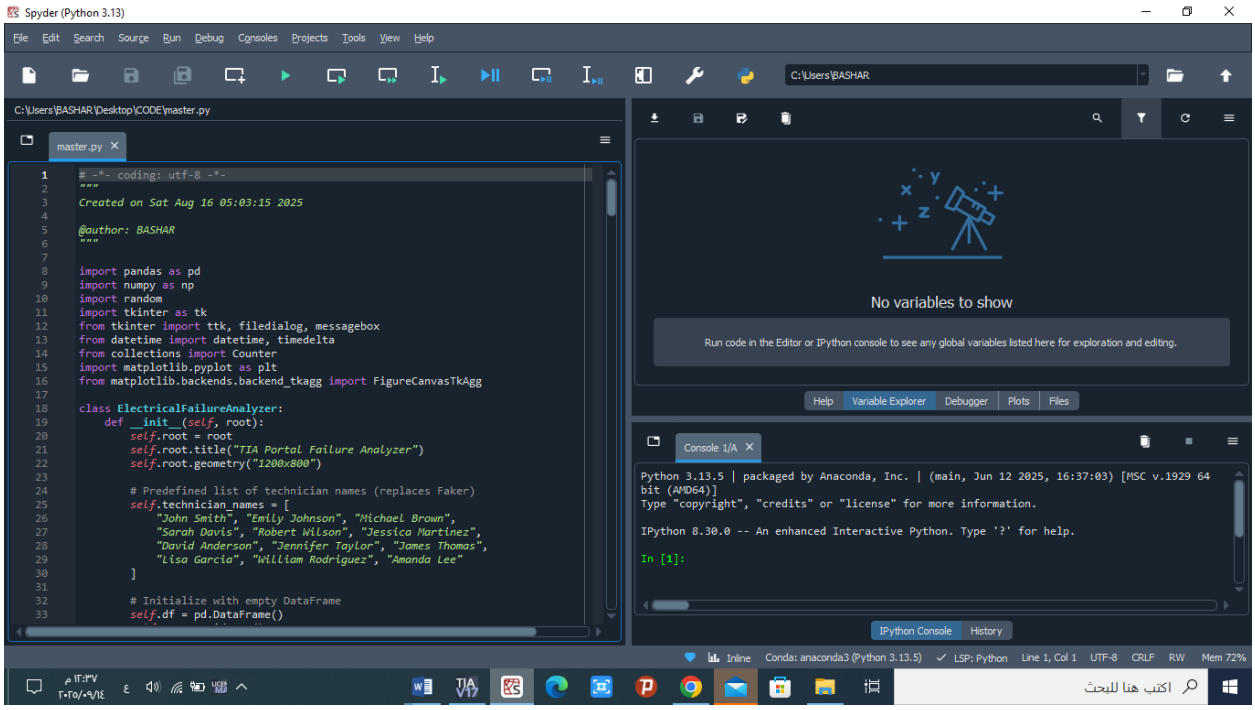
3.3 التصميم وبناء نموذج الذكاء الصنعي باستخدام Spyder (Python):

هذا الكود يمثل تطبيقًا متكاملاً لتحليل أعطال الأنظمة الكهربائية والصناعية، مع إمكانية دمج بيانات من أنظمة مثل Revit و TIA Portal

نظرة عامة على الكود:

الكود عبارة عن تطبيق يسمى **"TIA Portal Failure Analyzer"** مبني باستخدام مكتبة **Tkinter** لإنشاء واجهة المستخدم. التطبيق يحتوي على ثلاثة وحدات رئيسية:

1) وحدة تحليل الأعطال :(Failure Analysis) لتحميل وتحليل بيانات الأعطال.
2) وحدة مولد البيانات :(Data Generator) لتوليد بيانات أعطال وهمية .
3) وحدة قاعدة بيانات المعدات :(Equipment Database) لإدارة معلومات المعدات.



الشكل (34) يوضح واجهة برنامج Spyder المستخدم لكتابة كود الPython

كيفية عمل التطبيق:

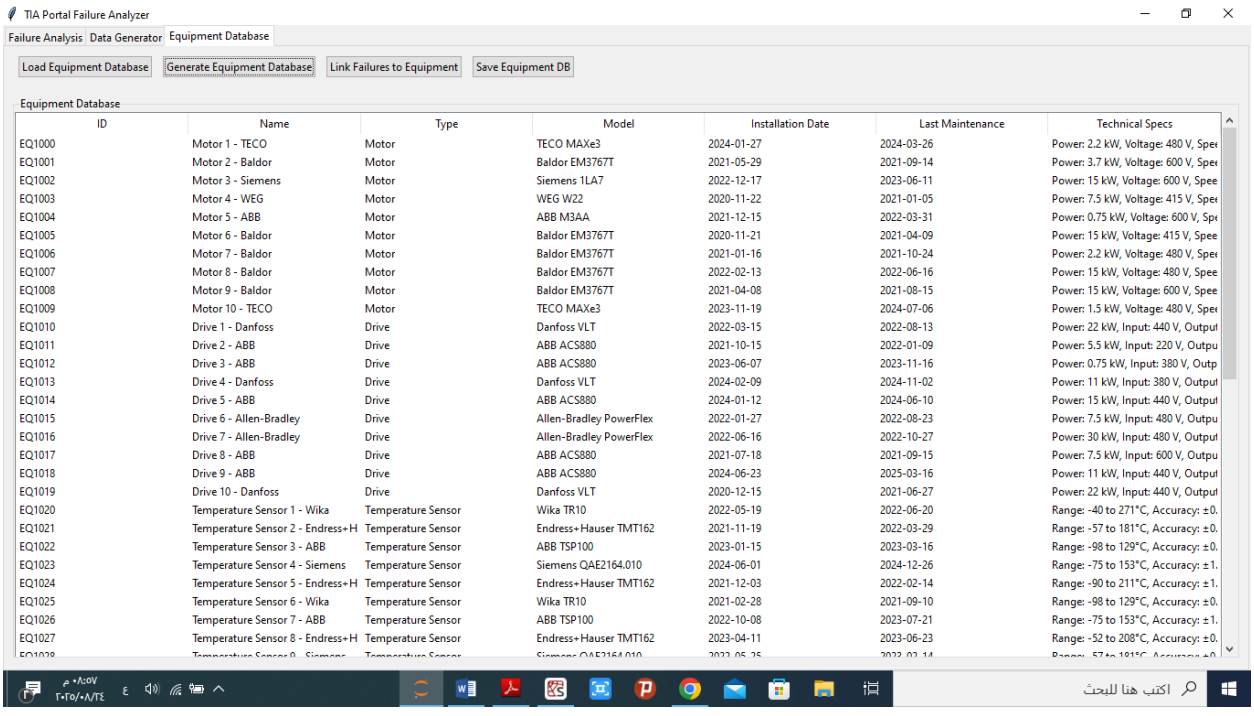
- ✓ تحميل البيانات :يمكن للمستخدم تحميل بيانات الأعطال من ملفات Excel أو CSV.
- ✓ تحليل البيانات :يحسب التطبيق ترددات الأخطاء، ويقترح حلولًا، ويعرض النتائج في جدول ورسوم بيانية.

- ✓ توليد بيانات وهمية : يمكن إنشاء بيانات أعطال وهمية لفترات زمنية محددة.
- ✓ إدارة المعدات : يمكن إنشاء أو تحميل قاعدة بيانات للمعدات (مثل المحركات وأجهزة الاستشعار) وربطها ببيانات الأعطال.

كيف يمكن استخدامه للدمج بين بيانات Revit و TIA Portal ؟

1) بيانات Revit المعدات والتركيبات :

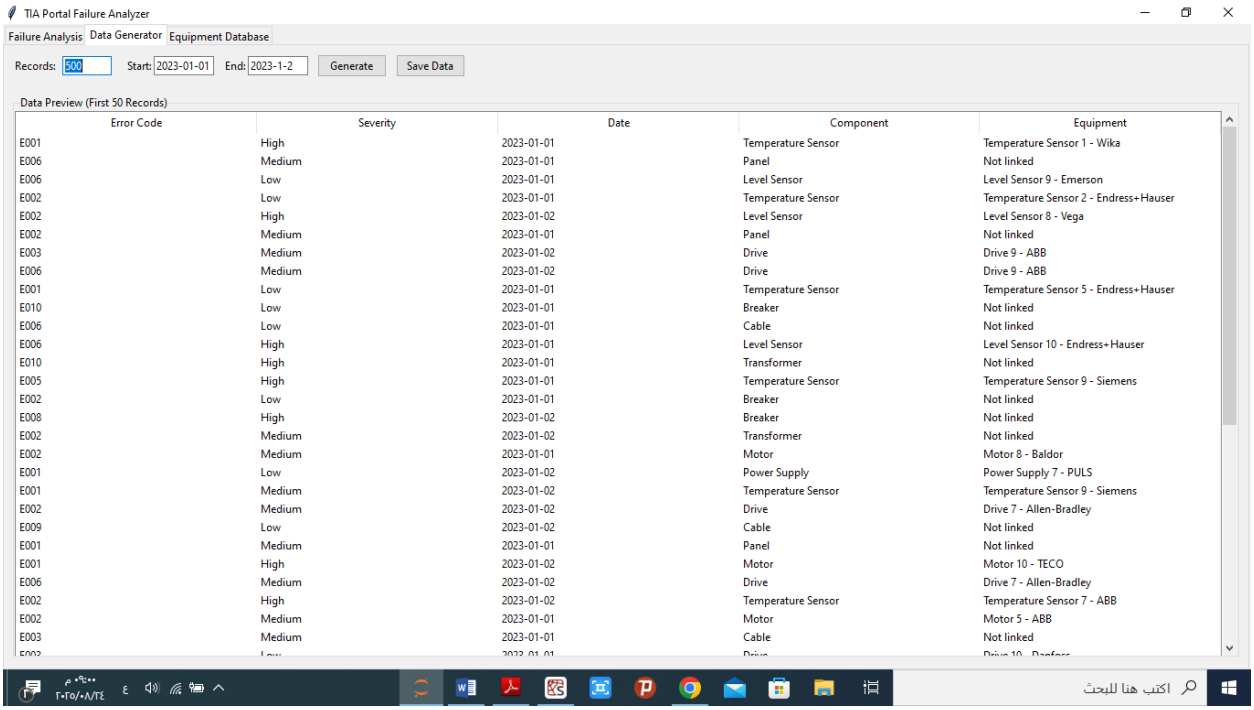
- يمكن اعتبار أن قاعدة البيانات الخاصة بالمعدات في التطبيق (**Equipment Database**) تمثل بيانات .Revit حيث تحتوي على معلومات مثل: اسم المعدة، النوع، الموديل، التاريخ التركيب، وغيرها.
- يجب أن تكون بيانات المعدات في شكل جدول يحتوي على الأعمدة التالية على الأقل : Equipment ID, Equipment Name, Equipment Type, Equipment Model, Installation Date, Last Maintenance, Technical Specifications.
- يمكن تحميل هذه البيانات من خلال زر "**Load Equipment Database**" أو توليدها بواسطة الزر."**Generate Equipment Database**"



الشكل (35) تظهر توليد بيانات معدات النظام

2) بيانات TIA Portal الأعطال والإنذارات:

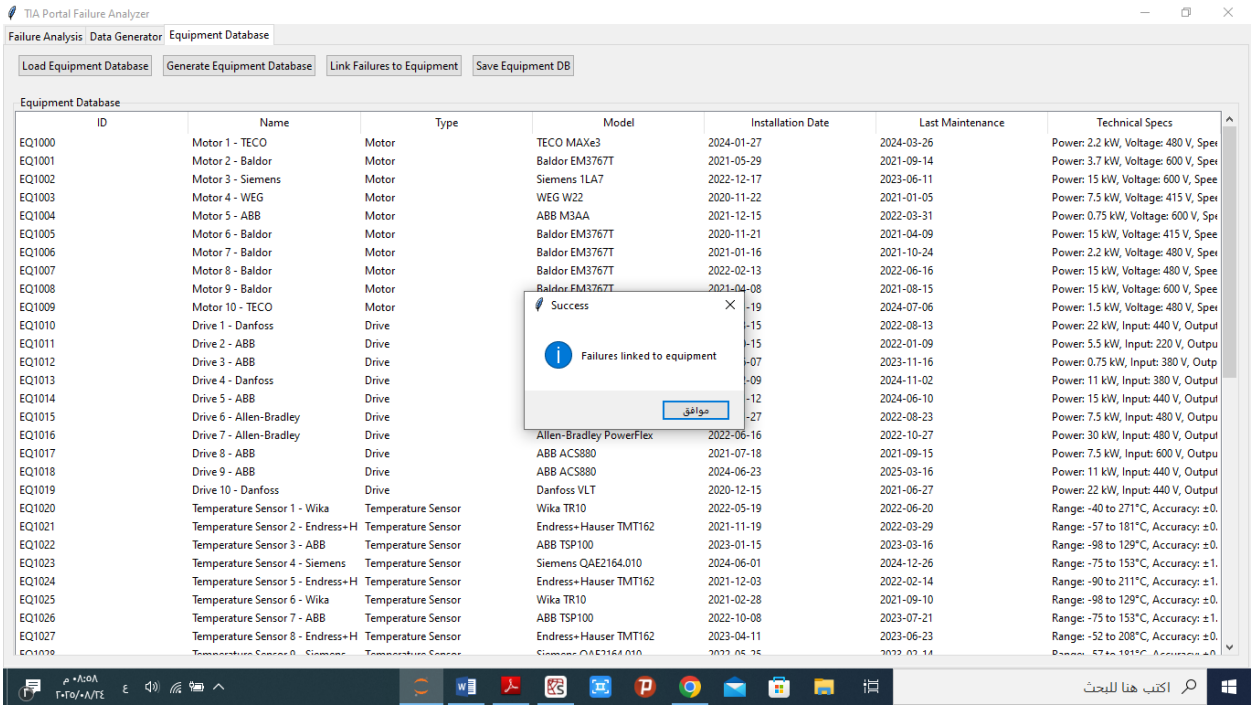
- تمثل بيانات الأعطال (Failure Data) التي يتم تحميلها أو توليدها في التطبيق بيانات الإنذارات من TIA Portal.
- تحتوي على معلومات مثل: كود الخطأ، الشدة، المكون، التاريخ، وغيرها.
- يجب أن تكون بيانات الأعطال في شكل جدول يحتوي على الأعمدة Error Code, Severity, Component, Date : ويمكن إضافة أعمدة أخرى مثل الوقت، الوصف، إلخ.



الشكل (36) تظهر توليد بيانات القراءات والأخطاء

3) ربط البيانات:

- بعد تحميل بيانات المعدات من **Revit** وبيانات الأعطال من **TIA Portal** يمكن ربطهما باستخدام زر **"Link Failures to Equipment"** من علامة تبويب **"Equipment Database"**.
- يتم الربط بناءً على نوع المكون **Component** في بيانات الأعطال ونوع المعدة **Equipment Type** في قاعدة البيانات. على سبيل المثال، إذا كان نوع المكون في بيانات الأعطال هو **"Motor"**، فسيتم ربطه بمعدة من نوع **"Motor"** في قاعدة البيانات.

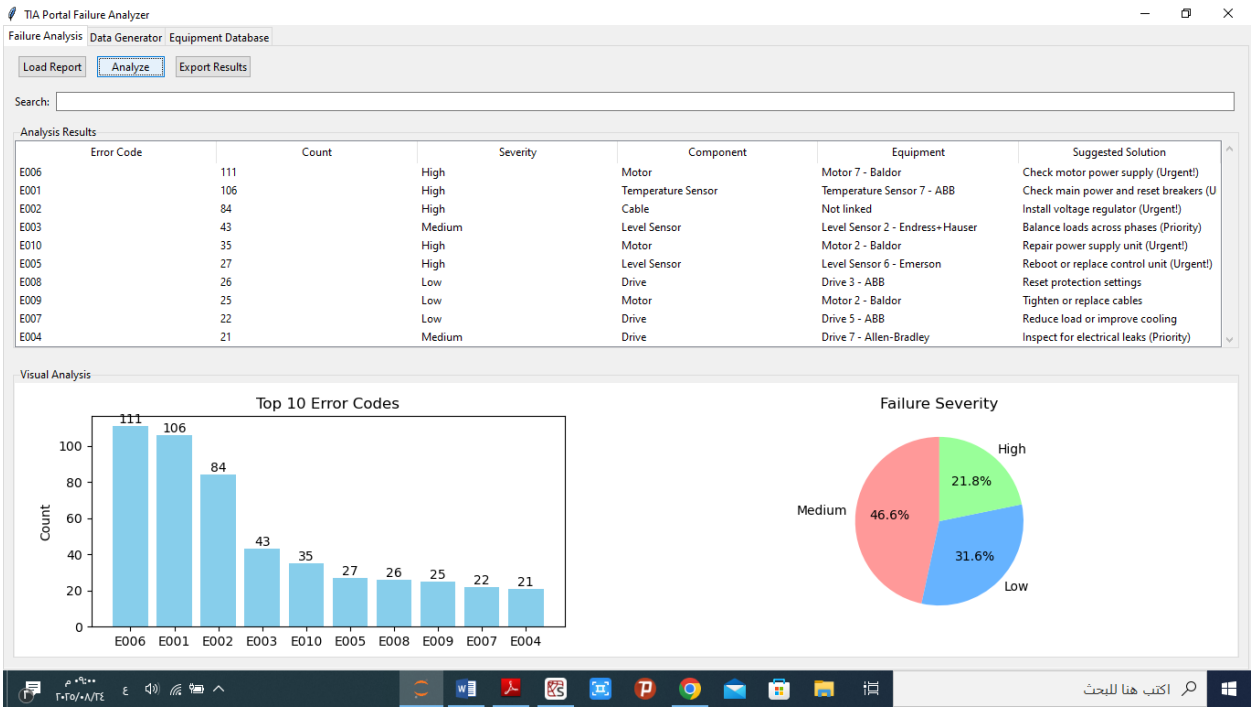


الشكل (37) تظهر ربط البيانات فيما بينها

4) التحليل والتصور:

- بعد الربط، يمكن تحليل البيانات لمعرفة أكثر الأعطال تكرارًا، وتوزيع الشدة، والمعدات الأكثر عرضة للأعطال.
- انتقل إلى علامة تبويب **"Failure Analysis"** واضغط على **"Analyze"** لرؤية التحليل مع الربط.

- يتم عرض النتائج في جدول ورسوم بيانية **Bar chart** و **Pie chart** .



الشكل (38) تظهر التحليل والنتائج

5) تصدير النتائج:

-يمكن تصدير نتائج التحليل باستخدام زر."**Export Results**"

ملاحظات:

-الكود الحالي يفترض أن نوع المكون في بيانات الأعطال مثل "Motor" يتطابق مع نوع المعدة في قاعدة البيانات مثلMotor" لذلك، يجب أن تكون تسمية الأنواع متسقة في كلا المصدرين.

-إذا لم يكن هناك تطابق بين نوع المكون ونوع المعدة، فسيتم تعيين "Not linked" للمعدة في بيانات الأعطال.

-يمكن توليد بيانات وهمية للأعطال والمعدات للتجربة إذا لم تكن البيانات الحقيقية متوفرة.

مميزات النظام ككل:

- **مراقبة لاسلكية** دون الحاجة إلى توصيلات معقدة.
- **تكامل سهل** بين الحساسات، المحركات، و PLC عبر Profinet و IWALN.
- **صيانة تنبؤية** (مثل اكتشاف سخونة امتكررة للمحرك عند الأحمال الطبيعية قبل تعطله).
- **صيانة ذكية** (مثل مراقبة تاريخ تركيب المعدات وتحليل نوعية الأعطال وتوقيتها ومدى تكرارها) .

الفصل الرابع التقييم

4.1 التقييم:

فيما يلي بحث تطبيقي قدم بحث مشابه:

- **العنوان** : **"Development of a BIM-based Dynamic Commissioning and Digital Twin Framework for Improved Building Energy Performance and Maintenance"2022**

تطوير إطار عمل قائم على نمذجة معلومات البناء (BIM) للتشغيل الديناميكي والتوأم الرقمي لتحسين أداء الطاقة والصيانة في المباني

- **الجهة المنفذة** :جامعة كاليفورنيا، بيركلي (UC Berkeley) وشركاء من الصناعة.
- **الهدف** :كان الهدف المعلن هو إنشاء وتطبيق إطار عمل للتوأم الرقمي يعمل على تحسين كفاءة الطاقة واستراتيجيات الصيانة للمباني القائمة، مع التركيز على الأنظمة الكهرو-ميكانيكية.
- **التطبيق العملي (كيف فعلوها):**

1. **النموذج الأساسي :(BIM)** قاموا بمسح ضوئي ليزري (LiDAR) لمبنى حقيقي قائم لإنشاء نموذج (BIM) دقيق وموثوق يعكس الوضع الحالي للأنظمة.(As-Built)
2. **طبقة إنترنت الأشياء :(IoT)** قاموا بتركيب شبكة من أجهزة الاستشعار على النظام الكهرو-ميكانيكي (مضخات، مراوح، لوحات كهربائية) لقياس:

- **التيار والجهد** لرصد استهلاك الطاقة والأحمال غير المتوازنة.
- **درجات الحرارة والرطوبة** لكشف ارتفاع الحرارة في اللوحات الكهربائية أو المحركات.
- **الاهتزازات** لتشخيص أعطال المحركات والمضخات.

3. **منصة التكامل والذكاء الاصطناعي (AI):** تم جلب بيانات المستشعرات في الوقت الحقيقي إلى منصة سحابية مثل منصة Azure Digital Twins من Microsoft هناك، تم استخدام خوارزميات التعلم الآلي (Machine Learning)ل:

- **إنشاء نموذج حاسوبي ديناميكي** يحاكي سلوك المبنى الفعلي (النموذج المزدوج).
- **تحليل البيانات للكشف عن الحالات الشاذة (Anomaly Detection)** ومقارنة الأداء الفعلي بالأداء المتوقع تحت الظروف المثلى.
- **التنبؤ بفشل المعدات (Predictive Maintenance)** من خلال تحديد أنماط التدهور في البيانات.

- **النتائج العملية التي توصلوا إليها (وفقًا للتقارير):**

- تحقيق **توفير في استهلاك الطاقة** بنسبة تصل إلى **15-20%** من خلال التحسين المستمر لإعدادات النظام.
- **الحد من وقت التوقف عن العمل (Downtime)** لأن الصيانة أصبحت تتم بناءً على الحاجة الفعلية وليس على جدول زمني ثابت.
- **تحسين سلامة النظام** من خلال الكشف المبكر عن الأعطال المحتملة في الأنظمة الكهربائية (مثل ارتفاع درجة الحرارة).

4.2 أبحاث وتطبيقات أخرى جديرة بالذكر:

1. **شركة سيمنز (Siemens):** تقوم سيمنز بتطبيق التوأم الرقمي بشكل مكثف في مبانيها الذكية (مقرها الرئيسي في ميونخ، ألمانيا هو نموذج حي لهذا التطبيق). يراقب التوأم الرقمي جميع أنظمة الطاقة والتدفئة والتهوية والتكييف، ويحسن الأداء بشكل مستقل.
2. **مطار شنغهاي بودونغ الدولي (الصين):** تم استخدام Digital Twin لإدارة المرافق والصيانة التنبؤية للمساحات الشاسعة بالمطار، بما في ذلك نظام الطاقة المعقد.
3. **أبحاث أكاديمية منشورة:**

- بحث بعنوان **"A Digital Twin-based framework for energy optimization of a smart building"** في مجلة (Energy and Buildings) – يقدم حالة دراسة مفصلة مع نتائج كمية.

- بحث بعنوان **"IoT and Digital Twin enabled smart building maintenance with predictive analytics"** في مؤتمر (IEEE) دولي – يركز بشكل خاص على دور IoT و AI في الصيانة.

الفصل الخامس : النتائج والتوصيات

5.1 النتائج :

من تطبيق الإطار المقترح (دمج BIM مع IoT و AI) من المتوقع الحصول على النتائج التالية:

1. **تحسن كبير في كفاءة عمليات الصيانة:**
   - **تقليل وقت الكشف عن الأعطال** بسبب الرصد المستمر عبر مستشعرات IoT والكشف الآني عن الانحرافات في أداء النظام.
   - **زيادة دقة تشخيص الأعطال** نتيجة تحليل بيانات الذكاء الاصطناعي التي تربط بين العرض المادي) في نموذج (BIM والبيانات التشغيلية) من.(IoT
2. **توفير ملحوظ في التكاليف:**
   - **خفض التكاليف الإجمالية للصيانة** نتيجة الانتقال من الصيانة التصحيحية المكلفة إلى الصيانة التنبؤية والوقائية، مما يقلل من الأعطال المفاجئة واستبدال المعدات.
   - **تحسين استهلاك الطاقة** من خلال تحليل أنماط الاستهلاك بواسطة الذكاء الاصطناعي واقتراح أوقات الصيانة المثلى للمعدات الأكثر استهلاكًا للطاقة.
3. **تعزيز موثوقية النظام واتخاذ القرار:**
   - **زيادة معدل توفر النظام الكهربائي (Availability Rate)** نتيجة منع الأعطال قبل حدوثها.
   - **تحسين عملية اتخاذ القرار** من خلال لوحات تحكم (Dashboards) تفاعلية تعرض حالة جميع المعدات في الوقت الفعلي داخل النموذج الثلاثي الأبعاد، مما يمكن مدراء المرافق من تخصيص الموارد بشكل أفضل.
4. **تحسين السلامة:**
   - **تقليل الحوادث المتعلقة بالأعطال الكهربائية** بشكل كبير، بسبب التنبؤ بالمشاكل المحتملة في componentsالحرجة مثل القواطع والمحولات قبل وصولها إلى مرحلة الخطر.

5.2 التوصيات :

5.2.1 التوصيات التطبيقية:

1. **للمالكين ومدراء المرافق:**
   - **الاستثمار في البنية التحتية للبيانات** :تبني منصات متكاملة قادرة على استيعاب البيانات الواردة من نماذج BIMوأجهزة الاستشعار IoT وأنظمة الذكاء الاصطناعي.
   - **التدريب والتأهيل** :بناء قدرات الفريق الفني على استخدام هذه التقنيات المتقدمة وتفسير مخرجاتها.
   - **البدء بمشاريع تجريبية** :تطبيق الإطار المقترح على أجزاء محددة من المنشأة (مثل نظام الإنارة الذكي أو لوحة توزيع رئيسية) قبل تعميمه.
2. **لمصممي ومقاولي المشاريع:**
   - **التصميم للتشغيل (Design for Operation)**: ضرورة تطوير نموذج BIM غني بالبيانات (7 D BIM) خلال مرحلة التصميم والبناء، ليكون جاهزًا للاستخدام في مرحلة التشغيل والصيانة.
   - **توحيد المعايير** :وضع بروتوكولات واضحة لتسمية العناصر ونقل البيانات بين أنظمة BIM و CMMS و IoTلضمان التكامل السلس.
3. **لمطوري البرمجيات:**
   - **تطوير واجهات برمجة تطبيقات (APIs) مفتوحة** :لتسهيل التكامل بين منصات BIM مثل (Revit وأنظمة إدارة IoT ومنصات تحليل البيانات) مثل.(Python/Anaconda
   - **تحسين أدوات التصور** :دمج إنذارات الصيانة والبيانات الحيوية مباشرة داخل الواجهة البصرية لنموذج BIMلتعزيز الفعالية.

5.2.2 توصيات لأبحاث مستقبلية:

1. **التوسع في نطاق التكامل** :دراسة إمكانية دمج تقنيات جديدة مثل **البلوك تشين (Blockchain)** لتأمين سلسلة البيانات ومنع التلاعب فيها، وتقنيات **الواقع المعزز (AR)** لمساعدة الفنيين في تنفيذ إجراءات الصيانة المعقدة على أرض الواقع باستخدام النموذج الرقمي.
2. **التعمق في خوارزميات الذكاء الاصطناعي** :البحث في تطوير خوارزميات تعلم آلي أكثر تخصصًا وقدرة على التنبؤ بأعطال محددة في المعدات الكهربائية بناءً على بيانات تاريخية أكثر دقة.

3. **معايير قياس الأداء** :تطوير إطار موحد لقياس العائد على الاستثمار (ROI) والأداء لهذه الأنظمة المتكاملة، لمساعدة المالكين على تقييم جدواها الاقتصادية بشكل أدق.
4. **التطبيق على أنواع أخرى من المرافق** :تطبيق الإطار المقترح على أنواع أخرى من المنشآت مثل شبكات البنية التحتية (جسور، أنفاق) أو محطات الطاقة لتقييم فعاليتها على نطاق أوسع.

5.3 التحديات واقتراحات التطوير المستقبلية:

1. **التحديات** :
   - **التكلفة الأولية** :تكلفة استشعارات IoT والبنية التحتية التكنولوجية والبرمجيات المتقدمة قد تكون عالية للمنشآت الصغيرة.
   - **التحديات التقنية** :صعوبة التكامل بين أنظمة قديمة (Legacy Systems) مع المنظومة الجديدة.
   - **الثقافة التنظيمية** :مقاومة التغيير والاعتماد على الطرق التقليدية في الصيانة.
2. **اقتراحات التطوير**:
   - العمل على تطوير مستشعرات IoT منخفضة التكلفة وموفرة للطاقة.
   - تطوير حلول وسيطة (Middleware) لتسهيل ربط الأنظمة القديمة بالمنصة الجديدة.
   - عقد ورش عمل توعوية لإظهار القيمة المضافة طويلة المدى لهذا التحول التكنولوجي.

المراجع:

[1] Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering, 11*(3), 241–252. https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127

[2] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3rd ed.). Wiley.

[3] International Organization for Standardization. (2018). *ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles*. ISO.

[4] McGraw Hill Construction. (2014). *The business value of BIM for construction in major global markets: How contractors around the world are driving innovation with building information modeling*. SmartMarket Report. McGraw Hill Construction.

[5] National Institute of Building Sciences. (2020). *National BIM Standard-United States Version 3*. NIBS.

[6] Smith, D. K. (2016). *Building information modeling: A strategic implementation guide*. Wiley.

[7] Smith, P., Hammad, A., & Al-Hussein, M. (2020). BIM implementation in electrical engineering: Case studies from the UK. *Journal of Construction Engineering and Management, 146*(5), 05020004.

[8] Teicholz, P. (2013). *BIM for facility managers*. Wiley.

[9] Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in Construction, 38*, 109–127.

[10] McKinsey & Company. (2022). *The state of AI in engineering and construction*. McKinsey.

[11] Russell, S., & Norvig, P. (2021). ***Artificial intelligence: A modern approach*** **(4th ed.). Pearson.**

[12] Zhang, Y., Zhang, X., & Zhang, L. (2021). Generative adversarial networks for electrical systems design. ***IEEE Transactions on Industrial Informatics*****.**

[13] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2023). You Only Look Once (YOLOv8): Real-time object detection. ***arXiv preprint arXiv:2304.xxxxx*****.**

[14] IEEE. (2023). Predictive maintenance with LSTM in electrical systems. ***IEEE Transactions on Industrial Informatics*****.**

[15] Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. ***Computer Networks, 54*****(15), 2787–2805.**

[16] Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. ***Manufacturing Letters, 3*****, 18–23.**

[17] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. ***IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17*****(4), 2347–2376.**

[18] Kodali, R. K., & Sarjerao, B. S. (2016). Smart power monitoring using IoT. ***2016 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)*****, 1141–1146.**

[19] Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for smart cities. ***IEEE Internet of Things Journal, 1*****(1), 22–32.**

[20] Wu, M., Lu, T., Ling, F., Sun, J., & Du, H. (2020). Research on the architecture of Internet of Things. ***2020 IEEE International Conference on Communications*****.**

[21] Farhangi, H. (2010). The path of the smart grid. ***IEEE Power and Energy Magazine, 8*****(1), 18–28.**

[22] Jia, X., Feng, Q., Fan, T., & Lei, Q. (2019). RFID technology and its applications in Internet of Things (IoT). *IEEE Internet of Things Journal, 6*(5), 8999–9009.

[23] Vermesan, O., & Friess, P. (Eds.). (2011). *Internet of Things: Global technological and societal trends*. River Publishers.

[24] Parikh, P. P., & Parikh, H. (2015). IoT based smart energy meter for efficient energy utilization in buildings. *International Journal of Engineering Research and Applications, 5*(2), 20–25.

[25] Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction, 18*(3), 357–375.

[26] Silva, C., Khan, M., & Han, S. (2018). Smart cities and BIM-IoT-AI integration. *Journal of Urban Technology, 25*(4), 3–27.

[27] Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., & Lytle, A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction, 19*(7), 829–843

[28] Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N., & Calis, G. (2012). Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management. *Journal of Construction Engineering and Management, 138*(3), 431–442.

[29] Zhang, S., Teizer, J., Lee, J., Eastman, C. M., & Venugopal, M. (2013). Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules. *Automation in Construction, 29*, 183–195.

[30] Ferdous, R. (2017). IoT-enabled prefabricated construction: Opportunities and challenges. *International Journal of Construction Management, 17*(4), 301–314.

[31] Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., & Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic construction digital twin: Directions for future research. *Automation in Construction, 114*, 103179.

[32] Cheng, J., Ma, L., & Zhang, J. (2019). BIM and IoT for smart facility management. *Automation in Construction, 93*, 161–174.

[33] Chen, X., Xu, Y., & Xie, H. (2023). BIM-IoT integration for sustainable buildings. *Journal of Cleaner Production, 380*, 135187.

[34] Bosché, F., Ahmed, M., Turkan, Y., Haas, C. T., & Haas, R. (2016). The value of integrating Scan-to-BIM and scan-vs-BIM techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: A review. *Automation in Construction, 63*, 162–177.

[35] Pan, Y., & Zhang, L. (2021). A BIM-data mining integrated digital twin framework for advanced project management. *Automation in Construction, 124*, 103564.

[36] Sacks, R., Girolami, M., & Brilakis, I. (2018). Building information modelling, artificial intelligence and construction tech. *Developments in the Built Environment, 4*, 100011.

[37] Tao, F., Liu, W., Liu, J., Liu, X., Liu, Q., Qu, T., & Cheng, Y. (2018). Digital twin and its potential application exploration. *Computer Integrated Manufacturing Systems, 24*(1), 1–18.

[38] Wache, H., Dinter, B., & Dragomir, A. (2022). AI-enabled predictive maintenance in smart buildings: A state-of-the-art review. *Proceedings of the 55th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 4590–4599.

[39] İşler, B. (2025). Urban sound recognition in smart cities using an IoT–fog computing framework and deep learning models: A performance comparison. *Applied Sciences, 15*(3), 1201.

[40] Leksrisawat, C., & Samanchuen, T. (2021). An integration of personal health device and HL7 FHIR using CoAP. *2021 4th International Conference on Circuits, Systems and Simulation (ICCSS)*, 1–5.

[41] Alves, J. L., Palha, R. P., & de Almeida Filho, A. T. (2025). Towards an integrative framework for BIM and artificial intelligence capabilities in smart architecture, engineering, construction, and operations projects. *Automation in Construction, 174*, 105082. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.105082

- **المعايير:**

المعيار	الجهة المصدرة	مجال الاستخدام	الصلة بالبحث
ISO 19650-1:2018	المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO)	إدارة المعلومات في مشاريع البناء باستخدامBIM	يحدد كيفية تنظيم البيانات الرقمية في نمذجة معلومات البناء (BIM) بما يدعم الصيانة الكهربائية.
NBIMS-US V3 (2020)	National Institute of Building Sciences – (NIBS)الولايات المتحدة	المعيار الوطني لنمذجة معلومات البناء	يوفر إطارًا لاعتماد BIM في المنشآت ويؤثر مباشرة على إدارة الصيانة.
IEEE IoT Standards	IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	إنترنت الأشياء – الاتصالات، التشغيل البيني، وأمن البيانات	يضمن توافق الأجهزة الذكية والحساسات المستخدمة في مراقبة وصيانة الأنظمة الكهربائية.
Industry 4.0 CPS Standards	(ISO, IEC, منظمات متعددة IEEE)	الأنظمة السيبرانية المادية(Cyber-Physical Systems)	يدعم دمج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء مع BIM في بيئة الصناعة 4.0.
EPCglobal RFID Standards	GS1 (Global Standards 1)	أنظمة التعرف بالترددات الراديوية (RFID)	يربط RFID مع إنترنت الأشياء لتتبع وإدارة الأصول الكهربائية داخل المنشآت.
IEEE 2030	IEEE	معايير تكامل الشبكات الذكية	يساعد في تكامل الأنظمة الكهربائية مع IoT و BIM لدعم الصيانة التنبؤية.
IEC 61850	International Electrotechnical Commission (IEC)	أنظمة الأتمتة في محطات الطاقة والشبكات الذكية	يحدد بروتوكولات الاتصالات للأنظمة الكهربائية الذكية المتصلة بـ IoT.
BACnet / Modbus	BACnet) / لـASHRAE (Modbus)لـModicon (	بروتوكولات أنظمة إدارة المباني(BMS)	ضرورية لربط أنظمة التحكم بالمباني الذكية مع BIM و IoT.
ISO/IEC 27001	ISO/IEC	إدارة أمن المعلومات	يضمن حماية البيانات المتولدة من IoT والذكاء الاصطناعي في الصيانة الذكية.
ISO/IEC 30141:2018	ISO/IEC	معمارية مرجعية لإنترنت الأشياء	يحدد بنية قياسية لتطبيق IoT في البنية التحتية الذكية.