الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي
الجامعة الافتراضية السورية
ماجستير إدارة ونمذجة معلومات البناء

تطبيق أدوات الذكاء الاصطناعي مع تقنية BIM في إدارة مشاريع البناء

Application of Artificial Intelligence Tools with BIM Technology in Construction Management

بحث مقدم لنيل درجة الماجستير في إدارة ونمذجة معلومات البناء BIMM

إعداد الطالب:
علي لؤي مصطفى
Ali_157357

إشراف:
د. محمد علي محمد

2022

قرار لجنة الحكم:

الجمهورية العربية السورية

وزارة التعليم العالي

الجامعة الافتراضية السورية

ماجستير إدارة ونمذجة معلومات البناء

اسم الطالب: علي لؤي مصطفى

الرقم الجامعي:157357

تطبيق أدوات الذكاء الاصطناعي مع تقنية BIM في إدارة مشاريع البناء

Application of Artificial Intelligence Tools with BIM Technology in Construction Management

أعضاء اللجنة:

الأستاذ الدكتور: محمد محمد

الأستاذة الدكتورة: سونيا أحمد

الأستاذ الدكتور:

الفهرس

المقدمة: 11

مشكلة البحث: 12

فرضية البحث: 13

أهمية البحث: 13

منهج البحث: 13

أدوات البحث: 13

مجتمع وعينة الدراسة: 13

حدود البحث: 14

الدراسات السابقة: 15

مصطلحات البحث: 15

هيكل البحث: 17

المقدمة: 18

ماهو نظام نمذجة معلومات البناء "BUILDING INFORMATION MODELING" : 19

موجزعن تاريخ تقنية الـ BIM: 20

أبعاد تقنية الـ BIM: 21

الذكاء الاصطناعي "AI" ARTIFICIAL INTELLIGENT: 21

أقسام الذكاء الاصطناعي: 22

1- تعلّم الآلة MACHINE LEARNING: 22

2- النظم القائمة على المعرفة KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS: 31

3- الرؤية الكمبيوترية COMPUTER VISION: 34

4- علوم الروبوتات ROBOTICS: 37

5- معالجة اللغات الطبيعية NATURAL LANGUAGE PROCESSING: 43

6- التخطيط والجدولة الذاتية AUTOMATED PLANNING AND SCHEDULING: 45

7- التحسين والأمثلة OPTIMIZATION: 47

8- سلسلة الكتل BLOCKCHAIN: 50

المجالات التي يمكن أن يتشارك الذكاء الاصطناعي مع نمذجة معلومات البناء: 51

1- يمكن للذكاء الاصطناعي المساعدة في التصميم 51

2- الذكاء الاصطناعي سيجعل التعاون أسهل 52

3- يمكن للذكاء الاصطناعي التحكم في الميزانية وجدولة 53

تأثير الذكاء الاصطناعي AI في تكنولوجيا نمذجة معلومات البناء BIM: 54

1- منع تجاوز الكلفة في مشاريع التشييد: 54

2- اقتراح تصاميم مختلفة للمباني لاختيار التصميم الأمثل: 54

3- التخفيض من المخاطر: 55

4- التخطيط للمشاريع: 55

5- استخدام الذكاء الاصطناعي في جعل مواقع العمل أكثر انتاجية: 56

6- الذكاء الاصطناعي لضمان السلامة في مواقع البناء: 56

7- الذكاء الاصطناعي سيحسن من الاستفادة من العمالة: 57

8- التصنيع خارج الموقع (العناصر مسبقة الصنع): 57

9- الذكاء الاصطناعي والبيانات الكبيرة من قطاع البناء والتشييد: 58

10- الذكاء الاصطناعي وإدارة المرافق والعمليات ما بعد التشييد: 58

11- التحسين الأمثل والهدر والموارد: 58

12- الخدمات المستندة على القيمة: 60

13- التقديرات والجدولة الزمنية: 60

14- تحليل مواقع البناء: 61

15- خلق فرص العمل: 62

16- نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي مع أدوات الثورة الصناعية الرابعة: 63

17- إدارة سلاسل الإمداد SCM SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: 63

18- تحليلات السلامة المهنية والأمن المهني: 65

19- الاعتماد على الذكاء الاصطناعي في عقود التشييد: 66

20- واجهات المستخدم الصوتية: 67

21- استخدام الذكاء الاصطناعي لتطوير نظام تدقيق للتدفقات النقدية في المشروع: 68

استخدام الأنظمة ذاتية التحكم لإدارة المشاريع: 69

الاعتماد على تعلّم الآلة ML في إدارة المشاريع: 70

الإدارة الذاتية للمشاريع بالاعتماد على الذكاء الاصطناعي ARTIFICIAL INTELLIGENCE: 71

استخدام الذكاء الاصطناعي في مصانع العناصر مسبقة الصنع: 72

استخدام الذكاء الاصطناعي في مواقع البناء «الأنظمة الروبوتية ذاتية التحكم»: 73

الدرونات والعربات ذاتية القيادة والتحكم: 73

المعدات والتجهيزات القابلة للارتداء المساعدة للكوادر البشرية: 74

البرامج والتطبيقات التي تدعم تقنيات نمذجة معلومات البناء BIM والذكاء الاصطناعي AI: 75

1. AUTODESK REVIT: 75
2. AUTODESK NAVISWORKS MANAGE: 75
3. AUTODESK BIM 360: 76
4. BENTLEY SYNCHRO 4D PRO: 77
5. TOUCH PLAN: 78
6. ALICE: 78
7. "FIRE FLIES AI" AI CHAT BOT ASSISTANCE: 79
8. AI TERING SCHEDULING VIEWS: 79

المعوقات التي تواجه تطبيق الذكاء الاصطناعي في قطاع التشييد والبناء: 80

1- المعوقات الثقافية: 80

2- معوقات الآمان: 81

3- نقص الأيدي الخبيرة والمهرة: 81

4- الكلف البدائية: 82

5- الأخلاقيات والحوكمة: 82

6- قوة المعالجات والحوسبة والاتصال بالانترنت: 83

3-1- منهجية الدراسة 84

3-1-1- البيانات الثانوية: 84

3-1-2- البيانات الأولية: 84

3-2- مجتمع وعينة الدراسة: 85

3-3- الأساليب الإحصائيّة المستخدمة في التحليل: 85

3-4- مناقشة نتائج التحليل الإحصائي: 86

3-4-1- صدق المقياس: 87

3-4-2- ثبات الاستبانة: 95

3-4-3- التحليل الوصفي لمتغيرات الدراسة: 96

3-5- نتائج اختبارات فروض الدراسة: 100

3-5-1- تحديد توزيع عينة الدراسة: 100

3-5-2- دراسة تأثير تطور تكنولوجيا المعلومات على واقع واعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء: 101

3-5-3- دراسة تأثير الميزة النسبية على واقع واعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء: 103

3-5-4- دراسة تأثير التوافق على واقع واعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء: 104

3-5-5- دراسة تأثير الدعم الإداري على واقع واعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء: 106

3-5-6- دراسة تأثير الميزة التنافسية على واقع واعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء: 107

3-5-7- دراسة تأثير التعقيد على واقع واعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء: 109

3-5-8- دراسة تأثير الفائدة المتصورة لاعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء: 110

3-5-9- دراسة تأثير سهولة الاستخدام المتصورة على واقع واعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء: 111

3-5-10- دراسة قرار اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي في شركات البناء والتشييد: 113

3-6- المناقشة ونتائج الدراسة: 114

3-6-1- المناقشة والنتائج: 114

3-6-2- التوصيات 116

الخاتمة: 118

قائمة المراجع: 119

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

المقدمة:

ترافقت الثورة التكنلوجية التي أحدثتها علوم وتكنلوجيا الـــ BIM في مجال الانشـاءات والصـناعات المرافقة له بثورة تكنلوجية موازية ومسـاوية بالأهمية في مجالات البرمجة وعلوم الحاسـوب والتي تمثلت بعلوم الذكاء الاصـــطناعي Artificial Intelligence الذي يعتبرمن المجالات الواعدة في الظروف الحالية لبلدنا وحاجتنا الى تسخير كل مايمكن من جهود وامكانيات.

تطمح الأبحاث في العلوم المعمارية، الهندســـية وفي قطاع التشـــييد لتســـخير وتطبيق تكنلوجيا المعلومات وعلوم الروبوت وكل الأبحاث والعلوم الحديثة في التصـميم والبناء. ولكن ما زال فهمنا لهذا المجال هو عبارة عن تصـــورات ومفاهيم تحتاج الى مزيد من الدراســـة والعمل للوصـــول الى التطبيق الناجح لهذه التصـورات. فكما هو الحال في مجال نظام نمذجة معلومات البناء فقد اسـتغرق التطبيق والوصـول الى هذه الدرجة المتقدمة في الـ BIM عشرات السنين من الأبحاث والمحاولات والتطبيق، وكذلك دمج تكنلوجيا الذكاء الاصـطناعي والوصـول الى خوارزميات تحقق الأفكار والطموحات التي نرغب في الوصـول اليها قد يسـتغرق منا عشـرات السـنين بالرغم من المحاولات المفائلة والمقترحات الحالية التي يتم تطبيقها في مختبرات الأبحاث وفي بعض النماذج من التطبيقات.

يوجد في الوقت الراهن أربع مجالات يمكن توظيف الذكاء الاصطناعي في قطاع البناء من خلالها :

- تطبيقات للتصميم وادارة التشييد والتي ترتبط ببرامج ومنصات النمذجة.

- الانظمة والتطبيقات التي تستخدم لايصال المعلومات من مواقع العمل بشكل فوري الى النماذج وتدعى BIM-to-Field تتضمن هذه المجموعة الادوات التي تقدم معلومات عن سير العمل (مثل مسح بالليزر...).
- التطبيقات الروبوتية لتنفيذ عمليات البناء في الموقع.
- أنظمة البرمجيات والاجهزة لجمع المعلومات من الموقع وتسليمها للتحكم في العمليات والوظائف وتدعى Field-to-BIM وهي توفر حلول التصميم الواقعي بناء على شروط الموقع والظروف المحيطة بالمشروع.

Keywords: Artificial intelligence, Machine Learning and Construction Management, Deep learning, Deep neural network, Building Information Modelling

مشكلة البحث:

الهدف من هذا البحث هو استكشاف الجوانب الرئيسية للمعلومات ومعالجة البيانات في تقنيات الانشاء، مع التركيز على دمج تقنيات نمذجة معلومات البناء BIM مع الذكاء الاصطناعي AI. لمحاولة ايجاد مقترحات لتطبيق هذه التقنيات في البلاد مما يساهم في تحديث وتطوير عمليات البناء.

فرضية البحث:

معرفة التطورات والتوجهات العالمية العلمية والاقتصـــادية في قطاع الانشـــاءات والادارة الهندســـية واكتشـاف نتائج تطبيق هذه التطورات على أرض الواقع المحلي مع وجود العدد الكافي من الخريجين القادرين على التعلم السريع لتطبيق هذه التطورات.

أهمية البحث:

تأتي أهمية هذا البحث كونه خطوة بسيطة تساهم في تعزيز تطبيق تقنيات وعلوم الـــــ BIM وعلوم الذكاء الاصطناعي AI في المجتمع المحلي.

منهج البحث:

هو منهج استقرائي استنباطي حيث سيتم دراسة الواقع الراهن لدمج الذكاء الاصطناعي مع تقنيات النمذجة والبرامج والتطبيقات المتاحة لتكوين القضية الأساسية ثم بعد جمع المعلومات من التجارب العالمية نقوم باسقاط نتائج هذه التجارب على المجتمع المحلي لايجاد المقترحات القابلة للتنفيذ محلياً.

أدوات البحث:

أولاً سنقوم بدراسة وتجريب التطبيقات المتاحة ثم سنقوم باجراء استبيان لمعرفة امكانية استخدام هذه التطبيقات محلياً.

مجتمع وعينة الدراسة:

سيتم الاعتماد على فئات متنوعة حسب مجال العمل وحسب عدد سنوات الخبرة.

1. سنقوم بتقسيم مجالات العمل الى:

   I. مالكين.

   II. مصممين.

   III. مهندسيين.

   IV. مقاولين رئيسين.

   V. مطوري برامج.

2. والخبرات الى الاقسام التالية:

   I. خبرة ثلاث سنوات في مجال ال BIM.

   II. خبرة خمس سنوات في مجال ال BIM.

   III. خبرة سبع سنوات او اكثر في مجال ال BIM.

حدود البحث:

- **الحدود الموضوعية:** التطورات الحديثة في مجالي تكنلوجيا معلومات البناء والذكاء الاصطناعي.
- **الحدود الجغرافية:** العالم ثم النطاق المحلي.
- **الحدود الزمنية:** الواقع الحالي والمستقبل القريب.
- **الحدود البشرية:** المطورين، المهندسين، والمهتمين بتكنلوجيا البناء، الانشاءات، والتشييد.

الدراسات السابقة:

[1] Al Qady, M., Kandil, A., 2010. Concept relation extraction from construction documents using natural language processing. J. Construct. Eng. Manag. 136 (3), 294–302.

[2] Andersen, K., Forr, T., 2018. The State of Construction Technology. Jones Lang LaSalle IP, Inc., p. 12

[3] Azevedo, M.A., 2019. Investor Momentum Builds for Construction Tech. *Crunchbase News*, San Francisco, CA.

[4] Ballard, G., 2000. The Last Planner System of Production Control. PhD Dissertation. University of Birmingham, Birmingham, U.K.

[5] Ballard, G., 2008. The lean project delivery system: an update. Lean Constr. J. 2008, 1–19.

[6] Bekkelien, A., Deriaz, M., Marchand-Maillet, S., 2012. "Bluetooth Indoor positioning." *Master's Thesis*. University of Geneva.

[7] Belsky, M., Sacks, R., Brilakis, I., 2016. Semantic enrichment for building information modeling. Comput. Aided Civ. Infrastruct. Eng. 31 (4), 261–274. https://doi.org/ 10.1111/mice.12128.

مصطلحات البحث:

الذكاء الاصطناعي:

يُعتبر الذكاء الاصطناعي بالإنجليزيّة (Artificial Intelligent)، أحد فروع علم الحاسوب، وإحدى الركائز الأساسية التي تقوم عليها صناعة التكنولوجيا في العصر الحالي، ويُمكن تعريف مصطلح الذكاء الاصطناعي –الذي يُشار له بالاختصار –(AI) بأنه قدرة الآلات والحواسيب الرقميّة على القيام بمهام مُعينة تُحاكي وتُشابه تلك التي تقوم بها الكائنات الذكيّة؛ كالقدرة على التفكير أو التعلُم من التجارب السابقة أو

غيرها من العمليات الأُخرى التي تتطلب عمليات ذهنية، كما يهدف الذكاء الاصـــطناعي إلى الوصـــول إلى أنظمة تتمتع بالذكاء وتتصـرف على النحو الذي يتصـرف به البشـر من حيث التعلُم والفهم، بحيث تُقدم تلك الأنظمة لمُستخدميها خدمات مُختلفة من التعليم والإرشاد والتفاعل وما إلى ذلك.

نمذجة معلومات البناء:

1. نظام معرفي حاسوبي يقوم بالإشراف على كافة الإدارات العاملة في المبنى من لحظة التخطيط حتى التسليم مروراً بالتنفيذ وصولاً إلى التشغيل والصيانة.
2. آليّة ربط بين الاختصاصات من جهة والبرامج الزمنية الخاصة بكل منها من جهة أخرى.
3. إلغاء الآثار السلبية للتعديلات الطارئة وجعل أوامر التغيير في مرحلة التنفيذ تقارب الصفر.
4. هو مايســـترو ينظر إلى الإدارات المختلفة كنظرته إلى العازفين في فرقة ســـيمفونية يدير ويضـــبط عزفهم للحصول على عمل فني قائم على التعاون والتشارك بالنوتة بما يحقق رضا الزبون.

ادارة المشاريع:

عرّف كتاب (PMBOK) المشروع على أنّه: "نشـاط مُؤقَّت يتمّ البَدء فيه؛ لإنتاج مُنتَج، أو خدمة، أو نتيجة فريدة من نوعها، وتُشـير كلمة (مُؤقَّت) إلى أنّ للمشـاريع بداية، ونهاية، ويتمّ الوصـول إلى النهاية عند تحقيق الهدف، أو عند انتهاء المشروع؛ بسبب تعذُّر تحقيق أهدافه، وكلمة (مُؤقَّت) لا تعني أنّ فترة المشروع قصيرة؛ فكلمة مُؤقَّت قد تستمرّ لسنوات".

تشمل ادارة المشاريع على سبيل المثال:

- ادارة الجدول الزمني.

- إدارة التكامل
- إدارة نطاق العمل
- إدارة الكلفة
- إدارة الجودة
- إدارة المشتريات
- إدارة الموارد البشرية
- إدارة التواصل

هيكل البحث:

1. الملخص.
2. مقدمة.
3. الواقع العالمي للـ BIM والـ AI.
4. البرمجيات التي تستخدم الذكاء الاصطناعي في قطاع الانشاءات.
5. دراسة واقع تطبيق التقنيات العالمية محلياً.
6. نتائج وتوصيات.
7. الخاتمة.
8. قائمة المراجع.

الفصل الثاني: الإطار النظري

المقدمة:

ترافقت الثورة التكنلوجية التي أحدثتها علوم وتكنولوجيا الـــ BIM في مجال الانشاءات والصناعات المرافقة له بثورة تكنلوجية موازية ومساوة بالأهمية في مجالات البرمجة وعلوم الحاسوب والتي تمثّلت بعلوم الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence الذي يعتبرمن المجالات الواعدة في الظروف الحالية لبلدنا وحاجتنا إلى تسخير كل ما يمكن من جهود وإمكانيات لدمج تطبيقاته المتنوعة والاستفادة منها.

تطمح الأبحاث في العلوم المعمارية، الهندسية وفي قطاع التشييد لتسخير وتطبيق تكنولوجيا المعلومات وعلوم الروبوت وكل الأبحاث والعلوم الحديثة في التصميم والبناء. ولكن ما زال فهمنا لهذا المجال هو عبارة عن تصورات ومفاهيم تحتاج إلى مزيد من الدراسة والعمل للوصول إلى التطبيق الناجح لهذه التصورات. فكما هو الحال في مجال نظام نمذجة معلومات البناء (BIM) فقد استغرق التطبيق والوصول إلى هذه الدرجة المتقدمة عشرات السنين من الأبحاث والمحاولات والتطبيقات، فإنّ دمج تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي والوصول إلى خوارزميات تحقق الأفكار والطموحات التي نرغب في الوصول اليها قد يستغرق منّا عشرات السنين بالرغم من المحاولات المفائلة والمقترحات الحالية التي يتم تطبيقها في مختبرات الأبحاث وفي بعض النماذج من التطبيقات.

يوجد في الوقت الراهن أربع مجالات يمكن توظيف الذكاء الاصطناعي في قطاع البناء من خلالها، وهي [1]:

- تطبيقات للتصميم وإدارة التشييد والتي ترتبط ببرامج ومنصات النمذجة.
- الأنظمة والتطبيقات التي تستخدم لإيصال المعلومات من مواقع العمل بشكل فوري إلى النماذج وتدعى BIM-to-Field وتتضمن مجموعة الأدوات التي تقدّم معلومات عن سير العمل (مثل المسح بالليزر وغيرها).
- التطبيقات الروبوتية لتنفيذ عمليات البناء في الموقع.
- أنظمة البرمجيات والأجهزة لجمع المعلومات من الموقع وتسليمها للتحكّم في العمليات والوظائف وتدعى Field-to-BIM وهي توفر حلول التصميم الواقعي بناءً على شروط الموقع والظروف المحيطة بالمشروع.

ماهو نظام نمذجة معلومات البناء "Building Information Modeling" :

تعرف نمذجة معلومات البناء "BIM" بأنّها:

1. نظام معرفي حاسوبي يقوم بالإشراف على كافّة الإدارات العاملة في المبنى من لحظة التخطيط حتى التسليم مروراً بالتنفيذ وصولاً إلى التشغيل والصيانة.
2. آليّة ربط بين الاختصاصات من جهة والبرامج الزمنية الخاصة بكل منها من جهة أخرى.
3. إلغاء الآثار السلبية للتعديلات الطارئة وجعل أوامر التغيير في مرحلة التنفيذ تقارب الصفر.
4. هو مايسترو ينظر إلى الإدارات المختلفة كنظرته إلى العازفين في فرقة سيمفونية يدير ويضبط عزفهم للحصول على عمل فني قائم على التعاون والتشارك بالنوتة بما يحقق رضا الزبون.

موجز عن تاريخ تقنية الـ BIM:

بدايةً من عام 1975، ظهرت أول وثيقة تصف المفهوم المعروف باسم نمذجة معلومات البناء BIM لـــ Charles M.Eastman's والذي يصف بروتوكول عمل سمّاه Building Description System. وهي المرة الأولى التي يعرف بها العنصر المستخدم سواء في الواجهات أو المساقط أو النموذج ثلاثي الأبعاد بنفس التعريف وكل التغييرات على العنصـر نحتاج القيام بها لمرة واحدة فقط وتتعدل بشـكل تلقائي في جميع المساقط والواجهات. ويسهّل هذا النظام توليد الكميات والكلف للمشروع.

وفي عام 1986 ظهر مصطلح Building Modeling كما نستخدمه حاليا في مقالة لـــ Robert Aish. وتم في عام 1992 الانتقال من مصطلح Building Modeling إلى المصطلح المعروف حالياً وهو "BIM" Building Information Modeling والذي ذكر في ورقة بحثية بعنوان "الأتمتة في عمليات البناء "Automation in Construction" للمؤلفان F. Tolman و G.A. van Nederveen ليستقر توصيف الـ BIM بحسب الجمعية الاميريكية الوطنية لمعايير الـ BIM (American National BIM Standard) كما يلي [6]:

« هي التمثيل الرقمي للخصـائص الوظيفية والمادية المكونة للمنشـآت، والذي يعتبر مصـدر رئيسـي لإدارة المعلومات والخبرات الخاصة بالمنشآت المنفّذة بنظام الـ BIM ومرجع أساسي لإدارة المنشأة خلال دورة حياتها من مرحلة التصميم المفاهيمي وحتى مرحلة الهدم ».

أبعاد تقنية الـ BIM:

1. النموذج ثلاثي الأبعاد (3D Model).
2. النموذج ثلاثي الأبعاد مُضافاً إليه الجدول الزمني للمشروع (4D Model).
3. الكلفة والتي تعتبر البعد الخامس للـ BIM (5D Model).
4. إدارة المرافق وهي البعد السادس (6D Model).
5. الاستدامة وتعتبر البعد السابع للـ BIM (7D Model).

الذكاء الاصطناعي "AI" Artificial Intelligent:

يُعرّف الذكاء الاصـطناعي بأنّه تصـميم وبناء خوارزميات وعناصـر ذكية تقوم بتلقي معطيات من البيئة المحيطة «المدروسـة» وتتخذ اجراءات تزيد من فرصـها في تحقيق الأهداف التي صـممت من أجلها بنجاح [7].

يوجد فرق بين الذكاء الاصـطناعي وبين عملية الأتمتة أو البرمجة. حيث تعتبر الأتمتة عملية مضـبوطة تتبع أكواد برمجية مجهّزة مسـبقاً تتبع المنطق والقواعد، بينما صُـمم الذكاء الاصـطناعي ليحاكي الذكاء البشري والتفكير الإنساني.

أقسام الذكاء الاصطناعي:

1- تعلّم الآلة Machine Learning:

التعلم الآلي هو فرع من فروع الذكاء الاصـطناعي (AI) وعلوم الكمبيوتر الذي يركز على اسـتخدام البيانات والخوارزميات لتقليد الطريقة التي يتعلم بها البشـر، وتحسـين دقتها تدريجياً. ويعد التعلم الآلي مكوناً مهماً في المجال المتنامي لعلوم البيانات. من خلال اسـتخدام الأسـاليب الإحصـائية، يتم تدريب الخوارزميات على إجراء التصـنيفات أو التنبؤات، والكشـف عن الأفكار الرئيسـية في مشـاريع التنقيب عن البيانات. تؤدي هذه الأفكار لاحقاً إلى اتخاذ القرار داخل التطبيقات والشـركات، مما يؤثر بشـكل مثالي على مقاييس النمو الرئيسية. مع استمرار توسع البيانات الضخمة ونموها، سيزداد طلب السوق على علماء البيانات.

ويتفرّع إلى مجموعة من الأنواع كما يلي [8]:

- **التعلّم الخاضـع للإشـراف Supervised Learning:** وهو فئة فرعية من التعلم الآلي والذكاء الاصطناعي. يتم تعريفه من خلال استخدامه لمجموعات البيانات المصنفة لتدريب الخوارزميات التي تصـنف البيانات أو تتوقع النتائج بدقة. عندما يتم إدخال بيانات الإدخال في النموذج، فإنه يعدّل أوزانها حتى يتم تركيب النموذج بشـكل مناسـب، والذي يحدث كجزء من عملية التحقق من الصـحة المتقاطعة. يساعد التعلم الخاضع للإشراف المؤسسات في حل مجموعة متنوعة من مشكلات العالم الحقيقي على نطاق واسع.

يستخدم التعلّم الخاضـع للإشراف مجموعة تدريب لتعليم النماذج لتحقيق المخرجات المرجوة. تتضمن مجموعة بيانات التدريب هذه المدخلات والمخرجات الصحيحة، والتي تسمح للنموذج بالتعلم

بمرور الوقت. تقيس الخوارزمية دقتها من خلال دالة الفاقد وتعديلها حتى يتم تقليل الخطأ بشـــكل كافٍ.

يمكن فصـــل التعلم الخاضـــع للإشـــراف إلى نوعين عند التنقيب في البيانات – التصـــنيف والانحدار [9]:

- يستخدم التصنيف خوارزمية لتعيين بيانات الاختبار بدقة إلى فئات محددة. ويتعرف على كيانات محددة ضـمن مجموعة البيانات ويحاول اسـتخلاص بعض الاسـتنتاجات حول كيفية تسـمية هذه الكيانات أو تعريفها. وتتضـمن خوارزميات التصـنيف الشـائعة: المصـنفات الخطية، وآلات دعم المتجهات (SVM)، وأشجار القرار، والجوار الأقرب لـ k، والغابة العشوائية وغيرها.
- يُسـتخدم الانحدار لفهم العلاقة بين المتغيرات التابعة والمسـتقلة. ويتم اسـتخدامه بشـكل شـائع لإجراء التوقّعات، مثل إيرادات المبيعات لنشـــاط تجاري معيّن. يُعدّ الانحدار الخطي والانحدار اللوجستي والانحدار متعدد الحدود من خوارزميات الانحدار الشائعة.

ويمكن اسـتخدام نماذج التعلم الخاضـعة للإشـراف لبناء عدد من تطبيقات الأعمال وتطويرها، بما في ذلك ما يلي:

- التعرف على الصور والأشياء: يمكن استخدام خوارزميات التعلم الخاضعة للإشراف لتحديد وعزل وتصـــنيف الكائنات من مقاطع الفيديو أو الصـــور، مما يجعلها مفيدة عند تطبيقها على تقنيات رؤية الكمبيوتر المختلفة وتحليل الصور.
- التحليلات التنبؤية: وهناك حالة اسـتخدام واسـعة النطاق لنماذج التعلم الخاضـع للإشـراف في إنشـــاء أنظمة تحليلات تنبؤية لتوفير رؤى عميقة لنقاط بيانات الأعمال المختلفة. يســـمح ذلك

للمؤسسات بتوقع نتائج معينة بناءً على متغير ناتج معين، مما يساعد قادة الأعمال على تبرير القرارات أو الارتكاز لصالح المنظمة [10].

- تحليل مشاعر العملاء: باستخدام خوارزميات التعلم الآلي الخاضعة للإشراف، يمكن للمؤسسات استخراج وتصنيف أجزاء مهمة من المعلومات من كميات كبيرة من البيانات – بما في ذلك السياق والعاطفة والنية – مع القليل من التدخل البشري. يمكن أن يكون هذا مفيداً بشكل كبير عند اكتساب فهم أفضل لتفاعلات العملاء ويمكن استخدامه لتحسين جهود مشاركة العلامة التجارية.

- **التعلّم غير الخاضع للإشراف Unsupervised Learning**: يستخدم التعلم غير الخاضع للإشراف، خوارزميات التعلّم الآلي لتحليل مجموعات البيانات غير المسماة وتجميعها. تكتشف هذه الخوارزميات الأنماط المخفية أو مجموعات البيانات دون الحاجة إلى تدخل بشري. إن قدرتها على اكتشاف أوجه التشابه والاختلاف في المعلومات تجعلها الحل الأمثل لتحليل البيانات الاستكشافية، واستراتيجيات البيع العابر، وتجزئة العملاء، والتعرف على الصور [11].

أصبحت تقنيات التعلم الآلي طريقة شائعة لتحسين تجربة مستخدم المنتج واختبار الأنظمة لضمان الجودة. يوفر التعلم غير الخاضع للإشراف مساراً استكشافياً لعرض البيانات، مما يسمح للشركات بتحديد الأنماط في أحجام كبيرة من البيانات بسرعة أكبر عند مقارنتها بالمراقبة اليدوية. وبعض تطبيقات العالم الحقيقي الأكثر شيوعاً للتعلم غير الخاضع للإشراف هي:

- أقسام الأخبار: تستخدم أخبار Google التعلم غير الخاضع للإشراف لتصنيف المقالات حول نفس الخبر من مختلف المنافذ الإخبارية عبر الإنترنت. على سبيل المثال، يمكن تصنيف نتائج الانت خابات الرئاسية تحت مسمى الأخبار "الأمريكية".
- رؤية الكمبيوتر: تُستخدم خوارزميات التعلم غير الخاضعة للإشراف لمهام الإدراك البصري، مثل التعرف على الأشياء.
- التصوير الطبي: يوفر التعلم الآلي غير الخاضع للإشراف ميزات أساسية لأجهزة التصوير الطبي، مثل اكتشاف الصور وتصنيفها وتجزئتها، وتستخدم في الأشعة وعلم الأمراض لتشخيص المرضى بسرعة ودقة.
- اكتشاف الشذوذ: يمكن لنماذج التعلم غير الخاضعة للإشراف التمشيط من خلال كميات كبيرة من البيانات واكتشاف نقاط البيانات غير النمطية داخل مجموعة البيانات. يمكن أن تؤدي هذه الحالات الشاذة إلى زيادة الوعي حول المعدات المعيبة أو الخطأ البشري أو الانتهاكات الأمنية [12].
- تحديد شخصيات العملاء: تحديد شخصيات العملاء يجعل من السهل فهم السمات المشتركة وعادات الشراء لعملاء الأعمال. يتيح التعلم غير الخاضع للإشراف للشركات إنشاء ملفات تعريف شخصية أفضل للمشتري، مما يمكّن المؤسسات من محاذاة رسائل منتجاتها بشكل أكثر ملاءمة.
- محركات التوصية: باستخدام بيانات سلوك الشراء السابقة، يمكن أن يساعد التعلم غير الخاضع للإشراف في اكتشاف اتجاهات البيانات التي يمكن استخدامها لتطوير استراتيجيات بيع أكثر

فعالية. يستخدم هذا لتقديم توصيات إضافية ذات صلة للعملاء أثناء عملية الدفع لتجار التجزئة عبر الإنترنت [13].

- **التعلّم المعزز Reinforcement Learning:** التعلم المعزز هو تدريب نماذج التعلم الآلي لاتخاذ سلسلة من القرارات. إذ يتعلم الحاسوب تحقيق هدف في بيئة غير مؤكدة ومن المحتمل أن تكون معقدة. وفي التعلم المعزز، يواجه الذكاء الاصطناعي موقفاً شبيهاً باللعبة. يستخدم الكمبيوتر التجربة والخطأ للتوصل إلى حل للمشكلة. لجعل الآلة تفعل ما يريده المبرمج، يحصل الذكاء الاصطناعي إما على مكافآت أو عقوبات على الإجراءات التي يقوم بها. ويكون الهدف هو تعظيم المكافأة الإجمالية [14].

على الرغم من أن المصمم يضع سياسة المكافأة – أي قواعد اللعبة – إلا أنه لا يعطي النموذج أي تلميحات أو اقتراحات حول كيفية حل اللعبة. الأمر متروك للنموذج لمعرفة كيفية أداء المهمة لتحقيق أقصى قدر من المكافأة، بدءاً من التجارب العشوائية تماماً وانتهاءً بالتكتيكات المعقدة والمهارات الخارقة. من خلال الاستفادة من قوة البحث والعديد من التجارب، يعد التعلم المعزز حالياً الطريقة الأكثر فاعلية للتلميح إلى إبداع الآلة.

وعلى عكس البشر، يمكن للذكاء الاصطناعي أن يجمع الخبرة من آلاف اللعب المتوازية إذا تم تشغيل خوارزمية التعلم المعزز على بنية تحتية حاسوبية قوية بما فيه الكفاية [15].

كانت تطبيقات التعلم المعزز في الماضي محدودة بسبب ضعف البنية التحتية للكمبيوتر. ومع ذلك، مع تطور الذكاء الاصطناعي الخارق حدث تقدم يتغير الآن بسرعة مع التقنيات الحاسوبية

الجديدة القوية التي تفتح الطريق أمام تطبيقات ملهمة جديدة تماماً. ومن الأمثلة على تطبيقات التعلّم المعزز:

- يعد تدريب النماذج التي تتحكم في السيارات ذاتية القيادة مثالاً ممتازاً للتطبيق المحتمل للتعلم المعزز. في الوضع المثالي، يجب ألا يتلقى الكمبيوتر أي تعليمات حول قيادة السيارة. سيتجنب المبرمج توصيل أي شيء متصل بالمهمة ويسمح للجهاز بالتعلم من أخطائه. في حالة مثالية، سيكون العنصر الوحيد المتصلب هو وظيفة المكافأة. فعلى سبيل المثال، في الظروف المعتادة، قد نطلب سيارة مستقلة لوضع السلامة أولاً، وتقليل وقت الركوب، وتقليل التلوث، وتوفير الراحة للركاب والامتثال لقواعد القانون [16]. من ناحية أخرى، مع وجود سيارة سباق ذاتية القيادة، نؤكد على السرعة أكثر بكثير من راحة السائق. لا يستطيع المبرمج التنبؤ بكل شيء يمكن أن يحدث على الطريق. بدلاً من بناء تعليمات مطولة "إذا – إذن"، يقوم المبرمج بإعداد عامل التعلم المعزز ليكون قادراً على التعلم من نظام المكافآت والعقوبات. يحصل الوكيل (اسم آخر لخوارزميات التعلم المعززة التي تؤدي المهمة) على مكافآت للوصول إلى أهداف محددة.
- ومن الأمثلة الأخرى، شارك الذكاء الاصطناعي لشركة DeepSense في مشروع «تعلم الجري»، والذي يهدف إلى تدريب عداء افتراضي من الصفر. العداء هو نموذج عضلي هيكلي متقدم ودقيق صممه مختبر ستانفورد للميكانيكا الحيوية العصبية العضلية. ويعتبر تعلّم الوكيل كيفية الجري هو الخطوة الأولى في بناء جيل جديد من الأطراف الاصطناعية، تلك التي تتعرف تلقائياً على أنماط المشي لدى الأشخاص وتعديلها لجعل الحركة أسهل وأكثر فاعلية [17]. على

الرغم من أن ذلك ممكن وقد تم إجراؤه في مختبرات ســـتانفورد، إلا أن توصـــيل جميع الأوامر والتنبؤ بجميع أنماط المشي الممكنة يتطلب الكثير من العمل من مبرمجين ذوي مهارات عالية.

- **التعلم العميق Deep Learning**: التعلم العميق هو مجموعـة فرعيـة من التعلم الآلي، وهو في الأسـاس شـبكة عصـبية ذات ثلاث طبقات أو أكثر. تحاول هذه الشـبكات العصـبية محاكاة سـلوك الدماغ البشـري – وإن كان بعيداً عن مطابقة قدرته – مما يسـمح له «بالتعلم» من كميات كبيرة من البيانات. بينما لا يزال بإمكان الشـبكة العصـبية ذات الطبقة الواحدة إجراء تنبؤات تقريبية، يمكن أن تساعد الطبقات المخفية الإضافية في تحسين الدقة وتحسينها [18].

يقود التعلم العميق العديد من تطبيقات وخدمات الذكاء الاصـــطناعي (AI) التي تعمل على تحســـين الأتمتة، وأداء المهام التحليلية والمادية دون تدخل بشـــري. تكمن تقنية التعلم العميق وراء المنتجات والخدمات اليومية (مثل المسـاعدين الرقميين، وأجهزة التحكم عن بعد التليفزيونية التي تدعم الصـوت، واكتشـاف الاحتيال في بطاقات الائتمان) بالإضـافة إلى التقنيات الناشـئة (مثل السـيارات ذاتية القيادة).

تحاول الشبكات العصبية للتعلم العميق، أو الشبكات العصبية الاصطناعية، محاكاة الدماغ البشـري من خلال مجموعة من مدخلات البيانات والأوزان والتحيز. تعمل هذه العناصـر معاً للتعرف بدقة على الكائنات داخل البيانات وتصنيفها ووصفها.

تتكون الشـــبكات العصـــبية العميقة من طبقات متعددة من العقد المترابطة، كل منها يعتمد على الطبقة السـابقة لتحسـين التنبؤ أو التصـنيف وتحسـينه. يسـمى هذا التقدم في العمليات الحسـابية عبر الشـبكة بالانتشـار الأمامي. تسـمى طبقات الإدخال والإخراج للشـبكة العصـبية العميقة الطبقات

المرئية. طبقة الإدخال هي المكان الذي يستوعب فيه نموذج التعلم العميق البيانات للمعالجة، وطبقة المخرجات هي المكان الذي يتم فيه إجراء التنبؤ أو التصنيف النهائي [19].

تستخدم عملية أخرى تسمى backpropagation الخوارزميات، مثل نزول التدرج، لحساب الأخطاء في التنبؤات ثم ضبط أوزان وتحيزات الوظيفة عن طريق التحرك للخلف عبر الطبقات في محاولة لتدريب النموذج. معاً، يتيح الانتشار الأمامي والانتشار العكسي للشبكة العصبية إجراء تنبؤات وتصحيح أي أخطاء وفقاً لذلك. بمرور الوقت، تصبح الخوارزمية أكثر دقة تدريجياً.

ما سبق يصف أبسط أنواع الشبكات العصبية العميقة بأبسط المصطلحات. ومع ذلك، فإن خوارزميات التعلم العميق معقدة بشكل لا يصدق، وهناك أنواع مختلفة من الشبكات العصبية لمعالجة مشاكل أو مجموعات بيانات محددة [20]. على سبيل المثال:

- يمكن للشبكات العصبية التلافيفية (CNN)، المستخدمة بشكل أساسي في تطبيقات رؤية الكمبيوتر وتصنيف الصور، اكتشاف الميزات والأنماط داخل الصورة، مما يتيح تنفيذ المهام، مثل اكتشاف الأشياء أو التعرف عليها. في عام 2015، تفوقت شبكة CNN على إنسان في تحدي التعرف على الأشياء لأول مرة.
- تُستخدم الشبكات العصبية المتكررة (RNNs) عادةً في تطبيقات التعرف على الكلام واللغة الطبيعية لأنها تستفيد من بيانات السلاسل المتسلسلة أو الزمنية.

تعد تطبيقات التعلم العميق في العالم الحقيقي جزءاً من حياتنا اليومية، ولكن في معظم الحالات، يتم دمجها جيداً في المنتجات والخدمات بحيث لا يكون المستخدمون على دراية بمعالجة البيانات المعقدة التي تحدث في الخلفية. تتضمن بعض هذه الأمثلة ما يلي:

- تطبيق القانون: يمكن لخوارزميات التعلم العميق تحليل بيانات المعاملات والتعلم منها لتحديد الأنماط الخطيرة التي تشير إلى نشاط احتيالي أو إجرامي محتمل. يمكن أن يؤدي التعرف على الكلام ورؤية الكمبيوتر وتطبيقات التعلم العميق الأخرى إلى تحسين كفاءة وفعالية التحليل الاستقصائي من خلال استخراج الأنماط والأدلة من تسجيلات الصوت والفيديو والصور والوثائق، مما يساعد تطبيق القانون على تحليل كميات كبيرة من البيانات بشكل أسرع وأكثر دقة [21].
- الخدمات المالية: تستخدم المؤسسات المالية التحليلات التنبؤية بانتظام لدفع التداول الخوارزمي للأسهم، وتقييم مخاطر الأعمال للموافقات على القروض، واكتشاف الاحتيال، والمساعدة في إدارة محافظ الائتمان والاستثمار للعملاء.
- خدمة العملاء: تقوم العديد من المؤسسات بدمج تقنية التعلم العميق في عمليات خدمة العملاء الخاصة بهم. تُعد روبوتات المحادثة – المستخدمة في مجموعة متنوعة من التطبيقات والخدمات وبوابات خدمة العملاء – شكلاً مباشراً من أشكال الذكاء الاصطناعي. تستخدم روبوتات المحادثة التقليدية اللغة الطبيعية وحتى التعرف البصري، وهو موجود بشكل شائع في القوائم الشبيهة بمركز الاتصال. ومع ذلك، تحاول حلول روبوتات الدردشة الأكثر تعقيداً تحديد ما إذا كانت هناك إجابات متعددة للأسئلة الغامضة من خلال التعلم. بناءً على الردود التي يتلقاها، يحاول روبوت المحادثة بعد ذلك الإجابة على هذه الأسئلة مباشرةً أو توجيه المحادثة إلى مستخدم بشري [22].

- الرعاية الصحية: استفاد قطاع الرعاية الصحية بشكل كبير من قدرات التعلم العميق منذ رقمنة سجلات وصور المستشفيات. يمكن أن تدعم تطبيقات التعرف على الصور متخصصي التصوير الطبي وأخصائيي الأشعة، مما يساعدهم على تحليل وتقييم المزيد من الصور في وقت أقل.

2- النظم القائمة على المعرفة Knowledge-Based Systems:

النظام القائم على المعرفة (KBS) هو نوع من أنظمة الكمبيوتر التي تحلل المعرفة والبيانات والمعلومات الأخرى من المصادر لتوليد معرفة جديدة. يستخدم مفاهيم الذكاء الاصطناعي لحل المشكلات، والتي قد تكون مفيدة للمساعدة في التعلم البشري واتخاذ القرارات. غالباً ما تحتوي هذه الأنظمة على قدرات مضمنة في حل المشكلات تسمح لها بفهم سياق البيانات التي تقوم بمراجعتها ومعالجتها واتخاذ قرارات مستنيرة بناءً على المعرفة التي يقومون بتخزينها [23].

وتتألف الأنظمة القائمة على المعرفة عادةً من ثلاثة مكونات، والتي تشمل:

- **قاعدة المعرفة:** قاعدة المعرفة هي مجموعة راسخة من المعلومات والموارد. يستخدم النظام هذا كمستودع للمعرفة التي يستخدمها لاتخاذ القرارات.
- **محرك الواجهة:** يقوم محرك الواجهة بمعالجة البيانات في جميع أنحاء النظام. يعمل بشكل مشابه لمحرك البحث داخل النظام من خلال تحديد المعلومات ذات الصلة بناءً على الطلبات.
- **واجهة المستخدم:** واجهة المستخدم هي الطريقة التي يظهر بها النظام القائم على المعرفة للمستخدمين على الكمبيوتر. يتيح ذلك للمستخدمين التفاعل مع النظام وإرسال الطلبات.

وفيما يلي بعض أنواع الأنظمة المستندة إلى المعرفة [24]:

- **الأنظمة المستندة إلى الحالة:** تستخدم الأنظمة القائمة على الحالة التفكير القائم على الحالة. هذا ينطوي على مراجعة المعرفة السابقة لمواقف مماثلة. بناءً على ما يجده، يوفر النظام القائم على المعرفة حلولاً فعالة في تلك المواقف المعينة.
- **الأنظمة الخبيرة:** وهي واحدة من أكثر أنواع الأنظمة القائمة على المعرفة شيوعاً. تحاكي هذه الأنظمة عمليات صنع القرار لدى الخبراء البشريين، مما يجعلها مفيدة للتحليلات المعقدة والحسابات والتنبؤات. بالإضافة إلى تقديم الحلول، فإنهم يقدمون تفسيرات محددة للمشكلات التي يقومون بحلها.
- **أنظمة معالجة النص التشعبي:** تخزن أنظمة معالجة النص التشعبي المعرفة عن طريق ربط النص بنصوص أخرى وباستخدام النص التشعبي. يشير النص التشعبي إلى شبكة من الكتل المنفصلة للمعلومات المترابطة كطريقة لتخزين البيانات. يتيح لك هذا النوع من النظام الوصول إلى العديد من أنواع البيانات بسهولة.
- **أنظمة التدريس الذكية:** وهي أنظمة قائمة على المعرفة مصممة خصيصاً لدعم التعلم. توفر هذه الأنظمة للمستخدمين ملاحظات وإرشادات مخصصة بناءً على أدائهم واستفساراتهم. على هذا النحو، غالباً ما يتم استخدامها في التعليم، مما يسمح للطلاب بمعرفة المزيد والحصول على تجربة تعليمية مخصصة دون تدخل مباشر من المعلم.
- **الأنظمة المستندة إلى القواعد:** تعتمد الأنظمة المستندة إلى القواعد على قواعد مشفرة من صنع الإنسان. يستخدم هذه القواعد لتحليل البيانات ومعالجتها لتحقيق نتائج محددة. قد يتضمن ذلك استخدام قواعد IF-THEN، التي تنص على أنه إذا قدم المستخدم طلباً معيناً، فإن النظام يقدم نتيجة معينة.

وتعتبر الأنظمة القائمة على المعرفة مفيدة في توفير الخبرة للأشخاص الذين يحتاجون إليها، خاصة عندما يحاولون اتخاذ القرارات بسرعة. يمكن أن تكون مفيدة في تقديم توصيات لمختلف الصناعات، وقد تستمر إمكاناتها في النمو مع تطور التكنولوجيا. تتضمن بعض الأمثلة على الاستخدامات الحالية للأنظمة القائمة على المعرفة ما يلي [25]:

- أنظمة Blackboard: يتيح هذا النظام القائم على المعرفة للمستخدمين التعاون لتحقيق حل. يمكن للخبراء البشريين إدخال معلومات جديدة باستمرار في النظام، مما يساعد على إنشاء حلول جزئية أثناء بحثهم في النتيجة النهائية. يستخدم النظام حلولاً جزئية لتحديد الإجابة المناسبة لمشكلة ما.
- أنظمة التصنيف: تقوم أنظمة التصنيف بتحليل البيانات وتوزيعها على المجموعات المناسبة. يسمح هذا النوع من النظام القائم على المعرفة بتحديد حالة التصنيف لقسم البيانات. قد يكون مفيداً بشكل خاص للعلماء، مثل تحليل المكونات الكيميائية لتحديد تصنيف مركبات كيميائية معينة.
- أنظمة تحليل الأهلية: قد تتضمن أنظمة تحليل الأهلية أسئلة إرشادية للمستخدم. غالباً ما تكون هذه الأنظمة قائمة على القواعد لأنها تسمح عادةً للمستخدمين بالاستمرار في الإجابة عن الأسئلة حتى يشير أحد ردودهم إلى أنهم غير مؤهلين للخدمة. قد يكون هذا النوع من النظام مفيداً لأولئك الذين يتطلعون إلى جعل عمليات الفحص الخاصة بهم أكثر كفاءة، مثل المنظمات الحكومية أو توظيف المهنيين.

- أنظمة التشـخيص الطبي: تسـاعد أنظمة التشـخيص الطبي في تشـخيص المرضـى بناءً على أعراضـهم في التاريخ الطبي. قد يجيبون على سـلسـلة من الأسـئلة أو قد يقوم أخصـائي طبي بإدخال المعلومات نيابة عنهم، وبناءً على إجاباتهم، يحدد النظام القائم على المعرفة الحالة التي قد يواجهونها. توصـي العديد من هذه الأنظمة أيضـاً بطرق العلاج التي قد يفكر فيها المريض بناءً على استجاباتهم والتشخيص المحتمل. من المهم ملاحظة أن النظام وحده ليس بديلاً مناسباً للرعاية الطبية المهنية.

3- الرؤية الكمبيوترية Computer Vision:

الرؤيـة الكمبيوتريـة هي مجـال للـذكـاء الاصـــطنـاعي (AI) يمكّن أجهزة الكمبيوتر والأنظمـة من اســتخلاص معلومات ذات مغزى من الصــور الرقمية ومقاطع الفيديو والمدخلات المرئية الأخرى – واتخاذ إجراءات أو تقديم توصيات بناءً على تلك المعلومات. إذا كان الذكاء الاصطناعي يمكّن أجهزة الكمبيوتر من التفكير، فإن رؤية الكمبيوتر تمكنهم من الرؤية والملاحظة والفهم [26].

تعمل رؤية الكمبيوتر تماماً مثل الرؤية البشـرية، باسـتثناء أن البشـر لديهم السـبق. يتمتع البصـر البشري بميزة عمر السياق لتدريبه على كيفية تمييز الأشياء عن بعضـها، ومدى بُعدها، وما إذا كانت تتحرك وما إذا كان هناك خطأ ما في الصورة.

تقوم الرؤية الحاســوبية بتدريب الآلات على أداء هذه الوظائف، ولكن يتعين عليها القيام بذلك في وقت أقل بكثير باستخدام الكاميرات والبيانات والخوارزميات بدلاً من شبكية العين والأعصاب البصرية والقشرة البصــرية. نظراً لأن النظام المدرَّب على فحص المنتجات أو مشــاهدة أصــول الإنتاج يمكنه تحليل آلاف

المنتجات أو العمليات في الدقيقة، مع ملاحظة العيوب أو المشكلات غير المحسوسة، يمكنه تجاوز القدرات البشرية بسرعة.

تُستخدم رؤية الكمبيوتر في صناعات تتراوح من الطاقة والمرافق إلى التصنيع والسيارات – ويستمر السوق في النمو. ومن المتوقع أن تصل إلى 48.6 مليار دولار أمريكي بحلول عام 2022.

تحتاج رؤية الكمبيوتر إلى الكثير من البيانات. يدير تحليلات البيانات مراراً وتكراراً حتى يميز الفروق ويتعرف في النهاية على الصور. على سبيل المثال، لتدريب جهاز كمبيوتر على التعرف على إطارات السيارات، يجب تغذية كميات هائلة من صور الإطارات والعناصر المتعلقة بالإطارات لمعرفة الاختلافات والتعرف على الإطارات، خاصة الإطارات الخالية من العيوب [27].

هناك الكثير من الأبحاث التي يتم إجراؤها في مجال رؤية الكمبيوتر، لكنها ليست مجرد بحث. توضح التطبيقات الواقعية مدى أهمية رؤية الكمبيوتر للمساعي في الأعمال التجارية والترفيه والنقل والرعاية الصحية والحياة اليومية. الدافع الرئيسي لنمو هذه التطبيقات هو تدفق المعلومات المرئية المتدفقة من الهواتف الذكية وأنظمة الأمان وكاميرات المرور وغيرها من الأجهزة ذات الأدوات المرئية. يمكن أن تلعب هذه البيانات دوراً رئيسياً في العمليات عبر الصناعات، ولكنها لا تُستخدم اليوم.

لا تمتلك العديد من المؤسسات الموارد اللازمة لتمويل مختبرات رؤية الكمبيوتر وإنشاء نماذج التعلم العميق والشبكات العصبية. قد تفتقر أيضاً إلى قوة الحوسبة المطلوبة لمعالجة مجموعات ضخمة من البيانات المرئية. تساعد شركات مثل IBM من خلال تقديم خدمات تطوير برمجيات رؤية الكمبيوتر. توفر هذه الخدمات نماذج تعلم مسبقة الإنشاء متاحة من السحابة – كما تعمل على تخفيف الطلب على موارد

الحوسبة. يتصل المستخدمون بالخدمات من خلال واجهة برمجة التطبيقات (API) ويستخدمونها لتطوير تطبيقات الرؤية الحاسوبية.

قدمت IBM أيضاً نظاماً أساسياً لرؤية الكمبيوتر يتعامل مع مشكلات موارد الحوسبة والتنمية. يتضمن IBM Maximo Visual Inspection الأدوات التي تمكن خبراء الموضوع من تسمية وتدريب ونشر نماذج رؤية التعلم العميق – دون الحاجة إلى الترميز أو الخبرة في التعلم العميق. يمكن نشر نماذج الرؤية في مراكز البيانات المحلية، وأجهزة السحابة والحافة [28].

في حين أنه أصبح من الأسهل الحصول على الموارد لتطوير تطبيقات رؤية الكمبيوتر، فإن السؤال المهم الذي يجب الإجابة عليه مبكراً هو: ما الذي ستفعله هذه التطبيقات بالضبط؟ يمكن لفهم وتحديد مهام رؤية الكمبيوتر المحددة التركيز والتحقق من صحة المشاريع والتطبيقات وتسهيل البدء.

فيما يلي بعض الأمثلة على مهام الرؤية الحاسوبية الثابتة [29]:

- تصنيف الصورة: تعتبر هذه الأنظمة قادرة على التنبؤ بدقة بأن صورة معينة تنتمي إلى فئة معينة. على سبيل المثال، قد ترغب شركة وسائل التواصل الاجتماعي في استخدامها لتحديد وفصل الصور المرفوضة تلقائياً التي يتم تحميلها من قبل المستخدمين. ويمكن أن يستخدم اكتشاف الكائنات تصنيف الصور لتحديد فئة معينة من الصور ثم اكتشاف وتبويب مظهرها في صورة أو مقطع فيديو. تشمل الأمثلة الكشف عن الأضرار على خط التجميع أو تحديد الآلات التي تتطلب الصيانة.
- تتبع الكائن: غالباً ما يتم تنفيذ هذه المهمة مع الصور الملتقطة بالتسلسل أو قنوات الفيديو في الوقت الفعلي. المركبات ذاتية القيادة، على سبيل المثال، لا تحتاج فقط إلى تصنيف واكتشاف

الأشياء مثل المشاة والسيارات الأخرى والبنية التحتية للطرق، بل تحتاج إلى تتبعها أثناء الحركة لتجنب الاصطدامات والامتثال لقوانين المرور.

- استرجاع الصور المستند إلى المحتوى: يستخدم رؤية الكمبيوتر لتصفح الصور والبحث فيها واستردادها من مخازن البيانات الكبيرة، بناءً على محتوى الصور بدلاً من علامات البيانات الوصفية المرتبطة بها. يمكن أن تتضمن هذه المهمة تعليقاً توضيحياً تلقائياً للصور يحل محل العلامات اليدوية للصور. يمكن استخدام هذه المهام لأنظمة إدارة الأصول الرقمية ويمكن أن تزيد من دقة البحث والاسترجاع.

4- علوم الروبوتات Robotics:

علم الروبوتات هو فرع متعدد التخصصات لعلوم الكمبيوتر والهندسة. تتضمن الروبوتات تصميم وبناء وتشغيل واستخدام الروبوتات. الهدف من الروبوتات هو تصميم آلات يمكنها مساعدة البشر ومساعدتهم. تدمج الروبوتات مجالات الهندسة الميكانيكية، والهندسة الكهربائية، وهندسة المعلومات، والميكاترونكس، والإلكترونيات، والهندسة الحيوية، وهندسة الكمبيوتر، وهندسة التحكم، وهندسة البرمجيات، والرياضيات، وما إلى ذلك.

تطور علوم الروبوتات آلات يمكن أن تحل محل البشر وتكرر الأعمال البشرية. يمكن استخدام الروبوتات في العديد من المواقف لأغراض عديدة، ولكن يتم استخدام العديد منها اليوم في البيئات الخطرة (بما في ذلك فحص المواد المشعة، واكتشاف القنابل وإبطال مفعولها)، أو عمليات التصنيع، أو حيث لا يستطيع البشر البقاء على قيد الحياة (على سبيل المثال في الفضاء، تحت الماء، في درجات الحرارة العالية وتنظيف واحتواء المواد الخطرة والإشعاعات). يمكن أن تتخذ الروبوتات أي شكل، لكن بعضها مصنوع ليشبه

البشـــر في المظهر. يُزعم أن هذا يســـاعد في قبول الروبوتات في بعض الســـلوكيات التكرارية التي عادةً ما يؤديها الناس. تحاول هذه الروبوتات محاكاة المشـي أو الرفع أو الكلام أو الإدراك أو أي نشـاط بشـري آخر. العديد من روبوتات اليوم مستوحاة من الطبيعة، وتساهم في مجال الروبوتات المستوحاة من الأحياء [30].

تتطلب بعض الروبوتات إدخالات المستخدم لتعمل بينما تعمل الروبوتات الأخرى بشكل مستقل. يعود مفهوم إنشـــاء روبوتات يمكنها العمل بشـــكل مســـتقل إلى العصـــور الكلاســـيكية، لكن البحث في الوظائف والاستخدامات المحتملة للروبوتات لم ينمو بشكل كبير حتى القرن العشرين. عبر التاريخ، افترض العديد من العلماء والمخترعين والمهندســين والفنيين أن الروبوتات ســتتمكن يوماً ما من محاكاة الســلوك البشــري وإدارة المهام بطريقة شبيهة بالبشر. اليوم، الروبوتات هي مجال سريع النمو، مع استمرار التقدم التكنولوجي. تخدم عمليات البحث والتصميم وبناء الروبوتات الجديدة أغراضاً عملية متنوعة، سواء محلياً أو تجارياً أو عسكرياً.

هناك أنواع عديدة من الروبوتات يتم اســـتخدامها في العديد من البيئات المختلفة ولعدة اســـتخدامات مختلفة. على الرغم من تنوعها الشـــديد في التطبيق والشـــكل، إلا أنها تشـــترك جميعاً في ثلاثة أوجه تشـــابه أساسية عندما يتعلق الأمر ببنائها [31]:

- تتمتع الروبوتات بنوع من البناء الميكانيكي أو الإطار أو الشـــكل أو الشـــكل المصـــمم لتحقيق مهمة معينة. على سبيل المثال، قد يستخدم الروبوت المصمم للسفر عبر الأوساخ الثقيلة أو الطين مسارات كاتربيلر. الجانب الميكانيكي هو في الغالب الحل المبتكر لإكمال المهمة الموكلة والتعامل مع فيزياء البيئة المحيطة بها. الشكل يتبع الوظيفة.
- تحتوي الروبوتات على مكونات كهربائية تعمل على تشـــغيل الماكينة والتحكم فيها. حتى الآلات التي تعمل بالبنزين والتي تستمد طاقتها بشكل أساسي من البنزين لا تزال تتطلب تياراً كهربائياً لبدء عملية

الاحتراق وهذا هو السـبب في أن معظم الآلات التي تعمل بالبنزين مثل السـيارات تحتوي على بطاريات. يسـتخدم الجانب الكهربائي للروبوتات للحركة (من خلال المحركات) والاسـتشـعار (حيث تُسـتخدم الإشـارات الكهربائية لقياس أشـياء مثل الحرارة والصـوت والموضـع وحالة الطاقة) والتشـغيل (تحتاج الروبوتات إلى مسـتوى معين من الطاقة الكهربائية التي يتم توفيرها لمحركاتها وأجهزة الاستشعار من أجل تنشيط وتنفيذ العمليات الأساسية)

- تحتوي جميع الروبوتات على مسـتوى معين من كود برمجة الكمبيوتر. البرنامج هو كيف يقرر الروبوت متى وكيف يفعل شيئاً ما. البرامج هي الجوهر الأساسي للروبوت، يمكن أن يكون لها بنية ميكانيكية وكهربائية ممتازة، ولكن إذا كان برنامجها سيئ البناء، فسيكون أداؤه ضعيفاً للغاية (أو قد لا يعمل على الإطلاق). هناك ثلاثة أنواع مختلفة من البرامج الروبوتية: التحكم عن بعد والذكاء الاصـطناعي والهجين. يحتوي الروبوت المزود ببرمجة جهاز التحكم عن بعد على مجموعة أوامر موجودة مسبقاً لن يؤديها إلا إذا استقبل إشارة من مصدر تحكم، وعادةً ما يكون ذلك الإنسان مع جهاز التحكم عن بعد. ربما يكون من الأنسب النظر إلى الأجهزة التي يتم التحكم فيها بشكل أساسي بواسطة أوامر بشرية على أنها تندرج في مجال الأتمتة بدلاً من الروبوتات. تتفاعل الروبوتات التي تستخدم الذكاء الاصطناعي مع بيئتها من تلقاء نفسها دون مصدر تحكم، ويمكنها تحديد ردود الفعل على الأشياء والمشكلات التي تواجهها باستخدام البرمجة الموجودة مسبقاً. أما النوع الهجين هو شكل من أشكال البرمجة يدمج وظائف الذكاء الاصطناعي والتحكم فيها.

نظراً لأن المزيد والمزيد من الروبوتات مصممة لمهام محددة، فإن طريقة التصنيف هذه تصبح أكثر صلة. على سبيل المثال، تم تصميم العديد من الروبوتات لأعمال التجميع، والتي قد لا تكون قابلة للتكيف

بســـهولة مع التطبيقات الأخرى. يطلق عليهم اســـم "روبوتات التجميع" [32]. بالنســـبة للحام، يوفر بعض الموردين أنظمة لحام كاملة مع الروبوت، مثل معدات اللحام بالإضـــافة لمرافق معالجة المواد الأخرى مثل الأقراص الدوارة، وما إلى ذلك كوحدة متكاملة. مثل هذا النظام الآلي المتكامل يســـمى "روبوت اللحام" على الرغم من أن وحدة المناور المنفصلة الخاصة به يمكن تكييفها لمجموعة متنوعة من المهام. تم تصميم بعض الروبوتات خصيصاً للتعامل مع الأحمال الثقيلة، وقد تم تصنيفها على أنها "روبوتات للخدمة الشاقة".

وتشمل التطبيقات الحالية والمحتملة للروبوتات [32]:

- الروبوتات الصناعية: تستخدم الروبوتات بشكل متزايد في التصنيع (منذ الستينيات). وفقاً لبيانات اتحاد الصـناعات الروبوتية في الولايات المتحدة، كانت صـناعة السـيارات في عام 2016 هي العميل الرئيسـي للروبوتات الصـناعية بنسـبة 52٪ من إجمالي المبيعات. في صـناعة السـيارات، يمكن أن يصل عددهم إلى أكثر من نصف "العمالة". حتى أن هناك مصانع "مطفأة" مثل مصنع تصـــنيع لوحة مفاتيح IBM في تكســـاس والذي تم تشـــغيله آلياً بالكامل في وقت مبكر من عام 2003.
- روبوتات البناء: يمكن تقســـيم روبوتات البناء إلى ثلاثة أنواع: الروبوتات التقليدية والذراع الآلية والهيكل الخارجي الآلي.
- الروبوتات الزراعية: يرتبط اســـتخدام الروبوتات في الزراعة ارتباطاً وثيقاً بمفهوم الزراعة الدقيقة بمســـاعدة الذكاء الاصـــطناعي واســـتخدام الطائرات بدون طيار. أثبتت أبحاث 1996–1998 أيضاً أن الروبوتات يمكنها القيام بمهمة الرعي.

وتتضمن مكونات أي نموذج روبوت ما يلي:

مصدر الطاقة: في الوقت الحاضر، تستخدم معظم البطاريات (الرصاص والحمض) كمصدر للطاقة. يمكن اســـتخدام أنواع مختلفة من البطاريات كمصـــدر طاقة للروبوتات. وهي تتراوح بين بطاريات الرصـــاص الحمضـــية، وهي آمنة وذات عمر افتراضـــي طويل نســـبياً ولكنها ثقيلة نوعاً ما مقارنةً ببطاريات الفضـة والكادميوم التي هي أصـغر حجماً وأعلى سـعراً حالياً. يحتاج تصـميم روبوت يعمل بالبطارية إلى مراعاة عوامل مثل السـلامة وعمر الدورة والوزن. يمكن أيضـاً اسـتخدام المولدات، التي غالباً ما تكون نوعاً من محركات الاحتراق الداخلي. ومع ذلك، غالباً ما تكون هذه التصـميمات معقدة ميكانيكياً وتحتاج إلى وقود وتتطلب تبديداً للحرارة وتكون ثقيلة نســـبياً. ســـيؤدي الحبل الذي يربط الروبوت بمصـــدر طاقة إلى إزالة مصـــدر الطاقة من الروبوت تماماً. هذا له ميزة توفير الوزن والمســـاحة عن طريق نقل جميع مكونات توليد الطاقة والتخزين إلى مكان آخر. ومع ذلك، فإن هذا التصـميم يأتي مع عيب وجود كابل متصـل بالروبوت باسـتمرار، والذي قد يكون من الصـعب إدارته.

يمكن أن تكون مصادر الطاقة المحتملة:

- لهواء المضغوط (غازات مضغوطة)
- الطاقة الشمسية (باستخدام طاقة الشمس وتحويلها إلى طاقة كهربائية)
- الطاقة الهيدروليكية (السوائل)
- تخزين طاقة دولاب الموازنة
- القمامة العضوية (من خلال الهضم اللاهوائي)
- الطاقة النووية

- **مشـغلات التشـغيل:** وهي «عضـلات» الإنسـان الآلي وهي الأجزاء التي تحول الطاقة المخزنة إلى حركة. وأكثر المحركات شعبية هي المحركات الكهربائية التي تقوم بتدوير عجلة أو ترس، والمحركات الخطية التي تتحكم في الروبوتات الصـناعية في المصـانع. هناك بعض التطورات الحديثة في أنواع بديلة من المشغلات التي تعمل بالكهرباء أو المواد الكيميائية أو الهواء المضغوط [33].
- **الاستشعار:** للروبوتات بتلقي معلومات حول قياس معين للبيئة أو المكونات الداخلية. وهذا ضـروري للروبوتات لأداء مهامها، والعمل على أي تغييرات في البيئة لحسـاب الاسـتجابة المناسـبة. يتم اسـتخدامها لأشـكال مختلفة من القياسـات، لإعطاء الروبوتات تحذيرات حول السـلامة أو الأعطال، ولتوفير معلومات في الوقت الفعلي حول المهمة التي تؤديها.
- **التلاعب:** قدم مات ماسـون تعريفاً للتلاعب الآلي على النحو التالي: «يشـير التلاعب إلى تحكم الوكيل في بيئته من خلال الاتصـال الانتقائي». تحتاج الروبوتات إلى التعامل مع الكائنات؛ التقاط أو تعديل أو تدمير أو أي تأثير آخر. وبالتالي غالباً ما يشـار إلى النهاية الوظيفية لذراع الروبوت التي تهدف إلى إحداث التأثير (سـواء كانت يد أو أداة) على أنها مؤثرات نهائية، بينما يشـار إلى «الذراع» على أنها أداة مناورة.
- **المسـتجيبات النهائية:** هي المكونات المادية والخارجية التي تسـمح للروبوتات بإنهاء تنفيذ مهامها. غالباً ما تحتوي الروبوتات في المصانع على أدوات قابلة للتبديل مثل رشاشات الطلاء والمثاقب، وقد يتم تجهيز الروبوتات الجراحية بمشـارط وأنواع أخرى من الروبوتات يمكن بناؤها بمخالب أو حتى أيدي لمهام مثل عمليات التسليم والتعبئة ونشر القنابل وغير ذلك الكثير.

5- معالجة اللغات الطبيعية Natural Language Processing:

تشـــير معالجة اللغة الطبيعية (NLP) إلى فرع علوم الكمبيوتر – وبشـــكل أكثر تحديداً، فرع الذكاء الاصـــطناعي – معني بمنح أجهزة الكمبيوتر القدرة على فهم النص والكلمات المنطوقة بنفس الطريقة التي يستطيع بها البشر.

تجمع معالجة اللغة الطبيعية (NLP) بين اللغويات الحاســـوبية – النمذجة القائمة على القواعد للغة البشـــرية – مع النماذج الإحصـــائية والتعلم الآلي ونماذج التعلم العميق. تعمل هذه التقنيات معاً على تمكين أجهزة الكمبيوتر من معالجة اللغة البشـرية في شـكل بيانات نصـية أو صـوتية و«فهم» معناها الكامل، مع استكمال نوايا المتحدث أو الكاتب ومشاعره [34].

تعمل معالجة اللغة الطبيعية (NLP) على تشـــغيل برامج الكمبيوتر التي تترجم النص من لغة إلى أخرى، وتستجيب للأوامر المنطوقة، وتلخص كميات كبيرة من النص بسرعة – حتى في الوقت الفعلي. هناك فرصة جيدة للتفاعل مع معالجة اللغة الطبيعية في شكل أنظمة GPS تعمل بالصوت، والمساعدين الرقميين، وبرامج إملاء الكلام إلى نص، وروبوتات الدردشـــة لخدمة العملاء، ووســـائل راحة المســـتهلك الأخرى. لكن معالجة اللغة الطبيعية (NLP) تلعب أيضـــاً دوراً متزايداً في حلول المؤســـســـات التي تســـاعد على تبســـيط العمليات التجارية وزيادة إنتاجية الموظفين وتبسيط العمليات التجارية ذات المهام الحرجة [35].

تعد معالجة اللغة الطبيعية هي القوة الدافعة وراء ذكاء الآلة في العديد من تطبيقات العالم الحقيقي الحديثة [36]. فيما يلي بعض الأمثلة:

- **اكتشـاف الرسـائل غير المرغوب فيها:** قد لا نعتقد أن اكتشـاف البريد العشـوائي هو حل للمعالجة اللغوية الطبيعية، ولكن أفضل تقنيات اكتشاف الرسائل غير المرغوب فيها تستخدم إمكانيات تصنيف النص في المعالجة اللغوية الطبيعية لفحص رسائل البريد الإلكتروني بحثاً عن اللغة التي تشير غالباً إلى البريد العشـوائي أو التصـيد الاحتيالي. يمكن أن تتضـمن هذه المؤشـرات الاسـتخدام المفرط للمصطلحات المالية، والقواعد اللغوية السيئة المميزة، ولغة التهديد، والإلحاح غير المناسب، وأسماء الشركات التي بها أخطاء إملائية، والمزيد [37].
- **الترجمة الآلية:** الترجمة من Google هي مثال على تقنية المعالجة اللغوية الطبيعية المتاحة على نطاق واسـع في العمل. تنطوي الترجمة الآلية المفيدة حقاً على أكثر من اسـتبدال الكلمات في إحدى اللغات بكلمات أخرى. يجب أن تلتقط الترجمة الفعالة بدقة معنى ونبرة لغة الإدخال وترجمتها إلى نص بنفس المعنى والتأثير المطلوب في لغة الإخراج. تحرز أدوات الترجمة الآلية تقدماً جيداً من حيث الدقة. هناك طريقة رائعة لاختبار أي أداة ترجمة آلية وهي ترجمة النص إلى لغة واحدة ثم الرجوع إلى اللغة الأصلية.
- **المسـاعدون وروبوتات الدردشـة الافتراضـية:** يقوم المسـاعدون الافتراضـيون مثل Siri من Apple و Alexa من Amazon بالتعرف على الكلام للتعرف على الأنماط في الأوامر الصوتية وتوليد اللغة الطبيعية للرد بالإجراء المناسـب أو التعليقات المفيدة. وتسـتخدم روبوتات المحادثة والدردشـة نفس الأسـلوب في الاسـتجابة لإدخالات النص المكتوب. يتعلم هؤلاء المسـاعدون التعرف على القرائن السياقية حول الطلبات البشرية واستخدامها لتقديم استجابات أو خيارات أفضل بمرور الوقت [38].

- **تحليل مشاعر وسائل التواصل الاجتماعي:** أصبحت المعالجة اللغوية الطبيعية أداة عمل أساسية للكشف عن رؤى البيانات المخفية من قنوات التواصل الاجتماعي. يمكن لتحليل المشاعر تحليل اللغة المستخدمة في منشورات وسائل التواصل الاجتماعي والاستجابات والمراجعات والمزيد لاستخراج المواقف والعواطف استجابةً للمنتجات والعروض الترويجية والأحداث – يمكن لشركات المعلومات استخدامها في تصميمات المنتجات والحملات الإعلانية والمزيد.
- **تلخيص النص:** يستخدم تلخيص النص تقنيات المعالجة اللغوية الطبيعية لهضم كميات ضخمة من النص الرقمي وإنشاء ملخصات وملخصات للفهارس أو قواعد البيانات البحثية أو القراء المشغولين الذين ليس لديهم الوقت لقراءة النص الكامل. تستخدم أفضل تطبيقات تلخيص النص التفكير الدلالي وتوليد اللغة الطبيعية (NLG) لإضافة سياق واستنتاجات مفيدة إلى الملخصات [39].

6- التخطيط والجدولة الذاتية Automated Planning and scheduling:

ويُشار إليها أحياناً على أنها مجرد تخطيط للذكاء الاصطناعي، وهي فرع من فروع الذكاء الاصطناعي الذي يتعلق بإدراك استراتيجيات أو تسلسل الإجراءات، للتنفيذ عادةً بواسطة وكلاء أذكياء، كالروبوتات المستقلة والمركبات بدون طيار.

في البيئات المعروفة ذات النماذج المتاحة، يمكن إجراء التخطيط دون اتصال بالإنترنت. يمكن إيجاد الحلول وتقييمها قبل التنفيذ. في البيئات غير المعروفة ديناميكياً، فإن ملف الإستراتيجية يجب تكييف النماذج والسياسات. وتلجأ الحلول عادةً إلى التكرار كعمليات التجربة والخطأ الشائعة في الذكاء الاصطناعي. وتشمل هذه البرمجة الديناميكية التعلم المعزز والتحسين الاندماجي. وغالباً ما يتم استدعاء اللغات المستخدمة لوصف التخطيط والجدولة [40].

في التخطيط للذكاء الاصـــطناعي، يقوم المخططون عادةً بإدخال نموذج (وصـــف لمجموعة من الإجراءات المحتملة التي تمثل المجال) بالإضـافة إلى المشـكلة المحددة التي يجب حلها والتي تحددها الحالة الأولية والهدف، على عكس تلك التي لا يوجد فيها مجال الإدخال المحدد. يُطلق على هذا النموذج اســـم "المجال المســـتقل" للتأكيد على حقيقة أنه يمكن حل مشـــاكل التخطيط من مجموعة واســـعة من المجالات. الأمثلة النموذجية للمجالات المســـتقلة هي تكديس الكتل، واللوجســـتيات، وإدارة ســـير العمل، وتخطيط مهام الروبوت. وعليه يمكن استخدام مخطط مستقل عن مجال واحد لحل مشاكل التخطيط في جميع هذه المجالات المختلفة. من ناحية أخرى، يعد مخطط المسار نموذجياً لمخطط المجال المحدد.

تسـتند اللغات الأكثر اسـتخداماً لتمثيل مجالات التخطيط ومشـكلات التخطيط المحددة، إلى متغيرات الحالة. كل حالة ممكنة من العالم هي تخصـــيص قيم لمتغيرات الحالة، وتحدد الإجراءات كيف تتغير قيم متغيرات الحالة عند اتخاذ هذا الإجراء. نظراً لأن مجموعة من متغيرات الحالة تســـتحث مســـاحة حالة ذات حجم أسـي في المجموعة، فإن التخطيط، على غرار العديد من المشـكلات الحسـابية الأخرى، يعاني من لعنة الأبعاد والانفجار الاندماجي [41].

هناك لغة بديلة لوصـف مشـاكل التخطيط هي لغة شـبكات المهام الهرمية، حيث يتم إعطاء مجموعة من المهام، ويمكن أن تتحقق كل مهمة إما عن طريق إجراء بدائي أو تتحلل إلى مجموعة من المهام الأخرى. لا يتضـــمن هذا بالضـــرورة متغيرات الحالة، على الرغم من أن متغيرات الحالة في التطبيقات الأكثر واقعية تبسط وصف شبكات المهام.

7- التحسين والأمثلة Optimization:

يلعب التحسين الأمثل دوراً مهماً في مشروع التعلم الآلي بالإضافة إلى ملاءمة خوارزمية التعلم في مجموعة بيانات التدريب. ويمكن أيضاً تأطير خطوة إعداد البيانات قبل تركيب النموذج وخطوة ضبط النموذج المختار كمشكلة للتحسين الأمثل. في الواقع، يمكن اعتبار مشروع النمذجة التنبؤية بالكامل مشكلة كبيرة في التحسين الأمثل.

- **الخوارزمية التطورية:** في الذكاء الحسابي (CI)، تعد الخوارزمية التطورية (EA) مجموعة فرعية من الحساب التطوري، وهي خوارزمية استدلال فائق عامة تعتمد على العينات. وتستخدم آليات مستوحاة من التطور البيولوجي، مثل التكاثر والطفرة وإعادة التركيب والاختيار. تلعب الحلول المرشحة لمشكلة التحسين دور الأفراد في عينة ما، وتحدد دالة التلاؤم البدنية جودة الحلول. غالباً ما تؤدي الخوارزميات التطورية حلولاً تقريبية جيدة لجميع أنواع المشكلات لأنها من الناحية المثالية لا تقدم أي افتراضات حول دالة التلاؤم/ التناسب الأساسية. وعادةً ما تقتصر التقنيات المستمدة من الخوارزميات التطورية المطبقة على نمذجة التطور البيولوجي على استكشاف عمليات التطور الجزئي ونماذج التخطيط القائمة على العمليات الخلوية [42].
- **الخوارزمية الجينية:** في علوم الكمبيوتر وبحوث العمليات، تعد الخوارزمية الجينية (GA) بمثابة خوارزمية استدلال فائق مستوحاة من عملية الانتقاء الطبيعي التي تنتمي إلى فئة أكبر من الخوارزميات التطورية (EA). تُستخدم الخوارزميات الجينية بشكل شائع لإنشاء حلول عالية الجودة لمشاكل البحث والتحسين من خلال الاعتماد على عوامل مستوحاة من الناحية البيولوجية مثل

الطفرات والتقاطع والاختيار. تتضمن بعض أمثلة تطبيقات الخوارزميات الجينية GA تحسين شجرات القرار من أجل أداء أفضل، وحل ألغاز السودوكو، وتحسين المعاملات الفائقة، وما إلى ذلك.

- **التطور التفاضلي:** في الحساب التطوري، يعد التطور التفاضلي (DE) طريقة تعمل على تحسين المشكلة من خلال المحاولة المتكررة لتحسين حل مرشح فيما يتعلق بمقياس معين للجودة. تُعرف هذه الأساليب عموماً باسم الاستدلال الفوقي لأنها تقدم افتراضات قليلة أو معدومة حول المشكلة التي يتم تحسينها ويمكنها البحث عن مساحات كبيرة جداً من الحلول المرشحة. ومع ذلك، فإن الاستدلال الفوقي مثل التطور التفاضلي DE لا يضمن العثور على الحل الأمثل على الإطلاق [43].

يستخدم التطور التفاضلي DE للوظائف ذات القيمة الحقيقية متعددة الأبعاد ولكنه لا يستخدم التدرج اللوني للمشكلة التي يتم تحسينها، مما يعني أن التطور التفاضلي DE لا يتطلب أن تكون مشكلة التحسين قابلة للتفاضل، كما هو مطلوب بواسطة طرق التحسين الكلاسيكية مثل النسب المتدرجة وأساليب شبه نيوتن. لذلك يمكن أيضاً استخدام التطور التفاضلي DE في مشكلات التحسين التي غير المستمرة، أو العشوائية، أو المتغيرة بمرور الوقت، وما إلى ذلك.

تعمل أنظمة التطور التفاضلي DE على تحسين المشكلة من خلال الحفاظ على مجموعة من الحلول المرشحة وإنشاء حلول مرشحة جديدة من خلال الجمع بين الحلول الحالية وفقاً لصيغها البسيطة، ثم الحفاظ على أي حل مرشح لديه أفضل درجة أو ملاءمة لمشكلة التحسين المطروحة. وبهذه الطريقة، يتم التعامل مع مشكلة التحسين على أنها صندوق أسود يوفر فقط مقياساً للجودة في ضوء حل مرشح وبالتالي لا تكون هناك حاجة إلى التدرج اللوني.

تحسين سرب الجسيمات: في العلوم الحسابية، يعد تحسين سرب الجسيمات (PSO) طريقة حسابية تعمل على تحسين المشكلة من خلال المحاولة المتكررة لتحسين حل مرشح فيما يتعلق بمقياس معين للجودة. وهو يحل مشكلة من خلال وجود مجموعة من الحلول المرشحة، هنا الجسيمات المدبلجة، وتحريك هذه الجسيمات في مساحة البحث وفقاً لصيغة رياضية بسيطة فوق موضع الجسيم وسرعته. تتأثر حركة كل جسيم بموقعه المحلي الأكثر شهرة، ولكن يتم توجيهه أيضاً نحو أفضل المواضع المعروفة في فضاء البحث، والتي يتم تحديثها عندما يتم العثور على مواضع أفضل بواسطة الجسيمات الأخرى. ومن المتوقع أن يدفع هذا السرب نحو أفضل الحلول [44].

يُنسب تحسين سرب الجسيمات PSO في الأصل إلى Kennedy و Eberhart و Shi وكان الغرض منه في البداية محاكاة السلوك الاجتماعي، كتمثيل منمق لحركة الكائنات الحية في قطيع الطيور أو الأسماك. وتم تبسيط الخوارزمية ولوحظ أنها تؤدي إلى التحسين.

يُعد تحسين سرب الجسيمات PSO دليلاً تلوياً لأنه يقدم افتراضات قليلة أو معدومة حول المشكلة التي يتم تحسينها ويمكنه البحث في مساحات كبيرة جداً من الحلول المرشحة. أيضاً، لا يستخدم تحسين سرب الجسيمات PSO التدرج اللوني للمشكلة التي يتم تحسينها، مما يعني أنّه لا يتطلب أن تكون مشكلة التحسين قابلة للتفاضل كما هو مطلوب بواسطة طرق التحسين الكلاسيكية مثل أساليب النسب المتدرجة وأساليب شبه نيوتن. ومع ذلك، فإن الاستدلال الفوقي مثل تحسين سرب الجسيمات PSO لا يضمن العثور على الحل الأمثل على الإطلاق.

8- سلسلة الكتل BlockChain:

منذ ايجاد مفهوم سلسلة الكتل BlockChain تزايد نموه بشكل متزايد وسريع وزاد الاعتماد عليه في مجالات التوثيق الرقمي والتبادل التجاري الالكتروني وفي مجال العملات الرقمية المشفرة، وتم الاعتماد عليه في إدارة المخاطر وانترنت الاشياء.

تساعد هذه التقنية على ضمان شرعية المعاملة وتمنع الانفاق المزدوج، وتسمح بالمعاملات عالية القيمة في بيئة غير موثوقة باستخدام التشفير وأليات المصادقة الثنائية.

تتضمن بعض التطبيقات الحديثة من BlockChain بناء لوجستيات لمواد البناء والتكامل مع انترنت الاشياء ونمذجة معلومات البناء لإدارة بيانات ومعلومات المبنى طيلة دورة حياة المبنى، ولتحسين وتعزيز سلاسل التوريد والامداد في صناعة البناء [46].

وتعتبر هذه التقنية ذات أهمية عالية لما لها من قدرة على حل القضايا التي تتعلق بالمصادقة الثنائية والموثوقية والتواصل الأمن، وضمان الشفافية في الصناعة.

المجالات التي يمكن أن يتشارك الذكاء الاصطناعي مع نمذجة معلومات البناء:

إذا كان هناك شيء واحد أدى إلى تغيير جذري في صناعة البناء والهندسة المعمارية، فهو بلا شك نمذجة معلومات البناء (BIM). ففي نفس الوقت زادت الـ BIM الكفاءة، وبسطت التعاون، وقدمت حلولاً فريدة للعديد من المشكلات. بفضل ذلك، أصبحت عملية البناء بأكملها أسرع وأكثر سلاسة.

ومع التقنيات الجديدة، فإن صناعة البناء لديها القدرة على التغيير أكثر لتصبح أكثر كفاءةً. يبدو الذكاء الاصطناعي واعداً بشكل خاص، خاصّةً أنه يمكن أن يتزامن بشكل طبيعي مع تقنية الـ BIM. في الواقع، يمكننا بالفعل تخيل ثلاث طرق يمكن للذكاء الاصطناعي من خلالها تحسين كفاءة سير العمل عند استخدامه مع الـ BIM [47].

1- يمكن للذكاء الاصطناعي المساعدة في التصميم

تبدع الآلات في اتباع القواعد، ولا ينبغي أن يكون الذكاء الاصطناعي استثناءً. في الواقع، يجب أن يكون قادراً على فهم وتنفيذ جميع أنواع التعليمات والأوامر، بغض النظر عن مدى تعقيدها. ويفتح هذا لوحده عالماً جديداً بالكامل من الاحتمالات.

على سبيل المثال، بدلاً من تصميم الغرف القياسية والتعامل مع الأعمال المتكررة، يمكن للمهندسين المعماريين ترك مثل هذه المهام العادية للذكاء الاصطناعي. لن يكمل الذكاء الاصطناعي جميع المهام بنجاح فحسب، بل سينجزها أيضاً في وقت أقل. وهذا يقلل بشكل كبير من عبء عمل المصممين ويحسن سير العمل العام.

علاوةً على ذلك، عند منح التصميم، يمكن للذكاء الاصطناعي تحليله وإيجاد التناقضات والتصادمات التي غاب المصمم عنها. بفضل ذلك، سيتم اكتشاف الأخطاء في الوقت المحدد وتصحيحها قبل أن تسبب ضرراً حقيقياً. ويمكن للذكاء الاصطناعي أيضاً اقتراح حلول بديلة، وبالتالي توفير وقت المصمم.

وأخيراً، يمكن أن يكون الذكاء الاصـــطناعي مبدعاً. إذا أعطيت قاعدة بيانات كبيرة بما يكفي لنماذج مختلفة لتحليلها، فقد تولد تصـــميماً جديداً يعتمد على التحليل. بالطبع، ســـيتعين على المهندس المعماري أو المصـــمم مراجعة التصـــميم والموافقة عليه، بالإضـــافة إلى إجراء التغييرات المحتملة. لكن عملية التصـــميم بأكملها ستظل أسرع بكثير.

2- الذكاء الاصطناعي سيجعل التعاون أسهل

تمتلك صـناعات الهندســة المعمارية والبناء بالفعل أدوات تعاونية رائعة، مثل BIM Collaborate Pro. بفضـل هذه البرامج، تعمل الفرق بأكملها معاً بسـهولة أكبر من أي وقت مضـى. لكن يجب أن يرتقي الذكاء الاصطناعي بالتعاون إلى مستوى جديد تماماً، مما يسمح لعشرات المحترفين بالعمل كواحد.

تتيح تقنيات الـــ BIM بالفعل لكل شخص يعمل في مشروع واحد الوصول إلى نفس النماذج والوثائق وإجراء التعديلات اللازمة. بعد ذلك، يمكن لجميع أعضـــاء الفريق الآخرين رؤية التغييرات والرد عليها وفقاً لذلك. وهذا يلغي الحاجة إلى الاجتماعات ورسائل البريد الإلكتروني والمكالمات الهاتفية [48].

مع الذكاء الاصـــطناعي، حتى التغييرات اليدوية قد لا تكون ضـــرورية دائماً. بمجرد أن يقوم أحد أعضاء الفريق بتحديث شيء ما في النموذج المشترك، يمكن للذكاء الاصطناعي الاستجابة عن طريق تعديل

جميع الجوانب المتأثرة الأخرى. كما أنه يخطر أعضـــاء الفريق الآخرين بالتغييرات، مما يســـمح لهم بالبقاء على إطلاع دائم.

في التصـــميم النهائي، ســـيتم مزامنة جميع المعلمات وتعديلها بشـــكل مثالي بحيث يعتقد المرء أن شخصاً واحداً يعمل على كل شيء. سيكون من الصعب تخيل أن فريقاً يمكن أن يعمل معاً بشكل جيد دون خطأ واحد.

3- يمكن للذكاء الاصطناعي التحكم في الميزانية وجدولة

دائماً ما تمثّل إدارة التكلفة والوقت مشـكلة خاصّـةً للمسـؤولين. فمن الصـعب تحديد حجم الميزانية بالضبط الذي يجب تخصيصه لكل مشروع والمدة التي من المحتمل أن يستغرقها. وبسبب ذلك، فإن تجاوزات الميزانية والتأخيرات في المواعيد النهائية متكررة إلى حد ما في صناعة البناء.

لكن بينما قد يعاني البشـــر من مثل هذه التقديرات، فإن الآلات لا تفعل ذلك بالتأكيد. حتى الآن، يمكن لأجهزة الكمبيوتر الأبســـط بكثير من الذكاء الاصـــطناعي إجراء تقديرات زمنية دقيقة إلى حد ما. وبالتالي، من الآمن أن نفترض أن الآلات المتقدمة في المستقبل لن تواجه مشكلة معها أيضاً.

لذلك، يمكن أن يتولى الذكاء الاصـــطناعي مراقبة الميزانية والجدولة وتنســـيق المهام. وإذا أعطي معلومات كافية عن مشـــاريع مماثلة ســـابقة، يجب أن تكون تنبؤاته دقيقة إلى حد ما. في البداية، بالطبع، سيتعين على الشخص التحقق وإجراء التعديلات عند الضرورة. ولكن مع تعلم الآلة، ستتحسن في عملها حتى تصل أخيراً إلى المرحلة التي لن تحتاج فيها إلى أي تدخل بشري [49].

تأثير الذكاء الاصطناعي AI في تكنولوجيا نمذجة معلومات البناء BIM:

تنتج عملية نمذجة وتطبيق الـ BIM في المشاريع بيانات ومعلومات كثيرة مما يجعل بعض الشركات غير قادرة على التعامل مع هذا الكم الهائل من البيانات الناتجة وهنا يدخل الذكاء الاصـــطناعي "AI" من خلال قدرته على التعامل مع هذا الكم الهائل من البيانات وتحويلها إلى قاعدة بيانات كبيرة يســـتطيع من خلالها تحسين تطبيق الـ BIM في المشاريع الجديدة وتحسين عمليات الهندسة الإنشائية والمعمارية AEC.

كما يقوم الذكاء الاصطناعي بالعمليات التالية:

1- منع تجاوز الكلفة في مشاريع التشييد:

وذلك بالاعتماد على شبكة عصبية اصطناعية Artificial Neural Networks تعتمد على [50]:

- حجم المشاريع.
- نوع العقود المستخدمة.
- مستوى كفاءة مدراء المشروع والقائمين عليه.
- بيانات المشاريع السابقة كوقت البداية الفعلية للمشروع ووقت التسليم الفعلي.
- وتساعد أيضاً في تدريب العاملين عن طريق النماذج والمشاريع السابقة.

2- اقتراح تصاميم مختلفة للمباني لاختيار التصميم الأمثل:

من الخصـائص الرئيسـية لنظام نمذجة معلومات البناء هو كشـف التعارضـات بين الأنظمة المختلفة الانشائي والمعماري والميكانيكي الـ MEP بالاعتماد على برامج مثل Synchro، Navisworks والتي تعتمد على الذكاء الاصطناعي.

يقوم الذكاء الاصطناعي بتوليد تصاميم وتحديد التصادمات بين النماذج المختلفة من الفرق المتعددة للمشروع مما يمنع إعادة الأعمال نتيجة الأخطاء التصميمية أو أخطاء التصميم.

حيث يقوم المصممين بوضع المتطلبات اللازمة، ويقوم الذكاء الاصطناعي باقتراح نماذج ثلاثية الأبعاد 3D مطابقة للمتطلبات ويقوم بتكرار العملية حتى الوصول إلى النموذج الأكثر ملائمةً للمستخدمين [51].

3- التخفيض من المخاطر:

تأتي المخاطر بأوجه مختلفة مثل مخاطر عدم تحقيق الجودة المطلوبة، مخاطر السلامة، عدم الالتزام بالزمن المحدد للنشاطات الحرجة، ومخاطر الزيادة بالتكاليف. وكلما زاد حجم المشروع، كلما زادت المخاطر التي يجب تجنبها.

يوجد حلول تعتمد على الذكاء الاصطناعي وتعلم الألة التي تقوم بالتحكم والتنبؤ بالمخاطر في موقع العمل. مما يتيح توفير المصادر المحدودة للمشروع مثل الوقت والموارد للتركيز على المخاطر الأكبر والأكثر ضرورة للتعامل معها.

4- التخطيط للمشاريع:

باستخدام الروبوتات ذاتية التحكم التي تقوم بتزويد مشاهد ثلاثية الابعاد لموقع العمل بالوقت الفعلي، واستخدام هذه المشاهد والبيانات في شبكات عصبية عميقة تقوم بتقييم وتصنيف الأعمال وإاعطاء الأولويات بناءً على متطلبات المستخدم، ويستطيع فريق العمل التعامل مع المشاكل التي تواجهة في بدايتها قبل أن تتفاقم وتصبح مشاكل ضخمة [52].

وهو يعتمد أيضـاً على التعلم المعزز للذكاء الاصـطناعي، حيث تسـاعد هذه التقنيات الخوارزميات بالتعلم بناءً على الأخطاء والتجارب وتســـاعد في غيجاد البدائل والحلول بناءً على معطيات من مشـــاريع مشابهة تساعد في إدارة المشاريع عبر إيجاد الحلول الأنسب وتصويب هذه الحلول لتلائم المشروع.

5- استخدام الذكاء الاصطناعي في جعل مواقع العمل أكثر انتاجية:

تقوم شركات مثل Trimble اليات هندسية ذاتية القيادة قادرة على القيام بمهام تتطلب دقة أكثر، مثل أعمال الحفر والتسـوية باسـتخدام البلدوزرات مثلاً، أو أعمال صـب الخرسـانة، البناء، عمليات اللحام، الهدم وغيرها. مما يساهم في تحسين جودة الأعمال وتوفير الوقت.

كما يســتطيع مدراء المشــاريع تتبع أعمالهم بالزمن الفعلي، باســتخدام تقنيات التعرف على الوجوه والكاميرات والدرونات في الموقع. وتطوير طرق حسابية متقدمة تساعد في حل المشكلات بما يخص الميزانية والقيود [53].

6- الذكاء الاصطناعي لضمان السلامة في مواقع البناء:

يعتبر العامل البشـري من العناصـر المهمة في مشـاريع التشـييد. حيث قامت شـركات مثل Boston لنتكنولوجيا البناء بايجاد خوارزمية تحلل الصـور من مواقع العمل وتقوم بالبحث عن أية عوامل خطورة وتهديد للعاملين والموقع مثل «عاملين لا يرتدون بدلات الأمان الخاصة بموقع العمل» وربط هذه الصور مع سجلات الحوادث. اسـتطاعت الشـركة الاسـتفادة من هذه الخوارزمية من خلال إعطاء التوجيهات والتصـويبات عند رصد مستوى مخاطر مرتفع بناءً على المشاريع السابقة.

7- الذكاء الاصطناعي سيحسن من الاستفادة من العمالة:

دفع نقص العمالة ورغبة الشركات في تحسين ورفع الانتاجيات الشركات إلى استخدام تطبيقات الذكاء الاصـــطناعي من خلال تحليل هذه البيانات التي ترد من المشـــاريع في الوقت الفعلي والتخطيط للاســـتفادة القصوى من الطاقة الفعلية لطواقم العمل.

ويســـاعد التحليل الفعلي لبيانات المشـــروع في تحديد أي المشـــاريع يحتوي على عمالة كافية لإنجاز المشـروع في الوقت المحدد والالتزام بالجدول الزمني وأي المشـاريع يحتاج إلى تدعيم الطواقم الموجودة بداخله [54].

وإحدى طرق مراقبة التقدم بالمشـــروع باســـتخدام روبوت يدعى Spot the Dog يقوم بفحص موقع العمل بعد انتهاء الأعمال بشكل يومي وقياس مستوى التقدم ويسمح للمشغلين بمعرفة الواقع الفعلي للمشروع وخاصّةً في مناطق نقص العمالة.

8- التصنيع خارج الموقع (العناصر مسبقة الصنع):

تعتمد الشـــركات على معامل مســـبق الصـــنع خارج الموقع بشـــكل متزايد وتعتمد هذه المعامل على المعدات والأدوات ذاتية التحكم التي تقوم بتصـنيع عناصـر المنشـآت، ثم يقوم العمال في الموقع بتجميع هذه العناصـر وتركيبها. حيث يعتبر تجهيز الجدران مسبقة الصـنع بالاعتماد على الآلات أكثر جدوى وجودة من العناصـر البشـرية، بينما يترك للعناصـر البشـرية تركيب التجهيزات الكهربائية والميكانيكية ليتم الوصـول إلى المنتج النهائي.

9- الذكاء الاصطناعي والبيانات الكبيرة من قطاع البناء والتشييد:

نتيجةً لاستخدام نطام نمذجة معلومات البناء BIM، أصبحت بيانات المشاريع أكثر تنظيماً وأكثر قابلية لإدارتها واستخدامها في خوارزميات الذكاء الاصطناعي والاستفادة منها في التنبؤ بالنماذج المطلوبة لإدارة المشاريع مثل إدارة الزمن والكلفة وإدارة مواقع العمل [55].

حيث يعتبر كل موقع مصدر تزويد بالبيانات لخوارزميات الذكاء الاصطناعي، مثل التصوير باستخدام الكميرات أو تسجيلات الفيديو بواسطة الدرونات، مستشعرات الأمان والحماية في الموقع وبشكل رئيسي نظام نمذجة معلومات البناء BIM.

10- الذكاء الاصطناعي وإدارة المرافق والعمليات ما بعد التشييد:

يستطيع مستخدمي المنشآت بالاعتماد على تقنيات الـ BIM والـ AI من مراقبة المنشآت والتحكم بها وجمع المعلومات في مرحلة الاستخدام والتشغيل من خلال الدرونات والمستشعرات وأي أدوات أخرى للمراقبة وجمع البيانات.

ثم تقوم بتحليل هذه البيانات المجمعة من مرحلة التشغيل والصيانة كما في الجسور والطرقات والأبنية الأخرى ومراقبة المشاكل والصعوبات التي تواجهة هذه المنشآت لتحديد الطرق الأكثر نفعاً أو توجيه النشاط البشري إلى الطرق الأكثر سلامةً لاستخدام هذه المنشآت [56].

11- التحسين والأمثلة وتقليل الهدر من الموارد:

يوجد كميات كبيرة من المواد المهدورة التي يتم زيادتها كل عام إضافةً إلى النفايات ونواتج عمليات البناء.

وتعتبر عمليات البناء ذات آثار سلبية على الموارد البيئية والطبيعية والبشرية على مستوى العالم. حيث لوحظ وجود تغييرات نموذجية في إدارة الهدر والنواتج عن عمليات البناء بالاعتماد على التقنيات الحديثة.

تتضمن هذه الحلول الانتقال من إيجاد حلول واتخاذ التدابير بعد حدوثها، إلى اتباع أساليب تسبق حدوث الهدر بالاعتماد على تحليل نتائج الهدر من المشاريع السابقة والتي تضمن تقليل الهدر من مرحلة التصميم، والاعتماد على نظام نمذجة معلومات البناء كبيئة افتراضية تساعد في تقليل التكلفة للتمكن من تصميم البناء بأقل كمية من الهدر الممكن، وتسليط الضوء على الفرص الممكنة بالاعتماد على تحليل البيانات المقدمة لتقليل قيم الهدر بالقدر الممكن وجعلها ضمن حدودها الدنيا.

تعتمد عمليات تحليل البيانات على بيانات ناتجة عن مشاريع سابقة، وتصميم البناء نفسه وكذلك خصائص المواد ونوعها واستراتيجيات التنفيذ والبناء. والتي تسمح بعمليات معالجة عالية الأداء ومعالجة المشكلات في الوقت الفعلي لحدوثها [57].

ولكن هذه الكميات الكبيرة من البيانات تتطلب تقنيات متقدمة لتحليل البيانات وتحويلها إلى معلومات ذات صلة لتقليل الهدر. مما يتطلب الاعتماد على الذكاء الاصطناعي AI مع الـــ BIM لتحسين تصميم البناء، واختيار المواد، وإعادة الاستخدام، وطريقة تجزئة وتقسيم الأعمال، والمرونة المتاحة أثناء التفيذ للتحكم بالتعديلات.

12- الخدمات المستندة على القيمة:

توجد مجموعة واسعة من الخدمات غير الأساسية والتي يمكن الاستفادة منها بالاعتماد على الاتجاه الجديد للذكاء الاصطناعي في صناعة البناء.

13- التقديرات والجدولة الزمنية:

تتمتع نماذج التقديرات وعملييات التنبؤ، القائمة على الذكاء الاصـطناعي بإمكانية تطبيق متنوعة في مجالات البناء. وعلى وجه الخصـــوص، تعد نماذج التقدير هذه مفيدة في التنبؤ المبكر بتكلفة البناء ومدة تنفيذه، وهي عوامل رئيسية لنجاح المشروع قد تكون تقديرات الوقت والكلفة غير الدقيقة آثار اقتصادية ومالية ضخمة. حيث تعتبر نمذجة معلومات البناء هي أحدث ما توصلت إليه صناعة البناء والتشييد، والتي تستخدم لزيادة دقة تقديرات الكلفة والوقت في صـناعة البناء. أي تكامل الجدولة الزمنية والتي تعتبر البعد الرابع لنظام نمذجة معلومات البناء مع النماذج ثلاثية الأبعاد للمبنى، وكذلك تكامل الكلفة أو البعد الخامس لنظام نمذجة معلومات البناء BIM. ويساعد تكامل التكلفة مع نظام نمذجة معلومات البناء في التخطيط بشكل أفضل من مرحلة التصميم المبكرة للمشروع وتقدير الكلفة مبكراً [58].

مع ذلك وعلى الرغم من الفوائد الهائلة لنماذج معلومات البناء، فقد أظهرت بعض المؤشـرات أن ميزة الأتمتة والجدولة الذاتية التي سـاهم بها تقنية الـــــ BIM تمثّل فقط المعلومات الموجودة في النماذج وتتجاهل العوامل الخارجية والمواد والموارد الإضافية التي قد يحتاجها العمل.

وبالتالي فان تطبيق تقنيات الـــــ BIM لتقدير الكلفة والوقت لا يزال يتطلب الكثير من العمل لتقدير الكلفة. مما يتطلب تكامل تطبيقات الذكاء الاصطناعي المتقدمة مثل التعلم العميق مع نمذجة معلومات البناء

للتنبؤ بالتكلفة والوقت ولتحقيق دقة أفضل. وبالتالي يمكن لتقنيات التعلم العميق أن تساعد أيضاً في التنبؤ بشكل أفضل في العوامل الأخرى ذات الصلة مثل عدم توفر التمويل المالي والإفلاس، وتقليل انبعاثات الكربون وحتى الهدر.

14- تحليل ومراقبة مواقع البناء:

تتحول مواقع البناء بشكل متسارع إلى بيئات عمل ذكية بسبب الانتشار المتزايد لأجهزة الاستشعار المرتبطة بالانترنت وانترنت الأشياء والتقنيات الرقمية الأخرى. وهي معنية بتوليد وتجميع وتخزين البيانات من مواقع البناء وتحليلها، لإيجاد تصور ورؤية أكثر دقة لمواقع العمل ولسير الأعمال.

يتم إنشاء كمية كبيرة من الصور ومقاطع الفيديو وغيرها من التمثيلات الرقمية لمواقع البناء مثل تقارير الواقع الفعلي، والتقارير التي تقوم بتقديمها المعدات ذاتية التحكم، وكذلك مراقبة الموقع التي كانت غالبا غير منتظمة.

يمكن تجميع البيانات باستخدام الـ BIM وتحليلها باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي الـ AI المتقدمة لتحسين اداء الموقع في جميع المجالات الرئيسية مثل التخطيط والتصميم والسلامة والجودة والجدولة الزمنية والكلفة [59].

يوجد بعض المحاولات لتقديم وتطبيق تحليلات تنبؤية للتحكم الاستباقي في المشاريع ومواقع البناء. ويعتمد على استخدام البيانات الضخمة والـ BIM لنمذجة تحليلات أداء البناء. وتوصف عملية رقمنة التخطيط في مواقع البناء بأنها تعتمد على تطبيق فحص النماذج القائمة على قواعد التصميم. وهناك حاجة لتطوير أداة شاملة لتحليل الموقع باستخدام الذكاء الاصطناعي من أجل تحليل الواقع الفعلي والتي يتم

تشـــغيلها بالاعتماد على البيانات الســـحابية والتي يتم انشـــاؤها بالاعتماد على بيانات الموقع مما يؤدي إلى تحســين الإنتاجية ومراقبة الجودة والمســاعدة في تحقيق أهداف الأداء المحددة. ويمكن أيضــاً الاعتماد على بوتات الذكاء الاصـطناعي لتكون مسـاعد رقمي لمدير المشـروع يسـاعد في ترتيب المهام وتحديد الأولويات [60].

15- خلق فرص العمل:

تعد وظائف البناء ثالث أعلى الوظائف المعرضـــة لتهديدات تقليص الوظائف بســـبب الاعتماد على التكنولوجيا الحديثة والذكاء الاصـــــطناعي. تتعرض معظم وظائف البناء التي تتطلب تعليم متوســـــط إلى منخفض لخطر كبير باســـــتبدالها بالتقنيات ذاتية الحركة، ومع ذلك فان اعتماد مثل هذه التقنيات يمكن أن يؤدي إلى إنشاء أعمال وأدوار جديدة تماماً لاستيعاب وإعادة تأهيل العمال.

أدى اتباع نظام نمذجة معلومات البناء إلى إنشاء أدوار جديدة مثل مدير الـــ BIM ومنسق الأعمال، والمشرف، والمصمم. واعتماد تقنيات الرقمنة مثل الذكاء الاصطناعي في صناعة البناء سيتطلب مهام جديدة مثل باحثي الذكاء الاصطناعي، والمهندسيين والمدربيين [61].

حيث سـيكون الباحثيين مسـؤليين عن تسـهيل اعتماد صـناعة البناء لتقنيات الذكاء الاصـطناعي من خلال إجراء البحوث باســـتمرار والعمل على الابتكار في هذا المجال. بينما مهندســـي الذكاء الاصـــطناعي سيركزون على بناء وتطوير ونشر أحدث حلول الذكاء الاصطناعي المناسبة لصناعة البناء، وسيكون هناك حاجة إلى مدربيين ومختبريين لضـــمان أن تنفذ هذه الحلول مثل الروبوتات والآليات ذاتية القيادة، المهام الموكلة إليها بفعالية وكفاءة. حيث يمكن الاعتماد على العمال ذوي المهارة المنخفضـــة بتنفيذ مهام التدريب والمراقبة.

16- نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي مع أدوات الثورة الصناعية الرابعة:

تعتبر نمذجة معلومات البناء هي الحالة الراهنة والمعتمدة لصـناعة البناء والتشـييد، والتي يتم تبنيها بشـكل عالمي متزايد، حيث قامت المملكة المتحدة مثلاً بجعل المسـتوى الثاني لنظام نمذجة معلومات البناء هو مستوى إلزامي لكل المشاريع الحكومية والكبيرة.

ومع ذلك وعلى الرغم من محاولة جعل قطاع البناء يتبنى نظام نمذجة معلومات البناء إلّا أن انتشاره عالمياً لا يزال محدوداً. وبالتالي يجب إجراء البحوث ذات الصلة حول طرق تحسين اعتماد الـ BIM، فقد جمعت بعض الدراسات بين تطبيقات الـ BIM مع مجالات الذكاء الاصطناعي مثل البرمجة اللغوية الطبيعية NLP لتحسين التنقل بين واجهات الـ BIM حيث تعتمد طبيعة ممارسة البناء إلى حد كبير على التواصل اللفظي والرمزي لتبادل الخبرات والمعلومات [62].

إن دمج التفاعل الصوتي مع نظام الـ BIM سيجعله أكثر قرباً من مستخدمي الـ BIM وتعد الثورة الصـناعية الرابعة وانترنت الأشـياء والواقع المعزز والواقع الافتراضـي والحوسـبة الكمومية من المجالات التي تتوافق مع نظام نمذجة معلومات البناء الـ BIM.

17- إدارة سلاسل الإمداد Supply Chain Management SCM:

يوجد بعض العوامل التي تؤثر على سـلاسـل الإمداد مثل المعرفة بسـلاسـل الإمداد والتزويد، وثقافة سـلاسـل الإمداد. وتتمثل العوائق الرئيسـية التي تم العثور عليها فجوة بين المسـتويات العليا للإدراة وعمليات التوريد التي تتطلبها وبين الفهم لهذه المتطلبات. وكذلك الكلفة المرتفعة لتبني النظم المعلوماتية في إدارة سـلاسـل الامداد وعمليات تأمين متطلبات سـير أعمال المشـاريع وعدم توفر أطر قياس الأداء المتفردة

والإقليمية المحددة. وكذلك نقص الثقة بين الإدارة والمزودين وضـــعف قنوات الاتصـــال الفعالة بين أطراف المشروع.

تلعب تقنيات الذكاء الاصطناعي دوراً فعالاً في حل هذه المشكلات التي تعيق أداء سلاسل الإمداد. وتم تطوير نظم مراقبة المخاطر في الوقت الفعلي القائم على انترنت الأشـياء للتحكّم في جودة المنتج وتجنب مخاطر السـلامة المهنية في سـلاسـل الإمداد باسـتخدام شـبكة من المسـتشـعرات اللاسـليكلية وخدمات قاعدة البيانات الســـحابية والاعتماد على المنهج الضـــبابي. ويعتبر التعاون والتنســـيق بالوقت الفعلي هو أولوية للشـركات الضـخمة لحل المشـاكل التي قد تواجهها بشـكل أكثر فعالية. مما يتطلب تحسـين وتطوير عمليات ذات لغة وقواعد مشـتركة يمكن فهمها من قبل كل الأطراف المعنية لتحسـين التواصـل في سـلاسـل الأمداد للمشاريع ومواقع البناء. وتعتمد على تطوير نظام لامركزي لإدارة المعرفة في سلاسل الإمداد [63].

وتعتبر مزايا BlockChain ذات فعالية كبيرة في إدارة ســلاســل الإمداد لضــمان شــفافية وشــرعية للتعاملات، إضـافةً إلى التحليلات المتقدمة التي يدعمها الذكاء الاصـطناعي، ولديها القدرة على حل المشـاكل التي تتعلق بالثقة وتنظيم التواصل في سلاسل الإمداد لأمال الإنشاء والبناء.

يمكن اسـتخدام الذكاء الاصـطناعي لإدارة عمليات سـلاسـل الامداد بأكملها لاكتشـاف المشـكلات المحتملة وضـمان تسـليم المشـاريع في الوقت المناسـب وبجودة عالية. وايضـا اسـتخدام البوتات والمسـاعدات الرقمية التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي.

18- تحليلات السلامة المهنية والأمن المهني:

تستخدم تقنيات تحليل الصحة والسلامة المهنية البيانات المقدمة للتنبؤ بالحوادث المهنية في مكان العمل والوقاية منه. حيث يعتبر مجال البناء من أكثر المجالات التي تسجل معدّل إصابات ووفيات مهنية عالية لأن أعمال البناء محفوفة بالمخاطر للغاية مثل العمل من المرتفعات والوقوع في حفر التأسيس للمنشآت. وكذلك تساقط المعدات والأدوات والتجهيزات التي لا تحقق السلامة المهنية إضافةً إلى الغبار والمواد السامة وفقدان السمع بسبب الضوضاء، والتي تؤدي إلى مشاكل صحية طويلة الأمد أو تسبب إعاقة أو حتى وفاة العمال. بالنسبة للشركات يسبب ذلك فقدان في السمعة، وتأخر في التنفيذ، وانخفاض الإنتاجية وزيادة في أقساط التأمين وكذلك الدعاوى القضائية. مما يتطلب اتباع نهج استباقي باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في مجال السلامة المهنية بالاعتماد على نماذج معدة مسبقاً باستخدام نظام نذجة معلومات البناء BIM لتعريف المخاطر والتنبؤ بها قبل وقوعها. بالاعتماد على المستشعرات ونماذج BIM يتم تحسين وتطوير سلامة موقع البناء [64]. وكذلك استخدام التجهيزات والتقنيات القابلة للارتداء للتحكم وتحسين السلامة المهنية. يمكن الاستدلال على ان البيانات من تقنيات رقمية مختلفة مثل مستشعرات انترنت الأشياء والدرونات والأجهزة والمعدات القابلة للارتداء التي تستخدم في مراحل مختلفة باستخدام BIM لمنع المخاطر وتجاوزها. مما يستدعي تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي المتقدمة مثل التعلم العميق DL للاستفادة من هذه البيانات لإدارة السلامة المهنية.

تعتبر الأسباب التالية هي أكثر الأسباب الممكنة لحدوث الحوادث في مواقع العمل [65]:

- تصرفات العمال.
- إدارة المخاطر.

- إمكانيات استخدام المعدات والمواد.
- المخاطر المحلية.
- إمكانيات وخبرات العمال.
- إدارة المشروع.

كل هذه المعوقات يمكن حلها باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي مثل الروبوتات، والواقع المعزز، والتحليل المتقدم للبيانات وتقنيات الأمثلة والتحسين وخاصة عند التعاون مع التقنيات التكنولوجية الأخرى.

كذلك إدارة الصحة والسلامة ستستفيد من نظام أكثر شمولية يدمج المراقبة والتصوير المباشر لمواقع العمل، وإعطاء التنبيهات بالمخاطر المحتمل حدوثها لاتخاذ الإجراءات الملائمة.

19- الاعتماد على الذكاء الاصطناعي في عقود التشييد:

تتخذ عقود البناء أشكالاً مختلفة وتتصف بالتعقيد أحياناً، وتتضمن عقوداً ضخمة ومتعددة ويكون للأخطاء فيها آثار كبيرة. تشمل بعض هذه الآثار التكاليف الزائدة مثل تكاليف التقاضي، ومطالبات تأخير المشروع. وتعتمد هذه العمليات بشكل كبير على البشر مثل مديري العقود، الفريق القانوني وغيرها مما يجعل هذه العقود أكثرعرضةً للأخطاء ويتطلب جعل هذه العقود تجهز بشكل آلي بالاعتماد على الذكاء الاصطناعي، مما يحسن من جهود مديري العقود والفرق القانونية، ويجعل العمليات أسرع وأكثر دقة، ويسمح بسهولة الاستعلام عن العقود للوصول إلى البيانات المطلوبة وتقديم ملخصات عن هذه العقود تتصف بالدقة والوضوح، وصياغة هذه العقود، وتحديد البنود المعرضة للنزاع، ويسمح بالتفاوض بشأن العقود، وتنفيذ الالتزامات وعمليات الإنهاء والاغلاق، وحل النزاعات [66].

يعتبر احد التحديات الرئيسية التي تواجه تطوير وتحسين العقود بالاعتماد على الذكاء الاصطناعي هو تنفيذ ملخص للنص وهوعملية هامة جدا لاســـترداد معلومات موجزة ذات أهمية عالية، كونها تحتاج إلى تدريب خاص لخوارزميات الذكاء الاصـــطناعي، والتحدي الثاني هو قدرة الحاســـوب على قراءة النصـــوص وفهمها وصياغة اسئلة منها وايجاد اجابات لها.

20- واجهات المستخدم الصوتية:

تتطلب طبيعة أعمال البناء وخصوصيتها ومتطلباتها لوجود عمالة يدوية مهرة وجود مساعدات رقمية تستجيب للأوامر الصوتية وتقوم بالتفاعل مع هذه الأوامر "Voice user Interfaces" لتكون بديلاً لأنماط الاتصال الحالية مع مواقع البناء، فغالباً ما يتعين على العالمين في مجال البناء مثل المهندسيين والمصممين التعامل مع تطبيقات نظام نمذجة معلومات البناء بالشكل التقليدي «الكتابة» مما قد ينتج عنه بعض المخاطر الناتجة عن عدم الانتباه في مواقع العمل، مما يتطلب إيجاد وســـائل أخرى للتواصـــل مع هذه البرامج مثل استخدام الأوامر الصوتية والمساعدات الرقمية مثل كورتانا وسيري وغيرها [67].

لم يتم تحسين هذا المجال في قطاع البناء بشكل ملائم لكون مواقع البناء تتصف بكونها صاخبة مما يسبب نوعاً من التشويش على الأوامر الصوتية، وكذلك تنوع المتحدثين، والتحسينات التي يجب إجراؤها على الأصـــوات لتصـــبح مفهومة، وكذلك الغموض وكمية البيانات الأمر الذي يتطلب تحســـين الخوارزميات التي تشكل قواعد البيانات لهذه العمليات وتزويدها بالأوامر الصوتية المتوقعة من أماكن العمل.

21- استخدام الذكاء الاصطناعي لتطوير نظام تدقيق للتدفقات النقدية في المشروع:

على الرغم من المخرجات المالية الضخمة التي حققتها صناعة البناء. لايزال معدل إفلاس الشركات الإنشائية كبير نسبياً. ويعود هذا الموضوع إلى كون الشركات تجد صعوبة في إدارة الموارد المالية بسبب تفرد المشاريع وطول مدتها الزمنية وهو أمر بالغ الأهمية لنجاح المشاريع.

غالباً ما تقوم الشركات الانشائية بتنفيذ عدة مشاريع في وقت واحد مما يتطلب حركة للعمال والإداريين والمعدات والأدوات فيما بينها، مع هوامش ربح ضئيلة بسبب الطبيعة التنافسية لمشاريع التشييد، والتكاليف والنفقات العامة والإدارية التي لا يتم حسابها بشكل صحيح. لذا من الضروري متابعة المشاريع والتكاليف بشكل فعال. لا ينبغي أن يكون التركيز على تقديم عمل جيد فحسب، بل على الإدارة الاستباقية للموارد المالية [68].

لايوجد حتى الآن أداة فعالة للتدقيق المالي لتتبع تكاليف المشروع بفعالية والتنبؤ بالمشاكل المالية المحتملة قبل ظهورها. ولكن يمكن للمدراء الماليين الاستجابة بشكل استباقي عندما يكون هناك زيادة أو نقص في الإنفاق، وقياس تأثيره على المشاريع الأخرى والعمل بأكمله في الوقت الحقيقي. مما يؤدي إلى توجيه أطراف المشروع نحو مكامن الخطر المحتملة، وإنقاذ الشركات.

استخدام الأنظمة ذاتية التحكم لإدارة المشاريع:

تتبع أنظمة التحكم الذاتي أكواد برمجية مجهزة للتعامل مع المواقف المحتملة وبالاعتماد على الذكاء الاصـــطناعي أصـــبحت هذه الأنظمة أكثر قدرة للتعامل مع المواقف المختلفة التي تواجه بطريقة أكثر فعالية حيث أصـــبحت الأنظمة ذاتية التحكم قادرة من خلال المســـاعد الرقمي على ترتيب المهام والجدولة والمهام المتعددة التي تواجه مدراء الـــــ BIM في الأعمال اليومية خلال دورة حياة المشـروع، مثلاً التحكم بالميزانية والتقارير الدورية لها فأي تكاليف سُـــتضـــاف تلقائياً إلى ميزانية المشـــروع ويتم تجهيز تقارير واقع حالي في الزمن الفعلي لدورة حياة المشروع [69].

ستلعب الجدولة الزمنية الآلية أيضاً دوراً رئيسياً في تحسين إدارة المشاريع وجعلها أكثر دقة وسلاسة وذلك عن طريق التتبع الآلي لســـير الأعمال باســـتخدام الروبوتات وأنظمة الحاســـوب والدرونات والكاميرات الرقمية لمتابعة الواقع الفعلي لموقع العمل بشـكل مباشـر ومسـتمر، وتنبيه مدير المشـروع إلى أي تغيير في سير الأعمال أو في الميزانية بالمقارنة مع السيناريو الرئيسي المتوقع للمشروع.

في الواقع هذا التطور سـيخلق آمال عالية بتجنب التأخيرات في تنفيذ المشـروع وفي إنتاجيات العمال وهو أمر لا يمكن التحكم به بشكل كامل.

ومن الأمثلة المطبقة حالياً عن التحكم بالجدولة الزمنية هو التفاعل بين برنامج Microsoft office Project online مع برنامج Wundelist for task creation and Scheduling. الذي يفيد في وضـع برامج زمنيـة ذات معلومـات أكثر دقـة وجودة وكفـاءة، وإعطـاء وقت لمدير المشـــروع للتركيز على المهـام والعمليات الأكثر تعقيداً [70].

ويعتبر المساعد الرقمي أيضاً من العناصر التي تساعد الأنظمة ذاتية التحكم بتطوير وتحسين الأعمال. حيث يعتبر المساعد الرقمي المدعوم من قبل الذكاء الاصطناعي الخطوة المتطورة في إدارة المشاريع. حيث يقوم بالتفاعل مع مدير المشروع ويعتبر صلة وصل بين الإنسان والآلة بالاعتماد على تقنيات تمييز الأصوات والكتابة. وسيتولى مهام مثل:

- تنظيم الاجتماعات.
- المقارنة بين المخطط والمنفذ «مقارنة واقع فعلي».
- التذكير بالمهام الواجب تنفيذها تبعاً للجدول الزمني للمشروع.

الاعتماد على تعلّم الآلة ML في إدارة المشاريع:

يساعد تعلم الآلة في التحليل المنتج والفعال لأعمال المشروع وتقديم النصائح لمدير المشروع عن مخاطر المرحلة التالية من المشروع من خلال دراسة المخاطر لمشاريع سابقة والمخاطر التي حدثت في المرحلة السابقة وما قد يواجه مدير المشروع في المرحلة التالية والآلية الأنسب لتجنبها أو التعامل معها.

في المستقبل القريب قد يستطيع الذكاء الاصطناعي تحويل المخططات الذهنية ونتائج العصف الذهني إلى مشاريع فعلية بشكل تلقائي من خلال اقتراح الجداول الزمنية والكلفة وعناصر المشروع اللازمة والعلاقات بينهم بشكل كامل بالاعتماد على الذكاء الاصطناعي. ويمكن أن يعطي الدروس المستفادة والخبرات المكتسبة من المشاريع المنفذة مسبقاً، واعطاء اقتراحات عن الإمكانيات المتعددة للجدولة الزمنية وسناريوهات تجنب المخاطر المختلفة. حيث تعطي المخططات الزمنية المسارات الحرجة بشكل أكثر دقة بالاعتماد على "Near-Real-Time" الوقت الأكثر واقعية للمهام المنفذة من مشاريع سابقة.

ويمكن أن يقوم الذكاء الاصـــطناعي بإعطاء تنبيهات عن المخاطر المحتملة والفرص المتاحة باستخدام "Real Time Project data Analysis" تحليل البيانات للمشروع بوقت حدوثها [71].

سيخدم تعلم الآلة في التنبؤ بما قد يحمله المستقبل للمشروع، وسيعطي جودة أعلى باتخاذ القرار، كما سيربط بشكل أكثر فعالية بين البيانات والإمكانيات المتاحة واستخدامها بالشكل الذي سيحقق استفادة قصوى في إدارة المشروع، والتنبؤ بالمخاطر المحتملة والفرص الممكنة قبل حدوثها واستغلالها أو تجنبها. وقد يتمكن من اتخاذ القرارات بذاته (إدارة المشاريع الذاتية).

الإدارة الذاتية للمشـــاريع بالاعتماد على الذكاء الاصـــطناعي Artificial Intelligence:

ستحتاج الإدارة الذاتية للمشاريع إلى بيانات محدودة والقليل من التدخل والإشراف البشري بالإضافة لذلك ستحتاج إلى الإدراك التام والتحكم بشكل كامل في بيئة المشروع وجميع الإطراف المشاركة.

يحتاج هذا النظام من الذكاء الاصـطناعي إلى خوارزمية الإدراك والتحليل العاطفي "الذكاء العاطفي" "Sentimental analysis Algorithms" ليستطيع التفاعل مع أطراف المشروع وفهم متطلباتهم وتحقيق رضـــاهم والالتزام في كل مراحل المشـــروع. ولايوجد حتى اليوم مثال واقعي عن تطبيق الذكاء الاصـــطناعي بشكل كامل ومستقل في التحكم بالمشروع. سيخلق الذكاء الاصطناعي الإمكانية لاتمتة العمليات واستخدام الأدوات الذكية التي تقلل الجهد البشري، ولكن يحتاج إلى مستوى متقدم من إدارة المشاريع [72].

إحدى المعوقات الســـابقة لتطبيق هذه التقنيات هي عدم وجود نظام يســـمح بتجميع البيانات وتزويد التطبيقات بها، ولكن ومع استخدام تقنيات الـ BIM سيكون هناك قاعدة كبيرة من البيانات والعناصر والكائنات

التي يستطيع نظام BIM تزويدها لخوارزميات الذكاء الاصطناعي واستخدامها في إدارة المشاريع بشكل أكثر كفاءة وأقرب إلى الواقعية، وأقل من ناحية المخاطر وأكثر انضباطاً في البرامج الزمنية الفعالة وأكثر ضبطاً للتكاليف وقلة الضياعات في الجهد والزمن والكلفة.

وتعتبر مشاريع التشييد أكثر تعقيداً من خطوط إنتاج السيارات مثلاً مما يتطلب جهود أكبر من أطراف المشروع وتعاوناً كبيراً ومهارات في تقنيات إدارة المشاريع، الإدارة الاستراتيجية، وإدارة الاعمال والقيادة Leadership.

استخدام الذكاء الاصطناعي في مصانع العناصر مسبقة الصنع:

تتضمن مصانع مسبق الصنع تقنيات متنوعة لإنتاج مكونات الأبنية خارج الموقع «البناء المسبق» بأسلوب ذاتي التحكم. وكان الهدف الرئيسي لهذا الأسلوب هو تحسين جودة الأبنية والاستفادة من الآلات والروبوتات، والتي قامت بنقلة نوعية لعناصر الأبنية ولمواد البناء مثل: عناصر البيتون مسبق الصنع، الجوائز المعدنية، عناصر الهياكل الخشبية، الجدران والأسقف والأسطح.

هناك عناصر مسبقة الصنع ذات أشكال وحجوم أكبر تدعى Large Scale prefabrication "LSP" والتي تتضمن جميع مكونات البناء على مستوى أعلى من التفاصيل مثل كامل طبقات الإكساء والأبنية الجاهزة للاستخدام. وتضم أيضاً تقنية الطباعة ثلاثية الابعاد 3D Printing ويعتبر التحدي الرئيسي أمام استخدام الطباعة الثلاثية الأبعاد هي اختيار المواد الأكثر ملائمةً وجودةً لاستخدامها في التنفيذ وفهم مقاومة المواد المستخدمة وفعاليتها في مواقع البناء [73].

استخدام الذكاء الاصطناعي في مواقع البناء «الأنظمة الروبوتية ذاتية التحكم»:

يتضـمن هذا التصـنيف الأنظمة الروبوتية ذاتية التحكّم التي تسـتخدم بشـكل مباشـر في مواقع البناء لإنشـــاء الأبنية مثل "Single task Construction Robots "STCRs وتعد هذه الروبوتات قادرة على القيام بمهمات فردية تسند إليها وبشكل متكرر ومن الأمثلة على هذه الروبوتات الأذرع الروبوتية في المصانع. وتنقل باسـتخدام منصـات متحركة وتسـتخدم لإنجاز مهام بسـيطة (دهان الأسـطح والجدران، بناء وتركيب البلوك، أعمال الطينة) وتعتبر تقنيات هامة لأنها تساعد في إنجاز المهام الإنشائية بشكل وإنتاجية أفضل.

وتعتبر ميزات اســـتخدام هذه التقنيات هي عدم اللجوء إلى المبالغة في إجراءات الســـلامة والوقاية خاصـة في الأماكن التي يصـعب على العنصـر البشري القيام بأدائها. ومن الصـعوبات التي تواجه الروبوتات هي سير أعمالها بالتوازي مع العنصر البشري بالإضافة إلى التعاون مع الكادر المنفذ.

والهدف الرئيسـي الذي يسـعى لتحقيقه أصـحاب المعامل هو خلق بيئة يتم التحكم بها داخل المصـنع مما يســاعد في تنفيذ الأعمال باســتخدام الروبوتات ذات المهام الفردية، وبشــكل أكثر دقة وكفاءة، وتطبيق النظام الحاسوبي الشبكي للتحكم بالروبوتات [74].

الدرونات والعربات ذاتية القيادة والتحكم:

وهي تتضــمن العربات «المركبات التقليدية» البحرية والجوية والأرضــية التي يتم التحكم بها عن بعد والعربات ذاتية القيادة وتسـتخدم لمهام عديدة ومتنوعة كالدخول إلى البيئات الصـعبة أو الخطيرة على البشـر، أو اخراج العناصر البشرية التي تعرضت لإصابات في بيئات خطيرة وأصبح من الصعب إسعافها، وتستخدم بالأعمال المساحية والتحكم بالعمليات والمهام، وأعمال الحفر والتسوية البلية، وأعمال الهدم ونقل المواد.

كما تستخدم الطائرات ذاتية التحكم "الدرونات" لاستخراج العينات من البيئات القاسية لدراستها. مثل إستخدام الدرونات للفحص البصري للجسور التي يصعب الوصول اليها والتفتيش الدوري عن المخاطر والحالة الواقعية لهذه الجسور لضمان سلامتها. وتستخدم العربات ذاتية الحركة أيضاً لتسجيل سير الأعمال في الموقع وتعطي تقارير عن نسب الإنجاز للتحكم وتحسين إدارة الموقع [75].

وتم تطبيق الأنظمة ذاتية التحكم على المعدات الهندسية الثقيلة مثل البلدوزرات وآليات الحفر «البواكر» التي يتم التحكم بها عبر أنظمة الـ GPS وكذلك الشاحنات التي تنقل نواتج الحفر من المواقع. ولاتزال تواجه هذه العربات صعوبات في مواقع العمل التقليدية في تنفيذ المهام مقارنةً مع المهام التقليدية التي تنفذ بشكل يدوي.

ولإستخدام الدرونات بشكل أكثر فعالية نحتاج إلى إيجاد حلول لبعض الصعوبات التي تواجه استخدامها مثل الكلفة العالية، العمر القصير للمدخرات والبطاريات التي تزودها بالطاقة والتي تقييد العمليات المنفذة من قبلها، حيث أن أغلب الدرونات تستطيع التحليق لما يقارب الثلاثين دقيقة وتحتاج إلى تجهيزات ومعدات خاصة مثل البرامج التي تشغلها، وتتطلب تدريب خاص لتشغيلها.

المعدات والتجهيزات القابلة للارتداء المساعدة للكوادر البشرية:

وهي أجهزة قابلة للارتداء يستخدمها العمال لتساعد في إنجاز المهام التي تتطلب جهداً إضافياً وتقوم هذه الأجهزة بإنجاز بعض المهام بشكل ذاتي، وتساعد أيضاً في السلامة المهنية المهنية للعمال عن طريق رفع الحمولات ذات الاوزان الثقيلة، أو المخاطر الناتجة عن جهد وتعب واستخدام المعدات في وضعيات

خطرة أو غير مريحة للعمال. تواجه هذه المعدات بعض الصعوبات مثل: الكلفة العالية، الكفاءة في استهلاك الطاقة حيث تعتبر هذه التجهيزات مستهلك عالي للطاقة [76].

البرامج والتطبيقات التي تدعم تقنيات نمذجة معلومات البناء BIM والذكاء الاصطناعي AI:

1. Autodesk Revit:

تعد شركة Autodesk من الشركات الرائدة في مجال نمذجة معلومات البناء BIM، ويعتبر برنامج REVIT هو البرنامج الأكثر انتشارا بين مستخدمي نظام نمذجة معلومات البناء BIM.

يقوم برنامج REVIT بإنشاء نماذج وعناصر ذكية ثلاثية الأبعاد تحتوي على تفاصيل دقيقة وكم هائل من البيانات والتفاصيل للعناصر المكونة للنماذج، ويسمح بإنشاء جداول الكميات للعناصر المختلفة وللمشروع والعديد من المزايا الضرورية في قطاع البناء.

يدعم برنامج Revit عمليات البرمجة باستخدام Dynamo الذي يسمح بكتابة الأكواد البرمجية التي تسهل عمليات التصميم باستخدام Revit، يساعد الذكاء الاصطناعي AI في تحسين تدفق وسيرالأعمال في نماذج BIM، وأتمتة المهام التي تحتاج إلى جهد في تنفيذها مثل إنشاء الجداول والتقارير المختلفة، وكذلك عمليات تجميع البيانات من مواقع العمل وتحليلها وتقديم مقترحات لإكمال التنفيذ بدقة وجودة عالية.

يحسن الذكاء الاصطناعي أيضا التصاميم المجهزة في REVIT لتلائم احتياجات العملاء وجعلها أكثر كفاءة، تقليل استهلاك الطاقة، وتحسين الكفاءة الإجمالية للمبنى وتجنب التعارضات المحتملة.

2. Autodesk Navisworks Manage:

يعتبر برنامج Navisworks من البرامج الأساسية في عمليات محاكاة مراحل التنفيذ وربط البرامج الزمنية مع نماذج ثلاثية الأبعاد، وتحسين سير العمليات لمشاريع البناء، يساعد Navisworks في كشف التعارضات من نماذج BIM المختلفة، ويتم تحسين هذه العملية بالاعتماد على الذكاء الاصطناعي AI.

من الأمثلة الممكن تطبيقها بالإعتماد على الذكاء الاصطناعي و برنامج Navisworks تحسين تصميم المنشأت المعدنية بالاعتماد على الخوارزمية الجينية لتقليل الهدر في بواقي المقاطع المعدنية المستخدمة في تنفيذ هذا النوع من المنشأت، واستخدام المقاطع الاكثر ملائمة دون تجاوز حدود الأمان ودون إستهلاك موارد إضافية من موارد المشروع.

3. Autodesk BIM 360:

يعد برنامج Autodesk BIM 360 من البرامج التي تدعم الذكاء الاصطناعي AI بشكل كبير وفعال.

يعتمد برنامج BIM 360 على تقنيات تدعى Construction IQ.

تساعد هذه التقنية البرنامج في فهم مشاكل الجودة العالية المخاطر، واتخاذ الإجراءات للتخفيف من هذه المخاطر. من خلال فهم المؤشرات الرئيسية للمخاطر، وسلوكيات العناصر والأفراد ومخاطر البيئة المحتملة. واتخاذ الخطوات الإستباقية قبل وقوع الحوادث.

يتم تحليل جميع البيانات التي يتم جمعها وإلتقاطها بإستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي المختلفة بشكل مستمر وتلقائي بالإعتماد على Construction IQ.

وتتيح إمكانية التنبؤ والتحليل ل BIM 360 للمستخدمين إنشاء طرق عرض مخصصة لبيانات المشروع ذات الصلة بإحتياجاتهم، وكذلك يمكن للمستخدمين تخصيص صفحة المشروع بسهولة لإنشاء عرض شامل للبيانات التي يحتاجونها ويعملون عليها من مشاريعهم.

يجمع BIM 360 البيانات من العديد من التطبيقات المتكاملة مع نظام نمذجة معلومات البناء BIM لإنشاء نظرة عامة شاملة وقابلة للتنفيذ في المشروع. باستخدام مايسمى "بطاقة التصميم" التي تمكن المستخدم من العمل مباشرة مع الرسومات والنماذج المخزنة باستخدام BIM 360 في صفحة مشروع واحدة. (ينتج بيانات متكاملة من التطبيقات المختلفة).

ويمكن أن يعرض من صفحة Project Home البيانات التي يحتاجها العميل مثل لقطات كاميرات الموقع، المستشعرات، وكذلك استخدام الواقع الإفتراضي والواقع المعزز، مما يعطي لأعضاء المشروع فهما شاملا للأداء العام للمشروع.

من الأمثلة على بطاقات المشروع هو بطاقة Smart vid AI التي تساعد في نقل إدارة المخاطر إلى مستوى أعلى، تشبه هذه البطاقة "مفتش السلامة الذي لا ينام أبدا". حيث يقوم بمراجعة اللقطات من الموقع وتحديد مخاطر السلامة المحتملة من معلومات فحص السلامة المرئية.

4. Bentley Synchro 4D Pro:

يعتبر برنامج Synchro 4D pro من Bentley من البرامج الرائدة التي تدعم تكنلوجيا نمذجة معلومات البناء BIM، وهو أيضا يعتمد وبشكل كبير على الذكاء الاصطناعي AI لذا يعتبر Synchro حلا برمجيا يتيح للمستخدمين انشاء نماذج ثلاثية الأبعاد للمباني والمنشأت المختلفة بسرعة ودقة عالية.

تمكن الخوارزميات المدعومة بالذكاء الاصطناعي والمستخدمة في Synchro إنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد وكشف التعارضات وتحليل المخاطر للمشروع في مراحله المختلفة، وإعطاء اقتراحات لتجنب المخاطر ومعالجة المشكلات، ويدعم تعدد السيناريوهات في التصميم ويسمح بالمفاضلة بينهم لاختيار الافضل لمتطلبات العميل وللتنفيذ.

5. Touch Plan:

هو برنامج للتخطيط والجدولة الزمنية بالاعتماد على التخزين السحابي، والذي يستخدم الذكاء الاصطناعي AI في مساعدة فرق البناء والتخطيط وإدارة المشاريع بشكل أكثر كفاءة وفعالية.

يستخدم Touch Plan الذكاء الاصطناعي لتحليل بيانات المشروع، تقديم رؤى تساعدالفريق على اتخاذ القرارات بشكل أفضل.

يستخدم أيضا في تحليل البيانات من مجموعة متنوعة من المصادر، بما في ذلك خطط المشروع والرسومات والوثائق. كذلك تحليل البيانات من أجهزة الاستشعار ويتم إستخدام هذه البيانات لإنشاء عرض شامل للمشروع والذي يمكن استخدامه لاتخاذ قرارات أفضل وتحسين جدولة المشروع.

6. ALICE:

يعد ALICE نظام ثوري للذكاء الاصطناعي AI وثورة في طريقة إستخدام نمذجة معلومات البناء BIM وفي صناعة البناء AEC.

وهو نظام قائم على الذكاء الاصطناعي تم تصميمه لإنجاز المهام بشكل ذاتي مؤتمت في عملية إنشاء وإدارة نماذج BIM، وهو قادر على فهم تعقيدات عمليات البناء ويقوم بإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد مفصلة لجميع أنواع المنشات. ويحلل بيانات النماذج من BIM ويقدم نظرة فعالة لتحسين عمليات البناء.

7. Fire Flies AI" AI Chat Bot assistance":

أصبحت المساعدات الرقمية المدعومة من قبل الذكاء الاصطناعي مثل "Fire Flies" منتشرة بشكل كبير في صناعة البناء، وأحدثت نقلة ضرورية في طريقة تفاعل الشركة مع عناصرها ومع عملائها.

يساعد في أتمتة خدمة العملاء وتوفير تجربة مستخدم مخصصة وأكثر كفاءة. وتساعد في إدارة المشاريع بشكل أفضل، وخفض التكاليف.

وهو مساعد رقمي مدعوم بنظام تعلم الألة وعمليات معالجة النصوص الطبيعية والتي تسمح له بفهم استفسارات العميل وتحديد العمليات والخدمات المناسبة بشكل أفضل.

8. AI Tering Scheduling Views:

هي أداة تعتمد تعلم الألة والذكاء الاصطناعي في جدولة وتحسين العرض وفقا لمتطلبات المستخدم.

تساعد في تبسيط عملية التصميم من خلال الإستفادة من الذكاء الاصطناعي، يمكن لمستخدمي BIM من إنشاء وإدارة طرق عرض واجهات التطبيقات والتصاميم بشكل يناسب أعمالهم وإحتياجاتهم، بشكل مصمم لتنفيذ متطلباتهم بسرعة ودقة. فقد يرغب المستخدم في إنشاء طريقة عرض تظهر فقط العناصر المسؤول عنها، أو العناصر الأكثر أهمية للمشروع.

المعوقات التي تواجه تطبيق الذكاء الاصطناعي في قطاع التشييد والبناء:

يوجد مجالات عديدة يتم تطبيق الذكاء الاصـــطناعي من خلالها في قطاع البناء لكن تواجه هذه المجالات صعوبات مثل:

1- المعوقات الثقافية:

من المعروف أن صـــناعة البناء هي أقل الصـــناعات اعتماداً على التكنولوجيا والأبطئ في تبني التقنيات الجديدة. وهذا يعود إلى كونها مليئة بالمخاطر والتكاليف العالية لمعظم أعمال البناء. حيث غالباً مايكون للأخطاء الصـــغيرة تكاليف وآثار ضـــخمة في البناء، يتم تفضـــيل الطرق المعروفة والتقليدية للقيام بالأشياء عوضاً عن اعتماد التقنيات الجديدة غير المجربة سابقاً [77].

تعتبر الطبيعة الفريدة والمختلفة لكل موقع من مواقع البناء تتطلب قدرة الذكاء الاصـــطناعي على التعلم والتكيف بسرعة في البيئات المتغيرة، هذا يعني أن تقنيات الذكاء الاصطناعي التي سيتم استخدامها في صـناعة البناء يجب أن تكون قابلة للاسـتخدام في المشـاريع المختلفة واختبارها بدقة لإقناع المسـتخدمين من كفائتها وفعاليتها. قد يشـمل ذلك اسـتخدام تقنيات BlockChain لتحسـين الشـفافية والثقة. وكذلك تعتمد كل تقنيات الذكاء الاصـطناعي مبدأ الصـندوق الأسـود في التعلم مما يعني أنها لا تشـرح كيفية اتخاذها للقرار. لبناء الثقة في مثل هذه الأنظمة من الضـــروري للعاملين في قطاع البناء من أن يفهموا كيف يتخذ النظام قراراته مما يستدعي استخدام الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير لإنتاج نماذج قابلة للتفسير وتمكن البشر من فهم الأنظمة والثقة بقراراتها.

2- معوقات الآمان:

على الرغم من قدرة الذكاء الاصـطناعي على تعزيز الأمن واكتشـاف الاختراقات، فهو أيضـاً هدف رئيســي للاســتغلال من قبل المخترقيين والجرائم الالكترونية. وهي من المعوقات الحرجة والخطيرة ولها آثار اقتصــادية ومالية ضــخمة. غالباً تؤدي الأخطاء حتى الصــغيرة منها إلى نتائج ضــخمة في الجودة والكلفة والوقت مع تأثير على كافة متغييرات المشروع (الوقت، والكلفة، سلاسل الإمداد اللوجستية، عمليات الشراء).

والأهم من ذلك هو أنه قد تتعرض سلامة عمال البناء للخطر مما قد يؤدي إلى حوادث مهددة للحياة أو خســائر في الأرواح. وقد يتم خداع نظام رؤية الكمبيوتر الذي يحدد معدات البناء الآلية واعتبار عامل على ارتفاع عالي مثلاً على أنّه آلة بدلاً من إنسان [78].

يجب أن يتم استخدام الذكاء الاصطناعي للتحكم الكامل في بعض العمليات أو لزيادة أنشطة عمال البناء بأقل قدر من المخاطر وتهديدات السلامة، ويستدعي استراتيجيات للتخفيف مثل استخدام التعلّم الآلي العميق وهو دراسة تقنيات التعلم الآلي الفعالة لتدريب الخوارزميات على مقاومة الهجمات عالية المستوى.

3- نقص الأيدي الخبيرة والمهرة:

هناك نقص عالمي في مهندسي الذكاء الاصطناعي من أصحاب المهارات اللازمة لقيادة التطورات الجادة والدقيقة عبر مجالات الصــناعات المختلفة. ومن الصــعب للغاية الحصــول على مهندســي ذكاء اصــطناعي ذوي خبرة في قطاع البناء قادرين على إيجاد الحلول المناســبة للعديد من المشــكلات. ويمكن التقليل من آثار النقص من خلال توجيه الدعم الحكومي على تعليم هذه المجالات وتقليل نقص الخبراء في مجال البناء القادرين على التعاون مع خبراء الذكاء الاصطناعي التي تلبي احتياجات قطاع التشييد [79].

4- الكلف البدائية:

تعتبر الكلف البدائية العالية للحلول القائمة على الذكاء الاصـــطناعي إحدى العواقب الرئيســـية لهذا المجال مثل الروبوتات وتعتبر الكلف العالية للصيانة أيضاً من العوامل المعيقة لتبني هذه التقنيات. لذلك من المهم للشركات تحديد وفورات التكلفة والعائد على الاستثمار لهذه التقنيات لتحديد إذا كانت ستستثمر في هذه التقنيات، بالإضافة إلى ذلك نظراً لانتشار هذه التقنيات من المتوقع انخفاض تكاليف هذه التجهيزات [80].

5- الأخلاقيات والحوكمة:

يعتمد تاسيس والحفاظ على ثقة المستخدمين لتقنيات الذكاء الاصطناعي على حوكمة شاملة وذات شفافية ومرنة. وهي قضية حاسمة ذات أهمية كبيرة للمجتمع. بينما تعد كفاءة الذكاء الاصطناعي إحدى المخرجات الرائعة فقد تكون خطيرة أيضاً اذا لم يتم تنظيمها بشكل صحيح. مثلاً روبوت ذو حجم كبير يقوم بأعمال في موقع البناء في أماكن لا يستطيع العنصر البشري بالوصول اليها وتعرّض لخلل ما تسبب في خروجه عن الخدمة وسقوطه مما قد يكون له آثار خطيرة في موقع البناء.

وتصنف أخلاقيات الذكاء الاصطناعي في أربعة مجالات [81]:

- استكشاف المعضلات الأخلاقية
- أطر القرار الأخلاقي الفردي
- أطر القرار الأخلاقي الجماعي
- الأخلاقيات في التفاعل بين الذكاء الاصطناعي والإنسان.

6- قوة المعالجات والحوسبة والاتصال بالانترنت:

تعتبر معظم مواقع البناء بعيدة وتفتقر إلى الطاقة والاتصالات السلكية واللاسكية، والاتصال بالانترنت. وفي بعض الأحيان تؤدي حتى أنشطة البناء إلى انقطاعات في الطاقة أو الاتصالات. ويطرح هذا مشكلة خطيرة في استخدام ادوات الذكاء الاصطناعي في مواقع العمل التي يعتمد تشغيلها على الاتصال الجيد بالانترنت وتوفر إمدادات الطاقة مثل الروبوتات والأنظمة التي تعتمد على المستشعرات والمحركات بتوصيل البيانات التي يجب متابعتها بالوقت الفعلي وبشكل مباشر [82]. ومن المناسب البحث عن طرق لحل هذه المشكلات بكفاءة وفعالية، حيث يمكن استخدام تقنيات الجيل الرابع والخامس من الاتصالات حل هذه المشكلات نوعا ما.

الفصل الثالث: القسم التطبيقي

3-1- منهجية الدراسة

اعتمدنا أثناء إجراء هذه الدارسة على أسلوب التحليل الوصفي الذي يحاول وصف وتقييم "واقع استخدام نظم نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي وأثرها على أداء مشاريع التشييد والبناء".

تم تقسيم البيانات المستخدمة في الدراسة إلى نوعين وفق ما يلي:

3-1-1- البيانات الثانوية:

استخدمت الدراسات السابقة التي تناولت موضوعات نظم معلومات البناء وتقنيات الذكاء الاصطناعي وعمليات البناء في مشاريع التشييد والبناء، بالإضافة إلى المجلات العلمية المتخصصة والكتب العربية والأجنبية التي تناولت موضوع الدراسة أو أحد جوانبه، وشبكة المعلومات العالمية (الانترنت).

3-1-2- البيانات الأولية:

تم الاعتماد في الحصول على البيانات الأولية على تصميم استبيان مخصص لغرض الدراسة وتوجيهه إلى عينة الدراسة من العاملين في الشركات الإنشائية ومجال التشييد والبناء.

3-2- مجتمع وعينة الدراسة:

اشتمل مجتمع الدراسة العاملين في شركات التشييد في قطاع البناء من مختلف الشركات الهندسية في الجمهورية العربية السورية، وتم تحديد عينة الدراسة بـــ 100 موظف. تم تزويد الاستبيان بشكل الكتروني ومشاركته على /150/ موظف في الشركات الإنشائية وشركات التشييد. وتم استرداد /100/ استبانة صحيحة يمكن اعتمادها وتحليلها وفق الاختبارات الإحصائيّة المعتمدة.

3-3- الأساليب الإحصائيّة المستخدمة في التحليل:

تم استخدام برنامج التحليل الإحصائي SPSS لتحليل الاستبيان، وتم استخدام الاختبارات الإحصائية غير المعيارية نظراً لاستخدام مقياس ليكرت الخماسي وتم اعتماد الأدوات الإحصائية التالية للتحليل:

1. **تحليل الثبات:** لتحليل الثبات سيتم حساب معامل كرونباخ ألفا وهو مقياس لموثوقية الاختبار الإحصائي. ويجب الانتباه إلى أنّ القيمة "العالية" لألفا كرونباخ لا تعني أن المقياس أحادي البعد أو دقيق للغاية. ويعد تحليل عامل ألفا كرونباخ إحدى الطرق للتحقق من الأبعاد. من الناحية الفنية، فإن ألفا كرونباخ ليس اختباراً إحصائياً، ولكنه عامل موثوقية (أو تناسق). ومن الناحية النظرية، يجب أن تُرجع نتيجة ألفا كرونباخ رقماً بين 0 و1، لكن يمكن أيضاً الحصول على أرقام سالبة. يشير الرقم السالب إلى وجود خطأ ما في البيانات. كقاعدة عامة، إذا كانت قيمة عامل ألفا كرونباخ 70% أو أعلى يكون الاتساق جيداً، و80% أو أعلى يكون جيد جداً، و90% أو أعلى يكون ممتاز. لقد تم استخدام أسلوب معامل الارتباط ألفا Alpha Correlation Coefficient باعتباره أكثر أساليب تحليل الاعتمادية Reliability دلالة في تقييم درجة التناسق الداخلي بين بنود المقياس

الخاضع للاختبار والذي يستخدم للتأكد من اتساق متغيرات الدراسة مع بعضها البعض، من خلال ارتباط المتغيرات داخل المجموعة الواحدة، وارتباط كافة المتغيرات ببعضها البعض، وذلك بالاعتماد على اختبار ألفا للإعتمادية والثقة Alpha Test.

2. **تحليل الاتساق الداخلي:** أو ما يمكن تسميته بنزاهة البحث، هو القيام بقياس ما تم تعيين الاستبيان لقياسه بالفعل، وهو وضوح الاستبيان، ومفرداته، وفقرات الاستبيان، ومفهومها لأعضاء عينة الدراسة البحثية. ويمثل معرفة توافق وتجانس مكونات الاستبيان وسيتم اعتماد معامل الارتباط بين كل عبارة من عبارات محاور الاستبانة مع الدرجة الكليّة لكل محور وتحديد درجة الاتساق الداخلي للمقياس المستخدم كما هو موضّح أدناه.

3. **الاختبارات الإحصائيّة الوصفيّة:** النسب المئويّة، التكرارات، المتوسط الحسابي، المتوسط الحسابي النسبي، وذلك من أجل تحديد تكرار كل متغير، مما يساعد على وصف عينة البحث.

4. **اختبار الفرضيات:** سيتم اختبار فرضيات الدراسة بالاعتماد على الاختبارات الإحصائية اعتماداً على طبيعة التوزيع لعينة الدراسة وسيتم التوسع بشرح الاختبارات المعتمدة في الأقسام اللاحقة.

3-4- مناقشة نتائج التحليل الإحصائي:

يتناول الباحث في الجزء التالي نتائج الدراسة الميدانية من خلال المحاور الرئيسية التالية:

3-4-1- صدق المقياس:

الاتساق الداخلي:

يقصد بصدق الاتساق الداخلي مدى اتساق كل فقرة من فقرات الإستبانة مع المجال الذي تنتمي إلية هذه الفقرة، وقد قام الباحث بحساب الاتساق الداخلي للإستبانة وذلك من خلال حساب معاملات الارتباط بين كل فقرة من فقرات مجالات الإستبانة والدرجة الكلية للمجال نفسه.

يوضح الجدول (3-1) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «تصميم وإدارة المشروع» والدرجة الكلية للمحور، والذي يبين أن معاملات الارتباط المبينة دالة عند مستوى معنوية $0.05 \geq \alpha$ وبذلك يعتبر المجال صادق لما وضع لقياسه.

الجدول (3-1) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «تطور تكنولوجيا المعلومات».

م.	العبارة	معامل الارتباط سبيرمان	القيمة الاحتمالية (sig.)
14	توجد في شركتي عمليات موحدة لابتكار تكنولوجيا المعلومات.	0.910**	0.000
15	تمتلك شركتي القدرة على دمج الذكاء الاصطناعي بسرعة في البنية التحتية الحالية.	0.888**	0.000
16	تدعم استراتيجيات تكنولوجيا المعلومات في شركتي استراتيجيات العمل.	0.922**	0.000

**: الارتباط دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

يوضـح الجدول (3-2) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «تطور تكنولوجيا المعلومات» والدرجة الكلية للمحور، والذي يبين أن معاملات الارتباط المبينة دالة عند مســـتوى معنوية $0.05 \geq \alpha$ وبذلك يعتبر المجال صادق لما وضع لقياسه.

الجدول (3-2) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «الميزة النسبية».

م.	العبارة	معامل الارتباط سبيرمان	القيمة الاحتمالية (.sig)
17	اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي سيسمح بأداء أفضل في إدارة مشاريع البناء.	0.485**	0.000
18	اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي سيزيد من الربحية.	0.612**	0.000
19	اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي سيخفض التكاليف.	0.684**	0.000
20	اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي سيزيد من سرعة تنفيذ مشاريع البناء.	0.536**	0.000
21	اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي سيحسن عملية تصميم مشاريع البناء.	0.377**	0.000

**: الارتباط دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

يوضـــح الجدول (3-3) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «التوافق» والدرجة الكلية للمحور، والذي يبين أن معاملات الارتباط المبينة دالة عند مستوى معنوية $0.05 \geq \alpha$ وبذلك يعتبر المجال صادق لما وضع لقياسه.

الجدول (3-3) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «التوافق».

م.	العبارة	معامل الارتباط سبيرمان	القيمة الاحتمالية (.sig)
22	يتوافق اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي مع المعتقدات والقيم التنظيمية في شركتي.	0.788**	0.000
23	اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي متوافق بشكل عام مع البنية التحتية لتكنولوجيا المعلومات (IT) لشركتي.	0.741**	0.000
24	يتماشى اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي مع استراتيجية العمل.	0.865**	0.000

**: الارتباط دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

يوضـــح الجدول (3-4) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «الدعم الإداري» والدرجة الكلية للمحور، والذي يبين أن معاملات الارتباط المبينة دالة عند مستوى معنوية $0.05 \geq \alpha$ وبذلك يعتبر المجال صادق لما وضع لقياسه.

الجدول (3-4) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «الدعم الإداري».

م.	العبارة	معامل الارتباط سبيرمان	القيمة الاحتمالية (.sig)
25	في شركتي ، تهتم الإدارة العليا بتبني تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي.	0.797**	0.000
26	في شـــركتي ، تعتبر الإدارة العليا أن تبني تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصـــطناعي أمر مهم.	0.688**	0.000
27	في شـركتي ، تُظهر الإدارة العليا الدعم في اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي.	0.889**	0.000

**: الارتباط دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

يوضـــح الجدول (3-5) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «الميزة التنافســـية» والدرجة الكلية للمحور، والذي يبين أن معاملات الارتباط المبينة دالة عند مســتوى معنوية $0.05 \geq \alpha$ وبذلك يعتبر المجال صادق لما وضع لقياسه.

الجدول (3-5) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «الميزة التنافسية».

م.	العبارة	معامل الارتباط سبيرمان	القيمة الاحتمالية (.sig)
28	يعتمد العديد من المنافســـين حاليًا أو ســـيعتمدون تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي في المستقبل القريب.	0.713**	0.000

29	يُنظر إلى المنافســـين الذين تبنوا تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي بشكل إيجابي من قبل الآخرين في صناعتنا.	0.749**	0.000

**: الارتباط دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

يوضـــح الجدول (3-6) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «التعقيد» والدرجة الكلية للمحور، والذي يبين أن معاملات الارتباط المبينة دالة عند مستوى معنوية $0.05 \geq \alpha$ وبذلك يعتبر المجال صادق لما وضع لقياسه.

الجدول (3-6) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «التعقيد».

م.	العبارة	معامل الارتباط سبيرمان	القيمة الاحتمالية (sig.)
30	ينطوي اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي على تكلفة عالية.	0.783**	0.000
31	إن اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي يستغرق وقتاً طويلاً.	0.794**	0.000

**: الارتباط دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

يوضـــح الجدول (3-7) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «الفائدة المتصـــورة» والدرجة الكلية للمحور، والذي يبين أن معاملات الارتباط المبينة دالة عند مســتوى معنوية $0.05 \geq \alpha$ وبذلك يعتبر المجال صادق لما وضع لقياسه.

الجدول (3-7) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «الفائدة المتصورة».

م.	العبارة	معامل الارتباط سبيرمان	القيمة الاحتمالية (.sig)
32	يمكن لتقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي أن يزيد الإيرادات والربحية.	0.700**	0.000
33	يمكن لتقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي أن يزيد من إنتاجية العمال.	0.638**	0.000
34	يمكن لتقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي تحسين مهارات المهندس.	0.815**	0.000

**: الارتباط دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

يوضح الجدول (3-8) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «سهولة الاستخدام المتصورة» والدرجة الكلية للمحور، والذي يبين أن معاملات الارتباط المبينة دالة عند مستوى معنوية $0.05 \geq \alpha$ وبذلك يعتبر المجال صادق لما وضع لقياسه.

الجدول (3-8) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور «سهولة الاستخدام المتصورة».

م.	العبارة	معامل الارتباط سبيرمان	القيمة الاحتمالية (.sig)
35	إن اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي يفتقر إلى نضج التطبيق.	0.714**	0.000

36	يمثل نقص الموظفين والخبراء غير المناسبين تحديات كبيرة لاعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي.	0.726**	0.000
37	يمكن لتقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي استخدام موارد تكنولوجيا المعلومات وتطبيقاتها بشكل أفضل.	0.805**	0.000

**: الارتباط دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

يوضح الجدول (3-9) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور « قرار اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي» والدرجة الكلية للمحور، والذي يبين أن معاملات الارتباط المبينة دالة عند مستوى معنوية $0.05 \geq \alpha$ وبذلك يعتبر المجال صادق لما وضع لقياسه.

الجدول (3-9) معامل الارتباط بين كل فقرة من فقرات محور « قرار اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي».

م.	العبارة	معامل الارتباط سبيرمان	القيمة الاحتمالية (.sig)
38	تعتزم معظم المنظمات في صناعة البناء تبني تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي.	0.768**	0.000
39	من المحتمل أن تتخذ شركتي خطوات لاعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي في المستقبل.	0.781**	0.000

**: الارتباط دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

الصدق البنائي:

يعتبر الصــدق البنائي أحد مقاييس صــدق الأداة الذي يقيس مدى تحقق الأهداف التي تريد الأداة الوصــول إليها، ويبين مدي ارتباط كل محور من محاور الدراسة بالدرجة الكلية لفقرات الإستبانة.

يبين الجدول (3-10) أن جميع معاملات الارتباط في جميع مجالات الإسـتبانة دالة إحصـائياً عند مسـتوى معنوية $0.05 \geq \alpha$ وبذلك تعتبر جميع مجالات أو محاور الاستبانة صادقة لما وضعت لقياسه.

الجدول (3-10) معامل الارتباط بين درجة كل محور من محاور الاستبيان.

م.	العبارة	معامل الارتباط سبيرمان	القيمة الاحتمالية (.sig)
1	تطور تكنولوجيا المعلومات	0.503**	0.000
2	الميزة النسبية	0.602**	0.000
3	التوافق	0.803**	0.000
4	الدعم الإداري	0.793**	0.000
5	الميزة التنافسية	0.655**	0.000
6	التعقيد	0.765**	0.000
7	الفائدة المتصورة	0.678**	0.000
8	سهولة الاستخدام المتصورة	0.705**	0.000
9	قرار اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي	0.803**	0.000

**: الارتباط دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

يتضــح من اختبار الصــدق أن جميع الفقرات التي تقيس تأثير اســتخدام نظم نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصــطناعي على أداء مشــاريع التشــييد والبناء لها ارتباط ذو دلالة إحصــائية مع مجموعاتها الفرعية عند مستوى معنوية 5%.

3-4-2- ثبات الاستبانة:

لقد تم استخدام أسلوب معامل الارتباط ألفا Alpha Correlation Coefficient باعتباره أكثر أساليب تحليل الاعتمادية Reliability دلالة في تقييم درجة التناســق الداخلي بين بنود المقياس الخاضــع للاختبار. الذي يستخدم للتأكد من اتساق متغيرات الدراسة مع بعضها البعض، من خلال ارتباط المتغيرات داخل المجموعة الواحدة، وارتباط كافة المتغيرات ببعضها البعض، وذلك بالاعتماد على اختبار ألفا للإعتمادية والثقة Alpha Test. ومن المتعارف عليه إحصائياً أن إحصائية الاختبار يجب ألا تقل عن 0.6. ويوضح الجدول (3-11) معامل الارتباط ألفا كرونباخ Cronbach-Alpha لمتغيرات الدراســة، حيث يتضــح أن قيمة ألفا كرونباخ تتراوح ما بين (0.534) و(0.921) لمحاور/متغيرات الدراســة وكانت القيمة الإجمالية لكل عبارات الاستبيان هي 0.931 وتعتبر هذه القيم مقبولة بالشكل الذي يعكس توافر الاعتمادية والثقة بمتغيرات الدراسة وهذه النتائج تدعم الثقة في متغيرات الدراسة وتؤكد صلاحيتها لمراحل التحليل التالية.

الجدول (3-11). قيمة معاملات ألفا كرونباخ لمتغيرات الدراسة.

المتغير	عدد العبارات	معامل ارتباط ألفا كرونباخ	الصدق الذاتي
تطور تكنولوجيا المعلومات	3	0.921	0.959
الميزة النسبية	5	0.756	0.869

التوافق	3	0.798	0.893
الدعم الإداري	3	0.854	0.924
الميزة التنافسية	2	0.534	0.730
التعقيد	2	0.645	0.803
الفائدة المتصورة	3	0.639	0.799
سهولة الاستخدام المتصورة	3	0.726	0.852
قرار اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي	2	0.606	0.778
الإجمالي		0.931	0.964

المصدر: نتائج التحليل الإحصائي.

3-4-3- التحليل الوصفي لمتغيرات الدراسة:

تعكس الخصائص الوصفية لمتغيرات الدراسة المعلمات الإحصائية الرئيسية، والتي توضح خصائص المتغيرات وتتضمن الخصائص الأساسية كالمتوسط الحسابي والانحراف المعياري بالإضافة إلى الجداول التكرارية، وتبعية متغيرات البحث للتوزيع الطبيعي أو لا، وذلك بالتطبيق على آراء المستقصى منهم. ويوضح الجزء التالي الإحصاءات الوصفية، وذلك على النحو التالي:

- **توزيع مفردات العينة وفقاً للمتغيرات الديموغرافية:**

قام الباحث بوصف البيانات التي تم الحصول عليها من قائمة الاستقصاء، وذلك من خلال حساب التكرارات والنسب المئوية للمتغيرات الديموغرافية موضع الاهتمام بقائمة الاستقصاء (الجنس، العمر، المسمى الوظيفي،

الاختصـاص الهندسـي، المؤهل العلمي). ويوضـح الجدول رقم (3-12) توزيع مفردات العينة وفقاً للمتغيرات الديموغرافية:

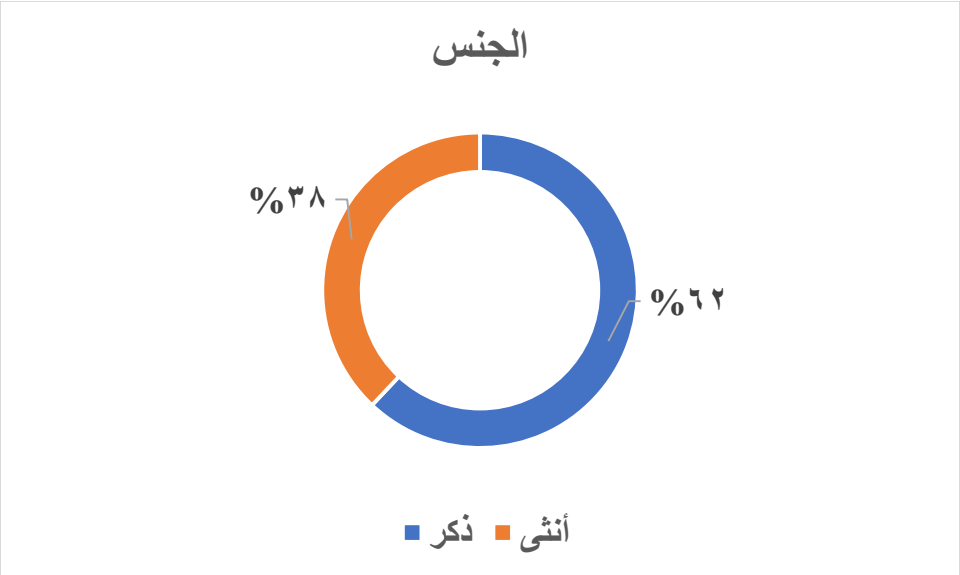
الجدول (3-12). توزيع مفردات العينة وفقاً للمتغيرات الديموغرافية.

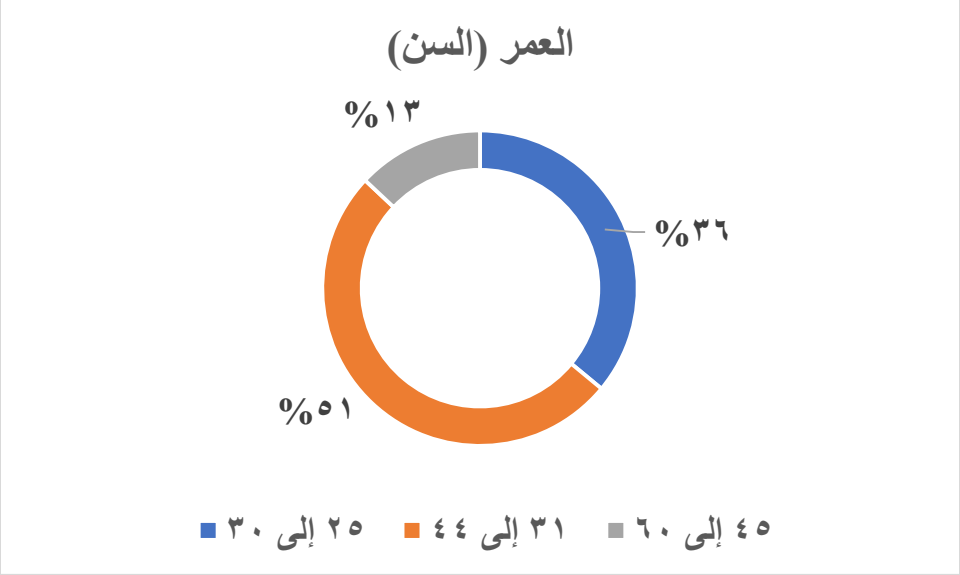
المتغير	الفئة	التكرارات	النسب المئوية
الجنس	ذكر	62	62.0
	أنثى	38	38.0
العمر (السن)	25 إلى 30	36	36.0
	31 إلى 44	51	51.0
	45 إلى 60	13	13.0
المسمى الوظيفي	مدير مشروع	14	14.0
	دراسات وتصميم	33	33.0
	مهندس إشراف	25	25.0
	مهندس موقع وتنفيذ	23	23.0
	منصب أخر	5	5.00
الاختصاص الهندسي	مهندس مدني	43	43.0
	مهندس عمارة و ديكور	22	22.0
	مهندس ميكانيك	23	23.0
	مهندس كهرباء	11	11.0
	مهندس معلوماتية	1	1.00
	بكالوريوس	39	39.0

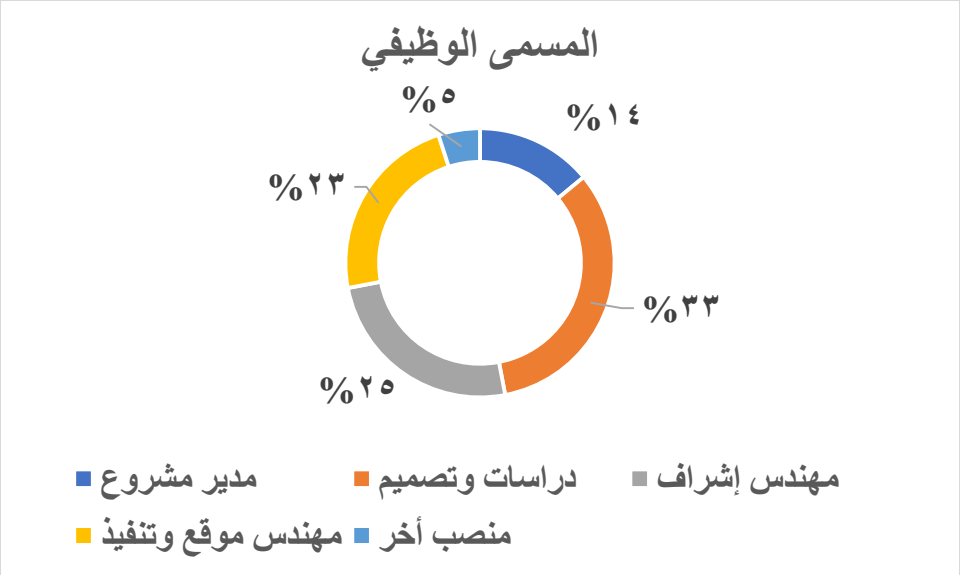
المؤهل العلمي	شهادة ماجستير	27	27.0
	شهادة دكتوراه	34	34.0

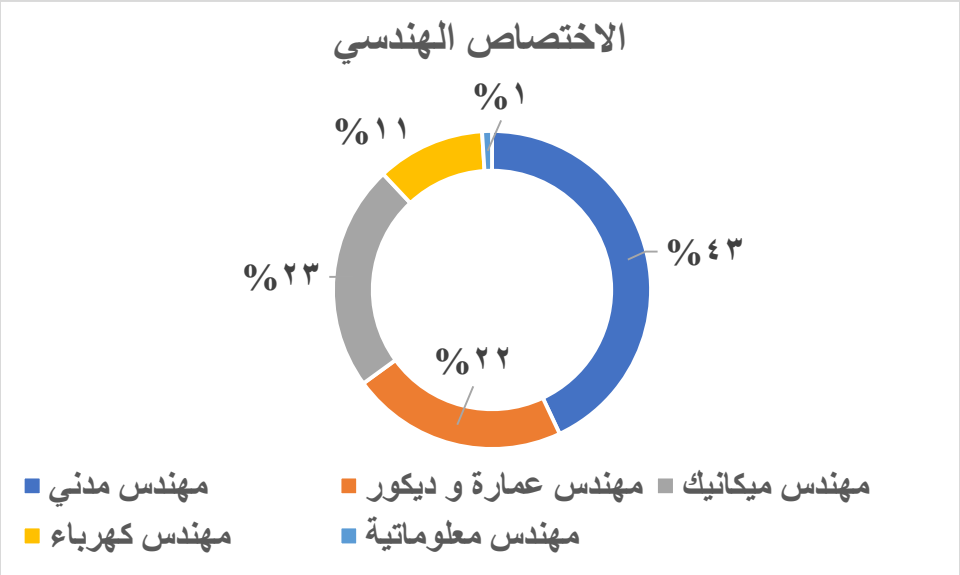
المصدر: نتائج التحليل الإحصائي.

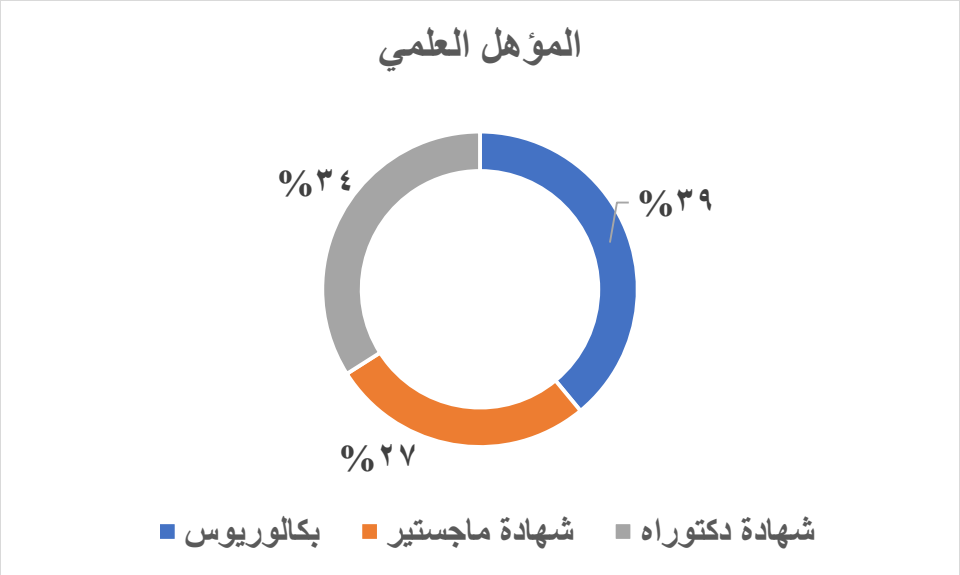
وتوضح الأشكال أدناه النسب المئوية لأفراد العينة حسب كل متغير ديموغرافي.






المسمى الوظيفي
%١٤
%٣٣
%٢٥
%٢٣
%٥
مدير مشروع
دراسات وتصميم
مهندس إشراف
مهندس موقع وتنفيذ
منصب أخر


الاختصاص الهندسي
%٤٣
%٢٢
%٢٣
%١١
%١
مهندس مدني
مهندس عمارة و ديكور
مهندس ميكانيك
مهندس كهرباء
مهندس معلوماتية



3-5- نتائج اختبارات فروض الدراسة:

3-5-1- تحديد توزيع عينة الدراسة:

تم استخدام اختبار كولموجروف – سميرنوف وشابيرو – ويلكس لتحديد ما إذا كانت عينة الدراسة تتبع التوزيع الطبيعي أم لا.

الجدول (3-13). اختبار التوزيع الطبيعي لعينة الدراسة.

المتغير	كولموجروف – سميرنوف		شابيرو – ويلكس	
	قيمة الاختبار	القيمة الاحتمالية (.Sig)	قيمة الاختبار	القيمة الاحتمالية (.Sig)
المؤهل العلمي	0.273	0.000	0.753	0.000

وبناءً على نتائج الجدول (3-13) يتضـــح لنا أن القيمة الاحتمالية (sig.) لكلا الاختبارين أقل من 0.05 وبالتالي نقول أن العينة لا تتبع التوزيع الطبيعي وعليه ســـيتم اعتماد الاختبارات اللامعيارية لاســـتكمال الاختبارات اللازمة لتحليل الاستبيان. وتحديداً، تم استخدام اختبار الإشارة لمعرفة ما إذا كانت متوسط درجة الاستجابة قد وصلت إلى درجة الموافقة المتوسطة وهي 3 أم لا.

- **الفرضية الصفرية:** متوسط درجة الإجابة يساوي 3 وهي تقابل درجة الموافقة المتوسطة حسب مقياس ليكرت المستخدم.
- **الفرضية البديلة:** متوسط درجة الإجابة لا يساوي 3.

إذا كانت القيمة الاحتمالية (Sig.) أكبر من 0.05 فإنه يمكن قبول الفرضية الصفرية ويكون في هذه الحالة متوسط آراء الأفراد حول الظاهرة موضع الدراسة لا يختلف جوهرياً عن درجة الموافقة المتوسطة وهي 3، أما إذا كانت قيمة (Sig.) أقل من 0.05 فيتم رفض الفرضية الصفرية وقبول الفرضية البديلة القائلة بأن متوسط آراء الأفراد يختلف جوهرياً عن درجة الموافقة المتوســـطة وهي 3، وفي هذه الحالة يمكن تحديد ما إذا كان متوســـط الإجابة يزيد أو ينقص بصـــورة جوهرية درجة الموافقة المتوســـطة وهي 3. وذلك من خلال قيمة الاختبار فإذا كانت قيمة الاختبار موجبة أي أن المتوسط الحسابي يزيد عن درجة الموافقة المتوسطة والعكس صحيح.

3-5-2- دراسة تأثير تطور تكنولوجيا المعلومات على واقع واعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء:

تم استخدام اختبار الإشارة لمعرفة ما إذا كانت متوسط درجة الاستجابة لهذا المحور قد وصلت إلى درجة الموافقة المتوسطة وهي 3 أم لا. والنتائج موضحة في الجدول (3-14).

الجدول (3-14). المتوسط الحسابي وقيمة الاحتمال لفقرات محور «تطور تكنولوجيا المعلومات».

م.	العبارة	المتوسط الحسابي	المتوسط الحسابي النسبي	قيمة الاختبار z	القيمة الاحتمالية (.sig)	اتجاه العينة
14	توجد في شـــركتي عمليات موحدة لابتكار تكنولوجيا المعلومات.	3.65	73.00%	-0.116	0.907	أوافق
15	تمتلك شركتي القدرة على دمج الذكاء الاصطناعي بسرعة في البنية التحتية الحالية.	3.61	72.20%	-0.475	0.635	أوافق
16	تـدعم اســـتراتيجيـات تكنولوجيـا المعلومات في شـركتي اسـتراتيجيات العمل.	3.77	75.40%	-2.279	0.023	أوافق
جميع فقرات المحور معاً		3.67	73.40%	-3.164**	0.002	أوافق

**: المتوسط الحسابي دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

من الجدول الســـابق، نجد أن قيمة الاحتمالية لعبارات المحور منفردة أكبر من القيمة 0.05، وعليه لا يمكن اعتبارها دالة عند مستوى معنوية 5% أما عند النظر للمحور ككل نجد أن قيمة الاحتمالية أصغر من 0.05 وهي دالة عند مســـتوى معنوية 5%. وبالعودة لقيم المتوســـطات لكل عبارة نقوم بتحديد اتجاه العينة فنجد أن آراء أفراد العينـة لعبـارات المحور الأول وللمحور ككل تتجـه نحو "أوافق" وبـالتـالي يمكننـا القول بـأن المحور جملةً صـــــحيح وهناك قبول حوله فيما يخص علاقة تطورتكنولوجيا المعلومات بواقع تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي وأنظمة نمذجة معلومات البناء في شركات البناء والتشييد.

3-5-3- دراسة تأثير الميزة النسبية على واقع واعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء:

تم استخدام اختبار الإشارة لمعرفة ما إذا كانت متوسط درجة الاستجابة قد وصلت إلى درجة الموافقة المتوسطة وهي 3 أم لا. والنتائج موضحة في الجدول (3-15).

الجدول (3-15). المتوسط الحسابي وقيمة الاحتمال لفقرات محور «الميزة النسبية».

م.	العبارة	المتوسط الحسابي	المتوسط الحسابي النسبي	قيمة الاختبار z	القيمة الاحتمالية (.sig)	اتجاه العينة
17	اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي سيسمح بأداء أفضل في إدارة مشاريع البناء.	4.87	97.40%	-	0.002	أوافق بشدة
18	اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي سيزيد من الربحية.	4.75	95.00%	-	0.424	أوافق بشدة
19	اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي سيخفض التكاليف.	4.72	94.40%	-	0.541	أوافق بشدة
20	اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي سيزيد من سرعة تنفيذ مشاريع البناء.	4.84	96.80%	-2.55	0.011	أوافق بشدة
21	اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي سيحسن عملية تصميم مشاريع البناء.	4.91	98.20%	-	0.000	أوافق بشدة

جميع فقرات المحور معاً	4.818	96.36%	-9.138**	0.000	أوافق بشدة

**: المتوسط الحسابي دال احصائياً عند مستوى دلالة 0.05 ≥ α.

من الجدول السابق، نجد أن قيمة الاحتمالية لكل من العبارات /17 و20/ هي أقل من القيمة 0.05، وعليه نعتبر العبارات هذه دالة عند مستوى معنوية 5% أما العبارات /18 و19 و30/ فإن القيمة الاحتمالية أكبر من 0.05 إذاً فهي غير دالة عند مستوى معنوية 5%. وبالنظر لإجمالي فقرات المحور سويةً نجد أن القيمة الاحتمالية هي أقل من القيمة 0.05، وعليه نعتبر المحور ككل دال عند مستوى معنوية 5%. بالعودة لقيم المتوسطات لكل عبارة نقوم بتحديد اتجاه العينة فنجد أن آراء أفراد العينة لعبارات المحور وللمحور ككل تتجه نحو "أوافق بشدة" وبالتالي يمكننا القول بأن المحور جملةً صحيح وهناك قبول شديد حوله فيما يخص علاقة الميزة النسبية لواقع تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي وأنظمة نمذجة معلومات البناء في شركات البناء والتشييد.

3-5-4- دراسة تأثير التوافق على واقع واعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء:

تم استخدام اختبار الإشارة لمعرفة ما إذا كانت متوسط درجة الاستجابة قد وصلت إلى درجة الموافقة المتوسطة وهي 3 أم لا. والنتائج موضحة في الجدول (3-16).

الجدول (3-16). المتوسط الحسابي وقيمة الاحتمال لفقرات محور «التوافق».

م.	العبارة	المتوسط الحسابي	المتوسط الحسابي النسبي	قيمة الاختبار z	القيمة الاحتمالية (.sig)	اتجاه العينة
22	يتوافق اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي مع المعتقدات والقيم التنظيمية في شركتي.	3.99	79.80%	-3.191**	0.001	أوافق
23	اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي متوافق بشكل عام مع البنية التحتية لتكنولوجيا المعلومات (IT) لشركتي.	4.24	84.80%	-2.674**	0.008	أوافق بشدة
24	يتماشى اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي مع استراتيجية العمل.	4.26	85.20%	-1.617	0.106	أوافق بشدة
جميع فقرات المحور معاً		4.1633	83.27%	-3.078**	0.002	أوافق

**: المتوسط الحسابي دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

من الجدول السابق، نجد أن قيمة الاحتمالية لكل من العبارات باستثناء العبارة /24/ هي أقل من القيمة 0.05، وعليه نعتبر هذه العبارات دالة عند مستوى معنوية 5% وبالنظر لإجمالي فقرات المحور سويةً نجد أن القيمة الاحتمالية هي أقل من القيمة 0.05، وعليه نعتبر المحور ككل دال عند مستوى معنوية 5%. وبالعودة لقيم المتوسطات لكل عبارة نقوم بتحديد اتجاه العينة فنجد أن آراء أفراد العينة للمحور ككل تتجه نحو "موافق" وبالتالي يمكننا القول بأن المحور جملةً صحيح وهناك قبول حوله فيما يخص توافق المعتقدات

والاســـتراتيجيات والبنى التحتية بواقع تطبيق تقنيات الذكاء الاصـــطناعي وأنظمة نمذجة معلومات البناء في شركات البناء والتشييد.

3-5-5- دراسة تأثير الدعم الإداري على واقع واعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء:

تم اســتخدام اختبار الإشــارة لمعرفة ما إذا كانت متوســط درجة الاســتجابة قد وصــلت إلى درجة الموافقة المتوسطة وهي 3 أم لا. والنتائج موضحة في الجدول (3-17).

الجدول (3-17). المتوسط الحسابي وقيمة الاحتمال لفقرات محور «الدعم الإداري».

م.	العبارة	المتوسط الحسابي	المتوسط الحسابي النسبي	قيمة الاختبار z	القيمة الاحتمالية (.sig)	اتجاه العينة
25	في شـركتي ، تهتم الإدارة العليا بتبني تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي.	4.01	80.20%	-3.182**	0.001	أوافق
26	في شـــركتي ، تعتبر الإدارة العليا أن تبني تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي أمر مهم.	4.24	84.80%	-2.062**	0.039	أوافق بشدة
27	في شـــركتي ، تُظهر الإدارة العليا الدعم في اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي.	4.22	84.40%	-1.661	0.097	أوافق بشدة
جميع فقرات المحور معاً		4.1567	83.13%	-2.668**	0.008	أوافق

**: المتوسط الحسابي دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

من الجدول السابق، نجد أن قيمة الاحتمالية للعبارة /27/ غير دالة عند مستوى معنوية 5%، لذا لا يمكن اعتمادها في تقييم المحور. أما بالنسبة للعبارتين /25 و26/ فاقيمة الاحتمالية لهما أقل من القيمة 0.05، وعليه نعتبر هاتين العباراتين دالتين عند مستوى معنوية 5% وبالنظر لإجمالي فقرات المحور سويةً نجد أن القيمة الاحتمالية هي أقل من القيمة 0.05، وعليه نعتبر المحور ككل دال عند مستوى معنوية 5%. وبالعودة لقيم المتوسطات للعبارة /25/ نجد أن توجه آراء المستجيبين تتجه نحو "موافق" وبالنظر لاتجاه المحور ككل نجد أن آراء أفراد العينة تتجه نحو "موافق" وبالتالي يمكننا القول بأن المحور جملةً صحيح وهناك قبول حوله فيما يخص الدعم الإداري نحو تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي وأنظمة نمذجة معلومات البناء في شركات البناء والتشييد.

3-5-6- دراسة تأثير الميزة التنافسية على واقع واعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء:

تم استخدام اختبار الإشارة لمعرفة ما إذا كانت متوسط درجة الاستجابة قد وصلت إلى درجة الموافقة المتوسطة وهي 3 أم لا. والنتائج موضحة في الجدول (3-18).

الجدول (3-18). المتوسط الحسابي وقيمة الاحتمال لفقرات محور «الميزة التنافسية».

م.	العبارة	المتوسط الحسابي	المتوسط الحسابي النسبي	قيمة الاختبار z	القيمة الاحتمالية (.sig)	اتجاه العينة
28	يعتمد العديد من المنافسين حاليًا أو سيعتمدون تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي في المستقبل القريب.	4.44	88.80%	-1.024	0.306	أوافق بشدة
29	يُنظر إلى المنافسين الذين تبنوا تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي بشكل إيجابي من قبل الآخرين في صناعتنا.	4.36	87.20%	-1.024	0.306	أوافق بشدة
جميع فقرات المحور معاً		4.4	88.00%	0	1	أوافق بشدة

**: المتوسط الحسابي دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

من الجدول السابق، نجد أن قيمة الاحتمالية للعبارات منفردة وللمحور ككل غير دالة عند مستوى معنوية 5%، لذا لا يمكن اعتمادها في تقييم آراء المستجيبين بخصوص الميزة التنافسية التي ستقدمها تقنيات وأنظمة الذكاء الاصطناعي ونمذجة معلومات البناء لشركات التشييد والبناء وهذا قد يكون بسبب انخفاض وعي المستجيبين بالفوائد المترتبة على استخدام مثل هذه التقنيات.

3-5-7- دراســـة تأثير التعقيد على واقع واعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصـــطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء:

تم اســتخدام اختبار الإشــارة لمعرفة ما إذا كانت متوســط درجة الاســتجابة قد وصــلت إلى درجة الموافقة المتوسطة وهي 3 أم لا. والنتائج موضحة في الجدول (3-19).

الجدول (3-19). المتوسط الحسابي وقيمة الاحتمال لفقرات محور «التعقيد».

م.	العبارة	المتوسط الحسابي	المتوسط الحسابي النسبي	قيمة الاختبار z	القيمة الاحتمالية (.sig)	اتجاه العينة
30	ينطوي اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي على تكلفة عالية.	4.25	85.00%	-1.143	0.253	أوافق بشدة
31	إن اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي يستغرق وقتاً طويلاً.	4.32	86.40%	-1.143	0.253	أوافق بشدة
جميع فقرات المحور معاً		4.285	85.70%	-1.218	0.223	أوافق بشدة

**: المتوسط الحسابي دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

من الجدول الســـابق، نجد أن قيمة الاحتمالية للعبارات منفردة وللمحور ككل غير دالة عند مســـتوى معنوية 5%، لذا لا يمكن اعتمادها في تقييم آراء المستجيبين بخصوص التعقيد في استخدام تقنيات وأنظمة الذكاء

الاصـــطناعي ونمذجة معلومات البناء في شـــركات التشـــييد والبناء وهذا قد يكون بســـبب انخفاض معرفة المستجيبين بأساليب استخدام هذه الأنظمة وقلة التدريب والتطوير لمهارات المستجيبين الحاسوبية والبرمجية.

3-5-8- دراســـة تأثير الفائدة المتصـــورة لاعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصـــطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء:

تم اســتخدام اختبار الإشــارة لمعرفة ما إذا كانت متوســط درجة الاســتجابة قد وصــلت إلى درجة الموافقة المتوسطة وهي 3 أم لا. والنتائج موضحة في الجدول (3-20).

الجدول (3-20). المتوسط الحسابي وقيمة الاحتمال لفقرات محور «الفائدة المتصورة».

م.	العبارة	المتوسط الحسابي	المتوسط الحسابي النسبي	قيمة الاختبار z	القيمة الاحتمالية (.sig)	اتجاه العينة
32	يمكن لتقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي أن يزيد الإيرادات والربحية.	4.33	86.60%	-0.977	0.328	أوافق بشدة
33	يمكن لتقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصـــطناعي أن يزيد من إنتاجية العمال.	4.43	88.60%	-1.222	0.222	أوافق بشدة
34	يمكن لتقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصـطناعي تحسـين مهارات المهندس.	4.47	89.40%	-1.685	0.092	أوافق بشدة

جميع فقرات المحور معاً	4.41	88.20%	-1.026	0.305	أوافق بشدة

**: المتوسط الحسابي دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

من الجدول السابق، نجد أن قيمة الاحتمالية للعبارات منفردة وللمحور ككل غير دالة عند مستوى معنوية 5%، لذا لا يمكن اعتمادها في تقييم آراء المستجيبين بخصوص الفائدة المتصورة لاستخدام تقنيات وأنظمة الذكاء الاصطناعي ونمذجة معلومات البناء في شركات التشييد والبناء وهذا قد يكون مجدداً بسبب انخفاض الوعي بالإيجابيات والميزات التي تجلبها هذه التقنيات والتسهيلات التي تقدمها للعاملين في شركات التشييد والبناء.

3-5-9- دراسة تأثير سهولة الاستخدام المتصورة على واقع واعتماد وتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم نمذجة معلومات البناء:

تم استخدام اختبار الإشارة لمعرفة ما إذا كانت متوسط درجة الاستجابة قد وصلت إلى درجة الموافقة المتوسطة وهي 3 أم لا. والنتائج موضحة في الجدول (3-21).

الجدول (3-21). المتوسط الحسابي وقيمة الاحتمال لفقرات محور «سهولة الاستخدام المتصورة».

م.	العبارة	المتوسط الحسابي	المتوسط الحسابي النسبي	قيمة الاختبار z	القيمة الاحتمالية (.sig)	اتجاه العينة
35	إن اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي يفتقر إلى نضج التطبيق.	4.17	83.40%	-2.374**	0.018	أوافق
36	يمثل نقص الموظفين والخبراء غير المناسبين تحديات كبيرة لاعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي.	4.35	87.00%	-1.819	0.069	أوافق بشدة
37	يمكن لتقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي استخدام موارد تكنولوجيا المعلومات وتطبيقاتها بشكل أفضل.	4.45	89.00%	-3.13**	0.002	أوافق بشدة
جميع فقرات المحور معاً		4.3233	86.47%	-0.406	0.685	أوافق بشدة

**: المتوسط الحسابي دال احصائياً عند مستوى دلالة $0.05 \geq \alpha$.

من الجدول السابق، نجد أن قيمة الاحتمالية للعبارة /36/ غير دالة عند مستوى معنوية 5% أما بقية العبارات فهي دالة، وبالعودة لقيم المتوسطات للعبارتين /35 و37/ نجد أن توجه آراء المستجيبين تتجه نحو

"أوافق" و"أوافق بشـــدة" على التوالي وبالتالي يمكننا القول بأن ســـهولة الاســـتخدام المتصـــورة من قبل آراء المستجيبين هي إلى حدّ ما مقبولة وهذه التقنيات قابلة للتطبيق في شركات البناء والتشييد.

3-5-10- دراســـة قرار اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصـــطناعي في شـــركات البناء والتشييد:

تم اســـتخدام اختبار الإشـــارة لمعرفة ما إذا كانت متوســـط درجة الاســـتجابة قد وصـــلت إلى درجة الموافقة المتوسطة وهي 3 أم لا. والنتائج موضحة في الجدول (3-22).

الجدول (3-22). المتوسط الحسابي وقيمة الاحتمال لفقرات محور « قرار اعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي» .

م.	العبارة	المتوسط الحسابي	المتوسط الحسابي النسبي	قيمة الاختبار z	القيمة الاحتمالية (.sig)	اتجاه العينة
38	تعتزم معظم المنظمات في صـــناعة البناء تبني تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي.	4.37	87.40%	-1.162	0.245	أوافق بشدة
39	من المحتمل أن تتخذ شركتي خطوات لاعتماد تقنيات نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي في المستقبل.	4.27	85.40%	-1.162	0.245	أوافق بشدة
	جميع فقرات المحور معاً	4.32	86.40%	-1.218	0.223	أوافق بشدة

**: المتوسط الحسابي دال احصائياً عند مستوى دلالة 0.05 ≥ α.

من الجدول الســـابق، نجد أن قيمة الاحتمالية للعبارات منفردة وللمحور ككل غير دالة عند مســـتوى معنوية 5%، لذا لا يمكن اعتمادها في تقييم آراء المسـتجيبين بخصـوص قرار اعتماد وتطبيق تقنيات وأنظمة الذكاء الاصـطناعي ونمذجة معلومات البناء في شـركات التشـييد والبناء وهذا قد يرجع لواقع الشـركات الإنشـائية في الجمهورية العربية السورية غير قادر على مواكبة التطورالحالي في عالم الذكاء الاصطناعي.

3-6- المناقشة ونتائج الدراسة:

3-6-1- المناقشة والنتائج:

من التحليل السابق الوارد أعلاه، يمكن تلخيص مجموعة النتائج التي تم التوصل إليها كما يلي:

- أظهر تحليل الاستبيان وجود قبول عام حول العلاقة المتبادلة بين تطور تكنولوجيا المعلومات في الشركات الإنشائية وإمكانية تطبيق نظم نمذجة معلومات البناء وتقنيات الذكاء الاصطناعي فيها وهذا بديهي لكون تكنولوجيا المعلومات هي حجر الأساس لهذه النظم والتقنيات.
- فيما يتعلق بالميزة النسبية الناتجة عن تطبيق نظم نمذجة معلومات البناء وتقنيات الذكاء الاصطناعي في شركات البناء والتشييد والتي تتمثّل بالسرعة في التنفيذ والانخفاض في التكاليف والأداء المعزز لعمليات التصميم والإدارة، فقد لوحظ من خلال التحليل أن الرأي العام يتجه نحو الموافقة الشديدة بأن هذه النظم والتقنيات سيكون لها الأثر الإيجابي بخصوص الميزة النسبية لما لها من فوائد وإمكانات عديدة.

- من نتائج التحليل لوحظ أنّ معظم الاستراتيجيات والمعتقدات التنظيمية والبنى التحتية للشركات الإنشائية تدعم وتشجع تطبيق نظم نمذجة معلومات البناء وتقنيات الذكاء الاصطناعي وتتوافق مع أساليبه وطرائقه.
- وفيما يتعلق بالدعم الإدراي لتطبيق نظم نمذجة معلومات البناء وتقنيات الذكاء الاصطناعي في شركات البناء والتشييد، نجد أن الإدارة العليا تسعى لتبنّي هذه التقنيات وتدعم التوجّه نحوها.
- بالنسبة للميزة التنافسية العائدة عن استخدام وتطبيق نظم نمذجة معلومات البناء وتقنيات الذكاء الاصطناعي في شركات البناء والتشييد، نلاحظ انخفاض الوعي بالفوائد المترتبة على استخدام مثل هذه التقنيات وذلك لقلّة الخبرة والممارسة العملية لهذه التقنيات والركود التكنولوجي الذي نشهده لدى معظم الشركات الإنشائية في الجمهورية العربية السورية.
- من نتائج تحليل الاستبيان لوحظ وجود مخاوف متعلقة بالتعقيد المترتب على دمج وتطبيق نظم نمذجة معلومات البناء وتقنيات الذكاء الاصطناعي في شركات البناء والتشييد، والمتمثل بالتكلفة العالية والوقت الطويل اللازم لدمجها ضمن الشركات، وهذا قد يكون بسبب انخفاض معرفة المستجيبين بأساليب استخدام هذه الأنظمة وقلة التدريب والتطوير لمهارات المستجيبين الحاسوبية والبرمجية.
- بالنسبة للفائدة المتصورة العائدة من استخدام وتطبيق نظم نمذجة معلومات البناء وتقنيات الذكاء الاصطناعي في شركات البناء والتشييد، وجدنا أنّها محدودة على عكس ما هو متوقّع وهذا قد يكون مجدداً بسبب انخفاض الوعي بالإيجابيات والميزات التي تجلبها هذه التقنيات والتسهيلات التي تقدمها للعاملين في شركات التشييد والبناء.

- بالنسبة لسهولة استخدام وتطبيق نظم نمذجة معلومات البناء وتقنيات الذكاء الاصطناعي في شركات البناء والتشييد، نجد أنّ التوجّه العام لهذا الاستخدم يتسّم بالسهولة وهذا يعود أساساً للتقدم البرمجي الذي شهدته هذه النظم والتي جعلت من واجهات المستخدم فيها سهلة الاستخدام وتوحيد أوامرها وواجهاتها مع النظم والبرمجيات المعهودة وشائعة الاستخدام حالياً.
- عموماً، نجد أن قرار اعتماد وتطبيق نظم نمذجة معلومات البناء وتقنيات الذكاء الاصطناعي في شركات البناء والتشييد في الجمهورية العربية السورية لا يزال متراجعاً وهذا قد يرجع لواقع الشركات الإنشائية في الجمهورية العربية السورية والظروف التي يمر بها البلد والتي تجعل من الصعب مواكبة التطورالحالي في عالم الذكاء الاصطناعي.

3-6-2- التوصيات

1. ضرورة التوعية بأهمية استخدام أنظمة نمذجة معلومات البناء وتقنيات الذكاء الاصطناعي لتحسين أداء تنفيذ المشاريع الإنشائية من خلال تحسين عمليات التصميم الأولي للمشروع بالإضافة إلى تحسين جودة عمليات الإنشاء من خلال الحد من المشاكل أثناء التنفيذ واختصار الوقت والجهد اللازم لإنهاء العمليات المختلفة مع ما يترافق ذلك من تقليل التكاليف المرتبطة بتنفيذ المشروع.
2. تدريب العاملين على استخدام تكنولوجيا الـ BIM والذكاء الاصطناعي التي تنعكس إيجاباً على المردود الاقتصادي للشركة.
3. يجب تطوير برامج التدريب المصممة خصيصًا لمديري المشاريع لتعزيز اعتماد تقنية الـ BIM والذكاء الاصطناعي. لا يحتاج إدخال مثل هذه البرامج إلى التركيز على الجوانب الفنية للتشغيل القائم على الـ

BIM بل على الجوانب الإدارية. وهذا لأنه ليس من الضروري أن يكون لدى صانعي القرار فهم للتكنولوجيا ولكنهم بحاجة إلى فهم شامل للعمليات المعنية بها ودعمها والتشجيع عليها.

4. لا تزال تقنية الـ BIM واستخدام الذكاء الاصطناعي في مشاريع البناء والتشييد ظاهرة متطورة لذلك يجب إجراء مزيد من البحث ونوصى بإجراء المزيد من الدراسات المتعلقة بـ:

   a. تأثير أنظمة الـ BIM وتقنيات الذكاء الاصطناعي على الديناميكيات التنظيمية لشركات البناء والتشييد.

   b. القضايا القانونية المرتبطة بدمج واعتماد أنظمة الـ BIM وتقنيات الذكاء الاصطناعي في الشركات الإنشائية.

   c. دراسة مفصلة لكيفية تأثير أنظمة الـ BIM وتقنيات الذكاء الاصطناعي على تصميم وجدولة وتكاليف مشروع البناء.

الخاتمة:

يســـتعد الذكاء الاصـــطناعي لإحداث تأثير هائل على الطريقة التي يتم بها الأمور في العديد من الصناعات كنهج مبتكر لتحسين الإنتاجية وحلّ التحديات. تواجه صناعة البناء والتشييد مشكلة في الإنتاجيات وتحديات أخرى لا حصـر لها. والتي يمكن ان يحلها الذكاء الاصـطناعي، مع زيادة البيانات التي يتم انشـاؤها طيلة دورة حياة المشروع، وكذلك ظهور تقنيات رقمية أخرى، فإن الذكاء الاصطناعي لديه قدرة على تسخير هذه البيانات والاستفادة منها لتحسين قطاع البناء.

قائمة المراجع:

[8] Al Qady, M., Kandil, A., 2010. Concept relation extraction from construction documents using natural language processing. J. Construct. Eng. Manag. 136 (3), 294–302.

[9] Andersen, K., Forr, T., 2018. The State of Construction Technology. Jones Lang LaSalle IP, Inc., p. 12

[10] Azevedo, M.A., 2019. Investor Momentum Builds for Construction Tech. *Crunchbase News*, San Francisco, CA.

[11] Ballard, G., 2000. The Last Planner System of Production Control. PhD Dissertation. University of Birmingham, Birmingham, U.K.

[12] Ballard, G., 2008. The lean project delivery system: an update. Lean Constr. J. 2008, 1–19.

[13] Bekkelien, A., Deriaz, M., Marchand-Maillet, S., 2012. "Bluetooth Indoor positioning." *Master's Thesis*. University of Geneva.

[14] Belsky, M., Sacks, R., Brilakis, I., 2016. Semantic enrichment for building information modeling. Comput. Aided Civ. Infrastruct. Eng. 31 (4), 261–274. https://doi.org/ 10.1111/mice.12128.

[15] Bishop, C.M., 2016. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Information Science and Statistics. Springer, New York, New York, NY.

[16] Blanco, J.L., Mullin, A., Pandya, K., Sridhar, M., 2017. The New Age of Engineering and Construction Technology. McKinsey & Company, Philadelphia, PA.

[17] Bloch, T., Katz, M., Yosef, R., Sacks, R., 2019. Automated Model Checking for Topologically Complex Code Requirements – Security Room Case Study. In: O'Donnell, J. (Ed.), 2019 European Conference on Computing in Construction. EC3, Chania, Crete, Greece.

[18] Bloch, T., Sacks, R., 2018. Comparing machine learning and rule-based inferencing for semantic enrichment of BIM models. Autom. ConStruct. 91, 256–272. https:// doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.018.

[19] Borrmann, A., Van Treeck, C., Rank, E., 2006. Towards a 3D spatial query language for building information models. In: Proc. Joint Int. Conf. of Computing and Decision

Making in Civil and Building Engineering (ICCCBE-XI).

[20] Braid, I.C., 1973. Designing with Volumes. Cantab Press, Cambridge University, Cambridge UK.

[21] Brilakis, I., Haas, C., 2020. Infrastructure Computer Vision. Butterworth-Heinemann, Oxford.

[22] Brilakis, I., Soibelman, L., Shinagawa, Y., 2005. Material-based construction site image retrieval. J. Comput. Civ. Eng. 19 (4), 341–355.

[23] Buchmann, A., Koldehofe, B., 2009. Complex event processing. IT Inf. Technol. 51 (5). Casale, D., 2013. Project Lion - A DPR/Trimble Automated Layout Robot. DPR Construction, Redwood City, CA. https://www.youtube.com/watch?v k-lfL3dA1S.

[24] Chi, H.-L., Kang, S.-C., Wang, X., 2013. Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction. Autom. ConStruct. 33, 116–122. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.017.

[25] Chowdhury, T., Adafin, J., Wilkinson, S., 2019. Review of digital technologies to improve productivity of New Zealand construction industry. J. Inf. Technol. Construct. 24, 569–587. https://doi.org/10.36680/j.itcon.2019.032.

[26] Costin, A., Pradhananga, N., Teizer, J., 2012. Leveraging passive RFID technology for construction resource field mobility and status monitoring in a high-rise renovation project. Autom. ConStruct. 24, 1–15.

[27] Degani, A., Li, W.B., Sacks, R., Ma, L., 2019. An automated system for projection of interior construction layouts. IEEE Trans. Autom. Sci. Eng. 16 (4), 1825–1835. https://doi.org/10.1109/TASE.2019.2897135.

[28] Dimyadi, J., Pauwels, P., Amor, R., 2016. Modelling and accessing regulatory knowledge for computer-assisted compliance audit. Spec. Track Compl. Check. 21, 317–336. ITcon, Special issue CIB W78 2015.

[29] Eastman, C.M., 1975. The use of computers instead of drawings in building design. J. Am. Inst. Archit. 63 (3), 46–50.

[30] Efron, B., Hastie, T., 2016. Computer Age Statistical Inference: Algorithms, Evidence, and Data Science. Institute of Mathematical Statistics monographs, Cambridge University Press, New York, NY.

[31] Galle, P., 2002. Philosophy of design: an editorial introduction. Des. Stud. 23 (3),

211–218.

[32] Garrett, J.H., Fenves, S.J., 1987. A knowledge-based standards processor for structural component design. Eng. Comput. 2 (4), 219–238.

[33] Gero, J., 2012. Design Optimization. Elsevier Science.

[34] Gholizadeh, P., Esmaeili, B., Goodrum, P., 2018. Diffusion of building information modeling functions in the construction industry. J. Manag. Eng. 34 (2), 04017060.

[35] Hakim, M., Garrett, J.H., 1993. Using description logic for representing engineering design standards. J. Eng. Comp. 9, 108–124.

[36] Hall, D.M., Whyte, J.K., Lessing, J., 2019. Mirror-breaking strategies to enable digital manufacturing in Silicon Valley construction firms: a comparative case study. Construct. Manag. Econ. 1–18.

[37] Hayes-Roth, F., Waterman, D.A., Lenat, D.B., 1983. Building Expert Systems. Addison- Wesley, Reading, Massachusetts.

[38] Ismail, A., Nahar, A., Scherer, R., 2017. Application of graph databases and graph theory concepts for advanced analysing of BIM models based on IFC standard. In: European Group for Intelligent Computing in Engineering, vol. 12. Nottingham, UK.

[39] ISO 10303-11, 2004. Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 11: description methods: The EXPRESS Language Reference Manual. International Standards Organisation. https://www.iso.org/standard/57620.html.

[40] ISO, 2013. ISO 16739:2013 Industry Foundation Classes (IFC) for Data Sharing in the Construction and Facility Management Industries. International Standards Organization.

[41] ISO, 2018. ISO 19650-1, Organization and Digitization of Information about Buildings and Civil Engineering Works, Including Building Information Modelling (BIM) — Information Management Using Building Information Modelling — Part 1: Concepts and Principles. International Standards Organisation.

[42] Jin, C., Xu, M., Lin, L., Zhou, X., 2018. “Exploring BIM Data by Graph-Based Unsupervised Learning:” *Proceedings of the 7th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods*. SCITEPRESS - Science and Technology Publications, Funchal, Madeira, Portugal, pp. 582–589.

[43] Katila, R., Levitt, R.E., Sheffer, D., 2018. Systemic innovation of complex one-off products: the case of green buildings. In: Joseph, J., Baumann, O., Burton, R., Srikanth, K. (Eds.), Advances in Strategic Management. Emerald Publishing Limited, pp. 299–328.

[44] Kenley, R., Seppänen, O., 2010. Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control. Spon Press.

[45] Khalili, A., Chua, D.K.H., 2015. IFC-based graph data model for topological queries on building elements. J. Comput. Civ. Eng. 29 (3), 04014046.

[46] Kiliccote, H., Garrett, J.H., 1995. "Obstacles to the Development of Computable Models of Design standards." *Workshop on Computing and Information in Construction: Modeling of Buildings Through Their Lifecycle*. Stanford University, Stanford, CA.

[47] Koo, B., Shin, B., 2018. Applying novelty detection to identify model element to IFC class misclassifications on architectural and infrastructure Building Information Models. J. Comput. design Eng. 5 (4), 391–400.

[48] Koo, B., La, S., Cho, N.-W., Yu, Y., 2019. Using support vector machines to classify building elements for checking the semantic integrity of building information models. Autom. ConStruct. 98, 183–194.

[49] Koskela, Lauri, 2000. An Exploration towards a Production Theory and its Application to Construction. D. Tech, Helsinki University of Technology, Espoo.

[50] Krijnen, T., Tamke, M., 2015. In: Thomsen, M.R., Tamke, M., Gengnagel, C., Faircloth, B., Scheurer, F. (Eds.), "Assessing Implicit Knowledge in BIM Models with Machine Learning." *Modelling Behaviour*. Springer International Publishing, Cham, pp. 397–406.

[51] Lee, S., Akin, O, 2011. Augmented reality-based computational fieldwork support for equipment operations and maintenance. Autom. ConStruct. 20 (4), 338–352.

[52] Maher, M.L., Fenves, S.J., 1985. HI-RISE - an expert system for the preliminary structural design of high rise buildings. In: Gero, J.S. (Ed.), Knowledge Engineering in Computer-Aided Design. North-Holland, Amsterdam, pp. 125–135.

[53] Mazairac, W., Beetz, J., 2013. "BIMQL ? An open query language for building information models. Adv. Eng. Inf. 27 (4), 444–456.

[54] McCullouch, B.G., 1992. “Automated construction field-data management system. J. Transport. Eng. 118 (4), 517–526.

[55] McCullouch, B.G., Lueprasert, K., 1994. “2D bar-code applications in construction. J. Construct. Eng. Manag. 120 (4), 739–752.

[56] Mitchell, W., Liggett, R., Tan, M., 1990. Top-down knowledge-based design. In: McCullough, M., Mitchell, W., Purcell, P. (Eds.), The Electronic Design Studio: Architectural Knowledge and Media in the Computer Era. MIT Press, Cambridge, MA, pp. 137–148.

[57] Nahar, A., 2017. “Applying Graph Theory Concepts for Analyzing BIM Models Based on IFC standards.’’ Master's Thesis. Technische Universität Dresden, Dresden, Germany. Navon, R., 2005. Automated project performance control of construction projects. Autom. ConStruct. 14 (4), 467–476.

[58] Navon, R., Sacks, R., 2007. Assessing research issues in automated project performance control (APPC). Autom. ConStruct. 16, 474–484.

[59] Nawari, N.O., 2017. Building Information Modeling: Automated Code Checking and Compliance Processes. CRC Press, Boca Raton.

[60] Nguyen, T.-H., Oloufa, A.A., 2001. Computer-generated building data: topological information. J. Comput. Civ. Eng. 15 (4), 268–274.

[61] Prouty, J. M. (2013). Robotic Construction Site Marking Apparatus. Chula Vista, CA. US Patent Office Application no. 13/471,883. Filed May 15th 2012. 11 pages.

[62] Rogers, S., Girolami, M., 2017. A First Course in Machine Learning. Chapman & Hall/CRC Machine Learning & Pattern Recognition Series. CRC Press, Taylor & Francis Group, a Chapman & Hall book, Boca Raton London New York.

[63] Sacks, R., 2016. What constitutes good production flow in construction? Construct. Manag. Econ. 34 (9), 641–656. https://doi.org/10.1080/01446193.2016.1200733.

[64] Sacks, R., Buyukozturk, O., 1987. Expert interactive design of concrete columns under Biaxial bending. ASCE J. Comp. Civil Eng. 1, 69–81.

[65] Sacks, R., Eastman, C.M., Lee, G., 2003. Process improvements in precast concrete construction using top-down parametric 3-D computer-modeling. J. Prec. Prest. Conc. Inst. 48, 46–55.

[66] Sacks, R., Eastman, C.M., Lee, G., 2004. Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete. Autom. ConStruct. 13, 291–312.

[67] Sacks, R., Eastman, C.M., Lee, G., Teicholz, P., 2018. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors and Facility Managers. John Wiley and Sons, Hoboken, NJ.

[68] Sacks, R., Bloch, T., Katz, M., Yosef, R., 2019. Automating design review with artificial intelligence and BIM: state of the art and research framework. In: Behzadan, A.H., Cho, Y., Leite, F., Wang, C. (Eds.), Computing in Civil Engineering 2019: Visualization, Information Modeling, and Simulation. American Society of Civil Engineers, Atlanta, GA, USA, pp. 353–360.

[69] Sacks, R., Ma, L., Yosef, R., Borrmann, A., Daum, S., Kattel, U., 2017. Semantic enrichment for building information modeling: procedure for compiling inference rules and operators for complex geometry. J. Comput. Civ. Eng. 31 (6), 04017062 https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000705.

[70] Sacks, R., Navon, R., Brodetskaia, I., 2006. Interpretation of automatically monitored equipment data in construction control. J. Comput. Civ. Eng. 20, 111–120. https:// doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2006)20:2(111).

[71] Song, J., Kim, J., Lee, J.-K., 2018. NLP and Deep Learning-Based Analysis of Building Regulations to Support Automated Rule Checking System, 7.

[72] Trimble, 2020. “Trimble XR10 with Hololens 2.” Trimble mixed reality. https://mixedr eality.trimble.com/.

[73] Turk, Z., Isakovic, T., Fischinger, M., 1994. Object-oriented modeling of design system for RC buildings. J. Comput. Civ. Eng. 8, 436–453.

[74] Wang, X., Kim, M.J., Love, P.E.D., Kang, S.-C., 2013. Augmented Reality in built environment: classification and implications for future research. Autom. ConStruct. 32, 1–13.

[75] Warszawski, A., Sangrey, D.A., 1985. Robotics in building construction. J. Construct. Eng. Manag. 111 (3), 260–280.

[76] Winograd, T., Flores, F., 1986. Understanding Computers and Cognition: a New Foundation for Design. Intellect Books, Bristol, UK.

[77] Woodward, C., Kuula, T., Honkamaa, P., Hakkarainen, M., Kemppi, P., 2014.

Implementation and evaluation of a mobile augmented reality system for building maintenance. In: Dawood, N., Alkass, S. (Eds.), Proceedings of the 14th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, pp. 306–315. Sharjah, UAE.

[78] Wu, J., Zhang, J., 2019. New automated BIM object classification method to support BIM interoperability. J. Comput. Civ. Eng. 33 (5), 04019033.

[79] Wülfing, A., Windisch, R., Scherer, R., 2014. "A visual BIM query language." eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction. ECPPM 2014, 157.

[80] Zhang, J., El-Gohary, N.M., 2017. Integrating semantic NLP and logic reasoning into a unified system for fully-automated code checking. Autom. ConStruct. 73, 45–57.

[81] M. Bilal, L.O. Oyedele, H.O. Kusimo, H.A. Owolabi, L.A. Akanbi, A.O. Ajayi, O. O. Akinade, J.M.D. Delgado, Investigating profitability performance of construction projects using big data: a project analytics approach, J. Build. Eng. 26 (2019), 100850.

[82] M. Ribeiro, S. Singh, C. Guestrin, Why Should I Trust You?: Explaining the Predictions of Any Classifier, California, San Francisco, 2016, pp. 1135–1144. ACM.

[83] A. Binder, et al., Layer-wise Relevance Propagation for Neural Networks with Local Renormalization Layers, Springer, Barcelona, 2016, pp. 63–71.

[84] J. Frank, Artificial intelligence and intrusion detection: current and future directions. s.l, in: Proceedings of the 17th National Computer Security Conference, 1994, pp. 1–12.

[85] L.O. Oyedele, B.E. Jaiyeoba, K.O. Kadiri, S.O. Folagbade, I.K. Tijani, R.O. Salami, Critical factors affecting construction quality in Nigeria: evidence from industry professionals, Int. J. Sustain. Build. Technol. Urban Develop. 6 (2) (2015) 103–113.

[86] L. Huang, et al., Adversarial Machine Learning, ACM, Chicago, Illinois, 2011, pp. 43–58.

[87] EY and MIT Technology Review Insights, The Growing Impact of AI on Business [Acces, 2018 [Online] Available at: https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-ai-creates-jobs-yet-talent-crisis-remains/$File/ey-ai-creates-jobs-yet-talent-crisis-remains.pdf.

[88] A. Winfield, M. Jirotka, Ethical governance is essential to building trust in robotics and artificial intelligence systems, Phil. Trans. R. Soc. A 376 (2133) (2018), 20180085.

[89] H. Yu, et al., Building Ethics into artificial intelligence. s.l, in: IJCAI, 2018, pp. 5527–5533.