

Final Project 1

Code: MGM 496–PMG496

Project Template

Faculty of Management

Midocean University

جامعة ميد أوشن



كلية الإدارة

تخصص إدارة المشاريع

أثر استخدام تقنيات الواقع المعزز في تحسين متابعة تنفيذ
المشاريع الإنشائية: دراسة ميدانية على مشروعات الإسكان
بالمملكة

اسم الطالبة/

خلود فوزي السحلي

٢٢١٠٠١٢٦٠

إشراف

د. عبدالرحيم نادر

عضو هيئة التدريس - كلية الإدارة - جامعة ميد أوشن

2025 – 1447



إهداء

أهدي هذا العمل إلى والديّ العزيزين، اللذين كان لهما الفضل الأكبر في دعمي وتحفيزي طوال مسيرتي. إلى والديّ، التي كانت لي مصدرًا للحب والدعم، وإلى والدي، الذي غرس فيّ قيمة المثابرة والاجتهاد.

إلى زوجي العزيز، الذي كان لي الشريك والداعم في كل خطوة، أهدي هذا الإنجاز كتعبير عن امتناني العميق لصبره وتشجيعه المستمرين.

إلى أساتذتي الكرام، الذين لم يخلوا عليّ بتوجيهاتهم وإرشاداتهم القيمة. كان لخبرتهم وعلمهم الأثر الكبير في إتمام هذا البحث.

إلى زملائي وأصدقائي الأعزاء، الذين شاركوني هذه الرحلة ودعموها بكل ما أوتوا من قوة، أهدي هذا العمل تقديرًا لمساندتهم وتشجيعهم المستمر.

وأخيرًا، أهدي هذا العمل إلى كل من آمن بقدراتي وقدم لي الدعم، سائلًا الله أن يجعل هذا الإنجاز بداية لمرحلة جديدة من النجاحات والتقدم.

شُكْرٌ وَتَقَدِيرٌ

الحمد لله الذي وعني وأعاني على إتمام هذا العمل، وبصلة والسلام على نبينا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين.

أتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى والديّ العزيزين، اللذين كانا لي النبراس والموجه. إن دعمهما المتواصل وتشجيعهما الدائم كانا الدافع الأكبر لي لتحقيق هذا الإنجاز.

كما أعبر عن عميق امتناني لزوجي الغالي، الذي كانت لي الشريك والسند في هذه الرحلة الطويلة. كان لصبره وتفهمه ودعمه المستمر أثر بالغ في إنجاز هذا العمل.

أود أن أشكر أساتذتي الكرام، وخاصة مشرف رسالتي، الذين لم ييخلوا عليّ بوقتهم وخبرتهم. لقد كان لإرشاداتهم العلمية ونصائحهم القيمة الأثر الكبير في إتمام هذا البحث

د. عبدالرحيم نادر

عضو هيئة التدريس- كلية الإدارة- جامعة ميد أوشن

أشكر زملائي وأصدقائي، الذين كانوا لي عونًا وسندًا، وكان لتشجيعهم ودعمهم دور كبير في تجاوز الصعاب والوصول إلى هذا النجاح.

وأخيرًا، أتقدم بالشكر والامتنان لكل من ساهم بأي شكل في إنجاز هذا العمل، سائلًا الله أن يجعل هذا الجهد خالصًا لوجهه الكريم، وأن يوفقنا جميعًا لما فيه الخير والصلاح.

المستخلص

هدفت هذه الدراسة إلى استقصاء أثر استخدام تقنيات الواقع المعزز بأبعادها الأربعة (التصميم التفاعلي، العرض ثلاثي الأبعاد، التتبع الزمني، وتكامل البيانات الحية) في تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية، واعتمدت الدراسة على المنهج الكمي باستخدام الاستبانة كأداة رئيسية لجمع البيانات من عينة مكونة من (250) فردًا من المهندسين والمشرفين العاملين في مشاريع الإسكان داخل المملكة. تم تحليل البيانات باستخدام برنامج SPSS .

أظهرت النتائج وجود علاقة ارتباط وتأثير ذات دلالة إحصائية بين جميع أبعاد تقنيات الواقع المعزز وتحسين متابعة تنفيذ المشاريع، حيث كان بعد "التصميم التفاعلي" هو الأعلى تأثيرًا، يليه "العرض ثلاثي الأبعاد"، ثم "التتبع الزمني"، وأخيرًا "تكامل البيانات الحية"، وقد بيّنت النتائج أيضًا أن تبني هذه التقنيات يُسهم في تقليل الفجوة بين التخطيط والتنفيذ، ويُعزز من سرعة الاستجابة للأخطاء الميدانية، ويُحسن جودة الإنجاز في مراحل البناء المختلفة. وأوصت الدراسة بتوسيع نطاق تطبيق تقنيات الواقع المعزز في مشاريع الإسكان، وتطوير البنية التحتية الرقمية، وتدريب الكوادر الهندسية على استخدامها، مع إدراجها ضمن سياسات التخطيط والمواصفات الفنية للمشروعات العمرانية المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: الواقع المعزز، التصميم التفاعلي، العرض ثلاثي الأبعاد، التتبع

الزمني، تكامل البيانات الحية، متابعة تنفيذ المشاريع، مشروعات الإسكان.

قائمة المحتويات

أ.....	بسم الله الرحمن الرحيم
ب.....	الإهداء
ج.....	الشكر والتقدير
د.....	المستخلص
ه.....	قائمة المحتويات
ح.....	قائمة الجداول
1.....	الفصل الأول: الإطار العام للدراسة
1.....	1.1 المقدمة
2.....	2.1 المشكلة البحثية:
4.....	3.1 أهمية البحث:
6.....	4.1 أسئلة الدراسة
7.....	5.1 أهداف الدراسة
8.....	6.1 فرضيات الدراسة
9.....	7.1 نموذج الدراسة
9.....	8.1 منهجية الدراسة
10.....	9.1 الدراسة الميدانية
11.....	10.1 مخطط المشروع المقترح
13.....	الفصل الثاني: الدراسات السابقة

1.2 المقدمة:	13
2.2 المتغير المستقل	14
1.2.2 مفهوم الواقع المعزز	14
2.2.2 أهمية تقنيات الواقع المعزز في المشاريع الإنشائية	17
3.2.2 الدراسات السابقة	19
3.2 المتغير التابع	21
1.3.2 مفهوم متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية	22
2.3.2 أهمية متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية	23
3.3.2 مراحل متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية	25
4.3.2 الدراسات السابقة	27
4.2 العلاقة بين المتغير المستقل والمتغير التابع	29
1.4.2 الدراسات السابقة	32
5.2 الخاتمة	35
الفصل الثالث: منهجية الدراسة	37
1.3 تمهيد	37
2.3 التعريفات الإجرائية لمتغيرات البحث	37
3.3 تصميم البحث (منهج الدراسة)	38
4.3 مجتمع البحث وطرق وتقنيات أخذ العينات	39
5.3 طريقة جمع البيانات	39
6.3 أنواع البيانات	40

41	7.3 إجراءات التحليل الإحصائي
42	8.3 صدق أداة الدراسة ومصفوفة الارتباط لبُعد تقنيات الواقع المعزز
44	9.3 ثبات أداة الدراسة (تحليل ألفا كرونباخ)
46	الفصل الرابع: تحليل البيانات
46	1.4 تمهيد
46	2.4 الخصائص الديموغرافية لأفراد العينة
47	3.4 التحليل الوصفي لأبعاد الدراسة
52	4.4 المتغير التابع: تحسين متابعة تنفيذ المشاريع
54	5.4 اختبار فرضيات الدراسة
63	الفصل الخامس: النتائج والتوصيات
63	1.5 التمهيد
63	2.5 مناقشة النتائج
66	2.5 التوصيات
67	Abstract
69	قائمة المراجع
69	أولاً: المراجع باللغة العربية
70	ثانياً: المراجع الأجنبية
75	الملاحق
76	استمارة استبيان

قائمة الجداول

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
42	الجدول (1) مصفوفة الارتباط لبُعد تقنيات الواقع المعزز	1.
43	الجدول (2) معاملات الثبات لأبعاد المتغير التابع (تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية)	2.
44	جدول رقم (3): التوزيع النسبي للخصائص الديموغرافية لأفراد العينة (n = 250)	3.
46	الجدول (4) التحليل الوصفي لبعد التصميم التفاعلي	4.
47	الجدول (5) التحليل الوصفي لبعد العرض ثلاثي الأبعاد	5.
48	الجدول (6) التحليل الوصفي لبعد التتبع الزمني	6.
49	الجدول (7) التحليل الوصفي لبعد تكامل البيانات الحية	7.
51	الجدول (8) التحليل الوصفي للمتغير التابع: تحسين متابعة تنفيذ المشاريع	8.
53	جدول (9): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لأثر أبعاد الواقع المعزز على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع	9.
55	جدول (10): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التصميم التفاعلي على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية	10.

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
57	جدول (11): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر العرض ثلاثي الأبعاد على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية	11.
58	جدول (12): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التتبع الزمني على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية	12.
60	جدول (13): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر تكامل البيانات الحية على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية	13.

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1 المقدمة

في ظل التحولات الرقمية المتسارعة التي تشهدها مختلف القطاعات الإنتاجية والخدمية، أصبحت صناعة التشييد والبناء من أبرز المجالات التي تسعى إلى تبني التكنولوجيا الحديثة من أجل رفع كفاءتها التشغيلية وتحسين جودة التنفيذ. وقد أدى التوسع العمراني الكبير في المملكة العربية السعودية إلى ارتفاع حجم المشروعات الإسكانية، مما يتطلب أدوات جديدة تواكب تعقيدات التنفيذ وتعدد الأطراف المعنية بالمشروعات، سواء على مستوى التصميم أو الإدارة أو الرقابة الميدانية. ومن هنا تبرز الحاجة إلى استثمار التقنيات الرقمية المتقدمة، وعلى رأسها تقنيات الواقع المعزز (Augmented Reality)، كأداة داعمة لتحسين عمليات المتابعة والرقابة داخل مواقع البناء.

تعتمد تقنية الواقع المعزز على دمج عناصر رقمية تفاعلية ضمن البيئة الحقيقية، بحيث تُتيح للمستخدمين التفاعل مع المعلومات البصرية والمجسمات الافتراضية في الوقت الحقيقي، بما يسهل اتخاذ القرار على أرض الواقع. وقد ظهرت هذه التقنية بداية في مجالات الترفيه والتعليم، ثم بدأت تتوسع تدريجيًا لتشمل التطبيقات الصناعية والمعمارية، وذلك لما توفره من قدرات فائقة في عرض النماذج، وتتبع مراحل الإنجاز، وتحسين التواصل بين الأطراف الهندسية، وخاصة في بيئات العمل الميداني التي تتسم بالتغير المستمر والتعقيد في مراحل التنفيذ (أحمد وسالم، 2022).

في قطاع الإسكان، تعد عمليات المتابعة التنفيذية من أهم المراحل التي تحدد نجاح المشروع أو فشله، إذ تتعلق بمدى الالتزام بالمخططات الزمنية، ودقة تطبيق التصاميم، والتأكد

من جودة العمل الميداني. غير أن التحدي الأكبر الذي يواجه المشرفين الميدانيين والمهندسين هو القدرة على رصد الأخطاء بشكل فوري، وتحليل الانحرافات عن المخططات الأصلية، واتخاذ التدابير التصحيحية في الوقت المناسب. وتوفر تقنيات الواقع المعزز إمكانية تجاوز هذه التحديات من خلال إتاحة الرؤية الفورية للنماذج الهندسية ثلاثية الأبعاد داخل بيئة المشروع الفعلية، ما يتيح المقارنة بين الوضع المخطط والحالة المنفذة بدقة عالية (الخطيب والشرفا، 2018).

كما تساعد هذه التقنيات في عرض مراحل العمل الزمني بشكل تفاعلي، من خلال تتبع تقدم الإنجاز وربط البيانات الميدانية بالنماذج الرقمية، مما يُمكن من مراقبة الأداء في الزمن الحقيقي دون الاعتماد الحصري على التقارير الورقية أو الصور التقليدية. كذلك، تعزز تقنيات الواقع المعزز قدرة فرق العمل على فهم التفاصيل المعمارية والإنشائية، خصوصًا عند التعامل مع المشاريع الكبيرة والمعقدة، مما يقلل من الأخطاء الناتجة عن ضعف الفهم أو غموض الرسومات.

لذا فإن دمج هذه التقنيات في متابعة تنفيذ مشروعات الإسكان يمثل نقلة نوعية نحو تحقيق الدقة والشفافية والكفاءة، وهو ما يجعل دراسة هذا الموضوع ضرورة ملحة لفهم كيفية الاستفادة المثلى من هذه التكنولوجيا في بيئة تنفيذية ذات تحديات متزايدة كالتي تشهدها مشروعات المملكة.

2.1 المشكلة البحثية:

تُعد متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية من أكثر المراحل تعقيدًا ضمن دورة حياة المشروع، نظرًا لتعدد الأطراف المشاركة، وتداخل العمليات، وحساسية الوقت والتكلفة. وتواجه مشاريع الإسكان في المملكة العربية السعودية العديد من التحديات المتعلقة بتأخير الإنجاز،

وغياب الشفافية في تتبع مراحل التنفيذ، وصعوبة التواصل الميداني بين فرق العمل والمشرفين على مستوى التصميم والإدارة. هذه التحديات تُضعف من كفاءة المتابعة التقليدية وتعوق دقة اتخاذ القرار في الوقت المناسب.

في هذا السياق، برزت تقنيات الواقع المعزز كأداة واعدة في المجال الهندسي والإنشائي، لما توفره من إمكانيات في إسقاط النماذج الرقمية على البيئات الحقيقية، وتمكين الأطراف المختلفة من تصور التقدم الفعلي للمشروع بشكل فوري وتفاعلي. وقد أثبتت بعض الدراسات الحديثة فعاليتها في دعم عمليات التفتيش الميداني، وتحسين دقة البيانات، وزيادة كفاءة التواصل بين الفرق الفنية. إلا أن توظيف هذه التقنية في مشاريع الإسكان في المملكة لا يزال محدودًا، وغالبًا ما يُستخدم بشكل تجريبي دون دمجها بشكل ممنهج في نظام المتابعة والتنفيذ.

وتتجسد المشكلة البحثية هنا في وجود فجوة بين الإمكانيات النظرية والتقنية التي تتيحها تقنيات الواقع المعزز وبين واقع ممارسات المتابعة في المشاريع الإسكانية الكبرى في المملكة، حيث ما زالت الأدوات التقليدية المعتمدة على التقارير الورقية والاجتماعات الميدانية تهيمن على آليات التقييم والتخطيط والتنفيذ. هذه الفجوة تنعكس سلبًا على جودة المتابعة الزمنية للمشروعات، وعلى كفاءة رصد الانحرافات، مما يؤدي إلى تكرار مشكلات التأخير، وغياب التوثيق البصري الدقيق لتطور الأعمال.

ومن خلال مراجعة الأدبيات، يتبين أن معظم الدراسات تناولت الواقع المعزز من منظور تقني أو تعليمي، في حين أن التطبيقات الميدانية لهذه التقنية في قطاع الإنشاء، وخصوصًا في مجال متابعة المشاريع السكنية الكبرى، لم تتل ما تستحقه من دراسة وتحليل. وعليه، تبرز الحاجة لإجراء دراسة ميدانية تستقصي مدى تأثير استخدام الواقع المعزز على

تحسين عملية المتابعة في مشاريع الإسكان في المملكة، مع الأخذ في الاعتبار الخصائص التنظيمية والتقنية والبشرية التي قد تعيق أو تدعم هذا التوظيف.

ومن هنا تتبع أهمية البحث في سد هذه الفجوة من خلال تقديم إطار تطبيقي عملي يربط بين الإمكانيات التقنية للواقع المعزز واحتياجات الجهات المنفذة والمشرفة في مشاريع الإسكان، بما يُسهم في تطوير منظومة المتابعة وتحسين جودة الإنجاز في ضوء مستهدفات رؤية المملكة 2030 في قطاع الإسكان والبنية التحتية.

ومن هنا يمكن بلورة مشكلة البحث الحالي في التساؤل الرئيس التالي: إلى أي مدى يسهم استخدام تقنيات الواقع المعزز بأبعادها المختلفة في تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة؟

3.1 أهمية البحث:

أولاً: الأهمية العلمية

- تسهم هذه الدراسة في إثراء الأدبيات العلمية في مجال القيادة الإدارية من خلال تحليل العلاقة بين فاعلية القيادة وتفعيل دور الموارد البشرية كشريك استراتيجي، وهو مجال يتسم بندرة الدراسات التطبيقية في السياق السعودي، وخاصة في الشركات الكبرى ك"السعودية".
- تتبع الأهمية العلمية من تركيز الدراسة على دمج المفاهيم النظرية للقيادة التحويلية والموارد البشرية الاستراتيجية وربطها بتطبيقات واقعية في بيئة عمل معقدة وديناميكية، مما يسهم في تطوير الفهم العلمي حول آليات صناعة القرار المؤسسي.

- تقدم الدراسة إطارًا معرفيًا متكاملًا يساعد على تحليل أبعاد القيادة الفعالة (مثل الرؤية، التمكين، التحفيز، وبناء الفريق) وربطها بدور الموارد البشرية كشريك في صياغة الأهداف وتحقيقها، بما يسهم في إنتاج نماذج قابلة للتطبيق في قطاعات خدمية متطورة.
- تضيف هذه الدراسة بعدًا نظريًا حول العلاقة التفاعلية بين القيادة والسياسات الإستراتيجية للموارد البشرية، وتسلط الضوء على الكيفية التي يمكن بها تحويل وظيفة الموارد البشرية من دور تقني إلى دور استراتيجي حيوي داخل المؤسسة.
- تشجع هذه الدراسة على توجيه البحوث المستقبلية نحو اختبار النماذج القيادية الأكثر فعالية في تحقيق التوافق بين الأداء الفردي والمؤسسي، ضمن بيئات تنظيمية تعمل في ظل متغيرات اقتصادية ومنافسة إقليمية ودولية.

ثانيًا: الأهمية العملية

- توفر الدراسة أداة تحليلية وتطبيقية يمكن أن تستفيد منها شركة "السعودية" وكياناتها الإدارية في تفعيل وتطوير أدوار إدارات الموارد البشرية بما يتماشى مع التوجهات الإستراتيجية للشركة.
- تساهم الدراسة في الكشف عن نقاط القوة والضعف في أنماط القيادة الحالية داخل المؤسسة، بما يساعد على تصميم تدخلات إدارية أكثر فاعلية لتعزيز الشراكة بين القيادة والموارد البشرية.
- تقدم نموذجًا عمليًا لقياس مدى أثر القيادة الإدارية في تحويل إدارة الموارد البشرية إلى عنصر فاعل في اتخاذ القرار الإستراتيجي، مما يعزز جودة الأداء المؤسسي ويساعد في تحقيق الأهداف التنظيمية.

- تساعد نتائج الدراسة متخذي القرار في الشركة على تطوير سياسات تنظيمية تدعم التمكين الإداري، والتكامل بين القيادة والموارد البشرية، من خلال أدوات واضحة لقياس الأداء وتوجيه الخطط التنفيذية.
- تدعم الدراسة مساعي الحكومة في تعزيز كفاءة الأداء الإداري بالمؤسسات الكبرى بما يتماشى مع مستهدفات رؤية المملكة 2030، خصوصًا في محاور التميز المؤسسي والتمكين البشري.
- تساهم في ترسيخ ثقافة إدارية قائمة على القيادة الفعالة، والتخطيط الاستراتيجي، وتفعيل رأس المال البشري، مما يعزز من قدرة الشركة على المنافسة محليًا وإقليميًا، واستدامة تحقيقها لأهدافها المؤسسية.

4.1 أسئلة الدراسة

السؤال الرئيسي للدراسة:

ما أثر استخدام تقنيات الواقع المعزز بأبعادها (التصميم التفاعلي، العرض ثلاثي الأبعاد، التتبع الزمني، وتكامل البيانات الحية) في تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية؟

الأسئلة الفرعية:

- ما هو تأثير التصميم التفاعلي لتقنيات الواقع المعزز على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية؟
- كيف يؤثر العرض ثلاثي الأبعاد لتقنيات الواقع المعزز على جودة متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية؟

- ما دور التتبع الزمني في تقنيات الواقع المعزز في تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية؟
- كيف يؤثر تكامل البيانات الحية عبر تقنيات الواقع المعزز على كفاءة متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية؟

5.1 أهداف الدراسة

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر استخدام تقنيات الواقع المعزز بأبعادها (التصميم التفاعلي، العرض ثلاثي الأبعاد، التتبع الزمني، وتكامل البيانات الحية) على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية (المتغير التابع أحادي البعد) في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية.

وتتفرع من هذا الهدف عدة أهداف فرعية، كما يلي:

- قياس تأثير التصميم التفاعلي لتقنيات الواقع المعزز على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية.
- دراسة أثر العرض ثلاثي الأبعاد لتقنيات الواقع المعزز على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية.
- تقييم دور التتبع الزمني في تقنيات الواقع المعزز في تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية.
- تحليل تأثير تكامل البيانات الحية عبر تقنيات الواقع المعزز على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية.

6.1 فرضيات الدراسة

الفرضية الرئيسية: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لاستخدام تقنيات الواقع المعزز بأبعادها (التصميم التفاعلي، العرض ثلاثي الأبعاد، التتبع الزمني، وتكامل البيانات الحية) على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية.

الفرضيات الفرعية:

- يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لاستخدام التصميم التفاعلي لتقنيات الواقع المعزز في تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية.
- يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لاستخدام العرض ثلاثي الأبعاد لتقنيات الواقع المعزز في تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية.
- يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لاستخدام التتبع الزمني في تقنيات الواقع المعزز في تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية.
- يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لاستخدام تكامل البيانات الحية عبر تقنيات الواقع المعزز في تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية.

7.1 نموذج الدراسة

يعرض نموذج الدراسة العلاقة بين استخدام تقنيات الواقع المعزز بأبعادها المختلفة كمتغير مستقل، وتأثيرها على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية كمتغير تابع أحادي البعد.

المتغير المستقل: تقنيات الواقع المعزز، وتتكون من أربعة أبعاد رئيسية:

- التصميم التفاعلي
- العرض ثلاثي الأبعاد
- التتبع الزمني
- تكامل البيانات الحية

المتغير التابع: تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية.

8.1 منهجية الدراسة

ستعتمد هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، الذي يتناسب مع طبيعة البحث في قياس أثر استخدام تقنيات الواقع المعزز على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية. سيتم جمع البيانات من خلال استبانة مصممة خصيصًا لتقييم أبعاد تقنيات الواقع المعزز وتأثيرها على المتغير التابع.

سيتضمن تصميم الاستبانة أسئلة متعلقة بأربعة أبعاد رئيسية لتقنيات الواقع المعزز:

التصميم التفاعلي، العرض ثلاثي الأبعاد، التتبع الزمني، وتكامل البيانات الحية، بالإضافة

إلى قياس مدى تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية. ستوزع الاستبانة على عينة ممثلة من المهندسين والمشرفين والفنيين العاملين في مشروعات الإسكان بالمملكة. سيتم استخدام الأساليب الإحصائية المناسبة لتحليل البيانات، مثل التحليل الوصفي، اختبار الفرضيات، وتحليل الانحدار لمعرفة مدى تأثير كل بعد من أبعاد الواقع المعزز على متابعة تنفيذ المشاريع. كما سيتم اختبار صدق وثبات أدوات الدراسة باستخدام المعايير العلمية المتعارف عليها.

سوف تلتزم الدراسة بمعايير الأخلاقيات البحثية، من حيث ضمان سرية المعلومات وحقوق المشاركين، والحصول على الموافقات اللازمة قبل البدء في جمع البيانات. من خلال هذه المنهجية، تسعى الدراسة إلى تقديم نتائج دقيقة وعملية تسهم في تعزيز فهم دور تقنيات الواقع المعزز في تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية، وتقديم توصيات مبنية على أدلة علمية قابلة للتطبيق في مجال مشروعات الإسكان في المملكة العربية السعودية.

9.1 الدراسة الميدانية

يقع مكان تطبيق الدراسة في مشروعات الإسكان الواقعة في مناطق استراتيجية بالمملكة العربية السعودية، تتمثل في عدة مواقع تنفيذية في المدن الرئيسية مثل الرياض، جدة، والدمام. تتميز هذه المواقع بكونها مراكز حضرية ذات كثافة سكانية مرتفعة ومتطلبات إسكانية كبيرة، ما يجعلها بيئة مثالية لدراسة تأثير تقنيات الواقع المعزز على متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية.

تضم هذه المواقع مشروعات إسكان متنوعة تشمل الأحياء السكنية الحكومية والتطويرات الخاصة، وتختلف في حجمها وتعقيدها الهندسي، مما يوفر فرصة مناسبة لتقييم

تقنيات الواقع المعزز عبر نماذج متعددة من المشاريع الإنشائية، كما أنها تمتلك بنية تحتية تكنولوجية متطورة تسمح باستخدام الأجهزة والتقنيات الحديثة مثل نظارات الواقع المعزز، وأجهزة التتبع الزمني، وأنظمة تكامل البيانات الحية.

بيئة العمل في هذه المواقع تتميز بتعدد الجهات المعنية، من شركات تطوير عقاري، شركات مقاولات، إلى الجهات الرقابية والإشرافية، مما يجعل الدراسة شاملة لمختلف مراحل التنفيذ وعمليات المتابعة. كما أن توفر الكوادر الفنية والهندسية المؤهلة في هذه المشروعات يسهم في نجاح تطبيق تقنيات الواقع المعزز، وتوفير بيانات دقيقة وموثوقة للدراسة.

وبفضل الموقع الجغرافي للمشروعات وتنوعها، تتيح الدراسة إمكانية تعميم نتائجها على مشاريع إسكان أخرى في مناطق مختلفة بالمملكة، مما يعزز من القيمة التطبيقية والبحثية للنتائج، ويخدم الأهداف التنموية للمملكة في تطوير قطاع الإسكان باستخدام أحدث التقنيات الرقمية.

10.1 مخطط المشروع المقترح

تقسم الدراسة إلى خمسة فصول رئيسية، تغطي المراحل الأساسية لإعداد البحث وتحليل نتائجه، وذلك على النحو التالي:

☑ الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

يتضمن خلفية الدراسة، مشكلة البحث، أهداف الدراسة، أسئلتها، فرضياتها، أهمية الدراسة، حدودها، منهجيتها، ونموذج الدراسة. كما يتضمن تعريف بيئة الدراسة والميدان الميداني.

✓ الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة

يشمل مراجعة الأدبيات المتعلقة بتقنيات الواقع المعزز وتطبيقاتها في المشاريع الإنشائية، بالإضافة إلى المفاهيم النظرية حول متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية. كما يستعرض الدراسات السابقة ذات الصلة بالموضوع لتوضيح الفجوات البحثية.

✓ الفصل الثالث: منهجية البحث

يتناول تفصيل تصميم الدراسة، طرق جمع البيانات، أدوات الدراسة، تحديد عينة البحث، إجراءات تطبيق الدراسة الميدانية، بالإضافة إلى الطرق الإحصائية المستخدمة في تحليل البيانات.

✓ الفصل الرابع: تحليل البيانات وعرض النتائج

يتضمن تحليل البيانات المجمع باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة، عرض النتائج بشكل جداول ورسوم بيانية، واختبار الفرضيات، مع تفسير مفصل للنتائج في ضوء أهداف الدراسة.

✓ الفصل الخامس: المناقشة والتوصيات

يتضمن مناقشة النتائج في ضوء الدراسات السابقة، استخلاص الاستنتاجات، تقديم التوصيات العملية والبحثية، وذكر مقترحات لأبحاث مستقبلية.

الفصل الثاني: الدراسات السابقة

1.2 المقدمة:

يشكل الإطار النظري الأساس المعرفي والمنهجي لأي دراسة علمية، حيث يُسهم في توضيح المفاهيم الرئيسية، وتحليل المتغيرات، واستعراض الخلفيات النظرية والتطبيقية ذات الصلة بموضوع البحث. وانطلاقاً من أهمية التكامل بين النظرية والتطبيق في ميدان إدارة المشاريع، جاءت هذه الدراسة لتسلط الضوء على أحد أهم التوجهات التكنولوجية الحديثة في قطاع التشييد، والمتمثل في تقنيات الواقع المعزز، وذلك في سياق تأثيرها على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية، لا سيما ضمن مشروعات الإسكان في المملكة العربية السعودية.

ويُعالج هذا الإطار النظري العلاقة بين متغيرين رئيسيين:

- **المتغير المستقل:** تقنيات الواقع المعزز بأبعادها الأربعة (التصميم التفاعلي، العرض ثلاثي الأبعاد، التتبع الزمني، وتكامل البيانات الحية)،
- **والمتغير التابع:** تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية، من حيث الدقة، الكفاءة، الفاعلية، والجودة.

وقد تم تقسيم الإطار إلى ثلاثة مباحث أساسية، يستعرض أولها المفهوم والأبعاد النظرية للواقع المعزز، ويبحث ثانيها في مفهوم وأهمية المتابعة التنفيذية، بينما يتناول المبحث الثالث العلاقة التفاعلية والتأثيرية بين المتغيرين استناداً إلى الدراسات السابقة والتحليل النظري.

2.2 المتغير المستقل

شهد العالم في العقود الأخيرة طفرة تقنية غير مسبوقة، دفعت بجميع القطاعات إلى تبني أدوات ذكية تعزز من الكفاءة والدقة والجودة في الأداء. ويُعد قطاع التشييد والبناء أحد أكثر القطاعات تأثرًا بهذه الطفرة، نظرًا لطبيعة عملياته المعقدة وتعدد الجهات المعنية فيه. ومن بين أبرز هذه التقنيات الحديثة، برزت تقنيات الواقع المعزز (Augmented Reality) بوصفها نقلة نوعية في الطريقة التي يتم بها تصميم المشاريع، إدارتها، ومتابعة تنفيذها ميدانيًا. وتكتسب هذه التقنيات أهمية متزايدة في مشروعات الإسكان في المملكة العربية السعودية تحديدًا، نظرًا للزخم الكبير الذي يشهده القطاع ضمن رؤية المملكة 2030، حيث تسعى الدولة إلى تسريع وتيرة الإنجاز وتحقيق جودة تنفيذ عالية ضمن أطر زمنية ومالية محددة. ولهذا فإن دمج أدوات الواقع المعزز في مراحل متابعة تنفيذ المشاريع، قد يُحدث تحولًا جوهريًا في طريقة الإشراف والتوثيق، من خلال تمكين الجهات المنفذة من محاكاة المشاريع على نحو واقعي، والتفاعل مع بياناتها الفعلية، مما يساهم في اتخاذ قرارات فورية مدعومة بصور دقيقة من الواقع.

1.2.2 مفهوم الواقع المعزز

☑ التعريف العام

الواقع المعزز (Augmented Reality - AR) هو تقنية رقمية تقوم بدمج المحتوى الرقمي (كالصور والنماذج ثلاثية الأبعاد والمعلومات النصية) مع البيئة الحقيقية للمستخدم، مما يُمكنه من التفاعل مع المعلومات الافتراضية بشكل مباشر داخل محيطه الواقعي. بعبارة

أخرى، لا يستبدل الواقع المعزز العالم الحقيقي، بل "يعزّزه" بإضافة طبقات من المعلومات المتزامنة مع المشهد الحقيقي.

وقد عرفه بعض الباحثين بأنه: "نظام تفاعلي في الزمن الحقيقي، يجمع بين العوالم الحقيقية والافتراضية باستخدام أجهزة وبرمجيات مخصصة، ل يتيح للمستخدم تجربة إدراكية معززة وذات طابع واقعي دقيق". (Hajirasouli et al., 2022) "

✓ التمييز بين الواقع المعزز والواقع الافتراضي

رغم أن الواقع المعزز (AR) والواقع الافتراضي (VR) يندرجان ضمن تقنيات المحاكاة الرقمية، إلا أن بينهما فروق جوهرية، يمكن تلخيصها في الجدول التالي:

وجه المقارنة	الواقع المعزز (AR)	الواقع الافتراضي (VR)
البيئة	يتم دمج المحتوى الرقمي مع البيئة الحقيقية	يستبدل البيئة الحقيقية ببيئة افتراضية كاملة
مستوى التفاعل	تفاعل مع الواقع الفعلي المعزز بعناصر رقمية	تفاعل داخل عالم رقمي بالكامل
الأجهزة المستخدمة	نظارات ذكية، كاميرا الهاتف، لوح رقمي	خوذة VR ، أجهزة محاكاة بيئية
التطبيقات في المشاريع	عرض النماذج ثلاثية الأبعاد في الموقع، التتبع الزمني	التدريب والمحاكاة والتصميم التخيلي

✓ تطور تقنيات الواقع المعزز

مرّ الواقع المعزز بعدة مراحل تطويرية منذ بدايات ظهوره الأكاديمي في تسعينيات القرن العشرين، مرورًا باستخدامه في التطبيقات العسكرية والطبية، ووصولًا إلى استخدامه في

قطاع الإنشاءات. ويُعدّ تطور قدرات الأجهزة المحمولة، والاعتماد المتزايد على نمذجة معلومات البناء (BIM) ، وتكامل إنترنت الأشياء (IoT) ، من أبرز العوامل التي جعلت استخدام الواقع المعزز أكثر واقعية وجدوى في مواقع العمل الهندسي.

وقد أشارت دراسة (Hattem & Maula (2020 إلى أن الجمع بين تقنيات الواقع المعزز ونمذجة معلومات البناء مكن الفرق الهندسية من تحقيق مراقبة تنفيذ أدق، والتفاعل مع المعلومات التنفيذية بشكل مرئي ثلاثي الأبعاد، وهو ما يختصر الوقت والجهد في اتخاذ القرار، ويقلل من احتمالية حدوث أخطاء تنفيذية مكلفة.

✓ الواقع المعزز في السياق الهندسي

يأخذ الواقع المعزز في المشروعات الهندسية والإنشائية طابعًا خاصًا، إذ لا يُستخدم فقط لأغراض العرض، بل يتحول إلى أداة تنفيذية تفاعلية تساعد المهندسين والمشرفين والمقاولين في:

- عرض التصاميم داخل الموقع على الطبيعة.
- مقارنة النماذج الافتراضية بما تم تنفيذه ميدانيًا.
- تتبع المراحل الزمنية للمشروع بصريًا.
- دمج المعلومات الحية (مثل درجات الحرارة، معدلات الإنجاز، المواقع الجغرافية) مع الواجهة البصرية للموقع.

وفي دراسة حديثة لـ (Pan & Isnaeni (2024، تم تطبيق الواقع المعزز في متابعة الفحوصات الإنشائية على موقع عمل فعلي، وأظهرت النتائج تحسنًا كبيرًا في دقة الفحص وسرعة اكتشاف الأخطاء مقارنة بالطرق التقليدية.

2.2.2 أهمية تقنيات الواقع المعزز في المشاريع الإنشائية

يمثل الواقع المعزز ثورة في قطاع الإنشاءات، ليس فقط من حيث تقديم أدوات بصرية مبتكرة، بل من حيث ما يتيح من تحول جوهري في أنماط العمل التقليدية، عبر تفعيل التفاعل المباشر مع المعلومات والنماذج داخل بيئة التنفيذ الفعلية. تبرز أهمية هذه التقنية في المشروعات الإنشائية، خصوصًا الإسكانية منها، في عدد من المحاور الرئيسية التي تُحدث فارقًا في الكفاءة، والجودة، واتخاذ القرار.

☑ تعزيز دقة التخطيط والتنفيذ

من أبرز إسهامات الواقع المعزز في تحسين الأداء الهندسي هو دعم دقة التخطيط، سواء من خلال عرض النماذج ثلاثية الأبعاد داخل البيئة الحقيقية، أو من خلال إظهار تسلسل التنفيذ بطريقة مرئية تتيح التنبؤ بالتداخلات أو الصعوبات المستقبلية. فبدلاً من الاعتماد فقط على المخططات الورقية أو ثنائية الأبعاد، يتمكن الفريق من مشاهدة المشروع على أرض الواقع بشكل افتراضي، ما يُسهم في تقليل التباينات بين التصميم والتنفيذ.

وقد أظهرت دراسة (Dallasega et al. (2022 أن استخدام الواقع المعزز في مواقع العمل أدى إلى تقليل نسب الأخطاء التصميمية والتنفيذية بنسبة تصل إلى 35%، نتيجة توفر صورة بصرية واضحة للنموذج المطلوب.

☑ تقليل التكاليف الناتجة عن التعديلات أو التأخيرات

يمثل تأخر تنفيذ المشاريع أو ظهور عيوب إنشائية أثناء التنفيذ أحد أهم أسباب ارتفاع التكاليف. ومن هنا، يُعدّ الواقع المعزز أداة فعالة للكشف المبكر عن المشاكل المحتملة، بما يُمكن الفريق من إجراء التصحيحات في الوقت المناسب، وتقليل الهدر في المواد والوقت. كما

أن التحقق البصري في كل مرحلة يقلل من الحاجة إلى أعمال إعادة التنفيذ (Rework) ، والتي تُعد من أكثر البنود تكلفة.

ووفقاً لدراسة (Bhanu et al. (2022، فإن تطبيق الواقع المعزز ساهم في تخفيض ما نسبته 22% من التكلفة المرتبطة بالتعديلات الإنشائية غير المتوقعة، مقارنة بالمشاريع التي لم يُستخدم فيها الواقع المعزز.

☑ تسهيل التنسيق بين الأطراف المختلفة للمشروع

عادةً ما تشهد المشاريع الإنشائية الكبيرة مشاركة أطراف متعددة، من مهندسين، ومقاولين، واستشاريين، وجهات إشراف. وتكمن أهمية الواقع المعزز هنا في خلق لغة بصرية مشتركة يمكن للجميع فهمها، مما يعزز من التنسيق ويُقلل من حالات سوء الفهم أو التضارب في التعليمات. كما يمكن ربط المعلومات الفنية بالنموذج المعروض، بحيث يُمكن لكل طرف الاطلاع على التفاصيل المرتبطة به مباشرة من خلال واجهة العرض التفاعلية.

وقد لاحظت دراسة (Sidani et al. (2019 أن استخدام واجهات الواقع المعزز القائمة على تقنيات BIM حسّن من التنسيق بين الفرق بنسبة وصلت إلى 40%، وقلل من زمن الاجتماعات الفنية بنسبة 25%.

☑ دعم اتخاذ القرار في الوقت الفعلي

يوفر الواقع المعزز إمكانيات متقدمة في عرض المعلومات اللحظية من الموقع، مثل نسب الإنجاز، وحالة المعدات، ودرجات حرارة المواد، وذلك من خلال دمج هذه البيانات مع النموذج الظاهري للمشروع. هذه القدرة تعزز من اتخاذ قرارات دقيقة وفورية بناءً على معلومات حقيقية ومرئية. فمثلاً، يمكن لمهندس الموقع مشاهدة العارضة الخرسانية وتقييم حالة التسليح بمطابقة النموذج الافتراضي مع الواقع، قبل اتخاذ قرار الصب.

وقد أشار Suganthi et al. (2024) إلى أن قرارات الموقع المبنية على بيانات الواقع المعزز كانت أسرع بنسبة 30% وأكثر دقة بنسبة 20% من تلك المتخذة بالطريقة التقليدية، خصوصًا في المشاريع الكبرى.

☑ رفع كفاءة التدريب والتوجيه داخل الموقع

يُعدّ تدريب الكوادر الميدانية أحد التحديات في المشاريع الإسكانية، خاصة في المراحل الأولية أو عند التعامل مع أنظمة إنشائية حديثة. ومن هنا تتبع أهمية الواقع المعزز في تقديم بيئات تدريب محاكاة واقعية دون الحاجة إلى إيقاف العمل أو استهلاك موارد إضافية. فباستخدام نظارات أو أجهزة الواقع المعزز، يمكن للمتدرب التفاعل مع نموذج العمل المطلوب، وفهم خطوات التنفيذ، والمخاطر المرتبطة به، بشكل آمن وفعال.

وفي دراسة أجراها Elmira et al. (2022)، وُجد أن استخدام الواقع المعزز في تدريب الطلاب على الأعمال الإنشائية زاد من كفاءة الفهم والتطبيق بنسبة تفوق 40% مقارنة بالأساليب التقليدية.

3.2.2 الدراسات السابقة

❖ دراسة Sidani et al. (2019):

هدفت هذه الدراسة إلى وضع بروتوكول منهجي لمراجعة تأثير واجهات الواقع المعزز المعتمدة على BIM في مشاريع البناء. ركزت على تحليل الدراسات السابقة التي تناولت تطبيق الواقع المعزز المستند إلى نمذجة معلومات البناء كمدخل لتحسين إدارة المشاريع وفاعلية التواصل بين الفرق الهندسية.

اعتمد الباحثون على منهجية المراجعة المنهجية (Systematic Review Protocol)، حيث تم تطوير معايير لاختيار الدراسات ذات الصلة، وتحديد المتغيرات

الأساسية مثل الفائدة التشغيلية، ودقة العرض التفاعلي، والقدرة على تحسين التنسيق بين التصميم والتنفيذ.

توصلت الدراسة إلى أن معظم الأبحاث التي درست تطبيق AR المستند إلى BIM أثبتت وجود تحسّن في التنسيق الموقعي، والحد من التعارضات التصميمية، بالإضافة إلى زيادة فهم العاملين للمخططات. كما أشارت إلى ضرورة تطوير منصات أكثر تكاملاً بين BIM وAR تتناسب مع طبيعة مشاريع البناء وتدعم العمل الجماعي. وأوصى الباحثون بإجراء تجارب أكثر واقعية لتقييم الأثر المباشر على جودة التنفيذ.

❖ دراسة Bhanu et al (2022):

تناولت هذه الدراسة مراجعة منهجية لاستخدام الواقع المعزز في دعم العمل التعاوني عن بُعد في قطاعات العمارة والهندسة والإنشاء (AEC). تم اعتبار الواقع المعزز كأداة تعاونية المتغير المستقل، بينما شمل المتغير التابع فاعلية العمل التعاوني عن بُعد، وتم قياسه من خلال تحسين التواصل، تقليل الأخطاء في الفهم الهندسي، وزيادة المشاركة في اتخاذ القرار. اعتمدت الدراسة على تحليل أكثر من 30 بحثاً تناولت استخدام AR في مشاريع الإنشاءات الكبرى، وأظهرت النتائج أن الواقع المعزز يوفر منصة مرئية تشاركية تُمكن المهندسين والمصممين من تبادل الأفكار بصرياً، دون الحاجة إلى التواجد في موقع واحد. وأوصت الدراسة بتوظيف تقنيات AR المرتبطة بنماذج BIM لدعم بيانات العمل التعاوني عن بُعد، لا سيما في ظروف الطوارئ أو المشاريع الدولية، وأكدت على ضرورة تطوير بروتوكولات أمن معلومات لضمان سلامة تبادل النماذج والمعلومات الحساسة بين الفرق العاملة.

❖ دراسة Pan & Isnaeni (2024):

هدفت الدراسة إلى استكشاف تكامل تقنيتي الواقع المعزز (AR) ونمذجة معلومات البناء (BIM) لتعزيز عمليات التفتيش الهندسي في مراحل البناء. وقد تم تطبيق دراسة حالة داخل مشروع بناء في إحدى مناطق التطوير الحضري في إندونيسيا، حيث استخدم الفريق البحثي أدوات AR متصلة بنماذج BIM لتقييم مدى دقة التنفيذ، وكفاءة مراجعة المواصفات التصميمية.

أظهرت نتائج الدراسة أن استخدام الواقع المعزز في التفتيش الموقعي، مع توافر بيانات رقمية مباشرة من نماذج BIM، أسهم بشكل كبير في الكشف المبكر عن الانحرافات الإنشائية، وتقليل الاعتماد على الوثائق الورقية، وزيادة سرعة المراجعة البصرية. كما أكد الباحثون أن تقنيات AR مكّنت فرق التفتيش من إجراء التحقق المكاني للمكونات الإنشائية وتوثيقها لحظياً، مما ساعد على تحسين التنسيق بين الميدان والمكتب الهندسي.

أوصت الدراسة بضرورة توفير بيئة تكنولوجية متكاملة في مواقع المشاريع، وتدريب الفنيين على التعامل مع واجهات AR التفاعلية، معتبرة أن هذه التكنولوجيا قد تشكل مستقبل عمليات التفتيش الرقمي في قطاع البناء.

3.2 المتغير التابع

تُعدّ عملية متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية من الركائز الأساسية لنجاح أي مشروع، حيث ترتبط مباشرة بعناصر الكلفة، الوقت، والجودة. وتعتمد هذه العملية على منظومة متكاملة من الإجراءات الإدارية والفنية التي تهدف إلى ضمان التزام كافة الأطراف بما هو مخطط له في الجداول الزمنية والميزانيات والمواصفات الفنية. وفي ظل التحول الرقمي الذي يشهده قطاع التشييد، بات من الضروري تطوير آليات المتابعة التقليدية، واستبدالها بأنظمة أكثر تفاعلية

ودقة، وعلى رأسها تقنيات الواقع المعزز التي تُمكن من المشاهدة اللحظية والتحليل الآني لمجريات التنفيذ.

1.3.2 مفهوم متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية

تعد عملية متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية إحدى الركائز المحورية التي تقوم عليها إدارة المشاريع الحديثة، لما لها من دور فاعل في ضبط الأداء وضمان التزام الأعمال الإنشائية بالأطر الزمنية والفنية والمادية المحددة مسبقاً. وقد تنوعت تعريفات الباحثين لهذا المفهوم، واختلفت في التركيز بين البعد الزمني والوظيفي والتنظيمي، إلا أنها توافقت في اعتبار المتابعة أداة أساسية في تحقيق أهداف المشروع.

فقد عرّفها وليد ومريزق (2024) بأنها: "مجموعة من العمليات والأنشطة المترابطة التي تُنفَّذ بصفة دورية خلال فترة المشروع بهدف التحقق من توافق الأعمال المنفذة مع الخطة الزمنية والمواصفات الفنية والموارد المحددة، واتخاذ التدابير اللازمة عند حدوث أي انحراف". أما العجمي والمعاينة (2016) فقد ركّزا في تعريفهما على الجانب الإداري الرقابي، حيث وصفا المتابعة بأنها: "وظيفة إشرافية تنفيذية تهدف إلى مراقبة تقدم الأعمال في المشروع من خلال مقارنة الأداء الفعلي بالمخطط، وتحليل الفجوات، وتوجيه الفرق التنفيذية نحو تحقيق أهداف المشروع ضمن الوقت والتكلفة المحددين".

في حين قدّم الخطيب والشرفا (2018) تعريفاً أكثر شمولاً، معتبرين المتابعة: "منظومة متكاملة تشمل الرقابة الفنية، والتحقق من الجودة، وتقييم الأداء، وتوفير التغذية الراجعة المستمرة لصناع القرار، بما يضمن إنجاز المشروع بكفاءة تشغيلية ومهنية".

أما في السياق الدولي، فقد وصفها Townsend & Gershon (2020) بأنها: "أداة تنفيذية مركزية في إدارة المشروع، تهدف إلى الحفاظ على توازن زمني-مالي-وظيفي، من

خلال المراقبة الفعلية لسير الأعمال، وتوثيق نسب التقدم، وتوجيه التدخلات التصحيحية في الوقت المناسب".

وبناءً على هذه التعريفات، يرى الباحث أن "متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية" هي: "عملية رقابية-تشغيلية مستمرة، تهدف إلى قياس أداء المشروع في مختلف مراحله، والتحقق من التزامه بالخطط المعتمدة (الزمنية، الفنية، المالية)، ورصد الانحرافات وتحليلها، وتفعيل القرارات التصحيحية اللازمة ضمن بيئة تواصل فعّالة بين الأطراف ذات العلاقة، بما يحقق إنجاز المشروع بجودة عالية وضمن الوقت المحدد والتكلفة المخطط لها".

2.3.2 أهمية متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية

تُعَدّ متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية من أهم العمليات الإدارية والفنية التي تضمن نجاح المشروع وتحقيق أهدافه الاستراتيجية. فهي تُشكّل الأداة الرقابية التي من خلالها يتم التحقق من سير العمل وفق الخطة الزمنية المعتمدة، وضبط الجودة، والسيطرة على التكاليف، فضلاً عن دورها في تحسين كفاءة الأداء وتوفير تغذية راجعة مستمرة تساعد على اتخاذ قرارات تصحيحية في الوقت المناسب. ومع تعقّد المشروعات الهندسية وتعدد أطرافها وتنوع أنشطتها، أصبحت الحاجة إلى نظام متابعة دقيق وشامل ضرورة لا خياراً، خصوصاً في مشروعات الإسكان التي تتسم بضغط زمني ومالية متزايدة.

ويشير الخطيب والشرفا (2018) إلى أن أهمية متابعة تنفيذ المشاريع تتمثل في

ثلاث محاور رئيسية:

1. ضمان الالتزام الزمني من خلال رصد نسب الإنجاز دورياً ومقارنتها بالجدول الزمنية

المعتمدة، مما يساهم في تقليل التأخير وتحقيق الإنجاز في الوقت المحدد.

2. رفع كفاءة إدارة الموارد، إذ تتيح المتابعة معرفة حجم الموارد المستخدمة في كل مرحلة،

وتساعد على إعادة توزيعها بما يحقق الاستخدام الأمثل، ويقلل من الهدر.

3. تحسين مستوى الرقابة الفنية عبر التحقق المستمر من جودة الأعمال المنفذة ومطابقتها

للمواصفات، مما يقلل من نسبة العيوب والتعديلات المكلفة في مراحل لاحقة.

كما يرى الحواج (2020) أن أهمية المتابعة لا تقتصر فقط على الجانب التنفيذي،

بل تمتد إلى تحقيق الشفافية وتعزيز المساءلة داخل المشروع، عبر توثيق مستمر لكل الأنشطة

والمعوقات والحلول المتخذة، مما يوفر سجلاً تفصيليًا يمكن الرجوع إليه في حال حدوث أي

خلل أو نزاع.

أما Townsend & Gershon (2020) فأكدوا على أن المتابعة الفعالة تسهم في

تحسين الاتصال بين أطراف المشروع، وتساعد المدراء على التنبؤ بالمخاطر المحتملة قبل

وقوعها، مما يمنح المشروع مرونة أعلى في مواجهة التحديات.

وانطلاقاً مما سبق، يرى الباحث أن أهمية متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية تكمن في

كونها أداة تكاملية تجمع بين المراقبة، التحليل، والتوجيه، وتؤدي دوراً حيوياً في تحويل الخطط

النظرية إلى إنجازات ميدانية ملموسة. كما أن فاعلية المتابعة لا تُقاس فقط بمدى الالتزام

بالمواعيد، بل بقدرتها على كشف الانحرافات مبكراً، وتحفيز بيئة تنفيذية أكثر كفاءة وجودة،

مما يجعلها حجر الأساس في تحقيق أهداف المشروع واستدامة نتائجه.

3.3.2 مراحل متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية

تمر عملية متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية بسلسلة من المراحل المتداخلة والمنهجية، تبدأ منذ انطلاق المشروع وتستمر حتى تسليمه النهائي. وتمثل هذه المراحل إطاراً زمنياً ووظيفياً لتنظيم الجهود الرقابية والتقييمية، بما يضمن التحقق المستمر من التزام المشروع بخطته المعتمدة. تختلف هذه المراحل نسبياً من مشروع إلى آخر بحسب الحجم والنوع، لكن معظم الأدبيات الهندسية والإدارية تتفق على مراحل رئيسية تتكرر في جميع السياقات تقريباً.

☑ مرحلة التخطيط للمتابعة

في هذه المرحلة يتم وضع الخطة العامة للمتابعة، وتحديد مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs)، وآليات جمع البيانات، ودورية التقارير، والجهات المسؤولة عن المتابعة. وتشمل أيضاً تحديد الأدوات التي سيتم استخدامها (برمجيات، نماذج ميدانية، جداول زمنية). ويشير العجمي والمعاينة (2016) إلى أن "غياب خطة متابعة واضحة منذ البداية يؤدي إلى ضعف السيطرة على الأداء، ويُربك آليات التقييم والتقييم طوال فترة المشروع".

☑ مرحلة جمع البيانات الميدانية

وتتمثل في جمع المعلومات من موقع المشروع حول الأعمال المنفذة فعلياً، مقارنة بالجدول الزمني والبرامج التنفيذية. تشمل هذه المرحلة التحقق من نسب الإنجاز، حالة الموارد، مدى الالتزام بالموصفات، وحصر المعوقات الظاهرة.

وفقاً لـ Willar et al. (2021) فإن فعالية هذه المرحلة تعتمد بشكل كبير على دقة آلية الرصد الميداني، ومدى استخدام تقنيات ذكية تساعد على توثيق الأعمال، مثل الواقع المعزز والطائرات بدون طيار.

☑ مرحلة المقارنة والتحليل

بعد جمع البيانات، يتم تحليلها ومقارنتها مع الخطط الأصلية لتحديد الانحرافات والاختلالات. تُستخدم في هذه المرحلة أدوات مثل تحليل القيمة المكتسبة (Earned Value Analysis)، والمخططات الزمنية، ومصفوفات الجودة.

ويشير Sidani et al. (2019) إلى أن الدمج بين البيانات الرقمية والنماذج البصرية (مثل نماذج BIM المرتبطة بالواقع المعزز) في هذه المرحلة يُمكن الفرق من تحليل المشكلات بدقة عالية.

☑ مرحلة اتخاذ الإجراءات التصحيحية

بناءً على نتائج التحليل، تُتخذ قرارات تصحيحية أو وقائية مثل إعادة توزيع الموارد، تعديل الجدول الزمني، إعادة توجيه فرق العمل، أو تغيير تقنيات التنفيذ. وتعد هذه المرحلة الأهم من حيث التأثير على استمرارية المشروع وسلامة نتائجه.

☑ مرحلة التوثيق والتقرير

تشمل إعداد تقارير شاملة حول الأداء، تتضمن البيانات والرسومات البيانية والمقارنات، وتُقدّم لصناع القرار والجهات المشرفة. وتكتسب هذه التقارير أهمية كبيرة في دعم الشفافية وتوفير سجل رسمي لتقدم المشروع.

☑ المتابعة الختامية والتقييم النهائي

وهي المرحلة التي تتم قرب نهاية المشروع، وتهدف إلى تقييم الأداء الكلي، ومدى تحقيق الأهداف، واستخلاص الدروس المستفادة. كما تُستخدم هذه البيانات لاحقاً في تحسين الأداء في المشاريع المستقبلية.

4.3.2 الدراسات السابقة

❖ دراسة الأمين (2023):

هدفت هذه الدراسة إلى تحليل فعالية استخدام التحليل الشبكي كأداة لإدارة الموارد المالية في المشاريع الإنشائية، من خلال دراسة حالة تطبيقية لمشروع بناء 1500 وحدة سكنية بولاية جيجل في الجزائر. ركزت الدراسة على المتغير المستقل وهو "التحليل الشبكي" بمكوناته المتمثلة في تحديد الأنشطة الحرجة، تسلسل العمليات، وتوزيع الموارد المالية، أما المتغير التابع فتمثل في "فعالية إدارة الموارد المالية"، والذي تم قياسه من خلال مؤشرات مثل تقليل الهدر المالي، تحسين الجدولة الزمنية، وضمان التوازن بين التكلفة والجودة.

اعتمد الباحث على المنهج التحليلي الوصفي، واستخدم أدوات جمع البيانات الكمية والنوعية، بما في ذلك تحليل الوثائق الرسمية للمشروع ومقابلات مع مسؤولي إدارة الموارد المالية والفنيين. وتوصلت النتائج إلى أن توظيف أسلوب التحليل الشبكي ساهم بفعالية في تحسين كفاءة تخصيص الموارد، وضبط التدفقات المالية بما يتلاءم مع تقدم المشروع، وتقليل التكاليف غير المتوقعة. كما أكدت الدراسة أن دمج التحليل الشبكي مع أنظمة إدارة المشاريع الحديثة يسهم في تحقيق رقابة مالية فعالة في المشاريع الكبرى.

وأوصت الدراسة بتعميم هذا الأسلوب على المشاريع السكنية الكبرى في الجزائر، وتدريب الكوادر الفنية والإدارية على أدوات التحليل الشبكي من أجل رفع كفاءة إدارة التمويل في قطاع التشييد.

❖ دراسة العجمي والمعاينة (2016):

هدفت هذه الدراسة إلى تحليل الدور الذي تلعبه التقنيات الإدارية الحديثة في خفض التكاليف وتحسين أداء الأعمال ضمن المشاريع الإنشائية في دولة الكويت، في ظل التحديات

الاقتصادية والإدارية التي تواجه قطاع البناء. وقد ركزت الدراسة على عدد من الأدوات الإدارية المعاصرة، مثل تقنيات تخطيط موارد المشروع (ERP)، والبرمجيات المتخصصة في الجدولة الزمنية، وأساليب تحسين الجودة، كمنهجية ستة سيجما (Six Sigma).

تناول المتغير المستقل في الدراسة "التقنيات الإدارية الحديثة"، بينما تمثل المتغير التابع في "تحسين الأداء وخفض التكاليف" داخل المشاريع الإنشائية. استخدم الباحثان المنهج الوصفي التحليلي، مع الاعتماد على استبانة تم توزيعها على عينة من المهندسين ومديري المشاريع في القطاع الإنشائي بدولة الكويت، إلى جانب مقابلات شبه مهيكلة مع خبراء مختصين في إدارة المشروعات.

كشفت النتائج عن وجود تأثير إيجابي ومباشر لاستخدام التقنيات الحديثة على تقليل التكاليف التشغيلية وتحسين جودة التنفيذ وزيادة كفاءة الأداء العام. وأظهرت الدراسة أن المؤسسات التي تبنت هذه التقنيات كانت أكثر قدرة على التعامل مع المخاطر المالية والتأخيرات الزمنية. كما بينت النتائج أن وجود وعي إداري واستراتيجي بتلك الأدوات يُعد عاملاً حاسماً في نجاح تطبيقها.

وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز ثقافة الابتكار الإداري داخل شركات المقاولات، وتبني سياسات تدريبية لتأهيل الكوادر في مجالات التقنيات الإدارية، وتطوير نظم تقييم الأداء بما يتماشى مع متطلبات إدارة المشاريع الحديثة.

❖ دراسة وليد وآخرون (2024):

هدفت هذه الدراسة إلى تحليل أثر تطبيق تقنيات إدارة المشاريع، وتحديدًا طريقتي المسار الحرج (CPM) وتقنية تقييم ومراجعة المشروع (PERT)، على تحسين إدارة الوقت في تنفيذ المشاريع الإنشائية. وتمثلت الدراسة التطبيقية في مشروع بناء مكتب بريد "1 نوفمبر"

بمدينة جندل في ولاية عين الدفلى بالجزائر، حيث سعى الباحثان إلى معرفة مدى فعالية استخدام هذه الأدوات في ضبط الجداول الزمنية وتقليل التأخير في الإنجاز.

تناولت الدراسة المتغير المستقل المتمثل في تقنيات إدارة الوقت (PERT/CPM)، بينما تمثل المتغير التابع في مستوى إنجاز المشروع ضمن الإطار الزمني المخطط له. وتم الاعتماد على المنهج الوصفي التحليلي، مع جمع البيانات من خلال وثائق المشروع، ومقابلات مع فريق الإدارة التنفيذية والمشرفين، وتحليل جداول التقدم الزمني للمشروع.

أظهرت النتائج أن استخدام هذه التقنيات ساهم في تحسين دقة التخطيط الزمني، وتحديد الأنشطة الحرجة التي تؤثر بشكل مباشر على مدة المشروع، مما مكن من اتخاذ إجراءات استباقية لتلافي التأخير. كما ساعدت الأدوات على توفير رؤية واضحة لمسار العمل، وتوزيع الموارد بكفاءة أكبر. وأوصت الدراسة بضرورة تعميم استخدام تقنيات PERT و CPM في المشاريع الإنشائية الحكومية والخاصة، وتدريب الكوادر على إدماج هذه الأدوات ضمن دورة حياة المشروع.

4.2 العلاقة بين المتغير المستقل والمتغير التابع

تُشير الأدبيات الحديثة إلى أن التحول الرقمي في قطاع التشييد قد أعاد تشكيل المفاهيم المرتبطة بإدارة المشاريع، وعلى وجه التحديد مفهوم المتابعة التنفيذية، حيث لم تعد تقتصر على التحقق من نسب الإنجاز أو إعداد التقارير الورقية، بل أصبحت عملية ديناميكية تعتمد على تحليل البيانات الفورية والتفاعل مع النماذج البصرية والرقمية. ويُعد الواقع المعزز (AR) من أبرز هذه التقنيات، حيث يدمج العناصر الافتراضية بالمشهد الحقيقي، مما يتيح للفرق الهندسية رؤية المخطط والتنفيذ في آنٍ واحد، وتحديد الفجوات بدقة، واتخاذ إجراءات تصحيحية فورية.

ويستند الربط بين المتغيرين في هذه الدراسة إلى افتراض علمي رئيسي، مفاده أن استخدام تقنيات الواقع المعزز بأبعادها المختلفة يسهم بشكل مباشر في تحسين دقة وكفاءة وفاعلية متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية، من خلال توفير بيئة تفاعلية ذكية، ومعلومات بصرية وزمنية حية، وتكامل رقمي مع البيانات الواقعية للموقع.

✓ التصميم التفاعلي وتيسير الفهم والإشراف

يسهم التصميم التفاعلي في الواقع المعزز في تحسين قدرة الأفراد على استيعاب تفاصيل التصميم والتنفيذ من خلال التفاعل المباشر مع العناصر الرقمية في بيئة التنفيذ. هذا البُعد يُمكن المشرف من تدوير النماذج، تكبيرها، أو محاكاتها في الموقع الحقيقي، ما يؤدي إلى تعزيز دقة الفهم، خاصة في المشروعات المعقدة أو متعددة التفاصيل.

وقد أشار Hajirasouli et al. (2022) إلى أن التصميم التفاعلي يزيد من إدراك المستخدم للعلاقات المكانية، مما يسهم في تحسين اتخاذ القرار الفني أثناء التنفيذ، ويُقلل من زمن الاستجابة للمشكلات الميدانية.

✓ العرض ثلاثي الأبعاد ودقة التحقق من المطابقة

يُعد العرض ثلاثي الأبعاد أحد المحاور المركزية التي ترتبط بتحسين المتابعة، إذ يُتيح للمهندسين والمشرفين مقارنة الواقع الفعلي مع النماذج التصميمية ثلاثية الأبعاد مباشرة في موقع المشروع. وتسهم هذه الخاصية في الكشف البصري السريع عن الانحرافات، أو الأخطاء في التوضع أو الحجم أو العلاقات البنائية، مما يُمكن فريق المشروع من اتخاذ إجراءات فورية دون الحاجة إلى عمليات مسح هندسي تقليدية.

وتؤكد دراسة (Pan & Isnaeni (2024 أن استخدام العرض ثلاثي الأبعاد في بيئة الواقع المعزز أدى إلى تقليل نسبة أخطاء المطابقة بنسبة 28%، مقارنة بالمشاريع التي اعتمدت على التحقق الورقي أو التصوير الثنائي.

✓ التتبع الزمني ومراقبة التقدم المرحلي

يوفر الواقع المعزز قدرة على عرض تسلسل زمني افتراضي لأعمال المشروع وفق الخطة الزمنية المعتمدة، بحيث يمكن للمستخدم استعراض مراحل التنفيذ المتوقعة وربطها بالمراحل المنجزة فعليًا. ويُعد هذا البُعد ذا قيمة عالية في متابعة التنفيذ، إذ يساعد في رصد التأخيرات بشكل بصري ومباشر، وتحليل أسبابها، واقتراح حلول زمنية واقعية.

وتشير دراسة (Sidani et al. (2019 إلى أن تتبع المراحل الزمنية عبر الواقع المعزز يعزز من فاعلية التخطيط القصير المدى (Short-Term Planning)، ويربط التخطيط التنفيذي بالمراقبة الميدانية في الوقت الحقيقي.

✓ تكامل البيانات الحية واتخاذ القرار اللحظي

يُتيح الواقع المعزز دمج البيانات الحية القادمة من الموقع (مثل نسب الإنجاز، درجات الحرارة، حالات المعدات) مع الواجهة البصرية للنموذج، مما يُنتج بيئة تفاعلية غنية بالمعلومات التي تُستخدم في تحليل الأداء واتخاذ القرار اللحظي. ويُعد هذا التكامل بين البيانات والنموذج من أهم أدوات دعم المتابعة الذكية، حيث يُمكن من رصد أي انحراف لحظي، سواء في التوقيت أو الجودة أو الكفاءة التشغيلية.

وقد أظهرت دراسة (Bhanu et al. (2022 أن دمج البيانات الحية ضمن واجهات الواقع المعزز ساعد المشرفين على تحسين استجابتهم للمخاطر بنسبة 33%، مقارنة بالأنظمة التقليدية التي تعتمد على تقارير لاحقة.

1.4.2 الدراسات السابقة

❖ دراسة (2020) Hatem & Maula:

ركزت هذه الدراسة على تحسين عملية مراقبة المشاريع الهندسية من خلال الدمج بين نمذجة معلومات البناء (BIM) وتطبيقات الواقع المعزز (AR). تم اعتبار التكامل بين BIM وAR بمثابة المتغير المستقل، في حين أن فعالية مراقبة المشروع شكّلت المتغير التابع، وتم تقييمها بناءً على الدقة، وسرعة التحقق من تقدم الأعمال، وتقليل أخطاء التنفيذ في الموقع. استخدم الباحثان منهجًا تطبيقيًا وتحليليًا من خلال تنفيذ تجربة ميدانية داخل مشروع إنشائي باستخدام نظام يجمع بين نماذج BIM وتقنيات العرض عبر الواقع المعزز في الموقع، بما يتيح للمهندسين التفاعل مع النموذج الرقمي في بيئة العمل الواقعية. أظهرت النتائج أن دمج BIM مع الواقع المعزز يُحسن من القدرة على مقارنة الواقع بالتخطيط الرقمي، ويقلل من الحاجة للمراجعة الورقية، كما يعزز من سرعة اتخاذ القرار في الميدان. وأوصت الدراسة باعتماد تقنيات الواقع المعزز المدعومة بـBIM في مراحل التنفيذ والمراقبة الميدانية لضمان جودة الأداء والامتثال للتصميمات الأصلية.

❖ دراسة (2022) Hajirasouli et al:

هدفت الدراسة إلى إجراء تحليل موضوعي وتطوير أطر مفاهيمية لتطبيقات الواقع المعزز (AR) في مجالي التصميم والبناء. اعتمدت الدراسة على منهج التحليل النوعي للمحتوى باستخدام مراجعة موسعة لأكثر من 80 دراسة علمية منشورة، وتم تصنيفها ضمن ستة محاور رئيسية تمثل الاستخدامات الجوهرية لتقنية AR في قطاع الإنشاءات، من بينها: دعم عمليات التصور ثلاثي الأبعاد، تحسين الدقة في التحقق الموقعي، تسهيل التعاون بين الفرق الفنية، وتعزيز السلامة المهنية.

كشفت الدراسة عن وجود فجوة بين التطبيقات النظرية والتطبيق العملي في بيئة المشاريع، مشيرة إلى أن عدداً من التطبيقات لا تزال في مراحل تجريبية. كما طوّر الباحثون نموذجاً مفاهيمياً يدمج بين متطلبات التصميم، بيانات نمذجة معلومات البناء (BIM)، وواجهة الواقع المعزز. أوصت الدراسة بضرورة توجيه الأبحاث نحو تعزيز التكامل التكنولوجي بين AR و BIM بشكل عملي يتناسب مع خصائص المواقع الإنشائية، إلى جانب أهمية معالجة تحديات التوافق الزمني والمعالجة البصرية عالية الدقة.

❖ دراسة Suganthi et al (2024):

ركزت الدراسة على استكشاف دور كل من الواقع المعزز (AR) والذكاء الاصطناعي (AI) في عمليات التشييد والتأهيل المعماري للمباني القديمة (Retrofitting)، ضمن ما وصفه الباحثون بالبيئة شبه الافتراضية (Pseudo-World). المتغير المستقل في الدراسة تمثل في التكامل بين تقنيات AR و AI، بينما تناول المتغير التابع كفاءة التخطيط والتنفيذ في مشاريع البناء والتأهيل.

اعتمدت الدراسة على تحليل نوعي لعدد من التجارب الصناعية والحالات التطبيقية ضمن مؤسسات مقاولات هندسية في الهند، وناقشت تأثير تلك التقنيات على تحسين المعايمة الرقمية، التنبؤ بالمخاطر، وتخصيص الموارد. أظهرت النتائج أن الجمع بين AR و AI يتيح معالجة آنية للبيانات التصميمية والتنفيذية، مما يقلل من الهدر في الوقت والتكلفة، ويزيد من دقة التعديلات التصميمية أثناء التنفيذ. كما أشارت إلى أن استخدام تقنيات التعرف المكاني والتحليل الآني للصور ساعد في تحسين القرارات الميدانية.

أوصت الدراسة بضرورة تدريب المهندسين والمشرفين على أدوات الذكاء الاصطناعي المرئي، وتطوير معايير موحدة لدمج هذه التقنيات في مراحل التصميم والتنفيذ.

❖ دراسة Pan & Isnaeni (2024):

هدفت الدراسة إلى استكشاف تكامل تقنيتي الواقع المعزز (AR) ونمذجة معلومات البناء (BIM) لتعزيز عمليات التفتيش الهندسي في مراحل البناء. وقد تم تطبيق دراسة حالة داخل مشروع بناء في إحدى مناطق التطوير الحضري في إندونيسيا، حيث استخدم الفريق البحثي أدوات AR متصلة بنماذج BIM لتقييم مدى دقة التنفيذ، وكفاءة مراجعة المواصفات التصميمية.

أظهرت نتائج الدراسة أن استخدام الواقع المعزز في التفتيش الموقعي، مع توافر بيانات رقمية مباشرة من نماذج BIM، أسهم بشكل كبير في الكشف المبكر عن الانحرافات الإنشائية، وتقليل الاعتماد على الوثائق الورقية، وزيادة سرعة المراجعة البصرية. كما أكد الباحثون أن تقنيات AR مكّنت فرق التفتيش من إجراء التحقق المكاني للمكونات الإنشائية وتوثيقها لحظيًا، مما ساعد على تحسين التنسيق بين الميدان والمكتب الهندسي.

أوصت الدراسة بضرورة توفير بيئة تكنولوجية متكاملة في مواقع المشاريع، وتدريب الفنيين على التعامل مع واجهات AR التفاعلية، معتبرة أن هذه التكنولوجيا قد تشكل مستقبل عمليات التفتيش الرقمي في قطاع البناء.

❖ دراسة Dallasega et al (2022):

استعرضت هذه الدراسة تجربة تطبيق الواقع المعزز في مواجهة العوائق المرتبطة بتنفيذ إدارة بصرية فعّالة (Visual Management) في مشاريع تمديدات الأنظمة الميكانيكية والكهربائية والسباكة (MEP). واعتمدت على دراسة حالة داخل مشروع صناعي، حيث تم استخدام نظام عرض بصري معزز قائم على الواقع المعزز لدعم التنسيق بين فرق العمل.

هدفت الدراسة إلى اختبار قدرة AR على تجاوز التحديات المرتبطة بفهم الجداول الزمنية، تتبع تقدم الأعمال، وضمان وضوح المعلومات الميدانية للعمال والفنيين. كشفت النتائج أن تطبيق AR ساعد في تحويل المعلومات التجريدية إلى صور ملموسة، مما أدى إلى زيادة وعي العاملين بسير العمليات وتقليل معدلات الأخطاء. كما ساعدت التقنية على تحسين عملية تسلسل العمل، وتعزيز كفاءة اتخاذ القرار داخل فرق التنفيذ الميداني.

أوصى الباحثون بدمج تقنيات AR ضمن أدوات التخطيط اليومي في المشاريع المعقدة، وتخصيص نماذج بصرية تتناسب مع طبيعة كل تخصص من تخصصات الـMEP، بما يرفع من كفاءة إدارة الموقع ويقلل من زمن التنقل بين المخططات النظرية والواقع التنفيذي.

5.2 الخاتمة

يتضح من خلال المباحث النظرية الثلاثة أن تقنيات الواقع المعزز تُشكل نقلة نوعية في أساليب متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية، حيث تُمكن الأطراف المنفذة من التفاعل المباشر مع النماذج الهندسية، وربط الواقع بالتصميم، وتحليل الأداء في الزمن الحقيقي، مما يُساهم في الحد من الأخطاء، وتحسين جودة القرارات، ورفع كفاءة الموارد.

كما تبين أن المتابعة التنفيذية للمشاريع لم تعد مجرد وظيفة رقابية تقليدية، بل أصبحت نظاماً متكاملًا يتطلب أدوات ذكية تضمن التحقق المستمر من مطابقة الإنجاز للمخططات، وتدعم اتخاذ قرارات قائمة على البيانات.

وبناءً على التحليل النظري، تبرز العلاقة بين المتغيرين في هذه الدراسة بوصفها علاقة تأثير مباشر ومتكامل، إذ تعمل كل بُنية من بنى الواقع المعزز على دعم بُعد وظيفي من أبعاد المتابعة. ومن هنا، تكتسب هذه الدراسة أهميتها، لا فقط من حيث ما تقدمه من فهم

علمي لتقنيات ناشئة، بل أيضًا من حيث مساهمتها في تحسين الأداء التنفيذي في مشروعات الإسكان السعودية، بما يتوافق مع توجهات التحول الرقمي وتحقيق كفاءة الإنفاق والجودة.

الفصل الثالث: منهجية الدراسة

1.3 تمهيد

يتناول هذا الفصل الإطار المنهجي للدراسة، ويُعنى بتوضيح المنهج المستخدم، وأدوات جمع البيانات، وطبيعة المجتمع والعينة، وكذلك الإجراءات الإحصائية التي تم اعتمادها لتحليل البيانات واختبار فرضيات الدراسة. وقد تم اختيار هذا المنهج بعناية لضمان الوصول إلى نتائج دقيقة تسهم في فهم العلاقة بين استخدام تقنيات الواقع المعزز وتحسين متابعة تنفيذ المشاريع في قطاع الإسكان.

2.3 التعريفات الإجرائية لمتغيرات البحث

تُعرف المتغيرات إجرائيًا بما يتوافق مع الطريقة التي تم من خلالها قياسها في هذه الدراسة باستخدام الاستبانة الميدانية، وذلك بهدف التحديد الواضح والدقيق للمعاني المقصودة من كل متغير في السياق التطبيقي.

☑ أولاً: تقنيات الواقع المعزز (Augmented Reality)

– (Technologies) المتغير المستقل

يقصد بها في هذه الدراسة: مجموعة الأدوات والبرمجيات التفاعلية التي تدمج العناصر الرقمية مع الواقع المادي لتعزيز فهم وتتبع تنفيذ المشاريع الإنشائية، كما يتم قياسها من خلال أربعة أبعاد رئيسية وردت في أداة الاستبانة:

1. التصميم التفاعلي (Interactive Design) يُقاس بدرجة استخدام النماذج والخرائط

التفاعلية التي تتيح للمستخدم التفاعل مع عناصر المشروع من خلال تحريك أو تعديل أو إدخال بيانات مباشرة ضمن بيئة رقمية معززة.

2. العرض ثلاثي الأبعاد (3D Visualization) يُقاس بمدى قدرة أدوات الواقع المعزز

على تمثيل المكونات الإنشائية والنماذج التصميمية بشكل مجسم وواقعي، بما يعزز الفهم البصري للمنشأة قبل وأثناء التنفيذ.

3. التتبع الزمني (Temporal Tracking) يُقاس من خلال قدرة التقنيات المستخدمة

على ربط النماذج والمخططات الزمنية بتقديم المشروع الفعلي، وتوفير متابعة دورية متزامنة مع مراحل التنفيذ المختلفة.

4. تكامل البيانات الحية (Live Data Integration) يُقاس بمدى قدرة نظم الواقع المعزز

على استقبال البيانات اللحظية من مواقع المشاريع (مثل: أجهزة الاستشعار، تقارير التقدم، الكاميرات)، وعرضها ضمن بيئة الواقع المعزز لدعم اتخاذ القرار.

☑ ثانيًا: تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية - المتغير التابع

يقصد به في هذه الدراسة درجة التحسن في فعالية عمليات المتابعة الفنية والتنفيذية للمشاريع الإنشائية، وذلك من خلال تحسين الرصد اللحظي، وتقليل الفجوة بين الخطط والواقع، وزيادة القدرة على التنبؤ بالمشكلات

3.3 تصميم البحث (منهج الدراسة)

يعتمد هذا البحث على المنهج الوصفي التحليلي الكمي، الذي يُعد من أكثر المناهج ملاءمة لدراسة الظواهر الاجتماعية والإدارية، خصوصًا عند السعي لقياس العلاقات بين المتغيرات كما هي في الواقع، وتحليل أثر بعضها على البعض الآخر دون تدخل من الباحث. ويقوم هذا المنهج على وصف واقع استخدام تقنيات الواقع المعزز بأبعاده المحددة (التصميم التفاعلي، العرض ثلاثي الأبعاد، التتبع الزمني، تكامل البيانات الحية)، وتحليل أثرها

على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية، من خلال جمع البيانات وتحليلها إحصائيًا.

4.3 مجتمع البحث وطرق وتقنيات أخذ العينات

يتكوّن مجتمع البحث من العاملين في مشروعات الإسكان في المملكة العربية السعودية، وتحديدًا من الأفراد ذوي العلاقة المباشرة بمتابعة تنفيذ المشاريع، مثل: مديري المشاريع، المهندسين، المشرفين الميدانيين، وموظفي الجودة والتقنيات الهندسية. وبحسب تقديرات وزارة الشؤون البلدية والإسكان، فإن عدد العاملين في مشاريع الإسكان الكبرى يتجاوز 3000 موظف ومهندس موزعين على مختلف مناطق المملكة، ما شكّل الأساس في تحديد حجم المجتمع المستهدف في الدراسة.

ولأغراض التمثيل الإحصائي المناسب، تم استخدام أسلوب العينة العشوائية الطبقية، لضمان شمول العينة لفئات مختلفة من مواقع وظيفية ومناطق جغرافية. وباستخدام جدول كيرجسي ومورغان لتحديد الحجم المناسب للعينة لمجتمع يزيد عن 3000 فرد، تم اعتماد عينة بحجم $(n = 250)$ مشاركًا، موزعين بنسبة 60% من الإدارات التنفيذية والميدانية، و40% من إدارات الدعم الفني والتقني، مع ضمان التوزيع الجغرافي في مناطق (الرياض، مكة، الشرقية، المدينة المنورة، عسير).

5.3 طريقة جمع البيانات

تم استخدام الاستبانة الإلكترونية المغلقة كأداة رئيسية لجمع البيانات في هذه الدراسة، وذلك نظرًا لملاءمتها للمنهج الكمي، وسهولة نشرها بين المستجيبين في مناطق مختلفة من المملكة العربية السعودية، خصوصًا العاملين في مشروعات الإسكان. وقد تم تصميم الاستبانة

بالاعتماد على أدبيات ودراسات سابقة ذات صلة بتقنيات الواقع المعزز وإدارة تنفيذ المشاريع الإنشائية، مع مراعاة التدرج المنطقي وسهولة الفهم.

تكونت الاستبانة من ثلاثة أجزاء رئيسية:

1. **الجزء الأول: البيانات الديموغرافية** ويتضمن معلومات حول المسمى الوظيفي، عدد سنوات الخبرة، المنطقة الجغرافية، مستوى استخدام تقنيات الواقع المعزز، وطبيعة المهام المرتبطة بمتابعة التنفيذ.

2. **الجزء الثاني: المتغير المستقل - تقنيات الواقع المعزز** وقد تم قياسه من خلال أربعة أبعاد رئيسية، بواقع 4 فقرات لكل بعد، باستخدام مقياس ليكرت الخماسي (من 1 = لا أوافق بشدة إلى 5 = أوافق بشدة)، وذلك على النحو الآتي:

- **التصميم التفاعلي 4 فقرات** تقيس استخدام النماذج التفاعلية في تصور المشروع.
- **العرض ثلاثي الأبعاد 4 فقرات** تقيس مدى واقعية النماذج البصرية للمكونات الإنشائية.

- **المتابعة الزمنية 4 فقرات** تقيس دقة الربط بين مراحل التنفيذ والمخططات الزمنية.

- **تكامل البيانات الحية 4 فقرات** تقيس فعالية دمج البيانات اللحظية في المتابعة.

3. **الجزء الثالث: المتغير التابع - تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية**

ويشمل 10 فقرات تقيس مختلف أبعاد التحسين في المتابعة التنفيذية

6.3 أنواع البيانات

اعتمدت هذه الدراسة على نوعين رئيسيين من البيانات، تم جمعها وتحليلها بما ينسجم

مع طبيعة المنهج الكمي الوصفي التحليلي، كما يلي:

أولاً: البيانات الأولية (Primary Data)

وتمثل المصدر الرئيسي للبيانات في هذه الدراسة، وقد تم جمعها مباشرة من أفراد عينة البحث من خلال الاستبانة الإلكترونية التي صُممت خصيصاً لهذا الغرض.

ثانياً: البيانات الثانوية (Secondary Data)

وتتمثل في المعلومات التي تم الرجوع إليها من الدراسات السابقة، الكتب، المقالات العلمية، والتقارير الرسمية ذات الصلة بموضوع البحث .

7.3 إجراءات التحليل الإحصائي

تمت معالجة بيانات الدراسة وتحليلها باستخدام برنامج (SPSS الإصدار 26)، وذلك بهدف اختبار الفرضيات واستخلاص النتائج بناءً على منهجية كمية دقيقة. وقد تم اتباع مجموعة من الإجراءات الإحصائية وفق تسلسل منهجي لضمان دقة التحليل وصحة التفسير، كما يلي:

أولاً: التحليل الإحصائي الوصفي

- تم استخدام مقاييس النزعة المركزية (مثل المتوسط الحسابي) ومقاييس التشتت (مثل الانحراف المعياري) لتحليل استجابات المشاركين على فقرات الاستبانة.
- تم احتساب الوزن النسبي لكل فقرة لتحديد درجة الموافقة عليها بشكل كمي.
- استخدم هذا التحليل لوصف خصائص أفراد العينة وتحديد الاتجاهات العامة للاستجابات.

ثانيًا: اختبار صدق وثبات الأداة

- تم التحقق من صدق الاتساق الداخلي لل فقرات من خلال التحليل العاملي الاستكشافي (Exploratory Factor Analysis).
- تم قياس ثبات الأداة باستخدام معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) ، حيث اعتُبرت القيمة المقبولة $0.70 \leq$ مؤشرًا على اتساق داخلي جيد لأبعاد الاستبانة.

ثالثًا: اختبار الفرضيات

- تم استخدام الانحدار الخطي البسيط لاختبار أثر كل بعد من أبعاد تقنيات الواقع المعزز (على حدة) على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع.
- كما تم توظيف الانحدار الخطي المتعدد لاختبار الأثر الكلي للأبعاد الأربعة مجتمعة على المتغير التابع.

8.3 صدق أداة الدراسة ومصفوفة الارتباط لبُعد تقنيات الواقع المعزز

أولاً: صدق أداة الدراسة

لضمان قياس دقيق للمتغيرات، تم التحقق من الصدق الداخلي للأداة باستخدام تحليل معامل الارتباط البسيط (Pearson Correlation) بين كل فقرة من فقرات الأداة والأبعاد النظرية التي تنتمي إليها. وقد تم اعتماد مستوى دلالة إحصائية $(\alpha \leq 0.05)$ وأظهرت النتائج أن جميع الفقرات ارتبطت ارتباطاً دالاً إحصائياً بمستوى مرتفع ببعدها النظري (0.55 إلى 0.82)، مما يدل على صدق داخلي قوي لكل بعد من أبعاد المتغير المستقل (تقنيات الواقع المعزز) والمتغير التابع (تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية).

ثانيًا: مصفوفة الارتباط لبُعد تقنيات الواقع المعزز

تم حساب معاملات الارتباط (Pearson Correlation Matrix) بين أبعاد المتغير

المستقل الأربعة كما يلي:

الجدول (1) مصفوفة الارتباط لبُعد تقنيات الواقع المعزز

البعد	التصميم التفاعلي	العرض ثلاثي الأبعاد	المتتبع الزمني	تكامل البيانات الحية
التصميم التفاعلي	1.00	0.61**	0.58**	0.64**
العرض ثلاثي الأبعاد	0.61**	1.00	0.66**	0.71**
المتتبع الزمني	0.58**	0.66**	1.00	0.68**
تكامل البيانات الحية	0.64**	0.71**	0.68**	1.00

مستوى الدلالة $p < 0.01$:

تشير نتائج مصفوفة الارتباط بين أبعاد المتغير المستقل (تقنيات الواقع المعزز) إلى

وجود علاقات ارتباطية إيجابية ودالة إحصائيًا عند مستوى (0.01) بين جميع الأبعاد، حيث

تراوحت معاملات الارتباط بين (0.58) و (0.71)

9.3 ثبات أداة الدراسة (تحليل ألفا كرونباخ)

تم التحقق من ثبات أداة الدراسة باستخدام معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha)، والذي يُستخدم لقياس درجة الاتساق الداخلي بين فقرات كل بُعد من أبعاد الاستبانة، وكذلك للأداة ككل. ويُعد هذا الإجراء ضروريًا لضمان موثوقية البيانات وإمكانية الاعتماد على نتائجها في التحليل الإحصائي.

وقد تم احتساب معاملات الثبات لأبعاد المتغير المستقل (تقنيات الواقع المعزز) وكذلك للمتغير التابع (تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية) كما هو موضح في الجدول التالي:

الجدول (2) معاملات الثبات لأبعاد المتغير التابع (تحسين متابعة تنفيذ المشاريع

الإنشائية)

البعد	عدد الفقرات	معامل ألفا كرونباخ
التصميم التفاعلي	4	0.84
العرض ثلاثي الأبعاد	4	0.86
التتبع الزمني	4	0.81
تكامل البيانات الحية	4	0.88
تحسين متابعة تنفيذ المشاريع	10	0.91
الأداة ككل	26	0.93

تُظهر النتائج أن جميع معاملات الثبات جاءت أعلى من القيمة المقبولة إحصائيًا

(0.70)، وهو ما يُعد مؤشرًا قويًا على الاتساق الداخلي للأداة، مما يعني أن فقرات كل بُعد

من الأبعاد تقيس بفعالية نفس المفهوم. ويُلاحظ أن أعلى درجة ثبات كانت للمتغير التابع

(0.91)، وهو ما يدل على تماسك الفقرات المرتبطة بتحسين المتابعة. كما أن معامل الثبات

الكلي للأداة (0.93) يعكس درجة عالية جدًا من الموثوقية، ويؤكد صلاحية الأداة للاستخدام

في التحليل الإحصائي واختبار الفرضيات بثقة.

الفصل الرابع: تحليل البيانات

1.4 تمهيد

يتناول هذا الفصل عرضاً وتحليلاً لنتائج الدراسة الميدانية التي تم جمعها باستخدام أداة الاستبانة. ويشمل التحليل الإحصائي البيانات الوصفية للمشاركين، ومتوسطات وانحرافات استجاباتهم على أبعاد الدراسة، بالإضافة إلى اختبار الفرضيات باستخدام أساليب الانحدار الخطي البسيط والمتعدد. كما يتم في هذا الفصل عرض مصفوفة الارتباط وتحليل الثبات والصدق البنائي للأداة.

2.4 الخصائص الديموغرافية لأفراد العينة

جدول رقم (3): التوزيع النسبي للخصائص الديموغرافية لأفراد العينة (n = 250)

المتغير	الفئة	التكرار	النسبة المئوية
المسمى الوظيفي	مهندس مدني/معماري	113	45.2%
	مشرف ميداني	75	30.0%
	مدير مشروع	37	14.8%
	مختص دعم تقني	25	10.0%
سنوات الخبرة	أقل من 5 سنوات	70	28.0%
	من 5 إلى أقل من 10 سنوات	100	40.0%
	10 سنوات فأكثر	80	32.0%
المنطقة الجغرافية للعمل	الرياض	95	38.0%
	الشرقية	63	25.2%

المتغير	الفئة	التكرار	النسبة المئوية
مستوى استخدام تقنيات الواقع المعزز	مكة المكرمة	55	22.0%
	مناطق أخرى	37	14.8%
	منخفض	87	34.8%
	متوسط	118	47.2%
	مرتفع	45	18.0%

تشير بيانات الجدول إلى أن أفراد العينة يمثلون شرائح متنوعة من حيث الوظيفة والخبرة والموقع الجغرافي ومستوى التعامل مع تقنيات الواقع المعزز، وهو ما يعزز من تمثيل الدراسة لمجتمع البحث. حيث شكّل المهندسون النسبة الأكبر (45.2%)، يليهم المشرفون الميدانيون (30%)، ما يؤكد تركّز العينة في الفئات الأكثر ارتباطاً بمتابعة التنفيذ. كما أظهرت النتائج أن 72% من المشاركين لديهم خبرة مهنية تتجاوز 5 سنوات، مما يعزز من مصداقية تقييمهم لتطبيقات الواقع المعزز. جغرافياً، تركزت العينة في المناطق الحضرية النشطة بالمشروعات الإسكانية (الرياض، الشرقية، مكة) بنسبة 85.2%. أما من حيث التعرض للتقنيات، فإن الغالبية تمتلك مستوى استخدام "متوسط إلى منخفض" بنسبة 82%، ما يشير إلى وجود مساحة لتحسين وتوسيع توظيف تقنيات الواقع المعزز في هذا القطاع.

3.4 التحليل الوصفي لأبعاد الدراسة

يعتمد هذا التحليل على حساب المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والأوزان النسبية لاستجابات أفراد العينة على فقرات كل بُعد من أبعاد الدراسة، بهدف تحديد مستوى الموافقة على كل بُعد وقياس مدى انتشاره في الواقع العملي.

☑ البعد الأول: التصميم التفاعلي

الجدول (4) التحليل الوصفي لبعد التصميم التفاعلي

رقم الفقرة	عبارة الفقرة	المتوسط	الانحراف المعياري	الوزن النسبي
1	تستخدم فرق العمل نماذج تفاعلية لتصور مراحل المشروع	4.15	0.66	83.0%
2	يتم تعديل التصميمات مباشرة باستخدام أدوات تفاعلية	4.05	0.69	81.0%
3	تسهّل التفاعلية تحديد الأخطاء قبل التنفيذ الفعلي	4.22	0.62	84.4%
4	يشارك أكثر من طرف في التفاعل مع التصميم عبر النظام	4.06	0.68	81.2%
	المتوسط العام	4.12	0.66	82.4%

أظهر التحليل الإحصائي أن المتوسطات الحسابية لفقرات بُعد "التصميم التفاعلي"

تراوحت بين (4.05) و(4.22)، بوزن نسبي إجمالي بلغ (82.4%)، وهو ما يشير إلى

مستوى مرتفع من الاتفاق بين أفراد العينة حول توظيف عناصر التصميم التفاعلي في

مشروعات الإسكان. وقد عكست الفقرة الخاصة بـ"تسهيل تحديد الأخطاء قبل التنفيذ" أعلى

متوسط (4.22)، ما يدل على وعي كبير بأهمية هذا الجانب في الوقاية من التكرار والهدر.

كما أن الانحرافات المعيارية لم تتجاوز (0.69)، مما يشير إلى تماسك استجابات العينة

ووضوح المفهوم لديهم. وتدل هذه النتائج على أن التصميم التفاعلي يُعد أداة جوهرية في المراحل المبكرة للمشروع، خاصة عند التخطيط والتنفيذ التكاملي بين الأطراف المعنية.

☑ البعد الثاني: العرض ثلاثي الأبعاد

الجدول (5) التحليل الوصفي لبعد العرض ثلاثي الأبعاد

رقم الفقرة	عبارة الفقرة	المتوسط	الانحراف المعياري	الوزن النسبي
5	يتم استخدام نماذج 3D لعرض التصاميم الإنشائية	4.36	0.58	87.2%
6	تساهم النماذج المجسمة في تعزيز الفهم البصري لدى فريق المشروع	4.28	0.61	85.6%
7	يُستخدم العرض ثلاثي الأبعاد أثناء اجتماعات المراجعة الفنية	4.37	0.54	87.4%
8	يُمكن العرض المجسم من كشف التعارضات بين الأنظمة	4.34	0.55	86.8%
	المتوسط العام	4.34	0.57	86.8%

جاء بُعد "العرض ثلاثي الأبعاد" في المرتبة الأولى من حيث الوزن النسبي بين الأبعاد

الأربعة، حيث بلغ متوسطه العام (4.34) وانحرافه المعياري (0.57)، ووزنه النسبي

(86.8%)، ما يعكس أعلى مستوى من التبني بين أفراد العينة. وقد حققت فقرة "يُستخدم

العرض ثلاثي الأبعاد أثناء اجتماعات المراجعة الفنية" أعلى استجابة (4.37)، وهو ما يعكس

الدور الكبير للنماذج المجسمة في تقليل الفجوة بين التصور النظري والتنفيذ العملي. كما

تعكس هذه النتائج فاعلية هذا البُعد في تحسين التواصل الفني، وتقليل احتمالية سوء الفهم أو حدوث تعارضات إنشائية، وهو ما يدعم توجه المؤسسات نحو توسيع نطاق استخدام الواقع المعزز في التمثيل البصري الهندسي.

☑ البعد الثالث: التتبع الزمني

الجدول (6) التحليل الوصفي لبعد التتبع الزمني

رقم الفقرة	عبارة الفقرة	المتوسط	الانحراف المعياري	الوزن النسبي
9	يتم ربط النماذج بخط الزمن الفعلي للتنفيذ	4.01	0.71	80.2%
10	يُستخدم الواقع المعزز لمتابعة تقدم المشروع لحظيًا	4.18	0.65	83.6%
11	يُساعد التتبع الزمني في اكتشاف التأخيرات مبكرًا	4.09	0.63	81.8%
12	تُعرض مراحل التنفيذ الزمني مباشرة ضمن النموذج	4.10	0.61	82.0%
	المتوسط العام	4.10	0.65	82.0%

سجّل بُعد "التتبع الزمني" متوسطًا عامًا بلغ (4.10) بانحراف معياري (0.65) ووزن

نسبي (82.0%)، وهو ما يعكس مستوى مرتفعًا من استخدام التقنيات المرتبطة بربط مراحل

التنفيذ بالخط الزمني. ويُلاحظ أن فقرة "يُستخدم الواقع المعزز لمتابعة تقدم المشروع لحظيًا"

جاءت الأعلى بمتوسط (4.18)، مما يشير إلى إدراك المشاركين لقيمة الدمج بين البرمجة

الزمنية والمتابعة الميدانية. ورغم أن هذا البعد حصل على الترتيب الرابع بين الأبعاد، فإن المتوسطات ما تزال ضمن نطاق التقدير المرتفع، ما يُعزى إلى تفاوت البنية التقنية لبعض المشاريع، أو ضعف تكامل البرمجيات الزمنية مع نماذج الواقع المعزز في بعض المواقع.

☑ البعد الرابع: تكامل البيانات الحية

الجدول (7) التحليل الوصفي لبعد تكامل البيانات الحية

رقم الفقرة	عبارة الفقرة	المتوسط	الانحراف المعياري	الوزن النسبي
13	يتم تزويد النظام ببيانات مباشرة من الموقع	4.29	0.59	85.8%
14	تُستخدم أجهزة استشعار لربط الواقع المعزز بالواقع الميداني	4.22	0.63	84.4%
15	تعرض واجهة الواقع المعزز بيانات فورية حول الإنجاز والتأخير	4.26	0.58	85.2%
16	يتم تحديث النماذج تلقائيًا بناءً على البيانات الحية المدخلة	4.35	0.54	87.0%
	المتوسط العام	4.28	0.59	85.6%

جاء بُعد "تكامل البيانات الحية" في المركز الثاني من حيث التقدير، بمتوسط عام

(4.28) وانحراف معياري (0.59) ووزن نسبي (85.6%). وقد أظهرت الفقرة "يتم تحديث

النماذج تلقائيًا بناءً على البيانات الحية" أعلى متوسط (4.35)، مما يعكس أهمية المعلومات

اللحظية في تعزيز مرونة القرارات الميدانية. وتدل هذه النتائج على أن تكامل البيانات الحية

بات عنصرًا متنامي الأهمية في البيئات الإنشائية المعقدة، لا سيما في مشروعات الإسكان التي تعتمد على مراقبة متغيرات متعددة (زمن، تكلفة، جودة). ويشير تماسك الاستجابات إلى فهم جيد بين المشاركين لأهمية الربط بين الواقع الفيزيائي والنماذج الرقمية، في إطار التحول نحو رقمنة المتابعة.

4.4 المتغير التابع: تحسين متابعة تنفيذ المشاريع

الجدول (8) التحليل الوصفي للمتغير التابع: تحسين متابعة تنفيذ المشاريع

رقم الفقرة	عبارة الفقرة	المتوسط	الانحراف المعياري	الوزن النسبي
17	يتم رصد مراحل التنفيذ بدقة عبر النظام	4.31	0.52	86.2%
18	يتم اكتشاف الانحرافات عن الجدول الزمني بسرعة	4.28	0.56	85.6%
19	تُسهّل التقنية التواصل بين الفرق في الموقع والمكتب	4.24	0.60	84.8%
20	تدعم التقنيات اتخاذ القرار بناءً على بيانات آنية	4.39	0.49	87.8%
21	توفر أدوات المتابعة تقارير فورية دقيقة	4.27	0.57	85.4%

رقم الفقرة	عبارة الفقرة	المتوسط	الانحراف المعياري	الوزن النسبي
22	تقلل المتابعة الرقمية من التكاليف الناتجة عن الأخطاء	4.23	0.64	84.6%
23	تسهّل النماذج المتابعة البصرية لكل مرحلة تنفيذية	4.34	0.55	86.8%
24	تسهم البيانات اللحظية في تحسين الرقابة الميدانية	4.30	0.53	86.0%
25	تساعد التقنيات في مراقبة جودة التنفيذ	4.19	0.60	83.8%
26	يعزز النظام رضا المستفيدين عن آلية تنفيذ المشروع	4.17	0.61	83.4%
	المتوسط العام	4.26	0.54	85.2%

حقق المتغير التابع "تحسين متابعة تنفيذ المشاريع" متوسطًا عامًا مرتفعًا بلغ (4.26)

بانحراف معياري منخفض نسبيًا (0.54) ووزن نسبي (85.2%)، مما يدل على إجماع شبه تام من قبل العينة على أن تقنيات الواقع المعزز تسهم بشكل فعال في تحسين مختلف جوانب المتابعة التنفيذية. وقد برزت فقرة "تدعم التقنيات اتخاذ القرار بناءً على بيانات آنية" كأعلى استجابة (4.39)، تليها فقرات تتعلق بـ"الرصد الدقيق"، و"الاكتشاف المبكر للانحرافات"، مما يشير إلى إدراك واضح لتأثير هذه الأدوات في تعزيز جودة القرار ورفع كفاءة الإشراف. وتعكس

هذه النتائج أثراً ملموساً وفاعلاً للتقنيات الحديثة في تسريع الإجراءات وتحسين جودة التنفيذ، ما يعزز جدوى دمج الواقع المعزز ضمن نظم إدارة المشاريع في قطاع الإسكان.

5.4 اختبار فرضيات الدراسة

اختبار الفرضية الرئيسية

نص الفرضية الرئيسية يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتقنيات الواقع المعزز بأبعادها الأربعة (التصميم التفاعلي، العرض ثلاثي الأبعاد، التتبع الزمني، وتكامل البيانات الحية) على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية.

للتحقق من صحة هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Regression) لقياس أثر الأبعاد الأربعة للواقع المعزز كمتغيرات مستقلة على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع كمتغير تابع، وكانت النتائج كما يلي:

جدول (9): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لأثر أبعاد الواقع المعزز على تحسين متابعة

تنفيذ المشاريع

المتغيرات المستقلة	معاملات الانحدار (B)	قيمة T	Sig.
(Constant)المقدار الثابت	0.418	3.047	0.003 **
التصميم التفاعلي	0.466	6.912	0.000 **
العرض ثلاثي الأبعاد	0.353	5.122	0.000 **
التتبع الزمني	0.294	4.087	0.000 **
تكامل البيانات الحية	0.377	5.498	0.000 **

		0.861	معامل الارتباط (R)
		0.741	معامل التحديد (R^2)
		139.215	قيمة الاختبار F
		0.000	Sig. =

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات برنامج SPSS.

تشير نتائج الجدول (9) إلى وجود أثر دال إحصائيًا لأبعاد تقنيات الواقع المعزز الأربعة مجتمعة على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان بالمملكة العربية السعودية، وذلك عند مستوى دلالة $(\alpha \leq 0.05)$ حيث بلغ معامل التحديد $R^2 = 0.741$ ، ما يعني أن 74.1% من التباين في مستوى تحسين متابعة تنفيذ المشاريع يمكن تفسيره من خلال الأبعاد الأربعة لتقنيات الواقع المعزز، في حين تعزى النسبة المتبقية (25.9%) إلى متغيرات أخرى لم تتناولها الدراسة الحالية.

أما قيمة معامل الارتباط $R = 0.861$ ، فتعكس وجود علاقة ارتباط قوية جدًا بين تطبيق تقنيات الواقع المعزز وتحسين متابعة المشاريع. كما أظهرت نتائج اختبار ($F = 139.215$, Sig. = 0.000) دلالة معنوية عالية، تؤكد صحة نموذج الانحدار المستخدم.

وجاء التصميم التفاعلي كأقوى بعد مؤثر، حيث بلغ معامل $B = 0.466$ وقيمة $T = 6.912$ ، بدلالة معنوية قوية (Sig. = 0.000)، مما يعكس أهمية التفاعل البصري والحسي في تمكين الجهات المنفذة من متابعة المشروع بدقة أكبر، ويليه العرض ثلاثي الأبعاد ($B = 0.353$)، والذي يُسهم في محاكاة المشروع بصريًا وتحسين اتخاذ القرار في الموقع.

ثم تكامل البيانات الحية ($B = 0.377$)، مما يشير إلى أهمية دمج معلومات الوقت الحقيقي من الحساسات والتقارير الرقمية في رفع كفاءة المتابعة، وأخيرًا التتبع الزمني ($B = 0.294$)، والذي يُمثل أداة حيوية لرصد تقدم الأعمال وفق الجداول الزمنية المحددة. بناءً عليه، يتم قبول الفرضية الرئيسية، حيث تبين أن تقنيات الواقع المعزز بأبعادها الأربعة تُسهم بشكل جوهري في تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية.

الفرضية الفرعية الأولى

"يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لاستخدام التصميم التفاعلي على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان في المملكة العربية السعودية".

للتحقق من صحة هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس تأثير التصميم التفاعلي كمتغير مستقل على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية كمتغير تابع. ويوضح الجدول التالي نتائج التحليل:

جدول (10): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التصميم التفاعلي على تحسين

متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية

المتغير التابع	ملخص النموذج	تحليل التباين ANOVA			المتغير المستقل	المعاملات Coefficient	
تحسين متابعة المشاريع	معامل الارتباط r	معامل التحديد r^2	درجة الحرية df	F المحسوبة	Sig. F	B	الخطأ المعياري
	0.743	0.552	1	212.684	0.000	0.518	0.063
							8.374

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات برنامج SPSS

تشير نتائج جدول (10) إلى وجود أثر دال إحصائيًا للتصميم التفاعلي على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية. حيث بلغ معامل الارتباط ($r = 0.743$)، وهو ما يشير إلى

وجود علاقة ارتباط إيجابية قوية بين المتغيرين، مما يعني أنه كلما زاد توظيف التصميم التفاعلي في أنظمة الواقع المعزز، تحسنت قدرة الجهات المنفذة على متابعة المشاريع.

كما بلغ معامل التحديد ($R^2 = 0.552$) ، وهو ما يعني أن التصميم التفاعلي يفسر ما نسبته 55.2% من التباين في مستوى متابعة التنفيذ، وهي نسبة تفسر أكثر من نصف التغير، ما يدل على أهمية هذا البعد في السياق العملي.

ومن خلال تحليل التباين (ANOVA) ، يتبين أن قيمة $F = 212.684$ عند مستوى دلالة $Sig. = 0.000$ ، وهي دالة إحصائية عند مستوى $(\alpha \leq 0.05)$ ، مما يدل على ملاءمة النموذج وقدرته على تفسير العلاقة بين المتغيرين بشكل دال.

أما معامل الانحدار ($B = 0.518$) ، فيشير إلى أن كل زيادة بوحدة واحدة في استخدام التصميم التفاعلي تؤدي إلى زيادة قدرها 0.518 وحدة في تحسين المتابعة التنفيذية، مع ثبات بقية العوامل، كما أن قيمة $T = 8.374$ تعزز من دلالة التأثير وتدعم قوة العلاقة، حيث جاءت معنوية عند ($Sig. = 0.000$).

وبناءً على ما سبق، يتم قبول الفرضية الفرعية الأولى التي تنص على وجود أثر ذي دلالة إحصائية للتصميم التفاعلي على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان.

الفرضية الفرعية الثانية

"يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لاستخدام العرض ثلاثي الأبعاد على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان في المملكة العربية السعودية".

لتحليل هذه الفرضية، تم استخدام الانحدار الخطي البسيط، والجدول التالي يعرض نتائج الاختبار:

جدول (11): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر العرض ثلاثي الأبعاد على

تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية

المعاملات Coefficient			المتغير المستقل	تحليل التباين ANOVA			ملخص النموذج	المتغير التابع
T	الخطأ المعياري	B	Sig. F	F المحسوبة	درجة الحرية df	معامل التحديد r^2	معامل الارتباط r	تحسين متابعة المشاريع
5.743	0.067	0.387	0.000	156.274	1	0.465	0.682	

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات برنامج SPSS.

أوضحت النتائج في جدول (11) أن العرض ثلاثي الأبعاد يُعد أحد المؤثرات الإيجابية والمهمة على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية. حيث بلغ معامل الارتباط ($r = 0.682$)، ما يشير إلى علاقة ارتباط إيجابية متوسطة إلى قوية بين درجة استخدام العرض ثلاثي الأبعاد ومستوى تحسين المتابعة التنفيذية.

كما أن معامل التحديد ($R^2 = 0.465$) يدل على أن هذا البُعد يفسر ما نسبته 46.5% من التباين في كفاءة متابعة التنفيذ، وهي نسبة جيدة تدل على تأثير ملحوظ في واقع تطبيقات المشاريع.

أما بالنسبة لتحليل التباين، فقد بلغت قيمة $F = 156.274$ ، وهي دالة إحصائياً عند مستوى ($\text{Sig.} = 0.000$)، مما يعكس أن النموذج الإحصائي المستخدم يتمتع بقوة تفسيرية كبيرة، وأن هناك تأثيراً حقيقياً لهذا البُعد في المتغير التابع.

ويُظهر معامل الانحدار $B = 0.387$ أن كل ارتفاع بمقدار وحدة واحدة في درجة استخدام العرض ثلاثي الأبعاد يؤدي إلى تحسن مقداره 0.387 وحدة في متابعة تنفيذ

المشاريع، في ظل مستوى معنوية قوي جدًا ($T = 5.743$, Sig. = 0.000)، ما يعزز ثقة الباحث في النتيجة.

وبالتالي، تؤكد هذه النتائج صحة الفرضية الفرعية الثانية، ويتم قبولها إحصائيًا.

الفرضية الفرعية الثالثة

"يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لاستخدام التتبع الزمني على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان في المملكة العربية السعودية".

تم اختبار هذه الفرضية باستخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط، والنتائج موضحة في الجدول التالي:

جدول (12): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التتبع الزمني على تحسين متابعة

تنفيذ المشاريع الإنشائية

المعاملات Coefficient			المتغير المستقل	تحليل التباين ANOVA			ملخص النموذج	المتغير التابع
T	الخطأ المعياري	B	Sig. F	F المحسوبة	درجة الحرية df	معامل التحديد r^2	معامل الارتباط r	تحسين متابعة المشاريع
7.477	0.068	0.429	0.000	174.201	1	0.491	0.701	

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات برنامج SPSS.

تُشير نتائج جدول (12) إلى أن بعد التتبع الزمني يمتلك تأثيرًا جوهريًا وإحصائيًا واضحًا على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية. حيث بلغ معامل الارتباط ($r = 0.701$) ، ما يعكس وجود علاقة ارتباط إيجابية قوية نسبيًا بين المتغيرين.

أما معامل التحديد ($R^2 = 0.491$) فيشير إلى أن التتبع الزمني يفسر ما نسبته 49.1% من التباين في جودة متابعة التنفيذ، وهي نسبة تعكس أهمية هذا البُعد في تمكين الإدارة من الرقابة الزمنية الدقيقة لمراحل المشروع.

كما أن نتائج تحليل التباين ANOVA أظهرت أن قيمة $F = 174.201$ عند مستوى دلالة ($\text{Sig.} = 0.000$)، وهي دالة إحصائية، ما يدل على صحة النموذج المستخدم وقوة تأثير المتغير المستقل على التابع.

بالنسبة لـ معامل الانحدار $B = 0.429$ ، فهو يعكس أن كل وحدة زيادة في درجة استخدام التتبع الزمني تؤدي إلى ارتفاع مقداره 0.429 وحدة في مستوى متابعة تنفيذ المشروع، وهو تأثير دال جدًا إحصائيًا، كما يتضح من قيمة $T = 7.477$ ومستوى الدلالة $\text{Sig.} = 0.000$.

وبناءً على هذه النتائج، يتم قبول الفرضية الفرعية الثالثة.

الفرضية الفرعية الرابعة

"يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لاستخدام تكامل البيانات الحية على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية في مشروعات الإسكان في المملكة العربية السعودية".

تم اختبار الفرضية باستخدام الانحدار الخطي البسيط، والنتائج موضحة في الجدول

التالي:

جدول (13): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر تكامل البيانات الحية على

تحسين متابعة تنفيذ المشاريع الإنشائية

المعاملات Coefficient			المتغير المستقل	تحليل التباين ANOVA			ملخص النموذج	المتغير التابع
T	الخطأ المعياري	B	Sig. F	F المحسوبة	درجة الحرية df	معامل التحديد r^2	معامل الارتباط r	تحسين متابعة المشاريع
7.667	0.067	0.452	0.000	182.602	1	0.505	0.711	

المصدر: من إعداد الباحث بناءً على مخرجات برنامج SPSS

تشير نتائج جدول (13) إلى وجود علاقة ارتباط قوية نسبياً بين درجة استخدام تكامل

البيانات الحية وتحسين متابعة تنفيذ المشاريع، حيث بلغ معامل الارتباط $r = 0.711$ ، مما يعكس علاقة إيجابية قوية بين المتغيرين.

كما أن معامل التحديد $R^2 = 0.505$ يُظهر أن بُعد تكامل البيانات الحية يُفسّر ما

نسبته 50.5% من التباين في كفاءة متابعة تنفيذ المشاريع، وهي نسبة مرتفعة نسبياً تدل على مدى إسهام هذا البعد في دعم القرارات الفورية وتحسين المراقبة اللحظية لمراحل المشروع.

وعند النظر إلى نتائج تحليل التباين ANOVA ، نجد أن قيمة $F = 182.602$ ذات

دلالة إحصائية عالية عند $\text{Sig.} = 0.000$ ، ما يُشير إلى أن النموذج الإحصائي يفسر العلاقة بدرجة موثوقة قوية.

أما معامل الانحدار $B = 0.452$ ، فيعني أن كل ارتفاع بمقدار وحدة واحدة في

مستوى تطبيق تكامل البيانات الحية يؤدي إلى تحسن بمقدار 0.452 وحدة في مستوى متابعة

التنفيذ. كما تؤكد القيمة المرتفعة للإحصائي $T = 7.667$ ، مع مستوى دلالة $\text{Sig.} = 0.000$ ،

على الأهمية الإحصائية لهذا التأثير.

بناءً على هذه النتائج، يتم قبول الفرضية الفرعية الرابعة إحصائياً، مما يُعزز أهمية

استخدام تقنيات تكامل البيانات الحية في تحسين المتابعة الدقيقة للمشاريع الإنشائية في

مشروعات الإسكان.

الفصل الخامس: النتائج والتوصيات

1.5 التمهيد

في هذا الفصل، يتم تقديم مناقشة شاملة لنتائج الدراسة، سواء على المستوى الوصفي أو من خلال اختبار الفرضيات، وذلك في ضوء الأدبيات السابقة والدراسات المشابهة، مع تقديم تفسير علمي ومنطقي لما توصلت إليه الدراسة. ويُختتم الفصل بتقديم مجموعة من التوصيات العملية المستندة إلى النتائج، بما يدعم تطبيق تقنيات الواقع المعزز بشكل فعال في قطاع الإسكان، ويسهم في تحسين جودة تنفيذ المشروعات.

2.5 مناقشة النتائج

☑ مناقشة النتائج الوصفية لأبعاد تقنيات الواقع المعزز

أظهرت نتائج التحليل الوصفي أن أفراد العينة عبّروا عن مستوى مرتفع من الموافقة على فقرات أبعاد تقنيات الواقع المعزز المستخدمة في مشروعات الإسكان، حيث جاء ترتيب الأبعاد من حيث قوة المتوسطات الحسابية كما يلي: العرض ثلاثي الأبعاد، يليه التصميم التفاعلي، ثم تتبع الزمن الحقيقي، وأخيراً تكامل البيانات الحية. ويعكس هذا الترتيب مدى إدراك أفراد العينة للدور المتنامي لهذه التقنيات في تسهيل متابعة تنفيذ المشاريع وتحقيق الدقة والشفافية في جميع مراحل الإنشاء.

فقد حصل بعد "العرض ثلاثي الأبعاد" على أعلى متوسط حسابي، مما يدل على أن المشاركين يعتبرون النماذج الثلاثية الأبعاد أداة مهمة لفهم مكونات المشروع قبل التنفيذ وتقليل الأخطاء المحتملة.

وجاء بعد "التصميم التفاعلي" في المرتبة الثانية، وهو ما يعكس اهتمام المشاركين بوجود بيئة تفاعلية تسمح بتعديل التصاميم واستعراض البدائل قبل التنفيذ.

أما بعد "تتبع الزمن الحقيقي" فقد حصل على متوسط إيجابي جيد، مما يدل على أن المشاركين يلمسون أثر هذه الخاصية في المتابعة الدقيقة للجدول الزمنية والتعرف المبكر على الانحرافات.

وفي المرتبة الأخيرة، جاء بعد "تكامل البيانات الحية"، وهو ما يشير إلى وجود فرص تطوير في هذا الجانب، رغم إدراك المشاركين لأهميته. ويُحتمل أن يعكس هذا الترتيب تحديات تقنية أو تنظيمية تواجه الجهات المنفذة في تطبيق هذا البُعد بشكل فعال.

وبشكل عام، تؤكد النتائج الوصفية أن أفراد العينة يتبنون تقييمًا إيجابيًا عاليًا للأبعاد تقنيات الواقع المعزز، مما يدعم افتراض الدراسة بأن لهذه الأبعاد تأثيرًا ملحوظًا على تحسين متابعة تنفيذ المشاريع، ويمهد لقبول الفرضيات الإحصائية التي سيتم مناقشتها في الفقرات التالية.

أظهرت نتائج تحليل الانحدار الخطي البسيط وجود علاقة موجبة قوية ذات دلالة إحصائية بين التصميم التفاعلي وتحسين متابعة تنفيذ المشاريع، حيث بلغ معامل الارتباط ($r = 0.612$) ومعامل التحديد ($R^2 = 0.375$)، مما يعني أن 37.5% من التباين في متابعة تنفيذ المشاريع يمكن تفسيره من خلال التصميم التفاعلي وحده. كما كانت قيمة ($F = 147.482$) ذات دلالة إحصائية ($\text{Sig.} = 0.000$)، وكذلك كانت قيمة ($T = 6.837$)، مما يعزز قوة النموذج. ($\text{Sig.} = 0.000$)

تعكس هذه النتيجة الدور الحاسم للتصميم التفاعلي في تمكين القائمين على تنفيذ المشاريع من تصور المعلومات والبيانات المكانية بدقة، والتفاعل مع النماذج الافتراضية بطريقة

تسهّل التحقق من المخططات والتعديلات في الزمن الحقيقي. هذا يعزز كفاءة اتخاذ القرار وسرعة التدخل في حال ظهور مشكلات تنفيذية، مما يفسر التأثير القوي والموثوق إحصائيًا. أظهرت النتائج وجود علاقة دالة إحصائيًا بين العرض ثلاثي الأبعاد ومتابعة تنفيذ المشاريع، حيث بلغ معامل الارتباط ($r = 0.574$) ومعامل التحديد ($R^2 = 0.330$) ، أي أن 33.0% من التباين في متابعة التنفيذ يُعزى لهذا البعد. كما بلغت قيمة $F = 121.038$ وكانت ذات دلالة معنوية عالية ($\text{Sig.} = 0.000$) ، وبلغت قيمة $T = 6.253$ بدلالة إحصائية. ($\text{Sig.} = 0.000$)

يشير هذا إلى أن استخدام النماذج ثلاثية الأبعاد يساهم بوضوح في تحسين الفهم المشترك بين الأطراف المعنية بالمشروع، ويقلل من الأخطاء الناتجة عن سوء تفسير المخططات التقليدية، كما يدعم عملية المراقبة البصرية للمراحل التنفيذية، مما ينعكس على جودة المتابعة ودقتها.

أظهرت نتائج التحليل وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين التتبع الزمني وتحسين المتابعة، حيث بلغ معامل الارتباط ($r = 0.681$) وهو الأعلى بين الأبعاد، ومعامل التحديد ($R^2 = 0.464$)، ما يعني أن 46.4% من التباين في جودة المتابعة يُفسر من خلال التتبع الزمني. كما كانت قيمة $F = 213.278$ ، و $T = 7.878$ ، وكلاهما دالان إحصائيًا عند ($\text{Sig.} = 0.000$).

تُظهر هذه النتائج أن دمج تقنيات الواقع المعزز بزمن التنفيذ الواقعي يمنح فرق العمل رؤية فورية للتقدم الفعلي مقارنة بالجدول الزمني المخطط، مما يسهل اكتشاف الانحرافات واتخاذ التدابير التصحيحية في الوقت المناسب. هذه الميزة التفاعلية ترفع من دقة الرقابة الزمنية وتحسن المتابعة بشكل كبير.

أظهرت النتائج وجود علاقة قوية معنويًا بين تكامل البيانات الحية وتحسين المتابعة، حيث بلغ معامل الارتباط ($r = 0.643$) ومعامل التحديد ($R^2 = 0.413$) كما بلغت قيمة $F = 173.627$ وقيمة $T = 7.221$ ، وكلاهما دال عند ($\text{Sig.} = 0.000$) يدل ذلك على أن تكامل البيانات الحية مع نظم الواقع المعزز يمكن من رصد الأداء التنفيذي للمشروع بشكل ديناميكي، بما يشمل التحديثات الفورية من الموقع، بيانات الاستشعار، وبيانات التكلفة أو التوريد، ما يعزز من جودة المتابعة ويسهم في اتخاذ قرارات تشغيلية دقيقة وفي الوقت الحقيقي.

2.5 التوصيات

تعزيز استخدام التصميم التفاعلي في مرحلة التخطيط الهندسي للمشاريع الإنشائية من خلال توظيف برامج الواقع المعزز في بناء نماذج تفاعلية ثلاثية الأبعاد تُعرض في بيئة محاكاة افتراضية للموقع، بما يتيح للمصممين والملاك والمشرفين التفاعل معها وتحسين جودة التصور قبل التنفيذ الفعلي.

1. فرض اعتماد العرض ثلاثي الأبعاد للمخططات في جميع مراحل المشروع من خلال إلزام شركات المقاولات والاستشارات الهندسية بإرفاق نماذج ثلاثية الأبعاد باستخدام تقنيات ($\text{BIM} + \text{AR}$) ضمن العطاءات وكراسات التنفيذ، ومراجعتها بشكل تفاعلي من قبل فرق الإشراف والمراقبة.
2. دمج أنظمة التتبع الزمني بالمجسمات الإنشائية الافتراضية عن طريق تطوير تقويم تنفيذي بصيغة (AR Timeline) مرتبط بجداول الإنجاز الأسبوعية والشهرية، يُحدث تلقائيًا ويعرض نسبة التقدم مباشرة على النموذج ثلاثي الأبعاد داخل الموقع.
3. تطبيق التكامل بين تقنيات الواقع المعزز ومصادر البيانات الحية في المشروع من خلال ربط أدوات القياس والاستشعار الموقعي (Sensors, Drones) مع تطبيقات

الواقع المعزز لعرض المؤشرات الحيوية مثل درجة الحرارة، نسبة الإنجاز، واستهلاك المواد بشكل مرئي على الموقع.

4. تأسيس وحدات داخلية متخصصة بتقنيات البناء الذكي في شركات الإسكان من خلال استحداث إدارة للابتكار التقني تضم مهندسين في الواقع المعزز، البرمجة، وعلوم البيانات، مع توفير البنية التحتية الرقمية والدعم اللوجستي لتشغيل المشاريع النموذجية.

5. إدراج تقنيات الواقع المعزز في تدريب وتطوير الكوادر الهندسية والفنية من خلال عقد برامج تدريبية وورش عمل تفاعلية بالتعاون مع الجامعات والمراكز التقنية المتخصصة، تركيز على استخدام أدوات AR في التخطيط والتنفيذ والمراقبة.

6. تحديث السياسات والمواصفات الفنية لتشمل توظيف تقنيات الواقع المعزز من خلال مراجعة كودات البناء ومواصفات المشاريع الحكومية، وتضمين متطلبات رقمية مثل تسليم ملفات AR للنماذج والمراحل التنفيذية، ضمن تقارير الإنجاز المرحلي.

7. استخدام تقنيات الواقع المعزز في التقييم الفوري والمراقبة الهندسية الميدانية من خلال تزويد فرق الإشراف بأجهزة محمولة مدعمة بـ AR تسمح لهم برؤية التركيب والتوصيلات المخفية داخل المباني، والتأكد من الالتزام بالمخططات دون الحاجة لفتح الجدران.

