وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

الجامعة الافتراضية السورية

برنامج نمذجة معلومات البناء

وإدارتها BIMM

خطة صيانة مستدامة لمحطة متروباص دمشق ونموذج طرقي

(محطة ماروتا في مشروع دمشق الكبرى المستدامة)

Sustainable Maintenance Plan for the Damascus Metrobus Station and a Roadway Model (Marota Station within the Greater Sustainable Damascus Project)

بحث مقدم لنيل درجة ماجستير التأهيل والتخصص في إدارة ونمذجة معلومات البناءBIMM

إعداد الطالبة

آلاء غسان بدوي

alaa_276429

إشراف الدكتور المهندس

علاء جمال قاضي

شكر وتقدير

أتقدم بأسمى آيات الشكر والامتنان لكل من كان له بصمة واضحة في مسيرة هذا البحث العلمي، والذي ما كان ليرى النور لولا توفيق الله وعونكم.

يتقدم وافر شكري وتقديري إلى الأستاذ الفاضل **الدكتور المهندس علاء جمال قاضي**، المشرف على هذا المشروع، والذي كان لي خير مرشد وموجه. لقد كانت نصائحه الثاقبة وإرشاداته المستمرة بمثابة الأساس المتين الذي بنيت عليه هذا البحث، فله مني كل العرفان والامتنان.

كما أخص بالشكر والتقدير الأستاذة الفاضلة **الدكتورة المهندسة سونيا أحمد**، لجهودها المقدرة ودعمها المتواصل الذي كان دافعاً لي للمضي قدماً في إتمام هذا العمل.

ولا يفوتني أن أعبر عن امتناني الخالص **لأعضاء لجنة الحكم الكرام**، الذين تفضلوا بمناقشة هذا البحث وقدموا آراءهم البناءة وملاحظاتهم القيمة التي ستسهم في تطويره وإثرائه.

وإلى كافة **أساتذتي الأفاضل في الجامعة الافتراضية السورية**، الذين لم يبخلوا بجهدهم أو علمهم، وقدموا لنا من المعرفة ما مكننا من إنجاز هذا العمل بالشكل الأمثل، أقدم لهم أسمى آيات التقدير والوفاء.

أخيراً، أتوجه بالشكر والامتنان إلى كل من ساندني وشجعني خلال هذه الرحلة الأكاديمية. لكم مني كل الحب والاحترام والتقدير.

م. آلاء غسان بدوي

الإهداء

إلى روح والدي، الغائب الحاضر، الذي رحل جسداً عام 2017، وترك في قلبي فراغاً لا يملأه إلا الدعاء. هذا الإنجاز، الذي هو الماجستير الثاني في غيابك، أُهديه لك يا أبي، لتظل ذكراك هي القوة الدافعة والإلهام الدائم.

إلى الحبيبة الأولى، أمي، يا من كانت مرافقة دربي ومصدر قوتي وعزيمتي. بقلبك الكبير وصبرك الذي لا ينضب، مهدتِ لي الطريق وحملتِ معي أحلامي.

إلى إخوتي وأخواتي، نسرين، ورولا، ورشا، ولؤي، وساندرا، الذين كانوا لي خير سند، ومصدر سعادة لا ينتهي.

وإلى شريك حياتي وزوجي، الذي كان لي خير داعم ومحفز، ولابني الصغير محمد، الذي أهدي إليه هذا الإنجاز ليكون فخراً له.

إلى كل صديق وقريب، شاركني لحظات فرحي وتحدياتي، لكم مني كل الحب والتقدير.

ملخص البحث

يمثل هذا البحث دراسة معمقة لاستغلال الإمكانيات المتقدمة لتقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) في قطاع البنى التحتية للمواصلات، مع التركيز على تطوير نهج استباقي ومستدام لصيانة محطات المترو‌باص. يهدف المشروع إلى تقديم حل مبتكر يدمج النمذجة ثلاثية الأبعاد مع التخطيط الزمني، وذلك من خلال إنشاء نموذج رقمي تفصيلي لمحطة مترو‌باص في مدينة دمشق الكبرى باستخدام برنامج Revit.

تم في هذا العمل ربط النموذج الرقمي ببرنامج Synchro، مما أدى إلى توليد نموذج رباعي الأبعاد (4D)يُتيح جدولة دقيقة لمهام الصيانة الوقائية. هذا النهج يساهم في التنبؤ بمتطلبات الصيانة، مما يُقلل من التوقفات غير المخطط لها، ويُعزز من الكفاءة التشغيلية، ويُطيل العمر الافتراضي للأصول.

تُظهر نتائج هذه الدراسة أن تطبيق BIM في إدارة الصيانة يُمثل حجر الزاوية نحو إدارة أصول أكثر استدامة وفاعلية من حيث التكلفة. والأهم من ذلك، يُقدم هذا البحث نموذجاً رائداً يمكن الاحتذاء به في مشاريع إعادة الإعمار المستقبلية لمدينة دمشق، مؤكداً على قدرة هذه المشاريع على دفع عجلة التطور العمراني، وتخفيف أزمة المواصلات، وتحسين جودة الحياة لسكان المدينة من خلال تطبيقها على كافة محاورها الحيوية.

الكلمات المفتاحية:

نمذجة معلومات البناء، BIM، صيانة وقائية، إدارة الأصول، Revit، Synchro، البنية التحتية للمواصلات، دمشق

Abstract

This research presents an in-depth study on leveraging the advanced capabilities of Building Information Modeling(BIM) within the transportation infrastructure sector. It focuses on developing a proactive and sustainable approach to the maintenance of Bus Rapid Transit (BRT) stations. The project aims to provide an innovative solution that integrates 3D modeling with time-based planning by creating a detailed digital model of a BRT station in the Greater Damascus region using Revit.

In this work, the digital model was linked to Synchro ,which generated a 4D model that enables precise scheduling of preventive maintenance tasks. This methodology helps in anticipating maintenance needs, thereby reducing unscheduled downtimes, enhancing operational efficiency, and extending the lifespan of assets.

The findings of this study demonstrate that the application of BIM in maintenance management is a cornerstone for more sustainable and cost-effective asset management. More importantly, this research serves as a pioneering model for future reconstruction projects in Damascus, emphasizing the potential of such initiatives to drive urban development, alleviate the transportation crisis, and improve the quality of life for the city's residents when applied across all its vital axes.

Keywords:

Building Information Modeling, BIM, Preventive Maintenance,

Asset Management, Revit, Synchro, Transportation Infrastructure, Damascus

فهرس المحتويات

1. الفصل الأول: المقدمة.....12

1.1. المقدمة: 12

1.2. المشكلة البحثية: 12

1.3. الأسئلة البحثية: 12

1.4. الأهداف البحثية:.....13

1.5. الفرضيات البحثية:.....13

1.6. الأهمية البحثية:.....13

1.6.1 الأهمية النظرية:..... 13

1.6.2 الأهمية العلمية: 14

1.7. مدى البحث: 14

2. الفصل الثاني: تحليل الدرسات السابقة - الإطار النظري:.....15

2.1المقدمة:.....15

2.2 المحور الأول : التحليل الكمي للدراسات المرجعية Bibliometric Analysis 15

2.3 المحور الثاني: التحليل النوعي للدراسات المرجعية Content Analysis 22

3. الفصل الثالث: تحليل نتائج الاستبيانات: 28

3.1 أداة الاستبيان وصياغة الأسئلة:.....28

3.2 أسئلة الاستبيان: 28

3.3 خصائص المشاركين: 30

3.3.1 التوزيع حسب الجنس:..... 30

3.3.2 الفئة العمرية: 30

3.3.3 التحصيل الأكاديمي: 31

3.4 معامل الموثوقية:(Reliability Test) : 32

3.5 نتائج الأسئلة البحثية وتحليلها:.....32

3.5.1 الطاقة المتجددة في الصيانة: 35

3.5.2 موثوقية أنظمة الأمن: 35
3.5.3 المراقبة الدقيقة عن بعد:..... 35
3.5.4 نماذج إدارة الصيانة الذكية: 35
3.5.5 دمج النمذجة الرقمية في الصيانة:..... 36
3.5.6 النمذجة الشبكية وتدهور البنية التحتية: 36
3.5.7 التقييس والسياسات الأوروبية الموحّدة:..... 36
3.5.8 نماذج إدارة الصيانة الذكية: 36
3.5.9 التقييم الاقتصادي والبيئي للصيانة: 36
3.5.10 الصيانة القائمة على الحالة والحدود الدنيا:..... 37

3.6 جدول النتائج:.....37

3.7 الخاتمة:.....38

4. الفصل الرابع: التطبيق العملي (تصميم محطة متروباص نموذجي).....38

4.1 المقدمة: 38

4.2 الوصف العام والتكوّن الهندسي: 38

4.3 التقسيم العرضي والتفاصيل الهندسية للمسارات: 38

4.4 منصة المتروباص وتصميم المحطة: 39

4.5 جسر المشاة والمصاعد: 39

4.6 الاستدامة والطاقة المتجددة: 39

4.7 المخرجات البصرية:.....40

5. الفصل الخامس: دمج المساقط الكهربائية والميكانيكية في نموذج محطة المتروباص 46

5.1 المقدمة: 46

5.2 الأعمال الميكانيكية(Mechanical Works): 46

5.3 الأعمال الكهربائية(Electrical Works): 47

5.4 التكامل بين الأنظمة: 48

5.5 الخاتمة:.....48

5.5 المخرجات البصرية للأعمال الكهربائية والميكانيكية:.....48

6. الفصل السادس: تطبيق خطة الصيانة باستخدام برنامجSYNCHRO 54

6.1 المقدمة: 54

6.2 إدخال الأنشطة وربطها بالزمن: 54

6.3 الربط بالعناصر ثلاثية الأبعاد(3D Linking): 55

6.4 المحاكاة(Simulation) : 57

6.5 النتائج المستخلصة: 57

6.6 الملاحظات حول المسار الحرج: 57

6.7 الخاتمة: 58

6.8 المخرجات البصرية: 58

7. الفصل السابع: النتائج والتوصيات: 64

7.1 النتائج والمخرجات: 64

7.2 التوصيات والتحسينات المقترَحة (خطوات قابلة للتطبيق): 65

7.2.1 توصيات تنفيذية قصيرة المدى (خلال التصميم والتنفيذ): 65

7.2.2 توصيات تشغيلية: 65

7.2.3 خاتمة: 71

قائمة الجداول:

الجدول 1 اسماء الدراسات السابقة مع أسماء الباحثين وسنة الاصدار والمراجع.....17
الجدول 2 أبرز المؤلفين الذين حظيت أبحاثهم بأعلى عدد من الاستشهادات.....19
الجدول 3 أهم المقالات الأكثر استشهادًا 20
الجدول 4 الممارسات/الاستراتيجيات المرتبطة بالصيانة المستدامة وعدد مرات ظهورها 25
الجدول 5 PRACTICES/STRATEGIES RELATED TO SUSTAINABLE MAINTENANCE AND THEIR FREQUENCY OF OCCURRENCE.....27
الجدول 6 يوضح اسئلة الاستبيان.....29
الجدول 7 نتائج الاستبيان التفصيلية لمجالات الصيانة وإدارتها في محطة المترو باص.....34
الجدول 8 ملخص نتائج الاستبيان لمجالات الصيانة وإدارتها في محطة المترو باص 37
الجدول 9 مخطط غانت لخطة الصيانة المستدامة لمحطة المترو باص 55
الجدول 10 مخطط غانت لخطة الصيانة المستدامة مع الربط بالعناصر 3D.....56
الجدول 11جدول صيانة مقترح لمحطة المترو باص.....67

قائمة الأشكال:

الشكل 1 عدد المنشورات لكل سنة.....18
الشكل 2 المجلات العلمية الأكثر تأثيراً 20
الشكل3 أهم الجامعات التي أنتجت الأبحاث الأكثر استشهادًا.....21
الشكل4 الدول الأكثر نشاطًا في مجال أبحاث الصيانة المستدامة للبنية التحتية للنقل.....21
الشكل 5 التوزيع النسبي بين المشاركين حسب الجنس.....30
الشكل 6 التوزيع النسبي بين المشاركين حسب الفئة العمرية 31
الشكل 7التوزيع النسبي بين المشاركين حسب التحصيل الأكاديمي الأعلى.....31
الشكل 8 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة أولى) 41
الشكل 9 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة ثانية) 41
الشكل 10 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة ثالثة).....41
الشكل 11 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة رابعة) 42
الشكل 12 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة خامسة) 42
الشكل 13 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة سادسة) 42
الشكل 14 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة سابعة) 43
الشكل 15 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة ثامنة) 43
الشكل 16مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة تاسعة).....43
الشكل 17 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة عاشرة) 44
الشكل 18 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة حادية عشر) 44
الشكل 19 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة ثانية عشر) 44
الشكل 20 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة ثالثة عشر) 45
الشكل 21 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة رابعة عشر) 45
الشكل 22 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة خامسة عشر).....45
الشكل 23 توزيع كاميرات المراقبة (لقطة أولى) 49
الشكل 24 توزيع كاميرات المراقبة(لقطة ثانية).....49
25الشكل توزيع أعمدة الإنارة وكاميرات المراقبة و مسار كابلات الألواح الشمسية (لقطة أولى) .49
26الشكل توزيع أعمدة الإنارة وكاميرات المراقبة و مسار كابلات الألواح الشمسية (لقطة ثانية)..50
الشكل 27 توزيع أعمدة الإنارة وكاميرات المراقبة 50
28الشكل مسقط شبكة الصرف الصحي.....51
29الشكل مسقط توزيع ألواح الطاقة الشمسية 52
الشكل 30مسقط توزيع مسار كابلات الطاقة الشمسيةوحوامل الكابلات الأخرى 53

31الشكل ادخال مخطط غانت في برنامج السينكرو مع اظهار المسار الحرج 58
32الشكل تسلسل الأنشطة والعلاقات فيما بينها وفق مخطط غانت 59
33الشكل المسار الحرج (CRITICAL PATH) باللون الأحمر.....59
34الشكل تحديد الأنشطة الحرجة باللون الأحمر 60
35الشكل لقطة محاكاة 4D SIMULATION قبل بدء الشريط الزمني 60
36الشكل لقطة محاكاة 4D SIMULATION عند بداية الشريط الزمني (بداية النشاط 1،2،3)سوية 60
37الشكل لقطة محاكاة 4D SIMULATION عند نهاية النشاط 1 وبداية النشاط الثامن.....61
38الشكل لقطة محاكاة 4D SIMULATION عند نهاية النشاط 2 و 3 وما زال النشاط 8 يعمل 61
39الشكل محاكاة 4D SIMULATION بداية النشاط 4 وما زال النشاط 8 يعمل 61
40الشكل محاكاة 4D SIMULATION نهاية النشاط 8 وما زال النشاط 4 يعمل.....62
41الشكل محاكاة 4D SIMULATION بداية النشاط 9 وما زال النشاط 4 يعمل.....62
42الشكل محاكاة 4D SIMULATION نهاية النشاط 5 و 6 62
الشكل 43محاكاة 4D SIMULATION بداية النشاط 7.....63
44محاكاة 4D SIMULATION نهاية الأنشطة.....63

1. الفصل الأول: المقدمة

1.1. المقدمة:

تُعد الصيانة المستدامة لمحطة متروباص دمشق حجر الزاوية في تحقيق أهداف مشروع دمشق الكبرى المستدامة. يهدف هذا المشروع إلى تحويل العاصمة وريفها إلى مدينة عصرية متكاملة.

تعد خطة الصيانة المستدامة لمحطة متروباص دمشق ضرورية لضمان استمرارية الخدمة وكفاءتها، حيث تهدف إلى إطالة العمر الافتراضي للمعدات، تحسين السلامة للركاب والموظفين، وخفض التكاليف التشغيلية على المدى الطويل من خلال تقليل الأعطال والإصلاحات الطارئة .كما أنها تساهم في زيادة رضا المستخدمين وتعزيز ثقتهم بالنظام، وتدعم الاستدامة البيئية والاقتصادية .باختصار، هي استثمار يضمن تشغيلًا موثوقًا وآمنًا وفعالًا لنظام النقل الحيوي هذا.

ربط هذه الصيانة بـ**نمذجة معلومات البناء (BIM)** يعزز الكفاءة بشكل كبير؛ فـ **BIM** يوفر معلومات دقيقة عن الأصول، ويحسن التخطيط والجدولة، ويقلل التكاليف طويلة الأمد، ويُمكن من تطبيق **الصيانة التنبؤية** .هذا التكامل يخلق نظام نقل ذكي ومرن، أساسياً لربط وتنمية مناطق دمشق الكبرى.

1.2. المشكلة البحثية:

في ظل الأهمية المتزايدة لشبكة المتروباص ضمن مشروع دمشق الكبرى المستدامة، يبرز التساؤل الرئيسي للبحث: كيف يمكن تنفيذ خطة صيانة مستدامة وفعالة لمحطات المتروباص في دمشق وضمان استمرارية التشغيل الأمثل وتقليل التكاليف؟

1.3. الأسئلة البحثية:

- ما هي خطة الصيانة الدورية الواجب تطبيقها على محطات المترو باص في محطة ماروتا ضمن مشروع دمشق الكبرى المستدامة.
- كيف يمكن نمذجة هذه الخطة الدورية الواجب تطبيقها على محطات المترو باص في محطة ماروتا ضمن مشروع دمشق الكبرى المستدامة باستخدام برمجيات **BIM**

1.4. الأهداف البحثية:

- تصميم خطة صيانة دورية تشمل صيانة المحطة وصيانة الطريق (1 كم متر قبل و1 كم بعد) وتشمل صيانة البنى التحتية (البلاط –الاسفلت –مياه الشرب-الصرف الصحي-بنى تحتية للكهرباء-الطاقة الشمسية .....)
- كيفية نمذجة الخطة باستخدام نمذجية **Synchro**

1.5. الفرضيات البحثية:

- يمكن تصميم خطة صيانة دورية مستدامة تشمل صيانة المحطة وصيانة الطريق.
- يمكن نمذجة الخطة باستخدام نمذجية نافيس او سينكرو.

1.6. الأهمية البحثية:

يكتسب هذا البحث أهمية بالغة كونه يتناول مشكلة غياب خطة صيانة مستدامة وفعالة لمحطات المتروباص المدروسة، وتحديداً محطة ماروتا ضمن مشروع دمشق الكبرى المستدامة مركزًا على محطة المتروباص في ماروتا سيتي والبنية التحتية الطرقية المحيطة بها (2 كم). تكمن هذه الأهمية في مساهمته المباشرة في تحقيق أهداف المشروع التنموية الشاملة، فهو يهدف إلى ضمان كفاءة وموثوقية نظام النقل العام الحيوي، مما يعزز جودة الحياة لسكان المدينة عبر توفير خدمة نقل آمنة ومريحة .علاوة على ذلك، سيسهم البحث في تحقيق استدامة اقتصادية عبر توفير التكاليف على المدى الطويل من خلال الصيانة الوقائية وتقليل الحاجة إلى الإصلاحات الطارئة والمكللفة بيئياً، يدعم البحث أهداف دمشق الكبرى المستدامة بتقليل الانبعاثات الكربونية والتلوث المرتبط بالمركبات، بينما يبرز أهمية وسبل دمج تقنية نمذجة معلومات البناء (**BIM**) في إدارة وصيانة البنية التحتية، مما يوفر نموذجاً متكاملاً لإدارة الأصول بكفاءة .وبالتالي، فإن هذا البحث لا يحل مشكلة فنية فحسب، بل هو استثمار استراتيجي يدعم رؤية دمشق كمدينة ذكية ومستدامة وقابلة للعيش.

1.6.1 الأهمية النظرية:

يسلط البحث الضوء على أهمية دمج نمذجة معلومات البناء (BIM) في إدارة وصيانة البنية التحتية، وبالتالي يقدم نموذجًا متكاملاً لإدارة الأصول بكفاءة .يوفر هذا التكامل مساهمة نظرية من خلال إظهار كيف يمكن لنهج تكنولوجي حديث (BIM) أن يعزز ممارسات الصيانة التقليدية لتحقيق نتائج مستدامة .كما يؤكد على أهمية الصيانة الوقائية وتوفير التكاليف على المدى الطويل ضمن سياق التنمية الحضرية المستدامة.

1.6.2 الأهمية العلمية:

يهدف البحث إلى تصميم خطة صيانة دورية لمحطة متروباص ماروتا والبنية التحتية الطرقية المحيطة بها (2 كم)، بما في ذلك صيانة البنى التحتية الفرعية مثل البلاط والإسفلت ومياه الشرب والصرف الصحي والبنى التحتية للكهرباء والطاقة الشمسية .علاوة على ذلك، يركز على نمذجة هذه الخطة باستخدام برمجيات **BIM** مثل **Synchro** يوضح هذا النهج الأهمية العلمية من خلال تطبيق تقنيات نمذجة متقدمة (**BIM**) على تحدي صيانة البنية التحتية في العالم الحقيقي، مما يوفر منهجية قابلة للتكرار لمشاريع التنمية الحضرية المماثلة .يساهم البحث أيضًا في تحقيق الاستدامة الاقتصادية من خلال الصيانة الوقائية وتقليل الحاجة إلى الإصلاحات الطارئة ، ويدعم الاستدامة البيئية عن طريق تقليل الانبعاثات الكربونية والتلوث المرتبط بالمركبات .إنه يمثل استثمارًا استراتيجيًا يدعم رؤية دمشق كمدينة ذكية ومستدامة وقابلة للعيش.

1.7.مدى البحث:

يركز مدى البحث تحديدًا على محطة متروباص ماروتا ضمن مشروع دمشق الكبرى المستدامة . ويغطي محطة المتروباص نفسها والبنية التحتية الطرقية المحيطة بها، وتمتد لمسافة 1 كم قبل و 1 كم بعد المحطة، بإجمالي 2 كم من الطريق .تتضمن خطة الصيانة بنى تحتية فرعية مختلفة مثل البلاط والأسفلت ومياه الشرب والصرف الصحي والبنى التحتية للكهرباء والطاقة الشمسية.

2. الفصل الثاني: تحليل الدرسات السابقة - الإطار النظري:

2.1المقدمة:

الهدف من هذا الفصل هو الإجابة على السؤال البحثي الأول: "ما هي خطة الصيانة الدورية الواجب تطبيقها على محطات المترو باص في محطة ماروتا ضمن مشروع دمشق الكبرى المستدامة؟ ." لتحقيق ذلك، سيتم تقسيم هذا الفصل إلى محورين رئيسيين: المحور الأول سيخصص للتحليل الكمي للدراسات المرجعية(Bibliometric Analysis) ، والمحور الثاني سيركز على التحليل النوعي للدراسات المرجعية.(Content Analysis)

2.2 المحور الأول : التحليل الكمي للدراسات المرجعية Bibliometric Analysis

يهدف هذا المحور إلى تقديم تحليل كمي للدراسات المرجعية ذات الصلة بمجال البحث، بهدف تحديد أبرز الاتجاهات والمساهمين الرئيسيين في أدبيات الصيانة المستدامة للبنية التحتية للنقل.

وقد تم تجميع البيانات لهذا التحليل من خلال منهجين رئيسيين :

- المنهج الأول :البحث في Google Scholar باستخدام الكلمة المفتاحية "transport infrastructure maintenance" مع تضييق نطاق البحث حسب العنوان والسنة (منذ 2020) وترتيب النتائج حسب السنة .أسفر هذا البحث عن 21 نتيجة.
- المنهج الثاني :البحث في قاعدة بيانات Scopus باستخدام نفس الكلمة المفتاحية "transport infrastructure maintenance" مع ترتيب النتائج حسب عدد الاستشهادات (citations)أسفر هذا البحث عن 21 نتيجة.

تُستخدم هذه البيانات الكمية لرسم خرائط التوجهات البحثية وتحديد المصادر الأكثر تأثيراً في مجال الصيانة المستدامة للبنية التحتية للنقل، مما يوفر أساساً متيناً للفهم الشامل للإطار النظري.

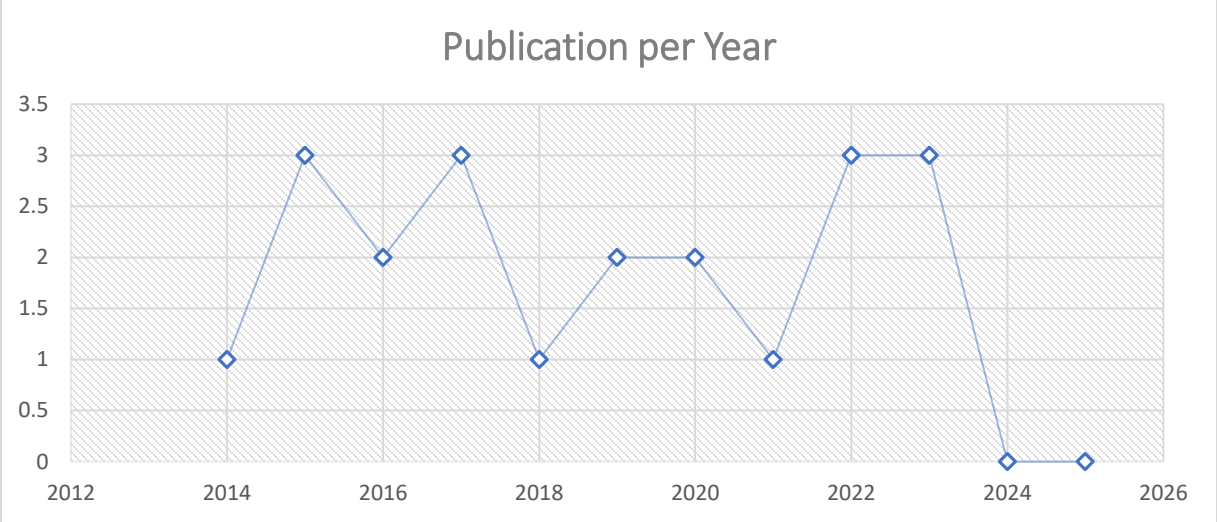
- إن الجدول التالي يوضح ملخص عن الدراسات السابقة التي ظهرت لدينا وعددها 21 بحث:

No	Authors	Title	Year	Source
1	J.J. Cepa	A Review on the Implementation of the BIM Methodology in the Operation Maintenance and Transport Infrastructure	2023	Cepa, Pavon et) (al. 2023
2	F. Seraj	RoVi: Continuous transport infrastructure monitoring framework for preventive maintenance	2017	Seraj, Meratnia) (et al. 2017
3	I. Kulbovskyi	Development of a model for managing the quality of repair and maintenance of rolling stock in transport infrastructure projects	2019	Kulbovskyi,) Sapronova et al. (2019
4	T. Murakami	High spatial resolution survey using frequency-shifted feedback laser for transport infrastructure maintenance	2017	Murakami,) Saito et al. (2017
5	R. Wüst	Maintenance timetable planning based on mesoscopic infrastructure and the transport service intention	2019	Wüst,) Bütikofer et al. (2019
6	N. Jiménez-Redondo	Improving linear transport infrastructure efficiency by automated learning and optimised predictive maintenance techniques (INFRALERT)	2017	Jiménez-) Redondo, Calle-Cordón et al. (2017
7	A. Bigaj-van Vliet	Standardisation in Monitoring, Safety Assessment and Maintenance of the Transport Infrastructure: Current Status and Future Perspectives	2021	Bigaj-van Vliet,) Allaix et al. (2021
8	A. Troudi	An optimal maintenance policy for transport vehicles in a supply chain under infrastructure/environment constraints	2015	Troudi, Dellagi) (et al. 2015
9	D.L. Allaix	Review of the current state of standardisation on monitoring, data-informed safety assessment and decision-making regarding maintenance of the transport infrastructure	2022	Allaix, Bigaj-) van Vliet et al. (2022
10	E. Tsarkova	Reliability forecasting for optimal planning of measures for maintenance of security systems of transport infrastructure facilities	2020	Tsarkova,) Belyaev et al. (2020
11	G. Chai	Model for Benchmarking a Pavement Maintenance Budget for Sustainable Road Transport Infrastructure	2016	Chai, Bartlett) (et al. 2016
12	A. Strauss	Condition-states and low limit maintenance thresholds of transport infrastructures in a European Context	2022	Strauss, Vliet) (et al. 2022
13	J.S. Jensen	MAINLINE - MAINtenance, renewal and improvement of rail transport infrastructure to reduce economic and environmental impacts	2014	Jensen, Sloth) (et al. 2014

14	I. Hoff	Analyses of barriers, trends and best practices for better monitoring and maintenance of European transport infrastructure	2023	Hoff, Alovisi et) (al. 2023
15	P. Šváb	The Utilization of Renewable Energy Sources in the Construction and Maintenance of Transport Infrastructure	2021	Šváb, Korba et) (al. 2021
16	A. Davidyuk	Scientific and technical maintenance of transport infrastructure facilities	2020	(Davidyuk 2020)
17	B. Zhao	Simulating the degradation and maintenance effects on an integrated urban transport infrastructure system	2016	Zhao, Soga et) (al. 2016
18	L. Gao	Evaluation of Retrofit and Maintenance Schemes on Transport Infrastructure Based on VE Theory: An Example of Urban Bridge	2018	Gao, Li et al.) (2018
19	N. Kovalenko	Planning of a contingent for the maintenance of transport infrastructure using digitalization	2023	Kovalenko and) (Kovalenko 2023
20	JS Jensen	Mainline-maintenance, renewal and improvement of rail transport infrastructure to reduce economic and environmental impacts	2014	Jensen, Sloth) (et al. 2014
21	L Elfgren	Mainline - Maintenance, renewal and improvement of rail transport infrastructure to reduce economic and environmental impacts	2012	Elfgren,) Blanksvärd et al. (2012

الجدول 1 اسماء الدراسات السابقة مع أسماء الباحثين وسنة الاصدار والمراجع

- يوضح الشكل التالي **توزع عدد المنشورات المتعلقة بالصيانة المستدامة للبنية التحتية للنقل حسب السنة** .يظهر الشكل زيادة ملحوظة في عدد المنشورات منذ عام 2012، مما يعكس الاهتمام المتزايد بالموضوع في السنوات الأخيرة.



الشكل 1 عدد المنشورات لكل سنة

- يعرض الجدول أدناه أبرز المؤلفين الذين حظيت أبحاثهم بأعلى عدد من الاستشهادات .على سبيل المثال:

J.J. Cepa هو الأكثر استشهادًا (39 استشهاد) ويبرز دوره في تبني منهجية BIM في صيانة البنية التحتية.

F. Seraj و I. Kulbovskyi يركزون على الإطار النظري والنماذج التطبيقية للمراقبة المستمرة وصيانة المركبات.

هذا الجدول يوضح المؤلفين الرئيسيين الذين يمكن الاعتماد على أعمالهم لتطوير الإطار النظري للبحث.

Most cited Authors

Name	Cites
J.J. Cepa	39
F. Seraj	29
I. Kulbovskyi	11
T. Murakami	7
R. Wüst	5
N. Jiménez-Redondo	4

الجدول 2 أبرز المؤلفين الذين حظيت أبحاثهم بأعلى عدد من الاستشهادات

- يوضح الجدول التالي أهم المقالات الأكثر استشهادًا في المجال .يمكن وصفه بشكل مختصر:

يظهر الشكل تركيزًا على تطبيقات BIM والمراقبة الذكية للبنية التحتية.

المقالات تشير إلى التطورات الحديثة في الصيانة الوقائية والتنبؤية، ما يدعم التحليل التطبيقي للبحث.

Most cited Articles

Cites	Authors	Title	Year
39	J.J. Cepa	A Review on the Implementation of the BIM Methodology in the Operation Maintenance and Transport Infrastructure	2023
29	F. Seraj	RoVi: Continuous transport infrastructure monitoring framework for preventive maintenance	2017
11	I. Kulbovskyi	Development of a model for managing the quality of repair and maintenance of rolling stock in transport infrastructure projects	2019

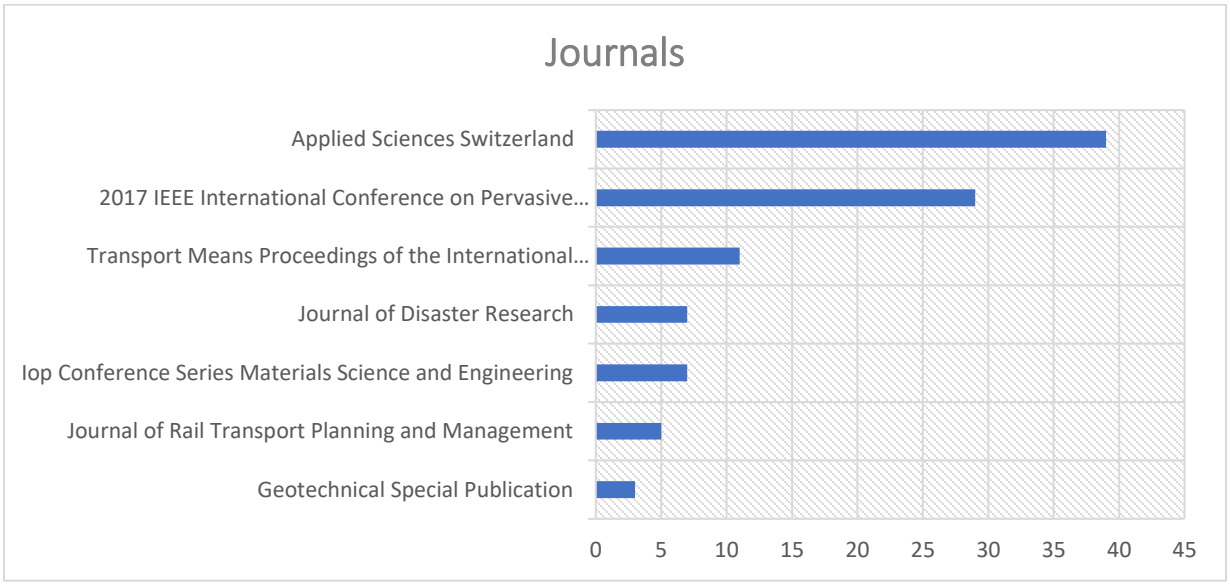
7	T. Murakami	High spatial resolution survey using frequency-shifted feedback laser for transport infrastructure maintenance	2017
5	R. Wüst	Maintenance timetable planning based on mesoscopic infrastructure and the transport service intention	2019
4	N. Jiménez-Redondo	Improving linear transport infrastructure efficiency by automated learning and optimised predictive maintenance techniques (INFRALERT)	2017

الجدول 3 أهم المقالات الأكثر استشهادًا

- يعرض هذا الشكل المجلات العلمية الأكثر تأثيرًا في نشر أبحاث الصيانة المستدامة.

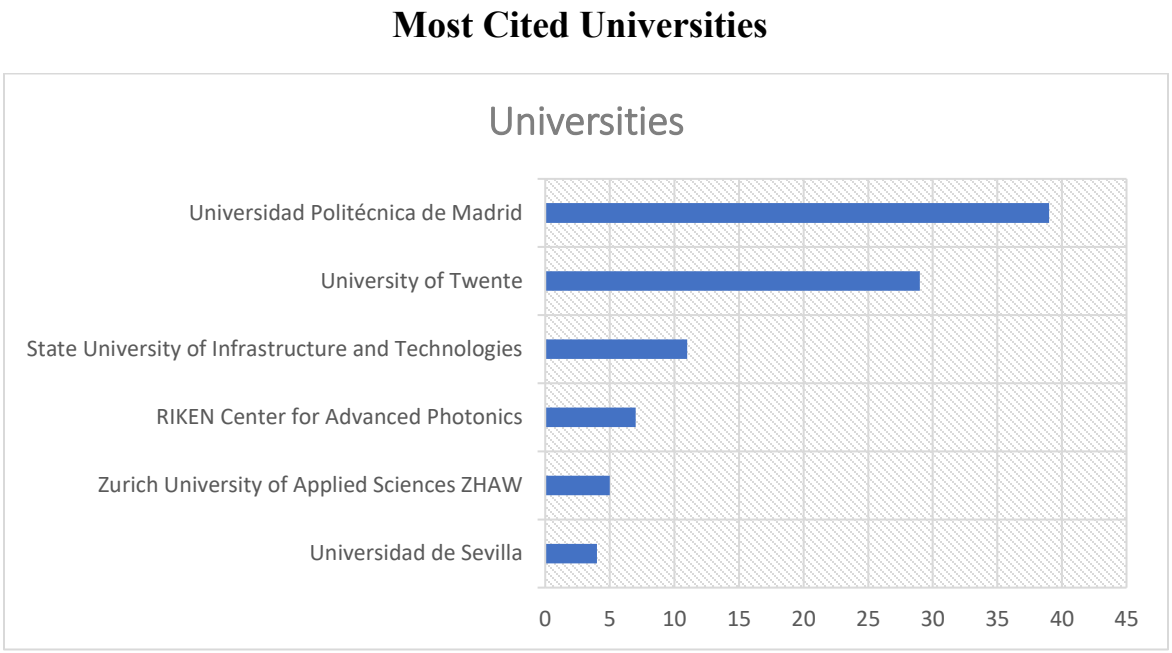
يمكن الإشارة إلى أن المجلات المختصة بالنقل والبنية التحتية هي الأكثر اعتمادًا.

هذا يساعد على توجيه القارئ نحو المصادر الموثوقة.



الشكل 2 المجلات العلمية الأكثر تأثيراً

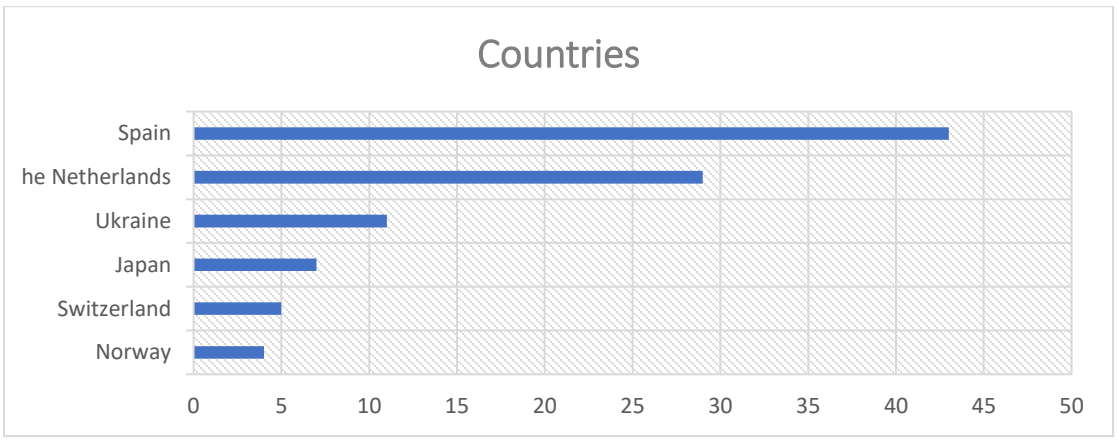
- يظهر الشكل **أهم الجامعات التي أنتجت الأبحاث الأكثر استشهادًا**، ما يوضح المؤسسات الأكاديمية الرائدة في هذا المجال.



الشكل3 أهم الجامعات التي أنتجت الأبحاث الأكثر استشهادًا

- يوضح الشكل الدول الأكثر نشاطًا في مجال أبحاث الصيانة المستدامة للبنية التحتية للنقل.

يمكن الإشارة إلى أن اسبانيا وهولندا تشغل الصدارة، ما يعكس تركيز البحث والممارسة العملية هناك.



الشكل4 الدول الأكثر نشاطًا في مجال أبحاث الصيانة المستدامة للبنية التحتية للنقل

2.3 المحور الثاني: التحليل النوعي للدراسات المرجعية Content Analysis

يهدف هذا المحور إلى إجراء تحليل نوعي متعمق للدراسات المرجعية التي تم تجميعها في المحور الأول، وذلك بهدف استخلاص الأساليب والممارسات المتعلقة بالصيانة المستدامة لمحطات المترو‌باص أو البنى التحتية للنقل المشابهة والتي يمكن تطبيقها بفعالية في هذا المشروع البحثي .

بعد الانتهاء من عملية البحث الكمي وتحديد المقالات ذات الصلة، تم تنزيل ودراسة جميع المقالات التي بلغ عددها 21 مقالًا .ركزت عملية الدراسة على استخلاص الأساليب والاستراتيجيات والممارسات المبتكرة التي تناولتها هذه الأبحاث في مجال الصيانة، مع التركيز بشكل خاص على تلك التي تدعم الاستدامة والكفاءة التشغيلية.

بناءً على التحليل النوعي للمحتوى، تم تحديد قائمة شاملة بالأساليب والممارسات التي يمكن أن تسهم في تطوير خطة صيانة مستدامة لمحطة مترو‌باص دمشق، وهي كالتالي:

1- الصيانة الوقائية والتنبؤية باستخدام التكنولوجيا:

- **RoVi Framework** نظام يعتمد على الهواتف الذكية لمراقبة البنية التحتية باستمرار عبر استشعار حركة المركبات وراكبي الدراجات والقطارات.
  يعتمد على مفهوم **الاستشعار الجماعي Crowd Sensing** لتوفير بيانات زمنية ومكانية دقيقة.
- **INFRALERT** مشروع أوروبي طور نظامًا ذكيًا للتنبؤ بحالة البنية التحتية، وإطلاق الإنذارات المبكرة وتحليل RAMS & LCC (الموثوقية، الإتاحة، الصيانة، التكلفة الكاملة)
  يُستخدم لتخطيط تدخلات الصيانة المثلى.

2-دمج النمذجة الرقمية في الصيانة:

- **BIM (Building Information Modelling) + ICTs**

استخدام نمذجة معلومات البناء مع تقنيات مثل إنترنت الأشياء(IoT) ، والبيانات الضخمة، والبلوكشين لتحسين إدارة المرافق واتخاذ قرارات الصيانة بناءً على التحليل البياني.

3-نماذج إدارة الصيانة الذكية:

- **Modeling of Rolling Stock Maintenance**

نموذج رياضي لإدارة صيانة عربات النقل بناءً على حالتها الفنية الفعلية، باستخدام **التحليل التشخيصي** لتحديد الوقت الأمثل للصيانة.

- **Maintenance Timetable Planning**

إنشاء جداول زمنية مرنة للصيانة باستخدام نموذج **TC**FPES**P** الذي يوازن بين متطلبات المشغل وخدمات البنية التحتية.

4-المراقبة عالية الدقة عن بُعد:

- Laser-based Inspection System: نظام يستخدم الليزر **عالي الدقة (FSF laser)** للكشف عن الشقوق الدقيقة على الجدران الخرسانية في الأنفاق، يوفر:
  - تصوير انعكاسي
  - قياسات ثلاثية الأبعاد
  - الكشف عن الرطوبة

5- المعيارية والتقييس الأوروبي:

- **IM-SAFE Project** يدعو لتوحيد معايير المراقبة والتقييم والسلامة والصيانة التنبؤية في أوروبا.

يُعد التقييس أداة مهمة لتوفير صيانة مستدامة آمنة.

6- استخدام الطاقة المتجددة في الصيانة

- **Solar Road System**

نظام صيانة طرق شتوية يعتمد على الطاقة الشمسية لتسخين الطرق ومنع الجليد. يقلل استهلاك الوقود والانبعاثات الكربونية.

7-الصيانة القائمة على الحالة والعتبات الدنيا

- الصيانة تتم وفقًا لحالة العنصر infrastructure condition وليس بالضرورة وفقًا لجدول زمني ثابت.
- يتم تحديد **عتبات دنيا للصيانة** (Maintenance Thresholds)لضمان الأمان والوظيفية.

8-أدوات التقييم الاقتصادي والبيئي

- **VE Theory**تقييم الصيانة من خلال التوازن بين التكلفة والأثر البيئي والاجتماعي. يشمل خيارات:
  - الإصلاح
  - التدعيم
  - الاستبدال
  - إعادة البناء

9- التنبؤ بموثوقية أنظمة الأمن:

- تطوير طرق تنبؤية لقياس مدى جاهزية أنظمة الأمن الفني (مثل الكاميرات، الحساسات) على مرافق النقل.

10- النمذجة الشبكية والظروف المستقبلية

- نموذج تنبؤ لحالة البنية التحتية باستخدام **GIS + Cellular Automata**، يأخذ بالحسبان التدهور المتبادل في نظام النقل متعدد الوسائط.

إن الجدول التالي يوضح الممارسات/الاستراتيجيات المرتبطة بالصيانة المستدامة وعدد مرات ظهورها:

عدد التكرارات	الوصف	اسم الكود (العقدة الفرعية)	التصنيف الرئيسي (العقدة الأم)
1	نظام مراقبة قائم على الهواتف الذكية يعتمد على الاستشعار الجماعي لتتبع حالة البنية التحتية	RoVi إطار عمل	**الصيانة الوقائية والتنبؤية**
1	منصة تنبؤية ذكية تشمل التنبؤ بالحالة، الإنذارات المبكرة، وتحليل LCCو RAMS	INFRALERT نظام للتنبؤ	
8	مع تقنيات مثل BIM استخدام ، البيانات الضخمة GIS، IoT والبلوكشين لإدارة المرافق الذكية	مع تقنيات BIM تكامل (ICT) المعلومات	**دمج النمذجة الرقمية في الصيانة**
1	نموذج رياضي تشخيصي لإدارة صيانة العربات بناءً على حالتها الفنية الحقيقية	نموذج صيانة القطارات	**نماذج إدارة الصيانة الذكية**
2	إنشاء جدول صيانة مرن باستخدام TCFPESP نموذج	تخطيط الجدول الزمني للصيانة	
1	نظام يعتمد على الليزر لكشف التشققات والرطوبة بدقة عالية في الأنفاق	نظام فحص الأنفاق FSF بالليزر	**المراقبة الدقيقة عن بعد**
5	مشروع لوضع معايير موحدة أوروبية للصيانة التنبؤية والسلامة والمراقبة	IM-SAFE إطار للتقييس الأوروبي	**التقييس والسياسات الأوروبية الموحدة**
1	نظام صيانة شتوية يستخدم الطاقة الشمسية لتسخين الطرق وتقليل الانبعاثات الكربونية	نظام الطرق الشمسية	**الطاقة المتجددة في الصيانة**
2	تنفيذ الصيانة فقط عندما تتجاوز حالة الأصل العتبة المحددة بدلاً من الجداول الزمنية الثابتة	صيانة تعتمد على حالة الأصل	**الصيانة القائمة على الحالة والحدود الدنيا**
3	مقارنة خيارات الصيانة (إصلاح، تدعيم، استبدال، إعادة بناء) على أساس التكاليف والاستدامة	تقييم الهندسة القيمية VE	**التقييم الاقتصادي والبيئي للصيانة**
3	تطوير طرق للتنبؤ بجاهزية أنظمة الأمان مثل الكاميرات والمجسات في مرافق النقل	التنبؤ بجاهزية الأنظمة الفنية	**موثوقية أنظمة الأمن**
1	محاكاة تدهور البنية التحتية باستخدام بيانات مكانية ضمن نظم النقل متعددة الوسائط	GIS النمذجة باستخدام وخلية أوتوماتيكية	**النمذجة الشبكية وتدهور البنية التحتية**

الجدول 4 الممارسات/الاستراتيجيات المرتبطة بالصيانة المستدامة وعدد مرات ظهورها

نفس الجدول السابق لكن باللغة الإنكليزية:

Main Category (Parent Node)	Code Name (Child Node)	Code Description	Frequency
Predictive and Preventive Maintenance	RoVi Framework	Smartphone-based monitoring via crowd sensing for real-time infrastructure condition	1
	INFRALERT Predictive System	Predictive maintenance platform with forecasting, alerts, and RAMS & LCC analysis	1
Digital Integration in Maintenance	BIM and ICT Integration	Use of BIM with IoT, GIS, Big Data, Blockchain for smart facility management	8
Intelligent Maintenance Management	Rolling Stock Maintenance Modeling	Diagnostic and mathematical modeling for train vehicle maintenance	1
	Maintenance Timetable Planning	Flexible scheduling of maintenance via TCFPESP timetable model	2
High-Precision Remote Monitoring	FSF Laser Inspection System	Laser-based system for crack and moisture detection in tunnels	1
European Standardization	IM-SAFE Standardization Framework	Unified EU standards for predictive	5

and Policy Harmonization		maintenance, monitoring, and safety	
Renewable Energy Use in Maintenance	Solar Road System	Using solar energy for winter road maintenance and reducing carbon emissions	1
Condition-Based Maintenance and Thresholds	Maintenance Based on Condition State	Threshold-based maintenance rather than fixed schedules	2
Economic and Environmental Evaluation	Value Engineering (VE) Evaluation	Cost-benefit and sustainability-based evaluation of maintenance options	3
Security Systems Reliability	Forecasting Technical Readiness	Reliability prediction for transport security systems like cameras and sensors	3
System-Level Simulation and Degradation Modeling	GIS + Cellular Automata Modeling	GIS-based simulation of infrastructure deterioration across a network	1

الجدول 5 Practices/Strategies Related to Sustainable Maintenance and Their Frequency of Occurrence

3. الفصل الثالث: تحليل نتائج الاستبيانات:

3.1 أداة الاستبيان وصياغة الأسئلة:

انطلاقًا من أهداف هذه الدراسة المتمثلة في وضع خطة صيانة مستدامة لمحطة متروباص ماروتا سيتي، تم تصميم استبيان ميداني لجمع آراء الخبراء والمهندسين والأكاديميين حول الممارسات المرتبطة بالصيانة المستدامة لمحطات المتروباص او البنى التحتية للنقل المشابهة.

تمت صياغة على شكل عبارات تقييمية تعكس كل ممارسة، بحيث طلب من المشاركين **تحديد مدى أهمية كل عبارة** استنادًا إلى خبرتهم ومعرفتهم.

وقد استُخدم مقياس **ليكرت الخماسي** لتقدير الإجابات، بحيث تأخذ القيم التالية:

1 = غير مهمة أبدًا

2 = غير مهمة

3= حيادي

4 = مهمة

5 = مهمة جدًا

إضافة إلى أسئلة ديموغرافية (الجنس، العمر، التحصيل الأكاديمي) لفهم خصائص العينة.

3.2 أسئلة الاستبيان:

تمت صياغة أسئلة الاستبيان كما يلي:

الرقم	السؤال	1 غير مهمة أبدًا	2 غير مهمة	3 حيادي	4 مهمة	5 مهمة جدًا
1	ما مدى فعالية إطار عمل **ROVI** في مراقبة حالة البنية التحتية باستخدام الهواتف الذكية وتقنية الاستشعار الجماعي؟					
2	إلى أي درجة يساعد نظام **INFRALERT** في التنبؤ بحالة البنية التحتية من خلال التحليل الذكي RAMS وLCC؟ بحيث أن RAMS يعتمد على تحليل الموثوقية، الإتاحة، سهولة الصيانة، السلامة					

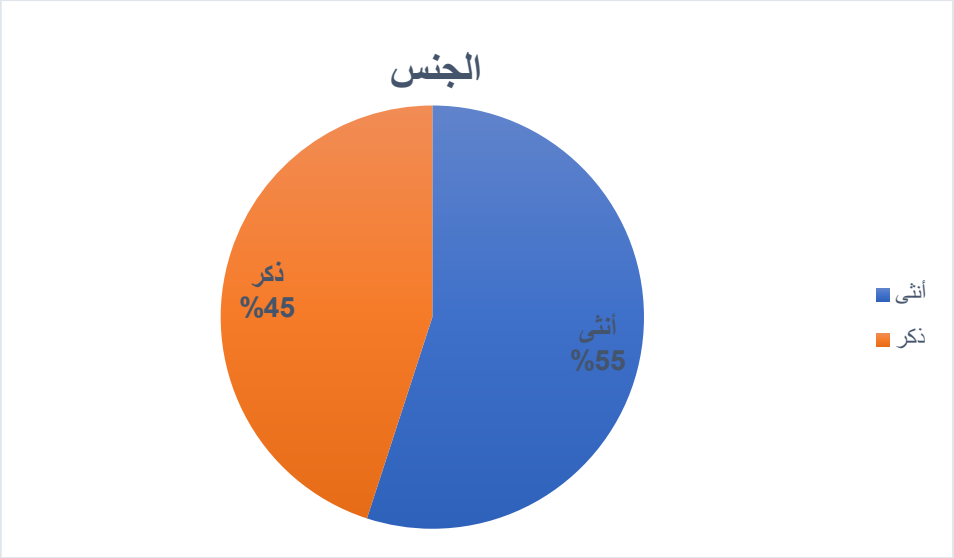
	و وLCC تحليل تكلفة دورة الحياة الكاملة للبنية التحتية					
3	برأيك، هل يساهم دمج **نمذجة معلومات البناء (BIM)**مع تقنيات مثل IoT و GISوالبيانات الضخمة في تحسين إدارة المرافق الذكية؟					
4	برأيك، هل تساعد النماذج الذكية القائمة على الحالة في رفع كفاءة اتخاذ قرارات الصيانة للمرافق والبنية التحتية؟					
5	هل يُعد نموذج **TCFPESP**أداة فعالة لتخطيط جدول صيانة مرن يتماشى مع متطلبات المرافق؟					
6	ما مدى دقة وكفاءة نظام الفحص بالليزر **FSF** في اكتشاف التشققات والرطوبة في البنية التحتية تحت الأرض؟					
7	إلى أي حد يسهم إطار **IM-SAFE**في توحيد المعايير الأوروبية لصيانة البنية التحتية التنبؤية ومراقبة السلامة؟					
8	برأيك، هل يساهم إدماج أنظمة الطاقة الشمسية في دعم خطط الصيانة المستدامة وتقليل الأثر البيئي؟					
9	ما رأيك في أن **الصيانة القائمة على حالة الأصل** أكثر كفاءة من الجداول الزمنية التقليدية (أي التدخل فقط عند تجاوز العتبة المحددة)؟					
10	إلى أي مدى يساهم **تقييم الهندسة القيمية (VE)**في مقارنة خيارات الصيانة المختلفة بناءً على الكفاءة والتكاليف والاستدامة البيئية؟					
11	ما مدى أهمية **التنبؤ بجاهزية الأنظمة الفنية (الكاميرات والمجسات)** في تعزيز أمن مرافق النقل بشكل استباقي؟					
12	ما مدى فعالية استخدام **النمذجة الشبكية GIS** في محاكاة تدهور البنية التحتية وضمان استمرارية الخدمة؟					

الجدول 6 يوضح اسئلة الاستبيان

3.3 خصائص المشاركين:

3.3.1 التوزيع حسب الجنس:

أظهرت النتائج أن نسبة المشاركات الإناث بلغت **55%**، في حين بلغت نسبة الذكور **45%**. يشير هذا التوزيع إلى **مشاركة متوازنة نسبيًا** بين الجنسين، مما يعكس تنوع وجهات النظر حول موضوع الصيانة المستدامة.



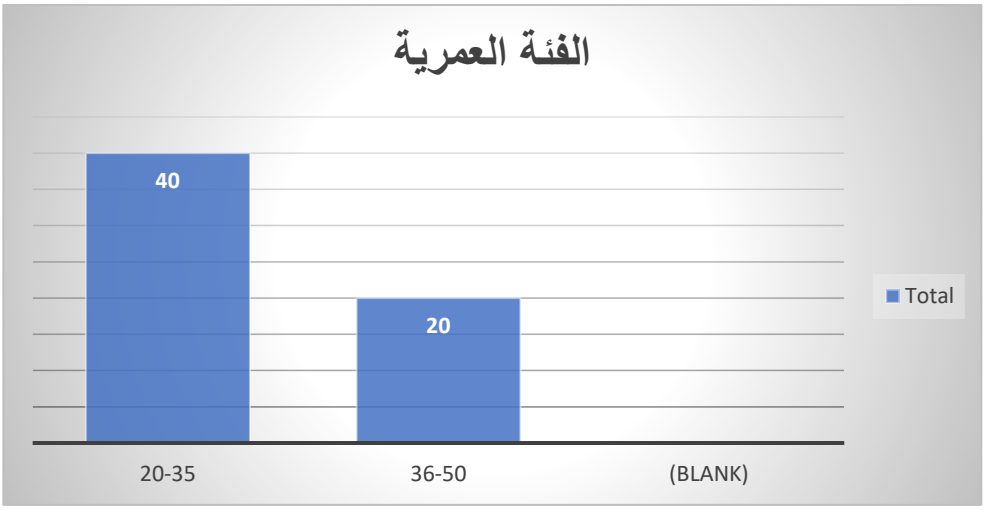
الشكل 5 التوزيع النسبي بين المشاركين حسب الجنس

3.3.2 الفئة العمرية:

توزعت أعمار المشاركين كما يلي:

- الفئة (20–35 سنة) **40** :**مشاركًا**.
- الفئة (36–50 سنة) **20** :**مشاركًا**.

هذا يشير إلى أن الغالبية من العينة ينتمون إلى فئة الشباب، وهي الفئة الأكثر انخراطًا في استخدام التكنولوجيا الحديثة.

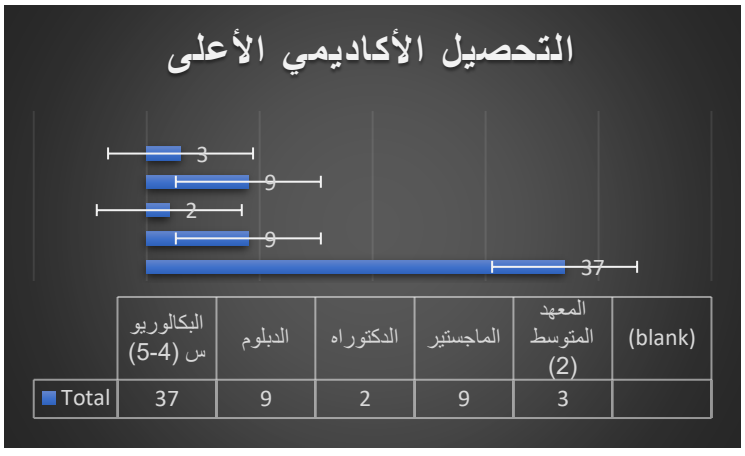


الشكل 6 التوزيع النسبي بين المشاركين حسب الفئة العمرية

3.3.3 التحصيل الأكاديمي:

- بكالوريوس 37 :مشاركًا.
- ماجستير 9 :مشاركين.
- دكتوراه 2 :مشاركين.
- دبلوم ومعهد متوسط 3 :مشاركين.

هذا التوزيع يدل على أن العينة تمتاز بخلفية أكاديمية جيدة، ما يمنح نتائج الاستبيان موثوقية أعلى عند مناقشة القضايا الفنية المتعلقة بالصيانة المستدامة.



الشكل 7التوزيع النسبي بين المشاركين حسب التحصيل الأكاديمي الأعلى

3.4معامل الموثوقية:(Reliability Test) :

- للتحقق من درجة الاتساق الداخلي (Internal Consistency) في الاستبيان، تم استخدام معامل كرونباخ ألفا(Cronbach's Alpha) ، وهو من أكثر الاختبارات الإحصائية شيوعًا في الدراسات الاجتماعية والهندسية لقياس ثبات الاستبيانات.
- تُحسب قيمة كرونباخ ألفا بالمعادلة التالية:

$$Cronbach's\ \alpha = (\frac{k}{k-1}) * (1 - \frac{\sum Var_i}{Var_T})$$

- حيث k هو عدد الأسئلة (12)، علماً ان عدد الاجابات كانت 60 اجابة.
- ∑Vari هو مجموع تباينات الأسئلة (7.06) .
- VarT هو التباين الكلي للاختبار (40.81).
-

$$\alpha = (12/11)*(7.06/40.81)=0.9$$

- قيمة كرونباخ ألفا بلغت **0.90**، وهي قيمة مرتفعة جدًا وتشير إلى مستوى عالٍ من الاتساق الداخلي بين أسئلة الاستبيان. وبحسب المعايير الإحصائية:

- إذا كانت → $\alpha \geq 0.70$ الموثوقية مقبولة.
- إذا كانت → $\alpha \geq 0.80$ الموثوقية جيدة.
- إذا كانت → $\alpha \geq 0.90$ الموثوقية ممتازة.

وعليه يمكن القول إن **أداة الاستبيان** في هذه الدراسة تتمتع بدرجة **ممتازة** من الثبات والاعتمادية، مما يمنح قوة ومصداقية عالية للتحليلات والنتائج المستخلصة منها.

3.5 نتائج الأسئلة البحثية وتحليلها:

تم جمع 60 استبيانًا كاملًا من المشاركين، حيث تم إدخال جميع الإجابات في جداول تفصيلية تبين تقييم كل مشارك لكل سؤال كما في الجدول التالي:

ما مدى فعالية إطار عمل ROVI في مراقبة حالة البنية التحتية باستخدام الهواتف الذكية وتقنية الاستشعار الجماعي؟	إلى أي درجة يساعد نظام INFRALERT في التنبؤ بحالة البنية التحتية من خلال التحليل الذكي RAMS وLCC؟ بحيث أن RAMS يعتمد على تحليل الموثوقية، الإتاحة، سهولة الصيانة، السلامة و وLCC تحليل تكلفة دورة الحياة الكاملة للبنية التحتية	برأيك، هل يساهم دمج نمذجة معلومات البناء (BIM) مع تقنيات مثل IoT وGIS والبيانات الضخمة في تحسين إدارة المرافق الذكية؟	برأيك، هل تساعد النماذج الذكية القائمة على الحالة في رفع كفاءة اتخاذ قرارات الصيانة للمرافق والبنية التحتية؟	هل يُعد نموذج TCFPESP أداة فعالة لتخطيط جدول صيانة مرن يتماشى مع متطلبات المرافق؟	ما مدى دقة وكفاءة نظام الفحص بالليزر FSF في اكتشاف التشققات والرطوبة في البنية التحتية تحت الأرض؟	إلى أي حد يسهم إطار IM-SAFE في توحيد المعايير الأوروبية لصيانة البنية التحتية التنبؤية ومراقبة السلامة؟	برأيك، هل يساهم إدماج أنظمة الطاقة الشمسية في دعم خطط الصيانة المستدامة وتقليل الأثر البيئي؟	ما رأيك في أن القائمة على حالة الأصل أكثر كفاءة من الجداول الزمنية التقليدية (أي التدخل فقط عند تجاوز العتبة المحددة)؟	إلى أي مدى يساهم تقييم الهندسة القيمية (VE) في مقارنة خيارات الصيانة المختلفة بناءً على الكفاءة والتكاليف والاستدامة البيئية؟	ما مدى أهمية التنبؤ بجاهزية الأنظمة الفنية (الكاميرات والمجسات) في تعزيز أمن مرافق النقل بشكل استباقي؟	ما مدى فعالية استخدام النمذجة الشبكية GIS في محاكاة تدهور البنية التحتية وضمان استمرارية الخدمة؟
4	4	4	5	4	4	5	5	3	5	4	5
4	4	5	5	4	5	5	5	4	4	5	5
3	5	4	5	3	4	4	5	3	4	5	5
4	5	4	3	3	5	5	5	3	4	4	5
4	4	4	3	4	4	3	5	2	4	3	3
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	4	5	5	5	5	4	5	4	4	5	5
4	5	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4
4	4	4	4	4	5	4	5	4	5	5	5
5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	4
4	5	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	3	4	5	4	4	3	4	5	4	4
4	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4
2	5	3	3	5	5	5	5	5	5	5	4
3	5	3	3	5	4	5	3	5	5	5	5
5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	3	5	5	5	4	5	4	4	4
4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4
2	3	3	3	5	3	4	4	5	3	3	3
4	5	2	4	5	2	4	2	2	2	3	3
5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	3
4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	4	3	5	5	5	4	5	5	5	5
4	5	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4

4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	4	4	5	4	4	4	3	4	4	4
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	4	5	4	5	5	5	5	4	4	5
5	4	5	5	5	4	5	4	5	5	4	5
5	5	4	4	5	4	4	4	5	5	4	4
3	3	2	2	3	3	3	4	5	4	3	3
3	5	5	4	4	4	4	5	5	5	4	4
5	4	5	5	5	5	5	4	4	3	4	4
5	5	3	4	4	5	5	5	4	5	5	5
5	5	3	4	5	4	5	3	5	4	5	4
4	5	5	5	5	4	4	5	5	4	5	4
5	5	4	4	5	4	5	5	4	5	4	4
5	5	5	5	5	5	5	3	5	4	4	4
3	5	5	5	5	5	4	4	5	4	5	5
4	4	4	3	5	4	4	4	5	5	4	4
5	4	4	4	5	4	4	5	5	4	5	4
4	4	4	3	4	3	3	3	4	4	3	4
5	5	4	4	5	4	4	3	4	5	4	4
5	5	4	4	5	4	5	4	5	4	4	4
5	4	5	4	5	3	4	5	5	4	5	4
4	4	4	3	5	4	5	4	5	4	4	4
3	4	3	3	4	3	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2	4	4	1	4	3	5	5	4	4	4	4
5	5	4	3	4	5	4	5	4	4	4	5
5	4	5	5	4	5	5	5	4	4	4	4
5	5	4	4	4	5	5	4	5	4	5	5

الجدول 7 نتائج الاستبيان التفصيلية لمجالات الصيانة وإدارتها في محطة المترو باص

3.5.1 الطاقة المتجددة في الصيانة:

- المتوسط الحسابي: 4.58 (الأعلى بين جميع المحاور).
- التحليل: حصل هذا البند على أعلى تقييم، ما يدل على أن المشاركين **يرون أهمية كبيرة لاستخدام الطاقة المتجددة** في تشغيل وصيانة المحطة. هذا يعكس وعيًا بالاستدامة وتقليل التكاليف التشغيلية على المدى الطويل.
- **الاستنتاج:** يُنصح بتطبيق **أنظمة الطاقة الشمسية أو الطاقة النظيفة** لتشغيل الإضاءة وأنظمة التحكم، لأن المستخدمين يقدرون هذا النهج المستدام.

3.5.2 موثوقية أنظمة الأمن:

- المتوسط :**4.47**
- التحليل: التقييم العالي يشير إلى أن **الأمان في المحطة هو أولوية قصوى** لدى المشاركين. فهم يهتمون بوجود كاميرات مراقبة، أنظمة إنذار، وحواجز حماية فعالة.
- **الاستنتاج:** يجب الاستثمار في **أنظمة أمن متقدمة وموثوقة** لضمان سلامة الركاب والممتلكات.

3.5.3 المراقبة الدقيقة عن بعد:

- المتوسط : **4.42**
- التحليل: يشير هذا إلى تقدير كبير **لاستخدام التكنولوجيا الرقمية في متابعة حالة المحطة عن بعد** .أي أن المشاركين يفضلون وجود **أنظمة تحكم ومراقبة رقمية تسمح بالإدارة الذكية والصيانة الوقائية**.
- **الاستنتاج:** اعتماد **أنظمة SCADA أو IoT لمراقبة المحطة عن بعد** سيكون موضع ترحيب من المستخدمين.

3.5.4 نماذج إدارة الصيانة الذكية:

- المتوسط: **4.28**
- التحليل: يُظهر هذا أن المشاركين **يهتمون باستخدام أساليب متقدمة لإدارة الصيانة**، مثل الصيانة التنبؤية أو الصيانة القائمة على الحالة.
- **الاستنتاج:** تطبيق **برمجيات إدارة الصيانة (CMMS) ونماذج ذكية** سيزيد من كفاءة المحطة ويقلل الأعطال.

3.5.5 دمج النمذجة الرقمية في الصيانة:

- المتوسط :**4.27**
- التحليل: يقرّ معظم المشاركين بأهمية الدمج الرقمي في تحسين الجدولة.
- التطبيق: ينسجم مع خطتنا في ربط نموذج **Revit** بالجدول الزمني في**.Synchro**

3.5.6 النمذجة الشبكية وتدهور البنية التحتية:

- المتوسط: **4.23**
- التحليل: هذا يشير إلى أهمية **رصد الشبكات والبنية التحتية باستمرار** لتوقع التدهور ومعالجته قبل أن يتفاقم.
- **الاستنتاج:** ضرورة **تطوير نظام متابعة وصيانة الشبكات والبنية التحتية** لضمان استمرارية الخدمة وجودة المحطة.

3.5.7 التقييس والسياسات الأوروبية الموحّدة:

- المتوسط: **4.20**
- التحليل: يعكس هذا اهتمام المشاركين **بتطبيق معايير دولية موحدة،** لضمان الجودة والسلامة.
- **الاستنتاج:** الالتزام **بالمعايير الأوروبية أو الدولية في الصيانة والتشغيل** يعزز من موثوقية وكفاءة المحطة.

3.5.8 نماذج إدارة الصيانة الذكية:

- المتوسط**: 4.14**
- التحليل: هذا التقييم أقل قليلًا من النسخة السابقة، لكنه يظل مرتفعًا، مما يشير إلى **تقدير ثابت للصيانة الذكية** من جانب المشاركين.
- **الاستنتاج:** يُنصح بمواصلة **تطوير أساليب الصيانة الذكية وتحديثها** بما يتوافق مع أحدث التقنيات.

3.5.9 التقييم الاقتصادي والبيئي للصيانة:

- المتوسط **: 4.12**

- التحليل: يشير إلى وعي المشاركين بـ **أهمية تحليل التكاليف والفوائد البيئية** قبل اتخاذ قرارات الصيانة.
- **الاستنتاج:** من المهم تضمين **تحليل اقتصادي وبيئي لكل مشروع صيانة** لضمان استدامة المحطة.

3.5.10 الصيانة القائمة على الحالة والحدود الدنيا:

- المتوسط : **3.92**

- **التحليل:** حصل هذا البند على أقل تقييم، لكنه ما زال قريبًا من 4، ما يشير إلى **قبول محدود أو تحفظ بسيط** حول الاعتماد على الصيانة فقط عند حدوث عطل أو عند بلوغ الحد الأدنى.
- **الاستنتاج:** يُنصح بتطبيق **الصيانة التنبؤية أو الوقائية إلى جانب الصيانة القائمة على الحالة** لضمان عدم توقف المحطة عن العمل.

3.6جدول النتائج:

بعد تحليل نتائج الاستبيان بشكل تفصيلي، مكن تلخيص أولويات المشاركين في الصيانة المستدامة لمحطة المترو‌باص وفق القيم العددية الموضحة في الجدول أدناه.

الممارسات المرتبطة بالصيانة المستدامة	المتوسط الحسابي للإجابات
الطاقة المتجددة في الصيانة	4.58
موثوقية أنظمة الأمن	4.47
المراقبة الدقيقة عن بعد	4.42
نماذج إدارة الصيانة الذكية	4.28
دمج النمذجة الرقمية في الصيانة	4.27
النمذجة الشبكية وتدهور البنية التحتية	4.23
التقييس والسياسات الأوروبية الموحدة	4.20
قسم الصيانة الوقائية والتنبؤية	4.14
التقييم الاقتصادي والبيئي للصيانة	4.12
الصيانة القائمة على الحالة والحدود الدنيا	3.92

الجدول 8 ملخص نتائج الاستبيان لمجالات الصيانة وإدارتها في محطة المترو‌باص

3.7 الخاتمة:

تُظهر نتائج الاستبيان أن **الطاقة المتجددة وموثوقية أنظمة الأمن والمراقبة عن بعد** هي أهم الأولويات في صيانة محطة المترو‌باص، بينما تأتي **الصيانة القائمة على الحالة فقط** في المرتبة الأخيرة. وهذا يعني أن هناك توجهًا واضحًا لدى المشاركين نحو **الاستدامة، الأمان، والرقمنة** في إدارة وصيانة المحطات، مع تقليل الاعتماد على الصيانة التقليدية.

4. الفصل الرابع: التطبيق العملي (تصميم محطة متروباص نموذجي)

4.1 المقدمة:

يقدّم هذا الفصل وصفًا تفصيليًا للتطبيق العملي الذي تم تنفيذه لتصميم **محطة متروباص نموذجية** ضمن محور مروري في مدينة دمشق، وبالتحديد كمشروع تخيلي **لمحطة ماروتا**. يهدف القسم إلى توثيق: الموقع الهندسي، التقاطعات العرضية والطولية، عناصر المحطة (جسر المشاة، المصاعد، منصة المترو‌باص)، والاعتبارات التصميمية والتشغيلية المرتبطة بالسلامة، الوصول، والاستدامة.

4.2 الوصف العام والتكوّن الهندسي:

- **امتداد الطريق :** مقطع طولي يتألف من طريق بطول 1 كم قبل المحطة و1 كم بعدها.
- **تكوين القُطْر العرضي :** الطريق يتألف من مسارين (ذهاب وعودة)، حيث يحتوي كل طرف على 3 مسارات للسيارات + مسار واحد للمترو‌باص.
- **تكوين القُطْر عند المحطة :** يقل عدد مسارات السيارات إلى مسارين لكل اتجاه، مع استمرار مسار المترو‌باص، لتوفير مساحة لمنصة الانتظار والمسافرين.
- **جسر المشاة :** جسر بطول إجمالي 40 مترًا يربط جانبي الطريق ويخدم منصة المحطة، مزوّد بمصاعد لخدمة ذوي الاحتياجات الخاص.

4.3 التقسيم العرضي والتفاصيل الهندسية للمسارات:

- **قبل المحطة :**3 مسارات للسيارات(عرض كل مسار 3متر) + مسار واحد للمترو‌باص لكل اتجاه(عرض المسار 3.5 متر) + أرصفة مشاة جانبية.
- **عند المحطة :** 2 مسارين للسيارات + مسار للمترو‌باص + منصة انتظار للركاب.

- **الانتقال العرضي :**تصميم الانتقال بين الوضعين بطريقة آمنة لتقليل التعارضات بين المركبات والحافلات.

4.4 منصة المتروباص وتصميم المحطة:

- **نوع المنصة المقترح :**جزيرية (island platform) لتسهيل صعود ونزول الركاب وتقليل التداخل مع حركة السيارات.
- **ارتفاع المنصة :**متوافق مع مستوى أرضية المتروباص لتحسين الوصول وتقليل زمن التوقف.
- **مرافق الركاب :**مظلات، مقاعد، شاشات معلومات رقمية.

4.5 جسر المشاة والمصاعد:

- **الوظيفة :** ربط الأرصفة وجانبي المحطة وتوفير مسار آمن للمشاة.
- **الطول :**40 متر.
- **الإتاحة :**مزوّد بثلاثة مصاعد لخدمة ذوي الاحتياجات الخاصة.
- **التجهيزات :**أرضيات مانعة للانزلاق، مسارات إشارات لضعاف البصر، إضاءة طوارئ، كاميرات مراقبة، وتسقيف جزئي.

4.6 الاستدامة والطاقة المتجددة:

في إطار تعزيز الاستدامة ضمن المشروع النموذجي لمحطة متروباص **ماروتا**، تم الاعتماد على **الطاقة الشمسية** كمصدر رئيسي لتغطية احتياجات الإضاءة وتشغيل بعض التجهيزات الميكانيكية والكهربائية.

جرى توزيع **الألواح الشمسية** على كامل خط المحور الطرقي لضمان إنتاج مستدام للطاقة النظيفة.

عند منطقة **جسر المشاة**، تم فصل النظام الشمسي عن هيكل الجسر حفاظًا على السلامة الإنشائية ومنع تحميله بأوزان إضافية.

هذا التوزيع يحقق التوازن بين استمرارية الخدمة والمحافظة على سلامة المنشأة، مما يعكس توجه المشروع نحو **حلول صديقة للبيئة ومستدامة**.

4.7 المخرجات البصرية:

تم إعداد النموذج المعماري لمحطة متروباص ماروتا – دمشق باستخدام برنامج Autodesk Revit، حيث جرى تصميم العناصر الأساسية للمحطة بما يشمل جسر المشاة، المسارات المخصصة للسيارات والمتروباص، إضافة إلى السلالم والمصاعد الخاصة بذوي الاحتياجات الخاصة.
ولإضفاء طابع واقعي وتوضيح المشهد الحضري، تم استخدام برنامج Lumion في مرحلة الريندر والإخراج البصري، ما أتاح إنتاج مجموعة من المناظير الثلاثية الأبعاد التي تُظهر تفاصيل المشروع من زوايا متعددة.

وتوضح الأشكال (8-1) حتى (8-11) اللقطات المختلفة للمحطة، بحيث تبرز كلاً من:

- تكوين الطريق ومسارات الحركة.
- تصميم جسر المشاة وربطه بالمسارات.
- إدماج عناصر المشهد الحضري مثل المشاة والسيارات.
- واقعية البيئة المحيطة بالمشروع.

الشكل 8 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة أولى)

الشكل 9 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة ثانية)

الشكل 10 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة ثالثة)

الشكل 11 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة رابعة)

الشكل 12 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة خامسة)

الشكل 13 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة سادسة)

الشكل 14 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة سابعة)

الشكل 15 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة ثامنة)

الشكل 16مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة تاسعة)

الشكل 17 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة عاشرة)

الشكل 18 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة حادية عشر)

الشكل 19 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة ثانية عشر)

الشكل 20 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة ثالثة عشر)

الشكل 21 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة رابعة عشر)

الشكل 22 مناظير ثلاثية الأبعاد لمحطة متروباص ماروتا – دمشق (لقطة خامسة عشر)

5. الفصل الخامس: دمج المساقط الكهربائية والميكانيكية في نموذج محطة المتروباص

5.1المقدمة:

بهدف تعزيز شمولية النموذج الرقمي لمحطة متروباص ماروتا وضمان واقعيته، تم إدراج الأعمال الميكانيكية والكهربائية ضمن ملف **Revit** بحيث يُغطي النموذج كامل مكونات البنية التحتية للمحطة. يتيح هذا التكامل إمكانية دراسة هذه الأنظمة بدقة، وربطها بخطة الصيانة المستدامة المقترحة، بما ينسجم مع متطلبات مشروع دمشق الكبرى المستدامة.

5.2الأعمال الميكانيكية(Mechanical Works):

أولاً: شبكة الصرف الصحي:

- تم وضع خطوط الصرف الصحي أسفل مسارات المتروباص والسيارات على عمق يقارب (2.5 – 3.0 م) لضمان انحدار طبيعي لتصريف المياه.
- استخدمت أنابيب PVC ذات أقطار مختلفة حسب الحمل المائي المتوقع، وتم توجيهها نحو الريغارات الرئيسية لتجميع المياه.
- جرى توزيع **الريغارات (Manholes)** كل 25–30 متر على طول الطريق، مع وضع ريغارات إضافية عند نقاط الانعطاف والتفرعات لتسهيل عمليات الصيانة والتنظيف.

ثانياً: شبكة مياه الشرب:

- تم مد أنابيب مياه الشرب بقطر 2 إنش أسفل الرصيف الجانبي للطريق وعلى عمق (1.2 – 1.5 م).
- خُصصت نقاط تغذية للمحطة نفسها (غرف الخدمات، المصاعد، وحدات الإطفاء) بحيث تضمن وصول المياه بشكل مستمر.
- تمت مراعاة فصل شبكة مياه الشرب عن شبكة الصرف الصحي بشكل كامل، مع وجود عوازل ومحابس تحكم على مداخل الشبكة لسهولة الإغلاق عند الصيانة.

ثالثاً: الريغارات(Drainage & Inspection Manholes):

- تم توزيعها أسفل الطريق عند منتصف المسار لتجميع مياه الأمطار وتصريفها إلى الشبكة العامة.
- زُودت بفتحات معدنية مانعة للانزلاق، وتم ربطها مع أنظمة الصرف الصحي لتأمين استدامة الخدمة خلال فصل الشتاء.

5.3الأعمال الكهربائية(Electrical Works):

أولاً: ألواح التغذية الكهربائية(Main Electrical Panels):

- وُضعت غرف كهرباء صغيرة بجوار منصة المحطة تحتوي على لوحات التوزيع.
- تم ربط المحطة بالشبكة العامة للكهرباء من خلال كابلات أرضية تمر عبر ممرات خدمات تحت الرصيف.

ثانياً: الطاقة الشمسية:

- جرى توزيع الألواح الشمسية على كامل طول محور المترو‌باص (على مظلات المحطة وأسقف المسارات).
- هذه الألواح متصلة بمبدلات طاقة (Inverters) وُضعت في غرفة الخدمات، لتغذية الإضاءة الداخلية والخارجية، أنظمة الكاميرات، وأجهزة الدفع.
- تم تصميم النظام بحيث يغطي حوالي 70–80% من احتياجات المحطة، مع بقاء الشبكة العامة كمصدر احتياطي.

ثالثاً: أنظمة المراقبة(CCTV Cameras):

- وُزعت كاميرات المراقبة في النقاط التالية:
- عند مداخل ومخارج المحطة.
- على منصة الانتظار الرئيسية.
- بجوار المصاعد والسلالم.
- الكاميرات متصلة بشبكة تحكم رقمية (NVR) موجودة في غرفة الخدمات.

رابعاً: أجهزة الدفع بالبطاقات(Smart Ticketing Systems):

- تم وضع أجهزة الدفع عند مداخل المحطة (Turnstiles) بحيث يمر الركاب عبر بوابات إلكترونية تعتمد على الدفع بالبطاقات الذكية.
- هذه الأجهزة مرتبطة مباشرة بشبكة الكهرباء والإنترنت لتأمين عملها المستمر.

خامساَ: أعمدة الإنارة(Lighting poles):

- تمت إضافة أعمدة إنارة على طول الطريق المؤدي إلى محطة المترو‌باص في دمشق، بحيث تؤمن الإنارة الكافية للطريق وكذلك للمحطة نفسها، مما يعزز مستوى السلامة ويوفر بيئة مريحة للمشاة والركاب.

5.4التكامل بين الأنظمة:

- تم إدراج هذه الأنظمة الكهربائية والميكانيكية في بيئة Revit بحيث تظهر كـ **مساقط متكاملة** مع النموذج المعماري. هذا الدمج يسمح بمتابعة:
- الصيانة الدورية لشبكات المياه والصرف.
- مراقبة أداء الألواح الشمسية وأجهزة الدفع.
- التحكم في أنظمة الأمان عبر الكاميرات.
- توفير قاعدة بيانات شاملة في ملف BIM لتسهيل أي عمليات صيانة مستقبلية.

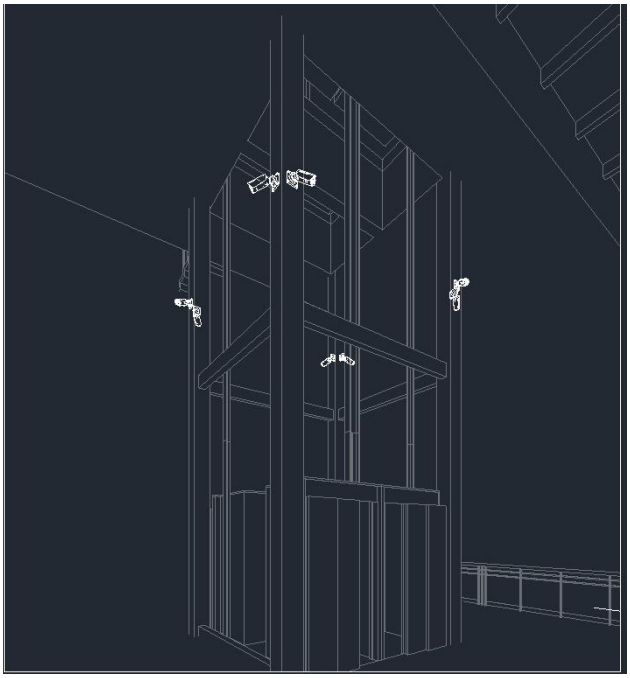
5.5 الخاتمة:

إن إضافة المساقط الكهربائية والميكانيكية إلى نموذج محطة متروباص ماروتا يعزز من شمولية البحث ويجعله أقرب إلى الواقع العملي. فوجود أنظمة المياه والصرف الصحي يضمن استدامة الخدمة الصحية، بينما يوفّر دمج الطاقة الشمسية والكهرباء التقليدية مصدرًا موثوقًا لتشغيل المحطة. كما أن أنظمة المراقبة والدفع الذكي تسهم في رفع مستوى الأمان والكفاءة التشغيلية. كل ذلك يشكّل قاعدة متينة لتطبيق خطة الصيانة المستدامة بفعالية ضمن مشروع دمشق الكبرى المستدامة.

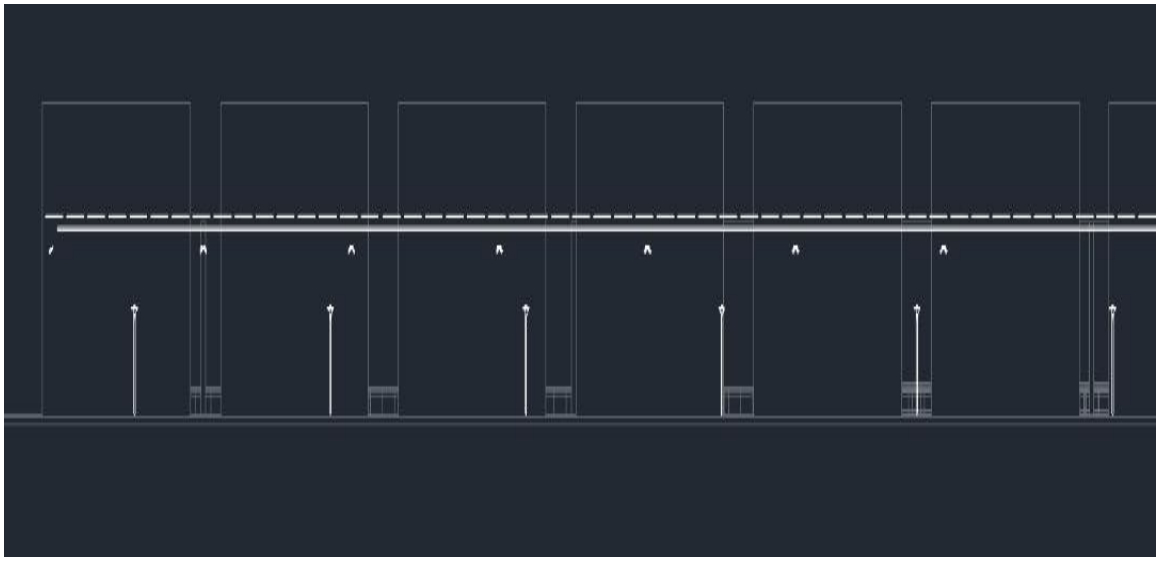
5.5المخرجات البصرية للأعمال الكهربائية والميكانيكية:

انطلاقًا من أهمية توضيح التكامل بين الأعمال الكهربائية والميكانيكية ضمن نموذج محطة المترو‌باص، تم إعداد مجموعة من المساقط والمخططات من برنامج Revit تهدف هذه المخرجات البصرية إلى إبراز مواقع الشبكات الميكانيكية (الصرف الصحي، مياه الشرب، الريغارات) والشبكات الكهربائية (التغذية العامة، الطاقة الشمسية، الكاميرات، وأجهزة الدفع الذكية) بشكل واضح ومتكامل مع النموذج المعماري.
تُسهم هذه الصور في دعم الجانب النظري الموضح سابقًا، وتُمكّن من فهم العلاقة المكانية بين العناصر المختلفة بما يخدم أهداف خطة الصيانة المستدامة.

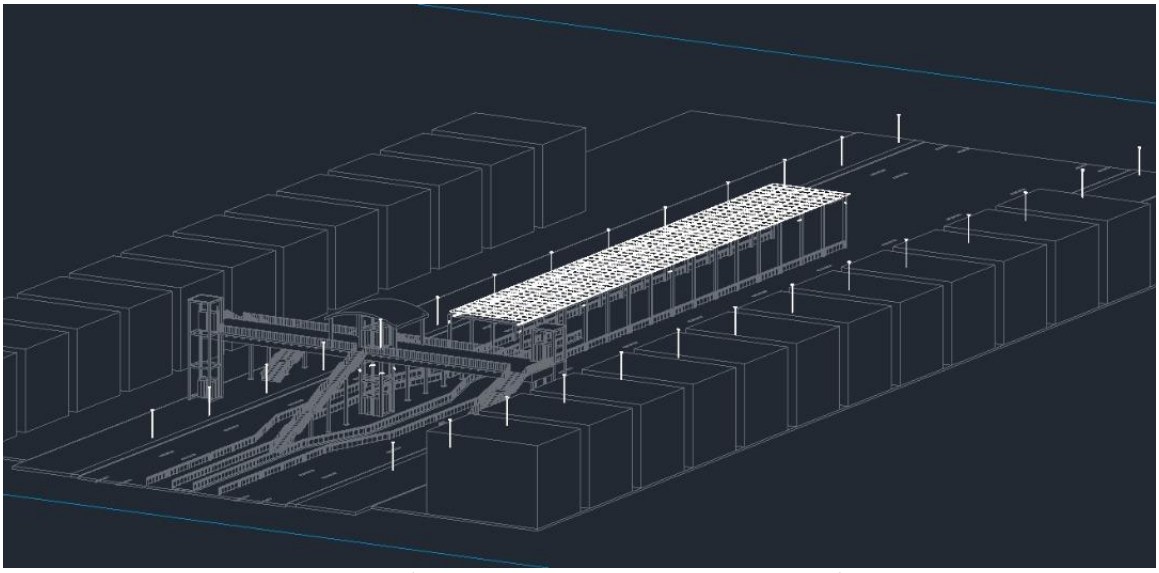
الشكل 23 توزيع كاميرات المراقبة (لقطة أولى)



الشكل 24 توزيع كاميرات المراقبة(لقطة ثانية)

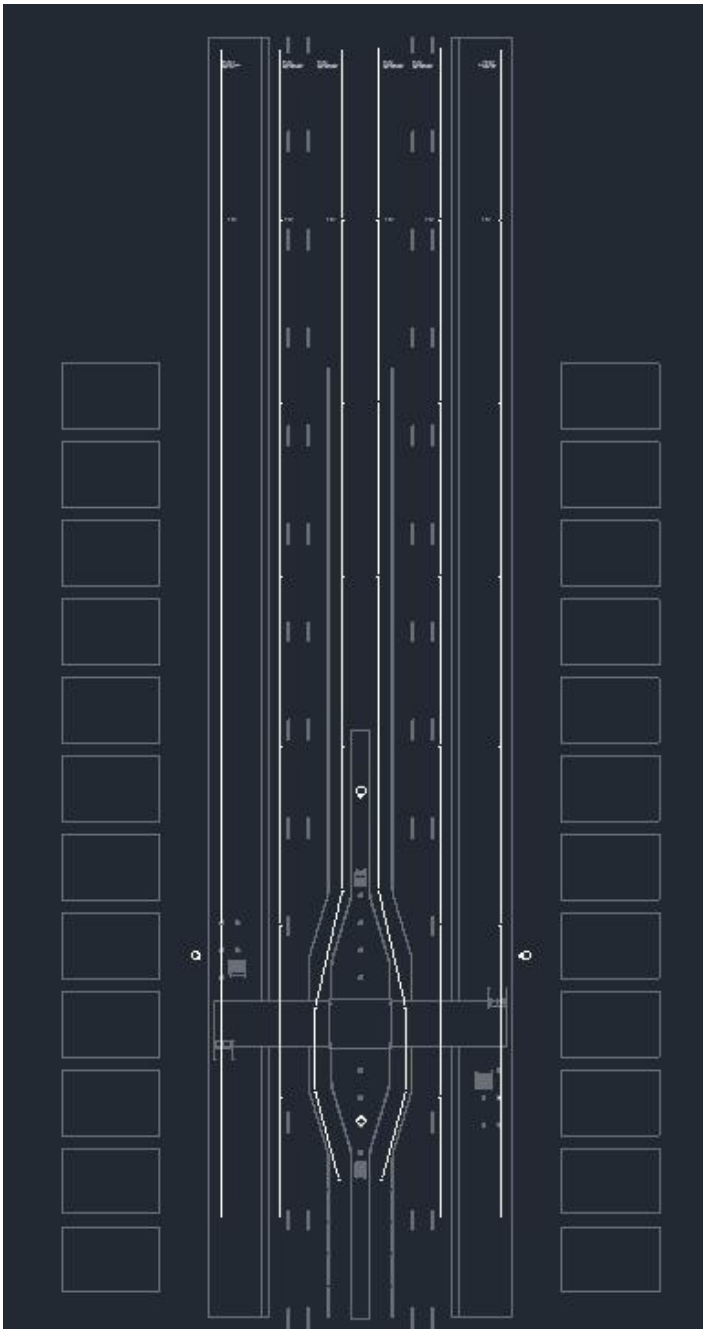


25الشكل توزيع أعمدة الإنارة وكاميرات المراقبة و مسار كابلات الألواح الشمسية (لقطة أولى)

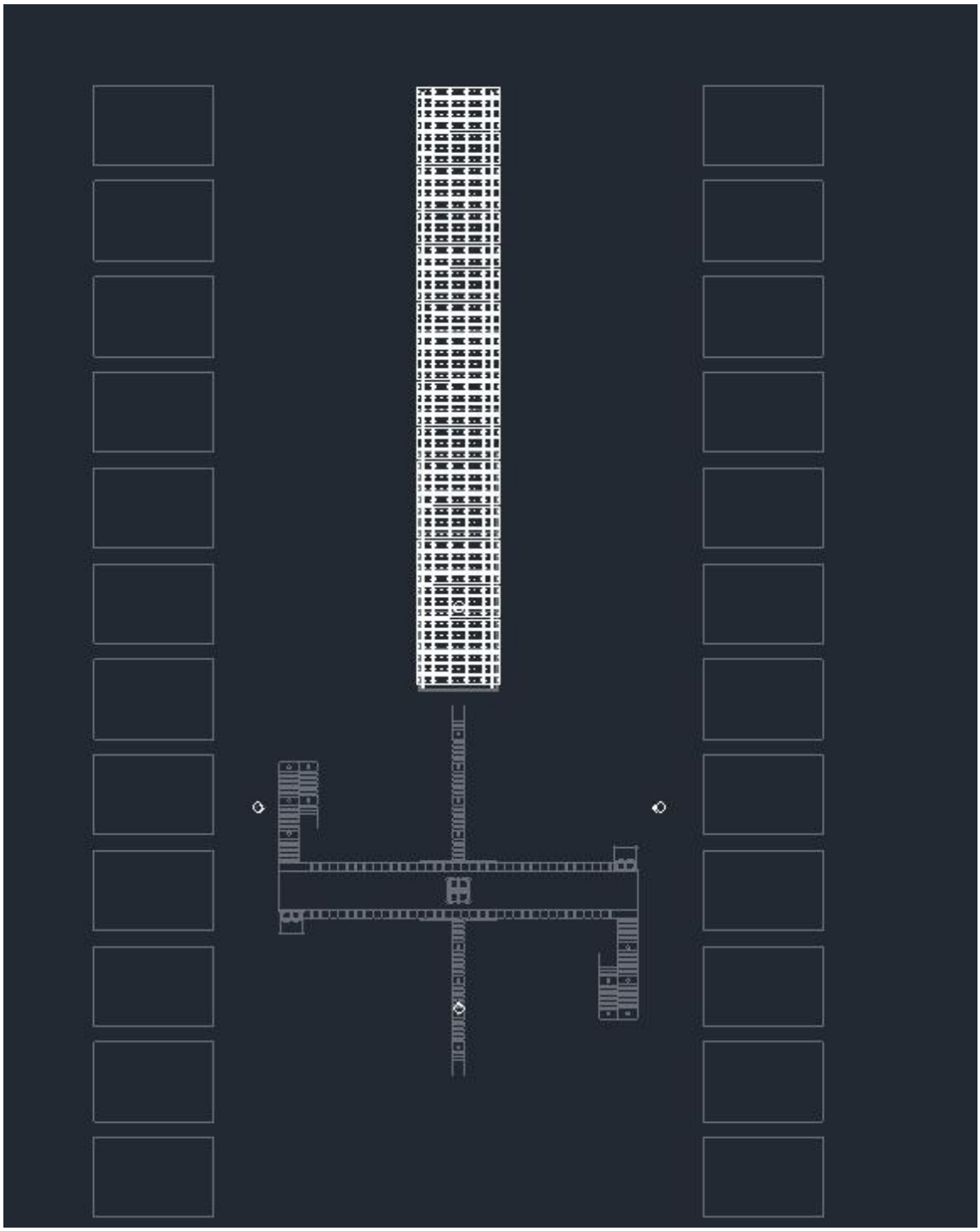


26الشكل توزيع أعمدة الإنارة وكاميرات المراقبة و مسار كابلات الألواح الشمسية (لقطة ثانية)

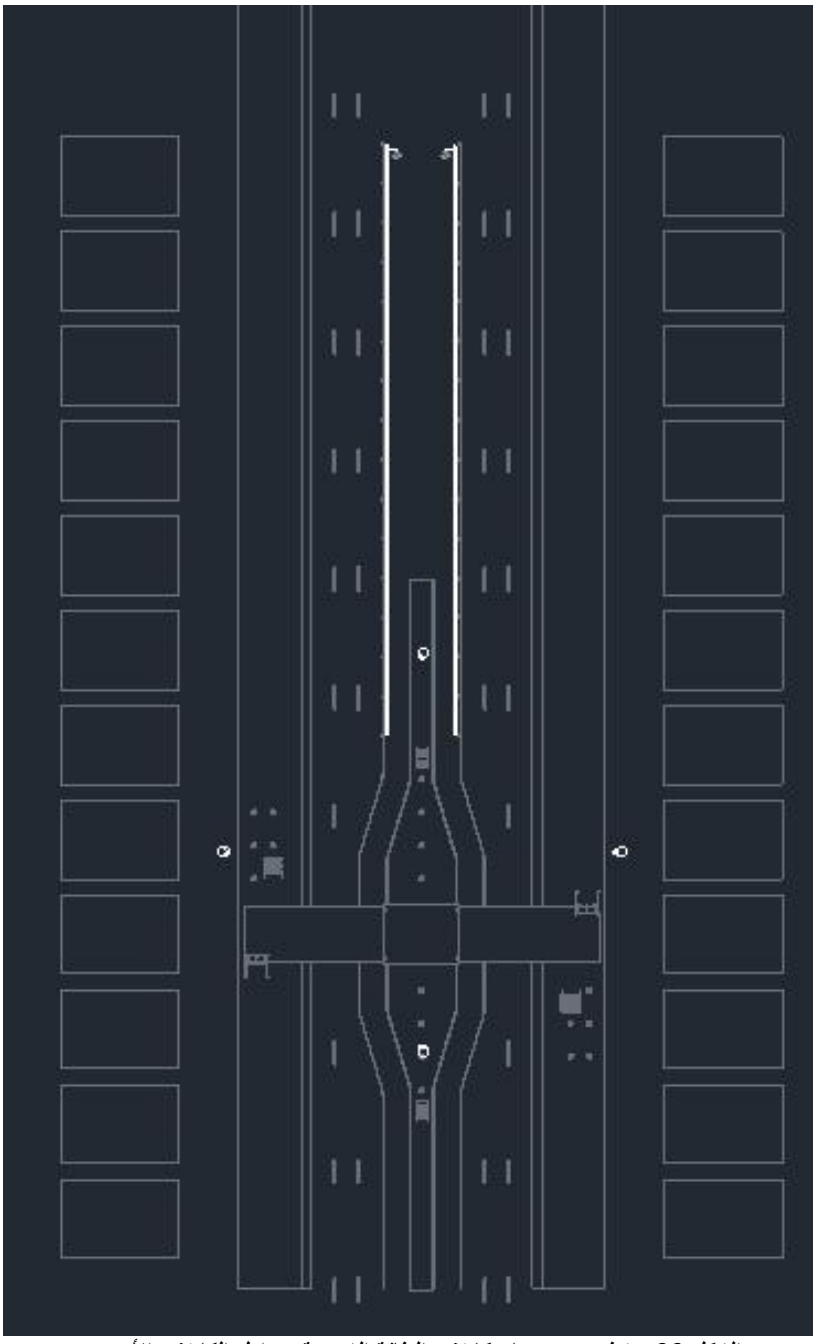
الشكل 27 توزيع أعمدة الإنارة وكاميرات المراقبة



28الشكل مسقط شبكة الصرف الصحي



29الشكل مسقط توزيع ألواح الطاقة الشمسية



الشكل 30مسقط توزيع مسار كابلات الطاقة الشمسيةوحوامل الكابلات الأخرى

6. الفصل السادس: تطبيق خطة الصيانة باستخدام برنامجSynchro

6.1 المقدمة:

يتناول هذا الفصل تطبيق خطة الصيانة المستدامة لمحطة متروباص ماروتا ضمن بيئة **Synchro** كجزء من تكامل نمذجة معلومات البناء (BIM) مع الجدولة الزمنية .(4D) اعتمدت الخطة على نتائج الاستبيان السابق، حيث تم تحديد أولويات الصيانة (الطاقة المتجددة، أنظمة الأمن، المراقبة الدقيقة، إلخ)، ومن ثم تحويلها إلى أنشطة مترابطة ذات تسلسل منطقي في برنامج Synchro

6.2 إدخال الأنشطة وربطها بالزمن:

- تم إدخال قائمة الأنشطة الرئيسية والفرعية المستخلصة من نتائج الاستبيان إلى برنامج Synchro .
- جرى تحديد المدة الزمنية لكل نشاط (Duration) وفق التقديرات المنطقية لأعمال الصيانة (15–25 يوم).
- تم تحديد العلاقات الزمنية (Predecessors) بين الأنشطة، بحيث يظهر التسلسل المنطقي (على سبيل المثال: المراقبة الدقيقة عن بعد يسبق نماذج إدارة الصيانة الذكية، إلخ).
- نتج عن ذلك مخطط Gantt Chart يوضح تدفق الأعمال على مدار أشهر التنفيذ.
- الجدول المرفق يوضح ما سبق:

ID	المهمة الأساسية	المهمة الفرعية	النوع	المدة (أيام)	Predecessor
1	الطاقة المتجددة في الصيانة	نظام الطرق الشمسية - الطريق	Maintenance	15	
2	موثوقية أنظمة الأمن	التنبؤ بجاهزية الأنظمة الفنية - الكاميرات والمجسات	Predictive	20	
3	المراقبة الدقيقة عن بعد	نظام فحص الأنفاق بالليزر FSF	Monitoring	20	
4	نماذج إدارة الصيانة الذكية	نموذج صيانة القطارات وتخطيط الجدول الزمني	Planning/Diagnostic	15	3

5	دمج النمذجة الرقمية في الصيانة	تكامل BIM مع ICT	Monitoring	25	4
6	النمذجة الشبكية وتدهور البنية التحتية	النمذجة باستخدام GIS وخلية أوتوماتيكية	Simulation	20	5
7	التقييس والسياسات الأوروبية الموحدة	إطار IM- SAFE - جميع العناصر	Standardization	20	5
8	قسم الصيانة الوقائية والتنبؤية	إطار عمل RoVi ونظام INFRALERT	Monitoring/Predictive	15	1
9	التقييم الاقتصادي والبيئي للصيانة	تقييم الهندسة القيمية VE	Economic Evaluation	10	8
10	الصيانة القائمة على الحالة والحدود الدنيا	صيانة تعتمد على حالة الأصل - المصاعد واللوحات والمضخات	Condition-based	15	8

الجدول 9 مخطط غانت لخطة الصيانة المستدامة لمحطة المترو باص

6.3 الربط بالعناصر ثلاثية الأبعاد(3D Linking):

- تم استخدام خاصية **Attach 3D Resources** في Synchro لربط كل نشاط بعنصره ثلاثي الأبعاد في النموذج المستخرج من.Revit
- على سبيل المثال:

- نشاط "الطاقة المتجددة" ارتبط بألواح الطاقة الشمسية على الأسقف.
- نشاط "موثوقية أنظمة الأمن" ارتبط بكاميرات المراقبة.
- نشاط "المراقبة الدقيقة" ارتبط بمحطة المترو باص والمصاعد.
- هذا الربط أتاح عرض المحطة بشكل ديناميكي أثناء تنفيذ الأنشطة.

- الجدول التالي يوضح ذلك:

ID	المهمة الأساسية	المهمة الفرعية	النوع	المدة (أيام)	Predecessor	العناصر D3 المرتبطة
1	الطاقة المتجددة في الصيانة	نظام الطرق الشمسية - الطريق	Maintenance	15		الطريق, لوحات الطاقة الشمسية
2	موثوقية أنظمة الأمن	التنبؤ بجاهزية الأنظمة الفنية - الكاميرات والمجسات	Predictive	20		كاميرات المراقبة
3	المراقبة الدقيقة عن بعد	نظام فحص الأنفاق بالليزر FSF	Monitoring	20		الطريق, محطة الجسر, قنوات الصرف الصحي, الأنفاق
4	نماذج إدارة الصيانة الذكية	نموذج صيانة القطارات وتخطيط الجدول الزمني	Planning/Diagnostic	15	3	جميع المكونات الكهربائية والميكانيكية
5	دمج النمذجة الرقمية في الصيانة	تكامل BIM مع ICT	Monitoring	25	4	جميع العناصر
6	النمذجة الشبكية وتدهور البنية التحتية	النمذجة باستخدام GIS وخلية أوتوماتيكية	Simulation	20	5	الطريق, الجسر, الشبكات الكهربائية والميكانيكية
7	التقييس والسياسات الأوروبية الموحدة	إطار IM-SAFE - جميع العناصر	Standardization	20	5	جميع العناصر
8	قسم الصيانة الوقائية والتنبؤية	إطار عمل RoVi ونظام INFRALERT	Monitoring/Predictive	15	1	الطريق, الجسر, المصاعد, لوحات الكهرباء, الكاميرات
9	التقييم الاقتصادي والبيئي للصيانة	تقييم الهندسة القيمية VE	Economic Evaluation	10	8	جميع العناصر
10	الصيانة القائمة على الحالة والحدود الدنيا	صيانة تعتمد على حالة الأصل - المصاعد واللوحات والمضخات	Condition-based	15	8	المصاعد, لوحات الكهرباء

الجدول 10 مخطط غانت لخطة الصيانة المستدامة مع الربط بالعناصر 3d

6.4 المحاكاة(Simulation) :

- بعد إدخال البيانات وربطها، تم إجراء **محاكاة زمنية (4D Simulation)** لمراحل الصيانة.
- أظهرت المحاكاة التغير التدريجي في ألوان العناصر ثلاثية الأبعاد (Highlighting) بحسب حالة النشاط (قيد التنفيذ – منجز).
- ساهم ذلك في:

➢ توضيح التتابع المنطقي للأنشطة.
➢ إبراز النقاط الحرجة.(Critical Path)
➢ مقارنة الخطة النظرية مع الواقع الافتراضي.

6.5 النتائج المستخلصة:

- وفر التطبيق في Synchro **رؤية شاملة** لمراحل الصيانة وأثرها على المحطة والطريق المحيط بها.
- أظهر الربط الثلاثي الأبعاد فاعلية الدمج بين **BIM + 4D Scheduling** في توثيق وإدارة الصيانة.
- مكنّت المحاكاة من تحليل **السيناريوهات البديلة** مثلاً: في حال تأخر نشاط، كيف يؤثر ذلك على الخطة الكاملة.
- الخطة أظهرت قابلية للتطبيق الفعلي، مع مرونة لتطويرها مستقبلاً.

6.6 الملاحظات حول المسار الحرج:

- خلال تطبيق خطة الصيانة في برنامج **Synchro**، تم استخراج **المسار الحرج**

(Critical Path) الذي يمثل أطول سلسلة من الأنشطة المترابطة والتي تُحدد المدة الكلية للخطة.

- إبراز المسار الحرج يُعد خطوة أساسية في أي عملية جدولة زمنية، حيث يُظهر الأنشطة الحساسة التي لا تحتمل أي تأخير، إذ إن أي تأخير في أحدها ينعكس مباشرةً على مدة المشروع الكلية.
- ومن الجدير بالذكر أن تحليل المسار الحرج يختلف عن تحليل المخاطر(Risk Analysis) ، فالأول يعتمد على الحسابات الزمنية البحتة للأنشطة والعلاقات فيما بينها، بينما الثاني يتناول الأحداث المحتملة التي قد تؤثر على تنفيذ المشروع.

وبما أن نطاق هذا البحث يركز على الجدولة الزمنية وربطها بالنموذج ثلاثي الأبعاد، فقد تم الاكتفاء بعرض المسار الحرج دون الدخول في تفاصيل إدارة المخاطر، على أن يُعتبر ذلك مجالاً لتطوير الخطة في الأبحاث المستقبلية.

6.7 الخاتمة:

إن إدخال خطة الصيانة إلى Synchro وربطها بالعناصر ثلاثية الأبعاد يمثل خطوة عملية نحو **إدارة صيانة مستدامة** لمحطة متروباص دمشق. ساعد ذلك في الانتقال من مجرد توصيات نظرية إلى خطة رقمية قابلة للتطبيق، ما يفتح المجال لاعتماد هذه المنهجية في مشاريع النقل والبنية التحتية المستقبلية.

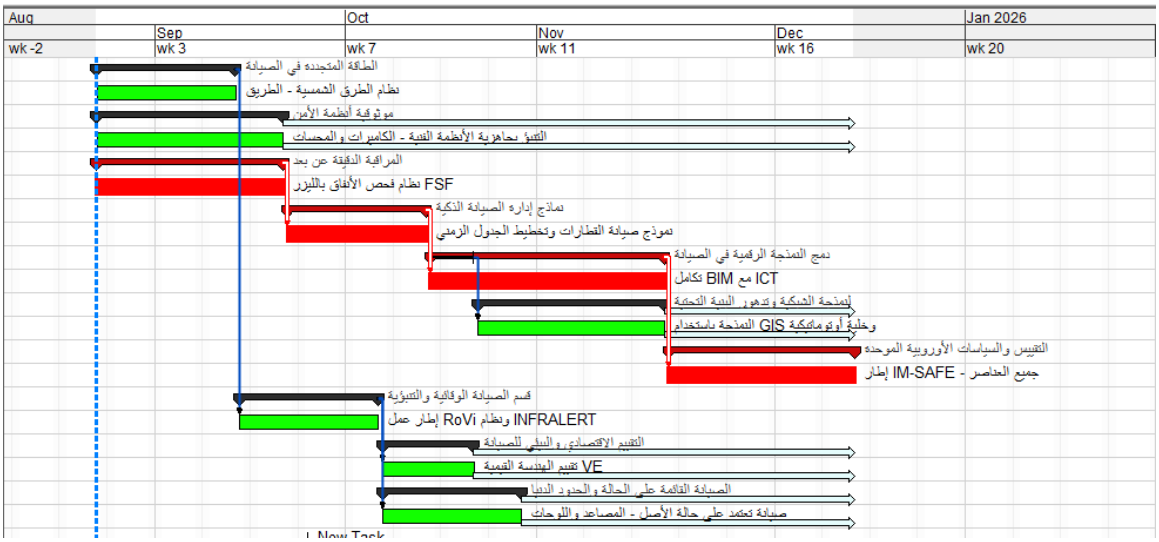
6.8 المخرجات البصرية:

تهدف المخرجات البصرية في هذا البحث إلى تقديم رؤية واضحة وشاملة لخطة الصيانة الدورية لمحطة متروباص ماروتا ضمن مشروع دمشق الكبرى المستدامة. من خلال الربط بين برنامج Synchro والنموذج ثلاثي الأبعاد، يمكن متابعة تنفيذ الأنشطة الدورية على المحطة بشكل افتراضي، مقارنةً بالخطة النظرية، وإظهار مدى التزام كل نشاط بالجدول الزمني المخطط له. تساعد هذه المخرجات في تقييم كفاءة تطبيق خطة الصيانة، تحديد الأنشطة الحرجة، وتحليل تأثير أي تأخير على استدامة المحطة والبنية التحتية المحيطة بها.

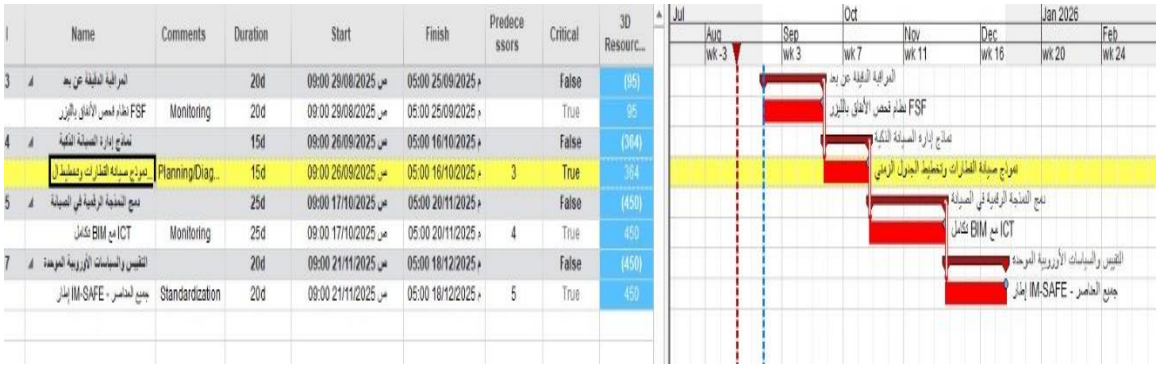
I	Name	Comments	Duration	Start	Finish	Predecessors	Critical	3D Resourc...
1	الطاقة المتجددة في الصيانة		15d	ص 09:00 29/08/2025	م 05:00 18/09/2025		False	(267)
	نظام الطرق الشمسية - الطريق	Maintenance	15d	ص 09:00 29/08/2025	م 05:00 18/09/2025		False	267
2	مونوقية أنظمة الأمن		20d	ص 09:00 29/08/2025	م 05:00 25/09/2025		False	(25)
	التنبؤ بجاهزية الأنظمة الفنية - الكاميرات والمجسات	Predictive	20d	ص 09:00 29/08/2025	م 05:00 25/09/2025		False	25
3	المراقبة الدقيقة عن بعد		20d	ص 09:00 29/08/2025	م 05:00 25/09/2025		False	(95)
	FSF نظام فحص الأنفاق بالليزر	Monitoring	20d	ص 09:00 29/08/2025	م 05:00 25/09/2025		True	95
4	نماذج إدارة الصيانة الذكية		15d	ص 09:00 26/09/2025	م 05:00 16/10/2025		False	(364)
	نموذج صيانة القطارات وتخطيط الجدول الزمني	Planning/Diag...	15d	ص 09:00 26/09/2025	م 05:00 16/10/2025	3	True	364
5	دمج النمذجة الرقمية في الصيانة		25d	ص 09:00 17/10/2025	م 05:00 20/11/2025		False	(450)
	ICT مع BIM تكامل	Monitoring	25d	ص 09:00 17/10/2025	م 05:00 20/11/2025	4	True	450
6	لنمذجة الشبكية وتدهور البنية التحتية		20d	ص 09:00 24/10/2025	م 05:00 20/11/2025		False	(440)
	وخليه أوتوماتيكية GIS النمذجة باستخدام	Simulation	20d	ص 09:00 24/10/2025	م 05:00 20/11/2025	5	False	440
7	التقييس والسياسات الأوروبية الموحدة		20d	ص 09:00 21/11/2025	م 05:00 18/12/2025		False	(450)
	جميع الحاضر - IM-SAFE إطار	Standardization	20d	ص 09:00 21/11/2025	م 05:00 18/12/2025	5	True	450
8	قسم الصيانة الوقائية والتنبؤية		15d	ص 09:00 19/09/2025	م 05:00 09/10/2025		False	(64)
	INFRALERT ونظام RoVi إطار عمل	Monitoring/Pre...	15d	ص 09:00 19/09/2025	م 05:00 09/10/2025	1	False	64
9	التقييم الاقتصادي والمبني للصيانة		10d	ص 09:00 10/10/2025	م 05:00 23/10/2025		False	(450)
	VE تقييم الهندسة القيمية	Economic Eval...	10d	ص 09:00 10/10/2025	م 05:00 23/10/2025	8	False	450
10	الصيانة القائمة على الحالة والحدود الدنيا		15d	ص 09:00 10/10/2025	م 05:00 30/10/2025		False	(23)
	صيانة تعتمد على حالة الأصل - المصاعد واللوحات	Condition-bas...	15d	ص 09:00 10/10/2025	م 05:00 30/10/2025	8	False	23

31الشكل ادخال مخطط غانت في برنامج السينكرو مع اظهار المسار الحرج

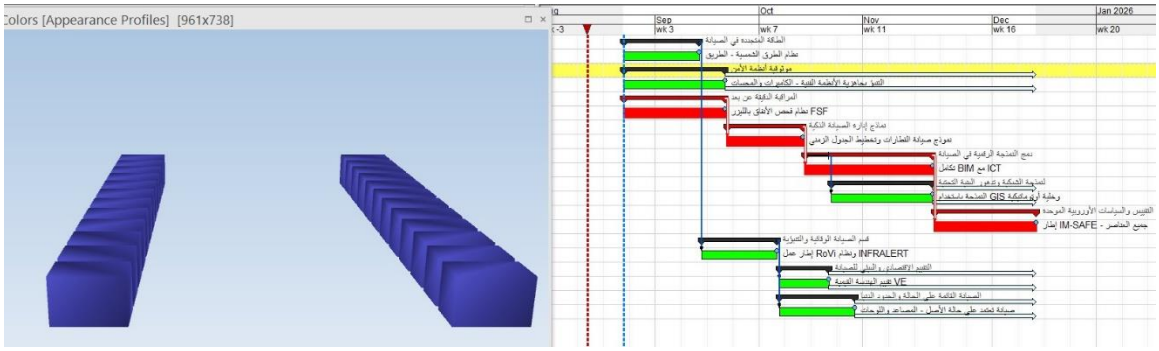
32الشكل تسلسل الأنشطة والعلاقات فيما بينها وفق مخطط غانت



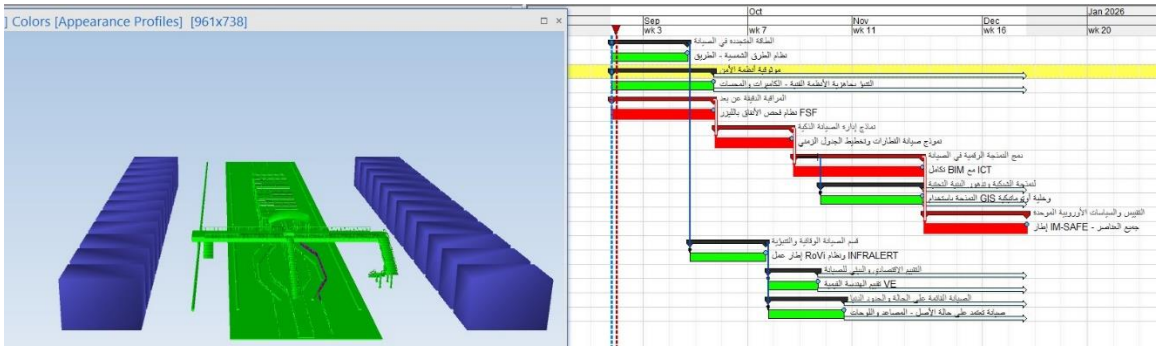
33الشكل المسار الحرج (critical path) باللون الأحمر



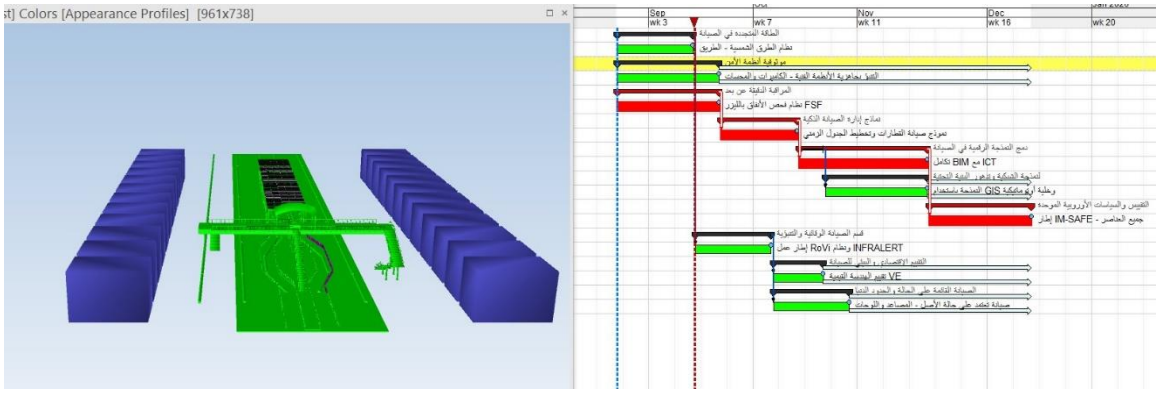
34الشكل تحديد الأنشطة الحرجة باللون الأحمر



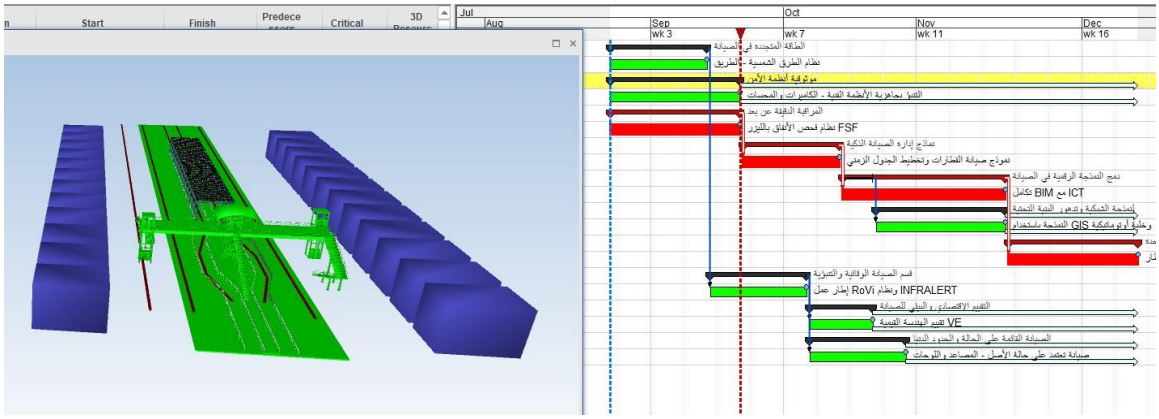
35الشكل لقطة محاكاة 4D simulation قبل بدء الشريط الزمني



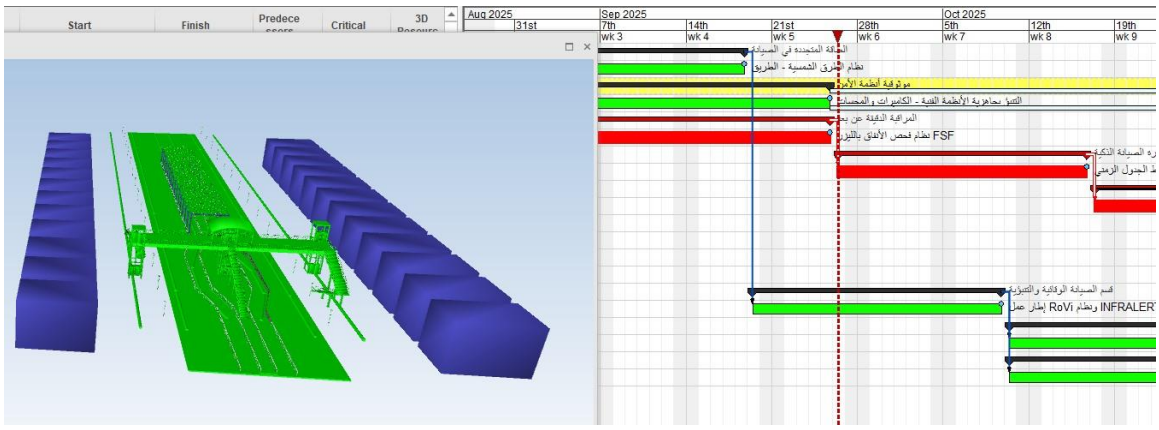
36الشكل لقطة محاكاة 4D simulation عند بداية الشريط الزمني (بداية النشاط 1،2،3)سوية



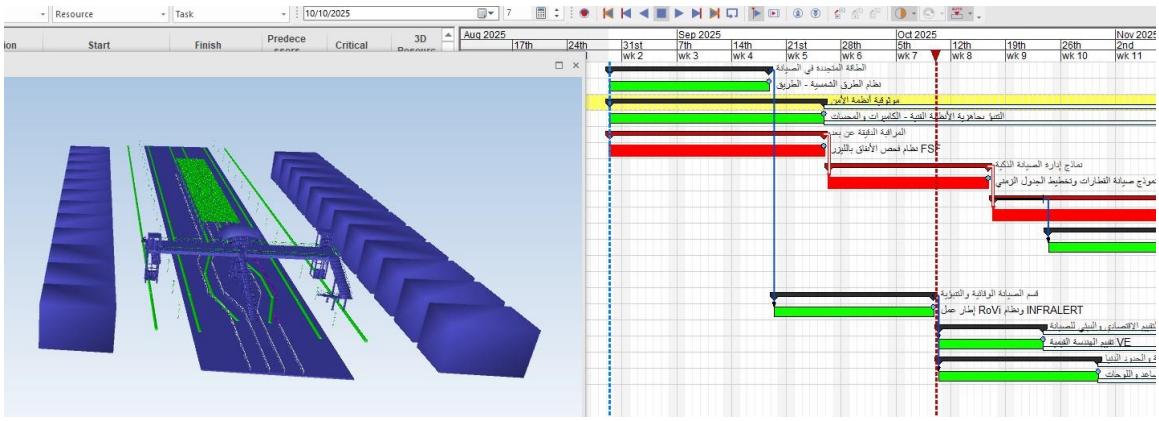
37الشكل لقطة محاكاة 4D simulation عند نهاية النشاط 1 وبداية النشاط الثامن



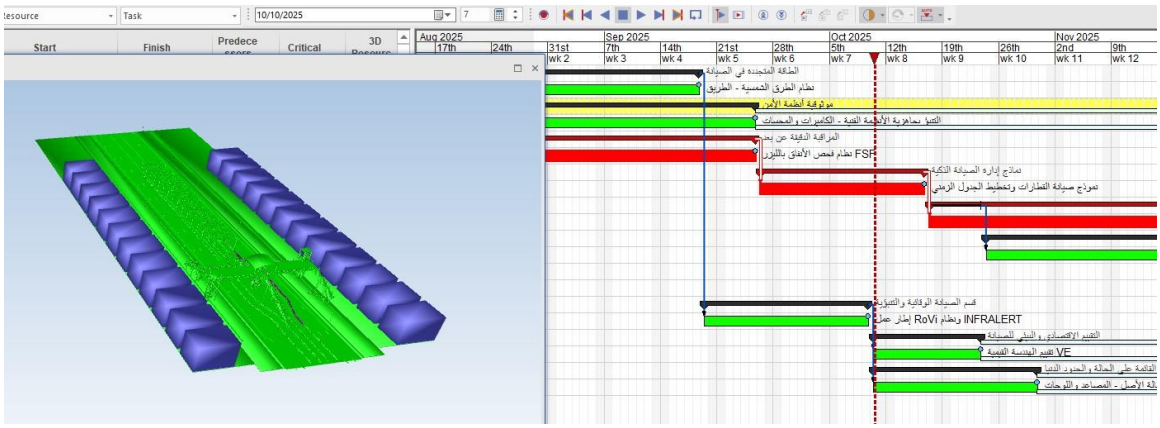
38الشكل لقطة محاكاة 4D simulation عند نهاية النشاط 2 و 3 وما زال النشاط 8 يعمل



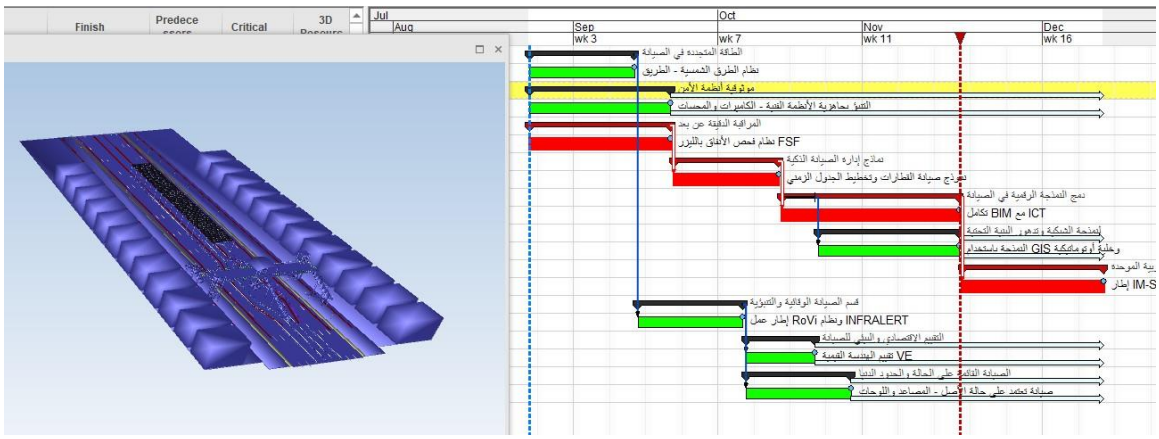
39الشكل محاكاة 4D simulation بداية النشاط 4 وما زال النشاط 8 يعمل



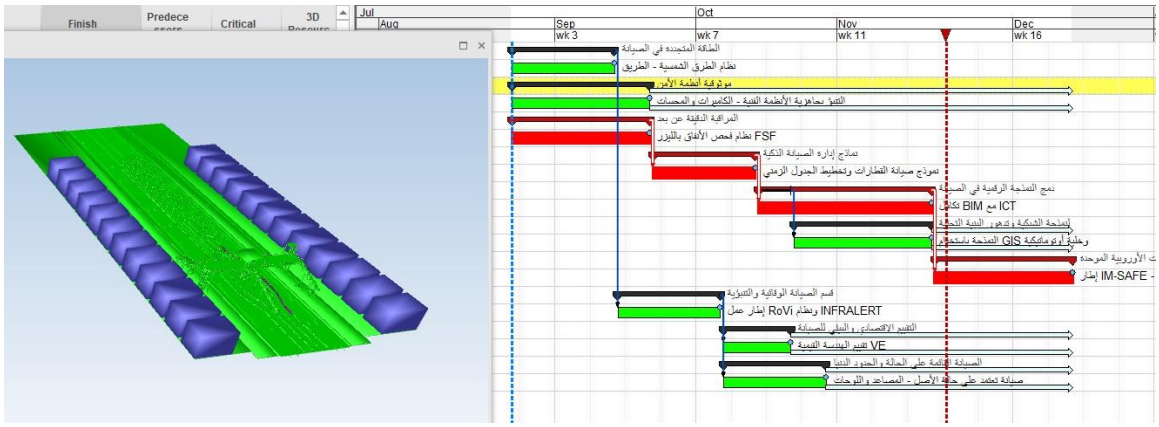
40الشكل محاكاة 4D simulation نهاية النشاط 8 وما زال النشاط 4 يعمل



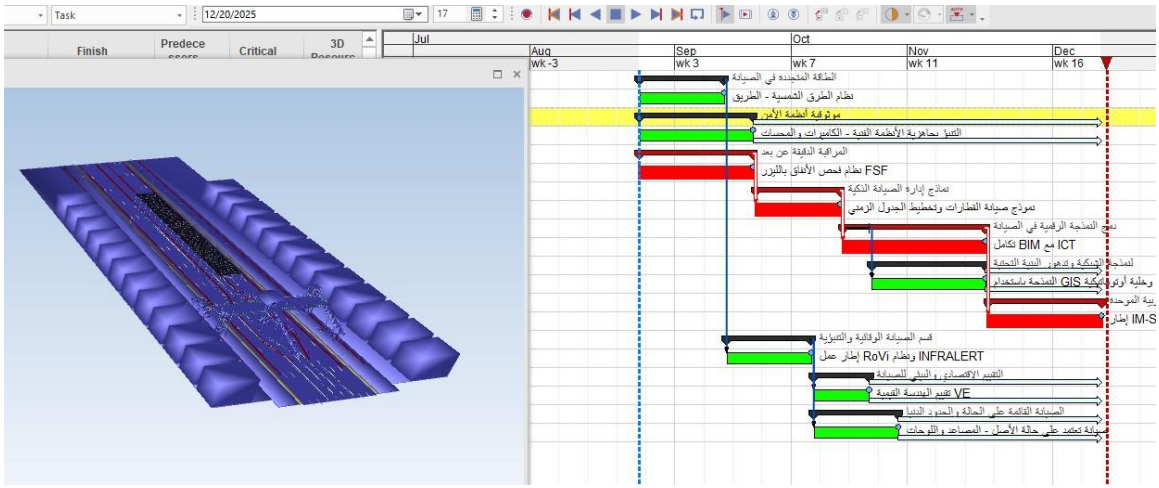
41الشكل محاكاة 4D simulation بداية النشاط 9 وما زال النشاط 4 يعمل



42الشكل محاكاة 4D simulation نهاية النشاط 5 و 6



الشكل 43محاكاة 4D simulation بداية النشاط 7



44محاكاة 4D simulation نهاية الأنشطة

7. الفصل السابع: النتائج والتوصيات:

7.1النتائج والمخرجات:

قمتُ في هذا المشروع بخطوات منهجية ومتكاملة بدأت بتحديد نطاق المحطة التخيلية (محطة ماروتا ـ دمشق) وصياغة مقاطع عرضية وطولية دقيقة للمحور المروري، مرورًا بتحويل التصور الوظيفي إلى نموذج معماري وميكانيكي وكهربائي متكامل في بيئة BIM عمليًا قمتُ بـ:

1. **التصميم المفهومي والهندسي** :تحديد الأبعاد العرضية للطريق (ثلاث حارات لكل اتجاه قبل المحطة، مسار متروباص 3.5 م، وتقليل مسارات السيارات عند المنصة لإنشاء منصة جزيرية) وتصميم جسر مشاة بطول تقريبي 40 م مع مصاعد ومنحدرات للوصول الشامل.
2. **النمذجة المعمارية والـ MEP:** بناء نموذج Revit شامِل(معماري -MEP/ شمل شبكات الصرف بعمق تقريبًا 2.5–3.0 م، أنابيب مياه الشرب قطر 2 إنش بعمق 1.2–1.5 م، قنوات كابلات، غرف خدمات ولوحات كهربائية، ونقاط تحميل للطاقة الشمسية على المظلات والأسطح لتحقيق تغطية طاقة مبدئية نحو 70–80%).
3. **صياغة خطة صيانة مستدامة** :اعتماد مراجعة أدبيّة ودراسات سابقة لتحديد محاور الصيانة (وقائية، تنبؤية، معتمدة على الحالة)، وتفصيل أنشطة قابلة للقياس مع مدد تقديرية (غالبًا 15–25 يومًا لكل نشاط) وعلاقات منطقية بين الأنشطة.
4. **التحويل إلى جدول زمني رقمي ومزامنة 3D–4D** إدخال الأنشطة في Synchro ، تعيين العلاقات (Finish-to-Start) كقاعدة أساسية، ربط كل نشاط بعناصره الثلاثية الأبعاد عبر خاصيةAttach 3D Resources ، وتخصيص الموارد الزمنية والمكانية لكل نشاط.
5. **التحليل الزمني والمسار الحرج** :تنفيذ حسابات ES/EF و LS/LFلاستخلاص الطفو الحر والكلي، وتحديد المسار الحرج الذي ظهر كتتابع
6. المراقبة الدقيقة ← نماذج إدارة الصيانة ← تكاملBIM+ICT النمذجة الشبكية

(بمدة كلية تقديرية ≈ 80 يومًا، مع إبراز سلاسل بديلة ذات طفو يمكن الاستفادة منه).

7. **مخرجات عملية قابلة للتسليم** :ملفات Revit محدثة بعناصرMEP ، مشروع Synchro مع الربط الزمني والمكاني، رسومGantt ، خرائط توضيحية لظهور العناصر ثلاثية الأبعاد حسب الجدول، تحديد المسار الحرج، توصيات تنفيذية وصيانة أولية.

هذه المخرجات تُظهر أنني لم أقدم توصيات نظرية فحسب، بل حوّلت مجموعة قرارات تصميمية وصياغات عملية إلى نموذج تنفيذي رقمي يمكن مشاركته مع فرق الهندسة والتشغيل والصيانة.

7.2 التوصيات والتحسينات المقترَحة (خطوات قابلة للتطبيق):

أقدّم هنا توصيات عملية قابلة للتطبيق فورًا أثناء التصميم والتنفيذ، بالإضافة إلى تحسينات تكنولوجية واستراتيجية يمكن تبنّيها على المدى المتوسط والطويل:

7.2.1 توصيات تنفيذية قصيرة المدى (خلال التصميم والتنفيذ):

- **اعتماد تصميم معياري وقابل للتجميع المسبَق (prefab)** للمنصات والمظلات وغرف الخدمة لتقليص زمن التنفيذ وتقليل تأثير التحويلات المرورية.
- **تصميم تصريف فعال** :مراعاة ميول ريّات دقيقة، ريغارات كل 25–30 م، مصارف فرعية عند النقاط المنخفضة، وتنفيذ خطة تنظيف وصيانة موسمية.
- **إجراءات وصول شامل** :تثبيت مصاعد ومنحدرات وفق المعايير الدولية، تقليل فجوة الرصيف–الحافلة، ومسارات لضعاف البصر.
- **الطاقة والاعتمادية** :تركيب ألواح شمسية مع بطاريات احتياطية لتأمين ≥70% من استهلاك المحطة، إلى جانب توجيه لتوصيل الشبكة كنسخة احتياطية.

7.2.2 توصيات تشغيلية:

إن هذه التوصيات التشغيلية ومتعلقة بصيغة عملية وسهلة التطبيق — تتضمن بنودًا إجرائية، جداول زمنية مقترحة، نماذج عمل، ومؤشرات أداء قابلة للقياس.

1- الهدف والنهج:

الغرض من التوصيات التشغيلية هو ضمان تشغيلٍ آمنٍ وفعّال ومستمرّ لمحطة المتروباص، مع تقليل الأعطال وتكاليف التشغيل، وزيادة عمر الأصول من خلال صيانة منتظمة، وتحويل البيانات الميدانية إلى قرارات صيانة فعلية(تحول رقمي عبرCMMS + BIM)

2- هيكل التشغيل والمسؤوليات (نموذج لمحطة نموذجية ـ مرحلي/تجريبي):

- **مدير محطة** :**(Station Manager)** مسؤول عن التشغيل الكلّي، التقرير للإدارة، التعاون مع الجهات البلدية.
- **مشغل/منسق تشغيل** :**(Operations Coordinator)** متابعة الجداول، إشراف على دخول/خروج الحافلات، العلاقات مع مستخدمي المحطة.
- **فني صيانة** :**(Maintenance Technician)** مسؤول عن أعمال الكهرباء البسيطة، مضخات، مضادات الانجماد، فحص الميكانيك.
- **فني كهرباء /PV (part time أو متعاقد):** فحص الأنظمة الشمسية واللوحات والإنفرترات والبطاريات.
- **أمن/مراقبة** :**(Security/Surveillance)** تشغيل CCTV والإبلاغ الفوري عن الحوادث.
- **عقد خدمات متخصص** :**(Outsource)** خدمات المصاعد، الصيانة الثقيلة، إعادة تأهيل اللوحات/إنفرترات ـــ وفق اتفاقية صيانة سنوية أو عند الطلب.

3- نظام إدارة الصيانة (CMMS) ودمج ـــ BIM متطلبات ووصف سير العمل:

بيانات يجب أن يحتويها كل أصل في(CMMS/BIM) حقول موصى بها:

- Asset ID / Asset Name
- وصف العنصر وموقعه مثلاً(Platform – North side, Revit GUID/Link).
- المُصنّع/الطراز.Serial No
- تاريخ التركيب، فترة الضمان
- فئة(PV, CCTV, Elevator, Pump, Lighting)
- جدول صيانة وقائية (frequency)
- تاريخ آخر صيانة، موظف الصيانة، ملاحظات، تكلفة.
- قائمة قطع الغيار المرتبطة + مستوى المخزون الأدنى(Min/Max)
- روابط إلى صور/تقارير وملاحظات ميدانية(attachments)
- مؤشر حالة + (Good/Warning/Failed) تاريخ التحديث.
- QR/Barcode/RFIDللقراءة الميدانية وربط بعمل الصيانة.

سير عمل مُقترح داخلCMMS :

- تتولد أوامر الصيانة الوقائية تلقائيًا وفق الجدول.
- الفني ينفّذ ويُغلق الأمر بعد تحميل تقرير وصور ووقت العمل والقطع المستخدمة.
- أي إنذار تنبؤي يولد Work Order تلقائيًا مع أولوية.
- بيانات الأداء تُغذّي لوحة تحكّم (Dashboard) وتصدر تقارير شهرية/ ربع سنوية.

4- جداول الصيانة (أمثلة عملية ومقترحة):

الفئة	نوع الصيانة	التكرار مقترح	مدة تقريبية لكل مرة	ملاحظات
منصة/أثاث	بصري/تنظيف	يومي	15–30دقيقة	إزالة نفايات، إصلاح تلف طفيف
إنارةLED	تفتيش وظيفي	شهري	2–3ساعات	استبدال لمبات/فيوزات عند الحاجة
CCTV & Recording	تفقد/تخزين	شهري	2–4ساعات	تحقق من سعة التخزين ≤ 30 يومًا
ألواح شمسية(PV)	فحص/تنظيف	ربع سنوي	2–6ساعات	تنظيف عند هبوط إنتاج >10%
بطاريات/إنفرتر	فحص كهربائي	ربع سنوي	4ساعات	اختبار سعة البطارية ودرجات الحرارة
مصاعد	فحص أمني/ميكانيكي	شهري	1–2ساعات	سجّل دورات، اختبارات الطوارئ
مصارف/ريغارات	تنظيف	ربع سنوي + بعد أمطار	4–8ساعات	تأكيد جريان وعدم انسداد
مضخات	فحص اهتزاز/زيت	نصف سنوي	2–4ساعات	استبدال أجزاء قابلة للتآكل حسب الحاجة

الجدول 11جدول صيانة مقترح لمحطة المتروباص

5- إجراءات تشغيلية قياسية — (SOP) نماذج مختصرة:

SOP يومية (مثال):

- فتح المحطة: فحص بصري عام (منصة، إضاءة، نظافة) — 15 دقيقة.
- فحص سريع لنظام CCTV (تشغيل/تسجيل) — 5 دقائق.
- تحقق من شاشة عرض الركاب ونظام الإعلانات — 5 دقائق.
- تسجيل أي ملاحظة في CMMS (صور) وتعيين أولوية.

SOPعند إنذار PV (مثال):

- استلام الإنذار في لوحة التحكم.
- فحص رسائل الإنفرتر والمؤشرات عن بُعد.
- إرسال مهمة فحص ميداني إذا استمرت المشكلة 30 < دقيقة.
- تنظيف الألواح/فحص التوصيلات/قياس الجهد.
- تسجيل الإجراءات في CMMS وإغلاق المهمة أو تحويلها لعقد الدعم المتخصص.

6- إدارة قطع الغيار والمخزون (اقتراح عملي):

- قائمة قطع غيار أساسية (كمية مبدئية للمرحلة التجريبية).
- إنفرتر PV (1 وحدة احتياطية لكل 4–6 إنفرترات عملية).
- بطاريات احتياطية: مخزون يغطي 3 أشهر من الخسارة المتوقعة أو 10–15% من سعة النظام (اعتمادًا على عدد الحزم).
- مفاتيح قواطع، فيوزات، موصلات كابلات — مخزون 6 أشهر.
- لمبات LED للإنارة — مخزون يكفي 6 أشهر.
- قطع غيار مصعد (حزمة احتياطية لأجزاء حرجة) — 1 مجموعة أساسية.
- مضخات بديلة صغيرة (1 احتياطي).
- إدارة المخزون.
- مستويات Min/Max محددة فيCMMS .
- عملية إعادة طلب تلقائي أو تنبيه عندما يصل المخزون إلى المستوى الأدنى.
- عقود موردين مع زمن تسليم متفق عليه (Lead Time) وبدائل محلية.

7- استراتيجية التعاقد (ما يُوظَّف داخليًا وما يُستضاف):

- **مهام داخلية (In-house) :** تشغيل يومي، فحوصات بسيطة، استجابة أولية للأعطال.
- **مهام متعاقدة :**صيانة المصاعد، صيانة الإنفرترات/الـ PVالمتقدمة، تحسين شبكات MEP الكبيرة، ودعم التدريب المتقدم.
- **SLAمقترح للمقاولين:**
  - استجابة للحوادث الحرجة: ≥ 4 ساعات.
  - إصلاح/تصحيح للحوادث الحرجة: ≥ 24–72 ساعة (حسب القطعة).
  - توافر النظام المتفق عليه: ≥ 98.%
  - عقوبات/حوافز: خصم أو مكافأة مرتبطة بتحقيق المؤشرات (Availability, MTTR).

8- مراقبة إنذارات ومقاييس حساسية — (Thresholds) أمثلة عملية:

- **إنتاج PV ينخفض 10% > مقارنة بخط الأساس** ←إنشاء أمر فني للتفقد/تنظيف خلال 48 ساعة.
- **زيادة اهتزاز محرك > 20% عن القاعدة** ←فحص ميكانيكي/توازن خلال 24 ساعة.
- **انقطاع تسجيل CCTV > 1 ساعة** ←إنذار فوري وإرسال فني خلال 2 ساعة.
- **مستوى بطارية SoC يقل عن 20% أثناء الذروة** ←فحص شحن/إنذار تشغيل مولد احتياطي إذا لزم.
- **انسداد مصرف يؤدي لهبوط تصريف** ←أمر تنظيف عاجل خلال 24 ساعة.

9- مؤشرات الأداء التشغيلية — (KPIs) قيم استرشادية:

- **توافر المحطة(Availability) :** ≥98%
- **نسبة الصيانة الوقائية من إجمالي الصيانة:**≥80%–70
- **MTTR(متوسط زمن الإصلاح) للحوادث الحرجة** : ≥8 ساعات (قيمة مستهدفة)
- **زمن الاستجابة للأمن** :≥10 دقائق
- **نسبة الطاقة الذاتية (PV):** ≥70% سنويًا.
- **نسبة الالتزام بجدول صيانة الوقائي:**≥ 95%

10- التدريب وبناء القدرات التشغيلية:

- تدريب أولي شامل عند التسليم: 3دورات(BIM–CMMS ، تشغيلPV، تشغيل وصيانة المصاعد)— مدة كل دورة 2–3 أيام.
- تدريب عملي ميداني خلال الشهرين الأوّلين من تشغيل الـ Pilot (Mentorship مع مطوّري النظام والمتعهدين).
- تحديثات تعليمية قصيرة (micro-training) كل 3 أشهر لموظفي الخط الأول.

11- تقارير وجدولة دورية للتشغيل:

- **تقرير يومي مختصر** :ملخص الحوادث، مهام الصيانة المفتوحة، مشاهدات أمنية.
- **تقرير شهري تفصيلي** :ملخصKPIs ، قوائم الأعمال المنجزة، استهلاك الطاقة، أداءPV ، تكاليف صيانة.
- **تقرير ربع سنوي** :مراجعة استراتيجية الصيانة، توصيات تعديل الجداول، تقييم الموردين.

12- قالب أمر عمل (Work Order) مُبسط — للحفظ فيCMMS :

حقول مقترحة: | Work Order ID | Asset ID| وصف المشكلة/المهمة | الأولوية | (Critical/High/Medium/Low)التاريخ المطلوب | الفني المعين | الوقت المقدر | المواد المطلوبة | (List) تكلفة متوقعة | مرفقات (صور) | إجراءات متخذة | تاريخ الإغلاق | تقييم الأداء.

13- ميزانية تشغيل وصيانة أولية (تقدير إرشادي):

- خصّص بندًا تشغيليًا سنويًا يساوي تقريبًا **2–4%من CAPEX** كنقطة بداية(قيم تقريبية للتخطيط — يُنقّح بعد دراسة LCCA وتجارب الـPilot).
- احتياطي طوارئ CAPEX/OPEX بنسبة 10–15% لتغطية تقلبات سلسلة التوريد وإصلاحات غير متوقعة.

14- خطة إطلاق عمليّة (مقترح زمني سريع):

- إعداد CMMS وتهيئة الأصول: 4–8 أسابيع.
- تجميع قطع الغيار وإعداد العقود: 4–6 أسابيع موازية.
- تدريب الفريق وإجراء اختبارات تشغيلية: 2–6 أسابيع.
- تشغيل تجريبي ومراقبة: 6–12 شهرًا لمعايرة الجداول ومعايير الأداء.

7.2.3 خاتمة:

هذه التوصيات التشغيلية قابلة للاستخدام مباشرة داخل خطة التشغيل والصيانة للمحطة التجريبية، ويمكن تكييفها مع موارد الجهة المنفذة والميزانية المتاحة. بعد تنفيذ المرحلة التجريبية (Pilot) ستنتج بيانات فعلية تمكنك من ضبط الترددات، مستويات المخزون، والموارد البشرية بدقّة أكبر.

قائمة المراجع:

.

Allaix, D. L., et al. (2022). Review of the current state of standardisation on monitoring, data-informed safety assessment and decision-making regarding maintenance of the transport infrastructure. Proceedings of the IABSE Symposium: Challenges for Existing and Oncoming ،Structures

Bigaj-van Vliet, A., et al. (2021). Standardisation in monitoring, safety assessment and maintenance of the transport infrastructure: Current status and future perspectives. International Conference of the European Association on Quality Control of Bridges and ،Structures, Springer

Cepa, J. J., et al. (2023). "A Review on the Implementation of the BIM Methodology in the ،Operation Maintenance and Transport Infrastructure." Applied Sciences **13**(5): 3176

Model for Benchmarking a Pavement Maintenance Budget for ،(2016) ،Chai, G., et al ،Sustainable Road Transport Infrastructure. Geo-China 2016**:** 180-187

Davidyuk, A. (2020). Scientific and technical maintenance of transport infrastructure facilities. ،IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing

Elfgren, L., et al. (2012). "Project: Mainline-MAINtenance, renewaL and Improvement of rail ".،transport iNfrastructure to reduce Economic and environmental impacts

Gao, L., et al. (2018). Evaluation of Retrofit and Maintenance Schemes on Transport Infrastructure Based on VE Theory: An Example of Urban Bridge. International Conference on ،Construction and Real Estate Management 2018, American Society of Civil Engineers Reston, VA

Analyses of barriers, trends and best practices for better monitoring and " ،(2023) ،Hoff, I., et al maintenance of European transport infrastructure." Transportation Research Procedia **72**: 343-،350

Jensen, J. S., et al. (2014). MAINLINE: MAINtenance, renewaL and Improvement of rail transport iNfrastructure to reduce Economic and environmental impact. International Conference of Bridge Maintenance, Safety and Management: 07/07/2014-11/07/2014, CRC Press, Taylor & ،Francis Group

Jiménez-Redondo, N., et al. (2017). Improving linear transport infrastructure efficiency by automated learning and optimised predictive maintenance techniques (INFRALERT). IOP ،conference series: materials science and engineering, IOP Publishing

Kovalenko, N. and N. Kovalenko (2023). Planning of a contingent for the maintenance of transport infrastructure using digitalization. AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC.

Kulbovskyi, I., et al. (2019). Development of a model for managing the quality of repair and maintenance of rolling stock in transport infrastructure projects. Transport Means-Proceedings of the International Conference.

Murakami, T., et al. (2017). "High Spatial Resolution Survey Using Frequency-Shifted Feedback Laser for Transport Infrastructure Maintenance." Journal of Disaster Research **12**(3): 546-556.

Seraj, F., et al. (2017). RoVi: Continuous transport infrastructure monitoring framework for preventive maintenance. 2017 IEEE international conference on pervasive computing and communications (PerCom), IEEE.

Strauss, A., et al. (2022). Condition-states and low limit maintenance thresholds of transport infrastructures in a European Context. fib Symposium.

Šváb, P., et al. (2021). The Utilization of renewable energy sources in the construction and maintenance of transport infrastructure. International Conference on Future Access Enablers of Ubiquitous and Intelligent Infrastructures, Springer.

Troudi, A., et al. (2015). An optimal maintenance policy for transport vehicles in a supply chain under infrastructure/environment constraints. 45th Int. Conf. Comp. Ind. Eng., Metz, France.

Tsarkova, E., et al. (2020). Reliability forecasting for optimal planning of measures for maintenance of security systems of transport infrastructure facilities. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing.

Wüst, R., et al. (2019). "Maintenance timetable planning based on mesoscopic infrastructure and the transport service intention." Journal of Rail Transport Planning & Management **11**: 100146.

et al. (2016). Simulating the degradation and maintenance effects on an integrated ,Zhao, B urban transport infrastructure system. Transforming the Future of Infrastructure through Smarter Information: Proceedings of the International Conference on Smart Infrastructure and ConstructionConstruction, 27–29 June 2016, ICE Publishing.