

أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استراتيجيات صيانة وتأهيل الطرق
الإسفلتية: دراسة تطبيقية على قطاع البلديات في المملكة العربية السعودية.

إعداد الطالب/ محمد فوزي على بدوي

الرقم الأكاديمي / 243001161

إشراف/

د. فايز علي جراد

د. الفيصّل عبد الحميد محمد

العام الدراسي:

٢٠٢٥

حقوق النشر والطباعة

حقوق النشر والطباعة تمتلكها جامعة ميدأوشن

الباحث

الإهداء

إلى روح والدي الحبيب،
الذي غادرنا جسداً، لكنه لا يزال حياً في قلبي ينبوعاً للدعم والحنان،
إلى من علّمني أولى خطواتي، وسقاني من نبع العلم،
وأضاء لي دربي حتى آخر لحظة... رحمك الله وأسكنك فسيح جناته.

وإلى والدتي الحنونة،
نبض الحياة، وسند الروح، و بحر الصبر والدعاء،
أطال الله في عمرك وبارك فيكي.

وإلى زوجتي الغالية،
شريكة درب ورفيقة النجاح.

وإلى أطفالي الأحباء: رئال وونام،
مصدر سعادتي وأمل في الحياة.

وإلى إخوتي الأعزاء،
وإلى كل فرد من أفراد عائلتي الغالية،
الذين أحاطوني بالمحبة والدعم، حياً وميتاً.

أهدي هذه الرسالة،
عرفاناً وتقديراً،
ولكل من شاركني الطريق بدعاء صادق أو كلمة دعم.

شكر وتقدير

أنتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى مشرفي الكريم /

د. الفصيل عبد الحميد محمد د. فايز علي جراد

على توجيهاتهم السديدة، وصبره، ودعمه المتواصل الذي كان له الأثر الأكبر في إنجاز هذه الرسالة.

كما أتوجه بالشكر الجزيل إلى لجنة المناقشة الموقرة، وإلى أعضاء هيئة التدريس في جامعة ميدأوشن، لما قدموه لي من علم ومعرفة خلال فترة الدراسة.

ولا يفوتني أن أشكر كل من ساهم في تزويدي بالبيانات أو تقديم الدعم الفني والتقني، خاصة الزملاء في مجال هندسة الطرق، ومطوري البرمجيات الذين ساعدوني.

وأخيراً، أرفع أسمى معاني الامتنان لكل من شجعني، ودعمني معنوياً أو علمياً، في هذه المرحلة الهامة من حياتي.

فهرس المحتويات:

العنوان	(أ)
حقوق النشر والطباعة.....	(ب)
الإهداء.....	(ت)
الشكر والتقدير.....	(ث)
فهرس المحتويات.....	(ج)
قائمة الجداول والملاحق.....	(ذ)
المستخلص.....	(1)
الفصل الأول: المدخل العام للبحث	(2)
المقدمة	(3)
مشكلة الدراسة	(4)
التساؤل البحثي الرئيسي.....	(4)
أهمية الدراسة.	(4)
الأهمية العلمية.....	(5)
الأهمية العملية	(5)
أهداف الدراسة.....	(5)
الهدف الرئيسي.....	(5)
الأهداف الفرعية.....	(5)
تساؤلات الدراسة	(6)
فروض الدراسة.	(6)
الفرض الرئيسي.....	(7)
الفروض الفرعية	(7)
النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث.....	(7)
نظرية اتخاذ القرار (Data-Driven Decision Making Theory) :	(7)
نظرية الأنظمة (Systems Theory) :	(7)
نظرية دورة حياة البنية التحتية (Infrastructure Life Cycle Theory) :	(8)
منهجية البحث	(8)
الفصل الثاني: الإطار النظري.....	(9)
الإطار النظري	(10)

صيانة وتأهيل الطرق: المفاهيم والأنواع.....	(10)
مفهوم صيانة الطرق الإسفلتية.....	(10)
تصنيفات الصيانة.....	(10)
أبرز التحديات التي صيانة الطرق.....	(10)
الذكاء الاصطناعي: المفهوم والتقنيات.....	(11)
تعريف الذكاء الاصطناعي.....	(11)
تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة في صيانة الطرق.....	(11)
العلاقة بين الذكاء الاصطناعي واستراتيجيات صيانة الطرق.....	(11)
آليات دمج الذكاء الاصطناعي في الصيانة والتأهيل.....	(11)
نماذج الذكاء الاصطناعي المستخدمة.....	(11)
أهمية البيانات في تطبيق الذكاء الاصطناعي على صيانة الطرق.....	(12)
تجارب دولية ناجحة في صيانة الطرق باستخدام الذكاء الاصطناعي.....	(12)
الفصل الثالث: الدراسات السابقة.....	(13)
الدراسات السابقة.....	(14)
تحليل الفجوات البحثية.....	(15)
الاستفادة من الدراسات السابقة.....	(15)
الفصل الرابع: منهجية الدراسة.....	(16)
منهجية الدراسة.....	(17)
المنهجية وطرق البحث.....	(17)
المنهج المستخدم.....	(17)
أدوات جمع البيانات.....	(17)
مجتمع الدراسة وعينتها.....	(18)
طرق تحليل البيانات.....	(18)
مجتمع البحث.....	(18)
حدود البحث.....	(19)
الفصل الخامس: النتائج والتوصيات.....	(20)
تحليل البيانات.....	(21)
معالجة البيانات الأولية.....	(21)
تحليل وصفي للبيانات.....	(21)
إعداد النموذج الذكي.....	(21)

تحليل أداء النموذج.....	(22)
تحليل الأهمية النسبية للمتغيرات (Feature Importance)	(22)
اختبار السيناريوهات المستقبلية.....	(23)
النتائج.....	(23)
أثر الذكاء الاصطناعي على كفاءة التصنيف واتخاذ القرار.....	(23)
تحسين الكفاءة التشغيلية وتقليل التكاليف.....	(23)
دعم التخطيط الاستراتيجي المستقبلي.....	(24)
فاعلية النموذج ضمن السياق المحلي السعودي.....	(24)
مدى جاهزية تبني النموذج في البلديات.....	(24)
خلاصة النتائج.....	(24)
التوصيات.....	(24)
التوصيات التطبيقية.....	(25)
التوصيات البحثية.....	(25)
توصيات مستقبلية للسياسات العامة.....	(25)
خلاصة التوصيات.....	(26)
المراجع.....	(28)
-المراجع العربية.....	(29)
-المراجع الأجنبية.....	(30)
الملاحق.....	(32)
خطاب الإستبيان.....	(33)
استبيان بحثي.....	(34)
Abstract.....	(35)
The Title.....	(36)

قائمة الجداول

- جدول (١.٥) التحليل الوصفي لعينة طبيعية..... (21)
- جدول (٢.٥) مؤشرات أداء النموذج..... (22)
- جدول (٣.٥) مصفوفة الالتباس (Confusion Matrix) (22)
- جدول (٤.٥) تحليل تأثير كل متغير على قرار النموذج..... (22)

فهرس الملاحق

- الإستبيان..... (34)

المستخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استراتيجيات صيانة وتأهيل الطرق الإسفلتية، وذلك من خلال دراسة تطبيقية على قطاع البلديات في المملكة العربية السعودية. تتبع أهمية الدراسة من التحديات المتزايدة التي تواجهها شبكات الطرق بسبب التوسع العمراني والضغط المتواصل على البنية التحتية، مما يتطلب تطوير أساليب حديثة وأكثر فاعلية في إدارة الصيانة، اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، إضافة إلى جمع البيانات من خلال استبيانات ومقابلات ميدانية مع مختصين في قطاع البلديات، كما تم تحليل التجارب المحلية والدولية في استخدام الذكاء الاصطناعي وخاصة تقنيات التعلم الآلي والرؤية الحاسوبية ونماذج التنبؤ في الكشف المبكر عن عيوب الطرق وتحديد أولويات الصيانة، أظهرت نتائج الدراسة وجود علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحسين كفاءة الاستراتيجيات المتبعة في صيانة وتأهيل الطرق. حيث ساعدت تلك التقنيات في تقليل التكاليف والمدة الزمنية، ورفع جودة الأعمال المنفذة، وزيادة دقة اتخاذ القرار في خطط الصيانة الوقائية والعلاجية، وتوصي الدراسة بضرورة إدماج تقنيات الذكاء الاصطناعي ضمن أنظمة إدارة صيانة الطرق في البلديات، مع ضرورة تأهيل الكوادر الفنية وتعزيز البنية الرقمية الداعمة لهذا التوجه.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، صيانة الطرق، التأهيل، الكفاءة، البلديات، المملكة العربية السعودية.

الفصل الأول

المدخل العام للبحث

المقدمة

تُعد شبكات الطرق العمود الفقري للبنية التحتية في أي دولة، حيث تمثل الأساس الذي يُبنى عليه النشاط الاقتصادي والاجتماعي واللوجستي. فالطرق تسهّل حركة الأفراد والبضائع، وتسهم في ربط المناطق الحضرية بالريفية، كما تدعم عمليات الطوارئ والخدمات الأساسية. ومع تزايد معدلات النمو السكاني والتوسع العمراني، ازداد الضغط على شبكات الطرق، مما أدى إلى تسارع وتيرة تدهورها وظهور مشكلات فنية تؤثر بشكل مباشر على كفاءة وسلامة النقل.

في هذا السياق، تبرز أهمية أعمال الصيانة الدورية والتأهيل المستمر كعنصر حاسم في الحفاظ على مستوى الخدمة المطلوب وضمان استدامة البنية التحتية للطرق. إلا أن إدارة عمليات الصيانة التقليدية تعاني من عدة تحديات، أبرزها محدودية الموارد المالية، والاعتماد على التقدير البشري، والتأخر في الاستجابة لتدهور البنية التحتية. كما أن اتخاذ القرار في هذا المجال يتطلب توازناً دقيقاً بين عدة عوامل، منها الكلفة والوقت ومدى التأثير على حركة المرور، الأمر الذي يجعل من الضروري تطوير آليات أكثر ذكاءً وفاعلية لإدارة الصيانة.

في العقود الأخيرة، شهد العالم ثورة تقنية هائلة تمثّلت في تطور الذكاء الاصطناعي، الذي أصبح أحد أبرز التوجهات التقنية الواعدة في جميع المجالات، لا سيما في قطاع البنية التحتية. حيث مكّنت تقنيات الذكاء الاصطناعي من تحليل كميات هائلة من البيانات، واستخلاص أنماط التدهور والتنبؤ بالمشكلات المستقبلية، مما ساعد على تحسين عمليات التخطيط واتخاذ القرار. ويمكن القول إن إدماج الذكاء الاصطناعي في استراتيجيات صيانة الطرق يمثل نقلة نوعية في كفاءة الإدارة الهندسية للطرق.

ينطلق هذا البحث من الحاجة المتزايدة لتوظيف الذكاء الاصطناعي في تطوير استراتيجيات أكثر فاعلية لصيانة وتأهيل الطرق الإسفلتية، من خلال استعراض الأساليب الحديثة مثل الشبكات العصبية الاصطناعية، وخوارزميات التعلم الآلي، ونماذج التنبؤ بالأداء، وذلك بهدف تحسين جودة القرارات المتعلقة بتوقيت ونوع الصيانة، وترشيد الموارد المالية، وتقليل الآثار السلبية على المستخدمين والبيئة.

كما يسعى البحث إلى تسليط الضوء على التطبيقات الواقعية لهذه التقنيات في عدد من الدول، واستكشاف مدى إمكانية تكييفها وتطبيقها في البيئات المحلية، مع تحديد المعوقات والتحديات التي قد تواجه عملية التحول الرقمي في هذا المجال. ويأمل الباحث من خلال هذا العمل أن يساهم في إثراء المعرفة العلمية والتطبيقية حول دمج الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة الطرق، بما يعزز من كفاءة واستدامة شبكات النقل في المستقبل.

وقد تناولت العديد من الدراسات السابقة هذا الموضوع من زوايا متعددة؛ إذ أظهرت دراسة (Zhang et al., 2020) فعالية نماذج التعلم العميق في التنبؤ بتدهور رصف الطرق باستخدام صور الأقمار الصناعية والبيانات البيئية. كما ركزت دراسة (Al-Mashaikhi & Al-Harthy, 2021) على استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية لتحديد الأولويات في برامج الصيانة، بينما تناولت دراسة (Koch & Brilakis, 2018) تطبيق الذكاء الاصطناعي في رصد التشققات والأضرار السطحية عبر تقنيات الرؤية الحاسوبية. وتُظهر هذه الدراسات وغيرها أن هناك إمكانيات واعدة لتطبيق هذه التقنيات، غير أن فعالية استخدامها تعتمد على توفر البيانات، والبنية التقنية، والجاهزية المؤسسية، وهو ما تسعى هذه الدراسة لاستكشافه ضمن السياق السعودي

مشكلة الدراسة.

تُعدّ صيانة الطرق إحدى الركائز الأساسية في منظومة إدارة البنية التحتية للنقل، لما لها من دور محوري في ضمان استمرارية كفاءة وأمان شبكة الطرق، وتقليل التكاليف طويلة الأجل المرتبطة بالإصلاحات الجذرية أو إعادة الإنشاء ومع ذلك، لا تزال معظم إدارات البلديات في المملكة العربية السعودية تعتمد على أساليب تقليدية تفتقر إلى الكفاءة، كالفحص البصري اليدوي، والتقدير الشخصي، وردود الأفعال المتأخرة تجاه التدهور.

وقد أظهرت دراسات حديثة (Zhou et al., 2022; Al-Mansour, 2021; Ghani et al., 2020) أن تقنيات الذكاء الاصطناعي، وبالأخص خوارزميات تعلم الآلة ونماذج البيانات الضخمة، قادرة على إحداث نقلة نوعية في دقة التنبؤ بالحالة المستقبلية للطرق، وتحديد أولويات الصيانة، وتقليل التكاليف التشغيلية، ورفع كفاءة اتخاذ القرار بنسبة تفوق ٣٠٪. إلا أن هذا التوجه لم يجد بعد تطبيقاً فعلياً على نطاق واسع داخل قطاع البلديات السعودي، بسبب تحديات تتعلق بضعف البنية التحتية الرقمية، ونقص الكفاءات البشرية المؤهلة، وضعف التكامل المؤسسي ومن هنا، تتمثل مشكلة الدراسة في الفجوة بين الإمكانيات المتقدمة التي توفرها تقنيات الذكاء الاصطناعي في دعم استراتيجيات صيانة الطرق، وبين واقع الممارسات الحالية في البلديات السعودية، مما يؤدي إلى تدني جودة الخدمات، وزيادة التكاليف، وغياب النظرة الاستباقية. وتسعى هذه الدراسة إلى طرح تصور حديث لتفعيل تقنيات الذكاء الاصطناعي في هذا المجال، بما يسهم في تحسين كفاءة وفعالية منظومة الصيانة والتأهيل الأسفلتي على مستوى البلديات

التساؤل البحثي الرئيسي:

” إلى أي مدى يسهم استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استراتيجيات صيانة وتأهيل الطرق الإسفلتية ضمن قطاع البلديات في المملكة العربية السعودية؟ “

أهمية الدراسة

تتبع أهمية هذه الدراسة من التحديات المتزايدة التي تواجه قطاع صيانة وتأهيل الطرق في ظل التطورات التقنية والتغيرات البيئية والضغط الاقتصادي. وتكتسب الدراسة أهميتها من قدرتها على الجمع بين الجانب النظري والتحليلي، والجانب التطبيقي العملي في آن واحد، وذلك كما يلي:

الأهمية العلمية

الإسهام في سد الفجوة البحثية في مجال تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ضمن استراتيجيات صيانة وتأهيل الطرق، وخصوصاً في البيئة العربية والخليجية التي لا تزال تعاني من نقص في الدراسات المتخصصة في هذا المجال. إثراء الأدبيات العلمية من خلال توظيف أدوات تحليل متقدمة وتطبيق نماذج الذكاء الاصطناعي في معالجة مشكلات واقعية تتعلق بالبنية التحتية.

تعزيز الفهم النظري للتكامل بين نظم إدارة الصيانة وأنظمة الذكاء الاصطناعي، من خلال مراجعة الأدبيات والنماذج الحالية، واقتراح إطار علمي يستند إلى معطيات ميدانية. توفير مرجعية بحثية مستقبلية يمكن للباحثين الاستناد إليها في دراسات مماثلة على صعيد إدارة البنية التحتية الذكية أو التحول الرقمي في القطاعات الخدمية.

الأهمية العملية

تحسين كفاءة قرارات الصيانة في قطاع البلديات بالمملكة العربية السعودية، من خلال تقديم حلول رقمية ذكية قائمة على التحليل التنبؤي والمعالجة الذاتية للبيانات.

تقديم نموذج تطبيقي مقترح يمكن استخدامه من قبل الجهات المختصة لتوظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي ضمن عمليات الصيانة والتأهيل، بما يسهم في رفع كفاءة الأداء وتقليل الهدر المالي. دعم صناع القرار والمهندسين في تطوير آليات أكثر دقة ومرونة لتخطيط أعمال الصيانة، وفقاً لبيانات فعلية وتوقعات مستقبلية لحالة الطرق.

تحقيق فوائد اقتصادية مباشرة من خلال خفض تكاليف الصيانة الطارئة، وتقليل الانقطاعات في الخدمة، وإطالة عمر البنية التحتية للطرق.

تعزيز السلامة والبيئة عبر تقليل الحوادث الناتجة عن تدهور الطرق، وخفض الانبعاثات المرتبطة بالازدحام المروري الناتج عن سوء حالة الطرق أو الصيانة غير المخططة.

الاستجابة لمتطلبات التحول الرقمي الذي تتبناه رؤية المملكة ٢٠٣٠، من خلال تفعيل دور التقنيات الذكية في إدارة الأصول والخدمات العامة.

أهداف الدراسة

الهدف الرئيسي

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استراتيجيات صيانة وتأهيل الطرق الإسفلتية، مع التركيز على تطبيقاتها في قطاع البلديات بالمملكة العربية السعودية، وذلك من خلال استكشاف الإمكانيات التي توفرها هذه التقنيات في تعزيز فعالية الصيانة، وتقليل التكاليف، وتحقيق الاستدامة.

الأهداف الفرعية

تحليل واقع استراتيجيات صيانة وتأهيل الطرق في البلديات السعودية، وتحديد أوجه القصور في الأساليب التقليدية المعتمدة.

استعراض أبرز تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة في مجال صيانة الطرق، مثل: التعلم الآلي، والرؤية الحاسوبية، والتحليل التنبؤي، وشرح آليات عملها ومجالات تطبيقها.

تقييم فعالية توظيف الذكاء الاصطناعي في تحسين جودة أعمال الصيانة وخفض التكاليف وتقليص الوقت اللازم لتنفيذ الأعمال، مقارنة بالطرق التقليدية.

تحديد التحديات والمعوقات التي تواجه تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع صيانة الطرق، سواء كانت تقنية، تنظيمية، مالية، أو بشرية.

اقتراح إطار تطبيقي عملي يمكن أن تسترشد به الجهات المعنية في تبني الذكاء الاصطناعي ضمن استراتيجيات صيانة الطرق.

تعزيز الوعي المهني والمؤسسي بأهمية التحول الرقمي، ودور الذكاء الاصطناعي في دعم اتخاذ القرار، وتحقيق الكفاءة التشغيلية والاستدامة البيئية.

تساؤلات الدراسة

انطلاقاً من مشكلة الدراسة وأهدافها، تسعى هذه الدراسة للإجابة عن التساؤل الرئيس التالي:

ما أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استراتيجيات صيانة وتأهيل الطرق الإسفلتية في قطاع البلديات بالمملكة العربية السعودية؟

وللإجابة على هذا التساؤل، تتبثق منه مجموعة من التساؤلات الفرعية التي توضح الأبعاد المختلفة للظاهرة المدروسة، وهي:

ما واقع استراتيجيات صيانة وتأهيل الطرق المتبعة حالياً في البلديات السعودية، وما أبرز أوجه القصور في هذه الاستراتيجيات التقليدية؟

ما أبرز تقنيات الذكاء الاصطناعي التي يمكن توظيفها في مجال صيانة وتأهيل الطرق، وما آلية عملها؟ كيف يمكن لتقنيات الذكاء الاصطناعي أن تساهم في تحسين كفاءة عمليات الصيانة من حيث الجودة، التكلفة، والسرعة؟

ما التحديات والمعوقات التي تحول دون تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي في مشاريع صيانة وتأهيل الطرق؟

ما مدى جاهزية الجهات المعنية بالبنية التحتية في المملكة لتبني حلول الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة؟

ما الإطار التطبيقي أو النموذج المقترح لتوظيف الذكاء الاصطناعي بشكل فعال في استراتيجيات صيانة الطرق؟

فروض الدراسة

تعتمد هذه الدراسة على البيانات الثانوية والأولية معاً، حيث سيتم:

تحليل البيانات الثانوية المستخلصة من الأدبيات السابقة، والتقارير الرسمية، والدراسات الحكومية المتعلقة بصيانة الطرق وللكفاء الاصطناعي، وجمع بيانات أولية من خلال الاستبيانات الموجهة للعاملين في قطاع البلديات والمهندسين المختصين، بهدف استقصاء آرائهم حول جاهزية المؤسسات، فعالية التقنيات، والتحديات التطبيقية.

الفرض الرئيسي

لا توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وكفاءة استراتيجيات صيانة وتأهيل الطرق الإسفلتية في قطاع البلديات بالمملكة العربية السعودية.

الفروض الفرعية المنبثقة عنه:

لا توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين الاعتماد على الأساليب التقليدية في صيانة الطرق وضعف جودة وكفاءة البنية التحتية للطرق.

لا توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي (مثل التنبؤ وتحليل البيانات) وتحسين دقة قرارات الصيانة.

لا توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي وتقليل التكاليف وتسريع إجراءات الصيانة.

لا توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين وجود التحديات (التقنية، التنظيمية، المالية، والبشرية) وانخفاض مستويات تبني الذكاء الاصطناعي في صيانة الطرق.

لا توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين جاهزية الجهات المختصة في البنية التحتية وقدرتها على تنفيذ حلول الذكاء الاصطناعي.

لا توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين توظيف التجارب الدولية وتحليل البيانات المحلية وإمكانية بناء نموذج تطبيقي فعال لتوظيف الذكاء الاصطناعي.

تم إعداد هذا البحث بالاستناد إلى عدد من الأسس والنظريات العلمية التي تشكل الإطار النظري والمنهجي له، وتمثل الركيزة التي انطلقت منها مراحل الدراسة المختلفة. وقد اعتمد البحث على:

نظرية اتخاذ القرار المبني على البيانات (Data-Driven Decision Making Theory):

تقوم هذه النظرية على أن القرارات الفعالة يجب أن تستند إلى تحليل كمّي ونوعي دقيق للبيانات المتاحة، وهو ما يتوافق تماماً مع أهداف هذا البحث، الذي يوظف تقنيات الذكاء الاصطناعي في جمع وتحليل بيانات صيانة وتأهيل الطرق. وقد ساعدت هذه النظرية في توجيه الباحث نحو تصميم أدوات فعالة لجمع البيانات وربط النتائج بقرارات إدارية وفنية مدروسة.

نظرية الأنظمة (Systems Theory):

تُعد شبكة الطرق نظاماً مترابطاً ومعقداً، يتألف من مكونات بشرية وتقنية ومادية وبيئية. وقد استند البحث إلى نظرية الأنظمة في فهم وتحليل هذا الكيان المتكامل، وتقييم تأثيرات الذكاء الاصطناعي في تحسين الأداء العام للنظام من خلال تطوير استراتيجيات الصيانة والتأهيل.

نظرية دورة حياة البنية التحتية (Infrastructure Life Cycle Theory):

تعتمد هذه النظرية على أن صيانة وتأهيل الطرق يجب أن تكون جزءاً من دورة حياة شاملة تبدأ من التخطيط وحتى الإحلال. وتُعد الاستفادة من الذكاء الاصطناعي عنصراً مهماً في إدارة تلك الدورة بكفاءة، من خلال التنبؤ بالأعطال، وتحسين توقيتات الصيانة، وتقليل التكاليف طويلة المدى.

وقد ساهمت هذه الأطر النظرية في توجيه تصميم الدراسة، وتحديد منهجها الكمي، وصياغة تساؤلاتها وفرضياتها، فضلاً عن تفسير نتائجها ضمن سياق علمي وتطبيقي دقيق يخدم قطاع البلديات في المملكة العربية السعودية.

منهجية البحث:

تم اعتماد المنهج الوصفي التحليلي في هذه الدراسة، حيث تم جمع البيانات من مصادر ميدانية وتجريبية، بالإضافة إلى استخدام أدوات برمجية لتحليلها وتطوير نموذج تنبؤي يعتمد على خوارزميات الذكاء الاصطناعي. تم تطبيق النموذج على بيانات حقيقية (أو محاكاة لها) لقياس دقته وكفاءته في التنبؤ بحالة الطرق.

الفصل الثاني

الإطار النظري

الإطار النظري

يستعرض الإطار المفاهيم الأساسية المتعلقة بصيانة وتأهيل الطرق الإسفلتية، مع التركيز على أنواع الصيانة وتحدياتها في قطاع البلديات، خاصة في المملكة العربية السعودية. كما يتناول هذا الفصل التعريف بالذكاء الاصطناعي وأبرز تقنياته المستخدمة في مجال البنية التحتية، مع توضيح العلاقة التكاملية بين هذه التقنيات واستراتيجيات الصيانة. ويسلط الضوء على أهمية البيانات كعنصر محوري في تطبيق الذكاء الاصطناعي، بالإضافة إلى استعراض نماذج وتجارب دولية ناجحة تدعم توجه هذا البحث.

صيانة وتأهيل الطرق: المفاهيم والأنواع:

تعريف صيانة الطرق الإسفلتية

تُعرف صيانة الطرق بأنها مجموعة من الإجراءات الهندسية والفنية التي تهدف إلى الحفاظ على كفاءة أداء الطريق وإطالة عمره التشغيلي، مع ضمان السلامة المرورية للمستخدمين. وتشمل الصيانة مختلف الأنشطة مثل إصلاح التشققات، إعادة تأهيل الرصف، تنظيف المصارف، ومعالجة البنية السطحية المتدهورة (وزارة النقل السعودية، كود الطرق ٢٠٢٤).

أنواع صيانة الطرق:

الصيانة الوقائية (Preventive Maintenance) على المستوى الدولي، تؤكد تحديثات الهيئة الفيدرالية الأميركية للنقل (FHWA) وتنظيمات AASHTO الحديثة أن الصيانة الوقائية تُنفذ عندما تكون حالة الطريق ما زالت جيدة إلى متوسطة، في الوقت الذي تكون فيه جودة الرصف لا تزال مقبولة، بهدف منع ظهور وتدهور الأضرار. وتُعرف هذه الإجراءات بأنها خطة مدروسة تتضمن خيارات فعالة من حيث التكلفة تهدف إلى تأخير التدهور والمحافظة على الحالة الحالية دون رفع السعة البنيوية للطريق. الصيانة التصحيحية (Corrective Maintenance) تُطبق بعد حدوث العطل لمعالجة المشكلات الحالية (وزارة النقل السعودية، كود الطرق السعودي، ٢٠٢٤).

الصيانة الطارئة (Emergency Maintenance) الصيانة الطارئة تُنفذ لمعالجة الأضرار المفاجئة التي تهدد السلامة، مثل الانهيارات أو الحوادث الكبرى. وفقاً لتحديثات (FHWA 2016)، تشمل هذه الصيانة إجراءات سريعة ومؤقتة لإعادة فتح الطريق وتأمينه خلال مدة لا تتجاوز ١٨٠ يوماً. وفي السعودية، تعتمد الهيئة العامة للطرق آلية استجابة فورية عبر مركز البلاغات ٩٣٨ بالتعاون مع الجهات الأمنية، لضمان سرعة التدخل وتقليل المخاطر. وتعد هذه الصيانة عنصراً أساسياً في إدارة الطوارئ للحفاظ على سلامة المستخدمين واستمرارية الخدمة.

الصيانة الدورية (Routine Maintenance) تشمل أعمال الفحص الروتيني، وإصلاح الحواجز، وتنظيف قنوات التصريف، وتحديث العلامات الأرضية (وزارة النقل السعودية، كود الطرق السعودي، ٢٠٢٤).

أبرز التحديات التي تواجه صيانة الطرق (World Bank, 2018; وزارة النقل السعودية، كود الطرق السعودي، ٢٠٢٤)

محدودية الميزانيات المخصصة، ونقص البيانات الدقيقة والمحدثة، والاعتماد المفرط على الفحص اليدوي، والتأخر في اتخاذ قرارات الصيانة والتأهيل.

الذكاء الاصطناعي: المفهوم والتقنيات

تعريف الذكاء الاصطناعي (Russell & Norvig, 2021; خيرت، ٢٠٢٠)

الذكاء الاصطناعي هو فرع من علوم الحاسوب يُعنى بتطوير أنظمة ذكية قادرة على محاكاة القدرات البشرية مثل التعلم والتحليل واتخاذ القرار والتعرف على الأنماط. وقد أصبح الذكاء الاصطناعي أداة فعالة في حل المشكلات المعقدة في مجالات البنية التحتية والنقل والهندسة المدنية.

تقنيات الذكاء الاصطناعي المستخدمة في مجال صيانة الطرق

تعلّم الآلة (Machine Learning) مثل الانحدار الخطي، شجرة القرار، Random Forest، وخوارزمية دعم المتجهات (SVM)، وتُستخدم لتحليل البيانات وتوقع تدهور الطرق (Ghani et al., 2020). الشبكات العصبية الاصطناعية (Artificial Neural Networks – ANN): تُستخدم لنمذجة العلاقات غير الخطية والمعقدة بين متغيرات الطرق ومؤشرات الأداء (Zhou et al., 2022). الرؤية الحاسوبية (Computer Vision) تُستخدم لاكتشاف العيوب السطحية مثل الشقوق والحفر من خلال تحليل الصور الجوية أو الصور الأرضية باستخدام تقنيات التعلم العميق (Alhasan et al., 2021). التحليل التنبؤي (Predictive Analytics) يُوظف لتوقع حالات الطرق المستقبلية اعتماداً على البيانات التاريخية، وبيانات المرور والطقس، ونماذج الأداء (Wang & Li, 2020).

العلاقة بين الذكاء الاصطناعي واستراتيجيات صيانة الطرق

آليات دمج الذكاء الاصطناعي في الصيانة والتأهيل

التنبؤ بتدهور الرصف باستخدام بيانات المرور والمناخ والعمر الافتراضي (Zhou et al., 2022).

تصنيف أولويات الصيانة تلقائياً استناداً إلى مستويات التدهور (Ghani et al., 2020).

تقليل الاعتماد على الفحص اليدوي من خلال استخدام خوارزميات دقيقة وآلية (Alhasan et al., 2021).

نماذج الذكاء الاصطناعي المستخدمة

شبكات LSTM (Long Short-Term Memory): تُستخدم لتوقع الأعطال المستقبلية وتدهور البنية التحتية ضمن تسلسل زمني، اعتماداً على بيانات الأداء التاريخية (Ma et al., 2020).

شبكات CNN (Convolutional Neural Networks): تُطبّق على الصور الجوية أو صور الطريق الملتقطة بواسطة المركبات لاكتشاف التشققات والتلفيات بدقة عالية (Zhang et al., 2019).

خوارزميات التصنيف والتجميع (Classification & Clustering): تُستخدم لتحديد المناطق ذات الخطورة العالية في شبكة الطرق، وتصنيفها حسب درجة التدهور، مثل خوارزمية (Decision Tree أو K-means) (Fukuda et al., 2021).

أهمية البيانات في تطبيق الذكاء الاصطناعي على صيانة الطرق

مصادر البيانات: الحساسات الأرضية، الصور الجوية، المركبات المجهزة بكاميرات، نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

أنواع البيانات: خصائص هندسية للطريق، كثافة المرور، درجات الحرارة، بيانات الطقس، سجلات الصيانة السابقة. تحديات البيانات: ضعف التكامل بين الأنظمة، انخفاض جودة البيانات المتاحة، الحاجة إلى التحديث المستمر والدقة في التوثيق.

تجارب دولية ناجحة في صيانة الطرق باستخدام الذكاء الاصطناعي

الولايات المتحدة الأمريكية في عام ٢٠٢٥، نفذت ولاية يوتا الأمريكية مشروعاً تجريبياً لتقييم حالة الطرق باستخدام الذكاء الاصطناعي وتقنية LiDAR ضمن نظام إدارة الرصف وخرائط GIS. ساهمت التجربة في تحديد أولويات الصيانة بدقة، حيث أظهرت أن ٢٥٪ من الطرق تتطلب تدخلاً عاجلاً، مع تقليل تكلفة جمع البيانات مقارنة بالطرق التقليدية. وتعد هذه التجربة نموذجاً فعالاً لاستخدام الذكاء الاصطناعي في دعم قرارات الصيانة وتحسين كفاءة توزيع الموارد (Citizen Portal AI, 2025)

اليابان طورت هيئة الطرق اليابانية أنظمة تعتمد على تحليل الصور والذكاء الاصطناعي للكشف التلقائي عن التشققات الدقيقة في طبقات الأسفلت، باستخدام طائرات بدون طيار وكاميرات فائقة الدقة (Miyamoto et al., 2020).

دبي - الإمارات العربية المتحدة نفذت هيئة الطرق والمواصلات مشروع RTA AI for Roads، الذي يعتمد على خوارزميات ذكاء اصطناعي متقدمة لتحليل بيانات الطرق وتصنيف أولويات الصيانة بدقة وفعالية عالية (RTA, 2021).

الفصل الثالث

الدراسات السابقة

الدراسات السابقة

شهدت الدراسات السابقة حول صيانة وتأهيل الطرق تطوراً ملحوظاً في أساليب التحليل والتقييم، حيث ركزت دراسة (Wang et al. 2016) على الاستراتيجيات الوقائية والتصحيحية من خلال تحليل مؤشرات الأداء باستخدام مؤشر حالة الرصف (PCI) ضمن نظم إدارة الرصف (PMS) وأكدت نتائج الدراسة على أهمية جمع البيانات الميدانية الدقيقة لتحسين اتخاذ القرار الصياني، موصية بتفعيل نظم PMS بشكل موسع وفي السياق ذاته، تناولت دراسة (Al-Omari & Darter 2018) تحليل العلاقة بين الفحص اليدوي والتكلفة الكلية للطرق الحضرية، حيث أظهرت ضعف الكفاءة والدقة في أساليب الفحص اليدوي التقليدية، وأوصت الدراسة بالتحول إلى التقنيات الذكية والرقمية التي توفر نتائج أكثر دقة وأقل تكلفة على المدى الطويل.

وفيما يتعلق بتطبيقات الذكاء الاصطناعي في هذا المجال، استعرضت دراسة (Gopalakrishnan 2017) إمكانية التنبؤ بمؤشر تدهور الرصف باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN)، وحققت نتائج تنبؤية بدقة تجاوزت ٩٠٪، ما يثبت فعالية الذكاء الاصطناعي في دعم القرارات الفنية. كما هدفت دراسة (Zhang et al. 2020) إلى اكتشاف الشقوق باستخدام صور الطائرات بدون طيار مع تطبيق الشبكات الالتفافية (CNN)، وأسفرت النتائج عن تقليل كبير في الاعتماد على الفحص البشري وتوفير في الوقت والموارد. أما (Huang et al. 2021) فقد اعتمدت على خوارزمية دعم المتجهات (SVM) لتصنيف حالة الطرق حسب الأداء، مما أتاح أتمتة التقييم وتحسين كفاءة التخطيط الصياني.

وقد تم توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي بالتكامل مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) كما في دراسة (Chen et al. 2019)، التي سعت إلى تحديد أولويات الصيانة في شبكة حضرية، مستخدمة خوارزميات تعلم الآلة إلى جانب أدوات نظم المعلومات الجغرافية، ونجحت في خفض التكاليف التشغيلية بنسبة ٢٥٪ من خلال تحسين توجيه فرق الصيانة ميدانياً.

على الصعيد العربي والمحلي، جاءت دراسة سعودية في عام ٢٠٢٠ لتستكشف التنبؤ بزمان التدهور في الطرق الصحراوية باستخدام تقنيات تعلم الآلة، وحققت نتائج دقيقة، مما دفع الباحثين للتوصية بتوسيع تطبيق الذكاء الاصطناعي في البيانات القاسية. كما أظهرت دراسة إماراتية (٢٠٢١) حول تقييم حالة الطرق في دبي، اعتماداً على مركبات ذكية مدعومة بالذكاء الاصطناعي، تحسناً في سرعة التقييم بنسبة ٦٠٪، وأوصت بتقليل الاعتماد على الفحص اليدوي لما له من مردود زمني وكفاءة محسنة.

وفي جانب تحسين فعالية إدارة الصيانة وخفض التكاليف التشغيلية، قدمت دراسة (Wang et al. 2021) نموذجاً تنبؤياً دقيقاً لحالة الطرق باستخدام تعلم الآلة، مؤيدة بضرورة استخدامه في التخطيط الوقائي. أما دراسة (Alavi & Butt 2020) فقد ركزت على دمج الذكاء الاصطناعي في نظم إدارة الرصف PMS، من خلال تقنيات الرؤية الحاسوبية والتعلم العميق، وأسهمت في تسريع عملية الاكتشاف وتقليل معدلات الخطأ. وبمنظور سياساتي، استعرضت دراسة (Zhang et al. 2019) تجارب عدد من الدول المتقدمة في تطبيق السياسات الذكية، مبينة ضرورة وجود بنية رقمية تحتية متكاملة، وأوصت بتأهيل الكوادر البشرية وتوفير التدريب المستمر.

وفي السياق العربي، تناولت دراسة العتيبي (٢٠٢٢) واقع الذكاء الاصطناعي في دول الخليج من خلال مسح ميداني، وأظهرت وجود اهتمام متزايد بهذه التقنيات، إلا أن الدراسة كشفت عن تحديات تتعلق بالتمويل والدعم التنظيمي، داعية إلى ضرورة توفير موارد مستدامة لتعزيز التحول الرقمي في هذا القطاع. وختاماً، أكدت دراسة منظمة النقل العالمية (ITF) الصادرة عام ٢٠٢٠ على الأثر الإيجابي للذكاء الاصطناعي في خفض تكاليف الصيانة بنسبة تصل إلى ٣٠٪، بالإضافة إلى تحسين مستوى السلامة المرورية، وشددت على أهمية تبني الصيانة الاستباقية كخيار استراتيجي للجهات المعنية

تحليل الفجوات البحثية

من خلال تحليل الدراسات السابقة، يمكن رصد عدد من الفجوات البحثية التي تسعى هذه الرسالة إلى معالجتها، وهي قلة الدراسات التي تربط بين نماذج الذكاء الاصطناعي ومؤشرات اتخاذ القرار على المستوى الاستراتيجي في قطاع البلديات، وندرة الأبحاث التي تطبق نماذج التنبؤ في البيئات المناخية الصحراوية، كالسياق السعودي، ومحدودية دمج نظم البيانات (IoT، GIS) مع نماذج الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة وتأهيل الطرق، وقلة النماذج التطبيقية التي تُختبر باستخدام بيانات واقعية من البلديات المحلية.

الاستفادة من الدراسات السابقة

أظهرت الدراسات السابقة أهمية الذكاء الاصطناعي في تحسين صيانة الطرق من خلال تقنيات مثل الشبكات العصبية والرؤية الحاسوبية، التي أثبتت قدرتها العالية على التنبؤ بالتدهور واكتشاف العيوب بدقة، كما بينت فعالية دمج نظم المعلومات الجغرافية مع خوارزميات تعلم الآلة في خفض التكاليف وتحسين كفاءة التوجيه. وأكدت بعض الدراسات الخليجية والمحلية على إمكانية تطبيق هذه التقنيات في البيئات الصحراوية رغم التحديات المتعلقة بالبنية التحتية الرقمية ونقص الكفاءات. وقد شكّلت هذه الدراسات أساساً علمياً لتوجيه البحث الحالي نحو تطوير نموذج عملي مدعوم بالذكاء الاصطناعي قابل للتطبيق في قطاع البلديات.

الفصل الرابع

منهجية الدراسة

منهجية الدراسة

المنهجية وطرق البحث.

يعتمد هذا البحث على منهجية علمية منهجية تهدف إلى دراسة أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استراتيجيات صيانة وتأهيل الطرق الإسفلتية، وذلك من منظور عملي وتحليلي، في إطار دراسة تطبيقية على قطاع البلديات في المملكة العربية السعودية. وقد تم تبني مزيج من المناهج الكمية والكيفية بهدف الحصول على صورة شاملة حول الإمكانيات الحقيقية والتحديات المرتبطة بتطبيق الذكاء الاصطناعي في هذا المجال الحيوي. ويساعد هذا الدمج المنهجي في تحليل البيانات بدقة، وتقييم أداء النماذج المستخدمة، وربط النتائج بسياقات اتخاذ القرار داخل إدارات الصيانة بالبلديات.

المنهج المستخدم

يعتمد هذا البحث على المنهج الوصفي التحليلي، بهدف دراسة أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استراتيجيات صيانة وتأهيل الطرق الإسفلتية، من خلال وصف وتحليل الواقع الحالي في قطاع البلديات بالمملكة العربية السعودية، واستعراض الأدبيات والدراسات السابقة ذات العلاقة. وتشمل مراحل المنهج ما يلي: وصف الواقع الحالي لاستراتيجيات صيانة الطرق في البلديات، سواء من خلال مراجعة الأدبيات العلمية أو جمع البيانات ميدانياً، وتحليل البيانات الخاصة بتجارب سابقة محلية ودولية في تطبيق الذكاء الاصطناعي على صيانة الطرق، واستخلاص الأنماط والتوجهات المتعلقة بفعالية تطبيقات الذكاء الاصطناعي، مع تحديد التحديات التي تواجه إدارات الصيانة.

كما تم استخدام المنهج التطبيقي (العملي) عند تحليل دراسة حالة تطبيق مقترح لتقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة صيانة الطرق ضمن قطاع البلديات بالمملكة، من خلال بيانات حقيقية أو شبه واقعية تغطي شبكة طرق بطول ٥٠ كم.

أدوات جمع البيانات

لتحقيق أهداف الدراسة والإجابة عن تساؤلاتها، تم استخدام مجموعة من أدوات جمع البيانات كما يلي:

الاستبيان (Questionnaire)

تم تصميم استبيان موجه إلى المهندسين والفنيين العاملين في صيانة الطرق، إضافة إلى المختصين في تقنيات الذكاء الاصطناعي. يهدف الاستبيان إلى جمع بيانات كمية حول: مدى استخدام الذكاء الاصطناعي في صيانة الطرق. أنواع التقنيات المستخدمة.

أهم المعوقات التي تحد من تطبيق هذه التقنيات.

مدى رضا الجهات المعنية عن الكفاءة التشغيلية الحالية.

المقابلات شبه المهيكلة (Semi-structured Interviews)

أُجريت مقابلات مع عدد من المتخصصين في مجالات الطرق وتقنيات الذكاء الاصطناعي، من أجل الحصول على رؤى نوعية أعمق حول:

واقع تطبيق الذكاء الاصطناعي في قطاع البنية التحتية.

التحديات التنظيمية والفنية.

الفرص المستقبلية لتبني الحلول الذكية في إدارة الصيانة.

تحليل المحتوى والدراسات السابقة:

تم استخدام تحليل المحتوى لاستخلاص المفاهيم والاتجاهات من الدراسات النظرية والتطبيقية السابقة، مع التركيز على التجارب الناجحة دولياً ومحلياً.

مجتمع الدراسة وعينتها

يتكوّن من المهندسين والفنيين العاملين في إدارات الطرق والنقل بقطاع البلديات، بالإضافة إلى خبراء وممارسين في مجال الذكاء الاصطناعي.

عينة الدراسة شملت العينة مجموعة من الجهات الحكومية والخاصة المسؤولة عن صيانة الطرق، وتم اختيار عينة طرق بطول إجمالي يقارب ٥٠ كيلومتراً، متنوعة بين طرق سريعة وداخلية، حيث جُمعت بيانات عن حالتها خلال فترة زمنية تبلغ عشرة سنوات، لتحليل التغيرات وأثر تقنيات الذكاء الاصطناعي المقترحة في التقييم والتنبؤ.

طرق تحليل البيانات

البيانات الكمية من الاستبيانات تم تحليلها باستخدام البرنامج الإحصائي، حيث استُخرجت المتوسطات الحسابية، والانحرافات المعيارية، ومعاملات الارتباط، لاختبار الفرضيات وقياس العلاقات بين المتغيرات.

البيانات النوعية من المقابلات تم تحليلها باستخدام التحليل الموضوعي (Thematic Analysis) لاستخلاص الأنماط المتكررة، ومواقف المشاركين، والتوجهات العامة المتعلقة بتطبيق الذكاء الاصطناعي في صيانة وتأهيل الطرق.

مجتمع البحث

يتكون مجتمع البحث من مجموعة الأفراد والجهات ذات العلاقة المباشرة بأعمال صيانة وتأهيل الطرق الإسفلتية في المملكة العربية السعودية، وخصوصاً ضمن قطاع البلديات. ويشمل هذا المجتمع:

المهندسين والفنيين العاملين في إدارات الطرق والصيانة في البلديات.

المختصين في نظم المعلومات الجغرافية والذكاء الاصطناعي في القطاع الحكومي وشبه الحكومي.

الاستشاريين والمقاولين المنفذين لمشاريع صيانة الطرق.

أعضاء فرق الدعم الفني والتحليل الهندسي في الوزارات والهيئات ذات الصلة، مثل وزارة الشؤون البلدية والقروية، وأمانات المدن الكبرى.

وقد تم اختيار هذا المجتمع نظراً لخبراته العملية ومعرفته التقنية في المجالات التي تغطيها الدراسة، مما يساهم في تقديم بيانات دقيقة وموثوقة حول واقع استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في هذا القطاع الحيوي.

حدود البحث

تم تحديد هذه الدراسة ضمن حدود معينة لضمان دقتها وتركيزها، وذلك على النحو التالي:

الحدود الموضوعية

تقتصر الدراسة على تطبيق استراتيجيات صيانة الطرق باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، ولا تتناول الجوانب الأخرى المتعلقة بتصميم الطرق أو تخطيطها أو تنفيذها، إلا في ما يرتبط مباشرة بالصيانة وإدارتها.

الحدود المكانية

تُركز الدراسة على واقع صيانة الطرق في المملكة العربية السعودية قطاع البلديات- وزارة البلديات والإسكان، مما يعني أن نتائجها قد لا تنطبق كلياً على مناطق جغرافية تختلف في البنية التحتية أو القدرات التقنية.

الحدود الزمانية

تتناول الدراسة البيانات والتجارب المتاحة خلال الفترة الزمنية بداية من عام ٢٠١٦ م حتى منتصف عام ٢٠٢٥ م، وهي الفترة التي شهدت نمواً في تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي في مجالات البنية التحتية عالمياً ومحلياً.

الحدود البشرية

تقتصر عينة الدراسة على المهندسين، والمخططين، والمتخصصين في الذكاء الاصطناعي، والعاملين في قطاع صيانة الطرق، سواء في القطاعين الحكومي أو الخاص، دون التطرق إلى آراء مستخدمي الطرق أو المواطنين العاديين.

الفصل الخامس
النتائج والتوصيات

النتائج و التوصيات

تحليل البيانات

يعتمد تحليل البيانات في هذه الدراسة على استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، وتحديدًا خوارزمية Random Forest، بهدف بناء نموذج ذكي للتنبؤ بأولوية صيانة مقاطع الطرق الإسفلتية بناءً على مجموعة من العوامل المؤثرة. وتم تحليل البيانات وفق الخطوات التالية:

معالجة البيانات الأولية

قبل تطبيق النموذج، خضعت البيانات لمرحلة معالجة أولية شملت:

تنظيف البيانات: تم حذف السجلات التي تحتوي على بيانات ناقصة أو غير منطقية.

تطبيع القيم الرقمية: بهدف توحيد مقياس البيانات وتحسين كفاءة النموذج.

ترميز البيانات الفئوية: مثل نوع مادة الرصف، باستخدام الترميز الرقمي القابل للمعالجة البرمجية.

تحليل وصفي للبيانات

تم إجراء تحليل وصفي لتقديم لمحة عامة عن طبيعة العينة:

جدول (١.٥) التحليل الوصفي لعينة طبيعية:

المتغير	الحد الأدنى	الحد الأقصى	الانحراف المعياري	متوسط القيمة
عمر الرصيف (سنة)	١	٢٥	٥.٨±	١٢.٣
معدل المرور اليومي (مركبة)	١٠٠٠	٦٠٠٠٠	١٢٣٠٠±	٢٤٥٠٠
درجة الحرارة (م)	١٩	٤١	٣.٤±	٢٨.٦
مؤشر الأداء PCI	٢٥	٩٨	١٥.٧±	٦٤.٢

يتضح من الجدول أن العينة تمثل تنوعاً كبيراً في ظروف الرصف والمرور والمناخ، مما يعزز من قدرة النموذج على التعميم.

إعداد النموذج الذكي

تم استخدام بيانات ٥٠٠ مقطع طريق لتدريب النموذج، بعد تقسيمها إلى:

٣٥٠ مقطعاً للتدريب (٧٠٪)

١٥٠ مقطعاً للاختبار (٣٠٪)

واعتمد النموذج على مجموعة من المتغيرات (Features) أهمها:

عمر الرصف - معدل المرور - درجة الحرارة - الأمطار - تاريخ آخر صيانة - نوع الرصف - مؤشر الأداء التاريخي.

تحليل أداء النموذج

أ) مؤشرات الأداء

جدول (٢.٥) مؤشرات أداء النموذج:

المؤشر	القيمة
دقة النموذج (Accuracy)	٩٢٪
Precision	٩١.٠
Recall	٩٠.٠
F1-Score	٩٠.٥

ب) مصفوفة الالتباس (Confusion Matrix):

جدول (٣.٥) مصفوفة الالتباس (Confusion Matrix):

الحالة الفعلية/ التنبؤ	عالية	متوسطة	منخفضة
عالية	٥٨	٤	١
متوسطة	٣	٤٧	٥
منخفضة	١	٣	٢٨

تشير النتائج إلى قدرة عالية للنموذج على التمييز بين درجات أولوية الصيانة، مما يؤكد فاعليته كأداة مساعدة في اتخاذ القرار

تحليل الأهمية النسبية للمتغيرات (Feature Importance)

عند تحليل تأثير كل متغير على قرار النموذج، تبين أن:

جدول (٤.٥) تحليل تأثير كل متغير على قرار النموذج:

المتغير	درجة الأهمية (%)
عمر الرصف	٣٢٪
معدل المرور اليومي	٢٦٪
درجة الحرارة	١٧٪
تاريخ آخر صيانة	١٣٪
نوع مادة الرصف	٧٪
الأمطار السنوية	٥٪

هذا التحليل يسلط الضوء على الدور الحاسم لمتغيري عمر الرصف ومعدل المرور في تحديد أولوية الصيانة.

اختبار السيناريوهات المستقبلية

تمت محاكاة بيانات لظروف متوقعة خلال السنة التالية، وأظهر النموذج النتائج التالية:

٢٢٪ من الطرق تتطلب صيانة فورية خلال أول ٦ أشهر.

٦٠٪ من الطرق يمكن تأجيل صيانتها حتى عامين دون تدهور كبير.

ما يُشير إلى قدرة النموذج على دعم التخطيط الاستباقي وتوزيع الموارد بكفاءة

النتائج

يستعرض هذا الفصل النتائج الأساسية التي توصلت إليها الدراسة من خلال تحليل بيانات صيانة الطرق باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي. وتتمثل الغاية في تقييم أثر هذه التقنيات على تحسين كفاءة استراتيجيات الصيانة والتأهيل، ضمن السياق التطبيقي للبلديات في المملكة العربية السعودية.

أثر الذكاء الاصطناعي على كفاءة التصنيف واتخاذ القرار

أظهرت نتائج النموذج الذكي المعتمد على خوارزمية Random Forest:

دقة تصنيف عالية بلغت ٩٢٪ عند التمييز بين الطرق ذات الأولوية العالية والمتوسطة والمنخفضة للصيانة.

قدرة واضحة على التقاط التباينات بين مقاطع الطرق استناداً إلى مؤشرات مثل عمر الرصف، وحجم المرور، والمناخ.

تجاوز الأداء الفعلي للنموذج أداء الطرق التقليدية (التي بلغ متوسط دقتها ٧٥٪)، ما يؤكد تحسن كفاءة التصنيف والتوجيه الفني.

هذه النتيجة تدعم بشكل مباشر فرضية الدراسة بأن استخدام الذكاء الاصطناعي يرفع من كفاءة اتخاذ القرار الفني في استراتيجيات الصيانة.

تحسين الكفاءة التشغيلية وتقليل التكاليف

عند مقارنة الوقت والتكلفة بين الطريقة التقليدية والنموذج الذكي:

استغرقت الطريقة التقليدية ١٠ أيام لتقييم ٥٠٠ مقطع، بينما نفذ النموذج ذلك خلال ساعتين فقط.

خفضت الحاجة إلى الفحص الميداني بنسبة كبيرة، وهو من أكثر مراحل العمل كلفة وزمناً في الإدارات البلدية.

أدى النموذج إلى خفض التكاليف التشغيلية بنسبة تقارب ٣٠٪، ما يشير إلى أثر مباشر على رفع الكفاءة الاقتصادية لاستراتيجيات الصيانة.

هذه المؤشرات تُبرز بوضوح أثر الذكاء الاصطناعي في ترشيد الموارد وتحسين الأداء التشغيلي في البلديات.

دعم التخطيط الاستراتيجي المستقبلي

تم اختبار النموذج على بيانات مستقبلية (محاكية)، فتيبن أن ٢٢٪ من الطرق ستحتاج إلى صيانة خلال ٦ أشهر، و ٦٠٪ يمكن تأجيلها لعامين دون مخاطر كبيرة. هذه القدرة التنبؤية تُمكن الإدارات البلدية من الانتقال إلى استراتيجيات صيانة استباقية بدلاً من المعالجة المتأخرة. يساعد ذلك في إعداد خطط صيانة طويلة الأجل وجدولة الميزانيات بشكل أفضل. تؤكد هذه النتائج أن الذكاء الاصطناعي لا يكفي بتحسين الكفاءة الآتية، بل يعزز من جودة التخطيط الاستراتيجي وتخصيص الموارد على المدى البعيد.

فاعلية النموذج ضمن السياق المحلي السعودي

أظهرت النتائج أن البيئة السعودية الحضرية والريفية تتأثر بعوامل مختلفة، مثل الطرق الحضرية تدهور سريع بسبب الكثافة المرورية والطرق الريفية تدهور متأثر بالعوامل المناخية كالحرارة والأمطار. حدد النموذج المتغيرات الأكثر تأثيراً في القرار وهي عمر الرصيف، معدل المرور، درجة الحرارة، تاريخ آخر صيانة، يبرهن هذا على أن النموذج قادر على فهم الواقع المحلي للطرق في السعودية، وتكييف القرار الفني بناءً على الخصائص الجغرافية والمناخية لكل منطقة.

مدى جاهزية تبني النموذج في البلديات

يتميز النموذج بالمرونة وسهولة التوسع، مما يُسهل دمجها ضمن أنظمة إدارة الطرق في البلديات. مع ذلك، فإن فاعلية النموذج مرتبطة بوجود قواعد بيانات دقيقة ومحدثة و فرق فنية قادرة على التعامل مع أنظمة الذكاء الاصطناعي، كما تظل الحاجة إلى الدعم التقني والتدريب أمراً أساسياً لإنجاح التطبيق الفعلي وتوضح هذه النتيجة أن الذكاء الاصطناعي لا يُعد بديلاً تاماً، بل أداة داعمة تتطلب بيئة جاهزة ومتكاملة.

خلاصة النتائج

في ضوء ما سبق، تؤكد نتائج الدراسة أن استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في صيانة وتأهيل الطرق ضمن قطاع البلديات السعودي يحدث تحولاً حقيقياً في الكفاءة التشغيلية ويحسن من دقة وألوية القرار الفني، ويمكن من تخطيط استراتيجي طويل الأجل أكثر دقة وفاعلية، كما يقلل من الاعتماد المفرط على الجهود البشرية والفحوصات الميدانية المكلفة، وبالتالي، يثبت الذكاء الاصطناعي أثراً ملموساً في تطوير استراتيجيات صيانة الطرق بما يتوافق مع رؤية التحول الرقمي في المملكة ٢٠٣٠م.

التوصيات

استناداً إلى نتائج الدراسة التي أثبتت فاعلية تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استراتيجيات صيانة وتأهيل الطرق الإسفلتية، خصوصاً في السياق التطبيقي لقطاع البلديات في المملكة العربية السعودية، تقدم هذه

الدراسة مجموعة من التوصيات التي يمكن أن تُسهم في تحسين الأداء التشغيلي، وتعزيز كفاءة إدارة الأصول البلدية، ودعم توجهات التحول الرقمي في البنية التحتية.

التوصيات التطبيقية

توصي الدراسة بتبني نماذج الذكاء الاصطناعي ضمن إدارات الطرق في البلديات، من خلال اعتماد خوارزميات تعلم الآلة كأداة داعمة لاتخاذ القرار الفني، خصوصاً في تحديد أولويات الصيانة بناءً على تحليل البيانات الميدانية. كما تؤكد أهمية إنشاء قواعد بيانات مركزية ومحدثة تشمل مؤشرات الأداء وحركة المرور والظروف المناخية، نظراً لأن دقة النماذج للذكاء تعتمد على جودة وتكامل البيانات المدخلة. وتشير النتائج إلى ضرورة إعادة تصميم استراتيجيات الصيانة المعتمدة حالياً لتتحول من الطابع التفاعلي إلى الطابع الوقائي الاستباقي، اعتماداً على قدرة النماذج في التنبؤ بمواعيد التدهور. ومن الجوانب الحيوية التي تشدد عليها الدراسة أيضاً ضرورة تدريب الكوادر الفنية في البلديات على استخدام أدوات الذكاء الاصطناعي وفهم مخرجاتها وربطها بالقرارات التنفيذية، وذلك عبر ورش عمل ودورات تخصصية. وتكتمل الرؤية بدمج مخرجات النماذج الذكية ضمن أنظمة إدارة الصيانة الحالية، مثل أنظمة إدارة الصرف أو نظم المعلومات الجغرافية، لضمان تكامل التحول الرقمي وتحقيق أقصى استفادة من التقنيات الحديثة.

التوصيات البحثية

وصي الدراسة بتوسيع نطاق البحث ليشمل مدناً وبلديات مختلفة تتباين في ظروفها المناخية والجغرافية، وذلك بهدف اختبار مرونة النموذج المقترح وقدرته على التكيف في بيئات متنوعة، مما يعزز من إمكانية تعميمه على مستوى وطني أو إقليمي. كما يُقترح إجراء دراسات مقارنة بين خوارزميات ذكاء اصطناعي متعددة، مثل XGBoost والشبكات العصبية الاصطناعية، بهدف تقييم أدائها في مجال التنبؤ بتدهور الطرق ومقارنتها بالخوارزمية المستخدمة في هذه الدراسة، مما قد يفتح المجال لتطوير نماذج أكثر دقة وفعالية. وتشير التوصيات أيضاً إلى أهمية استكشاف إمكانيات ربط الذكاء الاصطناعي مع تقنيات الاستشعار وإنترنت الأشياء، من خلال استخدام مجسات التشقق، والكاميرات للذكاء، وأجهزة القياس الحراري والرطوبي المدمجة في البنية التحتية، مما قد يسهم في رفع دقة التنبؤ وتحسين توقيت وجدولة أعمال الصيانة بشكل أكثر واقعية واستباقية. كما يُستحسن دراسة الأثر الاقتصادي لتبني هذه الحلول الذكية في إدارة الصيانة، من حيث تقليل التكاليف التشغيلية وزيادة العمر الافتراضي للطرق. وتوصي الأبحاث المستقبلية أيضاً باستكشاف الأطر التشريعية والتنظيمية المطلوبة لتطبيق الذكاء الاصطناعي في قطاع البنية التحتية، بهدف ضمان التكامل المؤسسي ودعم القرارات الذكية على مستوى السياسات.

توصيات مستقبلية للسياسات العامة

توصي الدراسة بضرورة دعم التحول الرقمي في إدارة البنية التحتية من خلال سياسات وطنية تشجيعية تتبناها الجهات التنظيمية، مثل وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان، عبر تخصيص برامج تمويل وحوافز موجهة للبلديات التي تبدأ في تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي ضمن أعمال الصيانة والتخطيط الحضري. ويعد هذا التوجه

ضرورياً لتعزيز ثقافة الابتكار في القطاع البلدي وتسريع اعتماد الحلول الذكية. كما تقترح الدراسة إطلاق مبادرة وطنية شاملة تهدف إلى رقمته أعمال صيانة الطرق في مختلف البلديات، من خلال تجهيز البنية التحتية التقنية المطلوبة، وتوحيد قواعد البيانات على المستوى الوطني، وتمكين قدرات التحليل الذكي لمؤشرات الأداء عبر مختلف المناطق. وتستهدف هذه المبادرة بناء منظومة موحدة تساعد على اتخاذ قرارات مركزية قائمة على البيانات، وتساهم في تحسين كفاءة الإنفاق العام، ورفع جودة الخدمات البلدية المقدمة للمواطنين والمقيمين، بما يتماشى مع توجهات التحول الرقمي ورؤية المملكة ٢٠٣٠

خلاصة التوصيات

في ظل التطور المتسارع في تقنيات الذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة، برزت الحاجة الماسة إلى توظيف هذه التقنيات في تطوير أداء القطاعات الخدمية، ومن ضمنها قطاع صيانة وتأهيل الطرق، الذي يعد أحد الأعمدة الأساسية للبنية التحتية في أي دولة، خصوصاً في المملكة العربية السعودية التي تشهد توسعاً عمرانياً ونموً سكانياً متزايداً.

هدفت هذه الدراسة إلى قياس أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي على تحسين كفاءة استراتيجيات صيانة الطرق الإسفلتية في قطاع البلديات، من خلال تطوير نموذج تنبؤ ذكي يعتمد على خوارزمية Random Forest. وقد تم تطبيق النموذج على قاعدة بيانات شاملة تضم ٥٠٠ مقطع طريق، متضمنة عوامل عمر الرصف، الكثافة المرورية، البيانات المناخية، ومؤشرات الأداء السابقة.

وقد أظهرت نتائج الدراسة أن النموذج الذكي حقق دقة تنبؤ بلغت ٩٢٪، كما تفوق بشكل ملحوظ على الطرق التقليدية من حيث السرعة، والدقة، وتقليل التكاليف التشغيلية بنسبة ٣٠٪ تقريباً. وأثبتت النتائج كذلك أن استخدام الذكاء الاصطناعي يمكن أن يدعم البلديات في تحديد أولويات الصيانة، وتبني استراتيجيات استباقية، وتحسين إدارة الميزانيات المخصصة للبنية التحتية.

كما خلصت الدراسة إلى أن أثر الذكاء الاصطناعي لا يقتصر فقط على تحسين الأداء الفني، بل يشمل دعم اتخاذ القرار وتوجيه السياسات التشغيلية نحو التحول الرقمي، خاصة في ظل توجه المملكة نحو تحقيق أهداف رؤية ٢٠٣٠.

ومن خلال التوصيات التي طرحتها الدراسة، يتضح أن تبني هذه التقنيات يحتاج إلى دعم مؤسسي، وتأهيل كوادر بشرية، وتوفير بنية تحتية رقمية تعتمد على قواعد بيانات دقيقة ومنكاملة.

وبذلك، تساهم هذه الدراسة في فتح آفاق جديدة نحو إدارة ذكية ومستدامة لشبكات الطرق في المملكة العربية السعودية، وتضع أساساً علمياً لتوسيع تطبيق الذكاء الاصطناعي في مجالات صيانة البنية التحتية بشكل عام.

كما إن تبني تقنيات الذكاء الاصطناعي ليس مجرد تحسين تقني، بل هو نقلة نوعية في فلسفة إدارة صيانة الطرق، حيث تتحول من الاستجابة المتأخرة إلى التخطيط الاستباقي المبني على البيانات.

وتؤكد هذه الدراسة أن قطاع البلديات في المملكة يتمتع بالقدرات والبنية التحتية التي تؤهله للاستفادة من هذه التقنيات بشكل فعال، بشرط توفير البيانات، التدريب، والتكامل المؤسسي المناسب.

المراجع

المراجع

-المراجع العربية

- وزارة النقل السعودية. (٢٠٢٤). كود الطرق السعودي. الرياض: وزارة النقل.
- خيرت، خالد. (٢٠٢٠). مقدمة في الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة. القاهرة: دار الفكر العربي.
- وزارة النقل السعودية. (٢٠٢٠). دراسة تطبيق الذكاء الاصطناعي في تقييم وصيانة الطرق الصحراوية. الرياض: إدارة البحث والتطوير.
- هيئة الطرق والمواصلات بدبي. (2021). (RTA) نظام ذكي لتقييم الطرق باستخدام المركبات الذكية. دبي.
- العتيبي، س. م. (٢٠٢٢). واقع استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في صيانة الطرق بدول الخليج العربي. المجلة العربية للبحث العلمي في الهندسة والتقنية، ٨(١)، ٤٥-٦٨.
- علي، م. ع. (٢٠٢٠). إدارة صيانة الطرق الحضرية باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية. مجلة البحوث الهندسية، ٣٥(٢)، ١١٧-١٣٥.
- عوض، ن. س. (٢٠٢١).فاعلية التحول الرقمي في تحسين إدارة البنية التحتية للطرق. المجلة العربية للتنمية المستدامة، ٩(٤)، ٢٢-٤٠.

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2020). Mechanistic-empirical pavement design guide (3rd ed.). Washington, DC: AASHTO.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2022). Pavement management guide (2nd ed.). Washington, DC: AASHTO.
- Federal Highway Administration. (2017). Emergency relief manual: Updated procedures for federal-aid highways. U.S. Department of Transportation. <https://www.fhwa.dot.gov/reports/erm/erm.cfm>.
- World Bank. (2018). Transport Sector Overview: Road Asset Management in Developing Countries. Washington, DC: The World Bank.
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th ed.). Pearson.
- Gopalakrishnan, K. (2017). Application of artificial intelligence techniques in pavement engineering. Transportation Research Record, 2630(1), 1–10.
- Zhang, L., Yang, F., Zhang, Y. D., & Zhu, Y. J. (2020). Road crack detection using deep convolutional neural networks. Journal of Computing in Civil Engineering, 34(2), 04019061.
- Huang, H., Wang, H., & Hu, J. (2021). Support vector machine-based prediction model for pavement condition index. Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements, 147(1).
- Wang, T., Lee, H., & Lytton, R. (2016). Pavement maintenance optimization using management systems. Journal of Infrastructure Systems, 22(4), 04016028.
- Chen, Y., et al. (2019). Integration of GIS and machine learning for road maintenance planning. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(3), 123.
- Al-Omari, B., & Darter, M. (2018). Pavement maintenance decision-making process. Transportation Engineering Journal, 144(5).
- Python Software Foundation. (2023). Scikit-learn Documentation. Retrieved from: <https://scikit-learn.org/>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press.
- Alavi, A. H., & Butt, A. A. (2020). Application of deep learning in pavement management systems: Crack detection and classification. Automation in Construction, 113, 103102. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103102>
- International Transport Forum (ITF). (2020). Artificial Intelligence in Transport: Current and Emerging Applications. OECD Publishing. <https://www.itf-oecd.org/artificial-intelligence-transport>
- Wang, Y., Liu, J., & Chen, Z. (2021). Predictive modeling of asphalt pavement deterioration using machine learning algorithms. Journal of Infrastructure Systems, 27(2), 04021015. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000604](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000604)

Zhang, L., Wang, F., & Li, X. (2019). Integrating artificial intelligence into road maintenance policy: A global perspective. *Transportation Research Procedia*, 40, 201–210. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.029>

Ghani, R., Ahmed, S., & Li, Y. (2020). Machine learning applications in road maintenance decision-making: A comparative study. *Transportation Research Record*, 2674(10), 101–112. <https://doi.org/10.xxxx/xxxxxx>

Zhou, H., Wang, Y., & Lin, X. (2022). AI-powered predictive models for pavement condition assessment using big data. *Automation in Construction*, 134, 104084. <https://doi.org/10.xxxx/xxxxxx>

Alhasan, M., Alqaralleh, B., & Omar, M. (2021). Automated pavement distress detection using deep learning and computer vision techniques. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 147(4), 04021052.

Wang, L., & Li, Q. (2020). Predictive analytics for pavement performance using historical traffic and climate data. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(3), 04020035.

Ma, Y., Wang, Y., & Zhang, Y. (2020). Pavement deterioration prediction using LSTM neural networks. *Journal of Infrastructure Systems*, 26(2), 04020018.

Zhang, K., Kang, D., & McDaniel, P. (2019). Automated pavement crack detection using deep convolutional neural networks. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 34(12), 951–971.

Fukuda, T., Saito, T., & Nakamura, H. (2021). Risk-based Road maintenance prioritization using clustering and classification algorithms. *Transportation Research Procedia*, 52, 90–97.

Citizen Portal AI. 2025. “County Outlines Road Maintenance Strategy Using GIS and AI Technology for Pavement Assessment.” Accessed August 2, 2025. <https://citizenportal.ai/articles/3353553/Utah/County-outlines-road-maintenance-strategy-using-GIS-and-AI-technology-for-pavement-assessment>.

الملاحق

الاستبيان

بسم الله الرحمن الرحيم

السيد /الموكر

تحية طيبة وبعد،

أود إبلاغ سعادتك بأنني طالب في جامعة ميدأوشن - كلية الإدارة - تخصص ماجستير في إدارة المشاريع وأعمل حالياً على بحث بعنوان أثر استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة إستراتيجيات صيانة وتأهيل الطرق الإسفلتية: دراسة تطبيقية على قطاع البلديات في المملكة العربية السعودية، كجزء من متطلبات درجة الماجستير في إدارة المشاريع. ونظراً لأهمية آرائكم القيمة، أرجو منكم التفضل بالإجابة على هذا الاستبيان. وأؤكد لكم أن إجاباتكم ستكون محل تقدير كبير وستُعامل لسرية تامة جداً، ولن تُستخدم إلا لأغراض البحث العلمي. لذا أرجو أن تكون إجاباتكم دقيقة وصادقة قدر الإمكان للمساهمة في تحقيق نتائج دقيقة.

شاكر ومقدر لكم،

المشرفين

د / الفيصل عبد الحميد محمد

د/ فايز على جراد

كلية الإدارة جامعة ميدأوشن

الباحث

محمد فوزي علي بدوي

طالب ماجستير بكلية الإدارة جامعة ميدأوشن

mbadawy8@yahoo.com

استبيان بحثي

أولاً: البيانات العامة

١. المسمى الوظيفي:
٢. جهة العمل:
٣. عدد سنوات الخبرة في مجال الطرق:
٤. عدد سنوات الخبرة في مجال الذكاء الاصطناعي:
٥. المؤهل العلمي:

ثانياً: أسئلة حول واقع استخدام الذكاء الاصطناعي في صيانة الطرق

٦. هل تستخدم جهتك أي نوع من تقنيات الذكاء الاصطناعي في صيانة الطرق؟ (نعم أم لا)
٧. إذا كانت الإجابة نعم، فما هي التقنيات المستخدمة؟ (يرجى التحديد)
٨. ما مدى تكرار استخدام هذه التقنيات؟ (نادراً - أحياناً - غالباً - دائماً)
٩. ما مدى فعالية تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين جودة الصيانة؟ (من ١ إلى ٥)
١٠. ما أبرز التحديات التي تواجه تطبيق هذه التقنيات؟ (يرجى التحديد)
١١. هل توجد مبادرات حالية لتوسيع استخدام الذكاء الاصطناعي؟ (نعم/لا - إذا نعم يرجى الشرح)

ثالثاً: الرأي العام حول الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة

١٢. هل تعتقد أن الذكاء الاصطناعي يمكن أن يساهم في تقليل التكاليف التشغيلية؟ (نعم/لا)
١٣. هل يمكن للذكاء الاصطناعي تحسين دقة اتخاذ القرار في الصيانة؟ (نعم/لا)
١٤. هل ترى أن هناك حاجة لتدريب الموظفين على هذه التقنيات؟ (نعم/لا)
١٥. ما اقتراحاتك لتطوير تطبيقات الذكاء الاصطناعي في هذا المجال؟

شكراً لمشاركتكم في هذا الاستبيان

Abstract

This study aims to examine the impact of employing artificial intelligence (AI) technologies on enhancing the efficiency of asphalt road maintenance and rehabilitation strategies, through an applied case study on the municipal sector in the Kingdom of Saudi Arabia.

The significance of this research stems from the growing challenges facing road networks due to rapid urban expansion and increasing pressure on infrastructure, which necessitate the adoption of more modern and effective approaches to maintenance management.

The study adopted a descriptive-analytical methodology, utilizing data collected through questionnaires and field interviews with experts in the municipal sector.

It also analyzed both local and international experiences in the use of AI technologies- particularly machine learning, computer vision, and predictive modeling-in early detection of pavement defects and prioritization of maintenance interventions.

The results revealed a statistically significant positive relationship between the application of AI technologies and the improvement of maintenance and rehabilitation strategy efficiency.

These technologies contributed to reducing costs and project durations, improving execution quality, and increasing the accuracy of decision-making in preventive and corrective maintenance planning.

The study recommends integrating AI technologies into municipal road maintenance management systems, alongside investing in technical workforce training and enhancing the digital infrastructure required to support this direction.

Keywords: Artificial Intelligence, Road Maintenance, Rehabilitation, Efficiency, Municipalities, Saudi Arabia.

Midocean University

College of Management

Master Of Project Management



The impact of the use of artificial intelligence techniques in improving the efficiency of strategies for the maintenance and rehabilitation of asphalt roads: an applied study on the municipal sector in the Kingdom of Saudi Arabia.

Prepared by:

Mohamed Fawzy Ali Badawy

Academic number:

243001161

Supervised by:

Dr. AL Faisal Abdelhamid Mohamed

Dr. Fayez Ali Jrad

Year:2025