

جامعة ميدأوشن



كلية الإدارة

التخصص في إدارة المشاريع

عنوان البحث

تطبيق تقنيات إنترنت الأشياء في إدارة مشاريع الغابات لتعزيز الاستدامة البيئية نموذج متكامل للتخطيط والمراقبة والتحسين المستمر

إعداد الطالبة/ حصة عوض العجمي

الرقم الجامعي/251000874

المشرف

الدكتور فايز علي جراد

الدكتور الفيصل عبد الحميد محمد

السنة:

2025

تبقى حقوق الطباعة والنشر لصالح جامعة ميدأوشن

الشكر

الشكر لله أولاً على أن منّ علي بنعمة تحقيق الأحلام والطموحات، والشكر لوالدي ووالدتي اللذان كانا لي
السند والعون منذ بداية تعليمي النطق والحديث وصولاً إلى هذا الانجاز الذي أعيش نشوته اليوم.. وإلى
زوجي الحبيب الذي وقف بجاني وأزرنني وآمن معي بأحلامي

كما أشكر كل معلم ومعلمة كان لهم في مخزوني العلمي والأدبي أثر منذ نعومة أظفاري إلى هذه اللحظة.. و
...أبنائي الأعزاء دافعي ومحركي الرئيسي نحو تحقيق حلم الوصول

أشكر جامعة ميدأوشن من إدارة وعمادة وطاقم الأساتذة الذين جعلوا هذه التجربة مفيدة وممتعة.. و
لكل زميل وزميلة كانوا عوناً وسنداً طوال هذه المدة

وهذا ليس آخر المشوار... الطموح مستمر مع تحقيق هدف جديد بإذن الله ..

قائمة المحتويات:

3	قائمة المحتويات:
5	قائمة الجداول:
7	قائمة الاشكال:
8	المستخلص:
9	الفصل الأول:
10	المقدمة:
12	مشكلة الدراسة:
15	أهمية الدراسة:
19	اهداف الدراسة:
21	تساؤلات الدراسة:
22	فرضيات الدراسة:
24	النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث:
28	الفصل الثاني: الدراسات السابقة:
29	مقدمة:
30	متغيرات الدراسة:
33	الدراسات السابقة:
40	الإطار النظري:
44	الفصل الثالث منهجية الدراسة:
45	مقدمة:
47	المنهجية وطرق البحث:
49	مجتمع البحث:

51.....	حدود الدراسة:
54.....	خطوات جمع البيانات:
56.....	محددات حجم العينة:
59.....	الفصل الرابع: نتائج الدراسة:
60.....	مقدمة:
61.....	تحليل البيانات:
92.....	المراجع:

قائمة الجداول:

- جدول 1: الوصف الاحصائي للبيانات 65
- جدول 2 : الوصف الاحصائي لعمر المشاركين في التجربة. 66
- جدول 3 : الوصف الاحصائي لجنس المشاركين في التجربة. 67
- جدول 4 : الوصف الاحصائي للدرجة العلمية للمشاركين في التجربة. 68
- جدول 5 : الوصف الاحصائي لدى منشأتنا نية واضحة لتبني تقنيات إنترنت الأشياء في إدارة الغابات. 69
- جدول 6 : الوصف الاحصائي لتتوفر لدينا ميزانية مخصصة لتطبيق حلول إنترنت الأشياء في مشاريع الغابات. 70
- جدول 7 : الوصف الاحصائي لفريق العمل لدينا يمتلك المهارات الأساسية لتشغيل وصيانة أجهزة إنترنت الأشياء. 71
- جدول 8 : الوصف الاحصائي للإدارة العليا تدعم تبني تقنيات إنترنت الأشياء في مشروعات الغابات. 72
- جدول 9 : الوصف الاحصائي لدينا خبرة سابقة في مشاريع تكنولوجيا مشاهمة (حساسات/شبكات/منصات بيانات). 73
- جدول 10 : الوصف الاحصائي ليتم دمج بيانات أجهزة إنترنت الأشياء في مرحلة التخطيط للمشاريع. 74
- جدول 11 : الوصف الاحصائي لتستخدم خرائط ومعلومات زمنية (spatio-temporal) من أجهزة الاستشعار لتحديد أولويات العمل. 75
- جدول 12 : الوصف الاحصائي لخطط المشروع تتضمن مؤشرات أداء (KPIs) تعتمد على بيانات إنترنت الأشياء. 76
- جدول 13 : الوصف الاحصائي لتصميم المشروع يأخذ بعين الاعتبار تكامل أجهزة الاستشعار مع الأنظمة القائمة. 77
- جدول 14 : الوصف الاحصائي لهنالك آليات واضحة لإدارة بيانات إنترنت الأشياء منذ مرحلة تصميم الحل حتى التشغيل. 78
- جدول 15 : الوصف الاحصائي لتستخدم أجهزة استشعار IoT لرصد حالة الغطاء النباتي والتربة والرطوبة بشكل دوري. 79
- جدول 16 : الوصف الاحصائي لتوفر بيانات إنترنت الأشياء تنبيهات فورية عند حدوث مخاطر (حرائق، جفاف، آفات). 80
- جدول 17 : الوصف الاحصائي ليتم تحميل بيانات أجهزة الاستشعار إلى منصة مركزية للمراقبة والتحليل. 81
- جدول 18 : الوصف الاحصائي لتستخدم تقارير إنترنت الأشياء لاتخاذ قرارات تشغيلية فورية في إدارة الغابات. 82
- جدول 19 : الوصف الاحصائي لدقة حساسات إنترنت الأشياء كافية لاتخاذ قرارات إدارة موثوقة. 83
- جدول 20 : ملخص معالجة القضية. 84
- جدول 21 : إحصائيات الموثوقية. 84
- جدول 22 : اختبار كاي سكوير لدور تقنيات انترنت الأشياء في إعداد التخطيط الجيد لمشاريع الاستدامة البيئية. 87
- جدول 23 : اختبار كاي سكوير لدور تقنيات انترنت الأشياء في تطوير مؤشرات الأداء لمشاريع الاستدامة البيئية. 88
- جدول 24 : اختبار كاي سكوير لدور تقنيات انترنت الأشياء في الإدارة الجيدة للبيانات الخاصة بمشاريع الاستدامة البيئية. 89
- جدول 25 : تحليل التباين الأحادي لمتغيرات الدراسة. 90

جدول 26 : ملخص نموذج عامل بايز. 90

جدول 27 : تقديرات بايزية لتباين الخطأ. 90

قائمة الاشكال:

- رسم توضيحي 1: الاطار النظري للدراسة..... 40
- رسم توضيحي 2 : التمثيل البياني لعمر المشاركين في التجربة..... 66
- رسم توضيحي 3 : التمثيل البياني لجنس المشاركين في التجربة..... 67
- رسم توضيحي 4 : التمثيل البياني للدرجة العلمية للمشاركين في التجربة..... 68
- رسم توضيحي 5 : التمثيل البياني لدى منشآتنا نية واضحة لتبني تقنيات إنترنت الأشياء في إدارة الغابات..... 69
- رسم توضيحي 6 : التمثيل البياني لتتوفر لدينا ميزانية مخصصة لتطبيق حلول إنترنت الأشياء في مشاريع الغابات..... 70
- رسم توضيحي 7 : التمثيل البياني لفريق العمل لدينا يمتلك المهارات الأساسية لتشغيل وصيانة أجهزة إنترنت الأشياء..... 71
- رسم توضيحي 8: الإدارة العليا تدعم تبني تقنيات إنترنت الأشياء في مشروعات الغابات..... 72
- رسم توضيحي 9 : التمثيل البياني لدينا خبرة سابقة في مشاريع تكنولوجيا مشاهة (حاسبات/شبكات/منصات بيانات)..... 73
- رسم توضيحي 10 : التمثيل البياني ليتم دمج بيانات أجهزة إنترنت الأشياء في مرحلة التخطيط للمشاريع..... 74
- رسم توضيحي 11 : التمثيل البياني لتستخدم خرائط ومعلومات زمنية (spatio-temporal) من أجهزة الاستشعار لتحديد أولويات العمل..... 75
- رسم توضيحي 12 خطط المشروع تتضمن مؤشرات أداء (KPIs) تعتمد على بيانات إنترنت الأشياء..... 76
- رسم توضيحي 13تصميم المشروع يأخذ بعين الاعتبار تكامل أجهزة الاستشعار مع الأنظمة القائمة..... 77
- رسم توضيحي 14هناك آليات واضحة لإدارة بيانات إنترنت الأشياء منذ مرحلة تصميم الحل حتى التشغيل..... 78
- رسم توضيحي 15 : التمثيل البياني لتستخدم أجهزة استشعار IoT لرصد حالة الغطاء النباتي والتربة والرطوبة بشكل دوري..... 79
- رسم توضيحي 16 : التمثيل البياني لتوفر بيانات إنترنت الأشياء تنبيهات فورية عند حدوث مخاطر (حرائق، جفاف، آفات)..... 80
- رسم توضيحي 17 : التمثيل البياني ليتم تحميل بيانات أجهزة الاستشعار إلى منصة مركزية للمراقبة والتحليل..... 81
- رسم توضيحي 18 : التمثيل البياني لتستخدم تقارير إنترنت الأشياء لاتخاذ قرارات تشغيلية فورية في إدارة الغابات..... 82
- رسم توضيحي 19 : التمثيل البياني لدقة حساسات إنترنت الأشياء كافية لاتخاذ قرارات إدارة موثوقة..... 83
- رسم توضيحي 20: متغيرات الدراسة التابعة والمستقلة..... 86
- رسم توضيحي 21 : المقاييس المتماثلة في تحليل الجداول المتقاطعة لدور تقنيات انترنت الأشياء في إعداد التخطيط الجيد لمشاريع الاستدامة البيئية..... 87
- رسم توضيحي 22 : المقاييس المتماثلة في تحليل الجداول المتقاطعة لدور تقنيات انترنت الأشياء في تطوير مؤشرات الأداء لمشاريع الاستدامة البيئية..... 88
- رسم توضيحي 23 دور تقنيات انترنت الأشياء في الإدارة الجيدة للبيانات الخاصة بمشاريع الاستدامة البيئية..... 89

المستخلص:

يشهد العالم تطورًا متسارعًا في التقنيات الرقمية الهادفة إلى تحسين استدامة الموارد الطبيعية، وتُعد إدارة الغابات من أبرز المجالات التي يمكن أن تستفيد من دمج تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) بهدف تعزيز المراقبة البيئية الفعّالة واتخاذ القرار القائم على البيانات. تعتمد الإدارة التقليدية للغابات على أساليب رصد ميدانية متقطعة تؤدي غالبًا إلى تأخر الاستجابة للمخاطر البيئية مثل الحرائق والقطع غير المشروع وفقدان التنوع البيولوجي.

تستكشف هذه الدراسة دور تقنيات إنترنت الأشياء في تطوير نموذج متكامل يُحسّن التخطيط الاستراتيجي، والمراقبة الآنية، والتحسين المستمر في مشاريع الغابات بما يحقق الاستدامة البيئية طويلة المدى. يعتمد النموذج المقترح على شبكة من أجهزة الاستشعار والطائرات بدون طيار والأنظمة السحابية لتحليل البيانات البيئية وتوفير أدوات استجابة مبكرة وإدارة تكميلية مدعومة بحلقات تغذية راجعة مستمرة.

كما يستند البحث إلى مراجعة منهجية للدراسات الحديثة وتحليل فجوات التطبيق الحالية، بهدف تقديم إطار عملي وتوصيات سياسات داعمة لتبني التقنيات الذكية في قطاع الغابات. تُظهر النتائج النظرية أن دمج إنترنت الأشياء يُسهم في رفع كفاءة تخصيص الموارد، وتقليل المخاطر البيئية، وتعزيز الشفافية والمساءلة بين الأطراف المعنية. وتؤكد الدراسة أن التحول نحو إدارة غابات ذكية يُمثل خطوة محورية لضمان حماية النظم البيئية للغابات وتحقيق أهداف الاستدامة في مواجهة التحديات البيئية المتزايدة.

الكلمات المفتاحية:

إنترنت الأشياء، إدارة الغابات، الاستدامة البيئية، المراقبة الآنية، الغابات الذكية، اتخاذ القرار القائم على البيانات، التحسين المستمر، الحفاظ على البيئة، إدارة المخاطر، تحليلات الحوسبة السحابية

الفصل الأول:

المقدمة:

لقد أحدث التوسع السريع للتكنولوجيا الرقمية تغييرات جذرية في مختلف الصناعات، والمجال البيئي ليس استثناءً. ومن أبرز التطورات التقنية الواعدة في العقود الأخيرة إنترنت الأشياء (IoT)، الذي يشير إلى شبكة من العناصر المادية المترابطة والمزودة بأجهزة استشعار وبرامج واتصالات تتيح لها جمع البيانات ومشاركتها. وفي سياق إدارة مشاريع الغابات، يوفر إنترنت الأشياء إمكانيات لا مثيل لها لتعزيز الاستدامة البيئية من خلال التخطيط القائم على البيانات، والمراقبة الآنية، والتحسين التكيفي (Yasar، 2024).

اعتمدت إدارة الغابات تقليدياً على المسوحات الميدانية الدورية، وصور الأقمار الصناعية، وتقنيات جمع البيانات يدوياً. ورغم أهمية هذه التقنيات، إلا أنها عادةً ما تُقيد بالتأخيرات والأخطاء وارتفاع الأسعار والقيود اللوجستية. قد لا يدرك صانعو القرار القضايا الحاسمة - مثل تفشي الأمراض، والأنشطة غير القانونية، أو نقص المياه إلا بعد فترة طويلة من حدوثها، مما يُسفر عن أضرار بيئية لا يمكن إصلاحها. علاوة على ذلك، تعاني مبادرات الاستدامة طويلة الأجل من غياب حلقات التغذية الراجعة المستمرة المهمة للتعليم والتكيف والتطوير. ومع تزايد تعقيد موائل الغابات وتعرضها للضغوط الطبيعية والبشرية، تُصبح الحاجة إلى نظام إدارة أكثر مرونة واستجابة أمراً بالغ الأهمية. تُتيح تقنيات إنترنت الأشياء، بفضل قدرتها على المراقبة الآنية والاتصال السلس، طريقاً جذرياً نحو إدارة ذكية للغابات تتسم بالاستباقية بدلاً من رد الفعل (Alahi، 2023).

يشمل دمج إنترنت الأشياء في إدارة مشاريع الغابات نشر العديد من الأجهزة المتصلة بالشبكة، مثل أجهزة استشعار رطوبة التربة، وأجهزة مراقبة درجة الحرارة، وأجهزة تتبع نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، وأجهزة كشف حركة الحيوانات، ومحطات الأرصاد الجوية، والطائرات بدون طيار. تُنشئ هذه المستشعرات تدفقات متواصلة من البيانات التي يُمكن تقييمها لاكتشاف الأنماط والشذوذات والاتجاهات التي تُوجّه عملية اتخاذ القرار. على سبيل المثال، يُمكن لأجهزة الاستشعار المثبتة في مناطق مُختلفة من الغابة رصد مستويات درجة الحرارة والرطوبة، مما يُتيح الكشف المُبكر عن تهديدات الحرائق وتحفيز اتخاذ إجراءات وقائية. يُمكن تركيب أجهزة تتبع مُزوَّدة بنظام تحديد المواقع العالمي (GPS) على شاحنات قطع الأشجار لضمان الامتثال للحدود القانونية، بينما يُمكن للطائرات المُسيَّرة إجراء مسوحات جوية لتحديد عمليات إزالة الغابات غير المشروعة أو التحقق من صحة مظلات الأشجار. يُمكن تحميل البيانات المُجمعة إلى أنظمة سحابية حيث يتم تحليلها وعرضها

واستخدامها لإنتاج تحذيرات وتقارير ولوحات معلومات آنية تُتاح لمديري المشاريع والسياسيين ونشطاء الحفاظ على البيئة (Cui، 2019).

إن دمج إنترنت الأشياء في إدارة الغابات لا يُعزز الكفاءة التشغيلية فحسب، بل يُحدث تغييرًا جذريًا في نموذج كيفية تخطيط مشاريع الغابات ومراقبتها وتحسينها بمرور الوقت. على سبيل المثال، تستفيد إجراءات التخطيط من رؤية غنية بالبيانات حول ظروف التربة ومؤشرات التنوع البيولوجي واتجاهات المناخ، مما يُتيح تدخلات أكثر تركيزًا ونجاحًا. تصبح المراقبة مستمرة وديناميكية، بدلًا من أن تكون ثابتة ومتقطعة. فبدلًا من انتظار التقارير الفصلية أو المسوحات السنوية، يحصل المديرون على بيانات دقيقة قد تُوجّه لاتخاذ إجراءات عاجلة. تُعد هذه الخبرة بالغة الأهمية في إدارة المخاطر سريعة التغير، مثل قطع الأشجار غير المشروع أو حرائق الغابات، حيث قد تُحدث الاستجابة السريعة فرقًا بين السيطرة والكارثة. والأهم من ذلك، تُسهّم البيانات التي تُوفّرها أجهزة إنترنت الأشياء في حلقة تغذية راجعة تُعزز التطوير المستمر. فمن خلال دراسة البيانات التاريخية والحالية، يُمكن لمديري الغابات تحسين خططهم، وتوزيع الموارد بكفاءة أكبر، وبناء نماذج تنبؤية تتنبأ بالمخاطر والاحتمالات المستقبلية (Singh، 2021).

تُعرف الاستدامة البيئية بأنها القدرة على تلبية متطلبات الحاضر دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها، وهي جوهر إدارة مشاريع الغابات. وفي هذا السياق، لا تقتصر الاستدامة على الحفاظ على الأشجار فحسب، بل تشمل أيضًا الحفاظ على النظم البيئية بأكملها، ودعم السكان الأصليين، وحماية التنوع البيولوجي، والتخفيف من آثار تغير المناخ. ويمكن لتقنية إنترنت الأشياء أن تُعزز هذه الأهداف بشكل كبير من خلال توفير الأساس العملي اللازم للتوفيق بين القضايا البيئية والاجتماعية والاقتصادية. على سبيل المثال، قد يُسهّم الرصد الفوري لهجرات الحيوانات في بناء ممرات غابات تُعزز التنوع البيولوجي. ويمكن لأجهزة استشعار التربة أن تُعزز جهود إعادة التحريج من خلال تحديد مناطق الزراعة المناسبة ومتطلبات الري. كما يمكن لأجهزة استشعار الطقس وبيانات المناخ أن تُحسّن تقنيات الإدارة التكيفية التي تُهيّئ الغابات لمواجهة الظواهر الجوية القاسية المرتبطة بتغير المناخ (Mensah، 2019).

ومع ذلك، فإن إدخال إنترنت الأشياء في إدارة مشاريع الغابات لا يخلو من العقبات. إذ يجب التغلب على التحديات التقنية، مثل الاتصال في الأماكن البعيدة، وتزويد الأجهزة بالطاقة، وأمن البيانات، وتكامل الأنظمة. هناك مشاكل اجتماعية وسياسية

أخرى، تشمل الفجوة الرقمية بين المناطق، ومعارضة التغيير التكنولوجي بين مديري الغابات التقليديين، والمخاوف بشأن المراقبة والخصوصية. علاوة على ذلك، تتطلب الكميات الهائلة من البيانات التي تُنتجها أجهزة إنترنت الأشياء قدرات تحليلية قوية وكوادر مؤهلة لتحليلها والعمل على نتائجها. لذا، يتطلب النشر الفعال لإنترنت الأشياء في هذا المجال تعاونًا بين أصحاب المصلحة المتعددين، بما في ذلك الحكومات، وشركات القطاع الخاص، والمؤسسات الأكاديمية، والمجتمعات المحلية. يجب وضع سياسات ومعايير تُنظّم الاستخدام الأخلاقي للبيانات، وتضمن التوافق بين الأجهزة، وتشجع المشاركة الشاملة في أنشطة الحفاظ المعتمدة على التكنولوجيا (Katie، 2024).

للاستفادة من إمكانات إنترنت الأشياء في إدارة مشاريع الغابات، ثمة حاجة إلى نهج متكامل يربط أدوات التكنولوجيا بالتخطيط الاستراتيجي، والمراقبة التشغيلية، وإجراءات التحسين المستمر. سيوفر هذا النموذج إطارًا شاملاً لتطبيق إنترنت الأشياء في كل مرحلة من مراحل دورة حياة مشروع الغابات - بدءًا من التقييم قبل التنفيذ، وصولًا إلى التقييم بعده. سيوضح هذا النموذج أدوار وواجبات الجهات المعنية، ويفصّل أنواع الأجهزة والبيانات اللازمة، ويطوّر إجراءات لمشاركة البيانات وحمايتها، ويضع معايير لتقييم نتائج الاستدامة. ومن خلال اتباع نهج منهجي، يضمن النموذج عدم نشر إنترنت الأشياء بطريقة مجزأة أو عشوائية، بل كجزء من خطة متماسكة تهدف إلى رعاية بيئية طويلة الأجل (Ficili، 2025).

لذلك، تسعى هذه الدراسة إلى سد الفجوة بين التقنيات الجديدة والاستدامة البيئية من خلال تقديم منهجية متكاملة لتطبيق إنترنت الأشياء في إدارة مشاريع الغابات. وتهدف إلى دراسة الإمكانيات والصعوبات وأفضل الممارسات المتعلقة بهذا التكامل، باستخدام البيانات التجريبية ودراسات الحالة وآراء الخبراء. والهدف النهائي هو تزويد صانعي القرار بالأدوات والمعلومات التي يحتاجونها لإدارة الغابات بنجاح أكبر في ظل التغيرات البيئية المتسارعة. ومع مواجهة الأرض لقضايا بيئية متزايدة، فإن التقاء الابتكار الرقمي مع الإدارة البيئية لا يوفر إمكانات فحسب، بل متطلبًا أساسيًا.

مشكلة الدراسة:

تواجه النظم البيئية للغابات مخاطر متزايدة ناجمة عن إزالة الغابات، والقطع غير المشروع للأشجار، وحرائق الغابات، وتغير المناخ، إلا أن مناهج إدارة مشاريع الغابات التقليدية تتسم عمومًا بالبطء والتفاعلية ونقص البيانات. ويؤدي غياب البيانات

الآنية وأنظمة الرصد المتكاملة إلى إعاقه قدرة الجهات المعنية على اتخاذ خيارات مدروسة وفي الوقت المناسب. وبينما تُقدم تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) إمكانيات واعدة للرصد البيئي الديناميكي والتخطيط التكيفي، إلا أن دمجها في إدارة الغابات لا يزال محدودًا وغير منظم. وهناك حاجة ماسة لدراسة كيفية تطبيق إنترنت الأشياء بشكل منهجي لإنشاء إطار عمل متجاوب قائم على البيانات، يعزز الاستدامة البيئية من خلال تحسين التخطيط والرصد والتغذية الراجعة المستمرة.

1. ممارسات إدارة مشاريع الغابات المجزأة

تتمثل إحدى الصعوبات الرئيسية في إدارة مشاريع الغابات اليوم في غياب التكامل بين مراحل التخطيط والرصد والتحسين. وتُدار العديد من مشاريع الغابات باستخدام أساليب مجزأة، حيث يعتمد التخطيط على البيانات التاريخية أو التقييمات لمرة واحدة، وتكون عملية الرصد غير متسقة أو متأخرة، ويعتمد التحسين على التدابير التفاعلية بدلاً من البحث التنبؤي. يُقلل هذا النهج غير المترابط من كفاءة مشاريع الغابات واستدامتها. فبدون حلقة تغذية راجعة مستمرة أو مراقبة آنية، عادةً ما يتجاهل صانعو القرار المخاطر المتزايدة حتى يقع ضرر جسيم. ويتطلب الأمر نموذجًا منهجيًا يُدمج إنترنت الأشياء في جميع مراحل الإدارة لسد هذه الفجوة (Hussain، 2024).

2. محدودية المراقبة وجمع البيانات الآنية

من الصعوبات الرئيسية التي تواجه أنظمة إدارة الغابات الحالية عدم القدرة على جمع البيانات الآنية وتفسيرها. فتقنيات جمع البيانات التقليدية، مثل عمليات التفتيش الميدانية أو صور الأقمار الصناعية، غالبًا ما تكون مُستهلكة للوقت ومكلفة ومتأخرة. وقد يكون هذا التأخير الزمني مُضرًا، لا سيما في الاستجابة للمخاطر سريعة التطور مثل حرائق الغابات، وتفشي الحشرات، أو قطع الأشجار غير القانوني. ويُحد غياب تدفقات البيانات المستمرة والآنية من سرعة الاستجابة ويُصعب الحفاظ على الاستدامة البيئية. وتُوفر تقنيات إنترنت الأشياء حلاً من خلال توفير بيانات آنية وآلية ومتواصلة من بيئة الغابات، إلا أن استخدامها في إدارة مشاريع الغابات لا يزال محدودًا وغير مُستكشف (GUMA، 2025).

3. ضعف استخدام تقنيات إنترنت الأشياء في قطاع الغابات

على الرغم من انتشار تقنيات إنترنت الأشياء على نطاق واسع في مجالات مثل الزراعة والتصنيع والمدن الذكية، إلا أن استخدامهما في قطاع الغابات لا يزال متواضعًا. هناك فجوة كبيرة بين التقدم التقني وتطبيقه العملي في المبادرات البيئية. يفتقر العديد من المعنيين بقطاع الغابات إلى فهم كيفية استخدام أنظمة إنترنت الأشياء - مثل أجهزة الاستشعار والطائرات بدون طيار وأجهزة تتبع نظام تحديد المواقع العالمي - لمراقبة صحة الغابات، وتحديد المخاطر، وتعزيز التخطيط المستدام. علاوة على ذلك، في ظل غياب إطار عمل أو استراتيجية رسمية لتوجيه تبني ودمج إنترنت الأشياء في قطاع الغابات، تظل هذه التقنيات غير مستغلة بالشكل الكافي. تسعى هذه الدراسة إلى معالجة هذه الفجوة من خلال تقديم نموذج مُصمم خصيصًا لتلبية متطلبات قطاع الغابات (Dhal، 2023).

4. استجابة غير فعالة للمخاطر البيئية

تتميز موائل الغابات بديناميكيتها العالية وعرضتها للمخاطر الطبيعية والبشرية، بما في ذلك الحرائق والفيضانات وقطع الأشجار غير المشروع والأمراض. وعادةً ما تفشل أنظمة الاستجابة التقليدية بسبب تأخر الاستجابة بين ظهور الخطر واكتشافه. في كثير من الحالات، يحدث ضرر بيئي دائم قبل بدء الإجراءات. تكمن جوهر المشكلة في عدم القدرة على ملاحظة الصعوبات والتعامل معها آنياً. قد تُغيّر تقنية إنترنت الأشياء هذا السيناريو من خلال توفير إشعارات آنية ومراقبة آلية. ومع ذلك، لا يوجد حاليًا نظام واحد يُدمج إنترنت الأشياء بفعالية لضمان استجابة سريعة في مشاريع الغابات، مما يؤدي إلى ضياع فرص الحد من المخاطر.

5. ضعف حلقات التغذية الراجعة للتحسين المستمر

يُعد التحسين المستمر في إدارة الغابات أمرًا بالغ الأهمية لضمان الاستدامة البيئية على المدى الطويل، على الرغم من افتقار معظم الأنظمة الحالية إلى آليات متينة للتعلم والتكيف. فالبيانات المجمعة أثناء تنفيذ المشروع أو بعده غالبًا ما تكون غير مُستغلة أو معزولة عن جهود التخطيط المستقبلية. وهذا يؤدي إلى تكرار الأخطاء، وعدم فعالية تخصيص الموارد، وضياع فرص التقدم. قد يُوفر النظام المُمكن بإنترنت الأشياء تدفقًا مستمرًا من البيانات العملية، مما يُمكن المديرين من تعديل استراتيجيتهم والتعامل بفعالية أكبر. ومع ذلك، فإن عدم وجود نموذج كامل يجمع بين جمع البيانات وعمليات التعلم يُمثل فجوة بحثية كبيرة يسعى هذا العمل إلى سدّها من خلال منهجية تكامل مُهيكلّة (Carreno، 2024).

6. دعمٌ غير كافٍ لاتخاذ القرارات المتعلقة بأهداف الاستدامة

تتطلب الاستدامة في إدارة مشاريع الغابات عمليةً اتخاذ قراراتٍ مدروسةٍ قائمةً على البيانات، تُوازن بين الأهداف البيئية والاجتماعية والاقتصادية. ومع ذلك، عادةً ما تُعيق إجراءات اتخاذ القرارات الحالية نقص البيانات أو تقادمها، والتقارير اليدوية، ونقص التحليلات التنبؤية. ونتيجةً لذلك، لا تُعالج أهداف الاستدامة طويلة الأجل، مثل حماية التنوع البيولوجي، واحتجاز الكربون، والمشاركة المجتمعية، بفعالية. يمتلك إنترنت الأشياء القدرة على تغيير عملية اتخاذ القرارات من خلال توفير معلومات آنية، ونماذج تنبؤية، ولوحات معلومات مرئية. على الرغم من هذا الوعد، لا توجد سوى دراساتٍ محدودة حول كيفية تفعيل إنترنت الأشياء لدعم الخيارات التي تُركز على الاستدامة في مبادرات الغابات. تسعى هذه الدراسة إلى سد هذه الفجوة من خلال النمذجة التطبيقية (Ezquerro، 2019).

أهمية الدراسة:

يُعد هذا العمل بالغ الأهمية لأنه يُسهّل سد الفجوة بين الابتكار التكنولوجي والإدارة المستدامة للغابات. تُعدّ النظم البيئية للغابات بالغة الأهمية للتنوع البيولوجي وإدارة الكربون وخدمات النظم البيئية، إلا أنها تواجه مخاطر متزايدة ناجمة عن إزالة الغابات وتغير المناخ والأنشطة غير المستدامة. من خلال دمج تقنية إنترنت الأشياء (IoT) في إدارة مشاريع الغابات، تُقدّم هذه الدراسة استراتيجيةً معاصرةً قائمةً على البيانات لتحسين النتائج البيئية. كما تُسهم هذه الدراسة في تعزيز الفهم العلمي وأساليب التطبيق العملي. قد تُساعد نتائج الدراسة الأكاديميين ومديري الغابات والسياسيين على استخدام البيانات الآنية لاتخاذ خيارات مدروسة، والحفاظ على الغابات بفعالية أكبر، وضمان استدامة بيئية طويلة الأمد.

• الأهمية العملية:

1. توسيع نطاق المعرفة حول تطبيقات إنترنت الأشياء في العلوم البيئية

يُثري هذا العمل موضوع المعلوماتية البيئية الناشئ من خلال دراسة كيفية تطبيق تقنية إنترنت الأشياء بكفاءة في النظم البيئية للغابات. في حين أن إنترنت الأشياء يُستكشف على نطاق واسع في الإدارة الزراعية والحضرية، إلا أن وظيفته في تخطيط مشاريع

الغابات واستدامتها لا تزال قيد البحث. تُقدم هذه الدراسة رؤى جديدة حول كيفية مساهمة التكنولوجيا القائمة على المستشعرات في رصد العوامل البيئية، وتحديد المخاطر، وتقديم المشورة بشأن الإجراءات المستدامة. كما تُقدم نموذجًا يتضمن جمع البيانات وتحليلها وتقديم التغذية الراجعة، مما يُساهم في سد الفجوة في الدراسات الحالية، ويضع إطارًا للبحث العلمي المُستقبلي في مجال الأنظمة البيئية الذكية (Abdelmoneim، 2025).

2. دمج المناهج العلمية متعددة التخصصات

يرتكز البحث على إطار عمل متعدد التخصصات يجمع بين العلوم البيئية وتكنولوجيا المعلومات وإدارة المشاريع. ومن خلال ذلك، يُشجع على اتباع نهج متعدد القطاعات لتحقيق الاستدامة. يُسهّل هذا التكامل إنشاء نماذج هجينة تدمج المعرفة البيئية مع الهندسة وعلوم البيانات. وبالتالي، تُقدم الدراسة أساسًا علميًا لكيفية تعزيز التحول الرقمي لأهداف الاستدامة في إدارة الموارد الطبيعية. كما يُحفّز هذا البحث التعاون بين تخصصات كانت مختلفة سابقًا، ويُقدّم إطارًا شاملًا لتحليل ومحاكاة النظم البيئية، مما يُساعد في بناء نماذج علمية جديدة في مجال التنمية المستدامة (Nwulu، 2023).

3. المساهمة في أدبيات الاستدامة وتغير المناخ

يُعَدّ علم الاستدامة من أسرع المواضيع الأكاديمية نموًا، ويُضيف هذا العمل إليه مباشرةً من خلال توضيح كيفية تحسين التكنولوجيا لمرونة الغابات في مواجهة تغير المناخ. تُعدّ الغابات مصادر رئيسية للكربون، وإدارتها المستدامة أمرٌ حيوي لتحقيق أهداف المناخ العالمية. من خلال الاستفادة من إنترنت الأشياء لتحسين رصد الغابات وتقليل المخاطر البيئية، يُقدّم البحث مساهمة علمية في أساليب التخفيف من آثار تغير المناخ. كما يُثري البحث الأبحاث الحالية من خلال توفير قياسات كمية ومنهجية قابلة للتكرار، مما يُتيح للعلماء تحليل ومقارنة أداء الاستدامة عبر المشاريع والمناطق (Psistaki، 2024).

4. تحسين استخدام البيانات البيئية في الوقت الفعلي

يواجه البحث العلمي أحيانًا صعوبات في التعامل مع البيانات القديمة أو غير الكافية في الدراسات البيئية. يُشدّد هذا البحث على الاستفادة من تدفقات البيانات اللحظية التي يوفرها إنترنت الأشياء، مُقدمًا نموذجًا لكيفية إثراء البيانات البيئية المباشرة للدراسات العلمية والنمذجة التنبؤية. كما يُشجع على إجراءات بحثية أكثر دقة واستجابة، قادرة على التكيف مع الظروف

المتغيرة. يُتيح دمج تحليلات البيانات الضخمة، والحوسبة السحابية، والاستشعار عن بُعد داخل النموذج، إجراء دراسة بيئية شاملة ومستمرة، مما يُرسي معيارًا جديدًا لجمع البيانات البيئية واستخدامها في البحث العلمي.

5. توفير إطار عمل للبحوث التجريبية المستقبلية

يُقدم هذا العمل استراتيجية مُهيكلّة قائمة على النماذج، يُمكن للباحثين الآخرين اختبارها أو تحسينها أو البناء عليها في سيناريوهات بيئية مُتنوعة. من خلال تقديم نموذج كامل لإدارة الغابات مُدمج مع إنترنت الأشياء، يُوفر هذا العمل منصةً ممتازة لدراسات الحالة المستقبلية، وعمليات المحاكاة، أو البحوث الطولية. يُمكن للباحثين استخدام هذا النموذج لدراسة أداء تقنيات إنترنت الأشياء المُختلفة، ومؤشرات الاستدامة، وإجراءات صنع القرار. وهو يشجع الأبحاث القائمة على الفرضيات ويؤسس إطارًا لعلم النظم البيئية التطبيقية، مما يتيح إمكانية التكرار والتوسع عبر المناطق الجغرافية الحيوية المتنوعة وأنواع الغابات.

• الأهمية العملية:

1. تحسين كفاءة إدارة مشاريع الغابات

من أبرز المزايا العملية لهذا البحث قدرته على تعزيز كفاءة أنشطة إدارة الغابات. توفر أجهزة إنترنت الأشياء بيانات موثوقة وفورية، مما يقلل من التأخيرات المرتبطة بالمراقبة اليدوية وإعداد التقارير. ويمكن لمديري الغابات اكتشاف المخاطر، مثل اندلاع الحرائق، وقطع الأشجار غير المشروع، أو تفشي الحشرات، مبكرًا والاستجابة لها بسرعة. وهذا يُجنّب الأضرار، ويُوفّر النفقات، ويزيد من فرص نجاح المشروع. يوفر النموذج المتكامل الموصوف في الورقة البحثية تخصيصًا أفضل للموارد، وإدارة أكثر كفاءة للمخاطر، وعمليات تشغيلية مبسطة، مما يُحسّن نتائج إدارة الغابات على المستوى العملي (Venzani، 2023).

2. دعم اتخاذ القرارات المستنيرة لأصحاب المصلحة

عادةً ما يعاني اتخاذ القرارات العملية في مجال الغابات من نقص البيانات وتأخر المعلومات. يقدم هذا البحث حلاً من خلال توفير رؤية آنية حول صحة الغابات ومعاييرها التشغيلية عبر اتصال إنترنت الأشياء. يمكن لصانعي القرار على جميع المستويات - مديري المشاريع، والوكالات البيئية، والمنظمات غير الحكومية، وصانعي السياسات - الوصول إلى لوحات المعلومات والتنبيهات

والتحليلات التي تساعد على الاستجابة بشكل أسرع والتخطيط بشكل أدق. ومع زيادة المعرفة، يمكنهم وضع أهداف استدامة واقعية، وتقييم التقدم، وتوزيع الموارد بكفاءة أكبر. يُمكن هذا النموذج أصحاب المصلحة من استخدام أدوات قائمة على الأدلة، مما يعزز الانفتاح والمساءلة والثقة في عملية صنع القرار (Mishra، 2024).

3. تعزيز إدارة المخاطر البيئية

قد تتزايد المخاطر البيئية، بما في ذلك حرائق الغابات والفيضانات وإزالة الغابات، بسرعة إذا لم يتم رصدها مبكرًا. يقدم هذا البحث طرقًا عملية لتعزيز إدارة المخاطر من خلال استخدام أجهزة إنترنت الأشياء لمراقبة العوامل البيئية مثل درجة الحرارة ورطوبة التربة وجودة الهواء. عند الوصول إلى الحدود القصوى، يتم إصدار الإنذارات تلقائيًا، مما يُمكن من اتخاذ إجراءات سريعة. وهذا يُقلل بشكل كبير من حجم الكوارث وتكاليفها. ومن خلال دمج الاستجابة للمخاطر في نموذج الإدارة، يضمن البحث أن تكون مبادرات الغابات ليست استباقية فحسب، بل أيضًا قوية ومرنة ومستعدة للتهديدات الناشئة (Olawade، 2024).

4. خفض تكاليف التشغيل من خلال الأتمتة

قد تكون إدارة الغابات مكلفة وتتطلب عمالة كثيفة، لا سيما في المناطق الشاسعة أو المعزولة. تعتمد التقنيات التقليدية على عمليات التفتيش الدورية، مما يُكلف النقل والموظفين والوقت. يُؤتمت إدخال تقنية إنترنت الأشياء معظم عمليات جمع البيانات، مما يُقلل الحاجة إلى الجهد البشري ويُمكن عددًا أقل من الموظفين من الإشراف على مناطق أوسع. وهذا يؤدي إلى خفض كبير في التكاليف بمرور الوقت. علاوة على ذلك، تُوفر الأتمتة اتساقًا ودقةً في البيانات، مما يُعزز جودة التقارير وأداء المشاريع. يُسلط النموذج المُقدم في هذا البحث الضوء على كيفية إحداث الأتمتة عبر إنترنت الأشياء ثورةً في هيكل تكلفة عمليات الغابات (Bazargani، 2024).

5. تعزيز ممارسات التنمية المستدامة

تمتد القيمة العملية لهذا العمل إلى قدرته على تعزيز أهداف التنمية المستدامة، ولا سيما تلك المدرجة في أهداف الأمم المتحدة للتنمية المستدامة، مثل الهدف ١٣ (العمل المناخي) والهدف ١٥ (الحياة على الأرض). من خلال اقتراح إطار عمل للجمع بين

التكنولوجيا المتطورة والرعاية البيئية، يُشجع البحث على اتباع ممارسات مسؤولة بيئيًا في استخدام الغابات والحفاظ عليها. فهو يعزز الاستخدام الرشيد للموارد الطبيعية، ويتجنب الآثار البيئية، ويطور نموذجًا قابلاً للتكرار في القطاعات البيئية الأخرى. وفي نهاية المطاف، يُسهم في تمهيد الطريق نحو ممارسات حرجية أكثر استدامة وتقنية عالميًا.

اهداف الدراسة:

• الهدف الرئيسي:

تصميم نموذج متكامل قائم على إنترنت الأشياء (IoT) لتعزيز الاستدامة البيئية في إدارة مشاريع الغابات من خلال التخطيط المُحسّن، والمراقبة الآنية، والتحسين المستمر.

• الأهداف الفرعية:

1. اكتشاف وتقييم تقنيات إنترنت الأشياء المناسبة للبيئة الحرجية.

يهدف هذا البحث إلى إجراء تقييم وتحليل شاملين لتقنيات إنترنت الأشياء الحالية التي يمكن تطبيقها في النظم البيئية الحرجية. قد تشمل هذه التقنيات أجهزة استشعار للعوامل البيئية، وطائرات بدون طيار للتصوير الجوي، وأنظمة تتبع نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، وأجهزة مراقبة الطقس، ومنصات البيانات السحابية. من خلال تقييم التقنيات الأكثر ملاءمة ونجاحًا في قياس عوامل مثل درجة الحرارة والرطوبة ورتوبة التربة وعمليات قطع الأشجار غير القانونية، سيبنى البحث معرفة أساسية لاعتماد إنترنت الأشياء في بيئات الغابات. كما يتضمن الهدف دراسة الجدوى الفنية، والقدرة على تحمل التكاليف، وقابلية التوسع، والتوافق البيئي لهذه الأجهزة في بيئات غابات متنوعة.

2. دراسة كيفية تعزيز إنترنت الأشياء للتخطيط الاستراتيجي في إدارة مشاريع الغابات.

يهدف هذا البحث إلى دراسة كيفية دمج البيانات المُولدة من أجهزة إنترنت الأشياء في مراحل التخطيط المبكرة لمبادرات إدارة الغابات. يعتمد التخطيط التقليدي في كثير من الأحيان على بيانات ثابتة أو تقييمات ميدانية متقطعة، والتي قد لا تعكس تعقيد الديناميكيات البيئية. من خلال دمج بيانات إنترنت الأشياء، مثل الاتجاهات المناخية الآنية، والظروف الطبوغرافية،

والمؤشرات البيئية، يُمكن لمخططي المشاريع اتخاذ خيارات أكثر استنارة فيما يتعلق بتخصيص الموارد، والجداول الزمنية للمشاريع، وتقييمات الأثر البيئي. يركز هذا الهدف الفرعي على بناء إطار تخطيطي يتضمن بيانات آنية وتحليلات تنبؤية، مما يعزز الدقة واستشراف المستقبل في عمليات الغابات.

3. تصميم نموذج للرصد الآني باستخدام أنظمة إنترنت الأشياء

يهدف هذا الهدف إلى بناء نظام للرصد المستمر والآلي لظروف الغابات باستخدام تقنية إنترنت الأشياء. تُعد المراقبة أمرًا حيويًا للتعرف على التغيرات والمخاطر البيئية، مثل قطع الأشجار غير المشروع، واندلاع الحرائق، وغزو الحشرات، وفقدان التنوع البيولوجي. سيُقيم المشروع كيفية وضع أجهزة استشعار إنترنت الأشياء والطائرات بدون طيار، وربطها ببعضها البعض، وإدارتها لتوفير بيانات متسقة حول العوامل الحاسمة للغابات. كما سيتعامل مع بروتوكولات اتصال البيانات، وإدارة الطاقة، والتوافق بين الأجهزة. الهدف هو بناء نظام مراقبة قابل للتطوير والتكيف، يضمن تغطية واسعة، واستقرارًا تشغيليًا، ودقة عالية للبيانات في جميع أنحاء المناطق الحرجية.

4. دراسة كفاءة حلقات التغذية الراجعة القائمة على إنترنت الأشياء للتحسين المستمر

يركز هذا الهدف على كيفية تدفق البيانات المؤلدة من إنترنت الأشياء إلى دورة من المراجعة والتطوير المستمر لممارسات إدارة الغابات. غالبًا ما تفتقر التقنيات التقليدية إلى آليات التغذية الراجعة التي تدمج الحقائق الميدانية مع التخطيط المستقبلي. تُمكن حلول إنترنت الأشياء، من خلال توفير بيانات آنية وتاريخية، المديرين من التعلم من الإجراءات السابقة وتعديل العمليات الحالية بشكل مناسب. سيدرس هذا الهدف الفرعي كيفية دمج تحليلات البيانات، وأدوات إعداد التقارير، والرؤى القائمة على الذكاء الاصطناعي في عمليات صنع القرار، مما يضمن إدارة تكيفية. كما سيدرس مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) ومقاييس الاستدامة التي يمكن تتبعها وتحسينها بمرور الوقت باستخدام مدخلات إنترنت الأشياء.

5. تحليل آثار الاستدامة البيئية لمشاريع الغابات المُدمجة مع إنترنت الأشياء

يُحلل هذا الهدف تأثير نشر إنترنت الأشياء على العديد من مؤشرات الاستدامة، مثل عزل الكربون، والحفاظ على الغطاء الحرجي، والحفاظ على التنوع البيولوجي، والتحكم في دورة المياه. سيُقارن المشروع نهج إدارة الغابات القياسية مع التقنيات

المُعززة بإنترنت الأشياء لتحديد المكاسب في الأداء البيئي. ستُساعد البيانات المُستقاة من دراسات الحالة التجريبية أو عمليات المحاكاة في دعم الادعاء بأن دمج إنترنت الأشياء يُؤدي إلى ممارسات غابات أكثر استدامة. كما يهدف هذا الهدف إلى توفير آلية لرصد نتائج الاستدامة والإبلاغ عنها، مما يُتيح الشفافية والمساءلة في إدارة المشاريع. وسيُقدم دليلاً على الفائدة البيئية لحلول الغابات الذكية.

6. تقديم اقتراحات عملية للسياسيين وإدارة الغابات

يُحوّل الهدف نتائج الدراسة إلى نصائح عملية للأطراف المعنية بحوكمة الغابات. سيُنشئ مجموعة من التوصيات السياسية والإدارية التي تدعم نشر تقنية إنترنت الأشياء في مشاريع الغابات. ويشمل ذلك أفكارًا حول نفقات البنية التحتية، والأطر التنظيمية، وتوحيد التكنولوجيا، ومبادرات بناء القدرات، وقواعد خصوصية البيانات. كما سيُقيّم المشروع العقبات، مثل الفجوة الرقمية، والعقبات الاقتصادية، والوعي التكنولوجي لدى عمال الغابات. ويتمثل الهدف النهائي في توفير مسار للحكومات والمنظمات غير الحكومية وشركاء القطاع الخاص لتطوير حلول إنترنت الأشياء بكفاءة وأخلاقيات، دعمًا للاستدامة البيئية.

تساؤلات الدراسة:

• السؤال الرئيسي:

كيف يُمكن تطبيق تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) بكفاءة في إدارة مشاريع الغابات لتعزيز الاستدامة البيئية؟

• الأسئلة الفرعية:

1. ما هي تقنيات إنترنت الأشياء الأنسب لرصد العوامل البيئية في النظم البيئية للغابات؟
2. كيف يُمكن لبيانات إنترنت الأشياء أن تُساعد في إجراءات التخطيط في إدارة مشاريع الغابات؟
3. ما دور إنترنت الأشياء في إتاحة الرصد الفوري والكشف المبكر عن التهديدات البيئية؟
4. كيف يُمكن أن تُساعد المدخلات المستمرة من أنظمة إنترنت الأشياء في الإدارة التكيفية للغابات؟

5. ما هي نتائج الاستدامة المثبتة الناتجة عن استخدام إنترنت الأشياء في مشاريع الغابات؟

6. ما هي النصائح السياسية والتشغيلية التي يُمكن أن تُعزز التكامل الفعال لإنترنت الأشياء في إدارة الغابات؟

فرضيات الدراسة:

• الفرضية الرئيسية:

يُعزز دمج تقنية إنترنت الأشياء (IoT) في إدارة مشاريع الغابات نتائج الاستدامة البيئية بشكل كبير من خلال تعزيز التخطيط والمراقبة الآنية وعمليات التحسين المستمر.

• الفرضيات الفرعية:

1. تُعزز أنظمة التخطيط المُمكنة بتقنية إنترنت الأشياء دقة وكفاءة تنفيذ مشاريع الغابات

يُتيح دمج تقنية إنترنت الأشياء في مرحلة التخطيط لإدارة مشاريع الغابات جمع البيانات البيئية الآنية، مثل جودة التربة والرطوبة ودرجة الحرارة ومستويات التنوع البيولوجي. تُساعد هذه البيانات صانعي القرار على اتخاذ قرارات مدروسة حول أماكن وكيفية توزيع الموارد، وتحديد المناطق عالية الخطورة، وتحديد التقنيات المثالية للزراعة أو الحفظ. ونتيجةً لذلك، يُصبح تخطيط المشاريع أكثر تفصيلاً، ومرتبطةً بالسياق، ومُراعياً للظروف الميدانية الفعلية. تجادل هذه الفرضية الفرعية بأنه عند تطبيق مشاريع الغابات لأدوات التخطيط المعتمدة على إنترنت الأشياء، فإنها تُظهر توافقاً أكبر مع المتطلبات البيئية، وتقلل من أخطاء التنفيذ، وتزيد من كفاءة استخدام الموارد مقارنةً بالمشاريع التي تستخدم مناهج التخطيط التقليدية.

2. تُقلل حلول المراقبة القائمة على إنترنت الأشياء الوقت اللازم لتحديد المخاوف البيئية والتعامل معها

تُقلل المراقبة البيئية الآنية باستخدام تقنيات إنترنت الأشياء - مثل مصفوفات الاستشعار، ومصابيد الكاميرات، والطائرات بدون طيار، وأجهزة تتبع نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) - بشكل كبير من زمن الوصول بين وقوع المخاطر البيئية واكتشافها، مثل حرائق الغابات، والقطع غير القانوني للأشجار، أو تفشي الحشرات. تُمكن هذه الأنظمة من إرسال إشعارات سريعة واتخاذ إجراءات تلقائية، مثل تشغيل أنظمة إخماد الحرائق أو إبلاغ مسؤولي الشرطة. تفترض هذه الفرضية الفرعية أن المراقبة

المعتمدة على إنترنت الأشياء تُقلل بشكل كبير من أوقات الاستجابة، مما يُقلل من الضرر البيئي ويُعزز مرونة الغابات. بالمقارنة مع عمليات التفتيش البشرية الدورية، تُمكن أنظمة إنترنت الأشياء من المراقبة المستمرة، مما يُتيح استجابات شبه فورية تُقلل من التهديدات التي يتعرض لها كل من النظام البيئي والسكان المجاورين.

3. تُعزز المداخلات المستمرة من أنظمة إنترنت الأشياء الإدارة التكيفية للغابات والاستدامة طويلة الأمد

تتميز موائل الغابات بديناميكيها وتطورها المستمر، مما يتطلب تقنيات إدارة قابلة للتغيير استجابةً للتغيرات المستمرة. تُوفر تقنيات إنترنت الأشياء جمعًا وتحليلًا مستمرين للبيانات، مما يُوفر لمديري المشاريع مداخلاتٍ فعالة تُمكنهم من اتخاذ القرارات الفورية وإجراء التعديلات الاستراتيجية. تزعم هذه الفرضية الفرعية أن حلقة التغذية الراجعة هذه تُمكن مديري الغابات من تحديث أساليبهم بشكل دوري، وتصحيح أوجه القصور، ونشر حلولٍ تكيفية تتوافق مع أهداف الاستدامة. مع مرور الوقت، يؤدي هذا إلى نتائج مُحسّنة، مثل زيادة صحة الغطاء الحرجي، وزيادة التنوع البيولوجي، وتقليل التدهور. تُعد القدرة على قياس النتائج وتحليلها بانتظام أمرًا حيويًا للحفاظ على استدامة الغابات على المدى الطويل.

4. يُوفر تطبيق تقنية إنترنت الأشياء في مشاريع الغابات تكاليف التشغيل من خلال الأتمتة والكفاءة

غالبًا ما تتطلب إدارة مشاريع الغابات عمالةً بشريةً وموارد لوجستية كبيرة لعمليات مثل جمع البيانات، والدوريات، وإعداد التقارير. تُوّمت أجهزة إنترنت الأشياء العديد من هذه العمليات، مما يُقلل الحاجة إلى التواجد الميداني المستمر، ويُوفر إدارة مركزية لمناطق شاسعة. تزعم هذه الفرضية الفرعية أن الأتمتة المُدارة بإنترنت الأشياء تؤدي إلى خفض نفقات التشغيل، بما في ذلك تكاليف الموظفين والوقود والمعدات، مع تحسين وتيرة وجودة البيانات المُجمعة. بالإضافة إلى ذلك، تُقلل حلول إنترنت الأشياء من خطر الأخطاء البشرية، مما يُبسط العمليات بشكل كبير. بمرور الوقت، يُعوّض الاستثمار الأولي في البنية التحتية لإنترنت الأشياء عن طريق الوفورات التراكمية ومزايا الإنتاجية في عمليات الغابات.

5. يُعزز تركيب إنترنت الأشياء الانفتاح والمساءلة في عمليات إدارة الغابات

تُعد الشفافية جانبًا حيويًا في الحوكمة المستدامة للغابات. قد تُتيح أنظمة إنترنت الأشياء التي تُخزن البيانات على منصات سحابية أو لوحات معلومات عامة الوصول الفوري إلى البيانات البيئية والتشغيلية لجميع أصحاب المصلحة، بما في ذلك

مديري المشاريع والهيئات الحكومية والمنظمات غير الحكومية والجمهور. تزعم هذه الفرضية الفرعية أن إنترنت الأشياء يدعم المزيد من الانفتاح من خلال إنتاج سجلات قابلة للتتبع لأنشطة الغابات، واستخدام الموارد، والاستجابات للحوادث. مع توسيع نطاق الرؤية، تزداد المساءلة، حيث يمكن لأصحاب المصلحة تقييم أداء المشروع، والتحقق من الامتثال للقواعد، ومحاسبة صانعي القرار. وهذا يؤدي إلى تعزيز الثقة، وتحسين الحوكمة، وتعزيز مشاركة أصحاب المصلحة في أنشطة استدامة الغابات.

6. تُظهر مبادرات الغابات التي تستخدم إنترنت الأشياء أداءً أفضل في تدابير الاستدامة مقارنةً بالتقنيات التقليدية

تجادل هذه الفرضية الفرعية بأن المبادرات التي تعتمد تقنية إنترنت الأشياء تُظهر أداءً أفضل في تدابير الاستدامة الرئيسية، مثل امتصاص الكربون، ومعدلات بقاء الأشجار، والحفاظ على جودة التربة، والحفاظ على التنوع البيولوجي. من خلال الرصد البيئي الموثوق وتحليلات البيانات الآنية، يساعد إنترنت الأشياء المديرين على تحسين ظروف إعادة التحريج، وتجنب الأضرار البيئية، وتقليل الانبعاثات الناتجة عن الحرائق أو الأنشطة غير القانونية. مقارنةً بمشاريع الغابات التقليدية، تُعدّ المبادرات المُمكنة بإنترنت الأشياء أكثر ملاءمةً لرصد الأداء البيئي وتتبعه وتحسينه. وهذا يؤدي إلى مكاسب ملموسة في الاستدامة البيئية، مما يجعل إنترنت الأشياء أداةً فعالة لتحقيق أهداف الحفاظ على البيئة والمناخ على المدى الطويل ضمن مشاريع الغابات.

النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث:

1. نظرية الاستدامة:

تُوفر نظرية الاستدامة الإطارَ الأساسي لهذا البحث، مُشددةً على التوازن بين حماية البيئة والقيمة الاقتصادية والرفاهية الاجتماعية. في إدارة الغابات، تتضمن الاستدامة حماية التنوع البيولوجي، والحد من إزالة الغابات، واستدامة النظم البيئية للتربة والمياه، والحفاظ على قدرة الأشجار على امتصاص الكربون. يرتبط دمج تقنيات إنترنت الأشياء بأهداف الاستدامة من خلال تمكين اتخاذ قرارات دقيقة قائمة على البيانات تُقلل من الأثر البيئي. يُمكن للرصد الفوري اكتشاف المخاوف البيئية مُبكراً، مما يسمح بمعالجات تحافظ على صحة الغابات على المدى الطويل. من خلال تمكين كفاءة استخدام الموارد، والحد من الممارسات المُهدرة، وتعزيز العمليات المسؤولة بيئياً، يضمن إنترنت الأشياء تلبية الاحتياجات الحالية للغابات دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على الاستفادة من هذه النظم البيئية الحيوية (Muniz، 2023).

2. نظرية النظم:

تنظر نظرية النظم إلى الغابات كأنظمة ديناميكية و مترابطة، حيث تؤثر فيها النباتات والحياة البرية والتربة والمياه والأنشطة البشرية بشكل مستمر على بعضها البعض. أي تغيير في مُكوّن واحد يُمكن أن يؤدي إلى آثار بيئية واسعة النطاق. تُوجّه هذه الفرضية البحث من خلال تعزيز نهج شامل لإدارة الغابات بدلاً من المبادرات المنفصلة. تُسهم تقنيات إنترنت الأشياء في هذا المنظور القائم على النظم من خلال توفير مراقبة آنية للعديد من العوامل البيئية، بما في ذلك درجة الحرارة، ورطوبة التربة، وحركة الأنواع، وأنشطة قطع الأشجار غير القانونية. ومن خلال توفير المراقبة المستمرة والتحليل المتكامل، يدعم إنترنت الأشياء مديري البيئة في تحديد علاقات السبب والنتيجة، وتعزيز التناغم البيئي، والحفاظ على الاستقرار العام لأنظمة الغابات (Medina, 2023).

3. نظرية الإدارة التكيفية:

تُعزز نظرية الإدارة التكيفية المرونة والتعلم المستمر والتعديلات المدروسة في عملية صنع القرارات البيئية. تتميز النظم البيئية للغابات بديناميكية عالية، وغالبًا ما تكون غير متوقعة بسبب آثار تغير المناخ، وتفشي الأمراض، والتدخل البشري. يُعزز إنترنت الأشياء الإدارة التكيفية من خلال إتاحة الوصول إلى البيانات الآنية وحلقات التغذية الراجعة المستمرة التي تُحسّن أساليب رد الفعل. ومن خلال أجهزة الاستشعار الذكية والطائرات بدون طيار والمنصات التحليلية، تُستخدم البيانات المُحصّلة لتعديل الخطط، واختبار الحلول، وقياس النتائج، وتعزيز فعالية الإدارة. تدعم هذه النظرية فرضية أن قرارات الغابات يجب أن تتطور تبعًا للظروف الميدانية الفعلية، مما يقلل المخاطر ويعزز المرونة البيئية على المدى الطويل من خلال التكيف والتحسين (Spathelf, 2018).

4. نظرية انتشار الابتكار:

توضح نظرية انتشار الابتكار كيفية انتشار الابتكارات التقنية، مثل حلول إنترنت الأشياء، داخل المؤسسات والمجتمعات. يعتمد التبني على جوانب مختلفة، بما في ذلك الفائدة المُدرّكة، وسهولة التنفيذ، والتوافق مع الأساليب الحالية، وقابلية التجربة، ووضوح النتائج. في إدارة الغابات، يتيح استخدام هذه النظرية للبحوث استكشاف العقبات والدوافع وراء تطبيق التقنيات البيئية الذكية. قد تؤثر مشكلات مثل نقص المهارات التقنية، والاستثمار الأولي الكبير، والنفور من تغيير التقنيات

القديمة على معدلات التبني. يُمكن فهم هذه المشكلات هذا البحث من اقتراح طرق تدعم قبولاً أوسع لأجهزة إنترنت الأشياء، مما يُساهم في نهاية المطاف في تحسين التحول الرقمي وممارسات الإدارة الصديقة للبيئة (Mbatha، 2024).

5. نظرية النظم الاجتماعية-التقنية:

تُبرز نظرية النظم الاجتماعية-التقنية التفاعل بين مكونات التكنولوجيا والعناصر البشرية في أي بيئة تشغيلية. لا يتطلب نجاح تبني إنترنت الأشياء في مشاريع الغابات الأجهزة والمنصات التكنولوجية فحسب، بل يتطلب أيضاً مراعاة احتياجات الجهات المعنية، بما في ذلك عمال الغابات والهيئات الحكومية والسكان المحليين والمنظمات البيئية، وتدريبهم، وعمليات التواصل معهم. يطبق هذا البحث هذه الفكرة للتحقق من توافق تطبيق التكنولوجيا مع ظروف العمل الحقيقية، والاحتياجات التشريعية، والاستخدام الأخلاقي للبيانات. من خلال دمج الاعتبارات الإنسانية مع التصميم التقني، تصبح أنظمة إنترنت الأشياء أكثر عملية وقبولاً واستدامة، مما يعزز التعاون والمسؤولية المشتركة في الحفاظ على الغابات (Gumede، 2023).

6. إطار عمل البيئة الذكية

يشجع إطار عمل البيئة الذكية التحول التكنولوجي للمناطق الطبيعية إلى أنظمة بيئية متجاوبة وذكية. في هذا البحث، تعمل أجهزة إنترنت الأشياء كأنظمة استشعار واتصالات للغابات، حيث تستشعر التغيرات البيئية وتنقل المعلومات بسرعة للتقييم واتخاذ الإجراءات. باستخدام الطائرات بدون طيار، وأجهزة تتبع نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، وشبكات الاستشعار اللاسلكية، وتحليلات السحابة، يوفر إنترنت الأشياء الكشف المبكر عن حرائق الغابات، والأنشطة الإجرامية، والتهديدات البيئية. هذا يمنع الأضرار التي لا رجعة فيها ويعزز التنبؤات البيئية. يعزز الإطار تطوير نموذج رقمي بالكامل لإدارة الغابات، حيث تزيد الأتمتة القائمة على البيانات من نتائج الاستدامة والكفاءة التشغيلية (Miller، 2025).

7. نظرية اتخاذ القرارات القائمة على البيانات:

تركز نظرية اتخاذ القرارات القائمة على البيانات على استبدال الافتراضات أو التقارير المتأخرة بمعلومات صحيحة وفي الوقت المناسب كأساس للأنشطة الإدارية. تاريخياً، عانت مشاريع الغابات من ضعف البيانات البيئية وتقادمها، مما أدى إلى إدارة

تفاعلية. يتغلب إنترنت الأشياء على هذه القيود من خلال توليد تدفقات مستمرة من البيانات الموثوقة المحفوظة والمحللة باستخدام لوحات معلومات رقمية ومنصات سحابية. هذا يعزز التحليلات التنبؤية، ويحسن دقة التخطيط، ويعزز تخصيص الموارد، ويسمح بالاستجابة السريعة للتهديدات البيئية. من خلال تطبيق هذه النظرية، يكشف البحث كيف تساهم القرارات المستنيرة المدعومة بتحليلات البيانات في تحسين أداء الاستدامة وتحسين تدابير حماية البيئة.

8. نظرية إدارة المخاطر:

تركز نظرية إدارة المخاطر على اكتشاف المخاطر المحتملة وتقييمها والتخفيف من حدتها قبل أن تُسبب أضرارًا جسيمة. تواجه النظم البيئية للغابات مخاطر مثل حرائق الغابات، والمخالفات البشرية، وغزوات الحشرات، والكوارث الناجمة عن تغير المناخ. تُعزز تقنيات إنترنت الأشياء إدارة المخاطر من خلال توفير إنذارات آلية، وتتبع جغرافي، ومراقبة قائمة على الحالة، مما يقلل من وقت الكشف ويعزز السلامة. تُمكن الرؤية الآنية السلطات من التدخل بسرعة وبشكل استراتيجي لمنع الضرر أو الحد منه. يُطبق هذا البحث هذه الفكرة على هيكله ضوابط المخاطر المُمكنة بإنترنت الأشياء كجزء لا يتجزأ من استدامة الغابات. تُعزز أنظمة الإنذار المبكر، والمراقبة المستمرة، والتحليلات التنبؤية من المرونة البيئية وتُقلل من الخسائر المالية والبيئية بمرور الوقت.

الفصل الثاني: الدراسات السابقة

مقدمة:

في السنوات الأخيرة، برز التقاء الاستدامة البيئية والتحول الرقمي كأحد أهم مجالات البحث، لا سيما في إدارة الموارد الطبيعية كالغابات. وقد دفعت التهديدات المتزايدة لإزالة الغابات وتغير المناخ وفقدان التنوع البيولوجي الحكومات والمنظمات والباحثين إلى استكشاف حلول تقنية مبتكرة للإدارة المستدامة للغابات. ومن بين هذه التقنيات، استقطب إنترنت الأشياء (IoT) اهتمامًا كبيرًا لقدرته على جمع البيانات البيئية وتحليلها ونقلها آنيًا، مما يعزز كفاءة ودقة اتخاذ القرارات في إدارة مشاريع الغابات. وقد أدى دمج تقنية إنترنت الأشياء في المبادرات البيئية إلى تحويل مناهج الإدارة التقليدية إلى أنظمة بيئية ذكية قائمة على البيانات، قادرة على دعم أهداف الاستدامة طويلة الأجل.

يقدم هذا الفصل تقييمًا مفصلاً للأدبيات النظرية والتجريبية ذات الصلة بتطبيق تقنية إنترنت الأشياء في إدارة مشاريع الغابات والاستدامة البيئية. يبدأ النقاش باستعراض مُفَصَّلٍ للمتغيرات الرئيسية للدراسة، مُركِّزًا على كيفية عمل تقنيات إنترنت الأشياء كمتغير مُستقل يُؤثِّر على مُختلف أبعاد إدارة المشاريع، كالتخطيط، ومراقبة الأداء، وإدارة البيانات، مما يُؤدِّي في نهاية المطاف إلى تعزيز الاستدامة البيئية كنتيجة مُرتبطة. كما يستعرض الفصل الدراسات السابقة التي تناولت دور إنترنت الأشياء وغيره من الأدوات الرقمية الناشئة في زيادة كفاءة ومساءلة مشاريع الغابات والبيئة. ومن خلال هذا التوليف الأدبي، يُحاول الفصل الكشف عن فجوات البحث، والروابط المفاهيمية، والرؤى المنهجية التي تُشكِّل أساس البحث الحالي.

علاوةً على ذلك، يُحاول الفصل توفير أساسٍ نظريٍّ مُتماسكٍ من خلال تقييم النماذج والأطر الرئيسية التي تُفسِّر كيف يُمكن لأنظمة الإدارة القائمة على التكنولوجيا أن تُشجِّع الممارسات المُستدامة. ويبحث الجزء النظري في العلاقات بين اعتماد حلول إنترنت الأشياء، ومؤشرات أداء المشاريع، ومبادئ التنمية المُستدامة. كما يستكشف عواقب الرصد القائم على البيانات في تعزيز الشفافية، وتحسين تخصيص الموارد، وضمان التحسين المُستمر في مشاريع إدارة الغابات. يُؤكد التقييم على ضرورة دمج التكنولوجيا مع السياسات البيئية والحوكمة والمشاركة المجتمعية لإيجاد حلول شاملة ومرنة.

من خلال دراسة المساهمات الأكاديمية السابقة، لا يُرسي هذا الفصل الأساس العلمي للدراسة فحسب، بل يُوضح أيضًا كيف يُمكن للتقنيات القائمة على إنترنت الأشياء أن تُساهم في سد الفجوة بين الابتكار التكنولوجي والمسؤولية البيئية. يُتيح دمج إنترنت الأشياء في إدارة مشاريع الغابات فهمًا ديناميكيًا للعمليات البيئية، مما يُتيح التحليل التنبؤي، والكشف المُبكر عن

المخاطر، والاستجابات القائمة على الأدلة. تُعد هذه الكفاءات حيوية لضمان تحقيق أهداف الاستدامة مع الحفاظ على التوازن البيئي والقيمة الاجتماعية للنظم البيئية للغابات. كما تؤكد دراسة الدراسات السابقة على أنه على الرغم من الإمكانيات الكبيرة التي يُقدمها إنترنت الأشياء، إلا أن صعوبات مثل أمن البيانات، وقابلية التشغيل البيئي، وتكاليف التنفيذ لا تزال تمثل عوائق حرجية يجب معالجتها من خلال التخطيط الشامل وتقنيات التحسين المستمر.

باختصار، يُمثل هذا الفصل العمود الفقري الفكري للدراسة من خلال ربط المفاهيم النظرية بالنتائج الفعلية. يُسلط هذا البحث الضوء على أهمية تسخير تقنيات إنترنت الأشياء كقوة تحويلية في إدارة مشاريع الغابات المستدامة، ويُحدّد الروابط المفاهيمية بين متغيرات الدراسة. ومن خلال هذه الدراسة، يُقدّم البحث مبررًا قويًا للبحث في كيفية مساهمة أساليب التخطيط والرصد وإدارة البيانات القائمة على إنترنت الأشياء في تعزيز الاستدامة البيئية مجتمعةً. وبالتالي، تُركّز الأقسام التالية على متغيرات الدراسة، وتُلخّص الأدبيات ذات الصلة، وتُقدّم الإطار النظري الذي يُؤسّس النموذج المتكامل المُقدّم لهذا البحث.

متغيرات الدراسة:

في كل دراسة أكاديمية، تعكس المتغيرات المكونات الأساسية التي تحدد هيكل البحث واتجاهه. فهي تشرح العوامل التي يتم تعديلها أو قياسها أو ملاحظتها لفهم الروابط بين الأسباب والنتائج. في هذه الدراسة، المعنونة "تطبيق تقنيات إنترنت الأشياء في إدارة مشاريع الغابات لتعزيز الاستدامة البيئية: نموذج متكامل للتخطيط والرصد والتحسين المستمر"، يتمحور البحث حول استكشاف كيفية تأثير الابتكارات التكنولوجية، وخاصة إنترنت الأشياء (IoT)، على نتائج الاستدامة في إدارة مشاريع الغابات. يتضمن النموذج متغيرًا مستقلًا واحدًا، ومتغيرًا تابعًا واحدًا، وثلاثة عوامل وسيطة تُشكل معًا إطارًا متكاملًا لتحقيق الاستدامة البيئية.

- أولًا: المتغير المستقل - تقنيات إنترنت الأشياء (IoT)

المتغير المستقل في هذه الدراسة هو تقنيات إنترنت الأشياء (IoT)، التي تُمثل الأساس التكنولوجي الذي يدعم التحول الرقمي لأنظمة إدارة الغابات. يشير إنترنت الأشياء إلى شبكة من الأجهزة وأجهزة الاستشعار والمنصات المتصلة بالشبكة والتي تجمع البيانات البيئية وتوزعها في الوقت الفعلي. في مشاريع الغابات، يُمكن إنترنت الأشياء (IoT) من مراقبة المعايير البيئية، مثل درجة الحرارة، ورطوبة التربة، والرطوبة، ونمو الأشجار، ومخاطر الحرائق. تُسهّل هذه التقنية الأتمتة والدقة في عمليات المشروع. تتمثل الأبعاد الرئيسية لهذا المتغير في المراقبة القائمة على أجهزة الاستشعار، وتكامل البيانات السحابية، وشبكات الاتصالات الذكية، وأنظمة اتخاذ القرار الآلية. تُساعد تقنيات إنترنت الأشياء على تحسين الاستجابة، وتعزيز الكفاءة، وتوفير تحليلات تنبؤية، مما يجعلها حجر الزاوية في الإدارة المستدامة للغابات.

العلاقة المتوقعة: من المتوقع أن يكون لاعتماد تقنية إنترنت الأشياء واستخدامها الفعال تأثير إيجابي على تخطيط مبادرات الغابات ومراقبتها واستخدامها بشكل عام. من خلال تمكين المراقبة البيئية المستمرة واتخاذ القرارات المستنيرة، يعمل إنترنت الأشياء كمحفز لتعزيز الاستدامة وتحسين استخدام الموارد.

- ثانيًا: المتغير التابع - الاستدامة البيئية

يشير المتغير التابع، الاستدامة البيئية، إلى نتيجة أو تأثير استخدام أساليب الإدارة القائمة على إنترنت الأشياء. وهو يشير إلى القدرة على إدارة الموارد الطبيعية بمسؤولية، والحفاظ على التنوع البيولوجي، والحد من الآثار البيئية السلبية. في إطار إدارة الغابات، تشمل الاستدامة البيئية الحفاظ على النظم البيئية على المدى الطويل، والحماية من إزالة الغابات، وزيادة قدراتها على امتصاص الكربون. ويلعب إنترنت الأشياء دورًا هامًا في تحقيق هذه الأهداف من خلال توفير بيانات دقيقة وفي الوقت المناسب تدعم اتخاذ قرارات صديقة للبيئة. على سبيل المثال، بفضل أنظمة الإنذار المبكر والاستشعار عن بُعد، يمكن لإنترنت الأشياء اكتشاف الضغوطات البيئية قبل أن تتفاقم وتتحول إلى مخاوف بيئية رئيسية.

العلاقة المتوقعة: من المتوقع أن تزداد الاستدامة البيئية مع تعزيز تقنيات إنترنت الأشياء للكفاءة، وتقليل النفقات، وتمكين الإدارة الاستباقية للظروف البيئية. وبالتالي، تمثل العلاقة بين التكنولوجيا والاستدامة التحول من إدارة الموارد التقليدية إلى أنظمة ذكية ومتكيفة وقائمة على البيانات.

- ثالثًا: المتغيرات الوسيطة

لتوضيح كيفية تعزيز تقنيات إنترنت الأشياء للاستدامة البيئية، حددت الدراسة ثلاث متغيرات وسيطة - تخطيط المشاريع، ومؤشرات الأداء، وإدارة البيانات - والتي تمثل العمليات التشغيلية التي يحقق إنترنت الأشياء من خلالها تأثيره.

➤ **تخطيط المشاريع:** يعكس هذا المتغير التصميم الاستراتيجي والتشغيلي لمبادرات الغابات، بما في ذلك صياغة الأهداف، وتخصيص الموارد، والجدولة. يُحسّن إنترنت الأشياء التخطيط من خلال توفير بيانات بيئية دقيقة وأنية تُمكن من تصميم مشاريع متكيفة. يُمكن التخطيط الذكي المُتاح عبر إنترنت الأشياء المديرين من توقع المخاطر، وتحسين العمليات، ومواءمة الإجراءات مع أهداف الاستدامة.

➤ **مؤشرات الأداء:** تُعدّ مؤشرات الأداء بمثابة مقاييس كمية لتقييم تقدم المشروع ونتائجه. تُوفّر أنظمة إنترنت الأشياء بيانات ثابتة وموثوقة لقياس هذه المقاييس، مثل صحة الغابات، ومعدلات النمو، وكفاءة استخدام الموارد. من خلال توفير معلومات قابلة للقياس، يُساعد إنترنت الأشياء على تعزيز المساءلة والشفافية والتحسين المستمر في تحقيق أهداف الاستدامة.

➤ **إدارة البيانات:** تُشير إدارة البيانات إلى جمع البيانات المنشأة عبر أجهزة إنترنت الأشياء وتخزينها وتحليلها. تضمن إدارة البيانات الفعّالة دقة المعلومات البيئية وأمانها وتوافرها لاتخاذ القرارات. كما تُمكن التعاون بين الجهات المعنية وتدعم التعلم طويل الأمد. يعتمد نجاح إدارة الغابات القائمة على إنترنت الأشياء بشكل كبير على كفاءة أنظمة حوكمة البيانات والتحليلات.

- ملخص العلاقات:

تزعم الدراسة أن تقنيات إنترنت الأشياء (المتغير المستقل) تعزز الاستدامة البيئية (المتغير التابع) من خلال الأدوار الوسيطة لتخطيط المشاريع، ومؤشرات الأداء، وإدارة البيانات. عند استخدام أدوات إنترنت الأشياء بفعالية، فإنها تعزز دقة التخطيط، وتضع قياسات أداء دقيقة، وتُحسّن القرارات القائمة على البيانات، مما يؤدي في النهاية إلى أنظمة بيئية غابات أكثر استدامة.

الدراسات السابقة:

لمكافحة تغير المناخ، وفقدان التنوع البيولوجي، وإزالة الغابات، تُعد الإدارة المستدامة للغابات أمرًا بالغ الأهمية. هناك حاجة إلى استراتيجيات مبتكرة لمعالجة الضغوط التي فرضها البشر على النظم البيئية للغابات، وذلك للحفاظ على إنتاجيتها وصحتها على المدى الطويل. تبحث هذه الدراسة في كيفية تحسين التقنيات المتقدمة، مثل الذكاء الاصطناعي والاستشعار عن بُعد وإنترنت الأشياء، لتقنيات الإدارة المستدامة للغابات. قام الباحثون بفحص 196 دراسة نُشرت بين عامي 2021 و2024، من مكتبة IEEE Xplore الرقمية، وMDPI، وTaylor & Francis، وScienceDirect، وFrontiers، وSpringer، وSAGE، وHindawi، وNature، ومكتبة Wiley الإلكترونية، وGoogle Scholar. تُظهر النتائج كيف تُتيح أجهزة إنترنت الأشياء، مثل الطائرات بدون طيار، جمع البيانات في الوقت الفعلي حول رطوبة التربة ودرجة حرارتها ورطوبتها ونمو الأشجار، مما يسمح بمراقبة مستمرة للغابات. تُوفّر تقنيات الاستشعار عن بُعد، التي تستخدم التصوير بالأقمار الصناعية والمسوحات الجوية، بيانات عالية الدقة لإجراء تقييمات شاملة للغابات، مثل التغيرات في الغطاء الحرجي، وحساب الكتلة الحيوية، والكشف المبكر عن قطع الأشجار غير المشروع. تُحسن هذه الأدوات تحليل البيانات، واتخاذ القرارات، والنمذجة التنبؤية عند دمجها مع الذكاء الاصطناعي، مما يؤدي إلى خطط أكثر نجاحًا لإدارة الغابات. كما تُشير الدراسة إلى صعوبات مثل ارتفاع النفقات، ومشاكل التوافقية، وقيود النطاق الترددي، ومشاكل أمن البيانات. على الرغم من هذه العقبات، تُوفر إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والاستشعار عن بُعد إمكانيات ثورية لتعزيز عزل الكربون، والحفاظ على التنوع البيولوجي، وتعزيز مرونة الغابات. من خلال تحسين المراقبة الآنية، وتخصيص الموارد على النحو الأمثل، وتسهيل اتخاذ القرارات القائمة على البيانات، تُعدّ هذه التقنيات أساسية لحماية النظم البيئية للغابات والحد من آثار تغير المناخ (Mijwil, 2025).

لقد غيّر إنترنت الأشياء (IoT) بسرعة العديد من جوانب حياتنا من خلال توفير طرق مبتكرة لزيادة الراحة والكفاءة. ومع ذلك، فقد برزت تساؤلات حول استدامة أجهزة إنترنت الأشياء وتأثيراتها البيئية نظرًا لاستخدامها السريع. تبحث هذه الدراسة في كيفية تأثير تقنيات إنترنت الأشياء على البيئة، وتقدم تقييمًا شاملاً للتكنولوجيا الخضراء المصممة للحد من هذه الآثار. وتُعدّ كفاءة استخدام الطاقة في أجهزة إنترنت الأشياء، ودمج الطاقة المتجددة، والمواد المستدامة وطرق التصنيع، وإدارة دورة الحياة، والحد من النفايات الإلكترونية، وخصوصية البيانات، والأمن، والوجهات النظر التنظيمية والسياسية، من بين

مجالات الدراسة الرئيسية. وتسعى هذه الدراسة إلى تقديم رؤى ثاقبة حول إنشاء وتطبيق حلول إنترنت الأشياء الصديقة للبيئة من خلال تحليل آفاق وصعوبات الاستدامة في إنترنت الأشياء (Shilpa, 2025).

يُعد دمج التقنيات الذكية في الرصد البيئي استراتيجيةً مبتكرةً للسيطرة على المخاطر الصحية المرتبطة بالتغيرات البيئية. يتناول هذا الفصل عددًا من التقنيات الذكية التي توفر بيانات آنية ضرورية لتحسين أنظمة الاستجابة الصحية، بما في ذلك أجهزة استشعار الصحة القابلة للارتداء، والاستشعار عن بُعد، وإنترنت الأشياء (IoT)، وتحليلات البيانات. باستخدام هذه التقنيات، يُمكن مراقبة المعايير البيئية، مثل درجة الحرارة وجودة المياه والهواء، باستمرار، مما يُسهّل اتخاذ إجراءات فورية والكشف السريع عن المخاطر الصحية. كما يتناول الفصل كيف تُحدث التطورات في مجال الذكاء الاصطناعي تحولًا في تحليلات البيانات من خلال تمكين النماذج التنبؤية التي يمكنها التنبؤ بحوادث التلوث وتفشي الأمراض وغيرها من المخاطر على الصحة البيئية. ويمكن لمسؤولي الصحة العامة والمنظمات البيئية معالجة المخاطر المحتملة بشكل استباقي من خلال استخدام نماذج تعتمد على الذكاء الاصطناعي، مما يضمن استجابة أسرع وأكثر تركيزًا للقضايا الصحية الجديدة. كما يتناول أهمية الذكاء الاصطناعي في تحليلات البيانات، مُشدّدًا على كيفية مساهمة النماذج التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي في مراقبة الأمراض والتنبؤ بالمخاطر على الصحة البيئية. تتجلى إمكانات هذه التطورات في تحسين استجابات الصحة العامة من خلال أمثلة على استخدام التكنولوجيا الذكية في إدارة الصحة. ومع ذلك، لا تزال مشكلات مثل خصوصية البيانات، وتكاليف البنية التحتية، وموثوقية البيانات تُشكل عقبات رئيسية، مما يُصعّب تطبيق أنظمة الرصد البيئي الذكية. ويدعو الفصل في خاتمته إلى اتباع استراتيجية استباقية قائمة على البيانات لإدارة الصحة البيئية. ويتطلب الأمر استراتيجية متكاملة تجمع بين التكنولوجيا والصحة والإدارة البيئية لمعالجة مشكلات التكنولوجيا الذكية الحالية في مجال رصد الصحة البيئية (Izah, 2025).

لمكافحة إزالة الغابات وتغير المناخ والأنشطة غير المشروعة والكوارث الطبيعية، يُعدّ رصد الغابات أمرًا بالغ الأهمية لإدارة الموارد والحفاظ على البيئة. يتناول هذا الفصل من الكتاب استخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد وإنترنت الأشياء (IoT) لرصد حالة الغابات بدقة وفعالية واستدامة. تُقيّم مؤشرات الغطاء النباتي، مثل مؤشر الغطاء النباتي الموحد (NDVI) ومؤشر الغطاء النباتي المحسن (EVI)، الظروف البيئية، بينما ترصد تقنيات الاستشعار عن بُعد، مثل لاندسات (Landsat) و"موديس"

(MODIS) و"سينتينل" (Sentinel)، التغيرات في الغطاء الأرضي وصحة النباتات والأنشطة غير المشروعة. تُوفر تقنية إنترنت الأشياء بيانات مستمرة لتحديد المخاطر مبكرًا باستخدام أجهزة استشعار آنية تقيس درجة الحرارة والرطوبة ورطوبة التربة وجودة الهواء. من خلال الجمع بين جمع البيانات المكثف والتحليل الآني، تُمكن هذه الاستراتيجيات المتكاملة الجهات المعنية من حل مشاكل الغابات بفعالية. يُحسن تكامل إنترنت الأشياء ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) التحليل المكاني ويساعد على اتخاذ قرارات مدروسة للحفاظ على الغابات. يُمكن الحفاظ على النظم البيئية للغابات بشكل أفضل من خلال تطبيق هذه التقنيات، مما يضمن الاستدامة ومقاومة المخاطر البيئية (Denih, 2025).

في مواجهة التوسع الحضري المتزايد، والقيود البيئية، والرقابة العامة، يجب أن تلي مشاريع بناء الطرق السريعة والنقل معايير السلامة والفعالية والجودة المتزايدة. غالبًا ما تفشل تقنيات البناء التقليدية في تلبية هذه القضايا المعقدة بسبب مرونتها المحدودة، وتخطيطها التفاعلي، وتواصلها غير المترابط. استجابةً لذلك، يُعد الجمع بين التقنيات الذكية ومفاهيم البناء الرشيق تكتيكًا فعالًا لتغيير طريقة إنجاز مشاريع البنية التحتية تمامًا. في جميع مراحل المشروع، تُتاح المراقبة الاستباقية والأتمتة واتخاذ القرارات القائمة على البيانات من خلال التقنيات الذكية مثل إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI) ونموذج معلومات البناء (BIM) والطائرات بدون طيار وأجهزة الاستشعار في الوقت الفعلي. يعزز هذا التكامل بيئة مشروع متجاوبة وتعاونية عند إقرانه بمفاهيم البناء الرشيق، التي تركز على تحسين القيمة والتحسين المستمر وإزالة النفايات. تبحث هذه الدراسة في كيفية عمل التقنيات الذكية وأساليب البناء الرشيق معًا لتحسين مراقبة الجودة والإنتاجية والسلامة في بناء الطرق السريعة وغيرها من البنى التحتية للنقل. يتناول هذا المقال كيفية تحسين التقنيات الذكية للتحليلات التنبؤية، والتواصل الآني، واكتشاف المخاطر، مما يُقلل من معدلات الحوادث ووقت التوقف. وفي الوقت نفسه، تُقلل تقنيات الإدارة الرشيقة، مثل الإدارة المرئية، والتسليم الفوري، ونظام "المخطط الأخير"، من أوجه القصور، وتُحسن سير العمل، وتضمن توافق العمل بشكل وثيق مع أهداف المشروع. وعند دمج هاتين الاستراتيجيتين، تنشأ حلقة تغذية راجعة ديناميكية، حيث يعتمد تخطيط الإدارة الرشيقة على البيانات الآنية، مما يسمح بإجراء تعديلات سريعة وتحسين مستمر للأداء. كما يُسلط المقال الضوء على التطبيقات العملية، وصعوبات التكامل، ومنهجيات التنفيذ. وفي نهاية المطاف، من خلال تعزيز ظروف عمل أكثر أمانًا، وتعظيم استخدام الموارد، وتحقيق نتائج أفضل، فإن هذا النموذج الموحد لديه القدرة على إحداث تحول جذري

في البنية التحتية للنقل في المستقبل. وسيكون الاستخدام الاستراتيجي لأنظمة الإدارة الرشيدة الذكية ضروريًا لتحقيق المرونة والكفاءة على المدى الطويل في تطوير البنية التحتية، مع تحول قطاع البناء نحو الرقمنة والاستدامة (Harris، 2025).

نظراً للمساهمة الكبيرة لقطاع الشحن في تلوث الهواء وتغير المناخ، تُشكل الانبعاثات البحرية تهديداً خطيراً للبيئة. وباعتبارها مراكز مهمة للنشاط البحري، تُتيح الموانئ فرصاً كبيرة لتقليل الانبعاثات وتعظيم استخدام الطاقة. تُراجع هذه الدراسة بدقة تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) والتعلم الآلي (ML) لإدارة الطاقة المستدامة ومراقبة التلوث في الوقت الفعلي في بيئات الموانئ. ولخفض انبعاثات السفن وزيادة كفاءة الطاقة في الموانئ، يجري البحث في تكامل التعلم الآلي وإنترنت الأشياء. كما تُفحص آثار تقنيات إدارة الانبعاثات الحالية على البيئة وصحة الإنسان. وتُقيّم كفاءة تقنيات الرصد المتقدمة في الكشف عن الانبعاثات والتخفيف منها في الوقت الفعلي، بما في ذلك خوارزميات التعلم الآلي المجمعة والاستشعار القائم على الطائرات بدون طيار. وتُفحص استراتيجيات إدارة الطاقة التي تُركز على كل من التحكم في الانبعاثات وتحسين الطاقة، بما في ذلك الشبكات الكهربائية الصغيرة، والبنية التحتية للطاقة على الشاطئ، والكي البارد ثنائي الاتجاه. وتؤكد الدراسة على أهمية الطائرات بدون طيار كأدوات أساسية للمراقبة الديناميكية والمستمرة لانبعاثات السفن في الموانئ، مع إمكانات كبيرة للحد من التلوث. لتحسين توزيع الطاقة، تتناول الورقة البحثية أيضاً كيفية دمج بيانات الانبعاثات الآنية مع أساليب تقاسم الطاقة. تُسهم منصات الحوسبة السحابية القابلة للتطوير، وبروتوكولات الاتصال الموحدة، وخطط التنفيذ المرحلية لأنظمة إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في عمليات الموانئ الحالية في معالجة مشاكل التكامل. ويناقش البحث الجدوى الاقتصادية لتطبيق تقنيات مثل الكي البارد وأنظمة الطاقة المتجددة في الموانئ. وتشمل هذه العوامل حلولاً مثل استثمارات الشبكات الذكية، والتعاون بين القطاعين العام والخاص، والكي البارد ثنائي الاتجاه. كما تدرس الدراسة تهديدات الأمن السيبراني المتعلقة بدمج تقنية إنترنت الأشياء في عمليات الموانئ، مشيرةً إلى نقاط الضعف المحتملة ومقترحةً حلولاً تشمل التشفير، وقنوات الاتصال الآمنة، وتقييمات نقاط الضعف المتكررة. ويختتم التحليل بالحث على إجراء المزيد من الدراسات لمواءمة التقنيات المستدامة الجديدة مع الممارسات البحرية. وسيؤدي ذلك إلى تحسين الكفاءة التشغيلية في مناطق الموانئ وتشجيع الإدارة البيئية (Elsisi، 2025).

بفضل مزاياها العديدة، بما في ذلك تنظيم دورة المناخ والمياه، والحفاظ على التنوع البيولوجي، وتوفير الموارد اللازمة، تُعد الغابات حيوية لبقاء الكوكب والمجتمعات البشرية. وتتعرض استدامة الغابات على المدى الطويل لتهديدات عديدة، منها إزالة

الغابات وتدهورها وآثار تغير المناخ. وتبرز الحاجة إلى حلول مبتكرة لمعالجة هذه المشكلات الملحة، ويبدو إنترنت الأشياء (IoT) مسارًا واعدًا. ويمكن تحقيق نهج ثوري في إدارة الغابات من خلال استخدام تقنيات إنترنت الأشياء، المعروفة باسم إنترنت الأشياء الحرجية (IoFT). وتُتيح تقنية إنترنت الأشياء الحرجية جمع البيانات في الوقت الفعلي عن ظروف الغابات، بما في ذلك متغيرات مثل درجة الحرارة والرطوبة ورطوبة التربة. كما تُسهّل هذه التقنية تتبع مواقع وحركة موارد الغابات المختلفة، مثل مخزون الكربون، والحياة البرية، والموظفين، والمعدات. ويتناول هذا الفصل الوضع الحالي لتقنيات إنترنت الأشياء الحرجية واستخداماتها في إدارة الغابات بشكل شامل. يتناول هذا الفصل المزايا المحتملة لتكنولوجيا إنترنت الأشياء (IoFT) في إدارة الغابات، مُركّزًا على كيفية تحسينها لاستدامة النظم البيئية للغابات، وأهميتها، وفعاليتها، وكفاءتها. ولتوضيح الاستخدامات العديدة لتقنيات إنترنت الأشياء في إدارة الغابات، يستعين التقرير بعدد من الأبحاث والمنشورات والمقالات. تشمل هذه التطبيقات، من بين أمور أخرى، تتبع صحة الغابات، وتوقع حرائق الغابات والتعرف عليها، ورصد عمليات قطع الأشجار غير المشروعة. إلى جانب تعزيز سلامة العمال، تُتيح تقنيات إنترنت الأشياء (IoFT) فرصًا لتحسين عمليات الغابات، بما في ذلك النقل والحصاد. مع ذلك، يُقرّ الفصل بوضوح بالصعوبات والقيود التي تُصاحب استخدام تقنية إنترنت الأشياء في إدارة الغابات. ويتناول الفصل مسائل التوافق التشغيلي والأمن وخصوصية البيانات، مُسلّطًا الضوء على ضرورة التفكير المُعمّق والحلول الفعّالة لحل هذه المشكلات. ويختتم التقرير بتقديم اقتراحات لمبادرات بحثية أخرى تهدف إلى معالجة الصعوبات وتعزيز تطبيق تقنية إنترنت الأشياء في إدارة الغابات. ومن خلال ذلك، يُمكن تحقيق الإمكانيات الكاملة لتقنيات إنترنت الأشياء، مما يفتح الباب أمام تقنيات إدارة غابات فعّالة ومستدامة (Yusuf, 2024).

من خلال ربط العناصر المادية بالإنترنت، يُتيح إنترنت الأشياء (IoT) جمع البيانات وتحليلها بشكل مستقل. يُعدّ إنترنت الأشياء أساسيًا للرصد البيئي، إذ يجمع البيانات أنيًّا حول عوامل تشمل الطقس، وسلوك الحياة البرية، والجزر الحرارية الحضرية، وجودة الهواء والماء. يتناول هذا الملخص معايير وأنواع الأجهزة واستخدامات إنترنت الأشياء في الرصد البيئي. يتكون إنترنت الأشياء (IoT) من أجهزة متصلة بالشبكة تجمع البيانات البيئية وترسلها للتحليل، مما يُمكن من إدارة أفضل للموارد والرصد المستمر. يُدار تطبيق إنترنت الأشياء بواسطة تقنيات الاتصال مثل Wi-Fi ومعايير مثل MQTT. تشمل مراقبة البيئة تقييم الجزر الحرارية الحضرية، وسلوك الحياة البرية، والطقس، وجودة الهواء، والماء. تُستخدم شبكات الاستشعار القائمة على إنترنت الأشياء في مراقبة جودة الهواء لتحديد كمية الملوثات في الغلاف الجوي. تُقيّم مراقبة جودة المياه الخصائص البيولوجية

والكيميائية للمسطحات المائية. تُستخدم شبكات الاستشعار القائمة على إنترنت الأشياء في مراقبة الطقس والمناخ لمراقبة أحوال الهواء. يستخدم رصد الحياة البرية أجهزة استشعار مدعومة بإنترنت الأشياء لمتابعة سلوك الحيوانات وحركاتها. وتُستخدم هذه الأجهزة في رصد الجزر الحرارية الحضرية لتقييم توزيع درجات الحرارة في المناطق الحضرية. ومن خلال تسهيل المراقبة عن بُعد وفي الوقت الفعلي عبر نطاقات متعددة، يُحدث إنترنت الأشياء نقلة نوعية في رصد البيئة، ويُسهّم في مبادرات الاستدامة وإدارة الموارد (Radha، 2024).

الحلول الذكية ضرورية لتشجيع العيش المستدام في ظلّ تنامي القضايا البيئية. تُناقش هذه الدراسة البحثية أهمية تطبيقات إنترنت الأشياء (IoT) في مجال الرصد البيئي، مع التركيز على كيفية مساهمة تقنيات إنترنت الأشياء في بناء نظام بيئي أكثر مرونة واستدامة. تُوفّر أنظمة إنترنت الأشياء نهجًا استباقيًا للحفاظ على البيئة من خلال تمكين الرصد والإدارة اللحظية للمعايير البيئية من خلال ربط أجهزة الاستشعار والأجهزة ومنصات التحليلات. تدرس الدراسة مجموعة من التطبيقات القائمة على إنترنت الأشياء، مثل الكشف عن حرائق الغابات البعيدة وأجهزة استشعار جودة الهواء في المناطق الحضرية، مُؤكدَةً قدرتها على جمع بيانات دقيقة وسرعة الاستجابة للمخاطر البيئية. كما تُغطّي الدراسة تكامل إنترنت الأشياء مع الحوسبة السحابية والذكاء الاصطناعي، مُظهرَةً قدرات تنبؤية متطورة تُمكن من اتخاذ تدابير وقائية في مجال حماية البيئة. تُسلّط دراسات الحالة العملية الضوء على التطبيقات الواقعية والآثار الملموسة لإنترنت الأشياء في مجال الرصد البيئي. كما تُقدّم تحليلًا نقديًا للقضايا المُحيطة بالتطبيق واسع النطاق، بما في ذلك أمن البيانات، واستهلاك طاقة أجهزة إنترنت الأشياء، والفجوة الرقمية. ومن أجل تحسين الإدارة البيئية وتسهيل التحول إلى عادات معيشية أكثر خضرة، يسلط استنتاج الورقة الضوء على الإمكانيات الثورية لتطبيقات إنترنت الأشياء في تعزيز الاستدامة ويدعو إلى اعتمادها على نطاق واسع (Balodi، 2024).

برزت تقنيات مبتكرة للرصد البيئي والمنشآت الريفية كخيارات لتعزيز الإنتاجية بطريقة مستدامة بفضل تطوير أجهزة الاستشعار الذكية وإنترنت الأشياء. ولتعزيز الاستدامة والكفاءة في الإنتاج الزراعي، يدرس هذا البحث استخدام أجهزة الاستشعار الذكية وإنترنت الأشياء في الرصد البيئي للمنشآت الريفية. وتُتيح أجهزة الاستشعار الذكية جمع البيانات البيئية آنياً، وهو أمر بالغ الأهمية في البيئات الريفية. كما يُتيح إنترنت الأشياء إمكانية توصيل هذه البيانات ودمجها. وتوفر هذه التقنيات عددًا من المزايا، بما في ذلك زيادة الإنتاج والاستدامة والكفاءة. وتناقش الورقة خصائص مُراقبة مثل جودة التربة

والهواء، بالإضافة إلى أنواع متعددة من أجهزة الاستشعار، بما في ذلك أجهزة الاستشعار البصرية، والصوتية، والكيميائية، والفيزيائية. كما تتناول أحدث التقنيات مثل سلسلة الكتل (البلوك تشين)، والواقع الافتراضي، والأقمار الصناعية الدقيقة، وأجهزة استشعار الشبكات اللاسلكية، والرصد متعدد الأطياف. وتضمنت المراجعة دراسات حالة لتطبيقات إنترنت الأشياء وأجهزة الاستشعار الفعالة في مجالات تشمل الزراعة الدقيقة، والري الذكي، ومراقبة منشآت الثروة الحيوانية. وقد ثبت أن هذه التقنيات واعدة للغاية في دعم أنظمة تربية الحيوانات والزراعة الصديقة للبيئة. ويتم التركيز على قضايا مثل الأمن والخصوصية والاستخدام الأخلاقي للبيانات (Mota، 2023).

- التقييم التحليلي للبحوث السابقة: أوجه التشابه والاختلاف وأهمية البحث

بعد دراسة بحوث سابقة حول استخدام تقنية إنترنت الأشياء (IoT) في إدارة المشاريع البيئية والغابات، تم تحديد النقاط المهمة التالية:

- أوجه التشابه:

- ✓ أبرزت جميع البحوث التي خضعت للتقييم أهمية إنترنت الأشياء في الرصد البيئي الفوري عبر شبكات الاستشعار الذكية.
- ✓ لتحسين دقة البحوث البيئية واتخاذ القرارات، جمعت العديد من الدراسات بين إنترنت الأشياء وتقنيات البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي والاستشعار عن بُعد.
- ✓ اتفق الجميع على أن دمج إنترنت الأشياء مع تقنيات التحليل التنبؤي يُحسن المرونة التشغيلية والاستدامة البيئية.

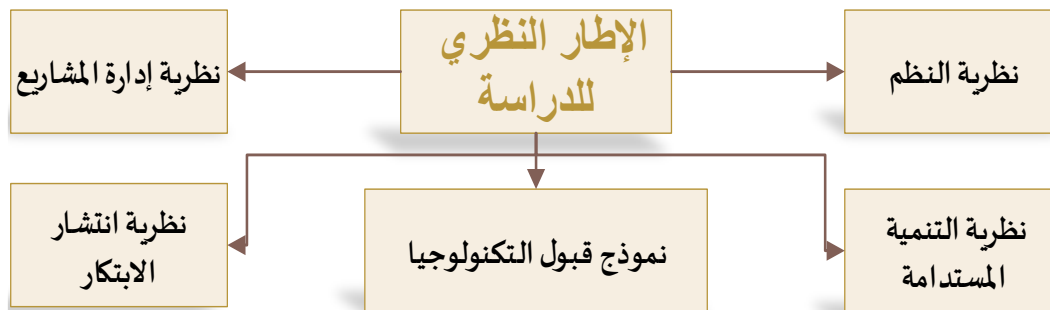
- أوجه الاختلاف:

- ✓ تركز الدراسة الحالية تحديدًا على إدارة مشاريع الغابات باستخدام استراتيجية منظمة قائمة على إنترنت الأشياء، بينما ركزت غالبية الدراسات الأخرى على مجالات بيئية عامة مثل الزراعة والمياه وجودة الهواء.
- ✓ في حين أن بعض البحوث استخدمت النمذجة الرياضية أو الأطر النظرية فقط، تقدم هذه الدراسة نموذجًا تطبيقيًا شاملاً يشمل التخطيط والمراقبة والتحسين المستمر القائم على حلقة التغذية الراجعة.
- ✓ على عكس الأبحاث السابقة التي اعتمدت في كثير من الأحيان منظورًا مفاهيميًا واحدًا، تدمج هذه الدراسة عدة أطر نظرية (نظرية النظم التكيفية، ونشر الابتكار، والنظرة القائمة على الموارد).

- أهمية البحث:

- ✓ من منظور الاستدامة والتخطيط الاستراتيجي، تُعتبر هذه الدراسة رائدة في تقديم نهج عملي ومتكامل لإدارة مشاريع الغابات باستخدام تقنيات إنترنت الأشياء.
- ✓ من خلال تقديم نموذج عملي ونظري شامل يركز على الغابات، وهو مجال لم يحظَ باهتمام كبير في الدراسات السابقة، تُلبي هذه الدراسة حاجة بحثية ملحة.
- ✓ من المتوقع أن تُحسّن نتائج الدراسة عملية اتخاذ القرارات البيئية القائمة على الأدلة من خلال تقديم اقتراحات مفيدة لحوكمة مشاريع الغابات القائمة على البيانات والأكثر استدامة.

الإطار النظري:



رسم توضيحي 1: الإطار النظري للدراسة

1. نظرية النظم

تُوفر نظرية النظم إطارًا لفهم كيفية عمل إنترنت الأشياء كنظام متكامل ضمن إدارة الغابات. تُنشئ النظم البيئية للغابات، وأجهزة استشعار إنترنت الأشياء، وتحليلات البيانات، ومنصات صنع القرار، أنظمة فرعية مترابطة تتبادل المعلومات باستمرار. تؤكد هذه الفكرة على أن كل مكون يؤثر على الآخر، مما يُبرز ضرورة التناغم بين الأدوات التقنية والعمليات الطبيعية. يضمن تطبيق نظرية النظم أن يُعزز تطبيق إنترنت الأشياء التوازن البيئي، بدلًا من أن يُخل به، مما يؤدي إلى نموذج إدارة أكثر مرونة واستجابة، يدعم الكفاءة التشغيلية والاستدامة البيئية في إدارة مشاريع الغابات (Salam، 2020).

2. نظرية التنمية المستدامة

تُشكل نظرية التنمية المستدامة أساس التركيز البيئي للدراسة من خلال التأكيد على التوازن بين النمو الاقتصادي وحماية البيئة والرفاهية الاجتماعية. يتوافق دمج تقنيات إنترنت الأشياء في مبادرات الغابات مع هذه الفكرة، حيث تُعزز المراقبة الآنية والقرارات القائمة على البيانات الحفاظ على الموارد وتقليل الضرر البيئي. تُثبت هذه الفكرة أهمية إدراج الاستدامة كمتغير أساسي في النتائج، حيث تُؤطر إنترنت الأشياء ليس فقط كإنجاز تقني، بل كأداة تحويلية لتحقيق الأهداف البيئية طويلة الأجل. وبالتالي، يُمثل تبني إنترنت الأشياء مسارًا نحو التميز التشغيلي الذي يدعم هدف الاستدامة العالمي (Shi، 2019).

3. نموذج قبول التكنولوجيا (TAM)

يشرح نموذج قبول التكنولوجيا المتغيرات البشرية والتنظيمية التي تُحفز تبني تقنية إنترنت الأشياء في إدارة الغابات. ويقترح أن الفائدة المُدرَكة وسهولة الاستخدام المُدرَكة تؤثران على ميل الجهات المعنية لقبول الأنظمة الجديدة. ومن خلال استخدام نموذج قبول التكنولوجيا، تُحدد المنهجية كيفية استجابة مديري المشاريع ومهندسي البيئة والسكان المحليين للمنتجات القائمة على إنترنت الأشياء. كما يُساعد النموذج في تحديد مقاومة التغيير التكنولوجي، ويقترح خيارات للتدريب والمشاركة. ولذلك، يُقدم نموذج قبول التكنولوجيا منظورًا سلوكيًا لدراسة كيفية دمج إنترنت الأشياء بنجاح في تقنيات إدارة الغابات المستدامة (Schorr، 2023).

4. نظرية إدارة المشاريع

تُوفر نظرية إدارة المشاريع الأساس المنهجي لتخطيط وتنفيذ ومراقبة مبادرات الغابات القائمة على إنترنت الأشياء. تُشدد هذه النظرية على العمليات المُتحكم بها، والأهداف الواضحة، وقياس الأداء باستخدام مؤشرات مُحددة. ويضمن تطبيق النظرية أن تكامل إنترنت الأشياء يتبع مراحل منهجية كالبدء، والتخطيط، والتنفيذ، والتحكم. كما تُؤكد على ضرورة مشاركة أصحاب المصلحة وتحسين الموارد. في سياق هذه الدراسة، تُؤكد نظرية إدارة المشاريع على أن تقنيات إنترنت الأشياء لا تُطبق عشوائياً، بل تُطبق بوعي، مما يؤدي إلى تخطيط فعال، وتتبع أفضل للأداء، وتحسين مستمر للمشروع نحو أهداف الاستدامة (Lawrence، 2024).

5. نظرية انتشار الابتكار

تشرح نظرية انتشار الابتكار كيفية تغلغل التقنيات الجديدة، مثل إنترنت الأشياء، عبر الأنظمة الاجتماعية والتنظيمية. وتحدد المراحل - الوعي، والاهتمام، والتقييم، والتجربة، والتبني - التي تُحدد كيفية تبني فرق مشاريع الغابات لتقنية إنترنت الأشياء. ويُركز هذا النهج على مسارات الاتصال، وتأثير القيادة، والفوائد المُدركة كمحركات رئيسية للتبني. ومن خلال تبني هذا النهج، تستكشف الدراسة كيفية انتقال أفكار إنترنت الأشياء من المبادرات التجريبية إلى أنظمة إدارة بيئية واسعة النطاق. يُؤكد هذا النهج على ضرورة زيادة الوعي وتوفير فوائد بيئية قابلة للقياس لتعزيز اعتماد حلول إنترنت الأشياء في برامج استدامة الغابات (Halton، 2025).

6. نظرية اتخاذ القرارات القائمة على البيانات

يركز هذا النهج على استخدام الحقائق التجريبية لاتخاذ القرارات الاستراتيجية والتشغيلية. في مشاريع الغابات المُمكنة بإنترنت الأشياء، تُنتج أجهزة الاستشعار ومنصات التحليل كميات هائلة من البيانات البيئية التي تُسهّل اتخاذ قرارات دقيقة. تُركز هذه الفكرة على الإدارة القائمة على الأدلة بدلاً من الحدس، مما يضمن تبرير كل إجراء - من جدولة إعادة التحريج إلى تخصيص الموارد - من خلال رؤى البيانات. يُشجع تطبيق هذا النهج الشفافية والمساءلة والتحسين المستمر لأداء المشاريع. في نهاية المطاف، يُرسّخ إنترنت الأشياء مكانته كأداة مُيسرة لأنظمة اتخاذ القرارات الذكية التي تُعزز كلاً من الرصد البيئي ونتائج الاستدامة طويلة المدى (Malik، 2024).

7. نظرية التحسين المستمر (كايزن)

تُكمّل نظرية التحسين المستمر، أو كايزن، تركيز الدراسة على التحسين المستمر في مشاريع الغابات القائمة على إنترنت الأشياء. وتُشدّد على التعديلات التدريبية وحلقات التغذية الراجعة لتحسين العمليات والتكنولوجيا والنتائج بمرور الوقت. في إدارة الغابات، يُقدّم إنترنت الأشياء تغذية راجعة آنية تُساعد المدراء على اكتشاف أوجه القصور وتنفيذ التدابير التصحيحية فورًا. ويتوافق هذا بشكل رائع مع مبدأ كايزن للتطوير المُستمرّ على نطاق صغير. ويضمن دمج إنترنت الأشياء مع هذه الفكرة أن تُصبح الإدارة البيئية عملية ديناميكية ومُوجّهة نحو التعلم، حيث يزداد أداء الاستدامة باطراد من خلال الابتكار والمراقبة وتقنيات الإدارة التكيفية.

8. نظرية النظم الاجتماعية-التقنية

تُدرّك نظرية النظم الاجتماعية-التقنية الترابط بين الأنظمة البشرية والتقنية. في إدارة الغابات القائمة على إنترنت الأشياء، لا يعتمد النجاح على الأجهزة التقنية فحسب، بل يعتمد أيضًا على الخبرة البشرية والعمل الجماعي والدعم المؤسسي. تؤكد النظرية على ضرورة التكامل المتوازن بين التكنولوجيا والأفراد والعمليات. كما تُسلّط الضوء على أن ضعف الترابط بين المكونات الاجتماعية والتكنولوجية قد يُلحق الضرر بأهداف الاستدامة. يضمن تطبيق هذا النموذج أن يكون نشر إنترنت الأشياء شاملاً اجتماعيًا، ومسؤولًا أخلاقيًا، ومفيدًا للبيئة، مما يُفضي إلى نهج إداري شامل يدمج الابتكار التكنولوجي مع رعاية الغابات التي تُركّز على الإنسان.

الفصل الثالث منهجية الدراسة

مقدمة:

يناقش هذا الفصل الإطار المنهجي ومنهجيات البحث المستخدمة لتقييم تطبيق تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) في إدارة مشاريع الغابات لتعزيز الاستدامة البيئية. تُعدّ المنهجية نموذجًا يدمج الأسس النظرية الموضحة في الفصول السابقة مع الإجراءات التجريبية الهادفة إلى التحقق من صحة أهداف الدراسة. تتضمن المنهجية لمحة شاملة عن منهج البحث، ومجتمع البحث، وعمليات جمع البيانات، والحدود التي تم تحديدها أثناء البحث. علاوة على ذلك، توضح المنهجية كيف يضمن تصميم الدراسة موثوقية النتائج وصلاحيته ومصداقيتها.

يعتمد التصميم المنهجي لهذا البحث على منهج وصفي تحليلي. وقد تم اختيار هذه الاستراتيجية لتمكين دراسة كيفية دمج تقنيات إنترنت الأشياء بكفاءة في إدارة مشاريع الغابات لتحسين التخطيط والرصد والتحسين المستمر. يركز الجزء الوصفي على تحليل الممارسات الحالية لتبني إنترنت الأشياء في مشاريع الغابات والبيئة، بينما يستكشف الجزء التحليلي العلاقة بين تطبيقات إنترنت الأشياء وأداء المشروع ونتائج الاستدامة. تتيح هذه النظرة الهجينة فهمًا نوعيًا ودراسة كمية للجوانب التي تُسهم في نجاح التنفيذ.

تشمل منهجيات البحث المستخدمة في هذه الدراسة مصادر بيانات أولية وثانوية. جُمعت البيانات الأولية باستخدام استبيانات مُهيكلية ومقابلات شبه مُهيكلية أُجريت مع متخصصين ومهندسين ومديري مشاريع ومسؤولين بيئيين مُشاركين في مشاريع غابات تستخدم أنظمة رصد تكنولوجية. أما البيانات الثانوية، فقد جُمعت من المنشورات العلمية والتقارير الحكومية والمنظمات البيئية الدولية لتوفير فهم سياقي وأساس نظري. يُعزز هذا التثليث المنهجي صحة وشمولية نتائج البحث.

يشمل مجتمع البحث المُستهدف في هذه الدراسة المنظمات والمؤسسات والمتخصصين العاملين في إدارة الغابات ومبادرات الاستدامة البيئية وأنشطة الحفاظ القائمة على التكنولوجيا. ويشمل ذلك إدارات الغابات الحكومية، وشركات الاستشارات البيئية الخاصة، والمنظمات غير الحكومية، والباحثين الأكاديميين الذين يُركزون على الحلول البيئية الذكية. ومن خلال التركيز على هذه المجموعات، يضمن البحث أن تعكس البيانات المُجمعة طيفًا واسعًا من الخبرات ووجهات النظر حول نُهج إدارة الغابات المُعتمدة على إنترنت الأشياء. تأثر اختيار المجتمع أيضًا بتوافر البيانات واستعداد المؤسسات للمشاركة في الدراسة.

في حين يسعى تصميم البحث إلى الدقة والشمول، لا بد من الإقرار ببعض قيود الدراسة. أولاً، لا يزال توافر بيانات موثوقة لإدارة الغابات القائمة على إنترنت الأشياء محدودًا في بعض الأماكن، لا سيما في البلدان النامية حيث لا يزال اعتماد التكنولوجيا في ازدياد. ثانيًا، حدّت القيود الزمنية والمالية من نطاق العمل الميداني وعدد المشاركين. ثالثًا، تعني السرعة العالية للابتكار التكنولوجي في إنترنت الأشياء أن بعض الاستنتاجات قد تصبح قديمة مع تطور الحلول والأنظمة الجديدة. أخيرًا، قد تُغير الاختلافات البيئية والسياسات المحلية تطبيق الاستنتاجات في مختلف المناطق الجغرافية.

اكتملت أساليب جمع البيانات بشكل منهجي لضمان الشفافية وقابلية التكرار. بدأ الإجراء بتحديد المؤسسات المستهدفة والجهات المعنية ذات الصلة بموضوع البحث. بعد ذلك، قام الباحث ببناء أدوات جمع البيانات، بما في ذلك الاستبيانات وبروتوكولات المقابلات، بناءً على الإطار المفاهيمي المحدد في الفصل الثاني. بعد الحصول على الموافقة الأخلاقية من المشاركين، تم الحصول على البيانات من خلال نهجين إلكتروني وميداني. تم بعد ذلك تنظيم البيانات المُجمعة وترميزها وتحليلها باستخدام مناهج التحليل الإحصائي والموضوعي المناسبة لتقييم الارتباطات بين متغيرات الدراسة والتحقق من صحة النموذج المتكامل المقترح.

فيما يتعلق بحدود حجم العينة، واجهت الدراسة قيودًا مرتبطة بكمية وتوزيع المشاركين. ونظرًا للطبيعة المتخصصة لتطبيقات إنترنت الأشياء في مجال الغابات، كان المجتمع المتاح من المشاركين المؤهلين صغيرًا جدًا. بالإضافة إلى ذلك، أدى تشتت الجغرافي ومحدودية الوصول إلى مشاريع غابات معينة إلى انخفاض حجم العينة المحتمل. وعلى الرغم من هذه القيود، تم اختيار العينة بعناية للحفاظ على تمثيلها، مما يضمن أن توفر النتائج رؤى قيّمة حول تطبيق وتأثير تقنية إنترنت الأشياء في إدارة الغابات.

باختصار، يُرسي هذا الفصل الإطار المنهجي للدراسة من خلال شرح تصميم البحث، ومجتمع البحث، وحدوده، وعمليات جمع البيانات. ومن خلال مزيج متوازن من المنهجيات الوصفية والتحليلية، يهدف البحث إلى تطوير أدلة موثوقة حول كيفية مساهمة تقنية إنترنت الأشياء في إدارة مشاريع الغابات المستدامة. وستُقدم الأقسام التالية من هذا الفصل شرحًا وافيًا لأدوات البحث، وإجراءات تحليل البيانات، والمعايير الأخلاقية المستخدمة لضمان النزاهة العلمية للدراسة.

المنهجية وطرق البحث:

1. الإطار المنهجي

يعتمد هذا البحث على منهجية وصفية تحليلية، تجمع بين تقنيات نوعية وكمية. يركز الجانب الوصفي على تحديد الممارسات والتطبيقات الحالية لتقنية إنترنت الأشياء في إدارة مشاريع الغابات. وفي الوقت نفسه، يدرس الجانب التحليلي الارتباطات بين تطبيق إنترنت الأشياء وفعالية المشروع والاستدامة البيئية. تضمن هذه المنهجية المزدوجة فهمًا شاملاً لكيفية تسهيل إنترنت الأشياء للتخطيط والمراقبة والتحسين المستمر. يُسهّل دمج الوصف والتحليل عرض الحقائق والتفسير النقدي، مما يعزز مصداقية الدراسة ويقدم رؤى عملية لاستراتيجيات إدارة البيئة المستقبلية.

2. منهجية البحث

استخدمت الدراسة تصميمًا مقطعيًا، يجمع البيانات من المشاركين في لحظة محددة. يُسهّل هذا التصميم تقييم الوضع الحالي لاستخدام إنترنت الأشياء وتأثيره المباشر على نتائج مشاريع الغابات. كما يسمح للدراسة بتمييز أوجه القصور والعقبات الحالية والممارسات النموذجية في أنظمة إدارة البيئة القائمة على إنترنت الأشياء. تتميز البنية المقطعية بكفاءة عالية في تحليل التفاعلات الآنية بين التكنولوجيا والاستدامة دون الحاجة إلى مراقبة طويلة المدى. كما أنها تُقدم لمحة عامة عن العلاقة بين تطبيقات إنترنت الأشياء ونجاح المشروع، مما يُرسي الأساس للدراسات الطولية اللاحقة في هذا الموضوع.

3. أساليب جمع البيانات

استُخدمت استراتيجيتان أساسيتان لجمع البيانات: الاستبيانات المنظمة والمقابلات شبه المنظمة. وُزعت الاستبيانات على مديري المشاريع والمهندسين والمتخصصين البيئيين للحصول على بيانات قابلة للقياس حول تطبيق إنترنت الأشياء وآثاره. وأُجريت مقابلات شبه منظمة مع المتخصصين المعنيين سعيًا وراء فهم أعمق للصعوبات والإمكانيات والآثار الاستراتيجية لاعتماد إنترنت الأشياء في مشاريع الغابات. وقد مكّن هذا المزيج الدراسة من الجمع بين اتساع وعمق البيانات، مما أدى إلى توليد أنماط كمية وفهم دقيق. وقد عزز استخدام العديد من تقنيات جمع البيانات مصداقية الدراسة من خلال التثليث المنهجي.

4. مصادر البيانات

يشمل البحث مصادر بيانات أولية وثانوية. وقد تم الحصول على البيانات الأولية مباشرةً من الأشخاص المشاركين في مشاريع إدارة الغابات والاستدامة. شملت البيانات الثانوية أبحاثاً منشورة، وتقارير بيئية، وسجلات حكومية، ومقالات علمية حول إنترنت الأشياء والتكنولوجيا البيئية. قدّمت هذه المواد الثانوية الأساس النظري وفسّرت البيانات الرئيسية بشكل مدعم. أتاح تنوع مصادر البيانات إجراء تحليل شامل، والتحقق من صحتها، والمقارنة بين الأنشطة الواقعية والمعرفة الأكاديمية الراسخة. تضمن استراتيجية البيانات المتكاملة هذه أن تكون استنتاجات البحث مترابطة، وموثوقة، ومرتبطة بالاتجاهات البيئية والتكنولوجية العالمية الحالية.

5. السكان والعينات

تكوّن مجتمع البحث من منظمات وخبراء عاملين في إدارة الغابات، والمشاريع البيئية، وأنظمة الرصد القائمة على إنترنت الأشياء. تم اختيار المشاركين باستخدام عينات هادفة لضمان مساهمة الأفراد ذوي الخبرة ذات الصلة فقط في الدراسة. تشمل العينة مديري مشاريع، ومتخصصين في إنترنت الأشياء، ومهندسين بيئيين من جهات حكومية وخاصة. تضمن عملية الاختيار هذه تمثيل أصحاب المصلحة المهمين الذين يتعاملون مباشرةً مع تقنيات إنترنت الأشياء في إدارة الغابات. تعزز العينة المختارة أهمية ودقة النتائج من خلال التركيز على الممارسين الذين يفهمون المكونات التشغيلية والاستراتيجية لتبني إنترنت الأشياء.

6. تقنيات تحليل البيانات

يتضمن تحليل البيانات في هذه الدراسة منهجيات كمية ونوعية. عولجت البيانات الكمية من الاستبيانات باستخدام إحصاءات وصفية واستنتاجية لاكتشاف الأنماط والصلات بين تبني إنترنت الأشياء ونتائج الاستدامة. أما البيانات النوعية من المقابلات، فقد عولجت موضوعيًا لاكتشاف الأنماط المتكررة والرؤى المتعلقة بعقبات التنفيذ وإمكانياته. وقد قدّم هذا التحليل متعدد الأساليب نتائج شاملة جمعت بين الدقة العددية والعمق التفسيري. وتضمن منهجية التحليل المزدوج صحة النتائج إحصائيًا ودلالاتها السياقية، مما يدعم الاستنتاجات المهمة لصانعي السياسات ومديري المشاريع والمخططين البيئيين.

7. صحة وموثوقية البحث

كان ضمان الصحة والموثوقية أولويةً أساسيةً في هذا البحث. خضعت أدوات الدراسة لاختباراتٍ مسبقة لضمان الوضوح والصحة والأهمية. وعزز التثليث بين مصادر البيانات والمنهجيات المتنوعة من الصحة، بينما حافظت إجراءات جمع البيانات المتسقة على الموثوقية. وتم الالتزام بالمعايير الأخلاقية، بما في ذلك الموافقة المستنيرة والسرية، بدقة. وقد أدى الجمع بين إجراءات التحقق الكمي والنوعي إلى إزالة تحيز الباحثين وتعزيز دقة البيانات. وبالتالي، تضمن الدقة المنهجية لهذا العمل أن تكون نتائجه مشروعة وقابلة للتكرار وذات صلة بالبحوث المستقبلية في مجال الإدارة البيئية القائمة على إنترنت الأشياء.

مجتمع البحث:

1. تعريف مجتمع البحث

يمثل مجتمع البحث جميع الأشخاص والمؤسسات والمنظمات المهتمة بشكل مباشر أو غير مباشر بإدارة مشاريع الغابات وتطبيق تقنيات إنترنت الأشياء لتحقيق الاستدامة. ويشمل ذلك الخبراء الذين يخططون ويراقبون ويديرون أنشطة الغابات باستخدام الأدوات الرقمية. يوفر هذا المجتمع أساسًا للجزء التجريبي من هذه الدراسة، حيث تعكس أفكارهم تجارب واقعية في مجال التكامل التكنولوجي في المشاريع البيئية. يساعد تعريف هذا المجتمع على ضمان أن يكون جمع البيانات مُركّزًا وذو صلة، وأن يُصوّر بدقة الواقع الفعلي لأنظمة إدارة الغابات القائمة على إنترنت الأشياء.

2. تكوين المجتمع

يشمل مجتمع البحث الإدارات الحكومية للغابات، والوكالات البيئية، ومؤسسات الاستدامة المؤسسية، والمنظمات غير الحكومية المنخرطة في مجال الحفاظ على البيئة. كما يضم باحثين أكاديميين، ومطوري إنترنت الأشياء، ومديري مشاريع يُساهمون في رصد الغابات، وحماية التنوع البيولوجي، والاستخدام المستدام للموارد. يُشكل هؤلاء المشاركون مجتمعين شبكة متعددة التخصصات من الخبرات تجمع بين التكنولوجيا والبيئة وإدارة المشاريع. تُمكن وجهات النظر المختلفة الدراسة من

رصد كيفية عمل حلول إنترنت الأشياء في السياقات الإدارية والتقنية والتشغيلية، مما يُعزز فهم تأثيرها على أداء الاستدامة وكفاءة مشاريع الغابات.

3. النطاق الجغرافي للمجتمع البحثي

يشمل مجتمع البحث منظمات وطنية وإقليمية تعمل في مشاريع الغابات والاستدامة. ويركز بشكل أساسي على المواقع التي تُنفذ فيها مشاريع إدارة الغابات، والتي تُطبّق فيها تقنيات إنترنت الأشياء أو تُجرَّب. يسمح دمج مناطق جغرافية متعددة بتباين في الجاهزية التقنية، والمشاكل البيئية، وأطر السياسات. يضمن هذا التنوع ألا تقتصر استنتاجات الدراسة على بيئة واحدة، بل تعكس اتجاهات أوسع نطاقاً ذات صلة بظروف بيئية مماثلة. كما يُوفر دراسة مقارنة بين المناطق المتقدمة والنامية في استخدام إنترنت الأشياء.

4. الأدوار والمسؤوليات المؤسسية

تؤدي كل مؤسسة ضمن مجتمع البحث دوراً محدداً في إدارة مشاريع الغابات. تُدير الهيئات الحكومية الامتثال التنظيمي وتنفيذ السياسات البيئية. تُقدم الشركات الخاصة حلولاً تقنية مبتكرة وتُحافظ على أنظمة مراقبة رقمية. تُساهم المنظمات غير الحكومية في التوعية والتدريب والدعوة للاستدامة. تُجري المؤسسات الأكاديمية أبحاثاً وتُقدم اقتراحات قائمة على البيانات لنشر إنترنت الأشياء بفعالية. يُظهر فهم هذه المسؤوليات المؤسسية كيفية تفاعل مختلف أصحاب المصلحة وتعاونهم وتأثيرهم على تكامل إنترنت الأشياء في مشاريع الغابات، مما يُقدم صورة كاملة عن كيفية مواءمة التكنولوجيا والحوكمة لتعزيز ممارسات الإدارة المستدامة.

5. الملامح المهنية داخل المجتمع البحثي

يتمتع أعضاء مجتمع البحث بخلفيات مهنية متنوعة، بما في ذلك مهندسو الغابات، ومتخصصو إنترنت الأشياء، وعلماء البيئة، ومحللو البيانات، ومنسقو المشاريع. يمتلك هؤلاء الأشخاص معرفةً محددةً تؤثر بشكل مباشر على تصميم المشاريع وتنفيذها وتقييمها. تُوفر خبرتهم العملية رؤى حيويةً حول المشكلات التشغيلية لتكامل إنترنت الأشياء، مثل معايرة أجهزة

الاستشعار، وموثوقية البيانات، وقابلية توسع النظام. من خلال إشراك أشخاص من مختلف المهن التقنية والإدارية، يضمن البحث تمثيل جميع وجهات النظر - الاستراتيجية والتقنية والبيئية - مما يعزز مصداقية وشمولية نتائج الدراسة.

6. معايير الإدماج في المجتمع

وُضعت معايير مشاركة المشاركين بناءً على الخبرة، والأهمية، والمشاركة المهنية في مجال إنترنت الأشياء أو إدارة مشاريع الغابات. واختير المشاركون إذا كانت لديهم خبرة لا تقل عن عامين في إدارة أو تصميم أو تقييم المشاريع البيئية القائمة على التكنولوجيا. وقد ضمن ذلك لجميع المشاركين إمكانية تقديم رؤى قيّمة ومفيدة. كما اختيرت المؤسسات بناءً على مشاركتها الفاعلة في جهود الغابات المستدامة. ومن خلال اعتماد معايير الاختيار هذه، تحافظ الدراسة على مستوى عالٍ من دقة البيانات ووثاقه صلتها بالموضوع، مع التركيز بشكل أساسي على المساهمين المؤهلين والكفاءين.

7. أهمية مجتمع البحث

يُعدّ مجتمع البحث ركيزة هذه الدراسة، إذ يُقدّم الأدلة التجريبية والسياق العملي اللازمين لتقييم فرضيات البحث. ويُمكن تعاونهم من دراسة تطبيقات إنترنت الأشياء في إدارة الغابات على أرض الواقع، مما يُسهم في سد الفجوة بين المفاهيم النظرية وأساليب الاستدامة التطبيقية. تُسهم الملاحظات والخبرات المكتسبة من هذا المجتمع بشكل مباشر في إثبات صحة النموذج المفاهيمي المُقدّم في الفصل الثاني. وفي نهاية المطاف، يُعزّز فهم هذا المجتمع قدرة الدراسة على تقديم توصيات عملية لتعزيز أنظمة تخطيط ومراقبة مشاريع الغابات القائمة على إنترنت الأشياء.

حدود الدراسة:

1. محدودية الوصول إلى مشاريع إنترنت الأشياء

من أبرز معوقات هذه الدراسة محدودية الوصول إلى مشاريع الغابات التي نفّذت أنظمة إنترنت الأشياء بالكامل. ونظرًا لأن الرصد البيئي القائم على إنترنت الأشياء لا يزال في مراحله الأولى في العديد من المناطق، فإن البيانات ودراسات الحالة المتاحة نادرة. وقد تمنع بعض المنظمات تبادل المعلومات بسبب سياسات السرية أو المشاريع الجارية. وقد أدى هذا القيد إلى انخفاض

عدد المشاريع المرئية وحد من نطاق جمع البيانات التجريبية، مما أثر على شمولية الدراسة المقارنة بين مختلف تقنيات إنترنت الأشياء وأثارها البيئية.

2. المعوقات الجغرافية والبيئية

تتأثر استنتاجات الدراسة بالمتغيرات الجغرافية والبيئية بين مناطق الغابات. وتؤثر الاختلافات في المناخ ونوع الغابة والعوامل البيئية على وظائف إنترنت الأشياء وجودة البيانات. وتواجه بعض الأماكن قيودًا في الاتصال أو تحديات بيئية تعيق تشغيل أجهزة الاستشعار ونقل البيانات. وبالتالي، قد لا تكون بعض الاستنتاجات قابلة للتعميم على جميع النظم البيئية، وخاصة في مواقع الغابات الاستوائية أو النائية. تُبرز هذه الفروقات السياقية ضرورة تكييف أنظمة إنترنت الأشياء مع كل منطقة على حدة، مما يحد من قدرة إطار عمل واحد على تمثيل ظروف إدارة الغابات العالمية بدقة.

3. محدودية الوقت والموارد

نظرًا لمحدودية الوقت والموارد المالية، لم تتمكن الدراسة من إجراء رصد طويل الأمد أو اختبارات ميدانية واسعة النطاق. تتطلب حلول إنترنت الأشياء أحيانًا فترات مراقبة مطولة لتحديد تأثيرها الكامل على أداء المشروع ونتائج الاستدامة. ومع ذلك، اقتصر هذا البحث على جمع البيانات قصيرة الأجل والتحليل المقطعي. يُعيق غياب الرصد المستمر القدرة على قياس التغيرات بمرور الوقت، مثل التحسينات طويلة الأمد في تجديد الغابات، أو عزل الكربون، أو مستويات التنوع البيولوجي المتأثرة بإجراءات الإدارة القائمة على إنترنت الأشياء.

4. التطور التكنولوجي السريع

يُشكل التقدم السريع لتقنيات إنترنت الأشياء قيدًا كبيرًا. يتم إدخال أجهزة استشعار وبروتوكولات اتصال وأدوات تحليل جديدة بشكل روتيني، مما قد يجعل النتائج الحالية قديمة في وقت قصير. تُصعّب هذه الطبيعة الديناميكية للتكنولوجيا الحفاظ على معيار موثوق للتحليل. وبالتالي، ينبغي اعتبار استنتاجات البحث مُثلّةً للمرحلة الحالية من تطوير إنترنت الأشياء، لا مجرد معايير ثابتة. وستكون التحديثات والتعديلات المستمرة ضروريةً لربط الدراسات المستقبلية بالتطورات التقنية المتنامية وأساليب التكامل في مجال الرصد البيئي.

5. مشاكل موثوقية البيانات والاتصال

تعتمد أنظمة إنترنت الأشياء بشكل كبير على جمع البيانات بشكل متسق من خلال الأجهزة المترابطة. ومع ذلك، فإن انقطاع البيانات بسبب فقدان الإشارة أو انقطاع التيار الكهربائي أو عطل في أجهزة الاستشعار قد يُضعف دقة البيانات. في حالات الغابات، قد تؤثر الرطوبة والنباتات الكثيفة وتفاعلات الحياة البرية بشكل أكبر على وظائف أجهزة الاستشعار. ونتيجة لذلك، قد تحتوي بعض البيانات المُحصلة على تناقضات أو قيم مفقودة، مما يتطلب التحقق اليدوي أو التعديلات الإحصائية. تؤثر هذه القيود التقنية على دقة التحليل وتبرز أهمية الحفاظ على عمليات صيانة ومعايرة فعّالة في المبادرات البيئية القائمة على إنترنت الأشياء.

6. حجم العينة المحدود

كان عدد الأشخاص والمؤسسات المشاركة في هذا البحث أقل مما كان مُتوقعًا في البداية، ويعود ذلك أساسًا إلى مشاكل إمكانية الوصول والتعاون. رفضت بعض المؤسسات المشاركة أو لم تكن متاحة لإجراء المقابلات، مما قلل من تمثيل العينة. ورغم أن العينة الهادفة ضمنت امتلاك المشاركين لخبرة ذات صلة، إلا أن حجم العينة المحدود يُقيّد إمكانية تعميم النتائج. ينبغي أن تشمل الدراسات المستقبلية شريحة سكانية أكبر وأكثر تنوعًا في عدة مواقع للتأكد من صحة النموذج المتكامل المقترح لإدارة الغابات القائمة على إنترنت الأشياء وتعزيز الاستدامة.

7. العوامل البشرية والمؤسسية

كما شكلت الصعوبات البشرية والمؤسسية قيودًا على هذه الدراسة. فقد أعاققت مقاومة التغيير التقني، ونقص التدريب، وعدم كفاية الدعم الحكومي، درجة تبني إنترنت الأشياء في بعض الشركات. وقد أثرت هذه العوامل على توافر وجودة البيانات المُقدمة للباحث. بالإضافة إلى ذلك، أدت البيروقراطية المؤسسية أحيانًا إلى تأخير الوصول إلى الأوراق البحثية أو الموافقة على المقابلات. تبرز هذه القيود الإدارية والسلوكية القضية الأوسع نطاقًا المتمثلة في جاهزية المؤسسات، مما يُظهر أن نجاح تبني إنترنت الأشياء لا يعتمد فقط على التكنولوجيا، بل أيضًا على قدرة التكيف البشرية وأنظمة الدعم المؤسسي.

خطوات جمع البيانات:

1. تحديد أهداف البحث

بدأت عملية جمع البيانات بتحديد واضح لأهداف البحث ومتغيراته، مع ضمان توافقها مع الإطار المفاهيمي المحدد في الفصل الثاني. اختار الباحث الهدف الرئيسي، وهو دراسة دور تقنية إنترنت الأشياء في تحسين إدارة مشاريع الغابات واستدامتها. ووضعت أهداف فرعية محددة لدراسة كفاءة التخطيط، ودقة الرصد، واتخاذ القرارات القائمة على البيانات. وقد قاد تحديد هذه الأهداف عملية جمع البيانات بأكملها، مما ساعد في تحديد البيانات المطلوبة، والجهات المعنية المستهدفة، والأدوات الأكثر فعالية لجمع معلومات مفيدة وذات مصداقية.

2. اختيار الفئة المستهدفة

بعد تحديد الأهداف، تم تحديد الفئة المستهدفة بناءً على صلتها بموضوع البحث. وشمل ذلك المنظمات والمتخصصين والأفراد المعنيين بشكل مباشر بإدارة الغابات، والرصد البيئي، ونشر أنظمة إنترنت الأشياء. وقد حقق اختيار الفئة المستهدفة توازناً بين المؤسسات العامة والشركات التجارية ومعاهد البحث. وقد سمح تحديد هذه المجموعة للباحث ببناء أساليب جمع بيانات تناسب مع سياقه المهني وكفاءته. كما تضمنت أن المعلومات المجمعة ستُمثل الواقع العملي لتطبيق إنترنت الأشياء، وستُقدم رؤى مختلفة حول دمج التكنولوجيا مع الإدارة البيئية.

3. تطوير أدوات البحث

تتضمن الخطوة الثانية بناء أدوات مناسبة لجمع البيانات، بما في ذلك استبيانات مُهيكلّة وأدلة مُقابلة شبه مُهيكلّة. كان الهدف من الاستبيان جمع بيانات كمية حول استخدام إنترنت الأشياء، وكفاءة المشروع، ونتائج الاستدامة، بينما هدف دليل المُقابلة إلى الحصول على رؤى نوعية حول صعوبات وإمكانات تبني إنترنت الأشياء. راجع المشرفون الأكاديميون كلتا الأداتين، وخضعتا لاختبار تجريبي لضمان الوضوح والملاءمة والموثوقية. أكدت هذه المرحلة أن الأدوات جمعت بكفاءة كلاً من المؤشرات الكمية والتصورات السياقية ذات الصلة بإدارة مشاريع الغابات القائمة على إنترنت الأشياء.

4. الموافقة الأخلاقية وموافقة المشارك

قبل بدء جمع البيانات، حصل الباحث على الموافقة الأخلاقية من الجهات الأكاديمية المختصة. وتم الالتزام بالعوامل الأخلاقية، بما في ذلك السرية، والمشاركة الطوعية، وخصوصية البيانات. زُوِّد المشاركون بمعلومات واضحة حول هدف الدراسة وحقوقهم، بما في ذلك إمكانية الانسحاب في أي وقت. ووُقِّعت أوراق الموافقة المستنيرة قبل المشاركة في الاستبيانات أو المقابلات. وقد وُقِّر هذا الالتزام الأخلاقي الشفافية، وحى هويات المشاركين، وعزز شرعية وسلامة إجراءات جمع البيانات في الدراسة بشكل عام.

5. تطبيق جمع البيانات

تم جمع البيانات فعليًا باستخدام نهجين إلكترونيين وميدانيين، اعتمادًا على إمكانية وصول المشاركين وموقعهم الجغرافي. قُدِّمت الاستبيانات إلكترونيًا عبر البريد الإلكتروني والنماذج الإلكترونية، بينما أُجريت المقابلات عبر مؤتمرات الفيديو أو الاجتماعات الشخصية. تُمكن هذه التقنية الهجينة الباحث من الوصول إلى مجموعة أوسع من المشاركين وتجنُّب القيود اللوجستية. جُمعت البيانات على مدى فترة زمنية محددة مسبقًا للحفاظ على الاتساق والموثوقية. خلال هذه المرحلة، حافظ الباحث على تواصل منتظم مع المشاركين لشرح الأسئلة وضمان إجابات دقيقة وكاملة.

6. تنظيم البيانات والتحقق منها

بعد الحصول عليها، رُتبت البيانات بشكل منهجي باستخدام جداول البيانات وأدوات الترميز النوعي. تم دمج الردود الكمية من الاستبيانات في برنامج إحصائي للتحليل الوصفي والاستنتاجي، بينما تم نسخ بيانات المقابلات النوعية وتجميعها حسب الموضوع. أُجريت عمليات التحقق للتحقق من الأخطاء والقيم المفقودة والتناقضات. تم استبعاد الإدخالات المكررة أو الردود غير المكتملة لتعزيز دقة البيانات. ضمن هذا النهج الدقيق للتحقق أن البيانات كانت نظيفة وصالحة ومتاحة للتحليل الهادف بما يتماشى مع أهداف الدراسة وإطارها المنهجي.

7. إعداد تحليل البيانات

تطلبت المرحلة التالية تجميع البيانات المؤكدة للتحليل وفقًا لأسئلة البحث في الدراسة. تم فحص البيانات الكمية باستخدام أدوات التحليل الإحصائي للعثور على الاتجاهات والارتباطات والروابط بين استخدام إنترنت الأشياء ومقاييس الاستدامة. تمت

معالجة البيانات النوعية موضوعيًا للعثور على الأنماط المتكررة والرؤى السياقية. ثم تم دمج كلتا مجموعتي البيانات لتوفير تحليل شامل لكيفية تأثير تقنيات إنترنت الأشياء على تصميم مشاريع الغابات ومراقبتها وعواقبها البيئية. لقد ضمن هذا الإعداد المنظم أن خطوة التحليل التالية ستؤدي إلى نتائج دقيقة ومبنية على الأدلة ومتسقة مع هدف البحث.

محددات حجم العينة:

1. القيود الناجمة عن إمكانية وصول السكان

كان من أهم عيوب الدراسة محدودية الوصول إلى جميع السكان المشاركين في برامج إدارة الغابات القائمة على إنترنت الأشياء. فالعديد من المجموعات العاملة في مواقع الغابات النائية تعاني من ضعف في الاتصال بالإنترنت أو البنية التحتية للاتصالات، مما صعب التواصل مع جميع المشاركين المحتملين. ونتيجةً لذلك، لم تُدرج في الاستبيان سوى مجموعة فرعية من الفئة السكانية المستهدفة. وربما يكون هذا القيد قد قلل من تمثيل العينة، حيث لم تُمثل مجموعات معينة - لا سيما تلك الموجودة في المناطق الريفية أو محدودة الموارد - تمثيلاً كافياً في مجموعة البيانات النهائية.

2. عدد محدود من الخبراء المشاركين

تطلبت الدراسة ردوداً من متخصصين وخبراء ذوي خبرة فنية وإدارية في إنترنت الأشياء وإدارة الغابات. ومع ذلك، كان هؤلاء الخبراء المتخصصون نادرين نسبياً، وشغلوا عموماً مناصب عليا مع توافر محدود للمشاركة. وقد أعاق تواضع عدد الخبراء المشاركين نطاق الآراء، لا سيما فيما يتعلق بتطبيقات إنترنت الأشياء المتطورة وممارسات الاستدامة طويلة الأجل. نتيجةً لذلك، ورغم قيمة البيانات المُحصَّلة، إلا أنها قد لا تُجسّد كامل نطاق الخبرات والتجارب المتاحة في قطاعي البيئة والتكنولوجيا الأوسع.

3. القيود الزمنية في جمع البيانات

كما حدّت القيود الزمنية من حجم العينة المُمكن. كانت فترة جمع البيانات قصيرة نسبياً نظراً للمواعيد النهائية المؤسسية والتقويم الأكاديمي. أعاق هذا الجدول الزمني المُقيّد قدرة الباحث على إجراء عمليات متابعة أو الاتصال بعدد أكبر من المشاركين الذين احتاجوا إلى وقت أطول للإجابة. ورغم إرسال تذكيرات، ظلت معدلات الاستجابة معتدلة. وقد أضّر الإطار

الزماني الضيق بعمق وكمية البيانات المُحصَّلة، لا سيما من الشركات التي تحتاج إلى موافقات داخلية قبل الانخراط في مبادرات بحثية خارجية.

4. التشتت الجغرافي للمشاركين

ومن المشكلات الأخرى التي نتجت عن التوزيع الجغرافي الكبير لمشاريع الغابات وأنشطة إنترنت الأشياء عبر مناطق مُختلفة. فقد توزَّع المشاركون على العديد من المحافظات، وغالبًا في أماكن منعزلة، مما جعل الوصول الفعلي صعبًا. وفي حين استُخدمت تقنيات الإنترنت لتقليل هذه الصعوبة، إلا أن ضعف الاتصال في أماكن مُعيَّنة أعاق التواصل المُستمر. أدى هذا التشتت المكاني إلى انخفاض عدد الإجابات المُكتملة، وحد من إشراك بعض مديري المشاريع المحليين والمهندسين الميدانيين. ونتيجةً لذلك، يُمكن للبيانات المُحصَّلة أن تعكس مبادرات حضرية أو مركزية أكثر من تلك الموجودة في مناطق ميدانية معزولة.

5. القيود التنظيمية وخصوصية البيانات

أحجمت العديد من الشركات عن تقديم بيانات المشاريع الداخلية أو المعلومات التشغيلية لأسباب تتعلق بالسرية والأمن، خاصةً فيما يتعلق بأنظمة إنترنت الأشياء وبيانات الرصد البيئي. ورفض بعض المُستجيبين المُحتملين المشاركة أو قدّموا معلومات جزئية فقط. وأدت هذه القيود إلى صغر حجم مجموعة البيانات، وأعاقت قدرة الباحث على إجراء بعض تحليلات المقارنة. وعلى الرغم من اتباع الإجراءات الأخلاقية، إلا أن اللوائح المؤسسية وسياسات الخصوصية حدّت من توافر البيانات، مما حدّ من العينة النهائية وقلّل من تنوع الإجابات عبر مختلف أنواع المؤسسات.

6. القيود المنهجية لاختيار العينة

أدخل أسلوب اختيار العينة، الذي جمع بين العينة الهادفة والعينة الملائمة، العديد من القيود المتعلقة بالتمثيل. ويعتمد الاختيار بشكل كبير على سهولة الوصول والرغبة في المشاركة بدلاً من التوزيع العشوائي. هذه الاستراتيجية، وإن كانت عملية في ظل ظروف واقعية، إلا أنها ربما تكون قد أدت إلى تحيز من خلال الإفراط في تمثيل الأشخاص الأكثر انخراطاً أو أصحاب الآراء الأقوى فيما يتعلق بإنترنت الأشياء في مجال الغابات. لذلك، ينبغي التعامل مع النتائج، وإن كانت جوهريّة، بحذر، مع العلم أنها قد لا تعكس التنوع الكامل للتجارب أو الممارسات في جميع أنحاء المجموعة المستهدفة.

7. الآثار الإحصائية لصغر حجم العينة

يُقلل صغر حجم العينة من القدرة الإحصائية للبحث، مما يحد من القدرة على تعميم النتائج على سياق أوسع. في التحليل الكمي، يمكن أن تزيد العينات الصغيرة من هامش الخطأ وتُضعف موثوقية نتائج الارتباط أو الانحدار. وبالمثل، قد لا تلتقط البيانات النوعية من عدد محدود من المقابلات جميع الآراء ذات الصلة. على الرغم من استخدام التثليث لتعزيز الصلاحية، إلا أن حجم العينة الإجمالي لا يزال يحد من قوة الاستنتاجات التي تم الحصول عليها من الدراسة. ينبغي أن تهدف الدراسات المستقبلية إلى عينات أكبر وأكثر توازناً للتحقق من صحة هذه النتائج وتوسيع نطاقها.

الفصل الرابع: نتائج الدراسة:

مقدمة:

يعرض الفصل الرابع من هذه الدراسة ويناقش النتائج المُستقاة من عملية جمع البيانات المرتبطة بتطبيقات إنترنت الأشياء (IoT) في إدارة مشاريع الغابات لتعزيز الاستدامة البيئية. ويمثل هذا الفصل حلقة وصل بين منهجية البحث وتحليل النتائج، حيث يُحوّل البيانات الخام إلى رؤى ذات صلة تُلبي أهداف الدراسة ومشكلاتها الرئيسية. ويهدف هذا الفصل إلى تحليل مدى مساهمة تكامل إنترنت الأشياء في تحسين تخطيط مبادرات إدارة الغابات ورصدها وتحسينها المستمر، مع دعم التوازن البيئي وأهداف التنمية المستدامة.

تُقدّم النتائج وفقاً لهيكل الإطار المفاهيمي، الذي يربط بين تقنية إنترنت الأشياء كمتغير مستقل والاستدامة البيئية كمتغير تابع، بوساطة تخطيط المشاريع ومقاييس الأداء وإدارة البيانات. وقد دُرِسَ كلٌّ من هذه العناصر بالاستفادة من الردود الواردة من الخبراء ومهندسي البيئة ومديري المشاريع المشاركين في مبادرات الغابات المدعّمة بإنترنت الأشياء. ويسعى الفصل إلى تسليط الضوء على كيفية تأثير الأدوات التكنولوجية، مثل أجهزة الاستشعار وأنظمة البيانات الآلية ومنصات التحليلات، على اتخاذ القرارات البيئية والكفاءة التشغيلية. يُركز تحليل البيانات في هذا الفصل على العناصر الكمية والنوعية. كمياً، حُقِّقَت بيانات المسح إحصائياً للكشف عن الروابط بين استخدام أدوات إنترنت الأشياء والنتائج القابلة للقياس، مثل الحد من إزالة الغابات، وتبسيط تخصيص الموارد، وتحسين أداء المشاريع. نوعياً، حلل الباحث تعليقات المشاركين، ودراسات الحالة، والرؤى السردية التي توضح كيف غيّر إنترنت الأشياء العمليات اليومية في رصد الغابات والحفاظ عليها. هذا المنظور المزدوج يزيد من موثوقية النتائج، ويوفر فهماً شاملاً لكيفية مساهمة إنترنت الأشياء في الاستدامة في بيئات الغابات.

يتبع عرض النتائج أيضاً الترتيب المنطقي لمواضيع الدراسة الواردة في الفصل الأول. يبحث القسم الأول من التقرير في درجة اعتماد إنترنت الأشياء في مشاريع إدارة الغابات، والتقنيات الفردية الأكثر استخداماً، مثل أجهزة الاستشعار عن بُعد، وتتبع نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، ومنصات البيانات البيئية الفورية. أما القسم الثاني، فيحلل كيف غيّرت هذه التقنيات عمليات تخطيط المشاريع واتخاذ القرارات. يستكشف الجزء الأخير كيف يُحسّن الرصد القائم على إنترنت الأشياء دقة وموثوقية مقاييس الأداء المرتبطة بالحفاظ على البيئة. وأخيراً، يُغطي الجزء الرابع أهمية إدارة البيانات والتحليلات في تحقيق أهداف الاستدامة طويلة الأجل.

علاوة على ذلك، يتناول فصل النتائج نقاط القوة والقيود التي واجهتها أنظمة إنترنت الأشياء في التطبيق الفعلي. وبينما تُظهر النتائج فوائد جلية - مثل دقة الرصد العالية، وخفض التكاليف، وتحسين الشفافية - فإنها تكشف أيضًا عن عقبات مهمة، بما في ذلك القيود التقنية، والقيود المالية، وقضايا خصوصية البيانات. يُتيح إدراك هذه التحديات رؤية متوازنة لتأثير إنترنت الأشياء، ويُرسي أساسًا معقولًا للتوصيات الواردة في الفصل الأخير.

لا تسعى الدراسة المقدمة في هذا الفصل إلى إثبات صحة الأفكار أو رفضها فحسب، بل إلى توفير معرفة أعمق بكيفية تحسين الأنظمة القائمة على التكنولوجيا لتحقيق الإدارة المستدامة للغابات. تُشير النتائج إلى أن إنترنت الأشياء ليس مجرد مجموعة من التقنيات الرقمية، بل هو أيضًا مُمكن استراتيجي لدمج الأهداف البيئية في عمليات الإدارة اليومية. من خلال جمع البيانات البيئية وتحليلها واستخدامها بشكل مستمر، يمكن للمؤسسات تطوير نظام متكامل للرصد والتحسين، مما يعزز الصحة البيئية والأداء التشغيلي.

باختصار، يقدم هذا الفصل النتائج التجريبية المستمدة من بيانات البحث، ويناقش أهميتها في تحقيق أهداف الدراسة. ويقدم نظرة شاملة حول كيفية مساهمة تقنيات إنترنت الأشياء في الجوانب الاستراتيجية والتشغيلية والبيئية لإدارة الغابات. ستشرح الأجزاء التالية التحليلات الإحصائية، والتمثيلات البيانية، والنقاشات التفسيرية التي تُبرز هذه الارتباطات، مُرسيةً بذلك إطار عمل فصول النقاش والخاتمة التالية.

تحليل البيانات:

1. لمحة عامة عن عملية تحليل البيانات

ركز نهج تحليل البيانات في هذه الدراسة على تقييم كيفية مساهمة تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) في تعزيز تخطيط برامج إدارة الغابات ومراقبتها وتطويرها المستمر. عولجت البيانات المُجمعة باستخدام التحليل الوصفي والاستدلالي لإيجاد الأنماط والارتباطات بين تركيب إنترنت الأشياء والآثار البيئية. دُرست البيانات الكمية من خلال مناهج إحصائية لاكتشاف الارتباطات، بينما وفرت التغذية الراجعة النوعية من المتخصصين فهمًا أعمق للتطبيقات العملية. ضمن هذا النهج المزدوج أن تكون النتائج

ليس فقط صحيحة إحصائياً، بل ذات مغزى سياقي أيضاً، مما يوفر معرفة شاملة بكيفية مساهمة إنترنت الأشياء في الاستدامة البيئية.

2. التحليل الوصفي للمستجيبين

تمثلت الخطوة الأولى في التحليل في تقييم الخصائص الديموغرافية والمهنية للمشاركين في الدراسة. وشمل المستجيبون مهندسين بيئيين، ومديري مشاريع، وأخصائي غابات، ومطوري أنظمة إنترنت الأشياء. قدمت الإحصاءات الوصفية رؤى حول مستويات خبرتهم، ومناطقهم الجغرافية، ومشاركتهم في المشاريع المتعلقة بالغابات. ساعدت هذه المعلومات في ترسيخ موثوقية البيانات، وضمنت أن وجهات النظر جاءت من جهات مختلفة وذات صلة. من خلال دراسة خصائص المشاركين، تمكن الباحث من تفسير النتائج بشكل أدق، ودراسة كيفية تأثير الخلفية والخبرة المهنية على تصورات دور إنترنت الأشياء في إدارة المشاريع البيئية.

3. تحليل تطبيق إنترنت الأشياء في إدارة الغابات

أظهرت النتائج أن استخدام إنترنت الأشياء في إدارة الغابات قد عزز بشكل كبير تنسيق المشاريع، ودقة الرصد، واتخاذ القرارات القائمة على البيانات. وقد استُخدمت تقنيات مثل أجهزة الاستشعار الذكية، وتتبع نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، وأنظمة جمع البيانات الآلية بشكل متكرر لمراقبة المعايير البيئية مثل رطوبة التربة، وصحة الأشجار، والأحوال الجوية. وأظهر البحث الإحصائي وجود علاقة إيجابية كبيرة بين درجة تطبيق إنترنت الأشياء وزيادة الكفاءة التشغيلية. وكشفت النتائج أن إنترنت الأشياء يوفر رؤية أفضل في الوقت الفعلي، ويقلل التدخل اليدوي، ويعزز الاستجابة للتغيرات البيئية، مما يتيح إدارة مستدامة لموارد الغابات.

4. التأثير على كفاءة تخطيط المشاريع

أظهر التحليل أن لتقنيات إنترنت الأشياء تأثيراً كبيراً على تخطيط المشاريع وتخصيص الموارد. أتاحت البيانات اللحظية المستقاة من أجهزة الاستشعار والمراقبة لمديري المشاريع وضع تنبؤات أكثر دقة، وتحديد أهداف قابلة للقياس، وتخصيص الموارد بفعالية. وقد أدى دمج إنترنت الأشياء في عمليات التخطيط إلى تقليل حالة عدم اليقين وتعزيز دقة الجدولة. واتفق المشاركون

على أن الرؤى المُستندة إلى إنترنت الأشياء عززت اتخاذ القرارات الاستباقية، وقللت من تأخيرات المشاريع، وعززت المساءلة داخل الفرق. وتؤكد هذه الدراسة على أهمية التخطيط المُستند إلى البيانات في الحفاظ على التوازن البيئي مع تحقيق أهداف أداء المشاريع في أنظمة إدارة الغابات المُعقدة.

5. تقييم مؤشرات الأداء

ركز التحليل بشكل كبير على دراسة العلاقة بين استخدام إنترنت الأشياء ومؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) في مشاريع الغابات. وأشارت النتائج إلى أن تقنيات إنترنت الأشياء تُحسن موثوقية مراقبة الأداء من خلال القياس المُستمر والآلي. وقد أظهرت مؤشرات مثل معدل الغطاء الحرجي، ومؤشر التنوع البيولوجي، وكفاءة استخدام الموارد مكاسب ملموسة بعد نشر إنترنت الأشياء. وكشفت الدراسات الإحصائية أن هذه التحسينات كانت جوهرية، مما يُظهر وجود علاقة مباشرة بين المراقبة القائمة على إنترنت الأشياء وتحسين الأداء. تشير النتائج إلى أن الأدوات الرقمية لا تعزز الدقة فحسب، بل تُمكن أيضًا من المراجعة المستمرة، ودعم التطوير المستمر والمساءلة البيئية.

6. إدارة البيانات والرؤى البيئية

خلصت الدراسة إلى أن أنظمة إدارة البيانات المُمكنة بإنترنت الأشياء تؤدي دورًا رئيسيًا في تنظيم وتحليل وعرض كميات هائلة من البيانات البيئية. فمن خلال الأنظمة السحابية ولوحات المعلومات المرتبطة، يُمكن لصانعي القرار الوصول إلى تحليلات آنية تُسهّل التدخلات السريعة. وقد وجد التحليل أن زيادة إمكانية الوصول إلى البيانات تُعزز التنسيق بين السلطات البيئية وفرق المشاريع. علاوة على ذلك، تُؤدي الإدارة السليمة للبيانات إلى الشفافية وإمكانية التتبع في إعداد تقارير تدابير الاستدامة. وأكد المشاركون على أن تحليلات البيانات المُمكنة بإنترنت الأشياء تُحسن النمذجة التنبؤية، مما يسمح بالكشف المبكر عن المخاوف البيئية ويُمكن من إيجاد حلول في الوقت المناسب للحفاظ على النظم البيئية للغابات.

تطبيق تقنيات إنترنت الأشياء في إدارة مشاريع الغابات لتعزيز الاستدامة البيئية نموذج متكامل للتخطيط والمراقبة والتحسين المستمر

https://docs.google.com/forms/d/17L9L88RtcgyDuYI8XC5zn_tCA1u6iNLMzM2dw3pj_nA/edit?fbzx=-1739758393897285252

- الوصف الاحصائي للمشاركين في التجربة

تلخص الإحصاءات الوصفية إجابات 222 مشاركاً بشأن تبني تقنيات إنترنت الأشياء في إدارة الغابات. تشير النتائج إلى استعداد متواضع في معظم العوامل، بمتوسط قيم يتراوح بين 2.69 و2.96. وقد حصل دعم الإدارة والخبرة التقنية السابقة على تقييم أفضل قليلاً، بينما كانت الموارد المالية وإجراءات إدارة البيانات أقل. تشير الانحرافات المعيارية (1.3-1.5) إلى تباين كبير في الإجابات. تعكس مستويات الانحراف والتفرطح توزيعاً طبيعياً تقريباً. بشكل عام، تشير الشركات إلى معرفتها بإمكانيات إنترنت الأشياء، لكنها لا تزال تواجه عقبات تتعلق بالمهارات والتمويل وتكامل الأنظمة اللازمة لتبنيها بفعالية في إدارة الغابات.

Statistics							
Kurtosis	Skewness	Variance	Std. Deviation	Std. Error of Mean	Mean	N	
						Valid	
-1.020	0.198	1.691	1.301	0.087	2.90	222	العمر
-2.015	-0.054	0.251	0.501	0.034	1.51	222	الجنس
-1.560	-0.100	1.473	1.214	0.081	2.59	222	الدرجة
-1.412	0.214	2.277	1.509	0.101	2.80	222	لدى منشأتنا نية واضحة لتبني تقنيات إنترنت الأشياء في إدارة الغابات.
-1.250	0.311	2.058	1.435	0.096	2.70	222	تتوفر لدينا ميزانية مخصصة لتطبيق حلول إنترنت الأشياء في مشاريع الغابات.

-1.380	0.207	2.257	1.502	0.101	2.83	222	فريق العمل لدينا يمتلك المهارات الأساسية لتشغيل وصيانة أجهزة إنترنت الأشياء.
-1.210	-0.067	1.944	1.394	0.094	2.96	222	الإدارة العليا تدعم تبني تقنيات إنترنت الأشياء في مشروعات الغابات.
-1.421	0.005	2.145	1.464	0.098	2.93	222	لدينا خبرة سابقة في مشاريع تكنولوجيا مشابهة (حساسات/شبكات/منصات بيانات).
-1.404	0.201	2.228	1.493	0.100	2.76	222	يتم دمج بيانات أجهزة إنترنت الأشياء في مرحلة التخطيط للمشروع.
-1.374	0.115	2.151	1.467	0.098	2.91	222	نُستخدم خرائط ومعلومات زمنية-spatio-temporal) من أجهزة الاستشعار لتحديد أولويات العمل.
-1.275	-0.047	1.926	1.388	0.093	2.88	222	خطط المشروع تتضمن مؤشرات أداء (KPIs) تعتمد على بيانات إنترنت الأشياء.
-1.251	0.148	1.995	1.412	0.095	2.82	222	تصميم المشروع يأخذ بعين الاعتبار تكامل أجهزة الاستشعار مع الأنظمة القائمة.
-1.420	0.289	2.329	1.526	0.102	2.70	222	هناك آليات واضحة لإدارة بيانات إنترنت الأشياء منذ مرحلة تصميم الحل حتى التشغيل.
-1.315	0.210	2.082	1.443	0.097	2.78	222	نُستخدم أجهزة استشعار IoT لرصد حالة الغطاء النباتي والتربة والرطوبة بشكل دوري.
-1.406	0.047	2.178	1.476	0.099	2.86	222	توفر بيانات إنترنت الأشياء تنبيهات فورية عند حدوث مخاطر (حرائق، جفاف، آفات).
-1.330	0.113	2.043	1.429	0.096	2.82	222	يتم تحميل بيانات أجهزة الاستشعار إلى منصة مركزية للمراقبة والتحليل.
-1.397	0.231	2.222	1.491	0.100	2.69	222	نُستخدم تقارير إنترنت الأشياء لاتخاذ قرارات تشغيلية فورية في إدارة الغابات.
-1.424	0.004	2.260	1.503	0.101	2.95	222	دقة حساسات إنترنت الأشياء كافية لاتخاذ قرارات إدارة موثوقة.

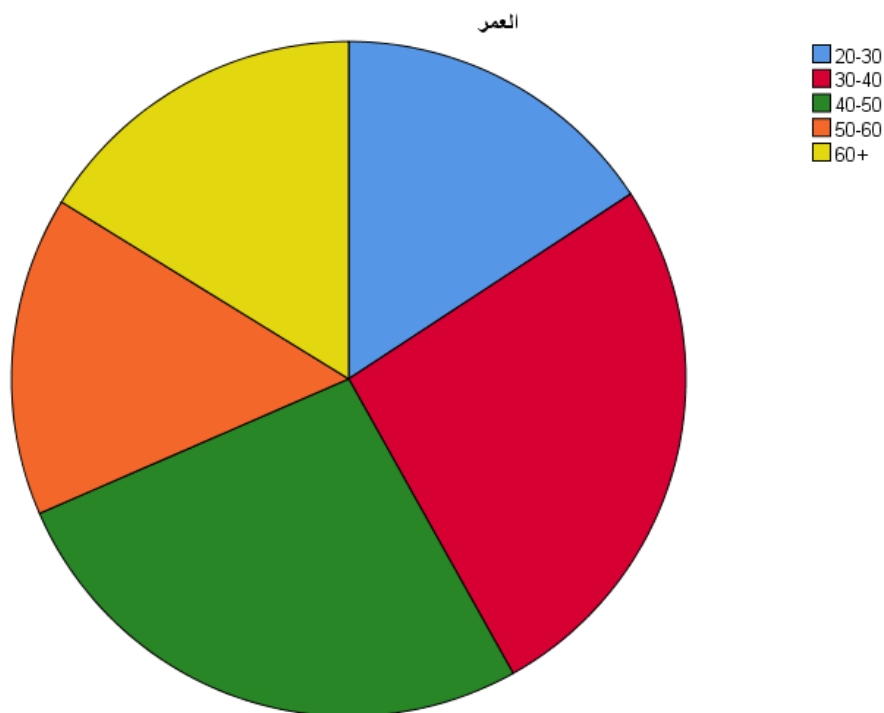
جدول 1: الوصف الاحصائي للبيانات

1. عمر المشاركين في التجربة

يتضح من الجدول أن 15.8% من المشاركين تتراوح أعمارهم بين 20-30 عامًا، و26.1% بين 30-40 عامًا، و26.6% بين 40-50 عامًا، و15.3% بين 50-60 عامًا، و16.2% فوق 60 عامًا، مما يشير إلى أن أكبر نسبة من المشاركين كانت في الفئة العمرية 40-50 عامًا، مع توزيع متوازن نسبيًا لبقية الفئات العمرية.

العمر		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	20-30	35	15.8	15.8	15.8
	30-40	58	26.1	26.1	41.9
	40-50	59	26.6	26.6	68.5
	50-60	34	15.3	15.3	83.8
	60+	36	16.2	16.2	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 2: الوصف الاحصائي لعمر المشاركين في التجربة.



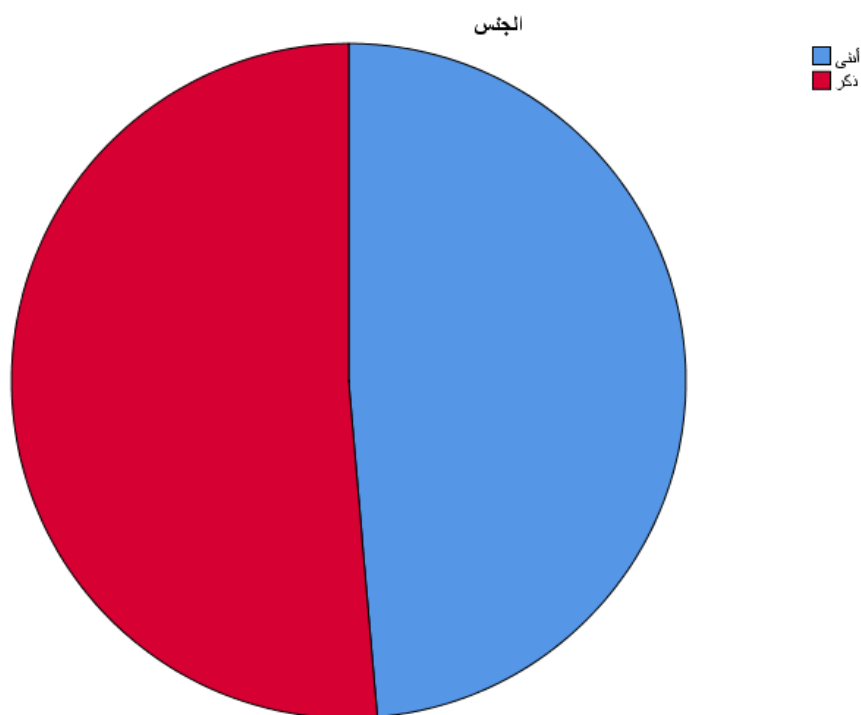
رسم توضيحي 2: التمثيل البياني لعمر المشاركين في التجربة.

2. جنس المشاركين في التجربة

يتضح من الجدول أن 48.6% من المشاركين كانوا من الإناث و51.4% من الذكور، مما يشير إلى أن توزيع المشاركين من حيث الجنس كان متوازنًا نسبيًا بين الذكور والإناث.

الجنس		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أنثى	108	48.6	48.6	48.6
	ذكر	114	51.4	51.4	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 3: الوصف الاحصائي لجنس المشاركين في التجربة.



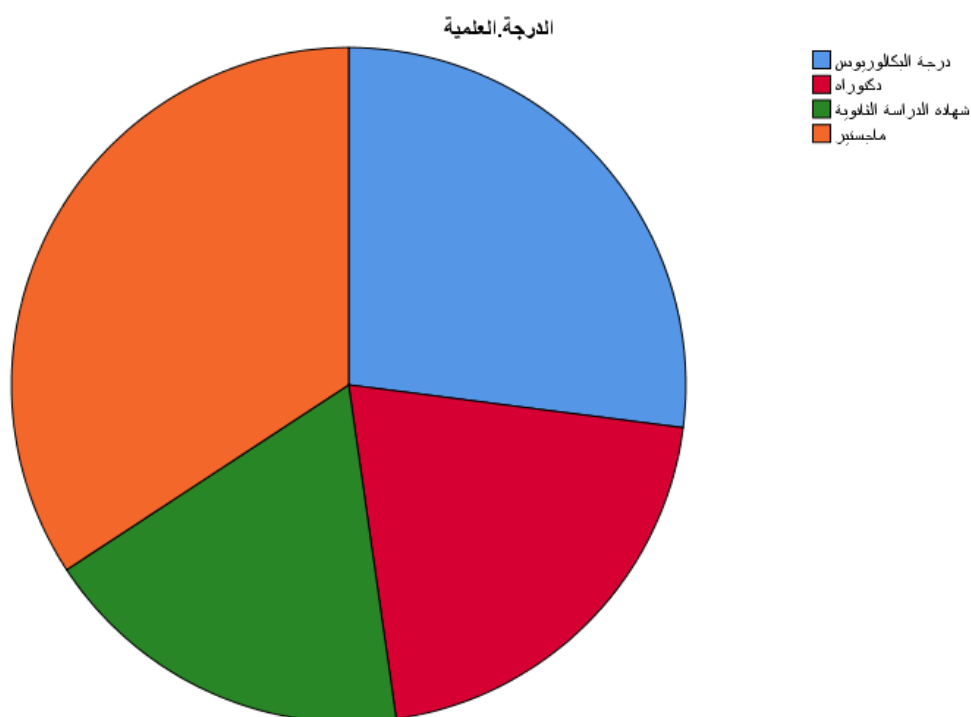
رسم توضيحي 3: التمثيل البياني لجنس المشاركين في التجربة.

3. الدرجة العلمية للمشاركين في التجربة

يتضح من الجدول أن 27.0% من المشاركين يحملون درجة البكالوريوس، و20.7% دكتوراه، و18.0% شهادة الدراسة الثانوية، و34.2% ماجستير، مما يشير إلى أن أكبر نسبة من المشاركين كانت من حملة درجة الماجستير، مع تنوع في مستويات التحصيل العلمي لبقية المشاركين.

الدرجة العلمية					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	درجة البكالوريوس	60	27.0	27.0	27.0
	دكتوراه	46	20.7	20.7	47.7
	شهادة الدراسة الثانوية	40	18.0	18.0	65.8
	ماجستير	76	34.2	34.2	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 4 : الوصف الاحصائي للدرجة العلمية للمشاركين في التجربة.



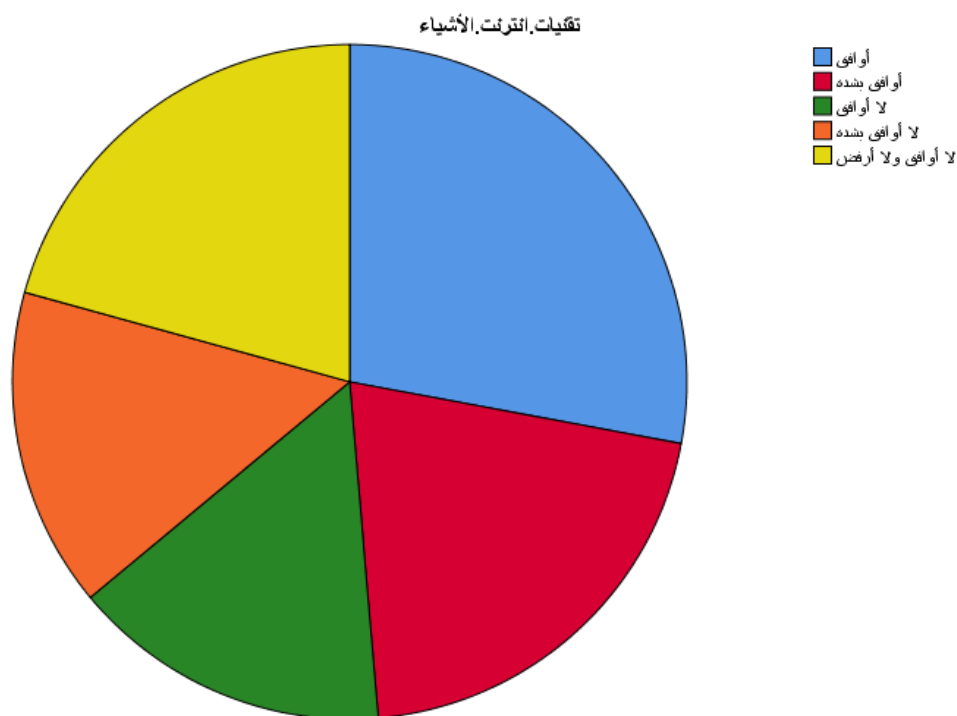
رسم توضيحي 4 : التمثيل البياني للدرجة العلمية للمشاركين في التجربة.

4. لدى منشأتنا نية واضحة لتبني تقنيات إنترنت الأشياء في إدارة الغابات.

يتضح من الجدول أن 27.9% من المشاركين يوافقون و 20.7% يوافقون بشدة على أن لدى منشأتهم نية واضحة لتبني تقنيات إنترنت الأشياء في إدارة الغابات، بينما 15.3% لا يوافقون و 15.3% لا يوافقون بشدة، و 20.7% محايدون، مما يشير إلى وجود آراء متفاوتة حول استعداد المنشآت لتبني هذه التقنيات.

تقنيات إنترنت الأشياء					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	62	27.9	27.9	27.9
	أوافق بشدة	46	20.7	20.7	48.6
	لا أوافق	34	15.3	15.3	64.0
	لا أوافق بشدة	34	15.3	15.3	79.3
	لا أوافق ولا أرفض	46	20.7	20.7	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 5: الوصف الاحصائي لدى منشأتنا نية واضحة لتبني تقنيات إنترنت الأشياء في إدارة الغابات.



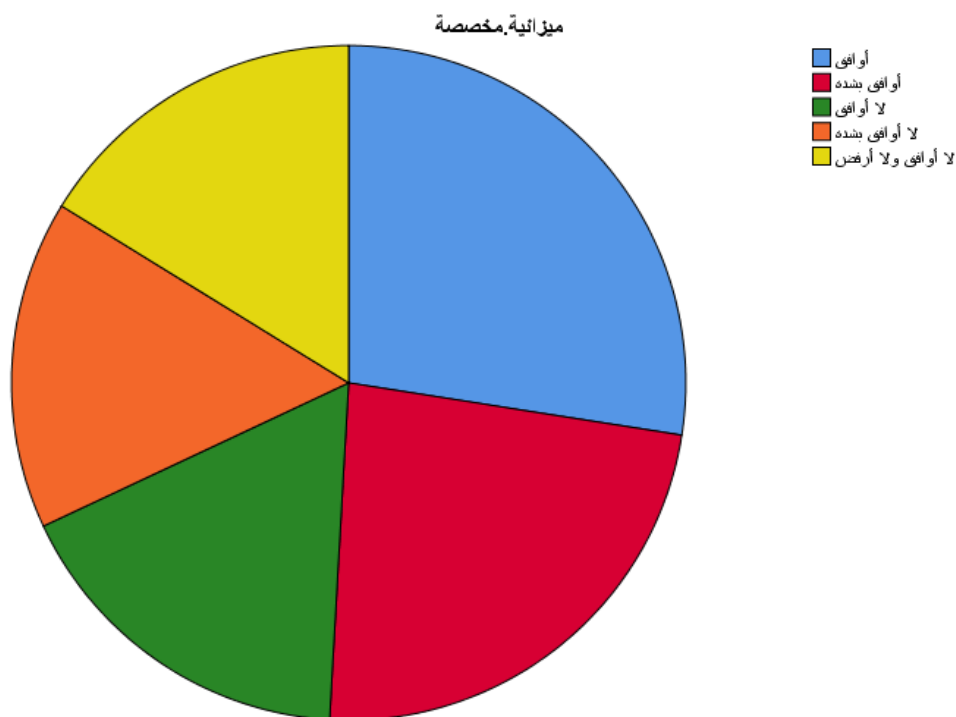
رسم توضيحي 5: التمثيل البياني لدى منشأتنا نية واضحة لتبني تقنيات إنترنت الأشياء في إدارة الغابات.

5. تتوفر لدينا ميزانية مخصصة لتطبيق حلول إنترنت الأشياء في مشاريع الغابات.

يتضح من الجدول أن 27.5% من المشاركين يوافقون و 23.4% يوافقون بشدة على توفر ميزانية مخصصة لتطبيق حلول إنترنت الأشياء في مشاريع الغابات، بينما 17.1% لا يوافقون و 15.8% لا يوافقون بشدة، و 16.2% محايدون، مما يشير إلى وجود تفاوت في آراء المشاركين حول تخصيص الميزانية لهذه التقنيات.

ميزانية مخصصة					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	61	27.5	27.5	27.5
	أوافق بشدة	52	23.4	23.4	50.9
	لا أوافق	38	17.1	17.1	68.0
	لا أوافق بشدة	35	15.8	15.8	83.8
	لا أوافق ولا أرفض	36	16.2	16.2	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 6: الوصف الاحصائي لتتوفر لدينا ميزانية مخصصة لتطبيق حلول إنترنت الأشياء في مشاريع الغابات.



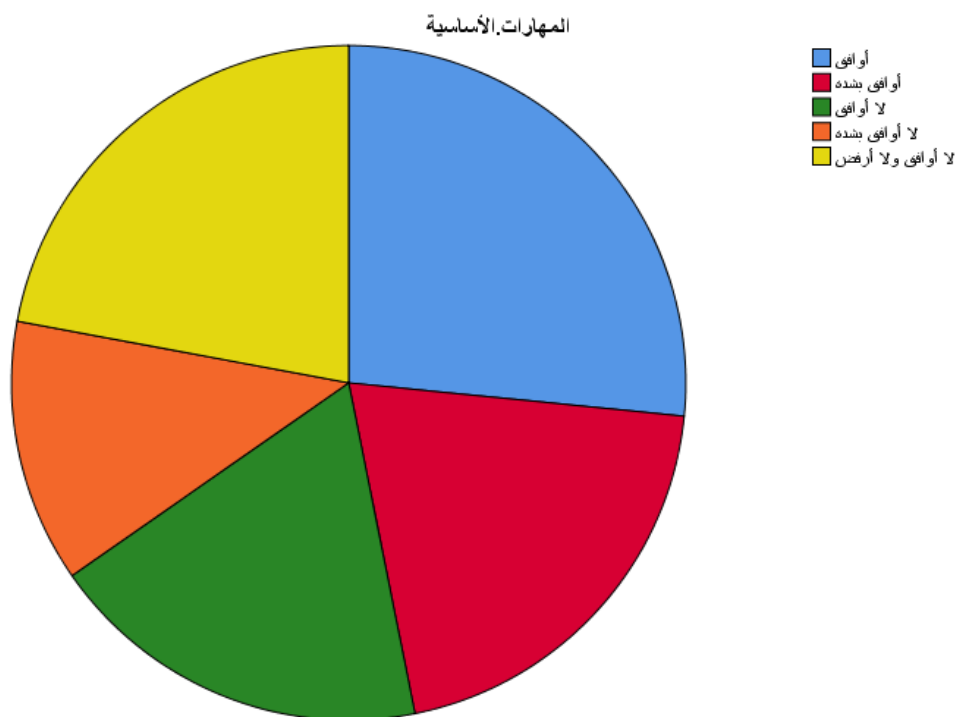
رسم توضيحي 6: التمثيل البياني لتتوفر لدينا ميزانية مخصصة لتطبيق حلول إنترنت الأشياء في مشاريع الغابات.

6. فريق العمل لدينا يمتلك المهارات الأساسية لتشغيل وصيانة أجهزة إنترنت الأشياء.

يتضح من الجدول أن 26.6% من المشاركين يوافقون و20.3% يوافقون بشدة على أن فريق العمل لديهم يمتلك المهارات الأساسية لتشغيل وصيانة أجهزة إنترنت الأشياء، بينما 18.5% لا يوافقون و12.6% لا يوافقون بشدة، و22.1% محايدون، مما يشير إلى وجود آراء متباينة حول كفاءة فريق العمل في إدارة هذه التقنيات.

المهارات الأساسية					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	59	26.6	26.6	26.6
	أوافق بشدة	45	20.3	20.3	46.8
	لا أوافق	41	18.5	18.5	65.3
	لا أوافق بشدة	28	12.6	12.6	77.9
	لا أوافق ولا أرفض	49	22.1	22.1	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 7: الوصف الاحصائي لفريق العمل لدينا يمتلك المهارات الأساسية لتشغيل وصيانة أجهزة إنترنت الأشياء.



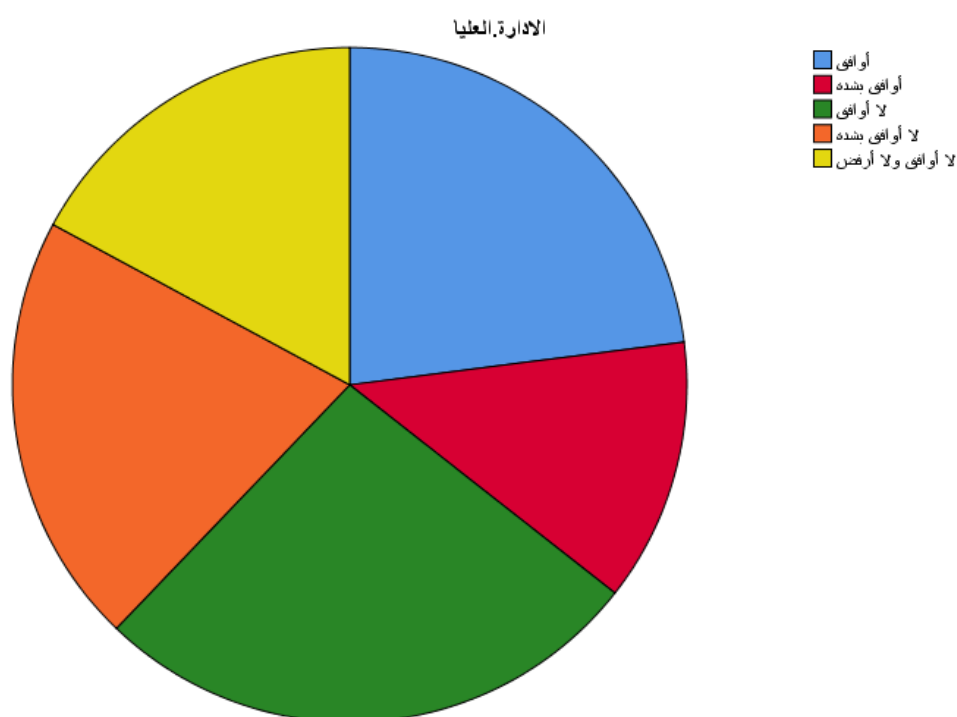
رسم توضيحي 7: التمثيل البياني لفريق العمل لدينا يمتلك المهارات الأساسية لتشغيل وصيانة أجهزة إنترنت الأشياء.

7. الإدارة العليا تدعم تبني تقنيات إنترنت الأشياء في مشروعات الغابات.

يتضح من الجدول أن 23.0% من المشاركين يوافقون و12.6% يوافقون بشدة على أن الإدارة العليا تدعم تبني تقنيات إنترنت الأشياء في مشروعات الغابات، بينما 26.6% لا يوافقون و20.7% لا يوافقون بشدة، و17.1% محايدون، مما يشير إلى وجود تباين في آراء المشاركين حول مستوى دعم الإدارة العليا لهذه التقنيات.

الإدارة العليا					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	51	23.0	23.0	23.0
	أوافق بشدة	28	12.6	12.6	35.6
	لا أوافق	59	26.6	26.6	62.2
	لا أوافق بشدة	46	20.7	20.7	82.9
	لا أوافق ولا أرفض	38	17.1	17.1	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 8: الوصف الاحصائي للإدارة العليا تدعم تبني تقنيات إنترنت الأشياء في مشروعات الغابات.



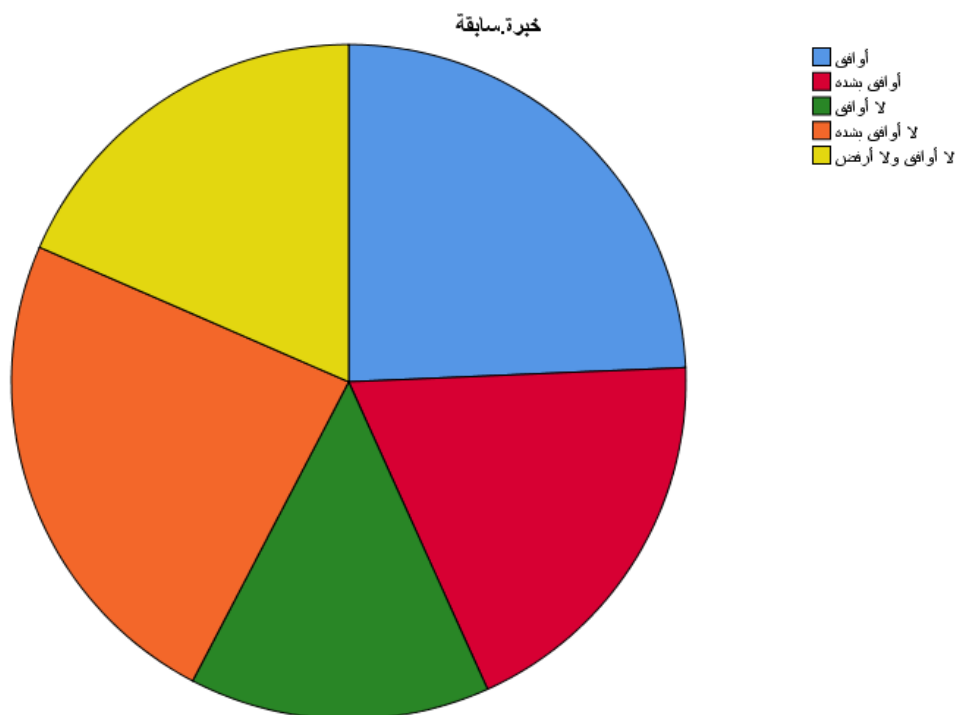
رسم توضيحي 8/الإدارة العليا تدعم تبني تقنيات إنترنت الأشياء في مشروعات الغابات.

8. لدينا خبرة سابقة في مشاريع تكنولوجيا مشابهة (حساسات/شبكات/منصات بيانات).

يتضح من الجدول أن 24.3% من المشاركين يوافقون و18.9% يوافقون بشدة على أن لديهم خبرة سابقة في مشاريع تكنولوجيا مشابهة (حاسات/شركات/منصات بيانات)، بينما 14.4% لا يوافقون و23.9% لا يوافقون بشدة، و18.5% محايدون، مما يشير إلى تباين في مستوى الخبرة السابقة بين المشاركين.

خبرة سابقة					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	54	24.3	24.3	24.3
	أوافق بشدة	42	18.9	18.9	43.2
	لا أوافق	32	14.4	14.4	57.7
	لا أوافق بشدة	53	23.9	23.9	81.5
	لا أوافق ولا أرفض	41	18.5	18.5	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 9 : الوصف الإحصائي لدينا خبرة سابقة في مشاريع تكنولوجيا مشابهة (حاسات/شركات/منصات بيانات).



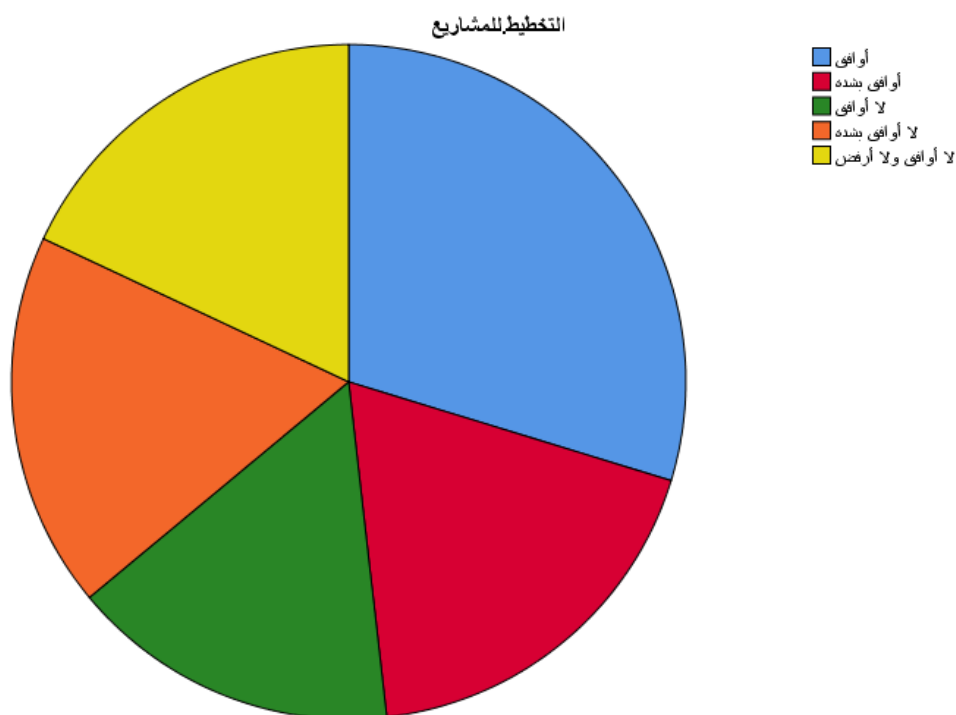
رسم توضيحي 9 : التمثيل البياني لدينا خبرة سابقة في مشاريع تكنولوجيا مشابهة (حاسات/شركات/منصات بيانات).

9. يتم دمج بيانات أجهزة إنترنت الأشياء في مرحلة التخطيط للمشاريع.

يتضح من الجدول أن 29.7% من المشاركين يوافقون و18.5% يوافقون بشدة على دمج بيانات أجهزة إنترنت الأشياء في مرحلة التخطيط للمشاريع، بينما 15.8% لا يوافقون و18.0% لا يوافقون بشدة، و18.0% محايدون، مما يشير إلى وجود تفاوت في آراء المشاركين حول دمج هذه البيانات في التخطيط للمشاريع.

التخطيط للمشاريع					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	66	29.7	29.7	29.7
	أوافق بشدة	41	18.5	18.5	48.2
	لا أوافق	35	15.8	15.8	64.0
	لا أوافق بشدة	40	18.0	18.0	82.0
	لا أوافق ولا أرفض	40	18.0	18.0	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 10 : الوصف الاحصائي لآراء المشاركين في دمج بيانات أجهزة إنترنت الأشياء في مرحلة التخطيط للمشاريع.



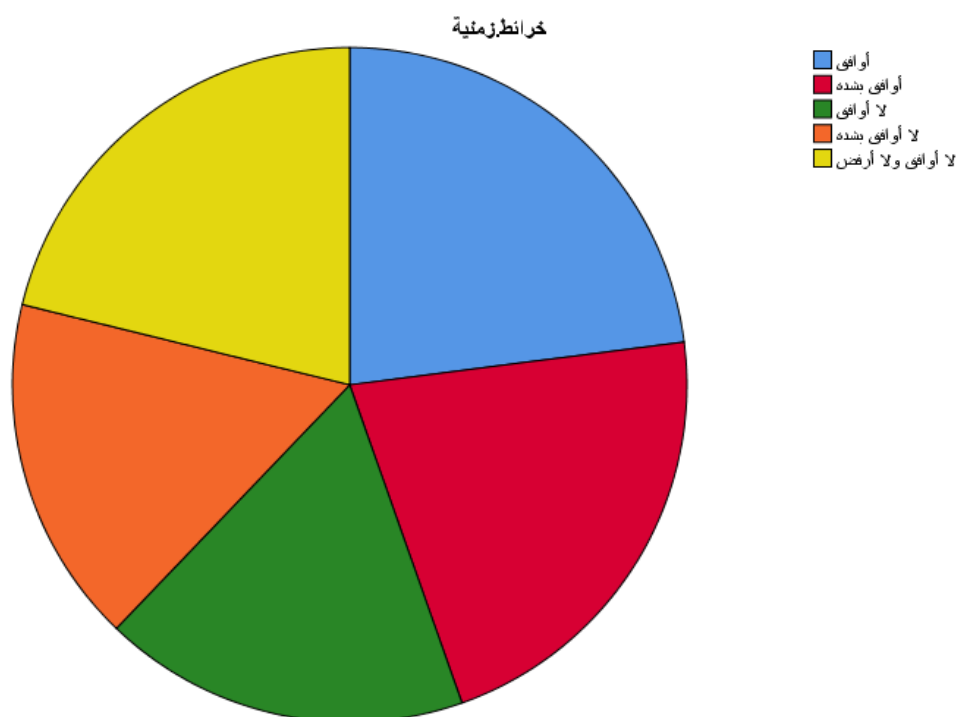
رسم توضيحي 10 : التمثيل البياني لآراء المشاركين في دمج بيانات أجهزة إنترنت الأشياء في مرحلة التخطيط للمشاريع.

10. تُستخدم خرائط ومعلومات زمنية (spatio-temporal) من أجهزة الاستشعار لتحديد أولويات العمل.

يتضح من الجدول أن 23.0% من المشاركين يوافقون و21.6% يوافقون بشدة على استخدام خرائط ومعلومات زمنية-spatio temporal) من أجهزة الاستشعار لتحديد أولويات العمل، بينما 17.6% لا يوافقون و16.7% لا يوافقون بشدة، و21.2% محايدون، مما يشير إلى وجود تفاوت في آراء المشاركين حول فعالية استخدام هذه الخرائط في تحديد الأولويات.

خرائط زمنية					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	51	23.0	23.0	23.0
	أوافق بشدة	48	21.6	21.6	44.6
	لا أوافق	39	17.6	17.6	62.2
	لا أوافق بشدة	37	16.7	16.7	78.8
	لا أوافق ولا أرفض	47	21.2	21.2	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 11 : الوصف الاحصائي لـ استخدام خرائط ومعلومات زمنية (spatio-temporal) من أجهزة الاستشعار لتحديد أولويات العمل.



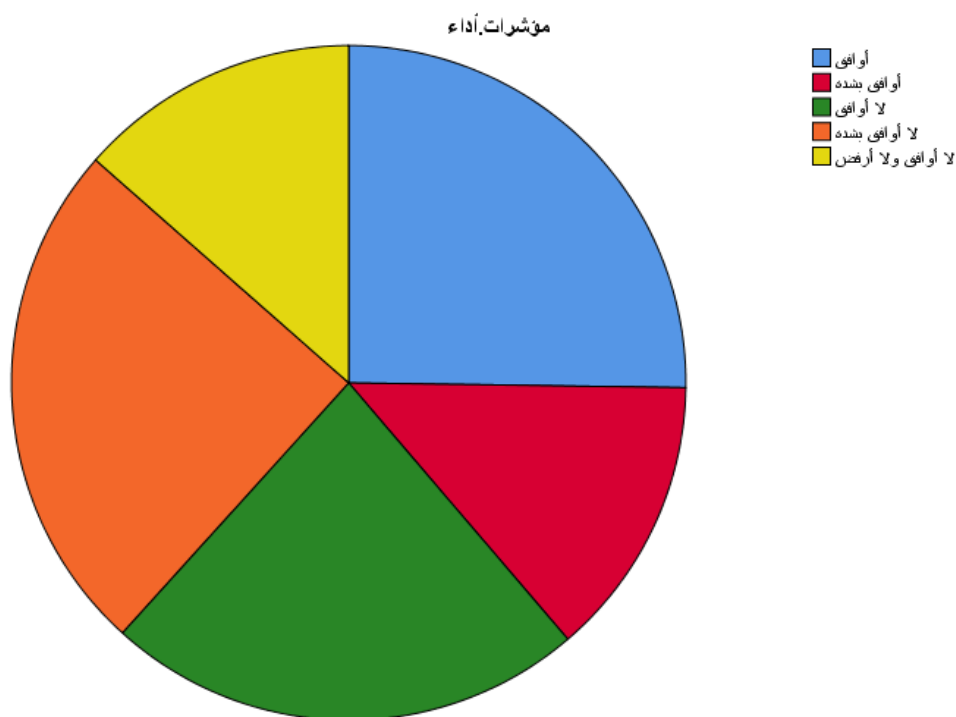
رسم توضيحي 11 : التمثيل البياني لـ استخدام خرائط ومعلومات زمنية (spatio-temporal) من أجهزة الاستشعار لتحديد أولويات العمل.

11. خطط المشروع تتضمن مؤشرات أداء (KPIs) تعتمد على بيانات إنترنت الأشياء.

يتضح من الجدول أن 25.2% من المشاركين يوافقون و13.5% يوافقون بشدة على أن خطط المشروع تتضمن مؤشرات أداء (KPIs) تعتمد على بيانات إنترنت الأشياء، بينما 23.0% لا يوافقون و24.8% لا يوافقون بشدة، و13.5% محايدون، مما يشير إلى وجود اختلاف في آراء المشاركين حول اعتماد مؤشرات الأداء المستندة إلى هذه البيانات في تخطيط المشاريع.

مؤشرات أداء					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	56	25.2	25.2	25.2
	أوافق بشدة	30	13.5	13.5	38.7
	لا أوافق	51	23.0	23.0	61.7
	لا أوافق بشدة	55	24.8	24.8	86.5
	لا أوافق ولا أرفض	30	13.5	13.5	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 12 : الوصف الاحصائي لخطط المشروع تتضمن مؤشرات أداء (KPIs) تعتمد على بيانات إنترنت الأشياء.



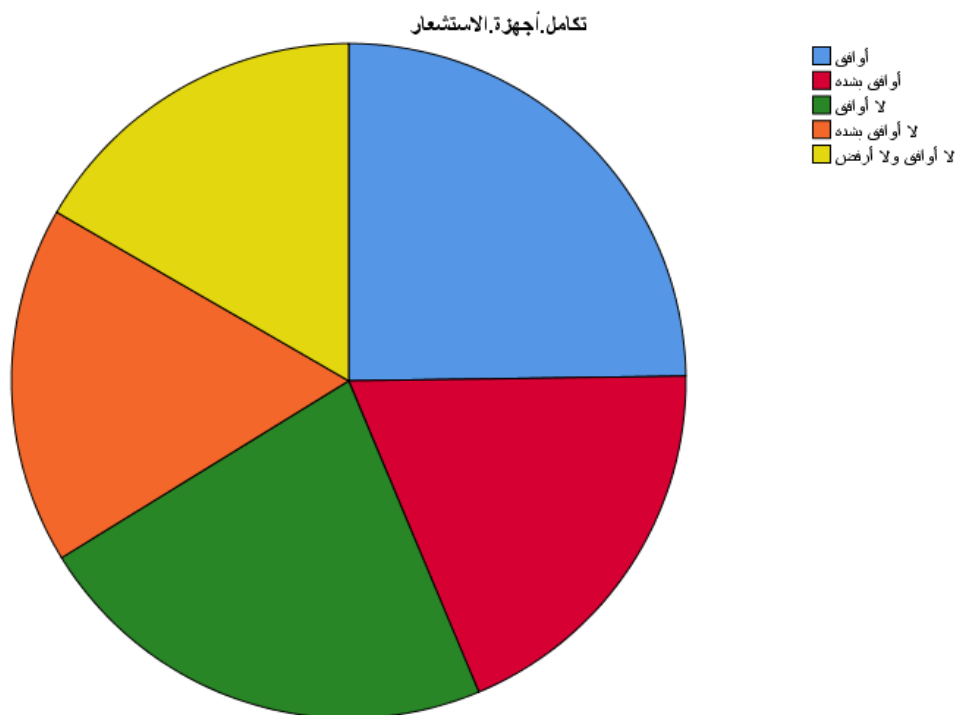
رسم توضيحي 12 خطط المشروع تتضمن مؤشرات أداء (KPIs) تعتمد على بيانات إنترنت الأشياء.

12. تصميم المشروع يأخذ بعين الاعتبار تكامل أجهزة الاستشعار مع الأنظمة القائمة.

يتضح من الجدول أن 24.8% من المشاركين يوافقون و18.9% يوافقون بشدة على أن تصميم المشروع يأخذ بعين الاعتبار تكامل

تكامل أجهزة الاستشعار					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	55	24.8	24.8	24.8
	أوافق بشدة	42	18.9	18.9	43.7
	لا أوافق	50	22.5	22.5	66.2
	لا أوافق بشدة	38	17.1	17.1	83.3
	لا أوافق ولا أرفض	37	16.7	16.7	100.0
Total		222	100.0	100.0	

جدول 13 : الوصف الاحصائي لتصميم المشروع يأخذ بعين الاعتبار تكامل أجهزة الاستشعار مع الأنظمة القائمة.



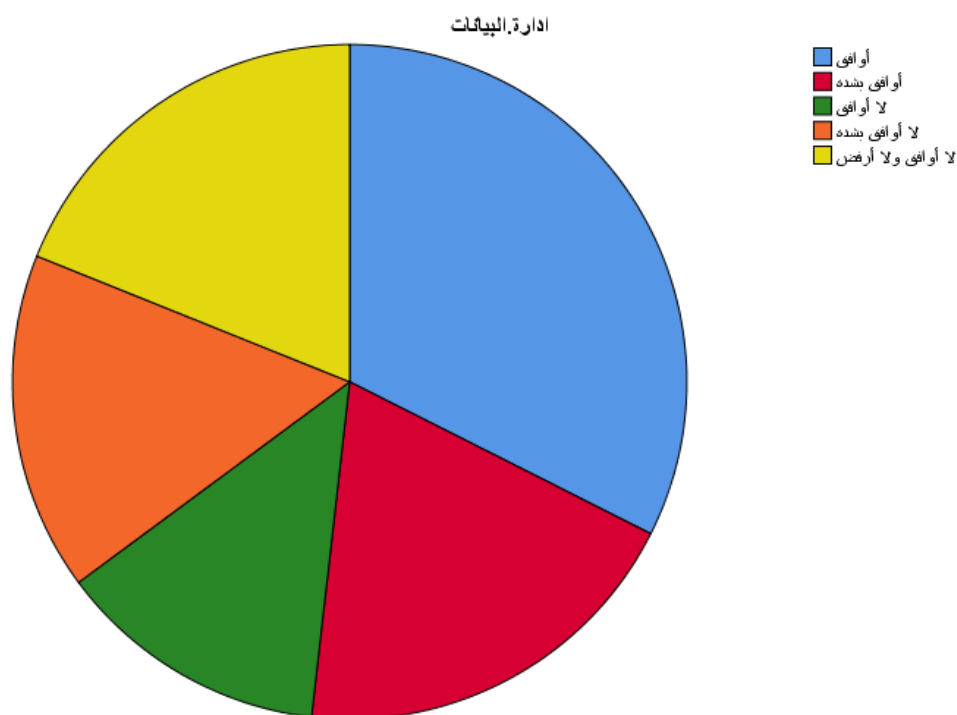
رسم توضيحي 3 لتصميم المشروع يأخذ بعين الاعتبار تكامل أجهزة الاستشعار مع الأنظمة القائمة.

13. هناك آليات واضحة لإدارة بيانات إنترنت الأشياء منذ مرحلة تصميم الحل حتى التشغيل.

يتضح من الجدول أن 32.4% من المشاركين يوافقون و19.4% يوافقون بشدة على وجود آليات واضحة لإدارة بيانات إنترنت الأشياء منذ مرحلة تصميم الحل حتى التشغيل، بينما 13.1% لا يوافقون و16.2% لا يوافقون بشدة، و18.9% محايدون، مما يشير إلى وجود تفاوت في آراء المشاركين حول وضوح وإحكام إدارة البيانات طوال دورة حياة المشروع.

إدارة البيانات					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	72	32.4	32.4	32.4
	أوافق بشدة	43	19.4	19.4	51.8
	لا أوافق	29	13.1	13.1	64.9
	لا أوافق بشدة	36	16.2	16.2	81.1
	لا أوافق ولا أرفض	42	18.9	18.9	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 14 : الوصف الاحصائي لهنالك آليات واضحة لإدارة بيانات إنترنت الأشياء منذ مرحلة تصميم الحل حتى التشغيل.



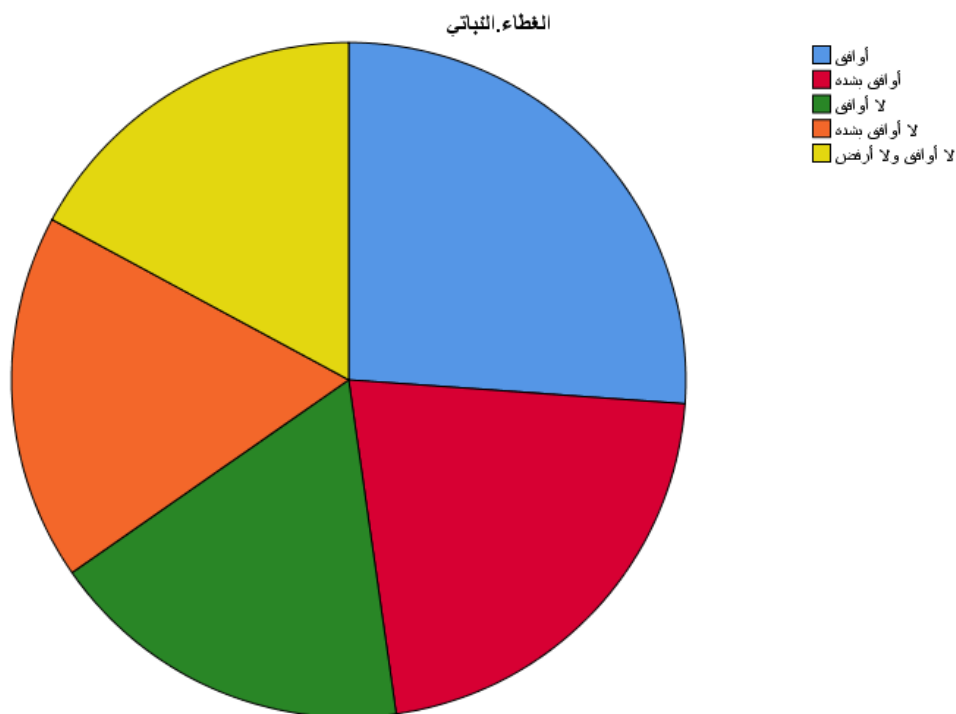
رسم توضيحي 14 هناك آليات واضحة لإدارة بيانات إنترنت الأشياء منذ مرحلة تصميم الحل حتى التشغيل.

14. تُستخدم أجهزة استشعار IoT لرصد حالة الغطاء النباتي والتربة والرطوبة بشكل دوري.

يتضح من الجدول أن 26.1% من المشاركين يوافقون و21.6% يوافقون بشدة على استخدام أجهزة استشعار إنترنت الأشياء لرصد حالة الغطاء النباتي والتربة والرطوبة بشكل دوري، بينما 17.6% لا يوافقون و17.6% لا يوافقون بشدة، و17.1% محايدون، مما يشير إلى وجود تفاوت في آراء المشاركين حول فعالية هذه الأجهزة في متابعة حالة الغطاء النباتي.

الغطاء النباتي					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	58	26.1	26.1	26.1
	أوافق بشدة	48	21.6	21.6	47.7
	لا أوافق	39	17.6	17.6	65.3
	لا أوافق بشدة	39	17.6	17.6	82.9
	لا أوافق ولا أرفض	38	17.1	17.1	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 15: تستخدم أجهزة استشعار IoT لرصد حالة الغطاء النباتي والتربة والرطوبة بشكل دوري.



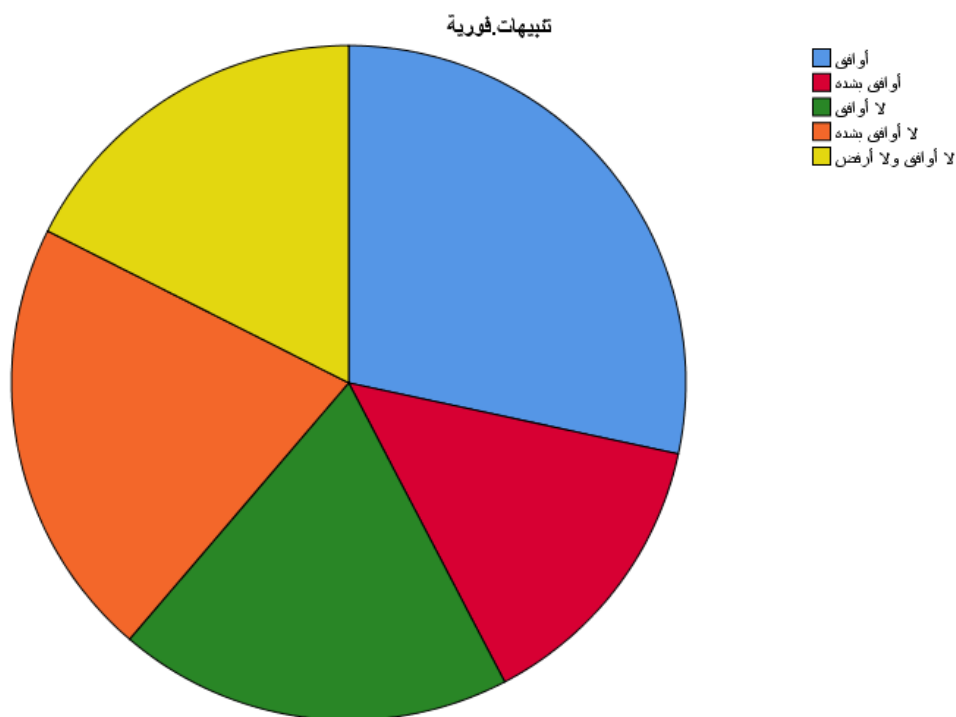
رسم توضيحي 15: التمثيل البياني لأجهزة استشعار IoT لرصد حالة الغطاء النباتي والتربة والرطوبة بشكل دوري.

15. توفر بيانات إنترنت الأشياء تنبيهات فورية عند حدوث مخاطر (حرائق، جفاف، آفات).

يتضح من الجدول أن 28.4% من المشاركين يوافقون و14.0% يوافقون بشدة على أن بيانات إنترنت الأشياء توفر تنبيهات فورية عند حدوث مخاطر مثل الحرائق والجفاف والآفات، بينما 18.9% لا يوافقون و21.2% لا يوافقون بشدة، و17.6% محايدون، مما يشير إلى تباين في آراء المشاركين حول فعالية التنبيهات الفورية المستندة إلى هذه البيانات.

تنبيهات فورية					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	63	28.4	28.4	28.4
	أوافق بشدة	31	14.0	14.0	42.3
	لا أوافق	42	18.9	18.9	61.3
	لا أوافق بشدة	47	21.2	21.2	82.4
	لا أوافق ولا أرفض	39	17.6	17.6	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 16: الوصف الاحصائي لتوفر بيانات إنترنت الأشياء تنبيهات فورية عند حدوث مخاطر (حرائق، جفاف، آفات).



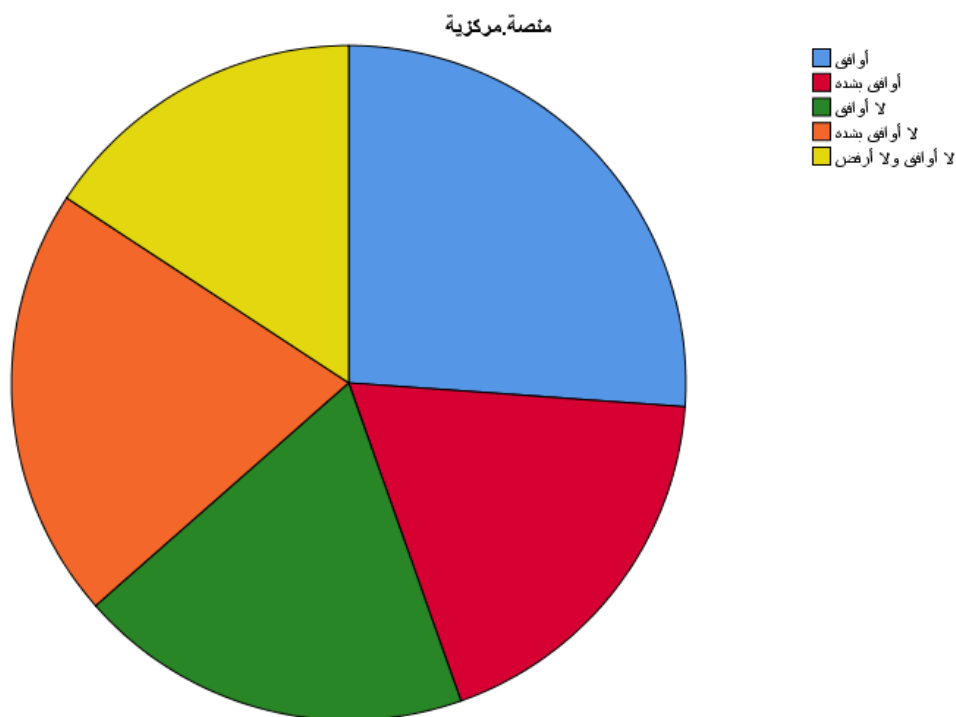
رسم توضيحي 16: التمثيل البياني لتوفر بيانات إنترنت الأشياء تنبيهات فورية عند حدوث مخاطر (حرائق، جفاف، آفات).

16. يتم تحميل بيانات أجهزة الاستشعار إلى منصة مركزية للمراقبة والتحليل.

يتضح من الجدول أن 26.1% من المشاركين يوافقون و 18.5% يوافقون بشدة على تحميل بيانات أجهزة الاستشعار إلى منصة مركزية للمراقبة والتحليل، بينما 18.9% لا يوافقون و 20.7% لا يوافقون بشدة، و 15.8% محايدون، مما يشير إلى وجود تفاوت في آراء المشاركين حول فعالية استخدام منصة مركزية لإدارة وتحليل البيانات.

منصة مركزية					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	58	26.1	26.1	26.1
	أوافق بشدة	41	18.5	18.5	44.6
	لا أوافق	42	18.9	18.9	63.5
	لا أوافق بشدة	46	20.7	20.7	84.2
	لا أوافق ولا أرفض	35	15.8	15.8	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 17: الوصف الاحصائي ليتم تحميل بيانات أجهزة الاستشعار إلى منصة مركزية للمراقبة والتحليل.



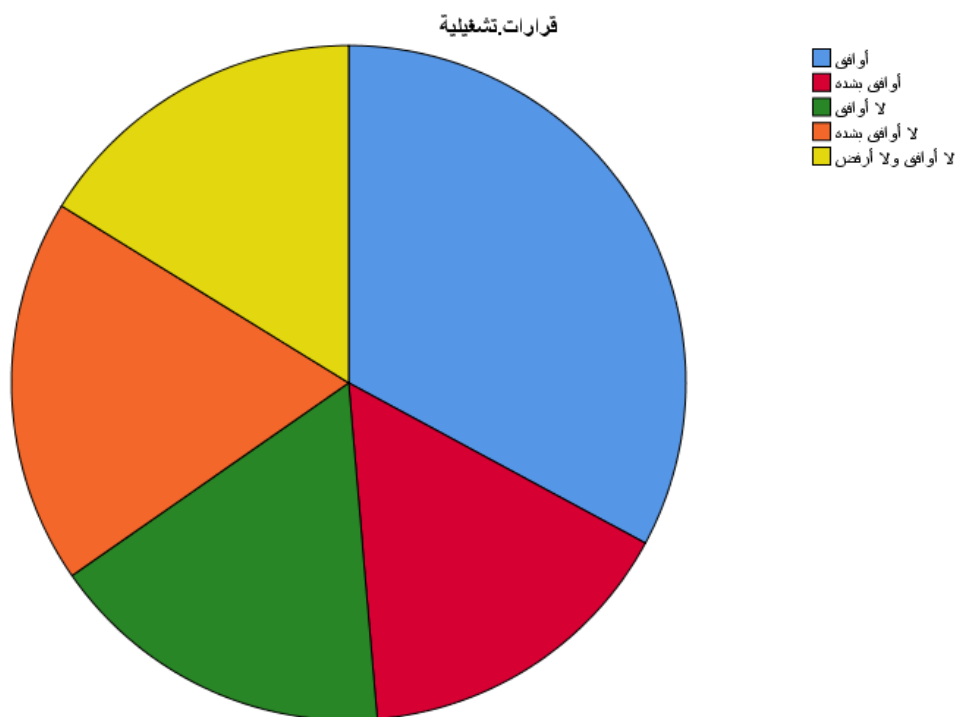
رسم توضيحي 17: التمثيل البياني ليتم تحميل بيانات أجهزة الاستشعار إلى منصة مركزية للمراقبة والتحليل.

17. تُستخدم تقارير إنترنت الأشياء لاتخاذ قرارات تشغيلية فورية في إدارة الغابات.

يتضح من الجدول أن 32.9% من المشاركين يوافقون و15.8% يوافقون بشدة على استخدام تقارير إنترنت الأشياء لاتخاذ قرارات تشغيلية فورية في إدارة الغابات، بينما 16.7% لا يوافقون و18.5% لا يوافقون بشدة، و16.2% محايدون، مما يشير إلى تباين آراء المشاركين حول فاعلية هذه التقارير في دعم القرارات التشغيلية.

قرارات تشغيلية					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	73	32.9	32.9	32.9
	أوافق بشدة	35	15.8	15.8	48.6
	لا أوافق	37	16.7	16.7	65.3
	لا أوافق بشدة	41	18.5	18.5	83.8
	لا أوافق ولا أرفض	36	16.2	16.2	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 18: الوصف الاحصائي لـ استخدام تقارير إنترنت الأشياء لاتخاذ قرارات تشغيلية فورية في إدارة الغابات.



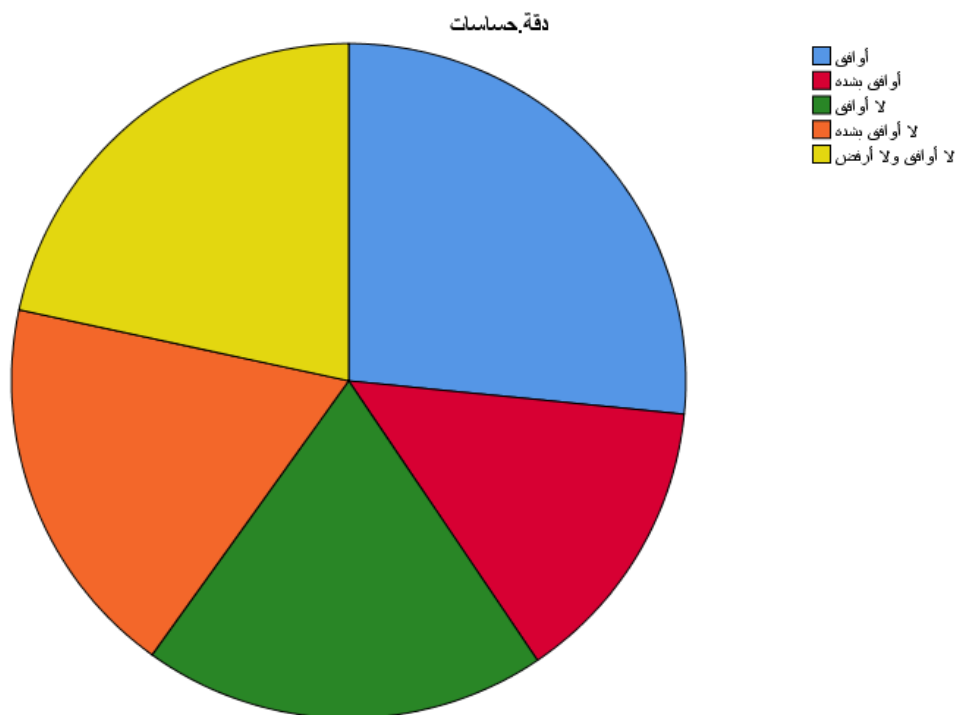
رسم توضيحي 18: التمثيل البياني لـ استخدام تقارير إنترنت الأشياء لاتخاذ قرارات تشغيلية فورية في إدارة الغابات.

18. دقة حساسات إنترنت الأشياء كافية لاتخاذ قرارات إدارة موثوقة.

يتضح من الجدول أن 26.6% من المشاركين يوافقون و14.0% يوافقون بشدة على أن دقة حساسات إنترنت الأشياء كافية لاتخاذ قرارات إدارة موثوقة، بينما 19.4% لا يوافقون و18.5% لا يوافقون بشدة، و21.6% محايدون، مما يشير إلى تباين آراء المشاركين حول موثوقية بيانات الحساسات في دعم اتخاذ القرار.

دقة حساسات					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق	59	26.6	26.6	26.6
	أوافق بشدة	31	14.0	14.0	40.5
	لا أوافق	43	19.4	19.4	59.9
	لا أوافق بشدة	41	18.5	18.5	78.4
	لا أوافق ولا أرفض	48	21.6	21.6	100.0
	Total	222	100.0	100.0	

جدول 19 : الوصف الاحصائي لدقة حساسات إنترنت الأشياء كافية لاتخاذ قرارات إدارة موثوقة.



رسم توضيحي 19 : التمثيل البياني لدقة حساسات إنترنت الأشياء كافية لاتخاذ قرارات إدارة موثوقة.

- تحليل الموثوقية والمصدقية لبيانات الدراسة

يتضح من الجدول أن جميع الحالات البالغ عددها 222 حالة صالحة للتحليل، ولم يتم استبعاد أي حالة، مما يعني أن البيانات كاملة ويمكن الاعتماد عليها في جميع إجراءات التحليل الإحصائي للدراسة.

Case Processing Summary			
		N	%
Cases	Valid	222	100.0
	Excluded ^a	0	.0
	Total	222	100.0

a. Listwise deletion based on all variables in the procedure.

جدول 20: ملخص معالجة القضية.

يتضح من الجدول أن قيمة معامل كرونباخ ألفا بلغت 0.858، ما يشير إلى موثوقية عالية للأداة المستخدمة في الدراسة. كما أن القيمة بناءً على البنود الموحدة بلغت 0.800، مما يؤكد ثبات النتائج وقابلية الاعتماد على استجابات المشاركين في تحليل متغيرات الدراسة الـ 18.

Reliability Statistics		
Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items
.858	.800	18

جدول 21: إحصائيات الموثوقية.

- متغيرات الدراسة

• المتغير التابع:

• تطبيقات إنترنت الأشياء (IoT applications) هذا هو المتغير الذي تحاول الدراسة فهمه أو تفسير التغيرات فيه. بمعنى آخر، تأثير المتغيرات الأخرى يتم قياسه على تطبيقات إنترنت الأشياء.

• المتغيرات المستقلة:

هذه هي المتغيرات التي يُعتقد أنها تؤثر على تطبيقات إنترنت الأشياء. المخطط يشير إلى أن هناك ثلاث متغيرات مستقلة:

1. التخطيط للمشاريع: (Project Planning)

- العلاقة مع المتغير التابع: يُفترض أن جودة أو كفاءة التخطيط للمشاريع تؤثر على تطبيقات إنترنت الأشياء. على سبيل المثال، التخطيط الجيد للمشاريع قد يؤدي إلى تطوير تطبيقات إنترنت الأشياء بشكل أكثر فعالية، أو قد يؤثر على سرعة تبنيها، أو حتى على نجاحها التشغيلي.
- التفسير المحتمل: كلما كان التخطيط للمشاريع التي تتضمن إنترنت الأشياء أفضل، زادت فرص نجاح وتطور تطبيقات إنترنت الأشياء.

2. مؤشرات الأداء: (Performance Indicators)

- العلاقة مع المتغير التابع: يُعتقد أن مؤشرات الأداء تلعب دوراً في التأثير على تطبيقات إنترنت الأشياء. قد تكون هذه المؤشرات تتعلق بأداء الأعمال بشكل عام، أو أداء التكنولوجيا، أو حتى أداء الفرق العاملة.
- التفسير المحتمل: يمكن أن يؤدي تحديد مؤشرات أداء واضحة ومراقبتها إلى تحسين تصميم، تنفيذ، أو استخدام تطبيقات إنترنت الأشياء، أو قد تشير إلى مدى تأثير إنترنت الأشياء على الأداء العام.

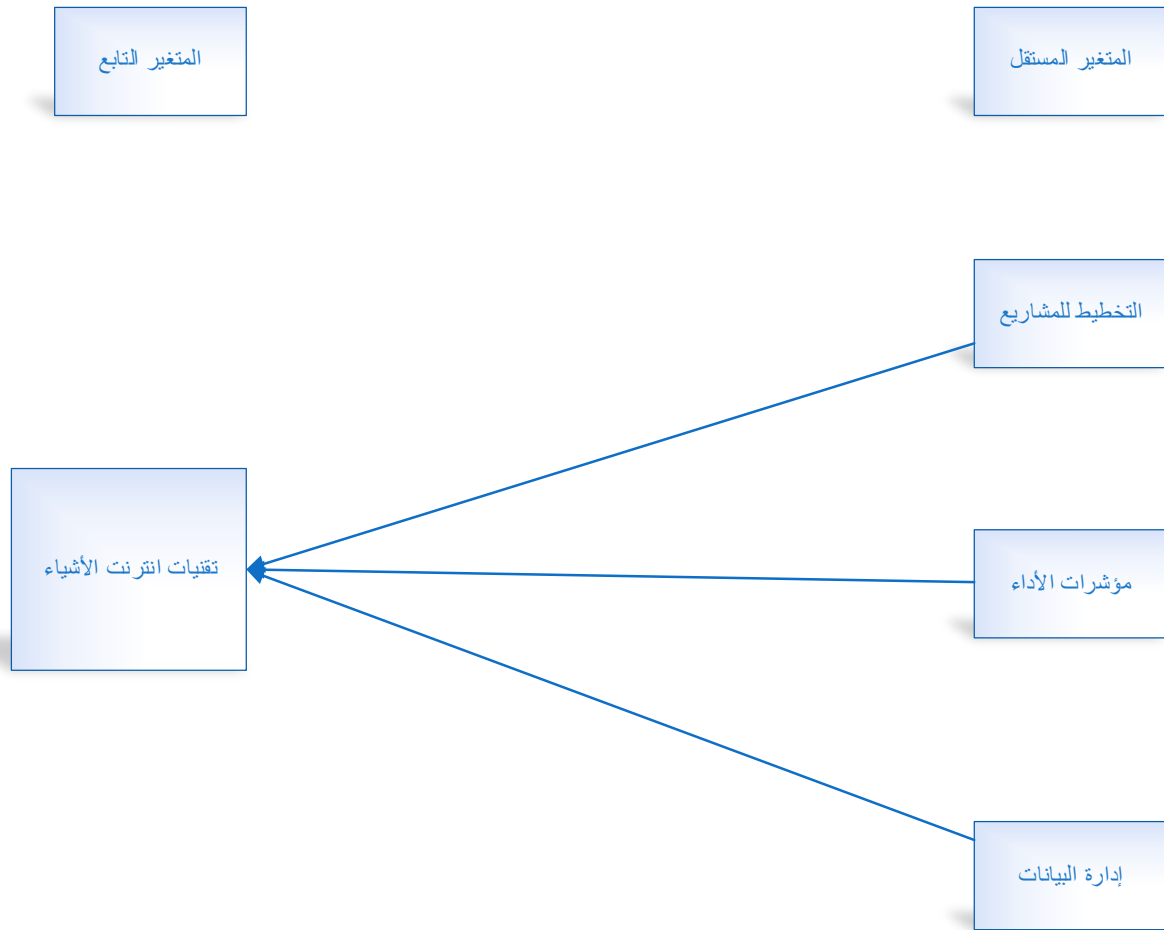
3. إدارة البيانات: (Data Management)

- العلاقة مع المتغير التابع: نظراً لأن إنترنت الأشياء تعتمد بشكل كبير على جمع وتحليل البيانات، فمن المنطقي أن تكون إدارة البيانات متغيراً مستقلاً يؤثر عليها.
- التفسير المحتمل: كفاءة عمليات إدارة البيانات (مثل جمع البيانات، تخزينها، معالجتها، أمنها، وتحليلها) من أجهزة إنترنت الأشياء ستؤثر بشكل مباشر على فعالية، موثوقية، وقيمة تطبيقات إنترنت الأشياء. إدارة البيانات السيئة قد تعيق الاستفادة الكاملة من هذه التطبيقات.

باختصار:

تسعى هذه الدراسة على ما يبدو إلى فهم كيف أن التخطيط للمشاريع ومؤشرات الأداء وإدارة البيانات تؤثر وتساهم في فعالية أو نجاح أو تطوير تطبيقات إنترنت الأشياء. المتغيرات المستقلة هي "السبب" المفترض أو العوامل المؤثرة، والمتغير التابع هو "النتيجة" أو الظاهرة التي يتم دراسة تأثير تلك العوامل عليها.

هل تود مني شرح هذه العلاقات بمزيد من التفصيل، أو هل لديك أسئلة أخرى حول المتغيرات؟



رسم توضيحي 20. متغيرات الدراسة التابعة والمستقلة

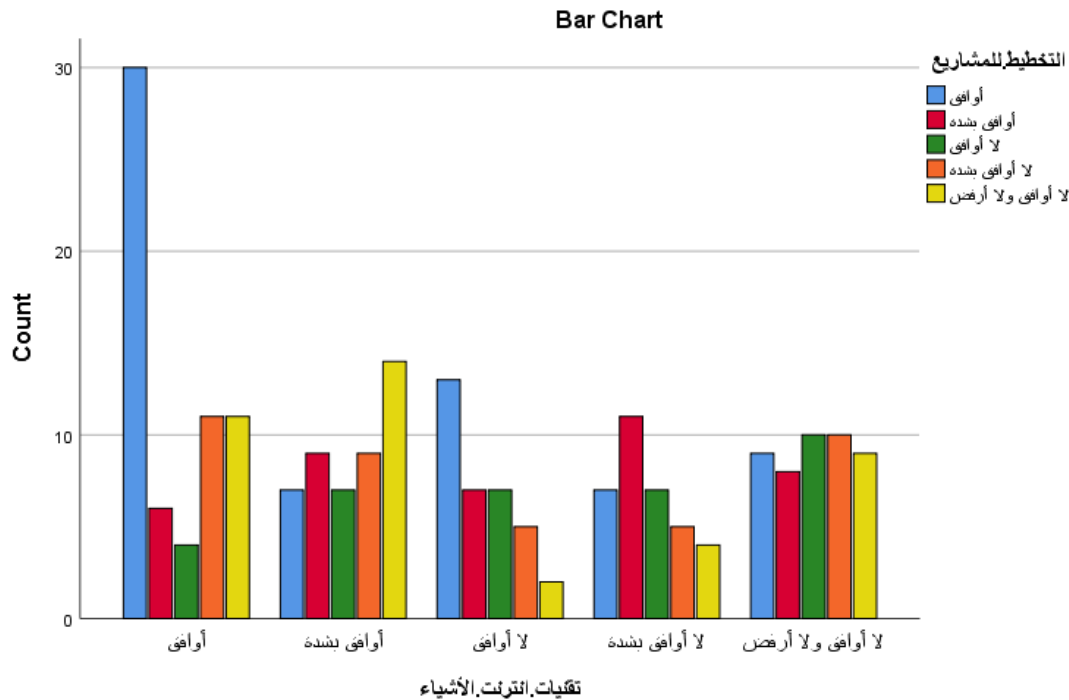
• دور تقنيات إنترنت الأشياء في إعداد التخطيط الجيد لمشاريع الاستدامة البيئية

يتضح من الجدول أن اختبار كاي سكوير أظهر قيمة Pearson Chi-Square تساوي 33.997 عند 4 درجات حرية، مع دلالة إحصائية (Asymptotic Significance) بمقدار 0.005، مما يشير إلى وجود علاقة معنوية بين استخدام تقنيات إنترنت الأشياء وإعداد التخطيط الجيد لمشاريع الاستدامة البيئية. كما أن جميع الخلايا المتوقعة كانت أكبر من 5، مما يدعم صحة نتائج الاختبار.

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	33.997 ^a	4	.005
Likelihood Ratio	34.916	4	.004
Linear-by-Linear Association	1.001	1	.317
N of Valid Cases	222		

a. 0 cells (0.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 5.36.

جدول 22 : اختبار كاي سكوير لدور تقنيات إنترنت الأشياء في إعداد التخطيط الجيد لمشاريع الاستدامة البيئية.



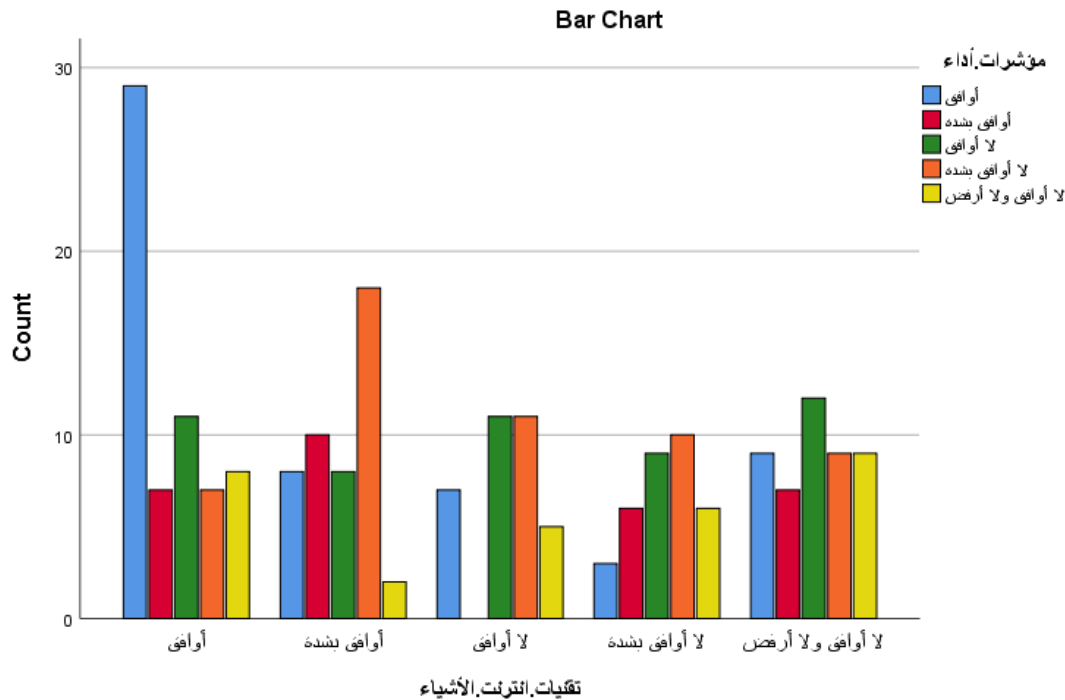
رسم توضيحي 21 : المقاييس المتماثلة في تحليل الجداول المتقاطعة لدور تقنيات إنترنت الأشياء في إعداد التخطيط الجيد لمشاريع الاستدامة البيئية.

• دور تقنيات إنترنت الأشياء في تطوير مؤشرات الأداء لمشاريع الاستدامة البيئية

يتضح من الجدول أن اختبار كاي سكوير أظهر قيمة Pearson Chi-Square تساوي 42.278 عند 3 درجات حرية، مع دلالة إحصائية (Asymptotic Significance) بمقدار 0.000، مما يشير إلى وجود علاقة معنوية قوية بين استخدام تقنيات إنترنت الأشياء وتطوير مؤشرات الأداء (KPIs) لمشاريع الاستدامة البيئية. كما أن 16% من الخلايا لديها عدد متوقع أقل من 5، لكن هذا لا يقلل من دلالة النتائج بشكل كبير.

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	42.278 ^a	3	.000
Likelihood Ratio	46.937	3	.000
Linear-by-Linear Association	9.635	1	.002
N of Valid Cases	222		
a. 4 cells (16.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 4.59.			

جدول 23 : اختبار كاي سكوير لدور تقنيات إنترنت الأشياء في تطوير مؤشرات الأداء لمشاريع الاستدامة البيئية.



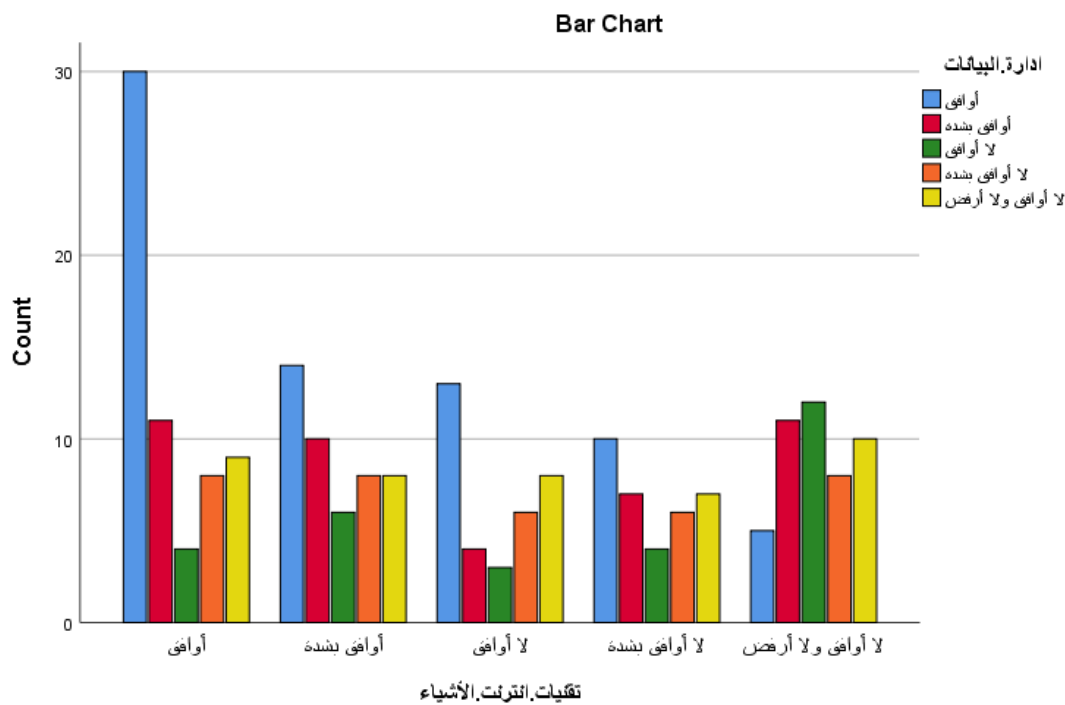
رسم توضيحي 22 : المقاييس المتمثلة في تحليل الجداول المتقاطعة لدور تقنيات إنترنت الأشياء في تطوير مؤشرات الأداء لمشاريع الاستدامة البيئية.

• دور تقنيات إنترنت الأشياء في الإدارة الجيدة للبيانات الخاصة بمشاريع الاستدامة البيئية

يتضح من الجدول أن اختبار كاي سكوير أظهر قيمة Pearson Chi-Square تساوي 24.176 عند 3 درجات حرية، مع دلالة إحصائية بمقدار 0.086، مما يشير إلى أن العلاقة بين استخدام تقنيات إنترنت الأشياء والإدارة الجيدة للبيانات لمشاريع الاستدامة البيئية ليست معنوية عند مستوى الدلالة 0.05. ومع ذلك، يظهر اختبار Linear-by-Linear Association قيمة 8.146 مع دلالة إحصائية 0.004، مما يشير إلى وجود اتجاه خطي معنوي في العلاقة بين المتغيرين.

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	24.176 ^a	3	.086
Likelihood Ratio	25.191	3	.067
Linear-by-Linear Association	8.146	1	.004
N of Valid Cases	222		

جدول 24 : اختبار كاي سكوير لدور تقنيات إنترنت الأشياء في الإدارة الجيدة للبيانات الخاصة بمشاريع الاستدامة البيئية.



رسم توضيحي 23 دور تقنيات إنترنت الأشياء في الإدارة الجيدة للبيانات الخاصة بمشاريع الاستدامة البيئية.

• تحليل التباين الأحادي لمتغيرات الدراسة

يتضح من جدول تحليل التباين (ANOVA) أن نموذج الانحدار لمتغير تقنيات إنترنت الأشياء حقق قيمة $F = 2.906$ مع دلالة إحصائية $Sig = 0.001$ ، مما يشير إلى أن المتغيرات المستقلة (التخطيط للمشاريع، مؤشرات الأداء، إدارة البيانات (لها تأثير معنوي جماعي على استخدام تقنيات إنترنت الأشياء في مشاريع الاستدامة البيئية. هذا يعني أن هذه المتغيرات تساهم بشكل كبير في تفسير التباين الموجود في تبني تقنيات إنترنت الأشياء لدى المنشآت المدروسة.

ANOVA ^{a,b}					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	71.963	12	5.997	2.906	.001
Residual	431.316	209	2.064		
Total	503.279	221			
a. Dependent Variable: تقنيات إنترنت الأشياء					
b. Model: (Intercept), التخطيط للمشروع, مؤشرات أداء, إدارة البيانات					

جدول 25: تحليل التباين الأحادي لمتغيرات الدراسة.

يتضح من جدول ملخص نموذج عامل بايز أن قيمة $R^2 = 0.143$ و $R = 0.378$ ، ما يشير إلى أن المتغيرات المستقلة (التخطيط للمشروع، مؤشرات الأداء، إدارة البيانات) تفسر حوالي 14.3% من التباين في تبني تقنيات إنترنت الأشياء. كما يظهر أن $\text{Bayes Factor} = 0.001$ ، مما يدعم قوة النموذج مقابل نموذج الصفر (Null Model)، ويشير إلى أن تأثير المتغيرات المستقلة على المتغير التابع قوي ومعنوي من منظور البايزية.

Bayes Factor Model Summary ^{a,b}				
Bayes Factor ^c	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.001	.378	.143	.094	1.44
a. Method: JZS				
b. Model: (Intercept), التخطيط للمشروع, مؤشرات أداء, إدارة البيانات				
c. Bayes factor: Testing model versus null model (Intercept).				

جدول 26: ملخص نموذج عامل بايز.

يتضح من جدول تقديرات بايزية لتباين الخطأ أن قيمة تباين الخطأ (Error Variance) تصل إلى 2.084 بمتوسط، مع نطاق موثوقية 95% بين 1.719 و 2.524. يشير ذلك إلى مقدار التشتت في القيم الفعلية للمتغير التابع (تقنيات إنترنت الأشياء) حول القيم المتوقعة بواسطة النموذج، أي أن هناك تفاوتاً متوسطاً في تقدير المتغير التابع، وهو أمر طبيعي في النماذج التطبيقية.

Bayesian Estimates of Error Variance ^a					
Parameter	Posterior			95% Credible Interval	
	Mode	Mean	Variance	Lower Bound	Upper Bound
Error variance	2.044	2.084	.042	1.719	2.524

جدول 27: تقديرات بايزية لتباين الخطأ.

Abstract

The world is witnessing rapid development in digital technologies aimed at improving the sustainability of natural resources. Forest management is one of the most prominent areas that could benefit from the integration of Internet of Things (IoT) technologies to enhance effective environmental monitoring and data-driven decision-making. Traditional forest management relies on intermittent field monitoring methods, which often lead to delayed responses to environmental risks such as fires, illegal logging, and biodiversity loss. This study explores the role of IoT technologies in developing an integrated model that improves strategic planning, real-time monitoring, and continuous improvement in forestry projects, achieving long-term environmental sustainability.

The proposed model relies on a network of sensors, drones, and cloud-based systems to analyze environmental data and provide early response and adaptive management tools supported by continuous feedback loops. The research also relies on a systematic review of recent studies and an analysis of current application gaps, aiming to provide a practical framework and policy recommendations that support the adoption of smart technologies in the forestry sector.

The theoretical results demonstrate that the integration of IoT contributes to increasing the efficiency of resource allocation, reducing environmental risks, and enhancing transparency and accountability among stakeholders. The study confirms that the shift towards smart forest management represents a pivotal step toward ensuring the protection of forest ecosystems and achieving sustainability goals in the face of growing environmental challenges.

Keywords:

Internet of Things, forest management, environmental sustainability, real-time monitoring, smart forests, data-driven decision-making, continuous improvement, environmental conservation, risk management, cloud computing analytics.

- Abdelmoneim, A. A. (2025). IoT Sensing for Advanced Irrigation Management: A Systematic Review of Trends, Challenges, and Future Prospects. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/7/2291>
- Alahi, M. E. (2023). Integration of IoT-Enabled Technologies and Artificial Intelligence (AI) for Smart City Scenario: Recent Advancements and Future Trends. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/11/5206>
- Balodi, S. D. (2024). Smart Solutions for Sustainable Living: Internet of Things (IoT) Applications in Environmental Monitoring. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/380843728_Smart_Solutions_for_Sustainable_Living_Internet_of_Things_IoT_Applications_in_Environmental_Monitoring
- Bazargani, K. (2024). Automation's Impact on Agriculture: Opportunities, Challenges, and Economic Effects. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/378320801_Automation's_Impact_on_Agriculture_Opportunities_Challenges_and_Economic_Effects
- Carreno, A. M. (2024). Building a Continuous Feedback Loop for Real-Time Change Adaptation: Best Practices and Tools. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/385621731_Building_a_Continuous_Feedback_Loop_for_Real-Time_Change_Adaptation_Best_Practices_and_Tools
- Cui, F. (2019). Deployment and integration of smart sensors with IoT devices detecting fire disasters in huge forest environment. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/337875185_Deployment_and_integration_of_smart_sensors_with_IoT_devices_detecting_fire_disasters_in_huge_forest_environment
- Denih, A. (2025). Utilization of Remote Sensing Technology and IoT for Forest Condition Monitoring and Environmental Analysis. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/388727188_Utilization_of_Remote_Sensing_Technology_and_IoT_for_Forest_Condition_Monitoring_and_Environmental_Analysis
- Dhal, S. (2023). Internet of Things (IoT) in digital agriculture: An overview. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/371117389_Internet_of_Things_IoT_in_digital_agriculture_An_overview

- Elsisi, M. (2025). A comprehensive review of machine learning and Internet of Things integrations for emission monitoring and resilient sustainable energy management of ships in port areas. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/391733119_A_comprehensive_review_of_machine_learning_and_Internet_of_Things_integrations_for_emission_monitoring_and_resilient_sustainable_energy_management_of_ships_in_port_areas
- Ezquerro, M. (2019). Sustainability in Forest Management Revisited Using Multi-Criteria Decision-Making Techniques. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/13/3645>
- Ficili, I. (2025). From Sensors to Data Intelligence: Leveraging IoT, Cloud, and Edge Computing with AI. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/6/1763>
- GUMA, A. (2025). Leveraging the Internet of Things, Remote Sensing, and Artificial Intelligence for Sustainable Forest Management. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/388122231_Leveraging_the_Internet_of_Things_Remote_Sensing_and_Artificial_Intelligence_for_Sustainable_Forest_Management
- Gumede, N. (2023). Socio-technical systems: using actor-network theory to make the social more tangible in a technical space. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/375786777_SOCIO-TECHNICAL_SYSTEMS_USING_ACTOR-NETWORK_THEORY_TO_MAKE_THE_SOCIAL_MORE_TANGIBLE_IN_A_TECHNICAL_SPACE
- Halton, C. (2025). Diffusion of Innovations Theory: Definition and Examples. Retrieved from <https://www.investopedia.com/terms/d/diffusion-of-innovations-theory.asp>
- Harris, L. (2025). Application of Smart Technologies and Lean Principles for Improving Safety, Productivity, and Quality Control in Highway and Transportation Construction Projects. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/393888232_Application_of_Smart_Technologies_and_Lean_Principles_for_Improving_Safety_Productivity_and_Quality_Control_in_Highway_and_Transportation_Construction_Projects
- Hussain, K. (2024). RETRACTED: Assessing forest fragmentation due to land use changes from 1992 to 2023: A spatio-temporal analysis using remote sensing data. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024107414>

- Izah, S. C. (2025). Smart Technologies in Environmental Monitoring: Enhancing Real-Time Data for Health Management. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/390250513_Smart_Technologies_in_Environmental_Monitoring_Enhancing_Real-Time_Data_for_Health_Management
- Katie, B. (2024). Internet of Things (IoT) for Environmental Monitoring. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/382751058_Internet_of_Things_IoT_for_Environmental_Monitoring
- Lawrence, A. A. (2024). The Role Of Project Management In Driving Sustainable Development Goals (Sdgs). Retrieved from <http://iosrjournals.org/iosr-jbm/papers/Vol26-issue6/Ser-2/F2606024449.pdf>
- Malik, S. (2024). Data-Driven Decision-Making: Leveraging the IoT for Real-Time Sustainability in Organizational Behavior. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/382549048_Data-Driven_Decision-Making_Leveraging_the_IoT_for_Real-Time_Sustainability_in_Organizational_Behavior
- Mbatha, B. T. (2024). Diffusion of Innovations: How Adoption of New Technology Spreads in Society. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/381100256_Diffusion_of_Innovations_How_Adoption_of_New_Technology_Spreads_in_Society
- Medina, N. (2023). Developing systems theory in soil agroecology: incorporating heterogeneity and dynamic instability. Retrieved from <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2023.1171194/full>
- Mensah, j. (2019). Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311886.2019.1653531>
- Mijwil, M. M. (2025). Leveraging the Internet of Things, Remote Sensing, and Artificial Intelligence for Sustainable Forest Management. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/388122231_Leveraging_the_Internet_of_Things_Remote_Sensing_and_Artificial_Intelligence_for_Sustainable_Forest_Management
- Miller, T. (2025). Integrating Artificial Intelligence Agents with the Internet of Things for Enhanced Environmental Monitoring: Applications in Water Quality and Climate Data. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2079-9292/14/4/696>

- Mishra, H. (2024). AI for Data-Driven Decision-Making in Smart Agriculture: From Field to Farm Management. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/385082892_AI_for_Data-Driven_Decision-Making_in_Smart_Agriculture_From_Field_to_Farm_Management
- Mota, G. d. (2023). Smart sensors and Internet of Things (IoT) for sustainable environmental and agricultural management. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/376329265_Smart_sensors_and_Internet_of_Things_IoT_for_sustainable_environmental_and_agricultural_management
- Muniz, R. N. (2023). The Sustainability Concept: A Review Focusing on Energy. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/19/14049>
- Nwulu, E. O. (2023). The importance of interdisciplinary collaboration for successful engineering project completions: A strategic framework. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/387730457_The_importance_of_interdisciplinary_collaboration_for_successful_engineering_project_completions_A_strategic_framework
- Olawade, D. B. (2024). Artificial intelligence in environmental monitoring: Advancements, challenges, and future directions. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773049224000278>
- Psistaki, K. (2024). An Overview of the Role of Forests in Climate Change Mitigation. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/14/6089>
- Radha, M. C. (2024). Environmental Monitoring in Internet of Things (IOT). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/380207661_Environmental_Monitoring_in_Internet_of_Things_IOT
- Salam, A. (2020). Internet of Things for Sustainable Forestry. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/338224278_Internet_of_Things_for_Sustainable_Forestry#:~:text=The%20IoT%20technology%20in%20forest,integrated%20sensing%20and%20communication%20components.
- Schorr, A. (2023). The Technology Acceptance Model (TAM) and its Importance for Digitalization Research: A Review. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/372301809_The_Technology_Acceptance_Model_TAM_and_its_Importance_for_Digitalization_Research_A_Review
- Shi, L. (2019). The Evolution of Sustainable Development Theory: Types, Goals, and Research Prospects. Retrieved from

https://www.researchgate.net/publication/368080434_The_Evolution_of_Sustainable_Development_Theory_Types_Goals_and_Research_Prospects

Shilpa, S. (2025). Sustainability in the Internet of Things: Environmental Impacts and Green Technologies. Retrieved from

https://www.researchgate.net/publication/387869320_Sustainability_in_the_Internet_of_Things_Environmental_Impacts_and_Green_Technologies

Singh, R. (2021). Forest 4.0: Digitalization of forest using the Internet of Things (IoT).

Retrieved from

https://www.researchgate.net/publication/349623050_Forest_40_Digitalization_of_forest_using_the_Internet_of_Things_IoT

Spathelf, P. (2018). Adaptive measures: integrating adaptive forest management and forest landscape restoration. Retrieved from

<https://annforsci.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13595-018-0736-4>

Venanzi, R. (2023). Recent Applications of Smart Technologies for Monitoring the Sustainability of Forest Operations. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1999-4907/14/7/1503>

Yasar, K. (2024). internet of things (IoT). Retrieved from

<https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT>

Yusuf, R. Z. (2024). Internet of Forestry Things (IoFT) Technologies and Applications in Forest Management. Retrieved from

https://www.researchgate.net/publication/377313786_Internet_of_Forestry_Things_IoFT_Technologies_and_Applications_in_Forest_Management

Midocean University

College of Management

Major in Project Management



Research Title

Applying Internet of Things Technologies in Forestry Project Management to Promote Environmental Sustainability: An Integrated Model for Planning, Monitoring, and Continuous Improvement

Student Preparation

University Number

Supervisor

Academic Year:

2025