

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 / حصه عوض العجي

الرقم الجامعي/ 251000974

المشرف/ د. فايز جراد

المشرف/ د. الفصيل عبد الحميد

السنة:

٢٠٢٥

الفهرس

٣	المقدمة:
٦	مشكلة الدراسة:
٨	أهمية الدراسة:
١٢	اهداف الدراسة:
١٤	تساؤلات الدراسة:
١٥	فرضيات الدراسة:
١٧	الدارسات السابقة:
٢٢	المنطلقات النظرية للدراسة:
٢٥	المنهجية وأساليب البحث:
٢٧	أدوات الدراسة:
٢٩	حدود الدراسة:
٣٠	المراجع

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، ٢٠٢٤).

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، ٢٠٢٣).

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 المبكر عن تهديدات الحرائق وتحفيز اتخاذ إجراءات وقائية. يُمكن تركيب أجهزة تتبع مُزوّدة بنظام تحديد المواقع العالمي (GPS) على شاحنات قطع الأشجار لضمان الامتثال للحدود القانونية، بينما يُمكن للطائرات المُسيّرة 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، ٢٠١٩).

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، ٢٠٢١).

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 تُهيئ الغابات لمواجهة الظواهر الجوية القاسية المرتبطة بتغير المناخ (Mensah، ٢٠١٩).

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، ٢٠٢٤).

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، ٢٠٢٥).

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.

١. 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 بدلًا 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، ٢٠٢٤).

٢. 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 والآلية 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، ٢٠٢٥).

٣. 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، ٢٠٢٣).

٤. 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 أنيًّا. 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.

٥. 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، ٢٠٢٤).

٦. 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، ٢٠١٩).

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 تُساهم 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:

١. 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، ٢٠٢٥).

٢. 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، ٢٠٢٣).

٣. 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، ٢٠٢٤).

٤. 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.

٥. 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:

١. 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 (Venanzi، ٢٠٢٣).

٢. 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، ٢٠٢٤).

٣. 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، ٢٠٢٤).

٤. 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، ٢٠٢٤).

٥. 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:

١. 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.

٢. 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، والجدول الزمني 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.

٣. 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.

٤. 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.

٥. تحليل آثار الاستدامة البيئية لمشاريع الغابات المدمجة 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.

٦. 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:

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

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

٦. 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:

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

يتيح 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.

٢. 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.

٣. 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.

٤. 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.

٥. 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.

٦. 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.

الدراسات السابقة

يُعدّ رصد الغابات أمرًا بالغ الأهمية لحماية البيئة وإدارة الموارد، ومعالجة إزالة الغابات، وتغير المناخ، والأنشطة غير المشروعة، والكوارث الطبيعية. يبحث هذا الفصل من الكتاب في تطبيق تقنيات الاستشعار عن بُعد وإنترنت الأشياء (IoT) لرصد حالة الغابات بدقة وكفاءة واستدامة. ترصد تقنيات الاستشعار عن بُعد، مثل Landsat و MODIS و Sentinel، تغيرات الغطاء الأرضي، وصحة النباتات، والأنشطة غير المشروعة، بينما تُحلل مؤشرات الغطاء النباتي، مثل NDVI و EVI، ظروف النظم البيئية. تُوفر تقنية إنترنت الأشياء، مع أجهزة استشعار آنية ترصد درجة الحرارة والرطوبة ورطوبة التربة وجودة الهواء، بيانات مستمرة لتحديد المخاطر مبكرًا. تجمع هذه الاستراتيجية المتكاملة بين جمع البيانات على نطاق واسع والتحليل الآني، مما يُساعد الجهات المعنية على التعامل مع مخاوف الغابات بكفاءة. يُمكن دمج إنترنت الأشياء مع أنظمة المعلومات الجغرافية

(GIS) من التحليل المكاني، مما يسمح باتخاذ قرارات مستنيرة لحماية الغابات. من خلال تطبيق هذه التطورات، قد تُصبح النظم البيئية للغابات أكثر حماية، مما يضمن الاستدامة والمرونة في مواجهة التحديات البيئية (Denih، ٢٠٢٥).

الإدارة المستدامة للغابات أمر بالغ الأهمية لمعالجة تغير المناخ وفقدان التنوع البيولوجي وإزالة الغابات. تتطلب الضغوطات البشرية على النظم البيئية للغابات اتخاذ تدابير جديدة لضمان الصحة والإنتاج على المدى الطويل. يحلل هذا البحث كيف تعزز التقنيات المتطورة، بما في ذلك إنترنت الأشياء (IoT) والاستشعار عن بُعد والذكاء الاصطناعي (AI)، تقنيات الإدارة المستدامة للغابات. حلل الباحثون ١٩٦ ورقة بحثية نُشرت بين عامي ٢٠٢١ و٢٠٢٤ من مكتبة IEEE Xplore الرقمية، وMDPI، وTaylor & Francis، وScienceDirect، وFrontiers، وSpringer، وSAGE، وHindawi، وNature، ومكتبة Wiley الإلكترونية، وGoogle Scholar. تؤكد النتائج على أهمية أجهزة إنترنت الأشياء مثل الطائرات بدون طيار، التي توفر جمع بيانات آنية حول درجة الحرارة والرطوبة ورطوبة التربة ونمو الأشجار، مما يدعم المراقبة المستمرة للغابات. توفر تقنيات الاستشعار عن بُعد، بما في ذلك التصوير عبر الأقمار الصناعية والمسوحات الجوية، بيانات عالية الدقة لتقييمات الغابات واسعة النطاق، بما في ذلك تغيرات الغطاء الحرجي، وحساب الكتلة الحيوية، والكشف المبكر عن قطع الأشجار غير المشروع. عند ربطها بالذكاء الاصطناعي، تُعزز هذه التقنيات النمذجة التنبؤية، وتحليل البيانات، واتخاذ القرارات، مما يؤدي إلى ممارسات أكثر نجاحًا في إدارة الغابات. كما يُشير التقرير إلى مشاكل مثل مخاوف أمن البيانات، وقيود النطاق الترددي، ومشاكل التوافق التشغيلي، والتسعير المفرط. ورغم هذه القيود، تُتيح إنترنت الأشياء والاستشعار عن بُعد والذكاء الاصطناعي إمكانيات تحويلية لتعزيز مرونة الغابات، واحتجاز الكربون، والحفاظ على التنوع البيولوجي. وتُعدّ هذه التقنيات بالغة الأهمية في حماية النظم البيئية للغابات والحد من آثار تغير المناخ من خلال تحسين الرصد الآني، وتحسين تخصيص الموارد، وإتاحة خيارات قائمة على البيانات (Mijwil، ٢٠٢٥).

يُعد دمج التكنولوجيا الذكية في الرصد البيئي استراتيجياً تحويلياً للسيطرة على المخاطر الصحية المرتبطة بالتغيرات البيئية. يُحلل هذا الفصل العديد من التقنيات الذكية، مثل إنترنت الأشياء (IoT)، والاستشعار عن بُعد، وأجهزة استشعار الصحة القابلة للارتداء، وتحليلات البيانات، والتي تُوفر بيانات آنية حيوية لتعزيز أنظمة الاستجابة الصحية. تُوفر هذه التقنيات مراقبة مستمرة للمعايير البيئية - جودة الهواء، وجودة المياه، ودرجة الحرارة، وغيرها - مما يُتيح الكشف المبكر عن التهديدات

الصحية، ويتيح استجاباتٍ سريعة. بالإضافة إلى ذلك، يبحث الفصل في كيفية تأثير الاختراقات في مجال الذكاء الاصطناعي على تحويل تحليلات البيانات من خلال تمكين نماذج تنبؤية يمكنها التنبؤ بتفشي الأمراض، وحوادث التلوث، وغيرها من المخاوف الصحية البيئية. من خلال استخدام النماذج المعتمدة على الذكاء الاصطناعي، يُمكن مُختصي الصحة العامة والهيئات البيئية مُعالجة المخاطر المُحتملة بشكلٍ استباقي، مما يُتيح استجابةً أسرع وأكثر مُلاءمة للمشكلات الصحية المُستجدة. كما يُسلط الضوء على أهمية الذكاء الاصطناعي في تحليلات البيانات، مُوضحًا كيف يُمكن لنماذج التنبؤ المعتمدة على الذكاء الاصطناعي تحسين مراقبة الأمراض والتنبؤ بالمخاوف الصحية البيئية. تُبرز أمثلة استخدامات التكنولوجيا الذكية في إدارة الصحة إمكانية تعزيز هذه التطورات لاستجابات الصحة العامة. ومع ذلك، يُعد اعتماد أنظمة الرصد البيئي الذكية أمرًا صعبًا، إذ لا تزال مخاوف مثل خصوصية البيانات، وتكاليف البنية التحتية، وموثوقية البيانات تُشكّل عوائق مهمة. ويختتم الفصل باقتراح نهج استباقي قائم على البيانات لإدارة الصحة البيئية. ولحل مشكلات التكنولوجيا الذكية الحالية في مجال رصد الصحة البيئية، ثمة حاجة إلى استراتيجية متكاملة تجمع بين التكنولوجيا والصحة والإدارة البيئية (Izah، ٢٠٢٥).

في مواجهة القضايا البيئية المتصاعدة، تُعدّ الحلول الذكية أمرًا بالغ الأهمية لدعم الحياة المستدامة. تبحث هذه الدراسة البحثية في الدور المحوري لتطبيقات إنترنت الأشياء (IoT) في الرصد البيئي، مُسلطةً الضوء على كيفية مساهمة تقنيات إنترنت الأشياء في إرساء نظام بيئي أكثر استدامة ومرونة. من خلال ربط أجهزة الاستشعار والأجهزة ومنصات التحليلات، تُوفّر أنظمة إنترنت الأشياء مراقبةً وتحكمًا أنيًّا للعوامل البيئية، مما يُتيح اتباع نهج استباقي لحماية البيئة. تُحلّل الدراسة العديد من التطبيقات القائمة على إنترنت الأشياء، بدءًا من أجهزة استشعار جودة الهواء في المناطق الحضرية ووصولًا إلى الكشف عن حرائق الغابات البعيدة، مُبيّنة قدرتها على جمع بيانات دقيقة وتحفيز استجابات سريعة للمخاطر البيئية. كما تُستكشف تكامل إنترنت الأشياء مع الحوسبة السحابية والذكاء الاصطناعي، مُظهرة قدرات تنبؤية مُحسّنة تُتيح اتخاذ خطوات وقائية في مجال حماية البيئة. تُقدّم دراسات الحالة من جميع أنحاء العالم نظرةً ثاقبةً على عمليات النشر الواقعية والتأثير الملموس لإنترنت الأشياء في الرصد البيئي. كما تُقيّم بشكلٍ نقدي القضايا المُرتبطة بالاعتماد واسع النطاق، مثل أمن البيانات، واستهلاك الطاقة لأجهزة إنترنت الأشياء، والفجوة الرقمية. ويختتم المقال بتسليط الضوء على الإمكانيات الثورية لتطبيقات إنترنت الأشياء في تعزيز الاستدامة، والدعوة إلى اعتمادها على نطاق أوسع كأداة لزيادة الإدارة البيئية والمساعدة في التحول إلى أنماط معيشية أكثر خضرة (Balodi، ٢٠٢٤).

يربط إنترنت الأشياء (IoT) الأشياء المادية بالإنترنت، مما يسمح بجمع البيانات ومعالجتها بشكل مستقل. في مجال الرصد البيئي، يلعب إنترنت الأشياء دورًا هامًا في جمع بيانات آنية حول جوانب تشمل جودة الهواء والماء، والطقس، ونشاط الحيوانات، والجزر الحرارية الحضرية. يناقش هذا الملخص كيفية استخدام إنترنت الأشياء في الرصد البيئي، بما في ذلك المعايير وأنواع الأجهزة والتطبيقات. يتضمن إنترنت الأشياء أجهزة متصلة بالشبكة تجمع البيانات البيئية وتنقلها للتحليل، مما يسمح بالرصد المستمر وتحسين إدارة الموارد. تُنظم معايير مثل MQTT وتقنيات الاتصالات مثل Wi-Fi نشر إنترنت الأشياء. يشمل الرصد البيئي تحليل جودة الهواء والماء، والظروف الجوية، وسلوك الحيوانات، والجزر الحرارية الحضرية. يكشف رصد جودة الهواء عن مستويات التلوث في الغلاف الجوي باستخدام شبكات الاستشعار القائمة على إنترنت الأشياء. يُقيّم رصد جودة المياه الجوانب الكيميائية والبيولوجية للمساحات المائية. يكشف رصد الطقس والمناخ عن أحوال الهواء باستخدام شبكات الاستشعار القائمة على إنترنت الأشياء. يراقب رصد الحياة البرية حركة الحيوانات وسلوكها باستخدام أجهزة استشعار مدعومة بإنترنت الأشياء. يفحص رصد الجزر الحرارية الحضرية تشتت درجات الحرارة في المناطق الحضرية باستخدام أجهزة استشعار قائمة على إنترنت الأشياء. يُحدث إنترنت الأشياء ثورة في مجال الرصد البيئي من خلال توفير مراقبة آنية عن بُعد عبر العديد من المجالات، مما يساهم في تحسين إدارة الموارد وأنشطة الاستدامة (Radha، ٢٠٢٤).

كان الغرض الأساسي من دراسة (Katie, Biancha، ٢٠٢٤) إنترنت الأشياء للرصد البيئي. التقنية: استخدمت الدراسة تقنية البحث المكتبي. يشير البحث المكتبي إلى البيانات الثانوية أو تلك التي يمكن الحصول عليها دون عمل ميداني. يهتم البحث المكتبي أساسًا بجمع البيانات من الموارد المتاحة، وبالتالي يُعتبر غالبًا استراتيجية منخفضة التكلفة على عكس البحث الميداني، حيث إن التكلفة الأساسية تتمثل في وقت المدير التنفيذي وتكاليف الهاتف والدلائل. وبالتالي، اعتمد البحث على دراسات وتقارير وبيانات منشورة سابقًا. كانت هذه البيانات الثانوية متاحة بسهولة عبر المجالات والمكتبات الإلكترونية. النتائج: تُظهر النتائج وجود فجوة سياقية ومنهجية مرتبطة بإنترنت الأشياء للرصد البيئي. وجد التقييم التجريبي الأولي أن تقنيات إنترنت الأشياء قد طورت بشكل كبير أساليب الإدارة البيئية من خلال تحديث جمع البيانات وتحليلها عبر أنظمة بيئية متعددة. من خلال الجمع بين أجهزة استشعار إنترنت الأشياء وأطر المراقبة الحالية، تم الحصول على بيانات آنية حول جودة الهواء والماء والزراعة وموائل الحيوانات والمساحات الخضراء الحضرية بشكل فعال. دعمت هذه البيانات اتخاذ القرارات الاستباقية، والكشف المبكر عن التهديدات البيئية، ووضع سياسات قائمة على الأدلة لمعالجة قضايا تغير المناخ، والحفاظ على التنوع البيولوجي،

وإدارة الموارد المستدامة. وعلى الرغم من وجود قضايا مثل أمن البيانات وقابلية التشغيل البيئي، فإن الجهود المنسقة بين الجهات المعنية مهدت الطريق أمام برامج رصد بيئي وتنمية مستدامة أكثر كفاءة على الصعيد الدولي. مساهمة فريدة في النظرية والممارسة والسياسة: يمكن استخدام نظرية النظم التكيفية المعقدة، ونظرية انتشار الابتكارات، ونظرية الاعتماد على الموارد لدعم الدراسات المستقبلية حول تقنية إنترنت الأشياء. قدّم البحث اقتراحات متنوعة ساهمت بشكل كبير في النظرية والممارسة والسياسة في مجال الإدارة البيئية. ويؤكد البحث على مناهج متعددة التخصصات لتطوير أطر نظرية، داعيًا إلى نماذج وخوارزميات مُحسّنة تجمع بين إنترنت الأشياء والعلوم البيئية وتحليلات البيانات. عمليًا، أوصى البحث باستخدام أوسع لشبكات الاستشعار المُمكنة بإنترنت الأشياء ذات القدرات المُوسّعة لجمع بيانات دقيقة وموثوقة. ومن ناحية السياسات، حثّ التقرير على وضع أطر تشريعية تُمكن من دمج إنترنت الأشياء، ومعايير البيانات، والتعاون الدولي لحل المشكلات البيئية العالمية بشكل تعاوني. كما تم التأكيد على بناء القدرات ومواصلة البحث والتطوير لتعزيز الاستفادة من تكنولوجيا إنترنت الأشياء من أجل مراقبة البيئة وإدارتها بشكل مستدام في جميع أنحاء العالم.

تؤدي الغابات دورًا محوريًا في دعم كوكب الأرض والثقافات البشرية، موفرةً مجموعة واسعة من المزايا، بما في ذلك إدارة المناخ ودورة المياه، وحماية التنوع البيولوجي، وتوافر الموارد المهمة. ومع ذلك، تواجه الغابات صعوبات جمة، مثل إزالة الغابات وتدهورها، وعواقب تغير المناخ، مما يُضعف قدرتها على البقاء على المدى الطويل. وللمعالجة هذه المخاوف الحرجة، لا بد من إيجاد حلول جديدة، ويبدو إنترنت الأشياء (IoT) سبيلًا عمليًا. فمن خلال دمج تقنية إنترنت الأشياء (IoFT) في إدارة الغابات، والمعروفة أيضًا باسم إنترنت الأشياء الحرجية (IoFT)، يمكن تحقيق نهج تحويلي لإدارة الغابات. تتيح تقنية إنترنت الأشياء (IoFT) جمع البيانات في الوقت الفعلي حول ظروف الغابات، بما في ذلك عناصر مثل درجة الحرارة والرطوبة والتربة. بالإضافة إلى ذلك، تتيح تتبع حركة وموقع العديد من أصول الغابات، بما في ذلك الحيوانات، ومخزون الكربون، والبشر، والمعدات. يقدم هذا الفصل مراجعة مفصلة للوضع الحالي لتقنيات إنترنت الأشياء وتطبيقاتها في إدارة الغابات. يناقش هذا الفصل المزايا المحتملة لتكنولوجيا إنترنت الأشياء (IoFT) في إدارة الغابات، مؤكدًا على قدرتها على زيادة كفاءة وفعالية وأهميتها واستدامتها للنظم البيئية للغابات. ويعتمد على مجموعة متنوعة من الأبحاث والأوراق والمنشورات لتوضيح الاستخدامات المتعددة لتكنولوجيا إنترنت الأشياء في إدارة الغابات. تشمل هذه التطبيقات مراقبة صحة الغابات، والتنبؤ بحرائق الغابات وكشفها، وتحديد عمليات قطع الأشجار غير المشروعة، وغيرها. كما توفر تقنيات إنترنت الأشياء (IoFT) آفاقًا لتبسيط عمليات

الغابات، مثل الحصاد والنقل، مع تعزيز سلامة عمال الغابات. ومع ذلك، يتناول الفصل أيضًا القيود والحدود المرتبطة بتكنولوجيا إنترنت الأشياء في إدارة الغابات. ويستكشف المخاوف المتعلقة بخصوصية البيانات وأمنها وقابلية التشغيل البيئي، مسلطًا الضوء على ضرورة إجراء دراسة متعمقة وإيجاد حلول شاملة لمواجهة هذه التحديات. وفي الختام، يقدم هذا البحث اقتراحات لمبادرات بحثية مستقبلية تهدف إلى التغلب على العقبات وتوسيع نطاق تطبيق تقنيات إنترنت الأشياء في إدارة الغابات. ومن خلال ذلك، يمكن الاستفادة القصوى من إمكانيات تقنيات إنترنت الأشياء، مما يمهّد الطريق لتقنيات مستدامة وناجحة لإدارة الغابات (Yusuf, 2024).

المنطلقات النظرية للدراسة:

يعتمد هذا العمل على العديد من الفرضيات النظرية المترابطة التي تُسهّل مجتمعةً دمج تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) في إدارة مشاريع الغابات. ويعتمد على نظرية الاستدامة، ونظرية النظم، والإدارة التكيفية، ونشر الابتكار، والأنظمة الاجتماعية التقنية، وإطار البيئة الذكية. تُقدّم هذه الأفكار منظورًا شاملاً يُمكن من خلاله فهم وظيفة إنترنت الأشياء في تعزيز التخطيط والرصد والتحسين المستمر للنظم البيئية للغابات. ويستفيد البحث من هذه الأسس لتصوير كيفية توافق التكنولوجيا مع الأهداف البيئية، وتوجيه التنفيذ العملي، وتطوير نموذج لإدارة الغابات قائم على البيانات، وسريع الاستجابة، ومستدام، من أجل رعاية بيئية طويلة الأمد.

١. نظرية الاستدامة

تُعدّ نظرية الاستدامة الأساس الرئيسي لهذا الموضوع، حيث تُركّز على تحقيق التوازن بين المكونات البيئية والاجتماعية والاقتصادية للحفاظ على صحة النظام البيئي على المدى الطويل. وفي سياق إدارة مشاريع الغابات، تُشدّد نظرية الاستدامة على مناهج تحمي التنوع البيولوجي، وتجنّب إزالة الغابات، وتحافظ على النظم البيئية الطبيعية، مع تلبية احتياجات السكان المحليين والأجيال القادمة في الوقت نفسه. تشرح هذه الفرضية ضرورة إيجاد حلول إبداعية قائمة على البيانات، مثل إنترنت الأشياء، لإدارة الموارد الطبيعية بكفاءة أكبر. ويتوسع البحث في هذا المنظور النظري من خلال دراسة كيف يمكن للبيانات الفورية من أجهزة إنترنت الأشياء أن تساعد في اتخاذ قرارات مسؤولة تتوافق مع أهداف الاستدامة (Ozili, 2025).

٢. نظرية النظم

تنظر نظرية النظم إلى النظام البيئي للغابات كنظام متكامل وديناميكي يتكون من أنظمة فرعية متعددة، بما في ذلك النباتات والحياة البرية والمناخ والأنشطة البشرية. يدعم هذا النهج مفهوم أن أي تغيير في أحد مكونات الغابة يؤثر على المكونات الأخرى، وأن الإدارة الناجحة تتطلب رؤية شاملة. باستخدام نظرية النظم، يُصوّر هذا البحث إدارة الغابات كشبكة معقدة من التفاعلات التي يمكن مراقبتها وتحسينها عبر تقنية إنترنت الأشياء. تُمكن البيانات الفورية من أجهزة الاستشعار والأجهزة من تحليل وتنسيق النظام بشكل أفضل، مما يسمح لمديري الغابات بفهم روابط السبب والنتيجة واتخاذ خيارات أكثر تكاملاً ووعياً (Harney، ٢٠٢٤).

٣. نظرية الإدارة التكيفية

الإدارة التكيفية هي نهج نظري يُركز على التعلم بالممارسة والتحسين المستمر والمرونة في إدارة الموارد الطبيعية. يُعزز هذا البحث فرضية مفادها أن الظروف البيئية غير قابلة للتنبؤ، وأن أساليب الإدارة يجب أن تكون ديناميكية ومستندة إلى البيانات. يستخدم هذا البحث نظرية الإدارة التكيفية لتبرير دمج تقنية إنترنت الأشياء، التي تُقدم مدخلات مستمرة تسمح بتعديلات سريعة على الاستراتيجية. بفضل الرؤى المؤلدة من إنترنت الأشياء، يُمكن لمديري الغابات اختبار المبادرات، وتحليل النتائج، وتغيير استراتيجياتهم بناءً على بيانات واقعية. وهذا يُؤلّد دورة دائرية من التخطيط والتنفيذ والمراقبة والتحسين، مما يُحسّن المرونة البيئية والاستدامة طويلة الأجل (Edmondson، ٢٠٢٢).

٤. نظرية انتشار الابتكار

تصف نظرية انتشار الابتكار، التي وضعها إيفريت روجرز، كيفية انتشار التقنيات والأفكار الجديدة داخل النظام الاجتماعي بمرور الوقت. تُعد هذه الفرضية وثيقة الصلة بالبحث، حيث تُحلّل تطبيق تقنية إنترنت الأشياء في إدارة الغابات. وتستكشف كيف تؤثر معايير مثل الميزة النسبية، والتوافق، والتعقيد، وقابلية التجربة، وقابلية الملاحظة، على قبول حلول إنترنت الأشياء من قبل المنظمات البيئية وأصحاب المصلحة. يستخدم البحث هذه النظرية لتحليل العقبات والدوافع المحتملة لتبني إنترنت الأشياء في مجال الغابات، مما يساعد على تصميم مقترحات تُمكن من نشر التكنولوجيا الذكية في برامج الحفاظ على البيئة، لا سيما في المناطق الحرجية محدودة الموارد أو النائية (Halton، ٢٠٢٥).

٥. نظرية النظم الاجتماعية-التقنية

تزعم نظرية النظم الاجتماعية-التقنية أن النشر الفعال للتقنيات الجديدة يعتمد على التفاعل بين المكونات الاجتماعية (البشرية) والتقنية (التكنولوجية). تتطلب إدارة مشاريع الغابات عددًا من أصحاب المصلحة - حراس الغابات، ومسؤولي السياسات، والمنظمات غير الحكومية، والمجتمعات المحلية - الذين يجب أن تتوافق متطلباتهم ومهاراتهم ومشاركتهم مع تصميمات أنظمة إنترنت الأشياء. تُوجّه هذه النظرية تركيز الدراسة على مشاركة أصحاب المصلحة، وسهولة الاستخدام، والقضايا الأخلاقية في تبني تقنية إنترنت الأشياء. كما تُمكن من إنشاء نموذج متكامل يُطابق فيه الأدوات التكنولوجية الجوانب الثقافية والتشغيلية والاجتماعية لإدارة الغابات، مما يضمن نجاح النظام واستدامته في التطبيقات العملية.

٦. إطار عمل البيئة الذكية

يُمكن إطار عمل البيئة الذكية من دمج التكنولوجيا الرقمية في الإدارة البيئية لتطوير أنظمة بيئية سريعة الاستجابة، وآلية، وغنية بالبيانات. يُعدّ هذا المفهوم أساسيًا لفهم كيفية استخدام إنترنت الأشياء لجعل الأنظمة الطبيعية "ذكية" - أي قادرة على الإدراك والتفاعل والتكيف في الوقت الفعلي. وفي هذا النهج، تُعتبر الغابات بيئات ذكية تعمل فيها شبكات الاستشعار وتكنولوجيا الاتصالات والأدوات التحليلية معًا لتعزيز الحفاظ على البيئة والاستخدام المستدام. ويستند هذا العمل إلى هذا الافتراض لإنشاء نموذج ذكي لإدارة الغابات يدمج قدرات الاستشعار والمعالجة والتشغيل، مما يؤدي إلى حلول استباقية وذكية للقضايا البيئية.

المنهجية وأساليب البحث:

١. منهج البحث وتصميمه

يعتمد هذا البحث على منهج متعدد الأساليب، يجمع بين المنهجين الكمي والنوعي لضمان معرفة كاملة بتطبيقات إنترنت الأشياء في إدارة مشاريع الغابات. التصميم تجريبي وتطبيقي، ويركز على بناء نموذج عملي للإدارة المستدامة للغابات باستخدام بيانات إنترنت الأشياء الآنية. ستضمن الدراسة تقييم العديد من دراسات الحالة لمبادرات الغابات التي تستخدم إنترنت

الأشياء ومقارنتها بالمنهج التقليدية. يتيح هذا التصميم تقييم الجوانب التقنية والبيئية والبشرية. كما يُسهّل التحقق من صحة النموذج المقترح من خلال تطبيقه في العالم الحقيقي ومدخلات أصحاب المصلحة، مما يضمن ملاءمته وإمكانية تطبيقه في بيئات غابات متنوعة.

٢. مجتمع الدراسة وأخذ العينات

يستهدف البحث الأفراد المشاركين بشكل مباشر في مبادرات الغابات، بمن فيهم مهندسو البيئة، ومديرو الغابات، ومطورو أنظمة إنترنت الأشياء، ومحللو البيانات، وصانعو السياسات. سيتم استخدام أسلوب أخذ عينات هادف لاختيار المشاركين الأكفاء ومواقع مشاريع الغابات التي تُطبّق فيها تقنيات إنترنت الأشياء. سيتم اختيار ثلاثة مواقع للمشروع بناءً على التنوع الجغرافي، وتطبيق التكنولوجيا، وتوافر البيانات البيئية. تضمن هذه العينة مجموعة بيانات كبيرة ومتنوعة، تعكس كلاً من القدرات التكنولوجية والظروف البيئية. إن إشراك مختلف أصحاب المصلحة يعزز صحة الدراسة ويعزز قابلية توسيع النموذج عبر مختلف أنظمة إدارة الغابات والنظم البيئية الإقليمية.

٣. طرق جمع البيانات

سيتم جمع البيانات من مصادر أولية وثانوية لضمان ثرائها وعمقها. تشمل البيانات الأولية مقابلات شبه منظمة مع خبراء، واستطلاعات رسمية تُقدم للممارسين، وملاحظات ميدانية مباشرة. سيتم الحصول على البيانات البيئية الكمية - مثل رطوبة التربة ودرجة الحرارة والرطوبة وجودة الهواء - عبر أجهزة استشعار إنترنت الأشياء المثبتة في مواقع الغابات المختارة. ستكون البيانات الثانوية من أوراق فنية، وأبحاث سابقة، ووثائق سياسات، وسجلات أداء الاستدامة. توفر هذه الطريقة متعددة المصادر منظوراً شاملاً لكيفية استخدام أجهزة إنترنت الأشياء في الغابات، من خلال دمج البيانات الآنية مع رؤى الخبرة لتقييم فعاليتها وتأثيرها على الاستدامة بشكل أفضل.

٤. أدوات وأدوات البحث

ستُسهّل العديد من التقنيات المتخصصة جمع البيانات وتحليلها. سيتم استخدام لوحات معلومات إنترنت الأشياء ومنصات الحوسبة السحابية للوصول إلى بيانات الاستشعار في الوقت الفعلي، مما يُقدّم رؤى ثاقبة حول المتغيرات البيئية. ستُتيح أنظمة

المعلومات الجغرافية (GIS) وبرامج الاستشعار عن بُعد رسم الخرائط المكانية وتحليل استخدام الأراضي. ستُسهّل أدلة المقابلات والاستبيانات المهيكلة الحصول على مُدخلات أصحاب المصلحة حول أداء النظام وسهولة استخدامه والمشاكل المتعلقة به. للتحليل، ستُعالج أدوات مثل SPSS أو Python البيانات الرقمية، بينما تُساعد NVivo أو MAXQDA في ترميز وتحليل الردود النوعية. تُوفّر هذه التقنيات مُجتمعةً إطارًا منهجيًا دقيقًا لتحليل تأثير إنترنت الأشياء في إدارة مشاريع الغابات بشكل شامل.

٥. تقنيات تحليل البيانات

سيتم تحليل البيانات المُجمعة حصريًا باستخدام برنامج SPSS. ستُعالج البيانات الكمية من الاستبيانات المهيكلة باستخدام الإحصاءات الوصفية لتلخيص الردود وتحديد الاتجاهات. سيتم استخدام الإحصاءات الاستدلالية، مثل تحليل الارتباط واختبارات t وتحليل التباين (ANOVA)، لدراسة العلاقات بين استخدام إنترنت الأشياء ونتائج الاستدامة. وستُقارن مؤشرات الأداء البيئي، مثل معدل اكتشاف التهديدات أو وقت الاستجابة، إحصائيًا بين مشاريع إنترنت الأشياء وغيرها. أما بالنسبة للبيانات النوعية المُحوّلة إلى صيغة رقمية (مثل مقاييس ليكرت)، فسيتم استخدام برنامج SPSS أيضًا لاختبار الموثوقية (ألفا كرونباخ) وتحليل العوامل. وهذا يضمن تفسيرًا دقيقًا وصحيًا وموثوقًا للنتائج.

٦. تطوير النموذج والتحقق من صحته

بناءً على تحليل البيانات، سيُنشئ المشروع نموذجًا متكاملًا يُرشد استخدام إنترنت الأشياء في تخطيط إدارة الغابات ومراقبتها وتحسينها. سيجمع النموذج بين المكونات التكنولوجية والبيئية والإدارية، بهدف تحقيق التطبيق العملي والمرونة التشغيلية. وسيتم التحقق من صحته من خلال تعليقات لجنة الخبراء، حيث يُحلل الخبراء التطبيق العملي للنموذج، ومن خلال محاكاة الحالات باستخدام بيانات الاستشعار الفعلية. كما يمكن إجراء اختبار تجريبي في مشروع غابات محدد. وتضمن هذه الطريقة أن النموذج ليس سليمًا من الناحية النظرية فحسب، بل عمليًا أيضًا، حيث تقدم إرشادات واضحة لتطبيق إنترنت الأشياء بكفاءة في برامج استدامة الغابات على النطاقين المحلي والكبير.

أدوات الدراسة:

١. استبيان مُهيكل

سيُصمَّم استبيان مُنظَّم لجمع بيانات كمية من الجهات المعنية المشاركة في إدارة مشاريع الغابات. سيتألف الاستبيان من أسئلة مُغلقة، تستخدم عادةً مقياس ليكرت خماسي النقاط، لدراسة الآراء والتجارب والأحكام المتعلقة بفعالية تقنية إنترنت الأشياء. سيُركِّز الاستبيان على قضايا مثل سهولة دمج إنترنت الأشياء، وتأثيرها على عملية صنع القرار، ومساهمتها في الاستدامة البيئية. ستُجرى تجربة تجريبية على الأداة للتحقق من وضوحها وموثوقيتها. سيتم استخدام برنامج SPSS لتقييم الإجابات في نهاية المطاف. يُتيح هذا التنسيق المُوحَّد جمع البيانات بسرعة من عينة كبيرة مع الحفاظ على قابلية المقارنة والصلاحية الإحصائية عبر بيانات مُتنوعة للمشروع.

٢. دليل المقابلات شبه المُهيكلية

سيُصمَّم دليل للمقابلات شبه المُهيكلية لجمع رؤى نوعية مُعمَّقة من مُخبرين مُهمين، مثل مُديري الغابات، وعلماء البيئة، ومهندسي إنترنت الأشياء، وصانعي السياسات. سيحتوي الدليل على أسئلة مفتوحة تتناول التجارب البشرية، والمزايا المُتصورة، والعقبات التقنية، وأفكارًا لتحسين إدارة الغابات القائمة على إنترنت الأشياء. تتيح هذه الأداة للمُقابل حرية أكبر في الاستكشاف بناءً على ردود المشاركين، مُقدمةً بياناتٍ سياقيةً غنية. سيتم تسجيل المقابلات ونسخها وترميزها لاحقًا. على الرغم من كونها نوعية بطبيعتها، إلا أن الرؤى المُستمدة من هذه المقابلات ستُعزز تفسير البيانات الإحصائية وتُرشد تصميم نموذج إدارة إنترنت الأشياء المُتكامل المُقترح.

٣. لوحات معلومات مراقبة إنترنت الأشياء

ستُستخدم لوحات معلومات إنترنت الأشياء كأدوات رقمية للوصول إلى البيانات البيئية وعرضها واستخراجها آنيًا من أجهزة الاستشعار المثبتة في مواقع مشاريع الغابات. تجمع هذه اللوحات بياناتٍ حول عناصر مثل درجة الحرارة، ورطوبة التربة، وجودة الهواء، ورصد الحركة. سيستخدم الباحثون هذه الأداة لتحليل وتيرة وموثوقية وتوقيت أنظمة نقل البيانات والاستجابة. كما تُساعد لوحة المعلومات في الكشف عن الأنماط والاتجاهات والشذوذ لتحليل الحالات. سيتم تلخيص المعلومات المُجمعة عبر

لوحات المعلومات إحصائيًا في برنامج SPSS لقياس مقاييس الأداء والاستدامة. تدمج هذه الأداة التكنولوجيا الميدانية مع التحليل الأكاديمي، مما يُعزز التطبيق العملي للنتائج.

٤. قائمة تدقيق للمراقبة

ستُستخدم قائمة تدقيق للمراقبة خلال الزيارات الميدانية لتحليل النشر الفعلي لأنظمة إنترنت الأشياء، وتفاعلات المستخدمين، وموثوقية النظام. ستضمن القائمة معايير محددة، مثل عدد أجهزة الاستشعار النشطة، وحالة التشغيل، ودقة نقل البيانات، ووقت تشغيل النظام، والتكامل البيئي. تُمكن هذه التقنية الباحثين من توثيق الملاحظات المباشرة والمشكلات التشغيلية التي لم تُسجل في المسوحات أو المقابلات بشكل منهجي. ستُكمل بيانات القائمة المصادر الأخرى، مما يُعطي دقة سياقية. يضمن الإطار المنظم الحيادية والاتساق في جميع المواقع الميدانية. ستساعد النتائج في تقييم نجاح تكامل إنترنت الأشياء وتبسيط الضوء على التغييرات المستقبلية في تطبيق النظام.

٥. نموذج تحليل الوثائق

سيُستخدم إطار عمل موحد لتحليل الوثائق لفحص الأدلة الفنية، وتقارير المشاريع، وسجلات نشر إنترنت الأشياء، وإرشادات السياسات المتعلقة بمبادرات الغابات. تُساعد هذه الأداة على استخراج معلومات متسقة تتعلق بإعدادات أنظمة إنترنت الأشياء، وأهداف المشروع، والمواعيد النهائية، والآثار البيئية، والنتائج المُبلغ عنها. من خلال تصنيف البيانات إلى فئات مُحددة مسبقًا، يُسهّل النموذج المقارنة بين مختلف المشاريع ومواءمتها مع معايير الاستدامة. سيتم ترميز البيانات المستخرجة وقياسها كميًا عند الحاجة لتحليلها باستخدام برنامج SPSS. تضمن هذه الأداة فحص الوثائق الحالية بانتظام، وتساعد على فهم شامل لأداء أجهزة إنترنت الأشياء في سيناريوهات مشاريع الغابات المتنوعة.

حدود الدراسة:

- الحدود البشرية

من أهم القيود البشرية في هذا البحث التحيز المحتمل والذاتية للأفراد المشاركين في المقابلات والاستطلاعات. قد تختلف درجات الوعي أو الخبرة لدى أصحاب المصلحة بتكنولوجيا إنترنت الأشياء، مما قد يؤثر على دقة أو عمق تعليقاتهم. إضافةً إلى ذلك، قد يُحدّ الوصول المحدود إلى المتخصصين التقنيين أو صانعي القرار في إدارة الغابات من نطاق الآراء المُقدمة. كما قد تُؤثر العوائق اللغوية أو ضعف الثقافة الرقمية لدى بعض عمال الغابات المحليين على جودة جمع البيانات. وقد تؤثر هذه الخصائص البشرية على اتساق وموثوقية المُدخلات النوعية، وهو ما يحاول البحث مُعالجته من خلال التحقق من الصحة.

• الحدود الزمنية

يُعيق البحث الجدول الزمني لجمع البيانات، والذي قد لا يُغطي الآثار طويلة المدى لاعتماد إنترنت الأشياء على استدامة الغابات. عادةً ما تحدث العواقب البيئية، مثل تجديد الغابات، أو تغيرات التنوع البيولوجي، أو وفورات التكاليف طويلة الأجل، على مدى سنوات أطول، وغالبًا ما تكون خارج نطاق الدراسة. وبالمثل، يتطلب رصد دورة حياة نظام إدارة الغابات القائم على إنترنت الأشياء بالكامل بيانات طويلة، وهو أمر قد لا يكون عمليًا نظرًا لضيق الوقت. ونتيجةً لذلك، قد تُركز الدراسة بشكل أكبر على المؤشرات والتنبؤات قصيرة ومتوسطة المدى بدلًا من التركيز على نتائج واضحة طويلة المدى، مما يؤثر على إمكانية تعميم بعض نتائج الاستدامة.

• الحدود المكانية

سُجّر هذا البحث على عدد محدود من مواقع مشاريع الغابات، مما قد يؤثر على إمكانية تعميم النتائج على مناطق جغرافية أوسع. تختلف أنواع الغابات، والمشاكل البيئية، والمتغيرات الاجتماعية والسياسية اختلافًا كبيرًا بين المناطق، وبالتالي قد لا تعكس المواقع المختارة النظم البيئية الحرجية العالمية بشكل كامل. بالإضافة إلى ذلك، قد يُحظر الوصول إلى مناطق الحفظ المعزولة أو شديدة الحساسية لأسباب لوجستية أو قانونية أو أمنية. قد تؤدي هذه القيود الجغرافية إلى بيانات أكثر تحديدًا لمناطق بيولوجية أو نماذج حوكمة معينة، ويجب توخي الحذر عند نقل النتائج إلى بيئات غابات متنوعة للغاية.

- Adolfo M. Carreno .(٢٠٢٤) .Building a Continuous Feedback Loop for Real-Time Change Adaptation: Best Practices and Tools . تم الاسترداد من
https://www.researchgate.net/publication/385621731_Building_a_Continuous_Feedback_Loop_for_Real-Time_Change_Adaptation_Best_Practices_and_Tools
- Ahmed A. Abdelmoneim .(٢٠٢٥) .IoT Sensing for Advanced Irrigation Management: A Systematic Review of Trends, Challenges, and Future Prospects . تم الاسترداد من
<https://www.mdpi.com/1424-8220/25/7/2291>
- ALI GUMA .(٢٠٢٥) .Leveraging the Internet of Things, Remote Sensing, and Artificial Intelligence for Sustainable Forest Management . تم الاسترداد من
https://www.researchgate.net/publication/388122231_Leveraging_the_Internet_of_Things_Remote_Sensing_and_Artificial_Intelligence_for_Sustainable_Forest_Management
- Asep Denih .(٢٠٢٥) .Utilization of Remote Sensing Technology and IoT for Forest Condition Monitoring and Environmental Analysis . تم الاسترداد من
https://www.researchgate.net/publication/388727188_Utilization_of_Remote_Sensing_Technology_and_IoT_for_Forest_Condition_Monitoring_and_Environmental_Analysis
- Biancha Katie .(٢٠٢٤) .Internet of Things (IoT) for Environmental Monitoring . تم الاسترداد من
https://www.researchgate.net/publication/382751058_Internet_of_Things_IoT_for_Environmental_Monitoring
- Brian Harney .(٢٠٢٤) .Systems theory . تم الاسترداد من
https://www.researchgate.net/publication/377150769_Systems_theory
- Clay Halton .(٢٠٢٥) .Diffusion of Innovations Theory: Definition and Examples . تم الاسترداد من
<https://www.investopedia.com/terms/d/diffusion-of-innovations-theory.asp>
- David B. Olawade .(٢٠٢٤) .Artificial intelligence in environmental monitoring: Advancements, challenges, and future directions . تم الاسترداد من
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773049224000278>
- Elizabeth Edmondson .(٢٠٢٢) .Implementing Adaptive Management within a Fisheries Management Context: A Systematic Literature Review Revealing Gaps, Challenges, and Ways Forward . تم الاسترداد من
<http://mdpi.com/2071-1050/14/12/7249>
- Emmanuella Onyinye Nwulu .(٢٠٢٣) .The importance of interdisciplinary collaboration for successful engineering project completions: A strategic framework . تم الاسترداد من

- https://www.researchgate.net/publication/387730457_The_importance_of_interdisciplinary_collaboration_for_successful_engineering_project_completions_A_strategic_framework
- Fengmei Cui .(٢٠١٩) .Deployment and integration of smart sensors with IoT devices detecting fire disasters in huge forest environment . تم الاسترداد من https://www.researchgate.net/publication/337875185_Deployment_and_integration_of_smart_sensors_with_IoT_devices_detecting_fire_disasters_in_huge_forest_environment
- Harshit Mishra .(٢٠٢٤) .AI for Data-Driven Decision-Making in Smart Agriculture: From Field to Farm Management . تم الاسترداد من https://www.researchgate.net/publication/385082892_AI_for_Data-Driven_Decision-Making_in_Smart_Agriculture_From_Field_to_Farm_Management
- Ilenia Ficili .(٢٠٢٥) .From Sensors to Data Intelligence: Leveraging IoT, Cloud, and Edge Computing with AI . تم الاسترداد من <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/6/1763>
- justice Mensah .(٢٠١٩) .Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review . تم الاسترداد من <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311886.2019.1653531>
- Katie, Biancha .(٢٠٢٤) .Internet of Things (IoT) for Environmental Monitoring . تم الاسترداد من https://www.researchgate.net/publication/382751058_Internet_of_Things_IoT_for_Environmental_Monitoring
- Khadijeh Bazargani .(٢٠٢٤) .Automation's Impact on Agriculture: Opportunities, Challenges, and Economic Effects . تم الاسترداد من https://www.researchgate.net/publication/378320801_Automation's_Impact_on_Agriculture_Opportunities_Challenges_and_Economic_Effects
- Khadim Hussain .(٢٠٢٤) .RETRACTED: Assessing forest fragmentation due to land use changes from 1992 to 2023: A spatio-temporal analysis using remote sensing data . تم الاسترداد من <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024107414>
- Kinza Yasar .(٢٠٢٤) .internet of things (IoT) . تم الاسترداد من <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT>
- Kyriaki Psistaki .(٢٠٢٤) .An Overview of the Role of Forests in Climate Change Mitigation . تم الاسترداد من <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/14/6089>

- Maad M. Mijwil .(٢٠٢٥) .Leveraging the Internet of Things, Remote Sensing, and Artificial Intelligence for Sustainable Forest Management . تم الاسترداد من
https://www.researchgate.net/publication/388122231_Leveraging_the_Internet_of_Things_Remote_Sensing_and_Artificial_Intelligence_for_Sustainable_Forest_Management
- Marta Ezquerro .(٢٠١٩) .Sustainability in Forest Management Revisited Using Multi-Criteria Decision-Making Techniques . تم الاسترداد من <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/13/3645>
- Md Eshrat E. Alahi .(٢٠٢٣) .Integration of IoT-Enabled Technologies and Artificial Intelligence (AI) for Smart City Scenario: Recent Advancements and Future Trends .
 تم الاسترداد من <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/11/5206>
- Mrs. C. Radha .(٢٠٢٤) .Environmental Monitoring in Internet of Things (IOT) . تم الاسترداد من
https://www.researchgate.net/publication/380207661_Environmental_Monitoring_in_Internet_of_Things_IOT
- Peterson K. Ozili .(٢٠٢٥) .Theories of Sustainable Development . تم الاسترداد من
https://www.researchgate.net/publication/384037567_Theories_of_Sustainable_Development
- Rachele Venanzi .(٢٠٢٣) .Recent Applications of Smart Technologies for Monitoring the Sustainability of Forest Operations . تم الاسترداد من <https://www.mdpi.com/1999-4907/14/7/1503>
- Rajesh Singh .(٢٠٢١) .Forest 4.0: Digitalization of forest using the Internet of Things (IoT) . تم الاسترداد من
https://www.researchgate.net/publication/349623050_Forest_40_Digitalization_of_forest_using_the_Internet_of_Things_IoT
- Rufai Zakari Yusuf .(٢٠٢٤) .Internet of Forestry Things (IoFT) Technologies and Applications in Forest Management . تم الاسترداد من
https://www.researchgate.net/publication/377313786_Internet_of_Forestry_Things_IoFT_Technologies_and_Applications_in_Forest_Management
- Sambandh Dhal .(٢٠٢٣) .Internet of Things (IoT) in digital agriculture: An overview . تم الاسترداد من
https://www.researchgate.net/publication/371117389_Internet_of_Things_IoT_in_digital_agriculture_An_overview
- Sanjay Dutt Balodi .(٢٠٢٤) .Smart Solutions for Sustainable Living: Internet of Things (IoT) Applications in Environmental Monitoring . تم الاسترداد من

https://www.researchgate.net/publication/380843728_Smart_Solutions_for_Sustainable_Living_Internet_of_Things_IoT_Applications_in_Environmental_Monitoring

Sylvester Chibueze Izah .(٢٠٢٥) .Smart Technologies in Environmental Monitoring:

Enhancing Real-Time Data for Health Management . تم الاسترداد من

https://www.researchgate.net/publication/390250513_Smart_Technologies_in_Environmental_Monitoring_Enhancing_Real-Time_Data_for_Health_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 / Hissah Awadh Alajmi

University Number/ 251000874

Supervisor/ D. Alfaisal Abdulhameed

D. Fayez Jarad

Year:

2025