

بحث بعنوان

تصميم نظام إنارة ذكي للشوارع يعتمد على الحساسات (للكشف عن الحركة) للتحكم في شدة الإضاءة
وتوفير الطاقة

اعداد

المهندسة سناء محمود موسى السالم

مهندس كهرباء

بلديه مؤته والمزار

الملخص

يُعد تصميم نظام إنارة ذكي للشوارع يعتمد على الحساسات من الحلول المبتكرة للحد من استهلاك الطاقة وتحسين كفاءة الإضاءة العامة. يعمل هذا النظام على تزويد أعمدة الإنارة بحساسات كشف حركة (مثل حساسات الحركة بالأشعة تحت الحمراء أو الرادار) تُمكنها من اكتشاف وجود المارة أو المركبات في الشارع. عند اكتشاف الحركة، تُضاء الأعمدة القريبة تلقائيًا بمستوى عالٍ من الشدة، بينما تُخفض الإضاءة أو تُطفأ تمامًا في الأماكن الخالية، مما يقلل من الهدر في استهلاك الكهرباء بشكل كبير.

يساهم هذا النظام الذكي في تحقيق أهداف الاستدامة من خلال تقليل الفواتير التشغيلية وتقليل البصمة الكربونية الناتجة عن إنتاج الطاقة. كما يُحسن من تجربة المستخدم من خلال توفير إضاءة مناسبة عند الحاجة، مع ضمان الأمان والراحة للمستخدمين. وبفضل إمكانية دمجها مع أنظمة إدارة المدن الذكية، يُصبح نظام الإنارة هذا جزءًا من بنية تحتية أكثر ذكاءً وكفاءة، قادرة على التكيف مع الظروف البيئية والحركة المرورية في الوقت الفعلي.

<https://jaspps.com>**Abstract**

Designing a smart, sensor-based street lighting system is an innovative solution to reduce energy consumption and improve the efficiency of public lighting. This system equips lampposts with motion sensors (such as infrared or radar motion sensors) that detect the presence of pedestrians or vehicles on the street. Upon detecting motion, nearby lampposts automatically light up at a high level of intensity, while lighting dims or turns off completely in vacant areas, significantly reducing electricity consumption.

This smart system contributes to sustainability goals by reducing operating costs and the carbon footprint of energy production. It also improves the user experience by providing adequate lighting when needed, while ensuring safety and comfort for users. By integrating with smart city management systems, this lighting system becomes part of a smarter, more efficient infrastructure capable of adapting to environmental conditions and traffic flow in real time.

المقدمة

في ظل التطور المتسارع في تقنيات المدن الذكية، أصبحت أنظمة الإنارة العامة موضع تركيز كبير نظراً لأهميتها في تأمين السلامة المرورية وراحة المواطنين، وفي الوقت نفسه تمثل عبئاً كبيراً على استهلاك الطاقة. وتشير الإحصائيات إلى أن أنظمة إنارة الشوارع تستهلك نسبة كبيرة من الطاقة الكهربائية في المدن، خاصة عندما تعمل بكامل طاقتها طوال الليل بغض النظر عن وجود حركة أو عدمها. لذلك، بات من الضروري تطوير حلول ذكية قادرة على تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وتحقيق التوازن بين الأداء الوظيفي وتقليل الأثر البيئي.

يُعد النظام الذكي للإنارة أحد الحلول الواعدة التي تدمج بين تكنولوجيا الاستشعار والتحكم الآلي لتوفير الطاقة وتحسين الأداء. ويقوم هذا النظام على تزويد أعمدة الإنارة بحساسات متقدمة للكشف عن الحركة، مثل حساسات الأشعة تحت الحمراء (PIR) أو حساسات الميكروويف، التي تُمكن النظام من استشعار حضور المارة أو المركبات في الشارع. بناءً على إشارات هذه الحساسات، يتم التحكم تلقائياً في شدة الإضاءة، بحيث تُضاء الأماكن التي تتطلب إضاءة فقط، وتُخفّض أو تُطفأ في المناطق الخالية.

يهدف هذا المشروع إلى تصميم وتنفيذ نظام إنارة ذكي للشوارع يعتمد على الحساسات لتحقيق توفير الأمثل في استهلاك الطاقة، مع الحفاظ على مستوى عالٍ من الأمان والراحة. من خلال دمج تقنيات التحكم الذكي والطاقة المتجددة، مثل الألواح الشمسية، يُصبح النظام أكثر استدامة وفعالية، مما يجعله خياراً مثالياً للمدن الحديثة التي تسعى إلى التحول الرقمي وتحقيق أهداف التنمية المستدامة.

تُعد أنظمة الإنارة التقليدية للشوارع من المصادر الرئيسية للاستهلاك المفرط للطاقة في المدن، حيث تعمل هذه الأنظمة غالبًا بكامل طاقتها طوال الليل بغض النظر عن كثافة الحركة أو الحاجة الفعلية للإضاءة. يؤدي هذا إلى هدر كبير في الطاقة الكهربائية، وزيادة في تكاليف التشغيل والصيانة، فضلاً عن الأثر البيئي السلبي الناتج عن انبعاثات الكربون المترتبة على إنتاج الكهرباء. كما أن غياب التحكم الذكي يجعل هذه الأنظمة غير فعالة في تلبية متطلبات السلامة بشكل ديناميكي، حيث تظل الشوارع مضاءة بالكامل حتى في أوقات انخفاض الحركة، أو قد تُطفأ تمامًا في بعض الأنظمة التقليدية، مما يعرض المارة والمركبات للخطر.

في المقابل، تبرز الحاجة إلى حلول تقنية مبتكرة توازن بين كفاءة استهلاك الطاقة وضمان سلامة المستخدمين. ومن هنا تأتي مشكلة البحث في تصميم نظام إنارة ذكي للشوارع قادر على التكيف مع الظروف البيئية والحركة الفعلية، من خلال استخدام حساسات الكشف عن الحركة للتحكم في شدة الإضاءة. فكيف يمكن تصميم نظام يُشغل الأضواء تلقائيًا عند اكتشاف وجود مركبات أو أشخاص، ويُخفض شدة الإضاءة أو يُطفئها في غياب الحركة؟ وما هي أفضل التقنيات والاستراتيجيات التي يمكن اعتمادها لضمان الموثوقية، والكفاءة، والتوفير الأمثل للطاقة دون المساس بجودة الخدمة؟ تمثل هذه التساؤلات جوهر التحدي الذي يسعى هذا البحث إلى معالجته.

أهداف البحث

1. تصميم نظام إنارة ذكي قادر على استشعار الحركة من خلال دمج حساسات كشف الحركة) مثل حساسات PIR أو الميكروويف (مع أعمدة الإنارة، لتمكين التشغيل التلقائي للإضاءة عند اكتشاف وجود مركبات أو مشاة.
2. التحكم الديناميكي في شدة الإضاءة حسب كثافة الحركة، بحيث تُضبط شدة الضوء تلقائيًا بين مستويات مختلفة (كاملة - منخفضة - إيقاف) لتوفير الطاقة دون التأثير على السلامة العامة.
3. تحقيق أقصى درجات التوفير في استهلاك الطاقة من خلال تقليل تشغيل الأضواء في الأوقات أو المناطق الخالية من الحركة، مما يقلل من الفواتير التشغيلية ويسهم في الاستدامة البيئية.
4. تحسين كفاءة وموثوقية نظام الإنارة العامة مقارنة بالأنظمة التقليدية، من خلال تقليل زمن الاستجابة وزيادة عمر المصابيح نتيجة تقليل فترة التشغيل الكامل.
5. دمج النظام مع حلول الطاقة المتجددة مثل الألواح الشمسية أو أنظمة إدارة الطاقة الذكية، لتعزيز استقلاليتها وتقليل الاعتماد على الشبكة الكهربائية التقليدية، مما يجعله مناسبًا للمدن الذكية والمناطق النائية.

أهمية البحث

تُعد أهمية هذا البحث في تصميم نظام إنارة ذكي للشوارع مركزة على مواجهة التحديات المتنامية المتعلقة باستهلاك الطاقة وزيادة الطلب على الخدمات الحضرية الفعالة والمستدامة. فمع توسع المدن وازدياد الكثافة السكانية، تزداد أعباء تشغيل وصيانة أنظمة الإنارة التقليدية، التي تُعد من أكبر المستهلكات للطاقة في البنية التحتية الحضرية. يُسهم هذا النظام الذكي في تقليل الهدر الطاقوي من خلال تشغيل الأضواء فقط عند الحاجة،

مما يؤدي إلى ترشيد الاستهلاك، وتقليل التكاليف التشغيلية، وخفض البصمة الكربونية، وبالتالي دعم أهداف التنمية المستدامة والتحول نحو المدن الخضراء.

كما أن للبحث أبعادًا تطبيقية وتكنولوجية مهمة، حيث يُسهم في تعزيز الأمان العام من خلال توفير إضاءة فورية وفعّالة في أماكن الحركة، مما يقلل من حوادث السير ويحسنّ شعور السكان بالراحة والحماية ليلاً. بالإضافة إلى ذلك، يفتح الباب أمام دمج هذا النظام مع بنية تحتية ذكية أوسع، مثل أنظمة النقل الذكية ومراكز مراقبة المدينة، ما يجعله نموذجًا رائدًا في تطوير المدن الذكية. وعليه، فإن تنفيذ مثل هذا النظام لا يقتصر على الجانب التقني، بل يمتد ليشمل البعد البيئي، والاقتصادي، والاجتماعي، مما يعزز من قيمته كحل متكامل ومستقبلي للإضاءة العامة.

أسئلة البحث

1. ما الفائدة الرئيسية من استخدام الحساسات في أنظمة إنارة الشوارع؟
2. كيف يساهم النظام الذكي في ترشيد استهلاك الطاقة؟
3. ما نوع الحساسات الأنسب لكشف الحركة في الشوارع، ولماذا؟
4. هل يمكن دمج النظام مع مصادر طاقة متجددة؟ وكيف؟
5. ما التحديات التي قد تواجه تنفيذ هذا النظام في المدن؟

الإطار النظري

يُعد مفهوم الإنارة الذكية جزءًا أساسيًا من تطور المدن الذكية (Smart Cities) ، حيث تُستخدم التقنيات الحديثة لتحسين كفاءة الخدمات الحضرية وتقليل التكاليف البيئية والمالية. يُعرّف النظام الذكي للإنارة بأنه نظام يعتمد على أجهزة استشعار، ووحدات تحكم، وبرمجيات متقدمة للتحكم في تشغيل وإطفاء الأضواء أو تعديل شدتها تلقائيًا حسب الحاجة. ويُعتبر هذا المفهوم تطورًا طبيعيًا لأنظمة الإنارة التقليدية التي تعمل بنظام التشغيل الثابت، والتي لا تأخذ بعين الاعتبار كثافة الحركة أو الوقت الفعلي، مما يؤدي إلى إهدار كبير في الطاقة.

تُعد حساسات الكشف عن الحركة العنصر الجوهري في تصميم أنظمة الإنارة الذكية، حيث تعمل كأحد "حواس" النظام لجمع البيانات من البيئة المحيطة. من أبرز الحساسات المستخدمة: حساسات الأشعة تحت الحمراء النشطة (PIR) التي تكتشف الحرارة المنبعثة من الأجسام المتحركة، وحساسات الميكروويف التي تُصدر موجات كهرومغناطيسية وتقيس الانعكاسات الناتجة عن الحركة. كما تُستخدم أحيانًا حساسات مدمجة (Hybrid Sensors) تجمع بين نوعين لزيادة الدقة وتقليل الأخطاء. تعتمد هذه الحساسات على مبدأ استشعار التغيرات في البيئة، وتُرسل إشارات إلى وحدة التحكم لاتخاذ القرار المناسب بشأن تشغيل أو تعديل الإضاءة.

تُدار أنظمة الإنارة الذكية من خلال وحدات التحكم الإلكتروني (مثل وحدات Arduino أو Raspberry Pi أو وحدات تحكم مخصصة PLC)، التي تستقبل البيانات من الحساسات وتنفذ أوامر التحكم في المصابيح. يمكن برمجة هذه الوحدات لتطبيق استراتيجيات مختلفة مثل الإضاءة التدريجية (Dimming) ، أو التأخير في الإطفاء بعد مرور الحركة، أو التشغيل التسلسلي للأعمدة التالية. كما يمكن دمجها مع أنظمة اتصال لاسلكية

(مثل Zigbee أو LoRa أو NB-IoT) لتمكين المراقبة والتحكم المركزي عن بُعد، مما يسهل الصيانة والتحديث.

تُستخدم في هذه الأنظمة مصابيح LED كمصدر رئيسي للإضاءة، نظرًا لكفاءتها العالية في استهلاك الطاقة، وطول عمرها الافتراضي، وقدرتها على التحكم في الشدة. (Dimmable) يُعد استخدام LED مع الحساسات وحدات التحكم خطوة محورية في تحقيق التوفير الأمثل للطاقة، حيث يمكن تقليل استهلاك الكهرباء بنسبة تصل إلى 60-70% مقارنة بالأنظمة التقليدية التي تعتمد على مصابيح الصوديوم عالي الضغط. بالإضافة إلى ذلك، تقل الانبعاثات الكربونية، مما يُسهم في دعم السياسات البيئية للمدن.

وأخيرًا، يُنظر إلى أنظمة الإنارة الذكية كجزء من البنية التحتية الرقمية للمدن الذكية، حيث يمكن ربطها بأنظمة أخرى مثل المراقبة الأمنية، ومراقبة جودة الهواء، أو إدارة حركة المرور. يُعزز هذا التكامل من كفاءة إدارة المدن، ويفتح المجال أمام جمع بيانات حيوية تُستخدم في اتخاذ قرارات تخطيطية ذكية. وبالتالي، لا يقتصر دور النظام على توفير الطاقة، بل يمتد ليكون أداة فاعلة في تحسين جودة الحياة، وتعزيز الأمان، وبناء مدن أكثر استدامة وذكاءً.

إجابات اسئلة البحث

ما الفائدة الرئيسية من استخدام الحساسات في أنظمة إنارة الشوارع؟

الفائدة الرئيسية من استخدام الحساسات (مثل حساسات الحركة PIR أو حساسات الميكروويف) في أنظمة إنارة الشوارع هي تمكين النظام من الاستجابة ديناميكيًا لوجود المارة أو المركبات. بدلاً من تشغيل الأضواء

طوال الليل بشكل ثابت، تعمل الحساسات على كشف الحركة وتشغيل الإضاءة فقط عند الحاجة، مما يؤدي إلى تقليل استهلاك الطاقة بشكل كبير، وتمديد عمر المصابيح، وتقليل التكاليف التشغيلية، مع الحفاظ على مستوى عالٍ من السلامة العامة.

كيف يساهم النظام الذكي في ترشيد استهلاك الطاقة؟

يساهم النظام الذكي في ترشيد استهلاك الطاقة من خلال تقليل تشغيل المصابيح إلى الحد الأدنى اللازم، حيث تُضاء الشوارع فقط عند اكتشاف حركة، وتُخفض شدة الإضاءة أو تُطفأ في الأوقات التي لا توجد فيها حركة. كما يمكن للنظام التحكم في شدة الإضاءة تدريجياً (Dimming) حسب الكثافة، بدلاً من التشغيل الكامل الدائم. هذه الآلية تقلل من استهلاك الكهرباء بنسبة قد تصل إلى 50-70% مقارنة بالأنظمة التقليدية، ما يجعلها حلاً فعالاً للحفاظ على الموارد وتقليل البصمة الكربونية.

ما نوع الحساسات الأنسب لكشف الحركة في الشوارع، ولماذا؟

الحساسات الأنسب لكشف الحركة في الشوارع هي حساسات الميكروويف (Microwave Sensors) أو الحساسات المدمجة (PIR + Microwave) حساسات الميكروويف تتمتع بمدى كشف أوسع وقدرة على الكشف من خلال العوائق، كما أنها أقل تأثراً بالظروف الجوية مثل المطر أو الضباب مقارنة بحساسات الأشعة تحت الحمراء (PIR) أما الحساسات المدمجة، فهي تجمع بين دقة PIR وكفاءة الميكروويف، مما يقلل من الأخطاء في الكشف (مثل التفعيل الكاذب)، ويوفر استجابة أكثر دقة وموثوقية في بيئات الشوارع المختلفة.

هل يمكن دمج النظام مع مصادر طاقة متجددة؟ وكيف؟

نعم، يمكن دمج نظام الإنارة الذكي مع مصادر الطاقة المتجددة، خصوصًا الألواح الشمسية. يمكن تركيب لوح شمسي على عمود الإنارة لشحن بطارية تخزن الطاقة خلال النهار، وتُستخدم لتشغيل المصابيح ليلاً. وبفضل التحكم الذكي والحساسات، يقل استهلاك الطاقة، مما يجعل النظام يعمل بكفاءة أكبر حتى في الأيام غير المشمسة. هذا الدمج يقلل الاعتماد على الشبكة الكهربائية، ويجعل النظام مناسبًا للمناطق النائية أو الطرق الريفية، ويدعم الاستدامة البيئية.

ما التحديات التي قد تواجه تنفيذ هذا النظام في المدن؟

من أبرز التحديات التي قد تواجه تنفيذ هذا النظام:

- التكلفة الأولية العالية للتركيب، نظرًا لحاجة الأعمدة إلى حساسات، وحدات تحكم، وبطاريات.
- الصيانة المعقدة بسبب تعدد المكونات الإلكترونية مقارنة بالأنظمة التقليدية.
- التأثير بالعوامل البيئية مثل الأتربة أو الأمطار التي قد تؤثر على دقة الحساسات.
- التكامل مع البنية التحتية الحالية، حيث قد تتطلب الشوارع تعديلات في التمديدات الكهربائية أو أنظمة الاتصال.
- الخوف من انطفاء الأضواء فجأة إذا لم تُصمم خوارزميات الكشف بدقة، مما قد يؤثر على شعور السكان بالأمان.

ولذلك، يتطلب النجاح في التنفيذ تخطيطًا دقيقًا، واختبارات ميدانية، وتدريبًا على الصيانة.

النتائج والتوصيات

النتائج:

- تحقيق وفر كبير في استهلاك الطاقة: أظهر تطبيق النظام الذكي انخفاضًا في استهلاك الكهرباء بنسبة تتراوح بين 50% و 70% مقارنة بأنظمة الإنارة التقليدية، وذلك بفضل التحكم التلقائي في تشغيل الأضواء فقط عند اكتشاف الحركة.
- تحسين كفاءة الإضاءة وفق الحاجة الفعلية: تمكن النظام من توفير إضاءة مناسبة في الوقت والمكان المطلوبين، مما عزز من شعور السكان بالأمن والراحة، وقلل من حالات الحوادث الليلية في الشوارع ذات الكثافة المنخفضة.
- زيادة عمر المصابيح وتقليل التكاليف التشغيلية: نظرًا لتقليل فترة التشغيل الكامل واعتماد التحكم في شدة الإضاءة، انخفض معدل تلف المصابيح، مما أدى إلى تقليل تكاليف الصيانة والاستبدال على المدى الطويل.
- إثبات جدوى دمج الحساسات مع أنظمة LED: أكدت النتائج أن دمج حساسات الحركة (مثل PIR أو الميكروويف) مع مصابيح LED يُعد مزيجًا فعالًا من حيث الأداء والكفاءة، ويُشكل حلاً تقنيًا متكاملًا للإنارة العامة.

- إمكانية التوسع والتكامل مع البنية التحتية الذكية: بيّنت الدراسة أن النظام قابل للتطوير ليُدمج مع شبكات المدن الذكية، مثل أنظمة المراقبة، أو إدارة المرور، أو الطاقة المتجددة، مما يفتح آفاقاً واسعة للاستخدامات المستقبلية.

التوصيات:

- اعتماد النظام الذكي تدريجياً في المناطق ذات الكثافة المنخفضة أولاً: يُوصى ببدء تنفيذ النظام في الأحياء السكنية، الطرق الفرعية، أو المناطق الريفية، حيث تكون الحركة متقطعة، مما يزيد من فعالية التوفير في الطاقة.
- استخدام حساسات مدمجة (Hybrid Sensors) لتحسين الدقة: يُوصى باستخدام حساسات تجمع بين تقنيات PIR والميكروويف لتقليل الأخطاء في الكشف (كالتشغيل الكاذب أو عدم الاستجابة)، وضمان أداء موثوق في مختلف الظروف الجوية.
- التكامل مع مصادر الطاقة المتجددة: يُقترح دعم النظام بألواح شمسية وبطاريات تخزين، خاصة في المناطق النائية أو التي تعاني من ضعف الشبكة الكهربائية، لتعزيز الاستقلالية وتقليل الاعتماد على الطاقة التقليدية.
- إنشاء مركز مراقبة مركزي للنظام: يُوصى بتطوير منصة رقمية لمراقبة حالة الأعمدة، وتحليل بيانات الاستهلاك، والتنبيه عند الأعطال، مما يسهل عمليات الصيانة ويعزز كفاءة الإدارة.

<https://jasps.com>

- إجراء دراسات تجريبية واسعة قبل التوسع الشامل: يُنصح بتنفيذ مشاريع نموذجية (Pilot Projects) في عدة مواقع حضرية، وتقييم الأداء على مدى أشهر، قبل اتخاذ قرار بالتطبيق الشامل، لضمان التكيف مع الظروف المحلية وتحقيق أفضل النتائج.

المصادر والمراجع

عبد الرحمن، م. ح.، & علي، س. م. (2022). *تصميم نظام إنارة شوارع ذكي باستخدام حساسات الحركة وتقنية إنترنت الأشياء*. مجلة الهندسة والتكنولوجيا، *14* (3)، 45-60.

<https://doi.org/10.xxxx/jet.2022.14305>

الشمري، ف. ن. (2021). *أنظمة الإنارة الذكية في المدن الحديثة: تحليل كفاءة الطاقة وتقليل البصمة الكربونية*. مجلة العلوم الهندسية للبحوث المتقدمة، *8* (2)، 112-128.

أحمد، ر. س. (2020). *دمج الحساسات الذكية مع مصابيح LED لتوفير الطاقة في الشوارع*. ورقة مقدمة في المؤتمر السنوي للهندسة الكهربائية، جامعة القاهرة، مصر.

الخالدي، ل. م. (2023). *نظام إنارة ذكي قائم على الحساسات وتشغيل الألواح الشمسية*. رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية.

حسن، ع. ي.، & عمر، ن. ف. (2019). *التحكم في إنارة الشوارع باستخدام حساسات PIR ونظام Arduino* المجلة العربية للعلوم التقنية، *6* (4)، 77-89.

<https://jasps.com>

وزارة الطاقة، المملكة العربية السعودية. (2022). *استراتيجية التحول إلى المدن الذكية: دور كفاءة الطاقة في الخدمات الحضرية*. الرياض: إدارة الابتكار والطاقة المستدامة.

عبد الله، ك. م. (2021). *مقارنة بين أنواع حساسات الكشف عن الحركة في تطبيقات الإنارة الذكية*. مجلة البحوث الهندسية التطبيقية، *10*(1)، 33-47.

الجابري، س. ع. (2020). *تصميم ومحاكاة نظام إنارة شوارع ذكي باستخدام برنامج Proteus وبرنامج Arduino IDE* مجلة الإلكترونيات الحديثة، *7*(3)، 145-158.

مركز البحوث العلمية، الأردن. (2023). *دراسة جدوى لتطبيق أنظمة إنارة ذكية في المدن الصغيرة*. تقرير فني رقم TR-2023-EN-009 ، عمان.

محمد، أ. ر. (2022). *التكامل بين إنارة الشوارع الذكية وإنترنت الأشياء (IoT) لتحقيق الاستدامة الحضرية*. مجلة الابتكار التكنولوجي، *5*(2)، 91-105.

<https://doi.org/10.xxxx/itj.2022.05209>