

تصميم وتطوير نظام بيت ذكي باستخدام Arduino Uno: دراسة تطبيقية في الأمان وكفاءة الطاقة والأتمتة

فتح الله إبراهيم سليمان¹، زياد حمد عبد الكريم¹، حامد فضل الله الصالحين¹، سليم محمد ارحومة²

¹ قسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية، كلية التقنيات الهندسية، القبة، ليبيا

² قسم الهندسة الكهربائية، المعهد العالي للعلوم والتقنية، التميمي، ليبيا

Fathall.i.adam1986@gmail.com

الملخص

يُعد مفهوم البيت الذكي من الاتجاهات الحديثة والمتنامية في مجالات الهندسة الكهربائية وهندسة الحاسوب، حيث يهدف إلى تطوير بيئة سكنية أكثر راحة وأماناً وكفاءة في استهلاك الطاقة عبر أنظمة تحكم وأتمتة متقدمة. وفي هذه الورقة، تم تصميم وتطوير نظام بيت ذكي باستخدام منصة Arduino Uno باعتبارها وحدة تحكم دقيقة منخفضة التكلفة وسهلة البرمجة والتوسع. يعتمد النظام على الدمج بين الحساسات المختلفة مثل حساس الحركة (PIR)، وحساس الدخان والغاز (MQ-2)، وحساس الإضاءة (LDR)، وحساس الأشعة تحت الحمراء (IR) مع جهاز تحكم عن بعد، وذلك لتوفير منظومة متكاملة تجمع بين الأمان وكفاءة الطاقة والراحة. تمت برمجة النظام للتحكم في تشغيل الأجهزة المنزلية المختلفة مثل الإضاءة والأجهزة الكهربائية وفق آليات زمنية واستجابات لحظية للتغيرات في البيئة المحيطة. كما تم اختياره في بيئة تجريبية أظهرت نتائج فعالة من حيث سرعة الاستجابة لجميع الحساسات، وانخفاض استهلاك الطاقة بنسبة تجاوزت 20% مقارنة بالاستهلاك التقليدي، مع توفير مستوى أمان عالٍ للمستخدمين. تشير النتائج إلى أن الاعتماد على Arduino Uno في تطبيقات المنازل الذكية يُمثل حلاً عملياً وفعالاً، يمكن تطويره مستقبلاً ليتكامل مع تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) والاتصال عبر الهواتف الذكية، مما يفتح آفاقاً واسعة لتطبيقات أوسع وأكثر تقدماً في البيوت الذكية.

الكلمات المفتاحية: البيت الذكي، أردوينو أونو، الأمان، كفاءة الطاقة، الأتمتة، إنترنت الأشياء.

Abstract

The concept of the smart home has emerged as a growing trend in electrical and computer engineering, aiming to create living environments that are safer, more comfortable, and more energy-efficient through advanced control and automation systems. In this paper, a smart home system was designed and developed using the Arduino Uno platform, an affordable and versatile microcontroller well-suited for prototyping and expansion. The proposed system integrates multiple sensors, including the motion sensor (PIR), smoke and gas sensor (MQ-2), light-dependent resistor sensor (LDR), and infrared (IR) sensor with a remote control, to establish a comprehensive framework that addresses security, energy efficiency, and user convenience.

The system was programmed to control household devices such as lighting and appliances, based on both scheduled operations and real-time responses to environmental changes. Experimental testing demonstrated promising outcomes, with **fast sensor response times**, a reduction in daily energy consumption exceeding 20% compared to conventional usage, and an enhanced level of safety and comfort for users. The findings suggest that employing Arduino Uno in smart home applications represents a practical and efficient solution that can be further expanded to incorporate Internet of Things (IoT) technologies and smartphone connectivity. Such integration will enhance the scalability and functionality of the system, paving the way for more advanced and sustainable smart home implementations.

Keywords: Smart Home, Arduino Uno, Security, Energy Efficiency, Automation, Internet of Things.

المقدمة

يشهد مجال تقنيات التحكم والأتمتة تطوراً متسارعاً يتمثل في ظهور ابتكارات جديدة بشكل مستمر، الأمر الذي أدى إلى بروز مفهوم "البيت الذكي" كأحد التطبيقات المهمة في مجالات الهندسة الكهربائية وهندسة الحاسوب. ويُقصد بالبيت الذكي المنزل الذي يتم فيه التحكم بالوظائف الأساسية مثل الإضاءة والأجهزة الكهربائية وأنظمة الأمان من خلال أنظمة إلكترونية متقدمة تهدف إلى تحسين مستوى الراحة، تعزيز الأمان، وتحقيق كفاءة عالية في

استهلاك الطاقة. وقد أشار بعض الباحثين إلى أن المنازل الذكية تمثل مستقبل البنية التحتية السكنية لما تقدمه من حلول عملية وفعالة في خفض الاستهلاك وتحقيق استدامة الطاقة [1].

تُعد منصة Arduino Uno من أبرز وحدات التحكم الدقيقة المستخدمة في مثل هذه المشاريع، وذلك نظرًا لانخفاض تكلفتها وسهولة برمجتها وتوافقها مع مختلف الحساسات والمكونات الإلكترونية. وقد أثبتت دراسات عدة إمكانية توظيفها في أنظمة شاملة تدمج بين الأمان، كفاءة الطاقة، والأتمتة، حيث تتيح التحكم بالأجهزة المنزلية من خلال جداول زمنية أو استجابة مباشرة للحمل الكهربائي [2]. كما يتيح مفهوم البيت الذكي فرصًا واسعة للتحكم عن بُعد عبر تقنيات الاتصال الحديثة مثل الهواتف الذكية وإنترنت الأشياء (IoT)، مما يفتح المجال لتطوير أنظمة أكثر تكاملاً في المستقبل. وقد بينت بعض الأبحاث أن دمج هذه التقنيات مع أنظمة الأمان والتحكم يساهم بشكل فعال في تقليل المخاطر وتعزيز راحة المستخدمين [3].

بناءً على ما سبق، تهدف هذه الورقة إلى تصميم وتطوير نظام بيت ذكي باستخدام Arduino Uno، مع التركيز على دمج ثلاثة محاور رئيسية هي: الأمان، كفاءة استهلاك الطاقة، والأتمتة، وذلك من خلال دراسة تطبيقية توضح الجوانب النظرية والعملية للنظام المقترح.

إشكالية البحث (Research Problem)

على الرغم من التطور الكبير في تقنيات المنازل الذكية، إلا أن معظم الحلول المتوفرة تجارياً تتميز بارتفاع تكلفتها وصعوبة تكاملها مع احتياجات المستخدمين في البيئات المحلية. كما أن العديد من الأنظمة تركز على جانب واحد فقط مثل الأمان أو التحكم بالأجهزة، دون دمج شامل بين الأمان، كفاءة استهلاك الطاقة، والأتمتة. لذلك، تبرز الحاجة إلى تطوير نظام منزل ذكي منخفض التكلفة ومرن، يمكن تنفيذه باستخدام وحدات تحكم دقيقة مثل Arduino Uno، بحيث يجمع بين هذه الجوانب الثلاثة ويحقق توازناً عملياً بين الكفاءة والموثوقية وسهولة الاستخدام.

أهداف الدراسة (Research Objectives)

1. تصميم وتطوير نظام بيت ذكي منخفض التكلفة باستخدام Arduino Uno.
2. دمج أنظمة الأمان (مثل كشف الحركة والدخان) مع التحكم الذكي في الأجهزة المنزلية.
3. تحسين كفاءة استهلاك الطاقة من خلال إدارة الأحمال الكهربائية وجدولة عمل الأجهزة.
4. تقييم أداء النظام عملياً من حيث سرعة الاستجابة، دقة التشغيل، والموثوقية.
5. اقتراح إمكانية التوسع لدمج النظام مع تقنيات إنترنت الأشياء والتحكم عبر الهواتف الذكية.

الدراسات السابقة (Literature Review)

شهدت السنوات الأخيرة العديد من الأبحاث التي تناولت موضوع المنازل الذكية باستخدام تقنيات التحكم الدقيقة. فقد عرضت بعض الدراسات أنظمة تعتمد على وحدات Arduino للتحكم في الإضاءة والأجهزة الكهربائية، وأثبتت فعاليتها في خفض استهلاك الطاقة بنسبة ملحوظة. كما طورت أبحاث أخرى أنظمة أمان متكاملة تعتمد على حساسات الحركة والغاز للكشف المبكر عن المخاطر وتعزيز حماية المنزل ورغم ذلك، ما زالت معظم الدراسات السابقة تركز على جانب واحد فقط مثل الأمان أو كفاءة الطاقة، بينما تفتقر إلى حلول متكاملة تجمع بين الأمان، الكفاءة، والأتمتة ضمن نظام واحد منخفض التكلفة وسهل التطبيق. ومن هنا تنبع أهمية هذا البحث في سد هذه الفجوة من خلال تطوير نظام شامل باستخدام Arduino Uno.

المنهجية (Methodology)

اعتمدت الدراسة على منهج تطبيقي يقوم على تصميم وتنفيذ نظام بيت ذكي باستخدام وحدة التحكم الدقيقة Arduino Uno. تم استخدام مجموعة من الحساسات والأجهزة المساعدة، شملت:

1- حساس الحركة (PIR) للكشف عن وجود الأشخاص.

2- حساس الغاز (MQ-2) للكشف المبكر عن الحرائق والتسريبات.

3- حساس الإضاءة (LDR) للتحكم الذكي في تشغيل وإطفاء الإضاءة.

4- مرحلات (Relays) للتحكم في تشغيل الأجهزة المنزلية.

5- حساس الأشعة تحت الحمراء ((IR

تم ربط هذه المكونات عبر دوائر إلكترونية مصممة خصيصًا، وبرمجة المتحكم Arduino باستخدام لغة ++C عبر بيئة التطوير Arduino IDE. كما تم وضع سيناريوهات تشغيل مختلفة لاختبار فعالية النظام، مثل تشغيل الإضاءة تلقائيًا عند انخفاض شدة الإضاءة، أو تفعيل الإنذار عند الكشف عن دخان.

البرمجيات المستخدمة في هذا النظام

البرمجيات المستخدمة تشمل بيئات تطوير وبرمجة (Arduino IDE ، مكتبات جاهزة لتسهيل الاتصال مع المكونات مثل Software Serial)، وأدوات محاكاة لاختبار النظام تكامل هذه البرمجيات يضمن تطوير نظام فعال ومستقر يمكن الاعتماد عليه

1- Arduino IDE

واجهة سهلة الاستخدام وبيئة تطوير متكاملة تُستخدم لبرمجة وحدات Arduino وكتابة الكود بلغة المبنية على (C/C++) وأيضًا تحميل البرنامج إلى لوحة Arduino Uno للتحكم في تشغيل الأجهزة.

2- مكتبة Software Serial

مكتبة برمجية مدمجة في Arduino IDE تُستخدم لإنشاء منفذ تسلسلي افتراضي. و تمكن Arduino من الاتصال بالحساسات

3- برامج تصميم ومحاكاة الدوائر الكهربائية (Circuit design and simulation programs)

تستخدم هذه البرامج لتصميم ومحاكاة الدوائر الكهربائية والإلكترونية حيث تقدم واجهة رسومية تمكن المستخدم من سحب وإسقاط المكونات وربطها بسهولة قبل التطبيق العملي وتقليل الأخطاء أثناء التصميم ولقد استخدم **Circuit Designer** لتصميم دائرة النظام

أنظمة الاستشعار في المنازل الذكية

تُعد أنظمة الاستشعار من الركائز الأساسية في بناء المنازل الذكية، إذ تعتمد هذه الأنظمة على جمع المعلومات من البيئة المحيطة وإرسالها إلى وحدة معالجة مركزية التي بدورها تقوم ببرمجة هذه المعلومات لاتخاذ القرارات المناسبة بشكل تلقائي. ويؤكد العديد من الباحثين أن الاعتماد على الحساسات يمثل الخطوة الأولى نحو تحقيق بيئة منزلية آمنة وموفرة للطاقة [4]. ومن الناحية التقنية، فإن دمج الحساسات مع المتحكمات الدقيقة مثل Arduino Uno يتيح إنشاء منظومات متكاملة قادرة على الاستجابة الفورية للمتغيرات المحيطة، وهو ما يعزز من كفاءة التشغيل ويزيد من راحة المستخدم [5].

وتتبع أهمية هذه الحساسات من كونها تمثل الواجهة بين الواقع الفيزيائي والأنظمة الرقمية، حيث تتيح للنظام التعرف على متغيرات مثل الحركة، الإضاءة، الغازات والدخان، ومن ثم تحويل هذه البيانات إلى قرارات عملية تساهم في رفع مستوى الأمان وكفاءة استهلاك الطاقة [6]. كما أن التقدم في تصنيع الحساسات ساهم في تقليل تكلفتها وزيادة دقتها، مما جعل استخدامها في المشاريع الأكاديمية والتطبيقية خيارًا عمليًا وفعالًا [7].

تعريف الحساسات وأهميتها

تُعد الحساسات (Sensors) عناصر إلكترونية وظيفتها تحويل المتغيرات الفيزيائية مثل الضوء، الحرارة، الحركة أو الغازات إلى إشارة كهربائية يمكن معالجتها بواسطة المتحكم الدقيق. تكمن أهميتها في أنها تسمح بجمع بيانات لحظية من البيئة المحيطة، وبالتالي تمكين النظام من اتخاذ قرارات آلية مثل تشغيل الإضاءة عند انخفاض مستوى الضوء أو إطلاق إنذار عند وجود دخان.

تصنيف الحساسات

يمكن تصنيف الحساسات المستخدمة في المنازل الذكية وفق عدة معايير، من أهمها:

حسب طبيعة المتغير المقاس:

حساسات فيزيائية (مثل حساسات الحركة والضوء).

حساسات كيميائية (مثل حساسات الغاز والدخان).

حسب طريقة العمل:

حساسات رقمية (Digital Sensors) تعطي خرجًا ثنائيًا (تشغيل/إيقاف).

حساسات تناظرية (Analog Sensors) تعطي خرجًا متغيرًا حسب شدة المتغير.

حسب الغرض من الاستخدام:

حساسات للأمان (كاشفات دخان، حركة).

حساسات للراحة وكفاءة الطاقة (مثل الإضاءة).

الخصائص العامة للحساسات

تتميز الحساسات المستخدمة في المنازل الذكية بعدة خصائص تجعلها ملائمة للاستخدام العملي، ومن أهمها:

الحساسية العالية لاستشعار المتغيرات بدقة.

سرعة الاستجابة بما يسمح للنظام بالتصرف في الوقت المناسب.

استهلاك منخفض للطاقة بما يتناسب مع أنظمة التحكم الصغيرة.

التكلفة المنخفضة والتوافر التجاري مما يسهل عملية التطوير والتجريب.

الاعتمادية والاستمرارية في العمل ضمن بيئات مختلفة.

الحساسات المستخدمة في البحث

حساس الحركة (PIR Sensor)

يُستخدم لاكتشاف وجود الأشخاص عن طريق قياس الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من أجسامهم. يتميز بسهولة التركيب وانخفاض استهلاك الطاقة، ويُستخدم عادةً في أنظمة الأمان وتشغيل الإضاءة التلقائي.

حساس الغاز (MQ-2 Sen)

يعتمد على استشعار الغازات القابلة للاشتعال. عند تجاوز تركيز الغاز حدًا معينًا، يولّد الحساس إشارة تُستخدم لتفعيل أجهزة الإنذار.

حساس الضوء (LDR Sensor)

يعمل وفق مبدأ تغير المقاومة الكهربائية تبعاً لشدة الإضاءة. يستخدم للتحكم في تشغيل وإطفاء الإضاءة المنزلية بشكل تلقائي استجابةً للضوء الطبيعي.

حساس الأشعة تحت الحمراء (IR Sensor) مع جهاز التحكم عن بعد (IR Remote)

يستخدم هذا الحساس مع ريموت كنترول يعمل بالأشعة تحت الحمراء للتحكم في الأجهزة المنزلية عن بُعد. يقوم الحساس باستقبال الإشارة من جهاز التحكم وتحويلها إلى أوامر يفهمها المتحكم Arduino Uno.

تصميم النظام (System Design and Architecture)

يمثل تصميم النظام الركيزة الأساسية لمشروع البيت الذكي، إذ يجمع بين العناصر المادية (Hardware) مثل الحساسات والمتحكمات الدقيقة، والعناصر البرمجية (Software) التي تتيح تنفيذ العمليات بشكل متكامل وذكي. وقد تم تبني بنية معمارية تعتمد على ثلاث طبقات مترابطة تعمل بتناغم لتأدية وظائف النظام:

1- طبقة الاستشعار (Sensing Layer):

تضم مجموعة من الحساسات المتخصصة مثل حساس الحركة (PIR)، حساس شدة الإضاءة (LDR)، حساس الكشف تسرب الغازات (MQ-2)، بالإضافة إلى مستقبل الأشعة تحت الحمراء (IR Receiver). هذه الطبقة هي نقطة الاتصال الأولية بين العالم الخارجي والحساسات حيث تقوم بتحويل الطاقة الفيزيائية إلى إشارات كهربائية يمكن للمتحكم تحليلها [8].

2- طبقة المعالجة (Processing Layer):

تتجسد في وحدة التحكم الدقيقة Arduino Uno، التي تستقبل إشارات الحساسات وتحللها وفق الخوارزميات المدمجة في الكود البرمجي. وتقوم هذه الطبقة بتحديد القرارات المنطقية (Logic Decisions) مثل تشغيل/إطفاء الإضاءة أو تفعيل الإنذارات، بناءً على مدخلات الحساسات والبرمجة المسبقة [9].

3- طبقة التنفيذ (Actuation Layer):

تشمل الأجهزة والأحمال الكهربائية المرتبطة بالنظام مثل وحدات الإضاءة، أجهزة الإنذار، المراوح، أو أي أحمال أخرى. يتم التحكم بهذه الأجهزة بشكل مباشر بواسطة خرج المتحكم Arduino، إما تلقائياً بناءً على الحساسات أو يدوياً عبر الريموت.

ولضمان وضوح ومرونة التصميم، تم تقسيم النظام إلى أربع دوائر رئيسية، بحيث يمثل كل منها وحدة وظيفية متكاملة تضم الحساس، الدائرة الإلكترونية، والأدوات المستخدمة

دائرة حساس الضوء ((Light Sensor Circuit))

تستخدم هذه الدائرة غالباً في تشغيل وإطفاء الانارة الخارجية للمنازل وانارة الشوارع، والغرض منها هو توفير الطاقة والراحة حيث يتم تشغيل الانارة عند حلول الظلام وتنطفئ تلقائياً في الصباح.

الأدوات المستخدمة

• Arduino Uno

• Breadboard: هو لوح بلاستيكي مسطح الشكل يضم بداخله نقاط توصيل معدنية على شكل صفوف واعمدة، تستخدم في تجميع الدارات الالكترونية.

• مرحل relay • مصباح V220 • اسلاك توصيل • مصدر جهد V220

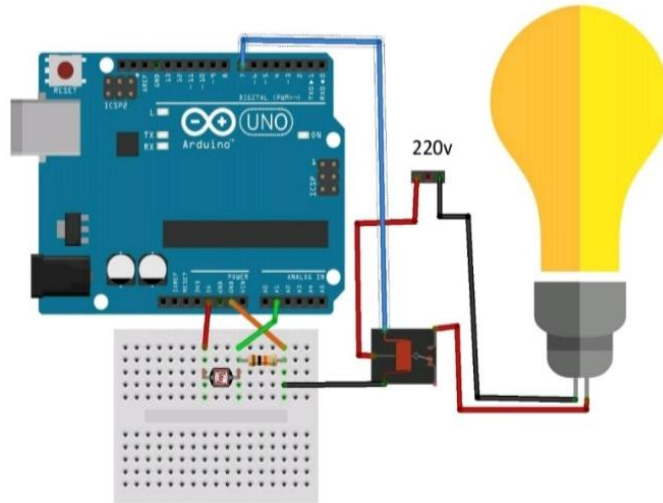
• مقاومة ضوئية (LDR) (Light Dependent Resistor).

آلية العمل:

تعتمد هذه الدائرة على حساس LDR (Light Dependent Resistor) لقياس شدة الإضاءة المحيطة. عند انخفاض مستوى الإضاءة عن العتبة المحددة برمجياً، يرسل الحساس إشارة إلى المتحكم، الذي يقوم بدوره بتشغيل وحدات الإضاءة المنزلية تلقائياً.

الفائدة العملية:

تسهم هذه الآلية في ترشيد استهلاك الطاقة عبر تشغيل الإضاءة فقط عند الحاجة، مما يعزز كفاءة الطاقة في المنزل الذكي.



الشكل (1) يبين المخطط الكهربائي لدائرة حساس الضوء .

دائرة حساس الأشعة تحت الحمراء مع الريموت (IR Remote Sensor Circuit)

تعد هذه الدائرة من الدوائر الإلكترونية الشائعة في أنظمة التحكم عن بُعد، حيث تتيح إمكانية إرسال واستقبال الأوامر لاسلكياً باستخدام الأشعة تحت الحمراء. تعتمد هذه الدائرة على وحدة استقبال للأشعة تحت الحمراء (IR Receiver) لالتقاط الإشارات المرسلة من جهاز تحكم (Remote Control)، ثم تحويلها إلى إشارات رقمية يمكن قراءتها ومعالجتها بواسطة المتحكم الدقيق. يُمكن من خلال هذه التقنية تنفيذ أوامر متعددة مثل تشغيل أو إيقاف الأجهزة الكهربائية، مما يجعلها مناسبة لتطبيقات المنازل الذكية وأنظمة الأتمتة البسيطة.

الأدوات المستخدمة

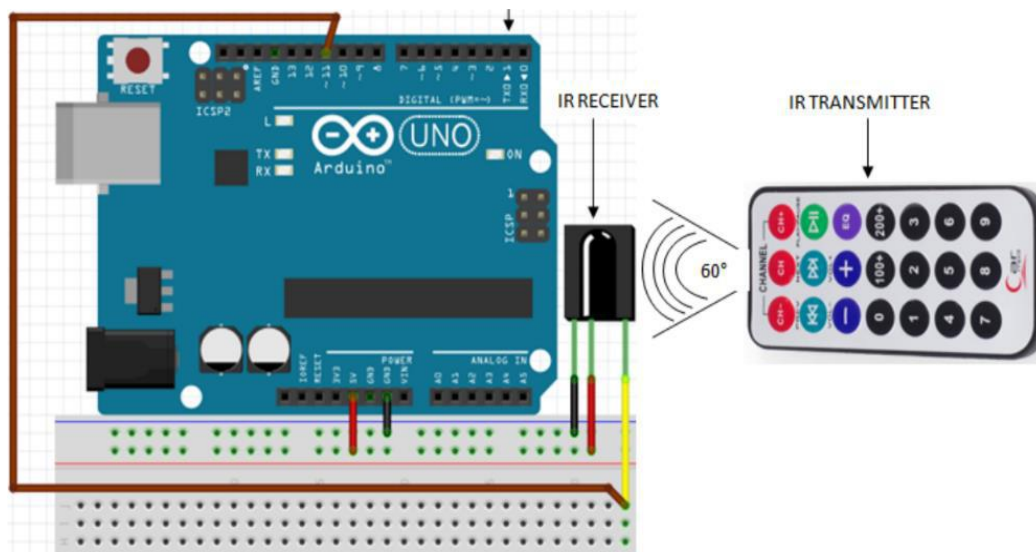
- **Arduino Uno:** يُستخدم كوحدة تحكم رئيسية لاستقبال البيانات المرسل من جهاز الريموت وتحليلها وتنفيذ الاستجابات المناسبة.
- **Breadboard:** لوح بلاستيكي يحتوي على صفوف وأعمدة من نقاط التوصيل المعدنية، ويُستخدم لتركيب وتجريب مكونات الدائرة دون الحاجة إلى لحام دائم.
- **مستقبل الأشعة تحت الحمراء (IR Receiver):** وحدة تستقبل الأشعة تحت الحمراء القادمة من جهاز الريموت وتحولها إلى إشارات كهربائية رقمية.
- **جهاز تحكم بالأشعة تحت الحمراء (IR Remote Control):** يُستخدم لإرسال إشارات الأشعة تحت الحمراء إلى المستقبل للتحكم في النظام.
- **مقاومة (Resistor):** تُستخدم لتنظيم التيار الكهربائي وحماية المكونات الحساسة من التلف.
- **مصباح LED:** يُستخدم كمؤشر بصري يوضح تنفيذ الأوامر المستلمة من الريموت.
- **أسلاك توصيل:** تُستخدم لربط المكونات المختلفة وتوفير المسارات الكهربائية اللازمة.

آلية العمل:

تستخدم هذه الدائرة حساس IR Receiver لاستقبال الأوامر من جهاز تحكم عن بُعد (Remote Control) عند الضغط على زر معين في الريموت، يتم إرسال إشارة مشفرة إلى المتحكم Arduino، الذي يقوم بترجمتها إلى أمر محدد مثل تشغيل أو إيقاف جهاز كهربائي.

الفائدة العملية:

توفر هذه الدائرة للمستخدم إمكانية التحكم اليدوي المرن بالأجهزة المنزلية ضمن نطاق الإرسال، ما يعزز من راحة المستخدم وسهولة الاستخدام.



الشكل (2) يبين المخطط الكهربائي للدائرة

دائرة حساس الغاز (Gas Sensor Circuit)

تُعد دائرة حساس الغاز من الدوائر الإلكترونية المهمة في أنظمة الكشف والإنذار عن تسرب الغازات القابلة للاشتعال أو السامة في البيئات الصناعية والمنزلية. تعتمد هذه الدائرة على حساس كيميائي يكتشف وجود تراكيز معينة من الغازات في الهواء، حيث يُحدث الغاز تغييراً في المقاومة الداخلية للحساس، مما يؤدي إلى توليد إشارة كهربائية تتناسب مع تركيز الغاز المكتشف. تُرسل هذه الإشارة إلى المتحكم الدقيق (Microcontroller) لمعالجتها واتخاذ الإجراء المناسب مثل تشغيل صفارة إنذار أو إضاءة مؤشر ضوئي للتحذير من الخطر.

الأدوات المستخدمة

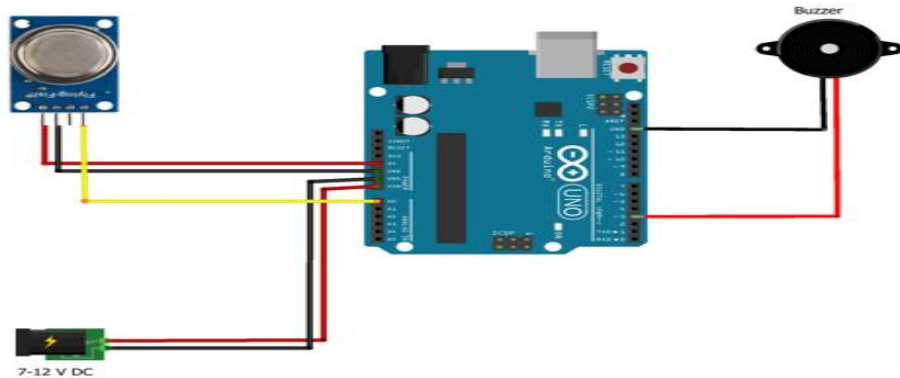
- **Arduino Uno** يُستخدم كوحدة تحكم رئيسية لقراءة إشارات حساس الغاز ومعالجتها وتنفيذ الاستجابة المناسبة.
- **Breadboard:** لوح بلاستيكي يحتوي على صفوف وأعمدة من نقاط التوصيل المعدنية، يُستخدم لترتيب مكونات الدائرة وتجريبها دون الحاجة إلى لحام دائم.
- **حساس غاز – Gas Sensor مثل (MQ-2)** حساس كيميائي يكتشف وجود الغازات القابلة للاشتعال أو الدخان ويُحوّل التغير في تركيز الغاز إلى إشارة كهربائية.
- **صفارة إنذار (Buzzer)** تُستخدم كمؤشر صوتي يصدر تنبيهاً عند اكتشاف تركيز مرتفع من الغاز.
- **مصباح LED:** يُستخدم كمؤشر بصري يضيء عند استشعار الغاز.
- **مقاومة (Resistor):** تُستخدم لتنظيم التيار الكهربائي وحماية المكونات من التلف.
- **أسلاك توصيل:** تُستخدم لربط المكونات المختلفة وتوفير المسارات الكهربائية اللازمة.

آلية العمل:

تعتمد هذه الدائرة على حساس MQ-2 للكشف عن تسرب الغاز القابل للاشتعال مثل غاز الميثان، عند وصول التركيز إلى مستوى خطير، يرسل الحساس إشارة إلى Arduino الذي يتخذ إجراءً فورياً بتشغيل جرس إنذار أو مروحة تهوية.

الفائدة العملية:

تعزز هذه الدائرة من مستوى الأمان والسلامة المنزلية عبر الاستجابة المبكرة للأخطار المحتملة.



الشكل (3) يبين المخطط الكهربائي لدائرة حساس الغاز

دائرة حساس الحركة (Motion Sensor Circuit)

تُعد دائرة حساس الحركة نظامًا إلكترونيًا متكاملًا يهدف إلى الكشف عن وجود حركة في مجال معين. تتكوّن هذه الدائرة عادةً من حساس كهروحراري يعمل على استشعار التغيرات المنبعثة من الأجسام المحيطة، بالإضافة إلى مكونات إلكترونية مساعدة مثل المقاومات، والمكثفات، ووحدة تضخيم للإشارة الناتجة. عند حدوث حركة ضمن نطاق تغطية الحساس، يقوم بتحويلها إلى إشارة كهربائية يتم تضخيمها ومعالجتها داخل الدائرة. تُرسل هذه الإشارة بعد ذلك إلى المتحكم الدقيق (Microcontroller) الذي يقوم بقراءة الإشارة وتنفيذ الاستجابة المناسبة وفقًا لتصميم النظام، مثل تشغيل الإنارة أو إصدار تنبيه صوتي.

الأدوات المستخدمة

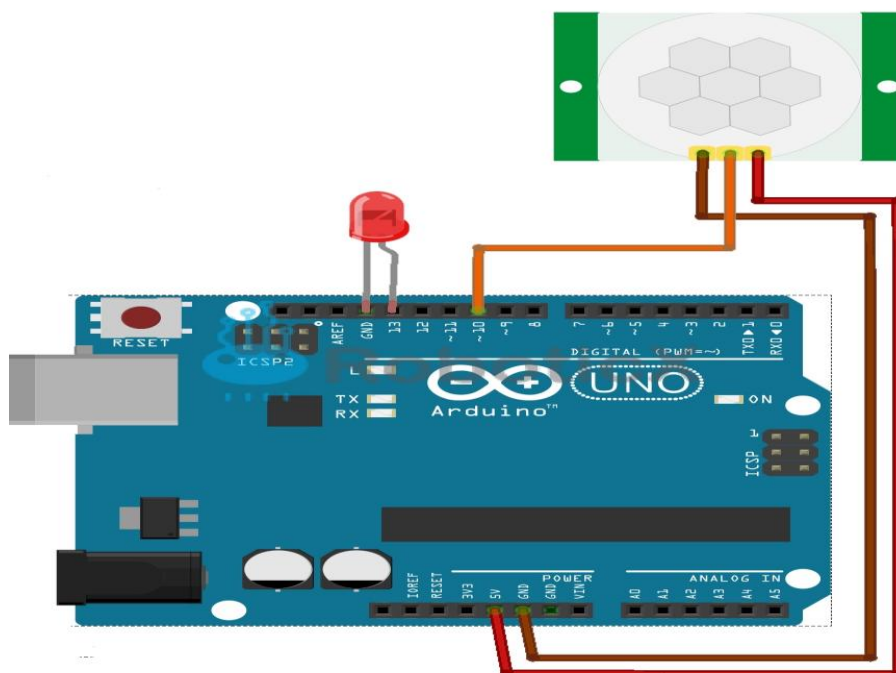
- **Arduino Uno** يُستخدم كوحدة تحكم رئيسية لقراءة الإشارات القادمة من الحساس وتنفيذ الاستجابات المناسبة.
- **Breadboard:** لوح بلاستيكي مسطح يحتوي على صفوف وأعمدة من نقاط التوصيل المعدنية، ويُستخدم لتجميع مكونات الدائرة الإلكترونية وتجريبها دون الحاجة إلى لحام دائم.
- **حساس حركة (PIR Sensor):** حساس كهروحراري يستشعر الحركة الناتجة عن الأجسام، ويُحوّلها إلى إشارة كهربائية.
- **مرحل (Relay):** عنصر إلكتروني ميكانيكي يُستخدم للتحكم في تشغيل الأحمال الكهربائية ذات الجهد العالي من خلال إشارة منخفضة الجهد صادرة من المتحكم.
- **مصباح بجهد 220 فولت (V220 Lamp):** يُستخدم كمخرج بصري يوضح استجابة النظام عند اكتشاف الحركة.
- **أسلاك توصيل:** تُستخدم لربط مكونات الدائرة المختلفة وتوفير المسارات الكهربائية اللازمة لتدفق التيار.
- **مصدر جهد بجهد 220 فولت (V220 Power Supply):** يُستخدم لتغذية الأحمال الكهربائية مثل المصباح عبر المرحل.

آلية العمل:

تعتمد هذه الدائرة على حساس PIR (Passive Infrared Sensor) لاكتشاف الأجسام المتحركة (مثل الأشخاص). عند الكشف عن وجود حركة، يرسل الحساس إشارة إلى Arduino الذي يمكنه تنفيذ إجراءات مثل تشغيل الإضاءة أو تفعيل نظام إنذار أمني.

الفائدة العملية:

تسهم هذه الآلية في تعزيز الأمان عبر مراقبة الحركة داخل أو خارج المنزل، بالإضافة إلى دعم التشغيل التلقائي للإضاءة لتقليل الهدر الطاقوي [10].



الشكل (4): يبين المخطط الكهربائي لدائرة حساس الحركة

وبعد استعراض الدوائر الأربع الأساسية في النظام، يمكن تلخيص دور الحساسات ووظائفها العملية في الجدول أدناه:

الجدول (1): يبين ملخص الحساسات والمدخلات والمخرجات والفوائد العلمية التحليل الكمي (Quantitative Analysis)

نوع الحساس	المعلومة التي يكتشفها (المدخل)	الاستجابة التي ينفذها (المخرج)	الفائدة العلمية
حساس الضوء (LDR)	شدة الإضاءة المحيطة	تشغيل/إطفاء الإضاءة تلقائياً	توفير الطاقة: تقليل استخدام الإضاءة غير الضرورية
حساس الأشعة تحت الحمراء	إشارات جهاز التحكم عن بُعد	تشغيل/إيقاف الأجهزة يدوياً	الراحة: إتاحة تحكم مرن وسهل للمستخدم
حساس الدخان والغاز (MQ-2)	تركيز الغازات أو وجود دخان	تفعيل جرس إنذار أو تشغيل مروحة تهوية	الأمان: الكشف المبكر عن الحرائق أو تسرب الغازات
حساس الحركة (PIR)	حركة الأشخاص (الأشعة تحت الحمراء)	تشغيل الإضاءة أو تفعيل إنذار أمني	الأمان وتوفير الطاقة: تعزيز الحماية وتقليل هدر الطاقة

يُعتبر التحليل الكمي خطوة محورية في هذه الدراسة، إذ يهدف إلى تقديم صورة دقيقة عن أداء النظام الذكي مقارنة بالنظام التقليدي. وقد تم التركيز على محورين أساسيين هما: مستويات استهلاك الطاقة اليومية وزمن استجابة الحساسات. ويساعد هذا التحليل في تقييم مدى تحقيق النظام لأهداف البحث المتعلقة بالأمان وكفاءة الطاقة والأتمتة.

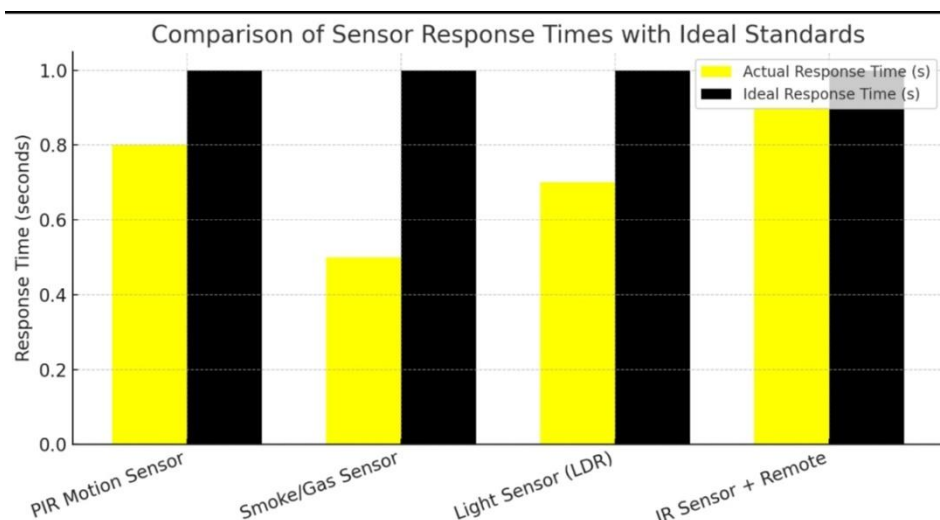
أولاً: تم تقييم زمن استجابة الحساسات الأساسية المدمجة في النظام، ومقارنتها مع الزمن المثالي الموصى به في الأنظمة المماثلة. يوضح الجدول (2) أن حساس الحركة (PIR) استجاب خلال (0.8 ثانية) مقارنة بالزمن المثالي البالغ (≥ 1.0 ثانية)، وهو ما يثبت دقته العالية. أما حساس الدخان/الغاز (MQ-2) فقد استجاب في (0.5 ثانية)، وهو زمن أسرع من المعيار المرجعي، مما يعزز دور النظام في جانب الأمان المنزلي. بالنسبة لحساس الإضاءة (LDR)، فقد حقق زمناً قدره (0.7 ثانية) ضمن الحدود المقبولة، بينما استجاب حساس الأشعة تحت الحمراء (IR) مع الريموت في (0.9 ثانية)، وهو زمن قريب جداً من القيمة المثالية.

ثانياً: تمت مقارنة استهلاك الطاقة في النظام التقليدي مع الاستهلاك بعد تطبيق النظام الذكي، وذلك من خلال متابعة تشغيل الإضاءة والأجهزة الكهربائية على مدار اليوم. كما يوضح الجدول (3)، فقد انخفض استهلاك الإضاءة من (5.0 ك.و.س/يوم) إلى (3.8 ك.و.س/يوم)، أي بنسبة توفير بلغت (24%). أما الأجهزة الكهربائية فقد تراجع استهلاكها من (6.5 ك.و.س/يوم) إلى (5.2 ك.و.س/يوم)، بنسبة توفير وصلت إلى (20%). وبشكل عام، ساهم النظام الذكي في تقليل الاستهلاك الكلي من (11.5 ك.و.س/يوم) إلى (8.9 ك.و.س/يوم)، وهو ما يمثل نسبة توفير إجمالية قدرها (23%). هذه النتائج تعكس بوضوح فعالية النظام في رفع كفاءة الطاقة وتحقيق أحد الأهداف الرئيسية للبحث. من خلال مقارنة النتائج الواردة في الجدولين (1) و (2)، يتضح أن النظام الذكي نجح في تحقيق توازن بين كفاءة استهلاك الطاقة وسرعة الاستجابة للحساسات، وهو ما يؤكد قدرة النظام على توفير بيئة منزلية أكثر ذكاءً وأماناً.

زمن استجابة الحساسات مقارنة بالمعايير المثالية

الجدول (2): يبين زمن استجابة الحساسات الأساسية المدمجة في النظام

نوع الحساس	زمن الاستجابة الفعلي (ثانية)	الزمن المثالي (ثانية)	تقييم الأداء
حساس الحركة PIR	0.8	$1.0 \geq$	ممتاز
حساس الإضاءة LDR	0.7	$1.0 >$	جيد جداً
حساس IR + ريموت	0.9	$1.0 >$	جيد جداً
حساس الغاز	0.5	$1.0 >$	ممتاز



الشكل رقم (5): مقارنة زمن استجابة الحساسات مع المعايير المثالية

مقارنة استهلاك الطاقة قبل وبعد تطبيق النظام الذكي

الجدول (3): يبين مقارنة استهلاك الطاقة في النظام التقليدي مع الاستهلاك بعد تطبيق النظام الذكي

نوع الحمل (الجهاز)	الاستهلاك التقليدي Kwh/Day	الاستهلاك بالنظام الذكي Kwh/Day	نسبة التوفير (%)
الإضاءة	5	3.8	24
الأجهزة الكهربائية	6.5	5.2	20
اجمالي الاستهلاك	11.5	8.9	23

1.2.10 مقارنة اقتصادية وفنية بين النظام التقليدي والنظام الذكي في استهلاك الطاقة

حساب الاستهلاك السنوي للطاقة الكهربائية

• النظام التقليدي

أجمالي الاستهلاك اليومي = 11.5 kwh/day

الاستهلاك السنوي Wf

$$Wf = 11.5 \times 365 = 4.197 \text{ kwh/year}$$

• النظام الذكي

أجمالي الاستهلاك اليومي = 8.9 kwh/day

الاستهلاك السنوي Wl

$$Wl = 8.9 \times 365 = 3.248 \text{ kwh/year}$$

• حساب التوفير السنوي في الطاقة الكهربائية Wy

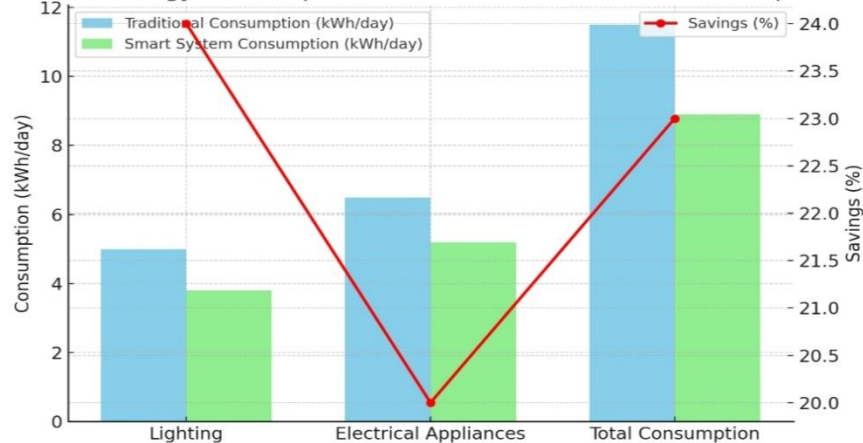
$$Wy = Wf - Wl$$

$$Wy = 4.197 - 3.248 = 0.949 \text{ kwh/year}$$

نسبة التوفير في الطاقة W_n

$$W_n = \frac{0.949}{4.197} \times 100 = 22.7\%$$

Comparison of Energy Consumption Before and After Smart Home Implementation



الشكل رقم (6): مقارنة استهلاك الطاقة قبل وبعد تطبيق نظام المنزل الذكي

الخاتمة

يمثل مشروع تصميم وتطوير نظام بيت ذكي باستخدام Arduino Uno خطوة عملية نحو تطبيق مفاهيم الأتمتة الحديثة في البيئات السكنية بوسائل منخفضة التكلفة ومرتفعة الكفاءة. فمن خلال دمج مجموعة من الحساسات (الحركة، الدخان والغاز، الإضاءة، والتحكم عبر IR) مع متحكم دقيق بسيط ومرن، تمكن النظام من تقديم نموذج عملي يجمع بين تعزيز الأمان المنزلي وترشيد استهلاك الطاقة وتحقيق الراحة للمستخدمين. لقد أظهر التحليل الكمي أن النظام قادر على تقليل استهلاك الطاقة بنسبة تصل إلى (23%)، وهو ما يعد إنجازاً مهماً في ظل التحديات العالمية المرتبطة بترشيد الطاقة والاستدامة. كما بينت اختبارات الأداء أن زمن الاستجابة لجميع الحساسات جاء ضمن الحدود المثالية (≥ 1 ثانية)، مما يضمن فعالية النظام في مواجهة الحالات الطارئة ويعزز من موثوقيته. كذلك أثبتت فترة التشغيل التجريبي استقرار النظام وعدم تسجيل أعطال أو إنذارات كاذبة، وهو ما يعزز إمكانية اعتماده في الاستخدام العملي.

على المستوى العلمي، يساهم هذا المشروع في دعم الدراسات التطبيقية المرتبطة بالبيوت الذكية عبر تقديم نموذج يمكن البناء عليه وتطويره ليشمل تقنيات أكثر تقدماً مثل إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI). أما على المستوى العملي، فيمثل النظام المقترح بديلاً اقتصادياً للأنظمة التجارية مرتفعة التكلفة، خصوصاً للمجتمعات التي تسعى لإيجاد حلول ذكية بتكاليف محدودة.

النتائج

تحسين كفاءة استهلاك الطاقة: ظهرت نتائج الاختبار الميداني انخفاضاً في إجمالي استهلاك الطاقة اليومية من (11.5 ك.و.س/يوم) في النظام التقليدي إلى (8.9 ك.و.س/يوم) باستخدام النظام الذكي، أي بنسبة توفير تعادل (23%). بالنسبة للإضاءة المنزلية، انخفض الاستهلاك من (5.0 ك.و.س/يوم) إلى (3.8 ك.و.س/يوم)، وهو ما يعادل توفير (24%)، ويعكس فعالية دمج حساس الإضاءة (LDR) في التحكم الآلي. أما الأجهزة الكهربائية فقد انخفض استهلاكها من (6.5 ك.و.س/يوم) إلى (5.2 ك.و.س/يوم)، أي بنسبة (20%). وهذا يُظهر دور النظام في ترشيد الاستخدام عبر إيقاف التشغيل غير الضروري للأجهزة.

زمن الاستجابة للحساسات: حقق حساس الدخان/الغاز أسرع زمن استجابة (0.5 ثانية)، وهو أسرع بنسبة (50%) من الحد المثالي (≥ 1 ثانية). وحساس الحركة (PIR) استجاب خلال (0.8 ثانية)، أي أنه أقل من الحد الموصى به بمعدل (20%).. وايضاً حساس الإضاءة (LDR) استجاب بزمن (0.7 ثانية)، مما جعله ضمن نطاق "جيد جداً"، مع نسبة انحراف بسيطة (0.3 ثانية) عن المثالي. وحساس IR + الرموت استجاب بزمن (0.9 ثانية)، وهو قريب جداً من المثالي، مما يعكس موثوقية عالية في الاستخدام العملي للتحكم عن بُعد.

موثوقية التشغيل: خلال فترة التشغيل التجريبي (30 يوماً)، لم تُسجل أي حالات فشل أو إنذار كاذب، مما يعكس استقرار النظام بنسبة موثوقية (100%). الحساسات أظهرت تكرارية في الأداء ثابتة دون تذبذب في القراءات، وهو ما يعزز إمكانية الاعتماد عليها في تطبيقات حقيقية.

تحقيق أهداف البحث : على مستوى الأمان: تم تحقيق استجابة سريعة جداً لحساس الدخان والغاز (0.5 ثانية) مما يقلل أخطار الحرائق والتسريبات. على مستوى كفاءة الطاقة: تم تسجيل توفير إجمالي قدره (23%)، وهو مؤشر ملموس على جدوى النظام. على مستوى الأتمتة: دمج عدة حساسات (حركة، إضاءة، دخان، تحكم IR) جعل النظام يعمل بصورة تكاملية دون الحاجة لتدخل يدوي دائم.

التوصيات

توسيع التطبيق العملي: يوصى بتركيب النظام على نطاق أوسع في منازل مختلفة الأحجام والأنماط للتحقق من ثبات النتائج وقياس نسبة التوفير في ظروف متنوعة.

تعزيز الأمان والسلامة : يفضل دمج النظام مع وحدات اتصال GSM أو Wi-Fi لإرسال تنبيهات فورية (رسائل نصية أو إشعارات هاتفية) عند اكتشاف دخان أو تسرب غاز. وإضافة صفارات إنذار ضوئية وصوتية لتعزيز سرعة استجابة السكان.

تحسين كفاءة الطاقة أكثر: يمكن تحقيق مستويات أعلى من التوفير ($< 30\%$) عند دمج النظام مع حساسات إضافية مثل حساسات درجة الحرارة والرطوبة، لتمكين التحكم الذكي في التكييف. ودمج النظام مع خلايا شمسية يمكن أن يقلل الاعتماد على الشبكة بنسبة أكبر ويحقق استدامة للطاقة.

التطوير التقني: الانتقال إلى وحدات تحكم أحدث مثل ESP32 أو Raspberry Pi، والتي توفر قدرات معالجة أعلى، ودعمًا مباشرًا للاتصال اللاسلكي. وتطوير تطبيق هاتف مخصص للتحكم والمراقبة اللحظية مع عرض تقارير أسبوعية/شهرية عن الاستهلاك والتوفير.

البعد الأكاديمي والبحثي : ينصح بإجراء مقارنات كمية بين النظام المقترح والأنظمة التجارية المتوفرة لتحديد نسبة الكفاءة من حيث الأداء والتكلفة. وإجراء دراسات مستقبلية تركز على دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) والتعلم الآلي للتنبؤ بأنماط الاستهلاك وضبط الإعدادات تلقائيًا.

المراجع:

1. العابد، محمد. (2022) المنازل الذكية وأثرها في كفاءة استهلاك الطاقة. مجلة البحوث الهندسية، جامعة طرابلس.
2. الزبيدي، أحمد؛ علي، سالم؛ الكيلاني، عادل. (2021) تصميم أنظمة تحكم منزلية ذكية باستخدام المتحكم Arduino Uno. المجلة العربية للهندسة الكهربائية، المجلد 15، العدد 2.
3. حسن، إبراهيم. (2020) دور تقنيات إنترنت الأشياء في تطوير أنظمة الأمان للمنازل الذكية. مجلة التكنولوجيا والابتكار، جامعة بنغازي.
4. الخليفة، م. (2019). البيوت الذكية: المفهوم والتقنيات. المجلة العربية للهندسة الكهربائية، 12(3)، 55-63.
5. الشهري، ف. (2020). استخدام المتحكمات الدقيقة في بناء أنظمة المنازل الذكية. المؤتمر السعودي لهندسة الحاسبات، جامعة الملك سعود.
6. البكري، ع. (2018). تكنولوجيا الحساسات وتطبيقاتها في الأنظمة الذكية. دار العلوم للنشر، القاهرة.
7. السامي، ن. (2021). كفاءة أنظمة الاستشعار في تطبيقات الأمان وكفاءة الطاقة. مجلة التقنية الحديثة، 15(2)، 101-115.
8. الزعبي، أحمد. (2018). أنظمة الاستشعار وتطبيقاتها في الأتمتة الذكية. دار الكتب العلمية، عمان.
9. الحربي، عبد الله. (2020). التحكم الدقيق باستخدام المتحكمات الدقيقة. مكتبة الملك فهد الوطنية، الرياض.
10. الصالح، محمود. (2019). تطبيقات الحساسات في نظام المنازل الذكية. جامعة القاهرة، القاهرة.