Comprehensive Journal of Science
Volume (10), Issue (39), (March, 2026)
ISSN: 3014-6266

مجلة العلوم الشاملة
المجلد (10) العدد 39 مارس 2026
ردمد: 3014-6266

تصميم وتنفيذ روبوت الإنقاذ الالي

Design and Implementation of an Automated Rescue Robot

Samah Abdulsalam Ahmed Ithwayhir - أ. سماح عبد السلام أحمد ظويهر

samahdweher1978@gmail.com

المعهد العالي للعلوم والتقنية رقدالين

شهاب عمار ماطوس , مروه حسن لعائب, نصر الدين ابوبكر سرب , محمد جمعة القدر

تاريخ الاستلام:2026/01/10 –تاريخ المراجعة: 2026/02/05– تاريخ القبول: 2026/02/17– تاريخ للنشر :2026 /03/16

keywords: Automated Rescue Robot, IoT, Gas Detection, Fire Detection, ESP32-CAM, Real-time Monitoring, Embedded Systems

الكلمات المفتاحية

الملخص:

تهدف هذه الورقة إلى تصميم وتنفيذ روبوت إنقاذ ذكي ومتعدد المهام قادر على العمل في البيئات الخطرة والمعقدة التي تنتج عن الكوارث الطبيعية والحوادث الصناعية، وذلك بهدف دعم عمليات البحث والإنقاذ وتقليل المخاطر التي يتعرض لها العنصر البشري. يعتمد النظام المقترح على منصة روبوتية متنقلة مزودة بمجموعة متكاملة من المستشعرات البيئية والحركية، تشمل حساسات الغازات، ودرجات الحرارة والرطوبة، وكاشف اللهب، ومستشعرات المسافة، مما يتيح للروبوت مراقبة الظروف المحيطة واكتشاف الأخطار المحتملة في الزمن الحقيقي.

كما تتضمن الورقة دمج وحدة بث مرئي مباشر (ESP32-CAM) لتمكين نقل الصور والفيديو الحي إلى مراكز التحكم، مما يدعم التقييم الميداني واتخاذ القرار السريع، إضافةً إلى استخدام تقنيات الاتصال اللاسلكي مثل Wi-Fi وGSM لنقل البيانات والتنبيهات الحرجة. ويتميز الروبوت بإمكانية التحكم المزدوج، حيث يعمل في وضع تلقائي يعتمد على معالجة بيانات المستشعرات، أو في وضع يدوي يتم فيه التحكم عن بُعد عبر الهاتف الذكي.

تم تزويد النظام بذراع روبوتية بسيطة مدعومة بمحركات سيرفو لإزالة العوائق الخفيفة أو التعامل مع الأجسام الصغيرة، مما يوسع من نطاق استخدامه في البيئات المهددة بالانهيار. وقد تم تنفيذ النموذج الأولي باستخدام مكونات إلكترونية مفتوحة المصدر ومنخفضة التكلفة، مثل Arduino Uno، بهدف تحقيق جدوى اقتصادية وسهولة في الصيانة والتطوير. أظهرت النتائج العملية نجاح النظام في أداء مهامه الأساسية بكفاءة واستقرار، مما يؤكد إمكانية الاعتماد عليه كنموذج مبدئي لتطوير أنظمة إنقاذ ذكية قابلة للتطبيق في البيئات المحلية ومحدودة الموارد.

Abstract:

This paper aims to design and implement an intelligent, multi-tasking rescue robot capable of operating in hazardous and complex environments resulting from natural disasters and industrial accidents. The goal is to support search and rescue operations and reduce risks to human personnel. The proposed system is based on a mobile robotic platform equipped with a comprehensive suite of environmental and motion sensors, including gas, temperature, and humidity sensors, a flame detector, and distance sensors. This enables the robot to monitor surrounding conditions and detect potential hazards in real time.

The paper also includes the integration of a live video streaming unit (ESP32-CAM). To enable the transmission of live images and video to control centers, supporting field assessment and rapid

decision-making, the system utilizes wireless communication technologies such as Wi-Fi and GSM for transmitting critical data and alerts. The robot features dual control capabilities, operating in an automated mode that relies on sensor data processing, or in a manual mode controlled remotely via smartphone. The system is equipped with a simple robotic arm powered by servo motors for removing light obstacles or handling small objects, expanding its applicability in environments prone to collapse. The prototype was built using low-cost, open-source electronic components, such as the Arduino Uno. The aim was to achieve economic viability and ease of maintenance and development. Practical results demonstrated the system's success in performing its basic tasks efficiently and stably, confirming its potential as a prototype for developing intelligent rescue systems applicable in local and resource-limited environments.

1 - المقدمة:

تُعد الكوارث الطبيعية والحوادث البشرية الكبرى من أبرز التحديات التي تواجه المجتمعات المعاصرة، نظرًا لما تخلّفه من خسائر بشرية ومادية جسيمة، وما تفرضه من صعوبات على فرق الإنقاذ التقليدية في سرعة الاستجابة والوصول إلى المواقع المتضررة بدرجة كافية من الأمان والفعالية. ومع التسارع المتزايد في التطور التكنولوجي، برزت الروبوتات والأنظمة الذكية كخيار استراتيجي واعد لتعزيز قدرات البحث والإنقاذ، خصوصًا في البيئات عالية الخطورة أو ذات التضاريس المعقدة التي يصعب على العنصر البشري التعامل معها. إن توظيف هذه التقنيات يفتح آفاقًا جديدة لتحسين كفاءة الاستجابة الطارئة، وتقليل المخاطر على حياة فرق الإنقاذ، وتحقيق مستوى أعلى من الاعتمادية في إدارة الأزمات.[1]

2- فكرة المشروع:

يرتكز المشروع على تصميم وتنفيذ روبوت متنقل متعدد المهام، يتميز بقدرته على التحرك داخل البيئات الصعبة بمرونة وكفاءة، وذلك بفضل تزويده بمنظومة متكاملة من المستشعرات البيئية والحركية التي تمكنه من جمع معلومات دقيقة وموثوقة حول البيئة المحيطة به، ويتضمن الروبوت وحدات لاستشعار الغازات الضارة، ودرجات الحرارة والرطوبة، واكتشاف مصادر اللهب، فضلًا عن مستشعرات المسافة لتفادي العوائق، الأمر الذي يُمكّنه من أداء المهام المنوطة به بفاعلية عالية.

وحرصًا على رفع مستوى الأمان والكفاءة التشغيلية، يعتمد الروبوت في تشغيله على نظام تحكم صوتي يُتيح إصدار أوامر أساسية عن بُعد دون الحاجة إلى أجهزة تحكم تقليدية، مما يوفر مرونة وسرعة في إدارة المهام الميدانية، كما يُعزّز المشروع من قدرات التقييم الميداني من خلال دمج وحدة بث مرئي مباشر (ESP32-CAM) قادرة على نقل الصور والفيديو بشكل لحظي إلى مراكز القيادة والتحكم.

ويتضمن التصميم أيضًا ذراعًا روبوتية بسيطة مدعومة بمحركات سيرفو، يمكن استخدامها لإزاحة العوائق الخفيفة أو تحريك أجسام صغيرة قد تعرقل حركة الروبوت أو تعيق وصوله إلى المناطق المستهدفة، ومن شأن هذه الوظيفة أن تُسهم في توسيع نطاق عمل الروبوت ليشمل بيئات أكثر تعقيدا، ويسعى المشروع إلى تحقيق مستوى عالٍ من الجدوى الاقتصادية من خلال الاعتماد على مكونات إلكترونية مفتوحة المصدر، وتقنيات قابلة للتصنيع محليًا، بما يتيح إنتاج نموذج أولي منخفض التكلفة وسهل الصيانة والتطوير. [2]

3- أهداف المشروع:

يتمثل الهدف الرئيسي للمشروع في تصميم وتطوير نموذج روبوتي متنقل متعدد المهام قادر على التدخل في البيئات الخطرة وشديدة التحدي لدعم عمليات البحث والإنقاذ، وتقليل المخاطر التي قد يتعرض لها العاملون في الخطوط الأمامية، وذلك من خلال جمع البيانات البيئية الميدانية وتحليلها ونقلها بشكل مباشر إلى فرق الإنقاذ، بما يسهم في تحسين سرعة الاستجابة

الميدانية وضمان أعلى درجات الأمان والسلامة للعاملين في مواقع الأزمات، ويسعى المشروع إلى تحقيق مجموعة من الأهداف الفرعية المترابطة، والتي يمكن تفصيلها على النحو الآتي:

أ. **تصميم هيكل روبوتي متنقل متعدد الوظائف:**

تصميم وتنفيذ هيكل ميكانيكي متكامل للروبوت يتيح له التحرك بكفاءة في بيئات متنوعة، مع مراعاة سهولة التنقل في المناطق الوعرة أو المهددة بالانهيار، وباستخدام محركات تيار مستمر ومحركات سيرفو لدعم وظائف الحركة الدقيقة.

ب. **توظيف منظومة متكاملة من المستشعرات البيئية والحركية:**

تزويد الروبوت بمجموعة متنوعة من المستشعرات مثل مستشعر الغازات(MQ-135) ، مستشعر الحرارة والرطوبة (DHT22)، مستشعرات اللهب، ومستشعرات المسافة بالأشعة تحت الحمراء أو الموجات فوق الصوتية بما يمكنه من رصد الأخطار البيئية المحتملة بشكل آني وموثوق.

ج. **تمكين نقل البيانات المرئية والبيئية بشكل مباشر:**

إدماج وحدة البث المرئي (ESP32-CAM) لتمكين الروبوت من نقل صور وفيديو حي للبيئة المحيطة إلى غرفة العمليات أو فرق الإنقاذ، بما يسهم في دعم التقييم الميداني واتخاذ القرارات المستندة إلى بيانات مرئية دقيقة بالإضافة إلى دمج وحدة GSM التي تُمكّن الروبوت من إرسال البيانات البيئية الحرجة مثل درجات الحرارة مباشرة إلى فرق الإنقاذ على شكل رسائل قصيرة (SMS).

د. **تزويد الروبوت بذراع روبوتية مساعدة:**

تصميم ذراع روبوتية بسيطة مدعومة بمحركات سيرفو لأداء مهام محددة مثل تحريك أو إزالة العوائق الخفيفة، بهدف تمهيد المسارات أو الوصول إلى الأماكن المحجوبة التي قد تعيق عمليات البحث والإنقاذ.

هـ. **إنتاج نموذج أولي منخفض التكلفة:**

تصميم الروبوت باستخدام مكوّنات إلكترونية ووحدات تحكم مفتوحة المصدر قابلة للبرمجة مثلArduino IDE، بما يضمن أن يكون النموذج قابلًا للتكرار والتطوير في بيئات محدودة الموارد، ويحقق متطلبات الفاعلية من حيث الأداء والتكلفة.

و. **تعزيز المهارات البحثية والتطبيقية:**

تنمية القدرات التقنية والبحثية لدى الفريق المنفذ للمشروع، من خلال اكتساب مهارات متقدمة في مجالات تصميم الأنظمة المدمجة، برمجة المتحكمات الدقيقة، تشغيل المستشعرات البيئية، معالجة البيانات الميدانية، وتحليل النتائج واختبار الأداء في ظروف تحاكي الواقع.

4- هيكلية توثيق المشروع:

تم تقسيم التوثيق العلمي للمشروع إلى ستة فصول أساسية، ويتضمن كل فصل محاور محددة يمكن تلخيصها كما يلي:

أ. **الفصل الأول (مقدمة عامة عن المشروع):**

يتناول هذا الفصل عرضًا تمهيديًا عامًا للمشروع، موضحًا الخلفية العلمية والدوافع التي استدعت تنفيذ الفكرة، كما يُبيّن أهداف المشروع وأهميته، ويستعرض الإطار العام الذي يندرج ضمنه العمل البحثي، مع تحديد نطاقه وحدوده.

ب. الفصل الثاني (تاريخ روبوتات الإنقاذ):

يستعرض هذا الفصل نبذة تاريخية عن تطور استخدام الروبوتات في مجالات البحث والإنقاذ عالميًا، ويتضمن رصدًا لأبرز النماذج والتطبيقات التي طُوِّرت لهذا الغرض، مع بيان التطورات التقنية التي ساهمت في تحسين قدرات هذه الأنظمة، وصولًا إلى التحديات الراهنة والاتجاهات المستقبلية في هذا المجال.

ج. الفصل الثالث (الكيان المادي):

يتناول هذا الفصل وصفًا تفصيليًا للجوانب المادية للمشروع، بما في ذلك مكونات الروبوت من الناحية الميكانيكية والإلكترونية، كما يعرض المخططات الهندسية، إضافةً إلى شرح وحدات الحركة، المستشعرات، وحدات الطاقة، ووحدات الاتصال المستخدمة في بناء الروبوت.

د. الفصل الرابع (الكيان المعنوي):

يُعنى هذا الجزء بشرح الجانب البرمجي والوظيفي للروبوت، بما في ذلك بنية البرمجيات، خوارزميات التحكم بالحركة، إدارة البيانات البيئية، ونظم الاتصال والتحكم الصوتي، كما يتناول بيئة البرمجة والأدوات المستخدمة لتطوير الأكواد الخاصة بتشغيل النظام.

هـ. الفصل الخامس (التجارب العملية):

يعرض هذا الجزء نتائج التجارب المعملية التي أُجريت لاختبار أداء الروبوت، ويتضمن توثيقًا لإجراءات التجربة، والمعايير المستخدمة لقياس الكفاءة، وتحليل البيانات المستخلصة من التشغيل الفعلي، مع بيان مدى تحقق الأهداف التقنية الموضوعة في بداية المشروع.

و. الفصل السادس (الخلاصة، والعمل المستقبلي):

يقدم هذا الفصل خلاصة شاملة للنتائج المتحققة، مع مناقشة مدى توافقها مع الأهداف المخطط لها وكذلك التوصيات المستقبلية.

5- نبذة تاريخية عن تطور استخدام الروبوتات في مجالات البحث:

أدى تراكم التجارب الميدانية والحوادث الكبرى إلى انتقال مفهوم روبوتات الإنقاذ من مرحلة النماذج المفردة إلى إطار بحثي مؤسسي يجمع بين الجامعات ومراكز الأبحاث والقطاع الصناعي، ومع بروز الحاجة إلى تحسين كفاءة الروبوتات الميدانية في البيئات المعقدة، تحوّل تركيز البحث من تصنيع وحدات تحكم عن بُعد بسيطة إلى تطوير نظم تكاملية تعتمد التعاون بين أكثر من روبوت في المهمة الواحدة.

مع تزايد الكوارث الطبيعية والتكنولوجية في القرن العشرين، أدرك الباحثون والسلطات التنفيذية الحاجة إلى أدوات ذكية قادرة على التدخل في البيئات الخطرة لحماية الأرواح وتقليل المخاطر على رجال الإنقاذ، وقد لعبت حوادث وكوارث كبرى دورًا مفصليًا في إعادة تشكيل هذا التخصص الهندسي وبناء أساس علمي لتطوير أنظمة روبوتية تُستخدم في الميدان[4].

1.5 الاحداث المفصلية التي ساهمت في تطور روبوتات الانقاذ:

شهد تاريخ روبوتات الإنقاذ مجموعة من الأحداث المفصلية التي ساهمت بشكل مباشر في دفع عجلة تطويرها، حيث كانت الكوارث الكبرى والظروف البيئية القاسية بمثابة محفز رئيسي لتسخير التقنيات الروبوتية وتوسيع قدراتها

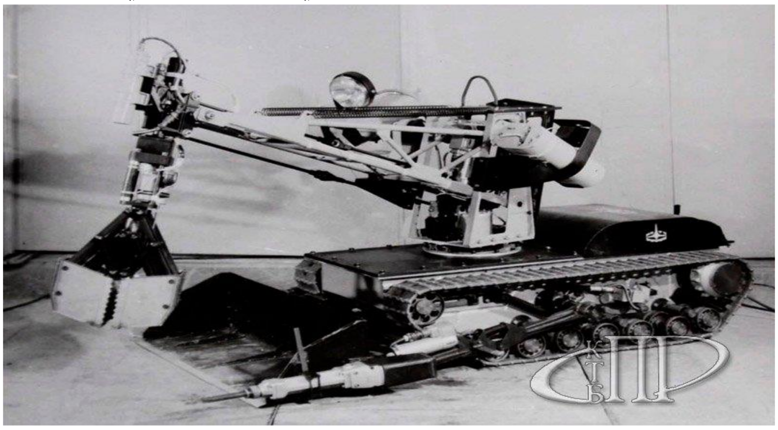
أ. حادثة تشيرنوبل (1986):

تُعد كارثة مفاعل تشيرنوبل النووي في أوكرانيا نقطة البداية العملية في تاريخ روبوتات الإنقاذ الميدانية، فبعد انفجار المفاعل رقم 4 في أبريل 1986، واجهت السلطات السوفييتية أزمة بيئية خطيرة بسبب المستويات الهائلة من الإشعاع التي منعت البشر من دخول بعض المناطق الملوثة.

للتعامل مع هذه البيئة القاتلة، طُوِّرت عربات آلية بدائية ذات تحكّم عن بُعد لاستكشاف مواقع الانهيار وإزالة الحطام الإشعاعي من سطح المفاعل، كانت هذه الوحدات عبارة عن مركبات عسكرية مُعدّلة أو جرّافات مزوّدة بكاميرات بسيطة وهوائيات تحكم لاسلكي.

ومع ذلك، واجهت هذه الروبوتات تحديات كبيرة: فقد تعطّلت الكثير من الوحدات بسرعة بسبب تعرّض الدوائر الإلكترونية للإشعاع القوي الذي تجاوز قدرة الحماية الهندسية التقليدية، إضافة إلى مشاكل في الاتصال اللاسلكي عبر الهياكل الخرسانية المدمّرة.

رغم هذه العقبات، أثبتت التجربة أن الآلات المؤتمتة يمكن أن تؤدي دورًا محوريًا في إنجاز مهام كان من المستحيل تنفيذها بشريًا، وقد أثارت هذه التجربة اهتمامًا أكاديميًا واسعًا بضرورة تطوير وحدات روبوتية أكثر تحمّلًا وصمودًا في البيئات القاسية .وتبين الاشكال الاتية (1) (2) (3) بعضا من الروبوتات التي تم استخدامها في الحادثة[7] :



شكل (1) روبوت (Mobot. Ч.XB2)

شكل (2) روبوت (STR.1)

شكل (3) روبوت (*Komatsu D155W*)

ب. زلزال كوبي في اليابان (1995) أول اختبار ميداني حضري:

بعد قرابة عقد من حادثة تشيرنوبل، شكّل **زلزال كوبي** في اليابان محطة حاسمة في تطور هذا المجال، ضرب الزلزال مدينة كوبي في يناير 1995 مسببًا دمارًا هائلًا للأحياء السكنية وشبكات النقل، وتكدست كميات ضخمة من الأنقاض، ما صعّب عمليات البحث التقليدية عن الناجين، في هذه الظروف، بدأ الباحثون اليابانيون تجربة نماذج روبوتية صغيرة ميدانيًا لاختبار جدواها في الدخول إلى المساحات الضيقة تحت الأنقاض.

كانت الروبوتات المستخدمة آنذاك بسيطة من الناحية البرمجية، لكنها مثّلت خطوة عملية نحو إدخال الأنظمة ذاتية الحركة في البيئات الحضرية المدمّرة، من أهم الدروس المستفادة من زلزال كوبي أن التصميم يجب أن يُراعي التضاريس غير المستوية، وأن يكون للروبوت قدرة على تجاوز العوائق، حفّزت هذه التجربة إنشاء برامج بحثية متقدمة في الجامعات اليابانية لاحقًا لتطوير منصات روبوتية خاصة بالكوارث.

ج. هجمات 11 سبتمبر (2001) لحظة التحول الدولية:

مثّلت هجمات 11 سبتمبر في نيويورك نقطة تحول عالمية في استخدام الروبوتات داخل المناطق الحضرية المدمّرة بفعل كوارث كبرى، عند انهيار برجي مركز التجارة العالمي، وجدت فرق الإنقاذ التقليدية نفسها عاجزة عن الوصول إلى جميع المناطق بسبب الأنقاض غير المستقرة وخطورة الانهيارات الثانوية.

لأول مرة، استُخدمت روبوتات صغيرة مزوّدة بكاميرات وأجهزة إرسال حيّة للتسلل داخل فجوات الأنقاض، قاد هذه الجهود فريق من الباحثين بقيادة البروفيسورة روبن مورفي، التي تُعتبر من أوائل الأكاديميين الذين أسسوا لهذا المجال علميًا، تمكّنت الروبوتات من توفير صور وفيديوهات حية في نقاط كانت مستحيلة الوصول يدويًا، وأسهمت في تحديد مواقع ضحايا محتملين، ومن أبرز المشاكل التي أظهرت ضعف جودة الفيديو بسبب الغبار والركام، وقصر عمر البطاريات وصعوبة تحكم الإشارة تحت الأبنية المنهارة[8] .

لاحقًا، شكّلت هذه التجربة أساسًا لإنشاء معايير جديدة لتصميم روبوتات أكثر مرونة وأصغر حجمًا مع أنظمة استشعار أكثر موثوقية.

د. معيار جديد للتطبيقات :

أطلقت وكالة مشاريع الأبحاث الدفاعية الأمريكية DARPA في الفترة ما بين 2013و 2015تحديات عالمية للروبوتات تحت عنوان (DARPA Robotics Challenge)ركّزت هذه المبادرة على تطوير روبوتات شبه بشرية قادرة على العمل

في بيئات خطرة مثل مواقع الانهيارات النووية أو المنشآت الصناعية، وقد أسهمت هذه التحديات في تطوير تقنيات التوازن الديناميكي، وتحكّم الأذرع المتعددة، والقدرة على التعامل مع معدات بشرية مثل الصمامات والأبواب والسلالم[9] .

2.5 أحدث روبوتات الإنقاذ:

شهد العقدان الأخيران ظهور نماذج متطورة من روبوتات الإنقاذ مدعومة بتقنيات الاستشعار الذكي والذكاء الاصطناعي، الأمر الذي عزز قدرتها على التدخل الفعّال في البيئات المعقدة والخطرة.

- روبوت (**Boston Dynamics Spot**):

يُعد روبوت Spot الذي طوّرته شركة Boston Dynamics من أكثر الأمثلة حداثةً وتميزًا في مجال الروبوتات الميدانية متعددة الأغراض، وقد أُنتج خصيصًا لتقديم حلول مرنة في البيئات الخطرة وغير المستقرة مثل مواقع البحث والإنقاذ، ومرافق التفتيش الصناعي، والمناطق التي يصعب الوصول إليها بواسطة البشر أو الآلات التقليدية[10] .

ظهر Spot كامتداد للتقنيات التي بدأت بها Boston Dynamics منذ مشروعها الشهير BigDog [6] الذي طوّر لصالح DARPA لدعم مهام القوات البرية. واستفادت Boston Dynamics من عقود من الأبحاث الأكاديمية في ميكانيكا الحركة الحيوية (Bio.Inspired Locomotion) لتصميم Spot بهيكل رباعي الأرجل يحاكي طريقة حركة الحيوانات (كلب متوسط الحجم)، ما يمنحه ثباتًا ومرونة لا تتوفر في النماذج المجنزرة أو ذات العجلات التقليدية. يتميز Spot بقدرته على السير فوق الأسطح الوعرة، والأرضيات المليئة بالعوائق، والسلالم، والتضاريس غير المستوية، ويُعد استقراره الحركي مثالًا حيًا على تطبيق خوارزميات التوازن الديناميكي في الروبوتات (Dynamic Balancing) يمكنه تعديل توزيع وزنه واتجاه مركز ثقله تلقائيًا عبر مستشعرات موضعية وجيروسكوبات متقدمة ويوضح الشكل (4) كيف يبدو شكل الروبوت.

شكل (4) روبوت(Boston dynamics spot)

يتضمن Spot مجموعة حساسات متكاملة:

أ. كاميرات RGB وكاميرات عمق(Depth Cameras) .

ب. مستشعرات LiDAR لرسم خرائط ثلاثية الأبعاد عالية الدقة.

ج. وحدات استشعار متقدمة لحساب المسافات وتجنّب العقبات في الزمن الحقيقي.

6- دراسات سابقة:

تُعد الدراسات السابقة مرجعًا مهمًا يساعد في فهم التطورات البحثية والتقنية المتعلقة بمجال روبوتات الإنقاذ، كما تمكّن من إبراز نقاط القوة والقصور في الأنظمة المطوّرة سابقًا، وتوضّح الفجوات البحثية التي يسعى هذا المشروع إلى معالجتها. وفي

هذا السياق، يوضح الجدول (1) أبرز هذه الدراسات، مع عرض منهجياتها وأهدافها والنتائج التي توصلت إليها، بما يوفر إطارًا معرفيًا يثري هذا العمل البحثي ويدعم مساره العلمي.[12]

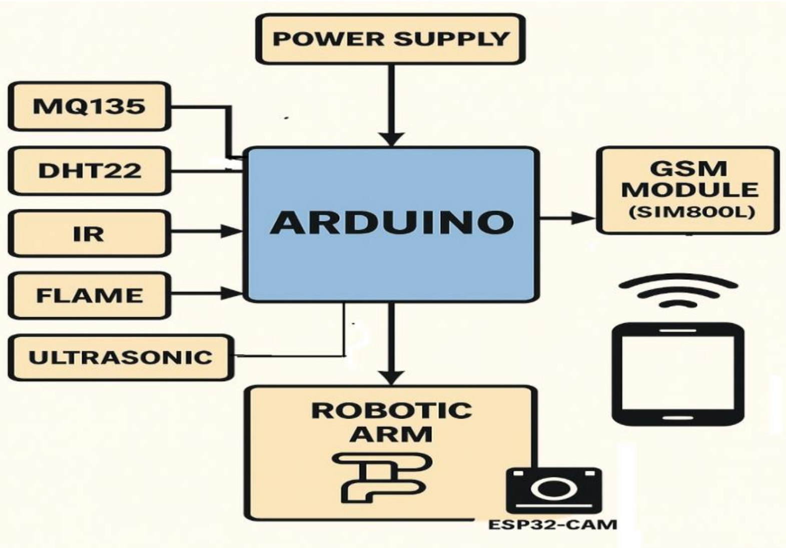
الجدول (1.2) أبرز الدراسات البحثية والتقنية المتعلقة بمجال روبوتات

العنوان	المؤلف / السنة	الملخّص والدور في البحث
Robotics in Search and Rescue (SAR) Operations	H. Chitikena وآخرون، 2023	مراجعة شاملة لبحوث روبوتات البحث والإنقاذ، تتناول الجوانب الميكانيكية، الحسية، الأخلاقية، والتحديات المرتبطة بالعمل في بيئات كارثية.
A Review of Features and Characteristics of Rescue Robot	A. S. Narouz وآخرون، 2024	استعرضت دراسة 52 ورقة بحثية للروبوتات المتنقلة المستخدمة في إدارة الكوارث، مع التركيز على القدرات التنقلية، الاستشعار، والملاحة الذاتية. EKB Journals
Soft Robotics for Search and Rescue: Advancements, Challenges, and Future Directions	Abhishek Sebastian، 2025	بحث في الروبوتات اللينة (soft robots) ودورها في التكيف مع البيئات المعقّدة، والمزايا التي تقدمها مقارنة بالروبوتات الصلبة.
Search and rescue with autonomous flying robots (UAVs)	R. D. Arnold وآخرون، 2018	دراسة حول استخدام الطائرات بدون طيار (المسيرة) في عمليات البحث والإنقاذ، خاصة في المناطق المتضررة، والتنسيق بينها كوحدات متعددة.
Development of a search and rescue robot system for the underground building environment	G. Wang وآخرون، 2023	اقترحت الدراسة نظام روبوت مزدوج للعمل في البنى التحتية تحت الأرض، مع التركيز على التنقل داخل الأنفاق والمباني المدمّرة.
Development of a separable search-and-rescue robot	T. Kamegawa وآخرون، 2020	عرضت فكرة روبوت قابل للفصل بين وحدتين (مركبة زاحفة + ذراع أو ثعبان) لزيادة القدرة على الوصول إلى المناطق الضيقة.
Assessing the Search and Rescue Domain as an Applied Benchmark	Frank E. Schneider & Dennis Wildermuth، 2019	كمجال SAR تحديد متطلبات روبوتات لتقييم التقنيات الروبوتية، مع اقتراح اتجاهات بحثية مستقبلية.

تتناول التطورات الأساسية والاتجاهات المستقبلية لروبوتات البحث والإنقاذ من منظور الأداء والتحديات.	J. Liu وآخرون	Current research, key performances and future trends in SAR robots

7- الكيان المادي للمشروع :

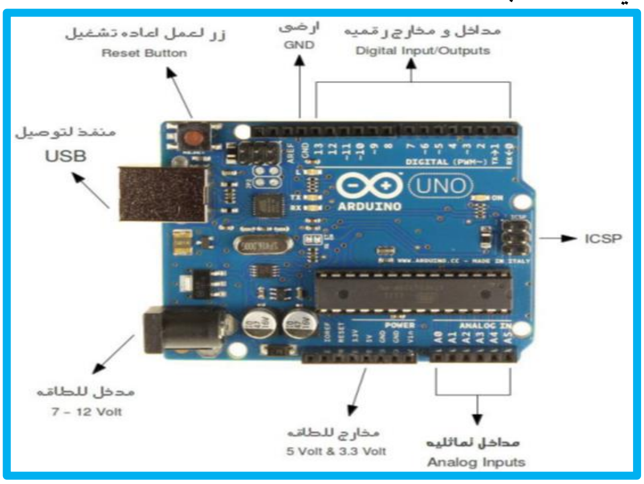
يُعنى هذا الفصل بعرض المكونات المادية (Hardware Components) التي تشكل البنية الأساسية للنظام المقترح، موضحًا خصائصها التقنية، وآلية تكاملها لتشكيل منظومة متكاملة تعمل بتناغم لتحقيق أهداف المشروع.



الشكل (5) المخطط الصندوقي للنظام الروبوتي الذكي متعدد الوظائف

1.7 لوحة أردوينو (Arduino) :

لوحة Arduino Unoهي لوحة إلكترونية مفتوحة المصدر (Open Hardware)تُستخدم لتطوير العديد من الأفكار والمشاريع المتعلقة بالتحكم الآلي بسهولة وبساطة، من خلال لغة برمجة مفتوحة المصدر الشكل (1.6) [14].



الشكل (1.6) لوحة اردوينو

2.7 إمداد الدائرة بالطاقة (Power up) :

يمكن إمداد الدائرة بالطاقة إما من خلال منفذ الـUSB فقط أو عن طريق استخدام مصدر خارجي للكهرباء كمحول DC/AC ليمد الدائرة بالجهد اللازم كما هو موضح بالشكل (2.6) [1] .

الشكل (2.6) إمداد الدائرة بالطاقة (Power up)

3.7 بطاريات الليثيوم(Li–Ion Battery) :

تُستخدم بطاريات الليثيوم (Li–Ion) في هذا المشروع كمصدر رئيسي للطاقة بفضل كفاءتها العالية في تخزين الطاقة وكثافتها العالية مقارنة بالأنواع الأخرى، حيث توفر الجهد اللازم لتشغيل الدوائر الإلكترونية بشكل مستقر وآمن. في هذا المشروع تم أستخدام عدد (3) بطارية لتوفير جهد قيمته 3.7V ، والشكل (7) يوضح شكل البطارية.

الشكل (7) بطاريات الليثيوم

4.7 الأجزاء الميكانيكية للروبوت:

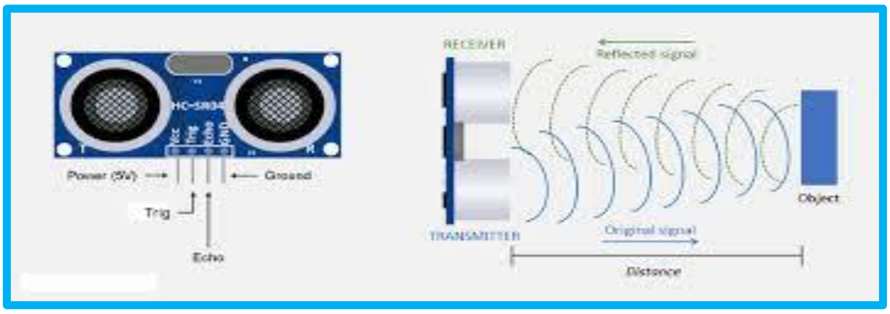
الشكل (8) يوضح أجزاء هيكل الروبوت مع المحركات التيار المستمر.

الشكل (8) هيكل الروبوت

5.7 حساس الموجات الفوق الصوتية (HC–SR 04):

هي عبارة عن أجهزة استشعار كما موضح في الشكل (9) حيث تبث موجات فوق الصوتية باستمرار في مجموعة من الأطوال الموجية والموجهة على الهدف ويتلقى أشاره الصدى من قبل المستقبل، تتم معالجة أشاره الصدى عن طريق خروج موجات عالية التردد والتي عندما تصطدم بجسم ما ترتد هذه الموجات على شكل صدى (Echo)،وبحساب الوقت اللازم بين الإرسال والاستقبال يمكن حساب مسافة الجسم

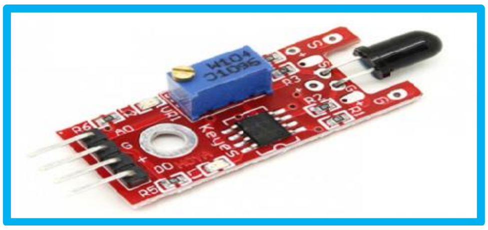
الشكل (9) حساس الموجات فوق الصوتية



الشكل (10) فكرة عمل حساس الموجات فوق الصوتية

6.7 حساس كاشف اللهب (Flam Sensor) :

يعتمد هذا الحساس على التقاط الطول الموجي للضوء والمتولد في الأشعة تحت الحمراء التي يطلقها لهب النار. ويعد هذا الحساس مثالياً في تطبيقات اكتشاف الحرائق ويتميز بوجود مخرج رقمي وأخر تناظري إلى جانب تواجد مقاومة متغيرة لضبط حساسيته كما هو موضح بالشكل (11)



الشكل (11) كاشف اللهب

7.7 الجرس(Buzzer):

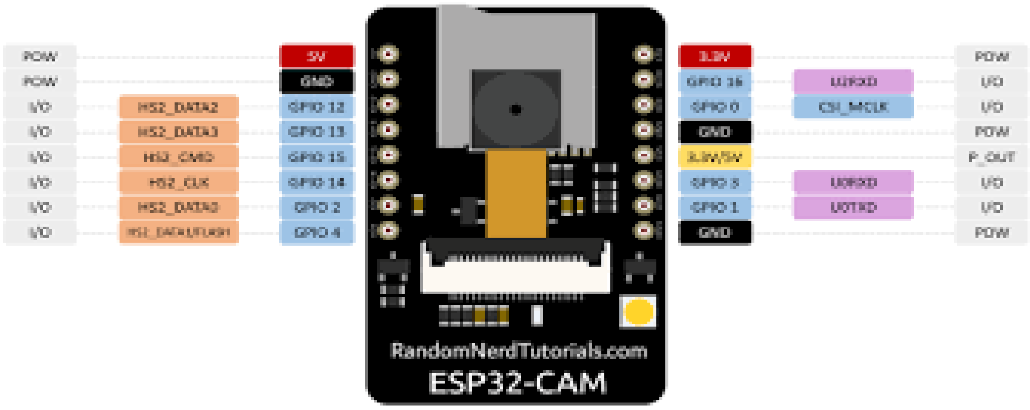
الجرس (Buzzer) هو عنصر إلكتروني يتم استخدامه كجهاز تنبيه صوتي في أنظمة الإنذار، (12) كيف يبدو مظهره.

الشكل (12) جرس تحذيري

8.7 وحدة (ESP32-CAM):

وحدة (ESP32-CAM) هي لوحة تطوير صغيرة الحجم مزودة بوحدة (Wi-Fi) ووحدة (Bluetooth) مدمجة، بالإضافة إلى كاميرا (OV2640) ذات دقة تصل إلى 2 ميغابيكسل. تتيح هذه الوحدة إمكانية التقاط الصور أو إرسال فيديو مباشر

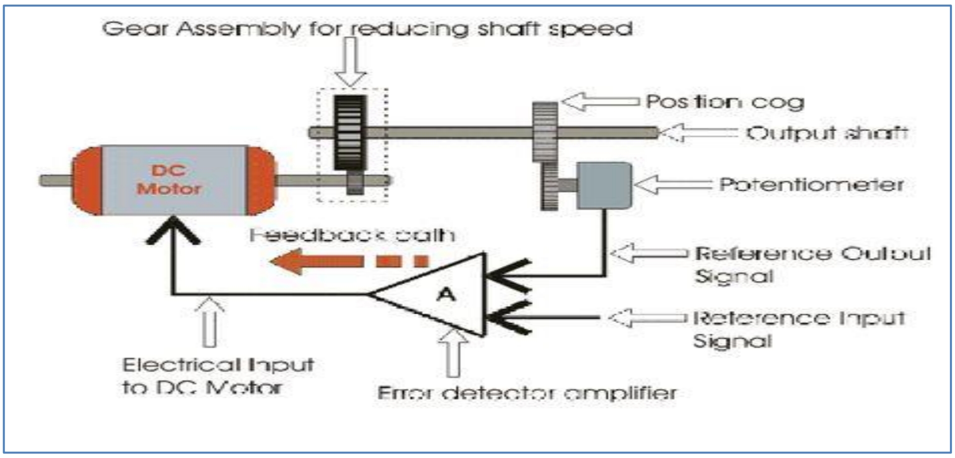
إلى الخادم أو الأجهزة المرتبطة لاسلكيًا، مما يجعلها مناسبة جدًا لتطبيقات المراقبة الذكية وإنترنت الأشياء(IoT) ويبين الشكل (13.1) كيف يبدو شكل هذه الوحدة.



الشكل (13.1) ESP32-CAM

9.7 محرك السيرفو:

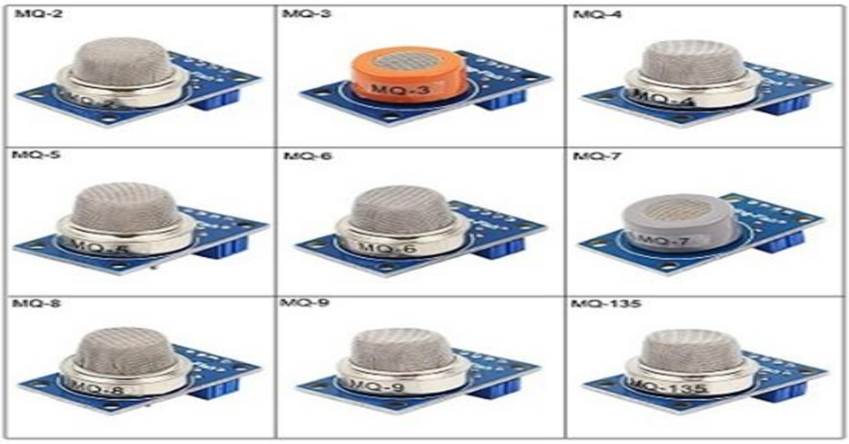
محرك السيرفو هو عبارة عن محرك تيار مستمر مجهز بدائرة الكترونية للتحكم بدقة في اتجاه دوران عمود المحرك ووضعه وصندوق التروس وكذلك يعرف علي أنه نظام تحكم مغلق لمحرك تيار مستمر عادي كما موضح بالشكل (13.2) :-



شكل (13.2) يوضح نظام تحكم مغلق لمحرك السيرفو.

10.7 حساسات الغازات MQ:

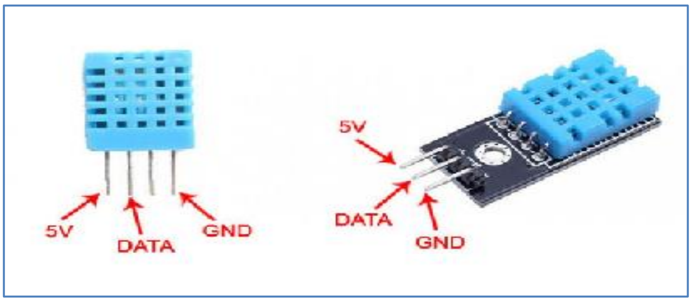
هذا المشروع يحتاج لعدة حساسات حتى يمكن الكشف عن الغازات قبل وأثناء وبعد الحريق تم استخدام عدد أربعة حساسات وهي [MQ2-MQ5-MQ9-MQ135] شكل (14) يوضح شكل الحساس MQ.



شكل (14) انواع الحساس MQ.

11.7 حساس الرطوبة والحرارة (DHT11)

الشكل (15) يوضح حساس الرطوبة والحرارة DHT11 هو جهاز استشعار يستخدم لقياس درجة الحرارة والرطوبة النسبية في البيئة المحيطة. يُعد DHT11 من الحساسات الرقمية، حيث يُقدم القراءات بتنسيق رقمي يمكن قراءتها ومعالجتها بواسطة الأجهزة الإلكترونية مثل لوحة الأردوينو.



الشكل (15) حساس الرطوبة والحرارة.

8- الكيان البرمجي للمشروع :

يتناول هذا الجزء من المشروع الجانب البرمجي من النظام الذكي المقترح، والذي يمثل العقل المحرك للمكونات المادية التي جرى عرضها في السابق. ففي هذا الجزء يتم توضيح الآلية البرمجية التي تُمكّن المتحكم (Arduino) من إدارة مختلف الحساسات والمشغلات، واستقبال الأوامر، ومعالجة البيانات، واتخاذ القرارات في الزمن الحقيقي وفقًا للظروف المحيطة.

يهدف هذا الفصل إلى شرح كيفية إعداد بيئة التطوير (Arduino IDE) وكتابة الكود البرمجي بلغة (Arduino C)، إضافةً إلى عرض المخطط الانسيابي (Flow chart) الذي يُبيّن تسلسل عمل النظام، بدءًا من مرحلة التشغيل والتهيئة مرورًا باختيار النمط التشغيلي (يدوي أو تلقائي)، وصولًا إلى معالجة البيانات وتنفيذ الأوامر المرتبطة بالتحكم في الحركة، المراقبة، والإرسال اللاسلكي عبر الوحدات المختلفة مثل ال (Wi-Fi)، الكاميرا، و(GSM).

إن هذا الجزء يُعدّ جوهر النظام، حيث يجسد التكامل بين البرمجة والتحكم الآلي ليمنح المشروع قدرته على التفاعل الذكي مع البيئة، واتخاذ الإجراءات المناسبة بشكل دقيق وفعّال لضمان الأداء الأمثل في مختلف السيناريوهات التشغيلية **.[1]**

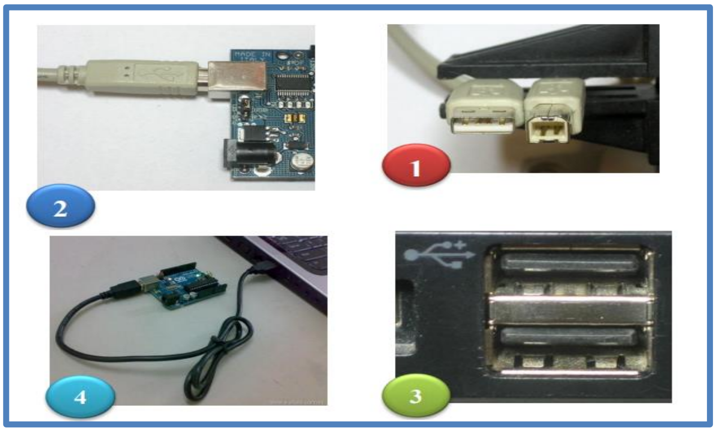
1.8 البيئة التطويرية للأردوينو:

لتهيئة الاتصال بين لوحة (Arduino Uno)والحاسوب، يتم اتباع الخطوات التالية بشكل تسلسلي :

أ. يتم توصيل لوحة الأردوينو باستخدام كابل (USB) المخصص لها.

ب. يُدخل الطرف الآخر من الكابل في منفذ (USB) الخاص بالحاسب الآلي، وينتظر المستخدم بضع لحظات حتى يتعرف النظام على العتاد الجديد.

وبمجرد ظهور رسالة التأكيد التي تفيد بأن الجهاز قد تم التعرف عليه تحت اسم Found Arduino Uno Board، تكون عملية الاتصال قد اكتملت بنجاح، ويمكن عندها البدء في العمل داخل بيئة التطوير البرمجية لتحميل البرامج والتحكم في اللوحة [1].



الشكل (16) توصيل (Arduino Uno USB)

2.8 الواجهة الرسومية لبيئة التطوير:

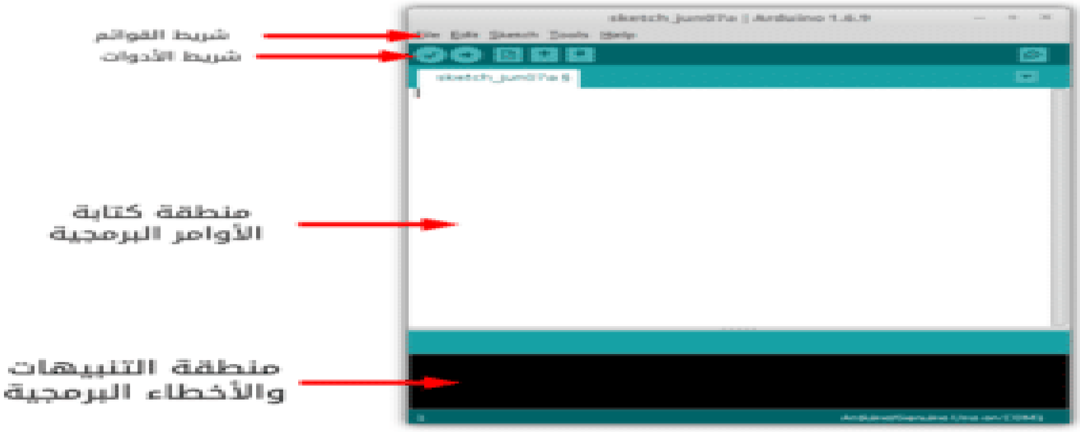
تتكون بيئة التطوير البرمجية من واجهة بسيطة وتنقسم إلى أربعة أجزاء رئيسية: –

أ. **الأول:** شريط القوائم.

ب. **الثاني:** شريط الأوامر السريعة.

ج. **الثالث:** منطقة كتابة الاكواد البرمجية.

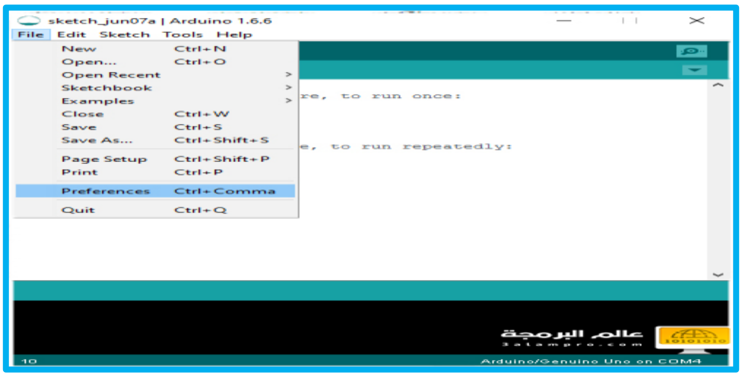
د. **الرابع:** الجزء الخاص بعرض التنبيهات والأخطاء البرمجية في بيئة التطوير.



الشكل (17) الواجهة الرسومية لبيئة التطوير

3.8 تجهيز بيئة التطوير:

تتمثل الخطوة الأولى في تجهيز بيئة التطوير البرمجية في تحديد نوع اللوحة المستخدمة ضمن إعدادات البرنامج. ويتم ذلك من خلال الانتقال إلى قائمة (Tools) ثم اختيار خيار (Board)، ومنه يتم تحديد نوع اللوحة المراد برمجتها. وفي هذا المشروع تم اختيار لوحة (Arduino Uno) كما هو موضح في الشكل (18)، لضمان توافق إعدادات البيئة التطويرية مع خصائص اللوحة المستخدمة.



الشكل (18) تجهيز بيئة التطوير (Arduino Uno)

4.8 المخطط الانسيابي:

الشكل (19) يوضح المخطط الانسيابي العام لعمل النظام المقترح الذي يعتمد على التحكم المزدوج — التلقائي (Autonomous Mode)ويدوي (Manual Mode) بدءًا من عملية التشغيل وحتى الاتصال بخدمات النظام والخطوات التالية توضح فكرة عمل النظام من خلال المخطط الانسيابي:

أ. **مرحلة (Power On → Startup & Initialization):**

تبدأ عملية النظام بتزويده بالطاقة، ثم يقوم المتحكم (Arduino) أو (ESP32) بتهيئة المكونات الأساسية مثل الحساسات والمحركات ووحدات الاتصال (GSM) و(ESP32-CAM).

ب. **مرحلة(Mode Selection):**

في هذه المرحلة يتم تحديد طريقة التشغيل:

1. إذا لم يوجد مشغل النظام يعمل في الوضع التلقائي (Autonomous Mode) .
2. إذا تم اختيار التحكم اليدوي ينتقل إلى الوضع اليدوي (Manual Mode) .

ج. مرحلة (Autonomous Mode) :

يعمل النظام بشكل ذاتي دون تدخل المستخدم، وفق التسلسل التالي:

1. قراءة بيانات حساسات الغاز (MQ-135)، اللهب، الحرارة / الرطوبة (DHT11).
2. في حال وجود عائق يتخذ الروبوت إجراء تجنّب المسار(Obstacle Detected) .
3. في حال ارتفاع الغاز أو اللهب يتم تشغيل المضخة وإطلاق إنذار.
4. بعد معالجة الحالة، يعود النظام إلى نقطة البداية ويستمر في الحلقة(Continue Pattern) .

د. مرحلة (Manual Control):

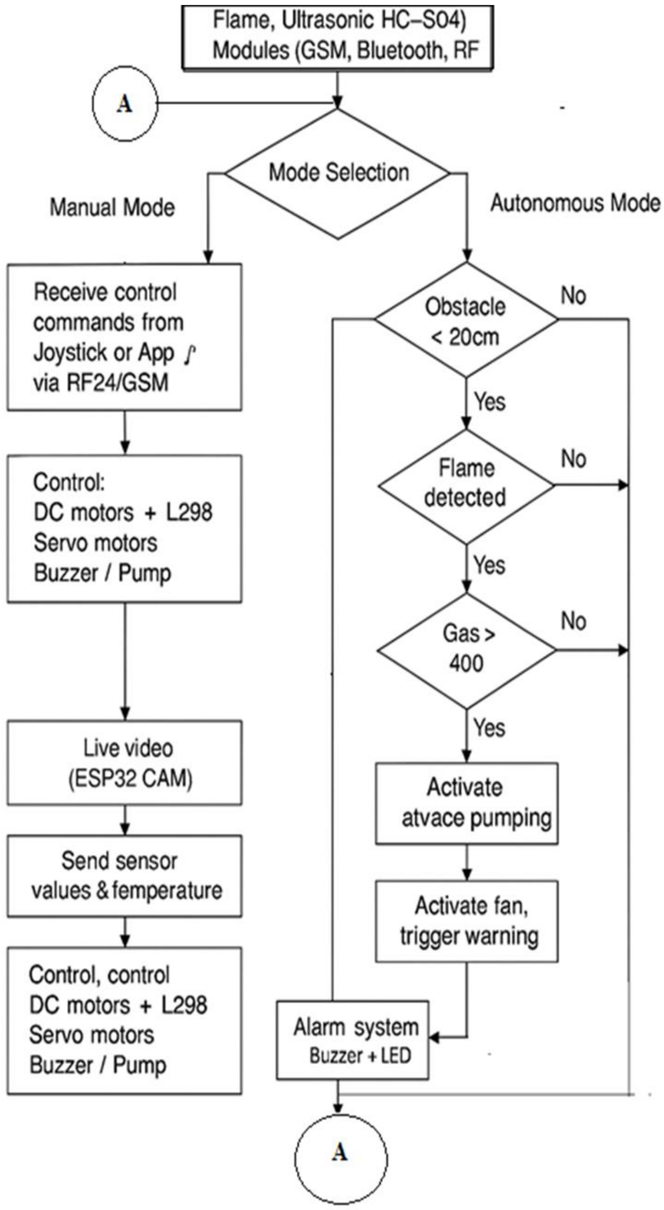
في هذا الوضع يتم التحكم بالنظام عن طريق الهاتف الذكي:

1. استقبال الأوامر (Receive Commands) .
2. تشغيل المحركات (Drive Motors) .
3. تحريك الذراع الآلية (Control Servo Arm) .
4. تشغيل المضخة أو الانذار (Activate Pump/Alert) .

هـ. مرحلة ((ESP32-CAM) Command Services & Live Video):

في نهاية المخطط، يتم ربط النظام بوحدة الخدمات المشتركة التي تشمل:

1. بث فيديو مباشر من الكاميرا (Live Video – ESP32-CAM) .
2. إرسال البيانات والحالة عبر الشبكة(GSM / Wi-Fi Communication) .



الشكل (19) المخطط الانسيابي للمشروع

5.8 واجهة المراقبة عبر(ESP32-CAM):

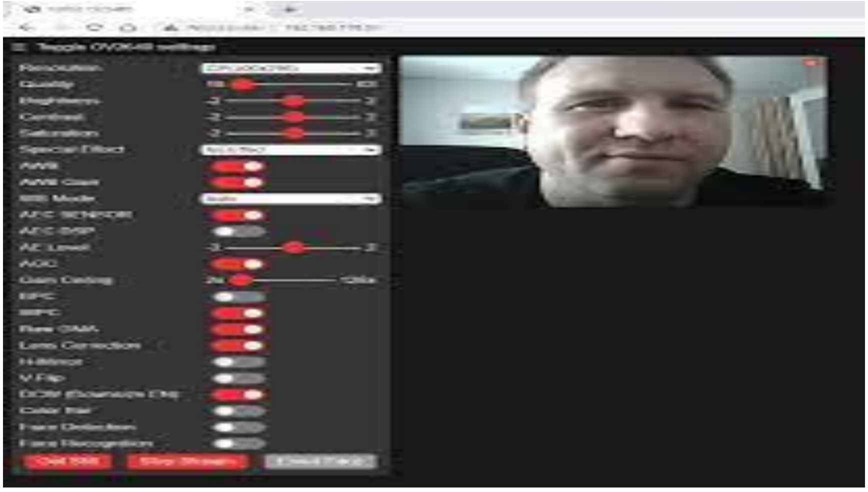
تمثل وحدة (ESP32-CAM)العنصر المسؤول عن التقاط الصور والبث المرئي في النظام، حيث تمت برمجتها لتعمل كخادم مصغّر (Web Server) يتيح للمستخدم مراقبة المكان أو الروبوت مباشرة من خلال متصفّح الويب على أي جهاز متصل بنفس الشبكة اللاسلكية.

بعد تشغيل النظام ونجاح الاتصال بالشبكة، يتم عرض واجهة بسيطة عند فتح عنوان الـ (IP Address) الخاص بالوحدة داخل المتصفح كما هو مبين في الشكل (20)، وتحتوي هذه الواجهة عادة على:

أ. بث مباشر للفيديو من الكاميرا (Live Stream) .

ب. زر لالتقاط صورة (Capture) .

ج. معلومات عن دقّة الصورة والإعدادات الحالية.



الشكل (20) واجهة المراقبة الخاصة بوحدة ESP32-CAM أثناء بث الفيديو الحيّ.

6.8 تحديد عنوان الـ (IP Address):

عند تشغيل البرنامج على وحدة (ESP32-CAM)، تقوم الوحدة بالاتصال بشبكة الـ (Wi-Fi) المحددة في الكود البرمجي عبر الأوامر التالية:

```
WiFi.begin("اسم_الشبكة", "كلمة_المرور");
while (WiFi.status()! = WL_CONNECTED) {
  delay (500);
  Serial.print(".");
}
Serial.println(WiFi.localIP());
```

بعد الاتصال بنجاح، يقوم البرنامج بطباعة عنوان ال (IP) في شاشة الـ (Serial Monitor)الخاصة ببرنامج (Arduino IDE)، مثل المثال التالي:

```
Connecting to Wi-Fi....
Connected successfully!
Camera Ready! Use 'http://192.168.1.104' to connect
```

من خلال هذا العنوان مثل (192.168.1.104)يمكن فتح المتصفح على أي جهاز متصل بنفس الشبكة، وإدخاله في شريط العنوان للوصول إلى واجهة الكاميرا ومتابعة البث كما هو موضح في الشكل (21).

الشكل (21) عنوان الـ IP الذي يتم عرضه في واجهة الـ Serial Monitor بعد الاتصال بالشبكة.

9- التجارب العملية

1.9 المقدمة:

في هذه المرحلة تم تجميع العناصر الحقيقية للدائرة بعد التأكد من ملأمتها مع بعضها البعض من حيث قيم التيارات و الجهود و ذلك بالرجوع الى (DATA SHEET) لكل قطعة.

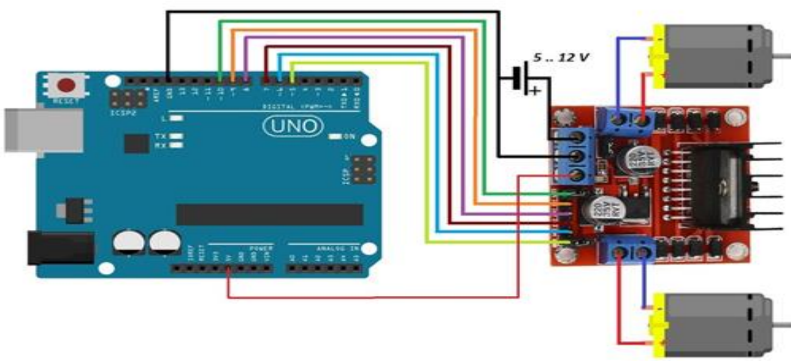
9 التجارب العملية للمشروع:

تم في هذا المشروع استخدام مجموعة من القطع الإلكترونية التي تم اختيارها بعناية لتلبية متطلبات الدقة، الكفاءة، والاستقرار أثناء التشغيل حيث تم اختيار هذه القطع وفق معايير أكاديمية وهندسية تراعي قابلية التكامل البرمجي، انخفاض استهلاك الطاقة، وسهولة الصيانة والاستبدال، بما يضمن استمرارية التشغيل حتى في الظروف البيئية القاسية وإعطاء النتائج المناسبة.

1.2.9 التجربة (1): توصيل لوحة الاردوينو مع دائرة قيادة المحركات (L298n):.

الشكل التخطيطي:

يوضح الشكل (22) توصيل المحرك الكهربي مع لوحة (H-Bridge).



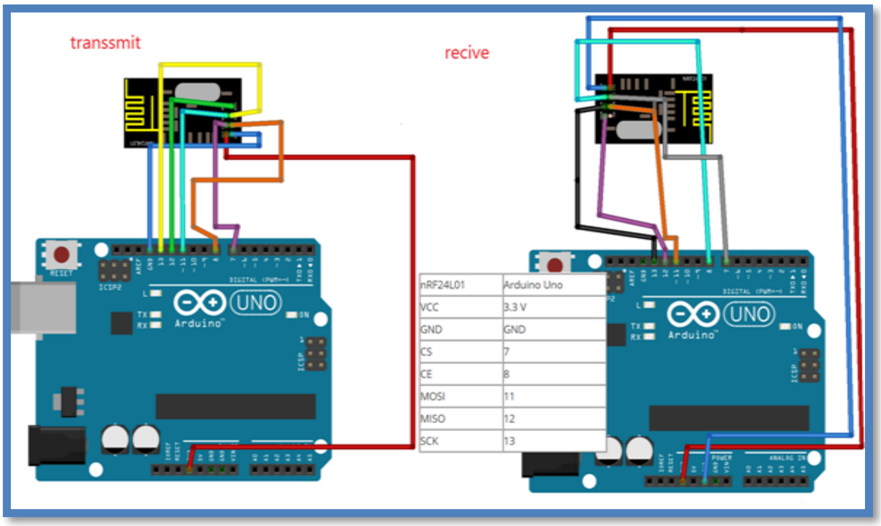
الشكل (22) يبين توصيل المحرك الكهربي مع الاردوينو عن طريق (H-Bridge)

2.2.9 التجربة (2): توصيل وحدتي NRF24L01 (مرسل ومستقبل):

تم توصيل وحدتين من (NRF24L01) مع لوحتين (Arduino Uno)، حيث تم إعداد اللوحة الأولى كمرسل (Transmitter) لإرسال بيانات نصية، بينما تم إعداد الثانية كمستقبل (Receiver) لعرض البيانات على الشاشة التسلسلية (Serial Monitor)

الشكل التخطيطي:

يبين الشكل (23) كيفية توصيل دوائر المرسل والمستقبل.



الشكل (23) توصيل دوائر المرسل والمستقبل

3.2.9 التجربة (3): توصيل وحدة حساس اللهب مع لوح الاردوينو(UNO):

الشكل التخطيطي:

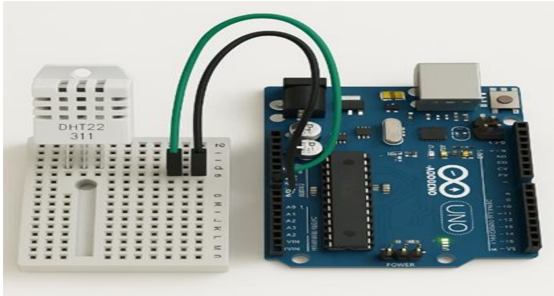
الشكل (24) يوضح كيفية توصيل وحدة كاشف اللهب مع لوحة الاردوينو(Uno).

الشكل (24) توصيل وحدة كاشف اللهب مع لوحة الاردوينو(Uno)

4.2.9 التجربة(4): توصيل حساس الرطوبة و الحرارة (DHT-11) مع لوح الاردوينو(Uno):

الشكل التخطيطي:

الشكل (25) يوضح طريقة توصيل حساس الرطوبة والحرارة (DHT-11) مع لوحة الأردوينو.

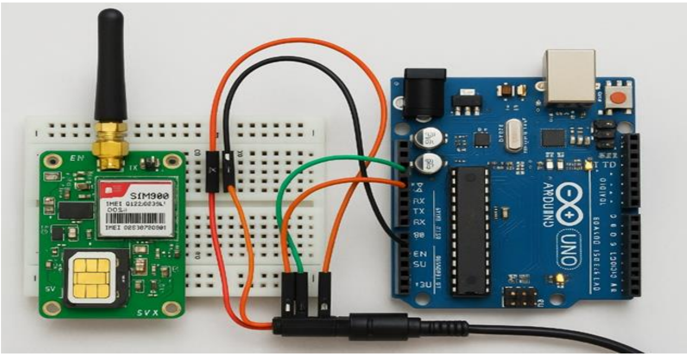


الشكل (25) توصيل حساس الرطوبة والحرارة (DHT-11) مع لوح الاردوينو(uno)

5.2.9 التجربة(5): توصيل وحدة (SIM900 GSM/GPRS) مع لوحة اردوينو اونو:

الشكل التخطيطي:

يوضح الشكل (26) كيفية توصيل وحدة (SIM900 GSM/GPRS) مع لوحة اردوينو (UNO)



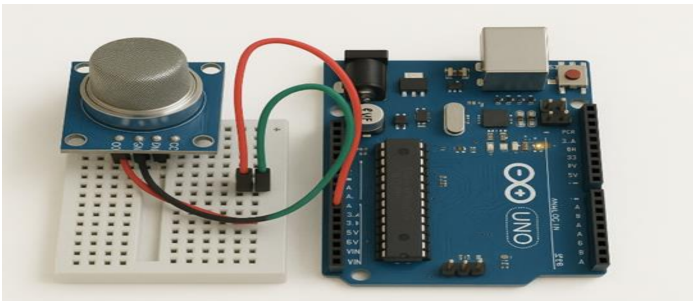
.

الشكل (26) توصيل وحدة (SIM900 GSM/GPRS) مع لوحة اردوينو (UNO)

6.2.9 التجربة (6) : توصيل حساس الغاز (MQ-135) مع لوحة اردوينو اونو:

الشكل التخطيطي:

يوضح الشكل (27) كيفية توصيل حساس الغاز(MQ-135) مع لوحة اردوينو (UNO).



الشكل (27) توصيل حساس الغاز (MQ-135) مع لوحة اردوينو (UNO)

7.2.9 التجربة (7): توصيل وحدة الانذار (Buzzer) مع لوحة اردوينو اونو:

الشكل (28) توصيل وحدة الانذار (Buzzer) مع لوحة اردوينو اونو

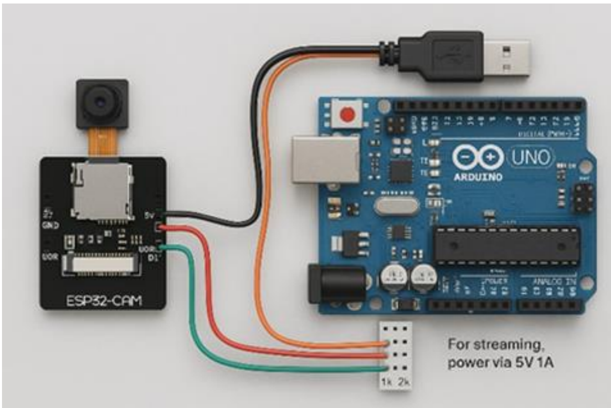
8.2.9 التجربة(8) : توصيل وحدة (ESP32-CAMERA) مع لوحة اردوينو اونو:

تمت برمجة وحدة ESP32-CAM (AI Thinker) باستخدام بيئة التطوير Arduino IDE بعد تحديد نوع اللوحة من قائمة الإعدادات. تم رفع البرنامج إلى الوحدة عبر محوّل USB-to-TTL باستخدام المنافذ التسلسلية (TX وRX) ثم بعد إتمام الاتصال بالشبكة اللاسلكية (Wi-Fi)، بدأت الوحدة ببث الفيديو مباشرة من خلال عنوان IP الذي ظهر في شاشة Serial Monitor. كما تم دمج الوحدة مع لوحة Arduino Uno لتبادل البيانات البسيطة، مثل قراءة القيم من الحساسات أو استقبال أوامر تشغيل الكاميرا، وذلك عبر بروتوكول الاتصال التسلسلي (UART).

الشكل (29) عرض عنوان IP في نافذة الـ Serial Monitor .

الشكل التخطيطي:

يبين الشكل (30) كيفية توصيل وحدة (ESP32- CAM) مع لوحة اردوينو (UNO)



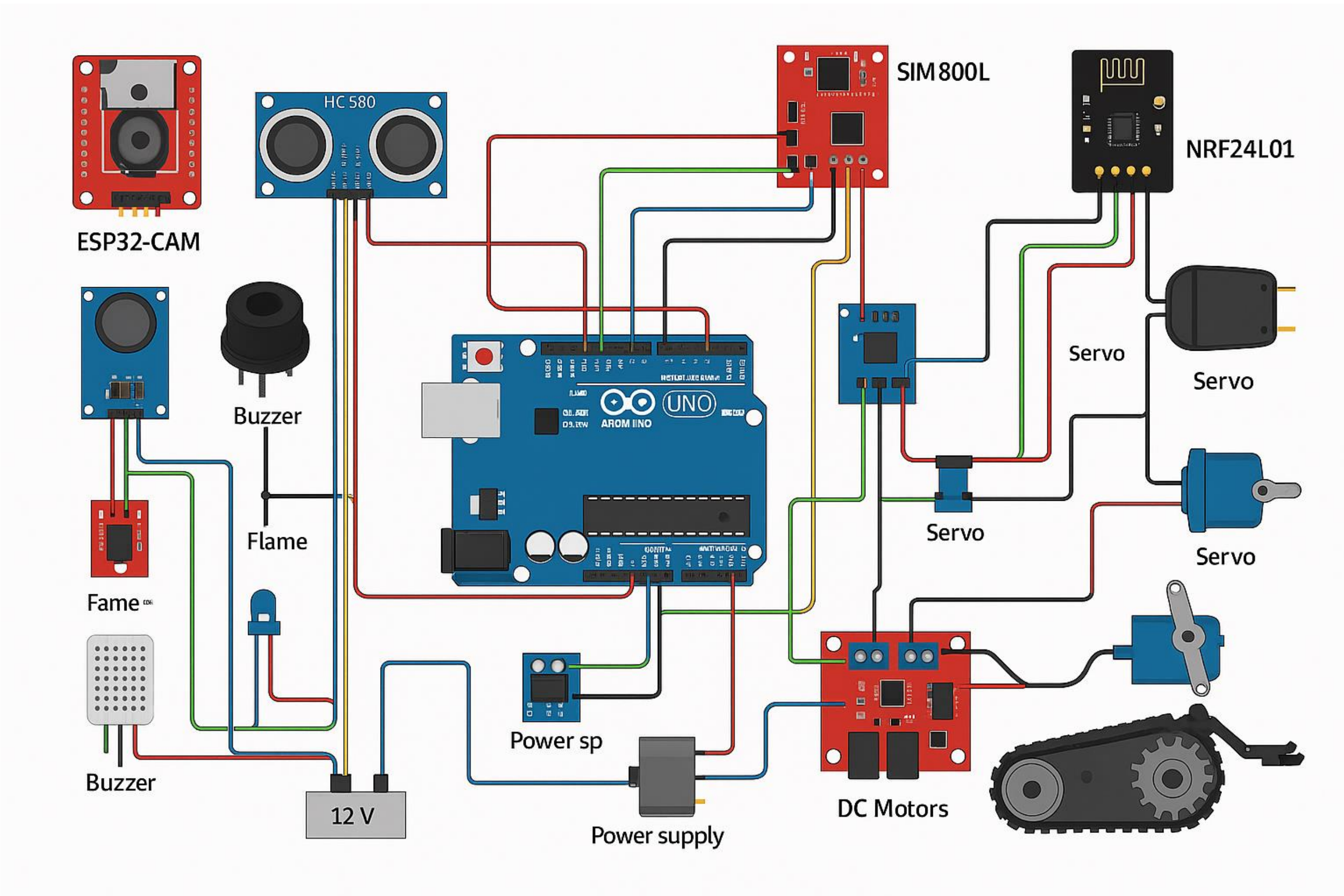
الشكل (30) توصيل وحدة (ESP32- CAM) مع لوحة اردوينو (UNO) .

9.2.9 التجربة(9) : توصيل حساس الموجات فوق الصوتية (HC-SR04) مع لوحة اردوينو (UNO):

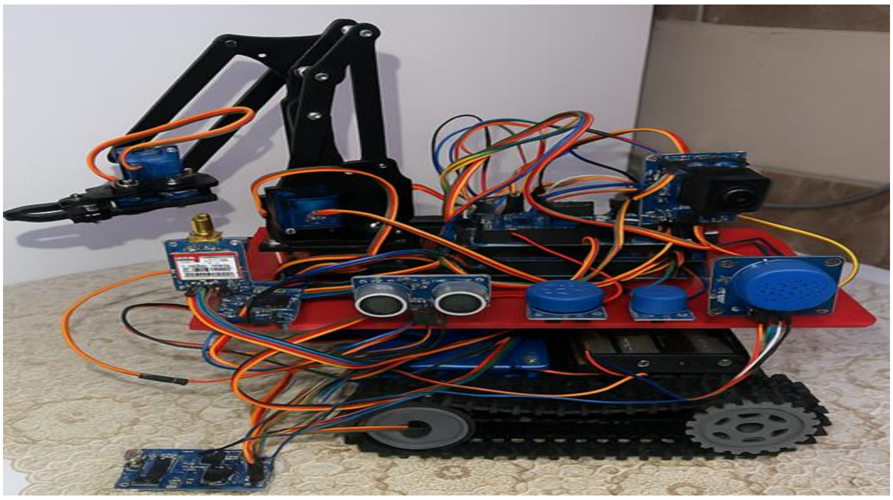
الشكل (31) توصيل وحدة (HC-SR04) مع لوحة اردوينو (UNO)

3.9 الشكل النهائي للمشروع:

يمثل الشكل (32) دائرة التوصيل الكاملة للنظام الذكي المقترح، حيث يتضح ارتباط وحدة التحكم (Arduino Uno) بجميع الحساسات ووحدات الاتصال والمشغلات، يتصل حساس الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic) لقياس المسافة، و DHT- 11 لمتابعة الحرارة والرطوبة، وحساس (MQ-135) لاكتشاف الغازات، إضافة إلى حساس اللهب (Flame Sensor)للكشف عن اللهب كما يوضح الشكل (32) توصيل وحدة القيادة (L298N) بالمحركات لتوفير الحركة، مع وجود وحدة انذار (Buzzer) يصدر التنبيهات الصوتية. أما وحدة (ESP32-CAM) فتعمل على بث الفيديو المباشر، بينما تتيح وحدات (GSM ,wi-fi , NRF24L01)إمكانية التواصل والتحكم عن بعد، يُظهر الشكل أيضًا توصيل محركات السيرفو الخاصة بالذراع الروبوتية، وجميع العناصر تعمل بجهد مستقر من البطارية عبر الأردوينو لضمان الأداء المتكامل للنظام.



الشكل (32) عناصر المشروع بالكامل



الشكل (33) الشكل النهائي للمشروع

10- الخلاصة:

تم تصميم وتنفيذ نموذج أولي لروبوت إنقاذ ذكي متعدد الوظائف، قادر على دعم فرق الإنقاذ في البيئات الخطرة والمعقدة. تم دمج مكونات ميكانيكية وإلكترونية متنوعة مثل محركات الـ DC والسيرفو، وحساسات اللهب والغازات والحرارة والرطوبة والموجات فوق الصوتية، إضافة إلى وحدات الاتصال (WI-FI، GSM، ESP32-CAM). هذا التكامل أتاح للروبوت القدرة على الحركة بمرونة، اكتشاف الحرائق والغازات السامة، إرسال بيانات وصور حية لمراكز القيادة، والتدخل المباشر عبر تشغيل مضخة لإطفاء الحرائق أو تحريك العوائق الخفيفة. كما أثبتت التجارب أن النظام قادر على التمييز بين أنماط العمل (يدوي/تلقائي)، واتخاذ القرارات بشكل ذاتي في الحالات الطارئة، مما يرفع من كفاءته التشغيلية ويقلل من المخاطر البشرية في الميدان.

11- التوصيات والعمل المستقبلي:

أ. **تطوير البرمجيات** :يُوصى بتوسيع خوارزميات التحكم الذاتي باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لزيادة قدرة الروبوت على التكيف مع البيئات المتغيرة والتنبؤ بالمخاطر.

ب. **تعزيز أنظمة الطاقة** :يُنصح باستخدام وحدات طاقة أكثر كفاءة (مثل بطاريات ليثيوم بوليمر) مع منظومة لإدارة الطاقة تضمن استمرارية التشغيل لفترات أطول.

ج. **تطوير الهيكل الميكانيكي** :تحسين تصميم الهيكل ليكون أكثر مقاومة للصدمات والتضاريس الوعرة، مع إضافة عجلات أو سيور أكثر مرونة.

د. **زيادة قدرات الاتصال** :إضافة دعم لشبكات إنترنت الأشياء (IoT) لتوسيع نطاق التحكم والإشراف عن بُعد.

هـ - **اختبارات ميدانية موسعة** :إجراء المزيد من الاختبارات في بيئات حقيقية لمحاكاة الكوارث، مثل الأنقاض والمباني المتضررة، للتحقق من الاعتمادية العملية للنظام.

هـ. **السلامة والتكامل** :دمج أنظمة أمان إضافية مثل خاصية الإيقاف الطارئ عن بُعد، وربط الروبوت مع أنظمة طائرات بدون طيار لتوسيع نطاق عمليات البحث والإنقاذ.

و. **الجانب الاقتصادي** :الاستمرار في اعتماد مكونات مفتوحة المصدر ومنخفضة التكلفة، مع دراسة إمكانية التصنيع المحلي لتقليل التكلفة وزيادة قابلية الصيانة والتطوير.

12- *المراجـــــع:*

1- Abdulrazigh, M., Awami, A. I., & Khairalla, M. A. A. (2026). The role of artificial intelligence in developing applied engineering education and electrical engineering skills in Libyan technical colleges. مجلة العلوم الشاملة 10(39).

2- Abdullah, A. A. (2014). Arduino simply [كتاب أردوينو ببساطة] (pp. 15–120).

3- Alwaer, T. A. (2026). Cloud-based internet of things: Technologies, applications, and future perspectives. مجلة العلوم الشاملة 10(39).

4- Arduino. (n.d.). Arduino official documentation.

5- BDE Manufacturing Technologies. (n.d.). Applications of CNC machining in modern industry.

6- Espressif Systems. (2023). ESP32 technical reference manual (pp. 30–350).

Monk, S. (2016). Programming Arduino: Getting started with sketches (2nd ed.).

7- الذئب، م .أ. ع. (2021). إنترنت الأشياء ودورها في التنمية المستدامة في المجال الصحي في الدولة الليبية . مجلة العلوم الشاملة، 18(21)، .30–45

8- سميحة، س .م. (2025). أثر تطبيقات الذكاء الاصطناعي على إدارة الموارد البشرية: الفرص، التحديات، والتحول المستقبلي . (2025). *مجلة العلوم الشاملة*، *10*(37), 490–502. https://doi.org/10.65405/.v10i37.416

9- Design of a simple robot for the repair process of industrial piping systems. (2026). مجلة العلوم الشاملة، 10(39)، https://doi.org/10.65405/czsfkm43. 1217–1223.

10- عبيد , حلومة . التصميم الداخلي المستقبلي توقعات ومخاوف بشأن دمج الذكاء الاصطناعي في المنازل الذكية. (2025). *مجلة العلوم الشاملة*، *10*(38), 2122–2149. https://doi.org/10.65405/8h2q9y21

11- IEEE. (2020). *Internet of things (IoT): Standards and applications* (pp. 50–300). Institute of Electrical and Electronics Engineers.

12- رزق، م. أ. (2017). *التحكم في الأنظمة باستخدام الأردوينو* (ص ص 16–30.