



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

هندسة الحواسيب والأتمتة

نظام اكتشاف حرائق الغابات باستخدام شبكة الحساسات اللاسلكية

مشروع تخرج أعد لنيل درجة الإجازة في هندسة الحواسيب والأتمتة

إعداد الطلاب:

محمد خضر الحجار

عباده خالد الطرزي

محمد عزت محمد معتز القوادري

محمد رياض الدويش

بإشراف:

الدكتور سامي العيسى

العام الدراسي

2024 – 2023

الفهرس

1.....	الفهرس
4.....	قائمة الاشكال
5.....	قائمة الجداول
6.....	جدول المصطلحات
7.....	الملخص
8.....	المقدمة
9.....	الفصل الأول دراسة المشكلة وتحليلها.....
10.....	1-1 المقدمة
10.....	1-2 مشكلة البحث وأهميته
10.....	1-3 أهداف البحث
11.....	1-4 الأعمال المشابهة
11.....	1-5 هيكلية البحث
12.....	1-6 خاتمة
13.....	الفصل الثاني منهج البحث والحلول التي توصل اليها.....
14.....	1-2 المقدمة
14.....	2-2 وصف الطريقة المقترحة
16.....	3-2 المكونات والتقنيات
17.....	2-3-1 جهاز الاستشعار
17.....	2-3-2 1-1 آلية العمل:
18.....	2-3-2 2-1 مكونات الجهاز:
32.....	2-3-2 2-3 جهاز بوابة الإرسال Gateway:
33.....	2-3-2 1-2 آلية العمل:

33.....	Backend Application :التطبيق الخلفي: 3-3-2
34.....	1-3-3-2 إطار العمل Symfony: 3-3-2
34.....	4-3-2 تطبيق مساعد لفرق الإطفاء: 3-3-2
35.....	1-4-3-2 إطار عمل Flutter: 3-3-2
35.....	2-4-3-2 بنية التطبيقات: 3-3-2
36.....	5-3-2 لوحة التحكم Dashboard: 3-3-2
37.....	4-2 خاتمة: 3-3-2
38.....	الفصل الثالث القسم العملي: 3-3-2
39.....	1-3 مقدمة: 3-3-2
39.....	2-3 جهاز الاستشعار 3-3-2
39.....	1-2-3 مرحلة التصميم: 3-3-2
43.....	2-2-3 مرحلة التنفيذ: 3-3-2
43.....	3-3 جهاز بوابة الارسال GATEWAY: 3-3-2
43.....	1-3-3 مرحلة التصميم: 3-3-2
44.....	2-3-3 مرحلة التنفيذ: 3-3-2
44.....	4-3 التطبيق الخلفي BACKEND: 3-3-2
44.....	1-4-3 مرحلة التصميم: 3-3-2
49.....	2-4-3 مرحلة التنفيذ: 3-3-2
49.....	1-2-4-3 اختبار APIs: 3-3-2
51.....	5-3 لوحة التحكم: 3-3-2
51.....	1-5-3 مرحلة التصميم: 3-3-2
51.....	2-5-3 مرحلة التنفيذ: 3-3-2
51.....	3-5-3 الشكل النهائي للوحة التحكم: 3-3-2
58.....	5-3 تطبيق فرق الاطفاء: 3-3-2
58.....	1-5-3 مرحلة التصميم: 3-3-2

59.....	2-5-3 مرحلة التنفيذ:
59.....	1-2-5-3 قسم تسجيل الدخول
60.....	2-2-5-3 القسم الرئيسي
61.....	3-2-5-3 قسم اعدادات التطبيق والملف الشخصي
61.....	6-3 الخاتمة:
62.....	الخلاصة والمقترحات المستقبلية
63.....	المراجع

قائمة الاشكال

- الشكل 1-2 خطوات تنفيذ الحل المقترح..... 14
- الشكل 2-2 مخطط صندوقي للأدوات المستخدمة في تنفيذ هذا المشروع..... 17
- الشكل 3-2 مخطط صندوقي يوضح مكونات جهاز الاستشعار..... 19
- الشكل 4-2 صورة توضح الشكل الخارجي للوح التطويري ESP32..... 19
- الشكل 5-2 مخطط صندوقي يصف وظائف ESP32..... 21
- الشكل 6-2 صورة توضح الشكل الخارجي لوحدة الاتصال LORA..... 22
- الشكل 7-2 صورة توضح أنواع شبكات LORA [7]..... 23
- الشكل 8-2 بعض تقنيات الاتصال اللاسلكية من حيث مجالات النقل مقابل المجال الترددي..... 24
- الشكل 9-2 صورة توضح الشكل الخارجي لحساس DHT11..... 25
- الشكل 10-2 حساس الغاز MQ-9..... 26
- الشكل 11-2 صورة توضح الشكل الخارجي لبطارية LIPO..... 28
- الشكل 12-2 صورة توضح الشكل الخارجي لدارة الشحن..... 29
- الشكل 13-2 دورة شحن كاملة لبطارية من حجم 1000 ميلي امبير..... 30
- الشكل 14-2 صورة توضح الشكل الخارجي لدارة XL6009..... 31
- الشكل 15-2 صورة توضح الشكل الخارجي لخلية شمسية..... 31
- الشكل 16-2 صورة توضح توضع بوابة الارسال ضمن الشبكة..... 32
- الشكل 17-2 مخطط يشرح بنية CLEAN ARCHITECTURE [7]..... 36
- الشكل 1-3 مخطط SCHEMATIC يصف الدارة المطبوعة..... 40
- الشكل 2-3 التصميم النهائي للدارة المطبوعة..... 40
- الشكل 3-3 مخطط يصف الشكل ثلاثي الأبعاد..... 41
- الشكل 4-3 مخطط يصف الشكل ثلاثي الأبعاد..... 42
- الشكل 5-3 دارة جهاز الاستشعار بعد طباعتها..... 43

45	الشكل 3-6 مخطط يصف حالات استخدام النظام
46	الشكل 3-7 مخطط يصف صفوف النظام
47	الشكل 3-8 مخطط يصف علاقات كيانات النظام
48	الشكل 3-9 مخطط نشاط النظام
50	الشكل 3-10 واجهة SWAGGER UI
50	الشكل 3-11 واجهة SWAGGER UI
51	الشكل 3-12 الصفحة الرئيسية
53	الشكل 3-13 صفحة الحرائق
54	الشكل 3-14 صفحة المهام
54	الشكل 3-15 صفحة فرق الاطفاء
55	الشكل 3-16 قيم أجهزة الاستشعار
56	الشكل 3-17 صفحة الغابات
57	الشكل 3-18 صفحة مراكز الاطفاء
58	الشكل 3-19 صفحة أجهزة الاستشعار
59	الشكل 3-20 واجهات قسم تسجيل الدخول
60	الشكل 3-21 واجهات القسم الرئيسي
61	الشكل 3-22 قسم إعدادات التطبيق والحساب الشخصي

قائمة الجداول

18	الجدول 2-1 شكل كل غرض يخزن في ملف JSON
26	الجدول 2-2 معلومات تفصيلية حول حساس DHT
27	الجدول 2-3 معلومات تفصيلية عن حساس الغاز

جدول المصطلحات

Application Programming Interface	API
Digital Humidity and Temperature Sensor	DHT Sensor
Entity–Relationship Diagram	ERD
Hypertext transfer protocol	HTTP
Identifier	ID
Internet of Things	IoT
JavaScript Object Notation	JSON
Lithium Polymer	LiPo
Long Range Wide Area Network	LoRaWAN
Model–View–Controller	MVC
portable document format	PDF
Printed Circuit Board	PCB
Sequential Query Language	SQL
Wireless Fidelity	WIFI
Wireless Sensor Network	WSN

الملخص

يواجه رجال الإطفاء تحديات كبيرة ومتعددة منها عدم وصول تنبيه بوجود حريق لمراكز الإطفاء الا بعد مضي وقت كبير، وعدم القدرة على تحديد موقع الحريق بدقة، إضافة الى عدم وجود تقنية تساعد على اكتشاف الحرائق في وقت مبكر. يقترح المشروع حلاً باستخدام أجهزة كشف خاصة تعتمد على شبكة من الحساسات اللاسلكية (WSN) وتقنية إنترنت الأشياء (IoT) وبروتوكول الاتصال بعيد المدى (LoRa) لإرسال البيانات.

تحتوي أجهزة الكشف على لوحات تحكم ESP32، وحدات اتصال LoRa، وحساسات DHT11 و MQ9 لقياس الرطوبة ودرجة الحرارة وانبعاثات الغاز، بالإضافة إلى بطارية ليثيوم بوليمر (LiPo) ولوح شمسي. تُرسل البيانات إلى لوحة التحكم (Dashboard) عبر شبكة LoRaWAN باستخدام بروتوكول HTTP وتُخزن القيم في قاعدة بيانات SQL. بالإضافة لتطبيق موبايل مخصص لفرق الإطفاء، مما يمكنهم من التنقل بكفاءة إلى مواقع الحرائق باستخدام الخرائط الإلكترونية. يمكن اكتشاف الدخان والغاز الناتجين عن الحرائق بأسرع وقت ممكن، مما يمنح رجال الإطفاء وقتاً إضافياً لوقف انتشار الحرائق وإطفائها.

المقدمة

حرائق الغابات تُعتبر من أخطر الكوارث الطبيعية التي تهدد البيئة والمجتمعات حول العالم، حيث تؤثر بشكل كبير على الغطاء النباتي، والتنوع البيولوجي، وسبل العيش، بالإضافة إلى الخسائر الاقتصادية الكبيرة المرتبطة بعمليات الإطفاء والخسائر البشرية المحتملة. بلدنا سوريا ليست بمنأى عن هذه الكارثة، حيث شهدت في السنوات الأخيرة العديد من الحرائق التي تسببت في أضرار مادية وبيئية هائلة. هذه الحرائق، التي كان بعضها ناجماً عن عوامل بشرية وأخرى طبيعية، انتشرت بشكل واسع نظراً للتأخر في الكشف عنها وعدم القدرة على السيطرة عليها في الوقت المناسب.

وفي بداية القرن العشرين، كانت الغابات تغطي حوالي 32% من الأراضي السورية، إلا أن هذه النسبة تراجعت بشكل حاد لتصل إلى أقل من 2.8% من إجمالي الأراضي في السنوات الأخيرة. تشير التقديرات إلى أن مساحة الغابات في سوريا قد انخفضت بأكثر من ربع خلال العقد الماضي، حيث فقدت البلاد ما يزيد عن 140 ألف هكتار من الغابات. وفقاً للنظام الأوروبي لمعلومات حرائق الغابات (EFFIS)، فقدت سوريا ما يقرب من 130 ألف هكتار من الغابات بين عامي 2008 و2018، ما يعادل حوالي 23-25% من مساحة الغابات السورية. في عام 2020 وحده، شهدت سوريا موجتين من الحرائق، إحداها أثرت على حوالي 9000 هكتار في أغسطس وسبتمبر، والأخرى في أكتوبر أثرت على حوالي 18 ألف هكتار من الأراضي الزراعية والغابات، مما أدى إلى تدمير مساحات شاسعة من الأشجار المثمرة مثل الزيتون والحمضيات وأثر على آلاف العائلات.

بناءً على هذه الوقائع، يهدف مشروعنا إلى إنشاء نظام متطور يعتمد على أحدث التقنيات للكشف المبكر عن حرائق الغابات، وتوفير تنبيهات سريعة لمراكز الإطفاء، مما يساهم في إدارة أكثر فعالية للحرائق والسيطرة عليها في الوقت المناسب.

الفصل الأول دراسة المشكلة وتحليلها

1-1 المقدمة

تشكل حرائق الغابات تهديدا كبيرا للنظم البيئية والحياة البرية وحياة الإنسان، مما يجعل الكشف المبكر والتدخل في الوقت المناسب أمراً بالغ الأهمية، لذلك سوف نسلط الضوء في هذا الفصل على هذه المشكلة، أيضاً سوف نعرض أهداف البحث وبعض الدراسات المتعلقة بمجال الموضوع المقترح وطريقة حلهم للمشكلة.

2-1 مشكلة البحث وأهميته

تدمر حرائق الغابات آلاف الهكتارات حول العالم كل عام، مما يتسبب في خسائر مأساوية للمنازل والممتلكات والأرواح والحيوانات والنباتات. تُشكل الحرائق تهديداً كبيراً للغابات وحماية البيئة. كانت هذه المشكلة محل اهتمام وبحث لسنوات، وهناك عدد من الحلول المتاحة لحل هذه المشكلة. تلعب الغابات دوراً حيوياً في الحفاظ على التوازن البيئي للأرض. لسوء الحظ، لا يتم ملاحظة حرائق الغابات عادةً إلا عندما تنتشر بالفعل على مساحة كبيرة، مما يجعل السيطرة عليها وإيقافها أمراً شاقاً وحتى مستحيلاً في بعض الأحيان. والنتيجة هي ضرر لا يمكن إصلاحه للغلاف الجوي والبيئة، حيث ينتج 30% من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عن حرائق الغابات. من بين العواقب الأخرى لحرائق الغابات الآثار الكارثية طويلة المدى مثل التأثيرات على أنماط الطقس المحلية والاحتباس الحراري وانقراض الأنواع النادرة من النباتات والحيوانات. من خلال الكشف عن الحرائق بسرعة ودقة وتوفير إشعار تحذيري مبكر، يمكن لنظام الكشف عن الحرائق الحد من انبعاث الغازات السامة الناتجة عن الاحتراق، فضلاً عن الغازات المسببة للاحتباس الحراري التي تنتجها الحرائق نفسها. غالباً ما يتم تجاهل هذه التأثيرات البيئية، ولكنها تحدث بلا شك في جميع سيناريوهات الحرائق. لذلك، فإن تقليل احتمالية اندلاع حريق يشكل جزءاً مهماً من الحفاظ على البيئة.

3-1 أهداف البحث

يهدف هذا المشروع إلى توفير حل متكامل وذكي للوقاية من حرائق الغابات وإدارتها من خلال الاستفادة من التقنيات المتقدمة والأساليب القائمة على تحليل البيانات. مما يؤدي الى المساهمة في الكشف المبكر عن الحرائق، والاستجابة السريعة.

1-4 الأعمال المشابهة

تناولت دراسات مختلفة قام بها عدة مؤلفين جوانب متعددة من اكتشاف الحرائق والتنبؤ بها باستخدام تقنيات ومنهجيات متنوعة. هدفت دراسة Sannigrahi et al., 2020 [1] إلى فحص تأثيرات حرائق الغابات باستخدام الاستشعار عن بعد عبر الأقمار الصناعية ومعالجة البيانات باستخدام Google Earth Engine ، ولكنها واجهت تحديات تتعلق بالتكلفة العالية للبنية التحتية. بينما ركزت دراسة Tsipis et al., 2020 [2] على التنبؤ بحرائق الغابات باستخدام أجهزة استشعار لدرجة الحرارة والرطوبة والتواصل عبر Digi XBee , ZigBee مع استخدام الحوسبة السحابية، لكنها كانت محدودة بمدى البروتوكول. تناولت دراسة Kaur, 2019 [3] التنبؤ المبكر بحرائق الغابات باستخدام أجهزة استشعار للرياح والرطوبة ودرجة الحرارة والتواصل عبر Zigbee مع حوسبة سحابية، لكنها كانت محدودة بنطاق النقل القصير. اهتمت دراسة Sarojadevi [4] et al., 2019 بالكشف في الوقت الحقيقي عن الحرائق وقطع الأشجار باستخدام أجهزة استشعار الضوء والدخان والتواصل عبر Wi-Fi، وكانت التحديات تتعلق بمدى الاتصال. ركزت دراسة Niranjana, [5] 2018 على اكتشاف حوادث الحرائق باستخدام أجهزة استشعار مختلفة والتواصل عبر GSM، لكنها كانت تواجه استهلاكاً عالياً للطاقة. ركزت دراسة Ahlawat and Chauhan, 2020 [6] على اكتشاف الحرائق باستخدام ESP 8266 Wi-Fi، وكانت التحديات تتعلق بالاعتماد على الاتصال بالإنترنت.

1-5 هيكلية البحث

تم تقسيم هذه الأطروحة إلى عدة فصول، حيث يتناول الفصل الأول دراسة المشكلة وتحليلها، ويصف هذا الفصل مشكلة البحث وأهميته والأهداف المرجوة منه مع استعراض لبعض الأعمال السابقة. أما الفصل الثاني بعنوان "منهج البحث والحلول التي توصل إليها"، فيتضمن طريقة الحل المقترحة ومكونات هذا الحل. ويأتي الفصل الثالث بعنوان "القسم العملي"، حيث يعرض نتائج تطبيق وتنفيذ الحل المذكور في الفصل الثاني، بالإضافة إلى نتائج البحث والتوصيات المستقبلية.

6-1 خاتمة

النظام المقترح سيمكن مراكز الإطفاء من اتخاذ إجراءات سريعة وتنبيهات فورية، مما يقلل من مخاطر حرائق الغابات ويحافظ على الموارد الطبيعية. رغم أن النظام لا يزال قيد التطوير، إلا أنه يمثل ثورة في جهود الوقاية من حرائق الغابات وإدارتها وبأقل تكلفة ممكنة.

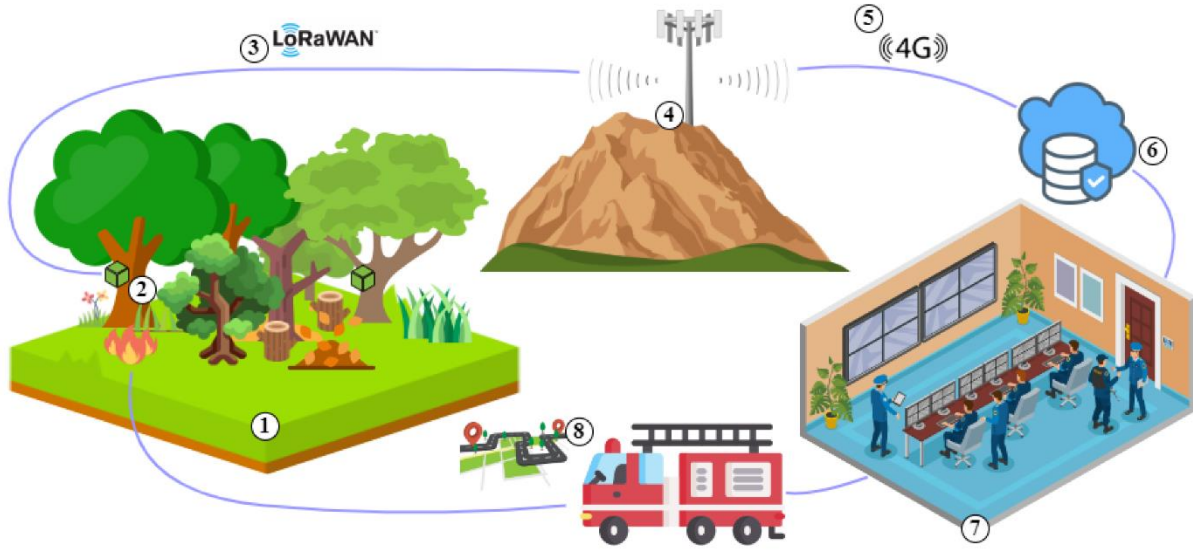
الفصل الثاني منهج البحث والحلول التي توصل اليها

1-2 المقدمة

في هذا القسم، سنقدم منهجية الحل وكيفية تنفيذ المشروع، بالإضافة إلى الأدوات المستخدمة فيه. سنبدأ بشرح طريقة الحل، ثم سنقوم بتفصيل مكونات هذا الحل ودور كل مكون فيه. ستتضمن هذه الفقرة أيضًا عدة فقرات جانبية، بما في ذلك فقرة تشرح بنية جهاز الاستشعار المستخدم وكيفية عمله، بالإضافة إلى عدة فقرات أخرى تشرح البرمجيات المستخدمة لتطبيق هذا الحل.

2-2 وصف الطريقة المقترحة

المشروع يهدف إلى تصميم وتنفيذ نظام إلكتروني لتنبية بحدوث الحرائق ومنعاً من انتشارها، يتم ذلك باستخدام شبكة من الحساسات اللاسلكية WSN التي تعتمد تقنية انترنت الأشياء IOT والفحص الدوري لقيم أجهزة الاستشعار. المنهجية المتبعة في هذا المشروع تتألف من ثماني خطوات رئيسية.



الشكل 1-2 خطوات تنفيذ الحل المقترح

1. الخطوة الأولى: نشر أجهزة الاستشعار وتثبيتها في أماكن استراتيجية في الغابة بحيث يتم تقسيم الغابة إلى مجموعة من المناطق Zones وكل منطقة تحتوي على جهاز استشعار أو أكثر، ويتم اسناد

معرف خاص لكل جهاز استشعار بالإضافة الى العنوان الجغرافي من احداثيات طول وعرض من اجل تحديد مكان حدوث الحريق بدقة.

2. الخطوة الثانية: تقوم أجهزة الاستشعار في الغابة بأخذ قراءات من الحساسات الموجودة داخلها كل فترة معينة من الزمن Sampling Time يتم تحديد هذه الفترة تبعاً لسعة البطاريات المستخدمة في الجهاز والاستطاعة الكهربائية التي يتم تأمينها من الطاقة البديلة كالألواح الشمسية لشحن البطاريات، وبعد فحص هذه القراءات يتم معالجة القيم بشكل محلي ضمن الجهاز.

3. الخطوة الثالثة: بعد ذلك يتم إرسال قيمة هذه القراءات وحالة الجهاز الحالية الى بوابة الإرسال gateway وذلك عبر تجهيز الـ LoRa الموجودة ضمن الجهاز التي تؤمن إرسال قيم الحساسات لمسافة تصل لـ 10 كم عبر بروتوكول الاتصال بعيد المدى LoRaWAN، ومن ثم تدخل هذه الأجهزة الى حالة السكون العميق Deep Sleep لتوفير أكبر قدر من سعة بطاريات الأجهزة كون أغلب مناطق الغابات تعتبر أماكن نائية ويصعب تأمين تغذية كهربائية مستمرة لها.

4. الخطوة الرابعة: تستقبل بوابة الإرسال قيم الحساسات من عدة أجهزة في نفس الوقت من خلال بروتوكول الاتصال LoRaWAN وتقوم بمعالجة البيانات الوصلة من الأجهزة وترتيب أولوية إرسال هذه القيم تبعاً لحالة الجهاز، حيث يتم إرسال القيم التي من الممكن ان تسبب حريق ليتم الكشف عنه بأسرع وقت والسيطرة عليه.

5. الخطوة الخامسة: تقوم بوابة الإرسال Gateway بإرسال هذه القيم الى التطبيق الخلفي Backend عبر الانترنت كون البوابة تتمتع باتصال مستمر بخدمة الانترنت.

6. الخطوة السادسة: يقوم التطبيق الخلفي Backend بمعالجة القيم الوصلة من البوابة Gateway و تخزينها ضمن قاعدة البيانات Database.

7. الخطوة السابعة: يزود كل مركز إطفاء بلوحة تحكم Dashboard لعرض حالة أجهزة الاستشعار وقيمها بشكل مستمر، يتم قراءة هذه القيم من قاعدة البيانات Database ويتم تحديثها دورياً وفي حال اكتشاف حريق يتم يدوياً إسناد مهمة لفريق إطفاء مناسب متواجد بالقرب من الغابة.

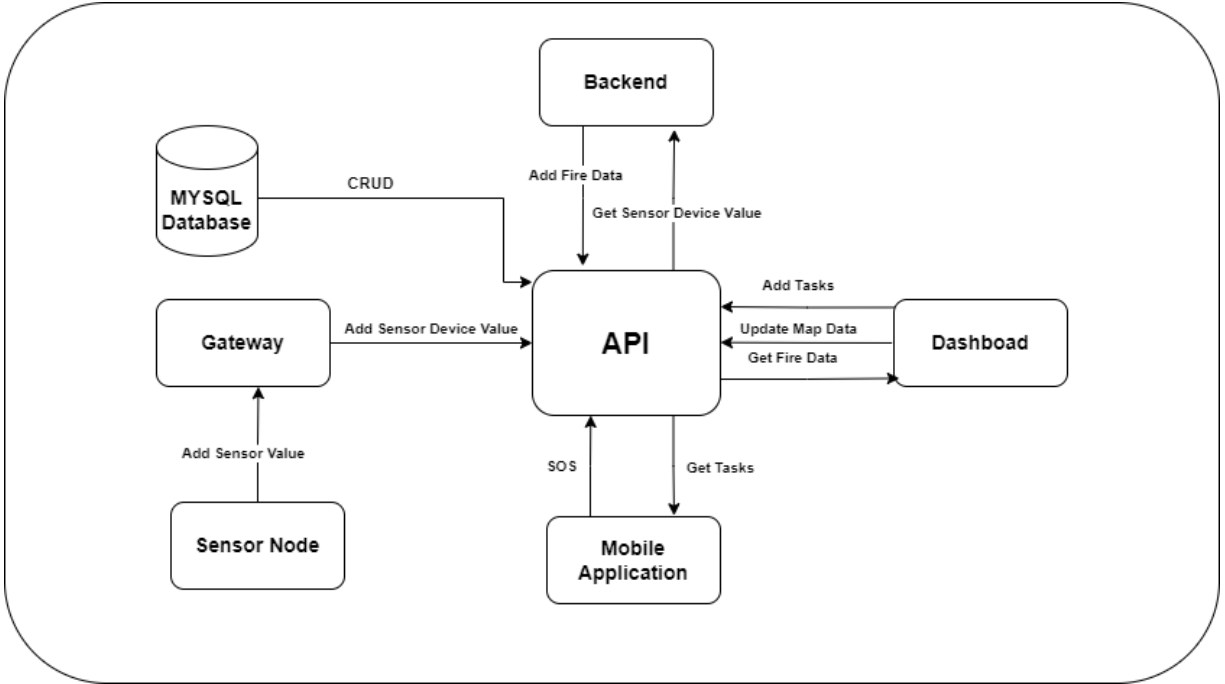
8. الخطوة الثامنة: كل فريق إطفاء يملك حساب ضمن تطبيق الموبايل ويحصل على اشعار في حال اسناد مهمة اليه من قبل مركز الإطفاء ويتم عرض خريطة تحتوي اخر حالة للأجهزة ضمن الغابة ويحدد له المسار للوصول الى مكان الحريق.

3-2 المكونات والتقنيات

لضمان تنفيذ الحل المقترح بشكل فعال، يجب تكامل ادوات الحل معا للحصول على نتائج مرضية. هذه الأدوات تشمل:

- جهاز الاستشعار Sensor Node
- جهاز بوابة الارسال Gateway Device
- التطبيق الخلفي Backend Application
- تطبيق مساعد لفريق الإطفاء Mobile Application
- لوحة التحكم Dashboard

يتضمن الشكل 2-2 مخطط صندوقي للأدوات المستخدمة في تنفيذ هذا المشروع، بالإضافة إلى وصف كيفية تبادل المعلومات بين كل أداة وأخرى



الشكل 2-2 مخطط صندوقي للأدوات المستخدمة في تنفيذ هذا المشروع

1-3-2 جهاز الاستشعار

يعمل هذا الجهاز بمثابة المكون الأساسي للنظام، وهو مجهز بتقنيات متقدمة لجمع وتحليل قراءات قيم الحساسات في الوقت المناسب. من خلال الاستفادة من وحدات التحكم، والاتصالات اللاسلكية، والحساسات المختلفة، يعمل هذا الجهاز كحارس ذكي، يراقب الغابة بشكل مستمر بحثاً عن اندلاع حرائق محتملة. إن عامل الشكل المدمج للجهاز، إلى جانب قدراته القوية، يجعله أداة أساسية في مكافحة حرائق الغابات.

1-1-3-2 آلية العمل:

تم تصميم هذا الجهاز لأداء مهمة مراقبة الحرارة والرطوبة وكمية غاز أول أكسيد الكربون CO المنتشر في الجو ضمن الغابة بطريقة بسيطة وغير مكلفة مادياً ليكون من السهل تطبيق هذه التقنية وتمت مراعاة عدة أمور من ناحية آلية العمل مثل انقطاع الاتصال بخدمة الانترنت وسهولة التحكم بالجهاز، تبدأ آلية العمل في قيام الجهاز بقراءة الحرارة والرطوبة عن طريق حساس DHT11 وقراءة كمية غاز أول أكسيد الكربون CO عن طريق حساس الغاز MQ9، ثم يخزن بيانات الحساسات في ملف JSON بشكل أزواج ذات قيمة أساسية

لدرجة الحرارة والرطوبة وكمية غاز أول أكسيد الكربون CO والزمن Date وحالة القيم الحالية Status في المنطقة الموجود فيها الجهاز. يتضمن الجدول 1-2 شكل كل غرض يخزن في ملف Json.

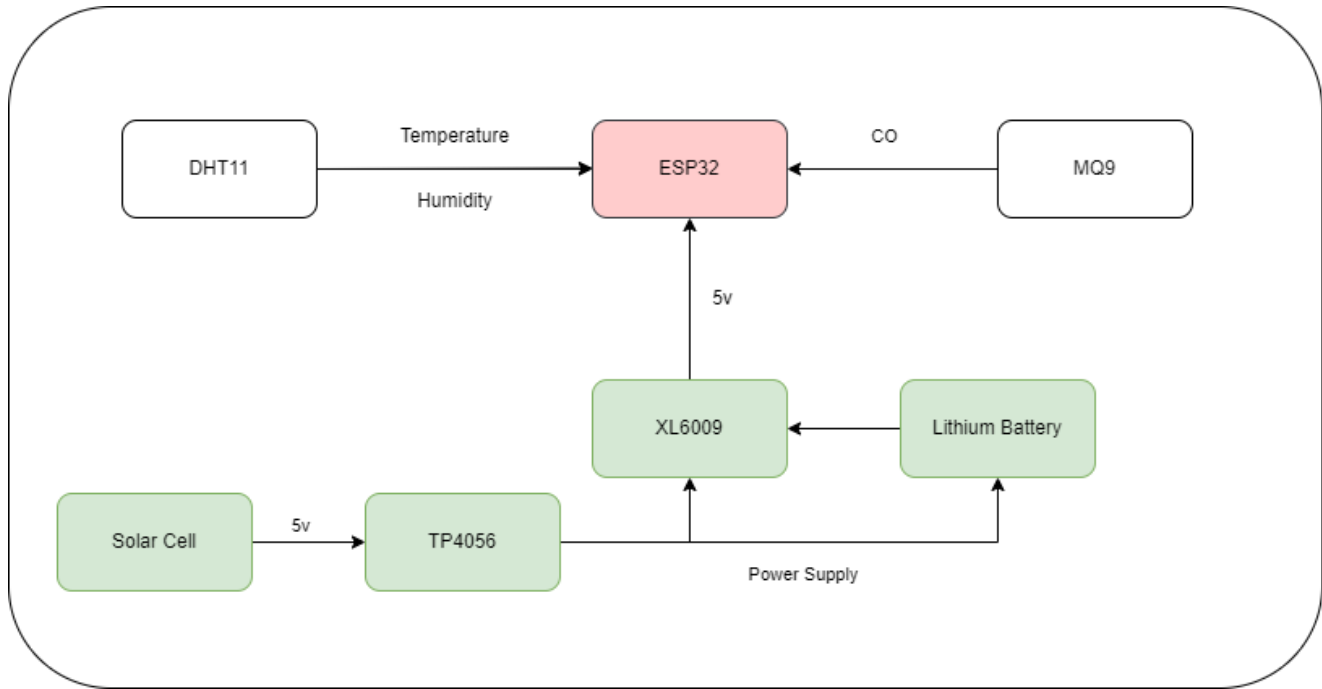
key	value
temperature	temperature value
humidity	humidity value
gas	CO value
status	Safe or Potential or Dangerous
date	time

الجدول 2-1 شكل كل غرض يخزن في ملف Json.

بعد قراءة قيم الحساسات ومعالجتها من أجل تحديد حالة المنطقة التي يغطيها الجهاز Zone هل هي آمنة Safe أم لا Dangerous يتم اسناد الحالة Status بالقيمة المناسبة تبعاً لنتيجة معالجة قيم الحساسات، يرسل الجهاز هذه البيانات إلى جهاز بوابة الارسال Gateway وبعد فترة زمنية محددة Sampling Time يقوم الجهاز بالدخول الى وضع النوم العميق Deep Sleep وذلك من اجل توفير الطاقة.

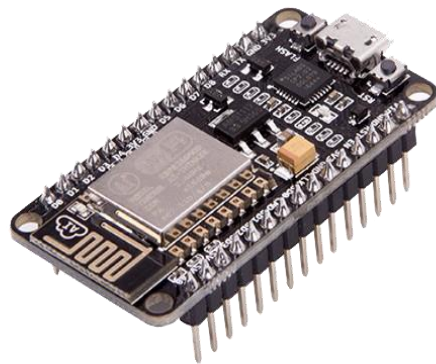
2-1-3-2 مكونات الجهاز:

يضم الجهاز مجموعة مكونات أساسية تعمل بشكل تلقائي ومتكامل لقياس قيم الحرارة والرطوبة والغاز. تتضمن هذه المكونات الأساسية المذكورة في الشكل 2-3 من عدة أجهزة وأدوات ومن ضمنها:



الشكل 2-3 مخطط صندوق يوضح مكونات جهاز الاستشعار

- لوح تطويري ESP32: عبارة عن لوح تطويري يعمل كوحدة معالجة رئيسية للجهاز، وتستخدم للتواصل مع الحساسات وتخزين البيانات في الذاكرة.

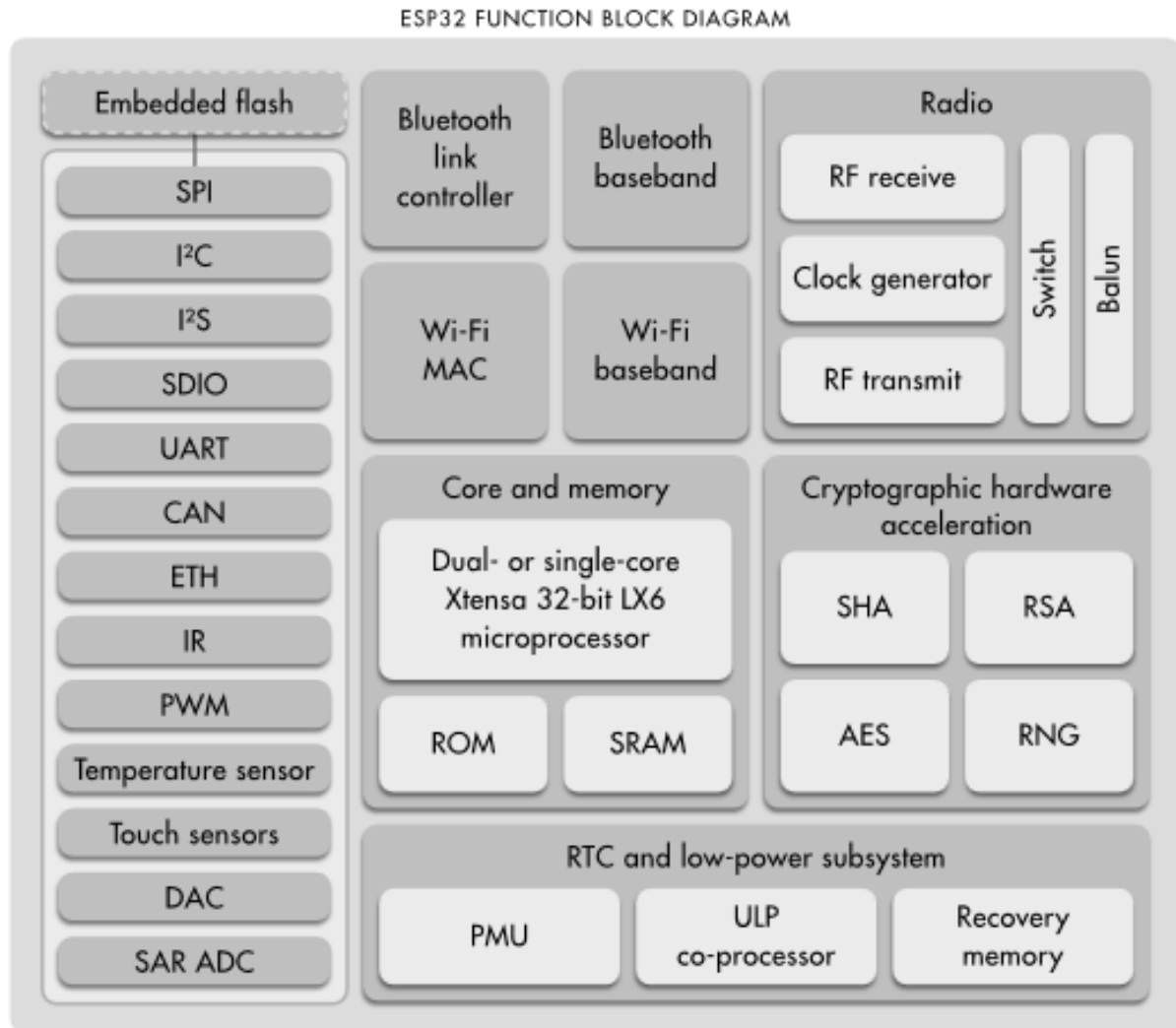


الشكل 2-4 صورة توضح الشكل الخارجي للوح التطويري ESP32

تتميز هذه الوحدة بقدرتها على الاتصال اللاسلكي بسرعة بيانات 150.0 ميجا بت في الثانية عبر WIFI وتحوي أيضا على Bluetooth BLE and Bluetooth Classic يعمل المعالج المدمج Ten Silica Xtensa Dual-Core 32-bit LX6 Microprocessor على تردد 240 ميجاهرتز، ويحتوي على ROM بسعة 448 كيلوبايت للتهيئة والوظائف الأساسية، و SRAM بسعة 520 كيلوبايت للبيانات والتعليمات البرمجية.

يمكن استخدام المحول ADC, على سبيل المثال، خلال وضع السكون العميق. كما تتضمن المدخلات/المخرجات:

- ADCs (Analog-to-Digital Converter)
- DACs (Digital-to-Analog Converter)
- I²C (Inter-Integrated Circuit)
- UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
- SPI (Serial Peripheral Interface)
- I²S (Integrated Interchip Sound)
- RMII (Reduced Media-Independent Interface)



الشكل 2-5 مخطط صندوقي يصف وظائف ESP32

يمكن لوحدة ESP32 التبديل بين أوضاع الطاقة المختلفة التي تعمل بها:

- الوضع النشط Active mode
- وضع السكون للمودم Modem Sleep mode
- وضع السكون الخفيف Light Sleep mode
- وضع السكون العميق Deep Sleep mode
- وضع السبات Hibernation mode

إذا وضعت ESP32 في وضع السكون العميق، فسيؤدي ذلك إلى تقليل استهلاك الطاقة وستدوم البطارية لفترة أطول. إن وضع السكون العميق يعني التوقف عن الأنشطة التي تستهلك المزيد من الطاقة أثناء التشغيل، ولكن ترك قدر كافٍ من النشاط لإيقاظ المعالج عندما يحدث شيء مثير للاهتمام. في هذا الوضع ، لا تحدث أنشطة في وحدة المعالجة المركزية أو شبكة Wi-Fi، ولكن لا يزال من الممكن تشغيل المعالج المساعد منخفض الطاقة للغاية (ULP). وعندما تكون ESP32 في وضع السكون العميق، تظل RTC أيضاً قيد التشغيل، لذلك يمكننا كتابة برنامج للمعالج المساعد منخفض الطاقة للغاية للوصول إلى الأجهزة الطرفية والمؤقتات الداخلية والمستشعرات الداخلية.

• وحدة الاتصال LoRa

تتيح وحدة الاتصال LoRa إمكانية الاتصال اللاسلكي طويل المدى، مما يسهل النقل السلس للبيانات بين الجهاز ونظام الإدارة المركزي. LoRa هي تقنية اتصال لاسلكية تستخدم تقنية تعديل الراديو التي يمكن توليدها بواسطة شرائح جهاز الإرسال والاستقبال Semtech LoRa. تتيح تقنية التعديل هذه الاتصال لمسافات طويلة بكميات صغيرة من البيانات (وهو ما يعني نطاق ترددي منخفض)، ومناعة عالية ضد التداخل، مع تقليل استهلاك الطاقة. لذا فهي تسمح بالاتصال لمسافات طويلة مع متطلبات طاقة منخفضة.



الشكل 6-2 صورة توضح الشكل الخارجي لوحدة الاتصال LoRa

تستخدم LoRa ترددات غير محجوزة متاحة في جميع أنحاء العالم. وهذه هي الترددات الأكثر استخداماً:

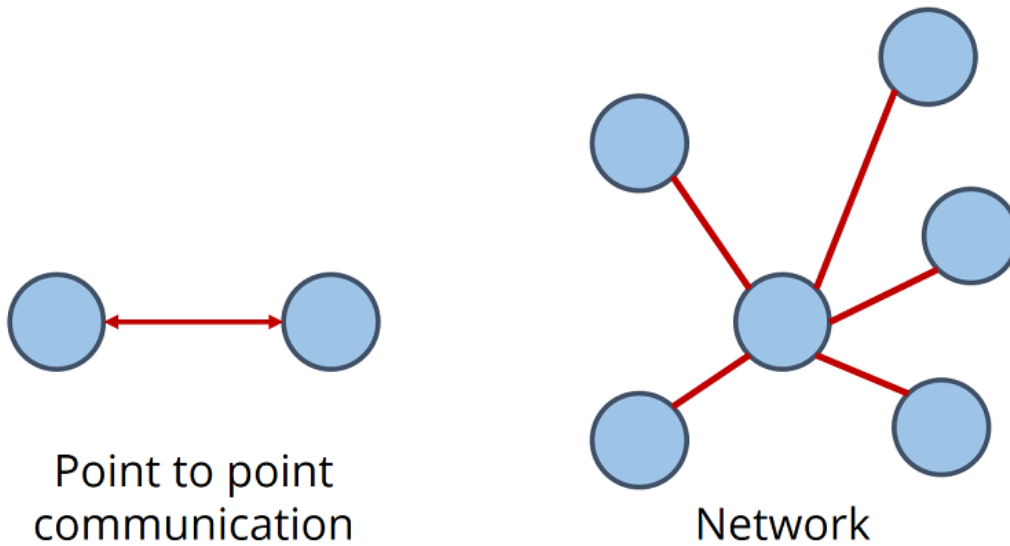
868 ميجا هرتز لأوروبا

915 ميجا هرتز لأمريكا الشمالية

433 ميجا هرتز لآسيا

نظراً لأن هذه النطاقات غير محجوزة، فيمكن لأي شخص استخدامها بحرية دون الاضطرار إلى الحصول على ترخيص. تتميز تقنية LoRa بمدى بعيد واستهلاك طاقة منخفض، مما يجعلها مثالية لأجهزة الاستشعار التي تعمل بالبطارية والتطبيقات منخفضة الطاقة مثل:

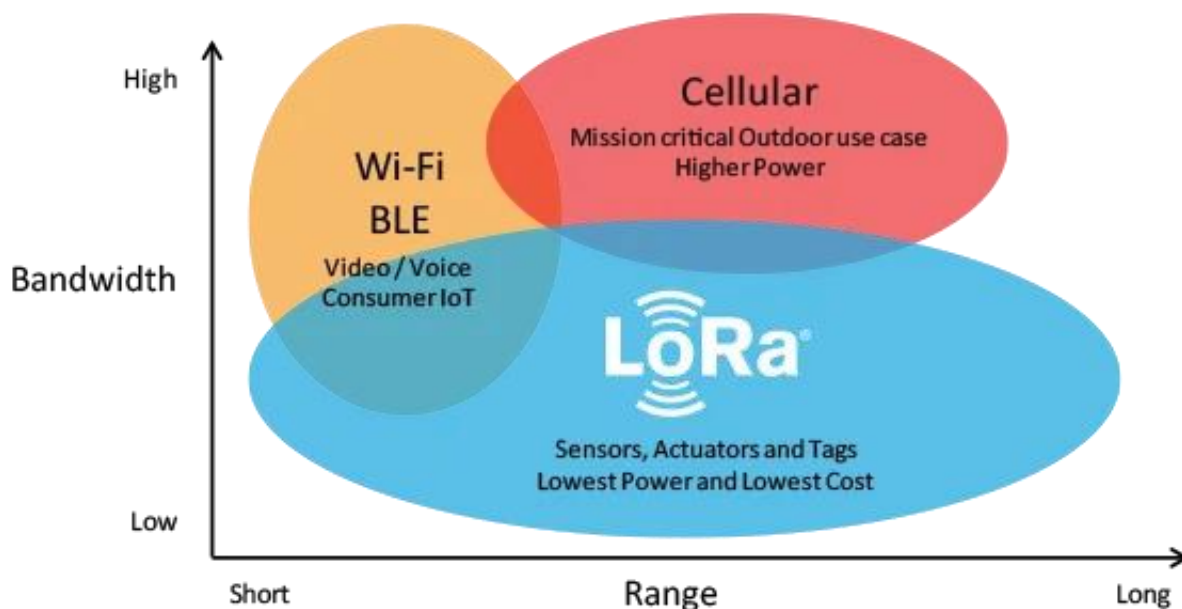
إنترنت الأشياء (IoT) و تطبيقات المنزل الذكي و تأمين الاتصالات بين الآلات، وتعد تقنية LoRa خياراً جيداً لأجهزة الاستشعار التي تعمل عن طريق البطارية أو تعمل بالطاقة الشمسية، والتي تنقل كميات صغيرة من البيانات.



الشكل 7-2 صورة توضح أنواع شبكات [7] lora

LoRaWAN هو بروتوكول طبقة التحكم في الوصول إلى الوسائط (MAC) المبني على تعديل LoRa. وتعرف إنها طبقة برمجية تحدد كيفية استخدام الأجهزة لأجهزة LoRa، على سبيل المثال عند إرسالها، وتنسيق الرسائل.

تعد تقنية LoRaWAN مناسبة لنقل البيانات صغيرة الحجم (مثل قياسات المستشعر) عبر مسافات طويلة. توفر تقنية تعديل LoRa نطاق اتصال أكبر بشكل ملحوظ مع نطاقات تردد منخفضة مقارنة بتقنيات نقل البيانات اللاسلكية المنافسة الأخرى. يوضح الشكل التالي بعض تقنيات الوصول التي يمكن استخدامها لنقل البيانات لاسلكياً مجالات النقل المتوقعة مقابل المجال الترددي.



الشكل 8-2 بعض تقنيات الاتصال اللاسلكية من حيث مجالات النقل مقابل المجال الترددي

يتميز بروتوكول LoRaWAN:

- ✓ استهلاك طاقة منخفض للغاية: تم تحسين أجهزة الطرفية LoRaWAN للعمل في وضع الطاقة المنخفضة ويمكن أن تدوم حتى 10 سنوات على بطارية واحدة.
- ✓ مدى طويل: يمكن لبوابات LoRaWAN إرسال واستقبال الإشارات على مسافة تزيد عن 10 كيلومترات في المناطق الريفية وما يصل إلى 3 كيلومترات في المناطق الحضرية الكثيفة.
- ✓ الاختراق الداخلي العميق: يمكن لشبكات LoRaWAN توفير تغطية داخلية عميقة، وتغطية المباني متعددة الطوابق بسهولة.

✓ لا يوجد رسوم ترخيص: لست مضطراً إلى دفع رسوم ترخيص طيف التردد الباهظة لنشر شبكة LoRaWAN.

✓ تحديد الموقع الجغرافي: يمكن لشبكة LoRaWAN تحديد موقع الأجهزة الطرفية دون الحاجة إلى نظام تحديد المواقع العالمي (GPS). يمكن تحديد موقع جهاز طرفي LoRa إذا التقطت ثلاث بوابات على الأقل إشارته.

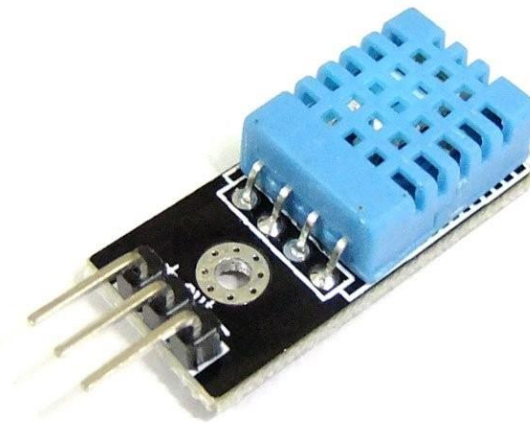
✓ سعة عالية: تتعامل خوادم شبكة LoRaWAN مع ملايين الرسائل من آلاف البوابات.

✓ الأمان: تضمن LoRaWAN اتصالاً آمناً بين الجهاز الطرفي وخادم التطبيق باستخدام تشفير AES-128.

✓ تحديثات البرامج الثابتة: يمكنك تحديث البرامج الثابتة (التطبيقات ومجموعة LoRaWAN) عن بُعد لجهاز طرفي واحد أو مجموعة من الأجهزة الطرفية.

✓ تكلفة منخفضة: بنية أساسية بسيطة وعقد طرفية منخفضة التكلفة وبرامج مفتوحة المصدر.

• حساس DHT11: وهو حساس يستخدم لقياس درجة الحرارة والرطوبة في محيط الجهاز.



الشكل 9-2 صورة توضح الشكل الخارجي لحساس DHT11

المواصفات	DHT11
نطاق درجة الحرارة	من 0 الى 50 درجة مئوية
دقة درجة الحرارة	2 +/- درجة مئوية
نطاق الرطوبة	من 20 الى 90 بالمئة
دقة الرطوبة	5 +/- %
جهد التشغيل	3 - 5.5 فولت DC
تيار التشغيل	0.5 - 2.5 ملي أمبير
زمن التقاط عينة	1 ثانية

الجدول 2-2 معلومات تفصيلية حول حساس DHT

- حساس الغاز MQ9: وهو حساس يستخدم لقياس تركيز الغاز في محيط الجهاز.



الشكل 2-10 حساس الغاز MQ-9

MQ9	المواصفات
CO أول أكسيد الكربون، CH ₄ الميثان، LPG غاز البترول المسال	الكشف عن الغاز
3.3 & 5 فولت ± 0.1 فولت تيار مستمر	جهد التشغيل
يكتشف CO: من 10 إلى 1000 جزء في المليون، CH ₄ : من 100 إلى 10000 جزء في المليون، LPG: من 100 إلى 10000 جزء في المليون	الحساسية
أقل من 10 ثواني	زمن الاستجابة
-20 درجة مئوية إلى 50 درجة مئوية	درجة حرارة التشغيل
إشارة جهد تناظرية تتناسب مع تركيز الغاز	إشارة الخرج

الجدول 2-3 معلومات تفصيلية عن حساس الغاز

- بطارية ليثيوم بوليمر (LiPo) هي بطارية قابلة للشحن تعتمد على تقنية الليثيوم أيون في عملها، وتتكوّن في الأساس من 3 قطع، قطبين موجب وسالب بالإضافة إلى مركب كيميائي سائل يصل الأقطاب مع بعضها البعض.



الشكل 11-2 صورة توضح الشكل الخارجي لبطارية LiPo

تمتاز بطارية ليثيوم بوليمر بعدة ميزات تجعلها الخيار الأمثل في مشروعنا:

جهد تشغيلي أعلى: يبلغ متوسط جهد تشغيل خلية ليثيوم بوليمر واحدة نحو 3.7 فولت، وهو ما يُعادل 3 بطاريات من نوع نيكل كادميوم.

كثافة أعلى للطاقة: تتمتع هذه البطارية بوزن يبلغ نصف وزن بعض البطاريات التي تساويها في الحجم، كبطاريات النيكل والكادميوم، وهو ما يجعل سعتها من الطاقة أعلى مقارنة بتلك الأنواع من البطاريات المساوية لها في الحجم.

مقاومة داخلية منخفضة: تستهلك المقاومة الداخلية جزء كبير من طاقة البطارية، وهو ما يُقلل من كفاءتها بطبيعة الحال، لكن تمتاز بطارية ليثيوم بوليمر بأنها ذات مقاومة داخلية أقل من الأنواع الأخرى.

وزن أخف: تُستخدم في الأجهزة الخفيفة، مثل: الهواتف الذكية، والحواسيب المحمولة الرقيقة، وذلك لوزنها الخفيف وحجمها الصغير.

سعة أعلى: صُممت بطارية ليثيوم بوليمر لتوفير سعة عالية، وذلك للاحتفاظ بكميات أكبر من الطاقة وتقليل معدل شحنها

يستهلك الجهاز وسطياً حوالي تقريباً 150mA ونريد تشغيل الحمل أكثر من 15 ساعة متواصلة على هذه البطارية وبعد تطبيق المعادلة رقم (1)

$$B = \frac{100 \times I \times t}{100 - Q} \quad (1)$$

حيث:

I: هي التيار.

t: هي المدة بالساعات.

Q: هي نسبة الشحن المتبقية المطلوبة بالنسبة المئوية تقريباً (20%).

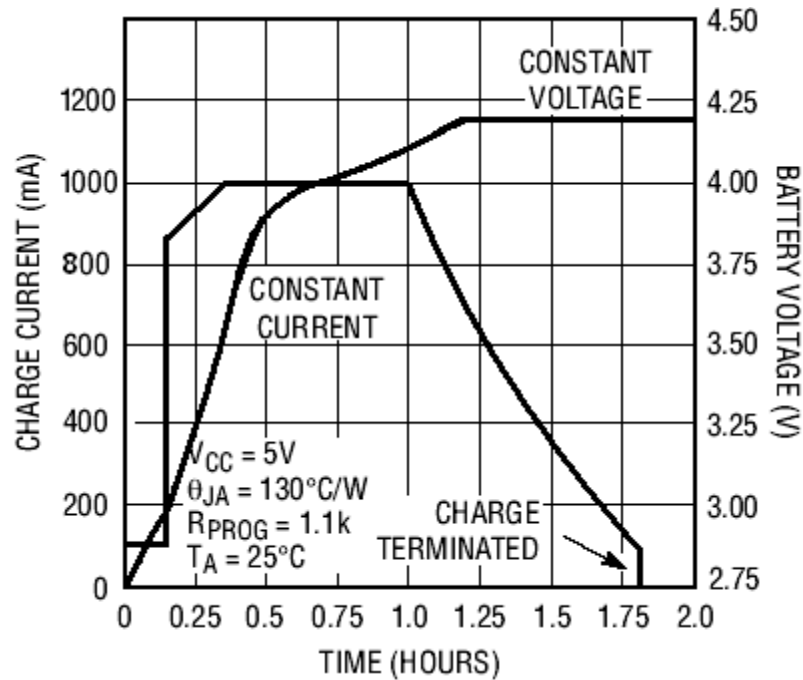
وجدنا ان الحد الأدنى للسعة القادرة على تشغيل الحمل لهذه المدة هو اختيار السعة 2200mAh للبطارية.

- TP4056: وحدة شحن لبطاريات ليثيوم أيون عالية الكفاءة. يتميز بقدرته على التحكم في عملية الشحن بأمان وفعالية، حيث يوفر تياراً ثابتاً للبطارية حتى تصل إلى الجهد المطلوب، ثم يخفض التيار تدريجياً حتى يتم شحن البطارية بالكامل.



الشكل 12-2 صورة توضح الشكل الخارجي لدارة الشحن

يذكر أن TP4056 توفر تيارًا يبلغ 1000 مللي أمبير أثناء عملية الشحن. البطارية تحتاج الى حوالي ثلاث ساعات و45 دقيقة في حالة الشحن من 0% إلى 100%.



الشكل 2-13 دورة شحن كاملة لبطارية من حجم 1000 مللي أمبير

- XL6009: هو محول جهد يستخدم لتحويل الجهد المنخفض من البطارية إلى الجهد المطلوب للدارة. يرفع الجهد من 3.7 فولت إلى 5 فولت، وهو الجهد المطلوب لتشغيل ESP32. تعتبر الدارة مناسبة للمشروع لأنها قادرة على تغذية حمل يستهلك 3 أمبير، وأقصى تيار ممكن أن تستهلكه ESP32 هو 690 مللي أمبير عند تشغيلها بجميع ميزاتها، لذلك فإنها مناسبة لتغذية ESP32.



الشكل 2-14 صورة توضح الشكل الخارجي لدارة XL6009

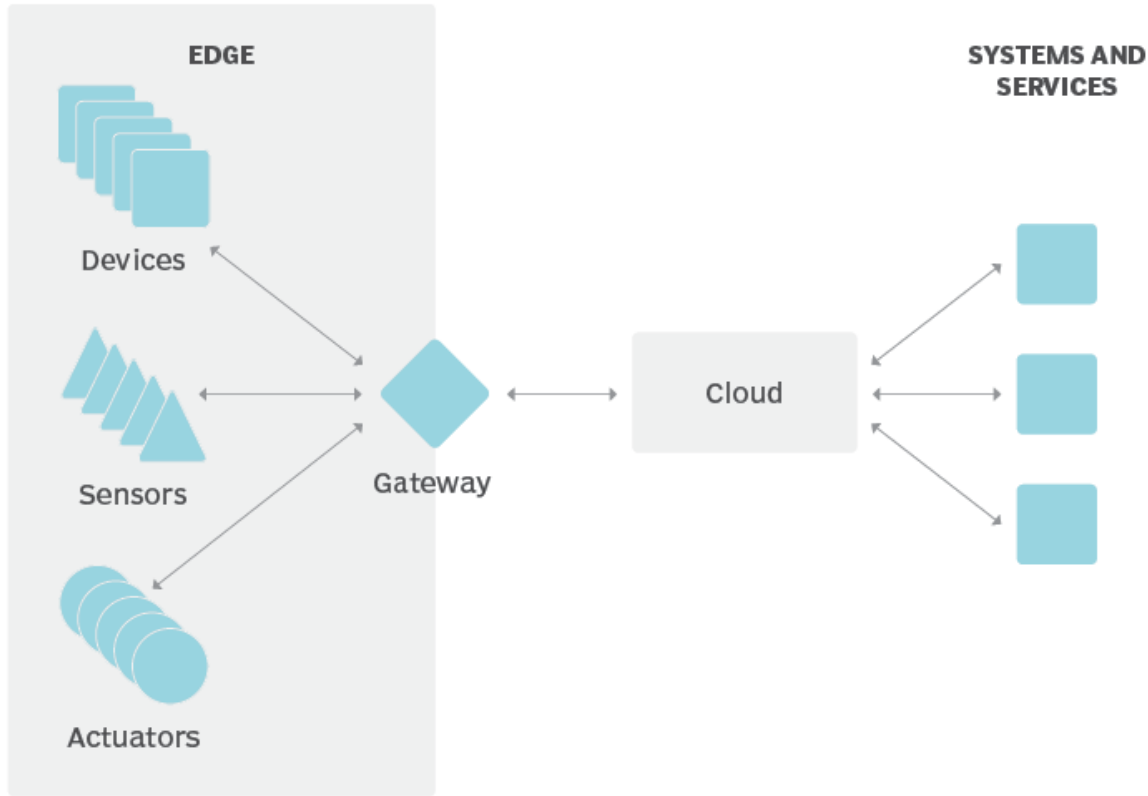
- خلايا شمسية Solar Cells: تعطي جهد 5 فولت و 2.5 استطاعة واط



الشكل 2-15 صورة توضح الشكل الخارجي لخلاية شمسية

2-3-2 جهاز بوابة الإرسال Gateway:

بوابة الإرسال هي عقدة شبكة تستخدم في الاتصالات السلكية واللاسلكية تربط بين شبكتين بروتوكولات إرسال مختلفة. تعمل البوابات كنقطة دخول وخروج للشبكة حيث يجب أن تمر جميع البيانات عبر البوابة أو تتواصل معها قبل توجيهها. في معظم الشبكات القائمة على بروتوكول الإنترنت، فإن حركة المرور الوحيدة التي لا تمر عبر بوابة واحدة على الأقل هي حركة المرور المتدفقة بين العقد الموجودة على نفس شريحة شبكة المنطقة المحلية. يمكن أيضاً استخدام مصطلح بوابة الشبكة لوصف نفس المفهوم. الميزة الأساسية لاستخدام البوابة هي تبسيط الاتصال بالإنترنت في جهاز واحد. البوابة تلعب دوراً محورياً في الربط بين عقد الاستشعار الموزعة والمركز الرئيسي للتحكم والمعالجة. تُعد البوابة جسر الاتصال الأساسي الذي يمكن النظام من العمل بكفاءة على مسافات طويلة وباستهلاك طاقة منخفض.



الشكل 2-16 صورة توضح توضع بوابة الإرسال ضمن الشبكة

2-3-1 آلية العمل:

تستقبل البوابة البيانات المرسلّة من عقد الاستشعار (Sensor Nodes) عبر بروتوكول LoRaWAN حيث يستخدم ترددات لاسلكية منخفضة النطاق (مثل 868 ميجاهرتز أو 915 ميجاهرتز) لنقل البيانات عبر مسافات طويلة تصل إلى عدة كيلومترات، مما يجعل النظام فعالاً في تغطية مساحات كبيرة مثل المنشآت الصناعية أو الغابات. على الرغم من أن بعض البوابات يمكنها معالجة البيانات جزئياً (مثل تجميع البيانات أو تصفيتها)، إلا أن البوابة في الغالب تقوم بتمرير البيانات إلى الخادم المركزي أو السحابة حيث يتم تنفيذ المعالجة الأكثر تعقيداً. بعد تلقي البيانات من عقد الاستشعار، تقوم البوابة بتحويلها إلى صيغة يمكن إرسالها عبر شبكة الإنترنت مثل HTTP إلى الخادم المركزي أو السحابة. يمكن أن تكون البوابة متصلة بالإنترنت عبر شبكة WiFi، أو حتى عبر شبكة خلوية (3G/4G) اعتماداً على تصميم النظام ومتطلبات البنية التحتية.

2-3-3 التطبيق الخلفي: Backend Application

يشير مصطلح التطبيق الخلفي (Backend Application) إلى الجزء العامل على الخادم في النظام البرمجي، والذي بدوره مسؤول عن معالجة وإدارة البيانات. تتألف الواجهة الخلفية من خادم ومنطق التطبيق وقاعدة البيانات. تعمل الواجهة الخلفية كوسيط بين واجهة المستخدم الأمامية وقاعدة البيانات، حيث يتم تخزين البيانات ومعالجتها واسترجاعها عند الحاجة.

إحدى وظائف الواجهة الخلفية الأساسية هي الاتصال بقواعد البيانات، والتي تعتبر مجموعة من البيانات المنظمة والمرتببة بشكل منطقي، ويمكن تخزينها وإدارتها والوصول إليها إلكترونياً. تم تصميم قواعد البيانات لتخزين وإدارة كميات كبيرة من البيانات بكفاءة وفعالية، مما يسهل عمليات البحث والاسترداد والتحديث.

تتوفر عدة أنواع من قواعد البيانات، ومن بينها قواعد البيانات العلائقية (Relational Database) التي تعتبر الأكثر استخداماً وشيوعاً. تتميز قواعد البيانات العلائقية بقدرتها على تخزين البيانات المهيكلة بشكل مثالي وفعال، حيث يتم تخزين البيانات في جداول تحتوي على صفوف وأعمدة. يتم استخدام لغة الاستعلام الهيكلية (SQL) لإدارة البيانات، وتمكن المستخدمين من البحث واسترجاع البيانات بسهولة وسرعة.

استخدم في هذا المشروع قاعدة بيانات من نوع MySQL، يمكننا الاستفادة من مزاياها في تخزين وإدارة البيانات بكفاءة عالية. MySQL هي قاعدة بيانات علائقية تتميز بالأداء الجيد والموثوقية، وتوفر مجموعة واسعة من الأدوات والميزات لإدارة البيانات. يمكن استخدام لغة SQL لإنشاء وتعديل واستعلام قاعدة البيانات MySQL، مما يسهل عمليات البحث وتحليل البيانات.

2-3-1 إطار العمل Symfony:

استخدم في بناء التطبيق الخلفي إطار العمل Symfony هو واحد من أشهر أطر العمل المستخدمة لتطوير تطبيقات الويب باستخدام لغة برمجة PHP. تم اختيار Symfony كإطار عمل لبناء الواجهات الخلفية لعدة أسباب. يوفر Symfony مجموعة واسعة من المكتبات والأدوات التي تساعد في بناء تطبيقات قابلة للتوسع والتكيف مع احتياجات المشروع. كما يأتي Symfony مع Doctrine ORM، وهو أحد أقوى مزودي ORM في PHP، مما يسهل استخدام ORM على المطورين التفاعل مع قاعدة البيانات دون الحاجة إلى كتابة استفسارات SQL. يأتي Symfony أيضاً بالعديد من الميزات الأمنية المدمجة مثل التحقق من صلاحية الوصول والتحقق من صحة الإدخالات والتشفير، مما يجعله مناسباً لبناء تطبيقات آمنة. يعتبر Symfony مناسباً أيضاً لتطوير تطبيقات الوقت الحقيقي، حيث يمكن للمطورين إضافة خصائص مثل إرسال الرسائل عبر بروتوكول WebSocket وإضافة رسائل فورية.

2-3-4 تطبيق مساعد لفرق الإطفاء:

استخدم في هذا المشروع بنية تسمى Clean Architecture تهدف إلى إنشاء أنظمة معيارية Modular Systems وقابلة للصيانة ومستقلة عن أطر أو تقنيات محددة. تم تقديمه بواسطة Robert C. Martin الفكرة الرئيسية وراء Clean Architecture هي فصل اهتمامات التطبيق إلى طبقات متميزة، لكل منها مسؤولياتها وتبعياتها. يتم تنظيم هذه الطبقات بطريقة هرمية، حيث تحتوي الطبقات الداخلية على المنطق الأكثر تجريداً والأكثر تركيزاً، بينما تتعامل الطبقات الخارجية مع تفاصيل التنفيذ. تم استخدام هذه البنية لإنشاء تطبيق فرق الإطفاء وتطبيق لوحة التحكم للإدارة لتكون بنية هذه التطبيقات قابلة للتوسيع وإضافة ميزات جديدة في المستقبل بسهولة.

2-3-4-1 إطار عمل Flutter:

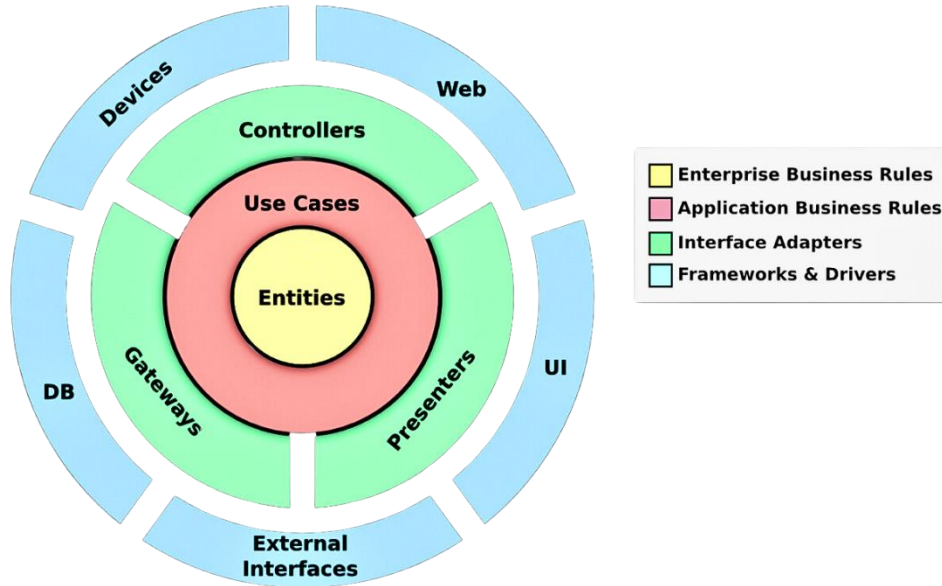
لإنجاز هذه التطبيقات والواجهات يجب علينا اختيار بيئة مناسبة ومساعد لإنجاز العمل بأفضل أداء لذلك اخترنا إطار عمل Flutter. وهو إطار عمل مفتوح المصدر لواجهة المستخدم (User Interface) تم تطويره بواسطة Google. ويعتمد على لغة Dart المطورة في عام 2011 بواسطة Google وهي لغة غرضية التوجه حديثة تم تصميمها لتكون سهلة التعلم، وفعالة ومتعددة الاستخدامات. هذا وقد أصبحت Dart لغة مشهورة بعد استخدامها كلغة أساسية لإطار عمل Flutter الذي اكتسب شعبية هائلة وأصبح خيارًا مفضلًا للمطورين الذين يتطلعون إلى إنشاء تطبيقات جميلة وعالية الأداء للهواتف المحمولة والويب وأنظمة سطح المكتب. هذا يعني أنه يمكنك كتابة الكود البرمجي مرة واحدة ونشره على أنظمة متعددة، مثل Android و iOS والويب وحتى سطح المكتب. لا توفر قدرة Cross-Platform هذه الوقت والجهد فحسب، بل تتيح لك أيضًا الوصول إلى جمهور أوسع بتطبيقاتك.

2-3-4-2 بنية التطبيقات:

لدينا الطبقة الأولى وهي طبقة البيانات Data Layer وهي مسؤولة عن إدارة عمليات تخزين واسترجاع البيانات المستخدمة من قبل التطبيق. تتفاعل مع البنية الأساسية للتطبيق، مثل قاعدة البيانات أو واجهات برمجة التطبيقات الخارجية APIs أو أي مصدر بيانات آخر.

تقسم طبقة Data layer في تطبيقنا إلى ثلاث أقسام وهي Data Source – Model – Repository يمثل صف Data Source الطبقة الأولى لجلب البيانات من API يتم إرسال الطلب واستلام الاستجابة من التطبيق الخلفي وعند تلقي استجابة ناجحة يستدعى تابع من الصف Model الذي يحول البيانات العائدة من التطبيق الخلفي على شكل JSON إلى صف في لغة Dart يسهل استخدامه في التطبيق. حيث تمثل Repository وسيطا بين صف النموذج Model وصف جلب البيانات Data Source وتتحقق من حالة البيانات وتعالج الأخطاء في حال وجودها. وتقوم بتحديد نوع الخطأ إن وجد ليسهل التعامل معه في الواجهة وعرضه ومن أنواع الأخطاء، خطأ عدم وجود إنترنت No Internet Found وخطأ في المخدم Server Error وخطأ في الطلب .Http Error

الطبقة الثانية وهي طبقة العرض التقديمي Presentation Layer وهي مسؤولة عن التعامل مع واجهة المستخدم وتفاعل المستخدم مع التطبيق. إنها الطبقة الأقرب للمستخدم وهي مسؤولة عن تقديم البيانات واستقبال المدخلات. اما الطبقة الثالثة Domain Layers فهي طبقة اختيارية في هذه المعمارية فتم تجاوزه لعدم أهميتها في تطبيقنا.



الشكل 2-17 مخطط يشرح بنية clean architecture [7]

بعد تجربة التطبيق وتنفيذه، حصلنا على أداء مستقر وسريع وسهل الاستخدام للمستخدم النهائي. تم تنفيذ جميع العمليات المطلوبة بشكل صحيح، حيث تمكن المستخدم من الاتصال بجهاز الاستشعار وقراءة المعلومات وتهيئتها، وأيضاً إرسال المعلومات إلى التطبيق الخلفي.

2-3-5 لوحة التحكم Dashboard:

تلعب لوحة التحكم (Dashboard) دوراً مهماً في النظام المقترح، حيث تقوم بعدة وظائف حيوية. إحدى هذه الوظائف الرئيسية هي "عرض خريطة توضح أماكن الحساسات وحالة الغابة من حيث وجود حرائق أم لا. بالإضافة إلى ذلك، توفر اللوحة إمكانية استعراض قيم الحساسات المختلفة، مثل درجات الحرارة ومستويات

الغازات. يتم تنفيذ كل ذلك من خلال صفحة ويب تم إنشاؤها باستخدام إطار العمل Flutter، مما يضمن تجربة مستخدم سلسة وتفاعلية تتيح للمستخدمين مراقبة حالة الغابة ومتابعة الأحداث بشكل مستمر.

2-4 خاتمة:

تم في هذا الفصل تقديم الحل المقترح وشرح أدواته وكيفية تطبيقه، وسننتقل في الفصل الثالث إلى الجزء العملي حيث سيتم تنفيذ الحل المقترح واستعراض النتائج التي تم الحصول عليها.

الفصل الثالث القسم العملي

1-3 مقدمة

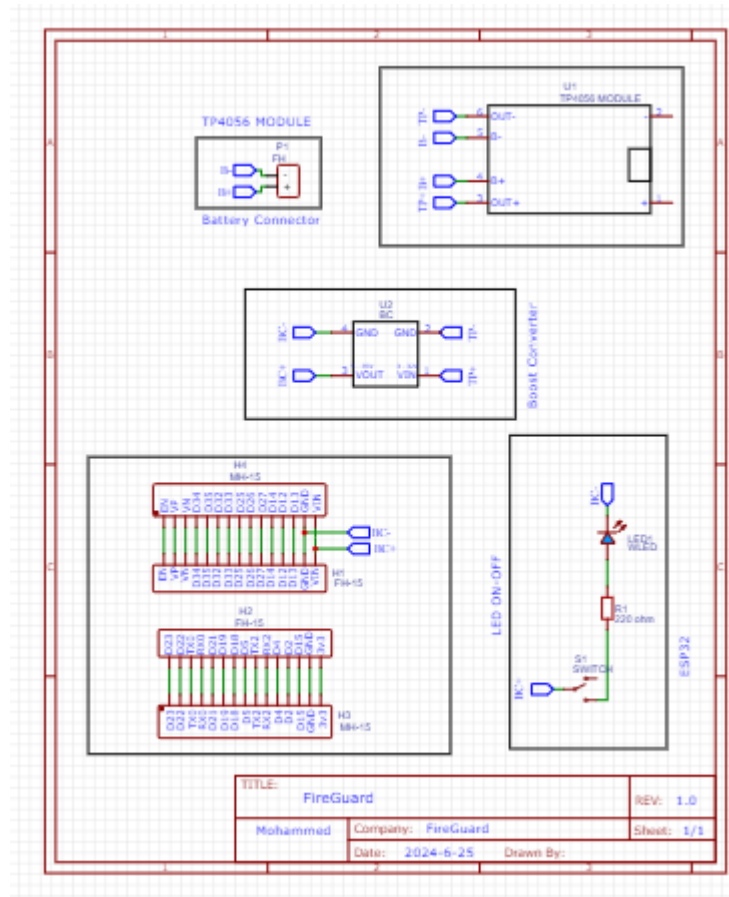
في هذا الفصل، سنقدم النتائج التي تم التوصل إليها بعد تنفيذ الحل المقترح. سنشرح أيضاً كيف تم بناء كل تطبيق من أدوات الحل وسنقدم نتائج كل أداة بشكل منفصل. سنبدأ بشرح جهاز الاستشعار، ثم نتابع بشرح جهاز بوابة الارسال والتطبيق الخلفي وتطبيقات الهاتف المحمول ولوحة التحكم.

2-3 جهاز الاستشعار

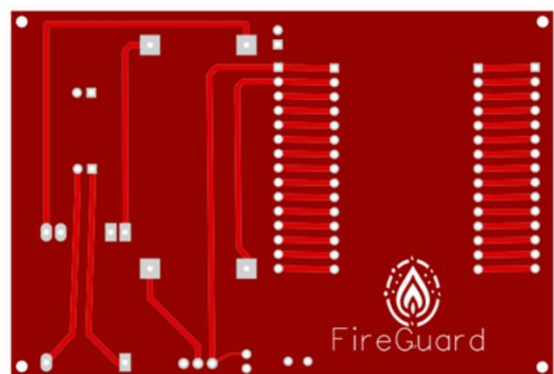
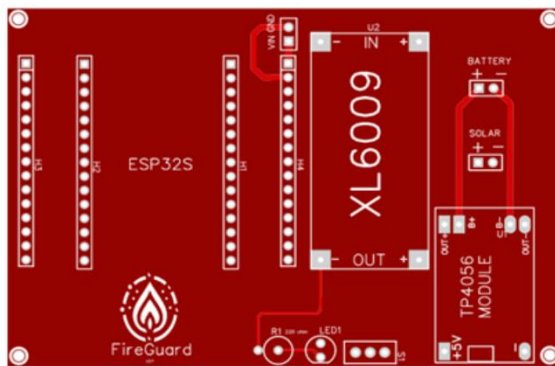
في هذا القسم سوف نعرض نتائج تنفيذ جهاز الاستشعار حسب الحل المقترح في الفصل الثاني، لقد توصلنا لنتيجة نهائية ان جهاز الاستشعار المقترح فعال لتنفيذ هذا الحل بحيث استطاع الجهاز الوصول الى عدد ساعات طويلة من التشغيل بدون اخطاء وقدرته على قياس الظروف المحيطة بشكل صحيح وعملي.

1-2-3 مرحلة التصميم

تم تصميم الدارة المطبوعة باستخدام برنامج EasyEDA صممت لتغذية اللوح التطويري ESP32. تُظهر الصور المرفقة للمخطط ولوحة PCB ترتيب هذه العناصر واتصالها في الدارة. يُظهر الشكل مخطط يصف العلاقات الكهربائية بين المكونات.



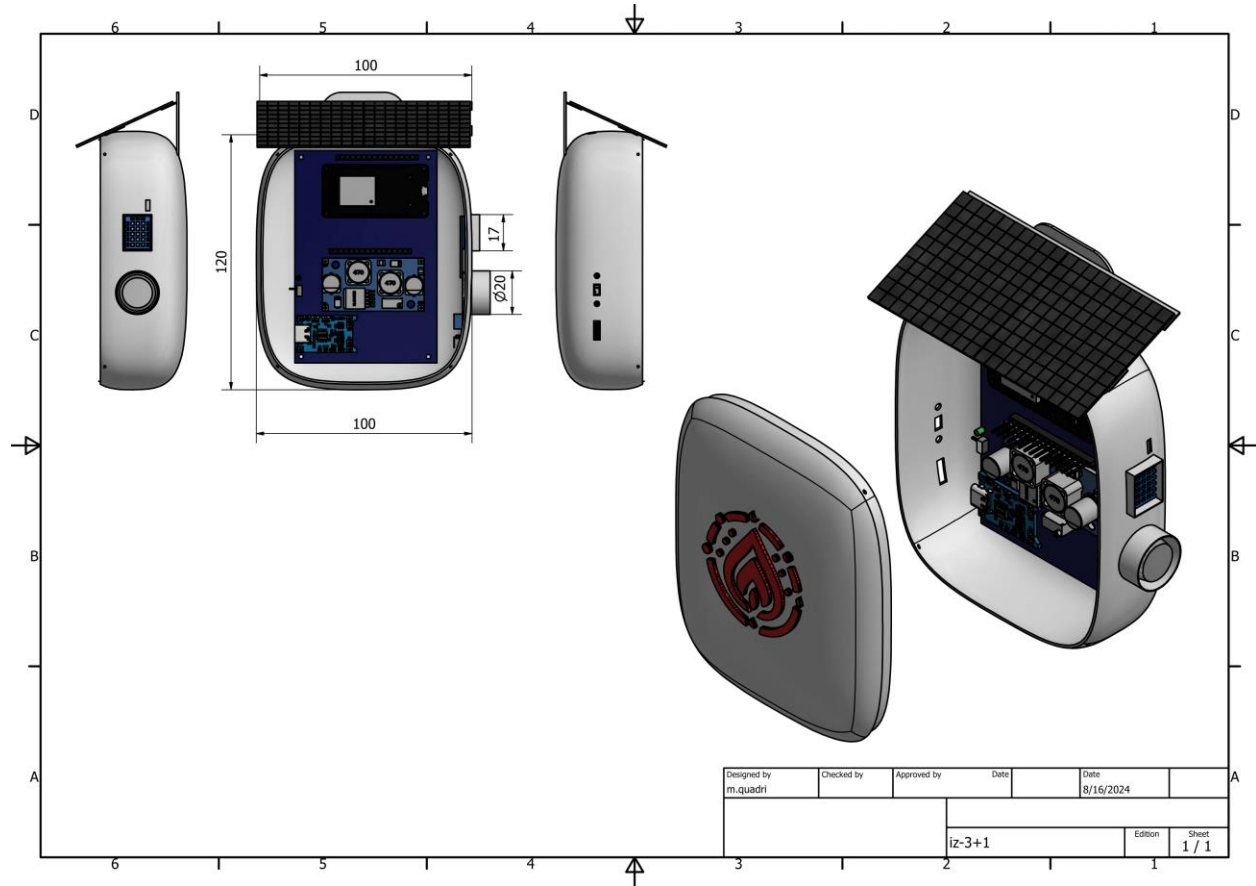
الشكل 3-1 مخطط Schematic يصف الدارة المطبوعة



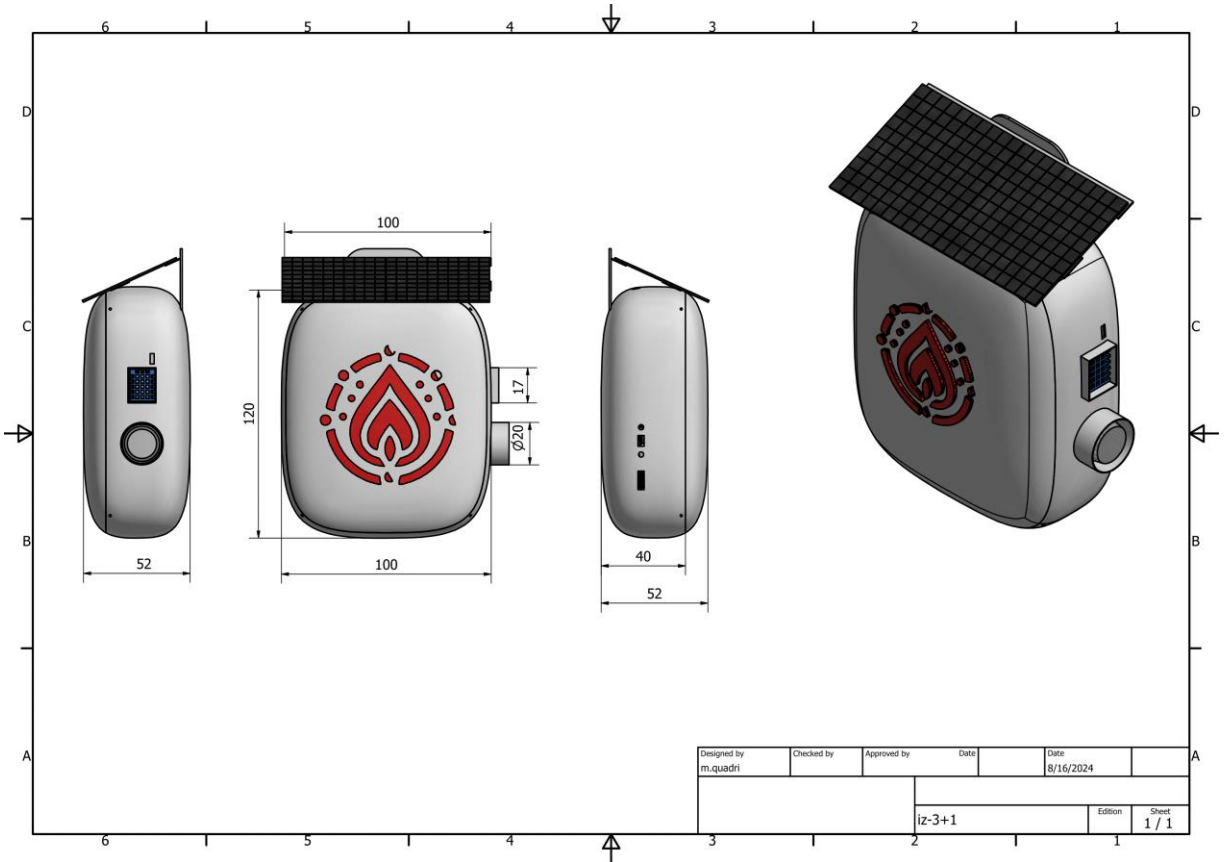
الشكل 3-2 التصميم النهائي للدارة المطبوعة

لقد قمنا بتصميم دائرة PCB مكونة من 4 طبقات **Bottom Layer & Top Layer** تستخدمان لتوصيل المكونات الكهربائية ونقل الإشارات بين الأجزاء المختلفة من الدارة وأيضاً **Bottom & Top Silk Layer** تُستخدمان لوضع النصوص والرموز على لوحة الدارة لتسهيل تحديد المكونات.

كما توفر مداخل للبطارية اللازمة لتشغيل الجهاز، ويتم شحنها بشكل آمن وفعال باستخدام دائرة الشحن TP4056، ويتم رفع الجهد باستخدام محول الجهد XL6009 لتشغيل الأجهزة بشكل فعال. تم تصميم شكل ثلاثي الأبعاد بواسطة برنامج Autodesk inventor، صمم هذا التصميم بغرض وضع الجهاز وعناصره بعبوة خارجية سهلة الحمل والتثبيت في أي مكان لان سطوحها مستوية



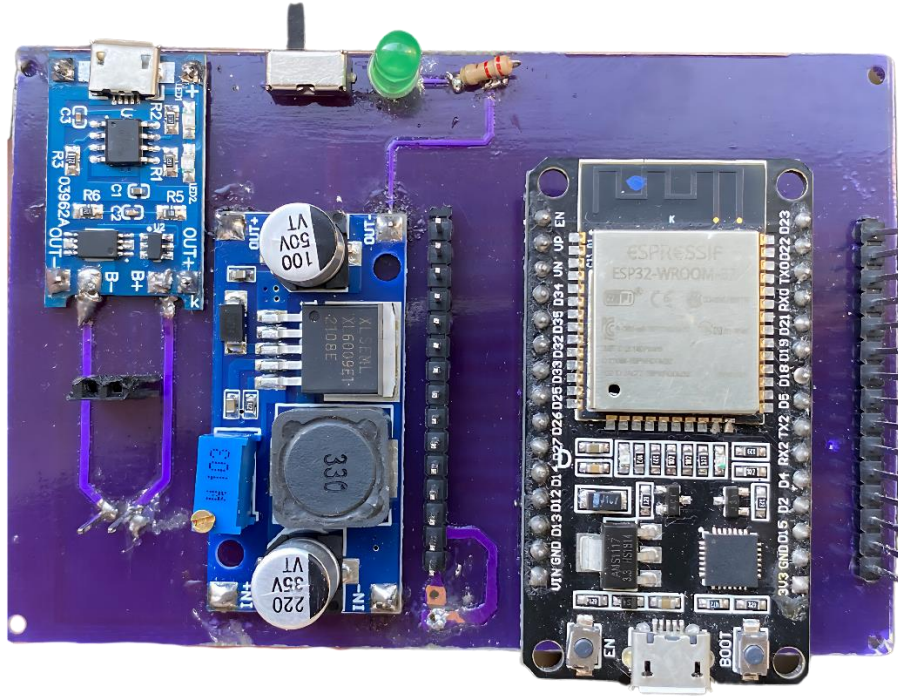
الشكل 3-3 مخطط يصف الشكل ثلاثي الأبعاد



الشكل 3-4 مخطط يصف الشكل ثلاثي الأبعاد

3-2-2 مرحلة التنفيذ

تم تطوير جهاز الاستشعار بحيث تتكون من وحدة ESP32 التي تعمل كمتحكم ووحدة اتصال، بالإضافة إلى حساسات MQ9 و DHT11 كوحدات استشعار. قمنا ببرمجة ESP32 باستخدام لغة C++ وفصلنا الكود إلى ملفات header و cpp لتسهيل التنظيم والصيانة.



الشكل 3-5 دائرة جهاز الاستشعار بعد طباعتها

3-3 جهاز بوابة الارسال Gateway:

3-3-1 مرحلة التصميم:

يمكننا استخدام نفس دائرة PCB التي صممناها مسبقاً من أجل تأمين التغذية اللازمة لجهاز الاستشعار دون وصل الحساسات مع تأمين اتصال مستقر بالإنترنت وبذلك نكون قد حققنا متطلبات التنفيذ المطلوبة.

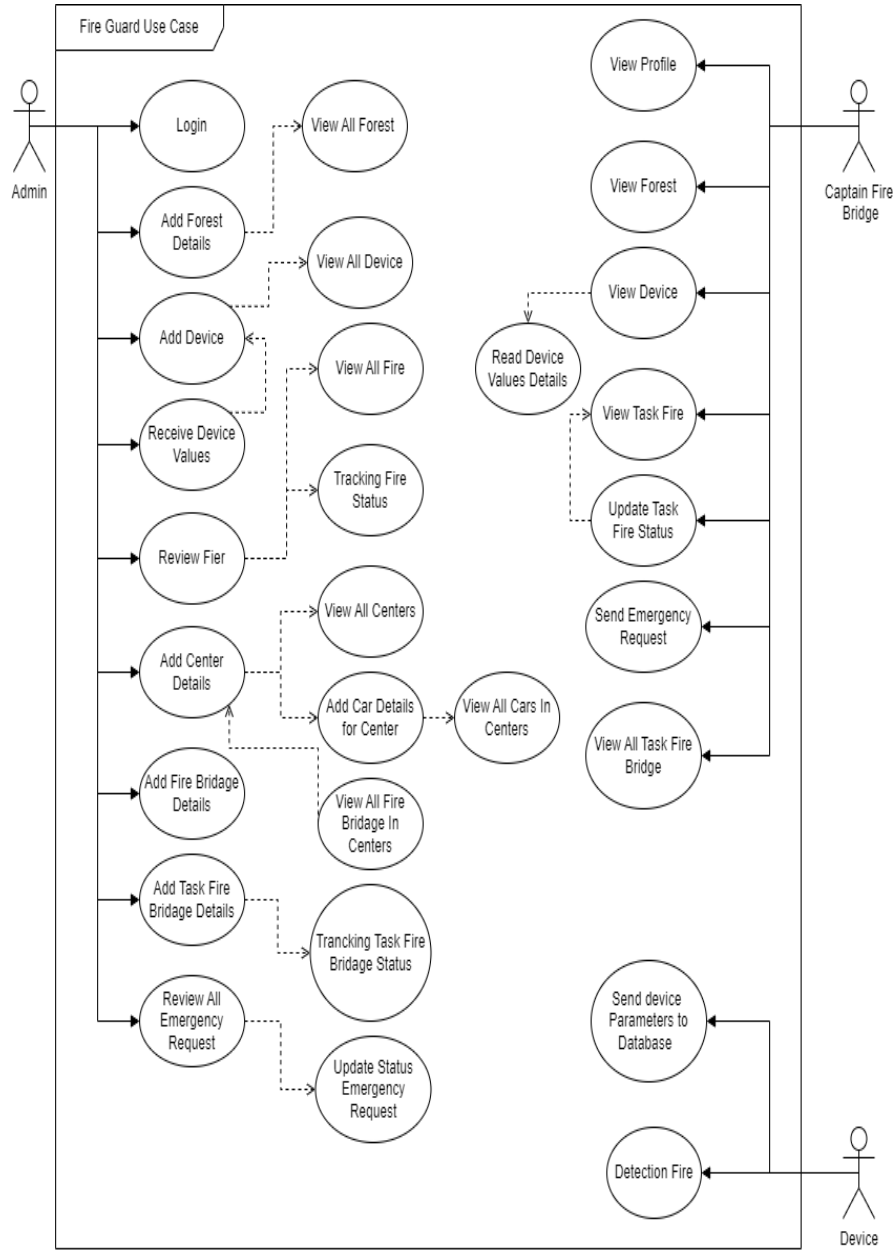
3-2-3 مرحلة التنفيذ:

تم استخدام ESP32 كجهاز بوابة لجمع البيانات من الحساسات المختلفة وإرسالها إلى لوحة التحكم. بعد معالجة البيانات، يتم إرسالها من ESP32 إلى لوحة التحكم عبر شبكة WIFI باستخدام بروتوكول HTTP، حيث يتم تخزينها في قاعدة بيانات SQL. استخدام ESP32 كجهاز بوابة يتيح جمع البيانات البيئية وإرسالها بسرعة إلى لوحة التحكم، مما يوفر تنبيهات فورية لفرق الإطفاء. بالإضافة إلى ذلك، يوفر استخدام ESP32 حلاً منخفض التكلفة مقارنة بتقنيات الاتصال الأخرى.

3-4-4 التطبيق الخلفي Backend:

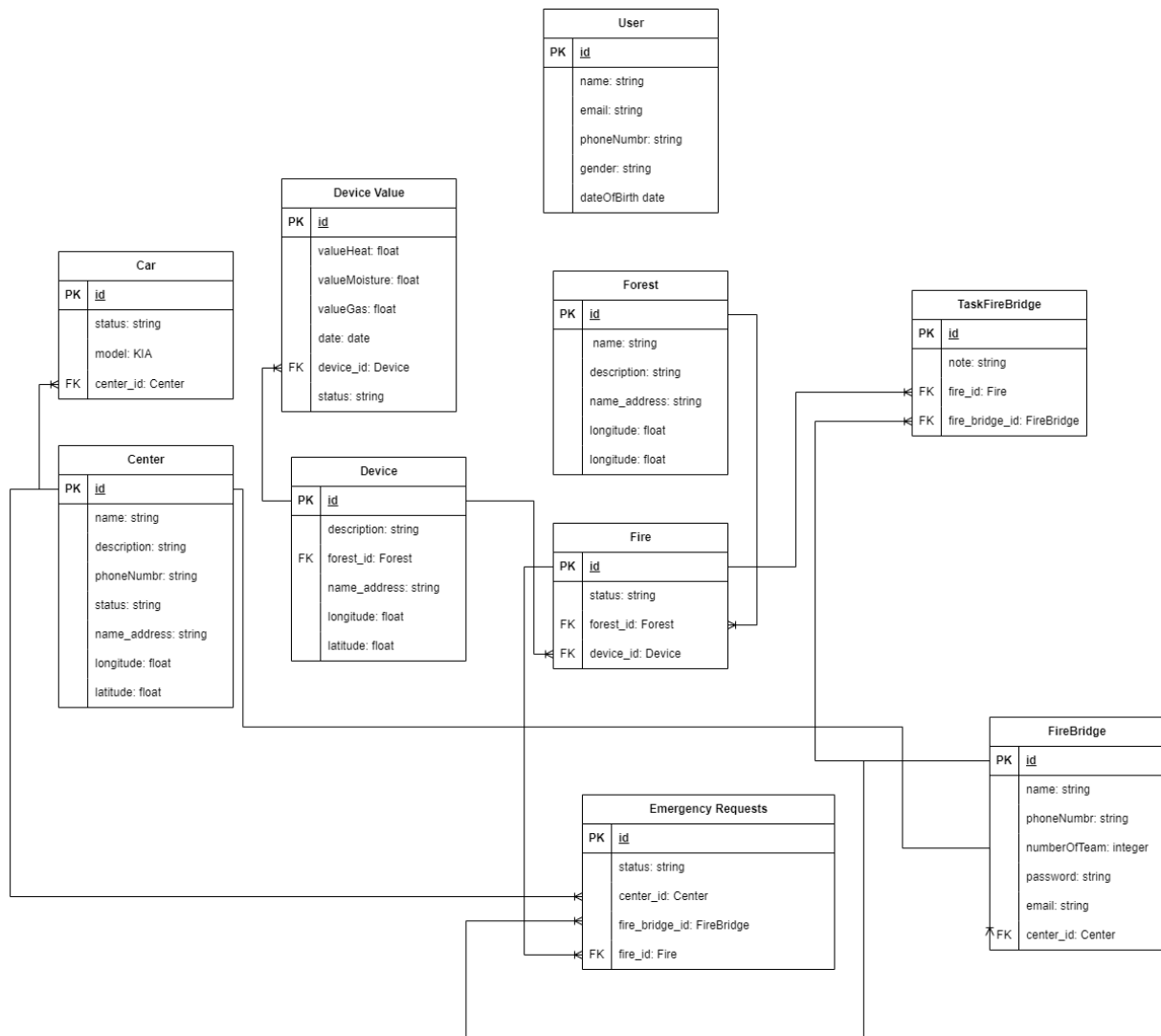
3-4-1 مرحلة التصميم:

في هذا القسم سنعرض تصميم النظام الخاص بنا باستخدام الرسوم البيانية الموحدة للنمذجة (UML) للتطبيق الخلفي (Backend) لقد قمنا بتصميم مجموعة من الرسوم البيانية التي تساعد في توضيح البنية الوظيفية والمعمارية للنظام، بما في ذلك رسوم الحالات الاستخدامية (Use Case Diagrams) ، والرسوم البيانية لعلاقة الكيانات (Entity-Relationship Diagram – ERD) ، ورسوم الفئات (Class Diagrams) ، ورسوم النشاط (Activity Diagrams) هذه الرسوم تقدم تصوراً واضحاً عن كيفية عمل النظام وكيفية تفاعل المكونات المختلفة مع بعضها البعض.



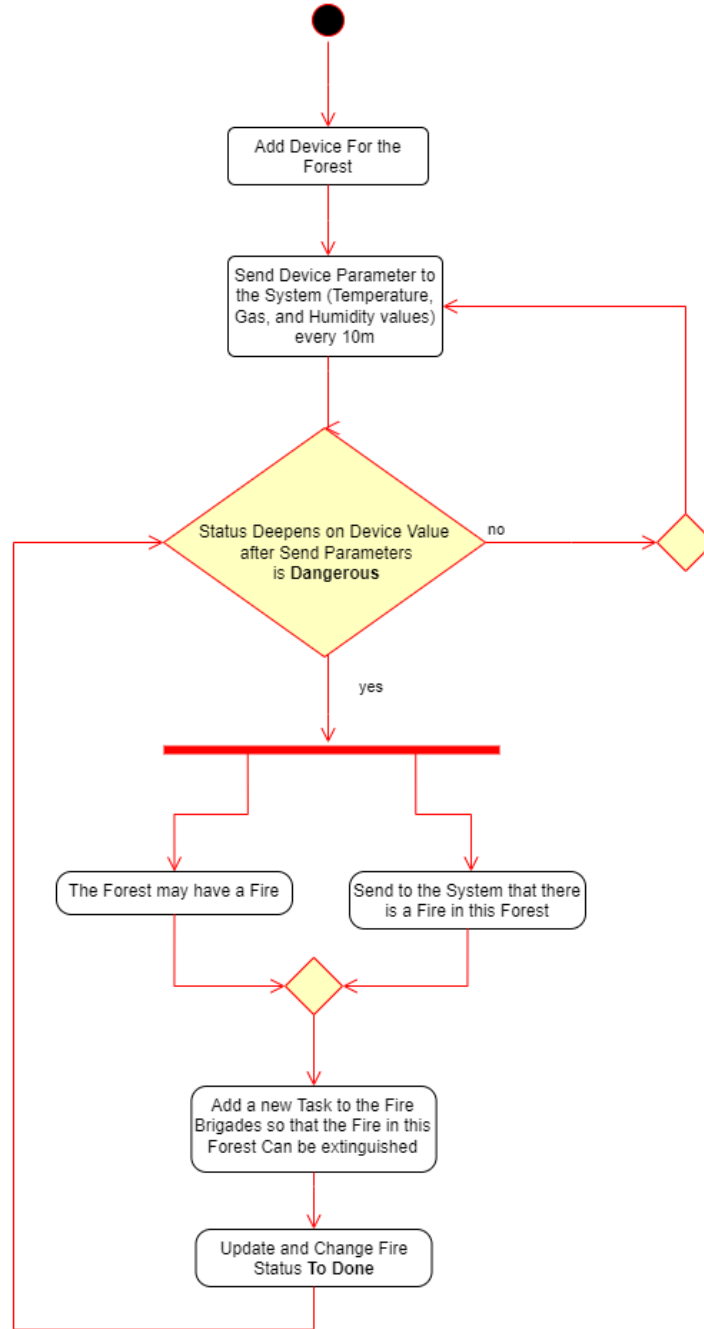
الشكل 3-6 مخطط يصف حالات استخدام النظام

يُظهر هذا الرسم جميع السيناريوهات الرئيسية التي يمكن للمستخدمين تنفيذها ضمن النظام. لقد قمنا بتعريف حالات الاستخدام الأساسية. كل حالة استخدام مرتبطة بالمستخدمين المناسبين، مثل المسؤولين عن مراكز الاطفاء أو فرق الاطفاء الذين يتلقون التنبيهات.



الشكل 8-3 مخطط يصف علاقات كيانات النظام

يُظهر رسم علاقات الكيانات هيكلية قاعدة البيانات الخاصة بالنظام. لقد قمنا بتحديد الكيانات الرئيسية. تم توضيح العلاقات بين هذه الكيانات. هذا الرسم يساعد في فهم كيفية تخزين البيانات وكيفية تفاعل الجداول المختلفة في قاعدة البيانات.



الشكل 3-9 مخطط نشاط النظام

مخطط النشاط يُستخدم لتوضيح تدفق العمليات داخل النظام. يعرض الرسم تسلسل الأنشطة المختلفة المطلوبة لتنفيذ حالات استخدام معينة. على سبيل المثال. هذا الرسم يساعد في فهم الخطوات المختلفة المطلوبة لتنفيذ العمليات وكيفية تدفق البيانات بين المكونات المختلفة.

3-4-2 مرحلة التنفيذ

تم بناء التطبيق الخلفي لتوفير واجهة برمجة التطبيقات (API) لخدمة تطبيقات الواجهة الأمامية وتلبية احتياجات الهيئة النازمة المفترضة. API هي مجموعة من القواعد والبروتوكولات التي تمكن التطبيقات من التواصل والتفاعل مع بعضها البعض. تعمل API على تحديد طرق الاتصال وتبادل البيانات بين التطبيقات المختلفة، مما يسمح للمطورين باستخدام وظائف ومحتوى التطبيقات الأخرى في تطبيقاتهم الخاصة. واحدة من أهم خصائص API هي أنها غير مرتبطة بلغة محددة، مما يعني أن المطورين يمكنهم استخدام أي لغة برمجة يفضلونها للاتصال والاستخدام مع API. تتواجد العديد من أنواع API في تطوير البرمجيات وتمكين التواصل بين التطبيقات. بالنسبة لـ Endpoints، فهي عبارة عن عناوين URL المستخدمة للوصول إلى موارد محددة في API. يتم استخدام أنواع مختلفة من Endpoints مثل PUT و POST و GET و DELETE للقيام بإجراءات مختلفة على الموارد.

PUT: يستخدم لتحديث موارد موجودة في API.

POST: يستخدم لإنشاء موارد جديدة في API.

GET: يستخدم لاسترداد معلومات أو موارد موجودة في API.

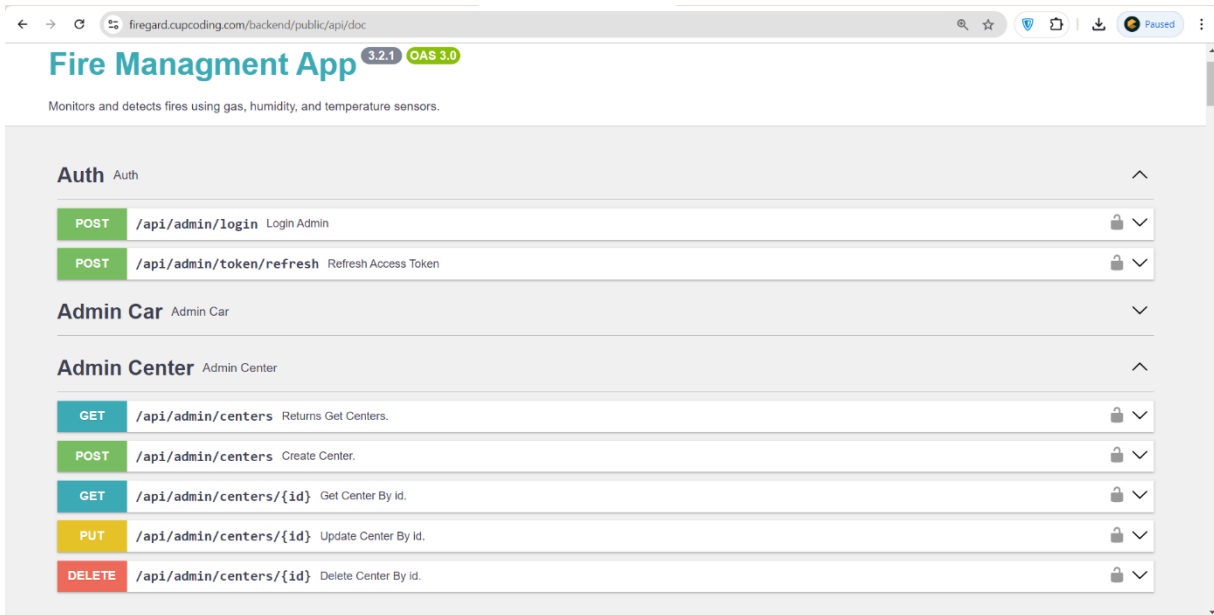
DELETE: يستخدم لحذف موارد موجودة في API. أما بالنسبة Token، فهو عبارة عن سلسلة مميزة تستخدم للتحقق من هوية المستخدم والسماح له بالوصول إلى موارد محددة في API. يتم توليد Token عادةً بعد تسجيل الدخول أو عملية المصادقة، ويتم إرساله مع كل طلب API للتحقق من صحة الوصول.

3-4-2-1 اختبار APIs

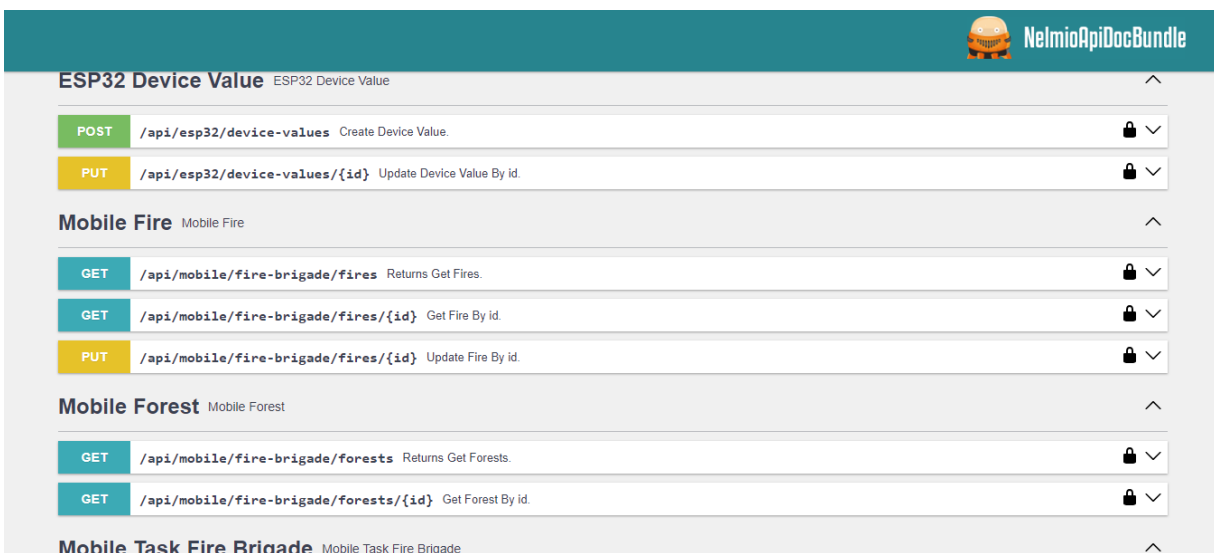
يتم اختبار APIs عادة بعد مرحلة تنفيذه، وهناك العديد من الطرق والأدوات لاختبار API ومدى جودة الخدمة التي يقدمها هذا API. يُستخدم في عملية الاختبار واجهة اختبار تسمى Swagger UI وهو واجهة تساعد في بناء وتوثيق واستخدام واجهات برمجة التطبيقات API. يمكن للمطورين استخدام Swagger UI لتوليد التوثيق تلقائيًا لـ API من الكود، مما يساعد في تبسيط عملية التطوير.

تم اختبار جميع Endpoints التي توفرها APIs وهل تقوم بعملها الصحيح أم لا. يقوم المستخدم في واجهة التطبيق الأمامية بإرسال بيانات المستخدم الجديد (POST) في جسم الطلب. يقوم الخادم بإرسال رسالة

استجابة تحتوي على مفتاح تسجيل المستخدم (Token) وتحتوي على تحديث المفتاح (Refresh Token). حيث يوجد مدة صلاحية للجلسة بعدها يجب تحديث المفتاح القديم.



الشكل 3-10 واجهة Swagger UI



الشكل 3-11 واجهة Swagger UI

3-5 لوحة التحكم:

3-5-1 مرحلة التصميم

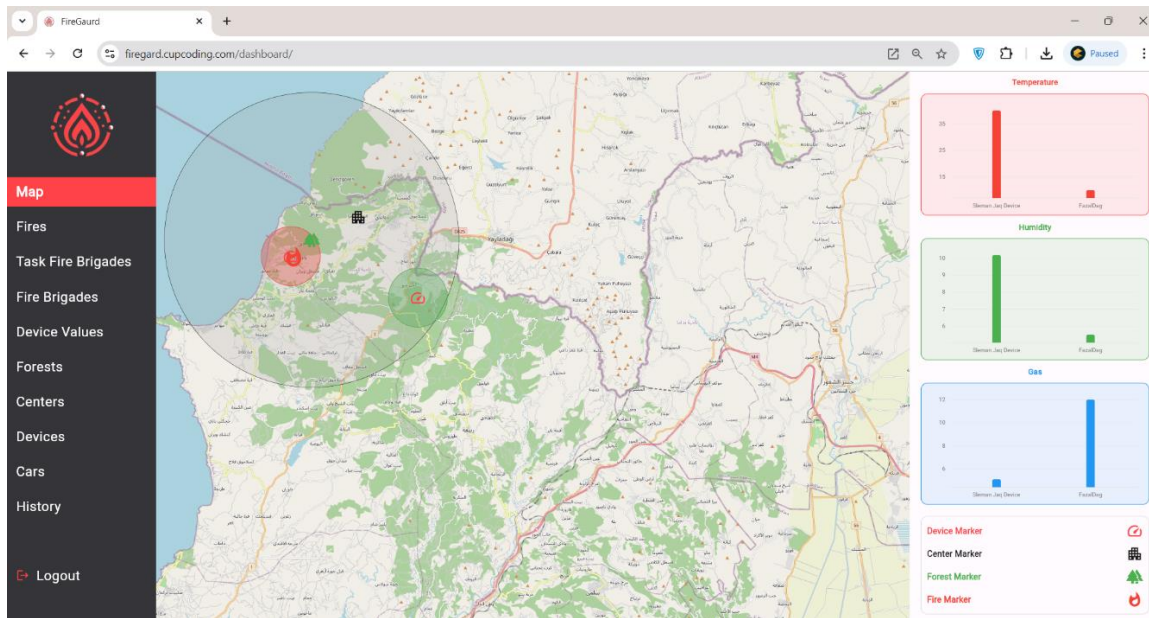
تم تصميم واجهات لوحة التحكم بطريقة بسيطة وملائمة للمستخدمين، بحيث يتمكن المستخدم من فهم المعلومات التي تظهرها لوحة التحكم تم تصميم اللوحة عن طريق برنامج Figma.

3-5-2 مرحلة التنفيذ

تحتوي لوحة التحكم على مجموعة واسعة من الخدمات نذكر منها الوصول لمجموعة الحساسات وقيم هذه الحساسات وإدارة الغابات الموجودة ضمنها هذه الحساسات وإدارة الحرائق في حال تم اكتشاف حدوثها قبل انتشارها وإدارة مراكز وسيارات الاطفاء وإدارة فرق الاطفاء واسناد المهام الى كل فريق.

تمكن لوحة التحكم المراكز من مراقبة المهام المسندة لكل فريق لكي يتم السيطرة على اي اذار من اي غابة يوجد فيها حساس للحرائق.

3-5-3 الشكل النهائي للوحة التحكم



الشكل 3-12 الصفحة الرئيسية



تحتوي على قائمة جانبية مشتركة لجميع الصفحات يمكن المستخدم من الانتقال الى قسم من أقسام الموقع وهو شريط ثابت سيكون متواجد في جميع الصفحات يحوي الشريط على روابط تأخذ المستخدم إلى:

- **الخريطة** (وسيتم من خلالها عرض الغابات ومكان تواجد الحساسات والمنطقة التي يغطيها كل جهاز استشعار ومكان مراكز الإطفاء في حال حدوث حريق ضمن منطقة معينة سيظهر موقع الحريق ع الخريطة وأيضا يتم عرض مخططات لكل من قيم الحرارة والرطوبة والغاز التي تقيسها أجهزة الاستشعار في كل منطقة)
- **الحرائق** (وستكون عبارة عن جدول يحوي فيه جميع الحرائق او الانذارات التي تم حصولها وتحوي ايضا معلومات الغابة التي تم فيها هذا الانذار مع معلومات جهاز الحساس التي اصدرت هذا الانذار)
- **أجهزة الاستشعار** (وفيها جميع الحساسات التي تم تركيبها في الغابات وربطها في المنصة ليتم الحصول على الانذارات والقيم من هذه الغابة)
- **قيم الحساسات** (وفيها يكون قيم الحساس المرسل من قبله وهي قيمة الحرارة والرطوبة والغاز وحالة هذه القيم المرسل ومن هذه القيم يتم الانذار بحصول حريق في الغابة او عدم حصوله)
- **الغابات** (وفيها يتم ادارة الغابات التي يوجد فيها الحساسات وتتم مراقبتها بشكل دوري لحمايتها من حصول اي انذار بوجود حريق)
- **المراكز** (وفيها يتم ادارة جميع المراكز المدعومة من قبل المنصة وادارة سيارات اطفاء هذه المراكز)
- **فرق الاطفاء** (وفيها يتم ادارة جميع فرق الاطفاء التابعة للمراكز في المنصة لكي يتم العمل على انجاز المهام من قبل هذه الفرق وادارة المهام المسندة لكل فريق ومتابعة حالة كل مهمة لكل فريق موجود في المركز)
- **طلبات النجدة** (وفيها يتم مراقبة إذا كان هنالك أي طلب نجدة تم ارساله اضافة لاسم الفريق ومكان الحريق واسم المركز التابع له هذا الفريق)

ID	Status	Forest	Last Updated	Details
2	Onfire	Sieman Jaq	17/08/2024 12:45 PM	Add Task
1	Onfire	Sieman Jaq	17/08/2024 12:30 PM	Add Task



الشكل 13-3 صفحة الحرائق

يتمكن مسؤول مراكز الإطفاء من خلال هذه الواجهة من معرفة وإدارة جميع الحرائق الفعالة التي تحدث في الغابة مع معرفة حالة كل حريق في الوقت الحالي مما يسهل عملية إدارة المهام والسيطرة على جميع الحرائق بشكل فعال ويتم إسناد مهام إلى كل فريق في المركز، وإدخال ملاحظات حول المهمة لكي يتمكن الفريق من إنجاز المهمة بشكل فعال.

ID	Fire Brigade	Note	Status	Updated At	Actions
1	Samra Heroes	Take Care The Fire Is Big	ONFIRE	17/08/2024 02:40 PM	 

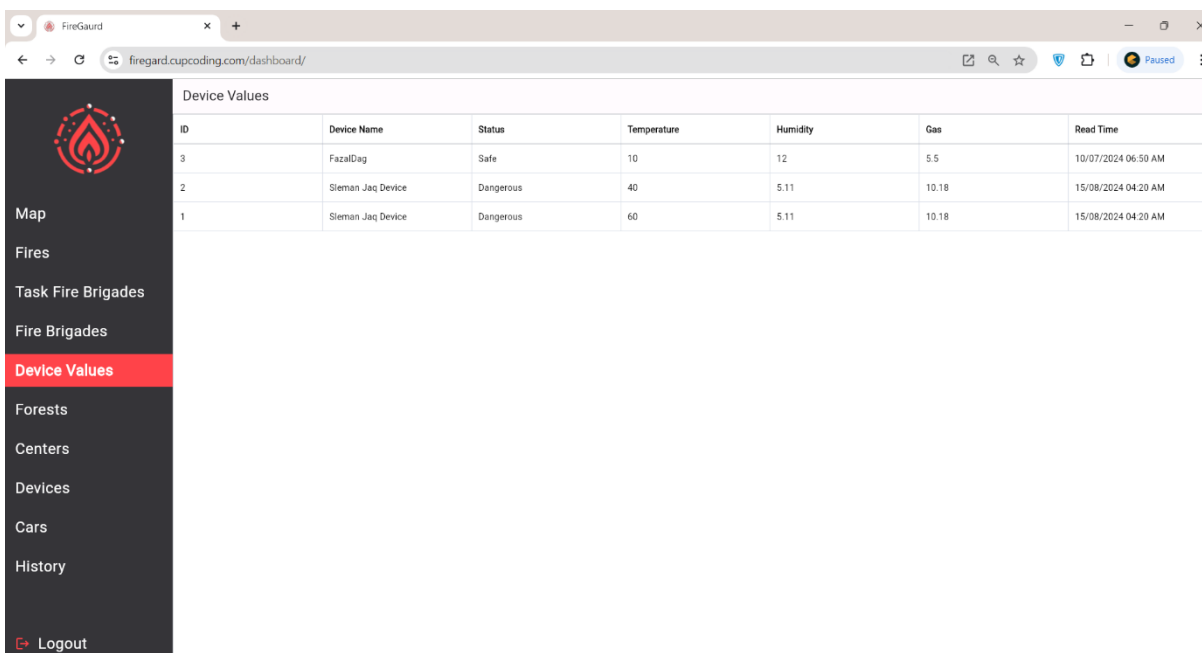
الشكل 3-14 صفحة المهام

تمكن مسؤول مراكز الإطفاء في هذه الواجهة من مراقبة المهام المسندة لكل فريق وحالة كل مهمة.

ID	Name	Email	Number of Team	Center	Actions
1	Samra Heroes	samra@firegaurd.com	10	Samra Center	 

الشكل 3-15 صفحة فرق الاطفاء

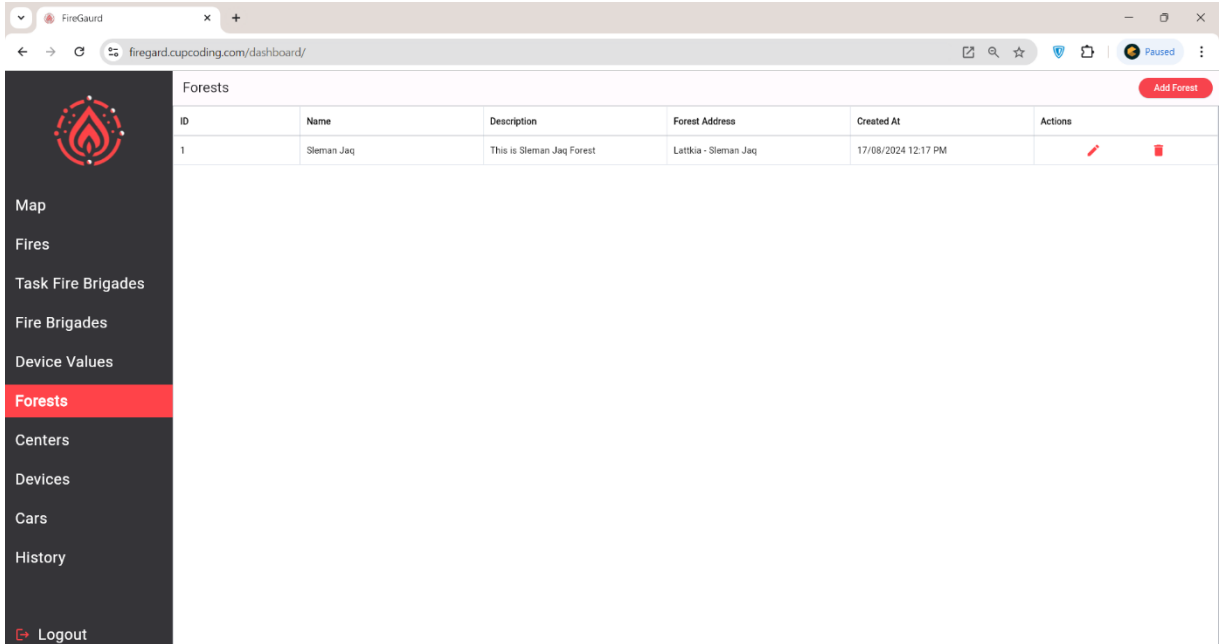
تمكن هذه الواجهة مسؤول مراكز الإطفاء من إنشاء فريق إطفاء جديد مع تفاصيله لكي يتمكن من إسناد المهام له ويدخل معلومات تسجيل الدخول لهذا الفريق على تطبيق الموبايل ليتمكن من معرفة المهام المسندة له من قبل إدارة مراكز الإطفاء.



ID	Device Name	Status	Temperature	Humidity	Gas	Read Time
3	FazalDag	Safe	10	12	5.5	10/07/2024 06:59 AM
2	Sieman Jaq Device	Dangerous	40	5.11	10.18	15/08/2024 04:20 AM
1	Sieman Jaq Device	Dangerous	60	5.11	10.18	15/08/2024 04:20 AM

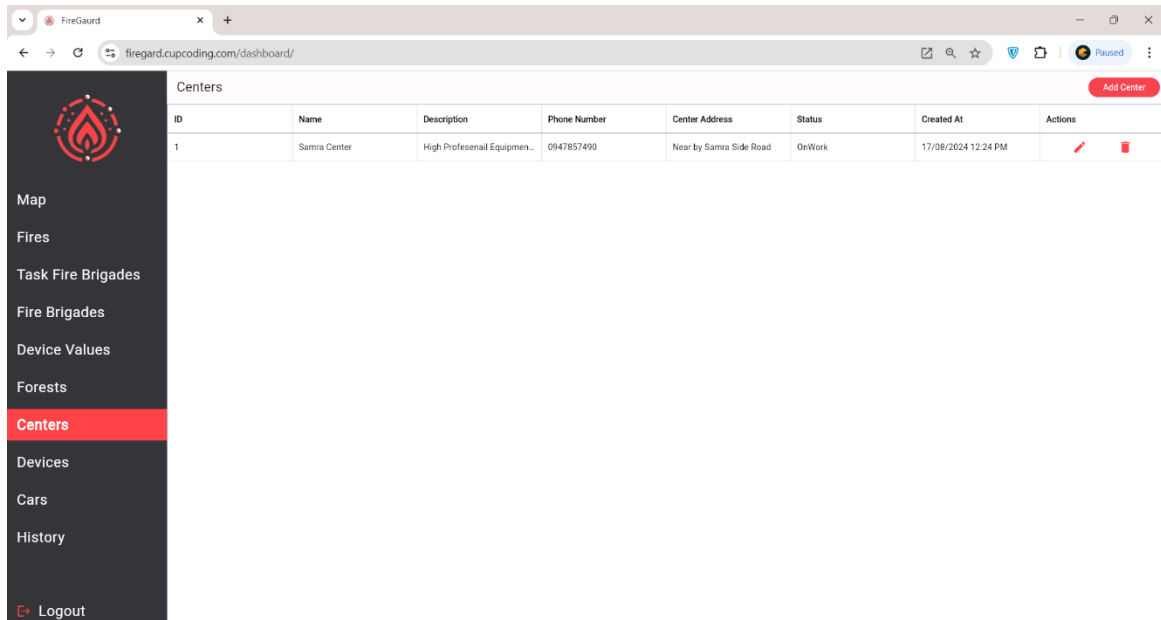
الشكل 16-3 قيم أجهزة الاستشعار

تمكن هذه الواجهة مسؤول مراكز الإطفاء من قراءة ومعرفة قيم الحساسات التي تأتي من الغابة ومنها قيم الغاز والرطوبة والحرارة والذي بدوره يقوم جهاز الاستشعار بإرسالهم وحالة هذه القيم وبناءً على هذه القيم يتم الإنذار بحدوث حريق أو عدم حدوثه في الغابة.



الشكل 3-17 صفحة الغابات

تمكن هذه الواجهة مسؤول مراكز الإطفاء من قراءة ومعرفة الغابات المدعومة من قبل النظام ويمكنه إضافة غابة جديدة لكي يتم مراقبتها وحمايتها من الحرائق من خلال إضافة أجهزة استشعار داخلها.



الشكل 18-3 صفحة مراكز الاطفاء

تمكن هذه الواجهة من معرفة جميع المراكز المدعومة من قبل النظام ومعرفة تفاصيله وإضافة مركز جديد ليتم إضافة فرق إطفاء في هذا المركز وإسناد المهام للفرق الجديدة.

ID	Name	Description	Device Address	Latitude	Longitude	Created At	Updated At	Actions
2	FazalDag	FazalDag	FazalDag Near by the W...	35.86673403678972	35.99991266540032	17/08/2024 01:28 PM	17/08/2024 01:28 PM	
1	Sieman Jaq Device	Sieman Jaq Description	Sieman Jaq Near by the...	35.892093598436844	35.90394811401274	17/08/2024 12:20 PM	17/08/2024 01:23 PM	

الشكل 19-3 صفحة أجهزة الاستشعار

تمكن هذه الواجهة مسؤول النظام من قراءة ومعرفة جميع اجهزة الاستشعار المدخلة في النظام ومعرفة عنوان كل جهاز بالإحداثيات ومعلومات الغابة التي يوجد فيها هذا الجهاز ويمكنه إضافة جهاز جديد ضمن غابة محددة لاستقبال منه قيم الاستشعار ويتم الإنذار عن طريقه بوجود حريق او عدم وجوده

3-5 تطبيق فرق الاطفاء:

3-5-1 مرحلة التصميم:

تم تصميم واجهات هذا التطبيق بطريقة بسيطة وملائمة للمستخدمين، بحيث يتمكن المستخدم من فهم المعلومات التي يظهرها التطبيق. تم تصميم التطبيق عن طريق برنامج Figma.

وتم في عملية التصميم اتباع قواعد تصميمية نذكر منها:

- بساطة التصميم: قمنا بتوفير واجهة بسيطة وغير معقدة. استخدمنا تصميمًا بسيطاً وألواناً متناغمة لتجنب الالتباس وتسهيل التفاعل.

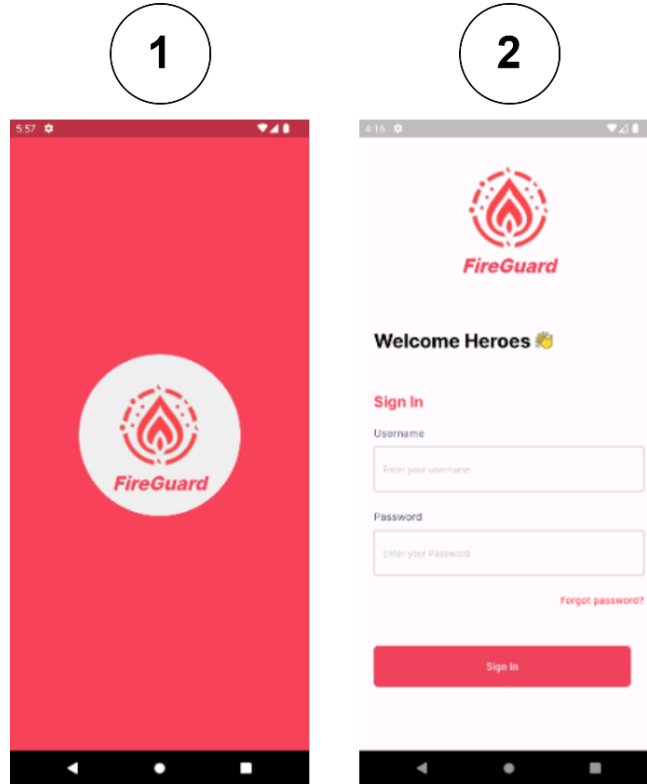
- تنظيم العناصر: تنظيم العناصر بشكل منطقي ومناسب. تم تجميع العناصر المتشابهة معًا لتجنب الفوضى والإلهاء.
- استخدام الرموز التوضيحية: تم استخدام رموز واضحة ومفهومة لتسهيل فهم التطبيق واستخدامه.
- الاستخدام السليم للعناصر التفاعلية: وضعنا عناصر تفاعلية واضحة وسهلة الاستخدام. واستخدمنا الأزرار والروابط ذات الحجم المناسب وتم وضعها بشكل مناسب لتسهيل التفاعل.

3-5-2 مرحلة التنفيذ:

تم تنفيذه عن طريق إطار عمل Flutter لكي نوحّد جميع التطبيقات ضمن إطار عمل واحد لسهولة التعديل وتنفيذ المشروع.

3-5-2-1 قسم تسجيل الدخول

نجد في هذا القسم واجهتان رئيسيتان لتنفيذ عملية تسجيل الدخول، الواجهة رقم 1 هي واجهة ترحيبية تظهر لعدة ثواني ثم يتم الانتقال للواجهة رقم 2 التي من خلالها سوف يقوم فريق الاطفاء بتسجيل الدخول باستخدام المعلومات الخاصة بكل فريق اطفاء والمعطاة من قبل ادارة مراكز الاطفاء.



الشكل 20-3 واجهات قسم تسجيل الدخول

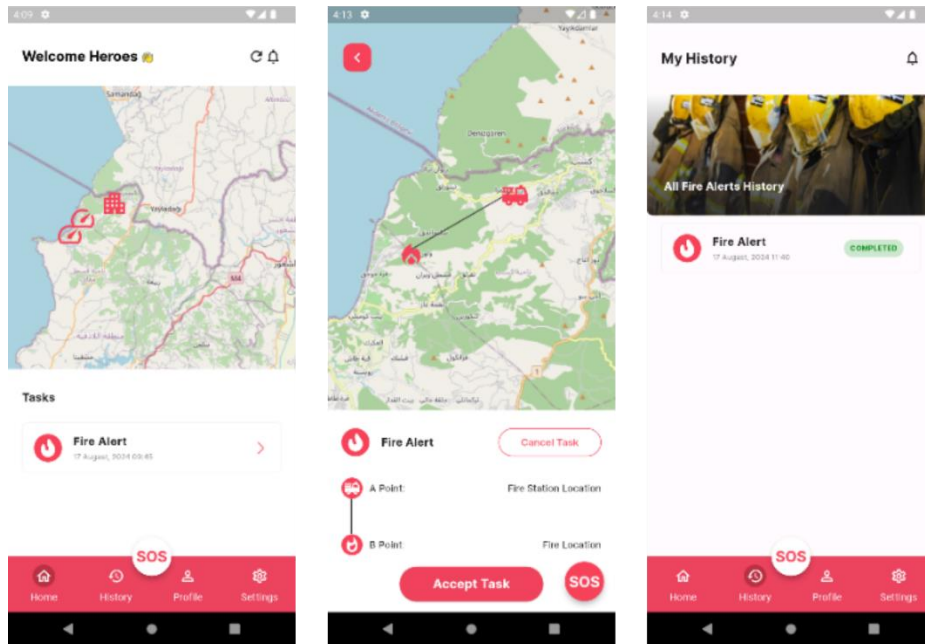
3-5-2-2 القسم الرئيسي

يحتوي هذا القسم على عدة واجهات رئيسية، تظهر الواجهة رقم 3 في البداية خريطة توضح موقع مركز الاطفاء التي يتبع له فريق الاطفاء واجهزة الاستشعار في الغابة ونجد ايضاً قسم خاص بالمهام المسندة لفريق الاطفاء من قبل الادارة في حال حدوث حريق في الغابة. عند ظهور مهمة في قائمة المهمات لفريق الاطفاء، يقوم فريق الاطفاء بالنقر على المهمة فينتقل للواجهة رقم 4 والتي تحوي خريطة توضح موقع سيارة فريق الاطفاء وموقع الحريق المراد التوجه إليه مع اعطاء مسار تقريبي بين سيارة فريق الاطفاء وموقع الحريق. ويوجد ايضاً بعض الرموز النصوص لمساعدة فريق الاطفاء لمعرفة كل رمز ضمن الخريطة إلى ماذا يشير وايضا يتفاعل فريق الاطفاء من خلال الازار الموجدة في الواجهة رقم 4 من خلال قبول المهمة فور البدء في اطفاء الحريق او الغاءها في حال تم التوجه لموقع الحريق وكان انذار خاطئ وذلك بسبب عطل في احدى تجهيزات الاستشعار التي نهت بوجود حريق في منطقتها وفي حال كان هناك حريق ولم يستطع فريق الاطفاء اطفاءه وتبين ان هذه المهمة تحتاج امدادات اخرى من قبل المركز فيستطيع فريق الاطفاء طلب الامدادات من المركز من خلال النقر على زر SOS. وايضا يوجد لدينا الواجهة رقم 5 والتي من خلالها يستطيع فريق الاطفاء معرفة المهمات السابقة لهم التي تم اكمالها بنجاح او تم الغاءها مع تفاصيل بسيطة عن هذه المهمات.

3

4

5

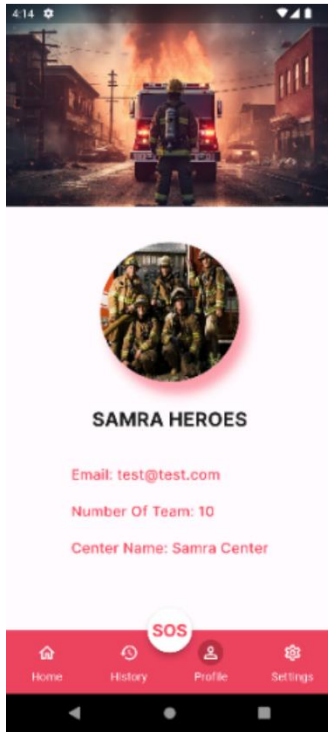


الشكل 3-21 واجهات القسم الرئيسي

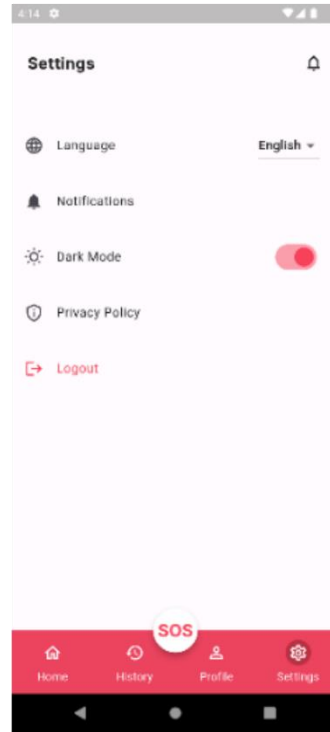
3-2-5-3 قسم اعدادات التطبيق والملف الشخصي

إن الواجهة رقم 6 يستطيع من خلالها فريق الإطفاء معرفة بعض التفاصيل عن الفريق الخاص بهم مثل اسم الفريق والبريد الالكتروني وعدد أعضاء الفريق واسم المركز الذي يتبع له هذا الفريق وأخيراً الواجهة رقم 7 تعرض بعض الاعدادات الخاصة بالتطبيق مثل اللغة والاشعارات وسياسة الخصوصية او تسجيل الخروج من التطبيق.

6



7



الشكل 3-22 قسم إعدادات التطبيق والحساب الشخصي

3-6 الخاتمة:

في هذا الفصل، قمنا بعرض النتائج التي تم التوصل إليها بعد تنفيذ الحل المقترح. تم شرح كيفية بناء كل تطبيق من أدوات الحل بشكل مفصل، بدءًا من جهاز الاستشعار مرورًا بجهاز بوابة الإرسال والتطبيق الخلفي وتطبيق الهاتف المحمول ولوحة التحكم.

الخلاصة والمقترحات المستقبلية

أظهرت النتائج أن جهاز الاستشعار المقترح فعال في تنفيذ الحل، حيث استطاع العمل لساعات طويلة بدون أخطاء وقياس الظروف المحيطة بدقة. كما تم تصميم وتنفيذ جهاز بوابة الإرسال بنجاح، مما أتاح جمع البيانات البيئية وإرسالها إلى لوحة التحكم.

فيما يخص التطبيق الخلفي، تم تصميم النظام باستخدام الرسوم البيانية الموحدة للنمذجة (UML) لتوضيح البنية الوظيفية والمعمارية للنظام. هذا التصميم ساعد في تحقيق تكامل سلس بين المكونات المختلفة للنظام، مما يضمن استجابة سريعة وفعالة للتبويضات البيئية.

أما بالنسبة لتطبيق الهاتف المحمول، فقد تم تطويره لتوفير واجهة مستخدم سهلة الاستخدام تمكن فرق الإطفاء من الوصول إلى البيانات في الوقت الفعلي. يتيح التطبيق تلقي التبويضات والتفاعل معها، مما يعزز من كفاءة الاستجابة. وأخيراً، تم تصميم لوحة التحكم لتكون مركزية لإدارة النظام بأكمله. توفر لوحة التحكم واجهة رسومية متقدمة لعرض بيانات أجهزة الاستشعار، بالإضافة لإمكانية إضافة المهام لفرق الإطفاء. تساهم لوحة التحكم في تحسين عملية اتخاذ القرار وتوفير رؤية شاملة للحالة البيئية في المناطق المستهدفة.

بالنسبة للاقتراحات المستقبلية، فنحن نطمح استخدام تقنيات تحليل البيانات لتحليل البيانات التاريخية (تاريخ حصول الحرائق) والتنبؤ بالحرائق المستقبلية. بالإضافة إلى ذلك، يمكننا تعزيز النظام باستخدام الطائرات بدون طيار (الدرونات). يمكن استخدام الدرونات لمراقبة المناطق الواسعة من الغابات بشكل دوري، مما يتيح الكشف المبكر عن الحرائق. كما يمكن تجهيز الدرونات بكاميرات حرارية للكشف عن النقاط الساخنة التي قد تشير إلى بداية حريق.

بهذه الخطوات، نأمل أن نكون قد أسهمنا في حماية غاباتنا والحفاظ على بيئتنا للأجيال القادمة.

- [1] S. S. P. F. B. B. A. S. K. C. S. J. P. Z. Q., "Examining the effects of forest fire on terrestrial carbon emission and ecosystem production in India using remote sensing approaches.," 2020.
- [2] T. A. P. A. A. I. K. G. T. G. O. K., "An alertness-adjustable cloud/fog IoT solution for timely environmental monitoring based on wildfire risk forecasting Energies.," 2020.
- [3] H. Kaur, "Cloud-assisted green IoT-enabled comprehensive framework for wildfire monitoring. Cluster Comput.," 2019..
- [4] M. J. D. S. Sarojadevi H., "IoT based system for alerting Forest Fire and control of Smuggling," 2019.
- [5] R. Niranjana, "An Autonomous IoT Infrastructure for Forest Fire Detection and Alerting System. Int. J. Pure Appl. Sci. 119,," 2018.
- [6] H. C. R. Ahlawat, "2020. Detection, and Monitoring of Forest Fire Using Serial Communication and Wi-Fi Wireless Sensor Network, in Adv. Intell. Syst. Comput., Springer, 464–492.,," 2020.
- [7] "flutterawesome," 11 May 2022. [Online]. Available: <https://flutterawesome.com/flutter-app-utilizando-clean-architecture/>.
- [8] S. Santos, "randomnerdtutorials," [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-lora-rfm95-transceiver-arduino-ide/>.