الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي _سكيكدة_

قســـــم التكنولـــوجيـــا

التخصص: هندسة كهربائية

مذكرة التخرج لنيل شهادة أستاذ التعليم الثانوي

دراسة وإنجاز حاضنة بيض ذكية ذات كلفة منخفضة تعتمد على نظام تقنية أنترنت الأشياء (IOT) لاستخدامها في المناطق النائية

من إعداد:

زرهوني عبد المالك
زطوطة هيثم

تحت إشراف الأستاذ: رحاب عبد الرزاق

لجنة المناقشة:

حجامي مروان	أستاذ محاضر-ب-	رئيسا	م.ع.أ.ت.ت سكيكدة
رحاب عبد الرزاق	أستاذ محاضر-أ-	مشرفا	م.ع.أ.ت.ت سكيكدة
سناني فوزي	أستاذ محاضر-ب-	ممتحنا	م.ع.أ.ت.ت سكيكدة

شكر وعرفان

الحمد لله السميع العليم ذي العزة والفضل العظيم والصلاة والسلام على أشرف الخلق والمرسلين محمد الرسول الكريم وعلى آله وصحبه أجمعين، اما بعد مصداقا لقوله تعالى: " وإذ تأذن ربك لئن شكرتم لأزيدنكم " نشكر الله عز وجل على تيسيره لنا درب العلم والمعرفة وإعانته لنا على إتمام هذا العمل، فالحمد لله على ما باركت لنا في سعينا يا الله ولك الفضل في الدنيا والآخرة.

كما نتقدم بجزيل الشكر والامتنان للأستاذ " **رحاب عبد الرزاق** " لقبوله الإشراف على هذه الدراسة وما قدم لنا من نصائح وتوجيهات طيلة إجراء هذه الدراسة من خلال إرشاداته وتوجيهاته في كل خطوات البحث المنجز.

كما نتقدم بالشكر والامتنان إلى أفراد العائلة الكريمة وإلى كل من مد لنا يد العون من قريب أو بعيد وساعدنا في إنجاز هذا العمل بتعاونه أو تشجيعيهم لنا فنقول لكم بارك الله فيكم وجزاكم الله خير الجزاء

والشكر أيضا إلى المناقشين الذين تفضلوا بقبول مناقشة هذه الدراسة وبذلا للوقت والجهد في التدقيق وإثراء هذا البحث شكلا ومضمونا

الإهداء

الحمد لله أولًا وآخرًا، ظاهرًا وباطنًا، على نعمه التي لا تُعدّ ولا تُحصى، وعلى توفيقه وإحسانه الذي به نُنجز، وبه نستعين. وأشهد أن لا إله إلا الله وحده لا شريك له، تعظيمًا لجلاله، وإقرارًا بوحدانيته، وأشهد أن محمدًا عبده ورسوله، المبعوث رحمة للعالمين، صلى الله عليه وعلى آله وصحبه أجمعين، ومن تبعهم بإحسان إلى يوم الدين.

بعد حمد الله تعالى وشكره على ما مَنَّ به عليّ من عون وتوفيق في إنجاز هذا العمل المتواضع، أتقدّم بأسمى آيات الشكر والعرفان إلى والديَّ العزيزين، اللذين كانا لي بعد الله خير سند ودعم، دعماً لا يعرف فتورًا، وحبًا لا تحدّه حدود. أسأل الله أن يجزيهما عني خير الجزاء، وأن يبارك في عمرهما، ويغمرهما بالصحة والعافية، فما قدّماه لي أعظم من أن يُرد أو يُجزى.

كما لا يسعني إلا أن أرفع كلمات الشكر والتقدير إلى أستاذي الفاضل "رحاب عبد الرزاق"، الذي لم يبخل عليّ بتوجيهه ونصحه ودعمه طوال فترة هذا البحث، فكان مشعلًا أنار لي الطريق، ودافعًا للاستمرار. فجزاه الله عني وعن كل طالب علم خير الجزاء، وبارك له في علمه وعطائه.

وإلى عائلتي العزيزة، إلى أمي وأبي، وإلى أخواتي الكريمات اللواتي كنّ لي عونًا وسندًا، أشكركن من أعماق قلبي على محبتكن ودعائكن ومساندتكن الدائمة. كنتنّ دائمًا مصدر قوتي وإلهامي، وإنني وإن حملت جبال الذهب، لما وفيتكنّ حقكنّ.

ولا أنسى زملائي الأعزاء، الذين كانت صحبتهم الطيبة نورًا في دربي، وذكرى جميلة ترافقني مدى الحياة. أسأل الله أن يوفقكم جميعًا، وأن يجمعنا دائمًا على الخير والعلم والمحبة.

قال تعالى:

"رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَىٰ وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ وَأَدْخِلْنِي بِرَحْمَتِكَ فِي عِبَادِكَ الصَّالِحِينَ"

-عبد المالك زرهوني-

الإهداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات

بعد رحلة مليئة بالتحديات والخبرات حافلة بالاجتهاد والمثابرة خضت فيها تجارب علمية وعملية طورت معرفتي وصقلت مهاراتي، مكنتني من أن أضع بين أيديكم ثمرة سنوات من السعي والتعلم راجيا أن تكون هذه المذكرة إضافة نافعة في مجالي وبداية لمشوار عملي مشرق.

إن من الوفاء أن أبدأ هذا العمل بإهداء أقدمه إلى من كان لهم الفضل والدعم في تحقيق هذا النجاح بعد **الله تعالى فالحمد لله** على توفيقه لي وعلى كل من كان له أثر في هذا الإنجاز.

اهدي ثمرة نجاحي إلى من جعلت الجنة تحت أقدامها، إلى من كان دعائها سر تفوقي ووصولي، إلى من علمتني وعانت الصعاب لأصل لما أنا عليه إلى الاسم الذي يخفي سر نجاحي **أمي الغالية** أدام الله عمرها وحفظها من كل سوء.

إلى من غرس فيّ قيم الاجتهاد والانضباط، إلى من كان سندا وعونا في حياتي إلى **أبي الغالي** أطال الله عمره وحفظه من كل سوء.

إلى القلوب الطاهرة الرقيقة إلى من كانوا سندا لي **إخوتي الأعزاء**، الى النجم الكبير في سماء عائلتنا الى صغير العائلة عدي حفظهم الله جميعا.

الى من كان لهمم أثر على حياتي الى من شاركني كلماته يوما الى كل من بدت عليه علامات الاهتمام وتمني الخير لكل من أمد يد العون من قريب أو بعيد الى **أصدقائي جميعا** الى **أساتذتي جميعا** إلى كل من ذكرتهم ذاكرتي ولم تذكرهم مذكرتي لكم جميعا أسمى معاني الامتنان وأصدق عبارات الشكر والتقدير.

هيثم زطوطة

ملخص

ملخص

تعتبر تقنية إنترنت الأشياء (IOT) من أهم التطورات الحديثة في التكنولوجيا، حيث تقدم إمكانية مراقبة وتحسين الظروف البيئية بدقة عالية. من بين التطبيقات العملية لهذه التقنية، الحاضنات الذكية التي تستخدم أنظمة استشعار للتحكم التلقائي في درجة الحرارة، الرطوبة، التهوية وتقليب البيض حيث تتميز هذه الأنظمة بدقتها في محاكاة الظروف الطبيعية مما يساهم في توفير بيئة مثالية لعملية التفقيس.

تهدف هذه الدراسة إلى استخدام تقنيات الاستشعار الدقيقة، الدوائر الإلكترونية والبرمجة لتطوير حاضنة بيض ذكية منخفضة التكلفة، قادرة على أداء مهام متعددة بشكل أوتوماتيكي، مثل قياس وتنظيم درجة الحرارة، تحريك صواني البيض، تأمين التهوية باستخدام المروحة والتحكم في مستوى الرطوبة. يتم استخدام مستشعر (DHT22) لقياس درجة الحرارة والرطوبة بدقة، بالإضافة إلى استخدام منصة (RemoteXY) للمراقبة والتحكم عن بُعد، مما يسهل تتبع الظروف البيئية وإجراء التعديلات اللازمة من أي مكان.

تكتسب أهمية المشروع بعدًا إضافيًا في المناطق النائية والمعزولة، حيث يمكن أن تسهم الحاضنات الذكية في تحسين الإنتاج الزراعي وتوفير مصادر غذائية مستقرة، مما يعزز من قدرة المجتمعات المحلية على الاعتماد على نفسها ويقلل من التكاليف المرتبطة بالنقل والتوزيع كما تركز الدراسة أيضًا على الجوانب التقنية المتعلقة بلوحة (ESP32)، تصميم وتجميع الدارات الإلكترونية، واختبار النموذج المقترح مع تحليل النتائج وتقديم حلول لتحسين الأداء في بيئات التشغيل الفعلية.

الكلمات المفتاحية: انترنت الاشياء(IOT) ، شريحة الاتصال (ESP32)، متحكم دقيق، برمجة، حساس، الحاضنة الذكية، التطبيقات، منصة (RemoteXY).

Résumé

Résumé

L'Internet des Objets (IOT) représente l'une des avancées technologiques majeures de ces dernières années, permettant la surveillance et le contrôle précis des conditions environnementales. Parmi ses applications concrètes, on retrouve les couveuses intelligentes, qui utilisent des systèmes de capteurs pour réguler automatiquement la température, l'humidité, la ventilation et le retournement des œufs. Ces systèmes simulent fidèlement les conditions naturelles, créant un environnement optimal pour l'incubation et augmentant les taux d'éclosion.

Ce projet vise à concevoir et développer une couveuse intelligente à faible coût en intégrant des capteurs de précision, des circuits électroniques de commande, et la programmation embarquée. Le capteur DHT22 est utilisé pour surveiller la température et l'humidité, un ventilateur assure la ventilation, et un actionneur effectue le retournement des œufs. Le système est connecté à la plateforme RemoteXY, permettant la surveillance et l'ajustement à distance via Wi-Fi.

Cette solution est particulièrement utile dans les zones rurales ou isolées, où elle peut améliorer la production agricole locale et renforcer l'autosuffisance alimentaire des communautés.

L'étude aborde également la mise en œuvre technique basée sur le microcontrôleur ESP32, la conception et l'assemblage des circuits, ainsi que les tests du prototype. Les résultats obtenus sont analysés afin de proposer des améliorations pour garantir une meilleure performance en conditions réelles.

Mots-clés : Internet des objets (IOT), puce de communication (ESP32), microcontrôleur, programmation, capteur, couveuse intelligente, applications, RemoteXY.

Abstract

Abstract

The Internet of Things (IOT) is one of the most important technological advancements in recent years, enabling accurate monitoring and control of environmental conditions. One of its practical applications is in smart egg incubators, which use sensor-based systems to automatically regulate temperature, humidity, ventilation, and egg turning. These systems accurately simulate natural conditions, creating an ideal environment for egg incubation and increasing hatching success rates.

This project aims to design and develop a low-cost smart egg incubator by integrating precision sensors, electronic control circuits, and embedded programming. The system uses a DHT22 sensor to monitor temperature and humidity, and a fan for automated ventilation. An actuator moves the egg trays at regular intervals, while humidity is controlled electronically. The system is connected to the RemoteXY platform, allowing remote monitoring and adjustment via Wi-Fi from any location.

This solution is especially valuable in remote or underserved areas, where access to stable agricultural resources is limited. The incubator can improve local food production and support community self-sufficiency by reducing dependency on external supply chains.

The study also addresses the technical implementation using the ESP32 microcontroller, circuit design and assembly, as well as prototype testing. Results are analyzed to propose improvements that enhance reliability and performance under real-world conditions.

Keywords: Internet of Things (IOT), communication chip (ESP32), microcontroller, programming, sensor, smart incubator, applications, RemoteXY.

الفهرس

الفهرس

الترميز العنوان الصفحة

الفهرس..... I
مقدمة عامة..... 2
1.I مقدمة..... 5

الفصل الأول: أنترنت الاشياء وحاضنة البيض الذكية

2.I انترنت الأشياء 5
1.2.I تعريف أنترنت الأشياء 5
2.2.I تاريخ انترنت الأشياء..... 5
3.2.I مبدأ عمل أنترنت الأشياء وعناصرها 6
4.2.I تقنيات انترنت الأشياء 6
5.2.I تطبيقات تقنية انترنت الأشياء في حياتنا..... 7
1.5.2.I أنترنت الأشياء في المدن الذكية (Smart Cities) 7
2.5.2.I تطبيقات انترنت الاشياء في المنازل الذكية..... 8
3.5.2.I تطبيقات انترنت الأشياء في الزراعة الذكية..... 8
4.5.2. I تطبيقات انترنت الاشياء في البيئة الذكية (SMART ENVIROMMENT)..... 9
6.2. I خصائص انترنت الاشياء..... 10
7.2. I منصات انترنت الاشياء..... 10
1.7.2.I تعريف منصات إنترنت الأشياء 10
2.7.2. I منصات إنترنت الأشياء المشهورة..... 10
8.2. I منصة RemoteXY 11
1.8.2. I مميزات منصة RemoteXY 11
2.8.2. I واجهتا التطبيق والموقع..... 11
3. I معلومات عامة حول عملية حضانة البيض..... 13
1.3. I تمهيد..... 13
2.3. I الحضانة الطبيعية..... 13
3.3 .I الظروف المثالية لفقس البيض 14
1.3.3. I الرطوبة..... 15
2.3.3. I التهوية..... 16

I .3.3.3 تقليب البيض 16
I .4.3 التطور الجنيني للدجاجة..... 17
I .4 التفقيس الصناعي 20
I .1.4 تعريف..... 20
I .2.4 لمحة تاريخية عن الحاضنات الاصطناعية..... 20
I .3.4 أنواع الحاضنات الاصطناعية 20
I .1.3.4 الحاضنات الثابتة 21
I.2.3.4 حاضنات التهوية 21
I.3.3.4 الحاضنات الاوتوماتيكية بالكامل 22
I.4.3.4 أنواع اخرى من الحاضنات المستعملة 23
I.4.4 العوامل المؤثرة في الحضانة الاصطناعية..... 24
I.1.4.4 درجة الحرارة..... 24
I.2.4.4 الرطوبة 25
I .3.4.4 التهوية..... 25
I .4.4.4 التقليب..... 25
I .5.4 أنظمة الحاضنات المستخدمة في حاضنات البيض من حيث تصميم الهيكل..... 25
I.1.5.4 النظام المفتوح (غرفة واحدة)..... 25
I .2.5.4 نظام القرية (غرفتان) 26
I.3.5.4 النظام الألماني (المتقدم) 27
I .4.5.4 أنظمة خاصة ومعدلة 27
I.5 خاتمة..... 29

الفصل الثاني: العناصر الإلكترونية للمشروع وطرق توصيلها

II.1 مقدمة..... 31
II.2 دراسة لوحة ESP32 31
II.2.2 دراسة مقارنة وتطبيقات عملية لوحة ESP32 في أنظمة إنترنت الأشياء 32
II.2.3 المميزات الأساسية والمكونات 36
II.2.4 مميزات ESP32..... 36
II.2.5 تطبيقات ESP32..... 37
II.2.6 الفرق بين ESP32 واللوحات الأخرى..... 38
II.2.6.1 الفرق بين ESP32 ومختف أنواع الاردوينو 38

7.2.II سبب اختيار (ESP32) في هذا المشروع 41
3.II الحساسات (SENSORS) 41
1.3.II حساسات الحرارة والرطوبة DHT11 و DHT22 41
1.1.3.II حساسDHT11 41
2.1.3.II حساسDHT22 42
3.1.3.II مبدأ عمل حساسات DHT11 وDHT22 42
4.1.3.II كيفية التواصل مع المتحكم الدقيق..... 43
5.1.3.II الفرق بين DHT11 وDHT22 43
4 .II الترطيب الصناعي (الترطيب بالموجات فوق الصوتية)..... 44
1.4.II الترطيب الطبيعي في الفقاسة (الحوض + مضخة الأكواريوم) 44
1.1.4.II الحوض المائي 44
2.1.4.II مضخة الأكواريوم..... 45
2.4.II الفرق بين الترطيب الصناعي والترطيب الطبيعي..... 45
5 .II محرك السيرفو..... 46
6 .II المحرك الخطوي..... 47
1.6 .II أنواع المحرك الخطوي 47
7.II المحرك التزامني احادي الطور..... 48
1.7.II مبدأ عمل المحرك المتزامن أحادي الطور 49
8.II شاشة الكريستال السائل LCD 16*2..... 49
1.8.II مواصفات شاشةLCD 16×2 50
9.II شاشة العرض OLED SSd1306 50
10.II وحدات الاتصال..... 51
1.10 .II وحدة الواي فاي فيESP32 51
2.10.II دور الواي فاي في نظام الحاضنة الذكية 51
3.10.II مزايا التصميم المعتمد على واي فايESP32 52
11.II وحدة RTC (Real-Time Clock) DS1302 52
1.11 .II مزايا وحدة RTC DS1302 53
12 .II المرحل : 53
1.12. II ربط المرحل مع ESP32..... 53
2.12 .II المرحل الثابت 54

II .1.2.12 مميزات وحدة الترحيل من النوع الصلب:(Solid State Relay Module) 55
II .3.2.12 آلية التحكم عبر الواي فاي 55
II .13 آلية التحكم عبر الواي فاي باستخدام تطبيقRemoteXY 55
II .14 خاتمة 56

الفصل الثالث: العمل التطبيقي لحاضنة البيض الذكية

III.1 مقدمة 58
III.2 مخطط سير العمل 58
III.3 تصميم الحاضنة المقترحة 59
III.3 التصميم الصندوقي للجزء الأول..... 60
III .1.3 مخطط التوصيل الكهربائي للمتحكم (ZL-7801A) 66
III.2.3 الأنظمة الأساسية في غرفة الحاضنة 66
III.1.2.3 نظام التسخين..... 66
III.2.2.3 نظام التهوية 67
III.3.2.3 نظام تقليب البيض..... 67
III.4.2.3 نظام التغذية وكفاءة الطاقة..... 67
III.3.3 التجربة العملية للحاضنة التقليدية..... 68
III.4.3 المكونات الأساسية للحاضنة التقليدية ذات الغرفة الواحدة 68
III .4.3 ايجابيات النظام القديم..... 69
III .5.3 سلبيات النظام القديم..... 70
III.4 النظام الجديد المقترح للحاضنة الذكية المعتمد على تقنية انترنت الاشياء..... 70
III.2.4 التصميم الصندوقي للنظام الجديد المقترح 70
III.5 محاكاة و إنجاز عناصر المشروع..... 72
III.1.5 محاكاة وانجاز أنظمة الحاضنة..... 73
III.1.1.5 محاكاة نظام الرطوبة داخل الحاضنة..... 73
III.2.1.5 محاكاة وإنجاز نظام التسخين داخل الحاضنة..... 74
III .3.1.5 محاكاة نظام التقليب داخل الحاضنة..... 75
III .2.5 الواجهة الرسومية للمشروع..... 78
III .3.5 تجارب النظام 79
III.1.3.5 تجربة درجة الحرارة 79
III.2.3.5 تجربة نسبة الرطوبة 80

III.3.5.3 تجربة تقليب البيض 81
III.4.5.3 تجربة المروحة 82
III.6.3 تجربة التشغيل الكلي للنظام الذكي 83
خاتمة 86
خاتمة عامة 88
الملاحق
المراجع

فهرس الأشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
أشكال الفصل الأول		
1	تطبيقات إنترنت الأشياء	7
2	تطبيقات المدن الذكية	7
3	تطبيقات المنازل الذكية	8
4	تطبيقات المزارع الذكية	9
5	تطبيق مراقبة تلوث الهواء الناتج عن عوادم السيارات	9
6	واجهة تطبيق منصة RemoteXY	12
7	واجهة المنصة في الحاسوب	12
8	الحضانة الطبيعية	14
9	عرض داخلي لبيضة طائر	19
10	آلية توزيع الحرارة والتهوية الطبيعية داخل الحاضنة الثابتة للبيض	21
11	حاضنة تهوية	22
12	حاضنة البيض الرقمية الأوتوماتيكية بالكامل بسعة 12 بيضة دواجن	22
13	نموذج لحاضنة البيض بنظام مفتوح	26
14	نموذج لحاضنة البيض بنظام القرية (غرفتان)	26
أشكال الفصل الثاني		
1	وحدة تطوير ESP32	31
2	لوحات ESP32 المختلفة	32
3	هيكل نظام ESP32	33
4	مخطط حساس للحرارة والرطوبة DHT11	42
5	مخطط حساس DHT22 للحرارة والرطوبة	42
6	المرطب بالموجات فوق الصوتية مع محول طاقة	44

فهرس الأشكال

7	مقطع جانبي لحاضنة بسيطة بترطيب طبيعي عبر حوض ماء سفلي	45
8	عرض داخلي لمحرك السيرفو	47
9	محرك تزامني (TY-50AF) يعمل بتيار متناوب	49
10	شاشة2×16 LCD	49
11	شاشة عرض (OLED) بحجم 0.96 بوصة	50
12	بنية DS130 (Real-Time Clock)	52
13	أطراف ووظائف وحدة الريليه 5 فولط المستخدمة مع ESP32	53
14	المرحل الثابت مع طريقة الربط	54
أشكال الفصل الثالث		
1	مخطط سير العمل لتنفيذ مشروع الحاضنة الذكية	59
2	المخطط الصندوقي للنظام التقليدي للحاضنة	61
3	المخطط الصندوقي للنظام التقليدي للحاضنة مع صور	62
4	مخطط التوصيل للمتحكم (ZL-7801A) في نظام الحاضنة التقليدية	66
5	المظهر الخارجي للحاضنة باستعمال النظام القديم ذو الغرفة الواحدة	68
6	المظهر الداخلي للحاضنة باستعمال النظام القديم ذو الغرفة الواحدة	69
7	المخطط الصندوقي للنظام الذكي لحاضنة البيض	71
8	المخطط الصندوقي للنظام الذكي للحاضنة مع الصور	72
9	محاكاة نظام التحكم في الرطوبة في الحاضنة باستخدام ESP32	73
10	محاكاة تنظيم الرطوبة في الحاضنة باستخدام ESP32 وشاشةOLED	74
11	ربط ESP32 مع وحدة ريليه ومصباح التسخين	74
12	محاكاة تنظيم الحرارة في الحاضنة باستخدام ESP32 وشاشةOLED	75
13	ربط ESP32 مع محرك سيرفو ووحدة RTC	76
14	محاكاة نظام التقليب الزمني في الحاضنة باستخدام(RTC DS1307)	76

فهرس الأشكال

15	محاكاة النظام الكلي لحاضنة البيض الذكية	77
16	إنجاز النظام الكلي لحاضنة البيض الذكية	78
17	واجهة المعلومات المستخدمة لحاضنة البيض الذكية	78
18	حالة اشتعال المصباح عند انخفاض درجة الحرارة عن 37.5°C	79
19	حالة إطفاء المصباح عند تجاوز درجة الحرارة 37.5°C	80
20	حالة تشغيل المصباح الأزرق عند انخفاض نسبة الرطوبة عن 60%	80
21	حالة إطفاء المصباح الأزرق عند تجاوز نسبة الرطوبة 60%	81
22	اشتعال المصباح الأصفر (محرك تقليب البيض)	81
23	إطفاء المصباح الأصفر (محرك تقليب البيض)	82
24	إضاءة المصباح الأبيض (تشغيل المروحة)	82
25	إطفاء المصباح الأبيض (إيقاف المروحة)	83
26	حالة النظام قبل التشغيل	83
27	حالة النظام عند التشغيل	84

فهرس الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول	الصفحة
	جداول الفصل الأول	
1	قيم الفقس لجميع البيوض للطيور المختلفة	15
2	مراحل التطور الجنيني المختلفة التي تؤدي في النهاية إلى تكون في اليوم الحادي والعشرين	17
3	التغيرات في نسب كتلة كل مكون من مكونات البيضة خلال فترة الحضانة	19
4	أنواع أخرى للحاضنات المستعملة ومميزاتها	23
5	شروط درجة الحرارة المثلى طوال فترة تفقيس بيض الدجاج	24
6	مقارنة بين الأنظمة	28
	جداول الفصل الثاني	
1	ملخص لبعض الموديلات	34
2	مقارنة تقنية بين وحدات التحكم (ESP32) وأردوينو (UNO/Nano/Mega) من حيث الأداء والوظائف	39
3	الفرق بين ESP8266 و ESP32	40
4	الفرق بين DHT11 وDHT22	43
5	الفرق بين الترطيب الصناعي والترطيب الطبيعي	46
6	مقارنة أنواع المحركات الخطوية	48
7	أقطاب شاشة العرض(Oled ssd1306)	51
8	ربط ESP32 مع الريليه للتحكم عبر الواي فاي	54
	جداول الفصل الثالث	
1	بعض أسماء المتحكمات ونوعها وربطها وسعرها التقريبي في السوق	63
2	المكونات الرئيسية المستخدمة في تصنيع الحاضنة التقليدية ذات الغرفة الواحدة	68
3	المقارنة بين النظامين	85

الاسم الكامل	الاختصار
Internet of Things	**IOT**
Espressif Systems Platform	**ESP**
Microcontroller Unit	**MCU**
Solid State Relay	**SSR**
Real Time Clock	**RTC**
Liquid Crystal Display	**LCD**
Organic Light Emitting Diode	**OLED**
Digital Humidity & Temperature sensor	**DHT**
Passive Infrared Sensor	**PIR**
Infrared	**IR**
Pulse Width Modulation	**PWM**
Inter-Integrated Circuit	**I2C**
Graphical User Interface	**GUI**
Application Programming Interface	**API**
Wireless Fidelity	**Wi-Fi**
Light Emitting Diode	**LED**
Alternating Current	**AC**
Direct Current	**DC**

مقدمة عامة

مقدمة عامة

شهد المجال الزراعي تحولًا كبيرًا بفضل الأنظمة الذكية التي أصبحت من بين التطبيقات الأكثر انتشارًا في عصر الاتصال والتكنولوجيا الحديثة. من أبرز هذه الأنظمة هو نظام أنترنت الأشياء(IOT) ، الذي يُمكِّن الأجهزة والمعدات من التواصل وتبادل المعلومات عبر شبكة متكاملة. هذا النظام الذكي يعتمد على شبكة من الدوائر الإلكترونية، أجهزة الاستشعار والبرمجيات المتصلة بالشبكة، مما يسمح بمراقبة وتحليل البيانات الزراعية في الوقت الحقيقي. إن استخدام إنترنت الأشياء في الزراعة يساهم في تحسين الكفاءة التشغيلية وتقليل الهدر من خلال توفير بيانات دقيقة حول الظروف البيئية والمحاصيل.

يهدف مشروعنا هذا إلى توظيف هذا النظام المتقدم لإنشاء ما يُعرف بالحاضنة الذكية أو الفقاسة الذكية، التي تتميز بالقدرة على التحكم التلقائي في الظروف المثلى لتربية الحيوانات. باستخدام أجهزة الاستشعار، يمكن للنظام قياس درجة الحرارة، الرطوبة وضبط هذه العوامل تلقائيًا لتحقيق أفضل النتائج.

تتميز هذه الحاضنة الذكية بقدرتها على تحويل البيض المخصب إلى أفراخ (أصيصان) دون تدخل الأم، من خلال توفير الظروف المناخية المثالية مثل التهوية، التبريد والتسخين. تقوم الحاضنة بالعديد من المهام التلقائية والآلية فيمكن التحكم في شروط التفقيص والتعديل عليها عبر تطبيق بسيط على الهاتف النقال، بما يتناسب مع نوع البيض الموضوع في الحاضنة.

استخدام أنترنت الأشياء في هذه الحاضنة يتيح مراقبة دقيقة وتحكمًا مستمرًا في الظروف البيئية، مما يعزز الكفاءة الإنتاجية ويضمن نتائج أفضل. يمكن لمستخدمي الحاضنة تعديل إعداداتها ومراقبة أدائها بسهولة من خلال التطبيقات المتصلة بالشبكة، مما يجعل عملية التفقيص أكثر كفاءة ودقة. ولتحقيق غايتنا المرجوة وهي إنجاز حاضنة بيض ذكية ذات تكلفة منخفضة تعتمد على نظام أنترنت الأشياء بتقسيم دراستنا إلى ثلاثة فصول كما يلي:

الفصل الأول:

يعرض عموميات حول تقنية إنترنت الأشياء وبعض تطبيقاتها في مجالات الحياة المتعددة خاصة في مجال الزراعة، كما سنتناول بالتفصيل موضوع الحاضنات الذكية للبيض، حيث سنستعرض آلية عملها وأهم المكونات الأساسية التي تعتمد عليها في محاكاة الظروف الطبيعية لتفقيس البيض، مثل التحكم في درجة الحرارة، نسبة الرطوبة، تهوية الحاضنة وآلية تقليب البيض. كما سنناقش أنواع الحاضنات الذكية، ميزاتها والتقنيات المستخدمة فيها، إلى جانب التطبيقات العملية ودورها في تحسين معدلات الفقس في مختلف مشاريع تربية الطيور.

الفصل الثاني:

يُعتبر الأهم في الجانب النظري للمشروع، حيث يتضمن شرحًا تفصيليًا للعناصر الإلكترونية المختلفة ومبدأ عملها. في هذا الفصل، بسطنا شرح مختلف العناصر المستعملة في المشروع، كما بينا كيفية عمل بطاقة (ESP32) وكيفية برمجتها وتحويل المعلومات وكذلك عمل الحساسات.

سنتناول أيضاً تصميم الدوائر الإلكترونية، ونشرح استخدام العناصر وأجهزة التحكم، وتحليل البيانات من خلال البرمجيات المدمجة.

الفصل الثالث:

يتناول هذا الفصل الجوانب التطبيقية للمشروع من خلال دراسة الأجهزة المستخدمة واقتراح نموذج مخبري لحاضنة البيض الذكية. تم تحديد وتجميع المكونات الضرورية وتم اختبارها للتحقق من كفاءتها بعد ذلك، اقترحنا تصميمًا أوليًا للنموذج المخبري يراعي المتطلبات التشغيلية مثل التهوية، العزل الحراري والتحكم في الرطوبة والحرارة. كما أُجريت دراسة نظرية ومحاكاة لسلوك النظام بهدف تقييم أدائه المتوقع، وقد أظهرت نتائج المحاكاة قدرة النظام على الاستجابة الفعالة للتغيرات البيئية واستُخدمت هذه النتائج كأساس للانتقال إلى التطبيق العملي للمشروع.

الفصل الأول

تقنية انترنت الاشياء وحاضنة البيض الذكية

1.I مقدمة

شهد العالم في العقود الأخيرة تطورا هائلا في التكنولوجيا مما أدى الى ظهور تقنيات مبتكرة جعلت من التواصل بين الأجهزة والأنظمة أمرا واقعا وشيئا بسيطا ومن أبرز هده التقنيات: تقنية أنترنت الأشياء (IOT) التي أصبحت ركيزة أساسية في مختلف القطاعات فهي تمثيل لعالم مترابط نجد فيه خدمات ذكية بكفاءة عالية وتكاليف قليلة وفي هدا الفصل سنتطرق لعموميات حول انترنت الأشياء وتطبيقاتها في مجال الزراعة وبالتحديد حول حاضنات البيض الذكية.

2.I أنترنت الأشياء

1.2.I تعريف أنترنت الأشياء

التعريف الشائع لمصطلح أنترنت الأشياء أنها مجموعة من الأجهزة المتصلة والوسائل التكنولوجية التي تسهل الاتصال بين الأجهزة والسحابة وكذلك بين الأجهزة نفسها.

تشير أنترنت الأشياء إلى استخدام الأجهزة والأنظمة المتصلة بذكاء للاستفادة من البيانات التي جمعت بواسطة أجهزة الاستشعار والمحركات المدمجة في الآلات وغيرها. من المتوقع أن تنتشر أنترنت الاشياء بسرعة خلال السنوات القادمة، وسيطلق هذا التقارب العنان لبعد جديد للخدمات التي تعمل على تحسين نوعية حياة المستهلكين وإنتاجية المؤسسات، إنه ثورة جديدة للأنترنت **[1]**.

أي يمكن القول بأنها مجموعة من الأجهزة الرقمية الذكية المتصلة عبر أحد البرتوكولات المعروفة مثل الواي فاي والبلوتوث...، بحيث ترسل وتستقبل المعلومات فيما بينها دون الاعتماد على الانسان فهي تعتمد على المستشعرات والحساسات وتبقيها متصلة بالأنترنت من أجل تسجيل ونقل البيانات للمستخدم مع خاصية المراقبة وإمكانية الضبط والتعديل.

2.2.I تاريخ انترنت الأشياء

ظهر مفهوم "إنترنت الأشياء" والمُصطلح نفسه لأول مرة في خطاب ألقاه بيتر تي لويس، أمام المؤتمر الأسود التمهيدي الخامس عشر في واشنطن العاصمة، والذي نُشر في سبتمبر 1985. وفقًا للويس فأن "إنترنت الأشياء هو دمج الأشخاص والعمليات والتكنولوجيا مع الأجهزة وأجهزة الاستشعار القابلة للتوصيل لتمكين المراقبة عن بُعد والحالة والتلاعب وتقييم اتجاهات هذه الأجهزة" **[2]**. وكان يعرف انداك ب "الحوسبة المنتشرة". بعدها في الثمانينيات بدا المفهوم يتسع أكثر فأكثر وبقي التطور مستمر لحد الان وسيبقى كذلك.

3.2.I مبدأ عمل أنترنت الأشياء وعناصرها

يتمثل مبدأ عمل أنترنت الاشياء أساسا في جعل الجهاز متصل بالأنترنت ويتم ذلك من خلال عناصر هي:

أ. الجهاز الذكي

وهو الشيء الذي نضيف عليه البرنامج وأجهزة الاستشعار حتى يصبح ذكيا ومن بينها اللوحة الالكترونية (ESP32) حيث تقوم المستشعرات والحساسات المتصلة بها بجمع البيانات من البيئة التي يتواجد فيها الجهاز ثم يرسلها الى السحابة بطرق مختلفة كاتصال الانترنت اللاسلكي واي فاي أو البلوتوث .... ,حيث يتميز كل جهاز بعنوان انترنت خاص به يسمح بالتعرف عليه.

ب. التطبيق

هو البرنامج الذي يقوم بمعالجة البيانات التي يستلمها من جهاز انترنت الأشياء حيث يستعمل خوارزميات الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات واتخاذ القرارات الصحيحة السليمة والذكية.

ج. واجهة المستخدم

هي واجهة رسومية تكون على جهاز أنترنت الأشياء يتمكن من خلالها المستخدم من إعطاء الأوامر والتحكم في الجهاز وعادة ما يتم استخدام تطبيقات الهاتف الذكي أو مواقع الكترونية مثل موقع (REMOTEXY) والذي سنعتمد عليه في مشروعنا.

4.2.I تقنيات انترنت الأشياء

أ.الحوسبة السحابية (Cloud Computing)

تتصل أنترنت الأشياء بالسحابة من أجل تخزين البيانات عليها، وتسمح الحوسبة السحابية بالوصول إليها من أي جهاز بشرط أن يكون متصلا بالشبكة وهو الامر الذي يسهل الوصول إلى البيانات ومعالجتها أي إدارة أجهزة أنترنت الأشياء.

ب.التعلم الالي (Machine Learning)

تستخدم انترنت الأشياء لوغاريتم الذكاء الاصطناعي بهدف تمكين الجهاز من اتخاذ القرارات الفورية بدون الحاجة إلى التدخل البشري.

5.2.I تطبيقات تقنية انترنت الأشياء في حياتنا

نشهد اليوم ثورة تكنولوجية تحول كل شيء حولنا إلى أنظمة ذكية بفضل تقنية أنترنت الأشياء. تتيح هذه التقنية التواصل وتبادل البيانات بين الأجهزة الذكية المتصلة بالإنترنت لأداء وظائفها بفعالية. التطبيقات الواسعة لأنترنت الأشياء تمتد إلى جميع المجالات، حيث تعتمد على الأجهزة الذكية المتصلة بالإنترنت لأداء وظائفها بفاعلية وكفاءة. نستعرض بعض تطبيقات هذه التقنية كما هو موضح في الشكل (1.I).

الشكل (1.I): تطبيقات أنترنت الاشياء

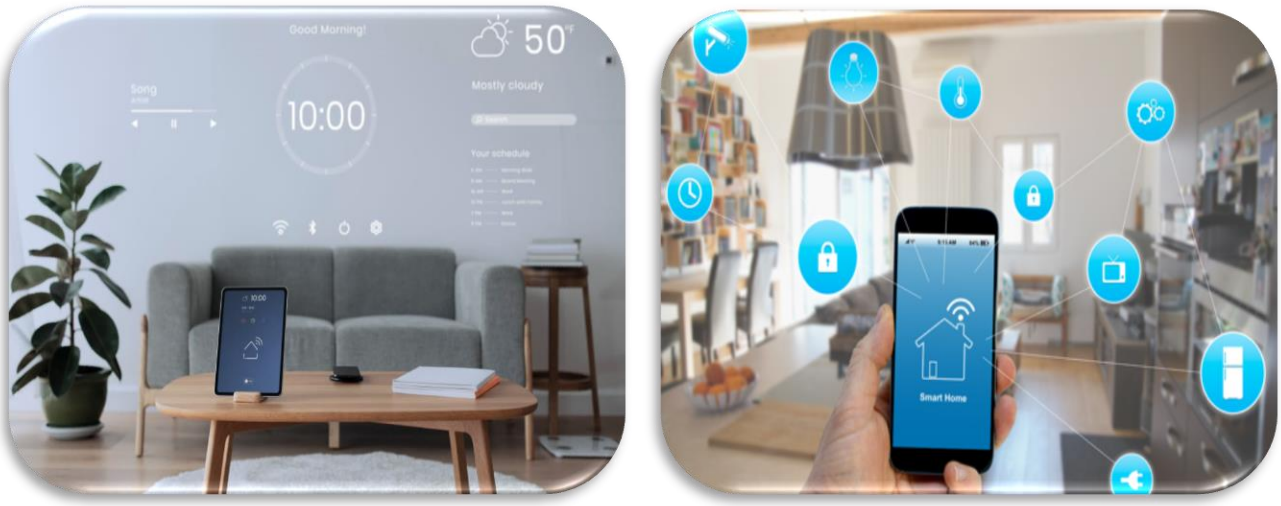
1.5.2.I أنترنت الأشياء في المدن الذكية (Smart Cities)

المدن الذكية هو المصطلح الذي يطلق على المدن التي تستخدم تطبيقات أنترنت الأشياء في الصحة، البيئة وقطاع المرور وغيرها من أجل تعزيز الفوائد وتسهيل الحياة ومن أمثلتها نجد: استخدام أنظمة الانارة العمومية للتقليل من استهلاك الكهرباء اعتمدا على حساسات الضوء تبعا لليوم، الوقت وحالة الطقس، إدارة مواقف السيارات بشكل فعال من خلال مستشعرات الاجسام، الوضعيات والمسافات ...,لقياس جودة الهواء في الأماكن المزدحمة بالسكان كالمتنزهات من خلال مستشعرات جودة الهواء كما هو موضح في الشكل (2.I).

الشكل (2.I): تطبيقات المدن الذكية [3]

2.5.2.I تطبيقات انترنت الاشياء في المنازل الذكية

تمثل تطبيقات انترنت الأشياء في المنازل ثورة في كيفية عيشنا وتفاعلنا مع بيئتنا المنزلية، تمكن هذه التطبيقات من الاتصال المباشر بالأجهزة والأشياء المنزلية عبر الانترنت، مما يتيح لنا القدرة على التحكم ومراقبتها من أي مكان وفي أي وقت عبر الهواتف الذكية أو الاجهزة اللوحية فدورها يتمثل في تعزيز الراحة والسهولة داخل البيت فيمكن لتطبيقات المنزل الذكي التحكم في إضاءة المنزل، تنظيم درجة الحرارة، فتح وإغلاق الستائر بناءا على الجدول الذي تحدده. هذا يبسط حياة السكان ويوفر لهم الوقت والجهد كما يقوم بتحسين أمان المنزل عن طريق إشعارات فورية عند اكتشاف حركة غير معتادة أو اقتحام. يمكن أيضًا لأجهزة الإنذار الذكية تنبيه السكان إلى أي طوارئ محتملة مثل الحرائق أو تسرب الغاز. باختصار هي تحسن جودة الحياة وتزيد الراحة والسهولة وتعزيز الأمان كما هو موضح في الشكل (3.I) [4].



الشكل (3.I): تطبيقات المنازل الذكية

3.5.2.I تطبيقات انترنت الأشياء في الزراعة الذكية

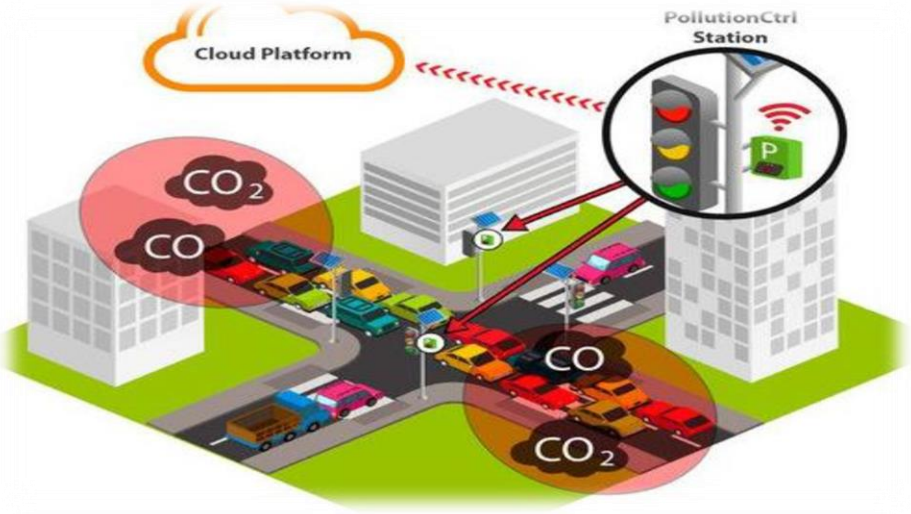
وتكمن الاستفادة من التكنولوجيا الحديثة في الزراعة بالاعتماد على أجهزة الاستشعار والدمج بين تقنية المعلومات والآلات الزراعية فبجمع البيانات يتمكن المزارعين من معرفة وضع النباتات، مستوى التربة وحالة الطقس ....، اتخاذ قرارات أفضل لتحسين جميع الجوانب. ومن بين التطبيقات أيضا في هذا المجال نجد مراقبة وإدارة الثروة الحيوانية في الرعي وإدارة الماشية كما نجد أيضا حاضنة البيض الذكية فهي تعتبر من المشاريع التي لها عائد كبير ومساهمة في توفير الكثير من الطلبات على اللحوم البيضاء والبيض للمستهلكين والمساهمة في سد النقص الكبير

للحوم الحمراء مع غلاء أسعارها. ويتركز مشروعنا حول انجاز حاضنة بيض ذكية ذات تكلفة منخفضة اعتمادا على انترنت الأشياء كما هو موضح في الشكل (4.I) [5].

الشكل(4.I): تطبيقات المزارع الذكية

4.5.2. I تطبيقات انترنت الاشياء في البيئة الذكية (SMART ENVIROMMENT)

تشمل التطبيقات التي تتعلق بالطبيعة مثل مراقبة تلوث الهواء للتحكم بما تطلقه المصانع من غاز CO2، أو ينتج عن عوادم السيارات، ومراقبة الغابات لكشف الحرائق مبكرا، ومراقبة الظروف المناخية من الرطوبة والحرارة والضغط يبين الشكل (5.I) احدى تطبيقات البيئة الذكية [6].



الشكل (5.I): تطبيق مراقبة تلوث الهواء الناتج عن عوادم السيارات

I .6.2 خصائص انترنت الاشياء

تتمتع انترنت الاشياء بالعديد من الخصائص نذكر فيما يأتي بعضا منها:

أ. **الترابط (Interconnectivity)**: تضمن انترنت الاشياء ربط أي شيء بالبنية التحتية العالمية للمعلومات والاتصالات.

ب. **عدم التجانس (Heterogeneity)**: إن الأجهزة المكونة لأنترنت الاشياء غير متجانسة لأنها تعتمد على منصات وشبكات أجهزة مختلفة قد تكون حساسات لاسلكية أو أجهزة خلوية أو غيرها.

ج. **التغيرات الديناميكية (Dynamics changes)**: تتغير حالة الأجهزة ديناميكياً، على سبيل المثال التغير بين حالتي النوم والاستيقاظ، الاتصال والانقطاع، وقد يكون أيضا الموقع والسرعة بالنسبة للأجهزة المتحركة. علاوة على ذلك يمكن أن يكون عدد الأجهزة المتصل متغير ديناميكيا.

د. **الحجم الهائل (Enormous scale)**: عدد الأجهزة التي يجب إدارتها والتي تتواصل مع بعضها ستكون أكبر حجما من الأجهزة المتصلة بالإنترنت حاليا فهنا تظهر أهمية إدارة البيانات المتبادلة بين هذه الأجهزة ومعالجتها والاستفادة منها حسب التطبيق.

I .7.2 منصات انترنت الاشياء

I.7.2.1 تعريف منصات إنترنت الأشياء

منصات إنترنت الأشياء هي بيئات متكاملة تتيح تطوير وإدارة ونشر تطبيقات إنترنت الأشياء. توفر هذه المنصات الأدوات والبنية التحتية اللازمة لربط الأجهزة، جمع وتحليل البيانات، وإدارة الأنظمة بأمان وفعالية.

I .2.7.2 منصات إنترنت الأشياء المشهورة

توجد العديد من المنصات المشهورة نذكر بعضها:

1. Remote XY
2. Arduino Cloud IoT
3. Google Cloud IoT
4. IBM Watson IoT
5. ThingSpeak

6. Particle

سنستخدم نحن في مشروعنا هذا منصة RemoteXY.

I.8.2. منصة RemoteXY

هي وسيلة سهلة لإنشاء واستخدام واجهة مستخدم رسومية متنقلة للوحات التحكم للتحكم عبر الهاتف الذكي أو الجهاز اللوحي يشمل نظامه:

1) محرر واجهات رسومية متنقلة للوحات التحكم، موجود على الموقع remotexy.com
2) تطبيق الهاتف المحمول الذي يتيح الاتصال بالتحكم والتحكم فيه عبر واجهة رسومية.

I.8.2.1. مميزات منصة RemoteXY

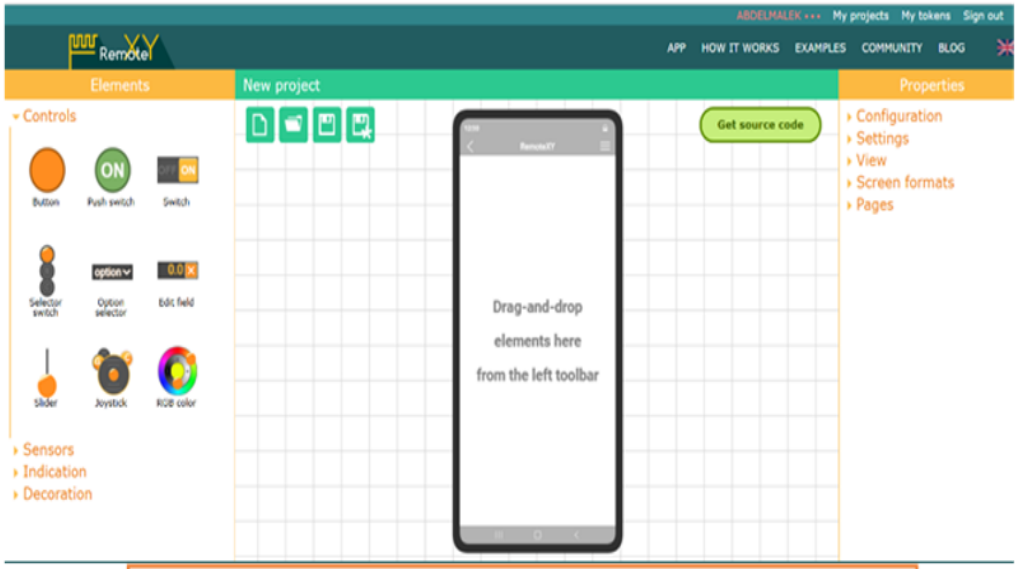
1) يمكن لتطبيق واحد على الهاتف المحمول إدارة جميع أجهزتك. عدد الأجهزة غير محدود.
2) يدعم الاتصال عبر الواي فاي وعبر البلوتوث.
3) يدعم العديد من اللوحات أهمها:
   - ✓ Arduino UNO, MEGA, Leonardo, Pro Mini, Nano, MICRO
   - ✓ لوحات (ESP8266)
   - ✓ لوحات (STM32F1)
4) يدعم لوحات اتصال عديدة أيضا من بينها:
   - ✓ بلوتوث (HC-05)، (HC-06)
   - ✓ بلوتوث (BLE HM-10)
   - ✓ (ESP8266) كجهاز مودم
   - ✓ Ethernet W5100
5) يدعم كلا من بيئة تطوير (Arduino IDE)، (FLProg IDE) كبيئتا تطوير متكاملة.
6) يدعم أنظمة التشغيل أندرويد وكذا نظام التشغيل IOS وكذا نظام تشغيل (WINDOWS).

I.8.2.2. واجهتا التطبيق والموقع

تم تصميم واجهة التطبيق لتوفير تحكم مباشر وسهل في مكونات المشروع عبر شبكة (Wi-Fi)، حيث تتيح للمستخدم مراقبة البيانات الحية والتحكم في الأجهزة بشكل لحظي من خلال واجهة رسومية تفاعلية كما في الشكل (I.6).

الشكل (6.I): واجهة تطبيق منصة RemoteXY

ويوضح الشكل (7.I) واجهة المنصة عند تشغيلها على الحاسوب، حيث يمكن من خلالها إعداد وتصميم الواجهة الرسومية للتطبيق بسهولة.



الشكل (7.I): واجهة المنصة في الحاسوب

3.I معلومات عامة حول عملية حضانة البيض

1.3. I تمهيد

تعد حضانة البيض عملية حيوية في تكاثر الطيور، سواء في الطبيعة أو في صناعة الدواجن. خلال هذه الفترة، يتم الحفاظ على البيض تحت ظروف مثالية لتعزيز نمو الأجنة حتى الفقس. ويمكن أن تتم الحضانة بطريقتين رئيسيتين: الحضانة الطبيعية، حيث تقوم الطيور بحضانة البيض بنفسها، والحضانة الصناعية، حيث توضع البيوض في حاضنات يتم التحكم في ظروفها من قِبل الإنسان. ورغم الاختلاف الطفيف بين الطريقتين، إلا أنهما تشتركان في الهدف نفسه، وهو توفير أفضل فرص البقاء للأجنة.

أثناء الحضانة، تُعدّ عدة عوامل مثل درجة الحرارة، الرطوبة وتقليب البيض عوامل حاسمة لضمان النمو السليم للجنين. تقوم الطيور الحاضنة مثل الدجاج أو البط، باستخدام حرارة أجسامها وغرائزها الفطرية لتوفير بيئة مثالية للبيض، بينما تتيح الحاضنات الصناعية تحكماً دقيقاً بهذه المعايير.

في هذا الفصل، سنستعرض المراحل الأساسية لعملية الحضانة، بدءًا من اختيار البيض وحتى فقس الكتاكيت، لفهم الأهمية الكبيرة لهذه الخطوة في دورة تكاثر الطيور. كما سنناقش الجوانب العامة لحضانة البيض، مع التركيز على الطرق المختلفة المتبعة في هذا المجال.

2.3. I الحضانة الطبيعية

تظهر لدى الدجاجة علامات معينة تدل على استعدادها لبدء الحضانة، حيث تبدأ بإصدار صوت الزقزقة وتفرد جناحيها، وتنتفش وتنفش ريشها. كما تزداد زياراتها إلى العش وتمكث فيه لفترات متزايدة تدريجياً. يزداد دفء جسمها وتظهر علامات الحمى على جلدها، وتفقد الريش في منطقة البطن، مما يجعل توفير الهدوء أمراً ضرورياً في هذه المرحلة كما في الشكل (**8.I**). تختار غالبًا بناء عشها في مكان بعيد عن الحظيرة لتجنب التوتر أو التنافس مع باقي الدجاجات البياضة.

يجب أن يتناسب عدد البيض الموضوع تحت الدجاجة الحاضنة مع حجمها، فعلى سبيل المثال يمكن وضع سبع بيضات تحت دجاجة صغيرة الحجم من سلالات مثل "الكوچن" أو "البرهمة". ومن الضروري رفع الدجاجة الحاضنة يوميًا، إذ إن بعض الدجاجات تكون شديدة الالتزام بالحضانة لدرجة أنها قد تمتنع عن الطعام حتى الموت، لذا من المهم إخراجها من العش مرة يوميًا في وقت محدد، ولمدة تتراوح بين 10 إلى 15 دقيقة في الطقس البارد، وتصل

إلى 20 دقيقة في الطقس الحار. يتيح هذا الوقت للدجاجة أن تتحرك، وتتغذى وتتخلص من فضلاتها، وتقوم بتنظيف نفسها.

خلال هذه الفترة، يتعرض البيض للتهوية، وهي عملية ضرورية لأن الحرارة عامل أساسي لاستقرار البيئة الحرارية داخل العش. ولهذا، ينبغي لمربي الدواجن دعم الدجاجة الحاضنة من خلال تقديم أغذية مولدة للطاقة، مثل: الذرة، والدقيق، دون إهمال الأرز والخضروات الطازجة، بالإضافة إلى توفير مياه نظيفة. تفقس الكتاكيت من البيض من تلقاء نفسها، حيث تحتاج بيضة الدجاجة عادة إلى 21 يومًا من الحضانة. ومع ذلك حسب المدى الذي تكون فيه البيضة طازجة، قد يحدث الفقس في اليوم الثامن عشر، وهو أمر نادر، أو قد يتأخر حتى اليوم الثاني والعشرين، وأحيانًا حتى اليوم الثالث والعشرين **[7]**.

الشكل (8.I): الحضانة الطبيعية

I. 3.3 الظروف المثالية لفقس البيض

من أجل تحديد الظروف الملائمة لفقس البيض، تم إجراء سلسلة من التجارب. يوضح الجدول (1.I) ملخصًا لهذه التجارب والنتائج.

جدول (1.I): قيم الفقس لجميع البيوض للطيور المختلفة [8]

النوع	فترة الحضانة (بالأيام)	فتح التهوية أكثر في	الرطوبة في آخر 3 أيام	التوقف عن التقليب بعد	الرطوبة (ف°)	درجة الحرارة (ف°)
الدجاج	21	اليوم 18	90	اليوم 18	85-87	100
الديك الرومي	28	اليوم 25	90	اليوم 25	84-86	99
البط	28	اليوم 25	90	اليوم 25	85-86	100
البط المسكوفي	35-37	اليوم 30	90	اليوم 31	85-86	100
الإوز	28-34	اليوم 25	90	اليوم 25	86-88	99
طائر غينيا	28	اليوم 24	90	اليوم 25	85-87	100
التدرج (الفزن)	23-28	اليوم 20	92	اليوم 21	86-88	100
الطاووس	28-30	اليوم 25	90	اليوم 25	84-86	99
السمان (Bobwhite)	23-24	اليوم 20	90	اليوم 20	84-87	100

1.3.3. I الرطوبة

يجب توفير مصدر للرطوبة (الماء) داخل الحاضنة لتعويض التبخر الذي يحدث لمحتوى الماء داخل البيض أثناء فترة الحضانة، وذلك بهدف الحصول على كتاكيت ذات جودة عالية. تبلغ الرطوبة النسبية المثلى لبيض الدجاج ما بين 50% إلى 60%، وترتفع إلى حوالي 70% عند حضانة بيض البط، خاصة خلال أول أسبوعين من فترة الحضانة.

تختلف مدة الحضانة حسب نوع الطائر، حيث تمتد فترة الحضانة الأولى إلى:

- 18 يومًا في الدجاج.
- 24 يومًا في الرومي (الديك الرومي).
- 26 يومًا في البط والإوز.

أما خلال الأيام الثلاثة الأخيرة من الحضانة، فتُرفع نسبة الرطوبة كالتالي:

- 80% إلى 85% في الدجاج.
- 90% إلى 95% في البط والإوز.

وذلك لتسهيل عملية الفقس ودعم خروج الكتكوت من البيضة بشكل طبيعي وصحي[9].

I 2.3.3. التهوية

يُعد توفير الأكسجين والتخلص من ثاني أكسيد الكربون من الحاضنة أمرًا ضروريًا لتقليل معدلات نفوق الأجنة وضمان تطورها بشكل سليم. يجب أن تكون تركيزات الأوكسجين في بيئة الحاضنة قريبة من النسبة الطبيعية في الهواء الجوي، أي حوالي 21%.

أما بالنسبة لثاني أكسيد الكربون، فلا ينبغي أن تتجاوز نسبته 90 جزءًا من ثاني أكسيد الكربون لكل 10,000 جزء من الهواء أي 0.9%، وذلك لتفادي اختناق الأجنة وانخفاض معدل الفقس.

وتُعد النسبة المثلى من ثاني أكسيد الكربون لنمو وتطور الأجنة بشكل طبيعي ما بين 0.4% إلى 0.5%، وهي النسبة التي تضمن توازن التهوية دون الإضرار بالأجنة[10].

I 3.3.3. تقليب البيض

سلوك الدجاجة في الحضانة الطبيعية يكون فيه تقليب للبيض عدة مرات يوميًا ويعتبر من العوامل المهمة لتحسين معدل الفقس، حيث يمنع التصاق الأغشية الجنينية ببعضها البعض، ويساعد الجنين على اتخاذ الوضعية المناسبة داخل البيضة، كما يضمن التوزيع المتوازن للعناصر الغذائية والهواء والحرارة حول الجنين.

بالإضافة إلى ذلك، فإن التقليب المنتظم يمنع التصاق الجنين بقشرة البيضة، مما يُسهم في نموه السليم. تستمر عملية التقليب حتى اليوم الثامن عشر من حضانة بيض الدجاج، وتتوقف بعد ذلك. أما بالنسبة للأنواع الأخرى، يتوقف تقليب البيض كالتالي:

- الدجاج: في اليوم 18.
- الديك الرومي: في اليوم 24.
- البط والإوز: في اليوم 26.
- النعام: في اليوم 38.
- السمان: بعد مرور 15 يومًا من بدء الحضانة.

وتعد هذه التواريخ ضرورية لضمان الاستعداد لمرحلة الفقس دون التأثير على وضع الجنين داخل البيضة[11].

I .4.3 التطور الجنيني للدجاجة

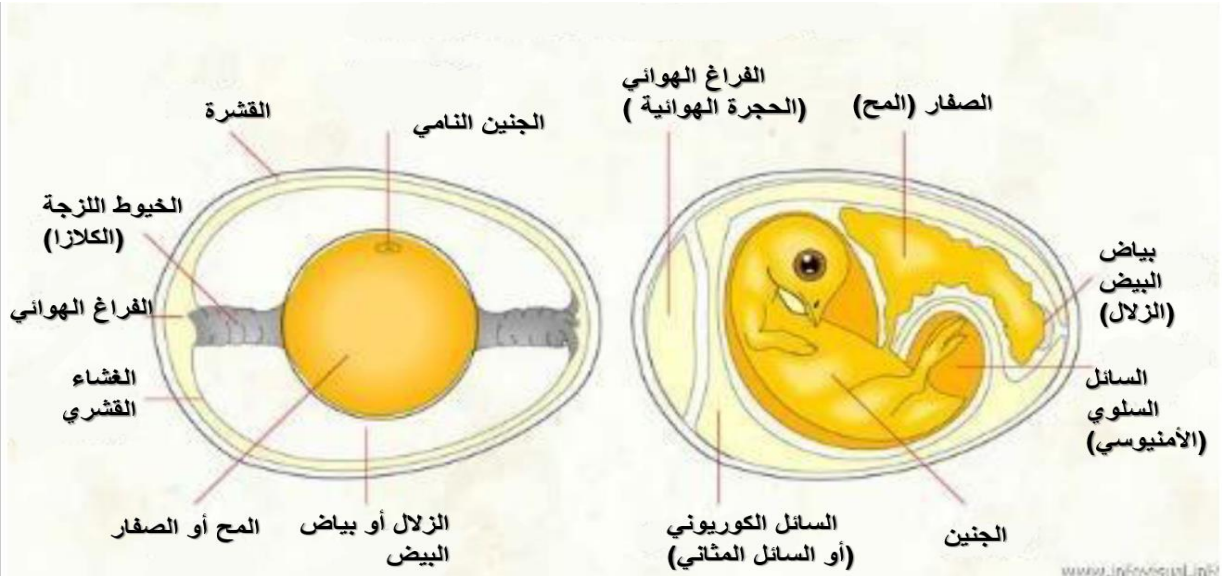
يبدأ تطور البيضة المخصبة بعملية انقسام خلوي فور مرورها عبر قناة البيض في الدجاجة. وعند وضع البيضة، يبرد الجنين وتتوقف عملية التطور مؤقتًا. وفي حال تم كسر البيضة في هذه المرحلة فإن القرص الجرثومي يكون قد وصل إلى حجم يقارب 4 ملم. ثم يستأنف تطور الجنين عندما تتجاوز درجة حرارة البيضة 26.6 درجة مئوية وهذه المراحل موضحة في الجدول (2.I) **[12]**.

الجدول (2.I): مراحل التطور الجنيني المختلفة التي تؤدي في النهاية إلى تكون في اليوم الحادي والعشرين

اليوم / التوقيت	الحدث
قبل وضع البيضة	الإخصاب :انقسام ونمو الخلايا الحية .تمايز الخلايا إلى مجموعات ذات وظائف متخصصة أنسجة
بين الوضع والحضانة	مرحلة سكون الحياة الجنينية 50,000 إلى 80,000خلية دون نمو
اليوم الأول	يتكون الجنين من 3 طبقات خلوية :الأديم الظاهر، الأديم المتوسط، الأديم الباطن
16 ساعة	أول علامة تشابه مع جنين الفرخ
18 ساعة	ظهور القناة الهضمية
20 ساعة	ظهور العمود الفقري
21 ساعة	بداية تكوّن الجهاز العصبي
22 ساعة	بداية تكوّن الرأس
24 ساعة	بداية تكوّن العين
اليوم الثاني	
25 ساعة	بداية تكوّن القلب
35 ساعة	بداية تكوّن الأذن

42 ساعة	يبدأ القلب في النبض
اليوم الثالث	
60 ساعة	بداية تكوّن الأنف
62 ساعة	بداية تكوّن الأرجل
64 ساعة	بداية تكوّن الأجنحة
اليوم الرابع	بداية تكوّن اللسان
اليوم الخامس	بداية تكوّن الأعضاء الدائمة واختلاف الجنس وتثخن تركيب الأبهر
اليوم السادس	بداية تكوّن المنقار
اليوم السابع	يبدأ الغشاء بالتثخن تدريجياً مع بقائه شفافًا
اليوم الثامن	بداية تكوّن الريش
اليوم التاسع	يصبح الغشاء غير شفاف ويأخذ الجنين مظهر الفرخ
اليوم العاشر	بداية تصلب المنقار
اليوم الثاني عشر	تطوّر الحراشف والمخالب
اليوم الثالث عشر	ضمور المبيض الأيمن في الجنين الأنثوي
اليوم الرابع عشر	يأخذ الجنين وضعية الاستعداد لكسر القشرة
اليوم السادس عشر	تصبح الحراشف والمخالب والمنقار أكثر صلابة
اليوم السابع عشر	يتجه المنقار نحو الفجوة الهوائية
اليوم التاسع عشر	يبدأ صفار البيضة بالدخول إلى تجويف الجسم
اليوم العشرون	يمتص الجنين كيس الصفار بالكامل ويثقب الحجرة الهوائية ليبدأ أول نفس له
اليوم الحادي والعشرون	الفقس: يضرب الفرخ القشرة بمنقاره وأرجله حتى يخرج من البيضة

تعد بيضة الدجاج نظاما متكاملا يدعم نمو الجنين ويوفر له الحماية والغذاء. ويوضح **الشكل (9.I)** مكونات البيضة ومراحل تطور الجنين داخلها.



الشكل (9.I): عرض داخلي لبيضة طائر [13]

خلال هذه الفترة، يكتفي الجنين باستهلاك مخزونات البيضة، والتي تتكوّن من الصفار والبياض، لتغذية نفسه وبناء أنسجته المختلفة. كما يقوم بامتصاص الأملاح المعدنية المتوفرة في القشرة لاستخدامها في تكوين العظام ونموها أثناء فترة الحضانة كما هو مبين في الجدول (3.I).

الجدول (3.I): التغيرات في نسب كتلة كل مكون من مكونات البيضة خلال فترة الحضانة

الجنين (غ)	القشرة (غ)	الصفار والبياض (غ)	فترة الحضانة (باليوم)
≈0	5	50	0
2	4.5	42	7
9	4	30	14
40	3	0	21

I .4 التفقيس الصناعي

I .1.4 تعريف

هو استغلال المكينة الصناعية في تفريخ البيض، بحيث تتوفر الظروف الملائمة للتفريخ وهي الرطوبة، الحرارة التقليب والإضاءة [14].

I .2.4 لمحة تاريخية عن الحاضنات الاصطناعية

الحاضنة الاصطناعية أو ما يُعرف بـ "حاضنة البيض" ليست اختراعًا حديثًا. فقد كان المصريون القدماء يصنعون هذه الآلات منذ قرون عديدة. في مصر القديمة، كانت تُعرف باسم (mamal)، وكانت عبارة عن منشآت مبنية من الطوب تحتوي على أفران تُسخن بواسطة روث الجِمال، وتوضع فوقها غرف الحضانة. وكان هناك شخص واحد فقط يتولى العناية بهذه المنشأة التي يمكن أن تحتوي على عدد كبير من البيض. لم يكن هذا الشخص يتقاضى أجرًا مباشرًا، بل كان يحقق ربحه من خلال إنتاجه، حيث كان يُسلّم 80 فرخًا عن كل 100 بيضة مفرخه.

أما في الوقت الحاضر، فإن معظم الحاضنات تعمل بالكهرباء، مع وجود نماذج أخرى تعمل بالزيت أو الغاز.

الحاضنة هي جهاز مكيف يستخدم في عدة تطبيقات مثل المختبرات العلمية، الزراعة، الصناعة وعدة مجالات اخرى، اذ تتكون من غرفة يوضع فيها البيض أثناء فترة الحضانة حيث تكون مغلقة ومحافظة على درجة حرارة ورطوبة ثابتتين بفضل نظام التحكم. تتمثل ميزة الحاضنة الاصطناعية في قدرتها على محاكاة العمليات الطبيعية لفقس البيض حيث يمكنها حماية البيض من الضرر بالإضافة الى التحكم في البيئة بشكل مثالي ومن خلال المقارنة بين الحاضنة الطبيعية والاصطناعية من حيث الإنتاج، الجودة، نجاة البيض والنمو السليم المتواصل تبين ان معدل النجاح في الحاضنة الاصطناعية أعلى من الطبيعية [15].

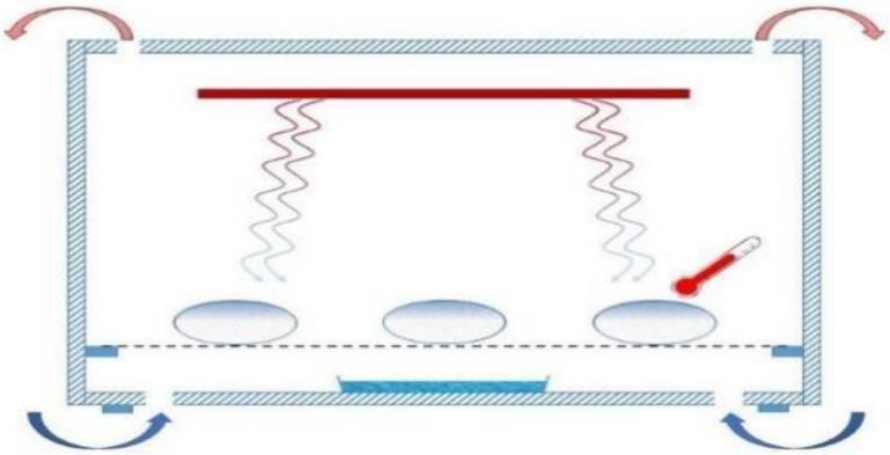
I .3.4 أنواع الحاضنات الاصطناعية

يوجد بشكل عام ثلاثة نماذج من الحاضنات الاصطناعية:

- الحاضنات الثابتة (Static Incubators).
- حاضنات التهوية (Ventilated Incubators).
- الحاضنات الاوتوماتيكية بالكامل (Fully Automatic Egg Incubator).

I 1.3.4. الحاضنات الثابتة

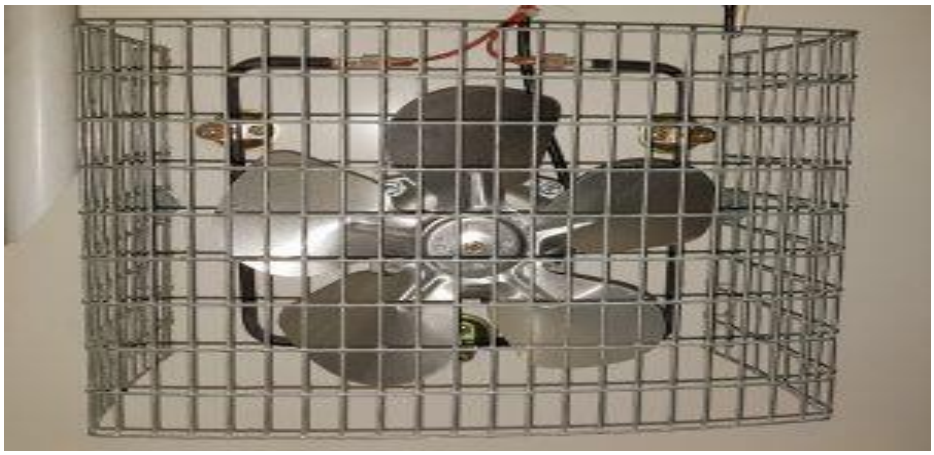
في الحاضنات الثابتة، يتم التسخين من الأعلى باستخدام مقاومات حرارية أو مصابيح متوهجة في النماذج الكهربائية، بينما تعتمد النماذج التي تعمل بالغاز أو الزيت على لهب دائم أو خزان ماء ساخن لتوفير الحرارة اللازمة لنمو الأجنة موضحة في **الشكل (10.I)**. تهدف هذه الطرق إلى تحقيق توزيع حراري متساوٍ وضمان استقرار درجة الحرارة داخل الحاضنة **[16]**.



الشكل(10.I) : آلية توزيع الحرارة والتهوية الطبيعية داخل الحاضنة الثابتة للبيض

I 2.3.4. حاضنات التهوية

تعرف الحاضنات الحديثة بأنها مزودة بمروحة تؤدي وظيفتين رئيسيتين: توزيع الحرارة والرطوبة بشكل متجانس داخل الحاضنة، والمساعدة في إدخال الهواء النقي المحمّل بالأكسجين وتوزيعه، وطرد الهواء الراكد بما في ذلك غاز ثاني أكسيد الكربون المنبعث من البيض كما هو موضح في الشكل (11.I). تعمل المروحة على توزيع الهواء داخل الحاضنة بحيث توضع في مكان بعيد عن البيض مع إضافة شبكة حماية لتجنب إصابته. على سبيل المثال، تعمل المروحة العلوية أو السفلية على سحب الهواء ثم دفعه إلى الطرف الآخر بعد مرحلة التسخين والتبريد، وبالتالي تكون درجة الحرارة موحدة تمامًا في حوالي 37 أو 38 درجة مئوية. يُعتبر هذا النوع أكثر تطورًا من السابق **[17]**.



الشكل(11.I): حاضنة تهوية

3.3.4.I الحاضنات الاوتوماتيكية بالكامل

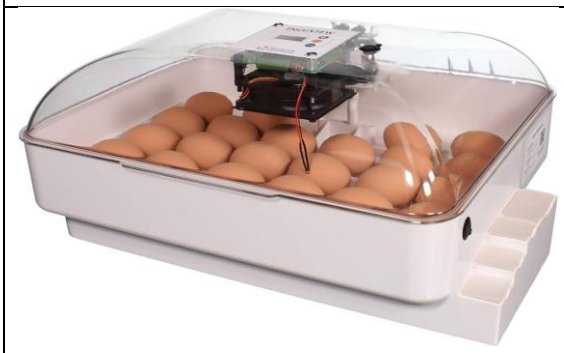
تعد الحاضنات الأوتوماتيكية بالكامل من أكثر الأجهزة شيوعًا بين المستخدمين الذين لا يحتاجون إلى جهاز ذو أبعاد كبيرة. تتميز هذه الحاضنات بحجمها الصغير، الذي يُشبه حاوية طعام أكثر من كونها محطة إنبات بحجم صناعي، مما يجعلها مثالية للاستخدام المنزلي أو في المشاريع الصغيرة. تتميز هذه الأجهزة بنظام تحكم ذاتي في درجة الحرارة، يضمن الحفاظ على الظروف البيئية المثلى دون الحاجة للتدخل اليدوي. كما تُزوَّد بآلية تلقائية لقلب البيض، ما يقلل الحاجة للتدخل البشري. يمتلك الغطاء العلوي شاشة (LED) تعرض معايير بيئية متعددة، مما يسهل متابعة العمليات. علاوة على ذلك، يمكنها تفريخ بيض الدواجن المتنوعة مثل الدجاج، البط، والإوز[18]. كما في الشكل (12.I).

الشكل(12.I): حاضنة البيض الرقمية الأوتوماتيكية بالكامل بسعة 12 بيضة دواجن

4.3.4.I أنواع اخرى من الحاضنات المستعملة

توجد في السوق العديد من أنواع الحاضنات التي تختلف في تصاميمها وأنظمتها حسب الغرض والاستخدام. فمنها الحاضنات اليدوية التي تتطلب متابعة وتحكمًا يدويًا بدرجة الحرارة والرطوبة، ومنها الحاضنات الأوتوماتيكية المزودة بأنظمة ذكية للتحكم في البيئة الداخلية بشكل دقيق والجدول (4.I) يوضح بعض الأنواع الموجودة في السوق ومميزاتها.

الجدول (4.I): أنواع أخرى للحاضنات المستعملة ومميزاتها

النوع	المميزات	الصورة
حاضنة الطاولة	- صغيرة الحجم - سعة متوسطة حتى 50 بيضة - سهلة الاستخدام ومناسبة للهواة	
الحاضنة المصغرة	- مدمجة وخفيفة الوزن - سعة صغيرة حتى 20 بيضة - مثالية للتجارب التعليمية والهواة	
الحاضنة المدمجة	- تجمع بين وظائف الحضانة والتفريخ - توفر الوقت والمساحة - مناسبة للمزارع الصغيرة والمتوسطة	

4.4.I العوامل المؤثرة في الحضانة الاصطناعية

1.4.4.I درجة الحرارة

درجة الحرارة تعتبر العامل الأساسي لنجاح الحضانة الاصطناعية، حيث تؤثر بشكل كبير على نمو الأجنة. درجات الحرارة المرتفعة تؤدي إلى تلف الأجنة، بينما الانخفاض في الحرارة يبطئ عملية الفقس. الجدول (5.I) يمثل شروط درجة الحرارة المثلى طوال فترة تفقيس البيض [**19**].

الجدول (5.I): شروط درجة الحرارة المثلى طوال فترة تفقيس بيض الدجاج

الأيام	درجة الحرارة المثلى (°C)
1 – 7	37.8
8 – 14	37.8
15 – 21	36.8

ملاحظة

إن هذه الدرجات هي توجيه عام وقد تختلف قليلاً بناءً على سلالة الكتكوت، الظروف البيئية ونوع الحاضنة المستخدمة.

2.4.4.I الرطوبة

الرطوبة تتغير بشكل كبير مع درجة الحرارة وإذا لم تكن ضمن المستوى المناسب، فإن الأجنة تتعرض للجفاف داخل البيضة، أو تفشل في التخلص من الغازات السامة التي تنتجها.

تعد تأثيرات معايير رطوبة الهواء أو الرطوبة على نتائج الحضانة مهمة جدًا، وتشمل ما يلي:

- تفقد البيضة قدرًا كبيرًا من الرطوبة عبر مسام قشرتها، لذا يجب تجنب جفاف البيض من خلال التحكم في نسبة الرطوبة داخل الحاضنة.
- تساهم الرطوبة في ضمان النمو السليم للجنين، كما أنها تُسهل عملية الفقس من خلال جعل القشرة أكثر هشاشة.
- أثناء الفقس، يجب الحفاظ على مستوى الرطوبة المناسب، إذ أن الهواء الجاف يؤدي إلى جفاف الكتاكيت سريعًا وموتها.

تُحقق أفضل نتائج الحضانة عندما تتراوح الرطوبة النسبية بين 50% و60% خلال الأيام الثمانية عشر لأولى من الحضانة، وترتفع لتصل إلى 75% كحد أقصى خلال الأيام الثلاثة الأخيرة **[20]**.

I 3.4.4. التهوية

البيضة المخصبة هي كائن حي يتنفس، لذا فإن التهوية الجيدة ضرورية لضمان التطور السليم للجنين. تعمل التهوية على توفير الأوكسجين للجنين وإزالة ثاني أكسيد الكربون الزائد، يمكن أن تؤدي التهوية السيئة إلى اختناق الكتاكيت داخل البيض. يتم تجديد الهواء من خلال ضبط فتحات دخول وخروج الهواء على مستوى الحاضنات. بالإضافة إلى ذلك، تساعد التهوية في تنظيم درجة الحرارة والرطوبة في الحاضنة.

I 4.4.4. التقليب

يجب تقليب البيض بانتظام وإلا فإن نتائج الحضانة ستكون منخفضة جدًا. يُوصى بتقليب البيض ثلاث مرات يوميًا خلال أول 18 يومًا، وبعدها يصبح التقليب غير ضروري. يمكن تسهيل عملية التقليب باستخدام آلية تلقائية. الغرض من عملية التقليب هو تجنب التصاق الجنين بالقشرة، وتفادي الوضعيات غير الطبيعية للجنين قدر الإمكان، وكذلك السماح بتوزيع الحرارة بشكل أفضل على كامل سطح البيض.

- يتم التقليب بين وضعيتين ممكنتين، بزاوية 45 درجة من الوضع العمودي.
- يجب أن يتم ذلك على الأقل ثلاث مرات يوميًا، أي اهتزاز مفرط قد يؤدي إلى موت الأجنة.

I 5.4. أنظمة الحاضنات المستخدمة في حاضنات البيض من حيث تصميم الهيكل

I.1.5.4 النظام المفتوح (غرفة واحدة)

يستخدم في الحاضنات الصغيرة، حيث تُنفّذ جميع عمليات التفقيس في غرفة واحدة. قد يكون بدون مروحة (هواء ساكن) أو بمروحة لتوزيع الهواء. يتميز بتكلفته المنخفضة وسهولة تصنيعه، ولكن يفتقر إلى التوزيع الدقيق للحرارة **[21]** كما في الشكل (I.13).

الشكل (13.I): نموذج لحاضنة البيض بنظام مفتوح

I 2.5.4. نظام القرية (غرفتان)

يتكون من غرفة تسخين منفصلة تُرسل الهواء الساخن إلى غرفة البيض. يوفر تحكمًا أدق ويوفر في استهلاك الطاقة، ويُناسب البيئات الريفية ذات الموارد المحدودة أنظر الشكل(14.I).

الشكل (14.I): نموذج لحاضنة البيض بنظام القرية (غرفتان)

I.3.5.4 النظام الألماني (المتقدم)

يعتمد على سحب الهواء وتدفئته ثم إعادة توزيعه عبر فتحات جانبية، مع نظام تحكم رقمي ذكي. يُستخدم في المشاريع المتقدمة ويُوفر بيئة مستقرة جدًا لعملية التفريخ.

I .4.5.4 أنظمة خاصة ومعدلة

أ. نظام الدكت (تدوير حراري يدوي):

يستخدم أنابيب داخل الحاضنة لنقل الهواء الساخن بشكل متجانس. هو نظام محلي يُبنى يدويًا (مثلاً باستخدام ثلاجات قديمة) مع تحكم بسيط في الحرارة.

ب. النظام الصناعي مثل سيموكا(Cimuka):

يستخدم في المصانع الكبرى، ويمتاز بتحكم رقمي متطور ومحركات لتقليب البيض وتبريد داخلي. يوفر كفاءة عالية جداً، لكنه مرتفع التكلفة.

يعرض الجدول التالي مقارنة بين الأنواع المختلفة لأنظمة الحاضنات المتوفرة في السوق، حيث تختلف هذه الأنظمة من حيث عدد الغرف، طريقة تدوير البيض وأساليب التحكم في الحرارة والرطوبة، إضافة إلى الكفاءة والتكلفة والاستخدام النموذجي لكل نوع. يساعد هذا التنوع في تلبية احتياجات المستخدمين بحسب حجم المشروع والإمكانات المتوفرة **[22]**.

جدول (6.I): مقارنة بين الأنظمة

النظام	عدد الغرف	تدوير البيض	التحكم في الحرارة/الرطوبة	الكفاءة	التكلفة	الاستخدام النموذجي
يدوي	1	يدوي	يدوي	منخفضة	منخفضة	الاستخدام المنزلي والمشاريع البسيطة
شبه أوتوماتيكي	1	يدوي/ميكانيكي بسيط	أوتوماتيكي جزئي في الحرارة، رطوبة يدوية	متوسطة	متوسطة	مزارع صغيرة ومتوسطة
أوتوماتيكي كامل	1	أوتوماتيكي بمحركات	تحكم رقمي كامل	عالية	عالية	مزارع متوسطة وكبيرة
مفتوح (غرفة واحدة)	1	يدوي أو محدود	تحكم حراري بسيط، رطوبة غالبًا يدوية	متوسطة	منخفضة	الاستخدام القروي والمزارع الصغيرة
قرية (غرفتان)	2	يدوي أو شبه أوتوماتيكي	حرارة مركزية، رطوبة غرفة البيض	متوسطة إلى عالية	متوسطة	مشاريع داجنة ريفية
ألماني (متقدم)	أو 2 أكثر	أوتوماتيكي بمحركات	رقمي متقدم (حرارة، رطوبة، تهوية)	عالية	عالية	مشاريع متوسطة وراقية
نظام الدكت	1	يدوي أو بسيط	منظم حراري عادي	متوسطة	منخفضة	نماذج حاضنات محلية بسيطة
صناعي (جيموكا مثلًا)	متعددة	أوتوماتيكي بمحركات	رقمي دقيق وكامل	عالية جدًا	عالية جدًا	معامل تفريخ ومصانع دواجن كبيرة

5.I خاتمة

في هذا الفصل، قدمنا لمحة شاملة حول تقنية إنترنت الأشياء ومنصة التحكم، موضحين أهميتهما وتطبيقاتهما المتنوعة في الحياة اليومية. سنستفيد من هذه التكنولوجيا المتقدمة لإنشاء حاضنة بيض ذكية، مصممة للاستخدام في المناطق النائية. تعتمد هذه الحاضنة على إنترنت الأشياء لضمان بيئة مثالية لتفقيص البيض دون تدخل الأم، مع التحكم التام في الظروف المناخية اللازمة مثل التهوية، التبريد والتسخين.

الحاضنة الذكية ستتيح للمزارعين القدرة على مراقبة وضبط الإعدادات من خلال تطبيق بسيط على الهاتف النقال، مما يعزز من كفاءة العملية ويضمن نتائج أفضل في تربية الأفراخ وإن استخدام المنصة سيمكننا من تحقيق هذا التحكم بفضل واجهتها السهلة وأدواتها المتكاملة.

سننتقل في الفصل التالي إلى شرح تفصيلي للعناصر الإلكترونية المختلفة ومبدأ عملها. سنبسط شرح مختلف العناصر المستعملة في المشروع مع توضيح وتصميم للدوائر الإلكترونية.

الفصل الثاني

العناصر الالكترونية للمشروع وطرق توصيلها

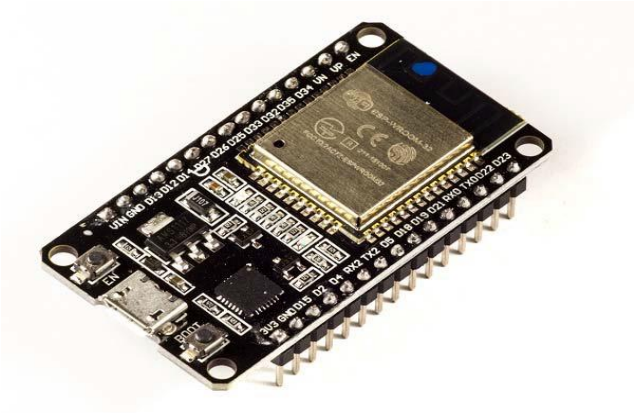
1.II مقدمة

يتيح الاستفادة من التقنيات المتقدمة في مجال المعلومات والاتصالات الانتقال نحو نموذج جديد يوفر نهجًا أكثر ذكاءً في مجموعة متنوعة من المجالات. في هذا الفصل، سنقوم باستعراض الأدوات والبرمجيات التي نستخدمها في مشروعنا، مثل لوحة (ESP32)، جنبًا إلى جنب مع مجموعة الحساسات والمحركات. يرتبط هذا النظام بتقنيات إنترنت الأشياء مما يمكننا من التحكم عن بُعد في حاضنة البيض. كما سنتحدث عن بيئة البرمجة التي نعتمد عليها لتطوير واجهتنا وهي (Arduino IDE)، التي تسهم في دمج النظام والتأكد من عمله بشكل متكامل وفعّال.

2.II دراسة لوحة ESP32

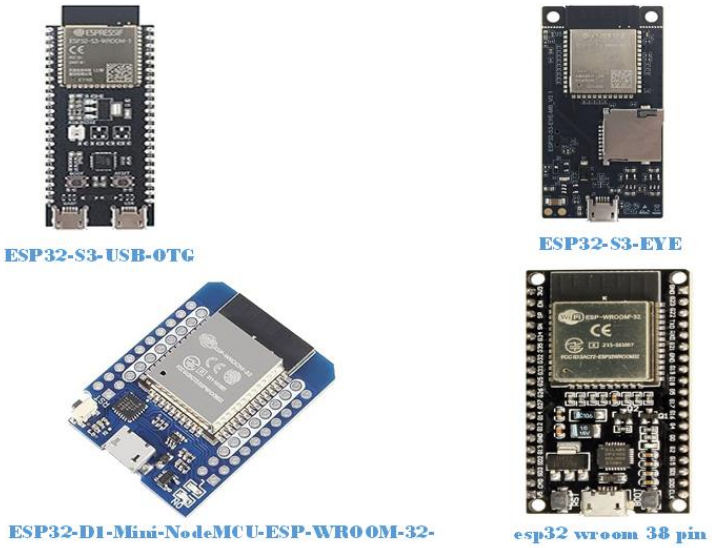
1.2.II تمهيد حول ESP32

في عالم الأنظمة المضمنة وإنترنت الأشياء، حيث تتنافس الحلول التقنية لتحقيق الكفاءة، المرونة والتكلفة المنخفضة، يبرز معالج (ESP32) كأحد أهم الابتكارات التي غيّرت مفاهيم التصميم الإلكتروني الحديث. أُطلقت هذه الشريحة المطورة كما هي مبينة في **الشكل (1.II)** من شركة (Espressif Systems) في الربع الأخير من عام 2016، لتنضم إلى سوقٍ مزدحم بالدارات المتخصصة، لكنها سرعان ما فرضت نفسها بفضل تكاملها الفريد بين قوة المعالجة والاتصال اللاسلكي وتنوع الطرفيات. تتميز (ESP32) بأنها نظام متكامل على شريحة (SoC) يجمع بين نواتي معالجة (32 bit Dual-Core) تعملان بتردد يصل إلى (240MHz) ، ووحدات اتصال متزامنة تشمل (Wi-Fi) و (Bluetooth) كلاسيكي كما تحتوي على أكثر من 19 طرفية (Peripheral) متنوعة مثل محولات (ADC) دقيقة، وواجهات (UART) ، (SPI) و(I2C)، ووحدات تحكم في المحركات (PWM) ، مما يجعلها مناسبة لتطبيقات التحكم والمراقبة المعقدة**[23]**.



الشكل(1.II): وحدة تطوير ESP32

تعد وحدات (ESP32) من أشهر المتحكمات الدقيقة المستخدمة في المشاريع الإلكترونية الحديثة، بفضل دعمها لشبكات (Wi-Fi) و (Bluetooth) وأدائها العالي مقارنة بتكلفتها المنخفضة. وتتوفّر هذه الوحدات بعدة نماذج تختلف في المزايا والإمكانات، مما يمنح المطورين حرية اختيار الأنسب حسب متطلبات المشروع **[24]**. سنستعرض بعض أشهر نماذج وحدات (ESP32) المستخدمة في التطبيقات المتنوعة في الشكل **(2.II)**.

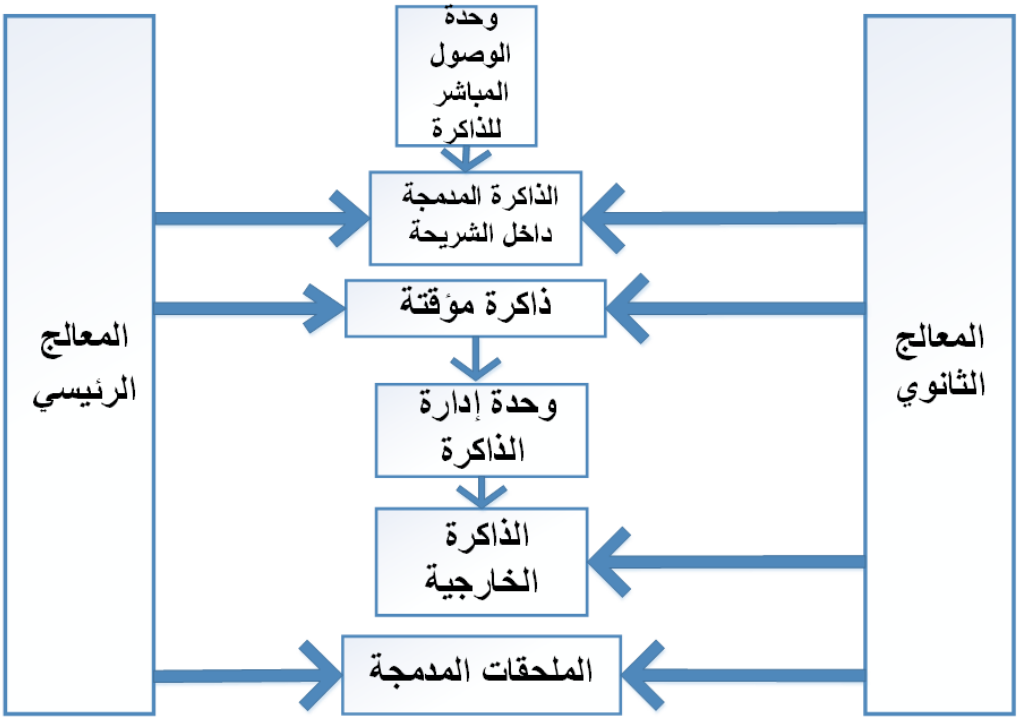


الشكل (2.II): لوحات ESP32 المختلفة.

2.2.II دراسة مقارنة وتطبيقات عملية لوحدة ESP32 في أنظمة إنترنت الأشياء

تم إجراء دراسة مقارنة وتطبيقات عملية لوحدة متحكم (ESP32) المستخدمة في أنظمة إنترنت الأشياء على الرغم من صغر حجم وحدة (ESP-WROOM-32) إلا أنها تتميز بسهولة الاستخدام وتوفر أداءً عاليًا في تطبيقات إنترنت الأشياء **[25]**.

يتكون نظام المعالجة في العديد من الأجهزة الحديثة من معالج رئيسي يدير العمليات الأساسية، ومعالج ثانوي قد يستخدم لدعم مهام محددة أو متخصصة. ويتفاعل كلا المعالجين مع وحدات الذاكرة والملاحق المدمجة بطرق متعددة تعتمد على نوع الذاكرة وموقعها. يوضح المخطط التالي تسلسل الاتصال بين المعالجين وطبقات الذاكرة المختلفة، بدءا من الذاكرة المدمجة داخل الشريحة وصولا إلى الذاكرة الخارجية والملاحق أنظر **الشكل (3.II)**.



الشكل(3.II): هيكل نظام ESP32 [26]

تختلف إصدارات الوحدة حسب التالي:

1. عدد الأنوية (CORES).
2. وجود ذاكرة فلاش (Mbite-16) داخل الدارة المندمجة.
3. حجم الغلاف للدارة المندمجة.

توفر الشركة المصممة العديد من الموديلات الجاهزة للاستخدام والتي تحوي دارة المندمجة (ESP32) ومعها كل العناصر المتفرّقة اللازمة للعمل، من مقاومات ومكثفات وذاكرة فلاش وذاكرة رام (بعض الموديلات) وهوائي مطبوع والجدول (II .1) يلخص بعض أنواع الموديلات**[27]**.

جدول (1.II): ملخص لبعض الموديلات [27]

اسم اللوحة	إصدار ESP32.	الذاكرات الخارجية.	الهوائيات
ESP32-WROOM-32	ESP32-D0WD	ذاكرة فلاش بسعة 4 ميغابايت	هوائي مدمج من نوع (PCB)
ESP32-WROOM-32D	ESP32-D0WD	ذاكرة فلاش بسعة 4 ميغابايت	هوائي مدمج من نوع (PCB)
ESP32-WROOM-32U	ESP32-D0WD	ذاكرة فلاش بسعة 4 ميغابايت	هوائي خارجي عبر موصل (IPEX)

اسم اللوحة	إصدار ESP32.	الذاكرات الخارجية.	الهوائيات
ESP32-WROVER	ESP32-D0WD	ذاكرة فلاش بسعة 4 ميغابايت وذاكرة (SRAM) بسعة 4 ميغابايت	هوائي مدمج من نوع (PCB)
ESP32-WROVER-I	ESP32-D0WD	ذاكرة فلاش بسعة 4 ميغابايت وذاكرة (SRAM) بسعة 4 ميغابايت	هوائي مدمج من نوع (PCB) وهوائي خارجي عبر موصل (IPEX)
ESP32-SOLO-1	ESP32-S0WD	ذاكرة فلاش بسعة 4 ميغابايت	هوائي مدمج من نوع (PCB)

3.2.II المميزات الأساسية والمكونات

تتميز وحدة التحكم (ESP32) بتوفير خيارين رئيسيين للاتصال اللاسلكي، وهما: الاتصال عبر شبكة الواي فاي وفق المعيار (IEEE 802.11 b/g/n)، والاتصال عبر تقنية البلوتوث بإصدار 4.2، مما يجعلها مناسبة لمجموعة واسعة من تطبيقات إنترنت الأشياء.

تحتوي الوحدة على معالج قوي من نوع (Xtensa LX6)، يعمل بمعمارية 32 بت، ويمكن تشغيله إما بنواة واحدة أو نواتين(Single-core ,Dual-core) ، ما يوفر أداءً جيدًا في المعالجة يصل إلى (600 DMIPS) عند تردد يصل إلى 240 ميغاهرتز.

من ناحية الذاكرة، تحتوي الوحدة على ذاكرة قراءة فقط (ROM) بسعة 448 كيلوبايت مخصصة لتخزين التعليمات الثابتة، بالإضافة إلى ذاكرة وصول عشوائي (SRAM) بسعة 520 كيلوبايت تُستخدم أثناء تنفيذ البرامج. كما تتضمن 16 كيلوبايت إضافية من الذاكرة مخصصة لتطبيقات الوقت الحقيقي (RTC) وتدعم الوحدة أيضًا تركيب ذاكرة خارجية من نوع فلاش (QSPI flash) تصل سعتها إلى 16 ميغابايت، لتخزين البرامج والبيانات الأكبر حجما **[28]**.

4.2.II مميزات ESP32

أ. معالج متطور (SoC)

- ❖ يحتوي على معالج ثنائي النواة (Xtensa LX6) بتردد يصل إلى 240 MHz.
- ❖ يدعم تقنيات الاتصال اللاسلكي مثل (Wi-Fi 802.11 b/g/n) وبلوتوث 4.2 (ثنائي الوضع).
- ❖ يحتوي على ذاكرة (SRAM) بحجم 520 كيلوبايت وذاكرة فلاش خارجية تصل إلى 4 ميجابايت.
- ❖ يدعم ذاكرة (PSRAM) بحجم 8 ميجابايت في بعض الإصدارات مثل (ESP32-Wrover).

ب. واجهات وطرفيات متعددة

- ❖ 34 دخل/خرج (GPIO).
- ❖ 18 قناة لتحويل الإشارات التماثلية إلى رقمية بدقة 12 بت.
- ❖ قناتين لتحويل الإشارات الرقمية إلى تماثلية بدقة 8 بت.
- ❖ واجهات اتصال مثل (SPI، I2C، I2S، UART، CAN) وإيثرنت.
- ❖ 8 قنوات لاستقبال وإرسال الإشارات تحت الحمراء.

ج. حساسات مدمجة

- ❖ حساس درجة الحرارة (يعمل في نطاق °C 40− إلى °C 125)
- ❖ حساس اللمس السعوي (Capacitive Touch Sensor)
- ❖ حساس الأثر المغناطيسي (Hall Effect Sensor).

د. تسريع تشفير الأجهزة

- ❖ يدعم تشفير (AES، SHA−2، RSA)، وتشفير المنحنيات الإهليجية (ECC).
- ❖ يحتوي على مولد أرقام عشوائية.

هـ. توفير الطاقة

- ❖ يحتوي على معالج مساعد (ULP co−processor) للعمل في نمط التوفير الأقصى للطاقة.
- ❖ يدعم إدارة الطاقة بشكل فعال، مما يجعله مناسبًا للتطبيقات التي تعمل بالبطاريات.

و. دعم أنظمة التشغيل

- ❖ يدعم نظام (FreeRTOS) للتعامل مع المهام متعددة النوى.
- ❖ يمكن برمجته باستخدام عدة برمجيات نذكر منها: Arduino IDE، Micro Python و MATLAB.

5.2.II تطبيقات ESP32

أ. إنترنت الأشياء

- ❖ يستخدم في تطبيقات المنازل الذكية والأتمتة.
- ❖ يمكن استخدامه كخادم (Web Server) لمراقبة أنظمة الطاقة الشمسية الصغيرة.
- ❖ يدعم الاتصال بالشبكات اللاسلكية ونقل البيانات إلى الأنظمة العليا.

ب. المراقبة البيئية

- ❖ يستخدم لمراقبة تلوث الهواء وتسرب الغازات مثل الغاز البترولي المسال (LPG)
- ❖ يمكن توصيله بمجموعة واسعة من الحساسات البيئية.

ج. الصحة والرعاية الصحية

- ❖ يستخدم في أنظمة مراقبة الصحة، مثل مراقبة مستوى المحاليل الطبية.

د. أنظمة الأمان والاتصال الآمن

- ❖ يستخدم في أنظمة الاتصال الآمن مع وحدات (LoRa) وتطبيق معايير التشفير مثل (AES).
- ❖ يمكن استخدامه لمراقبة إنذارات المعدات التكنولوجية.

أ. التحكم في الأنظمة الصناعية

- ❖ يستخدم في مراقبة الاهتزازات والتحكم في المضخات الشمسية
- ❖ يدعم أنظمة التحكم في العمليات الصناعية.

ب. عرض البيانات

- ❖ يمكن توصيله بشاشات (OLED) و(LCD) لعرض البيانات مباشرة.
- ❖ يدعم عرض البيانات الرسومية (الرسوم البيانية) على شاشات عالية الدقة مثل شاشات 2.4 بوصة.

ج. التطبيقات الصوتية

- ❖ يدعم واجهات (I2S) للتعامل مع الصوت
- ❖ يمكن استخدامه في تطبيقات الصوتيات والأنظمة الصوتية الذكية.

د. التطبيقات التعليمية والتطوير السريع

- ❖ يعتبر مثاليًا للمبتدئين بسبب دعمه لمنصة (Arduino).
- ❖ يمكن استخدامه في المشاريع التعليمية والتجارب السريعة **[29]**.

II.6.2 الفرق بين ESP32 واللوحات الأخرى

II.6.2.1 الفرق بين ESP32 ومختف أنواع الاردوينو

تختلف وحدات التحكم المستخدمة في المشاريع الإلكترونية من حيث القدرات والإمكانيات، ويُعد كل من (ESP32) وأردوينو من أشهر الخيارات المتاحة للمطورين. في الجدول (II.2) نعرض مقارنة تقنية بين وحدات (ESP32) ونماذج أردوينو المختلفة (UNO، Nano، Mega) من حيث الأداء والوظائف لتوضيح الفروقات ومساعدة المستخدم في اختيار الأنسب لمتطلباته **[30]**.

جدول(2.II): مقارنة تقنية بين وحدات التحكم (ESP32) وأردوينو (UNO/Nano/Mega) من حيث الأداء والوظائف[30]

الميزة	الأردوينو (Uno/Nano/Mega)	ESP32
المعالج والأداء	أحادي النواة (16 ميغاهرتز)، ذاكرة SRAM بسعة 2 كيلوبايت في إصدار (Uno) و8 كيلوبايت في إصدار (Mega) ، وذاكرة فلاش تصل إلى 256 كيلوبايت.	ثنائي النواة (240 ميغاهرتز). ذاكرة SRAM بسعة 520 كيلوبايت. ذاكرة فلاش تصل إلى 4 ميغابايت.
الاتصال اللاسلكي	لا يوجد اتصال لاسلكي مدمج. يتطلب إضافة وحدات خارجية مثل (ESP8266)	يدعم (Wi-Fi) وبلوتوث مدمجين.
عدد الـGPIO	(Uno) عدد مداخل/مخارج (I/O) يصل إلى 14. (Mega) عدد مداخل/مخارج (I/O) يصل إلى 54.	34دخل /خرج (مع وظائف متعددة: PWM,I2C,SPI,إلخ.)
الذاكرة	في إصدار Uno: SRAM بسعة 2 كيلوبايت، وفلاش بسعة 32 كيلوبايت. في إصدار Mega: SRAM بسعة 8 كيلوبايت، وفلاش بسعة 256 كيلوبايت.	SRAM : 520كيلوبايت فلاش: حتى 4 ميغابيت PSRAM : متوفر في بعض الاصدارات
الحساسات المدمجة	لا يوجد حساسات مدمجة.	حساس لمس سعوي، حرارة، ومغناطيسي
التطبيقات	مشاريع بسيطة (تحكم في محركات، أتمتة منزلية بسيطة).	إنترنت الأشياء أنظمة ذكية، عرض بيانات رسومية.

سهولة الاستخدام	سهل للمبتدئين. يعتمد على (Arduino IDE) فقط.	يحتاج معرفة تقنية أعلى. يدعم (Arduino IDE)، (IDF)، (MicroPython)
السعر	أرخص	أعلى قليلاً (~$10) لكنه يوفر إمكانيات أكبر.
استهلاك الطاقة	أقل كفاءة في إدارة الطاقة.	يدعم وضع التوفير (ULP co-processor) مناسب للبطاريات.

وفيما يلي الجدول (3.II) يوضح بشكل تقني الفرق بين ESP32 وESP8266.

جدول(3.II): الفرق بين ESP32 وESP8266 [31]

الميزة	**ESP8266**	**ESP32**
المعالج	أحادي النواة(TensilicaL106) بسرعة 80–160 ميجاهرتز	ثنائي النواة (Xtensa LX6) بسرعة 240 ميجاهرتز
الذاكرة(RAM)	64–512كيلوبايت	حتى 520 كيلوبايت
الذاكرة(Flash)	حتى 4 ميجابايت	حتى 16 ميجابايت
الاتصال اللاسلكي	Wi-Fi 802.11 b/g/nفقط	Wi-Fi 802.11 b/g/n مع بلوتوث مزدوج كلاسيكي
منافذGPIO	17منفذ	34–40 منفذ
قنواتADC	قناة واحدة (بدقة 10 بت)	18 قناة (بدقة 12 بت)
قنواتDAC	غير مدعوم	2 قناة (8 بت)
ميزات إضافية	غير مدعوم	مستشعر تأثير الحقل، منافذ حساسة للمس
استهلاك الطاقة	وضع النوم العميق: 20 ميكروأمبير	وضع النوم العميق: 5 ميكروأمبير

الأمان	يعتمد على حلول برمجية	تشفير فلاش، تشغيل آمن(Secure Boot)
بيئة التطوير	يدعمArduino IDE	يدعم (ArduinoIDE)، (ESP-IDF)، (MicroPython)
التكلفة	1700 حتى1500DA	1700 DA حتى 2000 DA
أفضل استخدام	مشاريع بسيطة	مشاريع متقدمة (بلوتوث، معالجة متعددة المهام، أجهزة قابلة للارتداء)

ملاحظات:

- **(ESP32)** مناسب للمشاريع التي تتطلب أداءً عاليًا واتصالًا متعددًا Wi-Fi مع بلوتوث.
- **(ESP8266)** مثالي للمشاريع البسيطة ذات الميزانية المحدودة والتي لا تحتاج إلى بلوتوث أو معالجة متقدمة.

II .7.2 سبب اختيار (ESP32) في هذا المشروع

تعتبر هذه الوحدة الخيار الأمثل لمشروع حاضنة بيض ذكية منخفضة التكلفة المعتمدة على إنترنت الأشياء بسبب مزاياه المتعددة. تتميز بدعم مدمج لكل من (Wi-Fi) و(Bluetooth)، مما يلغي الحاجة لوحدات اتصال خارجية ويقلل التكلفة والتعقيد. كما يمتلك معالجًا ثنائي النواة بتردد 240 ميغاهرتز وذاكرة كبيرة، مما يجعله قادرًا على معالجة بيانات أجهزة الاستشعار وتنفيذ خوارزميات التحكم في الوقت الفعلي بكفاءة. بالإضافة إلى ذلك، يدعم (ESP32) أوضاع السكون الذكية التي تقلل استهلاك الطاقة، وهو أمر مهم في المناطق النائية التي تعتمد على البطاريات أو الطاقة الشمسية. تكلفته المنخفضة ومرونته في البرمجة تجعله متفوقًا على البدائل مثل (ESP8266) المحدود ب (Wi-Fi) فقط ولوحات(Arduino) التي تتطلب وحدات إضافية للاتصال، مما يجعله الحل الأفضل لتطبيقات انترنت الاشياء المعقدة والمنخفضة التكلفة **[32]**.

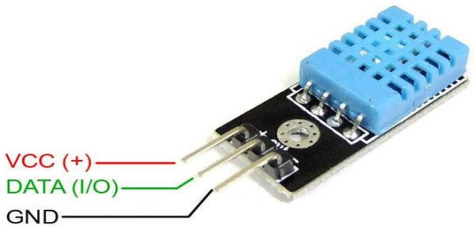
II.3 الحساسات (SENSORS)

II.3.1 حساسات الحرارة والرطوبة DHT11 و DHT22

II.3.1.1 حساس DHT11

حساس رقمي منخفض التكلفة لقياس درجة الحرارة والرطوبة معًا بدقة متوسطة أنظر **الشكل (II.4) [33]**.

- دقة قياس الحرارة ±2°C
- مدى القياس من 0°C إلى 50°C.

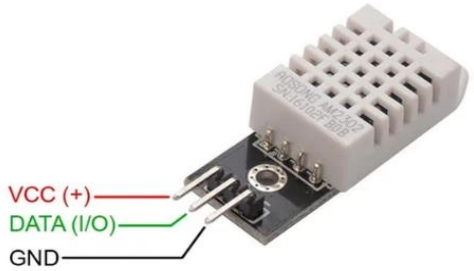


الشكل (4.II): مخطط حساس للحرارة والرطوبة DHT11 [33]

2.1.3.II حساس DHT22

حساس رقمي أكثر دقة من (DHT11) لقياس درجة الحرارة والرطوبة **الشكل (5.II) [34].**

- دقة قياس الحرارة ±0.5°C
- مدى القياس :من −40°C إلى 80°C



الشكل (5.II): مخطط حساس DHT22 للحرارة والرطوبة

3.1.3.II مبدأ عمل حساسات DHT11 و DHT22

تعتمد هذه الحساسات على مزيج من تقنيات القياس الرقمية والتناظرية، حيث يتم قياس درجة الحرارة باستخدام مستشعر حراري من نوع (NTC Thermistor) يحتوي هذا الحساس على مقاومة حرارية تتغير قيمتها مع تغير درجة الحرارة، فعند ارتفاع درجة الحرارة تنخفض قيمة المقاومة، وهي علاقة عكسية. يتم بعد ذلك معالجة الإشارة عبر شريحة ميكرو كونترولر مدمجة داخل الحساس، حيث تقوم بتحويل التغير في المقاومة إلى إشارة رقمية تُرسل إلى المتحكم الدقيق مثل (Arduino) **[35].**

4.1.3.II كيفية التواصل مع المتحكم الدقيق

أ / مرحلة البدء (Start Signal)

- يُرسل المتحكم الدقيق نبضة كهربائية إلى الحساس لبدء القراءة.

ب / إرسال البيانات

- يرد الحساس بإرسال 40 بت (Bit) من البيانات
  - 16 بت للرطوبة
  - 16 بت لدرجة الحرارة
  - 8 بت للفحص(Checksum)

ج. التحقق من البيانات

- يتم التحقق من صحة البيانات باستخدام بتات الفحص لتجنب الأخطاء **[36]**.

5.1.3.II الفرق بين DHT11 و DHT22

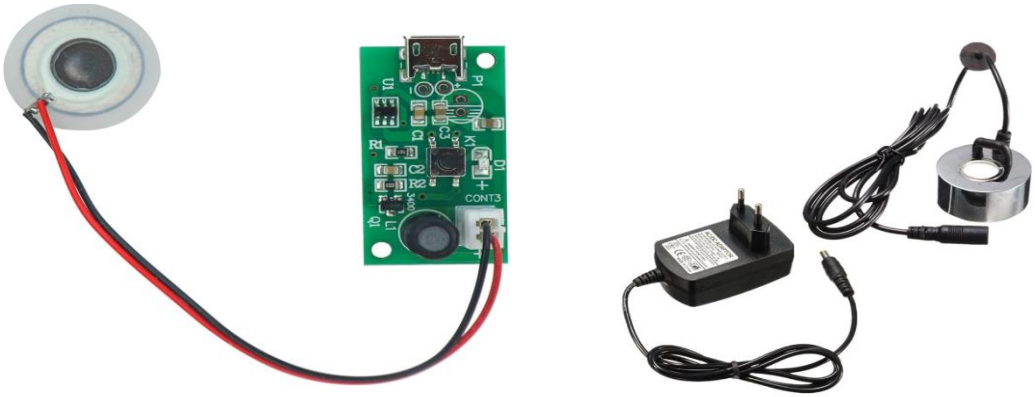
تستخدم الحساسات (DHT11) و(DHT22) بشكل واسع في مشاريع القياس البيئي، خصوصا لقياس درجة الحرارة والرطوبة. وعلى الرغم من التشابه في الشكل وطريقة العمل، إلا أن هناك فروقا واضحة بينهما من حيث الدقة، المدى، وسرعة الاستجابة. يوضح الجدول التالي أبرز الفروقات بين الحساسين لمساعدتك في اختيار الأنسب حسب متطلبات المشروع.

جدول (4.II): الفرق بين DHT11 و DHT22 [36]

الميزة	DHT22	DHT11
الدقة	±0.5°C	±2°C
المدى الحراري	80°C إلى −40°C	50°C إلى 0°C
السعر	أعلى	منخفض
الاستجابة	أسرع (0.5–1 ثانية)	أبطأ (1–2 ثانية)

4.II الترطيب الصناعي (الترطيب بالموجات فوق الصوتية)

يعتبر المرطب الهوائي عنصراً مهماً في نظام الحاضنة الذكية لأنه يضمن ضبط مستوى الرطوبة الضرورية لنمو الجنين داخل البيضة. وفي هذا النظام، تم استخدام مرطب بالموجات فوق الصوتية كونه يمتاز بالقدرة على تبخير الماء بكفاءة دون التأثير على درجة حرارة الحاضنة. كما تم ربط المرطب مع وحدة تحكم (ESP32) عبر دائرة ريليه. هذا يتيح التشغيل الالي للجهاز بناءً على القراءات المستمرة التي يوفرها مستشعر الرطوبة(DHT22) ، مما يضمن استقرار الظروف البيئية داخل الحاضنة ويعزز من نجاح عملية التفريخ **[37]** كما في **الشكل (6.II)**.



الشكل (6.II): المرطب بالموجات الفوق صوتية مع محول طاقة [37]

1.4.II الترطيب الطبيعي في الفقاسة (الحوض + مضخة الأكواريوم)

الترطيب الطبيعي هو أحد أبسط وأقدم الأساليب المستخدمة لضبط نسبة الرطوبة داخل الفقاسة، ويُستخدم فيه الماء بشكل مباشر دون أجهزة إلكترونية متقدمة ونجد فيه طريقتان شائعتان.

1.1.4.II الحوض المائي

يوضع وعاء مفتوح يحتوي على ماء نقي داخل الفقاسة، ويعتمد على تبخر الماء الطبيعي لرفع نسبة الرطوبة في الهواء. يمكن زيادة الرطوبة ببساطة عن طريق إضافة وعاء آخر أو توسيع سطح الماء **[38]**. كما في **الشكل (7.II)**.

الشكل (7.II): مقطع جانبي لحاضنة بسيطة بترطيب طبيعي عبر حوض ماء سفلي[38].

2.1.4.II مضخة الأكواريوم

تستخدم مضخة ماء صغيرة (مثل تلك الخاصة بأحواض السمك) لتوليد رذاذ خفيف من الماء داخل الفقاسة، مما يُساعد على رفع الرطوبة بطريقة أكثر فاعلية من التبخر السلبي، لكن دون اهتزازات أو مكونات إلكترونية معقّدة.

المميزات العامة للطريقة

- بسيطة ورخيصة.
- لا تسبب اهتزازات تضر بالأجنة.
- سهلة الصيانة، ولا تحتاج إلى خبرة تقنية.
- أكثر أمانا بيولوجيًا عند الحفاظ على نظافة المياه والأدوات.

2.4.II الفرق بين الترطيب الصناعي والترطيب الطبيعي

في انظمة الحاضنات، يعد التحكم في الرطوبة من العوامل الاساسية التي تؤثر على تطور الاجنة وفقس البيض بنجاح. وتوجد طريقتان شائعتان لتحقيق الترطيب داخل الحاضنة: الترطيب الطبيعي والترطيب الصناعي باستخدام الموجات فوق الصوتية **جدول (5.II)**، نوضح الفرق بين هاتين الطريقتين من حيث الية العمل، الامان، الصيانة، والكفاءة **[39]**.

جدول (5.II): الفرق بين الترطيب الصناعي والترطيب الطبيعي [39]

الترطيب بالموجات فوق الصوتية	الترطيب الطبيعي (الحوض + المضخة)	الجانب
تحويل الماء إلى ضباب دقيق باستخدام اهتزازات عالية التردد	تبخر طبيعي أو رذاذ بسيط من ماء نقي	آلية العمل
يصدر اهتزازات دقيقة قد تؤثر سلبًا على نمو الأجنة	آمن ولا يصدر اهتزازات أو موجات	الأمان للأجنة
مرتفعة نسبيًا بسبب الاهتزازات أو التلوث المحتمل من الجهاز	منخفضة عند الالتزام بالنظافة	نسبة نفوق الكتاكيت
معقّدة (يحتاج لتنظيف دقيق وفحص فني دوري)	سهلة (تغيير الماء وتنظيف الحوض/المضخة)	سهولة الصيانة
قد ينقل البكتيريا والفطريات الدقيقة مع الرذاذ	خطر التلوث منخفض إن تم تنظيف الأدوات بانتظام	نشر الملوثات
إلكتروني ودقيق، لكن عرضة للتعطّل المفاجئ	يدوي، يعتمد على كمية الماء وموقعه	التحكم في الرطوبة
مرتفعة نسبيًا وتتطلب أجهزة خاصة	منخفضة جدًا	التكلفة
يتوقف تمامًا عن العمل	لا يتأثر كثيرًا (خاصة الحوض)	الاعتمادية عند انقطاع الكهرباء

5.II محرك السيرفو

يستخدم محرك السيرفو للتحكم الدقيق في الزاوية والسرعة، مما يجعله مثاليًا لتطبيقات مثل الروبوتات والأنظمة الآلية. يتكوّن من محرك تيار مستمر يولّد الحركة ونظام تروس يزيد العزم ويقلّل السرعة، ونظام تغذية راجعة يراقب الوضعية لضمان دقة عالية. في حاضنة البيض الذكية، يُستخدم المحرك الموضعي (Positional Servo) لتقليب البيض بزوايا محددة (مثل 45 درجة) لتحسين توزيع الحرارة أنظر **الشكل (8.II)**، كما يتحكم في فتحات التهوية لتنظيم الظروف الداخلية. يُبرمج للعمل مع وحدة تحكم دقيقة مثل (Arduino) عبر إشارات (PWM), مما يتيح له

الاستجابة تلقائيًا لقراءات المستشعرات أو التحكم به عن بُعد عبر إنترنت الأشياء مثل ضبط التهوية عند تغير درجات الحرارة **[40]**.

الشكل (8.II): عرض داخلي لمحرك السيرفو[40]

6.II المحرك الخطوي

هو محرك كهربائي يعتمد على تحويل النبضات الكهربائية إلى حركات زاوية (خطوات) بشكل منتظم وموثوق مما يجعله مثالي في الأنظمة التي تحتاج دقة عالية. في فقاسة البيض الذكية يستخدم المحرك الخطوي لتحريك صينية البيض أو الرف الذي يحتوي على البيض بزاوية محددة (مثلاً 45 درجة) وبفواصل زمنية منتظمة مما يضمن توزيع الحرارة والرطوبة بشكل متساوٍ ويمنع التصاق الجنين بجدار البيضة، وبالتالي يزيد من نسبة نجاح التفقيس. يتم دمجه مع أنظمة تحكم ذكية تعتمد على حساسات لدرجة الحرارة والرطوبة لضبط عملية التقليب بشكل أوتوماتيكي وفعال**[41]**.

1.6. II أنواع المحرك الخطوي

تصنف عادة الى فئات بناءا على طريقة عملها وتكوين ملفاتها.

أولا: حسب طريقة التشغيل ونجد

- محرك ذو مغناطيس دائم
- محرك ذو ممانعة مغناطيسية متغيرة
- المحرك الهجين

ثانيا: حسب تكوين الملفات ونجد

- محرك خطوي احادي القطبية
- محرك خطوي ثنائي القطبية

تستخدم المحركات الخطوية في العديد من التطبيقات التي تتطلب حركة دقيقة وتحكما عاليا، مثل الطابعات، والروبوتات، وأنظمة التحكم الصناعي. وتختلف انواع المحركات الخطوية في خصائصها من حيث الدقة والعزم والتكلفة والتعقيد. في الجدول اسفله، في الجدول (6.II) مقارنة بين أبرز أنواع المحركات الخطوية من حيث هذه الجوانب**[42]**.

جدول (6.II): مقارنة أنواع المحركات الخطوية [42]

النوع	التعقيد	التكلفة	العزم	الدقة
أحادي القطب	بسيط	منخفضة	منخفض	متوسطة
ثنائي القطب	متوسط	متوسطة	مرتفع	عالية
ممانعة متغيرة	بسيط	منخفضة	منخفض جدًا	عالية جدًا
مغناطيس دائم	بسيط	منخفضة	جيد	منخفضة
هجين	معقد	مرتفعة	مرتفع جدًا	عالية جدًا

7.II المحرك التزامني احادي الطور

في فقاست البيض الذكية، يستخدم محرك تيار متردد صغير (مثل محرك متزامن احادي الطور) لتشغيل آلية تقليب البيض بدقة، مع تحكم إلكتروني لضبط السرعة والزاوية والتوقيت، مما يضمن توزيع الحرارة والرطوبة بشكل متساوٍ ويزيد من نسبة نجاح التفقيس.

المحرك المتزامن احادي الطور هو محرك تيار متناوب يدور الدوار فيه بسرعة تزامنية مع تردد التيار الكهربائي المزوّد له، مما يعني أن سرعة دورانه ثابتة ودقيقة كما في **الشكل (9.II)**.

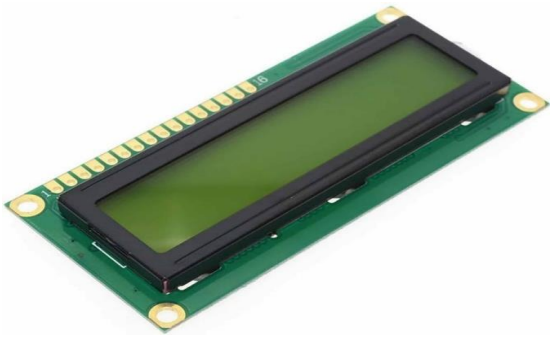
الشكل (9.II): محرك تزامني (TY-50AF) يعمل بتيار متناوب

1.7.II مبدأ عمل المحرك المتزامن أحادي الطور

عند تزويد الثابت بتيار متردد أحادي الطور يتولد مجال مغناطيسي متذبذب وليس دوار بشكل طبيعي، لذا يحتاج المحرك إلى وسائل مساعدة (مثل مكثف أو ملف بدء) لإنشاء مجال مغناطيسي دوار ابتدائي بمجرد بدء الدوران يتزامن الدوار (المزود بمغناطيس دائم أو ملف مجال) مع المجال المغناطيسي الدوار للثابت، فيدور بسرعة ثابتة تساوي سرعة المجال المغناطيسي، ولا تتغير هذه السرعة مع تغير الحمل. وهذا التزامن يجعل المحرك يدور بثبات ودقة في السرعة**[43]**.

8.II شاشة الكريستال السائل LCD 16*2

تعد شاشة LCD 16x2 نوعًا من شاشات الكريستال السائل ذات الأبعاد المحددة. تتكوّن هذه الشاشة من صفّين بارتفاع يصل إلى سطرين (2 أسطر) وعرضها يتكون من 16 حرفًا (16 في العرض). وهي شاشة صغيرة تعرض حروفًا وأرقاما في مصفوفة صغيرة، وتُستخدم في العديد من التطبيقات لعرض المعلومات المهمة بشكل بسيط وواضح **[44]** أنظر **الشكل (10.II)**.



الشكل (10.II): شاشة LCD 16*2

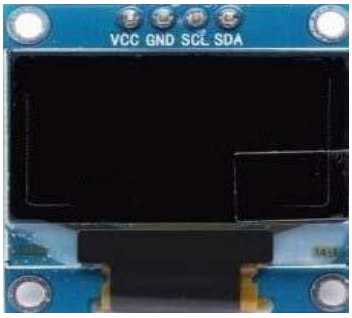
1.8.II مواصفات شاشة LCD 16×2

- جهد التغذية: يتراوح بين 4.7 و5.3 فولت.
- تيار التشغيل: 1ملي أمبير (بدون إضاءة خلفية).
- المتحكم المستخدم HD44780
- عدد الأعمدة 16
- عدد الصفوف 2

لون الإضاءة الخلفية أخضر أو أزرق (حسب النوع).

9.II شاشة العرض OLED SSd1306

هي وحدة عرض صغيرة بحجم 0.96 بوصة ودقة 128×64 بيكسل (أحادية اللون) **الشكل (11.II)**، تعتمد على تقنية (OLED)، مما يمنحها تباينًا عاليًا وكفاءة في استهلاك الطاقة دون الحاجة إلى إضاءة خلفية. تدعم بروتوكولي (I2C) و(SPI)، مما يسهل تكاملها مع (ESP32) والأنظمة المدمجة الأخرى، حيث تُستخدم في مشاريع إنترنت الأشياء لعرض البيانات مثل الوقت وقراءات المستشعرات. تتميز بسهولة البرمجة عبر مكتبات مثل (Adafruit_SSD1306)، وتعد خيارًا مثاليًا للتطبيقات التي تتطلب عرضًا واضحًا مع استهلاك منخفض للطاقة**[45]**.



الشكل (11.II): شاشة عرض (OLED) بحجم 0.96 بوصة

تستخدم شاشة العرض (OLED) من نوع (SSD1306) بشكل واسع في المشاريع الالكترونية لعرض المعلومات مثل النصوص والرسومات بشكل واضح وبتوفير كبير للطاقة. يتم توصيل هذه الشاشة مع المتحكم (ESP32) باستخدام بروتوكول (I2C) الذي يعتمد على خطين فقط للتواصل. في الجدول (7.II)، نوضح اقطاب الشاشة ووظيفة كل قطب وطريقة توصيله مع المتحكم**[45]**.

جدول (II.7): أقطاب شاشة العرض (Oled ssd1306)

القطب	الوظيفة	التوصيل مع المتحكمESP32
VCC	تغذية الشاشة بالطاقة عادة 3.3 V أو 5 V	إلى منفذ 3.3 V أو 5 V حسب نوع الشاشة
GND	الأرضي(Ground)	إلى منفذ (GND) في المتحكم
SCL	خط الساعة (Clock) الخاص بـI2C	إلى منفذ (SCL) مثلاً (GPIO22) في (ESP32)
SDA	خط البيانات (Data) الخاص بـI2C	إلى منفذ (SDA)مثلاً (GPIO21) في (ESP32)

II.10 وحدات الاتصال

II .1.10 وحدة الواي فاي في ESP32

شريحة (ESP32) مزودة بوحدة (Wi-Fi) مدمجة تدعم البروتوكولات (IEEE 802.11b/g/n) وتعمل على تردد (2.4GHz)، مما يسمح لها بالاتصال اللاسلكي بسهولة دون الحاجة إلى وحدات إضافية. ويمكن استخدام هذه الوحدة بطريقتين رئيسيتين على النحو التالي:

1. **وضع المحطة (Station – STA)**: في هذا الوضع، يتصل المتحكم بشبكة الواي فاي موجودة، مثل الاتصال بجهاز راوتر منزلي أو شبكة لاسلكية داخلية، ليتمكن من الوصول إلى الإنترنت أو التواصل مع أجهزة أخرى ضمن الشبكة.
2. **وضع نقطة الوصول (Access Point – AP)**: في هذا الوضع، يقوم المتحكم بإنشاء شبكة الواي فاي خاصة به، بحيث يمكن للأجهزة الأخرى (مثل الهواتف أو الحواسيب) الاتصال به مباشرة دون الحاجة إلى راوتر وسيط.

يتيح هذا التعدد في أوضاع التشغيل مرونة عالية في استخدام المتحكم في تطبيقات مختلفة، مثل التحكم عن بعد أو إنشاء شبكات أجهزة مخصصة **[46]**.

II.2.10 دورالواي فاي في نظام الحاضنة الذكية

في مشروع الحاضنة الذكية، يُستفاد من وحدة الواي فاي في المتحكم لتحقيق الاتصال بالإنترنت عبر شبكة محلية، وذلك للأسباب التالية:

- ❖ تقليل التكلفة (حذف مكونات الأجهزة الإضافية).
- ❖ ضمان دقة عالية الوقت مُزامن مع خوادم عالمية.

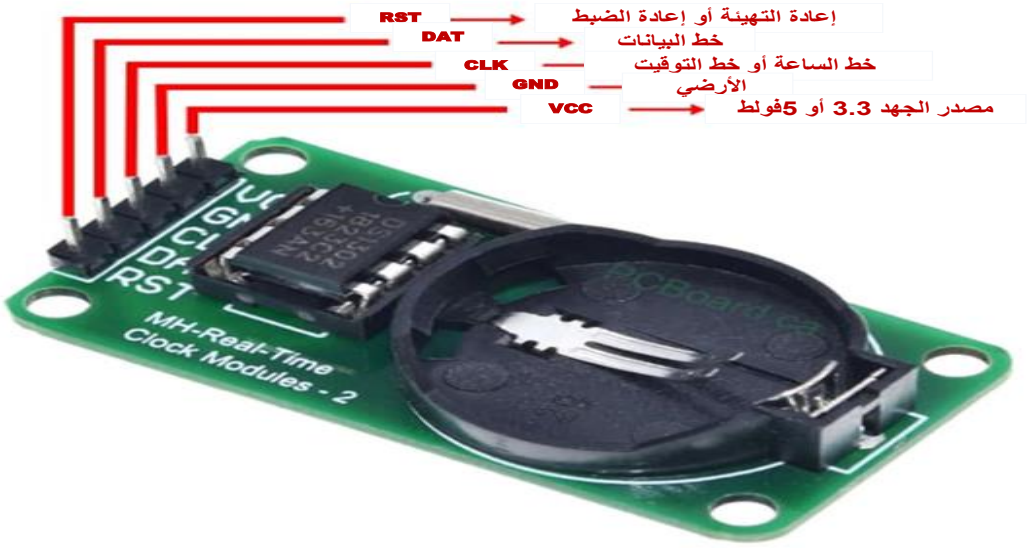
تبرمج وحدة الواي فاي باستخدام مكتبات مثل (WiFi.h) في بيئة (Arduino IDE)، حيث تُدخل بيانات الشبكة (SSID) وكلمة المرور في الكود. تعتمد دقة النظام على استقرار الاتصال بالشبكة، لذا يُنصح بتضمين آليات تحقق من جودة الإشارة وإعادة الاتصال التلقائي في حالة انقطاع الشبكة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن تخزين الوقت مؤقتًا في ذاكرة (ESP32) الداخلية لتجنب الأخطاء أثناء الانقطاعات القصيرة**[47]**.

3.10.II مزايا التصميم المعتمد على واي فاي ESP32

1. مرونة التحديث: إمكانية تحديث البرامج الثابتة (Firmware) عن بعد عبر الإنترنت.
2. الارتباط بأنظمة (IOT): إرسال بيانات المراقبة (مثل درجة الحرارة) إلى منصات سحابية أو تطبيقات الهاتف.
3. كفاءة الطاقة: يدعم (ESP32) وضعيات توفير الطاقة مثل (Sleep Mode) مع الحفاظ على اتصال محدود بالشبكة.

11.II وحدة RTC (Real-Time Clock) DS1302

تعد وحدة (RTC DS1302) واحدة من الدوائر المتكاملة (ICs) المصممة لتتبع الوقت بتكلفة منخفضة ودقة معتدلة. تعمل بتردد 32.768 كيلوهرتز وتتميز بسهولة تكاملها مع الأنظمة المدمجة، مما يجعلها خيارًا مثاليًا للمشاريع البسيطة التي تحتاج إلى تتبع الوقت دون استهلاك كبير للطاقة**[48]**.



الشكل (12.II): بنية DS130 (Real-Time Clock)

II .1.11 مزايا وحدة RTC DS1302

تتميز هذه الوحدة بتتبع دقيق للوقت حتى عام 2100، مع دعم لتنسيقي 12 و24 ساعة. تستهلك طاقة منخفضة جدًا وتتحول تلقائيًا للبطارية الاحتياطية عند انقطاع التيار. كما أنها سهلة البرمجة والتكامل مع المتحكمات عبر واجهة ثلاثية الأسلاك.

II.12 المرحل

يوجد نوعان:

المرحل الكهرومغناطيسي.

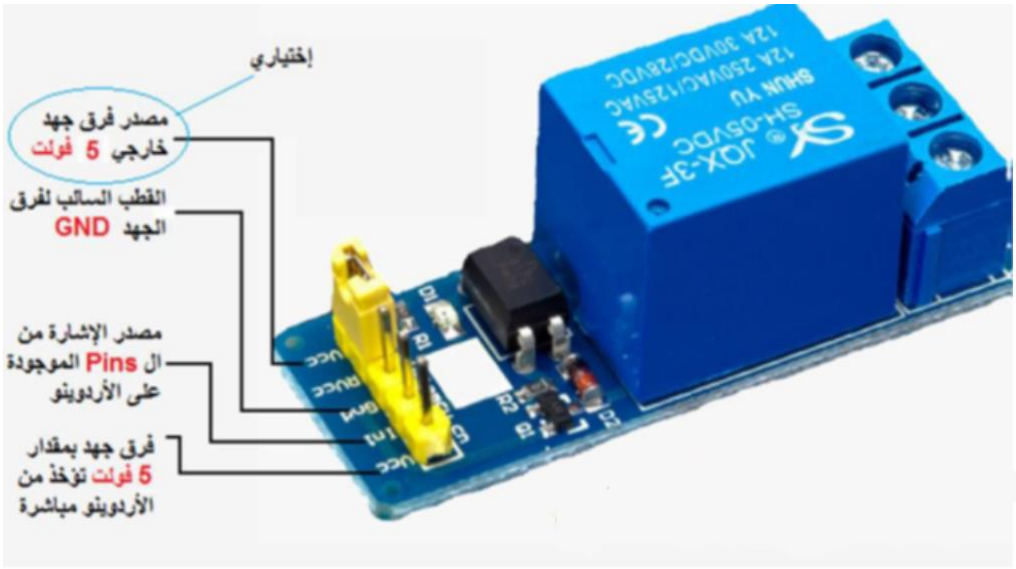
المرحل الثابت.

II .1.12 المرحل الكهرومغناطيسي

عبارة عن مفتاح يتم التحكم فيه بجهد منخفض مستمر او جهد متناوب .يستخدم جهد التبديل لدفع احمال طاقة عالية تصل الى 12 أو 12 أمبير **[49]**.

II .1.1.12 ربط المرحل مع ESP32

احضار لوحة مرحل جاهزة متوافقة مع الاردوينو او لوحة المتحكم كما في **الشكل (II.13)[50]**.



الشكل (II.13): أطراف ووضائف وحدة الريليه 5 فولط المستخدمة مع ESP32[51]

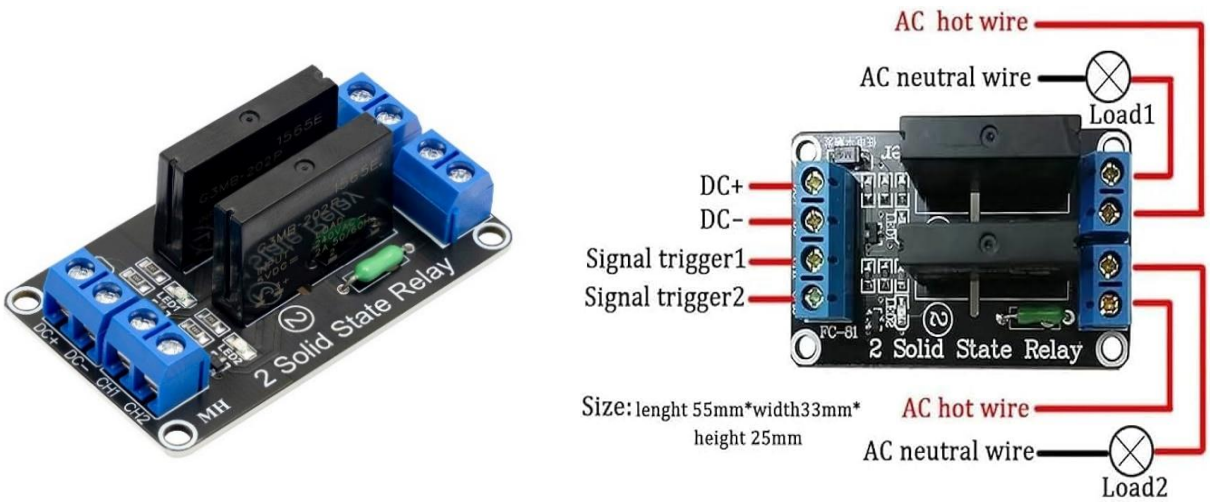
باقي المراحل موضحة في الجدول (II.8).

جدول(8.II): ربط ESP32 مع الريليه للتحكم عبر الواي فاي

الوظيفة	طرف الريليه	طرفESP32	ملاحظات
التحكم (إشارة التفعيل)	IN	GPIO (مثلا GPIO23)	يتم إرسال (HIGH) أو (LOW) من (ESP32) حسب أوامر الواي فاي
جهد التشغيل للريليه	VCC	5V (أو مصدر خارجي)	يُفضل استخدام مصدر خارجي لتغذية الريليه بجهد 5 فولت مستقر
الأرضي (مشترك)	GND	GND	يجب توصيل (GND) الريليه مع (GND) (ESP32) والمصدر الخارجي معا

2.12. II المرحل الثابت

المرحل الثابت (Solid State Relay – SSR) هو جهاز إلكتروني يُستخدم للتحكم في الأحمال الكهربائية دون وجود أجزاء ميكانيكية متحركة، مما يضمن عمرا أطول واستجابة أسرع. يتميز هذا المرحل بقدرته على العمل بإشارة تحكم قياسية، وبفضل دورة التشغيل السريعة (كل 10/1 ثانية)، فإنه يوفر تحكما أفضل بدرجة الحرارة ويطيل عمر عناصر التسخين مقارنة بالمرحلات التقليدية. يستخدم المرحل الثابت مكونات قوية مثل الثايرستورات لتحمل التيارات العالية والظروف الصناعية الصعبة، ويتوفر لجهود من 24 إلى 660 فولت تيار متردد، بالإضافة إلى نماذج خاصة بالتسخين المستمر **[52]**.



الشكل (14.II): المرحل الثابت مع طريقة الربط

II .1.2.12 مميزات وحدة الترحيل من النوع الصلب (Solid State Relay Module)

- لا تحتوي على أجزاء ميكانيكية، مما يجعلها تدوم لفترة أطول.
- تعمل بصمت تام دون إصدار أصوات.
- سرعة تبديل عالية جدًا.
- مقاومة للاهتزازات والصدمات.
- توفر عزل كهربائي ممتاز بين دائرة التحكم ودائرة الحمل.
- لا تنتج شرارات، وبالتالي تقلل من التداخل الكهرومغناطيسي.
- تستهلك طاقة قليلة من دائرة التحكم.
- يمكن تشغيلها مباشرة من متحكمات مثل (ESP32).
- مناسبة للتطبيقات الحساسة التي تتطلب موثوقية عالية.
- تتوفر لأنواع مختلفة من الجهد (AC) أو (DC).

II .3.2.12 آلية التحكم عبر الواي فاي

- يتصل المتحكم بشبكة الوايفاي.
- يتم إعداد خادم ويب صغير (Web Server) على المتحكم المستعمل.
- من خلال صفحة ويب أو تطبيق، ترسل أوامر إلى المتحكم (لتفعيل/إيقاف) الريليه.
- عند استقبال الأمر، يُخرج المتحكم (HIGH) أو (LOW) على الطرف المتصل بالريليه.

II .13 آلية التحكم عبر الواي فاي باستخدام تطبيق RemoteXY

- ESP32 يتصل بشبكة الوايفاي المحلية أو يعمل كنقطة وصول (Access Point).
- يتم إعداد واجهة تحكم في تطبيق (Remote**XY**) مثل اعدادات الأزرار، المفاتيح ... إلخ.
- عند الضغط على زر في التطبيق، يتم إرسال أمر مباشر إلى (ESP32).
- (ESP32) يستقبل الأمر عبر مكتبة (RemoteXY) ويحول الحالة إلى (HIGH) أو (LOW) على الطرف المتصل بالريليه.
- الريليه يعمل أو يتوقف حسب الإشارة (تشغيل/إيقاف) **[54]**.

14.II خاتمة

يمكن القول أننا أكملنا في هذا الفصل بناء الأساس النظري والتقني الذي سَيُعتمَد عليه في تنفيذ النموذج العملي من خلال استعراض مفصل للمكونات الإلكترونية الأساسية مثل المتحكمات الدقيقة، الحساسات وآلية تفاعلها ضمن نظام متكامل يعتمد على تقنيات إنترنت الأشياء. كما تم التطرق إلى المبادئ الوظيفية لهذه العناصر، أنواعها وآليات الربط الممكنة بينها، بما يضمن التحكم الآلي بالبيئة الداخلية لحاضنة البيض. وبناءً عليه، سننتقل في الفصل الثالث إلى الجانب التطبيقي، حيث سيتم عرض المنهجية العلمية لتركيب هذه المكونات وتجميعها في نموذج أولي منخفض التكلفة ذو موثوقية عالية، مع استعراض خطوات التثبيت والبروتوكولات التجريبية التي ستُستخدم لاختبار كفاءة النموذج وفعاليته في البيئات النائية.

الفصل الثالث

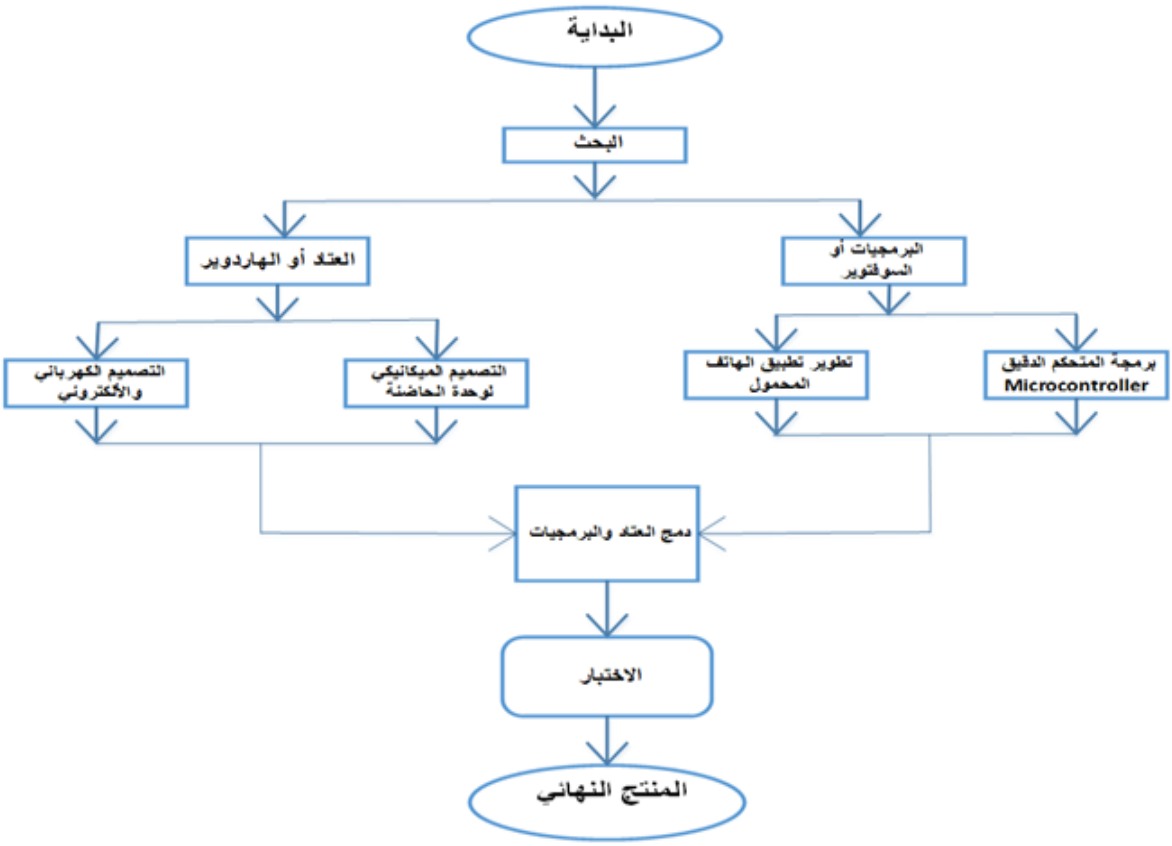
العمل التطبيقي لحاضنة البيض الذكية

1.III مقدمة

يركز هذا الفصل على تفصيل المنهجية العلمية والتطبيقية لبناء النموذج المخبري لحاضنة البيض الذكية، مع تسليط الضوء على المكونات الأساسية المطلوبة وآلية عملها لضمان توفير بيئة مثالية لتفريخ البيض؛ حيث يتم استعراض المبادئ الوظيفية للأجهزة والمستلزمات التقنية المُستخدمة، مثل الحساسات وأنظمة التحكم الذكية القائمة على تقنية إنترنت الأشياء، وكيفية تفاعلها معًا لمراقبة الظروف الداخلية (كالحرارة، الرطوبة، والتهوية) وتعديلها تلقائيًا. كما يتم توضيح الخطوات العملية لتجميع هذه المكونات وتركيبها في هيكل متكامل مع مراعاة معايير التكلفة المنخفضة والمتانة، خاصةً في سياق التطبيق بالمناطق النائية التي تفتقر إلى البنية التحتية التقليدية، وأخيرًا تُعرض البروتوكولات التجريبية المُتبعة لاختبار كفاءة النموذج وتحليل البيانات الأولية بهدف تقييم مدى تحقيق الأهداف المرجوة من حيث الفعالية والجدوى الاقتصادية.

2.III مخطط سير العمل

من أجل تنفيذ مشروع الحاضنة الذكية، تم اتباع منهجية منظمة تبدأ بمرحلة البحث وجمع المعلومات، تليها مراحل التصميم الميكانيكي والإلكتروني، ثم تطوير البرمجيات والتطبيقات اللازمة. بعد الانتهاء من التصميم والبرمجة، يتم دمج الأجزاء واختبارها للحصول على المنتج النهائي. تسلسل الخطوات المتبعة في تنفيذ المشروع بشكل مبسط موضح في **الشكل (1.III)**.



الشكل (1.III): مخطط سير العمل لتنفيذ مشروع الحاضنة الذكية

3.III تصميم الحاضنة المقترحة

سيتم تصميم الحاضنة المقترحة على جزأين رئيسيين كالتالي:

الجزء الأول (نظام الحاضنة التقليدي)

سنعتمد في تصميم الجزء الأول من الحاضنة على نظام الحاضنة المفتوحة ذات الغرفة الواحدة، وهو النموذج المستخدم بشكل شائع لدى مُصنّعي الفقاسة التقليدية. يتم في هذا النظام تنفيذ جميع مراحل التفقيس داخل غرفة واحدة دون فصل بين الحضانة والتفريخ، مما يُبسط عملية التصنيع ويُقلل من التكاليف. كما سنعتمد على نظام الترطيب الطبيعي من خلال وضع حوض ماء مفتوح داخل الحاضنة، حيث يتبخر الماء تلقائيًا بفعل حرارة التشغيل لتوفير نسبة الرطوبة المطلوبة.

وللتحكم في درجة الحرارة والرطوبة وتشغيل المكونات الأساسية كالسخان والمروحة، سنعتمد على المتحكم الشامل (ZL-7801A)، والذي يوفر إمكانيات ضبط دقيقة وإدارة تلقائية للعوامل البيئية داخل الحاضنة، مما يعزز من استقرار الظروف الملائمة للتفقيس ويقلل من الحاجة للتدخل اليدوي المستمر.

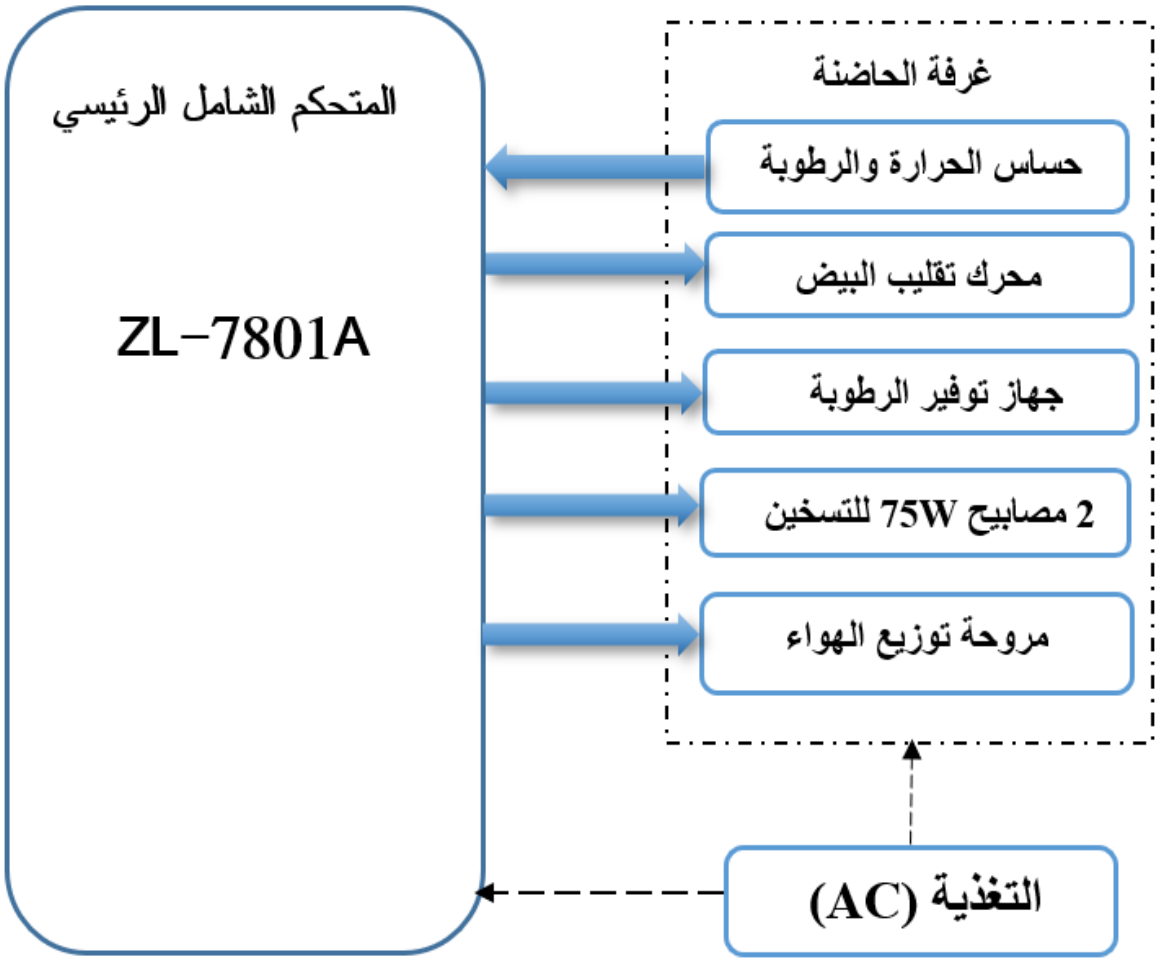
الجزء الثاني (نظام الحاضنة الداخلي مع خاصية أنترنت الأشياء)

سيتم تطوير الحاضنة بإضافة تقنيات التحكم الذكية المعتمدة على المنصة، حيث سنقوم ببرمجة وحدة التحكم وربطها مع تطبيق هاتف محمول يتيح المراقبة والتحكم عن بُعد عبر اتصال بلوتوث أو الوايفاي كمراقبة درجة الحرارة والرطوبة في الزمن الحقيقي عند كل تغيير مع إمكانية تشغيل وتوقيف المنفذات المتصدرة أثناء العمل.

يهدف هذا الجزء إلى زيادة كفاءة عملية التفقيس، تقليل نسبة الفشل ونفوق البيض، وتوفير وسيلة متابعة مريحة وآمنة للمستخدم، خصوصًا في المناطق النائية التي يصعب فيها التواجد المستمر أو الوصول السريع للحاضنة، مما يجعل هذا الحل مثاليًا للبيئات الريفية والمزارع الصغيرة ذات الموارد المحدودة.

3.III التصميم الصندوقي للجزء الأول

يعتمد هذا التصميم على نظام الحاضنة المفتوحة ذات الغرفة الواحدة، حيث تُنفذ جميع مراحل التفقيس داخل حجرة واحدة لتقليل التكاليف وتسهيل التصنيع. يتم تأمين نسبة الرطوبة المطلوبة باستخدام مرطب كهربائي يعمل تلقائيًا حسب الحاجة. ويتولى المتحكم ضبط درجة الحرارة والرطوبة وتشغيل المكونات الأساسية للحفاظ على بيئة مناسبة للتفقيس أنظر **الشكل (2.III)**.



الشكل(2.III): المخطط الصندوقي للنظام التقليدي للحاضنة

الهدف من هذا النظام هو إنشاء حاضنة بيض تقليدية تعمل بشكل أوتوماتيكي بالكامل باستخدام المتحكم الشامل، وذلك لضمان توفير بيئة مناسبة ومستقرة لعملية التفقيس من حيث درجة الحرارة، الرطوبة، وتقليب البيض دون الحاجة إلى تدخل يدوي مستمر. يعتمد النظام على تصميم غرفة واحدة مفتوحة، تُدمج فيها مراحل الحضانة والتفريخ بهدف تبسيط التصنيع وتقليل التكاليف، مع الاعتماد على نظام ترطيب طبيعي مدعوم بجهاز ترطيب إضافي عند الحاجة في الشكل **(3.III)**. لتحقيق هذا الهدف، يتكوّن النظام من مجموعة من المكونات الأساسية التي تعمل بتكامل تام تحت إشراف المتحكم الشامل.

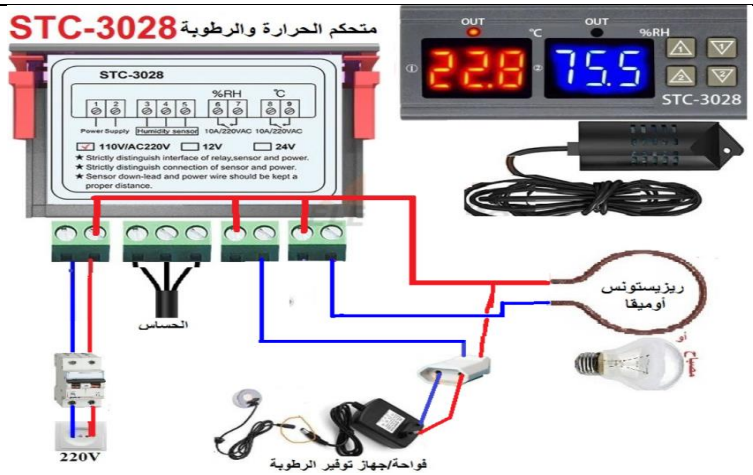
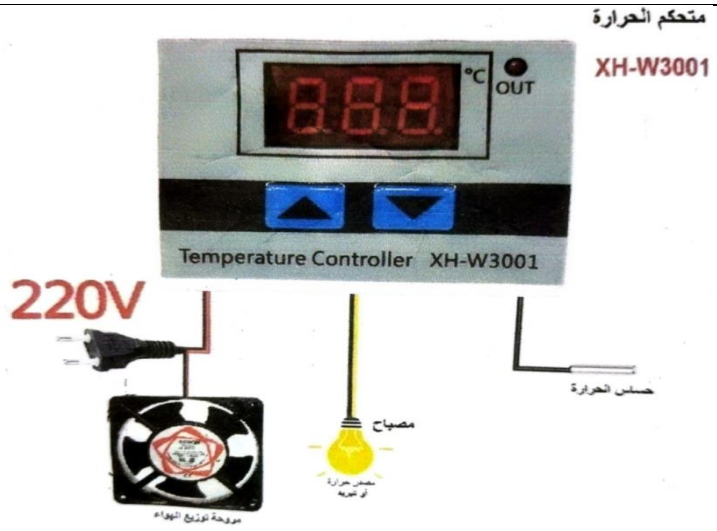
الشكل (3.III): المخطط الصندوقي للنظام التقليدي للحاضنة مع الصور

نظام التحكم في الحاضنة

تعد المتحكمات الرقمية (Digital Controllers) من العناصر الأساسية في أنظمة الحاضنات، حيث تقوم بتنظيم البيئة الداخلية بدقة عالية من خلال التحكم بدرجة الحرارة والرطوبة. تعتمد هذه الأجهزة على معالجات دقيقة (Microcontrollers) وتُبرمج مسبقًا لأداء وظائف محددة بناءً على قراءات الحساسات، مما يسمح بتحكم تلقائي في الأجهزة المرتبطة، مثل السخانات، والمراوح، وأجهزة الترطيب و**الجدول (1.III)** يبين بعض أنواع المتحكمات وكيفية ربطها مع السعر التقريبي لها **[55]**.

الجدول (1.III): بعض أسماء المتحكمات ونوعها وربطها وسعرها التقريبي في السوق

اسم المتحكم	نوعه	مخطط التوصيل	السعر التقريبي
DHC-100+	متحكم بالرطوبة		حوالي 4,500 د. ج
DM-M452	حرارة ورطوبة ثنائي		حوالي 2,000 د. ج

W3230	حرارة		حوالي 1,300 د. ج
STC-3028	حرارة ورطوبة		حوالي 2,300 د. ج
XH-W3001	حرارة		حوالي 2,600 د. ج

XH-W3005	رطوبة		حوالي 1,600 د. ج
ZL-6231A	حرارة وتهوية		حوالي 1,500 د. ج

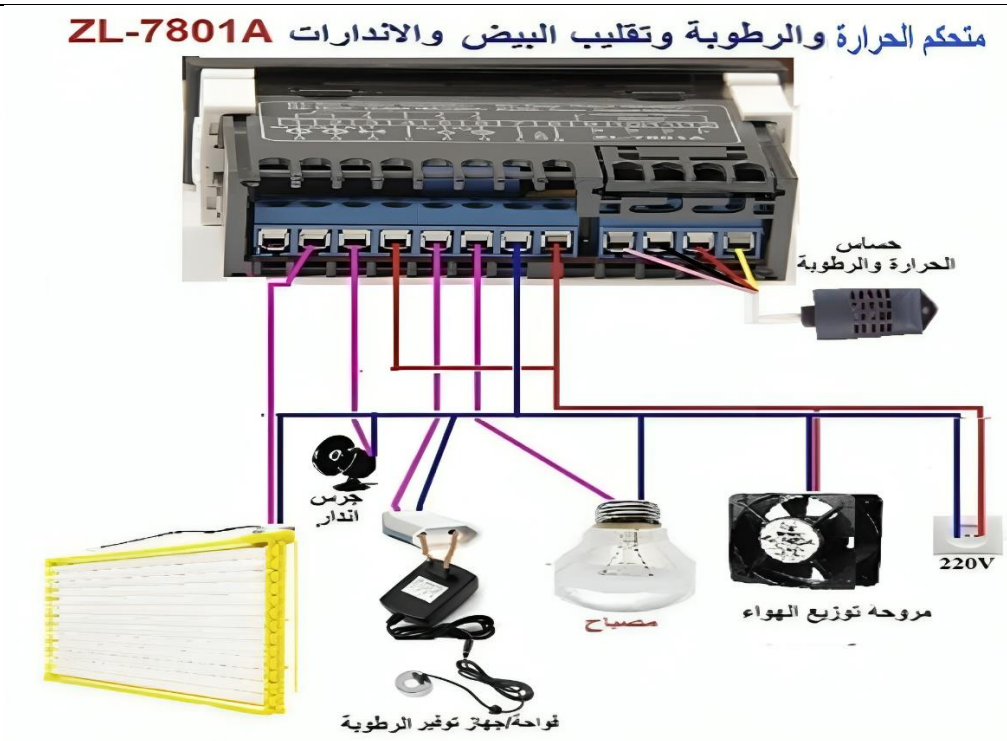
بعد دراسة وتحليل مختلف المتحكمات المتوفرة في السوق ومقارنتها بما يتناسب مع متطلبات مشروعنا، قررنا اختيار المتحكم الشامل، وذلك للأسباب التالية:

- ❖ سهولة التوصيل والاستخدام.
- ❖ احتواءه على كل الوظائف مدمجة (حرارة، رطوبة، تقليب).
- ❖ دقة عالية في قراءة البيانات.
- ❖ تقليب أوتوماتيكي للبيض ببرمجة زمنية.
- ❖ كفاءة في استهلاك الطاقة.

- ❖ تكلفة مناسبة (حوالي 5000 دج) مما يجعله خيارا اقتصاديا جدا وذا تكلفة منخفضة
- ❖ متوفر في السوق وسهل الصيانة.

III 1.3. مخطط التوصيل الكهربائي للمتحكم ZL-7801A

يوضح المخطط طريقة توصيل المتحكم الشامل بالمكونات الأساسية في نظام الحاضنة مثل السخان، المروحة والمرطب. يعتمد التوصيل على منافذ مخصصة للتحكم التلقائي بدرجة الحرارة والرطوبة وفق القيم المضبوطة مسبقا. يساهم هذا النظام في ضمان تشغيل دقيق ومستقر لعناصر الحاضنة دون الحاجة لتدخل يدوي مستمر **الشكل (4.III)**.



الشكل (4.III): مخطط التوصيل للمتحكم (ZL-7801A) في نظام الحاضنة التقليدية

III 2.3.1 الأنظمة الأساسية في غرفة الحاضنة

III 1.2.3.1 نظام التسخين

يعتمد نظام التسخين في الحاضنة المغلقة على مصباحين بقدرة 75 واط لكل منهما، حيث يوفران حرارة مستقرة ومتجانسة تضمن الظروف المثلى لنمو وتفريخ البيض. تم اختيار هذا النظام نظرًا لكفاءته

العالية في استهلاك الطاقة وسهولة تركيبه وصيانته، بالإضافة إلى صغر حجم الحاضنة المغلقة الذي يجعل استخدام مصابيح ذات قدرة متوسطة كافياً لتوفير الحرارة المطلوبة دون هدر للطاقة. كما أن تكلفة هذا النظام منخفضة مقارنة بالأنظمة الأخرى، حيث تبلغ حوالي 70 دينارًا جزائريًا، مما يجعله خيارًا اقتصاديًا وعمليًا مناسبًا للاستخدام في المشاريع المحلية.

2.2.3.III نظام التهوية

نظام التهوية في الحاضـــنة المغلقة يعتمد على مروحة تعمل على توزيع الهواء داخل الحاضـــنة بشكل متوازن، مما يضـمن تجديد الهواء ومنع تراكم الرطوبة والحرارة الزائدة. يسـاعد هذا التوزيع المتوازن للهواء في الحفاظ على بيئة داخلية مسـتقرة وصـحية للبيض، مما يدعم نموها الطبيعي ويزيد من نسـبة نجاح التفريخ.

3.2.3.III نظام تقليب البيض

نظام تقليب البيض في الحاضنة المغلقة، المعروف بنظام الدحرجة، يعتمد على محرك متزامن يعمل بسرعة دوران 2.5 دورة في الدقيقة، حيث يقوم بتحريك البيض تلقائيًا وبشكل منتظم. يساهم هذا النظام في توزيع الحرارة والرطوبة بشكل متساوٍ حول البيضة، ويمنع التصاق الجنين بجدران البيضة، مما يحسن من فرص نمو الجنين وزيادة نسبة نجاح التفريخ. استخدام المحرك المتزامن يضمن دقة وثبات في سرعة الدحرجة، مما يقلل الحاجة للتدخل اليدوي ويحقق تقليبًا متوازنًا طوال فترة الحضانة.

4.2.3.III نظام التغذية وكفاءة الطاقة

نظام التغذية في الحاضنة المغلقة يعتمد على تغذية كهربائية بتيار متناوب بجهد 220 فولت لضمان تشغيل جميع المكونات الكهربائية بشكل سليم ومستمر. في حال حدوث انقطاع كهربائي لفترة قصيرة، لا يتأثر عمل الحاضنة بشكل كبير، ويمكن استئناف العمل بسرعة دون مشاكل. لكن إذا تجاوز انقطاع التيار الكهربائي مدة الساعة، فإن ذلك قد يؤدي إلى فقدان الاستقرار الحراري والرطوبة داخل الحاضنة، مما يسبب ضررًا مباشرًا للبيض مثل تباطؤ نمو الجنين أو موته، بالإضافة إلى احتمال تعرض البيض لتغيرات بيئية غير مناسبة تؤثر سلبًا على نسبة التفريخ والنجاح الكلي للعملية. لذلك، من الضروري ضمان استمرارية التغذية الكهربائية أو توفير مصادر طاقة احتياطية للحفاظ على كفاءة الحاضنة.

3.3.III التجربة العملية للحاضنة التقليدية

تُوضح هذه التجربة كيفية تشغيل الحاضنة التقليدية باستخدام المتحكم الشامل للتحكم في درجة الحرارة والرطوبة. تم تنفيذ التوصيلات وتشغيل النظام عمليا بهدف تقييم فعالية الأداء واستقرار البيئة الداخلية أنظر **الشكل (5.III)**.

الشكل (5.III): المظهر الخارجي للحاضنة باستعمال النظام القديم ذو الغرفة الواحدة

4.3.III المكونات الأساسية للحاضنة التقليدية ذات الغرفة الواحدة

فيما يلي قائمة بالمكونات الرئيسية المستخدمة في تصنيع الحاضنة التقليدية ذات الغرفة الواحدة، مع توضيح وظيفة كل مكوّن وتكلفته التقريبية بالدينار الجزائري أنظر الجدول (2.III).

جدول (2.III): المكونات الرئيسية المستخدمة في تصنيع الحاضنة التقليدية ذات الغرفة الواحدة

رقم	المكون	الوظيفة	السعر (دج)
1	متحكم الشامل بروفيسيونال (ZL7801A)	التحكم في الحرارة، الرطوبة، التقليب، والإنذارات	5750
2	مضخة أكواريوم مع الحوض	توفير الرطوبة اللازمة داخل الحاضنة	2600

3	شاريو الدحرجة	يحمل جميع أنواع البيض (دجاج/سمان/دند/وز)	2950
4	مروحة توزيع الهواء (15 سم)	توزيع الحرارة والرطوبة بشكل متساوٍ	2300
5	مغلاق الباب	غلق وإحكام باب الحاضنة	200
6	فلوتور مُحسن	التحكم في منسوب الماء داخل الحوض	200
المجموع	—	—	**14000**

تشمل المكونات الإضافية اللازمة لتجهيز الحاضنة ما يلي: زوج من المصابيح بقدرة 75 واط لتوفير مصدر حرارة، حامل مصابيح (PORT MONGER)، أنبوب لربط الحوض بحامل المصابيح، سلك كهربائي بطول يقارب مترين، علبة بلاستيكية أو حامل يمكن وضع المتحكم فيه، بالإضافة إلى زر كهربائي لتشغيل وإطفاء الحاضنة أنظر **الشكل(6.III)**.

الشكل (6.III): المظهر الداخلي للحاضنة باستعمال النظام القديم ذو الغرفة الواحدة

4.3. III ايجابيات النظام القديم

- سهل التركيب ولا يتطلب خبرة برمجية.
- يوفر تحكمًا تلقائيًا في درجة الحرارة والرطوبة.

- يقلل من الحاجة للتدخل اليدوي المتكرر.
- يحتوي على واجهات جاهزة لتوصيل المكونات مثل السخان والمروحة والمرطب.
- مناسب للاستخدام في المناطق النائية والظروف محدودة الموارد.
- موثوق في التشغيل ويعمل بشكل مستقر لفترات طويلة.

III .5.3 سلبيات النظام القديم

إليك سلبيات النظام التقليدي الذي يستخدم المتحكم الشامل على شكل نقاط:

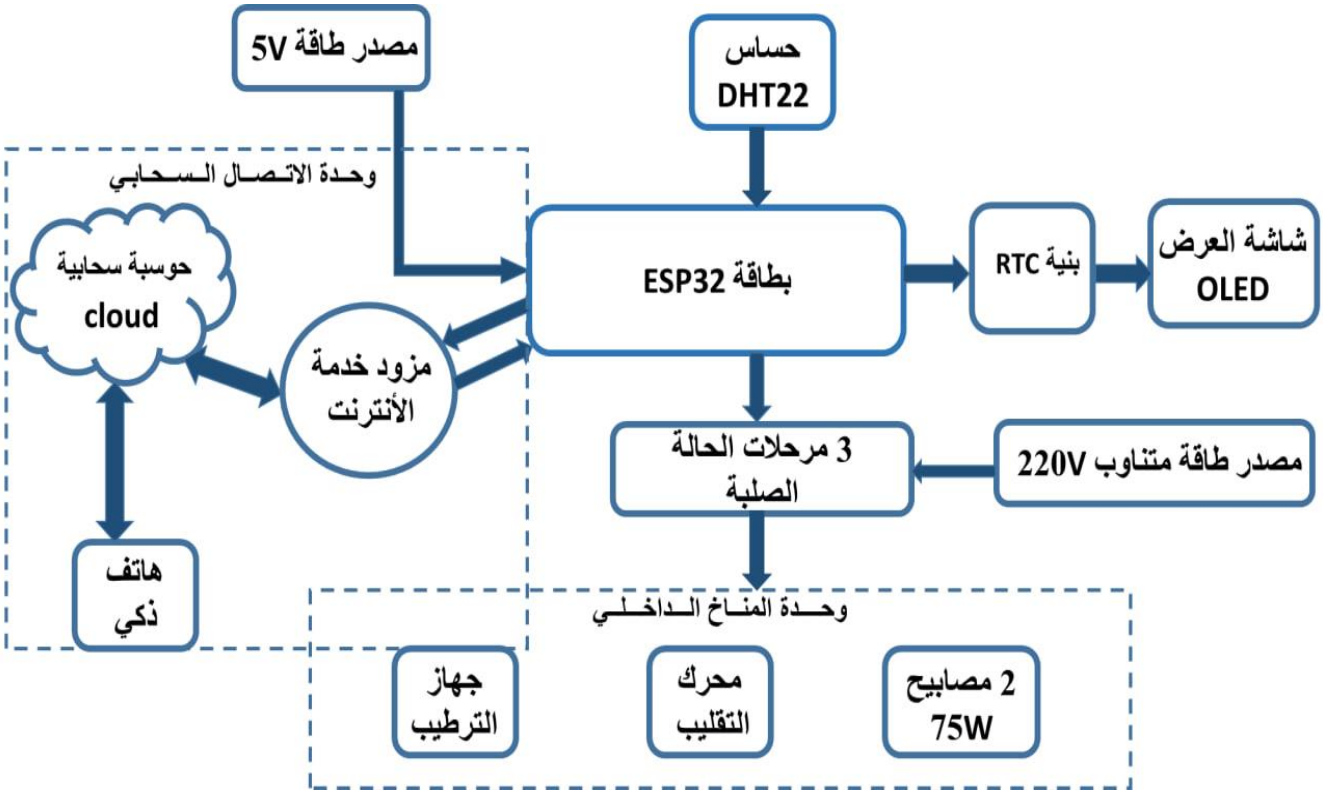
- محدود في التخصيص ولا يتيح مرونة عالية في الإعدادات.
- لا يدعم الاتصال اللاسلكي أو تقنيات إنترنت الأشياء.
- لا يوفر إمكانية تتبع الأداء بمرور الوقت.
- واجهته بسيطة وقد تفتقر لبعض المعلومات التفصيلية.
- من الصعب دمجه مع أنظمة حديثة أو تطويره لاحقًا.
- لا يدعم التنبيهات الذكية أو التحكم عن بعد.

III.4 النظام الجديد المقترح للحاضنة الذكية المعتمد على تقنية انترنت الاشياء

بهدف تجاوز القيود والمشاكل المرتبطة بالنظام التقليدي، يُقترح اعتماد نظام ذكي يعتمد على المتحكم وتقنية إنترنت الأشياء. يتيح هذا النظام مراقبة الحاضنة والتحكم بها عن بُعد عبر تطبيق مخصص، مع تسجيل البيانات باستخدام وحدة الزمن الحقيقي لمراقبة الأداء في الوقت الحقيقي. كما يوفر مرونة في ضبط الإعدادات وإرسال تنبيهات فورية عند حدوث أي خلل، مما يعزز من كفاءة واستقرار عملية التفقيس.

III.4.2 التصميم الصندوقي للنظام الجديد المقترح

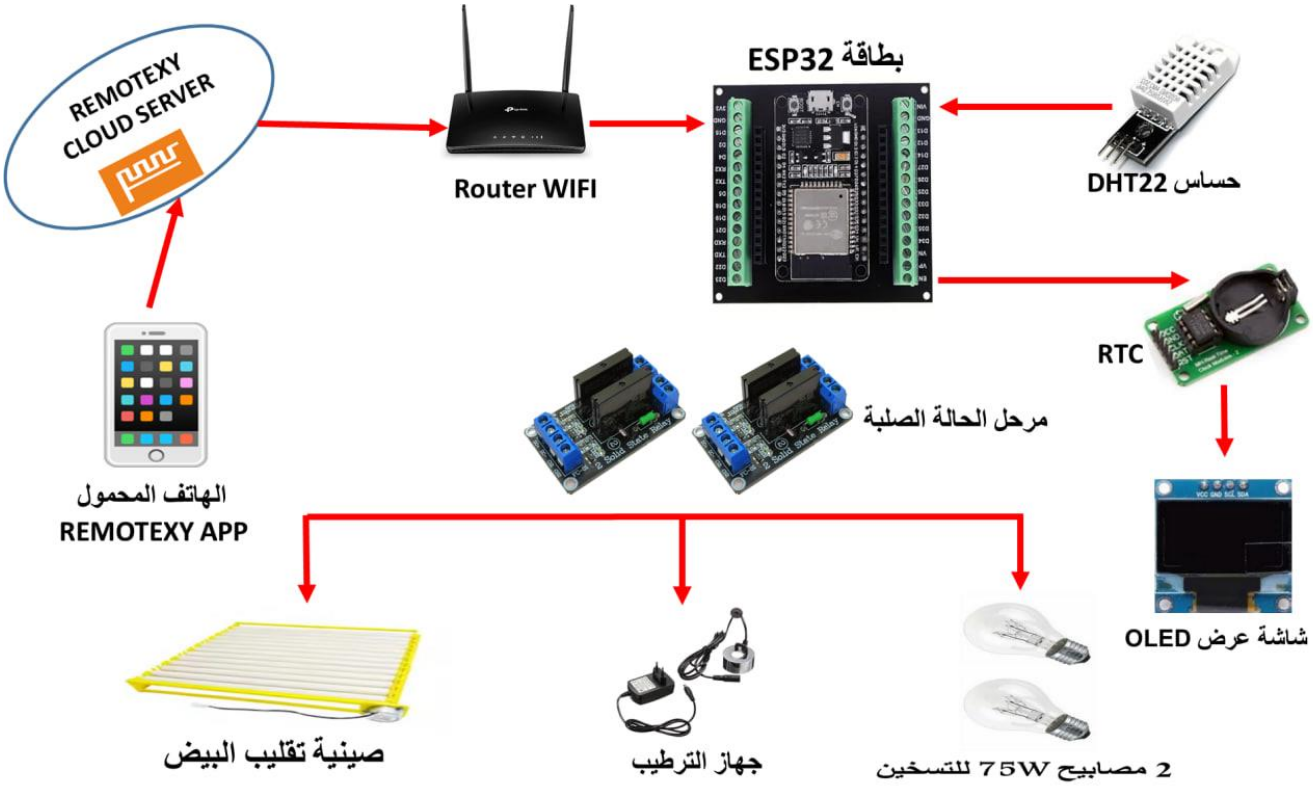
يعرض هذا الجزء التصميم الصندوقي للجزء الثاني من نظام الحاضنة الذكية، حيث يتم دمج مكونات التحكم الحديثة مثل وحدة المتحكم، الشاشة ووحدة الزمن الحقيقي ضمن هيكل منظم يضمن توزيعًا عمليًا للمكونات. يهدف هذا التصميم إلى تسهيل التركيب والصيانة، مع ضمان كفاءة التهوية وتدفق الطاقة بين العناصر المختلفة كما في الشكل (III.7).



الشكل (7.III): المخطط الصندوقي للنظام الذكي لحاضنة البيض

يهدف المشروع إلى تصميم نظام ذكي لحاضنة البيض يعتمد على تقنيات إنترنت الأشياء. ويتم ذلك من خلال مراقبة وتحكم دقيقين في الظروف البيئية داخل الحاضنة، مثل درجة الحرارة والرطوبة، باستخدام حساس (DHT22) ووحدة التحكم، إلى جانب تقنية الحوسبة السحابية التي تتيح متابعة البيانات والتحكم في النظام عن بعد في الوقت الحقيقي ومن أي مكان في العالم. ويعد هذا النظام أقل تكلفة مقارنة بالأنظمة التقليدية التي تعتمد على المتحكم الشامل، مما يجعله خيارًا اقتصاديًا مناسبًا للتطبيقات ذات الموارد المحدودة.

يتيح ربط النظام بتطبيق محمول مبني عبر المنصة والمعتمد على الاتصال السحابي عبر شبكة الإنترنت، إمكانية مراقبة درجة الحرارة والرطوبة داخل الحاضنة بشكل لحظي، مع استقبال تنبيهات فورية عند حدوث أي خلل أو تجاوز للقيم المسموح بها. وتُسهم هذه التقنية في تقليل نسبة الفشل خلال عملية التفقيس، وتحسين معدلات النجاح، دون الحاجة لتواجد المستخدم بشكل دائم قرب الحاضنة، ويعد هذا الحل مثاليا للمزارع الصغيرة والمستخدمين في المناطق النائية، نظرًا لما يوفره من تحكم مرن وآمن عن بُعد باستخدام تقنيات سحابية بسيطة وفعالة كما هو مبين في **الشكل (8.III)**.



الشكل (8.III): المخطط الصندوقي للنظام الذكي للحاضنة مع الصور

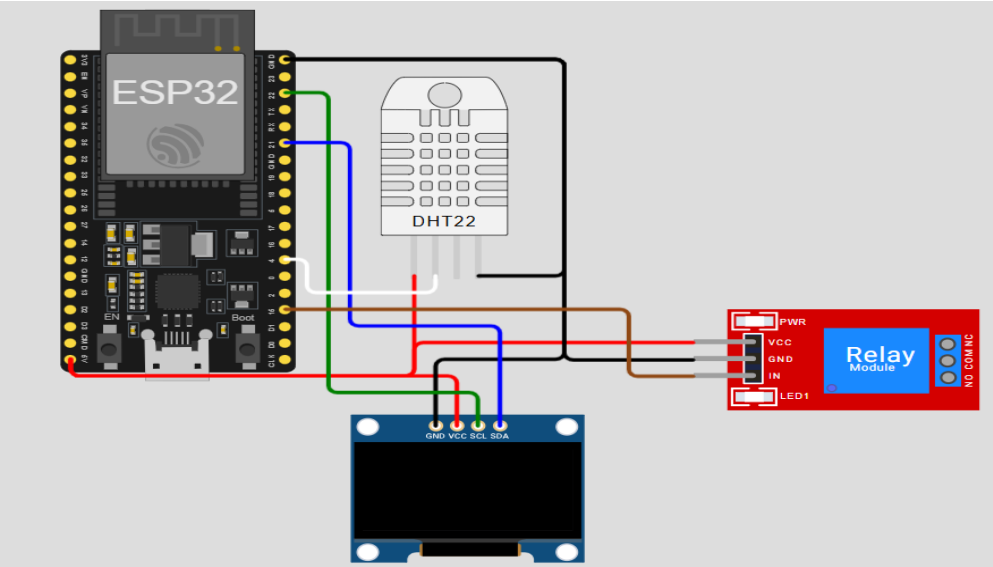
5.III محاكاة و إنجاز عناصر المشروع

محاكاة عناصر المشروع تعد خطوة مهمة لفهم تصميم الدارات الالكترونية قبل التنفيذ الفعلي. من أشهر برامج المحاكاة المستخدمة في هذا المجال برنامج (Fritzing) الذي يتيح تصميم الدارات بطريقة بصرية سهلة ويوفر مخططات توصيل واضحة للمكونات. بالإضافة الى ذلك، يوجد موقع (Wokwi) وهو موقع محاكاة اونلاين يدعم متحكمات مثل (ESP32) و (Arduino) ويوفر بيئة تفاعلية لمحاكاة الكود والاجهزة معا بشكل مباشر دون الحاجة لتثبيت اي برنامج على الحاسوب. هذان الاخيرين يساعدان في اختبار الافكار وتصحيح الاخطاء قبل البدء في العمل الفعلي على المشروع.

1.5.III محاكاة وإنجاز أنظمة الحاضنة

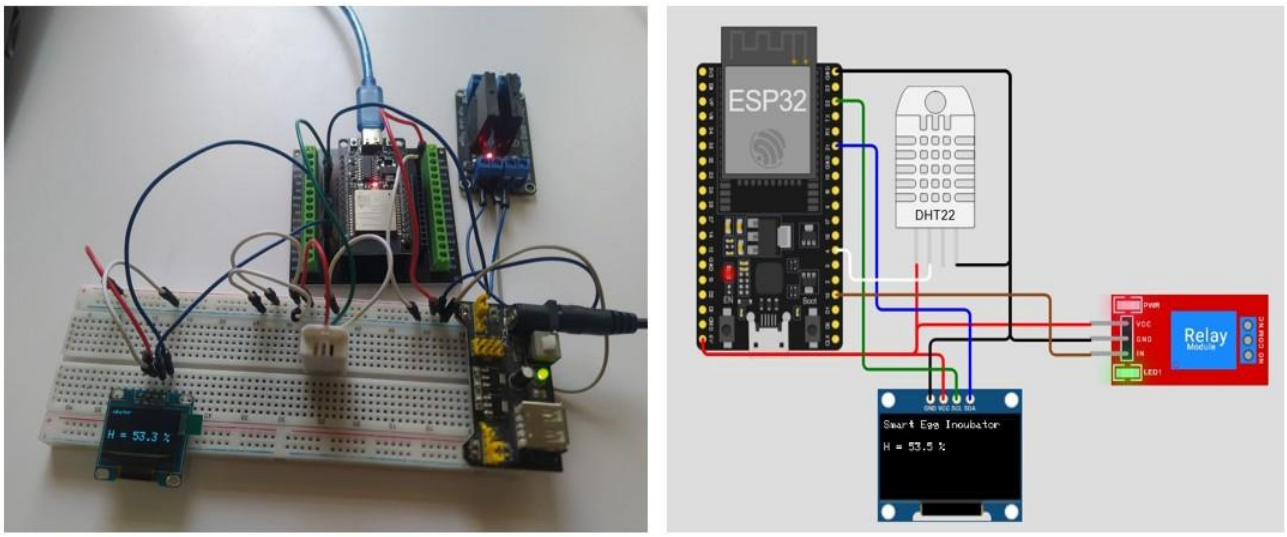
1.1.5.III محاكاة نظام الرطوبة داخل الحاضنة

في محاكاة نظام الرطوبة داخل الحاضنة، تم استخدام حساس (DHT22) لقياس درجة الحرارة والرطوبة والتحكم في تشغيل جهاز الترطيب باستخدام ريليه من نوع (Solid State Relay) نظرا لسرعة استجابته العالية مقارنة بالريليه العادي. وقد تمت المحاكاة على منصة (Wokwi)، والتي لا تدعم (SSR)، لذا تم استخدام ريليه عادي بديلًا أثناء المحاكاة كما هو مبين في **الشكل (9.III)**.



الشكل(9.III): محاكاة نظام التحكم في الرطوبة في الحاضنة باستخدام (ESP32)

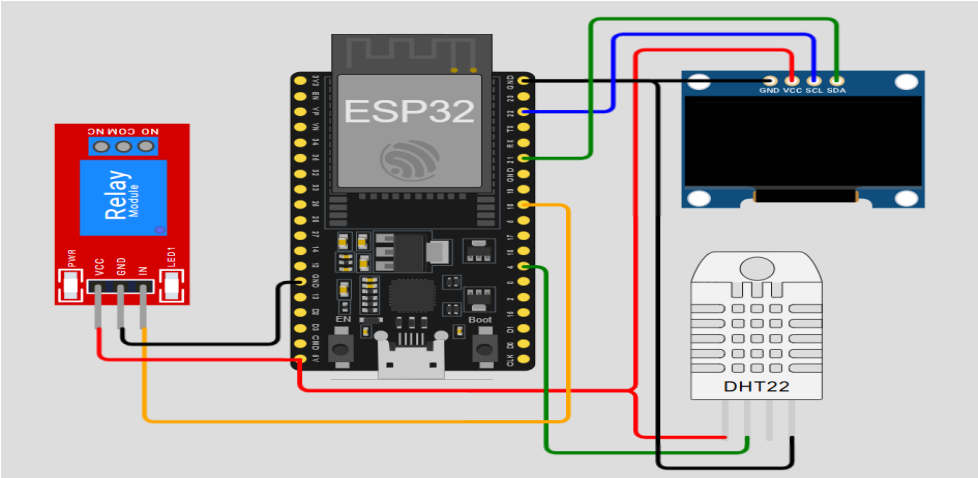
تم برمجة وحدة المتحكم بحيث تحافظ على الرطوبة داخل الحاضنة فوق 60%، حيث تقوم بإرسال إشارة إلى الريليه لتشغيل المرطب تلقائيًا عند انخفاض الرطوبة عن هذا الحد إلى جانب الشاشة من نوع لعرض نسبة الرطوبة بشكل مباشر كما في الشكل **(10.III)**.



الشكل (10.III): محاكاة تنظيم الرطوبة في الحاضنة باستخدام ESP32 وشاشة OLED

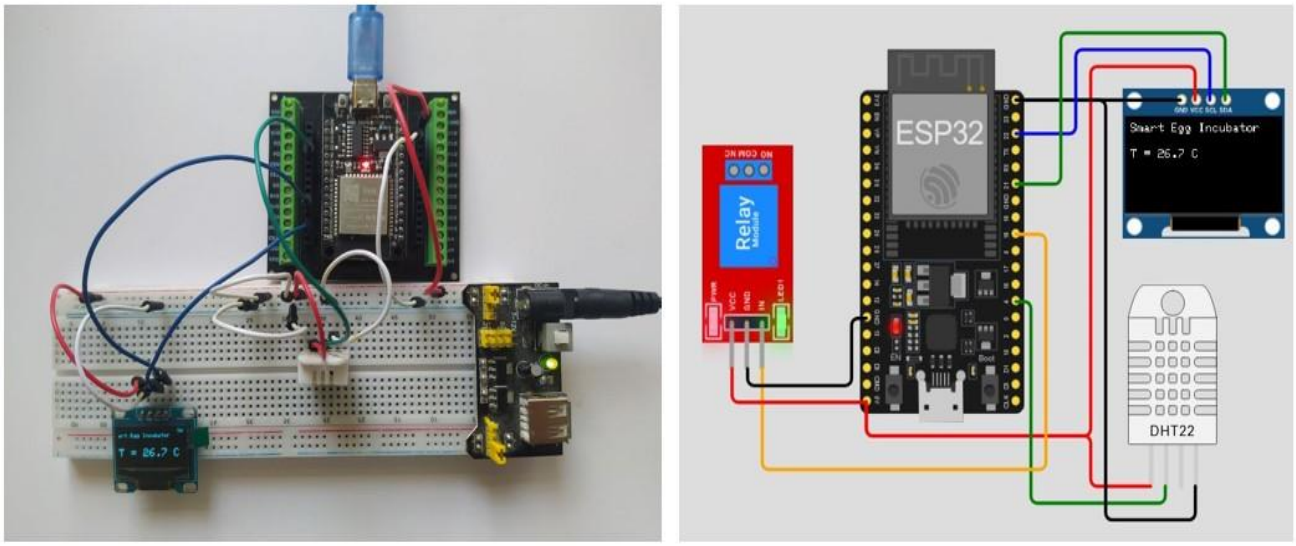
2.1.5.III محاكاة وإنجاز نظام التسخين داخل الحاضنة

في محاكاة نظام التسخين داخل الحاضنة، تم استخدام حساس درجة الحرارة (DHT22) لقياس الحرارة، إلى جانب الشاشة لعرض درجة الحرارة بشكل مباشر. تم التحكم في تشغيل المصباحين ذوي القدرة (75(w وتمت المحاكاة على منصة (Wokwi) باستخدام ريليه عادي بديلًا بسبب عدم دعمها لـ المرحل السكوني كما في الشكل **.(11.III)**



الشكل (11.III): ربط ESP32 مع وحدة ريلاي ومصباح تسخين بتيار متناوب

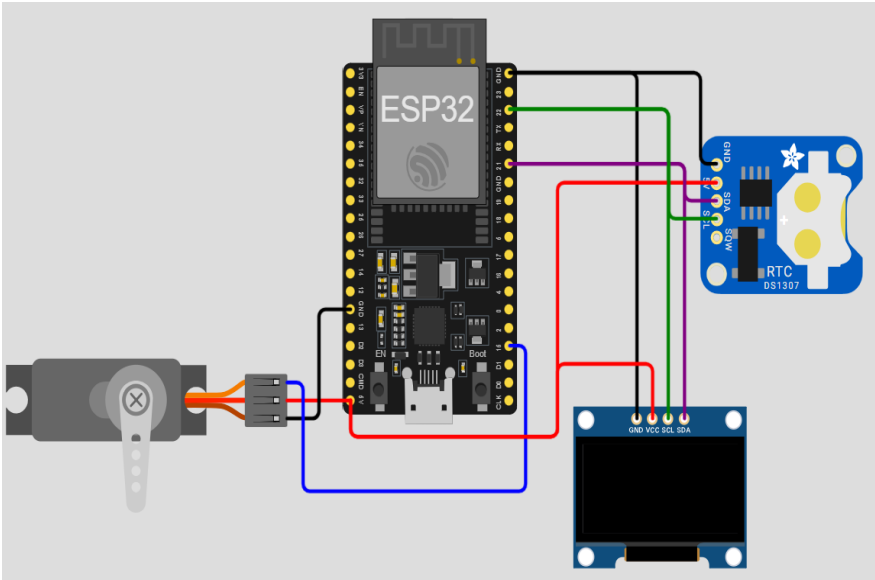
برمجت وحدة (ESP32) للحفاظ على درجة الحرارة داخل الحاضنة عند المستوى المطلوب، حيث ترسل إشارة للريليه لتشغيل المصباح تلقائيًا عند انخفاض درجة الحرارة عن القيمة المحددة واطفائه عند ارتفاعها عنها إلى جانب الشاشة لعرض درجة الحرارة بشكل مباشر كما في **الشكل (12.III)**.



الشكل (12.III): محاكاة تنظيم الحرارة في الحاضنة باستخدام ESP32 وشاشة OLED

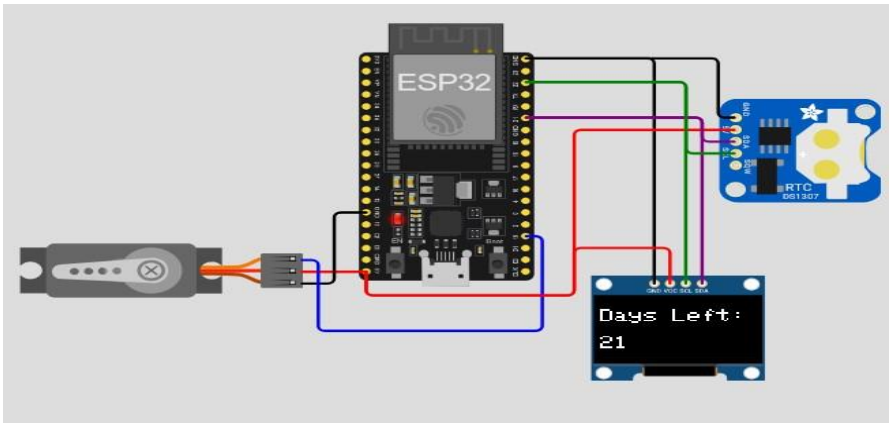
3.1.5. III محاكاة نظام التقليب داخل الحاضنة

في محاكاة نظام التقليب داخل الحاضنة، استخدمنا وحدة الوقت الحقيقي (RTC DS1302)، لكن بسبب عدم دعم منصة (Wokwi) لها، تم استبدالها بوحدة (RTC DS1307) المدعومة في الموقع. كما تم استبدال محرك التقليب الأصلي (محرك متزامن بسرعة 2.5 دورة/دقيقة) بمحرك سيرفو للتحكم الدقيق في الحركة كما في **الشكل (13.III)**.



الشكل (13.III): ربط ESP32 مع محرك سيرفو ووحدة RTC

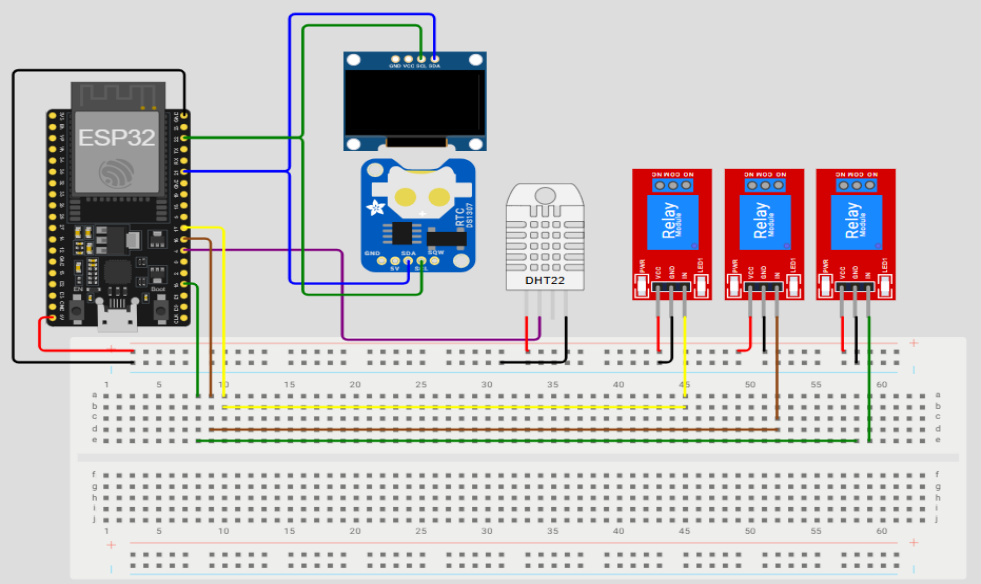
استخدمنا نفس الشاشة لعرض عدد الأيام المتبقية لعملية التفقيص. تقوم وحدة (RTC) بحساب الوقت الفعلي، وتمت برمجة المحرك ليبدأ التقليب من اليوم الأول بحيث يتم التقليب كل دقيقتين أنظر **الشكل (14.III)**.



الشكل (14.III): محاكاة نظام التقليب الزمني في الحاضنة باستخدام (RTC DS1307)

محاكاة وإنجاز النظام الكلي

في محاكاة وإنجاز النظام الكامل للحاضنة الذكية، تم دمج ثلاث وحدات أساسية وهي نظام التسخين، نظام الرطوبة، ونظام التقليب عبر ب 3 ريليهات للتحكم في دارة الاستطاعة كما في الشكل (15.III).



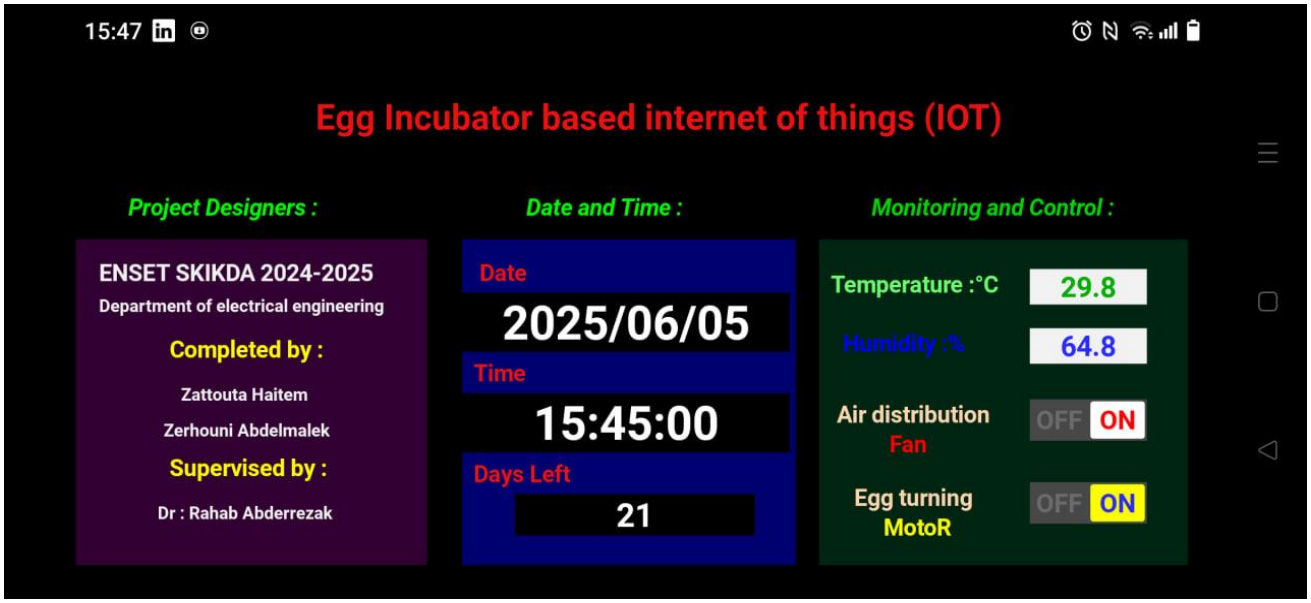
الشكل (15.III): محاكاة النظام الكلي لحاضنة البيض الذكية

استخدمنا حساس (DHT22) لقياس كل من درجة الحرارة والرطوبة، مع الشاشة لعرض القيم بشكل مباشر. تم التحكم في التسخين عبر المرحل السكوني المتصل بمصباح التسخين 75W، للحفاظ على درجة الحرارة في المستوى المطلوب. أما الرطوبة، فتم التحكم فيها أيضًا باستخدام نفس نوع المرحل لتشغيل المرطب الذي تم تمثيله على شكل مصباح ازرق حيث يضيء عند انخفاض الرطوبة عن 60%. بالنسبة لنظام التقليب، تم استخدام وحدة الزمن الحقيقي، مع مصباح ذو لون اصفر بديلا عن المحرك المتزامن الأصلي، وتمت برمجة المتحكم لتفعيل عملية التقليب كل دقيقة لمدة 35 ثانية، بدءًا من اليوم الأول وحتى اليوم 18، بالإضافة إلى برمجة التحكم في مروحة توزيع الهواء داخل الحاضنة والتي مثلناها بمصباح أبيض تم تحقيق تفاعل منسق وذكي بين الأنظمة الثلاثة لضمان بيئة مثالية لتفريخ البيض كما في الشكل **(16.III)**.

الشكل (16.III): إنجاز النظام الكلي لحاضنة البيض الذكية

2.5. III الواجهة الرسومية للمشروع

بعد اختيار الأدوات اللازمة والاستعانة بدلالات وخصائص أدوات العمل وتصميم الشكل الأولي في ورقة خارجية كتصور للشكل العام لواجهة المراقبة والتحكم في فقاسة البيض الذكية بكل تفاصيلها تحصلنا على الواجهة المتمثلة في **الشكل (17.III)**.



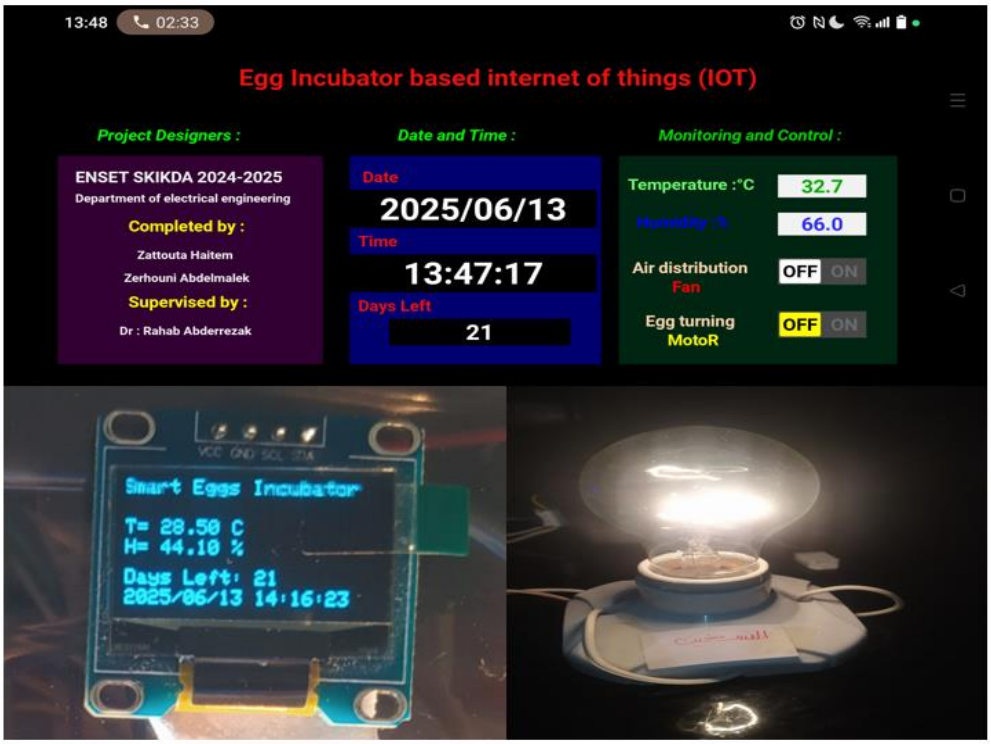
الشكل (17.III): واجهة المعلومات المستخدمة لحاضنة البيض الذكية

ملاحظة: خطوات انجاز واجهة التحكم عن بعد على منصة (RemoteXY) في الملحق (A).

III 3.5. تجارب النظام

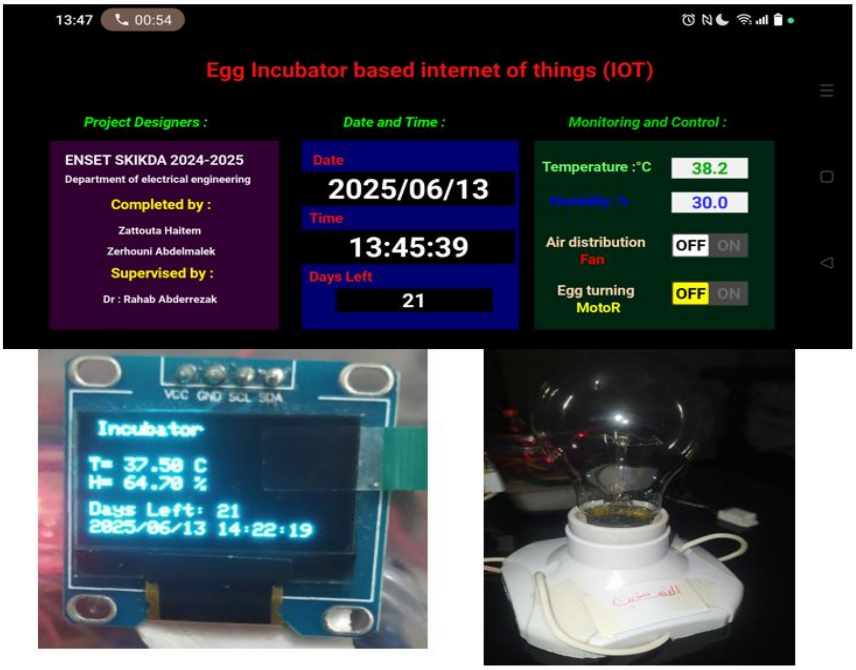
III 1.3.5. تجربة درجة الحرارة

الحالة الأولى: عند انخفاض درجة الحرارة داخل الحاضنة عن القيمة المثلى (37.5 درجة مئوية)، يقوم النظام تلقائيًا بتشغيل المصباح الحراري بهدف رفع درجة الحرارة تدريجيًا نحو المستوى المطلوب كما في **الشكل (18.III).**



الشكل (18.III): حالة اشتعال المصباح عند انخفاض درجة الحرارة عن 37.5°C

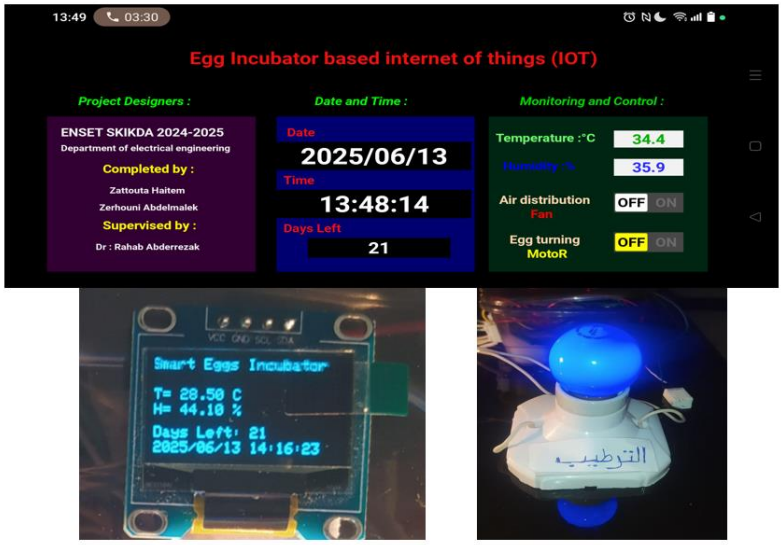
الحالة الثانية: عند تجاوز درجة الحرارة للقيمة المحددة (37.5 درجة مئوية)، يستجيب النظام تلقائيًا بإطفاء المصباح الحراري لمنع ارتفاع الحرارة عن الحد المطلوب، مما يساعد على الحفاظ على بيئة مناسبة لعملية التفقيس كما في **الشكل (19.III).**



الشكل (19.III): حالة إطفاء المصباح عند تجاوز درجة الحرارة 37.5°C

2.3.5.III تجربة نسبة الرطوبة

الحالة الأولى: عند انخفاض نسبة الرطوبة داخل الحاضنة عن القيمة المثلى (60%)، يستجيب النظام تلقائيًا بتشغيل المصباح الأزرق الذي يمثل وحدة الترطيب. يعمل هذا الأخير على زيادة مستوى الرطوبة تدريجيًا لضمان توفير بيئة مناسبة لنمو الأجنة داخل البيض كما في **الشكل (20.III)**.



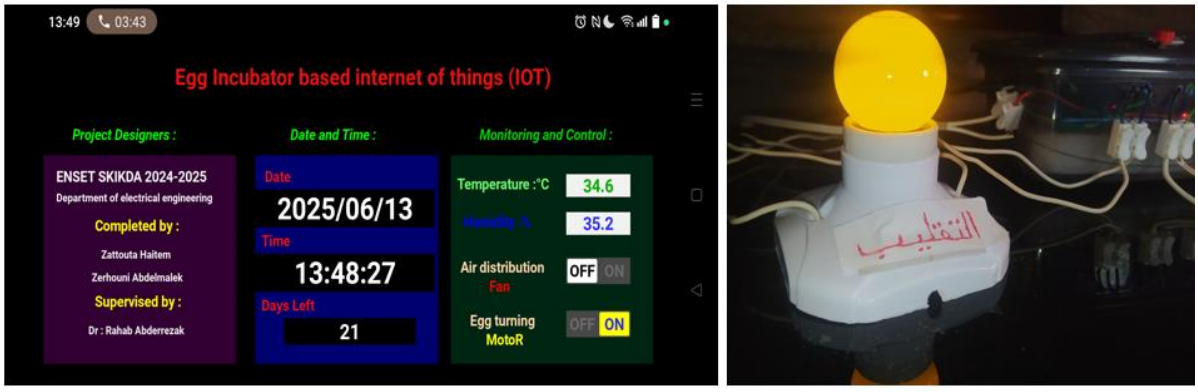
الشكل (20.III): حالة تشغيل المصباح الأزرق عند انخفاض نسبة الرطوبة عن 60%

الحالة الثانية: عند تجاوز نسبة الرطوبة للقيمة المحددة (60%)، يقوم النظام بإطفاء المصباح الأزرق بشكل تلقائي، مما يدل على تحقيق المستوى المطلوب من الرطوبة. تهدف هذه الآلية إلى منع تجاوز الحد الأمثل للرطوبة الذي قد يسبب مشاكل في عملية التفقيس كما في **الشكل (21.III)**.

الشكل (21.III): حالة إطفاء المصباح الأزرق عند تجاوز نسبة الرطوبة 60%

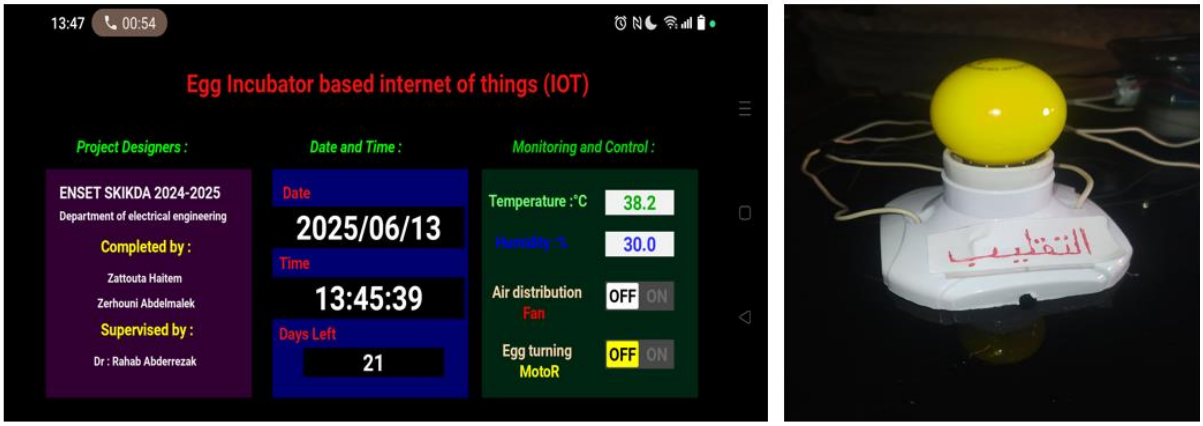
3.5.3III تجربة تقليب البيض

الحالة الأولى: عند بداية دورة تقليب البيض، يشتعل المصباح الأصفر الذي يمثل عمل المحرك، ويظل مشتعلًا لمدة 35 ثانية. خلال هذه المدة، يتم تنفيذ عملية تقليب البيض بشكل آلي لضمان توزيع الحرارة والرطوبة على جميع جوانب البيضة، مما يُسهم في تحسين فرص التفقيس كما في **الشكل (22.III)**.



الشكل (22.III): اشتعال المصباح الأصفر (محرك تقليب البيض)

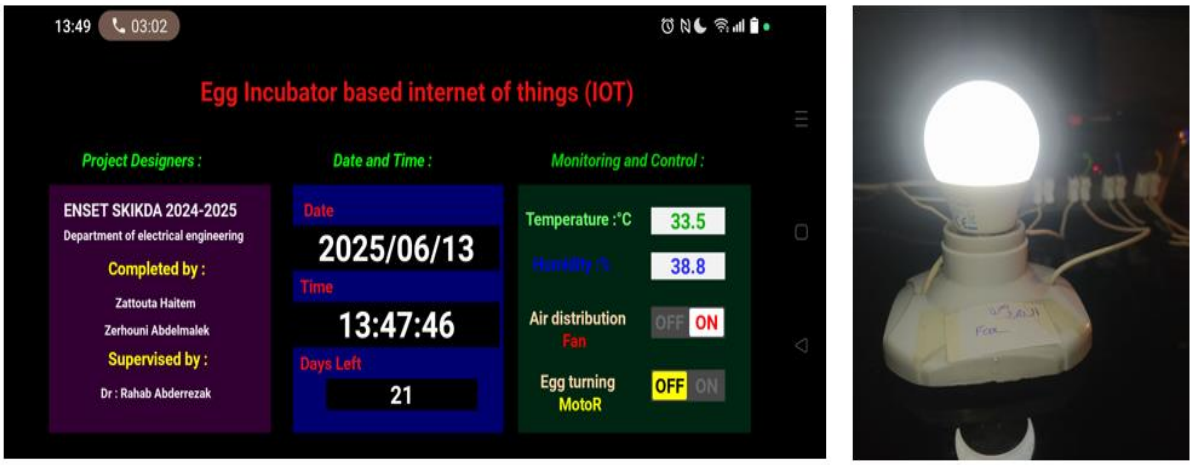
الحالة الثانية: بعد انتهاء مدة التشغيل (35 ثانية)، ينطفئ المصباح الأصفر لمدة 25 ثانية. تمثل هذه الفترة الزمنية طور التوقف الذي يفصل بين دورات التقليب، وهو مهم لتفادي إجهاد الآلية أو التسبب في اضطراب داخل البيض كما في **الشكل (23.III)**.



الشكل (23.III): اطفاء المصباح الأصفر (محرك تقليب البيض)

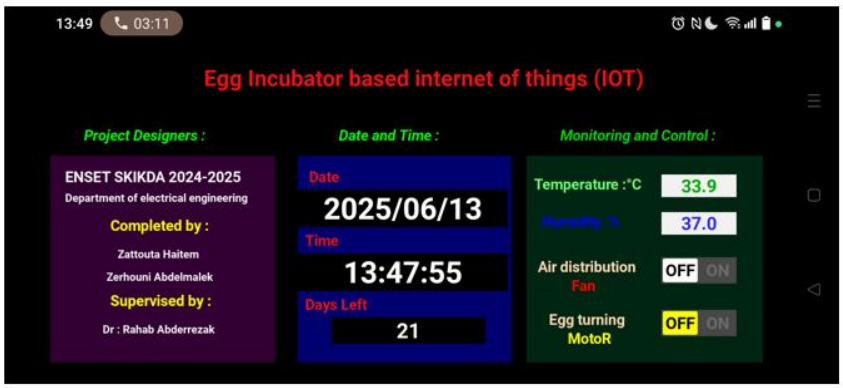
4.5.3.III تجربة المروحة

الحالة الأولى: عند الضغط على زر **(ON)** من خلال واجهة التحكم، يشتعل المصباح الأبيض الذي يمثل تشغيل المروحة. يدل ذلك على بدء عمل نظام التهوية داخل الحاضنة، وهو أمر ضروري لتجديد الهواء الداخلي وتوزيع الحرارة والرطوبة بشكل متوازن على البيض كما في **الشكل (24.III)**.



الشكل (24.III): اضاءة المصباح الابيض (تشغيل المروحة)

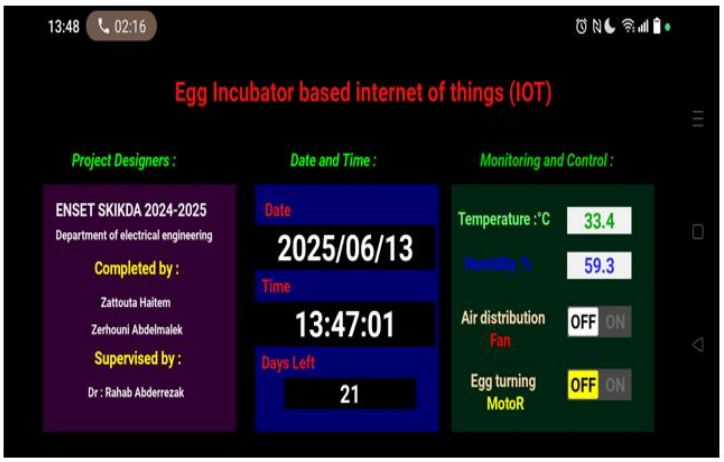
الحالة الثانية: عند الضغط على زر (OFF)، ينطفئ المصباح الأبيض، ما يعني توقف عمل المروحة. يُستخدم هذا الخيار في حال الحاجة إلى تقليل تدفق الهواء أو عند استقرار الظروف البيئية داخل الحاضنة كما في **الشكل (25.III)**.



الشكل (25.III): اطفاء المصباح الابيض (اطفاء المروحة)

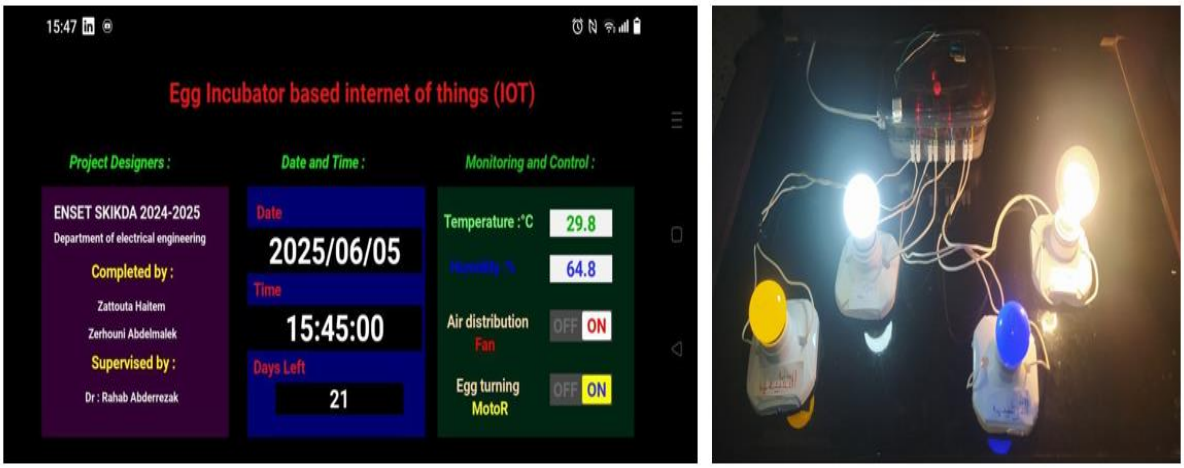
6.3.III تجربة التشغيل الكلي للنظام الذكي

قبل بدء تشغيل النظام، تكون جميع المكونات في وضع الاستعداد، حيث يكون المفتاح الخاص بتقليب البيض والمروحة في الواجهة الرسومية في وضع الإيقاف(OFF) كما يكون زر التشغيل والإيقاف الموجود في وحدة التحكم الذكية غير مفعل، في انتظار تدخل المستخدم لتفعيل الوظائف المطلوبة كما في **الشكل (26.III)**.



الشكل (26.III): حالة النظام قبل التشغيل

بعد تشغيل النظام، يتم تفعيل المكونات تلقائيًا وفقًا للإعدادات المحددة، حيث يتم تشغيل المروحة وتقليب البيض حسب التوقيت المبرمج، وتظهر حالة التشغيل في الواجهة الرسومية من خلال تحوّل مفاتيح التشغيل إلى وضع التفعيل(ON) ، كما يتم تفعيل زر التشغيل والإيقاف في وحدة التحكم الذكية، مما يدل على أن النظام بدأ في أداء مهامه كما في **الشكل (27.III)**.



الشكل (27.III): حالة النظام عند التشغيل

ملاحظة

- ❖ استخدمنا زر ضاغط لإيقاف محرك تقليب البيض بشكل يدوي، بينما يُستخدم سويتش للتحكم في تشغيل أو إيقاف النظام بالكامل من خلال وحدة التحكم الذكية.
- ❖ خطوات انجاز واجهة التحكم عن بعد على منصة RemoteXY في الملحق A.
- ❖ خطوات انجاز المحاكاة على منصة (wokwi) في الملحق B.
- ❖ الكود البرمجي للمشروع في الملحق C.

يوضح الجدول الآتي مقارنة شاملة بين النظام التقليدي (ZL-7801A) والنظام الذكي المعتمد على المتحكم الذكي وتقنية إنترنت الأشياء، من حيث المكونات والخصائص ووظائف التشغيل كما في الجدول **(3.III)**.

جدول (3.III): المقارنة بين النظامين

العنصر	النظام الذكي(ESP32 + IoT)	النظام التقليدي(ZL−7801A)
نوع المتحكم	ESP32	المتحكم الشامل−ZL 7801A
سهولة الاستخدام	يحتاج إلى إعداد برمجي أولي) برمجة ESP32وواجهة(Remote XY	سهل الاستخدام، لا يتطلب برمجة
التحكم في الحرارة والرطوبة	تلقائي مع إمكانية التعديل والتحكم عن بُعد	تلقائي بناءً على إعدادات يدوية
الرطوبة	مرطب كهربائي يعمل بتحكم برمجي دقيق	مرطب كهربائي أو تبخّر طبيعي
إمكانية التقليب	تقليب أوتوماتيكي قابل للبرمجة بزمن محدد	تقليب أوتوماتيكي مدمج
التوصيل والمراقبة عن بُعد	متوفرة عبر Wi−Fi / Bluetooth باستخدام تطبيق هاتف محمول	غير متوفرة
المراقبة في الزمن الحقيقي	متوفرة باستخدام RTC وتطبيقRemoteXY	غير متوفرة
تنبيهات الأعطال	مدعومة (تنبيهات فورية عبر التطبيق عند حدوث خلل)	غير مدعومة
المرونة في التخصيص	عالية، يمكن تعديل البرمجة وفق الحاجة	محدودة
واجهة المستخدم	شاشة + OLED تطبيق تفاعلي عبر الهاتف	شاشة رقمية مدمجة

تكلفة النظام	أقل نسبيًا باستخدام ESP32 ومكونات منخفضة التكلفة	حوالي 5000 دج
القدرة على التطوير والتوسعة	عالية، يمكن إضافة ميزات جديدة بسهولة	محدودة
الموثوقية في البيئات النائية	عالية (مراقبة وتحكم عن بُعد دون الحاجة لتواجد دائم)	عالية (بساطة التشغيل)
حفظ البيانات وتتبع الأداء	متوفر باستخدام RTC وتسجيل القيم	غير متوفر

III 7.3. خاتمة

استعرض هذا الفصل الجوانب التطبيقية لمشروع الحاضنة الذكية، من تصميم النموذج التقليدي والذكي، إلى دمج تقنيات إنترنت الأشياء للتحكم والمراقبة عن بُعد. تم توضيح دور كل مكون وتجريب وظائف النظام في ظروف مختلفة لضمان بيئة ملائمة لتفريخ البيض. يُعد هذا النموذج خطوة أولى عملية يمكن تطويرها مستقبلًا لخدمة المناطق النائية بكفاءة ومرونة.

خاتمة عامة

خاتمة عامة

نصل إلى ختام هذا البحث الذي قمنا من خلاله بإنجاز مشروع حاضنة بيض ذكية منخفضة التكلفة تعتمد على تقنية إنترنت الأشياء، حرصنا فيه على ذكر أهم الجوانب النظرية والتطبيقية التي يقوم عليها هذا النوع من المشاريع. بدأنا بعرض شامل لتقنية إنترنت الأشياء وتطبيقاتها في الزراعة الذكية، ثم تطرقنا إلى مبدأ عمل الحاضنات الاصطناعية ومختلف أنواعها مع شرح للظروف المثالية لعملية التفقيس.

انتقلنا إلى دراسة العناصر الإلكترونية المكونة للحاضنة انطلاقا من لوحة التحكم (ESP32) بأنواعها المختلفة وصولا الى وحدة الزمن الحقيقي مع ذكر طرق برمجتها وتوصيلها فيما بينها بالإضافة إلى منصة (RemoteXY)، لتشكيل نظام متكامل قادر على أداء مهام متعددة بشكل أوتوماتيكي، مثل التحكم في درجة الحرارة، الرطوبة، التهوية، والتقليب.

خصصنا الفصل التطبيقي لتجميع النموذج المخبري واختباره ميدانيًا، حيث بيّنت النتائج التجريبية دقة هذا النظام وكفاءته في الاستجابة للمتغيرات البيئية مما يعكس مدى موثوقيته وقابليته للاعتماد في الاستخدامات العملية. وما يميز هذا المشروع ليس فقط فائدته التقنية والزراعية، بل أيضًا إمكانية تطبيقه في المناطق النائية للمساهمة في تعزيز الأمن الغذائي وتقليل التكاليف المرتبطة بالنقل والتوزيع من خلال إنتاج كتاكيت بطريقة علمية ومستقلة. كما تُبرز الدراسة القابلية العالية لتطبيق التقنيات الحديثة في تصميم حلول زراعية مستدامة تشجع على مواصلة البحث والابتكار في هذا المجال الحيوي. شكل هذا المشروع تحديًا ممتعًا وتجربة ثرية مكنتنا من دمج معارفنا النظرية مع التطبيق العملي، كما أتاح لنا فرصة تعلم مهارات جديدة في مجال الأنظمة المدمجة، الاتصالات اللاسلكية والبرمجة الدقيقة، ورغم بساطته في نظر البعض، إلا أنه يمثل بالنسبة لنا اللبنة الأولى في مسار البحث والتطوير في مجال الزراعة الذكية، ونتمنى أن يكون هذا العمل قد فتح آفاقًا جديدة للطلبة والباحثين لاستكماله والارتقاء به نحو حلول أكثر تطورًا وفعالية.

وفي الختام، نحمد الله عز وجل أن وفقنا لإنجاز هذا العمل المتواضع، سائلين إياه أن يكون نافعًا لكل من اطلع عليه أو استند إليه، وأن يكون لبنة علمية يُبنى عليها في المستقبل.

"اللهم علمنا ما ينفعنا، وانفعنا بما علمتنا، وزدنا علماً وعملاً يا كريم".

توصيات

بناءً على التجربة، نوصي مستقبلاً بما يلي:

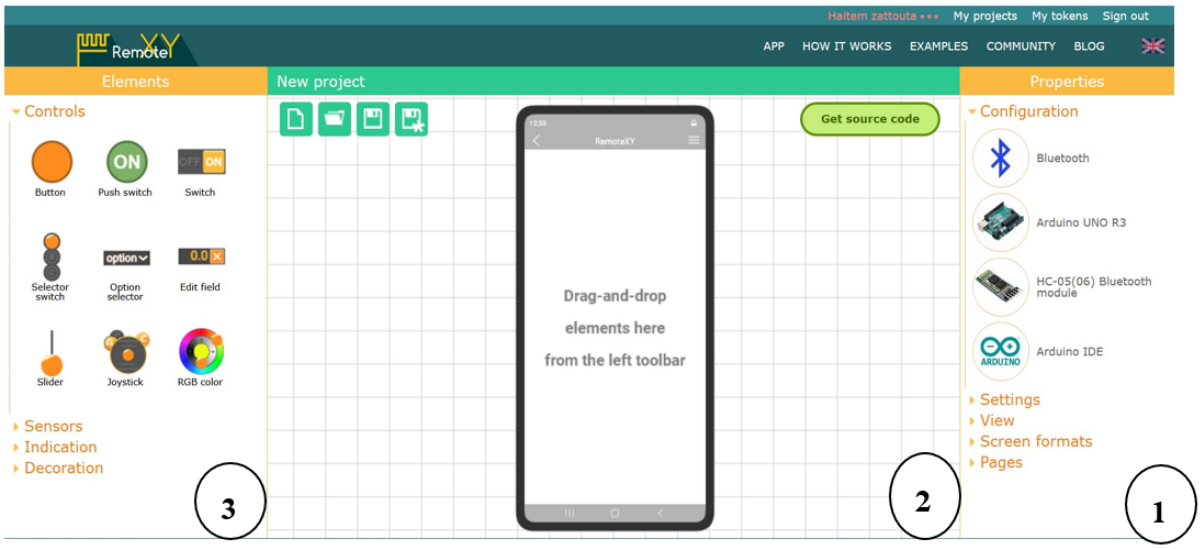
- من الجانب الاقتصادي :اعتماد مكونات إلكترونية منخفضة التكلفة وفعالة في استهلاك الطاقة بهدف تقليل المصاريف الكلية وجعل النظام أكثر قابلية للتطبيق في البيئات الريفية والمزارع الصغيرة.
- من الجانب الطاقوي :دراسة إمكانية تشغيل النظام بواسطة بطاريات قابلة لإعادة الشحن أو ألواح شمسية، لتوفير بديل عملي في المناطق التي تعاني من انقطاعات متكررة في التيار الكهربائي.
- من جانب الأمان والموثوقية :دمج نظام إنذار ذكي يُرسل إشعارًا فوريًا عند انقطاع التيار الكهربائي أو في حال حدوث أي خلل مفاجئ في عناصر التحكم أو البيئة الداخلية، لضمان التدخل السريع وتقليل الخسائر المحتملة.

الملاحق

الملحق A

من أجل تصميم واجهة رسومية للمراقبة والتحكم في فقاسة البيض الذكية على منصة (RemoteXY) نتبع الخطوات التالية:

1. الدخول الى المنصة من خلال الرابط التالي https://remotexy.com/.
2. إنشاء حساب من خلال التسجيل في الموقع بكتابة عنوان البريد الإلكتروني مع اسم المستخدم وكلمة السر.
3. بعد انشاء الحساب قم بتسجيل الدخول عبره بإدخال عنوان البريد الإلكتروني وكلمة السر وابدأ في تصميم واجهتك من خلال فتح النافذة الموضحة في الشكل (1.A).



الشكل (1.A): نافذة تصميم واجهة التحكم

يمكن تقسيم نافذة التصميم الى ثلاث أجزاء:

الجزء (1): يمثل قائمة عناصر العمل.

الجزء (2): يمثل واجهة العمل.

الجزء (3): يمثل قائمة خصائص أدوات العمل.

يتم اختيار الأدوات المستعلمة من قائمة عناصر العمل على 4 مراحل وفقا للجدول (1.A).

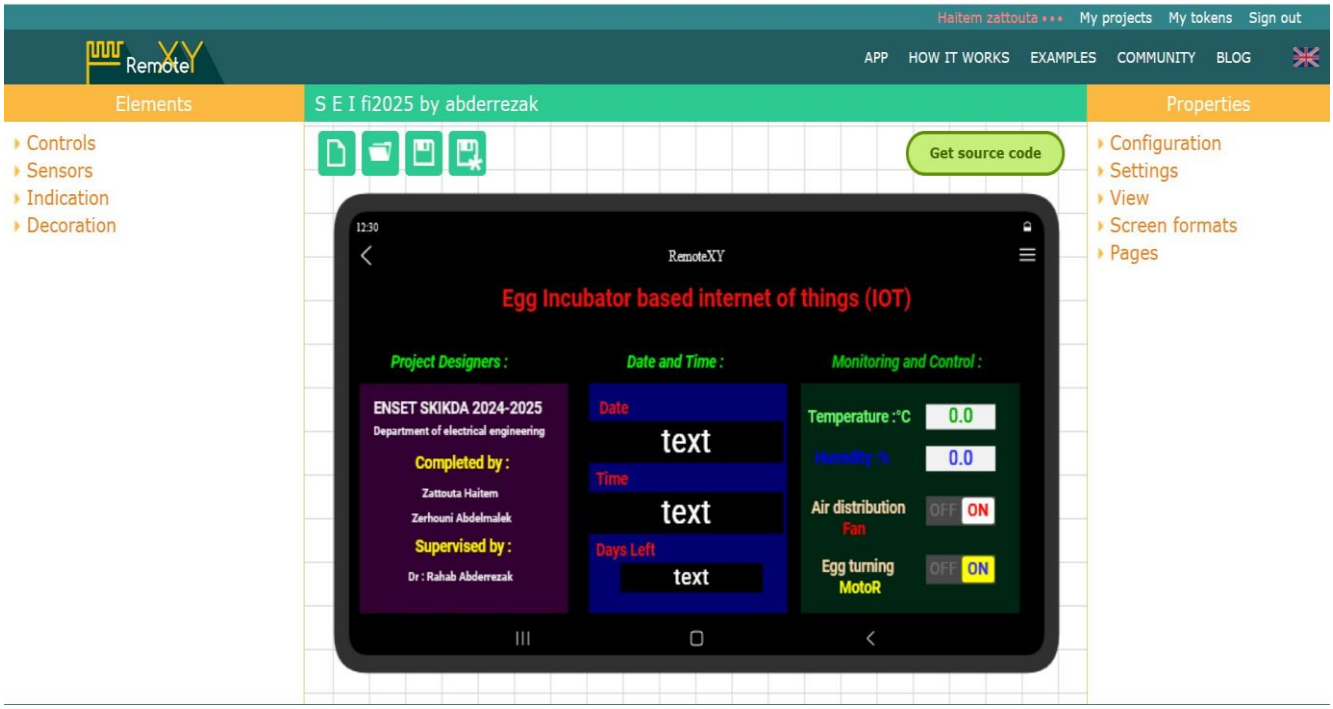
جدول (1.A): الأدوات المدعومة في قائمة عناصر العمل في كل مرحلة

المرحلة 1 طرق الاتصال Connection	المرحلة 2 نوع اللوحة Board	المرحلة 3 وحدات الاتصال Module	المرحلة 4 لغة البرمجة IDE
- نقطة الوصول wifi - خادم الحوسبة السحابية - Ethernet (سلكي ولاسلكي) - بلوتوث - USB OTG (الاندرويد فقط)	- لوحة ESP32 - لوحة ESP8266 - لوحات ATmega - لوحة STM32F1 - لوحة nRf51822 - لوحات الأردوينو بأنواعها	- بلوتوث HC-05،HC-06 Bluetooth BLE-HM-10 - شريحة ESP8266 Wi-Fi - لوحة Ethernet shield W5100 - USB to UART converter	- Arduino IDE - FLProg IDE - Visuino IDE - MPIDE

نختار الأدوات التي تتوافق مع مشروعنا والموضحة في الشكل (2.A).

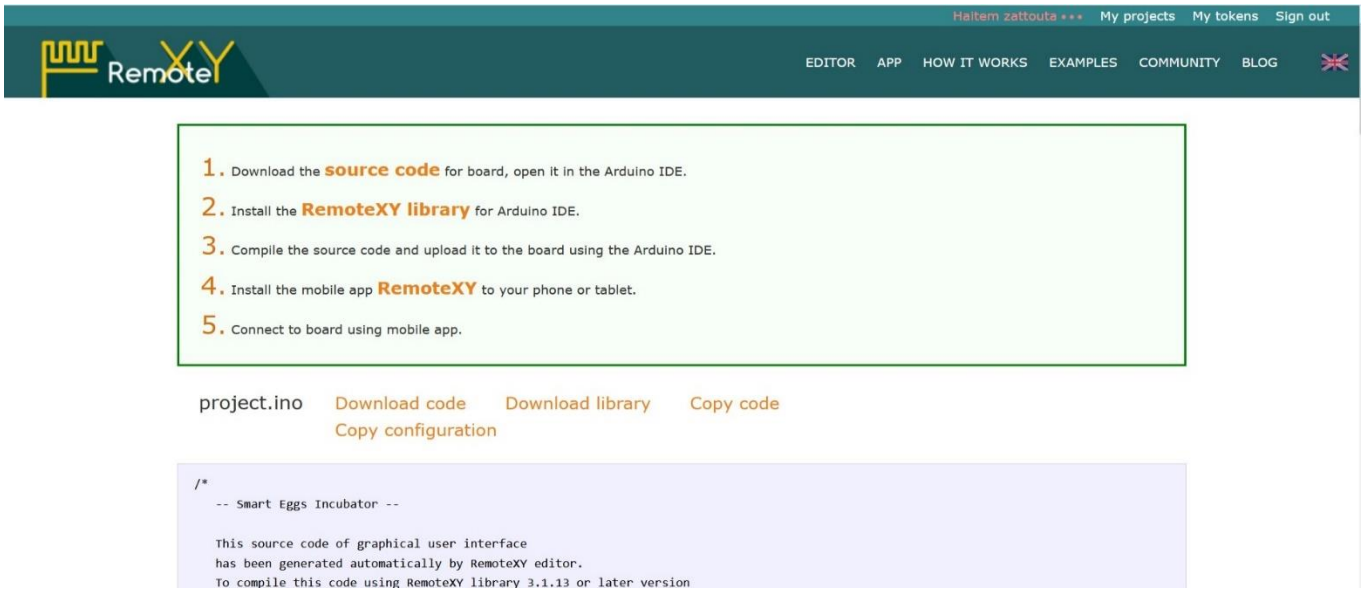
الشكل (2.A): الأدوات المستعملة في المشروع

4. بعد اختيار الأدوات الملائمة المستعملة في المشروع نضغط على (Apply) لتتم عملية تخزين المعلومات من طرف المنصة.
5. الجزء (3) قائمة خصائص أدوات العمل على يسار نافذة التصميم تنقسم في مجموعات على النحو التالي:
   - Controls : أدوات تحكم مختلفة.
   - Sensors : عناصر تستخدم حساسات الهاتف المحمول لإرسال بيانات الى المتحكم.
   - Indication : أدوات عرض البيانات المختلفة.
   - Decoration : عناصر تستخدم لتنظيم وتزيين شكل الواجهة.
6. بعد اختيار الأدوات اللازمة والاستعانة بدلالات وخصائص أدوات العمل وتصميم الشكل الأولي في ورقة خارجية كتصور للشكل العام لواجهة المراقبة والتحكم في فقاسة البيض الذكية بكل تفاصيلها تحصلنا على الواجهة المتمثلة في الشكل (3.A).



الشكل (3.A): واجهة المعلومات المستخدمة للمراقبة والتحكم في فقاسة البيض الذكية

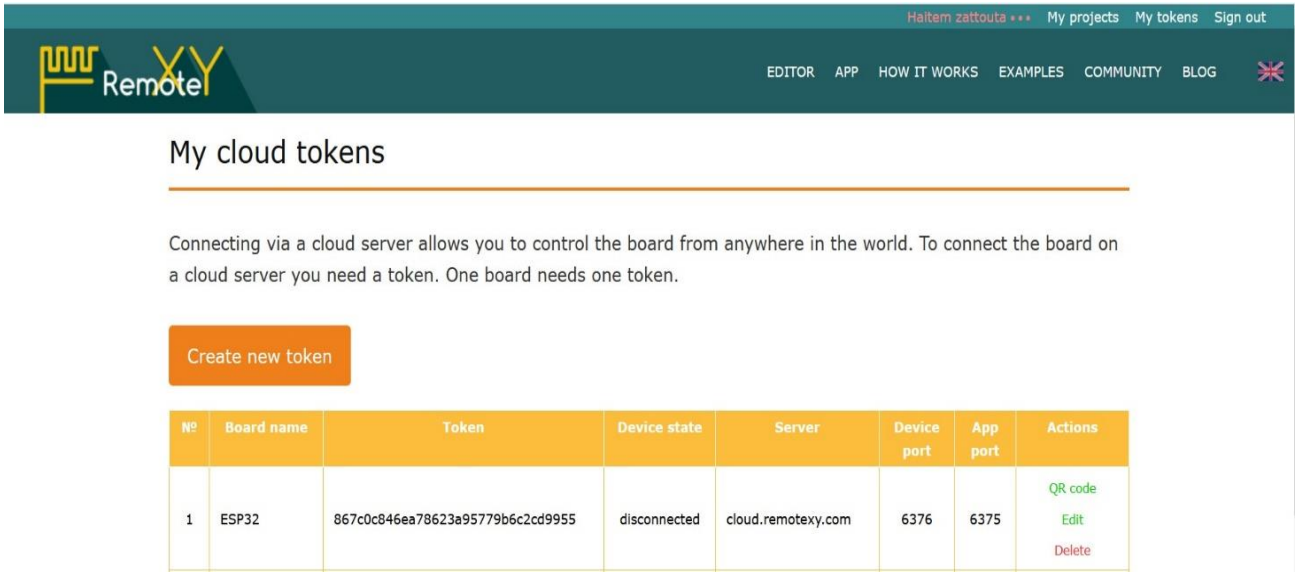
7. بعد الانتهاء من تصميم الواجهة التي تحتوي على جميع التفاصيل نقوم بتحميل الكود البرمجي الأولي بالضغط على (Get source code) لنتحصل على الصفحة الموضحة في الشكل (4.A).



الشكل (4.A): صفحة تحميل الكود البرمجي الأولي

في مشروعنا هذا استخدمنا نوع الاتصال بالحوسبة السحابية الذي يتيح لنا الاتصال عبر الخادم السحابي لمراقبة والتحكم في المشروع من أي مكان في العالم اعتمادا على خاصية الواي فاي المدمج لدى المتحكم وللتوصيل بين هذه الخاصية والحوسبة السحابية نحتاج إلى رمز مميز يسمى (Token) عبارة عن عنوان (IP6) مشفر بالنظام السداسي عشر حيث لكل جهاز في العالم موصول بشبكة الانترنت عنوان وحيد خاص به.

ملاحظة: أنترنت الأشياء تعتمد على رقم العنونة (IP6) وليس (IP4) الشائع في الشبكة المحلية ومعلومات هذا الرمز موضحة في الشكل (5.A).

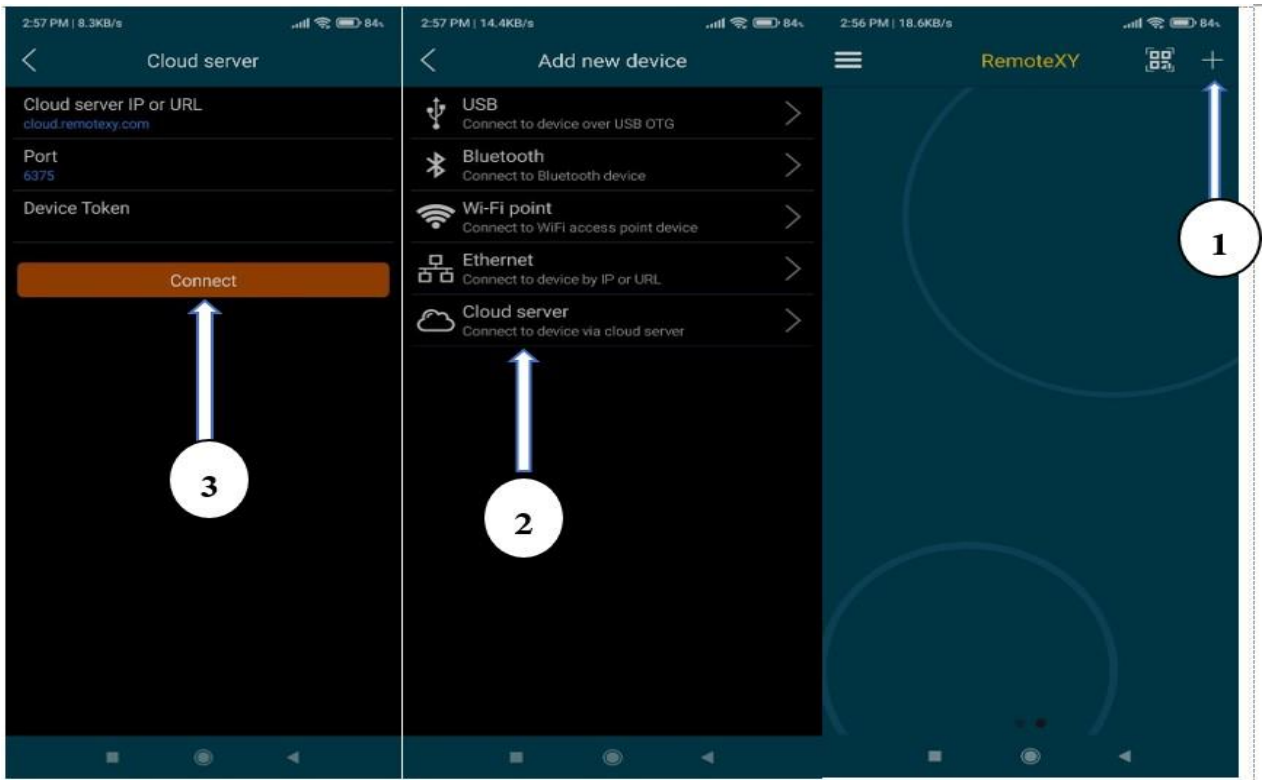


الشكل (5.A): معلومات الرمز Token

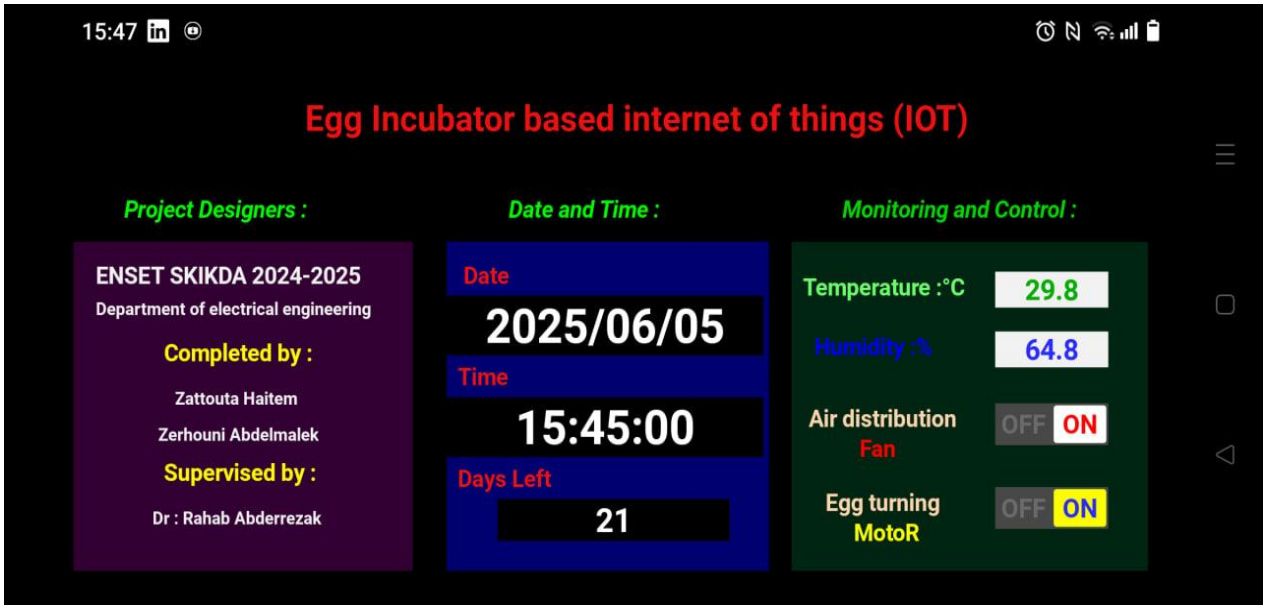
8. بعد الانتهاء من كل الخطوات السابقة نقوم أخيرا بإعداد الكود النهائي المعدل على برنامج (Arduino IDE) الموجود في الملحق (C) ثم رفعه على لوحة المتحكم.

9. التأكد من الربط والتوصيلات الكهربائية لكل الأجهزة المستعملة في المشروع ثم نقوم بتحميل التطبيق على الهاتف الذكي وبعد فتحه تظهر الواجهة فنضغط على علامة (+) لتظهر قائمة الاتصالات المدعومة لنختار نوع اتصال الحوسبة السحابية.

10. كتابة رقم منفذ الاتصال والرمز المميز ثم الضغط على تعليمة (Connect) تفتح لنا واجهة التطبيق التي صممناها سابقا والتي تتيح لنا المراقبة والتحكم في حاضنة البيض الذكية من أي مكان في العالم. الشكل (6.A) يوضح طريقة استخدام التطبيق لتفعيل الاتصال.



الشكل (6.A): طريقة تفعيل الاتصال في تطبيق RemoteXY

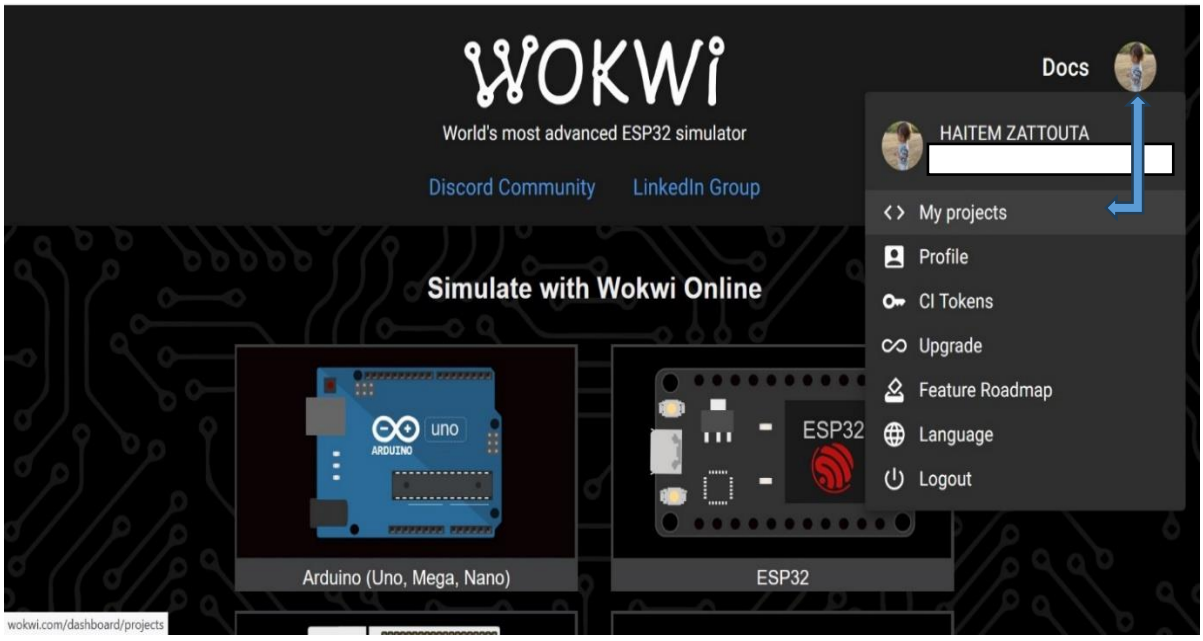


الشكل (7.A): واجهة تطبيق RemoteXY على الهاتف الذكي

الملحق B

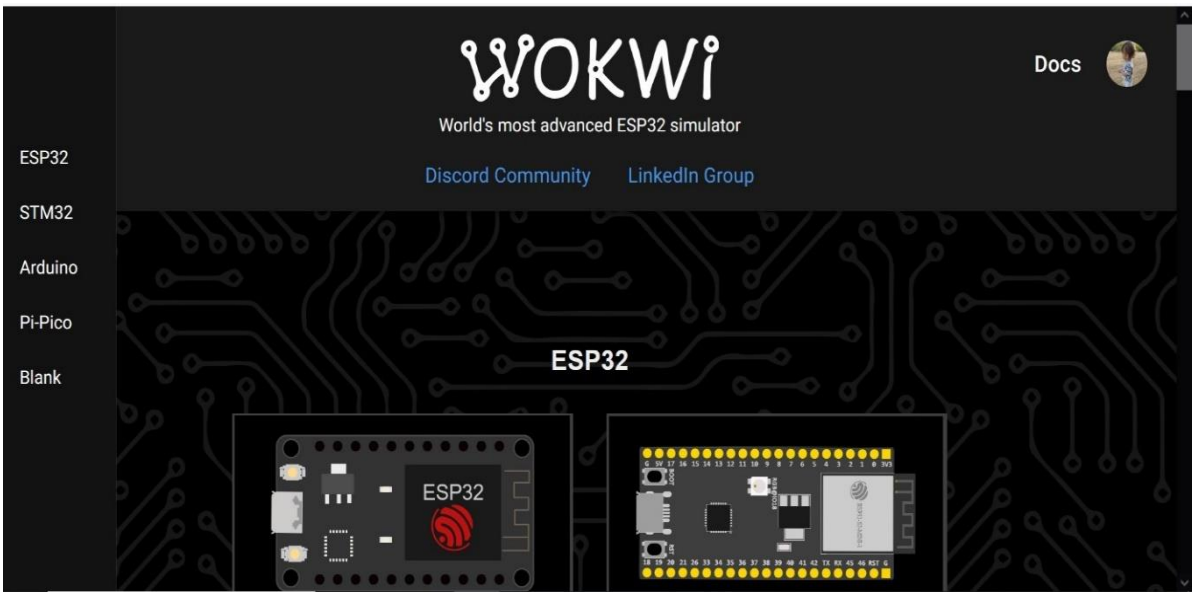
من أجل انجاز محاكاة المراقبة والتحكم في فقاسة البيض الذكية على منصة (wokwi) نتبع الخطوات التالية:

1. الدخول الى المنصة من خلال الرابط التالي https://wokwi.com/.
2. انشاء حساب باستعمال البريد الالكتروني.
3. انقر على الحساب واختر المشاريع الخاصة بي كما في الشكل (1.B)، بعدها قم بإنشاء مشروع جديد بالضغط على (NEW PROJECT).

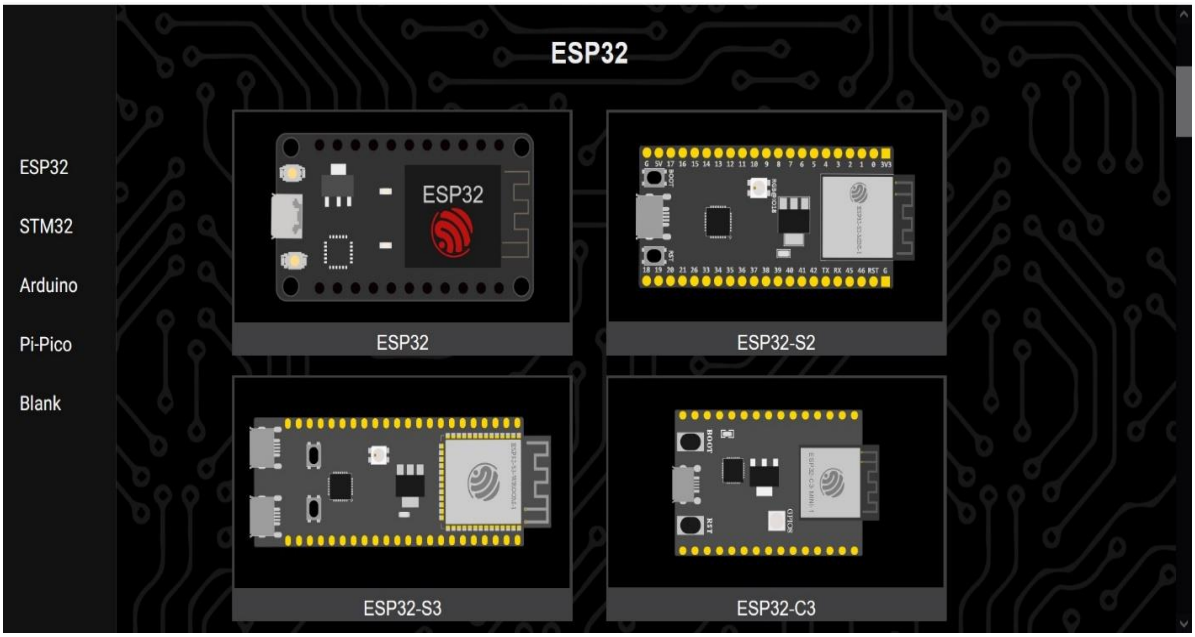


الشكل (1.B): انشاء مشروع على منصة wokwi

4. قم باختيار البطاقة او اللوحة التي تدعمها المنصة والمستخدمة في المشروع ثم حدد نوعها من قائمة المقترحات كما في الشكل (2.B).

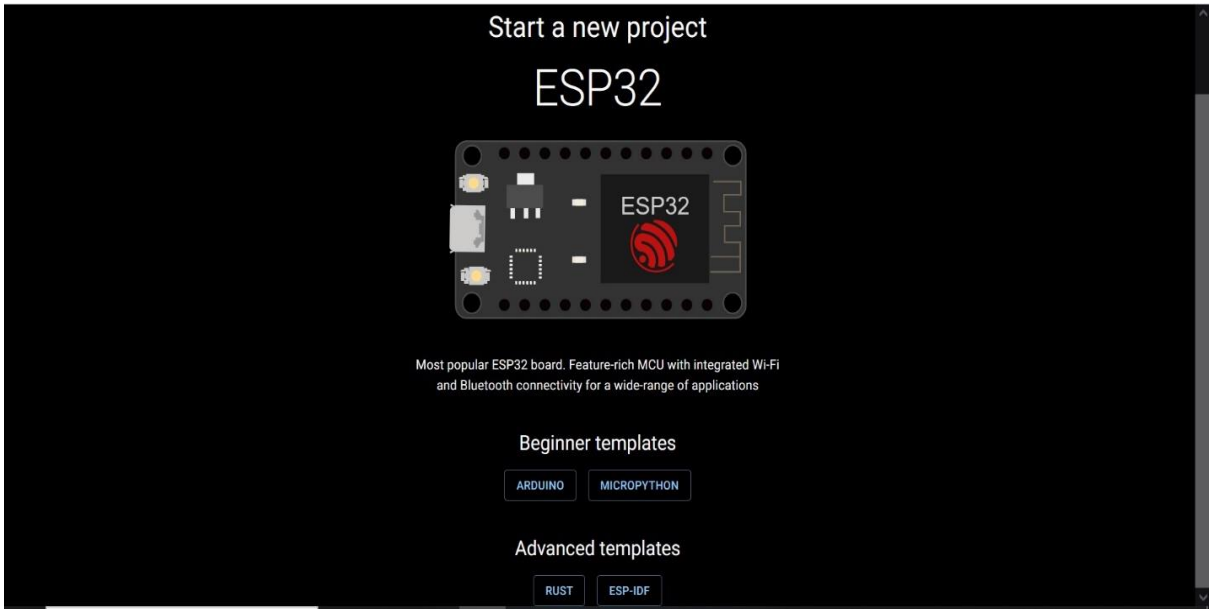


الشكل (2.B): اختير اللوحة المستخدمة في المشروع



الشكل (3.B): تحديد نوع اللوحة

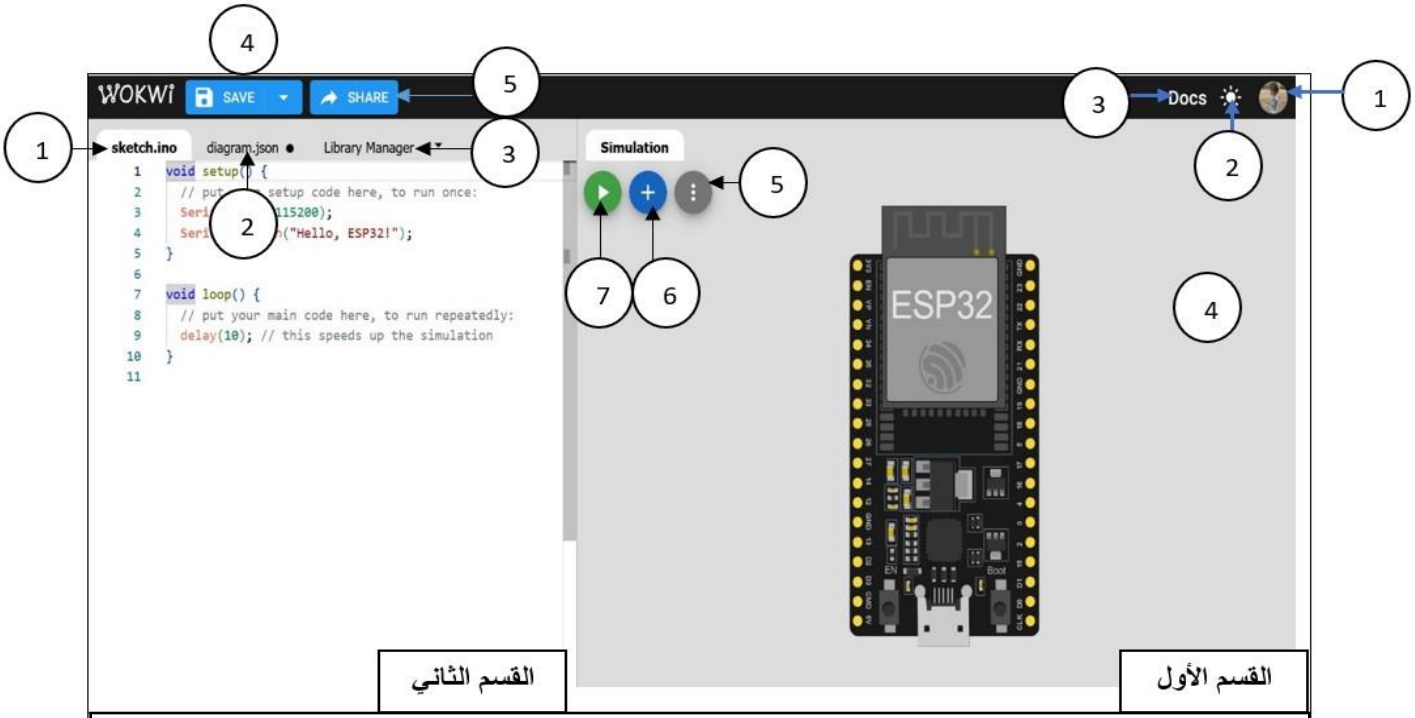
5. قم باختيار طريقة برمجة اللوحة (البيئة واللغة) كما في الشكل (4.B).



الشكل (4.B): اختيار طريقة برمجة اللوحة المستخدمة في المشروع

ملاحظة: استخدمنا في مشروعنا لوحة (ESP32) والتي تمت برمجتها بواسطة (Arduino IDE)

أخيرا ستتحصل على واجهة العمل كما في الشكل (5.B) والجدول (1.B) يشرح معنى كل جزء منها.



الشكل (5.B): واجهة انجاز محاكاة المشروع

جدول (1.B): شرح واجهة محاكاة المشروع في المنصة

القسم الأول _جزء المحاكاة_		القسم الثاني _جزء البرمجة_	
الرقم	الوظيفة	الرقم	الوظيفة
1	الحساب الخاص بك	1	كتابة الكود البرمجي
2	اختيار الوضع العادي او المظلم	2	مخطط التوصيل بين المكونات
3	شرح طريقة استخدام المنصة	3	إدارة المكتبات الخاصة بالبرمجة
4	مساحة العمل	4	حفظ المشروع
5	التعديل على مساحة العمل (تكبير، تصغير...)	5	مشاركة المشروع
6	إضافة المكونات والعناصر الالكترونية		
7	تشغيل المحاكاة		

الملحق C

الكود البرمجي للمشروع

```
// -- Smart Eggs Incubator with RemoteXY Integration --
// ENSET SKIKDA 2025
// By: Abderrezak
// Zattouta Haitem & Zerhouni Abdelmalek
#define REMOTEXY_MODE__WIFI_CLOUD
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include "DHT.h"
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Wire.h>
#include <ThreeWire.h>
#include <RtcDS1302.h>
#include <WiFi.h>
#include <RemoteXY.h>
// RemoteXY configuration

#define REMOTEXY_WIFI_SSID "Redmi Note 8"
#define REMOTEXY_WIFI_PASSWORD "htm12345"
#define REMOTEXY_CLOUD_SERVER "cloud.remotexy.com"
#define REMOTEXY_CLOUD_PORT 6376
#define REMOTEXY_CLOUD_TOKEN "867c0c846ea78623a95779b6c2cd9955"

// RemoteXY GUI configuration
#pragma pack(push, 1)
uint8_t RemoteXY_CONF[] = {
 255,2,0,42,0,230,2,19,0,0,0,83,109,97,114,116,32,69,73,0,
  24,2,106,200,200,84,1,1,31,0,129,6,0,74,29,44,4,117,6,64,
  1,69,103,103,32,73,110,99,117,98,97,116,111,114,32,98,97,115,101,100,
  32,105,110,116,101,114,110,101,116,32,111,102,32,116,104,105,110,103,115,32,
  40,73,79,84,41,0,129,65,138,17,10,109,70,7,4,64,68,70,97,110,
  0,130,59,67,21,95,3,27,60,55,27,228,129,30,57,47,7,19,44,27,
  4,64,94,67,111,109,112,108,101,116,101,100,32,98,121,32,58,0,129,37,
  36,41,7,21,52,27,3,64,16,90,97,116,116,111,117,116,97,32,72,97,
  105,116,101,109,0,129,27,41,67,7,18,58,34,3,64,16,90,101,114,104,
  111,117,110,105,32,65,98,100,101,108,109,97,108,101,107,0,129,39,60,47,
  7,19,64,27,4,64,94,83,117,112,101,114,118,105,115,101,100,32,98,121,
  32,58,0,129,27,48,69,7,17,72,30,3,64,16,68,114,32,58,32,82,
  97,104,97,98,32,65,98,100,101,114,114,101,122,97,107,0,129,250,43,118,
  10,7,31,47,4,64,16,69,78,83,69,84,32,83,75,73,75,68,65,32,
  50,48,50,52,45,50,48,50,53,0,129,246,55,114,7,7,37,49,3,64,
  16,68,101,112,97,114,116,109,101,110,116,32,111,102,32,101,108,101,99,116,
  114,105,99,97,108,32,101,110,103,105,110,101,101,114,105,110,103,0,130,52,
  249,27,131,69,27,57,55,27,201,129,26,35,21,10,72,31,9,4,64,1,
  68,97,116,101,0,67,25,40,25,12,69,36,56,10,69,31,24,12,129,31,
  50,23,10,71,48,9,4,64,1,84,105,109,101,0,67,30,45,18,12,69,
  53,56,10,69,31,24,11,129,22,76,42,10,71,65,17,4,64,1,68,97,
  121,115,32,76,101,102,116,0,67,36,74,14,12,78,70,41,7,69,31,24,
  11,130,55,38,27,131,130,27,63,55,27,144,129,49,33,69,10,132,33,33,
  4,64,137,84,101,109,112,101,114,97,116,117,114,101,32,58,194,176,67,0,
  67,84,22,11,14,166,32,20,6,77,133,16,2,129,62,40,53,10,134,43,
```

```
  25,4,64,204,72,117,109,105,100,105,116,121,32,58,37,0,67,86,22,11,
  14,166,42,20,6,77,205,16,2,129,67,52,51,10,136,69,21,4,64,68,
  69,103,103,32,116,117,114,110,105,110,103,0,2,89,43,11,17,166,54,20,
  7,0,31,26,36,24,79,78,0,79,70,70,0,129,54,102,66,10,133,55,
  27,4,64,68,65,105,114,32,100,105,115,116,114,105,98,117,116,105,111,110,
  0,129,77,74,17,10,142,60,7,4,64,36,70,97,110,0,2,86,26,11,
  17,166,68,20,7,0,94,26,205,24,79,78,0,79,70,70,0,129,218,38,
  118,10,139,20,43,4,192,134,77,111,110,105,116,111,114,105,110,103,32,97,
  110,100,32,67,111,110,116,114,111,108,32,58,0,129,243,31,122,12,79,20,
  29,4,192,135,32,68,97,116,101,32,97,110,100,32,84,105,109,101,32,58,
  0,129,229,50,97,10,12,20,34,4,192,135,80,114,111,106,101,99,116,32,
  68,101,115,105,103,110,101,114,115,32,58,0,129,69,147,18,10,141,74,14,
  4,64,94,77,111,116,111,82,0 };
#pragma pack(pop)

// RemoteXY variables
struct {
  uint8_t switch_Stop;
  uint8_t switch_01;
  char text_date[12];
  char text_dateTime[11];
  char text_daysLeft[11];
  float value_01Temp;
  float value_02Hum;
  uint8_t connect_flag;
} RemoteXY;

// Hardware definitions
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
Adafruit_SSD1306 htm(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);

#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

ThreeWire myWire(19, 2, 16); // DAT, CLK, RST
RtcDS1302<ThreeWire> rtc(myWire);

// Control pins
int IN1 = 18, IN2 = 15, IN3 = 33, IN4 = 32;  // SSR1 in1=Temp in2=Hum  & SSR2  in3=turrning in4=fan
int Stop = 27;
int S; // Stop متغير يقرأ قيمة الزر

// Thresholds القيم المثلى
const float Temp = 37.5;
const float Hum = 60;

// Timing variables
RtcDateTime lastFlip;
RtcDateTime hatchStart;
bool relayOn = false;
const int flipIntervalMinutes = 1;
unsigned long relayOnStartTime = 0;
const unsigned long Time = 35000; // 35 seconds مدة تقليب البيض كل
const int incubationDays = 21; // عدد أيام تفقيس البيض

int scrollX = 0;

void setup() {
RemoteXY_Init();

  pinMode(IN1, OUTPUT);
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  pinMode(IN3, OUTPUT);
  pinMode(IN4, OUTPUT);
  pinMode(Stop, INPUT_PULLUP);

  dht.begin();
  rtc.Begin();
  if (!rtc.IsDateTimeValid()) {
    rtc.SetDateTime(RtcDateTime(__DATE__, __TIME__));}
  RtcDateTime now = rtc.GetDateTime();
  hatchStart = now;
  lastFlip = now;

  if (!htm.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
    while (true);}
  htm.clearDisplay();
  htm.setTextColor(SSD1306_WHITE);
  htm.setTextSize(1);
  digitalWrite(IN4, HIGH);}

```

```
void loop() {
  RemoteXY_Handler();
  S = digitalRead(Stop);
  float H = dht.readHumidity();
  float T = dht.readTemperature();
  RtcDateTime now = rtc.GetDateTime();

  // Update RemoteXY values
  RemoteXY.value_01Temp = T;
  RemoteXY.value_02Hum = H;
 if (S == 0) { digitalWrite(IN4, LOW);RemoteXY.switch_Stop = 0;}
   // التحكم من التطبيق
 else {
 if (RemoteXY.switch_Stop == 1) {digitalWrite(IN4, HIGH);} // تشغيل المروحة
 else {digitalWrite(IN4, LOW);}  // إيقاف المروحة
    }
  // Update OLED display
  htm.clearDisplay();
  htm.setCursor(scrollX, 0);
  htm.print("Smart Eggs Incubator");
  scrollX -= 2;
  if (scrollX < -100) scrollX = SCREEN_WIDTH;

  if (!isnan(T)) {
    htm.setCursor(0, 20);
    htm.print("T= "); htm.print(T); htm.print(" C");}
  if (T < Temp) { digitalWrite(IN1, HIGH);} else {digitalWrite(IN1, LOW); }

  if (!isnan(H)) {
    htm.setCursor(0, 30);
    htm.print("H= "); htm.print(H); htm.print(" %");}
  if (H < Hum) {digitalWrite(IN2, HIGH);} else { digitalWrite(IN2, LOW);}
 // تقليب البيض
if (RemoteXY.switch_01 == 0) {
  // إذا تم إيقاف الريلاي عبر السويتش، تأكد من إيقاف تشغيل IN3
  digitalWrite(IN3, LOW); // توقيف محرك التقليب
  relayOn = false;}
  else {
  int minutesPassed = (now.TotalSeconds() - lastFlip.TotalSeconds()) / 60;
  if (minutesPassed >= flipIntervalMinutes && !relayOn) {
    digitalWrite(IN3, HIGH);
    relayOn = true;
    relayOnStartTime = millis(); }

  if (relayOn && (millis() - relayOnStartTime >= Time)) {
    digitalWrite(IN3, LOW);
    relayOn = false;
    lastFlip = now;}}

  int secondsPassed = now.TotalSeconds() - hatchStart.TotalSeconds();
  int daysPassed = secondsPassed / 86400;
  int daysRemaining = incubationDays - daysPassed;
  if (daysRemaining < 0) daysRemaining = 0;


  htm.setCursor(0, 45);
  htm.print("Days Left: ");
  htm.print(daysRemaining);

  htm.setCursor(0, 55);
  char datetimeStr[30];
  sprintf(datetimeStr, "%04u/%02u/%02u %02u:%02u:%02u",
          now.Year(), now.Month(), now.Day(),
          now.Hour(), now.Minute(), now.Second());
  htm.print(datetimeStr);

  htm.display();
  // Update RemoteXY text fields
  sprintf(RemoteXY.text_date, "%04u/%02u/%02u", now.Year(), now.Month(), now.Day());
  sprintf(RemoteXY.text_dateTime, "%02u:%02u:%02u", now.Hour(), now.Minute(), now.Second());
  sprintf(RemoteXY.text_daysLeft, "%d", daysRemaining);
  delay(200);}
```

قائمة المراجع

رقم المرجع	عنوان المرجع
[1]	K. Elgazzar, H. Khalil, T. Alghamdi, A. Badr, G. Abdelkader, A. Elewah, and R. Buyya, “Revisiting the Internet of Things: new trends, opportunities and grand challenges,” 2022. arXiv:2211.11523.
[2]	A. Whitmore, A. Agarwal, and L. Da Xu, “The Internet of Things—A survey of topics and trends,” Information Systems Frontiers, vol. 17, no. 2, pp. 261–274, Apr. 2015.
[3]	J. Venkata Naga Ramesh et al., “Real-time Air Quality Monitoring in Smart Cities using IoT-enabled Advanced Optical Sensors,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 15, no. 4, pp. 840–..., 2024.
[4]	M. F. Zia, M. Siddiqua, M. A. Ouameur, M. Bagaa, and F. Al Turjman, “Securing the Future: A Survey on Smart Home Security in IoT-Integrated Smart Cities,” Advances in Networks, vol. 2025, Mar. 2025.
[5]	M. Wolfert, L. Ge, C. Verdouw, and M.-J. Bogaardt, “Big Data in Smart Farming – A review,” Agricultural Systems, vol. 153, pp. 69–80, May 2017.
[6]	D. Alvear, D. Abreu, and J. L. Poveda, “IoT Applications in Environmental Monitoring: Air Quality and Forest Fire Detection,” IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 22, pp. 25514–25525, Nov. 2021.
[7]	P. K. Sarkar, F. B. Zalal, M. Sultana, M. H. Kawsar, and S. K. Fouzder, “Natural incubation and broody hen management practices in Barishal district, Bangladesh,” *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, vol. 11, no. 2, pp. 189–195, Jan. 2023.

[8]	M. B. Mohd Adid, “Development of Smart Egg Incubator System for Various Types of Egg (SEIS),” Bachelor thesis (Hons.), Faculty of Electronics Engineering, Universiti Malaysia Pahang, 2008.
[9]	C. Tullett, “The control of egg size and hatching egg quality,” *Poultry Science*, vol. 69, no. 7, pp. 1167–1173, Jul. 1990.
[10]	R. S. Gowe and F. W. Hill, “The effect of carbon dioxide on the hatchability of hen’s eggs,” *Poultry Science*, vol. 27, no. 3, pp. 363–366, May 1948.
[11]	B. D. Freeman and H. C. Weeks, “Effects of turning frequency on hatchability of chicken eggs,” *Poultry Science*, vol. 63, no. 12, pp. 2453–2455, Dec. 1984.
[12]	“ Embryology of the chicken,” Poultry Hub Australia. [Online]. Available: https://www.poultryhub.org/anatomy-and-physiology/body-systems/embryology-of-the-chicken. [Accessed: 10-Jun-2025].
[13]	Life Sciences Term 1،https://mgonline.mgslg.co.za/
[14]	موقع، الحضانة الطبيعية والصناعية في الدجاجhttp://kenanaonline.com/
[15]	مؤرشف من كتابTastes Like Chicken: A History of America's Favorite Bird
[16]	C. D. Iwu and G. S. Bawa “مصادر الطاقة وكفاءتها في حاضنات بيض الدواجن ومعدلات الفقس,” *ResearchGate*, 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/380362720_ENERGY_SOURCES_FOR_POULTRY_EGG_INCUBATORS%27_EFFICIENCY_AND_HATCHABILITY. [Accessed: 10-Jun-2025].
[17]	موقع ديكور إكس برو، “جهاز ومبدأ عمل الحاضنة,”[Online]. Available: https://myvilla.decorexpro.com/ar/ustroystvo-i-princip-raboty-inkubatora/. [Accessed: 10-Jun-2025].

[18]	M. B. MohdAdid, “Development of smart Egg Incubator System for Various types of Egg (SEIS),” Bachelor Thesis (Hons) Electronics, Faculty of Electronics Engineering, Universiti Malaysia Pahang, 2008.
[19]	M. B. MohdAdid, “Development of smart Egg Incubator System for Various types of Egg (SEIS),” Bachelor Thesis (Hons) Electronics, Faculty of Electronics Engineering, Universiti Malaysia Pahang, 2008.
[20]	Romanoff, A. L. (1960). The Avian Embryo; Structural and Functional Development. *The Macmillan Company*. Retrieved from https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3569590/
[21]	"Development of a Low Cost Poultry Egg Incubation System" ،Cookey Iyen & Ephraim Wunuken ،2024 ،ResearchGate.
[22]	A. M. Abo Ismail and K. F. Abo El-Soud, "Design and performance evaluation of an automatic egg incubator system using smart control," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 10, no. 5, pp. 1013–1020, May 2019.
[23]	Babiuch, M., Foltýnek, P., & Smutný, P. (2019, May). Using the ESP32 microcontroller for data processing. In 2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC) (pp. 1-6). IEEE.
[24]	A. Maier, A. Sharp, and Y. Vagapov, “Comparative Analysis and Practical Implementation of the ESP32 Microcontroller Module for the Internet of Things,” in *Proc. 7th Int. Conf. Internet Technol. Appl.*, Wrexham, UK, Sep. 2017, doi: 10.1109/ITECHA.2017.8101926.
[25]	M. Z. H. Zim, “TinyML: Analysis of Xtensa LX6 microprocessor for Neural Network Applications by ESP32 SoC,” arXiv preprint arXiv:2106.10652, Jun. 2021.
[26]	Cameron, N. (2023). Esp32 microcontroller. In *ESP32 Formats and Communication: Application of Communication Protocols with ESP32 Microcontroller* (pp. 1-54). Berkeley, CA: Apress.

[27]	Espressif Systems, "ESP32-WROOM-32 Datasheet, v3.5," Espressif Systems, Shenzhen, China, Apr. 2025.
[28]	Espressif Systems, "ESP32 Series Datasheet, Version 4.9," Espressif Systems, Shenzhen, China, Apr. 2025.
[29]	Espressif Systems, "ESP32 Technical Reference Manual," v.4.8, Espressif Systems, 2023. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf
[30]	Espressif Systems, "ESP32 Datasheet and Technical Reference Manual," Espressif Systems, 2024.
[31]	Espressif Systems, "ESP32 vs ESP8266 – A Comparison," Espressif, 2023. [Online]. Available: https://www.espressif.com/en/news/esp32-vs-esp8266
[32]	Maker Advisor, "ESP32 vs ESP8266 – Pros and Cons," Maker Advisor, 2021. [Online]. Available: https://makeradvisor.com/esp32-vs-esp8266/
[33]	A. Shrivastava and R. Sharma, "Design and implementation of smart environment monitoring system using IoT and cloud integration," *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, vol. 8, no. 6S, pp. 110–113, Aug. 2019.
[34]	R. S. Dey, A. Roy, and P. Saha, "IoT based environment monitoring system using DHT22 sensor and ESP32," *Proceedings of the 2020 4th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, pp. 1356–1360, Nov. 2020.
[35]	A. A. Kumar and S. P. Suresh, "Design and implementation of low cost real time humidity and temperature monitoring system using Arduino and DHT sensors," *Proceedings of the 2019 3rd International Conference on

	Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, pp. 712–716, Mar. 2019.
[36]	M. Al-Fawares, A. Razaque, and A. A. Abbasi, “Low-cost real-time temperature and humidity monitoring system using DHT sensors and Arduino platform,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 11, no. 5, pp. 546–550, May 2020.
[37]	A. A. Rani, M. Y. Alias, M. F. N. Tajuddin, and M. H. Jali, “Smart egg incubator with automatic humidity and temperature control system,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 12, no. 3, pp. 456–462, Mar. 2021.
[38]	M. A. Alsharif, M. A. Islam, and M. M. Islam, “Design and implementation of an automatic egg incubator for poultry industry,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 14, no. 1, pp. 258–264, Apr. 2019.
[39]	M. S. Islam, A. S. M. Mohiuddin, and M. A. I. Chowdhury, “Design and implementation of a smart egg incubator using IoT,” *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 12, no. 6, pp. 1020–1027, Jun. 2021.
[40]	A. Ghosh, S. Dutta, and S. K. Das, “Design and control of a smart egg incubator system using Arduino and IoT,” *Journal of Advanced Research in Embedded System*, vol. 9, no. 3, pp. 45–51, Sep. 2020.
[41]	M. A. Rahman, M. M. Rahman, and S. M. Ali, “Development of an automated egg incubator system using microcontroller and stepper motor,” *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 11, no. 5, pp. 1278–1284, May 2020.

[42]	H. N. Phyu and M. S. Than, “Comparative Study of Stepper Motors for Mechatronic Applications,” *International Journal of Science and Engineering Applications*, vol. 10, no. 6, pp. 219–223, Jun. 2021.
[43]	A. Hughes and B. Drury, *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications*, 5th ed., Oxford: Newnes, 2019.
[44]	M. Mazidi, S. Naimi, and S. Naimi, *AVR Microcontroller and Embedded Systems: Using Assembly and C*, 1st ed., Pearson, 2014.
[45]	T. Igoe and D. Coleman, *Making Things Talk: Using Sensors, Networks, and Arduino to See, Hear, and Feel Your World*, 2nd ed., O’Reilly Media, 2011.
[46]	E. Sanchez and T. Kim, *IoT Development for ESP32 and Arduino*, 1st ed., Springer, 2020.
[47]	N. Verma and S. Pal, “Implementing IoT applications using ESP32 and Arduino IDE,” in *Internet of Things Applications*, Springer, 2021, pp. 123–140.
[48]	M. Ibrahim, “Interfacing DS1302 Real Time Clock Module with Arduino,” *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 10, no. 4, pp. 25–29, Apr. 2019.
[49]	G. T. Heydt, “Electromagnetic relay operation and applications,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 108, no. 4, pp. 523–531, Apr. 2020.
[50]	M. A. Mazidi, S. Naimi, and S. Naimi, *The AVR microcontroller and embedded systems: using assembly and C*, Pearson Education, 2014.
[51]	kahrab4U موقع ،)المرحل(الريليه ماهو
[52]	H. W. Kim, Y. H. Kim, and J. W. Choi, "Design of a solid state relay for electric heating system applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 3, pp. 2254–2262, Mar. 2017.

[53]	"Solid-state relay," *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, May 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Solid-state_relay
[54]	RemoteXY, "RemoteXY for ESP32: create graphical interfaces for microcontroller projects," RemoteXY.com. [Online]. Available: https://remotexy.com/en/help/esp32
[55]	A. S. Kumar and K. K. Pattanaik, "Design and implementation of a smart egg incubator system using IoT," in *Proc. 4th Int. Conf. on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, Madurai, India, May 2020, pp. 503–507. doi: 10.1109/ICICCS48265.2020.9121035.
[56]	M. M. Al-Rousan and H. A. Al-Khateeb, "Development of an online platform for Arduino-based simulation and code verification," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, vol. 13, no. 4, pp. 636–641, 2022. doi: 10.14569/IJACSA.2022.0130472.