تطبيق تقنيات انترنت الاشياء والذكاء الإصطناعي في مراقبة تخزين المحاصيل بصوامع الغلال - ولاية القضارف

أ.ياسر بله عبدالسلام أحمد
طالب دكتوراه – كلية الدراسات العليا
جامعة كسلا

د.هارون عبدالله عيسى
كلية علوم الحاسوب – جامعة الشرق للعلوم والتكنولوجيا

المستخلص:

يعتبر تخزين المحاصيل الزراعية من الركائز الأساسية التي يعتمد عليها الإقتصاد السوداني لذلك فإن التخزين الجيد للمحاصيل يضمن توفر المخزون الإستراتيجي ، ومع صعوبة مراقبة المحاصيل تحت النظام التقليدي الذي يرفع من درجة خطورة تلف المحاصيل كان لابد من البحث عن تقنيات حديثة بإستخدام التقنيات التي يقدمها إنترنت الأشياء والذكاء الإصطناعي .تهدف الورقة لتطوير نظام لمراقبة ظروف تخزين المحاصيل في صوامع الغلال من خلال مستشعرات انترنت الاشياء تعمل على جمع معلومات الرطوبة ودرجة الحرارة والتهوية بشكل لحظي وارسالها الى قاعدة البيانات لتحليلها وتمكين مديري مركز البيانات من إكتشاف المؤشرات المبكرة للتدهور في جودة المحاصيل .من خلال إنشاء نظام تكاملي بين إنترنت الأشياء والذكاء الإصطناعي يعمل علي جمع البيانات البيئية عن طريق مستشعرات إنترنت الأشياء وتصميم قاعدة بيانات لتخزين هذه البيانات وبناء نماذج ذكية تعمل علي تحليلها وذلك باستخدام محاكى Wokwi ومنصة thingsbord لتحليل البيانات .خلصت الورقة الي تطوير تطبيق متكامل قادر علي مراقبة المحاصيل الزراعية في صوامع الغلال من حيث الكشف المبكر عن المشكلات ، وتقليل نسبة الفاقد ، وتحسين كفاءة ادارة المخزون من خلال جمع البيانات وتخزينها وعرضها وتحليلها والتنبؤ بها وتسويقها .مع ذلك لابد من دمج تقنيات المعالجة الحوسبية علي الحافة (Edge Computing) لتقليل زمن الإستجابة وتقليل الاعتماد علي الاتصال السحابي ، واستخدام خوارزميات تصنيف أكثر تطوراً مثل الاشجار المعززة (XGBoost) لتحسين دقة التنبؤات .

الكلمات المفتاحية : انترنت الاشياء ، الذكاء الإصطناعي ، صوامع الغلال ، مراقبة التخزين ،منصة ، المحاصيل الزراعية .

The Application of Internet of Things and Artificial Intelligence technologies in monitoring crop storage in Grain Silos in Gedaref State

A.Yassir Balla Abdelsalam
Dr. Haroun Abdallah Eis

Abstract

The storage of agricultural crops constitutes a fundamental component of national food security. Effective and well-managed storage enhances the sustainability of strategic reserves. However,

conventional manual monitoring methods are often inadequate and inefficient, especially in large-scale storage facilities, which increases the risk of crop degradation. In response to this challenge, the present study investigates the application of modern technologies—specifically, the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI)—to develop a smart system for monitoring crop storage in grain silos.This paper proposes the design and implementation of an integrated system that utilizes IoT-based sensors to monitor key environmental parameters such as temperature, humidity, and ventilation within silos. The data collected are transmitted in real time to a centralized database, where they are analyzed and processed using AI-driven models. A visual dashboard is developed to enable real-time interaction with the system, offering stakeholders transparent and secure access to updated storage information. The integration of IoT and AI facilitates continuous data acquisition, intelligent analysis, and predictive modeling. The system was implemented using the Wokwi simulator and the ThingsBoard platform for sensor data transmission. The study concludes with the successful development of a comprehensive application capable of ensuring effective monitoring of stored agricultural products. It enhances early warning capabilities, reduces loss rates, and improves storage management efficiency through the collection, processing, visualization, prediction, and verification of data. Moreover, the integration of edge computing technologies contributes to reduced response time and minimizes dependency on cloud infrastructure. Advanced machine learning algorithms such as XGBoost were also utilized to improve prediction accuracy and overall system performance.

Keywords : Internet of things ,Artificial intelligence , Grain silos , Storage monitoring , Agricultural crops

1. المقدمة :

تواجه الدول النامية تحديات متزايدة في ما يتعلق بتخزين المحاصيل الزراعية بعد الحصاد، حيث تؤثر العوامل البيئية مثل الرطوبة ودرجة الحرارة بشكل مباشر على جودة وسلامة هذه المحاصيل.[1] تعتبر صوامع الغلال من أكثر وسائل التخزين استخدامًا، إلا أن غياب المراقبة اللحظية يؤدي إلى خسائر كبيرة ناتجة عن التعفن أو نمو الحشرات.[2] وهي نفس المشكلة التي تواجه القطاع الزراعي في السودان ، مسألة التخزين ووفقا للجهات المختصة فإن المخازن والصوامع في السودان كثيراً ما تفتقر إلى الشروط اللازمة للحفاظ على سلامة الحبوب الغذائية ووصفوا السعة التخزينية بالضعيفة مقارنة بحجم الإنتاج بجانب عدم مطابقتها للمواصفات وإن المطامير أو

المخـازن العاديـة تعـرض المحصـول للتلـف وفقـد قيمتـه وجودتـه. (3)لذلـك توجـد صعوبـة في مراقبـة وادارة تخزيـن المحاصيـل الزراعيـة بصوامـع الغـلال لتوفير الدرجـة المناسبة مـن العوامـل البيئيـة «حـرارة ، رطوبـه ، تهويـة « بالاضافـة الى صعوبـة مكافحـة الحـشرات والكائنـات الحيـة الدقيقـة التـي تؤثـر عـلي تلـف المنتجـات الزراعيـة في الوقـت المناسـب وذلـك لعـدم وجـود نظـام دقيـق يراقـب هـذه العوامـل ونتيجـة لهـذه الاسـباب يتـم فقـدان جـزء مـن المحاصيـل الزراعيـة بسـبب التلـف الناتـج عـن صعوبـة مراقبـة العمليـة التخزينيـة وهـذا يـؤدي الي تهديـد الامـن الغـذائي للسـودان لانـه يؤثـر في المخـزون الاسـتراتيجي للدولـة وعـدم تسـويق المنتجـات بالسـعر المناسـب .

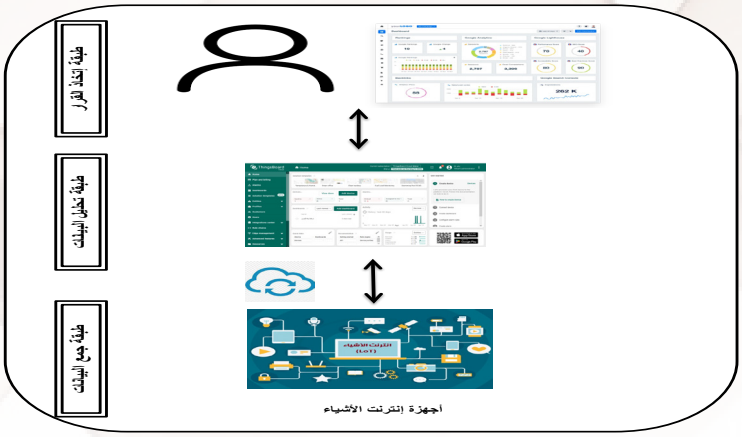
في السـنوات الأخـيرة، ظهـرت تقنيـات إنترنـت الأشـياء والـذكاء الاصطناعـي كحلـول واعـدة في مجـال الزراعـة الذكيـة، لمـا توفـره مـن قـدرات عـلى جمـع البيانـات وتحليلهـا والتـصرف بنـاءً عليهـا بشـكل آلي.(4) تسـعى هـذه الورقـة إلى دراسـة كيفيـة تطبيـق هـذه التقنيـات في مراقبـة صوامـع الغـلال بولايـة القضـارف، مـن خـلال تطويـر نظـام ذكي يجمـع بـين الاستشـعار البيئـي، تحليـل البيانـات، بهـدف تحسـين جـودة التخزيـن وتقليـل الفاقـد.

شـهدت السـنوات الأخـيرة تزايـداً في الأبحـاث التـي تسـعى إلى توظيـف تقنيـات إنترنـت الأشـياء والـذكاء الاصطناعـي في تحسـين العمليـات الزراعيـة، خصوصًـا في مجـالات الـري، الزراعـة الدقيقـة، والتخزيـن. وقـد تناولـت العديـد مـن الدراسـات إمكانيـة مراقبـة الظـروف البيئيـة داخـل مرافـق التخزين الزراعـي باسـتخدام الحساسـات الذكيـة.(5)

أشـار)Zhang et al. (2020 إلى أن أنظمـة الاستشـعار القائمـة عـلى إنترنـت الأشـياء تسـهم في تقليـل الفاقـد الناتـج عـن التخزيـن السـيئ بنسـبة تصـل إلى 25 %، مـن خـلال الرصـد اللحظـي لدرجـة الحـرارة والرطوبـة.(1) وفي دراسـة مشـابهة، اسـتخدم (Al-Gaadi et al.(2019 منصـة Arduino لربـط مجموعـة مـن الحساسـات بصوامـع تخزيـن الحبـوب، مـع اسـتخدام واجهـات رسـومية لعـرض البيانـات البيئيـة وتحليلهـا.(2) وعـلى الرغـم مـن هـذه الجهـود، إلا أن معظـم الدراسـات تركـزت في بيئـات صناعيـة متقدمـة، بينـما تفتقـر العديـد مـن الـدول الناميـة إلى حلـول ميدانيـة مبسـطة تجمـع بـين الاستشـعار الـذكي والتحليـل التنبـؤي في بيئـة منخفضـة التكلفـة. وهنـا تـأتي مسـاهمة هـذه الورقـة، حيـث تقـدم نموذجًـا تطبيقيًـا مبسـطًا باسـتخدام ESP32 وThingsBoard، لتحليـل البيانـات .

2. مواد وطرق البحث :

يحتـوي النمـوذج عـلي ثـلاث طبقـات طبقـة جمـع البيانـات و سـيتم جمـع البيانـات مـن خـلال اجهـزة استشـعار انترنـت الاشـياء وطبقـة تحليـل البيانـات مـن خـلال منصـة تحليـل بيانـات إنترنـت الأشـياء Thingsboard cloud وطبقـة إتخـاذ القـرار حيـث تمكـن مـشرفي مركـز البيانـات مـن اتخـاذ القـرار المناسـب في نفـس الزمـن مـن خـلال قـراءة المعلومـات مـن لوحـة المعلومـات .



شكل رقم (1) يوضح النموذج
المصدر : الباحث

1.2 مكونات الاجهزة الرئيسية:

1.1.2 لوحةESP32 :

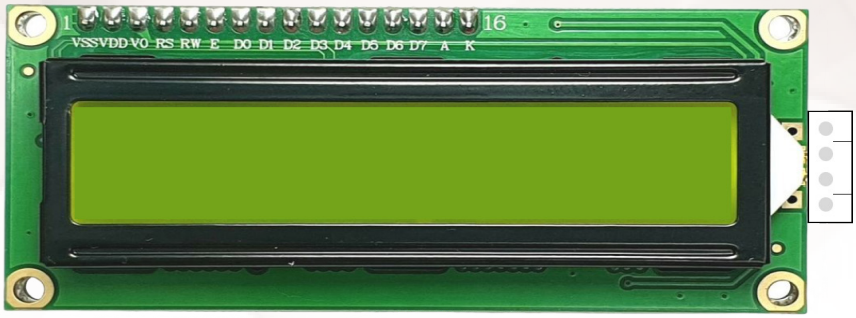
عبارة عن شريحة قابلة للتكيف بدرجة كبيرة وتوفر مجموعة واسعة من الميزات. يمكن برمجته مثل Arduino، مما يجعله خيارًا شائعًا بين الهواة والمحترفين على حدٍ سواء. إن إمكانات Wi-Fi وBluetooth المدمجة تجعله مثاليًا لتطوير مشاريع إنترنت الأشياء (IoT) بالإضافة إلى ذلك فإن استهلاكه المنخفض للطاقة يجعله مناسبًا للأجهزة التي تعمل بالبطارية. بفضل الميزات المتقدمة مثل الدبابيس الحساسة للمس ومستشعر تأثير القاعة المدمج، يفتح ESP32 عالمًا من الإمكانيات للمشاريع المبتكرة.

شكل رقم (2) يوضح لوحة ESP32

2.1.2 شاشة LCD1602 :

هي شاشة عرض ذات حجم صغير تحتوي على 16 حرفًا في كل سطر وتحتوي على إضاءة خلفية لجعل النص مرئيًا في الظلام. تتكون الشاشة من مجموعة من النقاط الدقيقة التي يمكن تحديثها بشكل فردي لعرض الأحرف والرموز المختلفة ، يتم استخدام شاشات LCD 1602 في العديد

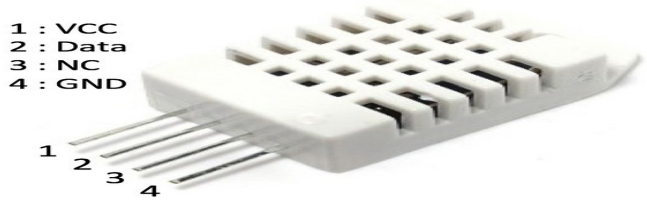
مـن التطبيقـات التـي تتطلـب عـرض النـص بشـكل واضـح، مثـل عـرض الرسـائل والإشـعارات والنتائـج في الأجهـزة الإلكترونيـة المختلفـة. يمكـن اسـتخدام هـذه الشاشـات في مشـاريع الأجهـزة الإلكترونيـة ومشـاريع الروبوتـات، وذلـك لعـرض المعلومـات المهمـة والبيانـات المختلفـة مثـل القياسـات الحساسـة وحالـة الأجهـزة المختلفـة والنتائـج المحسـوبة.



شكل رقم (3) يوضح
شاشة LCD 1602

3.1.2 مستشعر درجة الحرارة والرطوبة DHT22 :

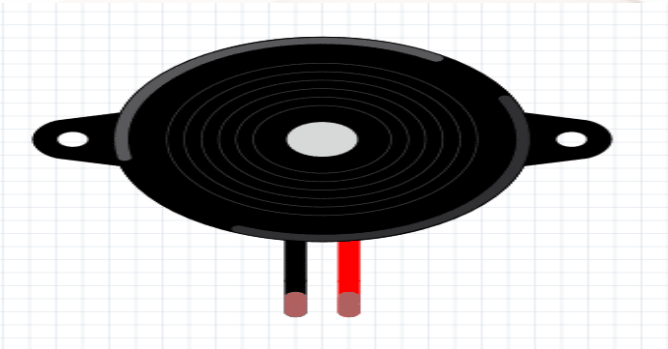
يُخـرج جهـاز DHT22 إشـارة رقميـة مُعايـرة. يسـتخدم تقنيـة فريـدة لجمـع الإشـارات الرقميـة وتقنيـة استشـعار الرطوبـة، مـما يضمـن موثوقيتـه واسـتقراره. تتصـل عنـاصر الاستشـعار بجهـاز حاسـوب أحـادي الشريحـة 8 بـت. كل مستشـعر مـن هـذا الطـراز مُعايـر حراريًـا في حجـرة معايـرة دقيقـة، ويُحفـظ مُعامـل المعايـرة في ذاكـرة OTP، وعنـد اكتشـاف المستشـعر، يُسـجل المُعامـل مـن الذاكـرة. حجمـه الصغـير واسـتهلاكه المنخفـض للطاقـة ومسـافة الإرسـال الطويلـة (20 مـترًا) تُمكّـن DHT22 مـن مُلائمتـه لجميـع ظـروف التطبيقـات القاسـية. مُغلـف بأربعـة دبابيـس في صـف واحـد، مـما يجعـل التوصيـل سـهلًا للغايـة.



شكل رقم (4) يوضح مستشعر درجة الحرارة والرطوبة DHT22

4.1.2 جرس Buzzer :

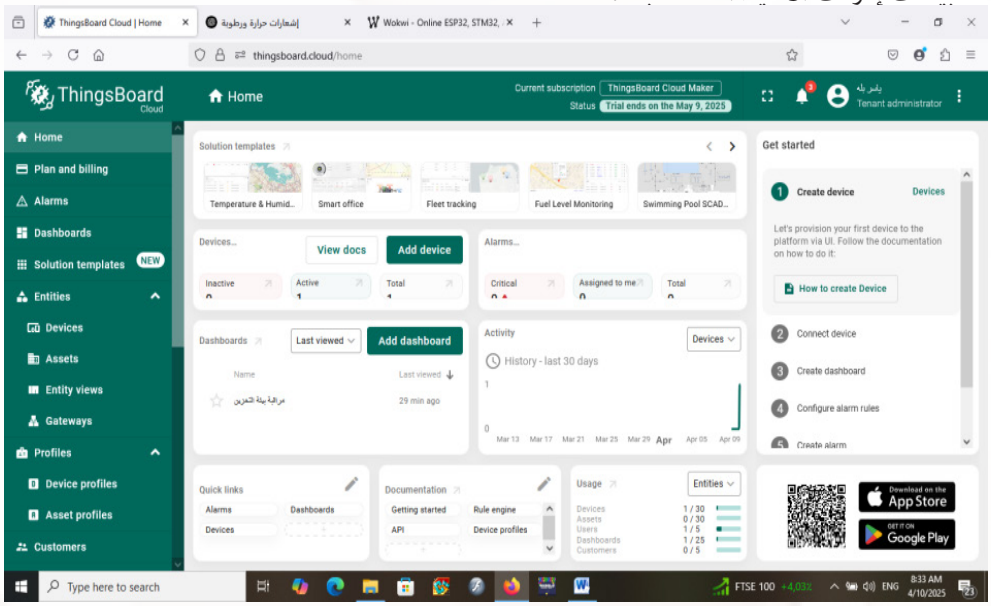
جـرس بيـزو - جـرس بيـزو هـو جهـاز إلكـتروني يُسـتخدم لإصـدار نغمـة أو إنـذار أو صـوت. يتميـز بخفـة وزنـه وبسـاطة تصميمـه، وهـو عـادةً منتـج منخفـض التكلفـة ، ومـع ذلـك، ووفقًـا لمواصفـات جـرس بيـزو السـيراميكي، فهـو موثـوق ويمكـن تصنيعـه بأحجـام متنوعـة تعمـل عـلى تـرددات مختلفـة لإنتـاج مخرجـات صوتيـة متنوعـة.



شكل رقم (5) يوضح جرس Buzzer

5.1.2 منصة تحليل بيانات انترنت الاشياء :

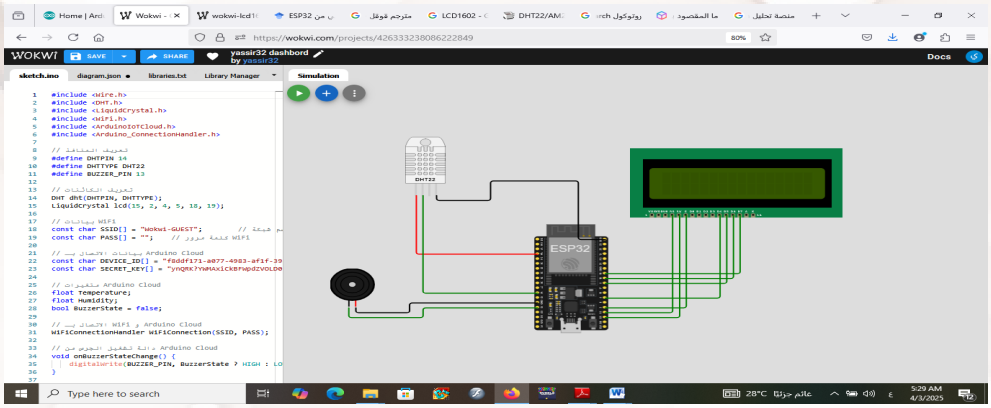
يوجد العديد من منصات تحليل بيانات انترنت الاشياء ، سنقوم في هذا البحث باستخدام منصة Thingsboard cloud وهي عبارة عن منصة مُدارة بالكامل وقابلة للتطوير ومقاومة للأخطاء لتطبيقات إنترنت الأشياء الخاصة بك.



شكل رقم (6) يوضح
الشاشة الرئيسية لمنصة ThingsBoard

6.1.2 محاكى wokwi :

هو مُحاكي أنظمة مُدمجة وإنترنت الأشياء يدعم ESP32 وArduino وRaspberry Pi Pico.
لا يُغادر الكود جهاز الكمبيوتر أبدًا - يُشغّل Wokwi المُحاكاة داخل VS Code، باستخدام ملفات البرامج الثابتة من مشروعك.



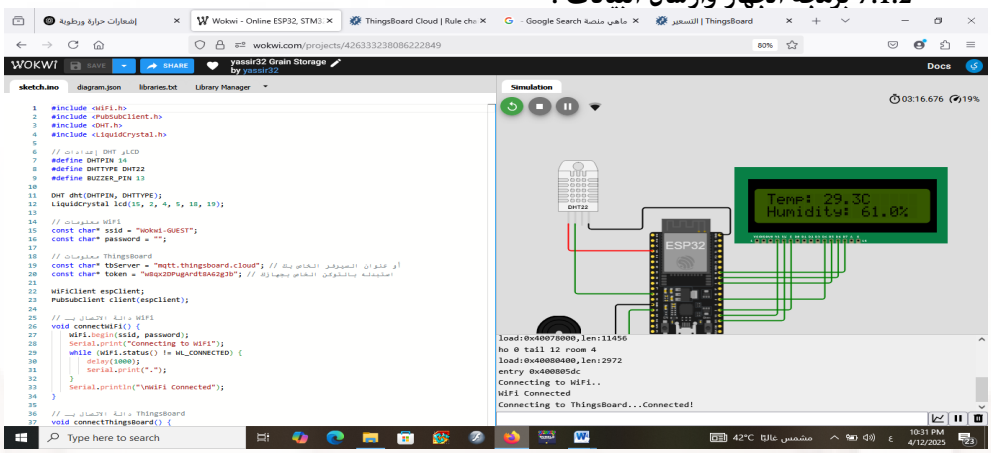
قمنا بتوصيل الاجهزة المطلوبة كما في الشكل :

شكل رقم (7) يوضح يوضح الاتصال بين مكونات الأجهزة في محاكى wokwi

الاتصال بين مكونات الأجهزة في محاكى wokwi (لوحة ESP32وحساس قياس الرطوبة والحرارة DHTT22 وشاشة LCD1602 و جرس Buzzer).

تم عمل النموذج من خلال قياس درجة الحرارة والرطوبة باستخدام مستشعر DHTT22 الذي يقوم بارسال البيانات الي شاشة LCD والجرس ومنصة تحليل انترنت الاشياء Thingsboard cloud في حالة ارتفاع او إنخفاض درجة الحرارة او الرطوبة يقوم بتنبيه مراقب الصومعة عن طريق الجرس ورسالة تحذير في الوقت الحقيقي من خلال الكود الذي قمنا بانشاءه .

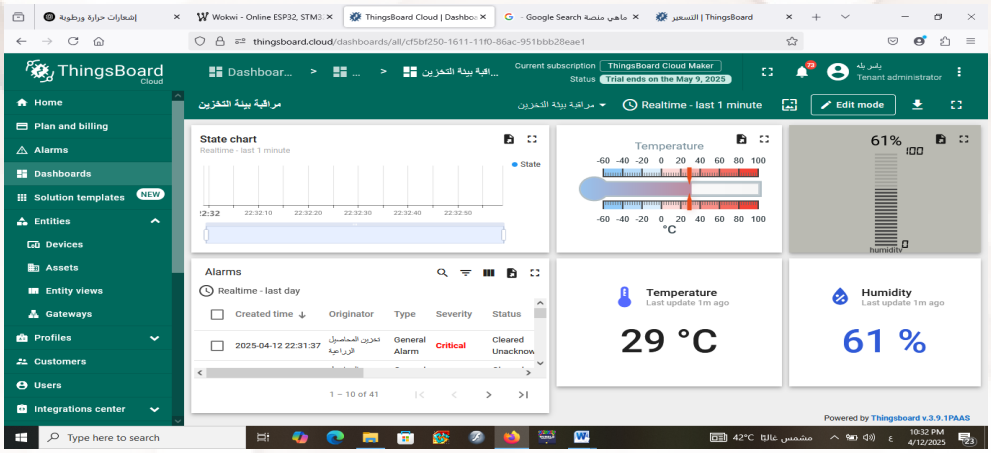
7.1.2 برمجة الجهاز وارسال البيانات :



شكل رقم (8) يوضح شاشة برمجة الجهاز وارسال البيانات

8.1.2 Dashboard (لوحة عرض):

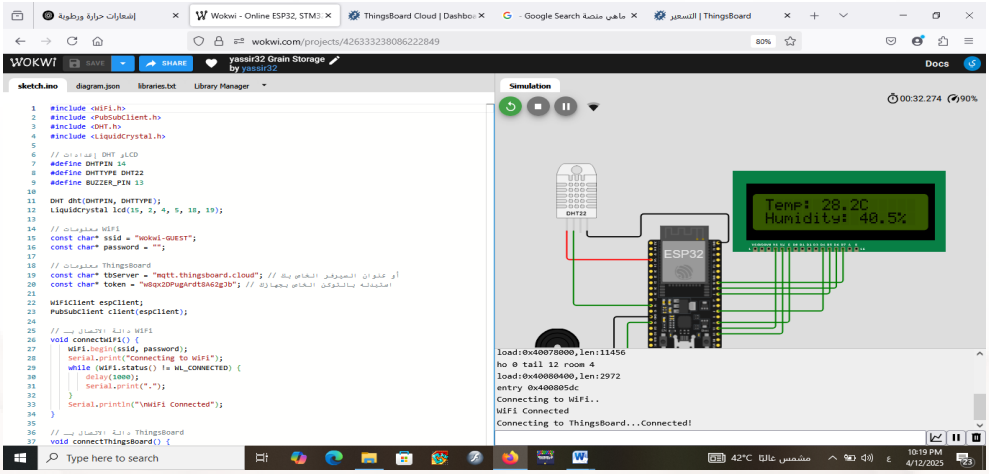
لوحة معلومات تحتوي علي 6 أدوات (اداتان لدرجة الحرارة وإثنان للرطوبة وواحد لchart وواحد للإنذارات)



شكل رقم (9) يوضح شاشة Dashboard (لوحة عرض)

3. النتائج :

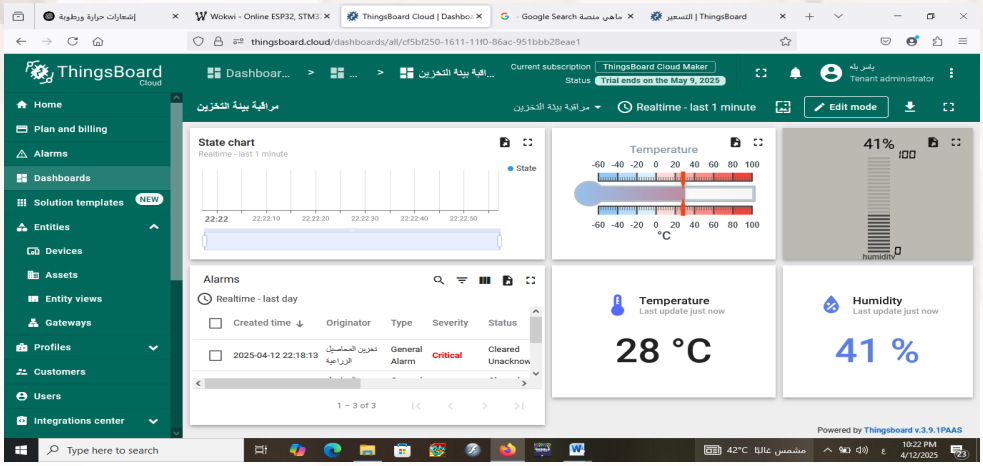
تم ببناء النموذج باستخدام محاكي wokwi عبر الانترنت لمحاكاة بئية تخزين المحاصيل الزراعية (السمسم والذرة) داخل صومعة الغلال ثم ارسال البيانات الي منصة تحليل بيانات إنترنت الأشياء Thingsboard cloud في الوقت الفعلي عن طريق برتكول MQTT من اجل مراقبة الظروف البيئية واعطاء رسائل تنبية في حالة التغيرات التي تحدث ، ادى ذلك الي منع تلف المحاصيل الزراعية والمحافظة المخزون الاستراتيجي في صوامع الغلال من خلال التنبيه في الوقت الفعلي عن اي تغيرات في درجة الحرارة او نسبة الرطوبة من خلال ارسال رسالة الي المشرف ليقوم بالتعديل المناسب .



1.3 الاتصال بين محاكي wokwi و Thingsboard cloud:

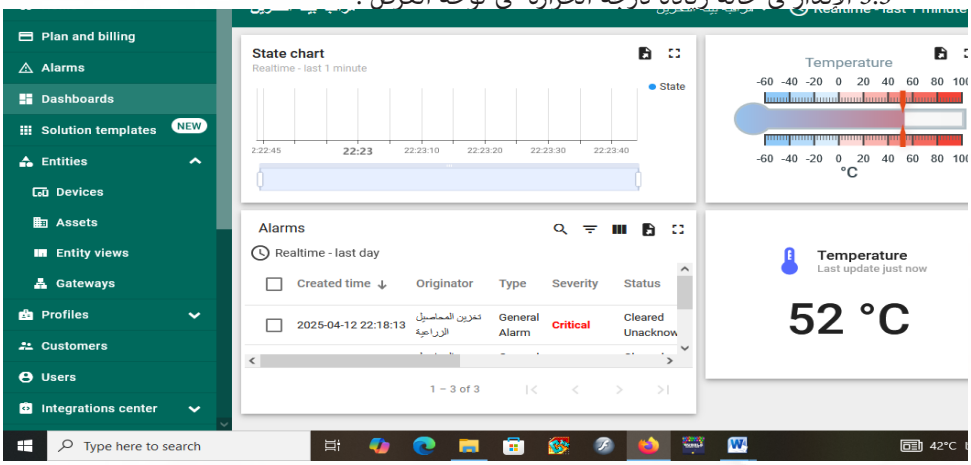
شكل رقم (10) يوضح الاتصال بين محاكي wokwi ومنصة Thingsboard cloudوارسال بيانات درجة الحرارة ونسبة الرطوبة الي منصة تحليل بيانات إنترنت الأشياء

2.3 إستقبال البيانات في منصة تحليل بيانات إنترنت الأشياء:



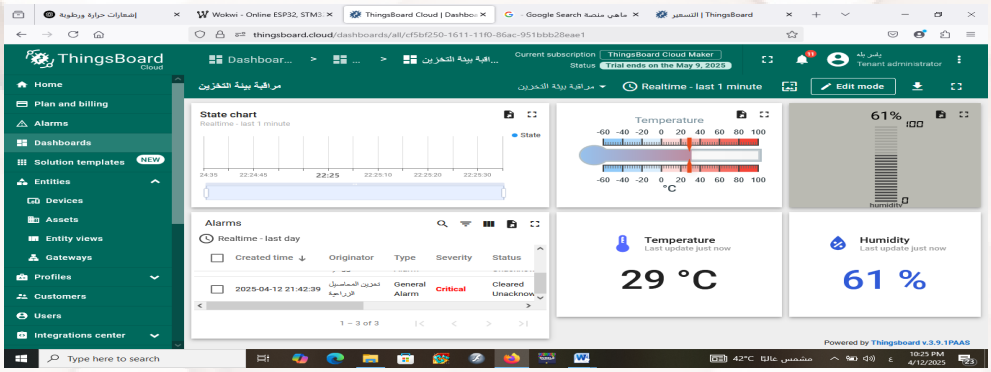
شكل رقم (11) يوضح إستقبال بيانات درجة الحرارة ونسبة الرطوبة من محاكي wokwi الي منصة تحليل بيانات إنترنت الأشياء Thingsboard cloud

3.3 الإنذار في حالة زيادة درجة الحرارة في لوحة العرض :



شكل رقم (12) يوضح ظهور رسالة إنذار عند تجاوز درجة الحرارة الحد المسموح به

4.3 الإنذار في حالة زيادة نسبة الرطوبة في لوحة العرض :



شكل رقم (13) يوضح ظهور رسالة إنذار عند تجاوز نسبة الرطوبة الحد المسموح به

4. المناقشة :

1.4 النتائج العلمية :

أظهرت النتائج العلمية وجود علاقة قوية بين الظروف البيئية داخل الصوامع مثل الرطوبة ودرجة الحرارة وحالة المحاصيل المخزنة، إذ بيّنت النماذج التحليلية أن تجاوز القيم الحرجة للرطوبة (60 %) والحرارة (30°C) يؤدي إلى ارتفاع احتمالية تلف المحصول نتيجة نمو الفطريات والبكتيريا. هذا يتوافق مع ما أوردته الأدبيات السابقة في دراسات مشابهة على تخزين القمح والذرة في بيئات شبه استوائية، مما يعزز من مصداقية النتائج.

2.4 النتائج التطبيقية :

في الجانب العملي، ساهم النظام الذكي في تحسين مراقبة الصوامع من خلال الاستجابة السريعة للمتغيرات البيئية، فعّلت الحساسات التنبيهات في أقل من 3 ثوانٍ، مما يسمح باتخاذ إجراءات فورية، كفتح فتحات التهوية أو التدخل اليدوي.

المقارنة بين الصومعة الذكية والتقليدية أظهرت انخفاضاً واضحاً في نسبة الفاقد من الحبوب، وهو ما يؤكد فعالية النظام من الناحية الاقتصادية أيضاً، حيث أن تقليل الفاقد بنسبة 50 % يمكن أن يحدث فارقاً كبيراً على مستوى الأمن الغذائي والإيرادات الزراعية.

الدمج مع منصة ThingsBoard أتاح عرض البيانات وتحليلها في الوقت الحقيقي، مما يجعل النظام أكثر تفاعلية ويزيد من قدرته على اتخاذ قرارات مبنية على بيانات دقيقة.

3.4 النتائج النوعية :

أبرزت نتائج المقابلات والاستبيانات تقبّلًا واسعًا للنظام من قبل العاملين في الصوامع، الذين عبّروا عن ارتياحهم لسهولة استخدامه وفعاليته في تقليل التلف. هذا الجانب مهم للغاية، لأنه يوضح أن التكنولوجيا المقترحة ليست فقط فعالة علميًا وتقنيًا، بل مقبولة اجتماعيًا وسهلة التطبيق.

كما أظهرت النتائج أن النظام ساعد في تحسين عمليات اتخاذ القرار داخل الصوامع، حيث أصبح بالإمكان اتخاذ قرارات مبكرة مبنية على تنبؤات دقيقة، وليس فقط استجابات بعد وقوع المشكلة.

4.4 خلاصة المناقشة :

تدل النتائج على نجاح النموذج في تحقيق الأهداف المرجوة منه، وهو ما يُعد مساهمة علمية وتطبيقية مهمة في مجال استخدام IoT وAI في الأمن الغذائي، وقد أثبت النظام أنه لا يُحسن جودة التخزين فحسب، بل يُمكّن أيضًا من استغلال البيانات الكبيرة لاتخاذ قرارات استراتيجية.

التوصيات :

لتوصيات الفنية :

- توسيع إستخدام المستشعرات الذكية: يُوصى باستخدام مجموعة متنوعة من المستشعرات مثل مستشعرات الغازات، وثاني أكسيد الكربون، والحشرات بجانب مستشعرات الحرارة والرطوبة لزيادة دقة المراقبة.
- تحسين التكامل مع تقنيات الاتصال: دمج أنظمة الاتصال الحديثة مثل LoRa أو NB-IoT لتحسين تغطية الشبكة في المناطق الريفية ذات الاتصال المحدود.
- تعزيز أمان البيانات: تطبيق تقنيات التشفير وتأمين نقل البيانات من المستشعرات إلى المنصة السحابية لحماية النظام من الاختراق أو التلاعب.
- استخدام مصادر طاقة بديلة: تزويد النظام بألواح طاقة شمسية لضمان الاستمرارية في حالة انقطاع الكهرباء بالصوامع.
- يجب تقديم برامج تأهيل وتدريب للمزارعين والمهندسين التقنيين على استخدام التقنيات الذكية في تخزين المحاصيل، وتدريب المشترين على استخدام المنصة السلعية لتداول المحاصيل الزراعية

التوصيات العلمية :

- إجراء دراسات مستقبلية باستخدام بيانات حقيقية: يُوصى بإجراء تجارب طويلة الأمد داخل صوامع حقيقية بولاية القضارف لتأكيد النتائج التجريبية والتحقق من كفاءة النموذج في بيئة إنتاجية فعلية.
- المقارنة بين خوارزميات متعددة: دراسة فعالية خوارزميات أخرى مثل Random Forest وNeural Networks وXGBoost للتنبؤ بمستوى التلف أو التغيرات البيئية.
- ربط النظام بأنظمة اتخاذ القرار الزراعي: تطوير واجهات ربط بين نظام المراقبة ونظم دعم اتخاذ القرار للمزارعين أو الجهات الحكومية لضمان استجابة مؤسسية سريعة.
- تحليل اقتصادي لتكلفة النظام مقابل العائد: يُوصى بإجراء تحليل اقتصادي مفصل لتقييم التكلفة الإجمالية للنظام مقارنة بما يوفره من تقليل الفاقد وزيادة الإنتاجية.
- دراسة الأثر البيئي والاجتماعي للنظام: تحليل الأثر البيئي لتقليل التلف وتوفير الموارد، وكذلك الأثر الاجتماعي المترتب على تحسين الأمن الغذائي وتقليل الهدر.

الخلاصة :

يؤكد البحث أن دمج تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في تخزين المحاصيل الزراعية يمكن أن يحدث تحولًا نوعيًا في إدارة الموارد الزراعية، من خلال تحسين ظروف التخزين وتقليل الفاقد وزيادة الكفاءة في سلاسل التوريد، إلا أن نجاح هذا التحول يتطلب استثمارات متقدمة في البنية التحتية والتدريب وتوفير سياسات أمنية متينة. من ثم، يُوصى بضرورة إنشاء برنامج متكامل يجمع بين الأجهزة الذكية والبرمجيات التحليلية مع إدماجها في النظام الزراعي الأوسع لتحقيق أفضل النتائج.

المصادر المراجع:

(1) Zhang, Y.,Li,X.,& Wang. H.(2020). IOT-based grain storage monitoring system . Journal of Agricultural Engineering, 56(4), 123130-

(2) Al-Gaadi, K. A., & El-Khosht, M. A. (2019). Smart grain storage management using Ardunio and IOT. International Journal of Computer Application ,178(15), 17-

(3) https://www.alrakoba.net

(4) predictiv R ,.Kumar ,S & ,.Gupta ,P .(2021) .AI techniques for4)) Singh,

(5) maintenance in agriculture storage . IEEE Transactions on Industrial

(6) Informatics6018-6010 ,(9)17 ,

(7) Wang ,L & ,.Chen ,M .(2022) .Integration of IoT and AI in agricultural supply chain(5) management .Sensors1100 ,(3)22 ,