جامعة مصراتة – كلية الهندسة

قسم الهندسة الكهربائية والالكترونية

شعبة الاتصالات

بحث بعنوان:

تصميم وتنفيذ نظام استدعاء لاسلكي

قدم هذا المشروع استيفاء لمتطلبات الحصول على الدرجة الجامعية (البكالوريوس) في هندسة الاتصالات بقسم الهندسة الكهربائية والالكترونية بكلية الهندسة بجامعة مصراته.

إعداد الطالبة:

شدا مفتاح المجعي

(2001008)

إشراف:

د. علي عمر قليوان

الفصل الدراسي: ربيع 2024 – 2025

بِسۡمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحۡمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

﴿قَالَ رَبِّ ٱشۡرَحۡ لِي صَدۡرِي ٢٥ وَيَسِّرۡ لِيٓ أَمۡرِي ٢٦ وَٱحۡلُلۡ عُقۡدَةٗ مِّن لِّسَانِي ٢٧ يَفۡقَهُواْ قَوۡلِي ٢٨﴾

سورة طه، الآيات (٢٥-٢٨)

الإهـــــــــــــداء

بسم الله الرّحمن الرّحيم

الحمد لله الذي علّم بالقلم، علّم الإنسان ما لم يعلم، ووهبنا العقل لندرك، واللّسان لنعبر، والقلب لنعِي ونشكر، فله الحمدُ أولًا وآخرًا على ما يسّر من السعي، وما وفّق من العمل، وما كتب من إنجاز.

والصلاة والسلام على معلم البشرية، ونبي الهدى والرحمة، سيدنا محمد، وعلى آله وصحبه وسلّم، الذي بيّن لنا أن طلب العلم فريضة، وأن الساعي فيه مأجور ومثاب.

أهدي هذا العمل، ثمرة الجدّ والاجتهاد، والتوكل على الله، إلى من كانا لي بعد الله سندًا وعونًا، وإلى من زرعا في نفسي القيم، ووجّها خطواتي نحو طريق الخير والنجاح: والديَّ الحبيبين، جزاهما الله عني كل خير، وجعل برّهما مفتاح سعادتي في الدنيا والآخرة.

وإلى زملائي وأصدقائي، الذين كانت صحبتهم خير معين في مواصلة الطريق، وذكرى طيبة في كل محطة من هذه الرحلة العلمية.

وإلى كل من آمن بي، ودفعني لأكمل المشوار مهما تعثرت الخطى.

أسأل الله تعالى أن يجعل هذا العمل في ميزان الحسنات، وأن يكتبه خالصًا لوجهه الكريم، إنه وليّ التوفيق والقادر عليه

الشكـــر والتقديـــر

الحمد لله الذي أنعم عليَّ بنعمه وفضله، وأحمده على توفيقه في إنجاز هذا العمل.

أتوجّه بخالص الشكر والتقدير والعرفان إلى الدكتور الفاضل **علي عمر قليوان**، المشرف على هذا البحث، لما بذله من جهدٍ وتوجيهٍ كريم، ومتابعةٍ مستمرة، ودعمٍ علمي ومعنوي كان له بالغ الأثر في إنجاز هذا العمل أسأل الله أن يجزيه عني خير الجزاء، وأن يبارك في علمه وعطائه.

كما لا يفوتني أن أُعبّر عن امتناني لجميع أساتذتي في قسم الهندسة الكهربائية بكلية الهندسة جامعة مصراتة، لما قدموه من علم، وما غرسوه فينا من قيم ومبادئ.

وأخيرًا، أخصّ بالشكر كل من قدّم لي كلمة طيبة، أو دعوة صادقة، أو دعمًا في أي مرحلة من مراحل هذا البحث.

الباحثة

فهرس المحتويات

ر. م	الموضوع	رقم الصفحة
1	الآية القرآنية	أ
2	الإهداء	ب
3	الشكر والتقدير	ج
4	فهرس المحتويات	د
5	فهرس الأشكال	ح
6	فهرس الجداول	ي
7	فهرس الاختصارات	ك
8	الملخص	ل
الفصل الأول		
1.1	المقدمة	2
2.1	مشكلة البحث	3
3.1	أهداف البحث	3
4.1	منهجية البحث	4
5.1	هيكلية البحث	5
6.1	المخطط الزمني للبحث	7
الفصل الثاني		
1.2	مقدمة	9

2.2	نظرة عامة على النظام	9
3.2	الأجهزة المستخدمة	11
1.3.2	وحدة قارئ البطاقات NFC Reader	11
2.3.2	لوحة Arduino Nano	12
3.3.2	وحدة الارسال والاستقبال اللاسلكي	13
4.3.2	لوحة Raspberry pi zero 2W	14
5.3.2	وحدة العرض	15
6.3.2	وحدة الإخراج الصوتي	15
7.3.2	وحدة التخزين	16
8.3.2	المؤشرات الضوئية LEDs	16
9.3.2	وحدة التنبيه الصوتي Buzzer	16
4.2	البرمجيات المستخدمة	16
1.4.2	بيئة تطوير Arduino IDE	17
2.4.2	لغة البرمجة Python	17
3.4.2	قاعدة البيانات SQLite	17
5.2	طرق الاتصال بين مكونات النظام	17
1.5.2	الاتصال بين وحدة القارئ NFC ولوحة Arduino Nano	18
2.5.2	الاتصال بين لوحة Arduino Nano ووحدة الاتصال اللاسلكي	18
3.5.2	الاتصال اللاسلكي بين لوحة Arduino Nano و Raspberry Pi	19
4.5.2	الاتصال بين جهاز Raspberry Pi وقاعدة البيانات المحلية	23

5.5.2	الاتصال بين جهاز Raspberry Pi وشاشة العرض	23
الفصل الثالث		
1.3	مقدمة	25
2.3	إعداد بيئة العمل وتجميع مكونات النظام	25
3.3	بنية قاعدة البيانات والتعامل معها	26
1.3.3	تصميم قاعدة البيانات	26
2.3.3	إدارة البيانات	28
4.3	هيكلية الإطار المستخدم للاتصال اللاسلكي	30
1.4.3	هيكلية الإطار الصاعد من الوحدة الخارجية إلى الوحدة الداخلية	31
2.4.3	هيكلية الإطار الهابط من الوحدة الداخلية إلى الوحدة الخارجية	32
5.3	التجميع والتركيب المادي للنظام	34
1.5.3	الوحدة الخارجية	34
2.5.3	الوحدة الداخلية	36
3.5.3	الشكل العام للنظام	38
6.3	واجهة العرض الرسومية	40
7.3	آلية عمل النظام	44
1.7.3	آلية عمل الوحدة الخارجية	44
2.7.3	آلية عمل الوحدة الداخلية	47
8.3	اختبار النظام للتحقق من الأداء	50
الفصل الرابع		

1.4	نتائج سلسلة الاختبارات	53
2.4	التحديات التقنية	64
3.4	تقييم شامل لأداء النظام	67
4.4	التكلفة الاجمالية للنظام	68
5.4	الاستنتاجات	69
6.4	التوصيات	70
	المراجع	72
	تصريح	74

فهرس الأشكال

ت	عنوان الشكل	رقم الصفحة
الفصل الثاني		
1-2	المخطط العام للنظام	10
2-2	مخطط عملية الاتصال اللاسلكي	22
الفصل الثالث		
1-3	واجهة الادخال لقاعدة البيانات	30
2-3	البنية العامة للإطار الصاعد من الوحدة الخارجية إلى الوحدة الداخلية	31
3-3	البنية العامة للإطار الهابط من الوحدة الداخلية إلى الوحدة الخارجية	33
4-3	الوحدة الخارجية	36
5-3	الوحدة الداخلية	37
6-3	الشكل العام للنظام	39
7-3	الشكل العام لواجهة العرض	43
8-3	المخطط الانسيابي لعمل الوحدة الخارجية	46
9-3	المخطط الانسيابي لعمل الوحدة الداخلية	49
الفصل الرابع		
1-4	واجهة قاعدة البيانات عند ادخال طالب عشوائي	53
2-4	ملف التسجيل الصوتي لاسم الطالب العشوائي	54
3-4	هيكلية الإطار الصاعد (Tx Frame) والإطار الهابط (Rx Frame)	55
4-4	الجزء الأيمن لشاشة العرض لحظة عرض أحد الطلبة	59

5-4	الجزء الأيسر من شاشة العرض يعرض الطلاب الذين تم استدعائهم	60
6-4	شاشة العرض بالكامل	61
7-4	المسافة المقاسة للاتصال اللاسلكي في البيئة المفتوحة	63
8-4	المسافة المقاسة للاتصال اللاسلكي في بيئة تحتوي على عوائق	64

فهرس الجداول

ت	عنوان الجدول	رقم الصفحة
	الفصل الثالث	
1-3	جدول العائلة في قاعدة البيانات	27
2-3	جدول الطلاب في قاعدة البيانات	28
3-3	التوصيلات الكهربائية لمكونات الوحدة الخارجية مع منافذ لوحة Arduino	35
4-3	التوصيلات الكهربائية لمكونات الوحدة الداخلية مع منافذ لوحة Raspberry Pi	37
	الفصل الرابع	
1-4	تكلفة الوحدات المستخدمة في النظام	68

فهرس المصطلحات

الاختصار	المصطلح
ACK	Acknowledgment
ARQ	Automatic Repeat reQuest
CRC	Cyclic Redundancy Check
GND	Ground
gTTS	Google Text-to-Speech
GUI	Graphical User Interface
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
I2C	Inter-Integrated Circuit
IoT	Internet of Things
LEDs	Light Emitting Diodes
LoRa	Long Range
microSD	Micro – Secure Digital
NFC	Near Field Communication
OSI	Open Systems Interconnection
RFID	Radio Frequency Identification
SPI	Serial Peripheral Interface
SQLite	Structured Query Language – Lite
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
UID	Unique Identifiers
Wi-Fi	Wireless Fidelity

الملخص

تواجه المدارس ذات الكثافة الطلابية العالية تحديات تنظيمية أثناء عملية انصراف الطلاب خاصةً ما يتعلق بسرعة التحقق من هوية أولياء الأمور وتقليل الازدحام عند بوابات المدرسة؛ لذلك يهدف هذا البحث إلى تصميم وتنفيذ نظام استدعاء لاسلكي ذكي يعتمد على تقنية الاتصال اللاسلكي لتنظيم عملية الانصراف بصورة أكثر كفاءةً وأمنًا.

اعتمد البحث منهجية تطويرية تضمنت تصميم بنية مادية وبرمجية متكاملة؛ حيث تم استخدام بطاقات وملصقات تعمل بتقنية Near field communication (NFC) وتحمل أرقامًا تعريفية خاصة بكل ولي أمر للتحقق من هويته. وبعد ذلك يتم الاعتماد على الاتصال اللاسلكي عبر وحدات إرسال واستقبال تعمل بتردد 433MHz من خلال تصميم بروتوكول اتصال خاص لتمكين التواصل بين طرفي النظام؛ حيث تعتمد الوحدة الخارجية للنظام على لوحة Arduino Nano كوحدة تحكم مركزية، بينما تعتمد الوحدة الداخلية على لوحة Raspberry Pi كوحدة معالجة مركزية. بالإضافة إلى ذلك تم تطوير قاعدة بيانات محلية باستخدام SQLite لتخزين بيانات الطلاب وأولياء الأمور، وتجهيز واجهة رسومية لعرض بيانات الطلاب بشكل واضح وانسيابي.

أظهرت نتائج الاختبار أن النظام المقترح حقق أداءً جيدًا في نقل البيانات عبر الاتصال اللاسلكي ضمن المسافات التي تم اختبارها؛ حيث استمر في العمل بكفاءة واستقرار حتى أقصى مسافة تم الوصول إليها أثناء التجربة. كما حافظ النظام على وضوح عرض البيانات والصور على الواجهة، إلى جانب جودة ملحوظة في الإخراج الصوتي. وتدل هذه النتائج على أن النظام يتمتع بموثوقية جيدة وقدرة مناسبة على العمل ضمن نطاقات تشغيل عملية؛ مما يجعله قابلًا للاستخدام في البيئات المدرسية، مع إمكانية تطويره مستقبلًا لزيادة مدى الاتصال وتحسين الأداء.

الفصل الأول

المقدمة

1.1 المقدمة

في عصر التكنولوجيا الحديثة، أصبحت أنظمة التّعرُف على الهوية جزءًا أساسيًا من حياتنا اليومية، حيث تلعب دورًا حيويًا في تعزيز الأمان والراحة، ومع التطور المتسارع في تقنيات الاتصالات والأنظمة الذكية، تسعى المؤسسات التعليمية إلى تبني حلول تقنية مبتكرة تُسهم في تحسين جودة خدماتها وتسهيل عملياتها اليومية. فقد أصبحت التكنولوجيا عاملًا رئيسيًا في تطوير العملية التعليمية وتحسين بيئة المدارس، مما يتيح رفع كفاءة العمليات الإدارية والتنظيمية، وتحقيق تجربة تعليمية أكثر أمانًا وفعالية للطلاب والمعلمين وأولياء الأمور.

ومن بين التحديات اليومية التي تواجهها المدارس، خاصة تلك التي تضم عددًا كبيرًا من الطلاب، هي عملية انصراف الطلاب، حيث تشهد فترة الانصراف ازدحامًا شديدًا وتأخيرًا في تسليم الطلاب إلى أولياء أمورهم، مما قد يؤدي إلى ارتباك إداري، وخلق بيئة غير منظمة. كما يواجه أولياء الأمور صعوبة في التنسيق والانتظار في طوابير طويلة، مما يستنزف وقتهم وجهدهم.

انطلاقًا من هذه الحاجة، جاء هذا البحث حيث يهدف إلى **تصميم وتنفيذ نظام الاستدعاء اللاسلكي** كمبادرة تقنية مبتكرة تهدف إلى تطوير نظام ذكي يُعتمد عليه في تنظيم عملية انصراف الطلاب باستخدام تقنية الاتصال قريب المدى NFC، ضمن منظومة اتصال لاسلكي متكاملة تربط بين وحدات النظام الداخلية والخارجية. ويعتمد النظام على تكامل مجموعة من المكونات التقنية التي تعمل بتناغم لتوفير تجربة سلسة وآمنة، تُسهم في تسريع إجراءات الانصراف، وتخفيف الازدحام، مع مراعاة سهولة الاستخدام والتفاعل بين كل من: الطلاب والمشرفين وأولياء الأمور، مما يعزز جودة الخدمات التعليمية ويواكب التطور التكنولوجي المتسارع في مجال التحول الرقمي لخدمات التعليم.

2.1 مشكلة البحث

تعد فترة انصراف الطلاب من المدرسة من الفترات التي تشهد تحديات كبيرة، خصوصًا في المدارس التي تتمتع بكثافة طلابية عالية. في هذه الفترة، يواجه النظام الإداري للمؤسسات التعليمية صعوبات كبيرة تتمثل في الازدحام عند بوابات المدرسة نتيجة تدفق أعداد كبيرة من أولياء الأمور في وقت واحد، مما يؤدي إلى التأخير في تسليم الطلاب بسبب استخدام تقنيات بدائية، مثل المناداة أو اعتماد طريقة البحث الشخصي عن الطالب من قبل ولي الأمر، وهو ما يتسبب في إهدار الوقت والجهد لكلا الطرفين. بالإضافة إلى ذلك توجد صعوبة التحقق من هوية الولي المُستلم للطالب، وعدم وجود بيانات تُستخدم لاحقًا للتعرّف على من استلم الطالب في حال حدوث أي طارئ. كما تفتقر الأنظمة التقليدية إلى آلية لربط أكثر من ولي أمر بنفس الطالب أو ربط ولي أمر واحد بعدة طلاب، مما يجعل عملية التنظيم أكثر صعوبة.

3.1 أهداف البحث

يركز هذا البحث على تطوير نظام ذكي يُعنى بتنظيم عملية انصراف الطلاب من المدارس بطريقة آلية وآمنة، وذلك من خلال تحقيق الأهداف التالية:

1. تصميم وتنفيذ نظام إلكتروني يعتمد على تقنية التعرف عبر البطاقات الذكية (NFC Tags) التي يحملها أولياء الأمور أو من خلال هواتفهم، بغرض التحقق من الهوية وتسريع عملية الاستلام.

2. تمكين النظام من عرض معلومات الطالب المستدعى على شاشة عرض داخل المؤسسة التعليمية، وتشمل البيانات الأساسية مثل الاسم الكامل، الصورة الشخصية، الفصل الدراسي، والعلاقة بولي الأمر.
3. دمج خاصية التنبيه الصوتي التلقائي بأسماء الطلاب المستدعين باللغتين العربية والإنجليزية (حسب الادراج)، بما يسهم في تعزيز وضوح عملية النداء وتسهيل تعرف الولي على الطالب.
4. توفير آلية لربط عدد من أفراد الأسرة بطالب واحد (أو أكثر من طالب)، بما في ذلك إمكانية تعريف أكثر من بطاقة NFC تابعة لنفس الطالب لضمان مرونة الاستلام. ودعم ربط عدة طلاب (مثل الإخوة أو أبناء العم) ببطاقة NFC واحدة، لتمكين الاستدعاء الجماعي في حالة حضور ولي الأمر لاستلام أكثر من طالب.
5. تقليل التكدس والازدحام عند مداخل المدارس خلال فترات الانصراف، عبر تقنيات الأتمتة التي تستغني عن أساليب المناداة التقليدية.
6. تخفيف الضغط الإداري عن مُشرفي الساحات من خلال تقليل التدخل البشري وتعزيز دقة وسرعة الإجراءات التنظيمية.
7. الالتزام بالجدوى الاقتصادية للنظام، من خلال تطوير حل منخفض التكلفة يمكن تطبيقه في المدارس ذات الإمكانيات المحدودة دون المساس بالكفاءة التشغيلية.

4.1 منهجية البحث

لتحقيق أهداف البحث، تم اتباع منهجية عملية تدريجية، وقد مر تنفيذ النظام بالمراحل التالية:

1. تحليل المتطلبات: تم دراسة التحديات المتعلقة بعملية الانصراف في المدارس، وتحديد الاحتياجات التقنية للنظام.
2. تصميم النظام: شمل تصميم الهيكل العام للنظام وتوزيع الأدوار بين المكونات المادية والبرمجية. تضمن ذلك اختيار وحدات NFC للقراءة، وتحديد بروتوكول الاتصال بين وحدة Arduino ووحدة Raspberry Pi، بالإضافة إلى إعداد قاعدة بيانات محلية لتخزين بيانات الطلاب، وتصميم واجهة عرض رسومية ديناميكية.
3. تطوير البرمجيات: تم تطوير الجزء البرمجي باستخدام لغة C++ لبرمجة Arduino المسؤول عن قراءة المعرّف وإرساله، ولغة Python لمعالجة البيانات على Raspberry Pi. وشمل ذلك أيضًا بناء الواجهة الرسومية باستخدام مكتبة Tkinter، وربطها بقاعدة البيانات.
4. الاختبار والتحسين: أُجريت اختبارات تشغيلية للتحقق من فعالية الاتصال اللاسلكي ودقة عرض البيانات، مع تعديل البرمجيات والبروتوكول بما يضمن استقرار الأداء وتفاعل المستخدم اللحظي.
5. التجربة الميدانية: تم إعداد النظام لاختباره في بيئة مدرسية فعلية، من أجل تقييم جاهزية النظام للاستخدام، وجمع الملاحظات لتحسين النسخة النهائية.

5.1 هيكلية البحث

تم تنظيم هذا البحث على شكل فصول مترابطة، يغطي كل فصل جزءًا أساسيًا من مراحل تطوير النظام، على النحو التالي:

الفصل الأول: مقدمة عامة عن البحث، تتضمن خلفية المشروع، تعريف المشكلة، الأهداف، المنهجية وهيكل البحث.

الفصل الثاني: يستعرض الإطار النظري والتقنيات المستخدمة، مثل تقنية NFC، وحدات Arduino، وRaspberry Pi، وآلية الربط والتفاعل بين المكونات.

الفصل الثالث: يوضح التصميم العملي للنظام، بما في ذلك تفاصيل التوصيل المادي للمكونات، بناء قاعدة البيانات، وتصميم الواجهة الرسومية.

الفصل الرابع: يعرض نتائج الاختبارات التي أجريت على النظام في بيئة واقعية، ويحلل أدائه من حيث السرعة، الدقة، وتجربة المستخدم. كما يتناول الخلاصة والتوصيات المستقبلية لتطوير النظام أو توسيعه.

6.1 المخطط الزمني للبحث

ت.	المهمة	الاسبوع																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	اختيار موضوع البحث																			
2	فهم متطلبات وأهداف البحث																			
3	جمع البيانات والمعلومات التقنية																			
4	تحليل النظام والتصميم الأولي له																			
5	تصميم قاعدة البيانات																			
6	تصميم بروتوكول الاتصال																			
7	البرمجة الأولية للوحة Arduino ووجهاز Raspberry Pi																			
8	دمج جميع المكونات البرمجية واختبار النظام بمجموعة من البطاقات																			
9	تجربة النظام في بيئة حقيقية وتحليل النتائج																			
10	اكتشاف أخطاء النظام وإصلاحها																			
11	كتابة البحث																			

الفصل الثاني
التصميم النظري

1.2 مقدمة

يتناول هذا الفصل المكوّنات المادية والبرمجية المعتمدة في تصميم وتنفيذ نظام الاستدعاء اللاسلكي. والذي يهدف إلى تسهيل عملية انصراف الطلاب بطريقة ذكية ومنظمة، من خلال الاستفادة من وسائل تقنية متنوعة مثل تقنية الاتصال قريب المدى NFC، والاتصال اللاسلكي، وواجهات العرض الرسومية، إضافة إلى وحدات التحكم الصغيرة مثل Arduino و Raspberry Pi.

ويتضمّن الفصل توضيحًا لكل مكوّن من مكونات النظام، موضحًا خصائصه، وأسباب اختياره، والدور الذي يلعبه في تكامل النظام ككل. كما سيتم شرح وسائل الاتصال بين هذه المكونات، بالإضافة إلى تقديم نظرة عامة حول البرمجيات المستخدمة في تطوير النظام وتشغيله.

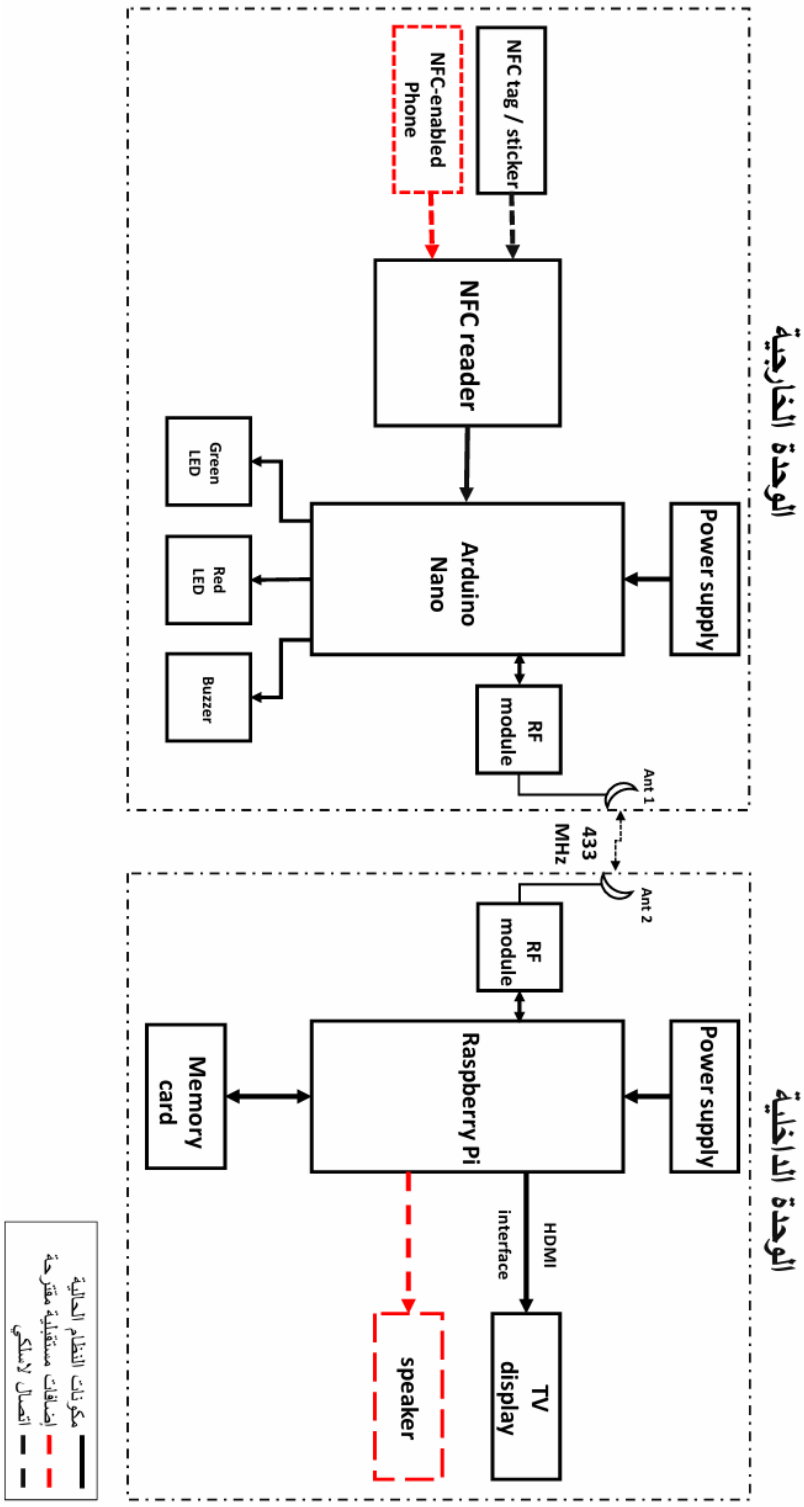
2.2 نظرة عامة على النظام

يوضح الشكل (2–1) المخطط الكتلي العام للنظام، والذي يُبيّن البنية العامة لتوزيع الوحدات المادية للنظام وتفاعلها فيما بينها حيث يتكون نظام الاستدعاء اللاسلكي من جزئين متكاملين:

I. الجزء الأول (الوحدة الخارجية) يُثبت عند مدخل المدرسة، حيث يقوم بقراءة بطاقة NFC الخاصة بولي الأمر عند وصوله، ثم يُرسل معرف البطاقة لاسلكيًا إلى الوحدة الداخلية. بعد ذلك، يبقى في وضع انتظار إلى حين استلام تأكيد Acknowledgment (ACK) من الوحدة الداخلية (الذي يشير إلى نجاح أو فشل العملية) ليقوم بعدها بتفعيل مؤشرات التنبيه المناسبة.

II. الجزء الثاني (الوحدة الداخلية) موجود داخل المدرسة أو في ساحة انتظار الطلاب، حيث يتم استقبال المعرّف والبحث عنه في قاعدة بيانات الطلاب. عند التعرف على الطالب

المرتبط بالمعرّف، يتم عرض معلوماته على الشاشة مع تشغيل إشعار صوتي يحمل بيانات الطالب، مما يُنبهه للاستعداد للانصراف. كما يتم إرسال إشعار تأكيد إلى الوحدة الخارجية لتنبيه ولي الأمر باستلام طلبه.



الشكل (2–1) المخطط العام للنظام

3.2 الأجهزة المستخدمة

يشتمل النظام على مجموعة من المكونات المادية التي تم اختيارها بدقة لضمان كفاءة العمل، سهولة الربط مع الحفاظ على تقليل التكلفة. حيث تم دمج هذه الأجهزة لتعمل معًا في بيئة متكاملة، بحيث يؤدي كل منها وظيفة محددة ضمن النظام.

الأجهزة المستخدمة في النظام هي:

1. وحدة قارئ البطاقات NFC reader
2. لوحة Arduino Nano
3. وحدة الإرسال والاستقبال اللاسلكي
4. لوحة Raspberry Pi Zero 2W
5. وحدة العرض
6. وحدة الإخراج الصوتي
7. وحدة التخزين
8. المؤشرات الضوئية Light Emitting Diodes (LEDs)
9. وحدة التنبيه الصوتي Buzzer
10. وحدة التغذية الكهربائية Power Supply

فيما يلي عرض تفصيلي لكل جهاز من الأجهزة المستخدمة. موضحًا خصائصه الفنية، ووظيفته في النظام، وأسباب اختياره.

1.3.2 وحدة قارئ البطاقات NFC Reader

تُعد وحدة قارئ البطاقات من العناصر المحورية في النظام، إذ تتولى عملية التقاط المعرفات

الفريدة Unique Identifiers (UID) الخاصة بأولياء الأمور عند تمريرهم للبطاقة على القارئ.

من بين الخيارات المتاحة في سوق القطع الإلكترونية، تندرج تقنيتان رئيستين لقراءة الهويات الرقمية، وهما تقنية Radio Frequency Identification (RFID) وتقنية NFC.

في هذا البحث، تم اختيار تقنية الاتصال قريب المدى NFC باستخدام وحدة PN532، بناءً على عدد من المواصفات التقنية التي تدعمها هذه الوحدة، حيث تعمل بتردد 13.56 MHz، وعلى خلاف وحدات قارئ RFID التقليدية فإن تقنية NFC تمنح المستخدم القدرة على استخدام الهاتف الشخصي كوسيلة تعريف دون الحاجة إلى بطاقات فيزيائية، أو باستخدام الملصقات NFC) (stickers للهواتف التي لا تدعم هذه التقنية بشكل مباشر. مما يُسهل العملية على أولياء الأمور ويقلل من الفقد المحتمل والتكاليف التشغيلية للمؤسسة التعليمية. كما تدعم هذه الوحدة عدة بروتوكولات اتصال شائعة في الأنظمة المدمجة، من بينها بروتوكول Inter-Integrated Circuit (I2C)، Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) وبروتوكول Serial Peripheral Interface (SPI)، مما يمنحها مرونة عالية في التكامل مع المتحكمات الدقيقة مثل Arduino [1].

2.3.2 لوحة Arduino Nano

تُعد لوحة Arduino Nano من أشهر اللوحات الإلكترونية المصغرة في عائلة Arduino، وهي تعتمد على المتحكم الدقيق ATmega328P. وتتميز بحجمها الصغير وبساطتها في التوصيل والبرمجة، ودعمها لبروتوكولات الاتصال المتعددة، كما أن استهلاكها للطاقة منخفض. مما يجعلها خيارًا مناسبًا لتطبيقات المشاريع المدمجة التي تتطلب توزيعًا مرنًا للمكونات داخل مساحة محدودة [2].

تم استخدام لوحة Arduino Nano في هذا المشروع لتكون الهيكل الرئيسي للوحدة الخارجية، حيث تُغذى بمصدر طاقة خارجي ثابت، وتوفر اللوحة عددًا كافيًا من المنافذ الرقمية والتماثلية، ما يسمح بربط الوحدات اللازمة لتشغيل النظام.

3.3.2 وحدة الارسال والاستقبال اللاسلكي

تُعد وحدات الاتصال اللاسلكي من المكونات الأساسية في الأنظمة الذكية الحديثة، إذ تتيح التواصل بين الوحدات المختلفة دون الحاجة إلى توصيلات سلكية، مما يمنح الأنظمة مرونة في التصميم وسهولة في التركيب والتوسعة. وتعتمد فكرة الاتصال اللاسلكي على مبدأ إرسال الإشارات عبر الهواء على هيئة موجات كهرومغناطيسية، تحمل البيانات من طرف إلى آخر دون وجود رابط مادي. وتبدأ هذه العملية بتحويل الإشارات الرقمية أو التناظرية إلى إشارات كهرومغناطيسية يتم بثّها باستخدام هوائي مرسل، ثم تُلتقط من خلال هوائي مستقبل وتُعاد معالجتها لتعود إلى صيغتها الأصلية داخل النظام. يعتمد نجاح هذه العملية على عدة عوامل من بينها تردد الإشارة، قوة الإرسال، نوع الهوائي، ووجود أو غياب العوائق المادية [3].

الأنظمة اللاسلكية تستند إلى بروتوكولات اتصال معيارية مثل Wireless Fidelity (Wi-Fi) وبروتوكول Long Range (LoRa)، والتي تختلف في خصائصها من حيث مدى التغطية، سرعة نقل البيانات، واستهلاك الطاقة. فعلى سبيل المثال، توفر شبكات Wi-Fi سرعات عالية ولكن بمدى محدود وتداخل محتمل في البيئات المزدحمة، بينما توفر LoRa مدى أطول مع سرعة أقل، وتُستخدم غالبًا في تطبيقات إنترنت الأشياء Internet of Things (IoT) ذات المتطلبات المنخفضة من حيث البيانات. ويُعد اختيار البروتوكول المناسب مسألة موازنة بين عدة اعتبارات تشمل بيئة الاستخدام، طبيعة البيانات المنقولة، وعدد الأجهزة المتصلة [3].

تستخدم وحدات الاتصال اللاسلكي لربط الوحدة الخارجية للنظام بالوحدة الداخلية، من خلال نقل البيانات لاسلكيًا بين الطرفين، ضمن المسافة المناسبة لتوزيع مكونات النظام داخل المدرسة.

تم اختيار وحدات تعمل بتردد 433 MHZ بدلًا من تردد 2.4 GHz المستخدم في شبكات Wi-Fi، نظرًا لما يتمتع به من خصائص تتناسب مع طبيعة البحث. حيث يُوفر هذا التردد مدى أوسع داخل البيئات المغلقة، وقدرة أفضل على اختراق العوائق مثل الجدران والمركبات، مع تقليل احتمالية التداخل، مما يمنح إشارات أكثر استقرارًا وموثوقية. كما أن وحداته تستهلك طاقة أقل، ورغم أن عرض النطاق أقل من تردد 2.4 GHz، إلا أنه كافٍ لنقل البيانات القصيرة مثل المعرفات الرقمية وإشارات الاستعلام. بالإضافة إلى أن التردد 433 MHz المُستخدم يقع ضمن نطاق مجاني لا يحتاج إلى ترخيص في أغلب الدول [4].

في هذا النظام، تم استخدام وحدات HC-12 SI4463 التي تدعم الاتصال التسلسلي UART، ما يجعلها مناسبة للبرمجة والتكامل مع لوحة Arduino ولوحة Raspberry Pi. كما تدعم هذه الوحدات الاتصال ثنائي الاتجاه ولكن بطريقة نصف اتجاهية (Half-Duplex)، أي أنها تستطيع الإرسال والاستقبال، ولكن ليس في الوقت نفسه، بل بالتناوب. وتتميّز هذه الوحدات بقدرتها على تحقيق مدى اتصال يصل إلى 1000 متر نظريًا في الفراغ الحر، مما يجعلها مناسبة تمامًا لتغطية المسافات المطلوبة داخل محيط المدرسة دون الحاجة إلى تمديدات سلكية [5].

4.3.2 لوحة Raspberry pi zero 2W

تُعد لوحة Raspberry Pi واحدة من أكثر الحواسيب المصغّرة شيوعًا في تطبيقات الأنظمة المدمجة الذكية وإنترنت الأشياء، نظرًا لما تتميز به من قدرات معالجة عالية، وتوفير منافذ اتصال متنوعة، أهمها دعمها لمنفذ High-Definition Multimedia Interface (HDMI) أو micro HDMI، الذي يُتيح لنا في هذا البحث توصيل شاشة عرض خارجية بشكل مباشر. كما

تدعم الوسائط المتعددة بكل سلاسة دون الحاجة إلى وحدات إضافية للمعالجة. وتدعم هذه الوحدة أنظمة تشغيل متقدمة مثل Raspberry Pi OS المعتمد على بيئة Linux، مما يمنح المستخدم مرونة برمجية واسعة [6].

وفي إطار هذا البحث، تم الاعتماد على Raspberry Pi Zero 2W كوحدة معالجة رئيسية في الوحدة الداخلية، حيث تستقبل البيانات المُرسلة من الوحدة الخارجية، وتقوم بمعالجتها، واسترجاع البيانات ذات العلاقة من قاعدة البيانات المحلية، نظرًا لما توفره من إمكانيات متقدمة تتناسب مع متطلبات عرض البيانات ومعالجتها وتشغيل الوسائط المتعددة بكفاءة عالية.

5.3.2 وحدة العرض

تُعد وحدة العرض عنصرًا محوريًا في النظام، حيث تم استخدام شاشة تدعم منفذ HDMI لعرض معلومات الطالب فور التحقق من هوية ولي الأمر. وذلك من خلال واجهة رسومية ديناميكية مصمّمة لتكون واضحة وسهلة القراءة. ويُسهم هذا العنصر في تعزيز فعالية النظام من خلال تقديم معلومات واضحة وسريعة لكادر الإشراف والطلبة.

6.3.2 وحدة الإخراج الصوتي

تُستخدم وحدة الإخراج الصوتي في النظام للنداء باسم الطالب وعلاقته بولي أمره، وبالنظر إلى عدم توفر منفذ مستقل في وحدة Raspberry Pi المستخدمة (لتوفير التكلفة)، فقد تم الاعتماد على منفذ HDMI المدمج في الشاشة لتمرير الإشارة الصوتية. يساهم هذا الإجراء في تعزيز تجربة الاستخدام من خلال توفير تنبيه صوتي واضح يساعد على جذب انتباه الطالب بالإضافة إلى عرض صورته على شاشة العرض.

7.3.2 وحدة التخزين

تُستخدم بطاقة micro Secure Digital (microSD) كوحدة تخزين أساسية في نظام Raspberry Pi، حيث يتم تثبيت نظام التشغيل عليها، بالإضافة إلى تخزين ملفات النظام وقاعدة البيانات Structured Query Language–Lite (SQLite) الخاصة بالطلاب. تتميز هذه البطاقة بصغر حجمها، وسعتها التخزينية، وسرعتها في القراءة والكتابة، مما يجعلها مثالية للتطبيقات المضمنة [6].

8.3.2 المؤشرات الضوئية LEDs

تُستخدم مؤشرات LEDs في هذا النظام كوسيلة تنبيه بصري فوري، وتُوصّل مباشرة بلوحة التحكم Arduino. فتُساهم هذه الآلية في تقديم تغذية راجعة مباشرة وسهلة الفهم للوحدة الخارجية، مما يُمكّن ولي الأمر من معرفة نتيجة العملية في الوقت الفعلي دون الحاجة إلى وسيط إضافي.

9.3.2 وحدة التنبيه الصوتي Buzzer

تُستخدم وحدة التنبيه الصوتي لإصدار إشارات صوتية قصيرة بعد انتهاء عملية التحقق، بهدف توفير تغذية راجعة سمعية فورية للوحدة الخارجية. وتُعد هذه الآلية وسيلة فعالة لدعم التفاعل اللحظي، خاصةً في البيئات المفتوحة أو ذات الإضاءة العالية، حيث قد تصبح الإشعارات المرئية غير كافية لنقل المعلومة بوضوح.

4.2 البرمجيات المستخدمة

يشتمل النظام على مجموعة من البرمجيات التي تحقق دورًا في التناسق والتفاهم في أداء الوحدات والأجهزة المستخدمة، والتي سيتم التطرق اليها بمفهوم مبسط.

1.4.2 بيئة تطوير Arduino IDE

تُعد Arduino IDE البيئة البرمجية التي تم استخدامها لبرمجة لوحة Arduino Nano في الوحدة الخارجية. وتمتاز هذه البيئة بسهولة الاستخدام، ودعمها لعدد كبير من المكتبات الجاهزة، مما يُسهل عملية تطوير مشاريع الأنظمة المدمجة. في هذا البحث، تم استخدام مكتبات برمجية متخصصة ضمن البيئة.

2.4.2 لغة البرمجة Python

تم استخدام لغة Python في برمجة وحدة Raspberry Pi، وكذلك في برمجة قاعدة البيانات واعدادها نظرًا لبساطتها ودعمها الواسع للمكتبات المناسبة للأنظمة المدمجة. وقد تم تطوير برنامج باستخدام Python يتولى مهام استقبال معرف NFC، التحقق منه في قاعدة البيانات، عرض بيانات الطالب، وندائه صوتيًا.

3.4.2 قاعدة البيانات SQLite

تم استخدام قاعدة البيانات SQLite لتخزين البيانات محليًا داخل Raspberry Pi، نظرًا لكونه خفيف الحجم ومُدمجًا مع Python. وقد تم بناء قاعدة البيانات لتضم: جداول العائلات، الطلاب، والعلاقات بينهم، مما مكّن النظام من تنفيذ عمليات التحقق والاستدعاء دون الحاجة إلى اتصال خارجي.

5.2 طرق الاتصال بين مكونات النظام

يلعب الاتصال بين المكوّنات المادية والبرمجية في النظام دورًا رئيسيًا في تحقيق الانسيابية

والفعالية أثناء عملية الاستدعاء، حيث تم توظيف مجموعة من وسائل الاتصال المختلفة لضمان تدفق البيانات بشكل آمن وسلس بين الوحدات، وفيما يلي شرح تفصيلي لطرق الاتصال المستخدمة:

1.5.2 الاتصال بين وحدة القارئ NFC ولوحة Arduino Nano

يقوم قارئ NFC من نوع PN532 بالتقاط المعرف الفريد من البطاقة أو الهاتف بمجرد تمريره أمامه، ثم يُرسل هذا المعرف إلى لوحة Arduino Nano سلكيًا باستخدام بروتوكول I2C ليتم معالجته ضمن سلسلة التفاعل الكاملة.

يتم ذلك من خلال توليد مجال كهرومغناطيسي منخفض التردد (13.56 MHz) بواسطة وحدة PN532، والذي يُستخدم للكشف عن وجود بطاقة أو جهاز داعم لتقنية NFC ضمن نطاق قريب جدًا (أقل من 5 سنتيمترات). عند دخول البطاقة أو الهاتف إلى هذا النطاق، يتم إنشاء وصلة تواصل لاسلكي آني بين القارئ والبطاقة، يتم من خلاله قراءة UID لولي الأمر، ويتم إرساله مباشرةً إلى لوحة Arduino لمواصلة تنفيذ تسلسل النظام.

2.5.2 الاتصال بين لوحة Arduino Nano ووحدة الاتصال اللاسلكي

يتم الربط بين لوحة Arduino Nano ووحدة الإرسال اللاسلكي HC-12 باستخدام واجهة تسلسلية تعتمد على بروتوكول UART، الذي يُعد من أبسط وأكثر بروتوكولات الاتصال شيوعًا بين المتحكمات والوحدات الطرفية.

عند قراءة معرّف NFC وتكوين الإطار، تُرسل البيانات مباشرة من لوحة Arduino إلى وحدة HC-12، التي تقوم بدورها بتحويل هذه البيانات إلى إشارات راديوية بتردد 433 MHz دون الحاجة إلى أي معالجة إضافية. وتُعرف هذه الآلية باسم النقل الشفاف (Transparent Transmission)، حيث تمر البيانات كما هي دون تعديل على محتواها [5].

توفر هذه الطريقة وسيلة اتصال فعّالة من حيث البساطة والموثوقية، إذ تتيح نقل البيانات بتسلسل زمني دقيق وباستخدام قناة اتصال موحدة لإرسال الطلبات واستقبال الردود.

3.5.2 الاتصال اللاسلكي بين لوحة Arduino Nano وجهاز Raspberry Pi

يُعد الاتصال اللاسلكي أحد المكونات المحورية في عمل النظام، حيث يوفّر وسيلة فعالة لنقل البيانات بين الوحدات الطرفية دون الحاجة إلى الربط السلكي المباشر. في النظام الحالي، يتم تنفيذ الاتصال بين الوحدة الخارجية والوحدة الداخلية عبر قناة راديوية بتردد 433 MHz، وهو تردد مستخدم على نطاق واسع في تطبيقات الاتصال ذات المدى القصير والمتوسط، نظرًا لقدراته الجيدة على الانتشار واختراق العوائق الجزئية.

تعتمد عملية التراسل اللاسلكي على بُنية بيانات موحّدة تُعرف بإطار الاتصال (Communication Frame)، حيث يتم تنسيق البيانات ضمن هيكل محدد يتكوّن من مجموعة من الحقول المتسلسلة. تستند هذه البُنية إلى مبادئ تصميم بروتوكولات طبقة الربط (Data Link Layer)، وهي الطبقة الثانية في النموذج المرجعي (Open Systems Interconnection (OSI، والمسؤولة عن تنظيم البيانات في شكل إطارات قابلة للإرسال، وضمان تسليمها بشكل سليم عبر الوسط الفيزيائي. وتشمل هذه المبادئ استخدام حقول واضحة لتحديد بداية ونهاية الإطار، وتضمين معلومات تصف نوع الرسالة، بالإضافة إلى تطبيق خوارزميات تحقُق مثل Checksum أو Cyclic Redundancy Check (CRC) للكشف عن الأخطاء أثناء النقل [7].

تم تصميم حقول الإطارات لضمان أن كل رسالة يتم إرسالها عبر القناة اللاسلكية تكون قابلة للتفسير من الطّرف المُستقبل، مع إمكانية التحقق من صحتها واستبعاد الرسائل التالفة أو غير المكتملة. وتُعتبر هذه البنية عنصرًا أساسيًا في موثوقية النظام واستقراره، خاصة في بيئات تحتوي على مصادر تداخل أو تشويش [8].

حيث يتم إرسال هذه الإطارات عبر قناة اتصال تُصنّف ضمن القنوات ذات النطاق الضيق (Narrowband Channels)، والتي تتميز باستخدام نطاق ترددي محدود، ما يمنحها خصائص تقنية مهمة، منها الكفاءة العالية في استخدام التردد، والقدرة على مقاومة التداخل الكهرومغناطيسي، والاستقرار في الأداء ضمن بيئات تحتوي على عوائق أو مصادر تشويش. وتُعد هذه الخصائص ملائمة لتطبيقات تتطلب إرسال بيانات صغيرة الحجم بمستوى عالٍ من الموثوقية [9].

كما يتميز هذا النوع من الاتصال بزمن استجابة منخفض، مما يجعله مناسبًا للاستخدام في الأنظمة التي تتطلب سرعة في التفاعل ونقل البيانات في الوقت الحقيقي. ويُتيح اعتماد هذا النمط من الاتصال تحقيق درجة عالية من المرونة التشغيلية، حيث يمكن توزيع الوحدات الطرفية في مواقع مختلفة دون الحاجة إلى بنية تحتية معقّدة أو تمديدات سلكية، مما يسهل عملية التركيب ويقلل من تكاليف الصيانة والتوسعة المستقبلية.

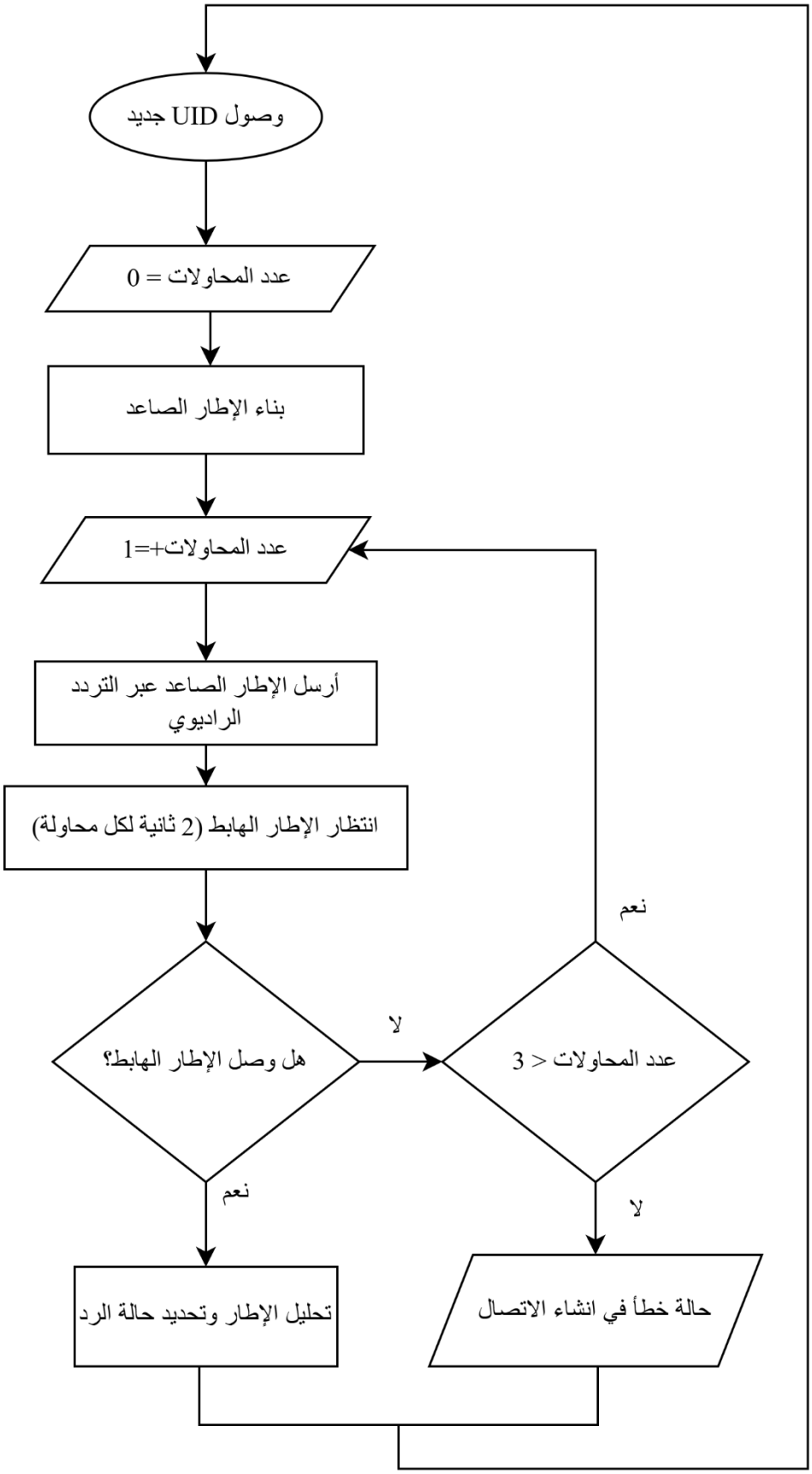
ورغم ما يوفره الاتصال اللاسلكي من مزايا في المرونة وسهولة النشر، إلا أن البيئة الفعلية التي يعمل ضمنها النظام قد لا تكون دائمًا مثالية، بل قد تواجه حالات من فقدان الإشارة الناتج عن العوائق الفيزيائية، أو تداخلات كهرومغناطيسية ناتجة عن أجهزة مجاورة تعمل في نفس النطاق الترددي. وقد تظهر كذلك حالات من التأخير الزمني غير المتوقع (Latency)، مما يؤثر سلبًا على انسيابية التراسل. وفي ظل اعتماد النظام على أسلوب النقل الشفاف (Transparent Transmission) الذي لا يتضمّن آليات تصحيح تلقائي للأخطاء، ظهرت الحاجة إلى وسيلة إضافية تضمن سلامة تبادل البيانات وتحقيق درجة معقولة من الموثوقية [10].

انطلاقًا من هذه التحديات المحتملة، تم اعتماد مبدأ إعادة الإرسال التلقائي، وهي آلية يُشار إليها اختصارًا Automatic Repeat Request (ARQ)، وتُعد من أبسط وأكثر الأساليب فعالية في تعزيز موثوقية الاتصال اللاسلكي. تقوم هذه الآلية على فكرة أساسية بسيطة، هي أن المرسل لا

يكتفي بإرسال البيانات مرة واحدة، بل يظل في حالة ترقّب لاستلام رد صريح من المستقبل يؤكد وصول البيانات بشكل سليم. في حالة عدم استلام أي رد خلال فترة زمنية محددة، يُعاد إرسال نفس البيانات تلقائيًا [3].

إن اعتماد هذا الأسلوب لا يضيف عبئًا برمجيًا كبيرًا، ولكنه يساهم بشكل مباشر في تحسين موثوقية النظام دون الحاجة إلى تطبيق بروتوكولات تصحيح متقدمة أو اللجوء إلى موارد معالجة معقدة. كما أنه يتماشى مع طبيعة النظام المصمم لنقل حزم بيانات قصيرة نسبيًا، مما يجعل آلية ARQ خيارًا متزنًا بين البساطة والكفاءة.

ويُبيّن الشكل (2–2) مخطط عملية الاتصال اللاسلكي للنظام، بدءًا من تكوين البيانات وإرسالها، مرورًا بعملية إعادة الإرسال، وانتهاءً باتخاذ الإجراء المناسب بناءً على نوع الرد المستلم أو في حال غيابه.



الشكل (2-2) مخطط عملية الاتصال اللاسلكي

4.5.2 الاتصال بين جهاز Raspberry Pi وقاعدة البيانات المحلية

يعتمد النظام على قاعدة بيانات محلية من نوع SQLite مخزّنة داخل ذاكرة لوحة Raspberry Pi، تحتوي على معلومات العائلات مثل معرف العائلة والمعرفات الفريدة لأولياء الأمور، ومعلومات الطلاب مثل الاسم، الفصل الدراسي، اللغة، العلاقة بولي الأمر، بالإضافة إلى مسار الصورة والتسجيل الصوتي. يتولى برنامج مكتوب بلغة Python تنفيذ عمليات البحث والتحقق الفوري من المعرفات الواردة ومطابقتها مع البيانات المسجلة، مما يتيح اتخاذ القرار المناسب بسرعة مع الحفاظ على كفاءة النظام واستقلاليته عن الإنترنت.

5.5.2 الاتصال بين جهاز Raspberry Pi وشاشة العرض

يرتبط جهاز Raspberry Pi بشاشة عرض خارجية من خلال منفذ HDMI، حيث تُعرض عبرها الواجهة الرسومية المصممة باستخدام مكتبة Tkinter ضمن برنامج Python. ويقوم النظام بعرض معلومات الطالب بشكل لحظي بعد التحقق من المعرف.

وفيما يخص الإخراج الصوتي، يتم تشغيل الملف الصوتي المرتبط باسم الطالب مباشرة عبر مكبر الصوت المضمّن في شاشة العرض، دون الحاجة إلى أي منافذ صوتية إضافية.

الفصل الثالث

التنفيذ العملي للنظام

1.3 مقدمة

يهدف هذا الفصل إلى استعراض الجوانب التطبيقية لعملية تنفيذ النظام، بدءًا من تهيئة بيئة العمل وتجميع المكونات المادية، وصولًا إلى تطوير البرمجيات واختبار النظام ميدانيًا. ويتميّز النظام بكونه ثنائي اللغة، حيث يدعم اللغتين العربية والإنجليزية في العرض الصوتي والمرئي، مما يوسّع من نطاق استخدامه ويزيد من فعاليته. يركّز الفصل على توثيق خطوات التنفيذ العملي، مع تحليل التحديات التقنية التي ظهرت أثناء التطبيق، وبيان الحلول التي تم تبنيها لضمان تحقيق الأهداف المطلوبة للنظام.

2.3 إعداد بيئة العمل وتجميع مكونات النظام

قبل البدء في تنفيذ النظام ميدانيًا، تم جرد وتجميع المكونات الأساسية للنظام في وحدتيه الخارجية والداخلية، والتي شملت:

- لوحة Arduino Nano مع كابل برمجة USB.
- وحدة قارئ NFC من نوع PN532.
- وحدتي إرسال واستقبال لاسلكي HC-12 SI4463.
- جهاز Raspberry Pi Zero 2W مع بطاقة microSD محمّلة بنظام التشغيل.
- شاشة عرض مع كابل HDMI – micro HDMI.
- LEDs.
- Buzzer.
- لوحة breadboard، مقاومات، أسلاك توصيل، ومصدر تغذية كهربائية خارجي مستقر.

تم تنظيم المكونات وترتيبها بطريقة منهجية مع فصل واضح بين أجزاء النظام الخارجي والداخلي، مما سهل عمليات التوصيل والاختبار في مراحل التنفيذ التالية. كما جرى التحقق من سلامة كل مكوّن على حدة لضمان جاهزيته للعمل ضمن النظام بكفاءة عالية.

3.3 بنية قاعدة البيانات والتعامل معها

في هذا القسم، تم توضيح هيكل قاعدة البيانات التي يعتمد عليها النظام الداخلي لتخزين بيانات الطلاب وأولياء الأمور. وقد تم اختيار قاعدة البيانات SQLite لعدة أسباب، منها سهولة الاستخدام، الأداء العالي في الأنظمة المدمجة، وعدم الحاجة إلى خادم خارجي.

1.3.3 تصميم قاعدة البيانات

تتكوّن قاعدة البيانات من جدولين رئيسيين مترابطين:

- **جدول العائلات Families:**

يحتوي على بيانات كل عائلة والمعرفات المرتبطة بأولياء الأمور، ويسمح الجدول بتسجيل 3 أولياء أمور مختلفين كحد أقصى، لكل منهم معرف NFC خاص به وعلاقته بالطالب (مثل: أب، أم، أخ، عم... إلخ) وذلك كما هو موضح بالجدول (3-1).

جدول (3–1) جدول العائلة في قاعدة البيانات

اسم العمود	نوع البيانات	الوظيفة
family_id	TEXT	معرّف فريد للعائلة (أساسي)
guardian1_nfc	TEXT	معرّف بطاقة ولي الأمر الأول
guardian1_relation	TEXT	العلاقة بولي الأمر الأول
guardian2_nfc	TEXT	معرّف بطاقة ولي الأمر الثاني
guardian2_relation	TEXT	العلاقة بولي الأمر الثاني
guardian3_nfc	TEXT	معرّف بطاقة ولي الأمر الثالث
guardian3_relation	TEXT	العلاقة بولي الأمر الثالث

❖ **جدول الطلاب Students:**

يحتوي هذا الجدول على البيانات الأساسية لكل طالب، ويرتبط مباشرة بجدول العائلات عبر المفتاح الخارجي family_id. كما يبين الجدول (3–2) مجموعة الخانات التي يتم فيها تسجيل اسم الطالب، مرحلته الدراسية، ومسارات الملفات الصوتية والصورة الخاصة به، بالإضافة إلى تحديد اللغة التي يعتمدها النظام عند عرض البيانات الصوتية والبصرية (عربية أو إنجليزية). قد تم تصميم هذا النظام لكي يتعامل مع (يدعم) لغات متعددة في نفس البيئة، حيث يمكن أن يتم استدعاء طالب باللغة العربية أو باللغة الانجليزية حسب الحاجة، وذلك ضمن خانة اللغة language، مما يعكس الطبيعة ثنائية اللغة للنظام. تُضاف أيضًا خانة guardian_relation لتحديد علاقة ولي الأمر الذي قام بالاستدعاء (عند الاستخدام اللحظي في النظام).

جدول (3–2) جدول الطلاب في قاعدة البيانات

اسم العمود	نوع البيانات	الوظيفة
student_id	INTEGER	رقم تعريفي فريد لكل طالب (مفتاح أساسي)
student_name	TEXT	الاسم الكامل للطالب
class	TEXT	الصف الدراسي
image_path	TEXT	مسار صورة الطالب داخل النظام
sound_path	TEXT	مسار الملف الصوتي لاسم الطالب
language	TEXT	(Arabic / English) تُستخدم لاختيار لغة العرض
family_id	TEXT	معرف العائلة المرتبط بالطالب مفتاح خارجي من جدول (families)
guardian_relation	TEXT	العلاقة بولي الأمر الذي قام بعملية الاستدعاء (يُحدد لحظيًا)

2.3.3 إدارة البيانات

مرت آلية إدارة البيانات في النظام بعدة مراحل تطوير تدريجية، تم خلالها الانتقال من الأسلوب اليدوي إلى واجهة إدخال ذكية أكثر تكاملًا، بما يتماشى مع متطلبات النظام وهدفه العملي.

في المرحلة الأولى، تم إنشاء برنامج أولي بلغة Python باستخدام مكتبة sqlite3 لإنشاء قاعدة بيانات محلية تحتوي على الجداول الأساسية مثل جدول الطلاب والعائلات. بعد تنفيذ البرنامج، تم إدراج البيانات والتعديل عليها مبدئيًا باستخدام برنامج DB Browser for SQLite، ما سهّل عمليات الفحص اليدوي والتحقق من صحة هيكلية الجداول.

لاحقًا، ومع تطوير الفكرة لتصبح أكثر مرونة عند الحاجة إلى إدخال عدد كبير من البيانات، تم تطوير واجهة رسومية باستخدام مكتبة Tkinter، تسمح بإدخال اسم الطالب، الفصل الدراسي، اللغة، والمعرف العائلي، مع مراعاة أن تحديد اللغة يؤثر على نوع الصوت الناتج وطريقة عرضه في الواجهة. بالإضافة إلى إمكانية اختيار صورة الطالب من مسار مخزن في لوحة Raspberry Pi. كما تم في هذه المرحلة دعم اختيار ملف صوتي مسجّل مسبقًا يحتوي على اسم الطالب، ليُستخدم لاحقًا أثناء عملية الاستدعاء، حيث يتم حفظ هذا المسار داخل قاعدة البيانات في الحقل المخصص.

ومع التقدم في تنفيذ النظام، تم تحسين الواجهة لتشمل ميزة التوليد التلقائي للصوت باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، من خلال دمج مكتبة Google Text-to-Speech (gTTS) بحيث يتم توليد ملف صوتي جديد بمجرد إدخال اسم الطالب في الواجهة، دون الحاجة إلى رفع ملف صوتي. حيث يتم حفظ الملف الناتج داخل مجلد محدد في نظام التشغيل، ويُسجَّل مساره تلقائيًا في قاعدة البيانات ليتاح لاحقًا عند تشغيل النظام في لحظة الاستدعاء. ويوضح الشكل (3-1) شكل واجهة الإدخال الرسومية، والتي تم تطويرها لتمكين المستخدم (مدير النظام) من إدخال البيانات بسهولة ودقة. كما تسمح بإدخال ما يصل إلى ثلاث بطاقات NFC كحد أقصى لكل عائلة، مع تحديد العلاقة لكل بطاقة (أب، أم، أخ،..).

الشكل (3–1) واجهة الإدخال لقاعدة البيانات

4.3 هيكلية الإطار المستخدم للاتصال اللاسلكي

يُعتبر بروتوكول الاتصال اللاسلكي من الركائز الأساسية التي تم بناء نظام الاستدعاء المدرسي عليها. تم بناء هذا البروتوكول من الصفر دون الاعتماد على بروتوكولات قياسية جاهزة، بهدف تحقيق أعلى درجات التحكم والبساطة والوضوح في عملية تبادل البيانات بين الوحدة الخارجية والوحدة الداخلية.

يعتمد البروتوكول على إطار (Frame) موحّد لنقل البيانات، يتكون من خمسة حقول أساسية، ما يضمن توافقًا دقيقًا بين المرسل والمستقبل، ويُسهم في تبسيط عملية التحقق من سلامة الإرسال.

1.4.3 هيكلية الإطار الصاعد من الوحدة الخارجية إلى الوحدة الداخلية

عند الحاجة لإرسال طلب تحقق من بطاقة NFC، تقوم الوحدة الخارجية بتكوين إطار البيانات (الإطار الصاعد) كما هو موضّح بالشكل (3-2)، والذي يمثّل الوسيط الذي يُمكّن وحدة القراءة الخارجية من إيصال البيانات إلى الوحدة الداخلية المسؤولة عن المعالجة والعرض.

Start	State	UID	Checksum	End
1 byte	*1 byte*	*(4-7) byte*	*1 byte*	*1 byte*

الشكل (3-2) البنية العامة للإطار الصاعد من الوحدة الخارجية إلى الوحدة الداخلية

تتكون بنية هذا الإطار الصاعد من الحقول التالية:

1. بايت البداية (Start Byte): يأخذ قيمة ثابتة على سبيل المثال 0xAA، ويُستخدم لتحديد بداية الإطار.
2. رمز الحالة (State Byte): يُمثّل حقلاً وظيفيًا مُتفقًا عليه بين الطرفين المرسِل والمستقبِل، ويُستخدم لتحديد طبيعة الإطار المنقول. ففي البنية المستخدمة، تم تخصيص القيمة (0x00) للدلالة على أنّ الإطار يحتوي على طلب تحقق من المعرّف، في حين تشير القيمة (0x01) إلى حالة فشل المطابقة، وتُستخدم القيمة (0x02) للتعبير عن نجاح عملية المطابقة. وتجدر الإشارة إلى أنّ القيم اللاحقة ضمن المجال الممتد من (0x03) حتى (0x09) قد تُخصّص مستقبلًا لتمثيل حالات إضافية أو لتلبية احتياجات تشغيلية جديدة، مما يُضفي مرونة على تصميم البروتوكول ويُتيح تطويره وتوسيع وظائفه مع الحفاظ على التوافقية بين الوحدات المتواصلة.

3. المحتوى (Payload): يحتوي هذا الحقل على المعرّف الفريد UID المقروء من بطاقة NFC.

4. رمز التحقق (Checksum): يُحسب بجمع القيم الرقمية لجميع البايتات من حقل الحالة وحتى نهاية المحتوى (State + Payload)، ثم أخذ باقي القسمة على 256 (mod 256).

5. بايت النهاية (End Byte): يُمثل نهاية الإطار ويأخذ قيمة ثابتة، على سبيل المثال 0x55.

إنّ عملية (mod 256) تعني استخراج باقي القسمة عند جمع القيم الرقمية لمكونات الإطار وقسمتها على العدد 256. ويعود السبب في اختيار العدد 256 إلى أنّ البايت الواحد يتكون من ثمانية بتات، ما يتيح تمثيل القيم من 0 إلى 255 فقط، أي 2^8 قيمة ممكنة. وبهذا يضمن استخدام (mod 256) أن يبقى الناتج النهائي لعملية الجمع ضمن المجال الصحيح لبايت واحد، مما يسهل تخزينه والتحقق منه ضمن بنية الإطار. وبذلك تتحقق الكفاءة في الحسابات مع المحافظة على التوافق مع بنية الحقول المعتمدة.

تسمح هذه البنية بتمييز بداية الإطار ونهايته بسهولة، كما تُتيح للوحدة الداخلية التحقق من نوع الرسالة وصحتها قبل اتخاذ أي إجراء.

2.4.3 هيكلية الإطار الهابط من الوحدة الداخلية إلى الوحدة الخارجية

عند استلام الإطار الصاعد ومعالجته من قِبل الوحدة الداخلية، يتم إرسال رد مناسب باستخدام إطار استجابة مبني على نفس الهيكل العام. يوضح الشكل (3–3) البنية العامة لهذا الإطار (الإطار الهابط) الذي يُرسل من الوحدة الداخلية إلى الوحدة الخارجية.

Start	State	Checksum	End
1 byte	*1 byte*	*1 byte*	*1 byte*

الشكل (3-3) البنية العامة للإطار الهابط من الوحدة الداخلية إلى الوحدة الخارجية

يتكون هذا الإطار من الحقول التالية:

1. بايت البداية (Start Byte): يظل ثابتًا على القيمة المحددة مسبقًا في الإطار الصاعد.
2. رمز الحالة (State Byte): يُستخدم أحد الرمزين التاليين حسب نتيجة التحقق من UID:
   - 0x01: فشل في مطابقة المعرف (UID غير مسجّل).
   - 0x02: نجاح مطابقة المعرف (UID مسجّل).
3. رمز التحقق (Checksum): يُحسب بنفس طريقة حسابه في الإطار الصاعد.
4. بايت النهاية (End Byte): يظل ثابتًا على القيمة المحددة مسبقًا في الإطار الصاعد.

تم الالتزام بهذه البنية الموحدة في جميع مراحل الاتصال لضمان التوافق وتبسيط المعالجة. ففي حال حدوث تداخل أو خطأ أثناء الإرسال (مثل فقدان بايت أو تلفه)، يتم تجاهل الإطار تلقائيًا إما بسبب فشل اختبار التحقق (Checksum) أو عدم تطابق بايتات البداية والنهاية، مما يعزز من موثوقية الاتصال.

5.3 التجميع والتركيب المادي للنظام

تم تنفيذ عملية تركيب وتجميع النظام بناءً على المخططات النظرية المعتمدة لكل وحدة، مع مراعاة الترتيب المنهجي لتوصيل المكوّنات المادية وتثبيتها في بيئة تشغيل عملية. وقد تم تقسيم عملية التجميع إلى جزئين رئيسيين كما يلي:

1.5.3 الوحدة الخارجية

تمثل الوحدة الخارجية نقطة الانطلاق في عملية الاستدعاء، حيث يتولى قراءة بيانات المعرف UID عبر تقنية NFC من بطاقة أو هاتف ولي الأمر، ثم إرسالها إلى الوحدة الداخلية لمتابعة المعالجة.

تم تنفيذ هذا الجزء من خلال تثبيت لوحة Arduino Nano على لوحة تجريبية صغيرة، وربطها بمجموعة من المكونات الطرفية التي تُمثّل العناصر الأساسية في هذه الوحدة.

تم توصيل وحدة قراءة البطاقات PN532 باستخدام بروتوكول I2C، الذي تم اختياره لاستخدامه أربع أسلاك فقط في التوصيل، مقارنةً ببروتوكول SPI الذي يتطلب عددًا أكبر من الأسلاك.

أما وحدة الإرسال اللاسلكي HC-12 فقد تم ربطها بلوحة Arduino عبر منفذين رقميين باستخدام التوصيل التسلسلي البرمجي UART.

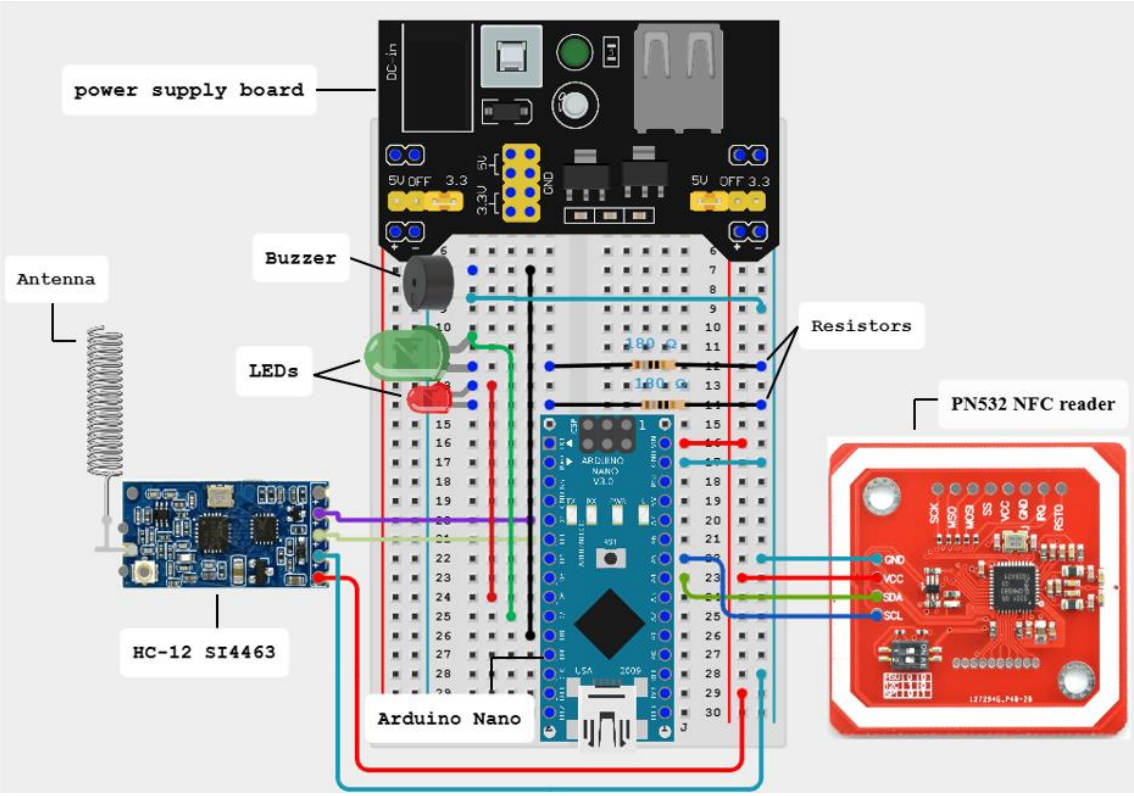
بالإضافة إلى ذلك، تم تركيب مؤشري حالة LEDs بالألوان الأخضر والأحمر، مع استخدام مقاومة بقيمة 180 أوم لكل مؤشر بين طرفه السالب وخط الأرض (Ground (GND، وذلك لتنظيم التيار المار وحماية المكوّنات من التلف.

كما تم تضمين وحدة تنبيه صوتي Buzzer مربوطة بأحد المنافذ الرقمية، بهدف إصدار إشعارات صوتية تختلف حسب حالة الاستجابة.

وقد تم تنفيذ هذه التوصيلات الكهربائية وفق التفاصيل الواردة في الجدول (3–3)، الذي يوضح المنافذ والمكونات المرتبطة بها في الوحدة الخارجية. ويوضح الشكل (3–4) المخطط النهائي لتوصيل هذه الوحدة، والذي تم تصميمه باستخدام أداة محاكاة رقمية.

جدول (3–3) التوصيلات الكهربائية لمكونات الوحدة الخارجية مع منافذ لوحة Arduino

المكوّن	الطرف على المكوّن	اتصاله مع منفذ Arduino
PN532 NFC Reader	VCC	5V
	GND	GND
	SDA	A4
	SCL	A5
HC-12 RF Module	VCC	5V
	GND	GND
	TXD	D2
	RXD	D3
LED أحمر	الطرف الموجب	D6
LED أخضر	الطرف الموجب	D7
Buzzer	الطرف الموجب	D8



الشكل (3-4) الوحدة الخارجية

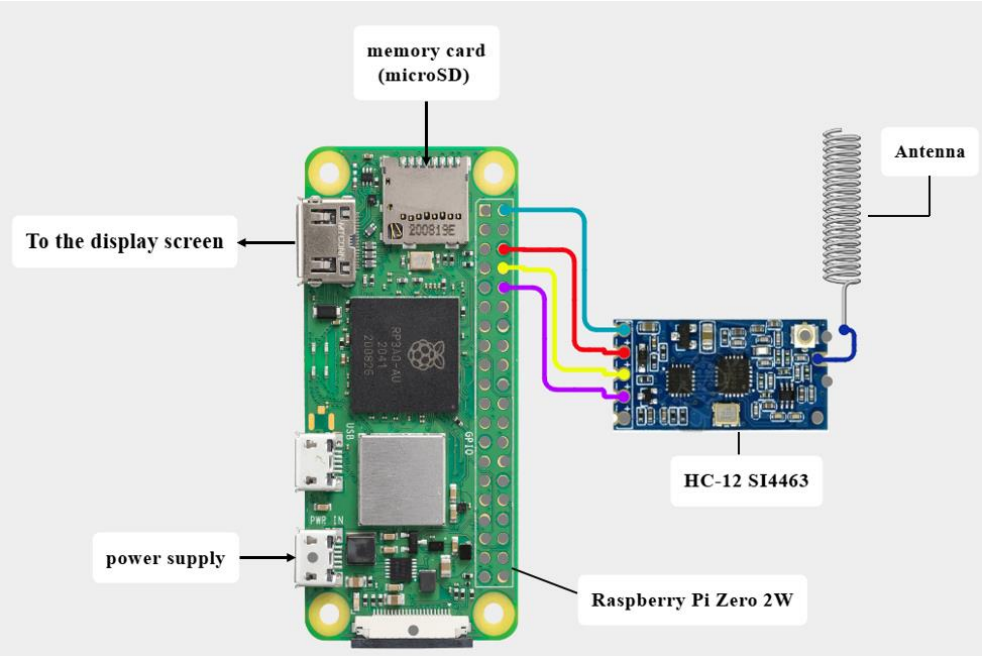
كما تم تنظيم الأسلاك بشكل دقيق وتقليل أطوالها قدر الإمكان للحد من مقاومة الأسلاك وكذلك التداخل الكهرومغناطيسي، كما تم اختبار جميع التوصيلات باستخدام برامج تجريبية للتأكد من فعالية الاتصال واستقرار الأداء قبل الانتقال إلى مرحلة تطوير البرمجيات.

2.5.3 الوحدة الداخلية

تتولى الوحدة الداخلية استقبال البيانات من الوحدة الخارجية عبر وحدة الاستقبال اللاسلكي HC-12، ثم معالجتها (مقارنتها مع قاعدة البيانات)، ومن تم عرض معلومات الطالب المرتبطة بمعرف NFC على الشاشة، وندائه صوتيًا عبر تشغيل الملف الصوتي المناسب.

تم تجميع هذه الوحدة باستخدام لوحة Raspberry Pi Zero 2W كوحدة معالجة رئيسية، حيث تم توصيل وحدة HC-12 بالمنافذ المخصصة للاتصال التسلسلي UART، وتم ربط شاشة العرض بمنفذ mini HDMI. كما تم إدخال بطاقة microSD في منفذ التخزين المدمج، التي

تحتوي على نظام التشغيل، قاعدة البيانات وملفات الصور والصوت. يوضح الشكل (3–5) المخطط العام للوحدة الداخلية، بينما يعرض الجدول (3–4) تفاصيل التوصيلات الكهربائية بين الوحدات الطرفية ولوحة Raspberry Pi.



الشكل (3–5) الوحدة الداخلية

جدول (3–4) التوصيلات الكهربائية لمكونات الوحدة الداخلية مع منافذ لوحة Raspberry Pi

المكوّن	المنفذ على المكوّن	اتصاله مع منافذ Raspberry Pi
HC-12 RF Module	VCC	5V
	GND	GND
	TXD	GPIO 15 (UART RX)
	RXD	GPIO 14 (UART TX)
شاشة عرض Tv	HDMI	Mini HDMI

المكونات مثبتة داخل حافظة بلاستيكية لحمايتها، مع توصيل جهاز Raspberry Pi بمصدر تغذية مستقر 5V/3A عبر منفذ micro USB. تم اختبار النظام باستخدام برنامج تجريبي

بلغة Python لقراءة البيانات من المنفذ التسلسلي، وعملية استدعاء بيانات الطالب من قاعدة البيانات، وعرضها على الشاشة مع تشغيل الملف الصوتي المرتبط. وأكدت الاختبارات استقرار النظام أثناء التشغيل المستمر في بيئة حقيقية.

3.5.3 الشكل العام للنظام

بعد الانتهاء من تجميع الوحدتين الخارجية والداخلية وتثبيت كافة المكونات اللازمة، تم اختبار النظام في وضعه الكامل كنموذج أولي متكامل. تتولى الوحدة الخارجية قراءة بطاقة NFC الخاصة بولي الأمر وإرسال المعرّف إلى الوحدة الداخلية عبر اتصال لاسلكي. تقوم الوحدة الداخلية بمعالجة الطلب والتحقق من البيانات، ثم تُرسل ردًا يحدد نتيجة العملية. بناءً على هذا الرد، تُفعّل الوحدة الخارجية مؤشرات ضوئية أو صوتية لتنبيه ولي الأمر بالنتيجة، في حين تقوم الوحدة الداخلية بعرض بيانات الطالب على الشاشة وتشغيل الملف الصوتي المرتبط.

وقد تم اختبار الاتصال اللاسلكي بين الوحدتين باستخدام وحدات HC-12 في نطاق مسافة قصيرة، وذلك بهدف التحقق من صحة الأداء العام للنظام وتكامل الوظائف الأساسية في بيئة أولية مغلقة.

ويُظهر الشكل (3–6) الشكل العام للنظام خلال مرحلة التجميع الأولي على طاولة العمل، كما تم التحقق من استقرار النظام ككل من خلال سلسلة من الاختبارات التشغيلية التي أثبتت جاهزية النظام للاستخدام الفعلي.

الشكل (3–6): الشكل العام للنظام

6.3 واجهة العرض الرسومية

شهدت واجهة العرض الرسومية في نظام الاستدعاء المدرسي مراحل متعددة من التطوير، تمثّل كل منها استجابة لحاجة وظيفية محددة، وتحقيقًا لتحسين تجربة المستخدم من حيث الوضوح والتنظيم وسهولة التفاعل البصري مع المعلومات المعروضة.

في النسخة الأولية من النظام، تم تصميم الواجهة لتكون بسيطة وتركّز على عرض بيانات طالب واحد فقط في كل مرة، حيث تُعرض الصورة الشخصية للطالب بحجم كبير في وسط الشاشة، وأسفلها يظهر اسمه الكامل وصفه الدراسي، إلى جانب جملة توضيحية تشير إلى ولي الأمر الذي ينتظره عند بوابة الانصراف. كان هذا العرض مصحوبًا بتشغيل صوتي آلي لاسم الطالب لمرة واحدة فقط عند ظهوره. وقد تم تحديد مدة عرض الطالب على الشاشة بما يقارب 15 ثانية، وبعدها تختفي المعلومات تلقائيًا، وتعود الواجهة إلى وضع الاستعداد.

لاحقًا، ونتيجة للحاجة إلى دعم الحالات التي يتم فيها استدعاء أكثر من طالب في نفس الوقت (مثل الإخوة)، تم تعديل الواجهة لعرض مجموعة من الطلاب الذين يتبعون لمعرّف واحد في آنٍ واحد، بحيث يتم توزيع بياناتهم وصورهم على الشاشة بطريقة منظمة، ويستمر عرضهم معًا حتى انتهاء المدة المحددة، ثم يتم مسح الشاشة بالكامل بعد العرض الجماعي.

وبهدف تعزيز استمرارية الواجهة وتحسين تتبع الطلاب الذين تم استدعاؤهم، تم تنفيذ تطوير شامل في هيكلية الشاشة، حيث قُسمت واجهة العرض إلى جزئين رئيسيين: جزء أيمن لعرض الاستدعاءات اللحظية، وجزء أيسر لعرض من تم استدعائهم مُسبقًا مع مدة الاستدعاء، وذلك بنسبة توزيع تضمن وضوح كل من المحتوى الحالي والسجل الزمني للعرض.

حيث خُصّص الجزء الأيمن من الواجهة لعرض الطالب الذي تم التعرف عليه مؤخرًا، حيث يظهر بشكل بارز مع صورته وبياناته الدراسية وعلاقة ولي أمره، إضافة إلى تشغيل النداء الصوتي

الخاص به بلغته المختارة. وفي حال كان المعرف المرتبط ببطاقة NFC يعود لعائلة لديها أكثر من طالب (مثل الإخوة)، يقوم النظام بعرضهم بشكل متتالي، حيث يُعرض كل طالب منهم على حدة في الجزء الأيمن لمدة محددة، ثم يُنقل إلى الجزء الأيسر، ويليه عرض الطالب التالي مباشرة، إلى حين الانتهاء من عرض جميع الطلاب المرتبطين بالمعرف ذاته.

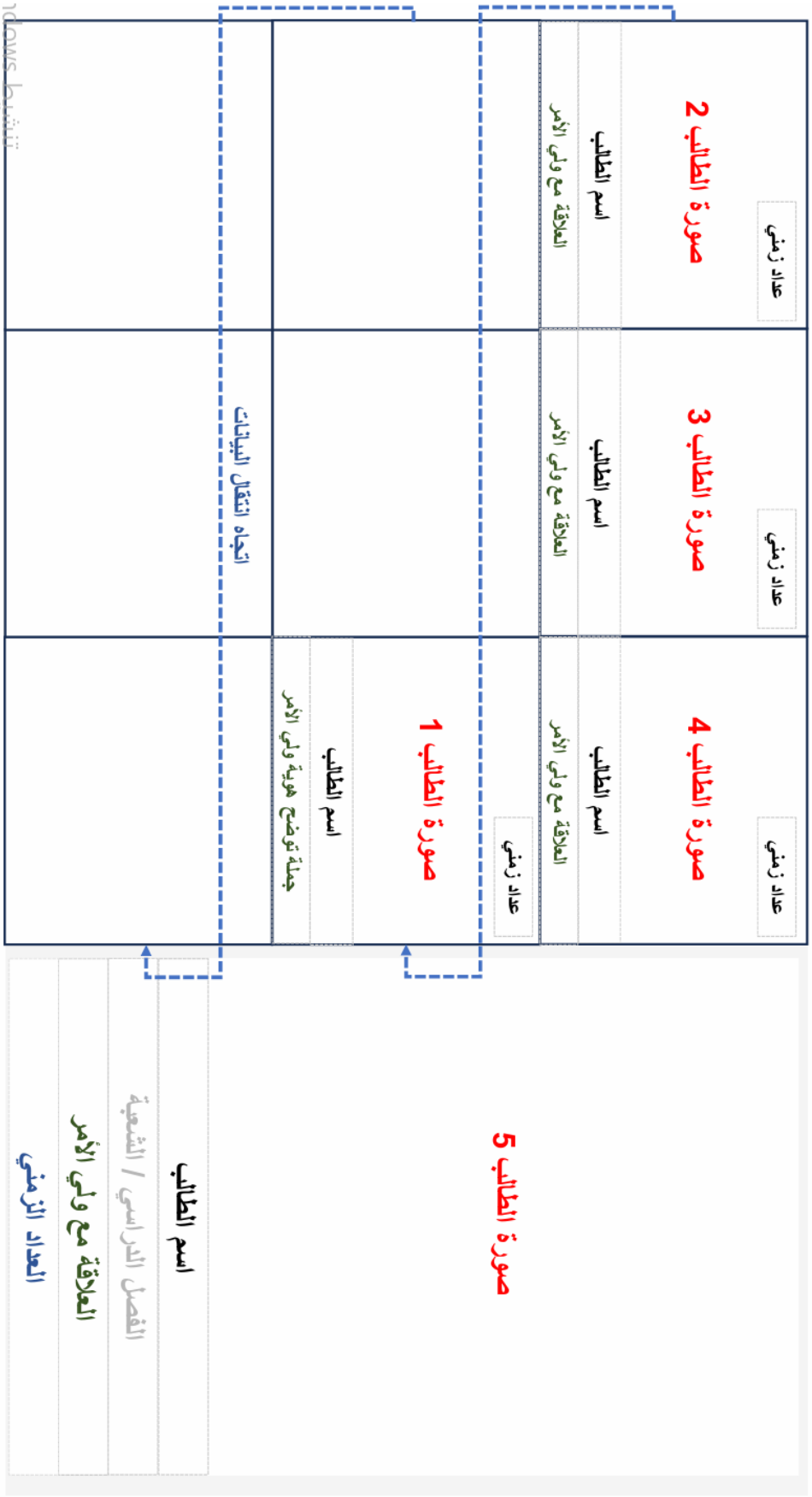
أما الجزء الأيسر من الواجهة، فقد تم تصميمه على هيئة شبكة من الإطارات المصغّرة، يتم فيها عرض صور الطلاب الذين تم عرضهم مسبقًا في الجزء الأيمن، مصحوبة بمعلومات موجزة عنهم، مثل الاسم والعلاقة مع ولي الأمر، إلى جانب مؤشر زمني يُظهر المدة التي مضت منذ استدعائهم. حيث يُساهم هذا التنظيم من حيث إبقاء الطلاب على الشاشة لفترة أطول، في تعزيز فرصة رؤية الطالب لصورته واسمه، ويُساعده على إدراك أن ولي أمره قد وصل حتى في حال لم ينتبه للعرض اللحظي أو كان منشغلًا عند لحظة النداء.

وانطلاقًا من كون النظام ثنائي اللغة في جميع عناصره، تم تطوير آلية النداء الصوتي لتكون متوافقة مع لغة الطالب المعروض. ففي حال كانت لغة الطالب هي العربية، يُنطق اسم الطالب ضمن جملة تنبيهية تحتوي على العلاقة مع ولي الأمر، تليها عبارة "أكرر" ثم إعادة النداء بنفس الصيغة. أما في حال كانت اللغة هي الإنجليزية، فيتم استخدام نداء مماثل باللغة الإنجليزية مع استبدال عبارة "أكرر" بـ "I repeat"، وصياغة العلاقة بصيغة مناسبة باللغة الانجليزية. ويُظهر هذا التطوير أن النظام لا يكتفي بعرض البيانات، بل يتفاعل صوتيًا معها بطريقة مخصصة تراعي اللغة والعلاقة.

ومن الجدير بالذكر أنه تم اتخاذ إجراء إضافي لتحسين الأداء البصري للنظام، حيث يتم تثبيت الطالب الأخير في الجزء الأيمن ولا يُنقل إلى الجانب الأيسر إلا عند وصول بطاقة جديدة

لمعرّف NFC مختلف. هذا يضمن وضوح الحالة الحالية، ويمنع انتقال البيانات بشكل عشوائي أو سريع. ويوضح الشكل (3–7) الشكل العام لواجهة العرض.

بشكل عام، يعكس هذا التطور في واجهة العرض انتقال النظام من نموذج عرض بسيط إلى بنية عرض متقدمة ومتكاملة، تدعم التنقل السلس بين الحالات وتُقدّم تجربة مرئية مدروسة وفعالة في بيئة الاستدعاء المدرسي.



الشكل (3–7) الشكل العام لواجهة العرض

7.3 آلية عمل النظام

تعتمد استجابة النظام على سلسلة من آليات التفاعل والتغذية الراجعة اللحظية التي تهدف إلى توفير مؤشرات واضحة وسريعة لمستخدمي النظام. وقد تم تصميم هذه الآلية بحيث تشمل الجوانب البصرية، السمعية، بالاعتماد على منطق برمجي يضمن فعالية الأداء وسهولة المتابعة في بيئة المدرسية.

1.7.3 آلية عمل الوحدة الخارجية

يبدأ التجاوب في الوحدة الخارجية عند تمرير ولي الأمر بطاقةً أو هاتفًا مزودًا بتقنية NFC أمام وحدة القارئ، حيث يتم التقاط المعرّف الفريد وتكوينه ضمن إطار بيانات رقمي وفقًا للبنية المشار إليها سابقًا. بعد ذلك، يُرسل الإطار إلى الوحدة الداخلية عبر وحدة الاتصال اللاسلكي، ثم تدخل الوحدة الخارجية في وضع انتظار لفترة زمنية محددة بانتظار استلام الرد المناسب من الطرف المستقبل.

بناءً على نوع الاستجابة المستلمة من الإطار الهابط، تقوم الوحدة الخارجية بتفعيل وسائل التغذية الراجعة المناسبة، وفق الآتي:

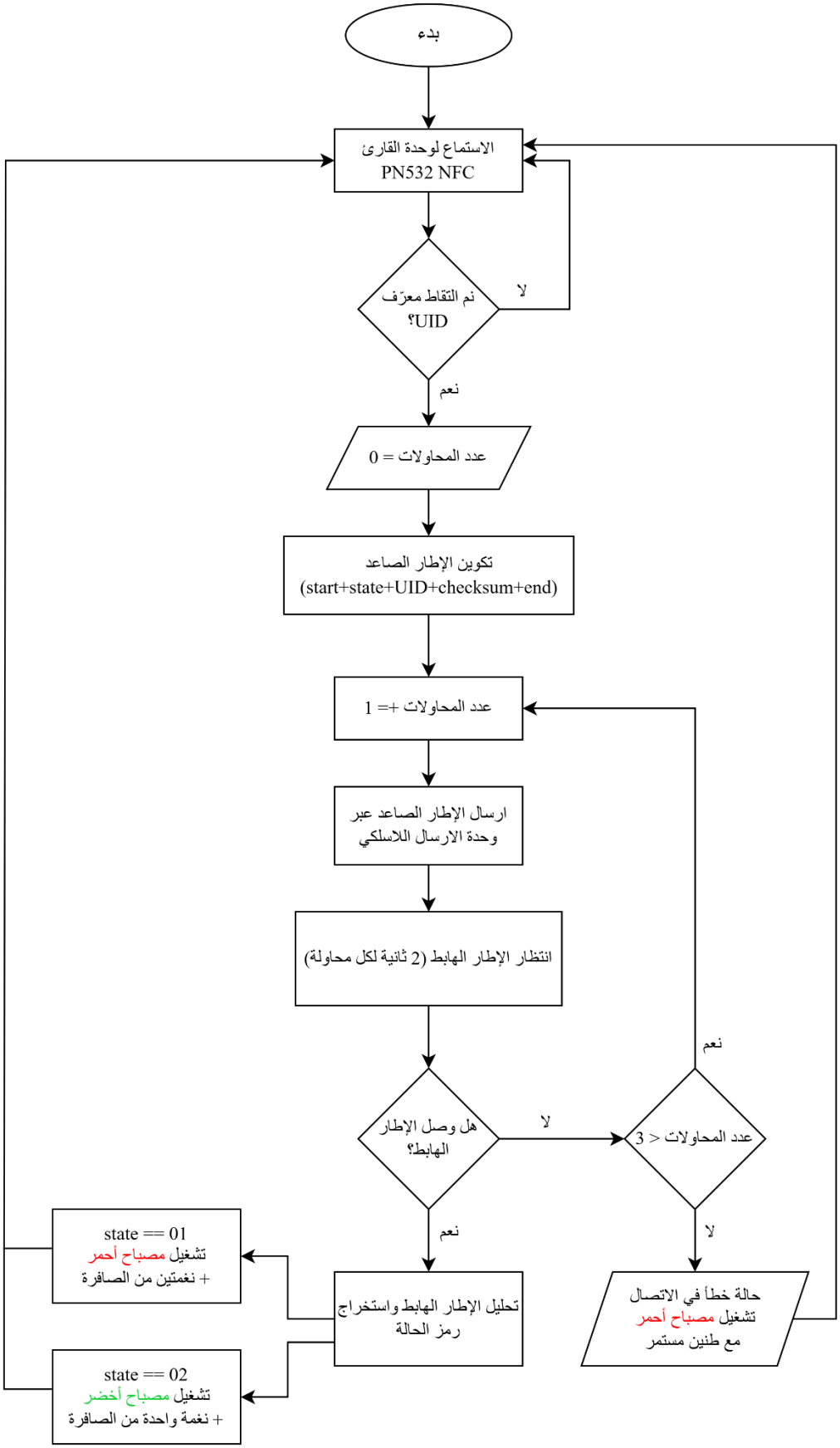
- ضوء أخضر ونغمة قصيرة: للدلالة على نجاح المطابقة بين المعرّف والبيانات المسجلة في النظام.
- ضوء أحمر ونغمتان متتاليتان: في حالة فشل المطابقة أو عدم العثور على بيانات مطابقة في قاعدة البيانات.

إذا لم يصل الرد من الوحدة الداخلية خلال 2 ثانية تُرسل الوحدة الخارجية الإطار مجددًا بتقنية ARQ، ثم تنتظر الوحدة الرد مرة أخرى. وفي حالة لم يصل أي رد أو استجابة خلال ثلاث محاولات،

فإن الوحدة تتخذ قرارًا بفشل الاتصال، وتقوم بتشغيل ضوء أحمر مع طنين مستمر، إلى أن يتم تمرير نفس البطاقة مرة أخرى أو بطاقة مختلفة.

بعد انتهاء عرض التغذية الراجعة، يعود النظام تلقائيًا إلى وضع الاستعداد لاستقبال قراءة جديدة، مع الالتزام بفاصل زمني تقريبي يبلغ 10 ثوانٍ بين القراءة والأخرى، لضمان استقرار العملية ومنع التداخل بين العمليات المتعاقبة.

الشكل (3–8) يوضّح المخطط الانسيابي لآلية عمل الوحدة الخارجية بداية من قراءة بطاقة NFC وصولًا إلى تنفيذ إجراءات التحقق.



الشكل (3-8) المخطط الانسيابي لعمل الوحدة الخارجية

2.7.3 آلية عمل الوحدة الداخلية

تبدأ الوحدة الداخلية في التجاوب فور استلام الإطار الصاعد من الوحدة الخارجية عبر وحدة الاستقبال اللاسلكي، حيث يتم تحليل بنية الإطار والتحقق من صحته باستخدام بايت التحقق (Checksum). إذا تبين أن الإطار صالح، يتم استخراج المعرّف الفريد UID ومقارنته بمحتويات قاعدة البيانات المحلية المخزّنة على وحدة Raspberry Pi. أما في حال كان الإطار تالف أو به خطأ تقوم بالوحدة بتجاهله.

وفي حال تطابق المعرّف مع أحد السجلات في قاعدة البيانات، تقوم الوحدة الداخلية بتنفيذ سلسلة من الإجراءات، تشمل:

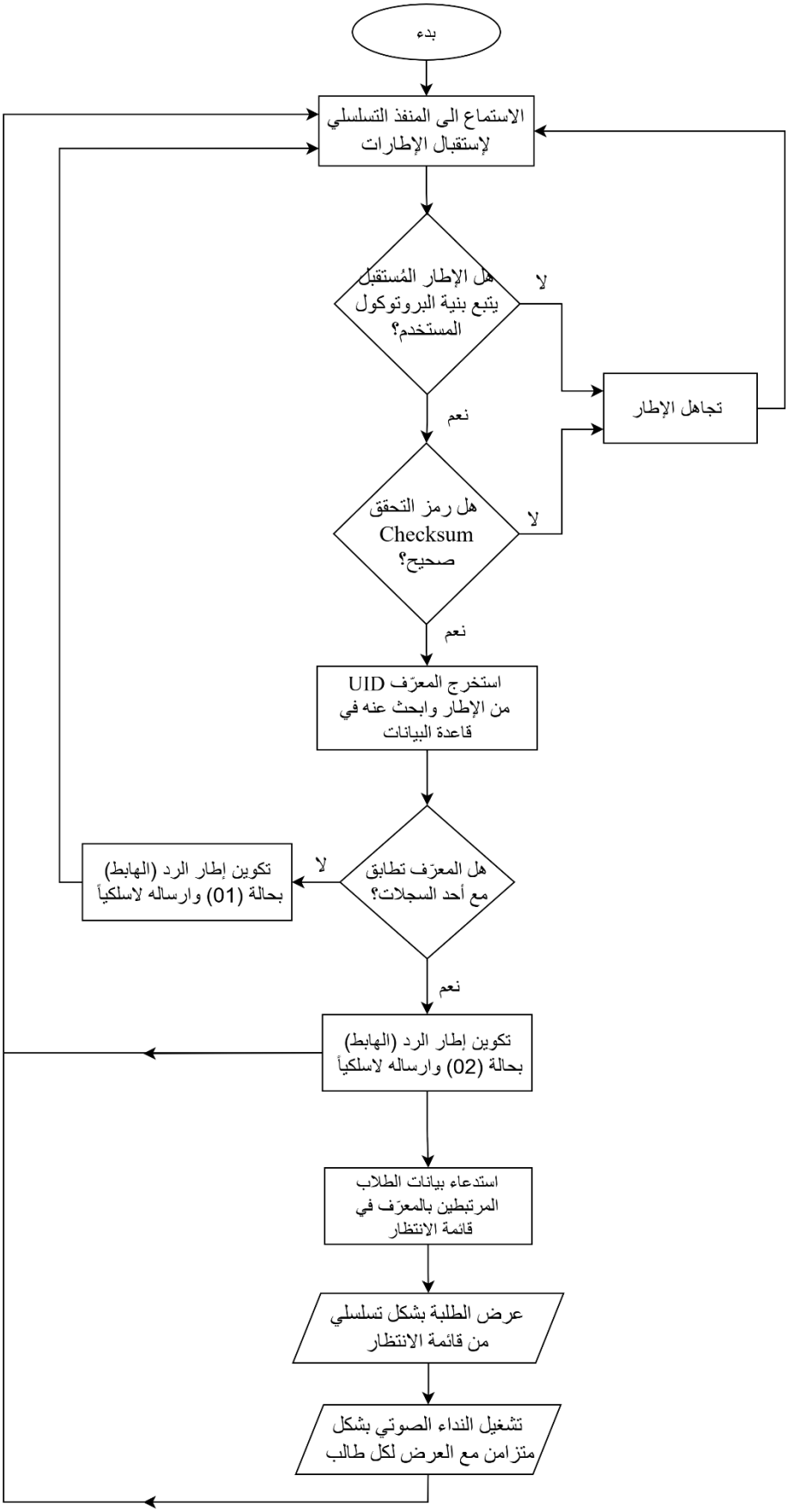
1. عرض بيانات الطالب أو مجموعة الطلاب المرتبطين بالمعرّف (مثل الاسم، الصف، الصورة، العلاقة مع ولي الأمر) على شاشة العرض عبر منفذ HDMI.
2. تشغيل الملف الصوتي الخاص باسم الطالب باللغة المسجّلة (العربية أو الإنجليزية)، لتعزيز لفت انتباه الطالب ووضوح الاستدعاء.
3. إرسال استجابة تأكيد ACK إلى النظام الخارجي تشير إلى نجاح المطابقة وبدء العرض.

أما في حال عدم وجود تطابق في قاعدة البيانات، فلا يتغير العرض المُسبق على الشاشة، ويتم إرسال استجابة تأكيد ACK إلى النظام الخارجي تشير إلى فشل المطابقة، وذلك لضمان وضوح واجهة المستخدم وتجنّب التداخل في عملية الاستدعاء.

في حال كانت الوحدة الداخلية في حالة عرض نشط لطالب سابق، وتم استلام إطار جديد من الوحدة الخارجية خلال تلك الفترة، يقوم النظام بمعالجة الطلب من خلال التحقق من معرف NFC المُرسل، والرد على الوحدة الخارجية بالحالة المناسبة (نجاح أو فشل المطابقة). ففي حال كانت نتيجة المطابقة ناجحة، وكان النظام لا يزال في وضع عرض نشط، يتم تأجيل عرض بيانات الطالب

الجديد مؤقتًا، مع الاحتفاظ بها في قائمة الانتظار ليتم عرضها مباشرة بعد انتهاء العرض الحالي. تضمن هذه الآلية معالجة جميع الطلبات فور وصولها دون تكرار أو فقدان، مع الحفاظ على تسلسل العرض وتفادي التداخل بين عرض الطلاب.

بعد الانتهاء من عرض الطلاب المرتبطين بالطلب السابق، يعود النظام الداخلي إلى وضع الاستعداد لاستقبال إطار جديد. ويوضّح الشكل (3–9) المخطط الانسيابي لآلية عمل النظام الداخلي، بدءًا من استقبال الإطار الصاعد، وصولًا إلى عرض بيانات الطالب وارسال الإطار الهابط.



الشكل (3-9) المخطط الانسيابي لآلية عمل الوحدة الداخلية

8.3 اختبار النظام للتحقق من الأداء

بعد الانتهاء من تجميع المكونات المادية وكتابة البرمجيات، تم الانتقال إلى مرحلة اختبار النظام بشكل فعلي في بيئة محاكية للواقع. وهدفت هذه المرحلة إلى التأكد من أن جميع وحدات النظام تعمل بشكل متناسق، وأن عملية الاستدعاء تتم بسلاسة من لحظة تمرير بطاقة NFC وحتى عرض بيانات الطالب.

تم تنفيذ سلسلة من الاختبارات على النحو التالي:

1. إعداد قاعدة البيانات التجريبية: تم إدراج أربعة طلاب موزعين على ثلاث عائلات مختلفة ضمن قاعدة البيانات التجريبية، بهدف محاكاة سيناريوهات الاستدعاء الواقعية. شملت العينة ما يلي:

- طالبان شقيقان (ذكر وأنثى) ينتميان إلى نفس العائلة، مرتبطان ببطاقة NFC واحدة مشتركة، وتم تحديد اللغة المعتمدة لهما لتكون العربية، ما يسمح بعرض ونطق بياناتهما بهذه اللغة.
- طالب أجنبي ينتمي لعائلة أخرى منفصلة، مرتبط ببطاقة NFC واحدة، وتم ضبط اللغة المعتمدة له كالإنجليزية لتجربة دعم النظام للعرض الثنائي اللغة.
- طالب عربي مستقل مرتبط ببطاقتين NFC (واحدة لولي الأمر الأول وأخرى لولي الأمر الثاني)، بهدف اختبار قدرة النظام على التعامل مع أكثر من معرف لنفس الطالب، ومراقبة الفروقات عند استخدام كل بطاقة على حدة.

2. تمرير بطاقة NFC أمام وحدة القراءة الخارجية وتحديد المسافة القصوى للقراءة الناجحة لبطاقة NFC.

3. مراقبة عمل الوحدة الخارجية: توليد إطار الطلب، استقبال إطار الرد، وتفعيل مؤشرات النجاح أو الفشل (LEDs، Buzzer) حسب نوع الرد.

4. مراقبة عمل الوحدة الداخلية: استقبال إطار الطلب، التحقق من المعرف، عرض البيانات، تشغيل الصوت، وارسال الإطار الخاص بالرد.
5. تنفيذ اختبارات سلبية ومراقبة قدرة النظام على التعامل مع حالات الخطأ، مثل:
    i. تمرير بطاقة غير مسجّلة ضمن قاعدة البيانات.
    ii. تمرير بطاقة أثناء انقطاع الاتصال اللاسلكي.
    iii. تمرير نفس البطاقة عدة مرات خلال فاصل زمني قصير.
6. قياس استجابة النظام الزمنية من لحظة تمرير البطاقة وحتى تفعيل المؤشر المناسب، بهدف تقييم زمن التأخير الكلي.
7. اختبار مدى الاتصال اللاسلكي بين الوحدة الخارجية والداخلية، مع قياس المسافة القصوى التي يستمر فيها الاتصال دون فقدان البيانات.

الفصل الرابع

النتائج والاستنتاجات والتوصيات

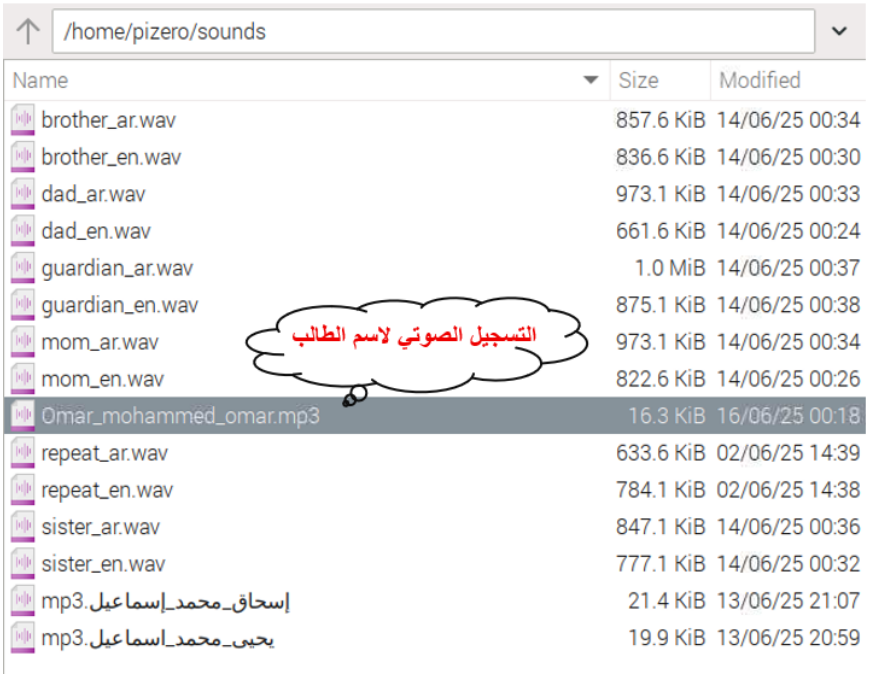
1.4 نتائج سلسلة الاختبارات

تم إجراء سلسلة من الاختبارات الميدانية بهدف تقييم أداء النظام، وقد تم التوصل من خلالها إلى النتائج التالية:

1. إعداد قاعدة البيانات التجريبية

نجحت عملية الإدخال، وتم توليد الملفات الصوتية تلقائيًا لكل اسم طالب، وتمت عملية تخزين الملفات الصوتية ضمن المسار المحدد لها في جهاز Raspberry Pi دون حدوث أخطاء في الروابط أو المسارات داخل القاعدة، ويوضح الشكل (4–1) شكل الواجهة عند ادخال بيانات أحد الطلبة، ويوضح الشكل (4–2) نجاح عملية توليد الصوت باستخدام الذكاء الاصطناعي وتخزينه في المسار المخصص. الأمر الذي يعكس جاهزية النظام من ناحية إدارة البيانات.

الشكل (4–1) واجهة قاعدة البيانات عند إدخال بيانات الطالب العشوائي



شكل (4–2) ملف التسجيل الصوتي لاسم الطالب العشوائي

2. اختبار مدى التقاط بطاقة NFC

تم تحديد المسافة الفعالة لقراءة بطاقة NFC بواسطة وحدة PN532 بحوالي 3.5 سم، حيث كانت الاستجابة فورية ومستقرة ضمن هذا النطاق. عند تجاوز 5 سم، توقفت الوحدة عن الاستجابة، مما حدد 3.5 سم كأقصى مسافة عملية موثوقة في التشغيل الفعلي.

3. مراقبة عمل الوحدة الخارجية

تم اختبار أداء الوحدة الخارجية في مختلف حالات الاستجابة بعد تمرير بطاقة NFC، بهدف التأكد من تنفيذ المهام البرمجية والفيزيائية المرتبطة بها بشكل سليم. وقد أظهرت الملاحظات النتائج التالية:

- توليد إطار الطلب: عند تمرير بطاقة NFC صالحة أمام وحدة القراءة، تقوم الوحدة الخارجية تلقائيًا بتكوين إطار بيانات وفقًا للبروتوكول المعتمد، وقد تم التأكد من أن الإطار يُولّد بدقة في كل مرة دون تكرار أو نقص في البيانات.

- إرسال واستقبال الإطار اللاسلكي: بعد التأطير، يتم إرسال الإطار إلى الوحدة الداخلية باستخدام معدل ارسال 9600 Boud. إذا تم استلام رد خلال الفترة المحددة (2 ثانية)، يتم تحليله مباشرة لتحديد نوع الاستجابة. أما في حال عدم وصول أي رد، فتقوم الوحدة بإعادة الإرسال حتى ثلاث محاولات متتالية. وعند انتهاء عدد المحاولات، تسجل الوحدة الحالة على أنها حالة خطأ. كما يوضح الشكل (4–3) هيكلية كل من الإطار الصاعد والهابط وذلك عند مراقبته من المنفذ التسلسلي.

```
Card UID: F2 DF 57 1A
TX Frame: AA 00 F2 DF 57 1A 42 55
RX Frame: AA 03 03 55 -> ACK State: 3
```

الشكل (4–3) هيكلية الإطار الصاعد (Tx Frame) والإطار الهابط (Rx Frame)

- الاستجابة لأنواع الإطارات المستلمة: حسب محتوى بايت الحالة في الإطار الهابط، لوحظ ما يلي:

❖ حالة فشل المطابقة (01):

أضيء المصباح الأحمر مباشرة، انطلقت نغمتان متتاليتان عبر الصفارة (Buzzer) لتنبيه المستخدم، ثم انتقل النظام لوضع الاستعداد للقراءة.

❖ حالة نجاح المطابقة (02):

أضيء المصباح الأخضر مباشرة، أُطلق تنبيه صوتي واحد (رنة واحدة قصيرة)، وتوقف النظام عن المحاولة وانتقل إلى وضع الاستعداد لقراءة جديدة.

- تفعيل المؤشرات البصرية والسمعية:

المصابيح (LEDs): عملت المؤشرات الضوئية بشكل دقيق ومتناسق مع الحالة المستلمة.

الصفارة (Buzzer): استجابت للأوامر الصوتية وفق المطلوب، حيث تم التفريق بين النغمة القصيرة، المتكررة، والمستمرة دون تداخل أو تأخير.

4. مراقبة عمل الوحدة الداخلية

- استقبال الإطار الصاعد: أظهرت الوحدة الداخلية قدرتها على استقبال الإطار الصاعد المرسل من الوحدة الخارجية عبر وحدة الاتصال اللاسلكي، وذلك بشرط توفر الظروف الملائمة ضمن المدى التشغيلي المضمون. وقد لوحظت النتائج التالية:

❖ في حال وجود الاتصال ضمن النطاق المناسب (حتى 150 مترًا في بيئة تحتوي على عوائق أو حتى 250 مترًا في بيئة مفتوحة)، تمكنت الوحدة الداخلية من استقبال الإطار بشكل سليم دون حدوث فقد في البيانات أو تأخير في الاستلام.

❖ لم يكن من الضروري توجيه الهوائيات بشكل دقيق نحو بعضها البعض، حيث استمرت الإطارات في الوصول حتى عند وجود انحراف بسيط في زاوية التوجيه، مما يدل على مرونة الاتصال وقدرة الوحدات على العمل بكفاءة في حالات الاستخدام الواقعي التي قد لا تتوفر فيها محاذاة مثالية.

❖ في حال وجود حاجز معدني مباشر بين الوحدتين أو عند الابتعاد لمسافة قريبة من الحد الأقصى دون توجيه كافٍ للهوائيات، لوحظ انخفاض مؤقت في نسبة نجاح الاستلام أو تأخير بسيط في زمن وصول الإطار. وتم تسجيل بعض الحالات لعدم استلام أي إطار.

❖ تم التحقق من صحة الإطارات المستلمة عن طريق مقارنة كل جزء من البنية (Start byte، State، UID، Checksum، End byte)، وجاءت النتائج

مطابقة تمامًا للإطارات المرسلة في 100% من الحالات ضمن الظروف المثالية.

- التحقق من المعرّف: أظهرت الوحدة الداخلية كفاءة عالية في التحقق من المعرّف (UID) المستخلص من الإطار المستلم، حيث تم تنفيذ عملية البحث ضمن قاعدة بيانات SQLite المحلية بسرعة واستقرار دون تأخير ملحوظ. وقد تم رصد النتائج التالية:

❖ في جميع الحالات التي كان فيها المعرف موجودًا في القاعدة، تم استدعاء بيانات جميع الطلاب المرتبطين به بدقة، بما يشمل الاسم، الصورة، الصف، العلاقة، واللغة.

❖ أما في الحالات التي لم يكن فيها المعرّف مسجّلًا، فقد تم تحديدها كحالة غير مطابقة، وتم تجهيز النظام للتعامل معها وفق منطق الرد البرمجي.

❖ بلغ متوسط زمن التحقق من المعرف والبحث في قاعدة البيانات أقل من 0.1 ثانية، وهو ما يُعد زمنًا ممتازًا يضمن استجابة لحظية عند التشغيل الفعلي.

- عرض البيانات على شاشة العرض: أظهرت واجهة العرض الرسومية أداءً مستقرًا في عرض بيانات الطلاب بعد التحقق من المعرف بنجاح، وقد تم رصد النتائج التالية:

❖ العرض اللحظي على الشاشة (الجزء الأيمن):

كما هو موضح بالشكل (4-4)، تم عرض بيانات الطالب بتنسيق كما هو مخطط له وتشمل هذه البيانات:

- صورة الطالب: تُعرض في الجزء العلوي وتأخذ المساحة الأكبر، لضمان سهولة التعرف البصري عليه.
- الاسم الكامل: مكتوب بخط عريض، مع دعم اتجاه النص المناسب للغة.
- الفصل الدراسي / الشُعبة
- جملة توضح هوية ولي الأمر: مثل "والدك في انتظارك"، تُعرض اعتمادًا على اللغة والهوية.
- العداد الزمني: يظهر في الأسفل لتتبع مدة عرض الطالب الحالي.

❖ جميع هذه العناصر عُرضت بتنسيق بصري سليم، دون تشوهات في الخط أو الصورة، وتمت محاذاتها بشكل صحيح ضمن النافذة.

❖ التنقل بين الطلاب المرتبطين بنفس البطاقة:

في الحالات التي يحتوي فيها معرّف NFC واحد على أكثر من طالب (كحالة الإخوة)، أظهر النظام سلوكًا منظمًا في عرض بيانات كل طالب على حدة ضمن الجزء الأيمن من الشاشة.

بعد انتهاء عرض كل طالب، يتم نقله تلقائيًا إلى الجزء الأيسر من الشاشة ضمن شبكة الطلاب الذين تم استدعاؤهم مؤخرًا، بينما يتم عرض الطالب التالي مباشرة بعده بنفس الآلية.

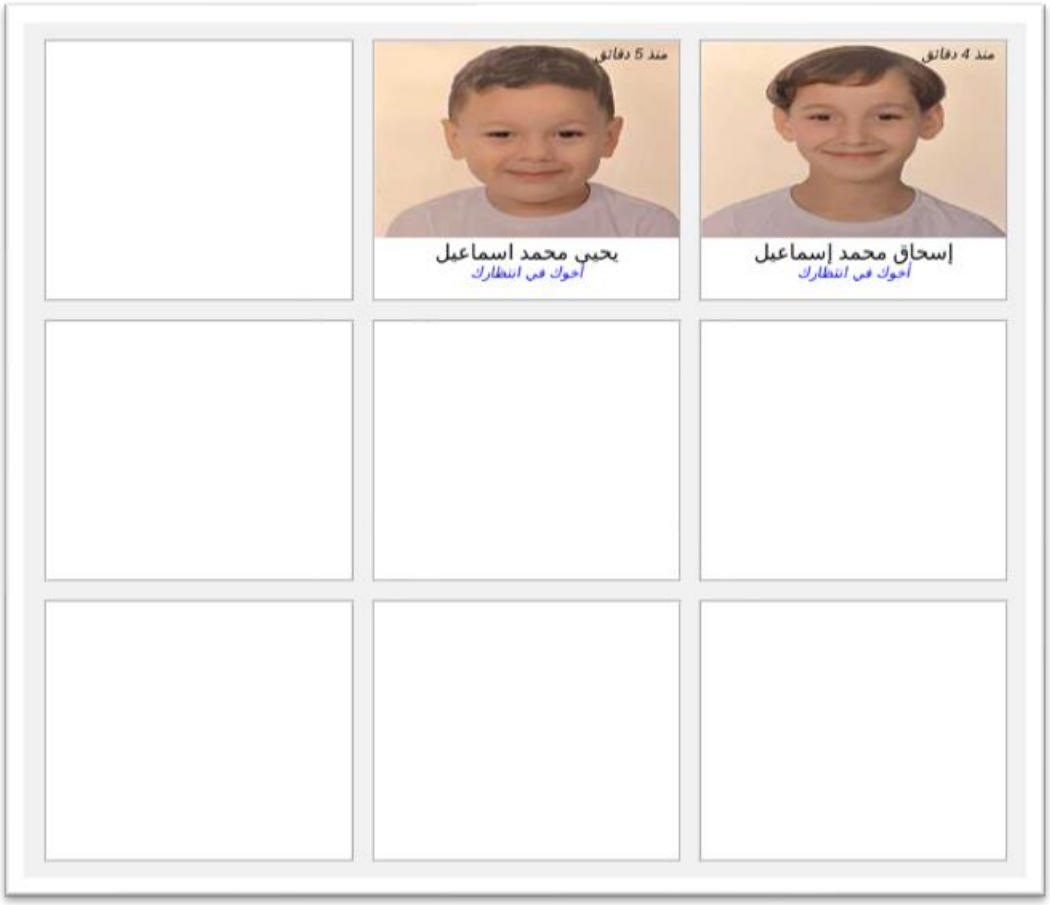
وإذا كان الطالب المعروض لحظيًا هو آخر طالب ضمن الإخوة المرتبطين بنفس البطاقة، فإنه يبقى ظاهرًا في العرض اللحظي ولا ينتقل إلى الجزء الأيسر إلا عند بدء حالة عرض جديدة ناتجة عن تمرير بطاقة مختلفة.

الشكل (4-4) الجزء الأيمن لشاشة العرض لحظة عرض أحد الطلبة

❖ شبكة العرض السابق (الجزء الأيسر):

أظهرت شاشة العرض في جزئها الأيسر قدرة فعالة على تتبّع الطلاب الذين تم عرضهم مؤخرًا، من خلال شبكة مصغّرة مكونة من تسع مربعات عرض موزعة على ثلاثة صفوف وثلاثة أعمدة. بعد الانتهاء من عرض الطالب في الجزء اللحظي، يتم نقله تلقائيًا إلى هذه الشبكة، حيث يتم عرض صورته واسمه وجملة العلاقة مع ولي الأمر، بالإضافة إلى مؤشّر زمني يُظهر المدة المنقضية منذ لحظة استدعائه، وذلك كما يوضحه الشكل (4-5).

تم تحديث المؤشر الزمني بدقة كل ثانية دون أي تأخير أو تداخل، كما حافظت الشبكة على ترتيب مرئي منسق لجميع البطاقات. وعند امتلاء الشبكة بتسعة طلاب، يقوم النظام بحذف أقدم طالب تم استدعاؤه تلقائيًا لإفساح المجال لطالب جديد، مما مكّن العرض من الاستمرار بسلاسة.



الشكل (4–5): الجزء الأيسر من الشاشة يعرض الطلاب الذين تم استدعاؤهم مؤخرًا

أظهرت شاشة العرض الكاملة أثناء التشغيل، كما هو موضح في الشكل (4–6)، أداءً متناسقًا في عرض بيانات الطالب الحالي بالتزامن مع تتبع الطلاب السابقين ضمن واجهة رسومية موحّدة. ونجح النظام في الحفاظ على ترتيب العرض اللحظي والزمني بسلاسة، دون تداخل أو تأخير، مما يثبت فعالية التصميم في دعم حالات الاستدعاء المتتالية وتقديم تجربة عرض مستقرة وسهلة التتبع.

الشكل (4–6) شاشة العرض بالكامل

- تشغيل الصوت: أظهر النظام استقرارًا في تشغيل الملفات الصوتية المخصصة لكل طالب أثناء عملية العرض اللحظي، حيث تم تشغيل اسم الطالب وجملة العلاقة مع ولي الأمر بلغة الطالب المحددة في قاعدة البيانات (العربية أو الإنجليزية). تمت مزامنة تشغيل الصوت مع لحظة ظهور بيانات الطالب على الشاشة دون تأخير ملحوظ.

لم تُسجل أي حالات فشل في تشغيل الملفات الصوتية أو تداخل بين المقاطع، كما استجاب النظام بشكل صحيح عند التبديل بين اللغتين، مع وضوح في النطق وملاءمة تامة لمحتوى الرسالة المسموعة.

- ارسال الإطار الهابط: بعد تنفيذ عملية التحقق داخل الوحدة الداخلية، قام النظام بتوليد الإطار الهابط وفق البنية المحددة (Start byte, State byte, Checksum, End byte) وإرساله إلى الوحدة الخارجية. أظهرت النتائج أن جميع

الإطارات تم توليدها بشكل سليم، وتم إرسالها في الوقت المناسب دون تأخير خارج النطاق المسموح به.

تم تسجيل الحالات الرئيسية التي تولّد الإطارات بناءً عليها:

- (0x01) في حالة عدم وجود تطابق.
- (0x02) في حالة وجود تطابق مع أحد الطلاب.

أُرسلت جميع الردود بموثوقية، وتم استلامها من قبل الوحدة الخارجية ضمن المهلة المحددة.

5. **تنفيذ اختبارات سلبية ومراقبة قدرة النظام على التعامل مع حالات الخطأ**

أثبت النظام قدرة جيدة على التعامل مع حالات الخطأ، حيث أظهرت النتائج ما يلي:

- عند تمرير بطاقة غير مسجّلة، تم تصنيف الطلب على أنه فشل في المطابقة، وتوليد الرد المناسب (0x01) من الوحدة الداخلية، مع تفعيل المصباح الأحمر ونغمتين تنبيهيتين في الوحدة الخارجية بشكل صحيح.
- في حالة تمرير البطاقة أثناء انقطاع الاتصال اللاسلكي، لم تستقبل الوحدة الداخلية أي إطار، ما دفع الوحدة الخارجية إلى إعادة الإرسال تلقائيًا حتى ثلاث محاولات، ثم تفعيل حالة الخطأ عبر تشغيل الضوء الأحمر بشكل مستمر وإصدار طنين متواصل، ما يعكس دقة منطق التعامل مع فشل الاتصال.
- عند تمرير نفس البطاقة عدة مرات خلال فاصل زمني قصير، تعامل النظام بذكاء مع التكرار، حيث تجاهل إعادة التمرير ما دام أحد الطلاب المرتبطين بالبطاقة لا يزال ظاهرًا في العرض اللحظي، مما حال دون حدوث تكرار بصري أو صوتي غير مبرر.

6. زمن المعالجة الكلي للنظام

بلغ متوسط الزمن من لحظة تمرير البطاقة وحتى تفعيل المؤشر البصري أو السمعي حوالي 1.5 ثانية عند استلام الرد مباشرة من المحاولة الأولى، وارتفع إلى حوالي 15 ثانية في حالات الانتظار للرد حتى المحاولة الثالثة.

7. اختبار مدى الاتصال اللاسلكي

عند اختبار الاتصال اللاسلكي في البيئة المفتوحة (بدون عوائق وجدران)، تم تسجيل اتصال مستقر على مدى 250 مترًا دون فقدان للإطارات أو تأخير في الاستجابة. حيث تم قياس هذه المسافة باستخدام أداة Google Earth وذلك كما هو موضح في الشكل (4-7). ويتوجب الإشارة إلى أن هذه المسافة تمثل الحد الأقصى المتاح ضمن مساحة التجربة الواقعية، وليس الحد النهائي لقدرة النظام، حيث لم تتوفّر مسافة مفتوحة أطول يمكن من خلالها اختبار مدى أبعد.

الشكل (4-7) المسافة المقاسة للاتصال اللاسلكي في البيئة المفتوحة

أما في البيئات التي تحتوي على عوائق كالجدران والمباني، فقد استمر الاتصال اللاسلكي دون انقطاع حتى مسافة 150 متر، وهي أقصى مسافة تنقل ممكنة ضمن محيط المباني

أثناء الاختبار، كما هو مبين في الشكل (4–8). لم يُسجَّل أي انقطاع أو تأخير ضمن هذه المسافة، ما يؤكد فعالية النظام حتى في وجود عوائق.

الشكل (4–8) المسافة المقاسة للاتصال اللاسلكي في بيئة تحتوي على عوائق

ولغرض تقييم مدى ملاءمة هذا الأداء لبيئة المدارس الواقعية، تم إجراء مسح تقريبي باستخدام Google Earth لقياس أقطار خمسة مدارس عشوائية في مدينة مصراتة، فتبين أن متوسط هذه الأقطار يتراوح ما بين 100 إلى 150 متر في أغلب الحالات. وعليه، فإن مدى الاتصال المحقق في التجارب الميدانية يوازي الحد الأقصى المطلوب تقريبًا في البيئات المدرسية الواقعية، مما يشير إلى ضرورة مراعاة توزيع الوحدات بعناية لضمان استمرار الاتصال ضمن المسافة الآمنة.

2.4 التحديات التقنية

واجه النظام خلال مراحل التصميم والتنفيذ عددًا من التحديات التقنية، كان لا بد من معالجتها لضمان تحقيق الأداء المستهدف. من أهم هذه التحديات:

1– صعوبة إنشاء قناة اتصال ثنائية الاتجاه باستخدام وحدات ارسال في اتجاه واحد:

في بداية التصميم، تم استخدام وحدات اتصال بسيطة لا تدعم إلا الإرسال من طرف واحد، مما قيّد قدرة النظام على تنفيذ بروتوكول تواصل متكامل يعتمد على تبادل الرسائل والتأكيدات ACK. وقد أدّى ذلك إلى الحاجة لتعديل بنية النظام وتبديل الوحدات بوحدات أكثر مرونة تدعم الإرسال والاستقبال.

2- تفاوت مدى الاتصال اللاسلكي بين البيئات المختلفة:

رغم أن وحدات الاتصال اللاسلكي من نوع HC-12 تدعم نظريًا مدى يصل إلى 1000 متر في بيئة مفتوحة تمامًا، إلا أن الاختبارات الميدانية التي أُجريت في البيئة المحيطة بالنظام أظهرت أن أقصى مسافة تم الوصول إليها فعليًا كانت بحدود 150 مترًا (في حال وجود عوائق). وقد تطلّب هذا الوضع اتخاذ إجراءات عملية مثل تعديل اتجاه الهوائيات واختيار مواقع مناسبة للوحدات لتقليل تأثير العوائق وتحقيق استقرار الاتصال.

3- احتمال التداخل مع إشارات أخرى في النطاق نفسه:

نظرًا لاعتماد النظام على قناة اتصال لاسلكي بتردد 433 MHz، يُحتمل أن يحدث تداخل مع إشارات أجهزة أخرى تعمل ضمن نفس النطاق، خاصة في البيئات التي تحتوي على أنظمة تحكّم لاسلكي أو مستشعرات صناعية. ورغم أن الاختبارات الميدانية التي أُجريت لم تُظهر تداخلًا ملحوظًا، إلا أنه تم تصميم بروتوكول الاتصال ليتضمن آلية التحقق من صحة البيانات Checksum وإعادة الإرسال التلقائي ARQ تحسّبًا لأي فقد أو تشويش محتمل في البيئات الأكثر ازدحامًا بالترددات اللاسلكية، ليزيد من موثوقية النظام ويقلل من الأخطاء المحتملة.

4- استخدام تقنية NFC المدمجة في الهواتف الشخصية كوسيلة تعريف:

تم اقتراح استخدام تقنية NFC الموجودة في الهواتف الذكية كبديل لبطاقات NFC لتبسيط عملية الاستدعاء. إلا أن هذا الخيار واجه صعوبات تقنية، أبرزها القيود التي تفرضها أنظمة تشغيل الهواتف على مشاركة المعرفات، ما يستلزم وجود تطبيق مخصص لتفعيل الاتصال مع النظام. هذا يزيد من تعقيد التنفيذ ويحدّ من سهولة الاستخدام. بناءً على ذلك، تم اعتماد البطاقات كحل عملي حاليًا، مع إمكانية إعادة النظر في هذا الخيار ضمن التوسعة المستقبلية.

5- ملاءمة الواجهة الرسومية لمقاسات شاشات متعددة:

في البداية، تم تصميم واجهة النظام الرسومية بأبعاد ثابتة تتناسب مع حجم شاشة محددة. لكن عند تجربة النظام على شاشات أخرى بأحجام ودقات مختلفة، ظهرت مشاكل في موضع العناصر وفقدان جزء من المحتوى البصري. لذلك، تم إعادة تصميم الواجهة بطريقة تعتمد على النسب بدلًا من القيم الثابتة، بحيث تم ضبط حجم النصوص والصور تلقائيًا بناءً على أبعاد شاشة العرض. هذا التعديل ساعد على ضمان ظهور الواجهة بشكل سليم على مختلف أنواع الشاشات، مع المحافظة على التناسق والوضوح.

6- الاستجابة لتكرار تمرير نفس البطاقة:

ظهرت في بعض الحالات مشكلة تكرار عرض الطلاب إذا تم تمرير البطاقة مجددًا بسرعة، ما تطلب تطوير منطق يمنع الاستدعاء المتكرر خلال فترة عرض الطالب.

7- الاعتماد على مكتبات صوتية تتطلب اتصالًا بالإنترنت:

تم في البداية الاعتماد على تسجيلات صوتية تُخزّن يدويًا، ثم تم تطوير للنظام لاستخدام مكتبة صوتية تعتمد على الذكاء الاصطناعي لتوليد نطق الأسماء بشكل لحظي أثناء العرض. لكن هذا الأسلوب تطلب اتصالًا دائمًا بالإنترنت، مما قيّد إمكانية التشغيل في

البيئات غير المتصلة. لذلك، تم اعتماد أسلوب بديل يقوم بتوليد وتخزين ملفات الصوت تلقائيًا عند إدخال الطالب ولمرة واحدة فقط، لتقليل الاعتماد على الإنترنت أثناء تشغيل النظام.

3.4 تقييم شامل لأداء النظام

بعد استكمال التصميم وتنفيذ النظام ميدانيًا، يمكن تقييم أدائه العام بناءً على مدى تحقيقه للوظائف المستهدفة واستجابته للتحديات التقنية المختلفة. حيث أظهر النظام كفاءة واضحة في تنفيذ عملية الاستدعاء اللحظي للطلاب من خلال الربط التفاعلي بين قارئ NFC، ووحدة الإرسال اللاسلكي، ووحدة المعالجة والعرض الداخلي. كما تمكّن من إدارة بيانات العائلات والطلاب بطريقة مرنة، بما في ذلك دعم حالات الإخوة المتعددين وتعدد أولياء الأمور لكل طالب.

أثبتت بنية النظام اللاسلكي موثوقية عالية في الاتصال، خاصة بعد ضبط هوائيات الإرسال وتحسين مواقع الوحدات. كما ساهمت الواجهة الرسومية المصممة بشكل ديناميكي في عرض البيانات بصورة منسقة وواضحة على مختلف أحجام الشاشات، مما عزز من تجربة المستخدم داخل المدرسة. بالإضافة إلى ذلك، أدّى اعتماد أسلوب توليد الصوت مسبقًا إلى تجاوز مشكلات الاتصال بالإنترنت، مع الحفاظ على جودة النطق وتعدد اللغات.

رغم بعض التحديات المرتبطة بالمسافة، ومحدودية بعض الخيارات البرمجية أو المادية، فإن النظام في صورته النهائية قدم نموذجًا متكاملًا وفعّالًا لتقنية الاستدعاء الذكي، ويمثل أساسًا يمكن البناء عليه مستقبلاً لتوسعة الوظائف ودعم تقنيات إضافية.

4.4 التكلفة الاجمالية للنظام

تم تصميم النظام بحيث يحقق التوازن بين الأداء العملي والتكلفة المنخفضة، وذلك باختيار مكونات متوفرة وذات كفاءة عالية من حيث السعر والوظيفة. وفيما يلي الجدول (4–1) يوضح تقدير لتكلفة القطع المستخدمة والتكلفة الإجمالية للنظام ككل.

جدول (4–1) تكلفة الوحدات المستخدمة في النظام

القطعة	الكمية	السعر الإجمالي للكمية ($) (Alibaba)
Arduino Nano	1	1
NFC PN532	1	2.5
HC-12 (433 MHz)	2	3
Raspberry Pi Zero 2W	1	18
microSD 32GB	1	4
LEDs + Buzzer + Breadboard + مقاومات + أسلاك توصيل +	–	3
mb102 power supply	1	0.5
الإجمالي	–	32 $

تُبيّن البيانات الواردة في الجدول (4–1) التكلفة التقديرية للمكونات المادية المستخدمة في بناء النظام. وقد تم اعتماد أسعار مأخوذة من مصادر إلكترونية موثوقة، مع مراعاة اختيار أسعار معقولة تعكس القيمة السوقية الواقعية للقطع خلال فترة تنفيذ البحث. حيث خضعت جميع الأسعار لعملية تقريب بسيطة لتيسير عملية الحساب، كما تم احتساب الكميات بناءً على نموذج عملي يتكوّن من وحدة خارجية واحدة ووحدة داخلية واحدة فقط.

تجدر الإشارة إلى أن اختيار حجم الشاشة ونوعها يعتمد على مساحة ساحة الانصراف وعدد الطلاب، حيث يُفضَّل استخدام شاشة ذات أبعاد مناسبة تضمن وضوح الرؤية. وبما أن هذه الشاشة

تُعتبر من التجهيزات الدائمة التي غالبًا ما تكون متوفرة مسبقًا لدى المؤسسة التعليمية، فإنها لم تُدرج ضمن التكاليف المخصصة للنظام. كذلك لم تُحتسب بطاقات NFC ضمن الجدول نظرًا لتفاوت عددها حسب عدد العائلات، علمًا أن تكلفة البطاقة الواحدة تتراوح بين 0.02 إلى 0.05 دولار أمريكي، مما يتيح مرونة أكبر في التوسعة والتطبيق التدريجي دون تأثير كبير على التكلفة الأساسية.

5.4 الاستنتاجات

من خلال تنفيذ النظام واختباره فعليًا، تم الوصول للاستنتاجات التالية:

- أثبت النظام فعاليته في تنظيم عملية انصراف الطلاب بطريقة ذكية وآمنة، بالاعتماد على تقنية الاتصال قريب المدى (NFC) والاتصال اللاسلكي عبر وحدات HC-12.
- ساهم استخدام بروتوكول اتصال مخصص يعتمد على بنية إطارات ثنائية ثابتة في تحسين دقة التراسل وتقليل احتمالات التداخل أو الخطأ في التعرف على البيانات.
- تمكّن النظام من التعامل مع حالات الاستجابة الثلاث بشكل واضح (مطابقة – عدم مطابقة – حالة انشغال الشاشة)، عبر تغذية راجعة بصرية وسمعية فورية.
- أظهرت اختبارات الأداء أن النظام يتمتع بزمن استجابة مقبول (في حدود 2–5 ثوانٍ)، كما أنه قادر على الاستمرار في العمل بثبات خلال فترات تشغيل متواصلة.
- أثبتت التجربة أن النظام قابل للتوسعة مستقبلًا، سواء بإضافة وحدات قراءة متعددة أو بربط النظام بقاعدة بيانات سحابية.

6.4 التوصيات

بناءً على نتائج التجربة الفعلية، يُوصى بالتالي:

- تحسين أداء الاتصال اللاسلكي باستخدام هوائيات خارجية أو وحدات أكثر استقرارًا في البيئات ذات التداخل العالي أو المسافات الواسعة.
- تطوير بنية الإطار بإضافة تسلسل رقمي (Sequence ID) أو طابع زمني لتعزيز التتبع والتكامل عند معالجة الطلبات المتزامنة.
- رغم التحديات التقنية الحالية، يُوصى مستقبلاً بتطوير استخدام الهواتف الذكية الداعمة لتقنية NFC، مما يتيح لأولياء الأمور استخدام هواتفهم مباشرة كبديل عن بطاقات NFC، مع مراعاة متطلبات الأمان وسهولة الاستخدام.
- يوصى باستخدام مكبرات صوت خارجية مستقلة في الساحات أو الممرات، خاصة في المدارس الكبيرة أو البيئات التي تعاني من ضوضاء، وذلك لضمان وصول النداء الصوتي بوضوح للطلبة.
- يوصى بتجربة النظام في مدارس ذات أحجام وتوزيعات مختلفة، وذلك لرصد تحديات إضافية قد تظهر في بيئات جديدة وتطوير حلول مخصصة لها.

المراجع

المراجع

[1] Y. Hua, *NFC-Enable System Design in Wireless Sensor Network*, Master's thesis, iPack Center, KTH – Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, Jan. 2013.

[2] Arduino, *Arduino Nano Technical Datasheet*, IEEE Open Projects, University of California, Irvine. [Online]. Available: https://ieee.ics.uci.edu/ops/assets/datasheets/ops_datasheet_arduino_nano.pdf [Accessed: Apr. 10, 2025, 22:45].

[3] L. L. Peterson and B. S. Davie, *Computer Networks: A Systems Approach*, 6th ed. Morgan Kaufmann, 2020.

[4] Federal Communications Commission, *Third Report and Order: Review of Part 15 and Other Parts of the Commission's Rules*, ET Docket No. 01-278, FCC 04-98, Apr. 2004. [Online]. Available: https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-04-98A1.pdf [Accessed: Mar. 20, 2025, 18:00].

[5] *HC-12 Wireless Serial Port Communication Module User Manual*, Elecrow. [Online]. Available: https://www.elecrow.com/download/HC-12.pdf [Accessed: May. 12, 2025, 15:39].

[6] E. Upton and G. Halfacree, *Raspberry Pi User Guide*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2016.

[7] A. S. Tanenbaum and D. J. Wetherall, *Computer Networks*, 5th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2011.

[8] D. Tse and P. Viswanath, *Fundamentals of Wireless Communication*, Cambridge University Press, 2005.

[9] M. Herlich and F. von Tüllenbourg, *Introduction to Narrowband Communication*, Salzburg Research, June 2018. [Online]. Available: https://www.salzburgresearch.at/wp-content/uploads/2018/11/Introduction-Narrowband.pdf [Accessed: May. 15, 2025, 11:40].

[10] S. Rackley, *Wireless Networking Technology: From Principles to Successful Implementation*, Elsevier/Newnes, 2007.