

آليات قياس جودة الهواء الداخلي في الفصول الدراسية

The Mechanisms Used to Measure the Indoor Air Quality in Classrooms

أ.د/ محمد حسن إمام

أستاذ تصميم الأثاث بقسم التصميم الداخلي والأثاث- كلية الفنون التطبيقية- جامعة حلوان.

Prof. Mohamed Hassan Emam

Professor of Furniture Design, Department of Interior Design and Furniture, Faculty of Applied Arts, Helwan University.

m_emamart@yahoo.com

م.د / أحمد محمد عبد الرازق

مدرس دكتوراه بقسم التصميم الداخلي والأثاث- كلية الفنون التطبيقية- جامعة حلوان.

Dr. Ahmed Mohamed Abd-Elrazeq

Lecturer, Department of Interior Design and Furniture, Faculty of Applied Arts, Helwan University.

abdelrazik2005@yahoo.com

الباحث/ انس محمد ارشيد بطاينه

باحث دكتوراه بقسم التصميم الداخلي والأثاث- كلية الفنون التطبيقية- جامعة حلوان.

Researcher. Anas Mohamed Arshid

PhD researcher at the Department of Interior Design and Furniture - Faculty of Applied Arts - Helwan University.

anas_bm@yahoo.com

الملخص:

تزايد في السنوات الأخيرة القلق بشأن تأثير تلوث الهواء على أطفال المدارس. هناك مجموعة متزايدة من الأدلة لتطور الربو، بالإضافة إلى تفاقم الأعراض لدى المصابين بالربو، مع التعرض لملوثات الهواء المرتبطة بحركة المرور، ويعتبر من الأمور المهمة، مراقبة جودة الهواء في البيئة الداخلية؛ لرصد مستويات التلوث؛ لتقييم مدى مناسبة بيئة الفصل الدراسي للطفل، وضمان بيئة آمنة، وتفعيل أنشطة ترشيح الهواء، وتحفيز الوعي البيئي عند أصحاب القرار، وتطوير التقنيات تبعاً لبيانات. ونظراً لعدم وجود أداة قياسية لبيانات جودة الهواء الداخلي للفصول الدراسية في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية، يقدم هذا البحث: نظام مقترح لقياس جودة الهواء، الذي يتكون من: مستشعرات موزعة متصلة بنظام مطور، يشكل شبكة استشعار لاسلكية (WSN) *، تعتمد عقد المستشعر على حركات ZigBee منخفضة الطاقة، وتنقل بيانات القياس الميدانية إلى السحابة من خلال بوابة. تم تطبيق نظام حوسبة سحابية محسن لتخزين البيانات المستلمة من شبكة الاستشعار ومراقبتها ومعالجتها وتصورها. يتم تنفيذ معالجة البيانات وتحليلها في السحابة من خلال تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي؛ لتحسين الكشف عن المركبات والملوثات. هذا النظام المقترح هو: أسلوب استهلاك منخفض التكلفة، وصغير الحجم، ومنخفض الطاقة يمكن أن يعزز بشكل كبير كفاءة قياسات جودة الهواء، حيث يمكن نشر عدد كبير من العقد، وتوفير المعلومات ذات الصلة؛ لتوزيع جودة الهواء في مناطق مختلفة.

الكلمات المفتاحية:

مراقبة جودة الهواء المحيط، شبكة استشعار لاسلكي، تلوث الهواء، الملوثات الداخلية، Zigbee WSN protocol.

Abstract:

Recently, concerns about the effect of air pollution on school kids have increased. There is a growing body of evidence about asthma's development, as well as the worsening of symptoms of people with asthma, and exposure to air pollutants associated with traffic. For this reason, air quality control in the internal environment is considered one of the important things to monitor pollution levels, assess the appropriateness of the child's environment in the classroom, ensure a safe environment, activate the activities of air filtration, stimulate environmental awareness among the decision makers, and develop technologies according to data. Due to the absence of a standard tool for the data of indoor air quality of classrooms in The Hashemite Kingdom of Jordan schools, this research provides: a proposed system to measure air quality. It consists of: distributed sensors connected to a developed system and constitutes a **wireless sensor network** (WSN).

Sensor nodes are based on low energy ZigBee movements, and transmit field measurement data to the cloud through a portal. An improved cloud computing system has been applied, monitored, processed and visualized to store the data received from the sensor network. Data-processing shall be implemented and analyzed in the cloud through the application of artificial intelligence techniques, to improve pollutants and compounds technology. The proposed system is: low cost, small-scale, and low energy consumption which can enhance the effectiveness of air quality measurements, therefore a large number of nodes can be published, as well as the provision of the relevant information in order to distribute the air quality in different areas.

Keywords:

Monitoring the quality of the surrounding air, wireless sensor network, air pollution, indoor pollutants,

أهمية البحث:

تكمن أهمية البحث في أنه يناقش مراقبة جودة الهواء الداخلية؛ لتحسين البيئة الداخلية للفصول الدراسية في المباني المدرسية؛ وهو المكان الذي يقضي فيه الطالب الجزء الأكبر من وقته داخل المبنى المدرسي؛ مما يتطلب ضرورة تهيئة الفصل الدراسي من منظور التقدم التكنولوجي وإشراك الوسائل التكنولوجية الحديثة للتغلب على المشاكل المؤثرة على تحقيق الراحة والتوافق البيئي بين الفراغ الداخلي والبيئة المحيطة.

مقدمة Introduction:

يتعرض الطفل في المدرسة لملوثات الهواء المحيط كل يوم، بغض النظر عن موقعه ونشاطه، ويعتمد مدى تعرضهم لهذه الملوثات لعدة عوامل بما في ذلك خصائص مكونات البيئة الداخلية، ومدى تركيزات الملوثات التي تعكس جودة الهواء الداخلي، كما أن الاختلافات القوية بين درجات الحرارة، والرطوبة الناتجة عن نسبة الأشغال للفصل، والتقلبات الجوية الخارجية؛ ترتبط جنباً إلى جنب مع تزايد تلوث الهواء، وارتفاع نسب التركيز للملوثات، وهذه العوامل جميعاً: تطرح التساؤل حول كيفية قياس جودة الهواء الأماكن الداخلية (الفصول الدراسية)، والأوقات التي تتطلب زيادة في نسبة تبادل الهواء؛ للحفاظ على مستويات منخفضة من ثاني أكسيد الكربون (CO₂)، والملوثات الأخرى للسماح للأطفال بأداء جيد في المدرسة (١: ص ٣٥٠). يتطلب تقييم جودة الهواء: قياسات لتركيز الملوثات، والراحة الحرارية، باستخدام الأدوات التقليدية،

التي عادةً ما تكون متوسطة على مدى فترات زمنية طويلة، والتي تصبح متاحة بعد حدوث الطالب للتعرض للملوثات، فالمراقبة التقليدية غير قادرة على معالجة عدم التجانس الزمني، والمكاني؛ للتلوث الداخلي.

عادة ما يعتبر ثاني أكسيد الكربون من: المعاملات المرجعية؛ لقياس جودة الهواء الداخلي، وذلك لان تركيزاته العالية تشير إلى: ظروف تهوية سيئة، والتراكم المحتمل للملوثات الأخرى في الهواء الداخلي، ويرتبط هذا بشكل أساسي بالصعوبات التقنية في مراقبة الهواء الداخلي في الفصول الدراسية، بالمقابل فإن أعضاء هيئة التدريس والطالب داخل الفصل الدراسي، يربط التهوية بالراحة الحرارية، بدلاً من جودة الهواء الداخلية (٢: ص ٥٥٦)؛ من خلال التحكم في وسائل التبادل المباشر مع الهواء الخارجي، بغض النظر عن ظروف جودة الهواء الخارجي، وتعرضه للملوثات، والتي تعتبر في مجمل الأحوال من البيئة المحيطة وخصوصاً المدارس المجاورة للطرق العامة.

مشكلة البحث:

تتلخص مشكلة البحث في التساؤل التالي: في ضوء السعي لتقديم أفضل بيئة داخلية لأطفالنا داخل الفصول الدراسية، كيف يمكن أن تساهم الوسائل التكنولوجية الحديثة في: قياس، مراقبة الهواء في البيئة الداخلية؛ لتنعكس على تعزيز جودة البيئة الداخلية للفصل الدراسي؟

هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى اقتراح استخدام الوسائل التكنولوجية الحديثة التي أصبحت في متناول الأيدي، في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية؛ من خلال تصميم نظام أجهزة WSN فعالة في التطبيقات للوقت الحقيقي؛ من خلال شبكة المستشعرات اللاسلكية المرتكزة على بروتوكول Zigbee (والذي سيتم توضيحه لاحقاً)؛ تسمح لها بتقييم ما إذا كانت جودة الهواء الصحية لتعرض أطفال المدارس للغازات الغير محسوسة في البيئة الداخلية للفصول الدراسية، ما ينعكس بدوره على جودة الهواء الداخلي، المرتبطة براحة الطالب والمستخدم.

فروض البحث:

إن تأثير عناصر البيئة المادية باعتبارها عامل نشط للنظام البيئي، والتي تتضمن الراحة الحرارية (تهوية، تدفئة، تكيف)، وجودة الهواء الداخلي (IAQ)*: التي تتعلق بتركيزات الملوثات، والبكتيريا والفيروسات؛ مما يرتبط بشكل مباشر في تحسين سلوك الطالب وزيادة قدرته على اكتساب المعرفة والمهارات والقدرة على التكيف واستدامة العملية التعليمية.

حدود البحث:

يرتكز البحث على توضيح أهمية توظيف الوسائل التكنولوجية الحديثة المرتبطة بالتصميم الداخلي، دورها في تحقيق جودة الهواء الداخلي (IAQ) في الفصول الدراسية.

منهجية البحث:

يعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي: من خلال دراسة عوامل انضباط الراحة لعناصر جودة البيئة الداخلية المرتبطة جودة الهواء الداخلي؛ وتحليل نظام مراقبة جودة الهواء الداخلي IAQ اللاسلكي المستند إلى (Zigbee WSN protocol) منخفض التكلفة الذي يعمل بالطاقة الشمسية، ويمكن نشره بسهولة في البيئات لمراقبة جودة الهواء الداخلية للفصول الدراسية.

البيئة الداخلية للفصل الدراسي:

تعتبر معدلات الإشغال للفصول الدراسية عالية بشكل عام، خلال ساعات التدريس في المدرسة، بالنظر إلى أن الأطفال يقضون ما يقارب ٨ ساعات يومياً (بمعدل ٢٠% من وقتهم سنوياً) داخل الفصول الدراسية، فالبيئة الحرارية المريحة، في المباني ذات التهوية الطبيعية، والميكانيكية، ضرورية بشكل واضح؛ لأدائهم التعليمي، وهي مرتبطة بشكل كبير بالاستهلاك

العالي للطاقة لتوفير الراحة الحرارية (٣: ص ٨٩٦). تتضمن البيئة الحرارية عدداً من العوامل المؤثرة: مثل درجة حرارة الهواء المحيط، ومتوسط درجة الحرارة المشعة، والرطوبة النسبية، والإشعاع الحراري، وسرعة الهواء الذي يمر عبر الفصول الدراسية وكذلك النشاط البشري، والجنس، والملابس.

انضباط الراحة

ولد نظام الرفاهية (الراحة) ، الراحة الحرارية، ونفس مفهوم البيئة المريحة، في القرن العشرين، عندما أصبح من الممكن التحكم - بشكل مباشر - في المناخ المحلي للبيئة الداخلية: المباني، ويفضل التطور التكنولوجي الذي يواصل التطور، أصبح من الممكن تعديل خصائص البيئات الداخلية الخاصة بالمستخدم حسب الحاجة، ونسبة الأشغال، وبالتالي تحسين ظروف الراحة الداخلية للمكان. تعتمد حالة الراحة في البيئة على: التفاعل بين العوامل الجسدية، والفسولوجية، والنفسية المتعددة. تعرف منظمة الصحة العالمية الراحة باعتبارها "حالة من الرفاهة البدني والعقلي والاجتماعي الكامل، وليس مجرد غياب المرض أو العجز" (٤: ص ١).

وتنقسم فئات الراحة إلى (٥: ص ٢٨):

- الراحة الحرارية: فيما يتعلق بالحفاظ على ظروف المعالجة (تبعاً للمكان) لجسم الإنسان في تنوع الأنشطة الفسيولوجية والظروف المادية للبيئة، وبالتالي تصميم المباني، والتدفئة، والتهوية، وتكييف الهواء.

- جودة الهواء الداخلي (IAQ): التي تتعلق بتركيزات الملوثات، والبكتيريا والفيروسات، وما إلى ذلك، في الهواء مقارنة بخطر التهيج، والحساسية والأمراض.

- راحة الإضاءة: التي تتعلق بالإضاءة والرؤية الصحيحة للبيئة، وبالتالي الإضاءة الطبيعية والصناعية.

- الراحة الصوتية: يغطي كل من غياب الضوضاء، والمؤثرات الخارجية على البيئة الداخلية.

تم إجراء الكثير من الدراسات خلال العقود الماضية من أجل؛ توضيح الراحة الحرارية، لمجموعات سكانية مختلفة، في بيئات داخلية مختلفة، وعوامل التأثير الرئيسية (٦: ص ٥٦٩)؛ التي تتحكم فيها التهوية، وتنعكس على درجة الحرارة، وتركيز تلوث الهواء الداخلي. أشارت الأبحاث المنشورة بوضوح إلى: وجود علاقة بين ضعف جودة الهواء الداخلي IAQ، والراحة الحرارية، مع عدد من العوامل التي تشمل:

1. انخفاض الإنتاجية البشرية وعدم الرضا لدى البالغين (٧: ص ٩٢).

2. الآثار السلبية على القدرة على التعلم لأطفال المدارس (٨: ص ٥٨٨).

3. نمو البقع البكتيرية والفطرية (اسوداد اللون) على الجدران والأسقف الداخلية للمبنى (٩: ص ٧٥٩٢).

أشارت معظم الدراسات -ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية- كمؤشرات للراحة الحرارية (١٠: ص ١٤٧). نظراً لأن درجة حرارة الغرفة هي: أهم متغير تحكم للطلاب؛ فإن الرفاهية الشخصية، تعتمد بشكل كبير على الخيارات التنظيمية للتدفئة والتهوية؛ فإن معدل التهوية، يؤثر مرة أخرى بشكل مباشر، على تركيز الملوثات، ومنها: ثاني أكسيد الكربون في البيئة الداخلية. من هنا يمكن القول: أن المستخدم للفراغ هو جهاز استشعار لدرجات الحرارة الداخلية، التي يمكن أن يشعر بها، ويمكن معرفة ما إذا كانت مناسبة، أو لا، بالمقابل لا يستطيع الطالب أن يشعر، أو يشتم، أو يستشعر أحد أكثر الملوثات الداخلية شيوعاً، التي تنتج من ارتفاع معدلات الأشغال للفراغ، أو من البيئة المحيطة وهو: ثاني أكسيد الكربون (CO2)، حيث يمكن أن تتجاوز تركيزها القيم المحددة بشكل كبير، دون أن يعرف الطالب أو المعلم ذلك (١١: ص ٧٠٧).

مصادر الملوثات في الفصول الدراسية:

تختلف الفصول الدراسية في المدارس عن غيرها من البيئات الداخلية الأخرى، ويعود ذلك؛ لنسبة الأشغال المرتفعة بالعدد، والزمن الذي يقضيه الطالب داخل الفصل الدراسي. يتم تحديد تلوث الهواء الداخلي من خلال: مجموعة من مصادر التلوث المرتبطة بالمكان، والمناخ والثقافة، (الهواء المحيط، والخصائص الفيزيائية للمبنى، والأنشطة الداخلية). وتحتوي هذه الغرف على مفروشات خاصة (كراسي، طاولات وأرفف وكتب وأجهزة عرض...) وأيضاً بالدهانات، والمواد اللاصقة، ومواد العزل الصوتي، ونتيجة لتعدد المواد الموجودة والأنشطة التي يتم تنفيذها؛ يمكن توقع عدد كبير من المركبات العضوية المتطايرة المختلفة في هواء الفصل، وغازات غير محسوسة، وغالباً ما تتضمن تحقيقات جودة الهواء الداخلي IAQ أخذ عينات من الهواء، والتي يجب إجراؤها بعناية؛ إذا كان سيتم جمع البيانات التمثيلية؛ لفهم نتائج العينات بشكل أفضل. يحتاج الباحثون إلى مراعاة تنوع الملوثات داخل المدارس وفيما بينها، هذه النتائج ذات صلة بالصحة العامة؛ بسبب العدد الكبير جداً- من أطفال المدارس المعرضين للخطر، خاصة وأن الالتحاق بالمدارس الابتدائية إلزامي، والربو والحساسية من الأمراض الشائعة جداً في مرحلة الطفولة. قد تكون هذه البيانات مفيدة؛ لتقييم الآثار الصحية للتعرض، لفهم الآليات الأساسية، وتنفيذ السياسات الوقائية من حيث المعايير والمبادئ التوجيهية (١٢: ص ٢).

التبادل الداخلي والخارجي للملوثات:

يوجد ثلاث طرق للتعرض للملوثات: (الاستنشاق، والابتلاع والامتصاص الجلدي). ويعتبر الاستنشاق هو: الطريق الرئيسي للمركبات العضوية المتطايرة، والغازات في البيئة الداخلية. المركبات الغازية (المركبات العضوية المتطايرة، والفورمالدهيد، وثاني أكسيد النيتروجين، ثاني أكسيد الكربون) والجسيمات الدقيقة (particulate matter)؛ الناتجة عن العوامل البيولوجية من فطريات، وبكتيريا محمولة جواً من أكثر الملوثات شيوعاً في المدارس الابتدائية (١٣: ص ٨٠). واستناداً إلى (Rivas et al., 2014): أن معدل تسلل المصادر الخارجية مسؤولة في المتوسط عن تركيز الجسيمات الدقيقة (PM) الداخلية بنسبة ٥٣% مع اختلاف الأسباب مثل: ضعف عزل المباني التعليمية من تسلات الأنبعاثات المرورية (١٤: ص ٧٦٤) التي تعتبر: عامل مهم في زيادة نسبة المركبات الغازية المتسللة للداخل.

يعتبر كل من ثاني أكسيد النيتروجين (NO₂) والأوزون (O₃) من المركبات الغازية الرئيسية، التي تؤثر على جودة الهواء الداخلي والخارجية، وله تأثير سلبي كبير على صحة، ورفاهية الطالب، ويعتبر الهواء الخارجي: مصدراً مهماً لتلوث NO₂ الداخلي، وتشتمل المصادر الخارجية الرئيسية على النقل وعمليات الاحتراق، والأنشطة الصناعية، وبما أنه مرتبط بشكل مباشر بالمرور؛ فإن الأنبعاثات تكون أعلى بشكل عام في المناطق الحضرية. أما الأوزون فهو: ملوث ثانوي للهواء، وتعتبر الغالبية العظمى من مصادره خارجية، لكن تكمن خطورته في تسله للبيئة الداخلية بردت فعله، وقدرته على التفاعل، والتأكسد مع المركبات الداخلية مما يزيد في سميتها (١٥: ص ٥٣٨)، وزيادة قدرت المركبات على إعادة التفاعل والانتشار.

ثاني أكسيد الكربون في الفصول الدراسية:

يعتبر ثاني أكسيد الكربون: مؤشر للتهوية الجيدة للفراغ الداخلي، ويرجع بشكل أساسي إلى: التنفس البشري، وبناءً عليه يتم قياس مؤشر جودة الهواء الداخلي، في الفصول الدراسية الغير مهواة ميكانيكياً يتبع تطور تركيز ثاني أكسيد الكربون منحني تصاعدي؛ بسبب الازدياد من الطلاب الموجودين، ويتوجه للانخفاض السريع من خلال: تدخل التهوية الطبيعية، كفتح النوافذ في حال كان التركيز في الهواء الخارجي أقل منه في الداخل، مع ذلك فإن الزيادة العالمية لمستويات ثاني أكسيد الكربون في الهواء الطلق تعتبر مصدر قلق كبير، وتؤثر بشكل مباشر على كفاءة أنشطة التهوية الطبيعية؛ بسبب انخفاض امتصاص ثاني أكسيد الكربون الذي نتج عنه التغير المناخي (١٦: ص ٨٣١).

يعد الوصول إلى تركيزات منخفضة من ثاني أكسيد الكربون في الفصول الدراسية: أمراً مهماً؛ من أجل توفير بيئة محفزة؛ لتعزيز عمليات التعلم، لذا فإن تطوير وتنفيذ استراتيجيات التهوية هو: أداة مهمة، حيث يوصى أيضاً بتجهيز الفصول الدراسية، بأجهزة مراقبة لمستويات ثاني أكسيد الكربون، ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية؛ لضمان بقاء القيم المستهدفة لتركيزات ثاني أكسيد الكربون أقل من ١٠٠٠ جزء في المليون، ودرجات الحرارة بين ٢٠ درجة مئوية و ٢٢ درجة مئوية خلال فصل الشتاء، و ٢٢ درجة مئوية و ٢٤ درجة ج خلال الصيف، والرطوبة النسبية في نطاق ٤٠٪ إلى ٦٠٪ (١٧): (ص ٢٢٢).

يعتبر معامل تبادل الهواء في البيئة الداخلية: عاملاً حاسماً في تركيزات عدد الجسيمات، والغازات الداخلية، والغازات المتسللة من الخارج، لكن من خلال تسليط الضوء على أن الاختلافات الموسمية، وتقلبات المناخ تسبب مشاكل، ومخاوف مختلفة، خصوصاً في فصل الشتاء، والأوقات الباردة (١٨: ص ١٨٩) حيث أن تبادل التهوية في الغرف الصفية ليست ثابتة، حيث تؤدي الأبواب، والنوافذ المغلقة إلى: تراكم الملوثات في البيئة الداخلية؛ نتيجة الضغط الجوي، الناتج عن ضعف التهوية، وازدياد معدلات ثاني أكسيد الكربون الناتج من نفس الطلاب.

ومن هنا نقول: أن توفير ظروف أفضل لجودة الهواء في المبنى المدرسي وعملية استغلاله بطريقة مستدامة، يجب أن تأخذ في اعتبارها أن عملية توفير الطاقة هي عملية ثانوية، لذي فإن إجراءات الحفاظ على الطاقة من خلال التأثير السلبي على معامل تبادل الهواء في البيئة الداخلية لطرق التهوية الطبيعية أو الميكانيكية، والتي تسمح بالتفاوت بدرجات الحرارة المتنوعة وكمية أمداد الهواء للبيئة الداخلية على نطاق أوسع في المبنى المدرسي تؤدي إلى: نتائج سلبية منها تقليل أداء جودة الهواء الداخلي في المبنى المدرسي، مما ينعكس على التقليل من أداء الأطفال في العمل المدرسي بمقدار ٣٠٪، لذي فإن عملية تعزيز الصحة العامة في المبنى المدرسي يأخذ في أولوياته ضرورة رفع المستوى العلمي والتحصلي للطلاب وهذا ما يتطلب تحقيق جودة هواء سليمة وصحية بعيداً عن أدراج عملية توفير الطاقة كأولوية داخل البيئة التعليمية (١٩): (ص ٥٨١).

تقنية استشعار جودة الهواء الداخلية (IAQ)

حاجة الاستخدام

أن جودة الهواء في المناطق الحضرية هي بمثابة مصدر قلق ويرجع ذلك للنطاق الكبير من التحضر والنمو السكاني والازدياد في حركة المرور والتصنيع واستخدام الطاقة، في دراسة أجريت مؤخراً بعنوان " العبء العالمي للأمراض" قدم دليلاً جديداً على الدور الهام الذي يلعبه تلوث الهواء على مستوى العالم، حيث تم تصنيفه ضمن أكبر عشر مخاطر يواجهها البشر، وبناءً على ذلك دعت الحاجة إلى ضرورة توفير بيانات قياسية عن جودة الهواء بشكل عام لتقييم التعرض البشري للملوثات، لكن هذا يتطلب كمية كبيرة من البيانات ومرافق الحوسبة وتفاصيل المدخلات غير المتوفرة لعدد من المدن، أحد الحلول للتغلب على ذلك هو اعتماد طرق منخفضة التكلفة لمراقبة البيئة وقادرة على تغطية مساحات واسعة، لذلك دعت الحاجة إلى توفير تقنية المستشعرات (٢٠: ص ٢٠١).

تعتبر الطرق التقليدية لقياس ورصد مصادر التلوث أدوات عالية الثمن وغير قادرة على توفير بيانات مكانية وزمانية عالية الدقة، وكبيرة الحجم وصاخبة وتحتاج إلى شخص صاحب خبرة، لكن مع التطور التكنولوجي وظهور أجهزة مراقبة تلوث الهواء المحمولة منخفضة التكلفة وسهلة الاستخدام باستخدام تقنية المستشعرات، التي تسمح ببيانات عالية الدقة في الوقت الفعلي، أعطت فرصاً جديدة لتحسين مراقبة جودة الهواء وظهور إمكانيات وتطبيقات جديدة تعمل على تغيير طرق إدارة جودة الهواء الداخلية.

مع ذلك فإن فكرة استخدام أجهزة الاستشعار يجب أن يتحقق فيها مقومات تدعم انتشار مثل هذه التطبيقات الذكية، حيث يجب أن يتم تشغيلها بالبطاريات طويلة الأمد بحيث لا تكون هناك حاجة لاستبدالها بشكل متكرر أو توصيلها بنقاط طاقة متعددة داخل المبنى. كما أن عامل الحجم لجهاز الاستشعار له دور مؤثر حيث أنه كلما كان أصغر كان وظيفياً أفضل، كما يتوجب أن لا يصدر عن عنها أي ضجيج (صامتة) بحيث لا تسبب إزعاج للمحيط المادي المستخدمة فيه، ومن المهم في هذا المجال أن تكون المستشعرات أكثر حساسية لمستويات التركيز المنخفضة للملوثات (٢١: ص ١٥١).

أجهزة الاستشعار

تم تصنيع المستشعرات حديثاً باستخدام تقنيات التصنيع الدقيقة وتحتوي على أنظمة كهروميكانيكية دقيقة (MEMS) (Micro-electro-mechanical-systems) فهي مجموعة من الهياكل الميكانيكية والكهربائية في بنية نانوية للاستشعار أو التشغيل، مدمجة مع إلكترونيات معالجة الإشارات على نفس الجهاز، مما يسمح لها بأن تكون مدمجة وخفيفة الوزن وغير مكلفة (٢٢: ص ٢)، وتستكمل هذه بدوائر الاستشعار التي لديها أسلاك طاقة منخفضة للغاية وأجهزة اتصال موفره للطاقة، تجعل قوة الحوسبة المتقدمة لمعالجة البيانات أكثر كفاءة وسهولة، كما يضاف إلى ذلك ازدياد الاستخدام بسبب توفر الشبكات اللاسلكية مما يمكن من الاتصال عبر نطاق أوسع (٢٣: ص ١١٣٦٩).

فالمكون الأساسي في هذه الأجهزة هي عناصر تستجيب للتغيرات في الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية، يتم تحويلها إلى إشارات كهربائية بواسطة محولات الطاقة، وتقيس أجهزة استشعار الغاز الكيميائي تركيز الأنواع الغازية من خلال تحليل التفاعلات بين مادة الاستشعار والغازات المستهدفة، مثل O₃ و CO و SO₂ وثاني أكسيد الكربون (CO₂) وثاني أكسيد النيتروجين (NO₂) والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs).

الفوائد المحتملة لاستشعار جودة البيئة الداخلية IAQ المقترحة في المدارس:

تعد أجهزة الاستشعار ذات القراءات المباشرة بداية لفتح عصر جديد في الدقة العالية لاستشعار IAQ الأزمانى المكاني، وفي الوقت نفسه تمكن الأفراد من التحكم في بيئاتهم الخاصة، تغطي الفوائد المتوقعة من هذا النهج الجديد عدداً من الجوانب:

- توصيف الوقت الحقيقي للتركيزات في الأماكن المغلقة، والتي يمكن بعد ذلك مقارنتها بالقيم، التي توصي بها المبادئ التوجيهية، على سبيل المثال: المبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية أو معايير الدولة التي يتم تطبيق النظام فيها، فإن الرصد في الوقت الفعلي سيساعد منظمة الصحة العالمية / الجهات المسؤولة على إيضاح المخاطر المتعلقة بالقيم التي يتم رصدها، من خلال تقديم بيانات عن تركيزات الذروة (التعرضات الحادة) التي يتم رصدها من خلال توصيف الوقت الحقيقي على تقديم المعلومات بشكل متكرر في فترات زمنية أطول.

- تحديد مصادر الانبعاث من الأنشطة الداخلية: نتيجة لزيادة البيانات المكانية، سيكون من الممكن استهداف مصادر محددة من خلال: رصد عمليات انبعاث الملوثات المرتبطة بها. سيكون هذا مفيداً بشكل خاص؛ لتحديد عناصر الانبعاثات في الفصول الدراسية، قد تصبح تحليلات توزيع المصدر للملوثات الداخلية (مثل المركبات العضوية المتطايرة) ممكنة (٢٤: ص ١٣).

- تزويد بيانات الهواء: قد يصبح من الممكن توفير بيانات عن الملوثات التي لا يتم رصدها بشكل متكرر في البيئات الداخلية، مثل: الفورمالديهايد، أو المركبات العضوية المتطايرة، أو البنزين، أو PNCs (particle number concentrations) في الهواء الداخلي، بالإضافة إلى الشعور بعدم الراحة، والضغط الحراري باستخدام أجهزة الاستشعار الداخلية (٢٥: ص ١٠٧).

- تحسين إدارة جودة الهواء الداخلي IAQ: ستعمل تقنيات الاستشعار الداخلية على تحسين إدارة جودة الهواء الداخلي IAQ، والتي ستحسن ضمناً نتائج صحة السكان في الأماكن المغلقة، ستزيد التغطية المكانية والزمنية المتزايدة التي توفرها تقنيات المستشعرات، بدلاً من الأجهزة التقليدية لصالح الإدارة، الأكثر عقلانية والمحسنة لاستراتيجيات التهوية، ومنع القرارات الخاطئة والآثار السلبية اللاحقة على الصحة (٢٦: ص ١٢٤).

- الفوائد الصحية: من خلال خفض تكلفة مراقبة تلوث الهواء؛ ستسهل تقنيات أجهزة الاستشعار الفهم الأساسي للتأثير الصحي، وتسمح بالتقييمات التي لم تكن ممكنة مع الأجهزة التقليدية، سيفيد ذلك على وجه التحديد: الميزانيات المنخفضة للمدارس، والتي تقيم الراحة الداخلية للطلاب.

إستراتيجية توظيف الوسائل التكنولوجية الحديثة في المدارس:

أظهرت شبكة المستشعرات اللاسلكية (WSN)، إمكانات كبيرة للتطبيق الواسع النطاق في مجالات المراقبة، والأشرف ضمن حقول علمية جديدة مثل: ذلك تحديد المعلمات للبيئة المادية، ودمجها، ونشرها على هيئة معلومات مقروءة (٢٧: ص ٢-٢٠٠٦٣). نظراً لتوافر أجهزة استشعار حديثة أصغر، وأرخص، وذكية في السنوات الأخيرة.

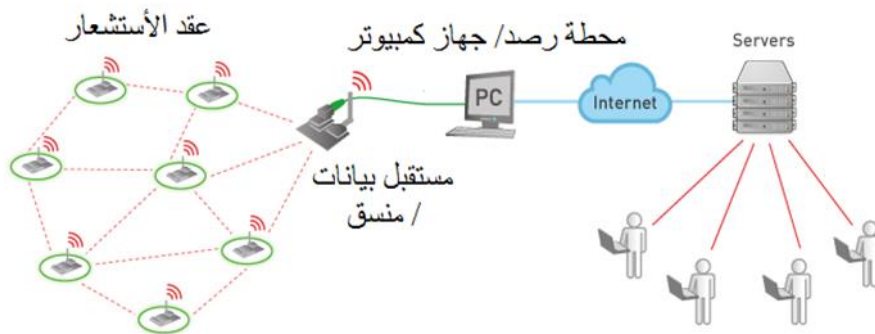
أجهزة الاستشعار اللاسلكية هي: نوع من الأجهزة تستخدم للكشف عن الملوثات الداخلية من أجل تحقيق قياس موثوق لـ "الراحة الحرارية". وهي عبارة عن: مجموعة من العقد (نقطة التقاء) المكونة من معالجات واحدة أو أكثر، وأنواع متعددة من الذاكرة، ومصدر طاقة، وتستوعب أجهزة استشعار ومشغلات مختلفة. يوجد حالياً أجهزة استشعار قادرة على قياس مجموعة من ملوثات الهواء الداخلي الشائعة (جهاز TPZRCO@TH-Z3 المبرمج للاتصال على أحدث تقنيات Zigbee ويوفر مستشعر لقياس نسبة ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة والرطوبة تجتمع هذه المستشعرات في جهاز واحد)، كما يمكن جمع مجموعة من المستشعرات ضمن جهاز واحد تستهدف قياس تراكيز: المركبات العضوية المتطايرة (VOCs)، وأول أكسيد الكربون (CO)، والجسيمات الدقيقة (PM: particulate matter) (٢٨: ص ١٥٣). تم تحسين أجهزة الاستشعار مما منحها حساسية عالية لاكتشاف غاز معين أو جسيمات دقيقة، وقت استجابة سريع يصل لعدة ثواني، حجم صغير، وتكلفة منخفضة مع حساسية عالية ومقاومة للتخريب، واهم مميزاتا سهولة استخدامها في الأنظمة الإلكترونية (٢٩: ص ١). ويقدم هذا البحث نظام مراقبة IAQ اللاسلكي المستند إلى (Zigbee WSN protocol) منخفض التكلفة الذي يعمل بالطاقة الشمسية، ويمكن نشره بسهولة في البيئات لمراقبة جودة الهواء الداخلية للفصول الدراسية.

شبكة المستشعرات اللاسلكية المرتكزة على Zigbee

Zigbee: هو بروتوكول شبكة لاسلكية قياسي مفتوح معتمد في معيار (IEEE 802.15.4) هو معيار تقني يحدد تشغيل شبكات المنطقة الشخصية اللاسلكية ذات معدل بيانات منخفضة / low-rate wireless personal area networks بهدف تقليل استهلاك الطاقة بشكل كبير)، والذي يعمل على تحديد طبقة الوسائط، وطبقة الهدف، هذا النظام يعمل بشكل كبير الكفاءة على النطاق الصغير، والتكلفة منخفضة، والطاقة المنخفضة، بالمقابل النظام السلكي يمكن أن يكون مكلفاً وغير فعال (٣٠: ص ٢٢٦٤)، يعمل هذا النظام بتردد ٢,٥ غيغاهرتز ويدعم المعيار خدمات بناء الشبكة (الشبكة النجمية، والشبكة المتناظرة، والشبكة العنقودية) (٣١: ص ١٤٠)، وهذه الشبكات تتكون من عدد كبير من عقد الاستشعار الموزعة، التي يمكن نشرها بسهولة وتنظيمها في شبكة لاسلكية متعددة نقاط الربط. مدى ٥٠ متر طولي نموذجي ويمكن أن يصل إلى ٥٠٠ متر مع وجود أجهزة إعادة التوجيه (٣٢: ص ٣٢١)، ما يجعل الشبكة أكثر توسعاً.

تصميم النظام

يظهر هيكل نظام مراقبة جودة الهواء الداخلية في الشكل رقم (١). يتألف النظام من العقد الطرفية Zigbee, جهاز توجيه للموجات (routers), مدخل للبيانات/ منسق لا سلكي تتصل بجهاز كمبيوتر محمول / مكتبي جاهز للاستخدام مع نظام إدارة متكامل يتم إنشاؤه باستخدام منصة (LabVIEW)*؛ لعرض البيانات على جهاز كمبيوتر. يمكن للعقد الطرفية (المستشعرات) الموجودة في البيئة الداخلية أن تقيس في وقت واحد عوامل جودة الهواء في البيئة، ويتم إرسال البيانات إلى الداخل، عبر أجهزة التوجيه، التي تسمح للأجهزة الأخرى بالانضمام إلى الشبكة وتوفير التوجيه متعدد القفزات لزيادة مسافة الإرسال. يتم استخدام المنسق؛ لتلقي البيانات المرسله من أجهزة التوجيه، أو الأجهزة الطرفية، توفر مداخيل الاستقبال بيانات لجهاز كمبيوتر حيث يمكن تخزين بيانات الاستشعار، ودمجها في قاعدة بيانات؛ بالتالي يمكن للمستخدم إجراء استفسارات حول البيانات التاريخية وأحدث البيانات من خلال الواجهة التخطيطية (LabVIEW)* (٣٣: ص ١٤١).



الشكل (١) يوضح بنية تصميم النظام/ نظام مراقبة البيئة الداخلية (٣٤)

تفاصيل المكونات للنظام (٣٥: ص ٤):

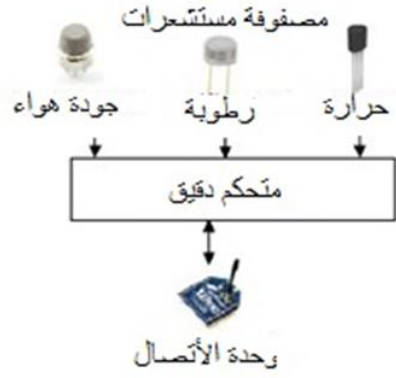
أ- عقد الاستشعار: الشكل رقم (٢) يوضح بنية العقدة الطرفية، المكونة من لوحة إلكترونية مطورة، ومجموعة مستشعرات، ووحدة توفير طاقة. ويتم دعمها بوحدة تزويد طاقة (بطاريات قابلة لإعادة الشحن)، ودمجها أيضاً مع لوحة شمسية ١٠ وات الشكل رقم (٣)، ويمكن وضعها ضمن الإطار الخارجي للفتحات المعمارية كوحدة مستقلة، هذا بدوره يضمن عمراً أطول للبطارية مع استخدام مصدر طاقة متجددة. عقد الاستشعار قادرة على التفاعل مع البيئة عن طريق الاستشعار أو التحكم في المعلومات المادية؛ نظراً لأن العقد مجهزة بقوة محدودة وحجم صغير، مع جودة للمعلومات المرسله من خلالها. يفضل وضع المستشعر داخل بيئة الفصل الدراسي بالقرب من النوافذ الداخلية (المسنولة عن تصريف الهواء المستهلك بخاصية الطفو)؛ لتنعكس البيانات الواردة منه بين البيئة الداخلية، والهواء الوارد للفصل الدراسي من الخارج؛ لتصبح نسبة التحقق عالية.

تتكون عقدة المستشعر من ثلاثة مكونات :

• مصفوفة من المستشعرات (: Array of sensors) تشتمل عدد من المستشعرات التي تعلق على عقد المستشعر، بهدف قياس جودة الهواء.

• متحكم دقيق (: Microcontroller) يتم توصيل متحكم دقيق بوحدة عقد الاستشعار، للحصول على البيانات من العقد، والدخول لحالات السكون، تجميع البيانات.

• وحدة اتصال (: Communication module) تسمح لعقد الاستشعار بتبادل البيانات المجمعة مع العقد في النطاقات القريبة.



الشكل (٢) يوضح تصميم عقدة الاستشعار (٣٣: ص ١٤١)



الشكل (٣) منظر خارجي لعقدة الاستشعار (مصفوفة المستشعرات) مع اللوح الشمسية، مع العلم بأن اللوح الشمسي سيتم توصيله ضمن أقرب فتحة معمارية (نافذة).

ب- جهاز توجيه الموجات: نظراً لمدى الإرسال المحدود لأجهزة الراديو، وغياب الاتصال اللاسلكي للمسافات البعيدة، يتم الاعتماد على أجهزة توجيه، لتوسيع النطاق على البيئة المراد تغطيتها، ويتكون من وحدة المتحكم متعددة النقاط *MCU التي تتولى التحكم في إدارة الطبقة المادية ومن بين وظائفه الوصول إلى القناة، وتتبع أوقات الفتحات، وإقرار تسليم الرسائل (٣٦: ص ٣٠٨٦) ووحدة التردد اللاسلكي، ووحدة تزويد طاقة، ويمكن في هذا الجهاز: الاعتماد على مصادر الطاقة الموصولة مباشرة بالأسلاك، أو تعمل بالطاقة المشمسة. يفضل وضع هذا الجهاز في الممرات بحيث يكون مسئول عن إعادة توجيه الإرسال لمدخل البيانات وفقاً للتجارب على أرض الواقع من قبل مسئول تركيب النظام.

ج- مستقبل البيانات/ المنسق: بوابة مسئولة عن إنشاء وإعادة برمجة وإدارة الشبكة، وتتكون من وحدة تحويل الطاقة، ووحدة مدخل بيانات (USB)* ووحدة تحويل طاقة، ووحدة لاسلكية لاستقبال الإشارة اللاسلكية التي يتم إرسالها من العقد الطرفية القريبة مباشرة أو من أجهزة إعادة التوجيه. توضع هذه الوحدة بالقرب من جهاز الكمبيوتر المسئول عن متابعة وتحليل قراءات النظام.

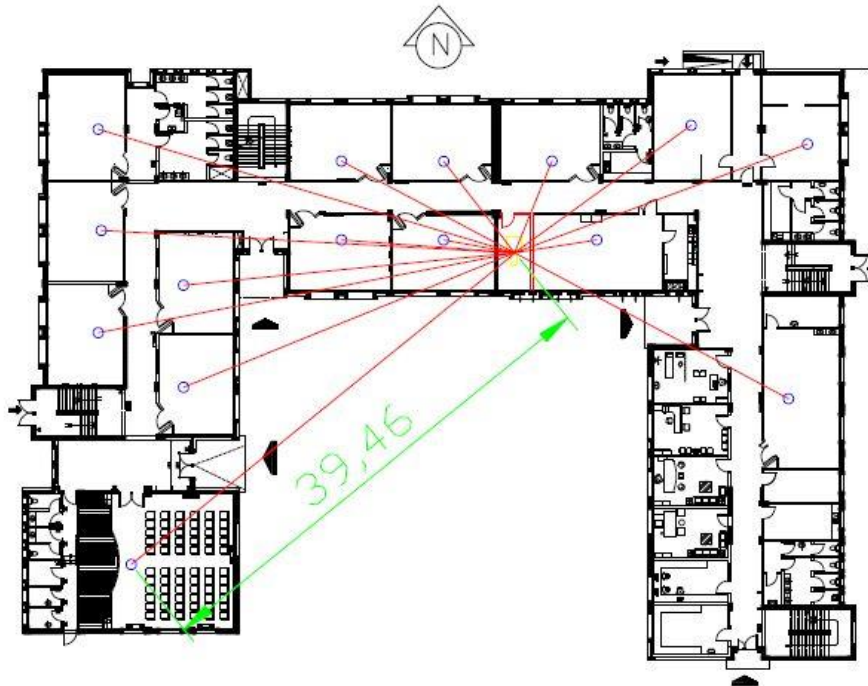
د- جهاز كمبيوتر مكتبي: محطة الرصد التي تتصل بمستقبل البيانات مع نظام إدارة متكامل مصمم باستخدام منصة (LabVIEW) التي توفر واجهة معلومات حية دقيقة عن كل قراءات / بيانات الملوثات المؤثرة على أجهزة الاستشعار لكل عقدة طرفية، يفضل وضعة في مكان مخصص تحت مسؤولية شخص مختص من ضمن الإدارة المسئولة عن المدرسة، ويمكن من خلاله تدريبه على قراءة، وتحليل البيانات، أو تزويد الجهات المختصة عن طريق الانترنت؛ لمتابعة عملية رصد الهواء الداخلي. مع العلم البيانات المسجلة في الجهاز هي: قراءات المستشعرات الحالية في عقد المستشعر / ويوفر قسم البيانات الرسومية قراءات المخطط الزمني لكل عقد لمدة ٢٤ ساعة.

الشبكة المقترحة للباحث:



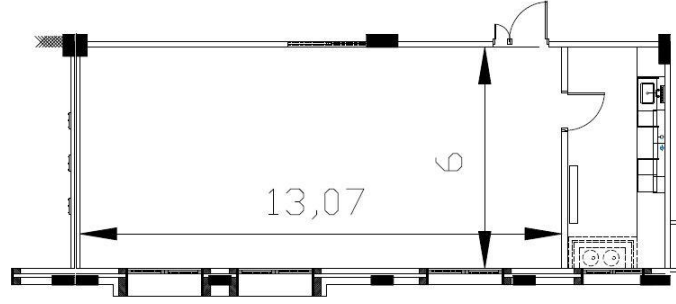
الشكل (٤) المخطط البياني المقترح للشبكة

يتم من خلال هذه الدراسة تقديم مقترح تطبيقي قائم على استخدام شبكة المستشعرات اللاسلكية المرتكزة على بروتوكول Zigbee, الشكل رقم (٤), مختصة في مجال إشراف ومراقبة الملوثات في البيئة المادية للفصل الدراسي, لعينة الدراسة: مدرسة سوم الشاملة في مدينة اربد-المملكة الأردنية الهاشمية, لتوفير إمكانية تحليلها ونشر البيانات التي تم رصدها من خلال النظام المقترح على هيئة معلومات مقروءة الشكل رقم (٥), من خلال:

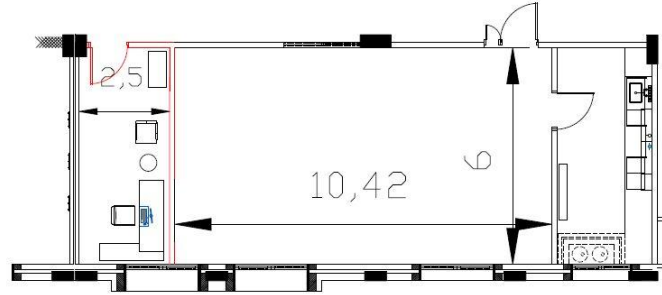


الشكل (٥) مخطط بناء مدرسة سوم الثانوية الشاملة, يوضح آلية توزيع المستشعرات على الفصول الدراسي (اللون الأزرق), وابعاد مسافة بين المستشعر وجهاز التنسيق المستقبل للموجات (باللون الأخضر), ومسار الموجات اللاسلكي بين عقدة المستشعر ومحطة الرصد (اللون الأحمر).

1. محطة رصد: تم استحداث غرفة ضمن الطابق الأول للمدرسة في وسط المبنى (نقطة ربط مركزية للنظام) الشكل رقم (٦-١), من خلال تقليل المساحة الإجمالية لمختبر العلوم من (٧٨) متر مربع إلى (٦٣) متر مربع, لتكون المساحة الإجمالية لغرفة محطة الرصد المستحدثة (١٥) متر مربع الشكل رقم (٢-٦), وتعتبر هذه مساحة كافية تتكون من مكتب مخصص لجهاز كمبيوتر مكتبي وسيرفر لحفظ البيانات, وجهاز مستقبل البيانات / المنسق المركزي, وكرسي مخصص للمسئول عن متابعة النظام.



الشكل (٦-١) يوضح شكل وأبعاد مختبر العلوم قبل إضافة الغرفة المختصة (محطة الرصد)

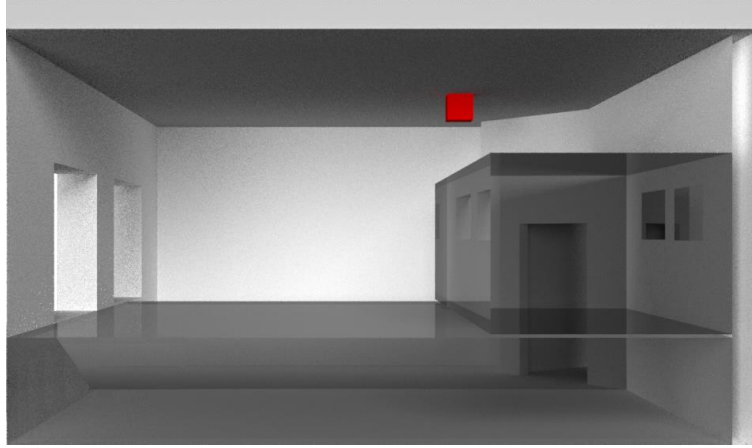


الشكل (٦-٢) يوضح شكل وأبعاد مختبر العلوم بعد إضافة الغرفة المختصة (محطة الرصد)

2. جهاز توجيه الموجات: في عينة الدراسة المختارة يلاحظ كما في الشكل رقم (٥) بأن ابعاد مسافة بين المستشعر ومستقبل البيانات هي تقريبا ٤٠ متر طولي، ولهذا يعتبر ليس من الضروري وجود جهاز إعادة التوجيه الموجي، للارتباط المباشر الحاصل بين وحدة المستشعر ومستقبل البيانات.

3. عقد الاستشعار: هي عقدة طرفية للنظام مكونة من صندوق رئيسي يحتوي على لوحة إلكترونية مطورة تضم (مصفوفة) مجموعة المستشعرات المطلوبة (درجة الحرارة والرطوبة، ثاني أكسيد الكربون، والجسيمات) ووحدة توفير طاقة وبطارية يتم دعمها من خلال لوحة شمسية مختصة يتم توصيلها من خلال نوافذ الفصل الدراسي (وحدة خارجية يتم تركيبها فوق النافذة من الخارج)، وتوزع مصفوفة المستشعرات ضمن وحدة واحدة تضم المحددات المراد قياسها (مثل: مستشعر درجة الحرارة /نسبة ثاني أكسيد الكربون / الجسيمات الدقيقة /الرطوبة... الخ) داخل الفصول الدراسية، الشكل رقم (٧)، وفقا لما يلي:

- عقدة استشعار واحدة تخدم المساحة الإجمالية للفصل الدراسي ٤٦ متر مربع، متوقع أن يخدم عدد طلاب بين (٢٠-٣٤) طالب.
- يتم تثبيت عقدة الاستشعار في السقف، على أن تكون فوق مساحة أشغال الطلاب، وان تكون في الثلث الأخير المواجه للفتحات المعمارية (بسبب احتواء الفصول الدراسية على اتجاه واحد للفتحات المعمارية المطللة للخارج)، وان لا تكون مواجهة بشكل مباشر لتيار الهواء الوارد للفصل من النوافذ، حتى تتمكن المستشعرات من إعطاء القراءة الفعلية المطلوبة داخل الفصل الدراسي وذلك أن تيار الهواء الداخل لفراغ الفصل الدراسي في حال كان مواجه لوحدة عقد الاستشعار سيؤثر على القراءات الفعلية.



الشكل (٧) يوضح مكان عقد الاستشعار (المصفوفة) (باللون الأحمر) في الفصل الدراسي مثبتة على السقف، فوق مساحة أشغال الطلاب (المستطيل المظلل في الأسفل)، على أن تكون في الثلث الأخير من الفصل الدراسي المواجهة للفتحات المعمارية الخارجية (المستطيل المظلل على يمين الفصل)

النتائج:

- تعتبر الوسائل التقليدية لقياس مستويات التلوث الحاصلة على مستوى البيئة الداخلية للفصول الدراسي، مكلفة وتحتاج فترات زمنية طويلة، وتصبح النتائج متاحة بعد تعرض الطالب للملوثات، فالمراقبة التقليدية غير قادرة على معالجة عدم التجانس الزماني والمكاني لتلوث الهواء.
- ضرورة توفير بيانات قياسية عن جودة الهواء الداخلي بتقييم التعرض للملوثات، يعتمد على كمية كبيرة من القياسات والبيانات، لذلك دعت الحاجة؛ لإيجاد حلول لتغلب على ذلك؛ من خلال اعتماد طرق منخفضة التكلفة لمراقبة البيئة الداخلية وقادرة على تغطية مساحات واسعة، التي اعتمدت على المستشعرات المتخصصة في الكشف عن الملوثات (الغازية، الجسيمات، المركبات العضوية المتطايرة).
- وفرت أجهزة استشعار جودة البيئة الداخلية (IAQ) ميزات كبيرة تسمح لها بأن تكون مدمجة وخفيفة الوزن وغير مكلفة، وتستكمل هذه بدوائر الاستشعار التي لديها أسلاك طاقة منخفض للغاية وأجهزة اتصال موفره للطاقة، جعلت قوة الحوسبة المتقدمة لمعالجة البيانات أكثر كفاءة وسهولة، كما يضاف إلى ذلك ازدياد الاستخدام بسبب توفر الشبكات اللاسلكية مما مكن من الاتصال عبر نطاق أوسع.
- الدقة العالية لأجهزة استشعار IAQ الزماني/ المكاني، تمكن الجهات المسؤولة في المدارس من التحكم في بيئة الفصول الدراسية، لتصبح منهج جديد في إدارة البيئة الداخلية يتحقق من خلاله:
 1. القدرة على مطابقة بيانات جودة الهواء الداخلي مع المعايير الدولية أو المتبعة في الأردن.
 2. تحديد مصادر الانبعاثات في فراغ الفصول الدراسية في الأوقات (قبل الأشغال، أثناء الأشغال، بعد الأشغال).
 3. توفير قاعدة بيانات كبيرة عن الملوثات التي يتم رصدها بشكل متكرر وأوقات زيادة التركيز للملوثات ما يتيح لها مرونة التعامل مع الملوثات، خصوصاً في التقلبات الموسمية للمناخ على مدار الفصول الأربعة.
 4. القدرة على تحقيق انضباط الراحة في الفصول الدراسية، من خلال الفوائد الصحية التي وفرتها التكلفة المنخفضة لأجهزة استشعار مراقبة الهواء الداخلي، وردت فعل المسؤولين على المعالجة الفورية للبيئة الداخلية في حال ارتفاع مستويات التلوث.

المناقشة

تجدر الإشارة إلى انه لا يوجد أي نوع من أنظمة رصد جودة الهواء الداخلي في عينة الدراسة، وهذا النظام غير مطبق في المدارس الحكومية في المملكة الأردنية الهاشمية، فضرورة تطبيق نظام رصد جودة الهواء الداخلي للفصول الدراسية يعتبر أمر غاية في الأهمية تبعاً للموقع المناخي لعينة الدراسة التي يحدث فيها تقلبات الفصول الأربعة التي تؤثر بشكل مباشر على عمليات الاستفادة من التهوية الطبيعية القادمة من الفتحات المعمارية المخصصة لذلك. فعلى سبيل المثال يحتم فصل الشتاء على الطلبة إغلاق النوافذ بسبب الرياح القوية والطقس البارد والأمطار والاعتماد على نظام التدفئة التقليدي (البيولرات) وهو نظام يعتمد على المياه لتسخين جسم موزع الحرارة، وتتم عملية توزيع الحرارة بالتبادل بين الهواء وملامسة سطح الجسم الساخن. ولا يحدث فيه عملية تبادل هواء بين الداخل والخارج لتحديث الهواء الداخلي) وهو بدوره ما يعمل على زيادة نسبة الغازات الضارة في البيئة الداخلية للفصل الدراسي وخصوصاً الغازات الغير محسوسة في الجو مثل ارتفاع ثاني أكسيد الكربون الناتج عن التنفس الطلبة وعدم وجود تصريف للهواء العادم، حيث يعتبر نموذج عينة الدراسة من النماذج التهوية الأحادية (نوافذ مطلة على البيئة الخارجية من اتجاه واحد)، ومن هنا يلاحظ أن وجود نظام الرصد يعزز قراءات جودة الهواء الداخلي ويدفع بالمسؤولين عن العملية التعليمية إلى إيجاد حلول على المستويين:

- الواقع الحالي: تشكيل لجان مختصة لابتكار حلول لمعالجة مشاكل التهوية للتغلب على الملوثات الداخلية في بيئة الفصل الدراسي، وهو ما يعتبر مكلف بسبب إدخال التعديلات الإنشائية التكنولوجية على المبنى القائم.

- مستقبلية: وضع ضوابط للمباني المدرسية المراد بناءها مستقبلاً يراعى فيها تحقيق جودة الهواء الداخلية من خلال عمل دراسة متخصصة تناقش هذا المجال وبناء عليه تطبيق أفضل الوسائل التكنولوجية المتاحة، وذلك للتغلب على مثل هذه المشاكل مستقبلاً.

علاوة إلى ما سبق أن البيئة الصحية السليمة تعتبر آمنة للطلاب ذوي المشاكل الصحية المزمنة (كالربو)، أيضاً تزيد رغبة الطالب في الالتحاق بالمدرسة وهذا بدوره يساهم بزيادة نسبة التحصيل العلمي،

عند تصميم المباني المدرسية المستدامة يجب تنفيذ الشبكة الكاملة لنظام قياس جودة الهواء؛ من خلال تجميع المعلومات ضمن ثلاث فئات:

1. عند الطلب: سيتم تجميع البيانات وعرضها على شاشة المحطة الرئيسية بناءً على طلب المستخدم في أي وقت مطلوب؛ من خلال البرنامج الذي اقترحه الباحث مع توفير شخص قادر على التعامل معه.

2. تحديد القيم: في العديد من تطبيقات WSN يحتاج المستخدم إلى التنبيه في حالة الطوارئ، مثل الارتفاعات في نسب ثاني أكسيد الكربون الخام، ودرجة الحرارة، والرطوبة النسبية، جنباً إلى جنب مع بيانات إشغال الغرفة، والنشاط لمعالجة البيانات المركزية وتحليل معدل تبادل الهواء.

3. التأصيل التاريخي: يسمح هذا التطبيق في مسح لقيم العوامل المادية التي تم قياسها؛ التي تغطي فترة ممتدة مثل: ساعات، أيام، أسبوع؛ من أجل إعداد دراسة تفصيلية حول التغيرات على مستوى البيئة الداخلية.

بالتالي، فإن أي تغييرات مقترحة في تصميم، وتشغيل الفصول الدراسية في المدرسة تتم باسم الاستدامة يجب أن تحسن ظروف الفصل الدراسي قبل محاولة توفير الطاقة. وهذا يعني أن أكثر الطرق شيوعاً "الخالية من الاستثمار" للحفاظ على الطاقة في المدارس، والتي تقلل من التهوية، والسماح بدرجات حرارة مختلفة على نطاق أوسع، وتؤدي إلى نتائج عكسية، بمعنى أنها تقلل من أداء المدرسة على الرغم من أنها توفر الطاقة.

الخلاصة Conclusion:

من خلال ما تقدم البحث من نتائج وتمت مناقشتها؛ يمكن معرفة مدى أهمية مواكبة التطور التكنولوجي؛ لتحقيق التوظيف السليم والموجه لهذه التكنولوجيا في التصميم الداخلي، ما ينعكس على تحقيق جودة الهواء الداخلي للفصول الدراسية في المباني المدرسية:

**التوصيات:**

- يوصي الباحث باستخدام شبكة المستشعرات اللاسلكية المرتكزة على نظام Zigbee المقترح في المدارس القائمة، وذلك لتوفير قاعدة بيانات مرجعية عن مسببات التلوث في البيئة الداخلية للفصول الدراسية مع مراعاة اختلاف الواقع البيئي لهذه المدارس.
- يوصي الباحث بحض الجهات المسؤولة عن إنشاء المدارس المستقبلية باعتماد ضوابط التصميم البيئي المستدام مع الأخذ بالاعتبار استخدام شبكة المستشعرات اللاسلكية المرتكزة على نظام Zigbee، لضمان جودة البيئة الداخلية.
- يوصي الباحث بربط نظام المستشعرات مع التقنيات الميكانيكية المسؤولة عن تبادل الهواء بين البيئة الداخلية والخارجية، لتصبح عملية التحكم بجودة الهواء الداخلي عملية شاملة ذاتية (بحيث يتحكم ذاتياً بزيادة كمية الهواء الوارد للبيئة الداخلية في حالة زيادة نسبة الملوثات).
- يوصي الباحث باستخدام البرنامج الإحصائي وفق قاعدة بيانات موحدة تابع لوزارة التربية والتعليم، وذلك لمقارنة نتائج البيانات بين المباني المدرسية لضمان استمرارية جودة البيئة الداخلية تبعاً للمتغيرات الخارجية.

المراجع:

1. Canha, Nuno, et al.: Assessment of ventilation and indoor air pollutants in nursery and elementary schools in France, Indoor Air, 2016, Vol 26.
2. Griffiths, M., and Mahroo Eftekhari: Control of CO2 in a naturally ventilated classroom, Energy and Buildings, Vol 40, 2008,
3. Zomorodian, Zahra Sadat, Mohammad Tahsildoost, and Mohammadreza Hafezi: Thermal comfort in educational buildings: A review article, Renewable and sustainable energy reviews, Vol 59, 2016.
4. Fantozzi, Fabio, and Michele Rocca: An Extensive Collection of Evaluation Indicators to Assess Occupants' Health and Comfort in Indoor Environment, Review, Atmosphere 2020, Vol 11, 2020.

5. Fabbri, Kritian: Indoor Thermal Comfort Perception A Questionnaire Approach Focusing on Children, Springer International Publishing Switzerland, 2015.
6. Djamila, Harimi: Indoor thermal comfort predictions: Selected issues and trends, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 74, 2017.
7. Wyon, David P: The effects of indoor air quality on performance and productivity, Indoor Air, Vol 14, 2004.
8. Wargocki, Pawel, and David P. Wyon: Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective, Building and Environment, Vol 59, 2013.
9. Kumar, Prashant, and Lidia Morawska: Energy-Pollution Nexus for Urban Buildings, Environmental Science & Technology, Vol 47, 2013.
10. Pedersen, Theis Heidmann, Kasper Ubbe Nielsen, and Steffen Petersen: Method for room occupancy detection based on trajectory of indoor climate sensor data, Building and Environment, Vol 115, 2017.
11. Schieweck, Alexandra, et al.: Smart homes and the control of indoor air quality, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 94, 2018.
12. Madureira, Joana, et al.: Indoor air quality in Portuguese schools: levels and sources of pollutants. Indoor Air, 2015.
13. Pegas, P. N., et al.: Indoor and outdoor characterisation of organic and inorganic compounds in city centre and suburban elementary schools of Aveiro, Portugal, Atmospheric Environment, Vol 55, 2012, p 80.
14. Amato, F., et al.: Sources of indoor and outdoor PM2.5 concentrations in primary schools, Science of the Total Environment, Vol 490, 2014.
15. Demirel, Gülçin, et al.: Personal exposure of primary school children to BTEX, NO2 and ozone in Eskişehir, Turkey: Relationship with indoor/outdoor concentrations and risk assessment, Science of the Total Environment, Vol 473-474, 2014.
16. Le Quéré, Corinne, et al.: trends in the sources and sinks of carbon dioxide, nature geoscience, Vol 2, 2009.
17. Bakó-Biró, Zs, et al.: Ventilation rates in schools and pupils' performance, Building and Environment, Vol 48, 2012.
18. Salonen, Heidi, et al.: Airborne viable fungi in school environments in different climatic regions e A review, Atmospheric Environment, Vol 104, 2015.
19. Wargocki, Pawel, and David P. Wyon: Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective, Building and Environment, Vol 59, 2013.
20. Kumar, Prashant, et al.: The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities, Environment International, Vol 75, 2015.
21. Kumar, Prashant, et al.: Real-time sensors for indoor air monitoring and challenges ahead in deploying them to urban buildings." Science of the Total Environment, Vol 560, 2016.
22. White, Richard M., et al.: Sensors and 'Apps' for community-based atmospheric monitoring. Air Waste Manage. Assoc. Vol 5, 2012.
23. Snyder, Emily G., et al.: The changing paradigm of air pollution monitoring. Environ. Sci. Technol, Vol 47, 2013.
24. Poulhet, Guillaume, et al.: Recent developments of passive samplers for measuring material emission rates: toward simple tools to help improving indoor air quality, Building and Environment, Vol 93, 2015.

25. Ciuzas, Darius, et al.: Characterization of indoor aerosol temporal variations for the real-time management of indoor air quality, Atmospheric Environment, Vol 118, 2015.
26. Kim, MinJeong, et al.: Evaluation of passenger health risk assessment of sustainable indoor air quality monitoring in metro systems based on a non-Gaussian dynamic sensor validation method, Journal of Hazardous Materials, Vol 278, 2014.
27. Wang, S. K., et al.: WSN based indoor air quality monitoring in classrooms, AIP Conference Proceedings. Vol. 1808. No. 1. AIP Publishing LLC, 2017.
28. Kumar, Prashant, et al.: Real-time sensors for indoor air monitoring and challenges ahead in deploying them to urban buildings. Science of the Total Environment, 560–561, 2016.
29. Al Barakeh, Zaher, et al. "Development of a normalized multi-sensors system for low cost on-line atmospheric pollution detection." Sensors and Actuators B: Chemical 241, 2017.
30. Peng, Changhai, Kun Qian, and Chenyang Wang: Design and Application of a VOC Monitoring System Based on a ZigBee Wireless Sensor Network, IEEE Sensors Journal, Vol 15, 2014.
31. Karl, Holger, and Andreas Willig: Protocols and Architecture for Wireless Sensor Networks, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, 2005.
32. Lozano, J., et al.: Wireless Sensor Network For Indoor Air Quality Monitoring, Chemical Engineering Transactions, Vol 30, 2012.
33. Alhmiedat, Tareq, and Ghassan Samara: A Low Cost ZigBee Sensor Network Architecture for Indoor Air Quality Monitoring, International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS), Vol 15, 2017.
34. https://anrg.usc.edu/contiki/index.php/Analyse_of_a_real_6LoWPAN_network_using_a_Contiki-based_sniffer_module.
35. Ali, H., J. K. Soe, and Steven R. Weller: A real-time ambient air quality monitoring wireless sensor network for schools in smart cities, IEEE First International Smart Cities Conference (ISC2). IEEE, 2015.
36. Mosleh, Mahmood F., and Duaa S. Talib: Implementation of active wireless sensor network monitoring using ZigBee protocol, Journal of Engineering Science and Technology, Vol 12, 2017.

* WSN: Wireless sensor network

* IAQ: Indoor Air Quality.

* LabVIEW :Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench هو احد البرمجيات الهندسية الأكثر انتشاراً يعمل على جميع أنظمة التشغيل المختصة بالكمبيوتر , ويستخدم في مجالات تحصيل البيانات, أداة تحكيمية, اختبارات نظم الأتمتة, تحليل ومعالجة الإشارة, التحكم الصناعي.

* MCU: Microcontroller unit

* USB: Universal Serial Bus