التصدي لمشكلات تلوث الهواء بالدواخل المعمارية بالأبنية السكنية كأحد روافد العمارة المستدامة

Facing the Indoor Air Pollution in Residential Buildings as a Root of Sustainable Architecture

د. أسامة عبدالنبي قُنبَر

مُدرس بقسم الهندسة المعمارية – كلية الهندسة – جامعة طنطا
u_konbr@yahoo.com

مُلخص البحث:

من حيث تمثل نسبة الاستخدام السكني نسبة مرتفعة بالنظر لاستخدامات الأراضي بخريطة المعمور المصري، ومن حيث يتم إشغال الدواخل بتلك الأبنية السكنية بنسبة كبيرة من إجمالي الوقت المستهلك في الأنشطة اليومية، ومن حيث الاستخدام الدائم والمستمر للهواء بالفراغات الداخلية، فقد حتم هذا ضرورة البحث لوضع إطار عام لضبط تناول ورفع جودة هذا الهواء المستنشق بتلك الفراغات لتأصيل الاستدامة على المستوى المعماري بالأبنية السكنية من هذا المنظور ولاسيما وان جودة الهواء تعد من مؤشرات الاستدامة على المستوى البيئي Environmental Sustainability Indicators، ولتحقيق بعض المميزات طبقا لثلاثية الاستدامة (البعد البيئي والاجتماعي والاقتصادي)، وقد تناولت الورقة البحثية تلك القضية من خلال النقاط التالية:

1. المقدمة: وتشمل الهدف من البحث وفرضيته ومنهجيته وكلمات الفهرسة.
2. مفهوم العمارة المستدامة.
3. مفهوم جودة الهواء بالدواخل المعمارية.
4. بعض تدابير التصدي لمشكلة تلوث الهواء بالدواخل المعمارية: من خلال، التحكم في موارد التلوث المؤثرة على الفراغات الداخلية، وضبط نسبة الرطوبة بالفراغات المعمارية، وضبط التهوية الطبيعية والهواء الداخل من خارج الأبنية السكنيَّة.
5. خلاصة الورقة البحثية.

1. المقدمة:

تمثل التنمية المستدامة بالوقت الراهن أحد أهم التوجهات ليس على مستوى التنمية العمرانية والمعمارية فقط بل على كافة مستويات التنمية، ومن حيث أن الفراغات المعمارية تعالج ضمن أهدافها كل من الأبعاد البيئية والاجتماعية والاقتصادية للشاغل كثلاثية أساسية لضبط الاستدامة في مجملها، لذا كان التوجه إلى تقنين وضبط جودة الهواء بتلك الفراغات جزء مهم في تأصيل تلك الثلاثية المؤسسة للاستدامة على المستوى المعماري.

1/1 هدف الورقة البحثية:

تتمثل خطورة تلوث الهواء داخل المباني في أن نسب هذا التلوث قد تصل لعشرات المرات قدر تلوث الهواء بالخارج كما أثبتته الأبحاث، وبالفترة الأخيرة زادت مشكلة تلوث الهواء بالدواخل نتيجة زيادة استعمال مواد البُناء والتشطيبات المصنعة وكيماويات البُناء المختلفة والتي تساهم في تركيز الملوثات بالهواء وخلق بيئة داخلية غير صحية، ولذا تَهدُف الورقة البحثية لبحث بعض مظاهر وأسباب تلوث الهواء بالدواخل المعمارية بغرض التفاعل معها من منظور معماري للخلوص لبعض التدابير التي يمكن اللجوء إليها للتصدي لتلك

المظاهر والأسباب بهدف تحسين الأبعاد البيئية والاجتماعية والاقتصادية وهم الثلاثية المكونة للاستدامة. والورقة تسعى لبلورة وتأصيل الاستدامة من هذا المنظور كأحد روافد الاستدامة بالدراسات المعمارية.

2/1 الفرضيات الرئيسية للبحث:

يساهم الوصول بالهواء الموجود في الفراغات المعمارية إلى حالة جودة بيئية مناسبة تساعد في تأصيل جذور الاستدامة لمنظومة الأبنية السكنية بما تشتمل عليه تلك الاستدامة من مكونات بيئية واجتماعية واقتصادية يُعد التصدي لمشكلة تلوث الهواء تلك أحد عناصر دعمها.

3/1 منهجية الورقة البحثية:

تم الاعتماد بتلك الورقة البحثية على المنهج الاستقرائي حيث تم البحث في جزئيات المحاور الأساسية للبحث للوصول في النهاية إلى إطار عام يعالج قضية البحث الأساسية والمتمثلة في جودة الهواء بالدواخل المعمارية. ولتحقيق ذلك فقد اعتمدت الورقة على المراجع والكتب والبحوث العلمية السابقة بهذا المجال البحثي من منظور معماري. كما تم الاعتماد على المنهج الوصفي للتعبير عن العلاقات القائمة ما بين مختلف الظواهر الجزئية المكونة للظاهرة الأساسية محل البحث.

4/1 كلمات الفهرسة:

تلوث الهواء، الدواخل المعمارية، الأبنية السكنية، العمارة المُستدامة.

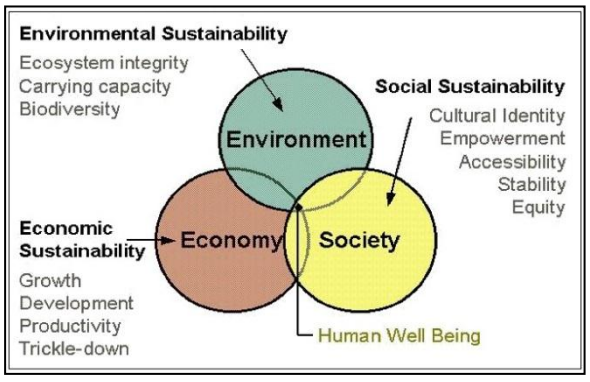
2. مفهوم العمارة المستدامة Sustainable Architecture:

يمكن التعرف على مفهوم العمارة المستدامة بالتعرف على كل من مفهوميتي التنمية المستدامة والإنشاء المستدام، كما يلي:

أولاً: مفهومية التنمية المستدامة Sustainable Development: بالنرويج عام 1987م وبناءً على اللجنة الدولية للبيئة والتَنميَّة WCED تم تعريف التَنميَّة المُستدَامَة بأنها: "هي التي تلبي احتياجات الحاضر دون التأثير على مقدرة الأجيال القادمة في الحصول على احتياجاتهم" [1]، شكل رقم (1). وتتضمن كلمة التَنميَّة على مبدأين:

الأول: ضمان الاحتياجات الأساسية: كالطعام والملبس والمسكن والعمل، وكذا منح كل فرد الفرصة لرفع مستوى معيشته فوق حده الأدنى المطلق.

الثاني: مراعاة الحدود الطبيعية (الموارد المحدودة) بحيث لا يحدث تدهور للإنتاجية ناشئ عن الاستغلال الكبير للموارد وتدهور جودة الهواء والمياه ونقص التنوع الأحيائي ... إلخ. ومن منظور الاستدامة فإنه من الأفضل أن تتحقق الاحتياجات في نطاق عدم تجاوز تلك الحدود الطبيعية.



شكل رقم (**1**) ثلاثية التنمية المستدامة ومدخلات تأصيلها

كما يلاحظ من الشكل رقم (1) أيضا أن التنمية المستدامة تلك إنما تتحقق من خلال ركائزها الثلاث والتي يشتمل كل منها على مدخلات لتحقيقه فعلى المستوى البيئي لابد من تكامل التوازنات

[1] World Commission on Environment and Development. (1987). "**Our Common Future".** New York: Oxford University Press.

الإيكولوجية وأخذ مبدأ المقدرة على التحمل والتنوع الأحيائي ... إلخ كما أنه لابد من دعم الإنتاجية واستمراريتها وزيادة معدلات النمو على المستوى الاقتصادي، وكذا الاهتمام بالعنصر البشري والعدالة وجعل الإنسان هو محور التنمية بغرض الاستدامة على المستوى الاجتماعي، وكلها أهداف تُسهم فيها جزئية البحث (جودة الهواء بالدواخل المعمارية) بمقياسها في إطار المنظومة الأكبر (تحقيق التنمية المستدامة على المستوى المعماري وتصميم المبنى نفسه).

ثانياً: مفهومية الإنشاء المستدام Sustainable Construction: ويتم تعريفه على أنه: ذلك التطبيق الذي يتم فيه بذل قصارى الجهد لتحقيق الجودة الكاملة من حيث الأداء الاقتصادي والاجتماعي والبيئي، ومن ثم فان الاستخدام العقلاني والمنطقي للموارد الطبيعية والإدارة المتوافقة للإنشاء يمكنها أن تساهم في حفظ الموارد القليلة وتقلل استهلاك الطاقة وتحسن جودة البيئة، كما يتضمن الإنشاء المُسْتَدام أخذ دورة حياة الأبنية ككل بعين الاعتبار فضلا عن الجودة البيئية والبعد الوظيفي والقيم المستقبلية [1].

ومن وجهة النظر تلك فقد تحددت خمسة أهداف عامة للأبنية المُستدَامَة كما يلي:

(أ) تناول مفهومية كفاءة الموارد: ومنها موارد المياه والطاقة وأسلوب الإدارة الخاصة بهما.
(ب) الاهتمام بكفاءة الطاقة: بما في ذلك تقليل الانبعاثات الغازية الناجمة عن تأثير الصوبة الزجاجية.
(ج) منع التلوث: بما في ذلك تناول جودة هواء الدواخل Indoor Air Quality وتلافي الضوضاء كأحد مؤشرات الاستدامة البيئية Environmental Sustainability Indicators (ESI) [2].
(د) التوافق والتناغم مع البيئة: بما في ذلك ضرورة التقييم البيئي Environmental Impact Assessment.
(ه) المداخل المتكاملة والمنظومية: بما في ذلك مفهومية نظام الإدارة البيئية.

وبذلك فإن منع التلوث عموما وبالدواخل المعمارية على وجه الخصوص يُعد أحد اهتمامات الاستدامة والتي يجب أخذها بالاعتبار ومن البدء ومنذ مراحل التصميم الأولى كأحد الأهداف الأساسية طبقا للمعدلات والدراسات التي تبحث تلك النقطة استنادا لطبيعة الفراغات المعمارية ونوع الأنشطة الحادثة بها.

3. مفهوم جودة الهواء بالدواخل المعمارية Indoor Air Quality:

تُعَد جودة الهواء بالدواخل المعمارية من الدراسات التي ينبغي أن تلقى اهتماما كافيا نظرا لأبعادها الصحية والنفسية على الشاغلين[3]. ويمكن التعرف على مفهوم جودة الهواء بالفراغات السكنية بالتعرُف على أسباب تلوث الهواء بها، ومنها:

- مواد البناء المستخدمة في الأبنية (الحوائط – التشطيبات ... إلخ).
- طبيعة الشاغلين المتواجدين بالفراغات المعمارية وأنشطتهم Occupants.
- تجهيزات الأبنية السكنية والأنشطة المختلفة بالدواخل Equipments and Processes.
- التجهيزات الميكانيكية Mechanical System وتوزيعها بالفراغات المعمارية.
- تأثر الهواء الداخلي بمثيله الخارجي المُلوَّث نتيجة موقع الأبنية السكنية بالنسبة للمحيط الأكبر، وكذا الوضع غير المناسب للفتحات ومن ثم تأثرها بالهواء الخارجي المُلوَّث.

---

(1) David Proverbs. (1st to 2 September 2003). Proceedings of the RICS Foundation Construction and Building Research Conference. "**Economic Challenges of Sustainable Construction".** School of Engineering and the Built Environment. University of Wolver Hampton. ISBN COBRA 2003: 1-84219-148-9.

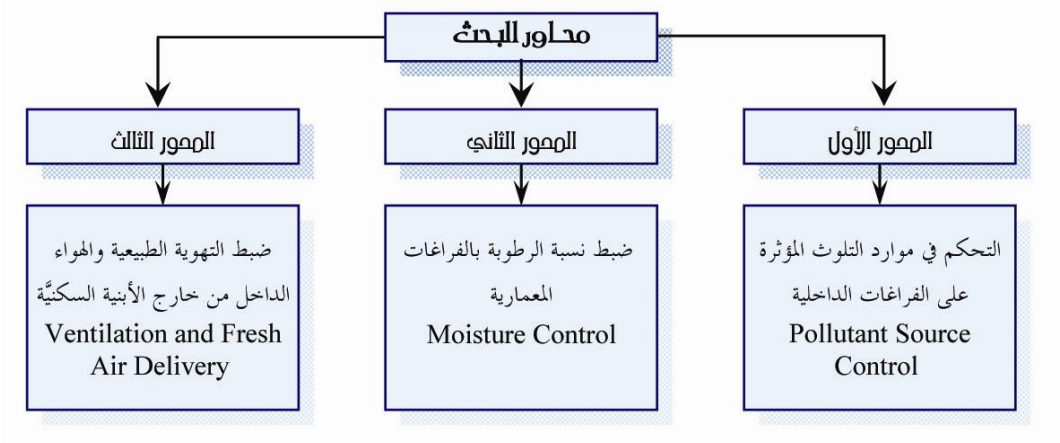
(2) Raymond J Cole. (November 2002). **"Review of GBTool and Analysis of GBC 2002 Case-Study Projects"**. Canada: Ottawa, Ontario. Report submitted to Buildings Group/CETC, Natural Resources.

(3) Andy Rigg. (March 2000). **"Greening Architecture: Towards more Sustainable Building Environment"**. USA: Southampton Environment Center. USA: Southampton Environment Center.

ويمكن تناول تلك النقاط من خلال محاور البحث التالية بغرض التصدي لمشكلة تلوث الهواء، كما يلي:

4. بعض تدابير التصدي لمشكلة تلوث الهواء بالدواخل المعمارية:

بتلك الورقة البحثية يتم تناول ضبط جودة الهواء بالدواخل المعمارية بالأبنية السكنية من خلال ثلاثة محاور، شكل رقم (2)، وهي:



شكل رقم (2) محاور البحث

1/4 المحور الأول: التحكم في موارد التلوث المؤثرة على الفراغات الداخلية Pollutant Source Control:

بالبدء يتم الإشارة إلى أنه من حيث التكلفة فإن منع التلوث قبل حدوثه أفضل من حيث التكلفة بمقدار أربع مرات تقريبا بالمقارنة بإجراء المعالجة عقب حدوث التلوث [1]، وبتلك الورقة يتم تناول التحكم في موارد التلوث هذه من خلال الإشارة لأربع نقاط، وهي:

1/1/4 التحكم في الانبعاثات الصادرة عن الألياف المعدنية المستخدمة بالفراغات المعمارية:

تستخدم الألياف المعدنية Mineral fiber في العديد من الأماكن بالأبنية السكنية، ومن ذلك:

أولاً: الأسبستوس Asbestos: وهو مادة تشتمل على مكونات تقوم بإطلاق انبعاثات تمثل خطرا على الجهاز التنفسي حيث تسبب سرطان الرئة وأمراض الصدر عموما، والعديد من أنواع الأسبستوس والتي من الممكن أن تستخدم بالأبنية السكنية بغرض مقاومة الحريق أو عزل المواسير، وقد تم تحريم استخدام تلك المواد مؤخراً بالعديد من اللقاءات والمؤتمرات الدولية.

ثانياً: الألياف المعدنية المستخدمة في دكتات المعالجات الصوتية والحرارية Fiber Duct Liners: ويتم أخذ بعض الاحتياطات حيالها، ومنها:

- العناية بمكامن الأتربة بها حيث تؤثر على فاعلية وأداء التهوية من خلال تلك الدكتات.
- تساعد الأتربة المتراكمة في التلوث الميكروبي وبخاصة في وجود الرطوبة.
- المحافظة التامة على الألياف المعدنية والمستخدمة في الدكتات بالأبنية السكنية إذ يؤدي تدهورها إلى تحولها لمصدر للخطر بالبكتيريا والفطريات ... إلخ.

ثالثاً: الألياف المعدنية غير المتماسكة Loose Mineral Fiber: والتي تتواجد في الأبنية السكنية في بعض تجهيزات دكتات الهواء الداخلة إلى الفراغات المعمارية أو كمواد مقاومة في منظومة مقاومة الحريق وكذا في المواد الموضوعة ضمن الأسقف المعلقة Suspended Ceilingsبغرض المعالجات الصوتية أو الحرارية، كل هذه

---

(1) Andy Rigg. *Op Cit.*

الصور يمكن أن تكون مصدرا لتلوث الهواء بالدواخل المعمارية. ولذا يراعى عند اللجوء لاستخدام تلك الألياف:

الوصول بالحلول التصميمية بالمساقط والقطاعات والتفاصيل ... إلخ للتحكم في الانبعاثات الخارجة عن تلك الألياف عبر الهواء بعمليات التهوية الطبيعية للدواخل المعمارية.

2/1/4 استخدام المواد قليلة أو عديمة السمية في الإنشاء:

وذلك بحيث يتم دراسة تأثيراتها البيئية على مدى العمر Life Cycle Assessment حيث تُنتِج بعض مواد الإنشاء بعض الأبخرة والروائح التي قد تَقصُر أو تطول مدتها لتصل إلى عمر الأبنية نفسها ومن ثم تؤثر على جودة الهواء بالدواخل المعمارية[1]. ومنها المواد اللاصقة وبعض أنواع الغراء المستخدمة للصق ألواح الأبلاكاج والكيماويات المستخدمة في تصنيع الفوم المستخدم في عمليات العزل وكذا الفورمالدهايد والبنزين والأمونيا والمواد المسببة لأمراض السرطان.

3/1/4 التحكم في انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة VOC Emissions Control:

تنبعث الغازات العضوية المتطايرة Volatile Organic Compounds من المواد ذات الأساس البوليمري أو المذيبات أو المواد اللينة والتي يمكن أن تستخدم في أعمال التشطيبات والتي تتاخم الشاغلين بشكل مباشر. ولذلك يتم انتقائيتها بنوع من العناية. فمن حيث:

- الدهانات المستخدمة للحوائط بالفراغات المعمارية: وتصدر عنها بعض الانبعاثات التي قد تسبب بعض الأخطار ولا سيما على الجهاز التنفسي. كما أن تلك الدهانات تختلف من مادة لأخرى من حيث مدة تأثير تلك الانبعاثات عنها منذ عمليات الدهان وحتى تلاشي تأثير تلك الانبعاثات والتي قد تمتد من حيث التأثير والروائح لمدة أيام أو أسابيع وربما شهور. ويتوقف هذا على مكونات تلك المواد. ومن تلك الحيثية فإنه بأخذ جودة الهواء من المفضل استخدام المواد ذات الأساس المائي أو الطبيعي أو المواد المركبة ذات نسب الانبعاثات الأقل.
- المواد اللاصقة: يمكن أن تكون المواد اللاصقة والمستخدمة بالدواخل مصدرا لتلوث الهواء كما أنها قد تكون سامة عند تناولها باللمس. كما أن المنظفات والمذيبات المستخدمة في تنظيف المواد اللاصقة هذه تتحول لنفايات خطرة. وقد يمكن الاستعانة عند تشطيب الدواخل ببعض المواد اللاصقة العضوية ذات الانبعاثات الأقل تطايرا وذات التركيب الكيميائي غير المشتمل على مذيبات أروماتية Aromatic Solvents والتي تتميز بقلة أو انعدام الروائح الصادرة عنها أثناء الإنشاء فضلا عن كونها أكثر أمنا أثناء مراحل التصنيع والاستخدام والتخلص.
- وسائل تشطيب وتغطية الأرضيات Floor Coverings: تُعد تغطيات الأرضيات مصدرا أساسيا لكل من الانبعاثات العضوية المتطايرة والأتربة والألياف ويتوقف هذا على مقدار المساحة السطحية لتلك التغطيات. حيث يمكن أن تتصرف تلك الأسطح كبؤرة لامتصاص الانبعاثات العضوية المتطايرة والمنبعثة من المواد الأخرى ومن ثم تعيد بعثها للهواء بالدواخل المعمارية مرة أخرى. ومن المهم الإشارة إلى أنه من أكثر المواد امتصاصا / وحدة المساحة للانبعاثات العضوية المتطايرة منها الوحدات المستخدمة في المعالجات الصوتية والسجاد والأقمشة اللازمة لعمليات التنجيد Upholstery Fabric[2]. كما يمكن إجراء بعض التفاصيل للأرضيات لإجراء نوعا من التكامل ما بين دراسات التهوية وتحسين جودة الهواء بالدواخل من خلال الأرضيات ذات الوحدات المرفوعة [3] والتي يمكن أن

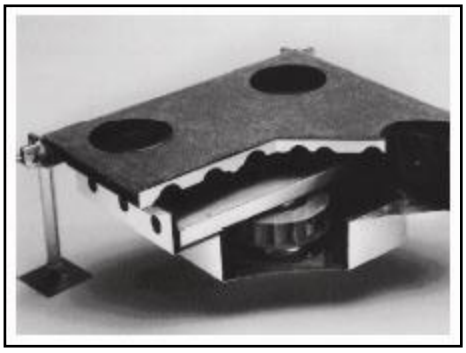
---

(1) Jong-Jin Kim. (December 1998). "**Sustainable Architecture Module: Qualities, Use and Examples of Sustainable Building Materials".** Michigan: National Pollution Prevention Center for Higher Education.

(2) Raymond J Cole. *Op Cit.*

(3) Jong-Jin Kim. *Op Cit.*

تكون من المطاط الطبيعي والذي ينتج من أشجار الفلين والذي يستغرق سبع سنوات في دورة إنتاجه من أشجاره، أو من السيراميك ذو المتانة البالغة وحتى في الأماكن المطروقة بشدة، شكل رقم (3).



شكل رقم (3) التحكم في انبعاثات المركبات العضوية المتطايرة من خلال تفاصيل التهوية بالأرضيات

- الصيانة: من حيث التأثير الواضح للانبعاثات العضوية المتطايرة والناتجة عن أدوات الصيانة ومنها: المنظفات الصناعية ومنظفات السجاد والموكيت وكذا المبيدات الحشرية والتي يتم استخدامها بشكل دوري أو موسمي فإن لكل هذا أثره على جودة الهواء بالدواخل المعمارية مما يوجه المعماري إلى ضرورة العدول إلى تلك المواد التي تحتاج إلى معدلات اقل في الصيانة.

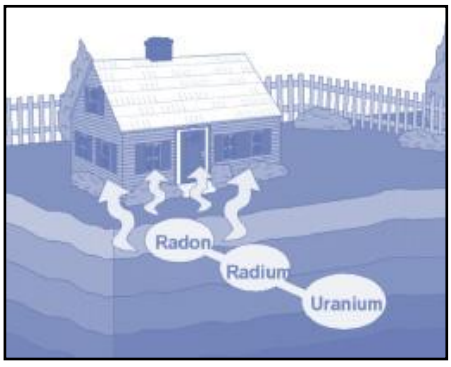
4/1/4 التحكم في انتقال التلوث ما بين الشاغلين Pollution Migration between Occupancies:

وهي وسيلة للحد من انتقال الملوثات فيما بين الفراغات المعمارية، ويقع على المعماري وضع تصور للتصميمات المعمارية للمناطق والاستخدامات المختلفة بما يحد من تأثير بعضها على البعض Zones فمثلا يتم فصل المطابخ بما ينتج عنها من أبخرة وروائح وانبعاثات متعلقة بمنظومة إعداد الطعام والتخلص من النفايات عن فراغات النوم والمعيشة، وكذا العناية بالحمامات بالفصل بينها وبين الفراغات المعيشية السالفة للوقاية من الروائح والانبعاثات غير الصحية وغير المرغوبة، كما يراعى وضع تلك الفراغات بتأثيراتها تحت الريح بحيث تتسرب النواتج الصادرة عنها إلى الخارج.

كما أنه بالنظر لمتطلبات الأبنية السكنية وبالرجوع للتصنيف الاجتماعي والوظيفي للشاغلين يمكن أن تشتمل الأبنية السكنية على بعض الأنشطة والتي تؤثر بشكل أو بآخر على جودة الهواء بالدواخل المعمارية، ومنها أدوات التصوير أو أجهزة الكمبيوتر أو تلك المعتمدة على الأشعة والتي تؤثر بطبيعة الحال على صفات الهواء بالبيئة الداخلية، وبذا لابد من مراعاة البعد البيئي Green Dimension لتلك التجهيزات والرجوع للمواصفات الفنية وأسلوب استخدامها بعد انتقاء تلك الأنواع منها والحاصلة على شهادات أو رخص استخدام بعد اجتيازها اختبارات جودة وأداء.

5/1/4 ضبط التلوث بغاز الرادون بالفراغات المعمارية Radon Control:

غاز الرادون عديم الرائحة وغير مرئي وإشعاعي، ويأتي في المرتبة الثانية بعد التدخين كمسبب لسرطان الرئة [1]، وينتج من عنصري اليورانيوم Uranium والراديوم Radium والموجودان بالتربة وفي أي مكان في العالم، شكل رقم (4) [2]، كما ينبعث أيضا من بعض مواد البُناء الداخل في تكوينها اليورانيوم أو الفوسفات كبعض أنواع الطوب والأسمنت وبعض الأحجار ذات الأصل الجرانيتي، أو من المواد الصمغية التي أساسها اليوريا فورمالدهيد والتي يمكن أن تستخدم في لصق الأثاث الخشبي، كما تمثل المواد الناتجة عن تحلل غاز الرادون خطرا حقيقيا وعلى المدى البعيد على صحة الإنسان، ويتواجد الرادون في التربة والصخور والمياه الجوفية بنسب تتفاوت من مكان لآخر، وعلى



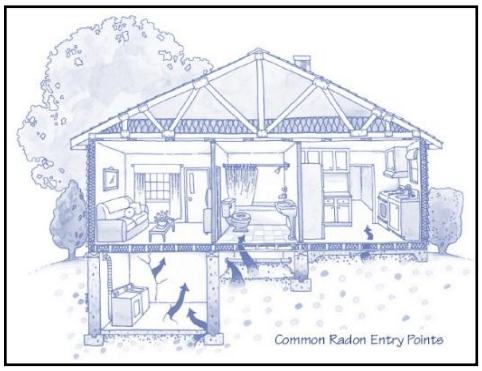
شكل رقم (4) مصادر غاز الرادون

(1) U.S. Environmental Protection Agency. (EPA). (April 2001). **"Building Radon out- a step-by-step Guide on how to build Radon-Resistant Homes"**. USA: Office of Air and Radiation. P. 5.

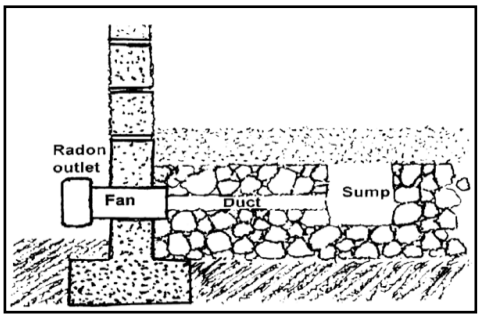
(2) Ibid. p. 10.

مستوى الأبنية فان المصدر الرئيسي لغاز الرادون هو التربة أسفل الأبنية بالأدوار الأرضية.

ولمنع دخول غاز الرادون للمبنى وبخاصة في الأدوار الأرضية: يمكن التعرف على النقاط التي يغلب على الأبنية دخول الغاز منها، شكل رقم (5)، ومنها يلاحظ انه يجب غلق جميع الشقوق بالحوائط وحواف المبنى كما يجب تغطية الأرضيات بمواد لا تسمح بنفاذ الغاز كالألواح المصنعة من البوليثين، على أن تتم زيادة التهوية أسفل أرضيات الدور الأرضي بعمل فتحات تهوية بالحوائط أو باستخدام بعض المراوح المتصلة بمواسير لسحب الهواء من أسفل هذه الأرضيات، شكل رقم (6)، ومراعاة سحب الهواء بعيداً عن النوافذ والأبواب.



شكل رقم (5) النقاط التي يغلب دخول غاز الرادون منها للأبنية



شكل رقم (6) التهوية أسفل الأرضيات بالدور الأرضي للتغلب على غاز الرادون

2/4 المحور الثاني: ضبط نسبة الرطوبة بالفراغات المعمارية من خلال غلاف المبنى Control of Moisture in the Building Envelope:

يمكن التصدي لمشكلة تلوث الهواء بالفراغات المعمارية من خلال ضبط نسبة الرطوبة به، فمن خلالها يمكن التحكم في نمو الملوثات البيولوجية Biological Contaminants والتي تعتمد في نموها على وجود الرطوبة، ومنها الفطريات Fungi والتي يمكن أن تنمو بمواد البناء المختلفة كالأخشاب وورق الحائط ومواد العزل العضوية والدهانات والمونة ... إلخ، كما يمكن أن تؤدي الرطوبة إلى سرعة تآكل مواد البناء وتلف بعض العناصر الإنشائية بالأبنية بالإضافة إلى حدوث التلوث الميكروبي بمواد الإنشاء ذات الامتصاصية العالية ووجود روائح كريهة، وتتكون الرطوبة بأغلفة الأبنية من خلال بعض الأسباب، ومنها:

- رشح وتسرب المياه لجدران الأبنية وانتشارها نتيجة انعدام أو ضعف التفاصيل التنفيذية اللازمة، فيتم النظر في مصادر الرشح سواء في الأساسات أو المناطق المبللة كالمطابخ والحمامات أو التوصيلات الخاصة بالمياه أو الصرف الصحي وعمل العوازل الملائمة للرطوبة.
- تكثُف المياه على النوافذ: والذي يمكن التغلب عليه باستخدام نوافذ ذات إطار وزجاج مقاوم للانتقال الحراري.
- موارد الرطوبة الناتجة داخليا من الفراغات المعمارية بما تشمله من أنشطة: حيث يتم بالفراغات ذات نسبة الرطوبة العالية العمل على نزع الرطوبة من خلال عمليات التهوية الطبيعية أو الصناعية، وزيادة الترطيب بتلك الفراغات ذات نسبة الرطوبة المنخفضة من خلال عمليات رش المسطحات الداخلية برزاز المياه أو عمليات التنظيف باستخدام المياه للأرضيات والحوائط والأثاث للوصول إلى حدود الرطوبة المقبولة استنادا لمحددات البيئة التي بها الأبنية السكنية طبقا لأسس التصميم المناخي المعمول بها، شكل رقم (7).

شكل رقم (7) ضبط نسبة الرطوبة من خلال الأنشطة بالدواخل المعمارية

- قلة الوقت اللازم لعملية تجفيف الحوائط المُنداة بالرطوبة: ويتم التغلب عليه بعمليات التهوية بالقدر الملائم.

ومن حيث ضبط نسبة الرطوبة بالدواخل: فانه يمكن الاعتماد على المواد المسامية Porous Materials مع شروط استخدامها دون تغطيتها أو طلائها بدهانات تَسُد مسامها مما يساعد في ضبط نسبة الرطوبة داخل المبنى حيث أن هذه المواد تحتفظ بالرطوبة في مسامها ليلاً والتي تكون أعلى وتنطلق هذه الرطوبة من مسام تلك المواد نهاراً صيفاً مما يساعد في التحسين النسبي لجودة الهواء والإحساس بالراحة الحرارية. ومن أمثلة تلك المواد والمتاحة الطوب والأحجار الطبيعية والأخشاب غير المدهونة بدهانات تَسُد مسامها [1].

ومن المهم وبأخذ نسبة الرطوبة بعين الاعتبار ألا يتم تغطية الأسطح الداخلية للحوائط بمواد سدوده إذا كانت نسبة الرطوبة بالدواخل أقل من 85٪ [2]، وهي نسبة غالبة على الدواخل بمنطقة الدراسة مما يوجه إلى ضرورة أن تكون الأسطح الداخلية للحوائط من مواد مسامية لتحسين جودة الهواء من خلال الاحتفاظ بنسبة الرطوبة المطلوبة في المناخ الحار الجاف.

3/4 المحور الثالث: ضبط التهوية الطبيعية والهواء الداخل من خارج الأبنية السكنيَّة Ventilation and Fresh Air Delivery:

يمكن في هذا السياق تعريف التهوية على أنها الإمداد بالهواء من الخارج إلى الدواخل المعمارية بغرض تقليل حدة التلوث بهواء الدواخل ومعالجة متلازمة الأبنية المريضة Sick Building Syndrome بمعدلات تعتمد على كم الإشغال ونسب التلوث بالفراغات الداخلية (معدل التهوية / الفرد). من خلال ضبط جودة الهواء الداخل نفسه وكميته ودراسة الاحتياطات اللازمة للأجهزة الميكانيكية والتي يمكن الاعتماد عليها في عمليات التهوية بالإضافة إلى تصميم الفتحات المعمارية بهذا الغرض. كما يلي:

1/3/4 ضبط جودة الهواء الخارجي الداخل للفراغات المعمارية:

قد يكون من المسببات الأساسية في تلوث الهواء بالدواخل المعمارية هو الإمداد بالهواء غير النقي من الخارج. ويمكن تصور ذلك من خلال:

شكل رقم (8) تأثر الهواء بالدواخل بمثيله الملوث بالبيئة المحيطة

الأول: وجود الأبنية السكنية في منطقة تعاني من تلوث الهواء بها. شكل رقم (8) وبذلك يتم توجيه دراسات الموقع (على المستوى التخطيطي وفي المقياس الأكبر) إلى ضرورة انتقاء البيئة الأنقى من حيث جودة الهواء. وبخاصة في حالة وجود خلط في استعمالات الأراضي ليتم إجراء نوعا من تقييم الأثر البيئي EIA.

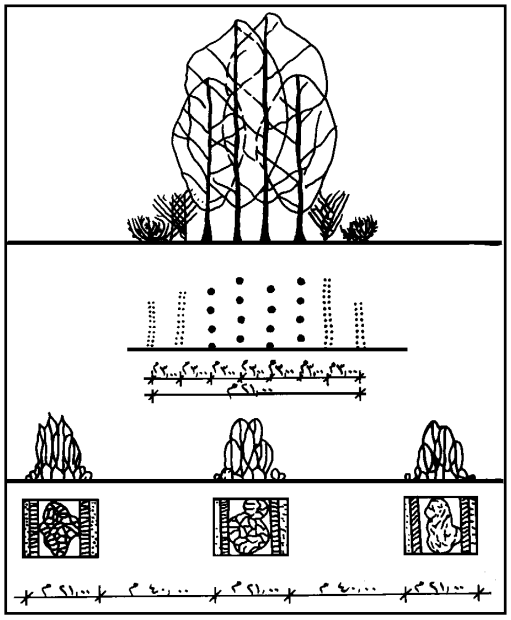
الثاني: قلة جودة الهواء الداخل إلى الفراغات المعمارية من الفتحات المتاخمة لاماكن انتظار السيارات Adjacent Vehicular Access والتي تستقبل الهواء المخلوط بالعادم. وفي تلك الحالة يراعى عزل تلك الفتحات المعرضة للعادم ضد دخول هذا العادم وغازات الاحتراق وكل مسببات التلوث.

---

(1) يحي وزيري: " **التصميم المِعْمَاري الصديق للبيئة –نحو عمارة خضراء** "، الطبعة الأولى، مكتبة مدبولي، القَاهِرة، 2003، ص 118.

(2) Raymond J Cole. (April 2000). **"Green Building Challenge 2000, GBC 2000 ASSESSMENT MANUAL : Volume 4: Multi-Unit Residential Buildings"**. School of Architecture, University of British Columbia. P. 71.

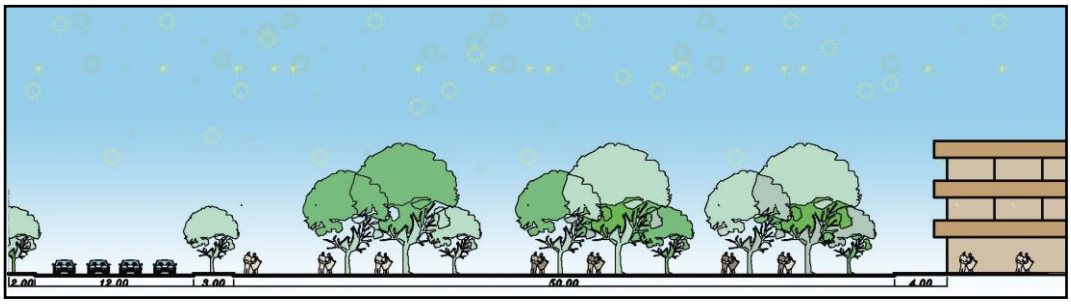
الثالث: تعرض الأبنية السكنية للمرور الآلي بشكل مباشر بسبب وضعها على الشوارع مباشرة. فقد تصل نسبة تلوث الهواء لأربعة أضعاف المعدلات المسموح بها حينئذ مسببة العديد من الأمراض. وبذلك يراعى ترك مسافة كافية بين الأبنية وبين مسارات المركبات الآلي تعتمد على حجم المرور بحيث يتم معالجتها بالأشجار والمسطحات الخضراء. شكل رقم (9).



شكل رقم (**9**) استخدام الأحزمة الخضراء في حماية الأبنية السكنية من الرمال والأتربة المطوقة لها

الرابع: مرور الهواء الداخل للفراغات على مجامع القمامة Garbage Collection Areas بجوار الأبنية السكنية وكذا على تجهيزات الصرف الصحي المكشوفة أو المُحتاجة إلى صيانة. وعندئذ يراعى أن يتم وضع القمامة تحت الريح (بالاتجاه الجنوبي) وكذا العناية بتجهيزات الصرف الصحي وغرف التفتيش ... إلخ.

الخامس: ضرورة دراسة تنسيق المواقع بحيث تنتج منظومة التشجير والمسطحات الخضراء كميات من الأكسجين وتمتص ثاني أكسيد الكربون والغازات غير المرغوبة بالهواء وترشح الأتربة العالقة ... إلخ. شكل رقم (10).



شكل رقم (**10**) حماية الأبنية الواقعة على الطُرق السريعة والقريبة من الأبنية السَكنيَّة من التلوث الهوائي الناجم عن السيارات من خلال الأشجار والمسطحات الخضراء

السادس: الاعتماد المتزايد على السيارة الخاصة: حيث يؤدي إلى كثرة انبعاث العوادم المسببة لتلوث الهواء بالطرق المتاخمة للأبنية السكنية. ولذا لابد وعلى مستوى تخطيط المرور من الاعتماد على الحافلات ووسائل النقل الجماعي وكذا توفير مسارات للدراجات كنمط اختياري مهم للانتقال ولاسيما للرحلات القصيرة. ومن ثم توفير التجهيزات اللازمة لها على مستوى البنية التحتية من جراجات bike lockers. شكل رقم (11)[1].

2/3/4 توفير كميات الهواء اللازمة بالداخل لضبط جودة الهواء:

تتراوح كمية الهواء الخارجي واللازمة بالداخل السكنيَّة بدون استعمال أجهزة تكييف: من 0.28، 0.42 متراً مكعباً / دقيقة / شخص بدون تدخين فيها أو مع التدخين القليل، ولا يقل حجم الفراغ المخَصَص لكل فرد عن 4.25 متر مكعب من الداخل، ولا تقل مساحة الأرضية المخصَصَة لكل فرد عن 1.4 متر مربع[2]. ويُراعَى بالداخل السكنيَّة ألا يزيد تركيز ثاني أكسيد الكربون عن 0.5 ٪، وإذا كان إنتاج ثاني أكسيد الكربون

---

(1) David Rousseau, Co-Chair. Urban Environmental Institute. (Oct 22, 2002). "**Resource Guide for Sustainable Development in an Urban Environment".** USA: Seattle, WA, Sustainability Technical Review Committee.

(2) قانون البيئة رقم (4) لسنة 1994.

حوالي 18 لتراً / الساعة في حالة السكون فإن كمية الهواء اللازمة = 4 م^3 / الساعة للفرد، لتزيد وتصل إلى 12 م^3 / الساعة للفرد في حالة اشتغاله بعمل يدوي، لتزيد كمية الهواء المُتطلبَة بالدواخل لأكثر من ذلك لتخفيف أثر الروائح، وبأخذ أول أكسيد الكربون بالاعتبار فإنه لا يتم الاعتماد على معيار الرائحة وفقط وإنما يحتاج الأمر لتهوية أكبر نظراً لسُمية هذا الغاز فتتم التهوية بحيث لا يزيد تركيزه عن 0.01 ٪، وهو ما يوجه المصممين من تلك الحيثيات إلى ضرورة إمكانية إجراء التهوية الجيدة لتحسين جودة الهواء بالدواخل السكنيَّة.

شكل رقم (**11**) استخدام الحافلات والدراجات كنمط اختياري للانتقالات

3/3/4 جودة الترشيح بأجهزة التكييف الميكانيكية المستخدمة بالفراغات المعمارية:

بالرغم من أهمية الاعتماد على الوسائل الطبيعية في عمليات التهوية ومعالجة الهواء بغرض تأصيل البعد الاستدامي وترشيد الطاقة وبالتالي تقليل الآثار البيئية الناجمة عن استخدامها وكذا ترشيد الإنفاق من منظور اقتصادي لمصروفات الكهرباء المستهلكة في المعدات الميكانيكية اللازمة للتكييف، إلا انه قد يتم الاحتياج لتلك الأجهزة للتكييف بفترات الإجهاد الحراري الزائد (ذروة الصيف والشتاء)، وعندئذ يراعى انتقائية الأنواع التي تشتمل على فلاتر ذات كفاءة عالية في اصطياد الأتربة والجزيئات الغريبة الداخلة للدواخل مع تيار الهواء عبر تلك الأجهزة وليس ذلك فقط لتنقية الهواء وإنما أيضا لمنع التلوث بالأتربة من خلال الأجهزة والمسببة لمشكلتين إحداهما التلوث نفسه والأخرى عمليات الصيانة للأجهزة نفسها.

ومن المهم الإشارة إلى أن الفلاتر المستخدمة لا يمكنها ترشيح كل الأتربة المارة بها ولا سيما الصغيرة جدا (أصغر من 5 ميكرون) والتي غالبا ما يتم استنشاقها، ولذا يتم التأكيد على استخدام الأجهزة ذات الفلاتر والتي يمكن أن ترشح حتى جزيئات بحجم 1.5 ميكرون.

4/3/4 ضبط فاعلية التهوية الطبيعية باعتبار تنفس الشاغلين:

بالدواخل المعمارية لابد من توفير الكمية المطلوبة من الأكسجين للتنفس والعمليات الحيوية ومنع تزايد نسبة ثاني أكسيد الكربون والروائح غير المرغوب فيها وتقليل نسبة أول أكسيد الكربون والنواتج الأخرى للاحتراق دون المستوى الضار بالصحة، حيث يحتوي الهواء الخارجي على 21٪ أكسجين، من 0.03٪ إلى 0.04٪ ثاني أكسيد كربون، 78٪ نيتروجين، 1 ٪ غازات خاملة (معظمها أرجون)، من 5 إلى 25 جرام بخار ماء لكل م^3 من الهواء، وحيث تعتمد جودة الهواء بالدواخل على الظروف المعيشية وأنشطة مستخدمي المبنى، فيتم خروج ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء من الرئتين، كما تخرج البكتيريا مع التنفس والعطس والكحة، ويتم إصدار بعض الرائح من جسم الإنسان ويختلف ذلك باختلاف مستوى الصحة العامة ونوع الوجبات، كما أن تدخين السجائر يزيد من تلوث الهواء.

كما أن تركيز ثاني أكسيد الكربون والأكسجين ليس هو المعيار المناسب فقط لتحديد متطلبات التهوية، إذ أن جودة الهواء هو حصيلة مجموعة عوامل يكون من ضمنها تركيز ثاني أكسيد الكربون، ولحساب حجم الهواء النقي الذي يحتاجه الفرد في الساعة حتى لا يزيد تركيز ثاني أكسيد الكربون عن 0.5 ٪ تُستخدم

المعادلة التالية [1]:

$Q = q.100 / (0.5- 0.05) \times 1000 = q / 4.5m3 / h$ per person.

وإذا كان إنتاج ثاني أكسيد الكربون حوالي 18 لتر / الساعة في حالة السكون فإن: Q = 4م^3 / ساعة للفرد، وفي حالة عمل يدوي فإن إنتاج ثاني أكسيد الكربون 54 لتر / الساعة، بالتالي فإن Q = 12 م^3 / الساعة للفرد.

وفى الواقع فإن هذه المعدلات غير كافية لتخفيف أثر الروائح، ويتمثل هدف التهوية ألا تكون الروائح غير المقبولة بكمية محسوسة في المباني، ويُعنى بالروائح تلك الناجّة عن الجسم وعن الطهي وتدخين السجائر، ويعتمد معدل تجديد الهواء المطلوب بالغرف للتغلب على الروائح على عدد الأفراد المستعملين وعاداتهم، فمثلا: الروائح الناجّة عن المواد والتدخين تستمر طويلاً بالمقارنة بروائح الجسم مثلا، ولذلك فان الفراغات التي بها تدخين ينبغي أن يكون معدلات التهوية بها أكبر.

كما أن هناك علاقة بين درجة حرارة الهواء والإحساس بالروائح، فانخفاض درجة حرارة الهواء بمقدار 10^{o}م مثلاً يتسبب عنه نقص في الإحساس بالروائح مساوٍ للزيادة في معدل تجديد الهواء من 0.5م إلى 5 م^3 / الدقيقة للشخص، وبذلك فإنه يحدث زيادة في الإحساس بالروائح مع زيادة درجة الحرارة.

ويعتبر تحقيق الحد الأدنى من متطلبات التهوية ذو أهمية كبرى بالمطابخ والحمامات والتوليتات ولذلك يلزم أن تتصل بالهواء الخارجي، ولحساب تركيز الغاز المنبعث بمعدل ثابت طبقاً للمعادلة:

$$C = q / Q [1- \exp. (- Q t / v)] \longrightarrow (1)$$

ويكون معدل تلاشى الغاز بعد انتهاء انبعاثه كالتالي:

$$C = C_{max} \exp.(- Q t / v) \longrightarrow (2)$$

حيث (C) تركيز الغاز ٪، (q) معدل الانبعاث م^3 / الساعة، (Q) معدل التهوية م^3 / ساعة، (v) حجم الغرفة م^3، (t) الزمن بالساعة.

وفى حالة المعدل الثابت للانبعاث، المعدل الثابت للتهوية في الغرف المستعملة لعدة ساعات حيث تكون قيمة $\exp. (- Q t / v)$ كمية مهملة، فإن المعادلة (1) تصير: $C = q / Q$

وبالتالي يصبح حساب المعدل المطلوب للتهوية بمعلومية التركيز المسموح به من المعادلة:

$Q = q / C$

وعندما يحتوي الهواء الخارجي على غازات يلزم الإقلال من تأثيرها مثل: co2، تصبح المعادلة:

$Q = q (ci – co)$

حيث: ci: هي تركيز الغاز المسموح به في الداخل.

، co: هي تركيز الغاز المسموح به في الخارج.

وأخيراً: فإنه بأخذ أول أكسيد الكربون بعين الاعتبار فإنه لا يتم الاعتماد على معيار الرائحة فقط، إنما يحتاج الأمر إلى تهوية أكبر، حيث غاز أول أكسيد الكربون سام حتى في تركيزات بسيطة، ويعتبر الحد المسموح به في المباني السكنية هو 0.01٪.

5/3/4 ضبط وتصميم مواقع ومساحات الفتحات المعمارية:

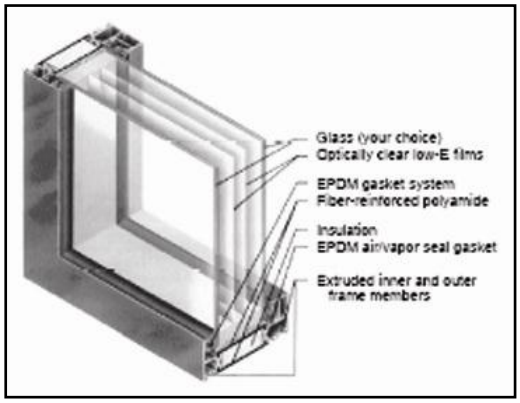
بالأبنية السكنيَّة ينبغي دراسة الفتحات وشكلها بحيث تُعطي أداءً ذو كفاءة من حيث الانتقال أو العزل

---

[1] أ.د. مراد عبدالقادر: "**التهوية الطبيعية وجودة الهواء**"، جهاز تخطيط الطاقة – الدورة التدريبية الثالثة، القاهرة، بالفترة من 17 – 21 مايو 1998.

الحراري وكذا الضوء ومعالجة الإشعاع الشمسي المؤثر بشدة (جودة الهواء من الناحية الحرارية). ويمكن من حيث شكل الفتحات ومعالجتها الرجوع للعديد من مَراجع التحكُم المناخي لدراسات الأيروديناميك لبيان أثر ذلك على الدواخل من حيث شكل المسقط ومقاساته وتوجيهه. ومن الجدير بالذِكر الإشارة للشباك النمطي (شَمسيَّة وزُجاج وسِلك) والذي يتناول تلك النقطة بنوع من النجاح وخاصة إذا تم أخذ العديد من النقاط الأخرى بعين الاعتبار ومنها: جودة الهواء الداخلي والتهوية والتظليل والتحكُم في نِسب مكونات الهواء والخصوصية ومنع الهوام (الناموس) ... إلخ وكلها أبعاد بيئية تدعم الاستدامة.

كما يمكن اللجوء في بعض الأحيان للنوافذ ذات التفاصيل الدقيقة والتي يتم التحكم من خلالها بقوة في مرور الهواء سواء للداخل أو للخارج. شكل رقم (12) ويمكن الاعتماد على تلك النوعية من الفتحات في حالة زيادة التلوث في البيئة المحيطة بنسبة عالية أو وجود أكثر من مؤثر كالتلوث السمعي نتيجة وجود ضوضاء عالية من الخارج.



شكل رقم (12) تفاصيل النوافذ المستخدمة لمعالجة الفتحات

5. الخلاصة:

- استنادا لمفهوميتي الاحتياجات والحدود بالتنمية المستدامة فانه من حيث جودة الهواء بالفراغات الداخلية بالأبنية السكنية يتحتم ضرورة توفير الاحتياجات اللازمة من حيث مستوى الجودة المناسب للهواء في نطاق المقدرة على تحمل التلوث الداخلي البسيط المصاحب لعملية الإشغال نفسها.
- تعد جودة الهواء بالدواخل المعمارية جزء أساسي من روافد الاستدامة بمنظوماتها البيئية والاجتماعية والاقتصادية مما يحتم ضرورة الوصول إلى تحقيق تلك الجودة على المستوى المعماري من هذا المنظور.
- يمكن التعرف على مفهوم جودة الهواء بالفراغات السكنية بالتعرُف على أسباب تلوث الهواء بها، ومنها: مواد البناء المستخدمة في الأبنية، وطبيعة الشاغلين المتواجدين بالفراغات المعمارية وأنشطتهم وتجهيزات الأبنية السكنية والأنشطة المختلفة بالدواخل والتجهيزات الميكانيكية وتوزيعها بالفراغات المعمارية وتأثر الهواء الداخلي بمثيله الخارجي المُلوَّث نتيجة موقع الأبنية السكنية بالنسبة للمحيط الأكبر، وكذا الوضع غير المناسب للفتحات ومن ثم تأثرها بالهواء الخارجي المُلوَّث.
- يمكن إجراء بعض التدابير للتصدي لمشكلة تلوث الهواء بالدواخل المعمارية من خلال:

✍ التحكم في موارد التلوث المؤثرة على الفراغات الداخلية، ومنها: الألياف المعدنية والتي يمكن أن تستخدم في المعالجات الصوتية والحرارية وكذا الأسبستوس بصوره، وكذا الألياف المعدنية غير المتماسكة والمستخدمة في منظومات معالجة التكييف أو منظومات مقاومة الحريق من خلال الاعتماد بشكل أكبر على التهوية الطبيعية بالمقارنة بالتجهيزات الميكانيكية، واستخدام المواد قليلة أو عديمة السمية بمنظومة الإنشاء، ودراسة المركبات العضوية المتطايرة والتحكم في كمية الانبعاثات الصادرة عنها والتي يمكن أن تستخدم في الدهانات أو التشطيبات أو الأرضيات، والتحكم في انتقال التلوث ما بين الشاغلين، و ضبط التلوث بغاز الرادون.

✍ ضبط نسبة الرطوبة بالفراغات المعمارية من خلال غلاف المبنى: للتحكم في نمو الملوثات البيولوجية من خلال رشح وتسرب المياه لجدران الأبنية ومعالجة تكثُف المياه على النوافذ والنظر لموارد الرطوبة الناتجة عن الأنشطة بالفراغات الداخلية.

✍ ضبط التهوية الطبيعية والهواء الداخل من خارج الأبنية السكنيَّة، من خلال: ضبط جودة الهواء الخارجي الداخل للفراغات المعمارية، وتوفير كميات الهواء اللازمة بالدواخل لضبط جودة الهواء، والعناية بجودة الترشيح بأجهزة التكييف الميكانيكية المستخدمة بالفراغات المعمارية، وضبط فاعلية التهوية الطبيعية باعتبار تنفس الشاغلين، وضبط وتصميم مواقع ومساحات الفتحات المعمارية.

- ضرورة البحث في خروج دليل Manual أو كود Code يساعد المصمم في التصميم باعتبار جودة الهواء بالفراغات المعمارية يمكن أن يقوم به مركز بحوث البناء أو بالاشتراك مع بعض الجهات البحثية استنادا إلى طبيعة البيئة البحثية ووفقا للمعايير الراهنة بها للتصميم.