مجلة جامعة الملك عبدالعزيز : العلوم الهندسية ، م١٣، ع١ ، ص ص ٤٩ - ٨٠ (١٤٢١هـ/ ٢٠٠١م)

ظـاهرة المبنى العليـل : أسبابها ووسائل علاجها

محمد بن سعد آل حمود و إسماعيل بن محمد بديوي
قسم الهندسة المعمارية ، جامعة الملك فهد للبترول والمعادن
الظـهـران - المملكة العربية السعودية

المستخلص . يقضي معظم الناس ما بين ٧٠٪ إلى ٩٠٪ من أوقاتهم في بيئة داخلية ، لذلك فإن لجودة البيئة الداخلية تأثيراً كبيراً على صحة وراحة وإنتاجية مستخدميها . ومع أن المعلومات المتوفرة حول أسباب ما يسمى بـ « ظاهرة المبنى العليل » (Sick Building Syndrome) غير وافية إلا أن السبب الأكبر لهذه الظاهرة يعزى إلى وجود الملوثات المختلفة في البيئة الداخلية للمباني . ومع التطور السريع في مجال صناعة المباني وما صاحبه من استخدام تقنيات جديدة في أساليب ومواد البناء ، وكذلك استخدام الأجهزة الحديثة والتي قد تكون مصادر للملوثات المختلفة ، فإن ملوثات الهواء الداخلي في المباني أصبحت متنوعة وبتركيزات أكثر منها في أي وقت سبق . إضافة إلى ذلك فإن الاتجاه السائد والداعي إلى تحسين الأداء الحراري للمباني والتقليل من استهلاك الطاقة عن طريق إحكام منافذ تسرب الهواء أو التقليل من مقدار التهوية قد يساعد على تفاقم مشكلة تلوث البيئة الداخلية للمباني وما يترتب على ذلك من تأثيرات سلبية على مستخدميها إذا لم تُتخذ الإجراءات الكفيلة لحل هذه المشكلة . ويمكن ذلك عن طريق الحد من استخدام مصادر الملوثات الداخلية والتخلص من أي ملوثات تبقى واستخدام التهوية الفعّالة للمبنى . ويهدف هذا البحث إلى التعريف بظاهرة المبنى العليل واستعراض أسبابها

ومصادر الملوثات الداخلية في المباني وطرق تشخيصها والوسائل الممكنة لإيجاد بيئة داخلية صحيّة بالإضافة إلى تقييم وضع المباني في المملكة .

مقـــدمـــــة

يتوجه الناس في العصر الحاضر وخصوصًا في وجود الظروف المناخية القاسية إلى جعل نشاطاتهم الإنتاجية والترفيهية داخل بيئة مغلقة غالبًا ما تكون اصطناعية بحيث يتم التحكم فيها بالعوامل البيئية المختلفة كالضوء والصوت ودرجة الحرارة والرطوبة باستخدام وسائل تقنية مختلفة . وتهدف جميعها إلى إيجاد بيئة مناسبة لا تتأثر بالعوامل والتقلبات المناخية الخارجية من أجل تأدية الوظائف والنشاطات المطلوبة بفاعلية ويسر . ويمكن تعريف البيئة الداخلية المناسبة بتلك التي توفر درجة الحرارة والرطوبة اللازمتين للارتياح الحراري ، ومستوى الإضاءة والصوت اللازمين لأداء الوظيفة المطلوبة من المبنى ، إضافة إلى المستوى المقبول من جودة الهواء الذي يضمن وجود الغازات اللازمة للتنفس عند التركيز المناسب ، والإبقاء على تركيز الملوثات دون الحد الذي يضر بالصحة ويسبب عدم الارتياح . ومع أهمية جميع العوامل البيئية الآنفة الذكر إلا أن الدراسة الحالية ستقتصر على موضوع جودة الهواء الداخلي لكونه ذو علاقة مباشرة بصحة وراحة الإنسان ويمثل العامل الرئيسي فيما يتعلق بـ « ظاهرة المبنى العليل » . كما أنه يمثل تحديًا لمصممي ومهندسي المباني نظرًا لتعارضه مع بعض وسائل ترشيد الطاقة في المباني واستخدام المواد والتقنية الحديثة التي قد تكون مصادر مهمة للملوثات الداخلية .

لقد تم تعريف جودة الهواء الداخلي المقبولة من قبل هيئة مهندسي التدفئة والتبريد والتكييف الأمريكية (ASHRAE) بشكل تتحقق من خلاله الصحة و الراحة لمستخدمي المبنى ، فوفقًا لهذه الهيئة فإن جودة الهواء المقبولة هي تلك التي تتحقق فيها نسبة الرضى إلى ٨٠ ٪ فأكثر من مستخدمي المبنى ، وكذلك عدم وجود أي ملوثات بتركيزات فوق الحد المضر بالصحة[١] . وقد تم تحديد تركيز ملوثات الهواء المحيط المسموح بها من قبل هيئة الحماية البيئية الأمريكية (EPA) بهدف حماية الصحة ، كما هو موضح بالجدول رقم (١) والذي يبين تركيز بعض الملوثات الرئيسية للهواء المحيط والمتوقع وجودها أيضًا

جدول (١). مقاييس تركيز الملوثات وزمن التعرض المسموح بها لجودة الهواء المحيط[١]

اســـم المـــلوث	زمن حساب المتوسط	التـــركـــيز (ماكرو غرام/ متر مكعب)
أول أكسيد الكربون	٨ ساعات	١٠
	١ ساعة	٤٠
ثاني أكسيد النيتروجين	سنة	١٠٠
ثاني أكسيد الكبريت	سنة	٨٠
	٢٤ ساعة	٣٥٦
شوائب عالقة	سنة	٧٥
	٢٤ ساعة	٢٦٠
هيدرو كربونيات	٣ ساعات	١٦٠
أوزون	١ ساعة	٢٣٥
رصاص	٣ أشهر	١٠٥

في البيئة الداخلية وغير الصناعية . بالإضافة إلى ذلك فقد تم تحديد تركيز ملوثات أخرى يمكن أن توجد في البيئة الداخلية ويمكن استخدامها كمعيار لتقييم جودة الهواء الداخلي والخارجي المستخدم في التهوية .

وقد لقي موضوع جودة الهواء الداخلي اهتمامًا كبيرًا من قبل الباحثين والدارسين نظرًا لأهميته البالغة والتي اكتسبت دفعة قوية خلال السبعينيات نتيجة لبروز بعض المشاكل الرئيسية المتعلقة بجودة الهواء الداخلي والتي صاحبت تطبيق بعض الإجراءات التي تهدف إلى ترشيد استهلاك الطاقة في المباني . ونظرًا لما لهذا الموضوع من تداخلات وتداعيات متباينة فقد استدعى اهتمام الكثير من المهنيين ليشمل الأطباء والمهندسين المعماريين والمهندسين الميكانيكيين وكذلك مهندسي التشغيل والصيانة بالإضافة إلى أُولئك المهتمين بالصحة العامة والصحة الصناعية (ذات العلاقة بالموظفين والعمال وبيئتهم التي يعملون فيها) . فجميع هؤلاء المهنيين ساهموا بشكل أو بآخر في الدراسات والبحوث المتعلقة بمشاكل البيئة الداخلية للمبنى وأسبابها وطرق علاجها كل من وجهة

النظر الخاصة به . هذه التداخلات كانت سببًا في صعوبة الانفراد المهني لتشخيص وعلاج المشاكل المتعلقة بجودة الهواء الداخلي بل استدعت تكوين فرق عمل تضم مهنيين بكفاءات مختلفة يتم التنسيق فيما بينهم لعمل بحثي شامل يهدف لحل تلك المشاكل . لذلك نجد أن بعض الدراسات الحديثة في هذا الموضوع[٢] استهدفت توضيح العلاقة بين أُولئك المهنيين حتى يتسنى لهم فهم المواضيع المتعلقة بجودة الهواء الداخلي وكذلك دورهم الفعلي في تحليل المشاكل ذات العلاقة والتحكم فيها ضمن إطار عمل جماعي مشترك . كما استهدفت دراسات أخرى توضيح الانعكاسات الصحية المتعلقة بجودة الهواء الداخلي[٣] بشكل تفصيلي شمل التعريف بالملوثات المختلفة وتأثيراتها السلبية على الصحة وكذلك إيجاد العلاقة بين تلك الملوثات وتأثيراتها السلبية من خلال علم السُّمِّيات والوبائيات . ومع هذا التوجه فإن الكثير من المؤلفات والأبحاث قد تطرقت إلى موضوع جودة الهواء الداخلي من وجهة النظر الهندسية[٤، ٥، ٦] فهي تهتم بسلوك ملوثات الهواء داخل المبنى وطرق انبعاثها وتوزيعها بين فراغات المبنى المختلفة ووسائل التحكم بجودة الهواء الداخلي المختلفة والتي تشمل التهوية الطبيعية والميكانيكية . أما بالنسبة للإداريين ومديري ومشغلي المباني فإن جلّ اهتمامهم ينصب بالدرجة الأولى على الناحية الاقتصادية والتكاليف المصاحبة لمشاكل جودة الهواء الداخلي بالإضافة إلى التأكد من أداء المبنى بشكل مرضٍ لمستخدميه . وركزت بعض المؤلفات على مناقشة الموضوع من وجهة النظر الإدارية واستهدفت تعريف المهتمين بالنواحي الإدارية والتشغيلية للمبنى بالجوانب المختلفة للموضوع دون التعمّق في النواحي التقنية حتى يتمكنوا من معالجة مشاكل تلوث الهواء الداخلي حال حدوثها وقبل تطورها إلى مشاكل صعبة يكلف حلها الكثير من المال والجهد[٧] .

ويبقى السؤال عن مدى خطورة تلوث الهواء الداخلي وعلاقته بشيوع المشاكل الصحية المصاحبة لـ « ظاهرة المبنى العليل » (SBS) إذا ما قورن بالعوامل البيئية الأخرى . إن تلوث الهواء الداخلي وفقًا لهيئة حماية البيئة الأمريكية (EPA) يعتبر الأكثر خطورة على صحة الإنسان ، وتم تصنيفه على أنه يؤدي إلى مخاطر صحية عالية[٣] . هذا بالإضافة إلى تداعياته السلبية المتعلقة بالإنتاجية والتكاليف المصاحبة . فقد أشارت

دراسة أمريكية إلى أن ٢٥٪ من الأمريكيين يشعرون بأن أداءهم الوظيفي يتأثر سلبا مع تدني جودة الهواء الداخلي للبيئة التي يعملون بها[٨] . ومع هذا فإن مجرد وجود الملوثات في البيئة الداخلية لا يستدعي بالضرورة الانذار بالخطر بل إن هذا يستدعي التعرّف على تلك الملوثات وخصائصها وكذلك مقدار تركيزها والمدة التي يتعرض الإنسان خلالها لتلك الملوثات قبل الحكم على جودة الهواء الداخلي فيها . ولابد من الأخذ في الاعتبار أنه حتى في حالة وجود ملوثات داخلية فإن التأثر بها يتباين من شخص لآخر بسبب التفاوت في قابلية التأثر والتي تحكمها عدة عوامل مثل السن والصحة العامة وطبيعة العمل وكذلك وجود أمراض مسبقة .

ويهدف هذا البحث في مجمله إلى التعريف بـ " ظاهرة المبنى العليل " كانعكاس سلبي كبير لتلوث الهواء الداخلي للمباني والعوامل المؤدية لهذه الملوثات ومصادرها وكذلك طرق ووسائل معالجتها أو الحد منها .

١- الأعراض المصاحبة لظاهرة المبنى العليل

يمكن تعريف ظاهرة المبنى العليل (Sick Building Syndrome) بأنها ظاهرة تحدث في المبنى بحيث تتسبب في معاناة معظم قاطنيه من عدم ارتياح وظهور أعراض مرضيَّة عليهم متفاوتة وغير محددة بطبيعتها وتعتمد على حساسية الأشخاص لمؤثراتها . وترتبط هذه الأعراض بالمبنى حيث تزول بعد بعض الوقت من مغادرته ولا تعتبر الأعراض التي يأتي بها الشخص إلى المبنى دليلا على وجود مشكلة بالمبنى إذا لم تكتسب داخله .

وتحدث هذه الأعراض بسبب الملوثات التي يمكن أن توجد في البيئة الداخلية للمبنى نتيجة للعمليات والأنشطة المختلفة داخله وفي غياب التهوية الكافية للتخلص من هذه الملوثات . وتتمثل هذه المشاكل الصحية التي تظهر على مستخدمي المبانى العليلة في مجموعة من الأعراض المختلفة التي تحدث عادةً في آن واحد مثل الشعور بالصداع (ثقل بالرأس) ، الإرهاق ، صعوبة التنفس ، احتقان الجيوب الأنفيه ، جفاف الجلد ، حكة في الأنف ، وجفاف الحلق ، بالإضافة إلى حكة وحرقان في العينين . ويمكن

تشخيص المبنى بأنه عليل إذا توفرت الحقائق التالية[٧] :

١ – أكثر من ٢٠ ٪ من ساكني المبنى يعانون من الأعراض المصاحبة لهذه الظاهرة .
٢ – استمرار الأعراض لأكثر من أسبوعين .
٣ – اختفاء الأعراض حال الخروج من المبنى .
٤ – عدم وجود أمراض مسبقة لأولئك الذين تظهر عليهم تلك الأعراض .
٥ – عدم وجود ترابط بين الأعراض ، وكذلك عدم وجود أسباب واضحة لها .

٢– العوامل المسببة لظاهرة المبنى العليل

مع أن أسباب « ظاهرة المبنى العليل » ليست واضحة تماما إلا أن هناك العديد من العوامل التي تساعد على شيوع هذه الظاهرة والمتمثلة في ظهور أعراض مرضَية على مستخدمي هذا النوع من المباني . ومن العوامل المسببة لشيوع مثل هذه الأعراض عوامل شخصية ، عوامل طبيعية ، عوامل بيولوجية ، وعوامل كيميائية يمكن تلخيصها كما يلي[٨، ٩] :

٢–١ *العوامل الشخصية والنفسية*

والعوامل الشخصية والنفسية ترتبط أساسا بالأشخاص أنفسهم وجنسهم وصحتهم وطبيعة عملهم والأجهزة التي يتعاملون معها بالإضافة إلى رؤيتهم لوضعهم الوظيفي والاجتماعي أكثر من علاقتها بالمبنى ، وبالتالي تصعب معالجتها من خلال إصلاح المبنى ذاته . إلا أن وجود العوامل الأخرى قد يساعد على إبراز هذه النواحي لدى مستخدمي المبنى .

٢–٢ *العوامل الطبيعية*

أما العوامل الطبيعية المحسوسة مثل درجة الحرارة والرطوبة النسبية وحركة الهواء في البيئة الداخلية للمبنى فيمكن التحكم فيها عن طريق تصميم المبنى وتشغيله والأنظمة الميكانيكية فيه . ومع أن هناك علاقة قوية بين الشكوى من الشعور بجفاف الهواء وظاهرة المبنى العليل ، فإن الدراسات تشير إلى أن الشعور بجفاف الهواء يُعزى إلى وجود ملوثات في الهواء أكثر من كونه جافا وأنه ليست هناك علاقة مباشرة بين الرطوبة النسبية للهواء وأعراض الجفاف[٩، ١٠] .

٢-٣ *العوامل البيولوجية*

تتعلق العـوامل البيـولوجية بالبكتيريا والمواد العـضوية المسببة لهـا . لذا يمكن الحد من تأثير هذه العوامل عن طريق تفادي تهيئة البيئة المساعدة على نمو البكتيريا العضوية والتي تتسبب في المشاكل الصحية . فمثلا أظهرت بعض الدراسات في السويد أن المباني المعرضة للبلل أو الرطوبة الزائدة سبب في حوالي ٢٠٪ من مرض الربو عند الأطفال . علما بأن نسبة المباني التي تصنف على أنها مبلله أو رطبه (damp buildings) في السويد تصل إلى ٢٠٪ مقارنة بضعف تلك النسبة (٤٠٪) في كل من بريطانيا والولايات المتحدة الأمريكية[٩] . ومن الخصائص التي على أساسها يصنف المبنى بأنه رطب ، وجوده في مكان مبلل بالمياه وتغلغل الماء إلى المواد المكونة له بالإضافة إلى ظهور قطرات الماء المكثف على الأسطح الداخلية له . ومما يعزز هذه الظاهرة عدم وجود تهوية كافية للمبنى خاصة مع ارتفاع نسبة الرطوبة فيه . وهذه العوامل كلها تساعد على نمو البكتيريا العضوية في المبنى مما يؤثر على صحة مستخدميه .

٢-٤ *العوامل الكيميائية*

تتمثل هذه العوامل في المركبات الكيميائية المتواجدة في الهواء الداخلي من مصادرها المختلفة مثل الفورمالدهايد والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs) والتي يعزى لها الدور الأكبر في التأثير على جودة الهواء داخل المباني وبروز ظاهرة المبنى العليل . ومن العوامل التي تساعد على وجود هذه الملوثات :

أ) التوجه الحثيث تجاه تحسين الأداء الحراري للمباني والتقليل من استهلاك الطاقة فيها عن طريق تقليل معدل تسرب الهواء الخارجي عبر الفتحات والشقوق في الحوائط الخارجية وذلك بإحكام منافذ الهواء وكذلك تقليل النوافذ القابلة للفتح مما يقلل من إمكانية الاستفادة من التهوية الطبيعية عند الحاجة إليها . كما أن التقليل من معدل التهوية الميكانيكية ، وربما منعها تمامًا للخفض من معدل استهلاك الطاقة ، يعتبر سببًا رئيسيًا في تدني جودة الهواء الداخلي وخاصة في المباني الكبيرة التي تعتمد كليةً على الأنظمة الميكانيكية في التكييف والتهوية . هذا بالإضافة إلى أن بعض أنواع العوازل الحرارية المستخدمة قد تكون مصدراً لملوثات الهواء أو سببًا في إيجاد بيئة مناسبة لها .

ب) الاعتماد الكلي على الأنظمة الميكانيكية في تكييف وتهوية المباني حيث نجد أنها تمثل الوسيلة الوحيدة للتخلص من الملوثات وتنقية الهواء الداخلي في معظم المباني الحديثة ، ورغم اعتبارها الرئة الصناعية للمبنى التي يتنفس من خلالها بطرد أو تنقية الهواء الملوث ، إلا أن أنظمة التكييف والتهوية الميكانيكية قد لا تؤدي وظيفتها المنوطة بها بسبب سوء التصميم أو التشغيل كما أنها قد تكون مصدراً بل وسيلة لتوزيع الملوثات في أجزاء المبنى المختلفة إذا لم تلق القدر الكافي من الصيانة والتنظيف الدوري لعناصرها المختلفة المعرضة للهواء .

جـ) سوء استخدام مواد البناء الحديثة في البيئة الداخلية للمبنى جعل منها مصدراً دائمًا للملوثات ، فمع التطور الكبير والسريع في تقنية صناعة المواد المستعملة في البناء وعدم وجود الوقت الكافي لتقييم أدائها من جميع النواحي وخصوصًا الصحية منها ، أصبحت مئات المواد تستخدم داخليًا دون الاكتراث بما ينبعث منها من ملوثات قد تضر بصحة الإنسان .

د) التطور التقني الكبير الذي رافقه استخدام العديد من الأجهزة الحديثة داخل المباني مثل أجهزة التصوير وأجهزة الطباعة التي قد تكون مصادر رئيسية لملوثات الهواء الداخلي ، هذا بالإضافة إلى العمليات الأخرى التي تقتضي استعمال مواد كيميائية بشكل مكثّف .

هـ) انخفاض جودة الهواء الخارجي بسبب الزيادة في التصنيع وما صاحبه من ضخ آلاف الأطنان من الملوثات المختلفة إلى الجو . وهذا بدوره قلل من الاعتماد المباشر على الهواء الخارجي في تهوية المباني وفي حالة استخدامه فلن يكون ذو فعالية بالقدر المطلوب نظراً لانخفاض قدرته على تقليل تركيز الملوثات الداخلية بل قد يكون وسيلة لإدخال الملوثات الخارجية إلى المبنى إذا لم تتم تنقيته قبل استخدامه في التهوية .

ولتقييم مشاكل تلوث الهواء الداخلي للمباني يجب فهم أبرز مصادر هذه الملوثات وبعض الآثار المترتبة عليها والتي يمكن تلخيصها كما يلي[٨] :

٣ – مصـــادر ملوثـات الهـــواء الداخـــلي

تختلف مصادر ملوثات الهواء الداخلي باختلاف نوع المبنى ووظيفته ونوع العمليات التي تدار داخله . وتختلف مصادر التلوث في المبنى الحديث نوعًا وكمًا عن تلك الموجودة في المباني التقليدية نظرًا لتنوع وتعدد مواد البناء الحديثة المستخدمة واقتناء الأجهزة ذات التقنية العالية وتعدد النشاطات الداخلية هذا بالإضافة إلى الاعتماد الكلي على الأنظمة الميكانيكية في التهوية وتنقية الهواء . ويمكن تصنيف مصادر الملوثات الداخلية للمباني كالتالي :

٣-١ *مواد البناء والأثاث الداخلي*

تعتبر مواد البناء والأثاث الداخلي مصادر رئيسية للمركبات العضوية المتطايرة مثل الكحوليات والبنزين والفورمالديهايد ، ويبلغ معدل انبعاثها ذروته في المباني الجديدة أو المحسنة حديثًا ويبدأ في الانحسار مع مرور الوقت ، ومع ذلك فقد يستمر انبعاث هذه الملوثات شهورًا أو سنينًا متتابعة . ومن أهم مصادرها الدهانات الداخلية ، مواد اللصق ، السجاد ، مواد وبساط الأرضيات ، العوازل والمواد المستخدمة في سد الشقوق وكذلك المنظفات المستخدمه بكثرة . وبالإضافة إلى المركبات العضوية فإن مواد البناء قد تكون مصادر مهمة للألياف والغازات المشعة كما أنها قد تهيئ الظروف اللازمة لنمو الكائنات الحية الدقيقة والفطريات . ومن الملوثات المهمة المنبعثة من مواد البناء والأثاث الداخلي نذكر الآتي :

٣-١-١ *الفورمالديهايد (HCHO)* : يعتبر الفورمالديهايد من أهم الملوثات العضوية المتطايرة التي توجد في الهواء الداخلي نظرًا لتعدد مصادرها الداخلية والخارجية . فمن مصادر هذا الملوّث الألواح الخشبية المصنعة المستخدمة في الأثاث ، منتجات الأوراق ، العوازل الحرارية وخاصةً اليوريا- فورمالديهايد (UFFI) ، مواد التغليف والأسمدة بالإضافة إلى ناتج عملية احتراق الوقود الهيدرو كربوني المستخدم في السيارات والمصانع . ونتيجة لتعدد تلك المصادر فقد تم رصد تركيزات عالية للفورمالديهايد في المنازل في الولايات المتحدة الأمريكية حيث بلغ متوسطها ٤٦٣ جزء في البليون[٣] كما تراوح تركيزه في المباني المكتبية ما بين ٤٠ – ٦٠ جزء في البليون ووصل إلى ١٥٦٠ جزء في البليون في المراكز التجارية[٤] . وقد ثبت أن للفورمالديهايد علاقة ب « ظاهرة

المبنى العليل » فيعتبر الفورمالديهايد غازًا مهيجًا للعينين والأنف والحنجرة ، كما أنه قد يقلل من أداء الجهاز التنفسي وفي حالة وجوده بتركيزات عالية فقد يسبب حالات وفاة . وقد أثبتت التجارب المخبرية على الحيوانات أن الفورمالديهايد مسبب للسرطان بها كما تم إدراجه على أنه مسبب محتمل للسرطان عند الإنسان أيضًا رغم عدم وضوح تلك العلاقة[٤] وعليه فقد حدد ١٥٠ مايكرو غرام لكل متر مكعب كحد أعلى مسموح به لتركيز الفورمالديهايد في الهواء .

٣-١-٢ *غاز الرادون (Rn-222)* : يتعرض الإنسان في البيئة الداخلية إلى إشعاعات طبيعية مصدرها المياه الجوفية ومواد البناء والتربة التي تحتوي على مواد مشعة . ويعتبر غاز الرادون ، الذي يتميز بأنه عديم الرائحة واللون وخامل كيميائيًا ، من أهم مصادر الإشعاع الداخلي الذي يتكون عن طريق تكسر الراديوم- ٢٢٦ والناتج من مادة اليورانيوم - ٢٣٨ , فعند تكونه في مصادره الأساسية وهي المياه ومواد البناء والتربة يبدأ في التغلغل عبرها بمعدل يعتمد على كثافة المادة وطبيعتها ومحتواها المائي . ويدخل الرادون الهواء الداخلي قبل تكسره أو بعد أن يتحلل إلى أربعة توابع (Radon Daughters, RnD) مشعة تمثل المشكلة الأساسية في وجود الرادون في البيئة الداخلية . اثنتان من هذه التوابع الأربع تتحللان في فترة قصيرة بحيث تفقدان نصف طاقتهما الإشعاعية عن طريق إطلاق جسيمات ألفا خلال دقائق ، وهو ما يجعلهما يمثلان خطورةً على صحة الإنسان . فعند دخول المواد التابعة للرادون إلى المجرى التنفسي والرئة وتحللها سوف تنتج عنها طاقة كبيرة خلال فترة قصيرة جداً تؤثر على أجزاء صغيرة من الرئة وبالتالي زيادة احتمال تلف الأنسجة الذي قد يتطور إلى سرطان[٤] . بالإضافة إلى ذلك فإن هذه التوابع يمكنها العبور من خلال الدم إلى أجزاء أخرى من الجسم كالمخ وإحداث مرض داخلي قد يؤدي إلى سرطان المخ . وتعتبر العلاقة بين الرادون ومرض السرطان في عمال مناجم اليورانيوم وسكان المنازل المبنية من الأحجار علاقة واضحة وموثقة[٤] . ويقاس مقدار تعرض الإنسان إلى الرادون بكمية الجرعة الإشعاعية التي يتعرض لها خلال فترة معينة نظراً لأهمية عامل المدة الزمنية في تحديد مدى تأثيره على صحة الإنسان .

٣-١-٣ *الألياف*: يتحدد مدى تأثير الألياف على صحة الإنسان بقدر حجمها وخصائصها والمواد العضوية التي تمتصها . فالألياف الصغيرة قد تجد طريقها إلى داخل الرئة ، عن طريق هواء الشهيق ، مسببة بذلك مشاكل صحية متفاوتة الخطورة . وتتفاوت خصائص وحجم تلك الألياف حسب مصادرها التي يمكن تقسيمها إلى مواد مكونة من ألياف صناعية ، كالألياف الزجاجية والصخرية المستخدمة في العزل الحراري ، وألياف طبيعية والتي يمثل الأسبيستوس المصدر الرئيسي لها . ويعتبر الأسبيستوس من أهم مصادر التلوث الداخلي نظرًا لاستخداماته المتعددة حيث يدخل في تصنيع العوازل والمواد المقاومة للحريق وكذلك في صناعة الكثير من مواد التشطيب المستخدمة في المباني . هذا بالإضافة إلى خصائصه الطبيعية المتمثلة في صغر الحجم ومقدرته على امتصاص المواد المشعة والهيدروكربونية عندما يكون مشحونًا كهربيًا . ومع وجود الأسبيستوس بأشكاله المختلفة داخل المباني إلا أنه لا يمثل خطرًا مباشرًا على الصحة إذا ما بقي في حالة جيدة غير معرض للتلف والتبعثر[٤] . إلا أن للأسبيستوس مخاطر كبيرة على الصحة إذا ما أنتشر وزاد تركيزه في الهواء وخاصة أثناء الصيانة والتصليح أو تجديد المبنى أو كنتيجة للتآكل والتحلل الطبيعي للمواد المكوّنة له بسبب العامل الزمني خاصة في المباني القديمة . ولقد أثبتت الدراسات والأبحاث وجود علاقة واضحة بين الأسبيستوس والسرطان وأمراض أخرى حتى مع وجوده بتركيزات منخفضة إذا تعرض له الإنسان لفترة طويلة[٤] . أما العلاقة بين الألياف الصناعية الأخرى وأمراض السرطان فهي غير مؤكدة غير أن دورها في إحداث تهيج الجلد الحاد والعينين والجزء العلوي من الجهاز التنفسي ثابت لا يحتمل الشك . لذلك يجب الحد من التعرض لتلك الألياف بتقليل تركيزها لأقل مستوى ممكن بحيث لا ينتج عنها أي تهيج .

٣-٢ *الأجهزة والمعدات والإمدادات المكتبية*

تحتوي المباني الحديثة وخاصةً المباني المكتبية منها على الكثير من الأجهزة والإمدادات التي تمثل مصادر هامة لملوثات الهواء الداخلي . فهناك على سبيل المثال آلات التصوير والطباعة وأوراق الطباعة المختلفة التي تنبعث منها الملوثات بشكل مستمر وخصوصًا عند استخدامها بالإضافة إلى أجهزة الطبخ المنزلية وما شابهها . وكما

هو الحال بالنسبة لمواد البناء فإن معدل الملوثات المنبعث من المصادر يكون في ذروته بالنسبة للأجهزة الحديثة ويتناقص تدريجيًا مع الاستعمال بالنسبة للأجهزة التي لا تحتاج إلى إمدادات كيميائية كأجهزة الحاسبات الآلية وشاشات العرض التابعة لها . وأهم هذه الملوثات هي المركبات العضوية المتطايرة مثل الفورمالديهايد ، الأمونيا ، البنزين ، الإيثانول ، الأسيتون ، الفينول ، الميثانول بالإضافة إلى الأوزون والكثير من المركبات الكيميائية الأخرى .

٣-٣ *الإنسان ونشاطاته المختلفة*

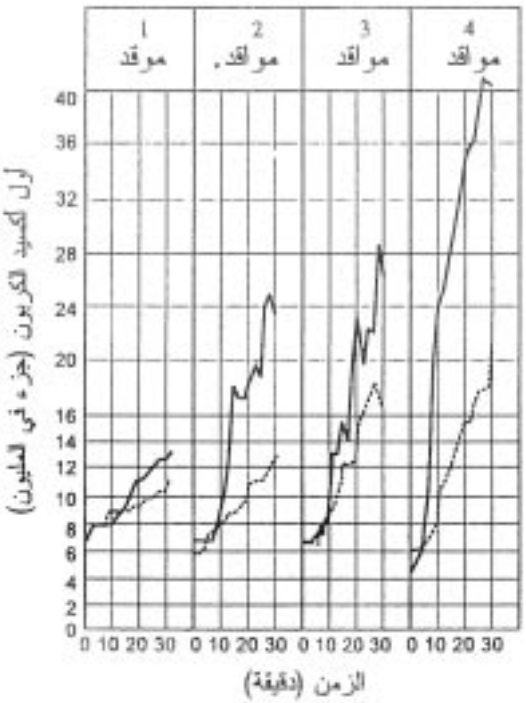
تتأثر جودة الهواء الداخلي بشكل كبير لمجرد وجود مستخدمي المبنى في داخله حتى مع عدم وجود نشاطات مصاحبة وذلك لأن جسم الإنسان يعتبر مصدراً لملوثات عدة يجب التخلص منها إذا ما أريد الحفاظ على جودة الهواء الداخلي والإبقاء على غازات التنفس عند الحد المقبول . فمن هذه الملوثات غاز ثاني أكسيد الكربون ، بخار الماء وأحيانًا بعض الميكروبات بالإضافة إلى الملوثات العضوية الأخرى . وتتنوع هذه الملوثات وتزداد مع زيادة أعمال ونشاطات الإنسان وتباين عاداته كالطبخ والتدخين واقتناء الحيوانات الأليفة والنباتات الداخلية وغيرها . ومن أهم الملوثات المصاحبة لنشاطات الإنسان ما يلي :

٣-٣-١ *ثاني أكسيد الكربون (CO2) :* ينتج هذا الغاز نتيجة لعملية التنفس التي يقوم بها الإنسان حيث يتراوح معدل ما ينتجه الإنسان البالغ ما بين ٠,٢ - ٠,٣ لتر في الدقيقة . كما تمثل عمليات الاحتراق المصاحبة لنشاطات الإنسان المختلفة كالطبخ والتدفئة مصدراً هامًا لهذا الغاز . ويعتبر غاز ثاني أكسيد الكربون مؤشراً جيداً على كفاية التهوية وهو غاز غير سام . ومع ذلك فإن ارتفاع تركيزه قد يؤدي إلى الحد من عملية الاحتراق الغذائي التي يقوم بها الإنسان ، وتسارع في معدل التنفس . وقد يصل تأثيره إلى حد فقدان الوعي إذا تراوح تركيزه ما بين ٧٪ - ١٠٪ لذلك فإن الحد المسموح به وفقًا لهيئة مهندسي التدفئة والتبريد والتكييف الأمريكية هو ٠,٥٪ أو ما يعادل ١٠٠٠ جزء في المليون[١] .

٣-٣-٢ *أول أكسيد الكربون (CO) :* ينتج هذا الغاز عن احتراق المواد المحتوية على الكربون ويزداد إنتاجه عندما يقل الأكسجين في الهواء المحيط . ويتميز هذا الغاز بأنه

سام نظراً لقابلية امتصاصه في كريات الدم الحمراء وبالتالي تقليص مقدرتها على حمل الأكسجين اللازم لعملية الاحتراق . ويعتبر القلب والمخ من أهم أجزاء الجسم التي تتأثر بزيادة نسبة أول أكسيد الكربون في الدم . ومن الأعراض المصاحبة لزيادة تركيز هذا الغاز الصداع والدوخة والغثيان وقد يصل تأثيره لحد الوفاة . وعليه فقد تم تحديد المستوى المقبول من قبل هيئة حماية البيئة الأمريكية بحيث يكون متوسط تركيزه ١٠ مليغرام للمتر المكعب لفترة تعرض ثماني ساعات ويمكن أن يصل إلى ٤٠ مليغرام لكل متر مكعب خلال ساعة واحدة[٧] .

يوضح الشكل (١) مقدار الزيادة في تركيز غاز أول أكسيد الكربون في هواء المطبخ ، والتي تصل إلى ١٠٠٪ عند وضع القدر فوق الموقد أو المشعل مما يحد من كمية الأكسجين التي تصل اللهب وبالتالي زيادة إنتاج أول أكسيد الكربون .



شكل (١). مقدار الزيادة في تركيز غاز أول أكسيد الكربون في هواء المطبخ عند وضع القدور فوق الموقد[٤] .

٣-٣-٣ *أكاسيد النيتروجين (NOX)* : غاز ثاني أكسيد النيتروجين هو الأكثر شيوعًا وهو أحد الغازات الناتجة عن عملية الاحتراق ويتكون نتيجة لتأكسد أول أكسيد النيتروجين . يتميز هذا الغاز بلونه البني الغامق ورائحته النفاذة وتأثيره على الصحة عند وجوده بتركيزات عالية . فقد أثبتت الدراسات أنه غاز مهيج للعينين والأغشية المخاطية كما أن له القدرة على إتلاف الرئة نتيجةً لقدرته على الأكسدة[٤] . وقد يتسبب في إحداث أمراض رئوية مزمنة عندما يتراوح تركيزه بين ٥٠ - ١٥٠ جزء في المليون كما قد يؤدي إلى الوفاة إذا زاد عن ١٥٠ جزء في المليون[٣] . وقد تم تحديد المستوى المقبول لهذا الغاز بحيث لا يتجاوز ٠,٠٥ جزء من المليون وهو ما يعادل ١٠٠ مايكروغرام لكل متر مكعب كمتوسط سنوي .

٣-٣-٤ *ثاني أكسيد الكبريت (SO2)* : يتكون هذا الغاز مع عملية الاحتراق المصاحبة لوجود المواد المحتوية على الكبريت . وهو غاز عديم اللون وشديد الذوبان مما يجعله يُمتص بسهولة في الأغشية المخاطية الأنفية ويسبب مشاكل صحية في المجرى التنفسي وخصوصًا عند المصابين بالربو حيث يكون تأثرهم عند تركيزات منخفضة للغاز تصل إلى أقل من ١ جزء في المليون . أما الأشخاص الأصحاء فيتأثرون عند تركيزات أكثر من ٥ أجزاء في المليون[٤] . وتم تحديد المستوى المقبول لتركيز الغاز ليصل إلى ٠,٠٣ جزء من المليون أو ما يساوي ٨٠ مليغرام في المتر المكعب كمتوسط سنوي على أن لا يزيد تركيزه على ٠,١٤ جزء من المليون خلال ٢٤ ساعة .

٣-٣-٥ *دخان السجائر* : يمثل دخان السجائر مصدرًا رئيسيًا لتلوث الهواء الداخلي ، ومع ذلك فهو من الملوثات التي يصعب التخلص منها لارتباطها بسلوك وعادات الأشخاص هذا بالإضافة لكونها خليط من مئات المكونات الكيميائية والعضوية التي تحتاج إلى معالجات مختلفة ومعقدة . ومن بين هذه المكونات أول أكسيد الكربون ، النيكوتين ، جسيمات القطران ، الفورمالديهايد ، أكاسيد النيتروجين ، الأمونيا ، الأسيتون ، البنزين ، مركبات الأسيتالدهايد ، الفينول ، الهيدروكربونات العطرية والكثير من الملوثات الأخرى الضارة بالصحة . فوفقًا لهيئة حماية البيئة الأمريكية فإن دخان السجائر يحتوي على ٤٣ عنصرًا مسببًا للسرطان . وقد أثبتت

الدراسات التجريبية المخبرية و الوبائية وجود علاقة بين مرض السرطان ودخان السجائر . كما أن هناك علاقة وثيقة بينه وبين أمراض الجهاز التنفسي والقلب[٦] . بالإضافة إلى ذلك فإن دخان السجائر يحتوي على مركبات تسبب تغيرات دائمة في التركيبة الجينية للخلايا وتعتبر من أهم المصادر للجسيمات المعلقة التي يمكن تنفسها[٦] . وتعتبر الروائح الكريهة من المشاكل صعبة الحل والتي يسببها دخان السجائر لأنها تتطلب فترة طويلة لعلاجها حتى بعد إزالة مصدر الدخان وذلك نتيجة لامتصاصه بواسطة أسطح الحوائط الداخلية والأثاث . ونظراً لتعدد العناصر الملوثة في دخان السجائر فلا يوجد له حد أدنى يمكن اعتباره مقبولاً في البيئة الداخلية للمباني وعليه يبقى التخلص النهائي من دخان السجائر هو الحل الأمثل لتفادي المشاكل الناجمة عنه .

٣-٣-٦ *الملوثات البيولوجية :* يحتوي الهواء الداخلي على أعداد كبيرة من الكائنات الحية الدقيقة كالفيروسات والبكتيريا ، يكون للإنسان دور مباشر أو غير مباشر في تواجدها . فبالإضافة إلى كونه مصدراً لتلك الكائنات الحية فإن بعض الحيوانات الأليفة أو النباتات التي يقتنيها قد تكون مصادر مهمة لتلك الملوثات الحية . ويجدر بنا أن نشير هنا إلى أن هناك مصادر أخرى للملوثات البيولوجية من أهمها أنظمة التكييف ، أجهزة ترطيب الهواء ، أبراج التبريد ، الأطعمة والأسطح والمواد المبلله حيث تدعم نمو الكائنات الحية الدقيقة إذا ما توفرت درجات الحرارة اللازمة . إن وجود مثل هذه الكائنات بتركيزات عالية يؤدي إلى الإصابة بالأمراض المعدية خاصة مع وجود القابلية للإصابة بالمرض . هذا بالإضافة إلى كون بعض تلك الكائنات مصادر لمركبات سامة وبعض المركبات العضوية المتطايرة .

٣-٤ *المصادر الخارجية (الهواء الخارجي)*

الهواء الخارجي مصدر رئيسي للجسيمات العالقة والملوثات الناتجة عن الاحتراق والأوزون والغبار بالإضافة إلى المركبات العضوية المتطايرة والجسيمات الحية حيث يبلغ تركيزها في الهواء في المناطق الحضرية حوالي ١٥٠ كائن حي في المتر المكعب . ويتغير تركيز هذه الملوثات في الهواء الخارجي حسب تغير العوامل البيئية والنشاطات البشرية التي تساهم في إنتاج هذه الملوثات . وتدخل هذه الملوثات إلى المحيط الداخلي عن

طريق الهواء الخارجي المتسرّب من خلال الفتحات والشقوق الموجودة في الحوائط الخارجية . كما يمكنها الدخول عن طريق هواء التهوية الطبيعية أو الميكانيكية .

٤ – تشخيص ومعالجة جودة الهواء الداخلي

٤-١ طرق تشخيص المشكلة

نادراً ما يتم الاهتمام بالمشكلة أو التعرف عليها بمبادرة من مالك المبنى أو المسؤولين عن تشغيله ، وعادة ما يتم ذلك عن طريق شكاوى المستخدمين للمبنى . ففي حال وجود مثل هذه الشكاوي يجب على مدير أو مهندس المنشأة أن لا يتجاهلها وأن يبادر إلى إتخاذ الإجراءات التي تخفف من قلق مستخدمي المبنى . ويمكن التعرف على المشكلة وإيجاد الحل المناسب لها بتطبيق خطة متعددة المراحل ذات توجه إلى إيجاد الحل في أولى المراحل مع التدرج في التعقيد والتكلفة في المراحل المتأخرة . وتتكون هذه الخطة من خمس مراحل :

أولاً : التأكد من وجود المشكلة وعلاقتها بالمبنى

يمكن التأكد من وجود المشكلة عن طريق المقابلات الشخصية وأخذ المعلومات من المشتكين والتي تشمل تاريخهم الصحي والأعراض التي تظهر عليهم أثناء وجودهم في المبنى ، وكذلك الوقت الذي تظهر فيه تلك الأعراض وتحديد المكان الذي تمت فيه الشكوى . وفي حال تكرار الشكوى في منطقة معينة من المبنى يتم الاهتمام بتلك المنطقة كأن يتم التعرف على النشاطات أوالتغيّرات التي حدثت منذ بدء الشكاوي ، وكذلك فحص أنظمة التكييف والتهوية التي تخدم ذلك الجزء من المبنى .

أما في حالة وجود دلائل تشير إلى تكرار المشكلة في أنحاء مختلفة من المبنى فيجب التعرف على مدى انتشارها عن طريق الاستبيان أو المقابلات الشخصية والتي تهدف إلى تحديد نوعية المشكلة ووقت حدوثها ومدى تأثيرها على مستخدمي المبنى . وفي حال ثبوت أن المبنى يعاني من مشكلة في جودة الهواء الداخلي فيتم القيام بفحص عام للمنشأة وأنظمة التكييف والتهوية وإجراءات التشغيل والصيانة فيها وذلك من قبل شخص أو فريق مختص على دراية بأنظمة

التكييف والتهوية . وفي كثير من الأحيان يتم التعرف على أسباب المشكلة في هذه المرحلة خصوصًا إذا كان الفريق على دراية بطبيعة المشكلة ووقت حدوثها والأعراض الصحية التي تسببها .

ثانيًا : معاينة المنشأة وإجراء بعض القياسات البسيطة

في هذه المرحلة يتم التعرف على أجزاء المبنى المختلفة وأنظمة التكييف والتهوية وطريقة عملها من خلال التجوال داخل المبنى . كما يتم قياس بعض المتغيرات البيئية مثل درجة الحرارة والرطوبة وكذلك تركيز بعض الملوثات مثل غاز ثاني أكسيد الكربون . كما يتم في هذه المرحلة فحص أنظمة التكييف وتوزيع الهواء وأداء منقيات الهواء بشكل أكثر دقة منه في المرحلة الأولى . ويمكن الاستعانة في هذه المرحلة بخبرات خارجية إذا لم تتوفر الخبرة داخل إدارة المنشأة . وفي نهاية هذه المرحلة عادة ما يتم حل ٨٠٪ من المشاكل .

ثالثًا : التشخيص التحليلي الأولي

يتم في هذه المرحلة عمل المزيد من الإجراءات التحليلية عن طبيعة المشكلة وخصائصها بالإضافة إلى التقييم الطبي للمشكلة . كما يتم في هذه المرحلة محاولة الربط بين الأعراض وملوثات معينة ، فعلى سبيل المثال إذا تم تحديد غاز أول أكسيد الكربون كمسبب للأعراض الظاهرة فيتم قياس الغاز في أوقات معينة أو بشكل مستمر . وفي هذه المرحلة يتم تقييم أنظمة التهوية بشكل أدق وكذلك تسرب الهواء من المبنى عن طريق إجراء القياسات والتجارب المناسبة ومنها طريقة تناقص تركيز الغاز الدليل « Tracer gas decay method » ونظرًا لطبيعة القياسات في هذه المرحلة فإن الاستعانة بفريق متخصص من خارج المنشأة يعتبر أمرًا ضروريًا في أغلب الأحيان .

رابعًا : التشخيص التحليلي الشامل

هذه المرحلة تستغرق الكثير من الوقت والجهد حيث تجرى القياسات الدقيقة والمعقدة على الملوثات الكيميائية والبيولوجية ، ويتم هنا الربط بين الملوثات وتركيزها وبين طبيعة الأعراض وتوقيتها كما يبديها مستخدمي المنشأة . وعادة ما تدعو التوصيات في نهاية هذه المرحلة إلى تعديلات جذرية في أنظمة التكييف

والتهوية والتحكم في مصادر التلوث وكذلك تغيير إجراءات التشغيل والصيانة .

خامسًا : المراقبة ومنع تكرار حدوث المشكلة

إن تحديد المشكلة وإيجاد الحلول المناسبة لها لا يعني القضاء عليها . بل يجب التأكد من نجاح الإجراءات التي تم اتخاذها ومدى فعاليتها . وبناء على ذلك يتم وضع المبنى تحت المراقبة لفترة من الزمن للتأكد من استئصال مصدر المشكلة وتفادي عدم تكرارها بالإضافة إلى ضرورة المتابعة والمعاينة الدورية للمبنى بعد ذلك .

٤-٢ مثـــال واقعي

هناك الكثير من الأمثلة الواقعية الموثقة على ظاهرة المبنى العليل ، نورد هنا ملخصا لواحد منها ولكيفية التعامل معه إضافة إلى الدرس المستفاد من مثل هذه المشكلة[٧] :

المشكلة : اشتكت مجموعة من مبرمجي الكمبيوتر العاملين في مبنى مكتبي عمره خمس سنوات لإحدى الشركات من حكة في الأنف والعينين والحنجرة واستمرت المشكلة حوالي ١٢ شهراً . وعندما بدأ تقييم المشكلة كان نصف العاملين في ناحية من هذا المبني يعانون نفس الأعراض المرتبطة بظاهرة المبنى العليل . وقد تبين من التقييم الأولي للمبنى أن مستوى النظافة جيد وأن كمية الهواء الخارجي أكثر من المطلوب لتهوية المبنى . أيضا تمت مراجعة تصميم أنظمة التكييف والتهوية وكذلك التعرف على الحالة الصحية للعاملين . وبعد الفحص الشامل والدقيق للفراغ الكائن بين مجرى الهواء وملف التبريد تبين وجود تكوينات فطريَّة غطّت جزءًا كبيراً من المواد العازلة امتدت حوالي ١٠ أمتار داخل مجرى الهواء . هنا لم تتخذ أي قياسات بيولوجية إضافية نظراً لوضوح المشكلة .

السـبب : التصميم الخاطئ لنظام التكييف والمتمثل في موقع ملف التبريد الكائن على مدخل مجرى الهواء بحيث يمر الهواء الرطب في مجرى تم عزله داخليًا بمادة لها قابلية امتصاص الماء المكثف نتيجة التبريد نظراً لوجود الرطوبة المرتفعة . وبالتالي يخزن هذا الماء المكثف على طول عازل مجرى الهواء لفترة طويلة حيث لا تساعد الظروف المحيطة له على تبخره بسهولة مما كوَن بيئة خصبة لنمو الفطريات مع مرور الوقت .

الحـــل : استبدال المادة العازلة ومعالجة التلوث ، وكذلك إعادة تصميم نظام التكييف بحيث يتم تغيير موقع ملف التبريد أو تصميم مجرى الهواء بشكل يضمن تصريف الماء المكثف وعدم تكرار المشكلة .

الدرس المستفاد : إن توفر كمية الهواء الخارجي المطلوبة للتهوية لا يعني بالضرورة التغلب على المشاكل المتعلقة بجودة الهواء ، كما أن زيادة كمية هواء التهوية لا يعني بالضرورة حل المشكلة . بل يجب التأكد من صحة تصميم أنظمة التكييف والتهوية وطريقة تشغيلها وسلامتها من وجود عوامل تلوث الهواء أو العوامل المساعدة على ذلك . ففي بعض الأحيان كما ورد في هذه الحالة قد تكون أنظمة التكييف والتهوية هي سبب المشكلة ومصدر الملوثات على عكس افتراض كونها تمثل الحل لمشاكل التهوية في المباني .

٥ – وسائل التحكم في جودة الهواء الداخلي

ليس هناك حد فاصل بين ما يسمى بـ « مبنى عليل » و « مبنى صحي » ولكن التحكم في جودة الهواء الداخلي يعني إبقاء تركيز ملوثات الهواء عند المستوى الذي لا يشكل خطراً على الصحة ويحقق إرضاء مستخدمي المبنى . هذا الهدف يمثل تحدياً لمهندسي المباني نظراً لتعدد مصادر التلوث ووجود عوائق عملية واقتصادية تحول دون تحقيق الهدف المنشود خاصة إذا لم تتخذ الاعتبارات اللازمة التي تساعد على تحقيق هذا الهدف خلال مرحلة التصميم . لذلك فإن من الضروري وضع هذا الهدف نصب أعين مهندسي المباني منذ بداية مرحلة التصميم وحتى تشغيل المبنى . فمن الإجراءات الممكن اتخاذها في مرحلتي التصميم والتشغيل من أجل تحقيق « مبانٍ صحية » ما يلي :

١ – اختيار مواد البناء والأثاث الداخلي مع الأخذ بالاعتبار طبيعة الملوثات المنبعثة منها ومعدل انبعاثها . هذا الإجراء قد يكون صعب التطبيق نظراً لتعدد هذه المنتجات والتي يتم طرحها باستمرار في الأسواق . ولكن إصرار المستهلك على التعرف على الملوثات المنبعثة من المنتج سوف يقود مصنعي تلك المنتجات لتوفير المعلومات المطلوبة بل قد يشجعهم على تعديل المنتج لكي يتناسب مع متطلبات المستهلك .

ويجب التأكد هنا من عدم استخدام المنتجات الجديدة دون التعرف على خصائصها خاصةً مع وجود البدائل المناسبة والتي سبق استخدامها والتعرف على أدائها .

٢- حسن استخدام مواد البناء أثناء عملية التشييد وخلال تشغيل المباني وعدم تعريضها للرطوبة وتغلغل المياه إليها مما يجعلها بيئة ملائمة لنمو البكتيريا العضوية وجذب الملوثات الأخرى .

٣- التأكد من ملائمة أنظمة التكييف والتهوية لخصائص ووظيفة المبنى مع الأخذ بالاعتبار أماكن وطبيعة الملوثات الناتجة عن النشاطات المختلفة في المبنى . كما يجب التأكد من كفاية معدل التهوية وفعالية أنظمة تنقية وتوزيع الهواء وسهولة تنظيفها وصيانتها . حيث أن وقت التشغيل ومعدل ونقاوة الهواء الخارجي أهم العوامل فيما يتعلق بالتهوية .

٤- إزالة أو عزل المواد التي تعتبر مصدراً مستمراً للملوثات أو تساعد على تكون الملوثات البيولوجية والخطرة من البيئة الداخلية . ويمكن أن يتم ذلك عن طريق المنع أو عن طريق التباعد المكاني والزمني كأن يخصص مكان أو وقت محدود للتدخين .

٥- التنظيف المستمر والشامل للمبنى . علما بأن تصميم المبنى وتوزيع الفراغات فيه وترتيباته الداخلية بشكل يسهل عملية التنظيف أمر مهم لاستمرارها وشمولها وبالتالي التخفيف من حدة التلوث فيه .

٦- استخدام منقيات الهواء المناسبة في شبكة توزيع الهواء مع مراعاة التنظيف والصيانة الدورية لها .

٧- الصيانة الدورية لأنظمة المبنى المختلفة وإزالة ما قد يعلق بها من غبار أو أي مواد أخرى .

٨- التهوية الجيدة وإبعاد فتحات دخول الهواء عن تركيز الملوثات ومصادرها الخارجية .

٩- تدفئة وتهوية المباني الجديدة والمعاد ترميمها قبل استخدامها لإزالة ما أمكن من تأثير الملوثات الموجودة في مواد البناء الجديدة المستخدمة فيها (Backing Out Method) .

حيث إن كمية المركبات المشعة من مواد البناء تعتمد على عمر المبنى فتفقد الكثير من المركبات في الهواء الداخلي نصف عمرها الإنبعاثي خلال الأشهر الأولى من عمر المبنى . لذلك فان الدول الإسكندنافيه تتطلب تهوية طبيعية للمبانى الجديدة بمعدل ١٠٠٪ خلال الأشهر الستة الأولى من استخدامها[٨] .

١٠- ضرورة سن القوانين والأنظمة المحلية التي تلزم تطبيق مثل هذه الإجراءات عند تصميم وتنفيذ المباني لضمان جودة الهواء الداخلي فيها . هذا بالإضافة إلى أهمية التأكيد على متابعة هذه الإجراءات خلال مرحلة تشغيل وصيانة المنشأة على مدى دورة حياتها .

ويبقى تقليل تركيز الملوثات إلى المستوى المقبول عن طريق التهوية هو الحل العملي الوحيد ، عندما لا يتسنى التعرف على مصادر التلوث أو يكون التخلص منها مستحيلاً أو غير عملي . وقد تكون التهوية طبيعية أو ميكانيكية ، وفي الحالة الأخيرة وهي الأكثر شيوعًا في المباني الحديثة ، يتم إمداد المبنى عن طريق أنظمة التهوية الميكانيكية بهواء نقي نسبيًا ، وهو خليط من الهواء الخارجي والهواء الداخلي المعالج بهدف إزالة ملوثات الهواء الداخلي . ورغم ثبات الهدف إلا أن هناك طرقًا مختلفة أو متباينة الفعالية للتهوية . وتعتبر طريقة التهوية بالشفط المحلي من أكثر الطرق فعالية نتيجة للسرعة التي يتم فيها التخلص من الملوثات قبل انتشارها وكذلك نتيجة للفارق الكبير في تركيز الملوثات بين الهواء المطرود وهواء التهوية حال إمداده للمبنى . أما أقل طرق التهوية فعالية فهي طريقة الخلط حيث يتم فيها ضخ هواء التهوية إلى الحيز المشغول ليختلط مع هواء المبنى وبالتالي يقل تركيز الملوثات . في هذه الحالة تتحدد فعالية التهوية بمستوى الاختلاط الذي يتحقق ، فإذا كان الاختلاط تامًا تكون فعالية التهوية ١٠٠٪ وتقل حسب درجة الاختلاط . ومن هنا يلاحظ أن كمية هواء التهوية مع أهميتها ليست هي العامل الأهم في تحديد فعالية عملية التهوية بل إن مقدرة الهواء على حمل الملوثات وإقصائها عن المبنى هي الأهم في تحديد تلك الفعالية . لذلك فإنه يجب الاهتمام بطريقة إمداد الهواء وتوزيعه في المبنى عند تصميم أنظمة التهوية .

ورغم أن كمية الهواء التي يجب إمدادها للتكييف يتم تحديدها بحسابات الحمل

الحراري للمبنى ، إلاّ أن كمية الهواء الخارجي اللازمة للتهوية يتم تحديدها حسب وظيفة المبنى وعدد مستخدميه وكذلك مستوى جودة الهواء المطلوبة . وبهذا الخصوص وضعت الهيئة الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد والتكييف المعايير اللازمة لتحديد معدل الهواء الخارجي المطلوب للتهوية[١] ، وذلك باستخدام إحدى طريقتين : الطريقة الأولى تسمى « طريقة معدل التهوية » حيث يتم من خلالها تحديد معدل الهواء الخارجي المطلوب لكل شخص أو لكل متر مربع من مساحة المبنى والذي يختلف حسب نوع المبنى والنشاطات القائمة فيه ، ومن ثم حساب معدل التهوية الكلي . ويوضح الجدول (٢) معدلات الهواء الخارجي التي يُنصح بها لتحقيق جودة الهواء المطلوب في مباني مختلفة .

أما الطريقة الثانية فتعتمد على تحديد الحد الأقصى لتركيز الملوث وتسمى « طريقة جودة الهواء الداخلي »، وفي هذه الحالة يُعطى المصمم الحرية في اختيار كمية الهواء الخارجي من أجل تحقيق الهدف المطلوب .

جدول (٢). معدلات الهواء الخارجي المطلوبة للتهوية في المرافق غير الصناعية[١] .

معدل الهواء الخارجي (لتر في الثانية / شخص)	**التطبيق**
١٣	المغاسل التجارية
١٥	محلات الغسيل الجاف
٢٠	غرف الاجتماعات (الفنادق)
١٥ (لتر في الثانية لكل غرفة)	غرف النوم (الفنادق)
١٠	المكاتب
١٠	مكاتب الاتصالات وغرف إدخال المعلومات
١٠	غرف الاجتماعات (المكاتب)
٢٥	الحمامات العامة
٣٠	أماكن الجلوس العامة المخصصة للمدخنين
١٣	صالات الألعاب
١٣	صالات ألعاب البولنج

٦ – جـودة الهـواء في المبـاني في المملـكة

٦-١ *الدراســات ذات العـلاقــة*

يعتبر الاهتمام بموضوع جودة الهواء الداخلي في المباني حديثًا نسبيًا بالنسبة للمملكة العربية السعودية نظرًا لعدم تقدير ووضوح معالم المشكلة . ولكن مع الاعتماد الكبير على أساليب التكييف والتهوية الصناعية وكذلك التوجه إلى استخدام مواد ومنتجات التقنية الحديثة داخل المباني بالإضافة إلى البدء في اتخاذ الإجراءات التي تحد من استهلاك الطاقة في المباني فإن هذه المشكلة أصبحت واضحة المعالم ، ومن المتوقع أن تزداد وضوحًا مع ما يصاحبها من مشاكل إذا لم تتخذ الإجراءات الكفيلة للتقليل من حدوثها . ولقد تم عمل العديد من الدراسات والأبحاث لمعرفة مستوى جودة الهواء في المباني وكذلك للتعرف على الملوثات الداخلية السائدة .

فمن هذه الدراسات ، دراسة ميدانية تمت من خلال رسالة للماجستير[١١] بقسم الهندسة المعمارية بجامعة الملك فهد للبترول والمعادن لثلاثين مبنى في مدينتي الدمام والخبر في المنطقة الشرقية بهدف معاينة جودة الهواء في المباني المكتبية وذلك عن طريق إستبانة عامة لمستخدمي تلك المباني وكذلك مسئولي الصيانة والتشغيل بها . وقد بينت نتائج تلك الدراسات وجود مشاكل في جودة الهواء في عدد من تلك المباني . فمن إجمالي المباني التي أجريت عليها الدراسة ٣٠٪ صُنِّفت على « أنها مباني عليلة » أي ليست صحية من حيث جودة الهواء لمستخدميها . كما أن ٧٤٪ من المستخدمين الذين يعانون من أعراض مَرَضيّة أشاروا إلى أنهم يعانون من نقص في كفاءة أدائهم للعمل مقابل ٢٥٪ فقط ممّن تَقلْ الأعراض المَرَضيّة لديهم يشتكون من نقص في كفاءة أدائهم الوظيفي . غير أن هذه الدراسة اعتمدت كليًا على آراء المستخدمين للمباني فقط دون عمل أي قياسات لتركيزات الملوثات فيها . وبالتالي فإن إجراء مثل هذه القياسات ضروري للتعرف على أنواع الملوثات في المباني ومدى خطورتها حتى يتم معالجتها بالطرق المناسبة .

وفي رسالة ماجستير أخرى بقسم الهندسة الميكانيكية بجامعة الملك فهد للبترول والمعادن[١٢] قام الباحث بإجراء مسح استبياني عشوائي لمستخدمي ٣٨ مبنى سكني

ومكتبي وصناعي في حرم الجامعة . واتضح من نتائج الاستبانة أن غالبية المستخدمين لهذه المباني لا يشتكون من مشاكل في نوعية الهواء بداخلها . غير أن نسبة عدم الرضى بجودة الهواء كانت أكثر لدى مستخدمي مباني الورش والمباني المعملية مقارنة بقاطني المناطق السكنية . وبإضافة تسعة مبان أخرى إلى الـ ٣٨ السابقة قام الباحث بعمل قياسات لملوثات الهواء الخمسة (الفورمالدهايد ، ثاني أكسيد الكربون ، أول أكسيد الكربون ، ثاني أكسيد الكبريت ، وجميع الهيدروكربونيات) وذلك باستخدام جهاز لقياس غازات متعددة ، حيث قام بإجراء أربع قياسات صباحية ومسائية في كل من فصلي الصيف والشتاء لعام ١٩٩٥م . وقد أشارت النتائج إلى أن قياسات فترة الصيف النهارية سجلت أعلى قراءات تركيز للملوثات وبنسبة ٥٦٪ . بينما سجلت قراءات فترات الشتاء الليلية أدنى معدلات لتركيز الملوثات وبنسبة ٥٤٪ كما تبين تناسب القراءات لنتائج الاستبانة بشكل عام من حيث ارتفاع تركيز الملوثات في مباني مواقف السيارات والمباني المعملية وتجاوزها للمعدلات المسموح بها في بعض هذه المواقع مقارنة بالمكاتب أو المباني السكنية . ومع أن هذه النتائج في مجملها قد أشارت إلى أن المباني التي تمت معاينتها لا تعاني من مشاكل متعلقة بنوعية الهواء الداخلي إلا أن هناك احتمالاً لوجود ملوثات أخرى لم يتم قياسها في هذه الدراسة قد يكون لها آثار سلبية على صحة مستخدمي تلك المباني .

وفيما يتعلق بغاز الرادون فقد تمت دراسة لعدد من البيوت في بعض مدن المنطقة الشرقية إضافة إلى مدن الرياض وجدة والطائف[١٣] . وقد بيّنت هذه الدراسة أن تركيز غاز الرادون داخل هذه البيوت في حدود المعدلات المسموح بها دوليًا ، فقد تراوحت نسب تركيزه ما بين ٥ إلى ٣٦ بيكريل/ م^{٣} وبمعدل عام هو ١٠ بيكريل/ م^{٣} وهذا المعدل مقارب لذلك في المساكن في بريطانيا والذي يبلغ ١٢ بيكريل / م^{٣} إلا أنه يعتبر أقل بكثير مما يتعرض له قاطني المساكن في العديد من الدول الأخرى كالسويد وألمانيا الغربية وفنلندا والتي يبلغ تركيز غاز الرادون فيها ٥٢ بيكريل/ م^{٣} ، و٤٠ بيكريل/ م٣ و٣٢ بيكريل/ م^{٣} على التوالي . كما أوضحت الدراسة أن المياه الجوفية في بعض مناطق المملكة تحتوي على تركيز عالٍ جداً من غاز الرادون المذاب مما قد يكون له علاقة بارتفاع

نسبة أمراض السرطان في تلك المناطق .

وفي دراسة مدعـومة من قبل مدينة الملك عـبدالعزيز للعلوم والتقنيـة عن تلوث الهواء داخل المبـاني بمـدينة الرياض[١٤] قـام البـاحـثون باختـيـار ثلاثين مـوقـعًا في أربع مناطق رئيسـية داخل مـدينة الرياض ومـوقـعين خـارج المدينـة (كـمراجـع لمسـتـويات التلوث في المدينة) لإجـراء الدراسـة . وقـد شـملت المبـاني أنماطـا عمـرانيـة واسـتـخـدامـات مـختلفـة تتفاوت فيهـا أساليب التكييف والتـهوية ، وتمثل منـاطق جغـرافيـة بها احـتمـالات تلوث متفاوتة .

وقد اعـتمدت الدراسة على قـياس الملوثات التي لها عـلاقة بخصائص المبـاني وجودة الهـواء الخارجي لمدينـة الرياض والتي شملت الـعوالق الكلية (TSP) ، والرصاص(Pb) ، وأول أكـسيـد الكربون(CO) ، وثاني أكـسيـد الكربون (CO_2) ، وأول أكـسيـد النيتـروجين (NO) ، وثاني أكـسـيـد النيـتـروجين ((NO_2)) ، والفـورمـالدهايد (HCHO) ، والنشـادر (NH_3) ، والأوزون (O_3) ، وثاني أكـسـيـد الكبـريت (SO) . وقـد تم قـيـاس تركـيـز تلك الملوثات داخل وخـارج كـل مـبنى لمدة أسبـوع في كل من فـصلي الـصيف والشـتـاء على مدار الساعة مع تسـجيل المتوسط لكل ساعة لأغلب الملوثات . إضافة إلى ذلك استرشد البـاحـثون بمرئيـات مسـتـخـدمي المواقع المحيطة بالبيـئة الداخلية من خـلال اسـتـبـانات صـمـمت لهـذا الغـرض . وفي نـفس الوقت تم قـيـاس بعض العناصـر المنـاخيـة الداخليـة كـدرجـة الحـرارة والرطوبة ، إضـافـة إلى درجـة الحـرارة والـرطوبة وسـرعـة واتجـاه الرياح والضغط الجوي والإشعاع الشمسي في البيئة الخارجية المحيطة .

وبتـحليل النتـائج تـوصل البـاحـثون إلى أن أربعـة من الملوثات التي تم قـيـاسـهـا وهي الفورمالدهايد (HCHO) ، والأوزون (O_3) ، وثاني أكسيد الكربون (CO_2) ، وأول أكسيد الكربون (CO) كـانت في حـدود المواصـفـات المسـمـوح بـهـا لجـودة الهـواء بينمـا تبين أن الملوثات الست الأخـرى والمتـمثلة في العـوالق الكلية (TSP) ، والرصـاص (Pb) ، وأول أكـسيـد النيتـروجين (NO) ، وثاني أكـسيـد النيتـروجين (NO_2) ، والنشادر (NH_3) ، وثاني أكسيد الكبـريت (SO_2) كـانت بمسـتـويات مـخالفـة للحدود المسـمـوح بها داخل وخـارج

المباني في معظم مواقع الدراسة .

وتعزو الدراسة مصادر الملوثات الخارجية إلى السيارات ومحركات الطاقة والنشاطات الصناعية المجاورة كمصادر رئيسية للملوثات الداخلية والخارجية للمباني بمدينة الرياض إضافة إلى المصادر الناتجة من داخل المباني . كما أوضحت الدراسة عدم توافق انطباعات مستخدمي المباني حول جودة الهواء الداخلي والمستويات المقاسة مما يؤكد ضرورة عدم الاكتفاء بالاعتماد على نتائج الاستبانات لتقييم جودة الهواء في المباني .

وفي مشروع آخر مدعوم من المدينة أيضا[١٥] قام الباحثون بدراسة للملوثات في عدد من المنشآت الصناعية شملت مصانع للإسمنت والبتروكيماويات والأمونيا والأسبيستوس في المنطقة الشرقية ومدى تركيزهذه الملوثات في بيئة العمل مقارنة بالمستويات المسموح بها عالميًا ودرجة الأخطار التي يتعرض لها الجهاز التنفسي للعمال المعرضين لهذه الملوثات . وقد خلصت الدراسة إلى أن تركيزات العناصر المستنشقة بمصنعين للأسمنت لعدد كبير من العينات تعدت المستوى المسموح به عالمياُ كما أن تركيز « السليكا » التي يتعرض لها العاملون أعلى من الحد المسموح به . كما اتضح أن نسبة أمراض الجهاز التنفسي والسعال والبلغم والأزيز والشكوى من النزلة الشعبية والربو وضيق التنفس أعلى بين العمال المعرضين لغبار الأسمنت .

وفي مصنعين للنشادر أوضحت نتائج القياسات البيئية أن متوسط تركيز النشادر لكل أقسام المصنعين بشكل عام كان أقل من الحد الأدنى المسموح بها . ومع أن الذين يعانون من أمراض الجهاز التنفسي (السعال ، البلغم ، الأزيز ، الربو ، وضيق التنفس) لم ينسبوها إلى أسباب تتعلق بالعمل إلا أن الدراسة أظهرت أن نسبة تركيز النشادر في بيئة عمل هؤلاء أعلى من المسموح بها عالميًا ، كما أشار التحليل الإحصائي إلى أن النشادر كان عاملاً مهمًا في الإصابة بالربو عند هؤلاء العاملين .

أما بالنسبة لمصنع البتروكيماويات فقد أظهرت الدراسات إلى أن هناك عددًا كبيراً من عينات الغبار المستنشق تجاوز الحد الأعلى المسموح به . كما أن معدل انتشار أعراض

أمراض الجهاز التنفسي أعلى بين العمال المعرضين لغبار البتروكيماويات مقارنة بتلك لمجموعة ضابطة ، وكان الفرق واضحًا إحصائيًا بالنسبة للبلغم وضيق التنفس . أما الأسبيستوس فقد أظهرت الدراسة أن متوسط مستوى تركيزه أقل من الحد المسموح به بشكل عام .

وقد أوصت الدراسة بخفض مستوى الغبار في بيئة العمل واستخدام الوسائل الواقية للعاملين وتخفيف تركيز النشادر في الهواء ومتابعة العاملين والفحص الطبي الدوري لهم ، بالإضافة إلى متابعة تركيز جميع هذه الملوثات في بيئة العمل لتكون أقل من الحد المسموح به عالميًا حفاظًا على صحة العاملين .

وفي بحث استهدف دراسة الاختلافات بين المناطق وأثر مسببات الحساسية في الإصابة بالربو القصبي في المملكة[١٦] تبين وجود أثر ملحوظ لخصوصية المكان وظروفه المناخية على طبيعة مسببات الحساسية وانتشار الربو القصبي . فقد أظهرت الدراسة زيادة نسبة حدوث الربو لدى الأطفال الذين يعيشون في أسر أحد أفرادها من المدخنين . كما أوضحت الدراسة توافق نتائج الاختبارات الجلدية مع وجود نسبة عالية من مسببات الحساسية في البيئة المحيطة والتي تشمل الغبار المنزلي ومستضدات الصراصير ومستضدات وبر القطط ووجود تباين واضح في كمية ونوعية هذه المسببات داخل الأماكن المغلقة مما يؤكد على تأثير كل من هذه المسببات على جودة البيئة المحيطة وبالتالي على صحة الإنسان .

٦-٢ *كيفية الحد من المشكلة في المملكة*

نظرا للآثار السلبية على صحة وإنتاجية مستخدمي المباني المترتبة على وجود مشاكل تتعلق بجودة الهواء الداخلي للمباني فإن هذا الموضوع جدير بالاهتمام حيث يتوقع أن تصبح تلك المشاكل أكثر وضوحًا مع تقادم المباني في المملكة . ومما سيساهم في بروز هذه المشاكل ما قد ينتج عن التوجه لإجراءات ترشيد استهلاك الطاقة في المباني فيها عن طريق إحكام منافذ الهواء في المباني . إضافة إلى زيادة الوعي والاهتمام بموضوع جودة الهواء الداخلي . وعليه يجب اتخاذ الإجراءات الكفيلة للحد من هذه المشكلة ومنع

تفاقمها في المستقبل . ولعل من أهم الإجراءات التي يجب اتخاذها هو التوعية العامة بأهمية الموضوع على الصحة والإنتاجية ، وكذلك توعية وتشجيع مصممي المباني ومهندسي أنظمة التكييف لأخذ موضوع جودة الهواء الداخلي بالاعتبار عند التصميم ووضع استراتيجيات التشغيل المناسبة . وللتوعية العامة أهمية خاصة لدفع هذا الموضوع لواجهة الأولويات نظرًا لاهتمام مصممي المباني وأنظمة التكييف والتهوية بوجهة نظر ومتطلبات مستخدمي المباني . كما أن للمؤسسات التعليمية والمهنية دورًا كبيرًا في التوعية والتدريب والبحث في هذا المضمار من خلال البرامج الدراسية ذات العلاقة وعقد الندوات والمؤتمرات والدورات التدريبية وتوجيه الأبحاث حول هذا الموضوع . وهناك دلائل على وجود اهتمام من قبل بعض جامعات المملكة حيث تم إجراء العديد من الأبحاث والدراسات التي تهتم بهذا الموضوع . هذا بالإضافة إلى أن تطبيق وسائل التحكم بجودة الهواء التي تم ذكرها آنفا في هذا البحث سوف يساعد إلى حد كبير على تفادي المشكلة في مباني المملكة . ولا نهمل هنا أهمية الدور الذي تلعبه الجهات الرسمية ذات العلاقة بالقطاع العمراني من إيجاد ومتابعة تنفيذ المعايير والقوانين اللازمة لضمان جودة هواء البيئة الداخلية والخارجية .

٧ – الخـــــلاصـــــــة

يحتاج الإنسان خصوصًا مع وجود ظروف مناخية قاسية ، إلى بيئة داخلية يتم التحكم فيها بالضوضاء والإضاءة ودرجة الحرارة والرطوبة وجودة الهواء من أجل القيام بنشاطاته المختلفة دون التأثر بتغيرات العوامل البيئية الخارجية أو التأثير سلبيًا على صحته . ومع تعدد نشاطاته أصبح الإنسان يقضي معظم وقته داخل تلك البيئات الاصطناعية مما جعل دوام توفير أسباب الراحة أمرًا ضروريًا . ومع أهمية جميع العوامل البيئية الداخلية إلا أن للهواء الذي يستنشقه الإنسان الدور الأهم في التأثير على صحته . لذلك فإن التحكم بجودة الهواء الداخلي أصبح مطلبًا رئيسيًا خصوصًا مع تعدد مصادر التلوث الداخلي نتيجة لاستخدام المواد والأجهزة الحديثة داخل المباني . فهناك مئات الملوثات التي تصدر عن هذه المصادر والتي يعزى لها الدور الأكبر في شيوع ظاهرة

المبنى العليل وتشـمل المركبات العـضوية المتطايرة (VOCs) وأهمهـا الفورمالـديهايد الذي ينبعث من مواد البناء كالدهانات وتشطيبـات الحوائط والأسقف والأثاث كما ينبعث من الأجهزة والمعدات المستخدمة كآلات الطباعة والتصوير وغيرها . وهناك الغازات الناتجة عن عـمليات الاحتراق مثل غـاز أول أكسيـد الكربون ، ثاني أكسيـد الكربون ، غـازات أكسيد النيتروجين ، وغـاز ثاني أكسيد الكبريت هذا بالإضـافة إلى الملوثات البيولوجية ودخان السـجائر الذي يعتبر من أهم ملوثات البيئة الداخلية . ولهـذه الملوثات منفردة أو مـجتـمعـة تأثيرات كـبيـرة على الصـحة تتفاوت في خطورتهـا فقـد ينتج منهـا تأثير بسيط يتمثل في عدم الارتياح بسبب الروائح المختلفة أو قد ينتج عنها أمراض خطيرة كأمراض الجهاز التنفسي المزمنة وأمراض تليف الأنسجة والسرطان .

لهـذه الأسبـاب فقـد تم اعـتبـار تلوث الهـواء الداخلي من قـبل هيئـة حـمـاية البيـئة الأمـريكيـة (EPA) على أنه ذو خطورة عـالـية عـلى صـحـة الإنسـان وتم تصنيفـه على أنه يؤدي إلى مـخاطر صـحـية عـالـية . لذلك فإن مـوضـوع جودة الهـواء في المبـاني يجب أن يكون من أولى أوليـات مصـممي ومـهندسي المبـاني بدءًا من مرحـلة التصـميم حيث يتم اختيار المواد والأثاث وتحديد الوظائف والعمليـات المختلفة التي قـد تكون مصـادر هامة للملـوثات وكـذلك تحـديـد أنظمـة التـهـوية وتوزيع الهـواء المناسـبـة الـتي يتم بواسطتـهـا التخلص من تلك الملوثات . كـما تكون المسئولية قائمة خـلال مرحلة التشغيل حيث يتم فيهـا مراقـبة أداء تلك الأنظمـة وصيانتها الدورية لتعزيز قـدرتهـا على الحفـاظ على بيئة داخليـة « صحيـة » فقـد تستـحدث نشـاطات ووظائف جديدة ويتم إدخـال مواد وأجـهزة وأثاث لم يتم اعـتبـارها في مـرحلة التصـميم ، وفي هذا تحـدٍّ لمشغلي المباني حيث يجب الموازنة بين المرونـة الوظيـفيـة للمـبنى ومـقـدرة الأنظمـة المخـتـلفـة ومنهـا أنظمـة التـهـوية والتكييـف على أداء وظيفتها المنوطة بهـا في الحفاظ على جـودة البيئة الداخلية لـلمبنى . بالإضافة إلى ذلك فقـد تتخـذ إجراءات معينة للحد من اسـتهـلاك الطاقة كـتقليل مـعدل الهـواء الخـارجي المسـتـخـدم في التـهـويـة والتي تؤدي بدورها إلى زيادة تركـيـز الملوثات الداخلية نتيجة تدني قدرة هواء التهوية على التخلص منها .

شـــــكر وعرفـــــان

يتقدم الباحثان بجزيل الشكر والعرفان لجامعة الملك فهد للبترول والمعادن على ما تقدمه من تسهيلات متواصلة في سبيل تشجيع البحث العلمي وتطوير قدرات الباحثين والتي ساعدت على إنجاز هذا البحث .

المـــــراجـــــع

[١] **American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.,** *ASHRAE Standard 62 – 1989 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality,* Atlanta, GA., USA, (1989).

[٢] **Hays, Steve M., Ronald V. Gobbell** and **Nicholas R. Ganick,** *Indoor Air Quality – Solutions and Strategies.* McGraw - Hill, Inc. , (1995).

[٣] **Brooks, Bradford O.** and **William F. Davis,** *Understanding Indoor Air Quality.* CRC Press, Inc. , (1992).

[٤] **Wadden, Richard A.** and **Peter A. Scheff,** *Indoor Air Pollution – Characterization, Prediction and Control.* John Wiley & Sons, Inc., (1983).

[٥] **Meckler, Milton,** *Indoor Air Quality Design Guide Book.* The Fairmont Press, Inc., (1991).

[٦] **Awbi, H.B.,** *Ventilation of Buildings.* First edition, E & FN SPON, (1991).

[٧] **Hansen, Shirley J.,** *Managing Indoor Air Quality.* The Fairmont Press, Inc., (1991).

[٨] **Namiesnik, Jacek,** *et. al.,* Indoor Air Quality (IAQ), Pollutants, Their Sources and Concentration Levels, *Building and Environment,* Vol. **27,** No. 3: 339-356, (1992).

[٩] **Sundell, Jan,** What We Know, and What We Don't Know about Sick Building Syndrome, *ASHRAE Journal,* Vol. **38,** No. 6: 51-57, (1996).

[١٠] **Yeung, Y.N. Au,** *et. al.,* Sick Building Syndrome – A Case Study, *Building and Environment,* Vol. **26,** No. 4: 319-330, (1991).

[١١] **Al-Qhahtani, Ali Said,** Subjective Assessment of Indoor Air Quality in Office Buildings, *Master Thesis, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran,* (1993).

[١٢] **Al-Zaharna, Ehab Talal,** Objective and Subjective Assessment of Indoor Air Quality In KFUPM Buildings, *Master Thesis, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran,* (1996).

[١٣] **الجارالله ، محمد إبراهيم** ، *الإشعاع الذري : مصادره ، استخداماته ، مخاطره ، وطرق الوقاية منه* ، الطبعة الأولى ، مكتبة العبيكان ، ، الرياض ، المملكة العربية السعودية ، (١٤١٤ هـ) .

[١٤] **الرحيلي ، عبد الله محمد** ، *وآخرون* ، دارسة تلوث الهواء داخل المباني بمدينة الرياض ، *ملخص تقرير البحث أ ت – ١٢ – ٤٨ ، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية* ، الرياض ، (١٤١٩هـ) .

[١٥] **الشيخ ، باسل عبد الرحمن** ، *وآخرون* ، الآثار المترتبة على الرئتين من التعرض للغبار والأتربة بالمصانع : دارسة لأربع أنواع من المصانع في المنطقة الشرقية ، *ملخص البحث رقم أ ت -١٠ - ٢٤* ، *مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية* ، الرياض ، (١٤١٩هـ) .

[١٦] **الفريح ، عبد الرحمن صالح** ، *وآخرون* ، الربو القصبي في المملكة العربية السعودية : تأثير العوامل المسببة له وتحولاته ، *مختصر تقرير بحث رقم أ ت - ١٤ - ٣٠* ، *مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية* ، الرياض ، (١٤١٩هـ) .

Sick Building Syndrome: Causes and Remedies

MOHAMMAD S. AL-HOMOUD and ISMAIL M. BUDAIWI
Architectural Engineering Department
King Fahd University of Petroleum & Minerals
Dhahran, Saudi Arabia

ABSTRACT. The quality of indoor environment has a significant impact on people's health, comfort and productivity. A commonly encountered problem in buildings is the phenomena of "Sick Building Syndrome" (SBS). Information about the causes of this phenomenon is not fully recognized. However, the presence of indoor air pollutants at elevated levels is believed to be the major cause of this problem. This is mainly due to the intensive use of newly developed building materials and equipment, most of which act as a major source of indoor pollutants. Additionally, energy conservation activities such as increasing air tightness levels in buildings and/or introducing less outdoor ventilation air have also contributed to the problem. The objective of this paper is to explain the causes of the SBS and the main sources of indoor air pollutants. Means to diagnose and control the associated problems are also presented in addition to reviewing the relevance of this phenomenon to buildings in Saudi Arabia.