Indoor air quality

غالبا يكون التلوث الداخلي خارج السيطرة وغالبا نلجأ إلى حلول من مواد البناء ، وكذلك نعتمد على التصميم المعماري الجيد وعلى صيانة الدور من حيث فتحات الشبابيك وفتحات التنفيس للتقليل من التأثير للملوثات الغازية المحصورة .

يوجد في كثير من الدول علامات مرضية تظهر على ساكنيها غالبا ما تسمى بأعراض الدور المريضة (Sick-building syndrome) حيث يعاني السكان من العطاس والسعال وتدمع العيون والصداع وتوعك الصحة بشكل عام ولأسباب غير معروفة، وتشير الدراسات أن أكثر من ربع الموظفين في الولايات المتحدة يعانون من مشاكل تلوث الهواء الداخلي وبالرغم من هذه المشاكل الكبيرة للتلوث الداخلي لا تزال الحلول ضعيف تجاه هذه المشكلة.

هنالك مواد يكون محصور ضررها داخل الأبنية مثل :

1. الاسبستوس الذي يستعمل للوقاية من الحرائق وفي بعض الواح السقوف والارضيات وفي مصففات الشعر.
2. غاز الرادون والذي يخرج من التربة ويتجمع داخل الأبنية .
3. الملوثات البيولوجية مثل العث والعفن .
4. ومن الملوثات الأخرى التدخين الذي لو حدث خارجا فسيحصل تخفيف لأثره نتيجة لمزجه مع الهواء، ولكن التدخين في الداخل سوف يؤدي إلى تركيز الملوثات في منطقة محصورة.
5. غاز أول اوكسيد الكاربون .
6. والفرمالدهايد والذي ينتج من الكاربد ومن الرغوة المستعملة في البناء.
7. غاز ثاني اوكسيد الكبريت الناتج حرق الفحم ومن استعمال هيترات الكيروسين .
8. وأخيرا من المركبات العضوية المتطايرة الناتجة من المنظفات والأصباغ والمذيبات .
9. الاوزون وياتي من عمل اجهزة الاستنساخ.

غاز الرادون Radon:

يعتبر غاز الرادون من اغلب الملوثات الغازية الداخلية حيث يأتي غاز الرادون ثاني مسبب لسرطان للرئة بعد التدخين . ينتج غاز الرادون المشع من التحلل الطبيعي لليورانيوم والذي يبدأ باليورانيوم وينتهي بالرصاص ويخرج غاز الرادون من التربة من الفراغات الهوائية المحصورة فيها ويدخل الأبنية من خلال الأرضيات وبالرغم من كون غاز الرادون خامل بحد ذاته وحياته قصيرة لكنه فعال كيمائيا ويمكن أن يدخل الجهاز التنفسي مع الدقائق الصغيرة ويدخل إلى الرئة وتبدأ مشكلة لانبعاث أشعة الفا الناتجة من تحلل الرادون .

ينتج الرادون من مواد البناء أيضا مثل الطابوق والقرميد والكونكريت ومن مياه الآبار عند سحبها وتهويتها مثل الشورات حيث يكون مدى خطورته عن طرق الاستنشاق وليس عن طريق شرب الماء بحد ذاته كذلك يمكن أن ينتج من غاز المطابخ أثناء عملية الطبخ وتبقى التربة هي المصدر الأساس لهذا الغاز .

كيوري Curie (Ci): هو معدل تحلل غرام واحد من الراديوم ويعطي تحلل مقداره ($3.7*10^{10}$) بالثانية الواحدة .

البيكوكوري pCi Becquerel : يطلق على تحلل 2.2 ذرة في الدقيقة .

بيكوكيوري لكل لتر pCi/L Picocurie per liter: ويطلق على التحلل الاشعاعي الحاصل في لترواحد .غالبا يحسب التعرض بغاز الرادون الداخلي بوحدة البيكوكوري picocuries لكل لتر من الهواء (pCi/L) وتقدر منظمة EPA بالحد الأعلى هو 4 (pCi/L)

WLM (working Level Month) : يشير إلى مستوى التعرض الاشعاعي الشهري الحاصل لعامل المناجم والذي يتعرض في عمله للاشعاع لمدة 173 ساعة في الشهر .

Radon measurement units		
Curie	1 Ci	$3.7*10^{10}$
Picocurie	1 pCi	2.2 radioactive decay/minute
Becquerel بيكرل	1 Bq	1 radioactive decay/second
Picocurie per liter	1 pCi/L	37 Bq/m^3
EPA criterion	4 pCi/L	150 Bq/m^3
Working level	1 WL	200 pCi/L=7400 Bq/m^3 of radon
Working level Month	1 WLM	1 working level of exposure for 173 hours

يعتبر غاز الرادون هو حفيد اليورانيوم حيث ياتي من تحلل الراديوم والذي هو اصلا ناتج من تحلل اليورانيوم وكما في التوضيح التالي :

يورانيوم-------- راديوم---------- رادون---------- بولونيوم 218 ----------
رصاص214---------- بسموث---------- بولونيوم 214 ------ رصاص 210

إن كلا من اليورانيوم والراديوم والرصاص 210 لهم عمر نصفي عال جدا يتعدى العشرين سنة للرصاص ويقرب الألفي عام للراديوم والآلاف السنين لليورانيوم ، أما باقي السلسلة لا تزيد عن الأيام ومنها الرادون حيث يقرب العمر النصفي له الأربعة أيام.

الناس العاملين في المصانع من المتوقع أن يتنفسون معدلات أعلى من الرادون عن غيرهم ولكن الواقع غير ذلك حيث أشار تقرير سويدي أن هنالك معدلات من الحالات السرطانية للرئة للناس الجالسين في البيوت أكثر من الدين يقضون معظم أوقاتهم خارجا ولذلك عند حساب تركيز الرادون داخل الدور هنالك عدة عوامل تؤخذ بنظر الاعتبار منها الزمن الذي يبقى فيه الشخص داخل الدار أو في العجلة وفي خارج الدار حيث تشير الدراسات أن الأمريكان يقضون حوالي 89% من أوقاتهم في الدور و 6% في العجلات و% 5 خارج الدور.

مشكلة غاز الرادون انه يهاجم الدقائق الصغيرة التي تدخل للرئة حيث إن تواجد غاز الرادون مع تدخين السكائر له عواقب وخيمة حيث تشير التقارير إن حوالي 16,000 حالة موت سنوية تحدث بسبب سرطان الرئة في الولايات المتحدة بسبب تواجد غاز الرادون في بيئة المدخنين.

الترب عالية النفاذية تكون أكثر عرضة لتحرر غاز الرادون وتتغاير معدل الخروج للغاز منها بين (0.1 -100 pCi/ m^2S) وبمعدل (1 pCi/m^2S) كمعدل .

يمكن ملاحظة أن المعدلات القليلة لانبعاث الغاز تكون في البيوت المحكمة حيث تكون معظم الشقوق الأرضية مسدودة وتوجد تهوية في اعلي السقوف بينما التراكيز العالية تكون في البيوت القديمة

شكل يبين بعض المعالجات التي يمكن عملها للتقليل من غاز الرادون المنبعث من التربة

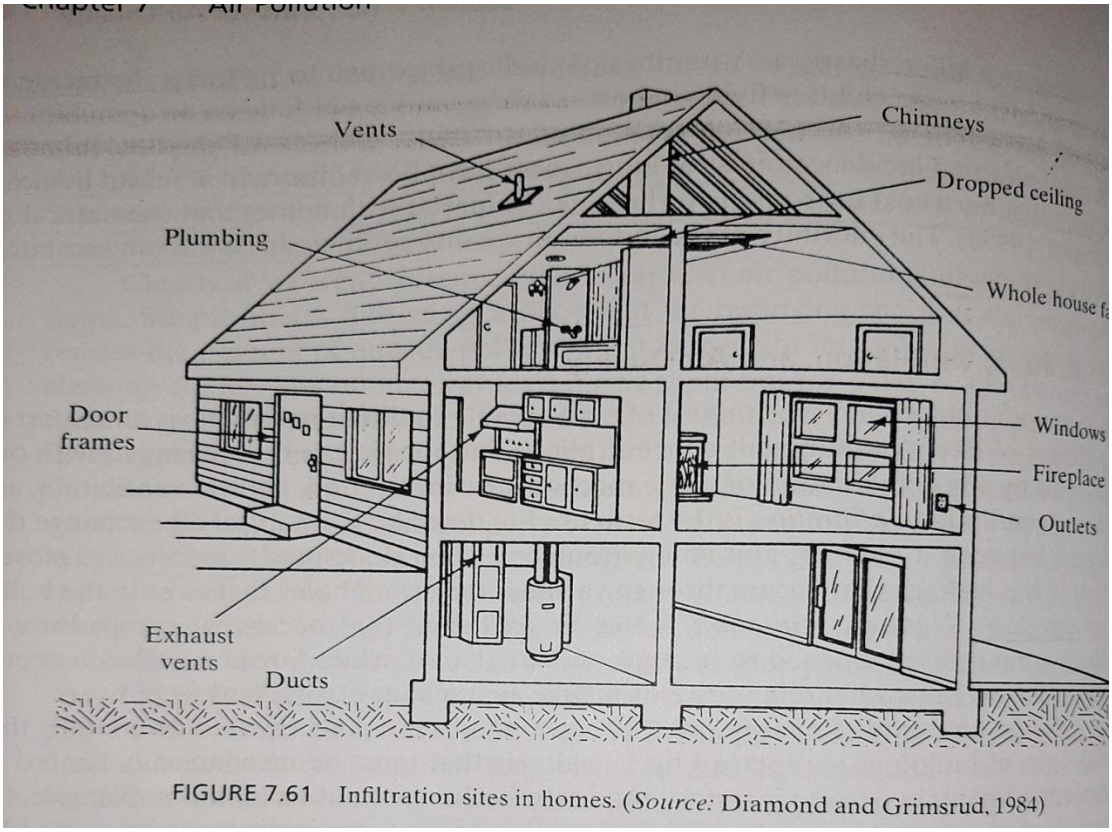
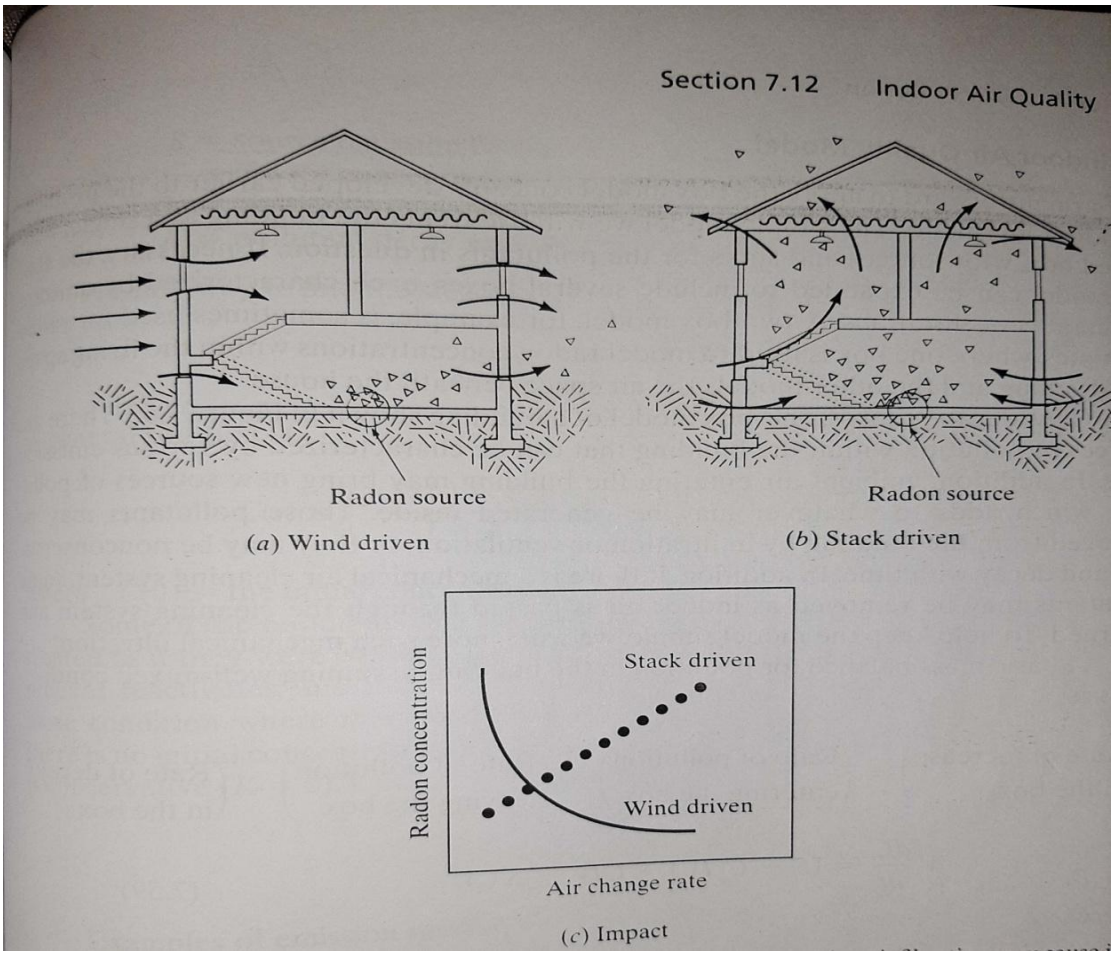


FIGURE 7.61 Infiltration sites in homes. (*Source:* Diamond and Grimsrud, 1984)

معدل التبدل الهوائي مع تركيز غاز الرادون

شكل يبين تركيز الرادون في الدور المغلقة والتي تعتمد على التنفيس العلوي حيث يلاحظ التركيز العالي للرادون نتيجة لمروره في الطابق العلوي وبين تركيزه في الدور التي فيها تهوية ريحية يكون التركيز فيها قليل نتيجة لدفع تيار الهواء الداخل لهذا الغاز الى خارج الدار ونلاحظ في اسفل الشكل العلاقة بين تركيز الرادون داخل الدار تقل كثيرا مع ازدياد معدل التهوية بينما نلاحظ ان تركيز الرادون في الدار يزداد مع زيادة التنفيس العلوي نتيجة لسحب المزيد من مصدر التوليد الارضي.



شكل يبين العلاقة بين تركيز غاز الرادون مع معدل التبدل الهوائي والحاصل عن طريق نوعين من التهوية (الريحية والتهوية عن طريق الساحبات الغلوية)

موديل نوعية الهواء الداخلي

An indoor air Quality model

شكل يبين توضيح لرموز الموديل المستخدم لحساب تركيز الرادون الداخلي

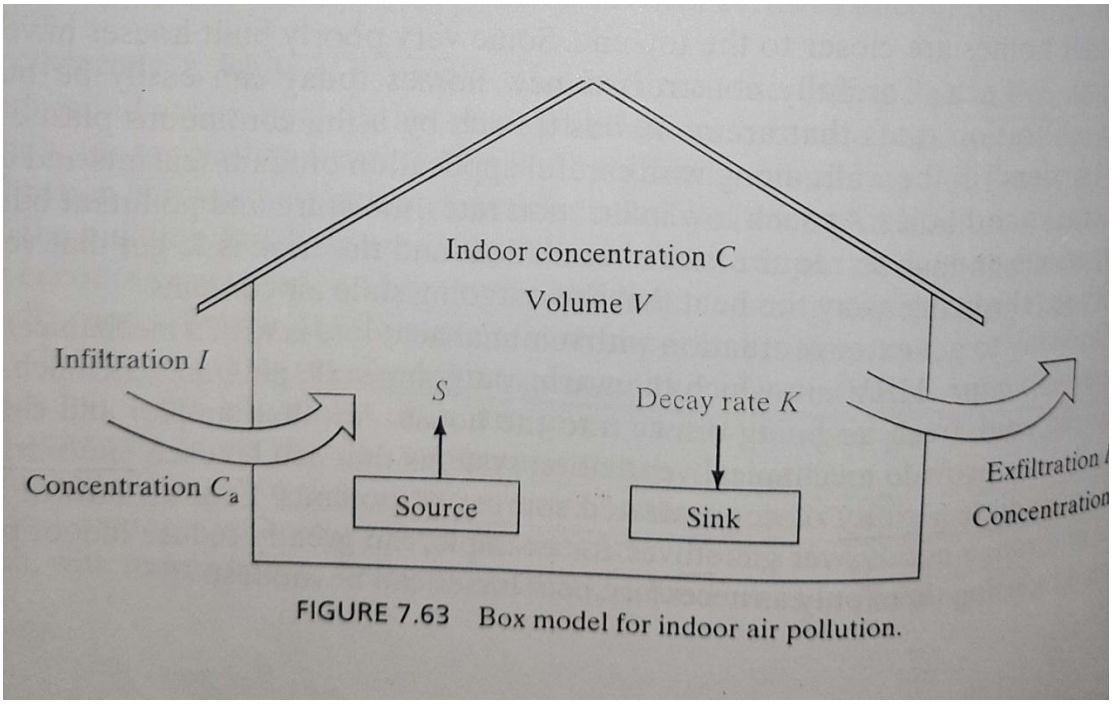


FIGURE 7.63 Box model for indoor air pollution.

Rate of increase in the box = (Rate of pollution entering the box) - (Rate of pollution leaving the box) - (Rate of decay in the box)

$$\Delta Lin = Le - Lout - L\ down$$

Lin= Ca*Q , Q= $\forall/t$, $\Delta Lin = \forall\ (\frac{dC}{dt})$

Le =S+ C*Q , Le =S+ C (I*∀)

Lout=C*Q , Lout= C(I∀)

L down= C*Q , Lout= C(K∀)

∀ (dC/dt) = (S+ C_a I ∀) – CI∀ - KC∀

Where ;

∀= volume of conditional apace in building (m^3/air change)

I= air exchange rate (air change per hour ,ach)

S=source emission rate (mg/h)

C= indoor concentration (mg/m^3)

Ca= ambient concentration (mg/m^3)

K=pollutant decay rate of reactivity (1/hr)
For steady state solution dC/dt=0
C(∞)=[(S/V)]/(I+K)

For general solution:

$C(t)=[((S/V)+CaI)/(I+K)][1-e^{(-(1+K)t}]+C(0)e^{(-(1+K)t}$

For gases conservative(don't decay with time, like (CO, NO) , K=0
Where C(0) =the initial concentration in the building
If Ca =0 for no ambient concentration of pollutant
$C(t)=[(S/IV)/ [1-e^{-It}]$

EX: *An unvented portable radiant heater, fueled with kerosene, is tested under controlled laboratory conditions. After running the heater for two hours in a test chamber with a 46.0 m^3 volume and an infiltration rate of 0.25 air-changes per hour (ach), the concentration of carbon monoxide (CO) reaches (20) mg/m^3. Initial CO in the lab is zero, and the ambient CO level is negligible throughout the run. Treating CO as a conservative pollutant, find the rate at which the heater emits CO, if the heater were to be used in a small home to heat 120 m^3 of space having 0.4 ach predict the steady-state concentration.*

Solution :

$$S=\frac{IVC(t)}{1-exp(-It)}$$

$=(0.25*46*20)/1-\exp^{(-0.25*2)}$ =585 mg/hr

C(∞) =S/IV

=585/(0.4*120)=12.2 mg/m^3

مثال 2 :افترض ان تربة بناية تبعث 1 بيكوكوري / م^2 . ثا من غاز الرادون فإذا كان مساحة البيت 250 م^2 وان ارتفاع السقف 2.6 م افترض ان معدل تبدل الهواء 0.9 اوجد تركيز غاز الرادون في البيت مفترضا ان التركيز الاولي مهمل وان ثابت التحلل $7.6*10^{-3}$؟

Solution

$$C(\infty)=\frac{\left(\frac{S}{V}\right)+CI}{I+K}$$

$$C(\infty)=\frac{\left(1*3600*\frac{250}{250*2.6}\right)+0}{0.9+7.6*10-3}=1.5*10^3\ pci/m^3=1.5\ pci/L$$

مثال 3 : افترض ان بناية فيها معدل التهوية 0.5 لها مساحة ارضية 200 م^2 وان الحجم الكلي لها 500 م^3 فإذا كان غاز الرادون ينبعث من التربة بمعدل 0.6 بيكوكوري /م^2.ثا . اوجد تركيز غاز الرادون الداخلي على افتراض الحالة الثابتة steady state وان ثابت التحلل $7.6*10^{-3}$ ساعة$^{-1}$. اهمل التركيز الاولي للغاز ؟

Solution

Given K= $7.6*10^{-3}$, I=0.5 ach , V= 500 m^3, S=0.6 $pci/m^2.s$

$$C(\infty)=\frac{\left(\frac{S}{V}\right)}{I+K}$$

$$C(\infty)=\frac{\left(\frac{0.6*200}{500}\right)}{(0.5/3600)+(7.6*10-3)/3600}$$

$$= 1700\ pci/m^3=1.7\ pci/l$$

مثال 4 : اذا كان البيت في المثال رقم 3 مبني من طابقين بمساحة ارضية 100 م^2 لكل طابق وبنفس الحجم الكلي ماذا سيكون تركيز غاز الرادون ؟

Solution

$$C(\infty)=\frac{\left(\frac{0.6*100}{500}\right)}{(0.5/3600)+(7.6*10-3)/3600}$$

$$= 850 \text{ pci/m}^3=0.85 \text{ pci/l}$$

ملاحظة وكالة حماية البيئة قامت بتصنيف المناطق حسب انبعاث غاز الرادون الى ثلاثة اصناف وكما يلي :

1. الصنف الأول : يزيد تركيز الغاز الداخلي عن 4 بيكوكوري /لتر
2. الصنف الثاني : تركيز غاز الرادون بين 2- 4 بيكوكوري /لتر
3. الصنف الثالث : تركيز غاز الرادون أقل من 2 بيكوكوري /لتر

تأثير تلوث الهواء على الإنسان

- تنفس الإنسان للغازات المسممة والأبخرة والسخام والغبار يسبب تدمع العيون والتهاب في الحنجرة والرئة والقصبات الهوائية
- تنفس غاز كبريتيد الهايدروجين والامونيا يتسبب بحساسية في الأنف من الروائح حتى ولو كانت بنسب بسيطة جدا
- يزيد من معدل الوفيات والحالات المرضية mortality and morbidity
- يعمل تنفس غاز أول اوكسيد الكاربون بتكوين الكاربوكسي هيموغلوبين في الدم مما يقلل نسبة الأوكسجين فيه
- غاز فلوريد الهيدروجين يسبب أمراض العظام وتبقع الأسنان
- الغازات المشعة تسبب السرطان ويقصر من العمر وتأثيرات جينية
- الغبار يسبب الأمراض التنفسية والغبار الناتج من الاسبوست والسليكونات يسبب مرض خاص يدعى silicosis
- المعادن الثقيلة مثل الرصاص ربما تدخل الجسم من خلال الرئة مسببا التسمم

طرق التحري عن التأثيرات الصحية الناتجة من تلوث الهواء

هنالك ثلاث طرق لتحديد تأثير الملوثات المختلفة على الناس وهي

1- التجارب المختبرية على الناس والحيوانات

2- الدراسات السريرية clinical

وتشمل دراسة الحالات المرضية لسواق المركبات ورجال المرور وعمال المصانع المتعرضين لغاز معين أو لغبار ومقارنة الحالات مع ناس غير متعرضين

3- Epidemiologyعلم الأوبئة

وتشمل العلاقة مابين توزيع مرض معين في المجتمع مع الحقائق التي تحدد توزيع المرض مثلا دراسة حالات الوفيات والحالات الداخلة للمستشفيات من مناطق مختلفة متعرضين لمستويات مختلفة من الهواء الملوث ومقارنتها مع حالات أخرى لم تتعرض

ملوثات هوائية خاصة

1- أول اوكسيد الكبريت Sulfur pollutants

يعتبر هذا الغاز من الغازات المهيجة irritant التي تهاجم الأغشية المخاطية عند تنفس هذا الغاز ، يمكن أن يحصل تحت ظروف خاصة أن يتأكسد غاز أول اوكسيد الكبريت إلى غاز ثالث اوكسيد الكبريت ويعتبر كلا الغازين بوجود بخار الماء مكونان حامض الكبريتوز و الكبريتيك على التوالي ويعتبر غاز ثالث اوكسيد الكبريت ذات تأثير اكبر بكثير من غاز أول اوكسيد الكبريت مسببا حدوث تشنجات رئوية حادة ولو كانت بتراكيز بسيطة جدا

2- أول اوكسيد الكاربون Carbon monoxide

تكلمنا في فصل سابق عن تأثير هذا الغاز وعلاقته بتكوين مركب الكاربوكسي هيموغلبين.

3- **اوكسيد النتروجين Oxides of nitrogen**

هنالك سبعة أشكال لاكا سيد النتروجين ويعتبر اثنان فقط تؤثر في صحة الإنسان وهما: (NO & NO_2) وعلاقة هذين الغازين بتكوين حامض النتريك . هنالك دائما علاقة بين تدمع العيون والأنف بوجود تركيز 15ppm من غاز NO أو بوجود 25ppm من غاز NO_2.

4- كبريتيد الهايدروجين Hydrogen Sulphide

يعتبر من الغازات كريهة الرائحة يشبه رائحة البيض الفاسد ويسبب حساسية في الشم من مركبات كبريتيد الهايدروجين مركب يدعى methyl mercaptan (CH_3SH) وهذا المركب ليس له تأثيرات صحية وقد يضاف إلى قناني الغاز فقط لإعطاء رائحة للتنبيه عن وجود تسرب .

5- الأوزون : يعتبر الأوزون من الغازان المهيجة irritant ويمكن أن يصل تأثيره إلى مدى أعمق في الرئة من تأثير أول اوكسيد الكبريت .

6-الفلورايد : Fluorides يوجد الفلورايد في الهواء على شكل فلوريد الهيدروجين ويعتبر الفلورايد غاز سام تراكمي .

7- الرصاص Lead

المصدر الرئيسي في جو المدينة للرصاص الغير العضوي هو من العجلات في الطرق السريعة حيث قد يصل تركيزه إلى 1-3 µg/m3 ، ويسبب الرصاص الغير العضوي مشاكل صحية كبيرة مثل تلف الكلى والكبد وتأثر الخصوبة abnormalities in fertility .

8- الأبخرة الهايدروكاربونية Hydrocarbon vapors

إن تأثير الفورمالدهايد الذي يحصل نتيجة التفاعلات الثانوية العلوية نتيجة التفاعلات الكيماضوئية يحدث التدمع ومشاكل في التنفس .

9- بالعوامل المسرطنة carcinogenic agents

وهي العوامل التي تسبب السرطان فمثلا poly-cyclic organic compound (المركبات العضوية المتعددة) مثل 3,4-benzpyrene . إن أصل هذه المكونات هو الاحتراق الغير الكامل للهيدروكاربونات والمواد الكاربونية وكذلك تنتج من غاز عادم العجلات .

10- المبيدات الحشرية insecticides

وهي ليس ضارة للحشرات التي قد تكون مفيدة بل للإنسان كذلك مثل ال DDT حيث تؤثر على الجهاز العصبي وتهاجم الأعضاء الحيوية في الجسم حيث وجد في حليب الأمهات في الأجزاء الغربية من الهند وكذلك له تأثير على الحيوانات الأليفة التي تعيش في المنزل

11 - Allergic agents -العوامل المثيرة للحساسية

مثل حبوب الطلع وكذلك الخمائر وشعر الحيوانات ومعامل القطن والطحين ومصانع التبغ تتسبب كلها بمرض الربو عند بعض الأشخاص الحساسين

تأثير تلوث الهواء على الحيوانات

ملوثات الهواء الرئيسية على الحيوانات هي : (الفلورين ، الرصاص ، الخارصين) Arsenic, lead, fluorine

أولا : الفلورين : يعتبر الفلورين من السموم المتراكمة نتيجة التعرض المستمر له ويعتبر أيضا من السموم البروتوبلازمية وتتأثر غالبا الأسنان أكثر من غيرها بالفلورين

تعتبر الماشية Cattle والأغنام sheep من أكثر الحيوانات تأثرا بالفلورين بينما تعتبر الخيول والدواجن Poultry من أكثر الحيوانات مقاومة لسمية غاز الفلورين

علامات التسمم الحاد :

1- فقدان الشهية lack of appetite
1- خسارة كبيرة في الوزن
2- تدهور بالصحة العامة والقوة والعرج
3- إسهال دائم

علامات التسمم المزمن :

1- تبقع الأسنان Dental mottling
2- تضرر العظام Bone lesions قد يحدث في أي عمر للماشية
3- نمو عظمي غير طبيعي لعظام الأرجل وتيبس في المفاصل
4- قلة الخصوبة وقلة في الحليب علامات على التسمم المتقدم بالفلورين

ثانيا : الخارصين : ينتج الخارصين على شكل شوائب من عدة خامات ومن الفحم وقد يخرج من غاز المداخن من المعامل على شكل غبار ويترسب على سطوح النباتات وبالتالي يحدث تسمم للماشية التي تآكل هذه النباتات

علامات التسمم الحاد

1- عطاس thirst
2- تقئ vomiting
3- نبض غير منتظم irregular pulse and respiration
4- لا تقوى على الوقوف
5- إسهال ويكون فيه نوع من الدماء
6- تصبح الآذان باردة وحرارة جسم غير طبيعية

علامات التسمم المزمن :

1- تأثر الجهاز العصبي
2- تصبح الحيوانات بطيئة dull
3- قلة في الشهية
4- نقص في الوزن
5- إسهال متواصل

الحدود المسموح بها : 0.25-0.5 g يوميا تسبب التسمم للأغنام
1.3-1.9 g يوميا تسبب التسمم للخيول
10 mg/kg of body /d تسبب تسمم مزمن في الخنازير

ثالثا : الرصاص : ينتج الرصاص من المعامل وافران المطابخ ومن حرق الفحم

علامات التسمم الحاد

1- انهيار جسدي وعقلي prostration
2- النبض سريع دائما ولكنه ضعيف
3- سقوط مفاجئ للحيوان

4- تيبس في المفاصل
5- فقدان في الشهية وإسهال
6- انهيار عصبي والموت

علامات التسمم المزمن :

1- صعوبة في التنفس وانهيار في العضلات وخاصة عند الخيول
2- اضطراب في طبيعة الحيوان Convulsions

الحدود المسموح بها : يعتبر الرصاص من السموم المتراكمة ولذلك فان تنفس هذه المادة ولو لجرع بسيطة جدا سوف يتسبب بالأخير في إحداث تسمم بالجسم وقد يحدث الموت بعد عدة أشهر . إن التسمم بالرصاص له علاقة بكميات الكالسيوم في الجسم حيث أن الكميات القليلة في جسم الحيوان سوف يضاعف كميات الرصاص في جسم الحيوان بمقدار خمسة إضعاف تلك التي لها كميات جيدة من الكالسيوم في جسمها

تأثير تلوث الهواء على النباتات

إن العامل الأساسي الذي يسيطر على امتصاص الغازات الملوثة من قبل الأوراق هي درجة الفتحات أو الثغور الموجودة في الورقة فعندما تكون الثغور مفتوحة كليا فان الامتصاص سوف يكون اكبر ما يمكن والعكس بالعكس ولذلك فان نفس الحالات التي تحسن من امتصاص غاز ثاني اوكسيد الكاربون في عملية التمثيل الضوئي سوف تكون معرضة للنبات أن تكون معرضة لامتصاص غازات سامة مثل غاز ثاني اوكسيد الكبريت

من العوامل التي تعمل على إبقاء الثغور كاملة الفتح هو وجود كثافة من الضوء العالي وخاصة في ساعات الصباح المبكرة وكذلك وجود الرطوبة العالية المضافة إلى الجذور وأخيرا درجة الحرارة المتوسطة

معظم النباتات تغلق ثغورها في الليل ولذلك فهي تكون أكثر مقاومة منه عن النهار ولكن بعض النباتات مثل البطاطا لا تغلق ثغورها في الليل وبذلك سوف تكون حساسة في الليل مثل حساسيتها في النهار

بعض الملوثات مثل الغبار والضباب الدخاني تقلل من الضوء الواصل إلى الأوراق ويمكن ان تعمل على غلق الثغور التي تقلل من سحب غاز ثاني اوكسيد الكاربون بعض الشئ الضروري لعملية التمثيل الضوئي

أشكال الضرر الحاصل في الأوراق

الضرر في الأوراق يمكن أن يحدث على عدة أشكال

1- النخر Necrosis ويعني قتل أو ضمور في النسجة
2- انعدام الصبغة Chlorosis ويعني فقدان أو النقص في الصبغة الخضراء وعادة تتحول إلى اللون الأصفر. إن انعدام الصبغة الخضراء غالبا يعطي مؤشر على النقص الحاصل لبعض المغذيات الضرورية للنبات
3- انفصال الأزهار Abscission وتعني سقوط الأوراق

4- انحناء الأوراق Epinasty وتعني تقوس الأوراق إلى الأسفل نتيجة للمعدل العالي من النمو في السطح العلوي للورقة

ملاحظة : يعمل غاز ثاني اوكسيد الكبريت على تبييض الوراق او قصر الألوان إلى اللون الأبيض وتعمل الامونيا عل تحويل الألوان إلى اللون الأصفر ويعمل غاز الفلورايد على تحويل اللون إلى اللون القهوائي وتعمل PAN (peroxy acetyl nitrate على تحويل اللون بعض أنواع الأوراق إلى اللون البرونزي وخاصة عند السطح السفلي للورقة

أنواع الإصابات عند النباتات

الإصابات الحادة : وتحدث عند تعرض النبات إلى تركيز عالي من الغاز المسمم ولفترة زمنية قصيرة مثل تلك الحالي التي يكون فيها الغمامة من النوع التدخيني Fumigation ويمكن التعرف على التأثيرات الحاصلة بعد عدة أيام بملاحظة وجود علامات ظاهرة على الأوراق مثل الذبول وموت الخلايا .

الإصابات المزمنة : وتنتج من من التعرض لتركيز بسيط من الغاز الملوث ولكن لفترة تعرض طويلة الأمد وعلى الأغلب تسبب نخر اصفرار الأوراق وانفصال الأزهار.

تأخر النمو أو الثمار

قد يحث الضرر في النبات على شكل تأخر في النمو بدون علامات واضحة على الأوراق يجب التمييز بين الأضرار التي يحدثها التلوث الهوائي على النباتات من تلك التي تحدث نتيجة لوجود عوامل أخرى فمثلا إن ارتفاع درجة الحرارة فوق الطبيعي وقلة العناية بالنبات ونقص المغذيات الواصلة ونقص الماء ربما يتسبب في حصول أضرار مشابهة لتلك التي يحدثها التلوث الهوائي وربما وجود الحشرات الضارة ولهذا سوف نتطرق فيما يلي بعض الأضرار التي تحدث بسبب وجود الغازات الملوثة فقط .

الأضرار التي تحدث بسبب وجود الغازات الملوثة effects of air pollutants on plants

الملوث	الجرعة	التأثيرات
غاز ثاني اوكسيد الكبريت	Mild غير حادة	Bleaching تبيض دوري للأوراق
	Severe حادة	نخر في الأوراق لعدة آماكن وقد تصبح على شكل هيكل الورقة فقط
الأوزون	Mild غير حادة	نقاط على السطح العلوي للورقة مع تأخر في النمو

	Severe حادة	هبوط تبيض في الأوراق
الفلورايد	تأثير تراكمي	**نخر في رأس الورقة**
ثاني اوكسيد النتروجين	غير حاد	نمو قليل جدا وتبيض في الوراق
الاثيلين	غير حاد	انحناء الأوراق وانفصالها
PAN	غير حاد	تحول السطح السفلي للورقة الى اللون الفضي ويبقى السطح العلوي بلونه الاعتيادي وقلة في النمو وأوراق صغيرة دون حجمها الطبيعي

العلاقة التي تربط بين التركيز والزمن كما يلي

T(C-Co)=K

T= time in hours to produce a certain effect on a certain species

C= concentration of a specific gas in ppm

Co= threshold concentration of the gas ppm to cause injury

K= experimentally determined constant

ويمكن إعادة صياغة المعادلة كما يلي : C=Co +K/t

ولو رسمنا العلاقة مابين التركيز ومقلوب الزمن سوف نحص على خط مستقيم الذي يمثل Co التركيز الحرج . بالحقيقة لا توجد بيانات كافية لتحديد المتغيرات في المعادلة السابقة والتي تفترض ان النبات متعرض إلى نوع واحد من الغازات ولكن في الواقع يتعرض النبات إلى عدة ملوثات والتي تأثيرها النسبي سوف يغير من النتائج

التأثيرات الاقتصادية لتلوث الهواء

التلوث الهوائي يتسبب بأضرار كبيرة بالمعادن وتقشر واجهة البنايات وقد تصبح بعض الألوان باهتة وتشقق المطاط وتقليل نمو النباتات وكذلك تأثيره على الثروة الحيوانية من قلة عددها ونقص الحليب وكذلك تأثيره على الأعمال الفنية الناهضة الثمن

آلية حصول الضرر:

التلوث الهوائي يتسبب في الضرر بخمسة طرق رئيسية

1) التآكل abrasion حيث ان الدقائق الخشنة عند وجود رياح عالية السرعة تعمل على تآكل السطوح كذلك الدقائق التي لها حافات حادة يمكن أن تدخل داخل الألياف الصوفية أو القطنية وتعمل على تمزيقها .
2) الترسيب والإزالة Deposition إن بعض أنواع الدقائق الصلبة أو السائلة تلتصق على الأسطح ربما لا تسبب الضرر بنفسها ولكن عملية إزالتها بالغسل لعدة مرات قد تسبب الضرر .
3) الضرر المباشر لبعض المواد الكيمائية حيث إن بعض الملوثات الهوائية تتفاعل مباشرة وخاصة مع المواد المعدنية وتسبب ضررها فعلى سبيل المثال تأثير ثاني اوكسيد الكبريت على الحجر الجيري وكذلك تآكل السطوح المعدنية بتأثير الأمطار الحامضية .
4) الضرر الغير المباشر لبعض المواد الكيمائية حيث أن بعض المواد تعمل على امتصاص المواد الكيمائية مما يتسبب في ضررها فعلى سبيل المثال إن غاز ثاني اوكسيد الكبريت

يمتص من قبل الجلود المدبوغة ويحوله إلى حامض الكبريتيك مما يسبب في تدهور هذه الجلود .

5) تأكسد السطوح المعدنية corrosion حيث إن السطوح المعدنية تتآكل بسبب تأكسد المواد الحديد فيها ويزيد التأكسد غالبا بزيادة نسبة الرطوبة .

العوامل المسببة في تأثر المواد بالملوثات الهوائية

هنالك أربعة عوامل مهمة التي تؤثر في مهاجمة الملوثات الغازية على المواد وهي الرطوبة والحرارة وضوء الشمس وحركة الرياح

1- الرطوبة moisture حيث تعمل على زيادة التآكل وكذلك لان وجود الرطوبة مع وجود غاز ثاني اوكسيد الكبريت سوف يزيد من معدل التآكل في السطوح المعدنية

2- درجة الحرارة Temperature حيث أن درجة الحرارة سوف يعجل من التفاعل الكيميائي ويزيد من الضرر

3- ضوء الشمس Sun light حيث أن الضرر الحاصل في طبقة الأوزون العلوية يحدث بسبب ضوء الشمس وان الضباب الدخاني يتسبب في تشقق المطاط

4- حركة الهواء air movement إن تأثر معظم المحاصيل الزراعية القريبة من المصانع يكون حركة الهواء عامل مهم فيها وكذلك السرعة العالية للهواء تعمل على تأكل المعادن وخاصة إذا كان محمل بغاز ثاني اوكسيد الكبريت

جدول يبين الضرر الذي يحدثه التلوث الهوائي بالواد المختلفة

materials	Air pollutants	Effects
Metals	SO_2, acid gases	Corrosion, spoilage of surface, loss of metal tarnishing
Building materials	SO_2, acid gases, particulates	Discolorations, leaching
Paints	SO_2,H_2S, particulates	Discolorations,
Textiles	SO_2, acid gases	Deterioration, reduced tensile strength, and fading
Textiles dyes	NO2, Ozone	Deterioration, reduced tensile strength, and fading
Rubber	Oxidants, ozone	Cracking , weakening
leather	SO_2, acid gases	Disintegration, powdered surface
paper	SO_2, acid gases	embrittlement
ceramics	acid gases	Change in surface appearance