**الفصل الثالث**

**تلوث الهواء**

**أشكال التلوث**

**تلوث الهواء**

**طبيعة الغلاف الجوي**

**مصادر التلوث ا لهوائي**

**انواع الملوثات**

**تأثيرات ا لدقائقيات**

**عوائق دقائقية خطرة**

## أشكال التلوث (Pollution shapes)

يعتبر الانسان أول عامل من عوامل التلوث وتدمير النظام البيئي الكوني مما صنعته يداه. لقد انتشر التلوث في البر والبحر والجو؛ ليفسد ما خلقه الله ويعود بالعواقب الوخيمة على الإنسان نفسه.

ومع ظهور الملوثات تظافرت كل العوامل الطبيعية رغما عنها على نشرها في كل ارجاء المعمورة, بحيث قَلّما يسلم اليوم منطقة في العالم من آثار التلوث. ولقد قسمت أشكال التلوث إعتمادا على وسط إنتشارها على ثلاثة أقسام رئيسة:

## تلوث الهواء (Pollution Air)

يعتبر الغلاف الجوي أحد الشروط اللازمة لوجود الحياة على سطح الكرة الأرضية حيث بسببه توجد الأمطار وتثبت درجات حرارة سطح الارض , كما أنه يُعد درع لحماية الكائنات الحية من أضرار الإشعاعات الخارجية القادمة من الفضاء كذلك وسيلة لانتقال الصوت, ومنه تستمد الكائنات الحية كافة الغازات الضرورية للقيام بوظائفها الحيوية.

يُعد الهواء أكثر أشكال التلوث إنتشارا؛ نظرا لسهولة انتقاله من منطقة إلى أُخرى وفي زمن قصير, يحدث تلوث الهواء عند وجود تراكيز هائلة كماً ونوعاً من المواد الملونة في الهواء.

تكمن خطورة الهواء عند تلوثه في كونه قد لا يرى؛ لكن الإنسان يأخذه عن طريق جهاز التنفس ليدخل الرئتين, ثم إلى الدم, وبالتالي إلى مراكز حساسة في الجسم؛ ليكون لها تأثيرات صحية لا تظهر مباشرة على الإنسان؛ ولكن على مديات بعيدة, كما يظهر لتلوث الهواء العديد من العواقب الخطيرة في كون أَن لها تأثيرات مناخية أو اقتصادية كارثية سوف نتطرق إليها لاحقا في هذا الفصل.

## طبيعة الغلاف الجوي (Atmosphere)

يتكون الغلاف الجوي من مزيج من الغازات يغلف الكرة الإرضية بإرتفاع يصل بين (80-100) كم فوق سطح الارض, ويزداد ارتفاعه عند مناطق خط الاستواء ويقل عند مناطق القطبين.

إن الهواء هو ذلك الجزء من الغلاف الجوي الأقرب إلى سطح الأرض, عندما يكون جاف وغير ملوث, فإنه يتألف من عدة غازات أهمها من حيث النسبة غاز النتروجين الذي نسبته في الهواء (٧٨%), ويليه غاز الأوكسجين الذي نسبته تقريبا (٢١%) ومجموعة كبيرة من الغازات الأُخرى بنسب منخفضة التراكيز. إن جميع النسب الغازية تكون عادة ثابتة في جميع أجزاء الغلاف الجوي؛ ولعموم الكرة الأرضية. أمّا بخار الماء وغاز $Co_2$ تختلف نسبهما بحسب الظروف المناخية وعوامل أُخرى.

ومهما كان الهواء خفيفا فهو يحتوي على شوائب كالميثان وأول أوكسيد الكاربون وثاني أوكسيد الكبريت والاوزون وثاني اوكسيد النتروجين, وهذه ان وجدت بنسب ضئيلة فإنها لا تشكل أي تلوث ضار.

يتألف الغلاف الجوي من عدة طبقات تحيط ببعضها, وهي اربعة طبقات تتمثل كما يلي:

١.طبقة التروبوسفير:

هي الطبقة السفلية من الغلاف الجوي والملامسة للأرض, وترتفع عنه بمقدار (١٥ km ) ,تتميز هذه الطبقة بإحتوائها على بخار الماء متكثفا الى حالته السائلة بشكل غيوم وضباب أو إلى حالته الصلبة بشكل ثلج. كما أنها تتميز بانخفاض درجة حرارتها كلما زاد الارتفاع عن سطح الأرض, حيث تصل في حدودها العليا ما بين (٦٠-٥٠ c) تحت الصفر , وأنها تتميز باحتوائها كتلة غازية تتراوح بين (٨٠-٧٥%) من كتلة الهواء الجوي.

٢.طبقة الستراتوسفير:

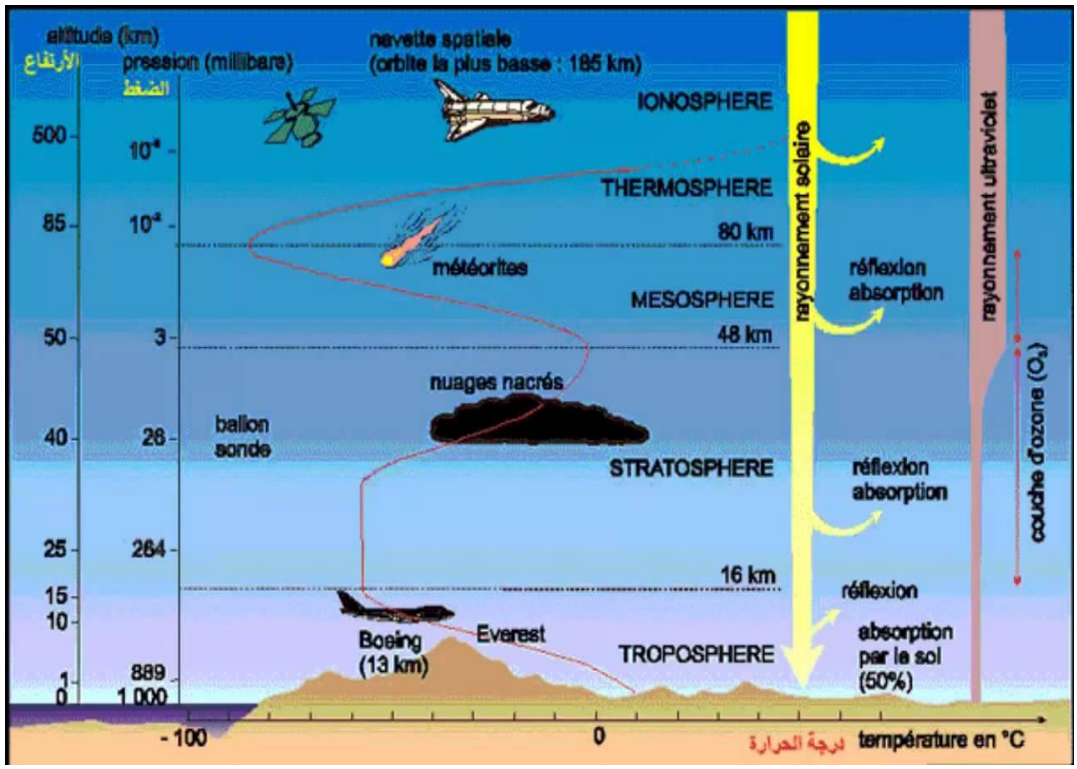
يتراوح إرتفاعها بين (12-50km) فوق سطح الأَرض تحتوي على كمية قليلة من بخار الماء واحيانا تخلو منه, وتتراوح درجات حرارتها بين (50-60c) فوق الصفر مع زيادة درجة الحرارة كلما زاد الارتفاع, إنّ الكتلة الغازية لهذه الطبقة تعادل (١٥%) من كتلة الهواء الجوي غير أَنها تحتوي على غاز الاوزون.

٣.طبقة الميزوسفير:

هذه الطبقة تمتد على ارتفاع يتراوح (50-80km) فوق سطح الأرض, تنخفض درجة الحرارة فيها مع زيادة الارتفاع حيث تصل في أجزاءها العليا حوالي (95c) تحت الصفر. تكون هذه الطبقة خالية من بخار الماء كما أنها تحتوي على غاز الأُوزون, وإن كتلتها الغازية أقل من نظيراتها في الطبقتين السابقتين.

٤.طبقة الثرموسفير:

تبدأ هذه الطبقة عند ارتفاع (80km) فوق سطح الأرض وأَن درجة حرارتها تزداد تدريجيا بازدياد الارتفاع من سطح الأرض لتصل في أجزائها العليا إلى (2000 C) فوق الصفر. كتبتها الغازية بين الجزء العلوي من طبقة الميزوسفير والجزء السفلي من طبقة الثرموسفير بطبقة الايونوسفير ويعود سبب تسميتها لوجود الايونات الحرة فيها.




شكل(٨):طبقات الغلاف الجوي وعلاقتها بدرجات الحرارة

**مصادر التلوث الهوائي (Sources of Pollutions)**

يحتوي الهواء الذي يستنشقه الانسان بصورة دائمة على بعض المواد الطبيعية التي يستطيع الانسان العيش معها.

يتلوث الهواء عندما توجد فيه مادة أو أكثر غازية سائلة او صلبة ورُبّما عندما يحدث تغير هام في نسب الغازات المكونةله. تؤدي هذه التغيرات تأثيرات ضارة مباشرة أو غير مباشرة للكائنات الحية والمواد غير الحية المكونة للبيئة أو تجعل ظروف العيش غير ملائمة, وقد تسبب الكثير من الخسائر.

يمكن التطرق إلى مصادر التلوث في الهواء الطبيعية والصناعية, وهي كما يلي:

- زيادة الكثافة السكانية أدت الى ظهور أنواع عديدة من البكتريا والفايروسات سببت العديد من الأمراض.
- في فصل الربيع حيث تبدأ النباتات بالتكاثر تنتشر حبوب اللقاح للازهار وهي السبب لأمراض الحساسية.
- احتراق مختلف الوقود لأجل الحصول على الطاقة كما في الاستعمالات الصناعية والمنزلية, ووسائط النقل كالرماد, والسخام وغازات سامة.
- الفضلات الغازية والغبار والحرارة والمواد المشعة وغيرها من العناصر التيتبث في الأجواء, مصدرها عمليات هدم التربة وحركة الرياح, وعمليات التنفس للكائنات الحية.

**أنواع الملوثات (Pollution Types)**

تقسم الملوثات في الهواء إلى المجاميع التالية:

أولا:ملوثات دقائقية Particulates

يقصد بها الأجسام المنتشرة في الهواء, والتي تشمل مدى واسع من الجزيئات الصلبة وقطيرات سائلة عالقة. تنتج الدقائق إمّا من مصادر طبيعية كالعواصف الرملية والبراكين وحرق الغابات, وتتمثل بالرمال وذرات التراب وذرات الأملاح بالقرب من شواطئ البحار. وإما مصادر ناتجة من نشاط الإنسان نشاطات صناعية مختلفة تتمثل بجزيئات عضوية وأُخرى غير عضوية.

تكون الدقائقيات متنوعة بأشكالها وأحجامها وتراكيبها الكيميائية وتأثيراتها السمية أو الصحية, ومن أهم المجاميع الرئيسية للدقائق هي:

- الرمال: دقائق صلبة عالقة في الهواء يزيد قطرها عن(500m)
- غبار طبيعي: دقائق صلبة عالقة في الهواء يزيد قطرها عن (25-200m )
- دخان: دقائق صلبة لا يزيد قطرها عن (2m) يشكل الكربون أغلبها
- الهواء الجوي: دقائق صلبة وسائلة معلقة في الهواء يقل قطرها عن (1m)
- ضباب: دقائق صلبة وسائلة تصل أقطارها الى (100m)
- السخام: دقائق متناهية في الصغر تتجمع بصورة سلاسل طويلة تشمل الكاربون
- غبار صناعي: دقائق معدنية أو أملاح معدنية ناتجة عن عمليات القطع والصقل
- حبوب اللقاح: دقائق عضوية تتميز بكبر حجمها

وتكون هذه الدقائق عادة معلقة في الهواء لفترات زمنية مختلفة يجعلها تعاني تفاعلات كيميائية تؤدي بالتالي إلى تكوين ملوثات ثانوية.

إن الدقائق الصغيرة الغازية والصلبة بإمكانها البقاء عالقة في الأجواء لأيام أُو أسابيع رُبّما شهور وسنوات حسب موقعها في طبقات الغلاف الجوي. فعلى سبيل المثال تبقى في طبقة التروبوسفير (٦-١٤) يوم بينما في طبقة اليتراتوسفير تبقى لمدة ستة أشهر, وفي طبقات العليا للستراتوسفير, فإنها يمكن أن تبقى (١-٣) سنوات وفي طبقة الفيروسفير تبقى لمدة (٥-١٠) سنوات ولحجم الدقائقيات أهمية كبيرة ذلك لأنه يحدد سلوكها أثناء حملها بالرياح والمسافة التي يمكن أن تصل اليها, والتأثير الذي تحدثه للكائنات الحية والتربة والمنشات وعلى الأساس هذا تقسم الدقائقيات إلى الأصناف التالية:

١.دقائق ساقطة:

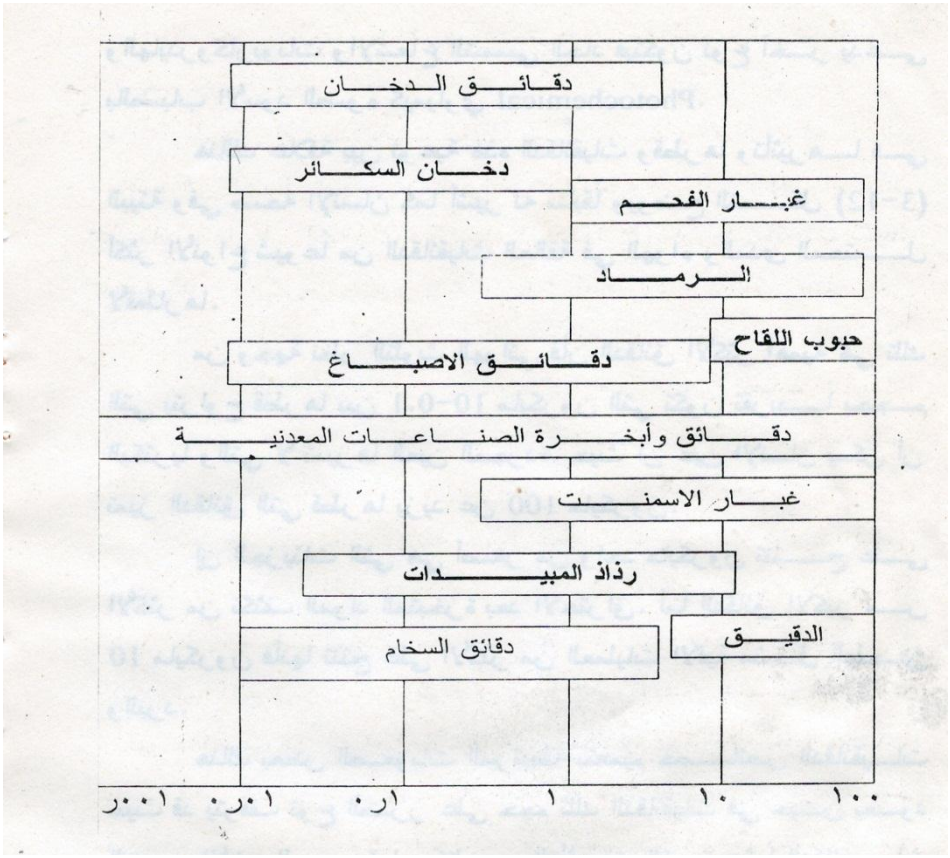
وهي عبارة عن دقائق يزيد قطرها عن (10m) تنتج على الأكثر من عمليات الالية مثل الطحن والصقل وإنها تترسب على مسافات ليست بعيدة عن مسار تكوينها ويقدر سرعة ترسيبها (17cm/min) ويمكن أن تحملها الرياح الشديدة مرة ثانية, ويظهر هذا النوع من الدقائق تأثيراً كبيراً على النبات والحيوان والتربة والمنشات تصل معدلات سقوطه في المناطق الصناعية والمدن إلى ($270\text{-}300 t/km^2$) في الشهر.

٢.دقائق معلقة:

وهي دقائق يتراوح قطرها بين (0.1-10m) ولا يمكن لعين الإنسان تمييزها وتبقى فترة طويلة معلقة في الهواء, أمّا ترسيبها فيكون بطيء, ويتوقف على الظروف المناخية من رطوبة ورياح وغيرها. وتصل معدلات كمية الدقائق المعلقة في مناطق معامل الاسمنت كبيرة جدا وأن الحد المسموح به هو ($0.5 mg/m^2$).

٣.دقائق مجهرية:

وهي دقائق دقيقة جدا قطرها أقل من (0.1m) تنتج من تكثف المواد المتبخرة بعد الاحتراق, ومن الصعب ترسيبها ولها حركة عشوائية (براونية) ويزداد حجمها أثناء تحررها إلى أكثر من (1m) يصل عددها في الهواء النقي ($100/ cm^3$) اما في الاجواء الملوثة يصل عددها أكثر من ($10^5/ cm^3$).




شكل(٨):الدقائق الصلبة في الهواء ومديات أقطارها

**تأثيرات الدقائقيات (Particules Effect)**

إن حجم الضرر بسبب التلوث الدقائقي في الهواء يتوقف على حجم تلك الدقائق, وعلى الزمن الذي تحتاجه للاستقرار في الأجواء, فإن حجم الدقائق الذي يزيد عن (50m) تكون خطورتها التلوثية قصيرة المدى.

هناك علاقة بين نوعية الدقائق وتراكيزها وتأثيرها على البيئة والصحة, نذكر من هذه التأثيرات:

- على الوسط البيئي:

تمتص الدقائق المعلقة في الهواء بعض من الإشعاع الشمسي, كما أنها تعكس قسم من الإشعاع وتعيده إلى الفضاء الخارجي قبل وصوله الى سطح الارض وبذلك فإنها تحجب الضوء عن سطح الأرض, والكائنات الحية.

إنّ زيادة قدرها (1%) من القدرة الانعكاسية تَتَسبب في خفض درجة حرارة الأرض بمقدار (17c). كما ان التركيز العالي للدقائق المختلفة تؤثر في انها تخفض نسبة اشعة فوق البنفسجية الطبيعية ممّا يزيد في زيادة البكتريا المرضية ويقل تشكيل فيتامين (D) تحت تأثيرها, فضلاً تراكيز الدقائق توفر أنوية تكاثف تزيد من الضباب الدخاني.

- على الكائنات الحية والتربة:

تُعَد الدقائق المعلقة في الهواء التي يزيد قطرها ما بين (10-0.1m) اكثر الجزيئات تأتياً وتلوثاً للهواء؛ وذلك لأنها:

أ.تشكل القسم الأكبر من الدقائق الملوثة

ب.تحدث أكبر ضرر بالجهاز التنفسي؛ لأنها تستطيع الوصول إلى أعماق الجهاز التنفسي, وتترسب على فتحات الثغور, وتقلل من مساحات التربة وتعيق تبادل الغازات وخاصة في الأوساط الزراعية الرطبة.

ج.تحتوي على دقائق معدنية وعضوية ومواد مشعة وبكتريا وعناصر ثقيلة التي يمكن ان تؤثر على الاحياء كافة تأثيراً سميا بما فيها أحياء التربة.

**عوالق دقائقية خطرة (Dangerous Particles)**

توجد بعض الجزيئات الدقائقية ألتي تكون خطرة جداً على حياة الكائنات الحية سواء التي تعيش فوق أو تحت سطح الأرض؛ نظراً لسميتها الشديدة نذكر منها:

١.الرصاص:

عند صناعة تكرير النفط يضاف الرصاص بنسبة تتراوح بين (0.84-0.4) على هيئة رابع اثيل الرصاص أو رابع مثيل الرصاص إلى الوقود وخاصة وقود السيارات كعامل لكتم الفرقعة التي تحدث عند اشتعال الوقود بالهواء في المحرك.

يتحول الرصاص العضوي إلى صورة غير عضوية, ويخرج من عوادم السيارة على شكل جزيئات محملة بالأملاح للرصاص المختلفة مثل أكاسيد وكلوريدات وبروميدات الرصاص التي تتحول في الجو إلى كاربونات الرصاص, والتي تكون معظم جزيئاته أصغر من 0.5m ممّا يجعلها سهلة الانتشار؛ إذ أَنها تحمل في الهواء الى مسافات بعيدة, ولا تترسب إلا بعد أيام, وتقدر كمية الرصاص المنبعث من السيارات بحدود 500 الف طن/ بالسنة.

إنَّ الرصاص معدن سام يشكل مخاطر بيئية وصحية كبيرة, حيث إنّه يتراكم في الانسجة ويسبب الصداع والضعف العام والام وتشنج, أمّا آثاره البعيدة فإنه يسبب التخلف العقلي وشلل المخ, وهناك علاقة بين تركيز الرصاص في جسم الاطفال وانخفاض مستويات الذكاء لديهم, إذ يوجد دلائل تشير إلى أنَّ له علاقة بحالات التشوه الخلقي كالصمم والعمى.

٢.الزئبق:

يتحول الزئبق اللاعضوي إلى صورة عضوية سامة هي مثيل الزئبق عن طريق بعض الكائنات الدقيقة, ويتركز في المنتجات الغذائية, وُيَعد الزئبق ملوثا خطيرا لأنه يوجد في صورة بخار الزئبق ويسبب بخاره ضرراً للجهاز العصبي المركزي, وأهم مصادر الزئبق الجوي هي الأصباغ ومصانع محطات الطاقة التي تعمل بالفحم ومحطات تصنيع الزئبق.

٣.الفلور:

ينتج عن صناعة الألمنيوم والاسمدة الفوسفاتية, وله تأثيرات ضارة حتى لو كانت بتراكيز قليلة, يمتص من قبل أوراق النباتات ويتركز في الأنسجة ويتراكم في الخلايا بشكل تدريجي, ثم ينتقل إلى الإنسان من خلال التغذية النباتية والحيوانية. يتأثر النحل بالفلور حيث يبطئ نموه ويقلل إنتاجه من العسل؛ وذلك لأنه يصل إلى النحل عن طريق الرحيق للأزهار التي يتغذى عليها.

ثانيا: الملوثات الغازية (Pollutant Gases)

وهي مركبات غازية تشمل:

١.الهيدروكاربونات:

وهي عبارة عن مركبات عضوية في الحالة الغازية والسائلة والصلبة تتألف جزيئاتها من عنصر الكاربون والهيدروجين فقط بأشكال وأنواع مختلفة. تنبعث الهيدروكربونات نتيجة لنوعين من العمليات هي عملية التبخر وعملية الاحتراق الغير تام.

هناك نسب قليلة من مركبات الهيدروكاربونات التي تنتج طبيعيا من بعض الفعاليات الجيولوجية الحرارية, وكذلك التطاير من خزانات الوقود ومحطات التعبئة ومن العمليات النفطية والغاز الطبيعي والفحم الحجر, يقدر التلوث الناجم من هذا الغاز بحوالي (88Mt) في السنة.

مصدرها الرئيسي يتمثل بالميثان (CH) وهو غاز طبيعي المنشأ ينتج من عمليات التفسخ البكتيري في المستنقعات ومن تحلل المواد العضوية المطمورة في التربة أو الماء بتأثير نوع من البكتريا تعرف (ببكتريا الميثانية). تقدر كمية الغاز المنبعث سنويا حوالي ( 1,000 Mt) إنَّ هذا الغاز غير سام بحد ذاته للأحياء؛ ولكن وجوده في أماكن مغلقة تجعله يزيح الهواء ويحل محله لكونه أثقل من الهواء وزن؛ لذلك يؤدي إلى الإختناق والموت, وكذلك هناك خطورة أُخرى كامنة في غاز الميثان حيث إنَّ له قابلية على الانفجار حتى دون مصدر اشتعال.

كذلك إنَّ مركبات الاثيلين لها دور ضار على النباتات فضلا عن تسببه في تكوين الفورمالديهايد بوصفها مادة مهيجة للعين في التفاعل الكيموضوئي لا تعد الهيدروكربونات مواد ملوثة خطيرة بحد ذاتها باستثناء الأنواع الاروماتية, منها, غير أَن خطورتها تكمن في تفاعلاتها مع ملوثات أُخرى بوجود أشعة الشمس والأُوكسجين ومواد أُخرى.

إن المواد الملوثة الناتجة عن تفاعل الأوزون والهيدروكربونات لها دور في الإصابة بانقباض الغدد والسعال والصداع واتلافها للحويصلات الرئوية والربو, إذ أنها تتلف المطاط والقطن والنايلون, وتسبب تقرح أوراق النباتات وضعف قوتها.

٢.أول أُوكسيد الكاربون:

يتكون هذا الغاز من اتحاد الكاربون والأوكسجين عند احتراق الوقود احتراقا غير تام أو تحت ظروف معينة, مصدره وسائط النقل وهو غاز سام عديم اللون والطعم والرائحة يُعد الحد الخطر منه في حدود ($34mg/m^3$) لمدة ٢٤ ساعة.

يعد هذا الغاز من أكبر الملوثات لأجواء المدن, إنَّ مستويات هذا الغاز لا تزداد بصورة مستمرة ؛ وذلك لوجود عمليات طبيعية تقف وراء زواله من الجو, يتميز بقدرته على الاتحاد مع هيموغلوبين الدم مكون مركب كاربوكسي يجعل الدم غير قادر على حمل الأُوكسجين مما يؤثر على التنفس وعلى القلب, ويؤدي الى الموت اعتمادا على تركيزه وطول مدة التعرض ومعدل نشاط التنفس .

٣.ثاني أُوكسيد الكاربون:

هو احد المكونات الطبيعية العادية في الهواء ومع ذلك فانه يعد من المواد الملوثة للجو, ينتج من عمليات الاحتراق للوقود عند زيادة تراكيزه فوق معدله الطبيعي؛ وإذ يؤدي إلى إرتفاع درجات حرارة الغلاف الجوي المحيط بالأرض لانعكاس الحرارة المنبعثة من سطح الأرض بسبب هذا الغاز مما يؤدي إلى كوارث طبيعية مثل الفيضانات, وهناك عامل التعرية للصخور السليكية سببها وجود ثاني اوكسيد الكاربون في الهواء الملامس لسطح الأرض.

٤.أكاسيد النتروجين:

من أهم الغازات الملوثة لهذه المجموعة هو غاز أول أُوكسيد النتروجين (اوكسيد النتريك) وغاز ثاني اوكسيد الكاربون. يتكون هذين الغازين من اتحاد الاوكسجين والنتروجين في عمليات الاحتراق عند درجات حرارة تفوق ( 1100c), ويتم ذلك في جميع وسائط النقل ومحطات توليد الكهرباء والمنازل ويطلق عليها (مصادر الاحتراقية بشرية المنشأ). وهناك مصادر أُخرى لانبعاث اكاسيد النتروجين من مصادر غير احتراقية بشرية المنشأ مثل من معامل صناعة الأسمدة النتروجينية الذي ينبعث منه غاز ($No_2$) بلونه البرتقالي المائل الى الحمرة, وكما ينبعث من الحقول الزراعية بعد عمليات التسميد الكيميائي والحيوان ومن صناعة حامض النتريك والمتفجرات,تقدر الكميات المنبعثة سنويا بحوالي (48Mt).

ويعد أُوكسيد النتريك غاز سام ومهيج خاصة للعيون والمسالك التنفسية, أما غاز ثاني اوكسيد النتروجين فتكون نسبته كبيرة في الهواء الملون, ويتميز برائحته الخاصة ويؤدي إلى التهاب الرئة قاتلا للإنسان إذا كان تراكيزه عالية يؤدي إلى انحلال الآليات للقطن والنايلون, ويعمل على تآكل أسلاك النحاس والنيكل.

يشترك ($No_2$) مع الهيدروكربونات بوجود الضوء في مجموعة من التفاعلات المعقدة التي تؤدي إلى ظاهرة الكيموضوئية.

٥.أكاسيد الكبريت:

تضم هذه الاكاسيد كلا من غاز ثاني أوكسيد الكبريت بالدرجة الرئيسة وغاز ثالث أوكسيد الكبريت بدرجة أقل.

إن غاز ($So_2$)غاز ذو رائحة نفاذه عديم اللون ناتج عن عمليات الاحتراق الوقود الاحفوري حيث يحتوي على الكبريت الذي يتأكسد الى ($So_2$).

ومن مصدر آخر لغاز ($So_2$) هو غاز كبريتيد الهيدروجين ($H_2S$) في الجو وتفسخ المواد العضوية في المحيطات وعلى اليابسة, كما أَنَّ هذا الغاز ينبعث بعد انفجار البراكين, حيث يتسرب من الأماكن النفطية والغازية والمصادر الجيولوجية الأُخرى, وتقدر كمية المنبعثة طبيعيا حوالي (1Mt) سنويا, أما المصادر الناتجة عن فعاليات الإنسان فتقدر إنتاجه بحدود (3Mt) سنويا, يتضح مّما تقدم أن المصادر البشرية المنشأ تعد المصدر الرئيسي لتلوث الهواء بهذا الغاز.

يمكن لهذا الغاز ($So_2$) ان يتفاعل مع أَوكسجين الجو ليتحول الى ($So_3$) الذي يميل بشدة للذوبان في المياه ويتحول إلى حامض الكبريتيك ($H_2So_4$) الذي يساهم في تكوين الأمطار الحامضية مسببا كوارث بيئية.

تزداد الآثار التخريبية للغاز عندما ترافقه دقائق الغبار الصناعي حيث يتكون مما يعرف (بايروسول الكبريتات) وهي مادة خطرة تخرب أربعة أضعاف آثار غاز ($So_2$) حيث إن للايروسول قابلية تلوثية تعمل على الاختناق والتأثيرات الضارة على الرئة.

غاز ($So_2$) يعمل على إضرار في الجهاز التنفسي كما أن إمتصاصه من مسام الأوراق للنباتات يؤدي إلى قصور في نموها كما يدخل غاز ($So_2$) في تكوين الضباب الدخاني.

إنَّ الذي يزيد من خطورة التلوث بهذا الغاز هو أن المنظومات المعالجة للحد من تركيزه تعد معقدة وباهظة التكاليف, إذ وصل هذا الغاز إلى حدوده المنذرة بالخطر في عموم أنحاء العالم.

٦.كبريتيد الهيدروجين:

غاز عديم اللون سام جدا تبلغ درجة سميته بنفس درجة سمية غاز السيانيد تقريبا, وله رائحة نفاذة وكريهة تشبه رائحة البيض الفاسد يتحسس الإنسان بهذه الرائحة لتراكيز جداً ضئيلة لا تتجاوز (0.0005 جزء بالمليون). ينبعث هذا الغاز من مصادر طبيعية من البراكين الغير هوائية التي تهاجم الكبريتات وتحولها بعملية اختزال إلى كبريتات , كما يحدث عمليات التحلل في مواقع طمر النفايات تحت سطح الأرض, مّما يسبب في تلوث المياه الجوفية بسبب قابليته على الذوبان في الماء .

كما ينبعث هذا الغاز من العيون الكبريتية ومن أحواض تصفية مياه المجاري بسبب عمليات التفسخ, وينتج أيضا من الأنشطة الصناعية مثل عملية الدباغة بسبب أستعمال المركبات الكيميائية, وكذلك من عمليات تصفية النفط الحاوي على تراكيز عالية من الكبريت.

تكمن خطورة هذا الغاز على صحة الإنسان خلال التعرض الطويل الأمد أو عند التراكيز العالية لفترات قصيرة حيث يمكن له اختراق أغشية الحويصلات الرؤية بسهولة. يسبب الصداع والغثيان مع تخدش العين وأن الحد المسموح لهذا الغاز (٧جزء من المليون) وتكون مدة التعرض (٨ ساعة).

**الفصل الرابع**

**التلوث الإشعاعي**

**الملوثات الإشعاعية**

**مصادر الإشعاعات الملوثة**

**أنواع الإشعاع الملوث**

**وحدات قياس الإشعاع**

**تاثيرات الإشعاع الملوث**

**العوامل التي يعتمد عليها التاثير البايلوجي للإشعاع الملوث**

**الكوارث الصحية والبيئية للإشعاع الملوث**

**الملوثات الاشعاعية(Radiation Pollution)**

يعد الإشعاع ظاهرة طبيعية تحيط بالإنسان في كل مكان ولقد أدى نشاطات الإنسان الصناعية إلى زيادة تراكيزه في بعض المواقع فعملت إشعاعاته على تلوث البيئة بكل أشكالها, فحدث التلوث الإشعاعي في الهواء والماء والتربة والغذاء, وبسبب حوادث عرضية أو مشاكل صناعية معينة حصلت في المفاعلات النووية او في النفايات المشعة أو في سوء استعمال المصادر المشعة أدت إلى انبعاث الإشعاع بجرعات ضارة تعمل على تدمير الخلايا للكائن الحي بشكل مباشر أو غير مباشر عند التعرض لها مما سبب حالات خطيرة ومميتة للإنسان والكائنات الأُخرى اعتمادا على مستوى الجرعات ونوعها.

يعرف الإشعاع: بأنه شكل من أشكال انبعاث الطاقة على هيئة أمواج أو جسيمات, ويكون الانبعاث إما تلقائي أو صناعي.

**مصادر الاشعاعات الملوثة**

توجد بعض المواد المشعة طبيعيا في الغلاف الجوي وفي الماء والتربة, وقد تنتشر إلى البيئة بفعل عوامل طبيعية بحته لا دخل للإنسان فيها, وفي الوقت نفسه فإن هناك مواد مشعة من تحضير الإنسان, وتعزى أسباب تسربها إلى البيئة مِنْ فعاليات الإنسان غير المنضبطة, وعلى ضوء ذلك يمكن تقسيم مصادر التلوث بالمواد المشعة على قسمين:

- مصادر طبيعية

يتعرض الإنسان إلى ثلاثة أنواع من الإشعاعات الطبيعية:

١.اشعاعات الفضاء الخارجي:

وهي الإشعاعات الناتجة من المجرات والنجوم البعيدة ومن الشمس التي تدخل إلى الغلاف الجوي من الفضاء الخارجي, وتعتمد كمية الإشعاع الكوني المستلمة من قبل الكائنات الحية على ارتفاع الموقع عن مستوى سطح البحر, وعلى خطوط العرض على سطح الارض. مثال ذلك, السكان القاطنون على ارتفاع (1.5km) يتعرضون إلى ضعف ما يتعرضه السكان على مستوى سطح البحر أو على خط

الإستواء, تتفاعل هذه الاشعاعات مع مكونات الغلاف الجوي مكونة جسيمات اقل طاقة من ph, e, x, n, p وبذلك تزداد جرعة هذه الإشعاعات.

٢.اشعاعات القشرة الأرضية

تنبعث الاشعاعات من القشرة الأرضية بصورة مستمرة على هيئة غازية الى الجو؛ وذلك نتيجة تفاعلات النوى المنشطة التالية:

(اليورانيوم-٢٣٨), (الثوريوم-٢٣٤),(الراديوم-٢٢٣,٢٢٦) الموجودة في الصخور الكيراتينية التي تحتوي على أصداف بحرية ومواد عضوية, وكذلك من مواد البناء الطبيعية, حيث تنتشر المواد المشعة (نظائر مشعة) انتشارا كبيرا فتعطي إشعاعات ذات جرعات غير ضارة للكائنات الحية ضمن الحدود المسموحة. ولكن نجد أن الجرعات الإشعاعية من هذا المصدر تكون عادة اكثر نسبة من الإشعاع الكوني , إن مستوى النشاط الإشعاعي في القشرة الأرضية متقارب في معظم الأماكن.

٣.اشعاعات الكائنات الحية

تحتوي أجسام الكائنات الحية عادة وبشكل طبيعي على نظائر مشعة في تركيب أجسامهم مثل (البوتاسيوم-٤٠) (والرادوم-٢٢٦) (والفوريوم-٢٢٢) (والكاربون-١٤) (والفسفور-٣٢). كما يمكن الحصول عليها نتيجة نوع تغذيتها, بالتالي فإنها تدخل عن طريق الجهاز الهضمي على شكل ماء أو غذاء فتصبح جزء منه أو عن طريق التنفس.

لقد وجد أنَّ المعدل الإجمالي للإشعاع الناتج من المصادر الطبيعية التي يتعرض اليها الكائنات الحية حوالي (105 mrem/y) وله تأثيرات ضارة طفيفة جدا على المدى البعيد فقد تحدث طفرات وراثية لدى الجنس البشري.

- مصادر صناعية

يتعرض الإنسان إلى إشعاعات ضارة ناتجة عن صنع يديه بسبب النشاطات الصناعية التي أنشأها لتلبية حاجاته. وهي على ثلاثة أنواع من الإشعاعات:

١.اشعاعات من المجال الطبي:

نتيجة استعمال النظائر المشعة في التصوير أو التخطيط أو التحليل؛ وذلك لمعالجة الأمراض السرطانية, وكذلك للتعقيم وللبحوث العلمية لتطوير التقنيات الطبية الإشعاعية , فضلاً عن إستعمال الإشعة السينية في التشخيص بناءاً على الصور المقطعية للعظام وفي طب الاسنان, ويقدر معدل الجرعة من الأشعة السينية للشخص الولحد حوالي (32mrem).

يُعد الاطباء والمصورون الشعاعيون أكثر الاشخاص تعرضا للإشعاعات لهذا النوع, ورغم أهميتها لكن يجب أن يقتصر إستعمالها في الحالات الضرورية القصوى, وعند إستعمالها لا بد من أخذ الاحتياطات الكافية في حماية الأجزاء الأُخرى من الجسم, وتجنب الإفراط من التعرض إلى الجرعات الإشعاعية, والتي يكون لها تأثيرات وراثية.

٢.إشعاعات التجارب النووية العسكرية:

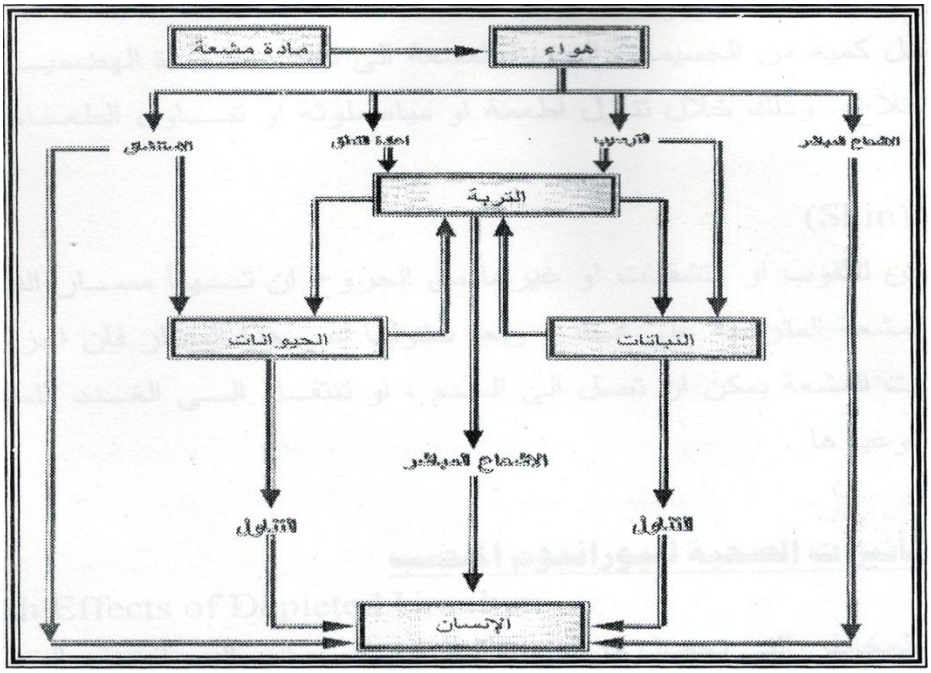
وهي الإشعاعات النووية الناتجة عن تجارب لاغراض عسكرية, والتي تجري في الهواء وعلى الارض وتحت سطح الارض وتحت البحار, والتي هي ناتجة عن الإنشطارات النووية لبعض النوى المشعة مثل (الكاربون-١٤)و(السترانتيوم-٩٠) و (اليود-١٣١) و (السيزيوم).

تنتشر هذه المواد المشعة في الجو وبحسب حجم المتفجرات فان كانت كبيرة الحجم (مليون طن) فان النظائر المشعة, الإشعاعات تصل إلى طبقة الستراتوسفير حيث تبقى لمدة قد تصل إلى عشرات السنين أمَا النظائر المتولدة من تفجيرات صغيرة (كيلو طن) فإن الإشعاعات الناتجة تبقى في طبقة الستراتوسفير لمدة تبلغ بضعة أسابيع أو شهر, وقد تعاني هذه النظائر المزيد من التحلل الإشعاعي في الجو إلى نواتج صلبة تتساقط على سطح الأرض بهيئة غبار ذري يؤدي إلى تلوث الحشائش, وما له من آثار ضارة على الحيوانات والمنتجات الغذائية من الصعب تقدير كمية النظائر المشعة التي تحررت إلى الجو بسبب القنابل النووية ؛إذ قُدرت بحوالي ( 140 mrem/y).

٣.اشعاعات صناعية :

تتمثل بالنظائر المشعة في المفاعلات النووية لتوليد الطاقة الكهربائية وتصنيع الوقود النووي, حيث يستعمل لها خامات (اليورانيوم-٢٣٨) كمادة أولية أساسية وما يرافقها من تفاعلات انشطارية تكون نواتجها نظائر مشعة واشعاعات هائلة وكميات كبيرة من الحرارة التي تستعمل لتدوير المحركات التوربينية المولدة للطاقة الكهربائية, كما ينتج عن المفاعلات النووية نفايات مشعة وفضلات غازية مثل (يود-١٢٤) و (كربتون-٨٥) تطلق إلى الجو ثم تحلل إشعاعيا إلى أنواع صلبة تتساقط على الأرض كغبار نووي ومن الفضلات الساقطة (T-3) ونظائرها, Fe , Co- 60 وفضلات صلبة عالية الفعالية يحتمل تسرب المواد المشعة بسبب وجود مشاكل في صعوبة تخزين العناصر المشعة

ونظرائها وفضلاتها وذلك لأنها ذات الأعمار النصفية الطويلة الأمد لمئات الاف من السنين تبقى تبعث الإشعاعات دون التمكن من إيقافها أو تعجيل تحللها.




شكل (١٠) طرق انتقال المواد المشعة إلى الإنسان

**أنواع الإشعاع**

يمكن أن نصف الإشعاعات أعتماداً على طبيعته الى نوعين:

١.ذات طبيعة جسيمية

الإشعاع ذات المكون الجسيمي يكون شعاع غير مرئي ذات مدى من الترددات والطاقة العالية مكون من دقائق متناهية في الصغر بعضها مشحون كهربائيا بالشحنة الموجبة مثل أشعة x, p والبعض مشحون بالشحنة السالبة مثل أشعة B والبعض متعادل كهربائيا مثل أشعة n.

تنطلق هذه الدقائق أثناء عملية التحلل النووي لنواة العنصر المشع تلقائيا الى نواة اصغر, وقد يصاحب انطلاقها انبعاث فوتونات أشعة أو قد لا يحدث أعتمادا على طبيعة العملية وعلى الخواص الفيزيائية لحالة النواة الأم قبل التحلل وبعد التحلل.

يعبر عن سرعة التحلل بعمر النصف: هو الزمن اللازم لتحلل نصف العدد من الانوية المشعة في نموذج العنصر المشع إلى أنوية غير نشطة إشعاعيا, يختلف زمن نصف العمر؛ إذ يتراوح بين أجزاء من الثانية إلى ملايين السنين.

٢.ذات طبيعة موجية

عند التأثير على ذرات الأجسام بطاقة خارجية يحصل تبادل في الطاقة مع إلكترونات الذرة التي تنتقل بسبب امتصاص الطاقة من مداراتها إلى مدارات ذات طاقة عالية؛ وبذلك تصبح الذرة غير مستقرة وعند هبوط الإلكترونات إلى مداراتها الأصلية فإنَّ العملية تكون مصحوبه بانبعاث فوتونات على هيئة موجات كهرومغناطيسية تسير بسرعة الضوء.

($3 \times 10^8$ m/s) في الفراغ وطاقته تساوي كما في المعادلة التالية:

$$E_{ph} = E_2 - E_1$$

تمثل الفروق بين طاقة الإكترون في المدارين .

إنَّ هذه الموجات يمكن أن تكون مرئية او غير مرئية؛ وذلك تبعا لترددتها واطوالها الموجية في مناطق الطيف الكهرومغناطيسي, وعلى ضوء ذلك سوف تقسم على نوعين من الموجات من حيث تأثيرها الملوث:

١.موجات عالية الطاقة:

هي موجات كهرومغناطيسية أطوالها الموجية تقل عن (4000 A) والتي تشمل الاشعة الفوق البنفسجية والأشعة السينية وأشعة كاما وهي أشعة غير مرئية ذات طاقة عالية وقدرة كبيرة على النفاذ خلال الأجسام لها خواص واحدة من حيث الجوهر إلا إنها لها تأثيرات مختلفة من حيث تفاعله مع المواد اعتمادا على طولها الموجي وترددها وطاقتها.

٢.موجات منخفضة الطاقة:

وهي موجات كهرومغناطيسية أطوالها الموجية أكبر من(4000 A) والتي تضم الأشعة المرئية وهي أشعة يمكن رؤيتها وادراكها تتمثل بالضوء العادي كما تشمل الأشعة الراديوية والمايكرويفية والأشعة التحت الحمراء, إلا إنها اشعة غير مرئية لها خواص حرارية وكهربائية ومغناطيسية يختلف تأثير تفاعلها على الاجسام باختلاف طاقتها.

**مكونات الاشعاع الملوث**

تتميز ذرات العناصر الثقيلة بعدم استقرارها فإنها تميل إلى التفكك لنواها إلى نوى أخف وأكثر استقرارا؛ مما يؤدي ذلك إلى إصدار أنواع مختلفة من الإشعاعات تتألف من مكونات جسيمية أو موجية نذكر منها الإشعاعات المتكونة منها:

١.اشعة الفا(α):

هو عبارة عن نواة الهليوم (He) المكونة من بروتونين ونيوترونين وهي بذلك عبارة عن جسيمات مشحونة بالشحنة الموجبة.

تتميز هذه الجسيمات بإن سرعتها بطيئة نسبيا (20000 km/s) حيث لا يتجاوز مسارها في الهواء بضعة سنتمترات , فهي لا تمتلك قابلية عالية على اختراق الحواجر أياً كانت فقد يتعذر عليها اختراق ورقة كتابة اعتيادية , ولقد وجد أَنَّ نفوذها في الأنسجة الحية والماء لا يتجاوز عن الملمتر.

تقوم هذه الجسيمات بتأين كهربائي أثناء تفاعلها مع الأجسام الساقطة عليها وعلى طول مسارها, حيث تنتج تقريبا (20000-40000) زوج من الأيونات خلال سنتمتر واحد.

مصدرها تحلل نواة اليورانيوم والراديوم والثوريوم كما في المعادلة:

$$_{92}U^{238} \longrightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_{2}He^{4} \quad (\alpha)$$

٢.اشعة بيتا (B):

وهي أشعة أخف وزنا من اشعة الفا سبعة الاف مرة تقريبا؛ لذلك فإن قدرة نفوذها داخل الاجسام أكبر, وقد تصل حتى(2cm) في الأنسجة الحية, وقد تخترق المعادن بعمل ملمتر واحد أمَّا في الهواء فيقدر إنها تقطع مسافة مترين.

تقوم هذه الجسيمات بتأين كهربائي مخفف نسبيا بحدود (20-40) زوج من الإيونات خلال سنتمتر واحد.

جسيمات بيتا هي جسيمات سالبة الشحنة تنطلق نتيجة تحول النيترون داخل النواة غير المستقرة إلى بروتون وإلكترون كما في المعادلة

$$_{90}Th^{234} \longrightarrow {}_{91}P^{234} + {}_{-1}e^{0}$$

ويمكن أن تكون دقائق بيتا جسيمات موجبة الشحنة (بوزترون) تتحرر عندما يتحول البروتون داخل النواة غير المستقرة إلى نيوترون وبوزترون كما في المعادلة

$$_{15}P^{30} \longrightarrow {}_{14}Si^{30} + {}_{+1}e^{0}$$

وفي كلا العمليتين خلال تحرر دقائق بيتا يمكن أَنْ يصاحبه انطلاق فوتونات أشعة كاما.

٣. أَشعة كاما:

وهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية على هيئة فوتونات تنطلق بإحدى الطريقتين: إمّا انبعاثها من النوى المثارة أثناء عملية التحلل وتكون ذات طاقة عالية جدا مساوية لمقدار طاقة إثارة النواة.

وأما انبعاثها نتيجة تحول المادة إلى طاقة, وتحدث هذه العملية مرافقة لتحلل البوزترون من النواة ويكون انطلاقه بسرعة عالية وعند تباطؤه نتيجة سلسلة اصطدامات مع الكترونات الذرة, فيصبح بإمكانه الاتحاد مع الكترون مكونا ذرة تعرف بالبوزترونيوم عمرها قصير تتحلل هذه الذرة الى طاقة على شكل أشعة كاما, وتكون طاقتها مساوية الى مجموع الطاقة الساكنة للالكترون والبوزترون بحدود ( 1.02 Mev) كما في المعادلة

$$_{-1}e^{0} + {}_{+1}e^{0} \longrightarrow 2$$

تتميز هذه الأشعة بأنها تسير بسرعة الضوء وتتكون من فوتونات تحمل شحنة متعادلة كهربائيا لها القدرة على اختراق الأنسجة الحية, وإن مسارها في الهواء فائق الحد بدرجة كبيرة. وإن لها قدرة على التأين الكهربائي للمادة عن طريق انتزاعها لإلكترونات الذرة إلا أنّ تأينها أقل شدة من تأثير B , x بمائة مرة. يمكن الحصول على هذه الأشعة صناعيا من النوى المشعة (Co-60) , (Cs-137) , (I-131).

٤.الأشعة السينية (X-Ray)

وهي عبارة عن فوتونات الموجات الكهرومغناطيسية ذات طول موجي يتراوح بين ($10^{2}$ – $10^{-5}$).

يمكن الحصول عليها طبيعيا من الشمس نتيجة إثارة الذرات داخل الشمس,ويمكن الحصول عليها صناعيا من انبوبة الأشعة السينية والمعجلات؛ وذلك نتيجة تعجيل الإلكترونات خلال مجال كهربائي وعند اصطدامها بهدف معدني ذات درجة انصهار عالية وعدد ذري كبير مثل معدن التنكستن, فسببت الاصطدامات تغير مواقع الإلكترونات في ذرات الهدف, وعند عودتها إلى حالتها الأصلية حصل انبعاث الفوتونات لإشعة السينية بطاقة لا تزيد عن (500eV) وأصبح صناعيًا بالإمكان الحصول على طاقات عالية للإشعة السينية من المعجلات يتراوح طاقتها بين عدة ملايين ev الى عدة بلايين ev.

ولهذه الأشعة القابلية على النفاذ خلال الأجسام الصلبة, وتقوم بتأين كهربائي بطريقة غير مباشرة حيث يتم تحرر إحدى الجسيمات المشحونة نتيجة التفاعل والتي بدورها تقوم بعملية التأين خلال مسارها.

٥.الأشعة النيترونية (n)

وهي جسيمات متعادلة الشحنة كهربائيا تنطلق من احدى التفاعلات التالية:

١- الانشطار النووي: وتتم هذه العملية داخل المفاعلات النووية حيث ينشطر نواة عنصر اليورانيوم مثلا تتبعه سلسلة من الانشطارات نتيجة امتصاصه للنيوترون طاقته الحركية بحدود (0.025 ev) ينتج عن هذا التفاعل تحرير نيوترونات وفقا للمعادلة

$$_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \longrightarrow {}_{92}U^{236} \longrightarrow {}_{54}Xe^{140} + {}_{38}Sr^{44} + {}_{0}2n^{1} + 200ev$$

٢- التفاعلات الاندماجية: وهي عملية يتم فيها اندماج نوى العناصر الخفيفة مكونا نواة عنصر أثقل كما في المعادلة

$$_{1}D^{2} + {}_{1}D^{2} \longrightarrow {}_{2}He^{3} + {}_{0}n^{1} + 3.3\ Mev$$

٣- اشعة النيوترونات: هي أشعة لها طاقة عالية, ولها قابلية على تأين الوسط الذي تمر فيه بصورة غير مباشرة.

**وحدات قياس الإشعاع**

توجد أكثر من وحدة قياس للجرعات الإشعاعية الممتصة منها:

١.الراد (Rad) (وحدة قياس كمية الطاقة الإشعاعية الممتصة)

هو عبارة عن كمية الأشعة التي يمتصها كيلوغرام من المادة المعرضة للإشعاع أو كمية الطاقة الإشعاعية الممتصة التي تعادل $10^{-5}$ J/g من الانسجة, وتعد هذه الوحدة مساوية في شدتها لوحدة الروتنجن تقريبا.

٢.الريم (Rem) (وحدة قياس التأثير البايولوجي للاشعاع الممتص)

هو عبارة عن كمية الطاقة الإشعاعية التي تحدث تأثيرا بيولوجيا يعادل واحد راد, وإن ريم واحدمن أي إشعاع هو كمية الإشعاع التي إذا تعرض اليها الجسم للانسان ليس اي نسيج حي) فانها تسبب تأثير مكافئ لامتصاص جرعة قيمتها روتنجن واحد.

٣.الكري(Gray) (وحدة قياس التأثير عن امتصاص الاشعة)

الذي يعادل ١٠٠راد أو يعادل جول واحد من الاشعة لكل كيلوغرام من المادة المعرضة للاشعاع (١ جول/ كيلوغرام من الانسجة الحية)

٤.السيفرت (Sv) (وحدة قياس التأثير الناتج عن امتصاص الأشعة)

يساوي (١٠٠ريم) ويعادل كذلك (١٠٠راد) أي إن الكري والسيفرت متساويان

٥.الكوري(Ci) (وحدة قياس الاشعة الصادرة)

وحدة لوصف فعالية المصدر المشع أي معدل الانحلال المتسلسل الإشعاعي في الثانية الواحدة لكتلة غرام واحد من عنصر الراديوم $1Ci=3.7x10^{10}d/s$

٦.الروتنجن(R) (وحدة قياس الاشعة الصادرة)

هي وحدة وصف مقدار التعرض إلى الأشعة السينية أو إلى أشعة كاما وتعرف: بأنها الأشعة المؤدية إلى إنتاج أيونات تحمل شحنة مجموعتها يساوي ($2.1x10^9$) من وحدات الشحنة الكهربائية.

**تأثيرات الإشعاع الملوث**

إن التأثيرات البايولوجية التي يحدثها الإشعاع في الأنسجة الحية إعتمادا على طاقتها المنبعثة يمكن تقسيمها على نوعين:

- تأثيرات مؤينة

إن الإشعاعات ذات الطاقة العالية مثل أشعة كاما, أشعة الفا, الأشعة السينية, أشعة بيتا يكون لها قابلية على تأين المواد والانسجة الحية التي تمر فيها, وتسبب خلل كيميائي خطير في الخلايا الحية التي تتعرض لها, ويمكن تفسير هذا النوع من التأثيرات من النظريتين التاليتين:

**١.نظرية التأثير الغير مباشر:** ويتم ذلك من خلال عدة مراحل:

أ.المرحلة الفيزيائية:

وفيها تنقل طاقة الإشعاع إلى جزيئات الماء في الخلية الذي يعتبر المكون الرئيسي لكافة انسجة الجسم وعند تأين الجزيئات ينتج ايون موجب $H_2O^+$ مع (e) ويكون الايون غير مستقر؛ وإذ سرعان ما يتحلل إلى أيون موجب ($H^+$) واحد اكاسيد الهيدروجين (OH). وان ايون الهيدروجين الموجب يمتص احد الإلكترونات الحرة مكونا ذرة الهيدروجين التي تتحد مع جزيئة أوكسجين مكونا ($H_2O$) أحد أكاسيد الهيدروجين, وهذا بدوره يستطيع التفاعل مع مثيله مكونا أوكسيد ثالث هو $H_2O_2$ وفق المعادلات التالية:

$$H_2O \longrightarrow H_2O^+ + e^-$$

$$H_2O \longrightarrow H^+ + OH$$

$$H^+ + e \longrightarrow H$$

$$H^+ + O_2 \longrightarrow HO_2$$

$$HO_2 + HO_2 \longrightarrow H_2O_2 + O_2$$

ب. المرحلة الكيميائية:

إنَّ أكاسيد الهيدروجين هي مركبات كيميائية تعتبر مواد سامة تتفاعل مع مكونات الخلية الحية (مركبات عضوية) مسببة تلفها وخاصة مكونات النواة (الكروموسومات).

ولقد لوحظ أن تأثيرات الإشعاع في المحاليل القاعدية تزيد بسبب وجود جزيئات الأوكسجين في الأنسجة الحية؛ لذلك تزداد حساسية هذه الانسجة للإشعاع.

ج.المرحلة البايولوجية:

تظهر آثار التغيرات الكيميائية التي حدثت في الخلية, منها موت الخلايا أو منع إنقسامها أو زيادة معدل نموها, وانقسامها أو إحداث تغيرات مستديمة في الخلية تنتقل وراثيا عند إنقسام الخلية.

**٢.نظرية التأثير المباشر:**

في هذه النظرية فإن الإشعاع يصيب مباشرة الأجزاء الحساسة في الخلايا كالكروموسومات أو مركبات عضوية أُخرى.

على إفتراض إنَّ (RH) يمثل جزيئة مركب عضوي في الخلية فإنَّ هذا الجزيء يتحول إلى أحد الجذور, نتيجة لفقدانه ذرة هيدروجين تحت تأثير الإشعاع كما في المعادلة:

$$RH \longrightarrow R^* + H^*$$

$R^*$ -جذر عضوي $H^*$ -ذرة هيدروجين فعالة

تتفاعل ذرة الهيدروجين مع جزيئة عضوية أُخرى؛ لنحصل على جذر عضوي آخر وجزيئة هيدروجين , كما توضحه المعادلة:

$$RH + H^* \longrightarrow R^* + H_2$$

إن مدى الانتشار لهذه الجذور يكون صغير جدا حيث لا يتجاوز (30A), مما يوضح أن عمليات التخريب تتم في الخلايا المجاورة والقريبة من مسار الأشعة المؤينة.

- تأثيرات غير مؤينة

يعد هذا النوع من الاشعاعات ذات طاقة ضعيفة نسبيا ليس لها القدرة على التأين لمكونات الخلايا الحية مثل الأمواج الراديوية, المايكرويف, تحت الحمراء, الضوء.

إنَّ لهذه الإشعاعات تأثيرات ضارة متنوعة, ويطلق على التأثيرات هذه (بالتلوث الكهرومغناطيسي) تتكون الموجات الكهرومغناطيسية من مجالات كهربائية وأُخرى مغناطيسية متلازمان مع بعضهما وتنتشر في الفراغ والأوساط المادية.

يتعرض سطح الأرض إلى مجالات كهرومغناطيسية بشكل دائم؛ اذ ينتشر المجال الكهربائي الساكن من الغلاف الجوي وسطح الأرض فيبلغ متوسط شدته (120 v/m), وتزداد هذه القيمة بشكل أكبر عند حدوث العواصف الرعدية بحوالي (20,000 - 40,000 v/m)؛ مما يسبب شعورنا بالقلق والاختناق.

كذلك ينتشر مجال مغناطيسي أرضي طبيعي متوسط شدته عند مستوى سطح البحر (50 MT), وتؤدي الرياح الشمسية والاضطرابات الكونية الى تغيرات في شدة المجال المغناطيسي الأرضي. كما أَنَّ جسم الانسان يحتوي على مجالات كهربائية ومغناطيسية ناتجة عن النبضات الكهربائية في المخ ناتجة عن هرمونات معينة تفرزها الغدد, وإن هذه المجالات تتحكم في نشاط خلايا الجسم.

يمكن للإنسان التعامل والتعايش مع هذه الإشعاعات الطبيعية دون ضرر لكن مع التقدم التكنلوجي ظهرت مصادر عديدة تبعث بإشعاع كهرومغناطيسي خارجي مثل: البث الفضائي, والاتصالات اللاسلكية, ومحطات الضغط العالي, ومحولات الطاقة الكهربائية, والاجهزة الكهربائية المنزلية, والافران المايكروووف حتى امتلأت السماء فيها بما يشبه الضباب الكهرومغناطيسي.

فعند تعرض الإنسان إلى مجالات كهرومغناطيسية خارجية فإنها تسبب تشويه المجالات الطبيعية مما تؤدي إلى خلل في نشاط الخلايا الحيوية وفي وظائف الأعضاء, ثم إنَّ لوجود عنصر الحديد في مكونات الإنسان فإنها تتأثر بالمجال المغناطيسي الخارجي وتتشكل حسب خطوطه, وقد تظهر جسيمات مشحونة بسبب التفاعل بين الإشعاع والخلية الحية يمكن أن تتفرغ كهربائيا إلى الخارج عند ملامسة أجسام أُخرى كما نراه في بعض الأحيان أنَّ موجات هذا التلوث غير مرئية ورغم أن طاقتها صغيرة الإ أنَّ التعرض لها لفترات طويلة يعطي تأثير مساوي لتأثير الإشعاع ذو الطاقة العالية في زمن قصير من التعرض وان من العوامل التي يعتمد عليها امتصاص الإشعاع الكهرومغناطيسية:

- طاقة الموجات

- المسافة بين المصدر والإنسان

- طبيعة الجسم من حيث الوزن والعمر

- الاستعدادات الوراثية للأمراض

وعموما تنقسم التأثيرات الضارة من التلوث الكهرومغناطيسي إلى:

١.تأثيرات عرضية:صداع, عدم اتزان, عدم تركيز, فقدان وعي.

٢.تأثيرات خطيرة:أمراض السرطان (اللوكيميا), أمراض القلب وامراض العيون, قصور في الخصوبة.

بالرغم من الفوائد الجمة لهذه الأمواج ذات الطاقات الواطئة إلاّ أن بعض المصادر تولد آثار ضارة جدا منها:

١.الرنين المغناطيسي التي يستخدم فيها مغانط فائقة التوصيل تصل شدته الى($15x10^4G$)

٢.منظومة الكشف المغناطيسي المستعملة في المطارات والأسواق؛ لغرض المراقبة

٣.تيارات النضائد التي تزود محركات وسائل النقل والأجهزة المحمولة بالقوة الكهربائية

٤.خطوط الفولتية العالية وخطوط النقل تحت الأرض (الميترو)

٥.أَجهزة الفصل المغناطيسي مثل جهاز رافع الحديد الخردة, وأجهزة فصل العناصر مثل فصل الكبريت من الفحم الحجري المسحوق وفي تنقية مياه المجاري

٦.أَجهزة التلفزيون والحاسب الآلي وأَجهزة الهاتف ومجفف الشعر وأفران الميكروويف

**العوامل التي يعتمد عليها التأثير البايولوجي للإشعاع الملوث**

إن التأثير الضار الناتج عن الاشعاعات الملوثة تعتمد على العوامل التالية:

١.الجرعة الاشعاعية:

توجد علاقة طردية بين معدل الجرعة الإشعاعية التي يتعرض لها الإنسان والتأثير الضار عليه على فرض أنَّ الخلية هي هدف واحد للإشعاع المؤين, نفرض ان N عدد الخلايا الاصلية , D جرعة إشعاعية, dN عدد الخلايا المتأثرة بجرعة إشعاعية فإنَّ عدد الخلايا المتأثرة بالإشعاع.

$$dN = -\frac{1}{Do} N\, dD$$

$K = \frac{1}{Do}$ ثابت التخريب

الإشارة السالبة تعني أنَّ مقدار (N) في تناقص بازدياد الجرعة الإشعاعية

$$\frac{dN}{N} = -KdD$$

$$\frac{N}{No} = e^{-KD} \quad \longrightarrow \quad s = e^{-KD}$$

ومن حل المعادلة:

S هي النسبة المتبقية من الخلايا غير المتأينة

Do هومعدل الجرعة الإشعاعية القاتلة: وهي مقدار الجرعة الإشعاعية التي تؤدي إلى القضاء على (٦٣%) من مجموع الخلايا الموجودة في النموذج أي أنَّ (s) تكون مساوية الى (٣٧%) في هذه الحالة.

٢.طبيعة وحالة المادة البايولوجية:

إن المادة في جسم الإنسان تتميز بأعداد ذرية, وبكثافات مختلفة حيث يبلغ العدد الذري للأنسجة العضلية (٧.٤) وكثافته ($1g/cm^3$) مثل كثافة الماء إلا أنَّ العدد الذري للشحوم (٥.٩٢) وكثافته ($0.91\ g/cm^3$) أمّا العظام فعددها الذري (١٣) وكثافته ($1.85\ g/cm^3$)؛ لذلك تختلف معاملات الامتصاص لتلك الأوساط, ويمكن حسابها من المعادلة:

$$I = I_0 e^{-Mx}$$

$I_0$ شدة الاشعاعات الساقطة  I شدة الاشعاع الخارج

X سمك الوسط  M معامل الامتصاص

يلحظ أنَّ معامل امتصاص الأنسجة العضلية أكبر من معاملات الامتصاص بشحوم والعظام حسب الترتيب أي إنَّ معامل الامتصاص للإشعاع يتناسب عكسيا مع الأعداد الذرية للمادة البايولوجية؛ ولكن نجد ان العدد الذري للشحوم قليل بسبب قلة الأوكسجين فيه, أما العظام فإن العدد الذري كبير؛ لوجود عنصر الكالسيوم.

٣.نوع الاشعاع:

كما ذكرنا سابقا بأن الإشعاع المؤين يتكوم من إمّا جسيمات أو موجات يعتمد التأثير البايولوجي الضار على طاقة الإشعاع المنبعثة من المصدر لإن نوع الإشعاع هو عبارة عن مقياس لقدرة الإشعاع على النفاذ في أعماق المادة وأحداث الضرر أثناء تأين الخلايا الحية.

٤.البعد بين مصدر الاشعاع والانسان:

إن النسبة لنفاذ الإشعاع تعرف: بأنها النسبة بين التعرض الخارجي والتعرض الساقط على المادة الحية؛ إذ إنَّ إزدياد نسبة النفاذ تعني كبر الجرعة الاشعاعية الممتصة من قبل المادة اعتمادا على قانون التربيع العكسي

$$X_1 \propto \frac{1}{L1}\ ,\ X_0 \propto \frac{1}{L0} \longrightarrow \frac{X0}{X1} = \left(\frac{L1}{L0}\right)^2$$

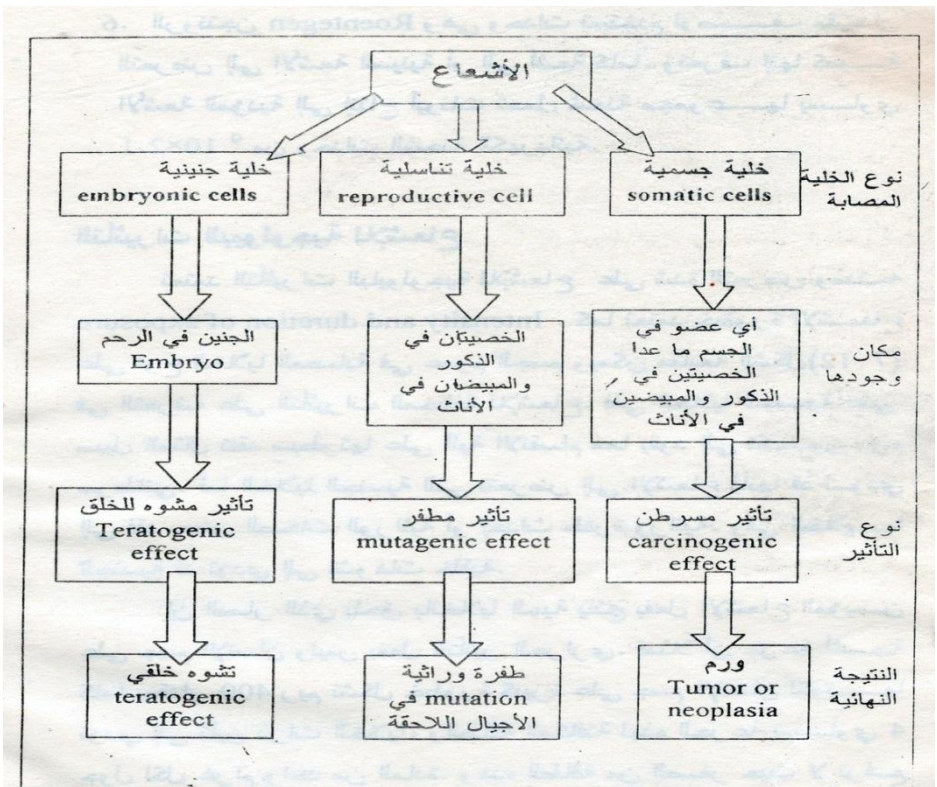
مثال: إذا كان سمك النسيج (30m) وأن بعده عن المصدرالمشع (L1=10cm) وعند وضع النسيج على بعد (L2=30cm) على فرض أَنَّ التعرض الخارجي لكليهما واحد, اثبت أنَّ نسبة الإشعاع الممتص في الأول اكبر من نسبة الإشعاع الممتص الثاني

$$\frac{X0}{X1} = \left(\frac{L1}{L0}\right)^2 \longrightarrow X_1 = \left(\frac{L0}{L1}\right)^2 X_0 = \left(\frac{13}{10}\right)^2 X_0 = 169\%\ X_0$$

$$\frac{X0}{X2} = \left(\frac{L2}{L0}\right)^2 \longrightarrow X_2 = \left(\frac{L0}{L2}\right)^2 X_0 = \left(\frac{33}{30}\right)^2 X_0 = \frac{121}{100} X_0 = 121\%\ X_0$$

**الكوارث الصحية والبيئية للإشعاع الملوث**

تعتمد التأثيرات الضارة للإشعاع على شدة التعرض, ومدته, كما تعتمد خطورة الإشعاع على نوع الخلايا المصابة في عموم الجسم ففي الخلايا الجسمية على سبيل المثال تفقد سيطرتها على الية الإنقسام, مما يقود إلى تكوين أورام سرطانية, أمّا الخلايا الجنسية التي تتعرض للإشعاع فإنها تؤدي إلى فقدان بعض الصفات الوراثية أو إحداث طفرة وراثية في الخلايا الجنينية مما يؤدي إلى تشوهات خلقية, ويمكن ملاحظة التأثيرات الإشعاعية على خلايا الجسم في الشكل الموضح.




شكل (١٠) التأثيرات الإشعاعية على خلايا الجسم

إنَّ الدمار الذي يلحق بالخلايا الحية ينتج بفعل الإشعاع المؤين, وليس التأثير الحراري؛ فإن أشعة كاما بمقدار جرعة (400rem) تشكل خطورة كبيرة على جسم الإنسان؛ لكونها تؤدي إلى التأين وأنَّ الطاقة

المكافئة لهذه الجرعة تساوي (4J/g), وأنَّ هذه الطاقة من الصفر حيث لا ترفع درجة الحرارة لغرام واحد من الماء أكثر من (0.001c) إنَّ مجرد وصول الإشعاع إلى الدورة الدموية فإنها تظهر أعراض بالصداع المصحوب بإرتفاع درجة الحرارة وإلاسهال والآم البطن وإن الجرعة المميتة للإشعاع هي بحدود (1000 rad) حيث تكون نسبة الوفاة (١٠٠%).

لا بد من تذكر كارثة هيروشيما في اليابان عندما ألقت الولايات المتحدة الامريكية عليها بقنبلة ذرية عام (١٩٤٥) راح ضحيتها (١٠٠) شخص وجرح نصف مليون وتدمير ٧٥% من الابنية ولا تزال آثار التشوه الخلقي في اجيالها.

ثُمَ إنَّ هناك كارثة التلوث الإشعاعي في العراق الذي نتج من مصدرين العسكري الذي استعمل فيه القذائف والأسلحة المصنوعة من معادن مشعة وبشكل استثنائي اليورانيوم.

والمصدر الطبي الذي استعمل فيها الإشعاعات لغرض التشخيص والعلاج, كل هذه الإشعاعات انتشرت في المناطق المصابة والمجاورة ولم تسلم فيها الكائنات الحية مسببة أضرار في الجهاز المناعي, واعتلال في وظائف الكبد والكليتين, وزيادة حالات السرطان, وتأثرت الحيوانات, والنباتات حيث تصل إلى الإنسان جرعات من الإشعاع عن طريق السلسلة الغذائية من اللحوم والبيض والحليب والفواكه والخضار.

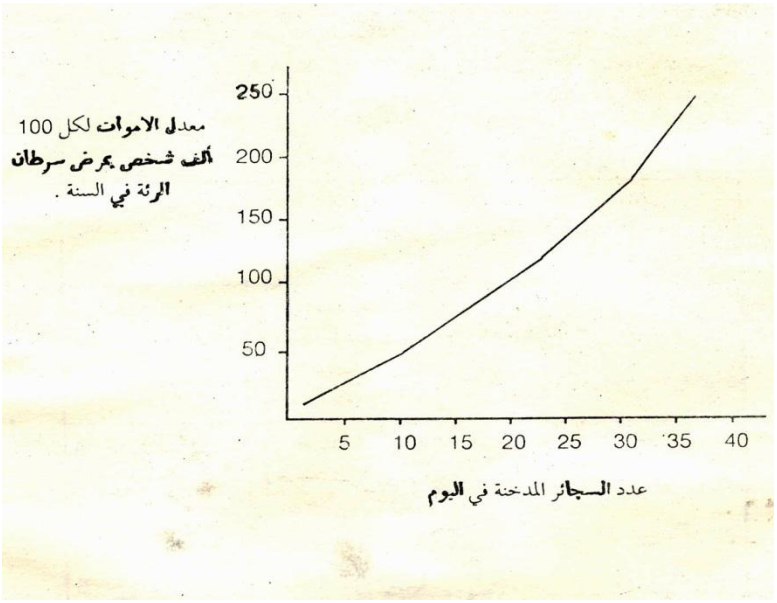
| سرعة التعرض | تأثيرات محتملة |
|---|---|
| ١٠٠-٢٠٠ | غثيان وقتي, تنزل بعض خلايا الدم |
| ٢٠٠-٣٠٠ | غثيان, فقدان الشهية اسهال نحول |
| ٣٠٠-٦٠٠ | تساقط الشعر نزيف دموي وفاة بعد اسبوع بنسبة٥٠% |
| ٦٠٠‹ | التهاب الفم والبلعوم ارتفاع درجات الحرارة والموت١٠٠% |

تأثيرات محتملة للجرعات الإشعاعية على عموم الجسم

رابعا: التدخين

دخان نبات التبغ: هو عبارة عن حبيبات صغيرة من الدخان تحتوي على اكثر من (٣٨٠٠) مادة كيميائية مثل: $NH_3$, $H_2S$, Co , الفورمالدياید HCHo, الاستيالديهايد $CH_3CHo$ , وسيانيد الهيدروجين HCN, حامض الكاربونيك وكاربون ورق السجائر وبعض الأحماض مثل حامض النتريك, وحامض الخليك, وحامض الفورميك. وهو إلى ذلك توجد في الدخان ذرات صغيرة من القطران ومادة البنزوين المسببة للسرطان.

يعمل دخان السجائر على تدمير الخلايا المنتجة للأهداب والمخاط, وإن غشاء الأهداب المخاطي الواقي وجهاز التنظيف يجعل سعال المدخن أمراً لا بد منه؛ مما يسبب تلف المسار التنفسي ومن ثَمَ يؤدي إلى التهاب القصبات الهوائية. ثُمَ إنَّ وجود النيكوتين في الدخان يعد منبه للجهاز العصبي المركزي ويسبب تغيرات فسيلجية ونفسية , ثُمَ إنَّه يؤثر في الدورة الدموية التي تؤدي إلى أمراض القلب كزيادة نبضاته ورفع ضغط الدم ومؤثر على الغدد الإدرينالية محدثة إنفعالات في الجهاز العصبي, علما أَنَّ الجرعة القاتلة من النيكوتين (60mg) حيث تكون مميتة إذا حقنت في الدم؛ لذلك فإن التدخين يعد سبب في هلاك عدة ملايين من البشر.




شكل (١١) رسم بياني يمثل العلاقة بين عدد السجائر ومرض سرطان الرئة

أمّا التدخين السلبي الناتج عن مخالطة غير المدخنين فتؤكد بعض الدراسات بأنّه يسبب زيادة الوفاة نتيجة الاصابات بسرطان الرئة, وأمراض القلب بنسبة (٣٠%) عن معدلها, وأَنَّ المرأة أكثر حساسية تأثيرا بالدخان من الرجل, وذلك يعود لأسباب فسيلجية بحتة ولاسيما أثناء مدة الحمل حيث تكون أضراره جسيمة على الجنين.