كلية الزراعة

جامعة دمشق

# التلوث البيئي

## السنة الرابعة

## قسم الموارد الطبيعية المتجددة والبيئة

أ.د. ريتا منصور

## المقدمة:

يعتبر الهواء النظيف مطلباً أساسياً للإنسان، وحقاً من حقوقه، وبالرغم من التقدم التقني الذي ساهم في خلق التقانات النظيفة في الصناعة وإنتاج الطاقة ووسائل النقل إلاّ أن تلوث الهواء يبقى واحداً من أهم العوامل التي تؤثر سلباً في الصحة أيضاً، حيث تواجه المدن وبعض المناطق الصناعية تلوث الهواء الناجم عن الغازات والعوالق Particulates والمواد الهيدروكربونية، كما تعاني من مستويات مرتفعة من الرصاص والضجيج وغيرها.

وتكمن مصادر تلوث الهواء في والانبعاثات الناجمة عن الإنتاج الصناعي وإنتاج الطاقة ووسائط النقل والتدفئة وغيرها، وتأتي معظم إطلاقات الملوثات الهوائية من وسائط النقل والتي يزيد عمر معظمها عن 15 عاماً، إضافة إلى سوء الصيانة والوقود منخفض النوعية، والإدارة غير السليمة للطرقات وحركة المرور

---

كما تساهم محطات إنتاج الطاقة والمصافي القديمة، ومصانع الأسمدة والاسمنت ومولدات الكهرباء، في زيادة تدهور نوعية الهواء، خاصة وأن معظمها يستعمل وقوداً ذا نوعية منخفضة. هذا وقد احتلت سورية موقعاً متواضعاً في مؤشر البيئة العالمية لسنة 2002، الذي صدر عن المنتدى الاقتصادي العالمي (ديفوس) حيث حلّت في المرتبة 107 من بين 140 دولة جرى تقويمها.

### واقع تلوث الهواء في سوريا

تشير القياسات الأولية التي جرت في المدن وبعض المواقع الصناعية في سورية إلى تدني نوعية الهواء، والذي أصبح ملوثاً، في بعض المناطق، بأكاسيد الكبريت ($SO_2$) وأكاسيد الآزوت ($NO_x$)، والعوالق Particulates وغيرها، ولا يقتصر تلوث الهواء وبخاصة في المدن، على الملوثات الأولية Primary pollutants التي تنتج أساساً من الاحتراق غير الكامل للوقود الأحفوري، في وسائط النقل والصناعة والتدفئة وغيرها وإنما تعاني من ظاهرة الضباب الدخاني Smog والتي تنجم عن تفاعل الملوثات الأولية – وخاصة أكاسيد الآزوت مع الأكسجين

بوجود الهيدروكربونات وثاني أكسيد الكبريت تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية،وتؤدي الى تشكل الضباب الدخاني Smog، الذي يخيم على المدن وبخاصة في ساعات الصباح، وتتكون بنتيجة هذه التفاعلات مجموعة من الملوثات الثانوية Secondary pollutants.

**يعود تلوث الهواء في المدن السورية إلى جملة أسباب:**

**1- وسائط النقل:** بالرغم من أن عدد السيارات العاملة في سورية لا يزيد كثيراً عن 600 ألف سيارة عام 2000 (ويستثنى من ذلك الدراجات النارية) هو رقم متواضع بالمقارنة مع الدول الأخرى في العالم، فهو أكثر من ضعف الرقم في لبنان، إلا أن وسائط النقل تشكل المصدر الرئيس لتلوث الهواء **المناطق** الحضرية وهذا يعود إلى:

أ - **قدم وسائط النقل في سورية:** إذ تشير إحصائيات وزارة النقل (الجدول 15) أن أكثر من 60% من السيارات السياحية يزيد عمرها عن 13 عاماً و 26% يزيد عمرها عن 24 عاماً ومن المعروف أن السيارات القديمة تطلق من الملوثات أكثر بعشر إلى عشرين مرة مما تطلقه السيارات حديثة الصناعة.

**الجدول 15 النسبة السنوية لعمر السيارات في سورية عام 1994**

| العمر | أكثر من 24 عاماً % | أكثر من 13 عاماً % |
|---|---|---|
| السيارات السياحية | 26.0 | 60.5 |
| الباصات والميكروباصات | 9.4 | 40.4 |
| سيارات النقل الصغيرة | 6.5 | 57.4 |
| الشاحنات | 17.2 | 68.2 |

ب- **نوعية الوقود التي تلعب دوراً هاماً في زيادة الغازات الملوثة:** وبخاصة ثاني أكسيد الكبريت، ذلك أن الوقود السوري يحتوي على نسبة مرتفعة من الكبريت تبلغ 0.15% في البنزين، و 0.7% في الديزل، وتصل إلى 3.5% في الفيول هذا وتستهلك سورية نحو 6 مليون طن من الديزل، وأكثر من مليون طن من البنزين، ونحو 3.7 مليون طن من الفيول (لعام 2000).

2- **وسائط التدفئة:** تلعب وسائط التدفئة في الفترة الباردة من السنة دوراً **هاما** في زيادة الملوثات و بخاصة **SO2, CO** وهذا يعود إلى:

أ- نوعية الديزل المتدنية المستعمل في وسائط التدفئة، إذ يحتوي **نسبة** من الكبريت تبلغ نحو 0.7%.

ب- نوعية وسائط التدفئة والتي في معظمها من النوع البدائي، حيث فعاليه الاحتراق فيها لا تزيد عن 40%.

ت- الكميات الكبيرة من الديزل المستعملة في التدفئة والتي تبلغ نسبته في دمشق مثلاً نحو 33.0% من مجمل كميات الديزل المستهلكة في سورية (الجدول 16).

**الجدول 16 كمية الديزل المستهلكة في سورية تبعاً للقطاعات**

| القطاع | الكمية المستهلكة % |
|---|---|
| قطاع النقل | 38.1 |
| قطاع الطاقة | 2.4 |
| القطاع المنزلي | 33.3 |
| القطاع الصناعي والتجاري | 26.2 |

- **الصناعة:** تطلق الصناعات المختلفة الكثير من ملوثات الهواء، سواءً عن طريق حرق الوقود اللازم لهذه الصناعات أو كناتج للعمليات الصناعية، خاصة أن معظم المنشآت الصناعية لا تراعي الاعتبارات البيئية، كصناعة النفط والإسمنت والأسمدة الكيمائية ومحطات توليد الطاقة، إضافة إلى الصناعات الصغيرة المنتشرة داخل المدن.

4- طبيعة المدن حيث الشوارع الضيقة وبخاصة في الأجزاء القديمة من المدن والتي لا تسمح بكنس وتبديد الملوثات، هذا إلى جانب انخفاض مساحة المسطحات خضراء والحدائق و المنتزهات (التي يجب أن لا تقل مساحتها عن 40% من مساحة المدنية، وعدم وجود أحزمة خضراء تحيط بالمدن).

المناطق العشوائية – مناطق المخالفات – ذات المرافق البدائية والازدحام ويأتي إضافة إلى أنها تقام على أراضي غير مناسبة كسفوح الجبال وغيرها.

وسنستعرض فيما يلي يأتي إلى أهم ملوثات الهواء في سورية وتأثيراتها.

-العوالق Suspended particulate matter:

تعتبر منظمة الصحة العالمية (1999,WHO) أن العوالق من أكثر الملوثات الهوائية انتشاراً وتأثيراً في مكونات النظام البيئي، وبخاصة في المدن والمناطق الصناعية وتتكون العوالق الملوثة للهواء من مزيج من الجسيمات والقطيرات Dropletes مختلفة الحجوم والتركيب والمنشأ (1997 Ormstand et al.) وتشمل العوالق الهوائية الآتي:

العوالق الكلية Total suspended particulate (TSP).

العوالق ($PM_{10}$) ذات الأقطار الأقل من 10 ميكرون.

العوالق ($PM_{2.5}$) ذات الأقطار الأقل ذات الأقطار الأقل من 2.5 ميكرون.

كما تشمل العوالق الدقيقة جداً، والجزيئات الناتجة من احتراق الديزل والفحم والغبار المعدني، وغبار الفحم والأسبستوس، والاسمنت، والسديم Mist مثل قطيرات حمض الكبريت- وعوالق الفلور والأصبغة والمبيدات والدخان وغيرها.

- العوالق الكلية TSP:

أوضحت الدراسات (العودات وآخرون 1999) التي جرت في معظم المدن السورية (الجدول 1 ) أن التراكيز اليومية للعوالق الكلية كانت مرتفعة جداً وتراوح متوسطها في مدينة دمشق بين 231 ميكروغرام/م$^3$ في منطقة المزة الجديدة، و588 ميكروغرام/م$^3$ في منطقة ساحة العباسيين، ووصلت في منطقة الأحدى عشرية المجاورة للزبلطاني (منطقة صناعية عشوائية) إلى 844 ميكروغرام/م$^3$، والأمر نفسه كان في مدينة حلب إذ تراوح متوسط تركيز العوالق الكلية فيها بين 300 و603 ميكروغرام/م$^3$. ولم تقتصر مثل هذه التراكيز المرتفعة على المدن الكبرى وإنما كانت مرتفعة أيضاً في المدن المتوسطة

والصغيرة، وتراوحت بين 218 و 376 ميكروغرام/م$^3$ في حمص وبين 169 و386 ميكروغرام/م3 في السويداء.

هذا وتشير قياسات وزارة البيئة ( 1999 ) إلى أن تركيز العوالق الكلية كانت مرتفعة في مدينة دمشق القديمة، وتراوحت بين 870 و 1230 ميكروغرام/م$^3$ في شارع مدحت باشا وبين 700 و 1100 ميكروغرام/م$^3$ في تقاطع القشلة وبلغت نحو 200 ميكروغرام/م$^3$ في ساحة الجامع الأموي.

**الجدول (1) متوسط تراكيز العوالق (ميكروغرام/م3) في بعض المدن السورية**

| المدينة | العوالق الكلية TSP | العوالق التنفسية | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $PM_{10}$ | $PM_3$ | $PM_1$ |
| دمشق | 588-231 | 222±86 | 115±27 | 82±24 |
| حلب | 603-303 | 287±95 | 174±28 | 114±19 |
| حمص | 376-218 | 157±36 | 92±14 | 55±7 |
| طرطوس | 486-115 | 202±74 | 84±21 | 54±16 |
| السويداء | 386-169 | 118±55 | 68±48 | 37±14 |
| دير الزور | 486-263 | 194±31 | 107±6 | 76±4 |
| **الحد السنوي المسموح به حسب المواصفة السورية** | **150** | 50 | *15 | - |

* Moghissi 1997

**العوالق ذات الأقطار الأقل من 10 ميكرون ($PM_{10}$):**

أوضحت نتائج القياسات (العودات وآخرون ،1999) أن تركيز العوالق ($PM_{10}$) كانت مرتفعة وفي المدن السورية كافة، وتفوق كثيراً الحدود المسموح بها (70 ميكروغرام/م$^3$) وبلغت: 222 و 287 و 202 و 157 و 118 ميكروغرام/م$^3$ في دمشق وحلب وحمص وطرطوس والسويداء على التتالي (الجدول 1 ).

تركيز العوالق ذات الأقطار الأقل من 3 ميكرون ($PM_3$) والأقل من 1 ميكرون ($PM_1$):

تتميز العوالق الأقل من 3 ميكرون، بأن معظمها ناتج عن الاحتراق غير الكامل للوقود الأحفوري، كما تتميز بتأثيراتها الصحية بالغة السوء، وذلك لأن الدفاعات التنفسية لا تحول دون وصولها إلى أعماق الرئتين، وتشكل خطورة في إحداث أمراض الجهاز التنفسي وإشاعة أمراض الربو، كما تدمص على سطحها العناصر المعدنية وبخاصة الرصاص.

كانت تراكيز العوالق ذات الأقطار الأقل من 3 ميكرون مرتفعة (الجدول 1) وبلغت معدل 115 و174 و92 و84 و68 ميكروغرام/م$^3$، وذلك في دمشق وحلب وحمص وطرطوس والسويداء على التتالي، كما بلغت 178 ميكروغرام/م$^3$ في الرقة و107 ميكروغرام/م$^3$، في دير الزور، وتفوق هذه التراكيز التركيز المقترح من قبل EPA في الولايات المتحدة الأمريكية وهو 15 ميكروغرام/م$^3$ بمرات عدة (Moghissi, 1997)، وشكلت العوالق ($PM_3$) نسبة بلغت نحو 23% من العوالق الكلية و 48% من العوالق $PM_{10}$ وذلك كمتوسط للمدن السورية كافة.

أما العوالق ذات الأقطار الأقل من ميكرون واحد PM1، فكانت مرتفعة أيضاً وبلغت قيمة تراوحت بين 37 ميكروغرام/م$^3$ في السويداء، و114 ميكروغرام/م$^3$ في حلب (الجدول 1).

**الغبار الصناعي:**

تلعب الصناعة دوراً هاماً في زيادة تركيز الغبار والعوالق في الهواء كصناعة الإسمنت والأسمدة والمحاجر وغيرها، وتعتبر صناعة الاسمنت واحدة من أهم الصناعات الملوثة للهواء بالعوالق، خاصة وأن بعض مصانع الاسمنت قريبة من المدن أو محاط بمناطق سكنية وزراعية، وقد أوضحت القياسات (العودات ورفاقة،2000، و2000) التي جرت في مناطق صناعة الإسمنت

الأساسية في سورية، إن تراكيز العوالق تفوق كثيراً الحدود المسموح بها سواء في المناطق المحيطة بهذه الصناعات أو في القرى المجاورة (الجدول 2 ). ومعروف أن الغبار Dust والعوالق الناتجة من صناعة الإسمنت ذات تأثيرات بالغة في زيادة الأمراض كالتهاب الشعب الهوائية Bronchitis، والانتفاخ الرئوي Emphysema، وزيادة تواتر نوبات الربو، وأمراض العيون وبخاصة الرمد (yang et al. 1996)، خاصة وأن الغبار الناتج من صناعة الإسمنت يحتوي على الكثير من العناصر المعدنية كالكالسيوم والسيليكون والرصاص والزرنيخ واليورانيوم والفاناديوم والزئبق وغيرها (Turbas 1991، Fukuzaki 1986).

الجدول 2 تراكيز العوالق في المناطق المحيطة بصناعة الإسمنت (ميكروغرام/م$^3$)

| المعمل | الموقع | تركيز العوالق الكلية TSP | تركيز $PM_{10}$ | $PM_3$ |
|---|---|---|---|---|
| معمل إسمنت طرطوس | منطقة المعمل | 1844-985 | 678-664 | 341-265 |
| | حصين البحر | 703-94 | 213-70 | 77-20 |
| | مساكن العمال | 1494-110 | - | - |
| معمل إسمنت حلب | شرق المعمل (1 كم) | 756-431 | 387-245 | - |
| | قرية الشيخ سعيد | 1067-691 | 273-202 | - |
| معمل إسمنت عدرا | حول المعمل | 4002-1685 | 807 | - |
| | مساكن عدرا | 497 | 168 | - |
| | بلدة عدرا | 688 | - | - |

لا يقتصر تأثير الغبار الإسمنتي في الصحة وإنما يتعداه إلى مكونات النظام البيئي كافة كالتربة والمياه والنباتات، وقد أوضحت الدراسات (العودات ورفاقه، 2000) إن إطلاقات معمل سماد طرطوس أدت إلى خفض مؤشرات النمو كافة في أشجار الزيتون التي خرج معظمها من الإنتاج، كما جف ومات عدد كبير من الأشجار (الجدول 3 ).

الجدول ( 4 ) تركيز الفلور في مكونات النظام البيئي للمنطقة المحيطة بمعمل السماد الفوسفاتي

| المكون | | التركيز مغ/كغ وزن جاف | التركيز الطبيعي مغ/كغ وزن جاف |
|---|---|---|---|
| التربة * | | 850-49 | الشاهد 30 |
| القمح | البذور | 28.9-13 | 5-1 |
| | كامل السنابل ** | 332-38 | |
| | القش ** | 471-150 | |
| البندورة | ثمار | 83.5-16 | |
| الجزر | جذور | 25-17.0 | |
| الملفوف | أوراق | 135 | |
| الفلور المرتبط مع العوالق (ميكروغرام/م***) | | 13.7-3.7 | آثار |
| الفلور الغازي ميكروغرام/م3) | | 6.39-1.78 | |
| مياه البحيرة المجاورة للمعمل | | 3.3-1.6 | 0.3-0.1 |

* الرقم الأول على مسافة 4000 م عن المعمل والرقم الثاني على مسافة نحو 500 من المعمل وللنباتات كافة.

** الحد المسموح به في النباتات العلفية 30 مغ/كغ وزن جاف.

*** الحد المسموح به في الهواء حسب WHO: 1 ميكروغرام/م$^3$

يوضح الجدول ( 4 ) أن تراكيز الفلور في مكونات النظام البيئي في المنطقة المحيطة بمعمل السماد الفسفاتي، وهي منطقة زراعية وسكانية، قد ينعكس سلباً في التربة والنباتات، وقد يؤدي تغذي السكان بالمنتجات الزراعية، وتنفس الهواء إلى تأثيرات صحية بالغة، ذلك أن الدراسات (Shashi, 2003، Xiang, 2003 et al.) أوضحت أن زيادة الاندخال اليومي Intake من الفلور

عن 5 مغ/يوم/شخص، ينعكس في خفض حاصل الذكاء Intelligence Quotient عند الأطفال، وإلى تأثيرات سمية في الجملة العصبية تؤدي إلى الرعاش Tremors ونوبات من الصرع Seizures، وإلى أمراض التسمم الفلوري Fluorosis للهيكل العظمي.

**أسباب زيادة تركيز العوالق في الهواء:**

**يعود** ارتفاع تركيز العوالق الكلية في المدن السورية لأسباب مختلفة أهمها أنها **توجد في** مناطق جافة أو شبه جافة، ويحيط بها مناطق زراعية أو مناطق خرب فيها **الغطاء** النباتي، وبالتالي يشكل حت وتعرية التربة مصدراً هاماً للغبار كما **يحيط** بمعظم هذه المدن صناعات مختلفة لا تراعي الاعتبارات البيئية كصناعة الإسمنت والمحاجر وغيرها، إضافة لحركة وسائط النقل والنشاطات البلدية والبناء، مما يشكل مصدراً مهماً يزيد من تركيز العوالق الكلية. أما ارتفاع تركيز العوالق التنفسية ($PM_3$, $PM_{10}$) في المدن السورية حتى الصغيرة منها، فيعود إلى عوامل عدة وربما أهمها وسائط النقل والتي معظمها من النوع القديم (انظر الجدول 14). وبالتالي فإن كفاءة الاحتراق في محركاتها منخفضة، كما أن عدداً كبيراً منها، وبخاصة وسائط النقل العام من حافلات كبيرة أو صغيرة، يعمل بالديزل الذي يعتبر المسؤول الأول عن انطلاق العوالق التنفسية إذ تنبعث منها العوالق بقدر يزيد بين 30 و 50 مرة عن وسائط النقل العاملة بالبنزين هذا إضافة إلى وسائط التدفئة – والتي لا يزال معظمها من النوع البدائي – والصناعات المختلفة الموجودة في المدن أو في المناطق المحيطة بها، والتي لا تراعي في معظمها الاعتبارات البيئية ومن أهم الصناعات صناعة الاسمنت، ويضاف إلى ذلك عدم وجود أحزمة خضراء تحيط بالمدن، وكذلك انخفاض المساحات المشجرة داخل المدن والتي يجب أن لا تقل مساحتها عن 40% من مساحة المدينة، وتؤدي هذه العوامل مجتمعة إلى ارتفاع تراكيز العوالق في المدن كافة.

تأثير العوالق:

أوضحت الدراسات (Schneider, 1999, 2000, WHO, 2004) أن العوالق من أكثر ملوثات الهواء تأثيراً في مكونات النظام البيئي، ويتوقف تأثير العوالق على حجمها ذلك أن حجمها يحدد سلوكها أثناء حملها بوساطة الرياح، والمسافة التي يمكن أن تصل إليها والتأثيرات التي تحدثها في المجاري التنفسية والعيون والنباتات والحيوانات والمنشآت الصناعية والأوابد الأثرية، وأثاث المنازل والأدوات الكهربائية والإلكترونية وغيرها.

يعتبر العوالق ذات الأقطار الأقل من 10 ميكرون ($PM_{10}$) هي الأكثر خطورة وذلك لأنها تبقى فترة طويلة معلقة في الهواء، وتترسب ببطء، كما أنها تحدث أكبر ضرر في الصحة، وبخاصة العوالق ذات الأقطار الأقل من 2.5 ميكرون

($PM_{2.5}$) التي تستطيع اختراق الدفاعات الأنفية وتصل إلى الحويصلات الرئوية (Pope et al., 1991). وينتج تأثير العوالق من كونها سامة بذاتها او تشكل عقبة في طريق ذهوية الجهاز التنفسي أو تمتص بعض المواد السامة.

وتؤثر العوالق، منفردة أو مشتركة مع ملوثات الهواء الأخرى، من خلال ملامستها للجلد والعيون، وتوغلها داخل الجهاز التنفسي محدثة الأمراض المختلفة وبخاصة التهاب الشعب الهوائية، والانتفاخ الرئوي وزيادة تواتر نوبات الربو، والأزمات القلبية Heart attacks والقبول بالمستشفيات Hospital admission والموت المبكر (Bascom et al., 1996 WHO, 2000) ، كما تؤدي العوالق إلى انخفاض معنوي في السعة الحيوية القسرية (FVC) Forced Vital Capacity، والحجم الزفيري القسري (FEV) Forced Expiratory Volume والتدفق الزفيري القسري (FEF) Forced Expiratory Flow.

كما بينت الدراسات (Schneider, 2004,) أن التعرض المديد للعوالق التنفسية $PM_{10}$ يزيد من أخطار موت الأشخاص الذين يعانون من أمراض قلبية وتنفسية وسرطانات رئوية، ويخفض العمر المتوقع بمعدل متوسط قدره 2 إلى 3 سنوات وإلى 14 عاماً عند السكان الذين يعيشون بالقرب من محطات الطاقة التي تعمل بالفحم الحجري وبينت دراسة Pope et al.)2004)، أن اكثر من 60 ألف يموتون بشكل مبكر نتيجة التعرض للعوالق التنفسية في الولايات المتحدة الأمريكية كما يعتبر Schwartz (2002) أن الرقم الحقيقي أعلى من ذلك بكثير، وبينت دراسة Pope et al. ( 2002)) إن كل زيادة في تركيز العوالق التنفسية $PM_{10}$ قدرها 10 ميكروغرام/م$^3$ تزيد من خطورة الإصابة بسرطان الرئة بمعدل نحو 8%.

أوضحت الدراسات التي جرت في الصين (Auman and Pan, 2004) أن التعرض غير المديد إلى زيادة قدرها 10 ميكروغرام/م3 من العوالق التنفسية تؤدي إلى:

- زيادة موت مرضى الجهاز التنفسي بمعدل 6 أشخاص لكل 1000 مريض.
- زيادة موت مرضى القلب بمعدل 4 أشخاص لكل 1000 مريض.

أما التعرض المديد فيزيد من الأمراض الصدرية بمعدل 3.1% عند البالغين و 4.4% عند الأطفال.

وبنتيجة هذه التأثيرات المقلقة والتي توضح أن زيادة تركيز العوالق التنفسية $PM_{10}$ في الهواء تنعكس في خفض متوسط العمر لعموم الناس بمعدل 2-3 سنوات وتزيد من الأمراض الصدرية والقلبية والسرطانات الرئوية، والتي لوحظت عند التعرض المديد لتراكيز سنوية تقل عن 30 ميكروغرام/م3 للعوالق $PM_{10}$ و 20 ميكروغرام/م3 للعوالق $PM_{2.5}$ فإن منظمة الصحة العالمية (2000,WHO) لا تنصح بمعايير سنوية أو يومية، وذلك لأن أية زيادة في تركيز العوالق تفوق الخلفية الطبيعية تنعكس سلباً في الصحة، كما يوضح Vedal (2003) et al. أن ليس هناك عتبة دنيا لتركيز العوالق التنفسية تفوق الخلفية الطبيعية لا تؤدي إلى تأثيرات سلبية، وبخاصة عند مرضى الجهاز التنفسي والجهاز القلبي الوعائي، هذا وان المعايير السورية لتركيز العوالق التنفسية $PM_{10}$ هي: 100 ميكروغرام/م$^3$ كمتوسط يومي (24 ساعة)، و 50 ميكروغرام/م$^3$ كمتوسط سنوي أما المعايير السورية للعوالق الكلية TSP فهي: 240 ميكروغرام/م3 كمتوسط يومي، و 150 ميكروغرام/م3 كمتوسط سنوي.

وبالرغم من النقص في الإحصائيات التي تمكن من التنبؤ بحجم تأثير التلوث الهوائي وبخاصة التلوث بالعوالق في الصحة أمراً صعباً، فان بعض المؤشرات غير المباشرة وبخاصة في المواقع الملوثة وحول معامل الإسمنت، تشير إلى التأثيرات السلبية للتلوث بالعوالق والملوثات الأخرى:

- فقد أوضحت دراسة لوزارة البيئة ( 1999 ) أن التراكيز المرتفعة للملوثات الهوائية وخاصة العوالق، أدت في بعض مناطق دمشق القديمة، إلى شكايات

مرضية متعددة، وبين المسح الصحي والفحوص السريرية والصور الإشعاعية أن نسبة الإصابة بالأمراض الصدرية والعينية والجلدية كانت مرتفعة (الجدول 5 )

الجدول( 5) نتائج المسح الصحي في دمشق القديمة (شارع مدحت باشا)

| الشكايات | المرض | عدد الأشخاص من العدد الكلي وهو 125 شخصاً | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ضمن السوق | شرق السوق بـ 100 م | غرب السوق بـ 100 م |
| صدرية | التهاب قصبات مزمن | 25 | 7 | 6 |
| | التهاب قصبات تحسسي | 25 | 0 | 0 |
| | تليف رئوي | 3 | 0 | 0 |
| | ربو قصبي | 4 | 0 | 0 |
| | سعال مزمن | 8 | 2 | 3 |
| | التهاب طرق تنفسية علوية | 9 | 0 | 0 |
| عصبية | صداع مزمن | 20 | 6 | 3 |
| عينية | التهاب ملتحمة | 40 | 4 | 3 |
| جلدية | تحسس جلدي | 2 | 2 | 2 |
| | التهاب جلدي | 3 | 2 | 1 |
| أذنية | نقص سمع مثبت | 8 | 7 | 5 |
| | طنين أذن | 7 | 7 | 5 |
| | التهاب جيوب | 6 | 0 | 0 |

* وجدت وزارة الصحة (1995) أن إصابات الجهاز التنفسي في المناطق الملوثة تفوق مثيلاتها في المناطق النظيفة بـ 3 إلى 4 مرات.
* أظهرت إحصائيات مركز طرطوس الصحي أن 76% ممن راجعوا المركز يعيشون بالقرب من معمل إسمنت طرطوس، كما تبين أن 51% ممن راجعوا مركز بانياس الصحي يعيشون بالقرب من معمل توليد الطاقة ومصفاة النفط بينما كانت نسبة المراجعين في العينة المرجعية نحو 14%.
* تشير الاستراتيجية الوطنية لحماية البيئة أن نحو 4000 شخص يمكن أن يموتوا سنوياً بسبب التراكيز المرتفعة من العوالق فقط.

الرصاص:

أصبح الرصاص، في الوقت الحالي، من أهم العناصر المعدنية الثقيلة الملوثة للبيئة الخارجية ولأجواء العمل، وتعتبر وسائط النقل العاملة بالبنزين المرصص المصدر الرئيس لتلوث الهواء بالرصاص، ذلك أن الرصاص يضاف إلى البنزين لزيادة كفاءة محركات السيارات، ولمقاومة ظاهرة الخبط Knoking، التي تحدث داخل المحرك وبالرغم من أن كمية الرصاص المضافة إلى البنزين لا تزيد عن 2.2% من كمية الرصاص المستعملة في العالم، إلاّ أن الرصاص المنطلق من احتراق البنزين المرصص يشكل نحو 90% من إطلاقات الرصاص في الوسط المحيط (WHO 1987, world Resources, 1999)، وتختلف كمية الرصاص المضافة إلى البنزين من بلد لآخر وتتراوح بين 0.15 و 0.8 غ/لتر، بالرغم من أن أكثر من 14 دولة في العالم استبعدت كلياً إضافة الرصاص إلى الوقود (world Resources 1999) أوضحت القياسات(العودات ورفاقه، 1997,Othman et al.1999 ) أن تركيز الرصاص في مدينة دمشق (قبل وقف إضافة الرصاص إلى الوقود) وفي مدينة حلب(الجدول 6) كانت أعلى من الحدود المسموح بها وبخاصة في المناطق الصناعية كالإحدى عشرية

في دمشق (نحو 3 ميكرو غرام/م$^3$) ومنطقة الشيخ سعيد في حلب (نحو 6 ميكرو غرام/م$^3$)، علما أن التركيز المسموح به من قبل WHO حاليا هو 0.5 ميكرو غرام/م$^3$. ويوضح الجدول ( 7 ) أن تركيز الرصاص المتحصل بشكل ملحوظ بعد وقف إضافة المركبات الرصاصية في مدينة دمشق (العودات ورفاقه، 2001 ) وأصبح مماثلا أو دون الحدود المسموح بها من قبل منظمة الصحة العالمية (0.5 ميكرو غرام/م$^3$).

هذا ومما يجدر ذكره أن كمية الرصاص التي ترتبط بالعوالق التنفسية ($PM_{10}$) تراوحت بين 66 و 80% من كمية الرصاص الكلية الموجودة في الهواء، كما تراوحت الكمية المرتبطة بالعوالق الدقيقة ($PM_2$) بين 50 و 70% والمرتبطة مع العوالق ذات الأقطار الأقل من ميكرون ($PM_1$) ما بين 38 و 54.5% من كمية الرصاص الكلية في الهواء وهذا يعني أن القسم الأكثر من الرصاص الموجود في الهواء يمكن أن يصل إلى الأنسجة الرئوية ويمتص في الرئتين ويصل إلى الدم.

الجدول ( 6 ) تراكيز الرصاص (ميكرو غرام/م$^3$) في بعض المدن السورية

| المدينة | الموقع | تركيز الرصاص المرتبط مع | | |
|---|---|---|---|---|
| | | TSP | $PM_{10}$ | $PM_2$ |
| دمشق | المحافظة | *1.03±0.94 | 0.79±0.25 | 0.68±0.37 |
| | | **(4.24-0.5) | (1.1-0.4) | (1.22-0.31) |
| | الإحدى عشرية | 2.96±1.1 | - | - |
| | | (4.8-1.5) | - | - |
| حلب | باب الفرج | 1.53±1.31 | 1.1±0.49 | 0.91±0.08 |
| | | (5.9-0.43) | (1.86-0.52) | (1.1-0.28) |
| | الشيخ سعيد | 6.61±7.8 | 0.66±0.29 | - |
| | | (15.05-2) | - | - |
| حمص | مركز المدينة | 0.52±0.14 | 0.4±0.27 | 0.35±0.03 |
| | | (0.85±0.26) | (0.44-0.37) | (0.38-0.31) |
| طرطوس | الكراجات | 0.35±0.17 | 0.28±0.12 | 0.2±0.11 |
| | | (0.69-0.16) | (0.42-0.14) | (0.35±0.09) |
| السويداء | ساحة السير | 0.25±0.15 | 0.19±0.05 | 0.16±0.03 |
| | | (0.67-0.08) | (0.24-0.11) | (0.19-0.12 |
| الرقة | مركز المدينة | 0.42±0.11 | - | - |
| | | (0.5-0.3) | - | - |
| دير الزور | | 0.34±0.04 | - | - |
| | | (0.41-0.3) | - | - |

* متوسط التركيز ** مجال التركيز

الجدول (7) تأثير وقف إضافة الرصاص إلى البنزين في تركيز الرصاص في الهواء في مدينة دمشق(ميكروغرام/م$^3$)

| الموقع | الخريف | | الشتاء | |
|---|---|---|---|---|
| | * قبل | ** بعد | قبل | بعد |
| المحافظة | 1.63±1.53 | 0.59±0.15 | 1.02±0.51 | 0.28±17 |
| ساحة العباسين | 1.42±1.29 | 0.58±0.09 | 0.79±0.23 | 0.26±0.23 |
| المزة | 0.77±0.35 | 0.33±0.12 | 0.73±0.34 | 0.17±0.11 |
| الإحدى عشرية | - | 3.0±2.5 | 2.7±0.2 | 4.04±1.9 |

*1996 ** 1999

تأثير الرصاص:

يؤدي وجود الرصاص في البيئة، وانتقاله إلى الإنسان بطريق التنفس أو تناول الخضار والفاكهة والمواد الغذائية الأخرى الملوثة به، إلى مخاطر صحية كبيرة تتوقف على مكان الإقامة وطبيعة العمل والعمر وغيره، علماً أن امتصاص الرصاص يختلف في الجهاز الهضمي عنه في الجهاز التنفسي، كما يختلف أيضاً تبعاً للعمر، وتشير معطيات WHO (1987، 2000) إلى أن نحو 40% من الرصاص الموجود في الهواء يمتص في الجهاز التنفسي سواء للأطفال أو البالغين، أما في الجهاز الهضمي فلا يزيد امتصاص الرصاص عن 10% عند البالغين، ولكنه يصل إلى 50% عند الأطفال، وبالتالي فإن خطره على الأطفال يفوق خطره على البالغين.

يتوزع الرصاص الممتص، سواء في الجهاز التنفسي أو الجهاز الهضمي في الدم والأنسجة الرخوة Soft tissues والأنسجة المتمعدنة Mineralizing tissues (العظام والأسنان)، ويتوضع نحو 90% من الرصاص الممتص في العظام عند البالغين ونحو 70% عند الأطفال (Barry,1981) كما يرتبط نحو 99% من الرصاص الموجود في الدم بالكريات الحمر علما أن عمر النصف Half life للرصاص في الدم يتراوح بين 20 و 40 يوماً (Fllaherty, 1982)، ويصل إلى عدة سنوات في العظام (1976 Rabinowitz).

تأتي أخطار الرصاص من تداخله مع الجمل الأنزيمية Enzyme systems وتأثيراته الصحية بالغة وخاصة في البناء الحيوي للهيم Heam biosynthesis وفي الجملة العصبية، ويؤدي إلى تسمم الدماغ والكلى وأعضاء التكاثر والجملة العصبية القلبية ويؤدي إلى خفض حاصل الذكاء (IQ) عند الأطفال إذا وجد في الدم بتركيز 10 ميكروغرام/ ديسل( Schwartz 1994، WHO 1995) ويترافق ارتفاع تركيز الرصاص في الدم مع تصرفات عدوانية واضطراب في التركيز والانتباه وإهمال في الواجبات الدراسية، وبخاصة عند الأطفال بعمر 6-11 سنة (1996, Needleman)، أما عند الكبار فيترافق بارتفاع في ضغط الدم واضطرابات قلبية وعائية.

**الحدود المسموح بها:**

تشير معايير منظمة الصحة العالمية لعام 1987 (1987, WHO) إلى أن المتوسط السنوي لتركيز الرصاص في الهواء يجب أن يكون في حدود 0.5-1 ميكروغرام/م$^3$ وأن لا يزيد عن 20 ميكروغرام/ديسل في الدم، ولكن الدراسات الحديثة ( WHO, 1995, Silbergeld, 1994, Schwaiez 2000, 1999) إلى أن مستويات الرصاص في الدم التي تفوق الـ 10 ميكروغرام/م$^3$

تحمل أخطاراً صحية ملموسة وخاصة للأطفال، ويعتقد Silbergeld (1996) أنه لا يوجد عتبة (تفوق الخلفية الطبيعية) لتركيز الرصاص، لا يحدث دونها تأثيرات سلبية، وأن مستويات الرصاص في الدم والتي تتراوح بين 5 و 10 ميكروغرام/ديسل، يمكن أن تسبب مشاكل صحية وخاصة للأطفال.

توصي المعايير الحديثة لمنظمة الصحة العالمية (WHO, 2000, 1999) أن لا تزيد مستويات الرصاص في دم 98% من السكان عن 10 ميكروغرام/ديسل وأن لا يزيد متوسط تركيز الرصاص في الدم عن 5.4 ميكروغرام/ديسل، كما يجب أن لا يزيد المتوسط السنوي لتركيز الرصاص في الهواء عن 0.5 ميكروغرام/م$^3$ علماً أن المعايير السورية تحدد المتوسط السنوي لتركيز الرصاص بـ ميكروغرام/م$^3$ (وزارة البيئة 2003).

**4-3-6 الدقائق المعلقة Suspended Particles:**

تلعب الدقائق الصلبة والسائلة المعلقة في الهواء دوراً مهماً في الظواهر والتفاعلات الكيميائية التي تحدث في الغلاف الجوي، حيث تتفاعل هذه الدقائق مع بعضها البعض ومع الغازات الموجودة في الغلاف الجوي وتؤدي إلى تحولات مهمة مثل أكسدة غاز $SO_2$ إلى $SO_3$ وتشكل ظاهرة الضخان المذكورين سابقاً. تؤثر الدقائق المعلقة في الهواء أيضاً على

كمية الطاقة الشمسية الواصلة إلى سطح الأرض حيث تعكس جزءاً منها إلى الفضاء وتخفض بالتالي كمية المياه المتبخرة من السطح ومحتوى الغلاف الجوي من الماء ودرجة حرارة الأرض. تشير المعلومات المسجلة عن تاريخ معدل درجة الحرارة على الأرض أن بركان جبل بيناتبو Mt. Pinatubo الذي انفجر في عام 1991 مطلقاً كمية كبيرة من الدقائق إلى الغلاف الجوي أدى إلى انخفاض معدل درجات الحرارة على الأرض بحوالي 0.5°C. وفي المقابل، تمتص الدقائق المعلقة في التروبوسفير جزءاً من الأشعة المنطلقة من سطح الأرض إلى الفضاء وتطلقها بشكل عشوائي في جميع الاتجاهات وبالتالي تسخن الغلاف الجوي.

تقوم الدقائق المعلقة في الهواء أيضا بدور النواة التي يتكثف حولها بخار الماء في التروبوسفير إلى قطرات لتشكل الغيوم والهطولات المطرية، وتطلق خلال هذه العملية كمية كبيرة من الطاقة إلى الغلاف الجوي، حيث تلعب دوراً رئيساً في تشكل العواصف. كما تظهر الدقائق المعلقة في الهواء التي تمتص قطرات الماء على سطحها على شكل ضباب يعيق الرؤية ويسبب تغير زرقة السماء إلى الأبيض نتيجة تشتت الضوء بواسطة هذه الدقائق.

يختلف حجم الدقائق المعلقة في الهواء اختلافاً كبيراً تبعاً لمصدرها وطرق تشكلها، حيث تتراوح أبعاد الدقائق من عدة نانوميترات ($1nm = 10^{-9}m$) إلى أجزاء من المليميتر، وتعد الدقائق التي يقل قطرها عن 10 µm ($PM_{10}$) أكثر أهمية من وجهة النظر البيئية من الدقائق ذات القطر الأكبر لأنها تبقى معلقة في الهواء بشكل دائم تقريباً بينما تتساقط الدقائق ذات القطر الأكبر من 30µm بسرعة إلى سطح الأرض. بالإضافة إلى ذلك، تشير دراسات عديدة إلى أن الآثار الضارة في الصحة العامة للدقائق ذات القطر الأصغر من 2.5µm أكبر بكثير منها للدقائق الكبيرة كما نبين في فقرة قادمة الآثار البيئية للدقائق المعلقة.

يختلف مصدر وطريقة تشكل الدقائق الصغيرة جداً المعلقة في الهواء عن الكبيرة منها، فبينما تأتي معظم الدقائق الكبيرة من تفتت الأجسام الصلبة كالأحجار والرمال والتربة وغبار الطلع، وغالباً ما تحوي على أكاسيد السيليكون والألمنيوم والمغنزيوم والكالسيوم الواسعة الانتشار في قشرة الأرض، بالإضافة إلى مركب الصوديوم كلوريد ذي المنشأ البحري والبقايا العضوية كغبار الطلع وبقايا الحشرات، تتشكل الغالبية

العظمى من الدقائق الصغيرة جداً من تكثف الغازات المنطلقة إلى الهواء ومن التفاعلات الكيميائية التي تجري في الغلاف الجوي، وغالباً ما تحوي أملاح السلفيت والنيترات وعنصر الكريون والمركبات العطرية المتعددة الحلقات بالإضافة إلى دقائق المعادن الثقيلة كالرصاص والنيكل والنحاس والحديد وغيرها.

تعد البراكين وحرائق الغابات والتربة والرمال المتطايرة بواسطة الرياح والأملاح المتطايرة من البحار والمحيطات وغبار الطلع من أهم المصادر الطبيعية للدقائق المعلقة في الغلاف الجوي، أما المصادر غير الطبيعية فهي محركات الآليات وخصوصاً التي تعمل على وقود الديزل ومعامل توليد الطاقة وبعض الصناعات كصناعة الإسمنت ومعامل حرق القمامة والمخلفات الصناعية وعمليات التعدين وورش البناء.

يصنف علماء البيئة الدقائق المعلقة الناتجة عن النشاطات الإنسانية إلى أنواع حسب تركيبها الكيميائي ومصدرها من أجل دراستها واكتشاف أفضل السبل لمنع انطلاقها وخصوصاً الدقائق الصغيرة $PM_{10}$ التي تلعب دوراً بيئياً مهماً بسبب صغر حجمها وارتفاع نسبة السطح الكلي إلى كتلة هذه الدقائق، مما يزيد من قدرتها على امتزاز الغازات والسوائل على سطوحها وعلى لعب دور الوسيط في التفاعلات الكيميائية التي تجري في الغلاف الجوي.

أ . **الدقائق اللاعضوية:** تشمل الدقائق اللاعضوية أكاسيد المعادن والتي تسمى عادة بالرماد المتطاير Fly Ash التي تنطلق إلى الهواء عند حرق الوقود الأحفوري، وخصوصاً الفحم الحجري الذي يحوي نسبة ضئيلة من المعادن كالزئبق والفناديوم والألمنيوم والكالسيوم والسيليكون والحديد الذي يوجد في الفحم على شكل فلز البيريت الحاوي على $FeS_2$ كما ذكرنا سابقاً، والذي يتحول إلى أكسيد الحديد عند حرقه والكالسيوم الذي يوجد على شكل كربونات الكالسيوم والتي تطلق دقائق أكسيد الكالسيوم:

$$3\ FeS_2 + 8\ O_2 \longrightarrow Fe_3O_4 + 6\ SO_2 \quad (36)$$

$$CaCO_3\ heat \longrightarrow CaO + CO_2 \quad (37)$$

يبقى معظم الرماد الناتج عن احتراق الفحم داخل حجر الاحتراق على شكل كتل صلبة لا تسبب مشاكل تلوث ولكن الدقائق الصغيرة جداً الأكثر خطراً على صحة الإنسان والبيئة تتسرب إلى الهواء مع الغازات الناتجة عن الاحتراق من خلال المداخن رغم

أجهزة الفلترة التي تستعمل لاصطياد الدقائق الصلبة والتي تفشل عادة في حجز الدقائق الصغيرة جداً التي يقترب حجمها من حجم الجزيئات.

ونميز من الدقائق اللاعضوية أيضاً قطرات حمض الكبريت وأملاح السلفيت التي تشكلت نتيجة أكسدة غاز ثاني أكسيد الكبريت إلى ثالث أكسيد الكبريت والذي يتفاعل مع بخار الماء مشكلاً حمض الكبريت. يتفاعل حمض الكبريت كما ذكرنا سابقاً مع غاز الأمونيا في الهواء مولداً دقائق صلبة من الأمونيوم سلفيت، ومن الدقائق اللاعضوية الصلبة التي أشرنا إليها سابقاً ملح الأمونيوم نيترات المتشكل من تفاعل حمض النيتريك مع غاز الأمونيا.

تساهم عمليات البناء والتعمير بقسط وافرمن الدقائق اللاعضوية المنطلقة إلى الهواء والتي تتكون بشكل أساسي من أكاسيد المعادن كالسليكون والألمنيوم، ولكن هذه الدقائق الناتجة عن عمليات ميكانيكية كالحفر وتكسير الصخور تكون عادة كبيرة الحجم نسبياً، وهي النوع الأقل خطراً على الصحة العامة رغم أنها تشكل خطراً صحياً مهماً لعمال البناء الذين يتعرضون لهذه الدقائق لعدة ساعات يومياً.

**ب. الدقائق العضوية:** يضم القسم الأعظم من الدقائق العضوية المعلقة المواد الناتجة عن الاحتراق غير الكامل لوقود الديزل في محركات الشاحنات والآليات التي تعمل بالوقود الثقيل بشكل رئيس، ومحركات السيارات التي تعمل على وقود الغازولين بشكل أقل. تتكون هذه الدقائق والتي يقع قطر معظمها ضمن المجال الأقل من 1µm من عنصر الكربون الذي يمتز على السطح أنواعاً عديدة من المركبات العضوية. تعد الألكينات ومشتقات حمض البنزويك والبنزألدهيد وبعض مركبات الكبريت والآزوت العضوية والمركبات العطرية المتعددة الحلقات المهمة والتي سيأتي ذكرها في الفصل السابع من المركبات العضوية السامة في البيئة ومن أهم هذه المركبات التي تلاحظ في البيئة في الوقت الحالي.

**ج. المعادن السامة:** تضم المعادن السامة التي توجد في الغلاف الجوي على شكل دقائق معلقة مثل البريليوم والرصاص والزئبق والكادميوم والكروم، وتأتي معظمها من حرق الفحم والغازولين الحاوي على الرصاص ومن معامل حرق القمامة والفضلات الصناعية بالإضافة إلى بعض الصناعات مثل الصناعات المعدنية والمعدات الإلكترونية التي تطلق عنصر البريليوم. وتشكل دقائق معدن الرصاص المعلقة في الهواء داخل الأبنية

ومما يؤسف له أن مستويات الضجيج كانت مرتفعة في مناطق المدارس والمستشفيات وتراوحت في المناطق التي توجد فيها المستشفيات الرئيسة بين 74.2 و 77.8 ديسيبل-A، كما تراوحت داخل حرم المستشفيات بين 60.9 و 67.9 علماً أن الحد المسموح به هو 45-ديسيبل-A.

**الجدول ( 8 ) متوسط مستويات الضجيج (ديسيبل-A) في مدينتي دمشق وحلب**

| المدينة / المواقع | دمشق | دمشق القديمة | حلب | الحدود المسموح بها* |
|---|---|---|---|---|
| تغلب عليها الصفة السكنية | 79.9-60.1 | 74.7-71.6 | 74.6 | 55 |
| تجارية - سكنية | 76.0-70.3 | 74.7-71.6 | 72.8-70.7 | 60 |
| تجاري | - | 77.8-65.8 | 76.3-71.0 | 65 |
| صناعية | 87.0-73.9 | - | 77.1 | 70 |
| سوق النحاسين | 94.0-86.3 | - | - | - |
| سياحي | 67.8 | - | 68.0 | 50 |

* الحدود المسموح بها نهاراً، أما ليلاً فهي أقل من ذلك بـ 10 ديسيبل-A.

الجدول ( 9 ) متوسط مستويات الضجيج (ديسيبل-A) في بعض المستشفيات في مدينة دمشق

| الموقع / المستشفى | خارج حرم المستشفى | داخل حرم المستشفى | بجانب غرف المرضى |
|---|---|---|---|
| الفرنسي | 76.6 | 63.7 | 55.5 |
| المجتهد | 77.8 | 67.9 | 68.6 |
| الرازي | 74.2 | 60.9 | 60.7 |
| الطلياني | 75.8 | 62.4 | 58.1 |
| **الحدود المسموح بها** | **55** | **45** | **40** |

## تأثير الضجيج:

معروف منذ القدم، أن الأصوات المرتفعة والضجيج هي مصدر خوف للإنسان وقد ارتبطت الظواهر الطبيعية المخيفة، كالأعاصير والزلازل والرعود بالأصوات المرتفعة، وأثارت خوف الإنسان، وقد استعملت بعض الشعوب الضجيج في الحروب، ولازالت بعض القبائل البدائية تستعمل الضجيج لإخافة العدو وإثارة الرعب.

تتوقف أضرار الضجيج على مستوياته ومدته وتكراره، وعلى ما يمكن تسميته بالنتوءات الصوتية، وهي المستويات الأعلى من مستويات الضجيج السائدة كما يتوقف تأثير الضجيج على عمر الإنسان ومزاجه ووضعه الصحي (1995, 2000, WHO, 1996, Lercher) إلى أن أهم التأثيرات الناجمة عن الضجيج هي: العجز السمعي، والأمراض القلبية الوعائية، كارتفاع ضغط الدم (1995 Berglund) and Lindvall) والاعتلال القلبي( 1999, Babisch)

واضطرابات الجهاز الهضمي، وتغير تركيب الدم والبول وزيادة إفراز الكورتيزون والأدرينالين (1986, Nikitin and Novikov) وزيادة سرعة الغضب وخفض الأداء وغيرها، وتزداد التأثيرات السلبية للضجيج إذا ترافق مع إجهادات أخرى، وبخاصة تلوث الهواء بالغازات والعوالق (2001 Klaeboe et al)، ويعتقد أن هذه التأثيرات تحدث عندما تزيد مستويات الصخب الخارجي عن الحدود المسموح بها (الجدول 8 ).

النفايات الصلبة:

تشير البيانات أن كمية النفايات الصلبة المتولدة في سورية تصل إلى 10000 طن/يوم ويلقى قسم كبير من النفايات الصلبة التي يجري جمعها في العديد من المراكز الحضرية في مقالب مكشوفة لا تبعد، في كثير من الأحيان عن التجمعات السكانية بأكثر من عدة كيلومترات، وقد يترتب على ذلك جملة من المشاكل لعل أهمها:

- تشكل المقالب المكشوفة وسطاً ملائماً لنمو الأحياء الدقيقة الممرضة والذباب والحشرات الزاحفة والقوارض، وانتشار الحيوانات الشاردة كالكلاب والقطط ويمكن أن يشكل قدماً واحداً من القمامة وسطاً مناسباً لحياة وتوالد نحو 70 ألف ذبابة، ومعروف أن كثيراً من الجائحات المرضية مرتبط بالقوارض والذباب والعديد من الحشرات، التي تشكل وسطاً مناسباً لنموها وتكاثرها.

ا يزيد الأمر سوءاً التنقيب والنبش في القمامة،حيث يقوم عدد كبير من الأشخاص بنبش المخلفات الصلبة وجمع المواد الموجودة فيها،مثل بعض المواد العضوية التي تصلح غذاء للحيوانات والدواجن،وبقايا الخبز المواد البلاستيكية والمعدنية وغيرها ويجري ذلك في الحاويات قبل ترحيل القمامة أو في المقالب المكشوفة، ويحمل هذا الأمر جملة من التأثيرات بقدر أن القمامة بذاتها أو الكائنات التي تعيش عليها تؤدي

إذا تسبب احتقان الأغشية المخاطية والدماغ وتهيج العيون، إضافة إلى استثارة الربو والتهاب القصبات والسعال وغيرها.

الشكل (1) مخطط مبسط للتفاعلات المؤدية لتشكل الضباب الدخاني

Vesilind, 1982

$NO_2$ + Light ⟶ NO + O

O + $O_2$ ⟶ $O_3$

O + HC ⟶ HCO*

(Radical)

HCO* + $O_2$ ⟶ $HCO_3$ (Radical)

$HCO_3$* + HC ⟶ Aldehydes,

Ketones, etc.

$HCO_x$ + $NO_2$ ⟶ Peroxy acyl

nitrates

وأهم هذه الملوثات هي الآتية:

ثاني أكسيد الكبريت $SO_2$: تشير نتائج القياسات قصيرة الأمد التي جرت لفترات متقطعة خلال عقد التسعينات، في عدة مواقع من بعض المدن السورية إلى تجاوز قيم المتوسطات الساعية واليومية الحدود القياسية المسموح بها في كل من مدن دمشق وحمص وحلب(الجدول 10)، وفي المناطق القريبة من المنشآت الصناعية مثل حمص وبانياس. ويبين الجدول 11 نتائج بعض القياسات المتوسطة الأمد والتي نفذت - خلال العام 2000 - 2001 في موقع ساحة المحافظة في مدينة دمشق، إلى ارتفاع تراكيز $SO_2$ إذ وصلت قيمة المتوسط الساعي إلى 0.245 ppm، وهي أعلى بمقدار الضعف من الحد المسموح به (0.134 ppm)، وبلغ عدد المرات التي تجاوز فيها المتوسط الساعي الحد المسموح به 142 مرة، وهو أعلى بكثير من عدد التجاوزات المسموح بها (24 مرة خلال العام وفقاً لمعايير منظمة الصحة العالمية ومواصفة الاتحاد

إلى نحو 22 مرضاً، بما فيها فيروس التهاب الكبد الوبائي B و C ( Hepatitic B and C virusis)، كما تشكل الحقن وما فيها من بقايا الأدوية وما تحملة من أمراض مصدراً للأمراض والالتهابات لكل من يتعامل مع النفايات الصلبة (WHO، 1995،1996).

* تشكل الحرائق في المقالب المكشوفة مشكلة حقيقية، يصعب السيطرة عليها في معظم الأحيان، لدرجة أن معظم المقالب المكشوفة تعاني من عمليات الاحتراق وتشكل الدخان الذي يلوث البيئة المحيطة، وانتشار الروائح غير المستحبة وتطاير الغبار، هذا إلى جانب أكاسيد الكبريت والآزوت وكلور الهيدروجين HCL والعناصر الثقيلة كالكادميوم والزئبق والرصاص والنيكل والنحاس وغيرها.

**تحمل** الرياح كثيراً من مكونات المقالب المكشوفة، وبخاصة أكياس البلاستيك **والورق** وغيرها، وتنشرها على مساحات واسعة، الأمر الذي يجعل من مواقع تواجد المقالب أمكنة مشوهة للنواحي الجمالية، كما تؤدي إلى تلوث البيئة مما تنعكس سلباً في السياحة وبالتالي في الاقتصاد الوطني.

تطرأ **على** النفايات الصلبة، في المقالب المفتوحة غير الصحية الموجودة **في الحاويات** جملة من التغيرات البيولوجية والكيمائية، وينتج عن عمليات **التحلل** الهوائي واللاهوائي للمركبات العضوية منتجات سائلة (الرشاحة Leachate) وبخاصة عندما تتعرض النفايات الصلبة للأمطار أو أي مصدر مائي آخر، وتؤدي الرشاحة إلى تلوث الهواء والمياه السطحية والجوفية.

- ومما يزيد الأمر سوءاً أن بعض النفايات الطبية (نفايات المستوصفات والمراكز الطبية والعيادات) لا تزال تلقى في حاويات جمع القمامة وتشمل هذه النفايات الطبية الأنسجة والغيارات الملوثة والأدوات الحادة والحقن والمواد الكيمائية وغيرها، ولا تخفى الأخطار الناجمة عن مثل هذه النفايات خاصة وأن بعض الحاويات التي تلقى فيها النفايات الطبية عرضة للنبش وتبعثر النفايات خارجها مما يلوث التربة والهواء، فضلاً عن تكاثر الذباب والبعوض والحشرات الأخرى والقوارض التي تنقل الملوثات من الحاويات وتنشرها على مساحات واسعة.

**ملوثات الهواء الغازية الأساسية:**

تشير القياسات المحدودة التي أجريت في بعض المدن السورية إلى تدني نوعية الهواء الذي أصبح محملاً في بعض المناطق، بتراكيز مرتفعة من أكاسيد الكبريت والنتروجين وغيرها، ولا يقتصر التلوث في معظم المدن، على الملوثات الأولية Primary pollutants (أكاسيد الكبريت والكربون والآزوت والهيدروكربونات وغيرها) التي تنتج من احتراق الوقود الأحفوري سواء في وسائط النقل أو في الصناعة ووسائط التدفئة وغيرها، وإنما تعاني من ظاهرة الضباب الدخاني Smog، والتي تنجم عن تفاعل الملوثات الأولية، وخاصة أكاسيد النتروجين مع الأكسجين بوجود الهيدروكربونات وثاني أكسيد الكبريت، تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية، وتؤدي إلى تشكل الضباب الدخاني الذي يخيم على هواء المدن وخاصة في ساعات الصباح الأولى، وتتكون نتيجة هذه التفاعلات مجموعة من الملوثات الثانوية Secondary pollutants، والتي لا تقل خطورتها بالصحة عن الملوثات الأولية، وخاصة الأوزون، ومركبات البيروكسي أسيل (PAN)، والتي تسمى بالمؤكسدات الكيمائية الضوئية Photochemical (انظر الشكل 1)، ولهذه المركبات تأثيرات صحية بالغة السوء

الأوروبي ومقترح المعايير السورية لجودة الهواء). كما بلغت أعلى قيمة لمتوسط التركيز اليومي 0.146 ppm وهو أعلى بكثير من الحد المسموح به (0.047 ppm)، ووصل عدد الأيام التي تجاوز فيها المتوسط اليومي الحد المسموح به 85 يوماً من أصل 306 أيام (أي بنسبة 29% من مجمل أيام القياس) وهذه نسبة عالية، ذلك أن عدد المرات التي يسمح للمتوسط اليومي بتجاوزها هو 3 أيام فقط خلال العام. كما يبين الجدول 11 أن متوسط التركيز السنوي في موقع المحافظة كان بحدود 0.037 ppm، أي أعلى بمقدار الضعف تقريباً من المعيار السنوي المسموح به من قبل منظمة الصحة العالمية (0.019 ppm). هذا وكانت معظم هذه التجاوزات اليومية قد حصلت خلال فترات الشتاء والخريف حيث بلغ متوسط التركيز اليومي خلال هذه الفترة 0.055 ppm، بينما انخفض خلال فترة الربيع والصيف إلى 0.021 ppm. ويمكن أن يعزى هذا الارتفاع في التركيز خلال فترة الخريف والشتاء إلى وسائط التدفئة. ولابد من التنويه إلى أن موقع ساحة المحافظة في دمشق يعبر عن بعض المناطق التجارية المزدحمة في المدينة، ولا يعبر عن المناطق الأكثر تلوثاً في المدينة مثل دوار كفرسوسة وساحة العباسيين ومنطقة الإحدى عشرية والمناطق المتأثرة بحركة المرور الكثيفة وبالصناعات الموجودة فيها مثل صناعة صهر البطاريات.

الجدول 10 متوسط التركيز اليومي للملوثات الغازية (ppm)
في بعض مناطق مدينة حلب 1999

| الموقع | الملوث | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $NO_x$ | $SO_2$ | $O_3$ | CO |
| الشيخ سعيد | -0.021<br>0.031 | 0.084-0.067 | 0.037-0.031 | 2.5-2.2 |
| الشقيف | 0.069-0.06 | 0.082-0.041 | 0.032-0.03 | 2.4-1.6 |
| العويجا | -0.043<br>0.079 | 0.041-0.028 | 0.040-0.027 | 3-2.7 |
| الميدان | 0.259-0.16 | 0.088-0.053 | 0.012-0.005 | 7.2-6.2 |
| شارع السجن (الفرافرة) | -0.283<br>0.328 | 0.06-0.036 | 0.034-0.024 | 5-1.7 |
| ساحة الجامعة | -0.064<br>0.263 | 0.054-0.016 | 0.023-0.012 | 2.6-1.7 |
| الحد المسموح به | 0.079 | 0.047 | 0.06 | 8.6 |

الجدول 11 نتائج قياس غاز $SO_2$ في موقع ساحة المحافظة في مدينة دمشق خلال الفترة 2000-2001

| | مجال قيم التراكيز المسجلة (ppm) | التركيز المسموح به حسب WHO والمقترح السوري (ppm) | عدد مرات التجاوز عن الحد المسموح به |
|---|---|---|---|
| المتوسط الساعي | 0.245-0.005 | 0.132 | 142 |
| المتوسط اليومي | 0.146-0.005 | 0.0478 | 85 |
| المتوسط السنوي | 0.037±0.024 | 0.019 | ضعف المعيار السنوي |
| متوسط التركيز اليومي في الفترة الخريفية الشتوية | 0.055±0.023 | | |
| متوسط التركيز اليومي في الفترة الربيعية الصيفية | 0.021±0.01 | | |

يزول غاز أول أكسيد الكربون من التروبوسفير إما بالامتصاص إلى التربة حيث يتأكسد بواسطة البكتريا إلى غاز ثاني أكسيد الكربون أو يتفاعل مع جذر الهيدروكسيل في الهواء ليعطي غاز ثاني أكسيد الكربون وذرة هيدروجين حسب التفاعل التالي:

$$CO + OH \longrightarrow CO_2 + H \qquad (9)$$

يعد جذر الهيدروجين المتشكل في التفاعل (9) أحد المصادر المهمة لتوليد جذر الهيدروبيروكسيل HOO، الذي سيأتي ذكره لاحقاً، من خلال تفاعله مع غاز الأوكسجين حسب المعادلة:

$$H + O_2 \longrightarrow HOO \qquad (10)$$

## أكاسيد الآزوت $NO_x$:

تشير نتائج القياسات القصيرة الأمد التي جرت في عدة مواقع من المدن السورية إلى وجود تراكيز مرتفعة من أكاسيد الآزوت (NO + NO2) حيث وصلت قيم المتوسطات اليومية إلى 0.3 ppm في دمشق و 0.5 ppm في حلب. كما تشير نتائج القياسات المتوسطة الأمد والتي نفذت حديثاً ولمدة عام كامل (2001/2000) في موقع ساحة المحافظة في مدينة دمشق، إلى وجود تراكيز مرتفعة من أكاسيد الآزوت (الجدول 12).

**الجدول 12 متوسط التراكيز (ppm) اليومية لأكاسيد الآزوت والأوزون في ساحة المحافظة في مدينة دمشق**

| الملوث | المجال | المتوسط | الحد المسموح به | عدد مرات التجاوز الفعلية | عدد مرات التجاوز المسموح بها |
|---|---|---|---|---|---|
| $NO_x$ | 0.621-0.01 | 0.166±0.089 | *0.105 | 96 | ؛ |
| $NO_2$ | 0.215-0.01 | 0.065±0.029 | **0.021 | - | - |
| $O_3$ | 0.16-0.001 | 0.04 ±0.028 | ***0.061 | 128 | 20 |

* الساعي ** السنوي : تبعاً للمواصفات الأوروبية *** ثمان ساعات

وقد وصل عدد التجاوزات للمتوسطات الساعية من $NO_x$ إلى 96 مرة، وهذا يفوق كثيراً عدد التجاوزات المسموح بها في العام (18 مرة) تبعاً لمواصفة الاتحاد الأوروبي.

### 4-3-3 أكاسيد الآزوت:

تعد أكاسيد الآزوت من المكونات الطبيعية للغلاف الجوي حيث يتشكل غاز أول أكسيد الآزوت NO من تفاعل غازي الأوكسجين والآزوت في درجات الحرارة العالية وبتأثير البرق الذي يختزن كمية كبيرة من الطاقة اللازمة لهذا التفاعل:

$$N_2 + O_2 \longrightarrow 2\,NO \qquad (19)$$

كما ينتج غاز النيتروس أكسيد $N_2O$ خلال عمليتي النترتة وإزالة النترتة بواسطة البكتريا كما ذكرنا في الفصل الثاني. أما غاز ثاني أكسيد الآزوت $NO_2$ وهو الأهم في المشاكل البيئية لدوره الرئيس في تدهور نوعية الهواء خصوصاً في المدن الضخمة فينتج من أكسدة غاز الـ NO بواسطة عدد كبير من المؤكسدات القوية التي توجد خصوصاً في الهواء الملوث كالأوزون وجذر الهيدروبيروكسيل والبيروكسيل:

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2 \qquad (20)$$

$$NO + HOO^{\cdot} \longrightarrow NO_2 + OH^{\cdot} \qquad (21)$$

$$NO + ROO^{\cdot} \longrightarrow NO_2 + RO^{\cdot} \qquad (22)$$

أما المصدر غير الطبيعي الرئيس لغاز الـNO في الهواء فهو حجر احتراق الوقود وخصوصاً محركات الآليات ومحطات توليد الطاقة وبعض الصناعات مثل صناعة الإسمنت.

يجري تفاعل غازي الأوكسجين والآزوت (19) فقط في درجات الحرارة العالية داخل غرف الاحتراق لأن آلية التفاعل تستلزم تشكل ذرات الأوكسجين والآزوت الناتجة من تفكك جزيئات الـ $O_2$ والـ $N_2$ والذي يتم في درجات الحرارة العالية (أو بسبب البرق) حيث تتوافر الطاقة اللازمة للتفاعلين التاليين:

$$N_2 \longrightarrow 2\,N \quad \Delta H = 225\ kcal/mol \qquad (23)$$

$$O_2 \longrightarrow 2\,O \quad \Delta H = 118\ kcal/mol \qquad (24)$$

تدخل ذرات الأوكسجين والآزوت عند تشكلها في سلسلة من التفاعلات مع جزيئات الأوكسجين والآزوت منتجة لغاز أول أكسيد الآزوت حسب المعادلات التالية:

$$N_2 + O \longrightarrow NO + N \qquad (25)$$

$$N + O_2 \longrightarrow NO + O \qquad (26)$$

يتأكسد غاز الـ NO بسهولة في الهواء الملوث الحاوي على مؤكسدات قوية إلى $NO_2$ كما أشرنا سابقاً ويتفكك عندها غاز ثاني أكسيد الآزوت ذو اللون البني المميز والرائحة القوية بواسطة أشعة الشمس فوق البنفسجية والمرئية ليعطي بدوره غاز الـ NO وذرة من الأوكسجين وهو تفاعل مهم لتشكل غاز الأوزون في التروبوسفير كما سنرى لاحقاً:

$$NO_2 \xrightarrow{light} NO + O \qquad (27)$$

يمكن النظر إلى التفاعلات السابقة (20) و(21) و(22) و(23) كحلقة تؤدي إلى تحول مستمر بين أكسيدي الآزوت NO $NO_2$ الذين يرمز إليهما باختصار $NO_x$ . وتمثل هذه الحلقة أيضاً مصدراً ثابتاً لجذر الهيدروكسيل وذرات الأوكسجين المهمة لظاهرة الضخان الكيميائي الضوئي.

**الأوزون $O_3$:**

لقد تم قياس تركيز غاز الأوزون في موقع ساحة المحافظة في مدينة دمشق **لمدة** عام كامل تقريباً خلال الفترة 2000-2001. وتشير نتائج القياس الجدول (12) إلى ارتفاع مستويات تركيز هذا الغاز حيث وصل متوسط التركيز (متوسط 8 ساعات) إلى 0.156 ppm وهي أعلى بـ 2.5 مرة من المعيار المسموح به من قبل منظمة الصحة العالمية (0.061 ppm)، كما بلغ عدد المرات التي تجاوز فيها متوسط التركيز الحدود المسموح بها 128 مرة (أي بنسبة 20% ) من مجمل فترة القياس، ويعتبر هذا الرقم مرتفع جداً بالمقارنة مع مقترح مواصفة الاتحاد الأوروبي، حيث حددت عدد التجاوزات بنحو 20 مرة في السنة. هذا وكانت تراكيز الأوزون أعلى في الفترة الصيفية مقارنة بالفترة الشتوية.

تزداد وطأة تلوث الهواء في مناطق محددة من المدن السورية، ففي دمشق مثلاً يزداد التلوث في المنطقة الشرقية (منها باب شرقي، باب توما، التجارة، الكراجات) وفي بعض مناطق دمشق القديمة حيث الشوارع الضيقة والاكتظاظ بوسائط النقل وسوء التهوية إذ تشير معطيات وزارة البيئة لعام 1998 (الجدول 13) أن تراكيز أكاسيد الكبريت تصل في بعض شوارع دمشق القديمة، كشارع مدحت باشا وتقاطع القشلة، إلى 0.13 جزءاً من المليون، وبخاصة في ساعات الظهيرة (من الساعة 11 إلى الساعة 15)، كما تصل تراكيز أول أكسيد الكربون،هو من الغازات شديدة السمية، إلى 30 جزءاً في المليون وهو أعلى بكثير من الحدود المسموح بها (9 أجزاء في المليون لمدة 8 ساعات) وقد انعكس هذا الوضع في زيادة المشكلات المرضية العينية منها والصدرية وغيرها (الجدول 5).

2-3-4 غاز ثاني أكسيد الكبريت $SO_2$ :

يدخل عنصر الكبريت إلى الغلاف الجوي من مصادر طبيعية عديدة كالبراكين والمحيطات وتحلل المركبات العضوية في التربة وبأشكال مختلفة أهمها غازات ثاني أكسيد الكبريت $SO_2$ والهيدروجين سلفايد $H_2S$ والدايمثيل سلفايد $(CH_3)_2S$، كما تطلق النشاطات الإنسانية كميات كبيرة من الكبريت إلى الهواء على شكل غاز ثاني أكسيد الكبريت وأهم هذه النشاطات في الوقت الحالي هي حرق الفحم الحجري وتحضير المعادن من الفلزات الحاوية على الكبريت. تتفاعل مركبات الكبريت القابلة للتأكسد مثل الـ $H_2S$ والـ $(CH_3)_2S$ مع جذر الهيدروكسيل في التروبوسفير مما يؤدي إلى أكسدتها إلى ثاني أكسيد الكبريت كما تبين التفاعلات التالية لغاز الهيدروجين سلفايد :

$$H_2S + OH \longrightarrow HS + H_2O \qquad (11)$$

$$HS + O_2 \longrightarrow HSOO \qquad (12)$$

$$HSOO \longrightarrow SO + OH \qquad (13)$$

$$SO + O_2 \longrightarrow SO_2 + O \qquad (14)$$

يمتص غاز ثاني أكسيد الكبريت في الهواء إلى سطوح الدقائق الصلبة العالقة في الهواء والمبللة بمحلولات الماء حيث يجري تفاعل أكسدة ثاني أكسيد الكبريت على سطح هذه الدقائق وفي وسط مائي إلى ثالث أكسيد الكبريت والذي ينحل في الماء مباشرة مشكلاً حمض الكبريت حسب المعادلات التالية:

$$2\,SO_2 + O_2 \text{ cat.} \longrightarrow 2\,SO_3 \qquad (15)$$

$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4 \qquad (16)$$

تبقى هذه الدقائق الصلبة الحاملة لحمض الكبريت معلقة في الهواء لمدد طويلة، ولها آثار ضارة في صحة الإنسان وخاصة تلك التي لا يتجاوز قطرها 2 ميكروميتر والتي تخترق بسبب صغر حجمها الجزء الأعلى من الجهاز التنفسي عندما يستنشق الإنسان الهواء الملوث بهذه الدقائق وتصل إلى الرئة وغالباً ما تسبب أضراراً بليغة لأغشية الرئة.

أما غاز ثاني أكسيد الكبريت ذو الرائحة النفاذة فهو رغم ضعف سميته للإنسان إلا أنه يسبب عند استنشاقه تهيجاً وتضيقاً في القصبات الهوائية وسعالاً شديداً، لذلك فهو مضر خصوصاً لكبار السن وللأشخاص الذين يعانون من صعوبات في التنفس.

غاز ثاني أكسيد الكبريت ضار أيضاً للنباتات حيث يؤدي التعرض لتركيز عالٍ من الغاز إلى موت أوراق النبات وهي ظاهرة تعرف بنخر الورق Leaf Necrosis ، أما تعرض النبات إلى تراكيز صغيرة من الغاز لفترة طويلة فيؤدي إلى اضمحلال اللون الأخضر للأوراق كما يؤدي تعرض المحاصيل الزراعية كالقمح والشعير لمدة طويلة لغاز ثاني أكسيد الكبريت إلى انخفاض في إنتاجها الموسمي.

ونميز من أهم الآثار الاقتصادية والجمالية لتلوث الهواء بغاز الـ $SO_2$ هو تفاعل هذا الغاز مع الأحجار الكلسية في الأبنية والتماثيل المصنوعة من الرخام مولدة مركب سلفيت الكالسيوم القابل للانحلال بالماء مما يؤدي إلى تشوهها ويقصر من عمر هذه الأبنية والقطع الفنية:

$$CaCO_3 + SO_2 + \tfrac{1}{2} O_2 + 2\,H_2O \longrightarrow CaSO_4.\,2H_2O + CO_2 \qquad (17)$$

تبين الدراسات أن تفاعلات إزالة غاز الـ $SO_2$من التروبوسفير عديدة ومعقدة وتتم معظمها في محلول مائي وتؤدي إلى أكسدة الغاز إلى حمض الكبريت وأملاح السلفيت $SO_4^{-2}$ والسلفايت $SO_3^{-2}$ والهيدروجين سلفايت $HSO_3^{-1}$ كالتفاعل التالي بوجود غاز الأمونيا المنحل في الماء:

$$SO_2 + NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4^{+} + HSO_3^{-1} \qquad (18)$$

كما تظهر هذه الدراسات أن تفاعلات أكسدة غاز الـ$SO_2$ في التروبوسفير تتسارع بوجود ملوثات أخرى كأكاسيد الآزوت والمركبات الهيدرو كربونية التي يسبب وجودها تشكل مؤكسدات قوية في الغلاف الجوي مثل الأوزون وغاز الـ $NO_3$ وجذور الهيدروبيروكسيل $HOO^{\cdot}$ والبيروكسيل $ROO^{\cdot}$ كما سنبين في فقرة قادمة عن ظاهرة الضخان الكيميائي الضوئي Photochemical Smog.

يحتوي الفحم الحجري الذي يستعمل في مناطق كثيرة من العالم كوقود للمراجل الصناعية وخصوصاً في معامل توليد الطاقة الكهربائية على 4-10٪ وزناً من عنصر الكبريت، حيث يؤدي حرق الفحم إلى انطلاق الكبريت على شكل غاز الـ $SO_2$ إلى الغلاف الجوي كأحد أهم المصادر غير الطبيعية لهذا الغاز. يوجد الكبريت في أنواع الفحم المختلفة بشكلين متساويين تقريباً، شكل لاعضوي ويشمل بشكل أساسي فلز البيريت الحاوي على مركب سلفايد الحديد، $FeS_2$ وشكل عضوي حيث يدخل عنصر الكبريت في التركيب الكيميائي للمركبات العضوية المكونة للفحم.

غاز ثاني أكسيد الكبريت ضار أيضاً للنباتات حيث يؤدي التعرض لتركيز عالٍ من الغاز إلى موت أوراق النبات وهي ظاهرة تعرف بنخر الورق Leaf Necrosis ، أما تعرض النبات إلى تراكيز صغيرة من الغاز لفترة طويلة فيؤدي إلى اضمحلال اللون الأخضر للأوراق كما يؤدي تعرض المحاصيل الزراعية كالقمح والشعير لمدة طويلة لغاز ثاني أكسيد الكبريت إلى انخفاض في إنتاجها الموسمي.

ونميز من أهم الآثار الاقتصادية والجمالية لتلوث الهواء بغاز الـ $SO_2$ هو تفاعل هذا الغاز مع الأحجار الكلسية في الأبنية والتماثيل المصنوعة من الرخام مولدة مركب سلفيت الكالسيوم القابل للانحلال بالماء مما يؤدي إلى تشوهها ويقصر من عمر هذه الأبنية والقطع الفنية:

$$CaCO_3 + SO_2 + \frac{1}{2} O_2 + 2 H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O + CO_2 \qquad (17)$$

تبين الدراسات أن تفاعلات إزالة غاز الـ $SO_2$ من التروبوسفير عديدة ومعقدة وتتم معظمها في محلول مائي وتؤدي إلى أكسدة الغاز إلى حمض الكبريت وأملاح السلفيت $SO_4^{-2}$ والسلفايت $SO_3^{-2}$ والهيدروجين سلفايت $HSO_3^{-1}$ كالتفاعل التالي بوجود غاز الأمونيا المنحل في الماء:

$$SO_2 + NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4^+ + HSO_3^{-1} \qquad (18)$$

كما تظهر هذه الدراسات أن تفاعلات أكسدة غاز الـ $SO_2$ في التروبوسفير تتسارع بوجود ملوثات أخرى كأكاسيد الآزوت والمركبات الهيدرو كربونية التي يسبب وجودها تشكل مؤكسدات قوية في الغلاف الجوي مثل الأوزون وغاز الـ $NO_3$ وجذور الهيدروبيروكسيل HOO والبيروكسيل ROO كما سنبين في فقرة قادمة عن ظاهرة الضخان الكيميائي الضوئي Photochemical Smog.

يحتوي الفحم الحجري الذي يستعمل في مناطق كثيرة من العالم كوقود للمراجل الصناعية وخصوصاً في معامل توليد الطاقة الكهربائية على 4-10٪ وزناً من عنصر الكبريت، حيث يؤدي حرق الفحم إلى انطلاق الكبريت على شكل غاز الـ $SO_2$ إلى الغلاف الجوي كأحد أهم المصادر غير الطبيعية لهذا الغاز. يوجد الكبريت في أنواع الفحم المختلفة بشكلين متساويين تقريباً، شكل لاعضوي ويشمل بشكل أساسي فلز البيريت الحاوي على مركب سلفايد الحديد، $FeS_2$ وشكل عضوي حيث يدخل عنصر الكبريت في التركيب الكيميائي للمركبات العضوية المكونة للفحم.

يمكن إزالة محتوى الكبريت اللاعضوي من الفحم قبل حرقه بطرائق فيزيائية يطلق عليها اسم تحضير الفحم أما المحتوى العضوي من الكبريت فلا يمكن إزالته إلا عن طريق تحويل الفحم بطرائق كيميائية إلى أشكال أخرى من الوقود مثل طريقة تغويز الفحم Coal Gasification الذي سيأتي ذكره لاحقاً في هذا الفصل.

يتم في الوقت الحالي في كثير من بلدان العالم وخصوصاً في الدول المتقدمة، ونتيجة لقوانين حماية البيئة، إزالة غاز الـ $SO_2$ الناتج من حرق الفحم إما خلال عملية الحرق بخلط الفحم مع أحجار الكلس التي تتفاعل مع الغاز المتشكل، أو بعد عملية الحرق بتنظيف مزيج الغاز الناتج داخل وحدة نزع الكبريت Desulfurization Unit كما سنشرح لاحقاً.

تعد عملية استخلاص المعادن من فلزاتها المصدر الرئيس الثاني بعد حرق الفحم لغاز ثاني أكسيد الكبريت في البيئة، حيث يوجد عدد كبير من المعادن كالنحاس والزئبق والزنك والنيكل والرصاص والفضة وغيرها في الطبيعة على شكل فلزات حاوية على مركبات سلفايد المعدن مثل PbS وZnS. تتم تنقية هذه المعادن عادة بطريقة الصهر Metal melting والتي تؤدي إلى تفاعل الكبريت مع الأوكسجين في الهواء وانطلاق غاز الـ$SO_2$ إلى الهواء.

لمنع انطلاق غاز الـ$SO_2$ إلى الهواء تجري عملية صهر الفلزات المعدنية في بعض بلدان العالم المتقدمة في العصر الحالي في وحدات خاصة تحتجز الغاز الناتج وتقوم بأكسدته إلى ثالث أكسيد الكبريت $SO_3$ واستغلاله تجارياً في وحدات إنتاج حمض الكبريت.

الجدول 13 تركيز العوالق وبعض الملوثات الأخرى

في بعض مناطق دمشق القديمة

| الموقع | زمن القياس (الساعة) | العوالق TSP ميكروغرام/م$^3$ | $SO_2$ (ppm) | CO ppm | الأبخرة العضوية ppm |
|---|---|---|---|---|---|
| شارع مدحت باشا | 15-11 | 870 | 0.113-0.06 | 30-10 | 0.7 |
| | 20-18 | 1290 | 0.06-0.03 | 20-0 | 0.5 |
| تقاطع القشلة | 15-11 | 500 | 0.08-0 | 10-0 | 0.1 |
| | 14-13 | 1100-700 | 0.13-0.1 | 15-5 | 2.5-0.1 |
| | 20-19 | 1050-440 | 0.13-0.1 | 15-5 | 0.6-0.3 |
| ساحة الجامع الأموي | 15-11 | 200 | 0.03-0 | 5-0 | 0 |
| | 20-18 | 200 | 0.03-0 | 5-0 | 0 |

**4-3-4 ظاهرة الضخان الكيميائي الضوئي Photochemical Smog:**

تصيب ظاهرة الضخان الكيميائي الضوئي أعداداً متزايدة من مدن العالم في عصرنا الحالي، وتظهر على شكل ضباب بني اللون يغطي المدينة وبحجب زرقة السماء في يوم مشمس حار، وتسبب صعوبة في التنفس وتهيج العيون وأضراراً صحية أخرى، وتؤدي إلى

وفاة مفاجئة عند المسنين بالإضافة إلى الخسائر المادية الجسيمة الناتجة عنها. تحتاج هذه الظاهرة إلى أربعة شروط أساسية لظهورها وهي أكاسيد الآزوت $NO_x$ ومواد عضوية طيارة وخصوصاً المواد الهيدروكربونية الحاوية على رابطة ثنائية (ألكينات) وأشعة شمس قوية وأخيراً حالة طقس تعرف بحالة انقلاب جوي Atmospheric·Inversion حيث تقبع كتلة هواء باردة في أسفل كتلة أخرى حارة مما يمنع الهواء من الارتفاع إلى الأعلى والاختلاط بتيارات هوائية أخرى وبالتالي يحجز الملوثات الهوائية ومنتجات تفاعلها ويمنع تفرقها.

ينطلق غاز أول أكسيد الآزوت NO من عوادم السيارات وحجر احتراق الوقود في المنشآت الصناعية نتيجة تفاعل غازي الأوكسجين والآزوت في درجات الحرارة العالية كما بينا سابقاً، حيث تقوم مؤكسدات قوية في الهواء الملوث بتحويله إلى غاز ثاني أكسيد الآزوت $NO_2$ ذي اللون الأحمر البني المميز لظاهرة الضخان الكيميائي الضوئي. يؤمّن غاز الـ CO والمواد الهيدروكربونية التي تنطلق من محركات السيارات، نتيجة الاحتراق غير الكامل للوقود، وخصوصاً الحاوية على رابطة ثنائية، مصدراً ثابتاً لمؤكسدات قوية مثل جذر الهيدروبيروكسيل HOO والبيروكسيل ROO نتيجة سهولة تفاعل الرابطة الثنائية مع جذر الهيدروكسيل في الهواء مولدة لجذور حرة تتفاعل بدورها مع جزيئات الأوكسجين في الهواء لتشكل المؤكسدات القوية لغاز الـNO حسب المعادلات:

$$H_2C{=\!=\!=}CH_2 + OH^{\cdot} \longrightarrow HOCH_2CH_2^{\cdot}$$

$$HOCH_2CH_2^{\cdot} + O_2 \longrightarrow HOCH_2CH_2OO^{\cdot}$$

$$HOCH_2CH_2OO^{\cdot} + NO \longrightarrow HOCH_2CH_2O^{\cdot} + NO_2$$

$$HOCH_2CH_2O^{\cdot} + RH \longrightarrow HOCH_2CH_2OH + R^{\cdot}$$

$$C{\equiv}O + OH^{\cdot} \longrightarrow OH{-}\dot{C}{=}O \longrightarrow CO_2 + H^{\cdot}$$

$$H^{\cdot} + O_2 \longrightarrow HOO^{\cdot}$$

$$HOO^{\cdot} + NO \longrightarrow NO_2 + OH^{\cdot}$$

يمتص غاز ثاني أكسيد الآزوت $NO_2$ في مجال الأشعة المرئية الزرقاء اللون، وهو الامتصاص الذي يعطي هذا الغاز لونه البني المميز والذي يؤدي إلى تفككه مطلقاً ذرة من الأوكسجين التي تتحد مباشرة مع جزيء من الأوكسجين لتعطي غاز الأوزون كما ذكرنا سابقاً:

$$NO_2 \xrightarrow{light} NO + O \qquad (27)$$

$$O + O_2 \longrightarrow O_3 \qquad (32)$$

ورغم أن غاز الـ NO الناتج عن تفكك جزيئات الـ $NO_2$ يتفاعل مع غاز الأوزون حسب المعادلة (23)، إلا أن أكسدته السريعة بواسطة جذور الهيدروبيروكسيل والبيروكسيل إلى $NO_2$ يسمح لتركيز الأوزون بالارتفاع حيث قد يصل في الهواء الملوث إلى حوالي 700ppb.

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2 \qquad (33)$$

من الواضح أن انطلاق هذه الحلقة المعقدة من التفاعلات والتي تولد ما يعرف بظاهرة الضخان، تعتمد بشكل أساسي على سهولة تشكل الجذر الحرمن تفاعل جذر الهيدروكسيل مع المواد الهيدروكربونية في الهواء الملوث ولهذا تحدد نوعية المواد الهيدروكربونية المنطلقة إلى الهواء سرعة تشكل هذه الظاهرة وحدتها، فالمواد الهيدروكربونية الشبعة كغازات الميثان $CH_4$ والأيثان $CH_3CH_3$ والتي تتفاعل ببطء مع جذر الهيدروكسيل لا تلعب دوراً مهماً في نشوء الضخان، بينما مركب الأثيلين الحاوي على رابطة ثنائية يشارك بقوة في تشكل الضخان لسرعة تفاعل الرابطة الثنائية مع جذر الهيدروكسيل كما أشرنا آنفاً. لهذا السبب يمكن للمراقب أن يلاحظ الضباب البني المميز لظاهرة الضخان الكيميائي الضوئي فوق الأحراش والغابات في مناطق بعيدة عن المدن والمناطق الصناعية التي تنطلق فيها غازات الـ $NO_x$ والمركبات الهيدروكربونية إلى الغلاف الجوي، وذلك لأن بعض الأشجار والنباتات تطلق غاز الأثيلين إلى الهواء كناتج طبيعي لتفاعلاتها الاستقلابية بينما يوجد غاز الـNO بشكل طبيعي في الهواء وهما المادتان الرئيستان اللازمتان لتشكل الضخان.

بالإضافة إلى غاز الأوزون يحتوي الهواء الملوث في ظاهرة الضخان على مؤكسدات قوية أخرى مثل $NO_3$ والـ$N_2O_5$ (انظر أكاسيد الآزوت) بالإضافة إلى مركبات عضوية

مؤكسدة جزئياً كالألدهيدات والكيتونات وحمض النيتريك $HNO_3$ ناتجة جميعها عن تفاعلات ثانوية بين مكونات هذا المزيج المختلفة.

ونذكر من المركبات المهمة أيضاً في مزيج الضخان مركبات البيروكسينيترات Peroxynitrate الناتجة من تفاعل جذور البيروكسيل $ROO^{\cdot}$ مع غاز ثاني أكسيد الآزوت $NO_2$، ومنها مركب بيروكسي أستيل نيترات $CH_3COO_2NO_2$ Peroxyacetyl nitrate (PAN) وهو من مسيلات الدموع القوية Lachrymator ويعزى إليه ظاهرة تهيج العيون التي يصاب بها البشر خلال فترات التلوث بالضخان.

يلخص الشكل التالي التفاعلات الثانوية التي تؤدي إلى تشكل المركبات العديدة التي توجد بالإضافة إلى غاز الأوزون ضمن مزيج الهواء الملوث بالضخان الكيميائي الضوئي مثل حمض النيتريك والـ PAN ($R = CH_3$) والفورم ألدهيد ($R = H$) حيث يمثل $RCH_3$ مجموعة من المواد الهيدروكربونية المشبعة (ألكانات) كغازات الميثان والأيثان والبروبان وغيرها والتي تنطلق إلى الهواء نتيجة الاحتراق غير الكامل للوقود:

$$RCH_3 + OH^{\cdot} \longrightarrow RCH_2^{\cdot} + H_2O$$

$$RCH_2^{\cdot} + O_2 \longrightarrow RCH_2OO^{\cdot}$$

$$RCH_2OO^{\cdot} + NO \longrightarrow RCH_2O^{\cdot} + NO_2$$

$$RCH_2O^{\cdot} + RCH_3 \longrightarrow RCH_2OH + RCH_2^{\cdot}$$

$$RCH_2O^{\cdot} + OH^{\cdot} \longrightarrow R{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}H + H_2O$$

$$R{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}H + OH^{\cdot} \longrightarrow R{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}^{\cdot} + H_2O$$

$$R{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}^{\cdot} + O_2 \longrightarrow R{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}OO^{\cdot}$$

$$R{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}OO^{\cdot} + NO_2 \longrightarrow R{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}OONO_2$$

$$NO_2 + OH^{\cdot} \longrightarrow HNO_3$$

الشوارد القلوية مثل $OH^{-1}$ والـ $CO_3^{-2}$ والـ $HCO_3^{-1}$ المتوافرة في التربة أو الجسم المائي والتي تتفاعل وتعدل شاردة الـ $H^+$ الحامضية وتحافظ على pH التربة أو المياه ضمن حدود طبيعية. تعرف قدرة التربة والجسم المائي على مقاومة تغير الـ pH بقدرة مقاومة الحموضة Buffering Capacity وتقاس بمقياس القلوية الكلية Total Alkalinity الذي سنأتي على ذكره في الفصل الخامس الخاص بتلوث المياه.

تصل حموضية المياه في الأجسام المائية الفقيرة بالشوارد القلوية بسبب الترسبات الحامضية في بعض المناطق إلى pH=2 وتؤدي هذه الحموضة العالية إلى موت معظم الكائنات المائية إما مباشرة من تأثير الحموضة العالية أو بسبب ارتفاع تراكيز المعادن الثقيلة السامة التي يزداد انحلالها في الماء بزيادة الـ pH. وهكذا تظهر مياه البحيرات الحامضة نتيجة للترسبات الحامضية في بعض مناطق كندا والولايات المتحدة القريبة من المناطق الصناعية التي تطلق أكاسيد الكبريت والآزوت إلى التروبوسفير من خلال مداخن عملاقة على شكل مياه رائقة بسبب خلوها شبه الكامل من الكائنات الحية. تؤثر الترسبات الحامضية بشكل خاص في الغابات حيث تؤدي ارتفاع حموضة التربة إلى انحلال أملاح الكالسيوم والمغنزيوم القلوية وغسلها من التربة وهي ضرورية لنمو واستمرار الأشجار، كما يسبب ارتفاع الحموضة زيادة انحلال المعادن وخصوصاً الألمنيوم السام للنبات. لهذا السبب يمكن للمراقب في عصرنا الحالي أن يتابع الموت البطيء للغابات في المناطق التي تعاني من ترسبات حامضية عالية في مناطق عديدة من العالم.

تسبب الترسبات الحامضية أيضاً خسائر اقتصادية ناتجة عن انخفاض مردود المحاصيل الزراعية والأضرار في الأبنية والتماثيل التي تشيد باستعمال أحجار الكلس $CaCO_3$ القلوية التي تتفاعل وتنحل بواسطة الحموض بالإضافة إلى آثارها الضارة في الصحة العامة، وخصوصاً الدقائق الصلبة المعلقة في الهواء والمطلية بحمض الكبريت كما ذكرنا سابقاً وكما سنشرح بتفصيل أكبر في الفقرة التالية.

## الهيدروكربونات الحلقية العطرية Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH):

تنتج الهيدروكربونات الحلقية العطرية بشكل أساسي من عمليات احتراق الوقود غير الكامل في وسائط النقل، والتدفئة، وعمليات الحرق الصناعي والتجاري ويوجد منها عدة مئات من المركبات، يصنف قسم كبير منها على أنها ذات خصائص مسرطنة وشديدة السمية (1987 WHO, 1983 IARC)، ومن أكثر هذه المركبات شيوعاً هو مركب البنزبيرين Benzo [a] pyren، كما أنه من أكثر المركبات دراسة وبخاصة خصائصه المسرطنة. أوضحت القياسات التي جرت في الفترة 1999-2000، في موقع ساحة المحافظة في مدينة دمشق، أن متوسط تركيز 14 مركباً من هذه المركبات، بما فيها مركب البنزبيرين، كان أعلى منه في منطقة المعهد العالي (منطقة برزة) بمعدل 2.5 مرة، كما يوضح الجدول (14) أن متوسط تركيز البنزبيرين كان 2.3 نانوغرام/م3 في موقع المحافظة

وهذا التركيز يزيد بأكثر من 2.3 مرة عن التركيز المقترح من قبل الاتحاد الأوروبي (0.5-1 نانوغرام/م$^3$)، ونظراً لأن المركبات الحلقية العطرية تمتلك خصائص مسرطنة، فلا يوجد عتبة آمنة ينصح بها للتعرض لهذه المركبات هذا وقد حددت منظمة الصحة العالمية (2000) أن وحدة الخطورة (unit Risk) لمركب البنزبيرين تعادل $8.7\times10^{-5}$ نانوغرام/م$^3$، أي أن 87 شخصاً من كل مليون شخص سوف يصابون بالسرطان إذا تعرضوا إلى تركيز قدرة نانوغرام واحد/م$^3$ من البنزبيرين، وكما يتضح من الجدول 14 ،فان تركيز البنزبيرين في مركز المحافظة يفوق المواصفة الأوروبية ومعايير منظمة الصحة العالمية بمعدل 2.3 مرة.

**الجدول 14 القيم الدنيا والعليا ومتوسط التركيز للمركبات الحلقية العطرية (نانوغرام/م3)**

| المعهد العالي (متوسط 43 عينة) | | | ساحة المحافظة (متوسط 42 عينة) | | | اسم مركب PHA |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Average | Max | Min | Average | Max | Min | |
| 0.55 | 2.10 | 0.05 | 2.04 | 12.87 | 0.01 | Phenanthrene |
| 0.30 | 3.72 | 0.01 | 1.01 | 6.64 | 0.01 | Anthracene |
| 0.92 | 5.91 | 0.04 | 3.02 | 31.06 | 0.01 | Fluoranthene |
| 1.08 | 6.37 | 0.07 | 3.39 | 18.74 | 0.05 | Pyrene |
| 0.69 | 3.30 | 0.01 | 2.03 | 9.44 | 0.01 | Benz [a]anthracene |
| 0.99 | 5.99 | 0.03 | 2.41 | 13.14 | 0.01 | Chrysene |
| 1.49 | 6.73 | 0.03 | 3.55 | 11.05 | 0.9 | Benz [e] Pyrene |
| 1.13 | 4.42 | 0.04 | 2.26 | 9.34 | 0.02 | Benz[b] fluoranthene |
| 0.97 | 3.69 | 0.04 | 1.81 | 5.90 | 0.20 | Benz[k] fluoranthene |
| 1.06 | 5.46 | 0.01 | 2.30 | 5.95 | 0.02 | Benz [a] Pyrene |
| 0.32 | 1.55 | 0.01 | 0.63 | 4.04 | 0.01 | Dibenz [a,h] anthracene |
| 1.46 | 8.15 | 0.04 | 3.21 | 8.90 | 0.05 | Benzo [g,h.i] perylene |
| 1.41 | 12.00 | 0.01 | 2.46 | 9.87 | 0.01 | Indeno [1,2,3-cd] Pyrene |
| 1.09 | 8.76 | 0.03 | 2.00 | 6.60 | 0.14 | Coronene |
| 13.30±12.9 | | | 32.05±24.5 | | | Total PAH |

## تأثير الملوثات الهوائية الأساسية:

تحدث ملوثات الهواء تأثيرات سلبية في مكونات النظام البيئي وبالرغم من أن الجانب الأكبر من تأثير الملوثات هو جانب طبي، إلاّ أن الوقوف على هذه التأثيرات قد يعطي صورة، ولو غير مباشرة، عن التكاليف الاقتصادية للتلوث، وأهم التأثيرات الناجمة عن الملوثات الغازية الأساسية هي الآتية.

### أول أكسيد الكربون:

يقع تأثير أول أكسيد الكربون على الإنسان والحيوانات، ذلك أن 80-90% من أول أكسيد الكربون الممتص يرتبط مع هيموغلوبين الدم ويشكل الكاربوكسي هيموغلوبين Carboxy hemoglobin، وتزيد ألفة affinity الهيموغلوبين لأول أكسيد الكربون عنها للأكسجين بـ 200 إلى 250 مرة (2000, WHO) ويؤدي تشكل الكاربوكسي هيموغلوبين إلى خفض قدرة الدم على نقل الأكسجين كما يؤدي إلى اضطراب في تحرر الأكسجين من الهيموغلوبين، وينتج من ذلك نقص في أكسجة الأنسجة Tissue hypoxia وهذا يحدث عند التعرض إلى مستويات منخفضة من أول أكسيد الكربون، أما التعرض إلى مستويات مرتفعة من أول أكسيد الكربون فتسبب تأثيرات سمية وبخاصة في الأعضاء والأنسجة عالية استهلاك الأكسجين كالدماغ، والقلب، والعضلات الهيكلية، وكذلك الأجنة كما يؤدي نقص الأكسجة إلى اضطرابات عصبية مثل عدم التناسق coordination واضطراب قيادة السيارات، وخفض كفاءة القدرة المعرفية واضطرابات النوم وتحدث مثل هذه التأثيرات عندما يصل تركيز الكاربوكسي هيموغلوبين إلى مستويات تتراوح بين 2.2 و 5.1 % (1999, WHO).

تؤدي إلى خفض معدل التمثيل الضوئي وخفض نمو النباتات، وربما إلى موت موضعي لبعض أنسجة الأوراق وبخاصة عندما توجد في الهواء مشتركة مع أكاسيد الكبريت. هذا ويأتي الخطر الرئيس من أكاسيد الآزوت وبخاصة $NO_2$ من كونه يشكل المفتاح لسلسة التفاعلات الكيمائية الضوئية التي ينتج منها الضباب الدخاني، والملوثات الثانوية Secondary pollutants وفي طليعتها الأوزون $O_3$ والبيروكسي سيل نترات (PAN) وغيرها.

**الأوزون:**

بالرغم من أن وجود الأوزون في طبقات الجو العليا يحمي الأرض وما عليها من غوائل الأشعة فوق البنفسجية، إلاّ أنه يعتبر من الملوثات شديدة الخطورة إذا وجد في الهواء الذي نتنفسه، ويؤدي التعرض إلى الأوزون، حتى بتراكيز منخفضة، إلى تحسس الأغشية المخاطية لجهاز التنفس والعيون، والسعال والوزيز wheezing، واشتداد نوبات الربو وخفض وظيفة الرئتين، ويعتقد أن له علاقة بالولادة المبكرة والعيوب القلبية وانخفاض وزن الأطفال عند الولادة وإعاقة نمو الرئة (WHO, 2000, 1999)، ويؤثر أيضاً في النباتات فيسبب اصفرار الأوراق وبرقشتها، ويخفض معدل التمثيل الضوئي كما يتلف المنسوجات ويزيل الألوان ويخرب المطاط، ويزداد تأثيره إذا احتوى الهواء على البيروكسي أسيل نترات، حيث يؤديان معاً إلى تهيج وتخريش العيون والحلق وجهاز التنفس وتقلص العضلات الصدرية والسعال الجاف، ويقللان من القدرة على العمل واشتداد نوبات الربو وزيادة القبول في المستشفيات لمعالجة أمراض الجهاز

## تأثير التلوث في الأوابد الأثرية:

لا يقتصر تأثير تلوث الهواء في الصحة، وإنما يتعداه إلى التأثير في الأوابد الأثرية وتعد مواقع التراث الحضاري في سورية ذات أهمية عالمية، وتملك سورية أربعة مواقع شُملت في قائمة التراث العالمي (مدينة دمشق القديمة، ومدينة بصرى القديمة وتدمر وحلب القديمة) هذا إلى جانب إيبلا وأوغاريت وغيرها من المواقع التي عاصرت بدايات الزراعة والري واختراع الكتابة وظهور المدن الأولى ويشير ملف الاستراتيجية الوطنية للبيئة في سورية لعام 2000 إلى أن هناك تراجعاً خطيراً لهذه المواقع، ناجم عن عدم الوعي بالقيمة المتميزة لها وسوء استثمارها والتغيرات في استعمالات الأراضي المحيطة بها، وإدخال مواد وأساليب بناء غير ملائمة في أعمال البناء المرخص والمخالف في هذه المواقع ويلعب تلوث الهواء دوراً بالغاً في تردي هذه المواقع، إذ تتفاعل أكاسيد الكبريت وأكاسيد النتروجين مع الأكسجين بوجود بخار الماء والأشعة فوق البنفسجية وتتحول هذه الأكاسيد في النهاية، إلى حمض الكبريت وحمض الآزوت التي تبقى معلقة في الهواء على هيئة رذاذ دقيق تنقله الرياح من مكان لآخر، وتتفاعل هذه الأحماض مع كربونات الكالسيوم، المكون الأساسي لحجارة معظم هذه الأوابد وتحولها إلى الجص ومعروف أن للجص متانة قليلة ميكانيكياً، مما يؤدي إلى سهولة تفتته، وخسارة ثروة وطنية إنسانية لا تقدر بثمن، هذا إضافة إلى الغبار، الذي يؤدي إلى حث وتخريب مكونات هذه الأوابد الأثرية مثل هباب الفحم الذي يوشحها بالسواد، خاصة وأن قسماً كبيراً من هذه الأوابد التي في المناطق المزدحمة والمكتظة بوسائط النقل كباب توما وباب شرقي والأسواق مثلاً.

# فصل الغبار

مقدمة:

يتم اختيار الطريقة المناسبة لمعالجة الهواء وتخليصه من الملوثات اعتماداً على حجم الغاز المراد تنقيته، تركيز الملوثات في الهواء ونوعها وتركيبها الكيميائي وحجم جزيئاتها ونسبة الرطوبة وغيرها.

وكذلك درجة حرارة الغاز قبل التنقية وبعدها وضغطه ودرجة التنقية المطلوبة ومدى قيمة المواد المفصولة وإمكانية عزلها والاستفادة منها ، بالإضافة إلى دراسة إمكانية صناعة وتطبيق جهاز الفصل بما يتناسب مع حجم المكان وكلفة التنقية ، والتكنولوجيا المستخدمة في التصنيع لاسيما في الصناعات المعدنية وتعدين الحديد وكذلك الصناعات الكيميائية حيث يتم استخدام درجات حرارة مرتفعة جداً وضغوط عالية .

- منشأ الغبار:

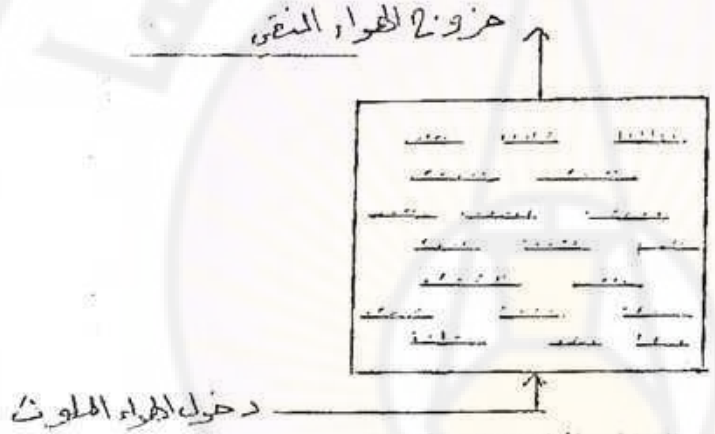
تؤثر الطبيعة الجغرافية للمدن على كمية وحجم الغبار الموجود في الهواء الجوي ، وكذلك يؤثر المناخ فارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة التبخر والجفاف، وبالتالي زيادة كمية الغبار في الجو ،أما زيادة الرطوبة ، فتؤدي إلى تجمع جزيئات الغبار، فيزداد حجمها ووزنها، مما يجعلها قريبة من سطح الأرض، وبالتالي تنقص كمية الغبار في الهواء، أما الرياح فحسب شدتها ، تحمل الغبار إلى الأعلى وإلى أماكن بعيدة وتنشره في الهواء.

وكذلك ينشأ الغبار في الهواء الجوي عن الصناعة . بسبب تخزين أو نقل المواد الصلبة الناعمة القابلة للتطاير دون تغطيتها أو أثناء تصنيعها حيث تتطاير في جو المصنع وكذلك فإن غازات الاحتراق الناتجة عن المصانع تحتوي على دقائق ناعمة صلبة من ذرات الكربون المتبعثرة. ومهما كان المصدر فيجب فصل الغبار قبل إطلاق النواتج الغازية إلى الهواء. وتوجد طرائق عديدة لذلك، تختلف هذه الطرائق بمدى فعاليتها وكلفتها الاقتصادية وهي تشمل تقنيات بسيطة سهلة التركيب والصيانة وتقنيات معقدة حسب طبيعة وحجم الدقائق المراد فصلها، ويمكن تقسيمها إلى نوعين:

1- الطريقة الجافة :

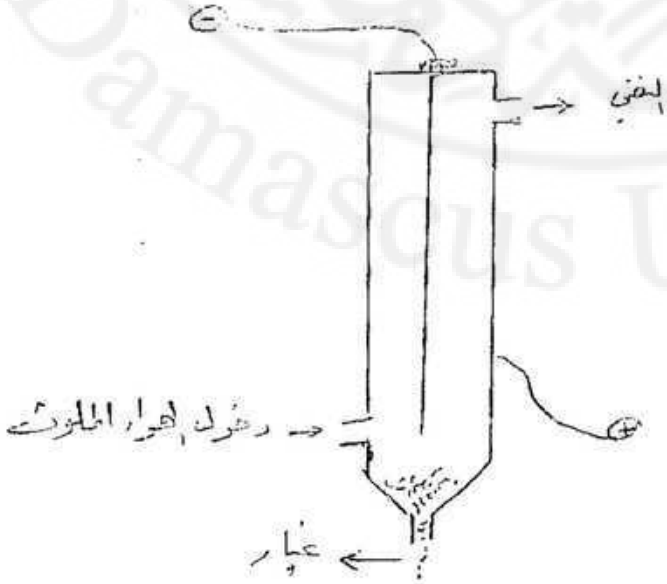
1-1- غرف الترسيب:

يتم فيها ترسيب دقائق الغبار الصلبة كبيرة الحجم ، ولكنها غير صالحة لفصل الدقائق صغيرة الحجم ذات القطر الأقل من 10 ميكرومتر لأن هذه الدقائق لا تتساقط بفعل الجاذبية بسبب مقاومة الهواء . تعتمد هذه الطريقة البسيطة والقليلة التكلفة على فعل جاذبية الأرض لفصل الدقائق المعلقة الكبيرة عن الغازات المنطلقة، حيث يدخل خليط الغاز إلى غرف واسعة تحتوي على رفوف بسرعة معينة ثم تنخفض هذه السرعة فجأة فتتساقط دقائق الغبار على الرفوف بفعل الجاذبية الأرضية، حيث تتجمع لتزال بين فترة وأخرى . تستخدم هذه الطريقة لتنقية الغازات.




الشكل (4) غرف الترسيب

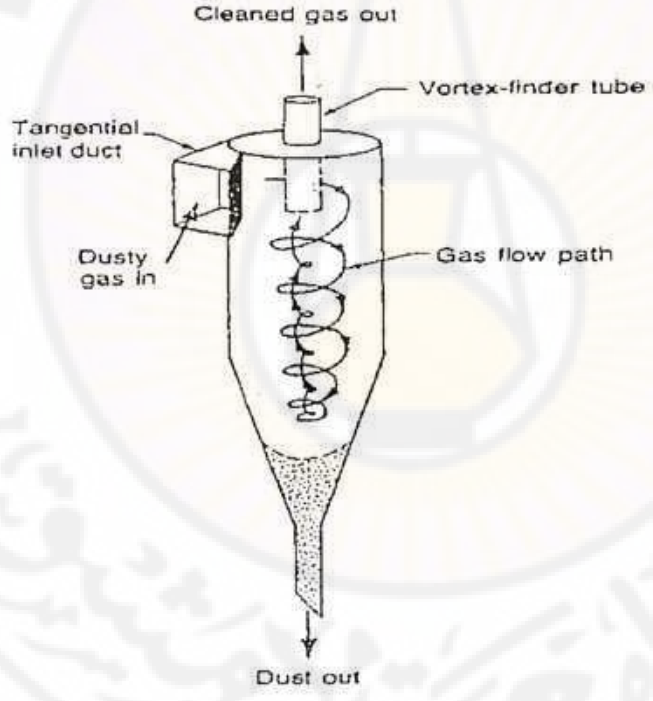
2-1- الفاصل الكهرسكوني: تُستعمل هذه الطريقة لإزالة معظم الدقائق الصلبة الناعمة والسائلة كالبكتيريا والفيروسات والدقائق الناتجة عن عمليات الطبخ والتدخين في المنازل وكذلك الدقائق ذات القيمة العالية المرافقة للغازات الناتجة في المصانع والتي يصعب إزالتها بواسطة عمليات الترشيح العادية.




الشكل (5) الفاصل الكهرسكوني

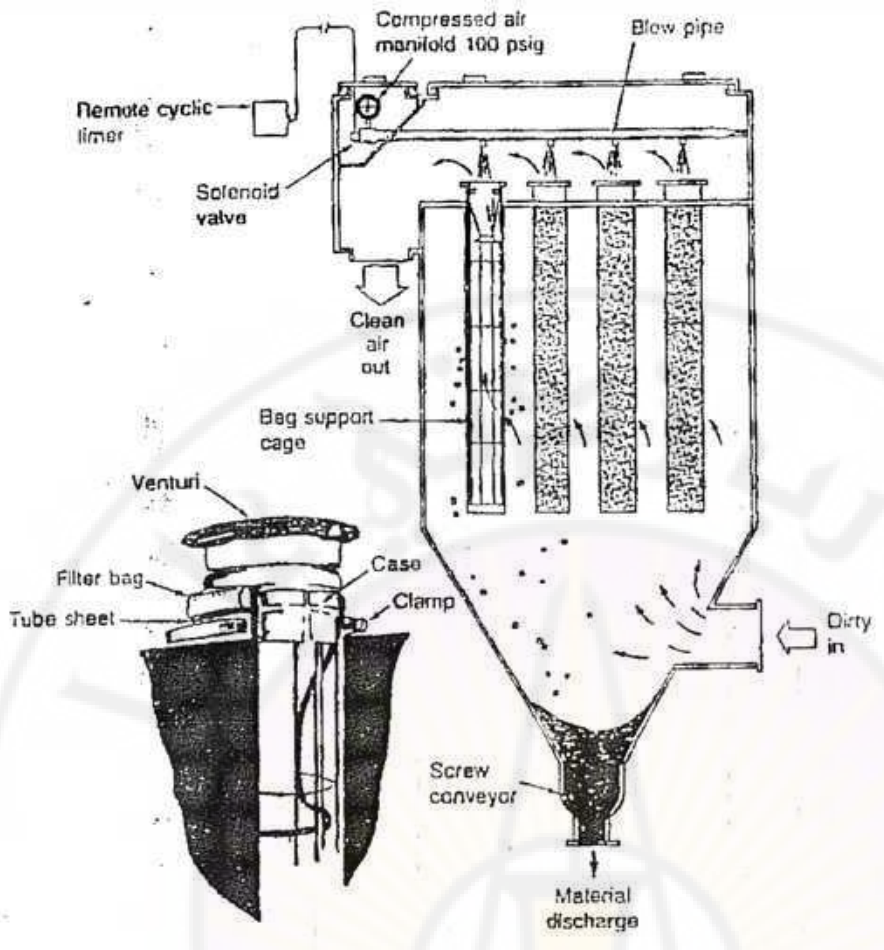
يتم في هذه العملية إمرار تيار الهواء الذي يحمل الدقائق الناعمة ضمن أنابيب تحوي في محورها على أسلاك كهربائية ذات كمون عالٍ ، يؤدي إلى شحن هذه الدقائق بشحنات كهربائية موجبة أو سالبة، تنجذب هذه الدقائق المشحونة إلى جدران الأنابيب المشحونة بشحنة معاكسة وتلتصق بها بينما يخرج الهواء النقي من الطرف الأعلى للجهاز. تعد هذه الطريقة مُفيدة جداً ولكنها عالية التكلفة.

1-3- السيكلون: تعتمد الطريقة على ضخ الهواء بقوة داخل المخروط ( السيكلون) بحيث يتحرك الهواء حركة لولبية تتجه نحو الأسفل ثم يعود الهواء ليصعد بشكل طبيعي نحو الأعلى مُخلفاً الدقائق الصلبة في الأسفل .




الشكل (6) مقطع في جهاز سيلكون لفصل الغبار من الغازات أو الهواء.

1-4- المرشحات النسيجية : تسمح هذه الطريقة بإمرار الهواء الملوث من خلال أكياس قماشية مصنوعة من القطن أو الصوف أو الصوف الزجاجي أو صوف الأسبست او خيوط صناعية، قادرة على إمرار الهواء النقي وحجز المواد الصلبة تحتاج هذه الطريقة إلى مراقبة مستمرة لأكياس الترشيح التي تنخفض فعاليتها بسرعة بسبب امتلاء مسام الكيس بالدقائق الناعمة والمفصولة مما يستلزم استبدالها أو تنظيفها بين فترة وأخرى .



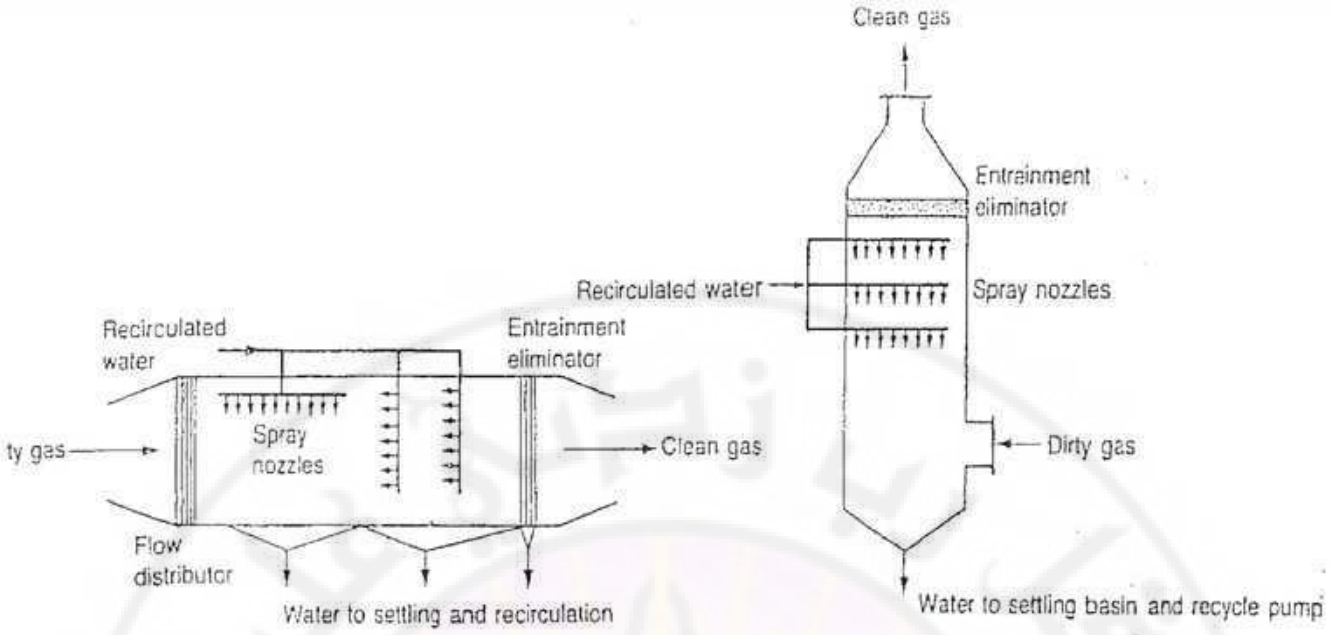

الشكل (7) مقطع في جهاز فصل الغبار من الهواء باستخدام المرشحات النسيجية.

تُستعمل هذه الطريقة بكفاءة لفصل الدقائق الصغيرة ذات القطر الأقل من 0.5 ميكرومتر ويجري حالياً تطوير أنسجة ذات مسامات صغيرة جداً قادرة على حجز دقائق لا يتعدى قطرها 0.01 ميكرومتر.

2- الطريقة الرطبة :

تعتمد على تنقية الهواء باستخدام الماء ، حيث يتم إدخال الهواء المحمل بالغازات الملوثة من أسفل الجهاز ، بينما يدخل الماء على شكل رذاذ من الأعلى ويكون الجهاز بشكل عمودي، الشكل (8) حيث تلتصق جزيئات الغبار بجزيئات الماء وتزداد كتلة جزيئات الغبار وتسقط تحت تأثير الجاذبية الأرضية إلى أسفل الجهاز لتتجمع في الماء. و ويمكن أن يكون جهاز التنقية بشكل أفقي حيث يدخل الهواء من أحد الجوانب ويرذ الماء من الأعلى، لنحصل من الأسفل على الماء المحمل بالدقائق الصلبة الشكل (9) .

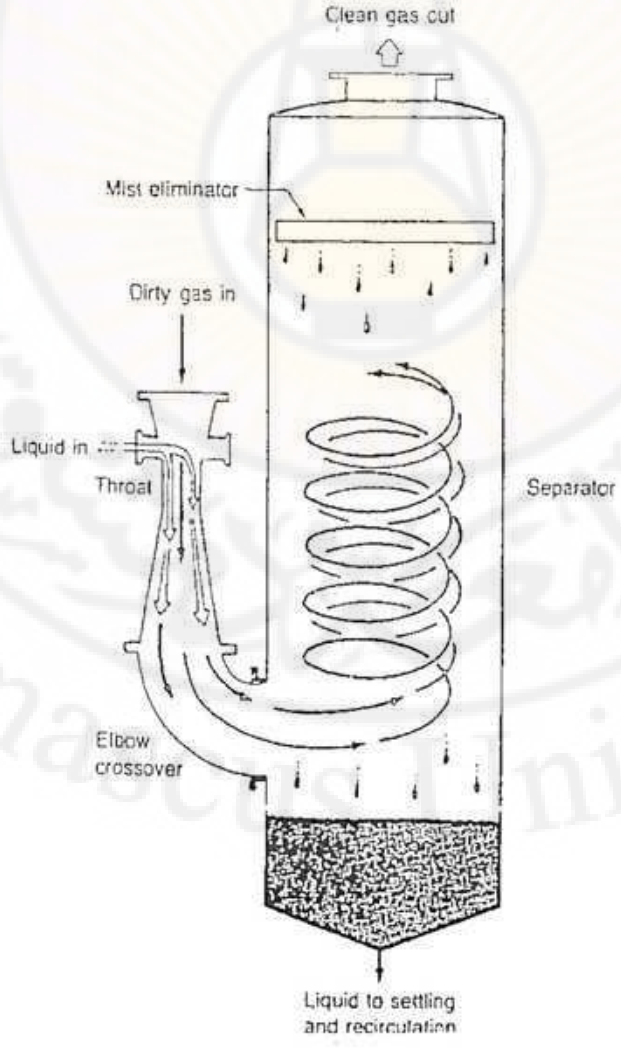
يتم في الطريقة الرطبة كذلك تنقية تيار الغاز من قسم كبير من الملوثات القابلة للذوبان في الماء.




الشكل (8) غرفة رذ عاموديه.

الشكل (9) غرفة رذ أفقية.

كذلك تتم تنقية تيار الغازات من قسم كبير من الملوثات باستخدام تيار مائي كما في الشكل (10).




الشكل (10).

جهاز لفصل الغبار من الغازات باستخدام الطريقة الرطبة .

# فصل الأبخرة العضوية

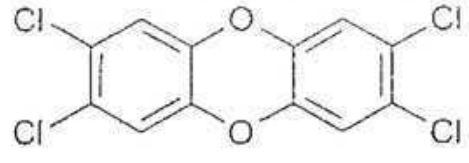
ويقصد بها فصل السوائل والتي هي عبارة عن محاليل عضوية قابلة للتطاير ، تستخدم في كثير من الصناعات وأهمها استخلاص الزيوت ، وهي مواد سامة . هناك عدة طرق لفصلها عن الغازات ، نذكر من أهمها :

1- الفصل باستخدام الضغط أو التبريد :

تستخدم لفصل المواد العضوية الغازية من الهواء ، حيث يتم استخدام الضغط أو التبريد لتحويل الغازات من مواد هيدروكربونية وأغوال والدهيدات وكيتونات وغيرها من مواد عضوية إلى الحالة السائلة في الدرجة العادية من الحرارة، ومن ثم يتم فصلها بسهولة عن الهواء . لأن هذه الغازات غير مرغوبة فهي مضرة صحياً وهي موجودة في الفضلات الغازية أو موجودة في جو هواء المعامل، مثال على ذلك: الغازات التي تسحب من وحدات استخلاص الزيوت النباتية (مذيبات)، كما يتم بهذه الطريقة فصل الإيتانول من جو العمل في وحدات التخمير لإنتاج الإيتانول.

2- الحرق الحراري:

يتم بالحرق الحراري تحويل النفايات الغازية العضوية إلى غازات غير ضارة بالصحة حيث يتم الحرق بوجود كمية زائدة من الهواء ويتطلب درجات حرارة عالية تتراوح بين 800-1000 م. وتكمن المشكلة في حرق المركبات العضوية الهالوجينية لأنه ينتج عنها مركبات لاعضوية سامة مثل الحمض الهالوجيني (مثل: HCl، HF) كما يمكن أن تنشأ مواد عضوية سامة مثل: الدي أوكسين Dioxine .




2,3,7,8-tetrachloro dibenzo-p-dioxine (TCDD)

مما يستلزم إجراء عملية تنقية للغاز الناتج عن الحرق. وبشكل عام يمكن التخلص من الدي أوكسين المرافق للنفايات الغازية برفع درجة حرارة حرق النفايات الغازية إلى 1000-1200 م وزيادة زمن الحرق ، لكنه يمكن عند التبريد أن يعود الدي أوكسين للتشكل ، من أجل ذلك، يجب أن يجري التبريد من الدرجة 400- 800 م بشكل سريع قدر الإمكان. يسبب الدي أوكسين أمراض جلدية والتهاب الكبد.

3- الطرق الوساطية:

3-1- الحرق الوساطي: تجري عملية حرق الغازات الكيميائية العضوية عند درجات حرارة منخفضة 100-200 م بإضافة الوسطاء. وتعد طريق الحرق الوساطي غير مكلفة لأنها عملية ناشرة للحرارة ويكفي وجود نسبة (2غ/م$^3$) من المركبات العضوية في النفايات الغازية حتى يتم تعويض الطاقة الحرارية المصروفة. وبالتالي تقتصر كلفة هذه العملية على كلفة تسمم الوسيط فقط وتغييره بين فترة وأخرى.

3-2- الإرجاع الوساطي:

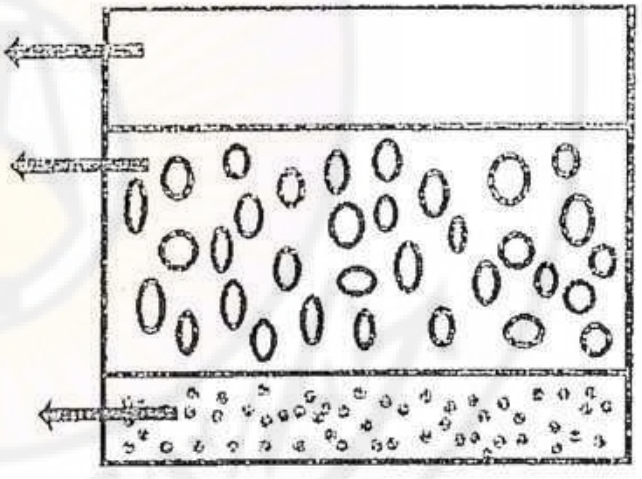
يستخدم الإرجاع الوساطي كطريقة تقنية معتمدة. بمعنى آخر وجدت عملية الأكسدة والإرجاع للغازات اهتماماً كبيراً واستخدامات واسعة في مجال التكنولوجيا المستخدمة لتنقية الهواء. حيث أن إزالة الروائح الكريهة من النفايات الغازية تعتمد اليوم على الإرجاع الوساطي الانتقائي. ويتم فيها تحويل أكاسيد الآزوت إلى الآزوت والأكسجين ، والأمونياك إلى الآزوت والهيدروجين، وذلك بتأثير الوسطاء التي تحتوي على أكاسيد معدنية عند درجة حرارة(250-1400 م).

$$2NO \longrightarrow N_2 + O_2$$

$$2\ NH_3 \longrightarrow N_2 + 3H_2$$

4- الطريقة الحيوية:

تعتمد الطريقة الحيوية في تنقية النفايات الغازية على إجراء عملية هدم للمركبات العضوية وعلى الأغلب المواد ذات الرائحة الكريهة والموجودة بتراكيز صغيرة، باستخدام عضويات دقيقة، وتحويلها إلى غازات غير سامة مثل $CO_2$ ، $H_2O$. وتجري هذه العملية في درجة الحرارة العادية، حيث تحصل تفاعلات هدم سريعة لكمية محددة فقط من الغاز. وهي مخصصة للمصانع التي تعنى بمعالجة المحاصيل الزراعية: الصناعات الغذائية الأساسية والكمالية، الصناعات الكيميائية حيث يستخدم المرشح الحيوي أو الغاسل الحيوي لتنقية النفايات الغازية بيولوجياً.




الشكل(11)

تتم بالمرشح الحيوي الشكل (11) تنقية الغازات المنطلقة من خلال مواد تحميل صلبة ورطبة (مثل لحاء الخشب ، أوراق الشجر، التراب ، بقايا نباتية، أعضاء يابسة ، فحم نباتي) حيث يتم تشريبها بالعضويات الدقيقة المناسبة لهدم المواد الضارة .

أما بالنسبة للغاسل الحيوي فيحصل امتصاص للغازات السامة في الماء وحلها فيه، ومن ثم هدمها بمساعدة عضويات دقيقة.

# فصل الغازات بالإمتزاز

## تعريف الامتزاز:

الامتزاز Adsorption هو عملية تثبيت جزيئات المواد الملوثة الغازية أو السائلة وهي على شكل بخار على سطح المادة المازة، وعندما يتم امتزاز كمية كبيرة من المواد الملوثة على المادة المازة وتصل إلى حد الإشباع يتم إيقاف إدخال الغاز إلى جهاز التنقية، حيث تجري عملية انتزاز أو تنزع للمواد وبالتالي تنشيط المادة المازة لإعادة استخدامها من جديد، ويوصل الغاز إلى جهاز أخر. وهكذا فإن هذه الطريقة تحتاج إلى جهازين يكون أحدهما في العمل والآخر في مرحلة الإنتزاز والتنشيط وهناك نوعان من الامتزاز:

1- امتزاز فيزيائي: حيث تستخدم مواد ذات مسامات أي تملك سطح فعال واسع ، قادرة على تثبيت جزيئات الغاز عليها بروابط فيزيائية ، ويكون من السهل نزعها عنها .

2- امتزاز كيميائي: يتم فيه ربط المواد الملوثة كيميائياً بالمادة المازة أي بتفاعل كيميائي، ومثال على ذلك: امتزاز غاز $SO_2$ على الكلس . أو امتزاز غاز $H_2S$على أكسيد الحديد. ويجري بعد ذلك استخلاص هذه المواد من المادة المازة كيميائياً أو حرارياً. تفيد هذه الطريقة في التخلص من الروائح التي تكون عبارة عن مركبات عضوية .

يستخدم الامتزاز الفيزيائي على نطاق واسع وذلك لأن عملية التنشيط لا تحتاج إلى طاقة عالية. حيث يتم انتزاز الغازات إما بالتسخين أو بتخفيف الضغط. مثال على ذلك: امتزاز الرطوبة – المواد الهيدروكربونية – المواد العضوية المتطايرة– ومواد أخرى عديدة.

## مواصفات المادة المازة:

يجب أن تتمتع المادة المازة بالمواصفات التالية:

1- ذات فعالية عالية في امتزاز المواد المطلوب امتزازها.

2- ذات سطح نوعي كبير.

3- ذات مسامية عالية.

# فصل الغازات بمعالجتها كيميائياً

## مقدمة

تستخدم في هذه الطريقة محاليل مائية لفصل الغازات ، حيث يتم ربط الغازات كيميائياً بمادة مناسبة ، وتدعى هذه العملية امتصاص الغازات بالطريقة الرطبة ، و تكون نسبة الامتصاص هنا عالية جداً مقارنة مع الطرق التي تعتمد على امتصاص الغازات فيزيائياً. تطبق هذه العملية عند توفر إمكانية فصل الغاز المرغوب فصله عن التيار الغازي في سائل امتصاص معين. وفي أغلب حالات الامتصاص يستخدم الماء كسائل امتصاص، ويدعى الماء في هذه الحالة سائل غسيل ، وأحياناً أخرى يجب استخدام مادة نقوم بحلها بالماء ، أي يحوي سائل الامتصاص على مادة منحلة في الماء لتشكيل محلول قلوي أو محلول حمضي ، وذلك حسب نوع الغاز لنحصل على امتصاص مثالي، فمثلاً يمكن فصل 95% من غاز ثنائي أكسيد الكبريت $SO_2$ عند استخدام محلول قلوي من رائق الكلس، حيث نحصل على راسب من كبريتات الكالسيوم :

$$SO_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaSO_3 + H_2O$$

لا يمكن فصل غاز $SO_2$ عن التيار الغازي باستخدام الامتصاص بالماء نظراً لأن غاز $SO_2$ ضعيف الانحلال أما إذا احتوى التيار الغازي على حمض كلور الماء مثلاً فإنه يستخدم محلول قلوي يحتوي على هيدروكسيد الصوديوم كسائل غسيل:

$$HCl + NaOH \longrightarrow NaCl + H_2O$$

وعندما يكون التيار الغازي الناتج قلوياً ، يحتوي على الأمونيا مثلاً فإنه يمكن الحصول على مادة مرغوبة باستخدام محلول حمضي:

$$NH_3 + HCl \longrightarrow NH_4Cl$$ كلور الأمونيوم

$$NH_3 + HNO_3 \longrightarrow NH_4NO_3$$ نترات الأمونيوم

وقد يكون سائل الامتصاص عبارة عن هيدروكربونات مثل الهكسان المستخدم في مصانع استخلاص الزيوت النباتية. أو مذيبات عضوية مثل الايتانول.

1-الطرق الجافة لإزالة $NO_x$.

2-الطرق الرطبة لإزالة $NO_x$.

## 1-الطرق الجافة لإزالة $NO_x$:

أهم الطرق الجافة لإزالة غازات $NO_x$ من الفضلات الغازية والمطبقة بشكل كبير هي:

1-طريقة الإرجاع الوَساطية الانتقائي Selective Catalytic Reduction (SCR).

2-طريقة الإرجاع غير الوساطية Selective non Catalytic Reduction (SNCR).

3- طرق الامتزاز على مواد مازة فعالة مثل: الفحم الفعال – السيلكاجيل.

4-طريقة استخدام تيار من الالكترونات"EBP".

تم البدء بتطبيق هذه الطرق في منتصف السبعينات وتعتبر اليابان أولى دول العالم التي استخدمتها، تلتها أوربا الغربية.

### 1-1- طريقة الإرجاع الوساطية الانتقائية(SCR):

تعتمد هذه الطريقة على إرجاع أكاسيد الآزوت إلى الآزوت الحر ($N_2$) باستخدام الأمونيا($NH_3$) وبدرجة حرارة بين 300-400 °C والوسائط الأكثر استخداماً هي مزيج من أكاسيد التيتانيوم والفاناديوم والنسبة الجزيئية $NH_3 : NO_x$ هي (1.2 : 1.3).

وأهم التفاعلات الأساسية التي تحدث :

$$4NH_3 + 6NO \rightleftharpoons 5N_2 + 6H_2O$$
$$8NH_3 + 6NO_2 \rightleftharpoons 7N_2 + 12H_2O$$
$$8NH_3 + 6NO + O_2 \rightleftharpoons 4N_2 + 6H_2O$$
$$4NH_3 + 2NO_2 + O_2 \rightleftharpoons 3N_2 + 6H_2O$$

وهناك تفاعلات ثانوية غير مرغوبة أهمها:

$$4NH_3 + 3O_2 \rightleftharpoons 4N_2 + 6H_2O$$
$$4NH_3 + 5O_2 \rightleftharpoons 4NO + 6H_2O$$
$$4NH_3 + 4O_2 \rightleftharpoons 2N_2O + 6H_2O$$

# تلوث الماء

- على الرغم من أن حاجة الإنسان الملحة للماء، وارتباط بقائه ببقاء الماء ونقائه، إلاّ أنه على الرغم من ذلك، لم يحسن التعامل مع الماء، نتيجة ازدياد الأنشطة السكانية الزراعية والصناعية، بالقرب من مصدر هذه المياه، مما قلل من خواصها الطبيعية والكيميائية، نتيجة ازدياد تركيز العديد من الملوثات في هذه المياه. وكنتيجة لازدياد هذه الأنشطة

فقدت هذه المياه مقدرتها على التخلص من الملوثات، وبدأت أعراض تلك الملوثات في طرق ناقوس الخطر، حيث تدهور محصول البحار والمحيطات والأنهار، وماتت الكائنات الحية، وانقرض بعضها، وأصبحت المياه في العديد من المناطق والأماكن، غير صالحة للاستهلاك الآدمي.

وهناك العديد من مصادر التلوث، التي تصيب البيئة المائية، يمكن تقسيمها إلى أربعة أقسام هي:

# أ. التلوث الفيزيائي

- وينتج عن تغيير المواصفات القياسية للماء، عن طريق تغير درجة حرارته أو ملوحته، أو ازدياد المواد العالقة به، سواء كانت من أصل عضوي أو غير عضوي. وينتج ازدياد ملوحة الماء، غالباً، عن ازدياد كمية البخر لماء البحيرة، أو الأنهار، في الأماكن الجافة، دون تجديد لها، أو في وجود قلة من مصادر المياه.

. كما أن التلوث الفيزيائي الناتج عن ارتفاع درجة الحرارة، يكون، في غالب الأحوال، نتيجة صب مياه تبريد المصانع والمفاعلات النووية، القريبة من المسطحات المائية، في هذه المسطحات، مما ينتج عنه ازدياد درجة الحرارة،
ونقص الأكسجين، مما يؤدي إلى موت الكائنات الحية في هذه الأماكن (

# ب. التلوث الكيميائي

- وينتج هذا التلوث غالباً عن ازدياد الأنشطة الصناعية، أو الزراعية، بالقرب من المسطحات المائية، مما يؤدي إلى تسرب المواد الكيميائية المختلفة إليها. وتعد كثيرةٌ من الأملاح المعدنية والأحماض والأسمدة والمبيدات، من نواتج هذه الأنشطة التي يؤدي تسربها في الماء إلى التلوث، وتغير صفاته وهناك العديد من الفلزات السامة الغذائية في الماء، تؤدي إلى التسمم إذا وجدت بتركيزات كبيرة، مثل الباريوم والكادميوم والرصاص والزئبق

- . أمّا الفلزات غير السامة، مثل الكالسيوم والماغنسيوم والصوديوم، فإن زيادتها في الماء تؤدي إلى بعض الأمراض، إضافة إلى تغير خصائص الماء الطبيعية، مثل الطعم وجعله غير مستساغ. كما أن هناك أيضاً التلوث بالمواد العضوية، مثل الأسمدة الفوسفاتية والأزوتية، التي يؤدي وجودها في الماء إلى تغير رائحته، ونمو الحشائش والطحالب

، مما يؤدي إلى زيادة استهلاك الماء، وزيادة البخر. وقد يؤدي في النهاية إلى ظاهرة الشيخوخة المبكرة للبحيرات Eutrophication، حيث تتحول هذه البحيرات إلى مستنقعات مليئة بالحشائش والطحالب، وقد تتحول في النهاية إلى أرض جافة

# ج. التلوث البيولوجي

- وينتج هذا التلوث عن ازدياد الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض، مثل البكتريا والفيروسات والطفيليات في المياه. وتنتج هذه الملوثات، في الغالب، عن اختلاط فضلات الإنسان
والحيوان بالماء، بطريق مباشر عن طريق صرفها مباشرة في مسطحات المياه العذبة، أو المالحة، أو عن طريق غير مباشر عن طريق اختلاطها بماء صرف صحي أو زراعي

. ويؤدي وجود هذا النوع من التلوث، إلى الإصابة بالعديد من الأمراض. لذا، يجب عدم استخدام هذه المياه في الاغتسال أو في الشرب، إلاّ بعد تعريضها للمعاملة بالمعقمات المختلفة، مثل الكلور والترشيح بالمرشحات

# الميكانيكية.

# د. التلوث الإشعاعي

- ومصدر هذا التلوث يكون،غالباً، عن طريق التسرب الإشعاعي من المفاعلات النووية، أو عن طريق التخلص من هذه النفايات، في البحار
والمحيطات والأنهار. وفي الغالب لا يُحدث هذا التلوث أي تغيير في صفات الماء الطبيعية، مما يجعله أكثر الأنواع خطورة

، حيث تمتصه الكائنات الموجودة في هذه المياه، في غالب الأحوال، وتتراكم فيه، ثم تنتقل إلى الإنسان، أثناء تناول هذه الأحياء، فتحدث فيه العديد من التأثيرات الخطيرة، منها الخلل والتحولات التي تحدث في الجينات الوراثية.

# هـ. تلوث المياه السطحية

# (1) تلوث الأنـهار والبحيرات

- يُعدّ هذا التلوث من أخطر أنواع تلوث المياه على الإطلاق، لأنـه يؤثر على مياه الشرب والمياه المستخدمة في الزراعة والري. وينتج تلوث الأنـهار والبحيرات، عن عدة مصادر، منـها صرف الملوثات الكيميائية المختلفة الناتجة عن المصانع، والصرف الصحي في هذه الأنـهار والمحيطات

. كما أن مخلفات الصرف الزراعي، المحملة بالعديد من الأسمدة العضوية، ومياه السيول المحملة بالمواد الذائبة العضوية والكيميائية، تعد من المصادر الخطيرة لتلوث مياه الأنهار والبحيرات، التي لا يمكن تحديد كميتها أو التحكم فيها. إلاّ أنه في العصر الحديث، ومع ازدياد النشاط الصناعي وتلوث الجو، أصبحت مشكلة الأمطار الحمضية من الأخطار، التي تهدد مصادر المياه العذبة في العالم، بصفة خاصة في البلدان الصناعية

# (2) تلوث البحار والمحيطات

- يؤدي تلوث البحار والمحيطات، بصفة أساسية، إلى اختلال التوازن البيئي على كوكب الأرض. ومما يزيد الأمر تعقيداً، تعدد مصادر التلوث وصعوبة سن أو تطبيق قوانين حماية البحار والمحيطات، حيث تعد البحار والمحيطات معابر عالمية للملاحة الدولية. وهناك العديد من مصادر التلوث للبحار والمحيطات،

، منها الصرف الصحي، حيث تفرغ العديد من الدول والبلدان، المطلة على البحار والمحيطات، مياه صرفها الصحي في هذه المسطحات المائية. وقد أحدثت هذه المصادر الضرر البالغ بالعديد من المسطحات المائية، منها على سبيل المثال ما حدث في البحر الأبيض المتوسط، أوائل السبعينيات. ولكن خطة بناء محطات معالجة مياه الصرف

الصحي، في جميع المدن الساحلية المطلة على البحر المتوسط. أسهمت بصورة كبيرة في انخفاض منسوب التلوث، الناتج عن الصرف الصحي.

- ولا يختلف الأمر كثيراً بالنسبة للصرف الصناعي، حيث تصرف الدول الصناعية مخلفاتها الصناعية ونفاياتها السامة والإشعاعية، في عرض البحر بواسطة السفن، أو تدفنها في قاع المحيطات. كما يُعدّ التسرب البترولي من حقول البترول، أو من حوادث الناقلات المحملة بالنفط، من أحد أسباب التلوث المهمة في البحار والمحيطات

. ومما يزيد من خطورة هذه المصادر، عدم التزام العديد من الدول بتطبيق الاتفاقيات والمعاهدات الدولية، التي أنشئت ووقِّعت لحماية البيئة، مثل معاهدة لندن عام 1972، واتفاقية الكويت لحماية البيئة البحرية، التي وقعتها دول الخليج عام 1978

# و. تلوث المياه الجوفية

- منذ أمد بعيد كانت الآبار من مصادر المياه النقية، التي لا يمكن تلوث مياهها نتيجة للتأثير الترشيحي للتربة على المياه المترسبة، غير أن هذا الاعتقاد تغير الآن. ففي كثير من الحالات، تكون الآبار المستخدمة قريبة من سطح الأرض، كما هو الحال في الآبار قليلة الغور، وتزداد فرصة تعرضها للتلوث البيولوجي أوالكيميائي

Damascus University

- أمّا في حالة الآبار العميقة، وهي

التي يزيد عمقها عن 40 - 50 قدماً، فتقل فرص التلوث فيها، لأن المياه تمر في هذه الحالة على طبقات مسامية نصف نفاذة، تعمل في كثير من الأحيان على ترشيح الماء وتخليصه من معظم الشوائب. غير أن الشواهد، التي تجمعت في السنوات القليلة الماضية

، دلت على أن بعض المبيدات الحشرية والمواد الكيميائية، وجدت طريقها إلى طبقة المياه الحاملة Aquifers في باطن الأرض. وتعد هذه المعلومات العلمية الحديثة في غاية الخطورة. إذ تشير الدلائل إلى تعرض المخزون الكبير للأرض من الماء العذب، إلى التلوث من مصادر عديدة. ومن هذه المصادر:

# (1) الأنشطة الزراعية

حيث يؤدي استعمال الماء بالطرق القديمة، مثل الغمر أو الاستعمال المفرط للمياه، مع سوء استخدام المبيدات الحشرية والأسمدة، إلى زيادة تركيز الأملاح والمعادن والنترات في المياه الجوفية، بصفة خاصة إذا لم تتوفر أنظمة الصرف الزراعي العلمية.

# (2) استخدام آبار الحقن

- وهي آبار تستخدم لحقن النفايات الصناعية والإشعاعية، في الطبقات الجوفية العميقة الحاملة للمياه المالحة

. إلاّ أنه قد ينتج عن ذلك تسرب هذه النفايات إلى الطبقات العليا الحاملة للمياه العذبة عن طريق الأنابيب عبر المحكمة، أو عن طريق سريانها في اتجاه الطبقات الحاملة للمياه العذبة، عن طريق التصدعات في الطبقات غير المنفذة.

# (3) بيارات الصرف

وهي الحفر والحجرات، التي تُبنى في القرى

والمدن، التي لا يتوفر فيها أنظمة صرف صحي كوسيلة للتخلص من الفضلات والمياه المستعملة.

واستخدام هذه البيارات يؤدي في كثير من الأحيان، إلى تسرب ما تحمله من بكتريا ومواد عضوية إلى الطبقة الحاملة، والى تلوثها.

# (4) تداخل المياه المالحة

وتحدث في الآبار القريبة من البحار المالحة، نتيجة الضخ والاستخدام المفرط للمياه العذبة، مما يؤدي إلى تسرب المياه المالحة من البحر في اتجاه الطبقات الحاملة، واختلاطها بالمياه العذبة.

ونتيجة لذلك، تصبح هذه المياه غير صالحة للشرب أو الزراعة.

# (5) التخلص السطحي من النفايات

**ويحدث هذا، غالباً، في البلاد الصناعية، حيث تدفن هذه البلاد نفاياتها**

الصناعية، في برك تخزين سطحية آفعلى سبيل المثال، يتم التخلص من حوالي 390 مليون طن من النفايات الصلبة في الولايات المتحدة الأمريكية، عن طريق دفنها في أماكن مخصصة على سطح الأرض. كما يجري التخلص من حوالي 10 آلاف مليون جالون من النفايات السائلة عن طريق

- وضعها في برك تخزين سطحية. وقد يؤدي عدم إحكام عزل هذه البرك، إلى تسرب هذه النفايات إلى الطبقة الحاملة للمياه العذبة، حيث يعد 10% من هذه النفايات ذات خطورة حقيقية، على صحة الإنسان والبيئة. وعند حدوث تلوث للمياه الجوفية، يصعب، إن لم يكن مستحيلاً، التخلص من هذا التلوث، أو إجراء أي معالجة للمياه الموجودة في الطبقات الحاملة

. ومما يزيد الأمر تعقيداً، وجود هذه المياه في باطن الأرض وبطء حركتها، ذلك أن سرعة سريان هذه المياه في باطن الأرض، لا يتجاوز عدة أمتار في اليوم، أو ربما عدة أمتار في السنة، تبعاً لمكان المياه الجوفية ونوعها. وهذا يعني مرور السنين الطوال قبل التخلص من أي تلوث، أو قبل اكتشاف أي تلوث. مما يؤدي إلى انتشاره عبر المجاري والأنهار، الجارية في باطن الأرض

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

# خصائص المياه الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية.

## مقدمة:

تغطي المياه حوالي 71% من سطح الكرة الأرضية، ولكن فقط أقل من 1% من هذه المياه صالحة للشرب. وتبلغ كمية الماء في الغلاف المائي للكرة الأرضية حوالي 1.5 مليار كم$^3$ وجميعها تتجمع في المحيطات والبحيرات، و تشير الدراسات إلى أن أضعاف هذه الكمية موجودة تحت القشرة الأرضية، وهذه الكمية من المياه هي التي ميزت الكرة الأرضية عن باقي الكواكب باللون الأزرق المميز بوجود الحياة عليه



تشير الدراسات والإحصاءات الحديثة إلى أن كمية المياه العذبة المتوافرة على الأرض كافية لسد حاجة حوالي 20 مليار إنسان، والمشكلة الرئيسة في عالمنا ليست في الكمية الكلية المتوافرة بل في التوزيع الجغرافي غير المتكافئ للموارد المائية على الأرض. ففي بعض المناطق الصحراوية الجافة ينعدم تقريباً هطول الأمطار بينما يصل في المناطق عالية الرطوبة إلى عدة أمتار سنوياً. أما المياه السطحية في الأنهار والبحيرات فتتمركز في مناطق محددة من سطح الأرض. فنهر الأمازون مثلاً يحتوي على 16% من المياه العذبة السطحية بينما تحتوي البحيرات الضخمة في أمريكا الشمالية على 18% ويحتوي نهر الكونغو على ثلث المياه العذبة في القارة الإفريقية. وقد تختلف كمية المياه المتوافرة من فصل إلى آخر خلال العام، فخلال موسم الأمطار أو في بداية فصل الربيع عندما تذوب الثلوج قد تصل كمية المياه السطحية في بعض المناطق إلى معدلات عالية وتؤدي إلى فيضانات مدمرة بينما تعاني نفس المناطق من قلة الموارد المائية بقية العام.

يقع الوطن العربي في المنطقة الجافة وشبه الجافة، وتعد الأمطار المورد الأساسي لتأمين الحاجة من المياه في العديد من دول الوطن العربي، وتتسم هذه الأمطار بقلة التساقطات وسوء التوزيع والتغير المناخي وتعاقب سنوات الجفاف. ومن الدول التي تعتمد على الأمطار في بناء اقتصادها الزراعي والصناعي سوريا، المغرب، الجزائر، تونس، لبنان، العراق، الصومال، السودان، والأردن، وتقدر كمية الأمطار السنوية التي تتساقط على الوطن العربي بين 2100 – 2300 مليار م$^3$، أما من حيث الأنهار فهناك 34 نهراً مستديماً كبيرة وصغيرة كنهر النيل ونهر الفرات ونهر دجلة ونهر العاصي ونهر الأردن، وهناك مئات الآلاف من الأودية الموسمية.

تأخذ الزراعة المروية الحصة الأكبر من الاستهلاك للمياه العذبة (حوالي 70.1% عالمياً و 87% في الوطن العربي) تليها الاستعمالات الصناعية (حوالي 20.0% عالمياً و 7% في الوطن العربي) ثم الاستعمالات المنزلية (حوالي 9.9% عالمياً و 6% في الوطن العربي)







يؤدي الاستهلاك المتزايد للمياه العذبة وتلوث المياه نتيجة النشاطات الإنسانية إلى ظاهرة شح المياه التي تعاني منها العديد من المناطق في عصرنا الحالي كمناطق وسط وجنوب سوريا والأردن وبعض المناطق في إفريقيا وآسيا وأمريكا الشمالية.

وعلى كل حال لا يمكن أن يكون الماء نقياً في أي من أشكاله الطبيعية، فمياه الأمطار تكون مشوبة بالغازات المنحلة من الهواء الجوي وبالغبار، أما في مياه الينابيع فتختلف المواد المنحلة حسب طبيعة الأراضي التي توجد فيها، بينما تحوي مياه الأنهار على مواد عضوية إضافة إلى الأملاح المنحلة.

وبشكل عام فإن الماء... سائل شفاف عديم اللون والطعم والرائحة، ويظير الجدول (1 – 1) أهم الخصائص الفيزيائية للماء النقي.

الجدول (1 – 1) أهم الخصائص الفيزيائية للماء النقي

| الخاصة | القيمة |
|---|---|
| الكتلة المولية (Molar mass) | 18.015 g/mol |
| الحجم المولي (Molar volume) | 55.5 mol/L |
| درجة الغليان (BP) (Boiling point) | 100°C at 1atm |
| درجة التجمد (FP) (freezing point) | 0°C at 1atm |
| النقطة الثلاثية (Triple point) | 273.16K at 4.6torr |
| التوتر السطحي (Surface Tension) | 73 dynes/cm at 20°C |
| ضغط البخار (Vapor pressure) | 0.0212 atm at 20°C |
| حرارة التبخر (Heat of vaporization) | 40.63 kJ/mol |
| حرارة الانصهار (Heat of Fusion) | 6.013 kJ/mol |
| السعة الحرارية (Cp)Heat Capacity) | 4.22 kJ/kg.K |
| ثابت العزل الكهربائي Dielectric Constant | 78.54 at 25°C |
| اللزوجة (Viscosity) | 1.002 centipoise at 25°C |
| الكثافة (Density) | 1g/cc at 4°C |
| الحرارة النوعية (Specific heat) | 4180 J/kg.K (T=293 -273 K) |
| (الإيصال الحراري) Heat conductivity | 0.60 W/m.K (T=293K) |

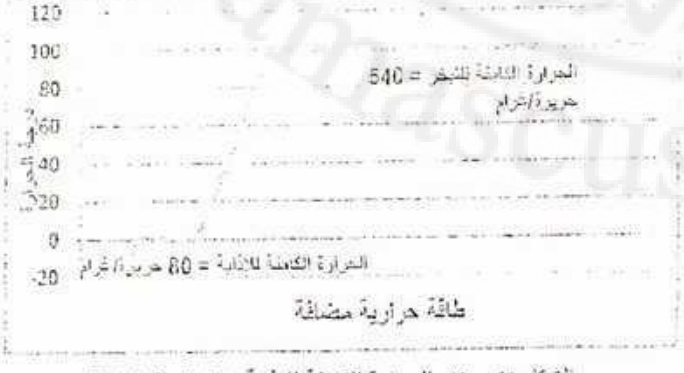
تحتوي المياه الطبيعية عادة على كمية من المواد المنحلة والمعلقة وتحدد ماهية وكمية هذه المواد نوعية المياه ومدى صلاحيتها للاستعمالات البشرية المختلفة. أما مياه المحيطات فتركيبها ثابت تقريباً، فهي تحتوي على 35غرام/لتر من "الأملاح منها 27غرام من كلوريد الصوديوم، بينما تنخفض نسبة الأملاح في البحار الداخلية كالبحر "الأسود، أو ترتفع كما في البحر الأبيض المتوسط، وتبلغ قيمة عظمى في البحار التي ليس لها منفذ على البحار الأخرى كالبحر الميت.

## 1 – 1 الخصائص الفيزيائية للمياه Physical properties of water

يعتبر الماء جزيئاً قطبياً، بمعنى أن هناك عزم ثنائي قطب وذلك بسبب فرق الكهرسلبية العالي بين ذرة الأوكسجين التي تمتاز بصغر حجمها وارتفاع كهرسلبيتها (3.5) وبين الهيدروجين الكهرسلبية (2.1).كما يملك جزيء الماء شحنة جزئية سالبة (- δ) قرب ذرة الأوكسجين نتيجة وجود الأزواج الإلكترونية غير المرتبطة، وشحنة جزئية موجبة (+ δ) قرب ذرة الهيدروجين، ونشوء هذا العزم الثنائي القطب يعطي جزيء الماء خواصاً كهركيميائية فريدة. ونتيجة للاختلاف في الكهرسلبية بين ذرة الأوكسجين وذرتي الهيدروجين في جزيئات الماء تتجاذب الجزيئات مع بعضها عن طريق ما يسمى بـ"الرابطة الهيدروجينية"، أي تسبح ذرة الهيدروجين كقنطرة أو جسر يصل بين ذرتين لهما سالبية كهربية عالية، فتتقارب الجزيئات من بعضها البعض بدرجة يمكن معها اعتبار ذرة الهيدروجين كرابطة تربط الجزيئات معاً. وسندرس الآن بعض الخواص الفيزيائية للماء.

### 1 – 1 – 1 الخواص الحرارية للماء: Heat Properties of water

يتصف الماء بامتلاكه سعة حرارية عالية و حرارة نوعية (Specific Heat) عالية أيضاً، وهي تفوق جميع السوائل عدا الزيوت، كما أن حرارته الكامنة للإذابة والتبخر مرتفعة. ويعزى ارتفاع درجة غليان الماء إلى أن الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية تستغل في تكسير الروابط الهيدروجينية، فتجد أن درجة غليان الماء (100°C)، وتعتبر هذه الدرجة مرتفعة جداً بالنسبة لمركب مثل الماء كتلته الجزيئية (18)فقط.



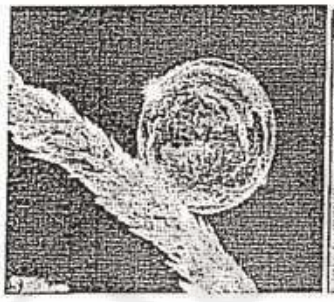

الشكل (1 – 1): الحرارة الكامنة للإذابة والتبخر للماء النقي.

عندما نبدأ بتسخين الجليد (الشكل 1 – 1)، تبدأ درجة حرارة بلورات الجليد بالارتفاع حتى تصل إلى الصفر المئوي عندها نشاهد حالة توازن بين الطورين السائل والغاز، وتتوقف عندها درجة الحرارة عن التزايد على الرغم من استمرار تقديم الحرارة وذوبان الجليد، وهنا تستهلك الحرارة المقدمة للوسط في تفكك الروابط البينية بين جزيئات البلورات الثلجية محولة إياها إلى سائل ويطلق على هذه الحرارة بالحرارة الكامنة للإذابة (Latent Heat of Fusion) والتي تساوي 80حريرة/غ، وتبقى درجة الحرارة للماء صفر مئوية وذلك حتى ذوبان جميع قطع الجليد، وبعدها تبدأ درجة الحرارة بالارتفاع. وعند وصول الماء إلى درجة الغليان فإن درجة حرارته تبقى ثابتة أيضاً خلال الغليان وتستهلك الطاقة في تفكيك الروابط بين جزيئات الماء لتتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية ويطلق على هذه الحرارة بالحرارة الكامنة للتبخر (Latent Heat of Vaporization) وهي تساوي (540حريرة/غرام.

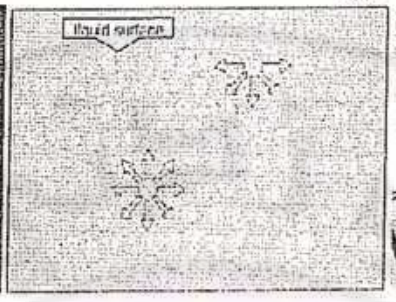
### 1 – 2 – 4 اللزوجة والتوتر السطحي: Viscosity and Surface Tension of water

اللزوجة هي مقاومة السائل للحركة وتقاس اللزوجة التحركية بالجملة الدولية بالباسكال.ثانية (pa.s) وفي الجملة الثغثية بالدينا.ثانية/سم$^2$ (تدعى بالبواز pois)، وتساوي لزوجة الماء في الدرجة 20°م 1 سنتي بواز (1c pois) في حين تقاس اللزوجة الحركية (والتي تساوي اللزوجة التحركية/الكثافة) بالـ م$^2$/ثا ($m^2/s$). (الشكل (1 – 2))

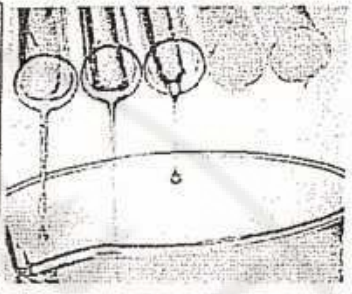
يقاس التوتر السطحي بالجول/متر$^2$ ($N/m=J/m^2$) وهو خاصية السوائل في حالة السكون حيث يكون سطح السائل الحر مشدوداً حتى يأخذ أقل مساحة ممكنة. (الشكلان: 1( – 3 ) (1 – 4)).



الشكل 1 – 2: مقاومة اللزوجة للحركة.




الشكل 1 – 3: التوتر السطحي ناتج عن قوة الانجذاب بين الجزيئات المتجاورة.

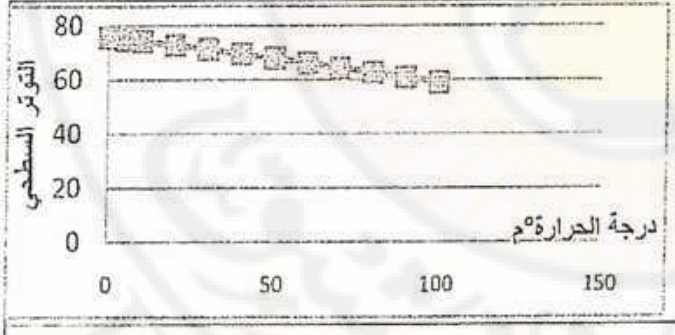


الشكل 1 – 4: التوتر السطحي يجعل السوائل تأخذ أقل مساحة سطح ممكنة.

تسبب الرابطة الهيدروجينية في الماء انجذاب الجزيئات لبعضها البعض بحيث يكتسب الماء لزوجة أكثر من لزوجة تلك المركبات التي تشبه الماء في تكوينها الكيميائي، كما وتتأثر لزوجة الماء بدرجة الحرارة حيث تزداد بانخفاضها. تؤثر الرابطة الهيدروجينية أيضاً في زيادة التوتر السطحي للماء مقارنة بالسوائل الأخرى. وتتغير قيم التوتر السطحي للماء صعوداً وهبوطاً بشكل كبير بتغير نوعية وتركيز المواد المنحلة في الماء.

يبين الجدول (1 - 4) تغير اللزوجة والتوتر السطحي بتغير درجة الحرارة.

الجدول (1 - 4) تغير اللزوجة والتوتر السطحي بتغير درجة الحرارة







| درجة الحرارة °م | اللزوجة التحريكية Cp | التوتر السطحي erg/cm$^2$ |
|---|---|---|
| 0 | 1787 | 75.6 |
| 5 | 1519 | 74.9 |
| 10 | 1307 | 74.22 |
| 20 | 1002 | 72.75 |
| 30 | 0798 | 71.18 |
| 40 | 0653 | 69.56 |
| 50 | 0547 | 67.91 |
| 60 | 0468 | 66.18 |
| 70 | 0404 | 64.4 |
| 80 | 0355 | 62.6 |
| 90 | 0315 | 60.8 |
| 100 | 0282 | 58.9 |

### 1– 2 الخصائص الفيزيائية لنوعية المياه:

تستخدم عموماً مؤشرات عدة لوصف نوعية المياه الفيزيائية، أهمها اللون والطعم والرائحة، العكارة، درجة الحرارة.

#### 1 – 2 - 1 اللون والطعم والرائحة: Color , Taste , Odor

يصنف اللون والطعم والرائحة من الخصائص الفيزيائية الهامة للماء وهي تصنف كذلك على أنها من الخصائص الحسية للماء وهي مؤشر على جمالية الماء، ومهما كانت نوعية الماء ومكوناته يجب أن يتمتع ماء الشرب بلون صاف وطعم مستساغ وعدم وجود أي رائحة غير مرغوبة.

### اللون: Color

يرجع سبب **اللون** في المياه إلى محتواه من:

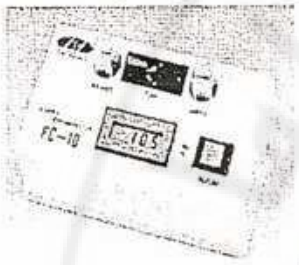
1- مستخلصات عضوية طبيعية ناتجة عن تحلل أوراق الأشجار، الأعشاب ، الطحالب ، الفحم.

2- فضلات المصادر الصناعية والمناجم.

3- فضلات المنازل.

وأهم مسبب للألوان في المياه هو وجود أيونات معادن طبيعية كأكسيد الحديد (اللون الأحمر) وأكسيد المنغنيز (بني إلى أسود) والدبال وفحم المستنقعات.

يقاس اللون بمقارنة عينة المياه مع محاليل لونية عيارية أو أقراص زجاجية ملونة، والمحضرة من كلورو بلاتينات البوتاسيوم (potassium chloroplatinate) $K_2PtCl_6$ مع كمية قليلة من كلوريد الكوبلت. يكافئ اللون الناتج من مزج 1ملغ/ليتر من $K_2PtCl_6$مع 0.5 ملغ/ليتر من$CoCl_3$إلى1 وحدة لونية قياسية. إن اللون الأصفر المسمر الناتج من هذه المعادن يشبه تلك الألوان المشاهدة في المياه الطبيعية. وتستعمل للقياسات البصرية أنابيب مقارنة قياسية تحتوي محاليل كوبلت بلاتين بشكل مرتب من 0 إلى 70 وحدة لونية. وعلى كل حال فإن المختبرات غالباً ما تستخدم للقياس جهاز مقياس الشدة اللونية (colorimeter).



تحدد المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب رقم /45/ لعام 2007 الدرجة اللونية (TCU) العظمى لمياه الشرب بـ 15 وحدة ملغ/ليتر بمقياس كوبلت بلاتين، حيث يتم ترشيح أو تثفيل الماء قبل القياس، وذلك لأن اللون الحقيقي للماء يعتبر منسوب فقط إلى المواد المنحلة في المحلول بعد إزالة المواد المعلقة.

### الطعم: Taste

من المفترض أن المياه لا تحتوي على أي طعم مميز بوساطة المستهلكين وأن أكثر المواد التي تسبب الطعم في المياه هي المواد العضوية مثل الزيوت والشحوم والدهون والفينولات والفينولات المكلورة إلخ. والمواد غير العضوية من الأملاح الذائبة كالحديد والمنغنيز والكلوريدات والغازات، كما وأن الطعم قد ينتج من تفسخ بعض النباتات المائية والحشائش وأوراق الأشجار أو من النشاط المايكروبي ويمكن تقسيم طعم المياه حسب حاسة الذوق إلى مر نتيجة الأملاح وإلى لاذع نتيجة بعض المركبات وإلى حلو.

### الرائحة: Odor

إن مصدر الرائحة في المياه ناتج من العوامل التالية:

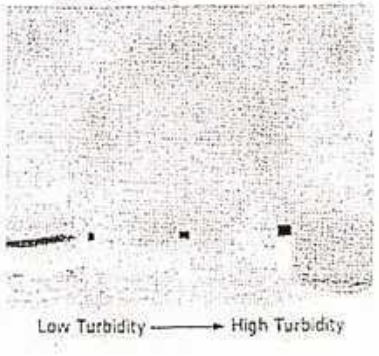
1- تفسخ الكائنات الحية والطحالب Algaeوالأشنيات والتي تعطي رائحة السمك والرائحة العشبية ورائحة العفن الكريهة الناتجة عن بكتيريا العفن Actinomycetes.

2- نواتج التفاعلات الكيميائية والبيولوجية وإنتاج مواد مثل غاز ثنائي أكسيد الكبريت والكلور وغاز كبريت الهيدروجين $H_2S$والذي تشبه رائحته رائحة البيض الفاسد، والنشادر الذي ينتج من التحلل البيولوجي اللاهوائي للملوثات العضوية من المصادر الزراعية والمنزلية والصناعية. وغازات أخرى.

3- تفسخ المركبات النتروجينية والفوسفورية والكبريتية.

تقاس الرائحة ويعبر عنها بمصطلح رقم عتبة الرائحة، وهو عبارة عن النسبة التي يجب أن تمدد بها عينة المياه حتى تصبح الرائحة غير ملحوظة عملياً، فعلى سبيل المثال إذا كان حجم عينة المياه 25 مللتر ولزم تمديدها حتى الحجم 150 مللتر حتى اختفاء الرائحة تقريباً، فإن رقم العتبة يكون 150/25=6.

ويمكن تطبيق طريقة مشابهة لقياس الطعم في المياه، وإن قياسات الطعم والرائحة شخصية جداً، وتعتمد على حساسية الشخص الذي يقوم بالاختبار.




### 1 – 2 – 2 العكارة:Turbidity

تعتبر العكارة مقياس لتركيز الأجزاء غير المنحلة من التربة والعضويات والكائنات الحية الدقيقة ومواد أخرى تعيق مرور حزمة ضوئية عبر الماء أو أي سائل آخر وتؤدي إلى بعثرة (تشتيت) الأشعة الضوئية وامتصاصها. وهناك تناسب طردي بين رقم العكارة وزيادة نسبة الضوء المبعثر أي زيادة تركيز مجموع المواد المعلقة Total suspended solids. ويمكن بزيادة خمس وحدات تميز رقم العكارة بالمشاهدة المرئية. يبلغ رقم عكارة مياه بحيرة نموذجية نظيفة 25 وحدة وتزيد في الماء العكر عن 100 وحدة.

إن تشتت الضوء الذي يسببه معلق ذو تركيز 1ملغ/ليتر من السيلكا يعادل وحدة عكارة واحدة Turbidity Unit (TU)، حيث تم في البدء قياس العكارة باستخدام جهاز شمعة جاكسون لتحديد العكارة Jackson candle turbidimeterوالمؤلف من لهب شمعة ينظر إليه من خلال عمود الماء المحتوى في أنبوب زجاجي يحدد العيار. إن القيمة الأدنى التي تم قياسها بهذه التقانة كانت 25 وحدة.



يستخدم حالياً الأجهزة الضوئية لتحديد العكارة وتدعى بالمقاييس الضوئية (Nephelometers) لتحديد العكارة، وتدعى واحدتها بـ NTU (Nephelometric Turbidity Unite) للدلالة على طريقة القياس. ويمكن لهذه الأجهزة القياس ضمن مجالات بنموذج غير نسبي يتزايد 40 NTUحتى NTU10000 . وبنموذج نسبي يتراوح بين أقل من 1.00 NTU وحتى 0.

إن الحد المسموح به لرقم العكارة وفق المواصفة السورية 45 لعام 2007 هو 1 وحدة NTU والحد الأقصى المسموح به هو 5، علماً أن أغلب أنواع مياه الشرب في العالم التي تصل المنازل لها رقم عكارة بين 0.05 – 0.2 وحدة NTU، ومياه الشرب المعبأة في العبوات البلاستيكية لها رقم عكارة بين 0.05 – 0.20 وحدة NTU.

### 1 – 2 – 3 درجة الحرارة:Temperature

يهتم المختصون بدرجة حرارة مصادر المياه لإيضاح الكثير من المعلومات حول مصدر المياه وحالته، كما وتعتبر درجة الحرارة العامل الأهم للنمو البيولوجي.

يعود التغير في درجة حرارة المصدر لعدة أسباب أهمها:

1- تغيرات بسبب الظروف المناخية.

2- تغيرات بسبب تأثير بعض المصادر الصناعية والزراعية على المصدر وهذه يمكن التعرف عليها من الكشف التحليلي للمصدر من حيث:

أ- زيادة التفاعلات الكيميائية.

ب- زيادة دور الأحياء في عمليات التحويل البيولوجي لبعض المركبات العضوية.

ج- التغير في درجة تركيز الأوكسجين الذائب.حيث يجب حماية الأنهار مثلاً من صرف المياه الساخنة من محطات توليد الطاقة، والسبب الرئيس لذلك هو أن انحلال الأوكسجين في المياه ينخفض بصورة ملحوظة مع ارتفاع درجة الحرارة، وأضف إلى ذلك معدل استخدام الكائنات للأوكسجين لحرق الغذاء والحصول على الطاقة يزداد عند درجات الحرارة العليا. ذلك التأثير المشترك لوجود الأوكسجين المتاح بكميات قليلة من جهة واحتياج الكائنات الحية إلى استهلاك الأوكسجين بمعدلات عالية من جهة أخرى سوف يكون ضاراً جداً.

د- الزيادة في الأوكسجين المستهلك بيولوجياً (BOD) (Biological Oxygen Demand).

هـ- تأثير بيئة الكائنات الحية في المصدر المائي.

و- ظهور الروائح والطعوم غير المستساغ.

### 1- 3 الخصائص الكيميائية للمياه: Chemical properties of Water

تتعدد الخواص الكيميائية للمياه وتعتبر هذه الخواص ذات أهمية كبيرة لتحديد طريقة المعالجة الملائمة لأنواع المياه التي ستستخدم للشرب أو لتحديد طريقة المعالجة الملائمة للفضلات المائية الناتجة عن الصناعات المختلفة، وسنستعرض فيما يلي بعض أهم الخصائص الكيميائية للمياه.

### 1 – 3 – 1 مجموع الأملاح المنحلة: Total dissolved solids (TDS)

يختلف تركيز الأملاح في المياه الطبيعية اختلافاً كبيراً حسب نوعية الصخور وطبيعة المنطقة الجغرافية التي تجري فيها المياه، وتعد ملوحة المياه Salinity خاصة مهمة في تحديد نوعية المياه حيث تعد المياه الطبيعية بدورها مصدراً مهماً لأيونات الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم الضرورية لحياة الإنسان والكائنات الحية الأخرى، ولكن زيادة تركيز هذه الأيونات عن حد معين يحد من قدرة معظم الكائنات الحية على استهلاك هذه المياه ويقلل من صلاحيتها للاستعمالات المختلفة بسبب آثارها الضارة في الصحة والمواد والتجهيزات المستعملة. لهذا السبب تعد مياه البحار والمحيطات نظراً لملوحتها غير صالحة للاستعمالات البشرية قبل معالجتها رغم أنها تغطي أكثر من ثلثي مساحة الكرة الأرضية. يعطي الجدول (1 – 5 ) مثالاً لتركيز أيونات بعض الأملاح الرئيسة في الأنهار مقارنة مع تركيز هذه الأيونات في المحيطات:

الجدول (1 – 5 ): مقارنة تركيز أيونات بعض الأملاح الرئيسة في الأنهار مع تركيزها في المحيطات

| الأيون | التركيز في مياه الأنهار (مول/ليتر) | التركيز في مياه المحيطات (مول/ليتر) |
|---|---|---|
| $Cl^-$ | $2.2x10^{-4}$ | 0.55 |
| $Na^+$ | $2.7x10^{-4}$ | 0.46 |
| $Mg^{+2}$ | $1.7x10^{-4}$ | 0.054 |

| | | |
|---|---|---|
| 0,028 | $1.2x10^{-4}$ | $SO_4^{-2}$ |
| 0.010 | $0.59x10^{-4}$ | $K^+$ |
| 0.010 | $3.8x10^{-4}$ | $Ca^{+2}$ |
| 0.0023 | $9.5x10^{-4}$ | $HCO_3^-$ |

تعتمد طريقة تحديد مجموع الأملاح المنحلة على ترشيح الماء أولاً باستخدام أقماع بوخنر ناعمة المسام جداً بحيث يكون الماء الناتج عن الترشيح صافياً جداً (رقم العكارة بين 0.1 – 0.5)، ثم يؤخذ حجم محدد من الماء الناتج عن الترشيح (200 – 500 سم$^3$) في بيشر نظيف جداً ومحدد الوزن بدقة ويبخر الماء حتى ثبات الوزن، ومن معرفة وزن الأملاح الراسبة من حجم الماء المأخوذ يتم معرفة تركيز مجموع الأملاح المنحلة في كل ليتر واحد من الماء مقدراً بالملغرام/ليتر.

تشير المواصفة السورية رقم /45/ لعام 2007 أن الحد المسموح به لمجموع المواد الصلبة المنحلة في مياه الشرب هو 900 ملغرام/ليتر والحد الأقصى المسموح به هو 1200 ملغرام/ليتر.

### 1 – 3 – 2 الناقلية الكهربائية: Electoral Conductivity (EC)

يمتلك الماء المقطر أو منزوع الأيونات ناقلية كهربائية قريبة من الصفر ((ميكروسيمنز /سنتمتر)µS/cm 0.1 – 2)، وترتفع هذه الناقلية بوجود الأملاح الأيونية المنحلة (Electrolytes) في الماء. ولذلك تستخدم الناقلية الكهربائيةلقياس الأملاح الصلبة الكلية المنحلة( Total Dissolved Salts) (TDS) والتي تقدر بالملغرام/ليتر. إضافة إلى أن زيادة تركيز الأيونات في الماء يزيد من الناقلية الكهربائية، فإن زيادة درجة الحرارة وانخفاض قطر الأيونات المذابة وبالتالي زيادة سرعة حركة الأيونات في المحلول تزيد من الناقلية الكهربائية للمحلول أيضاً. كما تتأثر الناقلية بحالة الأكسدة للأيونات وبقيمة التكافؤ الأيوني وبدرجة الحرارة التي يتم عندها القياس.

تبين تجريبياً وجود علاقة بين الناقلية الكهربائية للماء في الدرجة العادية من الحرارة ومجموع تركيز الأملاح المنحلة وهذه العلاقة هي:

**كل 1µS/cm تقابل 0.67 mg/L TDS تقريباً عند الدرجة 20°م**

**ملاحظة:**

**تقاس الناقلية للماء السائل بالسيمنز/سم (S/cm) حيث: سيمنز = أوم$^{-1}$ ($S=\Omega^{-1}$).**

$$S/cm = 10^{-3} mS/cm = 10^{-6} \mu S/cm$$

تشترط مقاييس منظمة الصحة العالمية أن لايزيد مقياس الأملاح الصلبة الكلية في مياه الشرب عن 500ملغرام/ليتر. والحد المسموح به للناقلية الكهربائية في مياه الشرب وفق المواصفة القياسية السورية رقم /45/ لعام 2007 هو 1500µS/cm،والحد الأقصى المسموح به هو 2000 µS/cm.

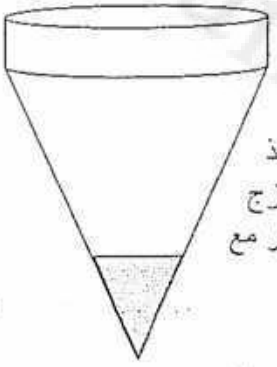
### 1 – 3 – 3 مجموع المواد الصلبة المعلقة: (Total Suspended Solide) (TSS)

تحدد قيم مجموع المواد الصلبة المعلقة في المياه بطريقتين:

1- الطريقة الوزنية: والتي تعتمد على ترشيح حجم محدد من الماء باستخدام إما قمع ترشيح ناعم المسام جداً معلوم الوزن، أو ورق ترشيح ناعم المسام جداً معلوم الوزن، والتجفيف حتى ثبات الوزن ومعرفة وزن المواد المعلقة في حجم الماء المستخدم.

2- باستخدام أجهزة ضوئية حيث يقوم الجهاز بتحديد قيم العكارة وتحديد قيم الـ TSS، حيث هناك علاقة وثيقة بين قيم عكارة الماء وتركيز مجموع المواد الصلبة المعلقة (TSS) في الماء.

تكون قيم TSS في مياه الشرب الصافية معدومة ولا يسمح بوجود مواد معلقة في مواصفات مياه الشرب، وتسمح المواصفة القياسية السورية رقم /2580/ لعام 2002 الخاصة بالمخلفات السائلة الناتجة عن النشاطات الاقتصادية المنتهية إلى شبكة الصرف الصحي العامة بوجود مقدار 500 ملغ/ليتر كحد أعلى من مجموع المواد الصلبة المعلقة.



قمع إيمهوف المخروطي

### 1 – 3 – 4 مجموع المواد الصلبة: (Total Solide)(TS)

تمثل قيمة (TS) لعينات المياه وزن جميع المواد المعلقة والمواد المنحلة في لتر ماء وتحدد عن طريق أخذ بيشر نظيف محدد الوزن بدقة يوضع فيه بين 100 – 200 سم$^3$ من الماء وذلك حسب نوعية الماء بعد مزج العينة بشكل جيد للتجانس وتبخر العينة حتى ثبات الوزن عند الدرجة 103 – 105°م ويحدد وزن البيشر مع الراسب وتحسب قيمة (TS) بالملغرام/ليتر.

نستنتج مما تقدم أن: $(TS) = (TSS) + (TDS)$

### 1 – 3 – 5 المواد الصلبة القابلة للترسيب: (Settleable Solide) (SS)

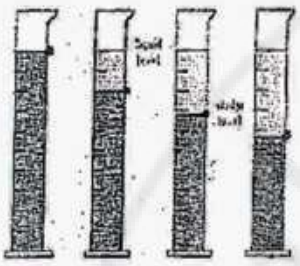
يعتبر تحديد المواد القابلة للترسيب (SS) من الخصائص الهامة لعينات فضلات المياه الناتجة عن المنشآت الصناعية والفضلات المائية بعد المعالجة والتي تحتوي على معلقات واضحة.

يتم تحديد (SS) عن طريق وضع عينة الماء بعد مزجها بشكل جيد في وعاء مخروطي(قمع إيمهوف المخروطي Imhoff cone) والانتظار مدة 30 دقيقة وفق أغلب المواصفات القياسية وتحديد حجم الراسب الذي يتوضع في أسفل الجهاز وتقدر قيمة(SS) بواحدة ملليتر/ليتر.

تسمح المواصفة القياسية السورية /2580/ لعام 2002 الخاصة بالمخلفات السائلة الناتجة عن النشاطات الاقتصادية المنتهية إلى شبكة الصرف العامة بوجود 10ملليتر/ليتر بعد 30 دقيقة كحد أعلى من المواد الصلبة القابلة للترسيب (SS).

### 1 – 3 – 6 حجم الحمأة القابلة للترسيب: (Settled Sludge Volume) (SSV)

إن مفهوم حجم الحمأة القابلة للترسيب أو دليل حجم الحمأة (Sludge Volume Index) (SVI) أو دليل حجم الحمأة الممدد (DSVI) (Diluted Sludge Volume Index) (وهو المعتمد حالياً)،هي مفاهيم متماثلة وتعنى بتحديد حجم الحمأة الممدد التي تتوضع بعد 30 دقيقة أسفل مقياس مدرج سعة 100سم$^3$ وضع فيه عينة الماء المراد اختبارها وذلك بعد مزجها بشكل جيد. تقدر (DSVI) بالملتر/لتر، ويكون أحياناً من الضروري معرفة حجم (DSVI) والذي يترسب خلال فترات زمنية مختلفة مثلاً بعد 1 ساعة، 6 ساعة ، 12 ساعة وذلك لتحديد الزمن المناسب للترقيد لفصل أعلى نسبة من الجزيئات المعلقة الصلبة في أسفل أجهزة الترقيد.



### 1 – 3 – 7 انحلالية الغازات: Gas Solubility

إن معظم الغازات إما أن تنحل في الماء إلى حد ما وإما أن تتفاعل كيميائياً مع الماء، ويستثنى من ذلك غاز الميتان ($CH_4$) الذي يدعى بالغاز العنير والذي لا يتفاعل مع الماء إلى الحد القابل للقياس. (ينتج الميتان من التفسخ اللهوائي لوحل النفايات ويمكن أن يجمع ويحرق للاستفادة من قيمته الحرارية).

تحتوي المياه الطبيعية على كمية من الغازات المنحلة ناتجة عن تماس المياه مع الغلاف الجوي، ولا يتفاعل الغازان الرئيسان المكونان لطبقة الغلاف
الجوي النتروجين والأوكسجين مع الماء بل ينحلان إلى درجة معينة.

تحدد كمية الغاز المنحل في سائل بحالة توازن مع الغاز باستخدام قانون هنري والذي ينص على أنه عند درجة حرارة ثابتة تتناسب كمية الغاز المنحل في سائل على تماس مع الغاز تناسباً طردياً مع الضغط الجزئي للغاز فوق سطح السائل:

$$X_{[aq]} = K_H P_x$$

حيث تمثل $X_{[aq]}$ تركيز الغاز المنحل في الماء معبر عنه عادة بالمول/لتر و$P_x$ الضغط الجزئي للغاز في الغلاف الجوي فوق الجسم المائي معبر عنه بالجو (atmosphere). يظهر الجدول (1 – 6 ) قيم ثابت هنري لبعض الغازات في درجة الحرارة 25 مئوية.

**الجدول (1 – 6 ): قيم ثابت هنري لبعض الغازات في درجة الحرارة 25 مئوية**

| الغاز | $O_3$ | NO | $N_2$ | $H_2$ | $CO_2$ | $O_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $K_H$ (mol/L.atm) | $1.30\times10^{-2}$ | $2.00\times10^{-3}$ | $6.48\times10^{-4}$ | $7.90\times10^{-4}$ | $3.38\times10^{-2}$ | $1.28\times10^{-3}$ |

يستدل من قانون هنري أن زيادة قيمة الثابت $K_H$ يعني عملياً أن الغاز أكثر قابلية للانحلال في الماء، وهكذا يظهر الجدول أن غاز $CO_2$ هو الأكثر ذوباناً في الماء بين الغازات المعطاة بينما غاز NO هو الأقل ذوباناً في درجة الحرارة 25 مئوية.

يقل انحلال معظم الغازات في سائل ما بارتفاع درجة حرارة السائل وذلك بسبب انخفاض قيمة $K_H$. وبالتالي فإن المياه الساخنة تحتوي على كمية من الغازات المنحلة أقل من المياه الباردة. كما وتتأثر انحلالية الغازات بدرجة أقل بدرجة الملوحة.

تعد كمية غاز الأوكسجين المنحلة في المياه الطبيعية معياراً أساسياً لتحديد نوعية المياه بسبب حاجة الكائنات المائية إلى هذا الغاز، حيث تموت معظم الأسماك عادة إذا انخفض تركيز غاز الأوكسجين عن(5–6 ملغ/ليتر) (5ppm–6).

تستهلك البكتيريا الموجودة في المياه الأوكسجين المنحل في أكسدة المركبات العضوية السهلة التأكسد كمخلفات البشر والحيوانات، وعادة يدل انخفاض تركيز غاز الـ $O_2$ في المياه الطبيعية على تلوث المياه بهذه المخلفات.

يمكن نظرياً باستعمال قانون هنري حساب كمية غاز الأوكسجين المنحل عند الدرجة 25°م في المياه الطبيعية المتوازنة مع الغلاف الجوي والذي يحتوي وزناً على 21% من الأوكسجين وذلك بعد حساب الضغط الجزئي للأوكسجين في الهواء عند الضغط الجوي 1 جو وذلك باستخدام قانون راؤول:

$$P_{O2} = y_{O2} . P$$

حيث: $y_{O2}$ يمثل الكسر المولي للأوكسجين في الهواء الجوي ويحسب كما يلي:

$$X_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_{O_2}+n_{N_2}} = \frac{\frac{21\ g}{32\ g/mol}}{\frac{21\ g}{32\ g/mol}+\frac{79\ g}{28\ g/mol}} = 0.21$$

$$X_{O2} = K_{H\,O2}\, P_{O2} = 1.28\times10^{-3}\,mol/L.atm \times 0.21\,atm = 2.7\times10^{-4}\ mol/L$$

$$X_{O2} = 2.7\times10^{-4}\ mol/L \times 32g/mol \times 10^{-3}mg/g = 8.6\ mg/L\ (8.6ppm)$$

ومن المفيد هنا التذكير أن المسطحات المائية كالبحيرات التي تنمو فيها نباتات مائية يتوافر مصدر آخر لغاز الأوكسجين وهي عملية التركيب الضوئي (photosynthesis) خلال النهار والتي تؤدي إلى انطلاق غاز الأوكسجين ضمن الجسم المائي حيث تتميز هذه الأجسام بارتفاع تركيز الأوكسجين المنحل في الماء خلال النهار عن تركيزه في فترة غياب أشعة الشمس.

يؤدي تفسخ المواد العضوية في الماء إلى تحرر النشادر الكيمياني الحيويAmmonia Biochemically released من المركبات النتروجينية والذي يظهر في المحلول على شكل جذر أمونيوم إذا كان المحلول حامضياً، في حين يبقى على شكل غاز النشادر إذا كان الوسط قاعدياً. لذلك يتم في التحليل المخبري رفع الـ pH للعينة بوساطة هيدروكسيد الصوديوم لانتزاع النشادر بالتقطير.

يتحرر أيضاً في المياه العادمة العفنة غاز كبريت الهيدروجين ($H_2S$) المميز برائحته المماثلة للبيض الفاسد. ويمكن بسهولة ملاحظة وجود كبريت الهيدروجين في الماء وحتى بتراكيز منخفضة جداً (pbm 0.2 – 0.1).

يعتبر غاز $H_2S$ أكثر انحلالية من غاز $CO_2$ في الماء وانحلاله في الماء يؤدي إلى حموضة الماء أي تخفيض pH الماء وهو يتأين في الماء وفق التالي:

$$H_2S \rightleftharpoons HS^- + H^+ \longrightarrow K_1 = \frac{[HS^-][H^+]}{[H_2S]} = 5.7 \times 10^{-8}$$

$$HS^- \overset{K_2}{\rightleftharpoons} S^{2-} + H^+ \longrightarrow K_2 = \frac{[S^{2-}][H^+]}{[HS^-]} = 6 \times 10^{-12}$$

يعتمد إزالة $H_2S$ بشكل أساسي على حموضة الماء أي pH الوسط وسنوضح تغير تراكيز $H_2S$ غير المتأين في الماء مع تغير حموضة الماء وفق التالي:

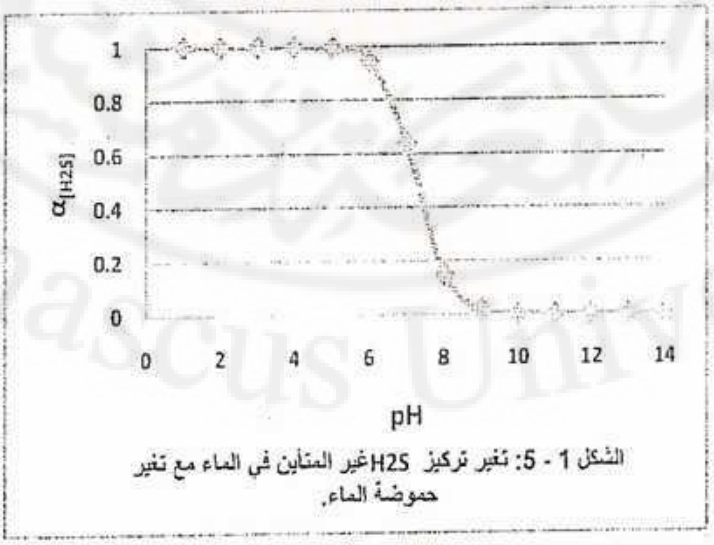
نفرض أن $S_T$ يمثل المحتوى الكلي: $S_T = [H_2S] + [HS^-] + [S^{-2}]$

نوجد النسبة بين المحتوى من $[H_2S]$غير المتأين إلى المحتوى الكلي $S_T$ فنجد:

$$\alpha(H_2S) = \frac{[H_2S]}{S_T} = \frac{[H_2S]}{[H_2S] + [HS^-] + [S^{2-}]} \Rightarrow \frac{1}{\alpha[H_2S]} = \frac{[H_2S] + [HS^-] + [S^{2-}]}{[H_2S]}$$

$$\frac{1}{\alpha[H_2S]} = 1 + \frac{[HS^-]}{[H_2S]} + \frac{[S^{2-}]}{[H_2S]} = 1 + \frac{K_1}{[H^+]} + \frac{K_1 \cdot K_2}{[H^+]^2}$$

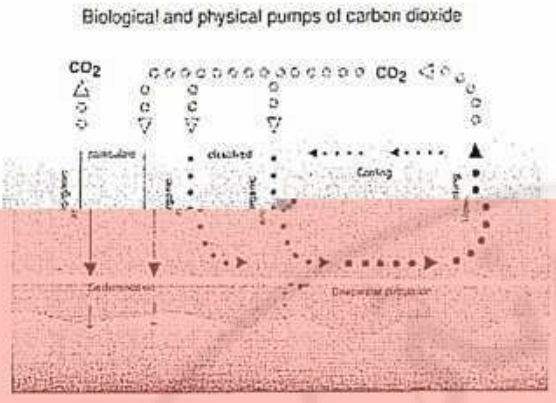
$$\alpha_{[H_2S]} = \frac{[H_2S]}{S_T} = \frac{1}{1 + \frac{K_1}{[H^+]} + \frac{K_1 \cdot K_2}{[H^+]^2}}$$




الشكل 1 - 5: تغير تركيز H2S غير المتأين في الماء مع تغير حموضة الماء.

مما سبق وكما يبين الشكل (1 – 5) يتضح أن إزالة $H_2S$ يعتمد بشكل أساسي على حموضة الماء أي pH الماء، وأننا لإزالته علينا أن نجري عملية تهوية الماء الذي يحتوي على غاز كبريت الهيدروجين في وسط حمضي ضعيف يتراوح بين 5 – 6 ويعتبر ذلك مهماً جداً لنزع أغلب نسب غاز كبريت الهيدروجين المنحل في الماء.

أما فيما يتعلق بغاز ثنائي أكسيد الكربون فبالرغم من أن نسبته في الهواء الجوي تبلغ حوالي 0.03% فقط فإنه يلعب دور أساسي في كيمياء الماء، لأنه يتفاعل بسهولة مع الماء مشكلاً جذور البيكربونات والكربونات.




يمتص $CO_2$ من الهواء أو يمكن أن ينتج من التفسخ الجرثومي للمواد العضوية في الماء ويختلف سلوك غاز ثنائي أكسيد الكربون في الماء عن غاز الأوكسجين في أنه يتفاعل مع الماء بعد انحلاله حسب المعادلات التالية:

$$CO_{2(g)} \leftrightarrows CO_{2(aq)} \quad (1)$$

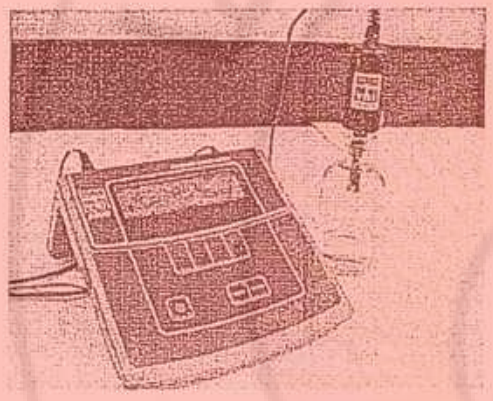
$$CO_{2(aq)} + H_2O \leftrightarrows H_2CO_{3(aq)} \quad (2)$$

$$H_2CO_{3(aq)} \leftrightarrows H^+ + HCO_3^-{}_{(aq)} \quad (3)$$

$$HCO_3^-{}_{(aq)} \leftrightarrows H^+ + CO_3^{-2}{}_{(aq)} \quad (4)$$

تظهر المعادلات السابقة أن المياه النقية الموجودة على تماس مع الغلاف الجوي مثل مياه الأمطار هي مياه ضعيفة الحموضة بسبب انحلال غاز $CO_2$ فيها (pH=5.6)، وبالتالي هي مياه أكولة أي تؤدي إلى تآكل أنابيب المياه، لذلك فإن مصادر المياه ذات pH المنخفض تعدل عادة بمادة قلوية للتقليل من تآكل الأنابيب. ومن جهة أخرى فإن المياه القلوية التي تحوي أيونات $CO_3^{-2}$ هي مياه قاسية تؤدي إلى تشكل قشرة جافة تنتج عن ترسب كربونات الكالسيوم $CaCO_3$.

### 1 – 3 – 8 الأوكسجين المنحل: Dissolved Oxygen (DO)



يعتبر الأوكسجين المنحل (DO) أحد الخصائص الهامة لتحديد نوعية المياه، فكلما كان تركيز الأوكسجين المنحل أعلى كانت نوعية المياه أفضل.وليس للأوكسجين المنحل في مياه الشرب أي تأثير على الصحة، ولكن الماء ذات المحتوى القليل أو الخالية من الـ DOغير مستساغة للشرب، ويمكن أن يرفضها بعض الناس. لذلك فإن تحديد الـ DO مهم حتى في تشغيل وصيانة شبكة وتوزيع المياه، وبما أن الأوكسجين يلعب دوراً في تآكل أو صدأ الأنابيب المعدنية، لذلك يجب إزالته من مياه مراجل التسخين.

وبشكل عام فإن انحلالية الأوكسجين في الماء؛ كما بينا في الفقرة السابقة؛ قليلة جداً (فعند الدرجة 20°م تبلغ حوالي 9 ppm)، وبسبب هذه الانحلالية القليلة جداً فإن هناك تنافساً كبيراً بين الكائنات المائية ومن ضمنها البكتيريا على الأوكسجين المنحل المتاح،

تتعلق كمية الأوكسجين المنحل في الماء بدرجة حرارة الماء وبتركيز الأملاح المنحلة فيه، حيث تنخفض انحلالية الأوكسجين بارتفاع درجة الحرارة الماء أوبزيادة نسبة الأملاح المنحلة فيه، وبالتالي فإن نسبة الأوكسجين المنحل في مياه البحار والمحيطات هي أقل منها في المياه النقية.

يعين تركيز الأوكسجين المنحل إما بالمعايرة الكيميائية أو باستعمال مجس خاص يعمل بطريقة كهراكيميائية.

من أحد طرق المعايرة الكيميائية المستخدمة في تحديد الـ DOهو أكسدة يوديد البوتاسيوم KI إلى يود $I_2$ بوساطة الأوكسجين المنحل DO الموجود في عينة الماء بعد إضافة كبريتات المنغنيز $MnSO_4$، هيدروكسيد الصوديوم NaOH، و KI. يعاير اليود المتحرر بمحلول قياسي من تيوسلفات الصوديوم $Na_2S_2O_3$.

$$MnSO_4 + 2KOH = Mn(OH)_2 + K_2SO_4$$

$$2Mn(OH)_2 + O_2 = 2MnO(OH)_2$$

Basic Manganic Oxide

$$MnO(OH)_2 + H_2SO_4 = MnSO_4 + 2H_2O + O$$

$$2KI + H_2SO_4 + O = K_2SO_4 + H_2O + I_2$$

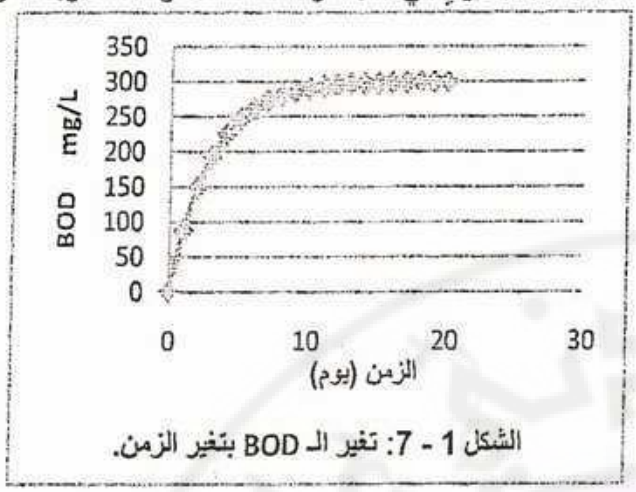
$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 = Na_2S_4O_6 + 2NaI$$

يتداخل كل من أيونات النتريت والحديد في هذا الإجراء. يتم إزالة تداخل النتريت بإضافة أزيد الصوديوم $NaN_3$، وفي حال وجود أيونات الحديد في الوسط يتم إضافة حمض الفوسفور بدلاً من $H_2SO_4$.

### 1 – 3 – 9 الأكسجين المستهلك بيولوجياً: Biological Oxygen demand(BOD)

يزداد استهلاك البكتيريا للأوكسجين المنحل بوجود مواد عضوية بكثرة في المياه، لأن البكتيريا والمواد المجهرية الأخرى تتغذى على المواد العضوية، وعندما تؤيض metabolize المادة العضوية تستهلك الأوكسجين المنحل (الـ DO) في الماء في تحويل هذه المادة إلى مركبات أبسط $CO_2$ و $H_2O$، وتستفيد من الطاقة المتحررة من أجل النمو والتكاثر. وإذا كان الأكسجين لا يعوض بصورة مستمرة في المياه بوسيلة طبيعية أو اصطناعية فإن مستوى الـ DO سوف ينخفض مع تفكك المواد العضوية بوساطة الميكروبات. هذه الحاجة من الأوكسجين تدعى الأوكسجين المستهلك بيولوجياً (BOD).

يستخدم الـ BOD كمقياس غير مباشر للكمية الإجمالية للمواد العضوية القابلة للتفكك الحيوي في المياه. وكلما كانت المواد العضوية أكثر في المياه كلما كانت قيمة الـ BOD أعلى.




**الشكل 1 - 7: تغير الـ BOD بتغير الزمن.**

يقدر الـ BOD بواحدة ملغرام/ليتر، حيث تحضر عينتين بنفس الحجم وبنفس الشروط عند درجة الحرارة 20°م من نفس عينة الماء المطلوب تحديد الـ BOD لها. يأخذ الحجم المناسب الذي يوضع في الزجاجة المخصصة لذلك ويمدد تمديداً مناسباً بالماء المقطر. يتم تحديد الأوكسجين المنحل عند بداية التجربة (DO) لإحدى العينتين ويحدد الأكسجين المنحل في العينة الثانية بعد خمسة أيام والفرق بينهما هو الأوكسجين المستهلك بيولوجياً خلال خمسة أيام وبدرجة 20°م ويرمز له ($BOD_5$) وهي الشروط النظامية للتجربة.

يستغرق التفكك التام للمواد العضوية الموجودة في الماء إلى فترة تتراوح بين 12 – 20 يوماً أو أكثر في الشروط العادية من الحرارة والضغط، وكمية الأكسجين المستهلكة لتفكيك وتثبيت كل المواد العضوية القابلة للتفكك الحيوي بصورة كاملة في حجم معين من المياه تدعى الأكسجين الأعظمي المستهلك بيولوجياً ويرمز له بـ$BOD_L$. ونظراً لأن هذه الفترة طويلة جداً فقد اعتمد تحديد قيمة الـ BOD خلال خمسة أيام وتمثل هذه القيمة حوالي ثلثي قيمة $BOD_L$.

يمكن أن يعبر رياضياً عن منحني الـ BOD بالمعادلة التالية (الشكل 1 – 7):

$$BOD_t = BOD_L(1 - 10^{-kt})$$

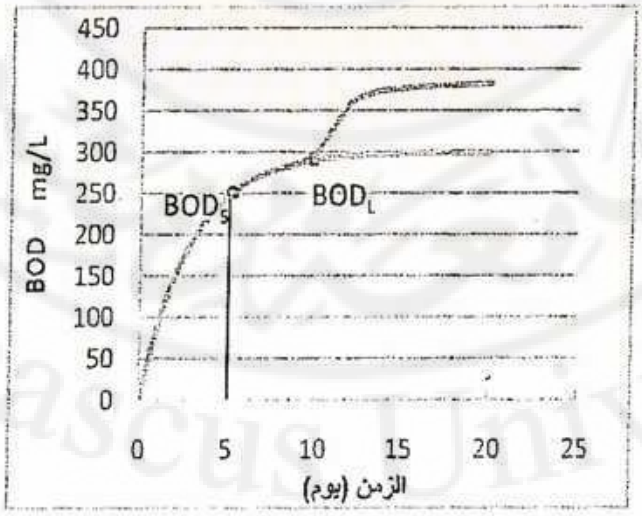
حيث: $BOD_t$: قيمة BOD عند الزمن t . (ملغرام/ليتر)

$BOD_L$: قيمة BOD القصوى ، (ملغرام/ليتر).

k: ثابت يمثل سرعة تفاعل BOD.(يتعلق بدرجة الحرارة ونوع الميكروبات. وبالنسبة لمياه الصرف الصحي تكون قيمته $k_{20°}=0.15$ (1/day).

t- الزمن. (يوم)

يظهر الشكل (1 – 8 ) أن الأحياء الدقيقة تستطيع أن تصل إلى BOD القصوى بعد 9 أيام تقريباً، وتدعى $BOD_L$ هذه بـ BOD الكربونية القصوى، لأنه تقوم الأحياء الدقيقة في هذه المرحلة باستهلاك المواد العضوية التي تحتوي على الكربون بشكل أساسي حتى تستنفذ هذه المواد، فتنشط بكتريا من نوع آخر وهي تدعى بكتيريا النترتة (Nitrifying Bacteria) وهذه الكائنات المجهرية تنمو بشدة




**الشكل 1 – 8: تأثير نوع البكتيريا على الـ BOD**

على الأمونيا اللاكربونية $NH_3$ في المياه الملوثة مؤيضة إياها للحصول على الطاقة، حيث تتأكسد الأمونيا إلى أيونات النتريت $NO_2^-$ ومن ثم إلى أيونات النترات $NO_3^-$ الشكل الأكثر ثباتاً للنتروجين. وبذلك تستهلك بكتريا النترتة أوكسجين إضافي مما يسبب ارتفاعاً في منحني BOD بعد اليوم التاسع تقريباً من التفكك.

$$NH_4^+ + 3/2\ O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$$

$$NO_2^- + O_2 \rightarrow NO_3^- + H^+$$

إن معظم محطات معالجة مياه المجارير تزيل فقط الـ BOD الكربونية، ولكن التيار المنصرف من محطة المعالجة العادية يمكن أن يستهلك الأوكسجين المنحل في الجداول الصغيرة المستقبلة بسبب BOD النتروجينية ولذلك ينبغي في بعض الأحيان بناء أنظمة معالجة متقدمة من أجل إزالة الأمونيا وحماية البيئة المائية الحساسة لاستهلاك الأكسجين المنحل بفعل النترتة.

### 1 – 3 – 10 الأكسجين المستهلك كيميائياً: Chemical Oxygen demand(COD)

ليست كل الملوثات العضوية في المياه سهلة التأكسد بوساطة البكتيريا، فكثير من المركبات العضوية الصناعية شديدة الثبات في البيئة ولا تستطيع البكتيريا أكسدتها باستخدام الأوكسجين المنحل، وبالتالي لا يصلح الـ DO و BOD مقياساً للدالة على تلوث المياه بهذه المواد.

يستخدم الأوكسجين المستهلك كيميائياً الـ COD بشكل واسع لوصف القوة العضوية للمياه العادمة وتلوث المياه الطبيعية، حيث يقيس هذا الاختبار كمية الأوكسجين المطلوبة من أجل الأكسدة الكيميائية للمادة العضوية في ليتر واحد من العينة بحيث تتحول نتيجة الأكسدة إلى ثنائي أكسيد الكربون والماء. ويعبر عن الـ COD بالواحدة ( ملغرام $O_2$/ليتر).

نستعمل لإجراء اختبار الـ COD ثنائي كرومات البوتاسيوم ($K_2Cr_2O_7$) كمؤكسد قوي، حيث توضع العينة في جهاز تقطير يتضمن مكثف مرتد، ويضاف لها كمية معلومة (زائدة عن الاحتياج المتوقع للتفاعل) من $K_2Cr_2O_7$ القياسية وكاشف (reagent) من حمض الكبريت الذي يتضمن كبريتات الفضة silver solfateويستمر التسخين والغليان للمزيج لمدة ساعتين فتتحطم معظم أنواع المواد العضوية من جراء تأكسدها بحمض الكبريت وحمض الكروم وفق التفاعل:

$$\text{Organics} + Cr_2O_7^{-2} + H^+ \xrightarrow{\text{heat},\ Ag^+} CO_2 + H_2O + 2Cr^{+3}$$

يتم بعد انتهاء التفاعل تبريد المزيج وتمديده بالماء المقطر، وبعد أن يتم غسل المكثف يعاير ثنائي كرومات البوتاسيوم المتبقية في العينة دون تفاعل وذلك بمحلول قياسي من كبريتات الحديد الثنائي والأمونيوم (FAS) باستخدام مشعر الفروين ferroin. تتفاعل أيونات الحديد الثنائي مع أيونات ثنائي الكرومات وفق التفاعل:

$$6Fe^{+2} + Cr_2O_7^{-2} + 14H^+ \rightarrow 6Fe^{+3} + 2Cr^{+3} + 7H_2O$$

حيث يتغير لون العينة من الأخضر المزرق إلى البني المحمر.

يتم إجراء اختبار مماثل الـ COD على عينة شاهدة من الماء المقطر وذلك لحذف أي خطأ ناتج من وجود مواد عضوية عارضة في الكواشف.

يحسب الـ COD كما يلي:

$$COD = \frac{8000M(A-B)}{\text{ml sample}}$$

حيث: COD- الأوكسجين المستهلك كيميائياً (ملغ/ليتر).

A ، B- حجم محلول كبريتات الحديد الثنائي والأمونيوم المستهلكة لمعايرة الشاهد والعينة على الترتيب (مل).

M- مولارية محلول كبريتات الحديد الثنائي والأمونيوم.

الرقم 8000 هو عنصر التحويل من النظامية (مكافئ/ليتر) إلى الـ ppm (ملغرام/ليتر). حيث أن واحد غرام يعادل 1000 ملغرام والكتلة المكافئة الغرامية للأكسجين هي 8 (غرام/مكافئ).

ويمكن القول أن كل 1ملغرام من المادة العضوية يقابلها تقريباً 1.2 ملغرام من الـ COD.

لا يتأثر اختبار الـ COD بوجود الأمونيا في الوسط كما هو الحال في اختبار الـ BOD، ولكنه يتأثر من وجود النتريت الذي يتأكسد (1.1mg COD/mg $NO_2$)،وأيونات الحديد الثنائي والكبريتيد (sulfide) والمنغنيز (manganous manganese).

تقاوم المركبات العطرية شديدة الثبات والبيريدين ومشتقاته عملية الأكسدة. ويتأكسد من المركبات العضوية الطيارة ماهو على تماس فقط مع المادة المؤكسدة.

تكون قيمة الـ COD دائماً أعلى من قيمة الـ BOD للعينة نفسها. ولايوجد عموماً ارتباط منسجم بين الاختبارين لمياه ملوثة مختلفة. ولايمكن عملياً قياس الـ COD والتنبؤ بقيمة الـ BOD.

تعتمد معظم محطات معالجة المياه الملوثة طرق بيولوجية في نظام تشغيلها، ولذلك فإن اختبار الـ BOD هو الأكثر تمثيلاً لعملية المعالجة ويبقى مؤشراً مستخدماً أكثر شيوعاً من الـ COD.

إن الحد المسموح به لقيمة الـ COD وفق المواصفة السورية رقم/45/لعام 2007 هو 2 ملغ $O_2$/ليتر، والحد الأقصى المسموح به هو 3.

### 1 – 3 – 11 الكربون العضوي الكلي: Total Organic Carbon (TOC)

الكربون العضوي الكلي TOC هو الكربون المرتبط بالمركبات العضوية المتنوعة في المياه والمياه العادمة.

تتضمن أجزاء الكربون الكليTCالكربون اللاعضوي IC : الكربونات – البيكربونات – ثنائي أكسيد الكربون المنحل $CO_2$، و الكربون العضوي الكلي TOC والذي يعبر عن كل ذرات الكربون ذات الروابط المشتركة في الجزيئات العضوية. يقسم الكربون العضوي الكلي TOC إلى كربون عضوي منحل DOC وهو الجزء من الـ TOC الذي يعبر خلال مرشح قطر مسامه 0.45 ميكرومتر، وإلى كربون عضوي معلق، وهو الجزء من TOC المتبقي على المرشح ذو القطر 0.45 ميكرومتر.

أثناء تحديد TOC يتم إزالة الكربون اللاعضوي IC وذلك بتحميض العينة حتى pH =2 أو أقل لتحويل أشكال الكربون اللاعضوي إلى $CO_2$، ومن ثم إزالة غاز الـ $CO_2$ إما باستخدام غاز مطهر (purified gas) أو باستخدام مضخة تخلية للهواء.
يستعمل مقياس الكربون العضوي الكلي TOC للدلالة على تلوث المياه بالمركبات العضوية الطبيعية والصناعية وتحدد قيمة هذا المقياس بأكسدة المركبات العضوية المنحلة إلى ثنائي أكسيد الكربون بمؤكسد قوي مثل مركب فوق كبريتات البوتاسيوم $K_2S_2O_8$ باستعمال الأشعة فوق البنفسجية لتنشيط التفاعل. تحدد كمية الـ $CO_2$ الناتجة عادة باستخدام جهاز الكروماتوغرافيا الغازي Gas Chromatography. تستطيع هذه الطريقة من تحديد TOC حتى 10ميكروغرام/ليتر.
لا يزيد تركيز الـ TOC في مياه الشرب عن 2 ملغ/ليتر، بينما تصل قيم الـ TOC في الفضلات المائية إلى عدة آلاف.

### 1 – 3 – 12 المواد الكيميائية العضوية من مرتبة الأثر: Trace Organic Chemicals

تظهر في المياه السطحية بعد إجراء عملية الكلورة آثار قليلة جداً من عدة مواد عضوية مختلفة ناتجة من تفسخ النباتات يتم كشفها في مياه الشرب، ومن هذه المواد مركبات ثلاثي هالوالميتان trihalomethanes كالكلورفورم ( ثلاثي كلورواميتان $CH_3Cl$) والتي يظن بأنها مسببة للسرطان. كما أن هناك مركبات عضوية أخرى تظهر في المياه ولها سمية كبيرة ومؤثرة على الصحة وهي المواد الكيميائية الصنعية الناتجة عن المياه العادمة من المصانع والمبيدات.
تستخدم الكرماتوغرافيا الغازية للكشف عن آثار هذه المواد العضوية، وذلك باستخلاص أثر المواد العضوية من المحلول المائي وذلك باستخدام المذيب المناسب ومن ثم تركيز العينة عن طريق تبخير المذيب حيث تبقى المادة والتي تحقن في جهاز الكروماتوغرافيا الغازية.

### 1 – 3 – 12 الزيوت والشحوم: Oil and Grease

تتضمن الزيوت والشحوم مجموعة الهيدروكربونات من الدهون والزيوت والشموع والحموض الدسمة ذات الأوزان الجزيئية المرتفعة. وتعتبر هذه الملوثات من النفايات المحلية والصناعية والتي تكون صعبة المعالجة وصعبة التعامل معها، فهي منخفضة الانحلالية وتلتصق بالجدران الداخلية للأنابيب والخزانات، مما يقلل من فعالية المعالجة الحيوية للمياه العادمة حيث ينتج مواد صلبة وحلية شحمية صعبة المعالجة.
يتم تحديد نسبة الزيوت والشحوم بالمياه عن طريق أخذ عينات عشوائية حجمها 1 ليتر تجمع في وعاء العينة الأصلي (وذلك لأن المواد المراد استخلاصها يمكن أن تلتصق بمعدات جمع العينات).
إذا تم تأجيل التحليل لأكثر من بضع ساعات فإنه يجب تحميض العينة بجعل pH الوسط أقل من 2 وذلك بـ HCl أو $H_2SO_4$ (يضاف عادة 5 مللتر لكل ليتر من العينة). تنقل العينة بعد التحميض إلى دورق فصل ويشطف الوعاء بـ 30 مللتر من نظامي الهكسان – n hexane وتضاف إلى قمع الفصل. يُرج القمع بعدها بقوة ثم يترك ليسكن بهدف السماح للطبقة العضوية بأن تنفصل عن الطبقة المائية.
تفرغ الطبقة المائية الموجودة مع كمية صغيرة من الطبقة العضوية في الوعاء الذي كان يحوي العينة الأصلية. تنقل طبقة المذيب إلى وعاء وذلك بإمرار العينة من خلال قمع يحوي ورقة ترشيح و10 غرام من كبريتات الصوديوم $Na_2SO_4$.
تعاد عملية الاستخلاص مرتين بـ 30 مللتر من نظامي الهكسان لكل مرة،مع شطف وعاء العينة فيكل مرةيتم فيبيا إضافة نظامي الهكسان.
تجمع المواد المستخلصة (The extracts) في دورق تقطير معروف الوزنيتضمن المواد المستخلصة والغسلة (الشطفة) الأخيرة للمرشح (ورقة الترشيح و$Na_2SO_4$)بـ 10 – 20 مللتر من ن - اليكسان المضاف.
يقطر ن – اليكسان من الدورق على حمام مائي عند الدرجة 85°م، وعندما يتوقف تكثف المذيب بشكل مرئي، يقام بازالة الدورق من الحمام المائي ويقام بسحب الهواء من الدورق بوساطة مخلية هواء، ثم يبرد الدورق ضمن مجفف.
يمثل الزيادة في وزن دورق التقطير وزن المواد المستخلصة. وبتقسيم هذا الوزن المقاس بالملغرام على حجم العينة الأصلية باللتر نحصل على تركيز الزيوت والشحوم معبر عنه بالملغرام/ليتر.

### 1 – 3 – 13 الحموض العضوية: Organic Acids

يعتبر تحديد تركيز الحموض العضوية المتشكلة أثناء عمليات التهضيمفي حماة التهضم اللاهوائي وسيلة مستخدمة في مراقبة عملية التهضيم (digestion) والذي ينتج عنها بشكل أساسي الخلات (acetic) ، البروبونات (propionic)، والبوتورات (butyric)، والتي يتم فصلها من المحلول المائي عن طريق عمود فصل كروماتوغرافي.

### 1 – 3 – 14 تحليل الغاز: Gas Analysis

تؤدي عمليات التهضيم اللاهوائي للحمأة إلى إنتاج غاز الميثان وغاز ثنائي أكسيد الكربون وآثاراً من كبريتيد الهيدروجين. ويمكن مراقبة عملية التهضيم عن طريق ملاحظة نسبة كمية ثنائي أكسيد الكربون إلى نسبة الميثان في الغاز المتشكل، حيث تبلغ هذه النسبة تقريباً ثلث $CO_2$ وثلثين $CH_4$.

## 1 – 4 تحاليل الماء الكيميائية: Chemical Water Analysis

عندما تتواجد المركبات اللاعضوية في الماء فإنها تتأين إلى ذرات وجذور مشحونة كهربائياً، ويتم مخبرياً تعين تراكيز هذه الأيونات معبراً عن كمية كل عنصر أو جذر منها بالملغرام لكل ليتر من الماء (ملغ/ليتر)، أو بمصطلح جزء بالمليون (ppm) والذي يكافئ الملغرام/ليتر حيث أن واحد لتر من الماء يزن 1000000 ملغرام.

يمكن أن يعبر عن تراكيز المواد في الماء أيضاً بالميلمكافئ لكل ليتر (meq/L) وذلك عن طريق إجراء التحويل التالي:

ميلمكافئ/ ليتر = ملغرام/ليتر × التكافؤ / الكتلة المولية = ملغرام/ليتر / المكافئ الغرامي

أو في حالة الجذور أو المركبات فإن المعادلة تصبح:

ميلمكافئ / ليتر = ملغرام/ليتر × الشحنة الكهربائية / الكتلة المولية = ملغرام/ليتر / المكافئ الغرامي

يبين الجدول (1 – 7) التحاليل الكيميائي النوعية لمكونات مياه سطحية معبر عنه بالملغرام/ليتر.

الجدول (1 – 7): التحاليل الكيميائي النوعية لمكونات مياه سطحية معبر عنه بالـ ملغ/ليتر

| | | | |
|---|---|---|---|
| القلوية (على أساس $CaCO_3$) | 108 | منغنيزيوم | 9.9 |
| زريخ | 0 | نترات | 2.2 |
| باريوم | 0 | pH (بوحدة الـ pH) | 7.6 |
| بيكربونات | 131 | فوسفور (لاعضوية كلي) | 0.5 |
| كادميوم | 0 | بوتاسيوم | 3.9 |
| كالسيوم | 35.8 | سيلينيوم | 0 |
| كلوريد | 7.1 | فضة | 0 |
| كروم | 0 | صوديوم | 4.6 |
| نحاس | 0.10 | كبريتات | 26.4 |
| فلوريد | 0.2 | أملاح منحلية كلية (TDS) | 220 |
| حديد + منغنيز | 0.13 | عكارة (in NTU) | 5 |
| حديد | 0.1 | ثلاثي هيدرات الميتان | 0 |
| رصاص | 0 | وحدة لونية | 5 |

تقارن نتائج التحاليل المجراة للمياه مع المواصفات المطلوبة للمياه وذلك حسب الهدف من استخدام هذه المياه سواء كانت ستستخدم لأغراض منزلية أو لأغراض صناعية، وبناء على تلك المقارنة يتم تحديد طرق المعالجة.

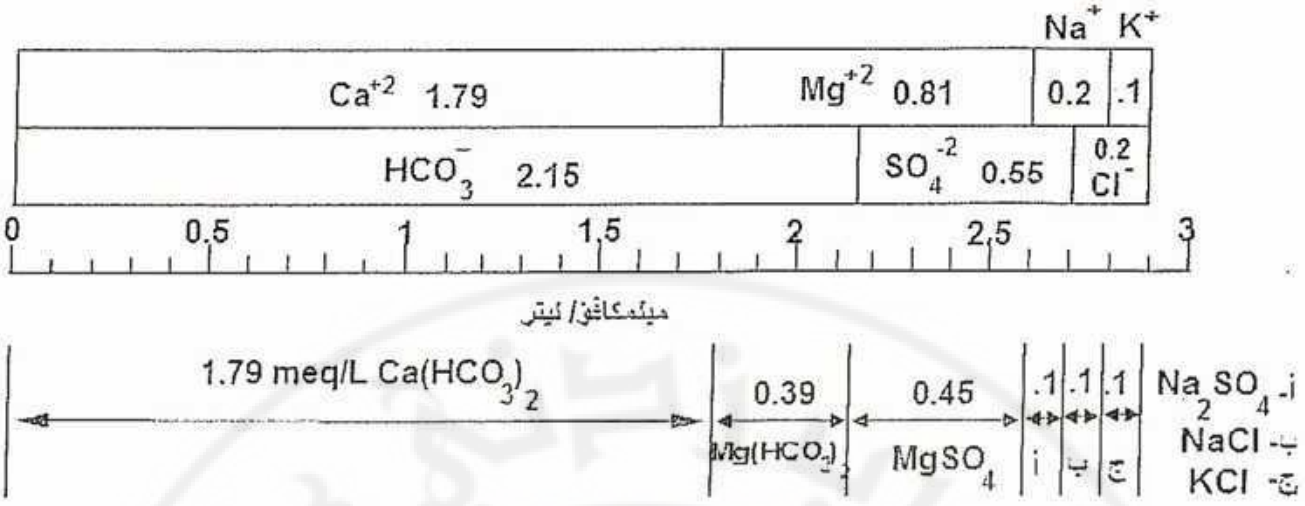
لا تمكن نتائج التحاليل الكيميائية للماء المعبر عنها بالملغرام/ليتر؛ كما في نتائج التحاليل المبينة في الجدول (1 – 7)؛ من تصور التركيب الكيميائي للماء. لذلك يعبر عن النتائج غالباً بالميلمكافئ لكل ليتر، والذي يسمح بإنشاء عرض تخطيطي وفحص سريع لدقة تحليل الأيونات الرئيسية.

يكون الماء عادة متوازناً كهربائياً، أي يجب بتقيم مثالي أن تكون مجموع الميلمكافئات في اللتر من الكتيونات (الجذور الموجبة) مساوياً لمجموع الميلمكافئات في اللتر من الأنيونات (الجذور السالبة). وبناء على هذا الأساس يتم إنشاء عرض تخطيطي لتحليل المياه المحسوبة بالميلمكافئ باللتر بسلم وذلك بجعل 1 ميلكافئ/ليتر مساوياً 2.5 سم مثلاً.

نحول معطيات الأيونات الرئيسية الواردة في الجدول (1 – 7) إلى ميلمكافئ/ليتر (الجدول (1 – 8 ) ثم ننشأ العرض التخطيطي والذي يتضمن المجموعات الافتراضية للأملاح المنحلة في الماء المدروس (الشكل (1 – 9) ) كما يلي:

الجدول (1 – 7): التحاليل الكيميائية الرئيسية لمكونات مياه سطحية معبر ميلمكافئ/ليتر

| الكاتيون | ppm | الكتلة المكافئة (eq/mol | meq/L | | الأنيون | ppm | الكتلة المكافئة (eq/mol | meq/L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| كالسيوم | 35.8 | 20.0 | 1.79 | | بيكربونات | 131 | 61.0 | 2.15 |
| منغنيزيوم | 9.9 | 12.2 | 0.81 | | كبريتات | 26.4 | 48.0 | 0.55 |
| صوديوم | 4.6 | 23.0 | 0.2 | | كلوريد | 7.1 | 35.5 | 0.2 |
| بوتاسيوم | 3.9 | 39.1 | 0.1 | | نترات | 2.2 | 60 | 0.04 |
| المجموع | | | 2.9 | | المجموع | | | 2.94 |




الشكل (1 – 9): العرض التخطيطي لعينة الماء ذات التركيب الكيميائي الواردة بالجدول 1 – 8 معبر عنه بالميلمكافئ/ليتر والمجموعات الافتراضية للأملاح المنحلة فيه.

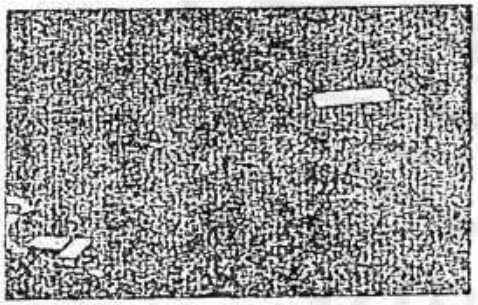
# طرق معالجة المياه

يرجع اهتمام الإنسان بنوعية الماء الذي يشربه إلى أكثر من خمسة آلاف عام . ونظرا للمعرفة المحدودة في تلك العصور بالأمراض ومسبباتها فقد كان الاهتمام محصور في لون المياه وطعمها ورائحتها فقط . وقد استخدمت لهذا الغرض - وبشكل محدود خلال فترات تاريخية متباعدة - بعض عمليات المعالجة مثل الغليان والترشيح والترسيب وإضافة بعض الأملاح ثم شهد القرنان الثامن والتاسع عشر الميلاديان الكثير من المحاولات الجادة في دول أوربا وروسيا للنهوض بتقنية معالجة المياه حيث أنشئت لأول مرة في التاريخ محطات لمعالجة المياه على مستوى المدن.

ففي عام 1807م أنشئت محطة لمعالجة المياه في مدينة جلاسكو الأستكلندية ،وتعد هذه المحطة من أوائل المحطات في العالم وكانت تعالج فيها المياه بطريقة الترشيح ثم تنقل إلى المستهلكين عبر شبكة أنابيب خاصة . وعلى الرغم من أن تلك المساهمات تعد تطورا تقنيا في تلك الفترة إلا أن الاهتمام آنذاك كان منصبا على تواحي اللون والطعم والرائحة ، أو ما يسمى بالقابلية ، وكانت المعالجة باستخدام المرشحات الرملية المظير السائد في تلك المحطات حتى بداية القرن العشرين . ومع التطور الشامل للعلوم والتقنية منذ بداية هذا القرن واكتشاف العلاقة بين مياه الشرب وبعض الأمراض السائدة فقد حدث تطور سريع في مجال تقنيات المعالجة حيث أضيفت العديد من العمليات التي تهدف بشكل عام إلى الوصول بالمياه إلى درجة عالية من النقاء ، بحيث تكون خالية من العكر وعديمة اللون والطعم والرائحة ومأمونة من النواحي الكيمائية والحيوية.

## معالجة المياه:

لقد كان وباء الكوليرا من أوائل الأمراض التي اكتشفت ارتباطها الوثيق بتلوث مياه الشرب في المرحلة السابقة لتطور تقنيات معالجة المياه ، فعلى سبيل المثال أصيب حوالي 17000 شخص من سكان مدينة هامبورج الألمانية بهذا الوباء خلال صيف 1829م أدى إلى وفاة ما لا يقل عن نصف ذلك العدد . وقد ثبت بما لا يدع مجالا للشك أن المصدر الرئيس للوباء هو تلوث مصدر المياه لتلك المدينة . يعد التطهير باستخدام الكلور من أوائل العمليات التي استخدمت لمعالجة المياه بعد عملية الترشيح وذلك للقضاء على بعض الكائنات الدقيقة من بكتريا وفيروسات مما أدى إلى الحد من انتشار العديد من الأمراض التي تنقلها المياه مثل الكوليرا وحمى التيفويد . وتشمل المعالجة ، ومن هذه العمليات ما يستخدم لإزالة عسر الماء مثل عمليات التيسير ، أو لإزالة العكر مثل عمليات الترويب. ونظرا للتقدم الصناعي والتقني الذي يشهده هذا العصر وما تبعه من ازدياد سريع في معدلات استهلاك المياه الطبيعية النقية نوعا ما ، ونظرا لما يحدث من تلوث لبعض تلك المصادر نتيجة المخلفات الصناعية ومياه الصرف الصحي وبعض الحوادث البيئية الأخرى فإن عمليات المعالجة قد بدأت تأخذ مسارا جديدا يختلف في كثير من التطبيقات عن مسار المعالجة التقليدية .



### طرق المعالجة التقليدية:

أ- معالجة المياه السطحية:

تحتوي المياه السطحية ( المياه الجارية على السطح ) على نسبة قليلة من الأملاح مقارنة بالمياه الجوفية التي تحتوي على نسب عالية منها ، وهي بذلك تعد مياه يسرة ( غير عسرة ) حيث تهدف عمليات معالجتها بصورة عامة إلى إزالة المواد العالقة التي تسبب ارتفاعا في العكر وتغيرا في اللون والرائحة ، وعليه يمكن القول أن معظم طرق معالجة هذا النوع من المياه تقتصر على عمليات الترسيب والترشيح والتطهير . وتتكون المواد العالقة من مواد عضوية وطينية ، كما يحتوي على بعض الكائنات الدقيقة مثل الطحالب والبكتيريا . ونظرا لصغر حجم هذه المكونات وكبر مساحتها السطحية مقارنة بوزنها فإنها تبقى معلقة في الماء ولا تترسب . إضافة إلى ذلك فإن خواصها السطحية والكيميائية تجعل طريقة المعالجة باستخدام عمليات الترويب الطريقة الرئيسية لمعالجة المياه السطحية ، حيث تستخدم بعض المواد الكيمائية لتقوم بإخلال اتزان المواد العالقة وتهيئة الظروف الملائمة لترسيبها وإزالتها من أحواض الترسيب . ومن المركبات المشهورة المستخدمة كمخثرات كبريتات الألمنيوم وكلور الحديد، وهناك بعض المركبات المساعدة مثل بعض البوليمرات العضوية والبنتونايت والسليكا المنشطة. ويمكن أيضا استخدام الكربون المنشط لإزالة العديد من المركبات العضوية التي تسبب تغيرا في طعم ورائحة المياه . ويتبع عملية الترسيب عملية ترشيح باستخدام مرشحات رملية لإزالة ما تبقى من الرواسب ، تتبع عمليتي الترسيب والترشيح عملية التطهير التي تسبق إرسال تلك المياه إلى المستهلك.

## معالجة المياه الجوفية:

تعد مياه الأبار من أنقى مصادر المياه الطبيعية التي يعتمد عليها الكثير من سكان العالم . إلا أن بعض مياه الأبار وخصوصا العميقة منها فقد لاتحتاج إلى عمليات معالجة متقدمة وباهظة التكاليف وقد تخرج عن نطاق المعالجة ويتم معالجتها فقط بإضافة الكلور لتطهير المياه ثم ضخها إلى شبكة التوزيع، إذ تعد عملية التطهير كعملية وحيدة لمعالجة مياه بعض الأبار النقية جدا والتي تفي بجميع مواصفات المياه، إلا أن هذه النوعية من المياه هي الأقل وجودا في الوقت الحاضر، لذلك فإنه إضافة لعملية التطهير فان غالبية المياه الجوفية تحتاج إلى معالجة فيزيائية وكيمائية ، أما لإزالة بعض الغازات الذائبة مثل ثنائي أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين ، أو لإزالة بعض المعادن مثل الحديد والمغنيز والمعادن المسببة لعسر الماء، وتتم إزالة الغازات الذائبة باستخدام . عملية التهوية والتي تقوم أيضا بإزالة جزء من الحديد والمنغنيز عن طريق الأكسدة ، وقد يكون الغرض من التهوية مجرد كما يحدث لبعض مياه الآبار العميقة التي تكون حرارتها عالية مما يستدعي تبريدها حفاظا على كفاءة عمليات المعالجة الأخرى . أما إزالة معادن الحديد والمنغنيز فتتم بكفاءة في عمليات الأكسدة الكيمائية باستخدام الكلور أو برمنجنات البوتاسيوم .



إن الطابع العام لمعالجة المياه الجوفية هو إزالة العسر بطريقة الترسيب ، ويتكون عسر الماء بصورة رئيسة من مركبات الكالسيوم والمغنيزيوم الذائبة في الماء . ويأتي الاهتمام بعسر الماء نتيجة لتأثيره السلبي على فاعلية الصابون ومواد التنظيف الأخرى ، بإضافة إلى تكوين بعض الرواسب في الغلايات وأنابيب نقل المياه. وفيما يلي استعراض موجز للعمليات المختلفة المياه الجوفية في هذا النوع من المحطات.

### أ ـ التطرية (التيسير ( إزالة العسر )) بالترسيب:

Precipitation Softening

تعني عملية التيسير أو إزالة العسر للمياه (water softening ) إزالة مركبات عنصري الكالسيوم والمغنزيوم المسببة للعسر عن طريق الترسيب الكيمائي .

تحتوي المصادر العامة للمياه على قساوة تتراوح بين 300 – 500 ملغرام/ليتر وتحدد قساوة المياه المرغوبة بشكل عام بين 60 – 120 ملغرام/ليتر.

يستخدم في عملية الترسيب أو التطرية الكلس الحي CaO (عندما يضاف له الماء يتحول إلى هدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ (لبن الكلس أو الجير المطفأ)) وكربونات الصوديوم $Na_2CO_3$ لإزالة الكالسيوم والمغنيزيوم من الماء. تساعد عملية المعالجة بالكلس الحي على إزالة المبيدات الجرثومية وإزالة الحديد ويساعد في التخلص من عكارة المياه السطحية.

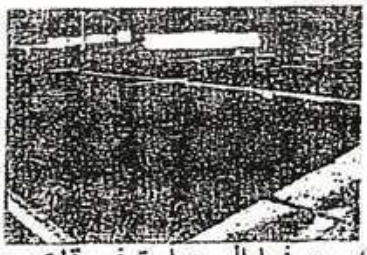
يمكن أن يمرر بعد عملية المعالجة بلبن الكلس تيار من $CO_2$ لتخفيض قيمة pH الوسط وذلك لترسيب الزائد من لبن الكلس على شكل كربونات الكالسيوم $(Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O)$

**نتيجة:**

تعتمد عملية المعالجة بالترسيب على إضافة الجير المطفأ ( هدروكسيد الكالسيوم ) إلى الماء بكميات محدودة حيث تحدث تفاعلات كيمائية معينة تتشكل عنها رواسب من كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ و هدروكسيد المغنيزيوم $Mg(OH)_2$ وقد يتم اللجوء في كثير من الأحيان إلى إضافة رماد الصودا (كربونات الصوديوم $Na_2CO_3$ ) مع الجير للتعامل مع بعض صور العسر . وتشمل عملية التيسير على حوض صغير الحجم نسبيا تتم فيه إضافة المواد الكيمائية حيث تخلط مع الماء الداخل خلطا سريعا لتوزيعها في الماء بانتظام ، ثم ينقل الماء إلى حوض كبير الحجم ليبقي فيه زمنا كافيا لإكمال التفاعلات الكيمائية وتكوين الرواسب حيث يخلط الماء في هذه الحالة خلطا بطيء يكفي فقط لتجميع والتصادق حبيبات الرواسب وتهيئتها للترسيب في المرحلة التالية.

### ب ـ الترسيب

تعد عملية الترسيب من أوائل العمليات التي استخدامها الإنسان في معالجة المياه ، وتستخدم هذه العملية لإزالة المواد العالقة والقابلة للترسيب أو لإزالة الرواسب الناتجة عن عمليات المعالجة الكيمائية مثل التيسير والترويب . وتعتمد المرسبات في أبسط صورها على فعل الجاذبية حيث تزال الرواسب تحت تأثير وزنها .





تتكون المرسبات غالبا من أحواض خرسانية دائرية أو مستطيلة الشكل تحتوي على مدخل ومخرج للمياه يتم تصميمها بطريقة ملائمة لإزالة أكبر كمية ممكنة من الرواسب ، حيث تؤخذ في الاعتبار الخواص الهدروليكية لحركة الماء داخل الحوض .

ومن الملامح الرئيسة لحوض الترسيب احتوائه على نظام لجمع الرواسب ( الحمأة ) وجرفها إلى بيارة في قاع الحوض حيث يتم سحبها والتخلص منها بواسطة مضخات خاصة .

ج ـ الموازنة ( إعادة الكربنة ):
نظرا لأن المياه الناتجة عن عملية التيسير تكون في الغالب مشبعة برواسب كربونات الكالسيوم ، وحيث أن جزءا من هذه الرواسب يتبقى في الماء بعد مروره بأحواض الترسيب فإنه من المحتمل أن يترسب بعضها على المرشحات أو في شبكات التوزيع مما يؤدي إلى انسداد أو الحد من كفاءة المرشحات الشبكات .
لذلك فإن عملية التيسير لضمان عدم حدوث تلك الأضرار ، ومن عمليات الموازنة الأكثر استخداما في التطبيق التقليدية هي إضافة غاز ثنائي أكسيد الكربون بكميات محددة بهدف تحويل ما تبقى من كربونات الكالسيوم إلى صورة البيكربونات الذائبة .

د ـ الترشيح:
هو العملية التي يتم فيها إزالة المواد العالقة ( العكارة ) . وذلك بإمرار الماء خلال وسط مسامي مثل الرمل وهذه العملية تحدث بصوره طبيعية في طبقات الأرض عندما تتسرب مياه الأنهار إلى باطن الأرض . لذلك تكون نسبة العكر قليلة جدا أو معدومة في المياه الجوفية مقارنة بالمياه السطحية ( الأنهار والبحيرات وأحواض تجميع مياه الأمطار ) التي تحتوي على نسب عالية من العكر.
تستخدم عملية الترشيح أيضا في إزالة الرواسب المتبقية بعد عمليات الترسيب في عمليات المعالجة الكيمائية مثل الترسيب والترويب .
تعد إزالة المواد العالقة من مياه الشرب ضرورية لحماية الصحة العامة من ناحية ولمنع حدوث مشاكل تشغيلية في شبكة التوزيع من ناحية أخرى . فقد تعمل هذه المواد على حماية الأحياء الدقيقة من أثر المادة المطهرة ، كما أنها قد تتفاعل كيمائيا مع المادة المطهرة مما يقلل من نسبة فاعليتها على الأحياء الدقيقة ، وقد تترسب المواد العالقة في بعض أجزاء شبكة التوزيع مما قد يتسبب في نمو البكتريا وتغير رائحة المياه وطعمها ولونها.
هـ التطهير:
هو العملية المستخدمة لقتل الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض (الجراثيم )، وتتم هذه العملية باستخدام الحرارة ( التسخين ) أو الأشعة فوق البنفسجية أو المواد الكيميائية مثل البروم أو اليود أو الأوزون أو الكلور بتركيزات لا تضر بالإنسان أو الحيوان . وتعد طريقة التسخين الى درجة الغليان أولى الطرق المستخدمة في التطهير ولاتزال أفضلها في حمالات الطوارئ عندما تكون كمية المياه قليلة ، لكنها غير مناسبة عندما تكون كمية المياه كبيره كما في محطات المعالجة نظرا لارتفاع تكلفتها . أما استخدام الأشعة فوق البنفسجية والمعالجة بالبروم واليود فتعد طرقا مكلفة . هذا وقد انتشر استخدام الأوزون والكلور في تطهير مياه الشرب ، حيث راج استخدام الأوزون في أوربا والكلور في أمريكا، بحيث يتم إضافة الكلور بنسب تكفي للحصول على كلور حر متبقي يضمن تطهير الماء الخارج من المحطة بكفاءة عالية ، وبحيث تكون كمية الكلور المضاف كافية لتأمين كمية محدود من الكلور الحر المتقي في شبكة توزيع المياه ، وذلك لتطهير المياه من أي كائنات دقيقة قد تدخل في الشبكة. . وفي الأونة الأخيرة اتجهت كثير من المحطات في الولايات المتحدة الأمريكية الى استخدام الأوزون بالرغم من عدم ثباته كيمانيا وارتفاع تكلفته مقارنة بالكلور، وذلك لظهور بعض الآثار السلبية الصحية لاستخدام الكلور ( الكلورة ) في تطهير مياه الشرب.
و ـ معالجة المخلفات:
تمثل الحماة المترسبة في أحواض الترسيب ومياه الغسيل الناتجة عن غسل المرشحات المصدرين الرئيسين للمخلفات في محطات معالجة المياه . وتحتاج هذه المخلفات إلى معالجة لتسهيل عملية التخلص منها ولحماية البيئة من التلوث الناتج عنها . ويتم ذلك بضخ مياه الغسيل إلى حوض للترويق، حيث تضاف إليها مادة كيمانية مناسبة مثل البوليمر لتساعد على ترسيب المواد العالقة في مياه الغسيل ، ثم تعاد المياه الناتجةُ عن هذه العملية إلى بداية خط المعالجة في المحطة . أما الحماة الناتجة من أحواض الترسيب والمواد المترسبة في حوض الترويق فيتم إرسالها إلى حوض للتثخين حيث يتم تثخينها بإضافة المخثرات المناسبة ، وتعاد المياه الناتجة عن هذه العملية إلى مدخل المياه في المحطة ، وبعد ذلك تتعرض الحماة المثخرة إلى عملية نزع المياه منها بطرق ميكانيكية ( الطرد المركزي أو الترشيح الميكانيكي ) يتم في النهاية الحصول على مواد صلبة تحتوي على كميات قليلة من المياه يمكن التخلص منها بوضعها في أحواض للتجفيف أو دفنها في باطن الأرض ، كما يمكن استخلاص بعض المواد الكيمانية من هذه المخالفات ليعاد استخدامها في عمليات المعالجة.
تحديات جديدة:
شهدت الأونة الأخيرة تغيرات جذرية في تقنيات المعالجة ترجع في كثير من الأحوال إلى النقص الشديد الذي تعانيه كثير من دول العالم في المياه الصالحة للشرب أو نتيجة لتلوث مصادر المياه كما هو الحال في أكثر الدول الصناعية . وقد أدت هذه العوامل إلى البحث عن مصادر جديدة غير المصادر التقليدية والتي تحتاج بطبيعة الحال إلى تقنيات معالجة متقدمة بالإضافة إلى المعالجة التقليدية . ولذلك لجأت كثير من الدول إلى تحلية مياه البحر وإلى تحلية بعض مصادر المياه الجوفية المالحة ، وفي سبيل ذلك يتم استخدام تقنيات باهظة التكاليف مثل عمليات التقطير الومضي و عمليات التناضح العكسي ، بالإضافة إلى العديد من العمليات الأخرى للتحلية.

# المعالجة الثالثية (المتقدمة) لمياه المجاري المنزلية

تُعدُّ المعالجة الثالثية للمياه الملوثة معالجة إضافية من أجل تحقيق الأمور التالية:

1- إزالة المواد العالقة الناعمة وتخفيض الـ BOD في المياه المعالجة النهائية .

2- تخفيض تراكيز العوامل الممرضة مثل البكتريا وبيوض الديدان المعوية بحيث يتم تجنب أي ضرر بالصحة العامة.

3- التحكم بالمغذيات (الفوسفور–النتروجين) والمواد الصلبة المنحلة ( عضوية ، لاعضوية ) وإزالتها.

وقد ظهرت التأثيرات السلبية لهذه المواد على المصادر المائية المستقبلة ( أنهار – بحيرات ) وأصبحت هذه التأثيرات مشمولة بدراسات علمية واقية ولهذا تم وضع التشريعات التي تحدد مواصفات المياه المعالجة المطروحة للمصادر المائية مما يضمن سلامة هذه المصادر والمحافظة عليها.

**طرق المعالجة البيولوجية:**

1- **برك التثبيت:** إن الخيار الأول لمعالجة المياه الملوثة يجب أن يكون برك التثبيت ويجب أن لا نتجاهلها إذا لم يكن هناك سبباً مقنعاً . إن الحاجة إلى مساحة كبيرة من الأرض ليست سبباً للابتعاد عنها إذا علمنا أن المياه الخارجة منها صالحة بيئياً وصحياً للاستخدامات الزراعية مباشرة . وبحال عدم توفر مساحة كافية في نهاية الشبكة فيمكن تجميع مياه المجاري وضخها إلى منطقة أخرى تتوفر فيها المساحات اللازمة للبرك ، وهذا الأسلوب متبع وكلفة التشغيل والصيانة لهذا النوع من المعالجة زهيداً مقارنة بطرق المعالجة التقليدية المتبعة. تتميز المعالجة ببرك التثبيت بأنها الطريقة الموثوقة والأبسط و الأرخص والفعالة في إزالة العوامل الممرضة والديدان وذلك عند تأمين زمن مكوث معينة . وبالإضافة للحسنات السابقة فإن هناك أمراً هاماً ألا وهو تخزين الحماة ضمن البرك وبزمن مكوث ملائم كفيل بإزالة بيوض الديدان المعوية الموجودة ضمنها . إن تصميم البرك بشكل متسلسل من ثلاث خلايا أو أكثر وبتأمين زمن يكون على الأقل ( 20 يوم) فإن ذلك يضمن إزالة كامل بيوض الإسكاريس من التدفقات النهائية بسبب ترسب تلك البيوض إلى قاع البركة حيث تموت بعد عدة شهور . ويمكن الحصول على تدفق يحوي اللتر منه على ( 1> ) من البيوض الخيطية المعوية بواسطة بركة واحدة وبزمن مكوث ( 18.8 يوم) أو وجود بركتين على التسلسل وبزمن مكوث ( 6.8 يوم) للأولى و ( 5.5 يوم ) للثانية . أو بوجود بركة لاهوائية ذات زمن مكوث ليوم واحد ومن ثم بركة اختيارية وبزمن مكوث خمسة أيام ومن ثم بركة إنضاج بزمن مكوث خمسة أيام . إن منظمة الصحة العالمية تشير إلى أن وجود برك تثبيت على التسلسل وبزمن مكوث ( 8 - 10 ) يوم كفيل بانجاز إزالة مناسبة للبيوض الدودية . وقد تم تحقيق إزالة البيوض الخيطية المعوية في المناطق المعتدلة من خلال تأمين زمن مكوث ( 17 ) يوم في الشتاء وبوجود ثلاثة برك ( اثنتان لاهوائيتان وواحدة اختيارية ) على التسلسل وأما في الصيف فينخفض زمن المكوث إلى ( 11 ) يوم وبوجود بركتين لاهوائيتين على التسلسل .

## 3 - 3 التحكم بالمغذيات وإزالتها :

### أ -إعتبارات عامة :

إن مياه المجاري التي خضعت لمعالجة تقليدية ( أولية (ترشيح مثلاً) + ثانوية (باستخدام المخثرات مثلاً) تحتوي على التراكيز التالية من الملوثات :

$BOD_5$ : mg/L ٣٠ – ٢٠

COD : mg/L ٢٠ – ٣٠

النتروجين الكلي : mg/L ٤٠ – ٢٠

الفوسفور الكلي : mg/L ١٥ – ٨

بالإضافة إلى كميات ضئيلة من المواد الملوثة الأخرى وهذه المواد مثل ( النتروجين والفوسفور ) تعمل كمغذيات للنباتات والحيوانات الموجودة في المصدر المائي المستقبل لهذه المياه المعالجة أي بشكل آخر تعمل كمنشطات للنمو .

إن النمو الزائد يؤدي إلى نشوء حالات غير مرغوب فيها مثل استنفاذ الأكسجين وموت الأسماك وانتشار الروائح وتعكر المياه وتواجد الطحالب بتراكيز عالية غيرمحبذة ولمنع مثل هذا النشاط البيولوجي فإنه من المطلوب التحكم بتراكيز هذه المغذيات في المياه النهائية المعالجة قبل طرحها في المصب المائي العام ) بحيرة – نهر .

### ب- استراتيجية التحكم بالمغذيات :

من المهم قبل اختيار الإستراتيجية المناسبة لإزالة المغذيات الإطلاع على مواصفات المياه الملوثة قبل المعالجة وعلى طريقة المعالجة والمستوى المطلوب لهذه المغذيات قبل صرفها مع المياه المعالجة إلى المصادر المائية المستقبلة . وعلى الرغم من أن المواد العضوية العالقة والمواد العضوية القابلة للتحليل البيولوجي تتم إزالتها بشكل

كبير أثناء المعالجة التقليدية إلا أن الإزالة الإضافية لهذه المواد يتم قبل إلقاء المياه المعالجة إلى البحيرات أو الجداول الصغيرة . وفي الأيام المعاصرة أصبح التحكم بالمغذيات من الأمور الروتينية في معالجة المجاري التي ستصرف للمصادر المائية .

وبالطبع بأن طرق المعالجة وأساليب التشغيل تعتمد على ما يلي :

الاستخدام الرئيسي للمياه المعالجة ، طبيعة المياه الملوثة ، الانسجام بين تسلسل عمليات المعالجة والتشغيل ، الأساليب الممكنة للتخلص من الملوثات ، و النواحي الاقتصادية والبيئية .

ت- التحكم بالنتروجين :

يتواجد النتروجين بشكل عام في المياه الملوثة على شكل نتروجين عضوي ( 40 - 59 )٪ وأمونيا ( 50 - 60 )٪ $NH_4$ + نترات + نتريت بنسبة (0-5)%، وينتج النتروجين العضوي المنحل بشكل رئيسي من البولة ومن الحموض الأمينية.

تبلغ نسبة إزالة النتروجين الكلي أثناء المعالجة التقليدية لمياه المجاري حوالي 30٪ وكل جزء من الأمونيا يحتاج كي يتحول إلى نترات حوالي ( 4.6 ) جزء من الأكسجين وبالتالي فإن النتروجين في مياه المجاري المنزلية يمكن أن يكافئ ( 80 - 150 ) ملغ BOD ولذلك فمن الضروري انتزاعها من المياه المعالجة قبل صرفها في المصبات المائية العامة .

ومن الطرق البيولوجية لإزالة النتروجين :

إن المعالجة البيولوجية تسهم في تحويل البولة إلى كل من أمونيا ونترات وعادة في شبكات الصرف الصحي وفي أحواض الترسيب الأولية وأثناء المعالجة البيولوجية يتم تفكك البولة . وهناك العديد من الطرق المتبعة لإزالة النترجين من المياه الملوثة بيولوجياً ونذكر منها:

أ- **الاستهلاك البكتيري**: إن إزالة النتروجين هنا تعتمد على الحقيقة القائلة بأن استمرار النمو للكائنات الدقيقة يتطلب وجود مغذيات معينة والتي تعتبر بحد ذاتها مصدراً للطاقة لتلك الكائنات ، وبالتالي إذا تم اختيار المصدر الغذائي بشكل مناسب فإنه بالإمكان تحويل الأشكال المنحلة من النتروجين إلى أشكال عضوية محتواة ضمن الخلايا البكترية. وهذا التحول يتطلب عادة إضافة الكربوهيدرات ( أي مصدر كربوني عضوي ) مثل الميثانول ويضاف عادة ( 1.359 ) كغ من الميثانول لكل ( 0.453 ) كغ من النترات المزال

ومن سيئات هذه الطريقة الكلفة المرتفعة للمصدر الكربوني وكلفة معالجة الكميات الكبيرة من الحمأة الناتجة وبالتالي نخلص للقول بأن هذه الطريقة غير مناسبة عملياً .

ب- الطحالب : إن المفهوم المستخدم هنا مشابه للحالة السابقة ، حيث يحول النتروجين وأكسيد الكربون إلى خلايا طحلبية وبتأمين الأكسجين اللازم يتم تثبيت المواد العضوية الموجودة في المياه الملوثة.

وهذه الطريقة لم تطبق حتى الآن لأجل المحطات الكبيرة بسبب المساحات الكبيرة اللازمة لها وكذلك المشاكل الناجمة عن التخلص من الكم الهائل لهذه الطحالب .

ج- النترجة وإزالة النترجة : إن هذه العملية تجري بشكل خاص لإزالة النتروجين وهي تعتبر طريقة معدلة عن الحمأة المنشطة وتتلخص بشكل عام في طريقتين وهما :

*<u>*عملية النترجة*</u> : وبهذه المرحلة يتم تحول الأمونيا تحت الشروط الهوائية إلى نترات وذلك عن طريق بكتريا النتروزوموناس وبكتريا النتروباكتر ، كما هو موضح بالمعادلات التالية :

$$NH_4^+ + 1.5O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$$

$$NO_2^- + 0.5O_2 \rightarrow NO_3^-$$

بالجمع نجد:

$$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + H_2O$$

وبشكل عام فإن المعالجة البيولوجية يمكن أن تخفض النتروجين ( على شكل أمونيا ) إلى أقل من ( 1 ملغ/ل) وأن تخفض النتروجين الكلي إلى أقل من ( 3 ملغ/ل ) . إن عملية النترجة يمكن أن تتم بحوض التهوية بحيث تتم زيادة مدة التهوية عن المدة المتعارف عليها في الحمأة المنشطة التقليدية .

*<u>*إزالة النترجة*</u> : وفي هذه المرحلة يتم تحويل النترات لاهوائياً إلى غاز النتروجين بوجود الميثانول كمصدر عضوي:

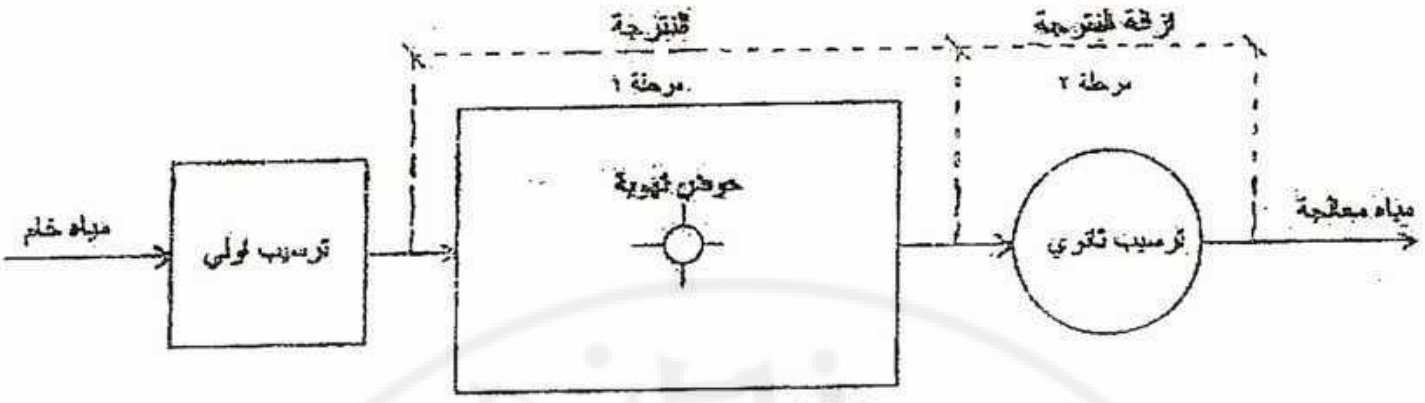
$$6NO_3^- + 2CH_3OH \rightarrow 6NO_2^- + 4H_2O + 2CO_2$$

$$6NO_2^- + 3CH_3OH \rightarrow 3N_2 + 3CO_2 + 3H_2O + 6OH^-$$

بالجمع نجد:

$$6NO_3^- + 5CH_3OH \rightarrow 3N_2 + 7H_2O + 2CO_2 + 6OH^-$$

إن إزالة النترجة يمكن أن تتم بأحواض الترسيب الثانوية وذلك بتأمين زمن تهوية طويلة وبإضافة مصدر كربون عضوي وعادة يضاف الميثانول ، ومن حسنات هذه الطريقة : فعالية إزالة للنتروجين تصل إلى ( 60 - 95 )٪ ، وهي طريقة موثوقة ، سهلة التشغيل ، تتطلب مساحة أرض قليلة ، كلفة متوسطة . والشكل التالي يوضح حدوث عمليتي النترجة و إزالة النترجة:




عملية النترجة - ازالة النترجة (وضف مصدر كربوني)

**ثـ- التحكم بالفوسفور:**

يعدُّ الفوسفور أحد العناصر الرئيسية المغذية ومن الواجب تخفيضه إلى الحدود الدنيا المقبولة قبل إلقاء المياه المعالجة إلى المصادر المائية العامة ( بحيرة – نهر ).

I- الإزالة البيولوجية للفوسفور:

إن مفتاح الإزالة البيولوجية للفوسفور هو تعريض الكائنات الحية الدقيقة إلى شروط لاهوائية وهوائية بشكل متعاقب مما يتسبب بامتصاص الفوسفور الموجود في المياه المعالجة . وإن الفوسفور لا يستخدم فقط من أجل الحفاظ على الخلايا الحية وتكاثرها وإنتاج الطاقة ولكن أيضاً يخزن ضمن الخلايا من أجل الاستخدام اللاحق .

إن تأمين التعريض المتعاقب للشروط اللاهوائية والهوائية يمكن أن يتم بالمعالجة البيولوجية المعروفة أو عن طريق إعادة الحمأة والمقدار المطلوب من الفوسفور لإجراء النشاطات المختلفة للأحياء الدقيقة هو جزء فوسفور إلى مائة جزء من الكربون وتبلغ نسبة الإزالة للفوسفور بالطريقة البيولوجية من ( 20 - 40 )٪ .

2- إزالة الفوسفور كيميائياً:

إن الفوسفور يتواجد في المياه الملوثة على شكل فوسفور عضوي أو على شكل بولي فوسفات ويمكن إضافة العديد من المواد الكيميائية لإزالة الفوسفور ومنها :

- أملاح الألمنيوم : ويتم التفاعل مع الفوسفور على الشكل التالي:

$$Al^{+3} + PO_4^{-} \rightarrow AlPO_4\downarrow$$

وبهذه الطريقة تتم إزالة الفوسفور بنسبة ( 75 - 95 ) ٪ بالإضافة إلى إزالة المواد العضوية بنسبة ( 50 - 60 )٪ و PH الوسط المناسب لحدوث التفاعل يساوي (6) .

- أملاح الحديد : ويتم التفاعل مع الحديد وفق التفاعل التالي :

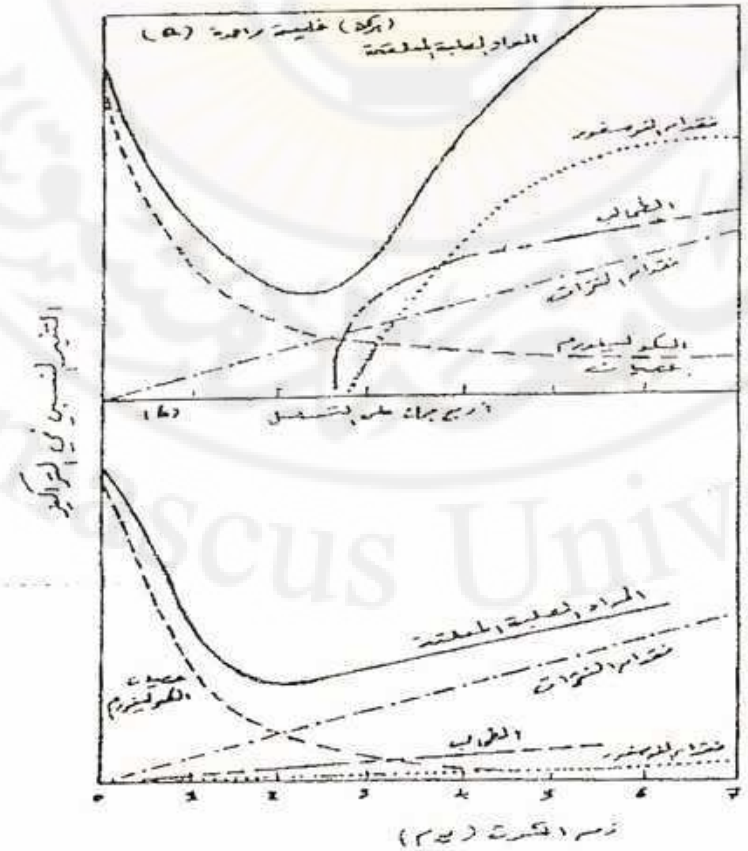
$$Fe^{+3} + PO_4^{-} \rightarrow FePO_4\downarrow$$

إن PH الوسط يجب أن تكون بحدود ( 4 - 5 ) عند استعمال الحديد الثلاثي ( $Fe^{+3}$ ) وبحدود ( 7 - 8 ) عند استعمال الحديد الثنائي ($Fe^{+2}$) وعملياً فإن نسبة الحديد إلى الفوسفور تتراوح لأجل كلوريد الحديد ( 1.2 : 1 ) إلى ( 3 : 1 ) لأجل الحصول على إزالة الفوسفور بمقدار ( 70 - 75 ٪ ).

إن إضافة المواد الكيميائية لأجل إزالة الفوسفور يمكن أن تؤثر على عمل أحواض الترسيب الأولية وإن اختيار إضافة هذه المواد يتوقف على المواصفات المطلوبة للمياه النهائية المعالجة . إن إضافة المواد الكيميائية قبل أحواض الترسيب الأولية تساهم في إزالة الفوسفور بنسبة 80٪ .

جـدول يوضح تأثير طرق المعالجة على نزع الفوسفور من المياه الملوثة

| طريقة المعالجة | فعالية إزالة الفوسفور ٪ |
|---|---|
| * المعالجة التقليدية : | |
| – المعالجة الأولية . | ١٠ – ٢٠ |
| – الحمأة المنشطة . | ١٠ – ٢٥ |
| – المرشحات الحجرية . | ٨ – ١٢ |
| – أحواض تثبيت ثنائية . | ٨ – ١٢ |
| * النزع البيولوجي للفوسفور . | ٧٠ – ٩٠ |
| * النزع البيولوجي المشترك للفوسفور والنتروجين . | ٧٠ – ٩٠ |
| * النزع الكيميائي : | |
| – الترسيب بإستخدام الأملاح المعدنية . | ٧٠ – ٩٠ |
| – الترسيب بالإستخدام الكلسي . | ٧٠ – ٩٠ |
| * النزع الفيزيائي : | |
| – الترشيح . | ٢٠ – ٥٠ |
| – التناضح العكسي . | ٩٠ – ١٠٠ |
| – الإمتصاص الكربوني . | ١٠ – ٣٠ |




شكل يوضح فعالية برك الاكسدة في عملية الازالة للمياه المعالجة ثلاثيا

# تلوث التربة

## 1- مقدمة

- الإنسان بشكل كبير أثر على طبقة التربة وخاصة السطحية نتيجة الأعمال الغير المسئولة ونتيجة التطور العلمي واستخدام المواد الكيميائية بدون حسيب أو رقيب.
- في الشروط الطبيعية 1 سم من التربة الخصبة ينشئ خلال 125-400 سنة وعند تسريع العملية من خلال العمليات الميكانيكية المثالية لا بد من 40 سنة .
- التربة المستخدمة في الزراعة حوالي 10 % من مساحة اليابسة، وهي في تناقص مستمر وحصة الفرد تتناقص بسبب ارتفاع عدد السكان وخروج مساحات واسعة من الإنتاج.
- الاستخدام الواسع للتربة لتعويض المساحات الخارجة عن الإنتاج وارتفاع عدد السكان وباستخدام المواد الكيميائية المتعددة ( مبيدات ، مخصبات ) أدى إلى تغير في التركيب العضوي الكيميائي للتربة وخاصة الترب المروية .
- حتى عام 1990 تم استخراج 125 مليار طن فحم حجري ، و32 مليار طن نفط ، و100 مليار طن معادن ومواد أخرى.
- التعرية وفي 100 عام الأخيرة أدت إلى تعرية 2 مليون هكتار أراضي زراعية و20 مليون أخرى تحولت نحو الأسوأ.
- سطح التربة هـ ومن أكثر المناطق تعرض للتلوث، وهو بذلك يحوي على تراكيز عالية من العناصر السامة التي تؤثر على حياة الإنسان والنبات والحيوان .

## 2- الملوثات الأساسية للتربة

تقسم الملوثات بشكل عام إلى **أربع أنواع**

**ملوثات فيزيائية ، ملوثات كيميائية، ملوثات بيولوجية، ملوثات إشعاعية**

أما من ناحية نوع الأثر فتقسم إلى

- ملوثات ذات نشاط كيميائي(أحماض معدنية ، قواعد وأملاح، بعض الغازات)
- ملوثات ذات أثر بيولوجي (المبيدات ، العناصر الثقيلة )

### 2-1 مصادر تلوث التربة

أ- **المبيدات**

ب- **الأسمدة (المخصبات )**

ج- **المخلفات المنزلية والصناعية ( السائلة والصلبة )**

د- **انجراف التربة** ( سوف يدرس بالتفصيل في مقرر التشجير الحراجي )

هـ -**المخلفات الحيوانية** تستعمل كأسمدة بعد التحضير الجيد

أ- التلوث بالمبيدات الزراعية

- في العلم كل سنة يستخدم أكثر من مليون طن مبيدات، وتصل النسبة حتى ( 20كغ /هـ) في بعض المناطق الروسية و 1كغ لكل شخص .
- تعتبر المبيدات الحشرية المستخدمة في مكافحة الآفات من أخطر المواد وأكثرها أنشارا ، وربما كان مركب DDT ( ثنائي كلورو ثنائي فينيل ثلاثي كلورو إيتان ، P-Dichloro diphenyl trichloro -ethan)من أكثر المبيدات شهرة وأكثرها انتشارا .
- استعمل الـ DDT خلال الحرب العالمية الثانية كمبيد حشري شديد الفعالية ، واستعمل اللندان ( Hexachloro-cyclohexane) وسميته أكبر من الـ DDT بنحو 5-20 مرة وقد استعمل هذان المبيدان في كثير من الدول لمكافحة الآفات الزراعية .
- وهناك العديد من المركبات العضوية المحتوية على الكلور مثل ( الدايلدرين ، هبتاكلور ، كلوردان ) استعملت كغيرها من المبيدات لمكافحة الآفات الزراعية .
- إن لهذه المبيدات وغيرها أثار متبقية وتختلف من مبيد إلى أخر ، وقد تصل فترة طويلة حتى يزول أثر المبيد من التربة حتى 10 سنوات أو أكثر ، وتحمل مياه الأمطار بعض هذه المبيدات من التربة إلى المجاري المائية ، وتسبب كثير من الأضرار للإنسان والحيوان والنبات ( الأثر التراكمي )، مثلاً في بحيرة كلير في كاليفورنيا استعمل بما يشبه الـ DDTبتركيز 0.014 PPM للقضاء على أحد الكائنات الغير المرغوبة في مياه البحيرة ، ومع الوقت لوحظ أن بعض الأسماك قد ماتت وكذلك الطيور والبط البري وتبين أنه بالتحليل أن ماء البحيرة نسبة المبيد لم تتجاوز 0.014 PPM إلى أن هذه النسبة قد ارتفعت إلى 221 PPM في الأسماك الكبيرة و2500 PPM في دهن البط البري .
- الأثر يزداد سوء عند استخدام المبيدات بواسطة الطائرات ، لأنه يؤدي إلى تلوث الهواء بمقدار كبير قد يصل أحياناً إلى 50% من المبيد المستعمل .
- تنتشر المبيدات في كل مكان مع دورة الماء والهواء ، وقد تم اكتشاف وجود أثار لبعض المبيدات ومنها(DDT) في أماكن نائية لم تستعمل فيها أبداً هذه المبيدات مثل القارة القطبية الجنوبية.
- ومما يزيد من خطورة هذه المركبات أنها شديدة الثبات وتبقى زمناً طويلاً بعد استعمالها دون أن تتحلل ، الأندرين يبقى 41% منه بعد انقضاء 14 عام.
- المبيدات تعمل عل قتل الكثير من الكائنات الدقيقة التي تعيش في الماء والهواء وهذه لها دور في التوازن البيئي الطبيعي،
- كمية مبيد الـ DDT المستعملة منذ عام 1943 وحتى وقت قريب 3 مليون طن. .
- هناك العديد من المبيدات تستخدم للقضاء على الفطور والتي تضر بالمزروعات ، ولكن هذه المبيدات تحوي على الزئبق في تركيبها وهي تلوث التربة وتبقى فيه لمدة طويلة ، كما أن جزء

من هذه المبيدات تجرفه مياه الأمطار وتحمله إلى المياه الجوفية والأنهار ، وقد حظرت كثير من الدول استخدام مثل هذه المبيدات ولكن بعد فوات الأوان.

- وقد وجد أن المكافحة الحيوية من أنجح الطرق وليس فيها خطر وكذلك استعمال المواد الجاذبة للجنس إذ أن تأثيرها فقط يكون على نوع محدد.

**أ-1 استخدام الكائنات الدقيقة للقضاء على التلوث الكيميائي**

- توصل العلماء إلى كائنات دقيقة من عائلة ( PSEUDOMONAS ) وهي تمتلك نظام من الأنزيمات تستطيع بواسطته أن تقوم بعمليات الأكسدة والاختزال ، وتؤدي إلى إدخال مجموعات هيدروكسيل في المركبات وتقوم بتمثيل عدد كبير من الهيدروكربونات، وهناك العديد من الكائنات تقوم بتحويل المواد العضوية إلى غير عضوية مثل النشادر وثاني أوكسيد الكربون .
- في أمريكا تم استخدام P.slutzeri ,Paeruginosa في تحليل مبيد مشهور وقوي هو البراثيون ( ملوث شديد للبيئة ).
- كذلك تم تحضير نوع من البكتريا لتحليل مبيد أعشاب 2،4،5- ت وتم تحليله بالكامل في عدة أيام .

**ب- التلوث بالأسمدة ( المخصبات الزراعية )**

- تزايد الطلب على الغذاء نتيجة الزيادة الهائلة في أعداد سكان الكرة الأرضية.ونظراً لأن التربة الزراعية الصالحة لزراعة المحاصيل علة مستوى الكرة الأرضية تعتبر محدودة إلى حد ما ، فقد دفع ذلك كثير من المزارعين إلى استخدام أنواع مختلفة من الأسمدة الزراعية مثل مركبات الفوسفات والنترات لزيادة خصوبة التربة وزيادة الإنتاج.
- عند استخدام هذه المخصبات بطرق غير محسوبة فإن جزء كبير منها قد يبقى في التربة ، وهو الجزء الذي يزيد عن حاجة النبات ، وعند ري مثل هذه التربة فإن جزء من المخصبات سوف يذوب في مياه الري ويتم غسله من التربة بمرور الوقت حتى يصل إلى المياه الجوفية ، وبذلك يرفع نسبة الفوسفات والنترات في هذه المياه.
- مياه الأمطار ومياه الصرف الزراعية تعمل في نقل المخصبات أيضا إلى الأراضي المجاورة وحتى الأنهار والبحيرات.

**ب-1 مركبات الفوسفات**

- تؤدي زيادة نسبتها في المياه إلى الإضرار بحياة كثير من الكائنات التي تعيش في مختلف المجاري المائية ن

- مركبات الفوسفات أو الفوسفور مركبات ثابتة من الناحية الكيميائية ، لذلك فإن أثارها تبقى في التربة زمناً طويلاً ولايمكن التخلص منها بسهولة . وهذه المركبات لها أثر سام عل الإنسان والحيوان ولذلك هناك معدلات لا يمكن تجاوزها .
- زيادة مركبات الفوسفات في مياه البحيرات يؤدي إلى نمو زائد للطحالب وبعض النباتات المائية ، وتصل إلى حالة التشبع الغذائي ، وتتحول البحيرة بمرور الزمن إلى مستنقعات خالية من الأوكسيجين وتخلومن الأسماك وغيرها من الكائنات .
- زيادة الفوسفات في التربة يؤدي إلى ترسيب النحاس وبذلك يظهر عوز النحاس على المحاصيل المزروعة .

**ب-2 مركبات النترات**

- وهي ظاهرة التلوث بمركبات النترات حديثة لم تلق الدراسة المتعمقة ، على الرغم من أن هذه المركبات ليس لها أثر مباشر في كل من الإنسان والحيوان ، إلا أن الآثار الجانبية المترتبة على وجودها في مياه الشرب أو الطعام يمثل خطورة كبيرة على الصحة العامة ، خصوصاً عندما يزداد تركيزها على حدود معينة .
- التلوث بالنترات مشكلة ذات وجهين الوجه الأول يتعلق بالإسراف في استخدام المخصبات الزراعية المحتوية على النتروجين ، وهذا ما يؤدي إلى زيادة تركيزها في مياه المجاري المائية ، بينما الوجه الأخر يتعلق بوجودها بنسبة عالية في بعض النباتات التي تستخدم في الأطعمة ، أو باستخدامها كمواد حافظة .
- في فرنس تنين أن الكمية المستخدمة سنوياً من مركبات النترات تبلغ نحو 9 مليون طن ، وقد اتضح أنه يتبقى في التربة الزراعية حوالي 2 مليون طن .
- مركبات النترات مع مركبات الفوسفات في البحيرات تشجع ظاهرة التشبع الغذائي .
- هناك الكثير من النباتات التي تختزن في أجسامها وأنسجتها نسبة عالية من النترات كما في الفجل والجزر وبعض أنواع البقول ، وتبين التحاليل الدقيقة أن أنسجة هذه النباتات تحتوي على قدر قليل من أيون النتريت الذي ينتج من اختزال مركبات النترات.
- وقد تنبه العلماء إلى أن أيون النتريت هو الأيون السام ، وإن الخطورة الحقيقية لمركبات النتريت تكمن في أن جزءاً منها يتحول إلى أيون النتريت ، وهذا الأخير هو الذي يسبب كل الأضرار ويفتك بصحة الإنسان ويؤدي إلى التسمم ، ويؤدي إلى الوفاة .

- أيون النترات أيون ثابت إلى حد كبير ، أما أيون النتريت فهو أيون غير ثابت وهو نشط كيميائياً وقد يتصرف كمادة مؤكسدة أوكمادة مختزلة .

- أيون النتريت تؤثر في الدم مباشرة وتمنعه من القيام بوظيفته الرئيسية الخاصة بنقل الأوكسجين،يقوم بتعطيل عمل بعض الأنزيمات.
- إزالة أيون النترات من الماء تتم بالتقطير أو بإمرار الماء على بعض الراتنجيات الأيونية وهي عالية التكاليف، وأسهل طريقة هي خلط الماء ذو المحتوى العالي من النترات بماء خالي المحتوى للوصول إلى ماء ذو معدل طبيعي من النترات ليس له أضرار على صحة الإنسان .

**ج- المخلفات الصلبة والسائلة المنزلية والصناعية**

**ج-1 المخلفات الصلبة**

- تعاني كل الدول من هذه المشكلة نظراً لازدياد كميات هذه المخلفات والنفايات يوم بعد يوم.
- ففي الولايات المتحدة الأمريكية تبلغ كمية هذه المخلفات الناتجة من المصانع والمتاجر ومواد البناء بالإضافة إلى قمامة المنازل نحو مليون طن في اليوم، أي بمعدل 4 كيلو غرام لكل فرد في اليوم. أما في القاهرة فتبلغ كمية النفايات الصلبة التي ترفع يومياً من مدينة القاهرة 5000 طن.
- لو أننا ألقينا بكل هذه النفايات في البيئة المحيطة بنا لما استطاعت العوامل الطبيعية أن تتخلص من هذا الكم الهائل متنوع الأشكال.

**ج1-1 دفن المخلفات**

يكتفي بعض المدن بدفن مخلفاتها الصلبة في حفر خاصة في أماكن بعيدة خارج النطاق العمراني للمدينة، وقد تلقى هذه المخلفات في بعض الحفر أو المنخفضات الموجودة طبيعياً ، أو تحفر لهذا الغرض خنادق خاصة ، وبعد أن تلقى فيها المخلفات تمر عليها جرارات لضغطها ، ثم تغطى بالتراب ويسوى السطح .

هذه الطريقة لها عدة عيوب :

1- فالأرض في هذه المناطق تصبح لينة ، لا يمكن استخدامها في البناء، ولكن يمكن تحويلها إلى حدائق عامة .

2- عند سقوط الأمطار قد تتغلغل مياه المطار وتصل إلى النفايات ومن الممكن أن تحمل بعض المواد الخطرة من هذه النفايات، وتسبب تلوث المياه الجوفية القريبة.

3- كثير من المدن لا تتوفر بالقرب منها أماكن مناسبة للدفن، وعملية نقل النفايات إلى مسافات أبعد تكلف مبالغ أكثر.

**ج-1-2 إلقاء المخلفات في البحر**

- لا يمثل إلقاء المخلفات الصلبة في البحار أو المحيطات تخلصاً حقيقياً من هذه المخلفات ، فبعض هذه المخلفات قد يطفو على السطح وتدفعه الرياح والأمواج ليصل إلى السواحل والشواطئ ، وبذلك يصل بعض هذه المخلفات مرة أخرى إلى بعض المدن الشاطئية .
- قد يتغطى قاع البحر بأشكال مختلفة من النفايات تؤدي إلى الإخلال بالنظام البيئي المتوازن ويسبب كثيراً من الأضرار فيه.

**ج-1-3 إحراق المخلفات**

- تقوم بعض الدول بحرق المخلفات الصلبة للتخلص منعا ، ويستفاد منها في الحصول على الطاقة ، تبلغ الطاقة الناتجة من إحراق كيلو غرام واحد من القمامة نمو 50% من الطاقة الناتجة عن الفحم وهذا متعلق بنوعية القمامة .
- تصلح هذه الطريف للتخلص من نحو 70% من المخلفات الصلبة للمدن، وهي تقلل من حجم النفايات المطلوب التخلص منها .
- هذه الطريقة مناسبة جداً من وجهة نظر المهتمين بالتخلص من النفايات والمخلفات الصلبة ، ولكنها لا تعتبر مناسبة من وجهة نظر المهتمين بمكافحة التلوث، وذلك لأن حرق هذه المخلفات ينتج عنه انطلاق قدر كبير من الغازات الملوثة للبيئة في الهواء..

**ج-1-4 إعادة استخدام النفايات**

سوف تدرس هذه النقطة بالتفصيل في دروس قادمة .

المخلفات السائلة

**ج- 2مياه الصرف الصحي**

- تتوقف حجم شبكة الصرف الصحي اللازمة لكل مدينة على عدة عوامل أهمها:حجم المدينة، عدد السكان، أنواع النشاطات المختلفة.
- عادة يتم الفصل بين مياه الأمطار وبقية مياه الصرف الصحي ، وذلك لأن مياه الأمطار خالية من النترات ولا توجد حاجة حقيقية لمعالجتها.
- هناك أنظمة متقدمة من أنظمة الصرف الصحي حيث يتم فيها الفصل بين مكونات الصرف الصحي للمدن، فتفصل فيها المياه الواردة من دورات المياه للمنازل عن المياه الواردة عن النشاطات الأخرى وهذه الطريقة تقلل من تكاليف المعالجة.
- تتوقف طرقة المعالجة على طبيعة المواد الموجودة في مياه الصرف الصحي.

**ج-3 مياه الصرف الصناعية**

- عندما تخلو من المواد السامة أو الضارة يمكن إلقاؤها في المجاري المائية دون الحاجة إلى معالجتها مثل المياه المستخدمة في تبريد الأجهزة الصناعية

- لا يمكن حصر أعداد المواد الكيميائية التي توجد في مياه صرف المصانع وهناك صعوبة في التخلص منها ، فهناك بعض المصانع التي تلقي ببعض مخلفاتها السائلة في بعض الآبار العميقة ، أو بعض التكوينات الصخرية في باطن الأرض وهي طريقة غير سليمة لما سوف تسببه من مشكل بيئية في المستقبل.
- وهناك من يضع هذه المخلفات في براميل ودفنها في باطن الأرض، وهي أيضاً غير سليمة.ولا توجد حالياً طرقة مثلى للتخلص من هذه النفايات ويعتقد أن حقن النفايات السائلة إلى أعماق تصل900 متر قد تخفف كثيرا من النتائج السلبية لها .

**ج-4 التخلص من النفايات النووية**

النوع الأول من النفايات ، هو الناتج عند استخراج خامة اليورانيوم وتحضير الوقود ، وحجم النفايات نحو 86% من حجم الخامة المستخرجة من المنجم ، ويصل حجمها إلى نحو 50000متر مكعب لكل محطة نووية استطاعتها 1000 ميغا وات كل سنة .( الإشعاع الناتج عنها ضعيف 5 كوري لكل 1 طن ويستمر النشاط الإشعاعي 1600 سنة نظراً لاحتوائها عل الراديوم 226.

النوع الثاني من النفايات هي تلك التي تنتج من تشغيل المفاعلات الموجودة في المحطات النووية.وهي تنقسم إلى قسمين

1- نفايات ضعيفة أومتوسطة الإشعاع، وهي النفايات التي تحتوي على مواد تشع بيتا –غاما فقط ،

2- نفايات قوية الإشعاع وهي تمثل الوقود المستهلك النتاج من المفاعل النووي.

تدفن النفايات الضعيفة أو متوسطة الإشعاع بعد تبريدها في أماكن خاصة محاطة بالإسمنت في باطن الأرض.والنفايات ذات النشاط الإشعاعي القوي مثل الوقود المستهلك فيتم غمرها في خزانات مليئة بالماء حتى تفقد حرارتها وبعض إشعاعاتها ثم تدفن في باطن الأرض على عمق كبير وفي مناطق بعيدة عن العمران.

- **التلوث الإشعاعي**

- يحدث التلوث الإشعاعي عند انطلاق أو تسرب المواد المشعة ( صلبة ، سائلة أو غازية ) من الأوعية التي تحتويها من خلال ثقوب أو شروخ بها أو نتيجة لانفجارها . تندمج المواد المشعة بعد تسربها في عناصر البيئة المختلفة مثل الماء والتربة والهواء لتنتقل بعد ذلك إلى الإنسان.

- تلوث الماء يمكن أن ينتقل مباشرة إلى الإنسان بالتسرب أومن خلال تناول الحيوانات و الأسماك و النباتات البحرية التي تعتبر ذات قدرة علي تركيز المواد المشعة في أجسامها .

- أما تلوث التربة فينتقل إلى النباتات ومنها إلى الإنسان مباشرة أو عند تناول الحيوانات التي تتغذى علي تلك النباتات الملوثة و بالرغم من ذلك فإن تسرب المواد المشعة إلى التربة هو أقل عمليات التلوث خطورة بسبب كونه موضعيا لأن الزمن اللازم لكي تتحرك المواد المشعة عبر طبقات التربة إلى أن تصل للمياه الجوفية يكون طويلا

- و هذا التلوث أسهل في الكشف والتحديد و في التعامل معه وعلاجه .

- عند تلوث الهواء يؤدي ذلك إلى انتشار عام للتلوث في مناطق شاسعة إذا لعبت الرياح دورها في تحريك السحابة المشعة ( كما حدث في حادث شير نوبل ).

- قد ينتهي التلوث الهوائي بتساقط الغبار المشع علي مناطق مختلفة مما يؤدي إلى تلوث الأرض و الماء . وهذا التلوث لا يحدث إلا في الحوادث الرئيسية الذي يدمر فيها قلب المفاعل .

- ويحدث أيضا تلوث الهواء عند زيادة تركيز غاز الرادون به . وغاز الرادون غاز خامل ، عديم اللون و الرائحة و له نشاط إشعاعي ولذلك يتحلل بانبعاث جسيمات ألفا المشحونة إلى نواتج صلبه تسمي ببنات الرادون Rn - daughters .

- وعندما يستنشق الإنسان هذا الغاز تلتصق جسيمات ألفا المؤينة بالغشاء المبطن للشعب الهوائية بالرئة و تستقر كذلك بنات الرادون ( Po218s ، Bi214s ، Pb214s ) السامة بها .

- من الجدير بالذكر بأن هذه النظائر جميعها باعث لإشعاعات جاما مما يسبب خطر الإصابة بالأمراض الصدرية مثل سرطان الرئة وقد فسر بعض العلماء ظاهرة " لعنة الفراعنة " بأنها تحدث نتيجة لتعرض الأشخاص الذين يفتحون المقابر الفرعونية لجرعة مكثفة من غاز الرادون المشع . ومن المعروف أن الرادون يتسرب إلى الهواء الجوي والمياه الجوفية و يصل إلى المنازل من خلال شقوق في أساساتها .

- لذلك يحذر علي ساكني الأدوار السفلي في المناطق الصخرية أحكام إغلاق النوافذ في الشتاء للحفاظ علي الهواء الدافئ داخل البيت و عدم التهوية المنتظمة ، ذلك لأن الهواء المحبوس قد يكون حاملا للرادون المشع وبناته في ( Rn- daughters ) سلسلة التحولات المشعة التي تنتهي بالرصاص .

- وقد حددت و كالة حماية البيئة الأمريكية United States Environmental Protection Agency (EPA)) sحدود التركيز الآمن لغاز الرادون في الهواء بما لا يزيد عن1.25 بيكوكورى / لتر أي 1.25 × 10 –12 كوري/لتر .

- التلوث الكهرومغناطيسي

- تنتصب أجسامنا على الأرض كهوائيات تلتقط الموجات الراديوية التي تبثها محطات إرسال الإذاعات والتلفزة الإقليمية، وتلك التي تعكسها نحونا عشرات أقمار الاتصالات المبثوثة في سمائنا. وتلك التي ترسلها أجهزة الهواتف المحمولة وأدوات التحكم عن بعد وأجهزة الاتصالات العسكرية والخاصة، وما ترسله أيضاً أفران الموجات الصغرى (الميكروويف)، بالإضافة إلى ما يتسلل إلى الأرض عبر .....

- نافذة الغلاف الجوي من موجات راديوية كونية آتية من النجوم البعيدة. ونظل عرضة لأضواء مرئية وأخرى غير مرئية، ففي حين تلتقط عيوننا ضوء النهار، المنعكس على الأشياء التي ننظر إليها، يلتقط جلدنا أشعة حرارية غير مرئية تسمى (ما دون الحمراء) صادرة عن الأجسام الساخنة والذرات المثارة، كما يلتقط أشعة غير مرئية أخرى، (ما فوق البنفسجية)، يتدرّج خطرها وفقاً لقدراتها الاختراقية المتفاوتة، إذ يصل بعضها إلى شبكيات العيون، وطبقات الجلد الداخلية، وحتى العظام. وتأتي الأشعة ما فوق البنفسجية من الشمس والأشعة الكونية، كما تأتي من البرق ومن المصابيح الكهربائية، والتلحيم الكهربائي، ومن شاشات التلفزة والكمبيوتر وغيرها.

- كما أننا على تماس مع الأشعة السينية أشعة (X) المستخدمة في التشخيص الطبي والتي تخترق الأنسجة اللينة (كاللحم والجلد والشرايين( مثل زجاج شفاف بينما يمتصها العظم ويوقفها لما يحتويه من معادن.

- غير أن إشعاعات نوعية أخرى، أشد خطراً على صحة الإنسان، ترسلها مواد مشعة، طبيعية أو منتجة، موجودة في الأطعمة التي نتناولها والمياه التي نشربها والهواء الذي نتنفسه. فقد ورثنا بعض هذه النظائر المشعة في التركيبة الكيميائية الأولية لطبيعة كوكب الأرض، وأنتج بعضها الآخر القنابل والتجارب النووية (هيروشيما ونجازاكي، القنابل المصفحة باليورانيوم المستنفد، تجارب التفجيرات النووية المتعددة، إلخ)، وكوارث المفاعلات النووية، ككارثة مفاعل تشيرنوبيل مثلاً. والإشعاعات النووية المقصودة هنا هي أشعة (ألفا) وأشعة (بيتا) و(بيتا)، وهي إشعاعات مؤيّنة تقوم بإثارة نواة الذرّات التي تصيبها وتغيير تركيبها الإلكتروني وإتلاف وظائف الخلايا التي تتشكل منها.

- إلى جانب هذه الموجات الكهرومغناطيسية والأشعة المؤيّنة، تجدر الإشارة إلى أننا نسبح عبر حقول كهربائية ومغناطيسية تنشرها حولنا خطوط التوتر العالي والمولدات والمحركات الكهربائية، بالإضافة إلى النشاط المغناطيسي للشمس وفوراتها الدورية المعهودة. هذه الحقول ليست دائماً بلا أثر على صحة الأجسام الحية ووظائفها البيولوجية.

- التليفون المحمول

- ومن الجدير بالذكر أنه لم يستطع أحد حتى الآن أن يجزم بأنه لا توجد أضرار ناجمة عن التلوث الكهرومغناطيسي بما في ذلك استعمال التليفونات المحمولة نظراً لأن تلك الأضرار عادة تكون أضرارا تراكمية تؤثر على الصحة بمرور الزمن، الأمر الذي قد يدفع بعض الشركات المنتجة لهذه المعدات إلي وضع لاصقة على الجهاز تحذر من المضار الصحية التي قد تنجم عن هذه المعدات اسوة بما تتبعه شركات إنتاج الدخان.

- إن حدود الأمان لدرجة التلوث الكهرومغناطيسي المسموح بها تتفاوت من بلد إلي بلد وقد يصل هذا التفاوت إلي المائة ضعف. الأمر الذي جعل التليفون المحمول ومحطاته القاعدية مدانتان حتي تثبت براءتهما من قبل الباحثين وعلي رأسهم هيئة الصحة العالمية. وحتى ذلك اليوم لا بد من توخي الحظر بشأن استخدام التليفون المحمول وإقامة محطاته القاعدية فوق المباني.

- الطيف الكهرومغناطيسي

- تعتبر التليفونات المحمولة ومحطاتها القاعدية من أهم مصادر التلوث الكهرومغناطيسي حيث تنتج عن هذه التليفونات مجالات كهرومغناطيسية. وتتكون هذه المجالات من مجالين متعامدين هما المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي

- ينتج عن التليفونات المحمولة ومحطاتها أمواجاً راديوية كهرومغناطيسية وهو إشعاع غير مؤين تختلف تأثيراته البيولوجية بشكل أساسي عن الإشعاع المؤين مثل أشعةX . ويمكن تمييز الموجات الكهرومغناطيسية من خلال ثلاثة متغيرات أساسية هي التردد، الطاقة، والطول الموجي. والطاقة تتناسب طردياً مع التردد وعكسيا مع الطول الموجي. والتردد هو عدد الذبذبات الكاملة في الثانية الواحدة ويقاس بوحدة تسمي هيرتز، بينما يقاس طول الموجة بالمتر وتقاس الطاقة بالوات. وطبقا للطاقة ينقسم الطيف الكهرومغناطيسي لقسمين أساسيين

- **A- الإشعاعات غير المؤينة : هي إشعاعات ذات طاقة ضعيفة نسبياً بحيث لا تستطيع تكسير الروابط بين مكونات المادة، منها الضوء المرئي، والأشعة فوق البنفسجية، والأشعة تحت الحمراء، والترددات الراديوية والموجات القصيرة (الميكروويف)،**

- **B- الإشعاعات المؤينة : هي إشعاعات ذات طاقة كبيرة بحيث تستطيع تأيين المادة، أي تحويلها إلي جسيمات مشحونة (أيونات)، ومن أمثلتها الأشعة السينية، وأشعة جاما. ومجال الترددات الراديوية جزء من الإشعاعات غير المؤينة، ويغطي مدي واسع من الترددات يتراوح ما بين300 هيرتز-300 جيجا هيرتز، ويقسم إلي ثلاث مجموعات فرعية:**

- **1- الترددات المنخفضة جداً ELF: هي أقل من 300 هيرتز، والمصدر الأساسي لهذه الترددات هو خطوط نقل الطاقة الكهربية والأجهزة المنزلية وجميع الأجهزة والمعدات الكهربائية التي تعمل بمصدر طاقة كهربائية ذات تردد 50 هيرتز.**

- **2- الترددات المتوسطة : من 300 هيرتز-10 ميجا هيرتز وتسمي الترددات المتوسطة.**

- **3- الترددات الأعلى : من 10 جيجا هيرتز-300 جيجا هيرتز.**

- **ولذلك عند الدراسة العلمية حول الترددات الراديوية يلزم تحديد المدى الذي نتحدث عنه. فعندما نتحدث عن التليفون المحمول في مصر، نتحدث عن900 ميجا هيرتز، وعندما نتحدث عن المحطات، نكون في مدى من الترددات يقترب من نطاق الترددات الراديوية الأعلى.**

- **مصــادر التلوث الكهرومغناطيسي**

- **تنتج المجالات الكهرومغناطيسية في المنازل بتشغيل الأجهزة والمعدات المنزلية الكهربائية. كما أن المنازل القريبة من خطوط نقل الطاقة الكهربائية أو ذات التوصيلات الكهربائية الغير سليمة من الممكن أن تكون ذات قيمة عالية للمجالات الكهرومغناطيسية ، فمن المؤكد أنه عند تشغيل أي جهاز منزلي كهربائي يتولد مجال مغناطيسي فعندما يكون الشخص قريبا منه يتعرض لهذا المجال ويخترق جسمه مما قد يعرضه للخطر. ومن هذه الأجهزة مجففات الشعر وماكينات الحلاقة الكهربائية والسخانات وأفران الميكروويف والمكيفات ولمبات الفلورسنت وأجهزة التلفزيون والفيديو وأفران الميكروويف وأجهزة الرد علي التليفون والخلاطات ومجهزات الطعام والثلاجات وغسالات ومجففات الملابس وأجهزة التليفون المحمول. وهذه الأجهزة والمعدات الكهربائية تولد مجالات كهرومغناطيسية عالية بالقرب منها وتقل بسرعة كلما بعدنا عنها ، لذا يجب أن يكون الشخص بعيداً عنها عند تشغيلها. أي أن درجة التلوث بالموجات الكهرومغناطيسية تزيد كلما اقتربنا من المصدر، وقيم تلك المجالات لبعض المصادر معطاة بالملي جاوس وعلي مسافات10، 30، 50 سم علي الترتيب موضحة بجدول (1)] ويمكن تقسيم تلك المصادر تبعا لدرجة تلويثها للوسط المحيط، كما هو موضح بجدول (2).**

- جدول (1): قيم التلوث الكهرومغناطيسي حول بعض المصادر

| Sources | Distance from appliance | | |
|---|---|---|---|
| | 10 cm | 30 cm | 50 cm |
| Hair Dryer | 185 | 10 | 4.6 |
| Dishwasher | 24 | 4.8 | 1.8 |
| Iron | 20 | 3 | Nil |
| Vacuum Cleaner | 45 | 9 | 2.6 |
| Photocopier | 27 | 6 | 2.1 |
| Colour TV | 20 | 6.2 | 2.2 |
| Computer monitor | 4.9 | 2.1 | 0.6 |
| Microwave Oven | 120 | 24 | 12 |
| Bedside clock radio | 140 | 4.6 | 1.4 |
| Juicer | 700 | 2.3 | 0.9 |
| Electric range | 11.5 | 2.2 | 0.7 |
| Washing machine | 12.3 | 8.2 | 5.4 |
| Sewing machine | 23 | 3.5 | 1.2 |
| Juicing machine | 20 | 12.8 | 6.6 |

- 
- 
- 
- وفي أماكن العمل قد تكون درجة التلوث بالموجات الكهرومغناطيسية عالية تبعاً لنوع العمل ومكانه فأماكن العمل القريبة من خطوط نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية أو القريبة من شبكات الطاقة الكهربائية تكون درجة التلوث بالمجالات الكهرومغناطيسية عالية. والعاملون مع ماكينات الخياطة وأجهزة الحاسبات والأجهزة والمعدات الكهربائية وأجهزة الفاكس وآلات التصوير والطابعات وأجهزة الماسح الضوئي والمحركات الكهربائية يتعرضون لقيم عالية من المجالات الكهرومغناطيسية.

| • at 90 1cm | • at 30 cm | • Equipment | • at 90 cm | • at 30 cm |
|---|---|---|---|---|
| • مصادر ذات درجة تلوث منخفضة : | | | • مصادر ذات درجة تلوث عالية جدا : | |
| • 0.01-1.17 | • 0.35-18.21 | • Aquarium Pump | • 1.30-6.44 | • 7.19-163.02 |
| • 0.05-0.75 | • 0.51-14.24 | • Band Saw | • 0.01-9.37 | • 0.20-134.7 |
| • 0.03-0.68 | • 0.34-13.18 | • Clock | • 20 (at 30 cm) | • 100 (at 15 cm) |
| • 0.25-0.37 | • 1.66-2.93 | • Clothes Iron | • مصادر ذات درجة تلوث عالية : | |
| • 0-0.61 | • 0.09-7.30 | • Coffee Machine | | |
| • 0-2.39 | • 0.05-18.38 | • Copier | • 1.21 | • 32.81 |
| • 0.84-1.63 | • 4.98-8.91 | • Dishwasher | • 0.1-2.8 | • 0.1-70 |
| • 0.35 | • 6.19 | • Food processor | • 0.11-4.66 | • 0.59-54.33 |
| • 0.19-1.51 | • 2.72-7.79 | • Garbage disposal | • 0.03-3.12 | • 0.04-85.64 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| • 0-1.38 | • 0.11-19.60 | • Portable heater | • 0.03-8.35 | • 0.21-33.33 |
| • 0.03-0.98 | • 0.43-4.07 | • Radio | • 0.09-3.93 | • 0.49-41.21 |
| • 0.35-0.45 | • 3.79-7.70 | • Sewing machine | • 0.18-2.45 | • 0.74-43.11 |
| • 0.01-1.66 | • 0.13-6.01 | • Tape player | • 0.05-2.83 | • 0.60-35.93 |
| • 0.07-1.11 | • 1.80-12.99 | • Television | • 0.09-3.48 | • 2.18-26.91 |
| • 0.01-0.47 | • 0.29-4.63 | • Toaster | • 0.51-1.28 | • 7.06-22.62 |
| • مصادر ذات درجة تلوث منخفضة جدا | | | | |
| • 0.03 | • 0.16 | • Fax machine | • | • |
| • 0.01-0.60 | • 0.12-2.99 | • Refrigerator | • | • |
| • 0.01-0.41 | • 0.19-4.63 | • Vcr | • | • |
| • 0.02-0.59 | • 0.46-5.05 | • Vending machine | • | • |
| | | • مصادر ذات درجة تلوث متوسطة: | | |

**إن التلوث الكهرومغناطيسي سواء داخل أو خارج المنزل وأماكن العمل يعتبر محل اهتمام الكثير من الناس فقد أوضح استطلاع للرأي أجرته صحيفة يو اس أيه تواداي الأمريكية أن حوالي35% منهم جاءت اجاباتهم بأن المجالات الكهرومغناطيسية EMF يعد في المرتبة الأولي كملوث خطر من بين الملوثات الأخري،**

**محطات التليفون المحمول**

- ✓ **يبلغ عدد مستخدمي التليفون المحمول في العالم حوالي مليار، وتتوقع منظمة الصحة العالمية أن يصل بحلول عام 2005 لحوالي 1.6 مليار مستخدم. وبالتالى زيادة عدد محطات التليفون المحمول، والتي تزيد بدورها من المخاطر علي صحة المواطنين في حال تجاوزها للشروط الفنية والصحية والبيئية المقررة مما**

**يكسب هذا الموضوع أهمية خاصة. وتعمل محطات التليفون المحمول القاعدية ضمن مدي الترددات800-1800 ميجا هيرتز، وهو جزء من مجال الترددات الراديوية.**

- ✓ **وتعطي محطات التليفون المحمول مستويات من القدرة تبدأ من بضعة واتات وحتى100 وات أو أكثر، اعتمادا علي حجم المنطقة التي تخدمها المحطة، أو بمعني آخر عدد المكالمات المجابة علي هذه المحطة. ويبث هوائي المحطة حزما من الترددات التي تكون ضيقة في الاتجاه الرأسي، بينما تكون متسعة في الاتجاه الأفقي، لذلك تكون درجة التلوث الكهرومغناطيسي أسفل الهوائي مباشرة عند سطح الأرض ضعيفة جدا وتتزايد كلما تحركنا بعيدا عن المحطة، ثم تتناقص بعد ذلك.**

- ✓ **الآثار الصحية للموجات الكهرومغناطيسية**

- ✓ **إن تأثير هذه الإشعاعات - كما ذكر سالفا - يرجع إلي ثلاث عوامل وهي التردد والطاقة وزمن التعرض، فتأثير الطاقة الصغيرة في زمن تعرض طويل يعادل تأثير طاقة عالية في زمن تعرض قصير بشرط ثبات تردد مصدر الإشعاع فبذلك يستطيع مستخدم التليفون المحمول بتقصير زمن المكالمة أن يقلل من زمن تعرضه، وذلك لزيادة أمانه، بينما لا يستطيع ساكني المباني المجاورة للمحطات مغادرة مساكنهم لتقليل زمن تعرضهم للإشعاعات**

- ✓ **ونتيجة لتوزع الترددات الراديوية علي مدي واسع يقوم الباحثون بتقسيمها إلي مجموعات فرعية، ويختلف معيار الأمان، والذي يعرف علي أنه درجة التلوث المسموح بها أو الجرعة المسموح التعرض لها، من مجموعة إلي أخرى كما يلي:**

- ✓ **1- الترددات الراديوية أقل من 1 ميجا هيرتز والمستويات المنخفضة قد تنتج ارتفاعا في درجة الحرارة ولكن الجلد البشري يعمل كمنظم حرارة طبيعي لذا يتم التخلص من الحرارة الزائدة عبر الجلد. كما أنها تسبب سريان تيار كهربي داخل الأنسجة. وقياس جرعة الإشعاع المسموح بها في هذه الحالة يحسب من خلال ما يعرف بكثافة التيار التي تعرف بالتيار الكهربي الذي يقطع وحدة المساحات عموديا عليها خلال زمن واحد ثانية، ووحدة قياسها أمبير لكل متر مربع.**

- ✓ **2- الترددات أكبر من 1 ميجا هيرتز تسبب ارتفاعا في درجة حرارة الجسم لأنها تخترق الجلد وتعمل علي تحريك الأيونات وجزيئات الماء خلال الجسم . ويعتمد عمق الاختراق علي تردد المجال، فكلما كان التردد صغيرا زاد عمق الاختراق. وقد وضع معيار الأمان لهذا المدى من الترددات من خلال ما يعرف بمعدل الامتصاص النوعي، ويعرف بأنه كمية الطاقة التي تمتصها وحدة الكتل خلال زمن قدره واحد ثانية، وبالتالي فان وحدة القياس لها هي وات لكل كيلو جرام. ويختلف معيار الأمان من بلد لآخر ففي حين تعترف ألمانيا بمعدل امتصاص قيمته 2 وات لكل كيلو جرام، فإن لجنة الرقابة الأمريكية تقر بمعدل امتصاص لا يتعدي1.6 وات لكل كيلو جرام. ويذكر أن الحرارة المستحثة الناتجة نتيجة التعرض لمجال راديوي قد تسبب نقصا في القدرة البدنية والذهنية وتؤثر في تطور ونمو الجنين وقد تحدث عيوبا خلقية.**

- ✓ **3- الترددات فوق 10 جيجا هيرتز ذات كثافة طاقة أكبر من 1000 وات لكل متر مربع تتسبب في الاصابة بمرض عتامة العين . كما قد تسبب حروقا في الجلد. وهذه الكثافة أمر يكاد يكون غير موجود في الطبيعة إلا بالقرب من بعض الرادارات القوية. وقد وضع معيار الأمان هنا من خلال كثافة الطاقة ووحدة القياس هي وات لكل متر مربع. وتتفاوت معايير الأمان بشكل ملحوظ من بلد إلي آخر، ويتفاوت الاهتمام بالآثار الصحية التي يمكن أن يسببها التعرض لمجال الترددات الراديوية فوق حدود الأمان. فبينما تهتم دول مثل روسيا وكوبا وإيطاليا بموضوع الترددات المنخفضة جدا (أقل من300 هيرتز)، والتي ترتبط أساسا بشبكات نقل وتوزيع الكهرباء، وتهتم دول أخرى بمحطات الإذاعة والتليفزيون ومحطات التليفون المحمول، بينما لا تعتبر بلدان أخرى المسألة هامة من الأساس.**

- ✓ **أما بالنسبة لترددات الرادارات فقد أكدت تجارب أجريت في الاتحاد السوفيتي السابق أن التعرض لموجات الرادار لفترة طويلة قد يؤدي للصداع والإجهاد العصبي كما قد يؤدي لفقدان الذاكرة. فضلا عن تزايد احتمالات الإصابة بالسرطان وهو الأمر الذي أكدته تجربة أجريت علي فئران التجارب التي تم تعريضها لتيار متقطع من أشعة الرادار، كانت النتيجة أن 40% من الفئران قد دمرت خلاياها التناسلية تماما، كما أصيب نحو 35% منها بسرطان الدم. أما التعرض لإشعاعات بمستوي 120 ملي وات/سم2 فقد يؤثر علي وظيفة**

إفراز الهرمونات من الغدة النخامية وهو ما يؤثر علي الخصوبة. كذلك فإن التعرض لمستويات عالية بجرعات تراكمية قد يتسبب في ظهور الدوار وسرعة الشعور بالإجهاد وانخفاض معدل التركيز الذهني وكذلك تخيل أصوات صادرة من الرأس أو بالقرب منها. أما بالنسبة لموجات الميكروويف القصيرة فمن خلال تجربة عملية تم توجيه مجال ميكروويفي في حدود 100 ملي وات/سم2 لمدة أربعة ساعات علي مجموعة من أرانب التجارب لبيان التأثير الضار لهذه الترددات، حيث لوحظ أن درجة حرارة سائل العين قد ارتفعت بشكل ملحوظ وإصابة الكثير من هذه الأرانب بعد حوالي أسبوع بالمياه البيضاء. كذلك أكدت دراسات أخرى علي أن التعرض للطاقات العالية من الميكروويف يزيد من احتمالات حدوث سرطانات في الأنسجة.

- ✓ أما بالنسبة للآثار الصحية لمحطات البث الإذاعي والتليفزيوني، فيمكن أن يسبب التعرض لمستويات مرتفعة من الترددات الراديوية الناتجة من أبراج بث وتقوية تلك المحطات الإصابة ببغض الحالات المرضية. وقد أوضحت الدراسة أن هناك زيادة في معدل الإصابة ببعض الحالات المرضية عن المعدل المعتاد، كما هو موضح بجدول (3)

- ✓ جدول (3): ارتفاع نسبة بعض الحالات المرضية نتيجة التعرض للمجالات الكهرومغناطيسية

| ✓ الحالة المرضية | ✓ الزيادة بمعدل الاصابة |
|---|---|
| ✓ الإصابة بالتشوهات الخلقية | ✓ 372% |
| ✓ الإصابة بحساسية الجلد | ✓ 323% |
| ✓ الإصابة بالصداع المزمن | ✓ 374% |
| ✓ الإصابة بالتهابات المفاصل | ✓ 402% |
| ✓ الإصابة بحساسية الصدر | ✓ 153% |
| ✓ الإصابة بأمراض ضغط الدم | ✓ 120% |
| ✓ الإصابة بمراض الجهاز الهضمي | ✓ 81% |
| ✓ الإصابة بضعف الإبصار | ✓ 76% |

- ✓
- ✓ وتتوقف كمية الامتصاص على نوع الكائن الحي وحجمه وعمره فالأشعة الصادرة عن التليفون المحمول تتركز في منطقة في رأس الإنسان حيث يتوقف مقدار ضرر هذه الأشعة المتمركزة على هذه المنطقة من الرأس على عدة عوامل أهمها شدة الأشعة وترددها والفترة الزمنية للتعرض لها ولكن نظراً للتعرض لهذا الإشعاع بشكل متقطع وعلى فترات زمنية متباعدة نسبياً فإن التأثير الصحي له يكون تراكمياً، ولا ينجم عنه أضرار فورية أو لحظية ومما يثير القلق في هذه الحالة هو مدى التأثير الفعلي لهذه الطاقة الإشعاعية على ما يسمى بالحاجز الدموي الدماغي Blood-Brain-Barrier حيث أنه عند حدوث تغير لحظي على درجة نفاذية هذا الحاجز يمكن أن تنتج أضرار بالغة الخطورة، مما يؤدي استحالة الحصول على تركيز فعال للأجسام البروتينية المضادة في السائل النخاعي في الرأس، حيث من المعروف أن هذا الحاجز الدموي الدماغي يعتبر

**بمثابة حاجزاً بيولوجياً يحيط بالرأس يمنع دخول بعض الجزيئات التي تكون ضارة بالدورة الدموية العامة التي تؤدى إلي حدوث أضراراً بالجهاز العصبي المركزي.**

- ✓ **وقد أوضحت الدراسات أن هناك عددًا من العوامل التي تحدد مدى تأثر الجسم بالموجات الكهرومغناطيسية، وهي:**
- ✓ **1- يزداد امتصاص هذه الطاقة الكهربية بزيادة الذبذبات الخاصة بالإشعاع.**
- ✓ **2- تزداد كمية الامتصاص الإشعاعي بزيادة فترة التعرض له، كما تتأثر هذه الكمية بنوع الملبوسات؛ حيث يعمل بعضها كعاكس للموجات.**
- ✓ **3- زيادة حركة الهواء المحيط بالجسم يقلل من تأثير الإشعاع.**
- ✓ **4- يزداد تأثير الإشعاع بزيادة نسبة الرطوبة في الجو.**
- ✓ **5- يزداد تأثير الإشعاع بزيادة درجة حرارة الجو المحيط.**
- ✓ **6- يزداد تأثير الإشعاع في الأعضاء أو الأنسجة التي تقل فيها كمية الدم بصفة عامة مثل العين.**
- ✓ **7- كلما قل العمر زاد امتصاص الجسم للإشعاع؛ فالكمية التي يمتصها الطفل أكبر من التي يمتصها البالغ**
- ✓ **معاييـر الأمـــان**
- ✓ **وضعت لجنة الرقابة الأمريكية عام1991 حدود الأمان لقيمة الامتصاص النوعي1.6 ملي وات/جم، وطبقاً لمعايير الأمان الألمانية 2 ملي وات/جم. إن معهد مهندسي الإلكترونيات والكهرباء في الولايات المتحدة الأمريكية IEEE قد حدد المواصفات القياسية الخاصة بالحد المأمون لمستوى كثافة الطاقة الكهرومغناطيسية المسموح بتعرض الأجسام لها عند الترددات المختلفة التي تبدأ من3 كيلو هرتز إلى 300 جيجا هرتز. وهناك دول أخرى في شرق أوروبا تتخذ معايير أمان قريبة لتلك المعتمدة في روسيا. وتقل هذه المعايير عن تلك المتبعة في بعض دول غرب أوروبا بنحو 100 مرة في بعض الأحيان. فعلي سبيل المثال فان الحد الأقصى المسموح به في المجر يبلغ 0.01ملي وات/سم2 بينما تعتمد دول غرب أوروبا مثل إنجلترا معيار أمان يبلغ 0.4 ملي وات/سم2 أي أن المعايير المجرية تقل بنحو 40 مرة. وفي نيوزيلندا واستراليا يجري العمل من أجل تطوير معايير الأمان لترتكز علي أسس صحية نوعية، لا علي أسس هندسية أو إحصائية. والحد الأقصى المسموح به في نيوزيلندا هو 0.2 ملي وات/سم2، وهو اقل من الحد الذي تراه اللجنة الدولية للحماية من الإشعاعات غير المؤينة، والذي تعتمده منظمة الصحة العالمية وبعض دول غرب أوروبا ومصر.**
- ✓ **وطبقاً للجنة الدولية ومنظمة الصحة العالمية فإن حد الأمان هو0.4 ملي وات/سم2.**
- ✓ **الخلاصـــة**
- ✓ **من خلال الدراسة السابقة والمتعلقة بالتليفون المحمول ومحطاته القاعدية ودورهما في تلوث الوسط المحيط بالمجالات الكهرومغناطيسية نخلص إلي النقاط التالية:**
- ✓ **1- التليفون المحمول ومحطاته القاعدية مدانتان حتى تثبت براءتهما.**
- ✓ **2- عدم استخدام التليفون المحمول إلا في حالة الضرورة القصوى.**
- ✓ **3- عند استخدام التليفون المحمول يستخدم لأقصر فترة زمنية ممكنة ولا تتعدى دقيقتان.**
- ✓ **4- حظر استخدام الأطفال للتليفون المحمول ومنع استخدامه للشباب أقل من16 سنة.**
- ✓ **5- إتباع مبدأ الوقاية خير من العلاج في تحديد حد الأمان الذي علي أساسه تقام محطات التليفون المحمول.**

- ✓ **6- إجراء مزيد من الدراسات لتوحيد حدود الأمان والاشتراطات اللازمة لإقامة محطات التليفون المحمول.**
- ✓ **7- الأطفال والحوامل هم الأكثر تأثراً بالتلوث الكهرومغناطيسي عامة والناتجة من التليفون المحمول وقواعده علي وجه الخصوص.**
- ✓ **8- إبعاد محطات التليفون المحمول عن المناطق الأهلة بالسكان بمسافة لا تقل عن300 متر.**
- ✓ **9- إبعاد محطات التليفون المحمول عن المدارس ورياض الأطفال وعدم توجيهها إلي تلك الأماكن.**
- ✓ **10- استخدام الأبراج المستقلة بدلا من المحطات القاعدية يقلل من درجة التلوث الكهرومغناطيسي.**
- ✓ **11- إتباع سياسة الفحص الدوري لمحطات التليفون المحمول.**
- ✓

# تدوير النفايات

**أ-أركان عملية إدارة المخلفات**

**يعتبر إعادة تدوير المخلفات أحد الأركان الأربعة التي تقوم عليها عملية إدارة المخلفات أو ما يعرف بالقاعدة الذهبي R4 والتي يجب زيادة الوعي بها، وهي:**

**1 - التقليل Reduction**

**والمقصود هنا هو تقليل المواد الخام المستخدمة، وبالتالي تقليل المخلفات، ويتم ذلك:**

**- إما باستخدام مواد خام أقل.**

**- أو باستخدام مواد خام تنتج مخلفات أقل.**

**- أو عن طريق الحدّ من المواد المستخدمة في عمليات التعبئة والتغليف، مثل: البلاستيك والورق والمعادن، وهذا يستدعي وعيًا بيئيًّا من كل من المستثمر والمنتج؛ فمثلاً في الولايات المتحدة الأمريكية التزم الكثير من منتجي الصابون السائل بتركيزه؛ حتى يتم تعبئته في عبوّات أصغر، أو إنتاج معجون أسنان بدون عبوته الكرتونية الخارجية، وهذا ما يطلق عليه (Wast minimization)**

**2 - إعادة استخدام المخلفات (Reuse):**

**وهذا يعني -مثلاً - إعادة استخدام الزجاجات البلاستيكية للمياه المعدنية مثلاً بعد تعقيمها، وإعادة ملء الزجاجات والبرطمانات بعد استخدامها، هذا الأسلوب يؤدي إلى تقليل حجم المخلفات، ولكنه يستدعي وعيًا بيئيًّا لدى عامة الناس في كيفية التخلص من مخلفاتهم، والقيام بعملية فرز بسيطة لكل من المخلفات البلاستيكية والورقية والزجاجية والمعدنية قبل التخلص منها، فنجد في كل من اليابان والولايات المتحدة الأمريكية صناديق قمامة ملونة في كل منطقة وشارع؛ بحيث يتم إلقاء المخلفات الورقية في الصناديق الخضراء، والمخلفات البلاستيكية والزجاجية والمعدنية في الصناديق الزرقاء، ومخلفات الأطعمة أو ما يطلق عليه المخلفات الحيوية في الصناديق السوداء.**

**3 - إعادة التدوير Recycling**

**والمقصود بإعادة التدوير هو إعادة استخدام المخلفات؛ لإنتاج منتجات أخرى أقل جودة من المنتج الأصلي.**

**4 - الاسترجاع الحراريRecovery**

**وتستخدم تكنولوجيا الاسترجاع الحراري في الكثير من الدول، خاصة اليابان؛ للتخلص الآمن من المخلفات الصلبة، والمخلفات الخطرة صلبة وسائلة، ومخلفات المستشفيات، والحمأة الناتجة من الصرف الصحي والصناعي، وذلك عن طريق حرق هذه المخلفات تحت ظروف تشغيل معينة مثل درجة الحرارة ومدة الاحتراق، وذلك للتحكم في الانبعاثات ومدى مطابقتها لقوانين البيئة. وتتميز هذه الطريقة بالتخلص من90% من المواد الصلبة، وتحويلها إلى طاقة حرارية يمكن استغلالها في العمليات الصناعية أو توليد البخار أو الطاقة الكهربية**

**ب - دورالتدوير في حماية البيئة**

**تجنب أو لتقليل أكبر قدر ممكن من التلوث البيئي يجب إتباع وتطبيق تسلسل استراتيجيات إدارة المخلفات ( وما يتضمنه من رفع لكفاءة وإنتاجية المواد والطاقة). والتي ترتكز على مبادئ : استخدام تقنيات إنتاج نظيفة - تكوين الدوائر المغلقة ( إعادة التدوير) - التخلص الملائم بيئيا من المخلفات والنفايات. دور إعادة التدوير في حماية البيئة والتقليل من التلوث تساهم إعادة التدوير في المحافظة على البيئة والتقليل من التلوث من خلال دورها في الآتي:**

**- المحافظة على موارد المواد والطاقة .**

**- تقليل الاستهلاك من خلال إطالة عمر المنتج .**

**- توفير الطاقة من خلال تقليل العمليات الإنتاجية .**

- حماية الأراضي المستخدمة كمكبات لرمي القمامة من خلال التقليل من المخلفات .

- حماية البيئة من المواد الضارة والسامة الناتجة عن الصناعات الاستخراجية والتحويلية

ج -ماهية إعادة التدوير

كثيرة هي المخلفات الناجمة عن الاستخدامات المنزلية والمعملية والتي لو فكرنا في حجمها وكميتها لأصبنا بالدهشة، ولهذا فان العديد من المؤسسات، قد باتت تسعى لإعادة التدوير والاستفادة من تلك المخلفات والنفايات بأشكال عديدة وذلك لتقليل تأثير هذه المخلفات وتراكمها على البيئة، وتتم هذه العملية عن طريق تصنيف وفصل المخلفات على أساس المواد الخام الموجودة بها ثم إعادة تصنيع كل مادة على حدة.

بدأت فكرة إعادة التدوير أثناء الحرب العالمية الأولى والثانية، حيث كانت الدول تعانى من النقص الشديد في بعض المواد الأساسية مثل المطاط، مما دفعها إلى تجميع تلك المواد من المخلفات لإعادة استخدامها.

وبعد سنوات أصبحت عملية إعادة التدوير من أهم أساليب إدارة التخلص من المخلفات؛ ذلك للفوائد البيئية العديدة لهذه العملية .

لسنوات عديدة كان إعادة التدوير المباشر عن طريق منتجي مواد المخلفات «الخردة» هو الشكل الأساسي لإعادة التدوير، ولكن مع بداية التسعينيات بدأ التركيز على إعادة التدوير غير المباشر أي تصنيع مواد المخلفات لإنتاج منتجات أخرى تعتمد على المادة الخام نفسها مثل: إعادة تدوير الزجاج والورق والبلاستيك والألومنيوم وغيرها من المواد التي يتم الآن إعادة تدويرها.

وقد وجد رجال الصناعة أنه اذا تم أخذ برامج إعادة التدوير بمأخذ الجد من الممكن أن تساعد في تخفيض تكلفة المواد الخام وتكلفة التشغيل، كما تحسن صورتهم كمتهمين دائمين بتلويث البيئة.

- د - متطلبات التصميم المساعد لإعادة التدوير

لضمان نجاح أي منتج في تحقيق المتطلبات البيئية والتقنية والاقتصادية لإعادة التدوير وحماية البيئة والمتطلبات الفنية والاقتصادية الأخرى يجب مراعاة كل هذه المتطلبات، والتي تتعارض مع بعضها في بعض الأحيان، أثناء عملية التصميم وذلك بشكل متواز ومتزامن.

.1. المتطلبات البيئية

تعتبر عملية إعادة التدوير لغرض الحصول على المواد الثانوية) مواد التشغيل ) ملائمة بيئيا عندما يكون استهلاك الطاقة والمواد و الإنبعاثات وتلوث الماء والهواء والتربة أقل منها أثناء إنتاج مواد جديدة بنفس المواصفات

.2.المتطلبات التقنية

لمعالجة المخلفات وإعادة تدويرها يجب البحث عن التقنيات المناسبة والتي يمكن من خلالها إنتاج مواد تشغيل تتساوى مع المواد الجديدة من ناحية المواصفات، أو استخدام المخلفات لإنتاج منتجات أخرى أقل درجة نوعية في حالة تواجد إمكانية التسويق والقبول لدى المستهلك

3.المتطلبات الاقتصادية

تعتبر مسألة التكلفة الاقتصادية لعملية إعادة التدوير عنصراً هاما يجب أخذه في الاعتبار لأن العديد من التقنيات والإمكانيات المتاحة يتم تجنبها نظراً لارتفاع تكلفتها. وهي تعتمد بشكل رئيسي على شكل وتركيبة المنتج والمواد الداخلة في صناعته. فكلما ازدادت درجة التفكيك والفرز للمكونات والمواد وبالتالي تكاليفها انخفض الربح الذي يمكن تحقيق

هـ- أنواع إعادة التدوير

**إعادة تدوير المنتج (product recycling) حلا ضروريا وبديلا للإنتاج الجديد ويمكن تطبيقها على الإنتاج الكامل أو المكونات والأجزاء كالآتي:**

**1.إعادة تدوير المنتج مع المحافظة على شكله وبنيانه والقيمة العالية له بعد صيانته أو تطويره وإعادة استخدامه لنفس الوظائف والمهام أوغيرها**

**2.إعادة تدوير المنتج بعد تفكيكه وإدخال مكوناته وأجزائه لعملية الإنتاج والتجميع ويعتبر هذا النوع أقل قيمة من النوع السابق**

**3إعادة تدويرا لمواد (material recycling): الاستفادة من المواد الداخلة في صناعة أي منتج إعادة التصنيع )في صناعات مماثلة أو مختلفة بعد فصل المواد الداخلة في صناعته عن بعضها البعض مع مراعاة شروط حماية البيئة كالآتي:**

**. إعادة تدوير المواد من خلال إعادة تصنيعها واستخدامها كمواد تشغيل**
**. إعادة تدوير المواد من خلال معالجتها كيميائيا أو حراريا لتصنيع مواد خام جديدة.**

**و- أنواع النفايات**

**تختلف النفايات حسب مصادرها، وطالما وجد الإنسان في أي مكان فإن نشاطه وحياته تؤدي إلى تولد النفايات، وبصورة عامة يسكن الإنسان في المدينة أو القرية وينتج عن هذا النشاط النفايات التي تنقسم إلى:**

1. **نفايات المنازل**
2. **نفايات الشوارع**
3. **نفايات الأسواق**
4. **النفايات الطبية**
5. **نفايات النقل**
6. **النفايات الزراعية**
7. **النفايات الصناعية**
8. **النفايات الخطرة**
9. **وللاستفادة المثلى من المعلومات المتعلقة بالنفايات لابد من دراستها للتخطيط للمستقبل ولاستثمارها لما فيه الصالح العام للمحافظة على سلامة البيئة والصحة العامة، و الاستفادة منها اقتصاديا ومحليا ولمواكبة متطلبات العصر على المستوى(Sustainable Resources) الدولي لاستخدام المصادر الطبيعية بمبدأ الاستمرارية للمصادر**
10. **الوضع المثالي المطبق في الدول المتقدمة هو تصنيف النفايات المنزلية من المصدر وفصلها ثم تجميعها في حاويات خاصة وتجمع في أوقات مجدولة حسب نوع النفايات مما يسهل عملية التدوير وما يتبقى منها يحفظ في مردم صحي تراقب فيه نوعية المياه الجوفية والمنبعثات الملونة للهواء لتطابق مقاييس ومعايير البيئة والصحة العامة. أما بالنسبة للنفايات المشعة أو الطبية أو الكيماوية فإن هنالك مراكز معالجة تستخدم فيها تقنية لتغيير صفة النفايات الخطرة إلى ماهو أقل خطورة أو منعدم الخطورة ويتم ذلك بالعزل أو التثبت أو الخلط أو الحرق مع المحافظة على مقاييس ومعايير البيئة ولا يمكن التخلص من النفايات المشعة بالوسائل المذكورة آنفًا ولكن تعزل وتحفظ في مكان آمن بعد معالجة الخلط لتخفيف الإشعاع إذا تطلب الأمر.**
11. **1- نفايات المنازل**

**أ-الأوراق من الصحف أو الأعمال المكتبية أو الكتابية أو مخلفات التغليف والحفظ. وتعتبر عملية إعادة تدوير الورق عملية اقتصادية من الدرجة الأولى؛ وذلك لأنه طبقًا لإحصائية وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة**

الأمريكية فإن إنتاج طن واحد من الورق من مخلفات ورقية سوف يوفر (4100 كيلو وات/ ساعة) طاقة، وكذلك سيوفر 28 مترًا مكعبًا من المياه، بالإضافة إلى نقص في التلوث الهوائي الناتج بمقدار24 كجم من الملوثات الهوائية. وبالرغم من ذلك، فإنه يتم في الولايات المتحدة الأمريكية إعادة تدوير20.9 طنًا ورقيًا سنويًا فقط مقابل 52.4 طنًا من الورق يتم التخلص منها دون إعادة تدوير. أما الورق المعاد تدويره فإنه يستخدم في طباعة الجرائد اليومية.

ب-البلاستيك وهو من اللدائن التي لايخلو أي منزل منها بشكل حاويات متعددة الأغراض مثل أكياس المشتريات ومنها مايبقى لسنين طويلة مثل أنابيب تسليك المياه . ينقسم البلاستيك إلى أنواع عديدة يمكن اختصارها في نوعين رئيسين هما البلاستيك الناشف Hard Plasticوأكياس البلاستيك Thin Film Plastic. ويتم قبل إعادة التدوير غسل البلاستيك بمادة الصودا الكاوية المضاف إليها الماء الساخن. وبعد ذلك يتم تكسير البلاستيك الناشف وإعادة استخدامه في صنع مشابك الغسيل، والشماعات، وخراطيم الكهرباء البلاستيكية، ولا ينصح باستخدام مخلفات البلاستيك في إنتاج منتجات تتفاعل مع المواد الغذائية. أما بلاستيك الأكياس فيتم إعادة بلورته في ماكينات البلورة.

ج-النفايات المعدنية وأكثرها ناتجة عن تعليب المشروبات وتنقسم إلى حديدية وغير حديدية مثل الألمنيوم ، الأجهزة الكهربائية التالفة . و تتمثل إعادة تدوير المخلفات المعدنية أساسًا في الألومنيوم والصلب؛ حيث يمكن إعادة صهرها في مسابك الحديد ومسابك الألومنيوم، ويعتبر الصلب من المخلفات التي يمكن إعادة تدويرها بنسبة 100%، ولعدد لا نهائي من المرات، وتحتاج عملية إعادة تدوير الصلب لطاقة أقل من الطاقة اللازمة لاستخراجه من السبائك، أما تكاليف إعادة تدوير الألومنيوم فإنها تمثل20% فقط من تكاليف تصنيعه، وتحتاج عملية إعادة تدوير الألومنيوم إلى 5% فقط من الطاقة اللازمة.

د-النفايات الزجاجية مثل زجاج المياه الغازية ، أواني وتحف الكريستال . صناعة الزجاج من الرمال تعتبر من الصناعات المستهلكة للطاقة بشكل كبير؛ حيث تحتاج عملية التصنيع إلى درجات حرارة تصل إلى1600درجة مئوية، أما إعادة تدوير الزجاج فتحتاج إلى طاقة أقل بكثير.

هـ المخلفات البيولوجية وهي من مخلفات عضوية ناتجة من طعام وشراب أو نبات داخلي أو خارجي.، ويُعاد تدوير هذه المخلفات في وحدات تصنيع السماد العضوي لإنتاج مواد ذات قيمة سمادية عالية، ويتم ذلك بعدة طرق:

1 - المعالجة بالتخمر الهوائي (طريقة الكمر Aerobic Fermentation): وتعتمد هذه الطريقة على عوامل كثيرة، منها: الرطوبة، ونسبة الكربون إلى النيتروجين، وطريقة تكسير المخلفات، ومنها أساليب كثيرة مثل: الكمر بتيّارات الهواء الطبيعي Passive Composting، وطريقة الكمر بالهواء القصري Forced Aeration ، وطريقة الكمر الطبيعي Natural Composting.

2 - عملية التخمر اللاهوائي (البيوجاز) Anaerobic Fermentation : وتتميز هذه الطريقة بإنتاج غاز البيوجاز (الغاز الحيوي) في أثناء عملية التحلل اللاهوائي، بالإضافة إلى الماء الناتج. ولقد تطورت وحدات البيوجاز في العشرين سنة الماضية بدرجة كبيرة؛ فوصل عدد وحداتها في الصين إلى7 ملايين وحدة، وفي الهند 120 ألف وحدة، وفي كوريا الجنوبية 50 ألف وحدة، وتعتبر تكنولوجيا البيوجاز من التكنولوجيات الاقتصادية؛ حيث يولد المتر المكعب الواحد من غاز البيوجاز 1.25 كيلو وات/ ساعة، وهي طاقة كافية لتشغيل موتور قوته حصان واحد لمدة ساعتين، هذا فضلاً عن الآثار البيئية الإيجابية؛ حيث يتم إبادة قدر كبير من الطفيليات والميكروبات المرضية في أثناء عملية التخمر اللاهوائي.

3 - عملية التخمر بالديدان Vermi composting : في هذه الطريقة تقوم الديدان بدور هام في تحويل المخلفات العضوية إلى سماد عضوي بجودة عالية تحت ظروف ملائمة من الرطوبة والحرارة والتهوية، ووجد أن سماد الديدان ذو كفاءة عالية وخالٍ من بذور الحشائش، ومفكك وخفيف الوزن، ويمكن استخدامه كتربة صناعية في المشاتل، كما أن العملية ذاتها غير ملوثة للبيئة واقتصادية وغير مستهلكة للطاقة.

و-مخلفات الصرف الصحي وهي من المخلفات الطبيعية الناتجة من تصريف مياه المنازل العامة

2- نفايات الشوارع

**نظراً لأهمية الشوارع لتجميع وتصريف النفايات المنزلية عامة ونظراً لكونها واجهة المدينة فإن عبء المحافظة عليها يتطلب التخطيط العلمي والتنفيذ الدقيق المنضبط وتعاني الشوارع من المخلفات التالية:**

- **المبعثرات وتختلف مصادرها من الأفراد في السيارات إلى إهمال أصحاب المتاجر والمطاعم والبقالات وبعض أصحاب المنازل في سوء تجهيز نفاياتهم وإلقائها في المكان الغير مخصص لذلك ، وتختلف المبعثرات من ورقية إلى بلاستيكية أو معدنية وتزيد في موسم الصيف بسبب تناول السكان للمرطبات واستخدامهم للمناديل الورقية ..**

- **السيارات المهجورة وتنقسم إلى سيارات خربة تركها أصحابها لعدم صلاحيتها أو تكون سيارات متروكة لظروف أمنية وتتم عملية السحب والإزالة بعد التوثيق بالصور والتقارير والإجراءات الرسمية بين الجهات ذات العلاقة .**

- **النفايات المعدنية وأكثرها ناتجة عن تعليب المشروبات وتنقسم إلى حديدية وغير حديدية مثل الألمنيوم ، الأجهزة الكهربائية التالفة . و تتمثل إعادة تدوير المخلفات المعدنية أساسًا في الألومنيوم والصلب؛ حيث يمكن إعادة صهرها في مسابك الحديد ومسابك الألومنيوم، ويعتبر الصلب من المخلفات التي يمكن إعادة تدويرها بنسبة 100%، ولعدد لا نهائي من المرات، وتحتاج عملية إعادة تدوير الصلب لطاقة أقل من الطاقة اللازمة لاستخراجه من السبائك، أما تكاليف إعادة تدوير الألومنيوم فإنها تمثل20% فقط من تكاليف تصنيعه، وتحتاج عملية إعادة تدوير الألومنيوم إلى5% فقط من الطاقة اللازمة.**

- **نفايات إنشاء وترميم المباني وهي نتيجة للنهضة العمرانية في المملكة وتركزت النفايات للترميم والصيانة وكذلك مخالفات إلقاء نفايات الردم عشوائياً في الأراضي الخالية داخل المدن وعدم وجود الرقابة الكافية من الجهات ذات العلاقة وتطبيق لائحة الجزاءات المعتمدة .**

- **هـ - النفايات السائلة وهي ناتجة عن طفح البيارات أو شبكة الصرف الصحي أو تدني تصريف مياه السيول والأمطار .**

**3- نفايات الأسواق**

**وتنقسم الأسواق إلى ثلاثة أقسام**

- **أسواق الأمانات والبلديات وهي مؤجرة مثل المحلات التجارية ، أو منشآت مثل سوق السمك وسوق الخضار والفواكه المركزي وسوق الأنعام وسوق الإبل وهذه الأسواق لها مخلفاتها المتميزة بالإضافة إلى مسالخ لذبح الأبقار والجمال والأغنام التابعة للأمانات والبلديات وبالإمكان الاستفادة من مخلفات المواشي والذبح .**

- **الأسواق العامة وتتميز مخلفاتها بالأوراق والبلاستيك وبقايا الطعام .**

- **الأسواق التجارية الخاصة وتنتشر في مواقع مختلفة وتديرها شركات خاصة .**

- **4-نفايات النقل**

- **أ - نفايات السيارات :**
**من أهم نفايات السيارات زيت المحرك الذي يسبب عبثاً على المجاري والبيارات ويسبب أضراراً مباشرة على المياه الجوفية كما أن الإطارات يصعب التخلص منها بالطرق الاعتيادية وتحتل مكاناً كبيراً في المرادم وتسبب بؤراً لتكاثر البعوض بعد الأمطار ومأوى للحشرات بصورة عامة، أما قطع الغيار الأخرى سواء كانت معدنية أو بلاستيكية فيمكن استخدامها وقد يكون منها ماهو خطر مثل أقمشة الفرامل المصنوع من الاسبستوس والتي يجب معاملتها كنفايات خطرة .**

- **ب - نفايات الطائرات :**
**لاتقل في نفاياتها عن السيارات بل هنالك العديد من النفايات التي تقع تحت تصنيف الخطورة بسبب الصيانة الدورية الخاصة بالطائرات ومحركاتها**

- **ج - نفايات السفن والقطارات :**
**كذلك الأمر بالنسبة للسفن والقطارات حيث ينتج من الصيانة الدورية أو التحديث مخلفات عضوية بكميات كبيرة وتبقى في أماكن محصورة مثل المحطات والموانئ مسببة خطرا كامنا.**

- **النفايات الصناعية 5 -**

- **تحتوي معظم مدن المملكة على الأقل على مدينة صناعية واحدة ومنطقة أو مناطق للورش وينتج عن ذلك نفايات بلدية يمكن الاستفادة منها أو التخلص منها بالوسائل الاعتيادية ولكن تكمن الخطورة فيما ينتج من نفايات خطرة تتطلب معرفة لإدارتها ومعالجتها في التعبئة والنقل والمعالجة والحفظ والتخلص**

- **6- النفايات الخطرة**

- **النفايات الخطرة هي المواد المؤثرة على البيئة والصحة العامة والسلامة بصورة فورية أو على المدى البعيد..النفايات الخطرة قد تكون من مواد مشعة أو مواد كيماوية عضوية مثل المركبات العضوية الهالوجينية أو العطرية الحلقية المسببة للسرطان أو المعادن الثقيلة مثل الزئبق والرصاص المؤثر على الجهاز العصبي والمسبب لتلف بعض الأعضاء الداخلية وقد تكون النفايات الخطرة ذات سمية عالية أو محترقة أو مؤكسدة أو مخرشة أو مسببة للمرض أو معدية أو متفجرة أو متعددة الصفات الخطرة مما سبق ذكره. وعادة ما تنتج هذه المخلفات من الصناعات سواًء كانت ثقيلة أو خفيفة ومن المعامل الموجودة في الصناعة أو في الجامعات أو المستشفيات ويكون حجمها قليل في قطاع التعليم ولكن أصنافها كثيرة بعكس الصناعة التي تنحصر فيها المواد الخطرة حسب نوع الصناعة في عدد بسيط من المواد الخطرة ذات الكمية الكبيرة**
- **7-النفايات الطبية**
- **تنتج عن المستشفيات والمستوصفات والعيادات ومراكز الإسعاف وتتكون من:**
- **أ - نفايات بلدية وتحوي الورق والبلاستيك والمخلفات الاعتيادية من النشاط البشري .**
- **نفايات مشعة نتيجة علاج بعض الأمراض أو استخدام الأشعة فوق البنفسجية.**
- **نفايات كيميائية نتيجة التحاليل في المعامل وكذلك الطبع والتحميض .**
- **نفايات بيولوجية معدية من الجراحة والدم والمعامل والضمادات والحقن والإبر.**
- **هـ- النفايات السائلة وهي ناتجة عن طفح البيارات أو شبكة الصرف الصحي أو تدني تصريف مياه السيول والأمطار .**
- **8- النفايات الزراعية**
- **نظراُ لاستخدام المبيدات العشبية والحشرية لمكافحة الآفات في المزارع والمشاتل والحدائق العامة والخاصة داخل وحول المدينة وكذلك الأسمدة الكيماوية والطبيعية لتخصيب التربة فإن النفايات الزراعية تحتوي على عنصر الخطورة في مخلفاتها لأن معظم المبيدات تحتوي على مواد مسببة للسرطان. والمنتجات الزراعية تصبح حاملة للخطورة بسبب الاستخدام العشوائي ويكون التأثير بصورة مباشرة أذالا استهلكت المواد كجزء من الطعام أو الشراب وغير مباشرة إذا كانت بغرض الزينة أو علفاً للحيوانات ويمكن تصنيفها إلى:**
- **نفايات الأسمدة .**
- **نفايات المبيدات .**
- **نفايات المعدات .**
- **نفايات الزراعة .**
-