1271 سنة الحوادثة وذلك بسبب بعض أنواع الفحم التي تحتوي كميات كبيرة من الكبريت
1300 مرض خطير يأتي على الفحم حتى يقلل من استخدامه

التلوث الهوائي (Air Pollution)

إذا كان للإنسان الخيار في شرب الماء فهو لا يملك مثل هذا الخيار مع الهواء وهذا ما يوضح أهمية التلوث الهوائي.

التلوث الهوائي ليس ظاهرة جديدة حيث وجد منذ فترات طويلة وربما أول تسجيل لظاهرة لتلوث الهوائي كانت في لندن عام 1307 م في عهد الملك ادوارد الأول. ومع الوقت ظهرت مشاكل التلوث الهوائي في مناطق متعددة من العالم. معظم ظواهر التلوث الهوائي السابقة حدثت نتيجة للتركيز العالي من اكاسيد الكبريت (SO_x) ممزوجا مع الجزيئات الكربونية (Particulate matter) والتي تشكل عادة نوع من الضباب أو الدخان الملوث يسمى **بالدخان الصناعي أو الكبريتي (Sulphurous smog)**.

من جهة أخرى يحدث التلوث الهوائي في مدن مزدحمة أخرى نتيجة انبعاث غازات أول أكسيد الكربون (CO) مع اكاسيد النتروجين (NO_x) والمركبات الهيدروكربونية الخفيفة (HC) والتي تتفاعل مع بعضها البعض بوجود ضوء الشمس مكونة نوع آخر من الضباب الدخاني الملوث يطلق عليه **بالدخان الكيمائي الضوئي (Photochemical Smog)**.

ARAM 3.11.7

مصادر التلوث الهوائي (Types of Air Pollution Sources)

تصنف مصادر التلوث حسب نوعيتها إلى:

1. **مصادر ثابتة (Stationary sources)** ومن أمثلتها المصانع ومحطات توليد الطاقة الكهربائية وتكون هذه المصادر مسئولة غالبا عن التلوث بالدخان الكبريتي (Sulphurous smog)
2. **مصادر متحركة (Mobile sources)** ومن أمثلتها السيارات والقطارات أو السفن وعادة ما تكون هذه المصادر مسئولة عن التلوث بالدخان الكيمائي الضوئي (Photochemical Smog).

يمكن أن تنتقل الملوثات إلى الهواء بواسطة ثلاث طرق:

1. **الاحتراق (Combustion)**: والذي يحدث نتيجة لعمليات حرق أنواع الوقود الكربوني المختلفة.
2. **التبخر (Evaporation)** : مثل تبخر بعض المواد الخفيفة وانتقالها إلى الهواء مثل البنزين، وبعض الأصباغ.
3. **الاحتكاك والطحن (Grinding & Abrasion)**: يحدث نتيجة لتلامس الهواء مع بعض المواد وبالتالي تقشيرها أو عند تلامس الإنسان مع بعض المواد الموجودة داخل الابنية مثل الاسبست.

من هذه الطرق يعد <u>احتراق الوقود</u> المسئول الأول والأكبر عن معظم ظواهر ومشاكل التلوث الهوائي.

لفهم التلوث الناتج عن احتراق الوقود سنقوم بمتابعة عملية الاحتراق خطوة بخطوة. لنفترض أنه يوجد لدينا مصدر نقي للوقود الهيدروكربوني (مثل الميثان) وقد تم حرقه في ظروف مثالية من درجة حرارة وأوكسجين. إذن فان الناتج سيكون كما يلي:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

أي ان ناتج الحرق هو فقط غاز ثاني أكسيد الكربون وماء. وكما هو واضح فهذه الحالة هي المثالية وليست الحقيقية ففي الواقع تكون ظروف الاحتراق غير كاملة والوقود ليس نقيا 100 %. لنأخذ تأثير هذه الحالات على انبعاث الملوثات من حرق الوقود:

1. <u>ظروف الاحتراق ليست مثالية ومن أمثلتها</u>
   - درجة حرارة الاحتراق ليست عالية بشكل كافي
   - عدم توفر مصدر كافي للأوكسجين
   - زمن الاحتراق غير كافي

جميع هذه العوامل ستؤدي لعدم تأكسد الوقود بشكل كامل مما يؤدي لانبعاث غاز أول اوكسيد الكربون (CO) بدلا من ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، كذلك فان بعض جزيئات الوقود سوف لا تحترق بشكل كامل بل تتبخر وتتطاير في الهواء بشكل هيدروكربونات (HC) أي أن ناتج المعادلة سيكون كما يلي:

$$CH_4 + O_2 \rightarrow mostly(CO_2 + 2H_2O) + traces(CO + HC)$$

2. تأثير الاحتراق في الهواء

بما أن معظم عمليات الاحتراق تحدث في الهواء وليس في وسط اوكسجيني نقي والهواء يحتوي على نسبة قليلة من الأوكسجين مقابل غازات أخرى وأهمها النتروجين الذي يشكل بحدود 78% إذن سيظهر هذا العنصر في نواتج الاحتراق بشكل اكاسيد النتروجين (NO_x).

3. تأثير نوع الوقود

من المستحيل أن يكون الوقود نقيا 100% بل غالبا ما يحتوي على نسبة عالية جدا من الشوائب والعناصر مثل الكبريت، النتروجين، الرصاص، .... وغيرها. جميع هذه الشوائب ستظهر في نواتج الاحتراق بشكل مركبات العنصر، هذا إضافة لبعض المواد غير القابلة للاحتراق والتي ستظهر أيضا بشكل رماد (Ash). أي أن معادلة الاحتراق ستكون بالشكل التالي:

$$Fuel(H, C, S, N, Pb, Ash) + air(N_2 + O_2) \rightarrow Emissions(CO_2, H_2O, CO, NO_x, SO_x, Pb, HC, Particulates) + Ash$$

جزيئات الهيدروكاربون (HC) المتطايرة ستتفاعل مع اكاسيد النتروجين (NO_x) بوجود ضوء الشمس منتجة الدخان الكيمائي الضوئي (Photochemical Smog)

$$HC + NO_x + Sunlight \rightarrow Photo.Smog(O_3 + etc)$$

تسمى الملوثات التي تنبعث بشكل مباشر إلى الهواء **بالملوثات الأولية (Primary pollutants)** ومن أمثلتها جميع الملوثات التي تنتج من مصدر الانبعاث وتتبقى في الجو بدون تغير في تركيبها الكيميائي.

في حين تسمى **بالملوثات الثانوية (Secondary pollutants)** تلك الملوثات التي تتولد نتيجة للتفاعلات الفيزيائية أو الكيميائية التي تحدث في الجو على مجموعة من الملوثات الأولية منتجة ملوثا آخرا جديدا ومن أمثلتها الدخان الكيميائي الضوئي (Photochemical Smog).

بعد هذه المقدمة سننتقل لدور المهندس في تخفيض التلوث الهوائي وهذا يتم عادة عن طريق تصميم وحدات إزالة الملوثات. وسنهتم هنا بوحدات إزالة الدقائق تحديدا كونها من أكثر الملوثات الهوائية انتشارا.

إزالة الجزيئات (Particular Control)

يعتمد اختيار أسلوب إزالة الجزيئات المناسب على عدة عوامل وهي:

1. حجم الجزيئات (Particular size)
2. تركيز الجزيئات (Concentration)
3. قابلية التآكل (Corrosively)، أي قابلية الجزيئات المعالجة على خدش وحدات المعالجة
4. السمية (Toxicity)
5. حجم الدفق الغازي (Volumetric flowrate)
6. كفاءة العزل المطلوبة (Required removal efficiency)
7. مقدار الضياع في ضغط الهواء ضمن وحدة المعالجة (Allowable pressure drop)
8. الكلفة (Cost)

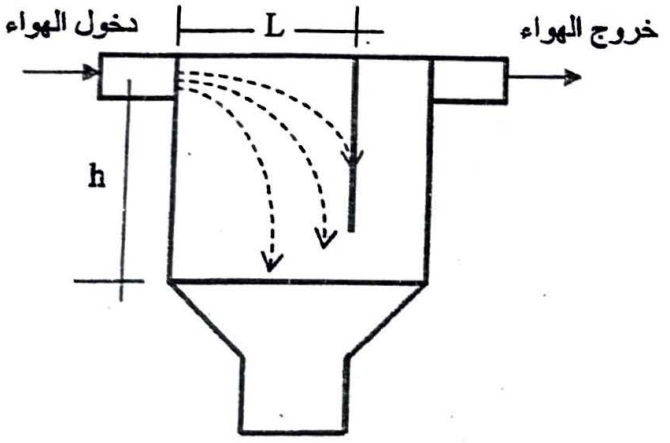
طرق ازالة الجزيئات (Particular Removal Methods)

هناك العديد من الوحدات المستخدمة لإزالة الجسيمات والدقائق من التيار الهوائي ومن اهمها:

1. العزل بالترسيب باستخدام غرف الترسيب (Settling chamber)
2. العزل بالسايكلونات (Cyclones)
3. العزل بالرش
4. العزل بالترشيح (Filtration)
5. العزل باستخدام المرسبات الالكتروستاتيكية (Electrostatic precipitators)

1. العزل بالترسيب (Settling Chamber)

يعتمد أسلوب العزل هنا على مبدأ تخفيض سرعة الهواء داخل الوحدة بحيث تقل قابليته على حمل الجزيئـــة وبالتـــالي سقوطها. تتم عملية تقليل السرعة من خلال توسيع المقطع أو وضع حواجز ضمن مسار الهواء.



القوة المـــؤثرة علـــى الجزيئـــة (F) تحـــسب بالمعادلة الاتية:

$F = M \times g$ ⇒ for spherical particles

Where: $F = \frac{\pi}{6} d^3 \cdot \sigma \cdot g$

M: mass of particle

g: acceleration due to gravity

الوقت المتاح للترسيب (t) يحسب كما يلي:

$$t = \frac{h}{v_v} = \frac{L}{v_h}$$

Where:

v_v: vertical velocity

v_h: horizontal velocity

يطبق قانون ستوك لحساب سرعة ترسيب الجزيئات في حجرة الترسيب وكما يلي:

settling velocity (m/s)

$$v_v = \frac{g \cdot d^2 (\sigma - \rho)}{18\eta}$$

Where:

d: diameter of particle (m)

σ: density of particles (g/m^3)

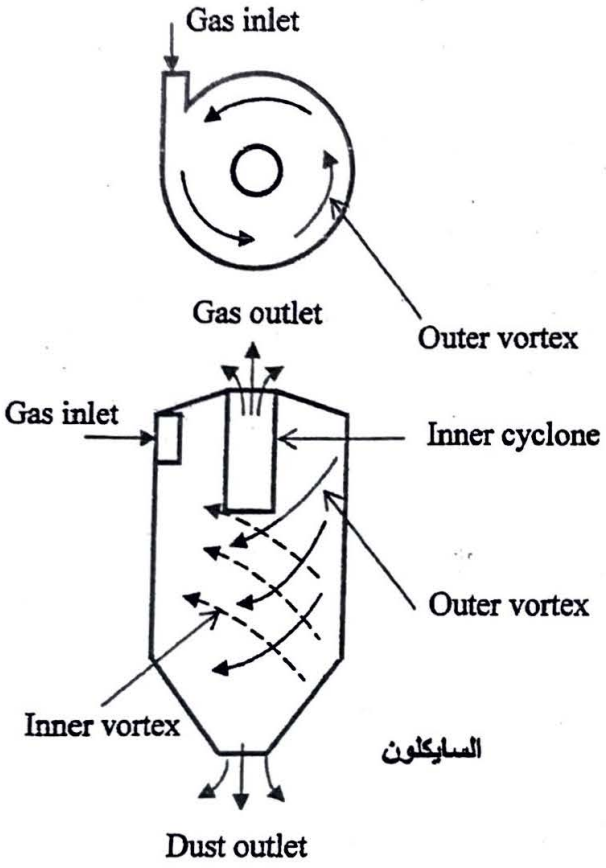
ρ: density of gas (g/m^3)

η: gas viscosity ($g/m \cdot s$) (viscosity of air = 0.0172 $g/m \cdot s$)

تكون هذه الوحدات كفوءة بإزالة جزيئات ذات أقطار تتراوح ما بين (10–100) مايكرون وتنخفض هذه الكفاءة بشكل كبير جدا عندما تكون أقطار الجزيئات اصغر من ذلك.

2. العزل بالسايكلونات (Cyclones)

تعتبر هذه الوحدات من أكثر وحدات إزالة الدقائق انتشارا وتمتاز ببساطة تشغيلها وكفاءتها المرتفعة. يعتمد مبدأ العزل على قوة الطرد المركزي حيث يؤدي إدخال الدفق الهوائي بشكل حلزوني سريع ملامس للسطح الداخلي للاسطوانة إلى عزل الجزيئات الموجودة نتيجة لعزم القصور الذاتي.



السايكلون

تقاس كفاءة السايكلون بالمعادلة التالية:

$$E = \left(\frac{\sigma \cdot d^2 \cdot V_e}{18\eta \cdot D} \right)$$

Where:

E: particles removal efficiency
d: diameter of particle (m)
σ: density of particles (Kg/m³)
V_e: gas velocity at entrance (m/s)
η: gas viscosity (kg.m/sec)
D: diameter of cyclone

يلاحظ من المعادلة أعلاه أن كفاءة الإزالة تتناسب طرديا مع: قطر الجزيئة، سرعة دخول الهواء إلى السايكلون، وكثافة الجزيئة.

في حين تتناسب عكسيا مع: قطر السايكلون ودرجة لزوجة الغاز،

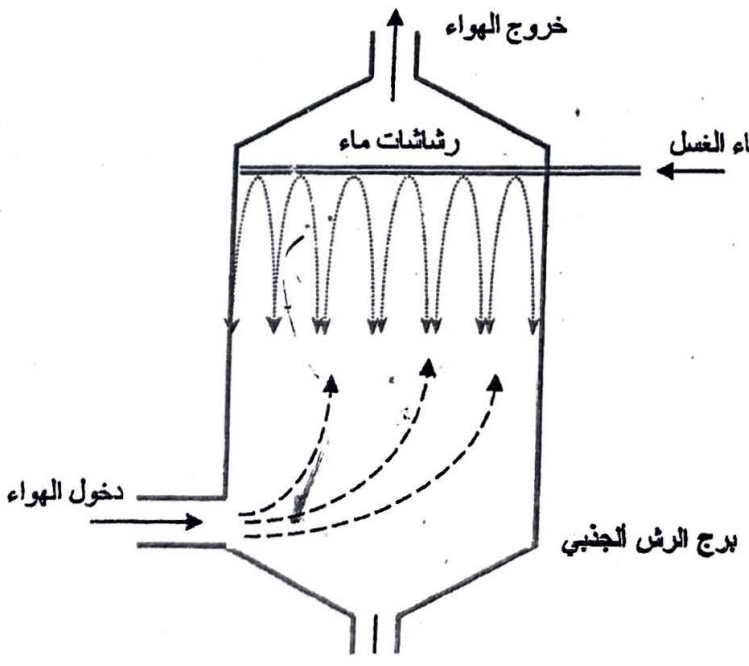
أي انه من الناحية الهندسية كلما كانت السايكلونات اصغر قطرا كلما كانت أكفأ.

تكون السايكلونات كفوءة بإزالة جزيئات لحد قطر (5 مايكرون) حيث في الأقطار الأصغر تنخفض كفاءة السايكلون بشكل كبير جدا.

3. العزل بأبراج الرش (Gravity spray tower)

تتكون هذه الوحدات من برج يتم فيه إدخال الهواء بشكل معاكس للجاذبية أي إلى الأعلى ويتم رش الماء إلى الأسفل حيث تساهم المياه في دفع الجزيئات إلى الأسفل وبالتالي سقوطها.

تكون هذه الوحدات كفوءة بإزالة جزيئات لا يقل قطرها عن (10 مايكرون).



برج الرش الجذبي

القوة الطاردة على الزيتة في السيكلون

$$F = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

where: F: centrifugal force, (N)
m: mass of particle, (Kg)
v: velocity of particle (m/s)
R: cyclone radius, (m)

اي ان القوة الطاردة على الزيتة تقل مع زيادة قطر السيكلون، لذا تقل الكفاءة مع زيادة القطر

Design of a cyclone

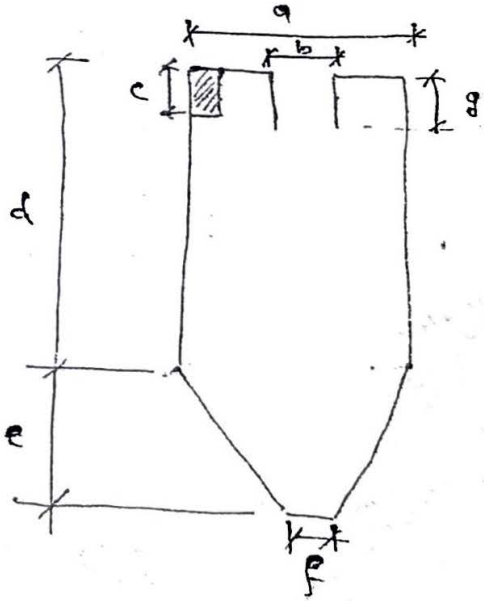
المعادلة تستخدم لحساب قطر الزيتة التي ستزال في السيكلون بكفاءة ازالة 50٪ او اكثر:

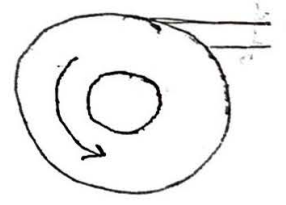
$$d_{50} = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot h}{2\pi \cdot Ne \cdot Vi \cdot (\sigma - \rho)}}$$

where: d_{50} : diameter of the particle removed with 50% efficiency, (m)
η : gas viscosity, (Kg/m.s) = (N.s/m²)
h : width of cyclone inlet, (m)
Ne : number of effective turns within the cyclone
Vi : inlet gas velocity, (m/s) (usually 15-20 m/s)
σ : density of particles, (Kg/m³)
ρ : " " gas, (Kg/m³)

The number of effective turns which the gas makes within the cyclone is

$$Ne = \frac{1}{c}(2d + e)$$





$a = 4h$
$b = 0.5a$
$c = b$
$d = 2a$
$e = 2a$
$f = 0.25a$
$g = 0.625a$
$h =$

3) لاحظ مثال السيكلون في الصفحة

في صفحة مثال

4. العزل بالترشيح (Filtration)

تعتمد هذه الطريقة على إمرار الهواء بمرشح مسامي يمنع دخول الدقائق الأكبر حجما من الفراغات الموجـودة فيـه. تسمى هذه المرشحات بالمرشحات الليفية وهي على نوعين:

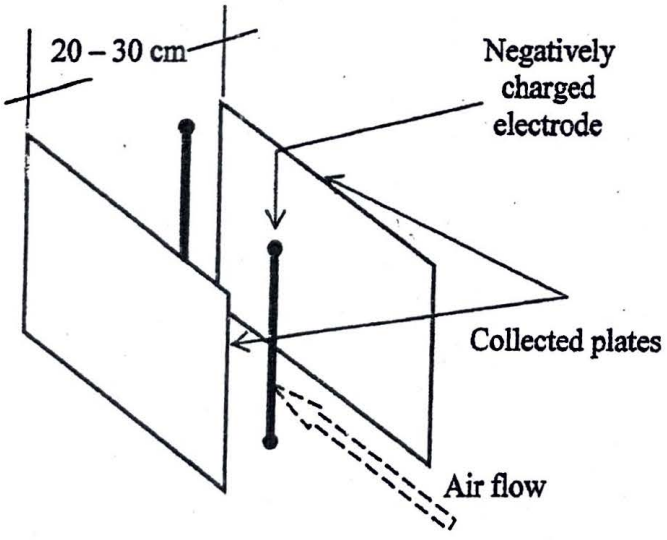
أ – حصران الألياف (Fibrous mats): تتكون من ألياف مواد طبيعية مكبوسة (مثل حلفا مبردة الهواء). توضع هذه المواد بين ألواح مثقبة أو شبكات معدنية وتعتمد كفاءة المرشح على مستوى كبس هذه الألياف. تمتاز هذه المرشحات:

- كفاءتها العالية
- تحملها للحرارة والحامض (اعتمادا على نوعية المادة المستخدمة)
- صعوبة تنظيفها
- تستطيع إزالة دقائق بحجم لا يقل عن (1 مايكرون).

ب – المرشح الليفي الصناعي (Fabric filter): تتكون من نسيج اصطناعي مثل القماش وتمتاز بـ

- كفاءة عالية جدا
- يمكن تنظيفها بسهولة
- لا تتحمل درجة الحرارة العالية لذا لا تستخدم مع الغازات الساخنة

5. العزل باستخدام المرسبات الالكتروستاتيكية (Electrostatic precipitators)



تعتبر هذه الوحدات من أكفأ أنواع وحـدات إزالة الدقائق وأغلاها سـعرا. تـتم عمليـة الإزالة عن طريق شحن الجزيئـات بـشحنة عالية جدا من خلال إمرارها بأقطاب شـحن ذات فولتية عالية قد تصل لحـد 100 كيلـو فولت، ومن خلال وجود ألواح تجميـع ذات شحنة معاكسة لشحنة الجزيئات يـتم جـذب الأخيرة لتلتصق بهذه الألواح. تستطيع هـذه الوحـدات إزالـة جزيئـات لحـد قطـر (0.01 مايكرون) بكفاءة لا تقل عن 80%، في حين تصل كفاءة إزالة الجزيئات الأكبـر حجما لحد 99.9%.

العامل المـؤثر فـي تـصميم المرسـبات الالكتروستاتيكية هي مساحة الأقطاب المتوفرة والتي تحسب من المعادلة:

$$E = 1 - e^{-wA/Q}$$

Where:

E = efficiency

A = total area of collection

Q = volumetric flowrate of air

w = effective draft velocity (سرعة تقرب الجزيئة من القطب نتيجة لفرق الشحنة)

Settling chamber

Ex: Find the settling velocity of a spherical droplet of water with dia 2 Mm, and estimate the residence time of such particles if they uniformly distributed in the lower 1000 m of atmosphere. Assume the density of water is 10^6 g/m³, and the density of air is neglected.

solution: using Stock's law

$$v_v = \frac{g \cdot d^2 (\sigma - \rho)}{18 \eta}$$ ∵ density of air, neglected ⇒ $\rho = 0$

$$\therefore v_v = \frac{g d^2 \sigma}{18 \eta} \Rightarrow v_v = \frac{(9.81)\cdot(2*10^{-6})^2 \cdot (10^6)}{18 * 0.0172} = 1.27 * 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$= 0.4563 \text{ m/hr.}$$

But:

$$\text{Residence time} = \frac{h}{v_v} \Rightarrow \text{time} = \frac{1000}{0.4563} = 2191.54 \text{ hr.}$$

$$= 91.3142 \text{ days}$$

cyclone

Ex: Design of a cyclone separator. An air stream is flowing at the rate of 1000 m³/hr. at a temperature of 50°C. It contains particles with a density of 1200 kg/m³. Determine the diameter of the particles that will be removed with 50% efficiency if the inlet air cannot exceed 10 m/s. Assume the air density at 50°C is 1.25 kg/m³, viscosity = $1.8 * 10^{-5}$ N-s/m²

solution: ∵ $Q = v \cdot A$, $Q = 1000$ m³/hr, $v = 10$ m/s (36000 m/hr)

$$\therefore A = \frac{Q}{v} \Rightarrow \frac{1000}{36000} = 0.02778 \text{ m}^2$$

But $A = c * h$, $c = b = 0.5\,a$

& $0.5\,a = 2h \Rightarrow c = 2h$

$$\therefore c * h = 2h * h = 0.0278 \Rightarrow h = 0.1178 \text{ m}$$

$a = 4h \Rightarrow a = 0.4714$ m

$b = 0.5\,a \Rightarrow b = 0.236$ m

$c = b \Rightarrow c = 0.236$ m

$d = 2a \Rightarrow d = 2 * 0.4714 = 0.9428$ m

$e = 2d \Rightarrow e = 0.9428$ m

$$\therefore Ne = \frac{1}{c}(2d + e) \Rightarrow Ne = \frac{1}{0.236}(2 * 0.9428 + 0.9428) =$$

$$= 11.98$$

$$d_{50} = \sqrt{\frac{g \cdot \eta \cdot h}{2\pi \cdot N_e \cdot v_i \cdot (\sigma - \rho)}}$$

$$\therefore d_{50} = \sqrt{\frac{9 * 1.8 * 10^{-5} * 0.118}{2\pi * 12 * 10 * (1200 - 1.25)}}$$

$$1198.75$$

$$= 4.59889 * 10^{-6} \ m \simeq 5 \ \mu m$$

$\therefore$ the design is capable of removing ($5 \ \mu m$) particles with a removal efficiency.

Electrostatic Precipitators

Ex: Design of an electrostatic precipitator. A quantity of $50 \ m^3/s$ of a flows from a cement manufacturing facility. It contains cement p whose settling velocity is $0.12 \ m/s$. If 99% removal efficiency is required, calculate the surface area of the electrostatic precipit

solution:

$$E = 1 - e^{-\left(\frac{A w}{Q}\right)}$$

$$\therefore 0.99 = 1 - e^{(0.12 A / 50)}$$

$$\therefore A = 1919 \ m^2$$

الضوضاء Noise

الضوضاء نوع من أنواع التلوث البيئي وهي تمتاز عن بقية الملوثات بوقت ثباتها القليل فهي آنية ومتبددة وينحصر تأثيرها عند انبعاثها فقط وتزول مباشرة بزوال المصدر. والضوضاء التي هي من ابرز سمات العصر الحديث وان كانت لا تبدو قاتلة كما هو حال بعض الملوثات البيئية الأخرى، ولكنها مشكلة بيئية تؤثر على صحة الإنسان وراحته وهي بذلك تساهم بشكل فعال في تردي الوضع البيئي.

مقياس الضوضاء

تقاس الضوضاء عادة بوحدة الديسبل (dB). ولا تمثل هذه الوحدة مقياسا فيزيائيا مطلقا بل هي مقياس لوغاريتمي يمثل نسبة ضغط الصوت المراد قياس شدته إلى اقل ضغط صوتي تستطيع أن تتحسسه أذن الإنسان والذي قيمته (٠,٠٠٠٢) مايكرو بار ويعبر عنه حسابيا كما يلي:

$$SPL = 20 \times log\left(\frac{P.}{P_o}\right)$$

حيث إن:

SPL: مستوى الضغط الصوتي (Sound Pressure Level)، ديسبل (dB)

P: ضغط الصوت المراد قياس شدته بالمايكرو بار (μ bar)

P_o: ضغط القرار (اقل ضغط يمكن أن تتحسسه الأذن البشرية) = ٠,٠٠٠٢ مايكرو بار (μ bar).

وعلى هذا الأساس فان مستوى ضغط صوت (SPL) يساوي صفر ديسبل (0 dB) لا يعني انعدام الصوت بل يعني أن الأذن البشرية سوف لا تستطيع تمييز هذا الصوت. ويكون مستوى الضوضاء مؤذيا للأذن البشرية إذا كان ضغط الصوت يساوي ١٠٠٠ مايكرو بار أي ما يعادل ١٣٤ ديسبل (dB) أو أكثر. الجدول رقم (١) يبين المستويات المتوقعة للضوضاء في بعض المواقع:

جدول رقم (١): مستويات الضوضاء المتوقعة في مواقع مختلفة

الموقع	شدة الضوضاء (dB)
أدنى مستوى للسمع	١٠
داخل أستوديو للبث	٢٠
غرفة نوم هادئة	٣٠
مكتبة	٤٠
غرفة معيشة هادئة	٥٠
مكتب	٦٠
مناقشة هادئة	٧٠
ضوضاء المرور	٨٠
داخل باص	٩٠
داخل القطار	١٠٠
عند مرور طائرة	١١٠
على بعد متر من منبه سيارة	١٢٠
كسارة الكونكريت	١٣٠
الحد المؤذي	١٤٠

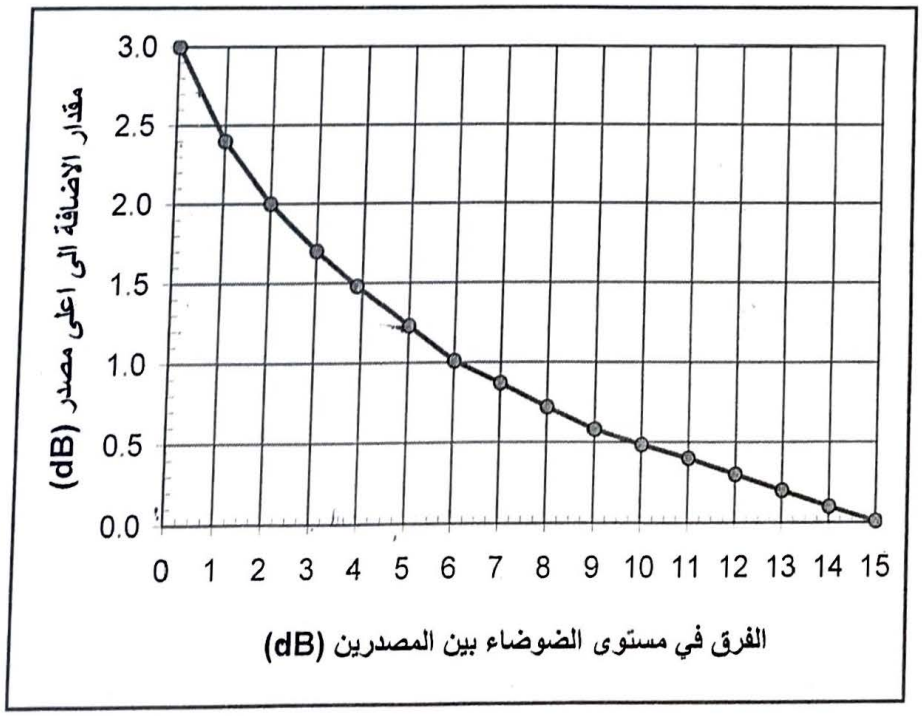
حساب الضوضاء الناتجة من مصادر مختلفة

من النادر في واقع الحياة وجود مصدر واحد للضوضاء حيث عادة ما يكون هناك مصادر متعددة، لذا من المهم معرفة كيفية حساب الضوضاء الناتجة من مصادر متعددة.

وكقاعدة عامة فان مجموع الضوضاء الناتجة عن مصدرين لهما نفس قوة الضوضاء لا يساوي حاصل جمعهما جبريا بل يزيد فقط (3 dB) على احدهما. أي أن مجموع الضوضاء الناتجة عن آليتين كل منهما تنتج ضوضاء مقدارها (80 dB) هو (83 dB) وليس (160 dB).

بنفس الوقت الذي يكون فيه حاصل جمع مصدرين للضوضاء الفرق بينهما هو (15 dB) أو أكثر هو نفس قيمة الضوضاء الصادرة من المصدر الأعلى، والسبب في ذلك أن الإذن البشرية سوف لن تستطيع تمييز مصدر الضوضاء الأقل بوجود مصدر الضوضاء الأعلى. مثال ذلك لدينا آليتين إنشائيتين تصدر عن الأولى ضوضاء مقدارها (90 dB) وعن الثانية ضوضاء مقدارها (75 dB) إذن مجموع الضوضاء الناتجة عن هذين المصدرين ستكون قيمة الضوضاء الأكبر وهي هنا (90 dB) وهكذا.

الشكل رقم (١) يبين مقدار الضوضاء التي يجب إضافتها على مصدر الضوضاء الأعلى لحساب مقدار الضوضاء الكلية الناتجة عن أكثر من مصدر.



الشكل رقم (١): منحني لإيجاد تأثير أكثر من مصدر للضوضاء على المحصلة النهائية لها

ملاحظة: عند وجود اكثر من مصدر للضوضاء نبدأ بالمصدر الاقل

مثال:

جد مستوى الضوضاء في سقيفة المهندس المقيم لأحد المشاريع إذا كانت الآليات العاملة في الموقع كما يلي:

ثلاثة جارفات (Shovels) كل منهما تنتج ضوضاء مقدارها (95 dB)،

كسارة حصو واحدة تنتج ضوضاء مقدارها (110 dB).

الحل:

بما أن الضوضاء الناتجة عن الجارفات الثلاثة متساوية أي أن الفرق بالضوضاء بين كل جارفتين يساوي صفر. إذن وبالاعتماد على المنحني (١) يجب ان نضيف (3 dB) إلى الضوضاء الناتجة عن الجارفة، لإيجاد قيمة الضوضاء الناتجة عن مجموع جارفتين وكما يلي:

$$95 + 3 = 98 \text{ dB}$$

الآن وبعد دمج الضوضاء الناتجة عن جارفتين، وكأنه أصبح لدينا في الموقع جارفة كبيرة تصدر ضوضاء مقدارها (98 dB) إضافة لجارفة أخرى تصدر ضوضاء مقدارها (95 dB).

الآن سندمج تأثير الجارفة الثالثة إلى الضوضاء الكلية، مرة أخرى، بما أن الفرق في مستوى الضوضاء بين مجموع الجارفتين وبين الجارفة الثالثة هو (98 dB – 95 dB = 3 dB) إذن وبالاعتماد على الشكل رقم (١)، يجب أن نضيف ما مقداره (1.7 dB) الى مصدر الضوضاء الأكبر لإيجاد قيمة الضوضاء الكلية.

إذن مقدار الضوضاء الكلية الناتجة عن الجارفات الثلاثة ستكون كما يلي:

$$98 + 1.7 = 99.7 \text{ dB}$$

الآن سنضيف تأثير الضوضاء الناتجة عن كسارة الحصو والتي قيمتها (110 dB).

بما أن هذه الضوضاء تزيد عن الضوضاء الكلية الناتجة عن الجارفات الثلاثة بمقدار (10.3 dB). إذن وبالاعتماد على الشكل رقم (١)، يجب أن نضيف ما مقداره (0.49 dB) إلى المصدر الأعلى لإيجاد مجموع الضوضاء الكلية الناتجة عن جميع هذه المصادر. إذن قيمة الضوضاء الكلية الناتجة عن جميع آليات الموقع ستكون كما يلي:

$$110 + 0.49 = 110.49 \text{ dB}$$

المطروحات الحرارية Thermal pollution

تتعرض المصادر المائية إلى تغيير مفاجئ في درجات حرارتها نتيجة قيام بعض الصناعات، وبالأخص صناعات توليد الكهرباء بطرح المياه الساخنة إلى هذه المصادر. وتسحب صناعات توليد الطاقة الكهربائية التقليدية منها أم النووية كميات كبيرة من المياه لغرض تبريد المراجل البخارية فيها وتعاد هذه المياه إلى المصدر مرة أخرى بعد أن تسخن.

ونظرا لعظم كميات هذه المياه الساخنة المطروحة فإنها تؤدي إلى رفع درجة حرارة المصدر المائي محدثة بذلك خللا في التركيبة الحياتية والفيزيائية للمصدر المائي. ومن أهم تأثيرات ارتفاع درجة حرارة الماء نتيجة طرح المياه الساخنة فيه ما يلي:

١. تقليل سرعة انتقال الأوكسجين إلى الماء وذلك نتيجة لانخفاض تركيز التشبع في الماء (DO_s) مع ارتفاع درجة الحرارة مما يقلل من العجز بالأوكسجين (D) وبالتالي تقليل سرعة انتقاله إلى الماء.
٢. يؤدي ارتفاع درجة حرارة المياه إلى تسريع عملية تحلل المواد العضوية مما يعني الحاجة لاستهلاك كميات إضافية من الأوكسجين المذاب وهذا ما يزيد المشكلة تفاقما.
٣. يؤثر ارتفاع درجة حرارة المياه على الأحياء المائية بشكل عام وخصوصا العليا منها كالأسماك ويزيد من حساسيتها للمواد السمومية.
٤. يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى تنشيط الاشنات وخصوصا الخضراء ثم الخضراء المزرقة مع زيادة ارتفاع الحرارة مما يسبب سوءا لنوعية المياه وظهور مشاكل الطعم والرائحة فيه.

والتلوث بالمطروحات الساخنة لا يمثل إضافة أي مادة جديدة إلى الماء بل هو إخلال بموازين الطاقة للجسم المائي ويمكن أن يكون لهذا الإخلال تأثير سيء جدا خاصة في البلدان التي تكون معدل درجة حرارتها عالية كالعراق، حيث تصل درجة حرارة مياه الأنهار صيفا إلى ما يقارب خمس وثلاثين درجة مئوية.

مصادر التلوث الحراري

هناك العديد من الصناعات التي تسبب تلوثا حراريا للمياه أهمها:

١. محطات توليد الطاقة الكهربائية بنوعيها التقليدي والنووي: تنشأ هذه المحطات على مقربة من المصادر المائية وذلك لعظم كميات المياه التي تحتاجها للتبريد. وفي البلدان الصناعية تبلغ نسبة المياه المستخدمة لغرض التبريد حوالي ثلاثة أرباع مجمل المياه الصناعية. وتعود هذه المياه إلى المصدر المائي بعد أن ترتفع حرارتها بحدود عشر درجات مئوية وقد يصل الارتفاع إلى ٢٥ درجة مئوية اعتمادا على كفاءة هذه المحطات ونظم التبريد المعتمدة فيها.
٢. صناعة الحديد والصلب.
٣. صناعة الورق.
٤. محطات تكرير النفط.

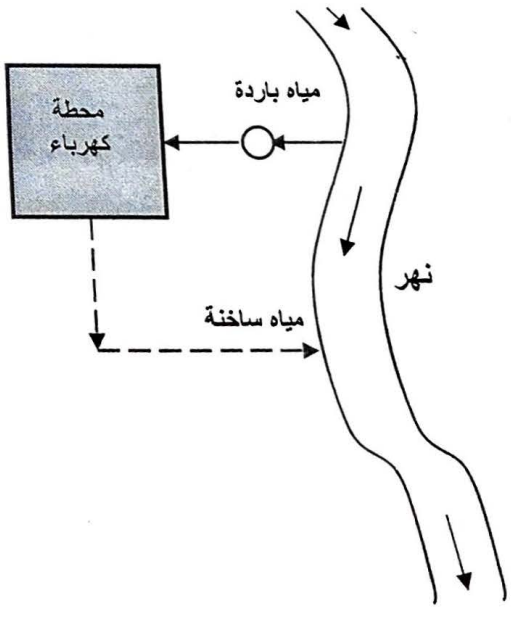
نظم التبريد في محطات توليد الطاقة الكهربائية

هناك ثلاثة أنواع رئيسية من نظم التبريد المستخدمة في محطات توليد الطاقة الكهربائية. يعتمد اختيار نوع نظام التبريد المناسب على: العامل التقني، العامل الاقتصادي، موقع المحطة، وصرامة التشريعات البيئية. هذه الأنواع هي:

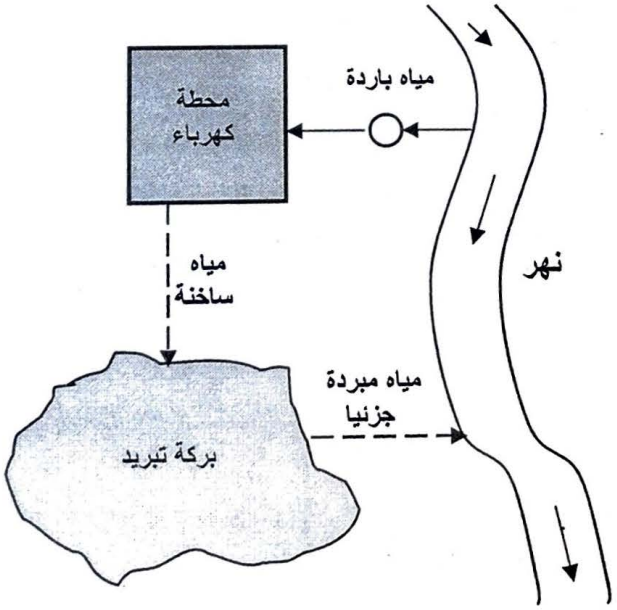
١. النظام المفتوح (Once-Through System): وفيها يستخدم الماء لمرة واحدة للتبريد ثم يعاد إلى النهر كما في الشكل رقم (١). وقد يبرد الماء قليلا بواسطة بركة قبل إعادته إلى المصدر المائي وكما في الشكل رقم (٢).

٢. نظام التبريد ألتبخيري (المغلق) (Evaporating (Closed) Cooling System): عادة ما يكون هذا النظام مغلقا حيث لا يتم إعادة المياه المستخدمة في التبريد إلى النهر بل إلى برج تبريد أو بركة تبريد لتبريدها ومن ثم إعادة استخدامها في المحطة وكما في الشكل رقم (٣). وفائدة هذا النظام هي عدم طرح المياه الساخنة إلى النهر بل يكون النظام مغلقا مما يقلل التلوث الحراري. ويتم سحب كميات قليلة من المياه من النهر لتعويض أي نقص في المياه نتيجة التبخر.

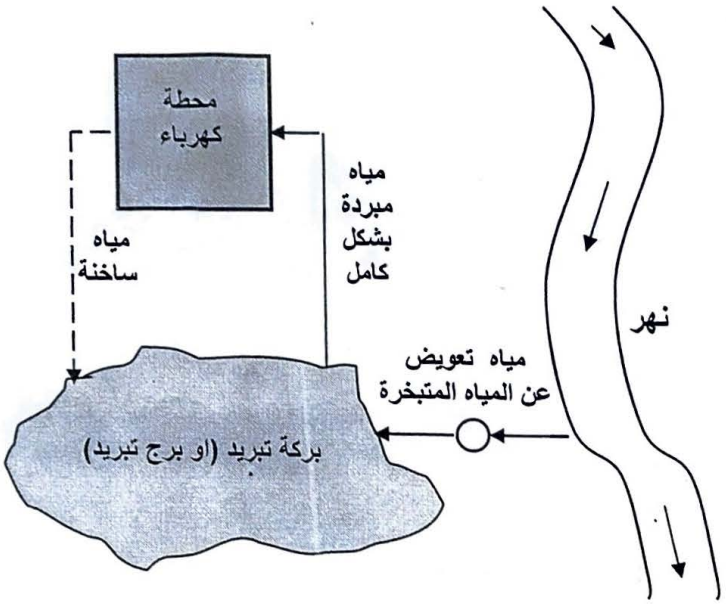
٣. النظام الجاف (Dry Cooling System): يعتمد التبريد هنا على خلق تيار هوائي بدون استخدام المياه. لذا لا يطرح هذا النظام أي مياه ساخنة إلى المصدر المائي.



الشكل رقم (١): النظام المفتوح، إعادة المياه إلى النهر مباشرة بعد استخدامها في التبريد



الشكل رقم (٢): النظام المفتوح، طرح المياه في بركة تبريد لتبريدها جزئيا قبل إعادة طرحها إلى النهر



الشكل رقم (٣): النظام التبخيري (المغلق)، طرح المياه في بركة أو برج تبريد لتبريدها كليا قبل إعادة استخدامها في تبريد المحطة مرة أخرى