جامعة المنارة
السنة الاولى

المياه في الطبيعة و ملوثاتها

د.م نسرين خلوف

مقدمة

- من أجل معرفة كمية الملوثات المسموح لها أن تصب في الجسم المائي فإنه يجب معرفة نوع الملوثات (مغذيات، مواد مستهلكة للأكسجين،....)، ومعرفة خصائص الجسم المائي الكيميائية والفيزيائية والحيوية.
- إن التحكم بالملوثات التي تصل إلى المصادر المائية كالأنهار والبحيرات والبحار وغيرها يتم عن طريق معرفة مصادرها والتحكم بهذه المصادر، كذلك عن طريق فهم سلوكها في الجسم المائي. عملية فهم السلوك هذه تتم عبر عمليات نمذجة هذه الملوثات ودراسة العوامل المؤثرة عليها في المصدر المائي.
- وعند فهم كيفية تأثير الملوثات على جودة المياه فإن المهندس البيئي يمكنه أن يصمم بشكل مناسب محطات المعالجة لإزالة الملوثات إلى المستوى المقبول.
- لذلك يجب التعرف على أهم البارامترات المؤثرة على نوعية المياه .

البارامترات الهيدرومورفولوجية للأنهار وتحديدها

- سرعة الجريان V: (Velocity) :m/s
- التدفق Q: (Discharge or Flow) :m^3/s
- شكل القاع وخشونته وميل جوانب سرير النهر

البارامترات الهيدرومورفولوجية للأنهار وتحديدها

سرعة جريان الأنهار V :(Velocity) m/s

- هي المسافة التي يقطعها الماء في واحدة الزمن أثناء جريانه في مجرى ما وواحدة قياسها هي m/s.
- تقاس سرعة جريان المياه في عدة نقاط على أعماق مختلفة وعلى أبعاد مختلفة من ضفتي المجرى المائي ومن ثم يتم حساب السرعة الوسطية.

البارامترات الهيدرومورفولوجية للأنهار وتحديدها

التدفق Q: (Discharge or Flow) :m^3/s

- يعرف تدفق مياه النهر بأنه حجم الماء الذي يعبر مقطعاً معيناً من النهر في واحدة الزمن.
- ويحسب كجداء للسرعة المتوسطة للمياه في مساحة المقطع الذي تعبره كما يلي:
  $Q = V*A$ بـ (m^3/s)
- حيث: A هي المقطع العرضي للنهر بـ m^2.
- V هي سرعة جريان الماء بـ m/s

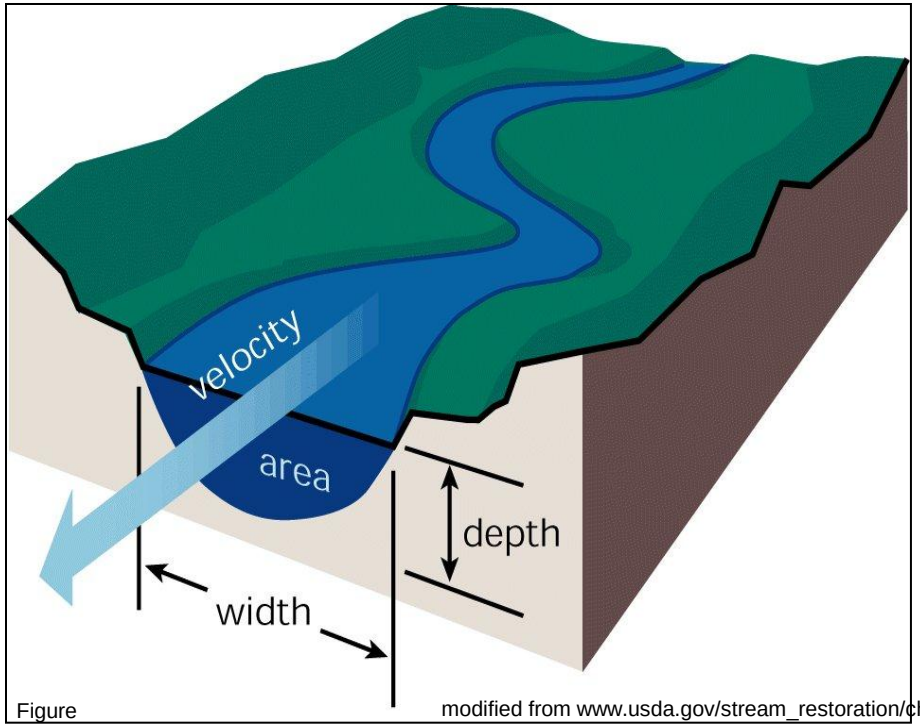


Figure 1.18 modified from www.usda.gov/stream_restoration/chap1.html

بعض البارامترات الفيزيائية و الكيميائية للماء

يمكن تقسيم طرق قياس البارمترات إلى:

١. القياسات الحقلية: وتعني استخدام الأجهزة لقياس البارامترات في المياه مباشرة أو بجانب المصدر المائي. مثالها قياس درجة الحرارة، PH، الناقلية الكهربائية،..

١. القياسات المخبرية: وتعني أخذ العينات من المصدر المائي ونقلها إلى مخابر خاصة بتحاليل جودة المياه من أجل تحليلها وقياس قيمها. مثال: قياسات:BOD ، COD...

بعض البارامترات الفيزيائية و الكيميائية للماء

- **درجة الحرارة: Temperatureواحدتها (C°)**

تؤثر تغيرات درجة الحرارة على انحلالية الغازات في المياه وبالتالي على عمليات تنفس الأحياء وعمليات التنقية الذاتية للمصادر المائية وتشتت الملوثات وتفككها ودرجة الإشباع بالأكسجين المنحل.

- **العكارة: Turbidity، واحدتها NTU**

عكارة الماء تعرف بأنها كمية العوالق في الماء التي تحجب مرور الضوء.

- **الناقلية الكهربائية: Electrical Conductivity**

تعرف الناقلية الكهربائية للماء بأنها قدرة الماء على نقل التيار الكهربائي.

تعبر عن المحتوى الشاردي للماء. أي تواجد شوارد Ca،Mg، Cu،....

DO: الأكسجين المنحل، Dissolved Oxygen

- DO تعبر عن الفقاعات المجهرية من الأكسجين الموجودة في المياه.
- DO يتعلق بالعمليات الفيزيائية والكيميائية والحيوية ضمن جسم الماء وتغيراته تعطي مؤشراً جيداً عن نوعية المياه وعن قدرة التنقية الذاتية للمصدر المائي.
- ينتج DO في المصدر المائي نتيجة عملية التركيب الضوئي ونتيجة حركة المياه وتماسها مع الهواء المحيط ويستهلك خلال عمليات التنفس والتفكك.
- يسبب التلوث بالمواد العضوية (المغذيات) نقصاً كبيراً في كمية الأكسجين المنحل بسبب استخدامه من قبل البكتريا التي تقوم بهضم هذه المواد وتنقية المصدر.
- تتغير تراكيز DO المصدر المائي تبعاً للفصول، تبعاً للملوثات وتشتتها، وأيضاً تبعاً لسرعة الجريان وعمق المجرى.

DO: الأكسجين المنحل، Dissolved Oxygen

- واحدة قياسDO هي mg/l أو ppm.
- مجال تركيز الـ DO للمصدر المائي العذب يتراوح بين : 0 - 20 mg/l
- القيمة الحدية للأكسجين المنحل تتأرجح بشكل كبير وفقاً لكل نوع من الأحياء المائية.
- عموماً كمية DO< 3 mg/l تعتبر مجهدة وخطيرة بالنسبة للحياة المائية (موت الأسماك وتفاعلات لاهوائية).
- تستخدم نسبة الإشباع % لتحديد فيما إذا كان المصدر المائي مشبعاً بالأكسجين في درجة حرارة محددة.
- نسبة الإشباع = تركيز الأكسجين المنحل / تركيز الأكسجين الأعظمي الكلي عند درجة حرارة محددة.

DO: الأكسجين المنحل، Dissolved Oxygen

هناك طريقتان لقياس Do مخبرياً وحقلياً:

- **طريقة فينكلر(Winkler) أو التحليل اليوديمتري (تعتمد مبدأ المعايرة بإضافة الكواشف: محاليل الصوديوم والكبريت) هذه الطريقة تستخدم حقلياً أو مخبرياً بعد أقل من ٦ ساعات لأخذ العينات (وهي طريقة قديمة).**
- **طريقة الأجهزة الكهربائية (حديثة) : تستخدم حقلياً**

BOD: الطلب البيوكيميائي للأكسجين Biochemical Oxygen Demand

- BOD يعبر عن كمية الأكسجين بـ mg/l اللازمة للميكروبات كي تتمكن من أكسدة المركبات العضوية خلال فترة زمنية محددة وبدرجة حرارة ثابته. يرفق برقم يدل على زمن الأكسدة بالأيام (BOD_5 أو BOD_{20}).
- قيم الـ BOD العالية تعد أحد مؤشرات تلوث مياه المصدر المائي بالمركبات العضوية ويعطي فكرة واضحة عن قدرة التنقية الذاتية للمصدر المائي، وتصمم على أساس قيمته محطات تنقية المياه.
- في المياه النقية غير الملوثة يكون: BOD< 5 mg/l
- تستخدم قيمة الـ BOD للدلالة على كفاءة المعالجة الحيوية، فعند انخفاض قيمة BOD المياه من 300 mg/l إلى 30 mg/l نقول إن كمية الملوثات انخفضت بمقدار ٩٠%.

BOD: الطلب البيوكيميائي للأكسجين:Biochemical Oxygen Demand

- **تنقسم المركبات التي تستهلك الأكسجين بيولوجياً إلى قسمين:**
  - **المركبات العضوية الكربونية والتي تعتبر غذاء للبكتريا**
  - **المركبات الآزوتية القابلة للأكسدة إلى نترات مثل الأمونيا، النتريت بواسطة بكتريا النترجة.**
- يكون المطلوب عادة تحديد النوع الأول ولذلك يجب إضافة مواد مانعة للنترتة قبل تحديد قيمة الـ BOD.
- يعتمد تحديد الـ BOD على قياس الفرق في تركيزالأكسجين المنحل في العينة المدروسة في بداية ونهاية التجربة.

طريقة الإعتيان لتحديد الـ BOD

- تستخدم زجاجات عاتمة للاعتيان وإذا لم تكن عاتمة تلف بشريط لاصق من أجل عدم التعرض للضوء.
- تنظف جميع الأدوات المستخدمة للإعتيان ثم تغسل بماء العينة.
- تملأ الزجاجات بالعينة تماماً ويجب منع دخول فقاعات الهواء إليها ثم تغلق بإحكام.
- تحفظ العينات في مكان مظلم بدرجات حرارة منخفضة ويجب إجراء التجربة في أقل من ٢٤ ساعة.

طرق قياس الـ BOD

- يؤخذ حجم من العينة يتناسب مع كمية الـ BOD المتوقعة وتخفف العينة ذات قيم الـ BOD العالية بمحلول مشبع بالأكسجين.
- توضع العينة الممزوجة بمحلول التخفيف في زجاجة الـ BOD(سعة ٣٠٠ ml)
- تعدل قيم PH العينة لتكون بين 6.5 و7.5 بواسطة بعض المنظمات.
- تقاس قيمة الأكسجين المنحل في العينة بطرق تحديد DO.
- تغلق العينة بإحكام وتوضع في حاضنة ضمن درجة حرارة ٢٠ لمدة خمسة أيام.
- تخرج بعدها العينة وتقاس كمية الـ DO مجدداً.
- يكون الفرق بين قيمتي الـ DO البدائية والنهائية قيمة الـ BOD_5 في المحلول غير المخفف.

طرق قياس الـ BOD

- في بعض مراكز الأبحاث الصناعية تحدد قيمة الـ BOD آلياً باستخدام أجهزة تعتمد على فروق ضغط الهواء فوق العينة،
- حيث تستهلك البكتريا الأكسجين أثناء تفكيك الملوثات العضوية وتطلق غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يتم امتصاصه بواسطة ماءات البوتاسيوم الموجودة في حنجور قرب فوهة زجاجة الإختبار.
- يقوم الجهاز بتحويل الإنخفاض في ضغط الهواء عند فوهة العينة إلى قيمة BOD ويعبر عنها رقمياً.

COD: الطلب الكيميائي للأكسجين Chemical Oxygen Demand

- يستخدم مفهوم الحاجة الكيميائية للأكسجين COD للتعبير عن شدة تركيز المواد العضوية في المياه الملوثة ومياه الصرف الصحي.
- COD يعرف بأنه كمية الأكسجين اللازمة لأكسدة المواد العضوية في عينة ما كيميائياً (باستخدام المؤكسدات القوية) خلال فترة محددة إلى Co_2 وماء.
- أكثر المؤكسدات استخداماً لتحديد الـ COD هي البرمنغنات والديكرومات (برمنغنات البوتاسيوم وديكرومات البوتاسيوم وتعتبر أكثر المؤكسدات قوة).
- لا تتأكسد الأمونيا إلى نترات بفعل ديكرومات البوتاسيوم وبذلك يمكن ضمان عدم حدوث نترتة عند استخدامها لتحديد الـ COD.
- واحدة قياس الـ COD هي mg/l
- COD> BOD ويحدد COD بشكل أسرع من تحديد الـ BOD

التحكم بملوثات المياه السطحية

الأنهار (تأثير الملوثات المستهلكة للأكسجين على الأنهار)

١. يسبب إطلاق الملوثات المستهلكة للأكسجين سواء كانت عضوية أو غير عضوية في النهر إلى استنزاف الأكسجين المنحل فيه وتصبح الأحياء المائية في خطر في حال تجاوز الإستنزاف القيمة الحدية.

٢. من أجل التنبؤ بمدى استنزاف الأكسجين فإنه ضروري معرفة كمية الملوثات المتدفقة إلى النهر وكمية الأكسجين اللازمة لتفكيكها وتحليلها.

٣. كمية الملوثات العضوية المستهلكة للأكسجين تقاس عن طريق تحديد BOD

٤. يتأثر استهلاك الأكسجين خلال عملية تفكيك المادة العضوية بعدة عوامل سندرسها فيما يلي.

التحكم بملوثات المياه السطحية

الأنهار (تأثير الملوثات المستهلكة للأكسجين على الأنهار)

- كمية الأكسجين المستهلكة في أكسدة المادة العضوية في الزمن t تعرف بـ BODt:

$$BOD_t = L_0 - L_t = L_0 - L_0e^{-kt}$$

$$BOD_t = L_0(1-e^{-kt}) \ldots\ldots(1)$$

- تدعى المعادلة الأخيرة معادلة سرعة الـ BOD
- وتكتب على أساس اللغاريتم العشري كما يلي:

$$BOD_t = L (1-10^{-Kt}) \ldots\ldots (2)$$

L_0: تعرف بأنها BOD النهائي وهي كمية الأكسجين الأعظمية المستهلكة المحتملة عند التفكك الكلي للمادة العضوية ونصل إليها تقنياً عندما يصبح منحني الـ BOD مستقيماً وحسابياً عند تطابق الـ BOD_t مع L_0 مع التدوير إلى ٣أرقام بعد الفاصلة.

ملاحظة: k حرف صغير يكتب عند استخدام الأساس e والحرف Kكبيرة يكتب عند استعمال الأساس العشري في معادلة سرعة الـ BOD. [k= 2.303(K) صغيرة]

التحكم بملوثات المياه السطحية

الأنهار (تأثير الملوثات المستهلكة للأكسجين على الأنهار)

مثال:

إذا كان BOD_3 لمياه صرف صحي مساوياً 75mg/l وK تساوي 0.150 day-1، ما هو الـ BOD النهائي أو الأعظمي؟!

الحل: نلاحظ أن ثابت سرعة التفاعل أعطي على أساس عشري (K وليس k) لذلك نستخدم معادلة سرعة الـ BOD على أساس عشري:

$$75= L_0(1-10^{-(0.150)(3)})= 0.645L_0$$

$$L_0= 75/0.645= 116\ mg/l$$

في حال استخدام الأس الطبيعي: $k= 2.303(K)= 0.345$

$$75= L_0(1-e^{-(0.345)(3)}) = 0.645KL_0$$

$$L_0= 116\ mg/l$$

التحكم بملوثات المياه السطحية

الأنهار (تأثير الملوثات المستهلكة للأكسجين على الأنهار)

- بينما تعبر قيمة الـ BOD النهائي بشكل جيد عن تركيز المادة العضوية المتفككة لكنها لا تعطي فكرة عن السرعة التي يستهلك فيها الأكسجين في المياه المستقبلة.
- سرعة أو معدل استهلاك الأكسجين يرتبط بالـ BOD النهائي وكذلك بثابت سرعة الـ BOD (k).
- قيمة الـBOD النهائي تزداد طرداً مع زيادة تراكيز المادة العضوية القابلة للتفكك.
- قيمة k تتعلق بطبيعة الملوثات العضوية، قدرة المتعضيات على هضم المواد العضوية ودرجة الحرارة.

التحكم بملوثات المياه السطحية

الأنهار (تأثير الملوثات المستهلكة للأكسجين على الأنهار)

- تتغير درجة حرارة المصدر المائي المستقبل في مجال كبير خلال السنة ولا يجري تفكك المواد العضوية فيها بالشروط المخبرية (درجة حرارة ٢٠) وتغير درجة الحرارة يغير سرعة التفاعل كما يلي :

$$k_T = k_{20}(\theta)^{T-20} \quad (3)$$

T: درجة الحرارة الحالية

k_T: ثابت سرعة الـ BOD في درجة الحرارة الحالية، k20: ثابتة الـ BOD عند الدرجة ٢٠ C°

θ: معامل درجة الحرارة ويؤخذ 1.135 للحرارة بين ٤ و٢٠ C°، و 1.056 في درجات الحرارة بين ٢٠ و٣٠ C°

التحكم بملوثات المياه السطحية

الأنهار (تأثير الملوثات المستهلكة للأكسجين على الأنهار)

مثال:

تتدفق مياه عادمة في نهر درجة حرارته ١٠ $^{\circ}C$. اذا كان ثابت سرعة الـ BOD المحددة مخبرياً ضمن الشروط القياسية تساوي $0.115\ d^{-1}$ ، ما هو ثابت السرعة بدرجة حرارة النهر ؟

الحل:

تحدد ثابت سرعة الـ BOD للمياه العادمة في درجة حرارة النهر باستخدام المعادلة ٣:

$$k_{10} = 0.115(1.135)^{10-20}\ day^{-1}$$

التحكم بملوثات المياه السطحية

منحني انعطاف الـ DO أو منحني العجز الأكسجيني (DO sag Curve)

- تراكيز الأكسجين المنحل في النهر تعد مؤشراً لصحة النهر ولقدرته على التنقية الذاتية (تناسب طردي).
- زيادة تركيز الملوثات بكل أنواعها في الأنهار تؤدي إلى استنزاف الأكسجين المنحل وبالتالي إلى إضعاف قدرة الأنهار على التنقية الذاتية.
- إحدى أهم أدوات إدارة جودة مياه الأنهار هي المقدرة على تقييم قدرة النهر على امتصاص حمولة الملوثات التي تصب فيه.
- يتم ذلك من خلال تحديد منحني تراكيز الأكسجين المنحل DO في مجرى النهر بعد نقطة تدفق الملوثات فيه.
- هذا المنحني يسمى بمنحني انعطاف أو منحني تقوس أو منحني عجز الـ DO.

التحكم بملوثات المياه السطحية

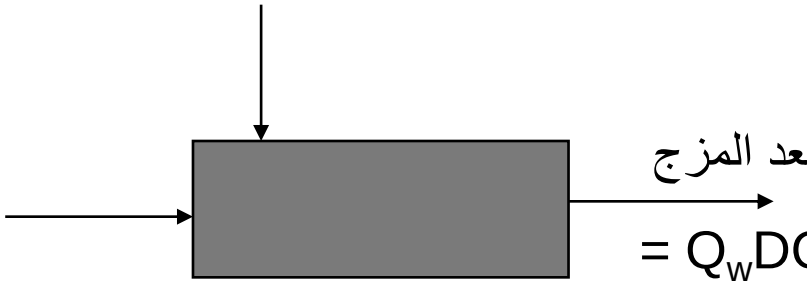
منحني انعطاف الـ DO أو منحني العجز الأكسجيني (DO sag Curve)

- يجب معرفة مصادر الأكسجين والعوامل التي تؤثر على تركيزه ووصفها بشكل كمي.
- عوامل استنزاف الأكسجين: الـ BOD الكربوني والنتروجيني لمياه الصرف النقطية، صب مياه تراكيز الـ DO فيها أقل من تراكيزالـ DO في مياه النهر، مصادر التلوث غير النقطية، تنفس الأحياء المائية.
- مصادر الأكسجين المنحل: التهوية الجوية وعملية التركيب الضوئي.

التحكم بملوثات المياه السطحية

منحني انعطاف الـ DO أو منحني العجز الأكسجيني (DO sag Curve)

كتلة DO في مياه الصرف =
Q_wDO_w



كتلة DO في النهر
$= Q_rDO_r$

كتلة DO في النهر بعد المزج
$= Q_wDO_w + Q_rDO_r$

Q_w: معدل التدفق الحجمي لمياه الصرف m^3/s

Q_r: معدل التدفق الحجمي للنهر m^3/s

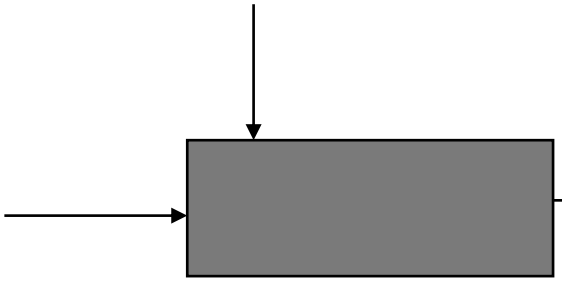
Do_w: تركيز الأكسجين المنحل في مياه الصرف g/m^3

DO_r: تركيز الأكسجين المنحل في النهر g/m^3

التحكم بملوثات المياه السطحية

منحني انعطاف الـ DO أو منحني العجز الأكسجيني (DO sag Curve)

كتلة BOD في مياه الصرف =
Q_wL_w



كتلة BOD في النهر
$= Q_rL_r$

كتلة BOD في النهر بعد المزج
$= Q_wL_w + Q_rL_r$

Q_w: معدل التدفق الحجمي لمياه الصرف m^3/s

Q_r: معدل التدفق الحجمي للنهر m^3/s

L_w: الـ BOD النهائي لمياه الصرف mg/ l

L_r: الـ BOD النهائي للنهر mg/l

التحكم بملوثات المياه السطحية

منحني انعطاف الـ DO أو منحني العجز الأكسجيني (DO sag Curve)

- تحسب تراكيز الـ DO والـ BOD في مزيج مياه الصرف ومياه النهر بالعلاقتين التاليتين:

المعادلة (١) $$DO = (Q_w DO_w + Q_r DO_r) / (Q_w + Q_r)$$

المعادلة (٢) $$L_a = (Q_w L_w + Q_r L_r) / (Q_w + Q_r)$$

La: الـ BOD النهائي للمزيج بعد المزج مباشرة

التحكم بملوثات المياه السطحية

الأنهار (تأثير الملوثات المستهلكة للأكسجين على الأنهار)

مثال:

لدينا مجرور لبلدة يصب بنهر و كانت نتائج القياس كالتالي :

البارامتر	مجرور البلدة	النهر
التدفق m3/s	0.05	0.5
DO mg/l	0.9	5.85

احسب تركيز ال DO بعد المزج بين النهر و مياه الصرف

الحل:

$$DO = (Q_w DO_w + Q_r DO_r)/ (Q_w + Q_r)$$

$$DO = (5.85*0.5 + 0.9*0.05)/ (0.5 + 0.05)=5.4\ mg/l$$

التحكم بملوثات المياه السطحية

منحني انعطاف الـ DO أو منحني العجز الأكسجيني (DO sag Curve)

- النقص أو(العجز) الأكسجيني Oxygen deficit: هو الفرق بين تركيز الإشباع والتركيز الحالي للأكسجين .

المعادلة (٣) $D = DO_s - DO$

D: النقص أوالعجز الأكسجيني، mg/l

DOs: تركيز الإشباع للأكسجين المنحل، mg/l

DO: التركيز الحالي للأكسجين المنحل، mg/l