Wastewater and sludge treatment

University of Mosul

College of Environmental Science and Technology

Department of Environmental Technology

Level: Fourth

Course Title: Wastewater and sludge treatment

مدرسي المادة:

د. اياد فضيل قاسم

د. رشا خالد صبري

م. روى مظفر يونس

References:

- Water and Wastewater Treatment and Disposal by Metcalf and Eddy
- Water Supply and Sewerage System by Mc Ghee and Steel

مادة الزهري

Lecture 1:

1.0 Fundamentals of Waste water

معالجة مطروحات (معالجة المياه الثقيلة)

إن المطروحات السائلة هي اي ماء او سائل يحتوي شوائب أو ملوثات على شكل مواد صلبة او سائلة او غازات او بشكل متداخل (مادة صلبة مع مادة سائلة او صلبة مع سائلة مع غاز وهكذا) بتراكيز مؤذية اذا طرحت الى البيئة

الشوائب بمياه المطروحات سببها وجود المواد الصلبة بالماء.

تقسم المواد الصلبة الى عالقة ومترسبة وذائبة وتكون على شكل مواد عضوية و لا عضوية، فالمواد العضوية تمثل الجزء (المتطايرة) والمواد اللاعضوية تمثل الجزء غير متطايرة

1.1 Types of Wastewater

انواع المطروحات السائلة (المياه الثقيلة):

تقسم بشكل عام الى ١- المنزلي (البلدي) Domestic (Municipal) Wastewater

2 -الصناعي Industrial Wastewater

مياه المطروحات المنزلية خصائصها تقريبا متشابهة لكن قوتها تختلف من مكان لأخر اما الصناعي فتختلف خصائصه باختلاف نوعية الصناعة لذا فان معالجة المياه الصناعية يكون بشكل منفصل وتعالج اعتمادا على خصائص تلك الصناعة أو ممكن معالجتها جزئيا ومن ثم يمكن ربطها مع شبكة المجاري.

تتألف مياه الفضلات البلدية بصورة عامة من ماء وجزء يسير جدا من شوائب على شكل مواد صلبة.

1.2 Concept of treatment مفهوم المعالجة

الغاية من المعالجة تخفيض او ازالة الملوثات الموجودة بالمياه الثقيلة بحيث تكون تراكيزها بمواصفات تقع ضمن حدود الطرح المعتمدة والمسموح بها.

1.3 Treatment method طرق المعالجة

١- فيزيائية ٢-كيميائية ٣-بايولوجية

1.3.1 Unit Operation

مصطلح يطلق على وسائل المعالجة التي تكون فيها القوى الفيزيائية هي المسيطرة (المتغلبة) Predominates وتدعى Unit Operation. طرق المعالجة الرئيسية التي تقع تحت هذا التصنيف هي على النحو أدناه:

١- الحجز المصفاتي Straining

٢- الخلط

٣- التلبيد

٤- الترسيب
٥- التطويف
٦- الترويق
والترويق هواحدى طرق تكييف الخبث التي من خلالها يتم غسل الخبث اما بالماء او بالماء الخارج من محطة المعالجة لتقليل الحاجة الى المواد الكيميائية ولتحسين الخواص الترسيبية او الترشيحية للمواد الصلبة كذلك يتم ازالة القاعدية المفرطة او الزائدة بهذه العملية.

٧- الترشيح بخلخلة الضغط
٨- التجفيف

1.3.2 Unit Processes

هي تلك العمليات التي من خلالها يتم إزالة وتخفيض تراكيز الملوثات إما بإضافة مواد كيميائية او استخدام الكتلة المجهرية الحية (المعالجة الحيوية) وتصنف الى:

Chemical Unit Process

١) التعادل الكيميائي
تستخدم عادة للسيطرة على خصائص مياه الفضلات او تصحيح قيمة الرقم الهيدروجيني للمنظومة .
٢) التخثير الكيميائي
تستخدم لتحسين إزالة المواد الغراونية المستقرة غيرالمترسبة مثل اضافة الشب إذ يعمل على كسر إستقرارية الجسيمات الفروانية داخل الماء من خلال التغلب على الجهود الكهربائية المحيطة بالجسيمات الغراونية (جهد نرنست وجهد زيتا) وتحويلها من حالة الاستقرار الى حالة اللاإستقرار ومن ثم تعزيز تجميعها بإستخدام وسائل التلبيد (Flocculation) ليسهل بعد ذلك ترسيبها.

٣) الترسيب الكيمياوي: لتحسين إزالة المواد العالقة ، الفسفور ، المعادن الثقيلة وال BOD تحت ظروف محددة.
٤)الاكسدة الكيميائية
وهي تعمل على ازالة الشحوم والامونيا و BOD و COD والسيطرة على الرائحة
٥) التعقيم الكيمياني
تستخدم لقتل الاحياء الممرضة بالجريان الداخل والخارج

Biological Unit Process

تصنف وفقا لطبيعة النمو الى نظام معالجة ذات النمو العالق و نظام معالجة ذات النمو الملتصق

ووفقا للتهوية الى هوائية ، لاهوائية ، اختيارية ، قليلة التهوية .

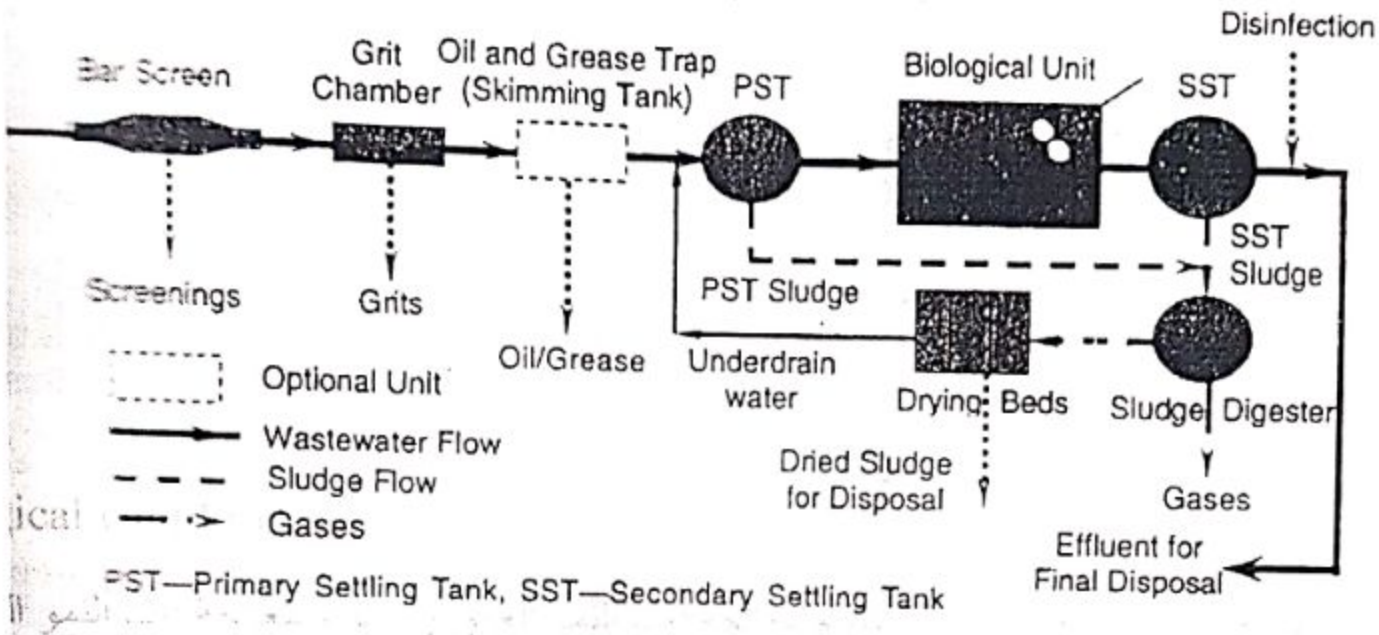


Figure 1.1 Schematic flow diagram of a typical conventional treatment plant.

1.4 : Treatment System

1.4.1 Preliminary Treatment System

- Sump and pump unit
- Approach channel
- Screen chamber
- Grit chamber
- Skimming tank

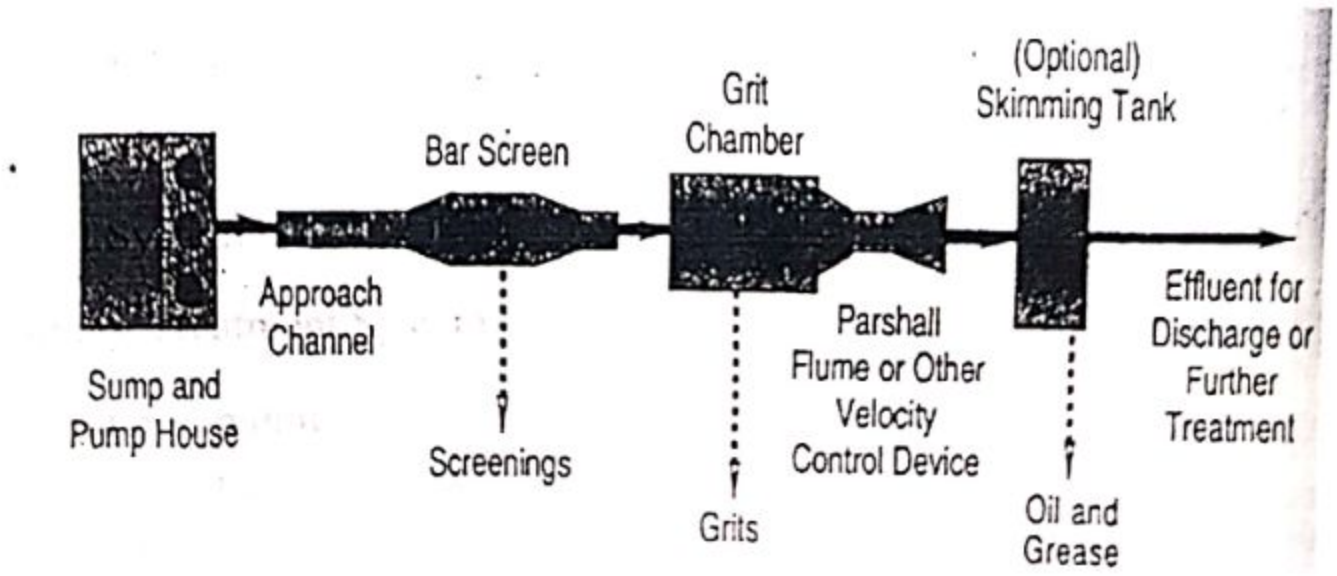


Figure 1.2 Flow diagram of a typical preliminary treatment system.

1.4.2 Primary Treatment System

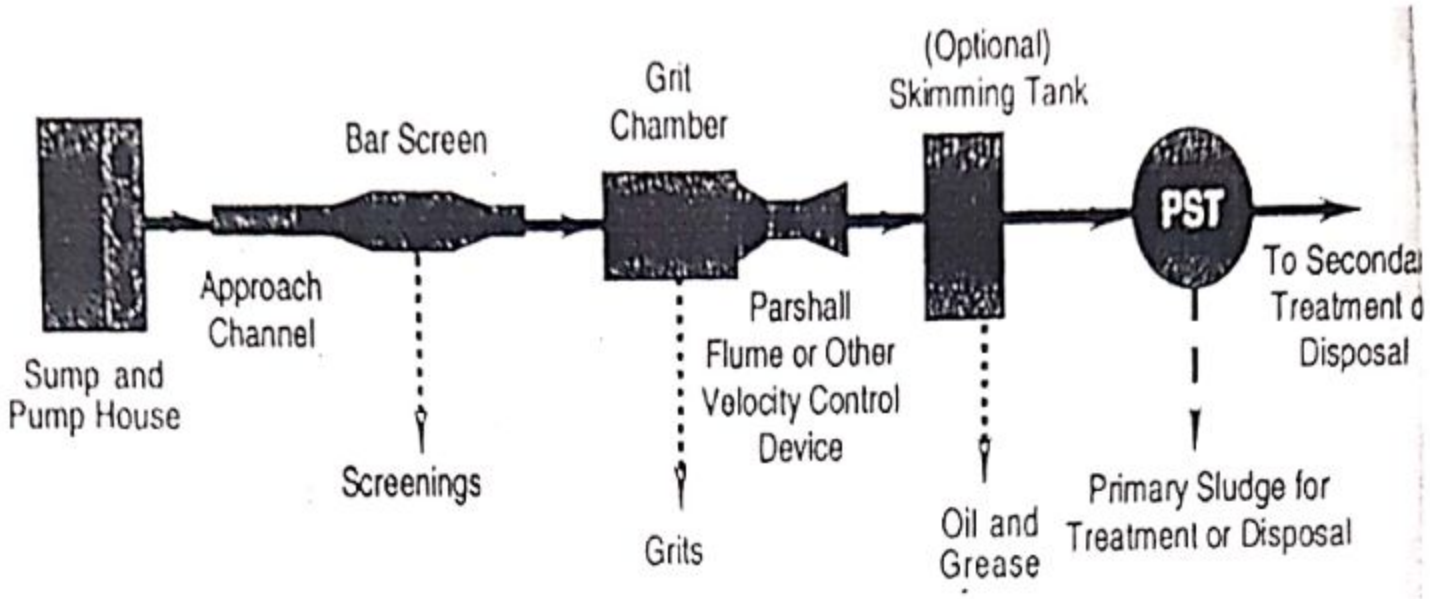
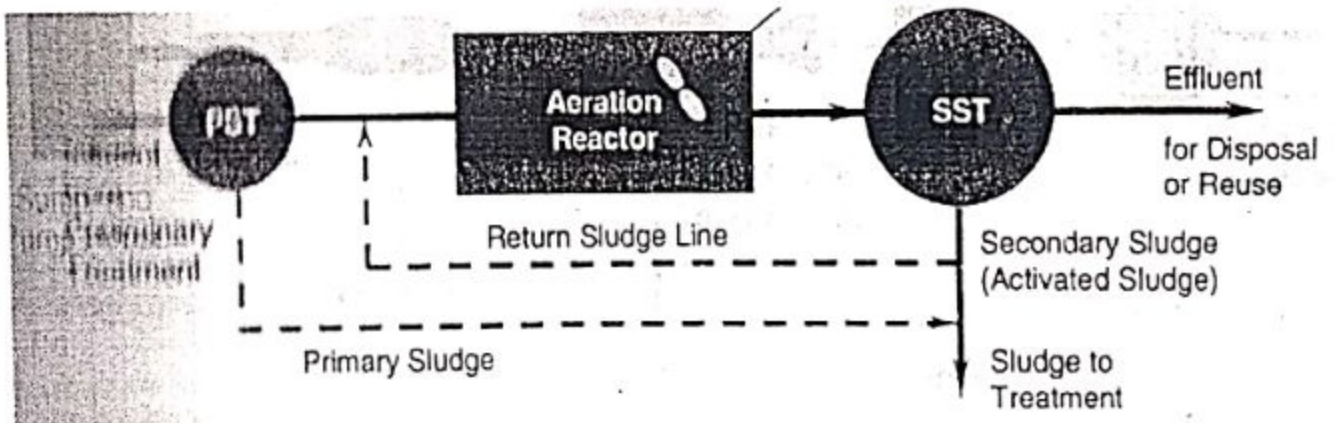
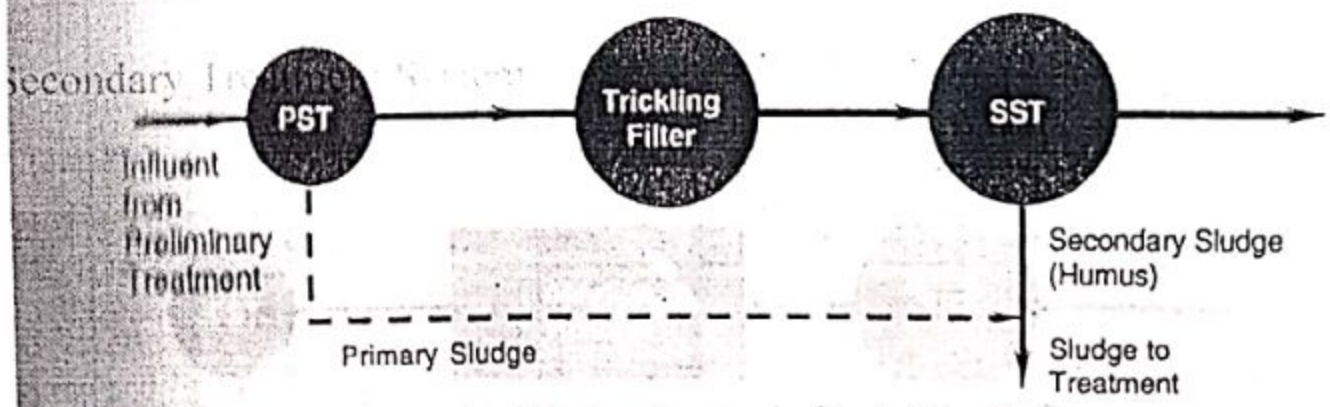


Figure 1.3 Schematic diagram of a typical primary treatment system.

1.4.3 Secondary Treatment System



(a) Secondary treatment system with activated sludge process



(b) Secondary treatment system with trickling filter

Figure 1.4 Schematic diagram of biological secondary treatment system.

1.4.4 Tertiary Treatment System

يتم اللجوء الى هذا النوع من المعالجة تحت الظروف التالية:

١- اذا كان مواصفات الدفق الخارج من محطة المعالجة الثانوية غير ملائمة للطرح النهائي ولا تلبي أو تحقق المواصفات المطلوبة للدفق الخارج من المحطة أو كانت نوعية الدفق الخارج من المحطة خارج حدود موصفات الطرح المطلوبة الى الاجسام المائية المستقبلة أو الطرح على الارض.

٢- 2- اذا اردنا تحسين كفاءة الازالة للدفق الخارج من محطة المعالجة الثانوية وكانت تراكيز المواد العضوية المتبقية أو المواد العالقة تحتاج الى تخفيض أو تقليل إضافي أو إزالة كلية بحيث يمكن إعادة إستخدام أو تدوير مياه المطروحات الخارجة من المعالجة الثانوية مرة ثانية (أي تلبي المواصفات المطلوبة لإعادة الاستخدام أو التدوير).

٣- إذا كان تراكيز المغذيات المتبقية كالنترات والفوسفات المسببة لظاهرة الاثراء الغذائي عالية بحيث لايمكن طرحها الى الاجسام المائية المستقبلة أو إعادة إستخدامها أو تدويرها.

التقنيات المستخدمة بالمعالجة الثالثية هي:

١-الترشيح بالأغشية الدقيقة
٢-النترجة وعكس النترجة
٣-، التبادل الايوني
٤-عمليات البيولوجية وكيمياوية
٥-الضغط التنافذي العكسي
٦-الديلزة الكهربائية
٧-الترسيب الكيمياوي
٨- الامتزاز

1.5 Selection of Treatment System

يعتمد اختيار نظم المعالجة على

١- درجة المعالجة المطلوب تحقيقها بحيث تكون مواصفات او نوعية الماء المعالج ملائم

لمواصفات الطرح ومن العوامل الاخرى:

٢- توفر رأس المال والأرض

٣- طوبوغرافية المنطقة
٤-- توفر المشغلين المهرة والمعدات والمكائن لإدامة وصيانة وتشغيل المحطة.

Lecture 2:

2.2 Flow Rates and Their Fluctuations (معدلات الجريان وتذبذباتها)

يوجد تغاير كمي ونوعي في مياه الفضلات وهذا التغاير ساعي وعلى مدار اليوم (يومية) وأسبوعي وفصلي ومعدل الجريان هو معدل لكمية او حجم المياه التي يتم تجميعها خلال فترة زمنية محددة ومعلومة أو معدل لسرعة الجريان خلال مقطع عمودي على اتجاه الجريان.

2.2.1 Daily Variation (التغاير اليومي)

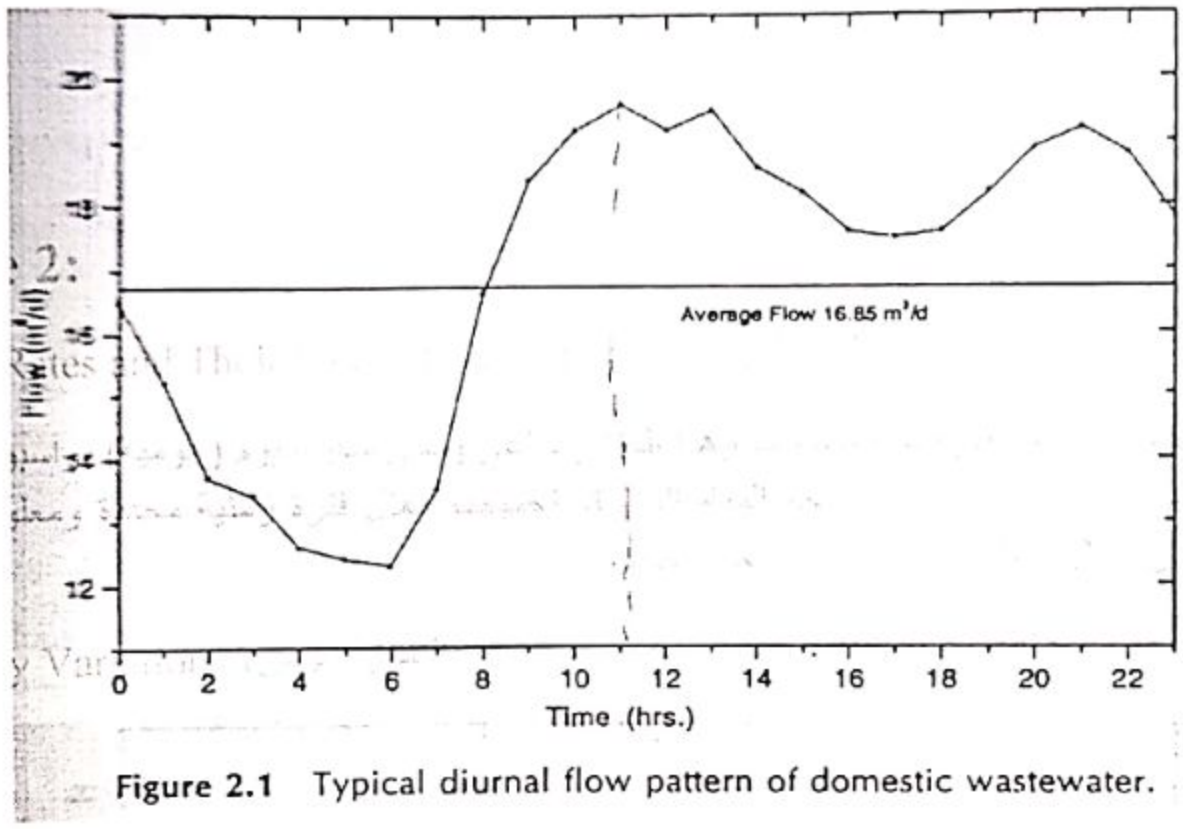


Figure 2.1 Typical diurnal flow pattern of domestic wastewater.

$$Qav.\,\text{Simple} = \frac{\text{مجموع الجريانات خلال 24 ساعة}}{\text{عدد الساعات}}$$

2.2.2 Seasonal Variation

التغيرات الفصلية ، وتختلف باختلاف فصول السنة ففي العراق يكون الاستهلاك المائي صيفا أعلى من بقية فصول السنة وبالتالي فإن كميات مياه الفضلات الناتجة سوف تكون أكبر.

2.2.3 Maximum and Minimum Fluctuations

*يجب ان يكون الحد الادنى للجريان مناسب للتغلب على مشاكل ترسب المواد العضوية في وحدات المعالجة الابتدائية وكذلك عدم حصول كسح للمواد الخاملة ولضمان العمل بالكفاءة المطلوبة لوحدات المعالجة

2.2.4 Definitions Of Various Flow Rate

Q_d : معدل الجريان اليومي (م^3/يوم)

$Q_{avg\ (D)}$: كمية الجريان الكلية الناتجة خلال يوم كامل (٢٤ ساعة) (م^3/يوم)

Q_{avg} : معدل الجريان اليومي مبني على معلومات سنوية (م^3/يوم)

Q_{peak} : معدل الجريان اليومي الاعظم ومبني على ملاحظات سنوية (م^3/يوم)

$Q_{min.}$: معدل الجريان اليومي الادنى ومبني على اساس ملاحظات سنوية (م^3/يوم)

$Q_{peak(H)}$: معدل الجريان الساعي الاعظم مبني على ملاحظات سنوية (م^3/ساعة)

$Q_{min.(H)}$: معدل الجريان الساعي اليومي الادنى (م^3/ساعة)

$Q_{avg(H)}$: معدل الجريان الساعي اليومي (م^3/ساعة)

ملاحظة : وحدة مليون لتر باليوم (MLD) تكافئ ١٠٠٠ م^3/يوم

2.2.5 Useful Ratio:

معامل الذروة (Peaking Factor): عبارة عن النسبة بين الجريان الاعظم الى معدل الجريان ويتراوح عادة ما بين (١.٥-٣)

معامل الادنى (Minimum Factor): عبارة عن النسبة بين الجريان الادنى الى معدل الجريان ويتراوح عادة ما بين (٠.١-٠.٣)

ملاحظة : اغلب وحدات المعالجة تصمم على Q_{avg} ماعدا احواض المعادلة واحواض التماس تصمم على اساس الجريان الاعظم (Max Flow) اما حوض ازالة الرمال تصمم على اساس الجريان الادنى لضمان عدم ازالة المواد العضوية العالقة.

Table 2.3 Flow rate applications to wastewater treatment plant design

Flow rate (to be used in design)	*Application in the design of treatment plant*
Maximum daily flow/Peak flow, $Q_{max} = Q_{peak}$	Hydraulic retention time of equalization and chlorine-contact basins, sizing of facilities of unit operations and processes
Average daily flow, Q_{avg}	Plant capacity, sizing of treatment units, pumping costs, sludge production estimates, chemical costs, organic loading rates
Minimum daily flow, Q_{min}	Sizing of conduits (where solids deposition might occur at minimum flow rates)
Peak hourly flow, $Q_{peak(h)}$	Collection and interceptor sewers, pumping stations, flow meters, grit chambers, sedimentation tanks, chlorine-contact tanks
Minimum hourly flow, $Q_{min(h)}$	Processes, flow meters, trickling filters with recirculation, pumping of wastewater

2.3 Concept Of Mass Load : الحمل الكتلي

Mass Pollution Load = Strength (C) (mg/L) X Flow Rate (Q) (m^3/d ay)

Weighted Average Concentration معدل التركيز الموزون

$$C_W = \frac{\sum_{i=1}^{n} CiQi}{\sum_{i=1}^{n} Qi}$$

C_w : معدل التركيز الموزون

n : عدد القياسات (الملاحظات)

Ci : i معدل تركيز الملوثات لمياه الفضلات عند الزمن

Qi : i معدل الجريان عند الزمن

EXAMPLE 2.1

The hourly variation in wastewater flow for a given town along with corresponding concentrations of BOD and SS are given in Table 2.4. Compute the average and weighted average concentrations of BOD and SS, average hourly flow rate and mass-loading data.

Table 2.4 Example 2.1

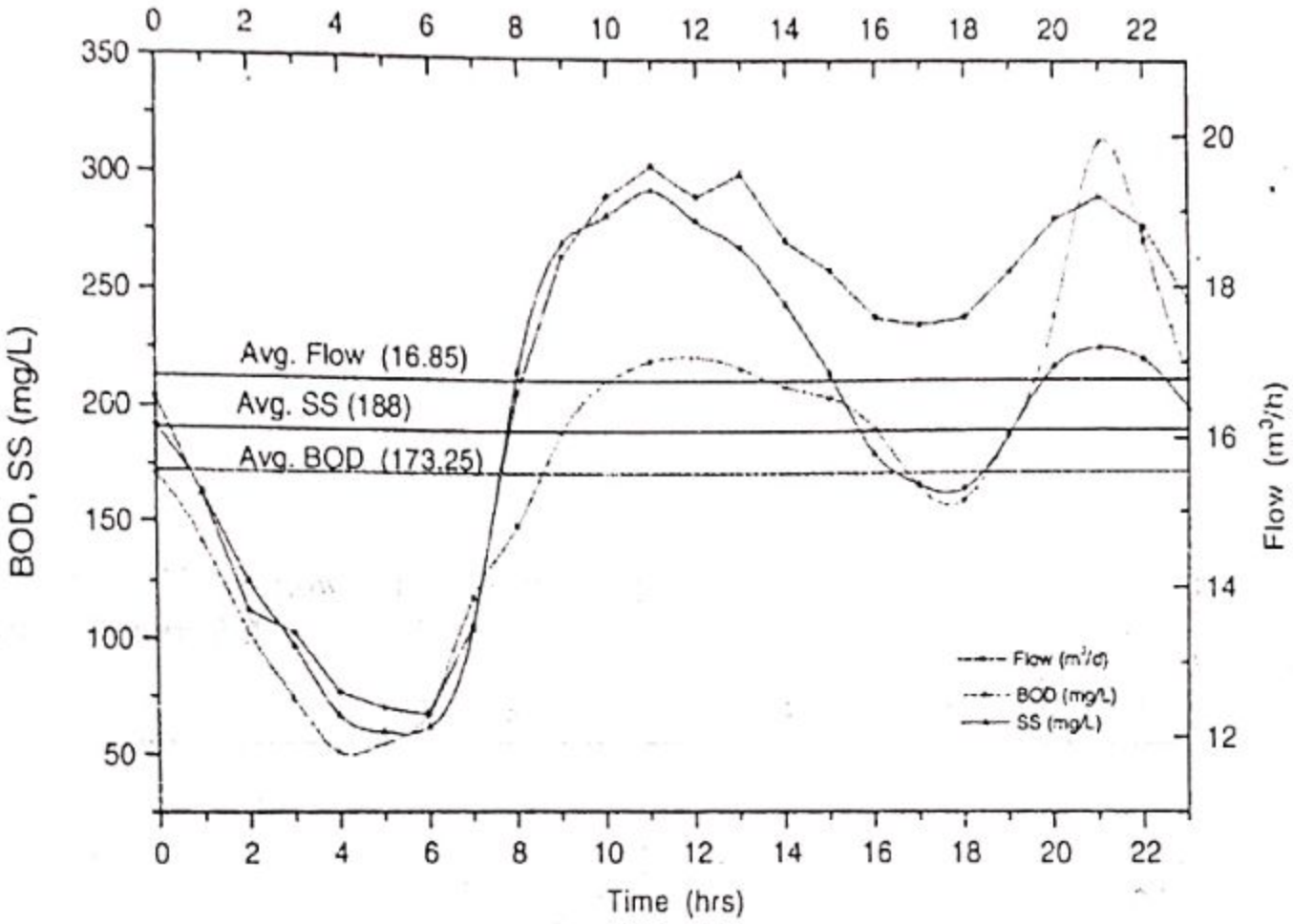
Time (Hours)	*Flow* (m^3/h)	*BOD* (mg/L)	*SS* (mg/L)	*Time* (Hours)	*Flow* (m^3/h)	*BOD* (mg/L)	*SS* (mg/L)
0	16.50	171	192	12	19.20	223	281
1	15.20	142	163	13	19.50	218	269
2	13.70	103	125	14	18.60	210	246
3	13.40	74	97	15	18.20	205	245
4	12.60	51	67	16	17.60	192	181
5	12.40	55	60	17	17.50	166	167
6	12.30	69	62	18	17.60	160	165
7	13.50	118	105	19	18.20	189	189
8	16.60	149	216	20	18.90	240	218
9	18.40	190	271	21	19.20	315	226
10	19.20	212	283	22	18.80	272	221
11	19.60	221	294	23	17.80	213	200

Solution: For the given data prepare the computation data table as shown in Table 2.5 for the determination of averages and mass-loading data.

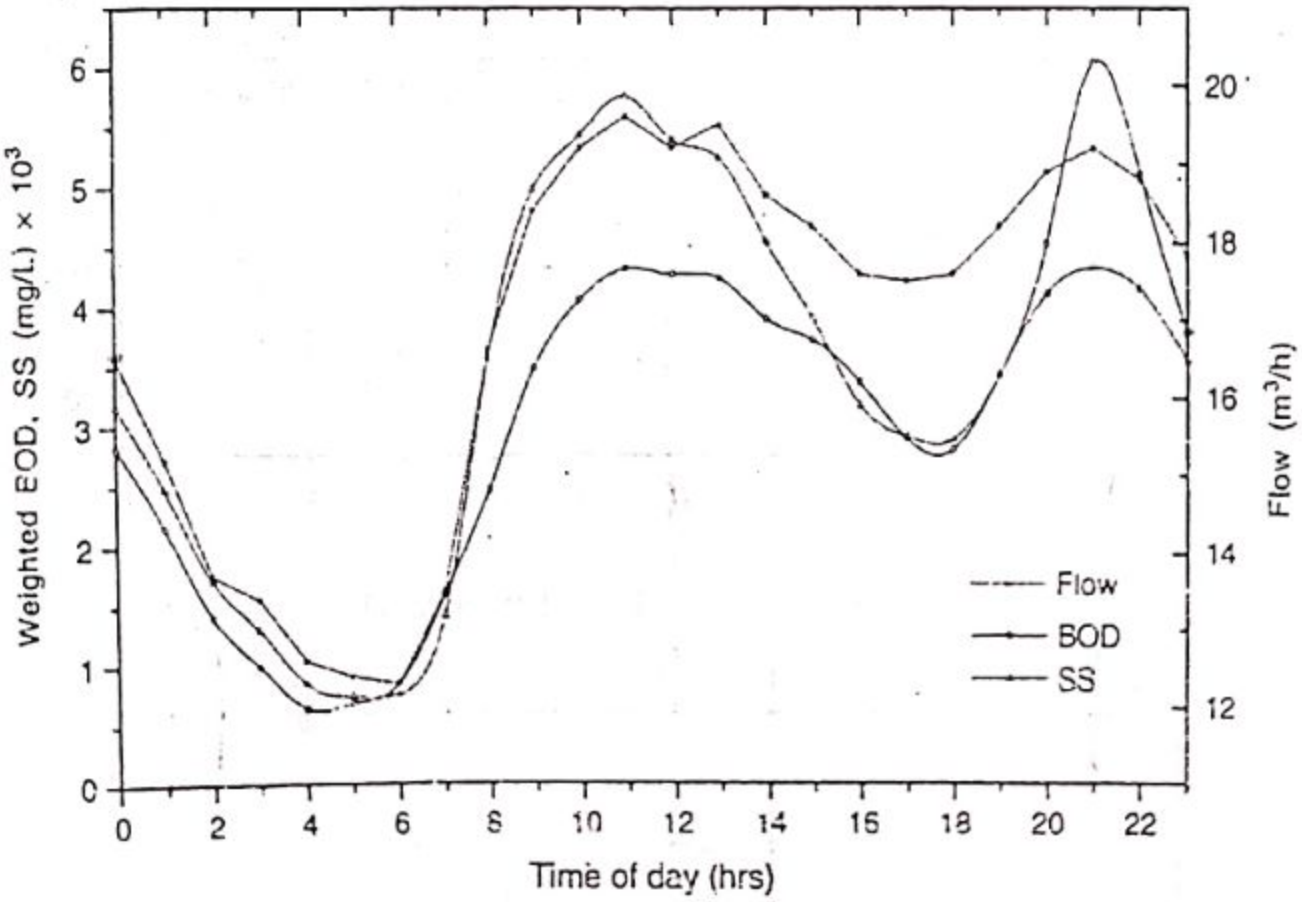
Table 2.5 Computation table for mass load determination

Time (Hours)	*Flow* (m^3/h)	*BOD* (mg/L= g/m^3)	*Suspended solids* (mg/L = g/m^3)	*BOD* (g/m^3) × *Flow* (m^3/h) × (1/1000) = (kg/h)	*Suspended solids* (g/m^3) × *Flow* (m^3/h) × (1/1000) = (kg/h)
0	16.5	171	192	2.822	3.168
1	15.2	142	163	2.158	2.478
2	13.7	103	125	1.411	1.713
3	13.4	74	97	0.992	1.300
4	12.6	51	67	0.643	0.844
5	12.4	55	60	0.682	0.744
6	12.3	69	62	0.849	0.763
7	13.5	118	105	1.593	1.418
8	16.6	149	216	2.473	3.586
9	18.4	190	271	3.496	4.986
10	19.2	212	283	4.070	5.434
11	19.6	221	294	4.332	5.762
12	19.2	223	281	4.282	5.395
13	19.5	218	269	4.251	5.246
14	18.6	210	245	3.906	4.557
15	18.2	205	215	3.731	3.913
16	17.6	192	181	3.379	3.186
17	17.5	166	167	2.905	2.923
18	17.6	160	165	2.816	2.904
19	18.2	189	189	3.440	3.440
20	18.9	240	218	4.536	4.120
21	19.2	315	226	6.048	4.339
22	18.8	272	221	5.114	4.155
23	17.8	213	200	3.791	3.560
Total	404.5	4158	4512	73.719	79.931
Simple average	16.85	173.25	188	3.072	3.330
Weighted average [using Eq. (2.1)]				0.182	0.198

Using the above flow data, plot the graphs of BOD and SS variation versus time as shown in Figure 2.2.



(a) Variation of flow, BOD and SS with time



(b) Variation of flow, weighted BOD and SS with time

Figure 2.2 Diurnal variation in flow, BOD and SS.

From the computation (Table 2.5), we have average values:

$$Q_{avg} = 16.85\ m^3/h,\ BOD_{avg} = 173.25\ mg/L \text{ and } SS_{avg} = 188.00\ mg/L$$

Again from Table 2.5 and Figure 2.2(b), we have, concentration of weighted average BOD, i.e.

$$BOD_{avg(w)} = \frac{\text{total load}}{\text{total flow}} = \frac{73.719\ (kg/h)}{404.0\ (m^3/h)} = 0.182\ kg/m^3 = 182.0\ g/m^3 = 182.0\ mg/L$$

and concentration of weighted average SS, i.e.

$$SS_{avg} = \frac{\text{total load}}{\text{total flow}} = \frac{79.931\ (kg/h)}{404.0\ (m^3/h)} = 0.198\ kg/m^3 = 198.0\ g/m^3 = 198.0\ mg/L$$

From this analysis, it is seen that the unit will be under-loaded by 5.1%, i.e. $\left[\left(\frac{182 - 173.25}{173.25}\right) \times 100\right]$ if we design on simple average BOD basis instead of weighted average BOD.

Lecture 3:

2.3.1 Variation in Mass Loading التغاير في الحمل الكتلي

١. النسبة بين الحمل الكتلي الاعظم الى معدل الحمل الكتلي.
٢. النسبة بين الحمل الكتلي الاعظم الى الحمل الكتلي الادنى.
٣. النسبة بين معدل الحمل الكتلي الى الحمل الكتلي الادنى.

2.4 Concept of Design Criteria:

2.4.1 Detention Time or Hydraulic Retention Time, (HRT)

زمن البقاء الهيدروليكي : هو عبارة عن طول الفترة الزمنية التي تقضيها جزيئة المائع داخل المفاعل او يعرف على انه الزمن اللازم لملئ الحوض.

HRT= volume / Q

ملاحظة: من خلال زمن البقاء نستطيع ايجاد حجم الوحدات وابعادها.

*احياناً زمن البقاء لجزيئات المائع داخل الخزان او الحوض اقل من الزمن التصميمي مما يسبب حدوث تيارات دوامة قصيرة short circuited flow or eddy current

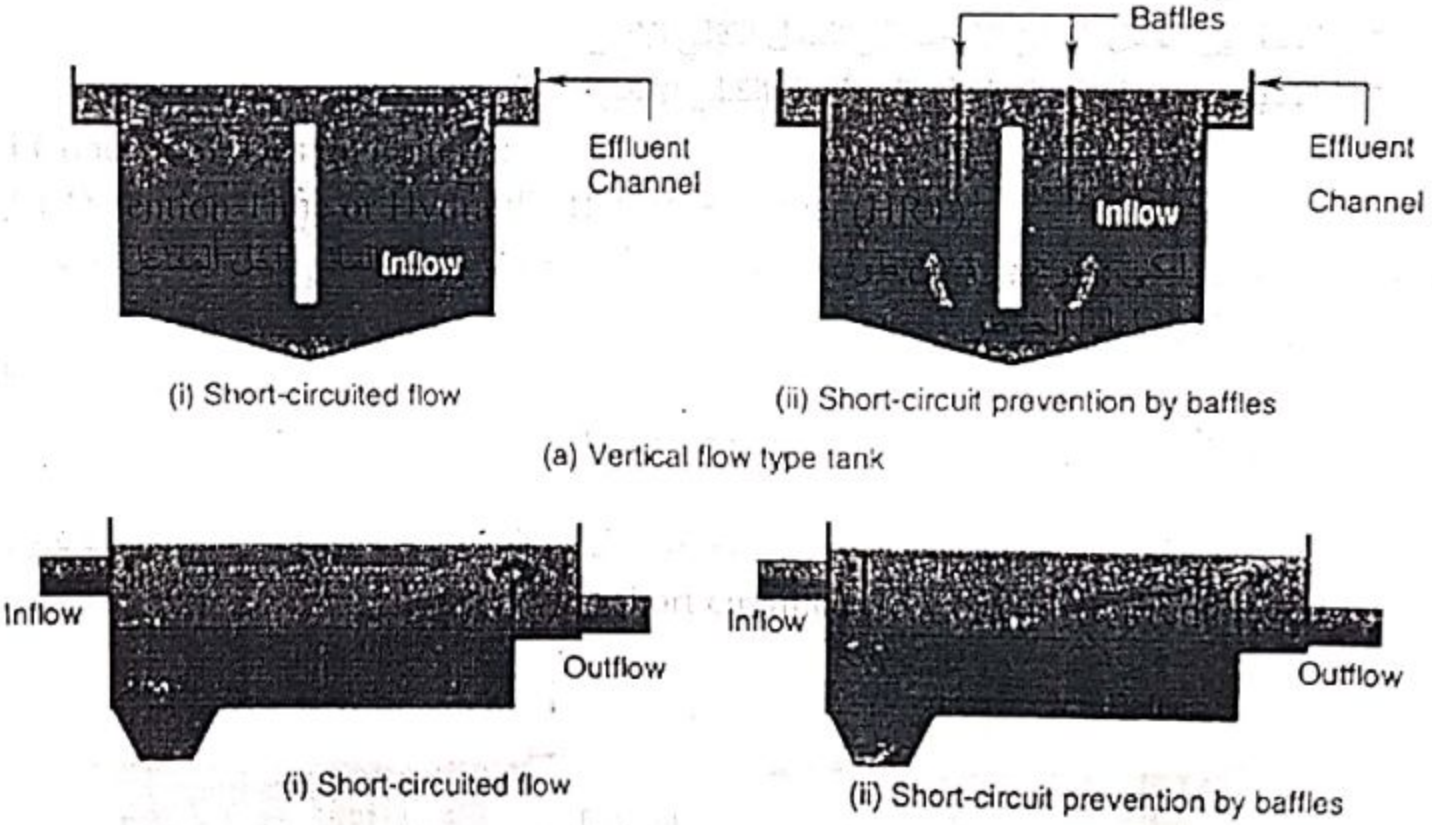


Figure 2.4 Schematic diagram for concept of short-circuit of flow.

*لحل مشكلة حدوث التيارات الدوامة القصيرة التي تحدث بسبب زمن البقاء القليل لجزيئات المائع الذي يمنع بقائها في الحوض هو وضع حواجز عند المدخل والمخرج كما مبين بالشكل ٢.٤

EXAMPLE 2.2

A treatment unit is 1.5 m wide, 20 m long and has a wastewater depth of 2.0 m in it. If the wastewater flow through the tank is 0.5 m^3/s, calculate the detention time.

Solution: Flow of wastewater, Q = 0.5 m^3/s (given)

= 30 m^3/min

The volume of treatment unit, V = 1.5 × 20 × 2.0

= 60 m^3

∴ Detention time, t = V/Q (as $V = Q \times t$)

= 60(m^3)/30(m^3/min)

= 2.0 min

2.4.2 Flow Throw Velocity or Horizontal Velocity (Vh) السرعة الافقية

اي جسيم في المائع داخل الحوض يمتلك سرعتان هما سرعة افقية وسرعة شاقولية

$$Vh = \frac{\text{المسافة المقطوعة}}{\text{الزمن المستغرق}}$$

*تعتبر السرعة الافقية من المحددات التصميمية المهمة حيث يستفاد منها في ايجاد مساحة المقطع العمودي على الجريان وكذلك في ايجاد طول الحوض المستطيل الشكل

EXAMPLE 2.3

A floating stick travels a distance of 15 m in 30 seconds in a reactor tank having 2.0 m width and 1.5 m depth. Determine the flow through velocity.

Solution: Distance travelled, L = 15.0 m

Time taken, t = 30 s

∴ Flow through velocity, $v_h = \frac{L}{t} = \frac{15}{30}$ = 0.5 m/s

2.4.3 Settling Velocity (Vs) سرعة الترسيب

*تعتبر سرعة الترسيب من المحددات التصميمية المهمة وتستخدم في ايجاد عمق وحدة المعالجة ، وفي التحقق من كفاية طول او قطر الخزان في ازالة الجسيمات قبل وصولها منطقة الخروج

EXAMPLE 2.4

A grit chamber has a wastewater depth of 0.9 m. Calculate the time required by a 0.2-mm sand particle to settle at the bottom. Also compute the length of the grit chamber if the flow through velocity is 0.3 m/s.

Solution: Assuming that the 0.2 mm sand particle settles at a rate of 2.3 cm/s,

The time required for settling, $t = D/v_s$ (as $v_s = D/t$)

$= [0.9 \times 100]$ (cm)/2.3 (cm/s)

$= 39.13$ s

The distance L, that the particle will travel in this time is

$v_h \times t = 0.3 \times 39.13$

$= 11.74$ m

≈ 11.75 m

So, for a 0.2-mm particle carried in flow of 0.3 m/s, the net or effective length of a grit chamber should be at least 11.75 m.

2.4.4 Surface Loading Rate (SLR) or Over Flow Rate (OFR)

or Hydraulic Loading Rate (HLR)

معدل الحمل السطحي : هو حجم مياه الفضلات (المطروحات) المطبقة او الموضوعة على وحدة المساحة السطحية لحوض المعالجة يوميا او هو معدل الجريان لكل وحدة مساحة سطحية ووحدة قياسه م^3/م^2/يوم

$$SLR = \frac{\text{flow rate}}{\text{surface area}}$$

*SLR = Vs

ملاحظة : من المعادلة يتبين بان SLR لايعتمد على عمق الحوض بل يعتمد على

١ ـ التصريف المطبق

٢ـ المساحة السطحية

ولكن من الضروري جدا توفير عمق مناسب لفصل الجسيمات عن السائل ومن ثم تجميعها

EXAMPLE 2.5

Assuming the diameter of a clarifier to be 20.0 m and the wastewater flow rate 10.0 MLD, calculate the detention time and surface loading rate of the clarifier having a wastewater depth of 2.5 m.

Solution: The surface area of the clarifier is given by

$$A_s = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$= \frac{\pi \times 20^2}{4} = 314.16 \text{ m}^2$$

Now, surface loading rate,

$$\text{SLR} = \frac{\text{flow rate}}{\text{surface area of the tank}}$$

$$= \frac{10 \times 10^3 (\text{m}^3/\text{d})}{314.16 (\text{m}^2)} \quad (\text{As } 10 \text{ MLD} = 10 \times 10 \text{ m}^3/\text{d})$$

$$= 31.8 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d or m/d}$$

Now, the volume of the tank, $V = Q \times t$

$\therefore$ Detention time, $t = \frac{V}{Q}$

or $$t = \frac{A_s \times D}{Q} \quad (\text{As } V = A_s \times D)$$

$$= \frac{314.16 (\text{m}^2) \times 2.5 (\text{m})}{10 \times 10^3 (\text{m}^3/\text{d})}$$

$$= 0.07854 \text{ day}$$

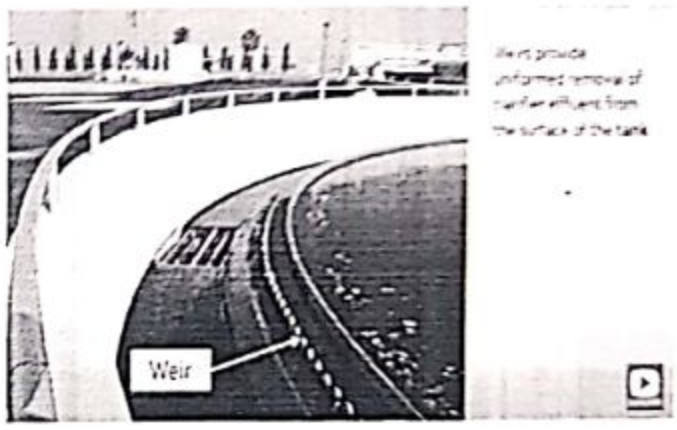
$$= 1.885 \text{ hours} \approx 2.0 \text{ hours}$$

Lecture 4:

2.4.5 Weir loading rate (WLR) OR Weir Over flow Rate معدل الحمل للسد

عبارة عن كمية مياه المقطلات التي تعبر من خلال وحدة طول السد ووحدته م^3/م.يوم (التصريف مقسوما على طول السد).

Weir loading rate = flow rate / total weir length



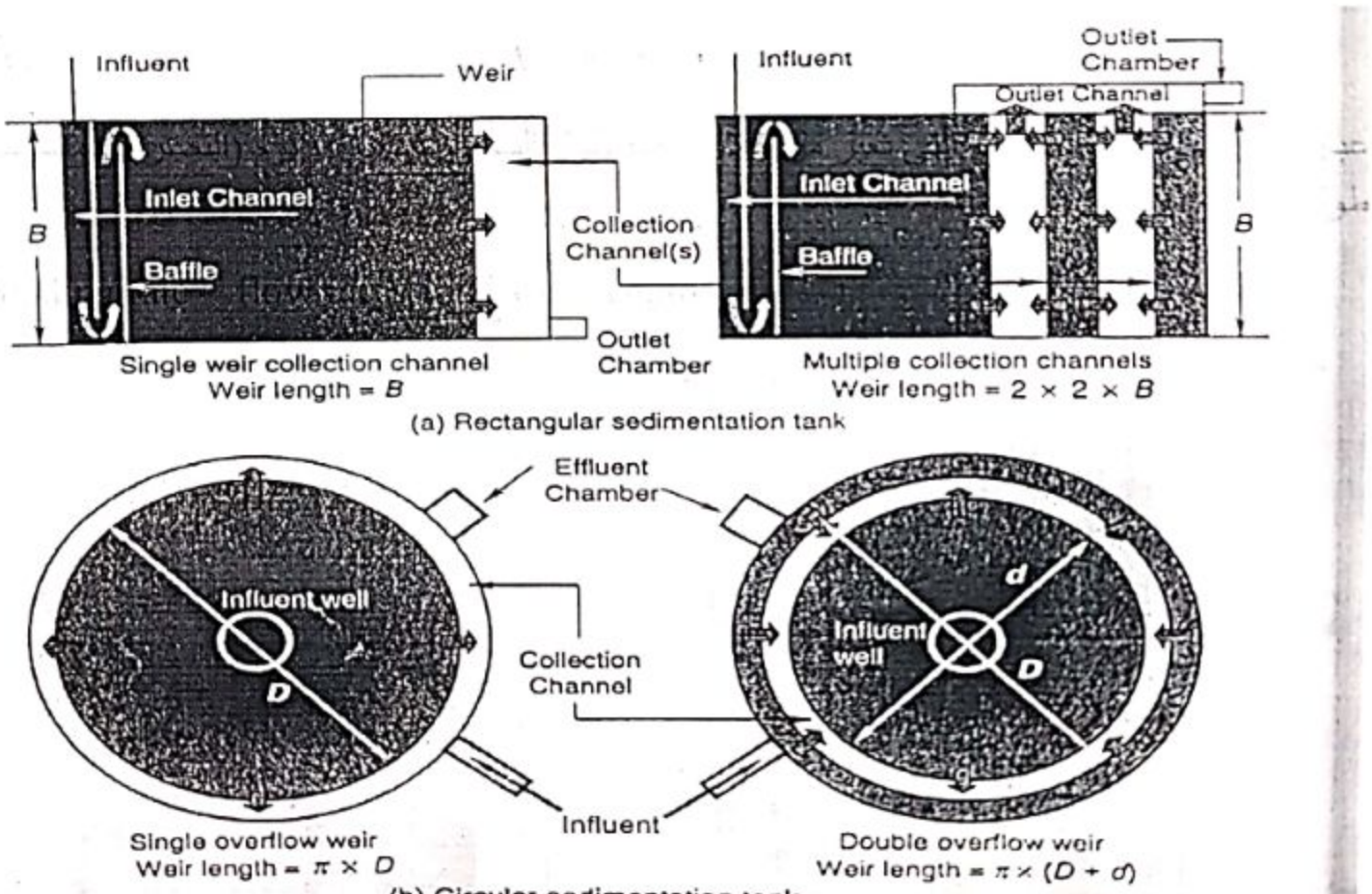


Figure 2.7 Methods of increasing weir length.

EXAMPLE 2.7

A rectangular sedimentation tank has a length of 10.0 m and a width of 5.0 m. For a flow rate of 1.0 MLD, calculate the weir loading rate.

Solution: Normally in a rectangular tank the wastewater flow is along the length of the tank, so the weir overflow will be over the width of the tank. Thus, in this case, the weir length is 5.0 m.

Now, $1.0\ \text{MLD} = 1.0 \times 10^6\ \text{L/d}$

$= 1.0 \times 10^3\ \text{m}^3\text{/d}$ (∵ $1\ \text{m}^3 = 1000$ litres)

$$\text{Weir loading} = \frac{1.0 \times 10^3 (\text{m}^3/\text{d})}{5.0\ (\text{m})}$$

$= 200.0\ \text{m}^3\text{/m-d}$

2.4.6 Organic Loading or Volume Loading : الحمل العضوي

الحمل العضوي : هو كمية المواد العضوية معبراً عنها على شكل المتطلب البيولوجي للأوكسجين BOD او المتطلب الكيميائي للاوكسجين COD والتي تم تطبيقها على الوحدة المساحة السطحية اوعلى وحدة الحجم لحوض المعالجة يومياً. *ويعتبر من المحددات التصميمية المهمة في وحدات المعالجة البايولوجية الثانوية

$$OLR = \frac{\text{applied Kg of BOD/day}}{volume\ of\ the\ tank\ m3}$$

$$OLR = \frac{applied\ Kg\ BOD/day}{surface\ area\ m2}$$

EXAMPLE 2.8

A trickling filter has a diameter of 20 m and a liquid depth of 2.5 m. Calculate the organic loading rate for an influent of 10.0 MLD having 220 mg/L BOD.

Solution: Organic load in kg of BOD/day = concentration × flow

$$= 220 \text{ (mg/L)} \times 10^{-6} \text{ (kg/mg)} \; 10 \times 10^{6} \text{ (L/d)}$$

$$= 2200 \text{ kg/d}$$

and the tank volume is

$$= \pi/4 \times (\text{diameter})^2 \times \text{depth}$$

$$= \pi/4 \times (20 \text{ m})^2 \times (2.5 \text{ m}) = 785.40 \text{ m}^3$$

$$\therefore \text{ Organic loading rate} = \frac{\text{applied kg of BOD/day}}{\text{volume of the tank (m}^3\text{)}}$$

$$= 2200/785.4$$

$$= 2.80 \text{ kg BOD per day/m}^3 \text{ of tank volume}$$

2.4.7 Food-Microorganisms Ratio (F/M) نسبة الغذاء الى الاحياء المجهرية

هي العلاقة بين الغذاء المتوفر F والاحياء المجهرية (M). ويعبر عن الغذاء دائما بالمواد العضوية على شكل BOD او COD وبوحدة كغم/يوم الموجودة بمياه الفضلات والمطبقة على المفاعل اما الاحياء المجهرية فهي الكتلة الحية الكلية التي يتم ادامتها داخل المفاعل لاكسدة المواد العضوية الداخلة للمفاعل وتحويلها الى مواد ثابتة ووحدة قياس F/M هي مقلوب وحدة الزمن مثلا (١/يوم)

$$\frac{F}{M} = \frac{organic\ load\ Kg/day}{mass\ of\ microorganism\ Kg}$$

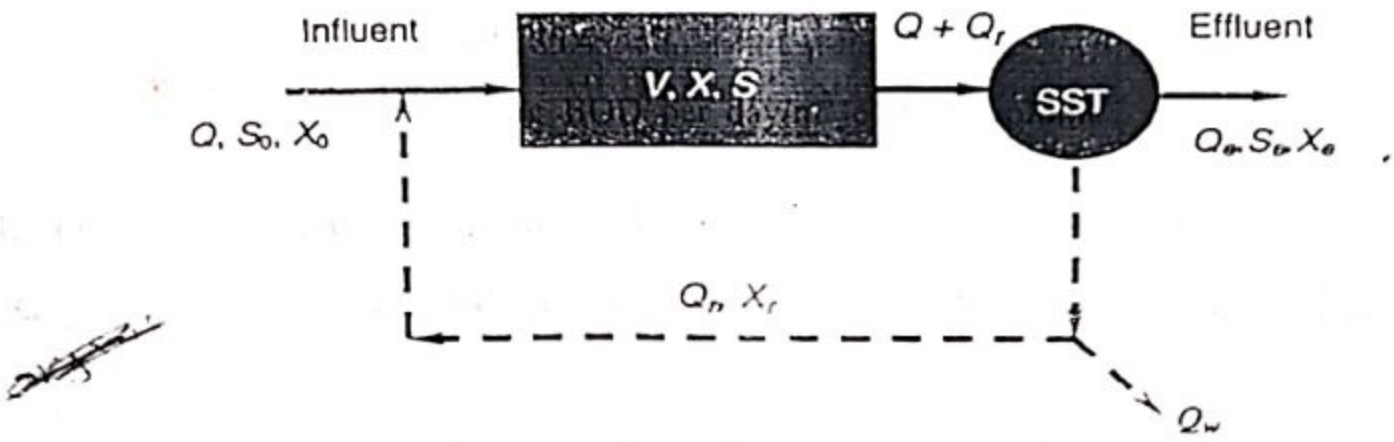


Figure 2.8 Schematic diagram of an activated sludge process.

EXAMPLE 2.9

Raw sewage with BOD of 220 mg/L is applied to a conventional sewage treatment plant based on activated sludge process. If the primary treatment units remove 25% of the BOD, determine the MLVSS to be maintained in the reactor to control an *F/M* ratio of 0.6, assuming a wastewater flow rate of 0.5 MLD.

Solution: As influent BOD is 220 mg/L and 25% of it is removed in primary treatment, 75% of influent BOD enters the aeration tank of the activated sludge process system. Therefore, BOD applied to the activated sludge process system is

$$0.75 \times 220 \text{ mg/L} = 165 \text{ mg/L}$$

and the total kg of BOD entering the unit per day is

$$\text{BOD} \times \text{flow/day} = 165 \times 10^{-6} \text{ (kg/L)} \times 0.5 \times 10^{6} \text{ (L/d)}$$

$$= 82.5 \text{ kg/d}$$

Now, as the *F/M* ratio in the unit is 0.6, i.e. for every 0.6 kg of BOD entering the unit, we require 1 kg of MLVSS to be maintained in the reactor,

MLVSS to be maintained in the reactor is

$$= 82.5 \text{ (kg/d)}/0.6(\text{d}^{-1}) \qquad (F/M = 0.6 \text{ or } M = F/0.6)$$

$$= 137.5 \text{ kg}$$

Lecture 5:

2.4.8 Mean Cell Residence Time , Θ_c or Solid Retention Time (SRT) زمن بقاء المواد الصلبة

هو المعدل الزمني بالايام الذي يتم خلاله احتجاز الكتلة الحية او المواد الصلبة البايولوجية داخل المفاعل او النظام ويسمى ايضا زمن احتجاز المواد الصلبة (SRT)

$$MCRT = \frac{biomass\ in\ reactor}{biomass\ removed\ from\ reactor\ system}$$

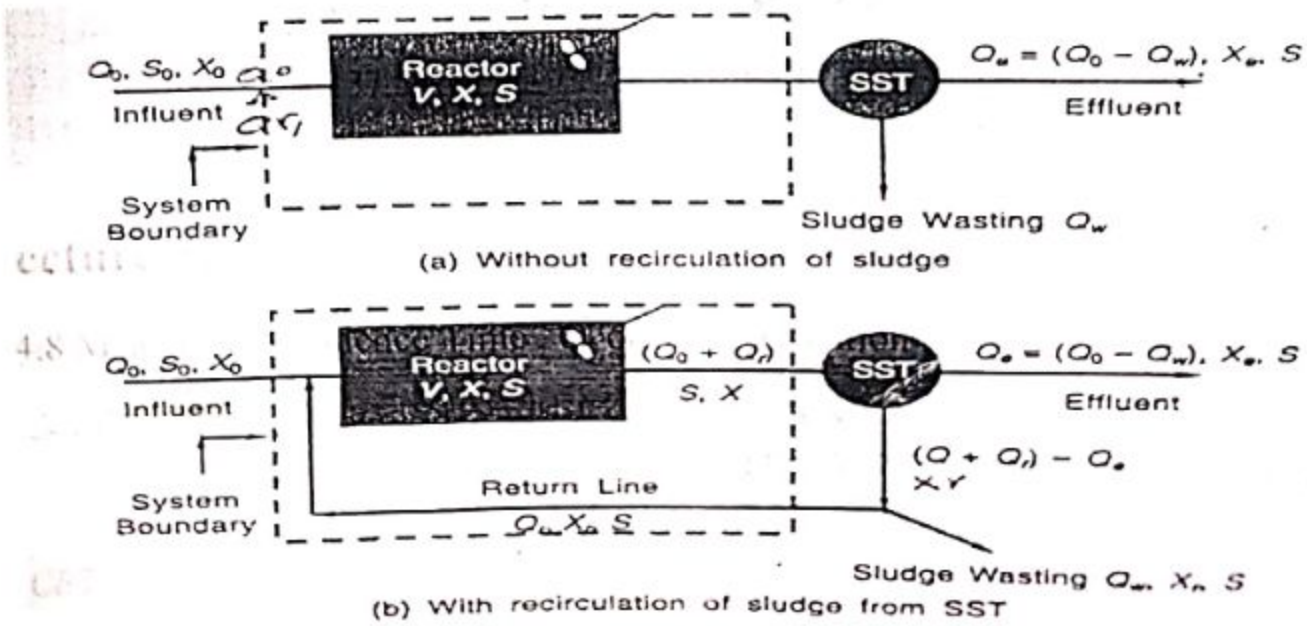


Figure 2.9 Schematic diagram for ASP

EXAMPLE 2.10

For the activated sludge process system, shown in Figure 2.9(b), compute the MCRT and recirculation ratio R, for the given data:

- Daily average flow of wastewater, $Q_{avg} = Q_0$ = 10 MLD
- Effluent flow rate of wastewater, Q_e = 9.92 MLD
- Sludge wasting rate, Q_w = 0.08 MLD
- Hydraulic Retention Time (HRT), θ = 6 hours
- Active biomass concentration in reactor, X = 3000 mg/L (MLVSS)
- Biomass concentration in effluent, X_e = 20 mg/L
- Biomass concentration in return line, X_r = 9000 mg/L

Solution: (a) ***Computation of MCRT***
MCRT can be computed from the relation:

$$\theta_c = \frac{\text{biomass in the reactor}}{\text{biomass leaving the reactor or system}}$$

$$= \frac{(V)(X)}{(Q_w)(X_r) + (Q_e)(X_e)}$$

θ_c زمن بقاء الخلية داخل المفاعل $= MCRT$

$$= \frac{\text{biomass in the reactor الكتلة الحية داخل المفاعل}}{\text{biomass leaving the reactor or system الكتلة الحية المطروحة من المفاعل}}$$

$$= \frac{V \times X}{(Q_w)(X_r) + (Q_e)(X_e)}$$

$$V = volume\ of\ the\ reactor = Q \times t$$

$$= 10\ MLD \times \frac{6}{24}\ day = 2.5\ ML\ (million\ litres)$$

$$\theta_c = \frac{2.5\ (ML) \times 3000(mg/l)}{0.08\ (MLD) \times 9000(mg/l) + 9.92\ (MLD) \times 20\ (mg/l)}$$

$$= \frac{7500}{720 + 198.4} = 8.16\ days$$

$$Q_r = \frac{Q(X - X_e) - Q_w(X_r - X_e)}{X_r - X}$$

$$Q_r = \frac{10\ (3000 - 20) - 0.08\ (9000 - 20)}{9000 - 3000} = 4.84\ MLD$$

R نسبة الارجاع $= \frac{Q_r}{Q} = \frac{4.84}{10} = 0.484$

ملاحظة:

اذا طلب في السؤال اهمل X_e يعني نقوم بجعل $X_e = 0$

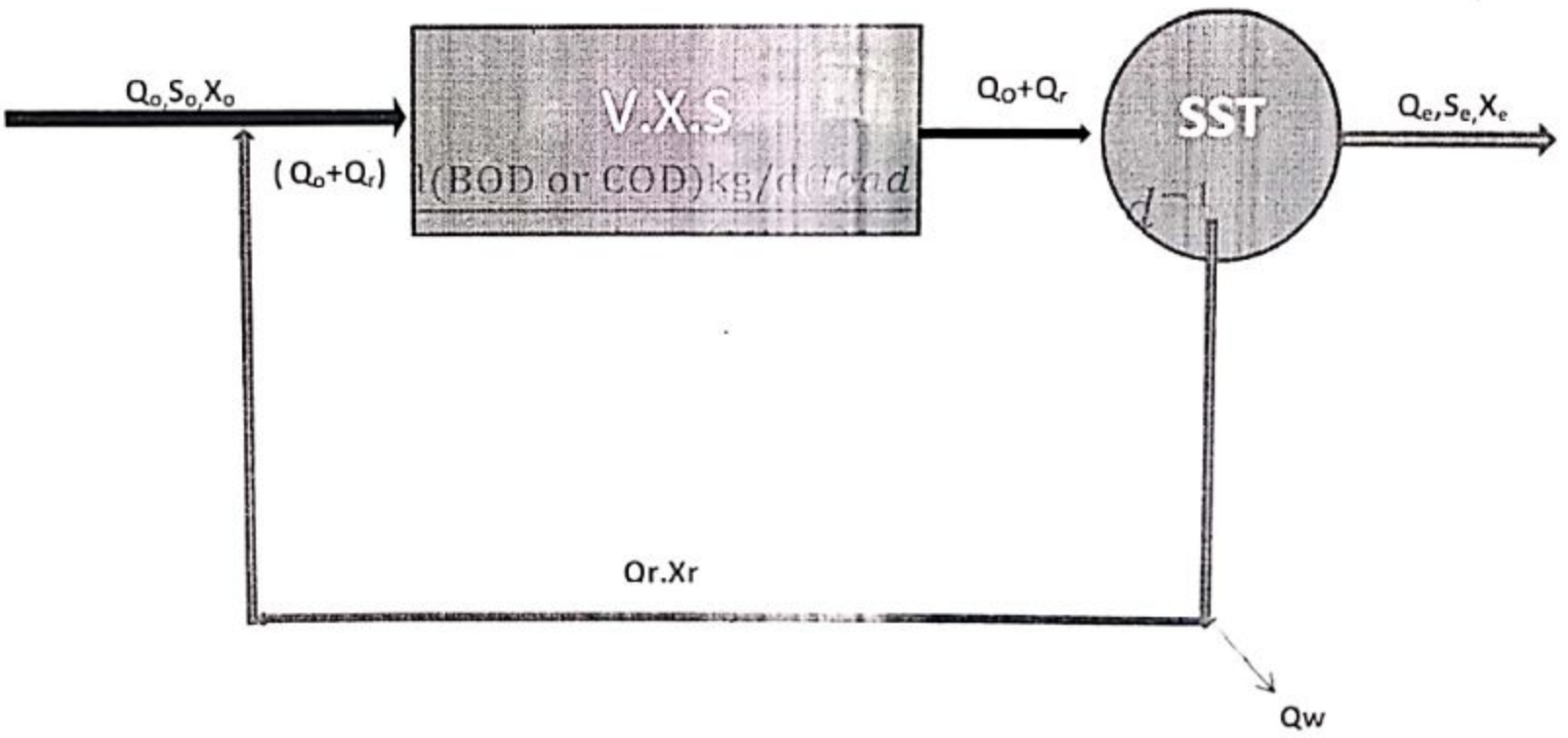
ملاحظات مهمة :

Food-Microorganisms Ratio (F/M) المجهرية الاحياء الى الغذاء نسبة

$$(1)\ \frac{F}{M} = \frac{\text{Food(BOD or COD)kg/d}(load)}{Microorganisms(Mlvss)kg} = \frac{1}{d} = d^{-1}$$

Mlvss: Mixed Liquor (volatile suspend solids)

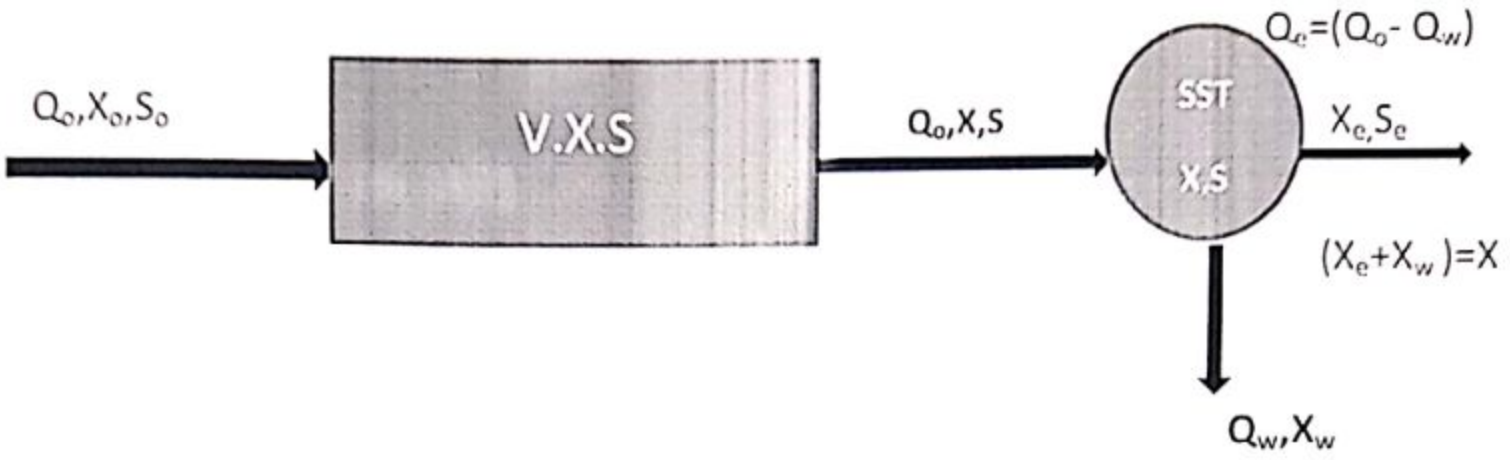
$$\frac{F}{M} = \frac{Q * S}{V * X} = \frac{S}{HRT * X}$$



(2) MCRT, SRT (θ_c) وقت بقاء الحمأه داخل المفاعل

$$\text{MCRT} = \frac{X(\text{reactor داخل البكتريا المفاعل})\text{كمية الحمأه } kg}{X(removed \text{ المزاله})from\ reactor\ kg/d}$$

- **Without recycle**

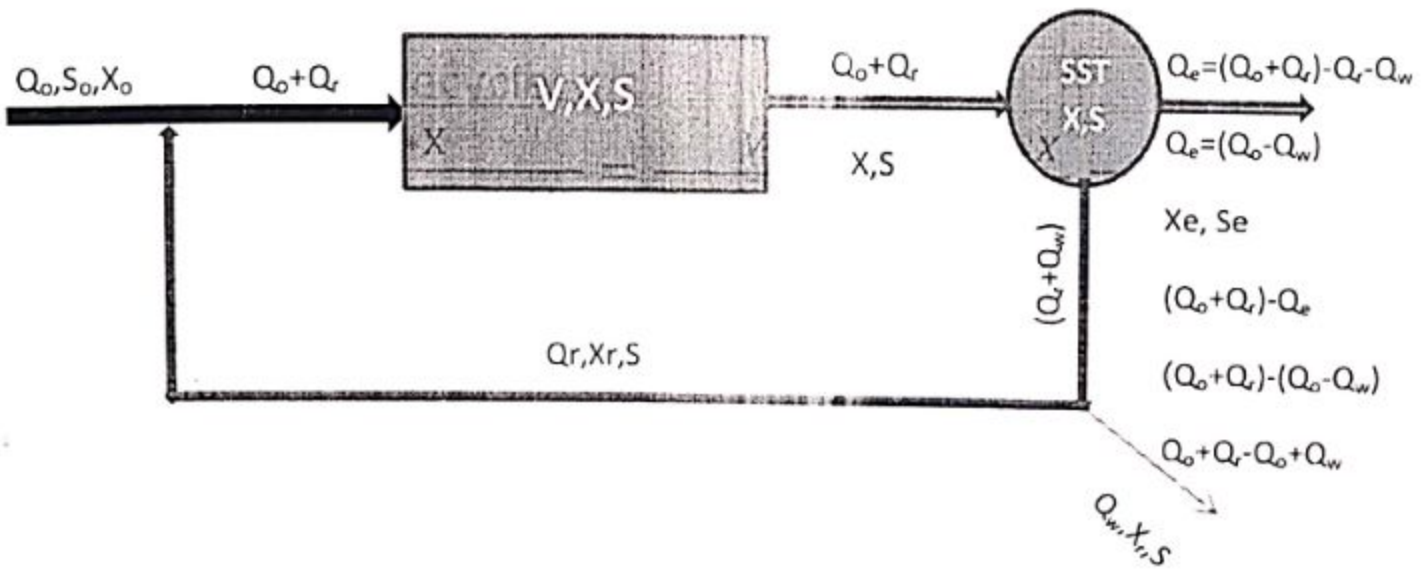


$$MCRT = \frac{V*X}{Qw*Xw+(Qo-Qw)Xe} = \frac{V*X}{Qw*Xw+Qe*Xe} = \frac{V*X}{Qo*X} = HRT = \frac{V}{Qo}$$

$Q_w+Q_e=Q_o$; $X_w+X_e=X$

X_e=zero

- **With Return**



$$\Theta c = \frac{\text{كمية الحمأه البكتريا داخل المفاعل } V * X}{[Qw * Xr + Qe * Xe|}$$

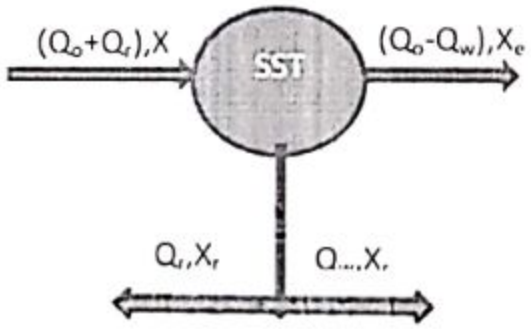
كمية الحمأة(البكتريا) المطروحه باليوم الواحدمن الخارج ومن الراجع)

نسبة الارجاع

نعمل توازن حول SST

Q_r=?

$R = \frac{Q_r}{Q_o}$



$(Q_o+Q_r)X=(Q_o-Q_w)X_e+Q_wX_r+Q_rX_r$

$Q_oX+Q_rX=Q_oX_e-Q_wX_e+Q_wX_r+Q_rX_r$

$Q_r(X_r-X)=Q_o(X-X_e)-Q_w(X_r-X_e)$ عوامل مشتركه

$Q_r=\frac{Q_o(X-Xe)-Q_w(Xr-Xe)}{(Xr-X)}$

نعتبر X_e تساوي صفر لان قيمتها جداً منخفضه اذا كانت قيمتها غير مذكوره بالسؤال

$Q_r=\frac{Q_o*X-Q_w*Xr}{Xr-X}$ ----------(1)

$\theta_c=\frac{V*X}{Qw*Xr+Qe*Xe}=\frac{V*X}{Qw*Xr} \rightarrow Q_w * X_r = \frac{V*X}{\theta_c}$

تعوض في معادله 1

$Q_r=\frac{Q_o*X-\frac{V*X}{\theta c}}{Xr-X}$

Lecture -6-

التفاعلات والمفاعلات Reactions & Reactors:

مقدمة:

من الامور المهمة جدا التي تؤثر ويعتمد عليها في تصميم وحدات معالجة مياه الفضلات هو

1. معدل ازالة محتويات مياه الصرف أو تحويلها لإنتاج خلايا جديدة في المفاعل
2. نوع المفاعل الذي يتم اختياره للمعالجة
3. انواع التفاعلات (كيميائية-حيوية) أو (كيما حيوي) التي تطبق لتحقيق درجة المعالجة المطلوبة.

مفهوم التفاعل:

تتضمن معالجة مياه الفضلات تفاعلات كيمياوية، فيزيائية، حيوية. وتفاعلات كيموحيوي وجميع التفاعلات تمتلك ميزتين اساسيتين هما:

1. حسابات نظرية (وهي التي تحكمها العلاقة بين عدد المولات للمواد المتفاعلة وعدد المولات للمواد الناتجة من التفاعل)
2. معدل التفاعل (يصف معدل التغير بالكتلة او بالتركيز للمواد المتفاعلة والناتجة خلال وحدة الزمن) ان المتغيرات البيئية مثل الرقم الهيدروجيني والحرارة تؤثر على كلا من الحسابات النظرية ومعدل التفاعل.

انواع التفاعلات:

يوجد نوعان من التفاعلات التي عادةً ما تحدث في معالجة مياه الصرف وهما :-

1. **تفاعلات متجانسة :** في هذه التفاعلات فأن الطاقة اللازمة للمواد المتفاعلة لحصول التفاعل داخل المفاعل عند اي نقطة في مياه الفضلات ستكون متساوية وربما تكون هذه التفاعلات معكوسة او غير معكوسة (ذات اتجاه واحد)
2. **تفاعلات غير متجانسة:** وهي التفاعلات التي تحدث بين مادة متفاعلة واحدة او اكثر وستكون الطاقة اللازمة لحصول التفاعل متغيرة بتغير الموقع داخل المفاعل، وتكون صعبة التحليل والدراسة.

معدلات التفاعل

لوحظ أن العديد من معدل التفاعلات تتناسب مع تركيز المواد المتفاعلة مرفوعة لأس صحيح صغير مثلاً (c, c^2, c^3)

هنالك ثلاث انواع شائعة من معدلات التفاعل يمكن ان تحدث في معالجة مياه الصرف يمكن تصنيفها الى مراتب وهي (مرتبة الصفر، المرتبة الاولى، المرتبة الثانية)

1. التفاعل من الرتبة صفر zero order reaction

(سرعة) معدل التفاعل لا يعتمد على تركيز المواد المتفاعلة (اي ان التغير في تركيز المواد المتفاعلة مع الزمن ثابت ولا يعتمد على تركيز المواد المتفاعلة الداخلة)

مثال
$H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$

$$-\frac{dc}{dt} = k$$

$$dc = -k\, dt$$

$$\int_{c_0}^{c} dc = -k \int_{0}^{t} dt$$

$$c - c_0 = -kt$$

$$c = c_0 - kt$$

c : التركيز المتبقي

c_o : التركيز الابتدائي

K : ثابت التفاعل

t : زمن التفاعل

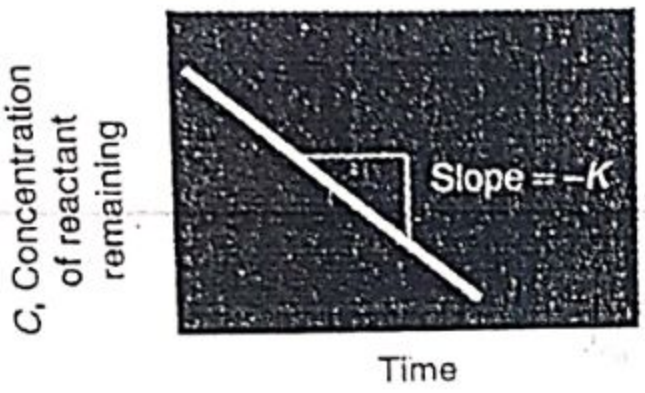


Figure 4.1 Zero order reaction.

2. التفاعل من الرتبة الاولى First order reactions

(سرعة) معدل التفاعل يتناسب مع تركيز المادة المتفاعلة (اي ان التغاير في تركيز المواد المتفاعلة مع الزمن يتناسب مع التركيز المتبقي)

$$-\frac{dc}{dt} \alpha\ c$$

$$-\frac{dc}{dt} = kc$$

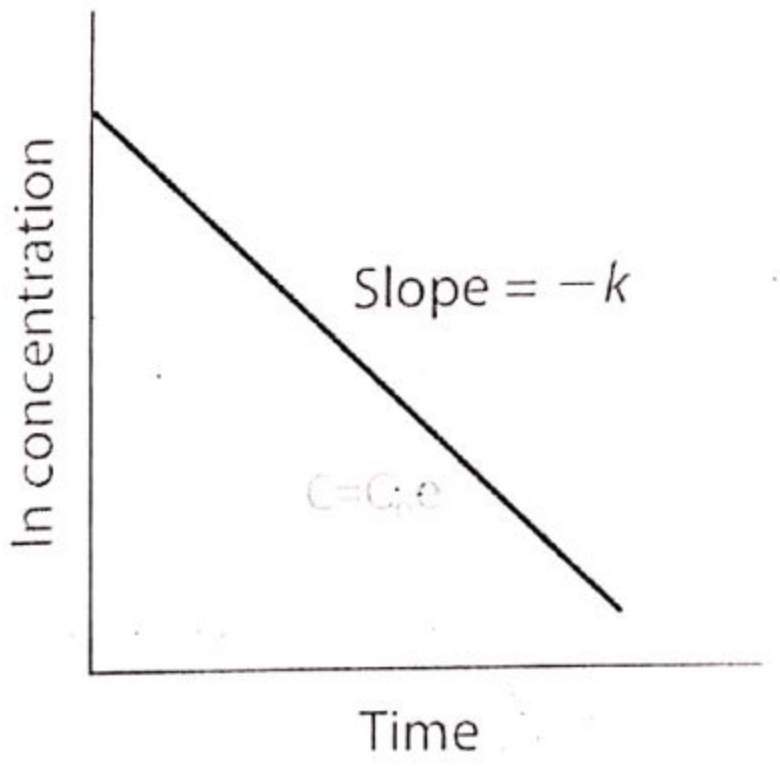
$$\frac{dc}{c} = -kt$$

$$\int_{c_0}^{c} \frac{dc}{c} = -k \int_{0}^{t} dt$$

$$\ln c - \ln c_0 = -kt$$

$$\ln c = \ln c_0 - kt$$

$$C=C_o e^{-Kt}$$



مثال :-

$$2N_2O_5 \longrightarrow 4NO_2 + O_2 \quad] \div 2$$

$$N_2O_5 \longrightarrow N_2O_4 + \tfrac{1}{2}O_2$$

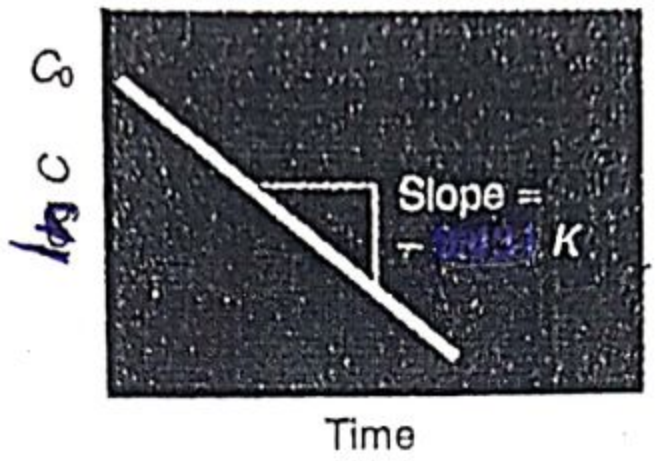


Figure 4.2 First order reaction.

3. التفاعل من الرتبة الثانية second order reaction

معدل التفاعل يعتمد على تركيز المادة المتفاعلة مرفوع للأس (2) (اي ان التغاير في تركيز المواد المتفاعلة مع الزمن يتناسب عكسيا مع مربع التركيز المتبقي)

$$-\frac{dc}{dt} \alpha \, c^2$$

$$-\frac{dc}{dt} = k \, c^2$$

$$\int_{c_0}^{c} dc = -k \int_{0}^{t} dt$$

$$\frac{1}{c} - \frac{1}{c_0} = kt$$

مثال :

$O + O_3 \rightarrow O_2 + O_2$

$2NO_2 \rightarrow 2NO + O_2$

$H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$

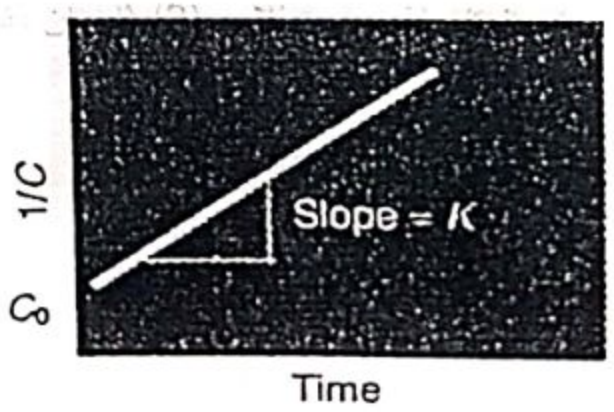


Figure 4.3 Second order reaction.

Lecture -7-

مثال/

حدد ترتيب التفاعل لعملية إزالة المادة المتفاعلة للبيانات الواردة أدناه.

Determine the reaction order of reactant removal process for the data given below:

Conc.of reactant (mg/l)	235	150	100	55	30	20
Time (min)	0	7	15	25	35	40

الحل/

قم بإعداد ثلاث مخططات منفصلة لتركيز المادة المتفاعلة مقابل الوقت كما هو موضح في الجدول ، واكتشف أيها يعطي أفضل ملاءمة للبيانات المعطاة:

- الوقت مقابل التركيز - للتفاعل الصفري
- الوقت مقابل Ln (التركيز) - للتفاعل من الدرجة الأولى
- الوقت مقابل (1 / التركيز) - للتفاعل من الدرجة الثانية

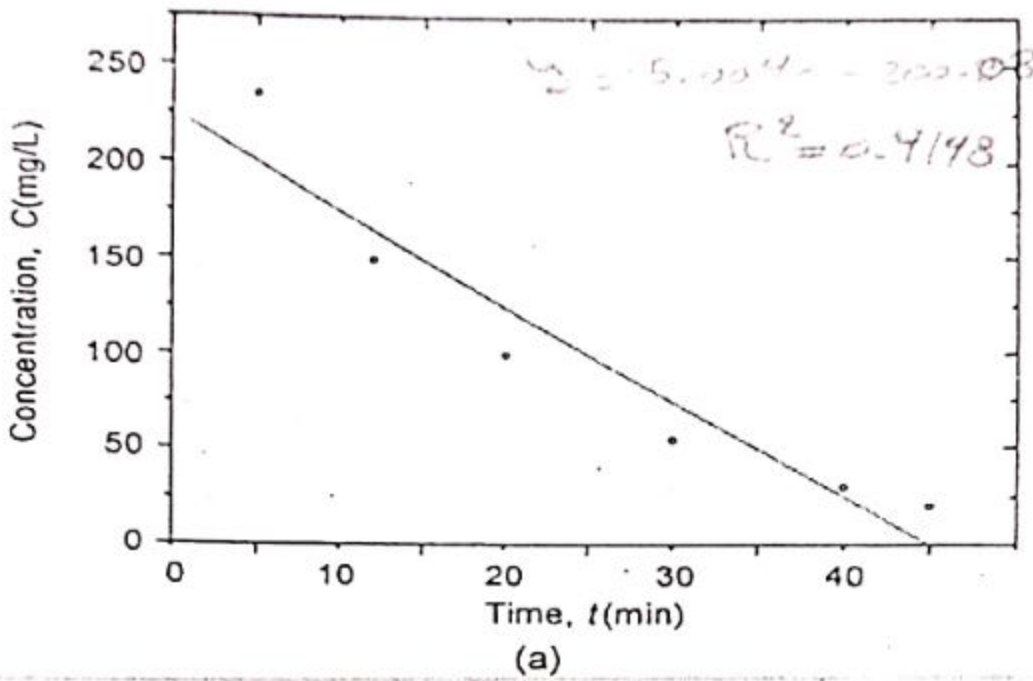
من أجل رسم الرسوم البيانية ، قم بإعداد جدول البيانات الوارد في الجدول

Prepare three separate plots for reactant concentration versus time as shown in Figure, and find which one gives the best fit to the given data :

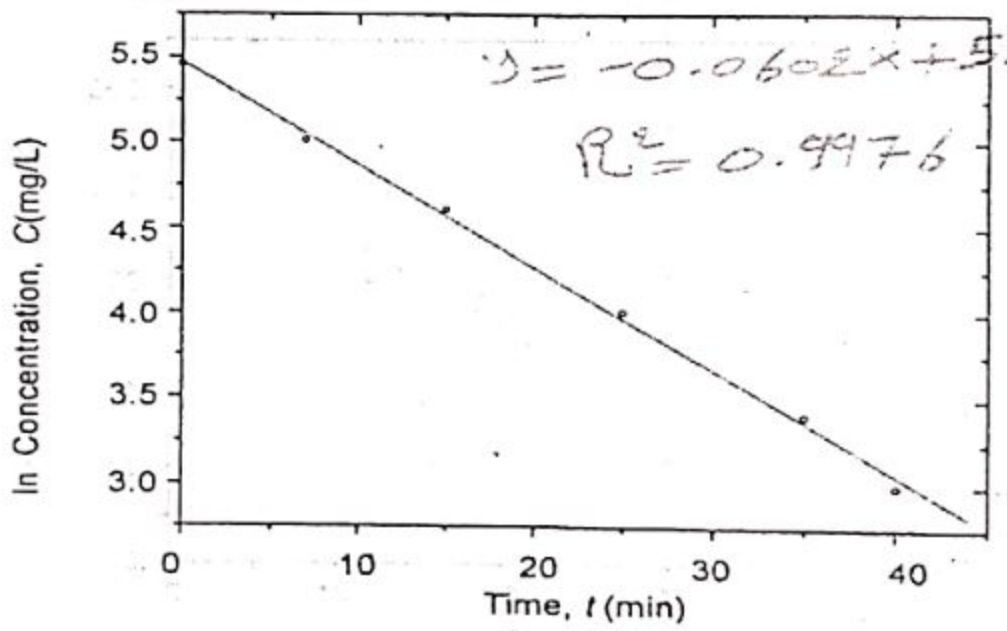
- Time versus concentration -- for zero order reaction
- Time versus in (concentration) -- for first order reaction
- Time versus (1/concentration) -- for second order reaction

in order to plot the above graphs , prepare a data table as given in Table

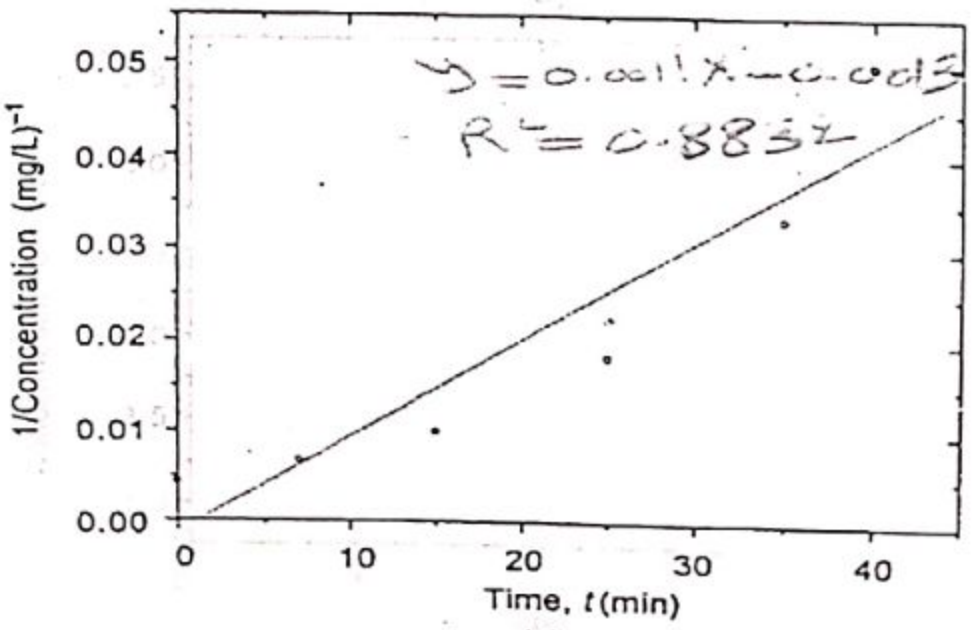
Time, t (min)	Remaining Conc. , C (mg/L)	1/conc. (1/C)	Ln (conc.) (ln C)
0	235	0.0043	5.4596
7	150	0.0067	5.0106
15	100	0.0100	4.6052
25	55	0.0182	4.0073
35	30	0.0333	3.4012
40	20	0.0500	2.9957



(a)



(b)



(c)

Figure 4.5 Plots of time versus concentration.

Lecture 8:-

انواع المفاعلات Types of Reactors

اعتمادا على التدفق (الجريان) وظروف التشغيل وطريقة المزج لمياه الفضلات يمكن تصنيف المفاعلات على النحو التالي:

- مفاعل الجريان المستمر ذو المزج Continuous-Flow Stirred Tank Reactor (CFSTR)
- مفاعل الجريان السدادي Plug-Flow Reactor (PFR)
- مفاعل الجرعة ذو المزج الكامل Completely Mixed Batch Reactor (CMBR)
- مفاعل الجريان العشوائي (غير المنتظم) Arbitrary-Flow Reactor (AFR)
- مفاعل ذو الوسط التعويمي Fluidized Bed Reactor (FBR)
- مفاعل الوسط المعبأ Packed Bed Reactor (PBR)
- مفاعل الجرعة التعاقبي Sequencing Batch Reactor (SBR)

نظرا لان اختيار المفاعل وتصميمه لتحقيق الدرجة المطلوبة من العلاج يتطلب فهما واضحا لكل من المفاعلات المصنفة اعلاه ، فقد تم وصفها بإيجاز في الاقسام التالية:

1. مفاعل الجريان المستمر ذو المزج Continuous-Flow Stirred Tank Reactor (CFSTR)

عبارة عن خزان او حوض . مبدأه العام للتشغيل هو صافي التغير في الكتلة للمواد المتفاعلة يجب ان تبقى ثابتة.

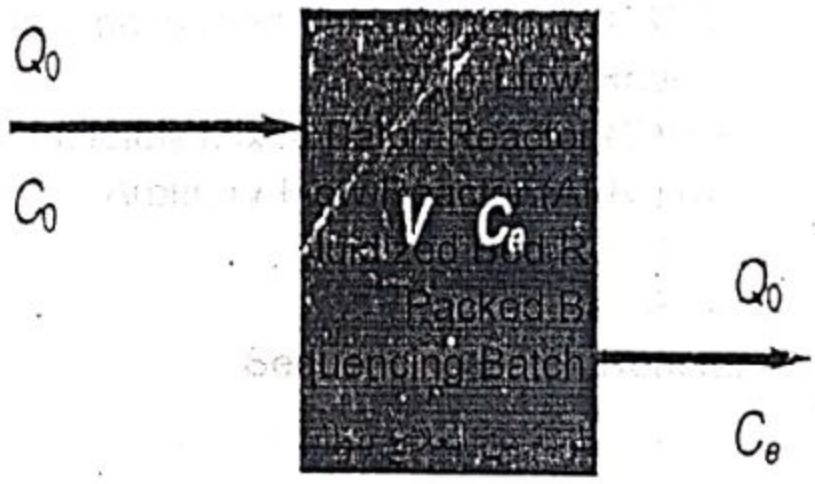


Figure 4.8 Schematic diagram of CFSTR.

V: حجم المفاعل

Q_0 : معدل تدفق مياه الصرف داخل المفاعل

Q_e: معدل تدفق مياه الصرف خارج المفاعل

C_e: تركيز المادة المتفاعلة النهائية في النفايات السائلة

C_0: تركيز المادة المتفاعلة في المفاعل

تركيز المادة المتفاعلة C_e في المفاعل وفي التدفق هو نفسه

تم اشتقاق معادلة HRT وتركيز مفاعل التدفق من توازن كتلة المادة المتفاعلة كما هو موضح:

معدل التغير في الكتلة داخل المفاعل

= الكتلة الخارجة من المفاعل نتيجة خروجها وازالتها مع الدفق الخارج – الكتلة الداخلة

– معدل النقصان في كتلة المواد المتفاعلة نتيجة التفاعل داخل المفاعل

$$V\left[\left[\frac{dC}{dt}\right]\right]_{net} = Q\,C_\circ - Q\,C_e - V\left[\left[\frac{dC}{dt}\right]\right]_{reactant}$$

اذا كان التفاعل من الرتبة الاولى

$$V\left[\left[\frac{dC}{dt}\right]\right]_{net} = Q\,C_\circ - Q\,C_e - VKC_e$$

لايجاد معادلة (١):-

$$Zero = Q\,(C_\circ - C_e) - VKC_e \quad] \div Ce \;\&\; Q$$

$$\Rightarrow (Co - Ce) = tKce$$

$$Zero = \frac{Co}{Ce} - \frac{Ce}{Ce} - kt\frac{Ce}{Ce}$$

$$-\frac{Co}{Ce} = -1 - Kt\ ] \times -1$$

معكوس

$$\frac{Co}{Ce} = 1 + Kt\ ]$$

$$\frac{Ce}{Co} = \frac{1}{1+Kt} \quad (1)$$

① —— $\frac{C_e}{C_\circ} = \frac{1}{1+Kt}$

② —— $C_e = \frac{C_\circ}{1+Kt}$

لايجاد المعادلة (٣):-

$$Zero = Q(Co-Ce) - VKce$$

$$Q(Co-Ce) = VKce \quad] \div ce$$

$$Q\left(\frac{Co}{Ce} - 1\right) = VK$$

$$V = \frac{Q}{K}\left[\frac{Co}{Ce} - 1\right] \quad (3)$$

③ —— $V_{CFSTR} = \frac{Q}{K}\left[\left[\frac{C_\circ}{C_e} - 1\right]\right]$

$$t_{CFSTR} = \frac{1}{K}\left[\frac{C_\circ}{C_e} - 1\right]$$

K: ثابت معدل التفاعل

t: زمن التفاعل (زمن الاحتجاز الهيدروليكي) لتحقيق تركيز المادة المتفاعلة المطلوبة

V: حجم المفاعل

Q: تدفق مياه الصرف الصحي

$$Zero = Q(Co-Ce) - VKCe^2 \Rightarrow V = \frac{Q(Co-Ce)}{K(Ce^2)}$$

اذا كان التفاعل من الرتبة الثانية:-

$$\frac{C_e}{C_\circ} = \frac{1}{1 + (K \times t_{CFSTR} \times C_e)} \quad (1)$$

$$\frac{C_e}{C_\circ} = \frac{1}{1 + (K \times (\frac{V_{CFSTR}}{Q} \times C_e)} \quad (2)$$

$$V_{CFSTR} = \frac{Q}{K}\left[\frac{C_\circ - C_e}{C_e^2}\right]$$

$$t_{CFSTR} = \frac{1}{K}\left[\frac{C_\circ - C_e}{C_e^2}\right]$$

$$Or \qquad t_{CFSTR} = \frac{1}{KC_e}\left[\frac{C_\circ}{C_e} - 1\right]$$

نستخدم هذا القانون

ملاحظة:

نعرف K انها من الرتبة الثانية اذا كانت وحدتها $[(mg/l) \times d]^{-1}$

ونعرف K انها من الرتبة الاولى اذا كانت وحدتها day^{-1}

مثال/

اذا كان تركيز المادة المتفاعلة A هو 250 mg/l وكان الجريان الداخل 1.20 MLD احسب حجم المفاعل اذا كان ثابت التحلل او التفاعل $0.5\ day^{-1}$ والتركيز الخارج يساوي 15 mg/l والمفاعل من نوع CFSTR

If the concentration of reactant A in 1.20 MLD flow of wastewater passing through a CFSTR is reduced from 250 mg/L to 15 mg/L, determine the volume of the reactor Assume that the reaction rate is first order having a rate constant of 0.5 day^{-1}

الحل/

$$C_\circ = 250\ mg/l \quad , \quad C_e = 15\ mg/l \quad , \quad Q_\circ = 1.20\ MLD \quad , \quad K = 0.5\ day^{-1}$$

$$V_{CFSTR} = \frac{Q}{K}\left[\left[\frac{C_\circ}{C_e} - 1\right]\right]$$

$$V_{CFSTR} = \frac{1200}{0.5}\left[\frac{250}{15} - 1\right] = 37600\ m^3$$

مثال/

مياه فضلات يراد معالجتها بمفاعل CFSTR اذا كان حجم المفاعل $50\ m^3$ كم يجب ان يكون قيمة الجريان اللازمة لتحقيق كفاءة ازالة 96% علما ان ثابت التحلل $0.15\ day^{-1}$ ولنفس هذا الجريان جد حجم المفاعل لتحقيق كفاءة ازالة 98%

A wastewater is being treated in a CFSTR following the first order reaction kinetics with a reaction rate constant equal to 0.15 day^{-1} , For a reactor volume of 50 m^3 , what should be the flow rate to achieve 96% treatment efficiency? For this flow rate, compute the reactor volume if the desired treatment efficiency is 98% ?

الحل/

ملاحظة:

في حال اعطاء كفاءة الازالة بدون وجود قيم C_0 وC_e في السؤال فيمكن ايجاد كل منهما بهذه الطريقة

$$K = 0.15\ day^{-1} \quad , \quad V = \ 50\ m^3$$

$$C_0 = 100\% = 1$$

$$\therefore\ C_e = 100\% - 96\% = 4\%$$

$$C_e = 0.04$$

$$V_{CFSTR} = \frac{Q}{K}\left[\left[\frac{C_\circ}{C_e} - 1\right]\right]$$

$$50 = \frac{Q}{0.15}\left[\frac{1}{0.04} - 1\right]$$

$$Q = 0.313\ m^3/d$$

إن معدل تدفق المياه العادمة المطلوب لتحقيق كفاءة 96٪ في CFSTR بسعة $50m^3$ هو $0.313\ m^3/d$ الان لنفس ظروف التشغيل ، عندما تكون كفاءة المعالجة المرغوبة 98٪

$$C_0 = 100\% = 1$$

$$\therefore\ C_e = 100\% - 98\% = 2\%$$

$$C_e = 0.02$$

$$V_{CFSTR} = \frac{Q}{K}\left[\left[\frac{C_\circ}{C_e} - 1\right]\right]$$

$$V_{CFSTR} = \frac{0.313}{0.15}\left[\frac{1}{0.02} - 1\right]$$

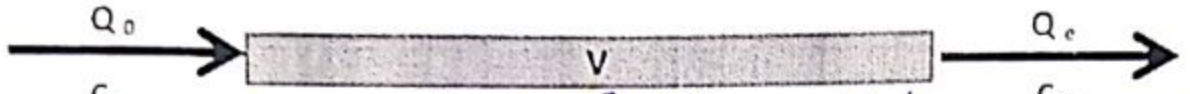
$$V = 102.25\ m^3 \approx 102\ m^3$$

نلاحظ انه ازداد الى اكثر من الضعف $10^2\ m^3$ في حالة زيادة الكفاءة من 96% الى 98%

Lecture: 9

2. مفاعل الجريان السدادي Plug-Flow Reactor (PFR)

في هذا المفاعل فان محتويات المفاعل تتبع مبدأ الذي يدخل اولا يخرج اولا First in – First out
وعليه فان جميع الجسيمات التي تدخل الى المفاعل سوف تخرج بشكل متوالي او متعاقب بنفس الكيفية التي دخل بها، ويكون بشكل قناة رفيعة وطويلة.
في هذا النوع من التفاعل فان تغير التركيز يعتمد على الزمن وعلى طول الحوض . وهو من اكفأ انواع المفاعلات.



$\ln Ce = \ln Co - Kt \Rightarrow \ln \frac{Ce}{Co} = -Kt \Rightarrow \ln \frac{Ce}{Co} = \frac{1}{Kt} \Rightarrow t_{PFR}$ ①

$$t_{PFR} = \frac{1}{K}\left(\ln \frac{C_o}{C_e}\right) \quad For\ First\ order\ reaction \quad ①$$

$$V_{PFR} = \frac{Q}{K}\left(\ln \frac{C_o}{C_e}\right) \quad For\ First\ order\ reaction \quad ②$$

$$V_{PFR} = \frac{Q}{K}\left(\frac{1}{C_e} - \frac{1}{C_o}\right) \quad For\ Second\ order\ reaction \quad ③$$

ملاحظة:

- حجم PFR دائما اقل من حجم CFSTR
- واذا كان التفاعل من الرتبة صفر فان كلا المفاعلين سوف يمتلك نفس الحجم
- كلما زاد الحجم تزداد الكفاءة.

3. مفاعل الجرعة ذو المزج الكامل Completely Mixed Batch Reactor (CMBR)

عبارة عن نظام مغلق حيث لا جريان داخل ولا خارج، تضاف كتلة داخل المفاعل وتترك لمدة احتجاز تصميمية كافية وبعد انتهاء المعالجة يتم سحب المحتويات من داخل المفاعل ويكون هذا النوع عادة من الرتبة الاولى .

$$V\left(\frac{dC}{dt}\right)_{net} = V\left(\frac{dC}{dt}\right)_{reaction} = V(KC)$$ الناتج (داخل المفاعل)

$$\frac{dC}{dt} = KC$$ التفاعل بالحوض من الرتبة الاولى

$$\int \frac{dC}{C} = \int K * dt \Rightarrow \ln C\Big]_o^e = Kt$$

$$\ln \frac{Co}{Ce} = K\, t_{CMBR}$$

$$t_{CMBR} = \frac{1}{K} \ln \left| \frac{C_\circ}{C_e} \right|$$

$$V = \frac{Q}{K} \left| \ln(\frac{C_e}{C_\circ}) \right| \qquad as \qquad t = \frac{V}{Q}$$

$C_\circ$: تركيز المفاعل الاولي

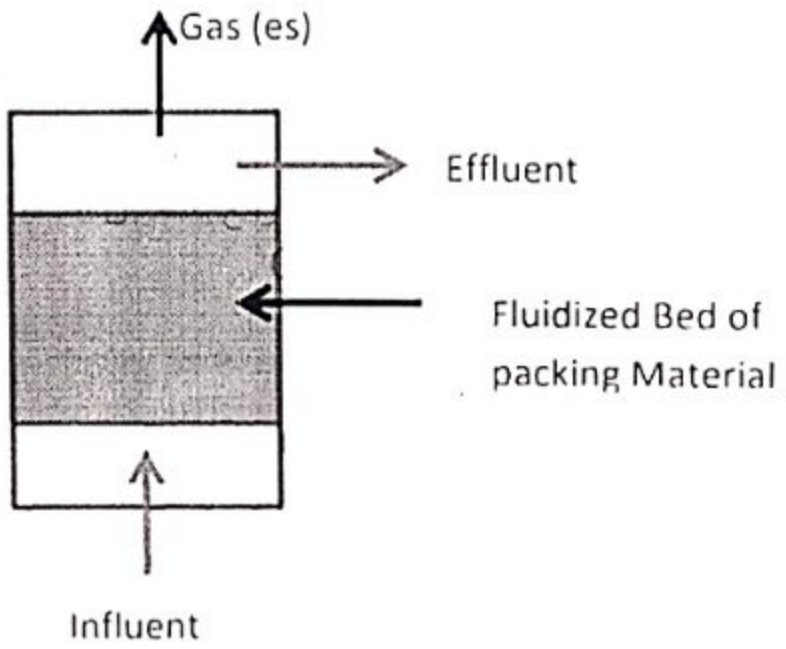
C_e : تركيز المادة المتفاعلة المطلوبة او النهائية

K : ثابت معدل التفاعل

تطبيق CMBR محدود في معالجة مياه الصرف الصحي البيولوجي، ومع ذلك فان استخدامه اكثر في الدراسات المختبرية وفي هضم الحمأة . يمكن اعتبار اختبار BOD بمثابة اختبار CMBR

4. مفاعل ذو الوسط التعويمي Fluidized Bed Reactor (FBR)

هو عبارة عن مفاعل مملوء بمواد قابلة للتمدد (قد تكون بلاستيكية او اي مادة اخرى) وتصبح بشكل عائم عندما يتم ادخال مياه الفضلات اليها وعادة ما يتم الضخ من الاسفل الى الاعلى مع ضرورة ضخ الهواء مع مياه الفضلات اثناء عملية الدخول. واصبحت FBR شائعة لمعالجة مياه الصرف الصحي اما في الظروف الهوائية او اللاهوائية. وتستخدم للمعالجات الهوائية اذا كان هناك دخول للهواء، وتستخدم ايضا لمعالجة الخبث وازالة الغازات المذابة.



5. مفاعل الوسط المعبأ Packed Bed Reactor (PBR)

هو مفاعل مملوء بمواد خاملة تنمو عليها الاحياء المجهرية كالصخور والسيراميك والبلاستيك بمختلف اشكالها واحجامها بحيث ان هذه المواد توفر مساحة سطحية كبيرة وكافية لنمو الاحياء عليها. ويتم ادخال مياه الفضلات اما من الاعلى الى الاسفل او بالعكس.

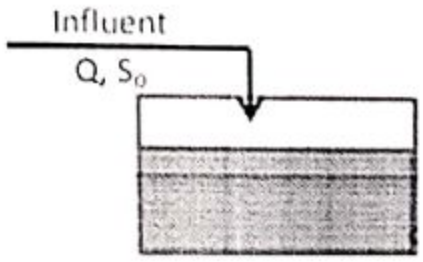
Lecture: 10.

6. مفاعل الجرعة التعاقبي Sequencing Batch Reactor (SBR)

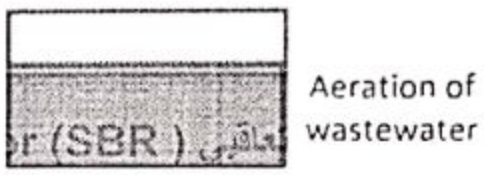
هو مفاعل تتم فيه جميع العمليات البيولوجية بشكل متعاقب داخل نفس الحوض او ما يسمى المفاعل.

الخطوات التشغيلية:

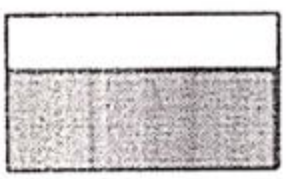
1. ملئ المفاعل الى الحجم المطلوب
2. تهوية ومزج المحتويات حسب الزمن التصميمي المحدد
3. ايقاف التهوية والسماح بترسيب الكتلة الحية وفصلها
4. سحب الماء الرائق
5. التخلص من الخبث المترسب بواسطة انبوب من اسفل المفاعل



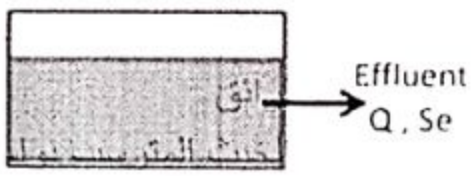
Step 1
Filling up the reactor



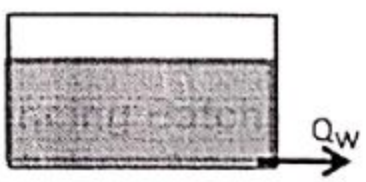
Step 2
Reaction takes place for time t



Step 3
Settling of sludge (clarification)

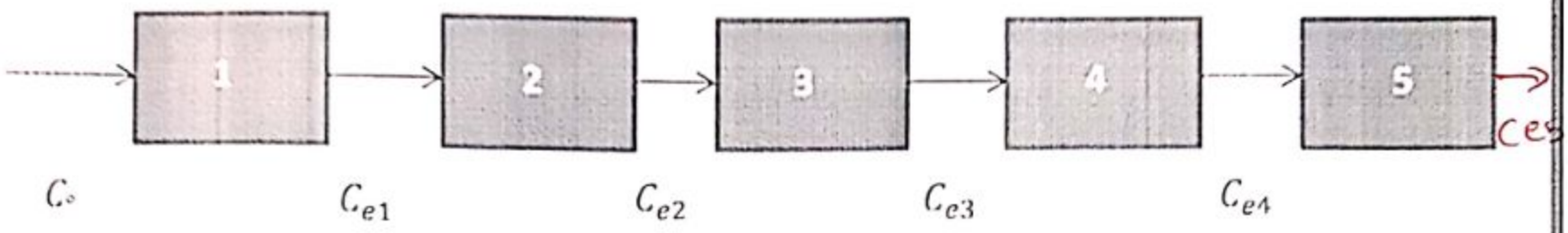


Step 4
Removal of clarified effluent



Step 5
Removal of sludge

مفاعل على التوالي Reactor in series:



بافتراض ان التفاعلات من الرتبة الاولى وعدد n من المفاعلات CFSTR

$$t_{CFSTR} = \frac{1}{K}\left[\left[\frac{C_o}{C_e} - 1\right]\right]$$

$$(C_e)_1 = \frac{C_o}{1+Kt}$$

$$(C_e)_2 = \frac{(C_e)_1}{1+Kt}$$

$$(C_e)_3 = \frac{(C_e)_2}{1+Kt}$$

$$(C_e)_4 = \frac{(C_e)_3}{1+Kt}$$

$$(C_e)_5 = \frac{(C_e)_4}{1+Kt}$$

$$(C_e)_5 = \frac{(C_e)_0}{(1+Kt)(1+Kt)(1+Kt)(1+Kt)(1+Kt)}$$

$$(C_e)_n = \frac{C_0}{(1+Kt)^n}$$

Therefore

$$t_{CFSTR} = \frac{1}{K}\left[\left[\left(\frac{C_0}{C_e}\right)^{1/n} - 1\right]\right]$$ مدة الاحتجاز لمفاعل واحد

مبدأه: التركيز الذي يدخل من المفاعل الاول يدخل في الثاني والذي يخرج من الثاني يدخل في الثالث وهكذا

مثال/

احسب وقارن الحجم اللازم لمفاعلات لتحقيق كفاءة ازالة 90% اذا كان الجريان الداخل $1000\ m^3/day$ وقيمة $K = 0.5\ day^{-1}$ (مرة بالرتبة الاولى ومرة بالرتبة الثانية)

1. باستخدام مفاعل منفرد من نوع CFSTR

الحل/

$$t_{CFSTR} = \frac{1}{K}\left[\left(\frac{C_0}{C_e}\right)^{1/n} - 1\right]$$

$$\frac{Q}{V} = \frac{1}{K}\left[\left(\frac{C_0}{C_e}\right)^{1/n} - 1\right]$$

$$V = \frac{Q}{K}\left[\left(\frac{C_0}{C_e}\right)^{1/n} - 1\right]$$

$$V = \frac{1000}{0.5}\left[\left(\frac{1}{0.1}\right)^{1/1} - 1\right] = 18000\ m^3$$

2. باستخدام اربع مفاعلات من نوع CFSTR

الحل/

$$V = \frac{Q}{K}\left[\left(\frac{C_0}{C_e}\right)^{1/n} - 1\right]$$

$$V = \frac{1000}{0.5}\left[\left(\frac{1}{0.1}\right)^{1/4} - 1\right] = 1540 \approx 1500\ m^3$$ حجم المفاعل الواحد

$$4V = 4 \times 1500 = 6000\ m^3$$ حجم اربع مفاعلات

باستخدام مفاعل واحد من نوع CFSTR من الرتبة الثانية

$$V = \frac{Q}{KC_e}\left[\left(\frac{C_0}{C_e}\right)^{1/n} - 1\right]$$

$$V = \frac{1000}{0.5 \times 0.1}\left[\left(\frac{1}{0.1}\right)^{1/1} - 1\right] = 180000\ m^3$$

باستخدام اربع مفاعلات من نوع CFSTR من الرتبة الثانية

$$V = \frac{Q}{KC_e}\left[\left(\frac{C_0}{C_e}\right)^{1/n} - 1\right]$$

$$V = \frac{1000}{0.5 \times 0.1}\left[\left(\frac{1}{0.1}\right)^{1/4} - 1\right] = 1540\ m^3 \approx 1500\ m^3$$ حجم المفاعل الواحد

$$4V = 4 \times 1500 = 6000\ m^3$$ حجم اربع مفاعلات

مثال/

اوجد زمن الاحتجاز اللازم لمعالجة مياه فضلات باستخدام مفاعل من نوع CMBR اذا كان قيمة ثابت التحلل من الرتبة الاولى $0.2\ day^{-1}$ ونسبة الازالة المطلوب تحقيقها 90%

الحل/

$$t_{CMBR} = \frac{1}{K}\ ln\left[\frac{C_0}{C_e}\right]$$

$$t_{CMBR} = \frac{1}{0.2}\ ln\left[\frac{100}{10}\right] = 11.5\ day$$

مثال/

اذا كان ثابت التفاعل من الرتبة الثانية قارن بين الحجوم المطلوبة لمفاعل من نوع CFSTR ومفاعل من نوع PFR وذلك لتحقيق كفاءة ازالة تبلغ 94%

If the rate of a reaction in the system is of second order, compare the required volume of CFSTR and the volume PFR, Assume the reaction rate to achieve 94% reductions in the reactant concentration in the system

الحل/

$$V_{CFSTR} = \frac{Q}{K}\left[\frac{C_0 - C_e}{C_e^2}\right]$$

$$C_0 = 100\% = 1$$

$$C_e = 100\% - 94\% = 6\%$$

$$\therefore\ C_e = 0.06$$

$$V_{CFSTR} = \frac{Q}{K}\left[\frac{1 - 0.06}{(0.06)^2}\right]$$

$$V_{CFSTR} = 261\ \frac{Q}{K}\ m^3$$

$$V_{PFR} = \frac{Q}{K}\left[\frac{C_0}{C_e} - 1\right] \quad \frac{Q}{K}\left[\frac{1}{C_e} - \frac{1}{C_0}\right]$$

$$V_{PFR} = \frac{Q}{K}\left[\frac{1}{0.06} - 1\right] \quad \frac{Q}{K}\left[\frac{1}{0.06} - \frac{1}{1}\right]$$

$$V_{PFR} = 15.66\ \frac{Q}{K}\ m^3$$

$$\frac{V_{CFSTR}}{V_{PFR}} = \frac{261\ \frac{Q}{K}\ m^3}{15.66\ \frac{Q}{K}\ m^3}$$

$$V_{CFSTR} = 16.66\ V_{PFR}$$

مثال/

اذا كان لدينا مفاعلان حجم كل منهما $2500\ m^3$ والجريان الداخل لكلا المفاعلين 1 MLD وكان المفاعل الاول من نوع PFR والمفاعل الثاني المربوط معه على التوالي هو من نوع CFSTR احسب التركيز الخارج من المفاعل الثاني علما بان التركيز الداخل من المفاعل الاول هو 175 mg/l افرض ان قيمة $K = 0.8\ day^{-1}$

الحل/

$$Q = 1\ MLD = 1000\ m^3/day$$

$$V = \frac{Q}{K}\left[\ln\frac{C_0}{C_{e1}}\right]$$

$$2500 = \frac{1000}{0.8}\left[\ln\frac{175}{C_{e1}}\right]$$

$$2500 \times 0.8 = 1000\left[\ln\frac{175}{C_{e1}}\right]$$

نقسم الطرفين على 1000

$$\frac{2000}{1000} = \frac{1000}{1000}\left[\ln\frac{175}{C_{e1}}\right]$$

$$2 = \left[\ln\frac{175}{C_{e1}}\right]$$

$$e^2 = e^{\ln\frac{175}{C_{e1}}}$$

$$7.38 = \frac{175}{C_{e1}}$$

$$C_{e1} = 23.68\ mg/l$$

والان لحساب C_{e2} للمفاعل الثاني نعتبر C_{e1} هي C_0 لمفاعل CFSTR

$$V = \frac{Q}{K}\left[\frac{C_0}{C_{e2}} - 1\right]$$

$$2500 = \frac{1000}{0.8}\left[\frac{23.68}{C_{e2}} - 1\right]$$

$$2500 \times 0.8 = 1000\left[\frac{23.68}{C_{e2}} - 1\right]$$

نقسم الطرفين على 1000

$$\frac{2000}{1000} = \frac{1000}{1000}\left[\frac{23.68}{C_{e2}} - 1\right]$$

$$2 = \frac{23.68}{C_{e2}} - 1$$

$$2 + 1 = \frac{23.68}{C_{e2}}$$

$$C_{e2} = 7.89\ mg/l$$

حساب كفاءة الازالة لكل مفاعل

$$\%\ eff\ Removed\ for\ PFR$$

$$\% = \frac{C_0 - C_{e1}}{C_0}$$

$$= \frac{175 - 23.68}{175} \times 100$$

$$\%\ eff = 86.4\ \%$$

$$\%\ eff\ Removed\ for\ CFSTR$$

$$\% = \frac{C_{e1} - C_{e2}}{C_{e1}} = \frac{23.68 - 7.89}{23.68} \times 100$$

$$\%\ eff = 66\%$$

حساب كفاءة الازالة الكلية

$$Totel\ \%\ eff\ Removal = Eff_1 + (1 - Eff_1) \times Eff_2$$

$$= 0.864 + (1 - 0.864) \times 0.66 = 0.95 = 95\%$$

ويمكن ايجادها بطريقة ثانية

$$Totel\ \%\ eff\ Removal = \frac{(C_0 - C_{e1}) + (C_{e1} - C_{e2})}{C_0} \times 100$$

$$= \frac{(175 - 23.68) + (23.68 - 7.89)}{175} \times 100 = 95\%$$