



دليل تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصناعي Guideline Design Industrial Wastewater Treatment Plants

المهندس / محمد معن برادعي
استشاري في معالجة مياه الصرف

١٤٤١ هـ - ٢٠٢٠ م

العنوان : دليل تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصناعي
المؤلف : المهندس / محمد معن برادعي

الموضوع : بيئي
عدد الصفحات : 632 صفحة
قياس الصفحة : 17 - 24 سم
عدد النسخ : 1000 نسخة

التصنيف العمري : E
إذن طباعة رقم : 9070483 - 01 - 03 - MC
الرقم الدولي للسلسلة : 1 - 442 - 34 - 9948 - 978 (ISBN)

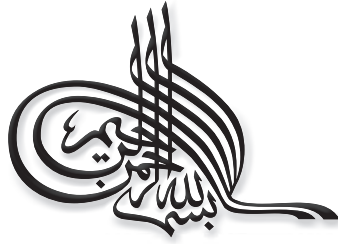
الطبعة الأولى
1441 هـ - 2020 م

جميع الحقوق محفوظة
يمنع نسخ هذا الإصدار أو أجزاءه بكل الطرق، كالطبع، والتصوير، والنقل، والترجمة،
والتسجيل المرئي، والمسموع والإلكتروني، إلا بإذن خطي من
«مؤسسة زايد الدولية للبيئة»

تم تصنيف وتحديد الفئة العمرية التي تلائم محتوى الكتب
وفقاً لنظام التصنيف العمري الصادر عن المجلس الوطني للإعلام»

ص. ب: 28399 دبي - الإمارات العربية المتحدة
برج العلي - شارع الشيخ زايد - رقم (4/50)
هاتف : +971 4 3326666 - فاكس : +971 4 3326777
البريد الإلكتروني : cta@zayedprize.org.ae
الموقع الإلكتروني : www.zayedprize.org.ae

الآراء الواردة في هذا الكتاب
لا تعبر بالضرورة عن رأي «مؤسسة زايد الدولية للبيئة»، ولا تتحمل أي مسؤولية
مهما كانت طبيعتها ناشئة أو متصلة بمحتويات هذا الكتاب



وَاللَّهُ يَدْرُسُكَ بِاللَّهِ

هذا الكتاب

إن كتاب دليل تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصناعي يساعد الفنيين ومن لديهم خبرة في إدارة مياه الصرف الصناعي، واصحاب القرار، والمهتمين بالشأن البيئي وذلك في اعمال تصميم محطات المعالجة وادارة مياه الصرف الصناعي وكذلك اتخاذ القرارات الصحية في حماية الكائنات الحية والبيئة.

ومع تنوع الصناعات يتنوع معها الصرف الصناعي بشكل كبير جداً، ففي بعض المدن العربية قد يوجد فيها وحولها اكثر من ثلاثين ألف منشأة صناعية تطرح مياه الصرف الصناعية الملوثة كما قد تطرح الغازات والأبخرة في بيئة العمل وفي البيئة المحيطة مسببة ضرراً كبيراً على الكائنات الحية.

ويحوي الكتاب على كثير من الحلول لعدد كبير من المشاكل التي تواجه الذين يعملون في حقل حماية البيئة، وتسלט الضوء على المشاكل وتساعد في حلها. وقد ركز الكتاب على مشاكل الصرف الصناعي المحلية في منطقة الشرق الاوسط والتي هي منتشرة على نطاق واسع، لان التلوث الذي تحتويه هذه المياه قد يختلف كلياً عن الاستاندرات العالمية لمياه الصرف لمثل هذه الصناعات في الدول الاخرى.

وقد صدر قبل هذا الكتاب في عام 2018م، كتاب دليل تصميم محطات معالجة مياه الصرف الذي يهتم بشكل عام بمعالجة مياه الصرف والطرائق العامة المعتمدة في المعالجة، ووجدنا أنه بحاجة لكتاب اكثر تخصصاً لمعالجة مياه الصرف الصناعي لما له من اهمية كبيرة في حماية البيئة والصحة العامة.

ويهتم هذا الكتاب بمعالجة مياه الصرف الصناعي والملوثات الخطرة الموجودة فيها بشكل واسع وشمولي، مثل الزيوت والشحوم والمعادن

الثقيلة والملوثات الخطرة ذات الأولوية... إلخ، ويشرح خصائص مياه الصرف الصناعي ومن ثم يبحث في تقنيات المعالجة واستراتيجيات إدارة مياه الصرف الصناعي وبدائل العمليات المتوفرة والاتجاهات المستقبلية لكل إنتاج صناعي، مثل (صناعة الأدوية، مصافي النفط، صناعة إنهاء المعادن، صناعة المنظفات، صناعة النسيج، مصانع لب الورق والورق، الألبان، مسالخ اللحوم، صناعة المبيدات، مصانع المشروبات الغازية. ويعرض الكتاب في دراسة عامة تقنيات التصنيع لكل صناعة بشكل مبسط وحساب كمية مياه الصرف ونوعية الملوثات داخل المياه المنتجة وفق ما هو معروف عالمياً، ومن ثم نركز على طرائق الإنتاج المتبعة محلياً في منطقة الشرق الأوسط ونوعية وكمية مياه الصرف الصناعي المنتجة.

ويحوي هذا الكتاب على 5 أجزاء وعلى ثلاثين فصلاً:

- **الجزء الأول** تعريف بالصرف الصناعي وتصنيف الملوثات الصناعية الموجودة في مياه الصرف الصناعي من عضوية وغير عضوية وطرائق قياس التدفق وكمية التلوث وطرائق اخذ العينات لمياه الصرف الصناعي.
- **الجزء الثاني** يعنى بالدراسة الفيزيائية لنوعية مياه الصرف الصناعي، ثم الطرائق الفيزيائية العامة المستعملة في المعالجة مثل المصافي وفصل الزيوت وتطويف الزيوت ..
- **اما الجزء الثالث** فهو يبين الطرائق العامة المستعملة لإزالة الملوثات اللاعضوية والعضوية، حيث يستعرض الكتاب معالجة المعادن الثقيلة: وهي مجموعة خاصة من العناصر النزرة التي ثبت أنها تخلق مخاطر صحية عند أمتصاصها بواسطة النباتات وعند وصولها للمياه الجوفية. وضمن هذه المجموعة يمكن تضمين الزرنيخ (As)، والكاديوم (Cd)، والكروم (Cr)، والنحاس (Cu)، والرصاص (Pb)، والزنبق (Hg)، والزنك (Zn)... إلخ



• **أما الجزء الرابع** فيبحث في الأكسدة الكيميائية والمعالجة الفيزيائية للملوثات العضوية وقابلية أكسدة هذه الملوثات وخصوصاً الملوثات ذات الأولوية. ويحوي هذا القسم فصل عن الترشيح إضافة لفصل عن إدارة ومعالجة الحمأة الصناعية والتخلص الآمن منها.

• **أما الجزء الخامس** فيحوي إحدى عشر فصلاً فيها أمثلة عن الصناعات المعروفة في منطقة الشرق الأوسط التي تطرح مياه صرف صناعي، وقد اخترنا الصناعات التي تطرح مياه صرف عالية التلوث أو الصناعات التي تطرح كمية كبيرة من المياه الملوثة، مع استعراض طرائق المعالجة المتبعة.

ونظراً لأن مجال معالجة النفايات الصناعية عموماً ومياه الصرف الصناعي تحديداً هو واسع جداً، فلا يمكن لأحد أن يستطيع الإحاطة في جميع الصناعات وما تنتجه من تلوث في مرجع واحد، حيث نلاحظ أحياناً بعض الإيجاز لبعض المواضيع المعروضة في الكتاب، ولكن عموماً جرى الاهتمام بالصناعات الخطرة والملوثة والتي تطرح مياه ملوثة يمكن أن تسبب مشكلة للصحة العامة للإنسان وللكائنات الحية.

وأخيراً... أقدم جزيل الشكر لمؤسسة زايد الدولية للبيئة والقائمين عليها وأخص بالشكر أ.د. محمد أحمد بن فهد رئيس اللجنة العليا لمؤسسة زايد الدولية، ولجنة التحرير والمحكمين لما بذلوه من جهود في إصدار هذا الكتاب.

والله ولي التوفيق، ، ،

المهندس / محمد معن برادعي



المحتوى

5	هذا الكتاب.
9	المحتويات.
31	الجزء الأول
	متطلبات دراسة محطات معالجة مياه الصرف الصناعي
33	1. ماهي مياه الصرف الصناعي.
	What are the industrial wastewater
33	1-1. مقدمة.
34	2 - 1. تعريف مياه الصرف الصناعي.
34	3 - 1. بعض الصناعات التي تطرح مياه صرف والمنتشرة في منطقة الشرق الاوسط.
35	4 - 1. تصنيف الملوثات في مياه الصرف الصناعي.
39	1-4-1. خواص المواد السامة في مياه الصرف الصناعية.
	Industrial wastewater toxicity characterization
43	5 - 1. الشخص المكافئ. (P.E) Person equivalent
47	2. قياس التدفق واخذ العينات والتحليل.
	Flow Measurement- Sampling and Analysis
47	1 - 2. متطلبات خاصة.
47	2 - 2. أهمية قياس التدفق.
49	3 - 2. طرق قياس تدفق مياه الصرف الصناعي.
57	4 - 2. أخذ عينات مياه الصرف. Sampling
57	5 - 2. نماذج اخذ العينات. Types of Sampling
60	6 - 2. نصائح عند أخذ العينات.
61	3. موازنة التدفق والحمولة. Flow and Load Equalization
61	1 - 3. الموازنة.

61	أنواع أحواض التوازن من أجل مياه الصرف الصناعي.	2 - 3
62	منحني التدفق الكتلي التجميعي.	3 - 3
66	المزج. Mixing	4 - 3
71	الجزء الثاني	
	منهج معالجة مياه الصرف الصناعي	
	Industrial wastewater treatment procedure	
73	فصل المواد الصلبة. Solids Separation	4.
73	مقدمة.	1 - 4
74	المصافي الخشنة. Coarse screens	2 - 4
78	المصافي الناعمة. Fine screens	3 - 4
83	التصرف في نواتج المصافي.	4 - 4
84	غرف إزالة الرمال. Grit removal	5.
84	مقدمة.	1 - 5
84	غرف فصل الرمال.	2 - 5
92	المعالجة التكنولوجية لفضلات الزيوت	6.
	Technology of waste oils treatment	
92	مقدمة.	1 - 6
92	الحاجة إلى المعالجة المسبقة لإزالة FOG. (الدهون، الزيوت، الشحوم)	2 - 6
93	خصائص الدهون، الزيوت، والشحوم. FOG.	3 - 6
95	مصادر FOG.	4 - 6
95	الصناعة الغذائية. Food industry	1 - 4 - 6
95	صناعة الادوات المعدنية. Metalworking industry	2 - 4 - 6
96	الصناعة النفطية. Petroleum industry	3 - 4 - 6
97	الصناعة الأخرى.	4 - 4 - 6
97	تقنيات المعالجة التحضيرية. Pretreatment techniques	5 - 6
97	الفصل بالثقالة. Gravity separation	1 - 5 - 6

99	الفصل بالثقالة بواسطة صفائح تكتل الزيت. Coalescing Gravity Separators	2 - 5 - 6
102	المواد الكيميائية المساعدة على الفصل. Chemically enhanced separation	6 - 6
102	التطويف بالهواء المنحل. Dissolved air flotation	7 - 6
107	طريقة حساب التطويف بالهواء المنحل DAF مع تدوير.	1 - 7 - 6
110	الطرد المركزي.	8 - 6
110	فصل الزيوت بواسطة الهيدروسيكلون.	9 - 6
111	الترشيح. Filtration	10 - 6
112	الترشيح الفائق الدقة . Ultrafiltration	1 - 10 - 6
113	مرشح. Organclays	2 - 10 - 6
114	خيارات إعادة استعمال FOG المسترد. Options for reusing recovered FOG	11 - 6
115	الامتزاز. Adsorption	12 - 6
116	ضبط pH . PH control	7.
116	الاس الهيدروجيني (أو رقم pH) pH Value .	1 - 7
116	الحامضية. Acidity	2 - 7
116	القلوية. Alkalinity	3 - 7
117	قلوية الكربونات.	1 - 3 - 7
117	القلوية الكلية.	2 - 3 - 7
118	ضبط pH . PH Adjustment	4 - 7
119	طريقة تعديل pH.	5 - 7
122	أنواع المواد الكيميائية المستعملة لتعديل pH.	6 - 7

إزالة المواد اللاعضوية والعضوية

Removal of inorganic and organic materials

129	إزالة المواد غير العضوية. Removal of Inorganic materials	8.
159	مصدر المواد اللاعضوية. The source of inorganic materials	8 - 1.
159	تأثير المواد اللاعضوية غير المعالجة على محطات معالجة مياه الصرف	8 - 2.
130	المعادن والسيانيد. Metals and cyanide	8 - 2 - 1.
130	الكبريتيد. Sulfides	8 - 2 - 2.
131	مركبات الفوسفور. Phosphorus compound	8 - 2 - 3.
132	مركبات النيتروجين. Nitrogen compounds	8 - 2 - 4.
134	تقنيات معالجة الملوثات اللاعضوية.	8 - 3.
	Treatment technologies of Inorganic Pollutants	
135	التعديل (التحييد) والترسيب. Neutralization-precipitation	8 - 3 - 1.
138	توقع انحلالية المركبات اللاعضوية في الماء.	8 - 3 - 2.
	Predicting inorganic compound solubilities	
140	تجربة الأواني. jar test	8 - 3 - 2 - 1.
141	الترسيب بالماءات (الهيدروكسيد).	8 - 3 - 3.
	Coagulation - Hydroxide Precipitation	
143	الترسيب بأملاح الحديد والالمنيوم - التثخير.	8 - 3 - 4.
143	التثخير. Sulfide Precipitation-Coagulation	8 - 3 - 5.
146	الترسيب بالكربونات - التثخير.	8 - 3 - 6.
	Carbonate Precipitation-Coagulation	
146	إزالة متمخلبات المعادن. Removal of Chelated Metals	8 - 3 - 7.
147	تهديم السيانيد. Cyanide Destruction	8 - 3 - 8.
148	إختزال الكروم السداسي. Hexavalent Chromium Reduction	8 - 3 - 9.
150	الترسيب المشترك للحديد. Iron Coprecipitation	8 - 3 - 10.
150	إزالة الزرنيخ والسلينيوم والزنك.	8 - 3 - 11.
	Arsenic, Selenium, and Mercury Removal	

150	إزالة الزرنيخ. Arsenic removal.	1 - 11 - 3 - 8
151	إزالة السيلينيوم. Selenium removal.	2 - 11 - 3 - 8
154	إزالة الزئبق. Mercury removal.	3 - 11 - 3 - 8
155	الترسيب الكيميائي للفوسفور. Chemical precipitation of Phosphorus	12 - 3 - 8
157	إزالة الفوسفور بواسطة الشب (الآلوم).	1 - 12 - 3 - 8
157	إزالة الفوسفور بواسطة إضافة الكلس.	2 - 12 - 3 - 8
158	إزالة الفوسفور في الترسيب الأولي والمعالجة الثانوية (الثانوية).	3 - 12 - 3 - 8
159	إزالة النتروجين. Nitrogen removal.	13 - 3 - 8
159	تعرية الأمونيا بالهواء أو البخار. Air/Steam Stripping of Ammonia.	1 - 13 - 3 - 8
160	التبادل الشاردي. Ionic Exchange.	2 - 13 - 3 - 8
162	ثابت التبادل الشاردي وسعة التبادل.	1 - 2 - 13 - 3 - 8
163	العوامل المؤثرة على الفصل.	2 - 2 - 13 - 3 - 8
165	التطبيقات.	3 - 2 - 13 - 3 - 8
165	الأكسدة بالكلور. Chlorine oxidation.	3 - 13 - 3 - 8
167	المعالجة البيولوجية للأمونيا (النترجة) وإزالة النتروجين. Biological Nitrification of Ammonia and Biological Denitrification	4 - 13 - 3 - 8
167	الامتزاز. Adsorption.	14 - 3 - 8
168	الفحم المنشط. Activated Carbon.	1 - 14 - 3 - 8
168	العوامل المؤثرة على الامتزاز بالفحم المنشط.	1 - 1 - 14 - 3 - 8
170	التوازن الستاتيكي، منحنى الامتزاز. Adsorption Isotherm.	2 - 1 - 14 - 3 - 8
172	الامتزاز في الظروف الحركية.	3 - 1 - 14 - 3 - 8
173	الالومينا المنشطة. Activated Alumina.	2 - 14 - 3 - 8
173	الترشيح بالأغشية. Membrane filtration.	15 - 3 - 8
174	الديليزة الكهربائية. Electrodialysis.	16 - 3 - 8
176	التبخير. Evaporation.	17 - 3 - 8

176	Evaporation Ponds. برك التبخير.	1 - 17 - 3 - 8
178	Mechanical Evaporators. المُبخر الميكانيكي.	2 - 17 - 3 - 8
180	المبخر بالأنايب - التدفق من الاعلى للأسفل.	1 - 2 - 17 - 3 - 8
	Vertical-Tube Falling Film	
182	المبخر ذو الأنايب الافقية مع مرشات.	2 - 2 - 17 - 3 - 8
	Horizontal-Tube Spray Film	
183	المبخر بالتدوير القسري. Forced Circulation evaporator.	3 - 2 - 17 - 3 - 8
183	التخثير الكهربائي. (EC) Electrocoagulation.	18 - 3 - 8
192	الترسيب. Sedimentation.	9.
192	المقدمة. Introduction.	1 - 9
192	تعريف.	2 - 9
193	التطبيقات.	3 - 9
193	تصنيف عمليات الترسيب.	4 - 9
194	نظرية الترسيب البسيط. Theory of plain sedimentation.	5 - 9
200	أحواض الترسيب الأولية. Primary sedimentation tanks.	6 - 9
200	أحواض الترسيب بدون مواد مخثرة.	1 - 6 - 9
205	إضافة المواد المخثرة وتشكيل الندف.	2 - 6 - 9
	Coagulation and Flocculation	
208	ضوابط تصميم أحواض الترسيب الاولى.	3 - 6 - 9
212	أنظمة المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصناعي.	10.
	Industrial biological wastewater treatment systems	
212	الهدف من المعالجة البيولوجية الشائبة (الثانوية) لمياه الصرف الصناعي.	1 - 10
214	النمو البكتيري. Cell Growth.	2 - 10
214	الوصف العام لخلية بكتيرية.	1 - 2 - 10
219	طريقة الحمأة المنشطة. Activated sludge process.	11.
219	مقدمة.	1 - 11
221	زمن التهوية وتحميل BOD.	2 - 11

222	نسبة F/M.	3 - 11
224	التفاعل البيوكيميائي	4 - 11
224	Process Design Concepts مفهوم طريقة التصميم.	5 - 11
225	النماذج الرياضية في حساب الحمأة المنشطة.	6 - 11
	Process mathematical modeling	
225	المزج الكامل مع تدوير.	1 - 6 - 11
227	توازن الكتلة الحيوية وكتلة الطبقة المغذية.	2 - 6 - 11
	Microorganism and substrate mass balance	
237	الحمأة المنشطة ذات الجريان الكتلي مع التدوير.	7 - 11
	Plug-flow with recycle	
238	التشغيل والتحكم في الحمأة المنشطة.	8 - 11
	Operation and Control of Activated-Sludge Processes	
238	مؤشر حجم الحمأة. (SVI) Sludge volume index	1 - 8 - 11
240	مؤشر كثافة الحمأة. (SDI) Sludge density index	2 - 8 - 11
240	الحمأة المنشطة المعادة. (RAS) Return activated sludge	3 - 8 - 11
242	عمر الحمأة. Sludge age	4 - 8 - 11
243	الطرائق المعدلة عن الحمأة المنشطة.	9 - 11
	Modified Activated-Sludge Processes	
243	حمأة منشطة مزج كامل.	1 - 9 - 11
	CMAS -Complete mix activated sludge	
244	الجريان الكتلي التقليدي.	2 - 9 - 11
	Conventional plug flow activated sludge	
245	التغذية المجزأة. Step feed	3 - 9 - 11
246	التثبيت بالتماس. Contact stabilization	4 - 9 - 11
247	التهوية المديدة. Extended aeration	5 - 9 - 11
247	طريقة مرحلتي الحمأة. Tow sludge process	6 - 9 - 11
248	قنوات الأكسدة. Oxidation ditch	7 - 9 - 11
249	طرائق أخرى للمعالجة بالحمأة المنشطة.	8 - 9 - 11

251	أنظمة التهوية. Aeration systems	10 - 11
257	الحمأة المنشطة مع الغشاء البيولوجي على الميديا. Activated sludge with fix biofilm packing	12
257	طريقة المفترشات (الميديا) المتحركة. Moving- bed biofilm reactor (MBBR)	1 - 12
267	طريقة الميديا الداخلية الثابتة (النمو الثابت). Internal fixed backing bed for attached growth Processes	2 - 12
269	طريقة النمو الثابت الغاطس.	3 - 12
273	المعالجة البيولوجية بالمفاعل مع الأغشية. (MBRs) Membrane biological reactors	4 - 12
273	شرح طريقة العمل.	1 - 4 - 12
279	المعالجة البيولوجية اللاهوائية لمياه الصرف. Anaerobic biological treatment processes	13
279	مقدمه.	1 - 13
281	القلوية.	2 - 13
281	عمر الحمأة.	3 - 13
282	طرائق المعالجة اللاهوائية في النمو المعلق للبكتيريا.	4 - 13
283	طريقة المزج الكامل. Complete mix process	1 - 4 - 13
283	طريقة التماس اللاهوائية. Anaerobic contact process	2 - 4 - 13
285	طريقة ASBR.	3 - 4 - 13
286	طريقة المفاعل اللاهوائي ذو التدفق الصاعد عبر طبقة الحمأة. Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)	4 - 4 - 13
293	سريير الحمأة الحبيبي المتمدد. Expanded granular sludge bed (EGSB)	5 - 4 - 13
295	المفاعل اللاهوائي بالتدوير الداخلي. Internal Circulation (IC) reactor	6 - 4 - 13
297	طريقة المفاعل اللاهوائي ذو الحواجز (ABR). Anaerobic baffled reactor	7 - 4 - 13

300	طريقة المفاعل اللاهوائي ذو الحمأة المهاجرة مع مزج. (AMBR) Anaerobic Migrating Blanket Reactor	8 - 4 - 13
301	طرائق المعالجة اللاهوائية في النمو الثابت للبكتيريا (الأغشية الحيوية الثابتة). Anaerobic attached growth processes	5 - 13
302	نموذج الميديا ثابتة. (الأغشية الحيوية الثابتة). Fixed media	1 - 5 - 13
303	نموذج الطبقة (السريز) المتمددة التدفق الصاعد. Expanded bed	2 - 5 - 13
304	نموذج السريز (الطبقة) المتميع. Fluidized bed (FBR)	3 - 5 - 13
306	المفاعل اللاهوائي ذو التدفق النازل والنمو الثابت على ميديا ثابتة.	4 - 5 - 13
308	المرشحات البيولوجية (مرشحات التنقيط). Trickling filter	14
308	مقدمة.	1 - 14
308	أنواع المرشحات البيولوجية (مرشحات التنقيط)	2 - 14
309	المرشح ذو المعدل المنخفض. Low rate	1 - 2 - 14
310	المرشح ذو المعدل المتوسط والمعدل العالي. Intermediate rate and high rate	2 - 2 - 14
311	المرشح ذو المعدل العالي السوبر. Super Rate Filter	3 - 2 - 14
311	المرشح غير المنتظم. filter Roughing	4 - 2 - 14
311	المرشح البيولوجي على مرحلتين. Tow stage filter	5 - 2 - 14
311	تصميم المرشح البيولوجي.	3 - 14
313	التزويد. Dosing Rate	1 - 3 - 14
313	المواد الحاملة، الميديا. Media	2 - 3 - 14
314	تدفق الهواء.	3 - 3 - 14
318	المعالجة البيولوجية المتقدمة لإزالة الفوسفور والنيتروجين. Advanced biological treatment to remove phosphorous and nitrogen	15

318	إزالة الفوسفور بالطرائق البيولوجية.	15 - 1.
	Phosphorus removal by biological processes	
319	طريقة A/O.	15 - 1 - 1.
320	طريقة تعرية (تجريد) الفوسفور. PhoStrip	15 - 1 - 2.
321	طريقة مفاعل الدفقات المتتابع (الإملاء والسحب). SBR. (Sequencing batch reactor).	15 - 1 - 3.
325	الطرق البيولوجية لإزالة مشتركة للنتروجين والفوسفور.	15 - 2.
326	طريقة A ² /O.	15 - 2 - 1.
329	طريقة المراحل الخمسة. (five - stage)	15 - 2 - 2.
329	طريقة (UCT).	15 - 2 - 3.
329	طريقة (VIP).	15 - 2 - 4.
330	ضبط النتروجين. Nitrogen control	15 - 3.
331	أكسدة الأمونيا بيولوجيا. Biological oxidation of ammonia	15 - 3 - 1.
337	إزالة النتروجين. Denitrification	15 - 3 - 2.
338	طريقة تصميم أنظمة النتجة وإزالة النتروجين المشتركة.	15 - 3 - 2 - 1.
	Process design for combined nitrification and denitrification system	
345	قنوات الأكسدة. Oxidation ditches	15 - 3 - 3.
349	أكسدة الأمونيوم لاهوائيا وإزالة النتروجين باستعمال أنظمة اناموكس.	15 - 3 - 4.
	Anaerobic ammonium oxidation and Nitrogen removal by using Anammox systems	
349	تعريف الأكسدة اللاهوائية للأمونيا (Anammox).	15 - 4 - 3 - 1.
	Anaerobic Ammonium Oxidation	

- 355 16. الأكسدة الكيميائية والمعالجة الفيزيائية للملوثات العضوية.
Chemical and physical treatment of organic pollutants
- 355 16 - 1. الأكسدة الكيميائية للمواد العضوية.
Chemical treatment of organic pollutants
- 356 16 - 1 - 2. قابلية تطبيق الأكسدة الكيميائية لإزالة المواد العضوية.
- 357 16 - 1 - 3. اعتبارات تصميمية. Design considerations
- 357 16 - 1 - 4. عوامل الأكسدة. Oxidizing agents
- 358 16 - 1 - 4 - 1. الماء الأوكسجيني. (H₂O₂)، كاشف فنتون Fenton's Reagent
- 361 16 - 1 - 4 - 2. الكلور. Chlorine (Cl)
- 361 16 - 1 - 4 - 3. ثاني أكسيد الكلور. ClO₂ (Chlorine dioxide)
- 361 16 - 1 - 4 - 4. الاوزون. O₃ (Ozone)
- 363 16 - 1 - 4 - 5. البرمنغنات permanganate (MnO₄⁻)
- 363 16 - 1 - 4 - 6. الاشعة فوق البنفسجية. UV Ultraviolet Light
- 365 16 - 1 - 4 - 7. الصوتنة. Sonication
- 366 16 - 1 - 4 - 8. الاكسدة بالهواء الرطب. Wet Air Oxidation
- 367 16 - 1 - 4 - 9. الاكسدة فوق الحرجة بالماء. Supercritical Water Oxidation (SCWO)
- 367 16 - 2. المعالجة الفيزيائية للملوثات العضوية.
Physical treatment of organic Pollutants
- 367 16 - 2 - 1. قابلية الانحلال في المحاليل السائلة.
Portability of dissolution in solutions liquid
- 368 16 - 2 - 1 - 1. إنحلال غاز في الماء.
- 368 16 - 2 - 2. طرائق ازالة المواد الذائبة القابلة للتطاير من مياه الصرف.
Remove a volatile solute material from wastewater

368	16 - 2 - 2 - 1. أبراج التعرية (التجريد). Stripping Towers
369	16 - 2 - 2 - 1 - 1. مقدمة نظريه.
373	16 - 2 - 2 - 2 - 1. بعض معالم التصميم.
379	16 - 2 - 2 - 3 - 1. مواد التملئة (الحشوة) Packing Material
382	16 - 2 - 2 - 4 - 1. تعرية (تجريد) الامونيا. Ammonia stripping
384	16 - 2 - 2 - 1 - 4 - 1. الطريقة البسيطة لحساب تدفق الهواء اللازم لإزالة الامونيا.
388	17. الترشيح Filtreation
388	17 - 1. إزالة المواد العالقة. TSS والغرويات العضوية وغير العضوية. Suspended Solids organic and inorganic colloidal Removal
388	17 - 2. تصنيف المرشحات.
389	17 - 2 - 1. المرشحات ذات العمق. Depth filtration
396	17 - 2 - 2. المرشحات السطحية. Surface filtration
398	17 - 2 - 3. طرائق الترشيح بواسطة الأغشية. Membrane filtration processes
399	17 - 2 - 3 - 1. تصنيف طرائق الترشيح بواسطة الأغشية. Classification membrane processes
402	18. معالجة الحمأة الصناعية والتخلص منها. Industrial sludge treatment and disposal
403	18 - 1. خيارات معالجة الحمأة. Sludge Treatment Alternatives
404	18 - 1 - 1. تكثيف الحمأة. Sludge thickening
405	18 - 1 - 1 - 1. التكثيف بالثقالة. Gravity thickener
406	18 - 1 - 1 - 2. تكثيف الحمأة بالتطويف. DAF
409	18 - 1 - 1 - 3. تكثيف الحمأة بالطرد المركزي. Centrifuge thickening
410	18 - 1 - 1 - 4. تكثيف الحمأة بواسطة السير المكثف Gravity belt thickening (GBTs)
410	18 - 1 - 1 - 5. مكثف البرميل الدوار. RDT. Rotary drum thickening
411	18 - 1 - 2. نزع الماء. Dewatering
412	18 - 1 - 2 - 1. السير الضاغط (الحزام الراشح الضاغط). Belt filter press

414	Filter press. المرشح المكبسي.	2 - 2 - 1 - 18
417	Screw presses. المكبس اللولبي.	3 - 2 - 1 - 18
418	Vacuum filtration. المرشح الإنفراغي.	4 - 2 - 1 - 18
420	Container filters. مرشح الحاوية.	5 - 2 - 1 - 18
421	Geotube. أكياس	6 - 2 - 1 - 18
421	Natural evaporation. نزع الماء من الحمأة بالتبخير الطبيعي.	7 - 2 - 1 - 18
422	مفترشات التجفيف الرملية التقليدية (أحواض التجفيف الرملية).	1 - 7 - 2 - 1 - 18
	Drying bed	
423	lagoons. البحيرات.	8 - 2 - 1 - 18
424	Vacuum-Assisted Drying Beds. أسرة التجفيف بمساعدة الانفراغ.	9 - 2 - 1 - 18
425	Sludge incineration. ترميد الحمأة.	3 - 1 - 18
428	Composting. الإسماد.	4 - 1 - 18
431	Sludge conditioning. تكييف الحمأة.	5 - 1 - 18
431	Disposal processes technology. تكنولوجيا عمليات التخلص.	2 - 18
431	عمليات التخلص من نواتج المصافي وفواصل الرمال.	1 - 2 - 18
432	Chemical Fixation. التثبيت الكيميائي.	2 - 2 - 18
432	Oily sludge and residues. الحمأة الزيتية والمتبقيات.	3 - 2 - 18
435	النفائات الخطرة أو السامة.	4 - 2 - 18
435	المواد الصلبة غير الخطرة في مياه الصرف.	5 - 2 - 18
	Nonhazardous wastewater solids	
435	Land fill. مطامر النفائات.	1 - 5 - 2 - 18
435	land application. التطبيق على الاراضي.	2 - 5 - 2 - 18
437	الجزء الخامس	
	امثلة عن معالجة مياه الصرف الصناعي	
439	معالجة مياه المسالخ.	19.
	Slaughterhouse wastewater Treatment	
439	مقدمة عامة عن فضلات المسالخ.	1-19.

440	النفايات الناتجة عن المسالخ.	2-19
442	كمية مياه الصرف في المسالخ.	3-19
442	معالجة مياه المسالخ.	4-19
442	نوعية المياه.	1 - 4 - 19
444	الطرائق العامة لمعالجة مياه صرف المسالخ.	2 - 4 - 19
446	المعالجة الثنائية (الثانوية) لمياه المسالخ.	3 - 4 - 19
448	المعالجة بالحماة المنشطة مع حوض تماس مهوى يحيوي ميديا (مرحلتين). Activated sludge/ Contact Aeration	1-3-4-19
451	المعالجة بالهاضم اللاهوائي مع ميديا ثابتة. Anaerobic digester + Fixed media	2-3-4-19
451	كمية ونوعية المياه الداخلة.	1-2-3-4-19
451	طريقة المعالجة المعتمدة.	2-2-3-4-19
455	20. معالجة مياه صرف الدباغات. Tanneries Wastewater treatment	
455	1-20. توصيف خطوات العملية الإنتاجية في الدباغات التقليدية والأكثر شهرة.	
458	2-20. نوعية المياه المطروحة من الدباغات.	
460	3-20. خيارات معالجة مياه صرف الدباغات.	
461	1-3-20. التخثير وتشكيل الندف. CF Coagulation and flocculation	
461	2-3-20. المعالجة البيولوجية.	
462	1-2-3-20. المعالجة البيولوجية الهوائية.	
462	2-2-3-20. المعالجة البيولوجية اللاهوائية.	
464	1-2-2-3-20. المعالجة البيولوجية المشتركة لإزالة الكبريت من مياه صرف الدباغات. Combined biologic removal of sulphate	
466	2-2-2-3-20. المعالجة البيولوجية بهاضم لاهوائي بمرحلتين وحماة منشطة.	
468	3-2-2-3-20. بعض الأمثلة عن معالجة مياه الدباغات في بعض دول العالم.	

471	معالجة مياه صرف المصايف	21.
	Wastewater treatment of Textile dyeing houses	
471	مقدمة.	1-21.
472	كمية المياه والتلوث الناتج عن صناعة الصباغة.	2-21.
473	كيف نحدد طريقة معالجة مياه صرف صباغة الاقمشة.	3-21.
474	طرائق معالجة مياه صرف الصباغة.	1-3-21.
475	الوصول بمستوى معالجة لمياه الصرف ليتم طرحها في المسطحات المائية أو الانهر.	1-1-3-21.
479	الوصول بمستوى المعالجة لتطابق بعض المواصفات.	2-1-3-21.
479	المعالجة الكيميائية لمياه صرف المصايف والصرف الصحي ومياه ورش الصيانة في معمل السورية للغزل والنسيج بحلب وطرحها في المجرور العام.	2-3-21.
482	المعالجة البيولوجية لمياه صرف المصايف لتحقيق بعض المواصفات.	3-3-21.
487	معالجة مياه المصايف بالتخثر الكهربائي. Electrocoagulation	4-3-21.
489	تدوير مياه المصايف.	5-3-21.
491	معالجة مياه صرف معامل الالبان.	22.
	Wastewater treatment plants of Dairy factories	
491	مقدمة.	1-22.
492	نوعية مياه الصرف.	2-22.
495	كمية مياه الصرف. Quantity of wastewater	3-22.
497	طرائق معالجة مياه صرف معامل الالبان والأجبان.	4-22.
497	المعالجة البيولوجية الهوائية.	1-4-22.
498	مثال على المعالجة البيولوجية الهوائية في معمل اجبان كركور- حماة.	1-1-4-22.
499	أداء المحطة.	1-1-1-4-22.
500	المعالجة البيولوجية المشتركة (اللاهوائية الهوائية) في معامل الاجبان.	2-4-22.

501	مثال على المعالجة البيولوجية المشتركة (اللاهوائية الهوائية) في معمل اجبان.	1-2-4-22
504	التلييس الكهربائي.	23
	Wastewater treatment plants of Electroplating	
504	التلييس الكهربائي. Electroplating	1-23
506	كمية مياه الصرف.	2-23
506	الملوثات الناتجة من عمليات التلييس الكهربائي.	3-23
507	معالجة مياه معامل التلييس بطريقة تحويل المعدن المنحل إلى غير منحل.	4-23
512	معالجة مياه الصرف الناتجة عن صناعة الورق.	24
	paper industry wastewater treatment plant	
512	مقدمة.	1-24
513	نوعية وكمية مياه الصرف. Quality and quantity of waste water	2-24
516	معالجة مياه صرف معامل الورق.	3-24
	Wastewater treatment in paper mills	
516	أنواع المفاعلات. Types of reactors	1-3-24
516	المفاعلات اللاهوائية. Anaerobic Process	1-1-3-24
517	المفاعلات الهوائية. Aerobic Process	2-1-3-24
518	المعالجة المشتركة. Combined Processes	3-1-3-24
520	محطة معالجة مياه الصرف في معمل ارايبكو ARAPEPCO لتدوير الورق بحلب.	4-24
520	موجز عن طريقة المعالجة.	1-4-24
522	نوعية المياه. Water quality	2-4-24
524	طريقة المعالجة.	3-4-24
526	معالجة مياه صرف تصنيع المبيدات.	25
	Wastewater treatment of pesticide industry	
526	مقدمة.	1-25
527	كمية ونوعية مياه الصرف في معامل المبيدات.	2-25

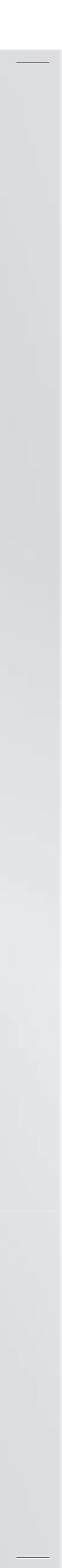
528	طرائق معالجة الملوثات في مياه الصرف الناتجة عن تصنيع المبيدات.	3-25
529	معالجة الملوثات ذات الأولوية والمبيدات.	1-3-25
529	التعرية بالبخر. Steam-Stripping	1-1-3-25
530	الامتزاز على الفحم المنشط. Activated Carbon Adsorption	2-1-3-25
530	الأكسدة الكيميائية. Chemical oxidation	3-1-3-25
530	التبادل الشاردي. Ionic Exchange	4-1-3-25
530	الحلمه. Hydrolysis	5-1-3-25
531	ترسيب المعادن الثقيلة في مياه صرف صناعة المبيدات.	6-1-3-25
531	تتابع مراحل المعالجة.	2-3-25
531	التوازن. Equalization	1-2-3-25
531	التعديل. Neutralization	2-2-3-25
531	المعالجة البيولوجية. Biological Treatment	3-2-3-25
533	الترشيح. Filtration	4-2-3-25
533	معالجة مياه الصرف في معمل طحان لتصنيع المبيدات والاسمدة.	4-25
533	ملخص مراحل العمل في المنشأة.	1-4-25
534	كمية ونوعية المياه المطروحة من المعمل.	2-4-25
536	طريقة المعالجة.	3-4-25
539	معالجة مياه صرف صناعة المنظفات.	26
	Wastewater treatment of detergent industry	
539	مقدمة.	1-26
540	كيفية وصول الملوثات إلى مياه الصرف.	2-26
540	نوعية الملوثات. Quality of contaminants	3-26
542	كمية مياه الصرف وحمولة التلوث في معامل المنظفات الحديثة.	4-26
542	طرائق معالجة مياه صرف المنظفات.	5-26
	Detergent Wastewater Treatment Methods	

544	التخثير/الترسيب /Coagulation /Settling	1-5-26
544	المعالجة البيولوجية. Biological treatment	2-5-26
545	تدوير مياه صرف المنظفات.	6-26
546	حالات دراسية لمعالجة مياه صرف المنظفات.	7-26
546	محطة معالجة معمل منظفات بالموليف. Palmolive Plant - Colgate	1-7-26
547	محطة معالجة معمل منظفات بشرى.	2-7-26
547	كمية المياه ونوع مياه الصرف.	1-2-7-26
547	الغاية من معالجة مياه صرف معمل بشرى للمنظفات.	2-2-7-26
549	مراحل المعالجة المقترحة.	3-2-7-26
550	الإدارة البيئية. Environmental management	1-3-2-7-26
550	المعالجة الكيميائية. Chemical treatment	2-3-2-7-26
550	المعالجة البيولوجية. Biological treatment	3-3-2-7-26
553	محطة معالجة معمل منظفات فتوح.	3-7-26
553	مراحل المعالجة.	1-3-7-26
555	معالجة وإعادة استعمال مياه غسيل السيارات. Carwash wastewater treatment and reuse	27
555	مقدمة.	1-27
555	الطرائق العامة لغسيل السيارات.	2-27
557	استعادة مياه غسيل السيارات. Reclaim car wash water	3-27
558	كمية ونوعية مياه صرف مغاسل السيارات.	4-27
560	طرائق معالجة مياه غسيل السيارات.	5-27
560	فصل الزيوت والشحوم بالراحة (بالثقاله)، الترسيب البسيط.	1-5-27
561	الأكسدة. Oxidation	2-5-27
563	الأكسدة البيولوجية. Biological oxidation	1-2-5-27
563	الترشيح. Filtration	3-5-27

564	الترشيح الغشائي وإزالة الشوارد.	1-3-5-27
566	معالجة مياه صرف الصناعات الدوائية.	28
	Pharmaceutical Wastewater Treatment	
566	مقدمة.	1-28
566	الأمثلة النموذجية لفئات المنتجات الصيدلانية.	2-28
566	طبي. Medicinal	1-2-28
566	حيوي. Biological	2-2-28
567	نباتية. Botanicals	3-2-28
567	حسب نوع معامل الادوية.	4-2-28
567	نوعية وكمية مياه صرف معامل الصناعات الدوائية.	3-28
570	طرائق معالجة مياه صرف معامل الصناعات الدوائية.	4-28
572	المعالجة الفيزيائية.	1-4-28
573	المعالجة البيولوجية.	2-4-28
573	الحمأة المنشطة.	1-2-4-28
574	المرشح البيولوجي «مرشح التنقيط». Trickling Filter	2-2-4-28
575	المرشح البيولوجي اللاهوائي. Anaerobic Filter	3-2-4-28
575	المعالجة البيولوجية بمرحلتين. Two-Stage Biological System	4-2-4-28
576	معالجة مياه الصرف في معمل اراك لإنتاج الادوية والشامبو والمعقمات والكريمات - حلب.	5-28
577	كمية ونوعية مياه الصرف.	1-5-28
577	طريقة المعالجة المقترحة.	2-5-28
578	نتائج المعالجة في معمل اراك فارما.	3-5-28
579	معالجة مياه الصرف الناتجة عن تكرير النفط.	29
	Petroleum Refinery wastewater treatment	
579	مقدمة.	1-29
580	مصادر مياه الصرف الملوثة من عمليات تكرير النفط.	2-29

581	Desalter effluent. النفائات السائلة من إزالة الاملاح.	1-2-29
583	sour water. المياه النكدة.	2-2-29
584	Tank bottom draws. المياه من قاع الخزانات.	3-2-29
586	Spent caustic. المحاليل الكاوية المستنفذة.	4-2-29
587	Cooling water. مياه التبريد.	5-2-29
587	Boiler blowdown. مياه المراجل.	6-2-29
587	LAB raw water treatment / المخابر معالجة المياه العذبة.	7-2-29
587	العاصفة المطرية / الصرف المنزلي.	8-2-29
588	Stormwater. العاصفة المطرية.	1-8-2-29
588	كمية مياه الصرف من مصافي النفط.	3-29
589	نوعية مياه صرف مصافي النفط والصناعات البتروكيميائية.	4-29
591	طرائق معالجة مياه صرف مصافي النفط.	5 - 29
	Oil refineries Wastewater treatment methods	
591	Desalter effluent. النفائات السائلة من مرحلة ازالة الاملاح.	1-5-29
592	Oil separator. فصل الزيوت.	2-5-29
593	تنصح بعض المراجع بتطبيق معالجة كيميائية بالتخثير والترسيب وذلك للأسباب التالية.	3-5-29
593	Secondary treatment. المعالجة الثنائية (الثانوية).	4-5-29
594	Activated sludge. الحمأة المنشطة.	1-4-5-29
597	لمحة عامة عن بعض محطات معالجة مياه صرف مصافي النفط.	6-29
597	مصفاة تكرير النفط لشركة MOBIL OIL في فرنسا.	1-6-29
	Notre - dame de gravench	
598	مياه الصرف من ميناء تحميل النفط لمصفاة ماراثون.	2-6-29
	Marathon Petroleum Oil Refinery	
599	مراحل المعالجة.	1-2-6-29

600	محطة معالجة مياه الصرف في جامناجار . Jamnagar, India	3-6-29
604	معالجة مياه صرف معامل المشروبات غير الكحولية (الغازية وغير الغازية) Soft drink wastewater treatment	30
604	مقدمة.	
604	تحضير المشروبات.	1-30
606	كمية مياه الصرف من صناعة المشروبات.	2-30
607	نوعية مياه الصرف من صناعة المشروبات.	3-30
609	طرائق المعالجة المتبعة.	4-30
612	أمثلة على معالجة مياه صرف المشروبات.	5-30
612	معمل مشروبات (soft drink) في رومانيا تنفيذ شركة TIA.	1-5-30
612	نوعية وكمية مياه الصرف من المعمل.	1-1-5-30
612	طريقة المعالجة.	2-1-5-30
614	معمل مشروبات (soft drink) خزنة.	1-6-30
614	نوعية وكمية مياه الصرف من المعمل.	1-1-6-30
615	طريقة المعالجة.	2-1-6-30
619	المراجع / References	
627	الملاحق	
629	الملحق (1) الملوثات ذات الأولوية من EPA	
631	الملحق (2) مقترح المسافة العازلة الصغرى عن أجزاء محطات المعالجة. [67]	



الجزء الأول

متطلبات
دراسة محطة معالجة مياه
الصرف الصناعي
Design requirements of
industrial waste water plants



ماهي مياه الصرف الصناعي What are the industrial wastewater

1-1. مقدمة.

تعتبر الصناعة من الدعامات الأساسية لإحداث التنمية الاقتصادية والاجتماعية الشاملة، وذلك لما يمكن أن تقوم به من خلق فرص جديدة للعمل وتنويع في مصادر الدخل وزيادة الدخل القومي في أي مجتمع من المجتمعات ولقد أثبتت الدراسات الاقتصادية التطبيقية وجود علاقة طردية بين درجة تصنيع الدول ومدى مرحلة التطور الاقتصادي التي وصلت إليها.

وقطاع الصناعة قطاع ديناميكي سريع التطور وهو القطاع الرئيسي المستهلك لعدد كبير من المواد الأولية كما أنه القطاع الرئيسي الذي يحدث تلوثاً كبيراً للبيئة. والتلوث الصناعي ليس موضوعاً جديداً فلقد عرف قدماء المصريين منذ آلاف السنين الأضرار الناجمة عن استخراج وصهر المعادن على النباتات والمياه الجوفية نتيجة التلوث وعرف الإنجليز أضرار الدخان المتصاعد من حرق الفحم ووضعوا أول تشريع للحد من التلوث بالدخان عام 1273. ومع تطور الصناعة في العالم زادت حدة التلوث الصناعي وفي خلال العقود الأخيرة أتضح أن التلوث الصناعي لا يقتصر فقط على الملوثات التقليدية بل أن هناك مئات من المركبات الكيميائية المعقدة تنطلق من العمليات الصناعية في صورة غازات وجسيمات في الهواء وكمكونات للمخلفات السائلة والصلبة.

والصناعة قطاع مستهلك رئيسي لعدد من الموارد الطبيعية، فلقد ارتفع استخدام الخامات المعدنية في العالم بشكل ملحوظ (خاصة الحديد والألومنيوم والنحاس والرصاص والزنك والنيكل). وبالرغم من أن الدول النامية تحوي معظم الاحتياطي العالمي من الخامات المعدنية مثل البوكسيت والنحاس والقصدير والكوبالت والفوسفات إلا أن استهلاكها من المعادن لا يتجاوز 12 % ويصدر معظم إنتاجها إلى الدول المتقدمة أما في



صورة خامات أو في صورة منتجات أولية وسيطة. ويؤدي استخراج المعادن وتركيزها ومعالجتها الأولية إلى آثار بيئية مختلفة على الأرض والمياه والهواء تتحمل الدول النامية المنتجة تبعاته الاجتماعية والاقتصادية.

كما تستهلك الصناعة في العالم حوالي 973.000 كم مكعب من المياه العذبة (أي حوالي 24 % من مجموع السحب العالمي من المياه العذبة للأغراض المختلفة). وهذه الكميات المتواضعة من المياه المستخدمة في قطاع الصناعة - بالمقارنة مع سحب المياه من أجل الزراعة (الذي يبلغ 69 %) - يرجع إلى حقيقة أن صناعات كثيرة تعيد استخدام المياه عدة مرات قبل أن تتخلص منها في النهاية بوصفها نفايات، ففي الولايات المتحدة الأمريكية مثلاً يستخدم كل متر مكعب من المياه حوالي تسع مرات في المتوسط قبل أن يتم التخلص منه في النهاية كنفاية. وتتفاوت عملية إعادة استخدام هذه المياه من صناعة إلى أخرى ومن بلد إلى آخر وتعتمد على تكلفة المياه وتوفرها وتكلفة إعادة الاستخدام أو التدوير.

وفقاً للمفوضية الأوروبية انخفضت كمية المياه المتاحة لكل إنسان بنسبة 40 % منذ عام 1970، واثنان من بين كل خمسة أشخاص يعيشون على هذا الكوكب يعانون من مشاكل في إمدادات المياه (RTD info 21).

1 - 2. تعريف مياه الصرف الصناعي.

مياه الصرف الصناعي هي التدفق الناتج عن نشاطات ترتبط بتصنيع المواد الأولية وتنتج مياه الصرف الصناعية من الغسيل، الطبخ، التبريد، التسخين، الاستخلاص extraction، التفاعل بين المواد، الفصل، أو النقل، المرفوضات السائلة الملقاة... الخ.

وتحتوي مياه الصرف الصناعي عادةً قليلاً من مياه الصرف المنزلي الناتجة من العمالة الموجودة في المصانع أو مياه الأمطار من ساحات المعامل.

1 - 3. بعض الصناعات التي تطرح مياه صرف والمنتشرة في منطقة الشرق الأوسط.

يمكن أن نضرب بعض الأمثلة عن بعض الصناعات المنتشرة في منطقة الشرق الأوسط والتي تطرح مياه صرف صناعية بكميات كبيرة أو التي تحمل ملوثات عضوية وكيميائية عالية.

• التصنيع الكيميائي: كمعامل الأدوية، البتروكيميائيات، المنتجات

الكيميائية (ماءات الصوديوم، الكلور...)، مواد الأصبغة، الواح الفورميكا، تكرير الزيوت المعدنية، المبيدات الحشرية، الدهانات، الصابون....الخ.

- التصنيع الزراعي agro-industrial كتربية الحيوانات، المسالخ، تعليب اللحوم، معامل الزيوت (استخراج الزيوت من. البذور وتكريرها، معاصر الزيوت...)، تعليب وحفظ الفواكه والخضار، المطاحن على الطريقة الرطبة، البيرة، الخميرة، السكر...الخ.
- صناعة النسيج: (الصباغة والطباعة).
- معامل الورق ومعامل تدوير الورق.
- الالبان والاجبان. Dairy.
- صناعة المشروبات: الغازية، العصائر الطبيعية والصناعية المعلبة المستردة أو غير المستردة.
- اطعمة الاطفال من الذرة والقمح والبطاطا (الشبس، البسكويت، المأكولات من آلات البثق Extruder).
- صناعات النشاء والقطر. Starch and glucose manufacturing.
- صناعات ميكانيكية كالخرابة - صناعة الآلات Metal production and machinery.
- تلبيس المعادن Electroplating.
- صناعة البطاريات Battery Manufacturing، معامل تدوير البطاريات.
- مياه تبريد محطات الطاقة.

1 - 4. تصنيف الملوثات في مياه الصرف الصناعي.

إن أحد الخصائص المشتركة لمعظم مياه الصرف الصناعي هي التذبذب الكبير في أحمال الملوثات وفي الأحمال الهيدروليكية (المصاوغ تطرح مياه أحواض الصباغة المتعددة بدون انتظام وذلك حسب نوع القماش ونوع الصباغ وبدفقات فجائية كبيرة فمثلا حوض صبغ بكرة الخيط (تدعى الكونة) الواحد سعته 2 م³ يتم طرحه في 3 - 5 دقائق أي أنه حسابياً سيكون التدفق 24 - 40 م³/سا، ولو فرضنا أنه تم تفريغ أكثر من حوض في

نفس الوقت فسيحدث مشكلة في كل مراحل محطة المعالجة إذا لم يؤخذ ذلك في الاعتبار.

وتختلف نوعية وكمية الملوثات التي تصدر عن الأنشطة الصناعية وتتوقف على عدة عوامل أهمها:

1. نوع الصناعة.
2. حجم المصنع وعمره ونظام الصيانة فيه.
3. نظام العمل بالمصنع وكمية الإنتاج.
4. التقنيات المستخدمة في العمليات الصناعية.
5. نوعية الوقود والمواد الأولية المستخدمة.
6. وجود الوسائل المختلفة للحد من إصدار الملوثات ومدى كفاءة العمل بها.

إن مياه الصرف الصناعي لها طابع خاص ولكل صناعة لها تلوث تتميز به ويختلف التلوث وكمية مياه الصرف الصناعي من معمل إلى معمل آخر حتى ولو كان يصنع نفس المنتج.

وتصنف الملوثات في مياه الصرف الصناعي التي هي بحاجة لمراقبة دائمة بالنسبة لمتطلبات المعالجة:

1. الزيوت والدهون والشحوم FOG
2. ضبط الرقم الهيدروجيني pH
3. المركبات العضوية Organic compounds
4. المركبات غير العضوية Inorganic compounds
 - المعادن الثقيلة، السيانيد، الزرنيخ...
 - الامونيا: النترا، النتريت.
 - مركبات الفوسفور.
 - الكبريتيد.

وسيتم في الفصول اللاحقة استعراض لبعض الصناعات التي تحوي

على هذه الملوثات وطريقة معالجتها. الجدول (1-4-1) يعطي تراكيز الملوثات الرئيسية لبعض الصناعات المعروفة من [1]، علماً أن تراكيز الملوثات الصادرة تختلف من منطقة لأخرى ومن مصنع لآخر، وتختلف كذلك طريقة التصنيع لنفس المنتج وبالتالي تختلف الملوثات المنتجة. كما نلاحظ بأن مؤشرات التلوث فيه منخفضة لبعض الصناعات كالصناعة الدوائية والنسيجية والبطاريات عن مثيلاتها في منطقتنا المتوسطة.

الجدول (1-4-1)
تراكيز الملوثات الرئيسية التقليدية
لبعض الصناعات المعروفة [1]

P	TKN	TOC	COD	O&G	TSS	BOD ₅	مصدر التلوث ملغ/ل
				14	210		بطاريات
0.5-98	150-50 100-50		4900-473	100-50 1000-300	ND-200 2000-1000 800-200 3500-81	10000-1000 2500-1000 1000-300 4450-225	الصناعة الغذائية المشروبات الالبان والاجبان الخضار والفواكه الحبوب
72-35 82-44	310-230 72-24			670-150 1800-160	3300-1200 2400-360	7200-2200 5000-1500	تصنيع اللحوم التصنيع الاولي التصنيع الاضافي
21-12 72 38	90-54 80 180			670-160 790 1600	980-760 1660 3200	2200-1600 3300 2000	صناعة الدواجن التصنيع الاولي التصنيع الاضافي صناعة معالجة بقايا الدواجن وتحويلها لاشياء مفيدة
140-0.02					10000-0.1		تلبيس كهربائي
	838		9900-72	4100-13	5000-31		تصنيع الحديد والفولاذ
23-0.01		4800-2	16700-35	65-5	16500-4	7600-1	المطامر
	890-46	ND-2900	13600-1800	1600-86	8600-710	5900-400	دباغات - أنهاء
	200-100	10000-7500	30000-20000	20000-10000 500-100	3000-2000	4000-3000	قطع وتشكيل المعادن تلبيس المعادن

		5600-68	310002-70	يظهر	6100-15	2500-7	المواد العضوية الكيميائية: البلاستيك الألياف الصناعية
		46000-1500	350000-1200	3400-42	148000-280	65500-280	تشكيل الدهان
				ND-50	13900-11	12-8	مواد العزل : القطران + الأسفلت
			10000-718		1400-16	4500-220	الصناعات الدوائية
9.3-0.08				ND-96	32500-110		الصناعات الخرفية والميناء
			12000-0				لب الورق - الورق
			300-0.01	96-0.8	1100-8	30-0.2	تصنيع المطاط: - الاطارات الدولاب الخارجي +الداخلي - المطاط الصناعي
			2800-50	200-1	770-15	420-9	
			500-300		2000-200 300-150	1000-200 300-150	النسيج: القطن الصوف
3-0.3	4-0.17		19300-2600	300	1100-400	4000-56	المنتجات الخشبية

في الجدول لم يتم ذكر بعض الصناعات الهامة كالمصاوغ- المسالخ- صناعة السكر- تدوير الورق حيث سيتم عرض لبعض من هذه الصناعات المحلية وطرائق معالجتها لاحقاً.

وحيث تُعرف المعلومات التالية:

BOD_5 : الأكسجين اللازم للأكسدة البيوكيماوية لمدة 5 يوم .

COD : الأكسجين اللازم للأكسدة الكيميائية.

O&G : الزيوت والشحوم.

ND : دون مجال الكشف المتاح.

P : الفوسفور الكلي.

TKN : النتروجين الكلي بتجربة كيلدال Kjeldahl.

TOC : الكربون العضوي الكلي.

TSS : المواد العالقة الكلية.



1-4-1. خواص المواد السامة في مياه الصرف الصناعية. Industrial wastewater toxicity characterization

تطرح كثير من مياه الصرف الصناعي من معامل الادوية والمبيدات وصناعة البلاستيك وتلبيس المعادن والصناعة النفطية، والدهانات، والمشروبات.. ، وكمية الملوثات السامة يجب اكتشافها في التحاليل وتوقع وجودها حسب الخبرة، ويجب أن تكون ضمن المواصفات ليتم طرحها في المسطحات المائية أو ضمن المواصفات للطرح في المجاري العامة، حسب الحالة، وتعبير المواد السامة يعني احتوائها على أحد المواد ذات الأولوية، وهي تتألف من 126 مادة تسمى الملوثات ذات الأولوية priority pollutants (جدول صادر عن وكالة حماية البيئة EPA الأمريكية) الملحق (1) الذي يبين 129 مادة حيث تم اختصار ثلاث مواد منها لاحقاً، ونلاحظ ظهور هذه المواد في الصناعات المذكورة في الجدول (1-1-4-1) وفي الجدول (2-1-4-1) أما الجدول (3-1-4-1) و(4-1-4-1) فيعطي أمثلة عن التلوث بمواد لا معدنية (وتسميها كثير من المصادر مواد سامة أيضاً).

ويقترح عدة طرائق لمعالجتها:

- **الترشيح Filtration** - ازالة المركبات غير المنحلة (الذائبة).
 - **المبادل الشاردي Ion exchange** - ازالة المركبات الايونية غير العضوية.
 - **التهوية: التهوية بوسط pH** حمضي ومتعادل وقاعدي يزيل كل المركبات العضوية الطيارة (بالإضافة للأمونيا بدرجة pH عالية).
 - **ريزين الزيوليت Zeolite resin** في المبادل الشاردي لإزالة الأمونيا.
 - **صوديوم ثيوسلفات Sodium thiosulfate**: مرجع لأي من المؤكسدات، مثل الكلوراين .
 - **المعالجة البيولوجية**: المواد القابلة للتحلل الحيوي تتأكسد كلياً.
- إذاً نلخص أنه في مراحل المعالجة المختلفة من معالجة كيميائية أو معالجة أولية وثنائية وثلاثية يتم إزالة كثير من الملوثات السامة.

الجدول (1-1-4-1)
تراكيز الملوثات العضوية الطيارة السامة
في مياه الصرف لبعض الصناعات

الملوث - مغ/ل	تلبيس الوشائع	المطامر	المنتجات المعدنية	*OCPSF والآلات
Acrolein			0.31	2.5 - 35
Acrylonitrile		ND-0.23		0.29 - 890
Benzene				0.01 - 714
Bromoform				0.02 - 0.07
Carbon tetrachloride				0.02 - 44
Chlorobenzene			0.28	0.01 - 50
Chlorodibromomethane				
Chloroethane			4.2	0.06 - 1
Chloroform	ND-0.01 5		0.05	0.01 - 5.3
Chloromethane				0.5 - 0.13
1,2- Dichlorobenzene				0.01 - 23
1,3- Dichlorobenzene				0.01 - 4.6
1,4- Dichlorobenzene				0.01 - 0.07
Dichlorobromomethane				
1.1-Dichloroethane	ND-0.025	ND-0.25	0.09	0.01 - 0.64
1.2- Dichloroethane				0.01 - 1270
1.1-Dichloroethylene	ND-0.09		0.42	0.23 - 18
1.2-trans-Dichloroethylene	0.009	ND-6.2		0.01-0.52
1.2-Dichloropropane				0.03 - 11
1.3-Dichloropropylene				0.02 - 4.9
Ethyl benzene		ND-1.1	0.17	0.02 - 80
Hexachlorobenzene				0.01-0.92
Hexachlorobutadiene				0.08-9.1
Hexachloroethane				0.04-3.4
Methylene chloride	ND-0.02	ND-19	0.4	0.01-13
1.1-2.2-Tetrachloroethane	ND-0.06			0.03-0.19
Tetrachloroethylene	ND-0.025		0.21	0.01-32
Toluene	ND-0.14	0.03-2.5	0.23	0.01-160
Tribromomethane				
1.2.4-Trichlorobenzene				0.02-1.9
1.1.1-Trichloroethane	ND-0.56		0.33	0.01-7.2
1.1.2-Trichloroethane				0.01-1.2
trichloroethylene		ND-27	0.09	0.48 - 0.01
Vinyl chloride		ND-1.4		

* OCPSF : المواد العضوية الكيميائية، البلاستيك، الألياف الصناعية [1] - الجدول (يتبع).

تابع الجدول (1-1-4-1):

الملوث - ملغ/ل	تشكيل الدهان	المبيدات	الأدوية	لب الخشب والورق	معدات النقل
Acrolein		ND-5.6			
Acrylonitrile					ND-41
Benzene	0.02-9.9	ND-31	0.01-0.3		ND-11
Bromoform					
Carbon tetrachloride	ND-30	0.0005-44.3			
Chlorobenzene	ND-5.5	0.04-0.11			ND-0.02
Chlorodibromomethane		ND-39			
Chloroethane					
Chloroform	0.02-0.9	ND-110	1.1-1200	ND-57	ND-0.09
Chloromethane		ND-0.11	2.9-10	ND-30	
1,2-Dichlorobenzene		0.07-14			ND-9.4
1,3-Dichlorobenzene					
1,4-Dichlorobenzene		0.08-0.55			
Dichlorobromomethane	0.03	ND-29			
1,1-Dichloroethane	ND-0.01	ND-2.9			ND-0.01
1,2-Dichloroethane	ND-0.42	ND-3260	2.7-13		ND-0.45
1,1-Dichloroethylene	ND-0.62	ND-813			ND-0.01
1,2-Trans-Dichloroethylene	ND-0.26	0.016-0.018			
1,2-Dichloropropane	ND-0.97	ND-1.2			ND-0.01
1,3-Dichloropropylene	0.1	ND-11			
Ethyl benzene	0.08-113	ND-9.6			ND-4.5
Hexachlorobenzene	0.09				ND-0.07
Hexachlorobutadiene					
Hexachloroethane		0.03-5.3			ND-0.07
Methylene chloride	ND-210	ND-11300	1.9-11500	ND-9.2	ND-12
1,1,2,2-Tetrachloroethane	ND-0.03				
Tetrachloroethylene	ND-4.9	ND-403			ND-1.1
Toluene	0.07-260	ND-400	0.13-46700		ND-13
Tribromomethane		ND-43			ND-0.01
1,2,4-Trichlorobenzene		ND-4.5			ND-0.08
1,1,1-Trichloroethane	ND-0.93	ND-15500			ND-0.71
1,1,2-Trichloroethane	ND-2.8				
Trichloroethylene	ND-0.25	ND-0.04		ND-0.02	ND-0.03
Vinyl chloride					ND-0.01

الجدول (2-1-4-1)

بعض الملوثات العضوية السامة النصف طيارة

Toxic semi volatile organic pollutants

لبعض الصناعات من [1]

الملوث - ملغ/ل	الجلود	المنتجات المعدنية والآلات	OCPSF	تشكيل الدهان	المبيدات	معدات النقل
Fluorene	ND-0.002	0.96	0.01-1.9			ND-0.97
Indeno(1,2,3-cd)pyrene			0.02			
Isophorone		0.06	0.25		ND-0.04	ND-0.14
Naphthalene	ND-1.5	0.64	0.01-37	ND-18	ND-1.2	ND-74
Nitrobenzene	ND-0.43		0.14-330	ND-0.18	ND-0.04	
2-Nitrophenol	ND-0.005	0.39	0.03-30			
4- Nitrophenol	ND-14	3	0.08-10			
n-Nitrosodiphenylamine	ND-0.25	1.1				
di-n-Octyl phthalate		1.6	0.01-0.06		ND-0.42	ND-0.79
Pentachlorophenol	ND-3.6		0.05-0.49	ND-27		
Phenanthrene		0.5	0.02-11			ND-1.5
Phenol	ND-6.6	10	0.01-980	ND-3.8	ND-98	ND-2
Pyrene	ND-0.003	0.22	0.01-5.5		ND-0.01	ND-0.52
2,4,6 Trichlorophenol	ND-3.2		0.01-17	ND-4.9	ND-16	ND-0.18

الجدول (3-1-4-1)

مجال الملوثات السامة غير العضوية

في مياه الصرف لبعض الصناعات Toxic inorganic pollutants

الملوث- ملغ/ل	البطاريات	تلبيس الوشائع	تشكيل النحاس	الكهربائيات	تلبيس كهربائي	حديد وفولاذ	مطامر
Antimony	0.1			0.1-2.7		0.009-0.13	
Arsenic	0.01	ND-0.02		0.01-0.2		0.05	ND-18
Beryllium				0.003-0.005		0.07	
Cadmium	0.006	0.001-0.05		0.4-4.1	0.007-22	0.08-0.12	
Chromium	0.3	6.9-58	174	0.2-1.3	0.005-526	0.04-221	0.002-0.72
Copper	0.33	0.009-0.05	24000	0.04-0.05	0.03-540	0.02-2	ND-0.61
Cyanide, total		0.01-0.57			0.005-150	0.0003	ND-13
Lead	21.9	0.03-0.42	167	0.06-9.4	0.67-25	0.01-8.6	
Mercury	0.007	ND-0.001		0.002-0.003		0.0008	
Nickel	0.22	0.003-0.4	385	0.07-0.3	0.02-2950	0.1-11	ND-2.9

Selenium				0.004-0.005		0.035	ND-0.17
Silver	0.007			0.001-0.03	0.04-176		
Thallium				0.001-0.04			
Zinc	0.94	0.03-26	45000	12-121	0.11-252	0.38-355	0.002-32

الجدول (4-1-4-1)

مجال الملوثات السامة غير العضوية في مياه الصرف [1]

الملوث- ملغ/ل	الجلود	منتجات معدنية والآلات	إنهاءات المعدنية	صناعات معدنية غير الحديد	OCPSF	تشكيل الدهان	طلاء المينا	حرق النفايات
Antimony		6.12	0.009		0.005-0.63		0.21-6	
Arsenic		0.178	0.008		0.005-0.71		ND-2.4	0.001-1.4
Beryllium	ND-0.0003	0.147	0.001			0.002-4	ND-0.05	
Cadmium	ND-0.03	244	0.28	ND-3.8	0.006-0.01	0.008-15.6	0.07-2.7	0.001-1.6
Chromium	ND-295	029 1	27.5	ND-120	0.06-5.3	ND-40	0.006 -210	0.004-1.7
Copper	0.05-0.5	495	12.6	ND-110	0.024-4.8	0.05-40	0.05-2.6	0.01-4.6
Cyanide, total	ND-0.36		1.9		0.13-5.1	ND-0.31	ND-0.07	
lead	ND-2.4	30	0.33	ND-29	0.1-430	0.02-80	0.32-173	0.05-12
Mercury	ND-0.21	0.0014	0.001		0.0005-0.9	ND-62		0.0001-0.22
Nickel	0.006-0.18	356	15.5	ND-28	0.05-37.5	ND-40	ND-33	
Selenium		0.14	0.001		0.003-0.25		0.23-29	0.0005-0.29
Sliver		0.53						
Thallium		0.065	0.009		0.002-0.005			
zinc	0.15-0.82	188	12.5	ND-340	0.014-450	0.6-900	0.3-130	0.05-29

1 - 5. الشخص المكافئ (P.E).

أو تدعى (population equivalent (P.E) أو (يدعى وحدة التحميل للشخص (unit per capita loading)، ويستخدم لمقارنة كم عدد الاشخاص (ذو حمل التلوث العادي)، سوف يؤخذ لإنتاج نفس الكمية من التلوث التي تنتجها مياه الصرف الصناعي السائلة المعتبرة.

وسوف نورد مقترحات من عدة مراجع تعطي الحمل المكافئ للشخص:

- الشخص المكافئ من المرجع [6] لتدفق معين يحمل تلوث معين اعتبر الحمل العضوي (إذا لم توجد دراسة لنوعية وكمية المياه في المنطقة المدروسة) يؤخذ BOD: 75g/(c.d) و TSS: 90g/ (c.d).

- كما تأخذ المواصفة البلجيكية للشخص المكافئ Person equivalent :p.e (Belgian legislation)

BOD 60g per day

COD 135g per day

Q quantity of wastewater 150 l per day

TSS 90 g per day

N nitrogen 10 g per day

P phosphorus 2 g per day

- ومن المرجع [15]: لحساب الشخص المكافئ يؤخذ:

(P.E. = 54 g of BOD₅ /day 1 : BOD₅) - و (P.E. = 90 g/day 1 : TSS)

- يؤخذ الشخص المكافئ حسب الحالة ولكن تعتبره EPA من أجل المناطق الحضرية: BOD₅ P.E = 60g/d

المصدر: (EPA - WASTE WATER TREATMENT MANUALS 1997)

الجدول (1-5-1) عدد الأشخاص المكافئ للصناعات المختلفة لوحدة الإنتاج. وهي دراسة تقريبية ويطلب اجراء التحاليل لمياه الصرف الصناعي لمعرفة عدد الاشخاص بدقة.

الجدول (1-5-1)
عدد الاشخاص المكافئ للصناعات المختلفة
لوحة الإنتاج [16]

عدد الاشخاص المكافئين	الصناعة / وحدة الإنتاج
27-67	1000 لتر حليب
67-133	1 طن سكر شوندر
27-39	1 طن فواكه مطبوخة بالسكر (compote)
133	1 طن , زيت نباتي
40-173	1 طن , صناعة الحلويات
2-2.7	مذبح , (1 بقرة او 2 غنمة)
0.5 للحصان - 1 للبقرة	حظيرة خيول وبقر
0.13	حظيرة غنم , 1 غنمة
267-400	1 طن , انتاج مدايح
0.03	1 طن , احذية - معمل احذية
133-333	1 طن , صباغة اقمشة
333-667	1 طن , النسيج التنظيف الجاف
333	1 طن , الصناعات الدوائية
167	1 طن , صناعة الصابون
667	1 طن , صناعة مطاط

- الجدول (2-5-1) يعطي مجال كميات مياه الصرف لبعض الصناعات الكيميائية والغذائية.

الجدول (2-5-1)
مجال كميات مياه الصرف
لبعض الصناعات الكيميائية والغذائية

$10^3 \times$	250 - 100	طن من المنتج	الأمونيا
$10^3 \times$	8-6	طن من المنتج	الكبريت
$10^3 \times$	150 - 110	طن من المنتج	الورق
$10^3 \times$	10-4	طن ورق مستعمل	تدوير ورق
$10^3 \times$	50-25	طن قطن	الصباغة (قطن)
$10^3 \times$	25-10	طن بوليستر	الصباغة (بوليستر)
$10^3 \times$	15-10	طن من المنتج حي	اللحوم
$10^3 \times$	30-4	طن من المنتج	فواكه مختلفة
$10^3 \times$	16 - 8	طن من المنتج	مشتقات الألبان



قياس التدفق واخذ العينات والتحليل Flow Measurement- Sampling and Analysis

2 - 1. متطلبات خاصة.

إن المعلومات التي نحصل عليها من أخذ العينات Sampling وإجراء التحاليل Analysis ضرورية لتصميم **المحطة*** المطلوبة ولمعرفة كمية المواد الكيميائية اللازمة لاحقاً، والمعلومات التي نحصل عليها تقوم بالإجابة على الاسئلة التالية:

- هل يوجد مواد سامة في مياه الصرف.
- التحاليل يجب ان تكون وفق الطرائق المتعارف عليها ومرجعياتها من مصادر عالمية معتبرة.
- كافية لتحديد طريقة تصميم المعالجة.
- تحديد الحمل العضوي وذلك لاختيار طريقة المعالجة. ويحسب كما يلي:

$$\text{kg/d} = \text{m}^3 / \text{d} \times \text{التدفق} \times \text{mg/l} \times 10^{-3}$$

2 - 2. أهمية قياس التدفق.

إن قياس تدفق مياه الصرف flow Measurement ضروري للأسباب التالية:

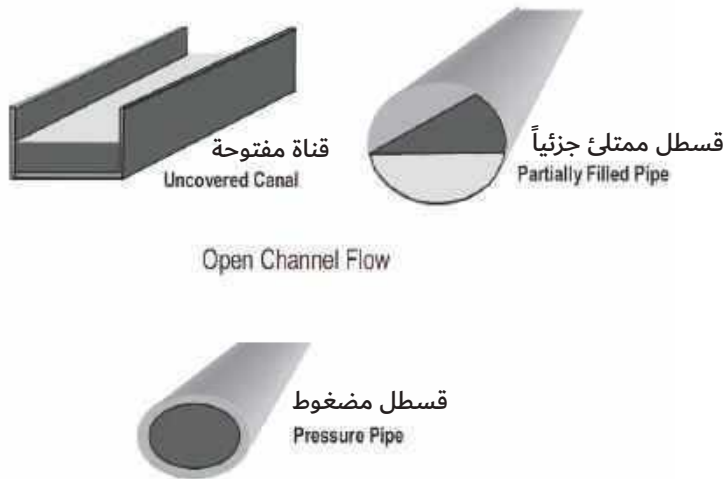
- تصميم الحمل الهيدروليكي للمحطة.
- قياس التدفق، ورسم منحنى تذبذب تدفق مياه الصرف** وذلك لتصميم حوض التوازن إذا لزم الأمر حيث إن حوض التوازن من

-
- **المحطة*:** محطة معالجة مياه الصرف الصناعي .
 - **مياه الصرف**:** مياه الصرف الصناعي



المكونات الأساسية في معالجة مياه الصرف الصناعي (بعض المعامل تعمل بوردية واحدة أو أكثر ومن أجل إستمرار عمل المحطة البيولوجية على مدار اليوم يجب عمل حوض توازن، أو إذا كانت المعالجة بطريقة كيميائية والدراسة الاقتصادية بينت أنه يجب أخذ حجوم أصغر في بناء المحطة تعتمد على التدفق الوسطي على مدار اليوم، أو أن مساحة موقع المحطة محدود فيمكن عمل حوض توازن تحت أرض الموقع وإعطاء التدفق على مدار اليوم للمحطة).

- يتم أخذ العاصفة المطرية في الاعتبار إذا كانت تدخل مع مياه الصرف.
- ومياه الصرف يمكن أن تجري في ثلاث أنواع من أنظمة نقل مياه الصرف، إما بواسطة أقنية مفتوحة أو بواسطة أنابيب نصف ممتلئة أو بواسطة أنابيب مضغوطة الشكل (1-2-2).



الشكل (1-2-2)
انظمة نقل مياه الصرف

2 - 3. طرق قياس تدفق مياه الصرف الصناعي.

هناك عدة طرق لقياس التدفق المطروح من المنشآت الصناعية وذلك حسب حجم التدفق وأهمية المشروع وتتراوح بين البسيطة والآلية ونذكر منها:

- طرق تقدير التدفق المطروح من المنشآت الصناعية:

- قياس التدفق بواسطة الدلو Bucket and Stop Watch: يتم املء دلو لكل مياه الصرف المطروحة من المخرج في زمن معين ويتم تقسيم حجم المياه على الزمن :

$$\text{التدفق} = Q = \text{الحجم} \div \text{الزمن}$$

- قياس التدفق بواسطة طوافة Float Method: لقياس التدفق في قناة مكشوفة يمكن استعمال المعادلة التالية:

$$\text{التدفق} = Q = \text{السرعة} \times \text{المقطع}$$

يتم قياس مقطع الجريان على الواقع (يتم قياسه عدة مرات حسب تغيرات الدفق وزمن الجريان وفق الخبرة في نوع الصناعة المدروسة)، ويتم قياس السرعة برمي كرة (بينغ بونغ) أو قطعة خشبية في القناة وندعها تجري مع التيار، ونقيس الزمن اللازم لقطع الكرة المسافة من نقطة محددة إلى نقطة أخرى محددة المسافة وبتقسيم المسافة على الزمن نحصل على السرعة م/ثا .

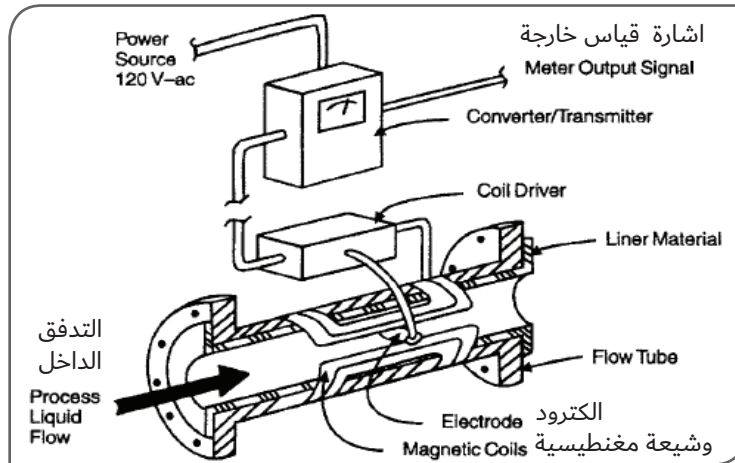
- ملاحظة : يتم استعمال مروحة خاصة توضع في القناة لقياس سرعة المياه (تشبه طريق قياس سرعة الرياح) وهي متوفرة ورخيصة.

- قياس التدفق بواسطة مضخة وبئر ضخ: يتم وضع مضخة خاصة في بئر رطب ويتم ضخ مياه الصرف من البئر، ويوضع على دارة الضخ مقياس تدفق الكتروني يعمل ببرنامج خاص يعطي التدفق الوسطي والأعظمي والأصغري والتوقفات في التدفق ويتم رسم مخطط خاص يعطي كل المعلومات اللازمة لتصميم المحطة وحوض التوازن.

- قياس التدفق بواسطة إملء خزان فارغ Time to Fill or Empty : يتم حساب التدفق عن طريق املء خزان خاص محدد الابعاد، وقياس زمن الإملء، وكذلك يمكن قياس تغيرات ارتفاع المياه في الخزان بأزمنة محددة وعمل جدول نستخلص منه المعلومات اللازمة.

- بعض أجهزة قياس التدفق التي تستعمل أثناء عمل محطة المعالجة:

- مقياس التدفق المغنطيسي للأنابيب (قساطل) المغلقة: Magnetic Flow Meters والمبدأ انه يوضع الأنبوب ضمن مجال مغنطيسي وعندما تجري الماء (الماء يجب أن تكون ناقلة للكهرباء) في أنبوب محدد القطر يتشكل فولت متناسب مع سرعة التدفق في الكترود جانبي ويتم تحويله لإعطاء قيمة التدفق، الشكل (2-3-1) يوضح المبدأ العام لمقياس التدفق المغنطيسي مع صورة.

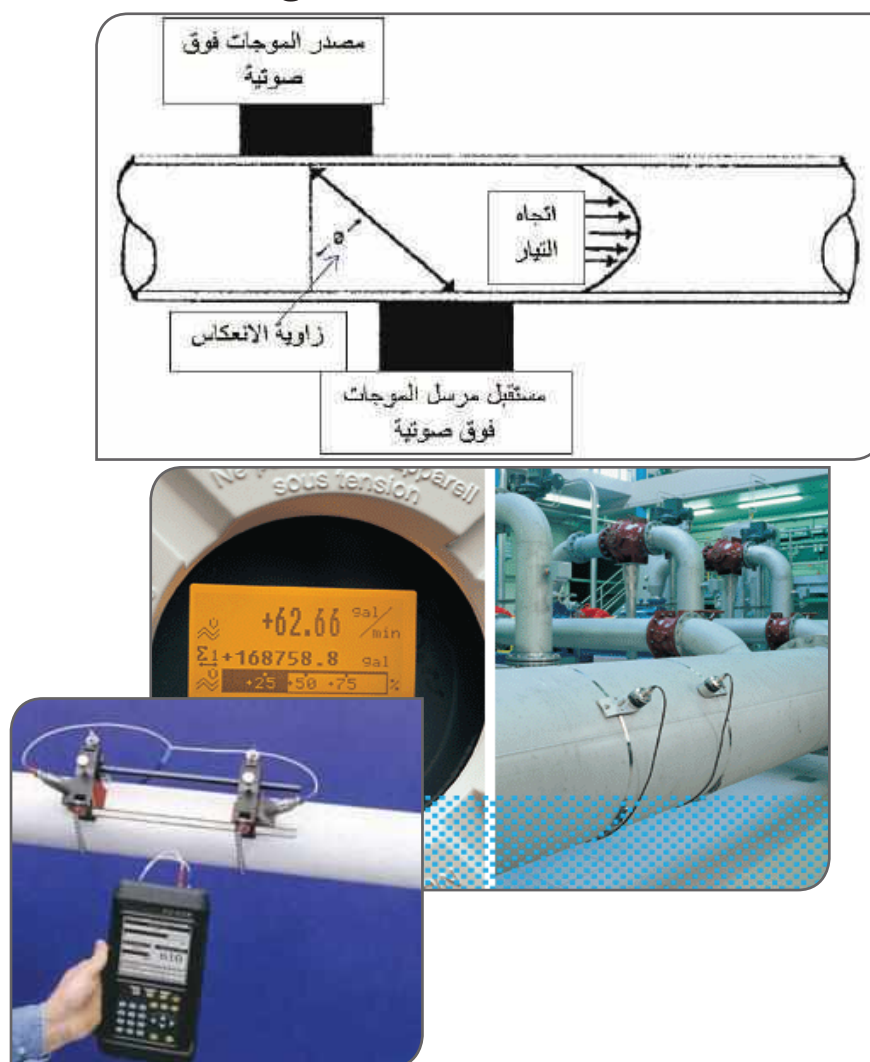


الشكل (2-3-1)

المبدأ العام لمقياس التدفق المغنطيسي مع صورة

• القياس بواسطة الموجات فوق الصوتية للأنابيب المغلقة Ultrasonic flow meter :

حيث يتم ارسال موجات فوق صوتية معينة من مصدر إلى (مستقبل مرسل) ويتم قياس زمن قطع المسافة للموجة المستلمة حيث تزداد أو تنقص مع سرعة التدفق وتحول إلى قيمة تدفق على شاشة. الشكل (2-3-2) يوضح المبدأ العام لمقياس التدفق بالموجات فوق الصوتية مع صورة.



الشكل (2-3-2)

المبدأ العام لمقياس التدفق بالموجات فوق الصوتية مع صورة

• قياس التدفق بواسطة الفنتوري - بارشال Parshall flumes:

وهي من أشهر الطرق التجريبية في قياس التدفق، وهي قناة مفتوحة ومقطعها ذات شكل خاص وتستعمل لقياس تدفق السوائل، وعند حصر المياه ضمن عنق خاص في القناة ينتج فرق حمولة (قفزة مائية)، واشهر نموذج للفنتوري هي قناة بارشال Parshall flume. الشكل (2-3-3)، وتتميز قناة بارشال بضيق حمولة قليل وانها تمرر معلقات كبيرة بدون انسداد. وقد درست كثير من الابعاد لقناة بارشال ونتج عن ذلك جداول ومنحنيات دقيقة للتدفق والجدول (2-3-1) يعطي نموذج لأبعاد اقنية بارشال مع التدفقات التي يمكن ان تمررها. ويستعمل حاليا جهاز (التراسونيك) لقياس ارتفاع الماء H_a (او بالمسطرة) وبواسطة معادلة خاصة نحصل على التدفق (وهذه المعادلة هنا فقط للاطلاع ولمعرفة مبدأ الحساب) (2-3-1).

$$Q = C H_a^n \quad (2-3-1)$$

حيث C و n . ثوابت لها جداول يمكن الاطلاع عليها في المرجع [7].

H_a . الحمولة عند بداية القياس (المعادلة صالحة لارتفاع اقل من 2 م). وهناك حوالي 22 وحدة قياسية نموذجية لقناة بارشال (ستاندر) وتعطي الشركات المصنعة جدول لكل جهاز بارشال.



الشكل (2-3-3)

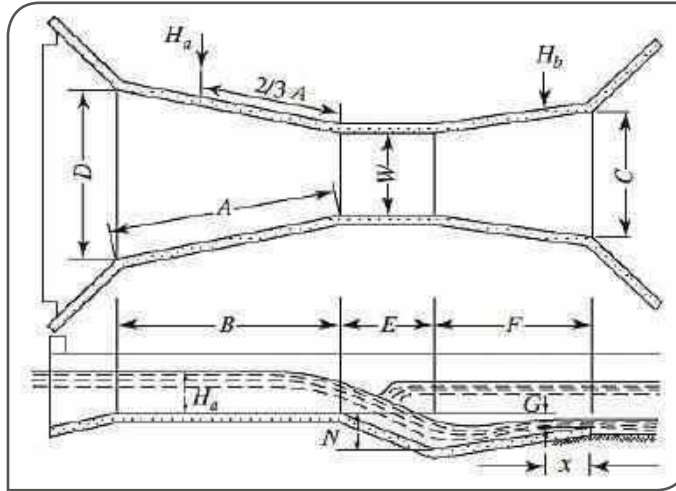
قناة بارشال مع صورة توضيح

قياس الارتفاع بجهاز الموجات فوق الصوتية

الجدول (1-3-2)

نموذج تدفقات مع ابعاد وحدات قناة بارشال [7]

التدفق الأصغري m ³ /h	التدفق الاعظمي m ³ /h	W m	A m	B m	C m	D m	E m	F m	G mm	N mm	X mm
5	300	0.15	0.61	0.61	0.4	0.4	0.3	0.61	76	114	51
10	520	0.23	0.88	0.86	0.38	0.57	0.3	0.46	76	114	51
40	1630	0.3	1.37	1.34	0.61	0.84	0.61	0.91	76	229	51
50	2450	0.46	1.45	1.42	0.76	1.03	0.61	0.91	76	229	51
70	3360	0.61	1.52	1.5	0.91	1.21	0.61	0.91	76	229	51
100	5100	0.91	1.68	1.64	1.22	1.57	0.61	0.91	76	229	51
130	6900	1.22	1.83	1.79	1.52	1.94	0.61	0.91	76	229	51



قياس التدفق بواسطة هدار:

يمكن استعمال مقطع مستطيل لقياس تدفق قناة مفتوحة فيها هدار عند المخرج، الشكل (4-3-2). وتطبيق المعادلة (2-3-2) يمكن حساب التدفق بمعرفة ارتفاع الماء قبل الهدار.

$$Q = 0.66 \times CB \times (2g)^{0.66} \times H^{1.5} \quad (2-3-2)$$

حيث:

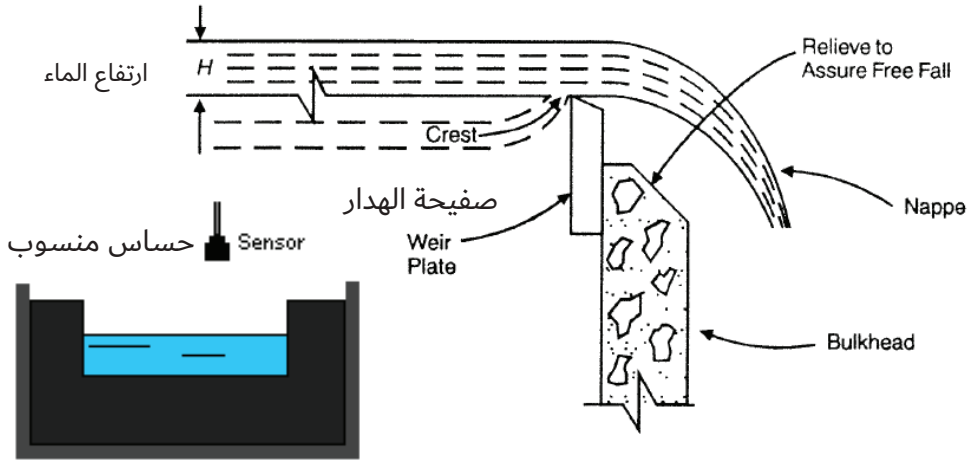
.Q معدل التدفق م³/ثا

.B عرض الهدار م (إذا كان عرض الهدار أقل من قناة الجر فتتقص قيمة **B** بقيمة $H \times 0.2$)

.C ثابت يؤخذ وسطيا 0.62

.g الجاذبية الارضية 9.81

.H ارتفاع الماء فوق الهدار، يقاس قبل الهدار



الشكل (4-3-2)

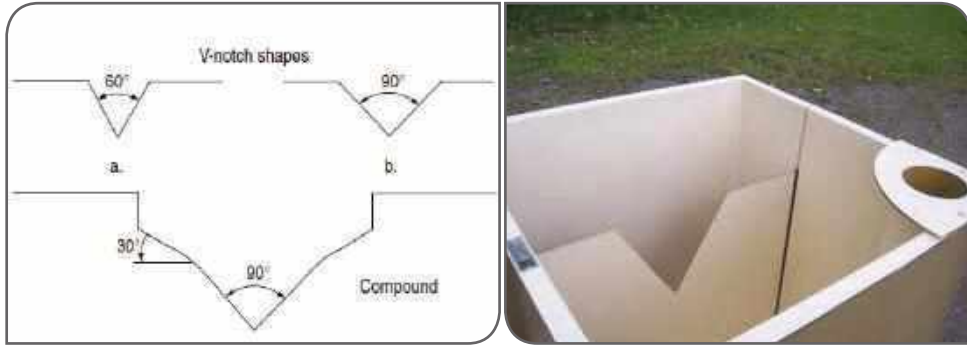
قياس التدفق بواسطة هدار في قناة مقطع مستطيل مفتوحة

- هدار مقطع V (V-notch الجدول (2-3-2) يعطي معادلات التدفق التقريبية للهدار مقطع V . الشكل (5-3-2) الهدار V- NOTCH

الجدول (2-3-2)

معادلات التدفق التقريبية للهدار مقطع V

الاسم وفتحة الهدار	معادلة التدفق	ملاحظات
60° V- NOTCH	$Q=1.43H^{2.5}$	H ارتفاع الماء في
90° V- NOTCH	$Q=2.49H^{2.48}$	الهدار



الشكل (5-3-2)

قياس التدفق بالهدار V-NOTCH

• يتم حساب العاصفة المطرية بالطريقة التالية:

يحسب جريان العاصفة المطرية إذا كان الجريان يدخل مع مياه الصرف الذاهبة إلى محطة المعالجة، ويعرف جريان العاصفة المطرية بأنه جريان مياه المجاري في الأيام الممطرة حيث يضاف هذا الجريان إلى الجريان الناجم عن مياه الصرف.

يستند الحساب على الطريقة العقلانية (Rational Method) التي يمكن أن تُلخص بالمراحل التالية:

أ- من أجل عواصف مطرية معينة ذات شدات مختلفة وتواتر محدد (Return Period) يعطي الجريان الأقصى موافقاً للعاصفة المطرية التي تكون مدتها تساوي زمن التركيز في المساحة المعنية بالدراسة (T_c , Concentration Time).

ب- زمن التركيز (T_c) هو الزمن اللازم لوصول أبعد قطرة مطر هائلة فوق المنطقة المدروسة إلى المقطع المصمم من المجرى والذي يُصرف كامل المنطقة المرتبطة به.

ج- يحدد الجريان الأقصى التصميمي (Q) بالعلاقة (3-3-2)

$$Q = C i A \quad (3-3-2)$$

حيث:

Q: غزارة الجريان التصميمية عند المقطع المدروس (تحسب عادة لتر في الثانية L / s).

C: عامل الجريان السطحي نتيجة الهطول وهو يساوي نسبة الجريان السطحي الناجم عن العاصفة المطرية الإجمالي فوق السطح (يعطى كنسبة مئوية). الجدول (3-3-2) قيمة العامل (c) حسب طبيعة السطح المغذي.

i: شدة الهطول للعاصفة المطرية التصميمية أي تلك التي زمنها يساوي زمن التركيز (T_c) ، وتعطى شدة الهطول باللتر في الثانية وفي الهكتار الواحد ($L/s/ha$).

A: المساحة المغذية (Drainage Area) المرتبطة بالمقطع المدروس وتعطى بالهكتار (ha).

يتبع العامل (c) طبيعة السطح أو المساحة المغذية، وتنخفض قيمته كلما زادت خشونة السطح المغذي ونقص ميله باتجاه السطح المغذي.

(من أجل معلومات أكثر ومعرفة العوامل C العودة إلى المرجع [5])

الجدول (3-3-2)

قيمة العامل (c) حسب طبيعة السطح المغذي

نوع السطح	عامل الجريان السطحي الوسطي (*c)
- سطوح كتيمة	0.95-0.70
- شوارع معبدة بالإسفلت	0.90-0.85
- شوارع معبدة بالخرسانة	0.95-0.80
- شوارع معبدة دون طبقة إكساء	0.30-0.15
- أراضي رملية :	
ذات انحدار 2 %	0.10-0.05
ذات انحدار (2 - 7) %	0.15-0.10
ذات انحدار 7 %	0.20-0.15
- مروج و أراضي ذات تربة كتيمة :	
ذات انحدار 2 %	0.17-0.13
ذات انحدار (2 - 7) %	0.22-0.18
ذات انحدار 7 %	0.35-0.25

* المرجع [4] و [5] مع مثال

عند اختلاف طبيعة السطح المغذي المرتبط بالمقطع المدروس من موقع لآخر تؤخذ القيمة الوسطية لعامل الجريان السطحي لمختلف قيم هذا العامل وذلك للسطوح الجزئية.

2 - 4. أخذ عينات مياه الصرف. Sampling

تتم عملية أخذ عينات من مياه الصرف بغية إجراء التوصيف الفيزيائي والكيميائي لمعرفة طبيعة هذه المياه وفق ضوابط محددة ومعروفة.

وهناك ثلاث مبادئ معتمدة لطريقة اخذ العينات:

- مبدأ الحدس intuitive: وتعتمد على الحكم الشخصي والخبرة في اخذ العينات وتحليلها.
- المبدأ الإحصائي statistical: وهي تعتمد على نماذج معدة ومعتمده على فرضيات مسبقة وموضوعية ويجب التأكد من ان النتائج النهائية موضوعة بدراسة احصائية محلية كبيرة وعشوائية.
- بروتوكول (Taylor، 1986): وهي خطة تعتمد على مجموعة من الشروط المحددة مسبقاً وخطوات يجب اتباعها لضمان صحة كل عينة، وضمن ضوابط معينة تُعرف هذه الخطة (وخصوصاً عند استعمال بيانات هذه النتائج لاتخاذ قرار قانوني) والمهم إن هذه النتائج صعبة الدحض إذا التزمت بالبروتوكول. والخلاصة ان العينة يمكن الطعن بها إذا تم الطعن بأي جزء من مراحل سلسلة البروتوكول (حفظ العينة، زمن النقل، زمن الحفظ) مع الاخذ بالاعتبار السلامة الشخصية والصحية.

2-5. نماذج اخذ العينات. Types of Sampling

هنالك نموذجين لأخذ العينات:

- عينة لحظية:
- 1 - وهي عينة حقيقية وتكرارها يفيد بمعرفة التغيرات على مدار الزمن.
- 2 - وهي تعبر بالضرورة عن نوعية المياه في أحواض التوازن أو البرك.

3 - بهذا النموذج يجب قياس، PH، الحرارة، الأوكسجين المنحل، الكلور المتبقي الكلي خلال 15 دقيقة [WEF المرجع 1].

4 - سيتم هبوط قيم المركبات التالية لو تم القياس بالطريقة المركبة على مدار الوقت «المركبات العضوية المتطايرة، الزيوت والشحوم...»

• عينة مركبة:

وهي عينة تؤخذ على مدار الوقت وتعطي خصائص مياه الصرف الوسطية وهنالك عدة طرق لأخذها:

الطريقة اليدوية Manual Sampling Methods :

1. **العينة تعتمد على الزمن:** تؤخذ عينات ذات حجم ثابت في أوقات ثابتة وتجمع في وعاء واحد وهذه الطريقة صحيحة عندما يكون التدفق ثابت أو التغيرات في التدفق لا تتجاوز 10 %.

2. **حجم العينة حسب نسبة التدفق:** فكلما زاد التدفق تكبر حجم العينة وبالعكس (في وقت اخذ العينة).

3. **طريقة العينة من حجم مياه صرف معين:** تؤخذ عينة بحجم معين من حجم معين من التدفق (مثلاً 200 ملل لكل 20م³) وتوضع بحاوية واحدة.

4. **تؤخذ عينات بأوقات ثابتة:** ولكن حجم العينة حسب تدفق مياه الصرف.

الشكل (2-5-1). يوضح الادوات اللازمة لأخذ العينات (الصورة من محطة معالجة بالنباتات بألمانيا).

الطريقة الآلية Automatic Sampling Methods :

يمكن في الطريقة الآلية أخذ خيارات كثيرة تعتمد الناحية الاقتصادية وأهمية العينات وإمكانية الوصول، وفترات اخذ العينات، وتكون الآلة مقاومة للأحماض وتمرر المعلقات وتقاوم الإنسداد ويكون تماسها مع الوسط الخارجي أقل ما يمكن ويمكن أن تعمل في الطقس البارد.

والجهاز يستطيع أخذ عينات افرادية أو عينات مركبة ويحوي من 1 حتى 24 قارورة، وعادة يُربط بمقياس تدفق مع برنامج يقوم بأخذ العينات حسب الطلب.



الشكل (1-5-2)

بعض الأدوات اللازمة لأخذ العينات يدوياً

وأهم ما تستعمل له الطريقة الآلية هي (طريقة حجم العينة حسب نسبة التدفق) أو (طريقة العينة من حجم مياه صرف معين) ويمكن استعمالها لأخذ عينات في العاصفة المطرية..

الشكل (2-5-2). يوضح نموذج آلة لأخذ العينات اليداً.



الشكل (2-5-2)
يوضح نموذج لآلة اخذ العينات اليأ

2 - 6. نصائح عند أخذ العينات.

- 1 - اختر موقع اخذ العينات بدقة (في وسط جسم الماء) حيث السرعة الأعلى لكي لا يحدث فيها ترسيب.
- 2 - ضع علامة واضحة عند موقع أخذ العينة ليتم أخذ العينات منها في المستقبل.
- 3 - اغسل الادوات والأوعية مرتين أو ثلاث مرات بمياه الصرف التي تريد أخذ العينة منها.
- 4 - تأكد من أن العينة تمثل مصدر المياه المطلوب أخذ العينة منها.
- 5 - أن يكون حجم العينة المأخوذة كافياً لإجراء التجارب.
- 6 - إمزج خزان العينات المركبة بشكل جيد قبل أخذ عينة منه من أجل التجارب.
- 7 - إمزج كل العينات فوراً قبل التحليل.



موازنة التدفق والحمولة Flow and Load Equalization

3 - 1. الموازنة. (يمكن ان نطلق عليها التوازن):

تعريف الموازنة. Equalization: هي الطريقة التي نقوم بها لجعل المؤشرات في مياه الصرف (التدفق، المواد العالقة، الحرارة.... إلخ) في اطار زمني محدد (مثلاً 24 ساعة) أكثر تجانساً ومتوسطة لتخفيف التأثيرات الناتجة عن هذه التغيرات.

فوائد الموازنة. Benefits of Equalization: تعطي الموازنة تشغيل مستقر وتدفق ثابت النوعية، وتتخطى بها تدفقات الذروة في مياه الصرف الصناعي العالية جداً والتي تؤثر على حجوم كل النظام من خزانات وأنباب ومضخات.

ويسبب عدم موازنة التدفق والحمولة: ضعف في إزالة BOD_5 ، وفشل في ضبط الاضافات الكيميائية، وبالتالي عدم إستقرار pH وكذلك سيحصل فشل في عمل المرشحات الرملية والمعالجة بالفحم المنشط بعد المعالجة، ويتسبب في ظهور المعלקات والدهون الزيوت والشحوم FOG في حوض الترسيب.

3 - 2. أنواع أحواض التوازن من أجل مياه الصرف الصناعي.

هنالك ثلاث طرق لتصميم أحواض التوازن:

1. أحواض التوازن المتبادلة، **Alternating flow diversion:**

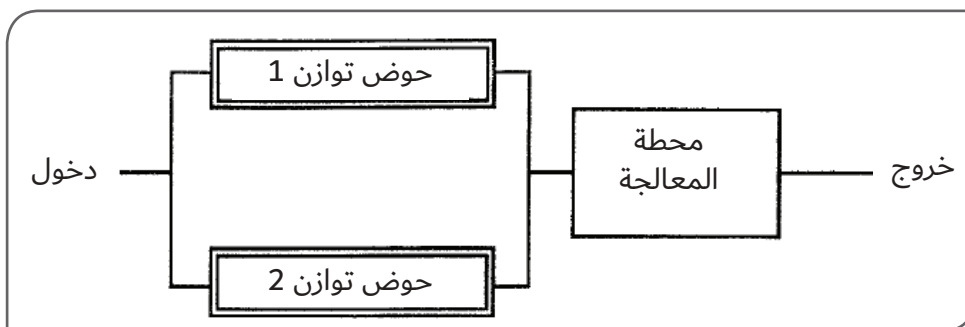
ويتم بناء حوضي توازن (او اكثر) الشكل (3-2-1) ويتم إملاؤه بمياه الصرف لمدة (نموذجي 24 ساعة) بينما الحوض الثاني يتم تفريغه ويجب أن يتم مزج المياه في الأحواض بشكل مستمر،



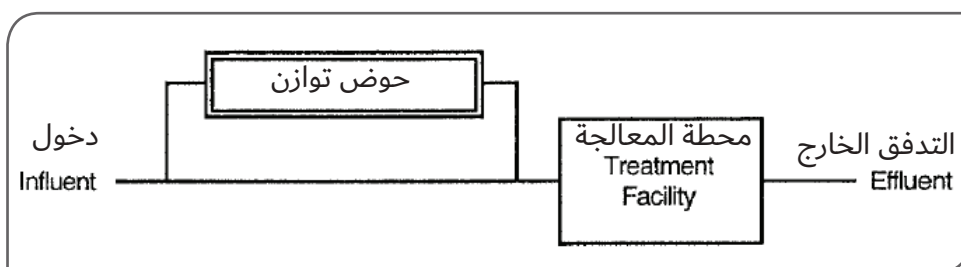
ونظراً لتكلفة الإنشاء والمساحة الكبيرة نسبياً فتستعمل هذه الطريق غالباً في معالجة مياه الصرف بطريق SBR_s (المفاعل ذو الدفقات sequencing batch reactors)، حيث يتم استعمال حوضي تفاعل والآخر في طور الإمتلاء.

2. أحواض التوازن بتدفق متقطع, Intermittent or off-line, equalization

equalization : حيث يحول كل المتغيرات في المؤشرات الزائدة في مياه الصرف إلى حوض توازن ولمدة وجيزة ثم يعاد إلى حوض المعالجة بنسبة محددة لمتابعة معالجته، الشكل (2-3-2). ومن الطبيعي أن يتم اخذ عينات من هذا الحوض وتحليلها ومعالجة مياه حوض التوازن قبل تحويلها للمعالجة. وتستعمل الطريقة في محطات معالجة مياه تلبيس المعادن لظهور بعض المعادن الثقيلة كالكروم السداسي والحاجة لمعالجته قبل اضافته إلى التيار الرئيسي، وكذلك مصافي النفط، ومعامل الألبان والاجبان والأطعمة عند الحاجة إلى تنظيف داخلي للمحطة، ونظراً لتكلفة الإنشاء واحتياج مساحة من الأرض فتستعمل الطريقة فقط للمحطات الخاصة.



الشكل (1-2-3)
أحواض التوازن المتبادلة



الشكل (2-2-3)

حوض التوازن بتدفق متقطع

3. أحواض التوازن المزج الكامل Completely mixed on-line equalization

وهو يستعمل لجمع تدفق أو عدة تدفقات في حوض توازن واحد، الشكل (3-2-3) يبين حوض التوازن المزج الكامل. وهو يقلل التغيرات عند مزجه مع التدفقات الأخرى الداخلة إلى الحوض والنظام يفرض أن نتأكد أنه يمكن مزج هذه التدفقات الداخلة لهذا الحوض فنياً، فمثلاً في مياه انهاء المعادن لا يجب إضافة مياه الصرف التي تحوي سيانيد مع مياه الشطف الحمضية حتى لا يتشكل غاز السيانيد السام حيث يجب عزله ومعالجته أولاً.

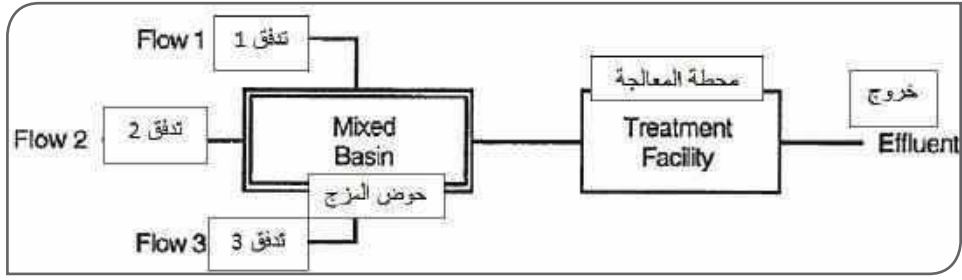
إن V_e حجم حوض التوازن ويعبر عن مدى التغيرات في المؤشرات والتي تؤثر على التدفق

ويعطى حجم حوض التوازن V_e بالمعادلة التالية:

$$V_e = (\sum f_i) T_e k \quad (1-2-3)$$

بحيث:

$$V_e = \text{حجم حوض التوازن م}^3$$



الشكل (3-2-3)
حوض التوازن المزج الكامل

f_i = التدفق الافراضي م³/دقيقة.

T_e = زمن التوازن ساعات.

K = تحويل واحدات د/سا.

فإذا كان لدينا 3 تدفقات فنكتب المعادلة:

$$V_e = \sum (f_1 + f_2 + f_3) T_e k \quad (2-2-3)$$

مثال 1:

ثلاث تدفقات تدخل حوض التوازن على التوالي 1.98-0.567-1.98 م³/د ، ونفرض زمن التوازن المطلوب 4 ساعات.

أحسب حجم حوض التوازن:

$$\begin{aligned} V_e &= \sum (f_1 + f_2 + f_3) T_e k \\ &= (1.98 + 0.567 + 0.189) (4 \text{ h}) (60 \text{ min/hr}) \\ &= 656.8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

ويعطى كمية التأثير الكلي للتدفق الكلي الناتج عن التغيير في التركيز لأحد التدفقات الداخلة بالمعادلة (3-2-3).

$$\text{Var}_T = \text{Var}_{p_i} f_i / f_t \quad (3-2-3)$$

$Var_T =$ كمية التغير في التركيز للتدفق الكلي الناتج عن التغير في التركيز لاحد التدفقات الداخلة ملغ/ل

$Var_{pi} =$ كمية التغير في التركيز للتدفق الافراضي الداخل ملغ/ل

$f_i =$ كمية التدفق الافراضي م³/د

$f_t =$ مجموع التدفقات م³/د

مثال 2.

احسب التأثير الناتج عن التغير في التركيز الداخل لاحد التدفقات بنسبة 50 ملغ/ل اذا كان التدفق 150 م³/د والتدفق الكلي لكل التدفقات 700 م³/د.

التغير المتوقع: $Var_T = Var_{pi} f_i / f_t$

$$Var_T = 50 (150/700) = 10.7 \text{ mg/L}$$

3-3. منحنى التدفق الكتلي التجميعي.

في أغلب الصناعات تتغير فيها أزمنة التدفق ولكن تبقى كمية الاحمال العضوية وغير العضوية والكيميائية ثابتة ولذلك يصمم خزان التوازن مستعملين طريقة المنحنى التراكمي الكتلي المبين في الشكل (3-3-1)، وبعد رسم المنحنى نرسم خطين متوازيين لمعدل التدفق الوسطي ومماسين للمنحنى التراكمي ويكون الخط الشاقولي بين المماسين هو حجم حوض التوازن. ويجب أن يسبق حوض التوازن وضع مصافي خشنة ميكانيكية وتتؤخذ الدراسة عادة لدورة كاملة 24 ساعة [1] ويضاف من 10 - 20 % كنسبة احتياطية لحجم حوض التوازن [1].

الخط الشاقولي: نرسم المنحنى الكتلي ثم نرسم وتر من الصفر إلى نهاية المنحنى الكتلي وندعوه A ثم نرسم خطين موازيين له هما C,D يمسان المنحنين الكتليين فتكون المسافة الشاقولية بين الخطين المماسين والموازيين للمنحنى A ومن إحدى نقاط التماس هو الحجم اللازم. وفي حال

تشكل منحنى كتلي باتجاه واحد في الرسم فنرسم وتر من الصفر لنهاية المنحنى A ونرسم موازي له C يمر في نقطة التماس فتكون المسافة الشاقولية من النقطة التماس إلى الوتر A هي حجم حوض التوازن [المرجع 4]

مثال: معمل البان واجبان تم قياس التدفقات وفق الجدول (3-3-1).

الحل: يتم رسم المنحنى الكتلي التجميعي لتدفق معمل الالبان والاجبان ورسم المماسات للتدفق الوسطي كما في الشكل (3-3-1)، ويتم اخذ المسافة الشاقولية بين مماسات المنحنيين وهي تعبر عن حجم خزان التوازن اللازم وتساوي 1700 م³.

3 - 4. المزج.

تستعمل أجهزة المزج الميكانيكية بكثرة في محطات معالجة مياه الصرف، في أحواض التوازن، الأحواض اللاهوائية، منقوصة الأكسجين (الأنوكسيك)، أحواض الحمأة المنشطة، أحواض جمع الحمأة وفي الهضم الهوائي واللاهوائي للحمأة وذلك لتحقيق المجانسة وتوزيع الحرارة ومنع الترسيب ويستعمل الهواء أيضاً في عملية المزج في أحواض التوازن ويمكن أن يتم مع عملية المزج تعديل الـ pH وغيره وذلك باستعمال نواشر الهواء ذات الفقاعات الخشنة coarse bubble أو التهوية الغاطسة حيث تسحب الآلة الهواء وتمزجه مع الماء وتدفعه في الحوض، وتقدر كمية الهواء الدنيا اللازمة للمزج من (0.5 إلى 0.8 لتر/م³/ثا) من [1]، (في المرجع [3] تؤخذ كمية الهواء اللازمة للإبقاء على الحالة الهوائية في أحواض التوازن { (0.01-0.015) م³/م³ د }).

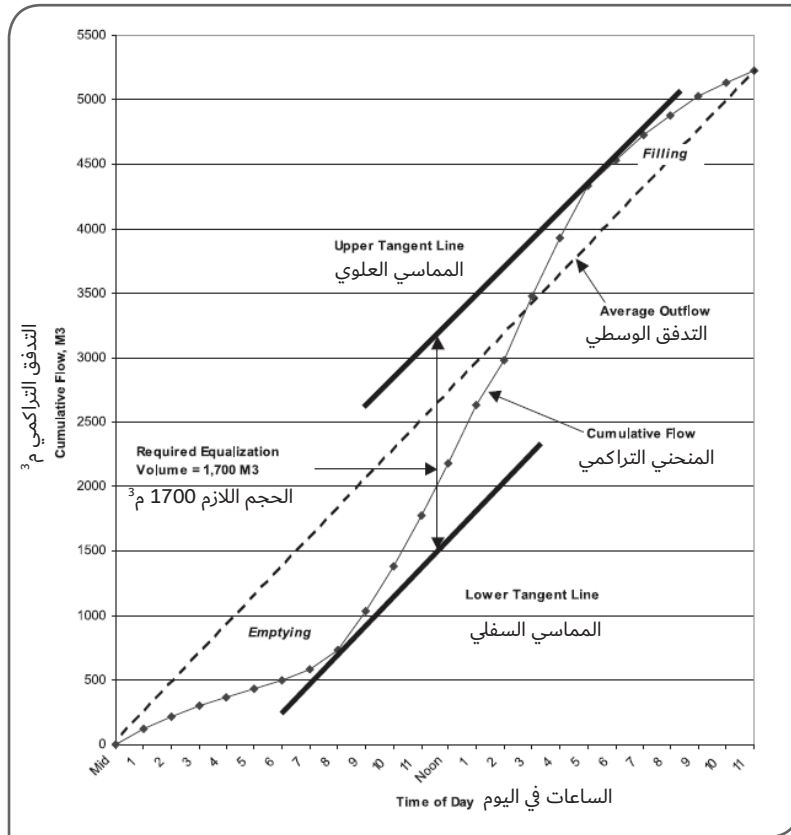
الجدول (1-3-3)
بيانات المنحني التراكمي لتدفق مياه الصرف
من معمل البان واجبان «نموذجي»

نسبة تراكم التدفق	التدفق التراكمي م ³	معدل التدفق م ³ /سا	الزمن
%0.00	0	متوقف التزل	120
%2.3	120	100	1
%4.2	220	80	2
%5.7	300	70	3
%7.1	370	60	4
%8.2	430	70	5
%9.6	500	80	6
%11.1	580	150	7
%14.0	730	300	8
%19.7	1030	350	9
%26.4	1380	400	10
%34.0	1780	400	11
%41.7	2180	450	مساء
%50.3	2630	350	1
%57.0	2980	500	2
%66.5	3480	450	3
%75.1	3930	400	4
%82.8	4330	200	5
%86.6	4530	200	6
%90.4	4730	150	7
%93.3	4880	150	8
%96.2	5030	100	9
%98.1	5130	100	10
%100.0	5230	200	11

وتفيد التهوية في تبخير وتعرية كثير من المواد العضوية ولذلك نلاحظ انخفاض COD بعد التهوية. الشكل (1-4-3). حوض توازن لمياه صرف في مصبغة مهوى بنواشر الهواء الموزعة في ارضية الحوض.

ويتم المزج ميكانيكياً بواسطة المراوح أو التوربينات أو الصفائح، وتقدر القدرة الميكانيكية اللازمة للمزج من (20 - 40 كيلوواط /1000م³) [1] ويستعمل المزج الميكانيكي في المياه الحاوية بكثرة على مُخفضات التوتر

السطحي surfactant، صابون، ولكن يسبب أيضاً الكثير من الرغوة ولكن أقل بكثير من استعمال الهواء، كما يستعمل المزج بوضع مضخات تدوير للماء حتى 100 % من التدفق حيث يفضل في هذه الطريقة وضع حواجز لإحداث اضطراب في الماء.



الشكل (1-3-3)

المنحني الكتلي التجميعي لتدفق معمل البان واجبان

الشكل (2-4-3) بعض نماذج معدات المزج المعروفة في محطات المعالجة (من [4]) وتعتمد قدرة المزج على شكل الشفارات ودرجة الحرارة ولزوجة الماء. ويترك عادة أكثر من 50 سم مسافة حرة فوق سطح الماء.



الشكل (1-4-3)

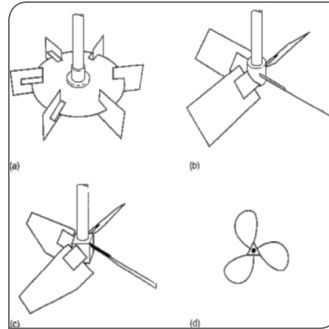
حوض توازن مهوى بنواشر الهواء في مصبغة اقمشة (المدينة الصناعية بحلب)



سحب الهواء من الاعلى والماء من الاسفل وضخهم
مع بعض ضمن الماء، تهوية مع مزج

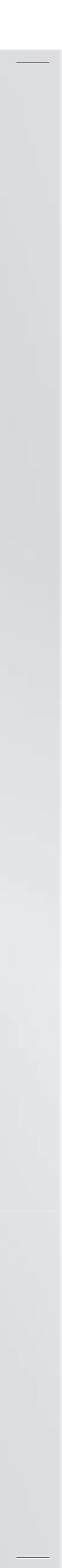


مازج ثابت غاطس وهو الأكثر شهرة



الشكل (2-4-3)

بعض نماذج معدات المزج الميكانيكية المعروفة في محطات المعالجة مع صور



الجزء الثاني

منهج معالجة
مياه الصرف الصناعي

**Industrial wastewater treatment
procedure**



فصل المواد الصلبة Solids Separation

4 - 1. مقدمة.

إن زيادة المواد الصلبة العالقة TSS بكمية أكثر من 500 ملغ/ل تسبب مشاكل لمراحل المعالجة المتتالية من المرجع [1]. وتظهر المواد العالقة الصلبة بكثرة في مياه الصرف الصناعي فتتواجد المواد الخشنة كالخشب وبقايا اللحوم في المدابغ، الاقمشة والخيوط في المصابغ، والرمل وأحجار الخفان في كحت الجينز، والورق واللواصق في معامل الورق، وأغطية العبوات البلاستيكية في معامل الأدوية والمنظفات والمشروبات، كما تظهر مواد صلبة أنعم كبقايا الحبوب في المطاحن ومعامل النشاء وبقايا الجبن في معامل الألبان والأجبان والقشدة (الشلمونة) في معامل المشروبات المرتجعة.. إلخ، ويجب القيام بإزالتها لتتمكن من اتمام معالجة مياه الصرف والحفاظ على المضخات والأنابيب.

ومن أهم المواد التي يجب إزالتها والتي تظهر في كثير من الصناعات هي الدهون والزيوت والشحوم (FOG (fats, oils, and greases وتظهر بشكل خاص في الصناعات الغذائية، وتعبئة أو تكرير الزيوت المعدنية.. حيث إن إرتفاع المؤشر عن 150 ملغ/ل يتسبب في تراكمها في أحواض الترسيب الأولية وأحواض المعالجة البيولوجية ويقلل من نقل الأوكسجين إليها ويسبب انسداد الأنابيب والمضخات إضافة لتراكمها في بئر الضخ.

إضافة إلى أن المواد الصلبة القابلة للترسيب SS - settleable solids تسبب في انسداد المضخات والأنابيب وآبار الضخ وتسبب في تصاعد الروائح إذا كانت هذه المواد قابلة للتحلل، إضافة لازدياد التكاليف في إزالتها لاحقاً. ومن المواد الصلبة التي يجب إزالتها إضافة للمواد الخشنة والناعمة:



- الرمال الموجودة في مياه معامل الورق، الشمندر، الصناعات المعدنية..
- المواد الغروية وتكون عضوية أو لا عضوية وهي بحاجة لتحديد شحنتها الكهربائية ليتم ترسيبها.
- المواد المُشَتِّتة كمخفضات التوتر السطحي Surfactants (المصابغ) وهي صعبة الترسيب وتحتاج لتجارب مخبرية لتحديد طرائق ترسيبها، وتستعمل عادة الأملاح المعدنية والبوليمر الصناعي لإزالتها.

4 - 2. المصافي الخشنة. Coarse screens.

لا يمكن الاستغناء عن المصافي الخشنة في محطات المعالجة وخصوصاً معالجة مياه الصرف الصناعي، والمصافي الخشنة الشائعة الاستعمال في إزالة المواد الصلبة الخشنة هي المصافي ذات القضبان حيث يتم إيقاف المواد الطافية كالخشب وبقايا الأقمشة والقطن وبقايا المواد البلاستيكية وأغطية العبوات البلاستيكية في معامل الأدوية والمشروبات وقطع الورق في معامل الورق وهي هامة جداً في الدباغات كما تمنع مرور المواد الصلبة كالأحجار. ويستعمل نوعان من المصافي الخشنة المصافي الخشنة اليدوية والمصافي الخشنة الآلية (ملاحظة: تصميمياً يوجد مصافي خشنة جداً ومصافي خشنة عادية).

المصافي الخشنة اليدوية: تُستعمل في المنشآت الصناعية الصغيرة حيث عملية التنظيف لا تتم بشكل مستمر وهي تصلح لتدفقات أقل من 20 م³/يوم، وبين عمليتي التنظيف يحدث انسداد جزئي للمصافي وزيادة في فاقد الحمولة وزيادة في السرعة عبر القضبان الشكل (4-2-1) a مصافي خشنة يدوية في مصبغة صغيرة حيث وضعت المصافي الخشنة على مرحلتين خشنة فتحاتها مربعة حوالي 4×4 سم لتوقيف الخيوط وشريط اللصق يتبعها مصفاة ذات قضبان شاقوليه يدوية خشنة فتحاتها 3 سم. الشكل (4-2-1) b مصفاة يدوية لمعمل لم يتم تنظيفها وتظهر نوعية النفايات من بلاستيك وخرق قطاعة مما سببت بهرب المواد الصلبة للطرف الآخر عبر الهدار الجانبي أو من فوق المصافي.



a



b

الشكل (1-2-4)؛

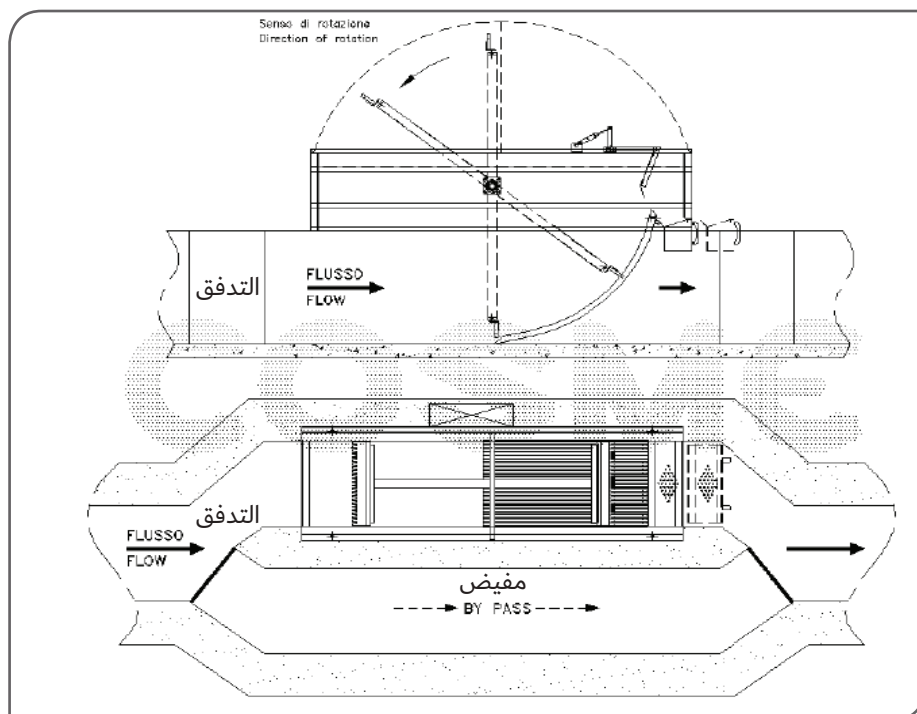
a مصافي يدوية خشنة في مصبغة

b مصافي يدوية خشنة مغلقة بسبب عدم التنظيف

يعطى للمصافي الخشنة ذات التنظيف اليدوي أبعاد فراغات (30 - 50) ملم وتعطى الميول 30° - 45° مع الأفق من [3].

المصافي الخشنة الآلية: في المصافي الخشنة الآلية تكون الفتحات من (6 - 38) ملم والميول من (0° - 30°) مع الشاقول ويجب أن لا تتجاوز السرعة عبر القضبان في تدفق الذروة 0.76 م/ثا (معايير من وكالة حماية البيئة، EPA الأمريكية) كما تقدر كمية المواد المحجوزة على المصافي بين (0.004 - 0.04) متر مكعب لكل 1000 م³ من مياه الصرف عموماً، وفي المحطات المتوسطة يمكن استعمال المصفاة الدائرية مع القضبان الشكل (2-2-4) ويستعمل كذلك مصفاة شاقوليه مع مشط لسحب الأوساخ نحو الأعلى عن طريق كبل أو سلسلة خاصة الشكل (3-2-4)، ويستعمل في بعض الأحيان مصفاة خشنة بشكل سلة لتدفقات متوسطة كمعامل الصباغة وهي توضع أمام قسطل الدخول في بئر الضخ الشكل (4-2-4) مصفاة سلة نصف يدوية تفرغ عند اللزوم. ويجب أن ينشأ مفيض (باي باس) للطوارئ لكل المصافي كما في الشكل (2-2-4).

ملاحظة: يجب أن لا يتجاوز فاقد الحمولة للمصافي 0.6م - 0.7م ويجب تعديل المصافي إذا نتج تجاوز لتلك الأرقام (المرجع 3) - الجدول (1-2-4) يبين ضوابط نموذجية لتصميم المصافي الخشنة من [1] ولمعرفة طريقة الحساب العودة إلى [المراجع 1,2,4].



الشكل (2-2-4)

مصفاة قضائية خشنة دائرية آلية من cosme



الشكل (4-2-4)
مصفاة خشنة سلة



الشكل (3-2-4)
مصفاة ذات قضبان خشنة شاقوليه آلية

الجدول (1-2-4)
ضوابط نموذجية لتصميم المصافي الخشنة
[من i.w.w.t - wef طبعة ثالثة]

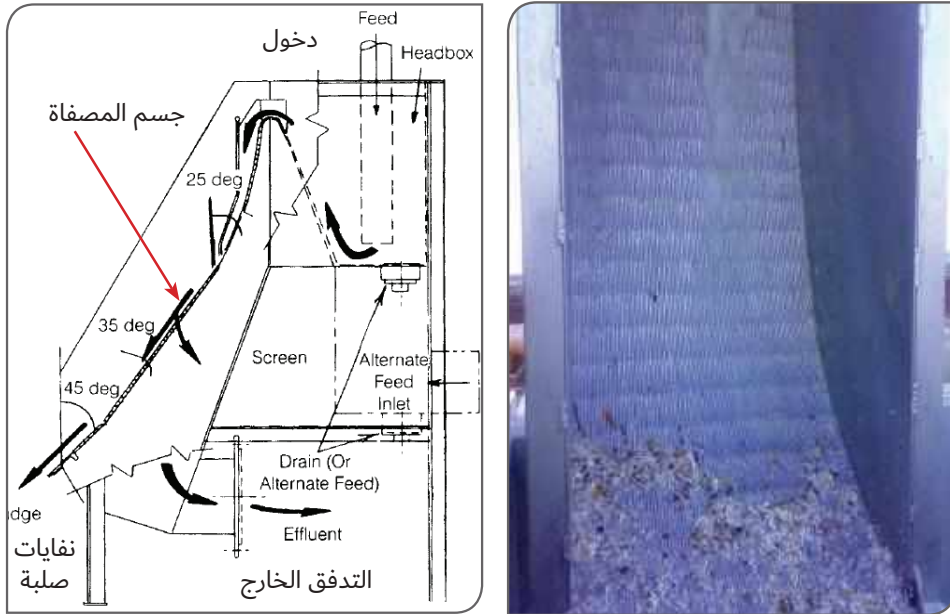
المصفاة الآلية	المصفاة اليدوية	معايير التصميم
15-75	25-50	فتحات القضبان ملم
0-30	30-45	الميل من الشاقول (درجة)
0.3-0.5	0.1	سرعة الاقتراب الدنيا م/ثا
0.6-0.1	0.3-0.6	سرعة الاقتراب العظمى م/ثا
150-600	150	فاقد الحمولة المسموح ملم

4 - 3. المصافي الناعمة. Fine screens

وتتضمن على سبيل المثال لا الحصر المصفاة الثابتة، البرميل الدوار، المصفاة الحلزونية، المصفاة الرجاجة، وهي تزيل المواد الناعمة غير المواد الغروية.

المصفاة الثابتة:

وهي مصفاة مشهورة في المحطات الصغيرة والمتوسطة وتستخدم في معامل الورق، المصانع، الصناعات الغذائية نظراً لأدائها الجيد وعدم وجود حركة ميكانيكية لتنظيفها حيث تسقط الأوساخ بالثقالة (تنظيف ذاتي) إلى حاوية خاصة أو إلى حلزون ناقل، ويمكن أن يضاف جهاز لغسيل المصفاة أو فرشاة متحركة، يبين الشكل (1-3-4) مصفاة ثابتة في معمل أجبان في مدينة حماة مع مخطط توضيحي.



الشكل (1-3-4)

مصفاة ثابتة في معمل أجبان في مدينة حماة مع مخطط توضيحي

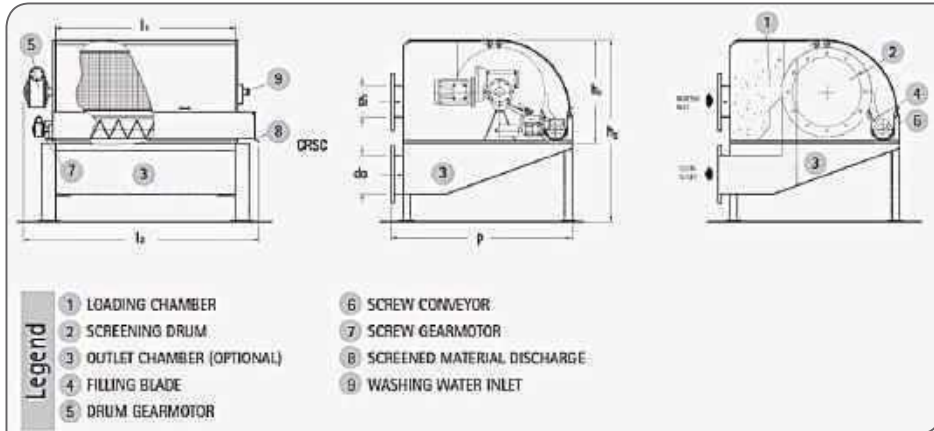
مصفاة البرميل الدوارة. Rotary Drum Screens

وهي مصفاة بشكل البرميل حيث تغطس جزئياً وتدور حول المحور ويتم قشط الاوساخ بواسطة قاشط يمس البرميل وتدخل المياه من الشبك إلى حوض سفلي ومنه إلى المرحلة التالية، الشكل (2-3-4) a,b يوضح صورة لمصفاة البرميل مع مخطط توضيحي، ويستعمل الماء المضغوط من الداخل لتنظيف المصفاة، (ويمكن أن يتم التزويد من داخل البرميل والغسيل من الخارج).



الشكل (2-3-4)

(a) مصفاة البرميل الناعمة في السورية للغزل والنسيج بحلب



تابع: الشكل (2-3-4)

(b) تفاصيل لمصفاة البرميل الناعمة [cosme]

تستعمل هذه المصفاة في معامل الاغذية لاسترجاع بعض المواد كالبروتين (وإذا وجدت الدهون بكثرة في مياه الصرف فيجب غسيل المصفاة بماء ساخن مضغوط) وفي معامل الورق تستعمل لاسترجاع بعض الألياف قبل عملية التطويق، وتكون المصفاة من مادة الستنلس ستيل أو من النايلون، أو البوليستر أو من قماش خيوطه معدنية (خلطة خاصة). أبعاد الفتحات من **0.02 ملم إلى 3 ملم** وفاقدها الحمولة عبر المصفاة أقل من 150 ملم. ويمكن إستعمال أنواع أخرى إذا كانت التدفقات كبيرة مثل البرميل الدوار الغاطس في القناة Rotary Drum Fine Screen in channel حيث يمكن أن يكون قطر الفتحات من 1 ملم mesh. الشكل (2-3-4) (c-d) وهو يتميز ايضا بجمع المواد الطافية.



الشكل (2-3-4) (c-d)

البرميل الدوار الغاطس في القناة X2 Solutions co.

كما يوجد أنواع أخرى من مصافي البرميل تدخلها المياه بالثقالة كما في الشكل (3-3-4) (a,b) وهي مصفاة ناعمة جداً قطرها 1 - 4 م أو أكبر وتدور بسرعة 4 د/د. وغالباً مصافي البرميل الدوارة بفتحات 6 - 35 ميكرون (مصفاة ميكروية وقد تدعى مرشح مكروي) تستعمل في المعالجة الثلاثية.



a

b

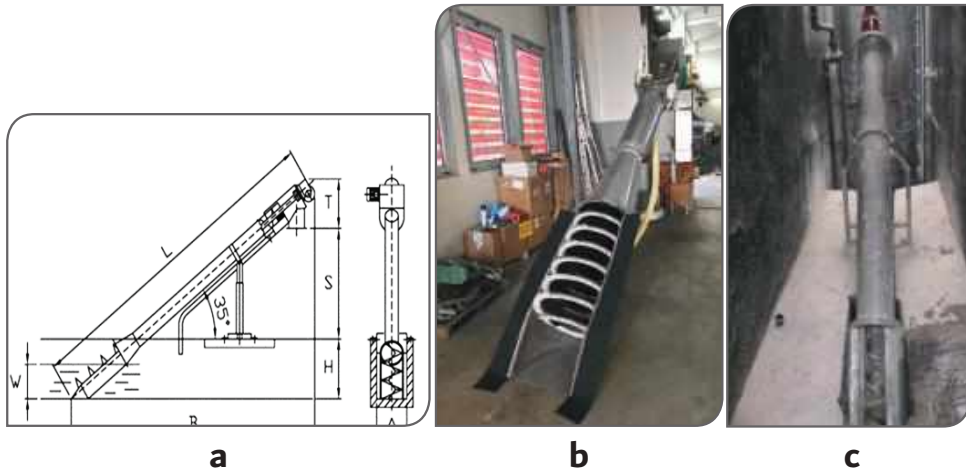
الشكل (3-3-4) مصفاة البرميل الدوارة الناعمة جداً

a, Sereco.co – b, Ovivo.co

- المصفاة الحلزونية Spiral screen:

وهي مصفاة معروفة جداً وسهلة الاستعمال وتوضع في الاقنية مباشرة ولا تحتاج لضخ المياه إليها وتمر المياه من خلال القضبان الغاطسة في الماء (الفتحات 2 ملم - 3 ملم) وتقوم فرشاة حلزونية بكشط الأوساخ ورفعها للأعلى لتقع في حاوية خاصة الشكل (4-3-4) مصفاة حلزونية في معمل (تصنيع سكاكر).

عادة يوضع حساس منسوب للمياه في قناة الدخول لضمان دوران الحلزون والمباشرة بالتنظيف عند حدوث الانسداد الجزئي.



الشكل (4-3-4) مصفاة حلزونية: a مخطط b .
من X2 Solutions co c . معمل تصنيع سكاكر

المصفاة الاهتزازية : Vibratory Screens :

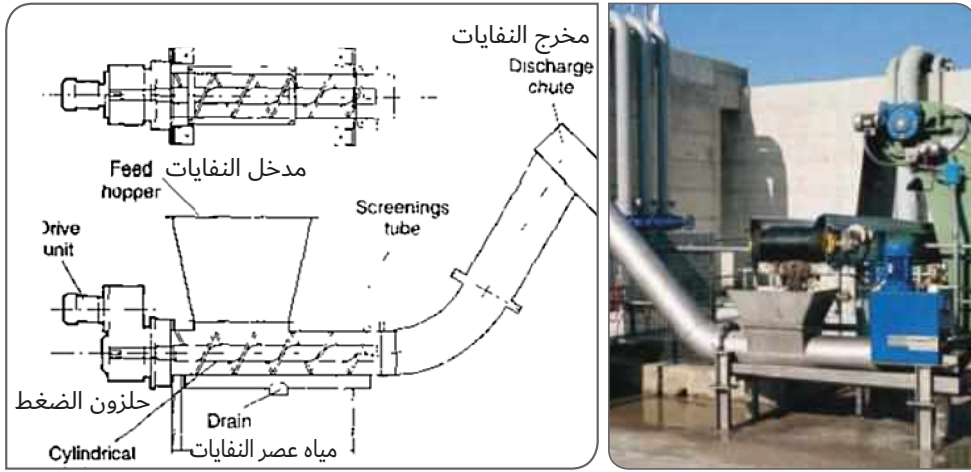
وهي مصفاة مفيدة في معالجة مياه الصرف الصناعي ذات الحمولة العالية وخصوصاً في مصانع الحديد أو الزجاج، الصناعات الغذائية، الصناعات الدوائية ويتوفر من هذه المصفاة من أجل تدفقات كبيرة، الشكل (4-3-5).



الشكل (4-3-5)
المصفاة الاهتزازية

4-4. التصرف في نواتج المصافي.

يتم التخلص من نواتج المصافي في المطامر مباشرة بعد تجفيفها، أو بعد نزع الماء منها آلياً حيث يتم ضغط النفايات بواسطة جهاز خاص هيدروليكيّاً أو ميكانيكيّاً (حلزون) حيث يقوم بضغطة ونزع الماء منه compacting. يبين الشكل (1-4-4) صورة مع مخطط لعمل جهاز ضغط نفايات المصافي.



الشكل (1-4-4)

صورة ومخطط لجهاز ضغط نفايات المصافي



غرف إزالة الرمال Grit Removal

5 - 1. مقدمة.

تصل الرمال إلى مياه الصرف الصناعي من الصناعة والأمطار ويتكون عادة من الرمال والرماد والحصى الصغيرة وبعض شظايا المعادن.. إلخ (الصناعات المعدنية - صناعة سكر الشمندر- الورق، كحت الجينز...).

• أنواع غرف فصل الرمال:

1. غرف فصل الرمال مع جريان أفقي وتكون مستطيلة أو مربعة.
 2. غرف فصل الرمال المتهواة ويتم مساعدة الرمال على التخلص من المادة العضوية العالقة فيها وسقوطها إلى القاع بمساعدة الهواء المذرور.
 3. غرف فصل الرمال السكلونية ويتم فيها فصل الرمال بالقوة النابذة والجاذبية.
- ويعتمد التصميم على كمية المياه المطلوب معالجتها فعندما تكون كميات مياه الصرف قليلة يمكن استعمال اقنية فصل الرمال ذات التنظيف اليدوي أو الآلي أو غرفة فصل رمال مربعة وعندما تكون متوسط الكمية فيمكن استعمال غرف فصل الرمال السكلونية أما عندما تكون كمية المياه كبيرة جداً فتستعمل طريقة أحواض فصل الرمال المتهواة.

5 - 2. غرف فصل الرمال.

- **أقنية فصل الرمال:** الغاية من أقنية فصل الرمال هو فصل الرمال وترسيبها في قاع القناة وتُصمم لتكون سرعة المياه في القناة 0.3

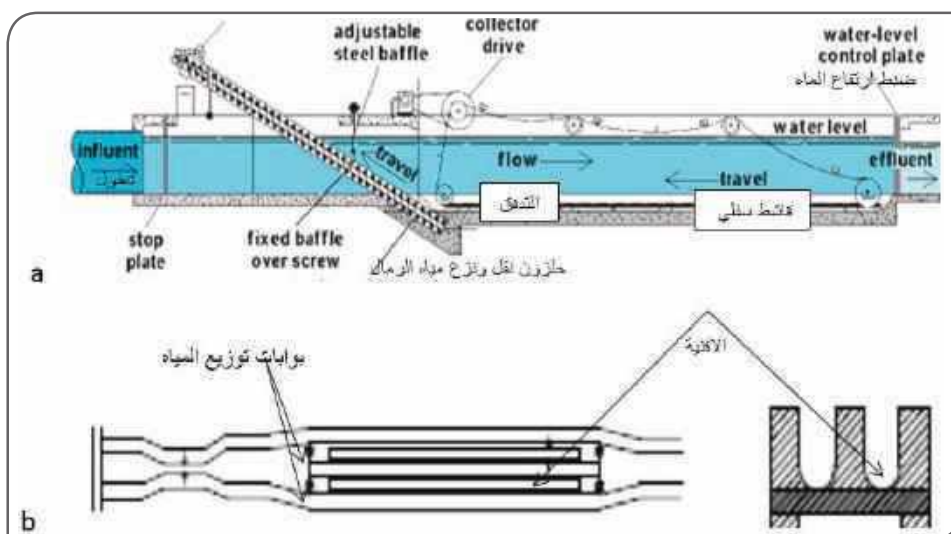


م/ثا ويكون المقطع بشكل قطع مكافئ ويستعاض عنه بشبه منحرف أو مستطيل ويوضع عادة قناتين واحدة عاملة والأخرى احتياطية الشكل (1-2-5). ويتم تنظيفها آلياً بواسطة كواشط سفلية تقود الرمل إلى حفرة ومنه إلى حلزون لنقل وغسل وعصر الرمل أو بواسطة تنظيف آلي ويدوي.

ويعطى طول القناة (L) بالعلاقة التالية:

$$(L = d_v / V_s) \quad (1 - 2 - 5)$$

L = طول القناة (م).



الشكل (1-2-5)

اقتنية فصل الرمل تنظيف : a آلي ، b يدوي

d = عمق الماء في القناة (م).

v = سرعة الجريان في القناة، لا يقل 0.3 م/ثا.

v_s = سرعة استقرار الجسيمات الصلبة المطلوب ترسيبها (م/ثا).

أما عرض القناة B فيعطى بالمعادلة التالية:

$$B = Q / (2d \times v) \quad (2-2-5)$$

بحيث:

B = عرض القناة عند سطح الماء ومن أجل تدفق (Q) ، (م).

Q = تدفق الجريان ويؤخذ من أجل تدفق الذروة الساعي Q_{max} (م³/ثا).

d = عمق الماء في القناة فوق النقطة الأخفض من القاعدة (م).

الجدول (1-2-5) سرعة استقرار جسيمة رملية.

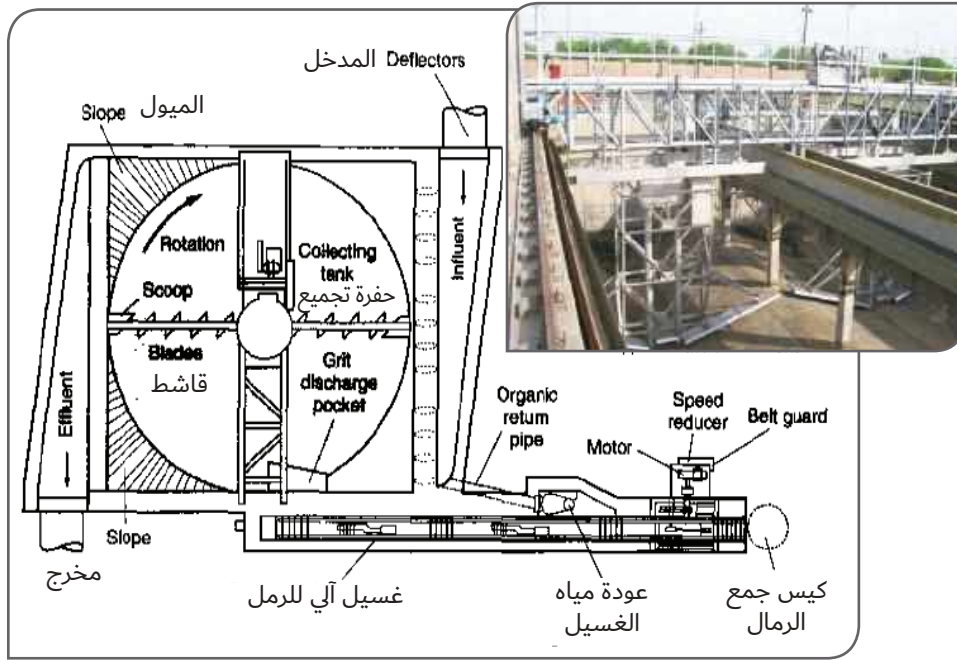
الجدول (1-2-5)

سرعة استقرار (الترسيب) ذرة رملية

التحميل الهيدروليكي- m ³ /m ² /d	سرعة الاستقرار (الترسيب) cm/sec	قطر الجسيمة - mm
808	0.9	0.1
1128	1.3	0.15
1600	1.8	0.21
2268	2.6	0.3
3204	3.7	0.4
4580	5.2	0.6
6400	7.3	0.8

- الأحواض المربعة:

يتم قشط الرمال بواسطة قاشط آلي باتجاه علبة خاصة توجد على طرف الحوض ليتم سحبها آلياً أو بواسطة الضخ، ويجب أن يتم غسل الرمال من المواد العضوية قبل طرحها في الطبيعة. يبين الشكل (2-2-5) مسقط لحوض فصل الرمال المربع مع صورة.



الشكل (2-2-5)

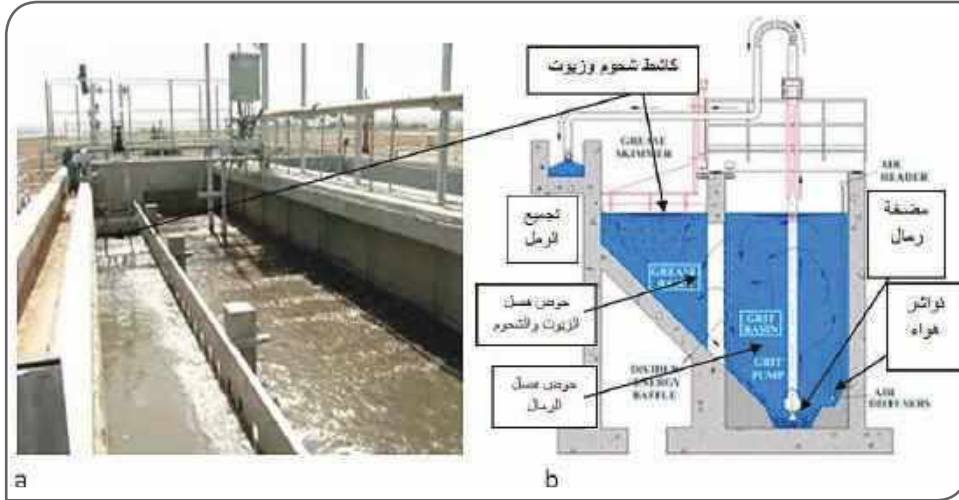
مسقط لحوض فصل الرمال المربع مع صورة

- غرف فصل الرمال المهواة aerated grit removal chamber:

يبين الشكل (3-2-5) أحواض مستطيلة يتحقق فيها جريان حلزوني للمياه (وتحتوي قسم لفصل الزيوت)، ويظهر في الشكل (3-2-5) a : حوض فصل رمال مهوى b : يوضح حركة الماء في الحوض مما يؤدي لسقوط الرمال نحو الأسفل، ويجب أن تكون سرعة التدفق مناسبة لمنع ترسيب المواد العضوية أو هروب الرمال، ويمكن التحكم بسهولة بتدفق الهواء اللازم لفصل الرمال عن المواد العضوية. ونحصل بهذه الطريقة على نسبة إزالة كبيرة جداً ويكون الرمل المنتج من النوع المغسول ويتم سحب الرمال بواسطة آلة ذات سطل أو بواسطة كاشط متحرك أو بواسطة حلزون حيث يجمع الرمل في حفرة ويسحب بواسطة مضخة jet pump أو مضخة هوائية (air lift)، ويوجد فيه عادةً حوض خاص لفصل الزيت متصل من الوسط يسمح بدخول الزيت إليه بمساعدة حركة الماء كما يزود بكاشط لجمع الزيت.

ويصمم الحوض وفق المعطيات التالية:

- يزيل رمال ذات أقطار (0.21 ملم).
- مدة المكوث (2-5) دقيقة من تدفق ساعة الذروة.



الشكل (3-2-5)

أحواض فصل رمال مهواة مع قاشط رمال
وكاشط زيوت وشحوم

- عمق القمع يمكن أن يصل إلى 0.9 م مع ميل ويكون القمع تحت فتحات الهواء.
- ارتفاع نواشر الهواء 45 سم عن الأرضية ومن طرف واحد فوق القمع.
- يتوقع صدور أبخرة ومركبات عضوية طيارة VOC من مياه الصرف الصناعي بسبب التعرية والتبخير مع استمرار ضخ الهواء في الحوض، الجدول التالي (2-2-5) يعطي ضوابط التصميم:

الجدول (2-2-5)

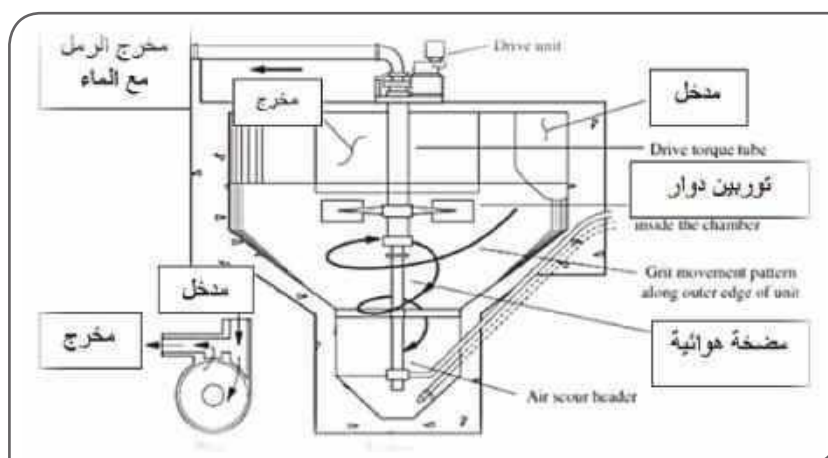
ضوابط التصميم لأحواض فصل الرمال المهواة

المعتمدة	المجال	الوحدة	-
3	5-2	min	زمن المكوث لتدفق الذروة
-	5-2	m	العمق
-	20 - 7.5	m	الطول
-	7-2.5	m	العرض
1:1.5	1:1 إلى 1:5	-	نسبة العرض إلى العمق
1:4	1:3 إلى 1:5	-	نسبة الطول إلى العرض
-	0.5-0.2	m ³ /m.min	كمية الهواء
0.015	0.20-0.004	m ³ / 1000 m ³	كمية الرمال

- غرف فصل الرمال الدوامية (السكرونية) vortex-type chamber.

وهي غرف دائرية وفي أسفلها قمع حيث تدخل المياه بشكل جانبي من الأعلى وتدور بشكل حلزوني مما يسبب في سقوط الرمال للأسفل ويتم سحب الرمال بواسطة مضخة هوائية أو مضخة خاصة بسحب الرمال. يبين الشكل (4-2-5) غرفة فصل رمال دوامية مع خلاط توربيني.

وتؤخذ سرعة الماء في الفاصل وسطيا 0.3 م/ثا من [4],[6] والجدول (3-2-5) يعطي بعض المعايير لغرف الرمال الدوامية.



الشكل (4-2-5)

حوض فصل رمال دوامية [من 2 + 6]

الجدول (3-2-5)

بعض المعايير لغرف فصل الرمال الدوامية

القيمة			ضوابط
المعتمدة	المجال	الوحدة	
30	30-20	(s)	زمن المكوث عند الجريان الوسطي
	7.5 - 1.25 2-1 5 - 2.75	m m m	القطر: - الغرفة العليا m - الغرفة السفلى m الارتفاع m
95+ 85+ 65+	92-98 90-80 70-60	% % %	معدل الإزالة mm 0.3 mm 0.24 0.15 mm

تستعمل غرف فصل الرمال الدوامية بكثرة في مياه الصرف وخصوصاً في الصناعات التالية من [1]:

- **النفط والغاز:** لفصل الرمل من طين الحفارات، ومن مزيج النفط والماء.
- **الأعمال المعدنية:** لإزالة قطع الحديد والبرادة والرمل.
- **تصنيع الفولاذ:** إزالة قطع الحديد، ولمياه التبريد.
- **الخضار والفواكه:** فصل الرمل من مياه الغسيل، إزالة النواة الصغيرة، البذور...
- **معامل لب الشجر- الورق.**
- **صناعة سكر الشمندر:** فصل الرمل من مياه غسيل الشمندر.



المعالجة التكنولوجية لفضلات الزيوت Technology of waste oils treatment

6 - 1. مقدمة.

يمكن أن تكون الدهون، الزيوت، والشحوم FOG : نباتية أو حيوانية أو ذات أساس معدني.

- **الدهون:** هي مزيج من عدد مختلف من ثلاثي الغليسريد (triglycerides). ويوجد في النباتات والحيوانات وهو هام لبنية الانسان، ويختلف تصنيفه حسب الوزن الجزيئي ودرجة الاشباع، وتكون درجة انصهاره منخفضة، ومنها الزبدة الحيوانية، الدهن الحيواني.[1]
- **الزيوت:** هي ثلاثي الغليسريد (triglycerides) سائلة بحرارة الغرفة، والزيوت المشهورة الصالحة للأكل زيت القطن، زيت الزيتون، زيت الذرة، زيت الصويا.[1]

ومن الزيوت المعدنية الهيدروكربونات النفطية...

- **الشحوم:** تصنف بشكل عام مثل الدهون والزيوت وتعتمد على شكلها الفيزيائي (نصف صلبة) أو تأثيرها على مياه الصرف.[1]
- تدرج الصوابين والشموع ضمن فئة FOG.

6 - 2. الحاجة إلى المعالجة المسبقة لإزالة FOG.

يسبب وجود FOG في مياه الصرف الصناعي مشاكل كبيرة لمحطات مياه الصرف العامة (POTWs) publicly-owned treatment works، ومن هذه المشاكل:



1. سد المجاري.
2. مواد طافية في بئر الضخ.
3. زبد في حوض الترسيب الأولي يسبب تحميل زائد لمياه الخرج.
4. أداء ضعيف للمعالجة البيولوجية.
5. تغطية حبيبات الفلاتر، مثل الفحم المنشط... إلخ.
6. صعوبة تكثيف ونزع الماء من الحمأة.
7. مخالفته للمواصفات القياسية المطلوبة فمثلاً المواصفة القياسية السورية 2580 لعام 2002 «المخلفات السائلة الناتجة عن الأنشطة الصناعية المنتهية إلى شبكة الصرف العامة» تعطي كمية الزيوت والشحوم القابلة للتصبن والمواد الراتنجية بـ 100 ملغ/ل بينما تعطي الزيوت والشحوم المعدنية 10 ملغ/ل، ومتابعة لذلك فإن الحدود القصوى لمؤشرات التلوث من الصرف الصناعي إلى البيئة المائية أعطيت بالجدول التالي:

طرح مياه الصرف الصناعي إلى	البحار	سطح الأرض	الانهار	قنوات الصرف
الزيوت والشحوم ملغ/ل	15	10	10	10

بينما الزيوت والشحوم في المواصفة القياسية السورية لمياه الصرف الصحي المعالجة لأغراض الري -2752- فئة ب حددت التركيز (5 ملغ/ل).

3 - 6. خصائص الدهون، الزيوت، والشحوم FOG.

تظهر الدهون والزيوت والشحوم في مياه الصرف بشكل حر طافي free floating oil، أو مستحلب emulsion، أو مرتبط bound، مع المواد الصلبة. الجدول (1-3-6) يعطي نوع الزيوت في مياه الصرف الصناعية. يتم فصل الزيت الطافي بواسطة الثقالة لأن الوزن النوعي أقل من 1، فيتم كسبه من أحواض الترسيب وينشأ هذا الزيت عادة من المصافي النفطية، الصناعات البتروكيميائية، تصنيع الفولاذ، ومن ورش غسيل الثياب... إلخ.

• **الزيوت المستحلبة. Emulsified oils:** هو مزيج ثابت من الزيت

والماء الذي لا ينفصل بسهولة بدون مؤثر آخر مثل (الحرارة، مواد كيميائية خاصة) والمستحلب يمكن أن يكون فيزيائي أو كيميائي:

- **المستحلب الفيزيائي. Physical emulsions:** هو مزيج من الماء والزيوت أو شحوم ثقيلة (لا تنحل في الماء) تحدث بفعل ميكانيكي (مثال: مضخات الطرد المركزي السريعة) وهو سهل التحطيم.

- **المستحلب الكيميائي. Chemical emulsions:** يوجد في سوائيل الأعمال المعدنية ويوجد في قطع تبديل الآلات وفي أجزاء الآلات المتحركة ويوجد فيه مواد نفطية ويتم استحلابه بعامل استحلاب emulsifying agent. ولفصل الزيت عن الماء يجب أن نحطم عامل الاستحلاب، ويتم عادة بواسطة ملح حمضي (مثال - الألوم أو الشب..).

يوجد صعوبة في قياس كمية FOG بسبب التصاق الزيت بالأدوات الاوتوماتيكية، ويجب أن تكون أوعية العينات اليدوية ذات فتحة واسعة لأخذ الماء مع FOG عند تغطيسها تحت سطح الماء، علماً أن الزيوت تلتصق بالأوعية البلاستيكية. ولا تؤخذ العينات من مياه المفيض الراكدة أو قبل الحواجز حيث تتركز المياه، ويجب ان تحفظ العينة بطريقة فنية وفق المعايير (الاستاندرات) العالمية، ويتم إضافة بعض النقاط من حمض الكبريت.

الجدول (1-3-6)

أنواع الزيوت في مياه الصرف الصناعي

تعريف الزيت	نوع الزيت
• زيت غير مرتبط بالماء وينفصل بالثقالة.	زيت حر Free oil
• زيت ينتشر في الماء بشكل ثابت بقطر من $5\text{ }\mu\text{m}$ - $20\text{ }\mu\text{m}$ يتشكل من خلال المزج في المضخات والصمامات.	مستحلب فيزيائي Physical emulsions
• زيت ينتشر في الماء بقطر $>5\text{ }\mu\text{m}$. يتشكل بواسطة المنظفات، السوائيل القلوية، البروتينات...	مستحلب كيميائي Chemical emulsions
• زيت منحل في الماء يكشف بالأشعة فوق الحمراء أو وسائل أخرى.	زيت منحل Dissolved oil
• مواد صلبة مبللة بالزيت حيث يلتصق الزيت بسطوح مياه الصرف أو المواد الصلبة.	زيت على المواد الصلبة Oil wet solids

ويجب الانتباه إلى أنه أثناء أخذ العينات وجمعها أو عند أخذ عينات من العينات المركبة فيمكن أن لا تكون موحدة النتائج بسبب التصاق FOG على الجدران واغطية الأوعية.

تقاس كمية FOG بتحليل مخبرية وابتسطها قياس المواد الطافية حيث تترك عينة لمدة 30 دقيقة في اسطوانة قطرها 7 سم وارتفاعها 30 سم وبعد ذلك يتم سحب الماء من الأسفل والباقي يحمض إلى (PH < 2)، ويستخلص FOG بواسطة الهكسانات.

6 - 4. مصادر FOG.

يوجد FOG في مياه الصرف المنزلي وسطياً بكمية 50 ملغ/ل ويمكن أن يعطي 20 % من المادة العضوية وتقاس كـ BOD [1] أما مياه الصرف الصناعي فتحمل تركيز أكبر من FOG، وتسهم الصناعات التالية الواردة في الجدول (6-4-1) كأهم الصناعات التي تعطي الدهون والزيوت والشحوم.

6 - 4 - 1. الصناعة الغذائية. Food industry

تسهم صناعة اللحوم وتحضيرها وتعليبها وصناعة الحليب والألبان والأجبان والكونسروة وطبخ وتحضير الأطعمة الجاهزة للإنسان والحيوان وصناعة الزيوت القابلة للأكل من عصر وتكرير وصناعة البذورات وصناعة الحلويات والحلاوة الطحينية والقللي والبقثق...إلخ. ولكن المصدر الأساسي ينتج عموماً من عملية الطبخ والتنظيف لكل وردية وتغيير المنتج، ويعتبر التطويق الثقالي (بالراحة) وتعديل الـ pH والتخثير الكيميائي أشهر الطرائق للمعالجة التحضيرية لإزالة FOG في الصناعات الغذائية.

6 - 4 - 2. صناعة الأدوات المعدنية. Metalworking industry

نراه في مياه الصرف ناتجاً عن زيوت التبريد والتشحيم والقطع.. فبعض من مياه الصرف هذه يتم ترسيبها فقط (أو قد يتم ترشحها) لإزالة قطع المعادن ومن ثم يمكن إعادة إستعمالها، وبعضها يجب أن يزال منه الزيوت الطافية أو المستحلبة قبل الطرح في المجاري العامة. وكما أشرنا سابقاً فمن أجل إزالة المستحلب يستعمل الحمض، أملاح حمضية (الشب) أو بوليمر وعندها ينفصل الزيت عن الماء. أما الشحوم التي توضع للمعادن أثناء التخزين والشحن فتزال نموذجياً بمحل عضوي أو بمحلول قلوي.

الجدول (1-4-6)

أهم الصناعات التي تعطي الدهون والزيوت والشحوم ونوعها

نوع FOG	الصناعة
نباتي	تكرير الزيوت النباتية
نباتي، وحيواني	تصنيع الصابون
حيواني	صناعة الحليب
حيواني	منتجات الالبان والاجبان
حيواني	المذابح وتعليب اللحوم
نباتي	سكاكر
نباتي وحيواني	الحلويات
نباتي وحيواني	تحضير الاطعمة
نفطي	الآلات
حيواني- نباتي - نفطي	الغسيل
نفطي	درفلة المعادن
حيواني ونباتي	الدباغات
حيواني	معامل الصوف
نفطي	مصافي النفط
نفطي، وحيواني، ونباتي	تصنيع المواد الكيميائية العضوية
نفطي	صناعة النسيج (الغسيل - التسربات من الوقود)
نباتي	معاصر الزيوت

6 - 4 - 3. الصناعة النفطية. Petroleum industry

تتضمن نفايات مصافي النفط زيوت حرة ومستحلبة من التسربات والانسكاب ومن المعالجة الكيميائية والتكثيف والتقطير وتنظيف الخزانات ومن حمأة النفط، ويمكن ان تتضمن مياه الصرف في المصافي بعض النفط الخام أو مواد صلبة معلقة مغطاة بالزيت، صابون، مستحلب شمعي. أن FOG للمصافي يحوي هيدروكربونات خفيفة (كالبنزين..) ووقود هيدروكربوني ثقيل heavy hydrocarbon وقطران (امثلة: النفط الخام، زيت الديزل، زيوت التشحيم، الأسفلت، زيوت القطع).

6 - 4 - 4. الصناعات الأخرى.

تعطي كثير من الصناعات كميات هامة من الـ FOG كمغاسل الألبسة وغسيل السيارات وتصنيع الفولاذ والصناعات الدوائية والدباغات والمصابغ....

6 - 5. تقنيات المعالجة التحضيرية. Pretreatment techniques

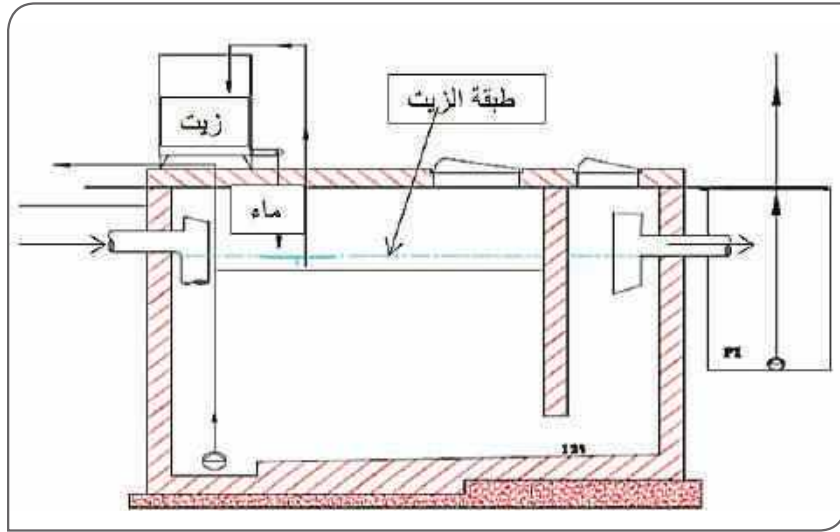
- يجب أن يكون موقع المعالجة قريب ما أمكن من مكان صدور FOG.
- الزيت الطافي الحر يتم إزالته بكواشط آليه أو يدوياً أو يتم تفريغه بصمام أسفل منطقة الزيت.
- محاولة منع تحول FOG إلى مستحلب، ويكون بمنع ضخ المياه الحاوية على زيت إذا أمكن (بصورة خاصة بمضخات الطرد المركزي وما شابه ذلك)، وإذا كان ذلك ضرورياً فيمكن إستعمال المضخات الغشائية أو الإزاحة الإيجابية لتجنب تشكل المستحلب الفيزيائي.
- عدم خلط المياه الحاوية FOG مع مياه الصرف الأخرى.
- طريقة المعالجة تتم بإزالة الزيت بالثقالة معزز بمخثر.

6 - 5 - 1. الفصل بالثقالة. Gravity separation

في وحدات فصل الزيوت الصغيرة والمتوسطة اللازمة لمياه صرف المطاعم والفنادق ومعامل الحلويات الصغيرة ... التي تطرح كميات قليلة من FOG يتم تنفيذ مصائد FOG trap في مكان مناسب يمكن الوصول إليها قبل المصرف العام لتنفيذ أعمال التنظيف والصيانة.

في المنشآت الصناعية الكبيرة يمكن عمل مصائد كبيرة للزيت تعمل بالثقالة مع كشط آلي للزيت وخزان لتجميع الزيت، وتنفذ المصيدة بتدفق متقطع أو بتدفق مستمر. وفي الصناعات الغذائية يمكن إعادة استعمال الزيت من المصائد لتحضير طعام الحيوانات. يبين الشكل (6-5-1-1) مصيدة زيوت وشحوم في معمل أدوية وشامبو ومعقمات أثناء البناء مع مقطع هندسي.





الشكل (1-1-5-6)

**فاصل زيوت وشحوم بسيط بالثقالة مع تنظيف يدوي -
معمل أدوية وشامبو ومعقمات**

في تصميم وحدة فصل الزيت بالثقالة يجب ان نحقق زمن مناسب ليطوف FOG { يؤخذ زمن المكوث (15 - 30) دقيقة [من المرجع 3, metcalf&eddy2003 وغيره] }، وتؤثر تغيرات التدفق في عملية الفصل فلذلك يمكن ان نحتاج إلى حوض توازن ينظم التدفق، وعموما يكون حجم المصيدة معتمداً على تدفق الذروة الساعي.

المعادلة (1-1-5-6) تعطي سطح وحدة فصل الزيوت [1].

$$A_H = F (Q_m / V_t) \quad (1-1-5-6)$$

A_H = السطح الأصغر اللازم للفصل م².

F = عامل تصحيح بسبب الاضطراب وهو من (1.2 - 1.8).

Q_m = معدل تدفق مياه الصرف (m³ / s).

V_t = معدل التحميل السطحي (م³/م².يوم) (وهو يساوي سرعة أصغر جزيئة حتى تتمكن من إزالتها م/ثا).

والقواعد العامة التالية مفيدة في عملية الفصل الثقالي [1]:

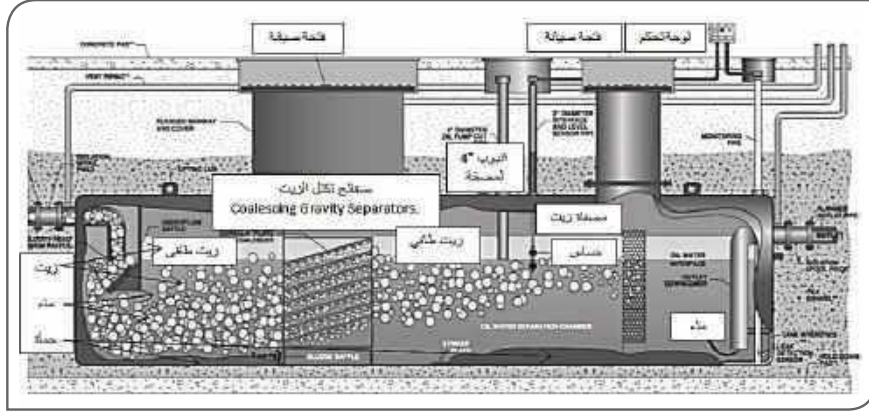
- يجب أن يكون المقطع العرضي للحوض في حده الأدنى، ولا يجب أن يكون هنالك قواطع في الحوض سفلية أو علوية.
- سرعة الماء الأفقية في الحوض (15.4 ملم/ثا)، ونسبة سرعة صعود الزيت إلى سرعة التدفق الأفقي لا تزيد عن 15.
- العمق يجب أن يكون بين (1.22 - 2.44) م.
- نسبة العمق: العرض بين 0.3 - 0.5.

6 - 5 - 2. الفصل بالثقالة بواسطة صفائح تكتل الزيت. Coalescing Gravity Separators

وهي طريقة لتجميع قطرات الزيت مع بعضها بواسطة صفائح بلاستيكية خاصة ومن ثم صعود الزيت للأعلى. التصميم وفق الشكل (1-2-5-6).

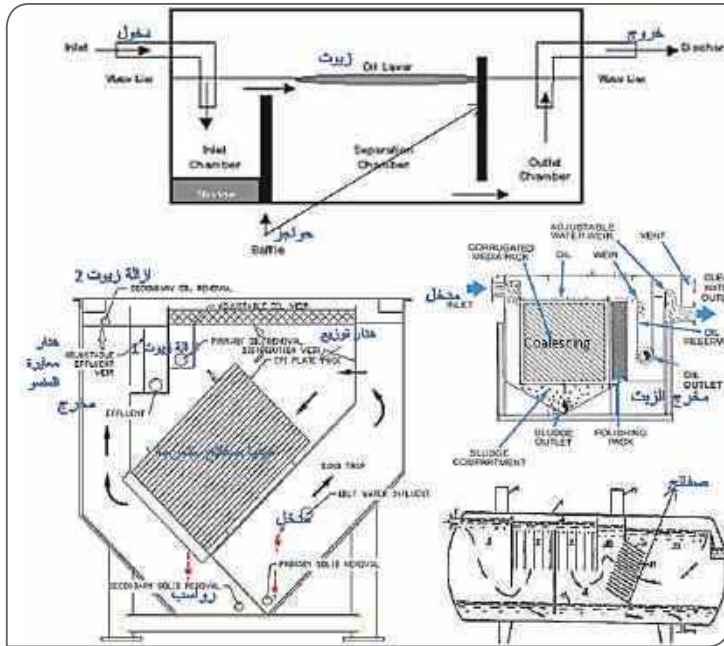
وتكون عملية فصل الزيت على ثلاث مراحل، أولاً بالراحة، وثانياً بمرورها على الصفائح المُكتلة للزيت ثم بواسطة مصافي لتكتيل الزيت أيضاً ويتم سحب الزيت بواسطة مضخة خاصة مرتبطة بحساس لمعرفة منسوب الزيت، ويجب أن تكون كمية المعلقة أقل من 300 ملغ/ل في مياه الصرف، وعادة تصمم هذه الوحدة لمعدل تحميل حوالي (0.762 م³/م².يوم).

والشكل (6-5-2-2) يوضح بعض الطرائق العملية لفصل الزيوت بالراحة، ومنها نموذج API مع سكيمر لجمع الزيت ويمكن أن يكون القاشد (السكيمر) آلي أو يدوي، كما يمكن إضافة قاشط سفلي للمواد الراسبة الاشكال (6-5-2-2).



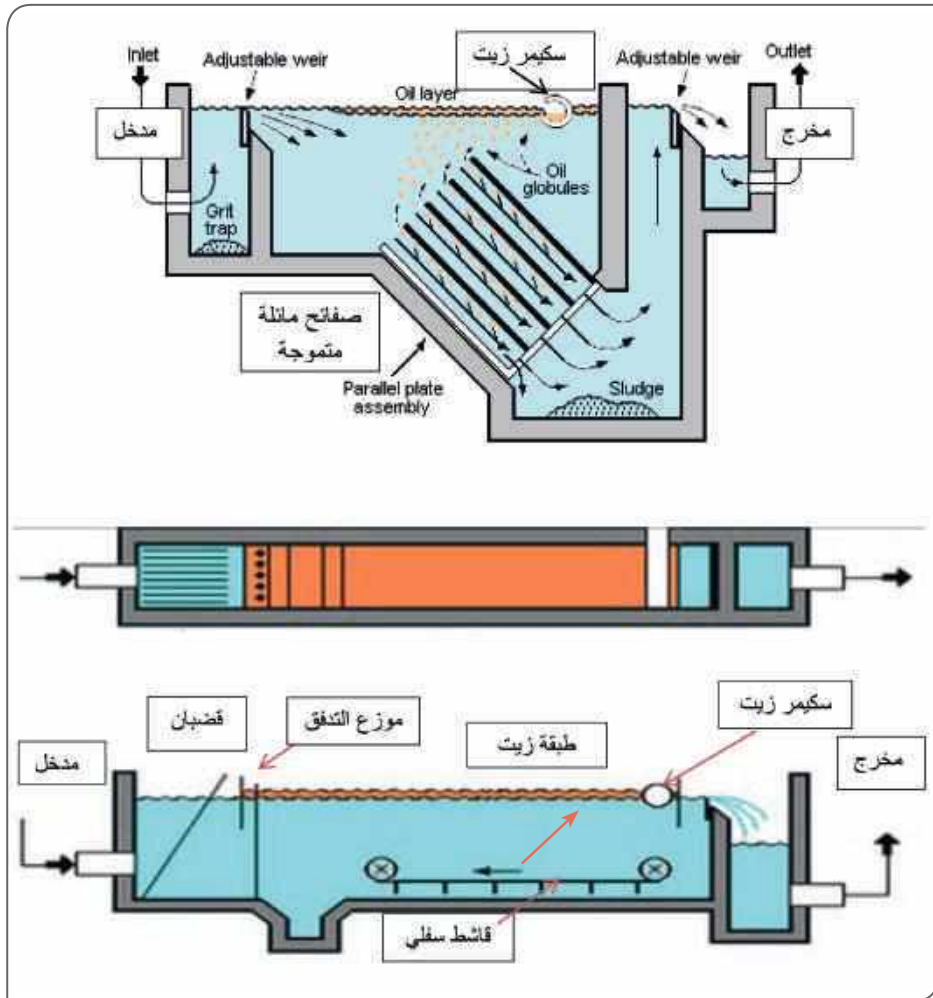
الشكل (6-5-2-1)

فصل الزيوت بالثقالاة بواسطة صفائح تكتل الزيت [1]



الشكل (6-5-2-2)

بعض الطرائق العملية لفصل الزيوت بالراحة (يتبع)



(نموذج فاصل زيت مع سكير وقاشط سفلي للرواسب)

نموذج (API) [صور ويكيبيديا]

(تابع) الشكل (2-2-5-6)

بعض الطرائق العملية لفصل الزيوت بالراحة

6 - 6. المواد الكيميائية المساعدة على الفصل Chemically enhanced separation.

لتحطيم الروابط في الزيوت المستحلبة تعتمد الطريقة على ما يلي:

- المزج السريع لمياه الصرف مع ملح مخثر مثل:
(Alum, polyaluminum chloride, ferric chloride, ferric sulfate)
- ثم يتم فصل FOG فيزيائياً، ويتم إضافة بوليمر عضوي لنتمكن من طرد الماء من الرواسب.
- عندما يضاف حمض لتحطيم المستحلب يجب تعديل PH في حوض الترسيب قبل طرحه في المجرور العام.
- بعض البوليميرات العضوية تحطم روابط المستحلب مع إنتاج حمأة قليلة.
- يجب إجراء تجربة JAR TEST لتحديد الجرعات المناسبة للتدفقات (وإذا كانت نوعية المياه المعالجة تتغير فحتاج إلى حوض موازنه).
- إذا كان الندف المتشكل صعب الترسيب بالثقالة فيمكن استعمال التطويف بالهواء المنحل DAF.

6 - 7. التطويف بالهواء المنحل. Dissolved air flotation.

هو إزالة فيزيائية للمواد الصلبة وهو يستعمل لتطويف FOG ولتطويف المواد الصلبة للحمأة وخصوصاً الحمأة المنشطة، وكذلك تستعمل الطريقة لإزالة التراكيز الكيميائية ل FOG.

في ال DAF يتم حل الهواء في الماء تحت الضغط للوصول إلى saturated الإشباع، ويتم ذلك في غرفة خاصة خاصة تحت ضغط (2.80-5.50bar) وعند تحرير الضغط (ويكون عند مدخل الحوض) تظهر فقاعات هواء صغيرة جداً ($60-100 \mu m$) تقوم بدفع المواد الصلبة باتجاه الأعلى. يتم استعمال مياه مطوطة من حوض التطويف لإعادة ضغطها مع الهواء أو تستعمل مياه جديدة أو تستعمل مياه الصرف بعد حوض التطويف، الشكل (6-7-1) يوضح نموذج لطريقة إعطاء المياه المتشبعة بالهواء saturated، وأغلب

تصاميم الشركات تقوم على سحب المياه من الجزء المتوسط السفلي من حوض التطوير. إن أهم ما في التصميم نسبة الهواء إلى المواد الصلبة A/S الجدول رقم (6-7-1) يوضح مختلف حالات التحميل العامة ل DAF.

وفيما يلي أهم ضوابط التصميم العامة في DAF:

-نسبة تحميل الحمأة (من الصرف الصحي)، [300 to 29 kg solids/(m². d)]، ولكن في [6] التحميل للحمأة المنشطة [10 to 20 kg solids/(m². d)].

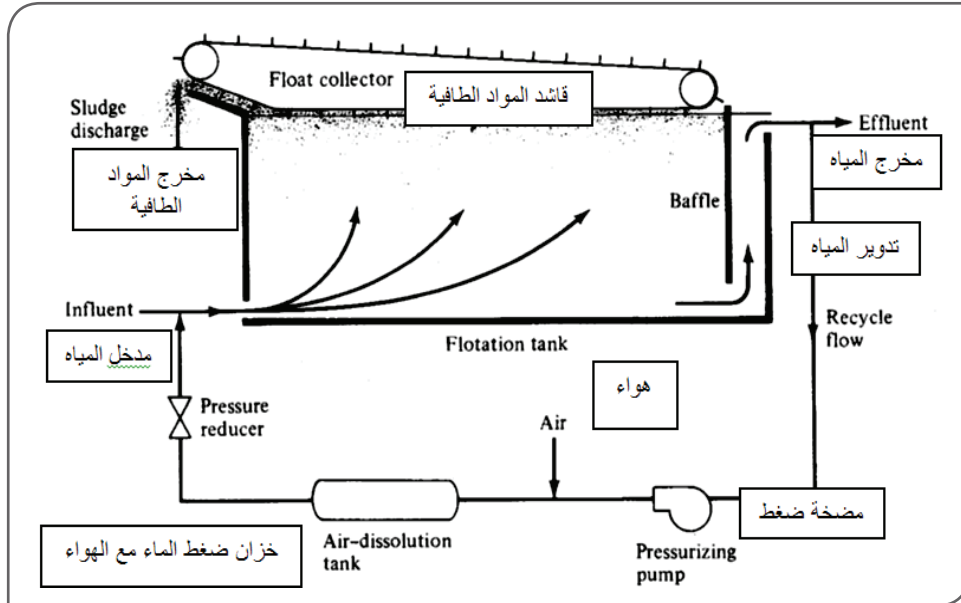
- مكثف الحمأة بالتطوير يعطي كفاءة 85 % - 99 %.
- زمن الحجز في غرفة الضغط: 1 - 3 دقيقة.
- زمن الحجز الهيدروليكي: 10 - 20 دقيقة.
- نسبة الهواء إلى المادة الصلبة (1 % - 4 % A/S). (وقد تصل إلى 0.0006 لبعض التجارب على مياه صرف صناعي [1]) ولذلك يجب إجراء تجارب مخبرية لتحديد النسب اللازمة.
- الضغط : (2.80 bar - 5.50 bar).
- التحميل الهيدروليكي: $m^3/m^2/d = (12 - 200) m^3 / m^2 / h = (0.5 - 8.33)$
- النسبة المئوية للمواد الصلبة في الزبد وزنا: (4 - 8). (في مت كالف 2003 من، 3 - 6 %) ويصل في التطوير ذو المعدل العالي إلى 6 - 12 % [1].

نسبة ازالة FOG مع مواد كيميائية 90 % ونسبة الازالة بدون مواد كيميائية 60 - 80 % [1]. ويجب عمل تجربة pilot project لتحديد العوامل المؤثرة كدرجة الحرارة ونسبة المواد الصلبة والوزن النوعي للمادة الصلبة، والمواد الكيميائية الممكن استعمالها في التطوير وكمية المواد الكيميائية اللازمة.

الجدول (1-7-6)

مختلف حالات التحميل العامة لـ DAF [3].

التحميل مواد صلبه $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{H})$		نوع الحمأة أو المواد الصلبة العضوية
مع إضافة مواد كيميائية	بدون إضافة مواد كيميائية	
حتى 10	1.2 - 3	حمأة منشطة:
حتى 10	2.4 - 4	- المزيج المنحل
حتى 10	3 - 4	- مرسبة
حتى 10	3 - 4	حمأة منشطة بالأوكسجين الصافي
حتى 10	3 - 4	حمأة مرشح بيولوجي
حتى 10	3 - 6	حمأة أولية مع حمأة منشطة
حتى 10	4 - 6	حمأة أولية مع حمأة مرشح بيولوجي
حتى 12.5	4 - 6	حمأة أولية فقط



الشكل (1-7-6)

إحدى طرق إعطاء المياه المتشعبة بالهواء في الـ DAF

تتغير تراكيز المواد الصلبة مع استمرار العمليات ولذلك يجب تغيير نسبة الهواء ولكن يفضل وجود حوض موازنة لتجنب ذلك.

• **ملاحظة:** راجع الفقرة (2-4-19) المسالخ، لمعرفة نسب الازالة للملوثات الاخرى.

يستعمل التطويف DAF ذو المعدل العالي مع أنابيب أو صفائح مائلة تمر عليها المياه المطوفا ضمن حوض التطويف ليساعد على تصغير حجم وحدة المعالجة، الشكل (a-2-7-6) يوضح تطويف مياه صرف في معمل ألبان وأجبان مع ترسيب باستعمال الصفائح المائلة المثبتة في حوض التطويف (المعدل العالي). وعادة يتم ضخ المادة الكيميائية مع مياه الصرف في دارة خاصة (flocculator) مؤلفة من أنابيب يتحقق فيها زمن المكوث اللازم للمزج وتشكيل الندف قبل دخولها إلى حوض التطويف. ويبين الشكل (b-2-7-6) المبدأ العام لوحدة التطويف بالتدوير مع مضخة خاصة التي تقوم بمزج الهواء والماء مباشرة في فجوة خاصة ضمن المضخة.

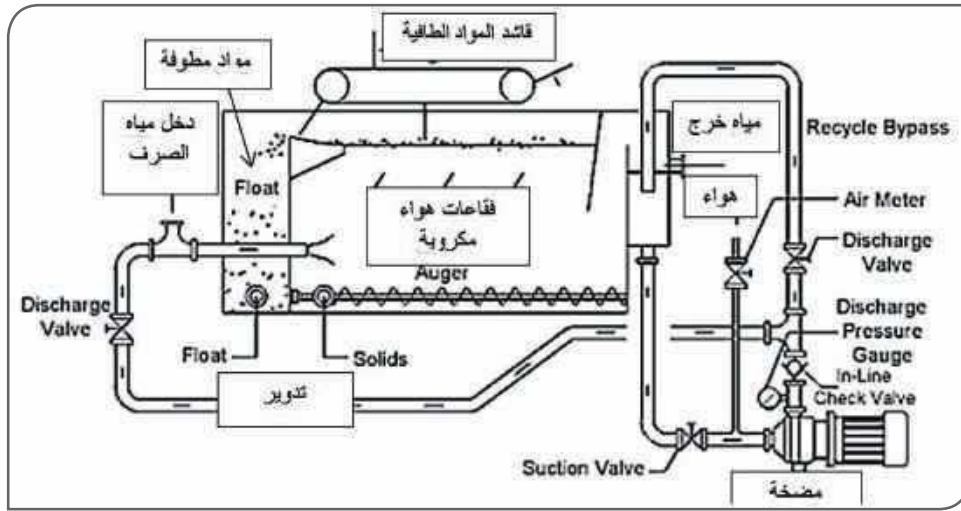


a

الشكل (2-7-6)

نموذج وحدة تطويف الدهون (DAF) في مياه صرف البان وأجبان
(مع صفائح مائلة - معدل عالي)

(يتبع)



b

(تابع) الشكل (6-7-2) نموذج وحدة تطويف الدهون (DAF) في مياه صرف البان واجبات (مع صفائح مائلة - معدل عالي)، وتوضيح المبدأ العام لهذه الوحدة. [من [(k-pack system company, Pan America Environmental Company, TIA Co)



الشكل (6-7-3) تطويف بالمعدل العادي

في DAF المعدل العادي يكون التحميل الهيدروليكي (1.2 - 6 م³/م²/ساعة) ويقترح تحميل المواد الصلبة (17-2.4 كغ/م².سا). يبين الشكل (6-7-3) تطويف بالمعدل العادي.

في المعدل العالي يكون التحميل الهيدروليكي (25-8.3 م³/م²/سا) [1] ويكون تحميل المواد الصلبة أعلى، ويجب أن يوجد قبل عملية التطويف مصافي لتخفيف المواد الصلبة (ويمكن ان يوجد حوض توازن ومجانسة وخصوصا اذا لم يكن التدفق ثابتا).

تحتاج مياه الصرف الصناعية الحارة عادة إلى كمية أكبر من الهواء حيث حرارة المياه عادة تعيق إزالة FOG، وكمية FOG الكبيرة في مياه الصرف يلزمها إزالة مستمرة للمواد الصلبة مما يجعل المواد الصلبة التي تم إزالتها أكثر رطوبة.

يستعمل DAF إضافة لتكثيف الحمأة المنشطة في محطات مياه الصرف وفي رفع الندف في التخثير الكيميائي، ويستعمل كذلك في معالجة مياه الصرف الصناعي في (معامل اللحوم - الألبان والأجبان - معامل البطاطا المقلية وتصنيع المأكولات من الذرة والقمح بالاكسترودر "البثق" - تكرير الزيوت.....)

ملاحظة: ينصح بأخذ القيم الوسطية والدنيا للتحميل.

6 - 7 - 1. طريقة حساب التطويف بالهواء المنحل DAF مع تدوير.

يحسب الجريان المدور من وإلى حوض التطويف بالعلاقة التالية:

$$A/S = 1.3 S_a (f_p - 1) R / Q C_o \quad (1-1-7-6)$$

A/S = النسبة الوزنية بين الهواء والمواد الصلبة العالقة كغ هواء/كغ مواد صلبة.

S_a = مل/ل. تركيز الاشباع للهواء تحت ضغط مطلق (1 بار) ودرجة الحرارة السائدة وفق الجدول (1-1-7-6).

C_0 = تركيز المواد الصلبة العالقة ملغ/ل.

F = الجزء الممكن الوصول اليه عمليا لإشباع الهواء في الماء وهو من (0.5 - 0.8) ويؤخذ 0.5

P = الضغط المطلق المطبق من (2.8 - 5.5) بار.

Q = التدفق الوارد إلى الحوض م³/يوم.

R = تدفق مياه التدوير المضغوطة م³/يوم.

ومساحة سطح حوض التطوير تعطى بالمعادلة.

$$S' = (Q + R) / L \quad (2-1-7-6)$$

S' = سطح حوض التطوير.

L = التحميل السطحي م³/م²/يوم.

الجدول (1-1-7-6)

تركيز الاشباع للهواء في الماء حسب درجة الحرارة

T°C	0	10	20	30
S_a	29.2	22.8	18.7	15.7

مثال.

حوض تطويف DAF يعالج 500 L/min مياه صرف تركيز الزيوت 860 L/min أضيف الهواء بنسبة 17 L/min.

1. حدد نسبة الهواء إلى الزيوت، وأعتبر ان 1.2 غرام من الهواء / ليتر في الشروط النظامية.

2. افرض تركيز المواد الطافية 2 %. وفي التدفق الخارج كمية الزيت = 20 مغ/ل.

3. احسب تدفق التدوير: R بفرض درجة 20°، $S_a = 18.7$ مل/ل، والضغط المطلق المقترح = 3.72 بار، نسبة إنحلال الاشباع = 0.5.

الحل:

الخطوة 1. احسب كتلة الهواء المضاف

$$A = 17 \text{ L/min} \times 1.2 \text{ g/L} = 20.4 \text{ g/min}$$

الخطوة 2. احسب كتلة الزيوت المطلوب تطويفها S

$$S = 0.86 \text{ g/L} \times 500 \text{ L/min} = 430 \text{ g/min}$$

الخطوة 3. احسب النسبة A/S

$$A/S = (20.4 \text{ g/min}) / (430 \text{ g/min}) = 0.047 \text{ g/g}$$

الخطوة 4. محتوى الزيوت الداخلة

$$860 \text{ mg/L} = 0.086 \%$$

منه كفاءة الازالة

$$(860 - 20) \times 100 / 860 = 98 \%$$

الخطوة 5. احسب مساحة الحوض اللازم بفرض التحميل (9 م³/م²/سا)

$$(500 / 1000) \times 60 / 9 = 3.33 \text{ m}^2$$

الخطوة 6. احسب حجم الحوض وارتفاعه بفرض مدة المكوث 10 الدقيقة

$$(500 \times 10) / 1000 = 5 \text{ m}^3 \quad \text{حجم الحوض:}$$

$$5 \text{ m}^3 / 3.333 \text{ m}^2 = 1.5 \text{ m} \quad \text{ارتفاع الحوض:}$$

يفضل زيادة حجم الحوض 10 - 20 %

الخطوة 7. دقق التحميل الحجمي وقارن بالجدول (6-7-1)

$$(860 / 1000) \times 60 / 5 = 10.32 \text{ kg} / \text{m}^3$$

نلاحظ ان التحميل عالي فيقتراح التصميم على اساس تطويف (معدل عالي مع تدوير).



الخطوة 8. حساب تدفق التدوير المضغوط لتطويف معدل عالي وحساب سطح الحوض.

من المعادلة (1-1-7-6) نحسب نسبة التدوير

$$A/S = 1.3 S_a (fp-1) R / Q C_o$$

$$Q = 720 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$A/S = 1.3 \times 18.7 (0.5 \times 3.72 - 1) R / 720 \times 860$$

$$0.047 = (24.31 \times 0.86) R / 619200$$

$$0.047 = 20.9 R / 619200$$

$$R = 1.39$$

تدفق التدوير:

$$1.39 \times 720 = 1000 \text{ m}^3/\text{d}$$

التحميل مع التدوير بفرض التحميل السطحي 9 م³/م²/سا (8.3 - 25 م³/م²/سا):

$$S' = (Q + R) / L = 720 + 1000 / 9 \times 24 = 1506.4 / 9 \times 24 = 7.96 \text{ m}^2$$

6 - 8. الطرد المركزي.

إذا كان الندف الكيميائي صعب الإزالة فيستعمل الطرد المركزي لفصل المواد الصلبة عن مياه الصرف، وعادة يستعمل الطرد المركزي لفصل الحمأة عن مياه الصرف ويستعمل أيضا لإزالة FOG من مياه الصرف.

6 - 9. فصل الزيوت بواسطة الهيدروسيكلون.

أصبح فصل الزيوت بواسطة الهيدروسيكلون شائعا بسبب الحيز الصغير الذي يشغله وبسبب فعاليته في فصل الزيوت عن المواد الصلبة وعن المياه وكذلك يمكن أن يفصل زيوت خفيفة عن زيوت ثقيلة، ومبدأ عمله انه تدخل السوائل بالضغط مماسيا إلى جسم الهيدروسيكلون، يبين الشكل (1-9-6) هيدروسيكلون لفصل الزيوت، وتتشكل قوة متغيرة على

طول الهيدروسيكلون فالمواد الثقيلة (ماء - زيت ثقيل - مواد صلبة) تُدفع للجدار ومنه للخارج والمواد الأخف إلى المركز لتخرج من خلاله. مدة المكوث من 2-3 ثانية ويستعمل في مصافي النفط، وحدات نقل النفط، غسيل الآليات، الألبان والأجبان، الغذائية...

6 - 10. الترشيح.Filtration.

الترشيح ضروري بعد عملية فصل الزيوت بالثقالة أو بواسطة DAF وخصوصاً إذا كنا نرغب بإعادة استعمال المياه بدون معالجة أخرى ويعتمد ذلك على كمية المياه المعالجة فنستعمل مرشح صغير (خرطوشة Cartridge- أو مرشح مع كيس bag filter) ويجب ان تستبدل باستمرار.



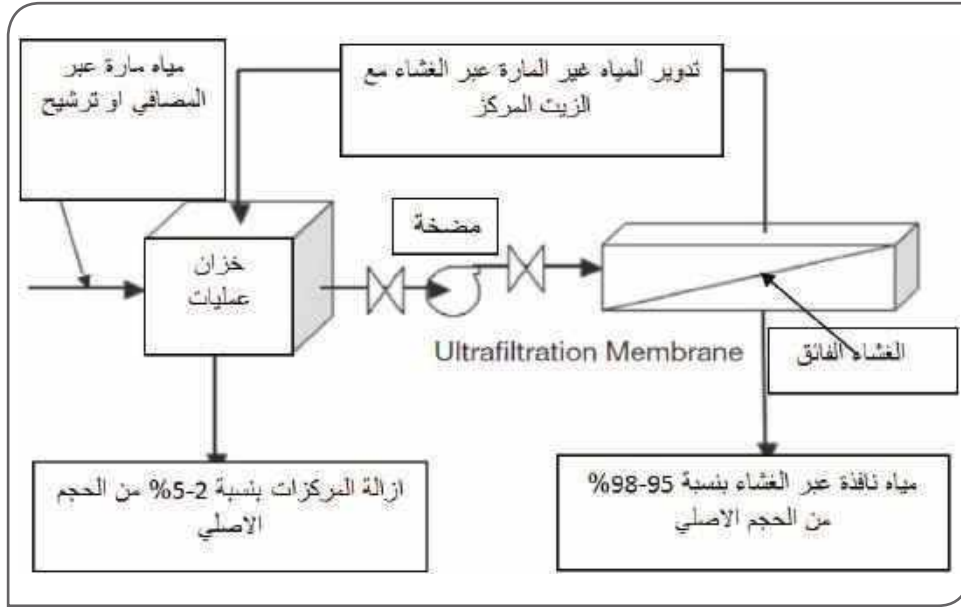
الشكل (6-9-1)

هيدروسيكلون لفصل الزيوت

6 - 10 - 1. الترشيح الفائق الدقة. Ultrafiltration

تستعمل في المرشح الفائق اغشية لفصل ال FOG عن الماء، فيمكن ان تفصل الزيوت المستحلبة لأبعاد أقل من (0.005 μm). وخصوصاً إذا أردنا استرجاع الزيوت وإعادة استعمال المياه أو طرح الماء في المجاري العامة. الشكل (6-10-1-1) يوضع مراحل تطبيق الترشيح الفائق الدقة على الصرف الصناعي حيث تضخ المياه (المارة أولاً على مصفاة أو مرشح) إلى المرشح الفائق وبالضغط تمر المياه عبر الغشاء وتبقى الزيوت وغيرها من المواد على سطح الغشاء، والمياه التي لم تمر عبر الغشاء تعاد لتمزج مع المياه الداخلة، ويرتفع الضغط تدريجياً وعندها يجب إخراجها من العمل وغسله كيميائياً، وينصح بما يلي:

- عمل فصل للزيوت بالثقاله وإتباعه بمرشح خرطوشة أو اكياس أقل من (5 μm) (5micrometer) وذلك قبل الترشيح الفائق الدقة .
- الترشيح الفائق الدقة يحطم المستحلب ولا يزيله بل يركزه وتستعمل وسائل أخرى لإزالته من الرواجع مثل الفصل بالثقاله، بواسطة صفائح تكتل الزيت. Coalescing Gravity Separators.....
- الحرارة يمكن أن تحطم المستحلب بدرجة حرارة من 38 ° - 82 ° حسب نوع المستحلب.
- المياه والزيوت الراجعة إذا تعذر فصلها يضاف لها مواد كيميائية كالشبة والبوليمر العضوي.
- الميزة الرئيسية للترشيح الفائق استعادة FOG والحصول على مياه يمكن الاستفادة منها مباشرة.
- من مساوئ الطريقة التكاليف التأسيسية والصيانة المستمرة والحاجة للمعالجة قبل المرشح الفائق.



الشكل (6-10-1-1)

مراحل تطبيق الترشيح الفائق الدقة على مياه الصرف الصناعي

6 - 10 - 2. مرشح. Organoclays

ويتم استعماله بمزيج من فحم الانتراسيت بنسبة 70 % ومن غضار البنتونايت بنسبة 30 % المعدل كيميائياً Chemically modified bentonite clay كوسائط (media) في مرشح عادي تحت الضغط، وللبنتونايت قدرة إمتزاز على سطحه للمواد العضوية غير المنحلة (الذائبة) كالزيوت الحرة والمستحلبة، ويتم عمل غسيل عكسي لإزالة المعلقات ويعطى مجال لتمدد الوسائط حوالي 20 %.

يستعمل المرشح عادة كمعالجة متقدمة لإزالة FOG أو قبل المعالجة بحبيبات الفحم المنشط Granular activated carbon (GAC) أو التناضح العكسي RO، وعموماً ينصح بفصل أولي للزيوت بالثقالة لإطالة عمر المرشح.

تحميل مرشح ORGANOCCLAYS قريب من تحميل مرشح حبيبات

الفحم المنشط (GAC) وهي (120 - 160 ل/م²/دقيقة) وعمق المرشح من (1 - 2) م، وزمن التماس 15 دقيقة، ويجب ان تكون فتحة المخرج أعلى من فتحة المدخل، وينصح بوضع 2 فلتر، وينفذ غسيل عكسي من (1 - 2) مرة في اليوم، وتمتص الميديا (الوسائط) حوالي 60 % من وزنها مواد عضوية.

بالنسبة للتخلص من (نفايات المرشح) مواد الوسائط الملوثة بالزيت فيتم عبر الاستفادة من الطاقة الحرارية الموجودة فيها والتي تبلغ قيمتها (32 500 kJ/kg إلى 34 800 BTU kJ/kg) حيث تستعمل كخلطة مع وقود آخر- أو يتم طمرها مع النفايات الخطرة.

6 - 11. خيارات استعمال FOG المسترد. Options for using recovered FOG

يستعمل الزيت المسترد من صناعات تكرير الزيوت القابلة للأكل وصناعة اللحوم وصناعة الصابون أو من مصائد FOG في المطاعم في صناعة طعام الحيوانات أو كوقود. كما أنه يمكن تدوير الزيت المستعمل لأعمال التزييت في أعمال الحفر، كما أن بعض أنواع الأسفلت تستعمل FOG في تصنيعها، وتقوم كثير من المعامل بأعمال تكرير الزيوت المعدنية بطريقة الإمتزاز باستعمال مادة البيلون (bentonite) (تربة غضارية سطحها النوعي كبير) ويتم خلطها مع الزيت المعدني المستعمل مع حمض الكبريت بنسبة حوالي 1.5 % والتسخين حتى (130 ° - 150 °) مع الضغط، ثم يتم فصل البيلون بواسطة مرشح (الفلتر بريس) ويعاد استعمال الزيت المكرر في أعمال التزييت المختلفة بعد تحسين لزوجته أو يستعمل لتصنيع شحوم معدنية بمزجه مع دهون حيوانية وهي طرائق شائعة في بعض الدول ولكن تعطي أبخرة يجب معالجتها، الشكل (6-11-1) يوضح آخر مرحلة في معالجة الزيت المعدني المستعمل بإمرار خليط الزيت والبيلون بالفلتر بريس (المكبس المرشح) وتعطي الطريقة زيت منخفض الجودة وينتج حمأة يمكن استعمالها كوقود في معامل الأسمنت أو مجايل الاسفلت. ويمكن أن يتم تكرير الزيوت بطريقة التقطير بأعمدة تقطير خاصة وهي طريق مكلفة ومنفذه في كثير من الدول المتقدمة وبعض الدول العربية كتونس.



الشكل (6-11-1)

إحدى طرائق معالجة الزيوت المعدنية لإعادة استعمالها

6 - 12. الإمتزاز. Adsorption

هو التوازن الحاصل بين المادة المازة (مثال الفحم المنشط والبننتونايت وغيره) والجزيئة الحرة معتمداً على قوة فإن درفالس، وأن الفحم المنشط بشكليته الحبيبي GAC والمسحوق PAC من أهم المواد المستعملة في عمليات الامتزاز ويصل السطح النوعي للكربون المنشط من (500 - 1500) م²/غرام وهو يوفر قوة امتزاز عالية ويمتاز كثير من المواد كالمواد الاليفاتية والاحماض العضوية والامينات .. ويتحسن الامتزاز بانخفاض درجة الحرارة. والفحم المنشط بشكل حبيبات يمكن ان يعاد تنشيطه بواسطة الحرارة أو البخار أو المواد الكيميائية أما الفحم المنشط بشكل مسحوق فيجب معالجته ومن ثم طرحه وقد يستعمل الفحم المنشط كوسيط (ميديا) لتكاثر البكتريا عليها في بعض المعالجات البيولوجية. وعمليا فإن جريان الماء على مرشح يحوي المادة المازة أفضل من خلطه وترسيبه.



ضبط ال pH pH Control

7 - 1. الاس الهيدروجيني (أو رقم pH) . pH- Value

هو لوغاريتم مقلوب تركيز أيونات الهيدروجين مقدرة بوحدة /1/ /
ايون غرامي / ليترا، وتتحول قيم PH في المحاليل بين (0-14)، حيث ترمز
القيمة 7 إلى نقطة التعادل المطلق. إن PH هو مقياس فعالية الشاردة
وليس لتركيزها، كما أن PH لا يقيس الحموضة الكلية أو القلوية الكلية.

7 - 2. الحامضية Acidity .

الحامضية هي قدرة المحلول على تعديل الأساس القوي (مثل
NaOH)، وتعزى في المياه الطبيعية إلى وجود أحماض الكربونيك
(الفحم) مثل: $H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow HCO_3^-$ وأحياناً إلى أحماض قوية
أي (H^+) (تحرر شاردة الهيدروجين)، إن نقطة التعادل النهائية لحمض
الكربونيك لن تتحقق إلا بعد وصول pH إلى القيمة 8.5، واعتماداً على
ذلك جرت العادة في كيمياء الماء اعتبار جميع المياه التي تكون فيها pH
أقل من 8.5 حمضية. [1]

7 - 3. القلوية Alkalinity .

القلوية هي عموماً وصف لمقدار السعة الكمية لمحلول مائي كي
يعدل حمضاً. ويستخدم مصطلح القلوية على الخصوص في المجالات البيئية
لوصف مقدرة التربة والصخور والماء في الطبيعة على الارتباط مع الأحماض.
بالتالي تعتمد درجة القلوية على كمية الأيونات ذات التأثير القاعدي وخاصة
أيون الكربونات.



وعادة يجب ان نميز عند قياس القلوية بين القلوية الكلية (Total Alkalinity)، وبين قلوية الكربونات.

إن قياس قلوية المياه معيار مهم عند تحديد مقدرة المجرى المائي على معادلة الملوثات الحمضية القادمة مع الأمطار الحمضية أو من مياه الصرف الصحي، أو من أي مصدر حمضي.

ويشير مصطلح القلوية بشكل عام إلى كمية القواعد في محلول ما والتي يمكن أن تحوّل إلى أنواع كيميائية غير مشحونة باستخدام حمض قوي ويمكن قياس القلوية من خلال المعايرة باستخدام حمض معروف التركيز وبوجود مؤشر الأس الهيدروجيني.

7 - 3 - 1. قلوية الكربونات.

يعتمد مفهوم قلوية الكربونات A_c على نظام انحلالية غاز ثنائي أكسيد الكربون CO_2 في الماء. حيث تتشكل في الماء، إلى حد ما، الأنواع التالية: الكربونات CO_3^{2-} والبيكربونات HCO_3^- بالإضافة إلى حمض الكربونيك، بالتالي فإن كمية CO_2 المنحلة (الذائبة) في الماء C_T يمكن التعبير عنها بالمعادلة التالية [من ويكيبيديا]

$$C_T = [CO_2] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}]$$

بالتالي يمكن الحصول على قلوية الكربونات على الشكل التالي:

$$A_c = [HCO_3^-] + 2 \cdot [CO_3^{2-}] + [OH^-] - [H_3O^+]$$

7 - 3 - 2. القلوية الكلية.

تُعرّف القلوية الكلية، والتي يرمز لها A_T (Total Alkalinity)، على أنها الكمية المكافئة للقواعد التي يمكن معايرتها باستخدام حمض قوي.

وعلى العموم هناك العديد من التعريفات التي تصف القلوية الكلية، والتي يمكن تخصيصها حسب الأيونات الموجودة في المحلول المائي. على سبيل المثال، يمكن تعميم المفهوم بحيث يمكن أن يشمل جميع القواعد وحتى الأحماض الضعيفة

($pK_a > 4.5$ عند 25°C) وذلك كجزء من القلوية الكلية:

$$A_T = [\text{HCO}_3^-] + 2 \cdot [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{B}(\text{OH})_4^-] + 2 \cdot [\text{PO}_4^{3-}] + [\text{HPO}_4^{2-}] - [\text{H}_3\text{PO}_4] + [\text{SiO}(\text{OH})_3^-] + [\text{NH}_3] - \dots$$

ويمكن تضيق المفهوم بحيث تؤخذ قيمة تقريبية مبسطة بحيث أن مفهوم القلوية الكلية يشمل إضافة تركيز أيون رباعي هيدروكسي البورات فقط إلى قلوية الكربونات.

$$A_T \approx [\text{HCO}_3^-] + 2 \cdot [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{B}(\text{OH})_4^-]$$

بالتالي فإن مفهوم القلوية الكلية للعينات المائية يعتمد على نوع الأيونات وعلى مجال الاختصاص الذي على أساسه تؤخذ العينات.

7 - 4. ضبط pH . pH Adjustment

تتراوح قيمة pH في مياه الصرف المنزلي من 6 - 7.5 ولكن pH لمياه الصرف الصناعي تختلف بشدة من الحموضة الشديدة إلى القلوية العالية، علماً أن بعض الصناعات تطرح في بعض الأحيان تدفق حمضي وفي فترة أخرى تدفق قلوي، واقتصادياً يتم مزجهم بأحواض خاصة يتم فيها عملية المزج، أو يمكن أن يتم ضمن حوض التوازن لنحصل على pH قريب من المواصفة المطلوبة أو اللازمة للمراحل التالية في المعالجة (مثال المصاوغ تطرح في بعض الأحيان تدفق حمضي وفي بعض الأحيان تدفق قلوي، لذلك لا بد من وجود حوض لعمل موازنة pH لكل مياه المصبغة (ويمكن أن تكون مهمة الحوض أن يعمل كحوض توازن).

إن تعديل pH يساعد في المعالجة كتفكيك المستحلبات الزيتية كما ذكرنا في الفقرة (6 - 6) أو تشكيل الندف أو في المعالجة المتقدمة لمياه الصرف ولكن قد يسهم في زيادة المواد الذائبة.

والمعالجة البيولوجية حساسة لـ pH حيث نلاحظ اختفاء البكتريا تقريباً بدرجة pH أعلى من 9.5 وفي درجة أقل من 5. ومن طرق معالجة نفخ الحمأة (الإنسداد بالحمأة) في أحواض المعالجة بالحمأة المنشطة هو

ضبط pH بإضافة الكلس [4]، ومن طرق معالجة انتفاخ الحمأة (الانسداد بالحمأة) أيضاً إضافة كلور إلى الحمأة الراجعة بنسبة {2 - 3 mg/L} لكل (1000 mg/L من MLVSS) أو الماء الأوكسجيني (Hydroperoxide).

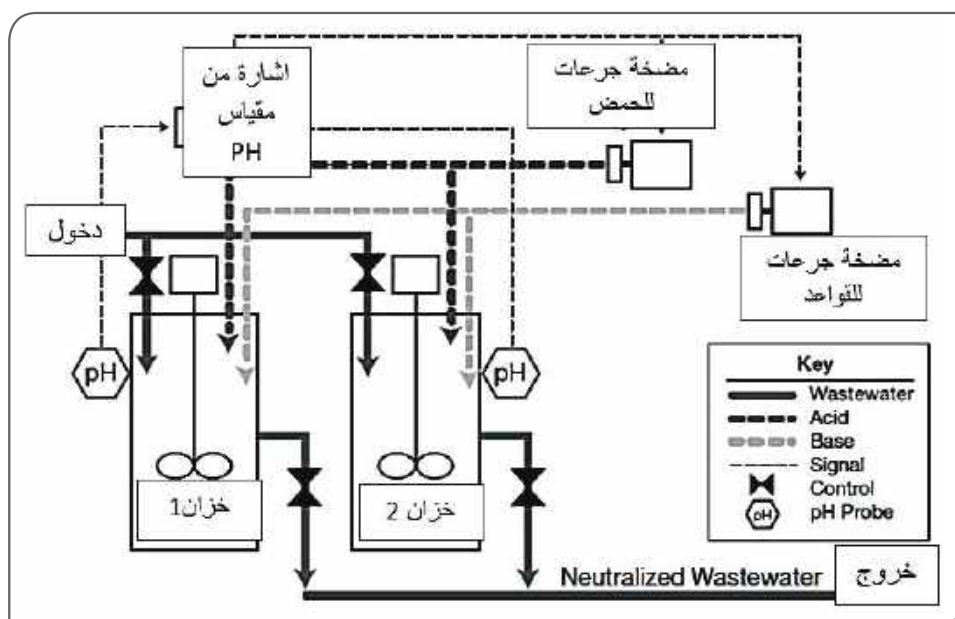
إن ضبط pH آلياً Automatic pH correction صعب لأننا نمزج كمية قليلة من المادة المعدلة مع كمية كبيرة من مياه الصرف، ولكن أكثر المنشآت الصناعية يكون حجمها صغير نسبياً.

ولتعديل الحموضة يفضل عادة إضافة ماءات الصوديوم NaOH عوضاً عن الكلس حيث يحقن محلول ماءات الصوديوم في حوض التعديل، أما الكلس فهو أكثر أماناً وأرخص ويستعمل بشكل أكبر في المحطات الصغيرة، ويكون بشكل بودرة الكلس الممزوجة مع الماء لعمل روبة وتحقن بواسطة مضخة (غشائية أو بستونية وذلك لمنع انسدادها بروبة الكلس slurry) وتأخذ وقت طويل لإجراء التعديل حوالي 20 دقيقة مع تحريك ميكانيكي أو بالهواء.

أما تعديل القلوية فيستعمل عادة حمض الكبريت H_2SO_4 وهو مادة كيميائية رخيصة نسبياً وإذا كانت المياه ستذهب للمعالجة اللاهوائية فيستبدل بحمض كلور الماء لأن وجود الكبريتات يسبب روائح وتآكل في المفاعل اللاهوائي لتشكل كبريتيد الهيدروجين مع الغازات الأخرى [من المرجع 8 - Industrial Wastewater Treatment NG Wun Jern]. ويجب الانتباه إلى أن العلاقة بين pH وكمية الإضافات ليست خطية بل لوغاريتمية.

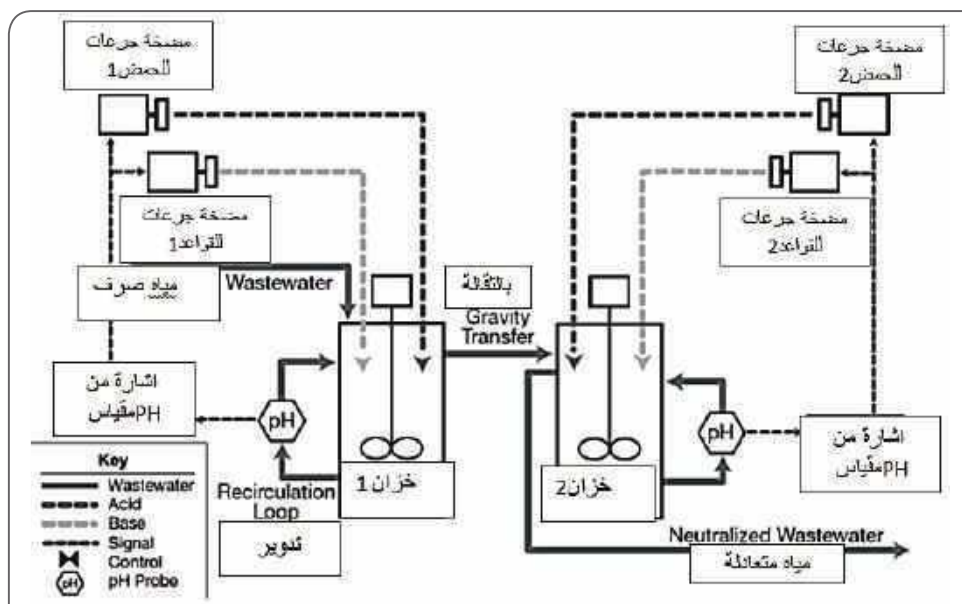
7 - 5. طريقة تعديل pH.

يتم تعديل pH اما بالدفعات من خلال تعبئة حوض واخذ عينات منه وإضافة الجرعات المناسبة وتعتمد الطريقة من أجل تدفقات (190 - 350 م³/يوم. الشكل (7 - 5 - 1)). أما إذا كانت الكمية أكبر فتتم المعالجة بالتدفق المستمر ويلزم ضبط مستمر ودقيق لتغير pH والحرارة وكمية التدفق ويقترح تعديل pH في التدفق المستمر أن ينفذ حوضين (أو ثلاثة) الأول للتعديل الأولي على مستوى تقريبي وحجمه أصغر ويتم إضافة الكمية الكبيرة من الإضافة الكيميائية اللازمة بمضخة خاصة 1 الشكل (7 - 5 - 2) ويكون الحوض الثاني أكبر واضيق ويتم فيه إجراء ضبط pH النهائي بمضخة 2. [المراجع 8,1]



الشكل (7 - 5 - 1)

طريقة تعديل PH بالدفعات



الشكل (7 - 5 - 2)

طريقة تعديل PH في بالتدفق المستمر

الشكل (7 - 5 - 3) يبين وحدة تعديل pH تدفق مستمر مخصصة للمياه الصناعية. الشكل (7 - 5 - 4) يبين عملية تعديل pH في مصبغة خيوط بوليستر (المياه حمضية) ونلاحظ مضخة الجرعات في المصبغة وهي مضخة غشائية ومرتبطة بجهاز الكتروني (ضابط pH - pH CONTROLLER) له حساس موضوع في الماء يقرأ قيمة pH ويرسل إشارة إلى لوحة الكترونية والتي تعطي أمراً للمضخة بإضافة كمية ماءات الصوديوم اللازمة لرفع PH إلى 7 (أو أي رقم مطلوب) وذلك قبل الدخول إلى المرشحات البيولوجية التي تستعمل لمعالجة مياه الصرف في هذا المعمل، وعملية مزج ماءات الصوديوم في هذه المحطة تتم في المرحلة الأولى ميكانيكياً وفي الثانية بالهواء.

ولتعديل pH يجب أن نعرف معلومات عن التدفق، الحموضة / القلوية، درجة الحرارة، التركيب الكيميائي لمياه الصرف، pH المطلوبة، ومن ثم إجراء المعايرة المخبرية اللازمة لتحديد الجرعات لعدد من المواد الكيميائية المتوفرة لتحديد الكلفة اللازمة لكل مادة وكمية الأملاح التي ستضاف أثناء تعديل مياه الصرف، وكمية الرواسب التي قد تتشكل من إضافة المادة المعدلة (كإضافة الكلس كمعدل).



الشكل (7 - 5 - 3)

نموذج وحدة تعديل PH لمياه صناعية تدفق مستمر



الشكل (7 - 5 - 4)

تعديل pH مستمر في مصبغة خيوط بوليستر "المياه حمضية" (الشقيف بحلب)

وعادة تتشكل مواد صلبة قليلة في pH المنخفض وكثيرة في pH العالي ويتم إزالتها عندما تكون الكمية معتبرة بواسطة الترسيب أو بالترشيح [1]، كما تسحب من أسفل حوض التعديل بالدفقات، أو بواسطة حوض ترسيب منعزل في حالة التدفق المستمر.

7 - 6. انواع المواد الكيميائية المستعملة لتعديل PH.

الجدول (7 - 6 - 1) يبين بعض المواد المستعملة في تعديل PH والكمية لمعادلة 1 ملغ/ل من الحموضة والقلوية (ملغ/ل مثل CaCO_3) والجدول (7 - 6 - 2) يعطي انواع المواد الكيميائية المستعملة في تعديل الأحماض والاسس مع بعض المواصفات لكل مادة واللازمة في تصميم وحدة ضبط PH.

الجدول (1-6-7)

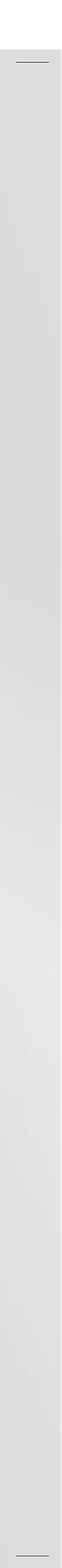
بعض المواد المستعملة في تعديل PH والكمية لمعادلة 1 ملغ/ل
من الحموضة والقلوية (ملغ/ل كـ CaCO_3)

المادة الكيميائية	التركيب الكيميائي	الوزن المكافئ	الكمية لمعادلة 1 ملغ/ل من الحموضة والقلوية (ملغ/ل مثل CaCO_3)
كربونات الكالسيوم	CaCO_3	50	1
أكسيد الكالسيوم (الكلس الحي)	CaO	28	0.56
ماءات الكالسيوم (الكلس المطفأ)	Ca(OH)_2	37	0.74
أكسيد المغنيزيوم	MgO	20	0.4
ماءات المغنيزيوم	Mg(OH)_2	29	0.58
Dolomitic Quicklime	$[(\text{CaO})_{0.6}(\text{MgO})_{0.4}]$	24.8	0.5
Dolomitic Hydrated lime	$\{[\text{Ca(OH)}_2]_{0.6}[\text{Mg(OH)}_2]_{0.4}\}$	33.8	0.68
ماءات الصوديوم	NaOH	40	0.8
كربونات الصوديوم (رماد الصودا)	Na_2CO_3	53	1.06
بيكربونات الصوديوم	NaHCO_3	84	1.68
حمض الكبريت	H_2SO_4	49	0.98
حمض كلور الماء	HCl	36	0.72
حمض النتريك	HNO_3	62	1.26
حمض الكربونيك	H_2CO_3	31	0.62

- **ملاحظة:** المشكلة عند تعديل pH هي في تآكل المعدات والأنابيب ويستعمل عادة الفاير كلاس، ستنلس ستيل ومواد أخرى تقاوم الأسس والقواعد، وعند استعمال خزانات من الأسمنت فيجب دهنها بمواد كيميائية مقاومة للتآكل.
- **ملاحظة:** تتحول كثير من المواد الذائبة عند تعديل pH إلى ندف قابل للتسريب [1].

الجدول (2-6-7) مواصفات عامة لبعض المواد الكيميائية المستعملة لتعديل PH									
حمض كلور الماء (HCl)	حمض الكبريت (H ₂ SO ₄)	مئات الصوديوم (NaOH)	كربونات الصوديوم رماد الصودا (Na ₂ CO ₃)	الكلس الحي CaO	ماءات الكالسيوم (Ca (OH) ₂) الكلس المطفاً	كربونات الكالسيوم CaCO ₃	المادة		
سائل	سائل	سائل	بودرة	كتل، حصويات	بودرة، حبيبات	بودرة، مسحوق	الشكل العام		
% 27.9 % 31.45 % 35.2	% 93, % 78 % 93, % 78 % 93, % 78	% 20 % 98 % 50	% 99.2	% 75-99 نموذجي 90%	% 13 نموذجي	NA	القوة التجارية		
منخل كليا	منخل كليا	منخل كليا	حسب درجة الحرارة	تقريباً غير منخل	تقريباً غير منخل	تقريباً غير منخل	الانحلال		
سائلة	سائلة	سائلة	جاف - وروبة	جاف- وروبة	بودرة أو روبة	Dry slurry used in fixed beds	شكل التغذية		
مضخة جرعات	مضخة جرعات	مضخة جرعات	مضخة حجمية جافة مضخة جرعات	مضخة حجمية جافة أو روبة رطبة	مضخة حجمية مضخة جرعات metering pump	مضخة حجمية Dry chemical feeder	طريقة التغذية		
-	-	-	خزان حل	خزان روبة، معدات اطفاء الكلس	خزان روبة	خزان روبة	المعدات اللازمة		
بلاستيك مختار مواد اخرى من خلاط النيكل		حديد، فولاذ، بلاستيك، فايبر كلاس FRP	حديد، فولاذ	حديد، فولاذ، بلاستيك، مطاط	حديد، فولاذ، بلاستيك، مطاط	حديد، فولاذ	الاولوية المستعملة		

- **ملاحظة:** مدة المكوث الأصغري لتعديل pH من 5 - 10 دقيقة وتؤخذ عادة في تغيرات محدودة ل pH من 15 - 30 دقيقة من التدفق الوسطي أما إذا كانت التغيرات شديدة فتؤخذ 1 - 2 ساعة التدفق الوسطي.
- **ملاحظة:** يتأثر زمن المكوث بنوع المواد المعدلة فإذا استعملنا سوائل للتعديل فحتاج 5 د. أما إذا استعملنا مواد كيميائية صلبة (وبينها الروبة) فحتاج 10 د. وإذا استعملنا كلس الدولوميت فحتاج 30 د.
- قدرة محرك المزج نموذجية $0.04 \text{ to } 0.08 \text{ kW/m}^3$. من [1]- ويؤخذ قطر شفرة الخلاط (التوربين) بالنسبة لقطر الحوض وسطياً 0.3.
- إذا تم حفظ سائل ماءات الصوديوم الكوستيك (NaOH) بتركيز 50 % وزناً فإنه يتبلور بدرجة حرارة 11.7° أما إذا كان التركيز 20 % فيتحول إلى بلورات بدرجة 26° لذلك يحفظ شتاء في مكان مناسب.



الجزء الثالث

إزالة المواد اللاعضوية والعضوية

**Removal of inorganic and
organic materials**



إزالة المواد غير العضوية Removal of inorganic materials

8 - 1. مصدر المواد اللاعضوية. The source of inorganic materials

تتواجد المواد اللاعضوية بكثرة في الطبيعة وتدخل إلى المياه بطرائق مختلفة مثل «تسرب المياه من خلال التربة إلى المياه الجوفية»، إضافة للنشاطات البشرية مثل الزراعة والتصنيع والبناء والنقل. كما إن طرح المواد غير العضوية وغير المرغوب فيها مع مياه الصرف إلى المسطحات المائية أو إلى شبكة المجاري العامة يؤثر على السكان ومحطات المعالجة البلدية. وتطرح الصناعة مواد غير عضوية تتضمن المعادن الثقيلة (heavy metals) والسيانيد (cyanide)، والمغذيات كالنتروجين والفوسفور (nitrogen) و (phosphorus) وغيرها من الملوثات غير العضوية.

وتعرف العناصر كمعادن ثقيلة عندما تكون تلك المعادن ذات كثافة نوعية أكبر من 5 ويشمل ذلك معادن مثل الأتيمون والزرنيخ والكاديوم والكروم والكوبالت والنحاس والذهب والحديد والرصاص والمنغنيز والزنك والموليبدنوم والنيكل والفضة والزنك.

8 - 2. تأثير المواد اللاعضوية غير المعالجة على محطات معالجة مياه الصرف.

إن المعادن الثقيلة تقتل الأحياء الدقيقة التي تقوم بالمعالجة الحيوية إضافة لجعل تداول الحمأة والمواد الصلبة الناتجة عن المعالجة وتصريفها صعباً. ويسبب وجود الكبريتيد (Sulfide) روائح غير مرغوبة وتآكل المعادن والخرسانة ويشجع البكتريا الخيطية filamentous على نفخ الحمأة.

وكذلك فإن المغذيات كالنتروجين والفوسفور تزيد من الاحتياج الأوكسجيني لأكسدة الأمونيوم في محطات المعالجة البلدية



(NOD) [nitrogenous oxygen demand] وتسبب في رفع تركيز هذه المركبات عن حدود التصميم الخاصة في محطات المعالجة البيولوجية بالحماة المنشطة.

8 - 2 - 1. المعادن والسيانيد. Metals and cyanide

إن المعادن الثقيلة تستطيع قتل أو تثبيط عمل الأحياء الدقيقة في محطات معالجة مياه الصرف الصناعي والصحي، وعادة يستطيع النظام البيولوجي التأقلم مع وجود المعادن الثقيلة بتركيزات غير كبيرة. وأن تغيير الـ pH من 8 إلى 7 يزيد الإنحلال لمعظم المعادن وخصوصاً مائات المعادن، الأكاسيد المنحلة (الذائبة)، أو المعادن الممتازة إلى المواد الصلبة.

والمعادن الثقيلة تتراكم في المواد الصلبة في المفاعلات وخصوصاً في الحماة المنشطة والهواضم الهوائية واللاهوائية، وتؤثر على تكثيف ونزع المياه من المواد الصلبة إضافة لخروج نوعية الحماة عن المواصفة المعتمدة. إذا ضبط المعادن الثقيلة ضروري من تدفق المصدر في المنشآت الصناعية والمصرف إلى محطات المعالجة البلدية، إضافة لضبط المعادن في مياه الصرف البلدية بحد ذاتها لتتطابق المواصفة المطلوبة للطرح في الأنهر والمساحات المائية.

8 - 2 - 2. الكبريتيد. Sulfides

إن مركبات الكبريتيد تسبب مشاكل في التشغيل وللصحة والسلامة إضافة إلى وجود مشاكل التآكل في أنظمة جمع مياه الصرف إلى محطات المعالجة، والكبريتيد سام لمحطات المعالجة البيولوجية الصناعية والبلدية (biotoxicity problems) وخصوصاً في الحماة المنشطة وعمليات الهضم. وتظهر مركبات الكبريت بأشكال عدة:

H_2S كبريتيد الهيدروجين، SO_2 ثاني أوكسيد الكبريت، $sulfur\ dioxide$ ، ومركبات عضوية كبريتية $organic\ sulfur\ compounds$.

- يؤثر كبريتيد الهيدروجين على أنظمة جمع مياه الصرف ومنشآت محطات المعالجة بسبب التآكل الذي يسببه لها.

- وكذلك إصدار الروائح حيث يمكن شم كبريتيد الهيدروجين بتركيز من (0.3-0.01ppm) وتسمح بعض المواصفات بالتعرض إلى (10ppm) من كبريتيد الهيدروجين لمدة 10د. كما ان تركيز (ppm 100) يعرض مباشرة للموت، بالإضافة إلى أن كبريتيد الهيدروجين قابل للانفجار بظروف معينة.
- كما إن وجود الكبريت الزائد في محطات المعالجة بالحماة المنشطة يشجع نمو البكتريا الخيطية filamentous المسببة لبطء شديد في عملية الترسيب الثانوي بسبب انتفاخ الحماة (bulking).
- في الهواضم اللاهوائية الكبريتات المنحلة (الذائبة) تكون سامة للبكتريا إذا كان التركيز أكبر (من 200ملغ/ل) مسببة ضعف في الهضم، فكبريتيد الهيدروجين وثنائي أوكسيد الكبريت في الهواضم تسبب روائح وتآكل وخطر الانفجار إضافة لخطر التعرض لها من قبل الأحياء [1].

8 - 2 - 3. مركبات الفوسفور. Phosphorus compounds

يوجد الفوسفور في مياه الصرف الصحي الخام بكمية من (2 - 20) ملغ/ل منها (1 - 15) ملغ/ل فوسفور غير عضوي و(1 - 5) ملغ/ل فوسفور عضوي وهما ضروريان للمعالجة الحيوية لمياه المجاري ويكون الفوسفور في مياه الصرف الصحي أو الصناعي عموماً بشكل أورثو فوسفات (orthophosphates) ومتعدد الفوسفات polyphosphates وفوسفات عضوي organic phosphates. البولي فوسفات يتحول إلى أورثو فوسفات ببطء، الأورثو فوسفات يكون بسيط مثل H_3PO_4 ، $H_2PO_4^-$ ، HPO_4^{2-} ، PO_4^{3-} ، والفوسفور العضوي كميته مهمة في النفايات الصناعية وأقل أهمية في الصرف المنزلي. وتركيز الفوسفور في مياه الصرف الصحي الخام يؤخذ عموماً (10 ملغ/ل) ونسبة (50% - 70%) منها تصل من المنظفات. يعد وجود مركبات الفوسفور مسألة حساسة جداً في محطات المعالجة البيولوجية لأن الفوسفور مادة مغذية ووجودها الزائد يسبب مشكلة في محطات المعالجة البيولوجية ويسبب زيادة في نمو الطحالب (الفوسفور مسبب رئيسي لظاهرة الانفجار الطحلي eutrophication). وتسبب الطحالب استهلاك الأوكسجين في المياه التي يتم التصريف إليها كمياه البحيرات أو الأنهار أو خزانات المياه

مما يؤدي لموت الاسماك وصدور روائح كريهة وخصوصاً إذا كانت المياه تستعمل للشرب. لذلك فإن معالجة مياه الصرف الصناعي الغنية بالفوسفور ضرورية قبل الطرح في مياه الصرف البلدية. ومن الأمثلة على الصناعات التي تطرح مركبات الفوسفور في مياه الصرف:

تصنيع الاسمدة، تصنيع المشروبات غير الكحولية، الحليب، المشروبات الأخرى، الصناعة الدوائية ومثال على البولي فوسفات : $(P_2O_7^{-4})$ الذي يستعمل في الصابون، المنظفات، ومحاليل التنظيف الأخرى.

8 - 2 - 4. مركبات النتروجين. Nitrogen compounds

توجد مركبات النتروجين في مياه الصرف الصناعي بشكل عضوي وأمونيا وتترت أو نتروجين بشكل غازي، يعد وجود مركبات النتروجين مسألة حساسة جداً في محطات المعالجة البيولوجية لأن النتروجين مادة مغذية ووجودها الزائد يسبب مشكلة في محطات المعالجة البيولوجية، ويسبب زيادتها في نمو الطحالب وتسبب الطحالب استهلاك الأوكسجين وموت الكائنات الحية وصدور الروائح، وخصوصاً أن نتروجين الأمونيا (NH₄⁺ - N ammonia - nitrogen) يزيد الاحتياج الأوكسجيني في محطات المعالجة البلدية بسبب الحاجة إلى النتريجة، nitrification لذلك يجب ازالة النتروجين الزائد قبل طرح مياه الصرف الصناعي إلى محطات المعالجة البلدية [1].

- الأمونيا العالية في مياه الصرف الصناعي تجعل من الصعوبة إزالة المعادن الثقيلة بالمعالجة التقليدية.

يوجد النتروجين في مياه الصرف الصناعي بأربعة اشكال:

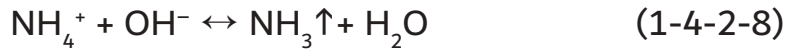
- نتروجين الأمونيا NH₄⁺-N (Ammonia-nitrogen).
- النتروجين العضوي. يكون منحلأ أو بشكل جسيمات غروية، والمنحل منه يكون على الأغلب بشكل (بولة) (urea) أو أحماض أمينية amino acids، والمصدر الرئيسي يكون من الفضلات البشرية وفضلات المطابخ والصناعات الغذائية.
- نتروجين النتريت nitrite-nitrogen (NO₂⁻ -N)

• **نتروجين النترات** (NO₃⁻-N) nitrate-nitrogen

• **مجموع نتروجين الامونيا والنتروجين العضوي يدعى اجمالي نتروجين كاليدال** (total Kjeldahl nitrogen TKN) النتروجين العضوي يتحول بيولوجياً إلى أمونيا ammonification، وهو يستعمل للتنبؤ بالنتيجة الكلية الممكنة وهي أفضل من اعتماد تركيز الأمونيا فقط، ويستعمل في تصميم المعالجة البيولوجية لمياه الصرف.

نتروجين الامونيا. NH₄⁺-N (Ammonia-nitrogen)

توجد الأمونيا في كثير من مياه الصرف الصناعية (مثل، صناعة الأعلاف، صناعة اللحوم، إنهاء المعادن، مصافي النفط) ومعظم أشكال النتروجين العضوي يتحلل إلى أمونيا بالفعل الحيوي. والتوازن بين غاز النشادر وايون الأمونيوم في الماء يعطى بالمعادلة (1-4-2-8)



القيمة العالية للرقم الهيدروجيني PH (أكبر من 10) مفضلة لإطلاق غاز النشادر من الماء والقيمة المنخفضة PH مفضلة للانحلال في الماء.

نتروجين النتريت. NO₂⁻-N (Nitrite-nitrogen)

مركبات النتريت موجودة في مياه الصرف الصناعي: (المصاوغ، الصناعات النسيجية، صناعات اللحوم، صناعات المطاط...إلخ) إضافة إلى أنه يكون مرحلة تحول بالأكسدة الحيوية إلى نترات.

نتروجين النترات. NO₃⁻-N (Nitrate-nitrogen)

يوجد النترات عادة في مياه صرف الصناعات: الدوائية، تصنيع اللحوم، صناعة الأصبغة، الأسمدة، المواد المتفجرة. والنترات يتشكل أثناء النتجة البيولوجية، وهو مصدر غذاء للنباتات والطحالب وبالتالي فإن زيادة نمو الطحالب يتسبب برائحة في مواقع طرح المياه، ويكون فيها طعم خاص إذا استعملت للشرب. وحيث إن كل مركبات النترات منحل في الماء فلا يمكن معالجتها بالترسيب. وعموماً تتم الإزالة بمرحلة إزالة النترات

بيولوجياً denitrification، أو بالمبادل الشاري ion exchange، أو بواسطة المعالجة بالأراضي land Treatment، أو بالأراضي الرطبة (بالنباتات) wetlands. وسيتم استعراض عدة طرائق في المعالجة كالتبادل الشاردي في الفقرة (8 - 3 - 12 - 1 - 2) أو بيولوجياً في الفصل (11 و 15) أما المعالجة بالأراضي الرطبة فيمكن الرجوع إلى المراجع [3, 4].

8 - 3. تقنيات معالجة الملوثات اللاعضوية. Treatment technologies of Inorganic Pollutants

تختلف طرائق معالجة الملوثات اللاعضوية باختلاف مصدر التلوث الصناعي وغالباً ما يعالج الملوث بشكل أفرادي أكثر منه مشترك مع الملوثات الأخرى وخصوصاً لبعض الصناعات كالعمليات الخاصة بمعالجة المياه الحاوية على السيانيد أو كروم سداسي... إلخ. الجدول (8 - 3 - 1) يعطي صناعات نموذجية مع الملوثات اللاعضوية الموجودة في مياه الصرف الناتجة عنها. [1]

وتتضمن طرائق المعالجة الشائعة للملوثات اللاعضوية المراحل التالية:

1. التعديل - الترسيب Neutralization-precipitation
2. الإختزال الكيميائي Chemical reduction
3. الأكسدة Oxidation
4. التعرية بالهواء أو البخار Air and steam stripping
5. التبادل الأيوني Ion exchange
6. الامتزاز (الادمصاص) Adsorption
7. الترشيح بالأغشية Membrane filtration
8. الديليزة الكهربائية Electrodialysis
9. التبخير Evaporation

8-3-1. التعديل (التحييد) والترسيب Neutralization-precipitation .

يطبق التعديل (تحييد) لمياه صرف الصناعات لرفع أو خفض درجة حموضة تدفق مياه الصرف لتلبية متطلبات المعالجة والشروط المطلوبة من قبل الحكومات.

تعريف Chemical precipitation : هو تشكيل مادة قليلة الانحلال في محلول أو داخل مادة صلبة أخرى خلال تفاعل كيميائي أو عن طريق الانتشار بشكل قوي. فعندما يحدث التفاعل في محلول تتشكل مادة قليلة الانحلال في الماء تدعى precipitate وسندعو precipitation مجازاً الترسيب، وبسط مثال هو ما ينطبق على مياه صرف معامل التلبيس عندما نحول المعدن المنحل إلى مركب قليل الانحلال ليتم ترسيبه.

نستعمل المواد الكيميائية لتعديل PH مشتركاً مع عملية تشكيل مركب قليل الانحلال أو غير منحل insoluble قابل للترسيب والازالة في حوض الترسيب (او بالترشيح) وهذه العملية عادة تزيل معظم المعادن الثقيلة والفوسفات phosphates، والكبريتيد sulfides..

الجدول (1-3-8)

صناعات نموذجية مع الملوثات اللاعضوية في مياه الصرف الصناعي

المواد اللاعضوية																	الصناعة
Zn	Se	N	Ni	Hg	Mn	PO ₄	Pb	Fe	Cu	Cr	CN	Cd	B	Ba	As	Ag	
x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x	x		x		تصنيع الدهان
x		x		x		x							x				الدوائية، التجميل
		x		x	x					x						x	تصنيع الاحبار
		x								x							غراء حيواني
		x								x			x		x		الدباغات
	x									x			x				اقتاج السجاد
	x	x		x			x			x	x	x	x			x	لوازم التصوير الفوتوغرافي
x	x	x						x	x	x							النسيجية
x			x	x					x				x				لب الشجر، الورق والورق المقوى
		x				x		x								x	الغذائية / المشروبات
x		x	x							x		x					الطباعة
x		x	x				x	x	x	x	x	x	x			x	الإنهاءات المعدنية
x			x		x		x		x			x			x	x	تصنيع البطاريات
x				x		x	x				x						الدوائية
	x	x		x					x					x			الكهربائية/ الالكترونية
		x		x			x							x			صناعة المتفجرات

- حجم حوض التعادل يعتمد على زمن مكوث وسطي وينصح بـ 6 دقائق.

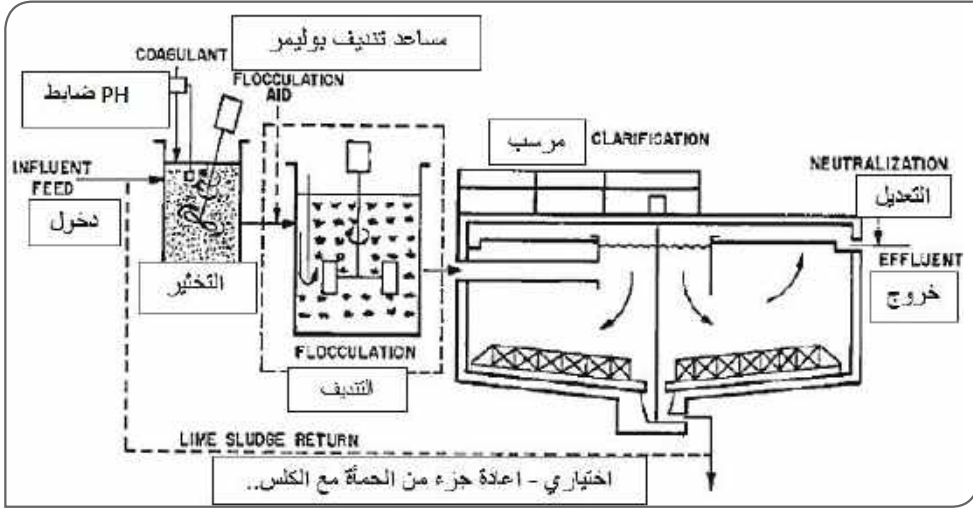
بعض المواد الكيميائية المستعملة للتعديل والترسيب:

- **أملاح الحديد** (كلور الحديد الثلاثي ferric chloride FeCl_3 ، كلور الحديدي الثنائي ferrous chloride FeCl_2 ..).
- **أملاح الألمنيوم** (سلفات الألمنيوم aluminum sulfate ، متعدد كلور الألمنيوم polyaluminum chloride ، الومينات الصوديوم sodium aluminate .
- **الكلس lime** .
- **بيكربونات الصوديوم sodium bicarbonate** ، كربونات الصوديوم sodium carbonate (بودرة الصودا)، ماءات الصوديوم (هيدروكسيد الصوديوم sodium hydroxide).
- **أملاح السولفايد sulfide salts** [كبريتيد الحديدي (ferrous sulfide) FeS].

ملاحظات:

- تتبع كمية المواد الكيميائية اللازمة لإزالة المعادن والفوسفات بأملاح الحديد والألمنيوم لتركيز التلوث فكلما زاد التلوث احتجنا إلى مواد كيميائية أكثر.
- الإزالة بواسطة الهيدروكسيدات (ماءات الكالسيوم والصوديوم) تتبع لـ pH ونموذجياً تحدث عند $\text{pH} = 7 - 10.6$ (حسب نوع التلوث) ولذلك غالباً ما نحتاج إلى إعادة ضبط الـ pH.
- إزالة الفوسفات بالهيدروكسيدات ينتج حمأة أكثر من المعالجة بأملاح الحديد والألمنيوم.
- يتم إضافة المواد الكيميائية بمضخة جرعات غشائية أو مكبسيه أو بأي مغذي آلي كهربائي مع حساس pH ضمن مياه الصرف ويتم معايرته حسب الدراسة المخبرية (ويمكن أن يكون العمل كله يدوياً).
- الترسيب الكيميائي يحتاج إلى مزج سريع (تخثير) coagulation

ومزج بطئ لتشكيل الندف flocculation وترسيب نهائي. (راجع الفصل 7) الشكل (1-1-3-8) مخطط نموذجي لنظام تغذية كيميائية تقليدية من [1].



الشكل (1-1-3-8)

نموذج مخطط لنظام تغذية كيميائية تقليدية

2-3-8. توقع انحلالية المركبات اللاعضوية في الماء. Predicting Inorganic Compound Solubilities

لتقرير حدوث الترسيب لملوث لا عضوي معين يجب أن نعرف منتج إنحلال الشوارد حسابياً، أو الاطلاع على الجدول (1-2-3-8)، وهو جدول يعطي درجة انحلال الشوارد لأهم الملوثات غير العضوية.

الجدول (1-2-3-8)

جدول مبسط يعطي درجة الانحلال لأهم الشوارد [1]

الانيون - anion												الكاتيون cation
Po_4^{-3}	CrO_4^{-2}	S^{-2}	SO_4^{-2}	CO_3^{-2}	NO_3^{-}	OH^{-}	HCO_3^{-}	I^{-} iodide	Br^{-}	Cl^{-}	F^{-}	
S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	Na^{+}
S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	K^{+}
S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	NH_4^{+}
S	S	H_2S	S	CO_2	S	H_2O	CO_2	S	S	S	S	H^{+}
I	S	X	VSS	I	S	VSS	SS	S	S	S	I	Ca^{+2}
I	S	X	S	VSS	S	I	S	S	S	S	VSS	Mg^{+2}
I	I	X	I	VSS	S	S	VSS	S	S	S	VSS	Ba^{+2}
I	VSS	X	VSS	I	S	SS	VSS	S	S	S	VSS	Sr^{+2}
I	VSS	I	S	I	S	I	VSS	S	S	S	S	Zn^{+2}
I	X	I	S	VSS	S	VSS	SS	S	S	S	SS	Fe^{+2}
I	X	X	S	I	S	I	I	S	S	S	SS	Fe^{+3}
I	X	X	S	X	S	I	X	S	S	S	S	Al^{+3}
I	I	I	S	VSS	S	I	I	I	I	I	I	Ag^{+}
I	I	I	I	I	S	VSS	I	VSS	SS	S	VSS	Pb^{+2}
I	VSS	I	VSS	S	S	I	I	I	I	I	I	Hg^{+}
I	SS	I	VSS	I	S	I	I	I	S	S	SS	Hg^{+2}
I	I	I	S	I	S	I	I	VSS	S	S	SS	Cu^{+2}

S = انحلال < 5000 مغ/ل

ss = انحلال بطيء (2000 - 5000) مغ/ل

vss = انحلال بطيء جدًا (20 - 200) مغ/ل

I = غير منحل > 20 مغ/ل

X = غير مركب not a compound



مثال: نريد ازالة النحاس + الزنك من مياه صرف صناعية، حدد اي المواد الكيميائية الانسب لترسيبها.

الحل: بمراجعة الجدول (1-1-3-8) نفتش على الأنيون في الجدول الذي يتحد مع الكاتيون للشاردين المطلوب معالجتهما ويجب ان يكون غير منحل (I)، أو قليل الانحلال جداً. vss. ونجد أن كلا من النحاس والزنك غير منحلان باتحادهما مع الهيدروكسيدات (OH) والكربونات (CO_3). إذاً يمكن استعمال الكلس [$\text{Ca}(\text{OH})_2$]، أو ماءات الصوديوم (NaOH) أو رماد الصودا (Na_2CO_3) في عملية الترسيب.

ملاحظة: يجب أن نجري تجربة مخبرية jar test.

1-2-3-8. تجربة الأواني. jar test

وهي طريقة لاختيار المخثر coagulant والمندف flocculent المناسب، أو مساعد التنديف المناسب coagulant aid، ويتم فيها تحديد الجرعة المناسبة وال PH المثالي. ويجب أن تؤخذ العينة التي سيتم اجراء التجربة عليها وفق الطرق المتبعة في الفصول السابقة من أجل جمع العينات وأن تكون ممثلة للمياه المطلوب معالجتها. الشكل (1-1-2-3-8) يبين جهاز نموذجي لتجربة الأواني يمكن شراؤه من الأسواق، ويحوي أواني ثابتة الحجم وخلطات لها عدة سرع للمزج وميقاتية (من أجل زمن المزج السريع والبطيء والترسيب)، حيث يتم إضافة المواد الكيماوية بنسب محددة حسب الخبرة وتعاد التجربة عدة مرات بنسب أخرى.

وبعد كل تجربة تتوقف العملية لإجراء الترسيب حتى زمن 30 دقيقة، وتقاس كمية الحمأة الناتجة وتؤخذ المياه العلوية للأواني ويجرى عليها التجارب لمعرفة كمية المعادن الثقيلة المتبقية، ويقاس معها COD وغيره من المؤشرات (البرامترات) حسب الحاجة.

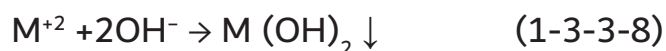


الشكل (1-1-2-3-8)

جهاز نموذجي لتجربة الأواني jar test

3-3-8. الترسيب بالماءات (الهيدروكسيد). Hydroxide Precipitation - التخثير Coagulation

يجب ان تزال اكثر المعادن الثقيلة من مياه الصرف الصناعي حيث تشكل مواد قليلة الانحلال كهيدروكسيدات المعدن وفق المعادلة (1-3-3-8) ويتبع بتخثير coagulation ثم تشكيل الندف flocculated، ويتم فصل الندف بالترسيب أو التطويف (أو الترشيح) ونحصل على نتائج قد تصل إلى (1مغ/ل).

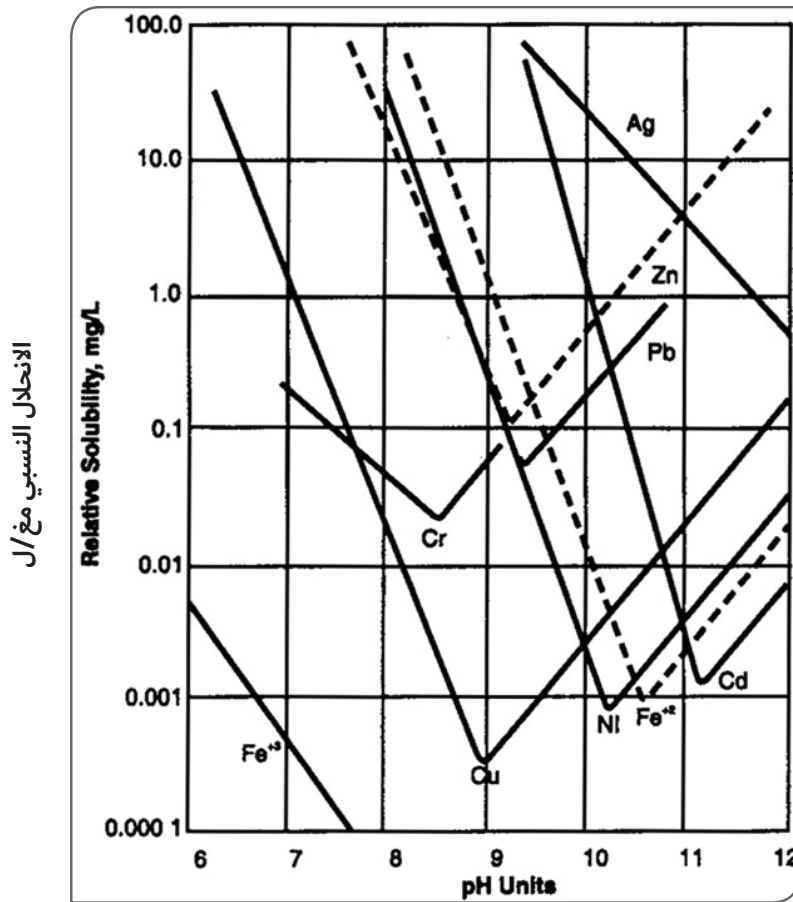


ويلعب الرقم الهيدروجيني pH دورا أساسيا في الإنحلال لذلك فقد تم وضع آباك لبعض المعادن الثقيلة. الشكل (1-3-3-8) الذي يعطي الحد الأدنى من الإنحلال مع درجة ال pH (عند زوايا علاقة pH مع الإنحلال النسبي) وهو غير دقيق جداً لتأثره ببعض العوامل مثل وجود مواد كمخفضات التوتر السطحي surfactants، الشوارد الأخرى، درجة الحرارة....

- التحدي الكبير في الترسيب هو أن يتواجد عدة معادن في مياه

الصرف، فالتصميم الهندسي يجب أن يقرر قيمة الـ pH التي ترسب اكبر كمية من المعادن المنحلة (الذائبة)، كما أنه يجب أن يتم ضبط التدفق الخارج من جديد.

- ترسيب الهيدروكسيدات بطيء لذلك يجب إضافة بوليمر قبل دخول المياه إلى حوض الترسيب.
- بعض الأحماض والأسس قد تحوي معادن ثقيلة فيجب تحليلها قبل استعمالها.



الشكل (1-3-3-8)

علاقة الانحلال النسبي لبعض المعادن المختارة مع درجة الـ pH

(معايير من وكالة حماية البيئة EPA)

4-3-8. الترسيب بأملاح الحديد والالمنيوم - التخثير.

تستعمل أملاح الحديد والالمنيوم بكثرة في إزالة التلوث اللاعضوي ويتضمن - أملاح الحديد، (FeCl_3) (ferrous and ferric sulfate) (FeCl_2 ferrous chloride, ferric chloride)، وأملاح الالمنيوم (سلفات الالمنيوم Polyaluminum chloride, aluminum sulfate متعدد كلوريد الالمنيوم).

- وهي تزيل المعادن الثقيلة وأيونات أخرى غير الثقيلة كالفسفات.
- بالاعتماد على درجة الـ pH هيدروكسيد الالمنيوم والحديد يتم ترسيبه أيضاً.
- يجب عمل تجربة الأواني المخبرية jar test والاختبار في جهاز رائد pilot-testing لتحديد كمية أملاح الحديد والالمنيوم اللازمة للمعالجة، وتحديد كمية الحمأة الناتجة وكلفة المواد الكيميائية، وتداول الحمأة الناتجة.

5-3-8. الترسيب بالكبريتيد - التخثير. Sulfide Precipitation-Coagulation

عندما نريد ان يكون تركيز المعادن المطلوبة قليلة في مياه الصرف الصناعي، أو عندما تكون المعادن معقدة مع مواد أخرى (أمونيا، سيانيد) عندها نستعمل الكبريتيد أو الكربونات للترسيب انظر المعادلة (1-5-3-8).



الجدول (1-5-3-8) يعطي الإنحلال (ذوبان) لعدة معادن مختارة مع الهيدروكسيدات والسلفايد والكربونات، ونجد أنه يمكن الحصول على إنحلال قليل جداً مع السلفايد، حيث نجد أن هيدروكسيد المعدن يبدأ في الإنحلال مع ارتفاع الـ pH عن حد معين بينما كبريت المعدن يصبح أقل إنحلالاً.

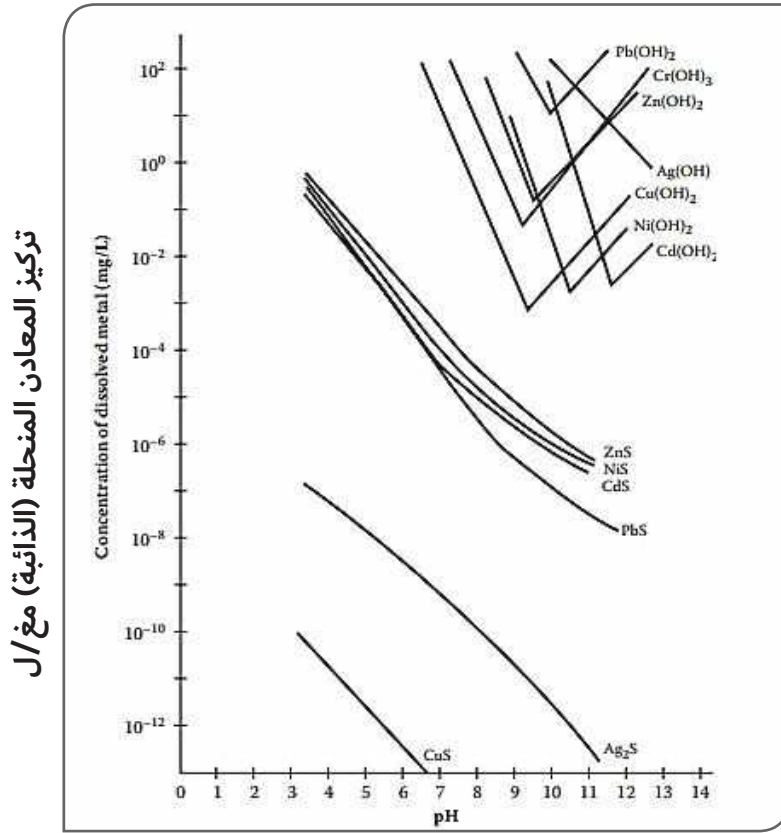
الجدول (1-5-3-8)
(معايير EPA) الانحلال لعدة معادن مختارة
مع الهيدروكسيدات والسلفايد

انحلال شاردة المعدن مغ/ل			المعدن
ك سلفايد	الكربونات	الهيدروكسيد	
6.7×10^{-10}	1×10^{-4}	2.3×10^{-5}	Cadmium (Cd^{+2}) كادميوم
لا يوجد ترسيب	-	8.4×10^{-4}	Chromium (Cr^{+3}) كروم
1×10^{-8}	-	0.22	Cobalt (Co^{+2}) كوبالت
5.8×10^{-18}	-	2.2×10^{-2}	Copper (Cu^{+2}) نحاس
3.4×10^{-5}	-	0.89	iron (Fe^{+2}) حديد
3.8×10^{-9}	7×10^{-3}	2.1	lead (Pb^{+2}) رصاص
2.1×10^{-3}	-	1.2	Manganese (Mn^{+2}) منغنيز
9×10^{-20}	3.9×10^{-2}	3.9×10^{-4}	Mercury (Hg^{+2}) زئبق
6.9×10^{-8}	0.19	6.9×10^{-3}	nickel (Ni^{+2}) نيكل
7.4×10^{-12}	0.21	13.3	silver (Ag^{+}) فضة
3.8×10^{-8}	-	1.1×10^{-4}	Tin (Sn^{+2}) قصدير
2.3×10^{-7}	7×10^{-4}	1.1	zinc (Zn^{+2}) زنك

إن هيدروكسيد المعدن يميل للانحلال بارتفاع PH بينما نجد في الشكل (1-5-3-8) انه بارتفاع pH سلفايد المعدن يصبح أقل انحلالاً ويستمر في الترسيب.

يمكن إستعمال نوعين من مركبات السلفايد غير منحل ومنحل:

- السلفايد غير منحل مثل كبريتيد الحديد (ferrous sulfide (FeS) ومن ميزات عدم انحلاله وعدم وجود رائحه تقريباً.
- السلفايد منحل مثل كبريتيد الصوديوم (sodium sulfide Na₂S) أو sodium hydrosulfide (NaSH.2HOH) ويرافقه وجود رائحه.
- وعملياً لانقاص الحاجة إلى إستعمال السلفايد يمكن استعماله بعد المعالجة بالهيدروكسيد لتحسين نوعية المياه.



الشكل (1-5-3-8)

إنحلال هيدروكسيد وسلفايد المعدن تبعاً pH. [57]

- من مساوئ استعمال السلفايد غلاء الثمن، ونشر روائح، وصعوبة نزع مياه الحمأة، والحاجة لتجارب مخبرية يومية.

6-3-8. الترسيب بالكربونات - التخثير. Carbonate Precipitation-Coagulation

كما ذكرنا في الفقرة (5-3-8) يعطي الترسيب بالكربونات تركيز قليل للمعادن في مياه الصرف الصناعية المعالجة، أو عندما تكون المعادن معقدة مع مواد أخرى، والمواد المستعملة المشهورة:

- كربونات الصوديوم sodium carbonate. (رماد الصودا Na_2CO_3 soda ash) وهو فعال جداً في إزالة المعادن.
- وبيكربونات الصوديوم. (NaHCO_3 , sodium bicarbonate)، وهي أقل فعالية في إزالة المعادن. ولترسيب بالكربونات ميزات عن الترسيب بالهيدروكسيد والسلفايد. (جيدة لإزالة الفلورايد fluoride).

1. المعادن تترسب بدرجة PH من (7 - 9).
2. مزيج من الكربونات والبيكربونات ترسب معادن بكمية أكبر، حيث البيكربونات لا ترفع درجة pH أكثر من 8.3 ولذلك لا تترسب بعض المعادن كالنيكل والكادميوم وعموما نحتاج إلى درجة الـ pH : 9 لترسيب أكثر المعادن، وهذا يحققه مزيج المركبين.
3. زيادة كمية الكربونات المضافة يزيد فعالية المعالجة عكس الهيدروكسيد الذي يزيد انحلال المعادن.

• ومن مساوئ المعالجة بالكربونات:

1. التفاعل يكون بطيء ولذلك يكون حجم حوض المزج السريع والبطيء أكبر.
2. معظم مركبات الكربونات تكون بشكل جاف وتحتاج لمراحل تحضير.

7-3-8. إزالة متمخلبات المعدن. [1,9] Removal of Chelated Metals

تشكل المعادن الثقيلة روابط (bind) مع عناصر وأيونات "agent" مثل السيانييد، الأمونيا، (EDTA ethylenediaminetetraacetic acid)، هذه الاجزاء تدعى ligands (من اللاتينية تعني الربط).

ومتمخلبات المعدن صعبة جدا وذات انحلالية عالية وتتحمل تغيرات

كبيرة في ال pH، مثال على ذلك "nickel-EDTA chelate". وتعالج بإحدى الطرائق التالية:

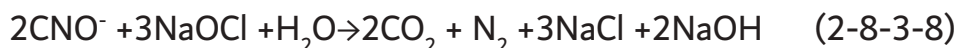
- التبادل الشاردي، الترشيح النانومتري، التناضح العكسي RO (لكن ينتج عن هذه الأساليب مركّزات يصعب التخلص منها إضافة للكلفة العالية).
- تحطيم متمخلبات المعدن Chelated Metals إلى معدن حر وإلى الوسيط الرابط. وتستعمل مواد كيميائية للترسيب تتضمن السلفايد، مركّبات الحديد (كبريتات الحديد أو الحديدوز).
- وخيار آخر يستعمل لإزالة المعادن التي لا تزال بالطرائق التقليدية هو أن نستعمل: (DTC, $C_3H_6NnaS_2$, Sodium dimethyldithiocarbamate) ويستعمل لإزالة متمخلبات المعادن.
- تعديل درجة PH إلى مستوى عال جداً أو منخفض جداً حسب معقد المعدن وعندها تتحرر شوارد (أيونات) المعدن، وعندها يضاف مباشرة مادة شواردها كاتيونية (مثلا الكلس) ترتبط معها وتمنع عودة الارتباط مع الوسيط وهي من الطرائق المستعملة بكثرة (وتحتاج إلى دراسة مخبرية لتحديد المواد والكلفة الاقتصادية).

8-3-8. تهديم السيانييد. Cyanide Destruction

يستعمل السيانييد في كثير من الصناعات ويعمل كرابط مع المعادن، ويمنع الترسيب كماءات وهو سام للأحياء الدقيقة في محطات المعالجة البيولوجية ويمكن تحطيم الرابط بتعديل PH، والسيانييد على نوعين سهل وقابل للكلورة وغير قابل للكلورة (يجب اجراء تجارب لتحديد السيانييد الكلي والسيانييد السهل التعديل بالكلورة).

السيانييد سهل التأكس: يستعمل هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl) وماءات الصوديوم (NaOH) لرفع PH إلى 10.5 أو أكثر وتحويل السيانييد إلى سيانات (CNO^-) ويحدث ذلك بمدة 30 - 45 دقيقة ثم يتم تخفيضه بالحمض إلى $PH = 8.5$ وبوجود هيبوكلوريت الصوديوم تتأكسد السيانات

إلى غاز نتروجين وثاني أكسيد الكربون ويستغرق ذلك 90 دقيقة. وفق المعادلات (1-8-3-8) (2-8-3-8).



ويوجد طرائق أخرى لأكسدة السيانيد حيث يمكن أن يستعمل، الماء الأوكسجيني (بيروكسيد الهيدروجين)، أو الاوزون، الحرارة والضغط...

• السيانيد صعب التكسير:

تعتبر معقدات سيانيد النيكل وسيانيد الكروم وسيانيد الحديد معقدات صعبة التكسير، (iron-cyanide، chromium-cyanide، and nickel-cyanide complexes)

لذلك نلجأ لاستخدام محفزات من أجل الأكسدة. ويمكن أن تكون المعالجة:

- المعالجة بالماء الأوكسجيني مع النحاس أو الزنك كمحفز.
- التبادل الشاردي (مع الانتباه أنه يمكن أن يصدر سيانيد الهيدروجين (سام جداً) قبل التعديل الأخير.
- التناضح العكسي RO مع الانتباه للمحلول المحجوز عالي التركيز.
- التنشيط الضوئي photoactivation يتضمن الأشعة فوق البنفسجية والماء الأوكسجيني.

9-3-8. اختزال الكروم السداسي. Hexavalent Chromium Reduction

الكروم السداسي (Cr^{+6}) يستعمل في تلبيس المعادن، وفي المصابغ، مانعات الصدأ، ويظهر في مياه إنهاءات المعادن بشكل ثنائي الكرومات (الدكرومات) ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$) أو بشكل حمض الكروميك chromic acid (H_2CrO_4) وهو سام للأحياء الدقيقة في محطات المعالجة البيولوجية ولا يترسب بالتعديل العادي لمياه الصرف لذلك يجب أن يحول إلى كروم ثلاثي (Cr^{+3})، والكروم الثلاثي أقل سمية من الكروم السداسي وقابل للترسيب، وتدعى العملية بالاختزال reducing.

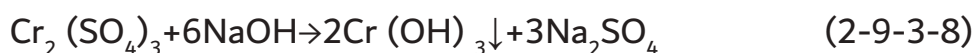
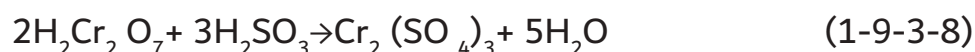
وتستعمل المواد التالية في عملية الاختزال مع درجة الـ pH اللازمة للاختزال بالمركب.

- ثاني أوكسيد الكبريت (SO_2) ، pH 2 - 3
- Sodium sulfite (Na_2SO_3) ، pH 2 - 3
- Sodium bisulfite (NaHSO_3) ، pH 2 - 3
- Sodium meta bisulfite $(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5)$ ، pH 2 - 3
- Sodium thiosulfate $(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ ، pH 2 - 3
- Ferrous sulfate (FeSO_4) ، pH 7.5 - 8.5 (الزاج الأخضر)

ويلزمنا جهاز لضبط قيمة الـ pH المطلوب بين 2 - 3 (عدا من أجل الزاج الأخضر) حيث يتم التفاعل بمدة 30 دقيقة [1] والماء بعدها سيتحول لونه من الأصفر إلى الأخضر.

كبريتات الحديد الثنائية (FeSO_4) : (الزاج الأخضر)
يتم إختزال الكروم السداسي بدرجة PH 7.5 - 8.5 ويحدث التفاعل بعدة دقائق قليلة والطريقة عملية ورخيصة التكلفة ولكنها تعطي كمية حمأة كبيرة. وتستعمل أيضاً في حال إحتواء الماء على سيانيد وكروم سداسي [10].
ولترسيب الكروم الثلاثي على شكل ماءات نستعمل الكلس أو ماءات الصوديوم.

ويمكن كتابة معادلة الاختزال والترسيب وفق المعادلات (1-9-3-8)،
[1] (2-9-3-8)



10-3-8. الترسيب المشترك للحديد. Iron Coprecipitation

يستعمل الحديد في التخثير الكيميائي للمعادن ويعمل بسهولة بين درجات pH (7.5 - 8.5) .

الترسيب المشترك Coprecipitation: نعني بالترسيب المشترك ترسيب عدد من المعادن سوية مع الحديد، حيث يرتبط الحديد مع عدد من المعادن بقوة ضمن pH (7.5 - 8.5). ونستعمل أملاح مختلفة مثل ferric salts أو ferrous salts والأخير يحتاج إلى مرحلة أكسدة لتحويله إلى حديد عديم الانحلال في درجة pH المختارة، (ويمكن أن تتم هذه الأكسدة بواسطة الهواء أو الكلور أو هيبوكلوريت الصوديوم أو الماء الأوكسجيني)، وتُزال المعادن كهيدروكسيد المعدن المركب (بالإضافة لترسيب الحديد والمعادن الثقيلة فإنه يتم إزالة التشكيلات المؤكسدة للزرنخ والسيلينيوم).

11-3-8. إزالة الزرنخ والسيلينيوم والزرئبق. Arsenic, Selenium, and Mercury Removal

بينما المعادن الثقيلة تزال بسهولة فإن الزرنخ والسيلينيوم والزرئبق يحتاج لإزالة خاصة.

1-11-3-8. إزالة الزرنخ. Arsenic removal

الزرنخ سام للأحياء الدقيقة Biotoxic، لذلك يجب أن يزال تماماً من مياه الصرف الصناعي قبل دخوله إلى محطات المعالجة البيولوجية. ومن مصادر الزرنخ فضلات المناجم، مواد معالجة الأخشاب، المبيدات، صناعة حمض الكبريت، صناعة الأمونيا، محطات الطاقة، صناعة الدهان والحرير. ويوجد الزرنخ في مياه الصرف الصناعي بشكلين:

الارسينيت (As^{+3} ; $H_3AsO_3^-$) .

والارسينات (As^{+5} ; $H_3AsO_4^-$) .

الارسينيت (As^{+3} ; $H_3AsO_3^-$) . لا يتم إزالته بشكل فعال بالامتزاز أو التبادل الشاردي بدرجة pH عادية وإنما يجب أن يؤكسد إلى ارسينات قبل المعالجة التالية. ولذلك يجب أن نحلل المياه لنعرف أي نوع

من الزرنيخ لدينا. والارسينيت يمكن أن يُؤكسد بواسطة (الكلور، هيبوكلوريت الصوديوم، الاوزون، الماء الأوكسجيني، برمنغنات البوتاسيوم).

والارسينات (arsenate): تتم معالجتها بطرائق تقليدية:

- إضافة الكلور، الحديد، أملاح الألمنيوم.
- الامتزاز Adsorption.
- التبادل الشاردي عندما تكون الكبريتات اقل من 120مغ/ل وعندما يكون محتوى المادة الصلبة المنحلة TDS منخفض.
- الألومينا المنشطة Activated alumina (5.5 - 6pH).
- المعالجة بالاعشبة

وينصح بالحديد لقلته حاجته إلى معالجة تمهيدية. ويجب عمل تجارب مخبرية ومشروع رائد والجدول (8-3-11-1) يوضح تطبيقات معالجة الزرنيخ.

2-11-3-8. إزالة السيلينيوم. Selenium removal

السيلينيوم سام للمتعضيات يجب إزالته من مياه الصرف الصناعي قبل طرحه إلى محطات معالجة مياه الصرف البلدية، ومصدره في المقام الأول يأتي من صناعات (النحاس، الزنك، الكبريت، محطات توليد الطاقة، مصافي النفط، تصنيع الحديد والفولاذ....)(كما يوجد بشكل عضوي).

السيلينيوم غير العضوي يحدث في حالات الأكسدة الأربعة:

- Colloidal elemental selenium (Se^0)
- بيسيلينايت: Biselenite (HSe^{-1})
- سيلينايت: Selenite [$\text{Se}(\text{IV})$ و HSeO_4^{-1} و SeO_3^{-2}]
- السيلينات: Selenate [$\text{Se}(\text{IV})$, SeO_4^{-2}]

السيلينيوم كسيلينايت selenite وسيلينات Selenate يعد الأكثر انحلالية في الماء ويجب اختزال السيلينيوم السداسي التكافؤ في السيلينات

[Se(VI)] إلى سيلينيوم رباعي [Se (IV)] وهو سهل الإزالة وخصوصاً بأملاح الحديد لتتشكل سيلنايت الحديد Iron selenite (غير منحلة) ومع معالجة بيولوجية خاصة [1] وتعاق العملية بوجود الكبريتات والنترات. منه نلخص إمكانيات المعالجة لإزالة Selenite بما يلي:

- أملاح الحديد (PH من 6.5 - 8).
- التبادل الشاردي عندما تكون السلفات > 120 مغ/ل و TDS منخفض.
- الألومينا المنشطة (PH من 3 - 8).
- التناضح العكسي RO.
- الفحم المنشط غير فعال في إزالة أي من أنواع السيلينيوم [1].
- أخيراً يجب إجراء تحاليل لمعرفة أي من مركبات السيلينيوم موجودة في مياه الصرف الصناعي.

الجدول (1-1-11-3-8)

تطبيقات معالجة الزرنيخ في مياه الصرف الصناعي

طريقة المعالجة	الجرعة / التصميم	PH	تتطلب معالجة مسبقة	ملاحظات
أملاح الحديد Iron salts	30 مغ/ل	5.5-8	لا	- إزالة < 95 % - أفضل من الشبة (الالوم)
أملاح الألمنيوم Aluminum salts	30 مغ/ل	5-7	تعديل pH	
الكلس Lime	متعددة	10.5-12	تخفيض PH بعد المعالجة	- يزيل As(III)، و As(V) في PH عالي - الحماة كثيرة

الامتزاز Adsorption	عمق المفترش من-87 116سم 4-5.4 ل/م ² .ثا	6-8	ترسيب وترشيح	- الميديا المستعملة بحاجة لمعالجة
تبادل شاردي Ion exchange	عمق المفترش من-87-116سم 6.8-10.18 ل/م ² .ثا	8-9	ترسيب وترشيح	- تأثير ملحوظ للسلفات العالية 120<مغ/ل و TDS - تجنب املاح الحديد لأنها تسبب اعاقة الزرنخ الناتج من التنشيط يجب معالجته والتخلص منه
الالومينا المنشطة Activated alumina	عمق المفترش من -72.5 116سم =EBCT* 10-15 دقيقة EBCT* = empty bed contact time (من قاموس البيئة الهندسي)	5.5-6	ترسيب وترشيح	- تأثير ملحوظ للسلفات العالية 120<مغ/ل يلزم تبديل متكرر للميديا الزرنخ الناتج من التنشيط يجب معالجته والتخلص منه
التناضح العكسي Reverse osmosis RO	100-200 psi	6.5-7.5	ترسيب وترشيح	- الطريقة مكلفة عن الطرق الاخرى المركز الناتج عالي التلوث بحاجة لمعالجة والتخلص منه

$$L/m^2.s = gpm/sq\ ft \ 0.6791$$

3-11-3-8. إزالة الزئبق. Mercury removal

وهو عنصر خطر جداً يجب إزالته كلياً من مياه الصرف الصناعي قبل طرحه في محطات معالجة مياه الصرف البلدية، ومن أهم الصناعات التي تطرح الزئبق (إنهاءات المعادن، المطابع، الصناعات الدوائية، رشاحة المطامر، المحارق، ومن عيادات الاسنان (يمكن استرجاعه في الموقع).

ويوجد الزئبق بثلاث أشكال لا عضوية .

mercury (Hg⁰), mercury I (Hg⁺¹), mercury II (Hg⁺²) ومن أشهر

الأملاح الموجودة في مياه الصرف كلور الزئبق الثنائي mercuric chloride (Hg⁺² Cl₂)، الذي يتصف بانحلالية شديدة أو كلور الزئبق الأحادي mercurous chloride (Hg₂ Cl₂) قليل الانحلالية أو نترات الزئبق الثنائي التكافؤ mercuric nitrate Hg(NO₃)₂ ذو الانحلالية الشديدة أو سيلفيد الزئبق mercuric sulfide (HgS) ذو الانحلالية المهمة أو كبريتات الزئبق ثنائي التكافؤ mercuric sulfate (HgSO₄) [1].

وتتم المعالجة:

- إما باختزال شوارد الزئبق إلى مركبات قليلة الإنحلال (حيث يمكننا استعادة الزئبق) ويستعمل لذلك sodium borohydride، كما تخفض بهذه الطريقة تراكيز شوارد أخرى ومن مساوئ الطريقة ارتفاع نسبة الزئبق في المياه الناتجة بعد الترسيب.
- أو يتم ترسيب الزئبق كملح غير منحل بأملاح الحديد والالمنيوم (مشاركة)، sodium sulfide، أو المعالجة بالتبادل الشاري، المعالجة بالاغشية، الامتزاز. وأخيراً ثبت أن المعالجة بالتبادل الشاردي ومع الامتزاز باستعمال وسيط يدعى الفحم المخصب (impregnated carbon) يعطي أخفض حمل للزئبق في مياه الصرف.
- يمكن المعالجة بالتبادل الشاردي مع الفحم المنشط حيث يسبقه ترسيب وترشيح، ولزيادة الإزالة يجب أن يتم إضافة مؤكسد لمياه الصرف قبل التبادل الشاردي أو الفحم المنشط.

- ومن أشهر مركبات الزئبق السامة ميثيل الزئبق methylmercury صاحب الكارثة البيئية في مدينة ميناماتا في اليابان وهو أحد أشكال الزئبق الذي يمكنه التراكم بسهولة داخل الأنسجة في الكائنات الحية.
 - في الأبحاث الحالية يستخدم النظام البكتيري المعدل وراثياً بتقديم تكنولوجيا قابلة للتطبيق للمعالجة البيولوجية للزئبق (يمكن الاطلاع عليها من أبحاث Oscar N Ruiz وزملاؤه).
- أخيراً يجب إجراء تجارب مخبرية ومشروع رائد لمياه الصرف.

12-3-8. الترسيب الكيميائي للفوسفور. Chemical precipitation of Phosphorus

إن الفوسفور يعتبر من المغذيات ويجب ان يضبط في محطات معالجة مياه الصرف البلدية وبالتالي فان الكميات التي تأتي من محطات معالجة مياه الصرف الصناعي يجب ان تكون مضبوطة لتوافق نسب الفوسفور اللازمة للمحطة البيولوجية في المعالجة اللاحقة.

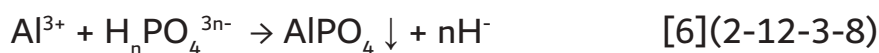
وعموماً تتم المعالجة في محطات الصرف الصحي والصناعي بطرائق بيولوجية معروفة تدعى الإزالة الحيوية للمغذيات (biological nutrient removal) (BNR)، كما أنه يمكن إزالة الفوسفور بالترسيب الكيميائي حيث يزال مع المعادن الثقيلة، نتيجة إضافة أملاح معدنية (أملاح الألمنيوم أو الحديد) أو الكلس. فشوارد الألمنيوم مع شوارد الفوسفات يمكن أن تشكل ندف من فوسفات الألمنيوم قابلة للترسيب وفق المعادلة (1-12-3-8)



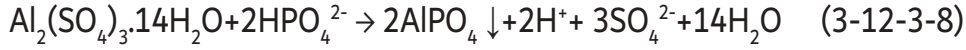
حيث M شاردة الألمنيوم أو الحديد.

وهذا يعني أنه كلما زادت شوارد الفوسفور زادت كمية شوارد الحديد أو الألمنيوم اللازمة.

- أملاح الألمنيوم:



-**الآلوم (الشبه) Alum، $AL_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$** . هو المادة الأكثر شهرة كمصدر للألمنيوم لإزالة الفوسفور وفق المعادلات التالية:



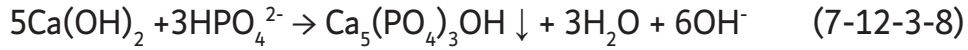
- **Sodium aluminates الصوديوم**



- **كلوريد الحديد الثلاثي Ferric chloride, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$**



- **الكلس CaO**



قيمة ال pH المثالية لعمل الآلوم (الشبه) وكلوريد الحديد الثلاثي بين (5.5-7) ومن اجل الكلس اكبر من 10.

ونظرياً يلزم 9.6 غرام من الآلوم لإزالة 1 غرام من الفوسفور [4].
ويجب إضافة زيادة من الآلوم من اجل القلوية

وبالنتيجة تعطي نسب الآلوم (اللازم لإزالة الفوسفور) وزناً وفق نسب الإزالة المطلوبة.

(13:1, 16:1, 22:1) (P : الآلوم)

وتكون نسبة الإزالة المتوقعة على التوالي (75 , 85 , 95) %

وبالنسبة لنسبة الحديد إلى الفوسفور $Fe: P \rightarrow 1.8 : 1$ وزناً

وبالنسبة لنسبة الكلس إلى الفوسفور $Ca: P \rightarrow 2.2 : 1$ وزناً

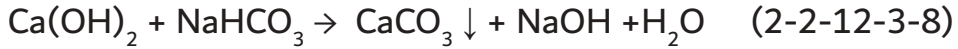
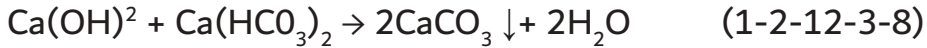
8-3-12-1. إزالة الفوسفور بواسطة الشب (الالوم).

يتم إزالة الفوسفور كيميائياً بإضافة الالوم وهي أفضل من أملاح الحديد بسبب البقايا المعدنية في المياه بعد المعالجة، نسبة مول الالوم إلى الفوسفور اللازم (Al : P) من 1 : 1 إلى (2:1) ودرجة pH المثالية حوالي 6 (بينما للحديد 5)، كما يمكن استعمال البوليمر كمحفز لتشكيل الندف أيضاً.

8-3-12-2. إزالة الفوسفور بواسطة إضافة الكلس.

يمكن إضافة الكلس $[Ca(OH)_2$ أو CaO] لإزالة الفوسفور من مياه الصرف الصناعي و يستعمل أيضاً في محطات معالجة مياه الصرف المنزلي الكبيرة لرخص ثمنه وادائه الجيد وتحدث معه تفاعلات الكلس مع القلوية الموجودة في مياه الصرف ($CaCO_3$) بطريقتين وفق المعادلات:

(1-2-12-3-8) و (2-2-12-3-8).



الكلس الزائد يتفاعل مع الفوسفات ويشكل راسب من أملاح فوسفات الكالسيوم calcium phosphate ويجب بعدها ان يتم تخفيض pH استعداداً للمعالجات التالية أو التصريف النهائي للمياه المعالجة. وعندما نقارن المعالجة بالكلس مع الشبه أو الحديد نجد الملاحظات التالية:

- تنتج المعالجة بالكلس كميات كبيرة من الحمأة أكثر من املاح الحديد والالمنيوم.
- التعامل مع الكلس أكثر صعوبة ويسبب أوساخ في موقع العمل.
- تكاليف أجهزة الحقن والمعايرة للكلس أرخص.
- إزالة الفوسفور بالكلس يعتبر مطلوباً وخصوصاً في تراكيز الفوسفور العالية.

3-12-3-8. إزالة الفوسفور في الترسيب الأولي والمعالجة الثانوية.

يكون الفوسفور في مياه الصرف بشكل منحل، ويتم إزالة (5 - 10)% من الفوسفور في حوض الترسيب الأولي وفي المعالجة الثانوية (10 - 20)% ونسبة إزالة الفوسفور في الترسيب الأولي بعد إضافة مواد كيميائية (70 - 90%). ويتم إزالة الفوسفور بطرائق بيولوجية حيث تعتمد على تعريض الأحياء الدقيقة بشكل متناوب إلى ظروف لاهوائية وهوائية تعرضها لإجهاد خاص ويعتمد على الحمأة المعادة وسيتم شرحها في المعالجة المتقدمة لمياه الصرف في الفصل 15.

ملاحظة: عادة تركيز الفوسفور الكلي في المياه الخام للصرف المنزلي 10 ملغ/ليتر وقيمة الفوسفور بعد حوض الترسيب الأولي يصل إلى 9 ملغ/ليتر وبعد المعالجة البيولوجية 8 ملغ/ليتر [6].

الجدول (3-12-3-8) يعطي مقارنة بين كميات املاح معادن معروفة تستعمل لإزالة الفوسفور.

الجدول (3-12-3-8)

مقارنة بين كميات املاح معادن معروفة لإزالة الفوسفور

- المرجع [1] وEPA

نسبة شاردة المعدن/ الفوسفور كغ/كغ	الجرعة مغ/ل كمعدن	املاح المعدن
1.8-1.36	15-9	Ferrous chloride كلور الحديدوز
2.26-1.8	15-10	Ferric chloride كلور الحديد
2.26-0.9	15-8	Ferrous sulfate كبريتات الحديدوز
2.26-0.9	15-5	Ferric sulfate كبريتات الحديد
1.8-0.9	20-10	aluminum sulfate (الشب) ألوم

13-3-8. إزالة النتروجين. Nitrogen removal

مقدمه: Nitrogen (N). النتروجين يوجد في مياه الصرف بشكل عضوي وأمونيوم وتترت أو نتروجين بشكل غازي. **النتروجين العضوي:** يكون منحلًا أو بشكل جسيمات غروية، والمنحل منه يكون على الأغلب بشكل بولة (urea) أو أحماض أمينية amino acids، والمصدر الرئيسي يكون من الفضلات البشرية وفضلات المطابخ والصناعات الغذائية. وتحتوي مياه صرف منزلية نموذجية (20 mg/L) نتروجين عضوي و (15 mg/L) نتروجين غير عضوي [4]. ويمكن أن نحصل على نسبة إزالة للنتروجين العضوي (25 - 90) % في حوض الترسيب الأولي والمعالجة الثانوية (البيولوجية) (أو تدعى الثنائية) وتُتبع نفس طرائق المعالجة لإزالة النتروجين في مياه الصرف الصناعي والمنزلي [1].

ويمكن إزالة الأمونيوم بالتناضح العكسي RO ، أو بالديليزة الكهربائية (إزالة حتى 80 %) وعادة لا تستعمل هذه الطرائق في معالجة مياه الصرف. ويمكن أيضا إزالة الجسيمات الغروية من النتروجين العضوي بالتخثير الكيميائي مع ترسيب الفوسفور.

وفيما يلي شرح لبعض الطرائق النموذجية لإزالة النتروجين من مياه الصرف المنزلي والصناعي:

1-13-3-8. تعرية الامونيا بالهواء أو البخار. Air/Steam Stripping of Ammonia

نتروجين الأمونيا يوجد بشكل شوارد الأمونيوم (NH_4^+) ammonium ion أو غاز النشادر (NH_3) ammonium gas حسب درجة ال pH في المحلول وفي المياه تكون العلاقة المنعكسة (1-1-13-3-8):



رفع ال pH في مياه الصرف بين 10.8 - 11.5 يحفز إطلاق غاز النشادر كما أن الهواء المتدفق نحو الأعلى في الأبراج يسهل إزالة بخار الأمونيا من الماء، كما تتحسن التعرية إذا تم استعمال الهواء الساخن أو البخار في التعرية.

- **ومن مشاكل الطريقة:** الروائح، المطالبة بتحقيق المواصفات القياسية المطلوبة للهواء، الحاجة لرفع قيمة الـ pH، الصقيع في الشتاء، رفع الماء في الأبراج.
- **وهذه الطريقة جيدة:** إذا كان الـ pH في الأصل عالياً في مياه الصرف، ويتوفر بخار أو ماء ساخن كنفاية في المعمل، وتركيز الأمونيا أقل من 100 مغ/ل.

2-13-3-8. التبادل الشاردي. Ionic Exchange [1] و[10]

إن عملية التبادل الشاردي مشابهة لعملية الامتزاز إلا أن التبادل الشاردي يزيل الشوارد الموجبة كاتيونات المعادن cations والشوارد السالبة الانيونات anions مثل (النترات والكبريتات) [1]، وليس المواد الذائبة عديمة الشحنة الكهربائية وتستعمل الطريقة لإزالة شوارد المعادن الثقيلة ويمكن إستعمالها لإزالة الشوارد ذات النشاط الإشعاعي وغيرها.

ويستعمل التبادل الشاردي لإزالة الامونيوم والنترات والنترات، والأمونيوم يُزال غالباً بميديا (حشوة) من مادة الزيوليت الطبيعي zeolite، ويمكن أن يتم التبادل أيضاً بمواد صناعية، أما النترات والنترات فتستعمل له حشوة خاصة.

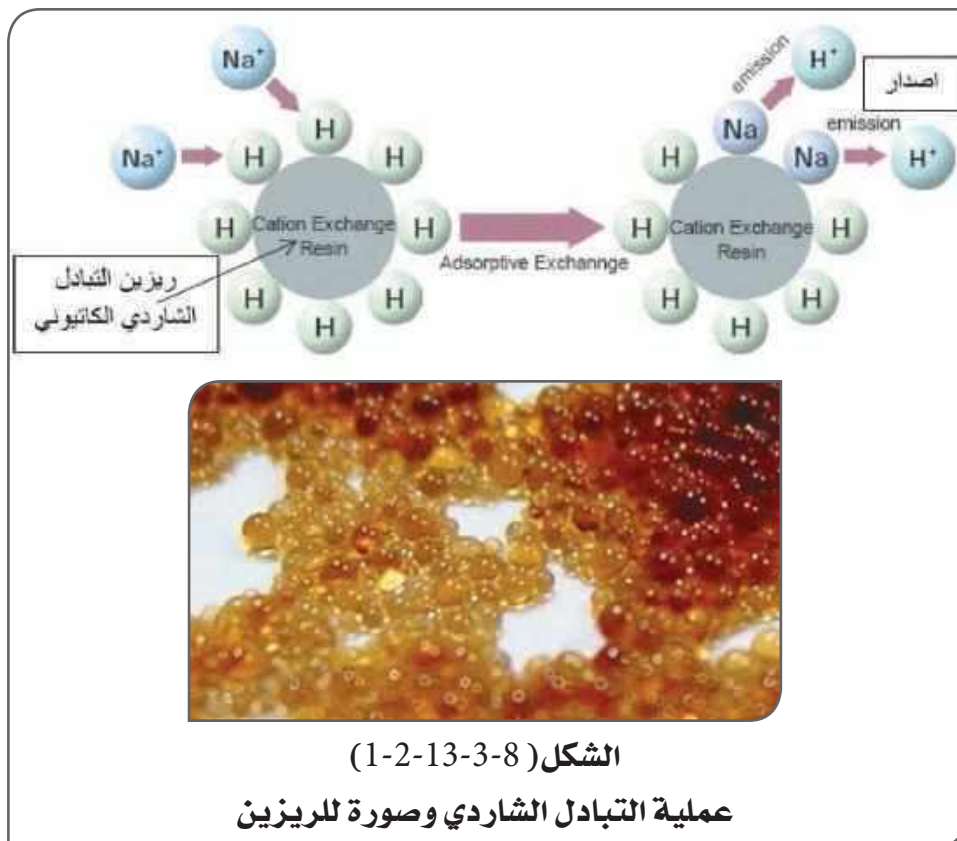
ومن ميزاته: أنه يحتاج إلى مكان أصغر لإزالة النتروجين ويعطي تركيز منخفض للنتروجين في مياه الصرف المعالجة.

ومن مساوئه: أنه مكلف نسبياً، وتحتاج مياه الصرف إلى معالجة مسبقة لإزالة المعلقات وإزالة مسبقة لشوارد الحديد والالمنيوم، إضافة لتكاليف تشغيل الميديا ومعالجتها وتصريفها.

ويجب استشارة مصنعي الريزين وعمل مشروع تجريبي.

ويعتمد التبادل الشاردي على تبادل إنتقائي بين شوارد المحلول وشوارد متحركة من نفس الإشارة موجودة في مركب جزئي ضخم صلب يدعى ريزين (راتنج)، ويحتوي الريزين الصلب على مجموعات وظيفية متأينة (متشردة) "ثابته" تحمل شحنات موجبة أو سالبة وعلى أيونات قابلة للمبادلة ذات شحنة معاكسة لشحنة المجموعة الثابتة. ومن أجل تسريع

عملية التبادل الإنتقائي بين سطح صلب - سائل. يتم تصنيع مادة الريزينات على شكل حبيبات ناعمة ذات سطح تماس كبير (حبيبات من 0.3-1 ملم) وتتألف ريزينات التبادل الشاردي الصناعية من شبكة هيدروكربونية متبلمرة ثلاثية الابعاد تتكون من عدد كبير من المجموعات الوظيفية الثابتة والحاملة لشحنة كهربائية. الشكل (1-2-13-3-8) يوضح عملية التبادل الشاردي وصورة للريزين.



وتتمتع الريزينات بمقاومة عالية للأكسدة وللتآكل الميكانيكي وعدم قابلية الأنحلال في أغلب المذيبات. وتكون المجموعات الوظيفية مثبتة بشبكة الريزين عن طريق روابط تساهمية تحددتها العلاقات الكيميائية، وتتعاقل الشحنة الكهربائية للمجموعات الوظيفية المتشردة مع شحنات معاكسة لشوارد متحركة.

يمكن أن تبادل الايونات المتحركة الموجودة على الريزين مع شوارد أخرى لها نفس الشحنة الموجودة في المحلول المعد للمعالجة.

إذا حوى الريزين على شوارد متحركة قابلة للتبادل موجبة الشحنة يدعى الريزين كاتيوني والذي حوى الريزين في تركيبه على مجموعات وظيفية حامضية مثل المجموعة السلفونية $R-SO_3^-$ أو المجموعة الكربوكسيلية $R-COO^-$ وتمثل الصيغة الكيميائية للريزونات الكاتيونية كما يلي $R-SO_3^-H^+$

و $Na^+ RSO_3^-$ أو باختصار $[R]H^+$ و $[R]Na^+$ حيث R شق عضوي معقد.

وإذا حوت الريزونات على شوارد قابلة للتبادل سالبة الشحنة تدعى الريزونات انيونية والتي تحوي في تركيبها على مجموعات وظيفية أمينية ذات درجة استبدال مختلفة مثل أمين ابتدائي $R-NH_3^+$ وأمين ثانوي $R-NH_2^+$ وأمين ثلاثي $R-NH^+$ وتمثل صيغة الريزونات الأنيونية $RNH_3^+OH^-$ و $RNH_3^+Cl^-$ أو باختصار $[R]OH$ و $[R]Cl$.

بعد ان تتشبع الريزونات بالشوارد المطلوب استخلاصها من المحلول تعاد فعاليتها بمحلول حمضي في حال الريزونات الكاتيونية بينما في حال الريزونات الانيونية تعاد فعاليتها بمحلول قاعدي.

8-3-12-1. ثابت التبادل الشاري k وسعة التبادل.

يتعلق التبادل الشاردي بطبيعة الريزين وبنيته وطبيعة المواد المدروسة وشروط اجراء التجربة (درجة الحرارة وال PH وغيره) ويخضع التوازن بين الريزين والمحلول لفعل الكتلة فمن اجل العملية المتوازنة في ريزين كاتيوني:



بحيث:

R^- : المجموعة الوظيفية الثابتة السالبة الشحنة.

B^+ : الشاردة الموجبة القابلة للتبادل الموجودة في الريزين الكاتيوني الجديد.

M^{n+} : الشاردة الموجبة الموجودة في المحلول والمطلوب استخلاصها.

بعد زمن ما يصل التفاعل السابق للتوازن. ويستطيع كل ريزين مبادلة كمية معينة من الايونات اي انه يملك سعة معينة. ونميز الريزين بسعة التبادل الساكنة وهي عدد الميلي مكافئات الغرامية من الشوارد التي تتبادل خلال زمن معين من قبل غرام واحد من الريزين الجاف. ويعبر عن فعل تبادل الشاردة المعينة بمعامل التوزيع K_{dist} :

$$K_{dist} = \frac{C_r M}{C_s V}$$

بحيث:

C_r : تركيز الشاردة في الطور الصلب (الريزين) عند الوصول للتوازن.

C_s : تركيز الشاردة في المحلول عند الوصول للتوازن.

M : كتلة الريزين بالغرام.

V : حجم المحلول المائي المعالج بالسم³.

8-3-13-2. العوامل المؤثرة على الفصل.

بما أن عملية الفصل عملية فيزيوكيميائية فتؤثر على عملية الفصل عوامل كيميائية وعوامل فيزيائية مثل درجة الـ pH وطبيعة الشوارد المفصولة وميل الشوارد إلى الاماهة والتركيب الكيميائي للريزين وعموماً تزداد سعة التبادل للريزين الكاتيوني بزيادة الـ pH، وعند دخول مجموعة حمضية ضعيفة مثل $COOH^-$ ، فإن ارتفاع قيمة الـ pH يسبب زيادة في السعة التبادلية للريزين، أما الريزينات الحاوية على مجموعات حمضية قوية SO_3H^- ، فلا تتأثر سعتها التبادلية ضمن مجال واسع لـ pH وتزداد كفاءة تبادل الشوارد بازدياد شحنة الشاردة وكتلتها الذرية.

ومن العوامل الفيزيائية المؤثرة على درجة الفصل نذكر سرعة المرور عبر العمود وحجم حبيبات الريزين ودرجة حرارة المحلول.

تعطى قدرة التبادل الكلية لسرير الريزين (عمود التبادل) بالعلاقة التالية:

$$M = C_r \times A \times (H - Z/2)$$



M = قدرة التبادل الكلية لعمود الريزين بمكافئات غرامية.
 C_R = قدرة التبادل للريزين بمكافئ غرامي لكل متر مكعب من الريزين.
 A = سطح مقطع عمود التبادل (م²).
 H = ارتفاع الريزين (م).
 Z = سمك طبقة التبادل الفعالة ويتم تحديد ارتفاعها مخبرياً (م).

مثال 1.

لدينا عمود تبادل شاردي ارتفاعه $H = 120$ (سم) ومساحة مقطعه $A = 0.65$ (سم²)، قدرة التبادل $C_R = 1060 \text{ eq/m}^3$ هذا العمود سيعالج مياه صرف صناعية تحوي شوارد النيكل Ni^{+2} بتركيز 4 مول/م³ وتمر المياه في عمود المبادل الشاردي بتدفق 11 م³/سا، قدر مخبرياً سماكة طبقة التبادل الفعالة 30 سم. احسب الحجم الكلي لمياه الصرف التي يمكن معالجتها بين عمليتي تنشيط للريزين وما هو عدد ساعات المعالجة.

الحل:

نحسب قدرة التبادل الكلية:

$$M = C_R \times A \times (H - Z/2)$$

$$M = 1060 \times 0.65 \times (1.2 - 0.3/2) = 723.5 \text{ eq}$$

احسب تركيز ايون النيكل Ni^{+2} بوحدة مكافئ غرامي:

بما أن الأيون ذو تكافؤ ثنائي فان كل 1 مول/م³ يساوي 2 مكافئ غرامي في م³.

$$C = 2 \times 4 = 8 \text{ eq/m}^3$$

ماهي إمكانية الريزين لمعالجة مياه الصرف:

$$V = M/C = 723.5/8 = 90.4 \text{ m}^3$$

مدة عملية معالجة مياه الصرف بين عمليتي تنشيط:

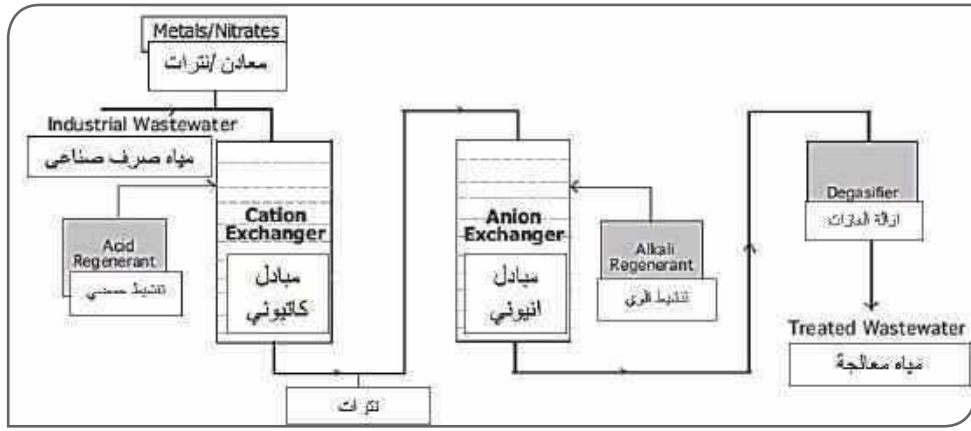
$$T = V/Q = 90.4/11 = 8.2 \text{ hr}$$



3-2-13-3-8. التطبيقات.

تستخدم الاسرة الثابتة لفصل الكاتيونات المعدنية القلوية Na^+ والقلوية الترابية Ca^{+2} ومن مركزاتها يمكن استخلاص المعادن النادرة ويمكن استخلاص المعادن اللاحديدية واليورانيوم والنظائر المشعة.. ويمكن الحصول على ماء معالج لا يتعدى فيه تركيز العناصر المتبقية (0.1 ملغ/ل).

الشكل (1-3-2-13-3-8) يوضح إزالة نموذجية بالتبادل الشاردي

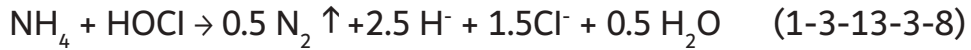


الشكل (1-3-2-13-3-8)

إزالة نموذجية بالتبادل الشاردي

3-13-3-8. الأكسدة بالكلور. Chlorine oxidation

يضاف الكلور إلى مياه الصرف لأكسدة شوارد الأمونيوم إلى منتجات متعددة وفي مقدمتها غاز النتروجين وفق المعادلة (1-3-13-3-8):



يمكن تحويل من 95 % - 99 % من نتروجين الأمونيا في مياه الصرف إلى غاز النتروجين، ويتبع التفاعل إلى درجة الحرارة، pH، زمن التماس، ونظرياً (نسبة الكلور: الأمونيا - 7.5 : 1) وزناً ويمكن ان تكون النسبة اكبر لوجود النتروجين العضوي في مياه الصرف.

تستعمل الطريقة اذا كانت الامونيا اقل من (15 - 20 ملغ/ل)، وكانت الازالة مطلوبة في فترات متباعدة.

ويجب أخذ الملاحظات التالية في الاعتبار:

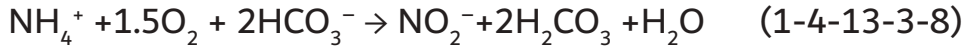
- يجب إزالة الكلور الحر المتبقي قبل صرف المياه إلى محطات معالجة مياه الصرف البلدية أو المستقبلات المائية.
- الكلور الحر، وإمكانية إنتاج غاز ثلاثي كلور النتروجين (NCl_3)، وهو سام وقابل للانفجار.
- إمكانية تشكل منتجات مثل كلوروفورم والبروموفورم.
- زيادة المواد الصلبة المنحلة (الذائبة) الكلية TDS.
- تآكل الفولاذ بواسطة ماءات الكلور الحمضية المنتجة في التفاعل.
- يجب أن نحقق مزج سريع وعميق مدته 1 دقيقة (هام جداً).
- العمل بالدفقات (plug-flow) أفضل للمعالجة.
- يجب المحافظة على $\text{pH} = 7$ لمنع تشكل غاز ثلاثي كلور النتروجين (NCl_3)، ولذلك يجهز محلول الكلور قبل اضافته للعملية ومع المزج الجيد ومع وجود تعديل pH آلي.
- يجب ان يكون هناك معالجة مسبقة لتقليل التركيز العالي للمواد اللاعضوية والعضوية مثل (الكبريتات، sulfites، thiosulfites، شوارد الحديد، الفينول، الحموض الامينية، البروتين، الكربوهيدرات). للتسبب في زيادة الطلب على الكلور.
- بسبب عدم امكانية منع تشكل غاز ثلاثي كلور النتروجين كلياً فيجب ان تكون العملية في مكان مغلق وعمل دراسة للتهوية.
- يلزم تقريباً 15 مغ/ل من القلوية لتستهلك 1 مغ/ل الامونيا.

4-13-3-8. المعالجة البيولوجية للأمونيوم (النترجة) وإزالة النترات.

Biological Nitrification of Ammonia and Biological Denitrification

يمكن إزالة الأمونيوم من مياه الصرف بيولوجياً وتدعى العملية النترجة البيولوجية وهي الطريقة الأشهر لإزالة الأمونيوم وفق المعادلات:

(1-4-13-3-8)، (2-4-13-3-8) التالية:



كما يتم إزالة النترات حيويًا Denitrification بواسطة تحقيق ظروف منقوصة الأكسجين (anoxic) حيث يكون تركيز الأوكسجين المنحل في ماء الصرف بين (0.3 - 0.7) مغ/ل [1] وفق المعادلة (3-4-13-3-8).



عمليتا النترجة وإزالة النترات تدعيان الإزالة الحيوية للمغذيات

Biological nutrient removal

سيتم شرح الطريقة بالتفصيل في الفقرة (3-15).

14-3-8. الامتزاز. Adsorption.

الامتزاز هي العملية التي يتم فيها نقل المادة من السائل إلى سطح صلب حيث يرتبط بها كيميائياً أو فيزيائياً (من قاموس البيئة)، أو هو التحام المواد إلى سطوح صلبة [1] وسوف نرى إمكانية معالجة المواد العضوية واللاعضوية في مياه الصرف الصناعي بواسطة الامتزاز.

يعتمد امتزاز المواد على مواد مشهورة مثل الفحم المنشط أو الألومينا المنشطة.

8-3-14-1. الفحم المنشط . Activated Carbon . [1] - [10]

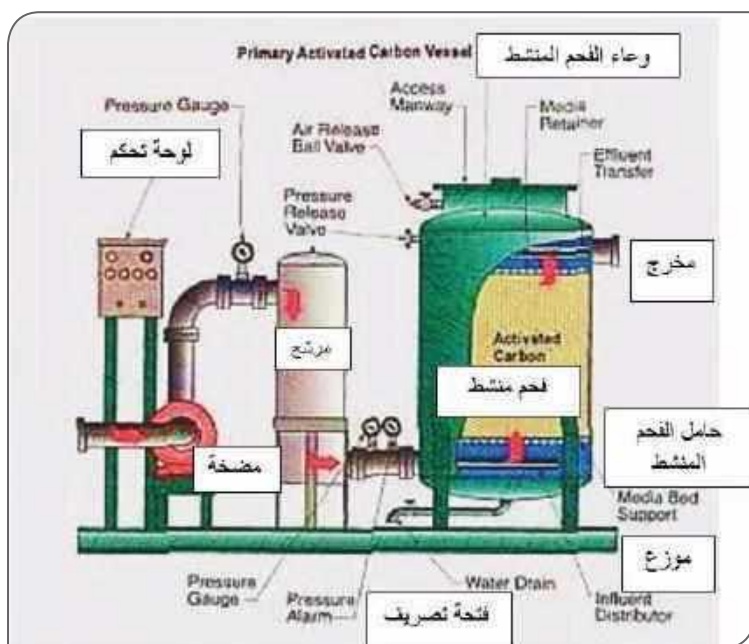
الفحم المنشط هو المادة التقليدية المستخدمة لامتزاز الملوثات العضوية واللاعضوية، والفحم المنشط هو مادة مسامية ذات مسام يتراوح قطره بين (1-1000 نانومتر nm) وتتصف بسطح نوعي كبير ($600 - 1200 \text{ m}^2/\text{g}$) [1] فهو يوفر قوة امتزاز عالية تعود إلى قوى (فان درفالس) ويكون عادة على شكلان في الاستخدام العادي:

- GAC الفحم المنشط الحبيبي. Granulated Activated Carbon.
 - PAC الفحم المنشط بشكل مسحوق. Powder Activated Carbon.
- أبعاد الفحم المنشط الحبيبي من فئة المليمتر أما أبعاد المسحوق فهي من (10 - 100 ميكرون)، ويعمل مسحوق الفحم المنشط بسرعة ولكن أزالته للملوثات أقل من الفحم المنشط الحبيبي. وعادة يستعمل مسحوق الفحم المنشط مرة واحدة ويتم التخلص منه بعد ذلك.
- والتكلفة الرئيسية لأنظمة الفحم الحبيبي أعلى ولكنه ينخفض مع التشغيل المستمر، كما يستعمل كمرشحات مياه بيولوجية حيث تعمل الحبيبات (كميديا) تنمو عليها البكتيريا دون أن تقلل من خواصها، وأن خواص الفحم المنشط تختلف عادة تبعاً لظروف التنشيط المتبعة عند صناعة الفحم المنشط من مادته الخام (يصنع من الخشب، نشارة الخشب، نوى الثمر، بقايا البترول..)، ويتم التنشيط بواسطة المواد الكيميائية أو الهواء الحار، البخار (Reynolds,1982). الشكل (8-3-14-1-1) صورة نموذجية للمرشح بالفحم المنشط.

8-3-14-1-1. العوامل المؤثرة على الامتزاز بالفحم المنشط.

- يملك الفحم المنشط الخواص الآتية:
- الفحم المنشط مادة كاره للماء ولذلك يمتاز إليه المواد الكاره للماء وخصوصاً المركبات الليفاتية.
- يمتاز إليه الالكتروليتات الضعيفة كالأحماض العضوية والأمينات بسهولة.
- يمتاز المركبات الأروماتية.

- كلما كان الوزن الجزيئي للمادة الممتزة أكبر كلما ازدادت كمية الامتزاز ولكنه يصبح بطيئاً ولذلك يكون من المفيد إنقاص الوزن الجزيئي بالتحلل البيولوجي أو الأكسدة بالأوزون قبل عملية الامتزاز بالفحم.
- عموماً كلما زاد تركيز الملوثات زاد الامتزاز.
- تأثير الحرارة ضعيف ويتحسن الامتزاز بانخفاض درجة الحرارة.
- يجب أن تزال المعلقات والدهون.. إلخ قبل الدخول إلى المعالجة بالفحم المنشط.
- يتم إعادة التنشيط عندما يصبح الفحم مشبعاً أي السطوح أصبحت ممتلئة ويتم تنشيطه بالحرارة أو البخار والمعالجة الكيميائية وهذا سبب قلة استخدامه بسبب التكاليف المادية، إضافة لكلفة استبدال الفحم الذي فقد على شكل ثنائي الكربون، تجعل عملية إعادة تنشيطه غير مرغوبة، إضافة لتكاليف إزالة والتصرف في الفحم المستهلك والتي تكلف كثيراً.



الشكل (1-1-14-3-8)

صورة نموذجية للمرشح بالفحم المنشط

2-1-14-3-8. التوازن الستاتيكي، منحنى الامتزاز. Adsorption Isotherm

هنالك توازن بين المادة القابلة للامتزاز في المادة المازة وتركيز المادة القابلة للامتزاز في السائل المحيط بالمادة المازة. وتعتمد العملية على معدل التحميل وقوة الامتزاز وسهولة التنشيط ودرجة الحرارة. ويدعى هذا التوازن بمنحنى الامتزاز، وعملية الامتزاز تتم نظريا وفق معادلة فريندلش التالية.

$$A=X/m=KC^{1/n} \quad (1-2-14-1-3-8)$$

$A = X/m$ وزن المادة الممتزة بوحدة (مغ/ل) لكل واحد غرام من المادة المازة الخام المستعملة.

X = كمية المادة الممتزة (مغ/ل) وتساوي التركيز البدائي للمادة في الماء - التركيز النهائي.

m = كمية المادة المازة المستخدمة (غرام).

n, K = عوامل تجريبية لنوعية المادة المازة ولصفات وتركيز المادة الممتزة.

C = التركيز المتوازن للمادة الممتزة.

وعموماً إذا كانت قيم n, K عالية فتشير إلى إمتزاز جيد بينما القيم المنخفضة تشير إلى إمتزاز سيء في التركيز المنخفض للسائل، وإمتزاز جيد في التركيز العالي، الجدول (1-2-1-14-3-8) يعطي ملخص لهذه الثوابت لمركبات شائعة في مياه صرف صناعية.

الجدول (1-2-1-14-3-8)

أمثلة مختارة للثوابت K، n في مياه صرف صناعية مختلفة [1]

1/n	K (mg/g)	المركب	1/n	K (mg/g)	المركب
2.9	0.7	البنزن Benzene	0.51	21	الفينول Phenol
1.8	0.8	Benzoic acid	0.56	120	Styrene
0.84	40	Carbon tetrachloride	0.98	93	كلورو بنزن Chlorobenzene
0.84	11	كلوروفورم Chloroform	0.43	68	نترو بنزن Nitrobenzene
1.5	36	Ethyl chloride	0.79	53	Ethylbenzene
1.67	6	منصرفات مصافي	1.3	29	منصرفات مصافي
1	4	تدفق من الحمأة المنشطة	1.25	36	تدفق الزيت المفصول

وتتراوح سعة الامتزاز للفحم المنشط من 0.007 كغ/كغ فحم، للميثانول methanol إلى قيم عالية 0.18 كغ/كغ فحم، من أجل propylene. dichloride [1].

مثال.

مياه صرف صناعي تحتوي على الفينول بتركيز ابتدائي قيمته $(C_o = 6000 \text{ mg/l})$. يراد معالجته بالامتزاز في الظروف الستاتيكية باستخدام مسحوق الفحم الفعال (الوزن الحجمي للفحم 500 كغ/م³). أحسب حجم المنشأة المعالجة بتدفق قده 300 م³/يوم إذا علمت أن الوصول إلى التركيز المتوازن $(C_e = 100 \text{ mg/l})$ يتطلب زمن الأمتزاز 3 ساعة، وتفرغ المادة المازة في حوض الامتزاز يبلغ 1 ساعة والفعالية الستاتيكية للفحم الفعال $m_1 = (0.4 \text{ kg/kg})$.

الحل:

إن الكمية اللازمة يومياً من المادة المازة الخام تعطى بالعلاقة.

$$m = (C_o - C_e) \times Q / m_1 \quad (2-2-1-14-3-8)$$

$$m = (6000 - 100) \times 1 / 1000 \times 300 / 0.4 = 4425 \text{ kg/d}$$



منه عدد عمليات المعالجة: بما ان الزمن اللازم لدورة المعالجة $4=3+1$ ساعة فان عدد عمليات المعالجة $4/24 = 6$ مرة

حجم الماء المعالج في الوجبة: $6 / 300 = 50$ م³ منه نحتاج إلى خمسة أحواض سعة الحوض 10 م³.

3-1-14-3-8. الامتزاز في الظروف الحركية.

يمكن إنجاز عملية الامتزاز في ظروف حركية بإمرار الماء على مرشح من حبيبات الفحم المنشط حيث تعطى كمية المادة المازة اللازمة للمعالجة m بالعلاقة:

$$m = (C_o - C_e) \times Q / m1 \quad (1-3-1-14-3-8)$$

C_o = التركيز الابتدائي للمادة الملوثة المطلوب ازالتها من مياه الصرف الصناعي (مغ/ل).

C_e = التركيز المتوازن للمادة الملوثة (مغ/ل)

Q = تدفق مياه الصرف (ليتر/يوم)

$m1$ = قيمة الفعالية الستاتيكية للمادة المازة للفحم المنشط

مدة عمل المرشح

$$t = k \times H - t1 \quad (2-3-1-14-3-8)$$

H = ارتفاع المرشح (متر)

$K, t1$ = ثوابت تتعلق بالتدفق وسرعة الجريان والتركيز الابتدائي

معدل تحميل المرشح بين $(0.0013 - 0.0034 \text{ m}^3/\text{s})$ من [1]

ولتحديد كمية المواد الذائبة الممتازة $m2$ نطبق ما يلي:

$$M2 = (H - h) \times A \times a$$

H = ارتفاع المرشح (متر)

h = ثابت تجريبي



A = المساحة الأفقية للمرشح (م²)

a = الفعالية الديناميكية لمتر مكعب من المادة المازة الخام وتساوي 0.8 من قيمة m1 أي من قيمة الفعالية الستاتيكية لمتر مكعب من المادة المازة.

2-14-3-8. الألومينا المنشطة. Activated Alumina

تُصنع من معالجة فلزات الألمنيوم لتصبح مسامية وذات امتزاز عالي تركيبها الكيميائي Al_2O_3 ، يمكن ان تستعمل لإزالة الزرنيخ، البريليوم beryllium، الفلورايد، السيلينيوم، التاليوم، ويعمل برقم (pH 5.5-6) ولكن الشائع استعماله هو في إزالة الفلورايد، والزرنيخ. الشكل (1-2-14-3-8) صورة للمرشح والألومينا المنشطة.



الشكل (1-2-14-3-8)

صورة للمرشح والألومينا المنشطة

15-3-8. الترشيح بالأغشية. Membrane filtration

يستعمل الترشيح بالأغشية في معالجة مياه الصرف الصناعي لإعادة استعمال المياه وتقوم الأغشية بإزالة شوارد المعادن وشوارد أخرى منحلة (خصوصاً مياه صرف معامل إنهاءات المعادن) وهو يصنف حسب مسامات الأغشية، والترشيح المستعمل في معالجة مياه الصرف الصناعي نوعين التناضح العكسي RO reverse osmosis، والترشيح النانومتري Nanofiltration. يبين الشكل (1-15-3-8) صورة لوحدة RO نموذجية. والطريقة غير دارجة كثيراً نظراً لنوعية المياه العالية الجودة التي نحصل عليها وهي أجود بكثير من المطلوب في المواصفات المعتمدة للطرح في المجاري

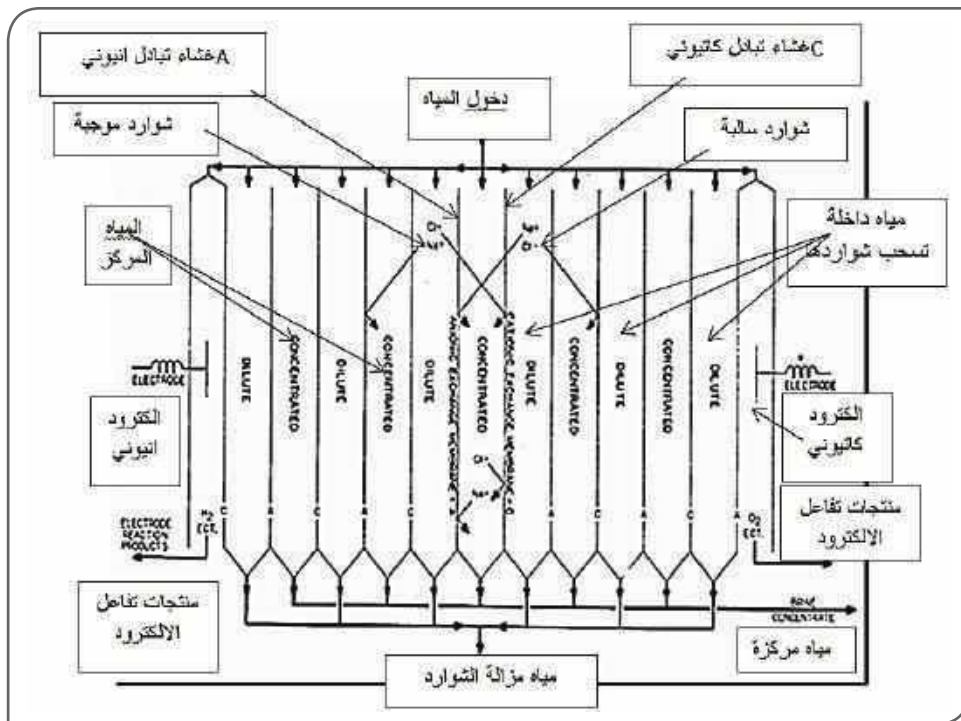
العامّة وعادة المياه الراشحة تستعمل لأعمال شطف تلبّيس المعادن - الصبّاعة وشطف الاقمشة المصبوغة... والمشكلة التي تواجه الأغشية وجود كربونات الكالسيوم، الباريوم، سلفات الكالسيوم، السيليكا. سيتم شرح العمل بالأغشية في الفصل 17.



الشكل (1-15-3-8)
صورة لوحدة RO نموذجية

16-3-8. الديليزة الكهربائية. Electrodialysis

الديليزة الكهربائية (وتدعى الفصل الغشائي الكهربائي) تستعمل لاستعادة المعادن الثمينة مثل (الذهب، الفضة، البلاتينيوم) حيث يستعمل كمية قليلة من الكهرباء لدفع الايونات خلال اغشية مشحونة، التي تكون مرتبة بشكل صفوف بينهم الكترود، مياه الصرف تحوي شوارد كاتيونية وأنيونية وتكون بين الاغشية، جهة الاغشية الكاتيونية تواجه الالكترود الموجب وجهة الاغشية الانيونية تواجه الالكترود السالب، تهاجر الشوارد الكاتيونية باتجاه القطب الكهربائي السالب، بينما الشوارد الانيونية تهاجر باتجاه القطب الموجب، الشوارد الكاتيونية تمر عبر الغشاء المنفذ للكاتيونات، والشوارد الانيونية تمر عبر الاغشية المنفذة للأنيونات وبالنسبة يكون لدينا بشكل متناوب خلية بمحلول بدون شوارد وخليّة تحوي محلول بتركيز معادن عال الشكل (1-16-3-8) يوضح عمل وحدة الديليزة الكهربائية.



الشكل (1-16-3-8)

يوضح مبدأ عمل الديليزة الكهربائية مع صورة من novasep

تستعمل الديليزة الكهربائية بشكل تدفق مستمر أو بالدفعات. وتزِيل الطريقة من 40 - 60 % من الأملاح من مياه الصرف، وإن إنسداد الأغشية يعتبر مشكلة يجب الانتباه إليها، وتتطلب الديليزة الكهربائية إجراء معالجة مسبقة (كيميائية، ترسيب، ترشيح، امتزاز) للتقليل من هذا الإنسداد.

8-3-17. التبخر. Evaporation

يمكن بواسطة التبخر استرجاع كثير من المواد المفيدة من المحاليل أو من الفضلات المركزة (مركّزات المعالجة بالأغشية) قبل طرحها، وبعض عمليات التبخر ضرورية لاسترجاع المذيبات من المحاليل. فخلال عملية التبخر وتبخير المذيبات يتم تركيز المواد الصلبة المنحلة (الذائبة) في السائل.

التبخير يمكن أن يكون طبيعياً بواسطة برك التبخر الشمسية، أو ميكانيكي بوحدة صناعية، ويجب الأخذ في الاعتبار البخرة المتطايرة لأن التبخر يمكن أن يسبب في تطاير المواد العضوية.

8-3-17.1. برك التبخر. Evaporation Ponds

تعتمد برك التبخر على ظروف الطقس (الحرارة والرطوبة ومعدل التبخر والرياح والهطول) وتستعمل في المناطق التي يكون فيها البخر كبيراً، وكذلك لحل بعض المشاكل لوحدة المعالجة الصغيرة. وتُصمم البرك على التدفق الأعظمي. (وإذا توفرت المعلومات نأخذ معدل البخر والهطول لآخر 5 سنوات في المنطقة ونأخذ التوازن الكتلي الشهري للبركة وفق العلاقة (8-3-17-1-1):[1])

(8-3-17-1-1).

التدفق الصافي الداخل (مياه الصرف + الهطول) - التدفق الخارج الصافي (البخر + الرش)

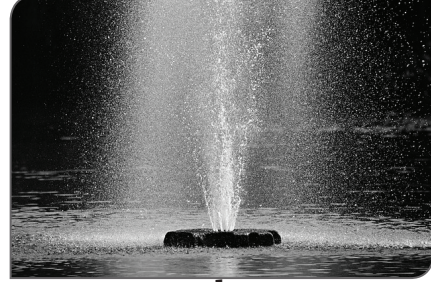
وهذه الصيغة يتم حسابها شهرياً، ونبدأ بالبركة فارغة وفي نهاية الشهر نعتبر ما بقي فيها هو بداية للشهر التالي وإذا كان حجم البركة كافياً يجب أن تكون البركة فارغة في نهاية 12 شهراً (معدلات البخر تتباين بالاشهر)، وإذا كانت البركة ليست فارغة نجعل البركة أكبر لنجعل البخر أكبر ونكرر هذا الإجراء لتأكد من كفاية البركة علماً أن البخر ينخفض مع ازدياد تركيز المحلول ويجب أخذه في الاعتبار بعامل أمان مناسب [1].

كما يجب عزل الاحواض بطبقة خاصة، liner، لمنع الرش و عمل نظام مراقبة لها، وعمل مصرف للرشاحة تحت أرضي، إضافة إلى وضع التجهيزات اللازمة لعملية تنظيف الأحواض دورياً من الرواسب المتراكمة وتصريفها. يبين الشكل (1-1-17-3-8) a. صورة لإحدى برك التبخير.

f.d.C.b طرائق تسريع البخر وذلك بذر الماء في الهواء وعمل رزاز ضبابي g, mist . نموذج صمام ذر الهواء بالضغط.



a



b



c



d



f



g

الشكل (1-1-17-3-8)

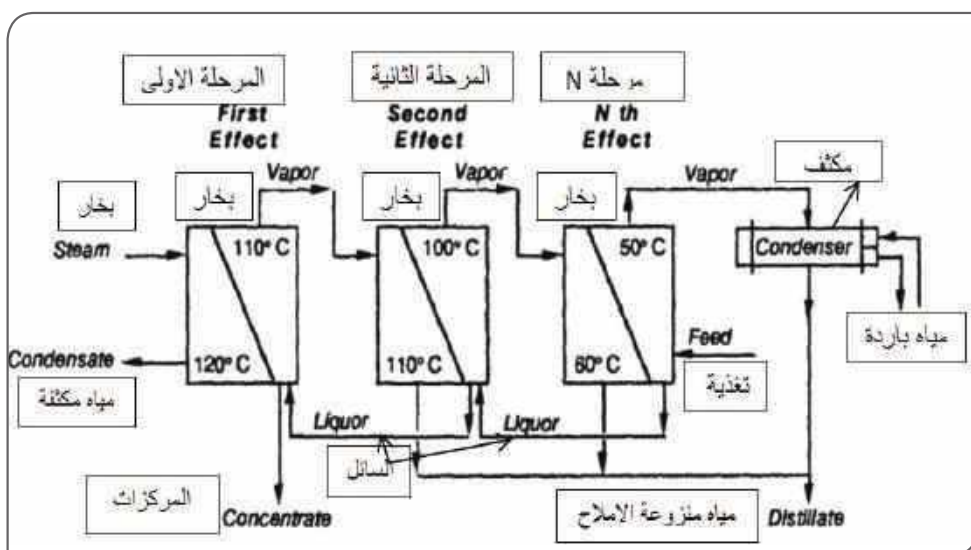
صور لبرك التبخير الطبيعية وبرك ذر الماء اليأ مختلف التصاميم ونموذج رأس ذر

2-17-3-8. المُبخر الميكانيكي. Mechanical Evaporators

المُبخر الميكانيكي فعال في تركيز أو إزالة الاملاح أو المعادن الثقيلة والمواد الخطرة الأخرى من المحاليل وهذه التكنولوجيا يمكن أن تركز وتسترجع المواد من المنصرفات بدون استعمال مواد كيميائية (إنهاءات المعادن، تلبيس المعادن) وعادة 1 كغ من البخار المكثف يبخّر 1 كغ من السائل، {efficiency (economy) is 1:1}، وتتم بأخذ الحرارة من البخار المكثف في مبادل حراري معدني يمر فيه المحلول البارد الذي يسخن المحلول مسبباً تبخير المذيبات وتبخير الماء وتركيز المحلول، وعادة البخار يطلق إلى الجو أو يعاد استعماله (وهو بطبيعة الحال تكون محتوياته من الاملاح الذائبة منخفض) $<10 \text{ mg/L}$. ويجب أن تجرى دراسة اقتصادية لدراسة طرائق أخرى في التسخين لتحقيق التبخير ويمكن أن تتم عن طريق الزيت الساخن، البترول، الكهرباء، أو الحرارة الممكن الحصول عليها من المعمل والتي يمكن أن يعاد استخدامها (مبادلات حرارية). وأخيراً المضخات الحرارية، كما يجب أن نقوم بعمل دراسة اقتصادية لاختيار الطريقة المناسبة، وتستعمل الطريقة في الحالات التالية (كمثال):

- منصرفات ذات الاحتياج البيو كيميائي العالي (مثل صناعة السكر).
- منصرفات التي تحوي مواد عضوية أو لا عضوية غير قابلة للتبخّر، (مثل الاصبغة، الحموض، القواعد).
- والمنصرفات الخاصة.

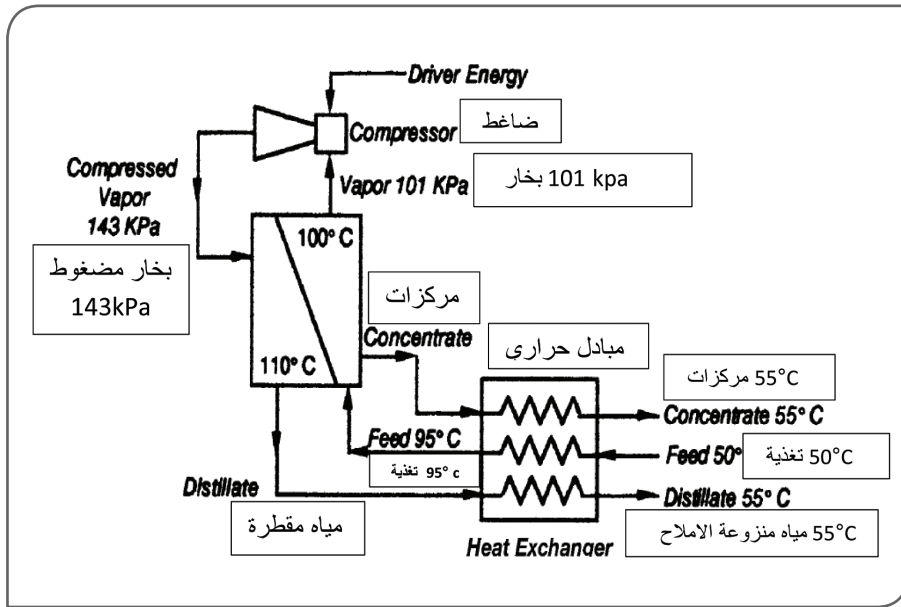
والمبخر البسيط يتألف من حجرة واحدة ولكن التبخير الاقتصادي يتألف من عدة مراحل بحيث تأخذ البخار من المرحلة الأخرى كمصدر للبخار الذي يغلي الحبرات الباردة وذات الضغط المنخفض، وعموماً تزيد الفعالية باستعمال مرحلتين بنسبة 50 %. يبين الشكل (2-17-3-8) مبخر ذو مراحل تبخير متعددة. ويتم إضافة مراحل أخرى لتحقيق اقتصادية المعالجة.



الشكل (1-2-17-3-8)

مبخردو مراحل تبخير متعددة [1]

وهناك طريقة تعتمد على البخار المضغوط اثبتت توفيرها للطاقة، الشكل (2-2-17-3-8)، وهي من الطرائق المستعملة كثيراً في التبخير حيث البخار المصروف من غرفة التبخير يضغط إلى مستوى الضغط المطلوب ونأخذ الحرارة المطلوبة عن طريق المبادل الحراري (الضغط يتم بمضخات الازاحة الإيجابية، الطرد المركزي، أو المحوري) وهذه الطريقة تحتاج إلى مصدر خارجي لبدء العمليات وتتم عن طريق مرجل صغير، ويمكن أن يتم تأمينه من مخلفات البخار المطروحة من المنشأة الصناعية، كما يمكن أن نستعمل السوائل الساخنة من عمليات المعمل ونسترجع حرارتها ونستعملها في عملية التبخير.



الشكل (2-2-17-3-8)

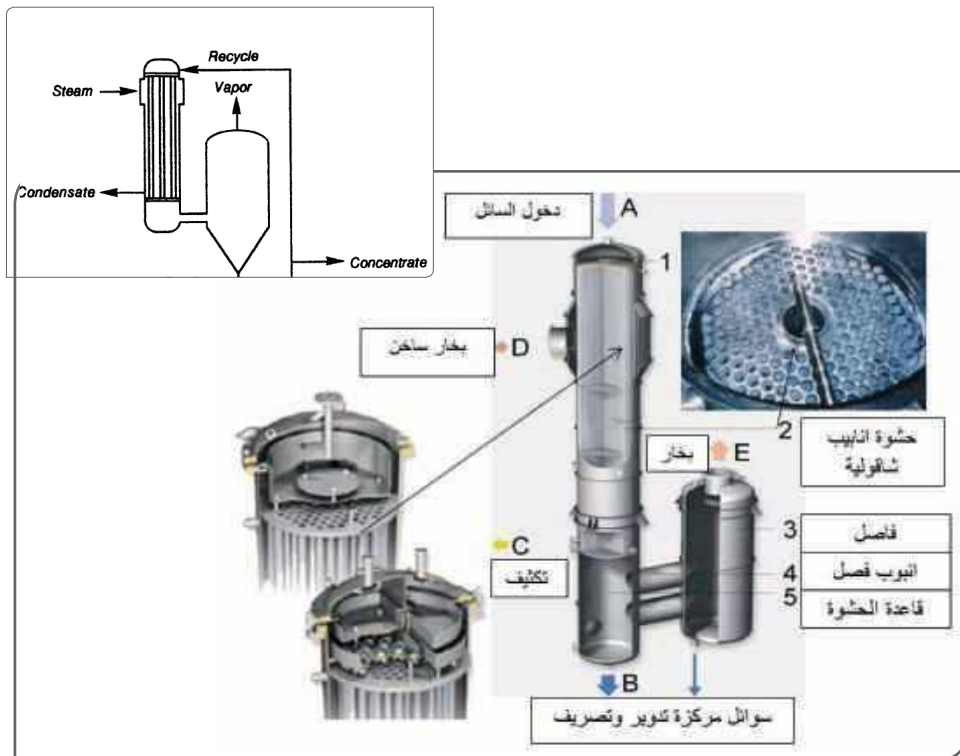
التبخير بالبخار المضغوط من [1]

1-2-17-3-8. المبخر بالأنابيب - التدفق من الأعلى للأسفل. Vertical- Tube Falling Film

يجري السائل المدور خلال الأنابيب الشاقولية (في الحشوة) من الأعلى للأسفل وهي أنابيب رقيقة يجري حولها البخار الشكل (1-1-2-17-3-8) وعملية التبادل الحراري تبخر الماء في السائل، ويتم فصل السائل المركز من الأسفل والبخار من الأعلى في وعاء خاص. من [1] و [12].



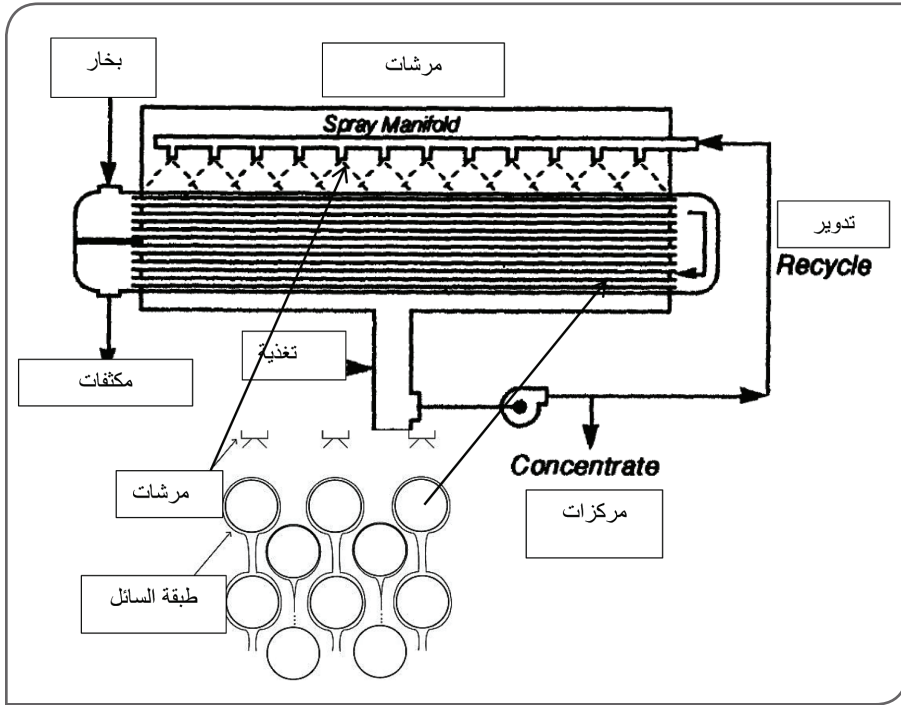
الشكل (1-1-2-17-3-8)
المبخر بالأنابيب - التدفق من الاعلى للأسفل



(تابع) الشكل (1-1-2-17-3-8)
المبخر بالأنابيب - التدفق من الاعلى للأسفل

2-2-17-3-8. المبخر ذو الأنابيب الأفقية مع مرشات. Horizontal-Tube Spray Film

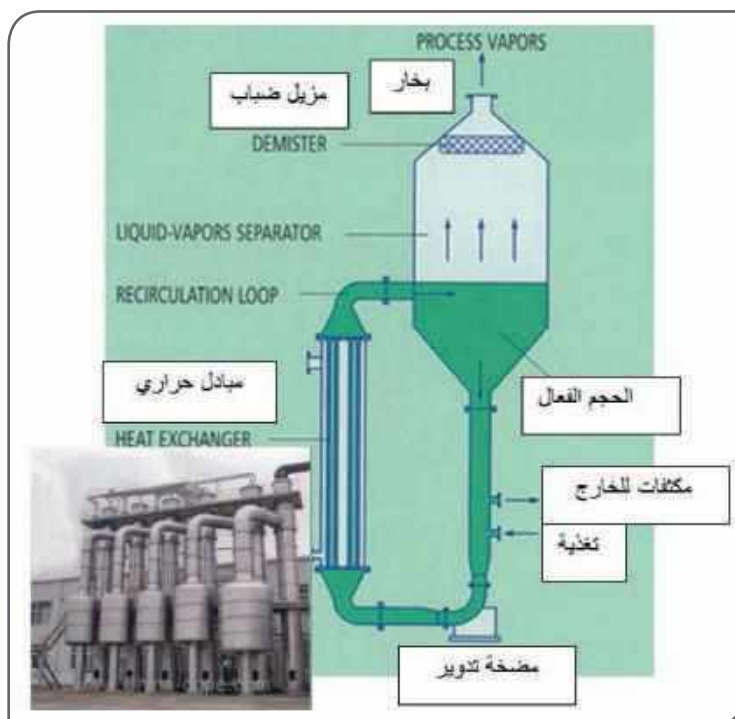
يجري بخار ذو ضغط خفيف في أنابيب أفقية (كما يوجد كمية من الماء المكثف تملأ الأنابيب) ويتم رش السائل من مرشات خاصة فوق الأنابيب الشكل (1-2-2-17-3-8) مسببة تبخير الماء. البخار الناتج يمكن استعماله في المبخر لمراحل أخرى أو ضغطه وإعادة استعماله... (القشرة المشكلة على الأنابيب تزال كيميائياً بشكل دوري).



الشكل (1-2-2-17-3-8)
المبخر ذو الأنابيب الأفقية مع مرشات

3-2-17-3-8. المبخر بالتدوير القسري. Forced Circulation evaporator

السائل المعاد تدويره يضخ إلى مبادل حراري تحت الضغط لمنع الغليان وتشكل القشور على الأنابيب الشكل (1-3-2-17-3-8)، تدخل بعدها مياه الصرف إلى فاصل يعمل بضغط منخفض (يسود ضغط أقل من الضغط الجوي فاكيوم) يدعى حجرة التبخير الفجائي (flash chamber) حيث يتم تبخير الماء وتبلور المواد غير القابلة للانحلال في السائل.



الشكل (1-3-2-17-3-8)

المبخر بالتدوير القسري

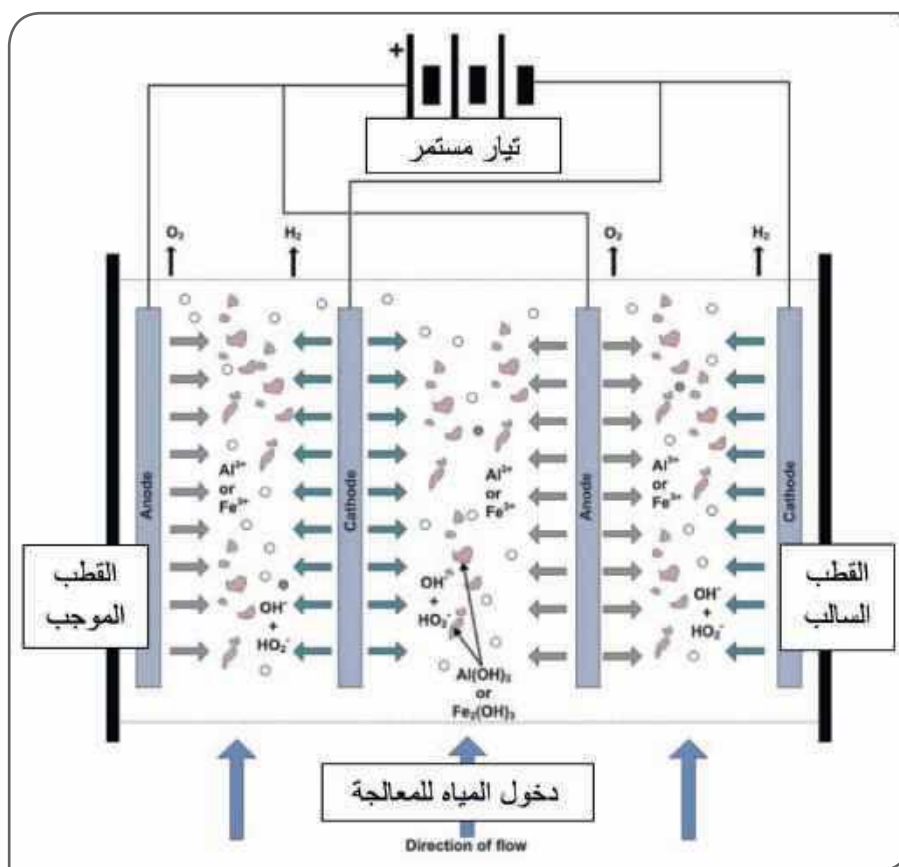
18-3-8. التخثير الكهربائي. Electrocoagulation (EC)

التخثير الكهربائي هو عملية كهروكيميائية لمعالجة المياه ومياه الصرف الصحي والصناعي المختلفة اخترعها (Dietrich، patented 1906). وأثبتت فعاليتها من حيث التكلفة وإمكانية معالجة وإزالة العديد من الملوثات من

المياه. فيمكن للتخثير الكهربائي أن يزيل المواد الصلبة العالقة $>30 \mu m$ ، والمواد الهيدروكربونية المستحلبة emulsified hydrocarbons ، والعديد من المركبات العضوية الذائبة، والمعادن الثقيلة كالكروم (يحول الكروم السداسي لكروم ثلاثي) والكاديوم والذهب والزنك ويستعمل بكثرة لإزالة السليكا من مياه محطات توليد الطاقة من أجل تدوير الماء ويزيل البكتيريا والطحالب واليرقات واللون في مياه المصاوغ ويمكن أيضا أن يستعمل لحماية أغشية التناضح العكسي وأعمدة التبادل الأيوني، وعادة يعمل بتدفق مستمر.

تتكون خلايا التخثير الكهربائي من أزواج من أقطاب لصفائح معدنية متوازية تفصل بينها بضعة ملليمترات مع استعمال الجهد المنخفض. ويستند التخثير الكهربائي على مبدأ الآنود (القطب الموجب) المنحل، والمقصود تطبيق تيار كهربائي (بشكل عام مستمر) ضمن الكتروليت (Electrolyte) هو أي مادة تحتوي على أيونات حرة تشكل وسطا ناقلا للكهرباء) موجود في مفاعل يحتوي على الكترودات من الحديد أو الألمنيوم من أجل توليد - في الموقع - أيونات قابلة لإحداث تخثير وتشكيل ندف مع الملوثات التي نرغب بإزالتها. يبين الشكل (8-3-18-1) مبدأ التخثير الكهربائي مع الكترودات من الألمنيوم أو الحديد [38].

يتشكل في البداية أيونات الحديد أو الألمنيوم نتيجة تفاعل الأكسدة الحاصل على المصعد (القطب الموجب) ثم يتشكل هيدروكسيدات مبلمرة أو هيدروكسيد الحديد أو الألمنيوم تبعاً لمادة المصعد بينما ينطلق الهيدروجين على المهبط (القطب السالب) نتيجة حدوث تفاعل اختزال الماء عليه، كما هو موضح بالمعادلات التالية:



الشكل (1-18-3-8)

مبدأ التخثير الكهربائي مع الكترودات من الألمنيوم أو الحديد [37]

عند القطب الموجب: أكسدة معدن الالكترود



عند القطب السالب: اختزال الماء



إن الكاتيونات Al^{3+} المتشكلة تتفاعل مع الماء لتعطي إما معقدات من هيدروكسيدات مُبلّمة منحلّة مثل $\text{Al}_2(\text{OH})_5^{+}$ ، وإما معقد هيدروكسيد قليل الانحلال مثل $\text{Al}(\text{OH})_3$.

إن استخدام الكترودات من الحديد يقود إلى تشكيل أيونات الحديدي Fe^{2+} التي يمكن أن تشكل إما ماءات الحديدي $Fe(OH)_2$ أو ماءات الحديد $Fe(OH)_3$ بعد أكسدة من قبل الأوكسجين المنحل في الماء، وتلعب هذه العناصر دور المخثرات وتقود إلى تشكيل ندف حيث يمكن إزالتها إما عن طريق التطويف أو عن طريق الترسيب [38].

ومع ذلك فبعض المركبات العضوية المنحلة (الذائبة) ومركبات الامونيا والكبريتيدات والمركبتان mercaptans، قد تتطلب معالجة إضافية متقدمة لإزالتها مثل الأكسدة الكهروكيميائية Electrochemical oxidation.

وكذلك فإن الأحماض الدهنية الطيارة (VFAs) لا يمكن إزالتها عن طريق التخثير الكهربائي ويجب إزالتها إما بالترشيح الغشائي أو بالمعالجة البيولوجية الهوائية. الجدول (8-3-18) يبين كفاءة المعالجة لعدد من الملوثات بالتعرض لمرحلة واحدة أو اثنتين. والشكل (8-3-18-2) يبين المعالجة بمرحلتين بواسطة التخثير الكهربائي.

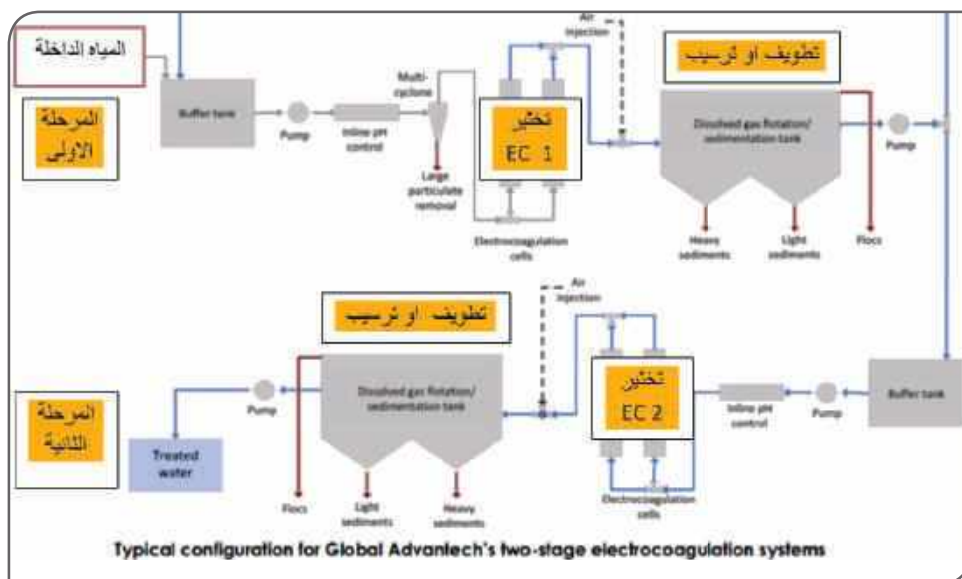
إن تزويد التيار إلى نظام EC يحدد كمية أيونات Al^{+3} و Fe^{2+} التي تطلق من الأقطاب المعنية، فبالنسبة للألومنيوم الكتلة الكهروكيميائية المكافئة electrochemical equivalent mass هي: $335.6 \text{ mg}/(\text{A} \cdot \text{h})$ وبالنسبة للحديد هي: $1041 \text{ mg}/(\text{A} \cdot \text{h})$. فتيار كبير يعني وحدة EC صغيرة.

الجدول (1-18-3-8)

كفاءة المعالجة لعدد من الملوثات للتعرض

لمرحلة واحدة أو مرحلتين من التخثير الكهربائي [37]

	One pass	Two passes
Suspended solids	>95%	>99%
Emulsified/dissolved hydrocarbons	>95%	>99%
Bacteria/algae/larvae	>95%	>99%
Heavy metals	>95%	>99%
Calcium, magnesium	>90%	>95%
Arsenic	>90%	>95%
BOD	>90%	>95%
COD**	>90%	>95%



الشكل (2-18-3-8)

نموذج للمعالجة بالتخثير الكهربائي بمرحلتين [37]

ولكن عند استخدام تيار كبير جداً هناك فرصة عالية لإهدار الطاقة الكهربائية في تسخين المياه.

ويمكن إضافة ملح كلور الصوديوم NaCl لزيادة الموصلية الكهربائية للمياه أو لمياه الصرف المراد معالجتها إلى جانب مساهمته الأيونية في نقل الشحنة الكهربائية كما يمنع ترسيب شوارد المغنيزيوم والكالسيوم على سطح الالكترود لتشكل طبقة عازلة.

- إن إضافة ملح كلور الصوديوم في المعالجة يؤدي إلى زيادة المواد الصلبة المنحلة (الذائبة) الكلية (TDS) مما يجعلها غير مقبولة لإعادة استخدامها في التطبيقات الصناعية.

- ان الندف المتشكلة لا تميل للاحتفاظ بالماء وتتركه بسهولة فيصبح ترشيحها أسهل.

- التباعد بين الصفائح اقل من 5 ملم (ينصح بـ 2-3 ملم).

- عدد الالكترودات في المجموعة من 10 - 100.

- أفضل إزالة للملوثات عندما PH متعادل ولكن أستهلاك الطاقة يكون أكبر.

- زيادة الملوحة تزيد الناقلية فتخفف أستهلاك الطاقة.

- ارتفاع درجة الحرارة يزيد الموصلية الكهربائية وبالتالي استهلاك الطاقة يكون أقل.

- التخثير الكهربائي بقطب من الألومنيوم يمكن أن يكون 120 - 140 % في حين للحديد حوالي 100 %.

الجدول (2-18-3-8) المعطي من [39] يبين الاحتياج من مادة الألومنيوم واستهلاك الطاقة لإزالة الملوثات من المياه. والجدول للاستئناس في الدراسة والتصميم.

الجدول (2-18-3-8)

الاحتياج من مادة الألومنيوم واستهلاك الطاقة

لإزالة الملوثات من المياه المعالجة [39]

The aluminum demand and power consumption for removing pollutants from water					
Pollutant	Unit quantity	تنقية ابتدائية preliminary purification		تنقية purification	
		Al ³⁺ , mg	E, W·h/m ³	Al ³⁺ , mg	E, W·h/m ³
Turbidity العكارة	1 mg	0.04 – 0.06	5 – 10	0.15 – 0.2	20 – 40
Colour اللون	1 unit	0.04 – 0.1	10 – 40	0.1 – 0.2	40 – 80
Silicates السيليكات	1 mg/SiO ₂	0.2 – 0.3	20 – 60	1 – 2	100 – 200
Irons الحديد	1 mg Fe	0.3 – 0.4	30 – 80	1 – 1.5	100 – 200
Oxygen الأوكسجين	1 mg O ₂	0.5 – 1	40 – 200	2 – 5	80 – 800
Algae الطحالب	1000	0.006 – 0.025	5 – 10	0.02 – 0.03	10 – 20
Bacteria البكتيريا	1000	0.01 – 0.04	5 – 20	0.15 – 0.2	40 – 80

والجدول التالي من إحدى الشركات المصنعة لـ EC يبين التصميم الاعظمي للطاقة اللازمة للمياه المعالجة في التخثير الكهربائي والجدول للاستئناس في الدراسة والتصميم من (Kaselco. co)

kwh/m ³	kwh/gallon	kwh/1,000 gallons
2.9	0.0109	10.9

الشكل (2-18-3-8)، محطة معالجة بالتخثير الكهربائي: a، فارغة: b، اثناء العمل



a



b

الشكل (3-18-3-8)

محطة معالجة بالتخثير الكهربائي: a، فارغة: b، اثناء العمل
(من Sundine Enterprises Inc)

الجدول (3-18-3-8) يبين نوعية المياه بعد المعالجة بالتخثير الكهربائي لعدد من حالات فرق الكمون المطبقة مع إضافة جرعات مختلفة من مواد كيميائية مخثرة (PACI)

الجدول (3-18-3-8)

نوعية المياه بعد المعالجة بالتخثير الكهربائي بتطبيق عدة حالات من فرق الكمون مع إضافة جرعات مختلفة من مواد كيميائية مخثرة (PACI)

PACI dosage (mg/L)	Applied voltage (V)	نوعية المياه المعالجة بعد التخثير الكهربائي Water quality parameters of treated effluent after electrocoagulation unit					
		COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TSS (mg/L)	TKN (mg/L)	TC (MPN/100mL)	FC (MPN/100mL)
25	10	555	409	331	49	6743	1274
	20	267	223	282	40	6437	814
	30	203	146	268	32	4764	759
	40	108	79	245	26	4139	634
50	10	452	332	270	41	6274	1347
	20	283	218	221	34	5712	712
	30	145	108	209	28	4831	643
	40	29	21	156	21	4376	473
75	10	376	316	241	39	5712	785
	20	225	174	210	31	4833	531
	30	96	74	149	23	3157	375
	40	18	13	111	15	2563	114
100	10	294	254	199	34	3652	437
	20	153	125	153	26	2715	364
	30	59	33	118	17	1864	153
	40	13	10	82	7	943	72

doi:10.1371/journal.pone.0040108.t003



الترسيب Sedimentation

9 - 1. المقدمة. Introduction

يعتبر الترسيب من المعالجة الأولية لمياه الصرف وذلك لإزالة جزء كبير من المواد الصلبة الناعمة غير العضوية أكبر من 0,05 ملم وجزء من المواد العضوية وذلك بواسطة الثقالة.

إن وجود أحواض الترسيب الأولية يساهم في تخفيض المواد العالقة القابلة للترسيب بنسبة 40 % - 70 % Settleable solids (SS) ويساهم في تخفيض نسبة BOD_5 بنسبة 25 % - 40 %.

وفي الصرف الصناعي يفيد الترسيب الأولي في إزالة المعلقات بالثقالة ويزيل جزء من المواد العضوية ويسهل المعالجة في المراحل اللاحقة. وعند إضافة مواد كيميائية مخثرة Coagulation، كالأحماض المعدنية أو عمل تغيير في الـ PH من أجل إزالة المعادن أو الكبريت أو الفوسفور، فعندها تتشكل ندف قابلة للترسيب تقوم أحواض الترسيب بإزالتها، وتتجمع حمأة في قاع الحوض يتم كشطها وإخراجها من حوض الترسيب.

وفي معظم الحالات تخرج الحمأة من أحواض الترسيب غير مستقرة وتحوي مواد عضوية أو مواد كيميائية ومعادن عالية التركيز تحتاج إلى معالجة أخرى.

9 - 2. تعاريف.

- **الترسيب : Sedimentation.** يعني إزالة المواد الصلبة العالقة بالثقالة.
- **الترويق : clarification.** هو المعنى الذي يشير إلى عمل أحواض



الترسيب في إزالة المعلقة لإعطاء ماء نقي. أو أي عملية أو مجموعة من العمليات التي تهدف أساساً للحد من تركيز المواد العالقة في السائل [4]. [13]

9 - 3. التطبيقات.

يستعمل الترسيب في محطات المعالجة:

- 1 - لإزالة المعلقة الممكن ترسيبها مع مواد كيميائية أو بدون مواد كيميائية.
 - 2 - يدخل الترسيب بعد العمليات البيولوجية حيث الندف المتشكلة يتم ترسيبها في حوض ترسيب خاص يدعى حوض الترسيب النهائي.
 - 3 - تحقيق نسب معينة من المواد المتبقية في الماء المعالج. كنسبة الفوسفور والمعادن باستعمال مواد مندفعة، حيث تتشكل ندف يتم ترسيبها في حوض الترسيب.
 - 4 - يوجد تطبيق آخر للترسيب هو فصل الحمأة عن المياه (الرواق) supernatant , في أحواض تكثيف الحمأة.
- إن دراسة بعض المبادئ التي تغطي مختلف أشكال الترسيب هي ضرورية لتصميم هذه الأحواض.

9 - 4. تصنيف عمليات الترسيب.

تختلف عملية الترسيب باختلاف طبيعة الجسيمات المطلوب إزالتها وتركيزها.

يمكن تصنيف سلوك الترسيب كما يلي:

- ترسيب الجزيئات الصلبة بدون إعاقة من جسيمات صلبة أخرى.
 - ترسيب الغرويات الناتجة من أحواض التهوية أو تكثيف الحمأة.
- ونحن هنا بصدد دراسة أحواض الترسيب الأولى لترسيب المواد الصلبة أكبر من 0.05 ملم الممكن ترسيبها والموجودة في مياه الصرف، وهي تخضع لقوانين الترسيب البسيط. Ideal settling behavior.

9 - 5. نظرية الترسيب البسيط Theory of plain sedimentation .

نظراً لأن سرعة الجريان الأفقية في أحواض الترسيب الأولى على اختلاف أشكالها وأنواعها صغيرة

(حوالي 1 م/سا) لذا يكون الجريان صفحياً Laminar وبالتالي يتم ترسيب الجزيئات الصلبة في هذه الأحواض وفق قانون ستوكس، حيث يفرض رقم رينولدس اصغر من الواحد.

ويعطي رقم رينولدس:

$$Re = \nu d / \nu \quad (1-5-9)$$

ν : سرعة السقوط في حوض الترسيب م/ثا.

ν : اللزوجة الحركية للماء م²/ثا.

d : قطر الجسيمة ميكرون.

تعطى معادلة الاستقرار في حوض الترسيب سرعة الترسيب settling velocity لجسيمة صلبة كروية لا يتجاوز قطرها 0.15 ملم لحوض ذي سرعة جريان قليلة:

$$V_s = g / 18 \nu (\delta_s - 1) d^2 \quad (2-5-9)$$

حيث :

V_s : سرعة ترسيب جسيمة صلبة في حوض ماء ساكن أو قليل السرعة م/ثا.

g : تسارع الثقالة م/ث².

D : قطر الجسيمة الصلبة (م).

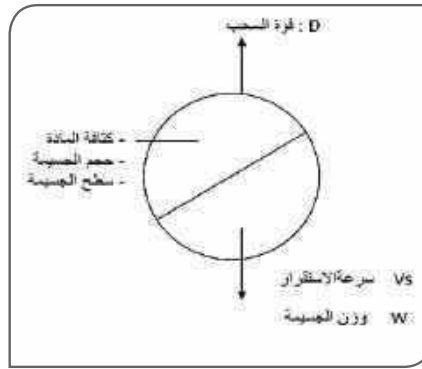
ν : اللزوجة الحركية للماء م²/ثا وتساوي في درجة حرارة 20 ° مئوية حوالي (10⁻⁶) م²/ث

μ : اللزوجة التحريكية المطلقة للماء (نيوتن ثانية / م²) وتساوي في درجة حرارة 20 ° مئوية حوالي (0.001) نيوتن ثانية / م².

δs : الثقل النوعي للمادة الصلبة المترسبة وتتراوح من (1 - 2.5).
ويبين الشكل (1-5-9) القوى المؤثرة في جسيمة صلبة منفردة كروية في حوض ترسيب.

وهناك عوامل عديدة تؤثر في عملية الترسيب منها :

- كثافة وحجم المادة الصلبة.
- كثافة الماء.
- سرعة الجريان.
- درجة الحرارة.

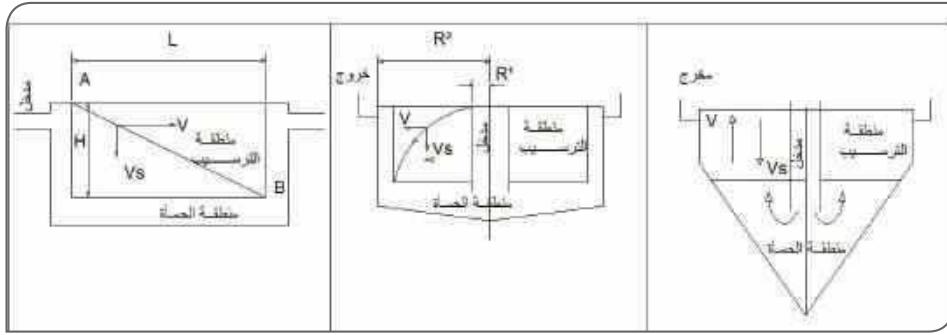


الشكل (1-5-9)

القوى المؤثرة في جسيمة صلبة في حوض ترسيب

ونجد أنه من غير الممكن تطبيق المعادلات مباشرة لأن قياس قطر الجسيمات وكثافتها غير معروفة كما أن أقطار الجسيمات غير متساوٍ.

وتكون أحواض الترسيب عادة دائرية أو مستطيلة حيث يتم الجريان في الأحواض الدائرية عموماً بشكل شاقولي وفي الأحواض المستطيلة بشكل أفقي. الشكل (2-5-9) يبين حركة الجسيمات في الماء في أحواض الترسيب الدائرية والمستطيلة والمخروطية.



الشكل (2-5-9)

حركة الجسيمات في أحواض الترسيب الدائرية والمستطيلة [3]

في أحواض الترسيب الدائرية يكون الجريان شاقولي ويتم ترسيب الجسيمات الصلبة في الحوض إذا حققت سرعة الاستقرار (الترسيب) V_s الشرط:

$$V_s > Q / A$$

Q : معدل الجريان م³/ثا

A : مساحة السطح الحر م²

V_s : سرعة الاستقرار (الترسيب) للجسيمة م/ثا

في الأحواض المستطيلة ذات الجريان الأفقي يتحقق ترسيب الجسيمات الصلبة في الحوض إذا كان الزمن اللازم لاستقرار (الترسيب) الجسيمة (T_1) أقل من الزمن (T_2) اللازم لجريان الماء أفقياً على طول الحوض أي:

$$T_1 = H / V_s < T_2 = V / Q = B.H.L / Q \quad (3-5-9)$$

H : عمق الماء في حوض الترسيب م .

B : عرض الحوض م .

L : طول الحوض م .

V : حجم الحوض م³.

سطح الحوض : $L \times B$

$$H/V_s < A.H / Q \quad (4-5-9)$$

باختصار H

$$V_s > Q / A \quad (5-5-9)$$

إذاً هي نفس علاقة الحوض الدائري.

إذاً نستنتج أن شرط استقرار جسيمة صلبة في أحواض الترسيب سواءً كانت دائرية أو مستطيلة هو:

$$V_s > Q / A = V_o \quad (6-5-9)$$

$$V_o = Q / A \quad (7-5-9)$$

المعادلة (7-5-9) هي معدل التحميل السطحي أو معدل الانسكاب Over flow rate، ويلاحظ بأن عمق الماء في الحوض ليس له تأثير مباشر على كفاءة الترسيب وإنما معدل الانسكاب أي التدفق لوحدة المساحة السطحية للحوض هو الذي يؤثر على فعالية استقرار الجسيمات ومنه نستنتج إنه كلما زادت المساحة السطحية للحوض (الأفقية) أي قل معدل الانسكاب زادت كفاءة الترسيب (ترسيب جسيمة أصغر)، ولكن هنالك شروط معينة لحدود العمق وذلك لضمان عدم اضطراب الطبقة المترسبة في الأحواض وإنجرافها عندما يقل العمق المائي عن حدود معينة.

الجدول (1-5-9). يبين سرعة الاستقرار (الترسيب) لجسيمة صلبة كروية ذات حجوم مختلفة وبدرجة حرارة 15°C وذات ثقل نوعي $\delta_s = 2.65$ وفق المعادلة.

الجدول (1-5-9)

سرعة الاستقرار (الترسيب) لجسيمة رملية V_s

القطر ملم	سرعة الإستقرار (الترسيب) سم / ث
0.05	0.2
0.1	0.7
0.2	2.5
0.5	8
1	16

الجدول (2-5-9) يبين سرعة الجرف لجسيمة رملية.

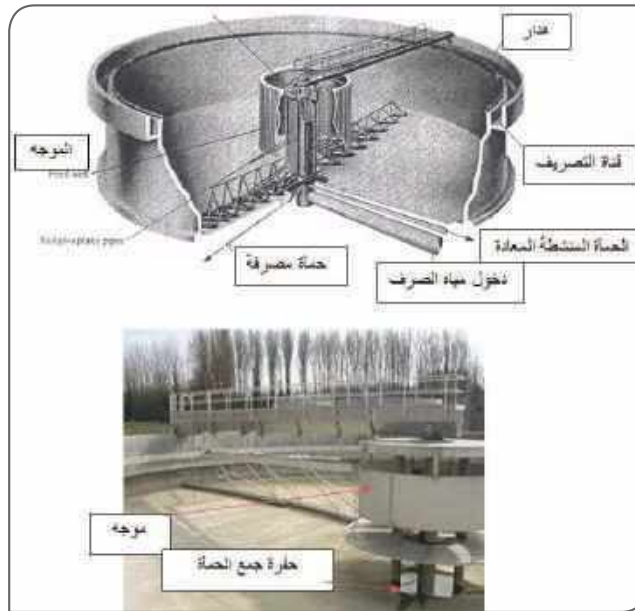
الجدول (2-5-9)

سرعة الجرف لجسيمة الرملية

سرعة الجرف سم / ث	قطر الجسيمة ملم
3.8	0.05
5.2	0.1
7.6	0.2
12	0.5
17.5	1

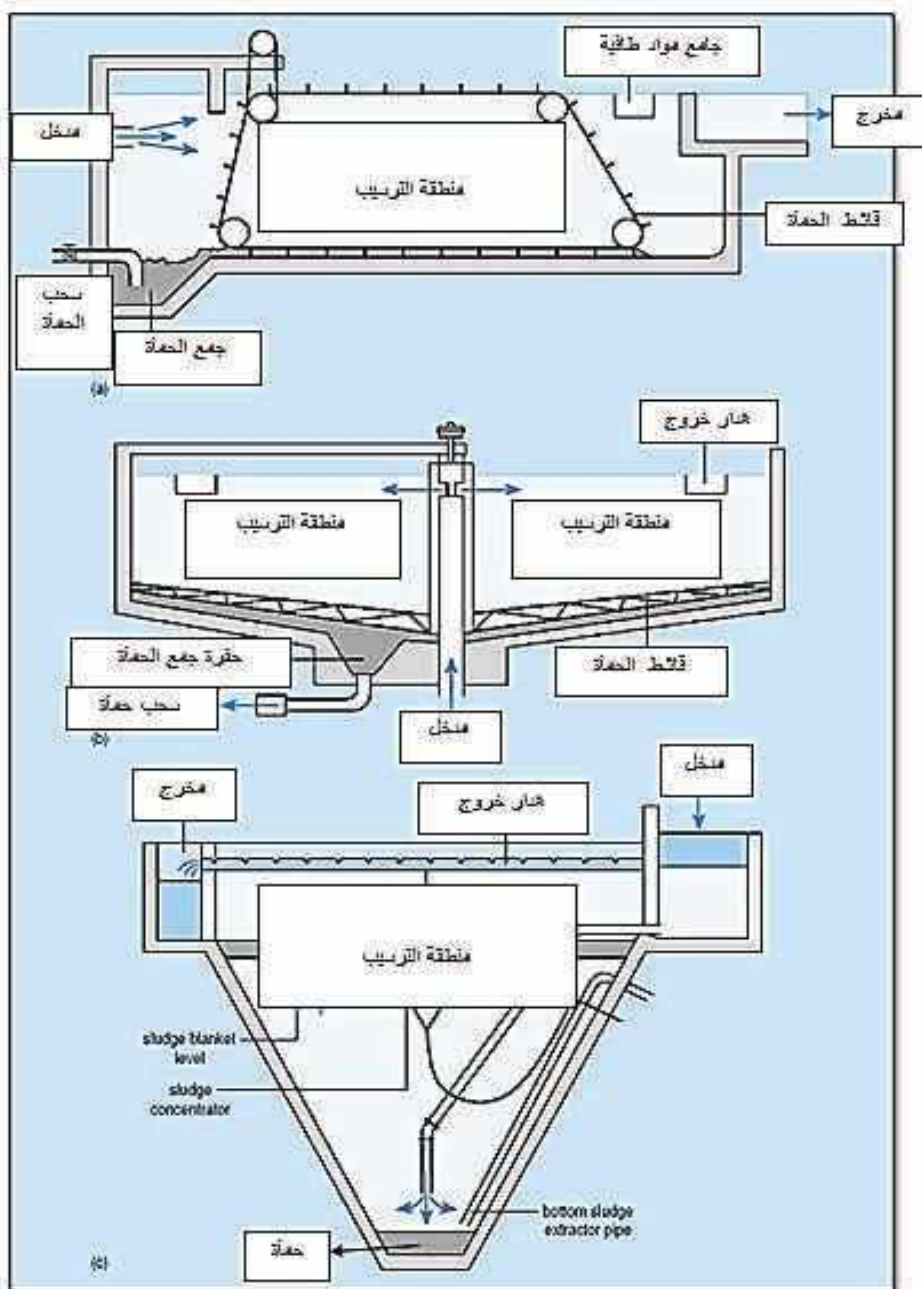
- يتأثر الترسيب بدرجة الحرارة حيث يزداد الزمن اللازم للترسيب بانخفاض درجة الحرارة.

يبين الشكل (3-5-9) صور لأحواض ترسيب دائرية مع قاشط ويظهر موجه دخول الماء وحفرة جمع الحمأة. الشكل (4-5-9) يبين نماذج أحواض ترسيب (a) مستطيلة و (b) دائرية و (c) مخروطية.



الشكل (3-5-9)

صور لأحواض ترسيب دائرية مع قاشط
ويظهر موجه دخول الماء وحفرة جمع الحمأة



الشكل (4-5-9)

نماذج أحواض ترسيب

(a) مستطيلة و (b) دائرية و (c) ومخروطية

9 - 6. أحواض الترسيب الأولية. Primary sedimentation tanks

أحواض الترسيب الأولية هامة جداً في محطات معالجة مياه الصرف الصناعي، فعلى سبيل المثال نذكر أهميتها في مطاحن الحبوب، منشآت صناعة الجلوكون، الالبان والاجبان، معامل البطاطا والذرة... ويمكن أن نستعمل أحواض الترسيب لإزالة جزء من المواد العضوية أو غير عضوية سهلة الترسيب، أو يمكن إن نحتاج لتعديل الحموضة لمياه الصرف فنضع حوض ترسيب بعد إضافة المواد المعدلة (مياه غسيل الحبوب الحمضية في المطاحن) أو يمكن إضافة مواد مندفعة لتسريع الترسيب.

ويمكن تصنيف أحواض الترسيب على نوعين بدون مواد مخثرة أو مع مواد مخثرة.

9-6-1. أحواض الترسيب بدون مواد مخثرة.

نادراً ما تزيد القيمة لمعدل التحميل السطحي في حوض الترسيب الأولي عن $30 \text{ م}^3/\text{م}^2/\text{يوم}$. ويعتمد رقم (30 - 50) $\text{م}^3/\text{م}^2/\text{يوم}$. (مت كالف) للتدفق اليومي الوسطي ADF، (يأخذ المرجع [6] 36 $\text{م}^3/\text{م}^2/\text{يوم}$).

ويكون التحميل (80 - 120) $\text{م}^3/\text{م}^2/\text{يوم}$. في حالة اخذ التدفق عند ساعات الذروة.

وعادة يُنشأ حوضان على الأقل في محطات المعالجة يوزع عليهما الماء بالتساوي.

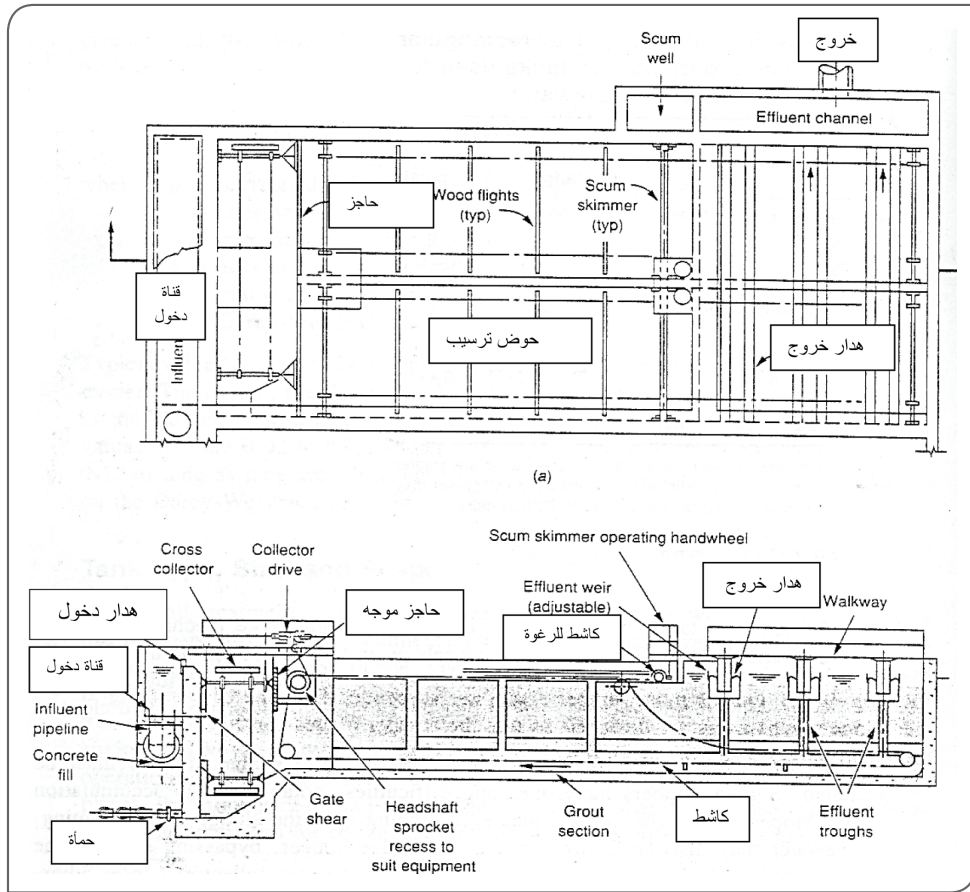
ويعطى لأحواض الترسيب ميلاً باتجاه الداخل سواءً كان دائرياً أو مستطيلاً لتسهيل جمع الرواسب في حفرة في القاع.

يتم جمع الحمأة بواسطة كواشط سفلية دوارة في الأحواض الدائرية أو كشط أفقي سفلي في الأحواض المستطيلة إلى حفرة أول الخزان، أو قد يتم سحب الحمأة (بمضخات إنفراغية خاصة) موجودة على القاشط إضافة لوجود حفرة جمع الحمأة. يبين الشكل (9-6-1-1) طريقة تزويد الحوض الدائري بمياه الصرف من طرف الحوض إلى الموجه.

ويبين الشكل (9-6-1-2) a - والشكل (9-6-1-2) b نماذج أحواض ترسيب دائرية نموذجية. ويظهر الشكل (9-6-1-3) مسقط ومقطع في حوض ترسيب مستطيل.



- العمق الجانبي للأحواض يتراوح عادة من (2-4) م وكلما كان اعمق كانت نوعية الماء افضل.
- كما أن نسبة القطر إلى العمق في الأحواض الدائرية عادة تتراوح بين (8 - 15).
- أما نسبة الطول إلى العرض (L/w) في الأحواض المستطيلة فهي (1 / 3) تقريباً من [6]، وكلما كبرت النسبة تحسنت فعالية الحوض في الترسيب.
- نسبة العرض إلى العمق (3) تقريباً.
- سرعة الماء في قناة الدخول (0.3 م/ثا) عندما يدخل نصف التدفق [6] تصميم الحوض المستطيل).
- ويوضع حاجز (baffles) في الأحواض المستطيلة ارتفاعه حوالي (60 - 90) سم والقسم الغاطس منه حوالي 60 سم لتهذئة المياه الداخلة إلى حوض الترسيب والقسم الظاهر فوق الماء لا يقل عن 5 سم ويحسب على أساس سرعة الماء (0.3 م/ثا).
- يتم دخول الماء إلى حوض الترسيب الدائري من خلال أسطوانة تسمى الموجه (أو بئر الدخول) قطرها يتراوح (10 % - 20 %) من قطر الحوض يظهر جزء منها فوق الماء بما لا يقل عن 5 سم، ويمتد تحت سطح الماء من (0.9 - 1.8) م. سرعة الماء في الموجه لا تزيد عن 0.75 م/ثا، من [3] و (McGhee 1991). ويتم التدوير بطريقتين:
- **الأولى من الأسفل باتجاه الموجه في الأعلى، كما الشكل (a) (2-1-6-9)**



الشكل (3-1-6-9)

أحواض ترسيب أولية مستطيلة (مقطع ومسقط)

• الثانية من جانب الحوض كما في الشكل (1-1-6-9).

- يوضع حاجز امام هدار المخرج لمنع الرغوة من الخروج من حوض الترسيب وينخفض تحت الماء (15 - 30) سم .
 - تخرج الماء عادة عبر هدارات جانبية (Weir) الشكل (4-1-6-9)، أو عن طريق قسطل تثبت فوهته على سطح الماء) أو قسطل مثقب تحت سطح الماء يسحب الماء لخارج الحوض.
- كما في الشكل (5-1-6-9).

- ارتفاع ظهر جدران الحوض عن الارض المجاورة 15 سم كحد أدنى.
- الارتفاع الحر الأدنى فوق سطح الماء إلى ظهر جدار الحوض لا يقل عن 30 سم.
- ميول جدران قمع جمع الحمأة وفق النسبة التالية: (الشاقولي / الأفقي = 1.7 / 1) وعمق القمع لا يزيد عن 60 سم.
- قطر قسطل سحب الحمأة لا يقل عن (6") وسرعة سحب الحمأة حوالي 0.9 م/ثا.
- زمن المكوث لأحواض الترسيب الأولي من 1 - 3 ساعة وتؤخذ 2 ساعة.

تحميل هدار المخرج:

- في حال التدفق اليومي الوسطي أقل من 3785 م³/يوم فلا يزيد تحميل الهدار عن 250 م³/م/يوم من التدفق الساعي الاعظمي.
- في حال التدفق اليومي الوسطي أكثر من 3800 م³/يوم فيجب أن لا يزيد تحميل الهدار عن 373 م³/م/يوم من التدفق الساعي الأعظمي (التدفق عند ساعات الذروة) [14].
- يتم سحب الحمأة بواسطة مضخات خاصة أو بواسطة مضخات هوائية وتضخ إلى حوض تكثيف الحمأة.
- **ملاحظة:** تصل نسبة الرطوبة في حمأة حوض الترسيب الأولي 95 % - 97 %، وتصل إلى 98 % - 99 % في الحمأة المنشطة.



الشكل (4-1-6-9)
هدار خروج الماء بشكل ٧



الشكل (5-1-6-9)
سحب الماء المُرسب عن طريق أنابيب مثقبة تحت منسوب الماء

2-6-9. إضافة المواد المخثرة وتشكيل الندف. Coagulation and Flocculation

يمكن إضافة المواد المخثرة إلى أحواض الترسيب الأولى حيث يجري تحييد الشحنات السطحية للمواد الناعمة والغروية Colloids عن طريق إضافة بعض الأملاح المعدنية اللاعضوية أو البولييمرات.

إن هذه العملية تساعد على تسارع تجميع المواد الناعمة جداً إلى بعضها لتشكيل ندف كبير Floccs يمكن ترسيبه بشكل أسهل. يجب الانتباه إلى عدم زيادة كمية الأملاح المنذفة لكي لا ترتفع نسبة الأملاح أو تسبب في انحلال المواد العضوية في المياه. ويستعمل عادة الكلس . الألوم Alum (الشب)- كلور الحديدك Ferric chloride - كبريتات الحديدك Ferric Sulfate . (مراجعة الفصل 8).

• لكن يجب أخذ الملاحظات التالية بعين الاعتبار:

- ارتفاع أو انخفاض قلوية الماء بعد الإضافة.
- زيادة كبيرة في نسبة الحمأة.
- اختلال في نسبة الـ BOD إلى النتروجين N إلى الفوسفور P المطلوبة في محطات المعالجة البيولوجية (100/5/1) ويجب دراستها وتأثير ذلك على العملية البيولوجية لاحقاً إذا تطلب الأمر معالجات بيولوجية.
- مصروف دائم (قيمة المواد الكيميائية).
- زيادة في ساعات أحواض الترسيب.
- تضاف الكميات وفق تجارب مخبرية على عينات من المياه المراد معالجتها وتحديد النسب اللازمة.
- كما تستعمل هذه الطريقة للتخلص من بعض المعادن الثقيلة والمواد غير المرغوب وجودها في المعالجات اللاحقة.
- يمكن تقليل المساحة الأفقية لحوض الترسيب بإضافة أنابيب أو صفائح مائلة lamella تسمح هذه الطريقة بتقليل المساحة الأفقية وقد تصل إلى العشر من السطح الإفقي، الشكل (9-6-2-1) يبين الترسيب بالصفائح المائلة من [3][4].

• ضوابط تصميم احواض الترسيب بالصفائح أو الأنابيب المائلة:

- ميول الصفائح أو الأنابيب 60° .
- ارتفاع الصفائح أو الأنابيب (1-2) م .

- يمكن أن تستعمل للترسيب الأولي أو النهائي أو المعالجة الثلاثية.
- يفضل أن يكون لدينا حوضي ترسيب.
- التحميل السطحي يؤخذ عادة 5 - 12 م³/م²/سا (الجدول [32] ومع مواد كيميائية يمكن 20 - 40 م³/م²/سا

Clarifier	Overflow rate (m ³ m ⁻² hr ⁻¹)	Retention time (min)	Turbidity removal efficiency (%)
Lamella plates	5-12	60-120	95-90

- البعد بين الصفائح حتى 5 سم. (يمكن ان تزيد أو تنقص الأبعاد حسب اتجاه التدفق وسرعة التدفق ..)
 - $\cos\theta.n.L.W =$ وسطح الترسيب
 - n عدد الصفائح - L,W أبعاد الصفائح.
 - يمكن أن يصدر روائح بسبب تزايد النمو البكتيري على الصفائح والأنابيب وتراكم الزيوت والشحوم.
 - يفضل وضع مصافي ناعمة لمنع إنسداد الأنابيب المائلة.
 - سطح الحوض مستطيل أو دائري.
 - يفضل أن يتم تفريغ وغسل الحوض من فترة لأخرى لمنع تشكل الروائح.
- الجدول (1-2-6-9) نموذج من إحدى الشركات المصنعة للصفائح المائلة يبين السطح الأفقي للمرسب مع الفراغ بين الصفائح مع السطح المعادل (السطح المرسب).

9-6-3. ضوابط تصميم أحواض الترسيب الاولى.

معدل الانسكاب (التحميل السطحي). Over Flow Rate

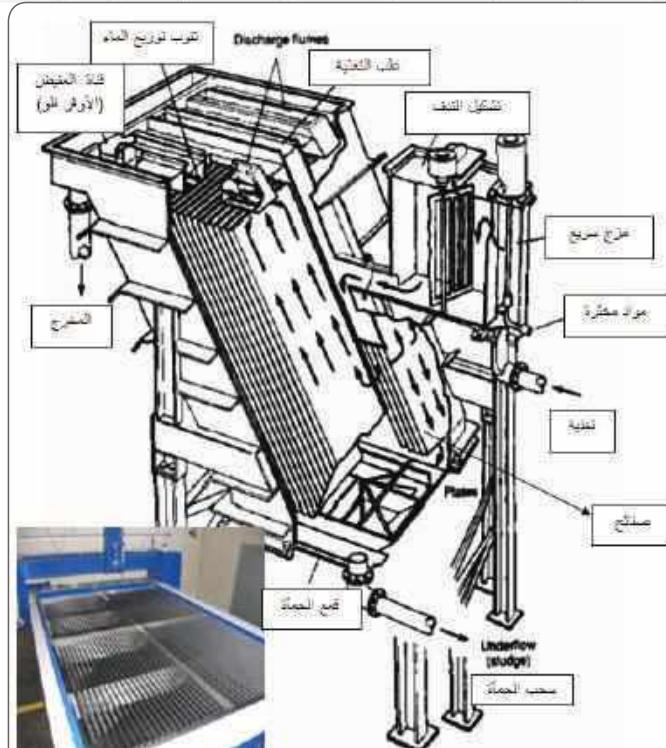
يعتمد رقم (30 - 50) م³/م²/يوم. [3] للتدفق اليومي الوسطي. ADF.

الجدول (9-6-2-1)

أبعاد نموذجية لأحواض الترسيب بالصفائح المائلة

من (Cosme.co)

MODELLO TYPE	أبعاد النموذج على			مسطوح الترسيب م			VOLUME (lit.) CONTENTS		PESO (Kg) WEIGHT	
	A	B	C	20mm	40mm	80mm	Fanghi	Totale	Carp	Eserc.
SLC 9/1	1600	1000	3200	15.8	8.1	6.0	530	2450	550	3000
SLC 12/1	1900	1350	4000	28.2	14.4	10.8	1110	4400	850	5250
SLC 16/1	2250	1800	4400	52.5	26.3	19.7	2630	9000	1200	10200
SLC 22/1	2900	2350	4700	91.4	46.2	34.7	5340	15000	1600	16600



الشكل (9-6-2-1)

الترسيب بالصفائح المائلة

ويكون التحميل (80 - 120) م³/م²/يوم في حال تم اخذ التدفق عند ساعات الذروة.

ويتم اختياره من الخبرة والتجارب العملية على نموذج تجريبي Pilot.

- زمن الحجز الهيدروليكي. Retention time. يعطى على أساس التدفق اليومي الوسطي (2 - 4) ساعة وحسب نوع المواد المرسبة. وتعتمد بعض المراجع أن زمن مكوث [مثل 6] لأحواض الترسيب الأولية من (1 - 3) ساعة. ويعتمد 2 ساعة زمن مكوث نموذجي.
 - عمق الجوانب (2.5 - 4) م. side-water depth
 - قطر الأحواض حتى (45) م.
 - ميل أرضية الأحواض 8% - 12%.
 - سرعة دوران الكواشط الدائرية (0.02 - 0.05) د/د. تعتمد مراجع أخرى سرعة القاشط الدائري 2 م/د وسرعة القاشط الطولي 1 م/د.
 - تحميل هدار الخروج. ويتراوح: (250 - 373) م³/م/يوم من التدفق الساعي الاعظمي (التدفق عند ساعات الذروة)، المرجع (WEF and ASCE 1991a).. ويؤخذ من (124 - 496) م³/م/يوم ووسطيا 250 م³/م/يوم من التدفق الوسطي اليومي [6].
 - كفاءة إزالة الحمأة الأولية SS 70% - 40%.
 - تركيز المواد الصلبة في الحمأة الأولية 4% - 10%.
 - الوزن النوعي للحمأة الأولية حوالي 1050 كغ/م³.
 - سرعة الماء في حوض الترسيب حوالي 1 م/سا.
 - البوابات تحسب لمرور الماء بسرعة 1 م/ثا.
- الجدول (9-6-3-1)، يعطي معلومات نموذجية عن تصميم حوض الترسيب الأولي [6].

الجدول (1-3-6-9)
معلومات نموذجية عن تصميم حوض الترسيب الاول

العمق م	التحميل السطحي م ³ /م ² /يوم		نوع المعالجة
	الذروة	الوسطي	
3.7-3 حد ادنى 2.1	81-122	49-33 25	- ترسيب اولي يتبعه معالجة ثانوية - ستاندر(معايير من وكالة حماية البيئة)EPA
4.6- 3.7 حد ادنى 3	61-49 ≤ 61	33-24 ≤ 41	- ترسيب اولي مع حمأة منشطة معادة - معايير من EPA

• **تحسب كمية الحمأة اليومية :**

$$Ps = Q_{av} \times SS \times SSR \quad (1-3-6-9)$$

Q_{av} التدفق الوسطي للجريان اليومي م³/يوم

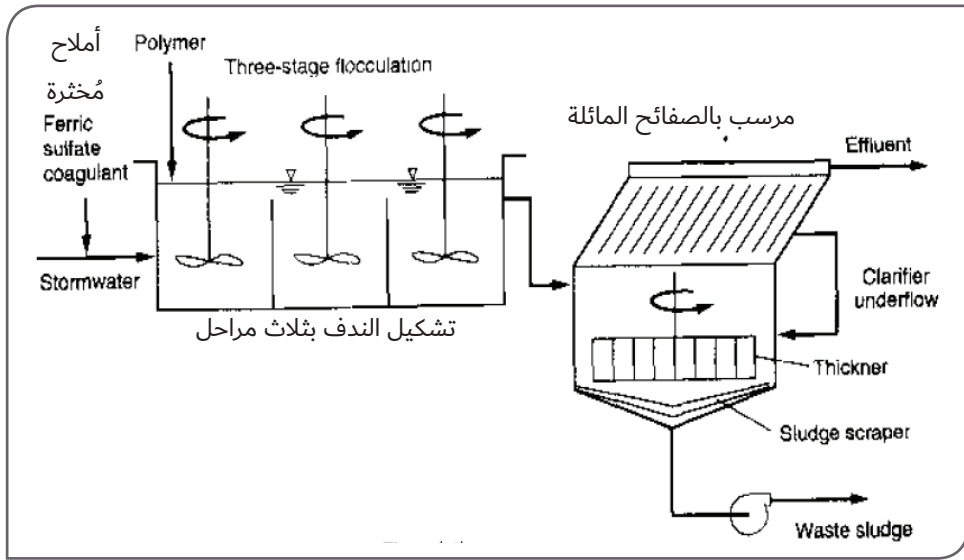
SS تركيز المواد الصلبة الداخلة كغ/م³

SSR النسبة المئوية لإزالة المواد الصلبة تؤخذ 40 %

يتم تزويد الأحواض بمضخات خاصة لسحب الحمأة حيث تضخ إلى أحواض المعالجة اللازمة.

وتركب موجهات للحمأة أسفل جسور وعوارض القاشط لدفع الحمأة إلى مكان تجميع الحمأة لنتمكن من ضخها بواسطة مضخات خاصة للحمأة.

الشكل (1-3-6-9) مثال على المعالجة بالمواد الكيميائية مع مرسب بالصفائح المائلة (ترسيب معدل عالي) لمعالجة مياه صرف من العاصفة المطرية والجدول (2-3-6-9) يعطي ضوابط التصميم لهذا الحوض.



الشكل (1-3-6-9)

مثال على المعالجة بالمواد الكيميائية مع مرسب بالصفائح المائية

الجدول (2-3-6-9)

ضوابط التصميم لحوض ترسيب بالصفائح المائية معدل عالي.
عاصفة مطرية

المعلومات / العملية		ترسيب بالصفائح المائية وفق الشكل (1-3-6-9)
التحميل / م ³ /م ² /يوم	منخفض	800
	متوسط	1200
	عالي	1800
BOD نسبة الازالة %	منخفض	55-45
	متوسط	40-35
	عالي	40-35
TSS نسبة الازالة %	منخفض	70-60
	متوسط	75-65
	عالي	50-40



أنظمة المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصناعي

Industrial biological wastewater treatment systems

10 - 1. الهدف من المعالجة البيولوجية الثانوية (أو تدعى الثنائية) لمياه الصرف الصناعي

- تهدف المعالجة البيولوجية في معالجة مياه الصرف بشكل عام إلى:
 - أكسدة المواد العضوية المنحلة (الذائبة) (BOD) وتحويلها لمواد صلبة (تحويلها لمركبات ثابتة).
- تحول المواد الغروية القابلة للترسيب أو غير القابلة للترسيب إلى ندف أو رقائق بيولوجية.
- إزالة المغذيات من مياه الصرف كالتروجين والفوسفور.
- في بعض الحالات إزالة لبعض المواد العضوية الضارة وهي ذات كميات قليلة واثار ضار كبير (organic traces).

كما تهدف المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصناعي إلى:

- إزالة المواد العضوية واللاعضوية ويمكن أن تحتاج إلى معالجة مسبقة لإزالة بعض المواد السامة في مياه الصرف الصناعي قبل المعالجة البيولوجية أو قبل طرحها مع مياه الصرف الصحي للمدينة ليتم معالجتها بطريقة بيولوجية.
- المركبات في مياه الصرف يجب ان تكون قابلة للتحلل Biodegradable fraction.

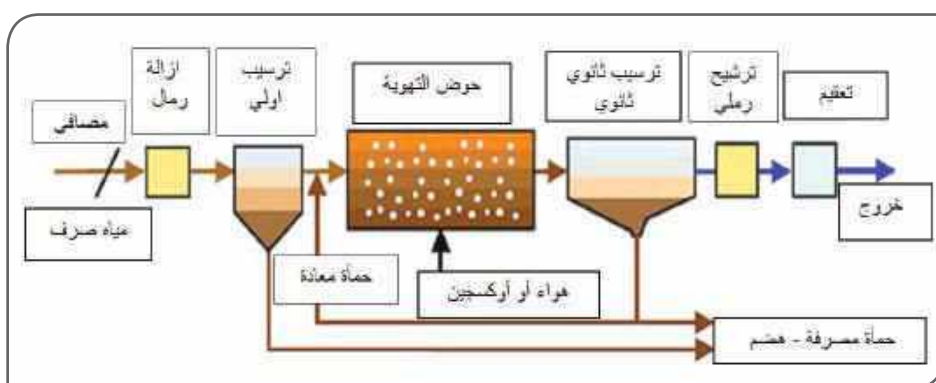


- ومن الصناعات النموذجية التي يلزمها معالجة بيولوجية لمياه الصرف: الصناعات الغذائية مثل صناعة لحوم الدواجن، الدباغات، المذابح، معامل اللحوم، صناعة المشروبات، وبعض الصناعات الكيماوية العضوية، كما تستعمل لتحطيم بعض المركبات العضوية الخطرة بتحويلها إلى اشكال غروية منحلة، إضافة لتثبيت الحمأة العضوية.

توضع أحواض ترسيب نهائية بعد المعالجة البيولوجية وهي تزيل أكثر من 85 % من BOD_5 والمواد العالقة من المياه الداخلة ولكن لا يوجد تأثير على المواد غير القابلة للتحلل أو المعادن الثقيلة أو الأحياء الدقيقة. تصمم المعالجة البيولوجية للاحتفاظ بكمية كبيرة من الحمأة النشطة من مختلف الأحياء الدقيقة مثل البكتريا، bacteria والفطر، fungi والبروتوزوه، protozoa والروتيفر rotifers، والطحالب algae، إلى أخرى. وتعمل الاحياء الدقيقة من خلال نظام محدد وتحت ظروف بيئية مفضلة لديها كنسبة الأوكسجين المنحل في المياه ونسبة المغذيات... إلخ. وتصنف المعالجة البيولوجية بشكل رئيسي إلى نوعين:

- منظومات النمو المعلق للأحياء الدقيقة Suspended growth:

كالحمأة المنشطة Activated sludge الشكل (1-1-10).



الشكل (1-1-10)

الطريقة التقليدية لمعالجة مياه الصرف بالحمأة المنشطة

- منظومات النمو الملتصق (الفيلم الثابت) Attached (film) growth:

كالمرشحات البيولوجية trickling filter وهي تستعمل في معالجة مياه الصرف الصناعي، والأقراص البيولوجية الدوارة (الملاسمات البيولوجية أو الحيوية) rotating biological contactor (RBC)، وهي قليلة الاستعمال في الصرف الصناعي ويمكن ان تستعمل لتهديب المياه وتحسينها بعد المعالجة polishing.

- منظومات مشتركة بين المنظومتين السابقتين، (combined).

- الطرق البيولوجية الأخرى في المعالجة وتتضمن:

برك التثبيت stabilization pond، والبحيرات المهواة، contaminant pond، aerated lagoon، وخنادق الأكسدة (قنوات الأكسدة) high-pure، والحمأة المنشطة مع الأوكسجين الصافي. biological nitrification، oxygen activated sludge، النترجة البيولوجية، إزالة النروجين والفوسفور denitrification and phosphorus removal.

في المعالجة البيولوجية ذات النمو المعلق يتم إعطاء هواء أو أوكسجين بشكل مستمر مما يبقي الأحياء الدقيقة ممزوجة مع المواد العضوية بشكل جيد في مياه الصرف، حيث يتم استخدام المواد العضوية كغذاء لنمو الأحياء الدقيقة ويتشكل ندف biologic floc والذي بدوره يتجمع لتكوين الكتلة الحيوية activated sludge.

10 - 2. النمو البكتيري. Cell Growth

10-2-1. الوصف العام لخلية بكتيرية.

تتألف الخلية الحية من جدار (membrane) ومن أرجل سوطيه أو شعيرات ومن مادة السيتوبلازما (cytoplasm) وهو سائل معلق غروي مركب من البروتينات والكربوهيدرات وعناصر عضوية معقدة أخرى وتحوي السيتوبلازما RNA مصنع البروتين. وتوجد أيضاً النواة التي تحوي المعلومات اللازمة لإعادة إنتاج كافة المركبات الخلوية DNA الذي يمكن

اعتباره الصورة المميزة لكل خلية حية. الشكل (10-2-1-1) يوضح الهيئة العامة لخلية نموذجية. (a) خلية بنواة غير مميزة، (b) خلية بنواة مميزة.

في بعض أنواع الخلايا يكون (DNA) محاطاً بغشاء والنواة معروفة تماماً (b) (eukaryotic cell)، بينما في البعض الآخر تكون غير معروفة تماماً (a) (prokaryotic cell)، ويقع ضمن هذا الصنف البكتريا والطحالب الخضراء والزرقاء وهو من أكثر الأحياء الدقيقة الموجودة في محطات المعالجة.

تحتاج الأحياء الدقيقة من أجل النمو والتكاثر الخلوي إلى الكربون والطاقة، إضافة إلى بعض العناصر غير العضوية كالآزوت والفوسفور ومقادير قليلة من الكبريت والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيزيوم.

يستمد الكربون الخلوي للأحياء الدقيقة من أحد مصدرين أساسيين هما:

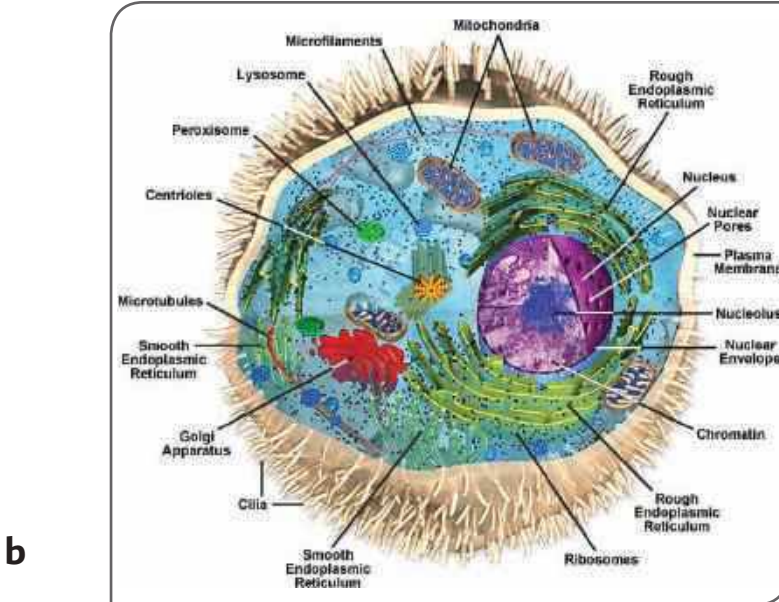
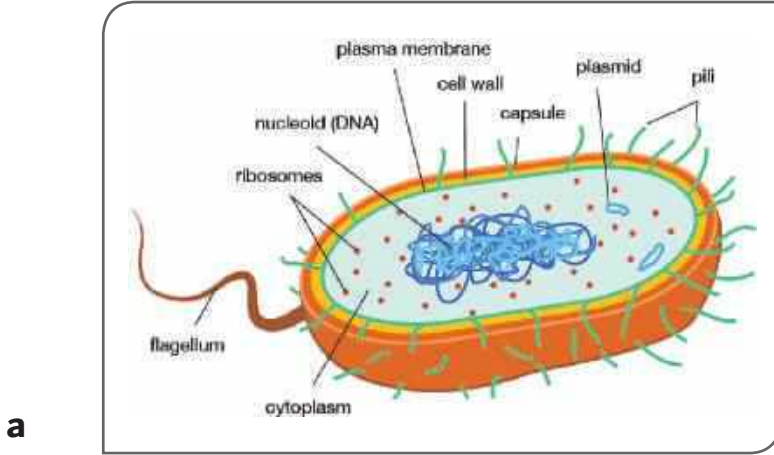
- ثاني أكسيد الكربون وتدعى البكتريا ذاتية التغذية (autotrophic).
- المادة العضوية (كربون عضوي)، وتدعى البكتريا عضوية التغذية (hetero trophic) حيث يعيش كائن عضوي على آخر ميت أو متفكك.

أما الطاقة اللازمة للتكاثر وإنتاج الخلايا فتحصل عليها الأحياء الدقيقة ذاتية التغذية إما من الشمس (التمثيل الضوئي) وتدعى حينئذ ذاتية التغذية ضوئية الاصطناع (autotrophic photosynthetic)، أو من تفاعل لا عضوي يستهلك الأوكسجين وتدعى عندئذ ذاتية التغذية كيميائية الاصطناع (autotrophic chemosynthetic).

يمكن تصنيف الأحياء الدقيقة (البكتريا) أيضاً وفق علاقتها بالأوكسجين ضمن ثلاث أنواع:

- بكتريا هوائية (aerobic) حيث لا يمكن أن تنمو وتنشط البكتريا إلا بوجود الهواء (الأوكسجين).

- بكتريا لاهوائية (anaerobic) حيث تنشط في وسط خال من الأوكسجين.
- بكتريا اختيارية (facultative) حيث يمكن وجودها بوجود الهواء أو عدمه.



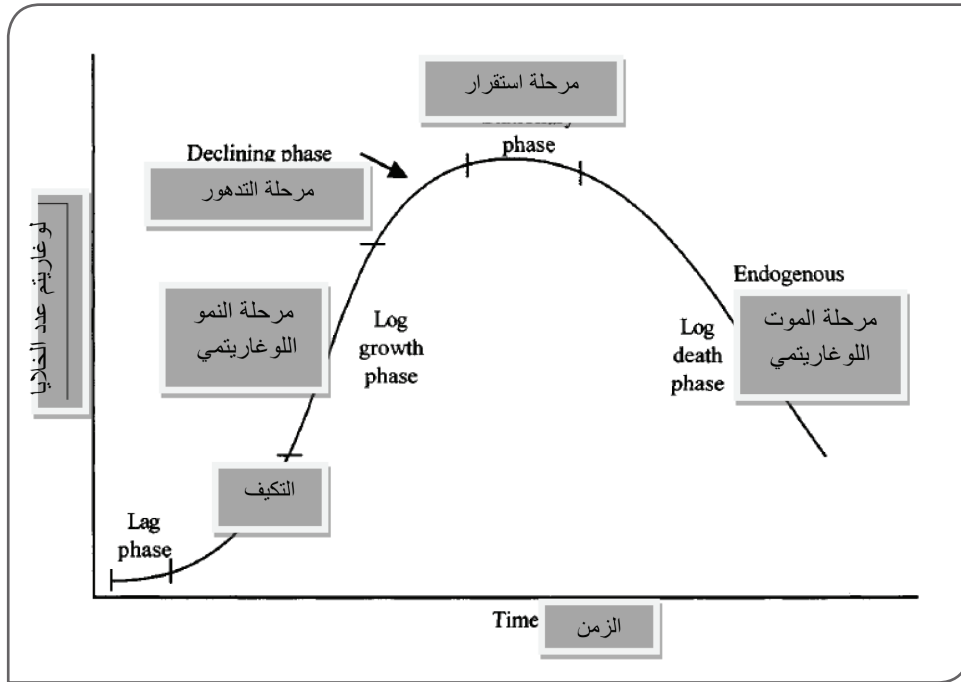
الشكل (1-1-2-10)
الهيئة العامة لخلية نموذجية (b,a)

ويتأثر النمو البكتيري بالعوامل التالية:

الأوكسجين المنحل DO والحرارة ومستوى الغذاء، PH والبكتيريا المحلية الداخلة. الشكل (2-1-2-10) نموذج للنمو البكتيري يبين مرحلة النمو ومرحلة الموت وفق ما يلي:

- **فترة التكيف lag phase** تحتاج البكتيريا لفترة من الزمن لتتأقلم مع الوسط الذي تعيش فيه ولا يوجد تغير كبير على كثافة البكتيريا في هذه المرحلة.
- **فترة النمو السريع (اللوغاريتمي) log growth**: حيث يزداد نمو البكتيريا بشكل سريع وأعظمي وفي هذه الفترة يتم استهلاك اغلب المغذيات.
- **فترة التدهور Declining phase**: مع زيادة البكتيريا ونقص الغذاء وتغير الظروف وزيادة الآثار السلبية يبدأ النمو البكتيري بالتراجع.
- **فترة الاستقرار stationary phase**: وفي هذه المرحلة يوجد استقرار وعدد البكتيريا يكون ثابتاً.
- **فترة الموت Death phase (log)**: ويصبح معدل الموت اكبر من معدل النمو وتصبح البكتيريا الميتة جزء من غذاء البكتيريا، ويكون منحنى الموت للبكتيريا أيضاً لوغاريتمياً. ويجب أن يكون هناك توازن دقيق بين المواد المغذية وكتلة الأحياء الدقيقة في حوض المعالجة.

وحيث إن نمو البكتيريا يتأثر بظروف التغذية المتوفرة (المواد العضوية في مياه الصرف) نجد أن معدل استهلاك المواد الغذائية المتوفرة يتبع نمو الكتلة الحيوية (المراجع 2,3,4). وعموماً لا يتحول كامل الغذاء إلى كتلة حيوية بسبب تطاير جزء منه كغازات (CO_2) و(N_2) وغيره.



الشكل (2-1-2-10) المراحل المختلفة لحياة البكتريا [6]



طريقة الحمأة المنشطة

Activated sludge process

11 - 1. مقدمة

الطريقة الرئيسية للحمأة المنشطة تستعمل النمو المعلق المشروحة في الشكل (10-1-1) في الفقرة السابقة، حيث تدخل مياه الصرف بشكل مستمر إلى حوض التهوية ويكون الندف الحيوي البيولوجي المشكل مسبقاً حيث يتلامس مع المواد العضوية الموجودة في مياه الصرف، ويتم حقن الهواء أو الأوكسجين بشكل مستمر في الحوض لإبقاء الحوض في حالة هوائية ولإبقاء الحمأة المنشطة في حالة معلقة.

الكتلة الحيوية في حوض التهوية تكون بشكل هلامي (يلاحظ ذلك بلمس الحمأة في المرشحات البيولوجية) وخصوصاً عند وجود بكتيريا البروتوزوه protozoa. أو الأوليات.

البكتيريا السائدة في حوض التهوية تكون على أكثر من نوع، وتستهلك كل نوع منها نوعية من الملوثات فبكتيريا Pseudomonas تستهلك الكربوهيدرات وبكتيريا Flavobacterium وبكتيريا Alcaligenes Bacillus تستهلك البروتين.

عند إقلاع محطة المعالجة بالحمأة المنشطة يوضع فيها كمية من حمأة منشطة من محطة عاملة محلية وإذا لم يتوفر حمأة فيمكن أن تتشكل بشكل بسيط وذلك باستمرار التهوية وإعادة الرواسب من حوض التهوية حيث تتشكل الحمأة المنشطة خلال (4-6) أسابيع [6].

وكما ذكرنا في الفصل السابق فإن الأحياء الدقيقة تمتص المواد



العضوية كالكربون كمصدر للطاقة لنمو البكتيريا ولأكسدة الكربون، الاصدارات تكون بشكل رئيسي CO_2 وجزء من الطاقة يذهب إلى المياه. بعض البكتيريا تهاجم المركبات العضوية المعقدة لتعطي مركبات أبسط كفضلات لها. وبكتيريا أخرى تقوم باستعمال هذه المواد المبسطة لتعطي مركبات أبسط كفضلات لها وهكذا حتى ينفذ الغذاء علماً أن البكتيريا عند نفاذ الغذاء تبدأ باستهلاك نفسها جزئياً.

تعريف:

الكتلة الحيوية (biomass): في المزيغ المنحل mixed liquor (السائل الممزوج) هي كتلة (الكائنات الدقيقة) microorganisms في حوض المعالجة البيولوجية.

و MLSS (mixed liquor suspended solids): هو تركيز المواد العضوية وغير العضوية والكائنات الدقيقة microorganisms، في حوض التهوية والمواد العضوية غير القابلة للتحلل والمواد الخاملة العالقة.

MLVSS : يدعى مزيغ المواد الصلبة العالقة القابلة للتطاير في السائل الممزوج (المزيغ المنحل).

- الكائنات الدقيقة في MLSS تشكل منها 70 % - 90 % مواد عضوية و 10 % - 30 % مواد غير عضوية.

- بعد التهوية فإن مزيغ حوض التهوية يصرف إلى حوض الترسيب حيث المواد الصلبة العالقة تترسب بالثقالة (في طريقة SBR يتم الترسيب في نفس الحوض). معظم الحمأة المترسبة يتم إعادتها لحوض التهوية وتدعى الحمأة المعادة (return activated sludge, RAS) وتحوي أعداد كبيرة من (الأحياء الدقيقة) لتحقيق تحلل سريع للمواد العضوية الداخلة إلى حوض التهوية.

11 - 2. زمن التهوية وتحميل BOD.

التصميم الرئيسي للحمأة المنشطة يعتمد على حمل BOD ونسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة (F/M) وكذلك عمر الحمأة وزمن التهوية. الجدول التالي (11-2-1) يعطي التحميل المسموح لعدة تطبيقات.

الجدول (11-2-1)

التحميل المسموح لعدة تطبيقات [6]

الطريقة	تحميل BOD ₅ (kg/d.m ³)	نسبة F/M kg BOD ₅ /kg MLVSS. d	MLSS, mg/L
التهوية التقليدية في المزج الكامل	0.64	0.5 - 0.2	3000-1000
أحواض التثبيت بالتماس	0.8	0.6 - 0.2	3000-1000
التهوية المديدة لمرحلة تترجة واحدة	0.24	0.1-0.05	5000-3000

ملاحظات:

1. BOD₅ هو الحمل الوسطي الداخل إلى حوض التهوية من (GLUMRB) (1996) المراجع
2. يشكل قسم التماس في حوض التهوية 30 % - 35 % من حوض التهوية وكجزء من حوض التهوية عند إجراء الحساب.
3. إن قيمة MLSS تعتمد على طريقة التهوية وتعتمد على السطح المتوفر لحوض الترسيب ونسبة الحمأة المعادة.
4. زمن التهوية هو زمن المكوث (retention time) للتدفق الداخل إلى حوض التهوية ويعبر عنه بالساعات ويحسب بقسمة حجم الحوض على التدفق الوسطي اليومي باستثناء الحمأة الراجعة. [6]
5. لحساب الحمل العضوي في حوض التهوية يتم بحساب BOD₅ في مياه الصرف الداخلة بدون حمل الحمأة الراجعة، ويحسب (kg/d.m³) من حجم المزيج في حوض التهوية.

6. تحميل BOD_5 يختلف اختلافاً كبيراً ويتراوح:

- {(من حجم حوض حجم التهوية 0.16 kg/d.m^3 - (من حجم حوض التهوية 1.6 kg/d.m^3 { بينما يتغير زمن التهوية من 2.5 ساعة إلى أكثر من 24 ساعة والعلاقة بينهما تتبع تركيز BOD_5 في مياه الصرف.
7. بشكل عام الـ pH الذي تعمل عليه البكتيريا في حوض التهوية من (6-9).
8. تؤثر المواد السامة على التفاعل البيولوجي ويمكن أن توقفه كلياً.
9. الحمولات الفجائية Shock Loading. من المواد العضوية ومن المعادن الثقيلة ومن المواد غير العضوية يمكن أن تسمم الأحياء الدقيقة في المعالجة البيولوجية.
10. الملوحة لا تؤثر كثيراً على التفاعلات البيولوجية ولكن يحدث انخفاض في المعالجة عموماً مع ارتفاع الملوحة (هنالك دراسات عديدة على مدى تأثير المعالجة مع ارتفاع الملوحة). [68][69].

11 - 3. نسبة F/M.

F/M نسبة تستعمل للتعبير عن علاقة بين حمل BOD مع الكتلة الحيوية في العملية البيولوجية أو F/M: هو نسبة الغذاء على الكائنات الدقيقة: كغ من BOD في اليوم/كغ من MLSS. (راجع المقدمة (1 - 11,

وتعطى بالمعادلة التالية:

$$F/M = BOD / MLSS \quad (1-3-11)$$

$$= Q (\text{m}^3/\text{d}) \times BOD (\text{mg/l}) / V (\text{m}^3) \times MLSS (\text{mg/l}) \quad (2-3-11)$$

$$F/M = \frac{BOD, \text{ kg/d}}{MLSS, \text{ kg}} \quad (3-3-11)$$



حيث:

Q : التدفق م³/يوم.

BOD : ملغ/ليتر.

V : حجم حوض التهوية (السائل الممزوج) م³.

MLSS : ملغ/ليتر.

تستعمل MLVSS بدل MLSS وهو الجزء المتطاير الفعال من الكتلة الحيوية MLSS وهو حوالي (0.75 - 0.85)، ويتبع ذلك غايات التصميم وهو أقرب إلى الواقع ويمكن أخذ:

$$MLVSS = 0.80 \times MLSS$$

• **ملاحظة:** إذا كانت عمر الحمأة اقل من 2 يوم فسيكون $F/M > 1$ وسيتم اصدار كمية كبيرة من الحمأة و سيكون الترسيب سيئ، وفي حال كون عمر الحمأة بين 10 - 20 يوم يكون $F/M < 1$ وستكون كمية الحمأة اقل وترسيب المعلقات يتم بشكل جيد، واقتصاديا عمر الحمأة الطويل أقل كلفة من عمر الحمأة القصير إضافة لتحقيق أهداف المعالجة كالترجعة التي تحتاج لعمر حمأة طويل.

مثال 1.

حوض معالجة بالحمأة المنشطة فيه تركيز الحمل العضوي للمياه الداخلة $BOD = 140 \text{ mg/l}$ كمية التدفق $(18900 \text{ m}^3/\text{d})$ و TSS في حوض التهوية (16100 kg) أحسب نسبة F/M ؟

1. احسب BOD في اليوم:

$$BOD = Q \times BOD$$



$$= 18900 \times 140 / 1000 = 2646 \text{ kg}$$

2. احسب SS القابلة للتطاير- افرض VSS 80 % من TSS.

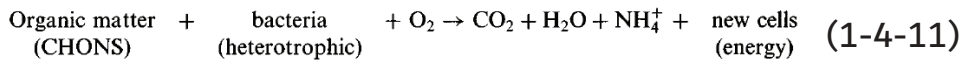
$$16100 \times 0.8 = 12880 \text{ Kg}$$

أحسب نسبة F/M :

$$2646 / 12880 = 0.205$$

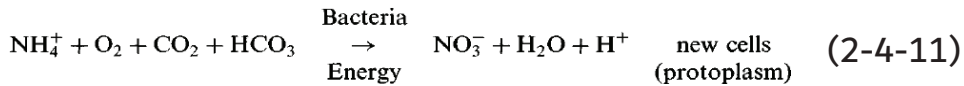
11 - 4. التفاعل البيوكيميائي.

إن آلية إزالة المواد القابلة للتحلل في نظام النمو المعلق للبكتيريا يعبر عنه إما بمعادلة الطاقة أو معادلة التنفس المعادلة (1-4-11).



خلايا جديدة (طاقة) أمونيوم بكتيريا (عضوية التغذية) مواد عضوية

في المرحلة اللاحقة من المعالجة يتم تحويل الأمونيا في مياه الصرف إلى نترات واصطناع خلايا بروتوبلازما جديدة بواسطة بكتيريا نوع ذاتية التغذية autotrophs المعادلة (2-4-11)



أمونيوم نترات خلايا جديدة (برتوبلازما)

11-5. مفهوم طريقة التصميم. Process Design Concepts.

تُستعمل الحمأة المنشطة بكثرة بشكلها التقليدي وبأشكال مختلفة أخرى. وتتضمن عوامل كثيرة هي التي تحدد مفهوم وشكل المعالجة مثل زمن المكوث الهيدروليكي (HRT) (Hydraulic Retention Time) ونوعية المياه والظروف البيئية كالحرارة والقلوية ونقل الأوكسجين.

ويستعمل حوض تهوية واحد أو أكثر لنظام المزج الكامل أو نظام الدفقات على أن تحقق حجوم الأحواض زمن المكوث اللازم والذي يمكن أن يتجاوز 24 ساعة.

11 - 6. النماذج الرياضية في حساب الحمأة المنشطة.

Process mathematical modeling

تم وضع عدد كبير من المبادئ لدراسة النمو المعلق تعتمد على معادلة النمو الحركي وذلك لتحديد حجم نظام النمو المعلق الذي سيتم شرحه فيما يلي:

11 - 6 - 1. المزج الكامل مع تدوير.

حوض التفاعل في المزج الكامل متجانس والكتلة الحيوية تبقى ثابتة راجع الشكل (11-7-1)(a)، ويحسب زمن المكوث الهيدروليكي الوسطي (HRT)، θ بالشكل التالي. المعادلة (11-6-1):

$$\theta = V/Q \quad (11-6-1)$$

θ : retention time : زمن المكوث الهيدروليكي في حوض التهوية. d

V : volume of aeration tank حجم حوض التهوية. m^3

Q : influent wastewater كمية مياه الصرف الداخلة لحوض التهوية. m^3/d

بالاطلاع على الشكل (11-6-1) نجد ما يسمى زمن المكوث الوسطي لحجز المواد الصلبة θ_c (أو عمر الحمأة أو (SRT) sludge retention time ويوجد لدينا حالتان: θ_c و θ

الحالة (a): باعتبار جزء من الكتلة الحيوية تسحب من النظام (من حوض التهوية) فيعبر عن ذلك بالمعادلة التالية :

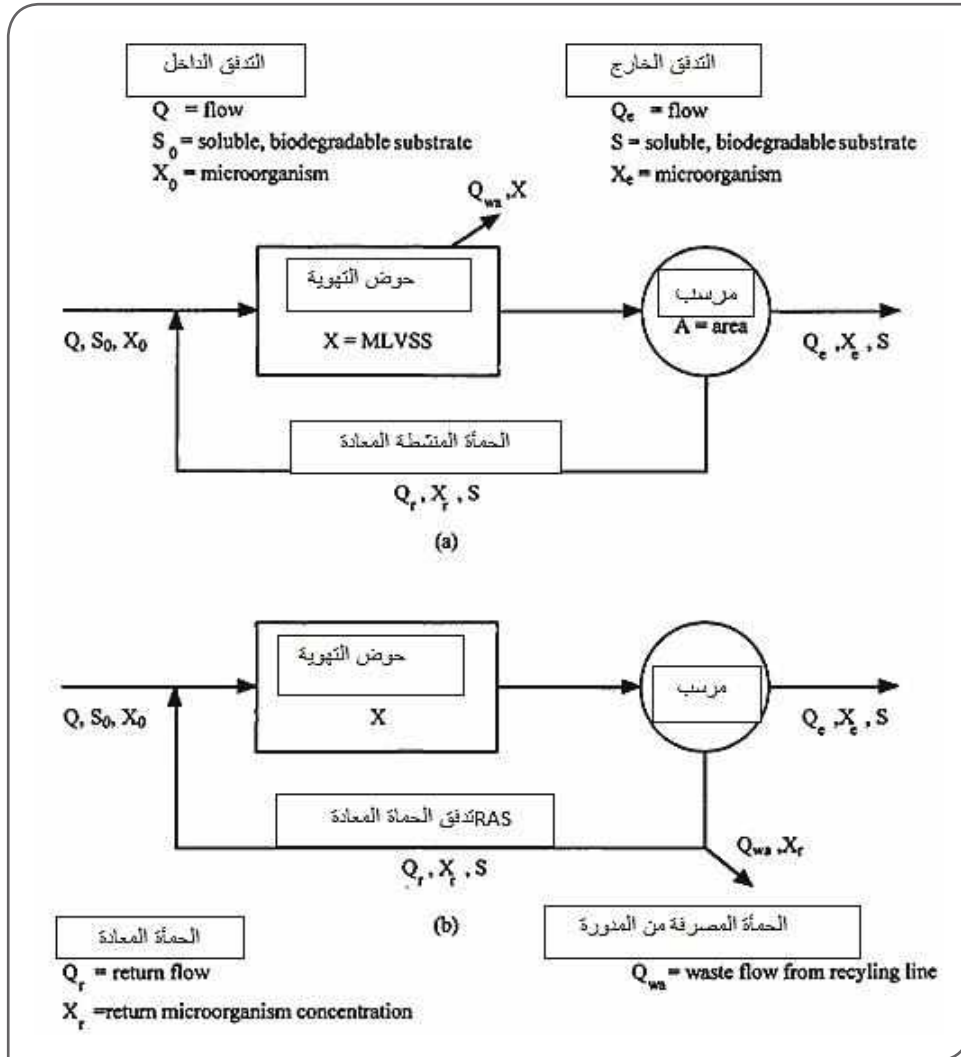
$$\theta_c = \frac{X}{(\Delta X/\Delta t)} \quad (11-6-2)$$



$$\theta_c = \frac{VX}{Q_{wa}X + Q_e X_e} \quad (3-1-6-11)$$

أي أنه:

$\theta_c = \text{كل الكتلة في حوض التفاعل SS} \div \text{معدل SS المصروفة من النظام}$



الشكل (1-1-6-11)

تمثيل رمزي للمعالجة بالحمأة المنشطة (الرموز مشروحة في الفقرة)

الوسطي لحجز المواد الصلبة في حوض التهوية (أو عمر الحمأة أو SRT). θ_c = mean cell residence time . زمن الاحتفاظ بالحمأة أو المكوث

χ = تركيز MLVSS ، في حوض التهوية، mg/l.

$\Delta X / \Delta t$ = نمو الحمأة البيولوجية مع الزمن Δt ، mg/(L.d).

Q_{wa} = تدفق الحمأة خارجة من حوض التهوية، m³/d.

Q_e = تدفق المياه المعالجة، m³/d.

χ_e = تركيز الأحياء الدقيقة (الكتلة الحيوية) (vss mg/l) في مياه الصرف الخارجة من حوض التهوية

الحالة (b): باعتبار جزء من الكتلة الحيوية تسحب من الحمأة المعادة من حوض الترسيب النهائي ويعبر عن ذلك بالمعادلة (4-1-6-11) التالية:

$$Q_c = \frac{VX}{Q_{wr}X_r + Q_eX_e} \quad (4-1-6-11)$$

Q_{wr} = تدفق الحمأة خارجة من خط الحمأة المعادة (الحمأة الزائدة)، m³/d.

X_r = تركيز الأحياء الدقيقة (الكتلة الحيوية) (mg/l) في الحمأة المعادة.

11 - 6 - 2. توازن الكتلة الحيوية وكتلة الطبقة المغذية.

Microorganism and substrate mass balance

بالرجوع إلى [3]، [6] يمكن التعبير عن توازن الكتلة الحيوية في حوض المعالجة بالمعادلة التالية.

$$V \frac{dX}{dt} = QX_0 + V(r'_g) - (Q_{wa}X + Q_eX_e) \quad (1-2-6-11)$$

V = حجم حوض التهوية، m³

dX/dt = نسبة التغير في تركيز الأحياء الدقيقة (الكتلة الحيوية)
 $mg/(L.m^3.d)$, (VSS)

Q = التدفق، m^3/d .

X_o = تركيز الأحياء الدقيقة (الكتلة الحيوية) (VSS)، في المياه الداخلة
 لحوض التهوية mg/L .

X = تركيز الأحياء الدقيقة (الكتلة الحيوية) في حوض التهوية mg/L .

r'_g = النسبة الصافية لنمو الكتلة الحيوية (VSS)، $mg/(L.d)$

والرموز الأخرى وردت في المعادلة السابقة.

النسبة الصافية لنمو الكتلة الحيوية r'_g يعبر عنها:

$$r'_g = Yr_{su} - k_d X \quad (2-2-6-11)$$

$growth\ yield = Y$ عامل إنتاج الكتلة الحيوية (النمو) الأعظمي نهاية
 منحنى النمو اللوغاريتمي mg/mg . أو (عامل الإنتاج الخلوي).

r_{su} = نسبة الغذاء المستفاد منه $mg/(m^3.d)$.

k_d = عامل الاضمحلال /يوم أو $1/t$ أو (معدل موت البكتيريا).

بتبديل المعادلة (2-2-6-11) في (1-2-6-11) نجد:

$$\frac{Q_{wa}X + Q_eX_e}{VX} = -Y \frac{r_{su}}{X} - k_d \quad (3-2-6-11)$$

نلاحظ أن الطرف الأيسر من المعادلة هو مقلوب المعادلة
 (2-2-6-11) أي مقلوب عمر الحمأة الوسطي θ_c منه ،

$$\frac{1}{\theta_c} = -Y \frac{r_{su}}{X} - k_d \quad (4-2-6-11)$$

ويدعى $1/\theta_c$ المعدل النوعي الصافي لنمو الكتلة الحيوية.

ويحسب r_{su} بالمعادلة التالية.

$$r_{su} = \frac{Q}{V}(S_0 - S) = \frac{S_0 - S}{\theta} \quad (5-2-6-11)$$

حيث:

$S_0 - S$ = مقدار الإفادة من المواد المغذية أو مقدار BOD المزال mg/l .

S_0 = تركيز الغذاء في المياه الداخلة إلى حوض التهوية $\text{mg/l}(\text{BOD}_{inf})$.

S = تركيز الغذاء في المياه الخارجة من حوض التهوية $\text{mg/l}(\text{BOD}_{eff})$.

θ = Retention time = زمن المكوث الهيدروليكي في حوض التهوية. d من المعادلة (1-1-6-11).

$$\theta = V/Q$$

• حساب الكتلة الحيوية في حوض التهوية:

بتبديل (5-2-6-11) في (4-2-6-11) نحصل على تركيز الكتلة الحيوية في حوض التهوية.

$$X = \frac{\theta_c Y (S_0 - S)}{\theta (1 + k_d \theta)} = \frac{\mu_m (S_0 - S)}{k (1 + k_d \theta)} \quad (6-2-6-11)$$

منه بحل المعادلة باعتبار المعادلة (1-1-6-11) نحصل على حجم حوض التهوية m^3 .

$$V = \frac{\theta_c Q Y (S_0 - S)}{X (1 + k_d \theta_c)} \quad (7-2-6-11)$$

وكذلك تركيز الغذاء (BOD_{eff}) في المياه الخارجة يمكن حسابه من معادلة التوازن بالمعادلة التالية.

$$S = \frac{K_s(1 + \theta_c k_d)}{\theta_c(Yk - k_d) - 1} \quad (8-2-6-11)$$

حيث:

S = تركيز المواد الغذائية المنحلة (الذائبة) المطروحة مع مياه الصرف (BOD_5 soluble المنحل mg/L) يضاف إليه BOD_5 من SS النهائي للحصول على BOD_5 الكلي).

K_s = ثابت التركيز الغذائي والموافق لنصف معدل النمو الأعظمي. (mg/l)

K = نسبة الاستخدام الأعظمي لوحدة الكتلة الحيوية.

بقية الرموز ذكرت سابقاً.

يجب اختيار العوامل الحركية المناسبة وينصح بإجراء تجارب مخبرية للحصول على الرقم المناسب لمياه الصرف الصناعية المدروسة.

المجال النموذجي للعوامل الحركية البيولوجية (Kinetic Coefficients) للحمأة المنشطة لمياه الصرف المنزلي تعطى في الجدول (1-2-6-11). عندما نحصل على العامل من الجدول يمكن استعمال المعادلات (6-2-6-11) و(8-2-6-11) ومنه يمكن أن تتنبأ بكثافة الكتلة الحيوية وتركيز BOD_{eff} المنحل كما انه يمكن تقييم التأثيرات المختلفة على محطة المعالجة.

الجدول (1-2-6-11)

المجالات النموذجية للعوامل الحركية البيولوجية لحمأة المنشطة لمياه الصرف المنزلي

القيمة النموذجية	المجال	المعامل
5	20-11	$K, /d$
0.06	0.075-0.025	$k_d, /d$
60	100 -25	$K_s, mg/L BOD_5$
40	70-15	mg/L COD
0.6	0.8-0.4	$Y, mg VSS/mg BOD_5$

المراجع من [2] - [6] - Techobanoglous and Schroeder (1985)

والجدول (2-2-6-11). من المرجع [1] يوضح قيم K, Y في المعالجة البيولوجية الهوائية لأكسدة المواد العضوية ولأكسدة بعض العناصر.

الجدول (2-2-6-11)

قيم K, Y في المعالجة البيولوجية الهوائية [1]

K	Y	الطرائق اللاهوائية
22 g COD /g bact-day	g bact/g COD 0.45	إزالة المواد العضوية Organic removal
2 g N/g bact-day	0.36 g bact/g N	النترجة Nitrification
2.5 g S/g bact-day	0.59 g bact/g S	S^{-2} to SO_4^{-2}
60g Fe/g bact-day	0.0075 g bact/g Fe	Fe^{+2} to Fe^{+3} (≈ pH 2.7)
1.3g H_2 /g bact-day	0.36 g bact/g H_2	H_2 oxide to H_2O

ولم يؤخذ في الاعتبار المعلقات الصلبة suspended solids في المياه الداخلة.

وبسبب موت جزء من البكتيريا أثناء وجودها في المنظومة يكون عامل الإنتاج الخلوي الصافي (y_{obs}) أقل من معدل الإنتاج الخلوي (y) بسبب استهلاك المواد العضوية (BOD_5).

بتعويض المعادلة (6-2-6-11) بالمعادلة (2-2-6-11) والقسم على ($S_0 - S$) في معادلة r_{su} نحصل على عامل الإنتاج الخلوي الصافي مع التدوير.

$$y_{obs} = Y / (1 + K_d \theta_c) \quad (\theta_c \text{ أو } \theta_{ct}) \quad (9-2-6-11)$$

y_{obs} : عامل الإنتاج الخلوي الصافي مع التدوير. mg/mg

θ_{ct} : زمن الاحتفاظ بالحماة الوسطي في النظام معتمداً على المواد الصلبة (الكتلة الحيوية) في حوض التهوية وحوض الترسيب الثانوي في اليوم (d).

• تأثير درجة الحرارة

معدل التفاعل يتأثر بدرجة الحرارة فزيادتها تزيد من فعالية المعالجة البيولوجية فتزداد عدد البكتريا وكذلك فإن لها تأثير آخر هو زيادة نسبة نقل الغازات وطريقة الترسيب، ويعبر عن تأثير درجة الحرارة في نسبة التفاعل باستعمالنا المعادلة التالية.

$$K_t = K_{20} \theta^{T-20} \quad (10-2-6-11)$$

وتتراوح θ (1.02 - 1.25) عامل تعديل درجة الحرارة (ويمكن أخذها 1.035 للحالات التقريبية).

K_{20} . عامل معدل التفاعل في الدرجة 20° .

K_T . عامل معدل التفاعل في الدرجة C° , T .

θ . عامل فعالية درجة الحرارة.

T . درجة الحرارة, C° .

• طريقة التصميم :

إن استعمال المعادلات السابقة لتوقع BOD_5 في المياه المصرفة معقد لتعدد العوامل اللازم معرفتها وبشكل عملي نعود إلى العلاقة (4-2-6-11) حيث يمكن التعبير عن العبارة $(-r_{su} / X)$ بأنها نسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة وبتطبيق ذلك في المعادلة (5-2-6-11).

$$U = -\frac{r_{su}}{X} \quad (11-6-2-11)$$

وتدعى (المعدل النوعي لاستخدام الغذاء), the specific substrate utilization rate, u أو (المعدل النوعي للنمو), $(1/t)$.

$$U = \frac{Q(S_0 - S)}{VX} = \frac{S_0 - S}{\theta X} \quad (12-2-6-11)$$

وبالتعويض في المعادلة (13-2-6-11) فتصبح المعادلة.

$$\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d \quad (13-2-6-11)$$

$1/\theta_c$ المعدل النوعي لنمو الكتلة الحيوية الصافي مرتبطة مباشرةً مع U المعدل النوعي لاستخدام الغذاء في المزج الكامل، الحمأة يمكن أن تسحب من حوض التهوية أو من دائرة تدوير الحمأة فإذا تم سحب الحمأة من الحوض وتم إهمال الحمل العضوي في مياه المخرج $Q_e X_e = 0$ فالمعادلة (13-2-6-11) تكتب :

$$\theta_c \approx \frac{VX}{Q_{wa}X} \quad (14-2-6-11)$$

$$Q_{wa} \approx \frac{V}{\theta_c} \quad (15-2-6-11)$$

ويكون جزء الحمأة المصروفة من خط الحمأة المعادة تقريباً.

$$Q_{wr} = \frac{VX}{\theta_c X_r} \quad (16-2-6-11)$$

حيث:

X_r التركيز (mg/L) في الحمأة المعادة.

• إنتاج الحمأة. Sludge production:

إن كمية الحمأة المنتجة (الزائدة) في اليوم هامة لتصميم منشآت ومعدات محطة المعالجة وتحسب كما يلي:

$$P_x = Y_{obs} Q (S_o - S) / (1000 \text{ g/kg}) \quad (17-2-6-11)$$

$$P_x = \text{كمية الحمأة المصروفة الصافية (VSS) kg/d}$$

$$Y_{obs} = \text{عامل الإنتاج الخلوي الصافي g/g}$$

$$Q = \text{influent wastewater flow التدفق الداخل إلى محطة المعالجة m}^3/\text{d}$$



$S_0 = \text{تركيز } BOD_5 \text{ في المياه الداخلة } \text{mg/l}$

$S = \text{تركيز } BOD_5 \text{ في المياه الخارجة } \text{mg/l}$

• **الاحتياج الأوكسجيني اللازم لحوض التهوية:**

الاحتياج الأوكسجيني اللازم في حوض المعالجة بطريقة الحمأة المنشطة يعتمد على BOD_5 وعلى الأحياء الدقيقة المطروحة من النظام. ومن معادلة التفاعل الكيميائي الحاصل في حوض التهوية يفترض أن BOD_U (BOD النهائي) لأجل 1 مول من الخلايا العضوية يحتاج إلى 1.42 = (113 / 160) مول اوكسجين.

منه كمية الأوكسجين النظرية اللازمة لإزالة المركبات العضوية الكربونية في طريقة الحمأة المنشطة .
المراجع: [4] - [6] - [3]

$$O_2/d = BOD_U - 1.42 (p_x) \quad (18-2-6-11)$$

(كتلة الحمأة المصرفة p_x) - كتلة BOD_U المستعملة الكلية =
كتلة الأوكسجين O_2/d

منه:

$$\text{kg } O_2/d = \frac{Q(S_0 - S)}{(1000 \text{ g/kg}) f} - 1.42 P_x \quad (19-2-6-11)$$

$$\text{kg } O_2/d = \frac{Q(S_0 - S)}{1000 \text{ g/kg}} \left(\frac{1}{f} - 1.42 Y_{\text{obs}} \right) \quad (20-2-6-11)$$

f = عامل تحويل BOD_5 إلى BOD_U

بقية الرموز ذكرت سابقاً.

• **ملاحظة:** تحتاج البكتيريا أثناء الأكسدة البيولوجية للمواد العضوية في حوض التهوية إلى مرحلتين:

1. الأوكسجين اللازم للمرحلة الكربونية (الاحتياج الأوكسجيني الكربوني، تفكيك المركبات العضوية الكربونية (carbonaceous oxygen demand) وهو BOD₅ الكربوني.

2. الأوكسجين اللازم للمرحلة النيتروجينية nitrogenous oxygen demand وهو إزالة BOD₅ النيتروجيني وتحويله إلى نترات و نترات.

وعندما نريد تحقيق إزالة المرحلة الكربونية والنيتروجينية يكون الأوكسجين اللازم الكلي:

$$\text{kg O}_2/\text{d} = \frac{Q(S_0 - S)}{1000 \text{ g/kg}} \left(\frac{1}{f} - 1.42 Y_{\text{obs}} \right) + \frac{Q(N_0 - N)}{1000 \text{ g/kg}} \quad (21-2-6-11)$$

حيث:

N_0 = تركيز النيتروجين بتجربة كيلدال (total kjeldahl nitrogen) في مياه الصرف الداخلة لحوض التهوية mg/L.

N = تركيز النيتروجين بتجربة كيلدال (total kjeldahl nitrogen) في مياه الصرف الخارجة من حوض التهوية mg/L.

- الاحتياج الأوكسجيني عموماً يعتمد على BOD₅ في ساعة الذروة ويعتمد على MLSS ودرجة المعالجة المطلوبة.

معدات التهوية يجب أن تكون قادرة على الحفاظ على الأوكسجين المنحل بحيث يكون أكبر من 2mg / L في السائل الممزوج mixed liquor، طوال الوقت مع تأمين المزج المناسب.

- الاحتياج العادي للأوكسجين لكل أنظمة المعالجة بالحماة المنشطة (عدا التهوية المديدة) هو (1.1 kg) أوكسجين لكل 1 BOD ويعادل (93.5m³ من الهواء) لكل /ل/ كغ للتصميم من أجل حمولة الذروة BOD₅.

- في الظروف النظامية من الضغط والحرارة والرطوبة نأخذ (94) م³ من الهواء لكل /ل/ كغ [6] BOD₅.



- في طريقة الحمأة المنشطة التهوية المديدة احتياج الهواء العادي هو (128 م³ لكل /ل/ كغ BOD₅ [6].

- عندما يكون F/M أكبر من (0.3d⁻¹) تكون كمية الهواء للحمأة المنشطة التقليدية (33 - 55) م³ لكل /ل/ كغ BOD₅ مع استعمالنا الفقاعات الخشنة (coarse bubble) في معدات توزيع الهواء (diffusers) وتكون كمية الهواء من (24 - 36) م³ لكل /ل/ كغ BOD₅ مزال وذلك إذا استعمالنا الفقاعات الناعمة (fine bubble) في معدات توزيع الهواء (diffusers).

- عندما يكون F/M اصغر من (0.3d⁻¹) ولتحقيق النتيجة تكون كمية الهواء للحمأة المنشطة التهوية المديدة (75 - 115) م³ لكل /ل/ كغ BOD₅ مزال.

المراجع [2]. و [6] و (GLUMRB 1996)

• الحمأة المعادة :

تحسب نسبة تدوير الحمأة α للحفاظ على تركيز mg/L MLSS في حوض التهوية.

- من معادلة التوازن.

$$(Q + Q_r) \times MLSS = QX + Q_r X_u$$

$$\alpha = Q_r / Q = (MLSS - X) / (X_u - MLSS) \quad (21-2-6-11)$$

بحيث:

$$\alpha = \text{نسبة التدوير}$$

$$Q = \text{التدفق الداخل } m^3/d$$

$$Q_r = \text{تدفق التدوير } m^3/d$$

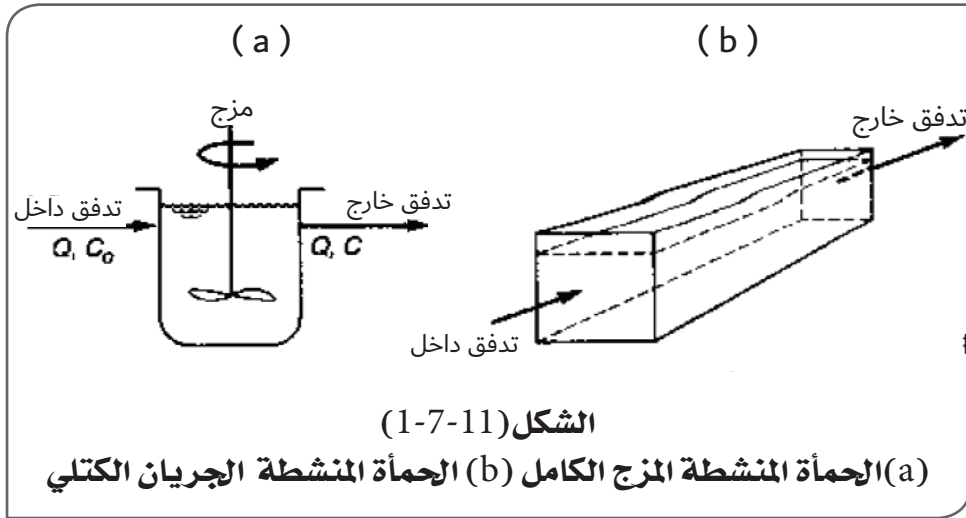


$$SS = X \text{ في المياه الداخلة } mg/L$$

$$SS = X_u \text{ تركيز الحمأة المعادة } mg/L$$

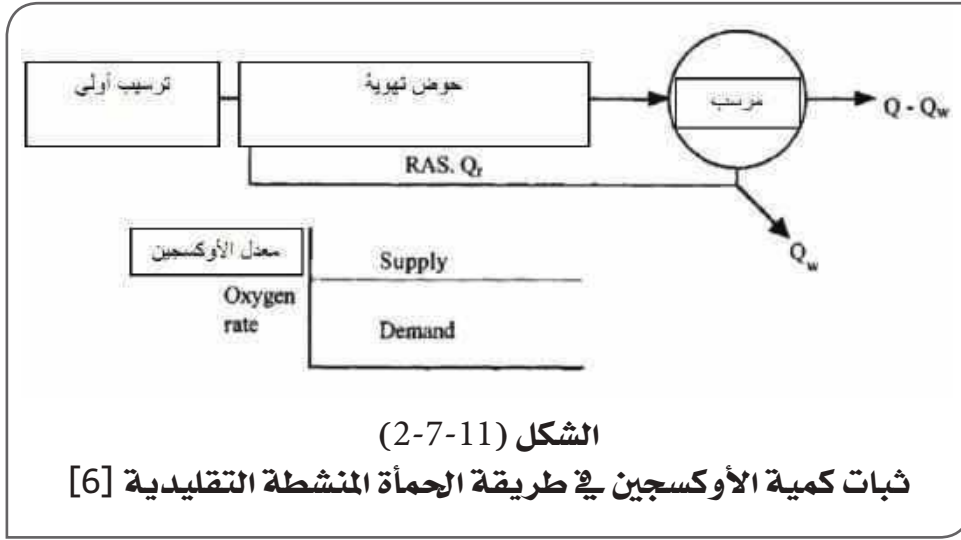
11 - 7. الحمأة المنشطة ذات الجريان الكتلي مع التدوير. Plug-flow with recycle

مقدمة. هي إحدى طرائق الحمأة المنشطة، يبين الشكل (1-7-11) الحمأة المنشطة المزج الكامل ويبين الشكل (1-7-11)(b) الحمأة المنشطة ذات الجريان الكتلي. وطريقة العمل أن جميع المواد التي تدخل المفاعل تبقى فيه نفس الزمن وتتمر في الحوض بشكل متتابع فالذي يدخل أولاً يغادر أولاً ويفترض أنه لا يوجد مزج جانبي ولكن في الواقع يوجد مزج بسبب الحمأة المعادة.



ويبين الشكل التالي (2-7-11) ثبات كمية الأوكسجين في طريقة الحمأة المنشطة التقليدية بينما في الجريان الجبهي يتغير من مرتفع في أول الحوض وينخفض عند المخرج.

والنموذج الحسابي للجريان الجبهي يمكن الاطلاع عليه في المراجع [2,3,4,6], ودراسات Lawrence and McCarty .



11 - 8. التشغيل والتحكم في الحمأة المنشطة.

Operation and Control of Activated-Sludge Processes

إن حوض التهوية هو قلب طريقة الحمأة المنشطة ويحتاج إلى أشخاص ذوي خبرة في التحكم في الهواء و F/M وضبط الحمأة الراجعة، وهناك بعض الأدلة التي تستعمل في المراقبة كمؤشر حجم الحمأة ومؤشر كثافة الحمأة وقابلية ترسيب الحمأة وعمر الحمأة، وهي أدوات تستعمل بكثرة في مراقبة الحمأة المنشطة.

11 - 8 - 1. مؤشر حجم الحمأة (SVI) Sludge volume index

وهو الحجم المشغول من قبل (1) غرام من الحمأة بعد ترسيب السائل الممزوج لمدة 30 دقيقة في اسطوانة مدرجة سعتها (1) لتر، (SVI) يعبر عن طبيعة ترسيب الحمأة، ويتم قياس حجم المواد الصلبة المرسبة في الاسطوانة الشكل (1-1-8-11). (ويحسب مخبرياً). وكذلك يتم تحديد MLSS بترشيح عينه من حوض التهوية وتجفيفها ووزنها.

$$(SVI) = (SV \times 1000 \text{ mg/g}) / \text{MLSS} \quad (1-1-8-11)$$

$$\text{SVI} = \text{مؤشر حجم الحمأة mL/g}$$

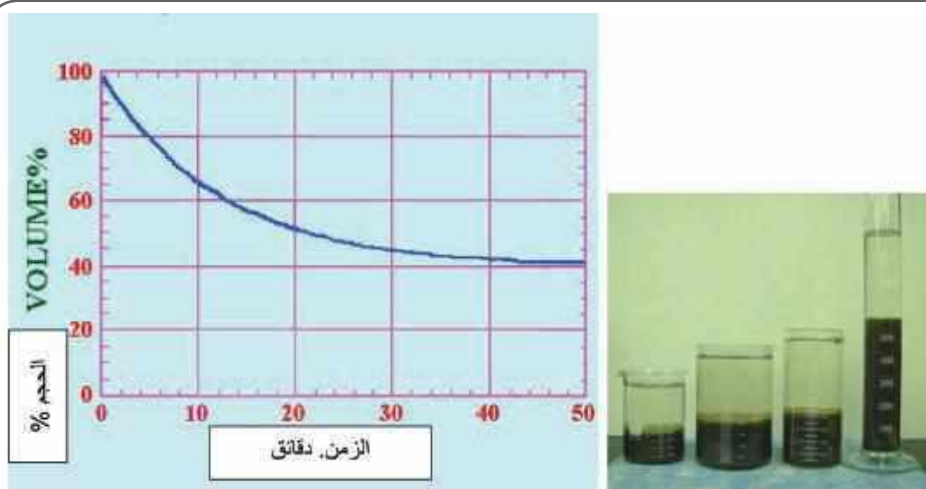


SV = حجم الحمأة المرسبة / L mL

MLSS = المزيغ المنحل / L mg

1000 = ميلي غرام لكل غرام mg/g

الرقم النموذجي من أجل SVI عندما يكون فيها (2000-3000) mg/L MLSS يتراوح من (80 إلى 150)، وSVI عامل هام في التصميم فهو يحدد MLSS ونسبة الحمأة الراجعة. (نلاحظ أن نسبة الحمأة تصل إلى 40 % تقريباً من حجم الأسطوانة بعد 30 دقيقة). عندما تكون كمية الحمأة في الأسطوانة أقل من 250 ملل لا يتم سحب حمأة زائدة وعندما تكون أكبر من 350 ملل يتم سحب حمأة زائدة).



الشكل (1-1-8-11)

منحني الترسيب لمدة 30 دقيقة في اسطوانة مدرجة سعتها (1) ليتر

11 - 8 - 2. مؤشر كثافة الحمأة. (SDI) Sludge density index

يستعمل الدليل بنفس ما ورد في مؤشر حجم الحمأة وذلك لنعطي فكرة عن طريقة ترسيب الحمأة في حوض الترسيب النهائي ويتم ذلك بوزن 1 ميلي ليتر من الحمأة المرسبة بعد 30 دقيقة ويعطى بالمعادلة (1-2-8-11).

$$SDI \text{ g/mL} = 100 / SVI \text{ mL/g} \quad (1-2-8-11)$$

فعندما تكون حمأة مرسبة بشكل جيد يكون SDI بين 1 - 2 وعندما تكون 0.5 فهذا يعني أن الحمأة منتفخة وغير قابلة للترسيب.

11-8-3. الحمأة المنشطة المعادة. (RAS) Return activated sludge

هي الحمأة المنشطة المرسبة في حوض الترسيب النهائي والمعاداة إلى حوض التهوية لمزجها مع المياه الداخلة إلى حوض التهوية. وتقاس كفاءة الحمأة المنشطة بمدى إزالة BOD والذي يتبع مباشرة إلى الحمأة المنشطة القابلة للتطاير في حوض التهوية، والغاية من إعادة الحمأة هو الحفاظ على تركيز كاف من الحمأة المنشطة في حوض التهوية.

- (RAS) في الحمأة المنشطة التقليدية (20 - 40%) من التدفق الداخل إلى المحطة والجدول (1-3-8-11) يعطي نسبة الحمأة المعادة بالنسبة للتدفق الوسطي لعدة حالات، ونسبة المواد الصلبة في SVI تنظم كمية الحمأة المعادة، علماً أن كمية الحمأة المعادة تتبع المعادلة (1-2-8-11)، وأعطيت المعادلة التالية: (1-3-8-11) في السائل الممزوج من بعض المؤلفين clark&vissman , [6]

$$\% \text{ الحمأة المعادة} = 100 / \{100 / (SVI) P\} - 1 \quad (1-3-8-11)$$

حيث.

$$(SVI) = \text{مؤشر حجم الحمأة mL/g}.$$

$$P = \text{نسبة المواد الصلبة في السائل الممزوج}$$



الجدول (1-3-8-11)
نسبة الحمأة الراجعة بالنسبة للتدفق الوسطي [6]

نسبة من التدفق الوسطي التصميمي		طريقة العمل بالحمأة المنشطة
الأصغري	الأعظمي	
100	15	التقليدية
100	15	المرحلة الكربونية (مرحلة منفصلة للترجئة) Carbonaceous stage of separate nitrification
100	15	التغذية المجزأة Step-feed aeration
100	15	المزج الكامل Complete-mix
150	50	التثبيت بالتماس Contact stabilization
150	50	التهوية المديدة Extended aeration
200	50	مرحلة تترجه (مرحلة تترجه منفصلة) Nitrification stage of separate stage nitrification

إذا كان تدفق الحمأة الراجعة RAS ثابتاً فسوف يتغير MLSS بشكل مستمر، فيكون MLSS عالياً في فترة التدفق الأدنى ومنخفضاً في فترة تدفق الذروة، أي أن عمق طبقة الحمأة الموجودة في حوض الترسيب depth of the sludge blanket تتغير بشكل دائم، وللحفاظ على F/M ثابتة في حوض التهوية يجب أن يكون لدينا أجهزة خاصة مبرمجة لضبط هذه المتغيرات، وعلى كل أي تغير في الحمأة المنشطة تحتاج نسبة تدفق RAS مختلفة لاختلاف ترسيب الحمأة.

إن العلاقة بين تركيز RAS الأعظمي (X_p) ومؤشر حجم الحمأة SVI يمكن أن يحسب كما يلي: باستعمالنا (حجم حمأة مرسبه , $SV = 1000 \text{ mL/L}$). فتكون علاقة تركيز المواد الصلبة العالقة مع RAS:

$$(X_p) = (SV \text{ mL} / L \times 1000 \text{ mg/g}) / (SVI)$$

$$(X_p) = (1000 \text{ mL} / L \times 1000 \text{ mg/g}) / (SVI) \text{ ml/g أو } \mu\text{g}$$

$$(X_r) \text{ mg/l} = 10^6 / (\text{SVI}) \quad (2-3-8-11)$$

11 - 8 - 4. عمر الحمأة. Sludge age

هو مقياس لطول زمن الاحتفاظ بالمواد الصلبة العالقة في طريقة الحمأة المنشطة. أو هو زمن الاحتفاظ الوسطي بالبكتيريا، وله علاقة بنسبة F/M وتعطى.

$$\text{عمر الحمأة} = \text{SS} \text{ في حوض التهوية} \div \text{kg} \div \text{ss المضافة kg/d}$$

وهي تعادل:

$$\text{عمر الحمأة (Studge age)} = V \times \text{MLSS} / (\text{SS}_w \times Q_w + \text{SS}_e \times Q_e) \quad (1-4-8-11)$$

عمر الحمأة = mean cell residence time . زمن الاحتفاظ الوسطي للكتلة الحيوية. d

MLSS = تركيز المواد العالقة في السائل الممزوج (المزيج المنحل) في حوض التهوية mg/L

$$V = \text{حجم حوض التهوية (m}^3\text{)}$$

$$\text{SS}_w = \text{تركيز المواد الصلبة العالقة في الحمأة المصرفة. (mg/L)}$$

$$Q_w = \text{تدفق الحمأة المصرفة. (m}^3\text{/d)}$$

$$\text{SS}_e = \text{المواد العالقة في مياه الصرف الخارجة (mg/l)}$$

$$Q_e = \text{تدفق المياه المعالجة, (effluent), (m}^3\text{/d)}$$

$$(1-4-8-11) \text{ هي نفسها المعادلة (4-1-6-11)}$$



11 - 9. الطرائق المعدلة عن الحمأة المنشطة. -Modified Activated Sludge Processes

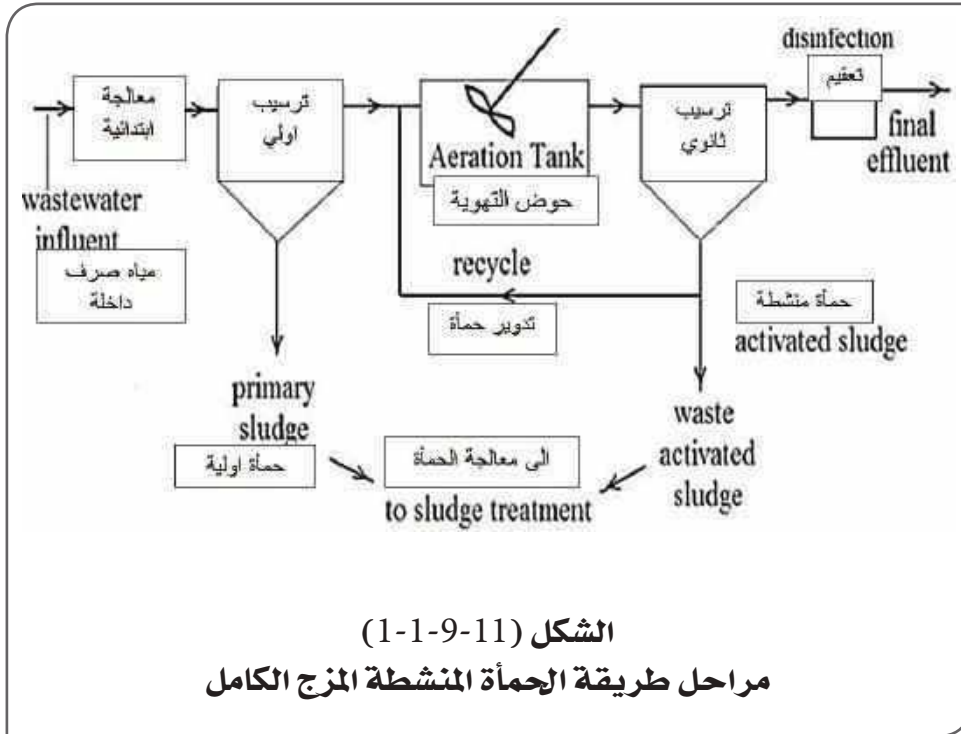
سنورد بإيجاز بعض الطرائق المعدلة عن الحمأة المنشطة.

11-9-1. حمأة منشطة مزج كامل.

CMAS -Complete mix activated sludge

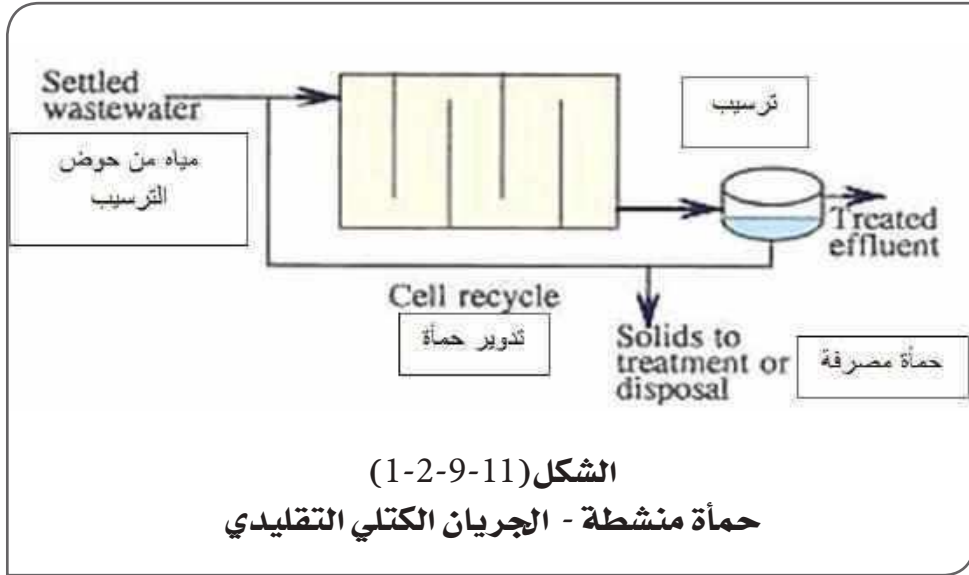
الشكل (11-9-1) يبين مراحل طريقة المعالجة بالحمأة المنشطة المزج الكامل، ويمكن أن يكون زمن المكوث طويل جداً فتدعى عندئذ التهوية المديدة.

- **المزج الكامل CMAS:** في هذه الطريقة الممثلة بالشكل (11-9-1) تدخل مياه المجاري بشكل مستمر، ومن المفضل أن تدخل الحمأة المعادة في نقاط مختلفة أو على طول الحوض. ويتم مزج كامل لمحتويات الحوض ويجب أن تكون MLSS والحمولة العضوية والتهوية ثابتة في أي نقطة من حوض التهوية. ويتحمل هذا النظام الصدمات العضوية ولذلك هو مناسب للصرف الصناعي.
- **F/M صغيرة، وبالتالي** يحتمل ظهور الحمأة المنتفخة.
- **زمن التهوية قليل 3 - 5 ساعات،** واحتمال حدوث الترجة منعدم.
- **معدل إنتاج الحمأة عال نسبياً.**
- **التهوية المعدل العالي:** (high rate aeration) وهي تشبه التدفق الكتلي في الفقرة (11-9-2). (الحوض متطاوла والمياه التي تدخل أولاً تخرج أولاً) ولكن يكون فيه MLSS منخفض، وزمن مكوث قليل، وتدوير أكثر، و F/M كبيرة، والتحميل العضوي كبير، ونوعية المياه أسوأ بالنسبة إلى BOD وللمعلقات.



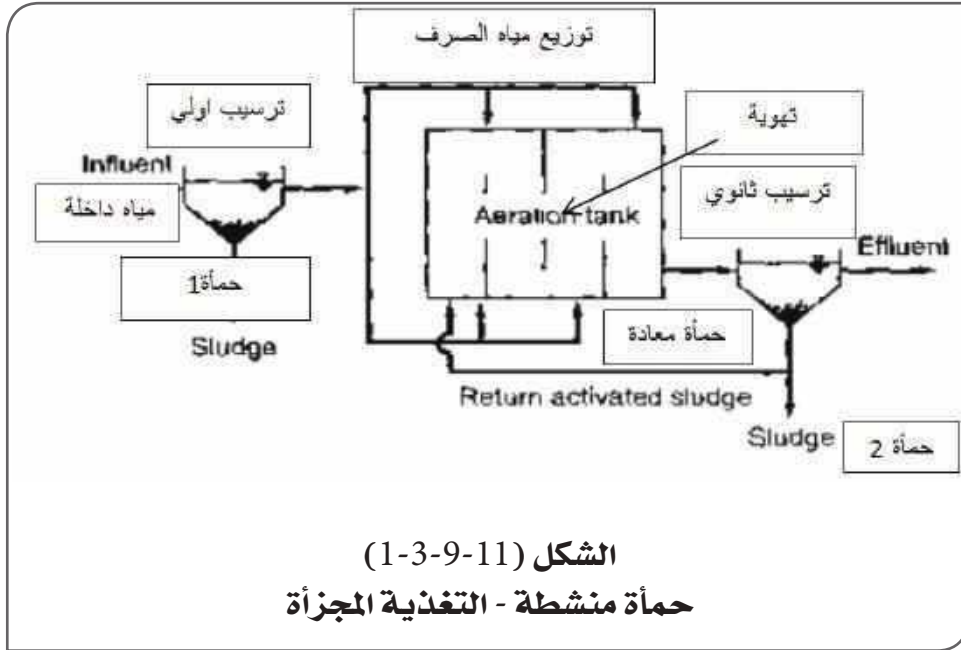
2-9-11. الجريان الكتلي التقليدي. Conventional plug flow activated sludge

تستقبل هذه الطريقة مياه المجاري الواردة من حوض الترسيب الأولي وكذلك الحمأة المنشطة المعادة من حوض الترسيب النهائي عند بداية الحوض الذي يكون متطاولا فالمياه التي تدخل أولا تخرج أولا ومعدل اعطاء الهواء ثابت على طول الحوض، وعدد القنوات (3-5) قناة، وزمن التهوية الوسطي (4 - 8) ساعة. الشكل (1-2-9-11).



3-9-11. التغذية المجزأة. Step feed

يمكن أن تكون التغذية مجزأة الشكل (1-3-9-11) وهي تطوير للطريقة التقليدية ذات الجريان الجبهي وفي هذه الحالة تدخل مياه الصرف القادمة من حوض الترسيب الأولي من عدة مواقع من حوض التهوية (3 - 4 موقع) لجعل (F/M) ثابتاً على طول الحوض وبالتالي أنقاص الاحتياج الأوكسجيني الأعظمي عند المدخل، كما تدخل الحمأة المعادة RAS عند بداية الحوض، والطريقة تحتاج إلى زمن تهوية متوسط مع معدل إنتاج حمأة عال واحتمال النترجة غير موجود.



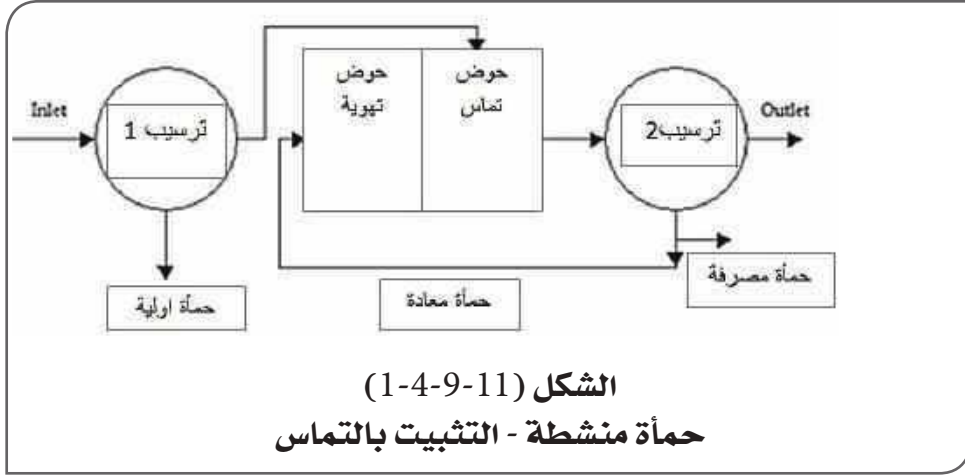
4-9-11. التثبيت بالتماس. Contact stabilization.

تستخدم هذه الطريقة حوضين منفصلين الأول لتثبيت الحمأة المعادة بإمرارها قبل الدخول إلى حوض تثبيت أو إعادة التهوية (reaeration) الشكل (1-4-9-11)، ومن ثم تختلط بمياه الصرف سواء المرسبة أولاً أو بدون حوض ترسيب أولي وذلك في حوض التماس.

- زمن التهوية صغير جداً وبالتالي فإن حجم حوض التهوية هو حوالي نصف الحوض في الطريقة التقليدية، حيث يبلغ زمن التهوية في حوض التماس (التهوية) 0.5 - 1 ساعة وزمن إعادة التهوية للحمأة المنشطة المعادة في حوض إعادة التهوية (التماس) (3 - 6) ساعات [6] (في المرجع مت كالف 2003 مدة التهوية (1 - 2 ساعة). معدل إنتاج للحمأة عال نسبياً. احتمال حدوث النترجة ممكن.

5-9-11. التهوية المديدة. Extended aeration

تشبه هذه الطريقة الطرائق السابقة كالجريان الكتلي التقليدي الشكل (1-2-9-11) إلا أن زمن التهوية طويل جداً وكذلك التحميل العضوي صغير، (F/M) صغير جداً، لا تحتاج هذه الطريقة عادة حوض ترسيب أولي وتفيد الطريقة عند وصول حمولات كبيرة لأن هذه الطريقة عندها قدرة كبيرة على استيعاب التغيرات في الحمولات والتدفقات وكذلك تتعامل مع الحمولات الصناعية بشكل جيد، وتعتبر قنوات الأكسدة (oxidation ditch) و SBR (sequence batch reactor) أحد أشكال هذه الطريقة.

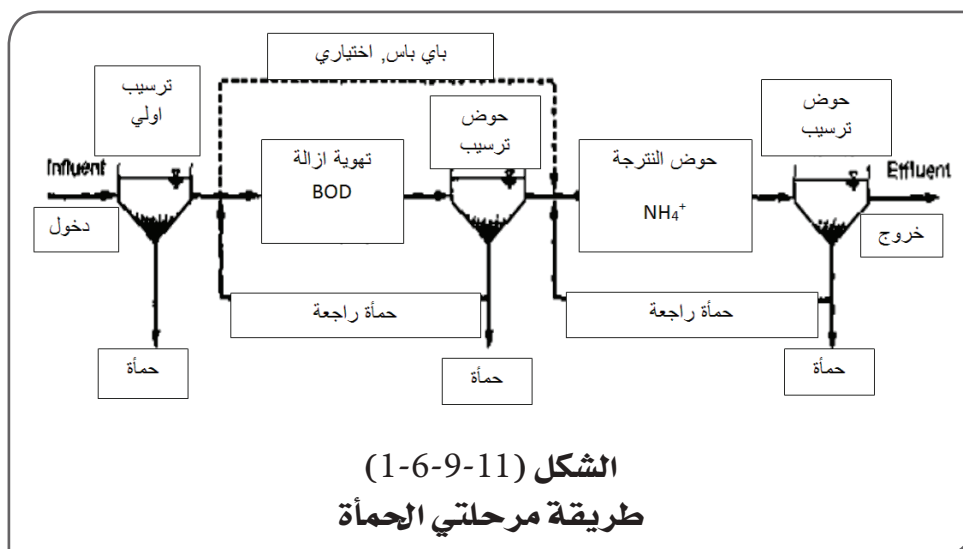


- زمن التهوية كبير جداً (16 - 34) ساعة (في [3] 20 - 30 ساعة).
- إنتاج حمأة قليل.
- احتمال حدوث النتجة محقق.

6-9-11. طريقة مرحلتي الحمأة. Tow sludge process

وهي من الطرائق الهامة في المعالجة الصناعية لمياه الصرف، الشكل (1-6-9-11). طريقة مرحلتي الحمأة، تستعمل في المرحلة الأولى الحمأة المنشطة المعدل العالي لإزالة BOD ويتبع بمرحلة للنتجة (تحويل الامونيوم الى نترت و نترات) مع عمر حمأة طويل، المعادلة (1-6-9-11)، ويمكن أن

يمر تدفق الدخول للمرحلة الثانية مباشرةً لتأمين كفاية من BOD ومن المعلقات لتحقيق النترجة، وهي تستعمل لمعالجة مياه الصرف الصناعية. (ملاحظة: كثير من المحطات تنفذ المرحلتين بمرحلة واحدة).



7-9-11. قنوات الأكسدة Oxidation ditch.

وهي طريقة تدمج بين الجريان الكتلي (الجهي) وتقترب من المزج الكامل ويمكن أن تكون تهوية مديدة أيضاً، وكذلك يمكن تحقيق إزالة بيولوجية للنيتروجين بتحقيق مواقع منقوصة الأكسجين (Anoxic) ويتم تأمين وسيلة تهوية وتحريك للماء للإبقاء على المواد الصلبة معلقة، ويجب تحقيق سرعة للماء في الحوض من (0.25 - 0.3) م/ثا، والدورة في الحوض تتم في من 5 - 15 دقيقة (أو في 20 د لبعض المراجع). تستعمل التهوية بالفراشي أو بالتهوية الميكانيكية أو بالتهوية السفلية مع مراوح لتحريك المياه. الشكل (1-7-9-11) صورة لقنوات الأكسدة والجدول (1-7-9-11) وهو جدول هام في التصميم من [3].

8-9-11. طرائق أخرى للمعالجة بالحماة المنشطة.

هنالك طرائق كثيرة تستعمل في المعالجة البيولوجية للصرف الصناعي مثل، المفاعل ذو الدفعات أو SBR. حيث تتم التهوية والترسيب في نفس الحوض والتيار المعاكس (CCAS) countercurrent، إلخ.



[من Water & Wastes Digest magazine]

الشكل (1-7-9-11)

قنوات الأكسدة a. تهوية سفلية b. مراوح التدوير c. التهوية Aspirating

الجدول (1-7-9-11)

جدول تصميمي لعدد من الطرائق المعدلة عن الحمأة المنشطة [3]

الطريقة	نوع المفاعل	عمر الحمأة d	F/M BOD/kg MLVSS	التحميل الحجمي KgBOD/m ³ .d	MLSS mg/l	الزمن الكلي t , h	Q ₂ /Q %
التهوية المعدل العالي	جبهى	2-0.5	2-1.5	2.4-1.2	1000-200	3-1.5	150-100
التثبيت بالتماس (للحوضين)	جبهى	10-5	0.6-0.2	1.3-1	3000-1000 10000-6000	1-0.5 4-2	150-50
الأوكسجين الصافي	جبهى	4-1	1-0.5	3.2-1.3	5000-2000	3-1	50-25
الجبهى التقليدي	جبهى	-0.2 0.4	0.4-0.2	0.7-0.3	3000-1000	8-4	75-25
التغذية المجزأة	جبهى	15-3	0.4-0.2	1-0.7	4000-1500	5-3	75-25
المزج الكامل	CMAS	15-3	0.6-0.2	1.6-0.3	4000-1500	5-3	100-25
التهوية المديدة	جبهى	-20 10	0.04-0.1	0.3-0.1	5000-2000	-20 30	150-50
قنوات الأكسدة	جبهى	-15 30	0.04-0.1	0.3-0.1	5000-2000	-15 30	150-75
الدفعات مع التفريغ	دفعات	-12 25	0.04-0.1	0.3-0.1	5000-2000	-20 40	NA
SBR	دفعات	-10 30	0.1-0.04	0.3-0.1	5000-2000	-15 40	NA
التدفق المعاكس	جبهى	-10 30	0.1-0.04	0.3-0.1	4000-2000	-15 40	75-25



11 - 10. أنظمة التهوية. Aeration systems

تستعمل عدة وسائل لتأمين الأوكسجين اللازم لعمل البكتريا في حوض التفاعل, الجدول (1-10-11) يوضح الأجهزة الشائعة لتهوية المياه في أحواض المعالجة [من 4] ومنها:

• **التهوية بواسطة الهواء المذرور (المنشور) (air diffuser):** يتم تهوية مياه المجاري بواسطة هواء مذرور ينتشر من أغشية membrane (تسمى تجارياً نواشر هواء) غاطسة في الماء حيث يتم تزويد الهواء بواسطة مضخات هواء خاصة (blower) أو يمكن عمل الفقاعات بواسطة طرائق أخرى مثل (نفث هواء، jet air)، التهوية الغاطسة submerged aeration الشكل (1-10-11) يوضح نواشر من نوع الأغشية شائعة الاستعمال (أسطوانات Tubular - أقراص Disk - صفائح plate).



شكل (1-10-11)
نواشر من نوع الأغشية (اسطوانات - أقراص - صفائح)

وهناك نوعان من النوافخ blowers وهما الأكثر إنتشاراً في إعطاء الهواء لأحواض التهوية:

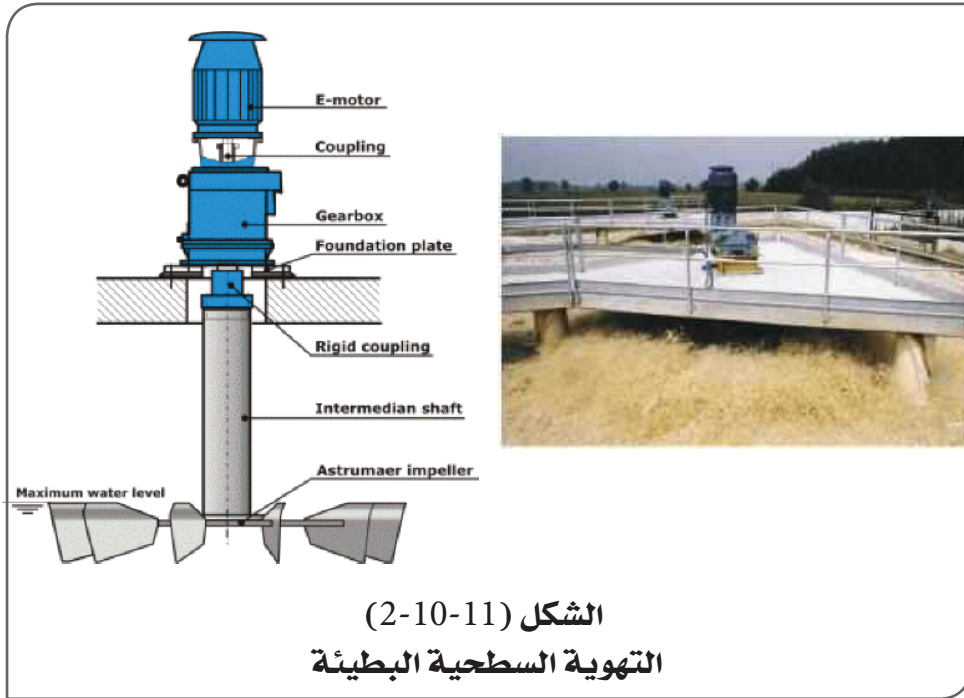
- 1- نافخ الطرد المركزي centrifugal blower (Side channel blower).
- 2 - الإزاحة الموجبة (ذات الفصوص) positive displacement blower.

• **التهوية الميكانيكية. Mechanical surface aerator:** وهي مراوح غاطسة كلياً أو جزئياً وتكون على نوعين رئيسيين بطيئة أو سريعة والغاية هي مزج الهواء بمياه الصرف لتحقيق نسبة الأوكسجين المنحل المطلوبة، وعادة هذا النوع من التهوية لا يوضع في أحواض عميقة المياه ومن مساوئه نشر رزاز المياه المعالجة في الهواء. ومن اهم هذه الانواع.

الجدول (1-10-11)
الأجهزة الشائعة لتهوية المياه في أحواض المعالجة [4]

التطبيقات	شرح الطريقة	التصنيف
الحماة المنشطة لكل أنواع طرق	- فقاعات تتكون في أقراص السيراميك - البلاستيك- أغشية مسامية خاصة وتكون على شكل أقراص, اسطوانات أو صفائح (plate).	<u>الغاطسية:</u> الهواء المذرور - الفقاعات الناعمة Fine bubble
كل أنواع الحماة المنشطة + الهضم الهوائي	- فقاعات تتكون في ثقب أو بواسطة حواقي خاصة أو ضمن (فلات) (nozzle) أو صفائح أفقية وبعضهم يستعمل أنابيب معدنية مثقبة (كما يُنتج أغشية خاصة تعطي فقاعات خشنة, الشكل).	- الفقاعات الخشنة Coarse bubble 
حماة منشطة + أحواض التوازن + التهوية في الأحواض العميقة	- هواء مضغوط مع مياه من حوض التهوية هواء مضغوط مع مياه مضغوطة في غرفة صغيرة خاصة.	- النفاث jet 
الحماة المنشطة التقليدية + عمليات الحماة + البرك المهواة + الهضم الهوائي	- عنفة كبيرة القطر تستعمل لمزج الهواء مع الماء	<u>السطحية:</u> - العنفة التوربينية البطيئة low speed turbine) (aerator
البرك المهواة +الهضم الهوائي	- مروحة صغيرة تستعمل لمزج الهواء مع الماء	- المهوي الطافي ذو السرعة العالية High- speed floating aerator
البرك المهواة	- مروحة صغيرة في اسطوانة مائلة وعند دورانها بسرعة تسحب الهواء الجوي وتنثف في الماء	- المهوي الماص (الشفاط) (Aspirating) 
قنوات الأكسدة + الأنقية المهواة + البرك المهواة	- ريش مركبة على محور عند دوران المحور تدخل الشفرات الماء وتخرج مسببة مزج الماء بالهواء	- الفرأشي الدوارة المركبة على أقراص (Rotor- brush)
قبل التهوية	- جريان المياه الصفحي على مساطب	- التهوية على مصاطب

1 - التهوية السطحية البطيئة **low speed**: وهي مروحة طرد مركزي ذات سرعة بطيئة (20 - 100) د/د. ومعدل نقل الأوكسجين 1.5-2.8 (كغ O_2 /ساعة) الشكل (2-10-11).



2 - التهوية السطحية السريعة **high speed**: وهي مهبّات تتركب على طوافات مثبتة بأسلاك، وطورت هذه الطريقة للاستعمال بشكل أساسي في برك الأكسدة والبحيرات المهبّاة، ومعدل نقل الأوكسجين (1.5 - 2.5 كغ O_2 /ساعة).



3 - التهوية السطحية (محور الدوران أفقي):

ومن أنواعها الأقراص الدوارة والفرشاة الدوارة (Rotor - brush) وهي الأكثر استعمالاً في قنوات الأكسدة. الشكل (3-10-11) صورة لفرشاة من صفائح الكروم مثبتة على محور أفقي حيث تدور الفرشاة بسرعة بطيئة ويبلغ معدل نقل الأوكسجين (0.5 - 1) كغ O_2 /ساعة.



الشكل (3-10-11)
صورة لفرشاة من صفائح الكروم مركبة في قنوات الأكسدة

الجدول (2-10-11) يعطي معدل نقل الأوكسجين ($Kg O_2/kw.h$) لمعدات التهوية السطحية في الظروف النظامية [3]، ويكون الأوكسجين المنحل الابتدائي صفر ودرجة الحرارة 20° ، إما الظروف الحقلية فالأوكسجين المنحل 2 ملغ/ليتر ودرجة الحرارة 15° .

الجدول (2-10-11)
معدل نقل الأوكسجين لمعدات التهوية السطحية

معدل نقل الأوكسجين Kg O ₂ /kw.h		نوع التهوية
الحقلي	(ستاندر أو معيار) نظامي	
1.5 - 0.7	2.1 - 1.5	التهوية السطحية البطيئة
1.3 - 0.7	2.8 - 1.2	التهوية السطحية البطيئة مع قسطل سحب
1.2 - 0.7	1.4 - 1.1	التهوية السطحية السريعة
1.1 - 0.5	2.1 - 1.5	التهوية السطحية مع دوران أفقي



الحمأة المنشطة مع الغشاء البيولوجي على الميديا

Activated sludge with fix biofilm packing

تم تطوير مواد كثيرة لتستعمل في طريقة الحمأة المنشطة كمواحد حاملة للبكتريا منها معلق في مزيج الحمأة أو ثابت داخل حوض التهوية، والهدف منها هو زيادة امكانية حوض المعالجة بالحمأة بنفس الحوض عن طريق زيادة كمية الكتلة الحيوية وذلك بتشكيل الغشاء البيولوجي على سطح الميديا فيتم تقليل حجم المفاعل وزيادة معدل التحميل من أجل النتجة وكذلك إزالة النتروجين (بنصف الحجم بالطريقة العادية تقريبا) بتأمين مناطق منقوصة الاوكسجين ضمن عمق الميديا، والدراسات التي تمت عموماً على نماذج تجريبية استخلصت منها النتائج التصميمية. وتعمل الحمأة المنشطة مع الفيلم الثابت على الميديا كطريقة الحمأة المنشطة مع الحمأة المعادة أو بدون حمأة معادة أو المعالجة البيولوجية بالأغشية المتحركة كطريقة MBBR.

ويمكن أن يصل التحميل العضوي إلى 1.5 - 4 كغ/م³/يوم ويعادل تركيز MLSS من 5000 - 9000 ملغ/ل (WEF2000).

12 - 1. طريقة المفترشات (الميديا) المتحركة. Moving- bed biofilm reactor (MBBR)

الطريقة مطورة من قبل Kaldens وهي إضافة حوامل بشكل اسطوانات من البولي اثلين polyethylene للأحواض المهواة (أو غير المهواة) يتشكل عليها طبقة من الرقاقة الحيوية (البيوفيلم). يبين الشكل (12-1-1) نموذج من الميديا العالقة المتحركة في مفاعل الحمأة المنشطة.



الكثافة النوعية للميديا (0.96 غ/سم³) قطر الاسطوانات 10 ملم وارتفاعها 7 ملم ولذلك يجب إضافة شبك خاص في المخرج.

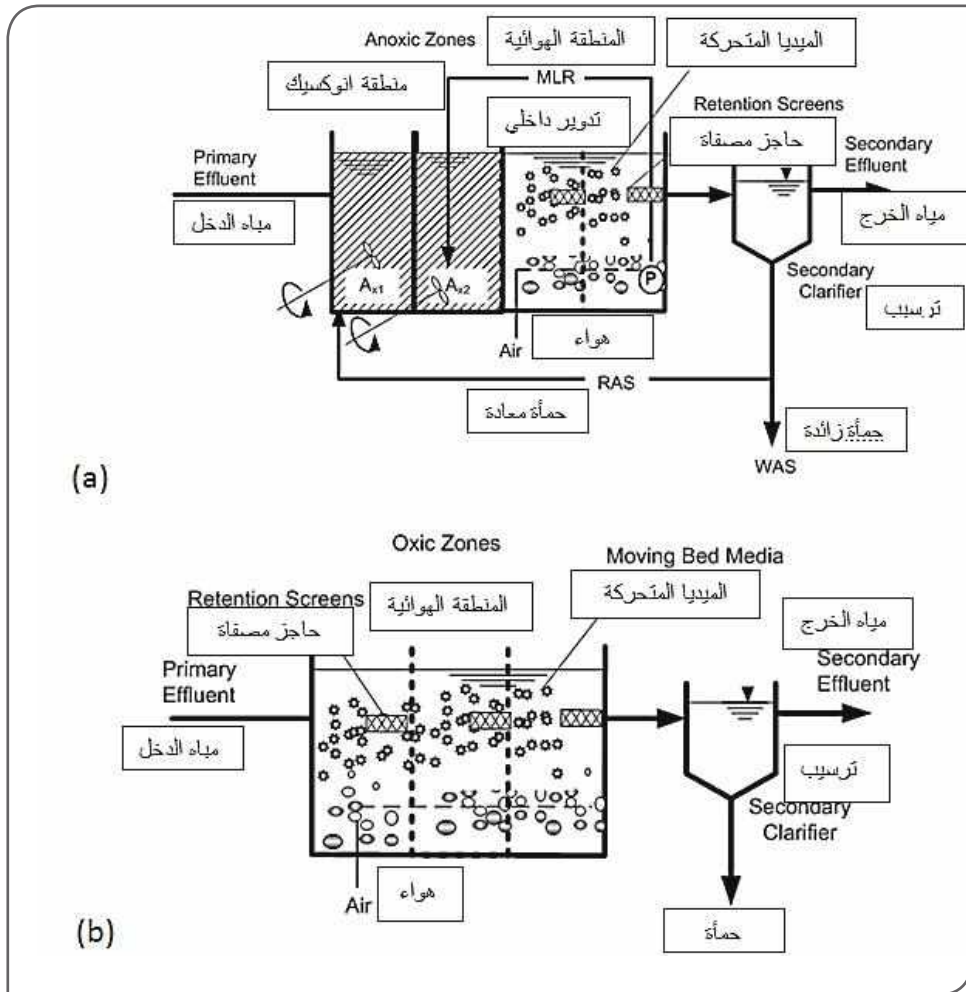
- الشكل (12 - 1 - 1 - a2)، مفاعل هوائي- لا هوائي/منقوص الأكسجين مع مزج، ويتم تحريك الميديا بواسطة الهواء أو بـمازج ومع تدوير للحمأة وتدعى IFAS (integrated fix film activated sludge) ، ويمكن أن يملأ حوض التهوية من 25 % إلى 50 % من حجمه ميديا.

- والطريقة (12 - 1 - 1 - b2)، تعطي ميزة التحميل الخفيف لحوض الترسيب النهائي لعدم تدوير الحمأة.

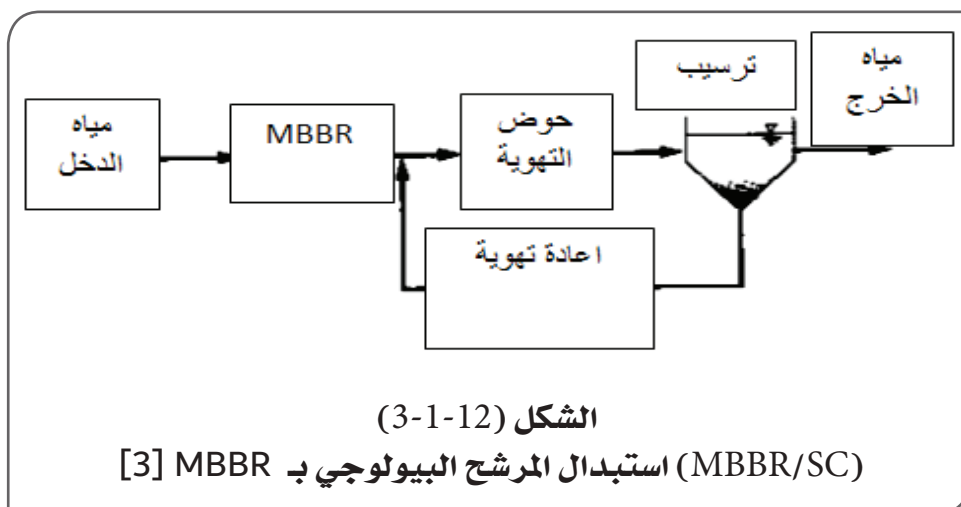
ولا تفضل الطريقة مع مذرات الهواء التي تعطي فقاعات ناعمة والتي تتطلب تفريغ دوري للحوض وإزالة الميديا لتنظيف المذرات. وتستعمل الطريقة ميديا(حوامل) سطحها النوعي (200 - 400)م²/م³.

الجدول (1-1-12) يعطي ضوابط نموذجية للطريقة. في الشكل (12-1-3) تم وضع MBBR بدل المرشح البيولوجي قبل حوض التهوية طريقة تماس المواد الصلبة (MBBR/SC) مع سطح نوعي من 300 - 350 م²/م³ وتحميل حتى 7 كغ /م³/يوم [3].





الشكل (12 - 1 - a2)، مفاعل هوائي- لا هوائي/منقوص الأوكسجين مع مزج وتدوير حمأة IFAS، (12 - 1 - b2) مع ميديا وتعطي ميزة التحميل الخفيف لحوض الترسيب النهائي لعدم تدوير الحمأة



الجدول (1-1-12)
ضوابط نموذجية لتشغيل الميديا المتحركة (MBBR) [3]

المجال	الوحدة	المعيار
MBBR		
1.2-1	h	زمن المكوث للأنوكسيك (المنقوص الأوكسجين)
4.5-3.5	h	زمن المكوث الهوائي
250-200	m ² /m ³	سطح الفيلم البيولوجي (السطح النوعي)
4-1	Kg/m ² .d	تحميل BOD
0.8-0.5	m/h	السرعة في حوض الترسيب

في الشكل (4-1-12) نموذج للمصافي التي تمنع انتقال البايوميديا إلى حوض الترسيب ونلاحظ في هذا النموذج انه يمكن رفعها من اجل الصيانة والتنظيف.



الشكل (4-1-12) نموذج للمصافي في حوض MBBR التي تمنع انتقال البيوميديا إلى حوض الترسيب ونلاحظ أنه يمكن رفعها من أجل التنظيف. الصورة [®] SUEZ's degremont.

ولتوضيح طريقة التصميم بطريقة IFAS نعرض المثال رقم 1 ورقم 2 التاليتين من [70]:

مثال 1.

يُرجب في تعديل محطة معالجة تعمل بالحماة المنشطة التقليدية لتعمل بطريقة IFAS عن طريق إضافة حوامل (ميديا بيوفيلم أو البيوميديا) بلاستيكية توضع في أحواض التهوية المتوفرة في المحطة. يبلغ الحجم الكلي للأحواض 2500 م^3 . وكمية مياه الصرف الحالية $12000 \text{ م}^3/\text{يوم}$ وكان تركيز BOD_5 في مياه الدخل (140 mg/l) و $(F/M = 0.35 \text{ kg BOD}_5 / \text{kg VSS.d})$ والتحميل العضوي الحجمي $(0.7 \text{ kg BOD}_5/\text{m}^3.\text{d})$ نأخذ متوسط حجم التعبئة للميديا 40 % من إجمالي حجم الأحواض.

نفترض أن تركيز MLSS في حوض التهوية (2500 mg/l). وتركيز المواد الصلبة في المتوسط للميديا (17000mg/l). تبلغ نسبة F/M التصميمية (F/M = 0.25kg BOD₅ / kg VSS.d)، ونسبة VSS/TSS هي ~ 0.8

نأخذ في الاعتبار الكتلة الحيوية الكلية التي تشمل كل من المعلقة في الحوض والثابتة على الميديا.

(1) - إحسب الكتلة الحيوية المكافئة، (2) - إحسب $M_{MLSS Eq}$ الكلي و VSS الكلي.

(3) - إحسب التدفق الجديد الممكن معالجته، (4) - إحسب زمن المكوث الهيدروليكي، (5) - إحسب التحميل الحجمي الجديد.

الحل:

1 - إحسب الكتلة الحيوية المكافئة باستعمال المعادلة (1-1-12).

$$MLSS_{eq} = \frac{1}{V} (V_{as} MLSS + V_m MS) \text{ or } MLSS_{eq} = (1 - f_m) MLSS + f_m MS \quad (1-1-12)$$

بحيث:

$$M_{MLSS, Eq} = \text{تركيز MLSS المكافئ الكلي في مفاعل IFS} \\ \{mg \text{ TSS/L (g TSS/m}^3)\}$$

$$MLSS = \text{تركيز MLSS في الحمأة المنشطة.} \\ \{mg \text{ TSS/L (g TSS/m}^3)\}$$

$$MS = \text{متوسط تركيز المواد الصلبة العائد للنمو الثابت في البيوميديا} \\ \{mg \text{ TSS/L (g TSS/m}^3)\}$$

$$V_{as} = \text{حجم الحمأة المنشطة، m}^3$$



V_m = حجم التعبئة للبيوفيلم ميديا، m^3

$V = V_{as} + V_m$ إجمالي حجم مفاعل IFAS m^3

$V_m/V = f_m$ نسبة حجم تعبئة الميديا من إجمالي حجم مفاعل IFAS آمنه:

$$MLSS_{Eq} = (1 - 0.4) \times 2500 \text{ g TSS}/m^3 + 0.4 \times 17000 \text{ g TSS}/m^3 = 8300 \text{ g TSS}/m^3$$

2 - إحسب $M_{MLSS Eq}$ الكلي:

$$M_{MLSS,Eq} = V \times MLSS_{Eq} = 2500 m^3 \times 8300 \text{ g} \times 10^{-3} \text{ kg/g} = 20750 \text{ kg TSS}$$

إحسب VSS الكلي:

$$VSS = 0.8 \times MLSS_{Eq} = 0.8 \times 20750 \text{ K g} = 16600 \text{ kg VSS}$$

3 - إحسب التدفق الجديد الممكن معالجته:

نحسب الحمل بفرض التحميل ($F/M = 0.25 \text{ kg BOD}_5/\text{kg VSS.d}$)

$$S_{0 \text{ new}} = 16600 \times 0.25 = 4150 \text{ BOD}_5 \text{ kg /d}$$

نحسب التدفق الجديد

$$Q_{\text{new}} = 4150 / 140 \text{ mg/L} \times 1000 = 29600 \text{ m}^3/\text{d}$$

4 - إحسب زمن المكوث الهيدروليكي بالساعة

(HRT) (Hydraulic Retention Time):

$$HRT = 2500 m^3 / 29600 m^3/\text{d} \times 24 = 2 \text{ hour}$$

5 - إحسب التحميل العضوي الحجمي الجديد:

$$= S_{0 \text{ new}} / V = (4150 \text{ kg BOD}_5/\text{d}) / 2500 m^3 = 1.7 \text{ BOD}_5/\text{m}^3. \text{ d}$$



ملاحظة: رغم التحميل العضوي الحجمي الكبير ($1.7 \text{ BOD}_5/\text{m}^3.\text{d}$) للمتر مكعب في مياه الصرف في الـ IFAS نرى أن F/M كانت أقل بعد التعديل 0.25.

مثال 2.

نستخدم طريقة MBBR لإجراء المعالجة الثانوية لمعالجة مياه الصرف. يبلغ التدفق بعد حوض الترسيب الأولي $4000 \text{ m}^3/\text{d}$ وتركيز $\text{BOD}_5 = 150 \text{ mg/l}$. يحتوي مفاعل MBBR على حوضين متماثلين الحجم على التسلسل. يتم استخدام حوامل بيوفيلم من البلاستيك ذات سطح نوعي $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$. افترض أن حجم تعبئة الميديا في الاحواض هو 50 % في كل حوض.

علماً أن في الحوض الأول يتم إزالة 75 % من BOD_5 عندما يكون flux الـ BOD_5

$\text{BOD}_5/\text{m}^2.\text{d}$ (15) وفي الحوض الثاني يتم إزالة 90 % من عندما يكون flux الـ $\text{BOD}_5/\text{m}^2.\text{d}$ - BOD_5 (5g)

- (1) احسب مساحة البيوميديا والحجم اللازم في الحوض الأول من مفاعل MBBR.
- (2) احسب مساحة البيوميديا والحجم اللازم للحوض الثاني من مفاعل MBBR.
- (3) احسب الحجم الكلي MBBR.
- (4) احسب زمن المكوث الهيدروليكي الكلي.
- (5) احسب التحميل العضوي للحوض الاول وللحوضين مع بعضهم.

الحل:

1. احسب الحجم اللازم في الحوض الأول من مفاعل MBBR.



- نحدد مساحة البيوميديا اللازمة A1

$$A1 = \frac{Q(S_0 - S_01)}{FLUX}$$

S_0 حمل BOD_5 الداخل للحوض الأول و S_01 هو حمل ال BOD_5 الخارج من الحوض الأول ($g BOD_5/m^3$) ، وبأخذ نسبة الإزالة 75 %، يكون سطح البيوميديا اللازم بإعتبار flux ال BOD_5 - ($15 g BOD_5 /m^2.d$)

$$A1 = \frac{4000m^3/d(150 g/m^3 \times 0.75)}{15 g BOD_5/m^2 \cdot d} = 30000m^2$$

حجم البيوميديا V1

$$V1 = \frac{30000 m^2}{500 m^2/m^3} = 60 m^3$$

حجم الحوض الأول V1T بإعتبار التملئة 50 %

$$V1T = \frac{60 m^3}{0.5} = 120 m^3$$

نزيد حجم الحوض إلى 125 م³

2. احسب الحجم اللازم للحوض الثاني لمفاعل MBBR.

نحسب الحمل العضوي المتبقي إلى الحوض الثاني S_01 بإعتبار كانت نسبة الإزالة 75 %.

$$S_01 = \frac{150(100-75)}{100} = 37.5 g/m^3$$

نحسب BOD_5 So2 الخارج من الحوض الثاني بعد ازالة 90 % في الحوض الأول أو نحسبه مباشرة في حساب A2 مساحة البيوميديا في الحوض الثاني A2.



مساحة البيوميديا اللازمة A2

$$A2 = \frac{Q(S_01-S_02)}{FLUX}$$

بحيث أن S_01 حمل BOD_5 الداخل للحوض الثاني و S_02 حمل الـ BOD_5 الخارج من الحوض الثاني ($g\ BOD_5/m^3$) وحيث أن المطلوب أن تكون نسبة الإزالة 90%، منه يكون سطح البيوميديا اللازم.

$$A2 = \frac{4000m^3/d \times 37.5\ g/m^3 \times 0.9}{5\ g\ BOD_5/m^2 \cdot d} = 27000m^2$$

حجم البيوميديا V2

$$V2 = \frac{27000\ m^2}{500\ m^2/m^3} = 54\ m^3$$

حجم الحوض V2T باعتبار التملئة 50 %

$$V2T = \frac{54\ m^3}{0.5} = 108\ m^3$$

نزيد حجم الحوض إلى 125 م³

3 - منه الحجم الكلي MBBR

$$125m^3 + 125m^3 = 250m^3$$

4 - احسب زمن المكوث الهيدروليكي الكلي

$$HRT = \frac{250\ m^3}{4000\ m^3/d} = 1.5\ h$$

منه زمن المكوث لكل حوض 0.75 ساعة



5 - احسب التحميل العضوي الحجمي للحوض الأول والحوضين مع بعضهم.

الحمل العضوي الكلي الداخل كغ/يوم

$$4000 \text{ m}^3/\text{d} \times 150 \text{ g BOD}_5/\text{m}^3 \times 10^{-3} \text{ kg/g} = 600 \text{ kg BOD}_5/\text{d}$$

التحمل العضوي الحجمي للحوض الاول بإعتبار أن حجمه 125 م³

$$\text{volumetric organic loading} = \frac{600 \text{ kg BOD}_5/\text{d}}{125 \text{ m}^3} = 4.8 \text{ kg BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$$

الحمل العضوي الحجمي لكل أحواض MBBR بإعتبار أن حجمها 250 م³

$$\text{volumetric organic loading} = \frac{600 \text{ kg BOD}_5/\text{d}}{250 \text{ m}^3} = 2.4 \text{ kg BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$$

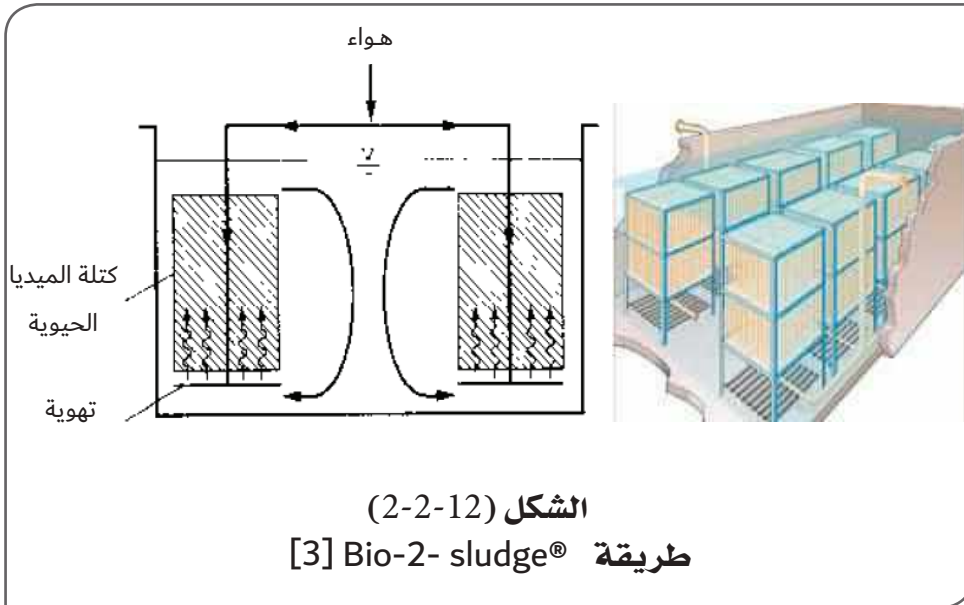
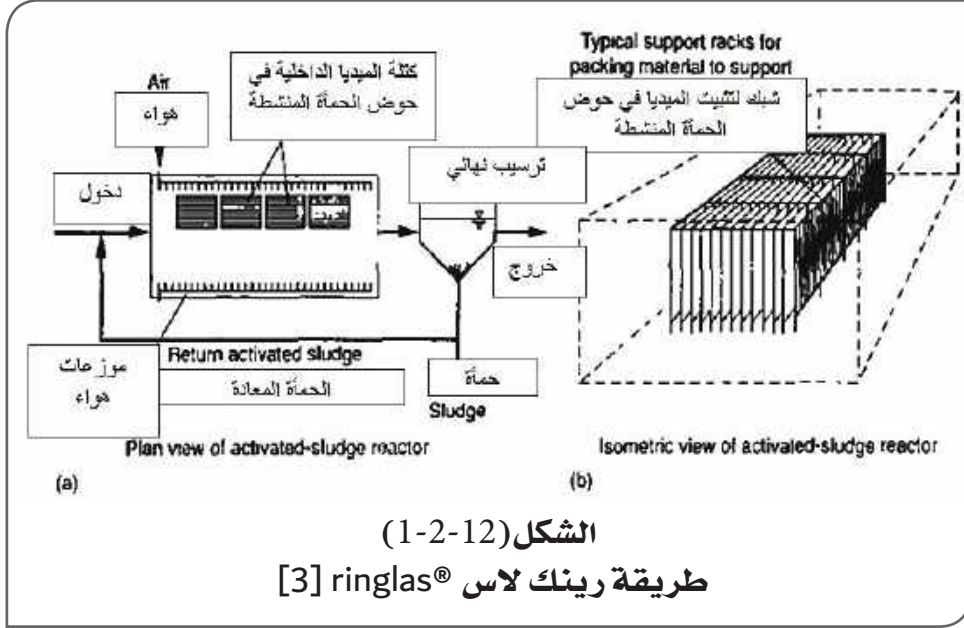
12 - 2. طريقة الميديا الداخلية الثابتة (النمو الثابت).

internal fixed backing bed for attached growth Processes

هنالك أكثر من ستة طرق للميديا الداخلية الثابتة في النمو الثابت للرقاقة الحيوية (بيوفيلم) التي توضع ضمن حوض التهوية ومن أشهر هذه الطرائق:

- رينك لاس® ringlas. موضحة في الشكل (12-2-1). حيث توضع ميديا من البولي فينيل كلورايد قطرها 5 ملم وحجمها 25 % - 35 % من حجم حوض التهوية وسطحها النوعي 120 - 500 م²/م³ ، وتوضع كتلة الميديا على طرف طول الحوض (الشكل a هو مقطع افقي لحوض التهوية) ويتم تأمين حركة حلزونية للمياه في الحوض ليعبر الماء والهواء كتلة الميديا. (علما أن الفقاعات الناعمة اقل فاعلية في الحركة الحلزونية) ومكان كتلة الميديا أيضا له دور في النتجة وإزالة النتروجين حيث تزداد أكسدة الأمونيا في المناطق التي يقل فيها BOD، ويزداد ازالة النتروجين في مناطق قليلة الاوكسجين.

- طريقة **Bio-2- sludge®**. وهي موضحة في الشكل (2-2-12) حيث السطح النوعي من 90 - 165 م²/م³ واصغر فتحة (20×20) ملم وذلك لمنع الانسداد ويصمم تدفق الهواء ليتمكن من جعل المزيغ المنحل يعبر كتلة الميديا (WEF2000).

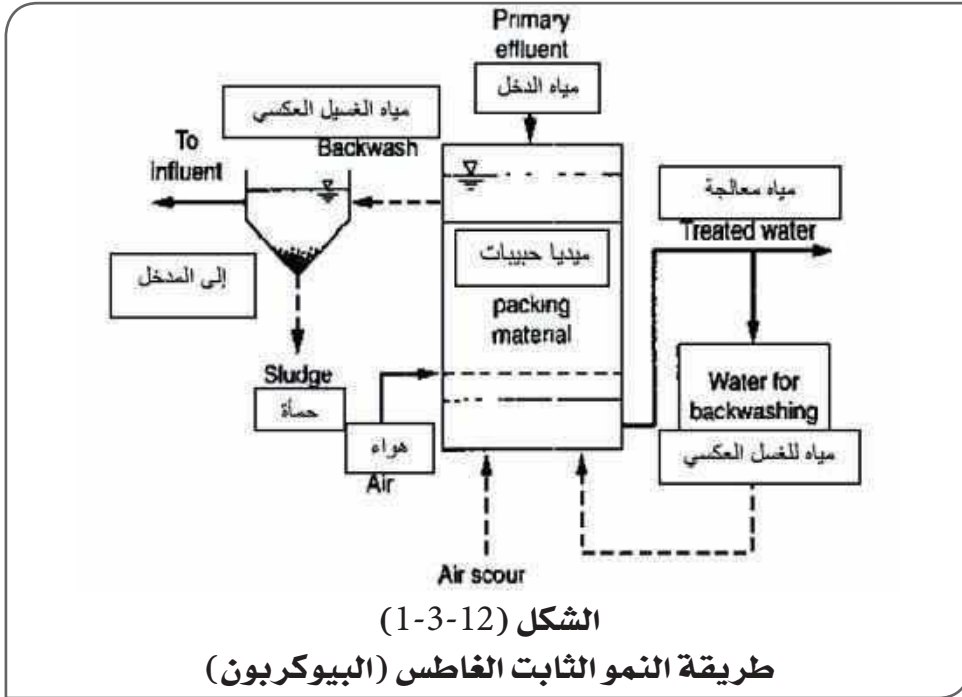


12 - 3. طريقة النمو الثابت الغاطس.

تتضمن ثلاث طرائق هي التدفق من الأعلى للأسفل مع كتلة الميديا والتدفق من الأسفل للأعلى مع كتلة الميديا والسريدر (الطبقة) المتميع مع التدفق من الأسفل للأعلى ولا يستعمل مرسب في الطريقة حيث المواد الصلبة تحجز في النظام ولذلك يجب تنظيفه دورياً باستعمال الغسيل العكسي.

ويصل زمن المكوث من (1 - 1.5) ساعة وبالتالي يكون حجمه صغير ومن المساوئ الدقة اللازمة لضبط العملية وتكاليف التأسيس والتي هي أكبر من طريقة الحمأة المنشطة.

جهة التدفق من الأعلى للأسفل - طريقة (البيوكربون) Biocarbon®
استعملت الطريقة في الأساس حبيبات الغضار المحروقة من قطر (3 - 5) ملم (وتستعمل حبيبات الفحم المنشط) مع هواء مضغوط يوزع بشكل منتظم بواسطة صمامات، والغسيل العكسي يتم كل يوم تقريباً الشكل (12-3-1) يوضح طريقة العمل.



التحميل الهيدروليكي $\{2.4 - 4.8\} \text{ م}^3/\text{م}^2\cdot\text{سا}$ ويجب أن يكون الأوكسجين المنحل من 3 - 5 ملغ/ليتر وذلك لتحقيق النتجة.

الجدول (1-3-12)[3] يوضح أداء طريقة النمو الثابت الهوائية الغاطسة «البيوكربون».

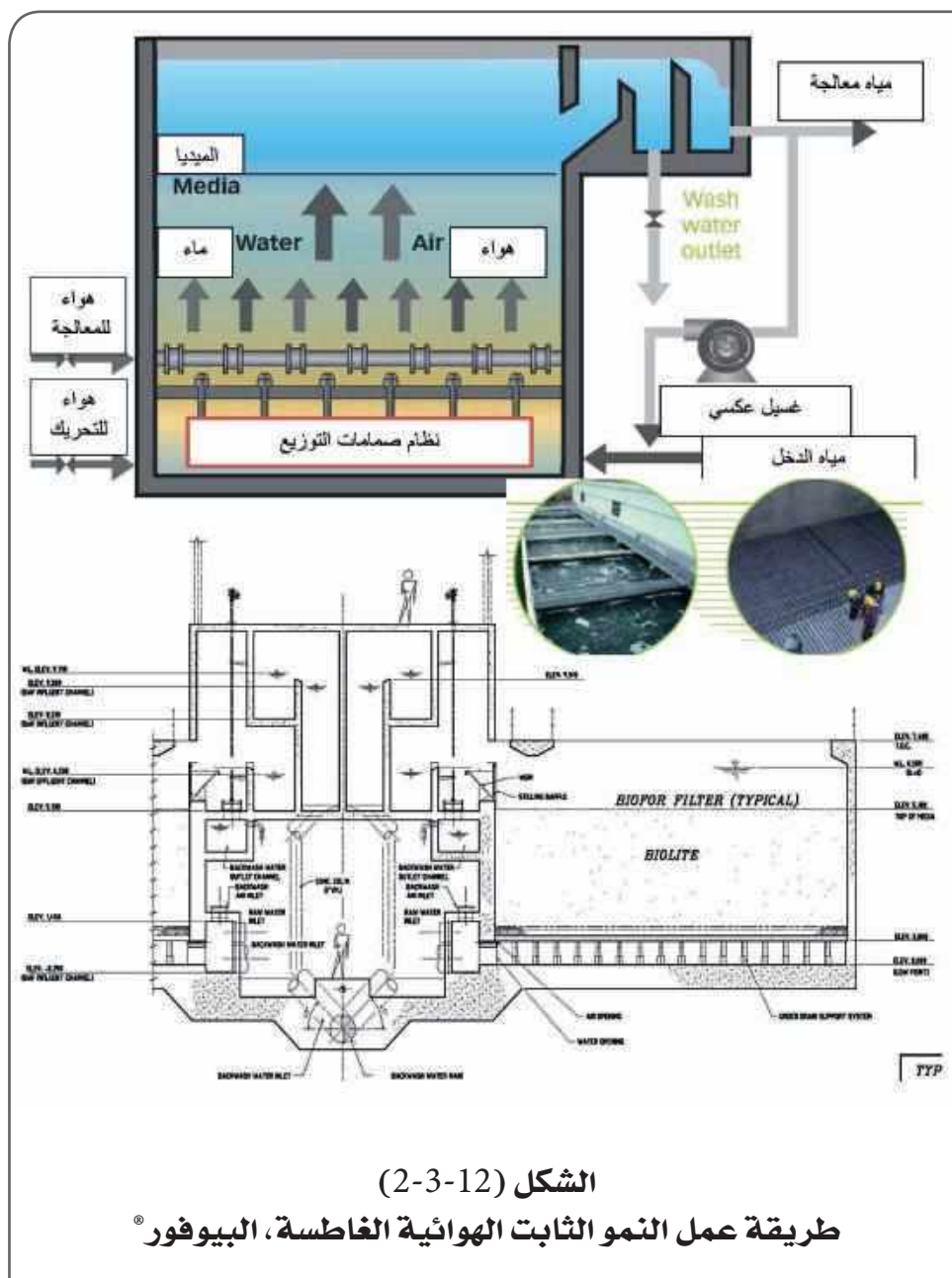
الجدول (1-3-12)

أداء طريقة النمو الثابت الهوائية الغاطسة، البيوكربون®

التطبيق	الوحدة	مجال التحميل
إزالة BOD	$\text{Kg BOD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$	4.5-3.5
إزالة BOD مع النتجة	$\text{Kg BOD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$	2.75-2
نتجة ثلاثية	$\text{Kg N}/\text{m}^3\cdot\text{d}$	1.5-1.2

التدفق من الأسفل للأعلى طريقة البيوفور® Biofor.

يكون ارتفاع الميديا في المفاعل من (2 - 4) م ويوزع الماء بشكل منتظم بواسطة صمامات كما يوزع الهواء بشكل مناسب ليعطي قوة لعبوره عبر الميديا. الغسيل العكسي يتم يومياً بسرعة دفع 10 - 30 م/سا ليمدد الميديا، وقد استعملت حبيبات من الغضار (2 - 4) ملم أثقل من الماء. الشكل (2-3-12) مبدأ البيوفور مع مخطط هندسي نموذجي. ويجب تأمين مصاف ناعمة لتصفية الماء قبل الدخول للمفاعل. وتحقق الطريقة إزالة BOD ومعالجة ثلاثية (النتجة وإزالة النتروجين) الجدول (2-3-12) يوضح أداء طريقة النمو الثابت الهوائية الغاطسة، البيوفور® [3].



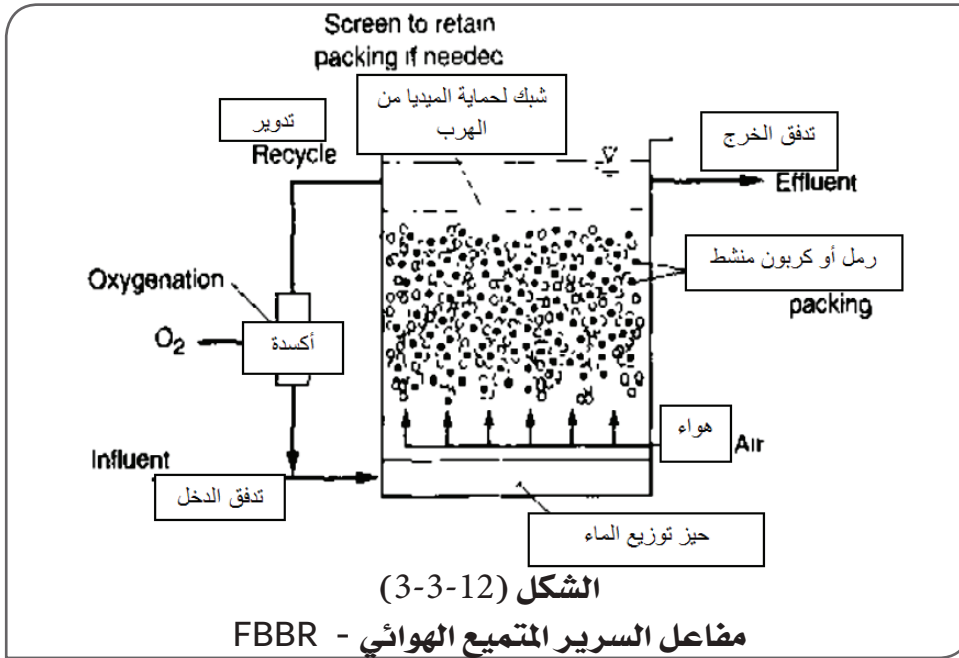
الجدول (2-3-12)

أداء طريقة النمو الثابت الهوائية الغاطسة، البيوفور®

النترجة الثلاثية	المزال COD	الوحدة	البند
~40	12-10	% Kg BOD/m ³ .d	المسامية porosity التحميل
8-1.5		Kg N/m ³ .d	
12-10	6-5	m ³ /m ² .h	التحميل الهيدروليكي

- مفاعل السرير (الطبقة) المتميع Fluidized bed bioreactor -FBBR

يكون جهة التدفق في المفاعل من الأسفل للأعلى ويستعمل السرير (الطبقة) المتميع الرمل بقطر من (0.3 - 0.5) ملم أو من حبيبات الفحم المنشط، ارتفاع الميديا في المفاعل 3 - 4 م والسطح النوعي حوالي 1000 م²/م³، سرعة الماء في المفاعل 30 - 36 م/سا وزمن المكوث يتراوح من 5 - 20 دقيقة الشكل (3-3-12) ويتم تدوير التدفق الخارج وإعطائه مزيداً من الأوكسجين لحله في الماء، ويتم تزويد الهواء من الأسفل. وإن التزويد بهواء قوي قد يسبب في هرب الميديا. والطريقة مفيدة في المعالجة الثلاثية لمياه الصرف في النترجة المتقدمة ولمياه الآبار الملوثة.



الشكل (3-3-12)

مفاعل السرير المتميع الهوائي - FBBR

12 - 4. المعالجة البيولوجية بالمفاعل مع الأغشية .

MBRs Membrane biological reactors

يتألف من مفاعل بيولوجي فيه كتلة حيوية من المواد العالقة يتم فصلها بواسطة مرشح غشائي فيه ثقبوب ميكروية حيث تكون فتحات الثقبوب من $0.1 - 0.4 \mu m$ وهي مناسبة لاستعادة المياه، ويستعمل في المفاعلات الهوائية واللاهوائية للنمو المعلق الشكل (12-4-1-1) وتكون نوعية المياه المنتجة معادلة لنوعية المياه التي تمر بالترسيب الثانوي والميكروبي. ويستعمل للصرف الصحي والصناعي، ونذكر فيما يلي بعض محاسن ومساوئ الطريقة [11]:

- تحميل عضوي كبير وزمن مكوث قليل وحجم صغير.
- عمر حمأة كبير وحمأة منتجة قليلة (20 % - 50 % أو اقل).
- إمكانية العمل بـ DO منخفض وإمكانية النتجة وإزالة النتروجين بشكل متزامن مع عمر حمأة طويل.
- نوعية مياه جيدة منخفضة العكارة.
- لا يوجد ما يسمى حمأة منتفخة.

ومن مساوئ هذه الطريقة :

- تكاليف التأسيس الكبيرة المستثمرة في المحطة.
- عدم المعرفة الحقيقية بعمر الغشاء المستعمل.
- تكاليف استبدال الأغشية.
- عادة تحتاج إلى طاقة كهربائية اكبر.

12-4-1. شرح طريقة العمل.

طريقة العمل تكون على طريقتين أما أن تكون الأغشية غاطسة في حوض المعالجة أو الأغشية خارج الحوض.

- الأغشية غاطسة في حوض المعالجة:

تكون الأغشية ضمن هيكل معدني يدعم ثبات الأغشية في الحوض الشكل (1-1-4-12) a ويطبق ضغط سلبي (فاكيوم) اقل من (50 KPa) لسحب المياه المعالجة عبر غشاء الترشيح الدقيق (ميكروفلتر).

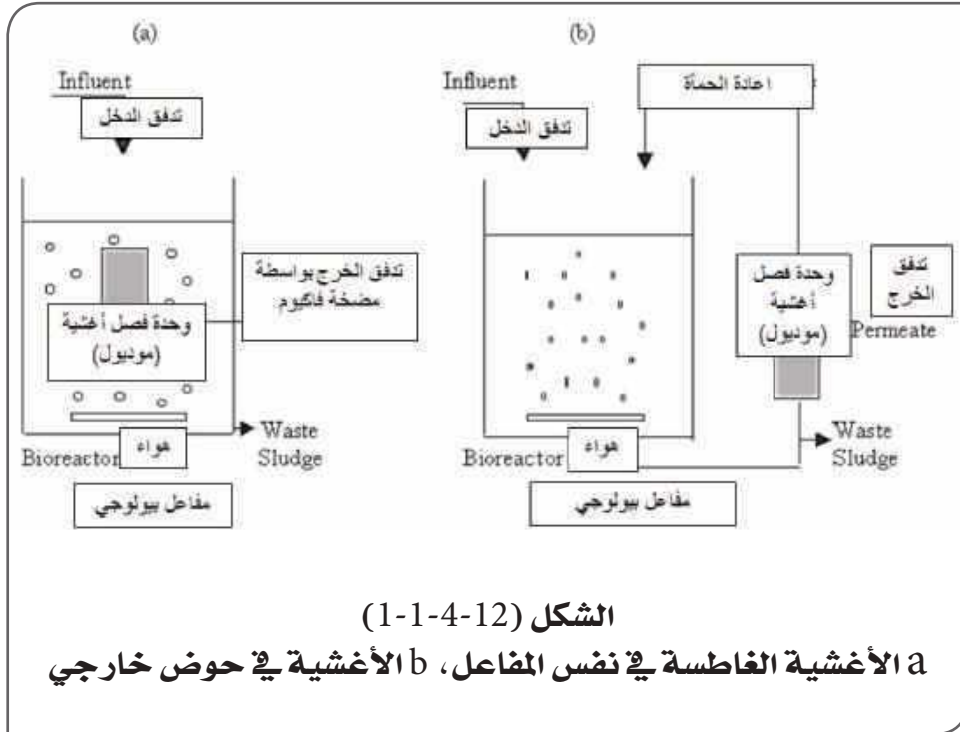
وللمحافظة على TSS في الحوض ولتنظيف الغشاء، يقدم هواء مضغوط من أسفل الأغشية حيث تقوم الفقاعات أيضا بتقديم الأوكسجين اللازم.

وهناك نماذج كثيرة مقدمة مع عدة شركات منها الأغشية ذات الألياف المفرغة بوحدة قياسية (موديولات)، (عرض 0.9م وطول 2.13م وارتفاع 2.44م).

- الأغشية خارج حوض المعالجة:

الشكل (1-1-4-12) b حيث تضخ الحمأة المنشطة من المفاعل إلى الأغشية، وتبقى الحمأة بين الأغشية والمياه تنفذ عبرها إلى الخارج. ويتم الغسيل بالضغط وإعادة الحمأة إلى حوض التهوية وتستعمل المواد الكيميائية في أعمال التنظيف.

الشكل (2-1-4-12) a يوضح تركيب MBR في حوض الحمأة المنشطة، والشكل (2-1-4-12) b وحدة MBR. وتتضمن وحدة MBR معدات التهوية بالفقاعات الخشنة والتحرك ومعدات الغسيل بالدفق الفجائي (flushing) والمواد الكيميائية... (وهناك عدة أشكال تستعمل في MBR ولكن أهمها ثلاثة أشكال رئيسية: الألياف المفرغة hollow fiber - الواح مسطحة flat sheet - أو أنابيب متعددة multitube الشكل (3-1-4-12)).



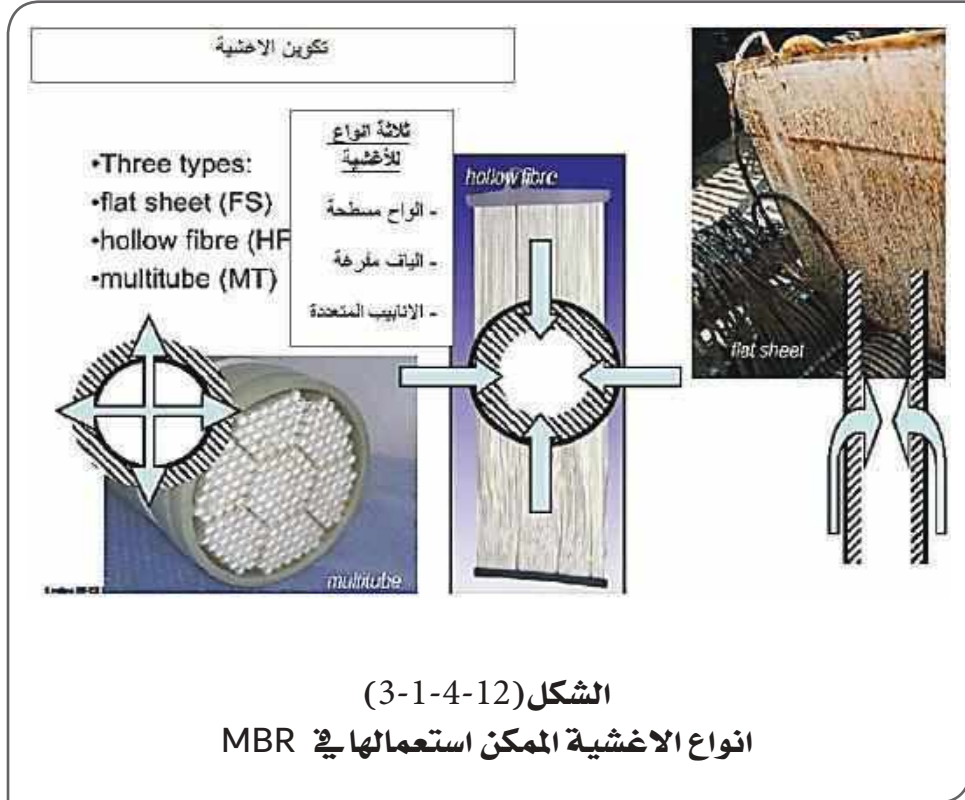
- ضبط عمل الأغشية:

- يمكن أن يعمل MBR بتركيز MLSS في حوض التهوية من (15000 - 25000) مع/ل، ويجب التوقع بأن التركيز العالي يعني تدفق أقل من خلال الأغشية. كما يجب الأخذ بالملاحظات التالية:
- في أغشية الألياف يتم تزويد الهواء من نواشر تعطي فقاعات خشنة مباشرة أسفل (الموديول) التي تسبب تحريك الألياف (او يستعمل أنابيب مثقبة).
- يوقف عادة الترشيح كل (15 - 30) دقيقة للقيام بالغسيل العكسي لمدة (30 - 45) ثانية، ويتم المحافظة على تركيز الكلور في مياه الغسيل ($<5\text{mg/L}$)
- كل أسبوع ثلاثة مرات يتم الغسيل العكسي بمحلول (هيبوكلوريت الصوديوم) تركيز (100 mg/L) أو حمض الليمون citric acid لمدة 45 دقيقة وبعدها يتم عمل دفع عادي لمدة 15 دقيقة للتخلص من الكلور.

عندما يرتفع الضغط إلى 60 كيلو باسكال ترفع الأغشية من الحوض وتنقع في محلول هيبوكلوريت الصوديوم تركيز 1500 إلى 2000 ملغ/ليتر لمدة 24 ساعة بعدها يتم اعادته للعمل وفي هذه الفترة توضع أغشية احتياطية جاهزة في الحوض. الجدول (1-1-4-12) يعطي بيانات عن أداء وتشغيل المفاعل البيولوجي بالأغشية. من [3] + stephenson2000 .



- يستعمل MBRs عندما نريد اعادة استعمال المياه فيستعمل أغشية الترشيح الدقيق microfiltration أو الترشيح فائق الدقة ultrafiltration واحيانا اذا كنا نرغب في الحصول على مياه عالية الجودة نستعمل أغشية الترشيح النانومتري Nanofiltration [46].



الجدول (1-1-4-12)
بيانات عن أداء وتشغيل المفاعل البيولوجي بالأغشية

المجال	الواحدة	البارامتر
بيانات التشغيل		
3.2-1.2	Kg/m ³ .d	تحميل COD
20000-5000	mg/L	MLSS
16000-4000	mg/L	MLVSS
0.4-0.1	gCOD/gMLVSS.d	F/M
20-5	d	SRT
6-4	h	زمن السكوت
1100-600	L/m ² .d	التدفق عبر الغشاء flux
35-4	Kpa	ضغط التفريغ
1- 0.5	mg/L	DO
0.24 من (GE) من اجل الالياف	m ³ /m ² / h	تدفق الهواء scoring
بيانات الأداء لمياه الخرج		
< 5	mg/L	BOD
<30	mg/L	COD
<1	mg/L	NH ₃
< 10	mg/L	TN
<1	NTU	العكارة



المعالجة البيولوجية اللاهوائية لمياه الصرف Anaerobic biological treatment processes

1-13 . مقدمة .

تزداد أهمية الطرائق اللاهوائية في معالجة مياه الصرف التي تحوي أحمال عضوية كبيرة كمياه الصرف الصناعي (الألبان والأجبان وأنواع المجمدات من الحليب «الآيس كريم» - معامل الورق - تدوير الورق - النشاء - أطعمة الأطفال - الزيوت - البيرة والخميرة - مياه عصارة النفايات الصلبة في مطامر النفايات الصلبة... الخ، أو المياه المختلطة بشدة بمياه الصرف الصناعي حيث تكون المعالجة اللاهوائية اقتصادية أكثر من الطرائق الهوائية. وعموماً إن معالجة مياه الصرف الصناعي وحصولنا على مواصفات عالية يعتمد على الطرائق اللاهوائية والهوائية لإزالة الملوثات. الجدول (1-1-13) [17] يوضح أنواع الصناعات التي يمكن استعمال المعالجة اللاهوائية في معالجة منصرفاتها.

الجدول (1-1-13)
أنواع الصناعات التي يمكن استعمال المعالجة اللاهوائية
في معالجة منصرفاتها

الصناعة	مياه الصرف
صناعة زراعية (غذائية)	السكر، البطاطا، النشاء، الخميرة، البكتين، حمض الليمون، التعليب (الكونسروة)، المربي، الفواكه، الخضار، الألبان، المطاحن
المشروبات	البيرة من التخمير المختلف، المشروبات الغازية، العصائر الطبيعية، النبيذ، القهوة
تقطير الكحول	من (المولاس، الشمندر، العنب، الحبوب، الفواكه..)



لباب الورق وصناعة الورق	تدوير الورق، لب الورق، القصب، من قشور قصب السكر...
مختلفة	دوائية، كيميائية، الحمأة، عصارة المطامر، مياه المناجم الحمضية، المسالخ ومعامل تعليب اللحوم، مياه الصرف الصحي

تشمل المعالجة اللاهوائية لمياه الصرف نوعين:

- النمو المعلق: كالمزج الكامل و ASBR...
- النمو الملتصق (الثابت): ويشمل السرير العائم، والسرير ذو التدفق العلوي (UASB) عبر طبقة الحمأة والبرك اللاهوائية والفصل اللاهوائي بالأغشية.

المحاسن :

- استهلاك اقل للطاقة الجدول (2-1-13) يعطي مقارنة بين المعالجة الهوائية واللاهوائية بالنسبة للطاقة واسترداد الطاقة.
- إنتاج أقل للحمأة يصل حتى 90 % .
- تحميل عضوي اكبر لكل م³ من حوض التفاعل.
- إنتاج غاز الميثان والاستفادة منه كمصدر للطاقة.
- حجم المفاعلات أصغر.
- عدم إصدار غازات مضره للبيئة.
- في المفاعل يتم الاستجابة للمغذيات الإضافية بعد فترة طويلة بدون تغذية.
- يمكن الاستغناء عن الطاقة الأحفورية ويوفر $1 \pm \text{kWh/kg COD}$
- بفرض أن إزالة COD كان 100%، وكان تحويل الطاقة الناتجة 100 % إلى كهرباء فيكون الطاقة النظرية الناتجة من الميثان $3.8 \text{ kWh/kgCOD removal}$ من المرجع [17].
- استعمال قليل للمواد الكيميائية.

المساوي :

- إقلاع بطئ لحوض المعالجة.
- ربما يحتاج إلى إضافة قلوية.
- ربما يحتاج لمعالجة هوائية لاحقة لمواجهة المتطلبات اللازمة لنوعية المياه.
- لا يوجد إزالة للنيتروجين والفوسفور.
- حساس جداً لدرجة الحرارة المنخفضة.
- حساس للمواد العضوية كالنتروبنزن، الكلوروبروبان، الفينول...إلخ، وغير العضوية مثل Na ، k ، وتركيز عالي من الأمونيوم نتروجين NH_4^+ الذي يعطي أمونيا حرة NH_3 وهي سامة للبكتريا ويمكن أن توقف التفاعل اللاهوائي.
- إزالة COD يمكن ان تصل حتى 85 %.

13 - 2. القلوية.

مع زيادة CO_2 المنتج من المعالجة اللاهوائية يجب أن تكون القلوية 2000 - 4000 ملغ /ليتر مثل $CaCO_3$ للحفاظ على PH ضمن الطبيعي، وإلا اضطررنا إلى إضافة مواد كيميائية، وعموماً لا تكفي القلوية الموجودة ضمن مياه الصرف لتحقيق ذلك ويضاف عادةً بيكربونات الصوديوم.

13 - 3. عمر الحمأة.

عموماً عمر الحمأة أكثر من 20 يوم في الدرجة 30° ، وتزداد بانخفاض الحرارة حتى 50 يوم.

الجدول (2-1-13)

مثال للمقارنة بين المعالجة الهوائية واللاهوائية بالنسبة للطاقة،
التدفق 100 م³/يوم في الدرجة 20 ° - الحمل 10 كغ/م³ من [3]

القيمة KJ/d		الطاقة
هوائي	لا هوائي	
- 1.9 x 10 ⁶		التهوية
	125 x 10 ⁶	إنتاج الميثان
	- 21 x 10 ⁶	احتياج الطاقة لرفع درجة الحرارة إلى 30°
- 1.9 x 10 ⁶	104 x 10 ⁶	الصافي من الطاقة

- * (الأوكسجين اللازم = 0.8 kg /kg COD_R).
- (كفاءة التهوية = 1.52 kg O₂/KWh, 1KW=3600KJ).
- الميثان المنتج = 0.35 kg /kg COD_R.
- الطاقة المنتجة من الميثان: {ميثان 35846 kj/m³ في (الدرجة 0 والضغط 1 جوي) }.

إن أهم الطرائق المتبعة في المعالجة هي النمو المعلق suspended growth وهي على ثلاث أنواع المشروحة في الفقرة التالية:

4-13. طرائق المعالجة اللاهوائية في النمو المعلق للبكتريا.

إن من أهم طرائق المعالجة اللاهوائية في النمو المعلق هي المبينة في الشكل (1-4-13)، وهي:

- 1 - المزج الكامل اللاهوائي.
- 2 - طريقة التماس اللاهوائية.
- 3 - المفاعل ذو الدفقات اللاهوائي ASBR.

إضافة لطرائق أخرى سيتم شرحها كطريقة (UASB) والطرائق المعدلة عنها.

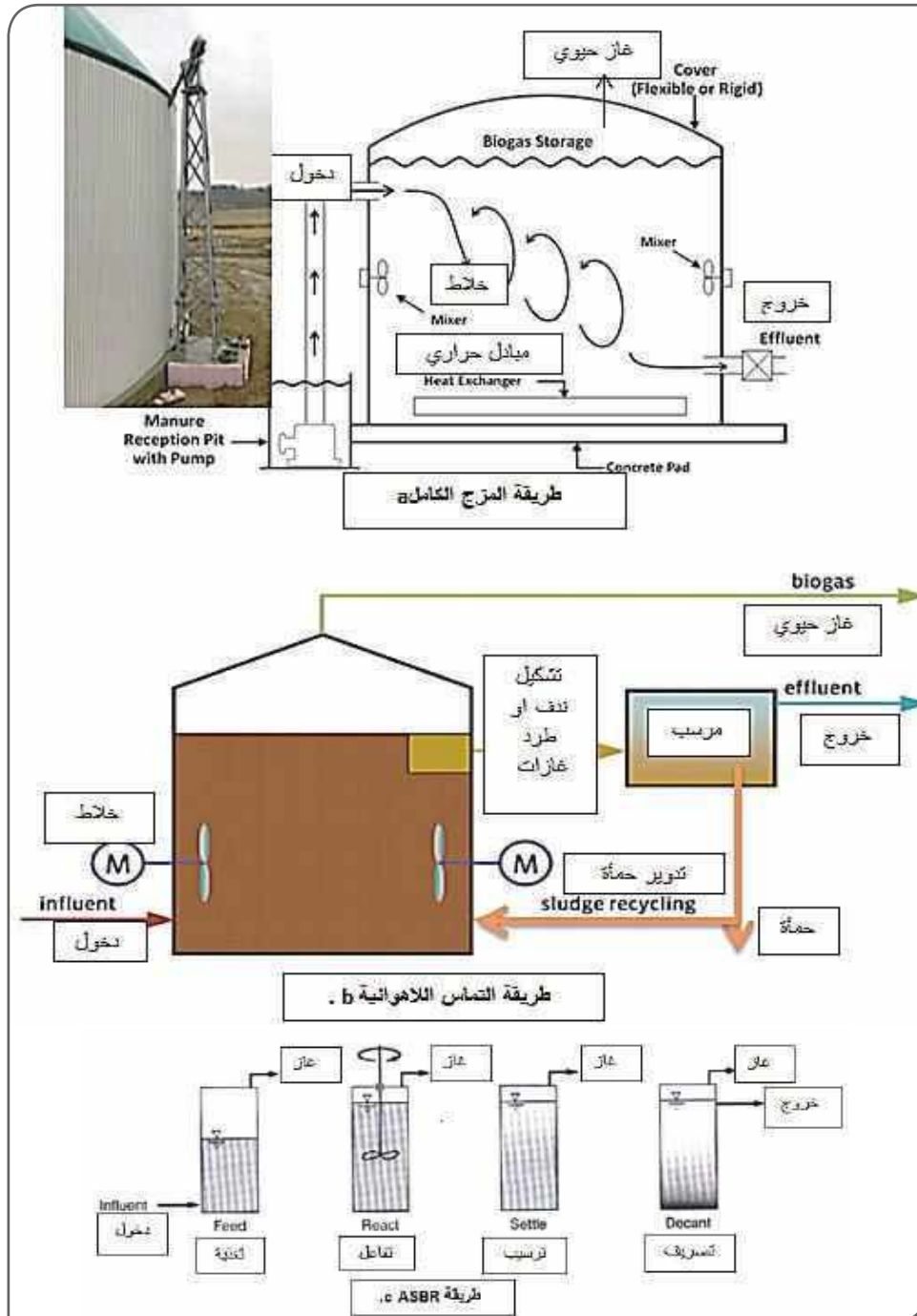
13-4-1. طريقة المزج الكامل. Complete mix process.

الشكل (a. 13-4-1) يوضح طريقة عمل المفاعل بطريقة المزج الكامل ويكون زمن المكوث يساوي عمر الحمأة وزمن المكوث يتراوح من 15 - 30 يوم (Metcalf&eddy 2003) والطريقة مناسبة (بدون تدوير حمأة) للمياه عالية تركيز المواد الصلبة أو المواد العضوية المنحلة (الذائبة) العالية جداً. الجدول (13-4-1) يوضح مقارنة التحميل الحجمي والتحميل الهيدروليكي للطرائق الثلاث بدرجة حرارة 30° .

13-4-2. طريقة التماس اللاهوائية. Anaerobic contact process.

طريقة التماس اللاهوائية الشكل (b. 13-4-1) حيث الترسيب منفصل ويتم تدوير الحمأة ويكون بذلك عمر الحمأة أطول من زمن المكوث وبذلك يصغر حجم المفاعل ويفضل فصل الحمأة بالتطويف، كما تستعمل عدة طرائق لطرد الغاز من الحمأة بتنفيذ تعرية للغاز بالخلط أو بالفاكيوم Vacuum أو بالصفائح المائلة وقد يستعمل التخثير الكيميائي.

وتؤخذ السرعة في حوض الترسيب (0.5 - 1) م/سا، وتركيز MLVSS (4000 - 8000) ملغ/لتر، والتحميل الحجمي مبين في الجدول (13-4-1). [3]



الشكل (1-4-13)

مفاعلات معالجة لاهوائية في النمو المعلق

الجدول (1-1-4-13)
التحميل الحجمي والتحميل الهيدروليكي للطرائق الثلاث
في النمو المعلق بدرجة حرارة 30°

الطريقة	التحميل الحجمي Kg COD/m ³ .d	زمن المكوث d
المزج الكامل	5-1	30-15
التماس اللاهوائي	8-1	5-0.5
ASBR	2.4-1.2	0.5-0.25

3-4-13. طريقة ASBR

طريقة المفاعل اللاهوائي بالدفعات ASBR الشكل (13 - 4 - 1. c) يوضح مراحل المعالجة، الإملء والتفاعل (مع خلط متقطع كل ساعة لعدة دقائق لتحقيق مزج جيد)، والترسيب ثم سحب المياه المعالجة. ونجاح الطريقة يتم بالترسيب الجيد لحبيبات الحمأة المتشكلة. ونحصل بهذه الطريقة على:

- TSS = 50 - 100 ملغ/ليتر.
- زمن المكوث 6-24 ساعة.
- في 25° يزال 92 - 98 % من COD عند التحميل (2.4-1.2 kg COD/m³.d).
- في 5° يزال 75 - 85 % من COD عند التحميل (2.4-0.9 kg COD/m³.d).
- زمن الترسيب حوالي 30 دقيقة.
- عمر الحمأة من 50 - 200 يوم.

4-4-13. طريقة المفاعل اللاهوائي ذو التدفق الصاعد عبر طبقة الحمأة.

Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Process

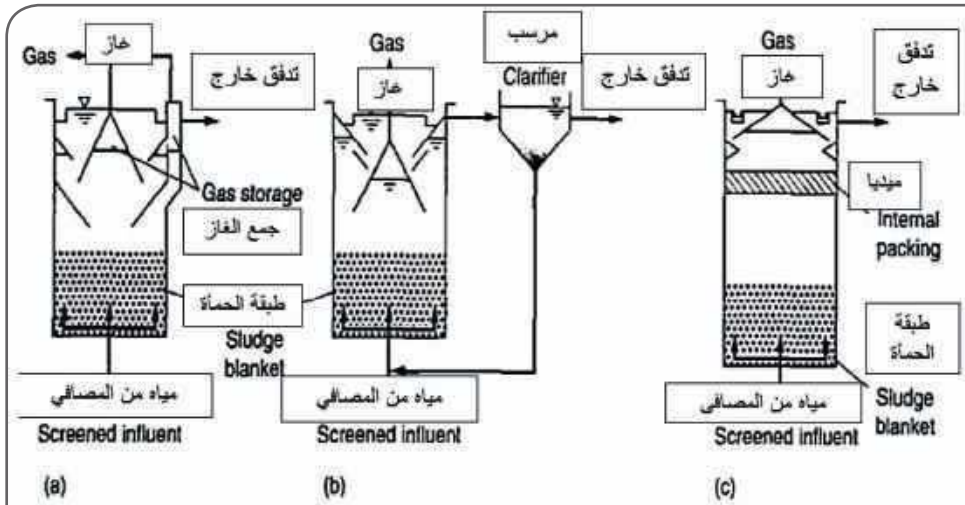
وهي من أهم الطرائق في المعالجة اللاهوائية لمياه الصرف الصناعي وهي فعالة في معالجة المياه ذات الحمولة العضوية العالية حيث تتحلل المواد العضوية وتعطي غاز حيوي يتم فصله بطرائق خاصة لاستعماله كوقود.

الشكل (a, 1-4-4-13) التصميم الأصلي UASB، الشكل (b, 1-4-4-13) مع ترسيب وتدوير حمأة، والشكل (c, 1-4-4-13) إضافة ميديا ثابتة فوق سرير الحمأة لتحسين الأداء. والشكل (2-4-4-13) صور توضيحية لمفاعل UASB.

وتختلف عن الطرائق الأخرى بكثافة الحمأة حيث تكون الحمأة بشكل حبيبات أقطارها من (1 - 3) ملم، وتركيز الحمأة عند القاع (10 - 50) غ/ليتر وفي قمة المفاعل (5 - 40) غ/ليتر.

ويجب أن تكون SVI أقل من (20 مل/غ) ويحتاج المفاعل إلى شهور لتكوين الحمأة ولذلك يتم نقل حمأة من مفاعل آخر لتسريع العملية، ويجب أن تكون $PH = 7$.

ونسبة COD:N:P خلال الإقلاع (1 : 5 : 300) وأن تكون خلال فترة العمل العادي (1 : 5 : 600). [3]



(1-4-4-13)

التصميم الأصلي لمفاعل UASB مع التعديلات [3]



الشكل (2-4-4-13)

صور توضيحية لمفاعل UASB

العوامل الرئيسية التي تلعب دوراً في تصميم المفاعل (UASB):

1. نوع المياه: ان زيادة الدهون والبروتين تسبب حدوث مشاكل في المفاعل. وكذلك وجود المواد المسببة للرغوة أو الزبد.

2. **التحميل الحجمي:** الجدول (1-4-4-13) يوضح التحميل الحجمي. وتكون نسبة الإزالة 90 - 95 % عندما يكون COD بين 12 - 20 كغ/م³. يوم ودرجة حرارة 30° - 35°.

إن زمن المكوث لمياه عالية الحمولة من (4 - 8) ساعات، ويكون TSS عالي في التدفق الخارج. الجدول (2-4-4-13) من [3] يعطي تحميل CODS المنحل لمياه صرف تحوي أحماض دسمه (VFA) أو لا تحوي، وبدرجات حرارة مختلفة ونسبة إزالة 85 - 95 % وتركيز الحمأة (25g/l) وتصل حتى (35g/l) .

الجدول (1-4-4-13)

التحميل الحجمي الموصى به لمفاعل UASB لتحقيق نسبة إزالة COD من 85 - 95 % بدرجة حرارة 30°

التحميل الحجمي Kg COD/m ³ .d			fraction as particulate COD	COD mg/l
حمأة حبيبية مع إزالة قليلة TSS	حمأة حبيبية مع إزالة عالية TSS	ندف الحمأة		
12-8	4-2	4-2	0.3-0.1	2000-1000
14-8	4-2	4-2	0.6-0.3	
na	na	na	1-0.6	
12-18	3-5	3-5	0.3-0.1	6000-2000
12-24	6-2	4-8	0.6-0.3	
na	6-2	4-8	1-0.6	
20-15	6-4	4-6	0.3-0.1	9000-6000
24-15	7-3	5-7	0.6-0.3	
na	8-3	8-6	1-0.6	
24-15	6-4	8-5	0.3-0.1	18000-9000
na	7-3	na	0.6-0.3	
na	7-3	na	1-0.6	

الجدول (2-4-4-13) من [3]
التحميل الحجمي CODS المنحل لمياه صرف تحوي أحماض دسمه
أو لا تحوي، بدرجات حرارة مختلفة

التحميل الحجمي Kg COD/m³.d				درجة الحرارة المئوية
لا يوجد أحماض دسمه VFA		يوجد أحماض دسمه VFA		
النموذجي	المجال	النموذجي	المجال	
2	3-2	3	4-2	15
3	4-2	5	6-4	20
4	8-4	6	12-6	25
10	12-8	12	18-10	30
14	18-12	18	24-15	35
18	24-15	25	32-20	40

3. سرعة التدفق العلوي في المفاعل: وهو رقم حرج حيث يوصى
بالسرعات الواردة في الجدول (3-4-4-13) الذي يعطي سرعة
المياه ضمن المفاعل والارتفاع الموصى به، والسرعة العظمى
الممكن قبولها حتى 6 م/سا و(2 م/سا يسمح بها لمياه الصرف
المنحلة أو الذائبة والمنحلة جزئياً) [3].

الجدول (3-4-4-13)
سرعة المياه ضمن المفاعل والارتفاع الموصى به [3]

ارتفاع المفاعل m		السرعة باتجاه الأعلى m/h		نوع مياه الصرف
نموذجي	المجال	نموذجي	المجال	
8	10-6	1.32	3-1	COD حوالي 100% منحل
6	7-3	1	1.25-1	COD جزئياً منحل
5	5-3	0.7	1-0.8	مياه صرف منزلي

4. **حجم المفاعل** : الارتفاع يتم افتراضه بشكل أولي من الجدول (3-4-4-13) وبمعرفة التدفق والحمل الداخل S_o ومعدل التحميل العضوي يمكن حساب حجم المفاعل وفق المعادلة (1-4-4-13).

$$V_n = Q S_o / L \quad (1-4-4-13)$$

• V_n الحجم الفعال m^3 .

• Q التدفق m^3/d .

• S_o الحمل العضوي $Kg \text{ COD}/m^3$.

• L التحميل $Kg \text{ COD}/m^3.d$.

لتحديد الحجم الفعال تحت الغاز الحيوي يجب أن نقسم على عامل E من المعادلة (2-4-4-13):

$$V_L = V_n / E \quad (2-4-4-13)$$

• V_L = الحجم الكلي للمفاعل m^3

• $E = (0.9 - 0.8)$

وحيث إن:

$$v = Q/A \quad (3-4-4-13)$$

• v = سرعة التدفق الرأسي m/h .

• A = سطح مقطع المفاعل m^2 .

منه لتحديد الارتفاع من العلاقة:

$$H_L = V_L / A \quad (4-4-4-13)$$

• H_L : الارتفاع معتمداً على حجم السائل m ,

• V_L : حجم المفاعل الكلي m^3 .



• بإضافة $\{H_G = (3 - 2.5)m\}$ فوق المفاعل من أجل الغاز الحيوي.

منه الارتفاع الكلي H_T .

$$H_T = H_L + H_G \quad (5-4-4-13)$$

5. عوامل فيزيائية: منها توزيع المياه ضمن المفاعل بحيث يكون التوزيع منتظم لمنع وجود مناطق ميتة وكذلك لمنع وجود أقنية ضمن طبقة الحمأة. وكذلك جمع الغاز وفصل المواد الصلبة، ويتم تشجيع فصل المواد الصلبة من الغاز بوضع ترتيبات معينة بشكل (V) من المعينات لتنزل إلى طبقة الحمأة، ويتم أخذ الاعتبارات التالية:

- أ. ميول جدران جامع الغاز من $40^\circ - 60^\circ$.
- ب. مساحة السطح بين فتحات جامعات الغاز ليس اقل من 15 % - 20 % من المساحة الكلية.
- ج. التداخل بين الحواجز من 100 سم 200 سم.
- د. وضع حاجز مانع رغوة أمام الهدار.
- هـ. تكبير مخرج الغاز لتسهيل خروجه عند حدوث رغوة.
- و. وضع فتحة لرش مانع رغوة في قمة جامع الغاز.

مثال.

صمم أبعاد مفاعل لاهوائي بطريقة UASB وفق المعطيات التالية:

$$\text{التدفق} = 1000 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$2000 \text{ g/m}^3 = \text{COD}_s, 2300 \text{ g/m}^3 = \text{COD}$$

$$\text{الحرارة} = 30^\circ$$



ارتفاع جامع الغاز = 2.5m

إنتاج الميثان = $0.4 \text{ L CH}_4 / \text{g COD}$

$E = 85\%$

الحل :

أولاً. احسب حجم المفاعل معتمداً على التحميل العضوي:

$$2000 \text{ g/m}^3 = \text{COD}_s$$

نختار التحميل ($10 \text{ Kg COD}_s / \text{m}^3 \cdot \text{d}$) من الجدول (2-4-4-13)

$$V_n = Q S_o / L \quad \text{من المعادلة (1-4-4-13)}$$

$$V_n = (1000 \text{ m}^3 / \text{d} \times 2 \text{ kg COD}_s / \text{m}^3) / 10 = 200 \text{ m}^3$$

$$V_L = V_n / E \quad \text{من المعادلة (2-4-4-13)}$$

$$200 / 0.85 = 235 \text{ m}^3$$

$$v = Q / A \quad \text{ومن المعادلة (3-4-4-13)}$$

من الجدول (3-4-4-13) نأخذ السرعة (1.5 m/h) لأن المياه عالية الانحلال.

$$A = Q / v = 1000 / 1.5 \times 24 = 27.8 \text{ m}^2$$

ثانياً. احسب أبعاد المفاعل من المعادلة (4-4-4-13).

- ارتفاع السائل:

$$H_L = V_L / A = 235 \text{ m}^3 / 27.8 \text{ m}^2 = 8.4 \text{ m}$$

- حدد الارتفاع الكلي من المعادلة (5-4-4-13).

$$H_T = H_L + H_G = 8.4 \text{ m} + 2.5 \text{ m} = 10.9 \text{ m}$$

منه الأبعاد الكلية للمفاعل: القطر 6m, الارتفاع 10.9m .

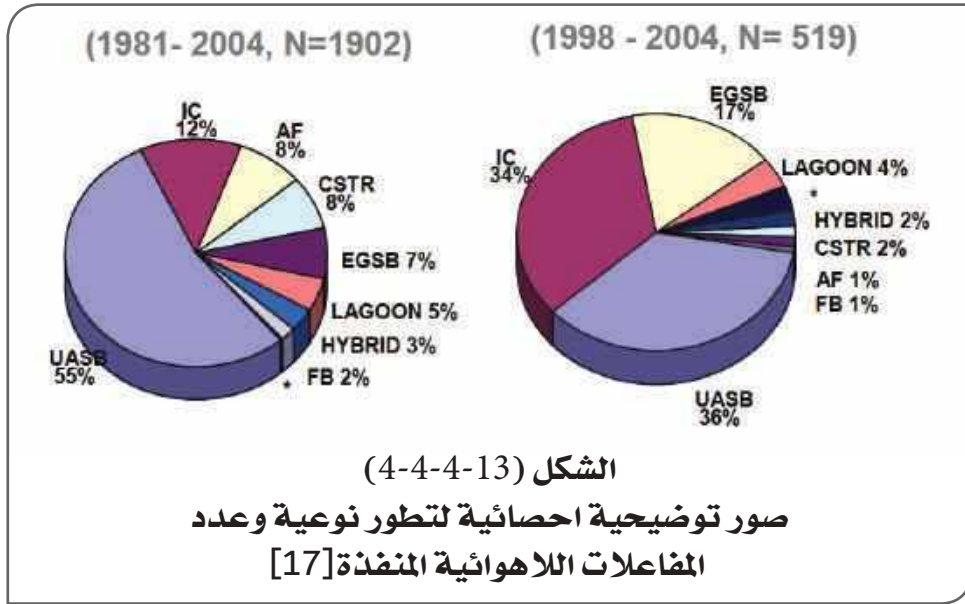


ثالثاً. احسب زمن المكوث:

$$V_L / Q = 235 \times 24 / 1000 = 5.64h$$

الطرائق المعدلة عن طريقة UASB:

في السنوات الأخيرة تم تطوير مفاعل (UASB) بحيث أعطى فعالية وسهولة في الاداء، وأيضا لوحظ انخفاض في استعمال بعض النماذج الأخرى. وبالاطلاع على الشكل (3-4-4-13) يظهر تطور طرائق استخدام المعالجة اللاهوائية، ونجد انه تم تطوير (UASB) فكان هناك طريقة (EGSB) و (IC) والتي أحتلت 17%، 36% على التوالي من المفاعلات المنفذة.



5-4-13. سرير الحمأة الحبيبي المتمد.

Expanded granular sludge bed (EGSB)

اعتمدت الطريقة عام 1994م، الشكل (1-5-4-13)، وهي تختلف عن UASB بالمعدل العالي لسرعة التدفق عبر طبقة الحمأة مما يؤدي إلى تمدد الطبقة، حيث تتراوح سرعة الماء في المفاعل (EGSB) عموما (5 to 6 m/h)، وبعض الشركات تعتمد سرع اكبر. وبهذا التصميم يتحسن التماس مع الكتلة

13-4-6. المفاعل اللاهوائي بالتدوير الداخلي. Internal Circulation (IC) reactor

تصل الحمولات في هذا المفاعل المعدل عن (EGSB) إلى (35kg COD/m³.d) وهو مناسب للصناعات التي تعطي حمولات عضوية عالية في مياه الصرف، وترجع فعاليته إلى التدوير الداخلي الذي ينشط الكتلة الحيوية إضافة لأنه قد يحوي مرحلتين إلى ثلاث مراحل فصل للغاز الحيوي وللكتلة الحيوية (وكأنه مفاعل آخر فوق الأول وهكذا) بينما المفاعلات الأخرى تحوي فاصل أحادي.

- **في القسم الأول:** مكان الطبقة الحيوية يتم فيها المعالجة الأساسية وتخفيض COD وفيه يتم فصل الغاز ونقله للقسم العلوي الأخير.
- **في الطبقات التالية:** تحسين نوعية الماء polishing. مع فصل الغاز ونقله للأعلى وهكذا..

وهذا يحسن زمن مكوث الكتلة الحيوية وأدائها ويحسن نوعية المياه المعالجة حيث يصل مردود المعالجة إلى أكثر من 80 %. وقد صنف الأول في المعالجة والاستثمار في العالم خلال 10 سنوات الماضية [18][17]. وتستعمل الطريقة في معالجة مياه الصرف للمعامل التي تحوي COD أكبر من 2000 ملغ/ل.

ويقوم المفاعل بمعالجة مياه صرف الصناعات التالية:

- الورق - البيرة - المشروبات - التخمر - النشاء
- معامل التقطير- الصناعات النفطية والكيميائية - البطاطا potato processing waste water
- الكحول - حمض الليمون - مياه صرف الحليب [42]

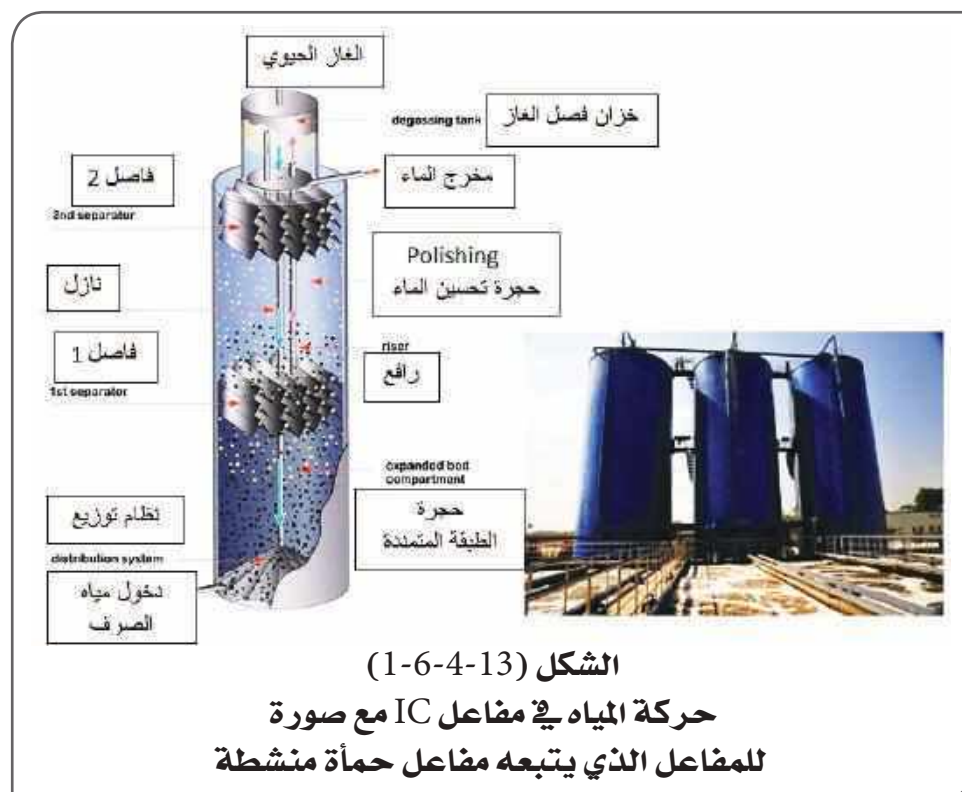
يصل ارتفاع المفاعل (16-28 م)، وقطره (1.5 - 15م) ويتم فصل الغاز في الطبقات المتتالية، ومرات التدوير تصل من 10 - 20 مرة، ويوجد قسطل داخلي يعيد الماء مع الحمأة من الأعلى إلى الأسفل. يبين الجدول

(1-6-4-13) أمثلة عن مفاعلات IC حيث تحميل COD أقل من 10000 ملغ/ل، ويوضح الشكل (1-6-4-13) حركة المياه في مفاعل IC، مع صورة لمفاعل IC الذي يتبعه مفاعل بطريقة الحمأة المنشطة.

الجدول (1-6-4-13)

مثال عن مفاعلات IC تحميل COD أقل من 10000 ملغ/ل، مع التدفق، وأبعاد المفاعلات، ونسبة الإزالة، وكمية الغاز المنتجة [18].

Product model	Reactor volume (m ³)	Diameter (m)	Height (m)	Sewage capacity (m ³ /d)	Inlet COD (mg/l)	Outlet COD (mg/l)	Volume load (kgCOD/m ³ .d)	COD Removal rate	Daily yield gas capacity (m ³ /d)
IC700	700	7	18	1000	10000	<1000	10-18	90%	4500
IC1000	1000	8.5	18	1500	10000	<1000	10-18	90%	6750
IC1500	1500	10.5	18	2000	10000	<1000	10-18	90%	10800
IC2000	2000	12	18	3000	10000	<1000	10-18	90%	15000
IC2500	2500	13.5	18	4500	10000	<1000	10-18	90%	24000

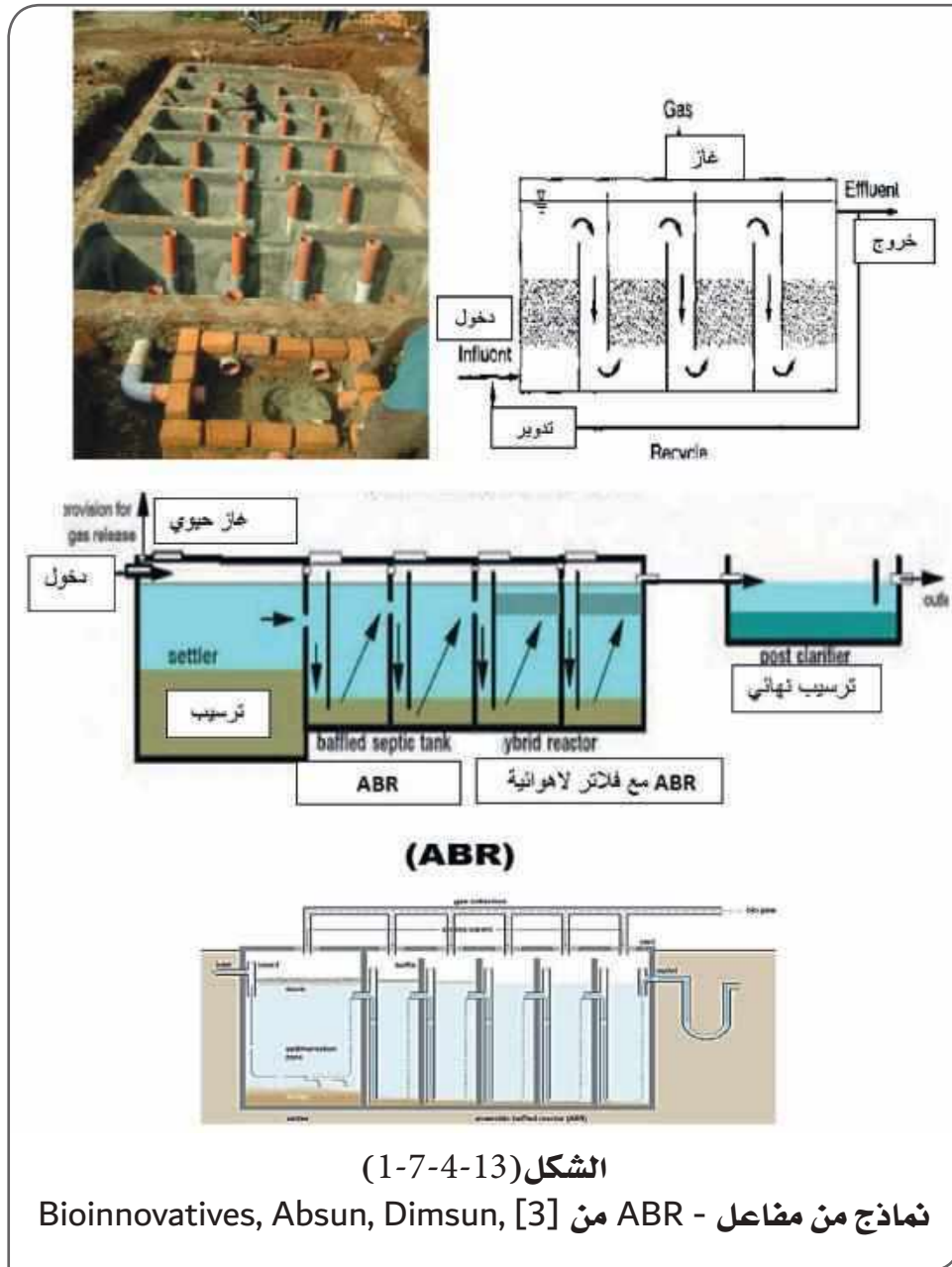


13 - 4 - 7. طريقة المفاعل اللاهوائي ذو الحواجز (ABR) Anaerobic baffled reactor

وهو نوع متطور من خزانات التحلل ويستعمل لأنواع متعددة من مياه الصرف كالمياه الصناعية وعدد الأحواض المثالي 5 منها واحد أو اثنان يمكن أن يكون خزان يستعمل للترسيب اللاهوائي. ويمكن أن يضاف مرشحات لاهوائية في الحوضين الاخيرين لتحسين الماء، يوضح الشكل (13-4-7-1) طريقة عمل ABR، وتستعمل الحواجز لتوجيه المياه باتجاه الأعلى من خلال طبقة الحمأة sludge blanket بسرعة بطيئة وتختلف عن التدفق الرأسى UASB بوجود الحواجز، ويوجد تدوير للمياه المعالجة في مفاعل (ABR)، «ولكن بعض المصادر تشير إلى تأثيره العكسي». نوعية الحمأة الناتجة غير جيدة وبحاجة لمعالجة، وتعطي الطريقة نتائج جيدة في الاحمال العضوية العالية وخصوصاً عندما تكون نسبة COD/BOD قليلة (SASSE 1998). وينتج غاز، وخصوصاً في الأحواض الأولية ويجب أن يتم جمعه. الجدول (13-4-7-1) يعطي تحميل نموذجي لعدد من الحالات، وعدد الغرف، ودرجة الحرارة، ونتائج دخول وخروج COD. علماً أن كثير من الدراسات حول هذا المفاعل خلصت إلى أن زمن المكوث يتراوح من 6 - 24 ساعة، وتركيز المواد الصلبة المتطايرة من 4 - 20 غ/لتر [3]. الميثان الناتج يمكن حرقه واستعماله في المطابخ أو تشغيل المحركات وإذا كان غير اقتصادي فيجب تصريفه من الأحواض لمنع الاضرار الممكن حصولها بسببه..

• بعض ضوابط التصميم:

- أبعاد الفتحات السفلية للقواطع 75 سم أو 50 - 60 % من الارتفاع، والمخارج تُغمر قليلاً في الماء، وزمن المكوث في المفاعل يختلف حسب نوعية الماء.
- السرعة العلوية يجب أن لا تزيد عن 2 م/سا (المرجع 20 - SASSE 1998) وهي عامل هام في التصميم ومنه نستنتج ان حجم احواض هذه الطريقة لا تصبح اقتصادية في التدفقات الكبيرة.



- في بداية التشغيل يفضل البدء بثلاث التدفق وزيادته الى التدفق الكلي خلال 3 شهور ويمكن اضافة حمأة من احواض لاهوائية اخرى تساعد في تسريع اكتمال عمل المفاعل.

- ينصح ان يكون التحميل العضوي اقل من 3 كغ/م³ واذا كانت الحرارة عالية فيمكن زيادة التحميل، راجع الجدول (1-7-4-13).
- سحب الحمأة من الاحواض من 1 - 3 سنوات ويترك جزء منها لمتابعة نشاط المحطة وفاعليتها.

المحاسن:

1. بساطة في العمل وبساطة في سحب الغاز كما انه لا يوجد أجزاء متحركة للمزج.
2. عمر طويل للحمأة، مع زمن مكوث هيدروليكي منخفض.
3. لا يحتاج إلى كتلة حيوية خاصة - ويتميز بعمر حمأة طويل وزمن مكوث قليل وحمأة قليلة..
4. مجال واسع في معالجة أنواع من المياه - مناسب للمناطق الفقيرة..
5. إن وجود المراحل (الغرف) يحسن الأداء - بساطة في التنفيذ - رأسمال استثماري قليل.
6. يتحمل الصدمات العضوية.

المساوئ:

1. التصميم يحتاج خبرة.
2. زمن اقلاع طويل جدا.
3. نحتاج لمعالجة الحمأة، ونوعية الماء الناتجة ليست عالية الجودة وازالة قليلة للعوامل الممرضة.
4. لا يتوفر دليل تصميمي حتى الان ويعتمد التصميم على الخبرة والمشاريع الرائدة.

الجدول (1-7-4-13)

تحميل تجريبي لعدد من حالات مياه الصرف الصناعي مع عدد الغرف ودرجة الحرارة ونتائج دخول وخروج COD [3]

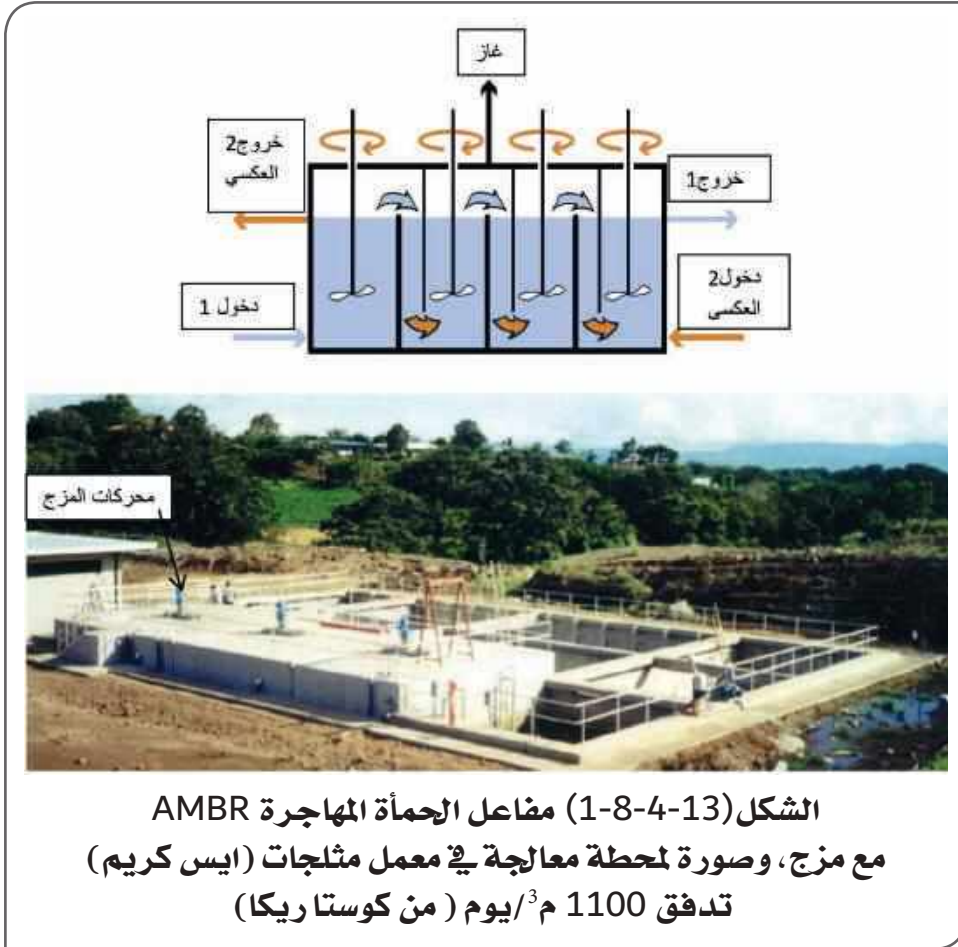
مياه الصرف	درجة الحرارة C°	عدد الغرف	COD دخول mg/L	تحميل COD Kg/m ³ .d	نسبة الإزالة
الكربوهيدرات/بروتين	35	5	7600-7100	10-2	82-79
تقطير	35	5	51600	3.5-2.2	90
الكربوهيدرات/بروتين	35	5	4000	2-1	94
مولاس صناعة السكر	35	3	115000-900000	28-4.3	88-49
روث الخنازير	35	3	58500	4	69-62
صرف منزلي	28-18	3	906-264	2.2	90
المذابح	30-25	4	550-450	4.7-0.9	90-75
أدوية	35	5	20000	20	68-36
منزلي/صناعي	15	8	315	0.9	70
كلوكوز	35	5	10000-1000	20-2	99-72

13 - 4 - 8. طريقة المفاعل اللاهوائي ذو الحمأة المهاجرة مع مزج (AMBR)® . Anaerobic Migrating Blanket Reactor.

في طريقة المفاعل اللاهوائي ذو الحمأة المهاجرة مع مزج يتم فيه تغيير مكان التزويد والسحب بشكل دوري كما في الشكل (1-8-4-13)، حيث يعكس الدخل إلى خرج، وبالعكس عندما يلاحظ تراكم للحمأة في المرحلة الأخيرة، وفي دراسة لمعالجة مياه معمل صرف معمل حليب غير دهني كان (BOD₅=285mg/l) (COD=600mg/l) بدرجة حرارة 15C° و 20C° والتحميل العضوي كان (1-3 kg COD/m³.d) وزمن المكوث من 4 - 12 ساعة، فكانت نسبة الإزالة 59 - 95 %. سرعة الخلط 60r/min، ويقترح 10 ثانية تدوير، و2 دقيقة توقف، عدد الغرف 4، وعكس التدفق مرة واحدة في اليوم. من Largus T. Angenent, Gouranga C.. ويمكن أن ترتفع نسبة الإزالة إلى 80 - 95 % إذا كان التحميل (1-2 kg COD/m³.d).



- عدد الغرف 3 كحد ادنى وفي دراسات L.T. Angenent, D. Zheng، وجد أن 5 غرف في المفاعل يعطي إزالة عالية جداً للمواد الكربوهيدراتية.
- لا حاجة لمعدات خاصة لفصل الغازات.

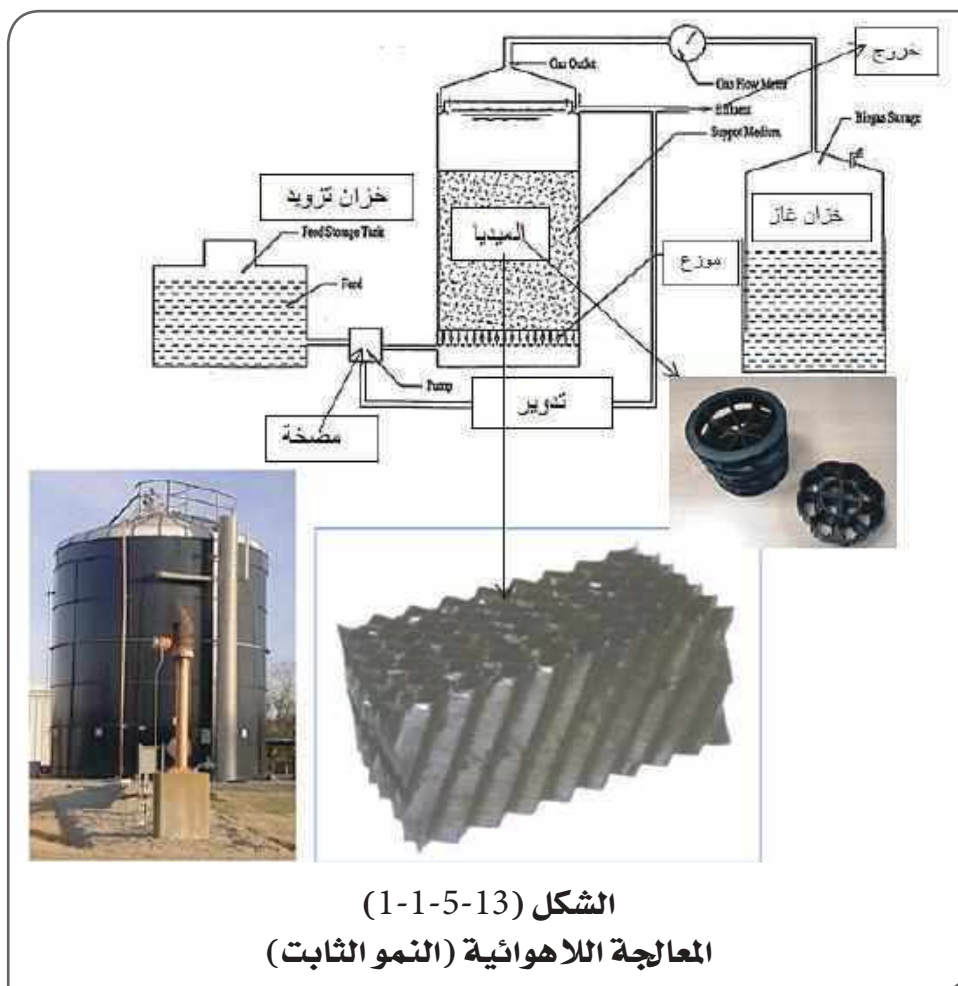


13 - 5. طرق المعالجة اللاهوائية في النمو الثابت للبكتريا (الاغشية الحيوية الثابتة). Anaerobic attached growth processes

تستعمل طريقة التدفق الرأسى مع ميديا حاملة للبكتريا في المعالجة اللاهوائية في النمو الثابت للبكتريا، وهناك عادة ثلاث نماذج من النمو الثابت معروفة:

13-5-1. نموذج الميديا ثابتة. (الغشية الحيوية الثابتة). Fixed media.

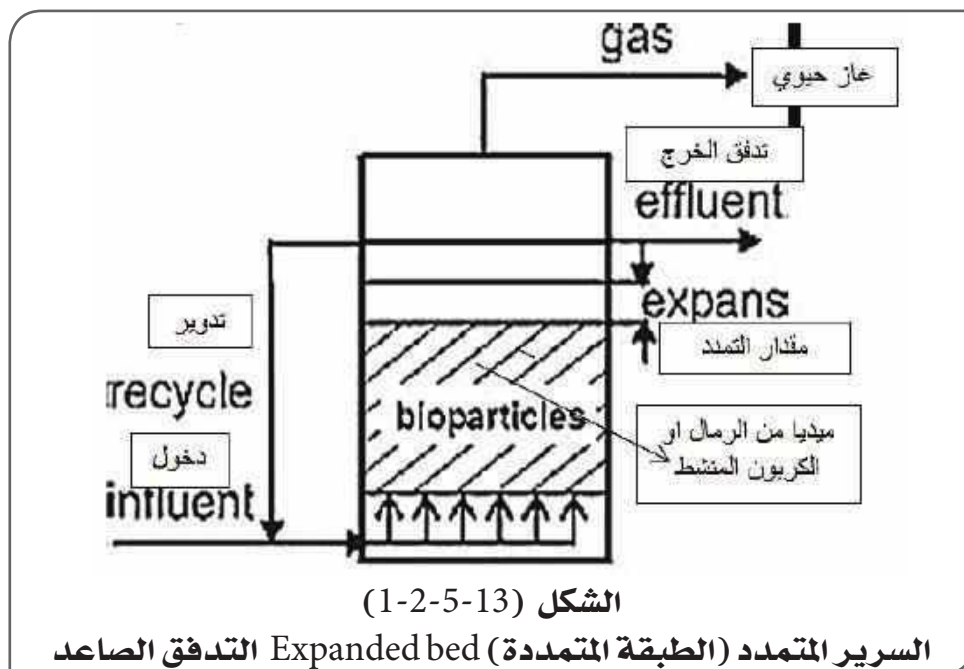
تستعمل الطريقة كثيراً في المياه الصناعية. حيث تتحرك المياه من خلال الميديا باتجاه الأعلى وعادة لا يوجد تدوير إلا في المياه قوية التركيز. يوضح الشكل (13-5-1) نموذج المعالجة اللاهوائية (النمو الثابت) وتكون مادة الميديا من البلاستيك نموذج أسطواني أو صفائح متعرجة مائلة... كالنماذج الواردة في المرشحات البيولوجية، أو نموذج كرات بلاستيكية (تنمو عليها أغشية البكتريا)، والسطح النوعي الوسطي للميديا ($100\text{m}^2/\text{m}^3$). ارتفاع المفاعل من (3-13 m) وقطره (2-8 m) (يمكن أن يكون مقطعه مربع) والتحميل من ($1\text{ COD kg}/\text{m}^3\cdot\text{d}$).



وتصل الكفاءة إلى 90 %، ويمكن أن يحدث انسداد ضمن الميديا ولذلك نحتاج إلى تدفق قوي (flushing) لغسيله كما تكون سرعة التدفق بطيئة لمنع الانسلاخ وتستعمل الطريقة لمياه قليلة المعلقة.

2-5-13. نموذج الطبقة (السرير) المتمددة التدفق الصاعد. Expanded bed

تكون الميديا من الرمال الناعمة قطرها من 0.2 - 0.5 ملم والوزن النوعي 2.65، أو قد تكون من الفحم المنشط أكبر من هذه الاقطار قليلاً. ويجب أن تكون سرعة التدفق الرأسى الصاعد في المفاعل 2م/سا الشكل (1-2-5-13)، ويستعمل التدوير لتأمين سرعة مناسبة للمياه في المفاعل، ويزداد بذلك حجم الميديا 20 %. وتكون نسبة الفراغات 50 % عند التمدد، والسطح النوعي الوسطي المستعمل عادة ($9000\text{m}^2/\text{m}^3$ - 10000) وزمن المكوث الوسطي 6 ساعات أو أقل. وتركيز الكتلة الحيوية MLSS (15-35) غ/ل، ويكون التحميل (2 - 25) كغ COD/م³/يوم، كما تكون كمية الغاز المنتجة وفيرة. يجري ترتيب القسم العلوي من المفاعل لكي يتم فصل فقاعات الغازات من الماء، كما هو موضح سابقاً في هذا الفصل. المراجع [2,3,20].



3-5-13. نموذج السرير(الطبقة) المتميع. Fluidized bed (FBR)

تكون سرعة المياه أكبر من السرعة في السرير المتمدد وتكون سطوح التماس أكبر مع البكتريا، ويحدث مزج أكبر للميديا مع المياه بسبب سرعة الماء والغازات في المفاعل. تكون أقطار حبيبات الرمل حوالي 0.3 ملم . سرعة التدفق الرأسي الصاعد 20 - 24 م/سا، وذلك لتأمين نسبة تمدد 100 %. عمق المفاعل 4 - 6 م، ومن أجل إقلاع المفاعل وأداؤه وفق التصميم نحتاج من 3 - 6 أشهر، وهو إقلاع طويل والتحميل من (20-10 kg COD / m³.d) يبين الجدول (1-3-5-13) أداء الطبقة المتميعة لعدة حالات من مياه الصرف الصناعي، [3]، ويبين الشكل (1-3-5-13) مفاعل الطبقة المتميعة FBR مع صورة.

الجدول (1-3-5-13)

أداء الطبقة المتميعة لعدة حالات من مياه الصرف الصناعي

مياه الصرف	درجة الحرارة C°	التحميل (Kg/m ³ .d) (COD	زمن المكوث h	نسبة الإزالة %
حمض الليمون نشاء/مصل حليب	35	42	24	70
مولاس	35	8.2	105	99
كلوكوز	37	5-3	18-12	85-71
	36	30-12	8-3	95-50
	35	10	12	95



الشكل (1-3-5-13) مفاعل الطبقة المتميعة (FBR) مع صورة

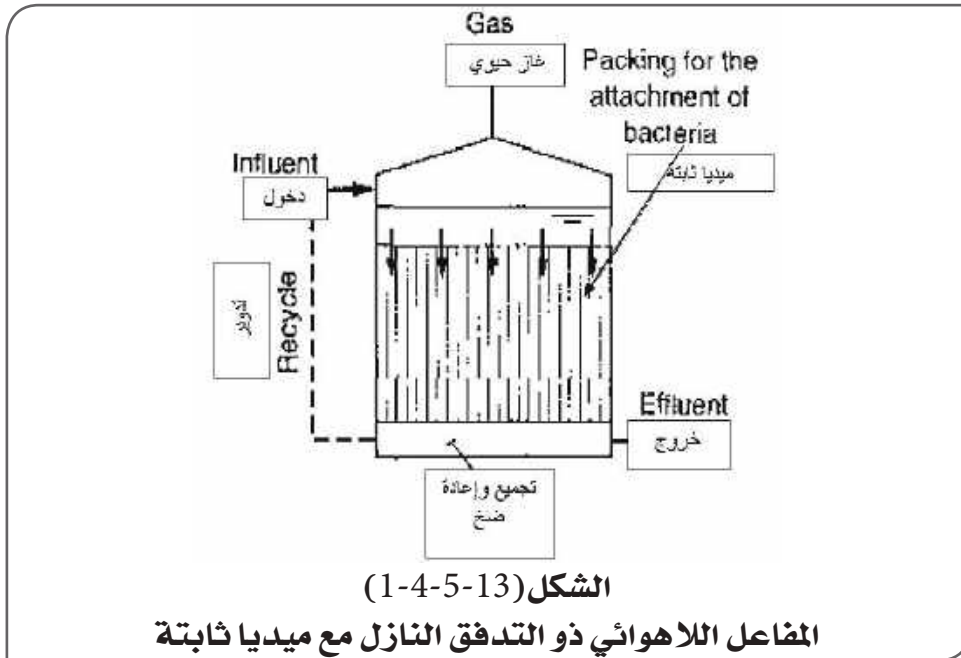
وفي تجربة كان حمل ($\text{COD} = 5000 \text{ mg/L}$) وكان تحميل ($\text{COD} = 10 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$) وزمن المكوث 12 ساعة ودرجة الحرارة 35 درجة مئوية فكانت نسبة الإزالة 95 % (وأجريت نفس التجربة على المفاعل اللاهوائي مع ميديا بلاستيكية ثابتة وكانت نسبة الإزالة 90 % [3]).

4-5-13. المفاعل اللاهوائي ذو التدفق النازل والنمو الثابت على ميديا ثابتة.

Down flow attached growth

طريقة المفاعل اللاهوائي ذو التدفق النازل والنمو الثابت مع بيوميديا بلاستيكية ثابتة موضحة بالشكل (1-4-5-13). وقد استعمل منذ عام 1983م، في معالجة مياه الصرف الصناعي، وتستعمل الطريقة للمياه عالية الحمولة ويمكن إستعمال أنواع مختلفة من البيوميديا. وأرتفاع الميديا من 2-4 م وتكون بدون تدوير للمياه المعالجة أو مع تدوير. ويكون الحمل المطبق (COD=5-10kg/m³.d)، وبعض المراجع تعطي ارقام اكبر تصل الى 75000 مغ/ل. الجدول (1-4-5-13) [3]، يعطي أمثلة لمعالجة مياه صرف لعدة صناعات يتم معالجتها في المفاعل اللاهوائي بطريقة التدفق النازل.

ويوصى لمنع الإنسداد إستعمال بيوميديا نوع تدفق شاقولي المستعملة في المرشحات البيولوجية. وكذلك عمل تخفيف للمعلقات في مياه الصرف الداخلة. وتتميز هذه الطريقة بالبساطة ومن المساوئ كلفة الميديا. ويمكن أن يعمل المفاعل بحرارة 55 ° (thermophilic) فيمكن معها مثلاً معالجة مياه صرف المصابغ ولا نحتاج بذلك لتبريدها.



الجدول (1-4-5-13)
معالجة مياه صرف لعدة صناعات في المفاعل اللاهوائي
بطريقة التدفق النازل على ميديا ثابتة [3]

مياه الصرف	درجة الحرارة C°	التحميل Kg/m ³ .d (COD)	زمن المكوث h	نسبة الإزالة %
citrus	38	6-1	144-22	80-40
مصل الجبن	35	22-5	8-2	97-92
مصنع بيرة	35	20	2-1	76
المولاس	35	13-2	112-14	80-56

والسطح النوعي للميديا من (100 - 187 M²/M³)، من Biosolids
. Treatment Prozesse



المرشحات البيولوجية (مرشحات التنقيط ، النازة)

Trickling filter

1-14 . مقدمة .

ينصح في الأحمال العالية لمياه الصرف الصناعي قبل إستعمال الحمأة المنشطة إجراء معالجه لاهوائية أو هوائية لتخفيض الأحمال حيث تستعمل المرشحات البيولوجية بكثرة في هذا المجال (ونتكلم هنا عن مرشحات التنقيط أو المرشحات النازة والتي هي جزء من المرشحات البيولوجية والتي تشمل كمثال: الاراضي الرطبة Wet land، الترشيح البيولوجي البطيء بالرمل Slow sand filter ... إلخ).

ويمكن أن نلخص ميزات المرشحات البيولوجية بما يلي:

يمكن استعمال المرشحات كحل اولي اقتصادي في معالجة مياه الصرف الصناعي لتكون المعالجة التالية بالحمأة المنشطة ذات حجم مناسب.

- لا يحتاج إلى مهارات عالية في التشغيل والاستثمار.
- يعطي حمأة قليلة.
- استهلاك الطاقة الكهربائية قليل.
- نتائج معالجة سريعة.

14 - 2. أنواع المرشحات البيولوجية (المرشحات النازة).

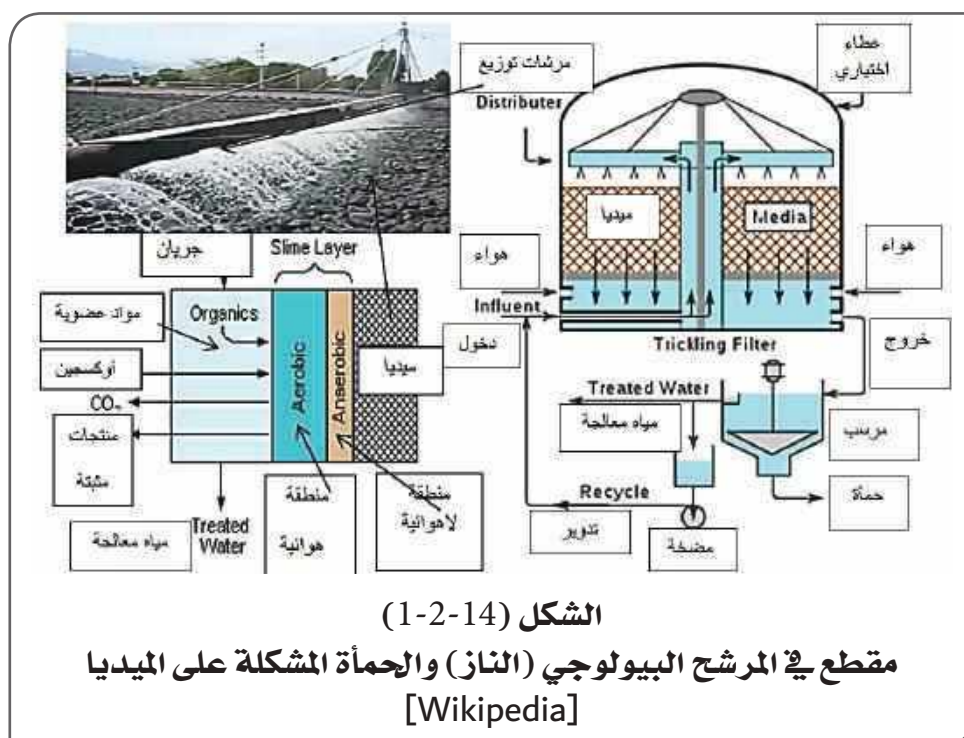
يتألف المرشح البيولوجي التقليدي الشكل (14-2-1) من سرير من المواد الحاملة للبكتريا media ويكون مؤلف من المواد الحصوية أو الخبث (ويمكن استعمال المواد البلاستيكية)، ومن حوض سفلي ومرشحات علوية،



ويظهر الشكل ايضا مقطع في الميديا والحماة المشكلة مبيناً المناطق الهوائية واللاهوائية في طبقة الحماة والمدخلات كالغذاء والأوكسجين والمخرجات. كالحماة والمواد المثبتة.

ليس بالضرورة أن تحتاج هذه الطريقة إلى تجهيزات تهوية بل يمكن الاعتماد على الهواء الموجود بين الفراغات في الوسط المرشح أو يمكن ضخ الهواء بواسطة توربينات هواء خاصة (مضخات هواء بضغط خفيف).

يصنف المرشح التقليدي حسب تحميله هيدروليكيًا أو حسب الحمولات العضوية إلى عدة أنواع :



1-2-14. المرشح ذو المعدل المنخفض. Low rate

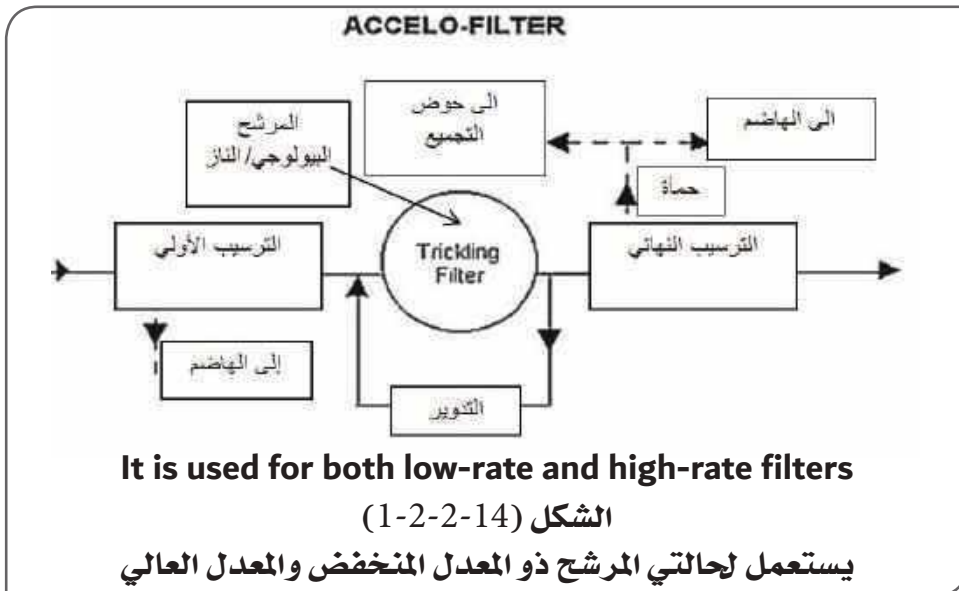
وهو مرشح تقليدي بسيط، وحمولاته يمكن أن تكون متغيرة بشدة وتدفقه متقطع ويصمم بشكل دائري أو مستطيل وعادة لا يوجد فيه تدوير للمياه، وعموماً يفضل أن يتم المحافظة على تدفق ثابت من خلال خزان للجمرات وان لا يكون بين الجرعة والجرعة أكثر من 1 - 2 ساعة حتى لا

تتدهور حياة البكتريا. وعمق المرشح التقليدي عادةً من (60 - 120) سم تقريباً، ومادة الميديا من الحصى أو الخبث. ويعالج المرشح BOD بشكل جيد، ويمكن أن تحدث فيه النترجة وتحويل الأمونيا إلى نترت.

ويعاني هذا النموذج من الروائح وإنتشار الحشرات (ويعالج بالتدوير) والتأكد من تحقيق التحميل العضوي المناسب، (ويجب الانتباه إلى أن انخفاض التدفق ليلاً يسبب نقص في الرطوبة على الحمأة التي نمت على المواد الحاملة للبكتريا، الميديا).

2-2-14. المرشح ذو المعدل المتوسط والمعدل العالي. Intermediate rate and high rate

المرشح ذو المعدل المتوسط يشبه الفلتر (المرشح) ذو المعدل المنخفض ولكن التدفق فيه مستمر، أما المرشح ذو المعدل العالي فيصمم لحمولات أكبر من حمولات مرشح المعدل المنخفض ويعاد جزء من الحمأة أو المياه المعالجة النهائية أو من الخارجة من المرشح، وكفاءة معالجته قريبه من كفاءة معالجة المرشح ذو المعدل المنخفض، ولكن الروائح قليلة وأقل إنسداداً. ويستعمل في كلتا الحالتين المواد الحصوية أو البلاستيكية. يبين الشكل (1-2-2-14) نموذج لمرشح المعدل المنخفض والمعدل العالي ويلاحظ طريقة تدوير المياه في المرشح.



14-2-3. المرشح ذو المعدل العالي السوبر. Super Rate Filter

وهو مرشح يتعامل مع الحمولات العضوية العالية والتدفقات الكبيرة، والخلاف الرئيسي بين السوبر والمعدل العالي هو التحميل الهيدروليكي الكبير والعمق الكبير، وقد أصبح العمق الكبير ممكناً بسبب استعمال مواد خفيفة (Media) ومعظم هذه الأنواع تستعمل في مرشحات الأبراج (Towers).

14-2-4. المرشح غير المنتظم. filter Roughing

وهو كالمرشح ذو المعدل العالي ويستعمل في حال مياه ذات حمولات عالية جداً وعادة يستعمل قبل الدخول للمعالجات الثانوية بغرض تخفيض التلوث وخصوصاً التلوث الصناعي، ويصل حمل BOD_5 إلى $1.6\text{kg}/\text{m}^3.\text{d}$ والتحميل الهيدروليكي يصل إلى $187\text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$. وتستعمل المواد البلاستيكية كميداً حاملة للبكتيريا وتكون بأشكال مختلفة سنأتي على ذكرها بالتفصيل.

14-2-5. المرشح البيولوجي على مرحلتين. Tow stage filter

وهو مرشح على مرحلتين بينهما حوض ترسيب ثانوي وحوض ترسيب ثانوي آخر في نهاية المعالجة ويستعمل في معالجات المياه العالية التلوث والمرحلة الثانية يتم فيها حدوث النتريجة nitrification

14 - 3. تصميم المرشح البيولوجي.

يوجد معادلات تجريبية للتصميم وخصوصاً لمرشح المعدل المنخفض كمعادلة (NRC equations)، أو للمواد البلاستيكية كمعادلة شولدرس وجرمان s & Germain [4]، ويمكن اعتماد الجدول (14-3-1) الذي يفيد في إعطاء ضوابط نموذجية لتصميم المرشحات.

الجدول (1-3-14)
ضوابط نموذجية لتصميم المرشحات البيولوجية

العنصر	item	Low-rate المعدل المنخفض	Intermediate Rate المعدل المتوسط	High-rate المعدل العالي	Super High-rate العالي السوبر	Roughing الغير منظم	Two- Stage مرحلتان
المادة الوسيطة الحاملة للبكتريا	Filter medium	Rock-slag حجر - خبث	Rock-slag حجر - خبث	Rock حجر	Plastic بلاستيك	Plastic redwood بلاستيك- خشب	Rock plastic حجر - بلاستيك
التحميل الهيدروليكي	Hydraulic loading m ³ /m ² .d	1.17-3.52	3.52-9.38	9.38-37.55	11.73-70.4	46.93-187.75	9.38-37.55
تحميل الـ BOD ₅	BOD ₅ loading kg/m ³ .d	0.08-0.4	0.24-0.48	0.48-0.96	0.48-1.6	1.6-8	0.96-2
الارتفاع	Depth , m	1.8-2.4	1.8-2.4	0.9-1.8	3-12	4.5-12	1.8-2.4
نسبة التدوير	Recirculation ratio	0	0-1	1-2	1-2	1-4	0.5-2
الحشرات	Filter flies	كثير	بعض	قليل	قليل أو لا يوجد	قليل أو لا يوجد	قليل أو لا يوجد
الانسلاخ	Sloughing	متقطع	متقطع	مستمر	مستمر	مستمر	مستمر
نسبة إزالة BOD ₅	BOD ₅ removal efficiency %	80-90	50-70	65-85	65-80	40-65	85-95
التدفق الخارج	Effluent	نترجة جيدة	نترجة جزئية	نترجة قليلة	نترجة قليلة	لا يوجد نترجة	نترجة جيدة

المصدر: (US EPA (1974a), Metcalf and Eddy, Inc. (1991), WEF and ASCE (1991a, 1996a)

علماً أنه تصميم المرشح البيولوجي يعتمد على:

- 1 - كمية التزويد بالمياه Dosing Rate.
- 2 - طريقة توزيع المياه Distribution.
- 3 - نوعية المادة الوسيطة Characteristics of media.
- 4 - ترتيب القسم السفلي من المرشح.



- 5 - تأمين التهوية اللازمة سواء كانت طبيعية أو عن طريق تهوية ميكانيكية.
- 6 - تصميم حوض الترسيب اللازم.

1.3-14. التزويد. Dosing Rate

إن تزويد المرشح بمياه الصرف يلعب دوراً رئيسياً في أداء المرشح البيولوجي حيث أنه يجب أن يكون عمله مستمر وهذا يتبع (نمو الكتلة الحيوية وإنسلاخ الكتلة الحيوية الدائم). يتم توزيع المياه عن طريق موزع ثابت أو عن طريق مرشحات دوارة كما في الشكل (1-2-3-14).

- **سرعة التزويد:** إن نسبة التزويد ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالحمل العضوي BOD_5 ، فالتدفق اللحظي هام جداً في تصميم سرعة الدوران أو توقف وتشغيل التدفق في الموزعات، ولذلك تعطي سرعة الدوران مرتبطة بالحمل العضوي [3],[4]. ويمكن أن توزع المياه من فتحات (فالات) خاصة وفق الضغط الناتج عن مضخات المياه مما يؤدي إلى دفع الأذرع وتوزيع المياه بشكل منتظم، وعادة تحدد السرعة بمعدلات سرعة كهربائية خاصة، ويترك عادة من 15 - 25 / سم بين الحوامل والمرشحات كحد أدنى وأطوال الأذرع تصل إلى 60 / م.

2.3-14. المواد الحاملة، الميديا. Media

أو (حوامل الغشاء البيولوجي)، إن المواد التي استعملت في بدايات استعمال المرشحات كانت من الغرانيت والبازلت وخبث الأفران والمواد الحصوية النهرية والصخور المكسرة من أقطار 75 - 100 / ملم وبسبب الإنسداد المتكرر استبدلت بعد ذلك بمادة البلاستيك والخشب. إلخ. الشكل (1-2-3-14)، يوضح بعض نماذج الميديا المستعملة في المرشحات، وإن تناسب الأحجام والمسامية له الدور الرئيسي في حركة الماء والهواء داخل المفاعل، ويكون التدفق ضمن الميديا إما شاقولياً أو مائلاً، أو مختلطاً وإن استعمال الحوامل الخفيفة أوصل الارتفاعات حتى 12 / م.

الجدول (1-2-3-14)، يبين الخصائص الفيزيائية للمواد الحاملة media في المرشحات من [3].



الشكل (1-2-3-14)
بعض نماذج الميديا (حوامل الغشاء البيولوجي) المستعملة في المرشحات

3-3-14. تدفق الهواء.

إن دراسة تدفق الهواء هام جداً لنجاح عملية المعالجة، وفي المرشحات يكون دوماً السطح العلوي على تماس مع الهواء الجوي.

وعموماً يجب إتباع التوصيات التالية:

- أفضلية التصريف السفلية تكون غير ممتلئة (نصف امتلاء).
- القسم السفلي يمثل حوالي 15 % من حجم المرشح.
- المادة الحاملة تمثل 40 - 70 % من المرشح.
- تأمين 0.09 m^2 فتحات تهوية سفلية لكل 23 m^2 من السطح الأفقي للمرشح.

• **ملاحظة هامة:** عندما يكون لدينا أحمال عالية وأعماق كبيرة فمن المفضل تزويد الهواء آلياً واعتبار ذلك في التصميم علماً أن الحد الأدنى من التهوية لكل 1m^2 من سطح المرشح ($0.3\text{m}^3 / \text{min.m}^2$) ، وهذا يساعد أيضاً في حالة توقف التهوية نتيجة فروق الحرارة، أو في فترة الشتاء بسبب تشكل الجليد.

• **ملاحظة:** في حساب حوض الترسيب النهائي يؤخذ في الاعتبار كمية التدوير وإضافتها إلى التحميل السطحي إذا كان التدوير من بعد حوض الترسيب، (يمكن التدوير بدون المرور على حوض الترسيب).
يبين الشكل (1-3-3-14) مرشحات بيولوجية لمياه صرف صناعي في معمل حليب المانيا (شركة DAS / Hanewaled) (1)، ومرشح بيولوجي لمعمل صباغة أقمشة وممزوج (2)، والأخير معمل قطر صناعي (3)، والهدف تخفيض الـ COD من 3000 ملغ/ل إلى ما دون 1600 ملغ/ل وهو المسموح وفق المواصفة القياسية للطرح في المجاري العامة لموقع المعمل، والمرشح من النوع غير المنتظم والتحميل الهيدروليكي والعضوي ضمن المجال في الجدول (1-3-14) كما يوجد تهوية قسرية وتدوير داخلي ويسبقها معالجة بالمصافي الخشنة والناعمة وفصل للزيوت.

الجدول (1-3-3-14)
الخصائص الفيزيائية للمواد الحاملة للبيوفيلم (media)

المادة	Medium	الأبعاد mm	Mass/ unit Volume الكتلة الحجمية kg/m ³	Specific surface area المسطح النوعي m ² /m ³	Void space نسبة الفراغات %
صخور نهريّة	River rock				
صغيرة	small	25.4-63.5	1249.44- 1441.6	55.773- 68.896	40-50
كبيرة	large	101.6-127	800.92- 933.14	39.369- 164.04	50-60
خبث الأفران	Blast furnace slag				
(صغيرة)	small	50.8-76.2	897.03- 1207.38	55.773- 68.896	40-50
(كبيرة)	large	76.2-127	800.92- 933.14	45.931- 59.054	50-60
مواد بلاستيكية	Plastic				
تقليدية	conventional	609.6*609.6*1219.2	32.03-96.11	78.739- 98.424	94-97
سطوح نوعية كبيرة	high-specific surface	609.6*609.6*1219.2	32.03-96.11	98.424- 196.848	94-97
ترتيب عشوائي	Random pack	25.4-88.9	48.05-96.11	124.67- 278.86	90-95





(1)



(2)



(3)

الشكل (1-3-3-14)

مرشحات بيولوجية (ابراج نازة) لمياه صرف صناعي في معمل حليب المانيا،
صباغة اقمشة ومعمل قطر صناعي في مدينة حلب



المعالجة البيولوجية المتقدمة لإزالة الفوسفور والنيتروجين

Advanced biological treatment
to remove phosphorous and nitrogen

في المعالجة المتقدمة لمياه المجاري (AWT) (بعد المعالجة الثنائية) تم تطوير عدة طرق بيولوجية لإزالة الفوسفور phosphor والنيتروجين لتحقيق المواصفات المطلوبة، منها طرق بيولوجية وطرق كيميائية.

15 - 1. إزالة الفوسفور بالطرائق البيولوجية.

Phosphorus removal by biological processes

إن 50 % إلى 70 % من الفوسفور من مركبات الفوسفات من المنظفات المطروحة من معامل المنظفات ومن المعامل التي تستعمل المنظفات في صناعتها، كتنظيف الاقمشة في اعمال تحضير الاقمشة، ومعامل وورش التنظيف، ومن المنازل. ويتم إزالة 10 % إلى 30 % من الفوسفور في المعالجة البيولوجية الثانوية. ومياه الصرف المعالجة تحوي 0.5-2 ملغ / لتر من الفوسفور ويعتمد ذلك على حمل COD لمياه الدخول، كما أن جزء من الفوسفور موجود في المعلقات الخارجة مع مياه الصرف. وللحصول على تركيز اقل من ذلك الرقم تحتاج مياه الصرف الداخلة إلى معالجة خاصة وترشيح. والطرق البيولوجية لإزالة الفوسفور تعتمد على تعريض الأحياء الدقيقة بشكل متناوب إلى ظروف لاهوائية وهوائية تعرضها لإجهاد خاص ويعتمد على الحمأة المعادة ومن أشهر هذه الطرق طريقة

- (1). A/O

- (2). طريقة phoStrip



- (3). وطريقة SBR (Sequencing batch reactor) (مفاعل الدفقات المتتابع) التي تستعمل في محطات المعالجة الصغيرة والمتوسطة وتتميز بالمرونة وأنها قادرة على إزالة النتروجين بالإضافة إلى الفوسفور. الجدول (1-1-15) يعطي ضوابط نموذجية لطرق المعالجة المذكورة.

الجدول (1-1-15)

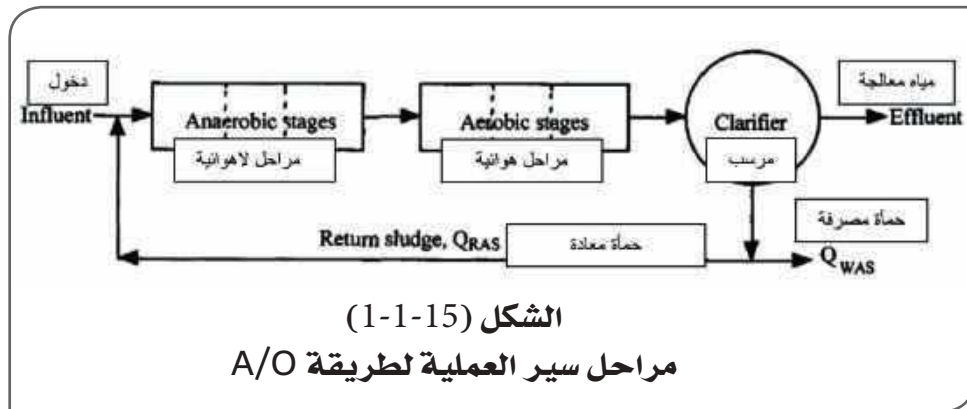
ضوابط نموذجية لإزالة الفوسفور بيولوجياً [2]

الطريقة			الواحدة	العوامل التصميمية
SBR	phOSrtip	A/O		
0.5 - 0.15	0.5 - 0.1	0.7 - 0.2	kgBOD ₅ / kg MLVSS.d	F/M
-	30 - 10	25 - 2	d	θ_c عمر الحمأة
**3000-2000	5000-6000	**4000-2000	mg/L	MLSS
			h	θ زمن المكوث
3 - 1.8	12 - 8	1.5 - 0.5		المنطقة اللاهوائية
***4 - 1	10 - 4	3 - 1		المنطقة الهوائية
-	* 50 - 20	*40 - 25	% من التدفق	الحمأة الراجعة
-	20 - 10	-	% من التدفق	التدفق الداخلي

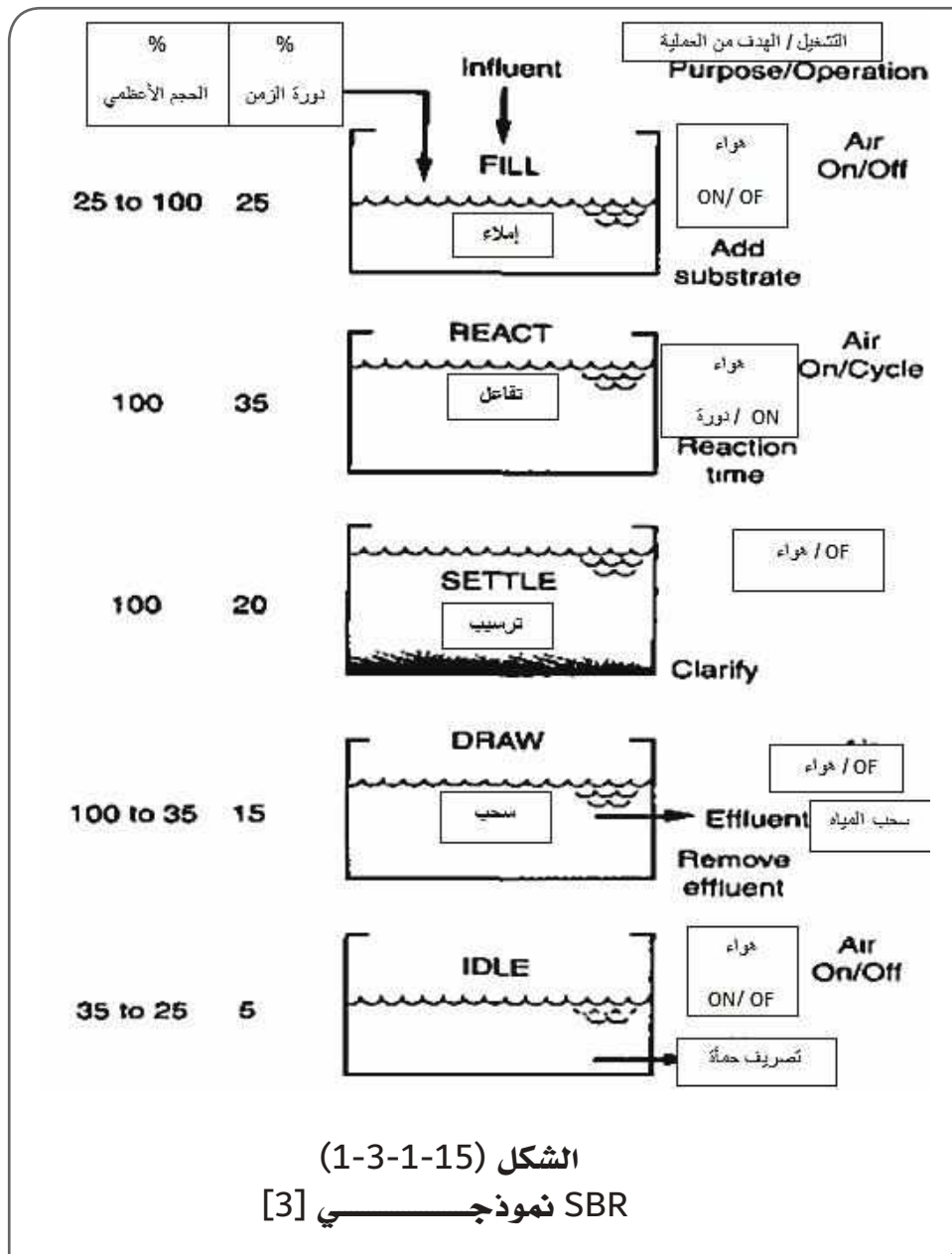
في [3] * حتى 100. ** من 3000-4000. *** من 2-4

15 - 1 - 1. طريقة A/O.

الشكل (1-1-15) يوضح مراحل سير العملية في طريقة A/O، لا هوائي - هوائي، وإعادة حمأة من المرسب.

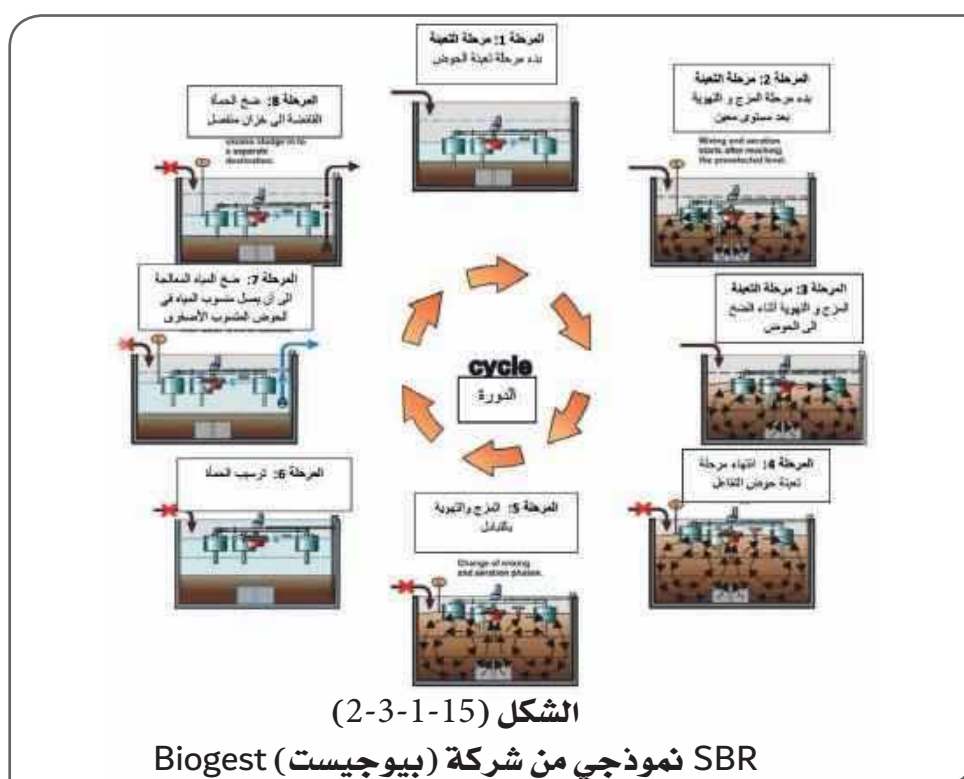


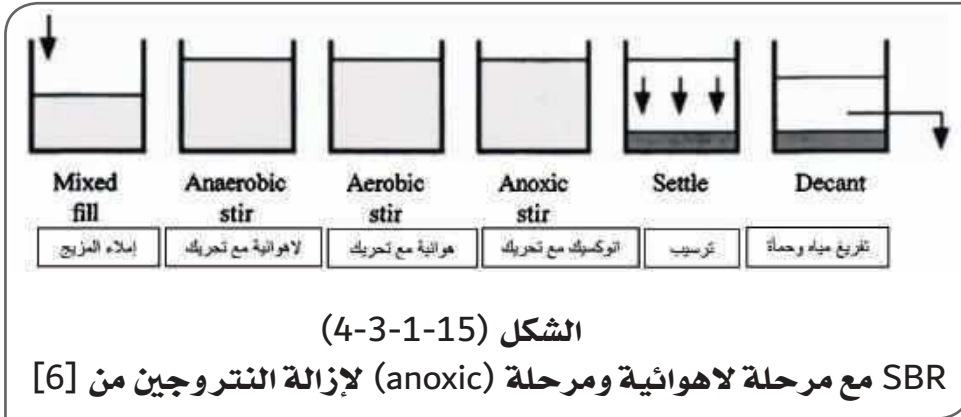
ومدة دورة المعالجة من (3-24) ساعة ويتحقق فيها المرحلة الكربونية (إزالة BOD) ويتم تحقيق النترجة بحساب الحجم اللازم للنترجة الشكل (15-1-3-2) SBR نموذجي من شركة (بيوجيست) Biogest. حيث تُقسم فيه مراحل العمل الى ثمانية مراحل.



والطريقة تستعمل التهوية السطحية ويتم فيها تغيير سرعة المهويات لتحقيق مراحل التهوية أو لعمل مزج فقط بحيث يحدث في الحوض حالة منقوص الاوكسجين (انوكسيك/ الذي سيأتي شرحه)، وذلك لإزالة النتروجين بيولوجياً. وفي هذا النموذج يتم إضافة مخثرات كيميائية لضبط كمية الفوسفور.

يمكن إزالة الفوسفور بتغيير أزمانه مراحل المعالجة وتحقيق مرحلة لاهوائية وفق الشكل (3-3-1-15)، حيث يتم فيها إزالة الفوسفور. وفي الشكل (4-3-1-15) يضاف مرحلة منقوصة الأوكسجين (Anoxic) (الأوكسجين قليل - أقل من 1 ملغ/ ليتر مع عملية مزج) وذلك لإزالة النتروجين.





ونجاح هذه الطريقة يعتمد على الظروف المحلية وينصح بعمل نموذج تجريبي (pilot).

- وسيتم شرح طريقة المنقوص الأوكسجين (anoxic) في الفقرة (2-3-15).

يمكن الوصول بالمعالجة في هذه الطريقة إلى 15 ملغ/ليتر BOD و TSS وإزالة للنتروجين حتى 90 - 96 % (EPA1986).

- دورة العمل في SBR من 4-8 ساعات، ووجد أن زمن 6 ساعات هو رقم نموذجي من ([6] + goronszy1979).
- يستعمل عادةً 2 حوض الأول إملاء + الثاني بقية العمليات.
- مراحل دورة العمل وفق الشكل (1-3-1-15) [3]. وهناك مقترح آخر من [6] لدورة عمل وفق ما يلي:
- الإملاء بين 2-4 ساعات وعندما يكون لدينا حوضين يكون زمن الإملاء يساوي مجموع زمن (التفاعل + الترسيب + سحب الماء).
- يتم تحريك الماء أثناء ملء الحوض لتحقيق حالة منقوص الأوكسجين (أنوكسيك).
- زمن التفاعل يجب حسابه بمعادلات توازن الكتلة الحيوية.

- زمن الترسيب الأدنى هو 30 دقيقة ونموذجي بين 30 دقيقة و60 دقيقة.
- سحب الماء 30 دقيقة.
- زمن (ركود) من 0 دقيقة إلى 60 دقيقة.
- يقترح (schroeder 1982) أن يكون MLSS بين (3000-1700) ملغ/ليتر ومت كالف يقترح بين (3000 - 5000) ملغ/ليتر.
- تركيز الحمأة الراسبة يؤخذ 6000 ملغ/ليتر ومنه يمكن تقدير كفاية حوض الترسيب وفق ما يلي:

حجم الحمأة الراسبة ÷ حجم الحوض = تركيز قبل الترسيب ÷ تركيز MLSS الراسبة

- إعط مسافة حرة فوق الحمأة حوالي 35 % - 100 % من ارتفاع الحمأة.
- عمق الحوض النموذجي 6م مع تأمين 0.6 مسافة حرة.
- ميل خفيف للحوض من أجل التنظيف.
- عمر الحمأة (10-30) يوم من أجل الأكسدة الكربونية والنترجة nitrification ومن (20-30) يوم من أجل إزالة النتروجين denitrification، ومن (20-40) يوم من أجل إزالة الفوسفور.
- قدرة المزج من [3] ($8 - 13 \text{ W/m}^3$) نموذجي.
- يجب عمل حاجز رغوة عند المخرج.

2-15. الطرق البيولوجية لإزالة مشتركة للنتروجين والفوسفور.

تم تطويرها عدد من الطرق لإزالة مشتركة للنتروجين والفوسفور. وجاءت الطرق أصلاً من طريقة الحمأة المنشطة ولكن تم فيها استخدام مرحلة لاهوائية ومنقوصة الأوكسجين، وهي مطورة كذلك عن طرق إزالة الفوسفور المذكورة ومن أهم الطرق

$$A^2/O : 1$$

2 : المراحل الخمسة،



3 : طريقة UCT ,

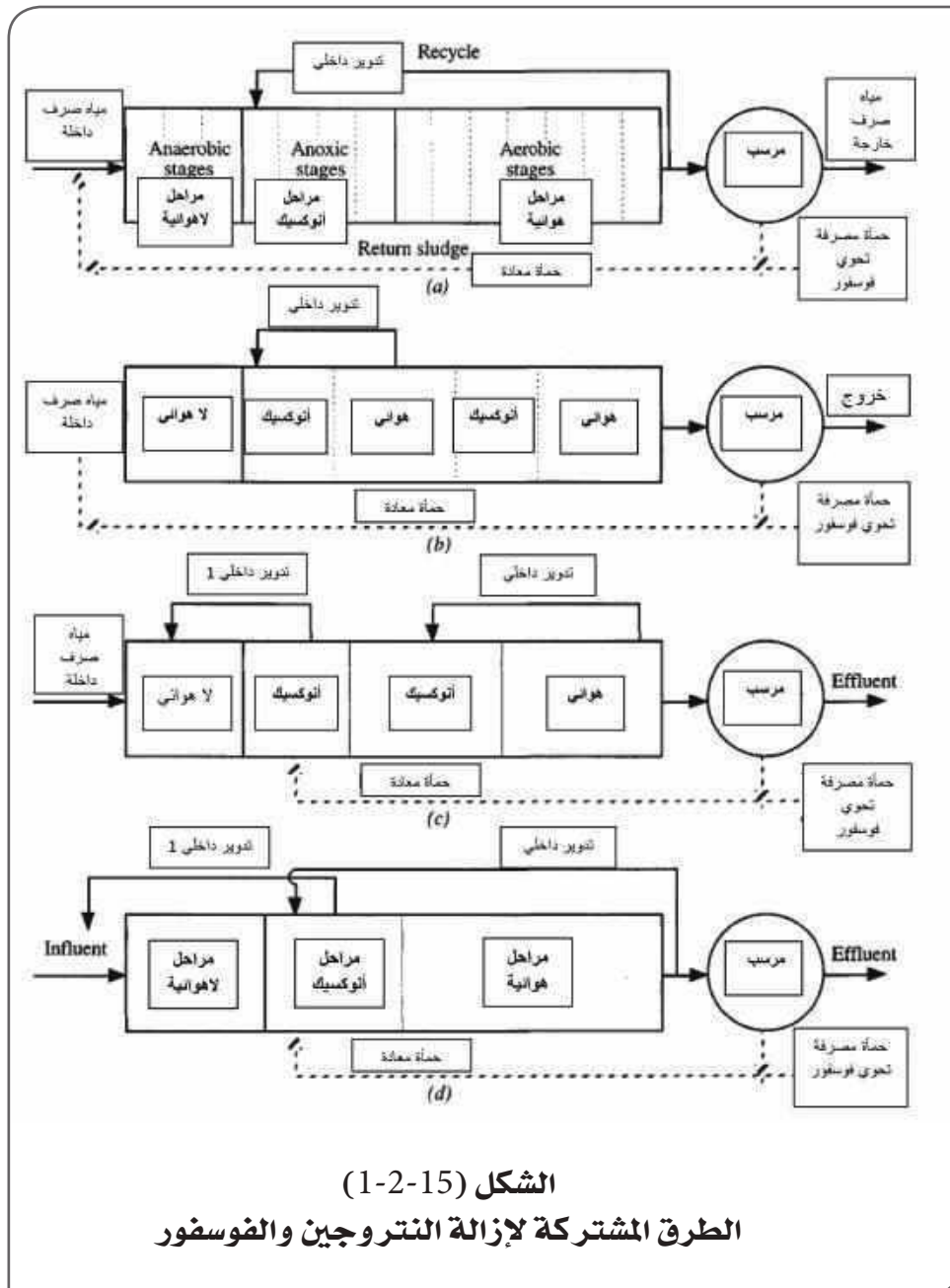
4 : طريقة VIP ,

5 : طريقة SBR (تم شرحها في الفقرة السابقة)

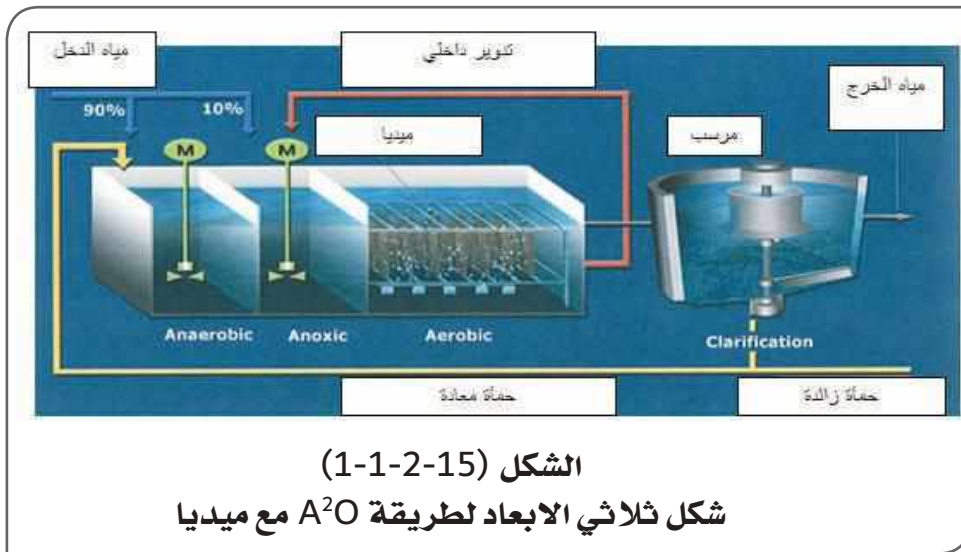
الشكل (1-2-15) يوضح الطرق المذكورة، والجدول (1-2-15) يبين ضوابط التصميم لكل طريقة.

1-2-15. طريقة A^2/O .

وهي طريقة هامة وسهلة التصميم والتشغيل. والطريقة معدلة عن A/O ، الشكل (a,1-2-15)، حيث زمن المكوث في المنطقة المنقوصة الأوكسجين (انوكسيك) (1) ساعة ويعاد جزء من المزيج المنترج من حوض التهوية إلى قسم الانوكسيك ضمن النسب الواردة في الجدول (1-2-15) حيث تستفيد بكتريا خاصة من الأوكسجين الموجود في المركبات $NO_3 - NO_2$ مطلقة غاز النتروجين. كمية الفوسفور في المياه المعالجة أقل من 2 ملغ/ليتر بدون ترشيح ومع ترشيح يمكن أن تصل إلى أقل من 1.5 ملغ/ليتر. الشكل (1-1-2-15) شكل تمثيلي لطريقة A^2/O مع ميديا في الحوض من إحدى الشركات واقترحها دخول 10 % من مياه الدخل إلى قسم الانوكسيك.



الشكل (1-2-15)
الطرق المشتركة لإزالة النتروجين والفوسفور



الجدول (1-2-15) معلومات نموذجية للطرق المشتركة في إزالة النيتروجين والفسفور بيولوجياً

الطريقة				الواحدة	العوامل التصميمية
VIP	UCT	المراحل الخمسة	A^2/O		
0.2 - 0.1	0.2 - 0.1	0.2 - 0.1	0.25 - 0.15	kgBOD ₅ / kg MLVSS.d	F/M
10 - 5	30 - 10	40 - 10	27 - 4	d	θ_c عمر الحمأة
3000 - 1500	4000 - 2000	- 2000	5000 - 3000	mg/L	MLSS
		4000		h	θ زمن المكوث
2 - 1	2 - 1		1.5 - 0.5		المنطقة اللاهوائية
2 - 1	4 - 2	2 - 1	1 - 0.5		منطقة أنوكسيك 1-
4 - 2.5	12 - 4	4 - 2	6 - 3.5		المنطقة الهوائية 1-
-	4 - 2	12 - 4	-		منطقة أنوكسيك 2-
-	-	4 - 2	-		المنطقة الهوائية 2-
100 - 80	100 - 50	1 - 0.5	50-20	% من التدفق	الحمأة الراجعة
400 - 200	600 - 100	100 - 50	300 - 100	% من التدفق	التدفق الداخلي
		400			

من [2] ويوجد بعض التعديل في [3]

2-2-15. طريقة المراحل الخمسة. (five - stage)

طريقة المراحل الخمسة كما في الشكل (b,1-2-15) تؤمن مرحلة لاهوائية ومرحلة أنوكسيك ومرحلة هوائية ثم مرحلة ثانية أنوكسيك لمزيد من إزالة النتروجين denitrification المشكل في المرحلة الهوائية ثم المرحلة الهوائية الأخيرة لتعرية النتروجين المتبقي.

في الطريقة يتم ضخ مزيج من حوض التهوية إلى مدخل حوض الانوكسيك، ويتم إعادة جزء من الحمأة من حوض الترسيب النهائي إلى بداية المحطة، وعمر الحمأة (10-40) يوم حيث تكون الأكسدة الكربونية كبيرة.

3-2-15. طريقة (UCT) *.

الشكل (c,1-2-15) وهي مشابه لطريق A^2O مع استثناءان وهو أن الحمأة المنشطة تعاد إلى حوض الانوكسيك الأول والتدوير الداخلي الأول يكون من قسم الانوكسيك إلى الحوض اللاهوائي والتدوير الثاني من القسم الهوائي إلى قسم الانوكسيك الأخير، واستعمال هذه الطريقة قليل.

* طريقة (UCT) طورت من جامعة كاب تاون

4-2-15. طريقة (VIP) **.

وهي مشابه لطريقة A^2O وطريقة UCT عدا أن طريقة التدوير تتم كما يظهر في الشكل (d,1-2-15) كما أن الحمأة المعادة تذهب إلى قسم الأنوكسيك ويوجد تدوير داخلي من مخرج حوض التهوية إلى قسم الانوكسيك وتدوير آخر من قسم الانوكسيك إلى مدخل المحطة، أي إلى القسم اللاهوائي وأظهرت التجارب تثبيت جيد في القسم اللاهوائي وبالتالي تقليل كمية الأوكسجين اللازمة.

** طريقة (VIP) (Virginia initiative plant)

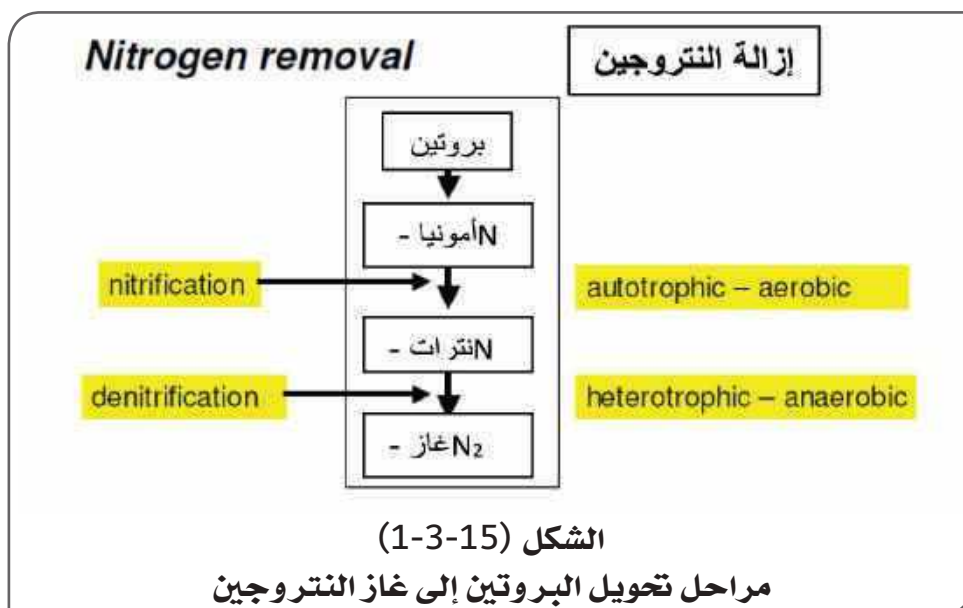
• **ملاحظة 1:** الطرائق السابقة تحقق المطلوب في معالجة المواد العضوية وإزالة الفوسفور والنتروجين بدون مواد كيميائية والحمأة الناتجة أقل من الحمأة المنشطة التقليدية.

- **ملاحظة 2:** يوجد طرق لتجريد الأمونيا من مياه الصرف بالهواء عن طريق رفع PH لمياه الصرف وهي طريقة مكلفة وتم شرحها سابقاً.

3-15. ضبط النتروجين. Nitrogen control

مقدمه. النتروجين (N) Nitrogen

يوجد في مياه الصرف بشكل عضوي وأمونيا و نترتيت أو نتروجين بشكل غازي، **النتروجين العضوي**: يكون منحلأً أو بشكل جسيمات، والمنحل منه يكون على الأغلب بشكل (بولة) (urea) أو أحماض أمينية amino acids. والمصدر الرئيسي يكون من الفضلات البشرية وفضلات المطابخ والصناعات الغذائية. الشكل (1-3-15) مراحل تحويل البروتين إلى غاز النتروجين في محطات معالجة مياه الصرف.



ملاحظة: تحوي مياه صرف منزلية نموذجية (20 mg/L) نتروجين عضوي و (15 mg/L) نتروجين غير عضوي من [6]. ويمكن أن نحصل على نسبة إزالة للنتروجين العضوي (25-90%) في حوض الترسيب الأولي والمعالجة الثانوية (الثانوية). وهي حوالي (2-15 mg/L), للصرف الصحي ويعتمد نسبة إزالة نموذجية (14-26%) للنتروجين الكلي.

وفي المعالجة البيولوجية التقليدية مع ترسيب أولي يلاحظ زيادة تركيز النتروجين غير العضوي في مياه الصرف إلى أكثر من 50 % بعد الترسيب النهائي. وكذلك يتم في المعالجة البيولوجية إزالة جسيمات النتروجين العضوية وتحويل بعضها إلى (أمونيوم) ammonium وإلى أشكال غير عضوية أخرى.

النتروجين العضوي المنحل سيتحول جزئياً إلى أمونيوم (غير عضوي) بواسطة الكائنات الدقيقة. كما ويمكن إزالة الأمونيوم بالترشيح ، RO، أو بالدليزة الكهربائية (إزالة حتى 80 %) وعادة لا تستعمل هذه الطرق في مياه الصرف بشكل كبير. ويمكن أيضاً إزالة جسيمات النتروجين العضوية بالتخثير الكيميائي مع ترسيب الفوسفور.

15-3-1. أكسدة الأمونيا بيولوجيا. Biological oxidation of ammonia

إن ضبط كمية النتروجين في مياه الصرف يقسم إلى قسمين الأول هو النتربة nitrification، والثاني هو النتربة وإزالة النتروجين nitrification-denitrification.

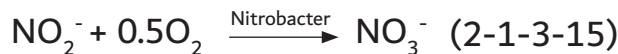
- عملية النتربة nitrification هي أكسدة ($\text{NH}_3\text{-N}$) وتحويلها إلى نترات وهي تعتمد طريقة هوائية (autotrophic)، وتقوم بها بكتريا النتربة.
- عملية إزالة النتروجين denitrification، هي اختزال النترات إلى غاز النتروجين.
- النتربة nitrification تستعمل لضبط كمية $\text{NH}_3\text{-N}$ في مياه الصرف.
- والنتربة وإزالة النتروجين nitrification-denitrification . تستعمل لتقليل المستوى الكلي للنتروجين في المياه المصرفة.

النتربة البيولوجية يمكن أن تتم في حوض مستقل يتبع المعالجة الثانوية (الثانوية)، أو يمكن أن تتم في نفس الحوض مع الإزالة الكربونية وتدعى الأكسدة الكربونية والنترباية carbon oxidation-nitrification أو الأكسدة الكربونية والنترباية مع إزالة النتروجين،

. carbon oxidation-nitrification-denitrification

في BOD المنخفض مع وجود الأمونيا تنشط بكتريا منتجة خاصة تساعد على تحقيق عملية الأكسدة البيولوجية (وفي النتجة البيولوجية يجب زيادة عمر الحمأة للتعويض في الدرجات الحرارة المنخفضة) [6].

والنتجة البيولوجية Biological nitrification هي عملية هوائية (Autotrophic nitrifiers) تستعمل نوعين من البكتريا لتحويل الأمونيا إلى نترات ومن ثم نترات Nitrosomonas و Nitrobacter وتسلسل التفاعل كما في المعادلات (1-1-3-15) و (2-1-3-15) وكامل التفاعل في المعادلة (3-1-3-15).



والتفاعل الكلي:



ونظرياً لأكسدة 1 mg/L من $\text{NH}_3\text{-N}$ يلزم 4.57 mg/L من الأوكسجين .

ومنه يمكن أن نقوم بحساب تقريبي للأوكسجين الكلي اللازم لـ BOD وللنتروجين بالعلاقة التالية:

$$\text{O}_2, \text{ kg/d} = Q(K S_o + 4.57 \text{ TKN}) \quad (4-1-3-15)$$

$$m^3/d = Q$$

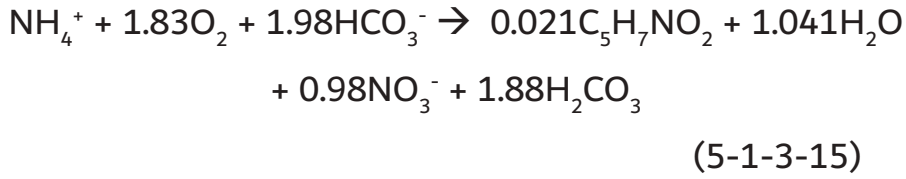
K = عامل تحويل لتحميل BOD على نظام النتجة وهو تقريباً = (1.18 - 1.25)

TKN = النتروجين الكلي حسب تجربة كيلدال mg/L

S_o = BOD_{inf} mg/L إلى حوض التهوية

عامل أمان $SF = 2.5$

ويمكن أن يكتب التفاعل:



ملاحظة :

- 1- معدل نمو البكتريا المنتجة (nitrifying bacteria) أطول بكثير من بكتريا الأكسدة الكربونية (heterotrophic bacteria) بحيث زمن الجيل أطول بـ (10-30) ساعة.
- 2- وكذلك نمو البكتريا المؤكسدة للنترت أكبر من نمو البكتريا المؤكسدة للأمونيا.
- 3- مركبات النتروجين (القابلة للنتجة بالبكتريا) تشكل حوالي 8 % من MLVSS بشكل عام.

- العوامل الحركية للنتجة:

تعتمد العوامل الحركية للنتجة البيولوجية على عدة عوامل منها تركيز الأمونيوم، PH، ودرجة الحرارة والأوكسجين المنحل وكذلك نسبة BOD إلى TKL وهذا هام أيضاً للمعالجة الكربونية التترائية.

نسبة نمو البكتريا المنتجة تعطي (معادلة مونود).

$$\mu = 1/X (dS/dt) = \mu^* (S/K_s + S) \quad (6-1-3-15)$$

حيث:

- μ. معدل نمو البكتريا المنتجة / يوم.
- μ*. معدل النمو النوعي الأعظمي / يوم. (معدل النمو في الشروط النظامية).



X. تركيز البكتيريا.

S. تركيز المواد المغذية (NH₃-N), mg/L

t. الزمن (أيام).

K_s. تركيز المواد المغذية في نصف معدل النمو الأعظمي (mg/L) أقل من (1 mg/L), (1-0.18).

وحيث إن k_s صغيرة فتصبح المعادلة:

$$\mu = 1/X (dS/dt) = \mu^* \quad (7-1-3-15)$$

وهذا يعني أن نسبة النتجة مستقلة عن تركيز المواد المغذية الابتدائية.

كما نجد في الجدول (1-1-3-15) العوامل الحركية للنتجة في نمو معلق وهي تكون اصغر عندما تكون النتجة مع الحمأة المنشطة في نفس الحوض.

معدل الأكسدة Oxidation rate .

معدل الأكسدة النتراية تتبع نمو البكتيريا (Nitrosomonas) ويعبر عنه.

$$r_N = \mu_N / Y_N = r_N^* (N/K_N + N) \quad (8-1-3-15)$$

r_N = معدل أكسدة الأمونيا { (NH₄⁺ - N, مؤكسد) / (VSS.d) }

μ_N = نسبة نمو البكتيريا d⁻¹

Y_N = عامل الأيض البكتيري (نمو Nitrosomonas)

{ (VSS.d / (NH₄⁺ - N) , مزال) }

μ_N / Y_N = r_N^{*} معدل الأكسدة الأعظمي للأمونيا (يوم.VSS) / مؤكسد NH₄⁺



$\mu_N = \text{معدل النمو الأعظمي للبكتيريا } d^{-1}$

$N = \text{تركيز } NH_4^+-N \text{ mg/L}$

$K_N = \text{ثابت نصف الإشباع (mg/L } NH_4^+-N, \text{ mg/L)}$

النموذجي	المجال	الواحدة	العامل الحركي
0.7 0.6	2-0.3 2-0.2	d^{-1} $NH_4^+-N, \text{ mg/L}$	Nitrosomonas μ_m K_S
1 1.4	3-0.4 5-0.2	d^{-1} $NO_2^- - N, \text{ mg/L}$	Nitrobacter μ_m K_S
1 1.4 0.2 0.05	3-0.3 5-0.2 0.3-0.1 0.06-0.03	d^{-1} $NH_4^+-N, \text{ mg/L}$ $\text{mg VSS/mg } NH_4^+-N$ d^{-1}	الشاملة Overall μ_m K_S Y K_d

المصدر [6] –US EPA and c, Schroeder

الجدول (1-1-3-15)العوامل الحركية للنتيجة في النمو المعلق- 20 C°

(معدل التحميل)

نسبة تحميل الأمونيا المطبقة في حوض المعالجة البيولوجية
{ 160-320g / (m³.d) } بدرجة حرارة C° (10-20) وزمن تهوية 4-6 ساعات [6].

تركيز BOD

في المعالجة المشتركة تكون نسبة كمية أكسدة SBOD (المنحل)
عالية بالنسبة لتركيز NH₃-N (غير النمو الثابت) وفي المعالجة المنفصلة



تكون كمية SBOD أقل بالنسبة لإزالة $\text{NH}_3\text{-N}$, إن إزالة أكبر من SBOD تعطي تقدم في عملية النترجة. وبالنسبة إن النترجة حساسة للأحمال العضوية وتحدث إذا انخفض الحمل إلى مستوى معين من الإزالة الكربونية ويقدر $\text{SBOD}_5 = 20 \text{ mg/L}$ (أو أقل). (من US EPA 1975b, McGhee 1991). في المعالجة المشتركة للإزالة الكربونية والنترتية تكون نسبة ($\text{BOD}/\text{TKN} > 5$) وفي المعالجة المنفصلة أكبر من 1 وأقل من 3 وعموماً المعالجة في المرحلة الكربونية يتم فيها تخفيض النسبة بسهولة إلى دون 3.

- **درجة الحرارة.** الحرارة المثالية لتفاعلات النترجة بين 30°C - 36°C ويتوقف التفاعل تحت 4°C وأكبر من 45°C والعلاقة بين μ : نسبة النمو النوعي الأعظمي/يوم و K_N : ثابت نصف الإشباع للبكتيريا المنتجة مع درجة الحرارة.

$$\mu = 0.47e^{0.098(T-15)} \text{ , per day} \quad (9-1-3-15)$$

$$K_N = 10^{0.051T - 1.158} \text{ (mg/L as N)} \quad (10-1-3-15)$$

وهو K_N , وهو ك N

$$K_N = \text{ثابت نصف الإشباع, mg / l} , \text{mg/L NH}_4^+\text{-N}$$

$$T = \text{درجة حرارة المياه } ^\circ\text{C}$$

- **في النمو الثابت:** لا يتأثر النمو الثابت بدرجات الحرارة أدنى من (15°C) أي لا تتأثر النترجة مثل النمو المعلق. المعادلة التالية (11-1-3-15) تبين تأثير درجة الحرارة على معدل النترجة للنمو الثابت بدرجة حرارة $T, ^\circ\text{C}$

$$\mu_T = \mu_{20} \theta^{(T-20)} \quad (11-1-3-15)$$

- **الأوكسجين المنحل:** نسبة نمو البكتيريا المنتجة وعلاقتها بالأوكسجين المنحل (Monod-type) المعادلة (12-1-3-15).

$$\mu_N = \mu \left(\text{DO} / K_{O_2} + \text{DO} \right) \quad (12-1-3-15)$$



K_{O_2} ثابت نصف الإشباع للأوكسجين mg/L ويعادل 0.15 mg/L في درجة 15 C° و 2.0 mg/L في درجة 20 C°.

- **القلوية وPH.** يمكن إيضاح تأثير القلوية من المعادلة (3-1-3-15) حيث يتحطم 7.14 mg/L من $CaCO_3$ لكل NH_3-N مؤكسدة.

PH المثالية للتفاعل (7-9.5) والفعالية العظمى تكون عند 8.5: PH وفي التجارب [6] وجد أنه عندما ينخفض PH من 7 إلى 6.5 يهبط التفاعل من

$$(1.51 \text{ g } NH_3.N / (m^2 \cdot d)) \text{ إلى } (0.83 \text{ g } NH_3.N / (m^2 \cdot d)).$$

والنتيجة أنه أعطيت معادلة لجمع التأثيرات في معادلة واحدة بحيث درجة الحرارة بين 8-30 C°.

$$U_N = 0.47 \text{ و } K_{O_2} = 1.3 \text{ mg/L و } PH > 7.2$$

(13-1-3-15)

$$\mu_N = 0.47 \left[e^{0.098(T-15)} \right] \left[\frac{N}{10^{(0.051T-1.158)} + N} \right] \left[\frac{DO}{1.3 + DO} \right] [1 - 0.833(7.2 - pH)]$$

- **الإزالة الكربونية والنتراية في النمو الثابت .**

في المرشحات البيولوجية تتحقق النتجة بالتدوير، نسبة تدوير 1/1 من التدفق هي مناسبة للنمو الثابت [6]، وفي الأقراص الدوارة يتم تحقيق النتجة ببناء مرحلتي معالجة وتبدأ النتجة عند انخفاض SBOD دون 15 ملغ/ليتر.

2-3-15. إزالة النتروجين. Denitrification

مقدمة: إزالة النتروجين البيولوجي. Denitrification هي تحويل النترات إلى غاز النتروجين وطرده من مياه الصرف ويتبقى من المعالجة خلايا من نوع اختياري facultative aerobic، والوسط الذي يتم فيه إزالة النتروجين يدعى منقوص الأوكسجين (anoxic) ويوجد مجموعات مختلفة

من البكتريا (Bacillus, Pseudomonas).... (US EPA 1975b) التي تسهم في المعالجة البيولوجية لإزالة النتروجين.

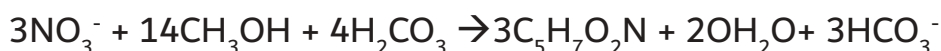
لتحويل النترات إلى غاز هنالك خطوتان الخطوة الأولى تحويل النترات إلى نتريت ومن ثم تحويل النتريت إلى غاز وفق المعادلات التالية :



كامل التفاعل:



وفي حال استعمال الميثانول كمصدر عضوي (لتأمين الكربون) لإزالة النترات:



1-2-3-15. طريقة تصميم أنظمة النتجة وإزالة النتروجين المشتركة.

Process design for combined nitrification and denitrification system

إن الطريقة البسيطة المتبعة تعتمد على تحديد زمن المكوث الهوائي ومنقوص الأوكسجين (الانوكسيك) ونسبة التدوير اللازمة.

لنفترض إزالة كاملة للنترات في $(\text{NO}_3^- - \text{N})$ مدور إلى مرحلة الانوكسيك، ونسبة التدوير اللازمة تتضمن (المزيج المنحل + الحمأة المعادة) يعطى:

$$R = \left\{ \left(\text{NH}_4^+ - \text{N} \right)_0 - \left(\text{NH}_4^+ - \text{N} \right)_e \right\} / \left(\text{NO}_3^- - \text{N} \right)_e - 1 \quad (1-1-2-3-15)$$

R = نسبة التدوير الكلي (المزيج المنحل + الحمأة المعادة).

(راجع الشكل 1-2-15)



الخارجة /mg/l (Ammonia Nitrogen) $(\text{NH}_4^+-\text{N})_0$, $(\text{NH}_4^+-\text{N})_e$ الأمونيا نتروجين الداخلة، الأمونيا نتروجين

$$(\text{NO}_3^--\text{N})_e = \text{النترات الخارجة /mg/l}$$

وبما أن النتجة تحدث في القسم الهوائي فيعطى زمن مكوث المواد الصلبة اللازم للنتجة:

$$\theta'_c = \theta_c / V_{\text{aeration}} \quad (2-1-2-3-15)$$

V_{aeration} = نسبة حجم حوض التهوية.

θ'_c = زمن مكوث المواد الصلبة اللازم للنتجة في الطريقة المشتركة بمرحلة واحدة، d.

θ_c = زمن مكوث المواد الصلبة اللازم للنتجة في الطريقة التقليدية، d.

والكتلة الحيوية يمكن أن تعطى بالرجوع إلى المعادلة (7-2-6-11)

$$V = \frac{\theta_c Q Y (S_0 - S)}{X(1 + k_d \theta_c)} \quad (7-2-6-11)$$

وبإجراء بعض التعديل فيمكن أن نكتب: [2]

$$\theta_a = \theta'_c Y_h (S_0 - S) / X_a \{1 + K_d f_{vss} \theta'_c\} \quad (3-1-2-3-15)$$

بحيث:

$$X_a = \text{MLVSS} , \text{mg/l}$$

θ_a = زمن المكوث الهيدروليكي الكلي، d .

$\text{BOD} = (S_0 - S)$ المزال ويمكن أن نعتبره S_0 ، mg/l.

k_d = عامل الاضمحلال /يوم أو $1/t$ أو (معدل موت البكتريا).

Y_h = تؤخذ برقم شائع (0.55) ، (mg VSS/mg BOD_5) .



f_{vss} = النسبة المتحللة من MLVSS في التهوية وهو يعطى :

$$f_{vss} = f'_{vss} / \{1 + (1 - f'_{vss}) K_d \theta'_c\} \quad (4-1-2-3-15)$$

f'_{vss} = هو النسبة المتحللة من VSS في الجيل ويعطى بشكل أعظمي (0.75-0.8).

زمن الانوكسيك يعطي بالمعادلة :

$$\theta_{DN} = (1 - V_{aeration}) \theta_a \quad (5-1-2-3-15)$$

ولكن الزمن اللازم للانوكسيك θ'_{DN} (لإزالة النترات) يحدد بالمعادلة :

$$\theta'_{DN} = N_{Denit} / (U_{Denit} X_a) \quad (6-1-2-3-15)$$

N_{Denit} = كمية النترات التي سيتم منها إزالة النتروجين (denitrification).

U_{Denit} = معدل إزالة النتروجين d^{-1} من الجدول (1-1-2-3-15).

الجدول (1-1-2-3-15)

معدل إزالة النتروجين لمصادر كربون مختلفة [2]

درجة الحرارة C°	معدل إزالة النتروجين U_{Denit}	مصدر الكربون (المواد العضوية)
25	0.32-0.21	ميثانول
20	0.9-0.12	ميثانول
27-15	0.11-0.03	مياه صرف
20-12	0.048-0.017	استقلاب داخلي المنشأ

إذا كان $\theta_{DN} = \theta'_{DN}$ فالحساب مطابق وإذا لم يكن يساوي فيعاد الحساب بافتراض نسبة حجم تهوية جديد.

ونلخص العوامل الحركية لإزالة النتروجين بدرجة حرارة $20 C^\circ$

(Kinetics coefficients of the denitrification) بالجدول (2-1-2-3-15).

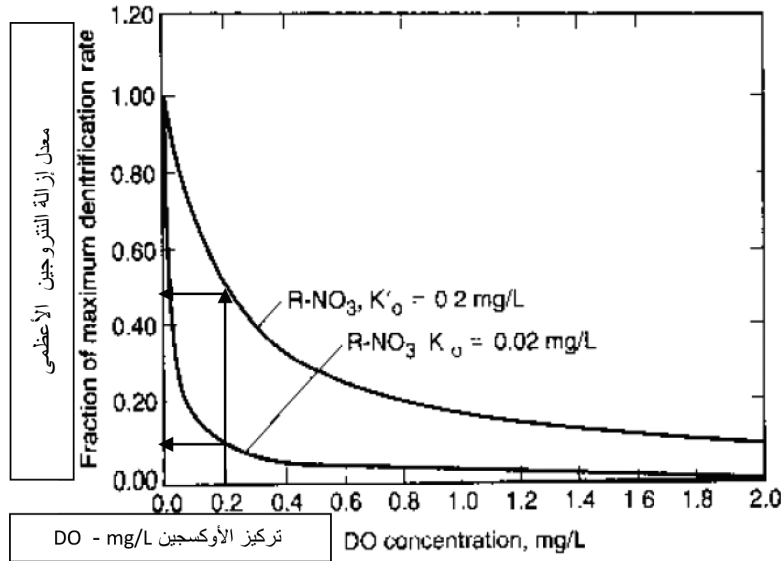


الجدول (2-1-2-3-15)

العوامل الحركية لإزالة النتروجين بدرجة حرارة 20 C° [2]

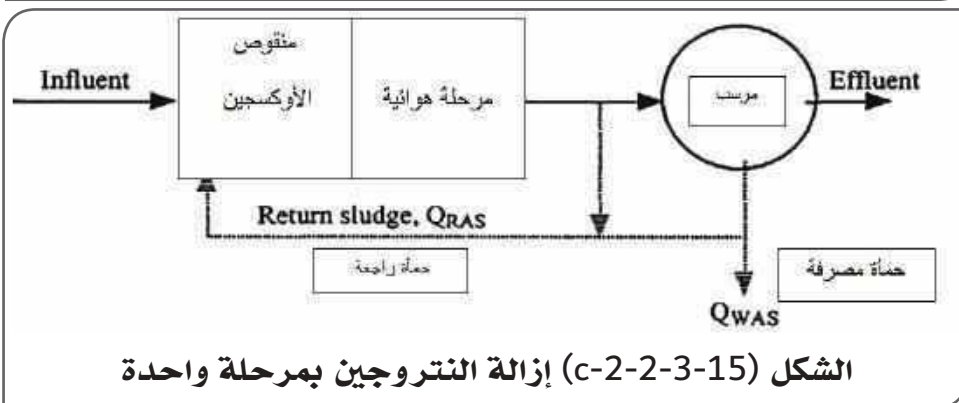
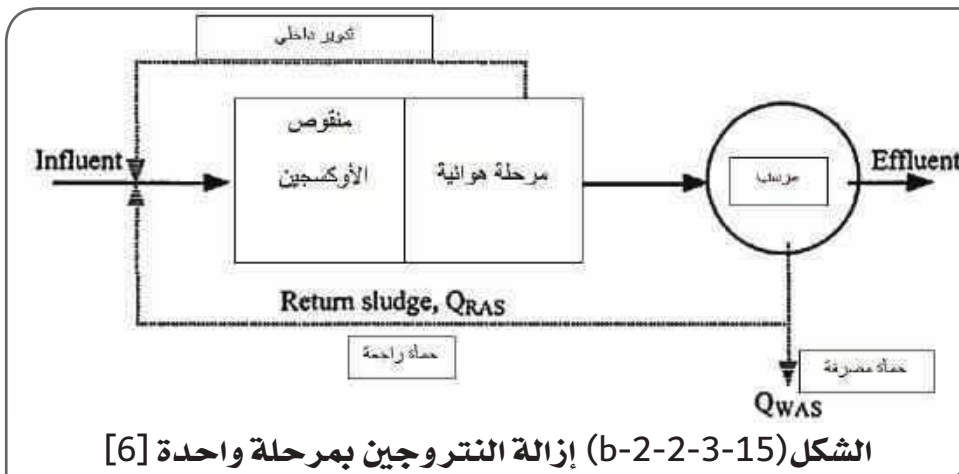
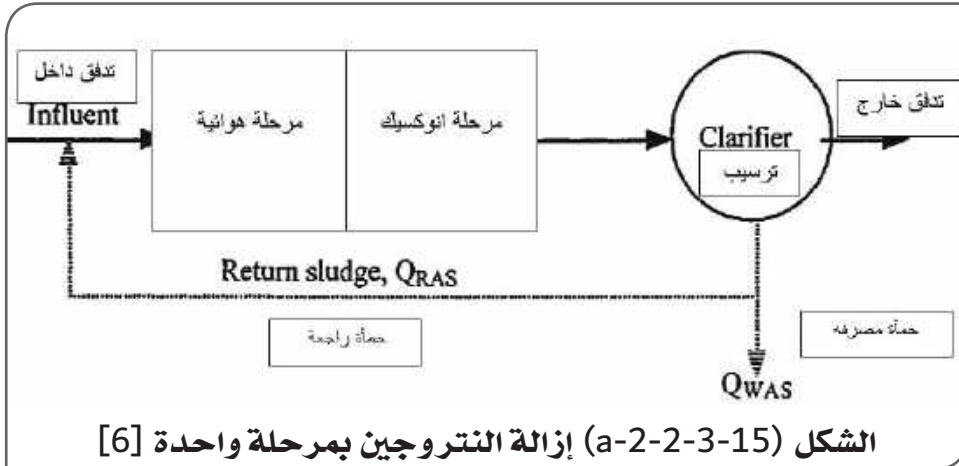
العامل	الواحدة	القيمة	
		المجال	النموذجي
μ_m	d^{-1}	0.90-0.3	0.3
K_s	$NO_3^- - N, mg/L$	0.2-0.06	0.1
Y	$mg VSS/mg NO_3^- - N$	0.9-0.4	0.8
K_d	d^{-1}	0.08-0.04	0.04

الشكل (1-2-3-15، للاطلاع) يوضح علاقة الأوكسجين المنحل DO بنسبة إزالة النترات ونلاحظ أنه عندما تنخفض كمية DO عن نسبة (0.2 mg/L) تتسارع نسبة إزالة النترات بنسب عالية، وذلك في الظروف المعطاة في الشكل من [3].

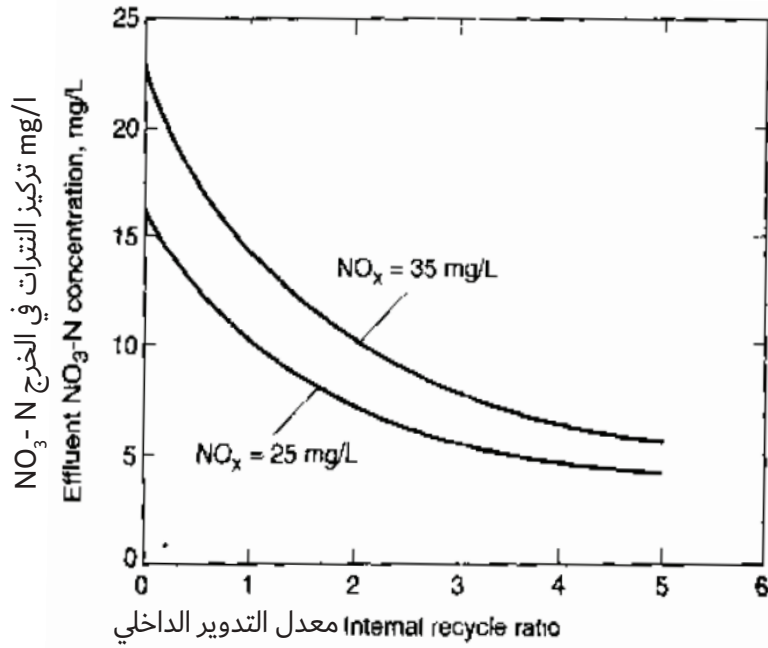


الشكل (1-2-3-15)
علاقة الأوكسجين المنحل DO
بنسبة إزالة النتروجين الأعظمي $R-NO_3$

الأشكال. (a-2-2-3-15)، (b-2-2-3-15)، (c-2-2-3-15)، بعض
الحلول لإزالة النتروجين Denitrification بمرحلة حمأة واحدة.

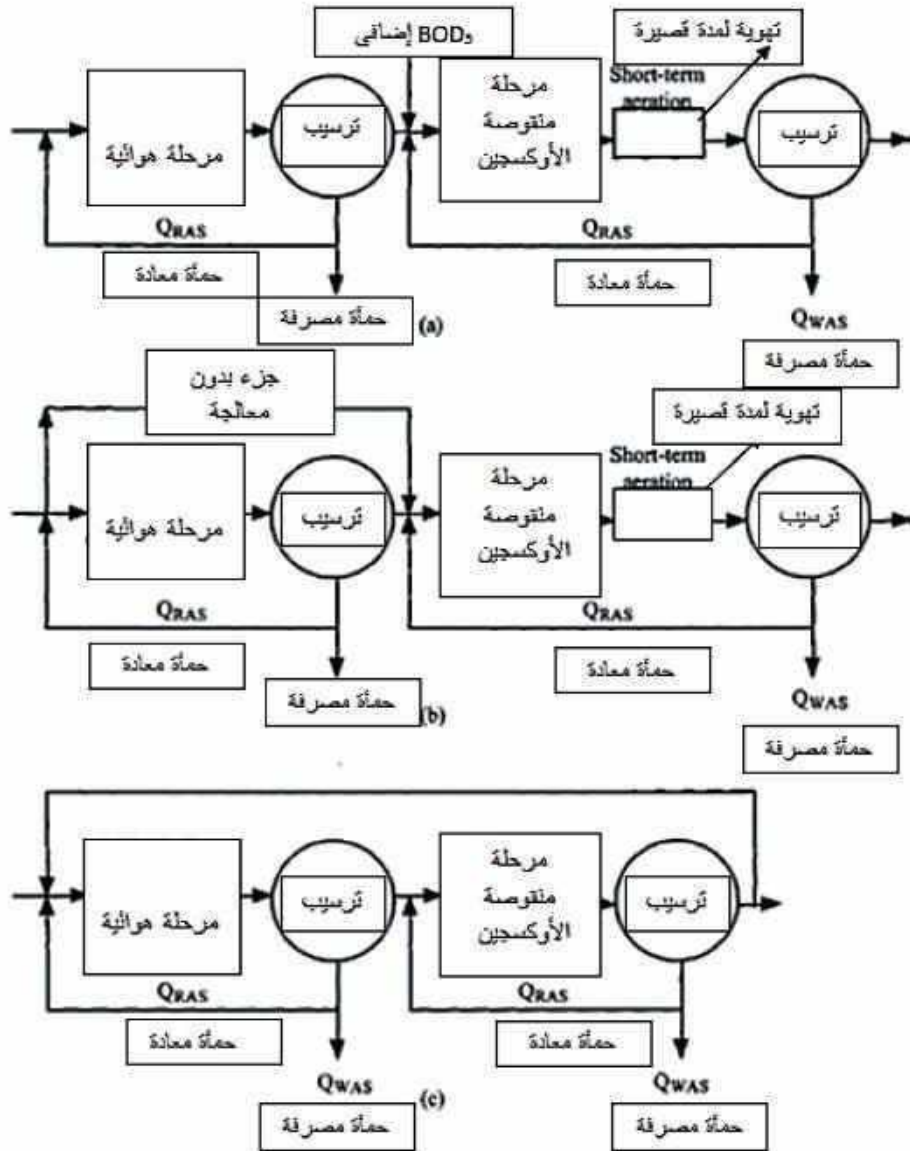


- علاقة التدوير الداخلي مع النترات في المياه المعالجة لمحطة معالجة (منقوص + هوائي) نحصل عليه من الشكل (3-2-3-15) [3] حيث $\text{mg/L} = \text{NO}_x$ كمية النترات في المياه المعالجة عندما تكون نسبة تدوير الحمأة (RAS=0.5).



الشكل (3-2-3-15)
علاقة التدوير الداخلي مع تركيز النترات،
نسبة تدوير الحمأة (RAS = 0.5)

- الأشكال (4-2-3-15 - a و b و c)، بعض الحلول لإزالة النتروجين Denitrification ، بمرحلتين حمأة وتدعى الحمأة المزدوجة.



الأشكال (a-b و a-4-2-3-15) لإزالة النتروجين بمرحلتين للحمأة (الحمأة المزدوجة) [6]

15-3-3. قنوات الأكسدة. Oxidation ditches

تسمى هذه الطريقة التهوية المدارية (أو خنادق الأكسدة) الشكل (15-3-3-1)، ويزداد استعمالها نظراً لمردودها الجيد في المعالجة حيث تساق المياه ضمن حوض وفق مسارات دائرية أو إهليلجية، وتُستعمل عادة أجهزة تهوية من نوع الفرشاة الشكل (15-3-3-1) حيث تُغمر 25 سم تحت الماء، أو أحياناً تستعمل أجهزة التهوية الميكانيكية أو أجهزة الهواء المذرور. ونظراً لبقاء المياه فترة طويلة 16 ساعة أو أكثر وعمر الحمأة من 18-40 يوم، تتحقق فيها عملية النتجة وكذلك إزالة النتروجين وتعتبر إحدى ميزات الطريقة.



a



b

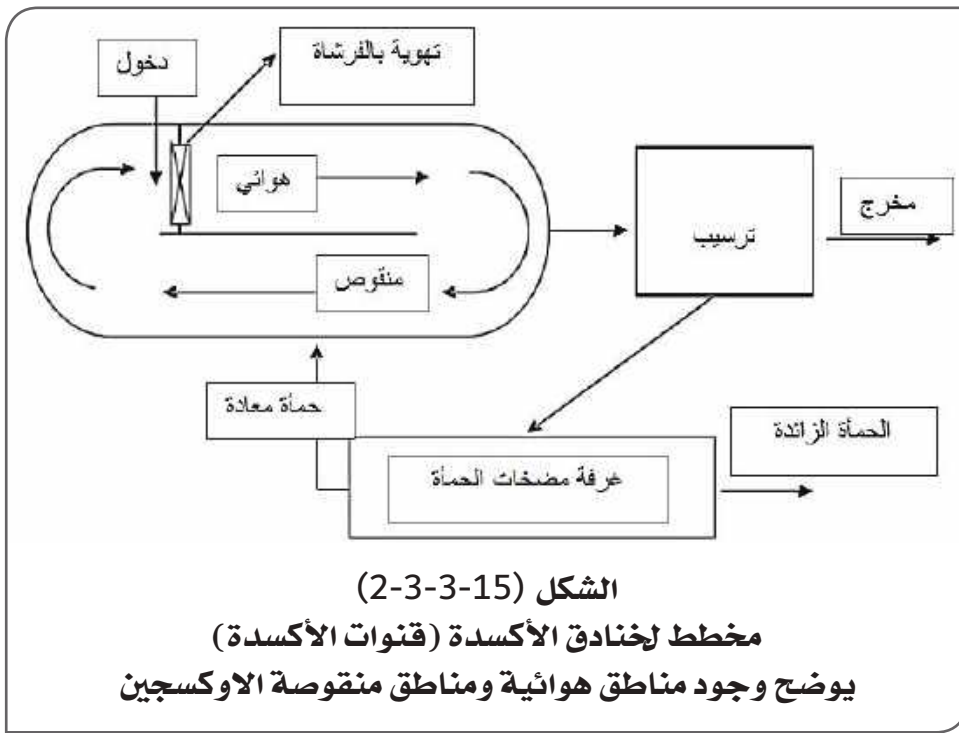
الشكل (15-3-3-1)

a. صورة لقنوات الأكسدة M.G. Consulting

b. أجهزة تهوية من نوع الفرشاة

وتدخل المياه الخام إلى حوض المعالجة عند ابتداء عملية إزالة النتروجين، وتكون سرعة الجريان في الحوض (0.25 - 0.35) م/ثا. الشكل (2-3-3-15) مخطط لخنادق الأكسدة (قنوات الأكسدة) يوضح تحقق أقسام مهواة وأقسام منقوصة الأوكسجين لإزالة النتروجين.

تعاني الطريقة عموماً من زيادة حجم الحمأة ورفع الحمأة والرغوة فيجب تأمين الوسائل لمنع حدوث ذلك ويجب ان تزود بأجهزة المزج ومراوح تدوير لمياه الحوض ..وحسب الدراسة.



- خنادق أكسدة (قنوات أكسدة) أزمنة متقطعة. Intermittent aeration process design

الشكل (2-3-3-15) الشكل (4-3-3-15)، حيث يتحقق في نفس الحوض زمن تهوية ثم زمن آخر يحدث فيه منقوص الأوكسجين، ونلاحظ عند انخفاض DO يحصل انخفاض في النتروجين (يتم المراقبة بشكل آلي) ويتم تحريك مياه الحوض بمراوح خاصة عند توقف التهوية.

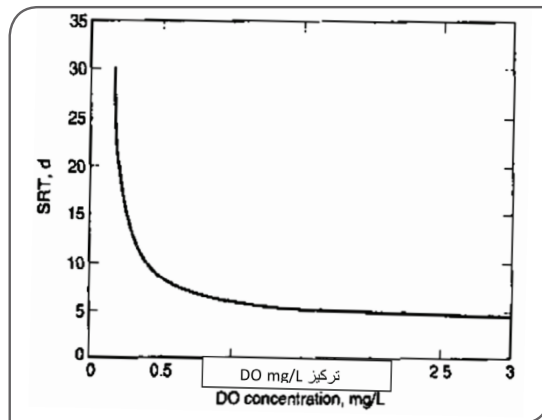
من المرجع [68 و metcalf&eddy 3] نموذجي لإزالة النتروجين:
 زمن التهوية من 18-30 ساعة وتدوير الحمأة من 50 - 100 %، و2000-
 MLSS 4000، وعمر الحمأة من 20 - 30 يوم).

الأوكسجين المنحل المثالي لإزالة النتروجين 0.00 ملغ/ليتر، ويتوقف
 إزالة النتروجين أعلى من 0.3 ملغ/ليتر وزمن الدورة في الحوض 5-20 دقيقة
 وحجم الحوض أكبر بـ 2-4 مرات من الحجم اللازم للنتيجة وذلك للسماح بوجود
 حجم للأنوكسيك، الشكل (15-3-3-3) من [3] يعطي تأثير DO على SRT اللازم
 لتحقيق $\text{NH}_4\text{-N}$ (1 mg/L) بدرجة حرارة 20°C في الحمأة المنشطة الممزج
 الكامل ونلاحظ إمكانية تحقيق النتجة بعمر حمأة طويل، وDO منخفض أيضاً.
 الشكل (15-3-3-4)، خنادق أكسدة (قنوات أكسدة) / أزمنة متقطعة.



الشكل (15-3-3-2)

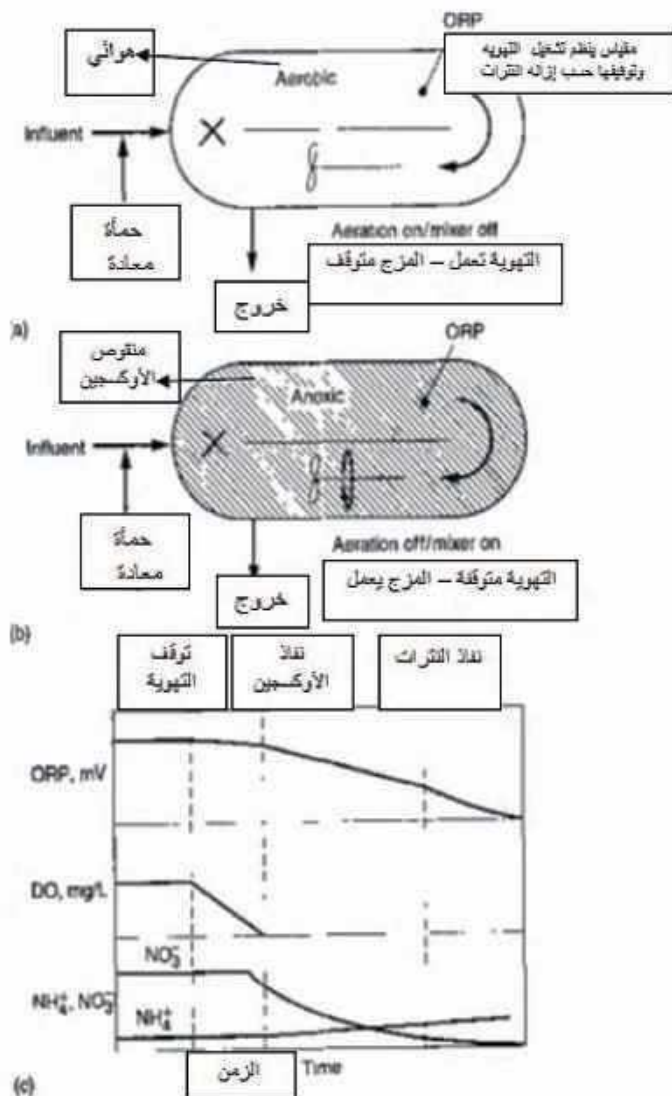
خنادق أكسدة (قنوات أكسدة) / أزمنة متقطعة



الشكل (15-3-3-3)

تأثير DO على SRT اللازم لتحقيق $\text{NH}_4\text{-N}$ (1 mg/L) بدرجة حرارة 20°C

كما يلاحظ انخفاض معدل إزالة النتروجين بانخفاض درجة الحرارة
فالانخفاض من 20°C إلى 10°C يسبب انخفاض في إزالة النتروجين 25 % (من
ENHANCING THE PERFORMANCE OF OXIDATION DITCHES (Larry
W. Moore, Ph.D., P.E., DEE + مت كالف).



الشكل (4-3-3-15)
خنادق أكسدة (قنوات أكسدة) / أزمنة متقطعة

15-3-4. أكسدة الأمونيوم لاهوائياً وإزالة النتروجين باستعمال أنظمة اناموكس

Anaerobic ammonium oxidation and Nitrogen removal by using Anammox systems

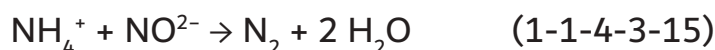
إن دورة النتروجين الطبيعية والمعروفة في مياه الصرف هي أكسدة المواد العضوية بوجود الأوكسجين والبكتيريا إلى أمونيا ومن ثم نترت إلى نترات أنظر المعادلة (15-3-1-3). ومن ثم وبواسطة بكتيريا تعمل في منقوص الأوكسجين يتم تفكيك النترات إلى نترت ومن ثم طرد غاز النتروجين. المعادلات (15-3-1-2)، (15-3-2-2)

ومنذ عام 1980م، تقريباً تقوم دراسات خاصة لأنواع من البكتيريا تقوم بأكسدة الأمونيوم لاهوائياً، وطرد النتروجين وتسبب وفورات كبيرة في عملية النترجة nitrification تصل إلى 50 %.

15-3-4-1. تعريف الأكسدة اللاهوائية للأمونيا (Anammox)

Anaerobic Ammonium Oxidation

إن أكسدة الأمونيوم اللاهوائية (أناموكس) هي أكسدة الأمونيوم إلى N_2 في غياب الأكسجين ومع النترت NO_2 باعتباره مستقبل للإلكترون وبوجود بكتيريا خاصة مسؤولة عن العملية. وتكون العملية ببساطة وفق المعادلة (15-3-4-1-1).



وكانت المشكلة الأساسية ببطء نمو البكتيريا المسؤولة عن Ammonium حيث تنقسم البكتيريا مرة كل أسبوع تقريباً، وتم حل هذه المشكلة في حينها باستعمال طريقة SBR حيث يمكن الاحتفاظ بالكتلة الحيوية ضمن النظام. في وقت لاحق بدأ أول نظام واسع النطاق للتخلص من النتروجين على النترت في محطة معالجة في ستراس، النمسا في نظام anam-mox أحادي المرحلة، حيث تحدث عمليات النترجة الجزئية أيضاً، anam-mox في نفس المفاعل بكمية محدودة من O_2 .

والبكتيريا المسؤولة عن الانموكس تتبع لنوعية عامة من البكتيريا تدعى



Planctomycetes، وتوجد أنواع مختلفة تحت هذا الاسم والمسؤولة عن الاناموكس. الشكل (1-1-4-3-15) من أشكال البكتيريا في نظام anam-mox. والجدير بالذكر أنه تم اكتشاف أن من هذه البكتيريا من هو المسؤول عن إطلاق 50 % من النتروجين الذائب في المحيطات [Nitrogen cycle solution].



وتعد هذه الطريقة هامة لعدة اسباب:

1. يمكن أن يؤدي تطبيق عملية Anammox في معالجة مياه الصرف إلى تخفيض كبير في تكاليف التشغيل.
2. بالمقارنة مع أنظمة النترجة وإزالة النيتروجين التقليدية، يسمح Anammox بتوفير أكثر من 50 % من الأكسجين.
3. لا حاجة لمصدر كربون عضوي.
4. تقليل إصدارات CO_2 من 30 % إلى 90 %، وهذا يعطي وفورات إضافية. [19]
5. استعمالها في معالجة مياه الصرف الصناعية التي تحوي نتروجين عالي مثل الدباغات، صناعة الخميرة، التقطير، الأغذية، الدوائية، رشاحة المطامر landfill leachate، هضم السماد من روث الحيوانات، المياه الناتجة بعد الهضم اللاهوائي للحمأة (قد تحوي أمونيوم حوالي 800 غ/م³).
6. وقد تطور الوضع حديثاً بدخولها إلى معالجة الصرف الصحي.

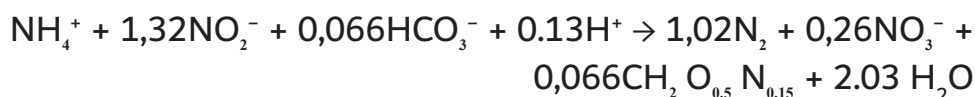
7. وتدرس حالياً إزالة النترات مقرونة بأكسدة الأحماض العضوية.

8. ويوجد حالياً تطبيقات كثيرة يجري دراستها تحت هذا النظام.

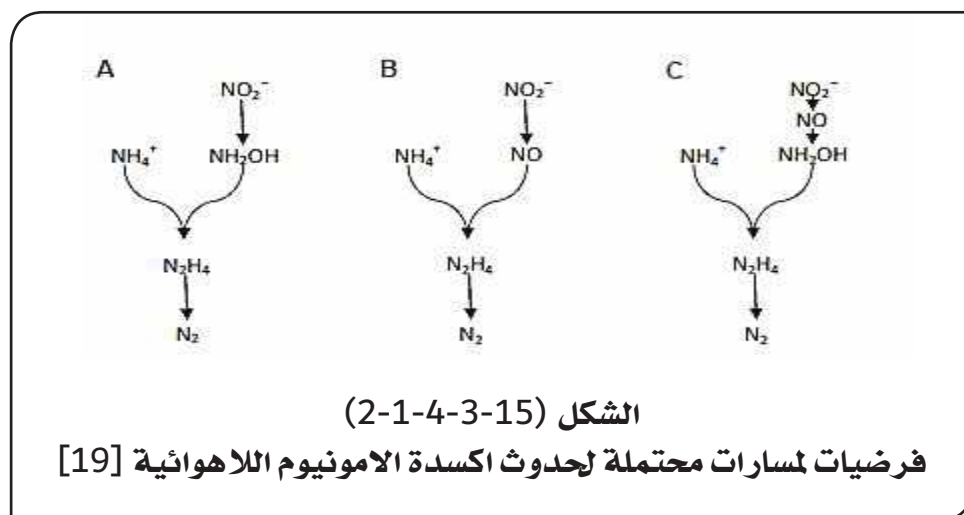
ويتطلب التطبيق في معالجة مياه الصرف الصناعي باستعمال Anammox تصميمًا خاصًا حسب الحالة، وحسب مياه الصرف، حيث يمكن أن تؤثر على ثبات المعالجة بـ Anammox الظروف المحيطة ومحتويات مياه الصرف مثل الأس الهيدروجيني، الملوحة، درجات الحرارة، COD، والنترت والأمونيوم والمضادات الحيوية والمعادن الثقيلة...

المعادلة (2-1-4-3-15) [19] تعبر عن تحول الامونيوم ومع النترت كمستقبل للإلكترون وفق النسبة (1:1.32)

(2-1-4-3-15)



الشكل (2-1-4-3-15) يبين فرضيات محتملة لمسارات حدوث أكسدة الأمونيوم اللاهوائية في نظام Anammox لإطلاق غاز النتروجين وفق ما يلي:

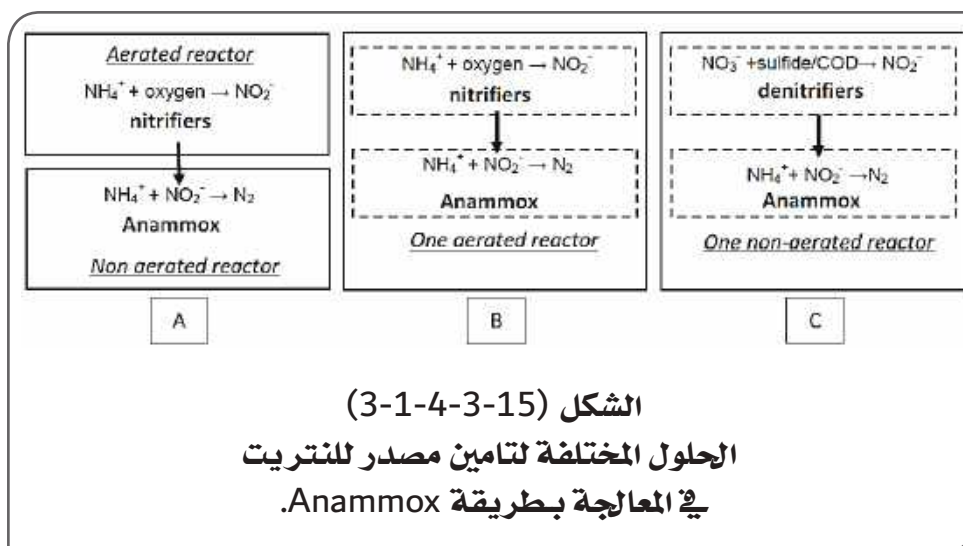


ماهي الحلول المختلفة لتأمين مصدر للنتريت في المعالجة بطريقة Anammox. لمعالجة الامونيوم وازالة النتروجين:

1. في مفاعلين متسلسلين النتجة والأناموكس Anammox
2. النتجة والأناموكس Anammox في مفاعل واحد.
3. إزالة النتروجين الجزئية من النترات إلى النتريت بطريق بكتريا Anammox في مفاعل واحد غير مهوى.

الشكل (3-1-4-3-15) يبين ماهي الحلول المختلفة لتأمين مصدر للنتريت في المعالجة بطريقة Anammox. لمعالجة الامونيوم وازالة النتروجين [19].

راجع الفقرة (2-2-2-3-20) الذي يبين مثال لمعالجة مياه الدباغات باستعمال طريقة Anammox.



الجزء الرابع

المعالجة الكيميائية والفيزيائية للملوثات العضوية ومعالجة الحمأة

**Chemical and physical treatment of
organic pollutants and sludge treatment**



الأكسدة الكيميائية والمعالجة الفيزيائية للملوثات العضوية

Chemical and physical treatment of organic pollutants

1-16. الأكسدة الكيميائية للمواد العضوية.

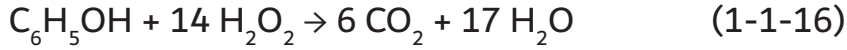
Chemical treatment of organic pollutants

طرق الأكسدة الكيميائية لإزالة المواد العضوية في مياه الصرف، وذلك بالأكسدة التامة لكل المركبات العضوية حيث يتم تحويلها إلى مركب الكربون وماء أو تحويلها إلى مواد أقل ضرراً يسهل التخلص منها. وتستعمل المواد التالية في الأكسدة الكيميائية:

- جذر الهيدروكسيل (OH⁻) Hydroxyl radical
- الأكسجين Singlet oxygen (¹O₂)
- الأوزون Ozone (O₃)
- الماء الأوكسجيني Hydrogen peroxide (H₂O₂)
- البرمنغنات Permanganate (MnO₄⁻)
- ثاني أكسيد الكلور Chlorine dioxide (ClO₂)
- حمض هيبوكلوريتوس (حمض تحت الكلور) Hypochlorous acid (HOCl)
- الكلور Chlorine (Cl)

وتتم العملية بتمرير الماء الملوث على مؤكسد قوي بظروف خاصة من (pH، الحرارة) لتحقيق التفاعل المطلوب. فنرى في المعادلة (1-1-16) مثال نموذجي للحالة وذلك بوجود الحديدوز كمحفز (مركبات الحديد ثنائية التكافؤ حالة الأكسدة +2) و pH = 4.





2-1-16. قابلية تطبيق الأكسدة الكيميائية لإزالة المواد العضوية.

عند تطبيق طرق المعالجة بالأكسدة الكيميائية أو تدعى عوامل الأكسدة oxidizing agent يجب أن نأخذ في الاعتبار ما يلي:

- دراسة الجدوى الاقتصادية.
- أن لا يكون هنالك منتج ثانوي غير مرغوب فيه مثل (مركبات أكثر سمية من المواد الأصلية المعالجة).
- فعالية المعالجة.
- تكامل عملية الأكسدة مع المعالجة الموجودة أو المرجوة.
- مكان المعالجة.

الأكسدة الكيميائية تستعمل لضبط ملوثات معينة مثل (مركبات الفينول) ويجب ان تتم دراسة كل نوع للمياه ولو كانت تحمل نفس المواد المطلوب معالجتها. إضافة لأن بعض المواد العضوية قد تكون سهلة الأكسدة أكثر من الأخرى، وكذلك بعضها قد يحتاج إلى جرعات أكبر وزمن أكبر للتفاعل.

وفيما يلي بعض الامثلة:

- المواد شديدة تفاعل الأكسدة مثل الفينولات phenols، الالدهيدات aldehydes، الأمينات العطرية aromatic amines، بعض المركبات العضوية الكبريتية organic sulfur compounds.
- المواد متوسطة تفاعل الأكسدة كالمركبات الكحولية alcohols، الاسترات esters، الأمينات amines، الأحماض، nitro-substituted, alkyl-substituted aromatics، acids الكربوهيدراتية carbohydrates، الاليفاتية الكيتونية aliphatic ketones ...
- المواد ضعيفة تفاعل الأكسدة مثل الهيدروكربونات الهالوجينية halogenated hydrocarbons، المركبات الاليفاتية الممتزة saturated aliphatic compounds، البنزن benzene.

- تستعمل الأكسدة الكيميائية بشكل كبير كمعالجة ابتدائية قبل المعالجة البيولوجية، أو كصقل polishing للمياه، وذلك لتتأكد أن المياه المعالجة قد طابقت المواصفات المطلوبة. وكذلك تستعملها:
- في التدفقات الصغيرة ذات التلوث العالي.
- في حال كان الملوث يثبط عمل البكتيريا في المعالجة البيولوجية اللاحقة.

3-1-16. اعتبارات تصميمية. Design considerations

إن نظام الأكسدة الكيميائية يتألف عادة من حوض تماس يتم فيه مزج العامل المؤكسد مع مياه الصرف، خزان ونظام تغذية للعامل المؤكسد وللمادة المحفزة إذا لزم، وضابط للـ pH إذا لزم، أيضاً وأنظمة أخرى مساعدة مثل مقياس تدفق، جهاز تجريع chemical doses، مقياس درجة حرارة.

إن التصميم يجب أن يأخذ في الاعتبار الهدف من المعالجة هل هو الأكسدة التامة للملوثات، أو تخفيف الملوثات أو تحطيم الملوثات السامة من أجل المعالجة البيولوجية اللاحقة، وكذلك يجب أن نتأكد من المنتجات لأن بعضها قد يكون أكثر سمية من الملوث الأصلي، وكذلك ظهور مواد عضوية تزيد من مستوى الكربون الكلي في مياه الصرف (TOC)، أو أن تزيد تركيز المواد غير العضوية.

كذلك يجب أن يؤخذ في الاعتبار تخزين المواد الكيميائية وعملية تداولها وتأثيرها على الإنسان وتأثيرها أيضاً على الكائنات الحية والتربة والماء والهواء.

4-1-16. عوامل الأكسدة. Oxidizing agents

الجدول (1-4-1-16) من [1] يحوي قائمة بعوامل الأكسدة والطرائق والتطبيقات النموذجية للمعالجة.

إن فعالية الأكسدة تتم بقياس الجهد بالفولت وارتفاعه يدل على فعالية المؤكسد. ونظراً للخبرة الطويلة في عملية الأكسدة بطريقة (كاشف فنتون Fenton's Reagent)، وللكلفة الاقتصادية المناسبة، فيعتبر أكثر الطرق استعمالاً في الأكسدة.



وفيما يلي شرح مبسط لهذه الطرائق.

1-4-1-16. الماء الأوكسجيني. (H_2O_2) ، كاشف فنتون Fenton's Reagent

إن الماء الأوكسجيني مركب غير مستقر ويعتبر مؤكسد جيد ويستعمل لأكسدة الامينات والالدهيدات والسيانيد بدون محفز، وعندما نحتاج لمحفز في بعض الحالات فنستعمل معه الحديدوز، (Fe^{+2}) وتفاعل فنتون من أكثر تفاعلات الأكسدة قوة في المعالجة حيث يتم مزج الماء الأوكسجيني مع كبريتات الحديد الثنائي أو الزاج الأخضر ($FeSO_4$ ferrous sulfate) أي ملح الحديدوز وفق المعادلة (1-1-4-1-16)



وتستعمل الطريقة لأكسدة كثير من المواد العضوية، كمياه صرف الأصبغة، المياه الجوفية، مياه صرف معامل الأدوية، عصارة المطامر، المبيدات، مياه صرف تحوي الفينول، الالدهيدات، الامينات.. ويمكن معالجة التركيز العالي للملوثات ($COD > 5000$ مغ/ل) وهي وتحتاج إلى كميات كبيرة من الماء الأوكسجيني لتحقيق الأكسدة الكاملة للمواد العضوية، وينصح بهذه الطريقة كخطوة قبل المعالجة.

الجدول (1-4-1-16)

قائمة بعوامل الأكسدة والطرائق والتطبيقات النموذجية للمعالجة

المساوئ	المحاسن	المركب العضوي	العامل المؤكسد
عدد محدود من المركبات دون محفز	سهل النقل، التخزين، والتطبيق واثبت فعالية، ويتحلل الى اوكسجين	الالدهيدات، الامينات	الماء الأوكسجيني Hydrogen peroxide (H ₂ O ₂)
يعالج فقط في pH منخفض، الحرارة المتولدة يمكن ان تؤدي الى تبخر الملوثات	يشكل جذر الهيدروكسيل ويعالج مركبات عضوية متعددة وله تطبيقات تجارية كثيرة	الالدهيدات، الامينات، الاصبغة، المبيدات، الفينول، ومركبات الفينول، هيدروكربون عطري متعدد الحلقات (PAHs)، مخفضات التوتر السطحي (المسطحات)	كاشف فنتون Fenton's Reagent: الماء الأوكسجيني (H ₂ O ₂) مع محفز من كبريتات الحديد الثنائية FeSO ₄ . الزاج الاخضر
يشكل مركبات عضوية مكلورة.	لا يوجد	لا يستعمل بشكل شائع في التطبيقات الصناعية	الكلور (Cl) Chlorine
يجب أن يُصنع في الموقع . يتحلل في ضوء الشمس	اكثر تأثيرا من الكلور	الكحول، الالدهيدات، الامينات، المركبتان mercaptans، الفينول، المركبات الفينولية..	ثاني أكسيد الكلور Chlorine dioxide (ClO ₂)
لتوليده يحتاج الى معدات مكلفة في الموقع، يستهلك طاقة كبيرة	زمن تماس قصير، يتحلل الى اوكسجين	اللون، الاصبغة، الفينول، ومركبات الفينول..	الاوزون Ozone (O ₃)
زمن تماس طويل نسبيا	سهل النقل، التخزين، التطبيق، واثبت فعاليته	الالكينات، الكحول، الالدهيدات، الكيتونات، المركبتان، المذيبات المكلورة	البرمنغنات permanganate (MnO ₄ ⁻)

محدودة بسبب نفاذية الأشعة فوق البنفسجية في مياه الصرف، معدات مكلفة	يشكل جذر الهيدروكسيل ويعالج مختلف المركبات العضوية	المذيبات المكلورة، المواد المتفجرة TNT...،الوقود الهيدروكربوني (بنزين، تولين...)، المبيدات، الفينول، ومركبات الفينول، (PCBs) ..	UV الاشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Light
تجريبي	يشكل جذر الهيدروكسيل ويعالج مختلف المركبات العضوية	المذيبات المكلورة، المبيدات، الفينول، ومركبات الفينول	الصوتنة Sonication
يلزم حرارة، وضغط عالي، ومعدات خاصة، مفاعل، ويلزم وسائل وعوامل امان عالية، تكاليف عالية	تتوسع في الاستعمال ولكل نوع اكسدة يوجد المادة العضوية، تهديم كامل للمادة	في مياه صرف COD اعلى من 10000 مغ/ل، عوامل كيميائية، مبيدات، البتروكيميائية، المصافي، صرف معمل الكوستيك (الصودا الكاوية)، معمل الاثلين، الحمأة البيولوجية لمياه الصرف	الاكسدة بالهواء الرطب Wet air oxidation
نحتاج الى ضغط وحرارة عالية ومعدات خاصة ومفاعل خاص وعوامل امان عالية، تكاليف عالية	يعالج مختلف المركبات العضوية ويحطمها تماما	الهيدروكربونات الاروماتية، العوامل الكيميائية، المواد المتفجرة TNT و DNT، الهالوجينات، الكيتونات، النتروجين العضوي، المبيدات، الفينول، ومركبات الفينول، PCBs	اكسدة الماء فوق الحرجة Supercritical water oxidation (SCWO)

16-1-4-2. الكلور. Chlorine (Cl)

يستعمل في معالجة مياه الصرف الصناعي لأكسدة السيانيد، تدعى الطريقة الكلورة القلوية alkaline chlorination وتستعمل الطريقة في صناعة تلبيس المعادن، والمناجم. (راجع الفصل 8).

وعندما يتفاعل الكلور مع المادة العضوية يتشكل مركبات مكلورة معقدة، لذلك ليس شائعاً استعمال الكلور في معالجة مياه الصرف. ويستعمل الكلور بشكل كلور حر (غاز) أو هيبوكلوريت (الصوديوم أو الكالسيوم).

16-1-4-3. ثاني أكسيد الكلور. Chlorine dioxide (ClO₂)

لا يعتمد تأثير ثاني أكسيد الكلور على درجة الـ pH كما أن المنتجات لا رائحة لها كما في معالجة الكلور، ويستطيع كذلك أكسدة الكحول بينما الكلور لا يستطيع ذلك.

ينتج ثاني أكسيد الكلور في الموقع عن طريق تفاعل:

- محلول من كلوريت الصوديوم (Sodium Chlorite NaClO₂) مع غاز الكلور.

- أو هيبوكلوريت الصوديوم sodium hypochlorite وحمض كلور الماء hydrochloric acid [1].

ملاحظة: عند تفكيك المواد العضوية في المياه بواسطة الكلور الحر يتم توليد ثلاثي هالو الميثان Trihalomethanes (ويكيبيديا)، ويشتهر بأنه من المركبات الثانوية المسرطنة.

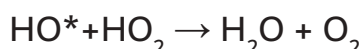
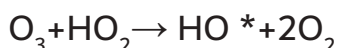
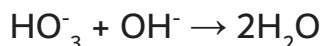
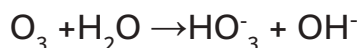
16-1-4-4. الأوزون. Ozone (O₃)

هو غاز أزرق ذو رائحة واخزة، وهو مؤكسد سريع للمواد العضوية في مياه الصرف. وهو شائع الاستعمال لأكسدة الفينولات، السيانيد، والمواد العضوية التي تسبب اللون في الماء.

والأوزون غير مستقر كيميائياً، ويتحول إلى أوكسجين بسرعة، ويُولد من الهواء (أو من الأوكسجين الصافي) عندما نطبق فولت عالي عبر فراغ صغير



بين الكترودات ويحوي الناتج نسبة من الأوزون 0.5 % - 3 % وزناً وعندما يولد من الأوكسجين الصافي تكون نسبة الأوزون 1-6 % وزناً. ويكون سلوك الأوزون وفق المعادلات التالية:



HO_2 وجذر الهيدروكسيل HO^* لها قدره كبيرة على الأكسدة ويستعمل لمعالجة مياه الصرف (وكذلك التطهير)، وهو أكثر فعالية من الكلور، ولا يعطي أملاح منحلة، ولا يتأثر بشوارد الأمونيا أو الـ pH، والأوزون مفيد للبيئة ولكن الأوزون المتبقي يمكن أن يؤثر على الحياة المائية. يبين الشكل (1-4-4-1-16) جهاز لتوليد الأوزون من إحدى الشركات العالمية وتجربة معالجة مياه ملوثة بالأوزون مخبرياً. والمواصفات الفنية تعطى عادةً من قبل الشركات المصنعة لتحديد كمية الأوزون والطاقة المطلوبة والتدفق وطريقة التركيب. والتركيز المنتج للأوزون يعتمد على الطاقة المقدمة والتدفق الداخل، ومعايرة التدفق والطاقة يحدد الإنتاج الاقتصادي للوحدة. كما يزداد ذوبان الأوزون طرداً مع الضغط ولذلك يحقن في المياه مضغوطاً، أو من خلال نواشر في أسفل الحوض.

بعض مواصفات O_3 : إنحلالية الأوزون 10 % وزناً وهي فقط 31 مغ / لتر عند 1 ضغط جوي ودرجة حرارة 30 مئوية.



الشكل (1-4-4-1-16)

جهاز لتوليد الأوزون وتجربة معالجة مياه ملوثة بواسطة الأوزون مخبريا

5-4-1-16. البرمنغنات permanganate (MnO_4^-)

تضاف إلى مياه الصرف لأكسدة المواد العضوية واللاعضوية، وتستعمل لأكسدة السيانييد، H_2S ، الفينولات، إضافة إلى أنها تستعمل لأكسدة الحديد الثنائي، المنغنيز، ومواد أخرى مشابهة، وهي ذات طعم ورائحة. واشهر المركبات المستعملة برمنغنات البوتاسيوم potassium permanganate التي تخزن بشكل جاف.

6-4-1-16. الاشعة فوق البنفسجية. Ultraviolet Light UV

وحدات الأشعة فوق البنفسجية لمعالجة المياه، هي في الأساس تتكون من مصباح بخار الزئبق ذو الضغط المنخفض الذي ينتج أشعة فوق البنفسجية UV بطول موجة (250-270) نانومتر وطول المصباح من (0.75-1) م وقطر المصباح (15-20) ملم، والأشعة فوق البنفسجية (UV) تعزز عملية الأكسدة حيث تقوم موجاتها بالتفاعل مع المؤكسدات مثل الماء الأوكسجيني والأوزون لخلق جذور الهيدروكسيل التي تؤكسد الملوثات العضوية [1]، وهي تكنولوجيا استعملت لأول مرة في معالجة المياه الجوفية الملوثة، والأشعة فوق البنفسجية تلعب دوراً في تحطيم الروابط الكيميائية وخصوصاً لبعض المركبات الصعبة بواسطة التحلل الضوئي (photolysis)،

UV Radiation and Oxidation System (Isometric View)

الشكل (1-6-4-1-16)

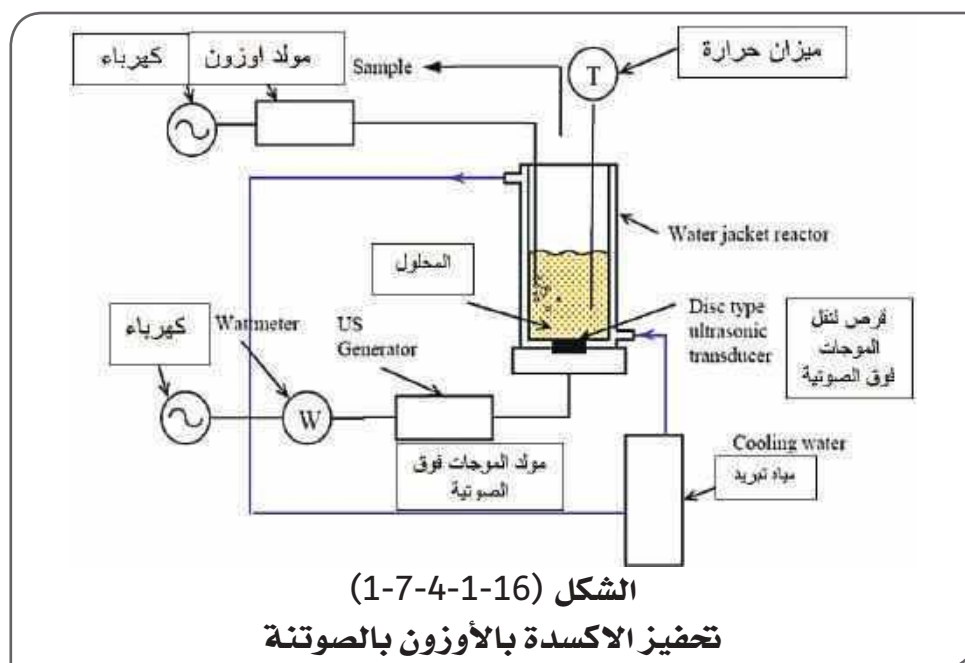
مثال لأكسدة المواد العضوية في مياه جوفية بواسطة UV والأوزون والماء الأوكسجيني

7-4-1-16. الصوتنة. Sonication

في الصوتنة، يتم إضفاء موجات الصوت إلى تيار مياه الصرف الصناعي التي تحتوي على الغازات المذابة (H_2 , He, Ne, Ar, O_2 , N_2)، الموجات الصوتية تسبب تكهفات صوتية - فتتشكل فقاعات غاز صغيرة. عندما تنهار الفقاعات تخلق مناطق محلية عالية الضغط والحرارة، تمكن من إنتاج انواع من الجذور الكيميائية مثل:

(جذر الهيدروكسيل Hydroxyl radical OH^*)، (الماء الأوكسجيني H_2O_2 Hydrogen peroxide)

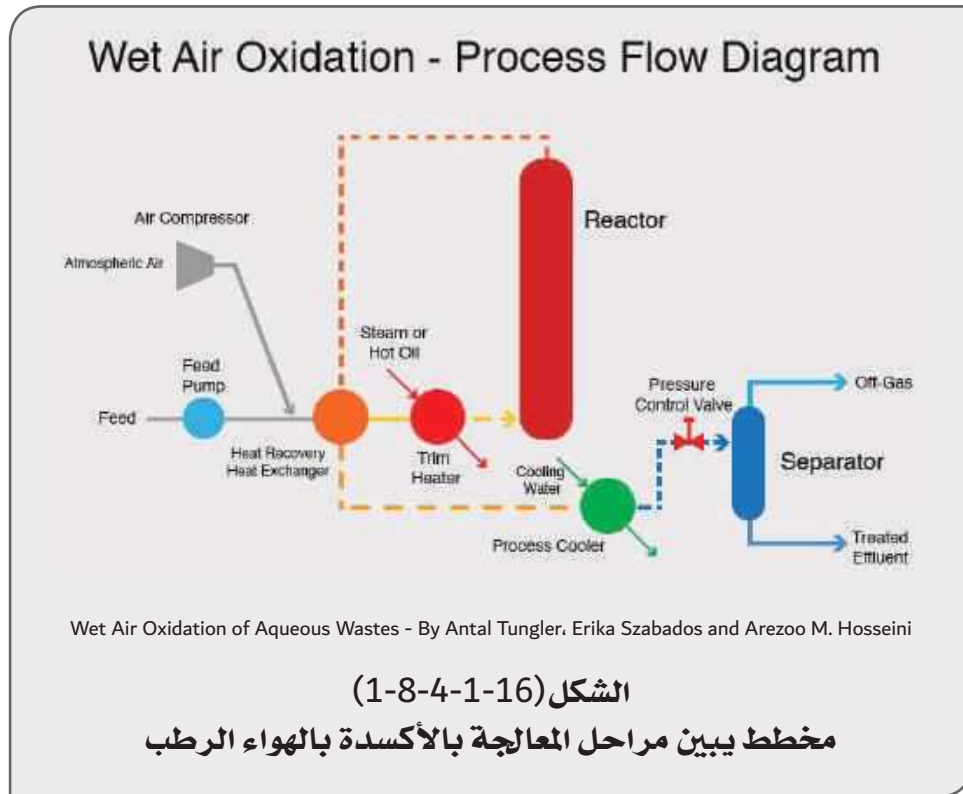
(العملية تسمى water sonolysis)، حيث ترددات الموجات فوق الصوتية العالية مناسبة لإنتاج جذور الهيدروكسيل، فالصوتنة يمكن أن تحفز الأكسدة بالأوزون (sonocatalytic ozonation)، ويمكن أن تستعمل لإزالة مواد عضوية مثل Trichloroethylene (TCE)، وإزالة اللون من مياه الصباغة (Matthews and Pavlostathis, 2001)، حيث يمكن من بعدها إعادة استعمال المياه، وتستعمل لمعالجة مياه صرف تحوي مضادات حيوية، وكذلك لإزالة اللون من الأحبار، ومعالجة مياه صرف المبيدات، الشكل (1-7-4-1-16).



16-1-4-8. الأكسدة بالهواء الرطب. Wet Air Oxidation

يعتمد مبدأ الأكسدة بالهواء الرطب على أن معدل الأكسدة يزداد بسبب زيادة الحرارة والضغط حيث الأوكسجين يزداد انحلالية بازدياد الضغط. ونموذجياً تحدث المعالجة بالأكسدة الرطبة بدرجة حرارة 175°C إلى 320°C والضغط (20- 200) بار. ويستعمل عادة الهواء لنقل الاوكسجين. الشكل (16-1-4-8) مخطط يبين مراحل المعالجة بالأكسدة بالهواء الرطب.

والأكسدة الرطبة تستعمل لمعالجة الفضلات السامة جداً التي لا يمكن أن تعالج بيولوجياً، أو هي رطبة جداً صعبة الحرق. فتستعمل مثلاً لمعالجة فضلات المبيدات pesticides، وفضلات البتروكيمياويات petrochemical، والفضلات الحاوية على مركبات الفينول... ، والطريقة جيدة فقط للتدفقات القليلة والأحمال العالية الخطرة بسبب التكاليف العالية للمعالجة.



16-1-4-9. الأكسدة فوق الحرجة بالماء.

Supercritical Water Oxidation (SCWO)

تتم المعالجة بدرجة حرارة أعلى من 374°C وضغط أعلى من 200 بار. حيث تنحل كل المواد العضوية بالكامل في الماء، وبوجود الأوكسجين أو الهواء الحاوي على الأوكسجين يحدث تحطيم فعال للمواد العضوية. وتستعمل الطريقة لمعالجة مياه الصرف الممددة بشكل كبير فتكون صعبة الحرق، ولكن تحوي مواد عضوية كثيرة، وهذه الطريقة يمكن أن تعالج كمية أكبر من طريقة الأكسدة بالهواء الرطب وهي طريقة مكلفة جداً. تعالج مثل PCBs, [1]:

organic nitrogen compounds,

phenols and phenolic compounds,

pesticides,

16-2. المعالجة الفيزيائية للملوثات العضوية.

Physical treatment of organic Pollutants

إن التعرية بالهواء (التجريد) Air stripping، التجريد بالبخر steam stripping، الامتزاز adsorption، طرائق شائعة لفصل المواد الذائبة. ولكن المعالجة الفيزيائية لا تُنقص كمية التلوث ولكن تحولها من شكل (غاز - سائل - صلب) إلى شكل آخر، ويجب أن يُتبع بمعالجة أخرى لحجز التلوث أو إزالته، فمثلاً التعرية بالهواء تحول الملوثات من الماء إلى الهواء ولذلك يجب أن يعالج الهواء بعد ذلك للتخلص منها. [1]

16-2-1. قابلية الانحلال في المحاليل السائلة.

Portability of dissolution in solutions liquid

يمكن للأجسام الصلبة أو السائلة أو الغازية أن تنحل في وسط غازي أو سائل أو صلب. أن المحاليل السائلة هي أكثر أنواع المحاليل شيوعاً، وعندما يكون الماء هو الوسط الحال (المذيب)، تدعى المحاليل عندها بالمحاليل المائية.



16-2-1-1. انحلال غاز في الماء.

وهو يتبع قانون هنري الذي ينص على أن كمية الغاز المذاب تتناسب مع ضغطه الجزئي في طور الغاز. ويسمى عامل التناسب ثابت قانون هنري.

16-2-2. طرائق إزالة المواد الذائبة القابلة للتطاير من مياه الصرف. Remove a volatile solute material from wastewater

إن الأنظمة المستعملة لإزالة المواد الذائبة القابلة للتطاير من مياه الصرف هي أبراج التيار العكسي والتي تحوي على حشوة من خلايا خاصة متراصة وتدعى الأبراج ذات الحشوة packed towers، وكذلك تستعمل التهوية السفلية subsurface aeration (بنواشر الهواء وغيرها) أو السطحية بالمهويات الميكانيكية mechanical agitation المستعملة في طريقة الحمأة المنشطة، وكذلك تستعمل التعرية (التجريد) بالبخر Steam stripping وخصوصاً عند توفر البخار الرخيص.

16-2-2-1. أبراج التعرية (التجريد). Stripping Towers

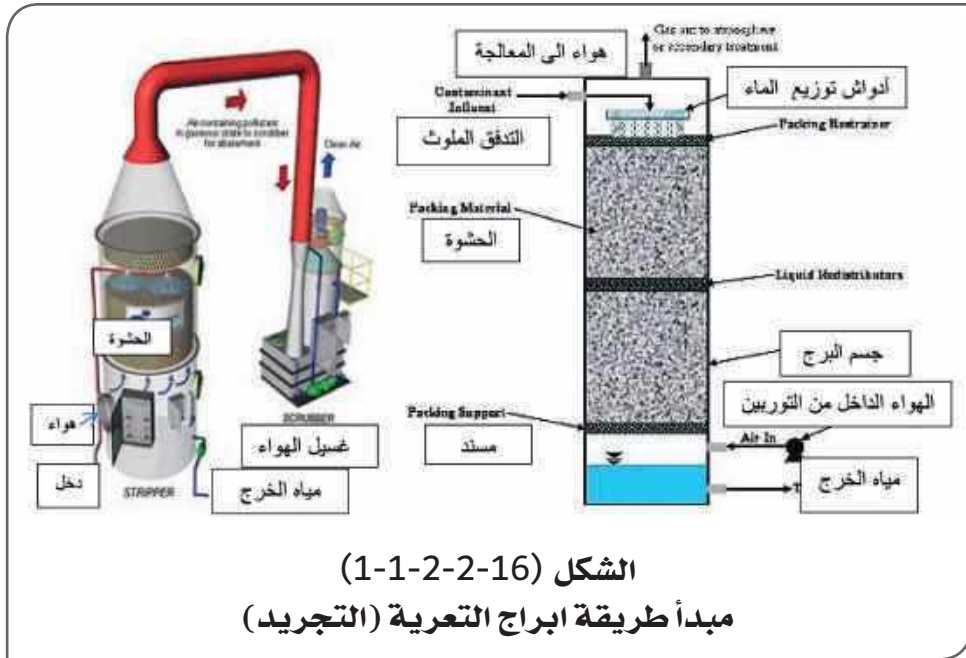
تستعمل طريقة التيار المعاكس حيث يتم توزيع المياه من أعلى البرج، والغاز عادة هو الهواء الصافي يتم اضافته من الأسفل. والتعرية تستعمل لإزالة مركبات البنزن، المذيبات الكلورية مثل: (PCE و TCE)، إضافة للأمونيا في المياه الجوفية، ومياه الصرف الصناعية.

ويؤخذ في الاعتبار عند الدراسة:

- ثابت هنري في درجة الحرارة التصميمية.
- ثابت النشر في درجة الحرارة التصميمية.
- نوعية مياه الدخل والخرج المطلوبة.
- ضوابط الحشوة مثل السطح النوعي، ومعلومات فيزيائية عنها.
- كمية الهواء اللازمة.
- عدد الأبراج وارتفاعها وقطرها.

- معامل نقل الكتلة للغاز والسائل.
- وتأثير السطوح الرطبة بوحدة حجم الحشوة.

الشكل (1-1-2-2-16) يوضح مبدأ طريقة أبراج التعرية، ونلاحظ أنه يمكن أن تتبع بمعالجات أخرى متممة كغسيل الهواء بواسطة (Scrubber) حيث يمكن أن نستعمل مواد كيميائية لمعالجة الهواء الناتج.



1-1-2-2-16. مقدمة نظريه.

يشمل مصطلح «تجريد الهواء» عمليات مثل التهوية السطحية الميكانيكية، والنواشر السفلية، ونوافير الرش، وأبراج الرش ذات الصواني، والشلالات المفتوحة القناة، والأبراج ذات التيار المعاكس.

تنتج هذه العمليات حالة تتعرض فيها مساحة كبيرة من المياه المراد معالجتها للهواء، مما يشجع على نقل الملوث من الطور السائل إلى الطور الغازي. ويحدث هذا لأنه في ظل الظروف العادية يكون تركيز الملوث في الهواء المحيط أقل بكثير من تركيزه في الماء الملوث.

إن التوازن في نسبة الملوثات في الطور السائل، C_L ، إلى الملوثات في المرحلة الغازية، C_G ، هو العلاقة المعروفة باسم قانون هنري Henry's law (1-1-1-2-2-16):

$$H_c = C_G / C_L \quad (1-1-1-2-2-16)$$

حيث H_c هو ثابت هنري.

و ثابت هنري هو خاصية نظام المادة المذابة / المادة المذيبة ودرجة الحرارة، ويتبع علاقة فانت هوف.

وتعطى علاقة فانت هوف Van't Hoff's (2-1-1-2-2-16) [23]

$$\log H_c = (-H^\circ / RT) + K \quad (2-1-1-2-2-16)$$

حيث:

H° : التغير في المحتوى الحراري الناجم عن انحلال المركب في الماء.

R : ثابت الغازات العام ($8.2 \times 10^{-5} \text{ atm} \cdot \text{m}^3 / \text{mol} \cdot \text{k}$)

T : درجة الحرارة المطلقة

K : ثابت

ومنه الشكل العام لمعادلة معدل نقل الكتلة (الغاز/ السائل) في التجريد، المعادلة (3-1-1-2-2-16) [23].

$$1/v \, dm/dt = -k_L a (C_L^* - C_L) \quad (3-1-1-2-2-16)$$

v : حجم السائل m^3

m : الكتلة المذابة kg

t : الزمن ثانية s

k_L : معامل نقل الكتلة السائلة الكلي m/s



a : السطح النوعي (المنطقة البينية) m^2/m^3

C_L : متوسط التركيز في السائل الداخل kg/m^3

C_L^* : تركيز السائل في حالة توازن مع تركيز مرحلة الغاز

C_G : kg/m^3

$K_L a$: ثابت معدل النقل

توجد عدة نماذج لتوصيف نقل الغاز عبر واجهة الغاز / السائل، وهي المقاومة لمعدل نقل الكتلة R_T ، ويتم تقديرها من خلال جمع المقاومة التي توفرها الطبقات الحدودية السائلة والغازية، R_L و R_G ، على التوالي:

$$R_T = \frac{1}{K_L a} = R_L + R_G \quad (4-1-1-2-2-16)$$

ترتبط ثوابت معدل عملية النقل من الطور السائل إلى الغاز k_L و k_G ، بمعدل ثابت النقل الكلي كما في المعادلة (5-1-1-2-2-16). [23]

$$K_L a = \left(\frac{1}{k_L a} + \frac{1}{k_G a \cdot H_c} \right)^{-1} \quad (5-1-1-2-2-16)$$

ونرى تأثير ثابت هنري على ثابت معدل نقل الكتلة.

يعطي الجدول (1-1-1-2-2-16) ثابت هنري H_c لبعض المركبات الخطرة في درجة حرارة $25^\circ C$.

الجدول (1-1-1-2-2-16)
ثابت هنري H_c لبعض المركبات الخطرة في درجة حرارة 25°C

	H_c
Benzene	0.22
Ethylbenzene	0.32
Toluene	0.27
<i>o</i> -Xylene	0.20
<i>m</i> -Xylene	0.28
<i>p</i> -Xylene	0.29
Tetrachloroethylene	0.72
Trichloroethylene	0.39
1,1-Dichloroethylene	1.07
<i>cis</i> -1,2-Dichloroethylene	0.17
<i>trans</i> -1,2-Dichloroethylene	0.38
Chloroethylene	1.14
Ethylene	8.75
Tetrachloromethane	1.24
Trichloromethane	0.15
Dichloromethane	0.09
Chloromethane	0.36
Methane	27.2
1,1,2,2-Tetrachloroethane	0.019
1,1,1-Trichloroethane	0.70
1,1,2-Trichloroethane	0.048
1,1-Dichloroethane	0.23
1,2-Dichloroethane	0.044
Chloroethane	0.46
Ethane	20.4

¹ Dimensionless Henry's constant at 25°C (Gossett 1987; Mackay & Shiu 1981).

2-1-2-2-16. بعض معالم التصميم.

إن برج التعرية يمكن أن يكون من الفايبركلاس fiberglassreinforced أو الألومينيوم، aluminum أو الستنلس ستيل، stainless steel. قطر برج التعرية يتراوح من (0.17 - 3) م أو أكبر [23]، ويحتوي البرج على مواد مائلة (حشوة) packing elements تساعد سطوحها على نقل المركبات العضوية القابلة للتطاير من الحالة المائية إلى الحالة الغازية، وتستعمل مرشحات خاصة لتوزيع الماء فوق المادة المائلة، كما يمكن استعمال مكثف في الأعلى لتكثيف البخار وتقليل هدر المياه المستعملة في المعالجة.

- إن زيادة نسبة الهواء الى الماء يعطي نسبة إزالة كبيرة، ولكن إلى مرحلة معينة تحصل ظاهرة تؤدي إلى زيادة حادة في انخفاض ضغط الهواء من خلال عمود التجريد وتدعى الفيضان flooding.
- يحدث حالة العكس عندما يكون معدل تدفق السائل زائد حتى يبدأ البرج بالامتلاء من السائل. ويشار إليها أيضاً بالفيضان flooding، [23].
- إن السيطرة على انخفاض ضغط الهواء في برج التجريد يقلل إلى حد كبير تكاليف تشغيل نوافخ الهواء.
- إن ارتفاع البرج (الذي يحوي مادة مائلة) يؤثر أيضاً على كفاءة إزالة الملوثات. فالتوازن الأمثل بين نسبة الهواء إلى الماء وارتفاع البرج يعطي كفاءة إزالة مقبولة مع أدنى مجموع لرأس المال والتكاليف التشغيلية.
- ارتفاع المادة المائلة (الحشوة) تؤثر على فعالية الإزالة وتوفير مكان ملائم لتبادل التلوث بين السائل والهواء. وحجم الحشوة يؤثر أيضاً على انخفاض ضغط الهواء. فحجم مواد الحشوات الأصغر يوفر المزيد من المساحة السطحية ولكنه أيضاً يصبح أكثر مقاومة لتدفق الهواء.
- نسبة قطر العمود إلى الأبعاد الاسمية للحشوة يجب أن تكون أكبر من 12 لمنع توجيه المياه في اقنية في البرج.
- إن معدل تدفق السائل هو الذي يحدد قطر عمود التجريد بالهواء.

- إن نسبة تدفق الهواء إلى الماء تحدد معدل إزالة الملوثات المطلوبة والتي أشار إليها ثابت هنري .
- إن ثابت هنري H_c ، هو مؤشر يوضح سهولة تبخر المركبات من الماء، وبالتالي إمكانية الإزالة بالتجريد بواسطة الهواء. وعلى الرغم من أن ثابت هنري لكثير من المركبات العضوية المتطايرة (4.8-10)، فقد يكون من الضروري حساب ثابت هنري للمركبات التي لا يوجد لها بيانات كافية [23].
- أثبت فانت هوف van't Hof ، أن زيادة ثابت هنري للعديد من المركبات العضوية المتطايرة في ما يقرب من ثلاث مرات عند كل ارتفاع 10 درجة مئوية في درجة الحرارة.
- فمعامل نقل الكتلة العام في نهاية المطاف هو الذي يتحكم في معدل إزالة مادة عن طريق التجريد بالهواء. فعلى سبيل المثال وجد أن ثنائي كلورو الإيثان dichloroethane، الذي لديه ثابت هنري أقل من ثلاثي كلورو الإيثيلين trichloroethylene يكون من الأسهل إزالته بواسطة تجريد الهواء، ويرجع ذلك إلى ارتفاع معامل انتقال كتلته mass transfer coefficient.

واعطي معامل نقل الكتلة mass transfer coefficient لبعض المواد ومن أجل طريقة التعريرية [23] بالعلاقة (1-2-1-2-2-16).

$$K_L a = k_L a = \alpha \left(\frac{L_M}{U_L} \right)^{1-n} \left(\frac{U_L}{\rho_L D} \right)^{0.5D} \quad (1-2-1-2-2-16)$$

بحيث :

L_M : معدل جريان كتلة السائل kg/m²-h

n : ثابت يتعلق بالحشوة 1

α : ثابت يتعلق بالحشوة 2

ρ_L : كثافة السائل

U_L : لزوجة السائل

D : معامل النشر الجزيئي للمركب في الماء

the molecular diffusion coefficient of the compound in water

- الكمية المسماة HTU (height of a transfer unit) تميز كفاءة نقل الكتلة من الماء إلى الهواء.[23]

$$HTU = \frac{L}{K_L a \cdot C_o} \quad (2-2-1-2-2-16)$$

L : معدل التدفق المولي من الملوثات في الطور السائل kmol/m²-s

C_o : الكثافة المولية للماء (55.6 kmol/m³)

- وهناك عامل تصميمي آخر يطلق عليه (NTU) (عدد الوحدات المنقولة) تم إدخاله أيضاً بواسطة كافانو Kavanaugh لوصف صعوبة إزالة الملوثات من الطور السائل العلاقة (3-2-1-2-2-16).

$$NTU = \left(\frac{S}{S-1} \right) \ln \left[\frac{C_{inf}(S-1)}{C_{eff}} + \frac{1}{S} \right] \quad (3-2-1-2-2-16)$$

C_{inf} : تركيز التلوث في التدفق الداخل للمياه.

C_{eff} : تركيز التلوث في التدفق الخارج للمياه.

S : معامل يعرف باسم عامل التجريد. Stripping factor

عامل التجريد أمر حاسم في تحديد قدرة أي تعرية بالهواء لإزالة ملوثات محددة. ومن الناحية النظرية إذا كانت $S < 1$ فإن إزالة كاملة للملوث ممكنة، ومن الضروري تصميم عامل التجريد ليكون أكبر من 1.

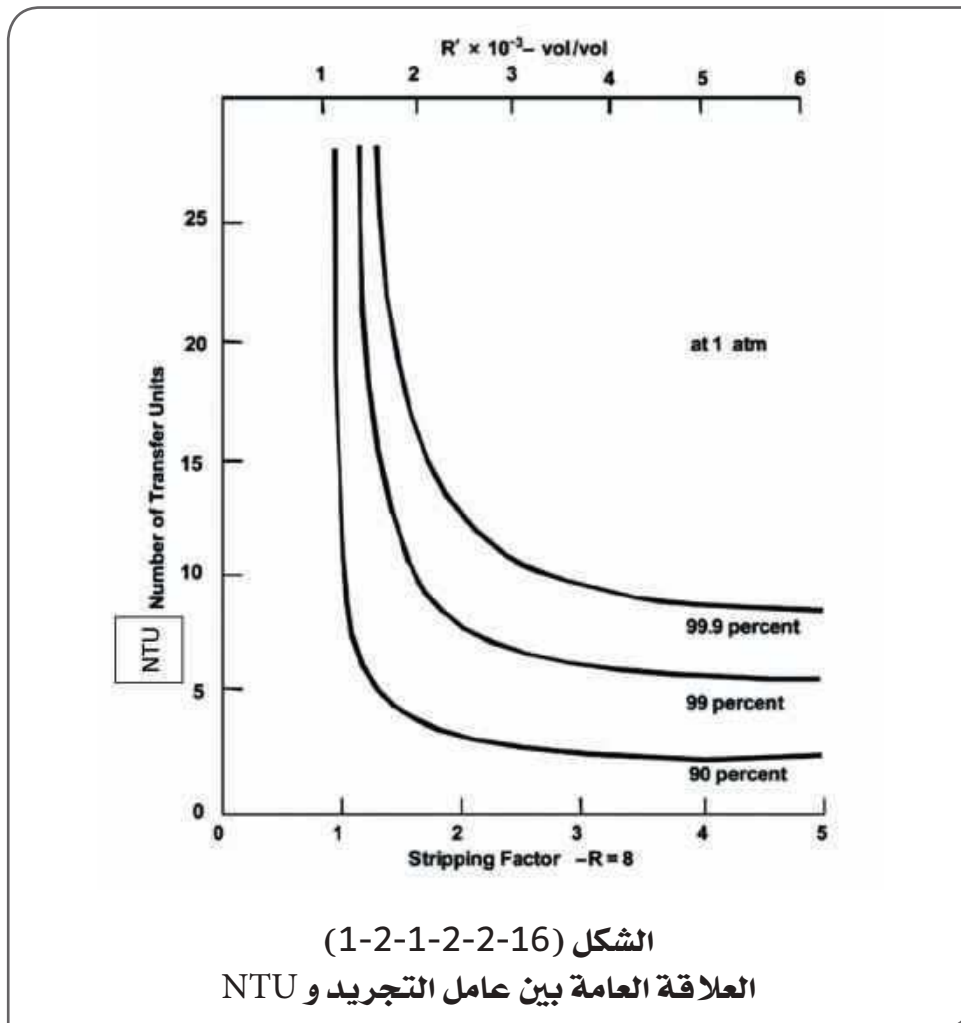
وعامل التجريد S يتم تحديده بالمعادلة (4-2-1-2-2-16)[23]:

$$s = \frac{G'}{L'} H_e \quad (4-2-1-2-2-16)$$

G'/L' : نسبة الهواء الى الماء

ويتضح أن الملوثات ذات ثابت هنري منخفض سوف تتطلب نسبة هواء إلى الماء أعلى لتحقيق معدلات إزالة ناجحة[23].

مقارنة الرسم البياني لعامل التجريد (S) وعدد وحدات نقل (NTU) يدل على أنه لأكثر من (S = 4-5)، يحدث القليل من إزالة الملوثات الشكل (1-2-1-2-2-16)، ويقترح عامل تجريد 3 عند إجراء معظم الحسابات لنسبة الهواء إلى الماء المطلوبة.



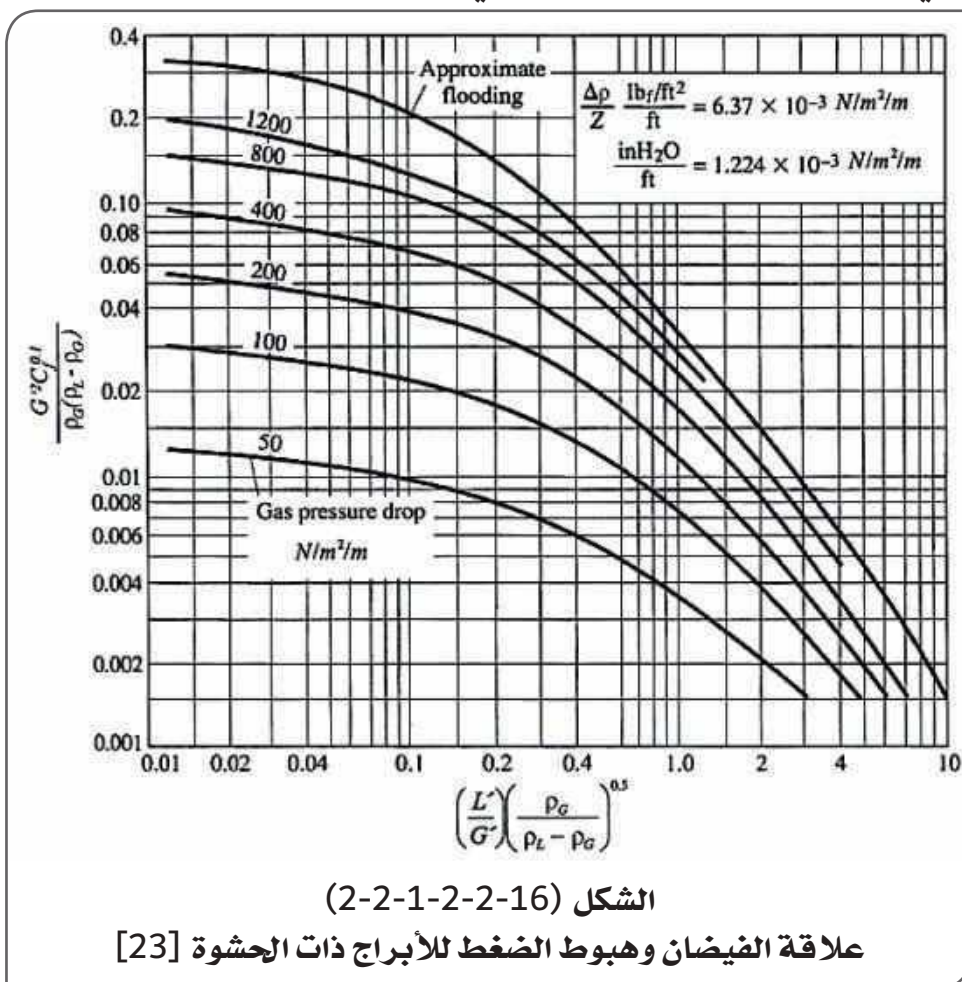
من HTU و NTU ينتج ارتفاع عمود التعبئة اللازم لإحداث إزالة للملوثات المطلوبة، (5-2-1-2-2-16).

$$Z = HTU \times NTU \quad (5-2-1-2-2-16)$$

Z : ارتفاع عمود التعبئة m (يوصى باستخدام عامل أمان قدره 1.5 عند تطبيق حساب ارتفاع البرج بهذه الطريقة).

يتم تحديد قطر برج تجريد الهواء بحيث يتبع لمعدلات تحميل السائل التي تتطلبها قدرة التدفق التصميمي المطلوبة.

ويمكن تحديد قطر البرج الأمثل باستخدام منحنيات هبوط الضغط التي وضعها (Eckert) كما هو مبين في الشكل (2-2-1-2-2-16).



إن النسبة الحجمية للهواء إلى الماء، تحسب من العلاقة (6-2-1-2-2-16) ويتم تحويلها إلى نسبة الوزن إلى الوزن ويتم رسمها على محور الاحداثيات.

$$X = \left(\frac{L'}{G'} \right) \left(\frac{\rho_G}{\rho_L - \rho_G} \right)^{0.5} \quad (6-2-1-2-2-16)$$

L' / G' = النسبة الحجمية للماء إلى الهواء

ρ_G : كثافة الهواء 1.205 كغ/م³.

ρ_L : كثافة الماء 998 كغ/م³.

تسمح قيمة الإحداثيات المقابلة لتقاطع قيمة الإحداثي مع منحنى هبوط الضغط المناسب (الذي يتم توفيره من قبل الشركة المصنعة للحشوة) بتحديد معدل تدفق الغاز المسموح به من العلاقة (6-2-1-2-2-16):

$$Y = \frac{G'^2 C_f^{0.1}}{\rho_G (\rho_L - \rho_G)} \quad (7-2-1-2-2-16)$$

G' : معدل تدفق الغاز الأمثل.

C_f : عامل مادة الحشوة.

ومن النسبة الحجمية يمكن أيضاً تحديد معدل تحميل السائل الأمثل.

قطر البرج يحسب من المعادلة (6-2-1-2-2-16)

$$\Phi = \left(\frac{4 Q_L \rho_L}{\pi L'} \right)^{0.5} \quad (8-2-1-2-2-16)$$

Φ : قطر البرج، متر

Q_L : التدفق التصميمي م³/ثا

L' : معدل التحميل كغ/م²-ثا

وعادة فإن الشركات المصنعة لأبراج التجريد بالهواء تعطي مجال تدفق السائل بحيث يكون مقبول لبرج معين. ولكن من أجل حجوم كبيرة، حيث يمكن التعرض لتكاليف تشغيلية كبيرة قد تتجاوز التصميمية، فيصبح من الضروري استخدام منحنيات هبوط الضغط الشكل (6-2-1-2-2-16)،

علاقة الفيضان مع انخفاض الضغط لأبراج التجريد والرجوع إلى المعادلات وإجراء العمليات الحسابية اللازمة،[23].

3-1-2-2-16. مواد التملئة (الحشوة). Packing Material

وظيفة مواد التملئة (الحشوة) في برج تجريد الهواء هو توفير سطوح مبللة كبيرة، هذه المناطق يتم فيها نقل كتلة الملوثات إلى الغاز أو الهواء المحيط. ويوجد العديد من الأشكال والأحجام المتاحة يتم تصنيعها عادة من البولي بروبيلين، polypropylene، أو PVC، أو السيراميك. (وقد نضطر لاختيار مواد حشوة خاصة أو سطحها النوعي كبير جداً)،.

يبين الشكل (1-3-1-2-2-16) بعض أنواع حشوات أبراج التجريد. وعموما يفضل اختيار المواد التي تعطي هبوط ضغط أقل.



الشكل (1-3-1-2-2-16)

بعض مواد التملئة (الحشوة) في برج التجريد

مثال:

في مجال تصنيع الطلاءات الواقية (السقف، والسيارات undercoatings) يستخدم (170 لتر/ دقيقة) من المياه الجوفية، ويتم ضخها من بئر خاص في المنشأة، لأغراض التبريد.

ووجد أن المياه الجوفية ملوثة بـ 5700 ppb (1ppm = 1000ppb) من TCE (trichloroethylene) ثلاثي كلور الإيثيلين، وبالتالي ووجد انه لا يمكن تصريفها إلى محطة معالجة مياه الصرف المحلية وفقاً للمعايير المسموحة والتي هي TCE (100 ppb).

- صمم برج تجريد بالهواء ليكون TCE ضمن المعايير المقبولة [23].
- 1- نقوم بعمل دراسة تجريبية (pilot) لبرج تجريد وفق المواصفات التالية:
 - القطر: 0.61 سم
 - النسبة الحجمية للهواء إلى الماء: 160:1 (الهواء 160 والماء 1)
 - ثابت هنري: 0.415 (من دراسات سابقة)
 - ارتفاع الحشوة: 2.59 م
 - الحشوة نوع Tri-pack #1 (اسم نوع حشوة من إحدى الشركات، القطر 5.08 سم - السطح النوعي 157.42 م²/م³): يعطي الجدول (1-3-1-2-2-16) مواصفات لبعض أنواع الحشوة من بعض الشركات من [24]
 - خلال الدراسة وجد أن انخفاض في التركيز TCE من 2300 ppb إلى 190 ppb في التدفق الخارج

2 - قيمة HTU من المعلومات التي لدينا من البرج التجريبي

$$s = \frac{G'}{L'} H_c$$

الجدول (1-3-1-2-2-16)

مواصفات لبعض مواد الحشوة من بعض الشركات [24]

Packing name	Company	Diameter (cm (in.))	Surface area (m ² /m ³)
Cascade Miniring #2	Glitsch Inc.	7.62 (3)	150.86
Flexiring #2	Koch	5.08 (2)	114.78
Flexisaddle #3	Koch	7.62 (3)	88.55
Tripack #1	Jeager Inc.	5.08 (2)	157.42
Nor-Pac #3	NSW	3.80 (1.5)	100.03
Nor-Pac #4	NSW	5.08 (2)	145.00
Snowflakes	Glitsch Inc.	9.40 (3.7)	91.83

$$= 160 \times 0.415 = 66.4$$

$$NTU = \left(\frac{S}{S-1} \right) \ln \left[\frac{C_{inf}(S-1)}{C_{eff}} + \frac{1}{S} \right]$$

$$= 66.4 / (66.4 - 1) \ln [2300 \times (66.4 - 1) / 190 + 1 / 66.4]$$

$$= 2.52$$

$$Z = HTU \times NTU$$

$$HTU = 2.59 / 2.52 = 1.03m$$

2 - يبلغ إنتاج برج تجريد قطره (0.61 م) ارتفاع القسم المعبأ (5.49 م) والتدفق التقييمي من (56.8 l/min حتي 227). تدفق الهواء من التوربين (نافخ الهواء) (17 m³/min):

$$s = \frac{G'}{L'} H_c$$

يستعمل التدفق (0.17 m³/min) = (170 l/min) وهو بين التدفقين تقريباً.

$$S = 17 / 0.17 \times 0.415 = 41.5$$

$$Z = HTU \times NTU$$

$$NTU = 5.49 / 1.03 = 5.33$$

$$NTU = \left(\frac{S}{S-1} \right) \ln \left[\frac{C_{inf}(S-1)}{C_{eff}} + \frac{1}{S} \right]$$

$$5.33 = \left(\frac{41.5}{41.5-1} \right) \ln \left[\frac{5700 \times (41.5-1)}{C_{eff}} + \frac{1}{41.5} \right]$$

$$C_{eff} = 30.2 \text{ ppb}$$

ومنه كفاءة الازالة:

$$\% \text{ الازالة} = \{5700 - 30.2 / 5700\} (100) = 99.47$$

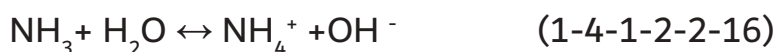


- نلاحظ أن قيمة عامل التعرية S مرتفع نظراً لاعتبارات انخفاض الضغط.
- في المثال اذا حاولنا تخفيض حجم النافخ blower فسيؤدي ذلك إلى توفير للطاقة. ذلك لأنه يوجد مجال لتحقيق TCE ليكون ضمن المطلوب.
- في المعالجة يتم ازالة الكثير من المواد الملوثة الممكن وجودها في المياه وخصوصا عندما تكون ثوابت هنري لها أقل من ثابت TCE [23].
- يتم توفير صمام بوابة منزقة كوسيلة لتقليل الهواء.

4-1-2-2-16. تعرية (تجريد) الأمونيا. Ammonia stripping.

بالإضافة إلى المركبات العضوية المتطايرة التي توجد في المياه، يوجد مركب الأمونيا ammonia الذي هو مركب غير عضوي والذي قد يوجد في إمدادات مياه الشرب (الآبار)، وهو أيضاً موجود بكثرة في مياه الصرف الصحي.

ويوجد نتروجين الأمونيا على شكل غاز مذاب (NH_3) أو شوارد الامونيوم (NH_4^+). وهذين النوعين موجودين في حالة توازن ديناميكي وفقاً للمعادلة (1-4-1-2-2-16).



والتراكيز النسبية لهذين النوعين تعتمد على كل من درجة الحموضة للمحلول ودرجة الحرارة. وبشكل عام عند درجة حرارة 20°C و pH بدرجة 7 أو أقل، تكون فقط موجودة أيونات «شوارد» الأمونيوم. وكلما زادت قيمة pH عن 7 يتشكل غاز الامونيا. وفي الرقم الهيدروجيني حوالي 11,5 حتى 12 يكون موجوداً فقط الغاز المذاب. في الشكل (1-4-1-2-2-16). العلاقة في درجات الحرارة

$$.40^\circ\text{C}, 20^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}$$

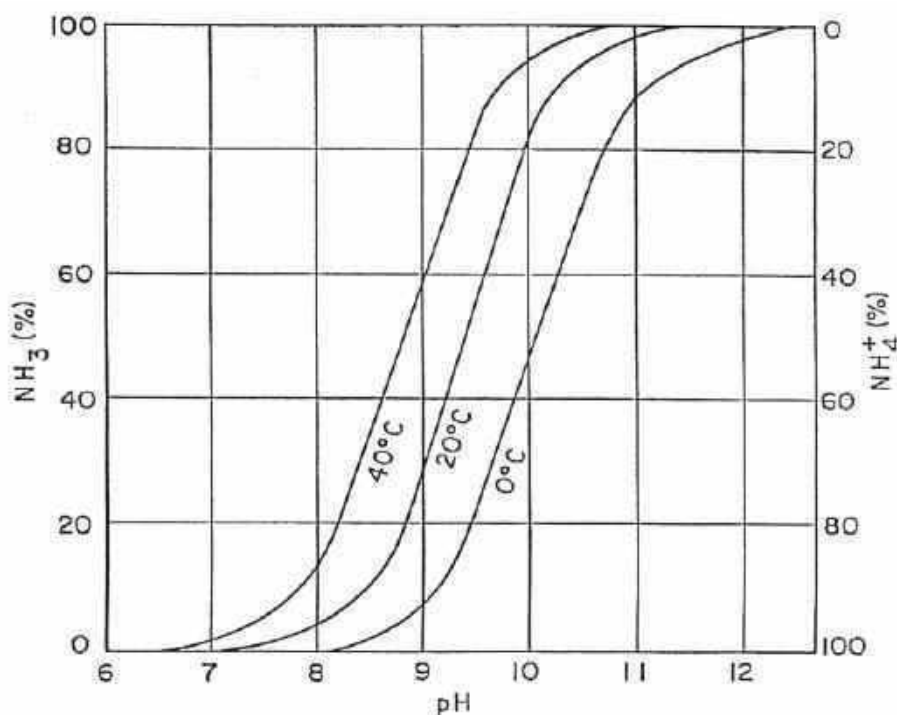


وكفاءة تجريد الأمونيا تتطلب ظروف مناسبة لتسهيل النقل السريع للغاز المذاب من الطور السائل إلى الهواء. ويمكن تحقيق ذلك من خلال تكوين رزاز ناعم في برج التجريد ومع توفير إمدادات كافية من تدفق الهواء.

وكفاءة عملية تجريد الأمونيا تعتمد بالدرجة الأولى على خمسة عوامل:

1- الرقم الهيدروجيني PH. راجع الشكل (1-4-1-2-2-16).

2- درجة الحرارة Temperature: بانخفاض الحرارة يمكن توقع أن ينخفض معدل تجريد الأمونيا. لذلك يجب الحفاظ على كفاءة التشغيل لتصل في فصل الشتاء كما في الصيف، فيجب مثلاً زيادة تدفق الهواء زيادة كبيرة، التدفئة...



الشكل (1-4-1-2-2-16)

تأثير ال pH والحرارة في نسب توزيع الأمونيا وشوارد الأمونيوم في الماء

3 - معدل نقل الغاز. Rate of Gas Transfer: إن كمية امداد الهواء تؤثر على معدل نقل الغاز، ويكون اعظمي عندما يكون هناك توازن مدروس بين كمية الهواء والتدفق.

4 - معدل تزويد هواء. Air Supply Rate: بسبب الفارق في ضغط الأمونيا بين المرحلة السائلة والغازية تتشكل قوة لنقل الأمونيا من السائل إلى تدفق الهواء. فتوفير إمدادات كافية من تدفق الهواء من خلال برج التجريد تخفف تركيز الأمونيا وتقليل ضغوطه الجزئية في المرحلة الغازية وتزيد معدل إطلاق الأمونيا.

5 - التحميل الهيدروليكي. Hydraulic Loading Rate: بالنسبة لمعظم عمليات تجريد الأمونيا، يوصى باستخدام برج ارتفاع 6-7 متر مع ابعاد مواد الحشوة الداخلية (5 × 3.8 cm)، ومعدل التحميل الهيدروليكي بين (0.12 - 0.04 m³/min/m²) [23].

ملاحظة: من المشاكل المرتبطة بعملية تجريد الأمونيا مع رقم هيدروجيني عالي (11 فما فوق) توقع تراكم الكالسيوم على مواد الحشوة.

16 - 2 - 2 - 1 - 4 - 1 . الطريقة البسيطة لحساب تدفق الهواء اللازم لإزالة الأمونيا

يمكن تحديد كمية الهواء المطلوبة لتحقيق درجة معينة من كمية الأمونيا، بان نقوم بعمل تحليل لتوازن المواد كما يلي:

$$L_q (X_1 - X_2) = G (Y_1 - Y_2) \quad (1-1-4-1-2-2-16)$$

L_q = تدفق السائل من خلال برج التجريد، مولات الماء / وحدة الزمن.

X_1 = تركيز الأمونيا في مياه الدخل، مول أمونيا / مول ماء.

X_2 = تركيز الأمونيا في مياه الخرج، مول الأمونيا / مول ماء.

G = معدل تدفق الهواء من خلال برج التجريد، مول هواء / وحدة زمن.

Y_1 = تركيز الأمونيا في الهواء الخارج، مول أمونيا / مول هواء.

Y_2 = تركيز الأمونيا في الهواء الداخل، مول أمونيا / مول هواء.



وإذا افترضنا أن الهواء الداخل، والماء الخارج خال من الأمونيا فتكون المعادلة:

$$\dot{L}_q X_1 = G Y_1 \quad (2-1-4-1-2-2-16) \text{ أو}$$

$$G/L_q = X_1/Y_1 \quad (3-1-4-1-2-2-16)$$

وهذا يعني أن كمية الهواء المطلوبة لكل وحدة حجم الماء: G / L_q ، تساوي x_1 / y_1 ، أو تركيز الأمونيا في الماء الداخل (مول / مول) مقسوماً على تركيز الأمونيا في الهواء الخارج.

الشكل (1-1-4-1-2-2-16) يوضح توزيع التوازن للأمونيا في الهواء والماء في ظل ظروف جوية واحدة.

مثال:

في درجة حرارة الماء 20°C كان تركيز الأمونيا الداخلة 20 ملغ / لتر، يتم احتساب كمية الهواء النظرية اللازمة للتجريد على النحو التالي:

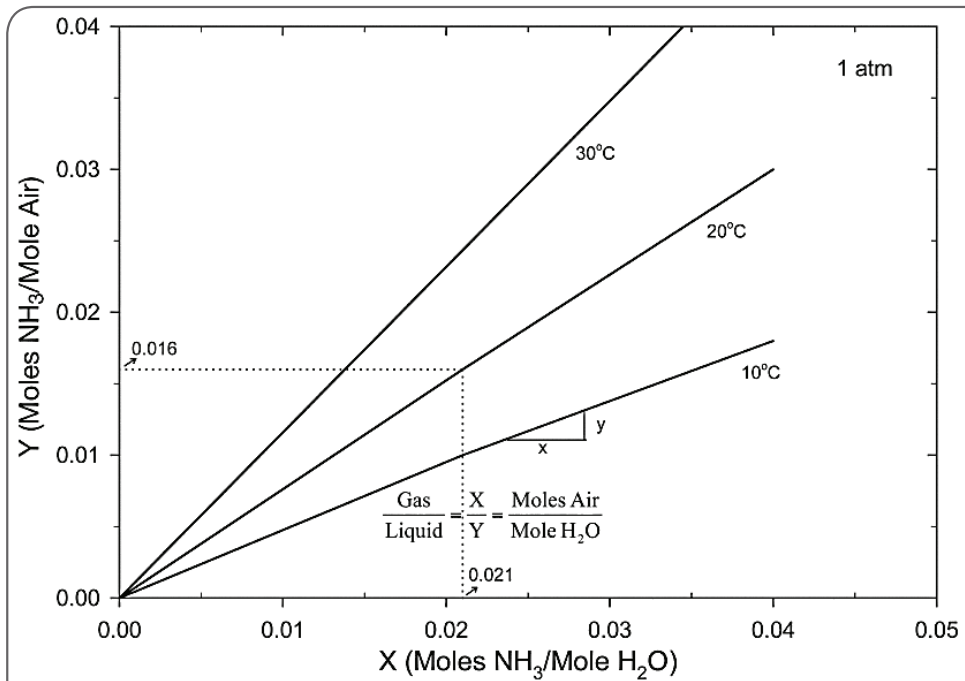
$$\text{تركيز الأمونيا الداخلة} \quad \text{NH}_3 = 20 \text{ mg/L} = 20 \times 10^{-3} \text{ g/100g}$$

الأمونيا 17 غ/مول ، الماء 18 غ/مول

$$\frac{20 \times 10^{-3}}{17} \div \frac{1000}{18}$$

$$= 0.021 \times 10^{-3} \text{ mole NH}_3/\text{mole H}_2\text{O}$$





الشكل (1-1-4-1-2-2-16)

توزيع التوازن للأمونيا في الهواء والماء في ظل ظروف جوية واحدة

من الشكل (1-1-4-1-2-2-16) نجد تركيز الأمونيا بمقدار 10^{-3} مول / مول في الهواء الخارج عندما يكون في حالة توازن تام مع تركيز الأمونيا في الماء الداخل. من المعادلة (3-1-4-1-2-2-16).

$$G/L_q = X_1/Y_1 = 0.021 \times 10^{-3} / 0.016 \times 10^{-3} = 1.315 \text{ mol air / mol water}$$

$$1.315 \text{ moles air} \times 22.4 \text{ liters/mole} \approx 29.45 \text{ Liter}$$

وكذلك.

$$1 \text{ mole water} = 0.0180 \text{ l} \approx 0.0180 \text{ gr}$$

$$G/L_q = X_1/Y_1 = 29.45 / 0.0180 = 1636.11 \approx 1636 \text{ l air / l water}$$

ولأن جميع المنحنيات في الشكل (16-2-2-1-4-1-1) هي خطوط مستقيمة، ولأن نسبة X / Y ثابتة في درجة حرارة معينة بغض النظر عن تركيز الأمونيا في الماء الداخل، فإن متطلبات الهواء النظرية تعتمد فقط على درجة حرارة الماء وليس على تركيز الأمونيا في التدفق الداخل.

ويستند هذا الحساب النظري لاحتياج كمية الهواء معتمداً ان كفاءة المعالجة 100 % وهو أمر لا يمكن تحقيقه في الممارسة الفعلية. لذلك يوصى عند التصميم الفعلي للحصول على أكثر من 90 % كفاءة تجريد للأمونيا ان تزداد كمية الهواء التصميمية الى 1.5 ضعف من القيمة النظرية. [23].

- وهناك أساليب أخرى لتصميم أبراج التجريد تعتمد على استخدام بعض البيانات التجريبية أو المنحنيات المتعلقة بخصائص التعبئة للأبراج بناءً على مفهوم HTU مقابل نسبة G / L_q . ويمكن الحصول على هذه البيانات من الشركة المصنعة. إضافة إلى كثير من الدراسات الأخرى التي توجد في المراجع [1 و 23] وغيره.



الترشيح

FILTRATION

17-1. إزالة المواد العالقة TSS والغرويات العضوية وغيرالعضوية. Suspended Solids organic and inorganic colloidal Removal

تتضمن تقنية تقليل المواد المعلقة، المعالجة بالتخثير الكيميائي ويتبعه ترسيب أو تطويف ومن ثم ترشيح فيزيائي بالمرشحات الحبيبية granular filter أو الترشيح الدقيق microscreens أو الترشيح الفائق الدقة ultrafiltration ويمكن أن يباشر بالترشيح بعد الترسيب النهائي بدون إضافات كيميائية. وسنعرض فيما يلي معلومات أولية لعملية للمباشرة باختيار المرشحات اللازمة لترشيح المياه الصناعية للمياه المعالجة.

17-2. تصنيف المرشحات.

تصنف المرشحات على ثلاثة أنواع:

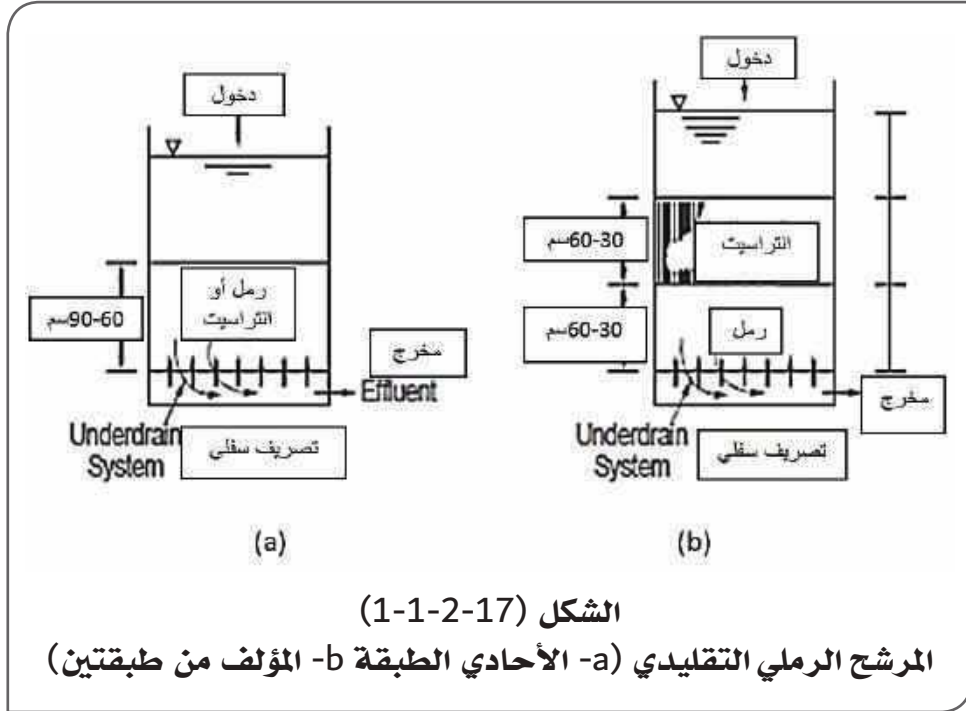
1. المرشحات ذات العمق. Depth filtration.
ومنها: الرملية البطيئة slow sand، المسامية السريعة Rapid porous،
المسامية المتوسطة.
2. المرشحات السطحية. Surface filtration.
ومنها: المرشحات القماشية الدوارة. cloth filtration، الأرضية Earth.
3. مرشحات الأغشية. Membrane filtration.
ومنها: المرشح الدقيق (الميكرو micro filtration)، المرشح الفائق الدقة ultra filtration، مرشح النانو nano filtration، التناضح العكسي Reverse osmosis.



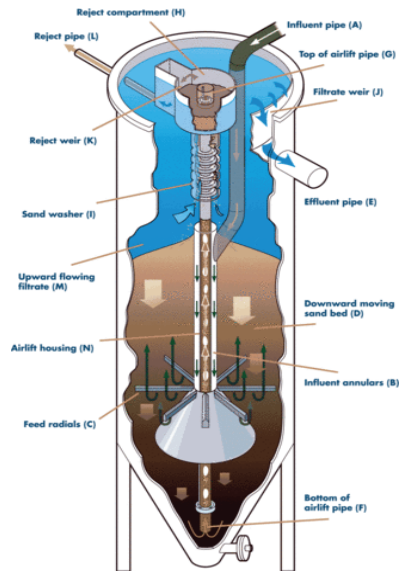
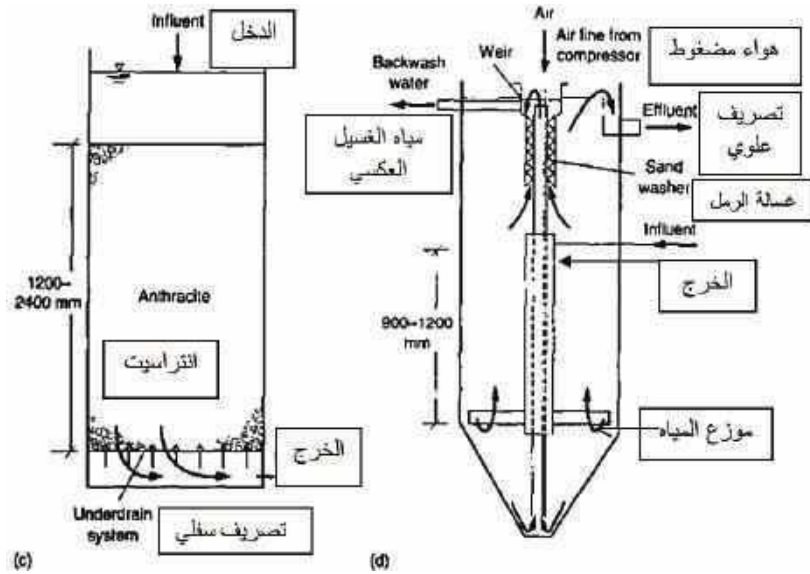
1-2-17. المرشحات ذات العمق. Depth filtration

يتألف المرشح من طبقة متدرجة من الرمل، وتستند إلى طبقة من الحصى وفي أسفلها يوجد أنابيب مثقبة أو رأس مثقب (فالات خاصة) لسحب المياه ومنع مرور الرمل، وعند انسداد الفراغات بين الحبيبات تتوقف عملية الترشيح ويتم إجراء غسيل عكسي بالماء (أو بالماء مع الهواء المضغوط) عكس اتجاه الترشيح (يمكن أن تكون الطبقات من مواد صناعية). وتصنف المرشحات الحبيبية إلى عدة أنواع وفيما يلي شرح موجز لأنواع المرشحات الحبيبية في الاشكال (1-1-2-17)، (2-1-2-17):

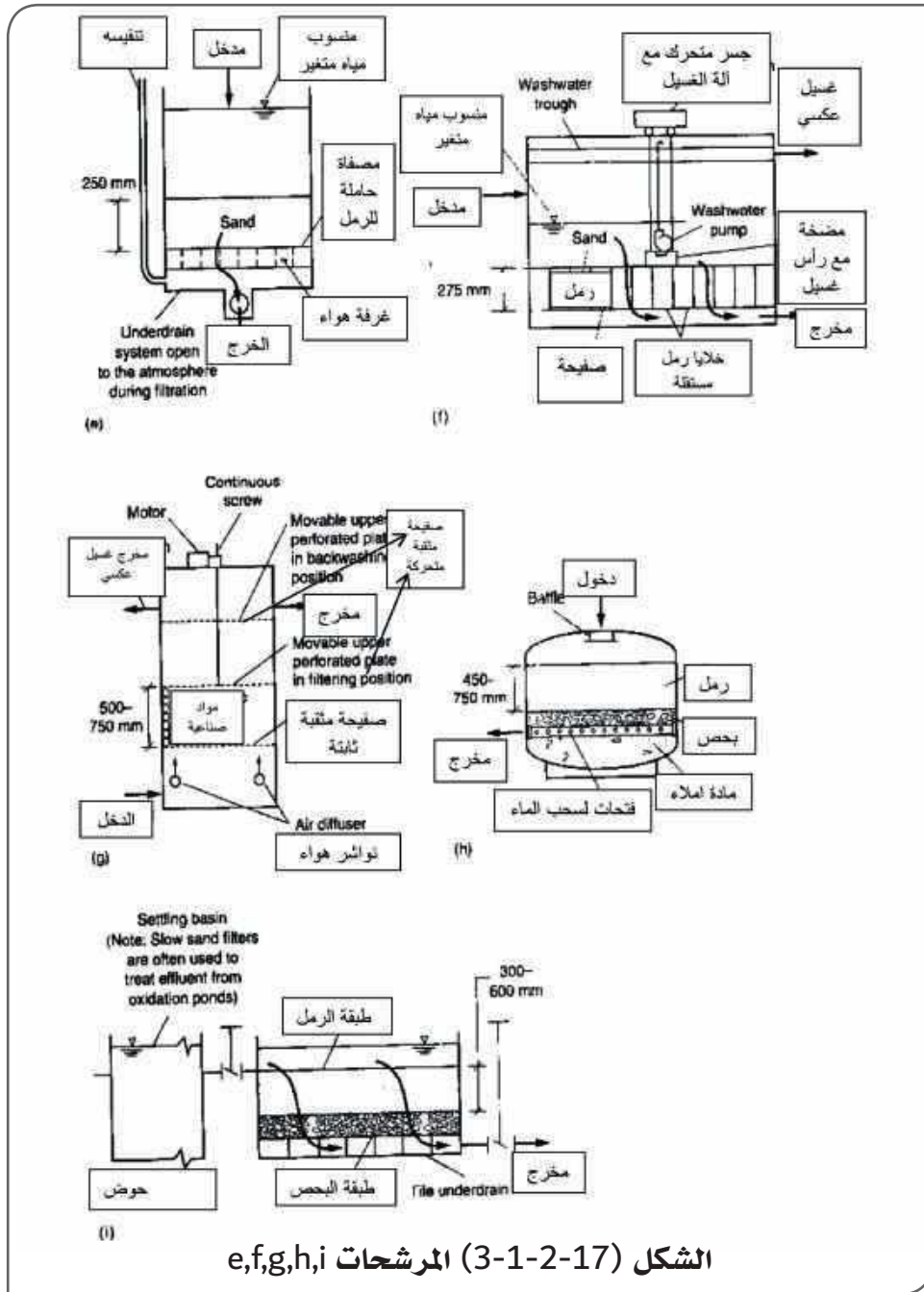
- المرشح الرملي التقليدي المتوسط الأحادي النوع conventional mono- medium وهو يتألف من طبقة من الرمل أو فحم الانتراسيت والتدفق باتجاه الأسفل. العمق 76 سم. الشكل (a 1-1-2-17).
- المرشح الرملي التقليدي المؤلف من طبقتين conventional (dual-medium) طبقة من الرمل وطبقة من فحم الانتراسيت والتدفق باتجاه الأسفل، العمق 91.5 سم. الشكل (b 1-1-2-17).



- c. المرشح التقليدي المتوسط الأحادي النوع، العميق وهو يتألف من طبقة من فحم الانتراسيت التدفق باتجاه الأسفل وعمق المفترش (122 - 244) سم. الشكل (c, 2-1-2-17)
- d. المرشح الرملي العميق (غسيل عكسي مستمر) والتدفق باتجاه الأعلى وعمق المفترش الرملي (122-91.5) سم، الشكل (d, 2-1-2-17) مع صورة توضح عمل المرشح الرملي العميق.
- e. المرشح الرملي النابضي الأحادي النوع وهو يتألف من طبقة من الرمل (25-30) سم التدفق باتجاه الأسفل. الشكل (e, 3-1-2-17).
- f. المرشح الرملي مع جسر متحرك وغسيل عكسي مستمر والتدفق من الأعلى للأسفل وعمق المفترش الرملي 27.5 سم انظر الشكل (f, 3-1-2-17).
- g. المرشح من مواد صناعية التدفق من الأسفل إلى الأعلى. الشكل (g, 3-1-2-17).
- h. مرشح تحت الضغط مؤلف من الرمل والحصى، والتدفق يكون من الأعلى للأسفل سماكة الرمل (45-75) سم. الشكل (h, 3-1-2-17) ونظرياً يُعتمد لهذا الفلتر التدفق (3 Gpm/sq. ft) وهي حوالي (7.33 m³ /m²/h). ومن أجل المرشحات الثنائية أو المتعددة الطبقات يكون التدفق: (6 - 8 Gpm / sq. ft) في درجة الحرارة 20 درجة مئوية.
- ومن [EPA MANUALS FILTRATION WATER TREATMENT] ومن أجل مرشح مضغوط يُعتمد سرعة الترشيح (5 - 7.5 m.h).
- i. مرشح بطيء يستعمل بعد برك الأكسدة حيث العمق من (30-60) سم. الشكل (i, 3-1-2-17).



الشكل (2-1-2-17)
مرشح عميق (c)، انتراسيت تدفق للأسفل - d، رملي تدفق للأعلى



الجدول (1-1-2-17)، يبين ضوابط التصميم للمرشح الرملي التقليدي المتوسط الأحادي (conventional mono- medium) [3].

الجدول (1-1-2-17)
ضوابط التصميم للمرشح الرملي الأحادي [3]

المعتمد	المجال	الواحدة	مواصفات المرشح
			المفترس الرقيق (shallow)
			• قحم الانتراسيت • العمق • الحجم الفعال • عامل التجانس • معدل الترشيح
400	500-300	mm	
1.3	1.5-0.8	mm	
أقل من 1.5	1.8-1.3	-	
120	240-80	L/m ² .min	
			• الرمل • العمق • الحجم الفعال • عامل التجانس • معدل الترشيح
330	360 -300	mm	
0.45	0.65-0.45	mm	
أكبر من 1.5	1.6-1.2	-	
120	240-80	L/m ² .min	
			المفترس التقليدي (conventional)
			• قحم الانتراسيت • العمق • الحجم الفعال • عامل التجانس • معدل الترشيح
750	900-600	mm	
1.3	2-0.8	mm	
أكبر من 1.5	1.8-1.3	-	
160	400-80	L/m ² .min	
			• الرمل • العمق • الحجم الفعال • عامل التجانس • نسبة الترشيح
600	700-500	mm	
0.65	0.8 -0.4	mm	
أكبر من 1.5	1.6 -1.2	-	
120	240-80	L/m ² .min	
			المفترس العميق (deep bed)
			• قحم الانتراسيت • العمق • الحجم الفعال • عامل التجانس • معدل الترشيح
1500	2100 -900	mm	
2.7	4-2	mm	
أكبر من 1.5	1.8 -1.3	-	
200	400-80	L/m ² .min	
			• الرمل • العمق • الحجم الفعال • عامل التجانس • معدل الترشيح
1200	1800 -900	mm	
2.5	3-2	mm	
أكبر من 1.5	1.6 -1.2	-	
200	400 -80	L/m ² .min	

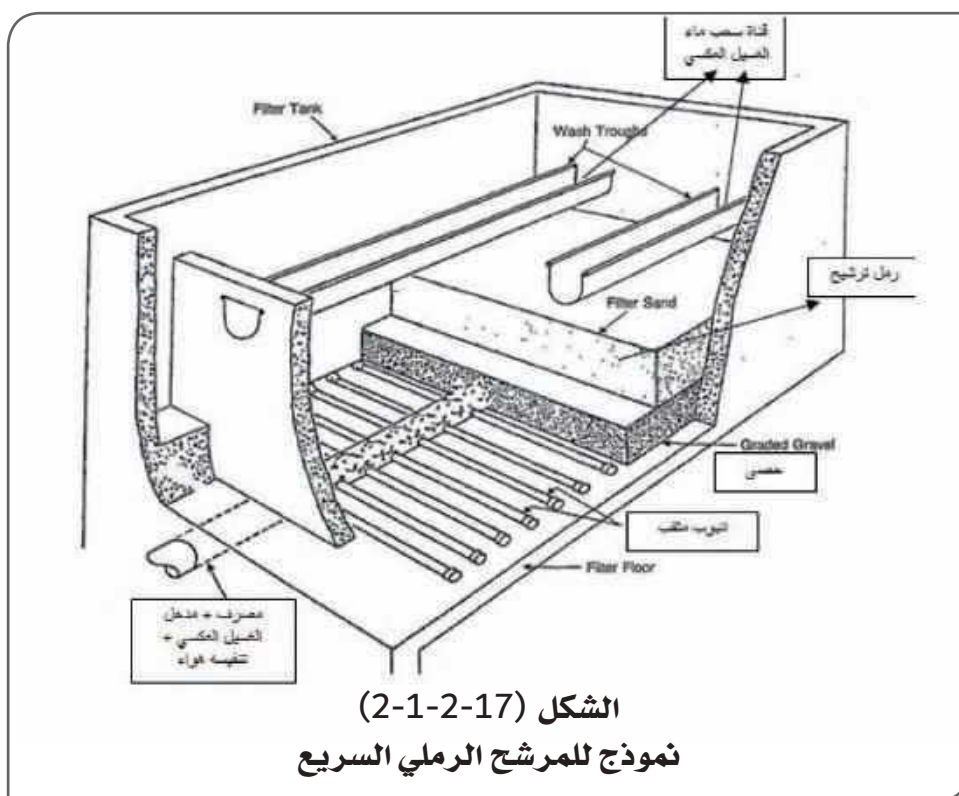
ونظراً لتعدد ظاهرة الترشيح عبر الطبقات القابلة للنفاذ يستعان بالخبرة العملية والجداول التصميمية. يبين الجدول (2-1-2-17) بعض معايير التصميم للمرشحات الرملية السريعة.

ويعرض الشكل (2-1-2-17) نموذج للمرشح الرملي السريع. الجدول (3-1-2-17)، يعطي ضوابط التصميم لمرشح ذو طبقتين.

الجدول (2-1-2-17)

ضوابط التصميم للمرشح الرملي السريع [5]

القيمة	الواحدة	المعيار التصميمي
15 - 5	$m^3/m^2.h$	- معدل الترشيح
400 - 40	m^2	- مساحة خلية الترشيح
(0.7)m من الرمل وأسفله	m	- عمق الوسط المرشح
(0.45)m من الحصى الناعم		
(0.45)mm أو أكبر بحيث	mm	- أقطار وتدرج حبيبات الرمل
توضع الذرات الأنعم والأخف		
في الأعلى من الرمل وأسفله		
أنابيب مثبته أو كتلة مسامية	-	- شبكة تجميع المياه الراشحة
(0.3)m في البداية ويسمح حتى	m	- فاقد الحمولة عبر الوسط المرشح
(2.5)m قبل الغسيل		
24-42	hr	- فترات التشغيل بين غسيلين متتاليين
بالماء المرشح أو بالماء المرشح	-	- الغسيل والتنظيف
مع الهواء		
50-30	$m^3/m^2.h$	- غزارة ماء الغسيل
2 - 3 % من كمية الماء	-	- كمية ماء الغسيل
المرشح		
10 - 3	min	- زمن الغسيل الوسطي
30% من الحجم الأصلي	-	- إنقفاخ الوسط المرشح أثناء الغسيل
0.001-0.005		- نسبة مساحة ثقوب مياه الصرف السفلي إلى المساحة الكلية
1-0.5	cm	- قطر ثقوب أنابيب التصريف السفلي
25-10	cm	- المسافة بين الثقوب
تختبر أو ترسيب	-	- المعالجة التمهيدية للمياه قبل الترشيح
تعقيم	-	- المعالجة التالية بعد الترشيح



الجدول (3-1-2-17)
ضوابط التصميم لمرشح ذو طبقتين [3] * (ρ = الكثافة)

القيمة			التوصيف
النموذجي	المجال	الوحدة	
			طبقتان من الانتراستيت ($\rho = 1.6$) *
720 1.3 أقل من 1.5	900-360 2-0.8 1.6-1.3	mm mm لا يوجد	العمق الحجم الفعال معامل الانتظام
			طبقتان من الرمل ($\rho = 2.65$)
360 0.65 أقل من 1.5 200	360-180 0.8-0.4 1.6-1.2 800-400	mm mm لا يوجد L/m ² .min	العمق الحجم الفعال معامل الانتظام نسبة الرشح

2-2-17. المرشحات السطحية. Surface filtration

المرشحات القماشية الدوارة. Cloth filtration وتدعي مرشحات الأقراص الدوارة disc filter وتستعمل في ترشيح مياه الصرف بعد المعالجة الثنائية (الثانوية). وهو قماش صناعي من البوليستر أو مواد أخرى كالكروم وغيره من المواد. يركب القماش على حلقة من الطرفين ويكون بينهما فراغاً (كالطبيل). أبعاد الفتحات في القماش من (10-20) ميكرومتر أو أكثر (في نظام الأغشية من 1-0.0001 ميكرومتر) وتدخل المياه بالراحة بين القماشين ويتم سحب الماء المرشح من الحلقة بالثقالة خارج الفلتر ويمكن أن تكون الأقراص غاطسة كلياً أو جزئياً الشكل (1-2-2-17)، مرشح قماشي دوار نوع غاطس. وعدد الحلقات يعتمد على كمية التدفق. وتؤخذ المواصفات من الشركات المصنعة.

ويتم تنظيف المرشح بشكل مستمر من خلال عملية غسيل خارجي بالضغط وغسيل عكسي من الداخل عند ارتفاع فاقد الحمولة (أو خارجي بالفاكيوم).

يعطي الجدول (1-2-2-17) ضوابط التصميم لمرشح قماشي.

ملاحظة : تقدم الشركات نماذج كثيرة من المرشحات القماشية الدوارة ويمكن أن تكون فتحات المرشح أكبر والغطاس مختلف مما يعدل التحميل وسرعة الدوران المذكورة في الجدول (1-2-2-17).

الجدول (1-2-2-17)
ضوابط تصميم المرشح القماشي [3]

البند	الواحدة	القيمة النموذجية	ملاحظات
- قطر فتحات مادة المرشح	ميكرون μm	35-20	- ستين ليس ستيل أو قماش بوليستر متوفر حتى 60 ميكرون
- التحميل الهيدروليكي	$m^3/m^2.min$	0.25 - 0.83	- يعتمد على نوع المعلمات
- فاقد الحمولة في القماش	mm	150 - 75	- يعتمد على القسم الغاطس
- قطر الطبل	m	1.5 - 0.75	- القطر المثالي 3 م فكلما كبر القطر كان أفضل لأن القطر الصغير يحتاج إلى غسيل عكسي متكرر.
- سرعة الدوران	m/min	4.5 عند فاقد الحمولة 50 ملم 10-30 عند فاقد الحمولة 150 ملم	
- الغسيل العكسي اللازم	$m^3/m^2.min$	الإنتاجية 2-% عند ضغط 350kps الإنتاجية 5-% عند ضغط 100 kps	



الشكل (1-2-2-17) مرشح سطحي قماشي دوار نوع غاطس كليا

3-2-17. طرائق الترشيح بواسطة الأغشية.

Membrane filtration processes

في الترشيح بواسطة الأغشية يكون مجال أبعاد الأجسام التي يتم حجزها على المرشح بالأغشية من (1-0.0001) ميكرومتر وطريقة العمل تتم بأن يوضع غشاء نصف نفوذ تمر منه بعض الأجسام تحت ضغط معين أما الأجزاء الأخرى فيتم حجزها أمام الغشاء، ويدعى السائل الذي عبر الغشاء (permeate) والسائل الذي بقي أمام الغشاء ويحوي الأجسام المحبوسة فيدعى (concentrate) أو الرواجع (reject) ويعبر عنه $(\text{kg}/\text{m}^2/\text{d})$ أو $(\text{gal}/\text{m}^2/\text{d})$.

1-3-2-17. تصنيف طرائق الترشيح بوساطة الأغشية.

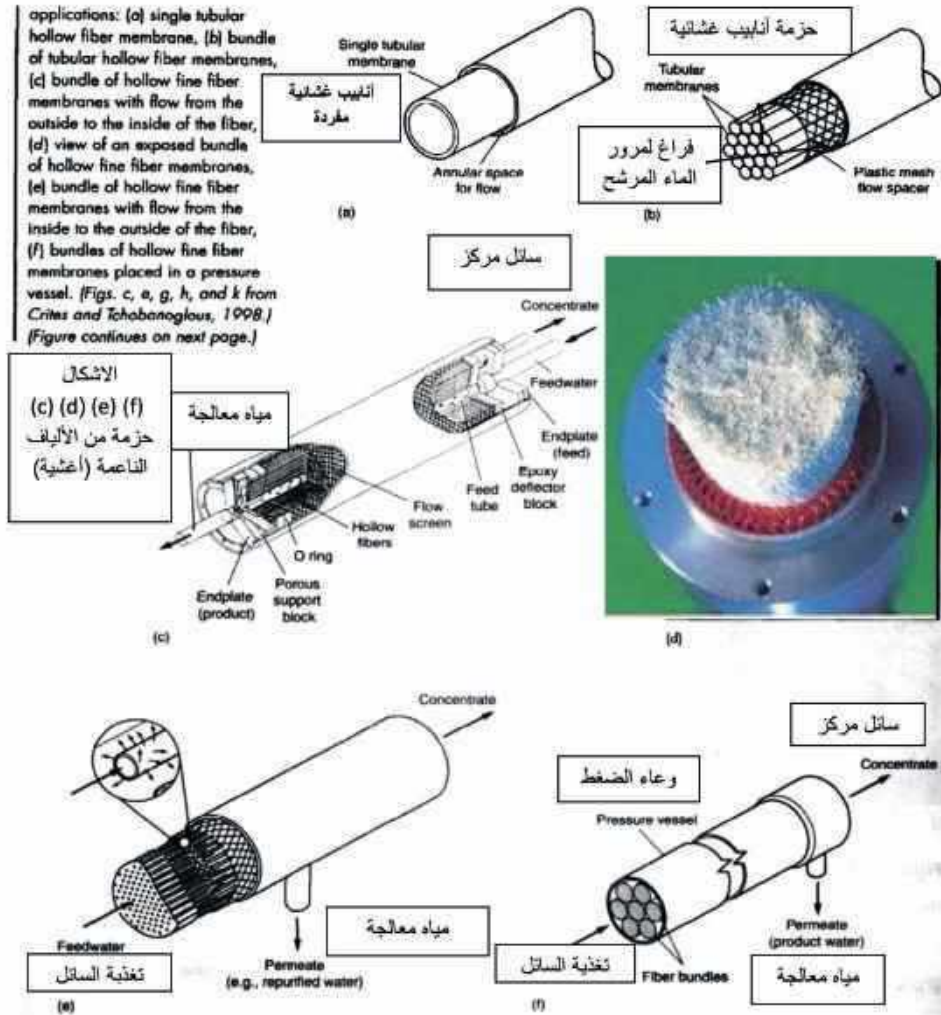
Membrane processes classification

تتضمن عملية الترشيح عدة طرائق وسنورد بعضاً منها مع بعض الأرقام عن مجالات عملها وفق الجدول (1-1-3-2-17). الشكل (1-1-3-2-17) a,b,c,d,f يوضح طريقة عمل المرشحات الغشائية من خلال نفوذ الماء عبر جدران الأنابيب (الألياف المفرغة) بشكل حزم أو افرادية ومتابعة خروج المياه المركزة من الطرف الآخر من الألياف. الشكل (2-1-3-2-17) يوضح عمل الأغشية في الترشيح بالتناضح العكسي (RO): a1. a2. الترشيح بالأغشية الملفوفة - b. أغشية متوازية.

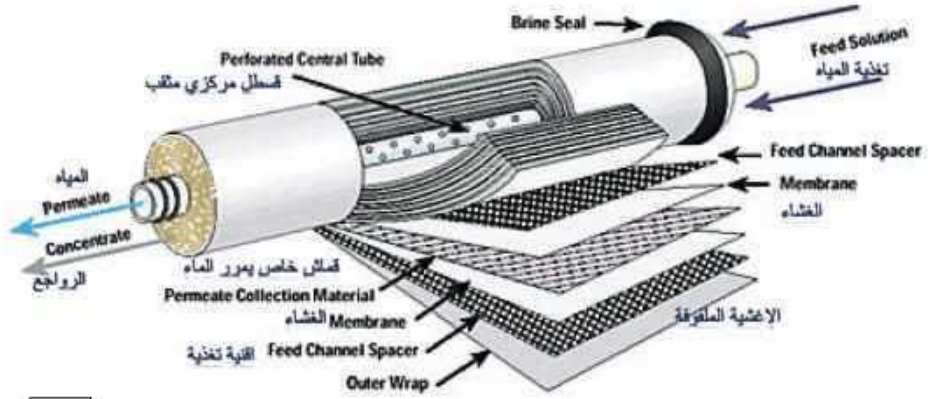
الجدول (1-1-3-2-17)
طرائق الترشيح بالأغشية [3]

اسم طريقة الترشيح	أبعاد المسامات (ميكرومتر)	الأجسام التي يقوم الغشاء بإزالتها
الترشيح الدقيق (MF) micro filtration	(2-0.08)	يزيل المعلقات والعكارة والبكتريا
الترشيح الفائق الدقة (UF) ultra filtration	(0.2-0.005)	يزيل الغرويات والبكتريا وبعض الفيروسات والبروتين
الترشيح النانومتري nano filtration (NF)	(0.01-0.001)	يزيل الغرويات والفيروسات
التناضح العكسي reverse (RO) osmosis	(0.0001-0.001)	يزيل الغرويات واللون والعسرة والسلفات والنترات والصوديوم والشوارد الأخرى
الديلزة dialysis		تزيل الغرويات والبكتريا والفيروس والبروتين
الديلزة الكهربائية electrodialysis (ED)		تزيل شوارد الأملاح

applications: (a) single tubular hollow fiber membrane, (b) bundle of tubular hollow fiber membranes, (c) bundle of hollow fine fiber membranes with flow from the outside to the inside of the fiber, (d) view of an exposed bundle of hollow fine fiber membranes, (e) bundle of hollow fine fiber membranes with flow from the inside to the outside of the fiber, (f) bundles of hollow fine fiber membranes placed in a pressure vessel. (Figs. c, e, g, h, and k from Crites and Tchobanoglous, 1998.) (Figure continues on next page.)



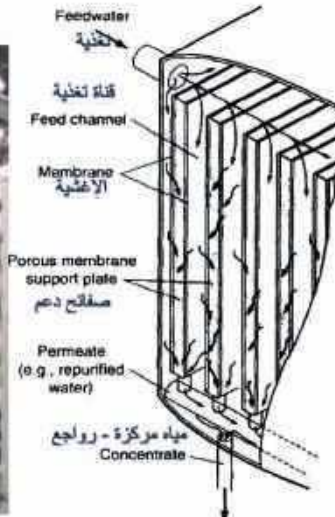
الشكل (1-1-3-2-17) a,b,c,d,e,f
طريقة عمل المرشحات الغشائية عبر جدران الأنابيب (الألياف المفرغة)



a1



a2



b

الشكل (2-1-3-2-17)
عمل الأغشية في الترشيح بالتناضح العكسي (RO), a1, a2,
الترشيح بالأغشية الملفوفة - b. أغشية متوازية



معالجة الحمأة الصناعية والتخلص منها

Industrial sludge treatment and disposal

تعريف الحمأة:

نعني بالحمأة المصروفة هي الحمأة الناتجة عن العمليات الفيزيائية الأولية أو المعالجة الثنائية (الثانوية) أو المعالجة الثلاثية، والمعالجة تتناول تصغير حجم الحمأة وتحويل عناصر الحمأة إلى عناصر أكثر استقراراً وكذلك لضبط الرائحة والكائنات الممرضة فيها. وقد تصل تكاليف معالجة الحمأة إلى 50 % من تكاليف التشغيل لمحطة المعالجة.

تعريف الحمأة الناتجة عن معالجة مياه الصرف الصناعي:

الحمأة المصروفة الصناعية هي الحمأة الناتجة عن العمليات الفيزيائية الأولية والمعالجة الكيميائية والمعالجة الثنائية (الثانوية) أو المعالجة الثلاثية، وتحتوي هذه الحمأة ملوثات خاصة مرتفعة القيمة حسب الصناعة التي تطرحها في هذه المياه كالمعادن الثقيلة، الزيوت والدهون، الأملاح، المذيبات، الملوثات العضوية الخطرة. الخ . وعادة فإن كثير من هذه المواد يمكن عزلها واسترجاعها أو تدويرها.

ويتم معالجة الحمأة الصناعية لتصغير حجمها وتحويلها لعناصر أكثر استقراراً، وكذلك لضبط الرائحة والكائنات الممرضة فيها، بغية التخلص منها وفق القوانين والانظمة المرعية.

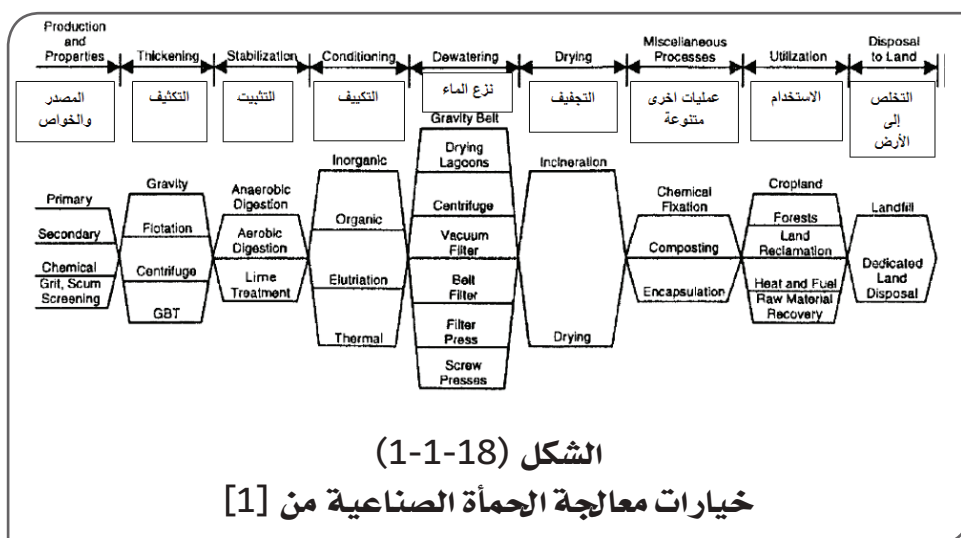


18-1. خيارات معالجة الحمأة. Sludge Treatment Alternatives

إن كمية ونوع الحمأة تعتمد على نوع مياه الصرف وطريقة المعالجة المتبعة، ويجب التعامل مع خيارات تعكس طبيعة المواد الصلبة المعنية. فعلى سبيل المثال، الحمأة الحبيبية (حمأة لب الورق والورق) تُكثف بسهولة وتُنزع الماء منها، حيث تكون نسبة المواد الصلبة 30 % إلى 50 % (من حيث الوزن)، في حين الحمأة البيولوجية أو حمأة الشبة (الآلوم) يصعب فصل المياه منها (15 % إلى 20 % حيث المواد الصلبة - تحتفظ بالماء بكمية أكبر). وأيضاً الحمأة البيولوجية الصناعية غالباً ما تفتقر إلى الألياف التي تعمل على تحسين الأداء بشكل كبير في نزع الماء من الحمأة البلدية، لذلك قد تكون الحمأة البيولوجية الصناعية هي الأكثر صعوبة في التعامل معها. يعرض الشكل (18-1-1) خيارات معالجة الحمأة الصناعية من [1].

عند قيامنا بمعالجة الحمأة الصناعية ودراسة البدائل يجب على مهندسي التصميم مراعاة ما يلي:

- خصائص الحمأة (على سبيل المثال: خصائص الاحتفاظ بالمياه، الزيوت، الشحوم، والمكونات الخطرة أو غير الخطرة).
- حجمها.
- محتوى المواد الصلبة.
- التداول والتثبيت اللازم.
- الأراضي المحلية، توافر الأراضي المحلية وخيارات التخلص في الأراضي.
- الطاقة، وتكاليف اليد العاملة.
- القوانين واللوائح لمعالجة المواد الصلبة والتخلص منها.



ودراسة خصائص الحمأة تتضمن: المواد الصلبة الكلية، المواد الصلبة العضوية (قابلة التطاير) والمغذيات وال pH، الكائنات الممرضة، المعادن، المواد العضوية الكيميائية، والملوثات الخطرة.

وفي عملية الاختيار والتصميم التي يجب ان تتم مسبقاً يجب على فريق المشروع إجراء اختبارات لدراسة امكانية المعالجة لتحديد متطلبات الأداء المتوقع لكل عملية معالجة مقترحة. ومع ذلك يجب أن يؤخذ في الاعتبار أن اختلافات طفيفة في تكوين مياه الصرف المعالجة يمكن أن يغير بشكل كبير خصائص المواد الصلبة.

- **ملاحظة:** في الهضم اللاهوائي يكون تركيز المواد الصلبة أكبر من الهضم الهوائي ويصل إلى أكثر من ضعف ونصف إلى ضعفان.

1-1-18. تكثيف الحمأة. Sludge thickening

الهدف من التكثيف هو تقليل حجم الحمأة وزيادة تركيز المواد الصلبة في الحمأة ليسهل التعامل معها بالنسبة للضخ والهضم ونزع الماء ولتقليل حجم المنشآت المعنية، فمثلاً إذا كانت نسبة المواد الصلبة 0.6 % وأصبحت بعد التكثيف 3 % فيتحقق تخفيض لحجم الحمأة بحدود 5مرات

تقريباً. والتكثيف ونزع الماء هي عمليات متتابعة وعادة أفضل أداء إذا كانت المواد الصلبة في الحمأة حوالي 5 %.

وتستخدم عمليات التكثيف عادة على تدفق الحمأة حيث يمكن أن نتوقع نسبة المواد الصلبة في الحمأة من 0.5-3 % [1]. وغالباً ما تتم إضافة المواد الكيميائية قبل تكثيف الحمأة للمساعدة في تحرير المياه المرتبطة مع المواد الصلبة.

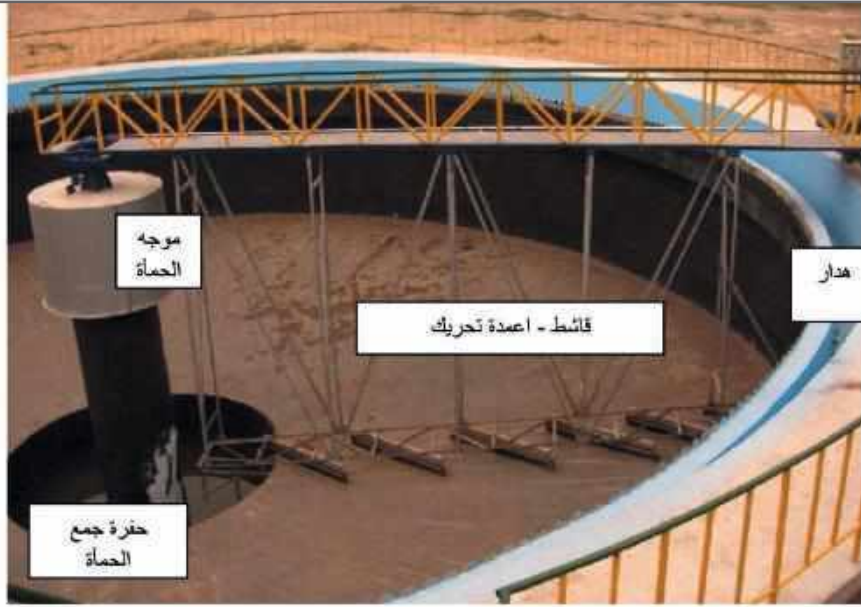
1-1-1-18. التكثيف بالثقالة.

الشكل (1-1-1-18) يوضح استعمال التكثيف بالثقالة لفصل المواد الصلبة عن المياه في الحمأة، والطريقة تشبه حوض الترسيب التقليدي حيث يتم دخول الحمأة من مركز الحوض من خلال الموجه وخروج المياه الطافية (الرواقية) من الهدارات. ويمكن أن يضخ من هذه المياه أيضاً إلى المكثف لتعزيز تكثيف الحمأة وتقليل الروائح [1].

يتم سحب الحمأة من أسفل القمع المركزي السفلي بالضخ أو بالراحة كما يجب سحب (الرواقية) من الأعلى.

- معدل التحميل الهيدروليكي النموذجي $\{24 - 30 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})\}$.
من [1]. يتم عادة اختيار معايير التصميم من التجربة والقياسات المخبرية ويستعان بالجدول (1-1-1-18) [3].

• **ملاحظة:** تكثيف الحمأة بالثقالة أمر غير مألوف في معالجة مياه الصرف في المنشآت الصناعية بسبب أنه يحتاج بشكل عام إلى مساحة وإمكانية نشر الروائح وتدفقات إعادة التدوير العالية التي تؤثر على تكلفة معالجة مياه الصرف التي تتولد منها كميات كبيرة من المواد الصلبة (مثل مصانع الورق، ومصانع الصلب) [3].



الشكل (1-1-1-1-18)
نموذج مكثف الحماة بالثقالة

الجدول (1-1-1-1-18)

أهم معايير التصميم العملية للمكثف بالثقالة [3]

نسبة المواد الصلبة في الحماة %		تحميل الحماة	نوع الحماة
بعد التكتيف	قبل التكتيف	Kg/m ² /d	
10 - 8	5.5 - 2.5	150 - 100	حماة أولية
6 - 3	4 - 1	50 - 40	حماة من المرشحات البيولوجية
3 - 2.5	1.3 - 0.5	80 - 30	حماة منشطة عادية
3 - 2	1 - 0.25	35 - 20	حماة منشطة مع تهوية مديدة
8 - 4.5	4.25 - 2.25	85 - 45	حماة أولية مع حماة منشطة

2-1-1-18. تكثيف الحماة بالتطويف. DAF

ويدعى التطويف بالهواء المنحل، Dissolved air flotation، وهو يستعمل لتطويف المواد الصلبة للحماة وخصوصاً الحماة الزيتية، الحماة الخفيفة (الحماة البيولوجية)، وكذلك تستعمل الطريقة

لتطويف الزيوت والشحوم، وتستعمل عندما تكون المساحة غير متوفرة في المنشآت الصناعية.

في مكثف التطويف DAF يتم حل الهواء في الماء تحت الضغط (saturated الإشباع) في غرفة خاصة (2.80 - 5.50 bar)، وعند تحرر الضغط (في مدخل الحوض) تظهر فقاعات صغيرة جداً ($60 - 100 \mu m$) تقوم بدفع المواد الصلبة باتجاه الأعلى، يتم استعمال مياه مطوفا من حوض التطويف لإعادة ضغطها، أو يستعمل مياه جديدة أو تستعمل مياه الصرف بعد حوض التطويف، وأهم ما في التصميم نسبة الهواء إلى المواد الصلبة A/S الجدول (1-2-1-1-18) يوضح مختلف حالات التحميل، الشكل (1-2-1-1-18) يوضح وحدة تطويف حمأة مستطيلة مع إحدى طرائق تزويد الهواء المضغوط مع الماء والمنتشرة حالياً [25]. (يمكن بهذه الطريقة أيضاً أن تدخل المياه الممزوجة بالمواد الكيميائية إلى الحوض مباشرة).

وفيما يلي أهم ضوابط التصميم:

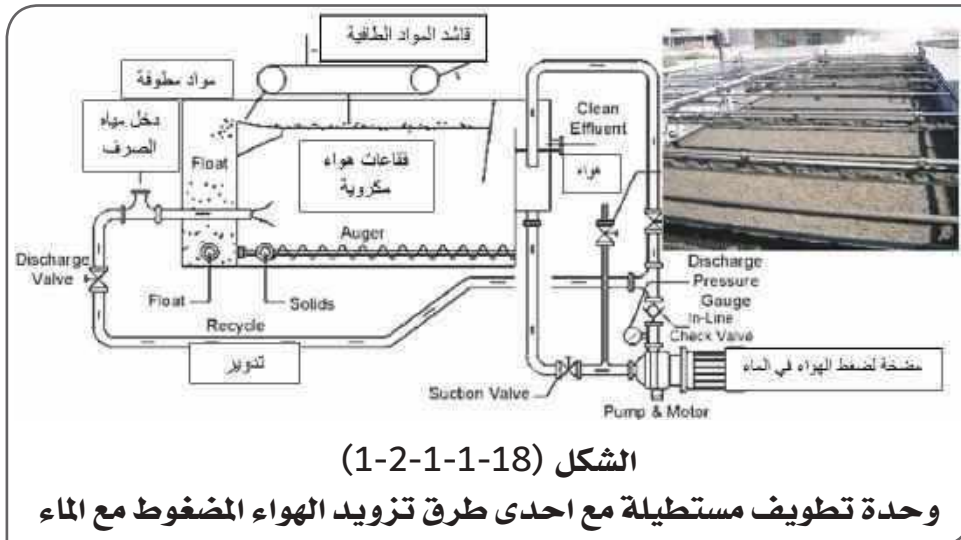
- مكثف الحمأة بالتطويف يعطي مردود: 85 % - 99 %.
- زمن الحجز في غرفة الضغط: 1-3 دقيقة.
- زمن الحجز الهيدروليكي: 10-20 دقيقة.
- نسبة الهواء إلى المادة الصلبة: A/S : 1 - 4 % .
- الضغط: (2.80 - 5.50 bar).
- التحميل الهيدروليكي: $m^3/m^2/d$: (12 - 200).
- النسبة المئوية للمواد الصلبة في الزبد وزنا : (4-8).

الجدول (1-2-1-1-18)
مختلف حالات التحميل لمكثف DAF. من [3]

التحميل مواد صلبة $\text{kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$		نوع الحمأة أو المواد الصلبة العضوية
مع إضافة مواد كيميائية	بدون إضافة مواد كيميائية	
حتى 10	3 - 1.2	حمأة منشطة:
حتى 10	4 - 2.4	- المزيج المنحل
حتى 10	4 - 3	- مرسبة
حتى 10	4 - 3	حمأة منشطة بالأوكسجين الصافي
حتى 10	6 - 3	حمأة مرشح بيولوجي
حتى 10	6 - 4	حمأة أولية مع حمأة منشطة
حتى 10	6 - 4	حمأة أولية مع حمأة مرشح بيولوجي
حتى 12.5	6 - 4	حمأة أولية فقط

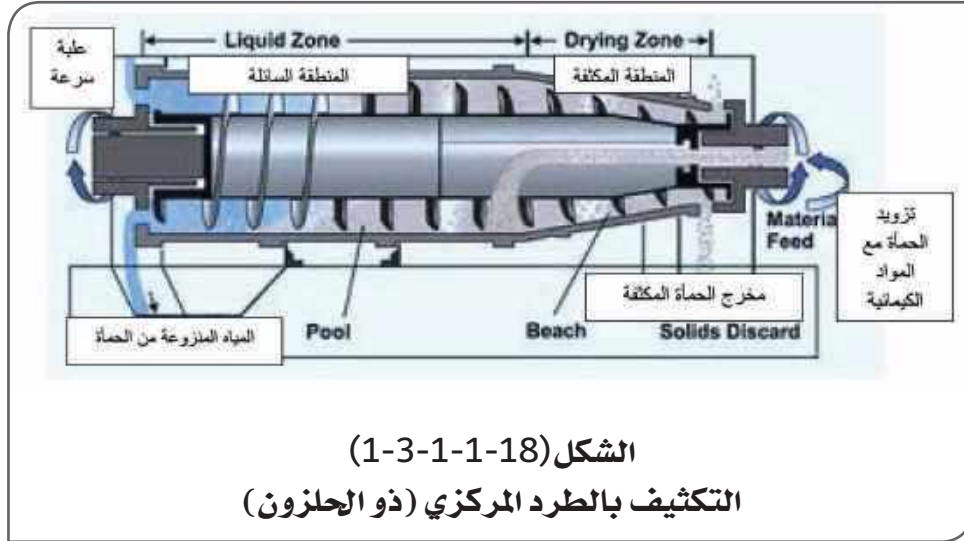
- **ملاحظة:** لحساب كمية المياه المدورة الى خزان الضغط، يوجد معادلات لحسابها ويمكن فرض نسبة التدوير 1-1.25/ وادخالها في حساب زمن المكوث والتحقق من التحميل (المراجع)

ومن مساوئ الطريقة حاجة DAF إلى الاشراف الدائم والصيانة، وزيادة احتياج المواد الكيميائية اللازمة، اضافة لمشاكل التعامل مع المواد الكيميائية والتخزين.



3-1-1-18. تكثيف الحمأة بالطرد المركزي. Centrifuge thickening

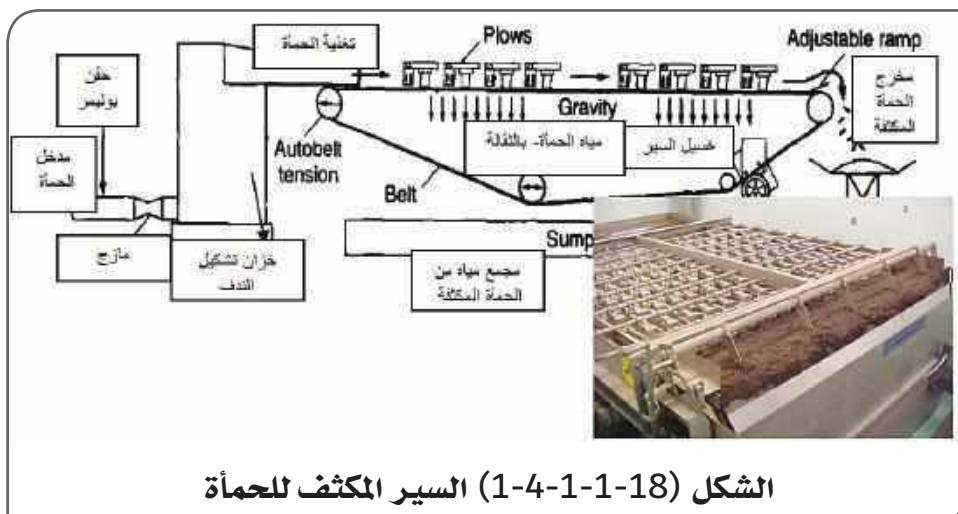
(ويدعى أيضاً ديكانتر طرد مركزي Decanter centrifuge)، وتستخدم أجهزة الطرد المركزي سواء لفصل المياه (نزع الماء) أو تكثيف الحمأة الصناعية. وهناك عدة أنواع من أجهزة الطرد المركزي، ولكن واحدة منها تستخدم عادة في تطبيقات مياه الصرف الصناعي هو وعاء الطرد المركزي (ذو الحلزون). الشكل (1-3-1-1-18). حيث يدور الحلزون داخل وعاء بسرعة مختلفة قليلاً عنه. يمكن أن تتكثف المواد الصلبة في الحمأة الأولية إلى ما بين 6 % و 8 % والمواد الصلبة في الحمأة المنشطة إلى 2.5 %. كما أنه يمكن التعامل مع تدفقات كبيرة فنحتاج لعدد من الوحدات.



ولكن هنالك ارتفاع في تكاليف الطاقة اللازمة للتشغيل، كما يتطلب الجهاز صيانة فيما يتعلق بالتآكل. ويمكن أن توجد أجهزة الطرد في صناعات السيارات والأثاث والإنهاءات المعدنية لإزالة المياه من حمأة الدهان. وكذلك يستعمل جهاز طرد مركزي «ثلاثي المراحل» لفصل المواد الصلبة الزيتية عن الماء وعن الزيت القابل للاسترداد، كما سيرد في الفقرة (3-2-18).

Gravity belt thickening (GBTs)

يصل عرض السير من (1-3)م والتحميل النموذجي من (6.7-47) ليتر حمأة /ثا، حسب عرض السير. أو (800 ليتر/م/دقيقة [3])، ويعطي المرجع [1] معدل تحميل المواد الصلبة التصميمي: (200-600 كغ/ ساعة / م من عرض الحزام). يضاف البوليمر بمعدل (1.5 - 4.5 كغ /طن مواد صلبة حافة)، بين الشكل (1-18-1-4) السير المكثف للحمأة.



5-1-1-18. مكثف البرميل الدوار.
RDT. Rotary drum thickening

وهو وعاء يدور على محور أفقي ويتم تغذيته بشكل مستمر حيث تتجمع الحماة على محيط الجهاز (الوعاء من الشبك الناعم) وبموجهات

داخلية خاصة يتم دفع الحمأة إلى المقدمة ومن ثم خارج الوعاء وفي اثنائها يتم فصل الماء عبر الشبك. يبين الشكل (1-5-1-1-18) مكثف البرميل الدوار. ويتم رش الماء على الشبك بشكل متكرر لتنظيفه. وتُصمم RDT لتعمل لأنواع من المواد الصلبة والتراكيز، وعادة يتم توفيرها من قبل الشركات المصنعة حسب الشروط المطلوبة. ونسبة التكتيف تصل إلى 7 % - 9 % للمواد الصلبة. وبالمقارنة مع الطرائق الأخرى نجد إن نسبة الكلفة على السعه قليلة، ونجد أن المساحة المشغولة والإشراف أقل وكمية المواد الكيميائية اللازمة نفسها ولكن فعاليتها أقل نسبياً في بعض الاحيان.



الشكل (1-5-1-1-18)
مكثف البرميل الدوار. RDT. من (parkson)

2-1-18. نزع الماء. Dewatering

يجب أن نقوم بتخفيض نسبة رطوبة المواد الصلبة في الحمأة قبل أن يتم حرقها أو طمرها. وعادة ما يتم تكتيف المواد الصلبة قبل أن يتم نزع الماء منها. وتحتوي المواد الصلبة منزوعة الماء ما بين 10 % وأكثر من 50 % من المواد الصلبة (اعتماداً على نوع الحمأة الصناعية).

وأشهر الطرائق لنزع المياه، الطرد المركزي centrifuges، المكبس ذو الحزام belt filter presses، المرشح المكبسي pressure filters، والمكابس اللولبية screw presses، والمرشحات الإنفراغية vacuum filters، ويستخدم أيضاً Geotextile Tubes (الجيو تيوب : أكياس قماشية راشحه) ومرشح الحاوية container filters.

ويستخدم الطرد المركزي: في صناعات معينة (على سبيل المثال: الأغذية والمشروبات، والأدوية، والمواد الكيميائية..) لفصل المياه عن المواد الصلبة الشكل (1-3-1-1-18) وهو تقنية معقدة تتطلب عمال مدربين لتعمل بكفاءة، والطرد المركزي مرتفع الثمن نسبياً في البناء والتشغيل (وعلى سبيل المثال التكاليف الكهربائية والمواد الكيميائية، وتكاليف الصيانة). ومع ذلك، فإنها تعتبر التكنولوجيا الأكثر ملائمة لمحطات مياه الصرف الصناعي الكبيرة مع وجود كمية كبيرة من المواد الصلبة وكذلك في وجود مستويات عالية من FOG (الدهون والزيوت الشحوم)[1].

وإن معظم أجهزة وحدات الطرد المركزي التي تفصل المواد الصلبة عن المياه هي «من مرحلتين». وقد تستخدم وحدات طرد مركزي خاصة من ثلاث مراحل لفصل المواد الصلبة، والمياه، والزيوت. ويعتمد أداء جهاز الطرد المركزي لنزع المياه على نوعية المواد الصلبة وكميتها وكثافتها والتكييف الكيميائي. ونسبة المواد الصلبة في الكعكة الناتجة ما بين 15 % و 35 %، وهذا يتوقف إلى حد كبير على خصائص الحمأة وتكييفها الكيميائي، ومهارة المشغل.

1-2-1-18. السير الضاغط (الحزام الراشح الضاغط).

Belt filter press

وهو نوع شائع من المرشحات يستعمل لنزع الماء من الحمأة ويستهلك طاقة قليلة. ويتألف من حزام مشدود مثقب. تمر الحمأة وهي على الحزام على عدة بكرات بعدة أقطار حيث تقوم بعصر الحمأة، ويتم تكييف الحمأة لزيادة فعالية المرشح، ويضاف عادة (بوليمير كاتيوني cationic polymers).

وعمل المرشح يكون على ثلاث مراحل: تصريف المياه بالثقالة ثم ضغط خفيف ثم ضغط عالي بين حزامين يمران مع الحمأة ضمن بكرتين تقوم بعصر الحمأة.

عرض المرشح من (0.5 إلى 3.5) م (والعرض الشائع 2 م).



الجدول (1-1-2-1-18) يعطي أداء المرشح الضاغط لأنواع مختلفة من الحمأة. وغالباً ما تشكل الرائحة أثناء عمل المرشح مشكلة مزعجة ولذلك يجب عمل تهوية مناسبة في صالة العمل.

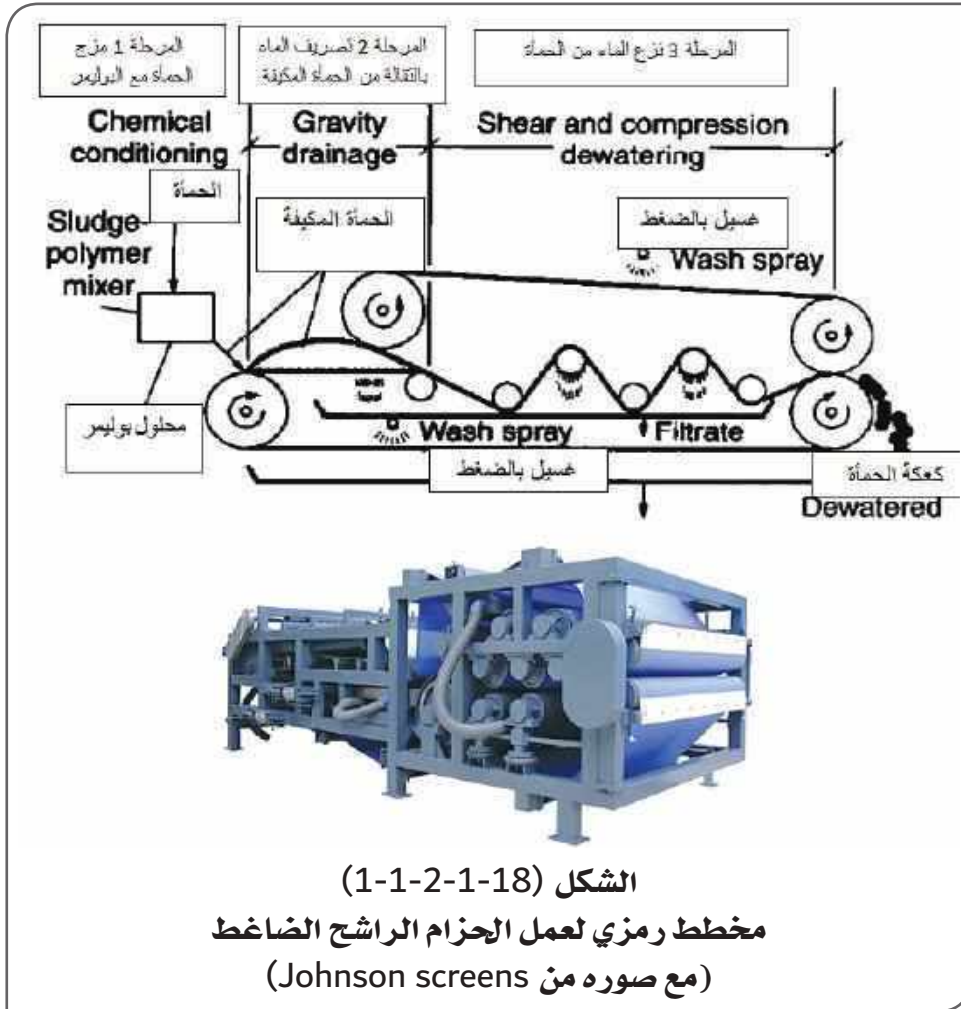
ويبين الشكل (1-1-2-1-18) مخطط رمزي لعمل الحزام الراشح الضاغط مع صورة.

الكعكة الناتجة تحوي عادة مواد صلبة من 18 % إلى 25 %، ويعتمد ذلك على خصائص المواد الصلبة والتكييف الكيميائي.

الجدول (1-1-2-1-18)

أداء الحزام الراشح الضاغط لأنواع مختلفة من الحمأة. [3]

نوع الحمأة	المادة الجافة الداخلة %	التحميل لكل متر طولي من المرشح		بوليمر g/kg صلبة جافة	نسبة المواد الصلبة في كعكة الحمأة %	
		L /S	Kg/h		المجال	النموذجي
أولية	7-3	3.2-1.8	550-360	4-1	28	32-26
was*	4-1	2.5-0.7	180 -45	10-3	15	20-12
was + أولية	6-3	3.2-1.3	320-180	8-2	23	28-20
was + أولية 50:50 Was* حمأة منشطة مصرفة	6-3	3.2-1.3	320-180	10-2	20	25-18



2-2-1-18. المرشح المكبسي. Filter press

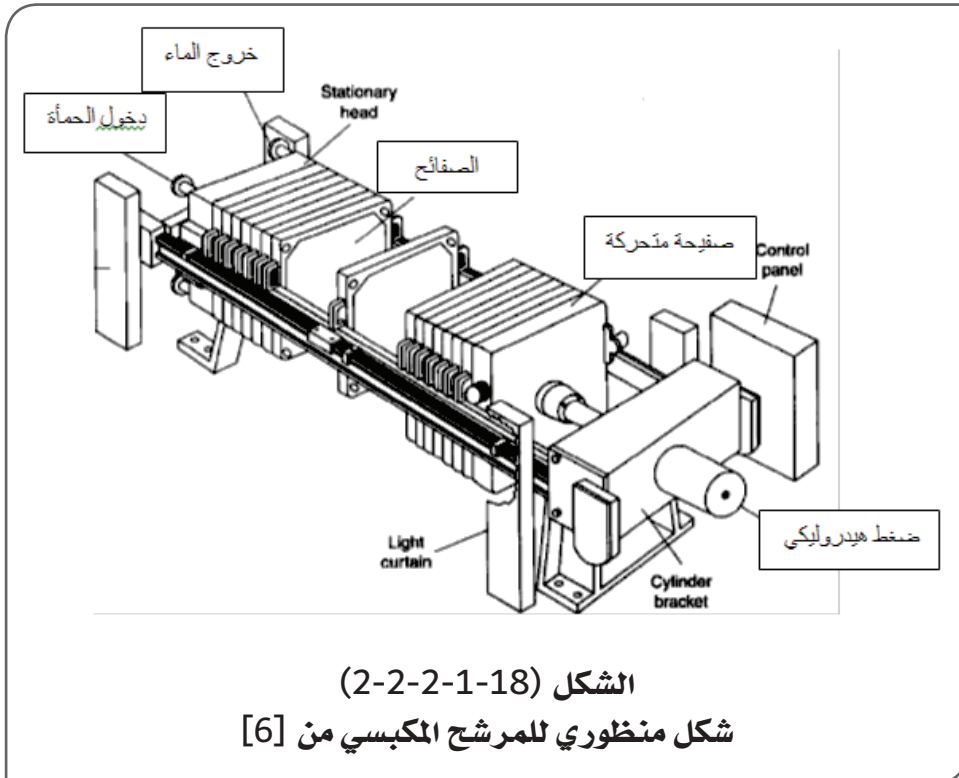
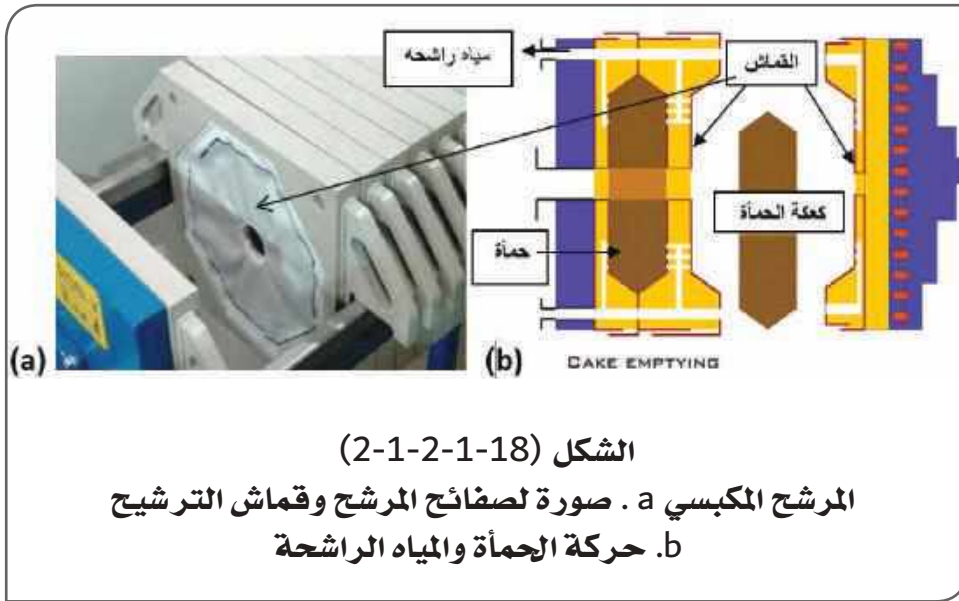
أو المرشح ذو الصفائح، وهو من المرشحات المشهورة نظراً لبساطة أدائه وفعاليته العالية بالنسبة للمرشحات السابقة حيث تصل نسبة المواد الصلبة في الكعكة إلى (35 % - 50 %)، بينما في الطرائق الأخرى حوالي 18 %، إضافة لاستهلاك القليل من الطاقة، (ومع ذلك فإن النظام مكلف وكثير العمالة) ويستعمل في نزع مياه الحماة الصناعية، ويتألف المرشح من صفائح معدنية سميكة من الحديد أو الألمنيوم أو من مواد أخرى (كالبولياميد). يوجد فراغ خاص داخل الصفيحة وعندما يتم إحكام الصفائح على بعضها سيتشكل فجوة بين الصفحتين ستمتلئ بالحماة

الداخلية الشكل (b, a 1-2-2-1-18) وتدخل الحمأة من فتحات في أعلي الصفيحة الخارجية وتتوزع إلى الفجوات (يمكن تزويد الحمأة بعدة طرائق) ويوضع عادة قماش خاص أمام كل فجوات الصفائح يرشح منها المياه ولا تمر الحمأة منها ويتم إغلاق الصفائح مع الأقمشة وحكمها بالضغط. يبين الشكل (2-2-2-1-18) شكل منظوري للمرشح المكبسي. وتضخ الحمأة إلى الفجوات تحت ضغط يصل إلى 15 بار أو أكثر ويبقى الضغط لمدة يمكن ان تصل الى (2 ساعة) [3] حسب نوع الحمأة وتخرج المياه من ثقب خاصة في الصفائح إلى خارج المرشح، وبعد انتهاء الدورة يحرر ضغط الحمأة ويتم تحرير ضغط الصفائح وإبعادها عن بعضها لتظهر كعكة الحمأة وتسقط في قمع خاص.

تدهن الصفائح بمواد خاصة أو رماد لمنع التصاق القماش عليها. ويتوفر في الشركات المصنعة مرشحات بإبعاد صفائح مختلفة وعدد صفائح حسب استطاعة المرشح المطلوبة. وخيار آخر هو أن يتم إضافة المواد الخاملة (على سبيل المثال، الكلس أو السيليكا) إلى الحمأة لتحسين نزع الماء والحد من «الالتصاق»، ولكن هذا يزيد أيضاً من حجم الحمأة التي سيتم نقلها والتخلص منها. الوزن النوعي للحمأة السائلة (1.06-1.01). كثافة الكعكة من (240) كغ/م³ للحمأة البيولوجية ولحمأة هيدروكسيد المعدن metal hydroxide sludge (400) كغ/م³ باستثناء أي إضافات [3].

• **ملاحظة:** يمكن استعمال نظام يجمع خصائص المرشح المكبسي يليه مبخر بالإنفراغ لإنتاج حمأة تكون تقريباً جافة. حيث يتم في البداية نزع ماء الحمأة إلى المستويات التقليدية بواسطة المرشح المكبسي.

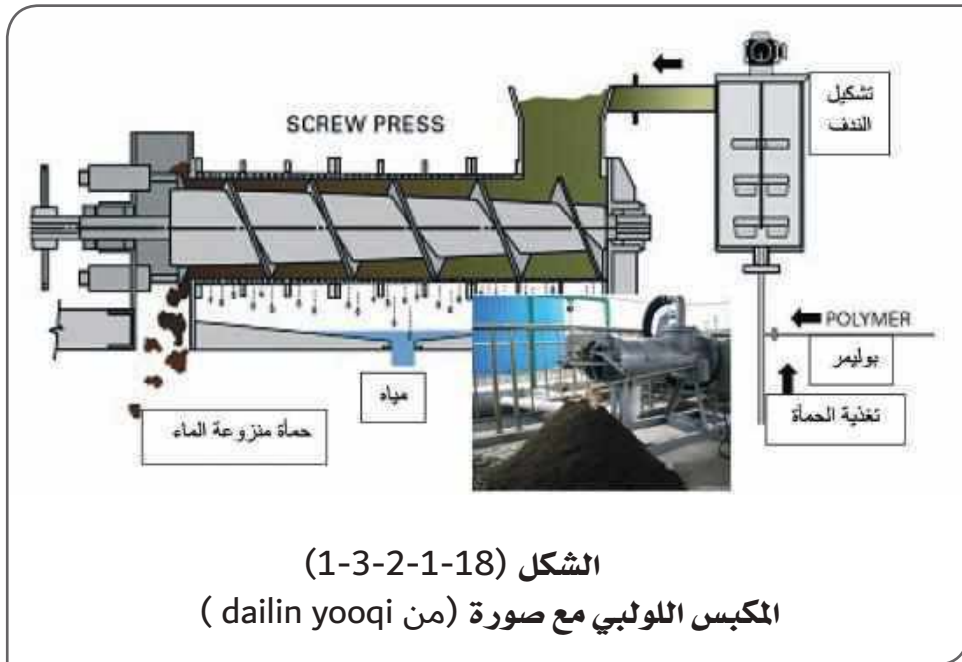
ثم تؤخذ الحمأة الى غرفة خاصة ذات ضغط منخفض وبدرجة حرارة 80 °C وفي ظروف الفراغ (حيث الماء يمكن أن يتبخر بدرجة حرارة منخفضة) نحصل على حمأة جافة. هذا النظام مفيد لعدة صناعات (على سبيل المثال، الأغذية والمشروبات، والنفط والبتروكيماويات والأدوية وتشطيب المعادن).



3.2-1-18. المكبس اللولبي. Screw presses

المكبس اللولبي يستخدم عادة لفصل المياه من الحمأة في صناعة الورق. وهو أقل فعالية للحمأة عندما تحوي كميات كبيرة من المواد الصلبة العضوية.

في نظام المكبس اللولبي الشكل (1-3-2-1-18)، يتم تغذية الحمأة من المدخل وتنتقل من منطقة الضغط المنخفض إلى منطقة الضغط العالي عن طريق اللولب، سرعة الدوران تتراوح من 0.5-6 دورة في الدقيقة. بعض المكابس يتم حقنها بخار مضغوط ما بين (7 - 345 kPa - «كيلو باسكال») (1 - 50psi) لتحسين فصل الماء Dewaterability. وقبل أن تدخل الحمأة إلى المكبس اللولبي تمزج بالبوليمرات أو الشب (الالكوم)، وتتراوح جرعات البوليمر 2-10 كغ/طن من المواد الصلبة. الكعكة المنتجة تحوي من 50% إلى 60% مواد صلبة، وعموماً الطريقة مكلفة بالنسبة لتكاليف التأسيس كما تحتاج لمراقبة.



4-2-1-18. المرشح الإنفراغي. Vacuum filtration

يستعمل هذا المرشح للحمأة الزيتية الصناعية مثل (الدوائية - المصافي النفطية - الغذائية كالعصائر- المشروبات الروحية) وهو يتألف من أسطوانة عليها قماش من (polypropylene) يسمح بمرور الماء ولا يسمح بمرور الحمأة وهو يتعرض لضغط سلبي من (38 - 75 سم زئبقي)، ويتم تغطيس الأسطوانة في الحمأة بنسبة 40 % - 60 % من السطح، وكلما دارت الأسطوانة وبداخلها الضغط السالب، تتكون طبقات من الحمأة على القماش ويتم إخراج الأسطوانة من حوض الحمأة وقشط الحمأة من على القماش إلى وعاء خاص ومن ثم غسيل القماش. متوسط زمن عمل المرشح 16-20 ساعة في الحمأة والباقي قشط وغسيل. ويضاف للحمأة مواد مخثرة مثل كلور الحديد (Ferric chloride $FeCl_3$) والكلس. معدل التحميل لسطح المرشح (من [1] و [3]).

من أجل الحمأة الأولية $\{(60 - 20) \text{ kgd.s/m}^2/\text{h}\}$

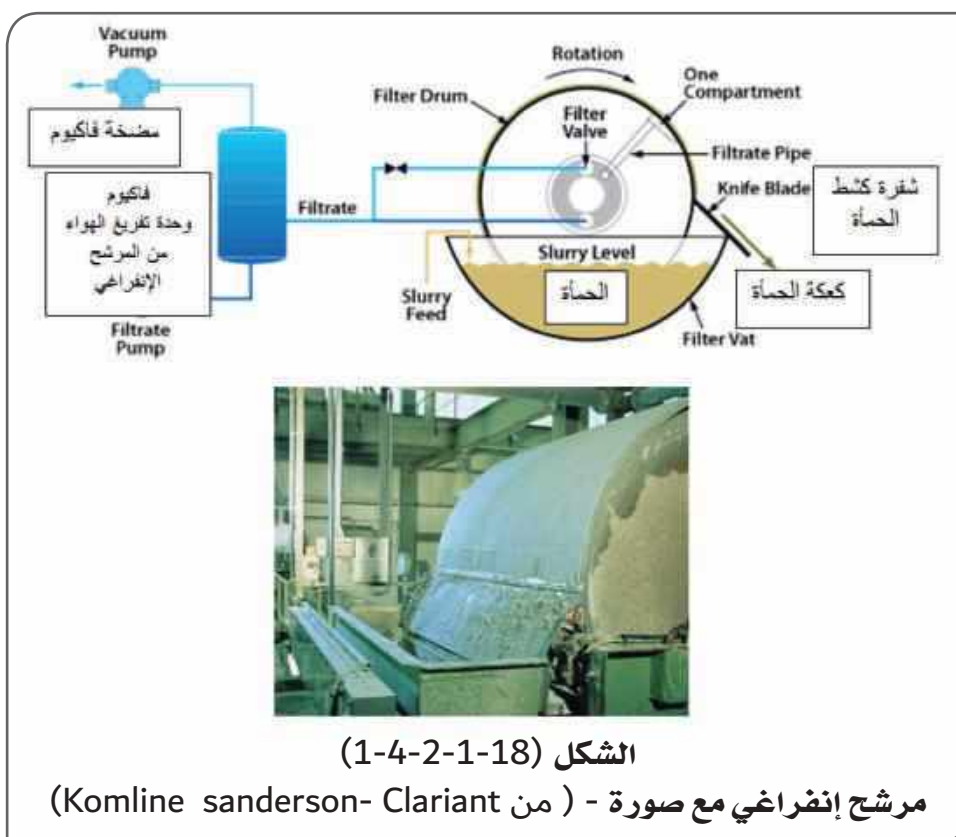
ومن أجل الحمأة المنشطة $\{(17-12) \text{ kgd.s/m}^2/\text{h}\}$

ومن أجل حمأة أولية + حمأة منشطة $\{(25-20) \text{ kgd.s/m}^2/\text{h}\}$

ومن أجل حمأة صعبة نزع الماء $\{(7-12) \text{ kgd.s/m}^2/\text{h}\}$

ويبين الشكل (1-4-2-1-18) نموذج لمرشح إنفراغي مع قشط مباشر ومستمر للحمأة.

ويظهر الشكل (2-4-2-1-18) تفصيل للمرشح الإنفراغي المستمر وهو يعمل من دون توقف ويتألف من مجموعة حجرات بضغط سلبي، وعندما تصل اقرب حجرة الى منطقة القشط يوقف الضغط السلبي فيها فتسهل عملية القشط.



والمرشح مفيد لصناعات مثل:

- الشركات المصنعة لشراب الذرة
- الشركات المصنعة لعصير الفواكه
- صناعة المشروبات الروحية
- شركات الأدوية
- الصناعات البتروكيمياوية
- صناعات غذائية أخرى



الشكل (2-4-2-1-18)

توضيح لعمل المرشح الإنفراغي المستمر

5-2-1-18. مرشح الحاوية. Container filters

مرشح الحاوية عبارة عن حاوية لديها ثلاثة مكونات هي جسم الحاوية والجدران (التي يمكن أن تكون مسامية تسمح بعبور الماء)، والأرضية. وهي تعمل على أساس دفقة واحدة. يبين الشكل (1-5-2-1-18)، أحد نماذج مرشح الحاوية (وقد يوضع لها قماش نفوذ على الأرضية والجدران). وعند ضخ الحمأة إلى المرشح يتم تصريف السائل عن طريق الجاذبية من خلال أرضية الحاوية والجدران (إذا كانت مسامية). (ويمكن إضافة مضخة انفرغية لتسريع عملية نزع المياه)، ثم يتم ضخ المياه المرشحة من الحاوية. ويمكن أن تكون الحاوية من نوع يركب على شاحنة حيث تنقل الحمأة لمكان المعالجة التالية. تتراوح أبعاد الحاويات 3.8 م^3 حتى 30 م^3 . تكون المواد المستعملة للمرشح (الميديا) من الفولاذ المقاوم للصدأ أو النايلون أو البوليستر، أو البولي بروبيلين، وأي مادة مناسبة للحمأة الزيتية إذا لزم ذلك. تتراوح مسام الميديا من (44 إلى $4,750\text{ }\mu\text{m}$). والتكنولوجيا بسيطة وغير مكلفة ومناسبة للمحطات الصغيرة نسبياً. وقد تم استخدامها على نطاق واسع في المنشآت النفطية ومحطات توليد الطاقة (لفصل ماء طين الرماد المتطاير).



الشكل (1-5-2-1-18)
مرشح الحاوية (من liners)

6-2-1-18. أكياس Geotube

(أكياس الجيوتيوب) geotube ، هي أحدث طريقة لنزع مياه الحمأة الصناعية والترسبات، الشكل (1-6-2-1-18). في هذه الطريقة يتم تكييف الحمأة مع تشكيل ندف ومن ثم يتم ضخها في أكياس geotube. تبقى الحمأة في geotube لمدة تصل إلى عدة أشهر تبعاً لنوع الحمأة (تعتمد على المواد الصلبة العالقة، وترابط الماء مع المادة الصلبة). الرشاحة من geotube تحتجز في منطقة محصورة ومن ثم يتم معالجتها أو تصريفها. عند نزع كامل المياه يتم قص geotube ويتم إزالة الحمأة منها. إن أداء geotube في نزع المياه من الحمأة هي مماثلة لطرائق نزع مياه الحمأة الأخرى. وجودة الترشيح هي مماثلة للمرشح المكبسي. ويمكن تصنيع geotube حسب الطلب.



الشكل (1-6-2-1-18)
نزع مياه الحمأة بالجيوتيوب geotube (من TenCate™)

7-2-1-18. نزع الماء من الحمأة بالتبخير الطبيعي.

Natural evaporation

تستخدم عدة طرائق لنزع الماء من الحمأة بالتبخير والرشح منها مفترشات التجفيف الرملية وأحواض التجفيف المرصوفة، وبرك التجفيف وغيره وتستعمل لمحطات المعالجة التي فيها التدفق أقل من $\{7500 \text{ m}^3/\text{d}\}$ (WEF 1996b). وتستعمل الطريقة لتجفيف الحمأة المهضومة والمرسبة من الحمأة المنشطة بدون تكثيف والطريقة اقتصادية ونحصل على حمأة نسبة المواد الصلبة مرتفعة، ومن مساوئ الطريقة احتمال وجود الروائح (يجب أن تكون

اقرب فعالية على بعد 150م، راجع الملحق 2) ومساحات أحواض التجفيف الكبيرة، واليد العاملة لجمع الحمأة الجافة، وانتشار الحشرات.

18-1-2-7-1. مفترشات التجفيف الرملية التقليدية (أحواض التجفيف الرملية).

Drying bed

تتألف مفترشات التجفيف الرملية من طبقتين علوية من الرمل وسفلية من البحص بحيث سماكة الرمل (23-30)سم وقطر الحبيبات (0.3-1) ملم ومعامل الانتظام ليس أكثر من (4) والقطر الفعال (0.3-0.75) ملم. ومن مادة البحص أو حجر مكسر سماكة (20 - 50) سم، ويكون أبعاد البحص من (0.3 - 2.5) سم، عرض الأحواض 6م والطول لا يتجاوز 30م ارتفاع جدار الحوض (0.3-1)م. سماكة طبقة الحمأة من (30-45) سم (في [1] من 20-30 سم) وميول الأرضيات لا يقل عن 1 %.

يبين الشكل (18-1-2-7-1)، صورة للحمأة الصناعية لمعمل صباغة اقمشة في أحواض التجفيف الرملية.



الشكل (18-1-2-7-1)
أحواض تجفيف الحمأة الرملية في مصبغة اقمشة
(حلب - السورية للغزل)

وتزود الأحواض بأنابيب خاصة سفلية لسحب المياه الراشحة، ولا يقل قطر الأنابيب عن 10 سم، وهي مثقبة أو مفتوحة الوصلات، والبعد بين الأنابيب (2.5 - 6)م ويتم إعادة المياه الراشحة من الأنابيب إلى المعالجة.

وتصميم حوض التجفيف يتأثر بنوع الحمأة (مكيفة) وكذلك معدل التحميل وسماكة الحمأة والظروف الجوية. ومساحة الحوض اللازمة تعتمد على نسبة تحميل المواد الصلبة. بعد التجفيف تصل نسبة المواد الصلبة إلى 20 % ويمكن أن تصل إلى 60 % بزمان تجفيف كاف من 10-15 يوم وتحت ظروف جيدة. ويقدر تحميل الحمأة السنوي { (58-161) كغ/م².عام }.

8-2-1-18. البحيرات. Lagoons.

وهي من أبسط طرائق معالجة الحمأة، كما في الشكل (1-8-2-1-18) ويتم فيها أيضا تكثيف ونزع المياه من الحمأة.

يتم تجفيف الحمأة بحرارة الشمس (إضافة لسحب المياه المتشكلة على سطح البحيرة)، عمق البحيرة (0.75 - 1.25) م (بعض المراجع تزيد الارتفاع مثل المرجع [1])، مدة التبخر من 2-5 شهر وتركيز المواد الصلبة يصل 20 % - 30 %، وتحتاج الحمأة إلى تخزين من أجل المعالجة اللاحقة، وينصح بتحميل المواد الصلبة (36 - 39 kg/m³/yr) وعادة يوجد حوض آخر للعمل بالتوازي أثناء التجفيف. ويمكن أن تظهر مشكلة إصدار الروائح [الملحق 2] أثناء العمل وذلك تبعاً لنوع الحمأة المعالجة ويجب أن تكون الحمأة مهضومة. وهذه الطريقة معروفة في صناعة الورق.



الشكل (1-8-2-1-18)
بحيرة تجفيف الحمأة (من Batseta)

9-2-1-18. أسرة التجفيف بمساعدة الانفراغ.

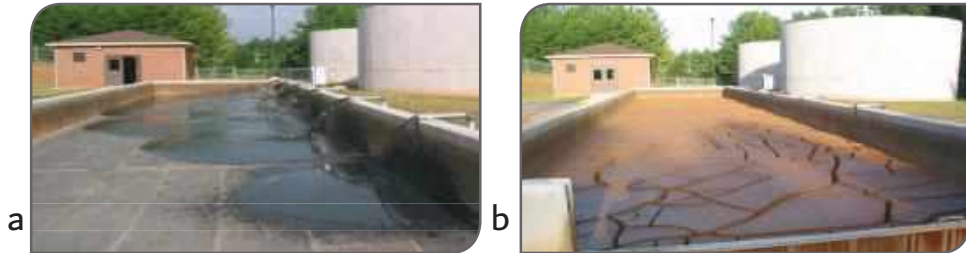
Vacuum-Assisted Drying Beds

وهي طريقة تستخدم لتسريع نزع المياه وتجفيفها من الحمأة بمساعدة الانفراغ. ويتم ذلك بتطبيق فراغ على الجانب السفلي من صفائح فيها ثقب مسامية. الشكل (a,b 1-9-2-1-18). ومراحل العمل كالتالي:

- (1) الحمأة مكيفة جاهزة وممزوجة مسبقا مع البوليمر preconditioning،
- (2) ملء السرير بالحمأة،
- (3) إزالة الماء من الحمأة مبدئيًا بواسطة الثقالة متبوعًا بتطبيق انفراغ،
- (4) تعريض الحمأة للهواء الجاف لما يقرب من 24 إلى 48 ساعة،
- (5) إزالة الحمأة منزوعة الماء،
- (6) غسل سطح الصفائح المسامية بمياه ذات ضغط عالي حتى إزالة بقايا الحمأة.

وتكمن محاسن هذه الطريقة في تقليل زمن الدورة اللازمة لنزع الماء وبالتالي تخفيف تأثير الطقس على التجفيف، والمساحة الأصغر المطلوبة بالمقارنة مع الأنواع الأخرى من أسرة التجفيف.

الجدول (1-9-2-1-18) يبين أداء حوض تجفيف الحمأة بالإنفراغ. والعيب الرئيسي للطريقة هو ان الحمأة يجب ان تكون مكيفة وممزوجة مسبقا مع البوليمر، وايضا قد تكون هناك حاجة إلى مزيد من المعالجة لتقليل الرطوبة في الحمأة (EPA 1987 a).



الشكل (a,b 1-9-2-1-18) نموذج حوض تجفيف حمأة بالإنفراغ

الجدول (1-9-2-1-18)
أداء حوض تجفيف الحمأة بالإنفراغ

نوع الحمأة	المادة الجافة الداخنة %	البوليمر اللازم غ/كغ	نسبة المواد الصلبة في كمية الحمأة %	التحميل كغ/م ²
مع هضم لا هوائي: أولية	7-1	20-2	26-12	20-10
أولية + trickling filter	10-3	26-20	26-20	30-15
أولية + WAS	4-1	20-15	20-15	20-5
مهضومة هوائياً: حمأة مصرفة تقليدية	4-1	17-1	23-10	15-5
قنوات الأكسدة	2-1	20-10	10-20	10-5

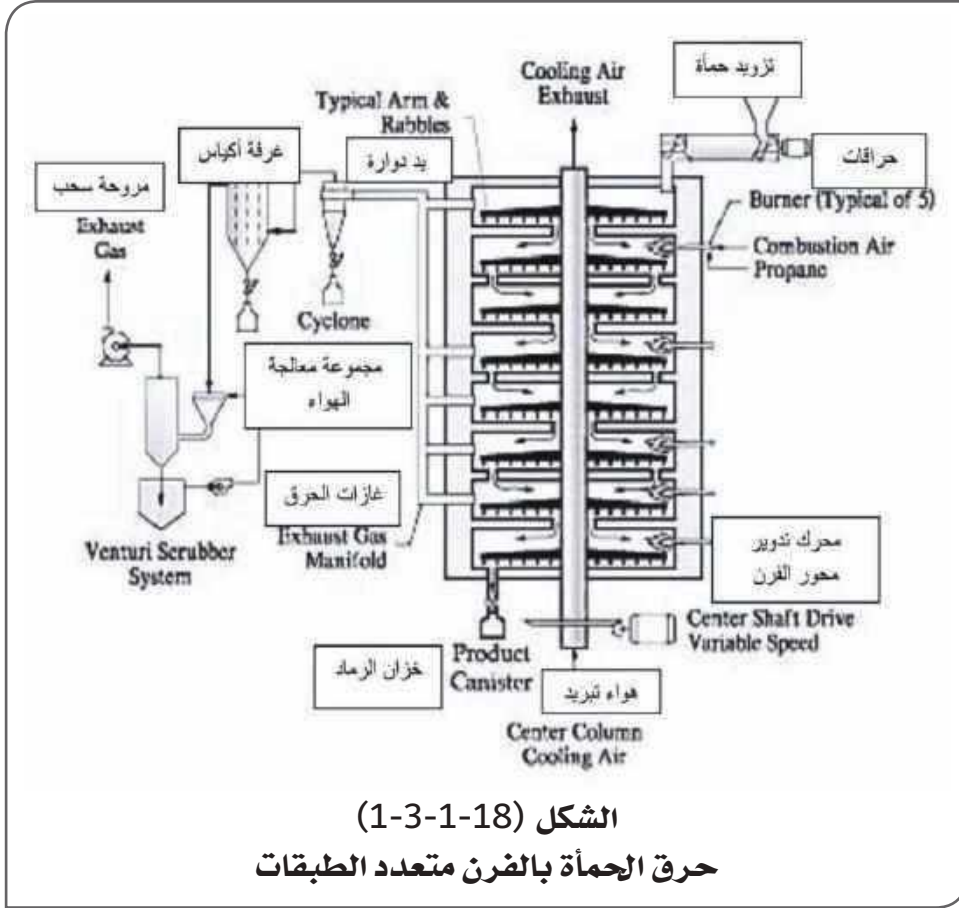
3-1-18. ترميد الحمأة. Sludge incineration

إن عملية ترميد (حرق) الحمأة تعمل على تقليل حجمها، وهي ذات أهمية للصناعة وذلك للتقليل من تكاليف التخلص من الحمأة. وكذلك لمواجهة متطلبات التشريعات التي تنظم التعامل مع الحمأة والحمأة الصناعية حسب الدولة التي تصدر منها الحمأة. فمثلاً يمكن أن يُطلب بأن لا تزيد نسبة الرطوبة في الحمأة عن 10 %، وأن تسخن حتى ° 80C (U.S. EPA).

والعديد من الصناعات يتم تجفيف حماتها مثل صناعة (الورق، إنهاءات المعادن، الكيمائية، الصيدلانية، وبشكل خاص الصلب). ففي صناعة الورق المخلفات الصلبة المجففة يمكن تطبيقها في الغابات. وكذلك عند وجود تركيز عالي للمركبات الطيارة فيمكن حرقها مع وقود آخر لإنتاج البخار والطاقة. وحمأة هيدروكسيد المعدن metal hydroxide sludge الناتجة من إنهاءات المعادن هي حمأة خطيرة فتجفيفها وتصغير حجمها ضروري للتخلص منها بسعر مقبول.

- **يعتبر حرق الحمأة أو الترميد:** إحدى الطرائق المتبعة في معالجة الحمأة وتهدف إلى القضاء كلياً على الجراثيم الممرضة والإقلال من حجم الحمأة بتحويلها إلى رماد في المرمدات. ومن أكثر الأفران شيوعاً هو الفرن متعدد الطبقات (multiple hearth incineration).

يبين الشكل (1-3-1-18) حرق الحمأة بالفرن متعدد الطبقات. حيث تنتقل كعكة الحمأة في الفرن من طبقة إلى طبقة بواسطة قواشط لتخرج الحمأة من الأسفل بشكل رماد.

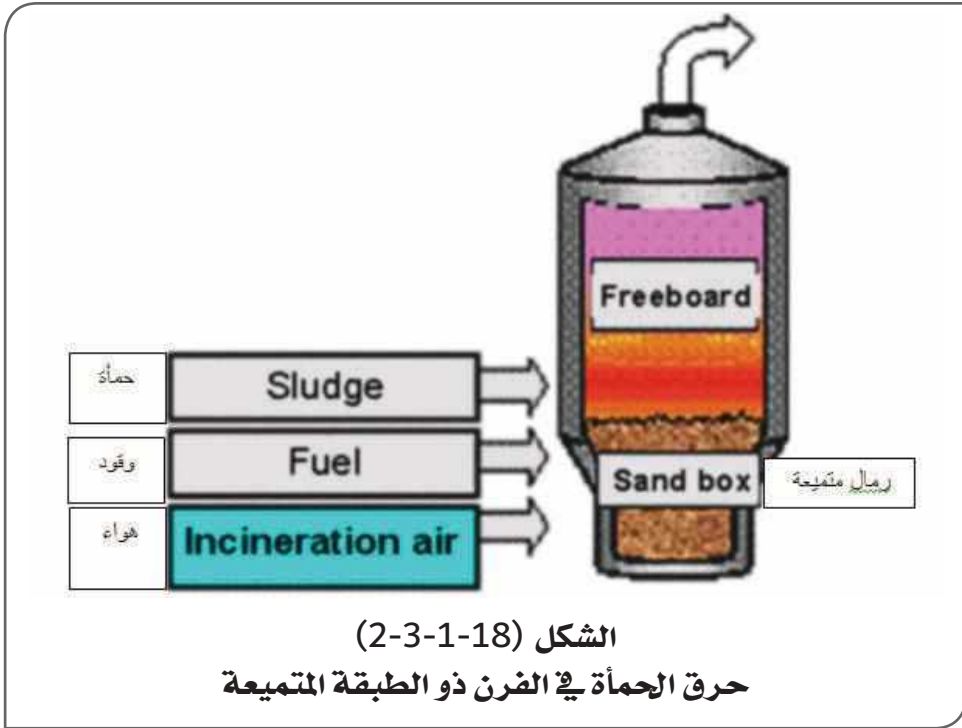


- التجفيف غير المباشر:

يستعمل نفس مبدأ الفرن السابق بتجفيف الحمأة بطريقة غير مباشرة فبدل استعمال الحراقات يضخ هواء ساخن أو زيت ساخن ضمن دارة مغلقة على تماس مع الحمأة فنحصل على حمأة بنسبة رطوبة 5-8 % تقريباً وتكون الحمأة بشكل حبيبات 2-4 ملم [3].

• ونموذج آخر لحرق الحمأة هو الفرن ذو الطبقة المتميعة: Fluidized Bed incineration

يبين الشكل (2-3-1-18) حرق الحمأة في الفرن ذو الطبقة المتميعة. حيث يتم حرق الحمأة المجففة ميكانيكياً بضخ الحمأة قرب القاع الحاوي على رمل سيليسي وعند ضخ الهواء يتم تحريك الرمال فتبدو بحالة غليان ويضخ معها الوقود المساعد عندما تكون المواد العضوية الطيارة قليلة. تحميل المواد الصلبة في الفرن $(20 - 60 \text{ kg/m}^2/\text{h})$ من أجل حمأة مجففة، وتركيز المواد الصلبة الكلية العالقة $(20-25)\%$.



ملاحظة: الغازات المنطلقة من الحرق تؤخذ إلى وحدات معالجة للغازات «scrubbed» أو مكثفات، وهذا يدخل في حساب تكاليف اختيار طريقة المعالجة مع الأخذ بالاعتبار إن كانت الحمأة تحوي مواد طيارة خطيرة. ولزيادة المعلومات انظر المراجع [1]، [3]، [4].

وحرق الحمأة يمكن أن يكون أكثر كلفة من الدفن أو التطبيق على

الأراضي لارتفاع التكاليف والتقنيات العالية والمتابعة المستمرة المسؤولة. وخيار الحرق يكون خيارا مطلوباً للتخلص من الحمأة ذات المحتوى المعدني المنخفض، أما حرق الحمأة ذات المحتوى المعدني العالي فربما ينتج رماد يوصف بأنه من النفايات الخطرة وترتفع معه تكاليف التخلص منه [1].

• المحارق بالأشعة تحت الحمراء الكهربائية. Electric Infrared Incinerators:

تم تثبيت أول فرن بالأشعة تحت الحمراء في عام 1975، واستخدامه ليس شائعاً، وهو فرن معزول وحركته أفقية ويحمل الحمأة بواسطة حزام ناقل منسوج بالأسلاك يمتد على طول الفرن، وعناصر التسخين بالأشعة تحت الحمراء تقع في السقف فوق الحزام الناقل، ويتم ضخ هواء احتراق في نهاية التفريغ من الفرن فيتم التجفيف والاحتراق بمرورها تحت الأشعة تحت الحمراء.

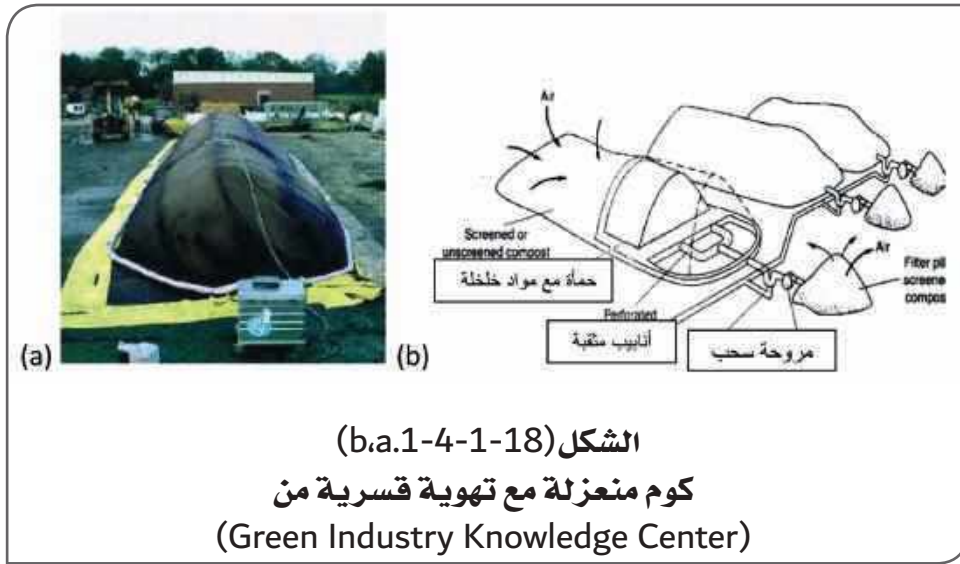
4-1-18. الإسماد. Composting.

هو عملية استقرار بيولوجية لبعض المواد الصلبة في مياه الصرف الصناعي. والإسماد عادة ما يستخدم للمواد الصلبة المتولدة من الصناعات الغذائية (الدواجن والمأكولات البحرية والدوائية والورق...).

يتم التحلل الهوائي للمواد الصلبة إلى المنتج النهائي من المواد الثابتة (دبال) بدرجات حرارة عالية (وبعض عمليات الإسماد تتم لا هوائياً) بين $60-70^{\circ}\text{C}$ ، حيث يتم عندها تدمير العوامل الممرضة. وتعمل البكتيريا الأليفة لدرجات الحرارة العالية (ثيرموفيلك) على عمليات التحليل، ونسبة الرطوبة اللازمة 50-60 % وتصبح بعد الإسماد حوالي 40-50 %، ونسبة المواد العضوية الطيارة تصبح 40 % من (US EPA 1991) ومن [6] ويجب أن لا تزيد الرطوبة عن 60 % وإلا احتاجت إلى عملية نزع للماء (كما هو موضح في الفقرات السابقة)، ويمكن أن تضاف مواد مساعدة كقطع الخشب والنشارة والتبن لخلخلة المواد الصلبة. يتم تزويد الهواء إما قسرياً أو بالتقليب للحفاظ على (مستوى الأوكسجين بنسبة بين 5-15) من [6] لضمان عدم صدور الروائح، كما يمكن خلط المواد الصلبة من مياه الصرف

الصناعي مع المخلفات الصلبة البلدية (المعدل 1 حمأة 2 نفايات صلبة للحمأة البلدية). في اليوم الخامس يجب أن تكون الحرارة 40°C ويتم قلب الأكوام بما لا يقل عن 3 مرات خلال مدة 15 يوم كحد أدنى وبدرجة حرارة دنيا 55°C لقتل العوامل الممرضة. يبين الشكل (b,a.1-4-1-18) كُوم حمأة منعزلة مع تهوية ويبين الشكل (2-4-1-18) كُوم حمأة مستمرة مع قلب آلي، وتدعى windrow.

الجدول (1-4-1-18) يوضح معايير تصميم عملية إسماد الحمأة. وفي المواد الصلبة الصناعية قد لا تكون فيها نسبة C/N مناسبة كما في المخلفات الصلبة البلدية وعندها قد تحتاج إلى نيتروجين تكميلي لإتمام المعالجة. وكذلك المركبات العضوية السامة يمكن أن تسبب في تثبيط عمل البكتريا فينصح بعمل مشروع تجريبي.





الشكل (2-4-1-18)
كوم حمأة مستمرة مع تقليب آلي، windrow
من (Midwest Bio-Systems)

الجدول (1-4-1-18) يوضح معايير تصميم عملية الإسماد

المعيار	الوحدة	التكديس المنعزل	التكديس المستمر
فترة التكديس	يوم	28 - 21	28-20
فترة النضج	يوم	40-30	-
ارتفاع التكديس	m	2.5-2	1-2
عرض التكديس عند القاعدة	m	5-3.5	4-2
نظام التهوية	-	قسري	بالتقليب بمعدل 5 مرات على الأقل خلال فترة التكديس
نوع الحمأة الواردة	-	مهضومة أو خام ومعرضة لإحدى مراحل التجفيف الميكانيكي	مهضومة أو خام ومعرضة لإحدى مراحل التجفيف الميكانيكي
المواد المخلطة	-	خشب- نشارة - تبن	خشب- نشارة- تبن
نسبة الكربون /نيتروجين C/N ratio of ~30 or less	%	30% وزناً	30% وزناً

18-1-5. تكييف الحمأة. Sludge conditioning

يتم تكييف الحمأة قبل عملية نزع الماء لتحسين أدائها وزيادة نسبة إزالة المياه منها وتتم بإحدى الطرائق :

- **الطرائق الكيميائية:** يمكن عند تكييف الحمأة أن تنخفض الرطوبة من 90-99 % إلى 65-80 % . حيث تسبب المواد الكيميائية تخثير للمواد الصلبة وإطلاق الماء الممتص، وتستعمل مواد كالكلس، وكلور الحديد، و(الالوم) الشبه وتستعمل أيضاً البوليمرات. (polyelectrolytes) في التخثير ولكن الكفاءة اقل ويتم زيادة نسبة المواد الصلبة في الحمأة حتى 20-30 %.

- **الطرائق الفيزيائية:** ومن أشهر الطرائق هي الاهتزازات فوق الصوتية، التكييف الحراري وغيرها.

التكييف الحراري Thermal Conditioning: ويتم تسخين الحمأة لمدة (15) دقيقة إلى درجة حرارة $^{\circ}\text{C}$ (177 - 240) وتحت ضغط يصل إلى kN/m^2 (1720 - 2760) حيث تقوم الحرارة والضغط بإطلاق المياه من الخلايا الميكروبية والحمأة المنشطة ولا تحتاج لمواد كيميائية وتصل نسبة المواد الصلبة (40 % - 50 %) وتستعمل الطريقة للحمأة التي تحوي مواد سامة وغير قابلة للهضم البيولوجي. ويطلق التكييف الحراري غازات ومياه ملوثة يجب معالجتها، وعموماً الطريقة مكلفة.

18-2. تكنولوجيا عمليات التخلص.

Disposal processes technology

18-2-1. عمليات التخلص من نواتج المصافي وفواصل الرمال.

- **في المصافي الخشنة:** لمياه الصرف الصناعي نجد الخرق (قطع الأقمشة)، الخيوط، الخشب، الحجارة، الأوراق، البلاستيك وغيره. وكذلك جزيئات كبيرة من المواد العضوية. فمثلا نجد في منصرفات الصباغة والنسيج (خيوط، خرق، لصاقات) - وفي المشروبات الغازية

(الاجطية والشلمون أي القشة) - وفي المطاحن بالطريقة الرطبة والحلاوة (البذور والقشور)، معاصر الزيوت (البذور، ورق الاشجار) - كحت الجينز (الخيوط)، المنظفات (اجطية العبوات) وفي الغذائية نجد في المصافي اكياس التعبئة ولفافات قطع الشوكولا وقطع السكاكر (الكرميلا وغيرها)، وأعواد المصاص، وبقايا المواد العضوية مثل رقائق وقشور البطاطا.

- **وفواصل الرمال:** تعطي حصى ومواد صلبة خشنة ثقيلة (مثل الحصى والرمل والرماد، والمسامير. والقشور. وينصح ان تغسل لتخفيف مشاكل تصريفها.

ويجب أن يتم تقليل حجم نواتج المصافي من أجل التخلص منها، وعادة يتم التخلص منها عن طريق الطمر أو الحرق، حيث الحرق يقضي على أي من مسببات الأمراض. وحسب الصناعة فإن النواتج الناتجة من التصفية وفاصل الرمال قد تحوي على مواد قابلة للتعفن. ويمكن أن يرش على المواد الصلبة المكشوفة مؤقتاً مادة الكلس لتقليل إصدار الروائح. وكذلك فإن الرماد الناتج عن الحرق قد يحتوي على تراكيز عالية نسبياً من المعادن الخطرة قد تضطر إلى اتخاذ احتياطات خاصة عند طمر نفايات الرماد.

2-2-18 . التثبيت الكيميائي. Chemical Fixation

هي طريقة لنزع المياه من الحمأة، ويتم معاملة كعكة الحمأة مع غبار الكلس، أو الرماد المتطاير من معامل الأسمنت، أو مواد pozzolanic (الرماد البركاني والأسمنت)، حيث يوقف عمل مواد معينة (المعادن الثقيلة عادة) ونضمن أنها لن تتسرب من الكعكة بعد التخلص النهائي منها. وهذه المواد تسبب زيادة في وزن وحجم الحمأة، ولكن قد تكون ضرورية للحمأة عند طمرها.

3-2-18 . الحمأة الزيتية والمتبقيات. Oily sludge and residues

إن الحمأة الزيتية يمكن أن تشكل تحدياً عند التعامل معها والتخلص منها، ويمكن أن يكون مصدرها الصناعات المعدنية، المصافي النفطية، الصناعات البتروكيميائية، وبشكل عام الصناعات الغذائية.

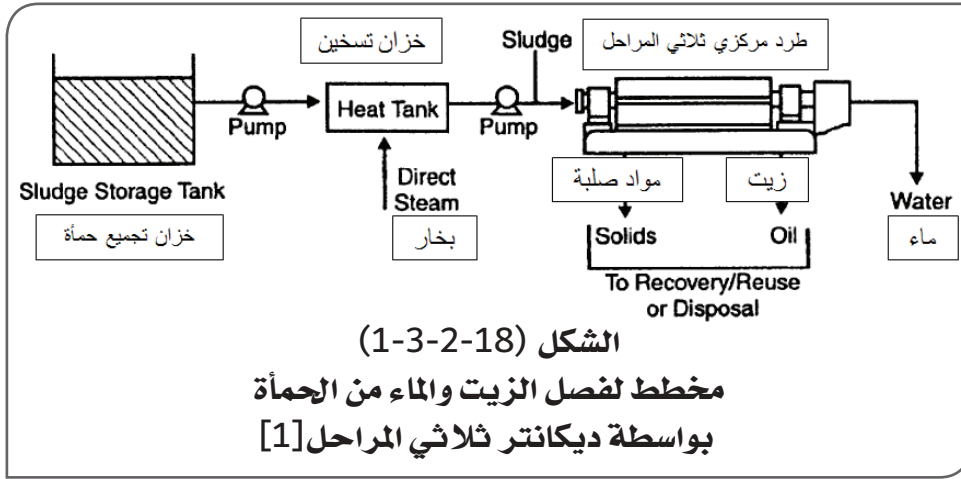


إن التكييف والتكثيف ونزع الماء من الحمأة المحملة بالزيت هي عمليات ضرورية، ويعتمد ذلك على مصدر الزيت الذي في الحمأة إن كان زيت معدني أو كان زيت غذائي. والحمأة المنزوعة المياه والمحتوية على كمية من الزيت تشكل مشكلة كبيرة تمنع التطبيق على الأراضي أو الطمر، والمعالجات المقترحة للتخلص منها تتراوح بين استرجاع الزيت، الحرق، الطمر، التطبيق الحقلي.

ويمكن أن يتم فصل الزيت عن الحمأة بالطرق التالية:

- بتسخينها إلى درجة حرارة 88°C من 4-6 ساعات وإجراء عملية ترسيب لمدة 12-24 ساعة، حيث يتشكل ثلاث طبقات، زيت حر في الأعلى وطبقة ثانية زيت مستحلب وثالثة في الأسفل من مركبات الزيت المنحل ومواد صلبة معلقة، الطبقتين تحت الزيت الحر تصرف وتعاد لإجراء عمليات معالجة أخرى [1].
- طريقة أخرى فعالة لفصل الزيت وذلك لتكون الحمأة مناسبة للطمر أو التطبيق على الأراضي هي الطرد المركزي Decanter centrifuge ثلاثي المراحل، وهو يستعمل بكثرة لفصل المواد الزيتية عن الحمأة (ويشبه فصل الزيت عن عجينة الزيتون) حيث تضخ الحمأة إلى خزان يتم فيه تسخين الحمأة بواسطة البخار إلى $(82^{\circ}\text{C} - 93^{\circ}\text{C})$ وتضخ منه إلى ديكانتر (طرد مركزي) خاص ثلاثي المراحل كما يظهر في الشكل (18-2-3-1)، وهو يفصل الزيت عن المواد الصلبة وعن الماء. ويستعمل الزيت المسترد كوقود أو يعاد ترشيحه مرة أخرى، وإذا كان الزيت من مصدر غذائي فيمكن أن يعاد تأهيله، وأيضاً الحمأة إذا كانت من مصدر غذائي فيمكن أن تباع أو يعاد تحضيرها للاستفادة منها.

إن حرق الحمأة الزيتية ثم دفن الرماد قد يكون طريقة مقبولة للتخلص منها، على الرغم من أن العديد من الصناعات تتجنب الحرق بسبب التكاليف والقضايا البيئية المطلوبة للسماح بعملية الحرق. وتستعمل محارق الأسرة المميعة، الأفران الدواة، وغيرها وكلها فعالة لحرق الحمأة الزيتية. وأيضاً يمكن حرق الزيوت الخالية من المادة الصلبة في حراقات تستعمل السائل إذا تم استيفاء تطبيق الأنظمة الخاصة بالتخلص من النفايات، ولكن قد نضطر إلى اتخاذ احتياطات خاصة لطرر نفايات الرماد الناتج عن الحرق.



- **ملاحظة:** يمكن التخلص من المواد الصلبة الزيتية من مياه الصرف على التربة فقط إذا كان ذلك لا يلوث المياه الجوفية أو مياه الأمطار ولا يشكل مشكلة محتملة للتسرب. وتقنية Landfarming وهي تقنية تقوم بها بكتريا التربة وتعمل على تحليل الزيوت، وتتم بنشر الحمأة الزيتية بسماكة 100 إلى 150 ملم [1] على طبقات والسماح لها لتجف في حوالي 1 أسبوع مضافاً إليها المواد الغذائية. معدل التحلل decomposition الوسطي ($8\text{kg/m}^3\cdot\text{month}$) دون إضافة عناصر مغذية، ومع إضافة عناصر مغذية ($16\text{kg/m}^3\cdot\text{month}$)، الشكل (2-3-2-18) يوضح Landfarming للحمأة اثناء التطبيق [1].



الشكل (2-3-2-18)
يوضح التطبيق الحقلي لتوزيع الحمأة
(landfarming) (من Geo Engineers)

18-2-4. النفايات الخطرة أو السامة.

تصنف بعض انواع الحمأة الصناعية نفايات خطرة أو سامة حسب ما هو موجود في لوائح الأنظمة البيئية الوطنية أو المحلية، ويمكن تصنيف النفايات حسب تركيب الملوثات الخطرة مثل قابلية الاشتعال، القدرة على التآكل، التفاعل، السمية. وقد تكون النفايات غير مدرجة في اللوائح كنفاية خطرة فيمكن التخلص منها في الأرض بعد المعالجات المذكورة سابقاً.

18-2-5. المواد الصلبة غير الخطرة في مياه الصرف. Nonhazardous wastewater solids

يمكن تلخيص خيارات التخلص من النفايات الصلبة غير الخطرة لمياه الصرف بما يلي:

18-2-5-1. مطامر النفايات. Land fill

تُصمم مطامر خاصة لطمر النفايات والمواد الصلبة والنفايات الصلبة الأخرى. وفي هذه العملية يتم وضع المواد الصلبة في موقع محضر مسبقاً أو في خنادق محفورة ثم تغطى بطبقات من التربة. وهناك ثلاث أنواع من المكبات، الخنادق trench land fill ومناطق المكبات area land fill ومنحدرات مكبات النفايات ramp land fill. وعند النظر في خيارات مكبات النفايات يجب على فريق المشروع تحديد حجم النفايات المراد التخلص منها، ومعدل إنتاجها، والخصائص الفيزيائية والكيميائية للنفايات وكذلك الخصائص الهندسية للمطمر. وبهذه المعلومات يمكن للمصمم حساب المساحة المطلوبة وتقدير متطلبات الغطاء (إن وجد) وتحديد احتياجات الأفراد والمعدات وتصميم المطمر بشكل مناسب. وكذلك فإنه يجب على الصناعات الأمثال للتعليمات والمتطلبات الصادرة عن الجهات المختصة.

18-2-5-2. التطبيق على الأراضي. land application

يتم تطبيق الحمأة على الأراضي إذا توفرت في موقع الصناعة، وكانت العملية أيضاً اقتصادية. ويتم التطبيق على الأراضي عندما تكون المواد

الصلبة في الحمأة مستقرة بيولوجيا، من نوع الحمأة السائلة (2%-5% مواد صلبة) أو من الكعكة المنزوعة الماء (18%-25% مواد صلبة) عن طريق الرش أو الحقن تحت سطح الأرض أو النثر.

تؤكسد البكتريا المواد القابلة للأكسدة في المخلفات الصلبة وبالتالي تسهم في رفع محتوى التربة الغذائي. ولتكون مناسبة ومفيدة لهذا الاستخدام يجب أن تكون مكونات المواد الصلبة قابلة للتحلل وأن لا تكون عرضة لتسرب كبير خلال تحللها. (مثال: المواد البيولوجية الصلبة Biosolids للصرف المنزلي هي حوالي 50 في المئة معدنية mineral و 50 في المئة مواد عضوية organic).

المواد الصلبة من مياه صرف الصناعات يمكن أن تكون جيدة التطبيق على الأراضي [1] مثال: الغذائية، والورق والكيماويات والصناعات الدوائية...

تم وصف مبادئ التطبيق على الأراضي ومفاهيم التصميم في عدة مراجع مثل [3][4][68] وغيرها.

الجزء الخامس

أمثلة عن معالجة مياه الصرف الصناعي



معالجة مياه المسالخ

Slaughterhouse wastewater Treatment

1-19. مقدمة عامة عن فضلات المسالخ.

إن المقصود بالذبيحة هو الوزن المتبقي من الحيوان المذبوح بعد ذبحه وسلخه.

$$LWK = (\text{وزن صافي} / \text{وزن حي}) \times 100$$

يبين الجدول (1-1-19) الفضلات الناتجة عن مذابح الأبقار (مسمنة) في فرنسا، ووزن الذبيحة المتبقي (LWK %) هو 50.1 % من الوزن الأصلي تقريباً، وعموماً هناك تباين واسع في نسبة التصافي تعود أساساً إلى عوامل مختلفة مثل النوع والعمر والتغذية، وفي العديد من البلدان النامية تكون نسبة التصافي منخفضة (أقل من 50 %) بسبب العوامل السابقة ولأنه يتم ذبح الحيوانات في سن أعلى مما هو في البلدان المتقدمة. الجدول (1-1-19) من FAO.

الجدول (1-1-19)، من FAO

الذبيحة:	
العظام	17.8 %
عضلات	62.9 %
الانسجة الدهنية	19.3 %

ويبين الجدول (2-1-19) مكونات فضلات الدجاج الخام الناتجة عن مذابح الدواجن والذي يعطي حوالي 70 % من الوزن الأصلي تقريباً.



الجدول (2-1-19)
الفضلات الناتجة عن مذابح الدواجن،
(من FAO ، 1994 ، El Boushy and van der Poel)

15.8 %	رؤوس وأقدام و أحشاء
3.5 %	دم
6 %	ريش
9 %	رطوبة
34.3 %	المجموع

2-19. النفايات الناتجة عن المسالخ.

أ- نفايات صلبة.

يمكن معالجة وإعادة استعمال 25 % من المتبقيات كأغذية حيوانية أو غير ذلك من الاستعمالات، وتحتاج 25 % الأخرى والتي تتضمن محتويات الأحشاء والدم وغيرها إلى خيارات للتخلص منها. يعطي الجدول (2-19-1) النسب التالية للسماد والدهون الطافية من مسالخ هولندا.

الجدول (1-2-19)
نسبة السماد والدهون الممكن الحصول عليها
من بقايا الذبيحة - هولندا (من FAO).

5.5 كغ/طن (ذبيحة)	سماد
1.7 كغ/طن (ذبيحة)	دهون طافية

تختلف نسبة الفضلات الناتجة Waste Generated وتتبع لعدة عوامل (مثال إذا كان العمر أقل من 1 سنة فتكون الكمية حوالي 11.4 لتر/يوم ويمكن أن تكون أكثر من 40 لتر/يوم إذا كانت الذبيحة أكبر من 2 سنة) [28].

ب- مياه صرف المسالخ.

إن مياه الصرف الناتجة عن المسالخ محمله بالملوثات العضوية المختلفة وتتراوح قيم الأحمال العضوية في هذه المياه وفق الجدول (2-2-19) الصادر عن EPA.

الجدول (2-2-19)

الأحمال العضوية لمياه صرف المسالخ بالاعتماد على (EPA 1974)

الملوث	كغ/طن (ذبيحة)
BOD ₅	1.5 – 40
N	0.2 – 1.4
COD	2.7 – 25
SS	0.6 – 13
P	0.014 – 0.086

ج- محتويات الأحشاء.

يمكن أن تعطي محتويات الاحشاء قيمة BOD 2.5 كغ/طن من الذبيحة، ويمكن إجراء تخفيض كبير في حمل مياه الصرف من خلال تبني نظام الإزالة ونقل روث الأمعاء « بالطريقة الجافة » dry مثلا نقل هوائي الى منطقة التخزين حيث يمكن استخدام معدات خاصة « compactor » لتقليل الحجم إذا لزم الأمر.

د - مواقع تجميع الحيوانات.

تبقى الحيوانات عموماً لمدة يوم بانتظار عملية الذبح وتعطي تلوث يصل إلى المصارف يقدر بـ 0.25 كغ BOD لكل ذبيحة. وينصح لتخفيف التلوث الكلي تقليل زمن مكوث الماشية في المسلخ.

هـ - الأبخرة.

هنالك إصدارات غازية وأبخرة نتيجة العمليات المختلفة في المسلخ والتعقيم وغير ذلك بسبب وجود مياه حارة ومنظفات ومعقمات.

و- الدم.

لتخفيف التلوث العام يتم جمع الدم وتجفيفه بالحرارة أو بأي من الطرائق الأخرى المعروفة وتكون قيمة COD مرتفعة حوالي 400,000 mg/L من [28].

- **ملاحظة:** تتبع نوعية المياه الصادرة عن المسالخ على القدرة على حجز الدماء فيمكن تقليل حمل التلوث لمياه الصرف بنسبة تصل إلى 40 %، مقارنة مع محطة مشابهة والتي تسمح بدخول الدم إلى محطة المعالجة، إضافة لضرورة وضع مصاف خاصة لمنع وصول قطع الدهن واللحم إلى مياه الصرف (مثلاً المصافي ذات الخطوات step screen).
- **ملاحظة:** إن تقليل المياه في عمليات الغسيل في المسلخ لا يعني التخلص من الملوثات ومن أجل ذلك يتم استعمال فوهات خاصة للمرشات أثناء غسيل الذبائح وهذا يساعد على توفير 20 % من مياه الغسيل.

3-19. كمية مياه الصرف في المسالخ.

تختلف كمية مياه الصرف في المسالخ باختلاف الدولة والمنطقة، والكميات الواردة في المراجع تختلف كثيراً، وبأخذ أرقام البنك الدولي والتي تغطي مختلف دول العالم الغنية والفقيرة [28]. يكون استهلاك الذبيحة (نوع ماشية) من الماء 2.5-40 م³/طن ماشية، ولمعامل تعليب اللحوم (20-60) م³/طن والكمية العظمى أعلى من الواردة في أكثر المراجع الأخرى.

4-19. معالجة مياه المسالخ.

سنستعرض فيما يلي المعلومات المطلوبة لإجراء المعالجة اللازمة.

1.4-19. نوعية المياه.

يجب أخذ عينات مركبة من المسلخ على مدار اليوم والأسبوع لتحديد الحمل المطلوب معالجته. الجدول (1-1-4-19) يعطي نتائج وسطية لعدد



من العينات مأخوذة من إحدى دول الشرق الأوسط، والجدول (2-1-4-19) يبين نتائج عينات مياه الصرف للمسالخ في مدينة عمان بالأردن.

يمكن فصل حوالي 40-60 % من المواد الصلبة أو ما يقرب من 25-35 % BOD عن طريق المعالجة المسبقة باستعمال المصافي والترسيب الأولي.

الجدول (1-1-4-19)

خصائص مياه صرف مسالخ المشاة بدون ترسيب / ومرسبه لإحدى دول الشرق الأوسط

Parameter	Raw wastewater Mean $\pm$ S.D.	24 h settled wastewater Mean $\pm$ S.D.
Number of samples	48	48
pH	7.31 $\pm$ 0.12	7.44 $\pm$ 0.16
Total COD (mg/L)	5817 $\pm$ 473	4159 $\pm$ 281
Total BOD (mg/L)	2543 $\pm$ 362	2204 $\pm$ 177
Total Suspended Solids (mg/L)	3247 $\pm$ 845	1172 $\pm$ 84
Total Kjeldhal Nitrogen (TKN) (mg/L)	137 $\pm$ 12	92 $\pm$ 12
Fat, oil, grease (mg/L)	34 $\pm$ 9	32 $\pm$ 7
Conductivity (μ S/Cm)	9140 $\pm$ 1512	9061 $\pm$ 1400
Total Coliform (MPN/100 mL)	$2.8 \times 10^9 \pm 1.5 \times 10^7$	$2.3 \times 10^9 \pm 2.6 \times 10^7$
Fecal Coliform (MPN/100 mL)	$1.9 \times 10^8 \pm 2.1 \times 10^6$	$1.7 \times 10^8 \pm 2.3 \times 10^6$

الجدول (2-1-4-19)

خصائص مياه صرف المسالخ في عمان - الاردن

من بحث (أمين سرايرا - وأحمد جمرا)

Parameter	Winter time				Summer time				Year time			
	Ave.	Stdev.	Max.	Min.	Ave.	Stdev.	Max.	Min.	Ave.	Stdev.	Max.	Min.
Total COD	7644.57	6024.39	17988	2186	3664.14	2060.82	6518	307	5654.35	4793.18	17968	807
BOD5	1811.14	1178.56	3828	751	1266.42	502.61	1978	463	1538.78	915.90	3828	463
TDS	2723.85	1596.38	5444	846	2078.42	1228.67	3820	265	2401.14	1408.94	5444	846
TSS	1668.14	1105.97	3850	612	1180.28	635.67	2080	342	1424.21	902.84	3850	342
TS	4392	2147.84	6976	1542	3258.71	1575.26	5373	1396	3825.35	1902.70	6976	1396
PH	6.86	1.22	7.8	4.59	7.04	.49	7.89	6.44	6.95	.90	7.89	4.59

إضافة إلى أن المرجع [28] الذي يعطي مجال عريض حيث يتراوح التلوث البيوكيميائي .

$$\text{COD} = 3000 - 12873 \text{ mg/l}$$



19-4-2. الطرائق العامة لمعالجة مياه صرف المسالخ.

ترتبط طريقة المعالجة بنوعية المياه المراد معالجتها، وعموماً يمكن أن تتضمن عملية المعالجة المراحل التالية:

1. المعالجة الابتدائية.

وتتضمن المراحل التالية:

- **المصافي:** لابد من استعمال المصافي الخشنة، ويفضل أن تكون آلية ويليهما مصافي ناعمة، وعادة تستعمل مصافي ناعمة 0.3-0.6 سم يتبعها مصافي أنعم إذا لزم الأمر ومزودة بوسيلة تنظيف آلية كالفراشي، وتزيل المصافي 19 % من SS [28].

- **أحواض التطويف DAF:** وهي عملية فصل الدهون والشحوم والمعلقات، والتطويف مع استخدام المواد الكيميائية يخفض حوالى 67 % من COD و SCOD و 40 - 60 % من المواد الصلبة SS و 25 - 35 % من BOD (مراجعة الفقرة 6-7). التطويف بالهواء المنحل، ويضاف عادة مواد كيميائية مثل كلوريد الحديد ferric chloride والبوليمرات polymers للمساعدة في تشكيل الندف كما يستعمل

Ferric sulfate $Fe_2(SO_4)_3$ و $Al_2(SO_4)_3$ ، أيضاً كمخثرات [28].

يبين الجدول (19-4-2) نتائج معالجة مياه صرف المسالخ والجرعات المضافة من مادة polyaluminum chloride (PACI)، (بعض الشركات تدعوه PAC ولكن هنا نعتمد معنى PAC = powder active) carbon ونلاحظ إنه يمكن إزالة 40 % - 50 % من التلوث (ويمكن أن يضاف بوليمر كاتيوني مع PACI فتنحس النتائج)، وعلى كل يجب إجراء تجربة الأواني مخبرية لتحديد الكميات المناسبة من المواد الكيميائية (Jar test). والانتباه إلى أن لا تكون درجة حرارة المياه عالية لأنها تسبب في انخفاض كفاءة التطويف. يبين الشكل (19-4-2) المصافي الناعمة والتطويف في المسالخ.

- **ملاحظة:** يمكن بتخفيض الرقم الهيدروجيني pH لمياه صرف المسالخ إلى 4-4.5 فعندها يمكن إزالة الدهون بدون إضافة كيميائية.

الجدول (1-2-4-19)
نتائج معالجة مياه صرف المسالخ بجرعات كيميائية من (PACI)

PACI dosage (mg/L)	Water quality parameters of treated effluent after chemical coagulation unit					
	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	TSS (mg/L)	TKN (mg/L)	TC (MPN/100mL)	FC (MPN/100mL)
0	4159	2204	1172	192	2.3×10^9	1.70×10^8
25	2643	1534	623	139	2.8×10^7	3.00×10^5
50	2228	1418	544	130	1.6×10^7	2.59×10^5
75	2002	1301	501	125	2.3×10^6	2.20×10^5
100	1725	1217	470	116	1.6×10^6	1.08×10^5



الشكل (1-2-4-19)
المصافي الناعمة والتطويف في المسالخ -
من شركات (watersexpert + parkson)

2. المعالجة الأولية.

تستخدم أحواض ترسيب دائرية لمعالجة مياه المسالخ ويفضل ألا يزيد التحميل الهيدروليكي عن (41 م³/م²/يوم)، ويمكن إزالة حوالي 65 % من SS و 35 % من BOD مع مدة الترسيب من 1 - 3 ساعات.

- **ملاحظة:** حوض التوازن هام جداً للمسالخ ويفضل أن يكون حجمه أكبر من ثلثي التدفق اليومي [28].

3. المعالجة الثنائية (الثانوية).

تحقق المعالجة البيولوجية نتائج تصل إلى أكثر من 90 %، كما يمكن أن نستعمل طرائق التخثير الكيميائي.

أ- من المفضل وجود معالجة لا هوائية وبهذه الطريقة نحصل على غاز الميثان، وهي تعطي نتائج أسرع وأقل كلفة من الطرائق الأخرى. والتكنولوجيا تحتاج إلى دقة ويجب المحافظة على درجة حرارة المفاعل 37 درجة مئوية.

ب- أكثر مراحل المعالجة البيولوجية شيوعاً المعالجة اللاهوائية يتبعها معالجة هوائية وطريقة الحمأة المنشطة من أهم الطرائق المعتمدة في ذلك.

3-4-19. المعالجة الثنائية (الثانوية) لمياه المسالخ.

تحقق المعالجة البيولوجية نتائج تصل إلى أكثر من 90 % هوائية ويعطي [29] الطرائق التالية للمعالجة:

1. المعالجة اللاهوائية مع حمأة منشطة (تحتاج مساحة كبيرة نسبياً).
2. المعالجة اللاهوائية + حوض تماس مهوى (مساحة كبيرة نسبياً).
3. الحمأة المنشطة + تخثير كيميائي (حمأة كثيرة وتحتاج الى مواد كيميائية).
4. حوض تماس مهوى + تخثير كيميائي (حمأة كثيرة وتحتاج الى مواد كيميائية).

كما يمكن معالجة مياه المسالخ وفق المرجع [29] وفق ما يلي:

5. الحمأة المنشطة مع مرحلة ثانية تتألف من حوض تماس مع (ميدياً).
6. طرائق التخثير الكيميائي.



يبين الجدول (1-3-4-19) الطرائق اللاهوائية المختلفة لمعالجة مياه صرف المسالخ وتعطي طرائق المعالجة اللاهوائية نتائج جيدة واقتصادية، وسجلت بعض المشاكل مثل مقاومة التخمر في الحمولات العالية والميل لتشكيل رغوة.

الجدول (1-3-4-19)
الطرائق اللاهوائية المختلفة لمعالجة مياه صرف المسالخ

غاز	الازالة %	الحرارة c°	زمن المكوث	التحميل kg COD/m ³ d	التكنولوجيا المطبقة
-	82.6	الجو الطبيعي	12 - 10 يوم	0.068 - 0.016	البرك lagoon
-	-	35	1.7-1 يوم	(2.2-1.2)	anaerobic contact التماس
-	85 (COD)	-	-	(2)	AF anaerobic filter فلتر لاهوائي
-	90.5 (COD)	37	1 يوم	5.5	AF anaerobic filter فلتر لاهوائي
0.3-0.2 m ³ CH ₄ /kg COD مزال	-	40-30	1 يوم	-	مرحلتين Two stage
-	(COD) 92-62	32	1.4 يوم	(3.6-0.8)	AF فلتر لاهوائي
2.2-0.8 mL CH ₄ /g COD مزال	(COD) 57-49	35	0.71 يوم	(6.0-4.3)	AF anaerobic filter فلتر لاهوائي
0.2 m ³ CH ₄ /kg COD مزال	(COD) 56.6	35	23 يوم	(0.92)	classic CSTR continuous stirred
0.30-0.43 m ³ CH ₄ /kg COD مزال	(COD) 65-45	35-55	12 يوم	(8.75-2.9)g VS/L-day	CSTR
0.28 m ³ CH ₄ /kg COD مزال	COD 84.5	35	2.5 يوم	(2.75)	anaerobic contact التماس
0.82-5.2 1.22-3.2 CH ₄ -COD/m ³ .d	COD 67-53 62-40	30 20	1.7-9 10 -5 ساعة	(19.5-2.5) . (12-3)	UASB Upflow anaerobic sludge blanket
-	COD 82.3-68.4	30	1.7-0.5 يوم	(20-0.5)	UASB
-	COD.70	22	3.3 يوم	1	anaerobic contact التماس
0.08 m ³ CH ₄ /kg TS added	(TS) 27.0	55	10 يوم	16 kg TS/m ³ day	anaerobic contact التماس
-	COD 85-27	-	5-0.5 يوم	18.5-2	AF anaerobic filter فلتر لاهوائي
0.07-0.15 m ³ CH ₄ /kg COD مزال	COD 90 -75	25-35	0.1-1.1 يوم	0.67-4.73	ABR anaerobic baffle reactor
-	COD 90	18	5.5 ساعة	15	UASB مرحلتين

19-4-3-1. المعالجة بالحماة المنشطة مع حوض تماس مهوى يحوي ميديا (مرحلتين).

Activated sludge / contact Aeration

تعالج المحطة حوالي 2000 م³/يوم من مياه المسالخ في تايوان واعطت نتائج المعالجة القيم التالية:

جيد وحماة اقل واحتمال انسداد الميديا اقل. COD = 40 mg/l ، SS = 20 mg/l ، وتحقق هذه الطريقة ترسيب

- **نوعية الماء الداخلة:** أخذت عينات لمدة 50 شهر وكانت النتائج وفق الجدول (1-1-3-4-19).

• **ملاحظة:** نلاحظ انخفاض الاحمال الداخلة الى المحطة عن مثيلاتها في دول المتوسط وغيرها من الدول، فيمكن لمعالجة مياه صرف عالية كما الجدول (1-1-4-19) بإضافة حوض تطويف DAF لمراحل المعالجة مع اضافة مواد كيميائية لتخفيض الاحمال العالية وبذلك نحصل تقريبا على نفس نوعية المياه عند دخولها لحوض الحماة المنشطة في مثل هذه المحطة.

استخدمت المراحل التالية في المعالجة، الشكل (1-1-3-4-19):

1. مصافي الية خشنة وناعمة
2. حوض فصل زيوت
3. حوض توازن عدد 1 الابعاد: 23 م x 10 م x 2.2 م = 506 م³ ، زمن المكوث = 6.4 ساعة.
4. حماة منشطة عدد 2 الابعاد: 12 م x 4 م x 3.5 م = 336 م³ ، زمن المكوث = 4 ساعات



الجدول (1-1-3-4-19)
نوعية مياه الدخول الى محطة معالجة مياه المسالخ بتايوان

	Range	Average	Standard deviation
pH	6.2~8.4	7.6	0.6
Temperature (°C)	25~30.9	27.6	2.2
COD (mg/L)	700~1400	1,018	211
BOD (mg/L)	590~991	737	118
SS(mg/L)	137~500	311	104
Oil and grease (mg/L)	27~92	54	23
True color	90~400	194	102

5. حوض تماس مهوى مع ميديا غاطسة ثابتة (submerged fix bed) العدد (1 + 2):

$$- 2 \text{ م} \times 12 \text{ م} \times 4 \text{ م} \times 3.5 \text{ م} + 12 \text{ م} \times 6 \text{ م} \times 4.5 \text{ م} = 660 \text{ م}^3$$

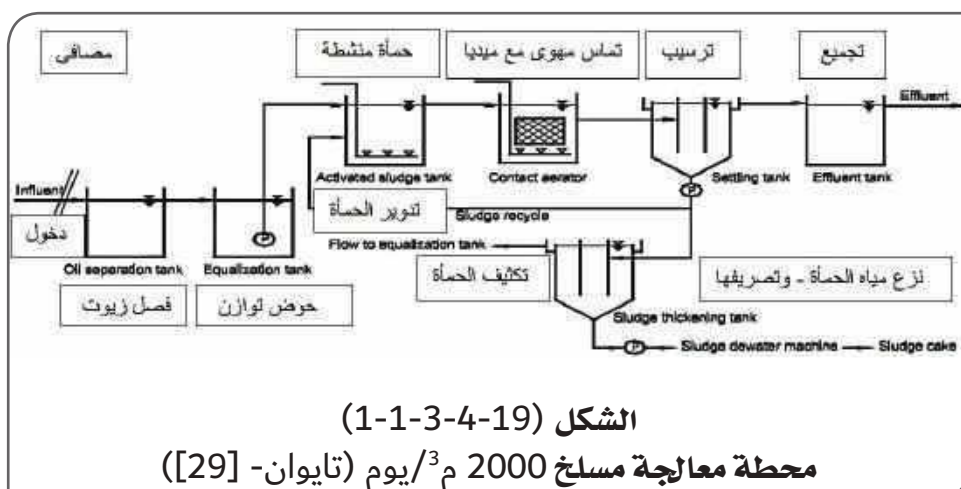
- زمن المكوث 7.9 ساعة

- كمية الميديا الكلية 330 م³ ووسطها النوعي 120 م³/م³

6. حوض ترسيب الابعاد: 3x Ø10 م = 236 م³ ، زمن المكوث 2.8 ساعة

7. معالجة الحمأة

يبين الجدول (1-1-3-4-19) نتائج عينة خروج من المعالجة النهائية لمحطة معالجة المسالخ بتايوان.



الجدول (2-1-3-4-19)
نتائج عينة خروج من المعالجة النهائية
لمحطة معالجة المسلخ بتايوان [29]

	Range	Average	Standard deviation	Ave. removal efficiency (%)	Effluent standards
pH	6.8~7.9	7.3	0.3	—	6~9
Temperature (°C)	24~31.1	27.6	2.1	—	<35
COD (mg/L)	20.7~80	39.8	19.0	96	<150
BOD (mg/L)	7.7~39	18.8	10.3	97	<80
SS (mg/L)	5~59	22	14	95	<80
Oil and grease (mg/L)	2.3~9.2	6.6	2.1	88	<10
True color	18~66	45	14	77	<550

نوعية الميديا الموضوعة في حوض التماس: السطح النوعي 120 م²/
م³، الأبعاد (64x64x120) ملم مادة الميديا PVC.

- تشغيل المحطة:

1- الحماة المنشطة: 3200 MLSS مغ/ل

2 - تماس مهوى: 5000 MLSS مغ/ل

3 - حماة منشطة: 81: SVI



4 - 0.34: F/M

5 - عمر الحمأة: 9.94 يوم

6 - تدوير الحمأة: 30 %

7 - كمية الحمأة المنتجة في اليوم (محتوى 80 % ماء) = 2200 كغ/يوم

19-4-3-2. المعالجة بالهاضم اللاهوائي مع ميديا ثابتة

Anaerobic digester + Fixed media.

المحطة تقع في إندونيسيا (دارما) [30]، وتقوم بمعالجة مياه صرف مسلخ، مع كفاءة إزالة حتى أكثر من 80 % من ال COD.

19-4-3-1. كمية ونوعية المياه الداخلة.

كمية مياه الصرف المٌجمعة من كافة فعاليات المسلخ 100-200 م³/يوم.

COD 6000 - 8000 mg/l

COD المنحل 1600 - 2200 mg/l

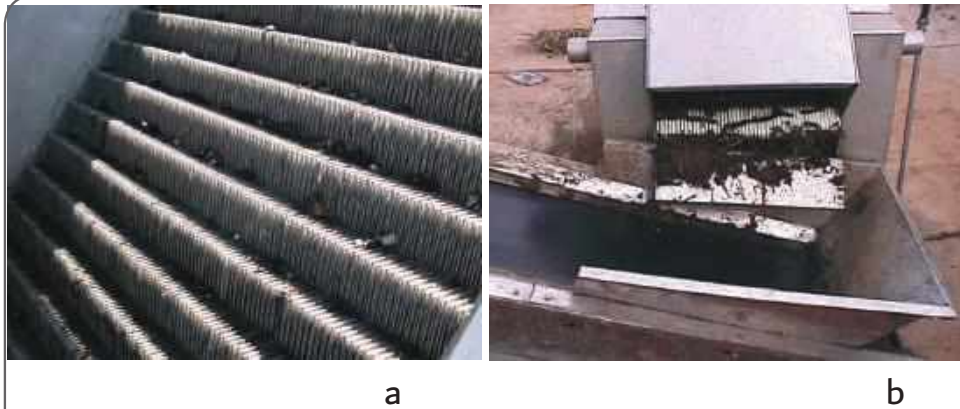
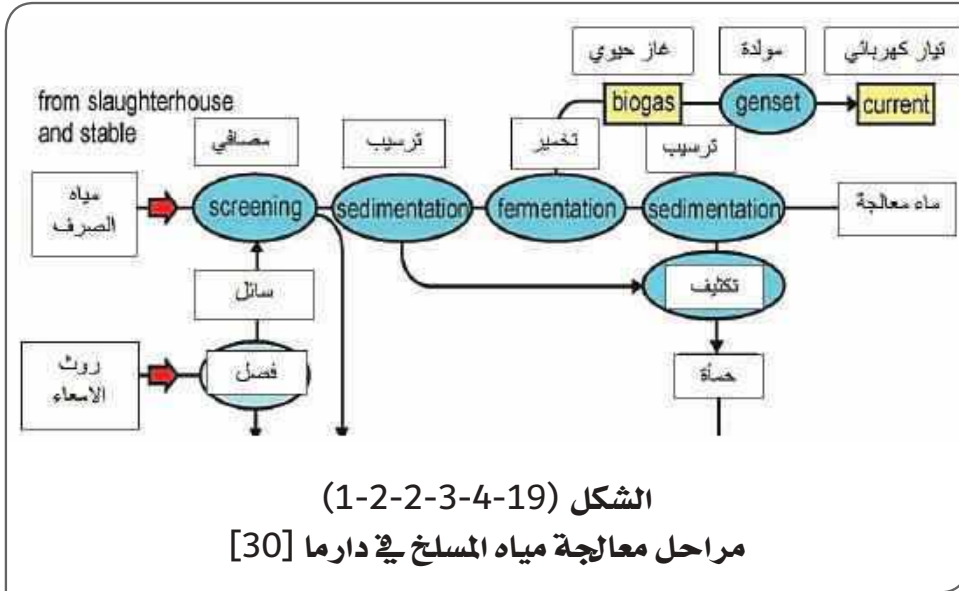
19-4-3-2. طريقة المعالجة المعتمدة.

تمر معالجة مياه الصرف بالمراحل التالية وفق الشكل (19-4-3-2-1).

1. مصفاة خشنة ذات الخطوة 3 ملم (step screen)، وهي مصفاة تشبه درج يتحرك نحو الأعلى، وهي مفيدة كثيراً للمواد الطافية والتي ترفعها من سطح الماء أثناء حركتها. (19-4-3-2-2-a)

2. مصفاة ثابتة (static screen أصغر من 1 ملم)، تمر عبرها المياه وتحجز المواد الصلبة فوقها لتتساقط بالثقالة على سير ناقل (19-4-3-2-2-b).





المصافي ذات الخطوة والثابتة في محطة مسلخ في دارما بأندونيسيا

3. حوض توازن ومزج حجمه 200 م³.
4. ترسيب أولي، حجمه 40 م³ - ويحجز أكثر من 90 % من المواد الصلبة العالقة.
5. هاضم لاهوائي مع ميديا ثابتة حجمه الكلي 590 م³، وحجمه الفعال 400 م³، يعالج حوالي 70 % من COD.

6. حوض ترسيب نهائي، حجمه 50 م³.
7. خزان جمع الغاز الحيوي، حجمه 20 م³ (حاوية بلاستيكية) + مولدة 45kw.

والمحطة تعالج بالمجمل أكثر من 80 % من COD ، أي الناتج أقل من 800 ملغ / ل . الشكل (3-2-2-3-4-19) يبين حوض التوازن وحوض الترسيب الأولي الاسمنتي ثم مفاعل المعالجة اللاهوائية ثم المرسب النهائي المعدني. ويبين الشكل (4-2-2-3-4-19) مسقط المسلخ ومحطة المعالجة.

يمكن أن تخضع هذه المياه لمعالجة ثانية بالحماة المنشطة أو يمكن وفق المواصفات المطلوبة في بعض الدول طرح هذه المياه المعالجة في المجاري العامة لتعالج مع مياه الصرف الصحي.



الشكل (3-2-2-3-4-19)
من اليسار: حوض التوازن وحوض الترسيب الأولي - المفاعل اللاهوائي -
المرسب النهائي المعدني [30]



الشكل (4-2-2-3-4-19)
مسقط المسلخ ومحطة المعالجة [30].



معالجة مياه صرف الدباغات

Tanneries Wastewater treatment

تنتشر الدباغات في كافة المناطق وخصوصاً قرب المدن، حيث مصدر الجلود الرئيسي هي المسالخ (المذابح الفنية)، وينتج العالم 1.8 بليون متر مربع من الجلود في العام [من NIDO]. وتلوث المياه المطروحة من الدباغات المياه الجوفية ومصادر المياه الأخرى، وخصوصاً إذا تم طرحها مباشرة في مجاري الأنهار (مخفضات التوتر السطحي) المائية. تنتج الدباغات الجلد المدبوغ (السنمورة)، أو الجلد نصف المصنع (Wet-Blue)، وبعضها ينتج الجلد المصبوغ (نهائي). وتعتمد أغلب الدباغات في مناطق العالم النامي على استخدام نفس التكنولوجيا ونفس أساليب الإنتاج حيث أكثرها لا يزال يستعمل في عديد من مراحل الإنتاج اليدوية. وكمية مياه الصرف تتراوح بين (30 - 50) لتر/كغ جلد «المطلوب معالجته». (Alexander K.T.W et al، 1992) وبعض المراجع تعطي رقم وسطي لمياه الصرف 50 لتر/جلد.

20-1. توصيف خطوات العملية الإنتاجية في الدباغات التقليدية والأكثر شهرة [من تقرير مديرية بيئة حلب].

هنالك عدة طرائق للدباغة تختلف من دولة لأخرى، وسنشرح العملية الإنتاجية في الدباغات التقليدية والأكثر شهرة في دول العالم النامي. وهي تتألف من تسعة مراحل رئيسية - تتخللها عمليات ثانوية كثيرة وخصوصاً في الدباغة الآلية:

1. المرحلة التحضيرية: تتمثل في استلام الجلد من أحد مصدري إما المذبح الفني (وهو جلد طري خام) أو من المستودعات بعد أن أجريت



عليه عملية التمليح الشكل (a-1-1-20) حتى يجف. وبعد التمليح في الخانات (أو مستودعات لتجميع الجلد) يخزن الجلد حتى يجف، ويمكن الحفاظ عليه في هذه المخازن لعدة أشهر، إذا دعت الحاجة إلى ذلك.

2. إزالة طبقة اللحم: بعد عملية الغسيل والترطيب يمرر العمال الجلود عبر آلة إزالة اللحم المزودة بسكاكين حادة لإزالة كل الدهون واللحم على الجانب اللحمي من الجلد وتجرى غالباً عملية إزالة اللحم لكثير من الجلود في أماكن تصنيع اللحوم ولا توجد حاجة لإجراء هذه العملية داخل المدابغ. (يتم في بعض الدباغات القديمة التنظيف يدوي).

3. نزع الصوف: تبدأ عملية الدباغة بنزع الصوف Dehairing من الجلد وذلك بدهان الجلد بالكلس وكبريت الصوديوم ويترك الجلد بعد ذلك لفترة 4 ساعات حيث يتم إضعاف جذور الشعر بالتأثير الكيميائي. (الطرائق الأحدث هي النقع في أحواض مع محلول يحوي نفس المواد الكيماوية لمدة أطول بكثير. الشكل (b-1-1-20)).

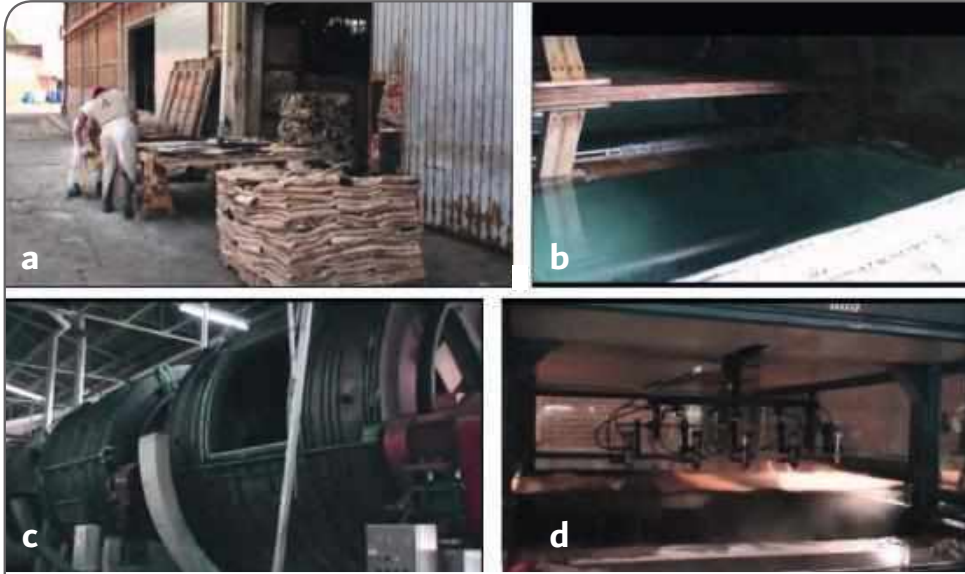
4. تأتي بعد ذلك عملية الكشط (أو ما يسميه أصحاب الصناعة بالشلح)، وهي تتم بشكل يدوي باستخدام أداة خشبية (منجل) تضغط على الجلد الموضوع على لوح خشبي مائل (أو تتم بشكل آلي في المدابغ الحديثة). وينشر الصوف المنزوع في الشمس حتى يجف ليباع بعد ذلك بالكيلو.

5. تأتي بعد ذلك عملية نقع وغسيل الجلد بالمياه في أحواض تسمى (المداعس)، وذلك للتخلص من الملح والدهن وأي مخلفات موجودة فيه. وتتم بنقع الجلد في المداعس ويسكب الماء عليه خلال هذه العملية بشكل مستمر لغسله ويجري الماء إلى أقبية الصرف في الدباغة. بعد ذلك يمر الجلد بمرحلة غسيل بالمياه والصابون، وذلك لإزالة بعض المواد الكيماوية الموجودة عليه. ثم تستخدم كبريتات الأمونيوم في الخطوة التالية لإزالة الكلس حيث يتم وضع الجلود بالبراميل لمدة 24 ساعة ثم يعاد غسلها لمدة ساعتين في المداعس. وبعدها تأتي المعالجة بالأنزيمات حيث تستخدم خلاصة البنكرياس أو

بكتريا تركيبية الغاية منها قطع الروابط البيبتيدية في الجلد.

6. **بعد ذلك تأتي عملية الدباغة التحنيط** (وقد تدعى السنمورة)، حيث يضاف حمض النمل بنسبة 0.5 % من وزن الجلد ويضاف حمض الكبريت لإيصال pH إلى حوالي 3 مع أنزيمات إلى الجلد الموجود في البراميل. وتعتبر هذه الخطوة الأخيرة في بعض الدباغات وترسل للتصدير.

7. **أما في حالة دباغات (Wet-Blue)** فتتمثل الخطوة الإضافية في إضافة كربونات الصوديوم وكبريتات الكروم للجلد ويتم ذلك في براميل كبيرة تدور باستمرار، الشكل (c-1-1-20) وهذه العملية تُكسب الجلود لوناً أزرق فاتح.



الشكل (a,b,c,d-1-1-20)
صور لبعض مراحل عملية دباغة الجلود

8. **أما في الدباغات التي تنتج الجلد المصبوغ،** فتتم عملية صباغة الجلد عن طريق وضعه مع الأصبغة والزيوت المغذية في البراميل، ويشد بعد ذلك ليجف.

9. الإنهاءات حسب الطلب كالطراوة أو شدة اللمعان برشه بالورنيش....
إلخ الشكل (d-1-1-20).

2-20. نوعية المياه المطروحة من الدباغات.

تستعمل في عملية دباغة الجلود مواد مثل الأحماض، Acids، والقلويات alkalis، وأملاح الكروم chromium salts، والمذيبات solvents، الكبريتيدات sulphides، والأصبغ dyes، والمواد المساعدة auxiliaries، والزيوت oils وغيرها من المواد، وتظهر هذه المواد في مياه الصرف إضافة إلى المواد الذائبة والمعلقات والدهون، كما تظهر مواد كيميائية كالفينول pHenol والفورم الدهيد formaldehyde و sulfonated napHthalenes وغيرها [31]، الجدول (1-2-20) يبين تحليل عينات لدباغات في منطقة الشيخ سعيد بحلب (1) عينة مركبة لمجرور خاص لدباغة أحادية، تحليل مديرية الصرف الصحي 2007. (2) عينة مباشرة من مجرور يضم عدد من الدباغات، تحليل مديرية الصرف الصحي 2007. (3) عينة مباشرة من مجرور يضم عدة دباغات، تحليل جامعة حلب 2002.

وسنلاحظ في التحاليل أن نسبة BOD_5 / COD هي حوالي 0.4 والتي تشير إلى بطء في التحلل العضوي (النسبة بين BOD_5 و COD لمياه الصرف المنزلي هي حوالي 0.5 - 0.66). وقد تحتوي مياه الصرف على نسبة من الكروم الكلي (يصل 30-260 ملغ/ل) (كروم ثلاثي Cr^{+3}) (من Cooman et al، 2003)، وكذلك نسبة عالية من الأملاح وأهمها ملح الطعام الذي يستعمل في مرحلة التمليح وقد يصل إلى 15 - 40 % (يتم غسل الملح في المداعس)، وكذلك استخدام الكلس وكبريتيد الصوديوم أثناء عملية إزالة الشعر وقد تصل TDS إلى 37000 مغ/ل.

الجدول (1-2-20)
يبين نتائج تحليل عينات من مياه صرف دباغات
منطقة الشيخ سعيد بحلب

المؤشر	العينة رقم 2007(1)	العينة رقم 2007 (2)	العينة رقم 2002(3)
PH	8.13	10.53	7.4
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	5270	9880	22000
T.D.S (mg/l)	9100	5300	15200
TS (mg/l)	12450		16300
TSS mg/l	3394		1100
NH ₄ (mg/l)	174.5	48	40
NO ₃ ⁻ (mg/l)		37.5	83
NO ₂ ⁻ (mg/l)		1.35	
CL ⁻ (mg/l)	215	31.6	3000
SO ₄ ⁻² (mg/l)		65	820
T.A.C (mg/l)		160	
T.A (mg/l)		433	
PO ₄ ⁻³ (mg/l)		6.00	3.1
DO (mg/l)		0.05	1.5
COD (mg/l)	(COD _s =1068) 3670	3840	9600
BOD ₅ (mg/l)		2000	4100
الزرنخ (mg/l)		0.0033	
الكادميوم (mg/l)		0.0033	0.08
الكروم (mg/l)		0.0008	1.22
الرصاص (mg/l)		7.906	
النحاس (mg/l)		0.0015	0.8
النيكل (mg/l)		0.0013	1.6
HCO ₃ ⁻ البيكربونات (mg/l)	55	580	810
S ⁻² السلفيد (mg/l)	1.75		0.9
O&G الزيوت والشحوم (mg/l)	201		

وفي مياه صرف الدباغات يلاحظ انخفاض تركيز الفوسفات، إضافة إلى غنى مياه الصرف بالنيتروجين وخصوصاً النيتروجين العضوي.

• **ملاحظة:** أن قياس total organic carbon TOC هو أكثر موثوقية من COD لأن ارتفاع تركيز الكلورايد والكبريتيد في هذه النفايات السائلة يمكن أن تؤثر تأثيراً كبيراً على تحديد تركيز COD.

20-3. خيارات معالجة مياه صرف الدباغات.

دائماً يجب أن يتوفر مصاف خشنة وناعمة وخصوصاً في معالجة مياه الدباغة الممزوجة من كافة المراحل من أجل التقاط الشعر وقطع الجلد ... وكذلك فاصل رمال (وفاصل زيوت إذا لم يوجد DAF).. ويجب أن يوجد بعد ذلك حوض توازن تتوفر فيه معدات المزج. كما يمكن فصل التدفقات من مراحل معالجة الجلد الأساسية الثلاث ومعالجتها كل على حدة، ولكن هذا الإجراء غير متبع في الدباغات كثيراً لأسباب عملية واقتصادية ولكن عند الرغبة في استرجاع الكروم نجد أنه من الضروري فصل مياه صرف مرحلة (Wet-Blue) واسترجاع الكروم ويمكن بعد ذلك إعادتها لحوض التوازن مع بقية المياه من أجل المعالجة. الشكل (20-3-1) يبين أمثلة على أنواع المصافي المستعملة في الدباغات.

وسنشرح المعالجة بالطرائق البيولوجية لانتشارها في معالجة مياه صرف الدباغات.



الشكل (1-3-20)
من أنواع المصافي الآلية المستعملة في الدباغات

1-3-20. التخثير وتشكيل الندف. Coagulation and flocculation CF

تستخدم مواد غير عضوية مثل الشب للتخثير وتشكيل الندف $Al_2(SO_4)_3$ (الآلوم)، أو ferric chloride ($FeCl_3$)، أو ferrous sulphate ($FeSO_4$)، وذلك لتخفيض نسبة المواد العضوية والمعلقات وكذلك إزالة المواد السامة كالكروم قبل إجراء المعالجة البيولوجية، ويمكن أن تصل نسبة تخفيض COD حتى 70 %، علماً أن الكروم الثلاثي يمكن أن يزال كلياً بكلور الحديد $FeCl_3$. وعموماً يعطي كلور الحديد نتائج ممتازة أكثر من الشبة في معالجة مياه صرف الدباغات. وكذلك تستعمل مواد (PAC) **poly aluminum chloride** بشكل فعال في المعالجة أو (PASiC) أو (PAFC) مع معدل للـ pH في حوض الترسيب، ومن المفضل أن يكون زمن الترسيب أكثر من ساعتين، كما يجب إجراء تجربة مخبرية رائدة (JAR TEST) من أجل الترسيب الكيميائي. ومن المفضل أن نقوم بتطويف الدهون والشحوم والندف المتشكل في مياه الصرف، ويمكن أن نستعمل لذلك التطويف بالهواء المنحل الفقرة (6 - 7).

2-3-20. المعالجة البيولوجية.

تستعمل المعالجة البيولوجية الهوائية أو اللاهوائية أو المشتركة في معالجة مياه الدباغات.

20-3-2-1. المعالجة البيولوجية الهوائية.

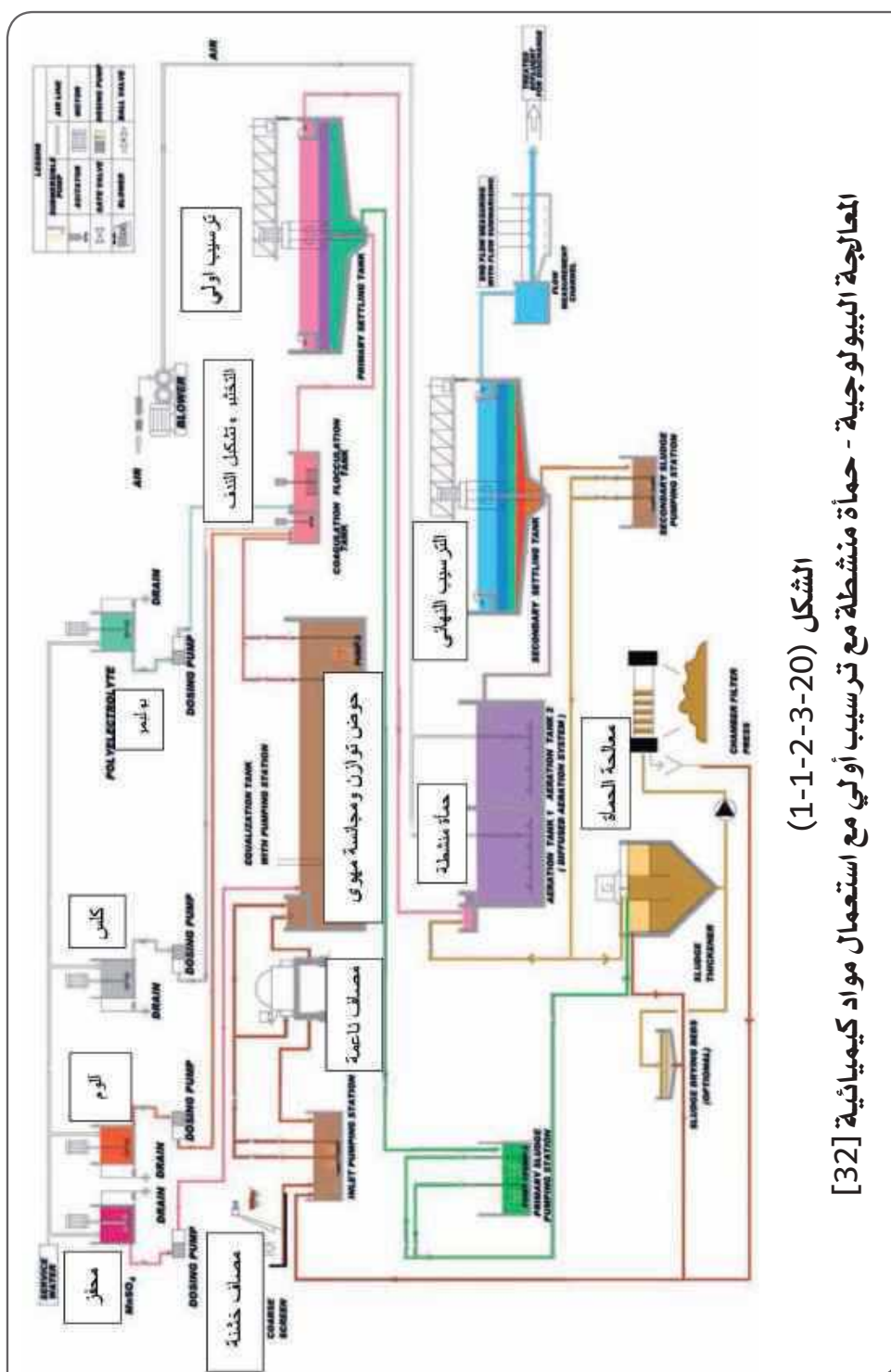
وهي أقل كلفة من الأكسدة الكيميائية، مثل الأكسدة بطريقة فنتون أو الأكسدة بالأوزون، وغير ذلك من طرائق الأكسدة. وتستعمل بنجاح المعالجة البيولوجية الهوائية بطريقة المفاعل ذو الدفقات SBR في معالجة مياه صرف الدباغات بسبب مرونة التشغيل وإمكانية تحقيق النترجة وإزالة النترات ويمكن الوصول إلى نسبة إزالة لل COD تصل إلى أكثر من 80 % عندما تكون نسبة الملوحة أقل من 8 % وتنخفض نسبة المعالجة في حال زيادة نسبة الملوحة [31]، كما يؤثر الكبريتيد على المعالجة البيولوجية وينصح بإزالته بشكل مسبق عن طريق أكسدته.

يعطي الشكل (20-3-2-1) مقترح معالجة مياه صرف الدباغات باستعمال الترسيب الأولي مع مواد كيميائية مثل الكلس والشب ومحفز $MnSO_4 \cdot 4 H_2O$ ، وإضافة البولييميرات ثم يتبعها معالجة بيولوجية بالحماة المنشطة على مرحلتين [32]، كما يمكن أن تحتاج المعالجة إلى إضافة كمية من الفوسفور إلى حوض المعالجة عند اختلال نسب المغذيات في المفاعل البيولوجي الهوائي.

20-3-2-2. المعالجة البيولوجية اللاهوائية.

في الآونة الأخيرة كان هناك اهتمام متزايد في المعالجة اللاهوائية لمياه الدباغات لأسباب اقتصادية في الاستثمار والتشغيل إضافة لكفاءة المعالجة العالية وصغر المكان المطلوب، ولكن تظهر عدة مشكلات منها الحاجة لتكنولوجيا عالية وتشغيل دقيق والحاجة أيضاً لتنفيذ تكنولوجيا ملائمة من أجل H_2S ، والحاجة للمعالجة بسبب إنتاج ثابت من الكبريتيد sulfide نتيجة اختزال الكبريتات sulfate [31]. وقد تم رصد أكثر من 50 محطة للدباغات تعمل بطريقة لاهوائية وأغلبها نفذت بالهاضم اللاهوائي ذو التدفق العلوي أو السفلي مع ميديا ثابتة Anaerobic digester + Fixed media ومفاعل UASB Anaerobic Sludge Blanket. وقليل منها أستعمل الطرائق اللاهوائية الأخرى.

سنعرض في الفقرة التالية طريقتين للمعالجة تستعمل مرحلة لاهوائية.



1-2-2-3-20. المعالجة البيولوجية المشتركة لإزالة الكبريت من مياه صرف الدباغات.

Combined biologic removal of sulphate for tanning industrial wastewaters [33]

إن مياه صرف الدباغات تحتوي على تدفقات غنية بالكبريتيد، وفي هذه الحالة يمكن أن تثبط المعالجة اللاهوائية. الجدول (1-1-2-2-3-20) نوعية مياه صرف الدباغة الداخلة للمعالجة في هذا المثال البحثي.

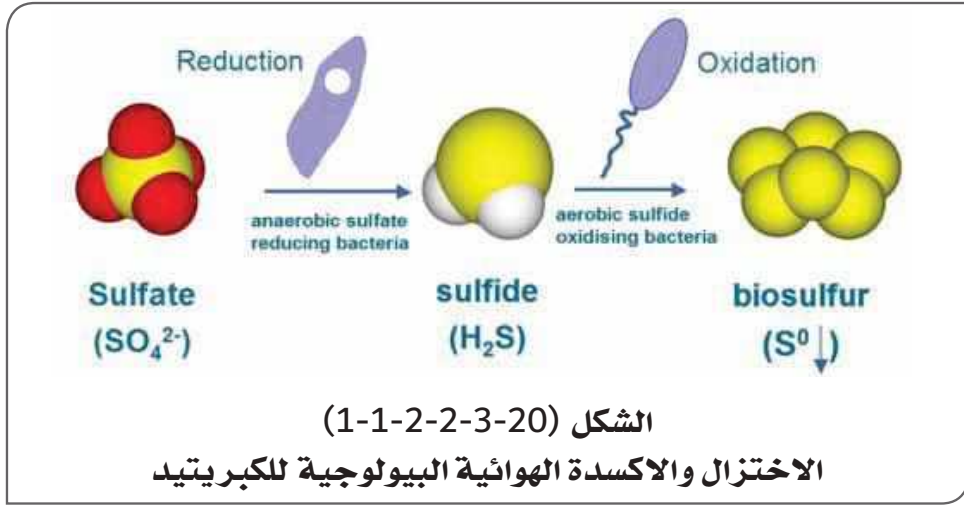
الجدول (1-1-2-2-3-20)

نوعية مياه صرف الدباغة الداخلة للمعالجة [33]

Parameter	Average	Max.	Min.
Total Solids (TS) (g/l)	6.5	12.2	3.6
Volatile Solids (VS) (g /l)	2.1	13.5	2.1
Total Suspended Solids (TSS) (mg /l)	620	1430	250
Volatile Suspended Solids (mg /l)	522	1300	230
COD (mg/l)	3843	5705	1680
Nitrogen (Kjeldahl) (mg /l)	241	434	154
Nitrogen (N _{NH4}) (mg/l)	125	302	28
Phosphate (PO ₄ ⁼) (mg/l)	42	78	8
Sulphate (SO ₄ ⁼) / (mg l)	1315	3168	275
Chromium (Cr ³⁺)	22	39	7

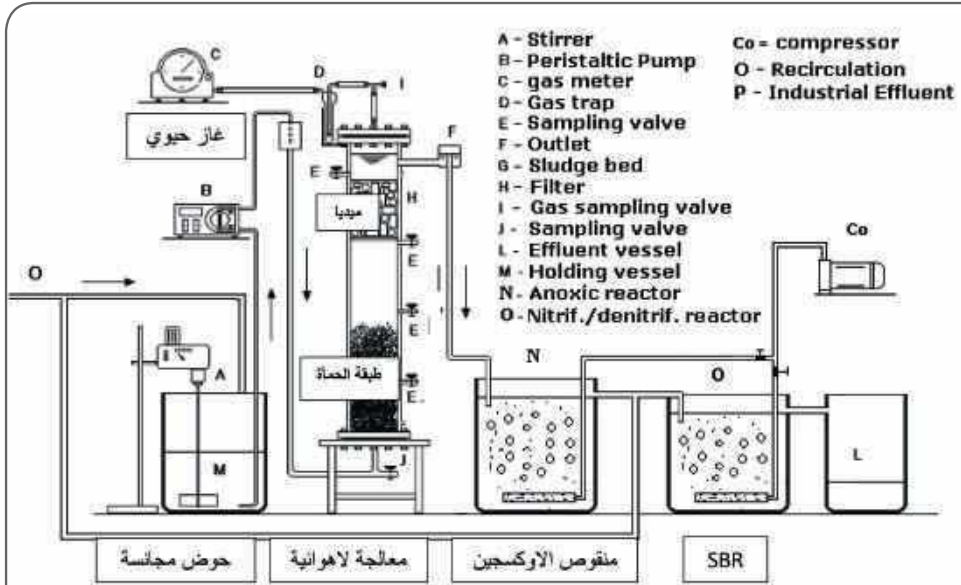
تتألف المعالجة البيولوجية المشتركة لإزالة الكبريتيد و COD والنيتروجين وإزالة النتروجين من المراحل التالية:

- 1- المرحلة اللاهوائية تتم بمفاعل لاهوائي مع ميديا ثابتة وتدفق سفلي.
- 2- أكسدة بيولوجية للكبريتيد biological sulphide oxidizing، ولكن في حوض منقوص الأوكسجين، حيث يتأكسد كبريتيد الهيدروجين بوجود كميات قليلة من الأكسجين. (وعادة تمثل 60 % من الأكسدة الهوائية العادية التي في الشكل (1-1-2-2-3-20)، الأختزال والأكسدة البيولوجية بالشروط الهوائية.
- 3- معالجة هوائية بطريقة SBR مع إعادة الحمأة إلى المفاعل اللاهوائي (إلى حوض المجانسة)، كما يتم إزالة النتروجين.



يتم تدوير 50 % من المياه المعالجة. تزيل هذه المعالجة جزءاً كبيراً (85 %) من الكروم الثلاثي من خلال الامتزاز الذي تقوم به الحمأة البيولوجية. وبذلك فقد تم تجنب الحمأة الكيميائية التي تصدرها عادة المعالجة الكيميائية، وفي هذه الطريقة تم إزالة COD بنسبة 88 % وإزالة الكبريتات بنسبة (66 %)، ونتروجين كيلدال (kjeldahl) بنسبة 92 % [33]. يبين الشكل (2-1-2-2-3-20) مخطط لمراحل المعالجة.

• **ملاحظة:** تستخدم طريقة المعالجة المذكورة بالنتائج الموضحة سابقاً إذا كان المطلوب رمي مياه الصرف الصناعي للدباغات في المجاري العامة.



الشكل (2-1-2-2-3-20)

معالجة بيولوجية مشتركة لمياه صرف الدباغات

إزالة الكبريت و COD والنيتروجين وإزالة النتروجين [33]

2-2-2-3-20. المعالجة البيولوجية بهاضم لاهوائي بمرحلتين وحماة منشطة.

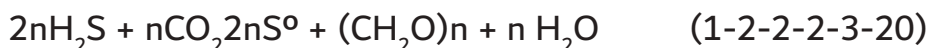
صممت المحطة لمعالجة مياه الصرف لدباغة جلود تقع في شرق هولندا وتنتج 3000 جلد في اليوم مع مرحلة صباغة للجلد. (المعلومات من شركة Water stormen.co).

بعد إجراء المعالجة الابتدائية والأولية تخضع مياه الصرف إلى ثلاث مراحل معالجة بيولوجية:

- **مرحلة معالجة لاهوائية** يتم فيها هضم لاهوائي للمواد العضوية ويستعمل الميثان المنتج من المعالجة لتوليد الكهرباء (تضخ لشبكة الكهرباء العامة) و طاقة حرارية تستخدم في المعمل، إضافة إلى تحويل مركب الكبريت sulphur compound إلى كبريتيد الشكل (a-1-2-2-2-3-20).

- **المرحلة الثانية إزالة كبريت الهيدروجين H_2S بيولوجيا بمفاعل لاهوائي، المعادلة (1-2-2-2-3-20) (Niel reaction) ويمكن أن نحصل على استرداد للكبريت حتى 95 %.**

الشكل (b-1-2-2-2-3-20)



- **المرحلة الثالثة معالجة بيولوجية بالحماة المنشطة (بقنوات الأكسدة حيث يمكن أن نحقق فيها مواقع منقوصة الأكسجين)، وقد تم استخدام بكتريا خاصة تدعى (Anammox) والتي تعمل في ظروف لاهوائية لمعالجة الأمونيوم والتخلص من النتروجين حيث يتأكسد الأمونيوم في ظل ظروف لاهوائية مع النتريت كمستقبل للإلكترون وينطلق غاز النتروجين)، والمحطة بذلك تحتاج إلى كمية أقل من الأوكسجين لإزالة النتروجين فيصل الاحتياج الأوكسجيني إلى حوالي 50 %.** وبعد المعالجة البيولوجية تذهب مياه الصرف إلى حوض الترسيب النهائي. الشكل (b-a-2-2-2-2-3-20)، ويتم طرح المياه المعالجة في المياه السطحية.

- **كلفة المحطة حوالي 5 ملايين يورو وتم منح 75 % من المبلغ من الاتحاد الأوروبي.**



a

b

الشكل (b-a-1-2-2-2-3-20)

a: المرحلة اللاهوائية - b: لاهوائي معالجة كبريت الهيدروجين

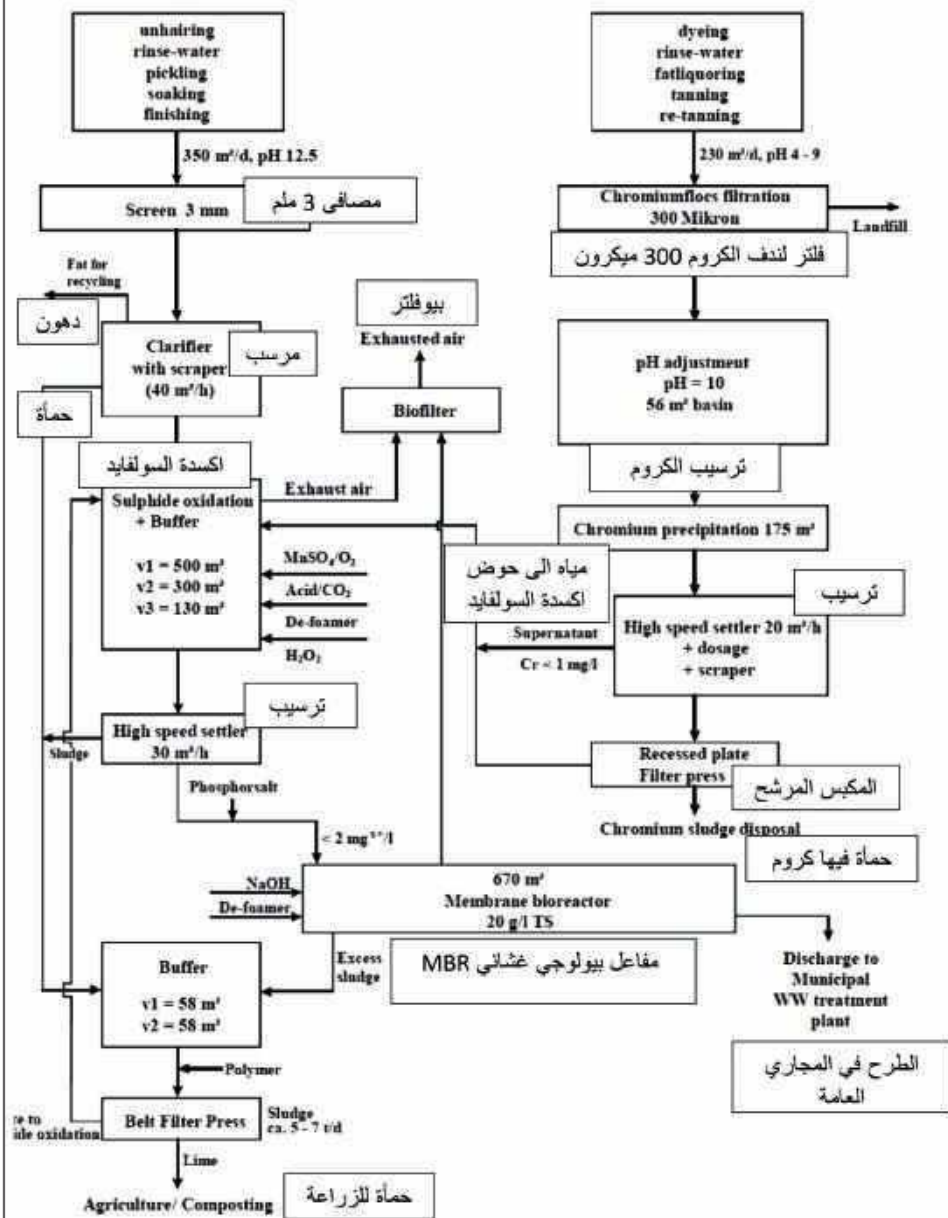


3-2-2-3-20. بعض الأمثلة عن معالجة مياه الدباغات في بعض دول العالم.

الشكل (1-3-2-2-3-20) مخطط مراحل العمل في محطة معالجة مياه صرف دباغة في ألمانيا neutraubling ، Bayern – leder – gmbh ، حيث يتم فصل مياه الصرف إلى قسمين رئيسيين، يتم فيها معالجة مرحلية بحيث القسم الأول تكون المعالجة الرئيسية فيه هي أكسدة السلفيد، والقسم الثاني تكون المعالجة الرئيسية فيه إزالة الكروم، ثم تجمع المياه من القسمين وتعالج بواسطة MBR وسبب استعمال هذه الطريقة هو الحاجة لنوعية مياه معالجة تكون فيها SS، COD، BOD منخفضة إضافة لمعالجة الكروم.

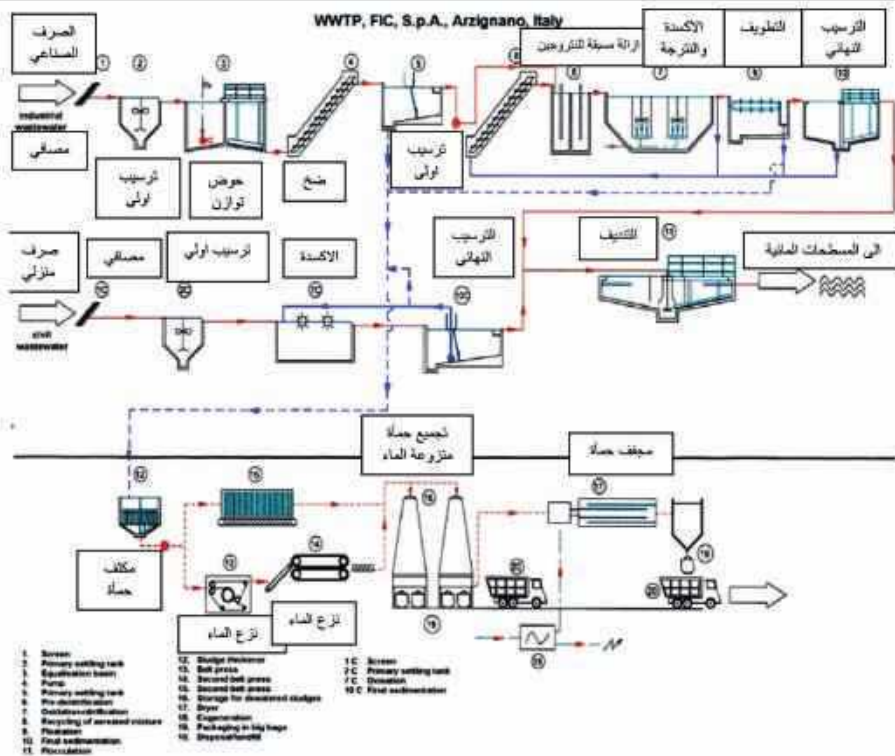
يبين الشكل (2-3-2-2-3-20) محطة معالجة مياه صرف مشتركة في إيطاليا S.P.A ARZIGNANO، FIC، تعالج مياه دباغات ومعامل مختلفة وصرف صحي (من UNIDO).

Bayern-Leder-GmbH, Neutraubling



الشكل (1-3-2-2-3-20)

محطة معالجة دباغة في (Bayern – leder – gmbh ، neutraubling) ألمانيا - يتم فيها فصل المياه ويتم اكسدة الكبريتيد وترسيب الكروم ثم تجمع للمعالجة بـ MBR، (من UNIDO).



الشكل (2-3-2-2-3-20)

محطة معالجة مياه صرف مشتركة (في ايطاليا ARZIGNANO، FIC S.P.A) تعالج مياه دباغات ومعامل مختلفة وصرف صحي (من UNIDO)



معالجة مياه صرف المصايف

Wastewater treatment of Textile dyeing houses

21-1. مقدمة .

إن الصناعة النسيجية تمثل واحدة من أكبر صناعات المستهلكين من المياه ذات الجودة العالية في مختلف عمليات الصباغة، وهي تطلق كميات كبيرة من المياه الملوثة. وتقدر كمية استهلاك المياه في الصناعة النسيجية (100- 200 م³ من الماء لكل طن من المنتجات النسيجية). وبالنظر إلى الإنتاج السنوي من ألياف النسيج وهو حوالي 40 مليون طن فتقدر كمية المياه المستهلكة عالمياً 4 - 8 بلايين م³ سنوياً [34]. وتحتوي هذه المياه على مواد خطرة، ولذلك فالقاعدة العامة هي التحديد بشكل مسبق لأهم المواد التي تعتبر خطرة واقتراح الاستراتيجيات العامة ليتم تطبيقها لتقليل تسرب هذه المواد إلى البيئة مثل:

- تغيير بعض التكنولوجيات لبعض العمليات كتعديل الضغط والحرارة وغيرها من العمليات الفيزيائية.
- تقليل الحمل الكيميائي في مياه الصرف واستبدال المواد الأولية التي تظهر سمية عالية أو تكون منخفضة التحلل البيولوجي.
- فصل للمياه المنصرفة من مراحل المعالجة (كمياه حوض الصباغة - التبييض ...) ومعالجة كل منها على حدة وإعادة استعمال المياه المنصرفة كمياه الغسيل النهائي التي تحوي تلوث قليل وكمية الأملاح فيها قليلة وتكون كميتها كبيرة (تدعى هذه المياه في بعض المناطق مياه الشطف) أو استرجاع بعض المواد من مياه الصرف كاللانولين lanolin من مياه غسيل الصوف.



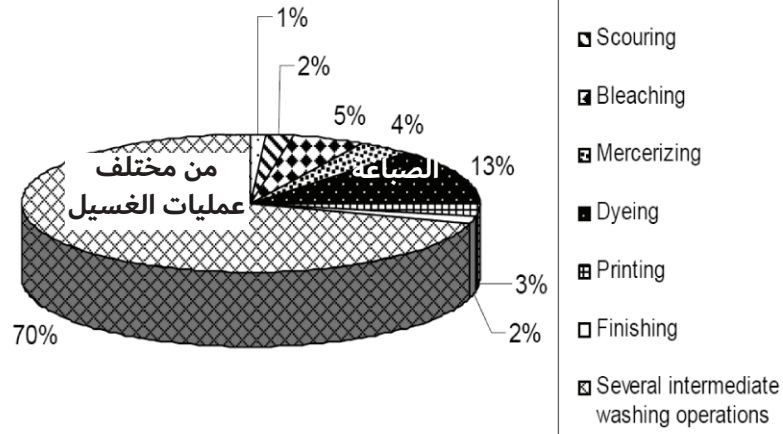
2-21. كمية المياه والتلوث الناتج عن صناعة الصبغة.

يوضح الجدول (1-2-21) الكميات التقريبية لاستهلاك 1 كغ من مختلف أنواع الخيوط والنسيج من المياه، [36] والشكل (1-2-21) يعطي نسب استهلاك المياه من الاستهلاك العام لمختلف مراحل الصبغة [36]. وإن مقدار انتقال الصبغ إلى المياه المصرفة من المصاوغ يتبع لنوع الصبغ ونوع القماش المصبوغ وهو يصل حتى 50 % في صبغة القطن (ريكتيف أو كبريتي)، أما في الأقمشة الصناعية «اكريليك - بوليستر»، فتصل حتى 20 %. ونلاحظ أن الاستهلاك الاعظمي للمياه يكون في الغسيل. الجدول (2-2-21) يعطي أحمال التلوث التقريبية لكل مرحلة من مراحل الصبغة [35]، وعموماً مياه الغسيل بعد كل مرحلة من عمليات الصبغة تحوي COD منخفض يتراوح من 50 ملغ/ل - 500 ملغ/ل وهذا يعطي إمكانية الاستفادة منها بإعادة استعمالها بعد معالجتها بتكاليف قليلة.

الجدول (1-2-21) يعطي الكميات التقريبية لاستهلاك المياه بالتر لكل كغ من مختلف انواع الخيوط والنسيج

- Cellulosic Fabric 100-120 L/kg - قماش سللوزي -
- Synthetic Fibre, Yarn & Fabric 25-70 L/kg - الياف صناعية، خيوط ونسيج -
- Grey Polyester Fibre 30-40 L/kg - الياف بوليستر غير معالجة -
- Acrylic Fibre 25-30 L/kg - الياف اكريليك -
- Grey Viscose Fibre 70-80 L/kg - الياف فيسكوز غير معالجة -
- Grey Cotton Fibre 100-140 L/kg - الياف قطن غير معالجة -
- Raw Wool 40-50 L/kg - صوف خام -
- لإزالة الاوساخ من الصوف (الدهون والمواد العالقة وغيره بالغسيل) - Scoured Wool Fibre 80-100 L/kg
- Grey Cotton Yarn 70-80 L/kg - غزل قطن غير معالج -
- Grey Cotton Fabric 150-180 L/kg - نسيج قطن غير معالج -
- 100-120 L/kg Grey polyester - Cotton Fabric - نسيج (بولستر- قطن) غير معالج -

نسب استهلاك المياه من الاستهلاك العام لمختلف مراحل الصباغة



الشكل (1-2-21)

نسب استهلاك المياه من الاستهلاك العام لمختلف مراحل الصباغة بالطريقة الرطبة

3-21. كيف نحدد طريقة معالجة مياه صرف صباغة الأقمشة.

لتحديد طريقة المعالجة نحتاج الى معرفة مستوى المعالجة المطلوبة وهي تعتمد على عدة عوامل منها:

1. الغاية من المعالجة، هل هي لطرح المياه المعالجة في (مخفضات التوتر السطحي) المائية ام في المجاري العامة، ام لتدويرها ام لإعادة استعمالها، وكل من هذه المتطلبات تخضع لضوابط تحددها المؤسسات الرسمية، ويجب الالتزام بها عند دراسة طريقة المعالجة.
2. كمية المياه المطروحة وتتبع حجم المعمل والانتاج.
3. نوعية مياه الصرف المعدة للمعالجة وتتبع الى نوع الأقمشة أو الخيوط المصبوغة.
4. الجدوى الاقتصادية وهي تتبع كل العوامل السابقة.

الجدول (2-2-21)
يعطي احمال التلوث التقريبية لكل مرحلة من الصباغة
ولعدد من الالياف

Fibre	Process	pH	BOD(mg/l)	S (mg/l) املاح	Water use (l/kg)
Cotton	Desizing	—	1700-5200	16 000-32 000	3-9
	Scouring or kiering	10-13	50-2900	7600-17 400	26-43
	Bleaching	8.5-9.6	90-1700	2300-14 400	3 124
	Mercerising	5.5-9.5	45-65	600-1900	232-308
	Dyeing	5-10	11-1800	500-14 100	8-300
	Scouring	9-14	30 000-40 000	1129-64 448	46-100
Wool	Dyeing	4.8-8	380-2200	3855-8315	16-22
	Washing	7.3-10.3	4000-11 455	4830-19 267	334-835
	Neutralisation	1.9-9	28	1241-4830	104-131
	Bleaching	6	390	908	3-22
Nylon	Scouring	10.4	1360	1882	50 67
	Dyeing	8.4	368	641	17-33
	Scouring	9.7	2190	1874	50-67
Acrylic	Dyeing	1.5-3.7	175-2000	833-1968	17-33
	Final scour	7.1	668	1191	67 83
	Scouring	—	500-800	—	25-42
Polyester	Dyeing	—	480-27 000	—	17-33
	Final scour	—	650	—	17-33
Viscose	Scouring and Dyeing	8.5	2832	3334	17 33
	Salt bath	6.8	58	4890	4-13
Acetate	Scouring and Dyeing	9.3	2000	1778	33-50

21-3-1. طرائق معالجة مياه صرف الصباغة.

يوجد طرائق كثيرة لمعالجة مياه المصانع ولكن سنحاول تلخيصها بمستويين للمعالجة:

1- الوصول بمستوى من المعالجة بحيث يكون التلوث في المياه المعالجة منخفض جداً يصلح للطرح في المسطحات المائية أو الأنهار أو لإعادة الاستعمال.

2- الوصول بمستوى من المعالجة لتتطابق المواصفات التي تقبل حمل معين من الملوثات كالمواصفات الخاصة للطرح في المجاري العامة التي تنتهي مع مياه الصرف للمعالجة بمحطة مشتركة، أو المواصفات لري المزروعات والمسطحات الخضراء والغابات بمياه صرف صناعية معالجة.

21-1-3-1. الوصول بمستوى معالجة لمياه الصرف ليتم طرحها في (المسطحات) المائية أو الأنهر.

تخضع هذه المياه لمراحل متعددة رئيسية كالكيميائية والبيولوجية لإزالة الجزء الأكبر من اللون والتلوث الكيميائي والعضوي، حيث معدلات إزالة الـ BOD_5 تصل إلى 90% - 95%. ويمكن تلخيص مراحل المعالجة بما يلي:

1. فصل المواد الصلبة بمصافي خشنة وناعمة، الفصل (4).
2. إزالة الرمال، الفصل (5).
3. إزالة الزيوت، الفصل (6).
4. ضبط الـ pH، الفصل (7) (يمكن ضبطه أثناء إجراء المعالجة الكيميائية) وهو هام جداً وخصوصاً في معالجة مياه صرف المصانع التي تتعامل مع (البوليستر - النايلون - البرلون...) أو مياه الصرف لبعض الطرائق في صباغة وتحضير الأقمشة (الشانيل)، حيث لا يمكن أن تدخل هذه المياه إلى المعالجة البيولوجية بدون ضبط الـ pH.
5. أحواض التوازن، مياه الصرف تأتي من العمليات عموماً ساخنة، فتدخل إلى حوض التوازن، حيث يتم تحريكها من أجل إبقاء المعلقات في حالة حركة ومن أجل تبريد الماء. وينصح أن يكون حوض التوازن مهوى بإحدى طرائق التهوية لمزج المياه ولتخفيض جزء من حمل التلوث ولتخفيض درجة الحرارة. وحسب النتائج العملية لبعض أحواض التوازن المهواة في المصانع يمكن تخفيض 10-20 % من الأحمال نتيجة التهوية في حوض التوازن وخصوصاً الـ COD. يبين الشكل (21-1-3-1) حوض توازن مهوى لمصبغة قطن $1500 \text{ م}^3/\text{يوم}$.



الشكل (1-1-1-3-21)
حوض توازن مهوى لمصبغة قماش قطني 1500 م³/يوم

6. معالجة كيميائية كإضافة بعض أملاح المعادن التي تسهم في إزالة الجزء الأكبر من اللون وإزالة المعادن الثقيلة و COD, BOD، (الفصل 8) وإزالة متمخلبات المعدن من مياه الصرف، الفقرة (7-3-8) Chelated Metals.

• **ملاحظة:** أثناء عمل التجارب المعملية على عينات مياه الصرف فيمكن لجزء أو كل الحمأة أن تصعد للأعلى أثناء الترسيب فينصح بتعديل نوعية المواد الكيميائية المستعملة وكمياتها وعمل قاشط سطحي (أو عمل DAF)، إذا لزم الأمر إضافة لسحب الحمأة من قاع حوض الترسيب.

7. المعالجة البيولوجية يمكن ان تتم بإحدى الطرائق التالية:

- المرشحات البيولوجية، حيث يمكن تخفيض التلوث من 60 - 70 % ويتبعها معالجة بيولوجية بالحمأة المنشطة للوصول إلى COD دون 50 ملغ/ليتر.
- المعالجة بالحمأة المنشطة على مرحلتين.

- المعالجة البيولوجية بالحماة المنشطة التهوية المديدة.
- حماة منشطة مع MBR (membrane bioreactor)، وعندها لا نحتاج حوض ترسيب نهائي.
- معالجة لاهوائية ASBR أو UASB، يليها معالجة هوائية بالحماة المنشطة، (الفصل 13).

8. تهوية لحوض التجميع النهائي لمدة 1 ساعة

9. فلتر رملي وهو يفيد عند الحاجة من أجل إعادة استعمال مياه الصرف.

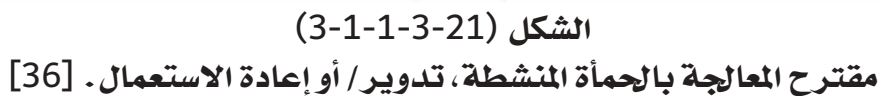
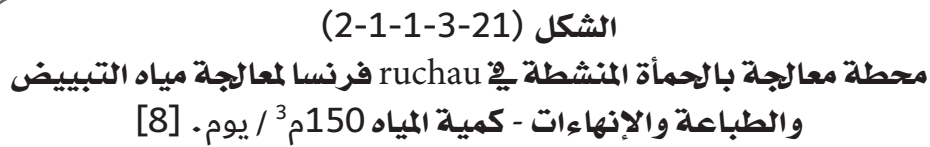
10. يمكن تعقيم المياه بإحدى الطرائق المعروفة مثل UV والكلورة ...

يبين الشكل (2-1-1-3-21) محطة معالجة بالحماة المنشطة في ruchau فرنسا لمعالجة مياه التبييض والطباعة والإنهاءات - كمية مياه الصرف 150 م³/يوم [8].

الشكل (3-1-1-3-21) مقترح لمعالجة مياه صرف المصانع بالحماة المنشطة.

عندما نجد صعوبة في إزالة اللون (مثل أصبغة الرياكتيف في بعض مصابغ القطن)، فيمكن استعمال إحدى الطرائق التالية لأكسدة اللون:

- أكسدة اللون بالأوزون Ozonation.
- أكسدة اللون بالكلور وهو غير متداول بكثرة ويسبب أضرار للبيئة.
- الفحم المنشط Activated carbon.



- 6/26/20 1:24 PM

21-3-1-2. الوصول بمستوى المعالجة لتطابق بعض المواصفات.

تعتمد بعض المواصفات القياسية أرقام مرتفعة نسبياً للملوثات ضمن المياه بعد المعالجة كالمواصفات القياسية السورية لطرح مياه الصرف الصناعي في المجاري العامة رقم 2580 لعام 2002م، وعلى سبيل المثال تسمح المواصفة القياسية السورية رقم 2580 بقيم للطرح في المجاري العامة $\text{COD} = 1600 \text{mg/l}$ و $\text{BOD} = 800 \text{mg/l}$ والزيوت والشحوم القابلة للتصبن 100 مغ/ل. وهذا لا يتطلب مستوى من المعالجة الواردة في الفقرة (21-3-1-1) وبالنسبة يجب إجراء تحليل شامل لمياه الصرف وتحديد نوعية المعالجة التي تحقق المطلوب، وسنورد بعض الأمثلة العملية لبعض هذه الحالات مع شرح المراحل.

21-3-2. المعالجة الكيميائية لمياه صرف المصاوغ والصرف الصحي ومياه ورش الصيانة في معمل السورية للغزل والنسيج بحلب وطرحها في المجزر العام.

يقوم المعمل بعملية صباغة القطن الممزوج وصباغة وتحضير الشوادر ويتضمن ورش صيانة سيارات ووحدة سكنية عمالية تتسع 100 عامل. الكمية العظمى من مياه الصرف تأتي من المصاوغ.

- كمية مياه الصرف 500 م³/يوم (قياساً) يطرح أغلبها في ساعات العمل (من 7 صباحاً إلى 7 مساءً).

- **نوعية المياه:** تم أخذ عينات مركبة لمدة 24 ساعة وتم عمل تجربة الأواني jar test لتحديد الملوثات وتحديد المواد الكيميائية اللازمة لتشكيل الندف مخبرياً (المروبات) وفق التحليل (21-3-2-1).

ووجد مخبرياً أنه بالمعالجة الكيميائية يمكن تحقيق المواصفة القياسية للطرح في المجاري العامة لهذه المؤشرات. وتم اعتماد المراحل التالية في المعالجة، الشكل (21-3-2-1) a,b,c,d,e,f,g,h يبين مراحل المعالجة:

- المصافي الخشنة الشكل (21-3-2-1) a. (من نوع سلة آلية الرفع ضمن بئر الضخ الذي يضح إلى المصافي الناعمة).

- مصفاة ناعمة (1-2-3-21) b ، من نوع مصفاة البرميل الدوارة Rotary Drum Screen .
- حوض توازن ومجانسة مهوى بنواشر diffusers (1-2-3-21) c بواسطة نوافخ (بللورات) .
- المزج السريع 2.5 دقيقة مع الكلوس والشب (1-2-3-21) d مع قراءة آلية pH لكل مرحلة .
- المزج البطيء 20 دقيقة (1-2-3-21) e .
- حوض ترسيب 2.5 ساعة (1-2-3-21) f .
- حوض رملي لتجفيف الحمأة (1-2-3-21) g .

يتم تدوير 15 % - 20 % من حوض الترسيب إلى حوض التوازن للاستفادة من المواد الكيميائية المتبقية فيها بواسطة مضخة هوائية. الشكل (1-2-3-21) h نوعية المياه الصادرة من المعالجة

- ملاحظات المشروع:

- لم يتم معالجة الحمأة وتثبيتها مما سبب صدور روائح في فصل الصيف وخصوصاً وجودها بين المساكن، علماً أن التجفيف كان جيداً.
- تجربة الأواني (جارتيس) على مياه الصرف في الشركة السورية للغزل والنسيج - الهندسة البيئية بحلب.

مواصفات عينة مياه الصرف قبل المعالجة:

- الأس الهيدروجيني 9.6 - واللون أزرق .
- الناقلية الكهربائية 1480 ميكرو سيمنس .
- الأوكسجين المستهلك للأكسدة الكيميائية COD = 1980 ملغ/لتر.
- الأوكسجين المستهلك للأكسدة البيوكيميائية BOD = 430 ملغ/لتر.

(1-2-3-21) تحليل عينة مركبة لمياه صرف السورية للغزل بعد تجربة الأواني jar test



الجدول (1-2-3-21)
نتائج التحاليل لمياه الصرف المعالجة بالشبة
(كبريتات الألمنيوم المائية) والكلس.

تركيز المروبات المؤشر	200 ملغ/ل شبة + 80 ملغ/ل كلس	350 ملغ/ل شبة + 80 ملغ/ل كلس	500 ملغ/ل شبة + 200 ملغ/ل كلس	600 ملغ/ل شبة + 300 ملغ كلس
الأس الهيدروجيني	7.7	6.4	6.6	6.9
الناقلية الكهربائية EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1430	1480	1610	1700
اللون	لون أزرق فاتح	لون خفيف جداً	لون أزرق فاتح	لون أزرق فاتح
COD ملغ/ل	830	610	960	980
حجم الرواسب	40 مل/ل طافية	60 مل/ل راسبة + 10 طافية	50 مل/ل راسبة + 20 طافية	160 مل/ل راسبة



الشكل (1-2-3-21) a,b,c,d,e,f,g,h
مراحل معالجة مياه الصرف للمصبغة السورية

1- عملياً تم استهلاك من 50 - 75 مغ/ل فقط من المواد الكيميائية لتحقيق المواصفة للطرح في المجاري العامة. بسبب وجود التهوية والمياه المعادة وكانت المعالجة نسبياً اقتصادية وتطلبت وجود فني لمدة 2 ساعة يومياً وعامل دائم.

2 - المحطة قامت على منشآت موجودة سابقاً.

21-3-3. المعالجة البيولوجية لمياه صرف المصانع لتحقيق بعض المواصفات.

يمكن تحقيق المواصفات القياسية للطرح في المجاري العامة أو الري المحدد لبعض الدول، بالمعالجة البيولوجية ومن أهمها المرشحات البيولوجية المستمرة أو بالدفعات، ويمكن الحصول على تخفيض في الأحمال من 40 % إلى 75 % أو أكثر، ويجب أن يسبقها بطبيعة الحال معالجة ابتدائية وأولية لإحتواء هذه المياه بشكل عام على معلقات كبيرة وصغيرة ورقع قماش وخيوط، إضافة للزيوت الحرة أو المستحلبة التي قد تأتي من الخيوط المحملة بالزيت أثناء التصنيع أو من الصيانة الميكانيكية للمراجل أو الآلات....

معالجة مياه الصرف في معمل صباغة وتحضير اقمشة الشانيل لمعمل صديق الشيخ نجار حلب

كمية المياه 150 م³/يوم والعمل وفق ثلاث ورديات أي التدفق الساعي الوسطي 6.25 م³/سا.

- نوع مياه الصرف وفق التحاليل للمياه الداخلة والخارجة الواردة في التحليل في الجدول (21-3-3-1).

وتم استعمال المرشح البيولوجي المستمر التدفق كطريقة لتخفيض الاحمال بشكل رئيسي لمطابقة المواصفة للطرح في المجاري العامة وتم اعتماد المراحل التالية في المعالجة:

1. المصافي خشنة وناعمة يدوية التنظيف.



2. فاصل زيت بسيط بالثقالة وقد ظهرت زيوت كثيرة ووقود (فيول المراجل) مع مياه الصرف.
3. حوض توازن حجمه حوالي 60 م³ يتم فيه إضافة ماءات الصوديوم لرفع ال pH إلى 7 عند الطلب (ويمكن إجراء ذلك يدوياً أو آلياً) ويعمل الحوض على تبريد نسبي للماء.
4. مرشح بيولوجي trickling filter، H= 5.5 m، D=2.5m ارتفاع الميديا 2.5 m .
- السطح النوعي للميديا 150 م³/م² (نوع مستهلك متوفر محلياً) الجدول (2-3-3-21) يبين بعض ضوابط التصميم لمرشح بيولوجي بحيث الميديا بلاستيك غير منتظمة random من [4].
5. تدوير المياه حوالي 4 مرات في الساعة مع مذررات (دوش) لذر المياه فوق الميديا.
6. تهوية بضغط خفيف من (توربين) تدفق حوالي 1500 - 2500 م³/سا من أجل إعطاء الأوكسجين للميديا ومياه الصرف.

الجدول (1-3-3-21)

تحليل عينة دخل وخرج لمياه صرف في مرشح بيولوجي . مصبغة صديق

عينة مياه صرف مصبغة /صديق/ بتاريخ 2006/5/21 - مخبر تحليل المياه في جامعة حلب				
البارامتر	التركيز ملغ/ل عينة مياه صرف قبل المعالجة	التركيز ملغ/ل عينة مياه صرف بعد المعالجة	الحد المسموح للطرح في شبكة المجاري ملغ/ل	
1 المواد الصلبة الكلية TS	1540	1490	-	
2 المواد الصلبة العالقة TSS	305	295	500	
3 المواد الصلبة المنحلة (الذائبة) TDS (بعد تجفيف عينة مرشحة)	1235	1195	2000	
4 الطلب الكيميائي للأكسجين COD	1850	1100	1600	
5 الطلب الحيوي للأكسجين BOD ₅	490	430	800	
6 الناقلية الكهربائية EC	1520	1460	-	
7 الكروم الكلي Cr	0.11	0.09	2	
8 الزيوت	87	87	100	
9 التركيز الهيدروجيني PH	5.28	6.3	من 6.5 إلى 9.5	
10 الكلوريد Cl	190	93	600	
11 الحديد Fe	0.92	1.7	-	
12 النتريت NO ₂	1.87	1.2	-	
13 القلوية HCO ₃	210	230	-	
14 الألمنيوم Al	0.09	0.09	-	
15 الأمونيوم NH ₄	33	18	100	
16 الكبريتات SO ₄	340	300	1000	
17 النترات NO ₃	40	33	-	
18 الفوسفات PO ₄	2.4	1.95	20	
19 المواد الصلبة المتطايرة	320	295	-	
20 المواد الصلبة المعدنية	1220	1195	-	

الجدول (2-3-3-21)

ضوابط تصميم المرشح البيولوجي نوع الميديا بلاستيك random من [4]

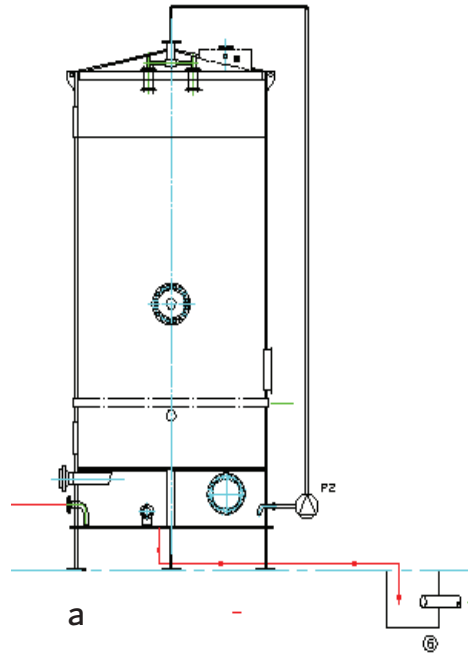
نوع المفاعل	المادة الوسيطة الحاملة للبكتريا	التحميل الهيدروليكي $m^3/m^2.d$	تحميل BOD_5 $kg/m^3.d$	ارتفاع المرشح m	نسبة التدوير	الانسلاخ	نسبة إزالة BOD_5 %	التدفق الخارج
random الغير منتظم	Plastic redwood- بلاستيك- خشب	46.93-187.75	1.6-8	4.5-12	1-4	مستمر	40-65	لا يوجد نترجة أو قليلة

ونجد أنه بتقسيم حمل التلوث العضوي المطلوب إزالته، وهو حوالي 400 مغ/ل تقريباً على حجم الميديا وكذلك بتقسيم التدفق على سطح المفاعل الأفقي، نجد انه ضمن المجال التصميمي الوارد في الجدول (2-3-3-21).

• الملاحظات:

- بساطة ومحدودية لعدد المراحل اللازمة لتحقيق المعالجة المطلوبة، مما أدى لتخفيض الكلفة على وحدة الإنتاج.
- لا يوجد إضافات من المواد كيميائية للمعالجة سوى رفع قيمة الـ pH.
- كما لوحظ عدم الحاجة لحوض ترسيب ثانوي لمطابقة كمية المعلقات المواصفة القياسية المطلوبة.
- يعمل المفاعل بدرجة حرارة بين 40 - 70 درجة حرارة مئوية Thermophilic ولوحظ وفرة في البكتريا على الميديا.
- الأعطال والصيانة محدودة.

الشكل (1-3-3-21) a، مبدأ عمل المرشح البيولوجي المستمر. b، المرشح، c، حوض التوازن وفصل الزيوت.



الشكل (1-3-3-21)
a مبدأ عمل المرشح ، b المرشح ، c حوض التوازن وفصل الزيوت (يتبع)



(تابع) الشكل (1-3-3-21)
a مبدأ عمل المرشح ، b المرشح ، c حوض التوازن وفصل الزيوت

- الحمأة المنتجة قليلة جداً والمحطة لا تحتاج لمرسب نهائي لأن SS بعد المعالجة مطابق إلى المواصفة للطرح في المجاري العامة.
- لتحسين نوعية المياه المعالجة يمكن عمل معالجة كيميائية وإضافة حوض ترسيب نهائي للمياه المعالجة.
- يتم ضخ الحمأة من أسفل المفاعل في فترات زمنية مناسبة.
- إذا أردنا أن نختار نوعية من الميديا ذات سطح نوعي كبير فيجب عندها تنشيط المفاعل بالهواء المضغوط لسخ البكتريا الزائدة بتواتر أكبر.

4-3-21. معالجة مياه المصايف بالتخثر الكهربائي. Electrocoagulation

بالرجوع إلى الفقرة (8-3-18) المعالجة بالتخثر الكهربائي. يُستعمل التخثر الكهربائي لمعالجة مياه الصرف في المصايف وأحياناً بغرض تدويرها وخصوصاً إذا تم فصل المياه أثناء خروجها من مراحل العمليات كمياه الغسيل (الشطاف)، أو التبييض. يبين الشكل (21-3-4-1) محطات معالجة تعالج مياه صرف المصايف بالتخثر الكهربائي. وتعتمد طريقة المعالجة على عدة عوامل وأهمها ما يدعى كثافة التيار (A/m^2) current density وهو التيار في مساحة الألكترود وهو يحدد معدل العملية، ويمكن أن يبدأ من أرقام صغيرة $0.5 A/m^2$ ، وتصل حتى $1000 A/m^2$ (كمعالجة الجلوكوز والفينول) وتلعب أيضاً دوراً هاماً في المعالجة درجات الحرارة وال pH ونوع الصباغ ومدة المعالجةالخ.



الشكل (1-4-3-21)

يبين محطات معالجة مياه المصانع بالتخثير الكهربائي

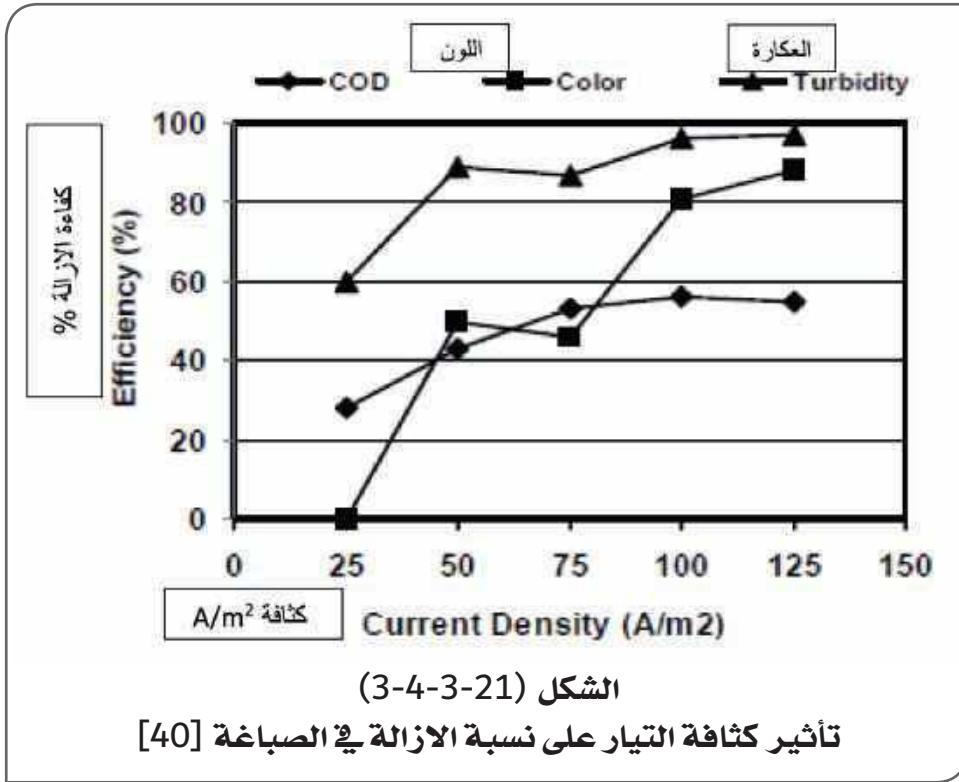
الشكل (2-4-3-21) تجربة مخبرية لمعالجة مياه الصبغة بالتخثير الكهربائي، حيث استعمل الالكترود من الحديد وتبين أنه كلما زدنا كثافة التيار ازدادت إزالة اللون، فالوعاء الأيسر الثاني تعرض في المعالجة إلى 25 A/m^2 ، والوعاء الإيمن تعرض في المعالجة إلى 125 A/m^2 .



الشكل (2-4-3-21)

تجربة مخبرية لمعالجة مياه الصبغة بالتخثير الكهربائي
وتأثير كثافة التيار على إزالة اللون [40]

الشكل (3-4-3-21) يظهر تأثير كثافة التيار على نسبة الإزالة والالكترود مطور من (Fe+Al) ليطلق سويةً أيونات الحديد والألمنيوم، وقد أعطى النتائج نفسها في وقت قصير جداً حوالي 10 دقائق.



5-3-21. تدوير مياه المصايف.

نظراً لكميات المياه الكبيرة المطروحة من أعمال الصباغة فعملية تدويرها تصبح حاجة ضرورية، ويقترح لتدوير مياه المصايف اعتماد المراحل التالية في المعالجة:

- المصافي - وفصل الزيوت - وحوض التوازن - وضبط pH (كما في الفقرات السابقة).

- معالجة بيولوجية بواسطة (membrane bioreactor, MBR).

- إزالة العكارة واللون: إن إزالة اللون تتأثر بتخفيض COD, BOD بالمعالجة البيولوجية (ونلاحظ انخفاض اللون بعد المعالجة البيولوجية)، وإلا فستكون عملية إزالة اللون صعبة. ويمكن أن لا تحقق الغاية المطلوبة.

وتتم أكسدة اللون بإحدى طرائق الأكسدة (الكلورة، chlorination - الأوزون Ozonation، وإضافة لإزالة اللون يتشكل هيدروكسيد الحديد (عند وجوده)، الذي يقوم بامتزاز المعادن الثقيلة، وبسبب ذلك تتشكل العكارة مرة أخرى، ولكن إزالة الحديد المنحل والمعادن الثقيلة ضرورية للمرحلة التالية وهي:

- التناضح العكسي reverse osmoses
- عندما يكون إزالة اللون ليس كافيا فنستعمل الفحم المنشط وهو إضافة لقدرته على إزالة اللون فهو يزيل المعادن الثقيلة والكلور الحر.



معالجة مياه صرف معامل الالبان

Wastewater treatment plants of Dairy factories

22-1. مقدمة .

تشمل صناعة الألبان تجهيز الحليب الخام وتحويله الى منتجات بما في ذلك:

- اللبن (أو لبن الزبادي)، ولبننة المائدة.
- الأجبان بأنواعها.
- الآيس كريم (البوظة).
- الحليب المعبأ.

ويمر الحليب بمراحل متعددة مثل الاستقبال والجمع، والتصفية والبسترة Pasteurization والتعبئة. ويمر الجبن بمراحل التخثير والتحميض وسحب المصل (يدعى الشرش) والقولية ثم اضافة الملح. ويمر اللبن أو الزبادي بمراحل التخثير، أما اللبننة فيتم تصفية الزبادي من المصل أو إضافة بودة الحليب لها وخلطها جيداً حتى تصبح ذات قوام كثيف.

وتركيب الحليب عدا الماء: 4.1 % دهون، 3.6 % بروتين، 4.9 % لاكتوز و 0.7 % مركبات مختلفة مثل الفلزات المعدنية والفيتامينات والشحوم. ويتألف الدهن في الحليب بشكل رئيسي من ثلاثي الغليسريدات المحتوية على الأحماض الدهنية والتي بدورها تحوي نسبة عالية نسبياً من الأحماض الدهنية المشبعة والأحماض الدهنية ذات السلاسل القصيرة.



2-22. نوعية مياه الصرف.

تطرح الصناعة كميات كبيرة من مياه الصرف خلال عملية الإنتاج والتي تحتوي على السكريات الذائبة والبروتينات والدهون، وربما بقايا من المواد المضافة إلى الحليب. وتستخدم مواد أساسية في الصناعة وهي السكر والنشاء والقطر الصناعي بالإضافة إلى المحسنات وكلها تظهر في مياه الصرف لاحقاً.

ويمكن ان تصنف النفايات السائلة الناتجة عن هذه الصناعة إلى عدة فئات:

1. المياه البيضاء. الناتجة عن غسيل الآلات وأوعية الحليب والألبان والجبن والآيس كريم (البوظة).
2. المصل (Whey). الذي يكون أغلب تركيبه من النتروجين المنحل والتركيب الكيميائي للمصل: (المواد الصلبة من 4,5 - 7,5 % والماء: 92 %، واللاكتوز 5,1 %، والدهن 0,3 % والبروتين 0,9 % (مثل اللاكتوفيرين Lactoferrin و Beta-lactoglobulin، بيتا - اللاكتوكلوبولين وغيره)، والأملاح المعدنية. 0,6 %، ويحتوي أيضاً على العديد من الأنزيمات والهرمونات، ويصنع من المصل جبن القريش (جبن الريكوتا Ricotta)، وقد يتم طرح المصل في كثير من المعامل في المجزور مباشرة لعدم الجدوى الاقتصادية لهذه المادة لدى هذه المعامل. الجدول (1-2-22) تحاليل عينات مركبة من معاميل مختلفة لتصنيع الألبان والأجبان في مناطق مختلفة في سورية.

الجدول (1-2-22)
عينات مياه الصرف من عدة معامل
لصناعة الألبان والأجبان (نوع المحلي) - سورية

المؤشر	معامل اجبان رأس - حماه - تحليل جامعة حلب 2003 / 5	معامل اجبان والبان الخطيب - حلب - تحليل جامعة حلب 2008/ 7 / 21	معامل اجبان والبان كعكه - حلب - جامعة حلب 2008 / 2 / 21	معامل ايس كريم مولر- حلب 2008 / 7 / 13
PH	6.62	3.98	4.56	8.9
EC ميكرو سمنس /سم ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	6880	3320	3510	1020
المواد الصلبة المنحلة TDS (mg/l) (الذائبة)	18450	4155	3950	1330
TS (mg/l)	19970	5010	4775	2290
TSS mg/l	1580	855	825	960
NH_4 (mg/l)	-	40.82	28.74	20.19
NO_3^- (mg/l)	91	15.26	84.4	11.64
NO_2^- (mg/l)	0.32	1.67	3.23	0.79
Cl^- (mg/l)	1800	610	650	75
SO_4^{-2} (mg/l)	365	285	560	280
PO_4^{-3} (mg/l)	1.37	12.46	14.53	2.64
COD (mg/l)	16300	4885	4230	4700
BOD ₅ (mg/l)	2700	-	1680	840
الكروم الكلي Cr (mg/l)	-	0.12	0.07	0.1
الحديد (mg/l)	3.2	0.958	2.13	2.58
النحاس (mg/l)	0.96	0.84	0.082	0.54
الكالسيوم (mg/l)	250			
المغنيزيوم (mg/l)	60			
HCO_3^- البيكربونات (mg/l)	700	120	320	160

1200	283	630	500	O&G الزيوت والشحوم (mg/l)
1480	1845	1795	14870	المواد الصلبة المنحلة (الذائبة) المتطايرة (mg/l)
810	2930	3215	5100	المواد الصلبة المنحلة (الذائبة) المعدنية (mg/l)
	-	-	7	المواد الراسبة بعد 30 دقيقة مل/ل

وتختلف مواصفات مياه الصرف في معامل الألبان اختلافاً كبيراً، ويمكن أن يكون التلوث في منشأة ما أضعاف بعض المعامل الأخرى. وأهم ما يميز تلوث مياه صرف معامل الحليب في المناطق العربية هو:

- وجود دهون وشحوم بنسب عالية يمكن أن تصل إلى أكثر من 1000 ملغ/ليتر.
- وجود BOD بنسبة عالية يصل إلى أكثر 2000 ملغ/ليتر.
- وجود COD بنسبة عالية يصل إلى أكثر من 10000 ملغ/ليتر في بعض الحالات.
- وجود مركبات النتروجين.
- سرعة التحول اللاهوائي لمياه الصرف وإصدار روائح شديدة وانخفاض الـ pH (4.5 - 6.5) (عدا معامل الآيس كريم)، وصعوبة عملية الترسيب البسيط.

- **والخلاصة:** أن بعض المعامل تستخدم تكنولوجيا حديثة في التصنيع والبعض الآخر يستخدم أسلوب قديم وبسيط في الإنتاج، وبعضها يركز على تصنيع الآيس كريم أو الآيس الكريم واللبن في الصيف والجبن ولبن الزبادي في الشتاء والربيع. يبين الجدول (2-2-22) متوسط احمال مياه صرف صناعة الالبان لمختلف المنتجات من مناطق الاتحاد الأوروبي.[66]

الجدول (1-2-22)
متوسط التلوث في مياه صرف صناعة الألبان
من مناطق الاتحاد الأوروبي [66]

Component	Range
SS	24 – 5700 mg/l
TSS	135 – 8500 mg/l
COD	500 – 4500 mg/l**
BOD ₅	450 – 4790 mg/l
Protein	210 – 560 mg/l
Fat	35 – 500 mg/l
Carbohydrate	252 – 931 mg/l
Ammonia -N	10 – 100 mg/l**
Nitrogen	15 – 180 mg/l
Phosphorus	20 – 250** mg/l
Sodium	60 – 807 mg/l
Chloride	48 – 469 (up to 2000*) mg/l
Calcium	57 – 112 mg/l
Magnesium	22 – 49 mg/l
Potassium	11 – 160 mg/l
pH	5.3 – 9.4 (6 – 10*)
Temperature	12 – 40 °C
Actual levels will depend on the use of in-process techniques to prevent water contamination (not reported)	
* CIAA comments [83, CIAA, 2001]	
** German comments [99, Germany, 2002]	

3-22. كمية مياه الصرف. Quantity of wastewater

تستهلك صناعة الألبان كميات كبيرة من مياه الصرف، الجدول (1-3-22) يعطي كمية مياه الصرف من أجل عدة منتجات في صناعة الألبان، وتتميز مياه الصرف الناتجة عن هذه المعامل بالأحمال العضوية العالية جداً والدهون والشحوم التي قد تتجاوز 1 كغ لكل م³.

الجدول (1-3-22)
القيم الوسطية لكمية مياه الصرف في معامل الالبان
(د.عبد الرزاق تركماني + 1995، Cast)

المنتجات	القيم الوسطية لمياه الصرف (حليب L/kg)
الحليب	0.10-5.40
الجبنه	1.63-5.70
البوظة	0.80-5.60
الحليب المكثف	1.00-3.30
بودرة الحليب	1.50-5.90
جبنه القريش	0.80-12.40
الحليب وجبنه القريش	0.05-7.20
الحليب والبوظة و جبنه القريش	1.40-3.90
منتجات متنوعة	0.80-4.60

مثال:

حساب تقريبي للشخص المكافئ في صناعة الحليب لكي نتبين حجم التلوث الممكن طرحه من هذه المصانع. فلو أخذنا حمل COD لمعمل راس المبين في الجدول (1-2-22) والبالغ 16300 مغ/ليتر وافترضنا أنه ينتج 100 م³ ماء لكل يوم فيكون:

$$\frac{100 \text{ m}^3 / \text{d} \times 1000 \times 16300 \text{ mg/l}}{1000 \times 1000} = 1630 \text{ kg COD /d}$$

وللتقريب اخذنا الشخص المكافئ 100 غ COD لكل شخص فيكون عدد الاشخاص المكافئين يعادل بلدة متوسطة.

$$\frac{16300 \text{ kgCOD}}{0.1} = 16300 \text{ pe}$$



22-4. طرائق معالجة مياه صرف معامل الألبان والأجبان.

بسبب الأحمال العالية جداً لمياه الصرف في معامل صناعة الألبان والأجبان يمكن تبسيط مراحل المعالجة كما يلي:

1. المصافي يجب أن تكون ناعمة لسحب قطع الجبن وغيره، ويمكن أن تكون آلية أو يدوية.
2. التوازن والمجانسة Equalization tank مع مزج ويفضل أن يكون المزج بالتهوية (مثلاً بالمهوى النافث Jet aerators).
3. الترسيب Sedimentation (أكثر تصاميم محطات معالجة منصرفات الحليب لا تدخله في مراحل المعالجة).
4. مرحلة فصل الدهون O&G ، ويستعمل عادة التطويف بالهواء المنحل DAF الفقرة (6-7) Dissolved air flotation ، وهو هام جداً ويضاف إليه مخثرات (مروبات).
5. المعالجة البيولوجية (الثنائية) + والمتقدمة.
6. المعالجة الثلاثية.

وتستخدم المعالجة البيولوجية بشكل واسع في معالجة مياه صرف صناعة منتجات الألبان والأجبان لتحقيق المواصفات المطلوبة من المحطة. وتستعمل الطرائق الهوائية، واللاهوائية لمعالجة للمعالجة وفق ما يلي:

22-4-1. المعالجة البيولوجية الهوائية.

تستعمل بكثرة في معالجة مياه الحليب (وخصوصاً في ألمانيا حيث إنتاج الحليب 28 مليون طن/عام) والطريقة الهوائية تعطي BOD يصل إلى أقل من 40 ملغ/ل، فبعد أن تمر مياه الصرف بالمرحل السابقة وخصوصاً المصافي ثم حوض التوازن ثم التطويف، يتم معالجتها بالحماة المنشطة ويتبعها حوض ترسيب نهائي، أما الحماة فيمكن أن تنقل خارج المعمل للمعالجة أو تعالج في الموقع (هضم - نزع ماء - وتجفيف) كمية المواد الصلبة الناتجة $(1-0.6 \text{ kg DS / kg BOD}_5)$. ولتقليل كمية الفوسفات

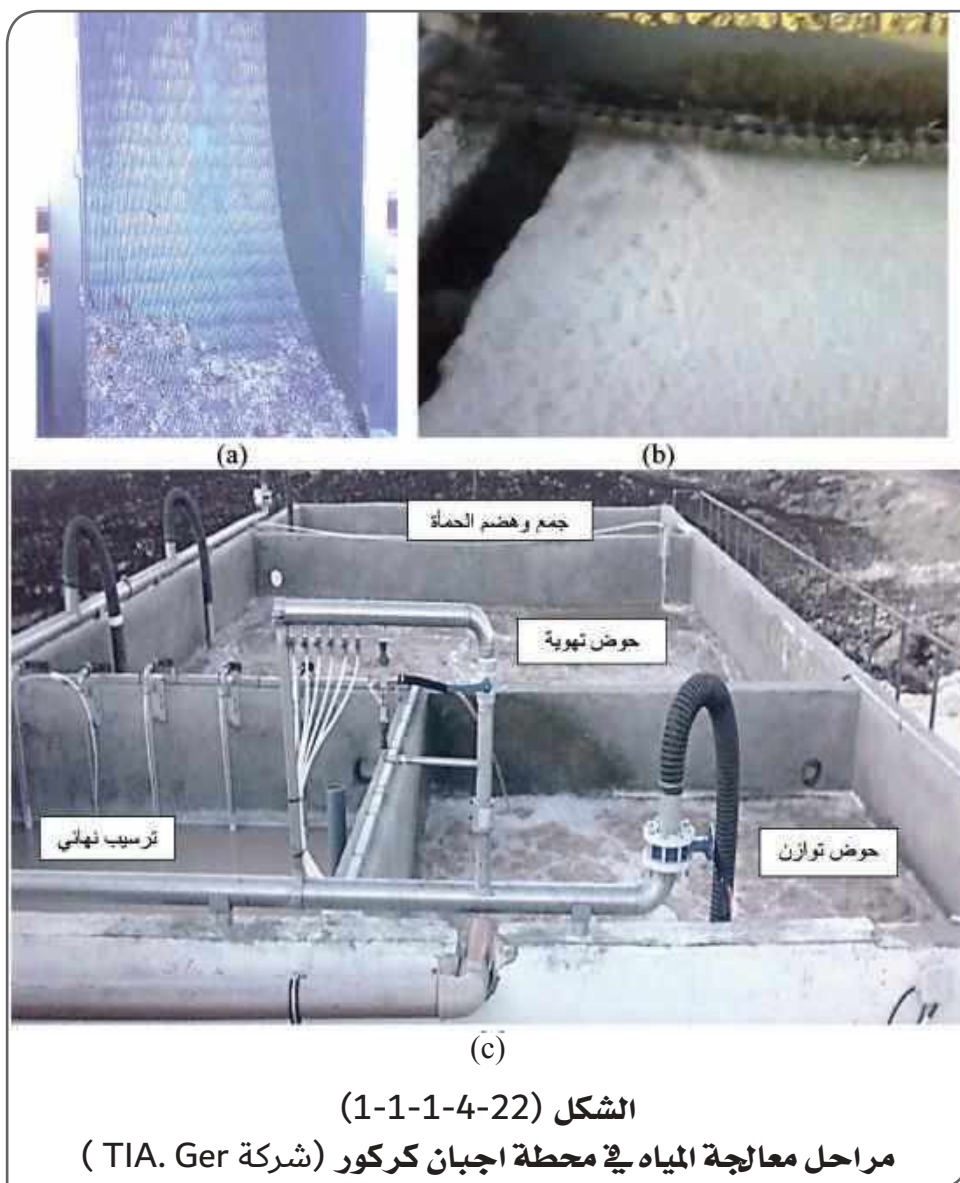
نستعمل الترسيب الكيميائي وخصوصاً بأملاح الحديد، أو يمكن استعمال المعالجة البيولوجية.

22-4-1-1. مثال على المعالجة البيولوجية الهوائية في معمل اجبان كركور- حماة - سورية.

يقوم المعمل بصناعة أنواع مختلفة من الأجبان ويطرح مياه عالية الحمولة إضافة للملوحة العالية والدهون، ومن أجل ضبط الملوحة تم تخفيفها بعمل إدارة بيئية إضافة لتغيير في بعض العمليات وعزل جزء صغير من المياه عالية الملوحة.

يوضح الشكل (22-4-1-1) مراحل المعالجة في محطة اجبان كركور 2007 وهي كما يلي:

1. مصافي خشنة.
2. حوض ترسيب بسيط.
3. مصافي ناعمة ثابتة (a) .
4. التطويف بالهواء المنحل (b) لإزالة O&G (تم استعمال بوليمر) وهو يخفض COD بنسبة 40-60 %، وإذا كان بدون بوليمر فينخفض COD بنسبة 10 - 30 % (يمكن استعمال مواد كيميائية أخرى كأملح الحديد والالمنيوم والبوليمر ويتم تحديد ذلك مخبرياً).
5. حوض توازن ومجانسة مهوى (بالنواشر) وهو ينظم التدفق لحوض المعالجة البيولوجية .
6. المعالجة البيولوجية والترسيب النهائي (c).
7. معالجة الحمأة بالهضم الهوائي ويتم سحب الحمأة الزائدة مباشرة لأعمال التسميد.
8. التعقيم باستعمال هيبوكلوريت الصوديوم ضمن حوض الترسيب.



1-1-1-4-22. اداء المحطة.

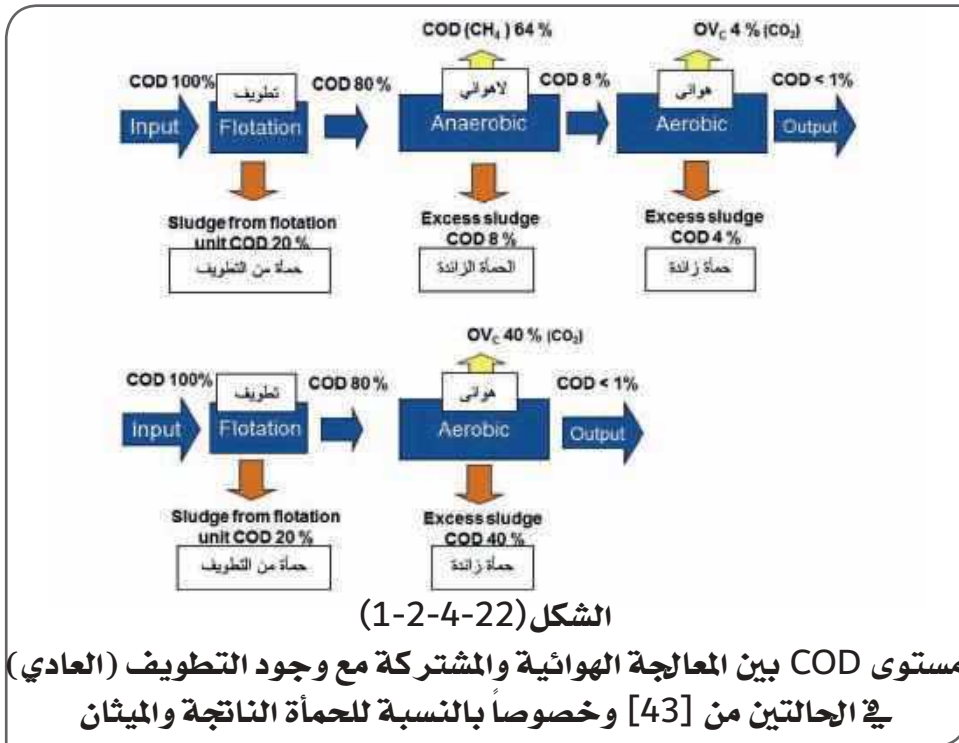
أهم مشكلة واجهت المحطة هي مشكلة ملح الطعام الذي لازال مرتفعاً في المياه الداخلة، وبالتالي كانت المياه المعالجة مرتفعة الملوحة وطبعاً تأثرت المعالجة البيولوجية نسبياً، وعدا ذلك فالنتائج مطابقة للمواصفة الخاصة بمياه الري.

22-4-2. المعالجة البيولوجية المشتركة (اللاهوائية الهوائية) في معامل الأجبان.

بسبب وجود تراكيز عالية من BOD فينصح عادة بإدخال مياه الصرف إلى مفاعلات لاهوائية لتخفيض الأحمال العضوية، وللحصول على كمية من الميثان المنطلق من العمليات الحيوية، ويتم إدخال المياه بعد المعالجة اللاهوائية إلى المعالجة الهوائية بعد ضبط الـ pH.

المعالجة اللاهوائية تعطي إزالة COD يمكن أن تصل إلى أكثر من 80 % وباقي COD يعالج بطريقة هوائية وتكون كمية الحمأة الناتجة أقل بكثير. ولمعالجة لاهوائية آمنة ومستقرة لمياه صرف منتجات الألبان والأجبان وضمان عدم حصول مشاكل في عمل المفاعلات اللاهوائية وخصوصاً في مفاعل المعدل العالي (5-4-13) يفضل معالجة الدهون والزيوت والمركبات الدهنية الأخرى مسبقاً مع أن الدهون والشحوم مفيدة في الطرائق اللاهوائية لإنتاج الميثان.

الشكل (22-4-2-1) مستوى COD بين الهوائي والمشارك مع وجود التطوير (العادي) في الحالتين من [43] والمقارنة بالنسبة للحمأة الناتجة والميثان والكربون.



- وتستعمل المفاعلات التالية في المعالجة (الفصل 13).
- المزج اللاهوائي الكامل - completely mixed reactors : بتسخين عادي وتسخين عالي.
 - حوض التماس اللاهوائي - Contact Digesters (High Rate)
 - SBR المفاعل اللاهوائي بالدفعات معدل عالي (Sequencing Batch Reactors - High Rate) [41].
 - المفاعل اللاهوائي بالتدوير الداخلي. IC reactors.
- {الفقرة (6-4-13)} نجح في عدة محطات في معالجة مياه الالبان والاجبان من [42]. وغيره من الطرائق.

2-4-22. مثال على المعالجة البيولوجية المشتركة (اللاهوائية الهوائية) في معمل اجبان.

إن مصنع كرافت في أمريكا (Beaver Dam) ينتج نحو 70 مليون طن سنوياً من أنواع الجبن المختلفة ويطرح كمية كبيرة جداً من مياه الصرف عالية الحمولة (مصل الحليب) ومنتجات أخرى..

تقوم الشركة بمعالجة مياه صرف المعمل مستخدمة معالجة لاهوائية لإنتاج الغاز الحيوي والحرارة والكهرباء (لحوالي 800 منزل في المدينة)، وتأتي منها إيرادات 500.000 دولار سنوياً. كلفة المحطة بحدود 20 مليون دولار. والمراحل الرئيسية للمحطة تشمل:

- التطويق بالهواء المنحل DAF.
 - مفاعل لاهوائي .
 - معالجة بيولوجية بالحماة المنشطة .
- الشكل (1-1-2-4-22) محطة معالجة Beaver Dam لمعالجة مياه صرف الاجبان.

- a : تطويق الدهون DAF.
- b : مفاعل لاهوائي.
- c : المعالجة البيولوجية الهوائية بالحماة المنشطة.
- d : منظر عام للمحطة يظهر اقسام المحطة.





(a)



(b)

الشكل (1-1-2-4-22)

محطة معالجة Beaver Dam

a : تطويف الدهون DAF , b : مفاعل لاهوائي , c : المعالجة البيولوجية
الهوائية بالحمأة المنشطة , d : منظر عام للمحطة يظهر اقسام المحطة.

(يتبع)



(c)



(d)

(تابع) الشكل (1-1-2-4-22)

محطة معالجة Beaver Dam.

a: تطويف الدهون DAF b: مفاعل لاهوائي c: المعالجة البيولوجية
الهوائية d: منظر عام للمحطة من Google Map .



التلييس الكهربائي

Wastewater treatment plants of Electroplating

1-23. التلييس الكهربائي. Electroplating

هي تطبيق طبقة على سطح المعادن لتوفير الحماية والمقاومة من التآكل والاهتراء أو لأعمال الديكور، الاشكال (1-1-23) ورشة تلييس معادن- مدينة حلب، ويمكن تقسيم التلييس الى عدة مجموعات [1]:

1- التلييس الكهربائي الشائع.

2- التلييس بدون كهرباء Electroless يستخدم الطلاء بالإرجاع لترسيب المعادن على كائن دون مرور تيار كهربائي. وهو يرسب المعدن بالتساوي على طول الحواف وداخل الثقوب وعلى الأجسام غير منتظمة الشكل الذي يصعب تنفيذها بالتلييس الكهربائي. وقد استخدمت تقنيات Electroless لعدة عقود وتقوم على ارجاع معقدات المعدن باستخدام عامل ارجاع معتدل ويستخدم عادة الفورم الدهيد (وهي مركبات مسرطنة في مياه الصرف). وتطبيق على ذلك (كمثال) تلييس المرايا باستخدام التفاعل التالي:





الاشكال (1-1-23)
ورشة تلبيس معادن - حلب

3 - الأكسدة المصعدية للألمنيوم Anodizing: التلبيس بالألومنيوم
بطريقة التحليل بالكهرباء الشكل (1-1-23) الأكسدة المصعدية
للألمنيوم Anodizing: (معمل اليت في راس الخيمة - الامارات).

4- النقش الكيميائي chemical milling.

5- تصنيع اللوحات المطبوعة. printed board manufacturing .

6- طلاء المعادن الثمينة .



الشكل (1-1-23)
الأكسدة المصعدية للألمنيوم
Anodizing
(معمل اليت في راس الخيمة)

2-23. كمية مياه الصرف.

إن كمية مياه الصرف الناتجة عن التلبيس الكهربائي تعتمد على حجم المعمل، ففي الورش الصغيرة تكون كمية مياه الصرف المنتجة اليومية قليلة، أما في المعامل الكبيرة فقد يصل التدفق إلى كميات كبيرة جداً. وفي دول مثل مناطق الشرق الأوسط فإن معامل التلبيس المتوسطة يمكن أن تنتج حتى 40 م³/سا.

3-23. الملوثات الناتجة من عمليات التلبيس الكهربائي.

يمكن لتدفق مياه الصرف الناتج من عمليات التلبيس الكهربائي أن يكون مستمر أو على دقائق.

1. وينتج التلوث بشكل رئيسي من المحلول المستعمل والمستهلك.
2. ومن حوض الشطف Rinse .
3. وينتج من عمليات التحضير والتهيئة الكيميائية للقطع المراد معالجتها.
4. إضافة للتلوث من المخابر.

وتحتوي مياه الصرف على TSS، والزيوت، والملوثات غير العضوية المطاوعة inorganic pollutants amenable والسيانيد الكلي والكادميوم والنحاس والفلور والذهب والحديد والرصاص والنيكل والبلاديوم والفوسفور والبلاتين والروديوم والفضة والقصدير والكروم الكلي والكروم السداسي التكافؤ والزنك وحامض الستريك (حمض عضوي) وحمض gluconic (EDTA) ethylenediaminetetraacetic وحمض الغلوكونيك وحمض glutaric وحمض اللبنيك، و nitrilotriacetate، و tartrates، و thiourea [1]، والملوثات ذات الأولوية، priority pollutants.

- ويمكن من محلول التلبيس أو النقش ان يتم استرداد المعادن بواسطة التناضح العكسي أو التبادل الأيوني أو التبخر. راجع الفقرة (8 - 3) تقنيات معالجة الملوثات اللاعضوية.

وعادةً ما تصمم محطات المعالجة بما يتناسب مع التشغيل المستمر، حيث يجري فيها بشكل مستقل:

- معالجة المحاليل الكرومية
- معالجة المحاليل السيانية
- معالجة المحاليل القلوية - الحمضية
- ولكن في كثير من معامل التلبيس الكبيرة لا تقوم بفصل المياه وترسلها سوية الى المعالجة.

الجدول (1-3-23) يبين مواصفات مياه الغسيل لعدة من أنواع من تلبيس المعادن [46]. يبين الجدول (2-3-23) مياه الصرف المركبة لمعمل المنيوم - الأكسدة المصعدية للألمنيوم Anodizing (رأس الخيمة).

الجدول (1-3-23)

مواصفات مياه الغسيل لعدة من أنواع من تلبيس المعادن [46]

Parameter	Chrome rinsed	Copper rinsed	Nickel rinsed	Zinc rinsed
Heavy Metals(mg/l)	2,136	1,020	96.1	8.7
pH	1.66	1.76	5.21	7.60
Conductivity (mS/cm)	30.00	8.12	1.15	1.00
TS (mg/l)	6,130	3,470	530	1,370
SS (mg/l)	12	4	3	4
TDS (mg/l)	6,118	3,466	527	1,366

4-23. معالجة مياه معامل التلبيس بطريقة تحويل المعدن المنحل الى مركب غير منحل.

راجع الفقرة (1-3-8). الشكل (1-4-23) مخطط لمعالجة مياه صرف التلبيس الكهربائي (معايير من EPA) للمعادن ويتضمن أكسدة السيانييد واختزال الكروم السداسي.

يكون الرقم الهيدروجيني في مياه الصرف من ~ 3-5 (يمكن أن يقترب في بعض الأحيان إلى الصفر). وتحتوي هذه المياه على أشكال مختلفة من

المعادن القابلة للانحلال، ومن أجل إزالة المعادن المنحلة (الذائبة) من مياه الصرف بهذه الطريقة يتم اتباع ما يلي:

الجدول (2-3-23)

محتويات مياه الصرف المركبة لمعمل المنيوم - الأكسدة المصعدية

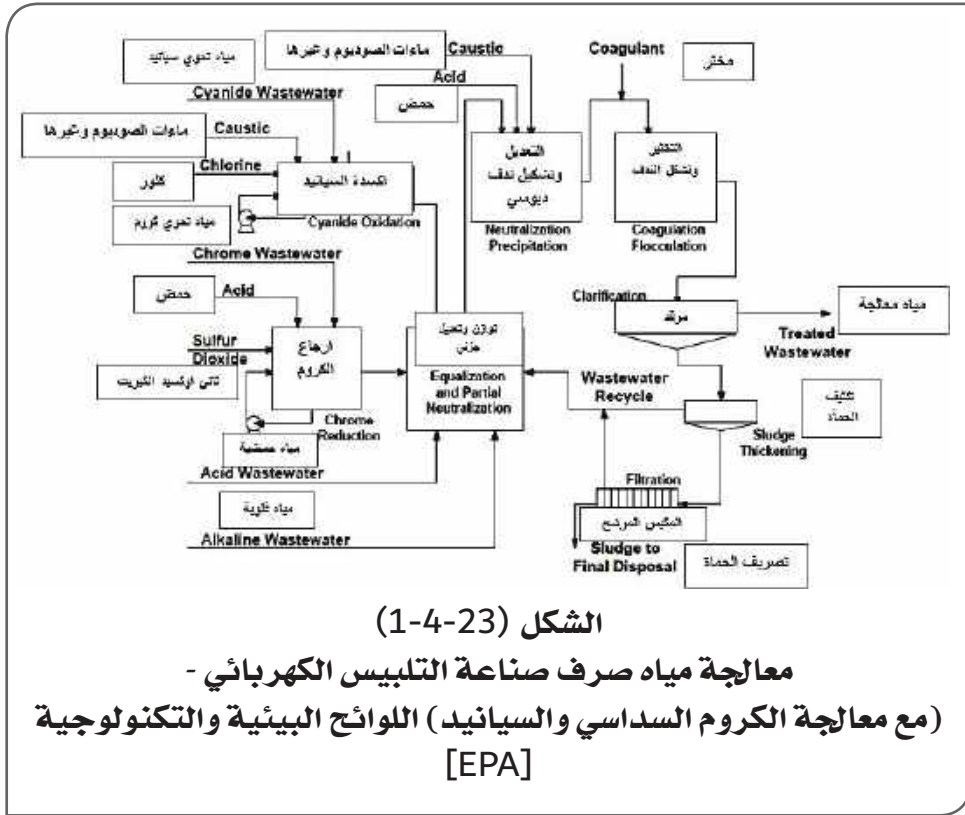
للألومنيوم Anodizing

RESULTS:	Date of Analysis:	02/04/15 - 08/04/15	Tested by / location	SD / HAK
PARAMETERS	TEST METHODS	UNITS	RESULTS	
pH at 25°C	APHA 4500 - H ⁺ B	----	6.02	
Chloride (Cl)	APHA 4500 - Cl	mg/L	70.9	
Total Nitrogen	APHA 4500 - N	mg/L	109	
Sulphate (SO ₄)	APHA 4500 - SO ₄ ²⁻ E	mg/L	54	
Total Dissolved Solids at 180°C (TDS)	APHA 2540 - C	mg/L	2016	
Total Suspended Solids (TSS)	APHA 2540 - D	mg/L	2680	
Chemical Oxygen Demand (COD)	APHA 5220 - B	mg/L	374	
Biochemical Oxygen Demand (BOD) [5 days at 20°C]	APHA 5210 - B	mg/L	116	
METALS (ICP-OES)				
Iron (Fe)	APHA 3120 - B	mg/L	2.5	
Manganese (Mn)	APHA 3120 - B	mg/L	0.20	
Sodium (Na)	APHA 3120 - B	mg/L	636	
Aluminium (Al)	APHA 3120 - B	mg/L	1233	

• المرحلة 1 - تحويل المعدن المنحل الى مركب غير منحل وتشكل مواد صلبة precipitation-

Precipitation : هي العملية التي يتم فيها تحويل المعدن المنحل إلى معدن غير منحل.

(precipitation is the process by which dissolved metals are made insoluble [44])



يتم رفع الرقم الهيدروجيني من ~ 3 إلى 8.5 مع وحدة تحكم بدرجة الحموضة باستخدام الصودا الكاوية NaOH ، الشكل (2-4-23) يبين تأثير pH على المعادن المنحلة (الذائبة). (3-4-23) شكل حوض تشكيل الندف الدبوسي بعد زيادة قيمة الـ pH.

- **ويتم** إضافة مواد مخثرة coagulant مثل $FeCl_3$ لتشكيل الندف. وعموماً يجب إجراء تجربة مخبرية رائدة Jar Test لاختبار فيما إذا كانت مياه الصرف تحتاج لمخثرات أم لا. وظهور «ندف دبوسي»، في الماء وهذا يعني أن المعدن المنحل قد تحول إلى معدن غير منحل. (بعض التطبيقات للتلبيس تكون من مستحلبات معقدة وهي تتطلب أداء عالي لكسر الروابط والسماح بترسيب المعدن). يبين الشكل (4-4-23) مراحل إزالة المعادن الشائعة من مياه صرف التلبيس الكهربائي للمعادن.

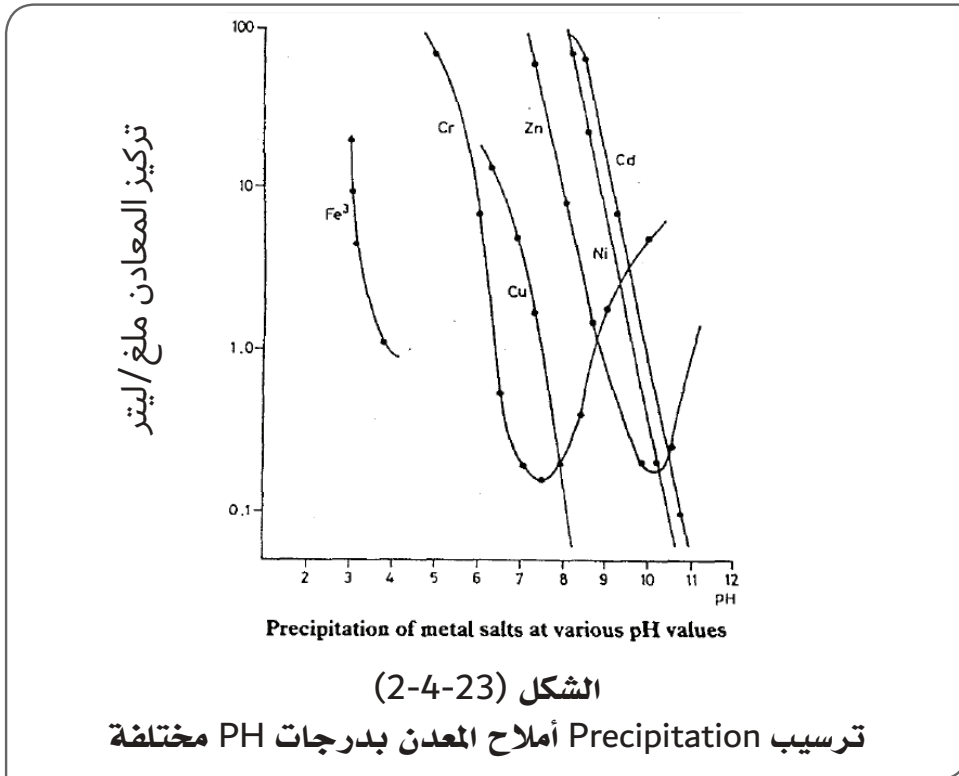
• المرحلة 2 - المزج السريع:

يتم إدخال مياه الصرف مع الندف الدبوسية إلى منطقة المزج السريع حيث يتم إضافة بوليمر مندف، وفي هذه المرحلة يزيد من تشتت الندف في جميع أنحاء الحوض.

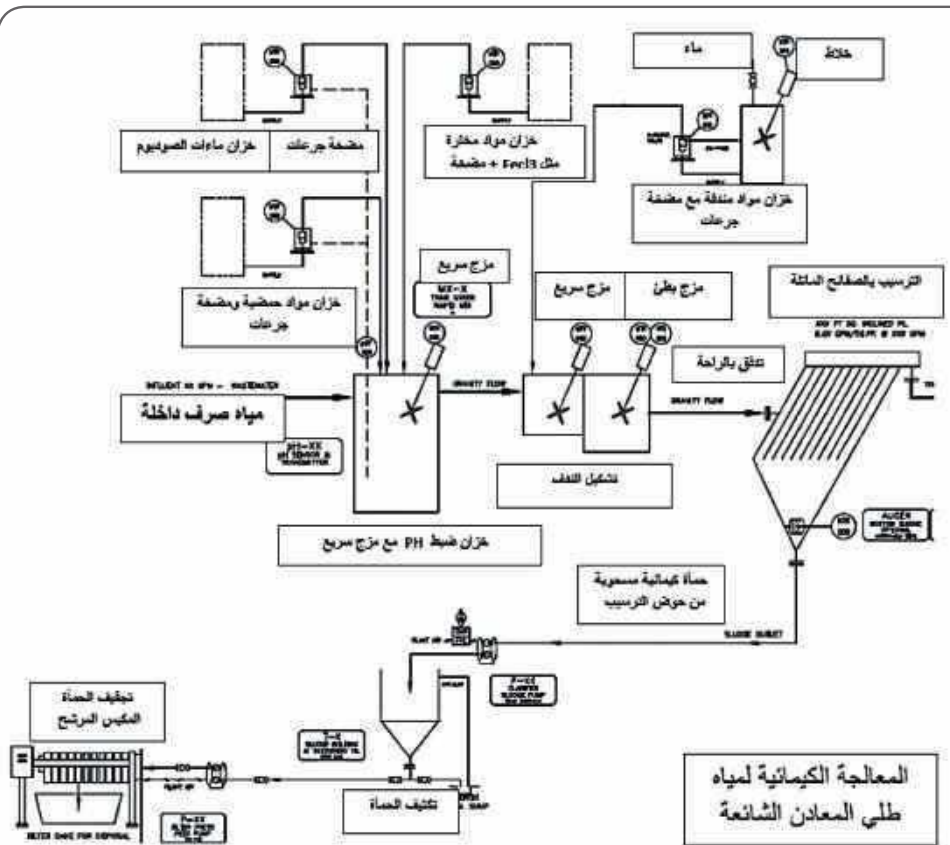
• **المرحلة 3 - المزج البطيء:** تدخل المياه المعالجة إلى حوض المزج البطيء حيث يتم تكبير الندف بالمزج البطيء بواسطة خلاط خاص بعد أن يتم حساب استطاعة المحرك ومساحة الشفريات.

• **المرحلة 4 - الترسيب:** ويتم في حوض ترسيب عادي أو الترسيب بالصفائح المائية.

يتم تجميع الحمأة وتكثيفها ونزع الماء منها بواسطة المرشح المكبسي (filter press)، ويتم التصرف بالحمأة كمادة خطيرة إلى المطامر أو ترحل إلى معالجة خاصة.



الشكل (3-4-23)
شكل حوض تشكيل
الندف الدبوسي
بعد رفع PH - [45]



الشكل (4-4-23)
معالجة لإزالة المعادن الشائعة بواسطة تخثير المعادن المنحلة (الذائبة)
بواسطة الهيدروكسيد والترسيب
من Joe - Hydroflotech + Shockcor



معالجة مياه الصرف الناتجة عن صناعة الورق

paper industry wastewater treatment plant

24-1. مقدمة .

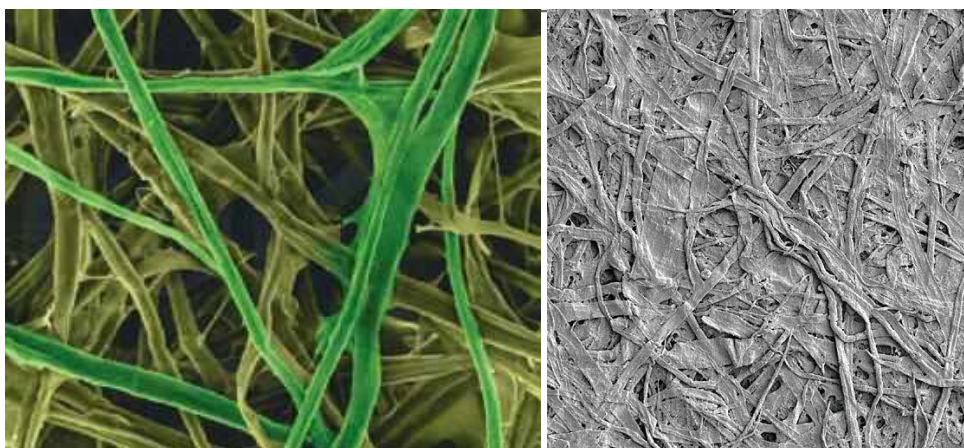
تغطي هذه الفئة المنشآت التي تصنع اللب أو الورق أو الورق المقوى من لب الخشب أو غير الخشب [1]، وهذا اللب يمكن أن يحضر كيميائياً أو ميكانيكياً أو بطرائق كيميا ميكانيكية لفصل ألياف السليلوز من الخشب أو من الياف المحاصيل (ألياف القطن) أو النفايات الورقة. يبين الشكل (24-1-1) شكل الألياف السلولوزية في الورق المصنع.

وأهم مصادر الألياف الخشبية اللازمة لإنتاج اللب هي:

- 45% بقايا المناشر، 21% رقائق الخشب، و 34% الورق المعاد تدويره. واللب هو واحد من المواد الخام الأكثر وفرة في جميع أنحاء العالم.

إن مراحل صنع الورق من الخشب تبدأ من تقطيع الخشب وعمله رقائق وهضم الرقائق لتشكيل اللب، ومن ثم غسيل وتبيض المادة الناتجة لتحقيق البياض المطلوب وبعد ذلك يتم مد وتجفيف الورق. ورغم أن العديد من مصانع الورق تسعى لإعادة تدوير هذه المياه (تصل إلى حوالي 60%) فهناك قدراً كبيراً من الملوثات السائلة المتبقية التي يجب أن تعالج إما في الموقع أو يتم إرسالها إلى محطات المعالجة البلدية. ويتم تطوير كثير من الأبحاث لتقليل كمية المياه المستعملة في عمليات التصنيع.





الشكل (1-1-24)
اللايف السلولوزية في الورق المصنع

2-24. نوعية وكمية مياه الصرف. Quality and quantity of waste water

إن صناعة اللب والورق تستخدم المياه بكثرة (وخصوصاً ورق الكرافت) لأن المياه تدخل في جميع عمليات التصنيع، ولإنتاج طن ورق تحتاج الصناعة كمية كلية من المياه 200-1000 م³ (يعتمد على نوع الورق).

ولسنوات عديدة استخدمت غالبية مصانع اللب والورق عملية الترسيب لإزالة المواد الصلبة العالقة الكلية (TSS) والألياف والأتربة والخشب التي جاءت من عمليات صنع الورق. وهذه الطريقة أيضاً تخفض الطلب على الأكسجين الحيوي (BOD) لمياه الصرف وينصح بها لتخفيف الحمل على محطة المعالجة.

ولمعالجة النفايات السائلة الناتجة من صناعة لب الورق والورق تخضع مياه الصرف للمعالجة البيولوجية الثانوية لإزالة المواد العضوية مثل TSS المتبقية و (BOD) و (COD) و (AOX).... وتستعمل طرائق للمعالجة كالحماة المنشطة والبحيرات المهواة.

والتوجه العام لمعالجة هذه المياه هو الهضم اللاهوائي كمرحلة أولى، فعلى الرغم من ارتفاع تكاليف التأسيس نجد أنها لا تتطلب الأوكسجين

وتنتج كمية أقل من الحمأة مما يؤدي في نهاية المطاف إلى تحقيق وفورات كبيرة في الطاقة، ويمكن لهذا الطريقة انتاج الغاز الحيوي الذي يمكن استخدامه في الموقع وتعويض تكاليف التصرف في الحمأة الناتجة.

يتم طرح مياه الصرف التي تفيض من دائرة المياه الداخلية (المياه البيضاء whitewater وهي عادة تكون ضمن دائرة مغلقة)، والتي تستمر بالخروج من الدارة بسبب استمرار اضافة مياه نظيفة في عمليات التصنيع. ويوجد أنواع أخرى من مياه الصرف في معامل الورق كمياه تحضير المواد الأولية مثل تحضير النشاء وكسح المراحل.. وغير ذلك.

يبين الجدول (1-2-24) نوعية وكمية مياه الصرف في معامل الورق لعدد من أنواع اللب والورق وأنواع المنتجات المصنعة.

الجدول (1-2-24)

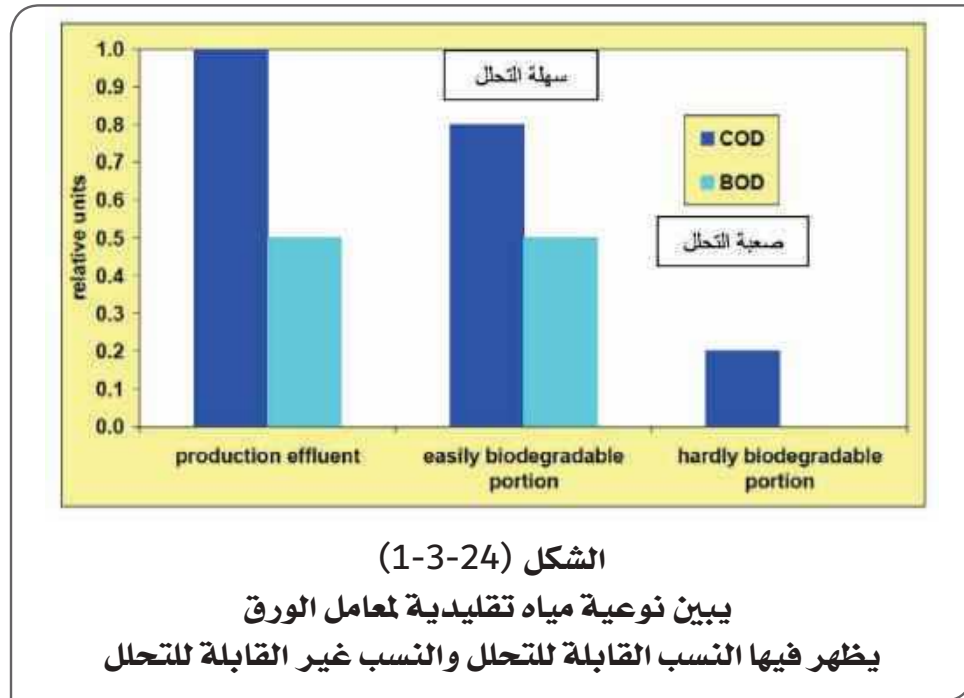
نوعية مياه الصرف في معامل الورق لعدد من أنواع اللب والورق وأنواع المنتجات [47]

main type of pulp أنواع اللب	type of product أنواع المنتجات	mean value of ratio			مخزونة مياه الصرف معال				مياه الصرف	
		BOD/COD	BOD/TOC	TOC/COD	BOD		COD		mg	
					لتر	لتر	لتر	لتر	لتر	لتر
chemical pulp اللب بطريق كيميائية	soft tissue	0.39	1.76	0.24	50	100	95	270	9	25
	decorative sheet	0.46		0.37	20	40	50	100	20	70
	woodfree printing	0.45	1.42	0.35	65	220	150	400	5	20
	woodfree special	0.49			40	550	90	1,100	15	60
	low freeness	0.45	1.34	0.24	10	30	20	60	100	250
	specialty papers	0.34			10	40	45	110	50	100
	woodfree coated	0.46	1.66	0.32	170	260	360	540	20	30
mechanical pulp اللب بطريق ميكانيكية	super calandered	0.38	1.26	0.34	125	480	450	1,020	13	20
	leight weight coated	0.38	1.12	0.29	150	460	430	1,300	12	30
	mechanical printing	0.39	1.57	0.29	200	500	500	1,160	8	30
	carton board mp	0.43			140	200	320	490	15	25
secondary fibre نفايات الورق	newsprint paper	0.48	1.52	0.33	460	1,270	960	2,400	7	20
	corrugated board	0.53	2.06	0.27	1,280	2,840	2,190	5,680	0	10
	carton board sf	0.48	1.32	0.33	530	3,000	1,140	5,500	0	15
	recycling paper	0.51			250	400	540	790	10	20

ويوجد حالياً حوالي 1300 معمل لللب والورق في العالم منها 300 تعالج بطريقة لاهوائية، وهذه تم إنشاؤها في الـ 15 سنة الأخيرة (تقرير FAO).

إن نسبة BOD/COD في مياه الصرف: 0.51 لمياه تدوير الورق وحتى 0.39 للمحارم الورقية، ويمكن إن يزال BOD- COD فقط إذا كانت محتويات مياه الصرف قابلة للتحلل Biodegradation كالكرهيدرات Carbohydrates، وعادة يوجد إضافات كيميائية كثيرة تضاف أثناء عمليات التصنيع تمنع ذلك، وعادة تصبح المحتويات غير قابلة للتحلل إذا كان $(BOD/COD < 0.1)$ [47].

الشكل (1-3-24) يبين نوعية مياه تقليدية لمعامل الورق يظهر فيها النسب القابلة للتحلل والنسب غير القابلة للتحلل.



وفي المعالجة البيولوجية الهوائية:

يجب تحقيق النسب $BOD_5 : N : P = 100 : 5 : 1$ ولكن نجد في أغلب الحالات وجود نقص في النتروجين nitrogen والفوسفور phosphorus ونحتاج لإضافتها.

24-3. معالجة مياه صرف معامل الورق.

Wastewater treatment in paper mills

إن جميع الطرائق تتطلب معالجة ابتدائية وأولية من مصافي وحوض توازن وترسيب أولى وضبط pH ومرحلة تبريد لمياه الصرف إذا لزم ذلك.. ويتبع ذلك إلى نوعية مياه صرف الورق.

24-3-1. أنواع المفاعلات. Types of reactors

هنالك نوعان رئيسيان من المفاعلات البيولوجية المستخدمة في معالجة النفايات السائلة الناتجة عن صناعة الورق وهي المفاعلات اللاهوائية والهوائية.

24-3-1-1. المفاعلات اللاهوائية. Anaerobic Process

تستعمل في معالجة مياه صرف صناعة الورق المفاعلات اللاهوائية ويكون عملها اقتصادي جداً إذا كان COD بين (1000-2000) مغ/ل وعندما تكون نسبة COD إلى SO_4 منخفضة جداً فالمعالجة لا تعمل بشكل صحيح بسبب إرجاع السلفات [47] وتستعمل عدة مفاعلات لاهوائية منها:

- طريقة المفاعل اللاهوائي ذو التدفق الصاعد عبر طبقة الحمأة.
- upflow anaerobic sludge blanket (UASB) process من الفقرة (4-4-13).
- المفاعل اللاهوائي بالتدوير الداخلي Internal Circulation (IC) reactor. الفقرة (6-4-13).
- سرير الحمأة الحبيبي المتمدّد expanded granular sludge bed. الفقرة (5-4-13).

• **ملاحظة 1:** إذا كانت الغاية من المعالجة الوصول إلى BOD_5 أقل من 20 مغ/ل فيجب أن نستعمل المعالجة اللاهوائية كمرحلة أولى يتبعها معالجة هوائية، وتستعمل على الأغلب الحمأة المنشطة.

• **ملاحظة 2:** إذا كانت الرغبة في إعادة استعمال المياه بعد المعالجة

اللاهوائية، أو طرحها في المجرور العام فمن الضروري أن نقدم في بعض الحالات تهوية بسيطة.

- **ملاحظة 3:** لإزالة السولفايد sulphide يمكن أن تضاف أملاح الحديد ثلاثي التكافؤ فيتشكل مركب Fe_2S_3 غير القابل للذوبان (وهو أسود اللون) [47].

2.1-3-24. المفاعلات الهوائية. Aerobic Process

يمكن استعمال احدى الطرائق التالية:

- تستعمل الحمأة المنشطة ويمكن أن تصمم مع حوامل متحركة تحمل الكتلة الحيوية (MBBR-moving bed biofilm reactor).
- sequencing batch reactor, SBR.
- يستعمل MBRs عندما نريد إعادة استعمال المياه، ويستعمل الترشيح الدقيق Microfiltration والترشيح فائق الدقة Ultra-filtration وأحياناً إذا كنا نرغب بالحصول على مياه عالية الجودة نستعمل الترشيح النانومتري Nanofiltration.
- يستعمل أيضاً المرشح الحيوي Biofilter بشكل عام للمعالجة (يستعمل كمعالجة ثانوية بعد إزالة المعلقات أو كمعالجة ثالثية بعد معالجة حيوية أخرى)، وكذلك تستعمل مرشحات التنقيط Tricking filter لتخفيض الأحمال قبل دخول الماء إلى معالجة بيولوجية أخرى.
- البحيرات المهواة.

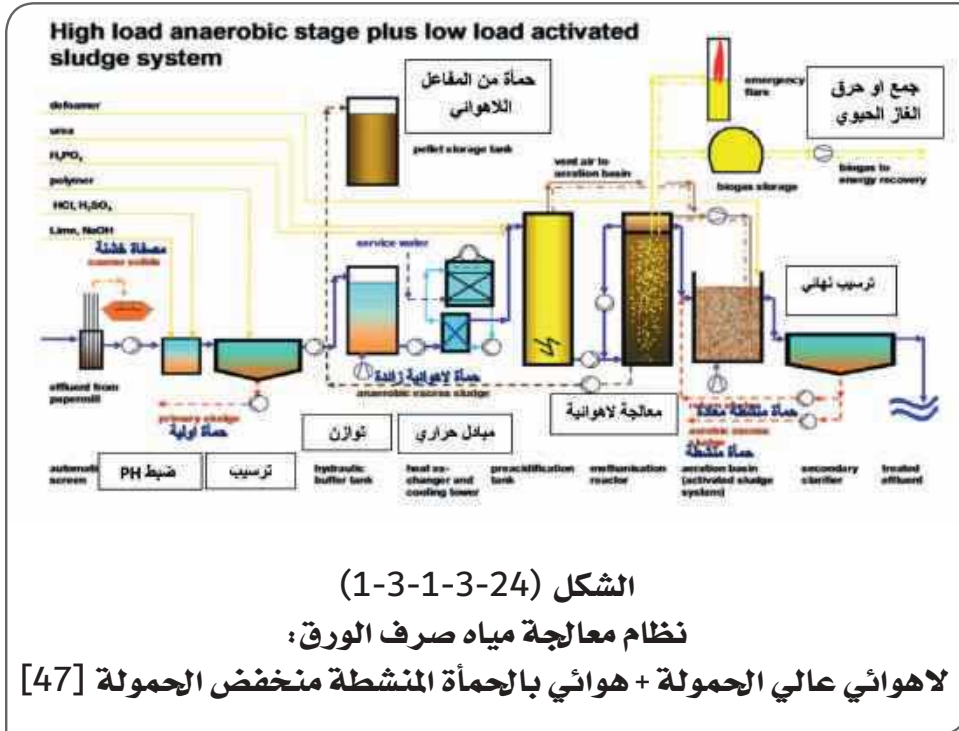
إن ارتفاع الكربوهيدرات في مياه الصرف يساعد على تشكل الحمأة المنتفخة خصوصاً في أحواض المزج الكامل ويسبب ترسيب سيء للحمأة ويكون $SVI < 300$ ، وهذا هو أحد الأسباب في تفضيل وجود مرحلة معالجة أولى عالية الحمولة، أو على الأقل يتم استخدام مفاعلات متتالية (يمكن استخدام الجريان الجبهي (الكتلي) التقليدي conventional plug flow activated sludge الفقرة «2-9-11» [47].

- تستعمل أيضاً طريقة Biofor كمعالجة ثنائية لمعالجة مياه صرف الورق بعد إزالة المعلقات، راجع الفقرة (3-12)، وينصح أن تكون كمعالجة ثالثية.

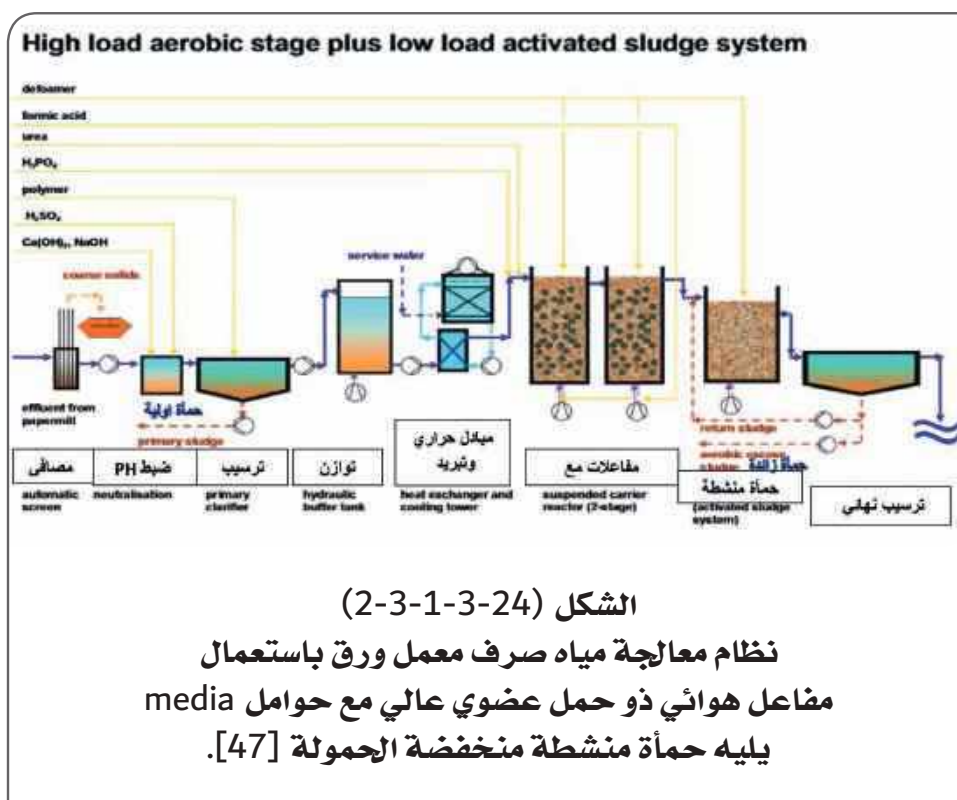


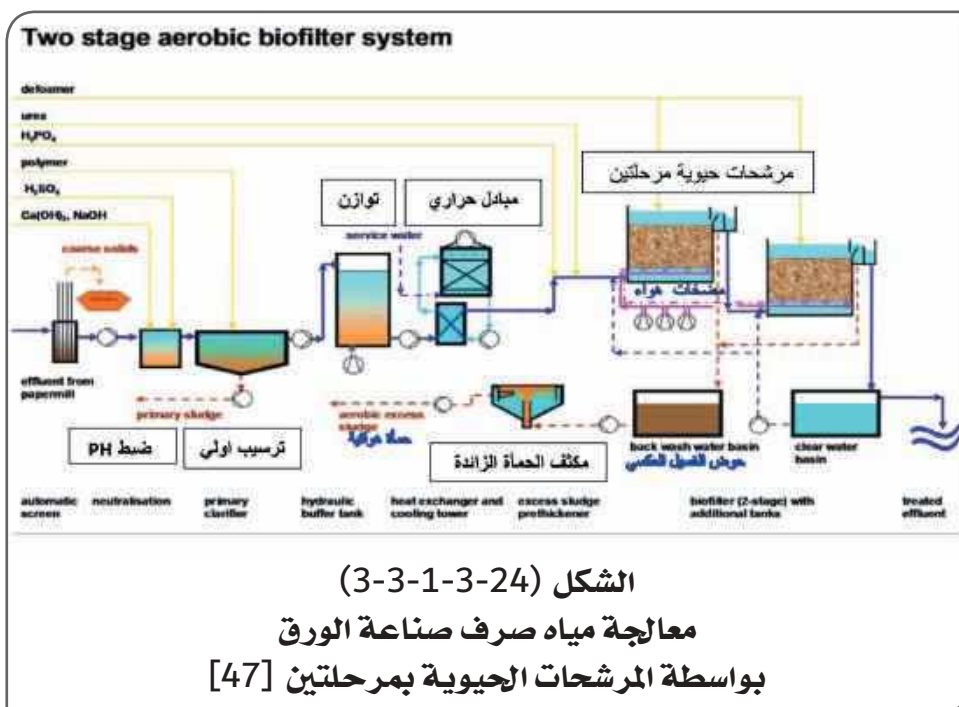
3-1-3-24. المعالجة المشتركة. Combined Processes.

يمكن ذكر أسباب عديدة لتفضيل المفاعلات الحيوية المتتالية (مرحلتين) لمعالجة مياه صرف الورق، فالمعالجة المشتركة تساعد على تجنب الآثار الكارثية الناتجة عن صدمات أحمال المواد العضوية العالية وخاصة المواد السامة. والمعالجة المشتركة تساعد على تجنب طفو المواد العضوية في حوض الترسيب النهائي. وعادة المهمة الرئيسية للمرحلة الأولى والتي تكون عالية التحميل والتي يليها معالجة بالحماة المنشطة هي تجنب انتفاخ الحماة (الإنسداد بالحماة) والحفاظ على SVI منخفض (أقل من 150 مل/غ) من أجل تحقيق تخفيض SS في الترسيب النهائي والحصول على معالجة مستقرة في المفاعل. يبين الشكل (1-3-1-3-24) من [47] نظام معالجة لاهوائي + هوائي بالحماة المنشطة، ويبين الشكل (2-3-1-3-24) من [47] نظام معالجة هوائي مع حمل عضوي عالي مع حوامل Media يليه معالجة بالحماة المنشطة. يظهر الشكل (3-3-1-3-24) من [46] معالجة بمرحلتين بواسطة المرشحات الحيوية، ونحصل بهذه المعالجة على BOD منخفض.



- يمكن تطبيق أكسدة جزئية بالأوزون قبل المرشح الحيوي لتحويل المواد غير القابلة للتحلل إلى متحللة وإزالتها.
- لإزالة المواد غير القابلة للتحلل في مياه الصرف تستخدم مؤكسدات (مع محفزات) أو UV .
- أكسدة متقدمة يمكن أن تطبق لإزالة الجزء غير القابل للتحلل من COD (اللون - AOX)، حيث يمكن أن نستعمل مؤكسد قوي كالأوزون [47].





4-24. محطة معالجة مياه الصرف في معمل أرايبكو ARAPECO لتدوير الورق بحلب.

1-4-24. موجز عن طريقة المعالجة.

- يتم جلب النفايات الورقية إلى موقع المعمل وتنظيفها ومن ثم عجن النفايات الورقية و فصل وإزالة المواد الصلبة غير السلولية من العجينة.

ويضاف أثناء العمليات الإنتاجية مواد مساعدة ونشاء صناعي وأصبغة الفورم الدهيد formaldehyde ومضاد صدأ للمرجل البخاري وحمض كلور الماء وكوستيك صودا وريزين قلفوني ومشكل ندف ومضاد رغوي وسلفات الالمنيوم ومواد تبيض الورق....الخ.

ويتبع ذلك عمليات المد والتخلص من الماء بالثقالة، ثم يطبق تفريغ هوائي أسفل سير مد العجينة وينتج عنه ماء وبعد ذلك تذهب العجينة إلى العصر وتحديد السماكة وبعد ذلك تجفف بالبخار بواسطة فرن خاص وينتج

عن ذلك بخار ماء وأبخرة ملوثة مختلفة، ويلى ذلك مرحلة الصقل ومن ثم اللف بشكل آلي الشكل (1-1-4-24).

يصنع المعمل أنواع الورق الآتية:

التست لاينر ، Duplex Board - Test Liner، كرتون دوبلكس - Gray Board ورق المصنفات - Fluting Medium .



الشكل (1-1-4-24)
معمل ارايبيكو. مرحلة لف الورق -
صورة لنفايات الورق قبل مباشرة التصنيع

إن استخدام المياه في العمليات الإنتاجية مستمر عن طريق تدوير المياه الفائضة من عجن الورق وفصل الماء عن العجينة الممدودة للتجفيف «المياه البيضاء» (عادة تمر المياه البيضاء التي في الدارة بمرحلة سحب الياف السللوز من المياه بالتخثير الكيميائي وتطويفه بواسطة جهاز الكروفتا) وبسبب الحاجة لمياه نظيفة جديدة بشكل مستمر في العمليات

فيحصل فائض في الدارة المغلقة (over flow) تذهب للمعالجة وهو يعادل الفائض اليومي من المياه الملوثة المطروحة من المعمل تقريباً بعد إضافة مياه طبخ النشاء ومياه الخدمات والتنظيف وكسح المراحل وتحضير المواد الكيميائية وغيره. كمية مياه الصرف المطروحة من المعمل حوالي 250 م³/يوم ناتجة عن المفيض (أوفر فلو) من دارة المياه البيضاء المغلقة وأعمال التنظيف والكسح والأعمال الأخرى. والكمية كانت أقل من المعايير بسبب نوعية الورق وتدوير الماء وعدم إضافة مياه جديدة إلا في المواقع الضرورية مثل مواقع مد العجينة حيث تغسل دوماً بمياه جديدة.

2-4-24. نوعية المياه. Water quality

يبين الجدول (1-2-4-24) والجدول (2-2-4-24) تحاليل عينة مركبة لمياه الصرف من حوض التجميع قبل الدخول لمحطة المعالجة، ونلاحظ ارتفاع كبير في COD والأملاح نتيجة التدوير المتكرر وعدم إضافة مياه جديدة بكمية كافية وارتفاع تركيز الكلورايد، وعادة تتواجد كميات من الكاديوم والفينول والرصاص بشكل واضح في معامل مشابه ولكن لم تذكر في التقرير، واعتبر COD عند إجراء الدراسة 10000 مغ/ل.

الجدول (1-2-4-24)

تحاليل عينة مركبة من مياه الصرف في معمل تدوير الورق،
ارابييكو- تحليل جامعة حلب

التركيز ملغ/ل	المكونات	
5966	المواد الصلبة الكلية TS	1
568	المواد الصلبة العالقة SS	2
5398	المواد الصلبة المنحلة (الذائبة) TDS	3
5800	الطلب الكيميائي للأكسجين COD	4
850	القلوية الكلية HCO ₃ (ملغ/ل مثل CaCO ₃)	5
5480	الناقلية الكهربائية EC (ميكروسيمنس/سم)	6
4	المواد الراسبة بعد 30 دقيقة (مل/لتر)	7

6.77	التركيز الهيدروجيني PH	8
1.8	النحاس	9
1200	الكلورايد Cl	10
7.8	الامنيوم NH_4	11
0.37	الحديد Fe	12
500	الكالسيوم Ca	13
3.7	كبريت الهيدروجين H_2S	14
440	الكبريتات SO_4	15
1250	الطلب البيوكيميائي للأكسجين BOD	16
60.2	النترات NO_3	17
0.32	النترت NO_2	18
1.93	الفوسفات PO_4	19
1.2	الألمنيوم Al	20
1890	المواد الصلبة المتطايرة	21
4076	المواد الصلبة المعدنية	22

الجدول (2-2-4-24)

تحاليل عينات من مياه الصرف في معمل تدوير الورق، اربابكو

Name	Result	Accepted result
Ph	8.4	9-6
COD	12420	1600 mg\l
BOD	8392	800 mg\l
NH4-N	42.7	100 mg\l
Oils and greases	49	100 mg\l
Arsenic	0.31	0.1 mg\l
Sulfate	492	1000 mg\l



24-4-3. طريقة المعالجة.

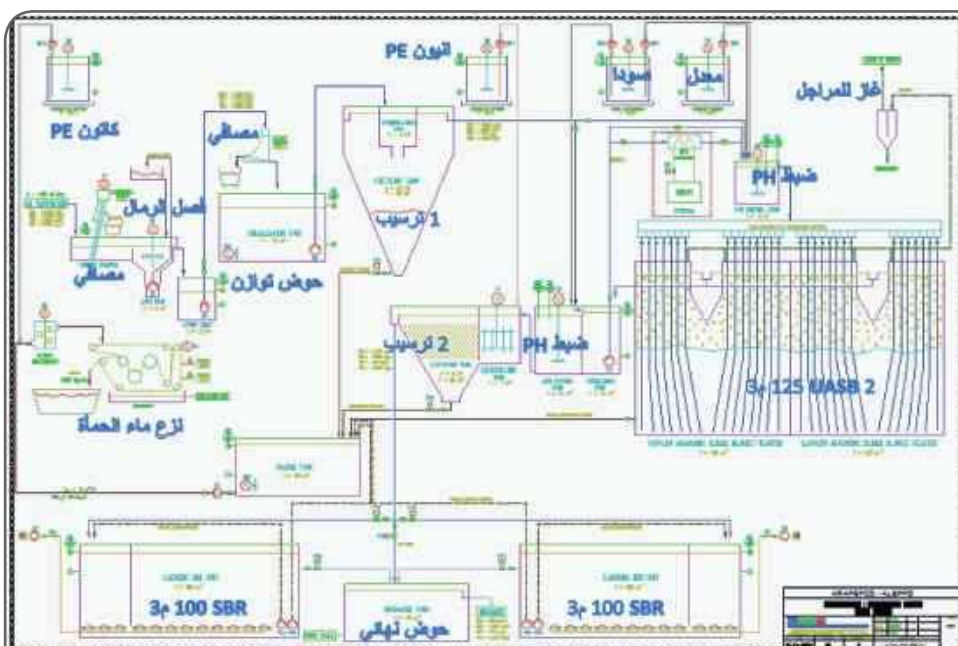
إن مستوى المعالجة المطلوبة، هو للوصول إلى استعمال المياه في المعمل أو لطرحها في المجاري العامة، حيث يُطلب على سبيل المثال $(BOD = 800 \text{ mg/l} - COD = 1600 \text{ mg/l})$ ،

الشكل (24-4-1-3-1) مخطط لمراحل معالجة مياه الصرف في معمل ارابيكو

وفيما يلي تعداد للمراحل المعتمدة في محطة ارابيكو:

1. مصافي خشنة الية - وفصل للرمال.
2. مصافي ناعمة.
3. حوض توازن .
4. تخثير كيميائي يتبعه حوض ترسيب، حيث يكون COD بعدها حوالي 8000 مغ/ل.
5. ضبط pH .
6. معالجة لاهوائية بطريقة المفاعل اللاهوائي ذو التدفق الصاعد عبر طبقة الحمأة الوارد في الفقرة (4-4-13) (UASB) والتحميل $COD = 2000 \text{ كغ/يوم}$.
- عدد المفاعلات $(2 \times 125 \text{ م}^3)$ ، الحجم الفعال الكلي المفيد 250 م^3 .
- التحميل الحجمي $(8 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{day})$.
- زمن المكوث 1 يوم.
- الحمل في الخرج $(COD 750 \text{ كغ/يوم}$ ، $BOD 250 \text{ كغ/يوم}$)
- 7 - 2 حوض ضبط ال pH (مرة ثانية) + 2 حوض تخثير كيميائي + 2 حوض ترسيب بالصفائح المائية.

8. ويتوقع بعد هذه المرحلة أن يكون حمل COD حوالي 3000 ملغ/ل والأملح حوالي 2000 ملغ/ل.
9. المعالجة البيولوجية الهوائية بالحماة المنشطة SBR التحميل: $(1.25 \text{ Kg BOD}_5 / \text{m}^3 \cdot \text{d})$.
- النتائج المتوقعة : $\text{BOD} = 800 \text{ ملغ/ل}$ ، $\text{COD} = 1600 \text{ ملغ/ل}$ ، $\text{TSS} = 500 \text{ ملغ/ل}$.
10. حوض تجميع نهائي للمياه المعالجة يتم منه إعادة الاستعمال، أو نقلها خارج المعمل.
11. نزع الماء من الحماة بواسطة السير الضاغط. Belt filter press.



الشكل (1-3-4-24)

مخطط لمراحل معالجة مياه الصرف في معمل ارابيبكو لتدوير الورق،
دراسة وتنفيذ شركة ENVIROTEK



معالجة مياه صرف تصنيع المبيدات

Wastewater treatment of pesticide industry

25-1. مقدمة .

المبيدات هي مواد كيميائية أو عضوية تُصنع لمكافحة النباتات الضارة والحشرات والفطر والبكتيريا والآفات، وذلك لوقاية المحاصيل الغذائية وغير الغذائية رغبة في زيادة الإنتاج، وحماية الصحة العامة.

وتسبب المبيدات ضرراً كبيراً للبيئة وخصوصاً عند الإكثار منها، مثل DDT وضرره على الكائنات الحية الأخرى والمياه الجوفية والسطحية، ويستعمل أكثر من 890 مكون فعال في تركيب المبيدات. ويمكن تقسيم المبيدات إلى مجموعات [48]:

- **Organonitrogen** : مثل Carbendazim ، Benomyl ، Aldicarb ، Carbofuran
- **Organophosphorus** : مثل Chlorpyrifos ، Chlorfenvinphos ، Dimethoate ،
- **Organochlorines** : مثل a-Endosulfan ، Chlorothalonil ، β -Endosulfan
- أنواع DDT_s مثل (p,p'-DDT، o,p'-DDT، DDE، DDD)
- **Botanical** نباتي
- **Microbiological** ميكروبيولوجية. (الاحياء المجهرية)
- **Metallo - Organic** ، معدنية - عضوية
- أخرى مختلفة .



منتجات معامل المبيدات الأساسية تكون إما سائلة أو صلبة، وتصل بقايا مواد التصنيع المختلفة إلى البيئة من الغبار المنتشر من التصنيع والتسربات والغسيل. وتقوم المعامل بوضع وحدات لاصطياد غبار التصنيع لجمعها أو غسلها، وكذلك جمع المياه الناتجة عن عمليات الإنتاج أو غسيل الوحدات الإنتاجية حيث يتم نقلها إلى محطة معالجة مياه الصرف في المصنع. ويمكن تلخيص مواقع إصدار التلوث في معمل مبيدات:

مياه صرف ملوثة من:

- الترشيح والطررد المركزي.
- من تنظيف وغسيل عوادم الهواء المختلفة.
- تنظيف الغلايات.
- غسيل منطقة الانتاج وتحميل وتفريغ المواد الاولية.
- غسيل ادوات الانتاج والبسة العاملين والمغاسل ومن أدواش العمال.
- التسربات.

2-25. كمية ونوعية مياه الصرف في معامل المبيدات.

كمية مياه الصرف:

لدى عمل مسح لمعامل المبيدات في الولايات المتحدة تبين أن 10 % منها لا تصدر تقريباً ماء، و 50 % تصدر حوالي (8.3 لتر/كغ انتاج)، و 84 % تنتج أقل أو يساوي (37.5 لتر /1كغ انتاج) [48].

نوعية مياه الصرف:

إن مياه الصرف المطروحة من معامل المبيدات تحوي مواد كيميائية ومعادن ثقيلة ومواد سامة ذات الأولوية، وكل معمل يختلف في ملوثاته عن الآخر ويمكن أن نجد في مياه الصرف الملوثات التالية:



volatile aromatics, halomethanes, cyanides, haloethers, pHenols, polynuclear aromatics, heavy metals, chlorinated ethanes and ethylenes, nitrosamines, pHthalates, dichloropropane ,dichloropropene, pesticides, dienes, TCDD(2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin), + BOD, COD, TSS.

يبين الجدول (1-2-25) ملخص عن مستويات التحميل التصميمية المحتملة لمياه صرف المبيدات [48]. ويمكن أن تصل مستويات الأحمال التصميمية في مياه صرف المبيدات العضوية ذات التصنيع الكيميائي إلى:

BOD = 7400 ملغ/ل، TSS = 6000 ملغ/ل، COD = 16000 ملغ/ل.

3-25. طرائق معالجة الملوثات في مياه الصرف الناتجة عن تصنيع المبيدات.

إن عزل segregation الملوثات خطوة هامة في المعالجة فمياه الصرف تحوي ملوثات خاصة يمكن عزلها والتخلص منها أو معالجة المياه الملوثة بشكل مستقل، ويستعمل لذلك حوض توازن خاص، كما أن تعديل الـ pH خطوة أساسية أيضاً في المعالجة.

ويمكن تحقيق استرداد للمواد الخام من خلال عملية الاستخلاص بالمذيبات والتجريد بالبخر وعمليات التقطير. كما يمكن أن يتم تركيز الملوثات بالمبخرات ومن ثم استردادها، وفي الآونة الأخيرة ومع ظهور تكنولوجيا الأغشية كالتناضح العكسي (RO) والترشيح الفائق الدقة (UF)، تم استخدامها لاسترداد أو تركيز المكونات النشطة في مياه الصرف [48] وتكتمل المعالجة بالوصول إلى المواصفات المطلوبة باستعمال المعالجات البيولوجية والمعالجة الثلاثية....

الجدول (1-2-25)

ملخص عن مستويات التحويل المحتملة لمياه صرف معامل المبيدات [48]

Pollutant group	Design level (mg/L)
Volatile aromatics	127–293,000
Halomethanes	122–2,600
Cyanides	5,503
Haloethers	0.582
Phenols	100–42,000
Nitro-substituted aromatics	ND ^b
Polynuclear aromatics	1.06–1.2
Metals	
Copper	4,500
Zinc	247
Chlorinated ethanes and ethylenes	98–10,000
Nitrosamines	1.96
Phthalates	ND
Dichloropropane and dichloropropene	ND
Pesticides	10–11,200
Dienes	2,500–15,000
TCDD	0.022
Miscellaneous	N/A ^c
PCBs	N/A
Benzidine	N/A
BOD	1,470
COD	3,886
TSS	266

1-3-25. معالجة الملوثات ذات الأولوية والمبيدات.

هنالك 6 طرائق لمعالجة الملوثات ذات الأولوية والمبيدات [48] نذكر منها:

1-1-3-25. التعرية بالبخر. Steam-Stripping

راجع الفقرة (16 - 2) المعالجة الفيزيائية للملوثات العضوية. وقد أثبتت الطريقة جدواها في معامل المبيدات لتمكنها من إزالة كثير من

الملوثات ذات الأولوية مثل المركبات العطرية الطيارة volatile aromatics وغير ذلك من الملوثات، مثل الهكسان hexane والميثانول methanol ، إيثيل أمين ethylamine، الأمونيا ammonia ، ولكن إزالة المبيدات تكون قليلة بسبب وزنها الجزيئي الكبير.

2-1-3-25. الامتزاز على الفحم المنشط. Activated Carbon Adsorption

راجع الفقرة (1-14-3-8). ويستعمل بكثرة في معالجة مياه صرف المبيدات، فمثلاً نلاحظ إزالة كبيرة لـ HC، DDT، 2,4-D، toxaphene، dieldrin، aldrin، chlordane، malathion، parathion، إن زيادة الوزن الجزيئي تعطي أفضل امتزاز، والمركبات العطرية هي أكثر امتزازاً من الأليفاتية، ويمكن إزالة المبيدات بهذه الطريقة بنسبة تصل حتى 99 %.

3-1-3-25. الأكسدة الكيميائية. Chemical oxidation

راجع الفصل (16). إن الأكسدة الكيميائية تعالج 98 % من الفينول، المبيدات، السيانيد، كما ينخفض COD بشكل ملحوظ. والمؤكسدات المشهورة والمناسبة لصناعة المبيدات هي: الكلورة، الماء الأوكسجيني H_2O_2 . ويمكن ان يتشكل بالكلورة مواد غير مرغوب فيها مثل chlorophenols، chloromethanes . كما يستعمل الأوزون O_3 و/أو H_2O_2 مع UV في الأكسدة، كما يستعمل نظام photo-Fenton.

راجع الفقرة (1-4-1-16)، وتستعمل الأكسدة بالهواء الرطب Wet Air Oxidation الفقرة (7-4-1-16).

4-1-3-25. التبادل الشاردي. Ionic Exchange

راجع الفقرة (2-1-13-3-8)، وقد صممت أنظمة خاصة يمكن أن تزيل المبيدات، الفينول وبعض المواد مثل (diene).

5-1-3-25. الحلمة. Hydrolysis

وتستعمل الطريقة لإزالة بعض المواد العضوية السامة، ويستعمل



لذلك حمض كلور الماء، حمض الكبريت كما يمكن استعمال ماءات الصوديوم. وأحياناً يتطلب رفع درجة الحرارة والضغط أو إضافة إنزيمات محفزة لتحقيق زمن معقول للتفاعل.

25-3-1-6. ترسيب المعادن الثقيلة في مياه صرف صناعة المبيدات.

راجع الفقرة (3-3-8) و (1-3-8) و (23 - 4). وينصح بعمل مشروع رائد لوجود كثير من المواد العضوية المعقدة التي قد تعيق تشكل المواد الصلبة [48].

25-3-2. تتابع مراحل المعالجة.

يمكن أن تتضمن المعالجة المراحل التالية:

25-3-2-1. التوازن. Equalization

راجع الفصل (3). يجب أن يكون حوض التوازن مناسب للتدفق، ومن المناسب، إضافة أداة للمزج أو مصدات تساعد على المزج، كما يمكن أن يحتاج الحوض إلى تهوية لمنع التعفن، ويقترح زمن التوازن لمياه صرف المبيدات 12 ساعة ويمكن أن يصل إلى 24 ساعة إذا كان يوجد بعد ذلك معالجة بيولوجية.

25-3-2-2. التعديل. Neutralization

يطبق التعديل (التحييد) لمياه صرف المبيدات لرفع أو خفض درجة حموضة تدفق مياه الصرف لتلبية متطلبات المعالجة أو ترسيب بعض الملوثات. كما يزود بخلاط آلي، وينصح بمدة 6 دقائق عند معالجة مياه صرف المبيدات (راجع الفقرة 1-3-8).

25-3-2-3. المعالجة البيولوجية. Biological Treatment

تستعمل المعالجة البيولوجية بشكل واسع في معالجة مياه صرف المبيدات لإزالة المواد العضوية مثل BOD، COD والتي هي عادة سهلة



التحلل في مياه صرف المبيدات. ويجب ان توفر للبكتريا حاجتها من المغذيات مثل الفوسفور والنيتروجين (pHospHorus ، nitrogen) اضافة الى ضبط درجة الحرارة والمواد السامة التي تثبط عمل البكتريا كالمركبات العضوية الكلورة chlorinated organic والسيانيد، والملوحة العالية < 20,000 الى 30,000 mg/L من [48]، (راجع 1-2-3-20) ولكن في المقابل يوجد مواد كثيرة صعبة التحلل مثل DDT. كما أن التحلل البيولوجي للمركبات الاليفاتية عموماً أسهل من المركبات العطرية .

1. يتم إزالة كثير من الملوثات ذات الأولوية بالامتزاز على الحمأة ويمكن أن تصل إزالة الفينول 90 % إذا كان تركيزه في المياه المعدة للمعالجة (من 60-1000 مغ/ل) وتنخفض النسبة عندما يكون تركيزه أقل.
 2. إن إزالة السيانيد تصل 50 % عندما يكون تركيزه في المياه المعدة للمعالجة أكبر من 1 ملغ/ليتر، وأقل من 50 % إذا كان تركيزه أقل من 1 ملغ/ليتر [48] في المياه المعدة للمعالجة.
 3. الملوثات ذات الأولوية القابلة للتطاير تزال بشكل جيد في المعالجة البيولوجية.
 4. تزيل المعالجة البيولوجية نسبة كبيرة من المبيدات (حسب مركبات المبيد) (في بعض المحطات تم إزالة 50 % عندما كان تركيزها في التدفق الداخل حوالي 1 ملغ/ليتر).
 5. يمكن استعمال طرائق متعددة في المعالجة البيولوجية مثل طريقة الحمأة المنشطة، مرشحات التنقيط trickling filter، البحيرات المهواة.
 6. ثبت عملياً أن المرشح الحيوي يزيل كثير من المواد السامة وبوقت قصير فينصح به قبل المعالجة بطريقة الحمأة المنشطة [48].
 7. تم إثبات أن المعالجة المشتركة بالنظام PACT يعطي إزالة ممتازة للمبيدات.
- (النظام PACT يجمع بين المعالجة البيولوجية والامتزاز على الفحم مما يؤدي إلى تحقيق وفورات كبيرة في التكاليف ومزايا أداء أكثر من النظم الأخرى)

8. إن استعمال MBR مع (أغشية الترشيح فائق الدقة UF) يوفر حوض ترسيب ويعطي نتائج جيدة جداً.

4-2-3-25. الترشيح. Filtration

يستعمل الترشيح على طبقات في معالجة مياه صرف المبيدات لغرضين:

- لإزالة المعلقات قبل المعالجة بمرشح الفحم المنشط، أو الامتزاز على الريزين.
- معالجة ثلاثية بعد الحماة المنشطة وقبل الفحم المنشط.

التحميل السطحي 4 gpm/ft^2 . (راجع الفقرة 1-2-17)

وحالياً ومع توفر أغشية الترشيح الدقيق MF والترشيح فائق الدقة UF يمكن أن نحصل على مياه معالجة فيها عكارة أقل من 0.1 NTU.

4-25. معالجة مياه الصرف في معمل طحان لتصنيع المبيدات والاسمدة.

تقع المنشأة غرب مدينة حلب ولا يوجد صرف صحي قرب المنشأة للتصريف إليها. ويوجد في المنشأة عدة خطوط إنتاجية:

- الخط الأول لصناعة المبيدات الصلبة.
- وآخر لصناعة المبيدات السائلة.
- وخط مستقل لصناعة المخصبات (الأسمدة).

1-4-25. ملخص مراحل العمل في المنشأة.

يستخدم المعمل مواد كيميائية كثيرة في التصنيع فهو يصنع حسب الطلب.

- ومن أهم المواد الكيميائية المستخدمة في صناعة المخصبات متمخلبات شيلات المعادن، نترات المنغنيز، نترات الحديد، نترات



الكالسيوم ونترات التوتياء. (ملخص العمل: طحن المواد الأولية وغرلة وتعبئة).

- **ومن أهم المواد الفعالة المستخدمة في صناعة المبيدات ديازينون تيك وسايبر مثرين تيك ودلتا مثرين تيك وبير مثرين تيك وألفا سايبير مثرين تيك (Alpha – Cypermethrin).**

- **وفي خط صناعة المبيدات السائلة** تؤخذ المواد الأولية من السوائل والمواد الصلبة إلى خلاط مصنوع من الستنلس ستيل وتخلط بسرعات صغيرة لكون المواد لزجة ثم تنقل إلى خلاط سريع لتأمين التجانس المطلوب ثم تنتقل إلى حمام مائي لتخفيض اللزوجة ومنه إلى خلاط خاص للسوائل ثم إلى خزان التعبئة ومنه إلى آلات التعبئة للتعبئة في عبوات خاصة.

الملوثات التي تصدر عن المعمل وتؤثر على العاملين وعلى البيئة المحيطة هي:

- غبار ناتج عن المطاحن وعن التعبئة يصل إلى جسم العاملين وارض الصالات ومنة إلى مياه الصرف

- أبخرة وغازات من المبيدات السائلة، من الأوعية أو من الآلات واغلبها تنتشر في الجو ويمكن أن تصيب العاملين عن طريق الاستنشاق.

- السوائل الناتجة عن غسيل الأراضي واغتسال العاملين وغسيل الآلات والمعدات المساعدة وغسيل مرشح معالجة الغبار، حيث تجمع هذه المياه في خزان خاص ومنه الى المعالجة.

2-4-25. كمية ونوعية المياه المطروحة من المعمل.

قدرت كمية مياه الصرف 25 - 30 م³/يوم، أما بالنسبة إلى نوعية المياه فقد تم أخذ 2 عينة مركبة وأجريت عليها تحاليل مخبرية، حيث أخذت الأولى بتاريخ 6 / 3 / 2005 والثانية بتاريخ 10 / 3 / 2005 وكانت النتائج متقاربة. الجدول (2-4-25) يبين نتائج تحليل العينة الأولى. (ونلاحظ أن التجربة لا تحوي نتائج تحاليل لكثير من المعادن) ونجد أنها بحاجة لمعالجة لتطابق المواصفة السورية للري فئة ج التي تسمح بري الأشجار الحراجية والمروج ...

الجدول (1-2-4-25)

نتائج تحليل عينة مياه صرف في منشأة طحان لإنتاج المبيدات والأسمدة
التقرير المخبري رقم 1/ لمعمل مبيدات وأسمدة عينة دخول

- **طبيعة العينة:** عينة مياه صرف تحمل الرقم (TAHAN) 6 / 3 / 2005
إلى مخبر تحليل المياه في جامعة حلب - كلية الهندسة المدنية

المؤشر	التركيز ملغ/ل	الحد المسموح للمرئ فئة ج (مواصفة سورية)
1	1215	-
2	565	500
3	650	
4	890	300
5	460	150
6	735	-
7	0.05	1
8	42	5
9	6.55	من 6.5 إلى 9.5
10	72	
11	0.92	20
12	1.2	-
13	220	520
14	0.06	20
15	21	-
16	42	500
17	18.6	25
18	7.9	20
19	5.2	-
20	13	
21	453	-
22	762	-



25-4-3. طريقة المعالجة.

تمرر مياه الصرف على مصافي يدوية ومنه الى بئر الضخ.

1. **المعالجة الكيميائية:** وفيها يتم تخفيض أحمال المعادن الثقيلة والمبيدات والتي تؤثر على المعالجة البيولوجية ونمو البكتريا لاحقاً. يتم اضافة كبريتات الحديد الثلاثية $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ferric sulfate والكلس (مع مزج سريع فقط) يتبعه حوض ترسيب. ويتم سحب الحمأة الكيميائية من حوض الترسيب حيث (تجفف وتنقل الى مطامر المواد الخطرة).

2. **ملاحظة :** يمكن استعمال طرائق كيميائية اخرى المذكورة في الفقرة (25-3-1) لمعالجة المركبات ذات الاولوية والمعادن الثقيلة والمبيدات.

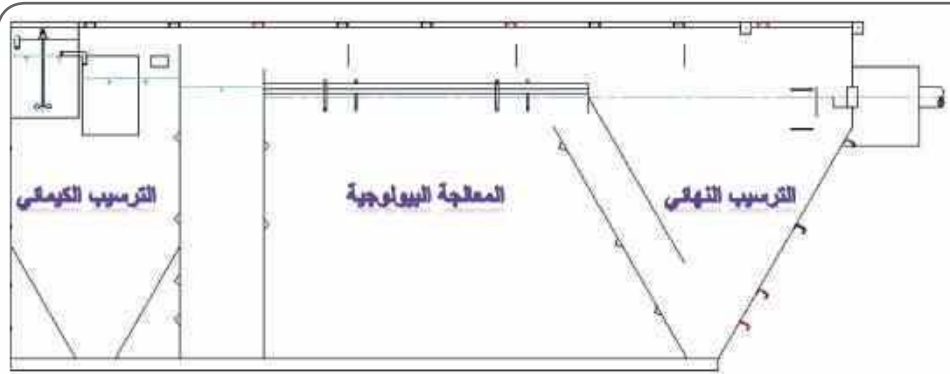
3. **تجريد الملوثات القابلة للتطاير:** عن طريق تهوية زائدة سفلية (راجع الفقرة 2-2-16) عن طريق نواشر هواء في قسم خاص من حوض المعالجة قبل الدخول لحوض المعالجة بالحمأة المنشطة.

4. **المعالجة البيولوجية بالحمأة المنشطة** التهوية المديدة (24 ساعة) لتحقيق المواصفة اللازمة لري المزروعات فئة ج مواصفات سورية.

5. **حوض تجميع** بعد المعالجة البيولوجية يتبعه مرشح رملي.

6. **حوض تجميع نهائي** بحجم 30 م³ موضوع على سطح المعمل ومنه يتم استعمال المياه لأعمال الري الزراعي بالرش.

يبين الشكل (25-4-3-1) مخططاً لمبدأ عمل محطة معالجة المبيدات والأسمدة. ويظهر الشكل (25-4-3-2) صور (بعد ستة شهور) لمحطة معالجة معمل طحان لإنتاج المبيدات والأسمدة a- صورة للمحطة b - المزج الكيميائي السريع c - الفلتر الرملي d - سقاية المروج.



الشكل (1-3-4-25)

يوضح مبدا عمل محطة معالجة معمل طحان لإنتاج المبيدات والاسمدة



الشكل (2-3-4-25)

صور لمحطة معالجة معمل طحان لإنتاج المبيدات والاسمدة

a- صورة للمحطة b - المزج الكيميائي السريع
c - المرشح الرملي d - سقاية المروج

الجدول (2-3-4-25) يعطي نتائج تحليل عينة مياه معالجة من محطة معالجة مياه الصرف في معمل طحان لإنتاج المبيدات والاسمدة بدون الترشيح الرملي - كلية الهندسة بحلب.

الجدول (2-3-4-25)

نتائج التحاليل لعينة مياه معالجة من معمل
طحان لإنتاج المبيدات والاسمدة - كلية الهندسة بحلب

تاريخ وصول العينة إلى المختبر : 2008/9/17

البارامتر	التركيز ملغ/ل	الحد المسموح لري المحاصيل الصناعية والأشجار الحراجية ملغ/ل
1 المواد الصلبة الكلية TS	865	-
2 المواد الصلبة المعلقة TSS	145	150
3 المواد الصلبة الذائبة TDS	720	1500
4 الطلب الكيميائي للأوكسجين COD	280	300
5 الطلب الحيوي للأوكسجين BOD ₅	105	150
6 القابلية الكهربية EC	935	-
7 الكروم الكلي Cr	0.23	1
8 التركيز الهيدروجيني PH	7.62	من 6.0 إلى 9.0
9 الزيوت والشحوم	4.7	5
10 الكلوريد Cl	75	350
11 الأمونيوم NH ₄ -N	6.4	-
12 الكبريتات SO ₄	205	500
13 النترات NO ₃ -N	8.1	25
14 الفوسفات PO ₄	1.62	20
15 النحاس Cu	0.18	1.0
16 القلوية HCO ₃	120	520
17 الحديد Fe	0.12	5.0
18 المواد الصلبة الطيارة	210	-
19 المواد الصلبة الكلية	655	-



معالجة مياه صرف صناعة المنظفات

Wastewater treatment of detergent industry

26-1. مقدمة .

التنظيف هو كل تفاعل كيميائي وفيزيائي باستطاعته نزع حازر الأوساخ من على سطح مادة صلبة مثل قماش أو صوف... إلخ. وهي كلمة تشمل جميع المنظفات سواء الصابونية أو اللاصابونية. كما أنها تعمل على التقليل من الشد السطحي للماء وجعله قابل للامتزاج جزئياً أو كلياً مع المواد العضوية كالزيت.

إن صناعة المنظفات القديمة تتم بتفاعل التصبن المعروف والذي يعطي ملوثات محدودة ومياه صرف قليلة مستعملين فيها الدسم الطبيعي (processing of natural fat).

أما في الصناعة الحديثة للصابون والمنظفات فتتم باستعمال العديد من المواد الكيميائية والتي تصل إلى مياه الصرف في المعامل المنتجة للمنظفات أو من ما تطرحه المنازل. وتحتوي مياه صرف معامل تصنيع المنظفات على الملوثات الأساسية التالية:

مخفضات التوتر السطحي (مجازاً نسميها المسطحات):

*COD, TSS, pH, O&G, BOD₅, surfactants.

***Surfactant** : a surface active chemical agent, usually made up of pHospHates, used in detergents to cause lathering; the pHospHates may contribute to water pollution.



وتصنف مخفضات التوتر السطحي (المسطحات) الى مسطحات الانيونية Anionic Surfactants والمسطحات الكاتيونية Cationic Surfactants والمسطحات غير الايونية Nonionic Surfactants والمسطحات المتذبذبة (Amphoteric Surfactants) والتي هي من المكونات الأساسية في تحضير المنظفات الصناعية synthetic detergents.

2-26. كيفية وصول الملوثات الى مياه الصرف.

يصل التلوث الصناعي إلى مياه الصرف في معامل تصنيع المنظفات أو في معامل تصنيع المواد الأولية للمنظفات من عمليات الإنتاج أو من غسيل أوعية التصنيع أو من التسربات الكبيرة في خط الإنتاج أو من تطاير بودة مساحيق الغسيل على الأرض حيث يصل هذا الغبار إلى شبكة صرف المنشأة بعد غسيل الأرض أو من تسرب المنظف السائل أو المسحوق الصلب أثناء عمليات التحضير ومن التفريغ والتحميل. كما تصل ملوثات المنظفات إلى مياه الصرف في بعض المعامل كالمصابغ (عمليات تحضير الأقمشة) أو من الصرف المنزلي.

2-26.3. نوعية الملوثات. Quality of contaminants

إن أصل التلوث هو الزيادة الهائلة في إنتاج المسطحات Surfactants، علماً أن المنظفات التجارية تحوي مسطحات بنسبة 10 % - 30 % والتي تقوم بربط كل المركبات غير المرغوبة وإزالتها إضافة للأوساخ. وتركيب المسطحات الموجودة في مياه صرف المنظفات أو الصرف المنزلي والصناعي له الأثر الأكبر في تلوث الأنهار والبحيرات والمياه الجوفية (سام ويعطي طعم للماء [50])، إضافة لتأثيرها على عمل محطات المعالجة لكون بعض مركباتها صعبة التحلل البيولوجي وخصوصاً مخفض التوتر السطحي الأنثوني الموجود في المنظفات نوع Alkyl-benzene- ABS sulfonate، إضافة للرغوة المتشكلة في أحواض التهوية (أو حتى في الأنهار والسدود) [48].

ونجد فيها أيضاً أملاح البولي فوسفات polypHospHate التي تقوم بتحسين عمل المسطحات (مخفضات توتر سطحي) وإزالة المغنيزيوم والكالسيوم، وكذلك المبيضات، كما تحوي بعض الإضافات المساعدة على إزالة الصدأ ومنع تآكل آلات الغسيل، وضبط الرغوة والتعطير والبريق....إلخ [48].

ومن أهم المواد وأكثرها استعمالاً في صناعة بودرة الغسيل والمنظف السائل هي [49]:

مساحيق التنظيف:

- 1- ثلاثي متعدد فوسفات الصوديوم.
- 2- كربونات الصوديوم.
- 3- سلفات الصوديوم.
- 4- بربورات الصوديوم.
- 5- إنزيمات.
- 6- مسطعات ضوئية.
- 7- زيوت سيليكونية.
- 8- عطور.
- 9- بولميرات.
- 10- مخفضات توتر سطحي.

المنظف السائل:

- 1 - مخفضات توتر سطحي.
- 2 - حمض السلفونيك.
- 3 - ديكسابون.
- 4 - كوستيك (الصودا الكاوية).



26-4. كمية مياه الصرف وحمولة التلوث في معامل المنظفات الحديثة.

- إن كمية مياه الصرف التي يتم صرفها من معامل الصابون والمنظفات تبلغ (2.5 حتي 4.23 لتر/كغ) من الإنتاج، [48].
- يبلغ تركيز الملوثات في مياه صرف معامل المنظفات [48]:
 - $BOD = 500 - 1200 \text{ mg/l}$
 - $TSS = 400 - 2100 \text{ mg/l}$
 - $COD = 400 - 1800 \text{ mg/l}$
 - والشحوم حوالي 300 mg/l
- ولكن عملياً وجدنا أن كل معامل إنتاج المنظفات في مصر وسورية (كمثال) تحوي تلوث أعلى بكثير حيث يصل $COD = 3000 - 4000$ ملغ/ل، بسبب عدم توفر الإدارة البيئية ضمن المعامل المحلية، حيث إن التسربات واستهلاك كمية قليلة من المياه في عمليات الغسيل يؤدي لرفع حمولة التلوث كثيراً. وعموماً يجب أن تجرى تجارب على نوعية مياه الصرف لكل معمل بسبب الاختلاف الكبير في حمولة التلوث لنفس الصناعة من معمل لآخر.

26-5. طرائق معالجة مياه صرف المنظفات.

Detergent Wastewater Treatment Methods

تختلف مراحل المعالجة حسب محتويات مياه الصرف وحسب نوعية المياه المطلوبة بعد المعالجة. ويمكن أن نلخص الطرائق العامة لإزالة الملوثات من مياه صرف المنظفات وفق ما يلي:

«1» إزالة الدهون والشحوم O&G: ويمكن أن تتم باستعمال:

1. التطويق الطبيعي (بالثقالة)، ويدعى API separator حيث تزال الزيوت والشحوم الحرة.

2. التطويق بالهواء المذاب DAF مع إضافات كيميائية حيث يمكن أن تزال الزيوت الحرة والمستحلبة.
3. الامتزاز على الفحم Carbon adsorption وتصل نسبة إزالة الزيوت المستحلبة حتى 90 %.
4. التخثير والترسيب الكيميائي وتزيل الزيوت الحرة والمستحلبة.
5. المرشحات على طبقات.

«2» المواد العالقة TSS : يتم إزالتها باستعمال:

1. التخثير والترسيب.
2. المرشحات.

«3» BOD، COD ويتم إزالته باستعمال:

1. المعالجة البيولوجية مع ترسيب نهائي.
2. الامتزاز على الفحم المنشط.

«4» المواد الذائبة Dissolved solids تزال باستعمال:

1. التبادل الشاردي. ion exchange.
2. التناضح العكسي. reverse osmosis.

«5» إزالة ABS:

- بالامتزاز على الفحم المنشط.

أو يمكن استعمال التخثير الكيميائي مع المواد التالية:

- أملاح الحديد، [51].
- الشب (الآلوم) في pH 4 - 5، [51].
- كلور الكالسيوم calcium Chloride، [51].



- كذلك يمكن أن يتعادل ABS (مزيل التوتر السطحي الانيويني) كلياً باستعمال المنظف الكاتيوني [51].

1-5-26. التخثير/الترسيب / Coagulation /Settling

كما ذكرنا سابقاً فإن التخثير والترسيب يزيل المعلقات وجزء من ال COD. ولكن عملياً يكون الأداء منخفضاً، ويتم بصعوبة، خصوصاً عند استعمال كبريتات الحديد ferric sulfate والشب alum.

وعملياً تستعمل المواد الكيميائية التالية في عملية التخثير عند معالجة المنظفات:

- كلور الكالسيوم CaCl_2 يزيل الزيوت والمستحلبات والمعلقات وABS من [48] [1] [51].
- ماءات الكالسيوم lime أو مركبات الكالسيوم الأخرى.

وعموماً يتم عمل تجارب مخبرية jar test لتحديد المادة الكيميائية المناسبة والكميات المناسبة من المواد الكيميائية لتحقيق أفضل النتائج.

2-5-26. المعالجة البيولوجية. Biological treatment

إن الحمأة المنشطة بالطريقة التقليدية أو SBR ملائمة لمعالجة مياه صرف المنظفات [48]، ولكن تفضل مرشحات التنقيط trickling filters لأن المعالجة البيولوجية بالحمأة المنشطة تواجه مشاكل من مخفضات التوتر السطحي تعود للرغوة وللسمية إضافة إلى أن المنظفات الأنيونية anionic وغير الأنيونية nonionic التي تسبب زيادة في كمية الحمأة المنشطة، أما الكاتيونية فتتقص كمية الحمأة. كما أن وجود الصابون والمنظفات يقلل كفاءة امتصاص absorption الهواء من فقاعات الهواء إلى الماء.

الشكل (1-2-5-26) مخطط نموذجي لمعالجة مياه صرف معامل المنظفات.

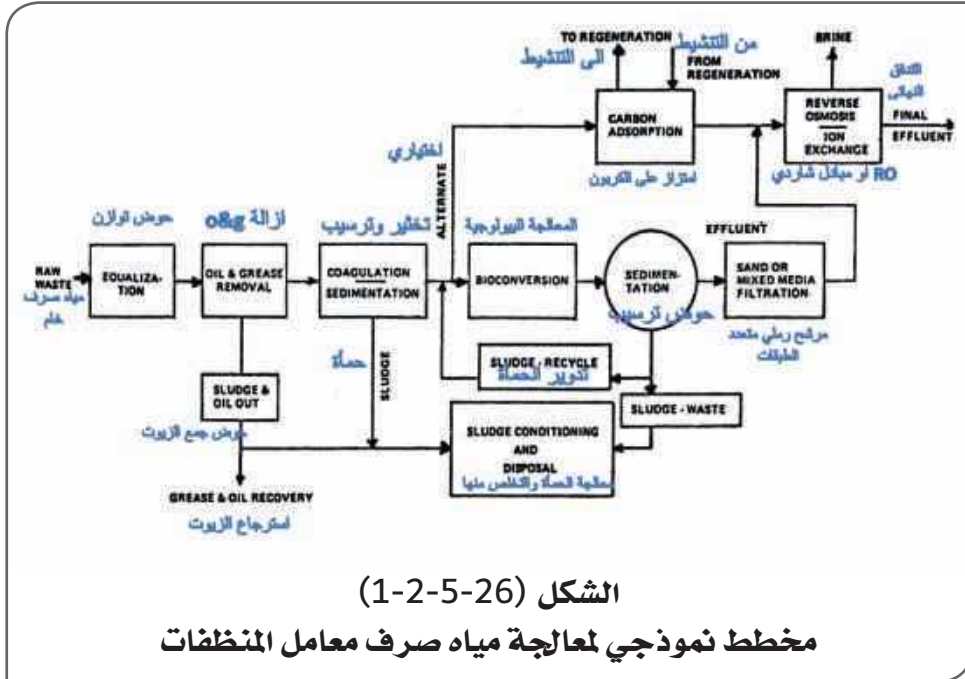
26-6. تدوير مياه صرف المنظفات.

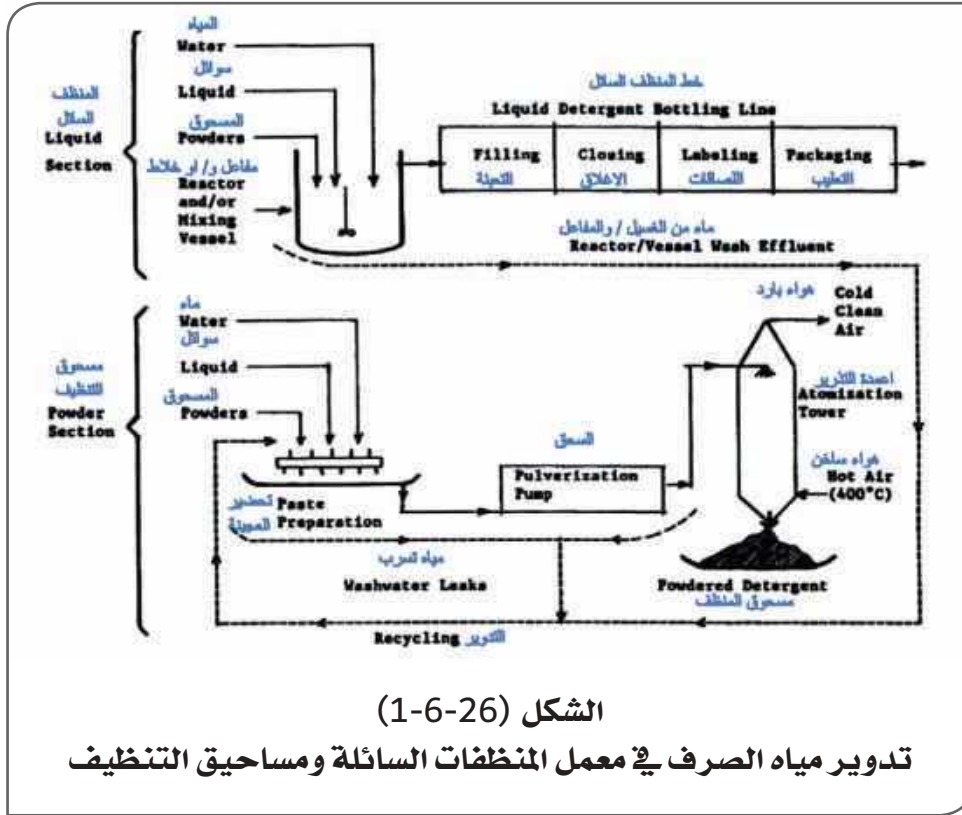
في دراسة فرنسية [48] قدمت فيها تقنية خاصة (تم اعتمادها)، وصفت عملية تصنيع جديدة للمنظفات تعتمد على تدوير مياه الصرف المجمعة من أوعية التفاعل و/أو المزج ومن الغسيل ومن تسرب المياه من عمليات إعداد العجينة، كما هو مبين في الشكل (26-6-1)، حيث يتم جمع وإعادة تدوير المياه لاستخدامها في عملية تحضير العجينة، ويؤدي ذلك إلى انخفاض كبير في التلوث وإلى وفورات في المياه والاستفادة من المواد الخام الموجودة فيها.

- وعموماً كثير من المراجع والتجارب العملية

[Besselièvre, E.B. The Treatment of Industrial Wastesو 48]

أثبتت أنه يمكن إعادة استخدام وتدوير مياه الصرف من صناعة الصابون والمنظفات، وتصل النسبة المدورة أو المعاد استخدامها وسطياً إلى المياه المطروحة من المعمل 2:1.





الشكل (1-6-26)

تدوير مياه الصرف في معمل المنظفات السائلة ومساحيق التنظيف

7-26. حالات دراسية لمعالجة مياه صرف المنظفات.

1-7-26. محطة معالجة معمل منظفات بالموليف.

Palmolive Plant - Colgate

ينتج المعمل المنظفات والصابون والجليسرين ومواد العناية الشخصية. وتتألف المحطة من المراحل التالية:

1. حوض توازن بحجم 5000 م³ مع مزج .
2. معالجة كيميائية بإضافة الكلس مع مزج سريع وتشكيل ندف وترسيب (ومعالجة منفصلة للحماة الكيميائية).
3. عند اكتشاف ارتفاع كمية مخفض التوتر السطحي «المسطحات»، ويتم ذلك بواسطة:

- «MBAS» (Methylene active Substances blue)، فيتم إضافة كمية من FeCl_2 والبوليمر العضوي مع الجرعة الاعتيادية للكلس، حيث تساعد أيضاً على إزالة الزيوت وتزيد سرعة ترسيب المعلقات.
4. التجميع في حوض توازن بحجم (1375) م³ (موجود مسبقاً في المعمل)، مع ضبط pH وإضافة المغذيات.
5. معالجة بيولوجية وترسيب نهائي.

2-7-26. محطة معالجة معمل منظفات بشري.

يقع المعمل حوالي 20 كم خارج مدينة حلب. ويحضر المعمل مسحوق الغسيل الآلي والعادي والمنظف السائل، وتأتي كمية كبيرة من مياه الصرف من التسربات وغسيل الأوعية وغسيل الأرض، وهذا المعمل لا يقوم بتصنيع المواد الأولية، وإنما يقوم فقط بخلط المواد الأولية ومزجها وتعليبها. وتم بناء محطة المعالجة عام 2004م.

2-7-26-1. كمية المياه ونوع مياه الصرف.

تبلغ كمية مياه الصرف المطروحة من المعمل 25 م³ خلال فترة عمل 10 ساعات وهي مياه مختلطة من مياه الصرف الصحي والصناعي، ويبلغ (التدفق عند ساعات الذروة) حوالي 5 م³/ساعة وعدد العاملين في المعمل لا يزيد عن 60 عامل، أي أن كمية مياه الصرف الصحي المطروحة حوالي 3 م³/يوم. الشكل (2-7-26-1) والشكل (2-7-26-2) تحليل عينة مركبة من مياه صرف المعمل ونرى ارتفاع الـ COD والأملاح والفوسفات والفوسفور.

2-7-26-2. الغاية من معالجة مياه صرف معمل بشري للمنظفات.

الغاية من المعالجة هي أن تطابق المياه الصناعية المعالجة المواصفات القياسية المحلية ليتم طرحها في المجاري العامة، وعلى سبيل المثال تتطلب المواصفة السورية لطرح المياه الصناعية في المجاري العامة، $\text{COD} = 1600 \text{ mg/l}$ ، $\text{BOD} = 800 \text{ mg/l}$. علماً أنه لا يوجد خط للمجرور العام

في المعمل، ولذلك يجب أن تعالج مياه الصرف وتنقل بالصهاريج إلى اقرب
مجرور عام.

الجدول (1-1-2-7-26)

تحليل عينة مركبة 1 لمياه صرف معمل المنظفات بشرى



نقابة المهندسين

فرع حلب

مختبر تحاليل الموائع العذبة و الطهيانية

الجهة التي وردت منها العينة : د. عدنان شيخ الكثر.

اسم العينة ورقمها : عينة ماء صرف .

تاريخ ورود العينة : ٢٠٠٤ / ٥ / ٣٠ .

نتائج التحليل الكيميائي

نتيجة التحليل	القيمة المختبرة
٤١٠.٤	COD ملغ / ل
١٢.٧	NO3 ملغ / ل
٦.١	NO2 ملغ / ل
١٢٢.٠	PO4 ملغ / ل
٩١٥	P2O5 ملغ / ل
٣٩٨	P ملغ / ل
٠.٣١	Pb ملغ / ل
١٣٠.٠	Se4 ملغ / ل
١١٦	الصلابة الكلية ملغ / ل
٧.٨٦	PH
١٢٢.٠	الصلابة المؤكسدة / سم
٦.٠٧	المواد الصلبة المنحلة غ / ل
٥.٩٥	المواد الصلبة غير المنحلة غ / ل
٢٢٧.٠	BOD
٥٢٩.٠	TDS
٣.٤	SAL%

نتيجة : المياه بحاجة إلى عمليات المعالجة المتخصصة.

الجدول (2-1-2-7-26)

تحليل عينة مركبة 2 مياه صرف معمل تصنيع المنظفات بشرى

تاريخ وصول العينة إلى المخبر : 20-6-2004		
البارامتر	التركيز ملغ/ل	الحد المسموح للطرح في شبكة المجاري ملغ/ل
1 المواد الصلبة الكلية TS	3790	-
2 المواد الصلبة المعلقة TSS	680	500
3 المواد الصلبة المنحلة TDS (بعد تجفيف عينة مرشحة)	3110	2000
4 الطلب الكيميائي للأكسجين COD	5880	1600
5 الطلب الحيوي للأكسجين BOD ₅	2420	800
6 التقلية الكهربائية EC	3750	-
7 الكروم الكلي Cr	0.04	2
8 الزيوت والشحوم	2	100
9 التركيز الهيدروجيني PH	7.05	من 6.5 إلى 9.5
10 الكلوريد Cl	87.5	600
11 الصوديوم Na	170	-
12 النترات NO ₃	0.442	-
13 القلوية HCO ₃	910	-
14 الألمنيوم Al	0.02	-
15 الأمونيوم NH ₄	125	100
16 الكبريتات SO ₄	245	1000
17 النتراي NO ₂	24.8	-
18 الفوسفات PO ₄	135	20
19 الحديد Fe	0.45	-
20 المواد الراسية بعد 30 دقيقة (ملتر/لتر)	6	10
21 المواد الصلبة المتطايرة	1460	-
22 المواد الصلبة المعدنية	2330	-

26-7-2-3. مراحل المعالجة المقترحة.

تمت المعالجة باتباع المراحل التالية: المصافي الخشنة والناعمة نوع تنظيف يدوي، التخثير الكيميائي والترسيب، المعالجة البيولوجية بالمرشح البيولوجي «مرشح التنقيط» trickling filter، ترسيب نهائي، تجفيف الحمأة بمفترش رملي.

26-7-2-3-1. الإدارة البيئية. Environmental management

إن التحاليل في الجدول (26-7-2-3-1) والجدول (26-7-2-3-1) تبين ارتفاع محتوى الأملاح والـ COD في مياه صرف المنظفات، وهذا يعني وصول كميات كبيرة من المنظفات إلى مياه الصرف نتيجة غسيل الأرض وإرسال المياه إلى محطة المعالجة. وقد تم استبدال ذلك بعمل مراقبة والتشديد على عدم وصول المنظفات إلى مياه الصرف باستعمال تكتيس الأرض، وجمع المسحوق المتساقط (بالفاكيوم)، ومراقبة التسربات أثناء التحميل والتفريغ أو من آلات الخلط والتعبئة. وكانت النتيجة انخفاض التلوث إلى حوالي 30-50 %، أي أن الحمل BOD أصبح حوالي 1.6 كغ/م³.

26-7-2-3-2. المعالجة الكيميائية. Chemical treatment

تم إضافة مركبات الكلس (بيكربونات الكالسيوم)، وإضافة بوليمير لإزالة المسطحات (مخفضات التوتر السطحي) وتخفيض الحمل العضوي. كما تم إضافة مانع رغوة، ويتم ذلك مع مزج سريع بحوض خاص وبعدها تذهب المياه بالثقالة إلى حوض الترسيب. وعملياً خفضت المعالجة الكيميائية الحمل العضوي بما لا يقل عن 30 - 50 % ، أي أن الحمل العضوي يصبح 1.21 كغ/م³.

26-7-2-3-3. المعالجة البيولوجية. Biological treatment

تدخل مياه الصرف إلى المرشح البيولوجي بالثقالة وتكون أبعاد المرشح كما يلي: الارتفاع 5 م والقطر 2 م ، أي أن سطحه 3.14 م² ، وحجم الميديا في المفاعل 6.5 م³، وتكون الميديا من نوع البلاستيك بحيث سطحها النوعي حوالي 100 م²/م³، ويتم تدوير المياه المعالجة داخلياً في المفاعل 4 مرات في الساعة، كما يتم تهوية المرشح بهواء ذي ضغط خفيف بواسطة توربين خاص، وتوزع المياه على سطح المرشح بمرشات خاصة، وتخرج المياه من المرشح من خلال مفيض (over flow) إلى حوض ترسيب نهائي،

وبعد الترسيب النهائي يتم تجميع المياه في حوض تحت أرضي ومنه تنقل إلى المجاري العامة بالصهاريج. يبين الشكل (26-7-2-3-3) محطة معالجة مياه الصرف المنظفات (معمل بشرى).





الشكل (1-3-3-2-7-26)

محطة معالجة مياه الصرف المنظفات (بشرى) 2004م

وحيث إن الحمل العضوي الكلي اليومي $1.12 \times 25 = 28$ كغ/يوم .

وبتقسيم الحمل على المتر مكعب من الميديا فيكون التحميل على
المتر مكعب:

$$6.5 / 28 = 4.31 \text{ كغ/م}^3$$

وبالرجوع إلى الفقرة (3-14) تصميم المرشح البيولوجي نجد أنه من أجل مرشح يحوي ميديا بلاستيك غير منتظمة يكون التحميل العضوي (8-1.6) كغ/م³. ونسبة الإزالة حوالي 50 %، أي أنه يتوقع أن يكون حمل $BOD = 500-600$ مغ/ل. يبين الشكل (1-3-3-2-7-26) تحليل عينة خرج من محطة المعالجة عام 2005م، ونجد أن نسبة الإزالة لـ COD بلغت 85 % ونسبة إزالة الأملاح 70 % - ونسبة إزالة الـ PO_4 98 % ، لوجود المعالجة الكيميائية. وهذه المياه قابلة للطرح في شبكة المجاري العامة.

الجدول (1-3-3-2-7-26)

تحليل عينة خرج من محطة معالجة معمل منظمات بشرى 2005

تاريخ وصول العينة إلى المخبر : 2005-5-15 : Date of arrival at laboratory

البارامتر	التركيز ملغ/ل	الحد المسموح للطرح في شبكة المجاري ملغ/ل
1 المواد الصلبة الكلية (TS)	1824	-
2 المواد الصلبة المعلقة TSS	140	500
3 المواد الصلبة المنحلة (بعد تجفيف عينة مرشحة) TDS	1684	2000
4 الطلب الكيميائي للأكسجين COD	620	1600
5 الطلب الحيوي للأكسجين BOD ₅	210	800
6 الناقلية الكهربائية EC	2140	-
7 الكروم الكلي Cr	0.12	2
8 الزيوت والشحوم	23	100
9 التركيز الهيدروجيني PH	7.15	من 6.5 إلى 9.5
10 الكلورايد Cl	145	600
11 النتريت NO ₂	2.3	-
12 القلوية CO ₃	0	-
13 القلوية HCO ₃	410	-
14 الألمنيوم Al	0.09	-
15 الأمونيوم NH ₄	14.85	100
16 الكبريتات SO ₄ ²⁻	430	1000
17 النترات NO ₃	24.2	-
18 الفوسفات PO ₄	15.4	20
19 الحديد Fe	0.6	-
20 المواد الراسية بعد 30 دقيقة (ملتر/لتر)	0.6	10
21 المواد الصلبة المتطايرة	220	-
22 المواد الصلبة المعدنية	1604	-

• **ملاحظة:** نلاحظ انخفاض الناقلية في المياه المعالجة لأن جزء من المواد الذائبة في مياه صرف المنظفات تم إزالتها أثناء مراحل المعالجة المختلفة.

إن الحمأة الكيميائية والبيولوجية المنتجة تجفف في سرير تجفيف رملي ومن ثم تجمع وتطرح في مطامر النفايات الخطرة.

26-7-3. محطة معالجة معمل منظفات فتوح.

يقع المعمل على بعد 25 من غرب مدينة حلب، ولا يوجد شبكة صرف عامة تمر قرب المعمل، ولذلك توجب على أن يعالج مياه الصرف إلى مستوى معين بحيث يمكن الاستفادة من المياه المعالجة في الري الزراعي المناسب لهذه المياه. وينتج المعمل كافة أنواع المنظفات السائلة والمساحيق (مزج وتحضير).

26-7-3-1. مراحل المعالجة.

1. مصافي خشنة وناعمة.
2. حوض توازن.
3. المعالجة الكيميائية بإضافة مركبات الكلور وبولييمر ومانع رغوة.
4. ترسيب كيميائي.
5. معالجة بيولوجية بالحماة المنشطة التهوية المديدة (زمن المكوث 36 ساعة)، مع ترسيب نهائي، ثم ضخ المياه المعالجة إلى الجوار لاستعمالها في الري الزراعي. وقد استعملت الحماة المنشطة بسبب الحاجة لتخفيض الأحمال كثيراً لتناسب الري الزراعي.
6. جمع وهضم الحماة ومن ثم تجفيفها.

الشكل (26-7-3-1) محطة معالجة بالحماة المنشطة (package) مع ترسيب كيميائي في معمل منظفات فتوح.



الشكل (1-1-3-71-26)
محطة معالجة بالحمأة المنشطة مع ترسيب كيميائي
في معمل منظفات فتوح



معالجة وإعادة استعمال مياه غسيل السيارات

Carwash wastewater treatment and reuse

27-1. مقدمة .

تُجمع كل الضوابط العالمية والخاصة على وجوب معالجة مياه غسيل السيارات (العربات) قبل طرحها في المجزور العام لما تحوية من معلقات وزيوت وشحوم و COD عال، وبشكل عام يجب أن تطرح المياه وفق المواصفة الخاصة بكل دولة سواء إلى المجاري أو إلى الطبيعة. ويتم جمع الرمل والأثرية المترسبة وتجفيفها، وجمع الزيوت الناتجة عن المعالجة والتصرف بها. كما يجدر التنويه إلى أن كمية التلوث تختلف من البلاد الرطبة إلى البلاد الجافة فمياه غسيل السيارات في مناطق مثل الشرق الأوسط تختلف عن مناطق أخرى مثل أوروبا.

كما أن عُمر العربات والزمن بين عمليتي الغسل والمسافة المقطوعة بين عمليتي الغسل ونوع المنظفات ومواد التلميع له الدور الأساسي في حمولة التلوث الموجودة في مياه صرف غسيل السيارات.

27-2. الطرائق العامة لغسيل السيارات.

نلخص فيما يلي أهم ثلاثة طرائق لغسيل السيارات:

- غسيل السيارات بالسير الناقل conveyor حيث يمكن أن يكون السائق جالساً بالسيارة، ويتم النقع يدوياً وتتحرك السيارة آلياً في النفق حيث يتم الغسيل بالرش القوي من أقواس خاصة ويتبعه تنشيف آلي وتدعى (frictionless) الشكل (a,1-2-27)، ويمكن أن يتم الغسيل بالفراشي



فتدعى (friction). وفي هذه الطريقة يمكن فصل المياه حسب مراحل الغسيل بسهولة لأن العربة تتحرك ويمكن أن تفرغ مياه كل مرحلة غسيل في حفرة خاصة حيث يمكن استعمالها بعد المعالجة في أعمال الغسيل.

- غسيل السيارات الآلي في النفق in-bay automatic (تبقى العربة في نفق الغسيل ثابتة) وتقوم فراشي بعملية الغسيل، الشكل (b,1-2-27).
- غسيل السيارات بالخدمة الذاتية self-serve يتم الغسيل يدويا من قبل موظف خاص أو من قبل السائق الشكل (c,1-2-27).
- يوجد في عدد من الدول مغاسل سيارات يدوية حيث تقوم أيضاً بتغيير الزيوت وعمل التشحيم في نفس موقع الغسيل حيث يتم رفعها وغسلها من الأسفل أيضاً. والطريقة تقوم بخدمة كل من العربات الصغيرة والمتوسطة والكبيرة في بعض الأحيان، ولذلك نلاحظ أنه في مثل هذه المغاسل تكون نسبة الملوثات عالية جداً ولا سيما الزيوت والCOD.



الشكل (b,1-2-27)
الغسيل الآلي في النفق
in-bay automatic



الشكل (a, 1-2-27)
الغسيل بالسير conveyor



الشكل (27-1-2, c)

غسيل السيارات بالخدمة الذاتية self-serve أو عن طريق موظف

3-27. استعادة مياه غسيل السيارات. Reclaim car wash water

إن عملية إعادة الطلب على المياه المستخدمة في عمليات غسيل السيارات، أو في دورات الشطف بغرض إعادة استخدامها في عمليات غسيل السيارات مرة أخرى تتطلب كحد أدنى المراحل التالية:

فصل الرمال والزيوت والشحوم من مياه الصرف قبل إعادة استخدامها في غسيل العربات، ويمكن استخدام عمليات معالجة إضافية مثل التنديف والترسيب والترشيح والأكسدة وإزالة الروائح وإزالة التآين de-ionization لتوسيع الجدوى من المياه المستصلحة. والجدير بالذكر أنه يجب أن يكون المنظف المستعمل في الغسيل مناسب وقابل للتحلل، وكذلك يجب أن تكون كمية الأملاح في الماء مقبولة.

وفي إحصائية داخل الولايات المتحدة وجد أن 52 % من المغاسل تقوم بعملية أسترداد للمياه ومنها 45 % من التي تعمل بطريقة السير و 27 % بطريقة النفق و 8.5 % بطريقة الخدمة الذاتية.

وتصل كمية المياه الممكن إعادة استعمالها (30 % إلى 50 %)، ويمكن أن تصل نسبة المياه الممكن استردادها إلى حوالي 82 % (International Carwash Association (USA) assess ويذهب الباقي تبخر وضيعات.

27-4. كمية ونوعية مياه صرف مغاسل السيارات.

كما أسلفنا سابقاً فإنه تختلف كمية ونوعية مياه صرف غسيل السيارات كثيراً حسب طريقة الغسيل. يبين الجدول (27-4-1) من [63] كمية الاستهلاك للمياه العذبة في المغاسل بطرائق الغسيل المعروفة.

الجدول (27-4-1)

كميات المياه العذبة النموذجية المستخدمة في غسيل السيارات [63]

الغسيل بالسير الناقل conveyor		الغسيل الآلي في النفق in-bay automatic	الغسيل بالخدمة الذاتية self-serve	كمية المياه العذبة اللازمة ليتر/ عربة
Frictionless	Friction			
322.43	248.7	226.8 - 189	56	بدون تدوير

في بعض المغاسل الآلية تصل كمية المياه المستخدمة في غسيل السيارة إلى 400 ليتر (بلجيكا).

وفي إحصائية في دولة الكويت لغسيل السيارات بطريقة in-bay wash وجد أن كمية المياه المستخدمة تصل 185 - 370 ليتر/سيارة. يبين الجدول (27-4-2) من [64] دراسة تحاليل لعينات غسيل سيارات بطريقة يدوية، ماليزيا.

الجدول (27-4-2)

تحاليل لعينات غسيل سيارات بطريقة يدوية ماليزيا [64]

Parameter	Weekdays		Weekends	
	Sample 1	Sample 2	Sample 1	Sample 2
pH	8.68 ± 1.621	7.85 ± 1.222	8.8 ± 0.507	8.27 ± 0.6558
Conductivity (µS)	137	125	189	235
TSS (mg/L)	147 ± 83.72	82 ± 25.238	202 ± 10	126 ± 75.147
Turbidity (NTU)	180.3 ± 51.926	68 ± 19.313	216.33 ± 21.548	173.67 ± 58.76
COD (mg/L)	721.7 ± 105.458	681.3 ± 27.392	849.67 ± 233.140	893.33 ± 297.942
Oil and grease (mg/L)	1.78 x 10 ⁻³	-	4.15 x 10 ⁻³	2.08 x 10 ⁻³
Phosphorus (mg/L)	6.36	2.79	8.63	7.3



إن وجود العسرة (hardness) في الماء يؤدي إلى استخدام كميات أكبر من المنظفات وتسبب في تكلس الأنابيب وفوهات الرش. ونتيجة لذلك يتم استخدام المياه المزالة العسرة في معظم مغاسل السيارات للحد من الحاجة إلى المنظفات والحد من التبقيع على المركبات، علماً أن TDS التي لم يتم إزالتها بواسطة وحدة إزالة العسرة سوف تسهم في وجود البقع أيضاً. إن غسيل السيارات مع TDS يصل 350ppm أو أكبر يتطلب في كثير من الأحيان استخدام إحدى أساليب الترشيح الغشائية لإنتاج مياه لأعمال الشطف لا تشكل بقع على العربات. وكلما انخفضت كمية الملوحة TDS انخفضت كمية المنظفات المطلوبة في الغسيل.

وتحتوي مياه صرف غسيل السيارات الملوثات التالية:

TSS، والنحاس، والرصاص، والزنك، والفوسفات، والنترات، ومواد تخفيض التوتر السطحي polycyclic aromatic (PAHs) surfactant، إن ال COD يأتي من استعمال مسطحات غير قابلة للتحلل.

- في دراسة في (دولة المكسيك) [65] على عدد من المغاسل اليدوية مع تغيير زيوت وتشحيم للسيارات، كان متوسط استخدام المياه للغسيل (50) لتر لكل سيارة صغيرة الحجم و (170) ليتر غسيل كامل الخدمة الخارجي والمحرك والهيكل الحامل (الشاسيه) و(170) لتر لكل مركبة متوسطة الحجم (شاحنة صغيرة أو شاحنة خفيفة) و(300) لتر مع كامل الخدمة. كما تبين أنه لدى غسيل شاحنة كبيرة يمكن أن يصل الاستهلاك إلى (1100) ليتر/شاحنة. يبين الجدول (3-4-27) نوعية مياه صرف مغاسل سيارات يدوية مع خدمة كاملة، وهذه الحمولات تبدو عالية وليست عالمية ولكن تعطي مؤشر أنه في بعض المغاسل يمكن أن تحوي حمولات بهذا القدر وخصوصاً في دول تعاني شح المياه. ولذلك ينصح بتحليل كيميائي لمياه الصرف لكل حالة.

الجدول (3-4-27)

نوعية مياه صرف مغاسل سيارات يدوية مع خدمة كاملة، [65]

المعاملات والحمل	O&G mg/L	TSS mg/L	VSS % of TSS	TDS mg/L	VDS % of TDS	COD mg/L	pH	الناقلية μs	MBAS mg/L
وسطي	1099	3561	% 29	1508	% 32	4520	7.5	803	21.8
اصغري	404	728	% 20	905	% 26	897	7	517	6
اعظمي	2876	4887	% 34	2442	% 47	7814	8.5	1070	35.8
عدد العينات N	10	7	6	6	6	8	8	4	6

5-27. طرائق معالجة مياه غسيل السيارات.

نستعمل عدة طرائق لمعالجة مياه مغاسل السيارات وتقدم الشركات حلول عديدة لمعالجة وإعادة استعمال مياه المغاسل ولكن هنالك مراحل أساسية لابد منها كفصل الزيوت والترسيب إلخ، و نقدم فيما يلي بعض الحلول المتبعة في المعالجة والاستفادة من مياه غسيل السيارات.

1-5-27. فصل الزيوت والشحوم بالراحة (بالثقالة)، الترسيب البسيط.

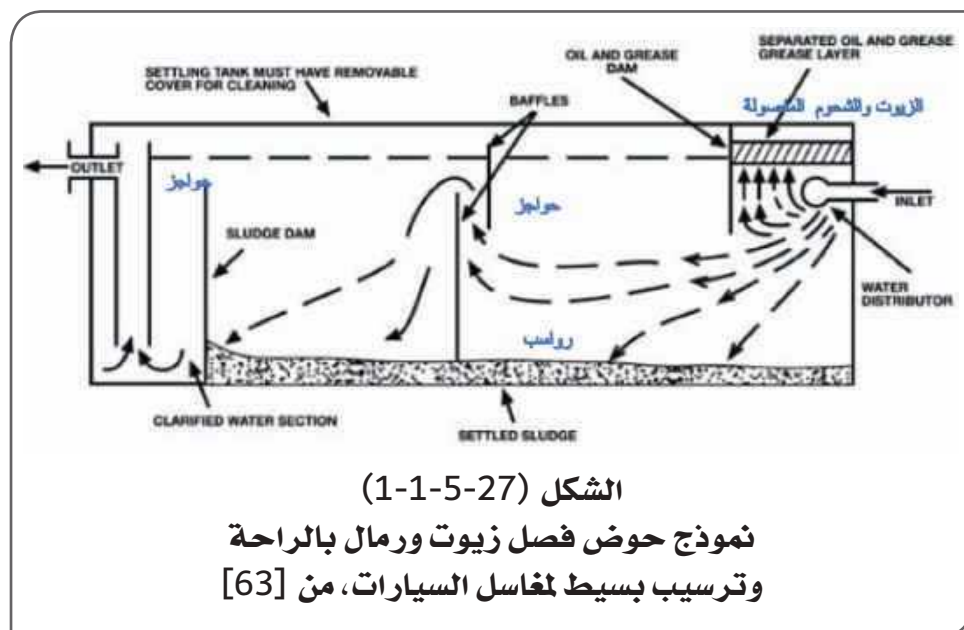
الخطوة الأولى في عملية المعالجة هي فصل الرمال والأتربة والزيوت والشحوم من مياه الغسيل بالراحة وذلك بحساب الحجم اللازم لتحقيق ذلك. وعادة ما تتم في سلسلة من ثلاث خزانات أو حجيرات ذات حجم متساو تقريباً، يبين الشكل (1-1-5-27) [63] حوض نموذجي لفصل الزيوت والمعلقات. ويجب أن يكون حجم خزانات الفصل كبيرة بما يكفي للسماح للجزيئات الكبيرة بالاستقرار في قاع الخزان. في الحوض الأول يتم فصل الزيوت والشحوم، وفي الحوض الثاني يتم الترسيب ويليه حوض ثالث يتم منه ضخ المياه وإعادة استخدامها في غسيل أسفل العربات. كما يمكن استعمال الصفائح المائلة في حوض فصل الزيوت بالراحة لتحسين أداء

عملية فصل الزيوت الشكل (2-1-5-27)، أو يمكن ان يتم فصل المعلقة
بفاصل حلزوني (hydro cyclone) لتحسين نوعية المياه وإزالة الرمال حتى
قطر 30 ميكرون الشكل (3-1-5-27).

يستعمل التطويف بالهواء المذاب DAF أو Induced air flotation
من أجل إزالة الزيوت الحرة أو المستحلبة بعد إضافة مواد كيميائية (كما
يزيل أيضاً المواد العالقة).

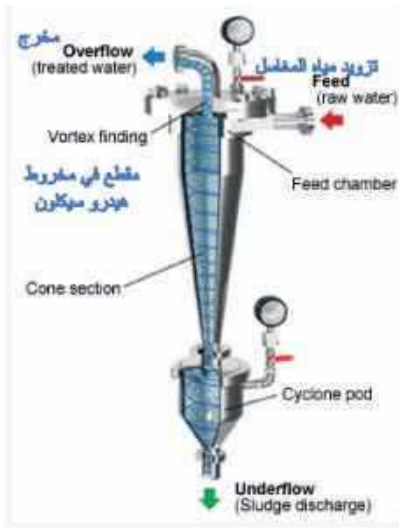
2-5-27. الأكسدة. Oxidation.

إن وجود اللون والرائحة في مياه صرف مغاسل السيارات قد يكون
ناجماً عن نمو البكتيريا أو الطحالب في الماء أو من الهيدروكربونات التي
التقطت من السيارات. إن أكسدة الملوثات هو من الحلول المتبعة لإعادة
الاستعمال وإن التهوية هي إحدى هذه الحلول، وتتم بإضافة الهواء في
الأحواض أو بعملية كيميائية كإضافة الكلور أو بطرائق أكثر حداثة باستخدام
الأكسدة بالأوزون.





الشكل (2-1-5-27)
نموذج فاصل زيوت بالراحة مع الصفائح المائية



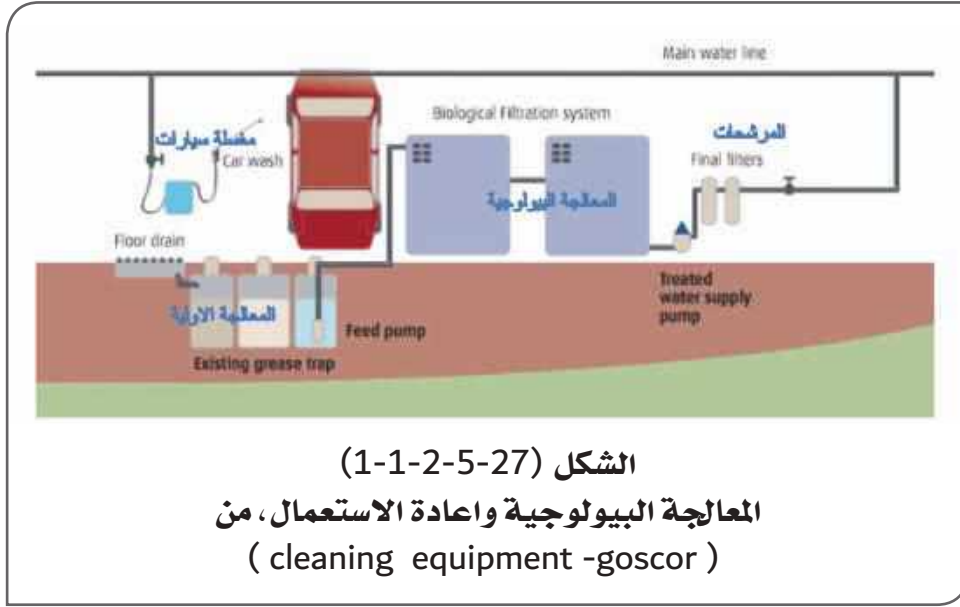
الشكل (3-1-5-27)
نموذج فاصل حلزوني
(hydro cyclone)
لإزالة الرمال والمعلقات الصغيرة
من مياه صرف المغاسل

ويستعمل الأوزون لإزالة اللون والرائحة وهو عامل مؤكسد قوي ومطهر. والأوزون عامل تبييض قوي يتصرف بسرعة أكبر من الكلور أو من بيروكسيد الهيدروجين، والأوزون له ميزة إضافية على الكلور بأنه لا يترك روائح غير مرغوب فيها، ولا يشكل منتجات ثانوية كالكور، ولكن يجب أن لا يتعرض له العمال مباشرة أو جسم العربات.

1-2-5-27. الأكسدة البيولوجية. Biological oxidation

يمكن معالجة مياه المغاسل بيولوجيا بعد اجراء المعالجة الاولى عليها وازالة الاتربة والزيوت والشحوم. الشكل (1-1-2-5-27) يبين المعالجة البيولوجية واعادة الاستعمال لغسيل السيارات الالي في النفق

in-bay automatic. ويمكن استعمال الطرائق الاخرى للمعالجة البيولوجية كاستخدام الميديا الثابتة Fix bed أو المتحركة MBBR إلخ، ويمكن بعدها عمل حوض ترسيب نهائي يتبعه مرشح رملي ويتبعه وحدة كربون منشط.



3-5-27. الترشيح. Filtration

تستعمل عدة وسائط لإزالة الجسيمات الأكبر من 10 ميكرومتر حتى يمكن استخدام المياه المعالجة في مضخات الضغط العالي لأداء دورة الغسيل، ويشمل الترشيح بواسطة طبقات الرمل أو بواسطة الفلاتر القماشية أو الامتزاز وغيره.

المواد الصلبة في مياه الغسيل المعاد استعمالها قد تسبب عدد من المشاكل فالجسيمات العالقة الكبيرة يمكن أن تؤثر على السيارة بينما الجسيمات الصغيرة بما في ذلك المواد الصلبة الذائبة يمكن أن تسبب البقع. بعد المرشح الرملي يضاف مرشح من الفحم المنشط حيث يمكن إزالة الكلور والهيدروكربونات من الماء قبل العودة إلى دورة الغسيل.

- التخثير Flocculation يساعد في معالجة مياه المغاسل من خلال ربط المعلقةات في جزيئات أكبر تفيد في زيادة فعالية عملية الترشيح. ويستخدم التخثير في بعض أنظمة استعادة مياه المغاسل للتحكم في اللون [63].

- من Zulfiqar (2010) تجربة مخبرية استعمل فيها الشب (الالوم) كمخثر في المعالجة الأولية وكذلك استعمال بروكسيد الهيدروجين (H_2O_2) كمعالجة ثنائية ووجد أن نسبة الإزالة (COD 93 % والعكارة 94 % و TDS 74 %).

- الترشيح الرملي.

يتم استعمال المرشح الرملي لإزالة المعلقةات ويتم إعادة تنشيطه بالغسيل العكسي، يمكن أن يستمر عمل المرشحات الرملية بشكل جيد من سنة إلى أربع سنوات قبل أن يكون استبدال الرمل امراً ضرورياً. والمرشحات الأخرى كالمرشحات القماشية والورقية وغيرها يتم الترشيح بها حسب توجيهات الشركات المصنعة.

27-5-3-1. الترشيح الغشائي وإزالة الشوارد.

لاستعمال المياه المعالجة من أجل الشطف النهائي يستخدم الترشيح الغشائي لإزالة الأيونات في حال كون تركيز المواد الصلبة المنحلة (الذائبة) TDS عالي. ومن بين التقنيات الثلاثة الشائعة، الترشيح الفائق الدقة ultrafiltration، وحدة إزالة الأيونات de-ionization (وهي مكلفة من أجل المغاسل) والتناضح العكسي reverse osmosis RO.

ويستخدم RO في معظم الأحيان في عملية استعادة الماء وهو يزيل من 95 - 99 % من الأملاح المنحلة (الذائبة)، وعندما تستعمل المياه العذبة كمعوض للمياه فيمكن استعمال الرواجع من RO في الغسيل الأولى.

أما الترشيح الفائق الدقة UF فيستخدم أيضاً تكنولوجياً الأغشية ولكن مجال إزالة حجم الجسيمات يكون أكبر من تلك التي تمت إزالتها من خلال RO، ويمكن أن يكون الترشيح الفائق الدقة مقبولاً عندما يكون الماء غير عسر ومستويات الـ TDS منخفضة.

تستعمل المياه المعالجة في الشطف الأخير بعد إزالة الأملاح TDS إلى نسب مناسبة بواسطة RO (أو يمكن استعمال المياه العذبة مباشرة للشطف الأخير). أما الرواجع فتستعمل في الغسيل الأولى للعربة من الخارج (النقع) أو في غسيل أسفل العربة.



معالجة مياه صرف الصناعات الدوائية Pharmaceutical Wastewater Treatment

28-1. مقدمة .

إن الصناعة الدوائية تقوم بتصنيع المنتجات البيولوجية، والمواد الكيميائية الطبية والمنتجات النباتية، وأدى التطور الصحي في البلدان المتقدمة والنامية إلى تنوع كبير في الإنتاج الصيدلاني جعل من المستحيل حصرها وبالتالي حصر الملوثات الناتجة عن تصنيعها، ولذلك يجب إن تدرس كل نوعية من مياه الصرف بحد ذاتها.

28-2. الأمثلة النموذجية لفئات المنتجات الصيدلانية.

فيما يلي بعض الأمثلة النموذجية لأنواع المنتجات الدوائية:

28-2-1. طبي. Medicinal

مثل المضادات الحيوية Antibiotics (penicillins, tetracyclines) والفييتامينات، مضادات العدوى agents Anti-infective، أدوية الاكتئاب depressants Central، أدوية المعدة والهضم، الهرمونات Hormones، مضادات الهيستامين Antihistamines، الأدوية الجلدية، أدوية الكلية.. إلخ.

28-2-2. حيوي. Biological

السيروم Serums، اللقاحات vaccines، وكذلك antigens، toxoids....



28-2-3. نباتية. Botanicals

المورفين MorpHine، الكينين quinine، مخفض ضغط reserpine، الكودايين codeine، والكافيين caffeine إلخ.

28-2-4. حسب نوع معامل الادوية.

وتصنف أيضاً إلى معامل تخمير دوائي، ومعامل كيميائية دوائية، وعضوية دوائية، وإلى تحضير ومزج، وتعبئة المضغوطات وكبس الحبوب.

28-3. نوعية وكمية مياه صرف معامل الصناعات الدوائية.

تختلف نوعية وكمية مياه الصرف حسب الصناعات المذكورة في الفقرة (28 - 2) ولذلك فمن الضروري إجراء التجارب لعينات مركبة يومية وأسبوعية وشهرية وسنوية، وذلك لاختلاف الأدوية المنتجة حسب المواسم وهي عملية أساسية في تصميم محطة المعالجة في معامل الأدوية. ويمكن أن تحوي مياه الصرف على - معادن ثقيلة كالنيكل Ni والكاديوم Cd والرصاص والزنك، وتحوي مذييات عضوية Organic solvents، كما يمكن أن تحوي بعض الملوثات ذات الأولوية، كما يمكن أن تحوي مضادات حيوية كمركبات الاموكسيسيلين Amoxicillin، وهي أدوية منتشرة الاستعمال للإنسان والحيوان. الجدول (28-3-1) يعطي امثلة لنوعية مياه صرف معامل الادوية من [52] والجدول (28-3-2) تحاليل عينات مركبة لمياه صرف لمعامل أدوية مختلفة في مدينة حلب، ويجب أن نأخذ في الاعتبار أن معظم المعامل في الدول النامية تقوم بمزج المركبات الكيميائية وغير الكيميائية المختلفة والمستوردة مع المواد المائلة والمتوفرة غالباً محلياً وذلك لتحضير الأدوية. وعموماً إذا كان الوزن الجزيئي molecular weights للمواد كبير نسبياً فيمكن استعمال الأغشية كمرشح النانو في المعالجة أو استرجاع بعض المواد كالاموكسيسيلين ذات الوزن الجزيئي الكبير 365.4 دالتون).

ونلاحظ أن نسبة COD/BOD كبيرة لكل الصناعات الدوائية المذكورة في الجدول (28-3-1) ويعود ذلك لوجود المذييات العضوية Organic solvents.

علماً أن إعادة استرداد المذيبات والاستفادة منها يساعد المعالجة البيولوجية ويعطي تكاليف اقتصادية مقبولة للمعالجة، بينما في الجدول (2-3-28) نسبة COD/BOD أقل، بسبب كون غالبية التصنيع هو مزج وتعبئة.

الجدول (3-3-28) نتائج تحاليل عينات مياه صرف لمعامل أدوية في الهند بومباي [28].

الجدول (1-3-28)
أمثلة لمحتويات مياه صرف معامل المنتجات الدوائية
ومنتجات العناية الشخصية [52]

نوعية منتجات المعمل	أدوية السعال / شامبو	العناية الشخصية / وشامبو	دوائي : مضاد حيوي / وفيتامين	منتجات دوائية غذائية	صابون	عناية شخصية / وشامبو
التدفق م ³ /يوم	8 / 180 ساعات	10 / 40 ساعة	250 / 24 ساعة	24 / 1000 ساعة	8 / 130 ساعة	16 / 100 ساعة
BOD ₅ ملغ/ل	3000 - 2000	500-800	100-1020	4000	8200-12400	250-400
COD ملغ/ل	6500-8500	2000-3400	150-1820	8500	13400-18500	600-800
TSS ملغ/ل	مهمل	30-40	300	1500	600	100-200
O&G ملغ/ل	150-100	400	-	500	4000-3600	25-40
PH	4-6	6-7.3	6-7	-	-	3.5-7.5
TN ملغ/ل	100-125	-	15-30	130	-	-

الجدول (2-3-28)
أمثلة لتحاليل عينات مركبة لمياه صرف معامل أدوية
مختلفة في مدينة حلب
(تحليل كلية الهندسة المدنية - جامعة حلب)

المؤشرات / parameters	معمل أدوية الرازي- منتجات: مضغوظات وكبسولات وسوائل وغيره حلب 2008/8/4	معمل أدوية بيطرية فنصة - منتجات مختلفة - حلب 2009/9/1	معمل أراك - منتجات تعقيم وشامبو وكريمات وبخاخ انف 2011/9/10
1 المواد الصلبة الكلية TS ملغ/ل	980	1170	-
2 المواد الصلبة العالقة TSS ملغ/ل	265	230	355
3 المواد الصلبة المنحلة (الذائبة) TDS ملغ/ل	715	930	1083
4 COD ملغ/ل	1720	1200	5960
5 BOD ₅ ملغ/ل	560	510	1315
6 الناقلية الكهربائية EC ميكروسيمنس/سم	920	1290	1445
7 الكروم الكلي Cr ملغ/ل	0.43	0.16	-
8 التركيز الهيدروجيني PH	7.67	7.26	6.92
9 الزيوت والشحوم ملغ/ل	79	90	-
10 الكلورايد Cl ملغ/ل	100	55	105
11 النتريت NO ₂ ملغ/ل	1.69	0.59	-
12 الامونيوم NH ₄ ملغ/ل	1.78	20	1.48
13 الكبريتات SO ₄ ملغ/ل	360	315	48
14 النترات NO ₃ ملغ/ل	13.14	10	18.5

515	210	220	القلوية HCO_3 ملغ/ل	15
8.48	0.45	4.37	الفوسفات PO_4 P ملغ/ل	16
-	0.47	0.434	الحديد Fe ملغ/ل	17
1	0.31	0.76	النحاس Cu ملغ/ل	18
-	-	290	المواد الصلبة المتطايرة ملغ/ل	19
-	-	690	المواد الصلبة غير المتطايرة ملغ/ل	20

- كمية مياه الصرف:

أما بالنسبة لكمية مياه الصرف فهي أيضاً مختلفة جداً من معمل لآخر ومن تصنيع دواء لآخر، ولا يمكن عملياً حصر هذه التدفقات، ولذلك يجب دراسة الكمية على الواقع.

28-4. طرائق معالجة مياه صرف معامل الصناعات الدوائية.

تختلف نوعية مياه الصرف بشكل كبير كما تختلف أيضاً كمياتها، ولذلك لا يوجد طريقة محددة يمكن اعتمادها في المعالجة ولكن يمكن اعتماد منهجية عامة للمعالجة.



الجدول (3-3-28)

خصائص مياه الصرف من صناعة الادوية في بومباي، الهند [28]

Parameters	Concentration range	Average
pH	5.5–9.2	7.2
COD (mg/L)	1,200–7,000	2,500
TSS (mg/L)	30–55	40
Total alkalinity as CaCO ₃ (mg/L)	70–1,500	750
TVA (mg/L)	70–2,000	750
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	80–500	200
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	3.5–35	16
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	100–700	300
Chloride (mg/L)	500–1,200	900
Sulfide (mg/L)	2–8	5
Cobalt (mg/L)	0–0.6	0.2
Potassium (mg/L)	5–25	18
Lead (mg/L)	0.05–0.9	0.35
Iron (mg/L)	0.2–0.9	0.45
Zinc (mg/L)	0.05–0.15	0.09
Chromium (mg/L)	0.1–0.6	0.3
Mercury (mg/L)	0.15–0.50	0.25
Copper (mg/L)	0–0.10	0.1
Cadmium (mg/L)	0.07–0.25	0.10
Sodium (mg/L)	200–3,000	2,000
Manganese (mg/L)	0.1–0.4	0.2
Silicon (mg/L)	5–50	25
Magnesium (mg/L)	5–60	40
Tin (mg/L)	0.1–1.5	0.6
Aluminum (mg/L)	0.05–0.20	0.10
Barium (mg/L)	0.1–0.3	0.16
Arsenic (mg/L)	0.1–0.5	0.25
Bismuth (mg/L)	0.09–0.3	0.15
Antimony (mg/L)	0.50–3.0	1.4

والمنهجية التي يمكن اعتمادها في المعالجة:

- فصل واسترداد المواد المفيدة من مياه الصرف إذا كان ذلك ممكناً واقتصادياً.
- فصل تدفقات مياه الصرف الملوثة من مراحل الإنتاج إذا كان ذلك اقتصادياً ومعالجة كل تدفق على حدة.



- المعالجة الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية والمتقدمة لمياه الصرف والتصرف في المياه المعالجة.

28-4-1. المعالجة الفيزيائية.

- المصافي.
- **أحواض التوازن والمجانسة:** لمجانسة الأحمال وتوازن التدفقات غير المنتظمة (عادة لا تعمل كل المعامل 24 ساعة).
- **ضبط pH:** وعموماً تتم بواسطة مواد قلوية أو حامضية.
- **التخثير والتنديف.** Coagulation/Flocculation

إن دراسة نسبة إزالة SS و COD باستعمال المخثرات مثل FeSO_4 والشب، و FeCl_3 يمكن أن تكون متواضعة وغير اقتصادية وخصوصاً إذا كانت كمية المواد الكيميائية المضافة كبيرة وكفاءة الإزالة قليلة وهذه الحالة معروفة عند معالجة كثير من مياه صرف معامل الأدوية [28]. (يجب إجراء تجربة مخبرية رائدة jar test لتحديد المواد الكيميائية المناسبة للمعالجة وكميتها).

- التعرية بالهواء. Air Stripping

(راجع الفقرة 16 - 2) وتستعمل خصيصة لإزالة المواد العضوية المتطايرة وفي دراسة (M/SHindustan Dorr Oliver, Bombay, in 1977) لتأثير التعرية بالهواء على الـ COD في معامل صرف الأدوية فتبين أن نسبة الإزالة تصل (35 - 45 %).

- المعالجة بالأوزون /الماء الأوكسجيني. Ozone/Hydrogen Peroxide Treatment

تحتوي معامل الأدوية على مواد عضوية صعبة التحلل العضوي مثل التولين toluene، والفينولات pHenols، أو (TCMP)، «1,1,1 - trichloro-2-methyl-2-propanol»، (وقد لا تُزال

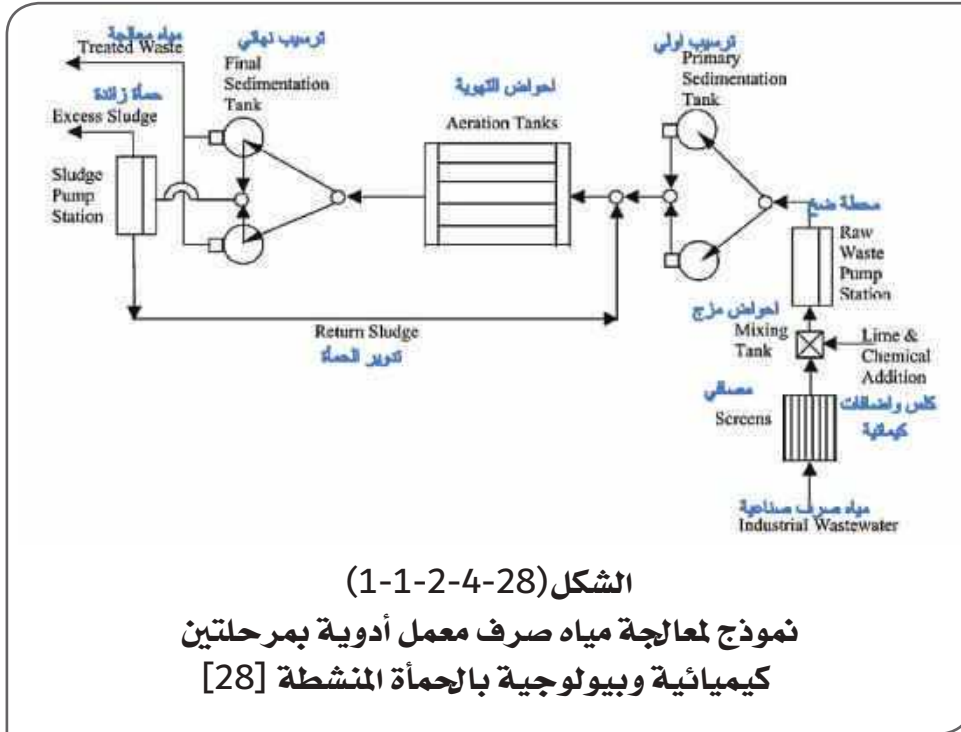
بعض هذه المركبات حتى بالفحم المنشط)... فيلجأ إلى إزالتها بواسطة
المعالجة بالأوزون /الماء الأوكسجيني من
[Waste Treatment in the Process Industries]

28-4-2. المعالجة البيولوجية.

يمكن معالجة مياه صرف معامل الأدوية بطريقة الحمأة المنشطة
أو البرك المهواة أو المرشحات البيولوجية أو المعالجة اللاهوائية بطريقة
المرشحات البيولوجية، أو يمكن أن تكون المعالجة على مرحلتين بيولوجيتين.

28-4-2-1. الحمأة المنشطة.

يمكن أن نعالج مياه صرف الصناعات الدوائية بطريقة الحمأة المنشطة
التقليدية أو التهوية المديدة، وهي منفذه في عشرات المعامل حول العالم
وحتى أن هذه الطريقة تزيل بعض المذيبات المشهورة في معامل الأدوية مثل
(tert-butanol) (ولا ينصح بزمان تهوية طويل جداً خوفاً من انتفاخ الحمأة
«الانسداد بالحمأة»، ويمكن أن يعود الانسداد بالحمأة إلى نقص الغذاء) . وفي
تجربة ناجحة في الاسكندرية [28] لمعمل ينتج أدوية مختلفة ومنها المضادات
الحيوية، وجد أنه بزمان تهوية من 9 - 12 ساعة و $MLSS < 2500$ ملغ/ل،
اعطت المحطة نتائج جيدة طابقت المواصفة المصرية. معالجة كيميائية يتبعها
معالجة بالحمأة المنشطة. الشكل (28-4-2-1-1) معالجة بمرحلتين كيميائية
وبيولوجية بالحمأة المنشطة. وفي تجارب ناجحة أثبت أن مزج مياه صرف معامل
الأدوية بمياه الصرف الصحي قد أعطى نتائج جيدة جداً. [28]



• الحماة المنشطة مع الفحم المنشط.

يمكن إضافة حبيبات الفحم المنشط GAC فعندها يمكن الحصول على إزالة للملوثات ذات الأولوية والفينول واللون.

2-2-4-28. المرشح البيولوجي «مرشح التنقيط». Trickling Filter

مرشح التنقيط قادر على معالجة مياه صرف تصنيع الأدوية والتي تحوي على مواد كيميائية ودوائية. ففي تحميل عضوي لمرشح بيولوجي ($BOD/m^2.d$) 26.8 أعطى كفاءة معالجة بالنسبة إلى BOD (88% - 43%) وبالنسبة إلى COD (87% - 58%) [28] ونؤكد هنا على أهمية أن يكون $PH \approx 7$.

3-2-4-28. المرشح البيولوجي اللاهوائي. Anaerobic Filter

في دراسات [28] أعطى المرشح اللاهوائي عند معالجة مياه صرف تحوي COD يتراوح تركيزها (1000-16000) ملغ/ل معالجة جيدة، حيث تم تحميل المرشح اللاهوائي (0.37-3.52 kg COD/m³.d) ولمدة مكوث HRT يومان فأعطى كفاءة معالجة (93.7%-97.8 %) كما انه لم تظهر مشاكل كبيرة في التشغيل.

4-2-4-28. المعالجة البيولوجية بمرحلتين.

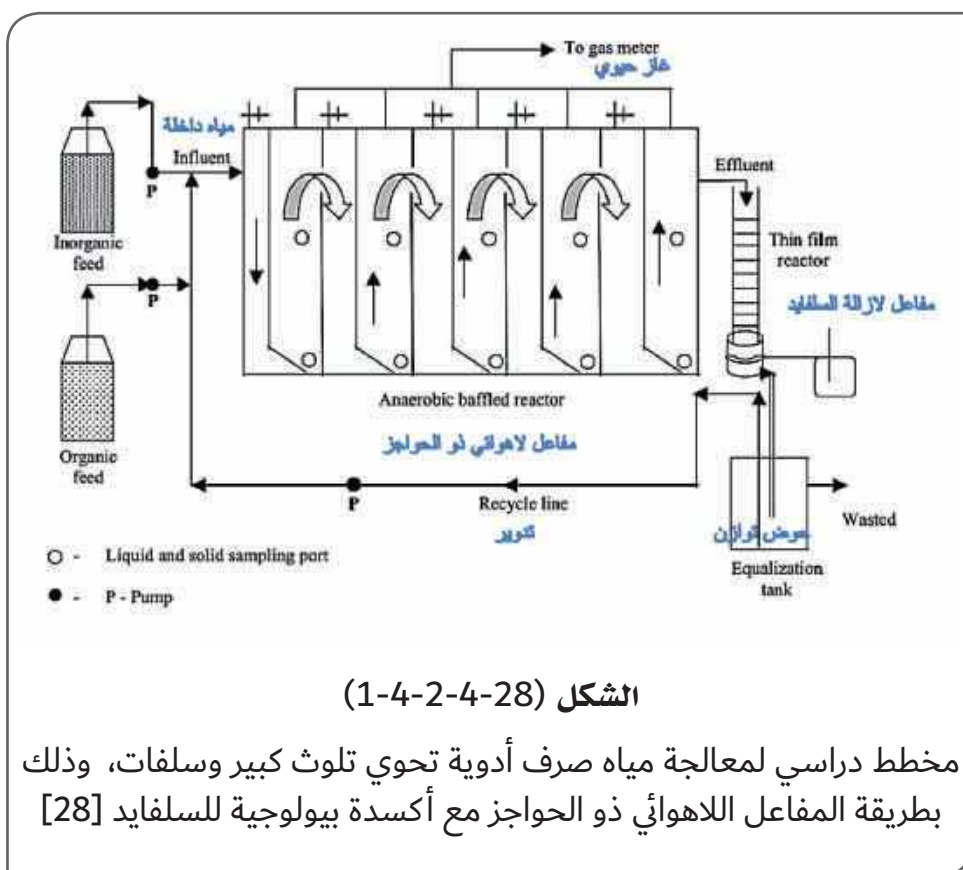
Two-Stage Biological System

عندما يكون المطلوب من المعالجة الحصول على مواصفات عالية لنتمكن من طرحها في المسطحات المائية فيمكن اللجوء إلى المعالجة بمرحلتين بيولوجيتين، وسنذكر عدد من التجارب التي استعملت فيها مرحلتين بيولوجيتين في معالجة مياه صرف الصناعات الدوائية:

- مرشح بيولوجي يتبعه معالجة بالحمأة المنشطة التقليدية طبقت في Dorsey Laboratories في Lincoln، Nebraska بأمريكا. [28].

• **هاضم بيولوجي لاهوائي** يتبعه ترسيب ثم يتبعه معالجة بالحمأة المنشطة (أو الحمأة المنشطة ذات التهوية المديدة) مع ترسيب نهائي وفي حال وجود السلفات SO_4^{2-} في مياه الصرف فإن المعالجة اللاهوائية تنتج السولفايد S^{2-} ويتم أكسدته بيولوجيا بمفاعل خاص وتحوله إلى عنصر الكبريت (S^0) [28].

يبين الشكل (1-4-2-4-28) مخططاً لمعالجة مياه صرف معمل أدوية تحوي تلوث عالي بطريقة المفاعل اللاهوائي ذو الحواجز مع أكسدة بيولوجية للسلفايد راجع الفقرة (7-4-13) (ABR) طريقة المفاعل اللاهوائي ذو الحواجز.



- وكذلك تجربة محطة معالجة معمل أدوية في شمال القاهرة بمصر حيث وجد أن المعالجة بالحماة المنشطة ذات التهوية المديدة لمدة 20 ساعة وبتبعها معالجة بالحماة المنشطة التقليدية 11 ساعة قد أعطت اقتصادية في الإنشاء وأداء عالٍ في المعالجة [28].

5-28. معالجة مياه الصرف في معمل آراك لإنتاج الأدوية والشامبو والمعقمات والكريمات - حلب.

يقع المعمل غرب مدينة حلب ولا يوجد بقره مجرور عام، فكان المطلوب من نوعية المعالجة هو الوصول الى الحدود التي تسمح باستعمال المياه المعالجة في اعمال الري أو رميها في الوادي.

28-5-1. كمية ونوعية مياه الصرف.

- كمية المياه 25 م³/يوم
- نوعية مياه الصرف وفق التحليل الوارد في الجدول (28-3-2) ونلاحظ أن COD = 5960 مغ/ل . وأن BOD = 1315 مغ/ل، ونلاحظ أن النسبة بينهما أكثر من أربع مرات.

28-5-2. طريقة المعالجة المقترحة.

بسبب التلوث المرتفع جداً، تم الاعتماد على عدة مراحل في المعالجة، الشكل (28-5-2-1) محطة معالجة معمل أدوية اراك مع بيان بعض المراحل. وفيما يلي شرح مراحل المعالجة الرئيسية:

1. حوض تجميع تحت أرضي يعمل كخزان تحلل Septic tank زمن المكوث فيه 24 ساعة (ويتم فيه الترسيب والهضم اللاهوائي. وتحدث فيه عمليات لاهوائية فيتم هضم الرغوة و الرواسب مع الزمن. وينتج من الهضم اللاهوائي للمواد العضوية الميثان وثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين ورائحته لم تكن مشكلة لاتحاده مع بعض المعادن، كما يتم التهوية من نفس قسطل التزويد الذي كان ممتداً لأعلى البناء) [4].
2. كمية الإزالة اللاهوائية أكثر من 30 % من حمل COD ولكن pH انخفض إلى حوالي 6 - 6.5.
3. إضافة كلس (ماءات الكالسيوم) إلى مياه الصرف مع مزج آلي.
4. معالجة بالحمأة المنشطة التقليدية لمدة 12 ساعة وهي محطة موجودة في الموقع تم إعادة تأهيلها .
5. معالجة بالحمأة المنشطة تهوية مديدة لمدة 2 يوم.
6. هضم الحمأة هوائياً.
7. تجفيف الحمأة .

3-5-28. نتائج المعالجة في معمل اراك فارما.

إن نقص الغذاء وضبط MLSS كان أهم مشكلة واجهت المحطة، ويتم سقاية الأشجار الحراجية والمثمرة والمروج في المعمل بالمياه المعالجة صيفاً وفي الشتاء تذهب للوادي بحيث كان $COD > 150$ ملغ/ل.



الشكل (1-2-5-28)

محطة معالجة معمل ادوية اراك مع بيان بعض مراحل المعالجة



معالجة مياه الصرف الناتجة عن تكرير النفط Petroleum Refinery wastewater treatment

29-1. مقدمة .

إن كمية مياه الصرف المنتجة في العالم من عمليات تكرير النفط تقدر 6700000 م³/يوم، ويتوقع أن تتضاعف هذه الكمية عدة مرات في العقود القادمة [53]. وعادة لا تشبه مصفاة تكرير النفط مصفاة نفط أخرى تماماً. ويعتمد تصميم المصفاة على نوعية وكمية النفط ونوعية المنتجات النفطية. (Doggett and Rascoe, 2009).

المبدأ العام لتكرير النفط: يتم تكرير النفط عن طريق فصل النفط الخام إلى أجزاء على أساس نقطة الغليان، ويتم ذلك عن طريق التقطير التجزيئي للنفط الخام. ويتم هذا التقطير في أبراج خاصة تدعى أعمدة التقطير حيث يتم تسخين النفط الخام صعوداً، ويتبخر ومن ثم يتم فصله إلى أجزاء مختلفة عن طريق التكثيف والتبريد ويتم سحب المنتجات من العمود حيث نحصل على أنواع مختلفة من الوقود. الشكل (29-1-1)، يبين عملية تكرير نفط تقليدية مع بيان مواقع إصدار المياه الملوثة.

تعريف النفايات السائلة المطروحة من مصافي النفط: هي النفايات السائلة التي تنشأ عن عمليات تكرير النفط وتصنيع الوقود ومواد التشحيم والصناعات البتروكيماوية [53].

وتحتوي مياه الصرف على الزيوت والشحوم والمركبات السامة والمركبات العضوية الأخرى.

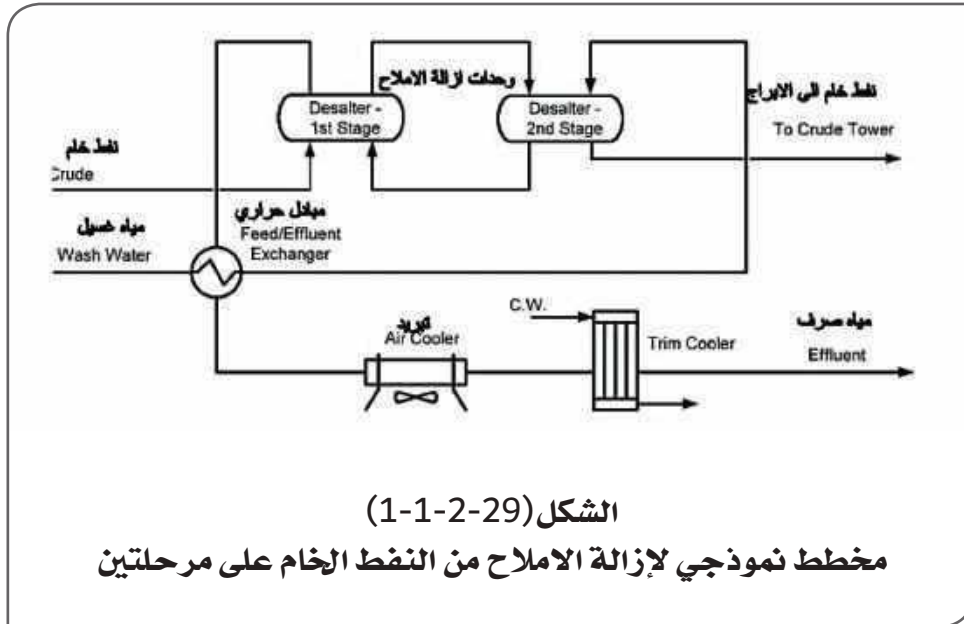


29-2-1. النفائات السائلة من إزالة الأملاح. Desalter effluent.

تبرز أملاح غير عضوية وأتربة في النفط الخام يجب إزالتها، وتكون هذه الأملاح مثل أملاح كلور (الصوديوم، والمغنيزيوم، والكالسيوم)، ومن مخاطر وجود الأملاح والطين بأنها تتراكم وتتسبب بحدوث إنسدادات، وكذلك تتسبب في تآكل المعدات المعدنية بسبب تشكل حمض كلور الماء HCL، (تكون بشكل محلول مستحلب emulsified solution من الملح).

نسبة المياه في النفط حتما 0.1 - 2 % وتكون كميتها ونوعيتها عائدة لحقل النفط.

إن كمية الأملاح الموجودة بالمرحلة المائية (salts contained in the aqueous phase) تتراوح 113 - 4.5 كغ / 1000 برميل نفط خام [54]. ويتم عادة إزالة الأملاح بطريقة كيميائية أو كهربائية والمياه المستعملة في إزالة الأملاح تطرح كمياه صرف. الشكل (29-1-1)، يبين نموذج لإزالة الأملاح من النفط الخام بمرحلتين. درجة حرارة المياه المالحة بعد الإزالة حوالي $149^{\circ}\text{C} = 300^{\circ}\text{F}$ [54]، ويتم بعد ذلك تبريد هذه المياه وتكون قيمة pH = 6 - 7.



ويعتمد تلوث هذه المياه على عدة عوامل:

- درجة الـ pH فعند ارتفاعها يحدث استحلاب أكثر ويزيد التلوث داخل المياه [54].
- كمية وتكرار عملية سحب الطين.
- مراقبة الملوحة.

يمكن أن يحوي النفط الخام على طين فيتم إزالته بشكل مستمر أو بشكل دوري من أسفل جهاز إزالة الأملاح، والجدول (1-1-2-29) يبين نوعية المياه من موقع إزالة الأملاح من النفط الخام.

الجدول (1-1-2-29)

نوعية المياه المطروحة من موقع إزالة الأملاح من النفط الخام [54]

Contaminant	Expected concentration (mg/l)
Chemical oxygen demand (COD)	400 to 1000
Free hydrocarbons	Up to 1000
Suspended solids	Up to 500
Phenol	10 to 100
Benzene	5 to 15
Sulphides	Up to 100
Ammonia	Up to 100

إن مياه الغسيل المستخدمة في عملية إزالة الملح Desalters تشكل عادة 5 - 8 % من إنتاجية النفط الخام [54]، وعادة لا تستعمل مياه عذبه في هذه المرحلة وإنما تستعمل مياه صرف منتجة أثناء العمليات كما سيرد في الفقرة التالية.

2-2-29. المياه النكدة. sour water

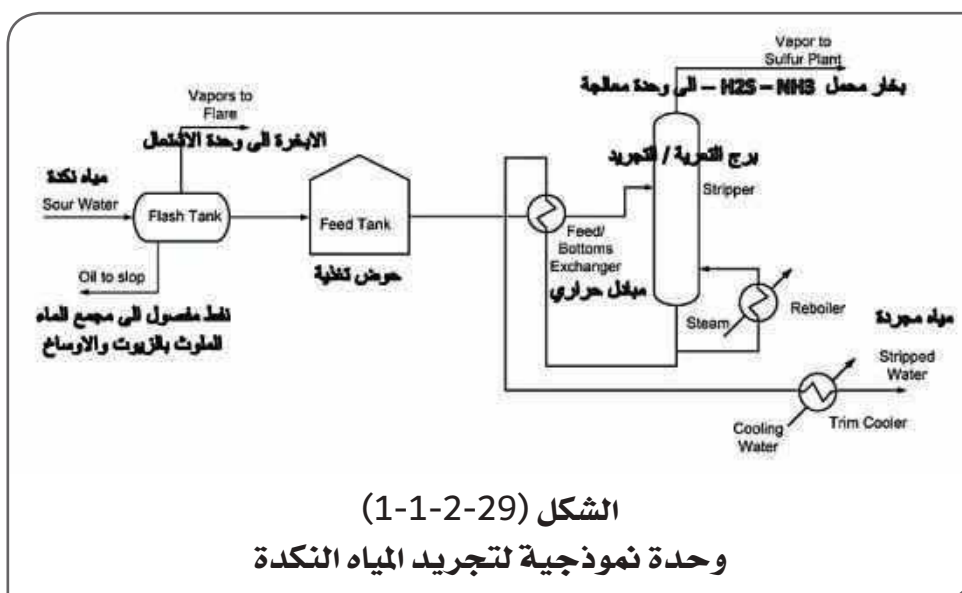
إن المياه (النكدة) sour water تشكل أكبر كمية من مياه الصرف [53]، وتنتج من استخدام البخار في مصافي النفط في العديد من العمليات، فيستعمل مثلاً كوسيط للتجريد في التقطير. ويتم تكثيف البخار وتصريفه كمياه حامضية.

وهذا البخار المكثف وفي وجود الهيدروكربونات التي تحتوي على (H_2S) والنشادر (NH_3) ، يتم امتصاص هذه المركبات إلى المياه فتصل إلى مستويات تصبح بحاجة إلى المعالجة.

إن المعالجة النموذجية للمياه النكدة تتم بإرسالها إلى وحدة تجريد يتم فيها إزالة H_2S و NH_3 في الشكل (2-2-29-1) تعرض وحدة نموذجية لتجريد المياه النكدة. ويستخدم البخار الحار لوحدة التجريد - ويمكن أن يتحقق H_2S ppm 1 > و NH_3 ppm 30 > للمياه المجردة - ومع هذه المستويات من المعالجة نجد أن المياه تكون مثالية لإعادة تدويرها / إعادة استخدامها، فتستخدم للغسيل بعمليات إزالة الأملاح في المرحلة الأولى من التكرير، والزيادة من هذه المياه تذهب إلى محطة المعالجة.

إن هذه المياه يمكن أن تكون أكثر تعقيداً بوجود مراحل إضافية في التكرير مثل مرحلة (thermal and catalytic crackers)، أو (التكسير الحراري أو التحفيزي) التي تعطي مياه نكدة فيها الفينول والسيانيد حيث يفضل فصلها عن المياه الأخرى [54].

الجدول (2-2-29-1) يبين مستويات التلوث المتوقعة من مياه الصرف التي تخرج من الأبراج.



3-2-29. المياه من قاع الخزانات. Tank bottom draws

في الأحوال العادية في مصافي النفط تكون فئات الخزانات التي قد يتطلب سحب المياه منها:

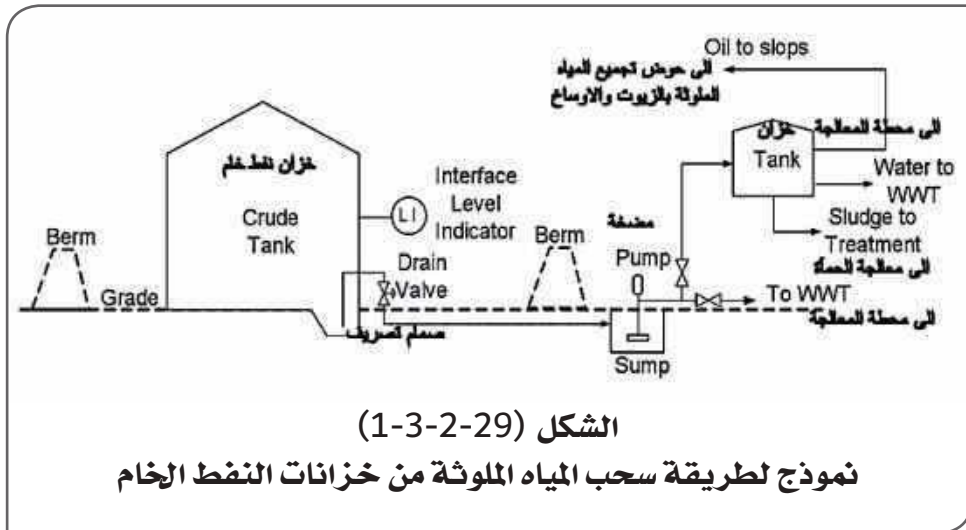
- خزانات النفط الخام. Crude tanks

يتواجد (الماء والطين) في أسفل خزانات النفط الخام ويتم سحبهم بشكل دوري من الخزانات إلى محطة المعالجة أو لوحدة فصل خاصة يتم فيها فصل المواد الصلبة عن الماء والنفط، في الشكل (1-3-2-29).

نموذج لسحب المياه الملوثة من خزانات النفط الخام ويعرض الجدول (1-3-2-29) كمية التلوث النموذجية في المياه المسحوبة من خزانات النفط الخام [54].

الجدول (1-2-2-29)
مستوى الملوثات المتوقعة في المياه النكدة المجردة [54]

Contaminant	Expected concentration (mg/l)
Chemical oxygen demand (COD)	600 to 1200
Free hydrocarbons	< 10
Suspended solids	< 10
Phenol	Up to 200
Benzene	0
Sulphides	< 10
Ammonia	< 100



الجدول (1-3-2-29)

كمية التلوث النموذجية في المياه المسحوبة من خزانات النفط الخام [54]

Contaminant	Expected concentration (mg/l)
Chemical oxygen demand (COD)	400 to 1000
Free hydrocarbons	Up to 1000
Suspended solids	Up to 500
Sulphides	Up to 100

- خزانات Gasoline tanks.

وتحتوي خزانات الكازولين كمية من الماء ولكن كميتها أقل من كميتها التي في خزانات النفط الخام وتعالج تقريباً بنفس الطريقة.

- خزانات المياه الملوثة . Slop water

4-2-29. المحاليل الكاوية المستنفذة. Spent caustic

المحلول الكاوي المستنفذ: هو المحلول الكاوي مثل (ماءات الصوديوم sodium hydroxide أو ماءات البوتاسيوم potassium hydroxide أو غيره) والذي أصبح مستنفذاً وغير مفيد.

وتكون المحاليل الكاوية المستنفذة في عمليات تكرير النفط نتيجة لاستخراج المركبات الحمضية من المواد الهيدروكربونية، مثل كبريت الهيدروجين والفينولات، سيانيد الهيدروجين، ثاني أوكسيد الكربون وغيرها ونتيجة لذلك فإن هذه المركبات الحمضية الممتصة في المحلول الكاوي يجب أن تنظف بشكل متقطع أو مستمر من نظام المعالجة بالمحلول الكاوي، ويتم الاستعاضة عنه بمحلول كاوي جديد.

يتم تجميع هذا المحلول في خزانات ويتم تصريفه إلى:



- محطة المعالجة (إذا كانت تستوعب هذا الحمل) ويتم معالجة هذه الملوثات، علماً أنه لا يعتبر هذا الحل هو الحل الأمثل، ويتم تصريف المحلول بشكل دفعات علماً أنه مضر للمحطة وللمجاري ويجب أخذ ذلك في الاعتبار.
- أو يتم معالجة المركبات الكاوية المستنفذة فيتم فصل PHenolic spent caustic و sulphidic spent caustic ومعالجتهم. أو الإبقاء على الأخير ومعالجته في المحطة لأنه أسهل وإرسال محلول الفينول المستنفذ إلى التصريف الخارجي أو معالجته واسترداد الفينول.
- هنالك خيارات أخرى متعددة لإدارة المحلول الكاوي المستنفذ وذلك حسب نوع ومحتويات المحاليل الكاوية المستنفذة وحسب إمكانية رصد أموال مناسبة للمعالجة.

5-2-29. مياه التبريد. Cooling water

جزء من مياه أبراج التبريد يتم سحبها من النظام وتدعى العملية Blow down (الكسح) وذلك لمنع تراكم المواد الصلبة المنحلة (الذائبة) وعادة ترسل المياه المسحوبة إلى محطة المعالجة، ويكون تلوثها خفيفاً حيث COD = 150 مغ/ل، والأملاح TDS = 700 مغ/ل و TSS = 150 - 200 مغ/ل [54].

6-2-29. مياه المراجل. Boiler blowdown

وهي كمية من المياه يجرى سحبها من المراجل تقدر 5 % من المياه الداخلة للمراجل وتدعى أيضاً Blow down (الكسح).

7-2-29. معالجة المياه العذبة. raw water treatment / المخابر LAB

وتعطي هذه النشاطات كمية من المياه الملوثة إضافة إلى الحمأة.

8-2-29. العاصفة المطرية / الصرف المنزلي.

- العاصفة المطرية في مصافي تكرير النفط تشير إلى مياه الأمطار أو



الثلوج المتساقطة على موقع المصفاة والتي تكون حتماً ملوثة وتحتاج إلى معالجة قبل طرحها أو التصرف بها.

- الصرف المنزلي هو مياه الصرف الناتجة عن المطابخ والحمامات وسكن العمال.. في موقع المصفاة وهو تلوث يمكن معالجته بالطرائق التقليدية.

29-2-8-1. العاصفة المطرية. Stormwater

من المفضل عمل فصل لمياه الأمطار التي تهطل على المواقع الملوثة بالزيوت والمواد الكربوهيدراتية وهذه المياه يجب أن تذهب إلى محطة المعالجة، أما مياه الأمطار الهاطلة على المواقع النظيفة فيمكن أن يتم تصريفها مباشرة إلى المجاري أو إلى المسطحات المائية أو الاستفادة منها.

والمياه الملوثة يجب أن تذهب إلى مصيدة زيوت oil Trap لإزالة أكبر كمية من الزيوت والمعلقات، وكمية هذه المياه تعتمد على المنطقة والمساحة، وبعد فصل الزيوت تذهب المياه إلى محطة المعالجة. وفي كثير من الأحيان يجب التفريق بين الهطول الأولي (بارتفاع 2.5 سم)، والهطول ما بعد ذلك، حيث إن الأمطار وحتى 2.5 سم تكون ملوثة بكمية أكبر بكثير من الأمطار التي تلي ذلك [54].

29-3. كمية مياه الصرف من مصافي النفط.

أن كمية مياه الصرف المنتجة أثناء عمليات تكرير النفط المختلفة تتراوح (0.4 - 1.6) مرة كمية النفط الخام المعالج [56][53]، ويمكن أن تكون هذه الكمية أقل، كما لوحظ ذلك في كثير من المصافي في دول العالم النامي كما في محطة جامناجار India - Jamnagar، في الهند حيث تبلغ كمية مياه الصرف 0.16 من النفط إضافة إلى الأمطار [60].

29-4. نوعية مياه صرف مصافي النفط والصناعات البتروكيميائية.

الجدول (1-4-29) (2-4-29) (3-4-29) يعطي أمثلة لنوعية مياه الصرف في عدد من مصافي النفط، وفي الجدول (4-4-29) يعطي نوعية مياه الصرف من تكرير النفط ومن الصناعات البتروكيميائية المختلفة، حيث نلاحظ أن التلوث يصبح مرتفع جداً.

الجدول (1-4-29)

أمثلة نموذجية لنوعية مياه الصرف من بعض مصافي النفط في العالم [55]

pH ^a	Composition (mg/l)								Ref.
	COD	BOD	DOC	O&G	SS	Ammonia	Phenols	Sulphides	
7-9	100-600	150-360	-	≤50	≤150	15	-	-	Ma et al. (2009)
8.0	80-120	40.25	-	NR	22.8	-	13	-	Abdelwahab et al. (2009)
6.6	596	-	-	-	120	-	-	887	El-Naas et al. (2009a)
8.44	216	-	-	-	-	-	-	22	Altas and Büyükgüngör (2008)
6.5-7.5	170-180	-	-	-	420-650	-	-	-	Salen and Nejati (2007)
NR	300-800	150-350	-	3000	100	-	20-200	-	Al Zarooni and Elshorbagy (2006)
6.7	200	-	20	23	-	70	3.7	-	Santos et al. (2006)
8.0-8.2	850-1020	570	300-440	12.7	-	5.1-21.1	98-128	15-23	Coelho et al. (2006)
-	68-220	0.2-1.2	10.4-31.3	1.1-3.5	-	0.21-21.23	0.85-3.75	-	Rahman and Al-Malack (2006)
8.1-8.9	510-911.9	-	-	-	-	-	30-30.6	-	Jou and Huang (2003)
6.5	800	-	350	3000	100	-	8	17	Demirci et al. (1997)
10	80.8	8.0	-	47.5	-	2.3	-	-	Ojuola and Onuoha (1987)
NR	658-710.5	-	185	45	NR	22	30	10	Serafim (1979)

^a Dimensionless.

الجدول (2-4-29)

نوعية مياه الصرف في عدد من مصافي النفط مأخوذة من عدد من الابحاث، رقم المصافي النفطية (14,19,20,21) من [56]

Parameter	Coelho et al. ¹⁴	Dold ¹⁹	Ma et al. ²⁰	Khaing et al. ²¹
BOD ₅ , mg/l	570	150 - 350	150 - 350	-
COD, mg/l	850 - 1020	300 - 800	300 - 600	330 - 556
Phenol, mg/l	98 - 128	20 - 200	-	-
Oil, mg/l	12.7	3000	50	40 - 91
TSS, mg/l	-	100	150	130 - 250
BTEX, mg/l	23.9	1 - 100	-	-
Heavy metals, mg/l	-	0.1 - 100	-	-
Chrom, mg/l	-	0.2 - 10	-	-
Ammonia, mg/l	5.1 - 2.1	-	10 - 30	4.1 - 33.4
pH	8.0 - 8.2	-	7 - 9	7.5 - 10.3
Turbidity, NTU	22 - 52	-	-	10.5 - 159.4

Parameters	Units	Wastewater values	NEQS values
pH	–	8.31 (1.4)	6–10
Electrical conductivity (EC)	mS cm ⁻¹	9.43 (2.86)	NG
Chemical oxygen demand (COD)	mg L ⁻¹	1965 (175)	150
Biochemical oxygen demand (BOD)	mg L ⁻¹	685 (84)	80
Total dissolved solids (TDS)	mg L ⁻¹	6267 (548)	3500
Total suspended solids (TSS)	mg L ⁻¹	315 (32)	150
Oil contents	mg L ⁻¹	1057 (89)	10
Phenol	mg L ⁻¹	18.32 (3.70)	0.1
Nitrogen	mg L ⁻¹	0.15 (0.01)	NG
Phosphorous	mg L ⁻¹	0.67 (0.05)	NG
Chlorides	mg L ⁻¹	2575 (349)	1000
Sulfate	mg L ⁻¹	137 (25.3)	600
Total hardness	mg L ⁻¹	985 (46)	NG
Calcium	mg L ⁻¹	84 (7.4)	NG
Magnesium	mg L ⁻¹	61 (8.2)	NG
Sodium	mg L ⁻¹	3369 (390)	NG
Potassium	mg L ⁻¹	80 (18.5)	NG
Iron	mg L ⁻¹	6.48 (0.47)	1
Copper	mg L ⁻¹	4.72 (0.32)	1
Zinc	mg L ⁻¹	4.3 (0.38)	1

National Institute for Biotechnology & Genetic Engineering (NIBGE), Faisalabad, Pakistan

الجدول (4-4-29)

نوعية مياه الصرف في عدد من الصناعات البتروكيميائية [55]

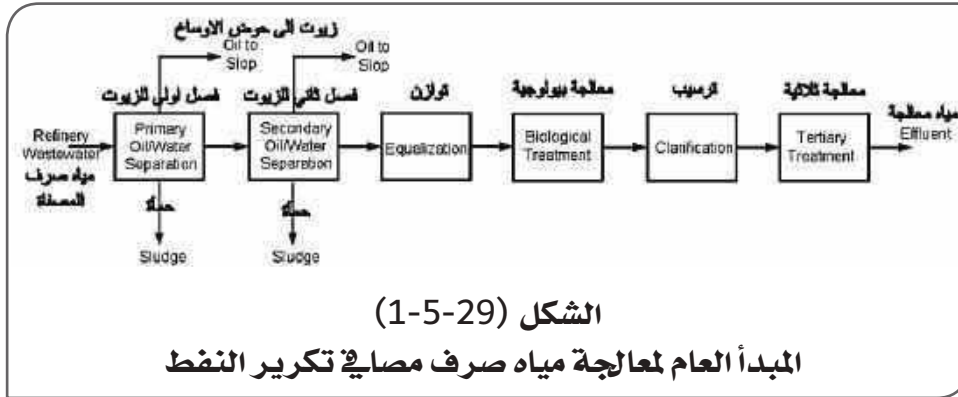
Parameter	A	B	C	D	E	F	G
Alkali-nity	4060	365	164	–	–	–	–
BOD	1950	345	225	1950	16,800	16,700	170
Chlorides	430–800	1980	825	800	96,300	1,44,000	800
COD	7970–8540	855	610	1972	21,700	27,500	2000
Oils	547	73	–	547	–	–	45
pH	9.4–9.8	9.2	7.5	–	–	–	–
Phenols	–	160	17	10–50	–	–	400
Sul-phates	655	280	–	655	–	–	–
Suspen-ded solids	27–60	121	110	60	700	348	Neg-ligible
TOC	–	–	160	–	–	–	–
Total nitrogen	1160–1253	89	48	1253	40	45	100
Total solids	2191–3029	3770	2810	3029	172467	167221	3000
Miscel-laneous	–	Sul-phides-150	Phos-phates-Trace	–	%Vol. Total solids = 10.5	%Vol. Total solids = 13.2	H ₂ S=12

29-5. طرائق معالجة مياه صرف مصافي النفط.

Oil refineries Wastewater treatment methods

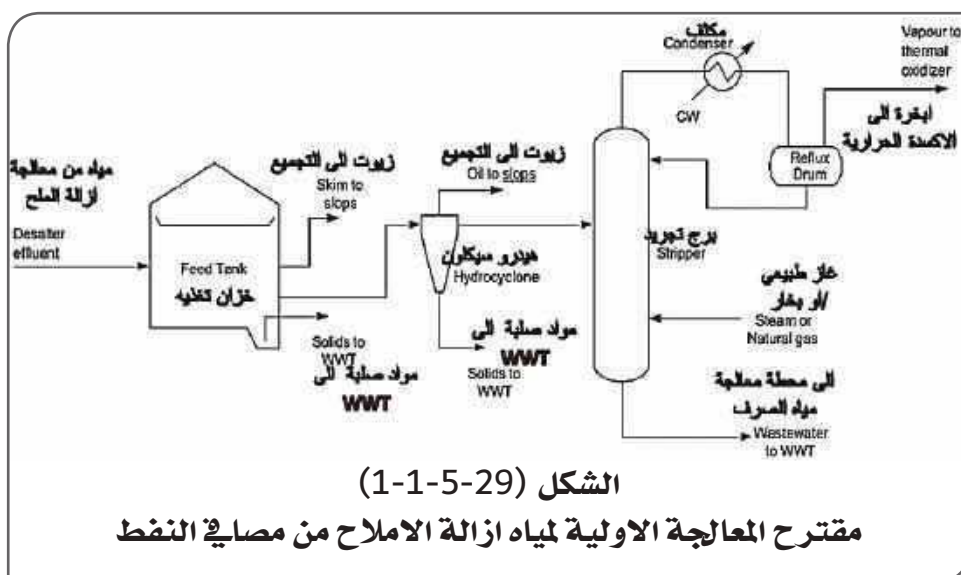
تختلف طرائق المعالجة من مصفاة لأخرى فتعتمد على طريقة تكرير النفط، نوع المنتجات، الحجم. وقبل اعتماد أي من طرائق المعالجة المتبعة يجب أن تمرر مياه الصرف على مصافي لإزالة المعلقات.

الشكل (29-5-1) يوضح المبدأ العام لمعالجة مياه مصافي تكرير النفط. ولكن يفضل عمل معالجة أولية للمياه في كل مرحلة بسبب ما تسببه هذه الملوثات من مشاكل على أداء محطة المعالجة الرئيسية لاحقاً. وسنذكر هنا حالة مرحلة إزالة الأملاح.



29-5-1. النفايات السائلة من مرحلة إزالة الأملاح. Desalter effluent.

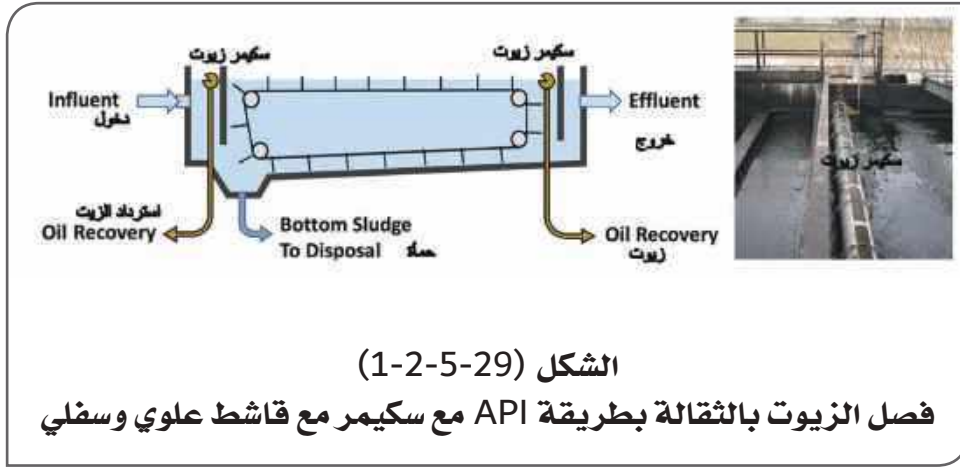
تحتوي هذه المياه على الأملاح والمواد العضوية الطيارة VOC_s مثل البنزن Benzene، والزيوت، والزيوت المستحلبة ويمكن وضع وحدة أولية لفصل الزيوت وفصل الطين وترسيب الملح الممكن ترسيبه ويليهها برج تجريد، الشكل (29-5-1-1) يبين مقترح من [54] لمعالجة أولية لمياه إزالة الأملاح من مصافي النفط. وتستخدم المعالجة المذكورة خصوصاً إذا كانت سعة وحدة فصل الزيوت للمحطة الرئيسية محدودة ويوجد خوف من صدور روائح من هذه المياه ...



سنقوم في الفقرات التالية بعرض تتابع المراحل الاساسية لمعالجة مياه الصرف المطروحة من مصافي تكرير النفط:

2-5-29. فصل الزيوت. Oil separator.

يتم فصل الزيوت بالمرحلة الأولى بالراحة (بالثقاله)، مع استعمال قواشط (أو بدون قواشط) وسكيمر لسحب الزيت إلى خارج الحوض وتدعى الطريق عالمياً API الشكل (1-2-5-29)، وفي المرحلة الثانية من فصل الزيوت تتم بطريقة DAF، راجع الفقرة (6 - 7)، ويتم فيها فصل الزيوت الحرة والمستحلبة، وعموماً عندما يتم استعمال مواد كيميائية (كالبوليمرات) يمكن الوصول فيها إلى نسبة إزالة تصل إلى حوالي 99 % .



3-5-29. تنصح بعض المراجع بتطبيق معالجة كيميائية بالتخثير والترسيب [58] وذلك للأسباب التالية:

- تخفيف المواد الهيدروكربونية المنحلة (الذائبة).
- ضبط الـ pH وخصوصاً إذا كان سيتم إرسال المياه إلى المعالجة البيولوجية.
- إزالة المعادن الثقيلة precipitation والسامة.
- أكسدة أو ترسيب الكبريتيد الزائد بأملاح الحديد.
- الترسيب.

تتم المعالجة السابقة بأملاح الحديد أو الألمنيوم ويمكن إضافة الكلس، أو بوليمر انيوني anionic polymer.

4-5-29. المعالجة الثنائية (الثانوية). Secondary treatment

تستعمل الطرائق البيولوجية بكثرة في إزالة المواد العضوية المنحلة (الذائبة) وتستعمل تقريباً كل الطرائق المعروفة في المعالجة، فيمكن استعمال النمو المعلق suspended growth processes أو النمو الملتصق attached growth processes.

أمثلة على المعالجة بطريقة النمو المعلق:

1-4-5-29. الحمأة المنشطة. Activated sludge

وهي من طرائق النمو المعلق للكائنات الحية الدقيقة في حوض التفاعل البيولوجي، وعموماً تكون (70% - 90% MLVSS) لمياه صرف النفط [54]، أما أداء الحمأة المنشطة لمياه صرف المصافي النفطية والصناعة النفطية فنجد في الجدول (1-4-5-29) من [57].

- **ملاحظة هامة:** عموماً يوجد خلل في كمية المغذيات في مياه الصرف مصافي النفط ولذلك يجب إضافة المغذيات مع استمرار المعالجة.

الجدول (1-4-5-29)

أداء الحمأة المنشطة لفضلات المصافي النفطية والبتروكيميائية

نوع الفضلات	التحميل العضوي (LBS من BOD / يوم / LBS من الحمأة)	زمن المكوث ساعات	نسبة إزالة BOD	ملاحظات
تكرير النفط	0.6	4-5	90-95	99% إزالة الفينول
تكرير النفط	0.3-0.4	3-4	90-95	98% إزالة الفينول
تكرير النفط	0.2- 0.1	18-22	88-92	إنتاج حمأة قليلة
بتروكيميائية	0.65-0.76	8-10	95-97	نفخ الحمأة أو (الإنسداد بالحمأة) من أجل وقت معالجة طويل
LBS = ليبرة				

وتستعمل الطرائق التالية المطورة عن طريقة الحمأة المنشطة أيضاً في المعالجة:

- الحمأة المنشطة مع بودرة الفحم المنشط Activated sludge with active carbon (PACT)

وهي تستعمل بكثرة في معالجة مياه تكرير النفط ويتم عادة إعادة تدوير أغلب الفحم المنشط المستعمل.

(النظام PACT يجمع بين المعالجة البيولوجية والامتزاز على الكربون مما يؤدي إلى تحقيق وفورات كبيرة في التكاليف ومزايا أداء أكثر من النظم الأخرى).

- **SBR مفاعل الدفقات المتتابع Sequencing batch reactor** -
راجع (3-1-15) وتنصح به كثير من المراجع لنجاح كثير من محطات معالجة مياه تكرير النفط التي تعمل بطريقة SBR.

- **المعالجة البيولوجية بالأغشية Membrane biological reactor MBRs** -
راجع الفقرة (4 - 12)

وهي أكثر كلفة من الطرائق الأخرى، ولكنها تستعمل خصوصاً إذا كان المطلوب إجراء معالجة متقدمة للمياه المعالجة. وقد وجد viero وآخرون (2008) أن استعمال MBR لمياه الصرف من تكرير النفط يمكن أن يزيل بشكل فعال الفينول (متوسط إزالة > 98 %). ومن المتوقع أن التحول من نظم المعالجة البيولوجية التقليدية إلى MBRs سيطبق في هذه الصناعة مستقبلاً بشكل أكبر.

- **البحيرات المهواة Aerated lagoons** وتستعمل الطريقة خصوصاً إذا كانت المساحة متوفرة ويمكن أن تكون الطريقة هوائية أو هوائية لاهوائية.

• امثلة على المعالجة بطريقة النمو الملتصق:

- المرشح الحيوي بالتنقيط. Trickling filter
- السرير المتميع. Fluidized bioreactors (FBR) ، راجع (2-5-13)
- الأقراص الدوارة. Bio disk

• **الخلاصة:** بسبب انخفاض التلوث وكمية المياه الكبيرة المنتجة من مصافي النفط فيمكن بسهولة:



❖ إعادة استعمال مياه الصرف بعد إجراء فصل للمياه المنتجة من مراحل التكرير وذلك بإجراء معالجة مناسبة لكل نوعية من هذه المياه، ويمكننا إعادة استعمال المياه من بعض المراحل بمعالجة بسيطة.

❖ أو عمل معالجة لإعادة استعمال كل المياه باتباع المراحل التالية:

- إزالة الزيوت ويتبعه التخثير الكيميائي.
- تطبيق أي من طرائق المعالجة المناسبة لإزالة الملوثات التي لا يمكن أن تقوم المعالجة البيولوجية بإزالتها لاحقاً مثل الأكسدة، التجريد، راجع الفصل (16).
- المعالجة البيولوجية.
- المعالجة المتقدمة كإزالة كل المعلقات المتبقية باستعمال المرشح الرملي والفحم المنشط، والترشيح الدقيق Microfiltration، أو الترشيح الفائق الدقة ultrafiltration، أو الترشيح النانومتري nanofiltration...
- إزالة الأملاح المنحلة (الذائبة) بواسطة إحدى الطرائق المعتمدة مثل التناضح العكسي RO أو التبادل الشاردي..

طرائق أخرى للمعالجة:

- تستعمل طرائق أخرى في المعالجة كالتخثير الكهربائي لإزالة $\text{NH}_3\text{-N}$ و COD من مياه صرف مصافي النفط.

راجع (Electrochemical Treatment of Oil Refinery Wastewater for $\text{NH}_3\text{-N}$ And COD Removal)

(Laisa Candido^{1,*}, José Antonio C. Ponciano Gomes¹, Hermano Cezar Medaber Jambo²)

- المعالجة اللاهوائية لمياه الصرف وتعتمد على كمية الأحمال الداخلة.

29-6. لمحة عامة عن بعض محطات معالجة مياه صرف مصافي النفط.

An overview of some oil refinery wastewater treatment plants.

29-6-1. مصفاة تكرير النفط لشركة MOBIL OIL في فرنسا. - Notre dame de gravench

الشكل (29-6-1-1) يبين مراحل معالجة مياه الصرف في مصفاة تكرير النفط لشركة MOBIL OIL في فرنسا. حيث تبلغ كمية مياه الصرف: 400 م³/سا ويتم معالجتها وفق ما يلي:

1. تدور مياه العمليات الإنتاجية وإعادة استعمالها في التبريد أو ترمى في البحر، بعد أن تخضع إلى:
 - فصل زيوت API - DAF، ويعاد تدوير الزيوت.
 - مرشح تنقيط Trickle filter. راجع الفصل [14].
 - مرشح بيولوجي Biofilter. راجع الفصل [14].
2. المياه من خزانات التجميع والتنظيف Ballast waste water يتم جمعها في خزانات (يتم سحب الماء من الأسفل) وتضخ إلى المرشح البيولوجي ومنه إلى البحر.



الجدول (1-2-6-29)

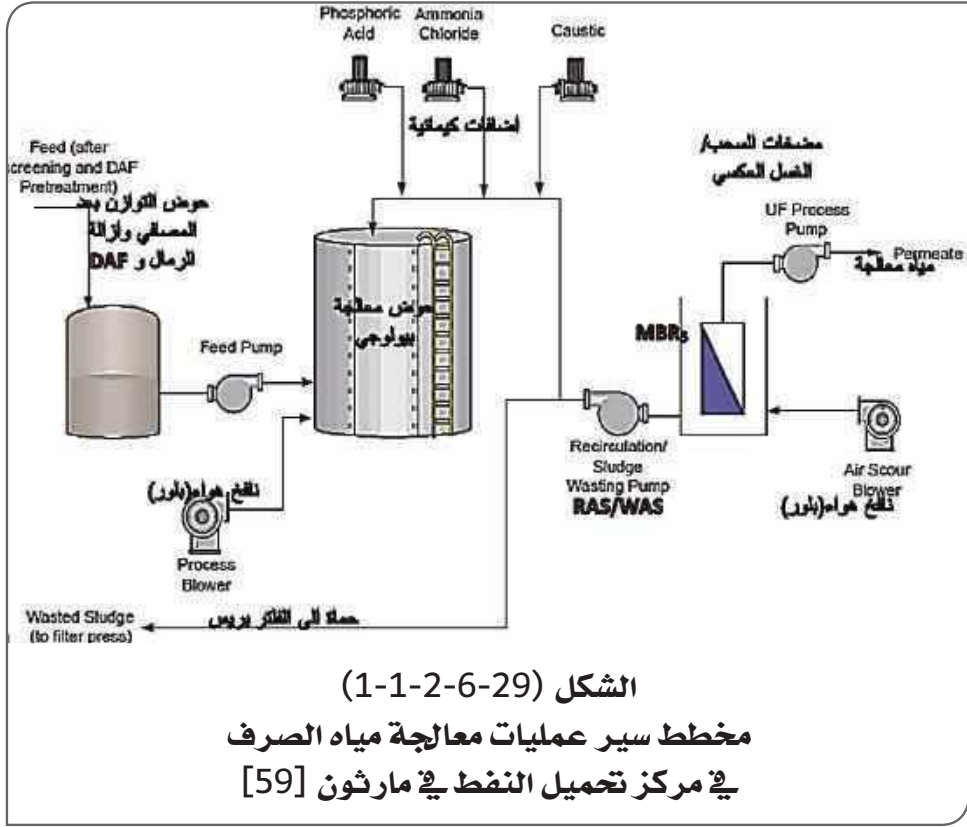
يبين نوعية المياه الداخلة والمعالجة من محطة معالجة مارثون [59]

Typical Treated Water Results		
	Raw Water	Treated Water
BOD (mg/L)	775	< 22
TSS (mg/L)	66	< 5
COD (mg/L)	1,000	< 300
Oil and Grease (mg/L)	165	< 16
BTEX (mg/L)	10	< 0.72

1-2-6-29. مراحل المعالجة.

الشكل (1-1-2-6-29) يبين مخطط تكنولوجي لمراحل المعالجة.

- المصافي.
- إزالة الرمال.
- حوض توازن Equalization tank.
- DAF لإزالة الزيوت والشحوم.
- معالجة بيولوجية بواسطة MBRs.



3-6-29. محطة معالجة مياه الصرف في جامناجار [60] Jamnagar, India

تدفع مياه الصرف إلى محطة المعالجة 48000 م³/يوم، وكمية (COD = 60000kg./d) وهي أكبر محطة معالجة لمياه صرف من نوعها في آسيا، حيث تقوم المصفاة بتكرير 1200.000 برميل في اليوم وتعادل الكمية (0.16) من كمية النفط وهي أصغر من المعدل المذكور سابقاً حول معدل كمية مياه الصرف المنتجة من المصافي. وقد شملت المعالجة مياه الأمطار. يظهر الشكل (1-3-6-29) صور لمحطة المعالجة.

ولتنفيذ المعالجة تم فصل مياه الصرف الى ثلاثة خطوط (تيارات) حسب الملوحة TDS:

- يحتوي تدفق الصرف LTDS (TDS: 160 - 500) على خليط من مخلفات عمليات التقطير والمكثفات النفطية وكذلك الكلوريدات،

وهي لا تحوي الفينولات ويتم بعد معالجتها استعمالها في التبريد،
الاطفاء، الري.

- تدفق HTDS (TDS: 950 - 2500) ويمثل ثلث كمية مياه الصرف، وهو خليط من مياه عمليات تكرير النفط / مياه الصرف الزيتية التي كانت على اتصال مع تيارات عمليات التقطير، كما هو الحال في Desalters والتي امتصت أو حلت الأيونات المعدنية فيها مثل كلوريد الصوديوم. ويحتوي هذا التيار أيضاً على المذيبات، المواد الكاوية المستهلكة، ومياه الصرف التي تحوي الفينول. يتم معالجة هذه المياه إلى مستوى كاف لإعادة استخدامها في أبراج التبريد.
- تدفق المياه الزيتية (OWS) (TDS: 850 - 1500) هو خليط من مياه عمليات التكرير/ المياه الحاوية على الزيت والتي تشمل المكثفات الزيتية من وحدات المصفاة المختلفة، مياه الصرف المنزلي (بعد المعالجة الأولية)، والمياه من الخزانات، والعاصفة المطرية، وتستخدم OWS بعد المعالجة للري.

مراحل المعالجة المتبعة في محطة جامنجر:

- فصل الزيوت API & DAF .
- حوض توازن.
- مرشح بيولوجي ميديا ثابتته.
- معالجة بالحماة المنشطة.
- ترشيح رملي.
- تعقيم بالكلور.
- معالجة مياه خزانات المياه الملوثة بالزيوت Slop oil treatment.
- الحماة الملوثة بالزيت تخضع لمرحلة تكثيف ثم يتم نزع الماء منها بواسطة جهاز السير الضاغط Belt filter press ، ويستفاد منها بالحرق، أما الحماة البيولوجية فترحل إلى المطامر.



- تم إضافة RO تناضح عكسي لإزالة الأملاح من جزء من مياه HTDS المعالجة لإعادة استعمالها.



الشكل (1-3-6-29)

a : منظر عام لمحطة المعالجة في Jamnagar, India
المرشحات البيولوجية والحماة المنشطة



الشكل (1-3-6-29)

b : أحواض الحماة المنشطة ISTP Jamnagar, India



الشكل (1-3-6-29)
c : المرشحات الرملية ISTP Jamnagar, India



الشكل (1-3-6-29)
d : RO, ISTP, Jamnagar, India



معالجة مياه صرف معامل المشروبات غير الكحولية (الغازية وغير الغازية) SOFT DRINK WASTE WATER TREATMENT

مقدمة .

إن الماء هو المادة الخام الأساسية في إنتاج المشروبات وهذا الفصل يبحث نوعين من المشروبات :

- **المشروبات الغازية** (يدعوها بعضهم المشروبات بغاز الكربون carbonated soft drink) مثل الكولا والكوكاكولا والكراش والسينالكو والبيبيسي الخ . عدا الاسماء المحلية أو غير المشهورة.
- **وغير الغازية** كالعصائر الطبيعية أو الصناعية المعلبة.

والتي تدعى كلها بشكل عام (soft drink) (ويكيبيديا) وسندعوها مجازا (المشروبات)، وهذه الصناعة تنشط في الصيف وينخفض إنتاجها في الشتاء.

30-1. تحضير المشروبات.

يتم تحضير المياه المستعملة في الصناعة بعناية فتزال العسرة والأملاح وفي بعض الأحيان المعادن الثقيلة، ولذلك يمكن أن تخضع للتخثير والترسيب أو الامتزاز على الفحم المنشط أو إزالة الكلور المتبقي..

- تغسل العبوات المستردة الزجاجية إن وجدت وكذلك الجديدة إذا كانت مورده من موقع آخر أو مخزنه قبل التعبئة، أو يمكن أن



تعباً بعبوات بلاستيكية PET فوراً عندما يتم تصنيعها في المعمل (يتم نفخ العبوة بجهاز خاص).

1 - بالنسبة للمشروبات الغازية: يمزج الماء المعالج والمبستر مع المركبات والأحماض والمنكهات والإضافات الأخرى، ويسمى الشراب final syrup .

والجزء الذي سيعبأ في الأوعية يتم إزالة الهواء منه ويحقن بعدها بغاز ثاني أكسيد الكربون تحت الضغط وهو حوالي 1 بار (تحدث ظاهرة التشبع - saturation). والغاز عموماً يحضر في المعمل أو يتم جلبه من مصادر أخرى خارج المعمل. ويتم بعدها التعبئة وإغلاق العبوات وتعليبها.

الجدول (1-1-30) يبين أنواع عامة للمشروبات ونسب تقريبيه لمكوناتها.

الشكل (1-1-30) , يبين طريقة تحضير المشروبات الغازية.

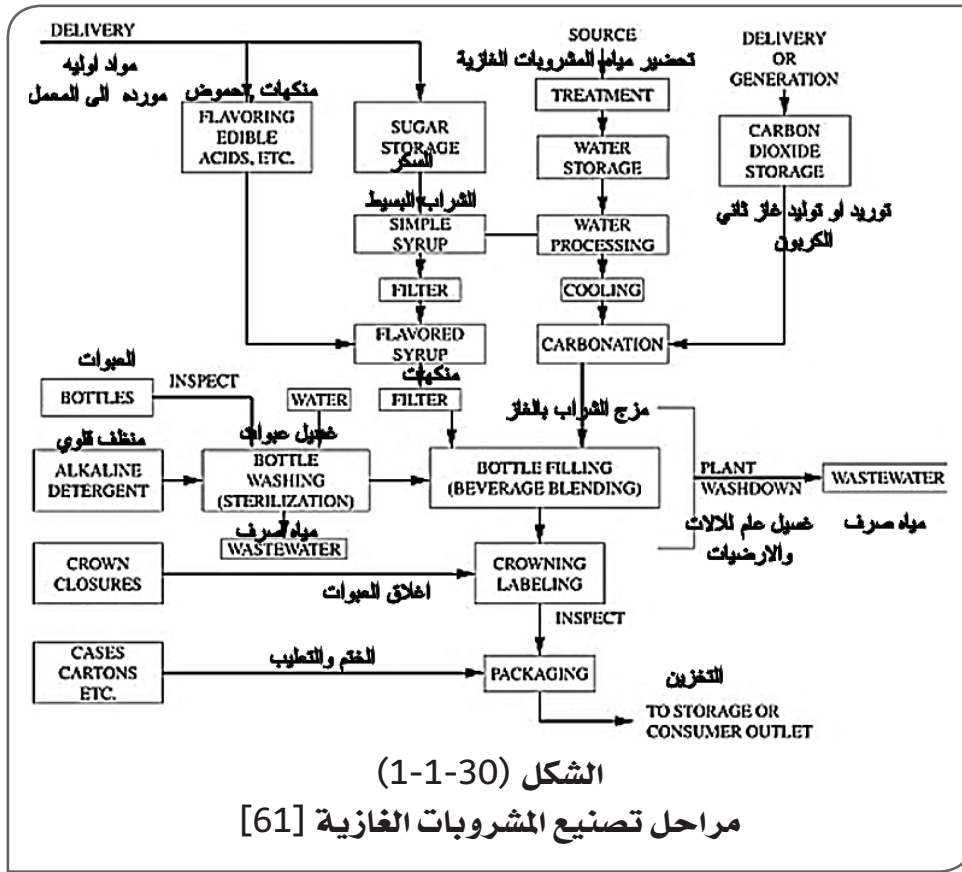
الجدول (1-1-30)

أنواع عامة للمشروبات الغازية ومحتوياتها [61]

Soft Drink Ingredients (General)

مشروبات Soft Drink	المنكهات Flavors	اللون Color	نسبة السكر Sugar (%)	حموض غذائية Edible Acid	Carbon Dioxide (CO ₂) (volume of gas) نسبة حجم غاز CO ₂
Cola	Extract of kola nut, lime oil, spice oils, and caffeine	Caramel	11-13	Phosphoric	3.5
Orange	Oil of orange and orange juice	Sunset yellow FCF with some Tartrazine	12-14	Citric	1.5-2.5
Ginger ale	Ginger root oil or ginger, and lime oil	Caramel	7-11	Citric	4.0-4.5
Root beer	Oil of wintergreen, vanilla, nutmeg, cloves, or anise	Caramel	11-13	Citric	3





2 - بالنسبة للمشروبات غير الغازية non-carbonated soft drinks فيتم تحضير الشراب كالسابق ويتم بعدها إجراء عملية البسترة ثم إملاء العبوات المحضرة.

2-30. كمية مياه الصرف من صناعة المشروبات.

يمكن أن تصل كمية من المياه المستهلكة الحجمية (SWI) (Specific water intake) (2.5 - 4) لتر/لتر، من حجم المشروبات. وتعتمد دول مثل جنوب أفريقيا رقم 2.7، وكمية مياه الصرف تتراوح من 50 - 80 % من المياه المستهلكة [من المرجع 62].

وتتراوح كمية الاستهلاك بالنسبة لمراحل التصنيع في معمل مشروبات غازية:

0,9 - 1.1 نسبة مياه العمليات (الشراب واستكمال تعبئة العبوات)
Process water

0.3 - 1.3 نسبة مياه غسيل العبوات Bottle washing

0.4 - 0.7 نسبة مياه غسيل الاراضي والآلات وغيره Wash-down

أما معامل المشروبات من دون غاز فتنخفض الكمية إلى حوالي النصف أو أكثر قليلاً.

30-3. نوعية مياه الصرف من صناعة المشروبات.

تصدر مياه الصرف من هذه الصناعة بشكل رئيسي من غسيل العبوات الجديدة والزجاجات المستردة والمعدات وغسيل الأرضيات إضافة إلى الانسكابات وأعمال غسيل الأوعية خلال تغيير النكهات إضافة للتلوث من الزيوت المتساقطة من الآلات.

إن الملوثات الرئيسية التي تسبب تلوث المياه هي الصودا الكاوية caustic soda والسكروز sucrose ، وتشكل كمية مياه الغسيل أكثر من 50 % من مياه الصرف. وتختلف نوعية مياه الصرف حسب نوعية المياه الداخلة ونوعية المنتجات وكذلك مصدر مياه الصرف إن كانت من الغسيل العام والتنظيف أو من غسيل العبوات أو من تفجر العبوات سيئة التصنيع أثناء الضغط أو من الإنسكابات على الأرض ..إلخ.

يبين الجدول (30-3-1) نتائج تحاليل عينات مركبه في عدة معامل لتعبئة المشروبات.



الجدول (1-3-30)
نتائج تحاليل عينات مركبه في عدة معامل لتعبئة
المشروبات في جنوب أفريقيا [62]

المعامل	كمية مياه المشروبات المنتجة م ³ /يوم	كمية مياه الصرف المنتجة م ³ /يوم	نسبة حجم مياه الصرف للمنتج SEV	PH	SPL kg/m ³		
					COD	SS	TDS
A	287	700	2.44	11.2	3.7	0.92	6.45
B	221	525	2.38	11.8	2.88	NM	5.9
C	310	340	1.1	11.5	3.36	0.31	4.02
D	220	350	1.59	11.8	3.05	0.14	4.55
E	100	50	0.5	6	0.52	0.03	0.39
F	162	81	0.5	4.8	3.05	0.95	2.43
G	70	126	1.8	11.2	6.83	0.84	7.08
H	128	150	1.17	11.5	1.80	0.21	3.77
I	162	235	1.57	11.2	5.04	NM	5.58
J	95	39	0.41	6.3	1.9	0.01	1.29
K	47	88	1.87	7.8	0.36	0.05	0.92
L	120	180	1.5	4	8.45	0.44	2.07

وتتصف مياه الصرف في معامل المشروبات عموماً بأن قيمة pH مرتفعة بسبب الغسيل بماءات الصوديوم. إن بقاء قيمة pH منخفضة يكون في المعامل التي تستعمل العبوات المعدنية canning أو معامل العصائر (fruit juice) وفي المعامل التي لا تحوي أوعية مستردة، ونلاحظ ارتفاع قيمة pH عموماً في أكثر المعامل المذكورة في الجدول بسبب الصودا الكاوية المستعملة. الجدول (2-3-30) يعطي نتائج عينات نموذجية للتلوث في معامل المشروبات بدون غسيل عبوات.

الجدول (2-3-30)
أحمال نموذجية للتلوث في معامل المشروبات بدون غسيل العبوات

SEV متوسط	COD Kg/m ³	SS Kg/m ³	TDS Kg/m ³
0.96	5.52	0.09	2.13

الجدول (3-3-30) يبين نوعية مياه الصرف من معامل المشروبات من المرجع [28]، والجدول (4-3-30) نموذج لتحليل عينة مركبة لمياه

الصرف من معمل مشروبات غازية لا يحوي عبوات مستردة ونلاحظ رقم التركيز الهيدروجيني PH منخفض .

الجدول (3-3-30)
نوعية مياه الصرف من معامل المشروبات [28]

COD	1200-8000
BOD ₅	600-4500
Alkalinity	1000-3500
TSS	0-60
VSS	0-50
NH ₃ -N	150-300
PO ₄ -P	20-40
SO ₄	7-20
K	20-70
Fe	10-20
Na	1500-2500
Ni	1.2-2.5
Mo	3-8
Zn	1-5
Co	3-8

4-30. طرائق المعالجة المتبعة.

يفضل في كثير من الأحيان فرز المياه ومعالجتها والاستفادة منها في أعمال المعمل، وعموماً المعامل المتوسطة والصغيرة لا تحاول القيام بفصل المياه الملوثة ومعالجتها والاستفادة منها لأن المعمل يكون عادة في موقع تتوفر فيه المياه بكثرة، إضافة لوجود هاجس لدى الإدارة بالخوف من وصول التلوث إلى المنتج أو وسائل الإنتاج عند عملية إعادة استعمال المياه.

الجدول (4-3-30)
تحليل عينة مركبة لمياه صرف من معمل مشروبات غازية
لا تحوي عبوات مستردة

البارامتر	التركيز ملغ/ل	الحد المسموح للطرح شبكة المجاري ملغ/ل
1 المواد الصلبة الكلية TS	990	-
2 المواد الصلبة المعلقة TSS	480	500
3 المواد الصلبة المنحلة المقاسة بالتبخير TDS	510	2000
4 الطلب الكيميائي للأوكسجين COD	3400	1600
5 الطلب الحيوي للأوكسجين BOD	890	800
6 الناقلية الكهربائية EC	670	-
7 الكروم الكلي	0.09	2
8 التركيز الهيدروجيني PH	4.83	من 6.5 إلى 9.5
9 الكلورايد Cl	35	600
10 النتريت NO ₂	0.97	-
11 الكبريتات SO ₄	120	1000
12 النترات NO ₃	7.46	-
13 القلوية HCO ₃	185	-
14 الزيوت والشحوم Oil	136	100
15 الفوسفات PO ₄	1.26	20
16 الحديد Fe	0.77	-
17 النحاس Cu	0.022	1
18 الامونيوم NH ₄	14.5	100

وسنذكر المراحل العامة لمعالجة مياه صرف المشروبات من [28] وغيرها من المراجع:

1. إزالة المواد الصلبة Solids removal.

- مثل اغطية العبوات المستهلكة والجديدة، اللصاقات، اعواد الشرب (straw).

2. حوض التوازن والمجانسة وهو ضروري جدا لمنع الصدمات الكيميائية والبيولوجية.

3. تعديل الـ pH، ويتم بشكل دفعات batch أو مستمر continuous ويمكن استعمال ما يلي:

- hydrochloric حمض كلور الماء.
- CO₂ Carbon dioxide وهو متوفر عادة في معمل المشروبات بحيث يلزم 1.1 كغ CO₂ لمعادلة 1 كغ ماءات الصوديوم، ويمكن نشره في الحوض بشكل غاز بفقااعات ناعمة.
- يتم استعمال المعالجة الفيزيائية والكيميائية لتخفيف الأحمال العضوية، فيستعمل التخثير الكيميائي ويمكن استعمال DAF (التطويف بالهواء المنحل).
- إن زيادة السكر في مياه الصرف تشجع الفلمنتوس على النمو ولذلك ينصح باستعمال التطويف بـ DAF لفصل الحمأة عوضاً عن حوض الترسيب [28].

4. المعالجة البيولوجية.

- (1) تستعمل المعالجة البيولوجية الهوائية في معالجة مياه المشروبات وخصوصاً إذا كان الحمل العضوي غير مرتفع ولأنها أسهل في التعامل شريطة مراعات نسبة BOD إلى النتروجين N إلى الفوسفور P المطلوبة في محطات المعالجة البيولوجية (1 / 5 / 100).
- (2) فيستعمل SBR في المعالجة وكذلك تستعمل البحيرات المهواة aerated lagoon.
- (3) وتستعمل طريقة MBR في المعالجة [28].
- (4) وتكون المعالجة اللاهوائية أكثر ملائمة لعوز مياه صرف المشروبات إلى الفوسفور والنتروجين فيستعمل مفاعل UASB (راجع الفقرة، 4-4-13). حيث يمكن أن يعمل هذا المفاعل لمعالجة مياه صرف معامل المشروبات إذا كان حمل (COD من 1.1 - 30.7 غ/ل) - (TSS من 0.8 - 23.1 غ/ليتر) و (القلوية alkalinity من 1.25 -

1.93 غ CaCO_3 / لتر) والفوسفات (من 0.01 - 0.07 غ P / لتر)
و(النروجين من 0.05 - 0 غ N / لتر)[28].

(4) المعالجة بالمرشحات اللاهوائية إن كان التدفق للأسفل أو للأعلى
ويمكن أن يكون مع تدوير، ويحتاج المفاعل لغسيل عكسي دوري
أو استعمال أي من طريق منع الانسداد المتبعة.

(5) المعالجة البيولوجية بالمرشحات البيولوجية.

30-5. أمثلة على معالجة مياه صرف المشروبات.

30-5-1. معمل مشروبات (soft drink) في رومانيا تنفيذ شركة TIA.

30-5-1-1. نوعية وكمية مياه الصرف من المعمل.

ينتج المعمل المشروبات ويقوم بتعبئة المياه المعدنية أيضا.

كمية مياه الصرف 350 م³/يوم.

نوعية المياه الداخلة والمطلوبة:

$\text{COD}_{\text{in}} = 1150$ مغ/ل.

COD_{eff} اقل 100 مغ/ل.

BOD_{eff} اقل 20 مغ/ل.

30-5-1-2. طريقة المعالجة.

الشكل (30-5-1-2-1) يبين محطة المعالجة للمشروبات في رومانيا
ويظهر حوض التهوية ومضخات هوائية لإعادة الحمأة إلى حوض التهوية.

1. مصافي، حوض مجانسة وتوازن مهوى، ومنه يتم ضخ مياه الصرف
بانتظام إلى حوض التهوية.

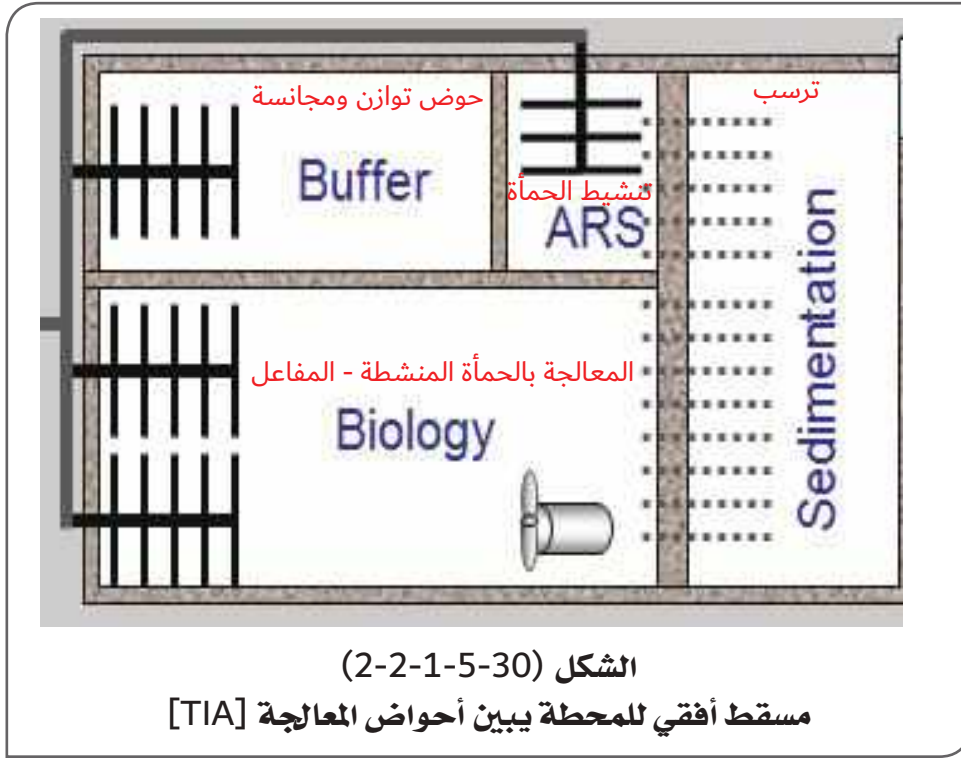


2. معالجة الحمأة المنشطة حيث يتم إعادة جزء من الحمأة إلى حوض التهوية وجزء يذهب إلى حوض خاص لتنشيط الحمأة.

يتم استعمال طريقة خاصة لتنشيط الحمأة (خاص بالشركة) حيث يوجد حوض خاص تُضخ إليه جزء من الحمأة الراجعة حيث يتم تهويتها وتنشيطها باستمرار. وطوال الوقت هنالك تبادل للحمأة الموهاة مع حوض التهوية. وتدعوها الشركة ARS حيث الفائض (over flow) من هذا الحوض يعود لحوض التهوية. الشكل (2-2-1-5-30) يبين مخطط احواض المعالجة.



الشكل (1-2-1-5-30)
يبين حوض التهوية ومضخات الحمأة الراجعة
لمحطة المشروبات في رومانيا



1-6-30. معمل مشروبات (soft drink) خزنة بمدينة حلب.

ينتج المعمل مشروب غازي نوع واحد ويحضر بالطرائق المذكورة في الفقرات السابقة ويتم تعبئته في عبوات مستردة وجزء من الإنتاج يتم تعبئته بعبوات جديدة.

يقع المعمل ضمن مدينة حلب ويصب مياه الصرف الناتجة عن المعمل في المجرور العام للمدينة المار قرب المعمل. وتطلب الجهات البيئية المسؤولة أن يتم معالجة مياه الصرف المطروحة من المعمل إلى الحدود المسموحة للطرح في المجاري العامة وفق المواصفات المطلوبة.

1-1-6-30. نوعية وكمية مياه الصرف من المعمل.

كمية مياه الصرف المطروحة من المعمل تقدر بـ 75 م³/يوم. يبين الجدول (1-1-1-6-30) نتائج تحليل عينة مياه صرف من مجرور معمل

المشروبات الغازية "خزنه" وبجانبتها المواصفة المسموحة للطرح في المجاري العامة، ونلاحظ ارتفاع قيمة الـ COD.

الجدول (1-1-1-6-30)

نتائج تحليل عينة مياه صرف من مجرور معمل المشروبات الغازية
خزنه تحليل جامعة حلب

تاريخ وصول العينة إلى المخبر : 2008/7/

البارامتر	التركيز ملغ/ل	الحد المسموح للطرح في شبكة المجاري ملغ/ل
1 المواد الصلبة الكلية TS	850	-
2 المواد الصلبة المعلقة TSS	290	500
3 المواد الصلبة المنحلة TDS	560	2000
4 الطلب الكيميائي للأكسجين COD	2130	1600
5 الطلب الحيوي للأكسجين BOD ₅	805	800
6 الناقلية الكهربائية EC	805	-
7 الكروم الكلي Cr	0.07	2
8 التركيز الهيدروجيني PH	6.96	من 6.5 إلى 9.5
9 الزيوت والشحوم	47	100
10 الكلورايد Cl	80	600
11 النتريت NO ₂	0.19	-
12 الأمونيوم NH ₄	125	100
13 الكبريتات SO ₄	43.76	1000
14 النترات NO ₃	175	-
15 القلوية HCO ₃	0	-
15 القلوية CO ₃	1.285	-
17 الحديد Fe	0.11	1.0
18 النحاس Cu	1.87	20
16 الفوسفات PO ₄	310	-
20 المواد الصلبة المتطايرة	540	-
21 المواد الصلبة غير المتطايرة		

2-1-6-30. طريقة المعالجة.

في الجدول (1-1-1-6-30) نجد أن الملوث الرئيسي هو COD وهو ينتج عن تحضير الشراب والتسربات والغسيل وغيره، وحتى نصل بالمعالجة إلى المواصفة المطلوبة يجب تخفيض الحمل من 2130 ملغ/ل إلى 1600 ملغ/ل. وتم اختيار طريقة مرشح التنقيط (trickling filter) مع الميديا غير المنتظمة random لتحقيق تخفيض الـ COD والـ BOD.

وعموماً مرشح التنقيط يخفض نظرياً حمل COD بما لا يقل 50 % وهو المطلوب لتحقيق المواصفة للطرح في المجاري العامة بدون اعتماد طرائق معقدة ومكلفة في المعالجة. [مراجعة الفقرة (4-2-14) ، والجدول (1-3-14)]، يظهر الشكل (1-2-1-6-30) صورة للمرشح.

- تتكون المحطة من:

- مصافي يدوية خشنة وناعمة.
- حوض تحت الأرض لضبط الـ pH والمجانسة.
- برج ترشيح بيولوجي (مرشح تنقيط) - إن حجم الميديا في المرشح حوالي 15 م³ وارتفاع المرشح الكلي 5.5 م والقطر 2.50 م.
- يلزم إزالة 700 ملغ/ل من أصل الـ COD والبالغ 2130 مغ/ل لكي نحقق المواصفة اللازمة للطرح في المجاري العامة (حسب المواصفة السورية).



الشكل (1-2-1-6-30)
صورة لمرشح التنقيط في معمل المشروبات الغازية

- وإزالة 700 ملغ/ل من أصل COD اي $0.7 \times 75 \text{ م}^3/\text{يوم} = 52.5$ كغ ≈ 53 كغ/يوم

يتم تحميل 1 م³ على الميديا في اليوم $15 \div 53 \text{ م}^3 \approx 3.5$ كغ/م³/يوم وهو ضمن ضوابط التصميم الموجودة في الجدول (14-3-1)، أي يستطيع إزالة هذه الكمية.

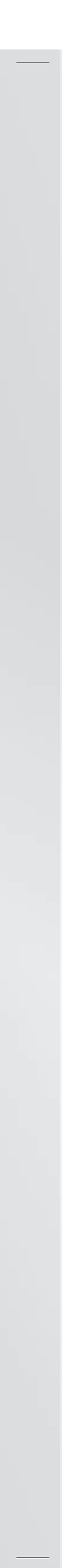
- السطح النوعي للميديا حوالي 100-120 م²/م³.
- تدوير داخلي لمياه الصرف 3 مرة/سا internal circulation.
- تهوية للمرشح 500 م³/سا بواسطة مضخة هواء بدون ضغط (توربين).
- مدة المكوث حوالي 1-2 ساعة.

يبين الجدول (30-1-1-6-2) نتائج التحليل لمياه الصرف المعالجة بعد المرشح، ونلاحظ إرتفاع وإنخفاض في بعض البرامترات لكون نوعية مياه الصرف ليست ثابتة تماماً لكون التصنيع اليومي مختلف ومتغير بين عبوات مستردة أو غير مستردة .

الجدول (30-1-1-6-2)

نتائج التحليل لمياه الصرف المعالجة بعد مرشح التنقيط

البارامتر	التركيز ملغ/ل	الحد المسموح للطرح في شبكة المجاري ملغ/ل
1 المواد الصلبة الكلية TS	995	-
2 المواد الصلبة المعلقة TSS	310	500
3 المواد الصلبة المنحلة TDS	685	2000
4 الطلب الكيميائي للأكسجين COD	1090	1600
5 الطلب الحيوي للأكسجين BOD ₅	800	800
6 الناقلية الكهربائية EC	960	-
7 الكروم الكلي Cr	0.19	2
8 التركيز الهيدروجيني PH	7.9	من 6.5 إلى 9.5
9 الزيوت والشحوم	86	100
10 الكلورايد Cl	95	600
11 النتريت NO ₂	0.98	-
12 الامونيوم NH ₄	100	100
13 الكبريتات SO ₄	160	1000
14 النترات NO ₃	43.76	-
15 القلوية HCO ₃	160	-
15 القلوية CO ₃	45	-
17 الحديد Fe	0.29	-
18 النحاس Cu	0.09	1.0
16 الفوسفات PO ₄	6.27	20
20 المواد الصلبة المتطايرة	380	-
21 المواد الصلبة غير المتطايرة	615	-



المراجع

References / المراجع

1. WEF- Industrial Wastewater Management, Treatment, and Disposal- Third Edition 2008.
2. Waste water engineering disposal and reuse - Metcalf&eddy Third Edition 1991.
3. Waste water engineering and reuse - Metcalf&eddy - Fourth Edition 2003.
4. Design guideline for wastewater treatment plants 2018 - M. Man Baradi.
5. دليل تصميم محطات معالجة مياه الصرف - م معن برادعي
أسس تصميم منشآت مياه الفضلات - دكتور فيصل اصفري .
6. Waste water Engineering - Shun Dar Lin (w.w.e) 2007.
7. water and waste water engineering - Mackenzie L. Davis, PH.D., P.E., BCEE 2011.
8. Industrial Wastewater Treatment NG Wun Jern 2006.
9. Removal of Chelated Metals By Sultan Amer, PH.D., and Ratana Kanlue, M.Sc 2006.
10. معالجة مياه المجاري والمياه الصناعية دكتور امجد مراد اغا - دكتور عبد الحكيم بنود .
11. WEF -Membrane systems for waste water treatment 2005.
12. تصاميم من شركة GEA Wiegand GmbH
13. Environmental Engineering Dictionary and Directory - Tomas M.Pankratz 2000.
14. WEF and ASCE 1991a.
15. Water Use and Management- Rein Munter 2000.



16. M. T. Monzavi , urban wastewater, sewage treatment, the second volume.
17. Anaerobic Industrial Wastewater Treatment, Jules B. van Lier.
18. Benenv.co - IC Anaerobic Reactor
19. Comparative study on different Anammox systems - Grzegorz Cema 2009
20. (SASSE 1998)(BORDA) from report of Bremen Overseas Research and Development Association.
21. Fundamentals of biological WWT - Udo wiesmann In Su choi, Eva-Maria Dombrowski 2007.
22. معالجة الفضلات الصناعية, دكتور فيصل اصفري 1996 .
23. Advanced pHysicochemical treatment processes - Ju-Chang Huang and Chii Shang2006 .
24. Nonparametric modeling of mass transfer coefficients for air stripping packed towers- Roberto M. Narbaitz, Yassine Djebbar2011.
25. Edur company.
26. منظومات الصرف الصحي ومعالجة مياه المجاري - د فيصل اصفري، د صالح المزيني 1997
27. Treatment wet lands - second edition Robert H. Kadlec, Scott Wallace 2007.
28. Waste Treatment in the Food Processing Industry - Lawrence K. Wang, Yung - Tse 2006.
29. Treatment of slaughterhouse wastewater using an activated



- sludge/contact aeration process - C. - K. Chen and S. - L. Lo.2003.
30. Concept and Experiences of wastewater treatment In Cakung Slaughterhouse - PD Dharma Jaya - UTEC.
 31. Chemical and biological treatment technologies for leather tannery - Giusy Lofrano, Sureyya Meriç, Gülsüm Emel Zengin, Derin Orhon 2013.
 32. Introduction to treatment of tannery effluents – UNIDO 2011.
 33. Combined biologic removal of sulphate for tanning industrial wastewaters - Santino Di Berardino 2009.
 34. Treatment of Textile Wastes (chapter 8) - Thomas Bechtold , Eduard Burtscher , Yung-Tse Hung.(Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment) 2004.
 35. Membranes for Industrial Wastewater Recovery and Re-use by: Simon Judd and Bruce Jefferson 2003.
 36. Guide for Assessment of Effluent Treatment Plants (Bangladesh).
 37. Electrocoagulation and Advanced Electrochemical Oxidation - TECHNOLOGY DATA SHEET TDS801 - Global Advantech Limited 2011 .
 38. محاضرة دكتور عبد الحكيم بنود - مدخل إلى معالجة مياه الصرف الصناعي 2006 .
 39. Electrochemical technologies in wastewater treatment - Guohua Chen 2008.
 40. Electro flocculation for textile wastewater treatment. A. Cerqueira, C. Russo, M. R. C. Marques 2009.



41. Dairy Waste Anaerobic - Digestion Handbook - Options for Recovering - Beneficial Products -From Dairy Manure- Dennis A. Burke P.E. June 2001.
42. Internal circulation reactor: pushing the limits of anaerobic industrial effluents treatment technologies - David Tshilumba Mutombo 2004.
43. Whitepaper -Wastewater treatment in the dairy processing industry - recovering energy using anaerobic technology - enviro chemie 2016.
44. Pollution Prevention and Control Technologies for Plating Operations 2009.
45. Treating Plating Wastewater, by Ratana Kanlue Inc. , Sultan I. Amer , ph.D. (from Aquachem - Products Finishing website) 2001.
46. Removal of heavy metals from electroplating wastewater by membrane - Galaya Srisuwan, and Poonpetch Thongchai. 2002
47. Water Use and Wastewater Treatment in Paper mills -Christian H. Möbius (First Edition2006).
48. Waste Treatment in the Process Industries - edited: Lawrence K. Wang Yung ..., (Treatment of pesticides industry waste, by: Joseph M. Wong) 2006.
49. معالجة مياه الصرف في معامل المنظفات. دكتور عبد الحكيم بنود والمهندس معن برادعي - 2004 - محاضرة
50. Handbook of water and waste water treatment technology - Nicholas P. Cheremisinoff 2002.



51. Environmental engineers handbook second edition - David H.F. Liu, Bela G. Liptak 1997.
52. industrial Wastewater Treatment - NG Wun Jern 2006.
53. Treatment technologies for petroleum refinery effluents, A review Basheer Hasan Diya'uddeen, Wan Mohd Ashri Wan Daud, A.R. Abdul Aziz 2011.
54. Petroleum refining water/wastewater use and management -IPIECA 2010.
55. Industrial wastewater treatment - A.D.Patwardhan 2008.
56. Treatment of petroleum refinery sourwater by advanced oxidation processes.
Coelho A, Castro AV, Dezotti M, Sant'Anna GL Jr.2006 .
57. Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment 2006.
edited by Lawrence K. Wang, Yung-Tse Hung, Howard H. Lo, Constantine Yapijakis.
58. Industrial wastewater treatment - by F.BERNE J.CORDNNIER (INSTITUT FRANÇAIS DU PETROLE PUBLICATIONS) 1995.
59. GE. WATER & POWER Marathon Petroleum Oil Refinery 2003.
60. waste water treatment for refineries reliance industries LTD. JAMNAGAR, INDIA - from Waterleau company.
61. Industrial Waste Treatment Handbook - By Frank Woodard 2001.
62. Water and waste water management in the soft drink industry - prepared by Binnie 1987.



63. Water Conservation in the Professional Car Wash Industry - Chris Brown, Water Conservation Consultant.
64. Efficiency of Using Commercial and Natural Coagulants in Treating Car Wash Wastewater Treatment - (Radin Maya SapHira Radin Mohamed, Nadira Mariam A. Ibrahim Kutty and Amir Hashim Mohd Kassim - Universiti Tun Hussein Onn Malaysia) 2014 .
65. Carwash waste waters characteristic,...- C. Fall, C. M. López-Vázquez, M. C. Jiménez- Moleon, K.M. Bâ, C. Díaz-Delgado, D. García-Pulido and M. Lucero-Chavez 2007.
66. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. EUROPEAN COMMISSION. 2006.
67. Wastewater Engineering treatment and resource recovery. Fifth Edition. 2014. by Metcalf&Eddy IAECOM.
68. Comparison Between the Water and Salt Stress Effects on Plant Growth and Development Alexandre Bosco de Oliveira, Nara Lúcia Mendes Alencar and Enéas Gomes-Filho 2013
69. Effects of Salinity on Biological Nitrate Removal from Industrial Wastewater Ivan X. Zhu and Jian R. Liu 2017
70. Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples Volume 1: Principles and Basic Treatment - Syed R. Qasim , Guang Zhu CP&Y, Inc 2017.



الملاحق

الملحق (1)

الملوثات ذات الأولوية من EPA



Priority Pollutant List

Priority Pollutants are a set of chemical pollutants we regulate, and for which we have developed analytical test methods. The current list of 126 Priority Pollutants, shown below, can also be found at [40 CFR Part 423, Appendix A](#).

These are not the only pollutants regulated in Clean Water Act programs. The list is an important starting point for EPA to consider, for example, in developing national discharge standards (such as Effluent Guidelines) or in national permitting programs (such as NPDES).

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1. Acenaphthene | 35. 2,4-dinitrotoluene |
| 2. Acrolein | 36. 2,6-dinitrotoluene |
| 3. Acrylonitrile | 37. 1,2-diphenylhydrazine |
| 4. Benzene | 38. Ethylbenzene |
| 5. Benzidine | 39. Fluoranthene |
| 6. Carbon tetrachloride | 40. 4-chlorophenyl phenyl ether |
| 7. Chlorobenzene | 41. 4-bromophenyl phenyl ether |
| 8. 1,2,4-trichlorobenzene | 42. Bis(2-chloroisopropyl) ether |
| 9. Hexachlorobenzene | 43. Bis(2-chloroethoxy) methane |
| 10. 1,2-dichloroethane | 44. Methylene chloride |
| 11. 1,1,1-trichloroethane | 45. Methyl chloride |
| 12. Hexachloroethane | 46. Methyl bromide |
| 13. 1,1-dichloroethane | 47. Bromoform |
| 14. 1,1,2-trichloroethane | 48. Dichlorobromomethane |
| 15. 1,1,2,2-tetrachloroethane | 49. (Removed) |
| 16. Chloroethane | 50. (Removed) |
| 17. (Removed) | 51. Chlorodibromomethane |
| 18. Bis(2-chloroethyl) ether | 52. Hexachlorobutadiene |
| 19. 2-chloroethyl vinyl ethers | 53. Hexachlorocyclopentadiene |
| 20. 2-chloronaphthalene | 54. Isophorone |
| 21. 2,4,6-trichlorophenol | 55. Naphthalene |
| 22. Parachlorometa cresol | 56. Nitrobenzene |
| 23. Chloroform | 57. 2-nitrophenol |
| 24. 2-chlorophenol | 58. 4-nitrophenol |
| 25. 1,2-dichlorobenzene | 59. 2,4-dinitrophenol |
| 26. 1,3-dichlorobenzene | 60. 4,6-dinitro-o-cresol |
| 27. 1,4-dichlorobenzene | 61. N-nitrosodimethylamine |
| 28. 3,3-dichlorobenzidine | 62. N-nitrosodiphenylamine |
| 29. 1,1-dichloroethylene | 63. N-nitrosodi-n-propylamine |
| 30. 1,2-trans-dichloroethylene | 64. Pentachlorophenol |
| 31. 2,4-dichlorophenol | 65. Phenol |
| 32. 1,2-dichloropropane | 66. Bis(2-ethylhexyl) phthalate |
| 33. 1,3-dichloropropylene | 67. Butyl benzyl phthalate |
| 34. 2,4-dimethylphenol | 68. Di-N-Butyl Phthalate |

- | | | | |
|-----|--------------------------|------|--------------------------|
| 69. | Di-n-octyl phthalate | 100. | Heptachlor |
| 70. | Diethyl Phthalate | 101. | Heptachlor epoxide |
| 71. | Dimethyl phthalate | 102. | Alpha-BHC |
| 72. | Benzo(a) anthracene | 103. | Beta-BHC |
| 73. | Benzo(a) pyrene | 104. | Gamma-BHC |
| 74. | Benzo(b) fluoranthene | 105. | Delta-BHC |
| 75. | Benzo(k) fluoranthene | 106. | PCB-1242 (Arochlor 1242) |
| 76. | Chrysene | 107. | PCB-1254 (Arochlor 1254) |
| 77. | Acenaphthylene | 108. | PCB-1221 (Arochlor 1221) |
| 78. | Anthracene | 109. | PCB-1232 (Arochlor 1232) |
| 79. | Benzo(ghi) perylene | 110. | PCB-1248 (Arochlor 1248) |
| 80. | Fluorene | 111. | PCB-1260 (Arochlor 1260) |
| 81. | Phenanthrene | 112. | PCB-1016 (Arochlor 1016) |
| 82. | Dibenzo(h) anthracene | 113. | Toxaphene |
| 83. | Indeno (1,2,3-cd) pyrene | 114. | Antimony |
| 84. | Pyrene | 115. | Arsenic |
| 85. | Tetrachloroethylene | 116. | Asbestos |
| 86. | Toluene | 117. | Beryllium |
| 87. | Trichloroethylene | 118. | Cadmium |
| 88. | Vinyl chloride | 119. | Chromium |
| 89. | Aldrin | 120. | Copper |
| 90. | Dieldrin | 121. | Cyanide, Total |
| 91. | Chlordane | 122. | Lead |
| 92. | 4,4-DDT | 123. | Mercury |
| 93. | 4,4-DDDE | 124. | Nickel |
| 94. | 4,4-DDD | 125. | Selenium |
| 95. | Alpha-endosulfan | 126. | Silver |
| 96. | Beta-endosulfan | 127. | Thallium |
| 97. | Endosulfan sulfate | 128. | Zinc |
| 98. | Endrin | 129. | 2,3,7,8-TCDD |
| 99. | Endrin aldehyde | | |



الملحق (2)

مقترح المسافة العازلة الصغرى

عن أجزاء محطة المعالجة التي تصدر روائح [67]

Treatment process unit	Buffer distance	
	ft	m
Sedimentation tank	400	125
Trickling filter	400	125
Aeration tank	500	150
Aerated lagoon	1000	300
Sludge digester (aerobic or anaerobic)	500	150
Sludge handling units	1000	300
Open drying beds	500	150
Covered drying beds	400	125
Sludge holding tank	1000	300
Sludge thickening tank	1000	300
Vacuum filter	500	150
Wet air oxidation	1500	450
Effluent recharge bed	800	250
Secondary effluent filters		
Open	500	150
Enclosed	200	75
Advanced wastewater treatment		
Tertiary effluent filters		
Open	300	100
Enclosed	200	75
Denitrification	300	100
Polishing lagoon	500	150
Land disposal	500	150



https://t.me/agricultural_eng