

المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي

Biological treatment
of domestic wastewater

إعداد

الدكتور المهندس عبد الله صغير



د.م.د. عبد الله صغير

المعالجة البيولوجية
لمياه الصرف الصحي

ALMultaka
PUBLISHING

ALMultaka
PUBLISHING

إنَّ مسؤولية نشر العلم والمعرفة وخصوصاً باللغة العربية تقع على عاتق الأكاديميين والباحثين والدول والمؤسسات البحثية والعلمية؛ فعلى الرغم من الجهود المبذولة من قبل المعنيين بنشر الكتب المفيدة في مجال الهندسة البيئية عمومًا وهندسة مياه الصرف الصحي خصوصاً، إلا أنَّ المكتبة العربية لا زالت تعاني من نقص من هذه المؤلفات بشكل عام.

... يقع على عاتق كلِّ إنسان الحفاظ على البيئة وحمايتها من التلوث، وتعتبر مياه الصرف الصحي أحد أهم الملوثات الخطيرة في العالم، وخصوصاً في الدول النامية حيث لازالت الكثير من هذه الدول بعيدة كل البعد عن الاهتمام بمعالجة مياه الصرف الصحي، وإن إلقاء مياه الصرف الصحي في الطبيعة بدون معالجة قد يسبب تلوثاً للمياه الجوفية والمسطحات المائية، بالإضافة إلى أنَّ استخدامهما في الزراعة سينتج محاصيل زراعية خطيرة على الصحة العامة.

ويعتبر هذا الكتاب إن شاء الله أحد الكتب المفيدة في مجال معالجة مياه الصرف الصحي، وقد حاولت التركيز فيه على الأمور المهنية والتنفيذية وأغنيتها بالأمثلة التطبيقية



الدكتور المهندس عبد الله صغير
- أستاذ جامعي ومخترع وباحث في مجال هندسة المياه والهندسة البيئية والصحية
- له عدة أبحاث منشورة في مجلات محكمة
- يعمل محكماً في عدة مجلات
- له كتاب مطبوع في مجال معالجة مياه الصرف الصناعي في الوطن العربي
يعمل حالياً في تركيا وفي سوريا كمدير تنفيذي لمنظمة المهندسين السوريين للأعمال والتنمية.
- مديراً عاماً لشركة WECD للمقاولات والمشاريع الهندسية
- قام أيضاً عبر مسيرته المهنية بدراسة وتنفيذ عشرات محطات لمعالجة مياه الصرف الصحي والصناعي.
- يعتبر أحد علماء الوطن العربي في هذا المجال.



Printed by
Print Plus
where ideas are printed

ALMultaka
PUBLISHING

www.al-multaka.com
info@al-multaka.com
+90 539 344 4762

Almultaka.puplishing



المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي

إعداد

د.م عبد الله صغير

**El-müaalece el-biyolociye
li-miyah el-sarf el-si'ih
ABDULLAH SAGHIR**

**Turkiye
07/2021**

المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي

Biological treatment of domestic wastewater

إعداد
الدكتور المهندس عبد الله صغير

ALMultaka
PUBLISHING

العنوان : المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي
تأليف: الدكتور المهندس عبد الله صغير
الطبعة الأولى : 2021 م
ردمك - ISBN : 978-605-70567-3-3
تصنيف ديوي: 660
القياس: 24 X 17 سم
عدد الصفحات: 470 صفحة
المدقق اللغوي: الدكتور محمد سالم أسد
تصميم الغلاف: المكتب الفني للملتقى للنشر

ALMULTAKA
PUBLISHING

+90 539 344 4762
www.al-multaka.com
info@al-multaka.com

جميع الحقوق محفوظة للمؤلف ©

الكتاب متوفر كملف PDF بشكل مجاني للقراء كهدية من مؤلفه.
وأما طلبه كنسخة ورقية فيطلب بشكل حصري من المؤلف أو الناشر.
لا يحق طباعته أو نشره بشكل ورقي أو الكتروني للتجارة والتريّج
إلا بإذن خاص من المؤلف أو الناشر.

الآراء الواردة في الكتاب تعبر عن وجهة نظر الكاتب، ولا تعبر بالضرورة عن رأي الناشر

ALMULTAKA
BASIM - YAYIN - DAĞITIM
SERTİFİKA NO: 41271



AL MULTAKA YAYINCILIK ÜYESİDİR

Baskı - Cilt: **Print**  Matbaa Ltd. Şti.

Şahintepe Mah. 133378 Nolu Sk. HHHH HHHH No: 5 G Şahinbey / Gaziantep

الفررس

- 12..... كلمة المؤلف:
- 13..... الفصل الأول مقدمة عامة عن مياه الصرف الصحي
- 14..... مقدمة :
- 15..... 2-1- تعريف الصرف الصناعي والصرف الصحي :
- 15..... 3-1- أنواع مياه الصرف الصحي وخواصها :
- 16..... 1-3-1- المياه المنزلية :
- 17..... 2-3-1- مياه الصرف الصناعي :
- 17..... 4-1- أنظمة الصرف الصحي :
- 18..... 1-4-1- شبكة الصرف الموحدة أو المشتركة :
- 20..... 2-4-1- شبكة التصريف المنفصلة :
- 24..... 5-1- خطر التلوث على صحة الإنسان :
- 28..... 6-1- تأثير مياه الصرف الصناعي على تلوث الأنهار و المزروعات و التربة :
- 7-1- الخواص الفيزيائية و الفيزيائية و الكيميائية لمياه الصرف الصناعي و أهم
- 29..... المؤشرات :
- 37..... 6-1- خصائص مياه الصرف الصحي :
- 37..... 8-1- تدفق مياه الصرف الصحي :
- 39..... 9-1- مقدمة عامة عن ميكروبيولوجيا معالجة مياه الصرف الصحي
- 39..... 1-9-1- البكتريا والفطور :
- 41..... 2-9-1- الطحالب (الأشنيات) :
- 42..... 3-9-1- النمو :
- 45..... 5-9-1- بنية الخلية البكتيرية :
- 47..... 6-9-1- الكربون و مصادر الطاقة :
- 47..... 7-9-1- متطلبات التغذية و النمو :
- 48..... 8-9-1- آلية النمو البيولوجي :

10-1-	المعالجة البيولوجية اللاهوائية للمياه ذات الحمل العضوي الكبير:.....	49
1-10-1-	المواد ذات قابلية التفكك البيولوجي اللاهوائي:	52
2-10-1-	المواد المعيقة للبكتريا المنتجة للميثان:.....	53
3-10-1-	محاسن ومساوئ معالجة مياه الصرف الصحي والصناعي بالطرق اللاهوائية:.....	57
4-10-1-	مقارنة بين عمليات المعالجة الهوائية واللاهوائية:.....	59
60	الفصل الثاني: المعالجة الابتدائية لمياه المجاري	60
61	المعالجة الابتدائية:.....	61
1-2-	المصافي:	62
1-1-2-	المصافي (الشبكية):	63
2-1-2-	المصافي الثابتة :	64
3-1-2-	المصافي الطبلية الدوارة (Rotary Drum Screens):.....	68
2-2-	وحدة تصريف مياه الصرف في حالة الطوارئ BYPASS :	70
3-2-	البئر الرطب و البئر الجاف في محطة ضخ مياه الصرف الصحي :	70
4-2-	قناة مارشال Parshall Flume وقناة فنتوري Venturi flume :	71
5-2-	أحواض حجز الرمال:.....	73
1-5-2-	أحواض حجز الرمال الدائرية:	73
2-5-2-	أحواض حجز الرمال الموهوة:	73
6-2-	مصدر الدهون و الزيوت و الشحون	77
1-6-2-	طرق إزالة FOG من مياه الصرف:	79
7-2-	المعالجة الأولية لمياه الصرف الصحي:.....	103
1-7-2-	تصميم أحواض الترسيب أفقية الحركة:	103
2-7-2-	أحواض الترسيب الشاقولية:.....	108
118	الفصل الثالث: المعالجة الثانوية لمياه الصرف الصحي	118
1-3-	المعالجة الثانوية لمياه الصرف الصحي :	119
2-3-	القوانين التصميمية في طريقة الحمأة المنشطة :	123

3-3-3	حساب كمية الهواء اللازمة لأكسدة المواد العضوية و النتجة في حوض التهوية:	126
3-4-4	المركبات المعيقة لنشاط البكتريا في طريقة الحمأة المنشطة أو المركبات التي تسبب السمية :	129
3-5-5	المعالجة البيولوجية المتقدمة لمياه الصرف الصحي.....	131
3-5-5	(advanced biological wastewater treatment) :	131
3-6-6	آليات إزالة المغذيات:	131
3-6-1	إزالة الفوسفور من مياه المجاري بالطرق البيولوجية:	132
3-6-2	عملية النزع المباشر للفوسفور A/O.....	136
3-6-2	(Main Stream Phosphorus Removal) :	136
3-6-3	عملية النزع الجانبي:	137
	(Side stream phosphorus Phostrip process)	
3-6-4	المفاعل الدفقي المتعاقب.....	138
3-6-4	(SBR) (Sequencing batch reactor) :	138
3-6-5	إزالة النتروجين من مياه المجاري:	142
3-6-6	الإزالة المشتركة للنتروجين و الفسفور بالطرق البيولوجية:	161
3-7-7	مقارنة بين عمليات الإزالة المشتركة للفوسفور والنتروجين بيولوجياً:	168
3-8-8	المعالجة البيولوجية اللاهوائية في المفاعل ذي الجريان الصاعد عبر طبقة الحمأة المعلقة (Up flow Anaerobic Sludge –Blanket UASB	
	Process) :	172
3-8-1	عملية المعالجة في المفاعل UASB:	172
3-8-2	لمحة تاريخية عن المفاعل UASB :	173
3-8-3	تصميم نظام دخول المياه الخام إلى المفاعل UASB :	175
3-8-4	تصميم نظام جمع المياه المعالجة في المفاعل UASB:	176
3-8-5	إقلاع المفاعل UASB :	176
3-8-6	العوامل التصميمية والتشغيلية المؤثرة على كفاءة المعالجة في المفاعل	
	UASB :	177

189	3-9- تصميم أحواض الترسيب الثانوي:.....
190	طريقة التصميم:.....
194	معالجة مياه الصرف الصحي بالأراضي الرطبة.....
194	3-10- الشكل العام لطريقة المعالجة بالنباتات:
	3-10-1- أنواع محطات المعالجة التي تعمل بالأراضي الرطبة من حيث طريقة
196	إنشائها:
197	3-10-2- آلية إزالة الملوثات في الأحواض الرطبة:.....
201	3-10-3- مكونات محطة المعالجة التي تعمل وفق طريقة المعالجة بالأراضي:
202	3-10-4- محاسن ومساوئ طريقة المعالجة بالأراضي:
203	3-10-5- معادلة التوازن المائي في أحواض الأراضي الرطبة :
204	3-10-6- أنواع الجريان في الأراضي الرطبة:
207	3-10-7- أهم العوامل التصميمية :
208	3-10-8- أهم الاعتبارات التصميمية الخاصة بمحطات المعالجة بالأراضي الرطبة:.....
214	3-10-9- مكونات طبقات الترشيح في الأحواض الرطبة:.....
	3-10-10- عزل أو منع تسرب مياه الصرف من قاع الأحواض : Sealing of
215	the bed :
	3-10-11- تجربة سورية في تنفيذ وإنشاء محطة معالجة تعمل بطريقة المعالجة بالأراضي
220	وهي النوع (Wetlands Manmade) أي من صنع الإنسان:
223	الفصل الرابع: المعالجة الثلاثية (المتقدمة) لمياه المجاري المنزلية
224	4- المعالجة الثلاثية (المتقدمة) لمياه المجاري المنزلية :
229	4-1- الترشيح :
230	4-1-1- آلية عملية الترشيح :
230	4-1-2- الترسيب على سطوح حبيبات المرشح:
231	4-1-3- التصفية الميكانيكية في المرشحات:
231	4-1-4- الامتزاز في المرشحات:
232	4-1-5- النشاط البيولوجي:

233	4-1-6- الترشيح الرملي البطيء :
234	4-1-7- الترشيح الرملي السريع :
236	4-1-8- سرعة جريان الماء في المرشح (معدل الترشيح) :
237	4-1-9- الأنابيب والأقنية اللازمة لتشغيل المرشحات :
237	4-1-10- عملية غسيل المرشحات :
240	4-2-إزالة الشوارد المنحلة في المياه بالترشيح الغشائي والمواد العضوية :
240	4-2-1- الترشيح الغشائي (Membrane Filtration) :
242	4-2-2- مبدأ التناضح العكسي :
244	4-2-3- تصنيع أغشية التناضح العكسي :
245	4-2-4- وحدات التناضح العكسي ذات المرحلة الواحدة
245	(1stage reverse system):
	4-2-5- وحدات التناضح العكسي ذات المرحلتين أو المراحل المعالجة المضاعفة
249	(double pass reverse osmosis):
252	4-2-6- كفاءة الاستعادة في محطات المعالجة بالتناضح العكسي :
252	4-2-7- العوامل المؤثرة في تصميم محطات التناضح العكسي :
253	4-2-8- انسداد الأغشية :
254	4-3- الامتزاز (Adsorption):
255	4-3-1- طرق الامتزاز (Adsorption):
258	4-4-1- آلية عملية التطهير :
260	4-4-2- التطهير بوساطة الكلور:
267	4-4-2-2- تصميم أحواض التماس بالكلور :
268	4-4-3- مثال:
270	4-4-3- تطهير مياه الصرف بالأوزون (Ozone):
272	4-4-4- التطهير بوساطة الأشعة فوق البنفسجية :
272	(Ultraviolet radiation) :
276	الفصل الخامس: معالجة الحمأة

277	1-5- معالجة الحمأة:
	5-1-1- المواد الصلبة الكلية والطيارة والثابتة Total ، volatile and fixed
278	(solids): (.....
280	5-1-2- الكثافة والوزن النوعي للحمأة:
281	5-1-3- تفكيك المواد الصلبة المتطايرة :
281	5-1-4- حساب كمية وحجم الحمأة المنتجة يومياً:
287	5-2- تكثيف الحمأة:
287	5-2-1- التكثيف الثقالي:
292	5-2-2- التكثيف بالتعويم أو التطويف:
293	5-3- تثبيت الحمأة:
293	5-3-1- الهضم اللاهوائي:
298	5-3-2- الهضم الهوائي للحمأة:
302	5-3-3- تثبيت الحمأة عن طريق تحويلها الى محسنات للتربة Composting:
302	5-4- تخفيف الحمأة:
303	5-4-1- التخفيف الميكانيكي للحمأة:
303	5-4-2- الترشيح بالانفراغ:
307	5-4-3- النبذ أو الطرد المركزي Centrifugation:
311	5-4-4- المكبس المرشح ذو الحزام Belt press:
312	5-4-5- المكبس المرشح (Filter press):
318	5-5- ساحات تخفيف الحمأة:
318	5-5-1- الغاية ومبدأ العمل:
319	5-5-2- تخفيف الحمأة سرير تخفيف الحمأة:
319	(SLUDGE DRYING BEDS):
323	5-5-3- أسس تصميم ساحات تخفيف الحمأة أو سرير تخفيف الحمأة:
328	الفصل السادس: أمثلة تصميمية حسابية شاملة وواقعية.....
329	6-1- مثال تطبيقي "تصميم محطة مدحمة لمعالجة مياه الصرف الصحي" :

337	2-6- مثال: تصميم محطة معالجة لمياه الصرف الصحي بطريقة الأراضي الرطبة:...
356	3-6- مثل تصميمي محطة معالجة لمياه الصرف الصحي بطريقة A^2/O لضاحية سكنية :.....
377	4-6- مثال تصميمي تصميم محطة معالجة مياه صرف صحي لمدينة بطريقة A_2/O :.....
436	الملحق - المواصفات القياسية السورية: المخلفات السائلة الناتجة عن النشاطات الاقتصادية المنتهية إلى شبكة الصرف الصحي 2008/2580:.....
436	- المواصفات القياسية السعودية الخاصة بصرف مياه الصرف الصناعي إلى الشبكة العامة للصرف الصحي :.....
438	- المواصفات القياسية الفلسطينية: مقاييس و معايير جودة وخصائص مياه الصرف الصناعي المصروفة إلى شبكه الصرف الصحي:.....
441	- المواصفات و المقاييس المصرية الخاصة بصرف المخلفات السائلة إلى الشبكة العامة للصرف الصحي: المعايير والمواصفات الواجب توافرها في المخلفات السائلة التي يرخص بصرفها في شبكات الصرف الصحي العامة :
443	القانون رقم 93 لسنة 1962 ولائحته التنفيذية المعدلة رقم 44 لسنة 2000 للصرف على المجاري العمومية.....
443	بعض مواد المواصفات القياسية السورية :الخاصة بمياه الصرف الصحي المعالجة لأغراض الري 2008/2752:.....
445	الجدول (م-6): قابلية التحلل الأكسجين في الماء الصافي تحت ضغط جوي 760 mm زئبق حيث يحتوي الهواء على نسبة % 20.9 من حجمه أكسجيناً.....
452	الجدول (م-7): قيم اللزوجة والكثافة للماء بدرجات مختلفة للحرارة.....
453	الرموز:.....
454	المصطلحات - TERMINOLOGY.....
456	المراجع العربية.....
466	English references.....
468	

كلمة المؤلف:

إن مسؤولية نشر العلم والمعرفة وخصوصاً باللغة العربية تقع على عاتق الأكاديميين و الباحثين و الدول و المؤسسات البحثية و العلمية ، فعلى الرغم من الجهود المبذولة من قبل المعنين بنشر الكتب المفيدة في مجال الهندسة البيئية عموماً وهندسة مياه الصرف الصحي خصوصاً، إلا أن المكتبة العربية لازالت تعاني من نقص من هذه المؤلفات بشكل عام .

ويقع على عاتق كل إنسان الحفاظ على البيئة وحمايتها من التلوث، وتعتبر مياه الصرف الصحي أحد أهم الملوثات الخطيرة في العالم، وخصوصاً في الدول النامية حيث لازالت الكثير من هذه الدول بعيدة كل البعد عن الاهتمام بمعالجة مياه الصرف الصحي، وإن لقاء مياه الصرف الصحي في الطبيعة بدون معالجة قد يسبب تلوثاً للمياه الجوفية و المسطحات المائية، بالإضافة إلى أن استخدامها في الزراعة سينتج محاصيل زراعية خطيرة على الصحة العامة .

ويعتبر هذا الكتاب إن شاء الله أحد الكتب المفيدة في مجال معالجة مياه الصرف الصحي ، و قد حاولت التركيز فيه على الأمور المهنية والتنفيذية وأغنيته بالأمثلة التطبيقية ، ليكون كتاباً أكاديمياً وتنفيذياً بأن واحد معاً ،وحاولت كتابة فيه خلاصة خبرتي الأكاديمية و المهنية في هذا المجال ، و ركزت فيه على الطرق الحديثة في مجال معالجة مياه الصرف الصحي كاستخدام طريقة

Anaerobic/Anoxic/Oxic (A^2O) process و المفاعل

Up flow anaerobic sludge blanket (UASB)، وطريقة

المعالجة بالأراضي الرطبة المناسبة للبلاد التي تعاني من نقص في الطاقة الكهربائية. ولا يسعني في مطلع هذا الكتاب إلا أن أشكر أساتذتي الذين لهم فضل علي إلى يوم القيامة، الذين وجدت في مؤلفاتهم كنوزاً ثمينة، فاقتبست منها الكثير، وكذلك أشكر كل من ساهم معي في إعداد هذا الكتاب ، الذي أتمنى أن يكون نافعا إن شاء الله .

الفصل الأول مقدمة عامة عن مياه الصرف الصحي

مقدمة :

يعتبر موضوع المياه من الأمور الهامة جداً في العالم عموماً وفي الوطن العربي خصوصاً، نظراً لمحدودية الموارد المائية في الوطن العربي ولوقوعه في المنطقة الجافة وشبه الجافة، حيث تشكل المساحات الجافة وشبه الجافة حوالي 85-92% من مساحة الوطن العربي. ويتم استهلاك نسبة كبيرة جداً من المياه في القطاع الزراعي والقطاع الصناعي و في الاستخدام المنزلي، وإلى الآن لا يوجد تقديرات دقيقة عن حجم مياه الصرف غير المعالجة التي تلقى في الطبيعة أو المصادر المائية في الوطن العربي ، ولكن لا شك أنها أرقام كبيرة جداً ومخيفة. ولا تكمن المشكلة فقط في كمية مياه الصرف الصحي الكبيرة بل إن قسماً كبيراً من هذه المياه يعود إلى البيئة كميّاه ملوثة تسبب أضراراً اقتصادية وبيئية وصحية وجمالية، وتعاني البلدان العربية و بلدان العالم الثالث بشكل عام من مشكلة التلوث بمياه الصرف الصحي والصناعي خصوصاً في العقدين الماضيين ، مما انعكس سلباً على الصحة العامة، ولهذا بدأت جميع البلدان في القرن الحادي والعشرين بالتشديد على ضرورة تطبيق المعايير البيئية والصحية السليمة في المنشآت الصناعية.

وفي السنوات القليلة الماضية طوّرت وبشكل متسارع تقنيات وأساليب جديدة في معالجة مياه الصرف الصحي و الصناعي في العالم ، لما لها من أثر بيئي و اقتصادي ، إن تركيب و تركيز الملوثات في مياه الصرف الصحي يختلف من بلد إلى آخر بل من مدينة إلى أخرى ، ومن وقت إلى آخر في المدينة الواحدة ، لقد كان هذا الاختلاف تحدياً لمهندسي وفنيي معالجة المياه، ليعتمدوا طرقاً وتكنولوجيات نوعية لمعالجة مياه الصرف الصحي، واعتماد هذه الطرق كجزء من الإدارة البيئية.

1-2- تعريف الصرف الصناعي والصرف الصحي :

تصمّم شبكات الصرف الصحي ومحطات معالجة مياه الصرف الصحي عادة لاستقبال مياه المجاري المنزلية ، وقسم مياه الصرف الصناعي، بحيث لا تسبب هذه المياه أي أضرار لكل من الشبكة ومحطات الرفع ومحطات المعالجة.

أمّا مياه الصرف الصناعي و المصرفة إلى شبكات الصرف الصحي المنزلية، فإن تركيبها يختلف اختلافاً كلياً عن تركيب مياه الصرف الصحي، فهي تحتوي على نسبة كبيرة من المواد العالقة القابلة للتسيب أو غير القابلة للتسيب ونسبة عالية من المواد العضوية، مثل الزيوت والشحوم والمواد الكربوهيدراتية والبروتينات وغيرها من المواد معقدة التركيب، هذا بالإضافة إلى الأحماض والقلويات وبعض العناصر السامة مثل الفينول والسيانيد ، وكذلك المعادن الثقيلة مثل الكروم السداسي والنيكل والكوبالت والكادميوم والزنك والرصاص والزرنيق.

1-3- أنواع مياه الصرف الصحي وخواصها⁽¹⁾ :

من حيث المنشأ، يمكن تصنيف مياه الصرف الصحي إلى ثلاثة أنواع أساسية:

1- منزلية

2- صناعية.

3- مطرية، بما فيها المياه الناتجة عن ذوبان الثلوج.

1 الفقرة 3-1 و الفقرة 4-1 وجميع العناوين الفرعية المنضوية تحتها تم اقتباسها ، بتصرف من كتاب "شبكات المياه والصرف الصحي" ، حجار سلوى، بنود عبد الحكيم ، حبوب محمد هثيم ، ضاي محمد ، 2012 ، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية ، جامعة حلب ، سوريا.

1-3-1- المياه المنزلية:

يستخدم الإنسان الماء عنصراً ضرورياً وأساسياً للحياة اليومية ، ويستهلك الفرد ما بين 30-450 لتر/ يوم وذلك تبعاً لتوفر المياه وتقدم المجتمع ، علماً بأن ما يحتاجه جسم الإنسان للحياة لا يتجاوز 5 لتر يومياً أما باقي المياه المستهلكة فتستخدم لغايات، كالنظافة (غسيل - واستحمام - وتنظيف - وري حدائق المنازل..).

إن كل المياه المستخدمة من قبل الإنسان تكون ذات نوعية مطابقة عادة لمياه الشرب قبل استخدامه لها وبعد أن يتعامل الإنسان معها، فإن خواصها تتغير نتيجة دخول مواد غريبة ، محولة إياها إلى مياه ملوثة لا بد من التخلص منها ونقلها من المكان الذي تُستخدم فيه ويتم ذلك أولاً: عن طريق الأدوات الصحية وشبكات التصريف الداخلية ، ومن ثم إلى شبكات الصرف الصحي في الشوارع والطرق.

تتميز المياه المنزلية بثبات نسبي من حيث النوعية والكمية، والتدفق اللحظي في المنطقة المدروسة . وهذا ما يجعل التعامل معها من حيث استقبالها ونقلها ومعالجتها أسهل من المياه المطرية أو الناتجة عن الصناعات. فمثلاً يكون التدفق النوعي للهكتار في المناطق السكنية - مدارس - والدوائر العامة الإدارية والمراكز التجارية ما بين (2-0.3) لتر/ثانية/هكتار، وذلك تبعاً للكثافة السكانية ولمعدل استهلاك الفرد أو من 10000-60000 م³/سنة/هكتار، أما دخول تلك المياه إلى الشبكة أثناء ساعات النهار فيمكن أن يكون التدفق الأعظم أكبر من الوسطي بحدود 1.4-2.5 مرة، كما أن التدفق الأصغر يمكن أن يكون أصغر من الوسطي بحدود 1.5-2.5، مرة وبالتالي: فإن مجال تآرجح التدفق أثناء ساعات النهار ليس كبيراً.

أما تغير كمية المياه القادمة للشبكة تبعاً لأيام السنة فهو قليل نسبياً ، فإن أكبر كمية استهلاك يمكن ملاحظتها ليوم واحد هو 1.2 مرة من الكمية اليومية الوسطية. أما نوعية المياه المنزلية الملوثة فتكون أيضاً ثابتة نسبياً أثناء ساعات النهار وخلال أيام العام، وهذا ما تدل عليه البيانات من محطات معالجة مياه الصرف المنزلية.

1-3-2- مياه الصرف الصناعي:

هي المياه الناتجة من جراء العمليات الصناعية. وتعتبر هذه المياه من المياه الملوثة، الأكثر تعقيداً نظراً إلى التنوع في نوعية ، وتركيز الملوثات ، والتغير في التدفق. ويمكن أن تكون تلك المياه موجودة كلها في منطقة صناعية واحدة، كما يمكن أن تكون متداخلة مع التجمعات السكانية.

وهذه المياه الناتجة عن هطول الأمطار وذوبان الثلوج، تعتبر من حيث المبدأ من أنقى المياه في الطبيعة ولكن نظراً لملامستها للغلاف الجوي والسطوح التي تجري عليها ، قبل دخولها إلى الشبكة فإنها تتلوث، وتكون درجة التلوث تبعاً لطبيعة الغلاف الجوي و السطوح التي تجري عليها ومن البديهي أن تكون المياه الداخلة إلى شبكة الصرف الصحي في الدقائق الأولى هي الأكثر تلوثاً وتدل الأبحاث أن مياه الأمطار تكون ملوثة رئيساً في بعض الأحيان للمستودعات المائية التي تلقى فيها إذا لم تتم معالجتها وخاصة في المدن الصناعية والتي تتميز بالتلوث الهوائي وتلوث السطوح نتيجة حركة السير. إن معدل تدفق مياه الأمطار في المدن يتبع الشدة المطرية ويتراوح من 300-40 لتر/ثا/هكتار وذلك من أجل طور تكرار لعشر سنوات.

بالنظر إلى هذا الرقم والرقم العائد للمياه المنزلية وهو 2-0.3 لتر/ثانية/هكتار ندرك المشكلة الحقيقية لمياه الأمطار من حيث الطريقة التي سيتم استقبالها وتصريفها فهي تعطي كميات هائلة من المياه خلال فترات زمنية قليلة نسبياً.

1-4- أنظمة الصرف الصحي:

إن الاختلاف في تركيز ونوعية الملوثات في مياه الصرف المنزلية عن مياه الأمطار وعن مياه الصرف الصناعي، يقتضي طرقاً مختلفة في طرق المعالجة وبالتالي فصلها، ويجب أن لا نستثني أيضاً إمكانية معالجتها معاً، إن كل تلك الاحتمالات تحتم حلولاً متعددة لطرق صرفها فإما أن يتم نقلها معاً، وبالتالي سيتم معالجتها معاً أو بفصلها أثناء عملية

الاستقبال والنقل وذلك بغية معالجتها كلاً على حدة ، أو معالجة إحداها وترك الأخرى بدون معالجة كما أن هناك عوامل أخرى تُحتم استخدام نظام دون آخر كالعامل الاقتصادي، وعامل الظروف الجوية وعوامل أخرى كأنواع الصناعات، تبعاً لتلك العوامل.

وهناك عدة أنظمة لشبكات الصرف الصحي:

- شبكة الصرف الموحدة أو المشتركة.

- شبكة الصرف المنفصلة وتقسم إلى:

- شبكة الصرف المنفصلة بشكل كامل.

- شبكة الصرف نصف المنفصلة.

- شبكة الصرف المنفصلة بشكل غير كامل.

1-4-1- شبكة الصرف الموحدة أو المشتركة:

يوجد شبكة واحدة مخصصة لاستقبال ونقل المياه الملوثة المنزلية والمطرية والصناعية. تجهز تلك الشبكة عند أقرب نقطة للمستودع المائي بمدارات مفيض لصرف الجزء الأعظم من المياه أثناء العاصفة المطرية، بينما تساق باقي المياه إلى محطة المعالجة، ومن البديهي أن تلك الشبكة تستقبل كامل المياه المنزلية والصناعية وتسوقها لمحطة المعالجة أثناء التدفق الجاف.

إن نسبة المياه المنقولة إلى محطة المعالجة أثناء العاصفة المطرية هي حوالي 1.5-2.5 من التدفق الأعظمي الجاف، بينما تطرح باقي المياه إلى المستودع المائي بدون معالجة. قد يتبادر للذهن سبب عدم معالجة ونقل كامل المياه المطرية، وهذا الأمر غاية في الصعوبة، أما سبب صعوبة تنفيذ هذا الحل، فهو أنه من غير المنطقي إنشاء محطة معالجة تعمل فقط أثناء هطول الأمطار.

كما أن استقبال ونقل ومعالجة كامل مياه الأمطار تتطلب أنبوباً رئيساً ضخماً ومحطة معالجة أضخم. وهنالك ميزة نسبية بهذا النظام وهي: عند بدء العاصفة المطرية تكون شدتها ضعيفة نسبياً، كما أن المياه الملوثة الملامسة للسطوح لا تدخل للشبكة بآن واحد، وبالتالي فإن الشبكة تستقبل كافة المياه المطرية في الدقائق الأولى، وهي المياه الأكثر تلوثاً حيث إنها أول من لامس الغلاف الجوي وسطح الأرض وهذه المياه تذهب إلى محطة المعالجة، وبعد فترة قصيرة تزداد العاصفة المطرية ويصبح الغلاف الجوي وسطح الأرض أقل تلوثاً وكمية المياه الهاطلة أكبر وبالتالي تكون المياه أقل تلوثاً ويبدأ الهدار (فضّال) بتصريف المياه إلى المستودع المائي والتي قيمتها أكبر من q_{max} ، يمكن قبول هذه المقولة نسبياً ولاسيما أن الملاحظات المستقاة من محطات الصرف الصحي في المدن ذات النظام المشترك تؤكد تلك المقولة بالرغم من أن هناك عدة عوامل تؤثر كأزمة التركيز وتلوث السطوح الملامسة لمياه الأمطار فعلى سبيل المثال عندما تشتد العاصفة المطرية وتبدأ الهدارات بالعمل فقد تصل نسبة مياه الأمطار إلى المياه المنزلية حوالي 100 ضعف، وإذا اعتبرنا أن مياه الأمطار بعد فترة قد أصبحت نظيفة نسبياً ندرك ميزة هذا النظام.

يستخدم هذا النظام في المناطق الجافة ونصف الجافة والتي يكون فيها عدد الأيام أو الساعات للهطول المطري قليلاً كما أن العامل الاقتصادي يلعب دوراً في اختيار هذا النظام حيث إنه يستلزم بناء شبكة واحدة. كما أن لهذا النظام أفضلية أخرى هو التنظيف الذاتي للشبكة، فأتثناء التدفق الجاف تكون نسبة الامتلاء في الشبكة منخفضة وبالتالي تكون سرعة الجريان في الأنبوب منخفضة مما يؤدي إلى ترسيب المواد، وخاصة ذات الأصل المعدني وعند حدوث العاصفة المطرية تزداد نسبة الامتلاء، وبالتالي تزداد السرعة وتصل إلى قيمة تسمى بالسرعة الجارفة أو المنظفة، وهذا يجعل عملية التنظيف الآلي للشبكة يحدث بشكل دوري كلما هطلت الأمطار.

مما سبق يتبين، أنّ هذا النظام يؤمن درجة لا بأس بها من الناحية البيئية وخاصة بالنسبة للمستودع المائي الذي ستلقى فيه المياه بعد المعالجة ومياه العواصف المطرية بدون معالجة. أما العيب الذي يعوزه فهو المياه المختلطة المطروحة إليه أثناء العواصف المطرية. عند تصميم شبكات الصرف المشتركة تُقبل نسبة امتلاء حتى 100% لأن ذلك يحدث فقط أثناء العاصفة المطرية وقد تتعرض شبكات الصرف المشتركة إلى الجريان المضغوط في حالات العواصف المطرية لأزمة تكرار أكبر من المحسوبة، وفي هذه الحالة تمرر الشبكة تدفقاً أكبر من المحسوب.

فإذا كان زمن التكرار على سبيل المثال 5 سنوات فإن حدوث امتلاء كامل للشبكة يحدث مرة كل 5 سنوات تحسب أزمدة التكرار لشبكات الصرف المشتركة تبعاً لأهمية المنطقة وحساسيتها وطبيعة الأبنية. فمثلاً للمدن تؤخذ من 2-5 سنوات وقد تؤخذ 10 سنوات إذا كانت العوامل الاقتصادية مريحة وكانت المدينة سياحية. كما يمكن زيادة زمن التكرار في بعض مناطق المدينة كالأسواق التجارية والطرق الرئيسية (في مركز المدينة) ولاسيما إذا كانت تحوي أقبية كمستودعات أو محلات تجارية.

في هذا النظام إذا كانت المنطقة الصناعية منفصلة تماماً عن المنطقة السكنية والتجارية والإدارية فيمكن إجراء بعض التدابير كإنشاء محطة معالجة للمياه المختلطة القادمة من المناطق الصناعية، ومعالجتها بشكل تقترب مؤشراتهما من المياه المنزلية ثم رميها في الشبكة العامة، أو معالجتها بشكل كامل، ومن ثم إلقاؤها في المستودع المائي مباشرة.

1-4-2- شبكة التصريف المنفصلة:

1-4-2-1- شبكة الصرف المنفصلة بشكل كامل:

يستخدم هذا النظام شبكة لكل نوع من أنواع المياه، فتُنشأ شبكة للمياه المنزلية وأخرى لتصريف الأمطار، أما في المنطقة الصناعية فتُنشأ شبكتان أو ثلاث شبكات

واحدة لمياه الأمطار وأخرى للمياه الصناعية، وأخرى للفعاليات البشرية في المناطق الصناعية.

في المناطق الصناعية هنالك عدة احتمالات نذكر منها ما يلي:

أ- إنشاء محطة معالجة واحدة لكافة المياه الصناعية وتكون المياه الخارجة منها إما قريبة من مؤشرات المياه المنزلية، وبالتالي تساق تلك المياه بعد المعالجة إلى محطة المعالجة المركزية أو أن تعالج تلك المياه بشكل كامل وتلقى في المستودع المائي مباشرة أو تعالج معالجة عميقة ويعاد استخدامها للأغراض الصناعية .

نورد فيما يلي الخيارات الممكنة لإنشاء محطات المعالجة في هذا النظام:

- إنشاء عدة محطات معالجة في المنطقة الصناعية، وذلك تبعاً لنوع الصناعات حيث يكون مسبقاً قد تم التخطيط مسبقاً لفرز الصناعات، فتوضع محطة للصناعات الكيميائية وأخرى للهندسية وهكذا. أما تلك المحطات فتقوم بمعالجة المياه وإلقائها في الشبكة.

- قد يلجأ إلى إنشاء محطات معالجة لكل منشأة على حدة، وخاصة إذا كانت الصناعات متداخلة، وفي هذه الحالة تلقي المنشآت مياهها بعد المعالجة في الشبكة بعد أن تصبح مؤشراتاً قريبة من المياه المنزلية.

- يمكن تدوير مياه المنشأة، وذلك في حالة كون كلفة المعالجة أقل من ثمن المياه، أو عند وجود فقر مائي يحتم عدم هدر المصادر المائية.

- طبعاً يبدو هذا الحل صعباً في الوقت الراهن، ولكن كل السياسات المائية للبلدان الفقيرة مائياً تحتم استخدام هذا الأسلوب.

أما مياه الأمطار فيمكن أن يتم التعامل معها وفق ما يلي:

- تساق مباشرة إلى النهر بدون أي معالجة.

- تجهز الشبكة قبل النهر بهدارات، ومن ثم بمحطة معالجة أولية (مصافي - أحواض حجز رمال) عند كل أنبوب نصف رئيس. ويلجأ لهذا الحل في المدن الكبرى ذات الغزارات المطرية.

- إنشاء محطة معالجة واحدة لكل المياه المطرية، وتجهز الشبكة في هذه الحالة بمجموعة من الهدارات عند التقاء الأنابيب نصف الرئيس مع الرئيس كما تجهز الشبكة أيضا بمحطة ضخ وحوض توازن 12 قبلها. ويمكن أن نعالج المياه وترمى في المستودع أو تُعالج بشكل جزئي ثم تضخ إلى محطة المعالجة المركزية. بالنسبة للمياه المنزلية تساق بالكامل إلى محطة المعالجة المركزية وتتم معالجتها والاستفادة منها إذا اقتضت الحاجة لأغراض الري.

تُصمم شبكة المياه المنزلية بنسب امتلاء تتراوح بين 60 % إلى 80 %، وذلك تبعاً لقطر الأنبوب كما هو مبين في الجدول (1-1)

الجدول (1-1) يبين العلاقة بين نسبة الامتلاء وقطر الأنبوب

قطر الأنبوب مم	200 – 400	500 – 900	1000 وأكبر
نسبة الامتلاء h / d	%60	%70	%80

إن زيادة نسبة الامتلاء مع زيادة قطر الأنبوب يفسرها عامل عدم الانتظام الأعظم، حيث إنه كلما كان التدفق كبيراً كان عامل عدم الانتظام صغيراً. يعتبر هذا النظام معقداً ومكلفاً، ولكنه يتمتع بأفضلية من الناحية البيئية، حيث إنه يقوم بمعالجة كامل المياه المنزلية، كما أنه يسهل عمليات المعالجة في محطات المعالجة، لعدم وجود صدمات في التدفقات، ونوعية المياه الواردة إليها في النظام المشترك. مما سبق يتبين لنا أنه قد يكون للمناطق الصناعية نظامها الخاص وليس له علاقة بنوع النظام في المدينة، وهذا أمر طبيعي طالما أن المناطق الصناعية منفصلة عن التجمعات السكنية.

-1-4-2-2- شبكة الصرف نصف المنفصلة:

يملك هذا النظام شبكتين، إحداها للمياه المنزلية ، والأخرى للمطرية ، بيد أن تلك الشبكتين تجتمعان عند الأنبوب الرئيس.

تجهز شبكة مياه الأمطار في هذا النظام بمجموعة من الهدارات على الأنابيب نصف الرئيسة وقبل التقائها بالأنبوب الرئيس. أما شبكة المياه المنزلية فتصب بالكامل في الأنبوب الرئيس. إن الأفضلية التي يتمتع بها هذا النظام أنه يقوم باستقبال ونقل كل المياه المنزلية والجزء الأكثر تلوثاً من المياه المطرية.

يستخدم هذا النظام في البلدان التي يكثر فيها تساقط الثلوج وهطول الأمطار طيلة أيام العام تقريباً، وعندما تسمح الحالة الاقتصادية بذلك.

يتم تصميم شبكة المياه المنزلية بنسب امتلاء كما هو مبين في الجدول (1-1).

يتم تصميم شبكة المياه المطرية بنسبة امتلاء حتى 100% كما في الشبكات المشتركة والمنفصلة المطرية ، أما الأنبوب الرئيس فيصمم أيضاً على نسبة امتلاء حتى 100%. تنفذ شبكة المياه المطرية بمنسوب أعلى من شبكة المياه المنزلية. يعتبر هذا النظام من أفضل الأنظمة من الناحية البيئية والاقتصادية وخاصة في البلاد ذات الغزرات المطرية.

-1-4-2-3- شبكة التصريف المنفصلة بشكل غير كامل:

يملك هذا النظام شبكة للمياه المنزلية. أما مياه الأمطار فيتم تصريفها عن طريق قنوات مكشوفة قريبة من سطح الأرض.

تستخدم هذه الطريقة في المدن الصغيرة والقرى التي تصرف فيها مياه الأمطار إلى الأراضي الزراعية المجاورة، أو إلى خنادق مخصصة لهذا الغرض - ويستخدم هذا النظام عادة إما مؤقتاً لتجمعات سكنية مؤقتة - (مساكن عمال لبناء خط حديدي أو ما شابه)، أو عندما لا تسمح الحالة الاقتصادية ببناء شبكة كبيرة تحت سطح الأرض.

1-5- خطر التلوث على صحة الإنسان :

يؤدي التخلص من مياه الصرف الصناعي دون معالجة إلى إحداث تلوث كيميائي وبيولوجي وحراري إضافي في مياه الصرف الصحي، أوفي مسطحات المياه المستقبلية لها، وتختلف نوعية وحدة هذا التلوث تبعاً للتركيب الكيميائي والبيولوجي لمياه الصرف، وكذلك تبعاً لمساحة ونوعية المسطح المائي الذي تصرف فيه.

إن معظم المعايير التي وضعتها منظمة الصحة العالمية والدول المتقدمة لبعض الملوثات الرئيسية هي معايير "إرشادية"، تعكس معلوماتنا الحالية عن تأثيرات هذه الملوثات، وتجرى مراجعة هذه المعايير في بعض الدول المتقدمة كلما توافرت معلومات جديدة عن آثارها الصحية.

إن الآثار الصحية لمياه الصرف الصناعية على الإنسان تكون نتيجة لتناول الماء والغذاء الملوث على الأغلب، فسوء طرح مياه الصرف الصناعية على الأرض وفي المجاري المائية قد أحدث تلويثاً للمياه الجوفية والمياه السطحية في مناطق كثيرة في العالم، كما أن طرحها في الأنهار والبحيرات ومياه البحار الساحلية قد يؤدي إلى تراكم بعض الملوثات الكيميائية في الأحياء المائية (خاصة الأسماك والصدفيات)، التي إذا تناولها الإنسان سببت له أضراراً صحية مختلفة، و الجدول رقم (1-2) يبين بعض مصادر الملوثات و أثرها على الصحة، أما الجدول (1-3) فيبين أهم الملوثات و طرق المعالجة المناسبة لها.

الجدول (2-1) يبين بعض مصادر الملوثات و أثرها على الصحة:

المصادر	الأثر الصحي	الملوثات
البراز الآدمي و الروث الحيواني	تعتبر البكتريا الكوليفورم دليل للكائنات المسببة للزلات المعوية، الحمي، الدوسنتاريا، الالتهاب الكبدي الوبائي، التيفود ، الكوليرا وخلافه	TOTAL COLIFORM الكوليفورم الكلي
المواد البرازية للحيوان والإنسان	المغص	ENTERK VIRUSES فيروس الأنترك
براز الحيوان والإنسان	تقلصات معوية ، مغص معوي	الجارديا GIARDIA LAMBIA
مخلفات التآكل	تؤثر على كفاءة عمليات تعقيم المياه	العكارة
المناجم، بقايا المبيدات، مخلفات الصناعة، عمليات الصهر للمعادن	تسمم الجهاز العصبي -الالتهاب الجلدي	الزرنيخ
أعمال المناجم ، صهر المعادن	يؤثر على وظائف الكلى	الكادميوم
مثل الكادميوم	يؤثر على وظائف الكلى و الكبد	الكروم
صناعة معجون الأسنان ، الأصبغة	تآكل العظام	الفلور
التآكل من مواسير الرصاص ووصلات الرصاص علي خطوط المواسير	تدمير الجهاز العصبي / الكلى/ شديد السمية للأطفال والحوامل	الرصاص
في صناعة الورق، مستخدم في المطهرات	إرباك الجهاز العصبي/ يؤثر علي الكلى	الزئبق
المناجم ، الخامات الجيولوجية	مرض الطفل الأزرق نتيجة تغيرات في الدم	التنترات
مناجم ، محاجر	نزلات معوية	السلينيوم
مثل السلينيوم	تغير لون الجلد	الفضة

المبيدات للحبوب والتربة، ولحماية الأخشاب	الجهاز العصبي، الكلى	ENDRIN . اندرين
مبيدات أشجار الفاكهة والخضروات	مثل الأندرين - الجهاز العصبي . الكبد	ميثوكس كلور
مبيدات القطن ، والمحاصيل	احتمالات حدوث السرطان	التكسفين TOXAPHENE
مبيدات للحشائش	التأثيرات على وظائف الكلى والكبد	2.4 - D
مبيدات للحشائش	مثل 2.4 - D	2.4.5 - T
المبيدات، البويات، المبيدات، العقاقير ، اللدائن	السرطان	BENZENE . البنزين
مواد لتنظيف، مخلفات الصناعة، المبردات	مخاطر السرطان ضرر لوظائف الكبد	رابع كلوريد الكربون
يستخدم في لمبيدات، صناعة وقود البنزين	مخاطر السرطان	1.2 DICHLORO LENE ETHY
مخلفات صناعة المبيدات، البويات، الورنيشات، مزيلات الشحوم من المعادن ، الشحوم	مخاطر سرطان	TRICHLORO ETHYLENE
يستخدم في المبيدات، ملصقات الرائحة للهواء	مخاطر سرطان	PARADICHLORO BENZEN
صناعة الأصباغ ، البلاستيك ، العطور ، البويات	يؤثر علي الجهاز العصبي	DICHLORO ETHYLENE
صناعة مواد التعبئة للأغذية . الألياف الصناعية	الجهاز العصبي	TRICHLORO ETHYLENE

صناعة المطاط البلاستيك الصناعي	مخلفات	السرطان	كلوريد الفينيل
المخلفات المشعة ، رواسب اليورانيوم	المخلفات المشعة ، الجيولوجيا	السرطان	المواد المشعة GROSS DELTA
المخلفات المشعة ، الجيولوجيا		سرطان العظام	المواد المشعة راديوم 228 ، 266

الجدول (1-3) أهم الملوثات و طرق المعالجة المناسبة لها

الملوثات	عمليات المعالجة المقترحة
BOD ₅	- معالجة هوائية - حأة منشطة - مستنقعات مهواة - مرشحات بيولوجية - الأقراص البيولوجية الدوارة - أحواض الأكسدة - بحيرات - السربير المميع .
مواد عضوية قابلة للتفكيك	- معالجة لاهوائية - ترشيح لاهوائي - سربير مميح لاهوائي UASB
المواد الكلية الصلبة المعلقة TSS	- ترسيب - ترشيح - تصفية - تخثير وترويب وترسيب . - تطويف .
المواد العضوية صعبة التفكيك (TOC،COD) والنتروجين	- الامتزاز بالكربون - الأكسدة الكيميائية - النتريجة - إزالة النتروجين - تبادل أيوني - الكلورة وصولاً إلى نقطة التحطيم break point chlorination
الفوسفور	- الترسيب - معالجة بيولوجية متقدمة - تبادل أيوني .
المعادن الثقيلة	- الترشيح بالأغشية - التبخير - الديليزة الكهربائية - الترسيب الكيميائي - التبادل الأيوني .
المواد غير العضوية المنحلة	- تبادل أيوني - تناضح عكسي - الديليزة الكهربائية .
الدهون والزيوت والشحوم	- تخثير وترويب وترسيب - تطويف - الترشيح فائق الدقة .
المركبات العضوية الطيارة	- التهوية - الأكسدة الكيميائية - الامتزاز - النزغ (stripping) - معالجة بيولوجية .

1-6- تأثير مياه الصرف الصناعي على تلوث الأنهار و المزروعات و التربة:

إن التركيب الحيوي الطبيعي للأحياء الموجودة في مياه النهر قد يتغير بتغير الزمان والمكان على طول النهر، فمواصفات الماء في نهاية المجرى المائي تختلف بشكل ملحوظ عنها في بداية المجرى، لذلك قد يكون من الصعب أحياناً قياس التغير في المواصفات الطبيعية لمياه النهر من الناحية الكيميائية، ولكن هذا التغير غالباً ما ينعكس على تغير محتوى المياه من الأحياء المائية التي تتواجد فيه، لهذا يصبح من السهل تقصي وقياس مدى تلوث المجرى بالطرائق البيولوجية. وبما أن لمياه النهر استعمالات كثيرة غير أنه يحيي العديد من الكائنات الحية، و تلوث النهر يغير من طبيعة مياهه، وينعكس ذلك على استعمالاته التي اعتاد الإنسان عليها مهما كانت هذه الاستعمالات، من ري أو سباحة أو صيد أو استجرار لتوفير المياه العذبة أو للاستعمالات الصناعية والمنزلية.

وبما أن الكثير من مصادر مياه الصرف الصناعية تتصف بارتفاع تركيز الملوحة، فإن التخلص من مياه الصرف الصناعي أو استخدامها في الري يؤدي إلى تراكم الأملاح و بعض المركبات، مما يؤدي إلى تغيير التركيب البنيوي للتربة وتدني خواصها الزراعية (المسامية، قابلية النفوذ للماء، الأس الهيدروجيني..)، وقد تخرج التربة عن الصلاحية للزراعة. إذ إن وجود الأملاح والمعادن الثقيلة التي تمتصها جذور النباتات يؤدي إلى تخفيض الانتاج الزراعي، إضافة إلى أن العديد من المعادن الثقيلة تتراكم بيولوجياً وتنتقل عن طريق المحاصيل العلفية إلى الحيوانات، ومنها إلى الإنسان.

1-7 - الخواص الفيزيائية و الفيزيائية و الكيميائية لمياه الصرف الصناعي و

أهم المؤشرات:

من أهم الخصائص الفيزيائية لمياه الصرف هو محتواها من المواد الصلبة التي يتكون من مواد طافية، ومواد قابلة للترسيب و مواد عالقة ومواد ذائبة. أمّا الخصائص الفيزيائية الأخرى ، فهي الرائحة ودرجة الحرارة و اللون و درجة العكارة..

- الروائح:

تنبعث الروائح عادة من الغازات المتولدة من تحلل المواد العضوية، أو من المواد المضافة إلى مياه الصرف وقد تحتوي مياه الصرف الصناعي على مركبات ذات رائحة أو على مركبات تنبعث منها رائحة أثناء عملية المعالجة.

- درجة الحرارة:

تعتبر درجة الحرارة من أهم المؤشرات المؤثرة في عملية المعالجة وذلك لتأثيرها على التفاعلات الكيميائية وسرعتها، وكذلك تؤثر على الأحياء المائية، فمثلاً ارتفاع درجة الحرارة قد يؤدي إلى اختلاف في فصائل الأسماك المتواجدة في البيئة المائية المستقبلية لمياه الصرف.

بما أن انحلال الأكسجين يتناقص مع ارتفاع درجة حرارة المياه، بينما يزداد معدل التفاعلات البيو كيميائية فإن ارتفاع الحرارة قد يؤدي إلى نفاذ حاد لتركيز الأكسجين المنحل في المياه.

وعند حدوث أي تغير مفاجئ لدرجة الحرارة قد ينتج عنه ارتفاع معدل الوفيات في الأحياء المائية، كما أن الارتفاع غير الطبيعي لدرجة الحرارة قد يؤدي إلى ازدياد نمو بعض النباتات المائية غير المرغوب فيها والفطريات.

وتقاس درجة حرارة مياه الصرف في الموقع بأجهزة بسيطة محمولة تعطي مباشرة قيمة درجة الحرارة.

– اللون:

ويمكن قياس لون مياه الصرف مخبرياً بأجهزة تعمل على مبدأ الامتصاص الذري "سبكتروفوتومتر"، يختلف لون مياه الصرف الصناعي تبعاً لنوع الصناعة، ولا يمكن لطرائق المعالجة البيولوجية إزالة اللون، ولكن يمكن لبعض وحدات المعالجة الثانوية مثل الحمأة المنشطة المتبوعة بالترشيح الرملي إزالة نسبة معينة لبعض أنواع المواد الملونة، وفي بعض الأحيان تحتاج إزالة المواد الملونة إلى عمليات الأكسدة الكيميائية.

– العكارة:

العكارة هي مقياس لمرور الضوء خلال الماء ويستخدم كاختبار لقياس مدى جودة المياه المنصرفة بالنسبة للمواد الغروية العالقة، ويمكن قياس لون مياه الصرف مخبرياً بأجهزة تعمل على مبدأ الامتصاص الذري "سبكتروفوتومتر" وواحدة العكارة NTU.

– المحتوى العضوي :

تتكون المواد العضوية من خليط من الكربون والهيدروجين والأكسجين، وفي بعض الأحيان النيتروجين، هذا بالإضافة إلى بعض العناصر الأخرى المهمة مثل الكبريت والفسفور والحديد. وقد تحتوي مياه الصرف الصناعي على كميات قليلة من جزيئات عضوية تركيبية، والتي يتباين تركيبها الكيميائي تبايناً كبيراً مثل المواد الخافضة للتوتر السطحي (المنظفات الصناعية) والمركبات العضوية الرئيسية، ومركبات VOCs والمبيدات الزراعية. وقد أدى وجود هذه المركبات إلى تعقيدات عديدة لعمليات معالجة

مياه الصرف الصناعي، لأن أغلب هذه المركبات لا تتحلل بيولوجياً أو تتحلل ببطء شديد، و أهم مؤشرات المحتوى العضوية لمياه الصرف هما BOD_5 و COD .

– الأكسجين المستهلك للأكسدة البيو كيميائية (BOD_5):

يعتبر هذا المؤشر من أكثر مؤشرات التلوث العضوية استخداماً في مجال مياه الصرف، وعادة ما يتكون الأكسجين المستهلك للأكسدة البيو كيميائية بسبب المواد العضوية الغروية، و يلزم توفير الأكسجين اللازم لنمو البكتريا لتقوم بأكسدة المواد العضوية، و يحتاج الحمل الزائد للأكسجين المستهلك للأكسدة البيو كيميائية الناتج من الزيادة في الملوثات العضوية إلى زيادة النشاط البكتيري والأكسجيني، بالإضافة إلى زيادة استطاعة وحدة المعالجة البيولوجية.

يتم تحديد الأكسجين المستهلك للأكسدة البيو كيميائية بقياس الأكسجين المنحل المستهلك بواسطة الكائنات الدقيقة في عملية الأكسدة البيو كيميائية للمواد العضوية، ولقياس الأكسجين المستهلك للأكسدة البيو كيميائية يتم عمل تخفيفات لمياه الصرف بماء مشبع بالأكسجين في زجاجات خاصة، ويتم وضع الزجاجات في حضانة لمدة خمسة أيام بدرجة $20^{\circ}C$ ، وبذلك تسمى (BOD_5) ويقدر بوحدة ملغ/لتر.

ب- الأكسجين المستهلك للأكسدة الكيميائية (COD):

يستخدم اختبار الأكسجين المستهلك للأكسدة الكيميائية لقياس المواد العضوية في مياه الصرف الصناعي، والتي يصعب تفكيكها عن طريق البكتريا، ويتم بأكسدة المركبات العضوية والمختزلة في مياه الصرف بواسطة الديكرومات في وسط حمضي وبدرجة حرارة عالية.

ويمكن تعيينه خلال 3 ساعات فقط بالمقارنة بالأكسجين المستهلك للأكسدة البيوكيميائية والذي يلزم لتقديره خمسة أيام، وعندما تحدد العلاقة بينهما فإن قياسات الأكسجين المستهلك للأكسدة الكيميائية يمكن استخدامها كمؤشر لكفاءة عمليات التشغيل والتحكم في محطات المعالجة.

إن نسبة الأكسجين المستهلك للأكسدة الكيميائية إلى الأكسجين المستهلك للأكسدة البيوكيميائية تتراوح بين 1.5-3 في مياه الصرف الصناعي، التي تحتوي على مواد تتحلل بيولوجياً (مثل صناعة الأغذية). أما مياه الصرف ذات النسب (COD/BOD) أعلى من 3، فإنه يمكن اعتبار أن المواد الموجودة في العينة صعبة التحلل البيولوجي و يمكن قياس COD لمياه الصرف الخام باستخدام جهاز سبيكتروفوتومتر Spectrophotometer و يقدر بوحدة ملغ/ل.

- الزيوت والدهون والشحوم oil and grease, Fate :

تعتبر الدهون من أكثر المواد العضوية ثباتاً حيث لا تتحلل بسهولة بفعل البكتيريا، و تسبب الزيوت المعدنية مشاكل في الصيانة نتيجة لتغطيتها للأسطح. وإذا لم تتم إزالة الزيوت والشحوم قبل طرح المياه إلى البيئة الخارجية، فإنها قد تؤثر عكسياً على الحياة البيولوجية في المياه السطحية مسببة طبقة من المواد الطافية، و تعتبر الزيوت والشحوم مادة اختبار لتحديد مكونات المواد الهيدروكربونية الموجودة بمياه الصرف الصناعي. وهذه الاختبارات تتضمن شحوم و زيوت حرة و شحوم وزيوت مستحلبة، و تتم إزالة الزيوت والشحوم الحرة بالطفو أو الكشط، باستخدام جهاز فصل الزيوت بالجاذبية في حين يتم إزالة الزيوت المستحلبة باستخدام نظام التعويم بالهواء المنحل بعد التكسير الكيميائي للزيوت المستحلبة، وتقاس الزيوت والشحوم والدهون بوحدة ملغ/ل.

- المنظفات الصناعية:

المنظفات الصناعية هي المواد الخافضة للتوتر السطحي وهي عبارة عن جزيئات عضوية كبيرة ولها قابلية ضعيفة للذوبان وهي تسبب الرغوة في محطات معالجة مياه الصرف وفي المياه السطحية التي تصرف إليها وتتجمع جزيئات المنظفات في الطبقة ما بين الهواء والماء، كذلك تتجمع هذه المركبات على سطح فقاعات الهواء أثناء عملية المعالجة البيولوجية مسببة رغوة ثابتة ، ويقاس المركب (Alkyl benzene) sulfonate) و يقاس بوحدة ملغ/ل، ويمكن قياسه باستخدام جهاز سبيكتروفوتومتر Spectrophotometer.

- الفينولات:

تنتج مركبات الفينول مع مياه صرف معاصر الزيتون وتصرف أيضا من الصناعات البتروكيماوية ، وتأخذ طريقها إلى المياه السطحية عند التخلص من مياه الصرف الصناعي ، و تقاس بوحدة ملغ/ل ، ويمكن قياسه باستخدام جهاز سبيكتروفوتومتر Spectrophotometer.

- المركبات العضوية الطيارة VOCs:

هي المركبات العضوية التي لها نقطة غليان أقل من 100 درجة مئوية، أو ضغط بخار أقل من 1 مم زئبق عند درجة حرارة 25 درجة مئوية أو كليهما. إن وجود هذه المركبات في المجاري أو في محطات المعالجة قد تؤثر سلباً على صحة العاملين بشبكات الصرف ومحطات المعالجة و تقاس بوحدة ملغ/ل ، ويمكن قياسه باستخدام جهاز سبيكتروفوتومتر Spectrophotometer.

– الأس الهيدروجيني (pH):

إن تركيز الأيون الهيدروجيني يعتبر أحد المؤشرات الهامة لمياه الصرف، ويعتبر مجال التركيز المناسب لتواجد معظم الحياة البيولوجية صغيراً وحرزاً بين (6.5 و 8.5) ، ويمكن أن يقاس الأس الهيدروجيني مباشرة في الحقل.

– النيتروجين:

نظراً لأهمية النيتروجين كحجر أساس في سلسلة البروتين، فإن بيانات النيتروجين تستخدم لتقييم قابلية مياه الصرف للمعالجة البيولوجية. إن عدم وجود النيتروجين بشكل كاف يجعل من إضافته ضرورة لجعل مياه الصرف الصناعي قابلة للمعالجة البيولوجية. ولكي يتم التحكم في نمو الطحالب في المياه المستقبلية فإن إزالة النيتروجين في مياه الصرف يعتبر ضرورة ملحة. ويشمل النيتروجين الكلي على العديد من المركبات مثل النشادر وأيون الأمونيوم والنترات والنترت واليوريا والنيتروجين العضوي (الأحماض الأمينية والأمينات).

– شاردة الأمونيوم NH_4^+ :

توجد هذه الشاردة في مياه الصرف الصحي وكذلك في مياه صرف المذابح الفنية و معامل الحميرة بتركيز عالية تصل إلى 500 ملغ/ل ، و عند قياس تركيز هذه الشاردة بالأجهزة التي تعمل وفق سبيكتروفوتومتر Spectrophotometer و بوحدة ملغ/ل ، فإنه يمكن تطبيق المعادلات الآتية :

$$\text{NH}_3(\text{mg/l}) = 1.22 \times \text{N-NH}_3(\text{mg/l}) \quad (1-1)$$

$$\text{NH}_4(\text{mg/l}) = 1.29 \times \text{N-NH}_4(\text{mg/l}) \quad (1-2)$$

- شاردة الفوسفات الثلاثية PO_4^{3-} :

و توجد في مياه الصرف المنزلي نتيجة استخدام المنظفات الفوسفاتية، وكذلك توجد في مياه صرف المصانع و المكاحات ، و عند قياس تركيز هذه الشاردة بالأجهزة التي تعمل وفق سبيكتروفوتومتر Spectrophotometer و بوحدة ملغ/ل ، فإنه يمكن تطبيق المعادلات الآتية :

$$\text{P-PO}_4^{3-} (\text{mg/l}) = \text{PO}_4^{3-} (\text{mg/l}) \times 0.33 \quad (1-3)$$

- مركبات الكبريت ، SO_4^{2-} ، S^{2-} :

و توجد بشكل في مياه الصرف المنزلي ، مياه صرف الطلاء الغلفاني للمعادن و في مياه صرف المصانع و مياه صرف معامل الخميرة ، و يمكن أن تقاس هذه الشوارد مخبرياً بجهاز Spectrophotometer و بوحدة ملغ/ل ، يتم اختزال الكبريتات حيويّاً تحت ظروف لاهوائية إلى الكبريتيد، والذي بدوره يمكن أن يرتبط بالهيدروجين ليكون كبريتيد الهيدروجين، حيث يتصاعد هذا الغاز في الهواء المحيط بمياه الصرف.

- المركبات السامة غير العضوية:

تعتبر أيونات السيانييد والكروم السداسي أيونات سامة، وتظهر هذه الأيونات في مياه الصرف الصناعي الناتجة عن طلاء المعادن، ويجب إزالتها من البداية بالمعالجة المسبقة في المصنع وعدم خلطها بمياه الصرف الأخرى. ويتواجد الفلورايد بشكل شائع في مياه الصرف الناتجة عن صناعات الإلكترونيّات، ويعتبر هذا العنصر ساماً للأحياء الدقيقة إذا وجد بتركيز كبيرة ،ويمكن أن تقاس هذه الشوارد مخبرياً بجهاز Spectrophotometer و بوحدة ملغ/ل.

- المعادن الثقيلة:

إن المعادن الثقيلة كالنيكل و المنغنيز والرصاص والكروم و الكاديوم والزنك والنحاس وغيرها

توجد في مياه صرف العديد من الصناعات، كصناعة الطلاء الغلفاني للمعادن والدباغة و الصباغة و غيرها من الصناعات ، ووجود مثل هذه المعادن بقيم أكبر من القيم المسموحة ستؤثر على أداء محطات معالجة مياه الصرف الصحي، وعلى استخدام المياه المعالجة في الزراعة، لذلك يفضل دائماً أن يتم قياس تركيز هذه المواد في المياه والتحكم بها، ويمكن أن تقاس هذه الشوارد مخبرياً بجهاز Spectrophotometer و بوحدة ملغ/ل.

– المواد الصلبة الكلية (TS) والمواد المنحلة الكلية (TDS):

نأخذ 30 مل من المياه المراد دراستها و نضعها في جفنة فارغة، و ذلك بعد القيام بوزن الجفنة بواسطة ميزان الكتروني ونسجل الوزن (A) ثم نضع الجفنة في الفرن المبين ذي درجة حرارة 104 درجة مئوية و ذلك لمدة 24 ساعة ،وبعدها نضع الجفنة في جهاز امتصاص الرطوبة ،حتى تصبح حرارتها من حرارة الغرفة ثم نزنها مرة ثانية باستخدام الميزان الالكتروني ونسجل الوزن (B)، الفرق بين وزني الجفنة يعطي وزن الأجسام الصلبة الكلية، ومنها نحسب تركيز الأجسام الصلبة الكلية بوحدة ملغ/ل بالعلاقة: $TS = (A - B) / V$.

لحساب الأجسام الصلبة المنحلة، نرشح 30ml من المياه المراد دراستها و نضعها في جفنة فارغة و ذلك بعد القيام بوزن الجفنة على ميزان الكتروني، ثم نضعها في فرن ذي درجة حرارة 104 مئوية وذلك لمدة 24 ساعة ، وبعدها نضع الجفنة في جهاز امتصاص الرطوبة لتصبح حرارتها من حرارة الغرفة ثم نزنها مرة ثانية باستخدام الميزان الالكتروني، ونسجل الوزن D، الفرق بين وزني الجفنة يعطي وزن الأجسام الصلبة

$$\text{TDS} = \frac{(A - D) \times 1000}{V}$$

المنحلة و منها نحسب تركيز الأجسام الصلبة المنحلة بوحدة ملغ/ل: A-D)/V

6-1 - خصائص مياه الصرف الصحي:

يختلف تركيز الملوثات في مياه الصرف الصحي من مدينة إلى أخرى ومن حي إلى الآخر في المدينة نفسها، و يتخلف أيضاً بحسب فصول السنة و الهطول المطري و بحسب الظروف الاقتصادي و الاجتماعي و المناخية، و يتعلق بشكل كبير بكمية المياه المستهلكة و المصروفة إلى الشبكة العامة للصرف الصحي، فكلما زاد استهلاك الفرد من المياه قل تركيز الملوثات و العكس صحيح، الجدول (4-1) يبين قيم أهم مؤشرات ملوثات مياه الصرف المنزلي غير المخلوطة بمياه الصرف الصناعي:

الجدول (4-1): قيم مؤشرات التلوث لمياه الصرف المنزلي

القيمة	الفترة التصميمية
400-150	BOD ₅ (ملغ/ل)
800-400	COD (ملغ/ل)
450-100	TSS (ملغ/ل)
-350	TDS (ملغ/ل)
80-30	TKN (ملغ/ل)
20-10	P (ملغ/ل)
7.9-6.8	pH
200-50	زيتوت وشحوم (ملغ/ل)

8-1 - تدفق مياه الصرف الصحي :

يتكون تدفق مياه الصرف الوارد إلى محطة معالجة مياه الصرف البلدية في حال كانت شبكة الصرف الصحي مختلطة (مياه صرف منزلي + مياه مطرية) كما سنبين:

1- تدفق مياه الصرف المنزلية وبحسب من العلاقة :

-الغزارة الوسطية ل/ثا:

$$Q_{av} = (0.6-0.8) PE \times V \quad (1-4)$$

Q_{av} : التدفق المنزلي الوسطي بوحدة م³/يوم.

PE : عدد السكان الذي المخدمين بمحطة معالجة مياه الصرف الصحي .

V : معدل استهلاك الفرد من المياه العذبة م³/يوم.

أما الغزارة الأعظمية في الطقس الجاف فتحسب من

$$Q_{max,d} = Q_{av} \times K_{max,d} \quad (1-5) \quad \text{العلاقة:}$$

$K_{max,d}$: عامل عدم الانتظام الأعظمي:

$$K_{max,d} = 1 + \frac{2.5}{Q_{av}^{0.22}} \quad (1-6)$$

أما الغزارة الدنيا في الطقس الجاف ل/ثا:

$$Q_{avmin} = Q_{av} \times K_{min} \quad (1-7)$$

K_{min} : عامل الانتظام الأصغري و يحسب من العلاقة

$$K_{min} = 0.25 Q_{av}^{0.1} \quad (1-8)$$

2- تدفق مياه الأمطار في الفصل الرطب الداخل إلى محطة المعالجة، ويقدر

بالرجوع إلى تصميم شبكة الصرف الصحي و عادة يسمح مصمموا محطات معالجة

مياه الصرف الصحي بدخول تدفق مطري قيمته حوالي $Q_{av} \times (3-2)$

3- تدفق صرف صناعي سواء أكانت معالجة أم غير معالجة، وذلك في حال

كانت منشآت الصرف الصناعي تصرف الى شبكة الصرف الصحي .

4- تدفقات من المنشآت الخدمية و السياحية، كالمشافي والمطاعم و الفنادق .

5- تسربات إلى داخل شبكة الصرف الصحي في بعض الحالات وخصوصاً في شبكات الصرف الصحي القديمة و المهترئة.

وبشكل عام يسحب التدفق الأعظمي الداخل الى محطة المعالجة في الفصل الماطر والذي يمثل مجموع مياه الأمطار بالإضافة إلى مياه الصرف المنزلي من العلاقة :

$$Q_{\max.w} = 1.5 \times K_{\max}.d \times Q_{av} \quad (1-9)$$

إذا التدفق التصميمي لمحطة المعالجة يساوي : مجموع كافة التدفقات الداخلة الى محطة المعالجة وتساوي التدفق في الفصل الرطب + تدفقات مياه الصرف الصناعي (إن وجدت) + تسربات المياه الجوفية + تدفقات مياه صرف المنشآت الخدمية .

1-9- مقدمة عامة عن ميكروبيولوجيا معالجة مياه الصرف الصحي

1-9-1- البكتريا والفطور:

تعتبر البكتريا من أدق أنواع الحياة ومن أبسط الكائنات ، وتستطيع أن تحصل على الطاقة اللازمة لنموها عن طريق أكسدة المواد.

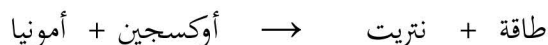
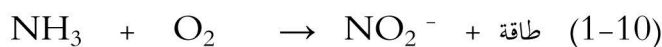
تعتبر البكتريا من أبسط الكائنات الحية، وتستعمل الغذاء السائل وتستطيع الانقسام بشكل ذاتي، وتلعب البكتريا دوراً أساسياً في الاستقرار العضوي للفضلات ، لذلك تلعب دوراً هاماً في المعالجة الحيوية ، وتنقسم البكتريا من الناحية الغذائية إلى نوعين:عضوي التغذية وذاتي التغذية، وهناك أنواع تستطيع استعمال نوعي التغذية.

البكتريا عضوية التغذية تستعمل المركبات العضوية لإنتاج الطاقة و للحصول على الكربون اللازم لبناء الخلية .وهي تنقسم إلى ثلاثة أقسام حسب طريقة تنفسها: بكتريا هوائية وتحتاج إلى الأوكسجين الحر المنحل لتعيش وتكاثر(Aerobes). بكتريا لاهوائية و تعيش في غياب الأوكسجين الحر المنحل وتستفيد من الأوكسجين المركب في المواد العضوية وغيرها مثل NO_3 و تسبب تفككها. بكتريا متقلبة أو اختيارية، وهي تستطيع الحياة بوجود وفي غياب الأوكسجين المنحل الحر، ومثال عليها العصيات

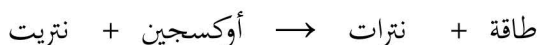
الكولونية ، و المكورات العنقودية وغيرها ،بالإضافة إلى نوع آخر من البكتريا وهي البكتريا التي تحتاج إلى كمية ضئيلة من الأكسجين مع وجود كمية من غاز ثاني أكسيد الكربون.

أما البكتريا ذاتية التغذية ، فهي تستخدم غاز ثاني أكسيد الكربون كمصدر للكربون، وهي تؤكسد مواد غير عضوية للحصول على الطاقة ، ومثال عليها البكتريا المنتزة (Nitrifying) و البكتريا الكبريتية والبكتريا الحديدية (Iron Bacteria) ، فالبكتريا المنتزة تقوم بالتفاعل التالي:

NITROSOMONAS

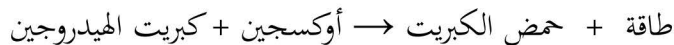


NITROBACTER



تقوم البكتريا الكبريتية ذاتية التغذية بالتفاعل الآتي:

Thiobacillus



ويحدث إنتاج حمض الكبريت بمساعدة البكتريا بوجود رطوبة كثيفة في جوانب جدران وقمة البالوعات التي تنقل الفضلات المائية الحاوية على البكتريا.

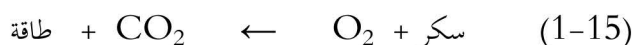
أما البكتريا ذاتية التغذية الحديدية فهي تؤكسد الحديد غير العضوي لإنتاج الطاقة، وتتواجد في المياه التي تحمل الحديد وعندما تموت هذه البكتريا فإنها تتعفن مسببة رائحة وطعماً كريهين للماء.



أما الفطور، فهي كائنات لا تعيش على التركيب الضوئي وهي تضم الخمائر والعفن، وأهم الخمائر في التخمرات الصناعية السكارومايز وهي خميرة شائعة ، يستخدمها الخبازون وصانعو خميرة البيرة وهي خلية صغيرة تتكاثر بالتبرعم وهذه الخمائر تنتج الكحول في الظروف اللاهوائية حيث يتم التفاعل التالي:



وفي الظروف الهوائية يتم التفاعل التالي :

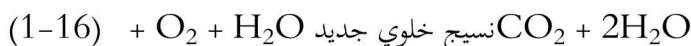


وإنّ الطاقة الناتجة عن التفاعل الهوائي أكبر بكثير من الناتجة عن التفاعل اللاهوائي.

1-9-2- الطحالب (الأشنيات):

الطحالب هي نباتات ميكروسكوبية تعتمد على التمثيل الضوئي المبين في المعادلة

التالية :

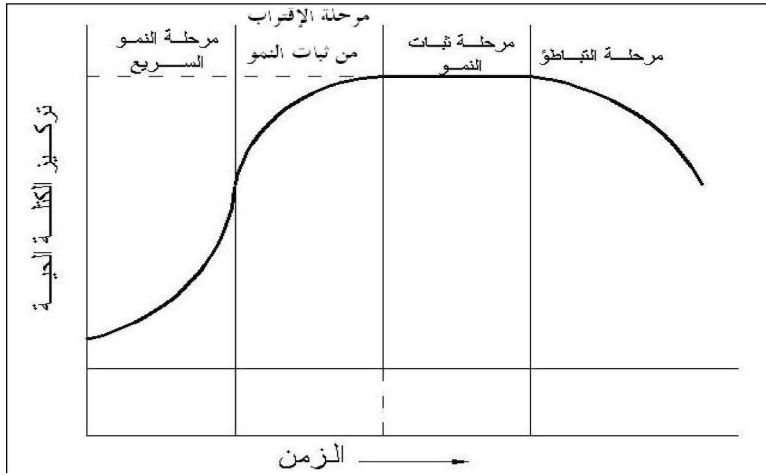


وهذا التفاعل يتم لإنتاج حياة نباتية جديدة وزيادة عدد الأشنيات.

والأشنيات ذاتية التغذية وتستعمل ثاني أكسيد الكربون (أو البيكربونات الموجودة في المحلول) كمصدر للكربون، وتحتاج الأشنيات لتغذيتها إلى الفوسفور (كالفوسفات) والنيتروجين ك(الأمونيا أو النتريت أو النترات) وذلك لتأمين نموها. وهناك نوع من الطحالب خضراء - مزرقّة تستطيع التقاط النيتروجين من الجو، الطحالب بشكل عام تستمد الطاقة للتمثيل الضوئي من أشعة الشمس عن طريق صباغات توجد فيها، والتي أكثرها شيوعاً هو الكلوروفيل ذو اللون الأخضر، بالإضافة إلى هذا فإن الطحالب تحتاج إلى مقدار ضئيل من مواد مغذية أخرى مثل المغنيزيوم والكبريت والكوبالت والكالسيوم والموليبدنوم.

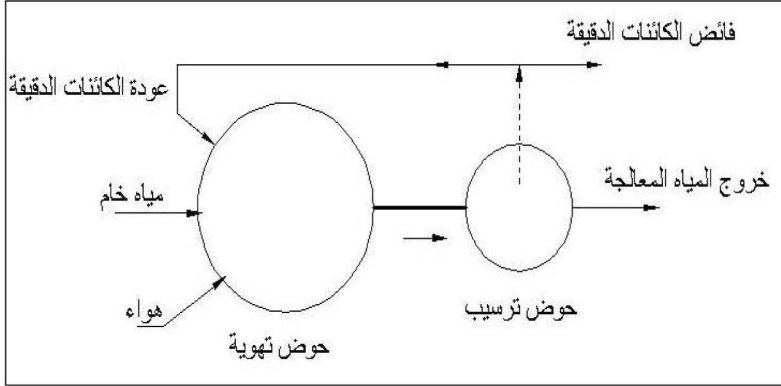
1-9-3- النمو:

يظهر الشكل (1-1) رسماً نموذجياً لنمو خلايا عضوية صغيرة في مزرعة بقعية، فبعد الزرع بمدة وجيزة تبدأ البكتريا بالتكاثر بشكل سريع بالانقسام الثنائي مما يسبب زيادة في عدد وحجم الخلايا، وهذه السرعة في النمو تتناسب مع كمية الغذاء المؤمن، وكلما كان النمو أسرع نتج نقص في المواد الغذائية أكثر عندها يأتي طور الاقتراب من نهاية النمو وفيه تكون المواد الغذائية قد نقصت، مما يوقف النمو السريع حتى يتوقف النمو تماماً لفترة.



الشكل (1-1): رسماً نموذجياً لنمو خلايا عضوية صغيرة في مزرعة بقعية.

لكن هذا النموذج في المزرعة البكتيرية السابقة لا ينطبق تماماً على ما يحدث في عمليات المعالجة البيولوجية إذ إنه في المعالجة البيولوجية، لا تنفذ المواد المغذية مثل الحمأة المنشطة التي تحتوي على تغذية مستمرة وبالتالي يظل حجم البكتريا وعددها متزايداً دائماً وكثيراً ويمثل الشكل (2-2) مخططاً مبسطاً لمنشأة معالجة بوساطة الحمأة المنشطة.



الشكل (1-2) : مخطط مبسط لمنشأة معالجة بوساطة الحمأة المنشطة.

حيث يتعرض الغذاء (مياه المجاري الداخلة) إلى التهوية مع الكائنات الدقيقة الممزوجة و المعادة، وذلك لفترة زمنية كافية لتسمح لتركيب عضويات الفضلات في الخلايا الحية، وبعدها يرسب خارج حوض التهوية (في المرسبات النهائية) لفصلها عن المياه حيث يعاد جزء من الحمأة مرة ثانية إلى أحواض التهوية، لتنشيط عملية المعالجة البيولوجية والإبقاء على توازن ثابت بين الغذاء والكتلة البكتيرية F/M في حوض التهوية .

$$\frac{F}{M} = \frac{\text{Food}}{\text{Microorganism}} = \frac{\text{الغذاء}}{\text{الكائنات الدقيقة}} \quad (1 - 17)$$

ويصرف فائض الحمأة المنشطة من حوض الترسيب ليخضع إلى معالجة لاحقة. فإن وجدت نسبة عالية من F/M فالكائنات الحية تكون حسب مخطط الشكل (2-2) - (1) في طور النمو السريع، وهي حسب مخطط الشكل (2-3) في أعلى نسبة من الأيض (metabolism).

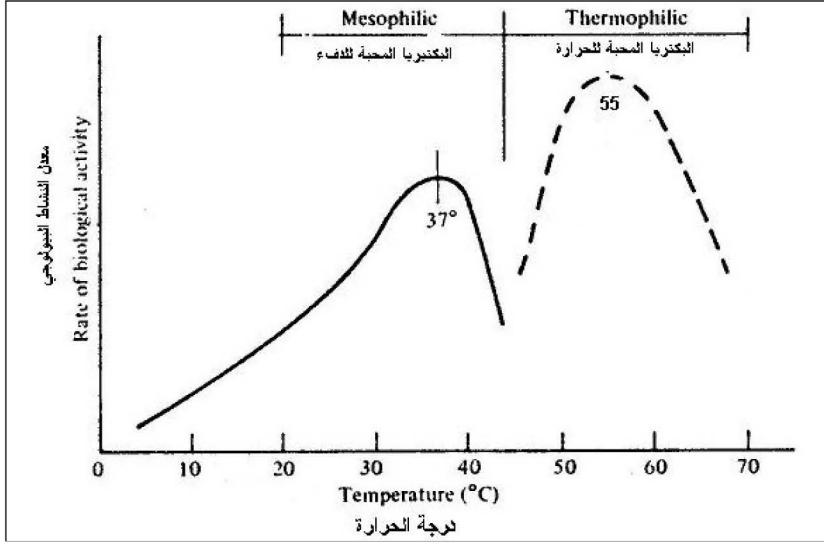
في حال انخفاض نسبة F/M تكون فعالية الأيض في طور النمو الداخلي، ومع أن نسبة الأيض تكون قليلة في هذا الطور ولكن الكائنات الدقيقة تترسب بسرعة بفعل الثقالة وهذا يوضح أن عملية المعالجة في هذا الطور تكون أفضل.

1-9-4-العوامل المؤثرة على نمو الكائنات الدقيقة:

هناك عوامل كثيرة تؤثر على نمو الكائنات الدقيقة، أهمها درجة الحرارة ودرجة الحموضة pH وتوفر الغذاء والإمداد بالأكسجين ووجود سموم ونوع الوسط المغذي وأشعة الشمس بالنسبة إلى الكائنات التي تعتمد على التركيب الضوئي. وتقسم البكتريا حسب درجة الحرارة المثالية لنموها إلى أنواع، محبات البرد Psychrophilic، ومحبات الدفء Mesophilic، ومحبات الحرارة العالية Thermophilic.

أما المحبة للبرد، فأهميتها في مجال الهندسة الصحية ضعيفة وهي تنمو في درجة حرارة (4 - 10) °م، أما البكتريا محبة لدرجة الحرارة العالية، فتعيش بدرجة مثالية مقدارها (50 - 55) °م، ولها أهمية في مجال حفظ الأغذية، وتنمو البكتريا المحبة للدفء في درجة حرارة (20-40) °م وأغلب الجراثيم الممرضة هي محبة للدفء، وكذلك فإن أغلب منشآت المعالجة الحيوية تعمل في مجال درجات الحرارة الدافئة إذ تسخن أحواض التخمر إلى درجة (35°م) وتعمل أحواض التهوية و المرسبات النهائية بين درجتي (15 - 25) °م.

وبشكل عام فإن النشاط الحيوي يتضاعف لكل ارتفاع (10 - 15) °م في الحرارة في مدى (5 - 35) °م الشكل (1-3).



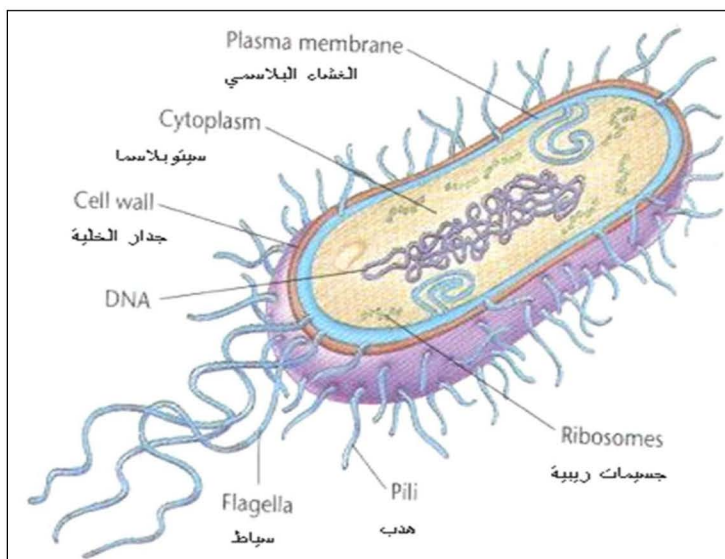
الشكل (3-1) : معدل النشاط البيولوجي تبعاً لدرجة الحرارة

وفوق درجة الحرارة (40 °م) فإن البكتيريا المحبة للدفع تنقص بشكل حاد ويبدأ نشاط البكتيريا المحبة للحرارة وحتى درجة (55 °م) .
أما بالنسبة إلى رقم pH للماء فأكثر الكائنات الحية تكون في أشد نشاطها في الوسط القلوي، وأكثر نشاط الحمأة المنشطة يكون في درجة لـ pH بين 6.5 وبين 8.5 ومن أجل قيمة لـ pH تساوي 9 فما فوق فإن الفعالية البكتيرية تتناقص وتحت قيمة لـ pH مقدارها 6.5 تنشط الفطور أكثر من البكتيريا.

1-9-5- بنية الخلية البكتيرية:

إن معظم الخلايا البكتيرية هي ذات بنية متشابهة، كما في الشكل (1-4)، و داخل الخلية يسمى سيتوبلاسما، و يحتوي على سائل ذي معلقات غروانية بروتينية و كاربوهيدراتية و غيرها من المركبات العضوية المعقدة، إن المنطقة السيتوبلاسمية تحتوي على الحمض النووي الريبوزي (RNA) ، و دوره الأساسي هو تركيب البروتين، و أيضا " يوجد داخل السيتوبلاسما منطقة النواة التي هي غنية بـ حمض DNA الذي

يحتوي على المعلومات الوراثية الضرورية لإعادة إنتاج كل مركبات الخلية، ويمكن أن يعتبر برنامج عمل الخلية.



الشكل (1-4): بنية الخلية البكتيرية

إن الصيغة التقريبية للجزء العضوي من الخلية البكتيرية $C_5H_7O_2N$ ، و كما هو مبين من الصيغة المذكورة، فإن حوالي 53% من وزن الجزء العضوي هو كربون، كما أنه يمكن أن تستعمل الصيغة $C_{60}H_{87}O_{23}P$ عندما يؤخذ الفوسفور بعين النظر، وإن المركبات التي تؤلف الجزء غير العضوي تتضمن ما يأتي: P_2O_5 (50%) و SO_3 (15%) و Na_2O (11%) و CaO (9%) و MgO (9%) و K_2O (6%) و Fe_2O_3 (1%)، و بما أن هذه العناصر يجب أن تستمد من البيئة فإن نقصان أيها سوف يحدد نمو الخلية، و في بعض الحالات فإن هذا النقصان قد يغير النمو.

1-9-6- الكربون و مصادر الطاقة:

إن تصنيف المتعضيات المجهرية تبعاً لمصدر الطاقة والكربون هي ملخصة في الجدول (1-5) الذي يبين التصنيفات العامة للمتعضيات المجهرية تبعاً لمصادر الطاقة و الكربون.

الجدول (1-5): التصنيفات العامة للمتعضيات المجهرية تبعاً لمصادر الطاقة و الكربون

مصدر الكربون	مصدر الطاقة	التصنيف
CO ₂	الضوء تفاعل أكسدة - إرجاع غير عضوي	Autotrophic: Photoautotrophic Hemoautotrophic
كربون عضوي	تفاعل أكسدة- إرجاع عضوي الضوء	Heterotrophic: Chemoheterotrophic Photoheterotrophic

1-9-7- متطلبات التغذية و النمو:

إن المواد المغذية غير العضوية و اللازمة للمتعضيات المجهرية هي [C ، Na ، Ca ، Mg ، Fe ، N ، S ، P ، K] ، كما أن المعادن النادرة ذات أهمية تتضمن [Ni ، Cu ، Co ، Se ، Mo ، Zn] ، بالإضافة إلى المواد غير العضوية المذكورة أعلاه فإن المواد المغذية العضوية قد تلزم أيضاً من أجل بعض المتعضيات، وهي معروفة بعوامل النمو و تختلف من متعضية لأخرى ولكن الأصناف الرئيسية لعوامل النمو هي: 1- الحموض الأمينية 2- ألبورينات (purines) 3 - البيريميدين (pyrimidines) 4 - الفيتامينات.

1-9-8- آلية النمو البيولوجي:

إن الظروف البيئية للنمو البيولوجي يمكن التحكم بها من خلال ضبط pH، وضبط درجة الحرارة و إضافة المواد المغذية، و إضافة أو استهلاك الأكسجين و المزج المناسب وإن ضبط الظروف البيئية سوف يؤمن وسطاً "مناسباً" لنمو المتعضيات. كما أنه لكي نضمن بأن المتعضيات سوف تنمو يجب أن تبقى في النظام لفترة كافية و هذه الفترة تتعلق بمعدل نمو المتعضيات و الذي يتعلق مباشرة بمعدل الأيض أو استخدام الفضلات مع افتراض التحكم المناسب بالظروف البيئية ، كما أن تثبيت الفعّال للفضلات يمكن التحكم به بضبط معدل نمو المتعضيات و بالتالي يجب الاهتمام بآلية نمو المتعضيات.

إن اعتماد ثوابت معدل النمو على درجة الحرارة هو هام جداً في تقييم كفاءة عمليات المعالجة البيولوجية، إن درجة الحرارة لا تؤثر على الفعاليات الخلوية للتعداد الجرثومي و لكن لها تأثير كبير على بعض العوامل، مثل معدل نقل الغاز و خصائص الترسيب للمواد الصلبة البيولوجية، إن تأثير الحرارة على معدل التفاعل للعمليات البيولوجية يعبر عنه بالشكل التالي:

$$r_T = r_{20} \theta^{(t-20)}$$

حيث r_T : معدل التفاعل عند $T^{\circ}\text{C}$.

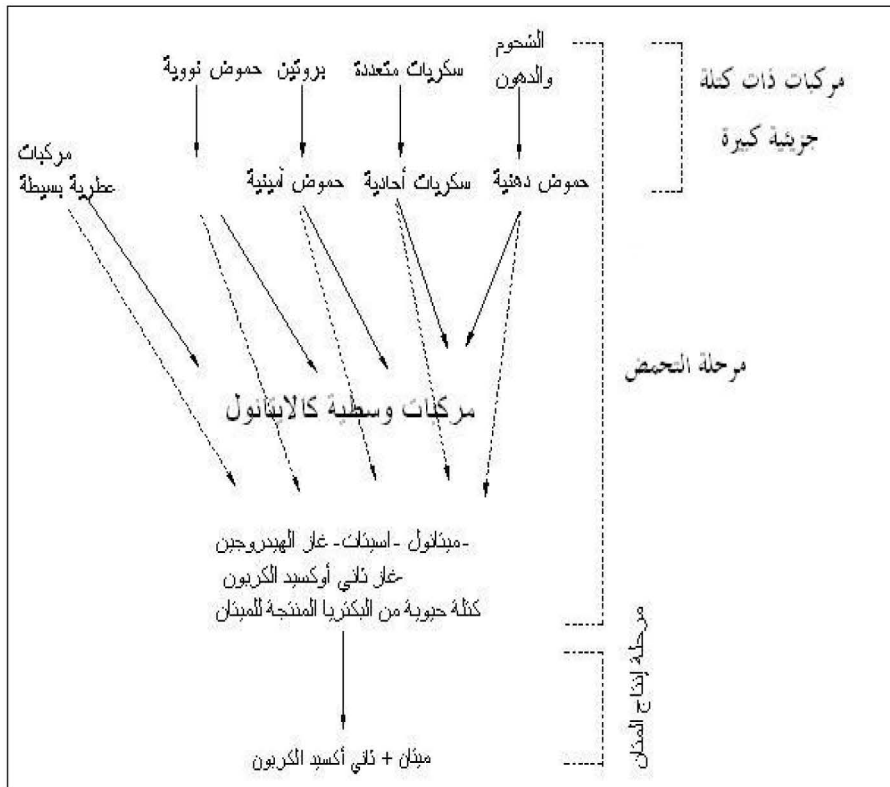
r_{20} : معدل التفاعل عند درجة حرارة مقدارها 20 درجة مئوية .

θ : معامل فعالية درجة الحرارة.

T : درجة الحرارة $^{\circ}\text{C}$.

خلال العقود الثلاثة الماضية تطور العديد من عمليات المعالجة البيولوجية اللاهوائية للحماة ولمعالجة مياه الصرف ذات الحمل العضوي العالي. إن أكثر العمليات شيوعاً في العصر الحالي طريقة المزج الكامل بالهضم اللاهوائي.

ويعتقد أن التحول البيولوجي للمواد العضوية الموجودة في مياه الصرف المعرضة للمعالجة اللاهوائية يتم عبر مراحل ثلاث، كما في الشكل (1-6).



الشكل (1-5): مراحل التحول البيولوجي للمواد العضوية الموجودة في مياه الصرف المعرّضة للمعالجة اللاهوائية

حيث تتضمن المرحلة الأولى - (كما هو مبين في الشكل (1-5)) - عملية التحلل في وسط أنزيمي للمركبات ذات الكتلة الجزيئية الكبيرة، عملية التحلل هذه تحول

هذه المركبات إلى مركبات ملائمة لاستعمال البكتريا كمصدر للطاقة و كمصدر للكربون الخلية البكتيرية.

تتضمن المرحلة الثانية من مراحل التحول البيولوجي تحويل المركبات التي نتجت من المرحلة الأولى إلى مركبات وسطية أقل كتلة جزيئية، و يمكن أن تدعى هذه المرحلة بمرحلة التخمض.

تتضمن المرحلة الثالثة (مرحلة إنتاج الميثان) التحويل البكتيري للمركبات الوسطية إلى منتجات نهائية أكثر بساطة. هي الميثان و ثاني أكسيد الكربون.

في مفاعل الهضم اللاهوائي يعمل مزيج منسجم من المتعضيات اللاهوائية لإنجاز المراحل المذكورة أعلاه، حيث تكون هناك مجموعة من المتعضيات الدقيقة مسؤولة عن تحويل البولييميرات والدهون والشحوم إلى زمر ذات صيغ إنشائية مبسطة، مثل أحاديات السكر و الحموض الأمينية والمركبات المتعلقة بها.

تقوم مجموعة ثانية من البكتريا اللاهوائية بتخمير المنتجات المتفككة إلى حموض عضوية مبسطة و التي من أكثرها شيوعاً هو حمض الخل، هذه المجموعة من المتعضيات و التي توصف بأنها غير صانعة للميثان هي بكتريا اختيارية و بكتريا لا هوائية وهي تعرف بأنها صانعة الحمض.

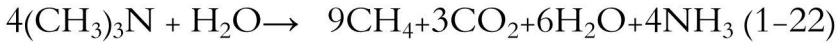
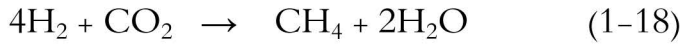
بالإضافة إلى ذلك فهناك مجموعة ثالثة من المتعضيات الدقيقة تحول الهيدروجين وحمض الخل المتشككين من قبل صانعات الحمض إلى ميثان و ثاني أكسيد الكربون وإن البكتريا المسؤولة عن هذا التحول هي لاهوائية بشكل صارم وتدعى البكتريا صانعة الميثان، و إن من أهم البكتريا صانعة الميثان هي البكتريا التي تستهلك الهيدروجين و حمض الخل.

هذه الأنواع من البكتريا بشكل عام ذات معدل نمو بطيء جداً، مما يعتبر من الأمور السلبية في مجال معالجة مياه الصرف، و بشكل عام فإننا يمكن أن نعتبر أنه قد

تم الحصول على استقرار جيد للحمأة عندما نحصل على إنتاج الميثان و ثاني أكسيد الكربون في منشأة المعالجة.

إن غاز ثاني أكسيد الكربون هو غاز شديد الانحلال في الماء ، أما غاز الميثان فهو ضعيف الانحلال في الماء وبالتالي فإن انطلاقه من الماء يعني أن المعالجة قد وصلت إلى حد جيد.

من المهم أن نلاحظ أن البكتريا صناعة الميثان تستطيع أن تستعمل كمية محدودة فقط من المواد العضوية والمغذيات (Substrate) من أجل تشكيل الميثان فهي تستهلك فقط H_2 و CO_2 بالإضافة إلى الحموض و الميثانول و أمينات الميثيل و أحادي أكسيد الكربون، و إن تفاعلات التحول النموذجية التي تنتج الطاقة هي كما يأتي:

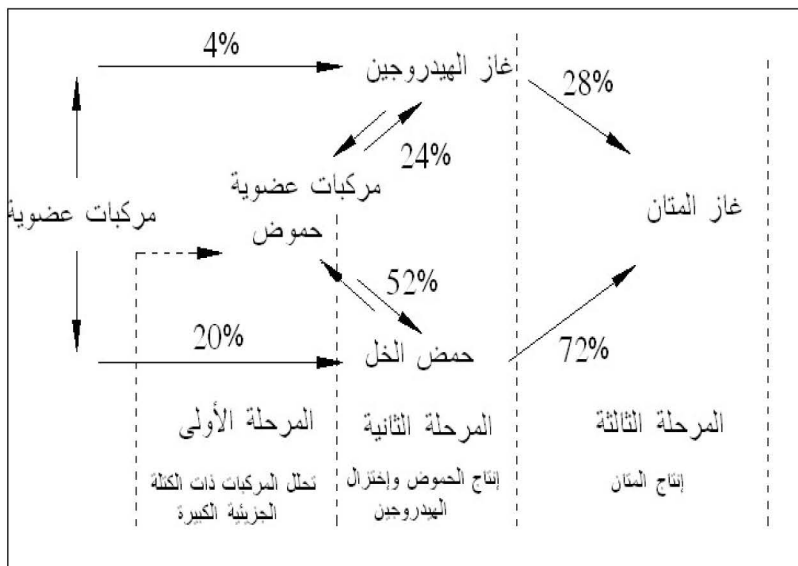


وفي مفاعل المعالجة اللاهوائية فإن الطريقتان الرئيسان لتشكيل الميثان هما:

1- تحويل الهيدروجين و ثاني أكسيد الكربون إلى ميثان و ماء، كما في المعادلة (18).

2- تحويل الأسيتات (الخلات) إلى ميثان و ثاني أكسيد الكربون، كما في المعادلة (1-20) وكما في الشكل (1-6)، و في منشآت معالجة مياه الصرف اللاهوائية يجب أن نحافظ على توازن دائم بين البكتريا صناعة الميثان، و غير صناعة الميثان لكي نحصل على كفاءة معالجة جيدة، ولكي نؤمن هذا التوازن فإن المفاعل يجب أن يكون خالياً من الأكسجين المنحل، و يجب أن لا يحوي السائل على كميات كبيرة من المعادن الثقيلة و الكبريتيت، و أيضاً يجب أن تكون قيمة pH للسائل متراوحة بين 6.6 و

بين 7.6، و أن تكون هناك كمية كافية من المركبات القلوية في الماء لكي نضمن عدم انخفاض pH عن 6.2، لأن بكتريا الميثان لن تستطيع أن تنشط تحت قيمة pH أقل من 6.2 .



الشكل (1-6) : مراحل تشكل غاز الميثان في المعالجة اللاهوائية

10-1- المواد ذات قابلية التفكك البيولوجي اللاهوائي:

تتميز المعالجة البيولوجية اللاهوائية بقابلية تفكيكها لمجال واسع من المواد العضوية فهي قادرة على تفكيك السكريات الأحادية والسكريات المتعددة، و قادرة على تفكيك البروتينات والحموض الأمينية مثل بروتين البطاطا والبروتينات الموجودة في الحليب وغيرها، ولها القدرة على تفكيك الدهون والحموض الدهنية ذات السلاسل الكبيرة، وكذلك لها القدرة على تفكيك مركبات الكحول البسيطة مثل الميثانول والإيثانول، ولها القدرة أيضاً على تفكيك مركبات فورمالدهيد، ومركبات الفينول وحموض البنزن والألدهيدات وكلورات الفينولات والمركبات العطرية.

1-10-2- المواد المعيقة للبكتريا المنتجة للميتان:

كما مر معنا، إن المعالجة البيولوجية اللاهوائية تتم عبر ثلاث مراحل، المرحلة الثالثة منها هي مرحلة صناعة الميتان أي التحويل البكتيري للمركبات الوسطية إلى منتجات نهائية أكثر بساطة، هي الميتان و ثاني أكسيد الكربون، ومع ذلك فإن هناك مواد وعناصر يمكن أن تحد من فعالية البكتريا المنتجة للميتان، هذه المواد والعناصر يمكن تلخيصها في الجدول (1-6) :

الجدول (1-6) : معيقات عمل البكتريا المنتجة للميتان

تصنيف المركبات	السمية	ملاحظات
الدهون والحموض الدهنية ذات السلاسل الطويلة	سامة	$IC_{50} = 500-1250$ ملغ/ل
الحموض الدهنية الطيارة	سامة	غير سامة عند pH يتراوح بين 7 و 8 والسمية تعتمد على pH الناتج عن الحموض الدهنية الطيارة غير المتشردة فمثلاً : IC_{50} للاستينات والبروبيونات هي 6-16 ملغ /ل من الحموض الدهنية الطيارة غير المتشردة
السيانيد	شديد السمية جداً	$IC_{50} = 1$ ملغ /ل للحمأة غير المتكيفة $IC_{50} = 25$ ملغ /ل للحمأة المتكيفة
فورم الدهيد	شديد السمية	$IC_{50} = 100$ ملغ /ل للحمأة غير المتكيفة $IC_{50} = 400$ ملغ /ل للحمأة المتكيفة

مركبات الكبريت غير العضوية 1- الكبريتيد (سولفيد)	شديد السمية جداً	السمية تعتمد على pH مياه الصرف الناتج عن الأشكال غير المتشردة لمركبات الكبريتيد، أي H_2S الحر الموجودة في مياه الصرف $IC_{50} = 250$ ملغ/ل من الكبريت الموجود في H_2S الحر
2- الكبريتات	غير سامة	تكون الكبريتات سامة فقط في التراكيز العالية $IC_{50} = 3300$ ملغ/ل من الكبريت الموجود في شاردة SO_4^{2-}
3- شاردة الكبريتيت الثلاثية (السولفيت)	شديدة السمية جداً	$IC_{50} = 50$ ملغ/ل من الكبريت الموجود في شاردة SO_3^{2-}
الأمونيا	سامة جداً	السمية تعتمد على pH مياه الصرف الناتج عن الأشكال غير المتشردة لمركبات الأمونيا، أي NH_3 الحر $IC_{50} = 50$ ملغ/ل من النتروجين الموجود في شاردة NH_3
المعادن الثقيلة	شديدة السمية جداً	بعض المعادن الثقيلة شديدة السمية وخصوصاً عندما تكون بالشكل المنحل مثل النحاس المنحل والذي له قيمة $IC_{50} = 10-75$ ملغ/ل ولكن غالباً ما تزال سمية المعادن الثقيلة في أنظمة المعالجة اللاهوائية وذلك بترسيبها على شكل كبريتات أو كربونات المعادن الثقيلة

فقط في التراكيز العالية IC50 = 4700 - 7600 ملغ/ل	سامة	الأملاح (مثل K^+ ، Na^+ (Ca^{2+})
على سبيل المثال : البنزن IC50 = 1970 ملغ/ل ايتل البنزن IC50 = 340 ملغ/ل IC50 = 1300 ملغ/ل IC50 << 4250 ملغ/ل بثاكلورالفيينول IC50 = 1 ملغ/ل على سبيل المثال :مركب نترو البنزن IC50 = 10 ملغ/ل على سبيل المثال :مركب الأنيلين IC50 = 900 ملغ/ل	سامة سام سامة سام شديدة السمية جداً شديد السمية جداً شديدة السمية جداً سامة	المركبات العطرية 1- المركبات العطرية الهيدروكربونية 2- الفينول 3- حموض البنزن 4- ألدهيد البنزن 5- كلوريدات الفينول 6 - كلور البنزن 7- مركبات النترو العطرية 8- الأمينات العطرية
على سبيل المثال : مركب الكلوروفورم IC50 = 0.5 ملغ/ل للحمأة غير المتكيفة IC50 = 45 ملغ/ل للحمأة المتكيفة	شديدة السمية جداً	المركبات الأليفاتية

		المركبات الهيدروكربونية الأليفاتية الكلورة
المنظفات موجبة أو سالبة الشحنة 50 - 20 = IC50 ملغ/ل	سامة جداً	المركبات ذات الفعالية السطحية
شديدة التغير	سامة/أو غير سامة	أصبغة آزو
على سبيل المثال مركبات جيوكول 2200 = IC50 ملغ/ل السلاسل الكربونية يوجينول الفينول 264 = IC50 ملغ/ل	غير سامة	مركبات الفيتو كيميائية 1- بوليمر ليجنيين ذي الوزن الجزئي الكبير
على سبيل المثال باينين 180 = IC50 ملغ/ل على سبيل المثال الأبيتان 140 = IC50 ملغ/ل على سبيل المثال حمض التانيك الدابغ IC50 350 = ملغ/ل.	سامة جداً	2- مركبات بوليمر أحادي الهجين
مركبات حمض التانيك ذات الكتلة الجزئية الكبيرة غير سامة	شديدة السمية جداً شديد السمية جداً سام جداً	3- التربينات الطيارة 4- راتنج الخشب 5- حمض التانيك

IC50 : التركيز المؤدي لإعاقة 50 % من البكتريا ، أو بمعنى آخر هو التركيز الذي يثبط نشاط البكتريا بنسبة 50% من فعاليتها.

1-10-3- محاسن ومساوئ معالجة مياه الصرف الصحي والصناعي

بالطرق اللاهوائية:

أ- محاسن المعالجة اللاهوائية :

- الطاقة اللازمة لتشغيل المفاعلات اللاهوائية لمعالجة مياه الصرف صغيرة جداً مقارنة مع طرق المعالجة الهوائية أو الاختيارية، لأنه في طرق المعالجة الهوائية نحتاج 0.5-0.7 كيلو واط ساعي لإزالة 1 كيلو غرام COD أما في المعالجة اللاهوائية فلا حاجة لوجود أجهزة تهوية في المفاعلات.
- تعطي كمية قليلة من الحمأة، حيث إن كل 1 كغ COD مزال في الطريقة اللاهوائية يتحول أكثر من 90 % إلى غاز ميثان، والباقي والذي هو أقل من 10% يتحول إلى حمأة بينما في طرق المعالجة الهوائية اكغ COD مزال يتحول إلى 50% حمأة و الباقي غاز CO_2 وبخار الماء، و بالتالي فإن كمية الحمأة الناتجة عن المعالجة اللاهوائية تعادل 20% من كميتها في المعالجة الهوائية.
- يمكن تشغيل المفاعلات البيولوجية اللاهوائية على معدلات تحميل عضوية أكبر ب 5-10 مرات من معدلات تشغيل المفاعلات الهوائية ، مما يصغر حجم المفاعلات عند استخدامها في معالجة مياه الصرف الناتجة عن الصناعات شديدة التلوث.
- يمكن في المعالجة اللاهوائية تحويل العديد من المذيبات الخطرة كالكلوروفورم إلى أشكال سهلة التفكك.
- مقاومة للمواد السامة والمواد المثبطة لنمو البكتريا بشكل أكبر بكثير من البكتريا الهوائية .

ب- مساوىء المعالجة اللاهوائية :

- زمن إقلاع المفاعلات اللاهوائية كبير بالمقارنة مع المفاعلات الهوائية، وذلك بسبب صغر معدل الاصطناع الحيوي (إنتاج الحمأة)، وبالتالي تحتاج المفاعلات اللاهوائية زمناً كبيراً من أجل تحقيق الحالة المستقرة.
- زمن استعادة الحالة المستقرة في المفاعلات اللاهوائية كبير بالمقارنة مع المفاعلات الهوائية، فالمفاعلات اللاهوائية التي يحدث فيها أحياناً خروج للحمأة خارج المفاعل بشكل غير صحيح، أو التي تتعرض لصدمات من مواد سامة تحتاج لوقت أطول من المفاعلات الهوائية لاستعادة حالتها المستقرة.
- تحتاج المفاعلات اللاهوائية مواد مغذية خاصة ليتم عملها بشكل فعال فمثلاً البكتريا المنتجة للميثان تحتاج إلى بعض الشوارد المعدنية الخاصة كشوارد الحديد وشوارد الكوبالت لكي تعمل بشكل فعال.
- أكثر تأثيراً بالشروط البيئية من البكتريا الهوائية، وخصوصاً البكتريا المنتجة للميثان، فهي أكثر تأثيراً بتغير قيمة pH أو درجة الحرارة. من البكتريا الهوائية.
- تتأثر فعالية البكتيريا المنتجة للميثان بوجود شوارد الكبريت والكبريتات في مياه الصرف الغنية بالكبريتات.
- صفات مياه الصرف الناتجة عن المعالجة اللاهوائية أقل جودة من صفات مياه الصرف الناتجة عن المعالجة الهوائية، وذلك لأن التركيز الأصغري للملوثات الواجب توفرها في مياه الصرف حتى تعمل البكتريا اللاهوائية بشكل فعال وتحافظ على بقائها أكبر منه مقاومة مع البكتريا الهوائية، لذلك فإنه قد تبقى بعض المواد العضوية في مياه الصرف المعالجة بالطرق اللاهوائية غير متفككة، الأمر الذي قد لا يحقق الشروط البيئية الخاصة بتصريف مياه الصرف المعالجة.
- عند معالجة مياه الصرف الغنية بالبروتين أو النتروجين بالطرق اللاهوائية يبقى النتروجين في مياه الصرف دون معالجة، وذلك لأن تفكيك وتحلل البروتين يعطي

أأمينات، والتي سرعان ما تتفكك لتعطي أخيراً النتروجين الذي يتطلب معالجة هوائية لتحويل هذا النتروجين إلى مركبات نترات، وأخيراً نحتاج إلى معالجة منقوصة الأكسجين للتخلص من هذا النترات.

1-10-4- مقارنة بين عمليات المعالجة الهوائية واللاهوائية:

إن المقارنة بين عمليات المعالجة الهوائية واللاهوائية مبينة في الجدول (1-7).

الجدول (1-7): المقارنة بين طرق المعالجة الهوائية و اللاهوائية

المعالجة اللاهوائية	المعالجة الهوائية	مجال المقارنة
مرتفع في عمليات المعالجة اللاهوائية وذلك للمفاعلات UASB و AF ويتراوح بين 10-40 كغ COD /م ³ .يوم.	منخفض في عمليات الحمأة المنشطة ويتراوح بين 0.5-1.5 كغ COD /م ³ .يوم	معدل التحميل العضوي في واحدة الحجم
منخفض ويتراوح بين -0.05-0.15 كغ VSS / كغ COD	مرتفع ويتراوح بين 0.37-0.46 كغ VSS / كغ COD.	معدل إنتاج البيوماس (الكتلة الحيوية)
طويل وهو حوالي: 1-2 شهر في درجة حرارة 35-40 درجة مئوية.	قصير ويتراوح بين 1-2 أسبوع	زمن الإقلاع
كبير، وذلك ضروري للحفاظ على النمو البطيء للبكتريا المنتجة للميتان ضمن المفاعل	10-4 يوم يكفي في عمليات الحمأة المنشطة	زمن مكوث المواد الصلبة في المفاعل (SRT)
تتم عبر مراحل متعددة للأحياء الدقيقة و عبر مراحل متلاحقة	غالباً ما يسيطر نوع واحد من الأحياء الدقيقة ضمن المفاعل الهوائي	ميكروبيولوجيا النظام
شديدة التأثير	قليلة التأثير	التأثر بالظروف البيئية

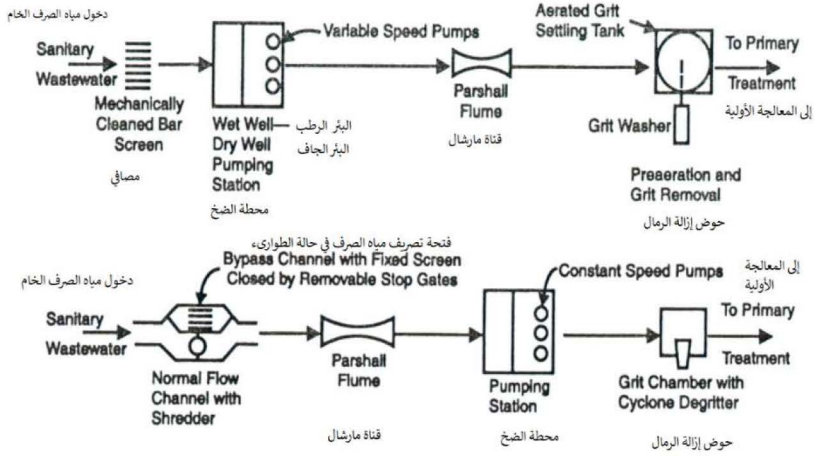
الفصل الثاني: المعالجة الابتدائية لمياه المجاري

المعالجة الابتدائية:

تتضمن مرحلة المعالجة الأولية أو الميكانيكية المنشآت التالية كما هو موضح في

الشكل (1-2):

- المصافي.
- وحدة تصريف مياه الصرف في حالة الطوارئ.
- البئر الرطب.
- البئر الجاف.
- قناة مارشال.
- أحواض حجز الرمال.
- أحواض حجز الزيوت.

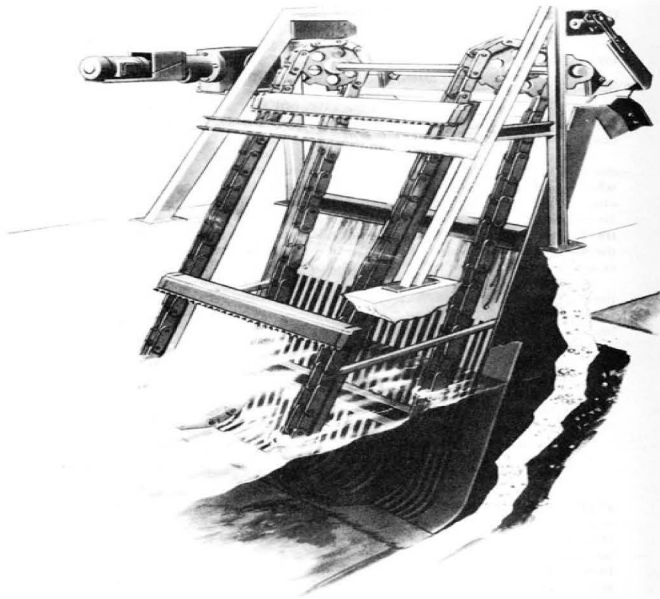


الشكل (1-2): يبين تسلسل عمليات المعالجة التمهيدية لمياه الصرف الصحي في محطات

المعالجة.

2-1- المصافي:

توضع مصافي خشنة و ناعمة قبل أحواض التوازن والتجانس عند تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصناعي، والهدف منها حماية محطات الضخ وتجهيزات وحدات المعالجة التي تلي حوض التجانس، وتتراوح أبعاد فتحات المصافي بين 15-75 مم للمصافي الخشنة، وأقل من 5 مم بالنسبة للمصافي الناعمة (Fine screens)، وإن نوع المصافي يتم تحديده بناء على نوعية المواد المراد إزالتها ، ويمكن أن تنظف المصافي يدوياً أو أوتوماتيكياً أو بالاثنين معاً، ويفضل أن تكون المصافي مصنوعة من مادة الستانلس ستيل الصناعي المقاوم للحموض والأسس والجدول (2-1) يوضح الأسس التصميمية للمصافي الخشنة :



الشكل (2-2) مصفات ذات تنظيف آلي

الجدول (1-2): الأسس التصميمية للمصافي الخشنة

المؤشر	تنظيف يدوي	تنظيف ميكانيكي
التباعد بين المصافي (مم)	50-25	75-15
زاوية المياه عن الشاقول (درجة مئوية)	45-30	45-0
سرعة الاقتراب الاصغرية (م/ثا) (Approach velocity)	0.1	0.5-0.3
سرعة الاقتراب الأعظمية (م/ثا)	0.6-0.3	1-0.6
ضياح الحمولة المسموح (مم)	150	600-150

2-1-1- المصافي (الشبكية):

وتستعمل المصافي لحجز المواد العالقة والطافية، التي يزيد أبعادها التباعد بين فتحات المصافي نفسها ، تتألف المصفاة من عدد من القضبان المعدنية دائرية المقطع أو مستطيلة. تختلف التباعدات فيما بينها، وتقسم حسب هذه التباعدات إلى :

1- المصافي الخشنة حيث تبلغ التباعدات من (15-75) مم .

3- المصافي الناعمة حيث تبلغ التباعدات من (5-10) مم .

4- المصافي الناعمة وهي بشكل صفائح مثقبة .

يجب أن توضع المصافي كمنشأة أولى أمام المياه الداخلة إلى محطة المعالجة مهما كان نوع الجريان سواء بإسالة الطبيعية أم بالضح،

أنواع المصافي : تقسم المصافي حسب طريقة تركيبها إلى:

- مصاف ثابتة و مصاف متحركة ومصاف مع مطاحن، و الأكثر شيوعاً في محطات معالجة مياه الصرف الصحي هي المصافي الثابتة، لذا سنكتفي بالحديث عن هذه المصافي في هذا الفصل.

2-1-2- المصافي الثابتة :

أكثر المصافي استعمالاً هي المصافي الثابتة، وتتألف من إطار معدني يتوضع في داخله عدد من صفوف القضبان المعدنية وتوضع أمام تيار المياه الداخلة ، المصافي المتحركة :

أما المصافي المتحركة فتزفع من مكانها لتنظيفها وتحل محلها مصاف أخرى، ثم تعاد إلى مكانها ، مصافي مع جهاز طحن: يستعمل جهاز طحن لتفتيت المواد الصلبة العالقة والطافية الموجودة في المخلفات السائلة دون حجزها أمام المصافي.

يتم تنظيف المصافي إما آلياً أو يدوياً ، والطريقة الآلية هي الأكثر انتشاراً ، وبخاصة في المحطات الكبيرة . أما التنظيف اليدوي فيسمح به في المحطات الصغيرة ، حيث لا تزيد كمية الأوساخ العالقة في المصافي على (0.1) م³/اليوم.

أهم ما يجب مراعاته عند تصميم المصافي هو :

1- القضبان إما دائرية أو مستطيلة، ويعد المقطع الدائري أفضل من الناحية الهيدروليكية، أما من ناحية التشغيل والإستثمار فإنه غير مفضل نظراً لتجمع الأوساخ على القضبان وانسداد الفراغات، لذلك فأكثر القضبان استعمالاً، ذات المقطع المستطيل بمقياس (60X10) مم ، على الرغم من أنه يؤدي إلى مقاومة أكبر لجريان المياه خلال القضبان .

2- زاوية ميل القضبان مع المستوي الأفقي تتراوح من 20 إلى 70 وذلك ليسهل تنظيفها ، إذ أن المصافي الرأسية والأفقية صعبة التنظيف، كما أن ميل المصافي يساعد على تجمع الأوساخ أمامها على منسوب سطح الماء.

3- تؤخذ سرعة جريان المياه ضمن المصفاة 0.7 م/ثا من أجل التصريف الوسطي، و 1 م/ثا من أجل التصريف الأعظمي، وذلك لمنع دخول الأوساخ من خلال المصفاة .

- 4- مساحة الجزء الفعال من المصفاة يحدد حسابياً، ويجب ألا يقل عن ضعف مساحة المقطع المائي الحي للجريان ضمن القناة في حال التنظيف اليدوي ولا أقل من 1.2 من المقطع نفسه في حال التنظيف الآلي.
- 5- إن كفاءة عمل المصافي تتعلق بشكل أساسي في دقة الحسابات وصحتها، ويجب الأخذ في الحسبان الفواقد في منسوب الماء أمام المصفاة وخلفها أي الفرق في منسوب الماء أمام المصفاة وخلفها. ويقدر هذا الفرق بـ 10 سم عند بدء تشغيل المصفاة ، أي عندما تكون نظيفة ، ثم يأخذ في الزيادة نتيجة تجمع المواد الطافية أمام المصفاة حتى يصل إلى 30 سم ، وعندها يجب تنظيف المصفاة . حتى لا ترتفع المياه وتغمر القناة قبل المصفاة ينصح بتخفيض قاع القناة حتى بقدر يعادل فواقد الضغط الناتج عن مرور المياه خلال المصفاة أي بمقدار (hp).



الشكل (2-3): المصافي الخشنة ذات فتحات خشنة

يتم حساب ضياعات الحمولة في المصافي بناء على التدفق المطر في الفترة
مستخدمين العلاقة الآتية:

$$h_p = \frac{1}{c} \left[\frac{V_p^2 - V^2}{2g} \right] \quad (2-1)$$

حيث أن:

-c معامل تجريبي قيمته 0.7 من أجل المصافي النظيفة .

0.6 من أجل المصافي المسدودة .

V_p - سرعة المياه عبر المصافي القضبانية النظيفة (m/sec) .

V - سرعة الاقتراب (m/sec) .

أما سرعة المياه عبر المصافي : تعطي بالعلاقة :

$$V_p = \frac{Q}{24 \times 3600 \times (n \times ws \times hw / \sin(\theta))} \quad (2-2)$$

n: عدد قضبان المصفاة ويحسب من العلاقة:

$$B_p = (n+1) (W_s) + n \times (t) \quad (2-3)$$

Q: التدفق المار عبر المصافي (م³/يوم)

W_s : التباعد بين الفراغات (أي التباعد الداخلي بين كل قضيين متجاورين).

hw: ارتفاع مياه الصرف في القناة قبل المصافي (m).

θ : زاوية ميل المصفاة عن الأفق بالدرجات

t: عرض القضيب (m).

B_p : عرض القناة وهو نفسه عرض المصفاة (m) .

أما طول قناة المصافي فيحسب من العلاقة :

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_S \quad (2-4)$$

حيث أنَّ

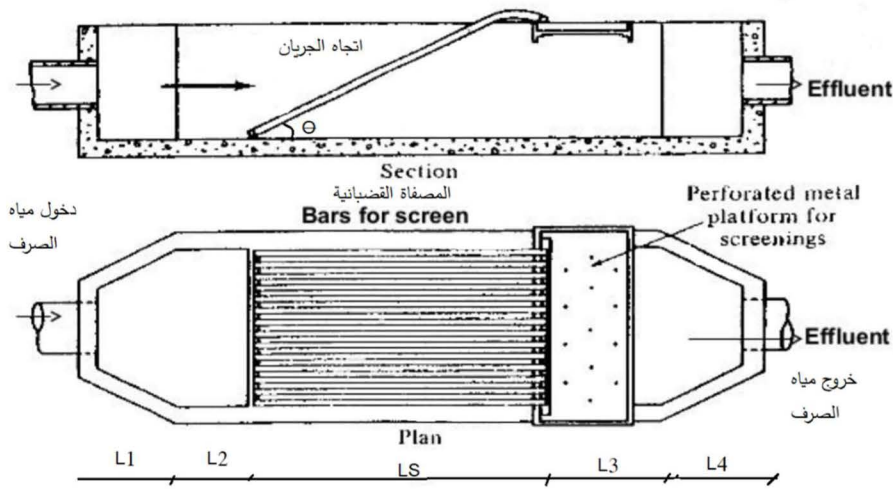
L1: هو طول القناة في منطقة التوسع القناة المائلة وفي حال لا يوجد توسع فإن هذه القيمة تساوي صفر.

L2: هو طول القناة، قبل المصفاة مباشرة ولا يقل عن 0.5 م .

L3: طول غرفة المصافي بعد نهاية المصافي أو طول القناة بعد المصافي مباشرة ويجب أن لا يقل عن 1 م.

L4: هو الطول الأفقي، في منطقة في نهاية غرفة المصافي أيضاً وفي حال لا يوجد توسع في مقطع القناة فإن قيمة هذا الطول تساوي صفر

LS: الطول الأفقي للمصفاة = $hw / \tan(\theta)$ كما هو مبين في الشكل (4-2)



الشكل (4-2): مسقطاً وقطعاً طولياً قناة المصافي

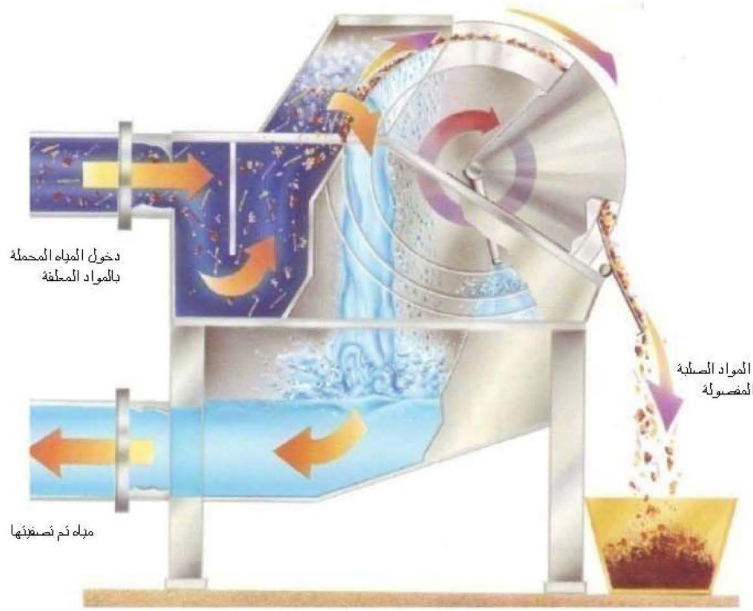
ويتم التخلص من الفضلات التي حجزتها المصافي بأحد الطرق الآتية:

1. الدفن في الأرض ، وذلك بعمل خنادق في الأرض ثم إلقاء هذه الفضلات فيها وتغطيتها مباشرة وذلك تفادياً لرائحتها وتوالد الذباب على سطحها.

2. تجفيفها بالضغط لإزالة أكبر كمية من مائها ثم حرقها، وقد وجد أن هذه أنسب طريقة للتخلص من هذه الفضلات.
3. تقطيعها وفرمها في مفارم خاصة ثم إعادتها إلى بقية المخلفات السائلة للترسيب في أحواض الترسيب ومن ثم يمكن التخلص منها مع بقية الرواسب.
4. تقطيعها وفرمها ثم نقلها إلى أحواض تخمير الرواسب، حيث تعالج ويتخلص منها مع بقية الرواسب.

2-1-3- المصافي الطبلية الدوارة (Rotary Drum Screens):

تعتبر المصافي الطبلية الدوارة من العناصر المهمة و الأساسية في وحدات معالجة الصرف الصناعي ، ونادراً ما تستخدم في محطات معالجة مياه الصرف الصحي المنزلية إلا اذا كان هناك تدفقات كبيرة لمياه الصرف الصناعي غير مضبوطة، كتدفقات مياه صرف المذابح الفنية و مياه صرف المصاوغ ومعامل الورق، لأنّ مياه الصرف لهذه الصناعات تحتوي على مواد معلقة غير منحلة بتركيز عالية وحجوم كبيرة ، وتتألف المصافي الطبلية الدوارة من جسم اسطواني يدور حول محور أفقي بواسطة محرك جانبي،و تدخل مياه الصرف محملة بالمواد الطافية والمواد المعلقة بشكل جانبي، وتجري فوق المصفاة المثقبة فتتدفق مياه الصرف إلى داخل المصفاة بينما تحجز المواد المعلقة فوق المصفاة الدوارة لتنظف ذاتياً كما يظهر في الشكل الآتي ، وبالنسبة لأبعاد فتحات المصفاة فإنه أن يفضل أن لا تزيد عن 3 مم و أن لا تقل عن 0.02 مم كما مبين في الشكلين: (2-5) و (2-6).



الشكل (2-5) : يوضح المصفاة الطبلية الدوارة

إن استخدام المصفاة الطبلية الدوارة عند معالجة مياه صرف المذابح الفنية يمكن أن يخفض الـ BOD بنسبة حوالي 20% نتيجة حجز المواد الطافية والمعلقة .



الشكل (2-6): صورة تبين مصفأة دورة طبلية

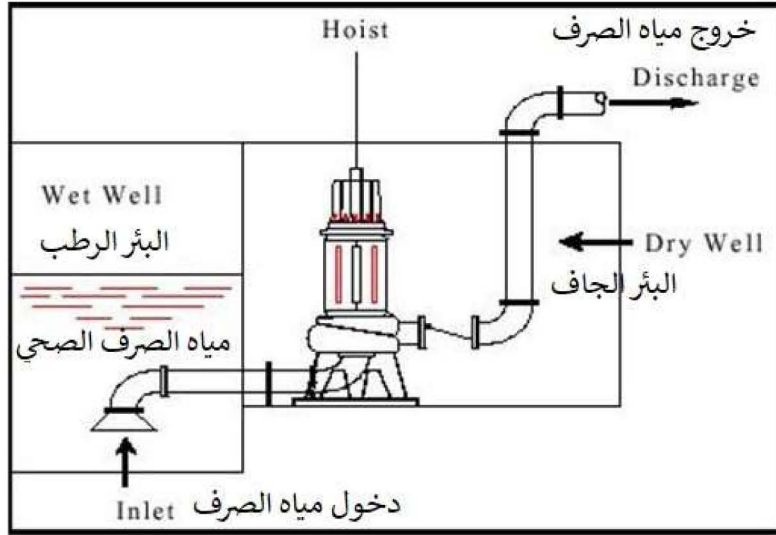
و توضع المصافي الطبلية عادة قبل أحواض التطويف بالهواء المضغوط لزيادة فرصة استعادة المواد المعلقة لتقليل حمل المواد الصلبة عن المطوف، ويفضل سرعة دوران المصفاة أن لا تزيد عن 4 دورات في الدقيقة .

2-2- وحدة تصريف مياه الصرف في حالة الطوارئ *BYPASS* :

تكون عادة عند منطقة دخول مياه الصرف الصحي الى محطة المعالجة قبل المصافي أو يمكن بعدها ، تنشأ بوابات مهمتها تصريف مياه الصرف الصحي إلى أقرب مجرى أو خزانات تنشأ لهذا الغرض، وذلك في حال الصيانات الطارئة أو عند حدوث أعطال في محطات الضخ أو عند الرغبة في عدم دخول مياه الصرف الى محطة المعالجة، في حال التشغيل الطبيعي تكون هذه البوابات مغلقة، وتفتح فقط عند الطوارئ.

2-3- البئر الرطب و البئر الجاف في محطة ضخ مياه الصرف الصحي :

تتألف حجرات الضخ من قسمين هما، البئر الرطب ثم البئر الجاف يتم الاستغناء عن البئر الجاف في حال كانت مضخات الصرف الصحي المستخدمة من النوع الغاطس، الشكل (2-7) يوضح البئر الرطب و البئر الجاف ، باختصار البئر الرطب فيه مياه صرف صحي و البئر الجاف يكون بجوار البئر الرطب و فيه مضخات الصرف الصحي التي تسحب مياه الصرف الصحي من البئر الرطب، يصمم البئر الرطب على زمن مكوث مقداره 4-6 دقائق على محسوباً على التدفق الوسطي اليومي، أما البئر الجاف فهو يتعلق بأبعاد مضخات مياه الصرف الصحي التي ستوضع به، في بعض الحالات قد لا نحتاج الى إنشاء محطة ضخ لمياه الصرف الصحي وذلك في حال كانت المناسيب الجغرافية تسمح بذلك وهذه الحالة نادرة الحدوث ويمكن أن تتم فقط للمحطات الصغيرة التي تعالج يومياً أقل من 2000 م³/يوم.



الشكل (2-7): يبين البئر الجاف و البئر الرطب

2-4- قناة مارشال *Parshall Flume* وقناة فنتوري *Venturi*

flume:

وهي طريقة اقتصادية ودقيقة لقياس تدفق المياه في القنوات المفتوحة ، و الأنابيب المفتوحة في الأصل تم تطوير المسيل لقياس المياه السطحية ، وتوزيع حقوق المياه ، وتدفقات الري ومع ذلك ، فقد توسع استخدامه ليشمل قياس تدفق مياه الصرف الصحي (في كل من الأنابيب ومحطات المعالجة)، والتصريفات الصناعية ، وتسرب السدود ، وغيرها من التطبيقات، و الكثير من مصممي محطات المعالجة تركوا استخدام قناة مارشال وقناة فنتوري وأصبحوا يستخدمون طرقاً أخرى لقياس التدفقات المائية كاستخدام الأمواج الصوتية وماشابه، إن الشكلين (2-8) و (2-9) يبينان قناة مارشال وقناة فنتوري



الشكل يبين قناة مارشال (8-2)



الشكل يبين قناة فنتوري (9-2)

نختار عادة قناة مقياس فانتوري من النموذج المستطيل ذات التضايق الجانبي و
إن العلاقة الأساسية التي تحكم التصميم هي :

$$Q=C1 \times A \times B_2 \times H_w^{1.5} \quad (2-5)$$

B_2 : تضايق قناة فانتوري بالمتر.

$C1$: ثابت تؤخذ قيمته 0.97 .

A : ثابت يتعلق بالقيمة بنسبة عرض تضايق فانتوري إلى عرض القناة المؤدية به

H: ارتفاع مياه الصرف الصحي في قناة فانتوري.

أما طول قناة فانتوري فتعطي بالعلاقة :

$$H_w = 0.7 \times L$$

2-5- أحواض حجز الرمال:

2-5-1- أحواض حجز الرمال الدائرية:

قد تكون حركة المياه في أحواض حجز المياه دائرية، وقد تبين أن هذا النوع من الأحواض أفضل من الناحية الاقتصادية من حيث الاستثمار والتشغيل ، إذ يقدر الحمل السطحي بنحو (30-75) م³/م². سا ، كما تقدر كمية الرمال المحتجزة في مثل هذه الأحواض بنحو (30-15) ليتراً لكل (1000) م³ من المخلفات السائلة، كما يلاحظ أن الحركة الدورانية للمياه تعمل على تنظيف الرمل من المواد العضوية العالقة على حبيباته ، ويتم تنظيف هذه الأحواض آلياً.

2-5-2- أحواض حجز الرمال المهواة:

تستعمل أحياناً أحواض خاصة لحجز الرمال - تعرف بأحواض حجز الرمال المهواة بالهواء المضغوط وهي أحواض أفقية مثبتة على أحد جدرانها، وعلى طول الحوض وعلى بعد (45-60) سم، من أسفله أنابيب مثقبة تعرف بالمهويات أو ناشرات الهواء، ويتراوح معدل خروج الهواء من هذه الثقوب من (3-5) م³ لكل متر مربع واحد من سطح الحوض بالساعة أي (3-5) م³/م². سا ، و يجهز قاع الحوض بميزاب لجمع الرمال الراسبة، و يعطى قاع الحوض ميلاً نحو الميزاب لتسهيل عملية تنظيفه بنحو (0.2-0.4)، ويبين الشكل (2-10) نموذجاً لمثل هذه الأحواض، تصمم أحواض حجز الرمال المهواة بحيث تتراوح سرعة دخول المياه V_h من (0.08-0.12) م/ ثا ، ونتيجة التهوية تأخذ المياه داخل الحوض حركة حلزونية سرعتها (V_u) نحو (0.25-

0.3) م/ثا ونتيجة الحركة الأفقية والدورانية للمياه تحصل السرعة V وهي محصلة السرعتين V_u ، V_h .

$$V = \sqrt{V_u^2 + V_h^2} \quad (2-6)$$

أما زمن المكث ضمن الحوض فيؤخذ (2-3) دقيقة ، وهذا يساعد على ترسيب حبيبات الرمل ذات سرعة الترسيب (18) مم/ ثا والأبعاد (0.2) مم .
إن سرعة حركة المياه في الحوض تساعد على المحافظة على بقاء المواد العضوية في حالة معلقة بالمياه، وبالتالي لا يمكن أن ترسب مع حبيبات الرمل، كماتساعد التهوية على تنظيف حبيبات الرمل مما علق بها من مواد عضوية ، وتقدر نسبة الرمل المترسبة بنحو (90-95)% من مجموع الرواسب المتجمعة في أحواض حجز الرمال المهواة .
يمكن أن تكون تجهيزات التهوية من أنابيب بلاستيكية مثقبة قطر الثقب (3-5) مم وتثبت على عمق (0.8 - 0.75) من عمق الحوض وذلك لسهولة مراقبتها وصيانتها . أما من الناحية العملية فيفضل أن تكون نسبة العرض إلى العمق (B/H) تساوي (1 - 1.5) وغالباً تؤخذ (B=1.5×H) بينما يؤخذ العمق الفعال (h1) نصف العمق الكلي .

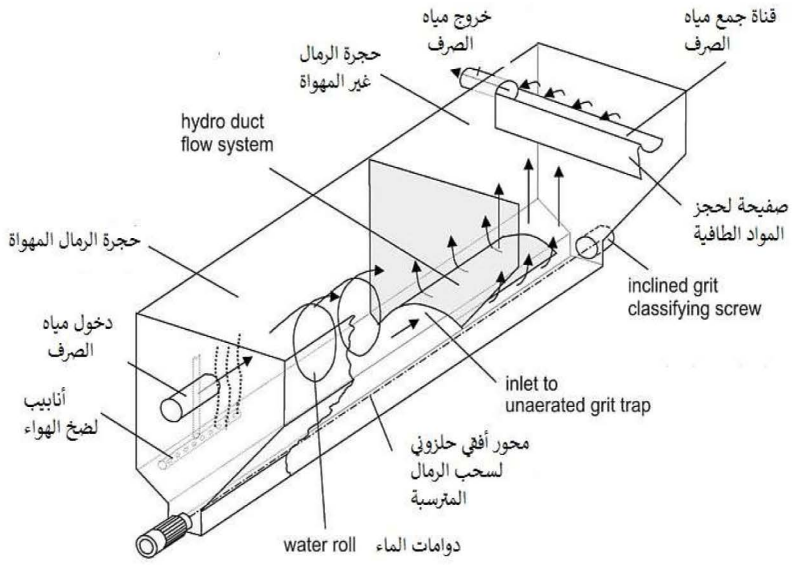
يتم تنظيف مثل هذه الأحواض بالطريقة الهيدروميكانيكية والتي تعتمد إدخال تيار مياه مع توفير ضاغط كاف لتجميع الرمال المترسبة في الميزاب وإخراجها خارج الحوض .
يبين الجدول (2-2) أبعاد أحواض حجز الرمال المهواة من أجل تدفقات مختلفة للمخلفات السائلة الداخلة إليها مع كمية الهواء اللازم للتهوية.

الجدول (2-2): أبعاد أحواض حجز الرمال المهواة من أجل تدفقات مختلفة لمياه
الصرف وكميات الهواء اللازمة

كمية الهواء اللازمة م ³ /سا من أجل شدة للتهوية م ³ /م ² . سا	نسبة b/h	الأبعاد (م)			عدد الأقسام n	التصريف التصميمي ألف م ³ /اليوم
		عرض القسم الواحد b	العمق h	الطول L		
200	1.34	3	2.2	12	2	70
300	1.34	3	2.2	12	3	100
460	1.5	4.5	2.8	18	2	140
690	1.5	4.5	2.8	18	3	200
920	1.5	4.5	2.8	18	4	280



المصدر: <https://www.americanwatercollege.org/140017-2>



الشكل (2-10): صورة ومخططاً لحوض إزالة الرمال المهوى

2-6- مصدر الدهون و الزيوت و الشحون

ملاحظة: في محطات معالجة مياه الصرف الصحي البلدية عادة تستخدم أحواض فصل الرمال لازالة الزيوت و الشحوم أيضاً، ولكن في حال كان هناك صرف صناعي غير مضبوط ، وتراكيز الزيوت والشحوم الطافية كبيرة يمكن أن ينشأ حوض مستقل لفصل الزيوت والشحوم قبل محطة الضخ أو بعد محطة الضخ.

توجد الزيوت و الشحوم و الدهون في مياه الصرف المنزلي وفي مياه الصرف الصناعي أيضاً، و منها ما هو منحل و منها ما هو طاف، وهي ذات منشأ حيواني أو نباتي أو معدني (بترولي)، و من الضروري جداً إزالتها قبل تصريفها إلى شبكة الصرف الصحي أو الصناعي، وإن تعذر ذلك يجب إنشاء أحواض فصل للزيوت والشحوم والدهون، وإزالة الزيوت والشحوم يمكن أن تحدث أيضاً في حوض التجانس. إن وجود الزيوت و الشحون في مياه الصرف يسبب عدة مشاكل منها :

1- انسداد في شبكات المجاري.

2- تخفض أداء المعالجة البيولوجية.

3- تسبب انسداد المرشحات.

4- تخفض أداء المعالجة الكيميائية.

5- تخفض أداء عملية الترسيب.

يمكن أن توجد الزيوت و الشحوم و الدهون في مياه الصرف إما بشكل طاف أو بشكل مستحلب (**Emulsion**) أو بشكل مرتبط مع المواد الصلبة ، ويمكن عن طريق فرق الوزن النوعي بين الماء والزيوت والشحوم والدهون فصلها عن الماء، لأن وزنها النوعي أقل من 1 أي تطفو على السطح لذلك يمكن أن تزال بالقشط أو التطويف الثقالي والجدول (2-3) يبين بعض أشكال الزيوت والشحوم والتي يمكن أن توجد في مياه الصرف.

الجدول (2-3): يبين بعض أشكال الزيوت والشحوم التي يمكن أن توجد

في مياه الصرف

النوع	التعريف
زيت حر	الزيت المتواجد في الماء وغير المرتبط مع الماء و يمكن فصله بالجاذبية.
مستحلب (Emulsions) فيزيائي	الزيت المشتت في الماء ولديه شكل شبه ثابت بأبعاد 5-20 ميكرو متر و يتشكل بمزج المياه مع الزيت عبر الضخ في الأنابيب و الوصلات والسكورة.
مستحلب (Emulsions) كيميائي	الزيت المشتت في المياه بأبعاد أقل من 5 ميكرو متر ويتشكل بواسطة المنظفات و المركبات البروتينية والوسائط الجلاتينية.
زيت منحل	الزيت المنحل في السوائل والزيت المحضر بالأشعة تحت الحمراء أو بطرق أخرى.
مواد صلبة رطبة زيتية Oil wet solids	الزيوت التي تلصق بالمواد الصلبة أو الزيت الطافي على سطح مياه الصرف .

إن تركيز الزيت و الشحوم في- البلدان المتطورة- في مياه الصرف حوالي 10-50 ملغ/ل، بينما في دول الوطن العربي ومنها سوريا يصل تركيز الزيوت والشحوم في مياه المجاري حتى 500 ملغ/ل ، لعدم وجود فصل للزيوت والشحوم في المنازل، والجدول (2-4) يبين بعض الصناعات التي تحتوي مياه صرفها على زيوت وشحوم ودهون.

الجدول (2-4): يبين أهم الصناعات التي تحوي مياه صرفها على دهون و

زيوت و شحوم

نوع الدهون و الزيوت و الشحوم	الصناعة
نباتي	تكرير الزيوت النباتية
نباتي وحيواني	صناعة الصابون
حيواني حيواني	عملية تصنيع الحليب
حيواني	منتجات الألبان
حيواني	الطلاء
حيواني	المسالخ و تعليب اللحوم
نباتي	صناعة سكر النبات
نباتي وحيواني	تجهيز الطعام
نباتي وحيواني وبترولي	غسل الملابس
بترولي (معدني)	الآلات المعدنية
بترولي (معدني)	تدوير المعادن
نباتي وحيواني	دباغة الجلود
حيواني	صناعة صباغة الصوف
بترولي	تكرير النفط
بترولي وحيواني ونباتي	تصنيع المركبات الكيميائية العضوية

2-6-1- طرق إزالة FOG من مياه الصرف:

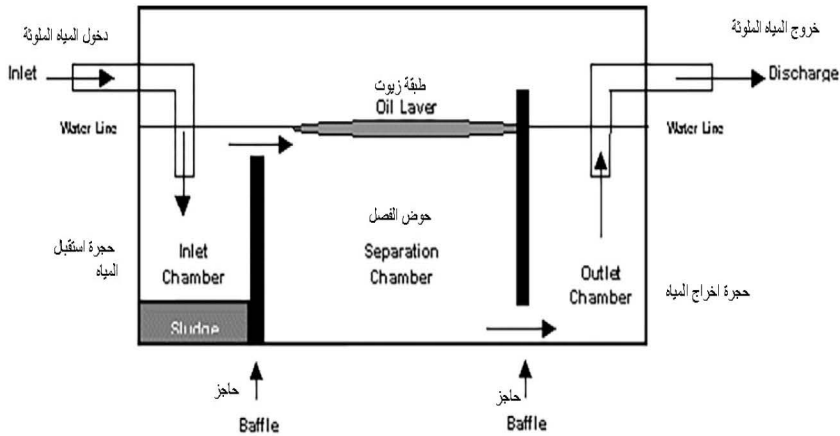
هناك عدة طرق لإزالة الزيوت و الشحوم من مياه الصرف الصحي و الصناعي كما هو مبين في الجدول (2-5)، يبين بعض الطرق الشائعة في إزالة الزيوت و الشحوم:

الجدول (2-5): يبين بعض الطرق الشائعة في إزالة الزيوت و الشحوم

الطريقة		زيوت وشحوم (ملغ/ل)		نسبة الإزالة (%)
		داخلية	خارجية	زيوت حرة
ترسيب ثقالي		2400-30	160-6	93-80
جهاز الفصل العائد للمؤسسة الأميركية للنفط (API)		-	-	99-60
تعويم بالهواء دون مواد كيميائية		-	-	95-70
تعويم بالهواء مع مواد كيميائية (كلس - ألوم - كلورايد حديدك)		-	-	95-75
تخثير كيميائي + ترسيب		-	-	95-60
ترشيح بمعدل عالي		60	11	82
ترشيح بالالتحام		1050	21	98
ترشيح زائد		80000	244	99+
ترسيب مع اضافة ألومينات الصوديوم		1260	22	98
ترسيب مع اضافة ألوم + كلس		830	16	98
تفكيك بيولوجي بالحمأة المنشطة		240	5	98+
تفكيك بيولوجي بالأحواض المهواة		720	17	98

2-6-1-1- الفصل الثقالي الطبيعي :

يمكن إزالة **FOG** من مياه الصرف عبر أحواض الفصل الطبيعي، لأن الزيوت والشحوم و الدهون ذات وزن نوعي أقل من الوزن النوعي للمياه مما يجعلها تطفو على السطح كما هو مبين في الشكل (2-11)، وعند تصميم أحواض فصل **FOG** يجب مراعاة سهولة سحبها وسهولة تنظيف الحوض، وعند تصميم أحواض الفصل الثقالي للزيوت والشحوم والدهون يجب أن نضمن أن زمن المكوث في الحوض أكبر من الزمن اللازم لرفع قطرات الزيوت والشحوم.



الشكل (2-11) : يبين حوض فصل زيوت وشحوم بطريقة الفصل الثقالي الطبيعي

تخضع عملية الفصل الثقالي للزيوت و الشحوم إلى قانون ستوكس

$$V_t = \frac{1 \times g \times (\rho_w - \rho_{oil})}{18 \times \nu \times \rho_w} \cdot d_{oil}^2 \quad (2-7)$$

V_t : سرعة صعود قطرات الزيت .

g : تسارع الجاذبية الأرضية.

μ : اللزوجة المطلقة لمياه الصرف .

P_w : كثافة مياه الصرف.

Poil: كثافة الزيوت و الشحوم المراد فصلها.

doil: قطر حبيبات الزيت .

Q/A : معدل التحميل السطحي.

Q = التدفق الداخل .

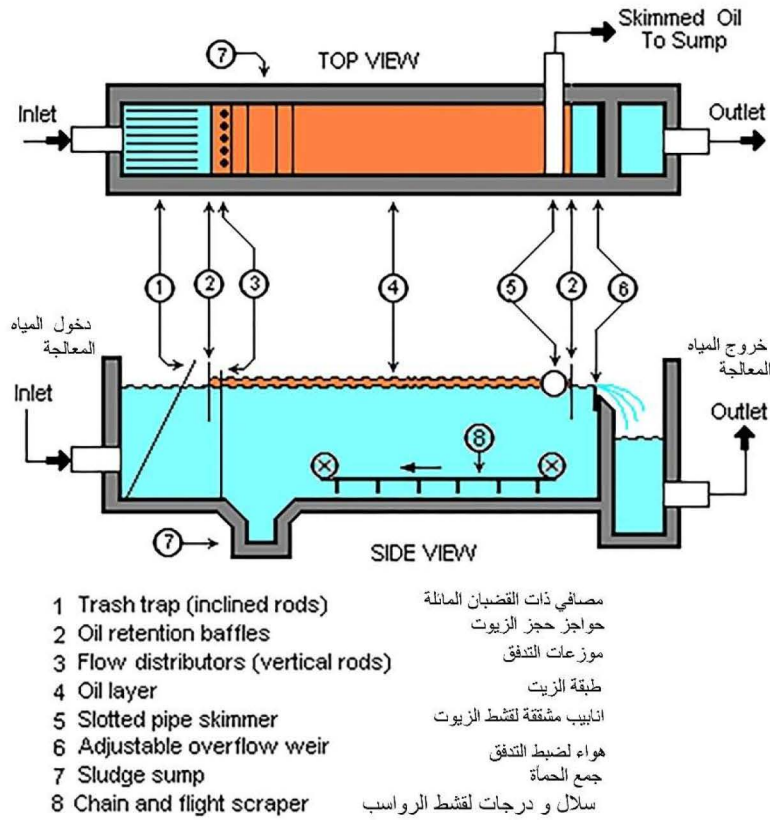
A : مساحة مقطع حوض الفصل.

يجب أن تكون V_t أكبر من معدل التحميل السطحي حتى تتم عملية

فصل الزيوت و الشحوم والدهون.

2-1-6-2- فاصل الزيوت API :

هو جهاز قامت المؤسسة الأمريكية للبترول بتصميمه، وهو الأكثر استخداما في الصناعات البترولية والمنشآت الصناعية الأخرى. وهناك نموذجان لهذا النوع من أجهزة فصل الزيوت: النوع المستطيل والنوع الدائري، و لكننا قلما نجد النوع الدائري حيث إن النوع المستطيل يتماشى أكثر مع أحجام معظم الوحدات. وكثيراً ما تعمل هذه الأجهزة مع تدفق عالي للمياه مما يستلزم وجود وحدات كبيرة الحجم. ولكن العيب الوحيد بها هو أنها تحتاج إلى زمن مكوث طويل (Resident time) لضمان أقصى كفاءة لفصل الزيت، كما هو مبين في الشكلين (2-12) و (2-13):



الشكل (2-12): فاصل زيوت و شحوم و دهون API

معايير تصميمية لحوض الفصل API :

- حوض الفصل يجب أن يكون أعلى من وحدات المعالجة.
- كفاءة الإزالة في هذا الحوض تصل حتى 95% من الزيوت و الشحوم .
- حوض الفصل يجب أن يتم تركيبه أعلى من أي مضخات لمنع تحول الزيت الى مستحلب.
- حوض الفصل يمكن أن يركب أعلى أو أسفل تجهيزات ضبط التدفق

- حوض الفصل API يجب أن يقسم الى ثلاثة أقسام رئيسه قسم الاستقبال ، وقسم فصل الزيوت و الشحون و قسم التصريف .
- طول قسم الاستقبال – forebay – يكون تقريباً ما بين ثلث إلى نصف الطول الكلي.
 - عرض حوض الفصل يتراوح بين 6-20 قدم (2-6.7) م .
 - نسبة عمق الماء إلى العرض هي 0.3-0.5 .
 - نسبة الطول إلى العرض يجب أن لا تقل عن 5، أي طول الحمض أكبر بخمس مرات العرض.
 - عمق مياه الصرف في حوض الفصل يفضل أن لا تقل عن 1م ، و أن لا تزيد 2.5م لتقليل الاضطرابات داخل الحوض ما أمكن.

خطوات التصميم :

- 1- نحسب V_t سرعة صعود قطرات الزيوت و الشحوم و الدهون.
 - 2- نحسب زمن المكوث الأصغري و هو $t_m = d/V_t$ حيث d هو عمق مياه الصرف داخل حوض الفصل و يفرض بناء على المعطيات السابقة.
 - 3- نحسب السرعة الأفقية من العلاقة
- $$V_h = Q/dw = Q/A_v \quad (V_h \text{ maximum at } < 2.0 \text{ ft/min}) \quad (2-8)$$
- 4- نحسب نسبة السرعة الأفقية الى سرعة صعود قطرات الزيوت و الشحوم والدهون V_h/V_t و ذلك لحساب عامل الاضرار والذي يتراوح بين 1.28 – 1.74 كما هو مبين في الجدول (4-8) :

الجدول (2-6) : يبين قيمة معامل الاضطراب وفقا لنسبة السرعة الأفقية الى

سرعة صعود قطرات الزيوت و الشحوم و الدهون:

1.74	1.64	1.52	1.37	1.28	F
20	15	10	6	3	Vh/Vt

5- حساب الطول الأصغري من العلاقة :

$$l(s) = F \times Q \times \frac{t_m}{wd} = F \left(\frac{V_h}{V_t} \right) d \quad (2-9)$$

$$l(t) = l(f) + l(s) + l(a) \quad (2-10)$$

$$l(t) = \frac{l(t)}{3} + l(s) + \frac{l(t)}{4} \quad (2-11)$$

l(f): طول قسم الاستقبال

l(t): الطول الكلي لحوض الفصل

l(s): طول قسم فصل الزيوت و الشحوم و الدهون

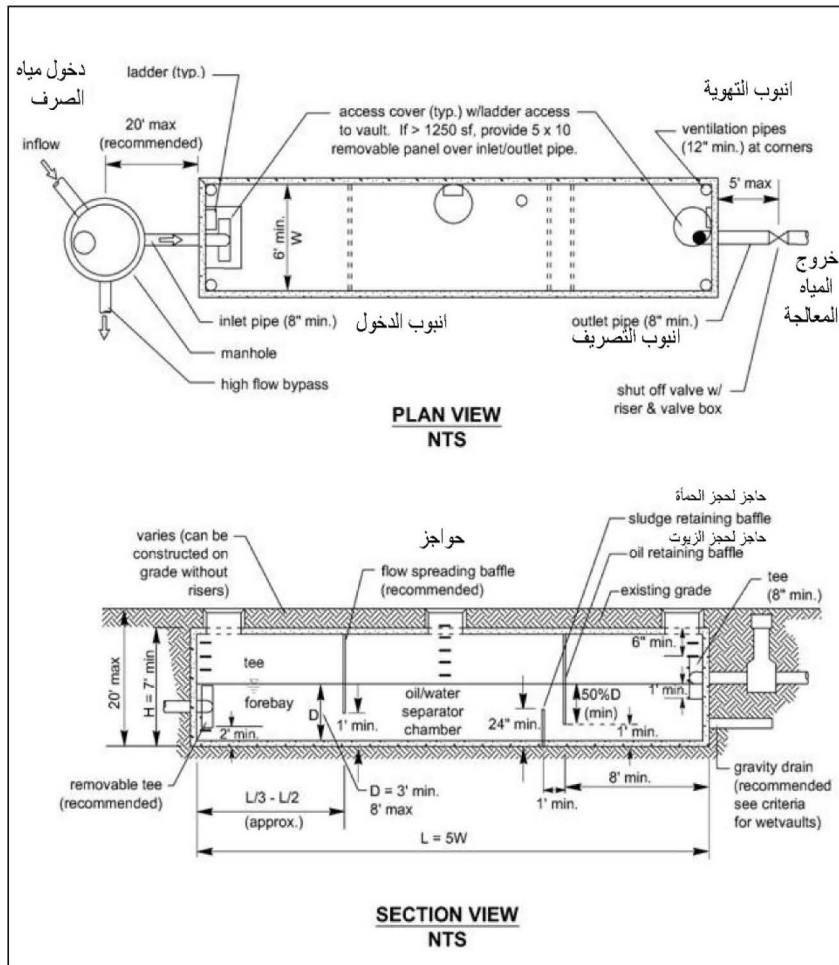
l(a): طول قسم التصريف

6- حساب الحجم الأصغري لحوض الفصل:

$$wd = F \times Q \times t_m \times V = l(s) \quad (2-12)$$

$$A_h = w \times l(s) \quad (2-13)$$

A_h:المساحة الأفقية الأصغرية لحوض الفصل .



الشكل (2-13): مخطط توجيهي لفواصل الزيوت و الشحوم API

-مثال على تصميم أحواض فصل الزيوت و الشحوم :

لدينا مغسلة في معمل زيوت معدنية لغسل البراميل مما ينتج مياه صرف محملة بالزيوت و الشحوم المعدنية، والمطلوب تصميم صمم حوض API ذو التطويف الثقالي الطبيعي لإزالة قطرات الزيوت والشحوم ذات القطر $\leq 130\text{micron}$ لما أن التدفق المراد معالجته هو $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ ، علماً أن كثافة الزيوت المعدنية هي 0.85 غ/سم³ ، و اللزوجة المطلقة لمياه الصرف هي :

$$(1.011 \times 10^{-6})$$

الحل :

-نحسب سرعة صعود قطرات الزيوت و الشحوم:

$$V_t = \frac{1 \times g \times (\rho_w - \rho_{oil})}{18 \times v \times \rho_w} \cdot d_{oil}^2$$

$$V_{oil} = \frac{1 \times 9.81 \times (1 - 0.85)}{18 \times (1.011 \times 10^{-6}) \times 1} (130 \times 10^{-6})^2 = 1.21 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

-نحسب زمن المكوث الأصغري، حيث نصمم الحوض بناء على ارتفاع لمياه الصرف ضمن الحوض مساوياً الى 1م :

$$T_m = d/V_t = 1/(1.21 \times 10^{-3}) = 826 \text{ sec} = 13.77$$

minutes.

-نفرض نسبة ارتفاع الماء إلى عرض الحوض 0.5 فيكون عرض الحوض = 2 م.

نحسب السرعة الأفقية في الحوض :

$$V_h = Q/dw = Q/A_v = (1000/(24 \times 3600))/(2 \times 1) = 5.8$$

$$\times 10^{-3} \text{ m/s} = 1.04 (< 2.0 \text{ ft/min}) \text{ ok.}$$

-نحسب النسبة V_h/V_t

$$V_h/V_t = 5.8 \times 10^{-3} / 1.21 \times 10^{-3} = 4.8$$

فتكون قيمة F بحدود 1.33

-حساب الطول الأصغري للحوض:

$$l(s) = FQ_{tm}/wd = F(V_h/V_t)d$$

$$l(t) = l(f) + l(s) + l(a)$$

$$l(t) = l(t)/3 + l(s) + l(t)/4$$

$l(f)$: طول قسم الاستقبال ويساوي $l(t)/3$

$l(t)$: الطول الكلي لحوض الفصل

$l(s)$: طول قسم فصل الزيوت و الشحوم و الدهون

$l(a)$: طول قسم التصريف ويساوي $l(t)/4$

$$l(s) = (1.33 \times 1000 \times 13.77 \times 60 / (24 \times 3600)) / (1 \times 2) = 6.4 \text{ m}$$

نسبة الطول إلى العرض: $6.4 = 1/6.4$ أكبر من 5 محقق.

عملية و كعامل أمان نأخذ قيمة 7 متر لطول قسم فصل الزيوت و الشحوم و الدهون.

$$l(t) = l(t)/3 + l(s) + l(t)/4 = l(t)/3 + 7 +$$

$$l(t)/4$$

و منه $l(t) = 16.8 \text{ m}$ كما هو مبين في الشكل (2-13)

$l(f)$: طول قسم الاستقبال = 5.6 م.

$l(t)$: الطول الكلي لحوض الفصل = 7.2 م.

$l(s)$: طول قسم فصل الزيوت و الشحوم و الدهون = 3 م.

$l(a)$: طول قسم التصريف = 4.2 م كما هو مبين في الشكل (2-14)

نتأكد من أن زمن بقاء الماء في الحوض أكبر أو يساوي المدة اللازمة للطفو

$$T=l(s)/Vh =7.2/(5.8 \times 10^{-3})=1241 \text{ sec}=20.7$$

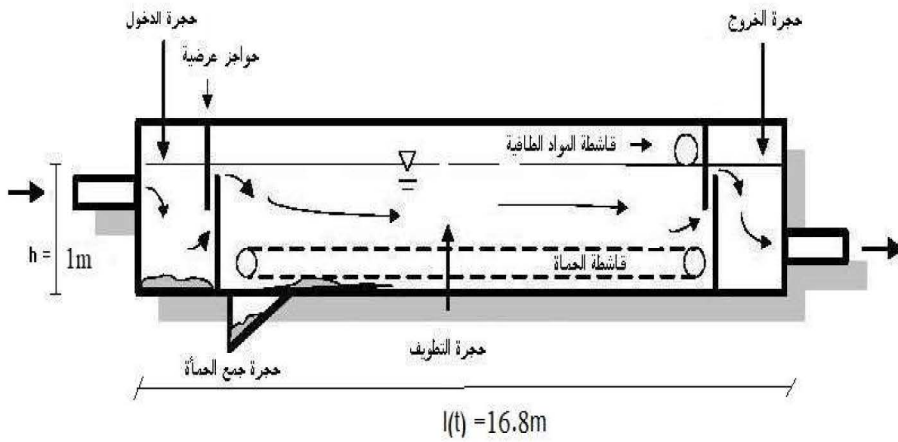
minutes

نتأكد من أن زمن بقاء الماء في الحوض أكبر أو يساوي المدة اللازمة للطفو

$$'T = H / Voil = 1 / (1.21 \times 10^{-3}) = 826.4$$

sec =13.8 minutes

$T > 'T$ محقق اذا التصميم مقبول

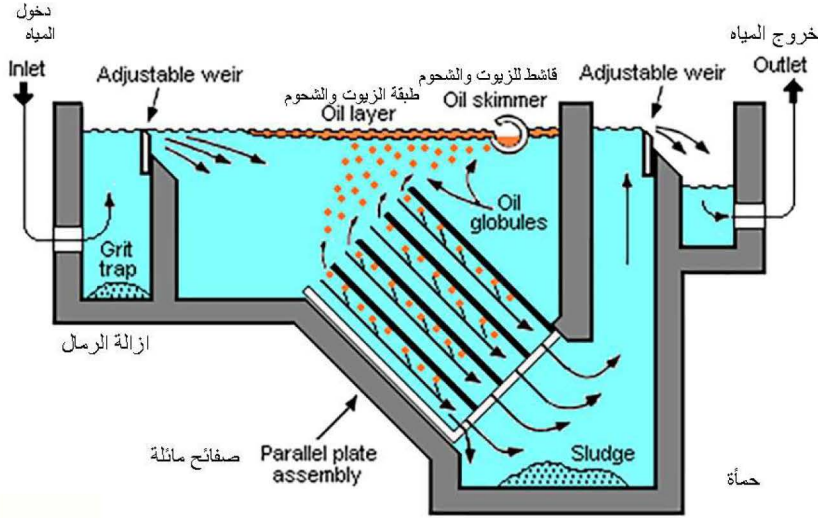


الشكل (2-14): يبين المقطع الطولي لحوض فصل الزيوت و الشحوم المصمم

2-6-1-3- وحدة فصل الزيوت CPI:

هذه الوحدة تعتبر بديلا لوحدة الـ API ، و تتكون من مجموعة شرائح أو مجموعات من الأنابيب موضوعة بميل 60 درجة، كما هو بين في الشكل (2-15)، بحيث تنزلق المواد المحتجزة من أعلى الشرائح لتتجمع في القاع. من أهم مميزات هذا الجهاز، أنه يمكن أن يستخدم في مكان صغير المساحة، ومع أنه قد وجد رواجاً بين صناعات عديدة إلا أنه لا يستخدم بكثرة في عمليات تكرير البترول بسبب عدم قدرته على استيعاب معدلات التدفق العالية . وهو يتميز عن وحدات الـ API والمروقات

الأولية بأنه أكثر كفاءة في فصل الزيوت والمواد الصلبة ، وذلك لأنه يمكن توفير مساحة سطحية أكبر .



الشكل (2-15): مقطع طولي في حوض CPI

2-6-1-4- إزالة الزيوت و الشحوم بالتطويف بالهواء المضغوط :

التطويف بالهواء المضغوط يعتبر أحد عمليات الفصل الفيزيائي للزيوت والشحوم والدهون ، والتي تستخدم لإزالة الزيوت والشحوم ، وتتألف العملية تتألف من هواء مضغوط يضغط ضمن مياه الصرف و يمكن أن نستخدم فيها المواد الكيميائية أيضاً، وذلك لتحسين مردود عملية إزالة الزيوت و الشحوم و الدهون، ويمكن بعدها إزالة الزيوت والشحوم والمواد الصلبة ، حيث تندفع فقاعات الهواء مصحوبة بالمواد المعلقة والزيوت والشحوم نحو الأعلى حاملة الزيوت والمواد الصلبة نحو الأعلى، ليتم قشطها بواسطة قواشط . إن التطويف هو العملية التي تزال فيها المعلقة ذات الجاذبية النوعية الأقل من الوسط المعلقة فيه بتركها تطوف إلى السطح حيث تزال بالكشط . في معظم الاستعمالات فإن الجاذبية النوعية للمواد المعلقة تحفض صناعياً بالالتصاق إلى

فقاعات غاز، وهذا الأمر يمكن هذه العملية من الاستعمال على نطاق واسع من المواد الصلبة التي تكون جاذبيتها النوعية أكبر بقليل من تلك للوسط المعلقة فيه. ولأجل الفوائد المذكورة أعلاه فإن هذه العملية يمكن أن تستعمل لمعالجة مياه الشرب ومياه المجاري بدلاً من الترسيب في الحالات التي تكون فيها سرعة الترسيب منخفضة. إن الاستعمالات الخاصة لهذه العملية هي:

- 1 - إزالة ألياف الورق من مياه صرف مطحنة وعجينة الورق.
- 2 - إزالة الزيوت والشحوم والمواد الأخرى المشابهة من مياه الصرف مثل مياه تصنيع الأغذية ومياه مصافي التكرير ومياه المغاسل.
- 3 - لتركيز الفلزات المعدنية في صناعات المناجم.
- 4 - لتنقية المياه المعالجة كيميائياً للحصول على مياه الشرب.
- 5 - لزيادة تركيز حمأة مياه المجاري .

2-6-1-4-1- تطويف المعلقات :

إن تحليل سرعة الترسيب يكون خاطئاً في حالة المعلقات التي تكون جاذبيتها النوعية أقل من الوسط المعلق لها ، حيث إنها ترتفع بدلاً من ترسبها ، وإن علاقات سرعة الترسيب يمكن استعمالها لسرعة الصعود ، لكن العلاقة التي ستستعمل تتبع ما إذا كانت حركة الجزيء هي حرة أو معاقة ، وحيثما يكون طفو معلق هو محفز صناعياً بوساطة التصاق فقاعات الهواء ، فإن هذه الحالة هي نوعاً ما أكثر تعقيداً، لأن الفقاعات تزداد حجماً مع ارتفاعها إلى السطح .

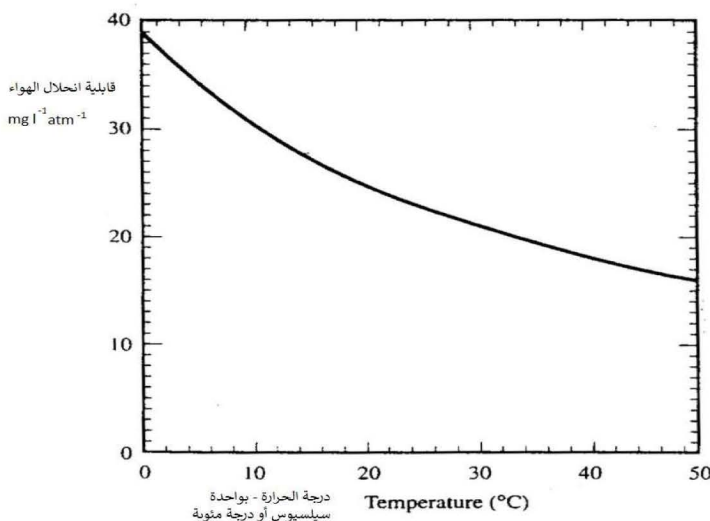
إن قابلية انحلال الهواء في الماء $Cs(a)$ mg/L هي متناسبة خطياً مع ضغطه حسب قانون هنري :

$$Cs(a) = Ha.P \quad (2-14)$$

حيث H_a هي عامل انحلال قانون هنري ($\text{mg l}^{-1} \text{ atm}^{-1}$) الذي يعتمد على درجة الحرارة.

P هو الضغط المطلق بواحدات ضغط جوي (atm) .

إن قابلية انحلال الهواء يمكن تطبيقها بشكل جيد بالنسبة لأغلب أنواع المياه الصناعية و بالتالي فإن قيمة (H) يمكن أن تتحول من نوع مياه صناعية إلى نوع آخر وهي دائماً أقل منها بالنسبة للماء النقي ويعطي الشكل (2-16) معلومات عن تركيز الاشباع للهواء في الماء النقي، عند قيمة الضغط الجوي و بدرجات حرارة تتراوح بين (0) وبين (50°C) .



الشكل (2-16): قابلية انحلال الهواء في الماء عند ضغط مقداره (1) ضغط جوي

إن كمية الهواء (Cr) الذي يتحرر من محلول بواحدة حجم التدفق المضغوط عندما يهبط الضغط من قيمة $P(\text{atm})$ إلى الضغط الجوي يمكن حسابها من العلاقة :

$$Cr = H_a(KP-1) \quad (2-15)$$

حيث : K هي حصة الإشباع الذي حصلنا عليه عند الضغط المطلق المرتفع P (atm) .

إن الكمية الحقيقية للهواء المتحرر في الحال سوف تكون أقل نوعاً ما من القيمة النظرية ، لأننا نحتاج إلى بعض الوقت للوصول إلى حالة التوازن .

2-4-1-6-2- تحديد النسبة التصميمية للهواء إلى المواد الصلبة :

إن الكمية الأصغرية للهواء المطلوب لتطويف معلق هي تلك التي سوف تنتج كثافة (ρ_c) لمركب هواء - مادة صلبة أخفض من تلك التي هي للسائل المعلقة فيه (ρ) :

حيث : V_a حجم الهواء الملتصق بجزيء ذي حجم V_s .
 ρ_a و ρ_s الكثافة (ρ_a و ρ_s) للمركب ($V_a + V_s$)
 ρ_a و ρ_s الكثافة (ρ_a و ρ_s) للمركب ($V_a + V_s$)
 ρ_a و ρ_s الكثافة (ρ_a و ρ_s) للمركب ($V_a + V_s$)

$$\frac{\text{هواء}}{\text{صلبة مادة}} = \frac{a}{s} = \frac{V_a \rho_a}{V_s \rho_s} \quad (2-16)$$

إن نسبة الهواء إلى المادة الصلبة هي من أهم العوامل في عملية تصميم نظام التطويف ويفضل أن تحدد تجريبياً باستعمال خلية تطويف .

2-4-1-6-3- تصميم أنظمة التطويف :

إن العناصر الأساسية في نظام تطويف هي حوض إشباع الهواء وحوض التطويف ، والشكل (2-17) يوضح شكل حوض للتطويف بشكل متوازي المستطيلات ، يمكن أن يكون حوض الاشباع في الهواء بشكل عمود ، حوضا الإشباع

- 1 - تنقية المياه التي جرى ترويبها كيميائياً لإنتاج مياه الشرب ، وخاصة في المياه المحملة بالطحالب.
 - 2 - من أجل تكثيف الحمأة المنشطة .
إن محسنات التطوير تشمل ما يأتي :
 - 1 - إن المواد الصلبة القابلة للترسيب والقابلة للطفو يمكن أن تزال في الوحدة نفسها.
 - 2 - تكون معدلات التنقية مرتفعة، مما يؤدي إلى حجوم أحواض أصغر.
 - 3 - تنتج حمأة أكثر تركيزاً .
 - 4 - إن تأثيرات الأكسدة تنقص مشكلة الرائحة .
 - 5 - في استعمالات التنقية يتطلب حجوم ندف أصغر وبالتالي فإن استعمال البولي الكتروليتات لتحفيز الندف غير ضروري .
إن مساوئ التطوير الملاحظة هي :
 - 1 - إن نوعية التدفق الخارج من ناحية كمية المواد الصلبة يمكن أن لا تكون من جودة الترسيب الثقالي نفسه.
 - 2 - إن هذا النظام هو أكثر كلفة من ناحية التشغيل والصيانة من نظام الترسيب الثقالي.
- عند تصميم أنظمة التطوير و استعمال الهواء المضغوط لدينا طريقتان : الأولى يتم فيها ضغط كامل الجريان و دون إعادة تدوير المياه المعالجة، وتوجد طريقة ثانية و فيها يتم إعادة تدوير المياه المعالجة، و يتم ضغط التيار المعالج، كما سيمر معنا وفي كلا الحالتين يمكن استخدام أحواض مستطيلة أو دائرية.

-ضغط كامل الجريان دون تدوير المياه :

و في هذه الحالة يتم ضغط كامل الجريان، و يمكن أن يصل الضغط حتى 8 بار، ولكن يفضل أن يكون ضمن المجال 3-6 بار، و لا يتم تدوير المياه، و تكون نسبة الهواء إلى المواد الصلبة معطية بالعلاقة :

$$\frac{A}{S} = \frac{1.3As(FP-1)}{Sa} \quad (2-17)$$

حيث إنّ :

A/S: نسبة الهواء المواد الصلبة.

Sa: تركيز المواد الصلبة المعلقة.

As: قابلة انحلال الهواء في الماء من أجل ضغط 1 بار وتؤخذ قيمها من

الجدول (2-7).

الجدول (2-7) و يبين قيمة قابلية انحلال الهواء في الماء من أجل ضغط 1 بار

و بدرجات حرارة مختلفة.

30	20	10	0	T °.C
15.7	18.7	22.8	29.2	As ml/L.bar

S: تركيز المواد الصلبة المعلقة أو تركيز الزيوت و الشحوم و الدهون في مياه

الصرف غير المعالجة بوحدة ملغ/ل.

A: انحلالية الهواء و تقدر ب سم³/لتر.

P: ضغط التشغيل المطلق بوحدة ضغط جوي (atm) .

f:نسبة انحلال الهواء عند الضغط P، أي عند ضغط التشغيل و قيمته بشكل

نموذج 0.8.

-ضغط التدفق المعاد تدويره :

في هذه الحالة يتم ضغط جزء من التدفق الخارج من حوض التطويف - أي ، تدفق المعالجة - و من ثمّ يتم إدخال هذا التدفق إلى حوض التطويف، كما هو مبين في الشكل(4-11)، وذلك عبر التحكم بمضخة إعادة تدوير المياه المعالجة: نطبق المعادلة الآتية :

$$\frac{A}{S} = \frac{1.3As \times R(FP-1)}{(Sa \times Q)} \quad (2-18)$$

حيث : Q التدفق الكلي (م³/يوم) ، R: التدفق المعاد (م³/يوم)
يمكن في الطريقة تدوير من 15 حتى 120% بالنسبة للتدفق الداخل .

2-6-1-4-4-معايير تصميم أحواض التطويف بالهواء المضغوط :

إن معايير تصميم أحواض التطويف بالهواء المضغوط مبين في الجدول رقم (2-2)-

(8):

الجدول (2-8) : معايير تصميم أحواض التطويف بالهواء المضغوط

المؤشر		القيمة النموذجية
الترويق	تكثيف الحمأة	
6-3	6-3	ضغط الهواء (بار)
150-30	150-130	إعادة تدوير التدفق المعالج الناتج عن حوض التطويف (%)
0.5-0.25	3	زمن الحجز
0.06-0.005		نسبة الهواء /المواد الصلبة (كغ هواء /كغ مواد صلبة)
	75-25	حمولة المواد الصلبة (كغ/م ² /يوم)
	100-50	الحمأة المنشطة (المزيج المنحل)
	200-100	الحمأة المنشطة (الترسبة) 50% أولية + 50% منشطة
	حتى 275	أولية فقط
0.18-0.4	0.18-0.008	الحمولة الهيدروليكي (م ³ /م ² /دقيقة)
4-1	4-1	زمن الحجز في خزان الضغط (دقيقة)

2-6-1-4-5- مثال عملي :

لدينا مطحنة تصرف مياه صرف بتدفق 250 م³/يوم ،وتحتوي مياه صرف المطحنة على مواد صلبة معلقة بتركيز 5000 ملغ/ل ، يطلب تصميم حوض تطويف للمواد المعلقة بالهواء المضغوط DAF درجة حرارة مياه الصرف 30 درجة مئوية وذلك في الحالتين:

1- ضغط كامل الجريان دون تدوير لمياه الصرف الخارجة من حوض التطويف.

2- ضغط مياه التدوير فقط.

افرض المعلومات التالية:

$$A/S = 0.01 \text{ ml(air) /mg(solids)} - \text{ و مجالها } [0.06 - 0.005]$$

$$A_S = 15.7 \text{ ml / L .bar} - \text{ قابلية انحلال الهواء في الماء من أجل}$$

ضغط 1 bar

$$- \text{ نسبة انحلال الإشباع } f=0.6 \text{ و مجالها } [0.5 - 0.8].$$

- الضغط النسبي للماء المدور أو ضغط المقياس يساوي 3 ضغط جوي

(atm)

$$- \text{ معدل التحميل السطحي } L/ m^2 .\text{min} (4 - 16) \text{ ونأخذ القيمة } 9$$

لتر/م².دقيقة في التصميم .

الحل:

1- ضغط كامل الجريان دون تدوير المياه :

- من العلاقة التالية نحسب الضغط اللازم للتعويم :

$$A/S=1.3A_s (FP-1)/S_a$$

$$0.01=1.3 \times 15.7 \times (0.6 P-1)/5000$$

حيث P الضغط المطلق المطبق واحده bar (يعتبر P ضغط مطلق لأنه يتضمن أيضا الضغط الجوي المؤثر) .

و منه نجد أن قيمة $P = 5.75 \text{ bar} = 5.75/1.0132 = 5.675 \text{ atm}$
و لكن قيمة P هي الضغط المطلق.

و نحسب الضغط النسبي , اي الضغط الواجب تطبيقه من الضاغط ويساوي
 $P-1$ يساوي

$$P=5.75-1=4.75\text{atm}$$

1- حساب المساحة اللازمة :

$$S=Q/A_0$$

$$S=(250 \times 1000 / (24 \times 60)) / 9 = 19.3 \text{m}^2$$

بفرض أن $L = 4 w$ (فرضنا الطول 4 أضعاف العرض) ، فيكون العرض
2.2 م و الطول 8.8 م .

2- حساب ارتفاع الماء ضمن الحوض: يفضل أن يكون ارتفاع مياه
الصرف في الحوض لا يقل عن 1 م و لا يزيد عن 2.5 م ، و يفضل زمن المكوث
أن لا يزيد عن 120 دقيقة.

نختار ارتفاع لمياه الصرف في الحوض : 1م فيكون حجم مياه الصرف في
الحوض هو :

$$V=1 \times 2.2 \times 8.8 = 19.36 \text{m}^3$$

$$\text{HRT} = V/Q = 19.36 / (250/24) = 1.86 = 111.7 \text{minute}$$

3- حساب معدل تحميل المواد الصلبة :

نحسب كمية المواد الصلبة في اليوم الداخلة الى الحوض :

$$M=250 \times 5000 / 1000 = 1250 \text{Kg/day}$$

$$M/A = 1250 / (2.2 \times 8.8) = 64.56 \text{ Kg/m}^2/\text{day} \quad \text{ok} \leq 75$$

ثانياً- ضغط مياه التدوير فقط :

نحسب ضغط الماء المطلق :

$$p = 3 + 1 = 4 \text{ atm} = 4 \times 1.01325 = 4.053 \text{ bar}$$

$$A/S = 1.3 A_s \times R (FP-1) / (S_a \times Q)$$

$$0.01 = 1.3 \times 15.7 \times R (0.6 \times 4.053 - 1) / (5000 \times 250)$$

$$R = 428 \text{ m}^3/\text{day}$$

أما المساحة اللازمة فتحسب من العلاقة التالية

$$'S = (Q + R) / A_o$$

$$= (250 + 428) / (9 \times 10^{-3} \times 24 \times 60)$$

$$= 52.3 \text{ m}^2$$

نختار حوض تطويف دائري الشكل فيكون قطره : 8.2 م .

3- حساب زمن المكوث و الحجم:

نختار ارتفاع مياه في الحوض 1 م فيكون حجم الحوض

$$V = 3.14 \times (8.2)^2 / 4 \times 1 = 52.8 \text{ m}^3$$

HRT

$$= V / (Q + R) = 52.8 / (250 + 428) \times 24 = 1.87 \text{ h} = 112.14 \text{ minutes}$$

4- حساب معدل تحميل المواد الصلبة :

نحسب كمية المواد الصلبة في اليوم الداخلة الى الحوض :

$$M = 250 \times 5000 / 1000 = 1250 \text{ Kg/day}$$

$$M/A = 1250 / 52.8 = 23.7 \text{ Kg/m}^2/\text{day} \text{ ok } \leq 75$$

توجد أيضاً طرق أخرى للتطويف: وهو التطويف مع استعمال الهواء المضغوط و

المواد الكيميائية والصفائح المائلة ، وتعطي هذه الطريقة إزالة للزيوت و الشحوم و

الدهون تصل حتى 99%، حيث يتم تشكيل ندف و تطويفها و قشطها، كما في الشكل (2-18) حيث يتم تشكيل ندف عبر إضافة مواد كيميائية حيث تمر مياه الصرف مع المواد الكيميائية ضمن الأتاييب، مما يشكل الندف التي يمكن تطويفها بالهواء المضغوط، و كذلك تستخدم الصفائح المائية .



الشكل (2-18) : صورة تبين محطة للتطويف بالهواء المضغوط و استخدام المواد المروية

- بالنسبة لوحدات التطويف ذات معدل الإزالة العالي، و التي تكون عادة مزودة بصفائح مائلة أو يتم إضافة مواد كيميائية، فإن معدل التحميل يكون بين 8.3 - 25 م³/م². ساعة. و إن خيار إضافة المواد الكيميائية إلى حوض التطويف أو الاكتفاء بالهواء المضغوط يعتمد على عدة عدد من عوامل منها :

1- تركيز الزيوت و الشحوم و الدهون و معدل الإزالة بإضافة أو عدم وجود المواد الكيميائية.

2- تركيز و معدل إزالة BOD و TSS بإضافة أو عدم إضافة المواد الكيميائية.

3- جرعة المواد الكيميائية و تكاليفها.

4- كمية الحمأة الناتجة و كلفة التخلص منها.

2-6-1-5- إزالة الزيوت و الشحوم و الدهون بالطرد المركزي:

تعتبر طريقة الطرد المركزي أكثر فاعلية في إزالة الندف الناتجة عن المعالجة الكيميائية، والتي من الصعب أحياناً إزالتها بالتطويف، ومن مساوئ هذه الطريقة: أنها تحتاج إلى صيانة و طاقة أكثر من الطرق الأخرى، ومن محاسنها أنها تشغل مساحات صغيرة.

2-7- المعالجة الأولية لمياه الصرف الصحي:

تقسم أحواض الترسيب بحسب اتجاه حركة مياه الصرف إلى أحواض ترسيب أفقية الحركة ومنها أحواض الترسيب مستطيلة الشكل و أحواض ترسيب شاقولية الحركة ومنها أحواض الترسيب شاقولية الحركة . إن أحواض الترسيب الأولية تحقق إزالة للمواد المعلقة القابلة للترسيب وكذلك للمواد العضوية كما هو مبين في الجدول (2-9).

الجدول (2-9): نسبة إزالة الملوثات في أحواض الترسيب الأولي

المؤشر	نسبة الإزالة
BOD ₅	20%-40%
COD	20%-40%
المواد المعلقة القابلة للترسيب TSS	45%-65%

2-7-1- تصميم أحواض الترسيب أفقية الحركة:

إن القيم الأساسية اللازمة لتصميم أحواض الترسيب هي:

آ - تدفق الماء $Q \text{ m}^3/\text{sec}$

ب - معدل التحميل السطحي: $S_o = \frac{Q}{A} m/sec$ (2-19)

و عملياً فإنه لا يفضل حساب القيمة الدقيقة لـ (S_o) من معادلة ستوك وإنما تحدد هذه القيمة تجريبياً. و بشكل عام فإن أحواض الترسيب أفقية الحركة يمكن أن تكون مستطيلة في المسقط الأفقي أو دائرية ، في أحواض الترسيب أفقية الحركة إن أجهزة إزالة الحمأة تتألف من كاشطات أفقية تسحب الحمأة إلى موقع تجميعها في طرف الحوض حيث تزال بشكل متقطع أو مستمر بتأثير النقالة أو بشكل آلي .

- أحواض الترسيب الأفقية (المستطيلة) :

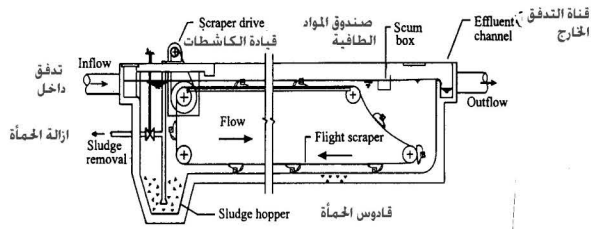
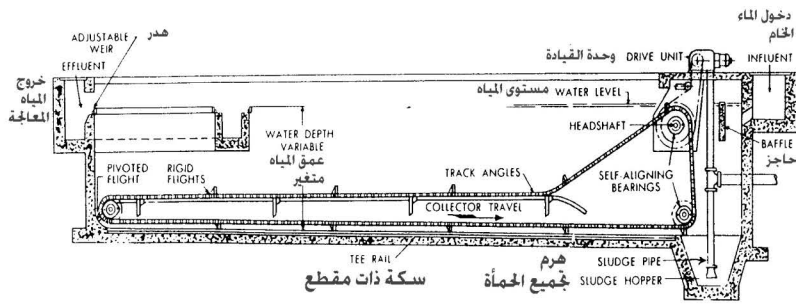
تتألف من خزان مستطيل الشكل، ومقسم إلى عدة أقسام، وغالباً ما يكون عددها أكثر من اثنين، وذلك بهدف عدم تعطل المنشأة ككل، في حال تعطل أحد أقسامها تقدر سرعة حركة جزيئات المواد العالقة في المخلفات السائلة ضمن حوض الترسيب الأفقي مساوية سرعة ترسيبها (u) تحت تأثير الجاذبية الأرضية ، وسرعة حركة المياه (v) واستمرار الجزيئات في حركتها يتبع لتأثير كل من هاتين السرعتين . فمن أجل معطيات معينة لكل من L, H, V يمكن تحديد قيمة (u) والتي من خلالها يحصل التوازن في أبعد نقطة من الحوض ولتكن C .

سيتم ترسيب جميع المواد العالقة التي سرعة ترسيبها أكبر من (u) أو تساويها . أما المواد الدقيقة العالقة ، والتي سرعة ترسيبها أقل من (u) فستحملها المياه معها أثناء خروجها من الحوض .

لتصميم أحواض الترسيب الأفقية لمعالجة المخلفات السائلة المنزلية والمخلفات الصناعية المشابهة لها بالتركيب. ينصح أن يكون العمق (2.5-4.5) م وسرعة حركة المياه (5-7) مم/ثا .

يضاف إلى العمق الفعال ارتفاع جدران الحوض فوق سطح المياه، وبحيث لا يزيد هذا الارتفاع عن 0.5 م. كما تقدر سماكة طبقة تجميع الرواسب في قاع الحوض أيضا بنحو 0.5 م ومنه يحدد العمق الكلي للحوض.

من مزايا أحواض الترسيب الأفقية أنها قليلة العمق وذات كفاية عالية في الترسيب . ويمكن استخدام الآليات لأكثر من حوض، إلا أنها بسبب العرض القليل فيتطلب ذلك عددا كبيرا من الأحواض . غالباً ما يتم تنظيف الأحواض الأفقية آلياً، ولذلك يعطى قاع الحوض ميلاً بسيطاً نحو هرم مقلوب أو أكثر عند المدخل . وتكب سلسلتان في كل من جانبي الحوض، وتثبت كل سلسلة على أربع عجالات ذات تروس، وتحيط بالعجلات الأربع في كل جانب سلسلة ، وتتصل السلسلتان بواسطة قضبان حديدية بعرض الحوض، ويركب على هذه القضبان أمشاط خشبية تزحف على قاع الحوض عند تحريك السلسلتين. و يبين الشكل (2-19) نموذج لحوض ترسيب مستطيل .



<https://www.sismat.com.tr>: المصدر

الشكل a(2-19): مقطعاً وصوراً لحوض ترسيب مستطيل الشكل



المصدر: <https://www.sismat.com.tr>

الشكل b(2-19): مقطعاً وصوراً لحوض ترسيب مستطيل الشكل

2-7-2- أحواض الترسيب الشاقولية:

يتألف حوض الترسيب الشاقولي من خزان دائري المسقط ، ويمثل القسم العلوي من الحوض منطقة الترسيب، مع قاعدة هرمية تمثل القسم السفلي، حيث يتم فيها تجميع المواد العالقة المترسبة .

تدخل المخلفات السائلة إلى الحوض من خلال أنبوب رئيسي وتوجه إلى أسفل القسم العلوي، حيث تخرج من خلال فنحات موجودة في نهاية الأنبوب ومزودة ببلوحات خاصة لعكس تيار المياه ، مما يساعد المياه على تغيير اتجاهها تدريجياً وترتفع إلى الأعلى بحركة بطيئة لتصل إلى ميزاب علوي تتجمع فيه لتصرف خارج الحوض. أثناء حركة المياه إلى الأعلى بسرعة (V) ، فإن جميع المواد العالقة تحاول التحرك معها إلى الأعلى بالسرعة نفسها، إلا أن قوى الجاذبية الأرضية تؤثر فيها أيضاً وتحركها نحو الأسفل بالسرعة (U) ، والتي تتعلق بأبعاد الجزيئات وشكلها وكثافتها ولزوجة السائل.

تحتوي المياه على مواد عالقة بأبعاد مختلفة وسرعة ترسيب (U) مختلفة . أيضاً، لذلك أثناء تحركها في حوض الترسيب مع تيار المياه ذي السرعة الثابتة (V) فإن جزيئات هذه المواد تتخذ لنفسها حالات مختلفة . فمنها ما يرسب بسرعة إلى قاع الحوض لأن $(U > V)$. ومنها ما يبقى معلقاً بالمياه لأن $(U = V)$ والقسم الباقي الذي تكون من أجله $(U < V)$ يتحرك نحو الأعلى مع التيار وأثناء ذلك تصطدم بطبقة المياه الغنية بالمواد العالقة التي بدأت بترسيبها فتلتصق بها مشكلة جزيئات جديدة بأبعاد أكبر فترسب .

تقدر كمية المواد المترسبة بنحو (0.8) ل/لشخص /اليوم ، وتتجمع في القسم السفلي من الحوض ذي شكل هرم مقلوب . يتم تنظيف الحوض من الرواسب هيدروليكيًا حيث تخرج الرواسب من خلال أنبوب صرف قطره لا يقل عن (200) مم ويراعى أن يكون مخرج الرواسب أخفض من منسوب المياه في الحوض بنحو (1.5-2) م. وتقدر رطوبة الرواسب الخارجة من الأحواض الشاقولية بنحو (95) % .

تصمم الأحواض الشاقولية من أجل سرعة جريان للمياه (0.7) مم/ثا ومدة مكوث تتراوح من (30) دقيقة وحتى (1.5) ساعة ، وذلك حسب درجة المعالجة المطلوبة .المساحة الفعالة للحوض تساوي مساحة سطح الماء في الحوض (المسقط) مطروحا منها مساحة الأنابيب الرئيسية .

يحدد العمق الفعال للحوض بالمسافة من قاع الأنبوب الرئيس وحتى سطح الماء في الحوض .

تحدد مساحة الأنبوب الرئيسي (f) أو (مساحة جميع الأنابيب إذا كان هناك أكثر من حوض واحد) ، حسب التصريف الأعظمي م³ \ثا والسرعة في الأنبوب (V1) م/ثا بالعلاقة :

$$f = \frac{Q}{V_1} \quad (2-20)$$

وع السرعة v1 عادة (0.03) م/ثا ويجب ألا تزيد على (0.1) م/ثا عند توافر لوحات الانعكاس.

يحدد ارتفاع الجزء الفعال من الحوض (القسم العلوي) أو طول الأنبوب الرئيسي بالعلاقة :

$$h = v \times t \quad (2-21)$$

وبحيث لا يقل عن (2.7) م .

يحدد حجم القسم العلوي من الأحواض (إذا كان عددها أكثر من حوض) بالعلاقة:

$$W = \frac{Q.K.t}{24} \quad (2-22)$$

حيث :

Q- التصريف اليومي الوسطي ، م³ / ثا.

k- عامل عدم الانتظام اليومي .

t- زمن المكوث ، ساعة .

المساحة الفعالة للحوض (أو الأحواض) تعطى بالعلاقة :

$$(2-23)$$

$$F_1 = \frac{W}{h}$$

المساحة الكلية :

$$F = F_1 + f \quad (2-24)$$

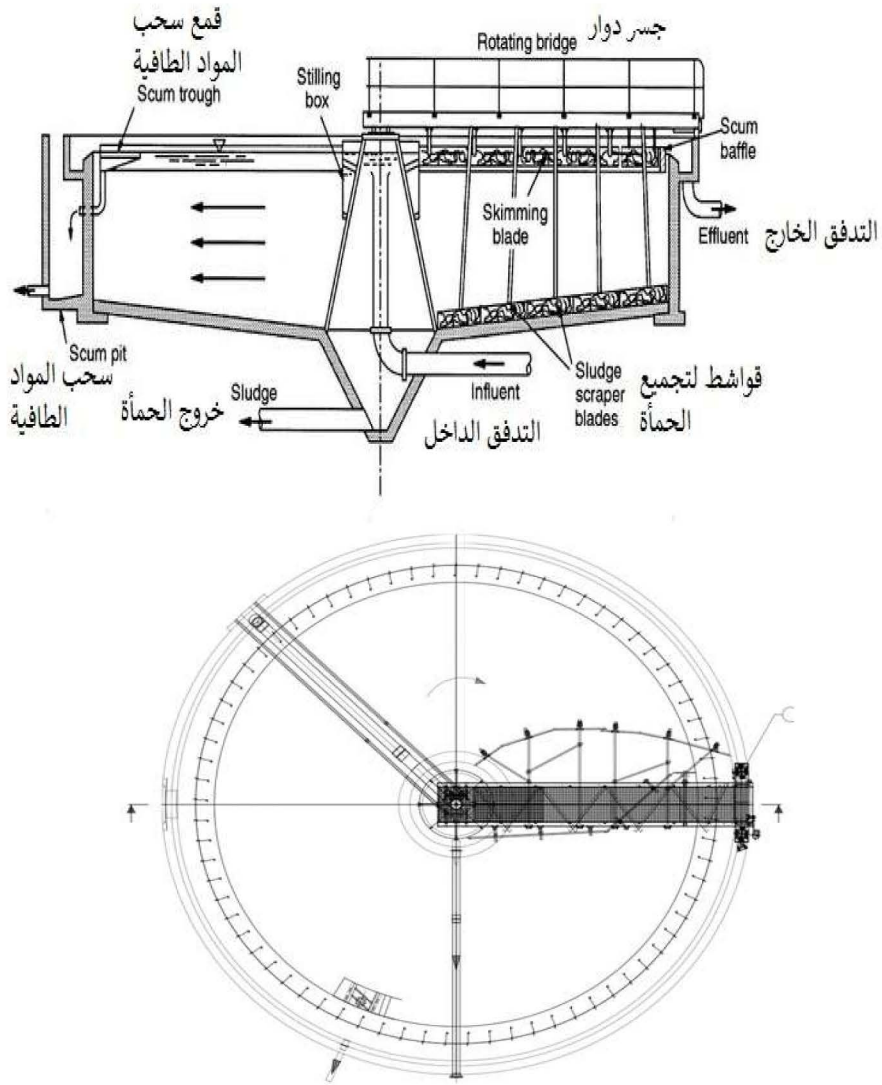
يجب ألا يزيد قطر الحوض على ثلاثة أمثال العمق الفعال (h) وألا يزيد على (9) م، أما العمق الكلي (H) فيتمضن عمق القسم العلوي (h) والقسم السفلي وارتفاع جدار الحوض فوق منسوب المياه والذي يقدر بنحو (0.3-0.4) م. أما ارتفاع القسم السفلي فيحدد حسب حجم الرواسب المتجمعة في كل مرة وهذا يتعلق بعدد مرات غسيل الحوض خلال اليوم. وتتخذ منطقة تجميع الرواسب بشكل هرم مقلوب أبعاد القاعدة السفلية فيه (0.4x0.4) م، وميل الجدران مع الأفق بزاوية 50°.

من مزايا هذه الأحواض أنها لا تشغل مساحات كبيرة، وتنظيفها سهل وبسيط إلا أنها ذات أعماق كبيرة مما يجعل التكاليف الإنشائية عالية، وبخاصة في حال كون منسوب المياه الجوفية مرتفعاً. هناك نموذج جديد لأحواض الترسيب الشاقولية حيث حركة المياه من الأعلى إلى الأسفل، يتألف الحوض من خزان دائري المسقط مع هدار محيط بكامل الحوض لجمع المياه بعد عملية الترسيب. أما دخول المياه فيتم عبر أنبوب في أعلى الحوض إلى غرفة تهدئة ومنها إلى قناة فيها فتحات تحيط بالحوض وتخرج المياه من خلال الفتحات وتوزع بانتظام على كامل سطح الحوض. تجهز الفتحات بصفائح عاكسة تغير اتجاه حركة المياه من شاقولية إلى أفقية. وأثناء حركة المياه من المحيط نحو المركز تتجه إلى الأسفل نحو قاع الحوض وتكون سرعتها بطيئة بحيث تفقد قدرتها على الحمل فترسب المواد العالقة فيها إلى القاع. تمتاز هذه الأحواض بكفاءة عالية إذ تصل

نسبة إزالة المواد العالقة إلى (60-70) %، ومن أجل كفاية الأحواض الشاقولية العادية نفسها فإن التصريف الواصل إلى هذه الأحواض يزيد بنحو مرة ونصف مرة .

-الأحواض الدائرية :

وفي أحواض الترسيب الدائرية فإن التدفق يمكن أن يدخل من مركز الحوض متجهاً إلى محيط الحوض و يمكن أن يكون الاتجاه معاكساً لذلك، و بشكل عام ، فإن تجهيزات تنظيف الحوض الدائري تتألف عادة من شفرات كاشطة مركبة على أذرع قطرية و يكون قاع الحوض مائلاً إلى مركزه، كما في الشكل(2-20) و الشكل(2-21) .



الشكل (20-2): مقطع طولي ومسقط في حوض ترسيب دائري



المصدر:

<http://aquashine.com.tr/en/activity/treatment-systems/industrial-treatment-systems/circular-bridge-for-sedimentation-tanks>

الشكل (2-21): صوراً لأحواض الترسيب الدائري

وهي خزانات دائرية المسقط، تدخل المخلفات السائلة إلى مركز الحوض من الأسفل وتتجه ضمن أنبوب رأسي نحو الأعلى . ثم تخرج من أنبوب وتتجه بحركة قطرية (شعاعية) نحو المحيط، حيث تجمع عبر هدار المخرج على محيط الحوض.

تنظف هذه الأحواض بوساطة زحافات تزحف على القاع ومتصلة بمحرك كهربائي مثبت على جسر يرتكز على الجدار الدائري للحوض . عند دوران المحرك تكسح الزحافات ما أمامها من رواسب إلى هرم مقلوب في مركز الحوض ومنه تخرج الرواسب عبر أنبوب يتم تشغيله بصمام خاص . أما الخبث الذي يطفو على سطح المياه في الحوض فيجمع بواسطة مشط مغمور غمرًا جزئيًا . فإذا دار المشط أزاح أمامه من خبث إلى غرفة الخبث في جانب الحوض، ومنها على خارج الحوض، حيث يتم التخلص النهائي منه .

أهم مايجب مراعاته عند تصميم الأحواض الدائرية، هو ألا يزيد التحميل على هدار المخرج على (10) ل/ثا لكل متر طولي . ويؤخذ القطر (18-54) م ،وقد يصل حتى (60) م. ونسبة القطر إلى العمق عند المحيط تقدر بنحو (6-12) . تبلغ كفاية هذه الأحواض نحو (60)% .

- معدل التحميل السطحي (م³/م².يوم) يحسب من العلاقة:

Q/A : معدل التحميل على الهيدروليكي.

Q : التدفق اليومي الوسطي م³/يوم.

A : مساحة مسقط حوض الترسيب م².

- معدل التحميل الهيدروليكي على هدار المخرج: Q/L

L : طول الهدار ويساوي $\pi \times D$ في حالة حوض الترسيب الدائري حيث D :

قطر حوض الترسيب الدائري، ويبين الجدول (2-10) أهم أبعاد الأحواض الدائرية:

الجدول (2-10): الأبعاد التي ينصح بها لأحواض الترسيب الدائرية وفقاً للتدفق الداخل إليها.

القطر (م)	عمق منطقة الترسيب (م)	حجم منطقة الترسيب (م ³)	التصريف التصميمي من أجل مكث (1.5) ساعة م ³ /سا	قطر أنبوب دخول المياه (مم)	التحميل على المتر الطولي ل/ ثا من طول الهدار
18	3.1	788	550	100	2.2
24	3.1	1400	930	100	2.4
30	3.1	2190	1460	100	3.3
40	3.65	4580	3054	100	4.6
50	4.7	9220	6150	150	5.8
54	5.7	10500	7000	150	6.3

تصمم الأحواض الدائرية على التصريف الساعي الأعظمي مع زمن مكوث 1.5 ساعة وذلك من أجل المخلفات السائلة المنزلية، وتصمم غرفة تجميع الرواسب، بحيث تستوعب الرواسب المتجمعة خلال 4 ساعات، ويميل جدارها مع الأفق بزاوية (60)، مما يسهل عملية التنظيف.

تبلغ رطوبة الرواسب الناتجة عن هذه الأحواض 95% في حال كون تصريفها طبيعياً (دون ضخ) و 93.5% إذا كان التصريف بواسطة الضخ، يحدد قطر أنبوب تصريف الرواسب حسابياً، ويجب ألا يقل عن (200) مم .

يحدد عدد الأحواض حسب التصريف التصميمي، ويفضل أن يصمم بشكل مجموعات وأن يكون عددها في كل مجموعة أربع أحواض، وفي بداية الإستثمار، حيث التصريف قليل فيعمل حوضان فقط وهكذا بالتدريج تدخل جميع الأحواض بالعمل

.من مزايا الأحواض الدائرية أنها قليلة العمق ،وبالتالي فالتكاليف الإنشائية قليلة إذا ما قورنت بغيرها من الأحواض. كما يساعد الشكل الدائري على التقليل من سماكة الجدران، وهذا أيضا يؤدي إلى تخفيف التكاليف.

هناك نموذج آخر لأحواض الترسيب الدائرية حيث دخول المياه لا يكون مركزياً بل على كائنل نحيط الحوض وذلك عبر ميزاب يحيط بالحوض وفيه ثقبو دائرية المقطع تخرج منها المياه وتتوزع على كامل سطح الحوض.

يصمم الميزاب بحيث يكون له العرض نفسه على كامل محيط الحوض مع تغير عمقه تدريجياً بحيث يتناقص من البداية وحتى النهاية. كذلك يتم توزيع الثقوب بحيث يتغير قطرها والمسافة فيما بينها حسب تغير العمق وذلك حتى تتحقق سرعة جريان ثابتة ضمن الميزاب. تتحرك المياه في هذه الأحواض حركة شاقولية دائرية وتتجه نحو أسفل الحوض حيث تتناقص سرعتها وتصل إلى القيمة الدنيا وتصطدم بالصفائح العاكسة التي تعكس اتجاهها وتوجهها إلى المنطقة المركزية في الحوض ومنها إلى ميزاب جمع المياه الدائري. أثناء ذلك تترسب المواد العالقة في المخلفات السائلة في قاع الحوض، حيث يتم صرفها خارجه، إن الأسس الصميمة لأحواض الترسيب الأولى مبنية في الجدول(2-11)، كما أن الجدول (2-12) يبين الأبعاد النموذجية لأحواض الترسيب المستطيلة و الدائرية.

الجدول (2-11): الأسس التصميمية لحوض الترسيب الأولي والتي يتبعها معالجة

ثانوية

المؤشر	الواحدة	القيمة	القيمة النموذجية
زمن المكوث	ساعة	2.5-1.5	2
معدل التحميل على الهيدروليكي	عند التدفق الوسطي (م ³ /م ² .يوم)	50-30	40
	عند الذروة (م ³ /م ² .يوم)	120-80	100
معدل التحميل الهيدروليكي على الهدار	م ³ /م.يوم	-125 500	250

الجدول (2-12): يبين الأبعاد النموذجية لأحواض الترسيب المستطيلة و الدائرية:

المؤشر	الواحدة	القيمة	القيمة النموذجية
حوض ترسيب مستطيل الشكل			
العمق	(م)	5-3	4
الطول	(م)	90-15	40-24
العرض	(م)	24-3	9.8-4.9
حوض ترسيب الدائري			
العمق	(م)	4.3	
القطر	(م)	45-12	
الميل الجانبي للقاع	1/12	16/1-6/1	1/12
سرعة القواشط	دورة /دقيقة	0.05-0.02	0.03

الفصل الثالث: المعالجة الثانوية لمياه الصرف الصحي

3-1- المعالجة الثانوية لمياه الصرف الصحي:

وهي المرحلة الأساسية في معالجة مياه الصرف الصحي، تلي من حيث الترتيب مرحلة المعالجة الأولية، والهدف الأساسي من هذه المرحلة: إزالة المواد العضوية المنحلة و الغروانية في مياه الصرف الصحي ، عادة ما تكون ما تكون هذه المرحلة هوائية أو لاهوائية أو كلتا الطريقتين معاً، وقد نستخدم أيضاً مرحلة منقوصة الأوكسجين Anoxic لإزالة النترات مياه الصرف الصحي وتحويله إلى نتروجين ينطلق في الجو، وفي هذه المرحلة يتم إزالة COD، BOD₅، TSS، وغيرها من الملوثات بنسب قد تصل حتى 95%.

إن الغرض من أعمال المعالجة البيولوجية هو تحويل المواد العضوية المنحلة والمعلقة ضمن المياه الملوثة، والتي - لم تترسب ضمن أحواض الترسيب الأولية - إلى مواد ثابتة عالقة قابلة للترسيب، و ذلك عن طريق تنشيط البكتريا والكائنات الدقيقة الحية في شروط هوائية، وذلك بتأمين الأوكسجين اللازم لها عن طريق تعريضها للهواء الجوي، أو إدخال الهواء المضغوط داخل المياه الملوثة، كما يتم تنشيط البكتريا عن طريق إعادة جزء من الحمأة المترسبة ضمن أحواض الترسيب النهائية بنسبة معينة، حيث تعمل على إمداد البكتريا المنشطة بالعناصر اللازمة لنموها.

تعتبر طريقة الحمأة المنشطة من أهم طرق المعالجة الهوائية المتبعة لمعالجة مياه الصرف الصحي والصناعي، لما تتمتع به من مميزات تجعلها في مقدمة طرق المعالجة.

سأتكلم ان شاء الله في هذا الفصل و بشكل مفصل عن المعالجة البيولوجية اللاهوائية في المفاعل ذي الجريان الصاعد عبر طبقة الحمأة المعلقة (Up UASB) flow Anaerobic Sludge -Blanket Process نظراً لأهمية هذا المفاعل الذي يعتبر ثورة علمية في مجال معالجة مياه الصرف الصحي و الصناعي ، و كذلك سأتناول الحديث عن طريقة الحمأة المنشطة و عن المعالجة بالأراضي الرطبة. وتجري حالياً العديد من الأبحاث وفي الكثير من أنحاء العالم لتطوير هذه

الطريقة، وخصوصاً فيما يتعلق بإزالة الفسفور والنيتروجين، ويبين الجدول (3-1)، القيم النموذجية للعوامل الحركية لعمليات الأكسدة الكربونية في طريقة الحمأة المنشطة، كما يبين الجدول (3-2)، قيم معامل فعالية درجة الحرارة للبكتيريا عضوية التغذية في طريقة الحمأة المنشطة ويبين الجدول (3-3) المؤشرات المختلفة لكل طريقة من طرق الحمأة المنشطة

الجدول (3-1): القيم النموذجية للعوامل الحركية لعمليات الأكسدة الكربونية في طريقة الحمأة المنشطة لمعالجة مياه الصرف الصحي:

المعامل	الواحدة	المجال	القيمة النموذجية ⁽²⁾
k	غرام bsCOD/غرام (VSS×يوم)	10-2	5
K _s	ملغ/ل معبراً عنه بـ BOD ₅ ملغ/ل معبراً عنه بـ bsCOD	100-25 60-10	60 40
Y	ملغ VSS/ملغ BOD ₅ ملغ VSS/ملغ bsCOD	0.8-0.4 0.6-0.3	0.6 0.4
k _d	غرام VSS/غرام VSS×يوم	0.2-0.06	0.12
μ _m	غرام VSS/غرام VSS×يوم	13.2-3	6

(2) هذه القيم في درجة حرارة 20 درجة مئوية.

الجدول (2-3): قيمة معامل فعالية درجة الحرارة للبكتريا عضوية التغذية⁽³⁾
(Heterotrophic Bacteria) في طريقة الحمأة المنشطة

قيمة معامل فعالية درجة الحرارة (θ)		المعامل
القيمة النموزجية	المجال	
1.07	1.08-1.03	μ_m
1.04	1.08-1.03	k_d
1	1	K_s

(3) تستخدم هذه القيمة أيضاً عند حساب المعاملات الحركية في الخوض المنقوص الأكسجين.

الجدول (3-3): المؤشرات المختلفة لكل طريقة من طرق الحمأة المنشطة :

نسبة التدفق المعاد إلى التدفق الوسطي Q_r/Q	زمن المكوث المحذرولكي ضمن حوض التهوية $h, V/Q$	MLSS (mg/l)	الحمولة العضوية المجمية $kg\ BOD_5 / m^3 \cdot day$	F/M ($kg\ BOD_5 / kg\ MLVSS \cdot day$)	عمر الحمأة (زمن مكوث θ_c الخلالا) بالأيام	نوع الجريان	نوع العملية
1.5-1	3-1.5	1000-200	2.4-1.2	2-1.5	2-0.5	دفتي ⁽⁴⁾	ذات المعدل العالي للتهوية
1.5-0.5	1-0.5	3000-1000	1.3-1	0.6-0.2	10-5	دفتي	التثبيت بالتماس
0.5-0.25	3-1	5000-2000	3.2-1.3	1-0.5	4-1	دفتي	ذات الأكسجين عالي النقاوة
⁽⁵⁾ 0.75-0.25	8-4	3000-1000	0.7-0.3	0.4-0.2	15-3	دفتي	تقليدية ذات جريان دفتي
0.75-0.25	5-3	4000-1500	1-0.7	0.4-0.2	15-3	دفتي	التغذية على مراحل
1-0.25	5-3	4000-1500	1.6-0.3	0.6-0.2	15-3	مرج كامل	ذات المرج الكامل ⁶
1.5-0.5	30-20	5000-2000	0.3-0.1	0.1-0.04	40-20	دفتي	التهوية المبددة
1.5-0.75	30-15	5000-3000	0.3-0.1	0.1-0.04	30-15	دفتي	خنادق الأكسدة
⁸ NA	40-15	75000-2000	0.3-0.1	0.1-0.04	30-10	متقطع	المفاعل ذو الدفوعات المتسلسلة (
NA	40-20	95000-2000	0.3-0.1	0.1-0.04	25-12	متقطع	التفريع على دفوعات
0.75-0.25	40-15	4000-2000	0.3-0.1	0.1-0.04	30-10	دفتي	نظام التهوية بالتيار المعاكس

(4) الجريان الدفتي Plug Flow ويسمى أحياناً بالجريان الأنبوبي كما يسمى بالجريان البستوني

(5) في حالة النتيجة يمكن زيادة هذه القيمة بمقدار 25-50%

6 في حالة النتيجة يمكن زيادة هذه القيمة بمقدار 25-50%

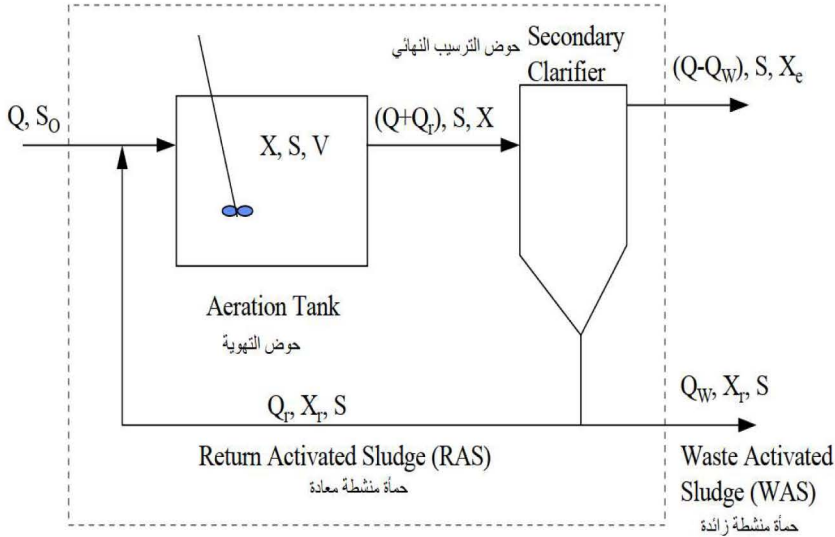
7 اختلافات MLSS تعتمد على نسبة دورة التشغيل.

8 NA: غير قابل للتطبيق أو غير عملي.

9 اختلافات MLSS تعتمد على نسبة دورة التشغيل.

3-2- القوانين التصميمية في طريقة الحمأة المنشطة :

إن المؤشرات التصميمية لطرق الحمأة المنشطة مبينة في الجدول (3-3)، والشكل (1-3) يبين التدفقات و الكتل في طريقة الحمأة المنشطة .



الشكل (1-3): يظهر مخطط توازن الكتل و التدفقات في طرق الحمأة المنشطة

إن المعادلات الحركية التي تخص أحواض التهوية مبينة فيما يأتي :

$$HRT = \left(\frac{S_0 - S}{U \times X} \right) \quad (3-1)$$

$$\frac{1}{\theta_c^M} = Y \times U - K_d \quad (3-2)$$

$$\frac{1}{\theta_c^M} = YK - K_d \quad (3-3)$$

$$K = \frac{\mu_m}{Y} \quad (3-4)$$

$$\mu = \mu_m \times \left(\frac{S}{K_s S + S} \right) - K_d \quad (3-5)$$

$$U = K \times \frac{S}{K_s S + S} \quad (3-6)$$

$$K_T = K_{20} \times \theta^{(T-20)} \quad (3-7)$$

$$rg = X \times \mu_m \quad (3-8)$$

$$V = Q \times \frac{(BOD_5)r}{\frac{F}{M} \times MLVSS} \quad (3-9)$$

حيث أن HRT : زمن المكوث الهيدروليكي في حوض التهوية مقدراً بالأيام.

μ : معدل النمو النوعي زمن⁻¹،

μ_m : معدل النمو الأعظمي زمن⁻¹.

θ_c : زمن مكوث المواد الصلبة التصميمي باليوم.

θ_c^M : زمن مكوث المواد الصلبة الأصغري.

θ : ثابت تجريبي قيمته عادة تتراوح بين 1.02 إلى 1.25 وفي هذا البحث سنستخدم القيمة الوسطية التي هي 1.135.

Y : معامل الإنتاجية الأعظمي مقاساً خلال فترة النمو اللوغارتمي المحدود

ويقدر بـ نسبة كتلة الخلايا المتشكلة إلى كتلة المواد العضوية والمغذيات (substrate) المستهلكة.

K : معدل الاستخدام الأعظمي للمواد العضوية والمغذيات (substrate)

ويقدر بوحدة زمن⁻¹.

rg : معدل نمو البكتريا (ملغ/ل.يوم⁻¹)

U : معدل استخدام الملوثات يوم⁻¹.

K_d : معامل اضمحلال الخلايا بوحدة زمن⁻¹.

K_S : ثابت نصف السرعة (ملغ/ل).

V : حجم حوض التهوية بوحدة م.

$(BOD_5)r$: (قيمة BOD_5r) المزال في حوض التهوية بوحدة ملغ/ل

ويساوي :

$$(BOD_5)_r = (BOD_5)_i - (BOD_5)_e$$

حيث أن: $(BOD_5)_i$: الداخل إلى حوض التهوية.

$(BOD_5)_e$: الخارج من حوض التهوية.

(F/M) نسبة الغذاء إلى المواد العضوية يوم⁻¹.

MLVSS (ملغ/ل): وهي تركيز المواد الصلبة الطيارة بالسائل الممزوج.

X: تركيز الكتلة الحيوية (البيوماس) في حوض التهوية أي تركيز MLVSS

بوحدة ملغ/ل.

Xe: تركيز الكتلة الحيوية (البيوماس) في مياه الصرف الخارجة من حوض

الترسيب النهائي أي تركيز MLVSS بوحدة بوحدة ملغ/ل.

S₀: تركيز المواد المغذية الداخلة إلى حوض التهوية و يعبر عنها بـ BOD₅

أو COD بوحدة ملغ/ل.

S: تركيز المواد المغذية الخارجة من حوض الترسيب النهائي. و يعبر عنها بـ

BOD₅ بوحدة أو COD ملغ/ل.

Q: تدفق مياه الصرف الداخل إلى حوض التهوية بوحدة م³/يوم.

Q_r: تدفق الحمأة المنشطة من حوض الترسيب النهائي إلى حوض التهوية

بوحدة م³/يوم.

Q_w: تدفق الحمأة المنشطة الزائدة الذاهبة إلى منشآت معالجة الحمأة.

تعتبر الجدول (3-1) حتى (3-3) أهم الجداول التصميمية لأحواض التهوية

في طريقة الحمأة المنشطة ، فمثلاً يمكن أن نجد منها المعايير التصميمية الحركية

لأحواض التهوية في طرية الحمأة المنشطة ذات التهوية المديدة كما يأتي :

– زمن احتجاز المواد الصلبة أو عمر الحمأة θ_c : (20 – 40) أيام.

– F/M: 0.01-0.04 كغ BOD₅/كغ MLVSS.يوم.

– الحمولة العضوية الحجمية كغ BOD₅/م³.يوم: 0.1-0.3

- قيمة MLSS ملغ/ل 2000 - 5000 ملغ/ل.
- زمن التهوية في حوض التفاعل أو زمن الحجز الهيدروليكي، (20 - 30) ساعات.
- معدل تدوير الحمأة أو الجريان المدور Q_r/Q ، وهو حوالي (0.5 - 1.5) من قيمة الجريان الداخل إلى المنظومة (Q).
- وهكذا يمكن أن نجد المعايير التصميمية الحركية لأي طريقة من طرق الحمأة المنشطة.

3-3- حساب كمية الهواء اللازمة لأكسدة المواد العضوية و النتجة في

حوض التهوية:

يوجد الكثير من الطرق التي تحسب بها كمية الهواء اللازمة لأكسدة المواد العضوية، وأكسدة الأمونيا، ولعل من أبسط هذه الطرق هو استخدام المعادلة التالية: تحسب كمية الأوكسجين اللازمة لأكسدة المواد العضوية و أكسدة الأمونيا في حوض التهوية من العلاقة :

$$O_2 = [1.08 \times BOD_{5r} + 4.57(NH_4)_r] \times Q_{av} \times 10^{-3} \quad (3-10)$$

O_2 : كمية الأوكسجين اللازمة بوحدة كغ O_2 /يوم.

ويجب التذكر أن نسبة الأوكسجين في الهواء الجوي حوالي 21% وبالتالي نقسم كمية الأوكسجين اللازمة يومياً الرقم 0.21 أو تقريباً بضرب بـ 5 فنحصل على كمية الهواء اللازمة يومياً بوحدة كغ هواء/يوم .

وللتحويل من كغ هواء/يوم إلى متر مكعب باليوم نقسم على كثافة الهواء ، أما كثافة الهواء فتتغير بحسب درجة الحرارة ، و ذلك اذا اعتبرنا الضغط الجوي يبقى ثابتاً فمثلاً كثافة الهواء عند درجة حرارة 20 درجة مئوية هي: 1.204 كغ/م³.

لكن كعامل أمان وتسهيلاً للحسابات نضرب دائماً كمية الأوكسجين اللازمة يومياً بـ 5 فنحصل على كمية الهواء اللازمة يومياً .

في الدول التي تشهد تغيرات و تقلبات كبيرة في درجات الحرارة من المفضل إدخال تأثير درجة الحرارة و الارتفاع عن سطح البحر عند حساب كمية الهواء.

عملياً للتأكد من أن كمية الهواء في حوض التهوية أثناء التشغيل كافية يجب أن يكون تركيز الأوكسجين المنحل في حوض التهوية لا يقل عن 1.5-2 ملغ/ل.

وتتم تغذية الهواء في لأحواض التهوية عن طريق مراوح الهواء الانفراغية

vacuum air blower كما مبين في الشكل (3-2) ، ويتم نقل

الهواء من مراوح الهواء إلى أحواض التهوية عبر أنابيب من البولي اتيلين أو البولي بروبيلين وأحياناً من الحديد المغلفن، ثم يتم نفث الهواء في حوض التهوية عبر ناقلات

مطاطية، كما هو مبين في الشكل (3-3)، وهذه الطريقة من التهوية شائعة جداً

في محطات المعالجة مياه الصرف الصحي المدمجة و متوسطة الحجم ، و من أرخص طرق ضخ الهواء في أحواض التهوية ومبدأ مضخة الهواء الفاكيوم أو كما تسمى

بلور الهواء:

1- سحب الهواء .

2- دفع الهواء الى حوض التهوية.

3- ضغط الهواء لا يزيد عن 0.6 بار.

ويجب وضع فلتر على مدخل سحب الهواء ، أيضاً يجب وضع وصلة مرنة

عند مخرج الهواء لان بلور الهواء يهتز و وجود الوصلة المرنة يمنع من تكسر الانابيب

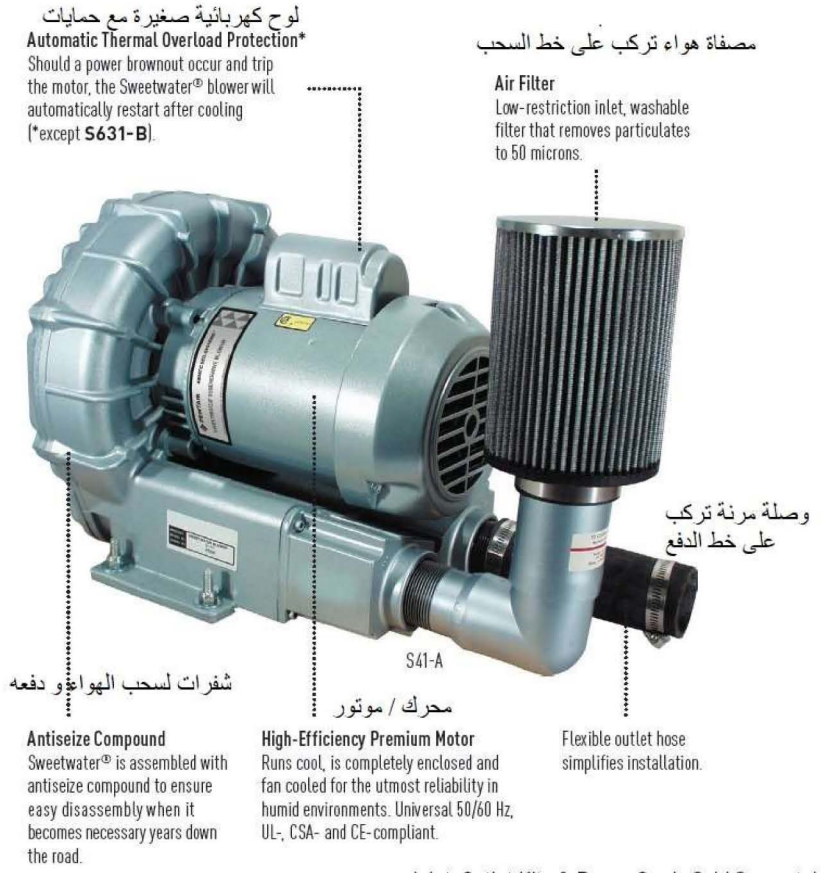
و كذلك تقلل من الصوت الصادر عن دفع الهواء .

من الاخطاء الشائعة استخدام لفظ استخدام ضاغط هواء أو كمبراسور هواء

لتهوية حوض التهوية ، ضاغط الهواء يعطي الهواء بضغط 2-6 بار، و هو غير

مناسب نهائياً لتشكيل الندف البيولوجية في حوض التهوية و كذلك كلفة تشغيل

كمبراسور الهواء كبيرة جداً. أما في أحواض التهوية الكبيرة فيفضل استخدام مهبويات سطحية وعند استخدام المهبويات السطحية فإن الحاجة لشبكة أنابيب نقل الهواء و نافثات الهواء تصبح معدومة .



Inlet, Outlet Kits & Power Cords Sold Separately.

الشكل (2-3): مضخة هواء انفرغية – Vacuum air blower



الشكل (3-3): ناشرات هواء ذات غشاء مطاطي يمنع دخول المياه إلى أنابيب نقل الهواء

3-4- المركبات المعيقة لنشاط البكتريا في طريقة الحمأة المنشطة أو المركبات

التي تسبب السمية:

إنّ المعادن الثقيلة تعتبر من أخطر المواد التي تسبب إعاقه لنشاط البكتريا أو تسبب السمية ، وإنّ وجود المعادن الثقيلة بالشكل المنحل في مياه الصرف سيؤدي إلى انخفاض كفاءة المعالجة ، وتخرج أيضاً هذه المواد السامة مع المياه المعالجة ، لذلك فإنّ مياه الصرف الحاوية على تلك المعادن تسبب تثبطاً لنشاط البكتريا في محطة المعالجة، لذلك يجب إزالة هذه المواد السامة من مصادرها أو عن طريق معالجتها بمحطات معالجة خاصة تؤمن معالجة أولية قبل إجراء المعالجة في محطة المعالجة الرئيسية، وإن تراكيز المواد المعيقة لنشاط البكتريا في طريقة الحمأة المنشطة موضحة في الجدول (3-4):

الجدول (3-4): تركيز بعض العناصر والمواد التي تسبب سمية و إعاقه لنشاط البكتريا في عمليات الحمأة المنشطة:

التركيز المسبب للإعاقه (inhibitory) (ملغ/ل)		الملوث
عملية النترة	الإزالة الكربونية (إزالة BOD ₅ والمواد العضوية)	
	26-15	الألمنيوم
	480	الأمونيا
	0.1	الزرنيخ
	100-10	الكاديوم
	2500	الكالسيوم
0.25	10-1	الكروم السداسي
	50	الكروم الثلاثي
0.5-0.005	1	النحاس
0.34	5-0.1	السيانيد
	1000	الحديد
	10	المغنيز
50		المغنيزيوم
	5-0.1	الرئبق
0.25	2.5-1	النيكل
	5	الفضة
500		الكبريتات
0.5-0.08	10-0.8	الزنك
10-4 16-4 150	200	الفينولات الفينول الكريسول 4-2 دي نتر فينول

3-5 - المعالجة البيولوجية المتقدمة لمياه الصرف الصحي

(*advanced biological wastewater treatment*):

يقصد بالمعالجة البيولوجية المتقدمة (advanced biological wastewater treatment)، إزالة الفسفور والنيتروجين من مياه الصرف الصحي بطرق بيولوجية بحتة دون إضافة مركبات كيميائية أو اعتماد مراحل فيزيائية تتبع مرحلة المعالجة الثانوية لمياه المجاري، وقد يستخدم المصطلح (advanced wastewater treatment) في بعض المراجع للدلالة على إضافة مرحلة معالجة ثالثية لمياه المجاري كإضافة مرحلة معالجة كيميائية أو فيزيائية أو كليهما معاً لإزالة المواد الصلبة الذائبة والفسفور والنيتروجين و الشوارد المختلفة .

إذن إضافة كلمة بيولوجي (biological) قبل المصطلح (advanced wastewater treatment) هي تدل على استخدام طريقة بيولوجية لإزالة الفسفور والنيتروجين من مياه الصرف. إن ظاهرة النمو الطحلي (بسبب التوفر الغذائي) هي عملية نمو طبيعي ضمن المياه بسبب تزايد النشاط الحيوي، وتتصف المياه ذات النمو الطحلي بوجود أعشاب مائية و أشنيات طحلبية ضمنها بتركيز عالية، إنَّ اضمحلال هذه العضويات يؤدي إلى ترسبها إلى القاع و من ثم تحللها و تأكسدها مما يؤدي في النهاية إلى استهلاك الأكسجين المنحل المتوفر بالمياه و بالتالي ظهور حالات لاهوائية في القاع، مترافقة مع روائح كريهة، إنَّ الفسفور و الأزوت هما المغذيان الرئيسيان المسببان لظاهرة النمو الطحلي، و لذلك فإنَّ إزالتها ضمن محطات المعالجة سيحد من هذه الظاهرة.

3-6 - آليات إزالة المغذيات:

تتمثل هذه الآليات بتوفير الظروف المناسبة لتكاثر البكتيريا المسؤولة عن المعالجة و الحد من الظروف غير المناسبة التي تؤدي إلى تموت هذه البكتيريا، وتعتمد

درجة المعالجة على عدد من الأنواع المحددة من البكتريا ولذلك يجب الأخذ بالحسبان متغيرات معينة مؤثرة أثناء تصميم العملية و تشغيلها.

3-6-1- إزالة الفوسفور من مياه المجاري بالطرق البيولوجية:

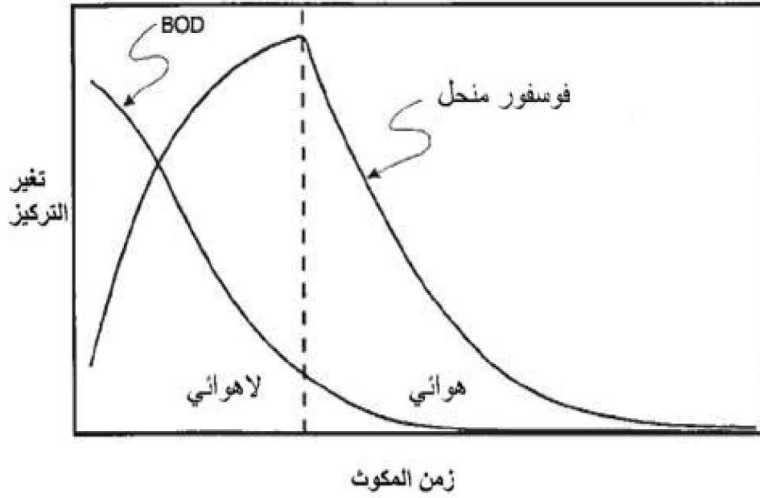
في معظم مياه الصرف يزال حوالي 10% من الفسفور طبيعياً بالترسيب الأولي ما عدا الكمية الداخلة في نسيج الخلية، إنّ الإزالة الإضافية المنجزة في المعالجة البيولوجية التقليدية هي أصغريه لأنه غالباً كل الفسفور الموجود بعد الترسب الابتدائي يكون بشكل منحل (polyphosphate, orthophosphate)، بالإضافة إلى الفسفور المرتبط عضوياً في نسيج الخلية. إن محتوى نسيج الخلية من الفسفور يشكل حوالي خمس محتوى النتروجين، محتوى الفسفور الحقيقي يمكن أن يتغير من 1/7 إلى 1/3 من قيمة النتروجين اعتماداً على ظروف بيئية نوعية، وتتراوح قيمة نسبة الفسفور المزال الموجود في الحمأة الزائدة خلال المعالجة الثانوية بين (10-30)% من تركيز الفسفور الداخل إلى المعالجة الثانوية.

إن مفتاح إزالة الفسفور بيولوجياً هو تعريض الكائنات الحية إلى الظروف الهوائية و اللاهوائية الاختيارية، وإن هذا التعريض المتناوب يجعل امتصاص الكائنات الحية للفسفور أعلى من الطبيعي، إن الفسفور لا يستخدم فقط من أجل تركيب وبقاء الخلية ونقل الطاقة ولكن يخزن أيضاً من أجل الاستخدام اللاحق من قبل الكائنات الحية، وإن الحمأة المحتوية على الفسفور الفائض يتم التخلص منها أو تزال عبر معالجة جانبية (side stream) لتحرير الفائض.

لقد تم البحث في ظاهرة إزالة الفسفور حيويًا (Enhanced Biological Phosphorus Removal) (EBPR) بواسطة الحمأة المنشطة في فترة الستينات وأشير إليها على أنها من متطلبات عمليات الاستقلاب الخلوي للحمأة، ولقد تم إنجاز العديد من الدراسات منذ أوائل السبعينات على

أشكال متنوعة من الآليات التي تتحكم بهذه العملية وقد وجد أنه يجب أن تخضع المعالجة الحيوية للعمليات اللاهوائية لفترة محددة قبل عملية التهوية.

ومن المتطلبات الأساسية لعملية EBPR الاختيار المناسب للعضويات، وإخضاع الحمأة مع مياه الصرف إلى دورة هوائية/لاهوائية و بشكل متعاقب فإن المتعضيات الدقيقة القادرة على تخزين الفسفور في كتلتها الحيوية على شكل متعدد فوسفات (Poly-P) تتكاثر بالانقسام في هذا النظام، يظهر الشكل (3-4) المنحني النظامي لتراكيز BOD و الفوسفور أثناء عملية الإزالة البيولوجية لهما في حوضين لاهوائي وهوائي.



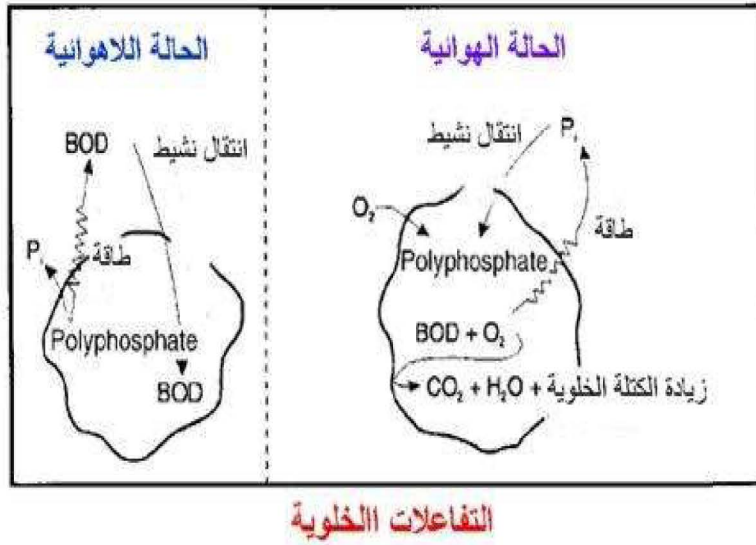
الشكل (3-4) التوضيح البيولوجي للتغير الحاصل لـ BOD & P أثناء إزالتها

إنّ تحرير الفوسفور المعقد المتواجد ضمن الخلايا البكتيريا إلى الوسط المائي يعكس الامتصاص السريع للمواد العضوية BOD في البيئة اللاهوائية، وفي المنطقة الهوائية يتم امتصاص الفوسفات المنحلة ضمن الوسط (المياه) لتصل لتراكيز منخفضة جداً بالتزامن مع الإزالة المستمرة لـ BOD .

لقد طرح العالم Hong et. al في عام 1982 تفسيراً لهذه الآلية الحيوية، إن تحطم البولي فوسفات في المنطقة اللاهوائية يولد طاقة تلزم لنقل الملوثات إلى داخل الخلايا البكتيرية التي يتجمع فيها الفوسفور وهذا يفسر تغيرات تركيز BOD و الفوسفات في المعالجة اللاهوائية. وكنتيجة لذلك فإن هذه البيئة تعمل كم منطقة اختيارية، والبكتريا الم جمعة للفوسفات تعرف بالأسيتوبكتريا (Acinetobacter)، و تتكاثر بالانقسام ضمن هذا النظام.

حالمًا يصل تجمع الخلايا الم جمعة للفوسفات وبقية الكائنات الدقيقة إلى البيئة الهوائية فإن أغلب المواد العضوية BOD سهلة التأكسد ستنقل إلى داخل البكتريا المخزنة للفوسفات. وعندما تتأكسد المواد العضوية BOD فإن الطاقة الناتجة تستخدم لتركيب البولي فوسفات، وتشكل خلايا جديدة وهذه الخلايا الجديدة هي المسؤولة عن إزالة الفسفور في النظام.

إن العملية المتبادلة للحياة الهوائية و اللاهوائية تعطي مياه معالجة ذات تراكيز منخفضة من BOD و الفسفور المنحل كما أنها تنتج حمأة غنية بالبولي فوسفات. افترض العالمان (Tracy and Flammino) تفسيراً أكثر تفصيلاً للعلاقة بين استقلاب الملوثات و البولي فوسفات المخزن كما في الشكل (3-5)، ويجب إن تكون المتعضيات المخزونة من البولي هيدروكسي بيوتيرات (Polyhydroxybutyrate) أو اختصاراً (PHB).



الشكل (3-5) شرح تخطيطي لعملية إزالة المغذيات بيولوجياً

و تظهر الدراسات أن الحموض الدسمة ذات الوزن الجزيئي المنخفض كالحلات هي المصدر المفضل للكربون، إضافة إلى أن أنواع الكاتيونات كالبيوتاسيوم و المغنيزيوم ضرورية لتركيب البولي فوسفات.

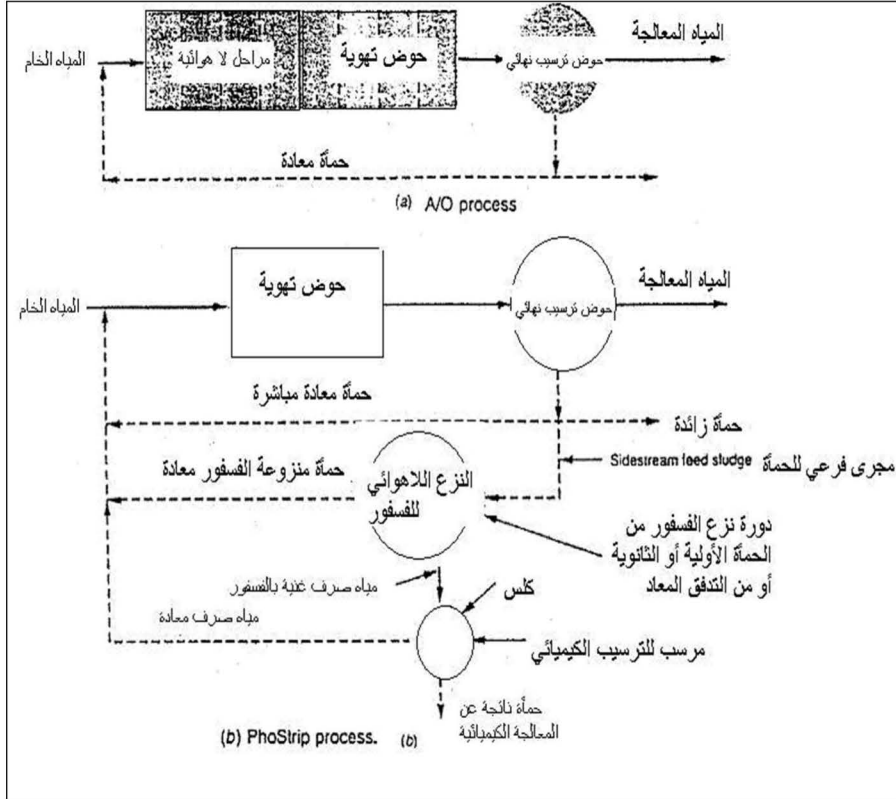
ووفقاً لخصائص مياه الصرف يصمم نظام EBPR لمعدل F/M أعلى ويحقق هذا عموماً درجة إزالة أعلى للفسفور، إن نظاماً يعمل بمعدل أعلى من الـ F/M ينتج كتلة أكبر من الحمأة لضم الفسفور، وبما أن إنتاج الحمأة واستهلاكها هو المسؤول عن الإزالة الصافية للفسفور فإن هذا المتغير هو المفتاح للنجاح بإزالة الفسفور بيولوجياً.

وكمعظم التفاعلات الحيوية تميل العضويات في عملية EBPR إلى pH معتدل، وقد أظهرت الدراسات المخبرية الشاملة أن معدل الامتصاص الأعلى للفسفور يتحقق في مجال pH من 6.8-7.4 ، و تنخفض المعدلات تدريجياً

بحدود 70% عند pH يساوي 6 ، وتحت هذه القيمة تنخفض المعدلات بسرعة حتى تنعدم الإزالة عند $pH = 5$.

ويظهر الشكل (3-6) مخططاً توضيحياً لطريقتين من الطرق البيولوجية لإزالة

الفوسفور:



الشكل (3-6): بعض البدائل لأنظمة إزالة الفوسفور

3-6-2- عملية النزع المباشر للفوسفور A/O

(Main Stream Phosphorus Removal):

تستخدم عملية A/O من أجل الأكسدة الكربونية وإزالة الفوسفور من مياه الصرف، وهذه العملية تندرج تحت نظام النمو المعلق ذي المرحلة الواحدة والذي

تشارك فيه مراحل لاهوائية وهوائية على التوالي كما في الشكل (3-6)، ويجب عمل تدابير احتياطية في هذه الطريقة من أجل النترية وذلك بتأمين المدة الزمنية اللازمة في المرحلة الهوائية وتعاد الحمأة المرسبة إلى بداية المفاعل وتمزج مع المياه الخام الداخلة.

تحت الظروف اللاهوائية إنّ الفوسفور المحتوي في مياه الصرف والكتلة الحية المعادة يتحرر على شكل فوسفات منحل، وبعدها يمتص الفوسفور من قبل الكتلة الحية في المنطقة الهوائية وهكذا سيزال الفوسفور من التدفق في الحمأة الفائضة، وإن تركيز الفوسفور في التدفق الخارج يعتمد بشكل رئيسي على نسبة BOD_5/P لمياه الصرف المعالجة، وقد سجل بأن هذه النسبة عندما تزيد عن 10 فإنّ الفوسفور المنحل في التدفق الخارج ستكون 1 ملغ/ل، وفي الحالات التي تكون فيها نسب BOD_5/P أقل من 10 فإنه يمكن إضافة أملاح المعادن للحصول على تراكيز منخفضة للفوسفور في التدفق الخارج.

3-6-3- عملية النزع الجانبي:

في هذه العملية يقاد قسم من الحمأة المنشطة المعادة من قاع المرسب النهائي إلى حوض نزع الفوسفور اللاهوائي، إن المدة الزمنية اللازمة في حوض النزع تتراوح ما بين 8-12 ساعة، و الفوسفور المحرر في حوض النزع يخرج من الحوض مع الحمأة المنشطة الفقيرة بالفوسفور، ويعاد إلى حوض التهوية، إنّ السائل الطافي (فوق الحمأة) في حوض نزع الفوسفور و الغني بالفوسفور يعالج بالكلس أو أي مادة مروبة في حوض منفصل ويتم التخلص منها إلى أحواض الترسيب الابتدائية أو إلى أحواض ترسيب و ترويق منفصلة لفصل المواد الصلبة ويزال الفوسفور من النظام بالترسيب الكيميائي، إن أنظمة الحمأة المنشطة التقليدية المترافقة مع عمليات نزع الفوسفور

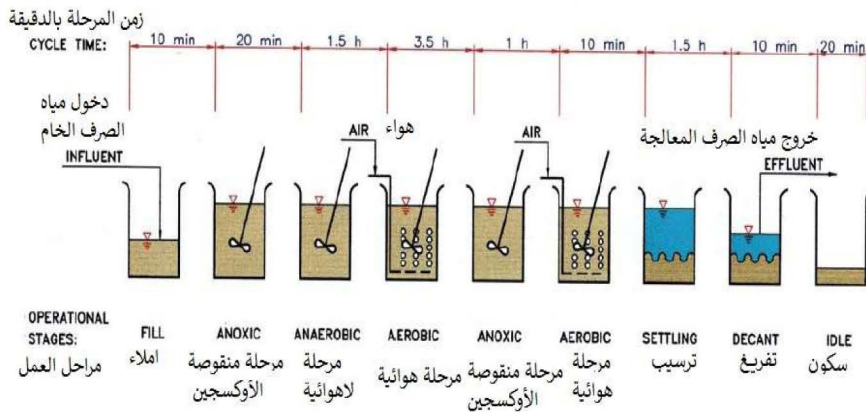
قادرة على الوصول إلى تركيز فوسفور الكلي في مياه الصرف المعالجة إلى أقل من القيمة 1.5 ملغ/ل دون أي عملية ترشيح.

3-6-4- المفاعل الدفقي المتعاقب

(SBR) (Sequencing batch reactor) :

إن نظام SBR يمكن أن يشغل للحصول على الأكسدة الكربونية وإزالة الفسفور والنيتروجين أيضاً كما هو موضح في الشكل (3-7)، وإن إنقاص تركيز هذه الملوثات يمكن إنجازها بإضافة مواد كيميائية أو بدونها وذلك بتغيير دورة التشغيل في المفاعل، وإن الفوسفور يمكن أن يزال بإضافة مروبات أو بيولوجياً بدون إضافة مروبات. إن المرحلة اللاهوائية تحدث تحريراً للفوسفور واستهلاكاً لـ BOD_5 ومن ثم تتم إزالة الفوسفور في المرحلة الهوائية مع الحمأة الزائدة.

ويمكن أن تتم عملية النترة وإزالة النترات في هذا المفاعل كما هو موضح في الشكل (3-4) وذلك بحسب مراحل العمل.



الشكل (3-7) :مراحل تشغيل طريقة SBR لإزالة الكربون والنيتروجين و الفسفور

ويظهر الجدول (5-3) معلومات تصميمية نموذجية للإزالة البيولوجية للفوسفور :

الجدول (5-3) : المعلومات النموذجية للإزالة البيولوجية للفوسفور

العملية			الواحدة	المؤشرات التصميمية
Sequencing batch reactor (SBR)	Phostrip	A/O		
0.5-0.15	0.5-0.1	0.7-0.2	كغ BOD / كغ MLVSS يوم	نسبة الغذاء/عدد الأحياء الدقيقة (F/M)
	30-10	25-2	يوم	زمن المواد الصلبة θ_C
3000-2000	5000-600	-2000 4000	ملغ/ل	تركيز المواد المعلقة في السائل المزوج MLSS
3-1.8 4-1	12-8 10-4	1.5-0.5 3-1	ساعة	زمن المكوث الهيدروليكي - المنطقة اللاهوائية - المنطقة الهوائية
--	50-20	40-25	نسبة مئوية من التدفق الداخل	نسبة إعادة الحمأة
---	20-10	----	نسبة مئوية من التدفق الداخل	التدوير الداخلي

و إنّ محاسن ومساوئ الطرق البيولوجية السابقة لإزالة الفوسفور مبينة في الجدول (3-6) :

الجدول (3-6) : محاسن ومساوئ الطرق البيولوجية لإزالة الفوسفور

المساوئ	المحاسن	العملية
- غير قادرة على الوصول لمستويات عالية من إزالة النتروجين والفوسفور بنفس الوقت. - تحقيق كفاءة الإزالة الجيدة في ظروف التشغيل في الطقس البارد غير مؤكدة. - يجب أن تكون BOD/P كبيرة، و زمن صغير لعمر حمأة . - يمكن أن تكون محدودة مرونة ضبط العملية محدودة	- التشغيل بسيط نسبياً مقارنة مع العمليات الأخرى. - الحمأة الفائضة ذات محتوى عال نسبياً من الفسفور (3-5%) وذات قيمة سمادية . - زمن مكوث هيدروليكي قصير نسبياً - يمكن الوصول إلى نترتة كاملة وتحقيق كفاءة إزالة مقبولة للفسفور.	عملية A/O
- تتطلب الكلس من أجل ترسيب الفوسفور. - تتطلب تركيزاً من الأكسجين المنحل أعلى في السائل الممزوج لمنع تحرر الفوسفور في المرسب. - تحتاج إلى حوض تخزين إضافي من أجل عملية النزع. - استخدام الكلس يمكن أن يسبب مشكلة في الصيانة .	- يمكن أن تدمج بسهولة في محطات الحمأة المنشطة المنفذة سابقاً و العملية مرنة. -عملية إزالة الفوسفات غير محكومة بنسبة BOD/P . - استخدام المواد الكيميائية أقل بكثير من عملية الترسيب الكيميائي. -يمكن الحصول على تراكيز من أورثوفوسفات أقل من 1.5 ملغ/ل.	عملية PHOSTRIP
- مناسبة فقط من أجل التدفقات الصغيرة.	- العملية مرنة جداً من أجل الإزالة المشتركة للنتروجين والفوسفور. - العملية بسيطة التشغيل .	عملية SBR:

كذلك يمكن إزالة الفسفور من مياه المجاري بالطرق الفيزيائية كالترشيح و التناضح العكسي والامتصاص الكربوني، وبالطرق الكيميائية كالترسيب بواسطة الكلّس أو الأملاح المعدنية، ولن نتطرق لهذه الطرق لأنّ بحثنا فقط بالطرق البيولوجية لإزالة الفوسفور من مياه صرف المدايح الفنية، والجدول الآتي (3-7) يوضح تأثيرات عمليات المعالجة وغيرها على إزالة الفسفور:

الجدول (3-7): تأثير طرق المعالجة على نزع الفوسفور من المياه الملوثة

طريقة المعالجة	فعالية إزالة الفسفور %
* المعالجة التقليدية : - المعالجة الأولية. - الحمأة المنشطة. - المرشحات الحجرية. - الأقراص البيولوجية الدوارة .	20 – 10 25 – 10 12 – 8 12 – 8
النزع البيولوجي للفسفور فقط - النزع المباشر (main stream treatment) - النزع الجانبي (side stream treatment)	90 – 70 90 – 70
* النزع البيولوجي المشترك للفسفور والنترجين	90 – 70
النزع الكيميائي : - الترسيب باستخدام الأملاح المعدنية . - الترسيب باستخدام الكلّس .	90 – 70 90 – 70
النزع الفيزيائي : - الترشيح . - التناضح العكسي . - الامتصاص الكربوني .	50 – 20 100 – 90 30 – 10

3-6-5- إزالة النتروجين من مياه المجاري:

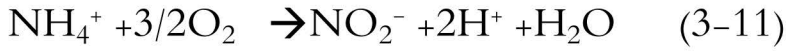
3-6-5-1- النترة (تحويل الأمونيا إلى نترات):

هي عملية تتم بواسطة بكتريا ذاتية التغذية، حيث إن الطاقة اللازمة لنمو البكتريا يتم الحصول عليها من أكسدة مركبات النتروجين، وبشكل أساسي من مركبات الأمونيا.

وتتم العملية على مرحلتين وفق التفاعلين التاليين :

1- في الخطوة الأولى : تتحول الأمونيا إلى نترات كما في المعادلة

بواسطة بكتريا نترزوموناس

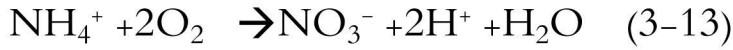


وفي الخطوة الثانية : يتحول النترت إلى نترات بواسطة بكتريا نتروباكتر



حيث تستخدم البكتريا الطاقة المتحررة من هذين التفاعلين من أجل نموها و

بقائها. ويمكن دمج المعادلتين كما يلي :



حيث إن الصيغة ($\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$) تستخدم للتعبير عن التركيب الكيميائي لخلايا البكتريا، وبالتالي يمكن تمثيل كامل عملية الأكسدة للأمونيا والتركيب الخلوي للبكتريا من خلال التفاعل التالي :



ويمكن إزالة كافة أشكال النتروجين الموجود في مياه الصرف سواء أكان النتروجين عضوياً أم غير عضوي وسواء أكان بصيغة NO_X^- أم كان بصيغة NH_X^+ في محطات المعالجة البيولوجية والكيميائية والفيزيائية ، وتختلف نسب الإزالة كما هو موضح في الجدول (3-8):

الجدول (3-8) : تأثير عمليات المعالجة المختلفة وعمليات التشغيل على إزالة مركبات النتروجين

النسبة المئوية للمخزون الكلية للنتروجين الداخل إلى العملية ¹⁰	مركبات النتروجين			عملية المعالجة
	NO ₃ ⁻	NH ₃ - NH ₄ ⁺	النتروجين العضوي	
%10-5 %30-10	- لا تأثير - تأثير طفيف	- لا تأثير - تزيل أقل من 10 %	- تزيل من 10-20 % تزيل ¹¹ من 15-50 % يتم تحويل ¹² Urea → NH ₃ -NH ₄ ⁺	المعالجة التقليدية المعالجة الأولية المعالجة الثانوية
%70-30 %95-70	- ضئيل - إزالة 80-90 %	- إزالة 40-70 % - لا تأثير	- لا تأثير - لا تأثير - تحويل جزئي إلى NH ₃ -NH ₄ ⁺	العمليات البيولوجية - الهضم البكتيري - إزالة النتروجين
%80-50	- تحويل إلى خلايا	- تحويل إلى خلايا		- حصاد الطحالب

10 اعتماداً على نسبة النتر وجين الداخل الذي تتأثر به العمليات ومرحل المعالجة في محطة المعالجة.

11 النتروجين العضوي المنحل بشكل اليوريا والأحماض الأمينية حيث تنقص بشكل أساسي بالمعالجة الثانوية.

12 السهم يدل على التحول إلى.

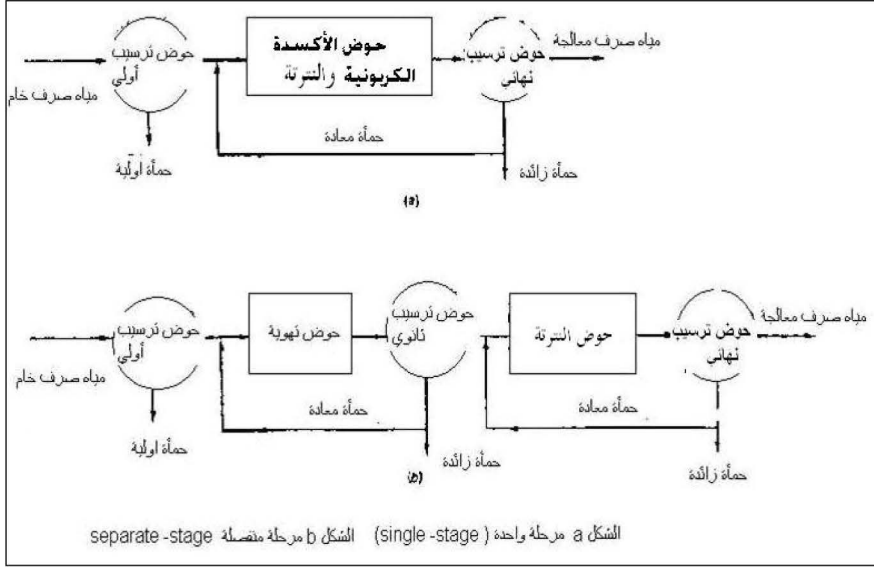
5-20% 20-90%	- لا تأثير - إزالة جزيئية عن طريق النترنة وإزالة النتروجين	إلى تحويل NO_3^- إلى جزيئية إزالة بالتجريد	- تأثير محدود - تحويل جزيئي $\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$ إلى	- النترنة - برك الأكسدة
80-95% 20-30% 10-20%	- لا تأثير - تأثير ضئيل - تأثير ضئيل	- يزيل 90- % 100 - تأثير ضئيل - تأثير ضئيل	- غير محدد - يزيل 50-70% - يزيل حوالي 30-50%	العمليات الكيميائية - الكلورة الحدية - الترويب الكيميائي - الامتزاز بالكربون
70-95%	- لا تأثير	- ضئيل ، غير محدد	- تبادل أيوني انتقائي للأمونيا	

%90-70	- يزيل 90-75 %	- يزيل 80 % - تأثير ضئيل	- تأثير ضئيل	- تبادل أيوني انتقائي للمنرات
%40-20	- تأثير ضئيل	- تأثير ضئيل - يزيل 60 % 95 %	- يزيل 30 - 95 % الكربون العضوي المعلق	عمليات التزئيش الفيزيائي.
%90-50	- لا تأثير	- يزيل 30 %	- لا تأثير	التجريد بالهواء
%50-40	- يزيل 30 % 50 %	- يزيل 30 % 50 %	- يزيل 100 % من الكربون العضوي المعلق.	الدبلزة الكهربائية
%90-80	- يزيل 90-60 % 50 %	- يزيل 90-60 %	- يزيل 60-90 %	التناضح العكسي

3-6-5-2- تصنيف عمليات النترية :

يمكن تصنيف عمليات النترية اعتماداً على درجة الفصل بين النترية والأكسدة الكربونية حيث إن الأكسدة الكربونية و النترية يمكن أن تحدثا معاً في مفاعل واحد ويعبر عن ذلك بالمرحلة الواحدة (single stage)، أما في المراحل المنفصلة (separate stage) فإن عملية الأكسدة الكربونية و النترية تحدثان في مفاعلات منفصلة .

وأيضاً فإن مفاعلات النمو الملتصق أو النمو المعلق يمكن أن تستخدم لكلاً من النظامين نظام المرحلة الواحدة ونظام المراحل المنفصلة ، وذلك موضح بالشكل (3-8) :



الشكل (3-8) : أشكال نموذجية لطرق الأكسدة الكربونية و النترية

الغالب في عمليات المعالجة البيولوجية الهوائية أن تكون الكائنات التي تقوم بعملية النترية موجودة ولكن بأعداد محدودة ، وإن قابلية مختلف عمليات الحمأة المنشطة للنترية تتعلق بنسبة BOD_5/TKN ، حيث إنه من أجل نسب ل

BOD₅/TKN تتراوح بين 1-3 والتي تتوافق مع عدد غير محدد مع الأنظمة ذات النترة بمراحل منفصلة.

في معظم عمليات الحمأة المنشطة التقليدية فإن الجزء من الكائنات الحية التي تقوم بعمليات النترة سيكون أقل من 0.083 كما هو مبين في الجدول (3-9) ، وقد وجد أنه عندما تكون النسبة BOD₅ مقسوما على TKN < 5 فإن العملية يمكن أن تصنف كعملية مشتركة للأكسدة الكربونية و النترة (مرحلة واحدة)، وعندما تكون هذه النسبة أقل من 3 فإنها تصنف كعملية نترة ذات مراحل منفصلة.

الجدول (3-9): العلاقة بين نسبة الأحياء الدقيقة المنترة وبين نسبة BOD₅ إلى TKN :

BOD ₅ إلى TKN	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9
نسبة النترة	0.3 5	0.2 1	0.1 2	0.08 3	0.06 4	0.05 4	0.04 3	0.03 7	0.03 3	0.02 9

3-6-5-3-عملية النمو المعلق :

من الخبرة والدراسات المخبرية وجد بأن العوامل التي تؤثر بشكل مهم على عملية النترة هي: تركيز الأمونيا و النتريت ونسبة BOD₅/TKN ، وتركيز الأوكسجين المنحل، ودرجة الحرارة وقيمة pH مياه الصرف وإنّ تأثير هذه العوامل مبين في الجدول (3-10).

الجدول (3-10): العوامل المؤثرة على عملية النترة

المؤشر	وصف التأثير
- تركيز الأمونيا و النتريت والأكسجين المنحل: لقد لوحظ بأن تركيز الأمونيا و النتريت يؤثر على معدل النمو الأعظمي لكل من النتروزوموناس و النتروباكتريا و يمكن تمثيل هذا التأثير بالمعادلة الحركية التالية : $\mu_n = \mu_{mn} \times \frac{N}{Kn+N} \times \frac{Do}{Ko+Do} - K_{dn} \quad (3-15)$ حيث أن μ_n : معدل النمو النوعي للأحياء الدقيقة المنترة بوحدة (يوم⁻¹)، μ_{nm} : معدل النمو الأعظمي للبكتريا المنترة بوحدة يوم⁻¹ N: تركيز النتروجين (غرام/م³) . وبما أن معدل نمو النتروباكتريا أكبر بشكل ملحوظ من النتروزوموناس فإن معدل النترة يقاس عادة (بحسب) باستخدام تحول الأمونيا إلى نتريت كخطوة محددة للمعدل. K_n: ثابت سرعة النصف ويمثل تركيز المواد العضوية والمغذيات (المحددة للنمو) عند نصف معدل استعمال المواد العضوية والمغذيات النوعي الأعظمي (غرام/م³). k_{dn}: معامل اضمحلال الأحياء الدقيقة المنترة بوحدة يوم⁻¹. كما وجد أن مستوى DO المنحل يؤثر على معدل النمو الأعظمي النوعي للأحياء المنترة كما في المعادلة المذكورة أعلاه، K_O :معامل التثبيط للأوكسجين (inhibition Oxygen coefficient) بوحدة ملغ/ل	لقد لوحظ بأن تركيز الأمونيا و النتريت يؤثر على معدل النمو الأعظمي لكل من النتروزوموناس و النتروباكتريا و يمكن تمثيل هذا التأثير بالمعادلة الحركية التالية : $\mu_n = \mu_{mn} \times \frac{N}{Kn+N} \times \frac{Do}{Ko+Do} - K_{dn} \quad (3-15)$ حيث أن μ_n : معدل النمو النوعي للأحياء الدقيقة المنترة بوحدة (يوم⁻¹)، μ_{nm} : معدل النمو الأعظمي للبكتريا المنترة بوحدة يوم⁻¹ N: تركيز النتروجين (غرام/م³) . وبما أن معدل نمو النتروباكتريا أكبر بشكل ملحوظ من النتروزوموناس فإن معدل النترة يقاس عادة (بحسب) باستخدام تحول الأمونيا إلى نتريت كخطوة محددة للمعدل. K_n: ثابت سرعة النصف ويمثل تركيز المواد العضوية والمغذيات (المحددة للنمو) عند نصف معدل استعمال المواد العضوية والمغذيات النوعي الأعظمي (غرام/م³). k_{dn}: معامل اضمحلال الأحياء الدقيقة المنترة بوحدة يوم⁻¹. كما وجد أن مستوى DO المنحل يؤثر على معدل النمو الأعظمي النوعي للأحياء المنترة كما في المعادلة المذكورة أعلاه، K_O :معامل التثبيط للأوكسجين (inhibition Oxygen coefficient) بوحدة ملغ/ل
النسبة BOD ₅ /TKN	إن الجزء من الأحياء المنترة المتواجدة في السائل المعلق في عملية النترة والأكسدة الكربونية بمرحلة واحدة متعلق بالنسبة BOD₅/TKN .

درجة الحرارة:	إن لدرجة الحرارة تأثير هام على ثابت معدل النترة وهذا الثابت يتناقص مع تناقص درجة الحرارة ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة التالية : $\mu'_{nm} = \mu_{nm}\theta^{(T-20)} \quad (3-16)$ حيث T : درجة الحرارة مقدرة بالدرجات المئوية θ : معامل فعالية درجة الحرارة وهو ثابت تجريبي قيمته النموذجية هنا هي 1.07.
تأثير pH مياه الصرف:	إن عملية النترة حساسة جداً لقيمة pH مياه الصرف، ومعدل النترة يهبط بشكل ملحوظ عند قيمة أقل من 6.8 لـ pH مياه الصرف، عند قيم لـ pH مياه الصرف تتراوح بين 5.8 إلى 6 يكون معدل النترة أقل بـ (10-20)% من معدل النترة عند قيمة pH لمياه الصرف تساوي 7، إن القيم المثلى لـ pH مياه الصرف من أجل إحداث عملية النترة تقع في المجال (7.5-8)، وعادة يتم الحفاظ على قيمة pH مياه الصرف بين القيم (7-7.2) من أجل إحداث عملية النترة.

إنّ تطبيق المعاملات الحركية النموذجية لعملية النترة ذات النمو المعلق في مفاعل كامل المزج تتضمن الخطوات التالية :

- 1- اختيار عامل أمان مناسب للتعامل مع الحمولات اليومية والعابرة والذروة (أصغر عامل أمان مقبول هو (2) بالنسبة لعمر الحمأة وهو مطلوب للتأكد من حدوث نترجة الأمونيا خلال الذروات اليومية في الحمولات).
- 2- اختيار أصغر تركيز للأوكسجين المنحل في السائل الممزوج، وإنّ أقل مستوى DO هو 2 ملغ/ل وهو مطلوب لتجنب تأثيرات المستويات المنخفضة من DO على معدل النترة .

- 3- تحديد قيمة pH التشغيلية، إذ إن قيمة pH المثلى يجب أن تقع ضمن المجال (7.2-9)، وكل 1 ملغ /ل من NH_4^+-N مؤكسدة تسبب تحطيم 7.14 ملغ/ل من القلوية معبراً عنها مثل CaCO_3 .
 - 4- تحديد معدل النمو الأعظمي للكائنات الحية المنتزة المتناسب مع ظروف درجات الحرارة والأكسجين المنحل و pH .
 - 5- تحديد عمر الحمأة الأصغري (زمن بقاء الكتلة الحية) اعتماداً على معدل النمو المقترح والمحدد في الخطوة (4) .
 - 6- تحديد عمر الحمأة التصميمي باستخدام عامل الأمان المحدد في الخطوة (1).
 - 7- تحديد تركيز النتروجين في التدفق الخارج .
 - 8- تحديد زمن المكوث الهيدروليكي للحصول على التركيز الضروري للنتروجين في التدفق الخارج .
 - 9- تحديد معامل استعمال المادة العضوية (U) عندما تكون العملية المستخدمة للنتزة والأكسدة الكربونية هي ذات مرحلة واحدة .
- إنّ المعاملات الحركية النموذجية لعمليات النتزة التي تحدث في طريقة النمو المعلق مبيّنة في الجدول (3-12):
- القيم النموذجية للعوامل الحركية لعمليات النتزة في طريقة النمو المعلق (قيم تعود إلى مزرعة جراثومية صافية)¹³:

13 القيم للأحياء الدقيقة المنتزة في نظام الحمأة المنشطة يأخذ قيم أصغر من الموضحة في الجدول .

الجدول (3-11): المعاملات الحركية لعملية النترة الخاصة بالحماة المنشطة

لمعالجة مياه الصرف الصحي

القيمة		الواحدة	المعامل
القيمة النموذجية (14)	المجال		
0.75	0.9-0.2	غرام VSS/غرام VSS × يوم	μ_{nm}
0.74	1-0.5	غرام NH_4-N /م ³	K_n
0.12	0.15-0.1	غرام NH_4-N /غرام VSS	Y_n
0.08	0.15-0.05	غرام VSS/غرام VSS × يوم	k_{dn}
0.5	0.6-0.4	غرام/م ³	K_o

الجدول (3-12): قيمة معامل فعالية درجة الحرارة

قيم معامل فعالية درجة الحرارة (θ)		المعامل
القيمة النموذجية	المجال	
1.07	1.123-1.06	μ_n
1.053	1.123-1.03	K_n
1.04	1.08-1.03	k_{dn}

14 هذه القيم في درجة حرارة 20 درجة مئوية.

3-6-5-4- مقارنة بدائل النتزرة :

إن الجدول (3-13) يوضح محاسن ومساوئ بدائل أنظمة النتزرة والأكسدة الكربونية المشتركة:

الجدول (3-13) المقارنة بين بدائل النتزرة

نوع النظام	المحاسن	المساوئ:
النتزرة ذات المرحلة الواحدة في النمو المعلق :	- معالجة مشتركة للأمونيا والكربون في مرحلة واحدة - إمكانية أن تكون الأمونيا في التدفق منخفضة.	- لا يوجد حماية من السمية. - ثبات التشغيل غير كبير - الثبات مرتبط بتشغيل المروك الثانوي بسبب دورة الكتلة الحية المعادة. - تحتاج حجوم أكبر للأحواض في الطقس البارد.
في النمو الملتصق:	معالجة مشتركة للأمونيا والكربون في مرحلة واحدة - ثبات غير مرتبط بالمروك الثانوي لأن الأحياء ملتصقة بالوسط .	- لا توجد حماية ضد السمية. - التشغيل ذو ثبات متوسط الأمونيا الخارجة مع التدفق عادة هي بتركيز 1-3 ملغ/ل (ما عدا مفاعل RBC). - في معظم الحالات ليس من المستحسن التشغيل في الطقس البارد.
النتزرة ذات المرحلة المنفصلة: النمو المعلق:	- حماية جيدة ضد معظم المواد السامة - تشغيل مستقر.	- مخزون الحمأة يتطلب ضبطاً حذراً عندما تكون النسبة BOD_5/TKN منخفضة .

-استقرار التشغيل مرتبط بتشغيل المروق الثانوي بسبب الحمأة المعادة. - تتطلب عدداً أكبر من وحدات المعالجة منها في حالة النتزة والأكسدة الكربونية المشتركة. تركيز الأمونيا في التدفق الخارج من العملية عادة 1-3 ملغ/ل وتحتاج إلى وحدات أكثر منها لعمليات الإزالة المشتركة للكربون والنتزة.	- مستوى منخفض للأمونيا في التدفق الخارج. - حماية جيدة ضد معظم المواد السامة. - ثبات في التشغيل لأنّ المعالجة غير مرتبطة بالمرسب النهائي و الأحياء الدقيقة مرتبطة بالوسط الحامل.	النمو الملتصق
---	--	--------------------------

3-5-5-6 إزالة النترات (denitrification) من مياه الصرف

الصحي:

إن معدل إزالة النترات يمكن أن يعبر عنه في بالمعادلة التالية DN1 :

$$U_{DN}^u = U_{DN} \times 1.9^{(T-20)}(1 - DO) \quad (3 - 17)$$

U_{DN}^u : المعدل العام لإزالة النترات.

U_{DN} المعدل النوعي لإزالة النترات معبراً عنه بـ $\text{kgNO}_3\text{-N/kgMLVSS}$

T: درجة حرارة مياه الصرف (درجة مئوية).

DO: تركيز الأوكسجين المنحل في الحوض المنقوص الأكسجين بوحدة

(ملغ/ل).

إن مؤشر الأوكسجين المنحل DO في المعادلة السابقة يشير إلى أن معدل إزالة

النترات (تحويلها إلى غاز النتروجين) يتناهى بشكل خطي إلى الصفر عندما يصل تركيز

الأوكسجين المنحل إلى 1 ملغ/ل، هذا وإن معدلات إزالة النتрат النوعية لمختلف مصادر الكربون مبينة في الجدول (3-14) ، وإن هذه القيم تابعة أيضاً إلى درجة الحرارة، أمّا قيم المعاملات الحركية الخاصة بإزالة النترات لمياه الصرف المنزلي فهي مبينة في الجدول (3-15):

الجدول (3-14) : المعدلات النموذجية لإزالة النتروجين لأنواع مختلفة من مصادر الكربون

درجة الحرارة (درجة مئوية)	المعدل النوعي إزالة النترات U_{DN} $kg NO_3^- -$ $N/kg V_{ss}.d$	مصدر الكربون
25	0.32-0.21	الميثانول
20	0.9-0.12	الميثانول
27-15	0.11-0.03	مياه صرف صحي
20-12	0.048-0.017	الأيض الذاتي (endogenous) (metabolism)

إن المعاملات الحركية لإزالة النترات موضحة في الجدول الآتي:
الجدول (3-15) : المعاملات الحركية لإزالة النترات

العامل	الواحدة	القيمة	
		المجال	القيمة النموذجية ¹⁵
μ_m	غرام	0.9-0.3	0.3
K_s	(غرام/VSS×يوم)	0.2 -0.06	0.1
Y	غرام NO_3^- -N/غرام VSS	0.9-0.4	0.8
k_d	غرام (غرام/VSS×يوم)	-0.04 0.08	0.04

3-6-5-6- النترتة و إزالة النترات :

3-6-5-6-1- نظام (single - stage):

لقد طورت العمليات التي دمجت فيها خطوات الأكسدة الكربونية والنترتة وإزالة النترات في عملية واحدة مستخدمة الكربون الموجود في مياه الصرف بشكل طبيعي، وذلك بسبب الكلفة العالية لمصادر الكربون العضوي الخارجية .

المحاسن النوعية لهذه العمليات تتضمن :

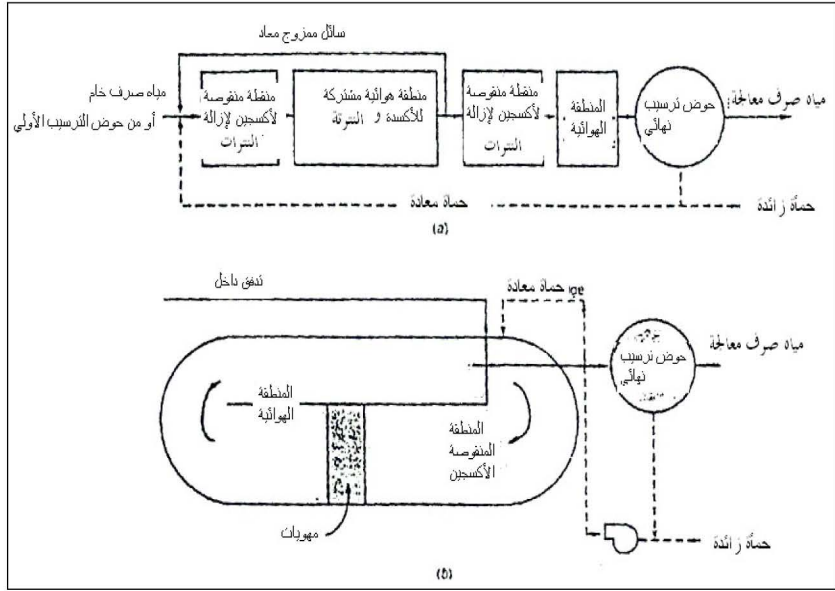
- إنقاص حجم الهواء المطلوب للوصول إلى النترتة وإزالة BOD_5 .
- إلغاء الحاجة إلى مصادر إضافية من الكربون العضوي مثل الميثانول لإزالة النترات.

- معظم هذه الأنظمة قادرة على إزالة النتروجين الكلي بنسبة (60-80)% وقد سجلت معدلات إزالة تتراوح بين (85-95)%.

¹⁵ هذه القيم في درجة حرارة 20 درجة مئوية.

توجد أمثلة على هذه العمليات في مخططات الشكل (3-9) في هذه العمليات المشتركة يستخدم كل من الكربون الموجود في مياه الصرف والكربون المتبقي في أجزاء نسيج الخلايا البكتيرية الميتة لتحقيق إزالة للنترات .

فمن أجل إزالة النترات استخدمت سلسلة من المراحل التبادلية الهوائية ومنقوصة الأوكسجين بدون ترسيب وسطي كما في الشكل (3-9) a بما يسمى عملية (Bardenpho) . إن المناطق المنقوصة الأوكسجين يمكن أن تنفذ في خنادق الأكسدة بضبط مستويات الأوكسجين كما في الشكل (3-9) b .



الشكل (3-9): أنظمة مشتركة تحوي على مرحلة النترتة وإزالة النترات

الشكل (a): عملية Bardenpho ذات المراحل الأربعة ، الشكل (b) :

خنادق الأكسدة

كما أنّ عملية SBR يمكن أن تكون أيضاً مهيأة بشكل خاص لتؤمن فترات زمنية هوائية ومنقوصة الأوكسجين (Anoxic) خلال دورة التشغيل .

إن المعدلات الأعظمية لإزالة النترات لمياه الصرف في نظام إزالة النترات ذو المرحلة الواحدة يتراوح بين :

$$0.075 \rightarrow 0.115 \text{ kgNO}_3\text{-N/kgMLVSS}$$

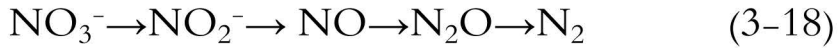
في الدرجة 20 درجة مئوية في المفاعل المنقوص الأوكسجين تحت الظروف الكربونية المحدودة، معدلات إزالة النترا في الأنظمة ذات المرحلة الواحدة تقريباً تساوي نصف المعدل للنظام المنفصل . باستخدام الكربون الناتج عن التفسخ كمصدر للطاقة فإنَّ معدلات الإزالة تتراوح بين:

$$0.017 \rightarrow 0.048 \text{ kgNO}_3\text{-N/kgMLVSS}$$

إن المعدلات المنخفضة لإزالة النترا تحدث في الأنظمة ذات أعمار حمأة مرتفعة.

3-6-5-6-2- الآلية الكيميائية لإزالة النترا :

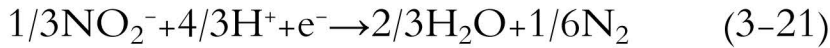
في الحوض المنقوص الأوكسجين يتم اختزال النترا إلى نتروجين ينطلق في الجو وفق المعادلة:



ويتم ذلك وفقاً للمعادلات الآتية:



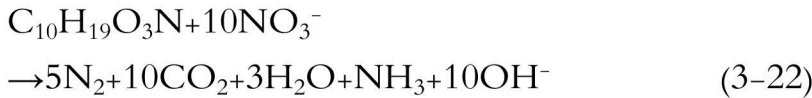
للتريت :



بحسب مصدر الكربون المتوفر فإن الآلية الكيميائية لإزالة النترا في النظام

المنفصل يمكن وصفها كما يلي:

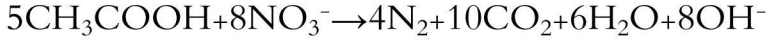
مصدر الكربون مياه الصرف:



مصدر الكربون الميثانول:



مصدر الكربون حمض الخل :



(3-24)

عملياً إنّ (25-30)% من كمية الميثانول المطلوب للطاقة مطلوب للتركيب الخلوي.

على أية حال فمياه الصرف المعاملة بيولوجياً والتي ستخضع لعملية إزالة النترات يمكن أن تحتوي على نترات أو أوكسجين منحل ، وحيث إن النترات والنترات والأوكسجين المنحل موجودون فإن الميثانول المطلوب يمكن أن يحسب باستخدام المعادلة التجريبية :

$$C_m = 2.47N_0 + 1.53N_i + 0.87DO \quad (3-25)$$

حيث إن C_m : تركيز الميثانول المطلوب ملغ/ل.

N_0 : تركيز $\text{NO}_3^- - \text{N}$ الأولي (ملغ/ل).

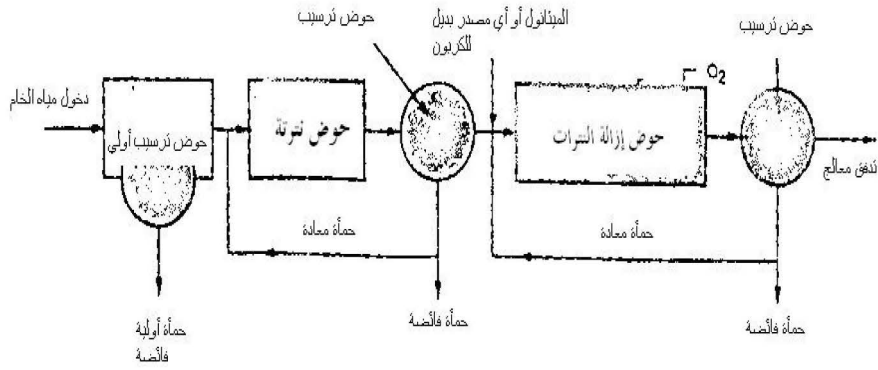
N_i : تركيز $\text{NO}_2^- - \text{N}$ الأولي (ملغ/ل).

DO : تركيز الأوكسجين المنحل الأولي (ملغ/ل).

3-6-5-3- أنظمة النمو المعلق لإزالة النترات:

إن تصميم أنظمة إزالة النترات في النمو المعلق مشابهة في الكثير من التفاصيل لتصميم أنظمة الحماة المنشطة المستخدمة لإزالة الكربون العضوي، وقد استخدم كلا النوعين من المفاعلات ذات المزج الكامل والجريان الدفقي وبما أن غاز النتروجين يتحرر خلال عملية إزالة النترات فالعملية تصبح غالباً مرتبطة بالمواد الصلبة البيولوجية. إنّ إزالة فقاعات غاز النتروجين المرتبطة يمكن إتمامها في كل من القنوات المهواة التي تستخدم للوصل بين المفاعل البيولوجي ومنشآت الترسيب أو في حوض منفصل حيث تتم فيه تهوية المواد الصلبة لفترة قصيرة (5-10) دقائق.

يوضح الشكل (3-10) أحد المخططات المنهجية التي استخدمت لإزالة النتروجين من مياه الصرف بمراحل منفصلة، وهذا المخطط أيضاً يمكن أن يستخدم لإزالة الفسفور كما أنّ هذه التقنية يمكن أن تستخدم أيضاً للتغلب على صعوبات فصل الكائنات الحية النامية غير المرغوبة، وإنّ التدفق الخارج من مرحلة إزالة النترات يمكن أن يرشح أو تضاف إليه الشبة قبل الترشيح من أجل إزالة الفسفور المتبقي والمواد الصلبة المعلقة .



الشكل (3-10): مخطط الجريان لعملية معالجة بيولوجية ذات مرحلتين لإزالة النتروجين

إنّ المؤشرات التصميمية لعملية المعالجة البيولوجية ذات المرحلتين لإزالة النتروجين من مياه الصرف المنزلي مبينة في الجدول (3-16):

الجدول (3-16): المؤشرات التصميمية لعملية المعالجة البيولوجية ذات المرحلتين لإزالة النتروجين من مياه الصرف المنزلي.

عملية المعالجة	نوع المفاعل	عمر الحمأة θ_C^{16} بوحدة (يوم)	زمن المكوث الهيدروليكي t^{17} بالساعة	MLVSS (ملغ/ل)	pH	معامل درجة الحرارة 18
نترتة مرحلة واحدة	جريان دفقي	20-8	15-6	3500-2000	8-7	1.1-1.08
إزالة النترات	جريان دفقي	5-1	2-0.2	2000-1000	7-6.5	1.16-1.14

إن الأجسام الصلبة الطيارة المعلقة في المزيج في مفاعلات النترتة تحتوي على الكائنات الحية المسؤولة عن تحويل الكربون العضوي (إزالة BOD) وتلك المسؤولة عن عملية النترتة. إن تأثيرات المتغيرات البيئية والتشغيلية على عملية إزالة النترات ذات المراحل المنفصلة مسجلة في الجدول (3-17).

16 هذه القيم في درجة حرارة 20 مئوية.

17 هذه القيم في درجة حرارة 20 مئوية.

18 علاقة معامل درجة الحرارة المستخدمة لحساب هذه القيم تعطى بالعلاقة : $K_t = K_{20} \times \theta^{(t-20)}$

الجدول (3-17): تأثير المتغيرات البيئية والتشغيلية الأساسية على عملية إزالة النترات.

العامل	وصف التأثير
تركيز النترات	لقد لوحظ أن تركيز النترات سوف يؤثر على نمو الكائنات الحية المسؤولة عن عملية إزالة النترات وهذا التأثير لتركيز النترات قد حسب باستخدام العلاقة: $U_{DN}^u = U_{DN} \times CN / (CN + K_{CN}) \quad (3-26)$ CN : تركيز النترات بوحدة ملغ/ل K_{CN}: ثابت نصف الإشباع للنترات بوحدة ملغ/ل
تركيز الكربون	إن تأثير تركيز الكربون حُسب أيضاً باستخدام علاقة مونود. $U_{DN}^u = U_{DN} \times M / (M + K_M) \quad (3-27)$ حيث M تركيز الميثانول بوحدة ملغ/ل K_M: ثابت نصف الإشباع للميثانول بوحدة ملغ/ل
pH	إن المجال المثالي يقع ضمن المجال (6.5-7.5) والظروف المثالية تكون بقيمة pH مساوية إلى 7

3-6-6-الإزالة المشتركة للنيتروجين و الفسفور بالطرق البيولوجية:

لقد طورت العديد من العمليات البيولوجية من أجل الإزالة المشتركة للفسفور والنيتروجين وكثير منها تستخدم عملية الحمأة المنشطة، ولكن تؤمن ارتباطات لمناطق أو وحدات هوائية ولا هوائية و منقوصة الأكسجين للحصول على إزالة للفسفور والنيتروجين، وإن أكثر هذه الطرق شيوعاً والمستخدم لإزالة النيتروجين والفسفور هي:

(1) A²O (Anaerobic Anoxic Oxic).

- (2) Bardenpho ذات المراحل الخمس.
- (3) UCT (Named for University Of Cape Town)
- (4) VIP (Named for Virginia Initiative Plant in) (Norfolk Virginia).
- (5) UASBAO (UASB Anoxic Oxidation)

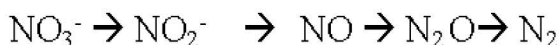
3-6-1-عملية A^2O :

إن عملية A^2O هي تعديل لعملية A/O ومزودة بمنطقة منقوصة الأكسجين من أجل إزالة النترات كما في الشكل (3-11)، إن مدة المكوث في المنطقة المنقوصة الأكسجين هي تقريباً ساعة، وهذه المنطقة ذات تركيز ضعيف من الأوكسجين المنحل ولكن الأوكسجين المرتبط كيميائياً على شكل نترات و نترت هو متوفر بسبب تدوير السائل الممزوج من الجزء الهوائي.

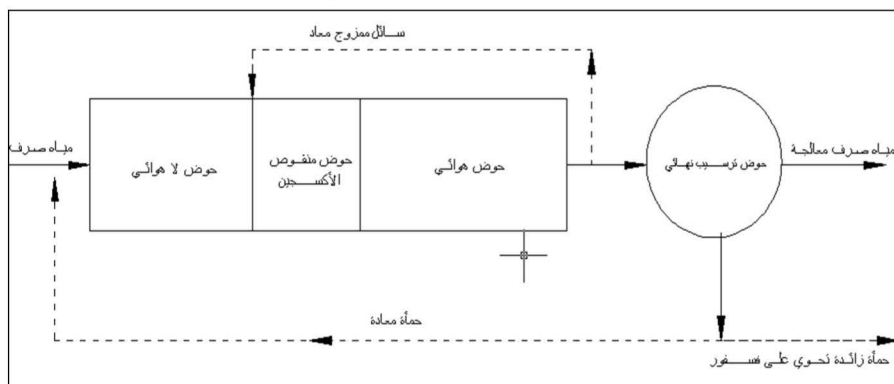
تراكيز الفوسفور المتوقعة في التدفق الخارج أقل من 2 ملغ/ل مياه الصرف المنزلي بدون ترشيح التدفق الخارج وإذا أضفنا عملية الترشيح يمكن أن نحصل على تركيز أقل من 1.5 ملغ/ل، وفي هذه الطريقة تتم إعادة الحمأة من حوض الترسيب النهائي إلى بداية المرحلة اللاهوائية وتحت الظروف اللاهوائية فإن الفسفور الموجود في عضويات ماء الصرف وفي كتلة الخلايا المعادة ينتقل إلى شكل الفوسفات القابل للانحلال في الماء، ويحصل في المرحلة اللاهوائية إنقاص واضح لقيمة BOD_5 ، بعد ذلك يستهلك الفوسفور المنحل في الماء بشكل فوسفات من قبل كتلة الخلايا في المرحلة الهوائية، يزال الفوسفور بعد ذلك من السائل مع الحمأة المصرفة من قاع المرسب النهائي بعد أن أصبح هذا الفسفور جزءاً من تركيب الكتلة الخلوية المترسبة إلى قاع حوض الترسيب النهائي.

وإن إزالة الفسفور هذه تعتمد على نسبة BOD_5 إلى الفوسفور في ماء الصرف المعالج، وهناك تقارير تشير إلى أنّ هذه النسبة عندما تتجاوز 10 إلى 1 فإننا يمكن أن نتوصل إلى قيمة للفسفور في الماء المعالج 1 ملغ/ل أو أقل.

وعندما تنتقل المياه إلى المرحلة المنقوصة الأكسجين يتم هناك إزالة النتروجين الذي كان بالأصل بشكل مركبات النشادر في المرحلة اللاهوائية وهذه المركبات عندما تمر إلى المرحلة الهوائية تتحول إلى مركبات النتريت والنترات، وعندما نعيد نسبة 100% إلى 300% من التدفق إلى المنطقة المنقوصة الأكسجين مع البكتريا الهوائية التي تم تنشيطها في المرحلة الهوائية تصبح هذه البكتريا فاقدة الأكسجين الجزئي في المرحلة المنقوصة الأكسجين مما يجعلها ترجع مركبات NO_2^- ، NO_3^- إلى NO ثم N_2O ثم N ، كما هو مبين في المعادلة التالية :



وهذه المركبات الثلاثة الأخيرة هي مركبات غازية تنطلق في الهواء الجوي مما يؤدي في نهاية المرحلة المنقوصة الأكسجين إلى نقصان واضح في كمية النتريت و النترات.

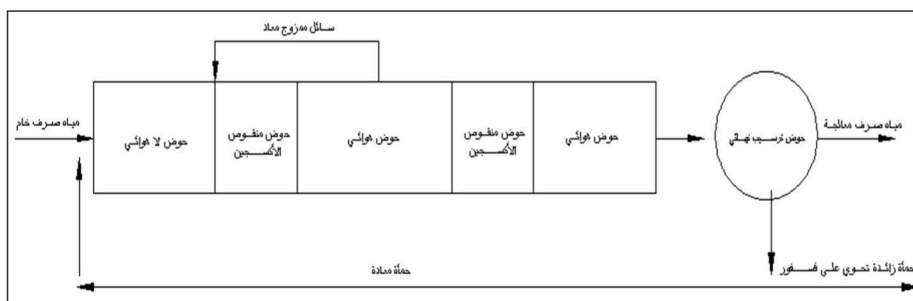


الشكل (3-11) : طريقة A^2/O

3-6-2-عملية Bardenpho (خمس مراحل):

يمكن أن تعدل لإزالة مشتركة للفوسفور والنتروجين وإنّ التعاقب المرحلي وطريقة التدوير مختلفة عن عملية A^2O ، كما هو مبين في الشكل (3-12)، إنّ نظام الخمس

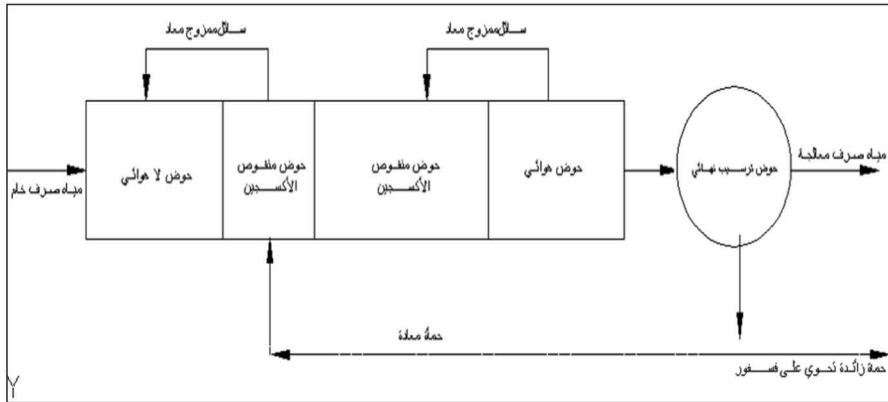
مراحل يؤمن مراحل هوائية و- منقوصة الأكسجين- ولاهوائية لإزالة كل من الكربون والنيتروجين والفوسفور، إن المرحلة المنقوصة الأكسجين الثانية تزود من أجل إزالة إضافية للنترات باستخدام النترات المنتجة في المرحلة الهوائية كمستقبل للإلكترون والكربون العضوي كمعطي للإلكترون، أما المرحلة الهوائية النهائية فإنها تستخدم لنزع غاز النيتروجين المتبقي من المحلول ولتقليل تحرير الفسفور في المرق النهائي .



الشكل (3-12) : Bardenpho (خمس مراحل)

3-6-6-3-عملية UCT :

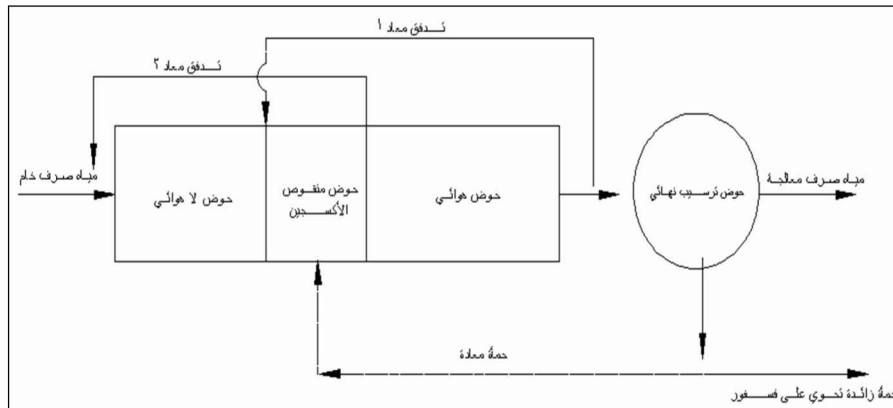
إن عملية UCT المطورة في جامعة Cape Town مشابهة لعملية A^2O و لكن مع اختلافين كما هو مبين في الشكل (3-13) , هما الحمأة المنشطة المعادة التي تعاد إلى المرحلة المنقوصة الأكسجين بدلاً من المرحلة اللاهوائية، والدورة الداخلية (دورة السائل المعاد) تكون من المرحلة المنقوصة الأكسجين إلى المرحلة اللاهوائية. وبإعادة الحمأة المنشطة إلى المرحلة المنقوصة الأكسجين فإن إدخال النترات إلى المرحلة اللاهوائية سوف يُلغى، وبالتالي هذا سيجسّن تحرر الفوسفور في المرحلة اللاهوائية. إن ميزة الدورة الداخلية تدعم الاستفادة العضوية المتزايدة في المرحلة اللاهوائية .



الشكل (3-13) : عملية UCT

3-6-6-4-عملية VIP:

إن عملية VIP (اسم محطة فرجينيا في نور فورك- فيرجينيا) ، وهي مشابهة لعمليات UCT و A^2O ما عدا الطرق المستخدمة لأنظمة التدوير، كما هو بين في الشكل (3-14)، حيث تدخل الحمأة المنشطة المعادة إلى بداية المنطقة المنقوصة الأكسجين مع الدورة المنترمة (السائل المعاد الحاوي على نترات) من المنطقة الهوائية، السائل الممزوج من المنطقة المنقوصة الأكسجين يعاد إلى بداية المنطقة اللاهوائية.



الشكل (3-14) : عملية VIP

3-6-4- طريقة UASBAO (UASB Anoxic Oxic):

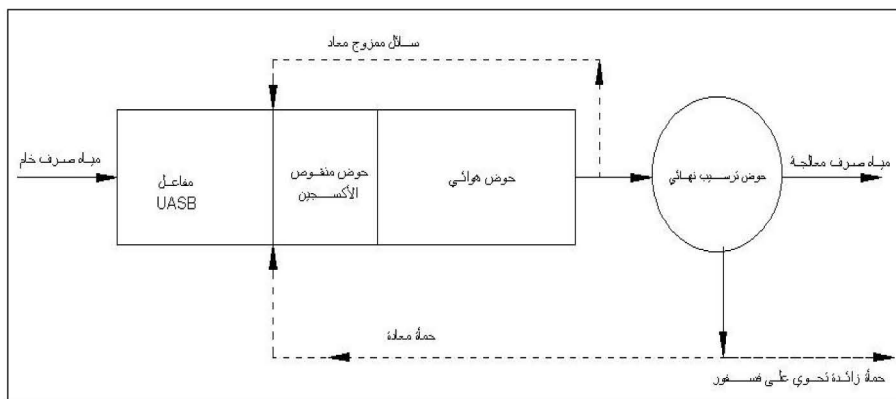
لقد تم ابتكار طريقة جديدة من المعالجة تعتبر نموذج هجين من طرق المعالجة الثلاث:

- طريقة المعالجة اللاهوائية في المفاعل ذي طبقة الحمأة المعلقة وذو التدفق إلى الأعلى (UASB Anaerobic Sludge-Blanket Process) (up-flow).

- طريقة: A^2/O .

- طريقة: VIP.

وذلك لما تتمتع به طريقتا A^2/O و VIP من إزالة عالية للملوثات العضوية ، وإزالة عالية للفسفور والنيتروجين، وباستبدال الجزء اللاهوائي منهما بمفاعل UASB للاستفادة من خصائص المعالجة البيولوجية اللاهوائية في مفاعل UASB من أجل تقليل كمية الحمأة، وتقليل طاقة التهوية اللازمة لحوض التهوية كما هو مبين في الشكل رقم (3-15).



الشكل (3-15): مخططاً تكنولوجياً لطريقة المعالجة بطريقة UASBAO

و تم اختبار هذه الطريقة في سوريا في جامعة حلب في الفترة بين عام 2008 حتى عام 2012 من قبل الباحثان البروفسور المساعد عبد الله صغير البروفسورة سلوى حجار و، حيث أنجزت الكثير من التجارب عليها للتأكد من جودة المعالجة،

و حيث تمت معالجة مياه صرف المذابح بالفنية معالجة بيولوجية لاهوائية في المفاعل UASB للمياه المصرفة من المذابح الفنية متبوعاً بحوض منقوص الأكسجين ثم حوض تهوية ثم حوض ترسيب نهائي، وبينت التجارب التي أجريت على الجهاز المخبري المبتكر أنه يمكن الحصول على كفاءة إزالة عالية لكافة الملوثات عند أزمنة مكوث هيدروليكية في أجزاء منشأة المعالجة كما يأتي: مفاعل UASB: 24 ساعة، الحوض المنقوص الأكسجين: 12 ساعة، حوض التهوية: 24 ساعة، حوض الترسيب النهائي: 3 ساعات على الأقل، وذلك بدرجة حرارة (27 ± 1) درجة مئوية في الحوض المنقوص الأكسجين وحوض التهوية، وبتدفق حمأة معادة من المرسب النهائي إلى بداية الحوض المنقوص الأكسجين مقداره 100% من تدفق المياه الخام وبتدفق سائل ممزوج معاد من حوض التهوية إلى الحوض المنقوص الأكسجين مقداره 300%، حيث كانت كفاءة إزالة المؤشرات المختلفة وفق ما يلي: NO_3^- ، PO_4^{3-} ، NH_4^+ ، TSS، TDS، TS، BOD_5 ، COD هي على التوالي: 97.3%، 96.9%، 52.9%، 47.9%، 91.2%، 73%، 83.6%، 93% كما هو مبين في الجدول رقم (3-18)، و بهذه الطريقة من المعالجة يمكن أن توليد الغاز الحيوي، وإنتاج حمأة تستخدم كمحسن للتربة ، وإعادة استخدام المياه المعالجة في عمليات غسيل الأراضي في المذبح الفني وسقاية المزروعات. الجدول (3-18): نتائج المعالجة الموافقة لأزمنة المكوث الهيدروليكية في مفاعل UASB والحوض المنقوص الأكسجين وحوض التهوية (24، 12، 24) ساعة على الترتيب في طريقة UASBAO :

المؤشر									مصدر المياه الملوثة
NO_3^- (ملغ/ل)	NH_4^+-N (ملغ/ل)	PO_4^{3-} (ملغ/ل)	TSS (ملغ/ل)	TDS (ملغ/ل)	TS (ملغ/ل)	BOD_5 (ملغ/ل)	COD (ملغ/ل)	pH	
160	326	125	323	2477	2800	2761	5310	6.64	وسطى قيم مؤشرات مياه الصرف الخام
11	88	20.5	28.4	1289.8	1318.3	86	143	8.67	وسطى قيم مؤشرات مياه الصرف المعالجة
-70 80	--	20	150	--	--	150	300		القيمة المسموحة لري المحاصيل الخارجية (ملغ/ل)
93	73	83.6	91.2	47.9	52.9	96.9	97.3		وسطى كفاءة الإزالة %

3-7- مقارنة بين عمليات الإزالة المشتركة للفوسفور والنيتروجين بيولوجياً:

إنّ مقارنة مختلف عمليات الإزالة للفوسفور والنيتروجين بيولوجياً موجودة في الجدول (3-19).

إن المحاسن المشتركة بين جميع هذه العمليات هي كميات الحمأة الناشئة مساوية لما ينشأ من الحمأة في أنظمة الحمأة المنشطة التقليدية، والمتطلبات الكيميائية قليلة أو معدومة من أجل إزالة الفوسفور، إنّ محاسن ومساوئ عمليات الإزالة المشتركة للنيتروجين والفوسفور موضحة في الجدول الآتي:

الجدول (3-19): محاسن ومساوئ عمليات الإزالة المشتركة للتزوجين

والفوسفور

المساوئ	المحاسن	العملية
الأداء في ظروف التشغيل في الطقس البارد غير موثوق وهي أكثر تعقيداً من A/O.	- الحمأة الفائضة ذات محتوى عال من الفوسفور نسبياً (3-5%) ولها قيمة كسماد. - تعطي قدرة أفضل على إزالة النترات من عملية A/O.	A ² /O
- إن التدوير الداخلي الكبير يزيد من متطلبات الضخ والعمليات الصيانة، والمتطلبات من أجل الإضافة الكيميائية غير مؤكدة. - تتطلب حجم مفاعل أكبر من عملية A²O، إن الترتيب الأولي ينقص قدرة العملية على إزالة النتروجين والفوسفور. - يطلب لهذه العملية نسبة مرتفعة لـ BOD\P. - إن تأثيرات درجة الحرارة على أداء العملية ليست معروفة بشكل جيد.	- تنتج حمأة قليلة أقل من كل أنظمة إزالة الفوسفور البيولوجية، وهذه الحمأة ذات محتوى عالي نسبياً من الفوسفور وذات قيمة كسماد. - النتروجين الكلي ينقص إلى مستويات أخفض من معظم العمليات الأخرى. هذه الطريقة مستخدمة بشكل واسع في جنوب أفريقيا.	عملية (Barodenpho)
- إن التدوير الداخلي الكبير للسائل المعاد يزيد من	- إن إعادة الحمأة من قاع المرسب النهائي إلى المنطقة	عملية UCT :

المنقوصة الأكسجين تؤمن ظروفًا أفضل لإزالة الفسفور في الحوض اللاهوائي. متطلبات طاقة الضخ وعمليات الصيانة ، كما أنّ متطلبات إضافة المواد الكيميائية غير معروفة. - كما يتطلب نسبة عالية من BOD\P، وإنّ تأثير درجة الحرارة على أداء العمليات غير معروفة بشكل جيد .		
- التدوير الداخلي الكبير للسائل المعاد يزيد من متطلبات طاقة الضخ وعمليات الصيانة. -درجات الحرارة المنخفضة تنقص من قابلية إزالة النتروجين.	- دورة النترات المعادة إلى المنطقة المنقوصة الأكسجين تنقص من المتطلبات الأوكسجينية ومن استهلاك القلوية، إنّ الدورة المعادة للتدفق الخارج من المنطقة المنقوصة الأكسجين إلى المنطقة اللاهوائية تنقص من حمولة النترات على المنطقة الهوائية. - الطريقة ملائمة لإزالة الفسفور على مدى العام وإزالة فصلية للنترات.	عملية VIP :

إن معلومات التصميم النموذجية للإزالة المشتركة للنتروجين والفسفور بالعمليات البيولوجية من مياه الصرف المنزلي موضحة رقم (3-20):

الجدول (3-20) : معلومات التصميم النموذجية للإزالة المشتركة للنتروجين والفوسفور بالعمليات البيولوجية من مياه الصرف المنزلي

العملية				الوحدة	المؤشر التصميمي
VIP	UCT	عملية (BardenpHo) خمس مراحل	A ² /O		
-0.1 0.2	-0.1 0.2	0.2-0.1	-0.15 0.25	Kg BOD ₅ / KgMLVSS.day	نسبة الغذاء/ الأحياء الدقيقة (F/M)
10-5	25-10	20-10	25-5	يوم	زمن مكوث المواد الصلبة
-1500 3000	-3000 4000	4000-3000	-3000 4000	ملغ/ل	MLSS
2-1	2-1	1.5-0.5	-0.5 1.5	ساعة	زمن المكوث الهيدروليكي - الخوض اللاهوائي
2-1	4-2	3-1	1-0.5		- الخوض المنقوص الأكسجين
6-4	12-4	12-4	8-4		- حوض التهوية
-80 100	-50 100	100-50	-25 100	نسبة مئوية من تدفق مياه الصرف الخام	الحماة المنشطة المعاداة
-100 300	-100 600	400-200	-100 400	نسبة مئوية من تدفق مياه الصرف الخام	إعادة السائل الممزوج (الدورة الداخلية)

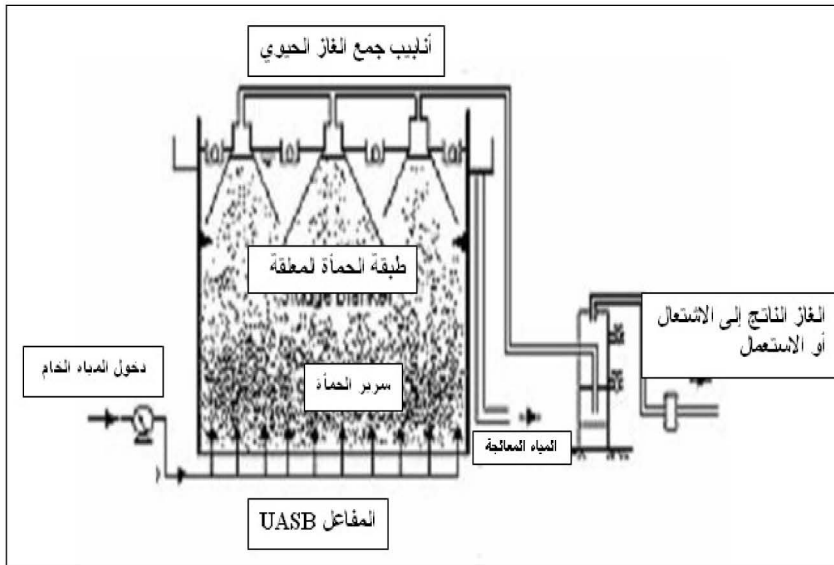
3-8-المعالجة البيولوجية اللاهوائية في المفاعل ذي الجريان الصاعد عبر طبقة

الحمأة المعلقة (Up flow Anaerobic Sludge – UASB

: Blanket Process)

3-8-1- عملية المعالجة في المفاعل UASB:

في مفاعل UASB يدخل الماء المطلوب معالجته من قاع المفاعل ويجري باتجاه الأعلى عبر طبقة الحمأة المؤلفة من حبيبات أو جزيئات متشكلة بيولوجياً، حيث يمكن أن يوصف المفاعل UASB كنظام تمر فيه مياه الصرف أولاً عبر سرير حمأة ممتد يحتوي على تركيز كبير من الكتلة الحيوية، ويمكن أن توجد هذه الحمأة في المفاعل بشكل حبيبات، وإن القسم الأعظم من المعالجة يحدث في سرير الحمأة هذا، وإن القسم المتبقي من الملوثات في الماء يمر بعد ذلك عبر ما يدعى بطبقة الحمأة المعلقة، أو بطانة الحمأة والتي هي أقل كثافة من سرير الحمأة كما في الشكل (3-16).



الشكل (3-16): مقطع رأسي لمفاعل UASB

وإن تأمين حجم كاف لطبقة الحمأة المعلقة فوق سرير الحمأة هو أمر ضروري لتأمين معالجة لاحقة للملوثات مياه الصرف، والتي مرت عبر سرير الحمأة بدون معالجة بسبب تشكل أفنية عشوائية في سرير الحمأة في بعض المواقع، وطبقة الحمأة المعلقة هذه ستحافظ على استقرار التدفق الخارج من المفاعل وإن الغازات الناتجة عن العملية (والتي هي بشكل رئيس غاز الميثان و غاز ثاني أكسيد الكربون) تسبب حركة دوران داخلية تساعد في تشكيل الحبيبات البيولوجية و الحفاظ عليها. إن بعض فقاعات الغاز المتشكل ضمن طبقة الحمأة تبقى ملتصقة على الحبيبات البيولوجية، التي ترتفع إلى أعلى المفاعل و تصطدم بالسطح السفلي للصفائح المشكلة لحجرات تجمع الغاز مما يسبب تحرر فقاعات الغاز منها، بعد ذلك تهبط الجزيئات التي تخلصت من فقاعات الغاز إلى سطح طبقة الحمأة أما الغاز ومياه الصرف المعالجة فيغادران المفاعل.

وإن التصميم الصحيح للمفاعل يؤمن حجز أكبر كمية ممكنة من الحمأة، بحيث نحافظ على مدة بقاء للمواد الصلبة فيه تتراوح بين 50 وبين 100 يوم أو أكثر، بحيث نحافظ على زمن مكوث هيدروليكي صغير للسائل في المفاعل قدر الإمكان مما يسمح بتقليل حجم المفاعل اللازم.

وبشكل عام فإن سرير الحمأة يشغل عادة ما يتراوح بين 30% و 60% من حجم المفاعل وتشغل طبقة الحمأة المعلقة ما يتراوح بين 20% و 30% من حجم المفاعل ويشغل فاصل الغازات عن السائل وعن المواد الصلبة 15-30 % من الحجم الكلي.

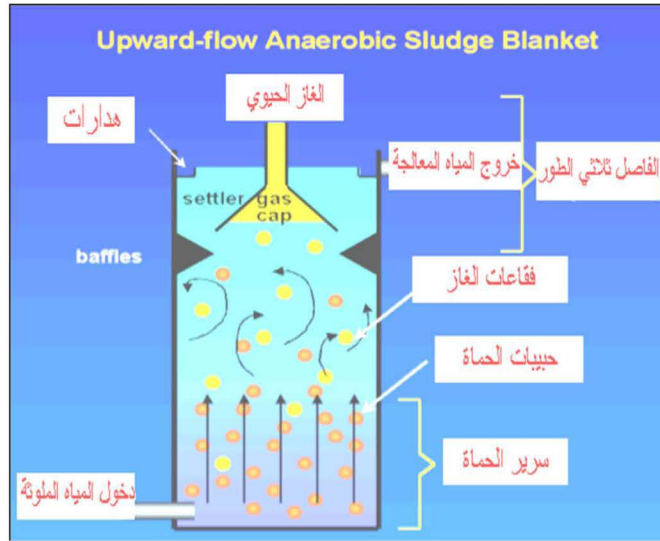
3-8-2- ملحة تاريخية عن المفاعل UASB :

قام الدكتور (Gatze Lettinga) وزملاؤه في نهايات السبعينات من جامعة (Wageningen) في هولندا بتطوير هذا المفاعل و أعيد التركيز على أهمية هذا المفاعل من قبل الدكتور (Perry McCarty) من جامعة ستانفورد في الولايات المتحدة الأمريكية.

كان فريق ليتنغا يقوم بتجارب مستخدماً مبدأ المرشح اللاهوائي (AF) (Anaerobic Filter) في مفاعل لاهوائي عالي المردود والذي يثبت غشاؤه الحيوي فوق حشوة سرير ذات حبيبات خاملة، وأثناء القيام بتجارب الـ (AF) لاحظ ليتنغا أنه بالإضافة إلى الغشاء الحيوي الملتصق على حبيبات الحشوة فقد ساهمت نسبة عالية من الكتل الحيوية في زيادة عدد إجمالي الحبيبات الحرة.

تجسد مبدأ عمل الـ (UASB) أثناء رحلة قام بها ليتنغا إلى جنوب أفريقيا حين لاحظ في منشأة لمعالجة مياه صرف صناعي ذي حمل عضوي عالي أن الحمأة كانت تتحول إلى حبيبات متراصة ضمن ما يدعى الهاضم المروق (Clarigestor) ، الذي يمكن اعتباره كسلف لـ (UASB)، وكان القسم العلوي منه مكشوفاً دون قمع غازي. نتج مبدأ الـ (UASB) من الاعتقاد بأن النواة المكونة من حبيبات الحشوة ليست لازمة للوصول لمستويات عالية للحمأة النشيطة في المفاعل، وإنه يمكن الاعتماد على مستويات عالية من النواة الحيوية التي تشكل حبيبات الحمأة وتبقى معلقة ضمن المفاعل.

وقد تم تركيب أول محطة معالجة من النوع UASB من أجل معالجة المياه الملوثة الناتجة عن صناعة مطاحن السكر في هولندا، وبعد ذلك فقد تم تركيب مفاعل UASB في عدد كبير من المعامل في هولندا مثل معامل نشاء البطاطا ومعامل إعادة تصنيع الورق. أول منشورات حول مبدأ تصميم الـ (UASB) ظهرت باللغة الهولندية في المجلات التقنية في نهايات السبعينات ، وأول ظهور عالمي كان في عام 1980 كما الشكل (3-17)



الشكل (3-17) : مفاعل UASB

3-8-3- تصميم نظام دخول المياه الخام إلى المفاعل UASB:

من الضروري في المفاعل UASB الحصول على تماس أمثل بين الحمأة الموجودة ضمن المفاعل والمياه الخام الداخلة إلى المفاعل، وكذلك أيضاً من الضروري تجنب تشكل أقنية تمر فيها المياه بدون معالجة عبر سرير الحمأة لذلك يجب تصميم نظام دخول وتوزيع المياه الخام ضمن المفاعل بشكل جيد.

وإن تصميم نظام دخول وتوزيع المياه الخام ضمن المفاعل يتعلق بالعوامل الطبوغرافية وتصميم محطة الضخ واحتمال انسداد أنابيب دخول و توزيع المياه الخام إلى داخل المفاعل، لذلك توجد طريقتان لإدخال وتوزيع المياه الخام ضمن المفاعل:

الطريقة الأولى: هي إدخال وتوزيع المياه الخام ضمن المفاعل بنظام الثقالة ، وذلك عبر أنابيب تغذية تدخل من أعلى المفاعل لتوزع المياه أسفل المفاعل، و يفضل استخدام هذا النظام لمياه الصرف ذات التركيز الكبير من المواد المعلقة.

الطريقة الثانية: وهي ضخ مياه الصرف الخام من أسفل المفاعل عبر أنبوب رئيسي و أنابيب جانبية مضاعفة ، و يفضل استخدام هذا النظام في حالة المياه المحتوية على

تركيز صغير من المواد المعلقة، وتبعاً لتوصيات ليتنغا وهوسلوف تحدد عدد فتحات التغذية بالمياه الخام تبعاً لتركيز الحمأة داخل المفاعل ومعدلات التحميل.

وبشكل عام كل فتحة تغذية تستطيع تغذية مساحة تتراوح بين 1-3 م² من سطح المفاعل والقيمة 1 م² يمكن تطبيقها عندما يكون معدل الحمولة العضوية في واحدة الحجم هو 1 كغ COD/م³. يوم وأما القيم 2-3 م² فيمكن تطبيقها عندما يكون معدل التحميل العضوي في واحدة الحجم أكبر من 2 كغ COD/م³. يوم. وبغض النظر عن عدد فتحات التغذية والتوزيع فإن السرعة الأصغر والأعظمية للتدفق الخارج من فوهات التوزيع يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار في التصميم حيث إن السرعة الأعظمية لخروج المياه الخام من فوهات التوزيع يجب أن لا تزيد عن 4 م/ ثانية، والسرعة الأصغر يجب أن لا تقل عن 0.5 م/ ثانية .

3-8-4- تصميم نظام جمع المياه المعالجة في المفاعل UASB:

إن تدفق المياه المعالجة يجب أن يخرج من المفاعل عبر عدة أقنية موزعة في منطقة تفريغ المياه المعالجة، وإن تصميم أقنية جمع المياه المعالجة لا يختلف عن تصميم الهدارات بحيث يصمم بناء على معدل التحميل على هدارات المخرج، ويجب أن لا يتجاوز القيمة 185 م³/م. يوم، إن عرض أقنية الجمع يجب أن لا يقل عن 2. سم وذلك من أجل تسهيل عمليات الصيانة، وأحياناً تتشكل طبقة من الزبد في أعلى المفاعل، ويمكن أن يحدث أيضاً تراكم للحمأة في أقنية جمع التدفق المعالج، لذلك يجب تنظيف هذه الأقنية بشكل متكرر لمنع انسدادها.

3-8-5- إقلاع المفاعل UASB:

إن من إحدى مساوئ المعالجة البيولوجية اللاهوائية هي زمن الإقلاع الكبير بالمقارنة مع المفاعلات الهوائية، وذلك بسبب صغر معدل الاصطناع الحيوي (إنتاج

الحمأة)، وبالتالي تحتاج المفاعلات اللاهوائية إلى زمن كبير من أجل تحقيق الحالة المستقرة، وقد يستغرق زمن إقلاع المفاعلات اللاهوائية حتى 3 أشهر، وهذا يتعلق بشكل أساس بدرجة الحرارة والحمل الهيدروليكي فمثلاً عندما تكون درجة الحرارة أكبر من 20 درجة مئوية فمن المتوقع أن يتم إقلاع المفاعل خلال فترة لا تزيد عن 3-4 أسابيع، أما في حال انخفاض درجة الحرارة فقد يستغرق إقلاع المفاعل 3-4 أشهر .

وهناك أربع طرق للإقلاع وصولاً للحالة المستقرة وهي:

- (1) جعل زمن المكوث الهيدروليكي أثناء إقلاع في المفاعل معادلاً لضعف زمن المكوث التصميمي، أي يتم تشغيل المفاعل على تدفق يعادل نصف التدفق التصميمي.
- (2) إعادة تدوير المياه المعالجة الخارجة من المفاعل بالكامل أي يصبح المفاعل كجملعة مغلقة يتم فيها إعادة تدوير المياه المعالجة على شكل حلقة شبه مغلقة وتمتاز هذه الطريقة بتحقيق الإقلاع بأقصر وقت ممكن وذلك بسبب الحفاظ على تركيز عال من الكتلة الحيوية (حمأة + مواد مغذية) ضمن المفاعل وضمن مياه الصرف الداخلة إلى المفاعل.
- (3) جعل المفاعل يعمل وكأنه قد وصل إلى الحالة المستقرة أي يكون زمن المكوث فيه أثناء فترة الإقلاع مماثلة لما سيكون في الحالة المستقرة وتمتاز هذه الطريقة بسهولة العمل ولكنها تستغرق وقتاً طويلاً لحدوث الإقلاع.
- (4) تمديد المياه الخام الداخلة إلى المفاعل: ينصح بتمديد المياه الخام في مرحلة إقلاع المفاعل عند معالجة مياه صرف فيها تركيز COD أكبر من 4000-5000 ملغ/ل وذلك من أجل الحصول على تشكّل جيد للحمأة داخل المفاعل.

3-8-6- العوامل التصميمية والتشغيلية المؤثرة على كفاءة المعالجة في

المفاعل UASB:

3-8-6-1- تأثير التحميل العضوي في واحدة الحجم (Organic)

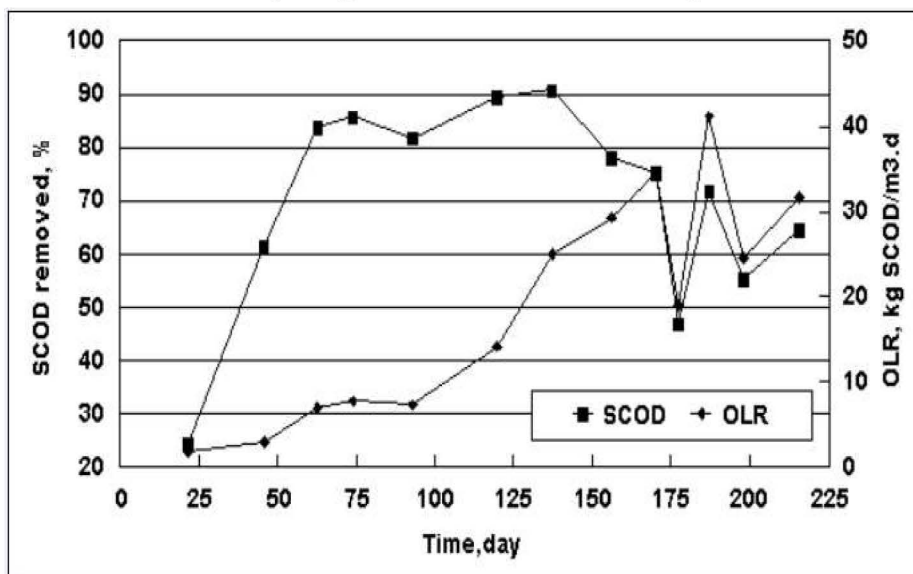
Load Rate على كفاءة المعالجة في المفاعل UASB:

إن كلاً من التحميل الهيدروليكي والتحميل العضوي الملائم للمفاعل UASB يتعلق بخصائص مياه الصرف ونوعية وكمية الأحياء الدقيقة .

- فقد بين سيتوسبو (1997) بأنه يمكن تحقيق كفاءة لإزالة الـ COD تصل حتى 85% وذلك بمعدل تحميل عضوي 30 كغ COD / م³.يوم .

- وفي دراسة مشابهة لرويز (1997) أكد بأنه يمكن الحصول على كفاءة معالجة جيدة في المفاعل UASB ، وذلك من أجل معدل تحميل عضوي 1- 6.5 مرة من معدل التحميل العضوي للمعالجة اللاهوائية بالترشيح.

- وفقاً للبحث الذي قامت به جامعة شريف فإن معدل التحميل العضوي وعلاقته بالكفاءة موضحة بالشكل رقم (3-18) حيث تم الدراسة على مياه الصرف الناتجة عن عمل المسالخ الفنية والذي يمكن منه استنتاج مايلي:



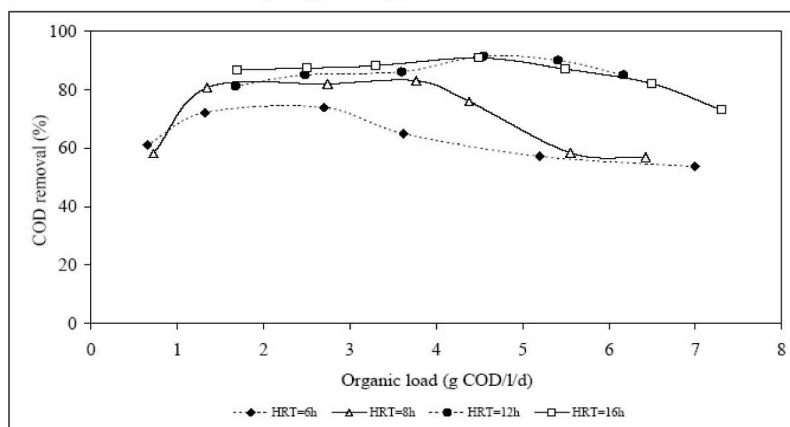
الشكل (3-18): العلاقة بين معدل الحمولة العضوية الحجمية وكفاءة إزالة

SCOD

- في الأشهر الثلاثة الأولى لتشغيل المفاعل تم زيادة معدل التحميل العضوي وذلك من أجل السماح بتطور جيد لأعداد البكتريا اللاهوائية حيث كان معدل الحمولة العضوية حوالي 6 كغ COD / م³. يوم في اليوم 65 من بدء التشغيل والكفاءة كانت بحدود 33 % .

- بعد ظهور الحمأة اللاهوائية وتكيفها تم زيادة معدل التحميل العضوي إلى 14.2 كغ COD / م³. يوم وذلك في الأيام 109-130 وفي اليوم 131-143 يوم تم زيادة معدل التحميل العضوي إلى 25 كغ COD / م³. يوم ومع ذلك لم تنخفض كفاءة إزالة SCOD حيث بقيت الكفاءة تتراوح بين 70-83 % وذلك عند درجة حرارة 31-35 مئوية.

وتجدر الإشارة إلى أن هناك علاقة مباشرة بين ثلاث متحولات وهي : درجة الحرارة ضمن المفاعل وزمن المكوث الهيدروليكي فيه ومعدل التحميل العضوي (Organic Load Rate) والذي يرمز له OLR فلكل زمن مكوث هيدروليكي في درجة حرارة ثابتة هناك معدل مثالي للتحميل العضوي يتوافق معه وهذا ما أكدته الدراسة التي قامت بها إحدى الجامعات البرتغالية على مياه الصرف الناتجة عن معامل الألبان والشكل (3-19) يوضح النتائج التي حصلوا عليها في بحثهم:



الشكل (3-19): العلاقة بين معدل التحميل العضوي وكفاءة إزالة COD في أزمنة مكوث هيدروليكية مختلفة.

ونلاحظ من الشكل (3-19) مايلي:

القيمة المثلى لـ ORL (التي تعطي أكبر إزالة لـ COD) بدلالة زمن المكوث الهيدروليكي:

■ لزمن مكوث 6 ساعات هي 2.6 غ COD / لتر / يوم وكفاءة إزالة COD هي 73%.

■ لزمن مكوث 8 ساعات هي 3.8 غ COD / لتر / يوم وكفاءة إزالة COD هي 85%.

■ لزمن مكوث 12 ساعات هي 4.8 غ COD / لتر / يوم وكفاءة إزالة COD هي 92%.

■ لزمن مكوث 16 ساعات هي 4.8 غ COD / لتر / يوم وكفاءة إزالة COD هي 92%.

ويلاحظ : من أجل قيمة معينة لـ OLR ازدياد كفاءة الإزالة بازدياد زمن المكوث الهيدروليكي.

3-8-6-2- تأثير زمن المكوث الهيدروليكي (Hydraulic Retention Time) والذي يرمز له بـ HRT على كفاءة المعالجة في المفاعل UASB:

يعتبر زمن المكوث الهيدروليكي من أهم العوامل التصميمية التي تحكم كفاءة المعالجة

فزمن المكوث الهيدروليكي يرتبط بالتدفق الهيدروليكي بالعلاقة:

زمن المكوث الهيدروليكي = التدفق / حجم المفاعل

التدفق = مساحة مقطع المفاعل X السرعة الشاقولية

وبالتالي فإنه من الضروري عند تصميم المفاعل UASB اختيار زمن المكوث الهيدروليكي المناسب الذي يحقق سرعة شاقولية مناسبة من أجل تأمين زمن ملائم للتماس بين المياه الخام وكريات الحمأة الموجودة ضمن المفاعل.

وقد قامت جامعة أفيرو البرتغالية بدراسة تأثير زمن المكوث الهيدروليكي لمياه الصرف الناتجة عن صناعة الألبان ومن أجل الدراسة تم اختيار أربعة أزمنة مكوث هيدروليكية (HRT) (6-8-12-16) ساعة ومعدل تحميل عضوي يتراوح في المجال (1-8) كغ. COD / م³. يوم ودرجة الحرارة كانت تتراوح بين (34-36) درجة مئوية والسرعة الشاقولية هي 0.11-0.27 (م/ساعة) وتبين ما يلي:

1- من أجل زمن مكوث هيدروليكي يقع ضمن المجال (6-16) ساعة فإن ازدياد زمن البقاء الهيدروليكي من 6-12 ساعة ينتج عنه تحسين كبير في كفاءة المعالجة للمفاعل UASB.

2- عند ازدياد زمن المكوث الهيدروليكي في المجال 12-16 ساعة فإن معدل الإزالة تحسن بشكل ضئيل جداً في بعض الحالات وفي بعض الحالات انخفض أيضاً بشكل ضئيل

حيث لوحظ أنّ كفاءة المعالجة معبراً عنها بإزالة COD عند قيمة $5=ORL$ كغ COD / م³. يوم لزمن مكوث 6 ساعات هي 56% ولزمن مكوث 8 ساعات هي 63% ولزمن مكوث 12 ساعة هي 92% ولزمن مكوث 16 ساعة هي 90%.

نستنتج : بحسب ما وقع بين أيدينا من مراجع أنه في المعالجة اللاهوائية هناك زمن مكوث أمثل أو اقتصادي يحقق أفضل معالجة مقبولة بزمن مكوث مقبول مما يؤدي إلى تصغير حجم المفاعلات اللاهوائية، وزمن المكوث الأمثل يتعلق بعدة عوامل أهمها تركيز الـ COD للمياه الخام ومعدل التحميل العضوي (ORL) والسرعة الشاقولية في المفاعل ويبين الجدول (3-21) أسس تصميم المفاعل UASB :

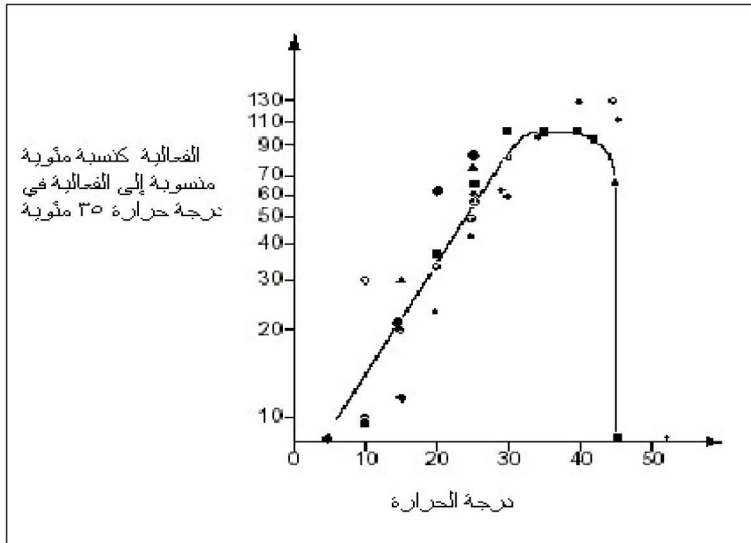
الجدول (3-21) : أسس تصميم المفاعل UASB

الكفاءة المتوقعة %	السرعة الشاقلوية للجريان م/ساعة	زمن المكوث الهيدروليكي (ساعة)	معدل التحميل العضوي Kg COD/ m ³ .day	تركيز COD للمياه الخام ملغ/ل	تصنيف مياه الصرف
75-70	0.7-0.25	18-6	3-1	أقل أو يساوي 750	منخفضة التلوث
90-80	0.7-0.25	24-6	5-2	3000-750	متوسطة التلوث
85-75	0.7-0.15	24-6	10-5	-3000 10000	شديدة التلوث
80-75	-----	أكبر من 24	15-5	أكبر من 10000	فائقة التلوث

3-6-8-3- تأثير درجة حرارة المياه ضمن المفاعل على كفاءة المعالجة في

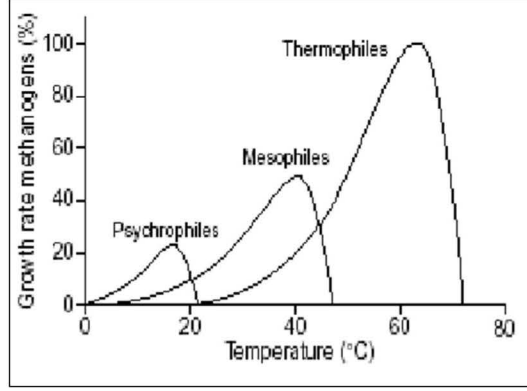
المفاعل UASB:

إن لدرجة الحرارة دوراً هاماً جداً في عملية المعالجة إذ إنّ تعداد ونوع البكتريا التي تنمو في المفاعل ومدى نشاطها يرتبطان بإذنه تعالى بشكل وثيق بدرجة الحرارة، وتقسم البكتريا حسب درجة الحرارة المثالية لنموها إلى محبات البرد Pcytophilic ومحبات الدفء **mesophile**، ومحبات الحرارة العالية thermophilic، وبشكل عام فإن العمليات الحيوية تتضاعف لكل ارتفاع 10 درجات مئوية في المجال (5-35) درجة مئوية ويبين الشكل (3-20) قيم الفعالية البكتيرية كنسبة مئوية من الفعالية العائدة لدرجة الحرارة 35 درجة مئوية



الشكل (3-20) : فعالية نشاط البكتيريا تبعاً لدرجة الحرارة

من الشكل السابق نلاحظ أن درجة الحرارة المثلى التي يتم فيها أفضل فعالية لنشاط البكتيريا وبالتالي أفضل كفاءة إزالة ل COD تتراوح بين الدرجة 35-40 درجة مئوية ، وذلك في ظروف البكتيريا المحبة للدفع، وكذلك عند تشغيل المفاعل في درجات الحرارة العالية (50-55) درجة مئوية، أي في ظروف البكتيريا المحبة لدرجة الحرارة العالية (Tthermophilic) ، فإن درجة الحرارة المثلى لعمل المفاعل هي 55 درجة مئوية ويمتاز النظام الذي يعمل بظروف درجة الحرارة العالية بأنه غير مستقر وذلك لأن البكتيريا المحبة لدرجة الحرارة العالية تمتاز بمعدل اضمحلال كبير مما يجعل عملية التحكم وضبط النظام صعبة ، وبشكل عام فإن معدل النمو للبكتيريا محبة لدرجة الحرارة العالية أكبر بحوالي 50%-100% من معدل نمو البكتيريا المحبة للدفع (Mmesophilic) كما هو موضح بالشكل (3-21):



الشكل (3-21) : العلاقة بين درجة الحرارة وبين معدل نمو البكتريا المنتجة للميثان

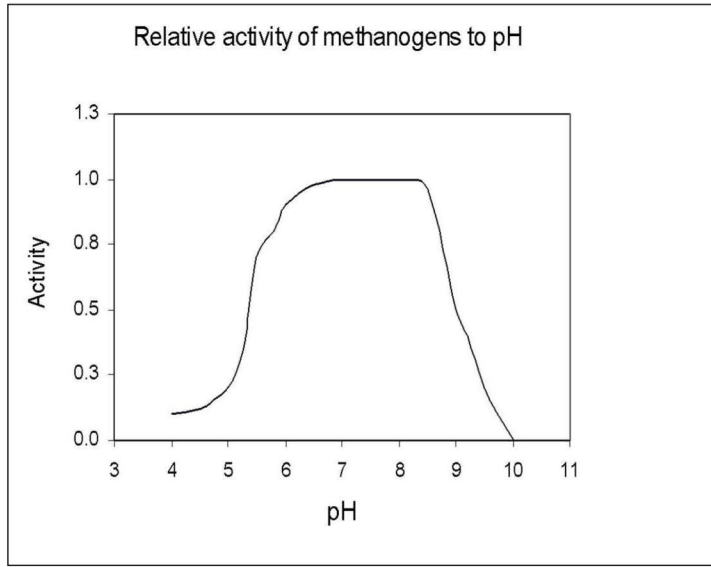
3-8-6-4- تأثير قيمة الـ pH ضمن المفاعل على تشغيل و كفاءة

المعالجة في المفاعل UASB :

إن وجود نوعين من البكتريا ضمن المفاعل البكتريا المنتجة للحموض والبكتريا المنتجة للميثان يتطلب وجود قيمتين لـ pH ضمن المفاعل حتى يعمل كلا النوعين بشكل فعال فقيمة الـ pH المثالية لعمل البكتريا المنتجة للحموض هي 5.5-6.5 وقيمة الـ pH المثالية لعمل البكتريا المنتجة للميثان هي 7.8-8.2.

لكن من المستحيل تأمين قيم مزدوجة لـ pH في آن واحد ضمن المفاعل تناسب عمل البكتريا المنتجة للحموض والبكتريا المنتجة للميثان بشكل أمثل لذلك فإن القيمة العملية لـ pH المياه ضمن المفاعل هي 6.8-7.4 وبذلك نضمن وجود كلا نوعي البكتريا المنتجة للحموض والمنتجة للميثان في المفاعل بشكل مقبول. إن القيم المنخفضة لـ pH للمياه ضمن المفاعل تؤثر سلباً على البكتريا المنتجة للميثان مسببة تراكم كبيراً للحموض العضوية الطيارة وغاز الهيدروجين ضمن المفاعل.

لحل هذه المشكلة يضاف في المفاعل مواد كيميائية لضبط قيمة الـ pH ومن هذه المواد ماءات الصوديوم و الكلس الحي أو أي مادة قلوية أخرى ، والشكل الآتي (3-22) يوضح علاقة pH للمياه الخام ضمن المفاعل مع فعالية البكتريا المنتجة للميثان:

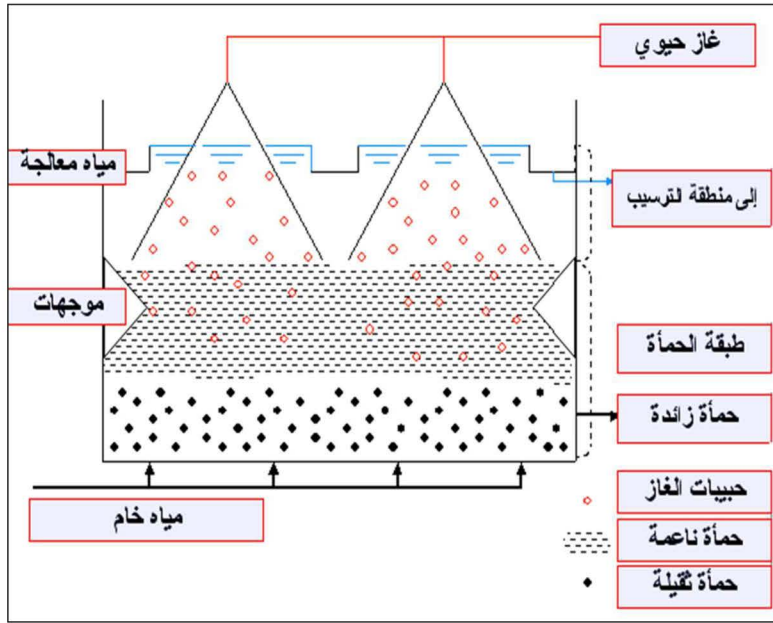


الشكل (3-22): علاقة pH للمياه الخام ضمن المفاعل مع فعالية البكتريا المنتجة للمتان

3-8-6-5- تأثير عمر سرير الحمأة على كفاءة المعالجة في المفاعل

: UASB

المقصود بسرير الحمأة هو طبقة الحمأة في المفاعل UASB والتي تتكون من حمأة ناعمة وحمأة ثقيلة كما هو موضح في الشكل (3-23).



الشكل (3-23): مخطط توضيحي لمفاعل UASB يظهر أنواع طبقات الحمأة

وتشير نتائج بعض الدراسات التي أجريت على المفاعل UASB أنه يمكن أن يكون هناك تأثيراً لعمر سرير الحمأة على كفاءة المعالجة في المفاعل UASB فبحسب الدراسة السابقة إن أداء المفاعل UASB خلال 230 يوم يمكن أن يمر بثلاث مراحل وهي:

- مرحلة الإقلاع، وتبدأ في اليوم الأول وتنتهي في اليوم السابعين من عمر سرير الحمأة.

- مرحلة التشغيل العادي ، وتبدأ من اليوم 71 وتنتهي في اليوم 166 .

- مرحلة التحميل الأعظمي، على المفاعل وتبدأ من اليوم 167 وتنتهي في اليوم 230 من عمر المفاعل وفي هذه الفترة يكون قد تم الحصول على حبيبات من الحمأة الثقيلة تتراوح أبعادها بين 1- 4 مم ويمكن زيادة معدل التحميل العضوي من 14 إلى 25 كغ COD/م³.يوم وذلك بكفاءة إزالة COD تتراوح بين 75-80%، ويمكن تفسير ذلك بأنه عند وصول المفاعل UASB إلى الحالة الثابتة يظهر

شكلان من الحمأة الشكل الأول هو الحمأة الخفيفة المعلقة والشكل الثاني هو الحمأة الثقيلة التي تكون مترسبة ومع الزمن تصبح النسبة الأكبر من الحمأة على شكل حمأة ثقيلة تتراوح أبعادها بين 1-4 مم والتي من المحتمل أن تكون أكثر فاعلية من الحمأة المعلقة. إن تأثير عمر سرير الحمأة على كفاءة إزالة COD في مفاعل UASB هو من الأمور الدقيقة والحديثة التي لا يزال يدرس تأثيرها على أداء المفاعل UASB، ولا تزال الأبحاث تنجز في أنحاء من العالم لتطوير المفاعل UASB ولاختبار فاعلية هذه الطريقة في معالجة مياه الصرف الصناعي، وبعضاً من هذه الأبحاث مبينة في الجدول (3-22).

الجدول (3-22): بعض الأبحاث المنجزة على المفاعل UASB لاختيار كفاءة

المعالجة فيه عند معالجة مياه الصرف الصناعي:

الباحث و المنطقة	مصدر مياه الصرف و قيمة COD لمياه الصرف الخام	الحمولة العضوية في وحدة الحجم Kg. COD/ m ³ .day	زمن المكوث الهيدروليكي (ساعة)	كفاءة المعالجة %	الحرارة و مجال الاختبار
رويز في اسبانيا عام 1997	مذابح وقيمة COD للمياه الخام هي -5200 11400 ملغ/ل	6.58 - 1.03	156-28.8	93-59	37 درجة مئوية L،
كاليزني في المكسيك عام 1998	بطاطا الشيبس وقيمة COD للمياه الخام هي -5500 18100 ملغ/ل	13.89-0.63	144-15.6	-63.4 81.3	35 درجة مئوية L،
جونذا ليز في كوبا عام 1998	صناعة السكر من قصب السكر وقيمة COD للمياه الخام هي -3640 3820 ملغ/ل	7.15-2.3	-12.48 39.6	-59.9 91	-24 P،32
حجار وصغير في جامعة حلب سوريا 2007	معمل الخميرة وقيمة COD للمياه الخام هي -10200 16320 ملغ/ل	6.67-4	36-18	-36.6 51.3	37-9 درجة مئوية L،
حجار وصغير في جامعة حلب سوريا 2011	المذابح الفنية وقيمة COD للمياه الخام هي -4700-2500 ملغ/ل	10.2-2.97	36-6	-35.8 83.4	31-29 درجة مئوية P،

L: تدل على أن حجم المفاعل المستخدم في التجارب هو أصغر من 10 لتر، P: تدل على أن حجم المفاعل المستخدم في التجارب يتراوح بين 10-100 لتر.

3-9 - تصميم أحواض الترسيب الثانوي:

الغاية ومبدأ العمل :

إن الهدف من أحواض الترسيب الثانوية أو المروقات هو فصل الكتلة الخلوية والمواد الصلبة الأخرى الآتية من حوض التهوية عن مياه الصرف المعالجة وتكثيفها في أحواض ، وذلك على شكل حمأة مترسبة فوق القاع . يتم سحب الحمأة المترسبة من أحواض الترسيب الثانوي حيث يعاد القسم الأعظم منها إلى أحواض التهوية لتنشيط البكتريا بالهواء والغذاء من جديد وذلك في سائر طرق المعالجة البيولوجية بالحمأة المنشطة ، أما القسم الزائد فيحول إلى مراحل المعالجة الخاص بالحمأة في معظم الحالات ، وفي بعض الحالات فقط يتم التخلص من الحمأة دون معالجة بتفريغها في مواقع التصريف المخصصة لها .

تشبه أحواض الترسيب الثانوي من الناحية الإنشائية أحواض الترسيب الأولي كما ورد في الفصل الأول ومن حيث الجريان، و مبين في الشكلين و (3:24-25) ، إن أسس تصميم أحواض الترسيب الثانوية مبينة في الجدول (3-23) :

الجدول (3-23): يبين أسس تصميم أحواض الترسيب الثانوية

ارتفاع المياه	معدل الانسكاب فوق الهدار م ³ /يوم/م	زمن المكوث الهيدروليكي (ساعة)	معدل تحميل المواد الصلبة SLR (كغ/م ² .يوم)		معدل التحميل السطحي م ³ /م ² .يوم		نوع المعالجة
			الذروة	المجال	الذروة	المجال	
5.5-3.6	-120 200	4-2.5	240	148-90	48-40	32-16	طرق الحمأة المنشطة (عدا التهوية المديدة)
5.5-3.6	-120 200	4-2.5	160	-80 120	36-24	18-8	الحمأة المنشطة بالتهوية المديدة
5-3.4	-120 200	4-2.5	200	125-75	48-40	24-16	المرشحات البيولوجية

طريقة التصميم:

أولا حساب مساحة الحوض :

- نختار معدل تحميل المواد الصلبة (SLR) من الجدول السابق ونحسب

المساحة السطحية للأحواض :

$$A = \frac{Q \times MLSS \times 10^{-3}}{SLR} \quad (3-28)$$

حيث :

A : المساحة السطحية للأحواض (م²)

Q : معدل الجريان اليومي الوسطي (م³/يوم)

MLSS : المواد الصلبة المعلقة في حوض التهوية (ملغ/ل).

SLR : معدل تحميل المواد الصلبة (كغ/م²/يوم)

- نتحقق من معدل التحميل السطحي :

$$S_0 = \frac{Q}{A} \quad (3-29)$$

إذا كان معدل التحميل السطحي ضمن المجالات الموضحة في الجدول (24-3) فإن التصميم مقبول، و إذا عكس ذلك يجب أن نزيد المساحة و نتابع التحقق.

- حساب ارتفاع الخوض hw:

$$V=Q/T$$

نختار زمن مكوث مناسب من الجدول (24-3) و منه نحسب ارتفاع مياه الصرف فإن كان الارتفاع ضمن الحدود المقبولة المذكورة في الجدول فالتصميم مقبول و إلا قد نغير زمن المكوث , نفرض زمن المكوث الهيدروليكي (T) من الجدول (1) ونحسب حجم الأحواض (V).

$$V = Q \frac{T}{24} \quad (3-30)$$

احسب عمق الماء الجانبي :

$$hw = \frac{V}{A} \quad (3-31)$$

حيث :

hw: عمق الماء الجانبي ، (m).

- حساب طول الهدار :

نختار قيمة لمعدل الانسكاب فوق الهدار (WOFR) ضمن المجال :

200-130 م³/يوم/يوم

واحسب طول الهدار (WL) من العلاقة :

$$WL = \frac{Q}{WOFR} \quad (3-32)$$

حيث أن : WL : طول الهدار بالمتر في أحواض الترسيب الدائرية يكون طول

الهدار هو نفسه الحيك ويساوي $\pi \times D$



المصدر: <https://en.wikipedia.org/wiki/Clarifier>

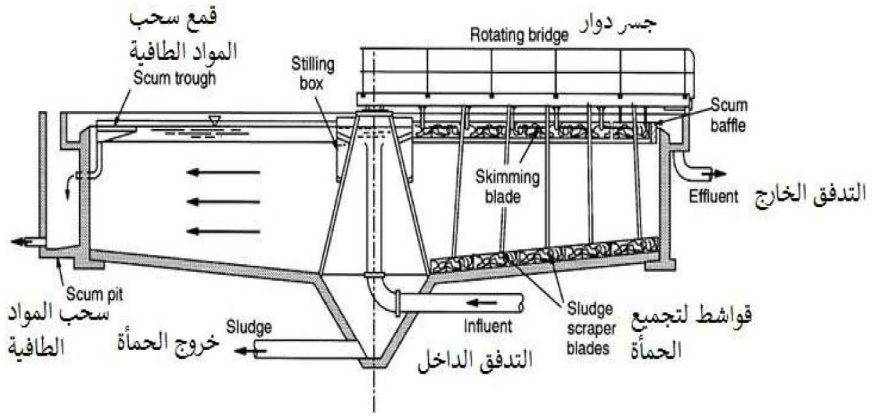


المصدر: <https://en.wikipedia.org/wiki/Clarifier>



المصدر: <https://samewater.co.za/peripheral-drive-settling-tank-pdst>

الشكل (3-24) : صورا تبين أحواض الترسيب النهائي

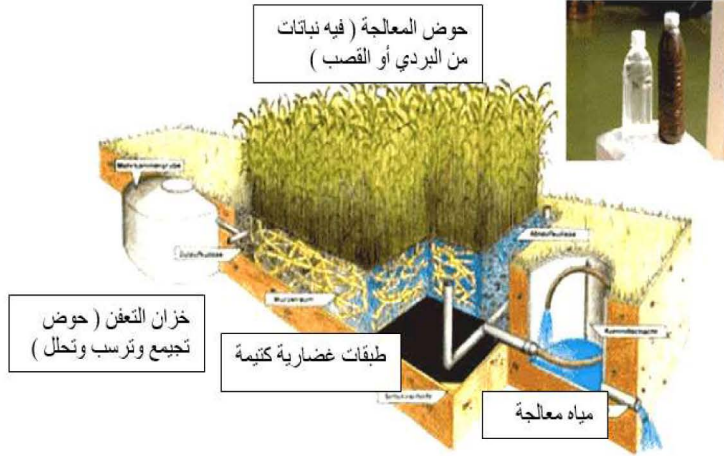


الشكل (3-25) : مقطعاً شاقولياً في حوض الترسيب النهائي

معالجة مياه الصرف الصحي بالأراضي الرطبة

3-10- الشكل العام لطريقة المعالجة بالنباتات:

تعتبر هذه الطريقة من طرق المعالجة الطبيعية في معالجة مياه المجاري عموماً سواء أكانت ناتجة عن النشاطات المنزلية أم عن مياه الأمطار، إن الشكل العام لهذه الطريقة مبين في الشكل (3-26)، و تتألف هذه الطريقة من حوض ترسيب أو خزان تحلل لاهوائي ثم أحواض المعالجة بالأراضي الرطبة، الرطبة وقد تكون شاقولية الجريان أو أفقية الجريان وأخيراً حوض تجميع نهائي.



الشكل (3-26): يبين الشكل العام لمخطة معالجة بالأراضي الرطبة

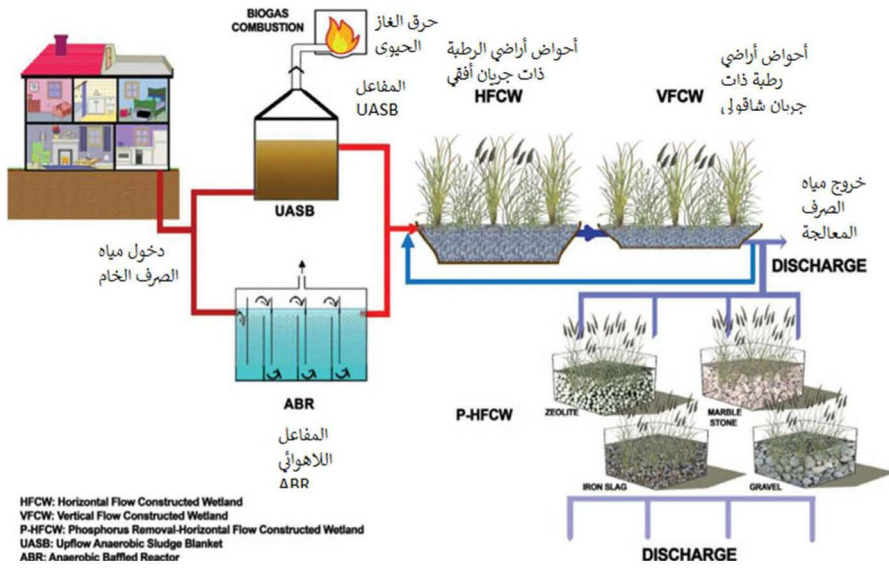
- يمكن استخدام طريقة المعالجة بالأراضي الرطبة كمرحلة معالجة ثانوية أي تسبق بمعالجة ابتدائية و معالجة أولية .
- كذلك يمكن استخدام كمرحلة معالجة Post treatment أو معالجة ثالثة لاحقة تسبقها مرحلة معالجة ثانوية والهدف من طريقة المعالجة بالأراضي الرطبة في هذه الحالة

تحسين مواصفات المياه المعالجة كإزالة النتروجين و الفسفور كما هو مبين في الشكل (3-27).
(27).



الشكل (3-27): تظهر فيه طريقة المعالجة بالأراضي الرطبة كمرحلة معالجة ثالثة

- يمكن أيضا استخدام المفاعل UASB كمرحلة تسبق المعالجة بالأراضي الرطبة و ذلك بهدف استرجاع الغاز الحيوي كما هو مبين في الشكل (3-28) .



الشكل (3-28): يبين استخدام المفاعلات اللاهوائية UASB و ABR مع طريقة المعالجة بالأراضي الرطبة

3-10-1- أنواع محطات المعالجة التي تعمل بالأراضي الرطبة من حيث

طريقة إنشائها:

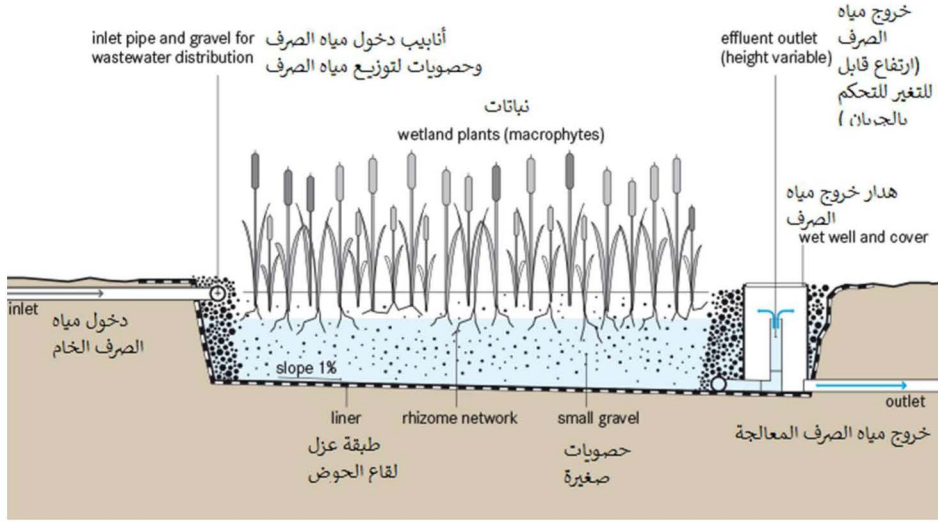
1. أراضي رطبة طبيعية (Natural Wetlands):

ويمتاز هذه النوع بكثرة انتشاره وبساطته وقلة تكلفته، وهذا النوع بفضل يتكون بشكل طبيعي دون تدخل الإنسان في مكوناته وهو عبارة عن بحيرات فيها نباتات ومياه صرف، وتكون التربة الحاملة للنباتات هي التربة الأصلية الموجودة في الموقع وينحصر دور الإنسان في هذه الحالة فقط في المراقبة وتهذيب المكان.

2. أراضي رطبة من صنع الإنسان (Man-made Wetlands):

ويقوم الإنسان بإنشائها بالكامل مغيرا بطبيعة المنطقة التي تصب فيها الجرور النهائي وحيث يقوم بوضع تربة خاصة للمعالجة ويتحكم بزرع النباتات الخاصة كما مبين في الشكل (3-29).

3.أراضي رطبة مشتركة (Natural Wetlands Man made)
 (Wetlands Combination Of): وهي أراضي رطبة طبيعة يقوم الإنسان
 بإجراء بعض التعديلات عليها كأن يقوم بزراعة نباتات جديدة.

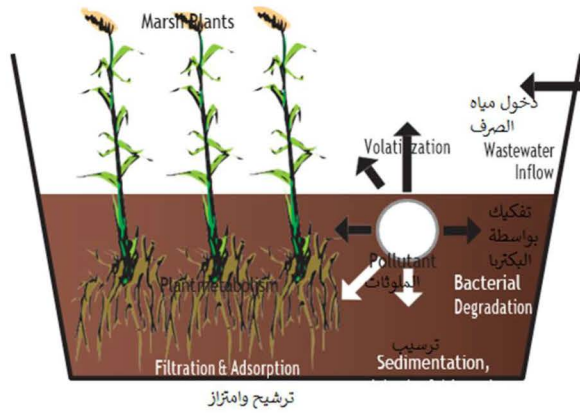


الشكل (3-29): يبين محطة معالجة مياه صرف صحي بطريقة الأراضي الرطبة من صنع الإنسان
 (Man-made Wetlands).

3-10-2- آلية إزالة الملوثات في الأحواض الرطبة:

تتم إزالة الملوثات في طريقة الأراضي الرطبة بآليات متعددة كما هو مبين أدناه
 و في الشكل (3-30) والجدول (3-24):

1. الترسيب.
2. الامتزاز.
3. الاستهلاك عن طريق النباتات.
4. معالجة بيولوجية لاهوائية و/أو هوائية و/أو منقوصة. الأوكسجين.
5. الترشيح.



Pollutant removal mechanism (modified from Wetlands International, 2003)

الشكل (3-30): شكل يبين الية ازالة الملوثات في أحواض الأراضي الرطبة

الجدول (3-24): المؤشرات و العمليات التي تقوم بإزالة هذه المؤشرات في

الأراضي الرطبة

المؤشر	العملية
المواد المعلقة	الترسيب - الترشيح
المواد العضوية المنحلة	التفكيك البيولوجي بواسطة البكتيريا الهوائية و/أو اللاهوائية و أو
الفوسفور	مصفوفة الامتزاز - الاستهلاك بالنباتات
النيتروجين	أكسدة الامونيا وتحويلها الى نترات - اختزال النترات الاستهلاك في النباتات - مصفوفة الامتزاز
المعادن	الامتزاز و التبادل الايوني - الترسيب - الاستهلاك بالنباتات اختزال بالطرق البيولوجية
Pathogens -المرمضات	الترسيب - الترشيح - فناء طبيعي - يمكن عن طريق جذر النباتات ايضا

- وتجدد الإشارة إلى أن طريقة المعالجة بالأراضي الرطبة تقسم إلى ثلاث أنواع من حيث جريان المياه في منطقة المعالجة وهي الأقسام هي:

- محطات معالجة بالأراضي الرطبة ذات الجريان السطحي: ويكون جريان المياه الملوثة في منطقة المعالجة على سطح التربة وغالب محطات المعالجة بالأراضي الطبيعية من هذا النوع ولهذا النوع الكثير من المساوئ منها انتشار روائح كريهة وانتشار الذباب والبعوض في المنطقة المحيطة بمحطة المعالجة مما قد يسبب الكثير من الأمراض في المنطقة المحيطة.
 - محطات معالجة بالأراضي الرطبة ذات الجريان تحت السطحي: وبنظام الجريان يكون تحت سطح التربة بقليل ويعتبر هذا النظام أفضل بكثير من نظام المعالجة ذي الجريان السطحي وغالب محطات المعالجة بالأراضي التي هي من صنع الإنسان من هذا النوع.
 - محطات معالجة بالأراضي الرطبة ذات الجريان العميق: ويكون نظام الجريان عميق تحت سطح التربة وهذا النظام يتشكل أحياناً بشكل طبيعي.
 - ويوجد تصنيفات أخرى بحسب نفوذية التربة ...
- الشكل (3-31) فيه خارطة لمقاطعة فلوريا والتي يظهر فيها عدداً كبيراً من محطات المعالجة بالأراضي الرطبة بكل أنواعها (طبيعي - صناعي - مشترك).



الشكل (3-31): مواقع وعدد محطات المعالجة بطريقة الأراضي الرطبة المنقذة في ولاية فلوريدا عام 2007.

نلاحظ من الشكل السابق وهو مأخوذ في عام 2007 ما يلي:

يوجد 32 محطة معالجة بطريقة الأراضي الرطبة منها:

يوجد 15 محطة معالجة بطريقة الأراضي الرطبة من صنع الإنسان.

يوجد 12 محطة معالجة بطريقة الأراضي الرطبة الطبيعية.

يوجد 5 محطة معالجة مختلطة (طبيعية + من صنع الإنسان).

3-10-3- مكونات محطة المعالجة التي تعمل وفق طريقة المعالجة بالأراضي:

1. حوض تجميع وترسيب: حيث يعتبر حوض الترسيب الأولي في هذه الطريقة من الأجزاء الهامة التي لا يمكن الاستغناء عنها ولذلك من أجل فصل المواد المعلقة والحماة الأولية وذلك قبل وصولها إلى مرحلة المعالجة الأساسية لمنع انسداد مسامات التربة.

2. حوض المعالجة الرئيسي: وفيه تتم المعالجة الفيزيائية والبيولوجية والمياه الصرف الصحي اعتماداً على ما يلي:

- الترشيح الذي يحدث لمياه الصرف عبر مرورها في مسامات التربة والتي قد تكون طبيعية من الموقع أو من تركيب الإنسان كما سيمر لاحقاً بإذن الله.
- الامتزاز: وتقوم به جزيئات التربة وخصوصاً إذا كانت غضارية فتقوم بامتزاز الملوثات إلى جزيئات التربة.

• المعالجة البيولوجية: وذلك عن طريق نشاط البكتريا التي تعيش في التربة وهذه البكتريا منها ما هو هوائي (في الطبقات السطحية العليا من التربة) ومنها ما يكون اختياري ومنها لا هوائي وتقوم هذه البكتريا بتفكيك المواد العضوية الموجودة في مياه الصرف وتحويلها إلى غازات ومركبات عضوية أبسط.

• المعالجة البيولوجية بواسطة النباتات: وتعتبر هذه المعالجة أهم المعالجة السابقة يتم عن طريق جذور النباتات التي تمتص الميزج (مياه + ملوثات عضوية) من التربة المحيطة بها محولة تلك الملوثات إلى غاز CO_2 وبخار ماء وأوكسجين ومواد عضوية أخرى (ثمار ونباتات).

3. حوض التجميع النهائي: وهذا القسم ليس ضروري لأنه عادة يتم تنفيذ الأراضي الطبيعية الرطبة قبل المصب النهائي، إما إذا كانت الأراضي الرطبة من صنع الإنسان فهنا يتم تنفيذ حوض التجميع النهائي من أجل سقاية المزروعات.

3-10-4- محاسن ومساوئ طريقة المعالجة بالأراضي:

أولاً نبدأ بالمحاسن:

- سهل الإنشاء وبسيطة التصميم.
- كلفة الإنشاء والتشغيل منخفضة جداً.
- تعطي كفاءة جيدة لإزالة المواد العضوية معبراً عنها بـ BOD_5 و COD وخصوصاً عندما يكون الجو ملائماً لنمو النباتات المزروعة.
- لا تحتاج عمال كثر للمراقبة وضبط العمليات.
- في حالة كان الجريان سطحي في هذه المحطات فإنه من المحتمل وبشكل كبير انتشاراً روائح كريهة وغازات ضارة بالبيئة المحيطة.
- هذه الطريقة من المعالجة يصعب تعديلها بعكس طرق المعالجة الأخرى كطريقة الحمأة المنشطة التي يمكن التحكم بها من أجل زيادة كفاءة المعالجة بناء على التدفق الداخل والحمل العضوي الداخل أيضاً.
- تحوي المياه المعالجة على تراكيز مرتفعة من النترات الأمر الذي قد يسبب تلوثاً بالنترات في المصب النهائي.
- يجري حالياً في جميع دول العالم تطوير هذه الطريقة ودمجها من طرق معالجة أخرى من أجل الحصول على مردود جيد من المعالجة وخصوصاً فيما يتعلق بإزالة النترات.

ثانياً مساوئ طريقة المعالجة بالأراضي:

- تحتاج مساحات كبيرة جداً وهائلة مقارنة مع طرق المعالجة الأخرى كطريقة الحمأة المنشطة.

- تتأثر كفاءة المعالجة بشكل كبير بدرجات الحرارة والسطوح الشمسي نظراً وذلك لأن نشاط النباتات يصبح ضعيفاً في الجو البارد وخصوصاً عندما يقل السطوح الشمسي.
- المعالجة بالأراضي الطبيعية تسبب انتشاراً كبيراً للذباب في المنطقة المحيطة مما يسبب انتقال الكثير من الأمراض.
- هذه الطريقة من المعالجة ملائمة للتدفقات الصغيرة والمتوسطة فقط.
- وجود المواد المعلقة والزيوت والشحوم في مياه الصرف سوف يسبب انخفاضاً كبيراً في كفاءة المعالجة بهذه الطريقة نظراً لاحتمال انسداد مسامات التربة التي تجري فيها المياه.
- لوحظ حدوث تلوث للمياه الجوفية بالنترات في المناطق التي تقام فيها هذه الأنواع من محطات المعالجة.

3-10-5- معادلة التوازن المائي في أحواض الأراضي الرطبة :

تعطى معادلة التوازن المائي في الأراضي الرطبة بالمعادلة المبينة أدناه و الشكل (3-32).

$$S = Q + R + I - O - ET \quad (3-33)$$

حيث أن :

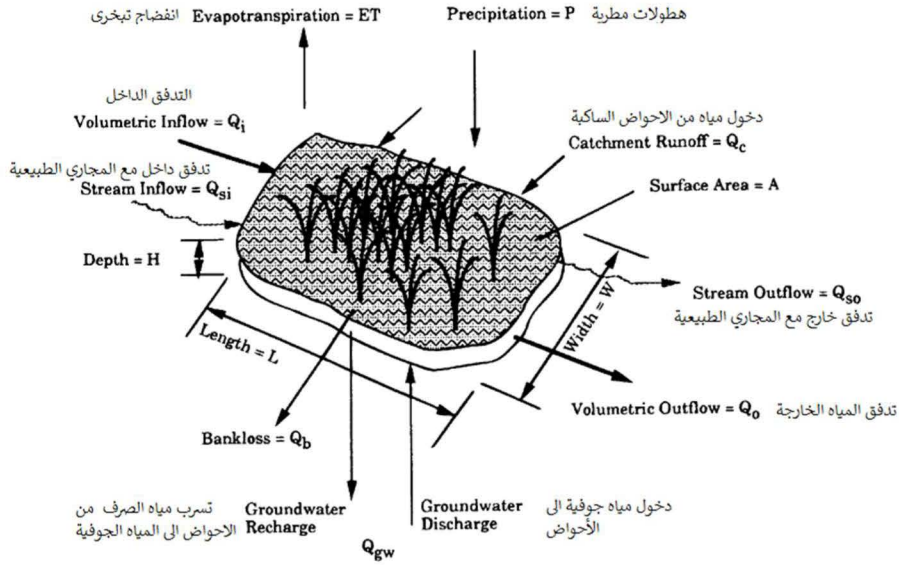
S: التغير الصافي حجم المياه المخزن في الأراضي الرطبة.

Q: تدفق مياه الصرف الداخل.

R: الهطول المطري.

I: صافي الرشح مائي ويساوي: الرشح المائي الداخل الى الأحواض الرطبة -
الرشح المائي الخارج من الأحواض.

ET: الانفضاج التبخري ويشمل التبخر + كمية الرطوبة المأخوذة من قبل النباتات من التربة.

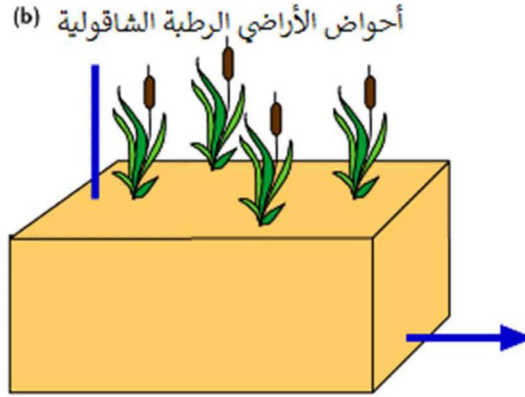
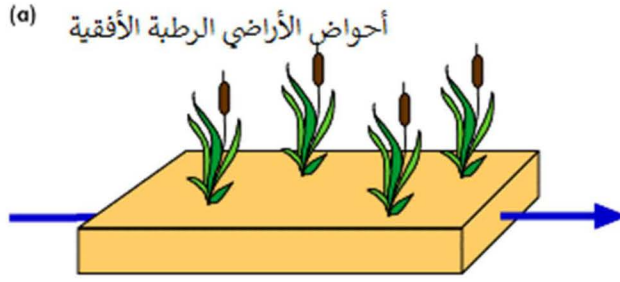


Components of the water budget and associated terminology (from KADLEC & KNIGHT 1996)

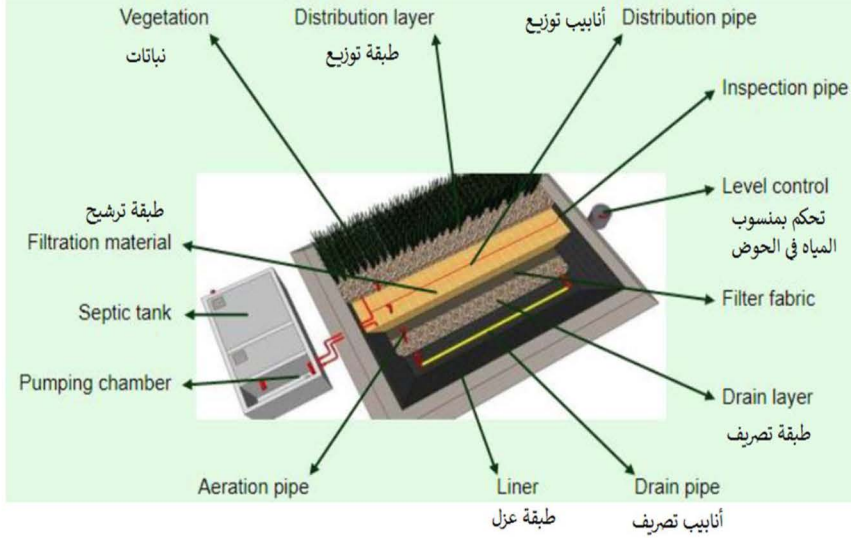
الشكل (32-3): يوضح الميزانية المائية في طريقة المعالجة بالأحواض الرطبة

3-10-6- أنواع الجريان في الأراضي الرطبة:

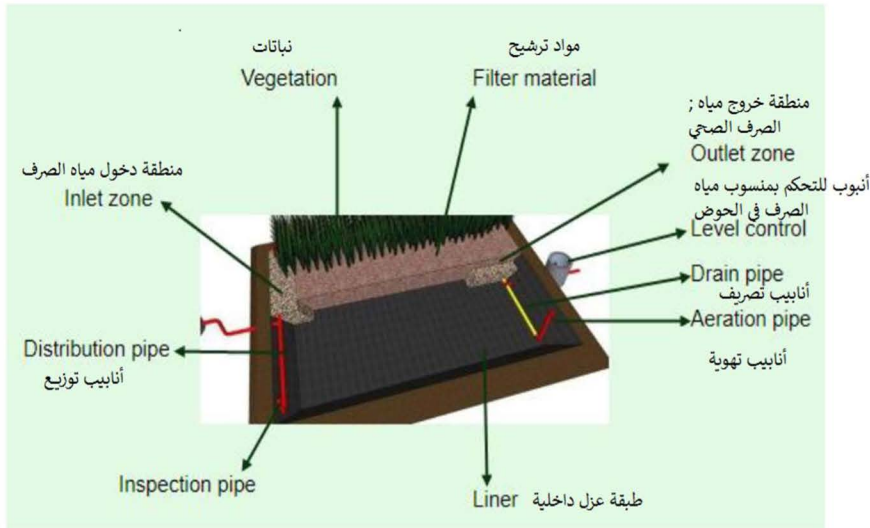
تقسم الأحواض الرطبة الى قسمين رئيسيين من حيث اتجاه الجريان وهما : أحواض الأراضي الرطبة الأفقية و أحواض الأراضي الرطبة الشاقولية كما هو مبين في الشكل (35:33-3).



الشكل (3-33): أنواع أحواض الأراضي الرطبة من حيث اتجاه الجريان

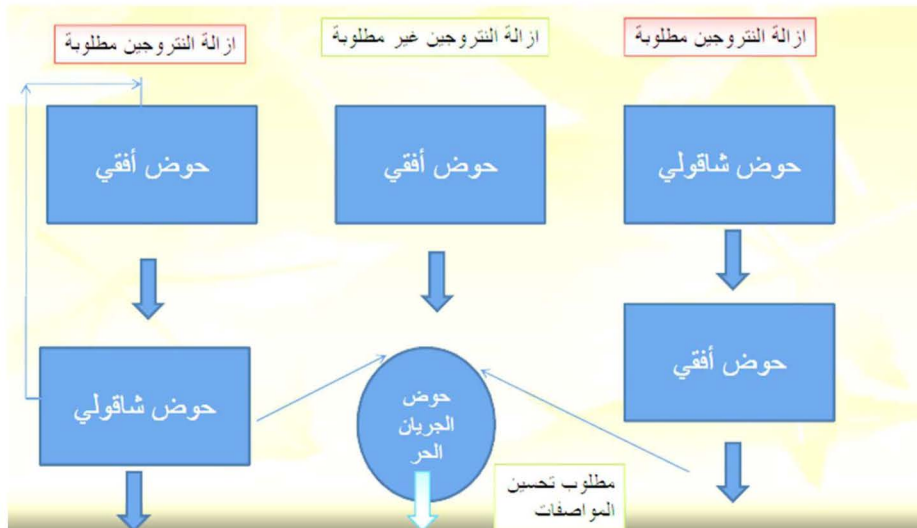


الشكل (3-34): طريقة المعالجة بالأراضي الرطبة ذات الجريان الشاقولي



الشكل (3-35): طريقة المعالجة بالأراضي الرطبة ذات الجريان الأفقي

ويمكن أيضاً أن تحوي طريقة المعالجة بالأراضي الرطبة على أحواض أفقية وشاقولية وذلك عند الرغبة بتحقيق إزالة للنيتروجين كما هو مبين في الشكل (3-36).



الشكل (3-36): يبين ميزات استخدام الأحواض الشاقولية و الأفقية في الأراضي الرطبة

ويمكن إجراء مقارنة بين مميزات الأحواض ذات الجريان الشاقولي و ذات الجريان الأفقي و الجريان المختلط كما هو مبين في الجدول (3-25).

الجدول (3-25): مقارنة بين الأراضي الرطبة تبعاً لطريقة الجريان:

المؤشر	الجريان الأفقي	الجريان الشاقولي	الجريان المختلط
مساحة الأرض	أكبر	أصغر	متوسطة
كلفة الانشاء	أكبر	أصغر	متوسطة
كلفة الاستثمار	أصغر	أكبر	متوسطة
كفاءة إزالة BOD ₅	أصغر	متوسطة	أكبر
كفاءة إزالة النتروجين	أصغر	متوسطة	أكبر
كفاءة إزالة الفسفور	مقارنة		

3-10-7- أهم العوامل التصميمية :

إن أهم العوامل التصميمية لطريقة المعالجة بالأراضي الرطبة و التي تلعب دوراً هاماً في تصميم الأحواض هي :

- معدل التحميل الهيدروليكي: Hydraulic load rate.
- كثافة النبات .
- زمن المكوث / Residence time.
- تركيز BOD₅ في مياه الصرف الخام و في المياه المعالجة.
- درجة الحرارة.

و إن القيم الموصى بها للعوامل السابقة مبينة في الجدول رقم (3-26).

الجدول (3-26): القيم التصميمية الموصى بها للعوامل المتعلقة بطريقة المعالجة بالأراضي الرطبة.

المؤشر	القيم الموصى بها
زمن المكوث لإزالة الملوثات المنحلة (يوم)	15-4
زمن المكوث لإزالة الملوثات المعلقة (يوم)	3-0.5
معدل الحمولة العضوية معبرا عنها بـ (كغ BOD ₅ /هكتار.يوم)	120-80
معدل الحمولة الهيدوليكية (م/يوم)	0.05-0.01
المساحة اللازمة (هكتار/م ³ .يوم)	0.014-0.002
نسبة الطول الى العرض	2:1 حتى 10:1
عمق الماء الوسطي	1-0.1
ميل قاع الأحواض %	1-0

3-10-8- أهم الاعتبارات التصميمية الخاصة بمحطات المعالجة بالأراضي

الرطبة:

عند التصميم يجب اختيار نوع الجريات في وحدات المعالجة:

- 1- أنظمة ذات جريات تحت سطحي وهو النمط الأكثر شيوعا في أوروبا.
 - 2- أنظمة الجريات السطحية: وهذا النمط شائع في أمريكا.
 - 3- أنظمة الجريات الشاقولية:
- تصميم جديد يستخدم للتغلب على مشكلة نضوب الأوكسجين وزيادة النتجة.
- يجب أن يكون هناك ميولا في وحدات المعالجة وذلك بدءا من المدخل حتى المخرج.

- الميل الطولي المنصوح به للأحواض يتراوح بين 0.5-1%، الميل الضئيل يمكن أن يسبب اعاققة في جريان مياه الصرف وانسداداً في البواري ، وكذلك الميل الشديد للأحواض ممكن أن يسبب جرفاً لطبقات البحص.
- يفضل اعتماد ارتفاع صافي للحوض بمقدار 0.4 متر في حال كان نظام الجريان سطحي و 0.4-1 متر في حال كان نظام الجريان تحت سطحي سواء أكان نظام الجريان أفقياً أم شاقولياً. - معدل الحمولة العضوية المسموحة فوق كل هكتار يجب أن تكون أقل من (80-120) كيلو غرام/هكتار باليوم
- تحسب المساحة اللازمة للأحواض في طريقة الأراضي الرطبة من العلاقة:

$$A = Q \times \ln \left(\frac{BOD_{5i}}{BOD_{5e}} \right) \times \frac{1}{kt \times d \times n} \quad (3-34)$$

- d: العمق الوسطي للماء ونأخذه 0.1-1 م.
- n: مسامية التربة وتؤخذ وسطياً في حال استعمال حصويات ذات تدرج حي مقبول حوالي 30%.

أي kt: ثابت يتعلق بدرجة الحرارة قيمته هي من 1.02-1.06.

$$K_T = K_{20} \times \emptyset^{(T-20)} \quad (3-35)$$

قيمة كل من K_T و $\emptyset$ في درجة الحرارة 20 هي:

$$\emptyset = 1.06 \quad K_{20} = 1.104$$

T: درجة الحرارة درجة مئوية.

HRT: زمن المكوث الهيدروليكي:

$$Q = \frac{V}{HRT} \quad (3 - 36)$$

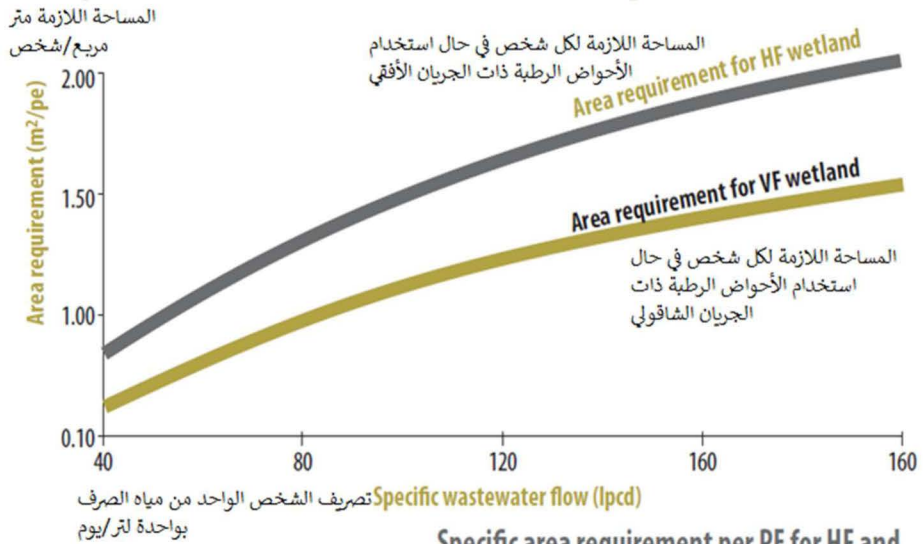
$$HRT = \frac{V}{Q} = \frac{n \times A \times d}{Q} \quad (3 - 37)$$

HRT: زمن المكوث الهيدروليكي (يوم).

V: حجم الأحواض م³.

Q: التدفق اليومي م³/يوم.

ويمكن الاستفادة من الشكل المبين أدناه في تحديد المساحة اللازمة من الأحواض لكل شخص ، ويمكن أن نلاحظ من الشكل: نلاحظ في حال كان تصريف الفرد مثلاً 80 لتر في اليوم فإن المساحة اللازمة في حال كانت شكل الجريات شاقولياً VF: بحدود 0.8 م² لكل شخص، و في حال كان الجريان أفقياً HF فإن المساحة اللازمة لكل شخص هي: 1.3 م² لكل شخص.



Specific area requirement per PE for HF and VF wetland for different specific wastewater discharges

الشكل (37-3): المساحة اللازمة لكل شخص تبعاً لنوع الجريان في الأحواض و تبعاً لمصدر تصريف الفرد في اليوم.

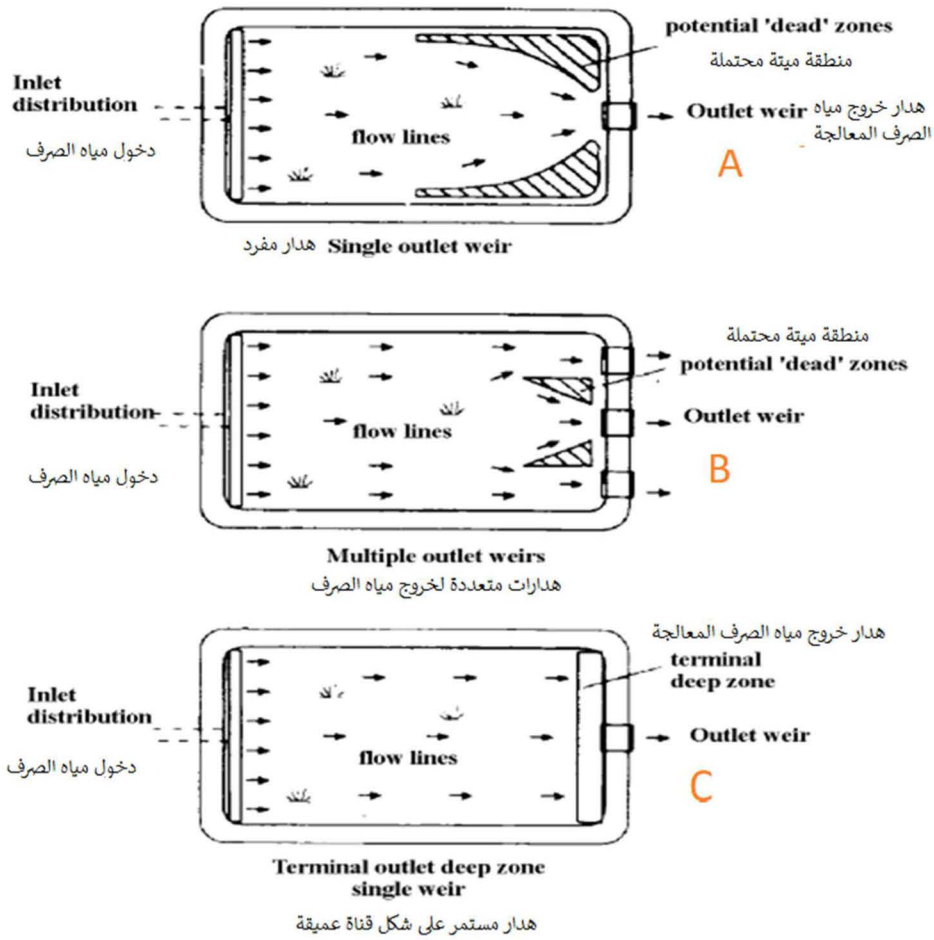
3-10-8-1- تأثير لشكل المخرج على كفاءة المعالجة في طريقة

الأحواض الرطبة:

يؤثر شكل المخرج (هدار خروج مياه الصرف الصحي) في أحواض المعالجة بالأراضي الرطبة على كفاءة الاستفادة من الأحواض كما هو مبين في الشكل (3-38) ونلاحظ من الشكل ما يأتي:

- الشكل A: يحوي على مخرج واحد يشغل جزء من عرض الحوض لذا فالحوض يحوي على نقاط ميتة ولا تتم الاستفادة من كامل الحوض .
- الشكل B: يحوي أيضا على عدة مخارج من الحوض ، ويمكن في هذه الحالة أن تنتج عدة نقاط ميتة ولا تتم الاستفادة من كامل الحوض الا ان هذه الحالة أفضل من الحالة A.

- الشكل C :يحوي على قناة استقبال على كامل حوض الحوض ومخرج واحد ، وهذه أفضل حالة حيث تتم الاستفادة من كامل أحواض المعالجة بالأراضي الرطبة . وما ينطبق على المخرج قد ينطبق على مدخل مياه الصرف لذا من المهم جداً أن يتم تصميم مدخل ومخرج مياه الصرف في أحواض المعالجة بدقة تجنباً لنشوء أي نقاط ميتة.

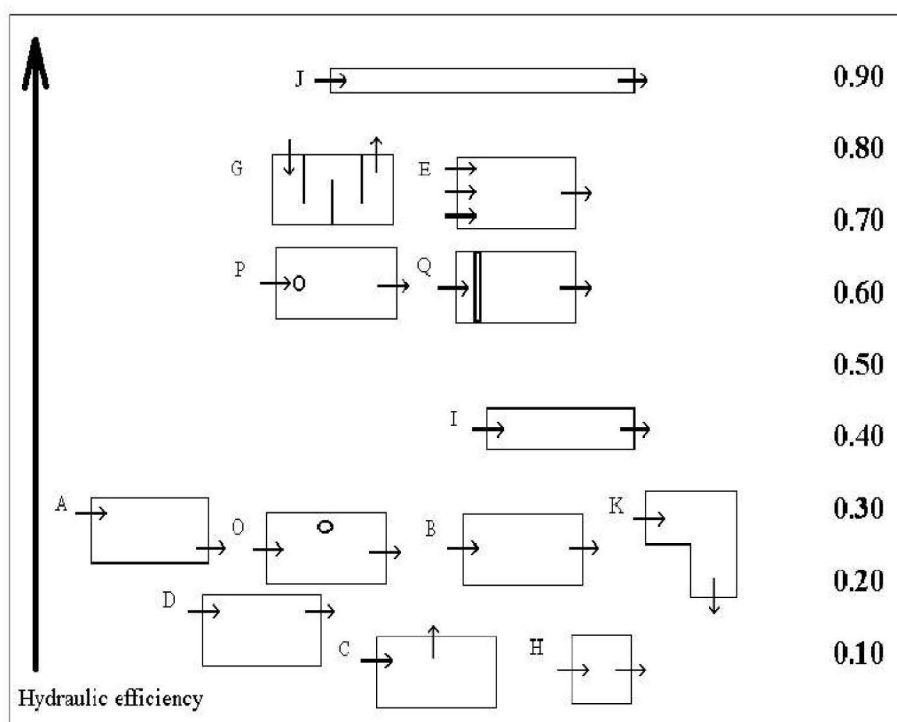


الشكل (3-38): يبين تأثير شكل هدار خروج مياه الصرف الصحي على كفاءة حمل أحواض المعالجة بالأراضي الرطبة.

3-10-8-2- الحمولة الهيدروليكية:

- تقاس الحمولة الهيدروليكية بوحدة $\text{م}^3/\text{م}^2 \cdot \text{يوم}$ ، وتعتبر عن مدى الاستفادة من و تساوي: قيمة تدفق مياه الصرف الداخل الى الخوض بوحدة متر مكعب في اليوم مقسومة على مساحة الأحواض .

- كفاءة الحمولة الهيدروليكية = المساحة الأفقية التي تمر فيها مياه الصرف مقسومة على المساحة الكلية للحوض.
- فكلما كانت كفاءة الحمولة الهيدروليكية أكبر أي اقترب من القيمة 1 كان ذلك مؤشراً إيجابياً على مدى الاستفادة من مساحة الحوض. وتناثر كفاءة الحمولة الهيدروليكية بالأشكال المختلفة لأحواض المعالجة بالأراضي الرطبة ، فيعتبر الحوض الضيق والتي تكون نسبة الطول الى العرض كبيرة الافضل من حيث كفاءة الحمولة الهيدروليكية كما في الشكل (3-39).

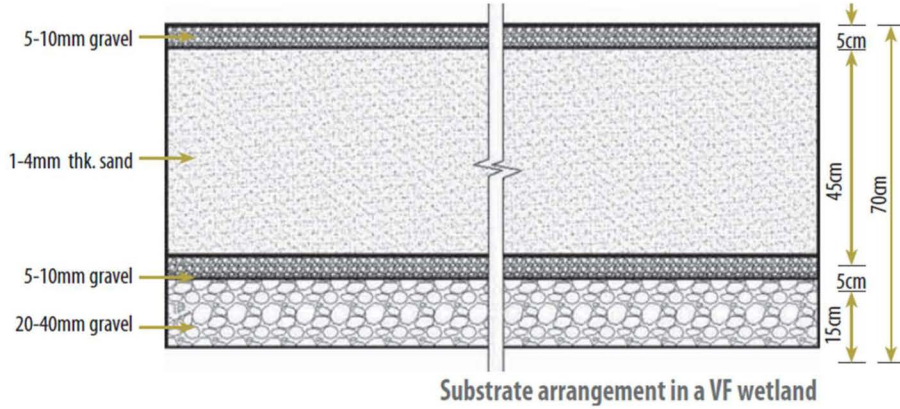


Hydraulic efficiency for different shapes of wetlands

الشكل (3-41): كفاءة الحمولة الهيدروليكية لأشكال مختلفة من الأراضي الرطبة

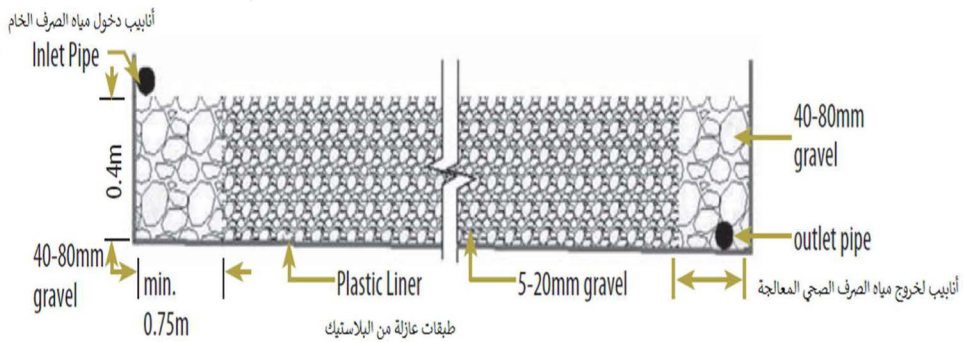
3-10-9- مكونات طبقات الترشيح في الأحواض الرطبة:

تتكون طبقة الترشيح في الأحواض ذات الجريان الشاقولي من طبقات حصوية فيها طبقات من الحصى متدرجة الابعاد، و أيضاً توجد طبقة وسطية من الرمال كما في الشكل (3-42) :



الشكل (3-39): مقطعاً في أحواض الأراضي الرطبة ذات جريان شاقولي

وتتكون طبقة الترشيح في الأحواض ذات الجريان الأفقي من طبقة واحدة أو أكثر من الحصى ذات الاقطار 5-20 مم ، وعند المدخل و المخرج توضع حصى بأقطار تتراوح بين 40-80 مم كما هو مبين في الشكل (3-43) :



الشكل (3-43): مقطعاً في أحواض الأراضي الرطبة ذات جريان أفقي

3-10-10- عزل أو منع تسرب مياه الصرف من قاع الأحواض:

:Sealing of the bed

يجب أن يعزل قاع الاحواض, و ذلك لمنع تلويث المياه الجوفية , ويمكن أن تكتفم التربة أسفل الأحواض وعلى جوانبهم بواسطة الاسمنت بعمار 8 كغ/م² , وذلك بعد تسويتها ورصها، كذلك يمكن خلط الغضار البنتويات مع التربة الأصلية في الموقع ثم فرشها ورصه , وهذه الطريقة يمكن استخدامها في الدول الفقيرة. و يمكن أيضا استخدام مواد صناعية لعزل قاع الحوض منها:

- طبقات بولي فينيل كلوريد (PVC).
- رقائق البولي ايتلين PE.
- رقائق البولي بروبيلين.

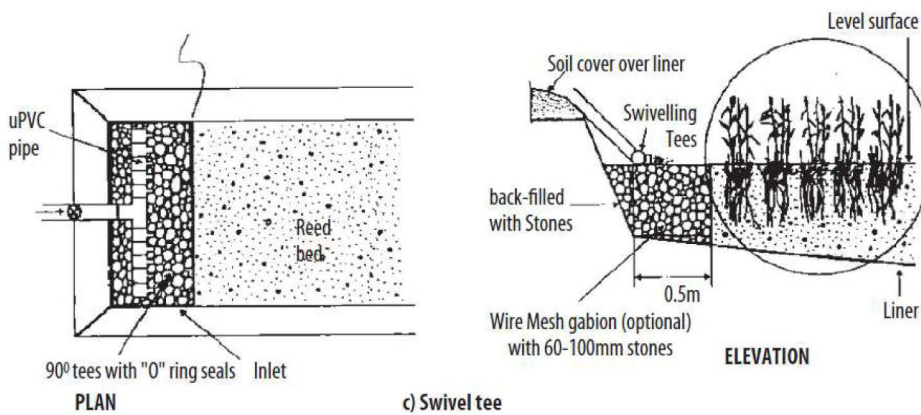
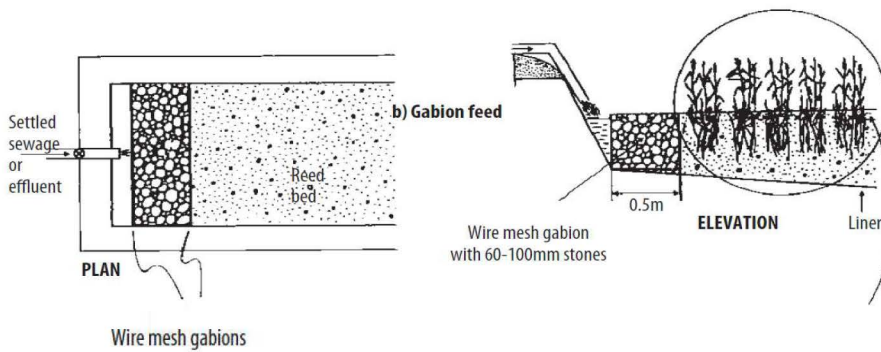
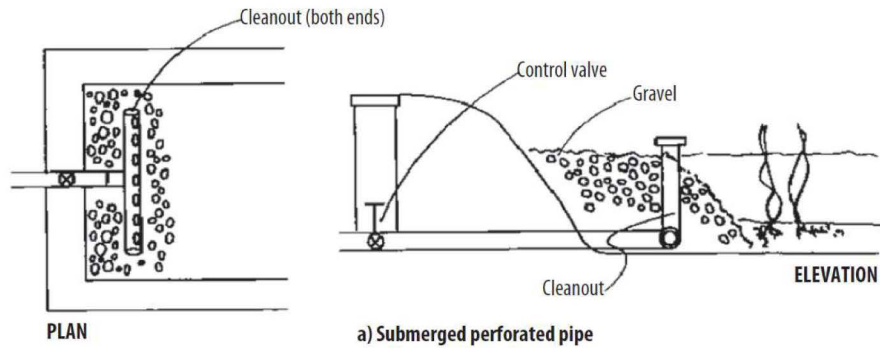
وإنّ اختيار المادة العازلة لقاع الأحواض يرتبط بقيمة معامل النقل الهيدروليكي للتربة في قطاع الحوض كما هو مبين في الجدول (3-27). و طريقة عزل الأحواض يجب أن يتم اختيارها وفق لتوافر المواد وديمومتها وتلعب الناحية الاقتصادية دوراً مهماً في ذلك، و هناك بعض صور لرقائق العزل ، كما هو مبين في الشكل (3-40) و الشكل (3-41) يبين بعض تفاصيل مدخل مياه الصرف في طريقة المعالجة بالأراضي الرطبة، في حين يبين الشكل (3-42): بعض أشكال مدخل مياه الصرف في طريقة المعالجة بالأراضي الرطبة —حالة الجريان الأفقي ، أما الشكل (3-43) ففيه تطهر بعض أشكال مدخل مياه الصرف في طريقة المعالجة بالأراضي الرطبة —حالة الجريان الأفقي.

الجدول (3-27): يبين متى الحاجة لعزل أحواض الأراضي الرطبة

الاجراء	التوضيح	قيمة معامل النقل الهيدروليكي
عزل قاع الأحواض	التربة تسمح بمرور مياه الصرف بشكل كبير لذلك يجب عزل الأحواض	$k > 10^{-6} \text{ m/s}$
عزل قاع الأحواض	ممكن ان يحدث بعض التسرب	$k > 10^{-7} \text{ m/s}$
N/A	التربة لا تسمح بمرور مياه الصرف ويمكن ان تكون كحاجز طبيعي	$k < 10^{-8} \text{ m/s}$
N/A	لا يوجد أي خطر لتلوث المياه الجوفية لأنّ التربة لا تسمح بمرور مياه الصرف عبرها .	$k < 10^{-9} \text{ m/s}$



الشكل (3-40): يبين صور عزل الأحواض باستخدام رقائق من البولي اتيلين أو PVC



Examples of HF CW inlet designs (U.S. EPA, 2000)

الشكل (3-41): بعض تفاصيل مدخل مياه الصرف في طريقة المعالجة بالأراضي الرطبة



مدخل مياه الصرف مدخل
من الأنابيب المشققة



مدخل مياه الصرف من
الأنابيب المثقبة



مدخل مياه الصرف على شكل مشققة



مدخل مياه الصرف على شكل قناة مكشوفة



مدخل مياه الصرف على شكل أنبوب
مرفوع

الشكل (3-42): بعض أشكال مدخل مياه الصرف في طريقة المعالجة بالأراضي الرطبة - حالة
الجريان الأفقي



الشكل (3-43): شكل توزيع أنابيب المدخل في الجريان الشاقولي

3-10-11- تجربة سورية في تنفيذ وإنشاء محطة معالجة تعمل بطريقة المعالجة بالأراضي وهي النوع (Wetlands Manmade) أي من صنع الإنسان:

- محطة معالجة حران العواميد:

تم بناء محطة معالجة تجريبية من خلال دعم برنامج المياه GTZ وذلك في العام 2000 وتم استخدام طريقة الأرض الرطبة كطريقة معالجة. تم تصميم هذه المحطة لتخدم 7000 مواطن (80% موصولة ومعدل مياه المجاري المستقبلية = 300م³/يومياً) حسب متطلبات المناطق بنسبة 0.5م³ حسب الخبرة الألمانية في فحص مدى ملائمة تقنية الأرض الرطبة (نظام حصيرة القصب). وتتألف من المراحل المبينة في الشكل (3-44).

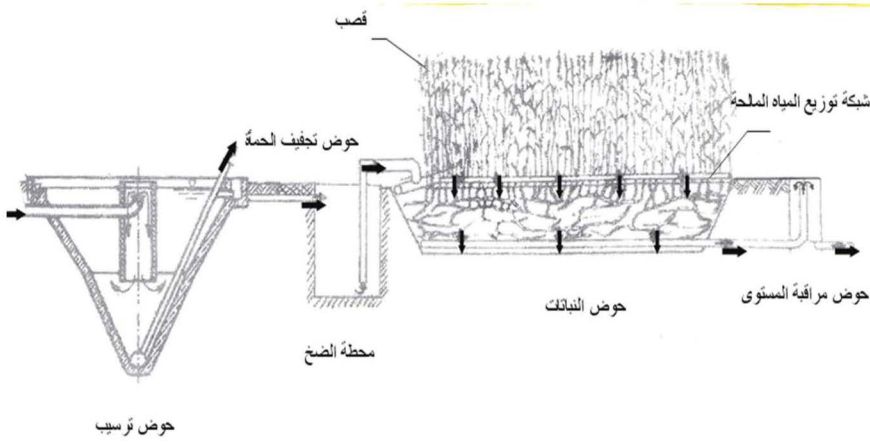
وهي تقنية لمعالجة مياه المجاري في سوريا، وتعتمد على ما يلي:

- القبول الشعبي
- الجوانب القانونية المعنية.
- الديمومة.
- قضايا التشغيل والصيانة.

- الملائمة الاقتصادية.

أيضاً هناك فحوص الجدوى الاقتصادية لإعادة استخدام التدفق من الأرض الرطبة لأغراض الري.

المصدر: الوكالة اليابانية للتعاون الدولي (جايكا) - وزارة الإسكان والتعمير - الجمهورية العربية السورية - دراسة حول تطوير نظام الصرف الصحي في الجمهورية العربية السورية / تقرير الإنجاز. آذار 2007



الشكل (3-44): مقطعاً شاقولياً في محطة المعالجة

معلومات تحليل نوعية مياه المجاري في محطة معالجة حران العواميد:
 بلغت تكلفة الإنشاء 95,900 يورو وكانت نفقات التشغيل السنوية 7000
 يورو , و إنّ التفاصيل التشغيلية و مؤشرات عمل هذه المحطة مبينة في الجدول (3-28)
 الجدول (3-28): المؤشرات التشغيلية لمحطة معالجة حران العواميد

التاريخ	4 تموز 2006	5 آذار 2006		
المؤشر	المدخل	المخرج	المخرج	
الناقلية uc/cm	2330	2370	2060	
PH	7,1	6,9	609	
BOD ₅ (ملغ/ل)	240	26	12	
NH ₄ ⁺ (ملغ/ل)	-	32,4	9	
DO (ملغ/ل)	1,3	2,7	-	
درجة مئوية	24,3	24,6	-	
COD (ملغ/ل)	780	80	18,2	
SS (ملغ/ل)	-	27,2	27,2	
NO ₃ ⁻ (ملغ/ل)	50,6	42	14	
TN (ملغ/ل)	46,3	40,6	17,5	
TP (ملغ/ل)	0,49	0,82	1,98	
PO ₄ ²⁻ (ملغ/ل)	2	3,5	6	
الغزارة (م ³ /يومياً)	400	400	400	تموز 2006

الفصل الرابع :المعالجة الثالثة (المتقدمة) لمياه المجاري
المنزلية

4- المعالجة الثالثة (المتقدمة) لمياه المجاري المنزلية :

سنتناول الحديث في هذا الفصل عن المعالجة الثالثة لمياه الصرف الصحي بشيء من الإيجاز ، لأن طرقها كثيرة جداً ومتنوعة ، و تحتاج مؤلفات وكتب خاصة بها ، وهي موضحة في الجدول (1-4) والشكل (1-4)، و سأكتفي بالحديث عن الترشيح و عن استخدام التناضح العكسي و الامتزاز لأن الطرق السابقة هي الطرق الأكثر استخداماً في المعالجة الثالثة بالإضافة الى تطهير مياه الصرف الصحي .إن المعالجة الثالثة لمياه المجاري قليلة الاستخدام حيث أن أغلب مصممو محطات معالجة مياه الصرف الصحي يكتفون بالمعالجة حتى انجاز المعالجة الثانوية، و من ثم تطهير مياه الصرف الصحي ،و لكن أحياناً يمكن أن نستخدم المعالجة الثالثة لتحقيق بعض الأمور البيئية منها :

- إزالة المواد الصلبة المعلقة (SS) و الوصول الى تركيز أقل من 25 ملغ/ل و الغروانية و تخفيض قيمة BOD_5 الى أقل من 20 ملغ/ل في مياه صرف المعالجة و المواد الصلبة المنحلة (عضوية ، لعضوية)، وخصوصاً عند الرغبة في إعادة استخدام مياه الصرف المعالجة في الصناعة بغرض غسيل الأراضي أو التبريد أو ما شابه ذلك.

- تخفيض تراكيز العوامل الممرضة مثل البكتريا وبيوض الديدان المعوية بحيث يتم تجنب أي ضرر بالصحة العامة يمكن أن ينجم عنها .

- التحكم بالمغذيات (الفوسفور - النروجين) ، وذلك لمنع ظاهرة الإثراء الغذائي في البحيرات ، و إن تصميم محطة معالجة مياه الصرف الصحي وفق طريقة $A2O$ أو VIP أو $UASBAO$ أو غيرها من طرق المعالجة التي تحقق إزالة عالية للفوسفور و النروجين يغني عن استخدام المعالجة الثالثة لإزالة الفوسفور و النروجين.

- إزالة المعادن الثقيلة وخصوصاً عندما تستقبل محطة المعالجة مياه صرف صناعي بالإضافة الى مياه الصرف الصحي، فإذا كانت تراكيز المعادن الثقيلة في مياه الصرف المعالجة أعلى من الحدود المسموح سواء لري المزروعات أو الالتقاء في البحيرات عندها يجب اللجوء إلى المعالجة الثالثة لإزالة بقايا المعادن الثقيلة. إن طرق المعالجة الثالثة كثيرة

و متنوعة منها طرق كيميائية وفيزيائية ، ولكن يمكن الاستفادة من الجدول (1-4) و الشكل (1-4) لاختيار التسلسل المناسب للمعالجة.

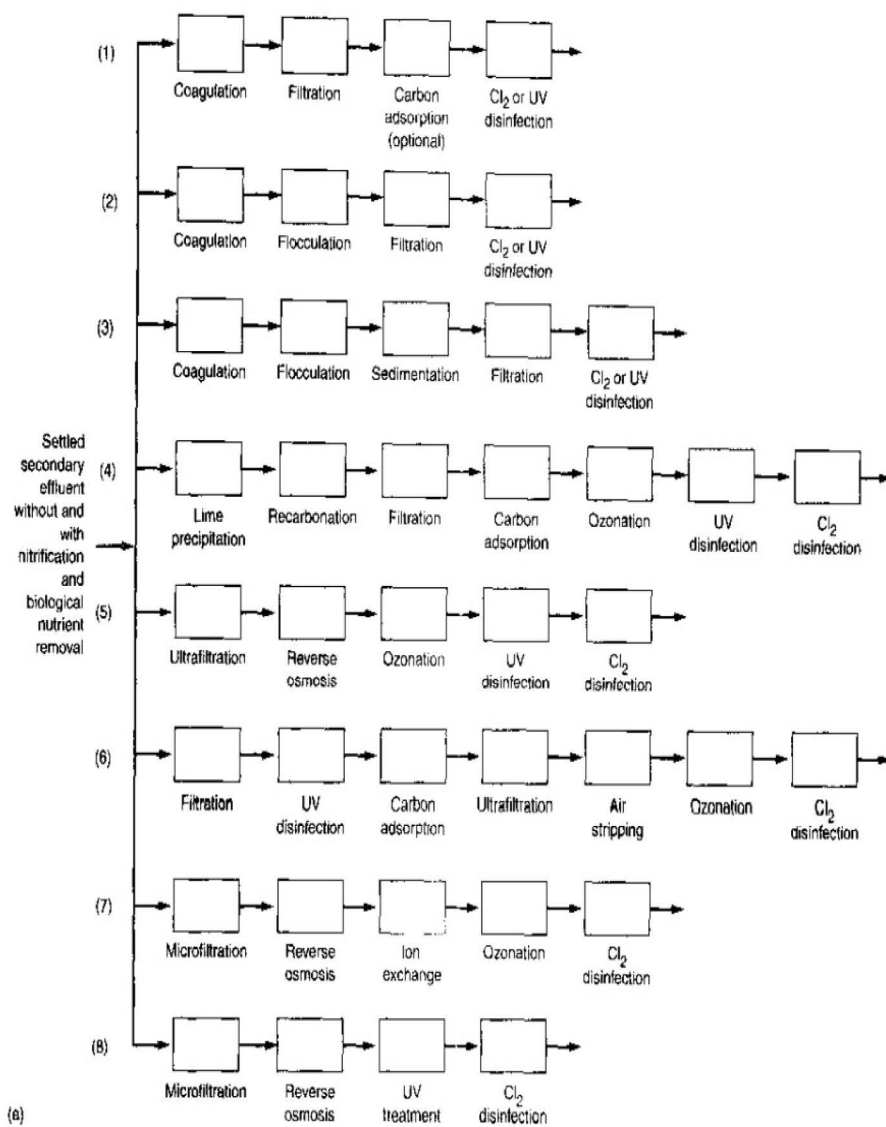
الجدول a(1-4) : يبين بدائل إزالة الملوثات المراد إزالتها بطريقة المعالجة الثالثة

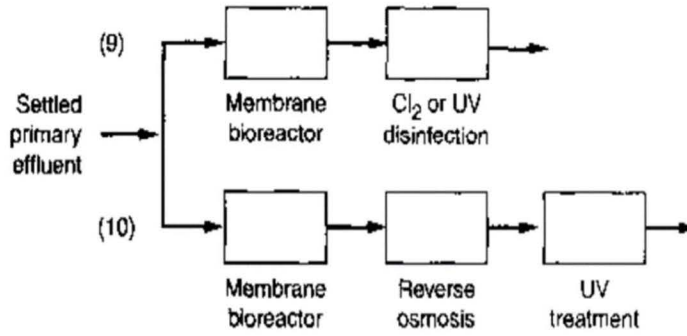
المكون المتبقي	ترشيح عميق	ترشيح رمل سطحي	ترشيح دقيق و ترشيح فائق الدقة	تناضح عكسي	الديليزة الكهربائية	الامتزاز	التجريد أو السحب بالهواء
المواد المعلقة و الغروانية العضوية و غير العضوية							
المواد الصلبة المعلقة	نعم	نعم	نعم	نعم	نعم	نعم	
المواد الغروانية المعلقة	نعم	نعم	نعم	نعم	نعم	نعم	
مواد عضوية				نعم	نعم		
المواد العضوية المنحلة							
الكربون العضوي الكلي				نعم	نعم	نعم	
مواد عضوية صعبة التفكك /البيولوجي أو المواد العضوية المقاومة للحرارة				نعم	نعم	نعم	
Refract ory							

							organic s
نعم	نعم	نعم	نعم				مواد عضوية طيارة
المواد غير العضوية المنحلة							
نعم		نعم	نعم				أمونيا
		نعم	نعم				نترات
		نعم	نعم			نعم	فسفور
		نعم					مواد صلبة منحلة / أملاح TDS و الشوارد المنحلة بما فيها المعادن الثقيلة
أحياء بيولوجية							
		نعم		نعم			بكتريا
	نعم	نعم		نعم		نعم	Protozoan cysts and oocysts وبويضات وكيسات البروتوزوا
		نعم		نعم			فيروس

الجدول b(1-4): يبين بدائل إزالة الملوثات المراد إزالتها بطريقة المعالجة الثالثة

المكون المتبقي	تبادل أيوني	عمليات الأكسدة المتقدمة	التقطير	الترسيب الكيميائي	الأكسدة الكيميائية
المواد المعلقة و الغروانية العضوية و غير العضوية					
المواد الصلبة المعلقة	نعم		نعم	نعم	
المواد الغروانية المعلقة	نعم		نعم	نعم	
مواد عضوية			نعم		نعم
مواد العضوية المنحلة					
الكربون العضوي الكلي	نعم	نعم	نعم	نعم	نعم
مواد عضوية صعبة التفكك / البيولوجي أو المواد العضوية المقاومة للحرارة.		نعم	نعم		
مواد عضوية طيارة		نعم	نعم		
المواد غير العضوية المنحلة					
أمونيا	نعم		نعم		
نترات	نعم		نعم		
فسفور			نعم	نعم	
مواد صلبة منحلة / أملاح TDS و الشوارد المنحلة بما فيها المعادن الثقيلة			نعم		
أحياء بيولوجية					
بكتريا			نعم		
وبويضات وكييسات البروتوزوا	نعم		نعم	نعم	
فيروس			نعم		





(b)

UV ، امتزاز ، Adsorption : ترشيح ، Filtration : تنقية ، Coagulation : تنقية ،
 disinfection : تطهير بالأشعة فوق البنفسجية ،
 Ozonation : التطهير بالاوزون ، Reverse osmosis : تناضح عكسي ،
 Microfiltration : ترشيح دقيق ، Ion exchanger : التبادل الأيوني ، Air
 stripping : التجريد بالهواء ، Cl₂ disinfection : التطهير بالكلور ، Membrane
 bioreactor : مفاعل بيولوجي ذو أغشية .

الشكل (a) وذلك بعد خروج مياه الصرف الصحي من أحواض الترسيب الثانوية سواء
 أكانت محطة المعالجة تحوي على مرحلة لإزالة الفسفور و النتروجين أم لا. بينما الشكل (b): يوضح
 العمليات لمياه صرف الصحي التي خرجت من حوض الترسيب الأولي .
 الشكل (1-4): يوضح بدائل استخدام المعالجة المتقدمة الثالثة في معالجة مياه الصرف
 الصحي وتسلسل عمليات المعالجة في كل مرحلة، فمثلاً الخيار (1) يتكون من العمليات المتتالية :
 تنقية - ترشيح - امتزاز بالكربون المنشط (اختياري) - تطهير بالكلور أو الأشعة فوق البنفسجية .

1-4- الترشيح :

تهدف عملية الترشيح إلى إزالة وفصل المواد العالقة العضوية واللاعضوية وكذلك
 الجراثيم والشوائب الأخرى، إن عملية الترشيح فعالة في إزالة المواد المعلقة SS تصل

حتى 85%، و يزيل حوالي 40%-60% من قيمة BOD₅ الواردة إلى المرشح ، ويمكن أن تتحقق إزالة للفسفور تتراوح بين 20-40% أيضا في المرشحات الرملية.

4-1-1- آلية عملية الترشيح :

إن مرور المياه التي جرت معالجتها بوساطة الترسيب والترويب عبر طبقة من الرمال أو من أية مادة حبيبية أخرى يؤدي إلى أن تفقد المياه القسم الأعظم مما تبقى فيها من ملوثات، ويعود سبب هذه التنقية إلى أنه أثناء عملية ترشيح المياه عبر طبقة الرمل يتم مزيج من ظواهر مختلفة أهمها التصفية والترسيب والإمتزاز والتفاعلات الكيميائية والبيولوجية.

4-1-2- الترسيب على سطوح حبيبات المرشح:

تترسب المواد العالقة على سطوح حبيبات رمل المرشحات في مختلف الأعماق، وإن الجزء الفعال من هذه السطوح هو المتجه نحو الأعلى وليس بتماس مع حبيبات الرمل الأخرى وغير المعرض للاضطراب. وبذلك فإن مساحة سطوح حبات الرمل لكل متر مكعب منه هي $S = \frac{6}{d}(1 - Po)$ ، فإذا كانت المسامية (0.4) تكون مساحة هذه السطوح (4500m²) لكل متر مكعب من حبيبات ترشيح ذات قطر (0.8 m) ، وتكون المساحة الفعالة منها للترسيب هي (200m²) لكل (1m²) من سطح المرشح. وبالتالي فإن معدل التحميل السطحي على هذه الحبيبات سيكون أقل (200) مرة تقريباً من معدل الترشيح

(نسبة التدفق إلى واحدة سطح المرشح). وعملياً فإن الترسيب لن يزيل بشكل كامل إلا الجزيئات ذات القطر الأكبر من (42μ)، أما الجزيئات ذات القطر الأصغر فإنها تزال جزئياً من الماء ،و بما أن طبقة الترشيح ذات سماكة محدودة فإن المواد العالقة المتبقية سوف تظهر في الماء المرشح . حينئذ يجب أن يوقف المرشح عن الخدمة لغسله

بشكل ارتدادي . وعلى كل حال فإن المواد الغروانية لن تزال بطريقة الترسيب بين حبيبات رمل المرشح.

4-1-3- التصفية الميكانيكية في المرشحات:

تتم التصفية الميكانيكية على سطح المرشح، و لا تتعلق بسرعة جريان الماء في المرشح . وهي تحصل عندما لا تستطيع الشوائب ذات الحجوم الكبيرة أن تمر عبر مسامات رمل المرشح.

وبما أن قطر الدائرة المغلقة للفراغ بين ثلاث حبات رمل متلاصقة يساوي إلى القيمة : $d = 0.155 D$ ، حيث: D قطر حبة الرمل الواحدة ، فإن حبات رمل قطرها (0.8 mm) ستترك مساماً بينها قطره التقريبي

(124μ) كما في الشكل (3-1) ، هذا يعني أن التصفية الميكانيكية لن تزيل إلا الجزيئات ذات القطر الأكبر من (124μ) ، وذلك عندما يكون الرمل نظيفاً. وأن انسداد المرشح سوف يؤدي إلى تصغير حجم المسامات وبالتالي سوف تزداد فعالية الترشيح نظرياً مع الزمن . وعملياً فإن التصفية الميكانيكية لا تزيل إلا قسماً ضئيلاً من المواد العالقة وتكون فعاليتها أكبر كلما كانت هذه المواد العالقة ذات حجوم أكبر.

4-1-4- الامتزاز في المرشحات:

الامتزاز هو عملية التصاق المواد الصلبة العالقة والغروانية وبعض المواد المنحلة في مياه الصرف علي سطوح حبيبات رمل المرشح . إن مجال تأثير الامتزاز يكون لمسافات قصيرة لا تتعدى ($1 - 0.01 \mu$) ، بينما نلاحظ أن طبقة الماء المغلفة لحبيبات رمل المرشح ذات سماكة أكبر ، فإذا اعتبرنا أن حبيبات المرشح ذات قطر (0.8 mm) ومسامية (0.4) فإن انتشار كمية ماء مقدارها ($0.4 m^3$) على سطوح متر مكعب من الحبيبات سيعطي سماكة مقدارها أكثر من (90μ) . وهذه القيمة كبيرة جداً

بالمقارنة مع مجال تأثير قوى الامتزاز . ولن يحدث هذا الامتزاز إلا بعد أن تجلب قوى أخرى الشوائب إلى جوار الحبيبات ضمن مجال تأثير قوى الامتزاز.

إن رمل الكوارتز النظيف هو ذو شحنة سالبة بسبب بنيته البلورية ، وبذلك فهو قادر على جذب الجزيئات ذات الشحنات الموجبة والموجودة على شكل مواد عالقة أو غروانية كالعناصر الكربونية و ماءات الألمنيوم و الحديد وغيرها، بالإضافة إلى ايونات الحديد والمنغنيز المنحلة في الماء ذات الشحنة الموجبة .

أما المواد الغروانية ذات المصدر العضوي بما فيها البكتريا فهي غالباً ذات شحنة سالبة وبذلك فهي لن تنجذب إلى سطوح رمال المرشح النظيف . عندما يتم تشغيل مرشح ذي رمال نظيفة ، فإن الجزيئات ذات الشحنات الموجبة تلتصق على حبيبات المرشح مما يسبب نقصاناً في الكمون الكهربائي الكلي مميزاً بذلك حصول حادثة الامتزاز بوساطة آليات أخرى . وهكذا تتمكن الشحنات الموجبة من أن تتراكم على حبيبات المرشح مما يؤدي إلى فرط في التشبع ، تنقلب بوساطته الشحنة لمجموع الحبة والجسيمات التي تغلفها فتصبح موجبة .

بعد الامتزاز الأولي يكون الامتزاز التالي قادراً على انتزاع الجزيئات ذات الشحنة السالبة ، كالمواد الغروانية والعالقة ذات المنشأ الحيواني أو النباتي والمواد المنحلة ذات الايونات السالبة مثل (NO_3^- و PO_4^{2-}). عندما يؤدي الامتزاز الثاني إلى حالة فوق التشبع فإن الشحنة الإجمالية تصبح سالبة مرة أخرى، مما يسمح بامتزاز الشوارد الموجبة.

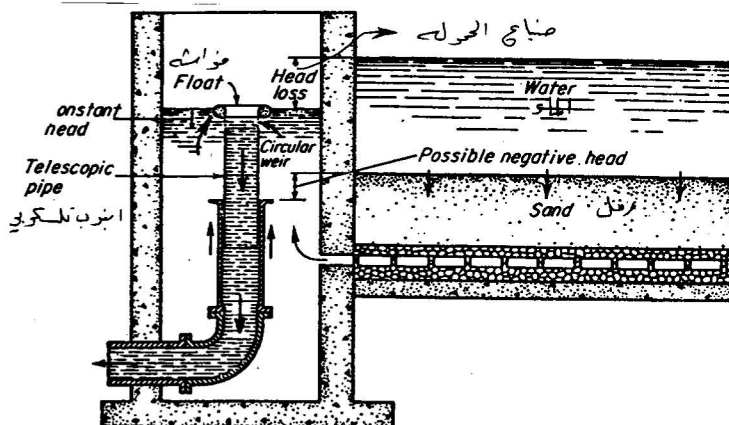
4-1-5- النشاط البيولوجي:

إن النشاط البيولوجي الذي يتم على سطح حبات رمل المرشح هو من فعل كائنات مجهرية تعيش داخل وعلى سطح طبقة الترشيح ، إذ إنه خلال مدة بقاء الماء في المرشح فإن الجراثيم الموجودة أو المضافة خصيصاً إلى المرشح تلتصق بسطوح الحبيبات

الرملية ، حيث تنمو وتتكاثر متغذية بالمواد العضوية وغير العضوية الموجودة هناك ، والتي تتحول إلى مواد عضوية خلوية حية. وهكذا تتحول المواد الغروانية و الجزيئات المنحلة إلى جزيئات حية . وبهذا الشكل تتحول المواد العضوية تدريجياً إلى أمونيا ثم إلى نترت ثم إلى نترات ، وأخيراً تتحول إلى أملاح عضوية (نترات وفوسفات وثاني أكسيد الكربون وماء) بما يسمى بالمعدنة .وحسب كمية الغذاء المؤمنة من قبل المياه الجارية في المرشح فإننا نستطيع الاحتفاظ بعدد قليل من الجراثيم ، إذن فالنمو المذكور أعلاه يرافقه إبادة ماثلة ، و يطرح قسم من الجراثيم الميتة بفضل الغسل الارتدادي للمرشح.

4-1-6- الترشيح الرملي البطيء:

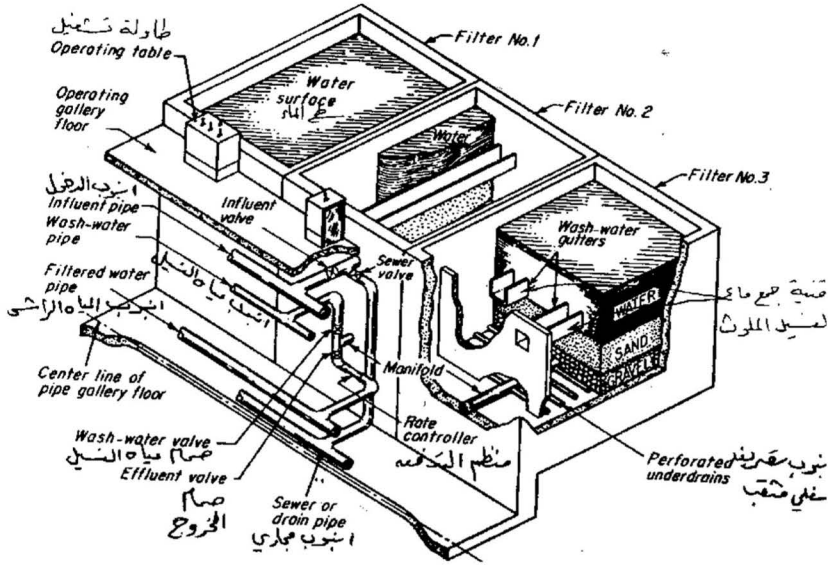
يتألف المرشح الرملي البطيء من حوض كتيـم للمياه يحتوي على طبقات رملية بسماكة (1-1.5 m) ، محمولة على طبقة بحص بسماكة (30-50 cm) ، بحيث تتوضع طبقة البحص فوق شبكة صرف مفتوحة الوصلات لجمع المياه المرشحة إلى منظم تدفق المياه الراشحة . ويحافظ عادة على سماكة للماء فوق طبقة الرمل مساوية إلى (1-1.5m) كما في الشكل (4-2)، يستمر الماء بالترشيح إلى أن يصبح فاقد الضغط أقل بقليل من عمق المياه فوق المرشح . وعندما يصل فاقد الضغط إلى الحدود المسموحة عندئذ يوقف المرشح عن العمل ويكشط (2.5cm) من سطحه العلوي .إن الغاية الأساسية للمرشح الرملي البطيء هي إزالة البكتريا من المياه بمردود عال وفعال يصل إلى 98 – 99% كما أنه يزيل المواد العالقة والقابلة للتسيب . وهو ذو أثر جيد في إزالة الطعم وخاصة الطعم الناتج عن الطحالب ، ومن الممكن أيضاً أن يزيل الترشيح الرملي البطيء اللون ، ولكنه لا يزيل المواد الغروانية بشكل تام.



الشكل (2-4): مقطعاً في مرشح رملي بطيء

7-1-4- الترشيح الرملي السريع :

يتألف المرشح الرملي السريع الثقالي من حوض كتيم مفتوح يحتوي على طبقة رمل بسماكة (30-75 cm) محمولة على طبقة بحص أو ما يشابهها بسماكة (15-45cm) كما في الشكل (3-4). ويوجد أسفل طبقة البحص شبكة صرف توصل المياه إلى المخرج . إن بعض المرشحات ذات القاع المسامي لا تحتاج إلى استعمال البحص في قاع المرشح ، تدخل المياه الخام إلى المرشح عبر فتحات في جدار المرشح ، ويحافظ على منسوب ثابت للماء الخام فوق طبقة الرمل .



الشكل (3-4): مقطعاً في مرشح سريع

من مميزات المرشحات الرملية السريعة التي جعلتها مرغوبة أكثر من المرشحات الرملية البطيئة انخفاض الكلفة الأولية للتأسيس وانخفاض المدة اللازمة لإجراء عملية الغسيل. ونلاحظ بشكل عام أن نوعية المياه الخارجة من المرشح تعتمد على عمق طبقة الترشيح وعلى زمن الترشيح

إن من أهم أسس تصميم المرشحات الرملية السريعة هو تحديد سماكة طبقة الترشيح والقطر النوعي لحبيبات الرمل وسرعة جريان الماء في المرشح (معدل الترشيح) ، وأبعاد المرشح وأقنية استقبال مياه الغسيل وسماكة طبقة الماء فوق رمل المرشح . و من أجل تركيب طبقة الترشيح يكون الاختيار في الحدود التالية :

في بعض الحالات الخاصة يمكن الحصول على نتائج أفضل باستعمال مواد ترشيح غير الرمل ، فمثلاً عندما تكون قدرة الغسيل الارتدادي غير كافية لتوسيع طبقة الرمل ، عندها يمكن استعمال مواد ترشيح ذات وزن نوعي خفيف كالانتراسيت . وبالعكس

عندما يكون توسع طبقة الرمل أثناء الغسيل كبيراً ، فعندئذ يمكن استعمال مواد ثقيلة كالهيماتيت والعقيق لحفظ طبقة الترشيح بحالة جيدة .

يجب أن تكون جميع مواد الترشيح خالية من الغبار والغضار والأوساخ والمواد الطفالية والعضوية ، وأن تكون جميعها أيضاً قادرة على مقاومة الصدمات الميكانيكية والأفعال الكيميائية والبيولوجية.

يجب أن تكون سماكة طبقة الترشيح في المرشحات التي تحوي رملًا خشناً أكبر منها في التي تحوي رملًا ناعماً ، نضع عادة طبقة من البحص بين الرمل المستعمل ونظام التصريف السفلي وذلك لمنع الرمل من دخول المصارف السفلية ولإعطاء توزيع منتظم لماء الغسيل . ويجب على البحص أن يقوم بماتين المهمتين بدون أن يتعرض للإزاحة أثناء عملية الغسيل . ولتقليل هذه الإزاحة قدر الإمكان يجب أن يكون حجمه متراوحاً بين (1.5 in) في القاع وبين (1/8 in) أعلى طبقة البحص ، موزعة هذه الحجم على خمس أو ست طبقات ، مع عمق كلي لطبقة البحص هذه يتراوح بين (25cm) وبين (50cm) . وكلما كان تدفق مياه الغسيل أكبر كان حجم طبقة البحص أكبر و ازداد عمق طبقة الترشيح.

4-1-8- سرعة جريان الماء في المرشح (معدل الترشيح) :

إن القيمة المتعارف عليها من أجل سرعة جريان الماء في المرشح (معدل الترشيح) هي $1.5-1.4 \times 10^{-3} \text{ m/sec}$ و يلاحظ أن التوفير في الكلفة الناتج عن تطبيق سرعات أعلى من هذا المعدل غير ذي أهمية. وعلى كل حال فإننا يمكن أن نستخدم السرعات الأعلى عندما يكون الرمل خشناً وعندما تكون المعالجة المسبقة أكثر كفاءة. وقد تم الحصول على نتائج محسنة بمعدل متناقص للترشيح ، حيث يمكن أن نضع صمام التدفق الخارج بوضع ثابت في بداية تشغيل المرشح وذلك لإعطاء معدل ترشيح بدائي ذي قيمة أعظمية تؤمن نوعية مقبولة للتدفق الخارج .

4-1-9- الأنايب والأقنية اللازمة لتشغيل المرشحات :

يراعى في تصميم أنابيب وأقنية نقل المياه من المرسبات إلى المرشحات أن تكون السرعة أقل من السرعة الاقتصادية لتجنب تكسر الندف المتشكلة، بحيث تتراوح هذه السرعة بين (30 cm/sec) وبين (50 cm/sec) ، بينما يمكن أن تصل السرعة في أنابيب وأقنية إخراج المياه النقية من المرشحات إلى (120 cm/sec) وتصل السرعة في أنابيب إعطاء مياه الغسيل إلى (3 m/sec) وفي أنابيب إعطاء هواء الغسيل إلى (12 m/sec) ، وفي أقنية تصريف مياه الغسيل الملوثة تتراوح السرعة بين (1.5 m/sec) وبين (3 m/sec) . تطبق السرعة M المعطاة أعلاه على أنابيب حديد الصب ، أما إذا كانت الأنابيب ببيتونية فيسمح أن تكون السرعة أقل نوعاً ما. كما يجب أن ينفذ فرع صغير من أنبوب الهواء كمفيض ينتهي بنقطة أعلى من الإرتفاع الأعظمي المحتمل لسطح الماء في المرشح.

4-1-10- عملية غسيل المرشحات:

تغسل المرشحات الرملية السريعة عندما يصل ضياع الحمولة أو عكارة التدفق الخارج حداً معيناً سلفاً ، أو لأسباب أخرى يتم غسيل المرشح الرملي السريع بتيار ماء نظيف يمر من أسفل المرشح إلى أعلاه. أما مياه الغسيل الملوثة فإما أن تذهب إلى المجاري أو أن تعاد في أحيان قليلة تنقيتها.

ويتم غسيل المرشح بوساطة المياه فقط أو بوساطة الماء والهواء. أما إذا استعملنا الماء فقط فإننا نغلق صمام التدفق الداخل إلى المرشح ونسمح للماء في المرشح أن يصرف نوعاً ما ثم نغلق صمام التدفق الخارج من المرشح ، ونفتح سكر تصريف مياه الغسيل الملوثة ثم نفتح سكر إعطاء مياه الغسيل النقية تدريجياً وذلك لمنع إزاحة البحص بوساطة الهواء المحصور فترتفع مياه الغسيل الملوثة إلى أقنية استقبالها وتنقل إلى شبكة المجاري . وعندما يصبح الماء فوق الرمل صافياً بحيث نتمكن من رؤية الرمل تحته نغلق

سكر إمداد مياه الغسيل ، ثم نغلق سكر تصريف مياه الغسيل الملوثة إلى المجرور بعد أن تكون مياه أقنية استقبال مياه الغسيل قد تصرفت تماماً ، ثم نفتح سكر التدفق الداخل ببطء وسكر التدفق الخارج ويكون المرشح قد عاد إلى الخدمة . تستمر عملية الغسيل بحدود 3 إلى 7 دقائق ، ويجب ألا تتجاوز كمية ماء الغسيل (2%) من الكمية الكلية للمياه الراشحة. وإن تجربة غسيل المرشحات على الواقع أدت إلى الملاحظات التالية :

- 1 - إن استعمال الهواء في عملية الغسيل قد يضر أكثر مما ينفع بسبب تغلغل فقاعات الهواء في الرمل والبحص وانتقال بعض حبات البحص إلى داخل الرمل.
 - 2 - إن ارتفاع مياه الغسيل بمعدلات منتظمة هو غير كاف لإزالة جزيئات الطين المتكتلة والثقيلة ويشجع على تجمعها في سرير المرشح.
 - 3 - قد تلتصق حبيبات الرمل غير المغسولة بشكل جيد ببعضها أثناء الجريان العادي مسببة تموجات وتشققات في سطح المرشح .
 - 4 - يجب أن يملأ المرشح بعد التصريف، وذلك بإعطاء مياه الغسيل ببطء كاف لتجنب إزاحة البحص .
- يجب أن نؤمن ضغطاً لمياه الغسيل في نظام التصريف السفلي يقارب (4.5) متر ماء . ويؤمن هذا الضغط عادة بوساطة مضخات خاصة أو من خزان عال خاص ، أو من شبكة توزيع مياه الشرب في الشارع (نؤمن عندها كاسر ضغط لتخفيض الضغط إلى القيمة اللازمة لعملية الغسيل). ويعطى ماء الغسيل بمعدل (0.01 – 0.015 m³/sec لكل متر مربع من مساحة المرشح. أما إذا أردنا استعمال الهواء في عملية الغسيل فيعطى بمعدل (0.01 – 0.05 m³/sec) لكل متر مربع من مساحة المرشح ، ويتم إعطاء الهواء لمدة خمس دقائق بضغط أكبر بقليل من عمق الماء فوق نظام توزيع الهواء مضافاً إليه الضياعات الخطية والموضعية، يلخص الجدول (2-4) الأسس التصميمية لكل من المرشحات الرملية البطيئة والمرشحات الرملية السريعة .

الجدول (4-2): الأسس التصميمية لكل من المرشحات الرملية البطيئة

والمرشحات الرملية السريعة :

عنصر التصميم	الواحدة	المرشح الرملي البطيء	المرشح الرملي السريع
معدل الترشيح	(م ³ /م ² /يوم)	10-1	300-100
سطح المرشح	m ²	كبيرة حتى 2000 متر مربع .	صغيرة 50-500 متر مربع
عمق طبقة الرمل	m	1.5-0.8	1.3-0.7
الحجم الفعال للرمل	mm	0.15 - 0.3	0.5 - 1
عامل انتظام الرمل	--	3 >	1.5 >
توزيع حجوم الحبيبات	--	غير متدرج	متدرج و الذرات الصغيرة أو الخفيفة في الأعلى
قاع المرشح	--	مصمم لجمع الماء الراشح	مصمم لجمع الماء الراشح
حدود ضياع الحمولة	m	عمق الماء على المرشح	عمق الماء على المرشح
مدة عمل المرشح بين	day	20 - 60	1 - 3
تغلغل المواد العالقة		سطحي	عميق
طريقة التنظيف	--	1 - قشط الطبقة العلوية والتجديد كل فترة من الزمن. 2 - الغسل الميكانيكي للطبقة العلوية في موقعها.	الغسيل الارتدادي بالهواء والماء أو بالماء فقط بمعدل مرتفع.
كمية ماء الغسيل المستعمل لأجل تنظيف الرمل	% من كمية الماء الراشح	0.6 - 0.2	6 - 1
المعالجة المسبقة للماء	--	عادة بدون معالجة مسبقة	مزج مع المواد الكيميائية المروية + تشكيل الندف + ترسيب أو تطويف
المعالجة اللاحقة للماء	--	التعقيم	التعقيم
الكلفة النسبية لرأس	--	مرتفعة	منخفضة

4-2- إزالة الشوارد المنحلة في المياه بالترشيح الغشائي والمواد العضوية:

إزالة الشوارد المنحلة في المياه كشوارد الصوديوم والبوتاسيوم والكلوريد والكبريتات والنترات و النتريت قد نحتاجها أحياناً عند معالجة مياه الصحي، خصوصاً عند إعادة استخدام المعالجة في الصناعة كاستخدام هذه المياه في التبريد أو في ري بعض المزروعات، وتستخدم تقنية الترشيح الغشائي، وخصوصاً التناضح العكسي كثيراً كمرحلة ثالثة في عملية معالجة مياه الصرف الصحي أحياناً، ويجب أن تسبق مرحلة المعالجة بالترشيح الغشائي عمليات الترشيح في الفلاتر الرملية أو الحصوية التي مرت سابقاً لمنع انسداد الأغشية.

4-2-1- الترشيح الغشائي (Membrane Filtration) :

يقسم الترشيح الغشائي بشكل عام إلى قسمين تبعاً للقوى التي تساهم في إنجاز عملية الترشيح الغشائي فمنه يتم بقوى الضغط المتزايد على الغشاء ومنه يتم بقوى الفصل الكهربائي. وهو ما يسمى بالميز الغشائي بالكهرباء (Electrodialysis) إن عمليات الترشيح الغشائي التي تتم بقوى الضغط المتزايد على الغشاء يمكن تصنيفها حسب قطر مسامات الغشاء ، حيث تقسم هذه الأغشية إلى ميكرو فلتر (Micro filter) والترافلتر (Ultra-filter) و نانوفلتر (Nano filter) و غشاء التناضح العكسي (Reverse Osmosis) و إن أقطار مسامات الأغشية و المواد التي يمكن فصلها عبر الغشاء مبينة في الجدول (4-3).

الجدول: (3-4) تصنيف المرشحات الغشائية تبعاً لحجم مسامات الغشاء

نوع المرشح الغشائي	قطر مسامات الغشاء (μm)	أمثلة عن المواد التي يمكن فصلها عبر هذا الغشاء
ميكروفلتر (MF)	0.05 – 1.5	الخلايا الجرثومية، الغروانيات الكبيرة، الجزيئات الناعمة .
الترافلتر (UF)	0.002 – 0.05	الذرات كبيرة الحجم، الفيروسات، الغروانيات.
نانوفلتر (NF)	0.0005 – 0.007	الفيروسات، الحموض الدبالية، الجزيئات العضوية Ca^{2+} ، Mg^{2+} .
غشاء التناضح العكسي (RO)	0.0001 – 0.003	الأملاح المنحلة في الماء، شوارد المعادن

ومن بين الأسباب التي أدت إلى استعمال وتطوير طريقة الترشيح الغشائي في أعمال معالجة المياه وتحمية ماء البحر قليل الملوحة هي ما يلي:

1 - الصيانة المبسطة للمرشح الغشائي، والتي تتمثل بتغيير النماذج المتكررة كل فترة من الزمن.

2 - التحسن المستمر في خواص الأغشية والبنية المدعمة لها.

3 - الحيز الصغير الذي تشغله وحدات الترشيح الغشائي.

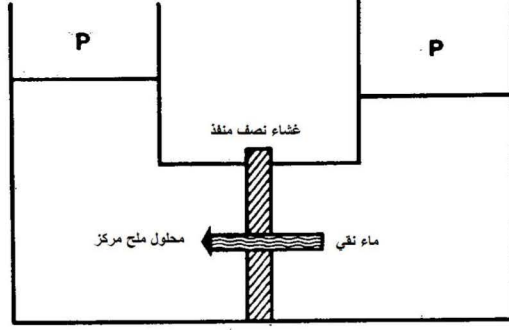
تستعمل أغشية ميكروفلتر (MF) لإزالة العكارة وإزالة الجراثيم الممرضة المقاومة للكلور مثل (*Giardia* و *Cryptosporidium*) و تبعاً لقطر مساماتها فإن أغشية ميكروفلتر يمكن أيضاً أن تزيل الجراثيم ولكنها لا تقدم إزالة كاملة للفيروسات، علماً أنّ هذه الإزالة تكون كبيرة وهامة إذا ترافق وجود هذه الفيروسات مع الجزيئات المعلقة كبيرة الحجم، هذه الأغشية تشغل تحت ضغط تفاضلي أقل من (1 bar) و بمعدل تدفق يصل إلى ($150\text{l/m}^2.\text{h}$) .

تستعمل أغشية الترافلتر (UF) في الصناعات الغذائية و غيرها من الصناعات كما أن هذه الأغشية تلقى تطبيقات متزايدة في عمليات معالجة مياه الشرب ومياه المجاري، إن أغشية الترافلتر المصنوعة من الفيبر المفرغ تستعمل بالترافق مع بودة الكربون المنشط وذلك لتأمين إنتاج مباشر لمياه الشرب اعتباراً من المياه السطحية في المستودعات المائية (إنتاج مياه الشرب بعملية ترشيح غشائي فقط بدون عمليات تنقية أخرى). إن أغشية النانوفلتر وأغشية التناضح العكسي تملك حدوداً أخفض للمسامات منها لأغشية الترافلتر، وهي قادرة على أن تنبذ المواد العضوية وغير العضوية، ويتحدد نبذ النانوفلتر للمواد غير العضوية بالتركيب الكيميائي للماء، حيث يكون نبذ الشوارد ثنائية التكافؤ أكبر بكثير من نبذها للشوارد أحادية التكافؤ.

تزيل أغشية التناضح العكسي، المواد العضوية المنحلة في الماء بشكل تام تقريباً وتزيل أيضاً الأملاح اللاعضوية، و لذلك فهي تستعمل للحصول على ماء الشرب اعتباراً من المياه المالحة (مياه البحار) و المياه قليلة الملوحة (مياه مصبات الأنهار في البحار).

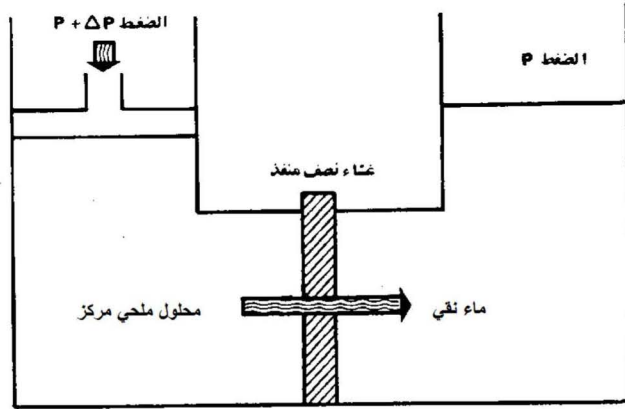
4-2-2- مبدأ التناضح العكسي :

التناضح (Osmosis) هو انتقال المذيب (كالماء مثلاً) في محلول (كالماء المالح) عبر غشاء نصف منفذ يفصل بين محلولين مختلفين في التركيز موجودين على جانبي هذا الغشاء كما في الشكل (4-4) .



الشكل (4-4) : شكل بين الانتقال الطبيعي للمذيب (الماء)

حيث يبدو في الشكل (4-4) الانتقال الطبيعي للمذيب (الماء) من ناحية الماء النقي إلى طرف المحلول المالح عبر غشاء نصف نفوذ، أي من الطرف الأقل تركيزاً إلى الطرف الأكثر تركيزاً. والغشاء نصف النفوذ هنا هو الغشاء الذي يسمح للمذيب (الماء) بالمرور عبره و لا يسمح للمادة المذابة التي نريد التخلص منها بالنفاذ عبره، وهذا الانتقال بالتناضح (Osmotic flow) يمكن تقليل كمية جريانه إذا طبقنا ضغطاً متزايداً في طرف المحلول المركز، و إذا استمر هذا الضغط في الزيادة فإن انتقال المذيب سيستمر بالتناقص حتى الحد الذي تصل فيه قيمة الضغط المطبق إلى ما يسمى بفرق الضغط الأسموزي ($\Delta\pi$) وعندها يتوقف انتقال الماء النقي (المذيب) من طرف الماء النقي إلى طرف المحلول المركز، ولو زاد الضغط في طرف المحلول المركز بحيث تصبح قيمته أكبر من فرق الضغط الأسموزي ($\Delta P > \Delta\pi$) فإن انتقال المذيب ينعكس اتجاهه فيصبح من جهة المحلول المركز إلى جهة الماء النقي كما في الشكل (4-5).



الشكل (4-5): يعبر عن اتجاه الانتقال العكسي للمذيب وفقاً لمبدأ التناضح العكسي

ولهذا فإن تعبير التناضح العكسي يطلق على تلك العملية التي يستخدم فيها فرق الضغط لإحداث انتقال مذيب من طرف المحلول المركز عبر غشاء نصف نفوذ إلى طرف المحلول المخفف ، وقد أثبتت هذه الطريقة كفاءتها في تحلية الماء قليل الملوحة (Brackish water) .

4-2-3- تصنيع أغشية التناضح العكسي :

بدأ في عام 1960 تصنيع أغشية التناضح العكسي من مادة أسيتات السيليلوز غير المتماثل ، وأطلق على الغشاء كلمة غير المتماثل بسبب وجود قشرة حدية على السطح كثافتها أعلى بكثير من بدن الغشاء المسامي الذي يليها، وتم استعمال هذه الأغشية في عمليات التناضح العكسي بسبب قدرتها العالية على إنفاذ الماء خلالها وعدم إنفاذها الكبير للأملاح.

وهذا الغشاء يتكون من قشرة سطحية سماكتها (0.25) ميكرون ، وهي تكون عند الناحية التي تعرضت للجو عند صب الغشاء وهذه الطبقة السطحية تكون كثافتها البوليميرية عالية جداً وذلك نتيجة لفقد المذيب (الأستون) السريع بعد صب الغشاء

. يتبع هذه الطبقة السطحية طبقة مسامية إسفنجية ، سمكها يتراوح بين (50) وبين (100) ميكرونًا ويوجد بين هاتين الطبقتين طبقة متوسطة السماكة، تعرف بأنها طبقة انتقالية.

4-2-4- وحدات التناضح العكسي ذات المرحلة الواحدة (1stage reverse system):

و تستخدم عندما يكون تركيز الأملاح في التدفق الداخل لا يزيد عن 5000 ملغ/ل، و أما مقدار المياه المعالجة و الطاقة الكهربائية فهي موضحة في الجدول (4-4) ، بحسب نشرات الشركة المصنعة، و الشكل(4-6) تظهر فيه وحدة المعالجة بالتناضح العكسي ذات مرحلة واحدة، بينما يبين الشكل(4-7) حالة الجريان في وحدات التناضح العكسي ذات المرحلة الواحدة وذات المرحلتين ، في حين يظهر الشكل(4-8) وحدة تناضح ذات المرحلتين مع تدوير جزء من السائل المركز

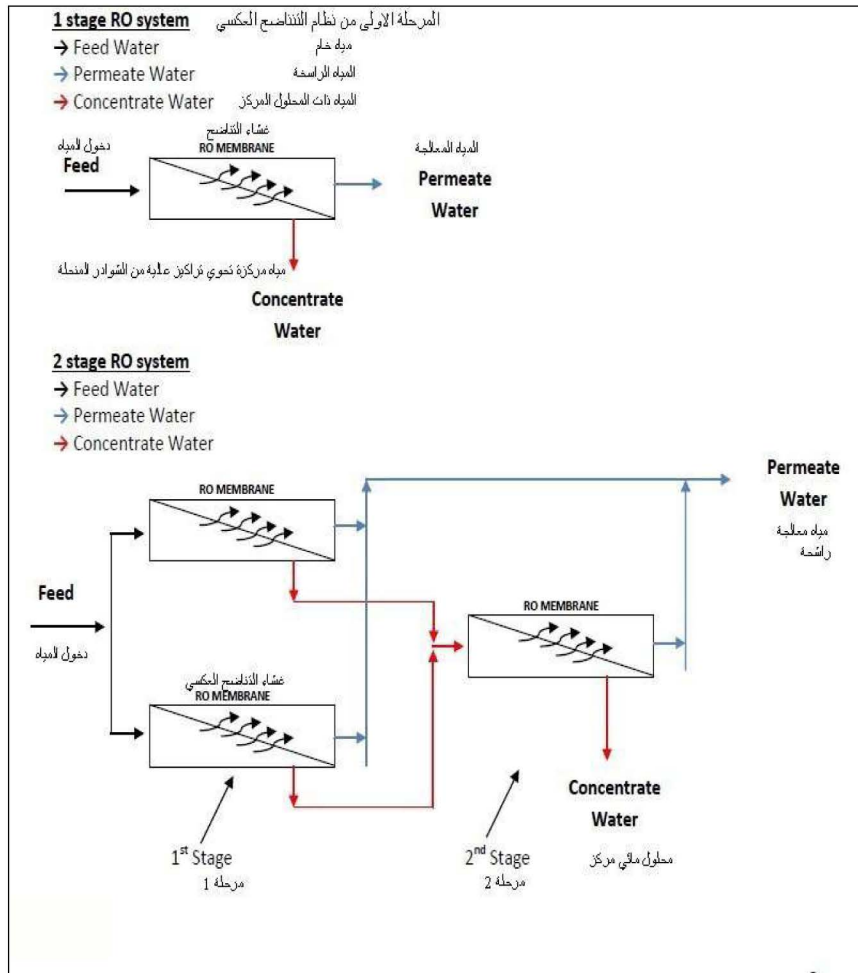


الشكل (4-6) :صورة تبين وحدة تناضح عكسي ذات المرحلة الواحدة

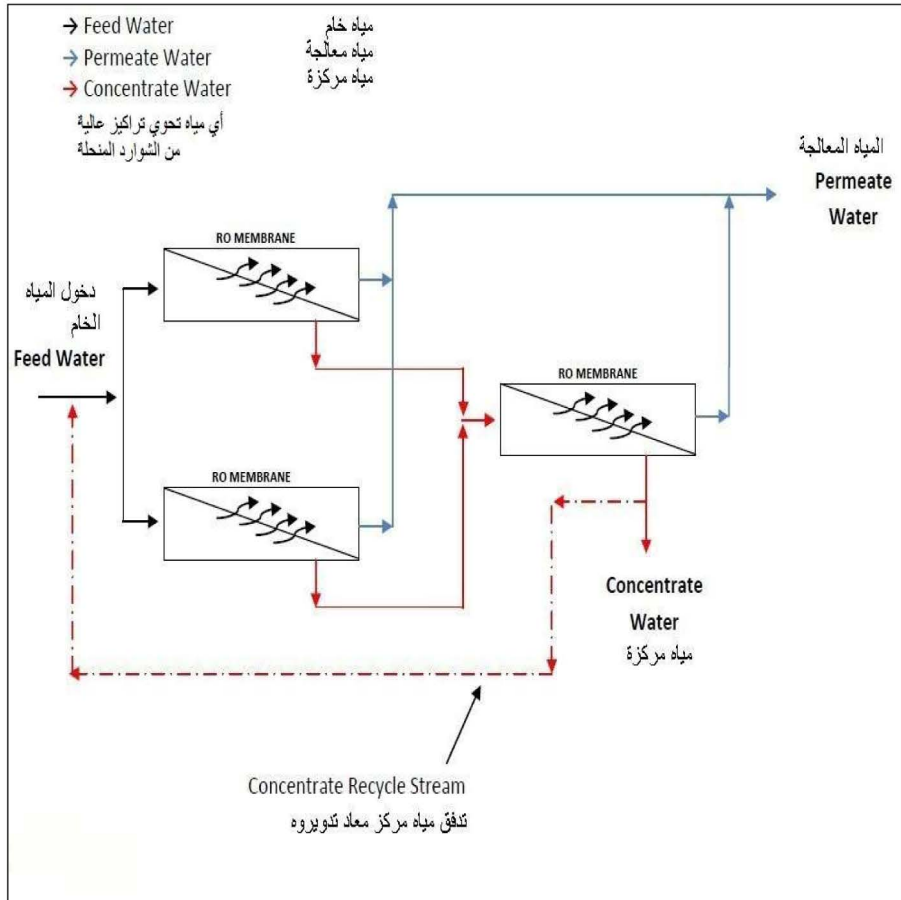
الجدول (4-4): كمية المياه المعالجة واستهلاك الطاقة الكهربائية في وحدة
التناضح العكسي ذات المرحلة الواحدة

الاستطاعة الكهربائية اللازمة بالكيلو واط	عدد الأغشية	نسبة التدفق المسترجع (التدفق الخارج من المعالجة)	التدفق الداخل م ³ /ساعة
3	8	60	2.5
4	12	65	3.2
4	16	70	4.5
7.5	20	70	5.7
11	6	57	6
11	8	65	8
15	12	65	12.5
18.5	18	65	19
18.5	24	75	23
37	30	75	31
37	36	75	37.5
37	42	75	37
45	60	75	52
2x37	72	75	72
2x37	90	75	77
2x45	108	75	98

جدول يبين القيم التصميمية و العملية لوحدات التناضح العكسي ذات المرحلة
الواحدة



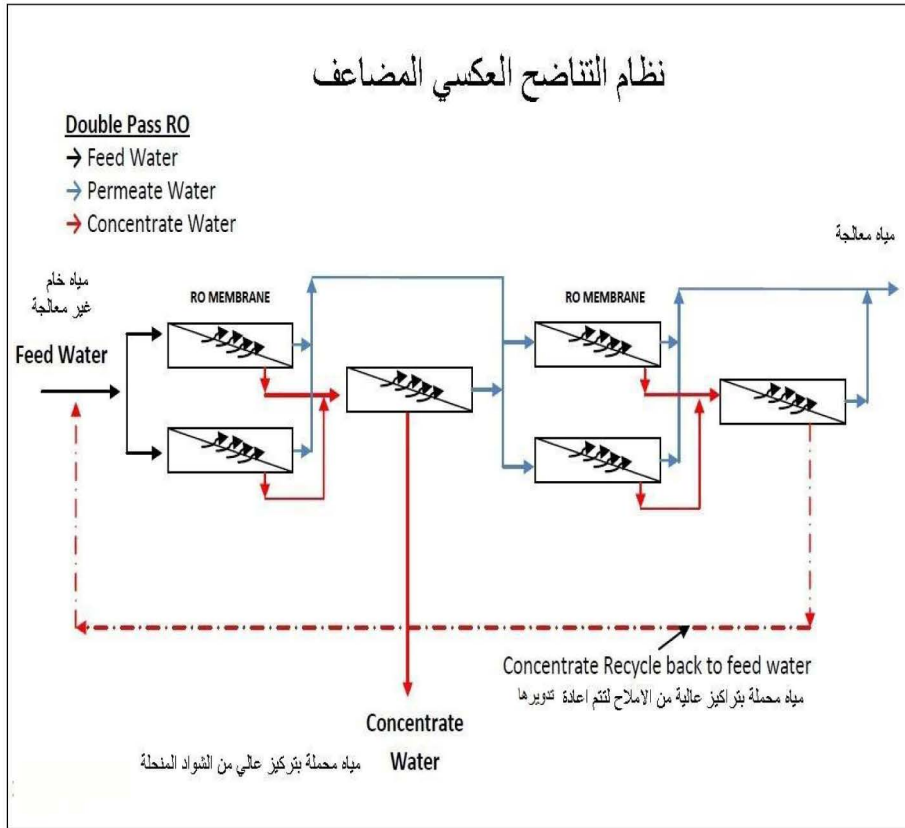
الشكل رقم (4-7): يبين حالة الجريان في وحدات التناضح العكسي ذات المرحلة الواحدة وذات المرحلتين



الشكل (4-8) : وحدة تناضح ذات المرحلتين مع تدوير جزء من السائل المركز

4-2-5- وحدات التناضح العكسي ذات المرحلتين أو المراحل المعالجة المضاعفة (double pass reverse osmosis):

و تستخدم لإزالة الأملاح من مياه البحر، لأن تركيز الأملاح الكلية المنحلة في البحار يصل حتى 160000 ملغ/ل في البحر الميت بينما في البحار العادية حوالي 35000-40000 ملغ/ل، وكذلك تستخدم عندما يكون تركيز الأملاح في المياه المطلوب معالجتها أكثر من 10000 ملغ/ل أو أكثر، كما يمكن استخدام هذه النوع من وحدات التناضح العكسي عند الرغبة في الحصول على مياه معالجة تحتوي تركيزاً قليلاً جداً من الأملاح أقل من 20 ملغ/ل، والشكل (4-9) والشكل (4-10) يبين حالة الجريان في وحدات التناضح العكسي ذات المعالجة المضاعفة (المرور المضاعف) مع إعادة تدوير قسم من المياه المعالج.



الشكل رقم (4-9): يبين حالة الجريان في وحدات التناضح العكسي ذات المعالجة المضاعفة (المرور المضاعف) مع إعادة تدوير قسم من المياه المعالج.

و من أجل تحلية مياه البحار، وعند استخدام أجهزة التناضح العكسي ذات المعالجة المضاعفة (المرور المضاعف) فإنّ ذات الشركة السابقة نفسها التي مرت معنا في الفقرة السابقة قد أعطت القيم الموضحة في الجدول (4-5) لوحدة التناضح العكسي ذات المرور (المعالجة المضاعفة):

الجدول (4-5): كمية المياه المعالجة واستهلاك الطاقة الكهربائية في وحدة التناضح العكسي ذات المرحلة المرور المضاعف

الاستطاعة الكهربائية اللازمة	عدد	التدفق الداخل
بالكيلو واط	2	0.13
5.5	5	0.42
11	2	0.83
11	3	1.25
11	3	3.2
22	12	6.5
30	18	9.5
37	24	13
60	30	16.2
60	36	18.5
74	42	22.7
75	48	33.3
107	60	41.7
121	72	50



الشكل (4-10) صورة تبين وحدة تناضح عكسي ذات عدة مراحل

و في وحدات التناضح العكسي ذات المرحلة أو ذات المرحلتين أو ذات المرور المضاعف (المعالجة المضاعفة) ، يمكن تدوير جزء من تدفق المياه المركزة المليئة بالأملاح وإعادة معالجتها والهدف من ذلك زيادة كمية المياه المعالجة وتقليل كمية المياه المركزة المليئة بالأملاح.

4-2-6- كفاءة الاستعادة في محطات المعالجة بالتناضح العكسي:

و يقصد بها كمية المياه المعالجة التي تنتج عن محطات التناضح العكسي ، فقد مر معنا أنّ هناك كمية من المياه محملة بالأملاح تصرف خارج وحدة التناضح العكسي ، وعادة تكون نسبة الاستعادة بين 50-85% ، وذلك بحسب الضغط المطبق والعوامل التصميمية الأخرى، و يتعلق هذا الأمر أيضاً بقيمة تركيز الأملاح في المياه غير المعالجة الداخلة الى وحدة التناضح العكسي ، إن قيمة الاستعادة موضحة في العلاقة الآتية:

$$\text{Recovery}(\%) = \frac{\text{permeate flow}}{\text{feed flow}} \times 100$$

Feed flow: التدفق الداخل الى وحدة التناضح العكسي .

Permeate flow: تدفق المياه المعالج الخارج من وحدات التناضح العكسي.

4-2-7-العوامل المؤثرة في تصميم محطات التناضح العكسي:

توجد الكثير من العوامل التي تؤثر على تصميم وحدات التناضح العكسي منها:

- الضغط المطبق: تزداد كفاءة المعالجة بازدياد الضغط المطبق و تزداد نسبة الاستعادة ، و لكن الكلفة التشغيلية و خصوصاً كلفة الطاقة الكهربائية تزداد أيضاً .

- تركيز الاملاح في التدفق الداخلي: كلما زاد تركيز الأملاح في التدفق الداخل تقل نسبة الاستعادة .

- درجة المعالجة المطلوبة.
- تركيز الأملاح في المياه المعالجة: يتناسب تركيز الأملاح في المياه المعالجة طردياً.
- ناقلية مياه الصرف الخام.
- عامل نفوذية الأغشية المستخدمة .
- درجة الحرارة.

4-2-8- انسداد الأغشية:

إن انسداد الأغشية وما يتبعه من نقصان للتدفقات المنتجة منها هو من أهم المشاكل التي تحدث استعمال الترشيح الغشائي في مجال معالجة المياه .وهو يتسبب في البناء التدريجي لطبقة من المواد الصلبة على سطح الغشاء ، وهذه المواد الصلبة التي تبنى على سطح الغشاء يمكن أن تحتوي على الجزيئات الغروانية وأكاسيد الحديد والمنغنيز والمواد العضوية، أو قد تحتوي على الترسبات اللاعضوية ، مثل كربونات الكالسيوم وكربونات المغنيزيوم وكبريتات الكالسيوم والسيليكا وماءات المغنيزيوم وغيرها . وهذا الانسداد يمكن إنقاظه بشكل كبير بتأمين معالجة مسبقة لمياه التغذية بالتخثير الكيميائي والترشيح الثقالي السريع أو بالمعالجة بالترشيح المضغوط .أما ترسبات كربونات الكالسيوم وماءات المغنيزيوم وكبريتات الكالسيوم والسيليكا وكربونات المغنيزيوم فيمكن إنقاظها بتدقيق تركيب الماء الكيميائي بحيث يكون ماء التغذية مستقرّاً قدر الإمكان .

لذلك تتم معالجة المياه بشكل أولي قبل أن تدخل وحدات المعالجة بالأغشية حيث توضع دائماً ، مرشحات دقيقة تسبق وحدة المعالجة بالأغشية، وكذلك تستخدم مواد تمنع حدوث الترسب على سطح الأغشية.

4-3- الامتزاز (Adsorption):

و يعتبر من الطرق الفيزيوكيميائية لمعالجة المياه، و يعرف بأنه تراكم مادة ما (عادة أيونات أو غازات على هيئة ذرات أو جزيئات) على سطح سائل أو صلب

إن مصطلح الامتزاز adsorption يعني تركز المادة على السطح ومصطلح الامتصاص absorption: يتضمن اختراق ودخول مادة إلى داخل جسم مادة أخرى إضافة إلى تركزها على السطح ، و يمكن أن يتم الامتزاز في ظروف حركية أو في ظروف ساكنة، ففي الظروف الحركية يحدث هناك خلط كأن يتم إضافة الكربون المنشط إلى حوض يحوي مياه الصرف مع الخلط أما في الظروف الساكنة فعادة تكون هناك مرشحات للامتزاز، و تمر المياه المراد معالجتها فيها ، و يستخدم الامتزاز في معالجة مياه الشرب و مياه الصرف الصحي و الصناعي كما هو مبين في الجدول (4-6):

الجدول (4-6): مجال تطبيق عمليات الامتزاز

مجال التطبيق	الغاية	المادة المازة
معالجة مياه الشرب	إزالة المواد العضوية المنحلة. إزالة المواد العضوية الملوثة الدقيقة	الكربون المنشط . الكربون المنشط.
معالجة مياه الشرب	إزالة الزرنيخ	أكسيد الألمنيوم هيدروكسيد الحديد.
معالجة مياه الصرف المنزلية (البلدية)	إزالة الفوسفات . إزالة المواد العضوية الملوثة الدقيقة.	أكسيد الألمنيوم . الكربون المنشط.
معالجة مياه الصرف الصناعي	إزالة بعض المواد الكيميائية.	الكربون المنشط البوليمرات.
معالجة مياه أحواض السباحة	إزالة المواد العضوية	الكربون المنشط.
معالجة المياه الجوفية	إزالة المواد العضوية	الكربون المنشط.
معالجة الرشاحة الناتجة عن أعمال الصحة .	إزالة المواد العضوية	الكربون المنشط.

4-3-1- طرق الامتزاز (Adsorption):

لإجراء هذه العملية يستعمل جسم صلب فتت إلى ذرات صغيرة جدا" ذات سطح نوعي كبير كالكربون المنشط، و يمكن أن يتم الامتزاز في الظروف الستاتيكية ، وفي هذه الحالة يضاف الجسم الماز بشكل ذرات إلى المياه التي تتعرض للمعالجة ويخلط معها بشكل جيد وبعدها يفصل عن المياه بوساطة الترسيب - sedimentation ، ويمكن أن تجري عملية الامتزاز في الظروف الديناميكية (الحركية)، و الجدول (4-7) يبين بعض المواد المستخدمة في الامتزاز و السطح النوعي لها:

الجدول (4-7): يبين بعض المواد المستخدمة في الامتزاز و مقدار سطحها النوعي

المادة المازة	السطح النوعي م ² /غ
الكربون المنشط	1200-600
البوليمر الممتز Polymeric adsorbents	1400-300
أكسيد الألمنيوم	350-150
هيدروكسيد الحديد الحبيبي	350-150
الزيوليت Granular ferric hydroxides	900-400

وفي الظروف الستاتيكية يجري خلط المياه الصناعية مع الأداة الماصة (Adsorbent) في خزانات تحتوي خلطات ميكانيكية أما عزل المادة الماصة بعد إنجاز عملية الامتصاص فيتم بوساطة الترسيب أو الترشيح ، وبما أن المادة الماصة تفقد قدرتها على الامتصاص بعد فترة من زمن المعالجة فإنها تساق إلى محطات تنشيط لاستعادة صفاتها الامتصاصية.

أما في الظروف الحركية فإن المياه الصناعية تواجه مرشحات محملة بمادة ماصة ويجري الترشيح من الأسفل إلى الأعلى حيث تدخل المياه الملوثة من الأسفل، وتجمع المياه المعالجة من سطح المرشح، ولكن بعد مرور فترة من الزمن فان مادة المرشح تفقد قسما من صفاتها الامتصاصية و تبدأ الأوساخ بالظهور في المياه الخارجة من المرشح .

إن المدة بين بدء عمل المرشح وبين لحظة ظهور الأوساخ غير الممتصة بوساطة المادة الماصة في المياه المرشحة تسمى دفاع المرشح .

إن عملية الامتصاص تتم نظرياً وفق العلاقة التالية :

$$A = X/M = K.C.n \quad (4-1)$$

حيث أنّ :

A: وزن المادة الممتصة (adsorbed) بملغ في (امل أو 1 غرام) من المادة الماصة الكلية الخام (Adsorbent) المستعملة Specific Sorption .

C : التركيز المتوازن للمواد الصلبة المنحلة في المياه الصناعية مع / ل .

N،K : عوامل تجريبية تتعلق بشكل المادة الماصة وصفات وتركيز المواد الصلبة في المياه الصناعية وأيضاً تتعلق بدرجة حرارة الوسط .

يقصد بتعبير التركيز المتوازن للمواد الصلبة المنحلة C تركيز المواد الصلبة المنحلة في المياه الصناعية التي تعرضت للمعالجة في اللحظة التي تنقطع فيها عملية الامتصاص . في عمليات امتصاص الفينول بوساطة الفحم المنشط فان قيمة K تتراوح من 17 إلى 18 وتكون قيمة n (بدرجة حرارة 16 °C) n=0.23 أما في عمليات امتصاص حمض الخل فإن K=0.97 و n=0.4 (بدرجة حرارة من 18°C-20°C , وعندما يكون تركيز حمض الخل في المياه التي تتعرض للمعالجة من 2000 إلى 20000 ملغ/ل) إن كمية المادة الماصة اللازمة لمعالجة المياه الصناعية تعطى بالعلاقة التالية :

$$m = \frac{(C_s - C).Q}{A} \quad (4-2)$$

حيث إن :

CS : التركيز الأولي للمواد الصلبة المنحلة في المياه الصناعية غ/ل .

C : التركيز المتوازن غ/ل .

Q: تدفق المياه الصناعية ل .

وعند استعمال طريقة الامتصاص في الظروف الحركية . فإن مدة عمل المرشح
تحدد بالعلاقة التالية :

$$t = KH - \text{L} \quad (4-3)$$

حيث إن :

H: ارتفاع المرشح بالمتر .

K، L: عوامل تجريبية تتعلق بعدة عوامل منها التركيز الابتدائي للمواد المنحلة
في المياه الصناعية وسرعة جريان الماء المرشح .

ولتحديد كمية المواد المنحلة الممتصة من قبل المرشح تستعمل العلاقة التالية :

$$V = (H - h) \times F \times a \quad (4-4)$$

V: كمية المواد التي يحجزها المرشح بالكغ .

H: ارتفاع المرشح بالمتر .

h: ثابت يحدد تجريبياً .

a: الفعالية الديناميكية لمر مكدب واحد من المادة الماصة الخام تساوي

0.8-0.85 من قيمة A أي من قيمة هذه الفعالية في الحالة الستاتيكية .

F- المساحة الافقية للمرشح بالمتر المربع .

ومنه يمكن حساب ارتفاع المرشح اللازم بالعلاقة التالية :

$$H = \frac{V}{aF} + h \quad (4-5)$$

إن السرعة الحسابية لجريان الماء في المرشح Filtration rate (من الأسفل
إلى الأعلى) تؤخذ 2-4 م/ساعة.

إن عملية الامتصاص في الظروف الديناميكية تؤمن نتائج أفضل منها في الظروف
الستاتيكية المعالجة بالامتصاص، ويمكن أن تجري على مرحلة واحدة أو على مراحل
بالتتالي .

إن الهدف من عمليات تعقيم مياه الصرف الصحي المعالجة معالجة ثانوية أو ثالثية هو إزالة العضويات الممرضة وبيوض الديدان لتكون آمنة الاستخدام في الري و من قبل المزارعين ، هذه العضويات التي تساهم في نقل الأمراض عبر الماء والتي تتضمن الفيروسات والجراثيم ووحيدات الخلية (الأوليات) والديدان.

4-4-1- آلية عملية التطهير :

إن مقدرة مادة معقمة ما على قتل الجراثيم تتعلق بتركيز هذه المادة وزمن التماس . وقانون تشيك يفترض أن معدل إتلاف العضويات الدقيقة يعتمد على عدد هذه العضويات كما في العلاقة :

$$\frac{dN}{dt} = -kN \quad (4-6)$$

حيث إن :

N : عدد العضويات الدقيقة من نوع واحد في الزمن t .

k : ثابت أبعاده t^{-1} .

بالتكامل بين الحدود $N = N_0$ من أجل $t = 0$ نحصل على :

$$\ln \left(\frac{N}{N_0} \right) = -kt \quad (4-7)$$

$$N = N_0 e^{-kt} \quad (4-8)$$

من هذه العلاقة نلاحظ أن الإتلاف الكامل للجراثيم ليس ممكناً ، ويعبر عن كفاءة التعقيم بنسبة عدد العضويات الدقيقة المتلفة إلى العدد الأصلي لهذه العضويات . لا تعود علاقة تشيك لجميع المعقمات وجميع العضويات الدقيقة .

إن معدل الإتلاف يعتمد أيضاً على عوامل أخرى كالنفاذ في جدار الخلية وزمن اختراق المراكز الحيوية فيها ، بالإضافة إلى توزيع الأحياء الدقيقة والمادة المعقمة . ولذلك فإن كل نوع من الأحياء الدقيقة سيكون له حساسية مختلفة بالنسبة إلى كل مادة

معقمة، ويعبر عن هذا بتغيير (k و t) في المعادلة السابقة . إن علاقة تشيك هي قاصرة نوعاً ما لأن عامل الإتلاف غالباً ما يعتمد على الزمن. وإن اعتماد معدل الإتلاف على الزمن يمكن التعبير عنه كما يلي :

$$\frac{dN}{dt} = -kNt \quad (4-9)$$

والذي من أجله يكون الشكل المتكامل هو :

$$\ln \left(\frac{N}{N_0} \right) = -k \frac{t^2}{2} \quad (4-10)$$

وقد وجد أن الفعل التعقيمي للهالوجينات وغيرها من المعقمات المؤكسدة نادراً ما يتبع علاقة تشيك (4-6) ، وهو يتبع بشكل أكثر دقة العلاقة (4-11) .
يمكن بشكل مبسط أن نكتب المعادلة التالية :

$$C^n \cdot tp = \text{ثابت} \quad (4-11)$$

حيث إن :

C – تركيز المادة المعقمة .

tp – زمن التماس بين العضويات الدقيقة والمادة المعقمة لإتمام الإتلاف

المطلوب .

n – ثابت من أجل نوع واحد من المادة المعقمة والكائنات العضوية

الدقيقة عند معدل إتلاف واحد .

فمثلاً عند استعمال الكلور كمادة معقمة وبنسبة إتلاف مقدارها (99 %))

تكون صيغ المعادلة السابقة بالنسبة إلى الكائنات العضوية المختلفة بالشكل التالي :

للاشريكية الكولونية (E.Coli) :

$$C^{0.86} \cdot tp = 0.24 \quad (4-12)$$

لفيروس التهاب سنجابية النخاع الشوكي (Poliomyelitis virus) :

$$C^{O.86} \cdot tp = (4 - 13)$$

1

لفيروس الحمى الكوكسائية (Coxsackie virus A₂) :

$$C^{O.86} \cdot tp = 6 \quad (4 - 14)$$

ونلاحظ بشكل عام أنه بالنسبة للمواد المعقمة التي تكون فيها قيمة (n) أصغر من الواحد (مثل الكلور) يكون زمن التماس عادة هو العامل الأهم لضمان التعقيم الجيد. ولهذا يطبق زمن تماس كبير نوعاً ما (30) دقيقة من أجل العديد من الاستعمالات .

4-4-2- التطهير بوساطة الكلور:

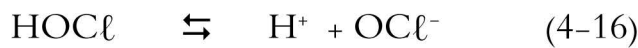
في الأحوال العادية فإن الكلور غاز مخرش لونه أخضر مصفر ذو كثافة تعادل (2.5) مرة كثافة الهواء ، ويمكنه أن يوجد بشكل سائل تحت ضغط منخفض نسبياً (3.7 ضغط جوي) ، وهو ذو قابلية مرتفعة للانحلال في الماء ، كما أنه مادة معقمة ولو كان بتركيز منخفض .

إن انحلال الكلور في الماء يؤدي إلى تشكيل حمضين حمض كلور الماء وحمض الهيبوكلوري:



إن حمض كلور الماء لا يلعب دوراً في عملية التعقيم، أما حمض الهيبوكلوري فهو العامل الفعال في التعقيم ويشار إليه عادة بالكلور المتوفر الحر .

إن نسبة (50%) من حمض الهيبوكلوري تتفكك عند (pH) للماء تعادل (7.5) تقريباً لتعطي شاردة الهيبوكلوريت كما في المعادلة التالية :



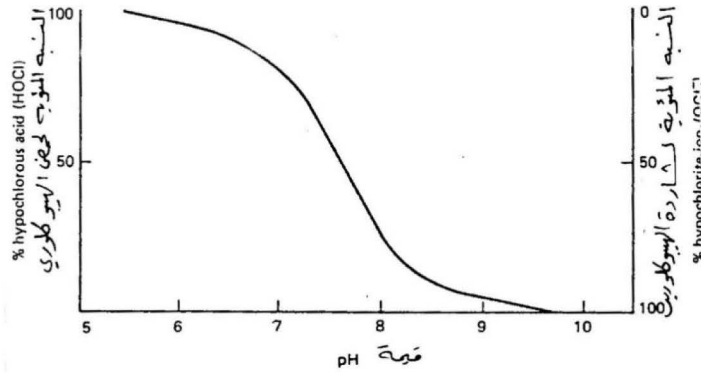
إن شاردة الهيبوكلوريت لا تلعب دوراً هاماً في عملية التعقيم ويبين الشكل (4-11) علاقة نسبة (HOCl) إلى (OCl) في الماء عند قيم مختلفة لـ (pH) . ولضمان تعقيم فعال يجب الحفاظ على قيمة (pH) للماء بحيث تكون نسبة (90%) من الكلور في حالة (HOCl) .

إن الكلور ينفذ بسرعة ضمن الخلايا الجرثومية ليؤكسدها كما في المعادلة :



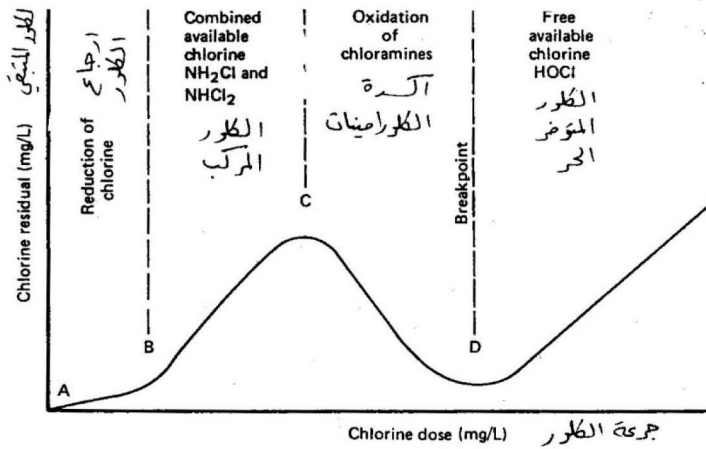
وعلى كل فإن فعالية الكلور تتأثر بشكل كبير بالخواص الفيزيائية والكيميائية للمياه . وإن وجود الأجسام العالقة وتجمع العضويات الدقيقة بشكل عنقودي يمكن أن يشكل حماية لها مما ينقص القدرة التعقيم للكلور . كما أن وجود النترات وشوارد الحديد وكبريت الهيدروجين يسبب اتحاد هذه الشوارد مع الكلور وتخفيض التركيز المتوفر لعملية التعقيم . وإن وجود الأمونيا في الماء يؤدي إلى اتحادها مع الكلور لتشكيل بشكل متسلسل مركبات أول كلور الأمونيوم ثم ثاني كلور الأمونيوم ثم ثالث كلور النتروجين (الكلورامين الأحادي ، الكلورامين الثنائي ، الكلورامين الثلاثي) :





الشكل (4-11): علاقة نسبة (HOCl) إلى (OCl) في الماء عند قيم مختلفة لـ (pH)

بالإضافة إلى ذلك فإن الكلورامين الأحادي والكلورامين الثنائي يمكن أن يتفاعلا ليعطيا غاز النتروجين (N_2) أو أكسيد الآزوت (N_2O) أو الاثنين معاً. وإن أي نسبة من هذه النواتج تعتمد على شروط التفاعل التي من أهمها: التراكيز ودرجة الحرارة وقيمة pH. تمثل على الشكل (4-12) العلاقة البيانية بين جرعة الكلور وكمية الكلور المتبقي في الماء وذلك بوجود مركبات النشادر.



الشكل (4-12): العلاقة البيانية بين جرعة الكلور وكمية الكلور المتبقي في الماء وذلك بوجود مركبات النشادر

في المجال (AB) يتفاعل الكلور المضاف مع أية مادة موجودة في الماء قابلة للتفاعل معه ، مما يؤدي إلى نقله إلى مركبات الكلورايد (Cl^-) غير المعقمة. وتبقى كمية قليلة جداً من الكلور لعملية التعقيم . بإضافة المزيد من الكلور (كما في المجال BC) فإن الكلور سيشكل الكلورامين الأحادي والكلورامين الثنائي بتفاعله مع الأمونيا . هذه الكلورامينات تعتبر مواد معقمة ، ولكنها ذات فعالية أقل من الكلور الحر في عملية التعقيم . وهي إذا وجدت بتركيز كبير أو أتيح لها زمن تماس طويل فإنها سوف تقضي على العضويات الممرضة . يشار إلى الكلورامين الاحادي والكلورامين الثنائي بالكلور المركب المتوفر . وفي هذا المجال (BC) فإن إضافة الكلور تنتج زيادة نسبية في كمية الكلور المركب المتبقي .

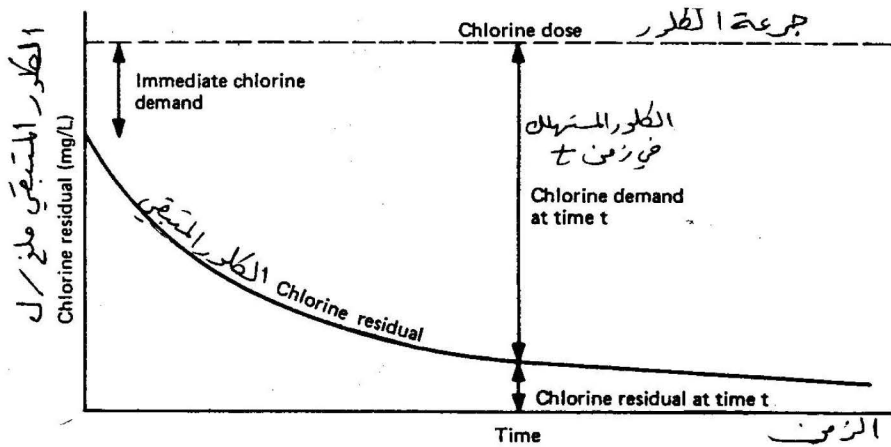
إن إضافة المزيد من الكلور فيما بعد يعطي الكلورامين الثلاثي والنتروجين وأكسيد الآزوتي ومنتجات أخرى لا تعتبر جميعها فعالة في عملية التعقيم . وهكذا فإنه في المجال (CD) فإن إضافة المزيد من الكلور تنقص كمية الكلور المتوفر للتعقيم . بعد النقطة (D) فإن أية إضافة لمزيد من الكلور سوف تظهر بشكل كلور حر متوفر ($HOCl$) فعال في عملية التعقيم. تدعى النقطة (D) نقطة التكسير . تبلغ كمية الكلور المطلوبة للوصول إلى نقطة التكسير عدة مرات تركيز الأمونيا في الماء . إن التراكيز النسبية للكلور الحر والمركب المتبقيان يمكن تحديدها إما بالوسائل البسيطة لقياس اللون أو بالوسائل الآلية .

وتعتمد غالبية طرق التحديد هذه على السرعة الكبيرة لتفاعل الكلور الحر، الأمر الذي يعطي قراءة سريعة بينما يتفاعل الكلورامين الثنائي والأحادي ($NHCl_2$) و (NH_2Cl) ببطء نسبياً . فمثلاً إن الكاشف (كبريتات الديامين - فينيلين - داثيل - ب) أو كبريتات (DPD) (Diethyl-p-phenylene- diamine . sulphate) يعطي لوناً أحمر بتفاعله مع الكلور الحر . وإن إضافة يوديد البوتاسيوم يحدث إنتاجاً للون بوجود الكلورامين الأحادي والكلورامين الثنائي . وقد دمجت بعض

المواد مع كبريتات (DPD) لمنع التداخل مع المعادن التي تترك أثراً . وهذا الكاشف متوفر بشكل حبوب (DPD_1) لتحديد الكلور الحر المتوفر و (DPD_2) لتحديد الكلور الحر والكلورامين الأحادي (DPD_3) لتحديد الكلور الكلي .

يمكن أن نستعمل غاز الكلور كمادة معقمة فهو الغاز الذي تكون فيه المادة الفعالة هي حمض الهيبوكلوري. أو أن نستعمل كبديل مركبات الكلورامين، بحيث تشكل هذه المركبات في الماء وتعمل كمادة معقمة . أمّا بالنسبة للصرف المعالجة ثانوية أو ثالثية ذات تركيز قيمة BOD_5 تتراوح بين 10-50 ملغ/ل، فإن كمية (10-40) ملغ/ل من الكلور، بزمان تماس قدره (15-90) دقيقة تعطي تعقيماً جيداً عند قيمة ل (pH) بين 6.5 و 7.5 ، إن إضافة جرعة كبيرة من الكلور بما يعرف بالكلورة العالية، تسبب أكسدة تامة للأمونيا وللكلوروفينولات مما يؤدي إلى إزالة الرائحة .

ويبين الشكل (4-13) علاقة جرعة الكلور المضافة مع كمية الكلور المتبقي في الأزمنة المختلفة وذلك أثناء عملية تعقيم اعتيادية .



الشكل (4-13): علاقة جرعة الكلور المضافة مع كمية الكلور المتبقي في الأزمنة المختلفة، وذلك أثناء عملية تعقيم اعتيادية

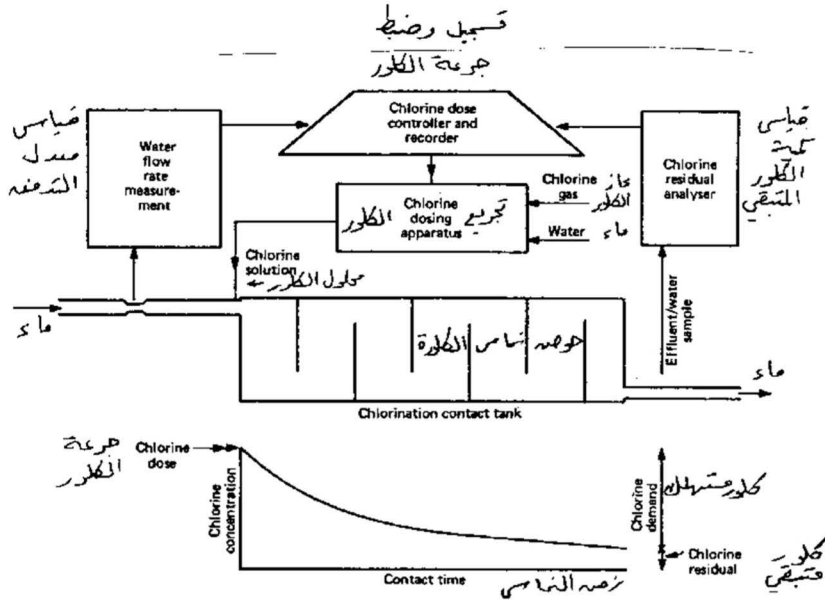
4-2-1- طرق إضافة الكلور :

يمكن شراء الكلور على شكل هيبوكلوريت الكالسيوم الصلب أو هيبوكلوريت الصوديوم السائل أو بشكل كلور سائل متوفر في اسطوانات أو براميل ، ويكون معدل إزاحة الكلور من اسطوانته تابع لدرجة الحرارة، يتعلق ضغط بخار الكلور بدرجة الحرارة ، وحالما يتم تبخر الكلور يجب أن تعوض حرارة التبخر الكامنة وسوف تكون حرارة اسطوانة الكلور السائل أقل من حرارة الجو بسبب امتصاص الحرارة الكامنة للتبخر.

أما إذا سحب الكلور من اسطوانته بسرعة كبيرة فإنه سيحدث تجمد أو تفرق شديد بسبب التكاثرات الحاصلة، كما يجب أن نخفض معدل سحب الكلور من اسطوانته في الأجواء الرطبة جداً. وهكذا فإنه من الممكن سحب الكلور بسرعة عندما تكون حرارة الجو مرتفعة ، وببطء في درجات الحرارة المنخفضة ، فمثلاً يمكن استخدام اسطوانة كاملة خلال أربعة أيام في درجة حرارة (21°م) ، بينما تحتاج إلى شهر لاستهلاكها في درجة حرارة (2°م) . كما يجب تجنب تكاثف الغاز في أنابيب نقله، يجب أن يحافظ صمام خفض الضغط المربوط قرب الاسطوانة على الضغط في الأنابيب أقل من ضغط البخار في درجة حرارة الأنبوب.

يحل الغاز بكمية صغيرة من التدفق المراد تعقيمه مما ينتج محلولاً قوياً من حمض الهيبوكلوري يضاف هذا المحلول بعدها إلى الماء المراد تعقيمه .

تحتاج آلية حقن الكلور إلى المياه إلى ضبط شديد ، ويكون غاز الكلور أميناً فقط عندما يتم استعماله بشكل صحيح . إن الانحلال الكبير للكلور في الماء مع التصميم الهيدروليكي للجهاز الحقن يضمنان سحباً للكلور إلى الماء في جو مفرغ ، مما يقلل إمكانية تحرر الكلور إلى الجو فيما إذا حدث تسرب في الجهاز . والشكل(4-14) يبين تخطيطاً لعملية الكلورة .

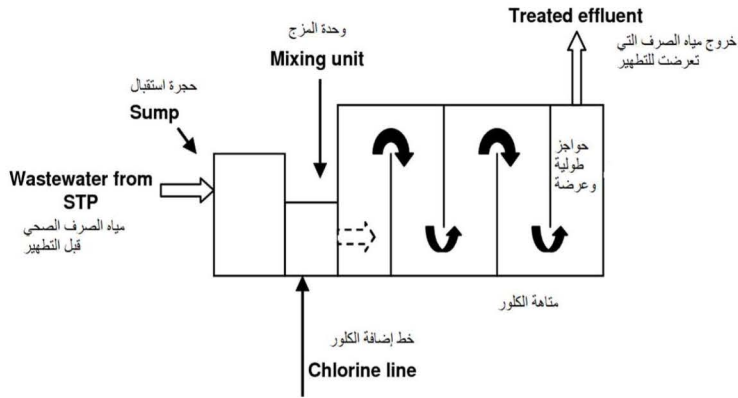


الشكل (4-14): تسلسل عمليات التطهير بالكلور

إن الكلورة بوساطة هيبوكلوريت الصوديوم أو الكالسيوم تستخدم أساساً مشابهة للأسس المذكورة بالنسبة للكلور الغازي أو السائل ، وتتم هنا الكلورة بجعل محلول الهيبوكلوريت يضاف إلى الماء نقطياً، كما أنه يتوفر في الأسواق حبوب مكلورة. عند استخدام مادة الكلور كمادة مطهرة في محطات معالجة مياه الصرف الصحي قد نضطر إلى إزالة الكلور المتبقي بعد عملية التطهير و ذلك في حال كانت شروط المصب تقتضي ذلك، كأن يتم تصريف معالجة الصرف المطهرة إلى بحيرة فيها كائنات حية تتأذى بسبب وجود الكلور أو عند استخدام مياه الصرف لري بعض المزروعات التي تتأذى بسبب وجود الكلور، والشكل (4-15) يبين شكل حوض التطهير بالكلور.



المصدر: <https://www.lrbsa.com/how-does-it-work/disinfection.html>



الشكل (4-15): شكل حوض التطهير بالكلور

4-2-2-4-2- تصميم أحواض التماس بالكلور :

كما ورد في الشكل (4-15) تصمم أحواض التماس بالكلور على شكل متهايات (أشواط) و ذلك بهدف تحقيق أطول زمن تماس بين الكلور و مياه الصرف للقضاء على الجراثيم و الفيروسات الممرضة ، إن أسس تصميم أحواض التماس بالكلور هي كما يأتي:

1- زمن المكوث عند التدفق الوسطي يتراوح بين 30-120 دقيقة.

- 2- زمن المكوث الهيدروليكي عند التدفق الأعظمي يتراوح بين 15-90 دقيقة.
- 3- السرعة الأفقية في أشواط الحوض تتراوح بين 2-4.5 م/دقيقة لمنع حدوث أي ترسيب في هذا الحوض .
- 4- بالنسبة لمياه الصرف المعالجة معالجة ثانوية أو ثالثة ذات تركيز قيمة BOD_5 تتراوح بين 10-50 ملغ/ل ، فإن كمية (10-40) ملغ/ل من الكلور

4-4-3- مثال:

- صمم حوض الكلورة لمياه صرف صحي خارجة من المعالجة الثانوية وفق المعطيات الآتية:

-الغاية من وحدة تطهير مياه الصرف الصحي تطهير المياه المعالجة للحصول على مياه معالجة تصلح لسقاية النباتات التي تؤكل نيئة ، وكذلك المساحات الخضراء ضمن حرم المحطة ، وذلك لأن مثل هذه الوحدات قادرة على خفض نسبة التلوث البكتريولوجي بإزالة 99% من الجراثيم والمتعضيات الممرضة التي تتواجد ضمن مياه الصرف الصحي وعادة تتألف وحدة التعقيم من:

- الغزارة الوسطية اليومية للمرحلة الأولى: $Q_{av} = 300m^3/day$

- زمن المكث من أجل الغزارة الوسطية لا يقل عن 30 دقيقة

-جرعة الكلور الحر CL_2 المطلوبة تتراوح ما بين (10-40)ملغ/ل من أجل الغزارة الوسطية.

- حساب الحجم من أجل الغزارة المتوسطة :

$$V = Q \times t$$

$$V = 30/60 \times (300/24) = 6.25m^3$$

- بفرض ارتفاع الماء: 0.75 م

نضيف 0.25 متر ارتفاع حر في الحوض فيكون الارتفاع الكلي للحوض هو:

1 م

تكون المساحة اللازمة :

$$A=V/H=6.25/0.75=8.33\text{m}^2$$

نختار نسبة الطول إلى العرض 10 ونحسب العرض :

$$A=W \times 10W=8.33\text{m}$$

ومنه يكون العرض 0.833 م ولكن لسهولة التنفيذ نختار عرضاً للحوض

يساوي 1 متراً و بطول 10 متر

إذا أبعاد حوض الكلورة هي :

$$W=1\text{m}$$

$$L=10\text{m}$$

$$H_w=0.75 \text{ m (ارتفاع مياه الصرف)}$$

$$H=1\text{m (الارتفاع الكلي)}$$

ومن المفضل وضع نافثات هواء على الأقل نافثة، في كل شوط لتحقيق اختلاط جيد لمياه الصرف المعالجة مع الكلور المضاف، ويوضع في الحوض حواجزاً على كامل ارتفاع الحوض و بعرض أقل من حوض الحوض بحيث يكون عرض الحواجز 0.7 متر و ارتفاعه يساوي ارتفاع الحوض 1 م والتباعد بين الحواجز 0.5 متراً كما مبين في الشكل (4-15).

نتحقق من شرط السرعة بين في الحوض :

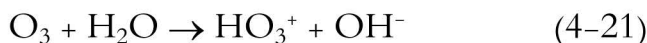
$$V=Q/(hw \times \text{التباعد بين الحواجز})$$

$$V = \frac{\left(\frac{300}{24 \times 60}\right)}{0.75 \times 0.5} = 0.56 \text{ m/minute} < 2 \text{ m/minute}$$

لذلك من المتوقع حدوث ترسبات في حوض الكلورة و هذه المشكلة شائعة جداً لأنه غالباً في محطات معالجة مياه الصرف الصحي الصغيرة و المتوسطة شرط تحقيق السرعة التي تمنع الترسب في حوض الكلورة لا يتحقق لكنه لا يؤثر على التصميم حيث يمكن إزالة هذه الرواسب كل فترة من الزمن بحسب كميتها في الحوض .ويضاف الكلور في هذا الحوض بجرعة كمية (10-40) ملغ/ل ، تحدد الجرعة بشكل دقيق أثناء تشغيل المحطة .

3-4-4-تطهير مياه الصرف بالأوزون (Ozone):

الأوزون هو مؤكسد قوي يستعمل لتطهير مياه الصرف ، كما إنه فعال في إزالة والرائحة واللون والحديد والمنغنيز من مياه الصرف ، وهو أيضاً يقلل من المحتوى العضوي للماء وبالتالي يمنع نمو أشكال الحياة الدنيا في الماء ، وبشكل عام فإن الأوزون هو غاز أزرق اللون ذو رائحة مميزة، يتكون من ثلاث ذرات اكسجين مرتبطة ببعضها (O₃) ، وهو غاز مخرش لاذع يزعج الأنف والعيون والحنجرة ، وهو سام في التراكيز المنخفضة ، كما أن طبيعته المسببة للتآكل تعني إمكانية تداوله فقط باستعمال الفولاذ غير القابل للصدأ (ستانلس ستيل) والكلورايد الفينيلي متعدد الجزيئات (Polyvinyl Chloride) ، وهو غاز قليل الانحلال في الماء ، وغير مستقر يتفكك ليعطي جزيء الأكسجين (O₂) وإن انحلاله القليل وعدم استقراره يقتضيان توليده في الموقع وتقديمه على شكل فقاعات دقيقة وإن فترة تماس مع مياه الصرف تتراوح بين (10-30) دقيقة تكون كافية عادة للقضاء على العضويات الممرضة .إن انحلال الأوزون في الماء يتم حسب المعادلات الآتية:



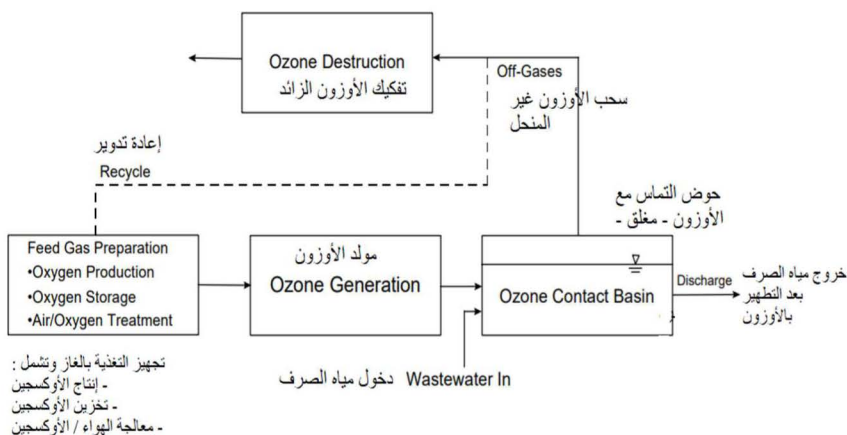


إن الجذور الحرة (HO_2) و (HO) تملك قوة مؤكسدة كبيرة ، ومن المحتمل أن تكون هي الأشكال الفعالة في عملية التعقيم ، وأيضاً هذه الجذور الحرة تملك القوة المؤكسدة الكافية للتفاعل مع الشوائب الأخرى الموجودة في الماء ، مثل أملاح المعادن والمواد العضوية . إن التفكك السريع للأوزون يعني عدم وجود بقية منه ، أما إذا احتجنا إلى تعقيم لاحق فيجب أن نستعمل الكلور أو الكلورامين أو ثاني أكسيد الكلور . إن التعقيم بالأوزون يعود إلى تدميره البروتوبلازما للخلية الجرثومية ، وكفاءة التعقيم به تتعلق بالجرعة المقدمة ، وتكون قيمة العامل (n) في العلاقة ثابت $C^{n}tp =$ أكبر من الواحد.

ينتج الأوزون من تعريض تيار من الهواء الجاف المصفى المبرد إلى تفريغ شحنات كهربائية ساكنة . ويجب العناية أثناء هذا التفريغ أن نتجنب تشكل قوس كهربائي يمكن أن يسبب اهتراء الالكترودات وإنتاج أبخرة نثرية . وهذا الأمر يمكن تجنبه بتجفيف الهواء المستعمل وتأمين تغطية لأحد الالكترودين أو كليهما بعازل كهربائي زجاجي . وتكون قيمة القوة الكهربائية المحركة (Voltage) المطبقة بين الالكترودين هي بحدود (8-15kv) ، وعندما يكون التردد المستعمل في حدود (50) دورة في الثانية يكون انتاج الأوزون 14 ملغ/ثانية

من كل متر مربع مصرف وتكون الاستطاعة المستهلكة هي (1kw) . ويمكن مضاعفة هذا الناتج إذا زاد التردد إلى (500) هرتز . وإن كمية الأوزون التي نحصل عليها تتناقص مع ارتفاع درجة الحرارة وبالتالي فإنه يجب الحفاظ على الالكترودات باردة قدر الإمكان . ويمكن تأمين هذا الأمر بتدوير تيار مائي على الالكترودات . وعادة يكون تركيز الأوزون في الهواء الخارج من اسطوانة توليده هو بحدود 5-10 غرام/م³ ، وحتى نقوم بتعقيم (1متر مكعب) ، من ماء نقي بشكل معقول فإننا نحتاج إلى 0.5-1 غرام من الأوزون ، ونحتاج إلى كمية أكبر إذا كان المحتوى العضوي للماء كبيراً. عادة

يكون الاوزون أغلى من الكلور فهو يتطلب طاقة كهربائية عالية لإنتاجه ما يقارب (10 – 15) مرة ما يحتاجه الكلور، وهو الآن يستخدم على نطاق واسع في القارة الأوروبية . و الشكل(4-16) يبين تسلسل عمليات تطهير مياه الصرف بالأوزون.



الشكل (4-16): يبين تسلسل عمليات تطهير مياه الصرف بالأوزون

4-4-4- التطهير بواسطة الأشعة فوق البنفسجية :

(Ultraviolet radiation) :

تقتل الأشعة فوق البنفسجية الخلايا النامية وأبواغ العضويات الدقيقة، وهي أيضاً مميّنة للفيروسات، ويتم هذا الأمر بتعريض طبقة رقيقة (حتى سماكة 15 سم) من مياه الصرف للأشعة فوق البنفسجية . تختلف قابلية الأشعة فوق البنفسجية للتعقيم مع طولها الموجي ، وتمتد قابليتها للتعقيم بين الطول الموجي 200 نانومتر وبين الطول الموجي 295 نانومتر ويكون تأثيرها أعظمياً عند الطول الموجي 254 نانومتر . وإن معدل إبادة العضويات الدقيقة يتبع علاقة تشيك ويكون عامل الإبادة تابع لشدة الإشعاع .

$$k = k' I^n \quad (4-25)$$

حيث إن: k' هو ثابت .

I: هو شدة الإشعاع

n : هو عامل يقارب الواحد في قيمته .

إن شدة الإشعاع تتناقص عند مرور الإشعاع في وسط امتصاص ، وهذا النقصان يمكن التعبير عنه بالعلاقة الآتية :

$$\frac{I}{I_i} = e^{-ax} \quad (4-26)$$

حيث إنّ :

I_i : هو شدة الإشعاع الساقط على سطح الوسط .

I : هو شدة الإشعاع بعد مسيره مسافة x داخل الوسط .

a : ثابت يدعى عامل الامتصاص الخطي .

إن الكسر $\frac{I}{I_i}$ يشار إليه بـ النفاذية T

(Transmittance) وبالتالي فإن المعادلة السابقة يمكن أن

تكتب بالشكل :

$$\lg \frac{1}{T} = 0.4343ax \quad (4-27)$$

يعرف : $\lg \frac{1}{T}$ بالامتصاصية أو الإخمادية .

ويعرف a 0.4343 بعامل الإخماد .

ومن هذا يبدو أن علاقة الامتصاصية بقيمة (X) (مسار الشعاع) هي علاقة

خطية وإن ميل هذه العلاقة يعطي عامل الإخماد .

إن الماء النقي يمتص الأشعة فوق البنفسجية ، كما أن مياه المجاري ومياه

المستودعات المائية قد تحتوي على كمية كبيرة من الجزيئات والشوارد التي تمتص الأشعة

فوق البنفسجية . وإن عامل الامتصاص هو تابع لتركيز المواد الماصة . إن العلاقة بين النفاذية (T) والتركيز تأخذ الشكل :

$$T = e^{-a'c} \quad (4-28)$$

وذلك من أجل مادة ماصة واحدة .

حيث: a' ثابت

c تركيز المادة الماصة .

بالتعويض نحصل على العلاقة بين النفاذية ومقدار مسار الشعاع (x) والتركيز (c) في مادة ماصة .

$$T = e^{-a''cx} \quad (4-29)$$

حيث : a'' : هو ثابت وبالتالي فإن :

$$\lg \frac{1}{T} = 0.4343 a''cx \quad (4-30)$$

أن $0.4343a''$ ثابت يدعى عامل الإخماد النوعي .

إنه من المهم أن نلاحظ أن قيم a' و a'' هي تابع للطول الموجي للأشعة فوق البنفسجية ، ويمكن أيضاً أن تكون معتمدة على عوامل أخرى ، مثل درجة الحرارة ومن أجل أهداف تعقيم مياه الشرب فإن معدل الإبادة يمكن أن يتغير عبر عمق الماء . وإن معدلاً وسطياً لإبادة الجراثيم يمكن أن يحسب باستعمال العلاقة :

$$ka = \frac{\int_0^x kdx}{x} \quad (4-31)$$

وبالتعويض وبفرض أن (n) تأخذ قيمة قريبة من الواحد فإن

معدل عامل إبادة العضويات الدقيقة يمكن أن يحسب من العلاقة :

$$ka = \frac{k'Li}{x} \left[\frac{1}{a} - \frac{e^{-ax}}{a} \right] \quad (4-32)$$

وهذا المعدل الوسطي يمكن أن يعوض في إحدى العلاقتين (31 - 4) أو (32 - 4) .

حديثاً تستعمل الأشعة فوق البنفسجية في عمليات تعقيم مياه الشرب ، حيث يمر الماء الخام في أنبوب حول مصباح توليد الأشعة فوق البنفسجية بتدفق مقداره (18) م³/سا وبسماكة (3 - 4) سم . وتشير الأبحاث إلى أن تعرض المياه لهذه الأشعة لمدة (5-10) ثا يكون كافياً للتعقيم .

من مميزات هذه الطريقة للتعقيم ما يلي :

- 1 - لا تتدخل المواد المنحلة في الماء مثل الأمونيوم في عملية التعقيم.
 - 2 - لا تنتج الأشعة فوق البنفسجية طعماً ولا رائحة (وهي أيضاً لا تزيل الطعم والرائحة إن وجدا) .
 - 3 - الاكتفاء بزمن قليل للتعرض للأشعة ولا نحتاج إلى حوض تماس.
 - 4 - زيادة الجرعة لا يؤدي إلى أثر مؤذي.
- أما مساوئ هذه الطريقة فتتلخص بالنقاط التالية :
- 1 - تحتاج هذه الطريقة إلى المراقبة الدائمة لضمان عدم التوقف المفاجيء لمولد الأشعة عن العمل.
 - 2 - لا تحتفظ المياه بالآثر التعقيمي لمدة طويلة، لذلك تحتاج إلى جرعات من الكلور كعامل أمان للمنشآت الكبيرة .
 - 3 - تتطلب تجهيزات غالية وتيار كهربائي غالي أيضاً .
 - 4 - تكون الفيروسات والكييسات والأبواغ أقل تأثراً بهذه الأشعة

الفصل الخامس: معالجة الحمأة

5-1- معالجة الحمأة:

تعتبر إدارة الحمأة الناتجة عن محطات معالجة المياه العادمة نشاطاً معقداً ومكلفاً للغاية ، و إذا تم إنجاز هذا النشاط بشكل سيئ، قد يفسد المزايا البيئية والصحية المتوقعة في أنظمة المعالجة، و تم استخدام مصطلح "الحمأة" للإشارة الى المنتجات الثانوية الصلبة من معالجة مياه الصرف الصحي الناتجة عمليات المعالجة البيولوجية و المعالجة الأولية، حيث يتم تحويل جزء من المواد العضوية الموجودة في مياه الصرف إلى كتلة حيوية ميكروبية تترسب و تسمى عمومًا الحمأة البيولوجية أو الثانوية، على الرغم من أن الحمأة الناتجة عن محطات الصرف الصحي البلدية لا تشكل سوى 1٪ إلى 2٪ من حجم مياه الصرف، إلا أن إدارتها معقدة للغاية ، وتتراوح تكلفتها عادة من 20٪ إلى 60٪ من إجمالي تكاليف التشغيل لمحطة معالجة المياه العادمة، وإن التخلص النهائي من الحمأة النهائية هي عملية معقدة أيضا وتحتاج إلى إدارة بيئية دقيقة.

يقصد بمعالجة الحمأة تثبيتها (أي معالجة المواد العضوية فيها و تحويلها الى مركبات خاملة) و زيادة تركيز المواد الصلبة في الحمأة (تكتيفها) و من ثم تجفيفها، وتعتبر معالجة الحمأة من الأمور البيئية و الصحية الهامة جداً عند معالجة مياه الصرف الصناعي، لما تحتويه على مواد سامة و معادن ثقيلة و ملوثات أخرى ، والتحدي الذي يواجه المصممين والمشغلين دوماً عند معالجة الحمأة هو كيفية تقليل حجم الحمأة، وإن إقلال الحجم الإجمالي للحمأة عن طريق إزالة القسم الأعظم من المياه و بالتالي زيادة تركيز المواد الصلبة في الحمأة.

في تطبيقات معالجة مياه الصرف الصناعي يكون التركيز على نزع المياه من الحمأة ،و تجفيفها و التخلص منها، أما تثبيت الحمأة فإنه يمكن أن يتم أحياناً للحمأة الناتجة عن المحطات معالجة مياه الصرف بطرق بيولوجية، وخصوصاً للحمأة الناتجة عن الصناعات الغذائية، لذلك سيتم التركيز في هذا الفصل على تكتيف الحمأة و تجفيفها فقط.

العلاقات الأساسية المعبرة عن الحمأة:

للتعبير عن خصائص الحمأة ، وكذلك الإنتاج من حيث هو كمياً وحجماً ، إنه من الضروري أن يكون لدينا فهماً عميقاً لبعض العلاقات الأساسية المرتبطة بحساب الحمأة، و أهم هذه التعابير:

- العلاقة بتركيز المواد الصلبة والمحتوى المائي.
- التعبير عن تركيز المواد الصلبة الجافة.
- العلاقة بين التدفق والتركيز والحمل.
- المواد الصلبة الكلية والمتطايرة والثابتة.
- كثافة الحمأة.

5-1-1- المواد الصلبة الكلية والطيارة والثابتة Total ، volatile

:(and fixed solids)

تتكون الحمأة من المواد الصلبة والماء، و يمكن تقسيم المواد الصلبة الكلية (TS) إلى مواد صلبة معلقة (SS) ومواد صلبة منحلّة، و يمكن تقسيم كل من المواد الصلبة المعلقة والمنحلّة إلى مواد صلبة غير عضوية أو صلبة (FS) ومواد صلبة عضوية أو طيارة (VS). ويوضح الشكل (5-1) توزيع المواد الصلبة وفقاً لهذه الأشكال المختلفة. تعطي نسبة المواد المتطايرة إلى المواد الصلبة الكلية (VS/TS) مؤشراً جيداً للجزء العضوي في الحمأة الصلبة ، فضلاً عن مستوى هضمها. تتراوح نسبة VS/TS للحمأة غير المهضومة من 0.75 إلى 0.80 ، بينما يتراوح النطاق للحمأة المهضومة من 0.60 إلى 0.65. يعرض الجدول 2.3 نطاقات نموذجية لـ VS/TS للحمأة الناتجة عن عمليات معالجة مياه الصرف الصحي المختلفة. الشكل (5-1).

$$TS = TDS + TSS \quad (5-1)$$

$$TSS = FSS + VSS \quad (5-2)$$

$$FS = FSS + VDS \quad (5-3)$$

$$\text{TDS} = \text{VDS} + \text{NVDS} \quad (5-4)$$

$$\text{VS} = \text{VSS} + \text{VDS} \quad (5-5)$$

TDS: المواد الصلبة الكلية المنحلة (Total Dissolved Solids) بوحدة ملغ/ل.

TSS: المواد الصلبة المعلقة الكلية (Total Suspended Solids) بوحدة ملغ/ل.

NVSS: المواد الصلبة المعلقة غير الطيارة أو الثابتة (Non-Volatile Suspended Solids) بوحدة ملغ/ل.

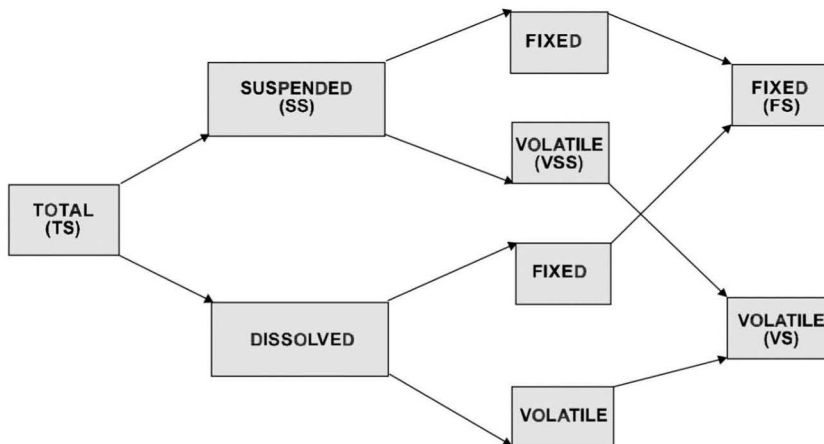
VSS: المواد الصلبة المعلقة الطيارة (Volatile Suspended Solids) بوحدة ملغ/ل.

FS: المواد الصلبة الثابتة (التي لا تتفكك وتظهر كحمأة نهائية بعد التثبيت و التجفيف) (Fixed solids) بوحدة ملغ/ل.

VS: المواد الصلبة الطيارة (Volatile Solids) بوحدة ملغ/ل.

VDS: المواد الصلبة المنحلة الطيارة (Volatile Dissolved Solids) بوحدة ملغ/ل.

NVDS: المواد الصلبة المنحلة الطيارة (Non-Volatile Dissolved Solids) بوحدة ملغ/ل.



الشكل (1-5): بين توزيع مكونات المواد الصلبة الكلية Total solids (TS)

2-1-5- الكثافة والوزن النوعي للحمأة:

يبلغ الوزن النوعي للجزيئات الصلبة المثبتة (Fixed solids particles) حوالي 2.5 ، بينما الوزن النوعي Specific (gravity) للمواد الصلبة الطيارة حوالي 1، وكما نعلم ان الوزن النوعي للمياه هو 1 ،إن كثافة الحمأة ،و التي هي مزيج من مياه ومواد صلبة تعتمد على التوزيع النسبي بين المكونات الثلاثة التي مر ذكرها، و الجدول(1-5) يبين الوزن النوعي و كثافة الحمأة لمصادر مختلفة من الحمأة. ويمكن حساب الوزن النوعي للمواد الصلبة في الحمأة من العلاقة :

$$\text{Specific gravity of solids} = \frac{1}{\left(\frac{(FS/TS)}{2.5} + \frac{(VS/TS)}{1.0} \right)} \quad (5-6)$$

5-1-3- تفكيك المواد الصلبة المتطايرة :

يزيل الهضم سواء أ كان الهضم هوائياً أو غير هوائياً المواد الصلبة العضوية القابلة للتحلل VS من الحمأة ، وتبقى كمية المواد الصلبة الثابتة (FS) دون تغيير، و الكفاءات النموذجية لإزالة VS في الهضم هي حوالي 40-60%.

يمكن حساب التراكيز الكلية من العلاقة الآتية:

$$TS_{influent} = VS_{influent} + FS_{influent} \quad (5-7)$$

$$TS_{effluent} = (1 - E) \times VS_{influent} + FS_{influent} \quad (5-8)$$

$TS_{influent}$: تركيز المواد الصلبة في التدفق الداخل بوحدة ملغ/ل.

$TS_{effluent}$: تركيز المواد الصلبة في التدفق الخارج بوحدة ملغ/ل.

$VS_{influent}$: تركيز المواد الصلبة في التدفق الداخل بوحدة ملغ/ل.

$FS_{influent}$: تركيز المواد الثابتة غير الطيارة في التدفق الخارج بوحدة ملغ/ل.

الجدول (5-1) : يبين الوزن النوعي و كثافة الحمأة لمصادر مختلفة من الحمأة

نوع الحمأة	الوزن النوعي	الكثافة (كغ/م ³) ds
حمأة أولية	1.03-1.02	1030-1020
حمأة لا هوائية ثانوية	1.03-1.02	1030-1020
حمأة هوائية ثانوية	1.025- 1.005	1025-1005
حمأة مكثفة	1.03-1.02	1030-1020
حمأة مهضومة	1.03	1030
حمأة مجففة	1.08-1.05	1080-1050

5-1-4- حساب كمية وحجم الحمأة المنتجة يومياً:

أ- الحمأة الأولية الناتجة عن عمليات الترسيب في حوض الترسيب الأولي :

حساب كمية الحمأة الناتجة عن حوض الترسيب الأولي: إن كمية الحمأة الأولية تعتمد على كفاءة إزالة المواد المعلقة القابلة SS في حوض الترسيب الأولي وعادة يزال منها نسبة تتراوح بين 60%-65%، لذلك تحسب معدل تحميل المواد الصلبة المعلقة في حوض الترسيب الأولي من العلاقة:

معدل تحميل المواد الصلبة المعلقة على حوض الترسيب الأولي = كفاءة إزالة SS
 × تركيز المواد المعلقة الابتدائي SS × التدفق الداخلي الى حوض الترسيب الأولي
 SS load from primary sludge = E. Q. Influent SS conc (5-9)

لذلك تحسب حمولة الزاهبة الى المعالجة البيولوجية :

Influent SS load to biological treatment =

(1- E).Q. Influent SS conc (5-10)

كمية الحمأة الناتجة يومياً عن حوض الترسيب الأولي :

$$M1 = Q \times SS \times \frac{E}{100} \quad (5-11)$$

$$Sludge\ flow\left(\frac{m^3}{day}\right) = \frac{SS\ load\left(\frac{kgSS}{d}\right)}{\frac{(dry\ solid\ \%)}{100} \times Sludge\ density\left(\frac{kg}{m^3}\right)} \quad (5-12)$$

تدفق الحمأة (متر مكعب/يوم) = حمولة المواد المعلقة (كغ SS/يوم) / (النسبة المئوية للمواد الصلبة الجافة %/100 × كثافة الحمأة (كغ/م³))

Q: التدفق اليومي الداخلي الى حوض الترسيب الأولي بوحدة م³/يوم

SS: تركيز المواد المعلقة الداخلة الى حوض الترسيب الأولي بوحدة كغ/م³

E: كفاءة إزالة المواد المعلقة و تؤخذ كنسبة مئوية.

M1: كمية الحمأة الناتجة يومياً عن حوض الترسيب الأولي بوحدة كغ.

ds: كثافة الحمأة بوحدة كغ/م³.

V1: حجم الحمأة الناتجة عن حوض الترسيب الأولي بالوحدة م³

إن الجدول (5-2): يبين الوزن النوعي و كثافة الحمأة لمصادر مختلفة من الحمأة.

الجدول (5-2): الوزن النوعي و كثافة الحمأة لمصادر مختلفة من الحمأة

نوع الحمأة	VS/TS	محتوى المواد الصلبة الجافة %	الوزن النوعي للمواد الصلبة	الوزن النوعي للحمأة	كثافة الحمأة كغ/م ³
حمأة أولية	0.8-0.75	6-2	1.18-1.14	-1.003 1.01	-1003 1010
حمأة لا هوائية ثانوية	0.6-0.55	6-3	1.37-1.32	-1.01 1.02	-1010 1020
حمأة هوائية ناتجة عن حمأة منشطة تقليدية	0.8-0.75	1.0-0.6	1.18-1.14	1.001	1001
حمأة هوائية ناتجة عن طريقة الحمأة المنشطة ذات التهوية المديدة	0.7-0.65	1.2-0.8	1.27-1.22	1.002	1002
الحمأة الناتجة عن برك التثبيت	0.55-0.35	20-5	1.73-1.64	-1.02 1.07	-1020 1070
حمأة أولية مكثفة	0.8-0.75	8-4	1.18-1.14	-1.006 1.01	-1006 1010
حمأة ثانوية مكثفة ناتجة عن حمأة منشطة تقليدية	0.8-0.75	7-2	1.18-1.14	-1.003 1.01	-1003 1010
حمأة ثانوية مكثفة ناتجة عن الحمأة المنشطة ذات التهوية المديدة	0.7-0.65	6-2	1.27-1.22	-1.004 1.01	-1004 1010
حمأة مكثفة ممزوجة	0.8-0.75	8-3	1.18-1.14	-1.004 1.01	-1004 1010
حمأة ممزوجة مهضومة	0.65-0.6	6-3	1.32-1.27	-1.007 1.02	-1007 1020
حمأة مجففة	0.65-0.60	40-20	1.32-1.27	1.1-1.05	-1050 1100

ب- إنتاج الحمأة الثانوية :

يتم تقدير إنتاج الحمأة الثانوية (البيولوجية) مع الأخذ في الاعتبار المعاملات الحركية المكافئة لعملية معالجة مياه الصرف البيولوجية المحددة المستخدمة، وتتكون الحمأة الثانوية من:

- المواد الصلبة البيولوجية (اليوماس): وهي الحمأة النشطة الزائدة في النظام البيولوجي سواء حوض التهوض أو مفاعل لاهوائي، أيضاً يدخل ضمن هذا القسم الحمأة الناتجة عن الفناء الذاتي للبكتريا الفعالة .

- المواد الصلبة الخاملة من مياه الصرف الصحي الخام وهي مواد صلبة غير قابلة للتحلل الحيوي، متراكمة في النظام.

يوجد الكثير من المعادلات تستخدم لحساب كمية الحمأة المنتجة يومياً ولعل من أبسطها المعادلة الآتية :

$$PX = Y_{OBS} \times Q(S - S_0) \frac{KG}{(1000g)} \quad (5-13)$$

$$Y_{OBS} = \frac{Y}{1 + K_d + \theta C} \quad (5-14)$$

PX: كمية الحمأة المنتجة بوحدة كغ /يوم

Y_{OBS} : معدل النمو الملحوظ (observed growth yield) واحدته:

ملغ VSS/ملغ BOD_5 وتؤخذ قيمته من الجدول (3-5).

Q: التدفق اليومي بوحدة م³/يوم.

S_0 : تركيز BOD_5 في مياه الصرف الداخلة إلى حوض التهوية مقدراً (ملغ/ل)

S: تركيز BOD_5 في مياه الصرف الخارجة من حوض الترسيب النهائي (ملغ/ل)

k_d : معدل الفناء غرام VSS/غرام VSS × يوم أو (يوم⁻¹).

Y : معدل إنتاجية الكتلة الحيوية (البيوماس) بوحدة ملغ بيوماس متشكل/ملغ
من المواد المتفاعلة المستخدمة (substrate utilized) معبراً عنها
ملغ BOD_5 /ملغ VSS
 θ_c : زمن مكوث المواد الصلبة في حوض التهوض (يوم⁻¹).
الجدول (3-5): يبين قيم المعاملات الحركية لمياه الصرف الصحي .

المعامل	الواحدة	المجال	القيمة النموذجية ⁽¹⁹⁾
k	غرام bsCOD/غرام VSS×يوم	10-2	5
K_s	ملغ/ل معبراً عنه بـ BOD_5	100-25	60
	ملغ/ل معبراً عنه بـ bsCOD	60-10	40
Y	ملغ BOD_5 /ملغ VSS	0.8-0.4	0.6
	ملغ bsCOD/ملغ VSS	0.6-0.3	0.4
k_d	غرام VSS/غرام VSS×يوم	0.2-0.06	0.12
μ_m	غرام VSS/غرام VSS×يوم	13.2-3	6

بشكل عملي يمكن أن تتكون قيمة Y_{OBS} من الجدول (4-5)، حيث
يعطي هذا الجدول قيمة Y_{OBS} ، وفقاً لطريقة المعالجة البيولوجية المستخدمة.

19 هذه القيم في درجة حرارة 20 درجة مئوية.

الجدول (4-5): يبين قيم Y_{OBS} وفقاً لطريقة المعالجة البيولوجية المستخدمة

طريقة المعالجة	قيمة Y_{OBS} (ملغ VSS/ملغ BOD_5) في درجة حرارة مياه صرف بحدود 20 درجة مئوية
حمأة منشطة ذات مزج كامل تقليدية	0.5-0.7
حمأة منشطة ذات تهوية	0.15-0.4
المفاعل UASB	0.15-0.3

K : معدل الاستخدام الأعظمي للمواد العضوية والمغذيات (substrate)، ويقدر بوحدة زمن⁻¹.

K_S : ثابت نصف السرعة (ملغ/ل)

K_d : معامل اضمحلال الخلايا بوحدة زمن⁻¹

μ_m : معدل النمو الأعظمي زمن⁻¹.

ج- حساب حجم الحمأة المنتجة يومياً:

يعطى حجم الحمأة بالعلاقة الآتية :

$$V_{sl} = \frac{Px}{P_w \times S_{sl} \times P_s} \quad (5-15)$$

حيث إن:

V_{sl} : حجم الحمأة بالمتر مكعب .

P_X : وزن المواد الصلبة (كغ).

P_w : كثافة المياه بوحدة كغ/م³ وتساوي عادة 1000 كغ/م³

S_{sl} : الوزن النوعي للحمأة وعادة يساوي 1.01-1.03

P_s : محتوى المواد الصلبة في الحمأة ويعبر عنها بأرقام مثلاً: 0.05-0.1

ويمكن الاستفادة من الجدول (2-5) لتحديد قيم P_X و S_{sl} .

5-2- تكثيف الحمأة:

الغاية من تكثيف الحمأة هو إنقاص المحتوي المائي في الحمأة، وبالتالي زيادة تركيز المواد الصلبة فيها من المجال $\%(0.5-1.5)$ لحمأة مياه الصرف المنزلي إلى المجال $\%(3-7)$ ، وهناك طريقتان لتحقيق هذه الغاية، وهما التكثيف الثقالي و التكثيف بالتعويم أو التطويف.

5-2-1- التكثيف الثقالي:

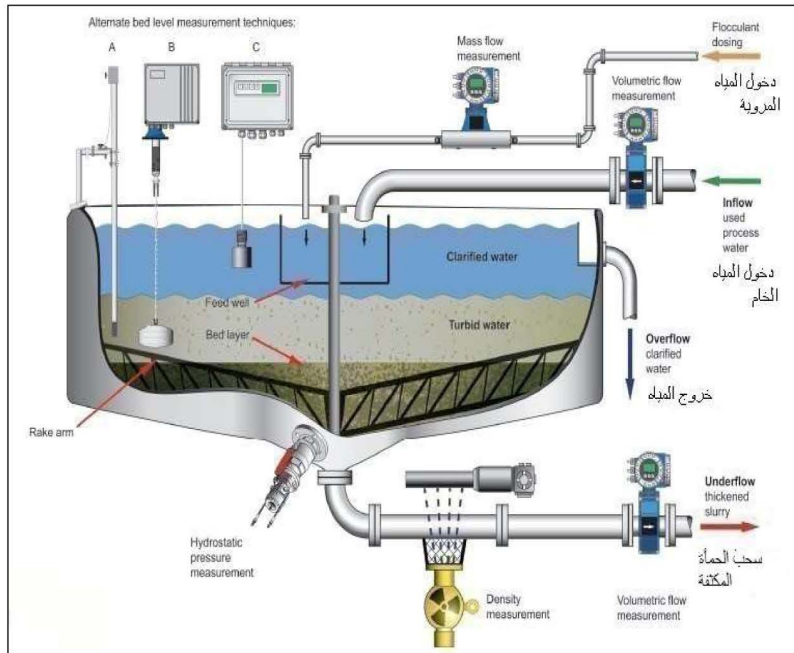
ويستخدم في حالة الحمأة الأولية، أو مزيج الحمأة الأولية و الثانوية ويعتمد على فصل المواد الصلبة في الحمأة عن المياه الملوثة عن الترسيب نتيجة فرق الوزن النوعي بين وزن المواد الصلبة و المياه.

يتحقق ذلك في أحواض تشبه أحواض الترسيب تحتوي على تجهيزات تحريك ميكانيكية بطيئة الدوران للمساعدة على فصل المواد الصلبة عن الماء في الحمأة. تمزج عادة الحمأة الأولية الصادرة عن أحواض الترسيب الابتدائي مع الحمأة الثانوية الصادرة عن أحواض الترسيب النهائي (الثانوي) بنسبة جزء من النوع الأول إلى ثمانية أجزاء من النوع الثاني، يضاف الكلور أحياناً إلى الحمأة لدرء حدوث تعفن وبالتالي انطلاق الغازات التي تحول دون الترسيب.

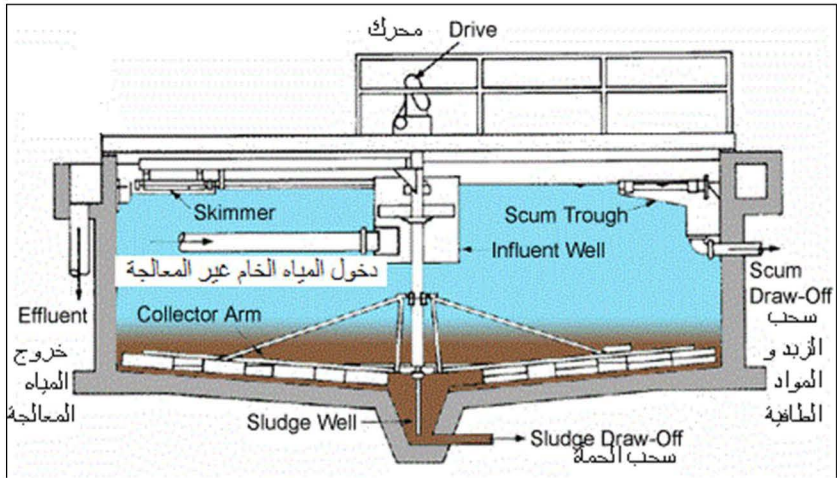
تستخدم أحياناً بعض المركبات الكيميائية التي تساعد على عملية تكثيف الحمأة وزيادة معدلات الترسيب. ويمكن أيضاً لزيادة فاعلية حوض التكثيف الثقالي أو بالتطويف اضافة مواد كيميائية تساعد على نزع المياه من الحمأة و تكثيف المواد الصلبة، و عادة تضاف بوليميرات و مواد مخثرة و مروبة، وإن مزايا و سلبيات طريق التكثيف الثقالي مبينة في الجدول (5-5).

الجدول (5-5) يوضح مزايا وسلبيات طريقة التكتيف الثقالي

المزايا	السلبيات
استهلاك قليل للطاقة	مشاكل في الرائحة
كلفة تأسيسية منخفضة	مرونة تشغيل قليلة
كلفة منخفضة للتشغيل والصيانة	غير فعالة في الحمأة المنشطة لوحدها
تشغيل سهل	المياه المعادة إلى المعالجة



الشكل (5-2): حوض تكتيف ثقالي مع إضافة مواد كيميائية



الشكل (3-5): حوض للحمأة تكثيف ثقالي دون اضافة مواد كيميائية

5-2-1-1-الأسس التصميمية لأحواض التكثيف الثقالي:

يتم تصميم أحواض التكثيف الثقالي بمراعاة زمن مكوث هيدروليكي، يتراوح بين (3-6) ساعات، وتحقيق معدل حمولة المواد الصلبة المبينة في الجدول (5-6).

الجدول (5-6): تركيز المواد الصلبة في الحمأة غير المكثفة والمكثفة، ومعدل حمولات المواد الصلبة في المكثفات الميكانيكية.

محتوى المواد الصلبة (%)	محتوى المواد الصلبة (%)	حمولات المواد الصلبة في المكثفات الميكانيكية	
غير مكثفة	مكثفة	(كغ /م ² /يوم)	نوع الحمأة
			حمأة منفصلة
5.5-2.5	10-8	135-90	أولية
7-4	9-7	45-36	من المرشح البيولوجي
4-2	7.9-4.3	80-32	من التهوية المعدلة
1.2-0.5	3.3-2.5	80-18	منشطة
			حمأة مشتركة
6-3	9-7	90-54	أولية ومن المرشح البيولوجي
4-3	11.6-8.3	90-54	أولية ومن التهوية المعدلة
4.8-2.8	9-4.6	72-36	أولية ومنشطة

-5-2-1-2- مثال:

$$Q_w = 127 \text{ m}^3/\text{day}$$

بفرض أنّ حجم الحمأة المراد تكثيفها:

المطلوب تصميم أحواض التكثيف الثقالي:

الحل :

بفرض أنّ التحميل السطحي الهيدروليكي:

$$O_{FR} = 18 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$$

بفرض أنّ ارتفاع الحمأة ضمن أحواض التكثيف: $h = 3\text{m}$

$$A = Q_w / O_{FR} = 127 / 18 = 7 \text{ m}^2$$

- نختار عدد المكثفات : $n = 1$

- نفرض قطر المكثف: $D = 3\text{m}$

فتكون المساحة اللازمة لحوض التكثيف :

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (3)^2}{4} = 7.06 \text{ m}^2$$

حجم الحوض اللازم:

$$V = 1 \times 3 \times 7.06 = 21.18 \text{ m}^3$$

زمن المكث من أجل المرحلة الأولى :

$$T = 21.18 / 127 \times 24 = 4 \text{ hr}$$

ويضاف البولي الكتروليت السائل عن طريق مضخة نبضية لزيادة تكثيف الحمأة

ونزع رطوبتها . وتخرج الحمأة من حوض التكثيف إلى مرشحات قماشية تعمل تحت

الضغط .

تصميم المرشحات القماشية التي تعمل تحت الضغط 15 بار

- حساب كمية الحمأة المكثفة (الخارجة من المكثف):

بفرض أنّ نسبة المواد الصلبة: (5%) يكون حجم الحمأة الزائدة الخارجة من المكثف :

$$Q_X = 634.15 / (1000 \times 0.05) = 12.68 \text{ m}^3/\text{day}$$

كمية الحمأة هو 634.15 كغ بإهمال وزن البوليميرات المتحددة مع المواد الصلبة ، وذلك لأنّ كمية البوليميرات في الحمأة المكثفة صغيرة جداً .

نختار فلتر بريس عدد (1) بقدرة استيعاب 3 م³/ساعة، استطاعة الجهاز في هذه المرحلة يعمل الفلتر حوالي 5 ساعات في اليوم. وكعكة الحمأة الناتجة عن فلتر بريس تحتوي على تركيز من المواد الصلبة يتراوح بين 20-50% من المواد الصلبة وبشكل نموذجي وعملي تكون نسبة المواد الصلبة، في كعكة الحمأة حوالي 36%.

5-2-2- التكتيف بالتعويم أو التطويف :

يتحقق ذلك بحقن الهواء المضغوط ضمن الحمأة لزيادة انحلال (ذوبان) الهواء فيها، ومن ثم إعادة الضغط إلى الضغط الجوي قبيل دخول مزيج الحمأة والهواء إلى حوض التكتيف بالتعويم.

يؤدي إعادة تخفيض الضغط إلى تحرر وانطلاق فقاعات ناعمة جداً من الهواء تحمل معها إلى سطح الماء في الحوض معظم المواد الصلبة خفيفة الوزن ، حيث تشكل على السطح زبداً، يمكن جمعه و إزالته بواسطة قاشط الزبد.

أما المواد الصلبة ثقيلة الوزن فترسب فوق القاع ، حيث يتم جمعها بواسطة كاشط الرواسب في حجرة مخصصة لها ومن ثم تصرف إلى خارج الحوض.

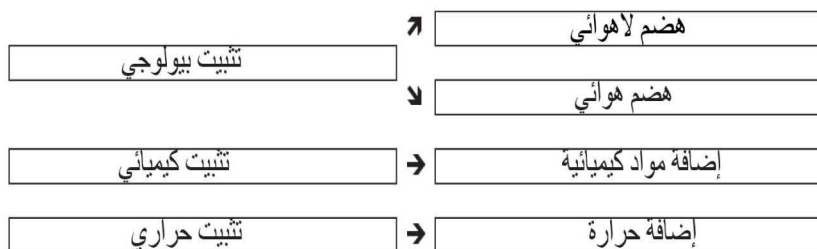
يمكن ضغط كامل مياه المجاري مع الهواء المضغوط في خزان الضغط قبل تحرير المزيج في حوض المياه الصادرة عن حوض التعويم مع الهواء المضغوط في خزان الضغط، ومن ثم إعادةّها مرة ثانية و خلطها بالحمأة الواردة قبل دخولها إلى حوض التعويم.

5-3- تثبيت الحمأة:

حمأة الصرف الصحي في حالتها الطبيعية (الحمأة الخام) غنية بالكائنات المسببة للأمراض ، سهلة التعفن، وتتطور بسرعة الروائح الكريهة، تم تطوير عمليات التثبيت بهدف تثبيت الجزء القابل للتحلل الحيوي أو المادة الجيرية الموجودة في الحمأة ، وبالتالي تقل مخاطر التعفن وكذلك يقل تركيز مسببات الأمراض .

يمكن تقسيم عمليات التثبيت إلى (انظر الشكل 4-5):

- التثبيت البيولوجي: تعمل بكتيريا محددة على تعزيز استقرار الجزء القابل للتحلل البيولوجي من المادة العضوية.
- التثبيت الكيميائي: تعمل الأكسدة الكيميائية للمادة العضوية على تثبيت الحمأة.
- التثبيت الحراري: تعمل الحرارة على تثبيت الجزء المتطاير من الحمأة في حاويات محكمة الإغلاق.



الشكل (4-5): يبين طرق تثبيت الحمأة

5-3-1- الهضم اللاهوائي:

يطلق لفظ هضم في معالجة مياه الصرف الصحي على تثبيت المادة العضوية من خلال عمل البكتيريا الملامسة للحمأة في ظروف مواتية لنموها وتكاثرها، قد تكون عمليات الهضم لاهوائية أو هوائية أو كليهما معاً، إن عملية الهضم اللاهوائي تتم في ظروف خالية من الأوكسجين ضمن الهاضم .

5-3-1-1- المتطلبات الرئيسية لهضم الحمأة:

إن كفاءة واستقرار عملية الهضم اللاهوائي مرتبطة بمتغيرات مباشرة بخصائص الحمأة الخام والبيئة داخل الهاضم، الحمأة الخام التي تدخل الهاضم اللاهوائي عبارة عن خليط معقد من المواد التي تحدد خصائصها المنطقة التي تخدمها محطة المعالجة وعملية معالجة مياه الصرف المعتمدة .

العلاج الأولي: تحتوي الحمأة الخام التي تأتي من أحواض الترسيب الأولية عادة على تراكيز كبيرة من الخشب والبلاستيك والرمل ومواد خاملة أخرى، وتستقر مع الحمأة الأولية ، مما يتسبب في انسداد الأنابيب وكسرها ، وتلف دوارات المضخة وأجهزة الخلط. إن أداء المعالجة الأولية له أهمية كبيرة ، سواء للحفاظ على كفاءة الهضم أو لتقليل تدخلات الصيانة في خزان الهضم.

تركيز المواد الصلبة: يتم استخدام الحمأة المكثفة بهدف تقليل الحجم المطلوب لعملية الهضم حيث يتم تكثيف الحمأة بمكثفات الثقالية أو بطريقة التعويم بالهواء المضغوط أو بأي طريقة أخرى للتكثيف ، أو حتى في أحواض الترسيب الأولية ، ويفضل أن يكون تركيز المواد الصلبة في الحمأة الخام التي يتم تغذيتها للهضم بحدود 4٪ إلى 8٪، ويمكن أيضاً استخدام تراكيز عالية من المواد الصلبة ، طالما أن وحدات التغذية والخلط قادرة على التعامل مع زيادة المواد الصلبة، و لا ينصح بتراكيز للمواد الصلب في الحمأة أقل من 2.5٪ ، لأن الماء الزائد له تأثير سلبي على عملية الهضم.

المواد المثبطة: البكتيريا اللاهوائية حساسة للعديد من المواد التي يعتمد على تراكيزها، وبعض المواد السامة قادرة على إيقاف عملية الهضم تماماً، إن الرقابة الصارمة على تصريف المخلفات الصناعية في نظام الصرف الصحي والتشريع الفعال هي الأدوات الرئيسية لتجنب وجود المواد السامة في مياه الصرف الصحي البلدية، ومن العناصر المثبطة لنشاط البكتيريا إذا وجدت بتراكيز عالية: الهيدروكربونات والمركبات

المكلورة العضوية والمنظفات الأيونية غير القابلة للتحلل البيولوجي والعوامل المؤكسدة والكاتيونات غير العضوية ، و تعتبر المنظفات الاصطناعية غير القابلة للتحلل مصدر قلق كبير، وعلى الرغم من حظر استخدامها في إنتاج المنظفات في العديد من البلدان ، إلا أنه لا يزال من الممكن العثور عليها في العديد من المجالات الأخرى ، و إن الوسائط المؤكسدة مثل أيون النحاس ، أيون الحديد والكروم سداسي التكافؤ قد تؤدي الى تثبيط عمل البكتريا اللاهوائية أثناء المرحلة الميثانية من الهضم ، بعد إزالة جزء كبير من المادة العضوية. تتفاعل هذه الأيونات مع أيونات الكبريتيد، مما يؤدي إلى تغيير توازن الكبريت داخل أجهزة الهضم، وإن الكاتيونات غير العضوية مثل الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم ، يمكن أن تثبط العملية بشدة عند التراكيز العالية. تتراوح تركيزات الأمونيا المثلى من 50-1000 ملغ / لتر قد يحدث تثبيط معتدل بين 1000-1500 ملغ/لتر عند 3000 ملغ/ لتر، وما فوق ، يحدث تثبيط قوي وتشمل كلمة معدن في هذا السياق معادن مثل النحاس والزنك والزنبق والكاديوم والكروم والنيكل والرصاص، يمكن أن تثبط هذه المعادن الهضم اللاهوائي عند وجودها بشكل فردي أو كمركبات معدنية ، وتعتبر المعادن الأخرى مغذيات دقيقة إذا كانت موجودة بتركيزات كافية. يؤدي تفكيك المادة العضوية أثناء عملية الهضم اللاهوائي إلى زيادة تركيز المعادن في الحمأة المهضومة مقارنة بالحمأة الخام نتيجة ترسب هذه المعادن وزيادة تكثيف الحمأة، أي زيادة محتوى المواد الصلبة فيها ، و تختلف سمية المعدن باختلاف المعدن ووجود معادن أخرى ودرجة الحموضة وتركيزات الكبريتيد والكربونات في الحمأة.

5-3-1-2- معايير تصميم الهاضمات اللاهوائية:

يرتبط أداء هضم الحمأة لاهوائياً ارتباطاً مباشراً بتركيز وتنوع تجمعات الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الحمأة، و يجب أن يكون وقت الاحتفاظ بالمواد الصلبة داخل

الهاضم (θ_c) كافيًا لضمان الحفاظ على الكائنات الحية الدقيقة التي لها معدل نمو بطيء ، مثل الكائنات الميثانية ، وبالتالي تجنب انجرافها من النظام مفاعلات الخلط ، وعمر الحمأة يساوي زمن المكوث الهيدروليكي ، ويمكن تحديده من خلال المعادلة 4.1.

$$t = \theta_c = \frac{V}{Q} \quad (5-16)$$

حيث إن:

t = زمن المكوث الهيدروليكي باليوم.

θ_c = زمن الاحتفاظ بالمواد الصلبة باليوم .

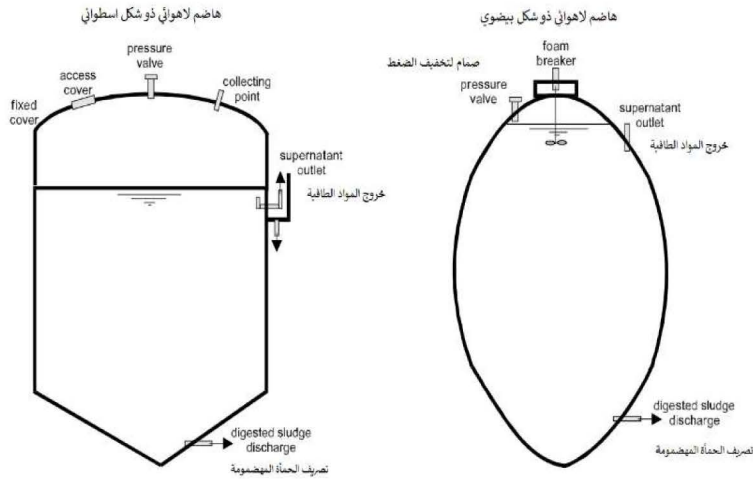
V = حجم الهاضم (m^3).

Q = تدفق الحمأة الداخل الى الهاضم ($m^3/يوم$).

الهاضمات اللاهوائية هي مفاعلات بيولوجية مغلقة مصنوعة من الخرسانة أو الفولاذ، وداخل هذه المفاعلات يتم خلط الحمأة الخام وتسخينها ، عادة ما يستخدم الغاز الحيوي المنتج عن الهاضمات في عملية التسخين ، وتستخدم التصميمات التقليدية للهضم اللاهوائي أسطوانات قطرها 8-40 متراً ، يكون القسم السفلي مخروطي الشكل بزاوية 30-60 درجة، وأيضاً يمكن أن تصمم الهاضمات بشكل بيضوي من قبل المصممين والمشغلين على حد سواء ، كما في الشكل، حيث يتم التحكم في الرغوة والرمل بسهولة أكبر بفضل الجدران الجانبية عالية الانحدار، كما هو مبين في الشكل (5-5)، أمّا الأسس التصميمية للهاضم اللاهوائي مبينة فهي مبينة الجدول (5-7).

الجدول (5-7): الأسس التصميمية للهاضم اللاهوائي

المؤشر	القيمة النموذجية
θ_c زمن مكوث المواد الصلبة في الهاضم اللاهوائي مقدراً باليوم	25-18
الحمولة العضوية الحجمية (كغ VS / م ³ .يوم)	1.6-0.8
الحمولة الحجمية الكلية من المواد الصلبة (كغ VSS / م ³ .يوم)	2-1
تركيز المواد الصلبة في الحمأة الخام %	8-3
نسبة المواد الصلبة الطيارة في الحمأة الخام %	80-70
كفاءة إزالة المواد الصلبة الكلية (TS%)	35-30
كفاءة إزالة المواد الصلبة الطيارة (VS%)	40-55
إنتاج الغاز (م ³ /كغ VS مزال أو مفكك)	1.1-0.8
القيمة الحرارية للغاز (ميغا جول/م ³)	23.3
الطاقة الحرارية اللازمة لتسخين الحمأة (ميغا جول/م ³)	50-38
إنتاجية الحمأة المهضومة (غ. TS / شخص.يوم)	50-38
انتاجية الغاز (لتر لكل شخص في اليوم)	30-20
الطاقة الحرارية لتسخين الحمأة الخام (ميغا جول/كغ TS)	25-15
طاقة تسخين الحمأة المهضومة (ميغا جول/كغ TS)	15-8



الشكل (5-5): صورة تبين هاضماً لاهوائياً ذا شكل بيضوي

5-3-2- الهضم الهوائي للحمأة:

مع توقف التغذية بالمواد العضوية في عملية الهضم الهوائي، تضطر الكائنات الحية الدقيقة إلى استهلاك احتياطات الطاقة الخاصة بها للبقاء على قيد الحياة، و تتأكسد كتلة الخلايا القابلة للتحلل، والتي تشكل حوالي (75٪ - 80٪) من كتلة الخلايا هوائياً إلى ثاني أكسيد الكربون والماء أثناء التفاعل، و تتأكسد الأمونيا لتصبح نترات، وفقاً للمعادلة العامة التالية:



يستخدم الهضم الهوائي في محطات الحمأة المنشطة التي تعمل في وضع التهوية الممتد ، وكذلك في النباتات التي تعمل على إزالة المغذيات البيولوجية. (BNR) يحدث هضم الحمأة في عمليات التهوية الممتدة في خزان التهوية ، بالتزامن مع أكسدة عملية المادة العضوية المتأثرة ، لأن نسبة الغذاء/الكائنات الحية الدقيقة (F/M) منخفضة. داخل كتلة الخلية أثناء عملية المعالجة سيتم إطلاقها على شكل أورثوفوسفات قابل للذوبان. في ظل هذه الظروف ، فإن عملية الهضم الموصى بها هي عملية الهضم الهوائية ، والتي تتم بشكل منفصل ، في أجهزة الهضم الهوائية. حاليًا ، تُستخدم نوعان من عمليات الهضم الهوائية في تثبيت الحمأة:

- الهضم الهوائي التقليدي (mesophilic) ، والذي يجري بدرجة حرارة تتراوح بين 15-40 درجة مئوية ، كما هو مبين في الشكل (5-6).

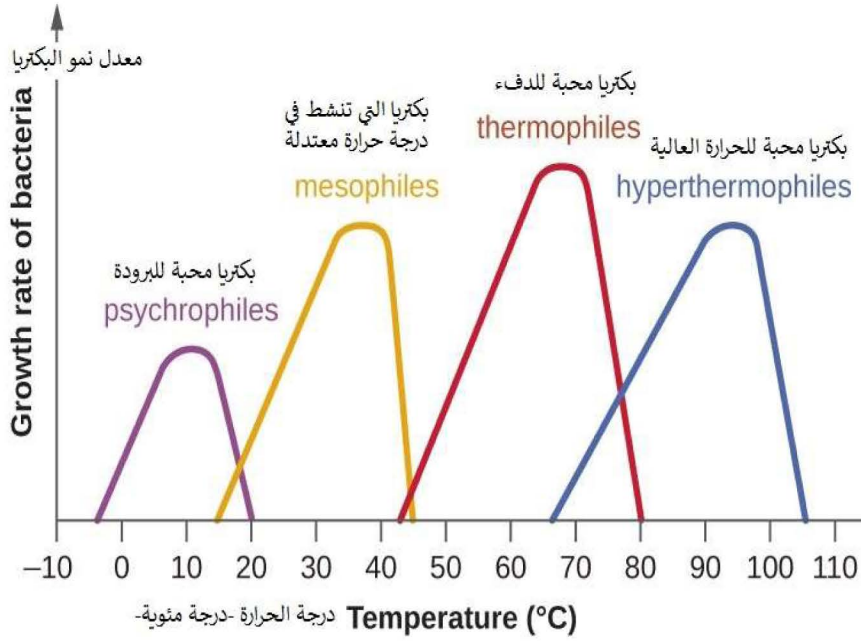
-أ- الهضم الهوائي المحبة للحرارة

: (Thermophilic aerobic digestion)

ويتم في درجة حرارة تتراوح بين 45-80 درجة مئوية ويفضل أن تكون درجة الحرارة بحدود 60 درجة مئوية، والتي توافق النشاط الأعظمي للبكتيريا المحبة للدفء. إن الأسس التصميمية للهاضمات الهوائية التقليدية مبينة في الجدول (5-8).

الجدول (5-8): الأسس التصميمية للهاضمات الهوائية التقليدية.

المؤشر	المؤشر / طريقة المعالجة	القيمة
زمن المكوث عند درجة حرارة 20 درجة مئوية مقدرا باليوم	حمأة منشطة زائدة	15-10
	حمأة منشطة ذات تهوية	18-12
	حمأة منشطة زائدة+حمأة منشطة من حوض الترسيب الأولي	20-15
معدل الحمولة العضوية (كيلو غرام VS/م ³ .يوم)		4.8-1.6
الاحتياج من الاوكسجين KgO ₂ /kgVS destroyed (كيلو غرام أوكسجين/كغ VS مفكك أو مزال)	التنفس الداخلي	2.3
	BOD في الحمأة الأولية	1.9-1.6
الطاقة لحفظ المواد الصلبة في الحالة المعلقة	مهوريات ميكانيكية (وات/م ³)	40-20
	نافثات هواء (لتر /م ³ .دقيقة)	40-20
تركيز الاوكسجين المنحل في الهاضم (ملغ/ل)		2-1



الشكل (5-6): يبين أنواع البكتيريا تبعاً لدرجة حرارة مياه الصرف.

ب-الهضم الهوائي في ظروف البكتيريا محبة للدفء

:Thermophilic aerobic digestion

الحرارة هي المنتج الرئيسي لعملية الهضم الهوائي للمواد العضوية ، ويمكن أن تصل درجة الحرارة داخل الجهاز الهضمي إلى 60 درجة مئوية ، بشرط وجود تراكيز كافية من المواد العضوية للحفاظ على النشاط الميكروبيولوجي ، هذه العملية قادرة على تثبيت حوالي 70٪ من المادة العضوية القابلة للتحلل في الحمأة بعد فترة ثلاثة أيام فقط. لضمان عملية تفاعل ذاتي الحرارة ، يجب ألا يقل تركيز المواد الصلبة في الحمأة الخام الداخلي إلى الهاضم اللاهوائي عن 4% ، ومعدل تحميل المواد الصلبة حوالي 50 كغ TS / م³ من حجم الهاضم ، ومعدل التحميل العضوي معبراً عنه بتركيز BOD₅ محدود 70 كغ BOD₅ / م³ من حجم الهاضم.

5-3-3- تثبيت الحمأة عن طريق تحويلها الى محسّنات للتربة

:Composting

إن عملية تحويل الحمأة الى محسّنات للتربة Composting هي عملية تثبيت المادة العضوية التي يستخدمها المزارعون والبستانيون منذ العصور القديمة, و (Composting) يتكون السماد من تحلل المواد العضوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة الهوائية المحبة للحرارة والمتوسطة. قد تصل درجات حرارة العملية إلى 80 درجة مئوية، وبعد ذلك ينخفض معدل تحلل المادة العضوية وتنخفض درجة الحرارة بسرعة إلى 60 درجة مئوية، يتم ترتيب الحمأة في صفوف بأطوال متغيرة ، يتم ترتيب مصدات الرياح في مناطق مفتوحة ، ويتم التهوية من خلال الحمل الحراري الطبيعي وانتشار الهواء ، ومن خلال التقليب المنتظم بواسطة الجرافات أو المعدات المصممة خصيصاً لهذا الغرض.

5-4- تجفيف الحمأة:

توجد عدة طرق لنزع المياه و زيادة تركيز المواد الصلبة في الحمأة، و أهمها عند معالجة الصرف الصناعي ، و لعل أشهرها و أسهلها و أكثرها شيوعاً هو مرشحات تحت الضغط المكبس المرشح (filter press)، و المكبس المرشح الحزامي (belt press) و التكثيف بالتطويف و غيرها، إن مردود عمليات نزع المياه من الحمأة موضح في الجدول (5-9).

الجدول (5-9): مردود كفاءة عمليات نزع المياه من الحمأة

العملية	استخلاص المواد الصلبة (%)	المواد الصلبة في الكعكة (%)
الطرد المركزي	90-80	13-5
التعويم بالهواء المنحل	95	6-4
أحواض التجفيف	99-85	25-8
المكبس المرشح	99	60-40
المكثف الثقالي	95-90	12-5
المرشح بالانفراغ	90	35-28

5-4-1- التجفيف الميكانيكي للحمأة:

فصل المواد الصلبة عن المياه بطريقة ميكانيكية، وذلك بغية الإقلال من حجم الحمأة. لا يكون الفصل كاملاً - دائماً ، وإنما تبقى دوماً كمية من المياه مع المواد الصلبة، وتختلف هذه الكمية باختلاف الطريقة المتبعة.

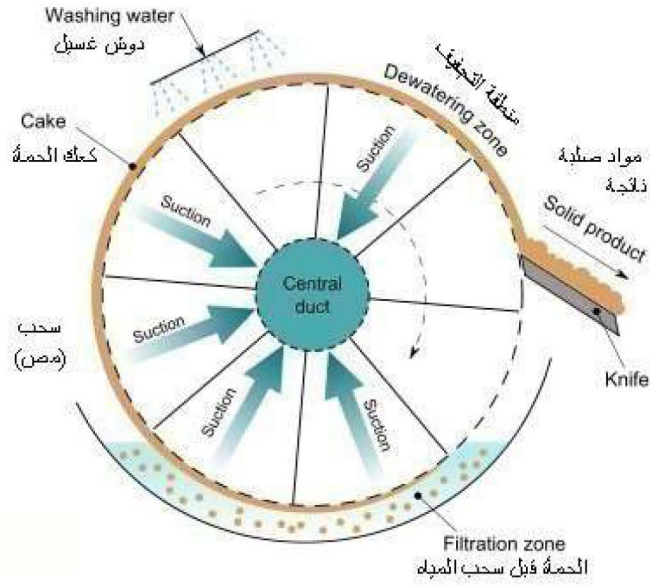
غالباً ما يتم إضافة بعض المركبات الكيميائية (كلس - الوم - كلور الحديد - بولي الكتروليت) للحمأة قبل عمليات التجفيف الميكانيكي، وذلك لتسهيل فصل المواد الصلبة عن المياه ، وفي هذه الحالة تدعى عملية الإضافة بالتكييف.

من أهم الطرق الشائعة في التجفيف الميكانيكي للحمأة ما يلي: الترشيح بالانفراغ -النبد-المكبس المرشح ذو الحزام -المكبس المرشح.

5-4-2- الترشيح بالانفراغ:

يتم فصل المواد الصلبة عن المياه في هذه الطريقة بتأثير الضغط السالب أو الانفراغ. تستخدم من أجل ذلك أسطوانة دوارة ببطء ، سطحها الجانبي عبارة عن وسط مرشح، غالباً ما يكون نسيجاً من الكتان السميكة المتين، و ينغمر حوالي 20%-40% من الاسطوانة في الوعاء الحاوي على الحمأة ، حيث تلتصق طبقة رقيقة منها بالنسيج، و

حين دوران الأسطوانة حول محورها يتم ترشيح المياه الموجودة في الحمأة من الطبقة المذكورة عبر مساحات النسيج الكتاني، يساعد على ذلك الامتصاص الناجم عن الضغط السالب ضمن الاسطوانة ، تستعمل هذه الطريقة غالباً عندما تكون كميات الحمأة الناتجة يومياً قليلة . يتألف الجهاز من أسطوانة دوارة حول محورها و تستقبل الحمأة من إحدى قاعدتيها فيتم اندفاع المواد الصلبة الموجودة في الحمأة باتجاه جرار الأسطوانة الدوارة ، بينما تبقى المياه أقرب إلى محور الدوران، وإن العيارات الوسطية للمواد الكيميائية المستخدمة في الترشيح بالانفراغ مبينة في الجدول (5-10).

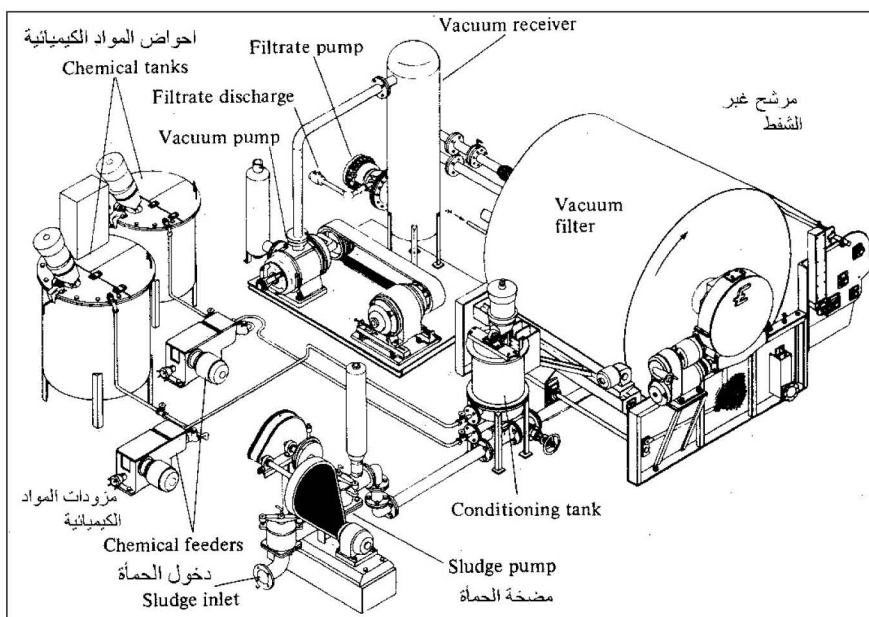


الشكل (5-7): صورة تبين وحدة الترشيح بالانفراغ لنزع رطوبة الحمأة

الجدول (5-10): العيارات الوسطية للمواد الكيميائية المستعملة في الترشيح

بالانفراغ

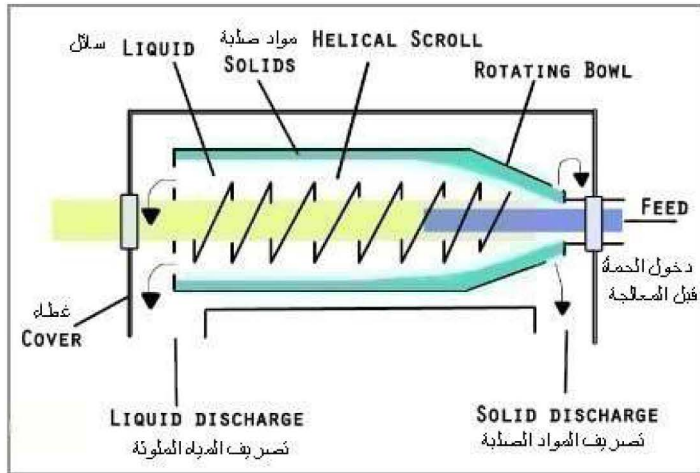
نوع الحمأة	كلور الحديدك (%)	الكلس (%)	الإنتاج (كغ/م ² /ساعة)	رطوبة الحمأة (%)
أولية خامية	2.1	8.8	31	69
أولية مهضومة	3.8	12	32	73
أولية مهضومة مروقة	3.4	0	43	69
أولية خامية + دبال مرشح بيولوجي	2.6	11	32	75
أولية خامية + منشطة	2.6	10.1	20	77.5
منشطة خامية	7.5	0	0	84
أولية خامية + دبال مرشح بيولوجي	5.3	15	21	77.5
أولية مهضومة + منشطة	5.6	18.6	18	78.5
أولية مهضومة مروقة + منشطة				
وسطياً دون كلس	8.4	0	17	79
وسطياً مع كلس	2.5	6.2	17	76.2



الشكل (5-8): مخطط يبين وحدة الترشيح بالانفراغ لنزع رطوبة الحمأة

5-4-3- النبد أو الطرد المركزي Centrifugation:

يتم فصل المادة الصلبة عن المياه في هذه الطريقة بتأثير الفعل النابذ الناجم عن دوران الحمأة حول محور معين، كما هو مبين في الشكلين (5-10) و (5-11)، و تتميز هذه العملية بسهولة الصيانة و سهولة التشغيل و صغر المساحة اللازمة ، لذا فإنها منتشرة جداً في التطبيقات الصناعية، و الشكل الآتي فيه صورة تبين مخطط النابذ/ الطارد مركزياً لتجفيف الحمأة ، وإن يوضح معدل أداء النابذ/ الطرد المركزي حسب نوع الحمأة وهو موضح في الجدول (5-11)



الشكل (5-9) : يبين أقسام وحدة نزع المياه من الحمأة بطريقة النبذ أو الطرد المركزي

الجدول (5-11): معدل أداء النابذ/ الطرد المركزي حسب نوع الحمأة الواردة

نوع الحمأة الواردة	المواد الصلبة في الكعكة (%)	نسبة إزالة المواد الصلبة (%)	عيار البوليمر المضاف (gr/kgDry solid)
حمأة أولية غير مهضومة	34-28	95-90	2-1
حمأة أولية مهضومة لا هوائياً	32-26	95-90	3-2
حمأة منشطة غير مهضومة	18-14	95-90	10-6
حمأة منشطة مهضومة لا هوائياً	18-14	95-90	7-3
(حمأة أولية + حمأة منشطة) غير مهضومة	25-18	95-90	8-7
(حمأة أولية + حمأة منشطة) مهضومة لا هوائياً	24-17	95-90	8-3
حمأة بتهوية مديدة أو حمأة مهضومة هوائياً	16-12	95-90	10-6



الشكل (5-10): صورة واقعية للنابذ و تظهر عليه الحمأة



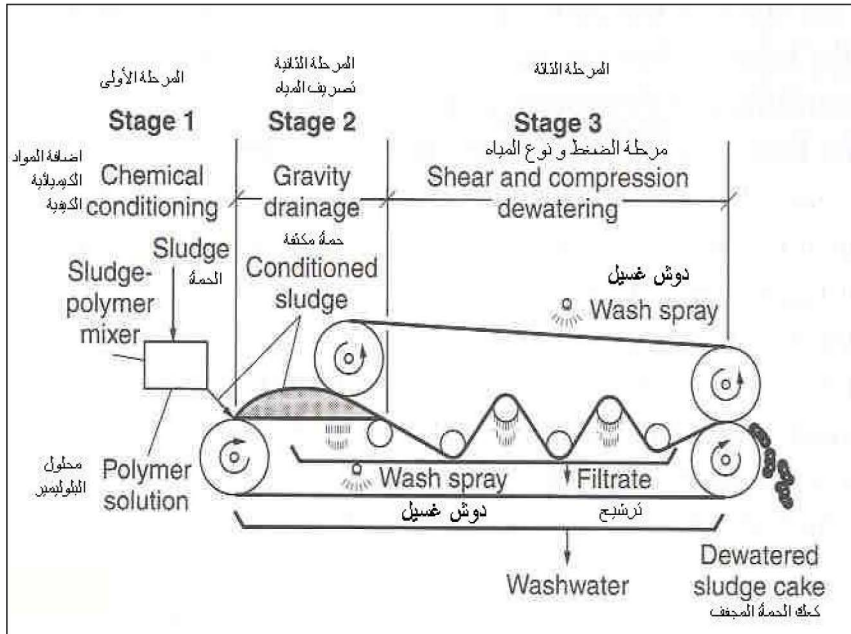
الشكل (5-11): يظهر محطة نزع المياه من الحمأة بطريقة الطرد المركزي أو النبذ

5-4-4-المكبس المرشح ذو الحزام Belt press:

يتم فصل الماد الصلبة عن المياه في هذه الطريقة بتأثير الضغط المباشر للحمأة بين حزامين قابلين للنفاذ حيث تمرر الحمأة (التي أضيفت إليها بعض المواد الكيميائية المساعدة لتسهيل عملية فصل المواد الصلبة عن المياه) بين حزامين مشدودين من النسيج المتين القابل للنفاذ منطبقين على بعضهما بقوة، كما هو مبين في الشكلين (5-12) و(5-13)، بحيث يؤدي انضغاط الحمأة بين الحزامين المتحركين إلى رشح جزء كبير من الماء عبر مسامات الحزام و تبقى المواد الصلبة مع نسبة قليلة من المياه ضمنها.



الشكل (5-12) : يظهر الحمأة الناتجة عن المكبس المرشح ذو الحزام Belt press

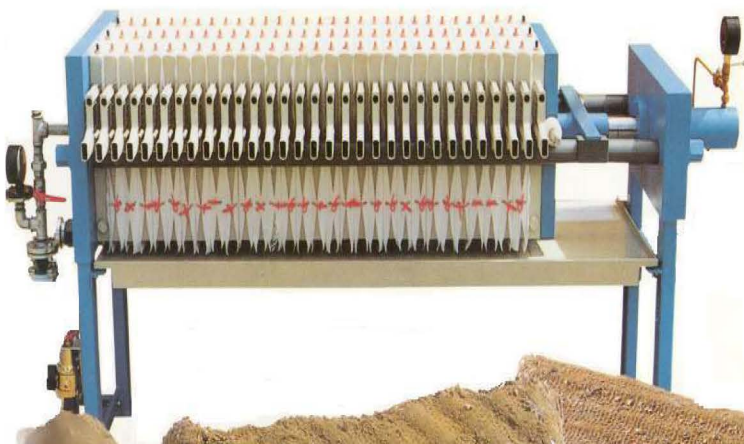


الشكل (5-13): يظهر المكبس المرشح ذو الحزام Belt press

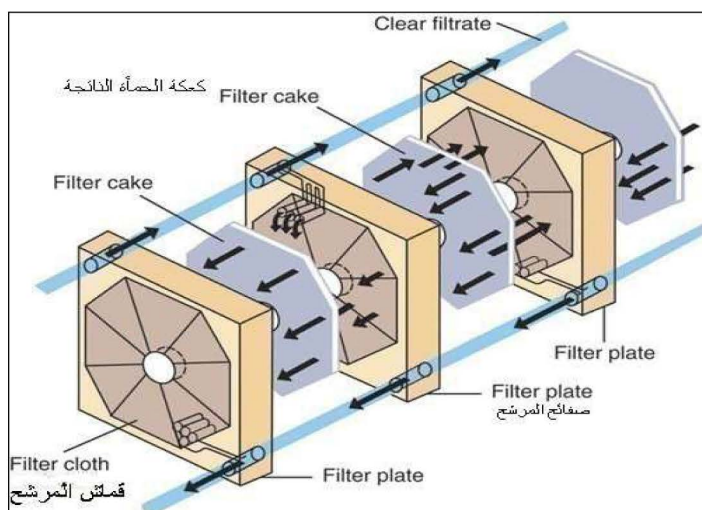
5-4-5- المكبس المرشح (Filter press):

يتم فصل المواد الصلبة عن المياه في هذه الطريقة بتأثير الضغط المباشر من غرف تستقبل الحمأة الداخلة إلى المكبس تحت ضغط عال، فتشرح المياه من جدرانها المؤلفة من نسيج متين قابل للنفاذ يستند على مجموعة من الإطارات المعدنية المتينة، كما هو مبين في الشكلين: (5-14) و (5-15)، تضاف بعض المركبات الكيميائية المساعدة لتسهيل عملية فصل المواد الصلبة عن المياه.

تضغط الحمأة داخل المكبس المرشح إلى حوالي (7-20) بار وتبقى هكذا مضغوطة لمدة (1-3) ساعات، حيث يرشح معظم الماء الموجود في الحمأة خلال هذه الفترة عبر مساحات النسيج القابل للنفاذ، بعد ذلك يخفض الضغط إلى الضغط الجوي، ثم تفكك الإطارات المعدنية ويجري تفريغ الجهاز من الحمأة وقد جفت إلى حد ملحوظ، معايير تصميم المكبس المرشح موضح في الجدول (5-12). بعد عمليات التكثيف تنتج الحمأة على شكل أقراص تدعى cake أي كعكة الحمأة،



الشكل (5-14): يظهر المكبس المرشح Filter press



الشكل (5-15): يوضح صفائح و جريان الحمأة في المكبس المرشح

الجدول (5-12) يوضح أهم معايير التصميم للمكبس المرشح

تركيز المواد الصلبة في الكعكة %	زمن الدورة (hr)	عيار المواد الكيميائية المضافة %		نوع الحمأة
		CaO	FeCl ₃	
45	2	10	3	حمأة أولية
45	2.5	15	5	حمأة أولية + منشطة
45	2.5	15	7.5	حمأة منشطة
40	2	30	6	حمأة أولية مهضومة لا هوائياً
45	2	10	5	حمأة (أولية + منشطة) مهضومة هوائياً

ومن الأمور الهامة جداً قبل دخول الحمأة إلى المرشح تحت الضغط أنه يجب تكثيفها ، بحيث يكون محتوى المواد الصلبة لا يقل عن 7% ، و عادة تضاف البوليمرات و ينشأ حوض تكثيف قبل عملية الترشيح بواسطة فلتر بريس أو بلت بريس، إن المؤشرات التصميمية الخاصة بالنزع من الحمأة بطريقة المكبس المرشح (Filter press) مبينة في الجدول (5-16).

-محاسن و مساوئ مرشحات الحمأة بالضغط (Filter press +belt press):

من المحاسن :

- 1- المساحة التي تشغلها صغيرة.
 - 2- الكلفة التشغيلية صغيرة جداً.
 - 3- يمكن استخدامه لفصل المياه و فصل المواد الصلبة.
- تصميم المرشح الضاغط وفق ما يلي:

- 1- نحسب حجم الحمأة المراد نزع المياه منها بوحدة لتر/يوم : V
 - 2- لدينا أي تركيز الحمأة الخارجة من المكثف قبل فلتر برس C_i
 - 3- نحسب كمية المواد الصلبة التي ستجفف يومياً MS بوحدة kg
- $$MS = V \times \frac{C_i}{100} \quad (5-17)$$

النتائج

- Sf : معامل الجفاف لكعكات الحمأة الناتجة (نسبة المواد الجافة /الرطوبة) %
- Sf : كتلة المواد الجافة /الكتلة الكلية $\times 100$
- الحجم اليومي لكعكات الحمأة المنتجة يومياً

$$Vj = MS \times \frac{100}{(Sf \times \Omega)} \quad (5-18)$$

Ω : كثافة كعكة الحمأة بوحدة كغ/ل.

- حساب حجم الفلتر برس Vf :

ان فلتر برس ان بليت برس لا يعمل بشكل مستمر طوال اليوم بل يعمل بشكل متقطع عدد N مرة و زمن كل دورة عمل هو T_C ، و عدد ساعات التشغيل الكلي هو T_E ، و بالتالي نحسب عدد دورات التشغيل من العلاقة :

$$N = \frac{T_e}{T_c} \quad (5-19)$$

في حال التدفقات الكبيرة يمكن استخدام عدة مرشحات ضاغطة n

$$Vf = \frac{Vj}{N \times n} \quad (5-20)$$

لتحديد حجم المرشح يلزمنا : Sf و Ω ، و يمكن أن نحصل على هذه القيم من الجداول التي ستمر لاحقاً و هي قيم عملية تجريبية من الخبرة العملية .

5-4-6- مثال تصميمي:

احسب حجم مرشح الضغط المستخدم لتجفيف الحمأة وفقاً للمعطيات الآتية:

الحمأة ناتجة عن إزالة الفوسفور في مياه الصرف المعالجة ، حيث تم استخدام كلور الحديد بتركيز 3.5 كغ/كغ/100 كغ من المواد الصلبة و بوليمرات بكمية 5 كغ/1000 كغ من المواد الصلبة في الحمأة و بقية المعطيات هي :
 V : حجم الحمأة الواجب تجفيفها يومياً 17000 لتر

V = volume of sludge to be dewatered per day

(liter)=17000

C_i : تركيز الحمأة 30 غ/ل

Sf : نسبة جفاف في كعكة الحمأة الناتجة (وزن جاف/رطب):28%

Ω : كثافة كعكة الحمأة و بوحدة كغ/ل ويساوي 1.05 كغ/ل.

الحل :

الكمية الكلية للمواد الصلبة التي سيتم سحب المياه منها :

$$MS = MS1 + MS2 + MS3$$

$MS1$ نحسب كمية المواد الصلبة التي ستجفف يومياً والناتجة عن الحمأة

ونحسب من العلاقة (5-17) بوحدة (كغ).

$MS2$: كمية الحمأة الناتجة عن إضافة كلور الحديد (كغ).

$MS3$: كمية الحمأة الناتجة إضافة البوليمير (كغ)

$$MS = V \times Ci/1000 + MS \text{ Conditioning}$$

$$MS1=17000 \times 30/1000=510 \text{ kg}$$

$$MS2= (3.5/100) \times 17000 \times 30/1000=17.85 \text{ kg}$$

$$MS3=527.85/1000 \times 5=2.64 \text{ kg}$$

$$MS=530.49 \text{ kg/day}$$

حساب حجم كعك الحمأة (أقراص الحمأة) المنتج يومياً:

$$Vj=MS \times 100/(Sf \times \Omega)=530.49 \times 100/(28 \times 1.05)=1804$$

liter/day

زمن العمل هو 8 ساعات و زمن دورة العمل للفلتر بريس (المرشح بالضغط)

هو 2.5 ساعة فيكون عدد مرات تشغيل الفلتر بريس هو :

$$N=Te/TC =8/2.5=3.2$$

عملياً نجعل الفلتر بريس يعمل 3 دورات

نحسب حجم الفلتر بريس من العلاقة باعتبار أنه لدينا فلتر بريس واحداً

$$Vf=Vj/(N \times n)=1804/(3 \times 1) =601 \text{ liter} =0.601 \text{ m}^3$$

5-5- ساحات تجفيف الحمأة :

5-5-1- الغاية ومبدأ العمل:

زيادة تركيز المواد الصلبة في الحمأة، بإنقاص كميات أكبر من المياه المتبقية فيها، وذلك عن طريق ترشيح المياه الموجودة فيها عبر طبقة مسامية (رمل وحصى ناعم) تفرش فوقها الحمأة الواردة سواء من أحواض الترسيب الثانوي والأولي إلى أحواض التكثيف أو أحواض الهضم . ويتم ذلك في أحواض تدعى أحواض أو أسرة التجفيف . تساهم أشعة الشمس والهواء في تبخر جزء ملحوظ من المياه الموجودة في الحمأة في المناطق الحارة والجافة، حيث يكثر استعمال هذه الطريقة بشكل خاص. ويمكن الوصول إلى تركيز للمواد الصلبة يبلغ حوالي (30%-50%) في الحمأة المجففة بهذه الطريقة.

تتألف أحواض التجفيف من طبقة رملية سماكتها (20-40) سنتيمتراً مستندة على طبقة من الحصى الناعم الذي يستند بدوره على مجموعة من المصارف المثقبة التي تتباعد عن بعضها بحوالي (3-7) أمتار، تجمع هذه الأنابيب المياه الراشحة من الحمأة وتعيدها مرة أخرى إلى المعالجة نظراً لاحتوائها على نسبة عالية من الملوثات.

تترك الحمأة في أحواض التجفيف لفترات كافية حسب الطقس لترشيح وتبخير أكبر كمية من المياه الموجودة في الحمأة، وتزداد هذه المساحة بكمية محطة المعالجة . لا يفضل اتباع هذه الطريقة في المناطق ذات الهطول المطري الشديد أو الرطوبة العالية. وفي هذه الحالات يتم تغطية الأحواض حيث تسهم هذه التغطية أيضاً في الإقلال من انتشار الروائح.

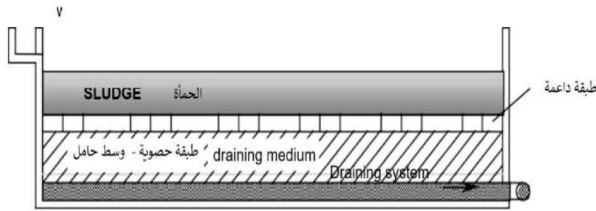
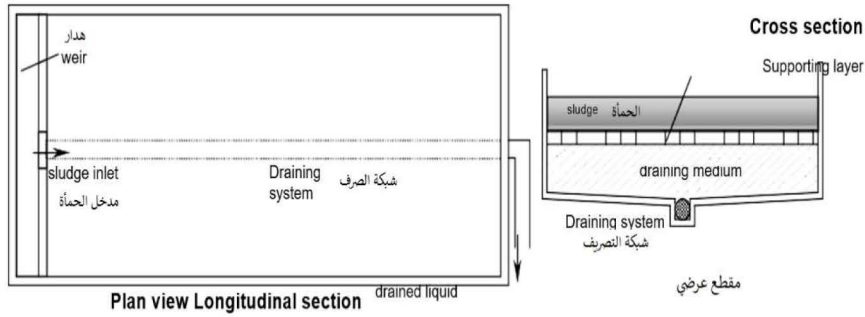
5-5-2-تجفيف الحمأة سرير تجفيف الحمأة (SLUDGE DRYING BEDS):

تتم إزالة الماء عن طريق التبخر والتسرب. تتكون العملية من خزان ، عادة ما يكون مستطيلاً ، ويكون من البناء أو الجدران الخرسانية وأرضية خرسانية. ويتكون سرير تجفيف الحمأة أو ساحات تجفيف الحمأة مما يأتي :

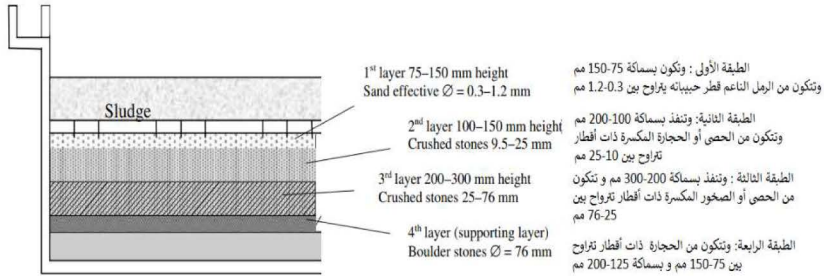
- وسط تصريف، ويتكون من طبقات حصوية وحجارة غير غضارية وطرية.
- الطبقة الداعمة، وتتكون من البلوك وغايتها حماية طبقات التصريف .
- نظام الصرف، ويتكون من أنابيب بلاستيكية لتصريف مياه الصرف كما هو

مبين في الشكل (5-17) .

إن وسط الترشيح والتصريف يسمح بترشيح السائل الموجود في الحمأة من خلال الطبقات العليا من الرمل والطبقات السفلية من الحصى ، يتم وضع الطبقات بحيث ترتب أحجام الحبوب من أعلى إلى أسفل بقطر كما هو موضح في الشكل ، أما الطبقة الداعمة فهي مبنية من الطوب الصلب (البلوك) الاسمنتي أو الفخاري، أو أي مادة أخرى قادرة على تحمل عملية إزالة الحمأة الجافة. تسمح الطبقة الداعمة بتوزيع أفضل للحمأة ، وتجنب انسداد المسام المتوسطة للتصريف وتضمن إزالة الحمأة منزوعة الماء دون الإخلال بطبقات وسط الصرف.



مقطع طولي



تفاصيل الطبقة الحصىية المصرفة



تفاصيل توزيع البلوك في الطبقة الداعمة

الشكل (5-17): يبين مقاطع عرضية وطولية ومسقط أحواض تجفيف الحمأة

عندما يتم هضمها جيداً (جزء صغير من محتوى المواد الصلبة القابلة للتحلل) ، إنّ الحمأة المعرضة للتجفيف الطبيعي لها خصائص مرضية ، مما يسمح بإزالة الماء خلال فترة زمنية قصيرة، مثال على ذلك هو حمأة القاع من برك التثبيت ، والتي تقدم هذه الخصائص وعادة ما وصلت إلى استقرار بيولوجي كافٍ للسماح بفصل السائل عن المادة الصلبة دون الحاجة إلى معالجة مسبقة.

قد تكون أحواض تجفيف الحمأة عبارة عن إنشاءات في الهواء الطلق أو مغطاة للحماية من هطول الأمطار. يتم إجراء التجفيف كعملية دفعية ، حيث يتم توجيه الحمأة بالتتابع إلى عدة أحواض تجفيف مثل ثاني أكسيد الكربون أو الميثان. قد تكون هذه الحمأة عبارة عن شوفان في أحواض التجفيف بسبب اختلافات الكثافة بين الحمأة المهضومة والماء. خلال معظم فترة نزع المياه ، يتسرب الماء بسهولة عبر طبقة التصريف، حتى اللحظة التي تترسب فيها الحمأة نفسها وتتحول إلى كتلة فطيرة سميكة. من الآن فصاعداً ، ينتهي الترشيح تقريباً ويتم التجفيف من خلال التبخر الطبيعي.

إلى جانب الخصائص الفيزيائية للحمأة، تؤثر الظروف المناخية أيضاً على أداء هذا النوع من العمليات. قد يعزز التجفيف الطبيعي الإزالة الملموسة للكائنات المسببة للأمراض بسبب التعرض لأشعة الشمس

عندما يصل محتوى المواد الصلبة إلى حوالي 30٪، تكون الحمأة جاهزة لإزالتها من سرير الحمأة ، لتجنب الصعوبات المرتبطة بالإزالة اللاحقة، يؤدي البقاء المطول للحمأة الجافة في أحواض التجفيف إلى نمو الغطاء النباتي، وتظهر صعوبات في إزالة الحمأة التي تم تجفيفها.



المصدر: <https://www.biokube.com>

الشكل (5-18): صور لأحواض تجفيف الحمأة ، الشكل العلوي أثناء ضخ الحمأة الزائدة، والشكل السفلي بعد التجفيف .

5-5-3-أسس تصميم ساحات تجفيف الحمأة أو سرير تجفيف الحمأة:

قد يستخدم تجسيم أسيرة التجفيف معدلات تجريبية ، مستمدة من الخبرة في تطبيقات مماثلة ، أو تم الحصول عليها من خلال الاختبارات التي أجريت في ظل ظروف خاضعة للرقابة ، خاصة بالموقف المركز. المتغيرات الرئيسية هي:

- إنتاج الحمأة في محطة المعالجة.
- خصائص الحمأة المتعلقة بمحتويات المواد الصلبة الكلية والمواد الصلبة المتطايرة.
- المحتوى الكلي للمواد الصلبة في الكعكة الحمأة بعد التجفيف.
- ارتفاع طبقة الحمأة في ساحات التجفيف.
- ويوصى بأن يكون معدل تحميل المواد الصلبة على سطح ساحات التجفيف أو أسيرة تجفيف الحمأة.

التوصيات ملخصة على النحو التالي:

- معدل تحميل المواد الصلبة (Solids loading rate) حوالي 15 كغ / م² / TS من سطح طبقة سرير الحمأة لكل دورة تجفيف.
- يجب توفير سريرين على الأقل للتجفيف.
- سماكة طبقة الحمأة الخام فوق سرير الحمأة تتراوح بين 15-30 سم .
- ويمكن الاستثناء بالجدول (5-13) عند حساب المساحة المقترحة لأحواض تجفيف الحمأة في المناطق المعتدلة . أما الجدول (5-14) يبين مقارنة بين طرق تجفيف الحمأة ميكانيكياً، و بين طرق التجفيف بالأراضي، وأخيراً يمكن الاستعانة بالجدول (5-15) الحجم الوسطية للحمأة الناتجة عن مختلف عمليات معالجة مياه الصرف الصحي.

الجدول (5-13): المساحة المقترحة لأحواض تخفيف الحمأة في المناطق المعتدلة

نوع الحمأة	أحواض تخفيف مفتوحة (م ² /نسمة)	أحواض تخفيف مغلقة (م ² /نسمة)
أولية مهضومة	0.07-0.05	0.05-0.03
أولية ودبال مهضومة	0.08-0.06	0.06-0.05
أولية ومنشطة مهضومة	0.15-0.08	0.07-0.06
أولية ومهضومة مع ترسيب كيميائي	0.18-0.10	0.07-0.06

الجدول (5-14):مقارنة بين طريقة تخفيف الحمأة بالطرق الميكانيكية و بين

تخفيفها عبر النشر على الأراضي

طريقة المعالجة		
نزع الرطوبة بالبوليمرات وتكثيف الحمأة ،وتشكيلها على شكل قوالب خاصة بواسطة فلتر برس	وتخفيف الحمأة بالنشر فوق الأراضي.	مجال المقارنة
تطبق في كل الظروف وفي جميع المواقع، إلا أنها تعتبر اقتصادية لمحطات المعالجة الصغيرة ومتوسطة التدفق	في محطات معالجة مياه الصرف ذات التدفق الكبير في المناطق غير الماطرة وذات سطوع شمسي طويل عند توفر ساحات كبيرة في موقع محطة المعالجة ،عندما تكون محطة المعالجة بعيدة عن التجمعات السكانية.	المجال الأمثل للتطبيق
تحتاج إلى مساحة صغيرة، وذلك بالمقارنة مع طريقة النشر فوق الأراضي.	تحتاج إلى مساحات كبيرة من الأراضي.	المساحات اللازمة
لا يستغرق أكثر من زمن صغير قد يكون بضع سويعات، وذلك حسب قدرة استيعاب الفلتر برس.	قد يصل حتى 30 يوم، وذلك تبعاً للطقس	زمن معالجة الحمأة
لا تتأثر هذه الطريقة مطلقاً بالعوامل الجوية.	تتأثر هذه الطريقة بشكل كبير بالعوامل الجوية، ففي فصل الشتاء وخصوصاً أثناء الطقس الماطر وغير المشمس نحتاج إلى وقت طويل لتجفيف الحمأة، بالإضافة إلى دخول كمية كبيرة من مياه الأمطار من ساحات تجفيف الحمأة المكشوفة.	التأثر بالعوامل الجوية

جمع الحمأة المعالجة	يحتاج إلى آلات خاصة كالتركس أو البوبكات من أجل جمع الحمأة ونقلها إلى ساحات النقل.	لا يحتاج لآليات خاصة، وإنما يمكن جمع الحمأة على شكل قوالب خاصة ونقلها بواسطة سير ناقل إلى ساحات النقل.
الكلفة التأسيسية	تعتبر مساوية تقريباً أو أعلى من طريق فلتر بريس والبوليمرات نتيجة المساحات الواسعة التي نحتاج إليها، والآليات اللازمة لجمع الحمأة ونتيجة كلفة تجهيز ساحات التجفيف	تساوي تقريباً أو تقل عن طريقة النشر فوق الأراضي
الأثر البيئي	سيء جداً وتؤدي هذه الطريقة إلى الروائح الكريهة و تلوث هواء في المنطقة المحيطة بساحات التجفيف، وتؤدي إلى انتشار الذباب في المنطقة المحيطة وإلى انتقال الأمراض و قد تؤدي إلى تلوث المياه الجوفية في حال كانت ساحات التجفيف غير كتيمة	تعتبر هذه الطريقة صديقة للبيئة، ولا تسبب أي أثر بيئي ضار
الكلفة التشغيلية	وتشمل : - التكتيف . - ضخ الحمأة إلى ساحات التجفيف - تجميع الحمأة المجففة في ساحات التجفيف بواسطة العمال أو آلات خاصة. - إعادة تأهيل ساحات التجفيف كل فترة زمنية بحسب الحاجة	وتشمل : 1- التكتيف 2- ضغط الحمأة بواسطة المرشح تحت الضغط 3- كلفة إضافة البوليمرات. الكلفة تقارب كلفة التشغيل في طريقة التجفيف فوق الأراضي

الجدول (5-15): الكميات الوسطية للحماة الناتجة عن مختلف عمليات المعالجة.

عملية المعالجة	م ³ حماة/10م ³ مياه صرف معالجة	نسبة المواد الصلبة (%)	الجازبية النوعية للحماة
ترسيب أولي			
غير مهضومة	2950	5	1.02
مهضومة في أحواض منفصلة	1450	6	1.03
مرشحات بيولوجية	475	7.5	1.025
ترسيب كيميائي	5120	7.5	1.03
ترسيب أولي وحماة منشطة			
غير مهضومة	6900	4	1.02
مهضومة في أحواض منفصلة	2700	6	1.03
حماة منشطة	19400	1.5	1.005

الفصل السادس: أمثلة تصميمية حسابية شاملة وواقعية

6-1- مثال تطبيقي "تصميم محطة مدحمة لمعالجة مياه الصرف الصحي" :

يطلب تصميم محطة معالجة مدحمة لجامعة كبيرة ذات تدفق $125\text{m}^3/\text{day}$ لمياه الصرف، ووفقاً للمعطيات المبينة في الجدول (6-1):

الجدول (6-1): خصائص مياه الصرف الصحي قبل و بعد المعالجة

البارامتر	القيمة قبل المعالجة	القيمة الواجب الحصول عليها بعد المعالجة
BOD	250mg/l	20mg/l
TSS	250mg/l	20mg/l
T.K.N (Total Kjeldahl Nitrogen)	40mg/l	5mg/l

الفرضيات:

- 1- درجة حرارة مياه الصرف الدنيا 17 مئوية
- 2- انتاج الحمأة الصافي $0.76\text{kg MLss/kg BODr}$
- 3- تركيز الأوكسجين الأصغري في حوض التهوية 2mg/l
- 4- العوامل الخاصة بالأوكسجين :
 أ- $\text{kgO}_2/\text{kgBODr} = 1.28$
 ب- $\text{kgO}_2/\text{kgNH}_3\text{-N} = 4.6$
 ج- عوامل انتقال الأوكسجين إلى الماء:
 $a,0 = 85$ (من أجل نافثات فقاعات هواء خشنة)
 $B,0 = 95$ (من أجل مياه الصرف المنزلي)
- 5- زمن المكوث الهيدروليكي في حوض التهوية 1 يوم (تهوية مديدة)
- 6- معدل التحميل الهيدروليكي في منطقة ترسيب الحمأة (أقل من $10\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$)
- 7- تركيز المواد المعلقة في السائل الممزوج (MLSS) يقع ضمن المجال:

$$(6000-3000) \text{ mg/l}$$

8- زمن مكوث المواد الصلبة 25 days

9- نسبة المواد المغذية على نسبة الأحياء الدقيقة F/M تقع ضمن المجال (0.3-0.05).

10- معدل انتقال فقاعات الهواء الخشنة هو : $30 \text{ kg O}_2/\text{KW.day}$.
الحل :

- حساب حجم حوض التهوية و حساب كافة الأجزاء الخاصة بهذا الحوض:

أ- حساب كمية BOD_r الـ BOD_5 المزال يومياً ضمن هذا الحوض:

$$\text{BOD}_r(\text{kg/day}) = Q \times (\text{BOD}_i - \text{BOD}_e) / 1000$$

التدفق اليومي $Q: \text{m}^3/\text{day}$

BOD_i : تركيز BOD_5 الداخل إلى حوض التهوية ملغ/ل

BOD_e : تركيز BOD_5 الخارج من حوض الترسيب النهائي ملغ/ل

$$\text{BOD}_r(\text{kg/d}) = 125 \times (250 - 20) / 1000 = 29 \text{ kg/day}$$

ب- حساب إنتاج الحمأة :

$$\text{Sludge production (kg/day)} =$$

$$\text{Net sludge yield (kg MLSS/Kg BOD}_r)$$

$$\times \text{BOD}_r(\text{kg/d})$$

$$\text{Net sludge yield (kg MLSS/Kg BOD}_r) = 0.76 \text{ انتاج}$$

الحمأة الصافي

$$\text{Sludge production} = 0.76 \times 29 = 22 \text{ kg/d}$$

ج- حساب الكتلة الحيوية في حوض التهوية:

System Mass(kg)= sludge production ×solids
retention (d)

$$= \text{زمن مكوث المواد الصلبة باليوم} \times \text{انتاج الحمأة} \\ = 22 \times 25 = 550 \text{kg}$$

- حساب الطاقة اللازمة للتهوية:

أ- حساب تراكيز الأمونيوم:

$$\text{NH}_3\text{-N (مؤكسد)} = \text{TKNi} - \text{synthesis N} - \text{TKNe} \quad (6-1)$$

TKNi: قيمة نetroجين كالدال الداخلى إلى حوض التهوية ملغ/ل وقيمتة 40 ملغ/ل.

TKNe: قيمة نetroجين كالدال الخارج من حوض الترسيب النهائي ملغ/ل ونصمم على قيمة تساوي 5 ملغ/ل

Synthesis N= % 5 (انتاج الحمأة في طريقة الحمأة المنشطة) ×

Synthesis N (المصطنع عن طريق تشكيل الخلايا)

$$\text{Synthesis N} = 0.05 \times 22 = 1.1 \text{kg/d}$$

Sythensis

$$\text{N (mg/l)} = 1.1 (\text{kg/d}) \times 10^6 (\text{mg/day}) / 125 \times 10^3 (\text{l/day}) = 8.8 \text{mg/l}$$

$$\text{NH}_3\text{-N (مؤكسد)} = 40 - 8.8 - 5 = 26.2 \text{mg/l}$$

$$\text{NH}_3\text{-N (Kg/d)} = 26.2 \times 10^6 (\text{kg/l}) \times 125 \times 10^3 \\ (\text{l/d}) = 3.28 \text{kg/day}$$

ب- حساب احتياج الأوكسجين الفعلي (اللازم):

$$\text{AOR} = 1.28 (\text{kgO}_2/\text{kgBODr}) \times \text{Synthesis N} \\ (\text{kg/day}) +$$

$$4.6(\text{kgO}_2/\text{kgNH}_3\text{-N}) \times \text{NH}_3\text{-N (مؤكسد)} (\text{kg/d})$$

$$(6-2)$$

$$\text{AOR} = 1.28(\text{kgO}_2/\text{kgBODn}) \times 1.1(\text{kgBODn/d}) +$$

$$4.6(\text{kgO}_2/\text{kgNH}_3\text{-N}) \times 3.28(\text{KgNH}_3\text{-N/d})$$

$$\text{AOR} = 16.5 \text{kgO}_2/\text{day}$$

ج- حساب الاحتياج الفعلي المعياري للأوكسجين:

$$SAOR = AOR \times CS \frac{1}{a(B \times CSW - C)} \theta^{(20-T)}$$

$$(6-3)$$

CS: تركيز الأوكسجين في حالة الاشباع عند درجة الحرارة و الضغط المعياريان
(ملغ/ل)

θ : معامل يتعلق بدرجة الحرارة و قيمته 1.024

CSW (معامل التصحيح من أجل الارتفاع)=

$$Csw = 9.02 - 0.0003 \times \text{elevation} \quad (6-4)$$

C_o (تركيز الأوكسجين المنحل المطلوب في حوض التهوية) = 2mg/l

$a = 0.85$ ، $B = 0.95$ ، $T = 17^\circ\text{C}$

$$SAOR = 16.5 \times 9.02 \frac{1}{0.85(0.95 \times 8.88 - 2)} 1.024^{(20-1)}$$

$$= 29.2 \text{kgO}_2/\text{day}$$

د- احتياج الطاقة للمهويات (مراوح التهوية):

$$\text{Motor requirements (KW)} = SAOR / O_2(\text{transfer rate}) \quad (6-5)$$

$$= 29.2(\text{kgO}_2/\text{d}) / 30(\text{kgO}_2/\text{kw-d}) = 1 \text{kw}$$

بشكل عام إن كفاءة مراوح التهوية لا تزيد عن 50% لذلك نختار مهيئين باستطاعة 3.75kw و ذلك من أجل تأمين متطلبات التهوية و لتحقيق الهضم الهوائي للحمأة.

- تصميم حوض التهوية:

حجم حوض التهوية

$$Q = \frac{V}{T}$$

$$V = Q \times T$$

T: زمن المكوث / باليوم ونأخذه مساوياً إلى 1 يوم
Q: التدفق (م³/يوم)

$$V = 125 \times 1 = 125 \text{m}^3$$

نختار ارتفاع الحوض 3m فتكون المساحة $A = 125/3 = 41.67 \text{m}^2$
و باعتبار أن $L/B = 4$ (طول الحوض) L (عرض الحوض) B
 $A = L \cdot B = 4 \cdot B \cdot B = 41.67 \text{m}^2$
إذاً $B = 3.225 \text{m} = 3.3 \text{m}$ فيكون طول الحوض $L = 12.9 = 13 \text{m}$
إذاً طول الحوض 13m و عرضه 3.3m و ارتفاعه 3m .

- حساب أبعاد منطقة حوض الترسيب و تجميع الحمأة:

نفترض بأنه لدينا مخرطين لترسيب الحمأة بأبعاد:

1- البعد العلوي = عرض الحوض = 3.3 م

2- البعد السفلي = 5.33 م فتكون المسافة العلوية لمخرطين ترسيب الحمأة

$$A2 = 2 \times 3.3 \times 3.3 = 21.78 \text{m}^2$$

فيكون معدل التحميل الهيدروليكي في مخرطين ترسيب الحمأة :

$$= 125/21.78 = 5.74 (\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}) < (8-18) (\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}) \text{ مقبول}$$

على فرض أن ارتفاع الترسيب فوق المخروطين مساوياً إلى 0.3m فيكون ارتفاع

$$H_h = 3 - 0.3 = 2.7 \text{m} \text{ إلى المخروط مساوياً}$$

و يكون حجم المخروط

$$V = 1/3 (A_1 + A_2 + (A_1 \times A_2)^{0.5}) \cdot \text{depth} \\ = 1/3 (3.3^2 + 0.3^2 + 3.3 \times 0.3) \times 2.7 = 9.88 \text{m}^3$$

- الحجم الكلي للمخروطين

$$V_T = 2 \times 9.88 = 19.76 \text{m}^3$$

حساب حجم حوض الهضم الهوائي للحمأة = حجم مخروطي بجميع الحمأة

$$H = 3 \text{m} \quad L = 3.3 \text{m} \quad B = 2 \text{m}$$

- حساب حوض التماس مع الكلور:

لصغر التدفق نختار زمن مكوث كبير 75 دقيقة فيكون حجم حوض الكلور

$$V = 125 \times (75/60) / 24 = 6.5 \text{m}^3$$

نختار عمق الحوض مساوياً ل 0.8 م

$$L = 3.3 \text{m} \quad B = 6.5 / 3.3 \times 0.8 = 2.46 \text{m}$$

إذاً أبعاد حوض الكلورة

$$H = 0.8 \text{m} \text{ الارتفاع ، } B = 2.46 \text{m} \text{ العرض ، } L = 3.3 \text{m} \text{ الطول}$$

توصيات عامة:

1- محطات المعالجة المدجة لا تحتاج إلى حوض فصل الرمال أو حوض ترسيب و إنما تحتاج فقط حفرة تجميع صغيرة و مضخة, كما هو مبين في الشكلين (6-1) و (6-2).

2- قطر أنبوب دخول مياه الصرف على محطة المعالجة المدجة لا يقل عن 15سم و يجب أن يصرف مباشرة على مصافي دقيقة أو فرامات للمواد الصلبة , و تكون المصافي و الفرامات موضوعة عند مقدمة أعلى حوض التهوية.

- 3- إن ضغط مراوح التهوية يجب أن لا يقل عن 0.5 بار (5m) , و ذلك لضمان تركيز أصغري للأوكسجين المنحل 2ملغ/ل في جميع الأوقات.
- 4- لا يقل عدد نافثات الهواء عن /44/ نافثة في قاع حوض التهوية بالإضافة إلى أنه يجب أن نضع نافثات عدد/6/ في حوض الهضم الهوائي للحمأة و واحدة في حوض الكلورة.
- 5- يجب وضع مقياس تدفق يسجل التدفقات اليومية الداخلة إلى المحطة.
- 6- يجب أن يجهز كل مخروط لجمع الحمأة بمضخة إرجاع الحمأة المنشطة إلى حوض التهوية ذات فتحة 15سم (6 انش).
- 7- أنبوب نقل الحمأة لا يقل عن 7.5 سم (3 انش) .
- 8- يجب تجهيز لوحة تحكم من أجل مراوح التهوية و المضخات.
- 9- يجب وضع قواشط للزبد عند مخرج حوض التهوية قبل حوض الكلورة.
- 10- يجب أن تصنع المحطة إما من الستانلس ستيل الصناعي او الكروم الصناعي أو من الحديد المطلي بالايوكسي أو من البيتون المسلح المقوى بمواد مانعة للتسرب.
- 11- لا داعي لتحقيق شرط السرعة الأصغرية في هذا المحطات بل يكتفى بتحقيق زمن المكوث الهيدروليكي و تنفيذ الحوض على شكل متاهات.

6-2-مثال: تصميم محطة معالجة مياه الصرف الصحي بطريقة الأراضي

الرطوبة:

- المطلوب تصميم محطة معالجة مياه صرف صحي لمدينة وفقاً للمعطيات الآتية :
- السنة: 2019 م نسبة التزايد 2.68% معدل استهلاك الفرد هو 120 ليتر، عدد السكان 14000 نسمة ، وستخدم محطة المعالجة المدينة حتى عام 2045.
- سوف يتم تصميم محطة المعالجة على التدفق اليومي الوسطي الجاف ، وسوف نعتبر نسبة التصريف حوالي 70% من استهلاك الفرد.
- مياه الصرف الصحي المعالجة يجب أن تحقق المواصفة القياسية السورية المواصفات القياسية السورية رقم 2752 الخاصة بأغراض الري الفئة ب.

التصميم:

ونسبة عدد السكان نهاية المرحلة التصميمية للمرحلة الأولى:

$$N_{2030} = N_{2019} \times (1 + R/100)^{11} = 14000 \times (1 + 2.68/100)^{11} \\ = 18728 \text{ person}$$

التدفق التصميمي للمرحلة الأولى :

$$Q_{d2030} = 18728 \times 0.12 \times 0.7 = 1573 \text{ m}^3/\text{day}$$

المرحلة الثانية:

$$N_{2045} = N_{2019} \times (1 + R/100)^{26} = 14000 \times (1 + 2.68/100)^{26} = 27846 \\ \text{person}$$

$$Q_{d2045} = 27846 \times 0.12 \times 0.7 = 2339 \text{ m}^3/\text{day}$$

-القسم البيئي والصحي والهيدروليكي:

طريقة المعالجة المقترحة: هي معالجة بالأراضي والنباتات، وسوف نستخدم نظام الجريان تحت سطحي (نظام جريان أفقي + شاقولي)، وفي النظام السطحي أيضاً سوف

يتم وضع طبقة من الزرادة (حصى مكسرة بأقطار أقل من 12 مم)، على السطح تمر عبرها مياه الصرف لمنع تعرض مياه الصرف للهواء الجوي، وذلك لمنع انتشار الذباب وانتشار الروائح الكريهة، حيث تضخ مياه الصرف إلى أعلى الأراضي الرطبة ذات الغطاء النباتي الكثيف ثم تجري نحو الأسفل لتخضع وفق ما يلي:

تصميم وحدات المعالجة:

أ- مصافي خشنة + مصافي ناعمة + مقياس تدفق + مقياس فانتوري، أمّا أحواض إزالة الرمال فيمكن الاستغناء عنها في هذا النوع من المحطات نظراً لصغر التدفق الوارد وقلة كمية الرمال الواردة وإنّ وجود حوض ترسيب أولي يتم فيه جمع الحمأة (الرواسب العضوية + رواسب غير عضوية كالرمال).

الغاية من تصميم محطة المعالجة لقرية الراعي تحقيق المواصفات القياسية السورية الخاصة بري المزروعات، الفئة ب، إن الشكل (3-6) يبين شكل المصافي القضبانة الخشنة و الناعمة المقترحة في التصميم.



المصافي الناعمة



المصافي الخشنة

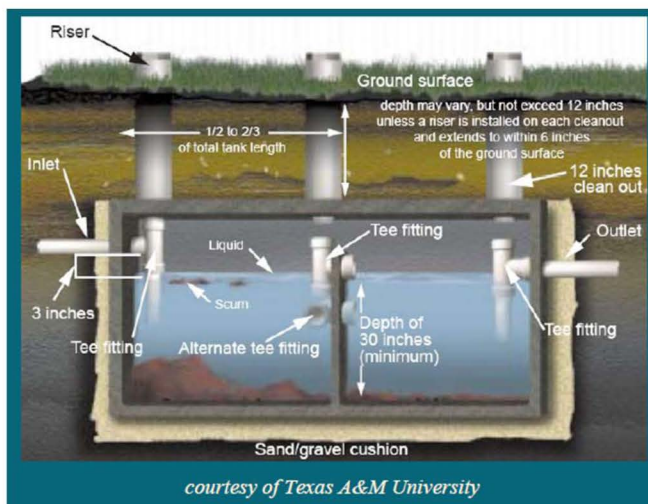
الشكل (3-6): المصافي الخشنة والناعمة

معطيات التصميم:

- BOD_5 الداخل إلى المعالجة البيولوجية بالنباتات هو: 120 ملغ/ل.
- BOD_5 الخارج من حوض المعالجة بالنباتات هو: 65 ملغ/ل بينما التي ستخرج من حوض الكلورة إلى المصب النهائي هي بحدود 55 ملغ/ل.
- نظام الجريان أفقي + شاقولي + إعادة تدوير جزء من التدفق المعالج ، كما هو مبين في الشكل (4-6).
- سوف نزيل كحد أدنى من قيمة الأحمال العضوية في المعالجة بالأراضي و النباتات فيكون BOD_5 الخارج من عملية المعالجة بالنباتات هو 65 ملغ/ل وهو محقق لدفتر الشروط الفنية الذي ينص على وجوب تحقيق المواصفات السورية الخاصة بمياه الري المجال، ب رقم 2752 لعام 2008.

أ- تصميم حوض الاستقبال الأولي وهو حوض تعفن لاهوائي (septic tank)
:(tank

ويوضع بعد بعض المصافي الخشنة وشكله كما هو مبين في الشكل (5-6).



الشكل (5-6): مقطع في حوض التعفن Septic tank

إن الغاية من وجود حوض التعفن في محطات المعالجة بالأراضي الرطبة ما يأتي:

- 1- يمكن الاستفادة منه كحوض ترسيب أولي، وبذلك نحمي الطبقة البحيية في أحوض المعالجة بالأراضي الرطبة من الانصطام.
- 2- يمكن الاستفادة منه لفصل الزيوت و الشحوم ومنع وصولها الى أحواض المعالجة ويمكن ان يتصل نسبة ازالة الزيوت و الشحوم حتى 80%.
- 3- يمكن استخدامه كحوض توازن لموازنة ومزج التدفقات الواردة الى محطة المعالجة.
- 4- يمكن استخدامه كغرفة ضخ مياه الصرف الى وحدات المعالجة.
- 5- يساهم في تخفيف الحمولة العضوية معبرا عنها بـ BOD_5 بمقدار 40-60% الواردة وحدات المعالجة.

6- يزيل المواد المعلقة القابلة للترسيب بمقدار 50-80% .

7- يستفاد منه في هضم الحمأة الأولية .

8- يمكن أن ينتج الغاز الحيوي، و الذي يستفاد منه كمصدر للطاقة.

يتم تصميم خزان **septic tank** على زمن مكوث مقداره 48 ساعة عند التدفق عام 2030 ، يفيد هذا الحوض قي تخفيف الأحمال العضوية وفي حدوث عملية تجانس لمياه الصرف الصحي الخام الواردة:

$$V=48 \times 1573 / 24 = 3146 \text{m}^3$$

• ويحدث في هذا الحوض أيضاً تجمع للحمأة وتثبيتها لاهوائياً ، تمهيداً لتكثيفها وتخفيفها.

• الارتفاع المائي 4.5 م الطول 35 م والعرض 20 م والحجم الفعلي هو:

$$V_{\text{active}} = 4.5 \times 35 \times 30 = 3150 \text{m}^3$$

• كفاءة إزالة BOD_5 في خزان **septic tank** هي بحدود 40%.

• إن BOD_5 التصميمي هو 400 ملغ/ل

• فيكون تركيز الـ BOD_5 الخارج من خزان **septic tank** :

$$= 0.6 \times 400 = 240 \text{ mg/l}$$

يلي حوض **septic tank** مرشح بيولوجي لا هوائي بسيط بزمن مكوث 6

ساعات وبجريان من الأسفل إلى الأعلى فيكون حجم المرشح البيولوجي اللاهوائي:

$$V_2 = 6 \times 1573 / 24 = 393.4 \text{m}^3$$

نختار مرشح بيولوجي لاهوائي مغلق (منعاً لانتشار الروائح وانتشار الأوبئة

والأمراض) دائري الشكل:

الارتفاع المائي الفعّال 4 م فيكون قطر الحوض 11.25 م فيكون الحجم الفعّال

هو:

$$V_{2\text{active}} = 4 \times 3.14 \times 11.25^2 / 4 = 397.4 \text{m}^3$$

وعادة تكون كفاءة هذه المرشحات حوالي 40-80% في إزالة BOD_5 وعملياً نصممه على كفاءة مقدارها 50% ، وذلك كعامل أمان تصميمي من قيمة BOD_5 فتكون قيمة BOD_5 الخارجة من المرشح هي:

$$=0.5 \times 240 = 120 \text{ mg/l}$$

ب - تصميم الأراضي الرطبة (المعالجة بالنباتات):

- نظام الجريان أفقي + شاقولي.
- الحرارة التصميمية: 10 درجات مئوية.
- مادة الترشيح والامتزاز والنمو البيولوجي: بحص + رمل + زرداه.
- مسامية طبقة الترشيح: 0.3
- معدل التحميل العضوي على الهكتار 120 كيلو غرام BOD_5 (مزال)/هكتار في نهاية العمر التصميمي للمرحلة و 100 كيلو غرام BOD_5 (مزال)/هكتار في بداية العمر التصميمي للمرحلة.
- الارتفاع الوسطي لطبقة الترشيح هو: 0.8-1 م
- معدل الحمولة العضوية المسموحة فوق كل هكتار يجب أن تكون أقل من (100-120) كيلو غرام / هكتار باليوم
- تكون المساحة اللازمة هي:
- للمرحلة الأولى:

$$A = Q \times \ln \left(\frac{BOD_{5i}}{BOD_{5e}} \right) \times \frac{1}{kt \times d \times n} \quad (6-6)$$

d: العمق الوسطي للماء ونأخذه 1 م، n: مسامية التربة وتؤخذ في حالتنا هذه حوالي 30% أي kt: ثابت يتعلق بدرجة الحرارة قيمته هي من 1.02-1.06.

$$K_T = K_{20} \times \Theta^{(T-20)} \quad (6-6)$$

$$\Theta = 1.06, \quad T = 10^\circ\text{C}, \quad K_{20} = 1.104$$

معطيات التصميم:

- BOD₅ الداخل إلى المعالجة البيولوجية بالنباتات هو: 120 ملغ/ل
- BOD₅ الخارج من حوض المعالجة بالنباتات هو: 65 ملغ/ل بينما التي سوف تخرج من حوض الكلورة إلى المصب النهائي هي بحدود 55 ملغ/ل.
- نظام الجريان أفقي + شاقولي + إعادة تدوير جزء من التدفق المعالج
- سوف نزيل كحد أدنى من قيمة الأحمال العضوية في المعالجة بالأراضي والنباتات فيكون BOD₅ الخارج من عملية المعالجة بالنباتات هو 65 ملغ وهو محقق لدفتر الشروط الفنية الذي ينص على وجوب تحقيق المواصفات السورية الخاصة بمياه الري المجال ب رقم 2752 لعام 2008.
- أبعاد المساحات اللازمة للمعالجة البيولوجية بالنباتات والأراضي للمرحلة الأولى حتى عام 2030:

- المساحة اللازمة للمرحلة الأولى :

- التدفق = 1573 م³/يوم.
- الحمل العضوي اليومي في الفترة التصميمية الأولى هو:

$$= (120-65) \times 1573 / 1000 = 86.5 \text{ kg BOD}_5 / \text{day}$$
- الحمل العضوي اليومي في الفترة التصميمية الثانية هو:

$$= (120-65) \times 2339 / 1000 = 128.65 \text{ kg BOD}_5 / \text{day}$$

معدل الحمولة العضوية المسموحة فوق كل هكتار يجب أن تكون أقل من (100-120) كيلو غرام / هكتار باليوم تكون المساحة اللازمة هي:

- للمرحلة الأولى:

$$A = Q \times \ln \left(\frac{BOD_{5i}}{BOD_{5e}} \right) \times \frac{1}{kt \times d \times n} \quad (6-7)$$

- d: العمق الوسطي للماء ونأخذه 1 م، n: مسامية التربة وتؤخذ في حالتنا هذه حوالي 30% أي kt: ثابت يتعلق بدرجة الحرارة قيمته هي من 1.02-1.06.

$$K_T = K_{20} \times \emptyset^{(T-20)}$$

$$K_{20} = 1.104 \quad \emptyset = 1.06$$

$$T = 10 \text{ C}^0$$

$$K_{15} = 1.104 \times 1.06^{(10-20)} = 0.616$$

$$A_{2030} = 1573 \times \ln \left(\frac{120}{65} \right) \frac{1}{0.616 \times 1 \times 0.3} = 5218 \text{ m}^2$$

- نتحقق من معدل التحميل العضوي :
- غير محقق $86.5/5218 = 165.7 \text{ kg BOD}_5/\text{h.day}$
- لذلك نصمم بناء على معدل تحميل عضوي مقداره 120 كغ $\text{BOD}_5/\text{هكتار باليوم}$ في نهاية الفترة التصميمية الأولى
- فتكون المساحة اللازمة هي : $A = 86.5/120 \times 10000 = 7208.3 \text{ m}^2$
- فتكون نصيب كل فرد مخدم بالمحطة من المساحة في نهاية الفترة التصميمية:
- $7208.3/18728 = 0.39 \text{ m}^2/\text{PE}$
- لكن عملياً نعتد مساحة 0.5 م² لكل شخص من مساحة الحوض وذلك دفعاً للخلاف، وكعامل أمان إضافي ولضمان حدوث إزالة للنيتروجين والفسفور .
- إذا المساحة اللازمة للمرحلة الأولى : $A = 0.5 \times 18728 = 9364 \text{ m}^2$

- عملياً نختار أربعة أحواض، فيكون أبعاد كل حوض هي: 48.5 م × 48.5

م

- إذا أصبح لدينا سلسلتان متماثلتان تعملان بالتوازي وبعد عام 2030 يتم إضافة سلسلة أخرى ماثلة لأي منهما للقيام بالمعالجة حتى عام 2045م
- ويتم إعادة جزء من التدفق المعالج إلى بداية محطة المعالجة بمقدار 25-100% من التدفق الأصلي لتحسين كفاءة المعالجة البيولوجية.
- والمساحة اللازمة بما فيها مساحة الطرق والبناء والمنشآت الأخرى حتى عام 2045 لا تزيد عن هكتار، وتبقى مساحة مقدارها 1 هكتار شاغرة تحت تصرف الإدارة.

- وفق تصميمنا (آخذين بعين الاعتبار التوسع المستقبلي حتى عام 2045) لهذه المحطة فإنه يبقى لدينا مساحة هذه المساحة زائدة هذه المساحة يمكن الاستفادة منها على النحو الآتي:

- يمكن زرعها بمحاصيل صناعية كالقطن والاستفادة من المحصول في تغطية جزء من النفقات التشغيلية لمحطة المعالجة حيث يمكن سقاية القطن بالمياه المعالجة المتوفرة في محطة المعالجة.

- يمكن زراعتها بأشجار الزيتون أو أي نوع من الأشجار المثمرة استفادة من المحصول في تغطية جزء من النفقات التشغيلية لمحطة.

- ويمكن أيضاً ان تستخدم للتوسعات المستقبلية بعد عام 2045 م. ولإدارة الخيار في أي تصرف تتصرف به بالمساحات الشاغرة المبينة في مخططاتنا المرفقة دون ان يؤذّر ذلك على جودة التصميم أو على أداء المعالجة.

ت- معالجة الحمأة:

- حساب كمية الحمأة الناتجة:

كمية الحمأة الناتجة يومياً في المرحلة الأولى: تقدر بـ 25% من BOD_5 المزال في حوض septic tank وذلك لأنها تتعرض لهضم لا هوائي وتثبيت

$$W_s = 0.25 \times 1573 \times 400 \times 0.6 / 1000 = 94.4 \text{ kg sludge /day}$$

- كمية الرمال الموجودة مع الحمأة:

نحسب كمية المواد المترسبة من الرمال بفرض أن الكمية تتراوح بين $(0.004 - 0.20 \text{ m}^3 / 10^3 \cdot \text{m}^3)$ فيكون كمية الرمال المتوقعة يومياً في المرحلة الأولى:

$$q = 0.010 \times (1573 / 1000) = 0.01573 \text{ m}^3 / \text{day}$$

لذلك فإن هذه الكمية الصغيرة جداً تجمع مع الحمأة و لا حاجة لإنشاء حوض خاص لإزالة الرمال لضآلة الكمية، وعادة في المحطات الصغيرة التي لا يزيد تدفقها عن 3000 م³/يوم، لا ينصح بإنشاء حوض خاص لإزالة الرمال أو إزالة الزيوت والشحوم.

ث- حجم الحمأة للمرحلة الأولى:

بفرض أن رطوبة الحمأة هي 99% و وزن المواد الصلبة الجافة في الحمأة هو 1% و كثافة الحمأة 1000 كغ/م³ نستخدم المعادلة (5-12) التي سترد في الفصل الخامس:

$$Sludge \text{ flow } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{day}} \right) = \frac{SS \text{ load } \left(\frac{\text{kgSS}}{\text{d}} \right)}{\frac{(\text{dry solid } \%)}{100} \times Sludge \text{ density } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} \quad (6-8)$$

• حجم الحمأة: كتلة أو وزن الحمأة الصلبة $\times (100 / \text{كتلة أو وزن المواد الصلبة الجافة}) \times (1 / \text{كثافة الحمأة الرطبة})$

$$Sludge\ flow\left(\frac{m^3}{day}\right)=\frac{94.4}{\frac{(1)}{100}\times 1000}=9.44\ m^3/day$$

- هذه الحمأة مثبتة تقريباً ونتيجة تعريضها لأشعة الشمس في أحواض تجفيف الحمأة نضمن بذلك إتمام عملية التثبيت .
- قبل أن نقوم بنشر الحمأة في ساحات التجفيف ، نسعى لتثبيت الحمأة في أحواض تكثيف ثقالية ونضيف ماءات الكالسيوم (الكلس) لزيادة تركيز المواد الصلبة في الحمأة ولمنع انتشار الروائح وتعتبر معالجة الحمأة بالكلس من الطرق المفيدة التي تؤدي إلى زيادة محتوى الحمأة من المواد الصلبة .
- تدخل الحمأة إلى أحواض التكيف بمحتوى 1% من المواد الصلبة، و تخرج بمحتوى 8% من المواد الصلبة فتكون كمية الحمأة الذاهبة إلى ساحات التجفيف هي للمرحلة الأولى :

$$9.44/8=1.18m^2$$

ج -تصميم مكثف الحمأة:

- للمرحلة الأولى : التدفق 9.44 م³/يوم
 - حجم الحمأة المراد تكثيفها: 9.44 م³/يوم
 - بفرض التحميل السطحي الهيدروليكي:
- $$OFR = 6\ m^3/\ m^2.day$$
- بفرض ارتفاع الحمأة ضمن أحواض التكثيف : 2.5 متر
- $$A_S = 9.44/6 =1.57m^2$$
- نختار عدد المكثفات : n= 1 فيكون القطر هو 1.5م
- $$V = 1\times 1.5\times 1.5\times 3.14/4 \times 2.5 =4.4m^3$$
- حجم المكثف هو

وفي المرحلة الثانية يضاف مكثف آخر بنفس الأبعاد و وتعاد المياه الملوثة الناتجة عن المكثفات إلى بداية محطة المعالجة.

د- تصميم ساحات التجفيف:

المرحلة الأولى: كمية الحمأة الواردة يومياً من المكثف هي: 1.18 m^3 ، بفرض مدة التجفيف في ساحات هي 12 يوم فيكون عدد الساحات اللازمة هي 12 ساحة وبفرض أن سماكة الحمأة هي 20 سم فتكون أبعاد ساحة التجفيف الواحدة هو :

$$1.18/0.2 = 5.9 \text{ m}^2$$

نقترح ساحات تجفيف وفقاً للمواصفات التالية : العدد 12

H=20 cm سماكة الحمأة المطروحة

L=3 m طول الساحة المقترح

B =2 m عرض الساحة المقترح

المساحة الكلية للمرحلة الأولى هي : $12 \times 3 \times 2 = 72 \text{ m}^2$

نضيف خزان بسعة 20 م³ تتجميع في المياه الخارجة من المعالجة الثانوية من أجل

إعادة تدوير جزء منها أبعاد هذا الخزان هي : $1.5 \times 3.4 \times 4 \text{ m}$

خ- تصميم حوض الكلورة على زمن:

إن وجود حوض الكلورة يعتبر من الأمور الأساسية والهامة في أي محطة معالجة وخصوصاً إذا كانت المياه المعالجة سوف تسقى بها النباتات بشكل مباشر، وتعتبر عملية التطهير بالكلور من الأمور الهامة جداً من أجل إنقاص عدد الجراثيم الموجودة في مياه الصرف ومنعاً لانتشار الأمراض، ومن الخطأ في هذه الحالة أن نلغي عملية الكلورة بحجة أن BOD_5 مياه المعالجة مرتفع لا بل إن الكلورة من الأمور الأساسية في محطات المعالجة حرصاً على صحة الفلاحين الذين سيسقون محاصيلهم بهذه المياه المعالجة

والذين سوف يكونون على تماس مباشر مع هذه المياه المعالجة ، والمفترض أن تكون
أمينة صحياً وصالحة للري .

- الغزارة الوسطية اليومية للمرحلة الأولى:

$$Q_{av} = 1573 \text{ m}^3/\text{day}$$

- الغزارة العظمى في الطقس الجاف للمرحلة الثانية:

$$Q_{maxd} = 2339 \text{ m}^3/\text{day}$$

- زمن المكث من أجل الغزارة العظمى: $t = 15\text{min}$

- زمن المكث من أجل الغزارة الوسطية للمرحلة الأولى لا يقل عن 30
دقيقة.

- جرعة الكلور الحر CL_2 المطلوبة تتراوح ما بين (10-40) ملغ/ل من
أجل الغزارة الوسطية.

- حساب الحجم من أجل الغزارة العظمى :

$$V = Q_{max} \times t$$
$$= 2339 \frac{15}{60 \times 24} = 24.36 \text{ m}^3$$

- بفرض ارتفاع الماء : 1م
تكون المساحة اللازمة:

$$A = V/H = 24.36/1 = 24.36 \text{ m}^2$$

نحسب أبعاد مقطع قناة التلامس: من أجل سرعة مياه لا تقل عن

($v=2\text{m/min}$) عند التدفق الوسطي للمرحلة الأولى نحسب مقطع القناة:

$$Q = 2339 / (24 \times 3600) = V \times A = 2/60 \times (b \times 1)$$

$$b = 1.231 \text{ m} \text{ عملياً نأخذ القيمة } 1.25 \text{ م}$$

نفرض العرض الكلي هو 2 م والطول الكلي هو 12.5 م وبالتالي يمكن

حساب عدد الأشواط من العلاقة :

$$N=12.5 / 1.25=10$$

إذا أبعاد حوض الكلورة هي:

ارتفاع الماء فيه 1م وعرض الشوط 1.25 م والعرض الكلي 2 م والطول الصافي (عدا سماكة الحواجز هو) 12.5 م و لدينا 10 مسارات ويمكن إضافة هيبوكلوريت الصوديوم او هيبوكلوريت الكالسيوم كمادة حاوية على الكلور وذلك من أجل تأمين (10-40) ملغ من الكلور لكل 1 لتر من مياه الصرف المعالجة .

ومن المفضل وضع نافثات هواء على الأقل نافث في كل شوط لتحقيق اختلاط جيد لمياه الصرف المعالجة مع الكلور المضاف، ويضاف ارتفاع حر فوق سطح الماء مقداره 0.5 م ، توضع ثلاث مضخات نبضية اثنتان عاملتان بالتناوب وواحدة احتياط من اجل تجريع هيبوكلوريت الصوديوم في حوض الكلورة.

د-تصميم محطات الضخ:

في تصميم محطة المعالجة بالأراضي الرطبة لدينا محطات الضخ الآتية:

- تصميم مضخات مياه الصرف الخام.
 - تصميم مضخات اعادة المياه المعالجة.
 - تصميم محطة ضخ الحمأة الزائدة إلى المكثفات.
- ويمكن تصميم محطة ضخ للمياه المعالجة (اختياري بحسب الموقع والحاجة) ونختار مضخات غاطسة مجهزة بفرامات كما هو مبين في الشكل(6-6).



الشكل (6-6): يبين مضخات غاطسة مجهزة بفرامات

1-تصميم محطة ضخ مياه الخام: تصمم على التدفق الحالي وتوضع قبل حوض التعفن أو بعد المرشح البيولوجي وسوف يتم اتخاذ القرار الاقتصادي المناسب في الدراسة التفصيلية

• التدفق عام 2030:

$1573 \text{ م}^3/\text{يوم} = 65.5 \text{ م}^3/\text{ساعة}$ نختار ثلاث مضخات عاملات بالتناوب بحيث يكون تدفق كل مضخة هو $33 = 2/65.5 \text{ م}^3/\text{ساعة}$ عند رفع مقداره (7-8) م، و تعمل اثنتان وواحدة يكون في طور الراحة والتناوب، إذاً: عدد المضخات العاملة اثنتان بالتناوب، عدد المضخات الاحتياطية واحدة.

2-تصميم محطة إعادة المياه المعالجة: تصمم على تدفق مقداره 100% من

التدفق عام 2030 :

$1573 \text{ م}^3/\text{يوم} = 65.5 \text{ م}^3/\text{ساعة}$ نختار خمس مضخات أربعة، تعمل بالتناوب وواحدة احتياط بحيث يكون تدفق كل مضخة هو $16.4 = 3/65.5 \text{ م}^3/\text{ساعة}$ عند

رفع مقداره (6-8)م، وهذه المضخات تعمل بشكل متقطع ومتناوب مما يوفر راحة لها
إذاً: عدد المضخات العاملة 4 بالتناوب ، عدد المضخات الاحتياطية واحدة.

3-تصميم محطة ضخ الحمأة الزائدة إلى المكثفات: حجم الحمأة اليومي هو

9.44 م³ نفترض أنّها تضخ 3 مرات يومياً وكل مرة بزمان مقداره 1 ساعة فيكون
تدفق المضخة الواحدة 3.14 م³/ ساعة و برفع 8 م وهي من النوع الغاطس.
• نختار مضختين واحدة عاملة والثانية احتياط، إذاً عدد المضخات، واحدة
عاملة، عدد المضخات الاحتياطية واحدة.

إن مسقط محطة المعالجة المقترح مبين في الشكلين (6-7) و(6-8)





الشكل (8-6): يبين موقع حوض الهضم اللاهوائي Septic tank و المرشح البيولوجي و ساحات تجفيف الحمأة.

6-3- مثل تصميمي محطة معالجة مياه الصرف الصحي بطريقة A^2/O

لضاحية سكيّنة :

لدينا ضاحية سكنية عدد سكانها 3000 نسمة واستهلاك الفرد الواحد 115 لتر/يوم، يطلب تصميم محطة معالجة مياه الصرف الصحي علماً أن شبكة الصرف الصحي في الضاحية السكنية من النوع المنفصل، و لن يدخل الى هذه المحطة إلا مياه صرف صحي (شبكة الصرف الصحي تنقل فقط مياه الصرف الصحي المنزلي) و إن مياه الصرف الصحي المعالجة يجب أن تتوافق مع المواصفات القياسية السورية رقم 2572 الفئة أ. كأن تكون فيمة BOD_5 في مياه الصرف المعالجة أقل أو تساوي 30 ملغ/ل ، و تركيز المواد المعلقة أقل أو يساوي 50 ملغ/ل.

الحل :

أ-التعداد السكاني:

يتم تصميم محطة المعالجة من أجل استيعاب الغزارة السكانية الحالية وذلك لأنّ التجمع السكاني هو ضاحية عمالية محدودة العدد ولا تزيد بشكل تدريجي، لذلك يتم التصميم على عدد السكان الحالي و البالغ 3000 نسمة مع ملاحظة مساحة للتوسع المستقبلي وهذه المساحة المستقبلية تماثل المساحة الحالية .
و يجب الانتباه إلى أنّه في الضواحي السكنية تتم الزيادة السكانية بشكل قفزات وليس بشكل تدريجي ، و ذلك يتعلق بالتوسع السكاني في تلك الضواحي.

ب- الغزارات:

تمّ اعتماد معدل استهلاك الفرد لمراحل الدراسة بحدود (115) لتر للشخص في اليوم ونفترض أن 80% من هذه المياه تذهب إلى الشبكة العامة للصرف الصحي .
ونقوم بحساب الغزرات وفق مايلي:

حيث:

أ- الغزارة الوسطية ل/ثا:

$$Q_{av} = \frac{V \times Pe \times 0.8}{24 \times 3600} \quad (6-9)$$

PE: عدد السكان، ويمثل في حالتنا هذه مجموع عدد السكان للقرى

V: معدل استهلاك الفرد ل/يوم/للشخص ويساوي 115 ليتر/يوم .

- حساب تراكيز الملوثات في المياه الخام: تراكيز الملوثات موضحة في الجدول

الآتي :من دفتر الشروط تم إعطاء قيم الملوثات، وبالتعويض بالمعطيات يمكننا أن نكتب الجدول (2-6).

الجدول (2-6): المؤشرات التصميمية لمحة المعالجة المقترحة

المؤشر	القيمة
عدد السكان	3000
استهلاك الفرد لتر/يوم	115
عامل الصرف للاستهلاك	0.8
معدل التصريف اليومي لتر/يوم	92
بفرض دخول مياه غربية بمعدل 8 ليتر للشخص	8
الغزارة اليومية الوسطية Q_{av} م ³ /يوم	300
تركيز BOD ₅ الداخل ملغ/ل	400
تركيز BOD ₅ الخارج ملغ/ل	20
تركيز SS الداخل ملغ/ل	450
تركيز SS الخارج ملغ/ل	20
تركيز TN الداخل ملغ/ل	110
تركيز TKN الخارج ملغ/ل	15
تركيز PO ₄ الداخل ملغ/ل	25
تركيز PO ₄ الخارج ملغ/ل	6.5

تركيز $\text{NO}_3\text{-N}$ الخارج ملغ/ل	20
---	----

و المواصفات القياسية السورية رقم 2752 الخاصة بأغراض الري(المبينة في الملحق).

ت- تصميم المصافي الخشنة والناعمة على المجرى:

نضع مصفاة خشنة شاقولية عدد 1/ ذات تنظيف يدوي التباعد بين القضبان هو 3 سم وعرض القضيب هو 1 سم و عرض المصفاة 50 سم وارتفاع المصفاة 70 سم و هي كافية لهذه المحطة .

نضع مصفاة ناعمة شاقولية عدد 1/ ذات تنظيف يدوي بفتحات 8×8 مم و عرض المصفاة 50 سم وارتفاع المصفاة 70 سم ،وهي كافية لهذه المحطة ، وهذه المصفاة تلي المصفاة الخشنة وتنظفان بالتناوب بحيث تبقى واحدة ضمن المجرى .

- حساب طول قناة المصافي ، حيث نفترض أنّ زاوية توسع غرفة المصافي 20 درجة مئوية.

L1: هو الطول، قبل المصفاة في منطقة التوسع القناة المائلة عند المصافي حيث يكون عرض القناة قبل المصافي 50 سم ويساوي صفر حالة عدم وجود توسع في مقطع قناة المصافي.

L2: هو طول القناة، قبل المصفاة مباشرة ولا يقل عن 0.5 م ونعتمده 0.5 م.

L3: طول غرفة المصافي، بعد نهاية المصافي ونعتمده 1م

L4: هو الطول الأفقي في منطقة التوسع في نهاية غرفة المصافي ويساوي صفر في حالة عدم وجود توسع في مقطع القناة .

$$L1 = 0 \text{ m}$$

$$L2 = 0.5 \text{ m}$$

$$L3 = 1 \text{ m}$$

$$L4 = 0.5 \times L = 0 = 0 \text{ m}$$

$$L = L1 + L2 + L3 + L4$$

$$L = 0 + 0.5 + 1 = 1.5 \text{ m}$$

ث- خزان توازن ويمكن استخدامه عوضاً عن بئر الضخ:

نعمد زمن مكوث هيدروليكي مقداره 4 ساعات فيكون حجم حوض التوازن

$$50 = 4 \times 24 / 300 \text{ م}^3$$

ونختار أبعاد:

ارتفاع المياه هو: 3.25 م والارتفاع الكلي هو 3.75 م ونختاره بشكل مربع،

فتكون أبعاده الداخلية 4 م × 4 م ، وهو موضح بالمخططات المرفقة.

فوائد خزان التوازن : نظراً لتوارد الملوثات في مياه الصرف بتركيز مختلفة فإنّ

إنشاء خزان توازن بحجم كاف من شأنه أن يحقق تجانساً للملوثات التي ترد إليه أوقات

مختلفة الأمر الذي سيؤدي إلى حدوث استقرار في عملية المعالجة البيولوجية في محطة

المعالجة.

إن تدفق مياه الصرف يرد عبر المجرور العام إلى محطة المعالجة بقيم غير منتظمة،

فأحياناً تتضاعف إلى ثلاثة أضعاف التدفق الوسطي وذلك في ساعات الذروة

وكذلك تنحسر قيمته إلى ربع قيمة التدفق الوسطي أو أدنى من ذلك وبالتالي وجود

خزان التوازن ضروري لكي تعمل محطة المعالجة على تدفق معادل للتدفق الوسطي

التصميمي، الأمر الذي يؤدي إلى حدوث استقرار بيولوجي وهيدروليكي في وحدات

المعالجة البيولوجية.

- تصميم المضخات الرئيسية:

$$\text{التدفق الساعي الوسطي هو: } 300 / 24 = 12.5 \text{ م}^3 / \text{ساعة}$$

ضغط الرفع = فرق منسوب تركيب المضخات ومنسوب الضخ = 3 م (حيث تركيب المضخات على منسوب + 25 سم عن قاع خزان التجميع) + ارتفاع الحوض اللاهوائي عن خزان التجميع وهو 3 م + 0.5 م ضياعات إزداً:

لدينا 3/ مضخات : 2 تعملان بالتناوب + 1 واحدة احتياط

تدفع المضخة 12.5 م³/ساعة وضغط الرفع حوالي 6 م كحد أدنى.

- تصميم أحواض حجز الرمال المهواة والزيوت الطافية غير المنحلة:

نظراً لصغر التدفق فلا داعي لإنشاء أحواض خاصة لفصل الزيوت والشحوم ولا لفصل الرمال حيث تترسب الرمال لتخرج مع الحمأة إلى أحواض تخفيف الحمأة، وبالنسبة للزيوت والشحوم فهي تتفكك، والقسم غير المتفكك يجمع مع الزبد ليذهب إلى ساحات تخفيف الحمأة.

ت-المعالجة الثانوية المتقدمة لمياه الصرف الصحي للضاحية:

- طريقة المعالجة المعتمدة: هي طريقة A^2/O :
- ونلاحظ في هذه الطريقة (لمياه الصرف المنزلي) أنّ نسبه إعادة الحمأة تتراوح بين 20-50% في طريقة A^2/O .
- نسبة التدفق المعاد في طريقة A^2/O هي 100-300%.
- مدة بقاء المواد الصلبة هي 4-27 يوم في طريقة A^2/O .
- قيمة MLSS هي 3000-5000 ملغ/ل في طريقة A^2/O .

ت-أ- تصميم الخوض اللاهوائي والذي هو القسم الأول من طريقة
:A²/O

تستخدم هذه المرحلة أجل تحقيق إزالة للفوسفور ومن أجل عمليات الضبط والتحكم أثناء التشغيل يختار نسبة إرجاع للحمأة 50% من التدفق وذلك للحصول على نسبة إزالة جيدة للفوسفور الموجود في الحمأة المعادة إلى حوض الترسيب.

و هنا في تصميم هذه المحطة سوف نعتمد أيضاً على المرحلة اللاهوائية في تخفيف الأحمال العضوية الواردة إلى محطة المعالجة لذلك، فإنّ زمن المكوث سوف يتغير وسوف نصمم المرحلة لاهوائية وفق أسس تصميم المفاعل اللاهوائي ذي التدفق إلى الأعلى وذي طبقة الحمأة المعلقة – Upflow Anaerobic Sludge Blanket Process والذي يرمز له بـ (UASB) ، وهذه الأسس هي:

- حساب أبعاد المفاعل (UASB) باعتماد طريقة معدل التحميل العضوي
(OLR) Loading Rate Organic):

إذا كانت قيمة COD للمياه الداخلة هي (COD:5000-15000 mg/l) فإن معدل التحميل العضوي في المفاعل يؤخذ بقيمة

(OLR:4-12 kgCOD/m³.d) و يكون زمن المكوث الهيدروليكي
(HRT:4-12h)

و يحسب حجم المفاعل من العلاقة

$V = C \times Q / OLR$: هو الفرق بين تركيز COD للمياه الداخلة إلى المفاعل والخارجة منه.
Q: تدفق المياه الخام.

ويكون ارتفاع طبقة الحمأة $H_s = U \times HRT$

U : سرعة التدفق الشاقولية متراوحة بين (0.6-0.9 m/h)

ارتفاع منطقة الترسيب ($H_{se} \geq 1.2m$) (المنطقة المجاورة لفواصل الغازات)

والارتفاع الكلي للمفاعل يحسب من العلاقة: $H = H_s + H_{se}$

-حساب أبعاد المفاعل اعتمادا على السرعة:
 عندما تكون (COD<5000mg/l) في التدفق الداخل تكون طريقة
 (ORL) لحساب أبعاد المفاعل غير دقيقة لذلك نستخدم الطريقة الآتية:
 سرعة الصعود (U=0.5 m/h)
 زمن المكوث الهيدروليكي يكون عادة في هذه الحالة (HRT =4h)
 نختار ارتفاع طبقة الحمأة المعلقة من الجدول السابق (Hs=3-5 m)
 نختار ارتفاع منطقة الترسيب (Hse =1.2 m)
 حجم المفاعل (UASB) = (V=Q×HRT).
 مساحة المفاعل (UASB) = (A=Q/U).
 وبالنسبة لتصميم هذه المحطة إن تركيز BOD₅ الداخل إلى محطة الضخ هو
 400 ملغ/ل وإذا فرضنا أنّ:

$$\text{COD/BOD}_5=1.8$$

$$\text{COD} = 400 \times 1.8 = 720 \text{ mg/l} \text{ فيكون}$$

وبالتالي زمن المكوث يكون حوالي 6-18 ساعة والكفاءة 70%-75% بناء
 على الجدول السابق فإن زمن المكوث لمدة 6 ساعات كافٍ لتحقيق إزالة جيدة لـ
 COD ولكن في تصميمنا سوف نفرض أنّ نسبة الإزالة لن تزيد عن 50%
 الغزارة الوسطية في الطقس الجاف (m³/d) للمرحلة الأولى: 300 م³/يوم.
 لتحقيق إزالة جيدة في الحوض اللاهوائي لكافة الملوثات زمن المكوث نختاره 6
 ساعات بناء على التدفّيق الأساسي والمعاد ولتحقيق إزالة جيدة أيضا للملوثات
 العضوية.

فيكون حجم الأحواض في المرحلة الأولى :

$$=300/24 \times 6 = 75 \text{ m}^3$$

نختار حوضين مربعين الشكل بارتفاع كلي 4.5 م وبطول 3 م وبعرض 3 م وجريان المياه يكون من الأسفل إلى الأعلى، وتكون كفاءة إزالة الـ COD لا تقل عن 50%.

تحقيق شرط السرعة الشاقولية :

$$V_V = Q/A = 300/(24)/(3 \times 3 \times 2) = 0.694 \text{ m/h OK } (0.25-0.7)$$

ويعطى للمفاعل أيضاً ارتفاع حر إضافي غير مغمور مقداره 0.5 م فيكون ارتفاعه الكلي 4.5 م

وأما الغازات الناتجة فيمكن حلها بالمياه الموجودة في حوض التهوية ويمكن الاستفادة من غاز الميثان إذا أمكن ذلك مستقبلاً.

ويعاد إلى هذا الحوض حمأة من حوض الترسيب النهائي بمعدل 30%-50% من قيمة التدفق الأساسي الوارد إلى محطة الضخ ، ولا ضرورة لحساب الحمأة المعلقة الزائدة في هذا المفاعل حيث أنّ نسبتها قليلة جداً لا تشكل سوى (10-20)% من وزن الـ COD وعندما يزداد تركيزها فإنّها سوف تخرج مع التدفق الخارج لتسحب من حوض الترسيب النهائي كحمأة زائدة.

ت-ب- تصميم الحوض منقوص الأكسجين **Anoxic**:

إن نسبة إعادة السائل الممزوج تتراوح بين (100-300)% من التدفق ويمكن حساب زمن المكوث بناء على معدل إزالة النتروجين في هذا الحوض من العلاقات التالية:

$$U_{DN}^u = U_{DN} \times 1.9^{(T-20)} (1 - DO) \quad (6-10)$$

U_{DN}^u : المعدل العام لإزالة النترات.

U_{DN} المعدل النوعي لإزالة النترات معبراً عنه بـ kgNO_3^-

N/kgMLVSS وقيمته لمياه الصرف هي 0.11-0.03

T: درجة حرارة مياه الصرف بوحدة درجة مئوية.

نفترض أن درجة الحرارة هي 15 درجة مئوية؛ ونفترض قيمة :

$$U_{DN} = 0.08 \text{ lb NO}_3\text{-N/lb MLVSS. day}$$

نفترض أن قيمة الأوكسجين المنحل هي 0.1 ملغ/ل.

إن قيمة $U_{DN} (20^0)$ هي :

$$U_{DN} (20^0) = 0.1 \text{ day}^{-1}$$

نعوض في العلاقة السابقة فنجد :

$$U_{DN}^u = 0.1 \times 1.9^{(15-20)} (1 - 0.1) = 0.0585 \text{ day}^{-1}$$

$$U_{DN}^u = \frac{(S_0 - S)}{T \times X} \quad (6 - 11)$$

T: زمن المكوث بالأيام .

S_0 : تركيز النترات الداخلة إلى الحوض = 25 ملغ/ل (فرضي)

S : تركيز النترات المتوقع خروجه من الحوض ونفترض قيمته هي 3 ملغ/ل.

X تركيز البيوماس في الحوض (حوض منقوص الأوكسجين) = MLVSS

$$= 2000 \text{ ملغ/ل}$$

نعوض فنجد:

$$0.0585 = \frac{(25 - 3)}{T \times 2000}$$

$$T = 0.196 \text{ day} = 4.72 \text{ hour}$$

حساب نسبة التدفق المعاد من حوض التهوية :

$$IR = \frac{NO_X}{N_e} - 1 - R \quad (6 - 12)$$

IR: نسبة إعادة السائل الممزوج من حوض التهوية إلى حوض منقوص

الأوكسجين.

NOX : النتروجين الناتج في المنطقة الهوائية ويمكن حسابه من العلاقة :

$$\text{NO}_x = 0.8 \times \text{TKN} = 0.8 \times 85 = 68 \text{ mg/l}$$

ملاحظة : TKN لمياه الخام هي بحدود 85 ملغ/ل (وهذه القيمة كبيرة جداً) ونفترض عدم حدوث تخفيض مهم لهذه القيمة في المفاعل اللاهوائي بالتالي القيمة الداخلة إلى حوض منقوص الأوكسجين هي 85 ملغ /ل.

NE : قيمة $\text{NO}_3 - \text{N}$ المسموحة في المياه بعد المعالجة وتساوي 20 ملغ/ل وكعامل أمان إضافي

نعوض في المعادلة السابقة على فرض قيمة $R = 20\%$

$$IR = \frac{68}{15} - 1 - 0.2 = 2.2$$

وعملياً نسبة إعادة السائل الممزوج في طريقة A_2/O تتراوح بين (100-300) % من التدفق الأساسي. لتحقيق إزالة جيدة في الحوض اللاهوائي لكافة الملوثات ، زمن المكوث نختاره 4.72 ساعات بناء على التدفقين الأساسي والمعاد ولتحقيق إزالة جيدة أيضاً للملوثات العضوية.

فيكون حجم الأحواض هو:

$$= 300/24 \times 4.72 = 59 \text{ m}^3$$

نختار حوضين مربعي الشكل بارتفاع 3.6 م وبطول 3 م وبعرض 3 م. ويعطى للمفاعل أيضاً ارتفاع حر إضافي غير مغمور مقداره 0.4 م فيكون ارتفاعه الكلي 4 م. ويعاد إلى هذا الحوض سائل ممزوج بمعدل يتراوح بين 100% - 300% من قيمة التدفق الأساسي الوارد إلى محطة الضخ .

ت-ت- تصميم أحواض التهوية: نختار طريقة التهوية المديدة في أحواض

التهوية:

من الجدول (3-3) نجد معطيات التصميم:

— زمن احتجاز المواد الصلبة أو عمر الحمأة θ_c : (20 - 40) أيام.

- F/M : 0.01-0.04 كغ BOD₅/كغ MLVSS.يوم.
- الحمولة العضوية الحجمية كغ BOD₅/م³.يوم : 0.1-0.3
- قيمة MLSS ملغ/ل 2000- 5000 ملغ/ل.
- زمن التهوية في حوض التفاعل أو زمن الحجز الهيدروليكي، (20 - 30) ساعات.

- معدل تدوير الحمأة أو الجريان المدور Q_r/Q، وهو حوالي (0.5 - 1.5) من قيمة الجريان الداخل إلى المنظومة (Q).

ولدينا التدفق الوسطي :

$$Q_{av} = 300m^3/day \quad \text{- الغزارة الوسطية :}$$

إن نسبة إزالة BOD₅ في المفاعل اللاهوائي وحوض منقوص الأكسجين لا تقل عن 50% وبالتالي فإن تركيز الـ BOD₅ الداخل إلى حوض التهوية هو :

$$(BOD_5)_i = 0.5 \times 400 = 200 \text{ mg/l}$$

وكعامل أمان إضافي ولمواجهة تغيرات الحمولة العضوية المتوقعة كنتيجة تقنين المياه أحياناً في فصل الصيف نزيد هذا التركيز بمقدار 15% وبالتالي يصبح (BOD₅)_i التصميمي لحوض التهوية هو :

- تركيز الـ (BOD₅)_i الداخل :

$$(BOD_5)_i = 1.15 \times 200 = 230 \text{ mg/l}$$

- تركيز الـ (BOD₅)_e الناتج عن المعالجة : (BOD₅)_e mg/l = 20

- نسبة المواد الطيارة

$$j = (0.65 - 0.85)$$

نختار زمن المكوث 1 يوم فيكون حجم الحوض :

$$V = 300 \times 1 = 300m^3$$

نفرض أن تركيز المواد المعلقة في السائل اللمزوج هو 4000 ملغ /ل فيكون

$$MLSS = 4000 \text{ mg/l}$$

$$MLVSS = 0.75 \times 4000 = 3000 \text{ mg/l}$$

نحقق نسبة F/M

$$F/M = (230 - 20) \times 300 / (300 \times 3000) = 0.07 \text{ OK}$$

إذا حجم حوض التهوية هو 300 م³ نختار حوضين متجاورين بحجم كل واحد هو 150 م³، ارتفاع المياه في كل حوض هو : 3.7 م عرض 3 م الحوض الطول 6.75 م ويعطي ارتفاعاً حراً جافاً مقداره 0.4 م فيكون ارتفاع الحوض هو 4.1 م.

ث - حساب وزن الحمأة الفائضة:

- إن حصيلة الأجسام الصلبة في الحمأة الناتجة عن الحمأة المنشطة ذات التهوية المديدة محدود (0.15) كغ أجسام صلبة لكل كغ BOD مزال وكذلك الحال في طريقة المعالجة اللاهوائية بالمفاعل UASB فتكون كمية الحمأة الكلية اليومية

$$BOD_r = ((BOD_5)_i - (BOD_5)_e) \times Q_{AV} \times 10^{-3} = \text{kg/day}$$

$$0.15 \times (400 - 20) / 1000 \times 300 = 15.75 \text{ kg/day}$$

وهذه الحمأة مواصفاتها جيدة ويمكن القول بأنها مثبتة نتيجة زمن المكوث الكبير في حوض التهوية وأيضاً لأنّ طريقة A²/O تعطي حمأة جيدة المواصفات.

ج - حساب حجم الحمأة الزائدة:

- بفرض أنّ نسبة الصلبة الجافة في الحمأة هو 0.8% و كثافة الحمأة 1000 كغ/م³ نستخدم المعادلة (5-12) التي سترد في الفصل الخامس:

$$Sludge \text{ flow } \left(\frac{m^3}{day} \right) = \frac{SS \text{ load } \left(\frac{kgSS}{d} \right)}{\frac{(dry \text{ solid } \%) }{100} \times Sludge \text{ density } \left(\frac{kg}{m^3} \right)}$$

$$Sludge\ flow\left(\frac{m^3}{day}\right)=\frac{15.75}{\frac{(0.8)}{100}\times 1000}=1.97\ m^3/day$$

- هذه الحمأة مثبتة تقريباً ونتيجة تعريضها لأشعة الشمس في أحواض تخفيف الحمأة نضمن بذلك إتمام عملية التثبيت. و بما أنّ كمية الحمأة قليلة جداً فإننا نقوم بجعل الحمأة تتكثف ضمن حوض الترسيب النهائي ومن ثمّ تضخ إلى ساحات تخفيف الحمأة وبذلك نكون قد وفرنا كلفة إنشاء حوض تكثيف الحمأة.

ح- حساب حجم الهواء و عدد النافثات اللازمة:

نختار أجهزة تهوية من النوع : (Air blower vacuum pump) أي

مضخة هواء انفراغية و قد مر معنا سابقاً الحديث عنها.

- نفترض أن تركيز نيتروجين الأمونيوم الداخل إلى حوض التهوية هو 43 ملغ/ل

ونحسب كمية الأوكسجين اللازمة من العلاقة:

$$O_2 = [1.08 \times (BOD_5)r + 4.57 (NH_4)r] \times Q_{av} \times 10^{-3} \quad (6-13)$$

$$O_2 = [1.08 \times (230-20) + 4.57(43)] \times 300 \times 10^{-3} = 127\ kg\ O_2/day$$

- حجم الهواء المطلوب:

بتقريب مقبول وبإهمال درجة الحرارة يمكن أن نضرب كمية الأوكسجين بوحدة

كغ بـ 5 فينتج الناتج بوحدة م³ هواء/يوم.

$$= 127 \times 5 = 635\ m^3/day$$

- من أجل النفاثات الناعمة تكون كفاءة نقل الهواء من النافثات إلى مياه

الصرف بحدود (12%) يكون الهواء المطلوب:

$$= 1187.5 / 0.12 = 5291\ m^3/d = 220\ m^3/hour$$

بما أنّه لدينا حوضين فيكون نصيب كل حوض من الهواء:

$$220/2 = 110\ m^3/hour$$

نختار مضخة هواء انفراغية عدد(2):(1) عامل بالشكل متقطع حسب الحاجة،
 (1) احتياط فيكون التدفق في كل ضاغط هو $220\text{m}^3/\text{hour}$ ولضمان حدوث
 عملية النتجة بشكل كامل وعدم بقاء وجود نتروجين نضع خط هواء بمقدار محدد
 في حوض الكلورة النهائي بتدفق $20\text{ م}^3/\text{ساعة}$ هذا الخط يحقق تماس جيد بين
 الكلور وبين الملوثات ويرفع تركيز DO في مياه الصرف المعالجة ويحول النتريت إلى
 نترات إن وجد فتكون كمية الهواء الكلية هي $240\text{ م}^3/\text{هواء}$.

—أما الضغط التصميمي لمرحلة الهواء الانفراغية فهو:

الضباغات الناجمة + عمق الماء = فيكون الضغط التصميمي

عمق الماء (3.7) م الضباغات الناتجة هي بحدود 1 م فيكون الضغط
 التصميمي هو : $4.7\text{ م} = 470\text{ مليبار}$.

— تحديد عدد النافثات:

بفرض أنه لدينا نافثات دقيقة تعطي $9\text{ م}^3/\text{هواء/ساعة}$ فيكون عدد النافثات هو:
 $N=240/9=26.67$

لكن عملياً نضع في كل حوض تهوية 14 نافث و نافثي هواء في حوض الكلورة
 فيكون العدد الكلي اللازم هو : 30 نافث وتوزع ضمن مسافات متساوية وإجمالي
 عدد النافثات للحوضين هو 30 نافث.

خ- تصميم أحواض الترسيب الثانوي:

المعطيات :

— كتلة المواد الصلبة: MLSS : 4000 ملغ/ل

— التحميل السطحي الوسطي : $\alpha_{av} = (24-32)\text{ م}^3/\text{م}^2.\text{day}$

— حمل المواد الصلبة الوسطي : $\text{SLR}_{av} = (80-120)\text{ kg}/\text{م}^2.\text{day}$

— حمل المواد الصلبة الاعظمي : $\text{SLR}_{\text{max}} < 160\text{ Kg}/\text{م}^2.\text{day}$

- زمن المكوث: (1.5-4) hours

التصميم:

يتم التصميم على أساس الغزارة الوسطية من العلاقة:

$$Q_{av} = Q_{av} + Q_{R1} + Q_{R2} - Q_S$$

التدفق الساعي الداخل لحوض الترسيب في طريقة A^2/O هو عبارة عن

مجموع ثلاث تدفقات هي :

Q_{AV} : التدفق الوسطي الوارد إلى محطة الضخ من مجرور القرية ويساوي

$$300 \text{ م}^3/\text{يوم} = 12.5 \text{ م}^3/\text{ساعة}.$$

Q_{R1} : وهو تدفق السائل الممزوج المعاد من بعد حوض التهوية إلى بداية

حوض منقوص الأوكسجين ويساوي (300-100)% من قيمة Q_{AV} ونأخذ وسطياً القيمة 200%.

Q_{R2} : وهو تدفق الحمأة المعاد من حوض الترسيب النهائي إلى بداية حوض

الترسيب ويساوي (50-30)% من قيمة Q_{AV} ونعتمد وسطياً القيمة 40%.

Q_S : تدفق الحمأة الذاهب إلى عمليات تكثيف الحمأة ونحمله لصغره وكعامل

أمان إضافي.

إذا التدفق التصميمي لحوض الترسيب هو:

$$Q_{av} = Q_{av} + Q_{R1} + Q_{R2} - Q_S = 2.4 \times Q_{av}$$

التدفق الساعي التصميمي هو :

$$= 300/24 \times 2.4 = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

نفرض زمن المكوث 3.5 ساعات ونحقق بقية البارامترات :

$$V = Q \times T = (30) \times 3 = 90 \text{ m}^3$$

نفرض الارتفاع الفعال لحوض الترسيب هو 3.3 م فتكون مساحته السطحية هي

$$A = V/H = 90/3.3 = 27.27 \text{ m}^2$$

وبفرض أن لدينا حوضين مستطيلي الشكل فتكون مساحة كل منهما هي:
 $A1=27.27/2=13.6 \text{ m}^2$

أبعاد كل منهما هي : الطول = 6.25 م العرض 2.2 م
 نحسب معدل التحميل السطحي الذي هو Q/A :
 $Q/A=300 \times 2.4 / (2 \times 6.2 \times 2.2) = 26.4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{day}$
 محقق لأنه يقع ضمن المجال: $\alpha_{av} = (24-32) \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$

ولا داعي في طريقة A^2/O التحقق على التدفق الأعظمي لأنه تم تصميم
 حوض الترسيب على تدفق مقدارها $2.4 \times Q_{AV}$ ، وكذلك عندما تصبح نسبة
 التدفق المعاد حوالي 100% نكون أيضاً في حالة تصميمية سليمة .
 نحسب معدل تحميل المواد الصلبة:

$$SLR = [Q][MLSS]/A = 300 \times 4 / (2 \times 6.25 \times 2.2) = 44 \text{ kg}/\text{m}^2.\text{day}$$

OK (25-160)

تزود أحواض الترسيب بقواشط سطحية لجمع الزبد والتحكم ثم يجمع الزبد
 ليعالج مع الحمأة.

د- تصميم أحواض الكلورة :

-الغاية من وحدة تطهير مياه الصرف الصحي تطهير المياه المعالجة للحصول
 على مياه معالجة تصلح لسقاية النباتات التي تؤكل نيئة وكذلك المساحات الخضراء
 ضمن حرم المحطة ، وذلك لأن مثل هذه الوحدات قادرة على خفض نسبة التلوث
 البكتريولوجي بإزالة 99% من الجراثيم والمتعضيات الممرضة التي تتواجد ضمن مياه
 الصرف الصحي وعادة تتألف وحدة التعقيم من:

- الغزارة الوسطية اليومية للمرحلة الأولى: $Q_{av} = 300 \text{ m}^3/\text{day}$

- زمن المكث من أجل الغزارة الوسطية لا يقل عن 30 دقيقة
- جرعة الكلور الحر CL_2 المطلوبة تتراوح ما بين (10-40) ملغ/ل من أجل
الغزارة الوسطية.

- حساب الحجم من أجل الغزارة المتوسطة :

$$V = Q \times t$$

$$V=30/60 \times (300/24)=6.25m^3$$

- بفرض ارتفاع الماء: 0.75 م

نضيف 0.25 متر ارتفاع حر في الحوض فيكون الارتفاع الكلي للحوض هو:

1 م

تكون المساحة اللازمة:

$$A=V/H=6.25/0.75=8.33m^2$$

نختار نسبة الطول إلى العرض 10 ونحسب العرض :

$$A=W \times 10W=8.33m$$

ومنه يكون العرض 0.833 م ولكن لسهولة التنفيذ نختار عرضاً للحوض

يساوي 1 متراً و بطول 10 متر

إذا أبعاد حوض الكلورة هي :

$$W=1m$$

$$L=10m$$

$$Hw=0.75 \text{ m (ارتفاع مياه الصرف)}$$

$$H=1m \text{ الارتفاع الكلي}$$

ومن المفضل وضع نافثات هواء على الأقل نافثة في كل شوط لتحقيق اختلاط
جيد لمياه الصرف المعالجة مع الكلور المضاد، ويوضع في الحوض حواجزاً على كامل

ارتفاع الحوض و بعرض أقل من حوض الحوض بحيث يكون عرض الحاجز 0.7 متر و ارتفاعه يساوي ارتفاع الحوض 1 م والتباعد بين الحواجز 0.5 متراً كما مبين في الشكل (4-15).

نتحقق من شرط السرعة بين في الحوض :

$$V=Q/(hw \times \text{التباعد بين الحواجز}) \quad (6-14)$$

$$V = \frac{\left(\frac{300}{24 \times 60}\right)}{0.75 \times 0.5} = 0.56 \text{ m/minute} < 2 \text{ m/minute}$$

لذلك من المتوقع حدوث ترسبات في حوض الكلورة و هذه المشكلة شائعة جداً لأنه غالباً في محطات معالجة مياه الصرف الصحي الصغيرة و المتوسطة شرط تحقيق السرعة التي تمنع الترسب في حوض الكلورة لا يتحقق لكنه لا يؤثر على التصميم حيث يمكن إزالة هذه الرواسب كل فترة من الزمن بحسب كميتها في الحوض .ويضاف الكلور في هذا الحوض بجرعة كمية (10-40) ملغ/ل ، تحدد الجرعة بشكل دقيق أثناء تشغيل المحطة .

س - معالجة الحمأة وتكثيفها :

سوف يتم معالجة الحمأة وفق المراحل التالية :

أ- التكثيف الثقالي للحمأة في أحواض التكثيف الثقالية.

ب- التجفيف في ساحات تجفيف خاصة.

أ- تصميم أحواض التكثيف الثقالية:

يتم التصميم بالاعتماد على المعايير التصميمية التالية:

- معدل التحميل السطحي الهيدروليكي $m^3/m^2.d$ (4-8) ويمكن زيادة

معدل التحميل السطحي الهيدروليكي إلى قيم أكبر من 15 m^3/m^2 يوم، وذلك نتيجة إضافة البولي إلكتروليت.

- نسبة المواد الصلبة في الحمأة الداخلة % (0.2 - 1.5)

- نسبة المواد الصلبة في الحمأة المكثفة 5%

- حجم الحمأة المراد تكثيفها: $Q_w = 1.97 \text{ m}^3/\text{day}$

بفرض التحميل السطحي الهيدروليكي:

$$O_{FR} = 6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$$

- بفرض ارتفاع الحمأة ضمن أحواض التكثيف: $h = 2.5 \text{ m}$

$$A = \frac{Q_w}{Q_{FR}} = \frac{1.97}{6} = 0.33 \text{ m}^2$$

- نختار عدد المكثفات: $n = 1$

- نفرض قطر المكثف: $D = 0.8 \text{ m}$

- المساحة الفعلية: $3.14 \times 0.8 \times 0.8 / 4 = 0.5 \text{ m}^2$

- حجم الحوض اللازم: $V = 2.5 \times 0.5 =$

1.25 m^3 زمن المكث من أجل المرحلة الأولى :

$$T = V / Q_w \times 24 = 1.25 / 1.97 \times 24 = 15.2 \text{ h}$$

كمية الحمأة المكثفة :

بفرض نسبة المواد الصلبة: 5% يكون حجم الحمأة الزائدة :

$$Q_X = 15.75 / (1000 \times 0.05) = 0.315 \text{ m}^3/\text{day}$$

ب- أحواض تجفيف الحمأة:

هي وحدة معالجة للحمأة الناتجة عن أحواض تكثيف الحمأة بهدف خفض

نسبة رطوبتها وذلك بتجفيفها لدرجة تسهل حملها ونقلها إلى مكان التخلص النهائي

(أراضي زراعية — استصلاح الأراضي بإسمادها) , وتصمم وفقاً للمواصفات التالية:

نقترح ساحات تجفيف وفقاً للمواصفات التالية:

سمائة الحمأة المطروحة $H = 18 \text{ cm}$ وزمن التجفيف اللازم للوصول إلى

رطوبة مقبولة بحدود (50%-70%) هو 14 يوم فتكون المساحة اللازمة هي :

$$A=0.315/0.18=1.75m^2$$

الطول 2.5 م و العرض 0.7 م

بفرض أن فترة تخفيف الحمأة هي 14 يوم، أي نحتاج إلى 14 ساحة بحيث كل يوم يتم ملء واحدة منها و بعد 14 يوماً يتم إزالة الحمأة المجففة.
المساحة الكلية اللازمة :

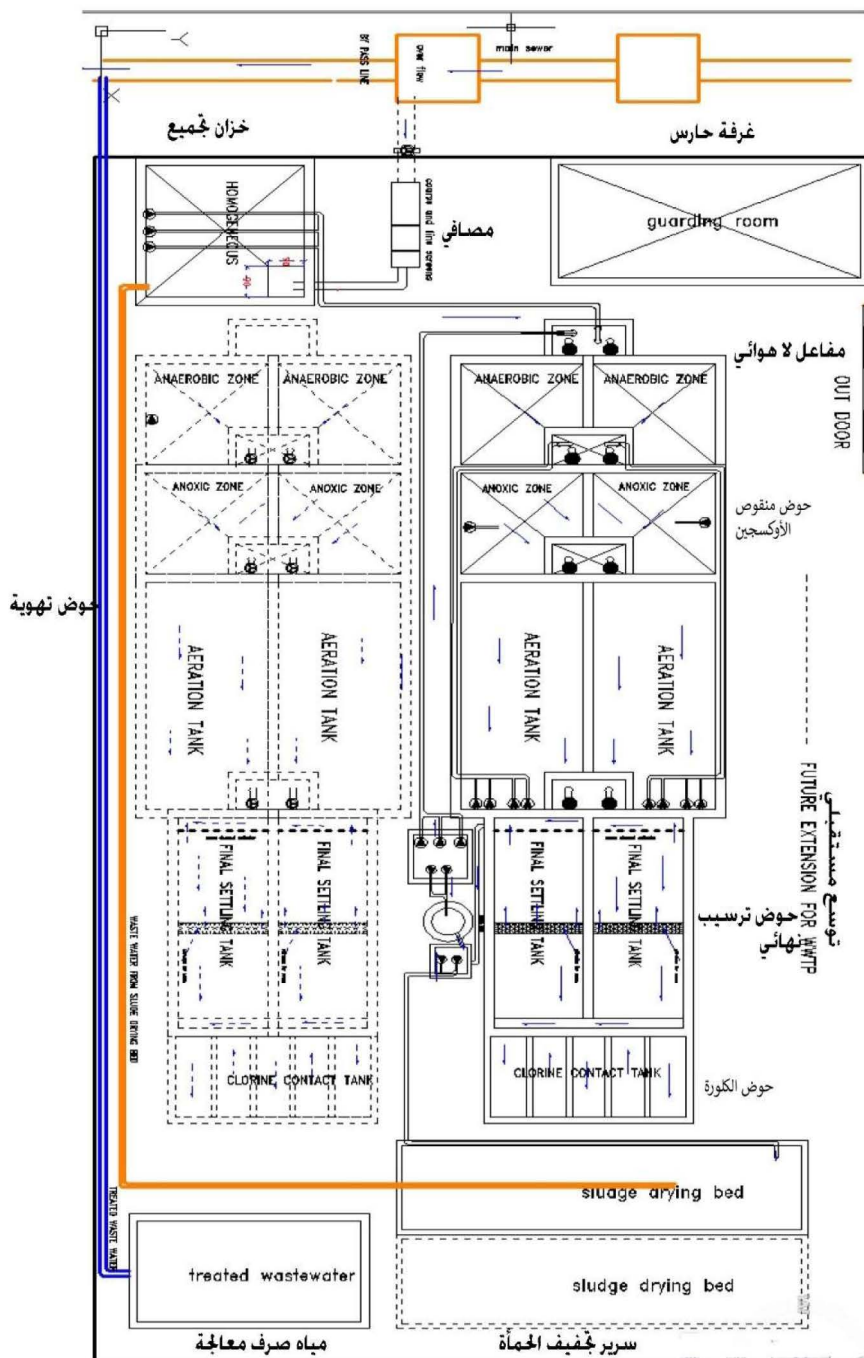
$$A1=14\times0.7\times2.5=24.5m^2$$

عملياً نختار مساحة تساوي :

$L=9.8\text{ m}$ طول الساحة المقترح

$B=2.5\text{ m}$ عرض الساحة المقترح

وأخيراً : يفضل وضع خزان تجميع للمياه المعالجة، و يمكن الاستفادة من المياه الموجودة فيه في عمليات سقاية المزروعات في محطة المعالجة نفسها ويمكن الاستفادة منه في تغذية شبكة إطفاء الحريق الموجودة في محطة المعالجة ونختار هذا الخزان بسعة حوالي 50 م³ بأبعاد الطول 5.5 م والعرض 3 م ، وارتفاع الماء 3 م. ملاحظة هامة جداً: تزود محطة المعالجة بمضخة غاطسة مجهزة بخراطوم طويل من أجل تفريغ الأحواض في حالات الطوارئ. والشكل (6-9) يبين مسقطاً لمحطة المعالجة المقترحة.



الشكل (6-9): مسقط محطة المعالجة المقترحة

6-4-مثال تصميم محطة معالجة مياه صرف صحي لمدينة بطريقة

: A_2/O

المطلوب تصميم محطة معالجة مياه صرف صحي وفقاً للمعطيات الآتية:

- التعداد السكاني:

يتم تصميم محطة المعالجة من أجل استيعاب الغزارة السكانية وفق المراحل التصميمية التالية: 2035، 2050 انطلاقاً من عدد السكان الواردة في الإحصائية السكانية المبنية في الجدول (3-6). يجب أن تتوافق مع المواصفات القياسية السورية رقم 2572 الفئة أ. كأن تكون قيمة BOD_5 في مياه الصرف المعالجة أقل أو تساوي 30 ملغ/ل، و تركيز المواد المعلقة أقل أو يساوي 50 ملغ/ل.

الجدول (3-6): عدد السكان المخدمين بمحطة المعالجة

الفترة التصميمية	2035	2050
عدد السكان	36502	73305

أ- الغزارات/التدفقات:

تمّ اعتماد معدل استهلاك الفرد لمراحل الدراسة بحدود (125) ليتر للشخص في اليوم ونقوم بحساب الغزارة وفق مايلي :

- الغزارة الوسطية ل/ثا:

$$Q_{av} = \frac{VP_E \cdot (0.8)}{86.400}$$

P_E : عدد السكان ويمثل في حالتنا هذه مجموع عدد السكان للقرى

V : معدل استهلاك الفرد ل/يوم/للشخص ويساوي 125 ليتر/يوم .

- الغزارة الوسطية الكلية ل/ثا:

$$Q_{av\ TOTAL} = Q_{av}$$

- الغزارة الأعظمية في الطقس الجاف ل/للشخص/اليوم:

$$Q_{max.d} = (Q_{av} \cdot k_{max.d})$$

$K_{max.d}$ عامل عدم الانتظام الأعظمي:

$$K_{max.d} = 1 + \frac{2.5}{Q_{av}^{0.22}}$$

- الغزارة الأعظمية في الطقس الماطر:

$$Q_{max.w} = (1.5 K_{max.d} \cdot Q_{av})$$

- الغزارة الدنيا في الطقس الجاف ل/ثا:

$$Q_{min} = (K_{min} \cdot Q_{av})$$

K_{min} عامل الانتظام الأصغري:

$$K_{min} = 0.25 Q_{av}^{0.1}$$

ب- حساب تراكيز الملوثات في المياه:

وفقاً للمعايير العالمية فإن الحمل العضوي لكل شخص معبراً عنه بـ(BOD_5) هو 55 ملغ/ل، و قيمة المواد الصلبة المعلقة المصروفة من كل شخص حوالي 65 ملغ/ل، وبالتالي يمكن حساب تراكيز BOD_5 و TSS من العلاقات الآتية:
-الحمل العضوي الكلي BOD مقدراً (كغ /يوم): يمكن حسابه من العلاقة الآتية:

$$a = \frac{55 \times N}{1000}$$

-الحمل الكلي للمواد الصلبة المعلقة SS مقدراً (كغ/يوم): يمكن حسابه من العلاقة الآتية:

$$B = \frac{65 \times N}{1000}$$

- تركيز الملوثات العضوية معبراً عنها بـ BOD_5 (ملغ/ل) : يمكن حساب قيمة BOD_5 المتوقعة من العلاقة الآتية:

$$BOQ5 = \frac{a \times 1000}{Q_{av}}$$

- تركيز المواد المعلقة SS (ملغ/ل): يمكن أيضاً حساب تركيز المواد المعلقة لمياه الصرف من العلاقة الآتية:

$$SS = \frac{b \times 1000}{Q_{av}}$$

حيث Q_{av} الغزارة مقدرة بالمتري المكعب /يوم و N عدد السكان ، إن القيم الناتجة يمكن وضعها في الجدول (4-6).

الجدول (4-6): المؤشرات التصميمية لمحطة المعالجة المقترحة

المؤشرات التصميمية		
2050	2035	الفترة التصميمية
7330	3650	عدد السكان
125	125	استهلاك الفرد لتر/يوم
0.8	0.8	عامل الصرف للاستهلاك
7331	3650	الغزارة اليومية الوسطية Qav م ³ /يوم
0.08	0.04	الغزارة اليومية الوسطية Qav م ³ /ثانية
1.94	2.09	عامل عدم الانتظام الأعظمي Kmax
1422	7665	الغزارة الاعظمية في الطقس الجاف م ³ /يوم
0.16	0.08	الغزارة الاعظمية في الطقس الجاف م ³ /ثانية
2134	1148	الغزارة الاعظمية في الطقس الماطر م ³ /يوم
247.	132.	الغزارة الاعظمية في الطقس
0.39	0.36	عامل عدم الانتظام الأصغري Kmin
0.03	0.01	الغزارة الأصغرية Qmin
55	55	الحمل العضوي للشخص الواحد
4032	2007	الحمل العضوي الكلي BOD ₅ كغ/يوم
65	65	حمل المواد الصلبة المعلقة للشخص الواحد
4765	2372	حمل المواد الصلبة المعلقة الكلي (SS)
550	550	تركيز BOD ₅ الداخل ملغ/ل
30	30	تركيز BOD ₅ الخارج ملغ/ل
650	650	تركيز SS الداخل ملغ/ل
30	30	تركيز SS الخارج ملغ/ل
65	65	تركيز TKN الداخل ملغ/ل
15	15	تركيز TKN الخارج ملغ/ل
15	15	تركيز P الداخل ملغ/ل
3	3	تركيز P الخارج ملغ/ل
20	20	تركيز N- ₃ NO الخارج ملغ/ل

ت- تصميم منشآت دخول محطة المعالجة:

ت-1- تصميم قناة الدخول الرئيسية: هذه القناة تقوم بنقل مياه الصرف

من الهدار الموجود عند مدخل المحطة إلى الآبار الرطبة في محطة الضخ .

حيث يفضل تصميم قناة أولى ثم تتفرع هذه القناة إلى ثلاث أقنية, بحيث تكون

اثنتان واحدة عاملة وواحدة احتياط وواحدة لحالات الطوارئ من أجل تصريف

مياه الصرف خارج محطة المعالجة

سيتم تصميم أعمال المدخل على الغزارة الأعظمية في الطقس الماطر للمرحلة

الثانية بحيث تستوعب أعمال المدخل المرحلتين معاً ويتم التحقق على غزارات المرحلة

الأولى .

بتطبيق علاقة الاستمرار وقوانين مانينغ الصالحة لكافة أنواع الجريان:

$$Q = A \times V$$

$$A = h \times b$$

$$V = C \sqrt{R \times I} \quad (6 - 15)$$

$$C = \frac{1}{n} \times R^{1/6} \quad (6 - 16)$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2} \quad (6 - 17)$$

$$R = \frac{A}{X} = \frac{hb}{B + 2h} \quad (6 - 18)$$

n - عامل الخشونة

Q - الغزارة التصميمية

V - السرعة

C - ثابت الاحتكاك

R - نصف القطر الهيدروليكي

X - محيط المقطع المائي

A- مساحة المقطع المائي

I- الميل التصميمي

وبعد فرض:

b = 50 cm عرض القناة:

I = 0.005 الميل الطولي لقاع القناة:

- معامل الخشونة للبيتون المسلح حيث مع الزمن تزداد خشونة البيتون:
n=0.0165 نحصل على النتائج الموجودة في الجدول (5-6).

الجدول (5-6): يبين القيمة التصميمية لقناة الدخول الرئيسية

المرح	ارتفاع	الغزارة التصميمية	المرح
0.77	0.11	0.042	Qav
0.96	0.18	80.08	Qmax.
1.07	0.24	0.132	Qmax.
0.54	0.05	0.015	Qmin
0.95	0.17	0.085	Qav
1.12	0.29	0.164	Qmax.
1.23	0.4	0.247	Qmax.
0.71	0.09	0.033	Qmin

والملاحظ من الجدول السابق أن السرعة ضمن قناة الدخول الرئيسية لا تقل عن (0.3m/sec) من أجل أدنى غزارة يمكن أن تدخل القناة، وبالتالي الفرضيات المقترحة مقبولة. إذا عملياً القناة الرئيسية المصممة هي بأبعاد:

مستطيلة الشكل: ارتفاعها هو ارتفاع الماء الأعظمي مضافاً إليه حوالي 0.3 متر ارتفاعاً حراً جافاً فيكون الارتفاع الكلي:

0.7=0.3+0.4 م عملياً نختار قناة مستطيلة الشكل من البيتون المسلح عرضها 0.5 م وارتفاعها الكلي 0.7 م وميل قاعها 0.005.

وإذا لدينا ثلاث أفنية بأبعاد 0.7×0.5 متر واحدة عاملة وواحدة احتياط
واحدة للتفريغ في حالات الطوارئ.

ت-2- تصميم المصافي الناعمة قبل محطة الضخ:

ت-2-1- تصميم المصافي القضبانية:

قبل محطة الضخ يفضل إنشاء قناتين رئيسيتين واحدة عاملة والثانية احتياط
يقومان بنقل مياه الصرف من الهدار الموجود عند مدخل المحطة وتجهّز هاتين القناتين
ببوابتين ومصافي لحماية محطة الضخ.

تصمم المصافي القضبانية بناء على التدفق الماطر الأعظمي في المرحلة

$$Q_{maxw} = 21344 \text{ m}^3/\text{day} \quad \text{الثانية:}$$

أي أن عرض القناة عند المصافي يبقى $B_p = 0.5\text{m}$ وتميل المصفاة عن الشاقول
بزواية تساوي 45 درجة، وبفرض التباعد بين الفراغات $W_s = 2\text{cm}$ من أجل المصافي
آلية التنظيف، و بفرض سماكة القضيب (10mm) فيكون عدد القضبان :

$$B_p = (n+1) (0.02) + n \times (0.01) \quad (6 - 19)$$

منه نجد $n=16$

- نتحقق من السرعة الأعظمية عبر المصافي:

$$V_p = \frac{Q}{24 \times 3600 \times (n \times w_s \times h w / \sin (\phi))} \quad (6 - 20)$$

$$V_{p1} = \frac{21344}{24 \times 3600 \times (16 \times 0.02 \times 0.4 / \sin (45))} = 1.36 \text{ m/sec}$$

عادة تكون السرعة حوالي 1 م / ثانية ولكن تم القبول بهذه السرعة كونها لا
تحدث إلا في عام 2050 أي عند نهاية العمر التصميمي لمحطة المعالجة وفقط في

الحالات القليلة التي يمر فيها تدفق مطري أعظمي. و الجدير بالذكر أن تحقيق شرط في المصافي يكون فقط لمحطات معالجة مياه الصرف الصحي المتوسطة و الكبيرة التي يزيد فيها التدفق اليومي الأعظمي عن 5000 متر مكعب في اليوم .
السرعة في المصافي من أجل الغزارة الوسطية للمرحلة الأولى :

$$V_{p1} = \frac{3491}{24 \times 3600 \times (16 \times 0.02 \times 0.106 / \sin (45))} = 0.84 \text{ m/sec}$$

وهذه السرعة أكبر من 0.3 متر/ثانية لذا فالتصميم مقبول وعادة تؤخذ سرعة جريان المياه ضمن المصفاة 0.7 م/ثا من أجل التصريف الوسطي ، و 1 م/ثا من أجل التصريف الأعظمي وذلك لمنع دخول الأوساخ من خلال المصفاة .

ت-2-2- حساب طول قناة المصافي:

نفترض عدم وجود توسع في قناة ، وإن ارتفاع المياه في القناة في الحالة العظمى هو 0.4 م وفي الحالة الدنيا 0.054 م ، وبالتالي أي توسع للقناة في منطقة المصافي من شأنه أن يقلل الارتفاع إلى قيمة أقل من 0.06 م، وهذا مرفوض عملياً وتصميمياً ، وإن الارتفاع الصغير للمياه والبالغ أعظمية (في عام 2050 عند التدفق المطري 0.4 م نادراً أي يسبب دوامات أمام المصافي وعادة عندما يكون التدفق أقل من 50000 م³/يوم فإنه توضع المصافي ضمن محطة الضخ ولا داعي لإنشاء غرف خاصة بها ولا داعي لعمل أي توسع.

L1: هو الطول قبل المصفاة في منطقة التوسع القناة المائلة عند المصافي حيث يكون عرض القناة قبل المصافي 50 سم وباعتبار لا يوجد توسع فإن هذه القيمة تساوي صفر.

L2: هو طول القناة قبل المصفاة مباشرة ولا يقل عن 0.5 م ونعتمده 0.5 م.

L3: طول غرفة المصافي بعد نهاية المصافي ونعتمده 1م

L4: هو الطول الأفقي في منطقة في نهاية غرفة المصافي أيضاً باعتبار أنه لا يوجد توسع في غرف المصاف لذلك قيمته تساوي الصفر أيضاً.
 LS: الطول الأفقي للمصفاة = $0.7 / \tan(45^\circ) = 0.7$ م

$$L1 = 0 \text{ m}$$

$$L2 = 0.5 \text{ m}$$

$$L3 = 1 \text{ m}$$

$$L4 = 0 \text{ m}$$

$$L = L1 + L2 + L3 + L4 + LS$$

$$L = 0 + 0.5 + 1 + 0.7 = 2.2 \text{ m}$$

ت-2-3- حساب حجم الفضلات المحجوزة على المصافي :

أ- المرحلة الأولى : عدد السكان 36502 نسمة

حساب حجم الفضلات الناتجة: يمكن تقدير حجم الفضلات الكلي بالعلاقة :

$$W = \frac{N \times K}{365 \times 1000} \quad (3-52)$$

N: عدد السكان ، نسمة

K : معدل الفضلات الناتجة عن الفرد الواحد ، ل / سنة ونعتمده 5 لتر/سنة

$$W = \frac{36502 \times 5}{365 \times 1000} = 0.5 \text{ m}^3/\text{day}$$

كما يمكن تحديد وزن هذه الفضلات بالعلاقة :

$$G = W \times Y \quad \text{ton / day} \quad (3-53)$$

Y كثافة الفضلات ، وهي تقريباً 0.75 طن/م³

$$G = 0.5 \times 0.75 = 0.375 \text{ t/day}$$

ب- المرحلة الثانية: عدد السكان 73305 نسمة :

حساب حجم الفضلات الناتجة :

ومنه يمكن تقدير حجم الفضلات الكلي بالعلاقة :

$$W = \frac{73305 \times 5}{365 \times 1000} = 1 \text{ m}^3/\text{day}$$

كما يمكن تحديد وزن هذه الفضلات بالعلاقة :

$$G = W \times Y \quad \text{ton/day}$$

Y : كثافة الفضلات، وهي تقريباً 0.75 طن/م³

$$G = 1 \times 0.75 = 0.75 \text{ t/day}$$

ت-2-4- حساب ضياع الحمولة في المصافي :

يتم حساب ضياعات الحمولة في المصافي بناء على التدفق المطر في الفترة

التصميمية الثانية مستخدمين العلاقة الآتية:

$$h_p = \frac{1}{c} \left[\frac{V_p^2 - V^2}{2g} \right] \quad (6-21)$$

حيث أن:

c- معامل تجريبي قيمته 0.7 من أجل المصافي النظيفة .

0.6 من أجل المصافي المسدودة .

V_p - سرعة المياه عبر المصافي القضبانية النظيفة (m/sec) .

V - سرعة الاقتراب (m/sec) .

$$h_p = 1/0.7 \times (1.36^2 - 1.23^2) / (2 \times 9.81) = 0.0245 \text{ m}$$

لكن عملياً نعتبر ضياع الحمولة لا يقل عن 20 سم كعامل أمان إضافي

ت-3- تصميم أحواض حجز الرمال المهواة والزيت الطافية غير المنحلة:

تصميم أحواض فصل الرمال والزيت المهواة :

$$Q_{\max 1w} = 11482 \text{ m}^3/\text{day} \quad \text{للمرحلة الأولى:}$$

$$Q_{\max 2w} = 21344 \text{ m}^3/\text{day} \quad \text{للمرحلة الثانية:}$$

زمن المكوث في الحوض يتراوح ما بين (2-7min) نختاره 4min حتى يتم فيه إزالة الزيوت الطافية :

$$V = Q_{\max} \times w \times t = (21344) \times (4) / (60 \times 24) = 59.3 \text{ m}^3$$

نختار حوض لفصل الرمال والزيت المهواة بالأبعاد التالية:

$$h = 2.55 \text{ m} \quad \text{ارتفاع المياه في الحوض و عرض الحوض: } b = 2.6 \text{ m} \quad \text{وطوله}$$

$$L = 9 \text{ m} \quad , \quad \text{وبالتالي يكون الحجم الفعلي للحوض هو:}$$

$$V = 2.55 \times 2.6 \times 9 = 59.7 \text{ m}^3 \quad \text{محقق}$$

ونضيف 45 سم ارتفاعاً حراً فوق سطح الماء في كل حوض لإزالة الرمال فيكون الارتفاع التنفيذي 3 m

نحسب زمن المكوث من أجل التدفق الأعظمي في المرحلة الأولى:

$$t = V / Q_{\max} = (59.7 / 11482) \times 24 \times 60 = 7.5 \text{ min} \quad \text{محقق}$$

- نحسب كمية الهواء اللازمة بفرض أن معدل التهوية من الأنابيب

$$\text{المثقبة } 0.45 \text{ m}^3 \text{ من الهواء لكل متر طولي من طول الحوض في الدقيقة:}$$

$$\text{air} = 0.45 \times 9 = 4.05 \text{ m}^3 \text{ air /min}$$

- نحسب كمية المواد المترسبة من الرمال بفرض أن الكمية تتراوح بين

$$(0.004 - 0.20 \text{ m}^3) \quad \text{لكل متر مكعب مياه صرف خام و نفترض أن القيمة}$$

$$0.01 \text{ m}^3 \text{ هي الممثلة للواقع فتكون كمية الرمال المترسبة هي :}$$

$$q=0.010 \times (21344/1000)=0.213 \text{ m}^3/\text{day}$$

تساق الرمال المترسبة إلى مجفف ميكانيكي ذو طرد مركزي لنزع رطوبتها، وبعد ذلك ترحل إلى المطامر الصحي.

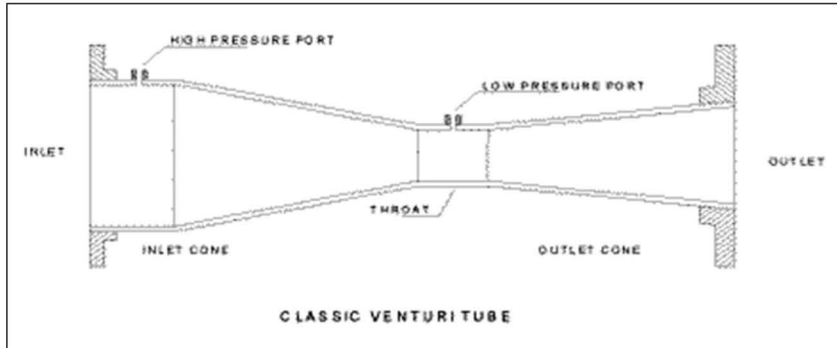
ونقوم بوضع ثلاث حاويات لجمع الرمال فيها أمام حوض إزالة الرمال ، كلما امتلأت حاوية أمام حوض الرمال نبدلها ثم يتم تفريغها كل فترة بحسب ورود الرمال ، كذلك يتم وضع براميل خاصة لجمع الزيوت والشحومات التي يمكن أن ترحل إلى مطامر النفايات الصلبة أو يمكن إعادة تدويرها أو يمكن الاستفادة منها بأي طريقة أخرى.

ونضع على أحد جوانب حوض إزالة الرمال قناة بأبعاد: مستطيلة الشكل : ارتفاعها هو ارتفاع الماء الأعظمي مضافاً إليه حوالي 30 سم ارتفاعاً حراً جافاً فيكون ارتفاع هذه القناة: $0.7 = 0.3 + 0.4$ م، عملياً نختار قناة مستطيلة الشكل من البيتون المسلح عرضها 0.5 م وارتفاعها الكلي 0.7 م وميل قاعها 0.005.

تستخدم هذه القناة من أجل حالات الطوارئ التي لا نرغب بإدخال مياه الصرف إلى أحواض إزالة الرمال ونرغب بنقلها إلى المرحلة التي تليها.

ت-4- تصميم قناة قياس الغزارة:

نختار قناة مقياس فانتوري من النموذج المستطيل ذات التضاييق الجانبي كما في الشكل (6-10)، و إن العلاقة الأساسية التي تحكم التصميم هي :



الشكل (6-10): قناة فانتوري

$$Q = C1 \times A \times B_2 \times H^{1.5} \quad (6-22)$$

B_2 : تضاييق قناة فانتوري، ونأخذه مساوياً 0.35 م

$C1$: ثابت تؤخذ قيمته 0.97 .

A : ثابت يتعلق بالقيمة بنسبة عرض تضاييق فانتوري إلى عرض القناة المؤدية به

نعتبر أن القناة المؤدية لمقياس فانتوري هي قناة بعرض 0.5 م فتكون النسبة :

$$B1/B = 0.35/0.5 = 0.7$$

وبالتالي حسب الجدول الخاص بمقياس فانتوري فإن $A = 1.95$

نعوض في المعادلة السابقة مع تعويض قيمة Q بقيمة التدفق الأعظمي في

الطقس الماطر وبالتالي يصبح لدينا:

$$21344 / (24 \times 3600) = 0.97 \times 1.95 \times 0.35 \times H_W^{1.5}$$

$$H_W = 0.52 \text{ m}$$

ونضع ارتفاع حر مقداره 18 سم فيكون الارتفاع الكلي لجوانب مقياس فانتوري

هو : 0.7 م

زاوية ميل التضاييق نختارها 30 درجة مئوية.

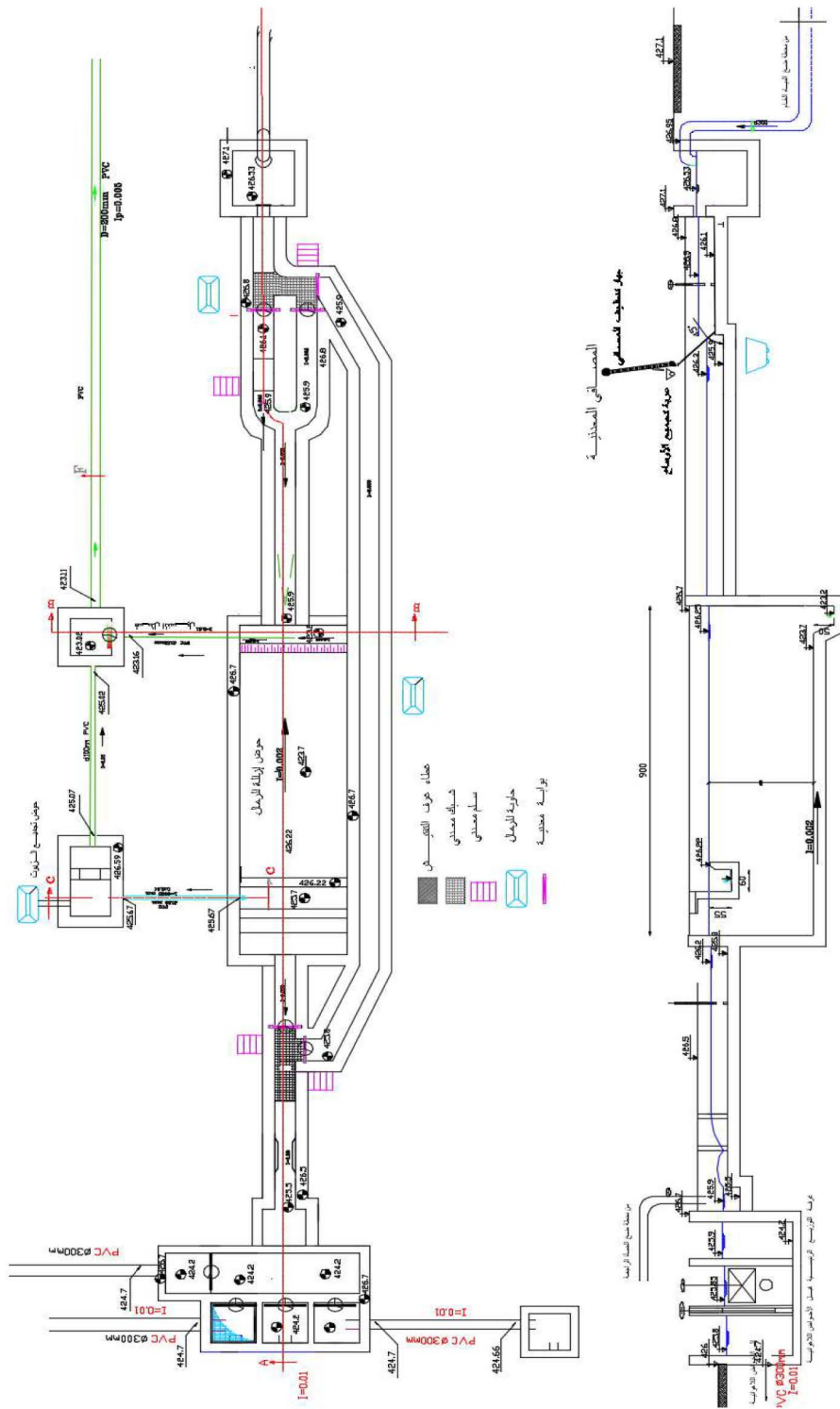
حساب طول تضاييق مقياس فانتوري :

$$H_W = 0.7 \times L$$

$$0.52 = 0.7 \times L$$

إذا قيمة L هي 0.75 م وميل قناة مقياس فانتوري 0.00 (معدوم) ، وإن

تفاصيل مدخل مياه الصرف الصحي وفق التصميم مبينة في الشكل (6-11).

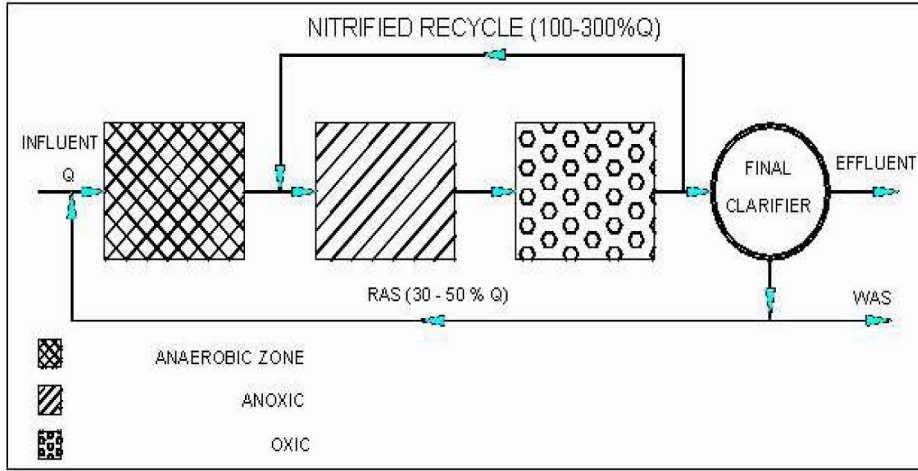


SECTION A-A

الشكل (6-11): مدخل مياه الصرف في محطة المعالجة مع مقطع طولي

ث- المعالجة الثانوية:

يجب أن تكون مياه الصرف الصحي محققة للمواصفات القياسية السورية رقم 2752 الفئة أ والخاصة بري المزروعات انظر الملحق (م-5). وإن- طريقة المعالجة المعتمدة: هي طريقة A^2/O حيث يمكن التعبير عن طريقة A^2/O بالشكل (6)- (12).



الشكل (6-12) : طريقة A^2/O

ث-1- تصميم قناة التوزيع عند مدخل الأحواض اللاهوائية:

تصميم قناة التوزيع على التدفق الأعظمي الماطر للمرحلة الثانية والذي هو 21344 م³/يوم، نختار ثلاث أقنية متماثلة كل قناة تغذي حوضاً لاهوائياً واحداً ونفترض الميل الطولي لكل قناة هو 0.01 وشكلها دائري قطرها 0.3 م ويكون التدفق المار في كل قناة هو $Q/3$.

وبفرض أن نسبة تدفق إعادة الحماة الأعظمي هو 50% فيكون التدفق التصميمي للقنوات هو:

$$1.5 \times (Q/3)$$

$$Q = A \times V$$

$$A = h.b$$

$$V = C \sqrt{R \times I}$$

$$C = \frac{1}{n} \times R^{1/6}$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

n - عامل الخشونة = 0.0165 (بيتون عادي)

Q - الغزارة التصميمية

V - السرعة

C - ثابت الاحتكاك

R - نصف القطر الهيدروليكي

A - مساحة المقطع المائي

I - الميل التصميمي = 0.01

نحصل على النتائج الموجودة في الجدول (6-6).

ونشكل الجدول (6-6): القيمة التصميمية لقناة لتوزيع مياه الصرف إلى الأحواض

اللاهوائية

المرحلة التصميمية	الغزارة التصميمية (m ³ /sec)	ارتفاع الماء h(m)	السرعة V(m/sec)
المرحلة الأولى حتى عام 2035	Qav	0.0211	0.108
	Qmax.d	0.0443	0.164
	Qmax.w	0.06645	0.217
	Qmin	0.00768	0.064
المرحلة الثانية حتى عام 2050	Qav	0.0425	0.16
	Qmax.d	0.08235	0.3
	Qmax.w	0.1235	0.3
	Qmin	0.01654	0.1

إذا نلاحظ أنّ أقل سرعة مارة في القناة هي 0.691 م/ثانية، وهي سرعة مقبولة لأنها أكثر من 0.3 م/ثانية، مما يمنع ترسب المواد القابلة للترسيب في هذه الأفنية. وتجهز كل قناة عند مدخلها ببوابة ذات تحكم يدوي وآلي للتحكم بالتدفق ولمنع تدفق المياه لأي حوض في حالة الطوارئ.

ث-2- تصميم الحوض اللاهوائي الذي هو القسم الأول من طريقة A^2/O :

في تصميم هذه المحطة سوف نعتمد أيضاً على المرحلة اللاهوائية في تخفيف الأحمال العضوية الواردة إلى محطة المعالجة لذلك فإنّ زمن المكوث سوف يتغير وسوف نصمم المرحلة لاهوائية على زمن مكوث 6 ساعات وذلك بناء على التدفق الأساسي Q .

أما بالنسبة لزمن المكوث بناء على التدفق $Q+Q_R$ فيكون محدود 4 ساعات . ونستفيد من الحوض اللاهوائي ما يلي :

- تخفيف الأحمال العضوية على المراحل التي تليه.
- تخفيف تركيز الفسفور.
- يعمل الحوض اللاهوائي كمرسب شاقولي يتم فيه إزالة المواد المعلقة.
- ويصمم الحوض اللاهوائي على زمن مكوث 6 ساعات عند التدفق الوسطي ويحقق كفاءة إزالة BOD_5 حوالي 50 % لأنه عادة حوض الترسيب البدائي يزيل حوالي 35-40 % من BOD_5 مياه الخام في زمن مكوث هيدروليكي مقدراه 2 ساعة وفي تصميمنا أخذنا 6 ساعات زمن المكوث وهذا يكفي لإزالة الفسفور و 50% من الحمل العضوي.

- نختار نظام الجريان شاقولي من الأسفل إلى الأعلى لتحقيق إزالة عالية للملوثات بمختلف أشكالها.

-المرحلة الأولى:

الغزارة الوسطية في الطقس الجاف (m^3/d) للمرحلة الأولى: 3650 م³/يوم.
لتحقيق إزالة جيدة في الحوض اللاهوائي لكافة الملوثات
زمن المكوث نختاره 6 ساعات بناء على التدفقين الأساسي والمعاد ولتحقيق إزالة
جيدة أيضاً للملوثات العضوية.

فيكون حجوم الأحواض في المرحلة الأولى:

$$=3650/24 \times 6 = 912.5 m^3$$

نختار حوضان مربعاً الشكل بارتفاع 4 م وبطول 11 م وبعرض 11 م وجريان
المياه يكون من الأسفل إلى الأعلى ، وتكون كفاءة إزالة الـ COD لا تقل عن
50%. تحقيق شرط السرعة الشاقولية والتي يجب أن تكون قيمتها (0.25-0.7)
م/ساعة:

$$V_v = Q/A = 3650/(24)/(11 \times 11 \times 2) = 0.63 \text{ m/h}$$
 محقق

وعند التدفق الساعي الأعظمي تزداد السرعة وتنخفض الكفاءة قليلاً وعند التدفق
الأصغري تقل السرعة، وتزداد الكفاءة، لذلك تحقيق السرعة على التدفق الوسطي من
شأنه أن يحقق التوافق بين الأمان و القيمة الاقتصادية ، علماً ان التدفق الوسطي
3650 م³/يوم لن يصل إلى محطة المعالجة إلا بعد عام 2035 وبالتالي في الفترة بين
2020-2035 نبقى في حالة أمان نتيجة ورود تدفق أصغر من التدفق التصميمي.
ويعطى للمفاعل أيضاً ارتفاع حر إضافي غي رمغمور مقداره 0.5 م فيكون
ارتفاعه الكلي 4.5 م، وسوف نعتمد في تصميم المراحل اللاحقة أنّ نسبة الإزالة في
المفاعل اللاهوائي وحوض المنقوص الأكسجين حوالي 50% من BOD_5 .

- المرحلة الثانية :

الغزارة الوسطية في الطقس الجاف (m^3/d) للمرحلة الثانية: 7331 م³/يوم

فيكون حجوم الأحواض اللازمة هي:

$$=7331/24 \times 6 = 1833 \text{m}^3$$

نضيف حوضين لاهوائين آخرين بأبعاد $4 \times 11 \times 11$ م فيكون عدد الأحواض أو

المفاعلات اللاهوائية في هذه المرحلة هو 4 مفاعلات ومجموع حجومها هو :

$$4 \times 11 \times 11 \times 4 = 1936 \text{ م}^3 \text{ ويكون زمن المكوث الفعلي عام } 2040 \text{ هو :}$$

$$1936 / (7331) \times 24 = 6.34 \text{h} \quad \text{ok}$$

وسوف نعتمد في تصميم المراحل اللاحقة أنّ نسبة الإزالة في المفاعل اللاهوائي

وحوض المنقوص الأكسجين حوالي 50% من BOD_5 .

ويعاد إلى هذا الحوض حمأة من حوض الترسيب النهائي بمعدل 30-50% من

قيمة التدفق الأساسي الوارد إلى محطة الضخ وهذه النسبة تتغير بحسب ظروف التشغيل.

ث-3- تصميم الحوض منقوص الأكسجين **Anoxic**:

ويمكن حساب زمن المكوث بناء على معدل إزالة النتروجين في هذا الحوض من

العلاقات التالية :

$$U_{DN}^u = U_{DN} \times 1.9^{(T-20)} (1 - DO)$$

U_{DN}^u : المعدل العام لإزالة النترات.

U_{DN} : المعدل النوعي لإزالة النترات معبراً عنه بـ

$\text{kgNO}_3^- - \text{N} / \text{kgMLVSS}$ وقيمته لمياه الصرف هي 0.03-0.11

T : درجة حرارة مياه الصرف بوحدة درجة مئوية.

نفترض أن قيمة الأوكسجين المنحل هي $\text{DO} = 0.1 \text{ mg/l}$.

نفترض أن درجة الحرارة هي 15 درجة مئوية؛ ونفترض قيمة :

$$U_{DN} = 0.08 \text{ lb NO}_3^- - \text{N} / \text{lb MLVSS. day}$$

نفترض أن قيمة الأوكسجين المنحل هي 0.1 ملغ/ل.

إن قيمة $U_{DN} (20^0)$ هي :

$$U_{DN} (20^0) = 0.1 \text{ day}^{-1}$$

نعوض في العلاقة السابقة فنجد :

$$U_{DN}^u = 0.1 \times 1.9^{(15-20)} (1 - 0.1) = 0.0585 \text{ day}^{-1}$$

$$U_{DN}^u = (S_0 - S) / (t \times X)$$

T: زمن المكوث بالأيام .

S_0 : تركيز النترات الداخل إلى الحوض = 25 ملغ/ل (فرضي)

S : تركيز النترات المتوقع خروجه من الحوض ونفترض قيمته هي 3 ملغ /ل.

X تركيز البيوماس في الحوض = MLVSS= 2000 ملغ /ل

نعوض فنجد:

$$0.0585 = (25 - 3) / (t \times 2000)$$

$$T = 0.188 \text{ day} = 4.51 \text{ hour}$$

حساب نسبة التدفق المعاد من حوض التهوية :

$$IR = \frac{NO_X}{N_e} - 1 - R$$

IR: نسبة إعادة السائل الممزوج من حوض التهوية إلى حوض منقوص

الأكسجين.

NOX: النتروجين الناتج في المنطقة الهوائية ويمكن حسابه من العلاقة 20 :

$$NO_X = 0.8 \times TKN = 0.8 \times 65 = 52 \text{ mg/l}$$

NE: قيمة $NO_3^- - N$ المسموحة في المياه بعد المعالجة وتساوي 15 ملغ /ل

وكعامل أمان إضافي

نعوض في المعادلة السابقة على فرض قيمة R = 50%

$$IR=52/15-1-0.5=1.967$$

وعملياً ًنسبة إعادة السائل الممزوج في طريقة A_2/O تتراوح بين (100 - 300) % من التدفق الأساسي.

نحسب الان حجم الحوض منقوص الأوكسجين لكلتا المرحلتين:
- المرحلة الأولى :

الغزارة الوسطية في الطقس الجاف للمرحلة الأولى: 3650 م³/يوم ولتحقيق إزالة جيدة في الحوض اللاهوائي لكافة الملوثات نختار زمن المكوث 4.51 ساعة المحسوب سابقاً .

فيكون حجوم الأحواض في المرحلة الأولى :

$$V = 3650/24 \times 4.51 = 685.89 \text{ m}^3 \text{ ok}$$

نختار حوضين مربعي الشكل بارتفاع 3 م وبطول 11 م وبعرض 11 م. ويعطى الحوض أيضاً أرتفاع حر إضافي غير مضمور مقداره 0.4 م فيكون ارتفاعه الكلي 3.4 م فيكون الحجم الفعلي لهذين الحوضين :

$$V_{ANOXIC} = 2 \times 11 \times 11 \times 3 = 726 \text{ m}^3 \text{ ok}$$

وبالتالي يكون زمن المكوث الهيدروليكي هو :

$$HRT = 726/3650 \times 24 = 4.77 \text{ h} > 4.51 \text{ h OK}$$

المرحلة الثانية:

الغزارة الوسطية في الطقس الجاف للمرحلة الثانية: 7331 م³/يوم

$$V = 7331/24 \times 4.51 = 1377.61 \text{ m}^3$$

نضيف حوضين آخرين بأبعاد 3×11×11 م فيكون عدد الأحواض أو

المفاعلات اللاهوائية في هذه المرحلة هو 4 مفاعلات ومجموع حجمها هو :

$$4 \times 11 \times 11 \times 3 = 1452 \text{ م}^3 \text{ ويكون زمن المكوث الفعلي عام 2050 هو :}$$

$$T = V/Q = 1452/(7331) \times 24 = 4.75 \text{ h} > 4.51 \text{ h ok}$$

وتجهّز أحواض منقوصة الأوكسجين بخلاطات مغمورة لا يقل عددها عن 2 في حوض .

ث-4-تصميم أحواض التهوية: تصميم على أساس تهوية مطولة:
 معطيات التصميم وأسس التصميم: من الجدول (3-3) نجد معطيات التصميم:
 - زمن احتجاز المواد الصلبة أو عمر الحمأة θ_c : (20 - 40) أيام.
 - F/M: 0.01-0.04 كغ BOD₅/كغ MLVSS.يوم.
 - الحمولة العضوية الحجمية كغ BOD₅/م³.يوم: 0.1-0.3
 - قيمة MLSS ملغ/ل 2000 - 5000 ملغ/ل.
 - زمن التهوية في حوض التفاعل أو زمن المكوث الهيدروليكي، (20-30) ساعات.

- الحمل العضوي الداخل إلى أحواض التهوية (الكلي):
 إن نسبة إزالة BOD₅ في المفاعل اللاهوائي وحوض منقوص الأكسجين هي 50% وبالتالي فإن تركيز الـ BOD₅ الداخل إلى حوض التهوية هو:

$$(BOD_5)_i = 0.5 \times 550 = 275 \text{ mg/l}$$

وكعامل أمان إضافي ولمواجهة تغيرات الحمولة العضوية المتوقعة كنتيجة تقنين المياه أحياناً في فصل الصيف نزيد هذا التركيز بمقدار 15%، وبالتالي يصبح $(BOD_5)_i$ التصميمي لحوض التهوية هو :

- تركيز الـ $(BOD_5)_i$ الداخل:

$$(BOD_5)_i = 1.15 \times 275 = 316.3 \text{ mg/l}$$

- تركيز الـ $(BOD_5)_e$ في مياه الصرف المعالجة هو:

$$(BOD_5)_e = 30 \text{ mg/l}$$

-المرحلة الأولى :

$$Q_{av} = 3650 \text{ m}^3/\text{day} \quad \text{التدفق الوسطي}$$

- تركيز المواد الصلبة في السائل الممزوج : 2750 ملغ/ل

- بفرض تركيز المواد الصلبة الصلبة الطيارة في السائل الممزوج :

$$MLVSS = 0.75 \times MLSS = 2750 \times 0.75 = 2063 \text{ mg/l}$$

يتم حساب حجم أحواض التهوية من العلاقة :

$$V = \frac{Q_{av} \times (BOD_5)_r}{\left(\frac{F}{M}\right) \times MLVSS} \quad (6 - 23)$$

نفرض $F/M = 0.1$ فيكون الحجم :

$$\begin{aligned} (BOD_5)_r &= (BOD_5)_i - (BOD_5)_e = 316.3 - 30 = 286 \text{ mg/l} \\ &= 3650 \times (286) / (0.1 \times 2063) = 5065.4 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

بفرض أن ارتفاع الماء : $h = 3.3 \text{ m}$ وتعطى جدارن الحوض ارتفاعاً إضافياً مقداره 0.5 م فتكون المساحة اللازمة:

$$A = V/h = 5065/3.3 = 1534.8 \text{ m}^2$$

نختار حوضين فتكون مساحة كل حوض هي 767.4 م² ونختار أبعاد الحوض العرض 11 م والطول هو 70 م، ويقسم كل حوض طولياً إلى أربع أقسام، فتكون أبعاد كل قسم هي : 11 م $\times$ 17.5 م

إذا الحجم الفعلي لأحواض التهوية هو :

$$V = 2 \times 11 \times 70 \times 3.3 = 5082 \text{ m}^3 \quad \text{محقق}$$

- التحقق من زمن المكوث في أحواض التهوية :

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{5082}{3650} \times 24 = 33.41 \text{ hr}$$

نلاحظ أن زمن المكوث أكبر من القيمة العظمى المنصوح بها وهي 30 ساعة لكن الفرق بحدود 10% يمكن القبول به واعتباره عامل أمان إضافي.

المرحلة الثانية :

$$Q_{av} = 7331 \text{ m}^3/\text{day} \quad \text{التدفق الوسطي}$$

$$MLSS = 2750 \text{ mg/l}$$

$$MLVSS = 0.75 \times MLSS = 2750 \times 0.75 = 2063 \text{ mg/l}$$

يتم حساب حجم أحواض التهوية من (3-56) وذلك على فرض أن $F/M=0.1$ فيكون الحجم :

$$(BOD_5)_r = (BOD_5)_i - (BOD_5)_e = 316.3 -$$

$$30 = 286 \text{ mg/l}$$

$$= 7331 \times (286) / (0.1 \times 2063) = 10173.9 \text{ m}^3$$

بفرض أن ارتفاع الماء : $h = 3.3 \text{ m}$ وتعطى لجدارن الحوض ارتفاعاً إضافياً مقداره 0.5 م فتكون المساحة اللازمة:

$$A = 10173.85 / 3.3 = 3082.98 \text{ m}^2$$

نضيف حوضين آخرين بنفس أبعاد أحواض التهوية في المرحلة الأولى أي بطول 70 متراً وعرض 11 متراً.

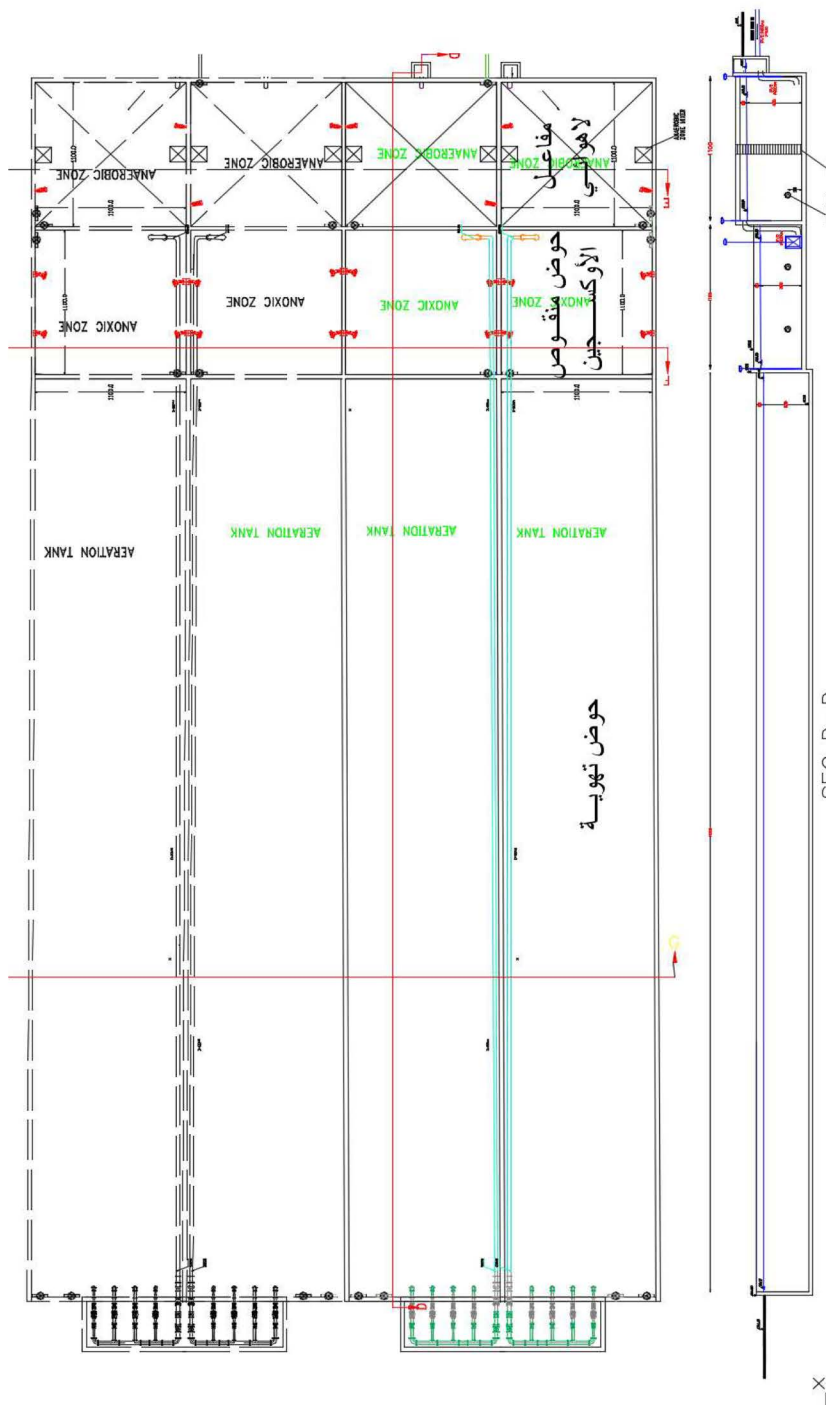
فيكون حجم الأحواض الأربعة هو :

$$V = 4 \times 11 \times 70 \times 3.3 = 10164 \text{ m}^3$$

- التحقق من زمن المكوث :

$$T = V/Q = 10164 / 7331 \times 24 = 33.3 \text{ h}$$

نلاحظ أنّ زمن المكوث أكبر من القيمة العظمى المنصوح بها وهي 30 ساعة لكن الفرق محدود 10% يمكن القبول به واعتباره عامل أمان إضافي، والشكل (6-13) يبين توضع أحواض المعالجة البيولوجية .



الشكل (6-13): يبين توضع أحواض المعالجة البيولوجية ومقطعاً شاقولياً فيها

ث-5- حساب وزن الحمأة الفائضة:

- كمية الحمأة للمرحلة الأولى :

- نحسب كمية الحمأة الناتجة يومياً من أحواض التهوية بالعلاقة :

$$P_X = Y_{OPS} \times (BOD_{5i} - BOD_{5e}) \times Q_{AV} \times 10^{-3} = \text{kg/day}$$

هي :

$$0.28 \times (316.3 - 30) / 1000 \times 3650 = 292.59 \text{ kg/day}$$

ولدينا حمأة أيضاً ناتجة عن المفاعل اللاهوائي، وتقدر كمية الحمأة في الطرق

اللاهوائية بـ 28% من قيمة الـ BOD_5 المزال فتكون كمية الحمأة أيضاً :

$$0.28 \times (550 \times 0.5) / 1000 \times 3650 = 281.05 \text{ kg/day}$$

كمية الحمأة الكلي في المرحلة الأولى هي :

$$292.59 + 281.05 = 573.64 \text{ kg/day}$$

حساب عمر الحمأة للمرحلة الأولى:

يحسب عمر الحمأة من العلاقة التالية:

وزن MLSS في النظام = عمر الحمأة

عمر الحمأة = حجم حوض التهوية $\times$ وزن MLSS / كمية الحمأة

$$= 5082 \times 2750 \times 10^{-3} / 573.64 = 24.36 \text{ day} \quad \text{محقق}$$

إن زمن المكوث الكبير للمواد الصلبة يعتبر مؤشراً جيداً لضمان حدوث عملية

الترجعة في حوض التهوية.

- المرحلة الثانية:

التدفق الوسطي هو : 7331 م³/يوم

كمية الحمأة الناتجة عن حوض التهوية

$$0.28 \times (316.3 - 30) / 1000 \times 7331 = 314.83 \text{ kg/day}$$

ولدينا حمأة أيضاً ناتجة عن المفاعل اللاهوائي وتقدر كمية الحمأة في الطرق اللاهوائية بـ 28% من قيمة الـ BOD5 المزال فتكون كمية الحمأة أيضاً :

$$0.28 \times (550 \times 0.5) / 1000 \times 7331 = 564.49 \text{ kg/day}$$

$$587.68 + 564.49 = 115.17 \text{ kg/day}$$

حساب عمر الحمأة للمرحلة الثانية:

يحسب عمر الحمأة من العلاقة التالية:

وزن MLSS في النظام = عمر الحمأة

$$\text{عمر الحمأة} = \text{حجم حوض التهوية} \times \text{وزن MLSS} / \text{كمية الحمأة}$$

$$= 10164 \times 2750 \times 10^{-3} / 617.2 = 24.25 \text{ day}$$

إن زمن المكوث الكبير للمواد الصلبة يعتبر مؤشراً جيداً لضمان حدوث عملية الترسيب في حوض التهوية.

ث-6- حساب حجم الحمأة الزائدة :

• بفرض أن كثافة الحمأة هو 1000 كغ/م³ و محتوى المواد الصلبة الجافة في الحمأة هو 0.05% و كثافة الحمأة 1 نستخدم المعادلة (5-12) التي سترد في الفصل الخامس:

$$Sludge \ flow \left(\frac{m^3}{day} \right) = \frac{SS \ load \left(\frac{kg}{d} \right)}{\frac{(dry \ solid \ \%)}{100} \times Sludge \ density \left(\frac{kg}{m^3} \right)}$$

للمرحلة الأولى :

حجم الحمأة المراد تكثيفها

$$Q_X = 573.64 / (1000 \times 0.005) = 114.72 \text{ m}^3/\text{day}$$

للمرحلة الثانية :

$$Q_x = 1152.17 / (1000 \times 0.005) = 230.43 \text{ m}^3/\text{day}$$

ث-7- حساب كمية الهواء اللازمة واستطاعة أجهزة التهوية:

1- المرحلة الأولى حتى عام 2035 :

نفترض ان تركيز نيتروجين الأمونيوم الداخل إلى حوض التهوية هو 43 ملغ /ل

$$O_2 = [1.08 \times BOD_{5r} + 4.57(NH_4)r] \times Q_{av} \times 10^{-3}$$

$$O_2 = [1.08 \times (316.3 - 30) + 4.57(43)] \times 3650 \times 10^{-3}$$

$$= 1845.85 \text{ kg } O_2 / \text{ day}$$

-حجم الهواء المطلوب للمرحلة الأولى:

بتقريب ويإهمال تأثير درجة الحرارة مقبول يمكن أن تكون كمية الهواء اللازمة

مقدرة بمتر مكعب /يوم وذلك بضرب وزن الأوكسجين اللازم بوحدة كغ O_2 /يوم

بخمسة فيكون حجم الهواء اللازم:

$$Air = 1845.85 \times 5 = 9229.28 \text{ m}^3 / \text{ day}$$

- من أجل النفاثات الناعمة يكون نقل الهواء بحدود (10%)

$$\text{حجم الهواء المطلوب} = 9229.28 / 0.1 = 92292.8 \text{ m}^3 / \text{d} = 3845.53$$

$$\text{m}^3 / \text{hour}$$

بما أنه لدينا حوضين فيكون نصيب كل حوض من الهواء :

$$3845.53 / 2 = 1922.7 \text{ m}^3 / \text{hour}$$

نختار مضخة هواء انفراغية (Air Blower)، (Vacuum Pump)

عدد(6): (4) عامل، (2) احتياط فيكون تدفق هواء كل ضاغط هو

$$3845.5 / 4 = 961.4 \text{ m}^3 / \text{hour}$$

عملياً نختاره بتدفق هواء 965 م³/ساعة ليتوافق مع احتياجات المرحلة الثانية
كما سيمر معنا لا حقاً.

حساب ضغط مضخة الهواء الانفراغية والاستطاعة الكهربائية اللازمة للمرحلة
الأولى:

لدينا عمق الماء في حوض التهوية 3.3 م والضيعات الناجمة بحدود 1.5 م
(عادة تقدر الضيعات بحدود 30%-60% من ارتفاع مياه الصرف في
حوض التهوية).

الضيعات الناجمة + عمق الماء = ضغط مضخة الهواء الانفراغية

فيكون الضاغط = 3.3 + 1.5 = 4.8 م

أما الاستطاعة الكهربائية فهي تختلف من شركة لأخرى ولكن إذا فرضنا ان كل
1 كغ O₂ يحتاج 1 كيلو واط

$$1845.85/24=76.9 \text{ KW}$$

فتكون استطاعة (مضخات الهواء الانفراغية):

$$76.9/4=19.23 \text{ Kw/hour}$$

—تحديد عدد نافثات الهواء اللازمة للمرحلة الأولى:

بفرض أنّ لدينا نافثات دقيقة تعطي 10 م³ هواء/ ساعة فيكون عدد النافثات
في كل حوض هو :

$$N= 1922.7/10=194$$

عدد النافثات للحوضين هو 386 نافث ليتوافق ذلك مع احتياجات المرحلة الثانية.

2- المرحلة الثانية حتى عام 2050 :

نفترض أنّ تركيز نيتروجين الأمونيوم الداخل إلى حوض التهوية هو 43 ملغ/ل

$$O_2 = [1.08 \times (BOD5)r + 4.57 (NH_4)r] \times Q_{av} \times 10^{-3}$$

$$O_2 = [1.08 \times (316.3 - 30) + 4.57 (43)] \times 7331 \times 10^{-3}$$

$$= 3707.4 \text{ kg } O_2 / \text{day}$$

- حجم الهواء المطلوب: $3707.4 \times 5 = 18537 \text{ m}^3 / \text{day}$

- من أجل النفثات الناعمة يكون نقل الهواء محدود (10%) فتكون كمية

الهواء المطلوب:

$$= 18537 / 0.1 = 185370 \text{ m}^3 / \text{d} = 7724 \text{ m}^3 / \text{hour}$$

وبما أنّه لدينا 4 أحواض تهوية فيكون نصيب كل حوض من الهواء :

$$7724 / 4 = 1931 \text{ m}^3 / \text{h}$$

نختار مضخة هواء انفراغية عدد (10): (8) عامل، (2) احتياط فيكون تدفق

هواء كل ضاغط هو 965 م³ هواء / ساعة .

- حساب ضغط مضخة الهواء الانفراغية والاستطاعة الكهربائية اللازمة

للمرحلة الثانية :

لدينا عمق الماء في حوض التهوية 3.3 م والضياعات الناجمة بحدود 1.5 م

(عادة تقدر الضياعات بحدود 30%-60% من ارتفاع مياه الصرف في

حوض التهوية).

الضياعات الناجمة + عمق الماء = ضغط مضخة الهواء الانفراغية

$$\text{فيكون الضاغط} = 3.3 + 1.5 = 4.8 \text{ م}$$

- الاستطاعة الكهربائية :

أما الاستطاعة الكهربائية فهي تختلف من شركة لأخرى ولكن إذا فرضنا ان كل 1 كغ O_2 يحتاج 1 كيلو واط

$$3707.4/24=154.5 \text{ KW}$$

وهذه الاستطاعة الكهربائية تمثل الاستطاعة الكلية لمجموع استطاعات الضواغط الثمانية العاملة في هذه المرحلة.

- تحديد عدد نافثات الهواء اللازمة للمرحلة الثانية :

نفرض أنه لدينا نافثات دقيقة تعطي 10 م³ هواء/ساعة فيكون عدد النافثات هو:

$$N=1931/10=193.1$$

عملياً نضع في كل حوض 194 نافث فيكون عدد النافثات الكلي:

$$4 \times 194 = 776$$

ث-8- تصميم أحواض الترسيب الثانوي:

نختار أحواض دائرية الشكلية وشاقولية الجريان وقد مر معنا في الجدول (24-3) أسس تصميم هذه الأحواض فـالأحواض الترسيب الثانوية المسبوقة بحوض تهوية /حمأة منشطة مديدة تكون أسس التصميم كما يأتي :

- معدل الانسكاب فوق حافة الهدار للغزارة العظمى:

$$WOFR < (250) m^3/m/day$$

- معدل الانسكاب فوق حافة الهدار للغزارة الوسطية :

$$WOFR < (120) m^3/m/day$$

- حمل المواد الصلبة الوسطي:

$$SLR_{av} = (80-120) \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{day}$$

- حمل المواد الصلبة الأعظمي:

$$SLR \max < 160 \text{ Kg/ m}^2 \cdot \text{day}$$

$$\alpha_{av} = (8-18) \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day} \quad \text{التحميل السطحي الوسطي :}$$

$$\alpha_{av} = (24-36) \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day} \quad \text{التحميل السطحي الأعظمي :}$$

$$T = (2.5-4) \text{ hours} \quad \text{زمن المكوث الهيدروليكي :}$$

- تركيز المواد الصلبة المعلقة في السائل الممزوج هو كما مر معنا سابقاً عند

$$MLSS = 2750 \text{ mg/l} \quad \text{تصميم أحواض التهوية}$$

المرحلة الأولى:

يتم التصميم على أساس الغزارة الوسطية من العلاقة انظر الشكل (3-58):

$$Q_{av} = Q_{av} + Q_{R2} - Q_S$$

التدفق الساعي الداخل لحوض الترسيب في طريقة A^2/O هو عبارة عن مجموع ثلاث تدفقات هي :

Q_{AV} : التدفق الوسطي الوارد إلى محطة الضخ من مجرور القرية ويساوي $3650 \text{ م}^3/\text{يوم} = 152.08 \text{ م}^3/\text{ساعة}$.

Q_{R2} : وهو تدفق الحمأة المعاد من حوض الترسيب النهائي إلى بداية حوض الترسيب ويساوي (30-50)% من قيمة Q_{AV} ونعتمد وسيطاً القيمة 50%.

Q_S : تدفق الحمأة الذاهب إلى عمليات تكثيف الحمأة ونهمله لصغره وكعامل أمان إضافي.

إذا التدفق التصميمي لحوض الترسيب هو :

$$Q_{av} = Q_{av} + Q_{R2} - Q_S = 1.5 \times Q_{av}$$

أ- المرحلة الأولى:

– حالة التدفق الوسطي الجاف في المرحلة الأولى:

$$Q_{av}=3650 \text{ m}^3/\text{day}$$

$$Q_{av} = 1.5 \times Q_{av} = 1.5 \times 3650 = 5475 \text{ m}^3/\text{day}$$

نفرض أنّ زمن المكوث 3.5 ساعات ونحقق بقية البارامترات:

$$V=Q \times T = 5475/24 \times 3.5 = 798.43 \text{ m}^3$$

نفرض الارتفاع الفعال لحوض الترسيب هو 3.25 م، فتكون مساحته

السطحية هي

$$A=V/H=798.43/3.25=245.67 \text{ m}^2$$

وبفرض لدينا ثلاث أحواض ترسيب فتكون مساحة كل منهما هي:

نختار حوضين دائريين قطر الواحد 14 م وارتفاعه الفعال عند هدار المخرج

3.25 م وارتفاعه في المنتصف 3.75 م ويزود بقاشط لقشط الرواسب وتجميعها ،

نبدأ الآن بالتحقق من التصميم المختار

– نحسب معدل التحميل السطحي الذي هو Q/A :

$$Q/A=5475/(2 \times 3.14 \times 14^2/4)=17.79 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{day}$$

ok

$$\alpha_{av} < 18 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day} \quad \text{محقق لأنّه}$$

– نحسب معدل التحميل على الهدارات:

$$WOFR= Q/W=5475/(2 \times 3.14 \times 14)=62.27 \text{ m}^3/\text{m}$$

$$\text{day ok } (<120) \text{ m}^3/\text{m}/\text{day}$$

– نحسب معدل تحميل المواد الصلبة:

$$SLR= Q \times MLSS/A=5475 \times 2750/(2 \times 3.14 \times 14^2/4 \times 1000)=$$

$$48.92 \text{ kg}/\text{m}^2.\text{day}$$

محقق لأنه يقع ضمن المجال $SLR_{av} = (80-120) \text{ Kg/m}^2.\text{day}$

-نتحقق من التصميم عند التدفق الأعظمي الجاف في المرحلة الأولى:

التدفق الأعظمي الجاف هو $7665 \text{ م}^3/\text{يوم}$ وبفرض نفس نسبة إعادة الحمأة 50% أيضا فيكون التدفق الداخلى إلى أحواض الترسيب النهائي:

$$Q_{\max d} = 1.5 \times 7665 = 11497.5 \text{ m}^3/\text{day}$$

- نحسب معدل التحميل السطحي الذي هو Q/A :

$$Q/A = 11497.5 / (2 \times 3.14 \times 14^2 / 4) = 37.36 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$$

وهو أكبر من القيمة $36 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ و لكن يمكن القبول بهذه القيمة لأننا نتحقق من التصميم في نهاية العمر التصميمي للمرحلة الأولى، ونظراً لأنّ التدفق الأعظمي الجاف لا يتكرر في اليوم إلا بضع ساعات.

- نحسب معدل التحميل على الهدارات:

$$WOFR = Q/W = 11497.5 / (2 \times 3.14 \times 14) = 130.77 \text{ m}^3/\text{m}.\text{day}$$

وهو أصغر من القيمة $250 \text{ m}^3/\text{m}.\text{day}$ فالتصميم مقبول

- نحسب معدل تحميل المواد الصلبة:

$$SLR = [Q][MLSS]/A = 11497.5 \times 2750 / (2 \times 3.14 \times 14^2 / 4 \times 1000) =$$

$$102.74 \text{ Kg/m}^2.\text{day} < 160 \text{ Kg/m}^2.\text{day} \quad \text{محقق}$$

ب-المرحلة الثانية حتى عام 2050:

$$Q = 1.5 \times 7331 = 10997 \text{ m}^3/\text{day}$$

نضيف حوضين آخرين مماثلين للأحواض السابقة في المرحلة السابقة فتكون المساحة الكلية لجميع الأحواض هي ونحقق البارامترات

$$A=4 \times 14^2 \times 3.14/4=615.44\text{m}^2$$

نتحقق من التصميم:

حالة التدفق الوسطي الجاف في المرحلة الثانية:

- نحسب معدل التحميل السطحي الذي هو Q/A :

$$Q/A=10997/(4 \times 3.14 \times 14^2/4$$

$$)=17.86\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$$

$$\alpha_{av} < 18 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day} \quad \text{محقق لأنه أقل}$$

- نحسب معدل التحميل على الهدارات:

$$WOFR= Q/W=10997/(4 \times 3.14 \times 14)=62.53\text{m}^3/\text{m}.\text{day}$$

$$120\text{m}^3/\text{m}.\text{day} \quad \text{التصميم محقق لأنه أقل من}$$

- نحسب معدل تحميل المواد الصلبة:

$$SLR=Q \times MLSS/A=10997 \times 2750/(4 \times 3.14 \times 14^2/4 \times 1000)=49.14 \text{ Kg}/\text{m}^2.\text{day}$$

$$120 \text{ Kg}/\text{m}^2.\text{day} \quad \text{محقق لأنه أقل من القيمة}$$

-نتحقق من التصميم عند التدفق الأعظمي الجاف:

التدفق الأعظمي الجاف هو $14229 \text{ م}^3/\text{يوم}$:

$$Q_{\max d}= 1.5 \times 14229=21343.5 \text{ m}^3/\text{day}$$

- نحسب معدل التحميل السطحي الذي هو Q/A :

$$< 36\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$$

$$Q/A=21343.5/(4 \times 3.14 \times 14^2/4)=34.68$$

- نحسب معدل التحميل على الهدارات :

$$WOFR = Q/W = 21343.5 / (4 \times 3.14 \times 14) = 121.38 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{day}$$

محقق لأنه أقل من القيمة $250 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{day}$

- نحسب معدل تحميل المواد الصلبة:

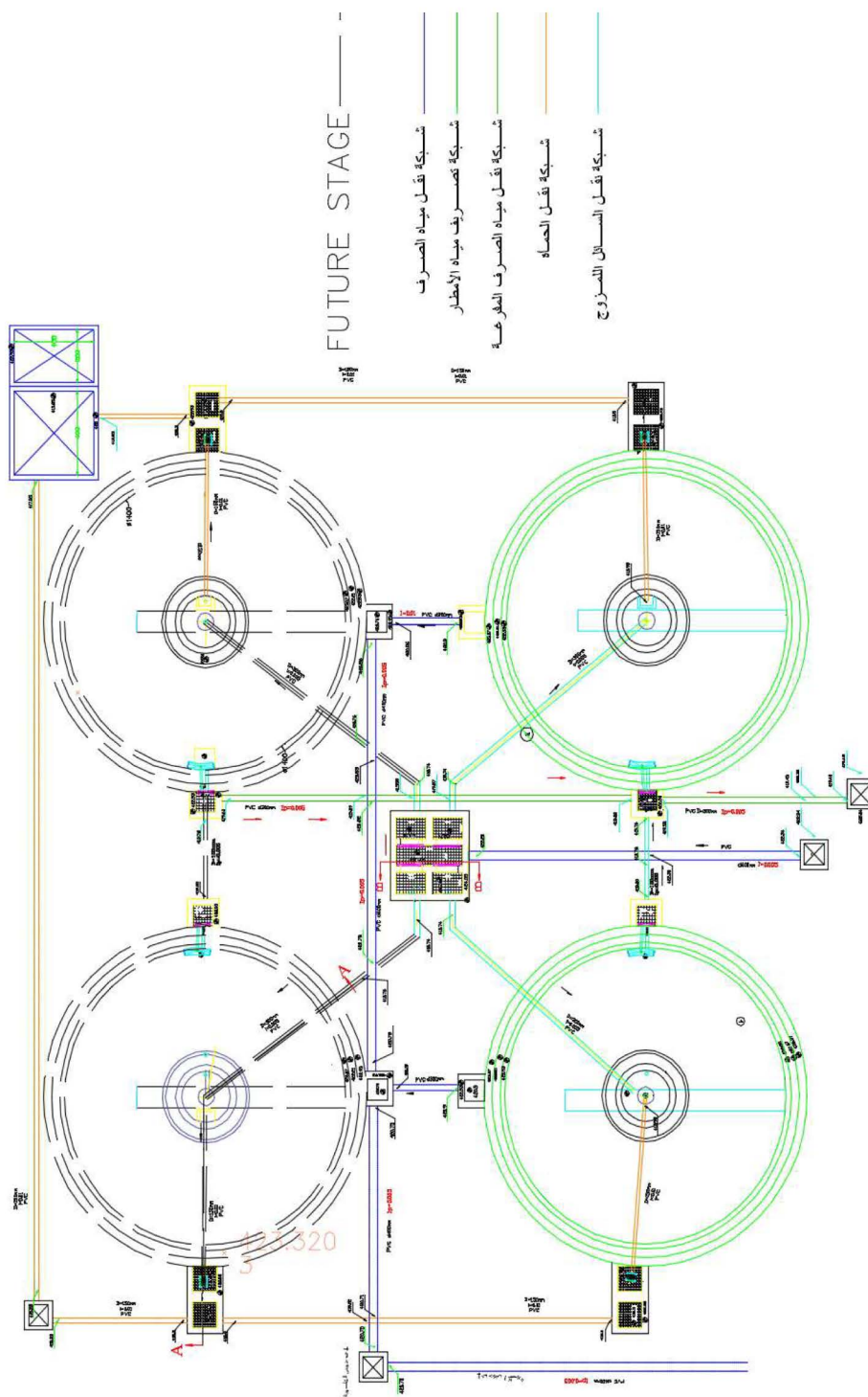
$$SLR = Q \times$$

$$MLSS/A = 21343.5 \times 2750 / (4 \times 3.14 \times 14^2 / 4 \times 1000) =$$

$$95.37 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{day}$$

محقق لأنه أقل من القيمة من $160 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{day}$.

إن الشكلين (6-14) و (6-15) يبينان مسقطاً أفقياً لأحواض الترسيب مع مقطع شاقولي في أحد الأحواض.



الشكل (6-14): مسقطاً أفقياً لأحواض الترسيب الثانوي

ج- تصميم أحواض الكلورة:

إن المياه المعالجة والناتجة عن وحدات المعالجة الثانوية هي مياه صالحة للطرح ضمن المسيلات المتوفرة في المنطقة , ومزال منها حوالي 50%-70% من الملوثات البكتريولوجية الممرضة يمكن إضافة وحدة تعقيم الغاية منها تعقيم المياه المعالجة للحصول على مياه معالجة تصلح لسقاية النباتات التي تؤكل نيئة والمساحات الخضراء ضمن حرم المحطة وذلك لأن مثل هذه الوحدات قادرة على خفض نسبة التلوث البكتريولوجي بإزالة 99% من الجراثيم والمتعضيات الممرضة ، والتي تتواجد ضمن مياه الصرف الصحي وعادة تتألف وحدة التعقيم من:

سيتم تصميم هذه الأحواض لتستوعب المرحلتين معاً :

- الغزارة الوسطية اليومية للمرحلة الأولى:

$$Q_{av} = 3650 \text{ m}^3/\text{day}$$

- الغزارة العظمى في الطقس الجاف للمرحلة الثانية:

$$Q_{maxd} = 14229 \text{ m}^3/\text{day}$$

- زمن المكث من أجل الغزارة العظمى: $t = 15 \text{ min}$

- زمن المكث من أجل الغزارة الوسطية للمرحلة الأولى لا يقل عن 30 دقيقة.

- جرعة الكلور الحر CL_2 المطلوبة تتراوح ما بين (10-40) ملغ/ل من أجل

الغزارة الوسطية.

- حساب الحجم من أجل الغزارة العظمى :

$$V = Q_{max} \times t$$

$$= 14229 \frac{15}{60 \times 24} = 148.2 \text{ m}^3$$

- بفرض أنّ ارتفاع الماء : 1م

تكون المساحة اللازمة:

$$A = V/H = 148.2/1 = 148.2 \text{ m}^2$$

نحسب أبعاد مقطع قناة التلامس: من أجل سرعة مياه لا تقل عن $(v=2\text{m/min})$ عند التدفق الوسطي للمرحلة الأولى نحسب مقطع القناة:

$$Q = 3650 / (24 \times 3600) = V \times A = 2/60 \times (b \times 1)$$

$$b = 1.267 \text{ m} \text{ عملياً نأخذ القيمة } 1.3 \text{ م}$$

نفرض أنّ العرض الكلي هو 8.3 م والطول الكلي هو 16.8 م وبالتالي يمكن حساب عدد الأشواط من العلاقة :

$$N = 16.8 / 1.3 = 12.69$$

إذا نكتفي بـ 13 شواط ، ويكون الطول التصميمي هو

$$L = 13 \times 1.3 = 16.9 \text{ m}$$

إذا أبعاد حوض الكلورة هي:

ارتفاع الماء فيه 1 م وعرض الشوط 1.3 م والعرض الكلي 8.8 م والطول الصافي (عدا سماكة الحواجز هو) 16.9 م، و لدينا 13 مسار

ويمكن إضافة هيبوكلوريت الصوديوم أو هيبوكلوريت الكالسيوم كمادة حاوية على الكلور وذلك من أجل تأمين

(10-40) ملغ من الكلور لكل 1 لتر من مياه الصرف المعالجة .

ومن المفضل وضع نافثات هواء، على الأقل نافث في كل شوط لتحقيق اختلاط جيد لمياه الصرف المعالجة مع الكلور المضاف، ويضاف ارتفاع حر فوق سطح الماء مقداره 0.5 م كما هو مبين في الشكل (6-16).

ح - معالجة الحمأة وتكثيفها:

سوف يتم معالجة الحمأة بطريقة كيميائية، وهي إضافية بوليمرات خاصة وذلك وفق المراحل التالية :

- التكثيف الثقالي للحمأة في أحواض التكثيف الثقالي ومزج الحمأة بالبوليمرات .

- مرشحات تعمل تحت الضغط (فلتر بريس).

و نقترح تطبيق طريقة المعالجة الكيميائية للحمأة بالبوليمرات واستخدام فلتر بريس لتشكيل أقراص الحمأة لما تتمتع به هذه الطريقة من شغلها لمساحات صغيرة و سهولة التحكم بها.

أ-تصميم أحواض التكثيف الثقالية الكيميائية:

سوف يتم اعتماد طريقة تكثيف الحمأة في مكثفات شاقولية مع إضافة بولي الكتروليت خاص لمعالجة الحمأة وإن إضافة البولي الكتروليت إلى الحمأة غير المكثفة سوف يؤدي إلى تكثيفها ونزع المياه منها أيضاً، وبالتالي سوف تخفض الكلفة اللازمة لمعالجة الحمأة وسوف تقل المساحة بشكل كبير جداً ، ثم بعد ذلك تساق الحمأة إلى مرشحات تحت الضغط (فلتر بريس) ليتم ضغط المواد الصلبة ونزع المياه من الحمأة لنحصل على كعكة الحمأة

يتم التصميم بالاعتماد على المعايير التصميمية التالية:

- معدل التحميل السطحي الهيدروليكي $(16-32)m^3/m^2.d$.

- نسبة المواد الصلبة في الحمأة الداخلة $\%(0.2-1)$.

- نسبة المواد الصلبة في الحمأة المكثفة $\%(2-5)$.

- زمن الحجز الهيدروليكي يتراوح بين $(3-6)$ ساعات .

- المرحلة الأولى:

- حجم الحمأة المراد تكثيفها: $Q_w = 114.72 \text{ m}^3/\text{day}$
 - بفرض التحميل السطحي الهيدروليكي:

$$O_{FR} = 18 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$$

- بفرض ارتفاع الحمأة ضمن أحواض التكثيف
 $h = 3 \text{ m}$:

$$A = \frac{Q_w}{O_{FR}} = \frac{114.72}{18} = 16.37 \text{ m}^2$$

n= 1 -نختار عدد المكثفات:

- نفرض قطر المكثف: $D = 3 \text{ m}$ كما هو مبين في الشكل (3-62)
 فتكون المساحة الفعلية لحوض التكثيف :

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(3)^2}{4} = 7.06 \text{ m}^2$$

نتحقق من قيمة معدل التحميل السطحي الهيدروليكي:

$$O_{FR} = 114.72 / 7.06 = 16.25 \text{ m}^3 / \text{m}^2.\text{day}$$

محقق وهو أقل من القيمة $32 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$

حجم الحوض اللازم:

$$V = 1 \times 3 \times 7.06 = 21.18 \text{ m}^3$$

نحسب زمن المكوث الهيدروليكي في المرحلة الأولى:

$$t = \frac{V}{Q_w} \times 24 = \frac{21.18}{114.72} \times 24 = 4.43 \text{ hr}$$

محقق لأنه يضع ضمن المجال 3-6 ساعة.

ويضاف البولي التروليت السائل عن طريق مضخة نبضية لزيادة تكثيف الحمأة ونزع رطوبتها .

المرحلة الثانية:

$$Q_w = 230.43 \text{ m}^3/\text{day}$$

نضيف حوضاً آخرًا بنفس الأبعاد فتكون المساحة الكلية للأحواض هي:

$$A(\text{TOTAL}) = 2 \times 3.14 \times 3^2 / 4 = 14.13 \text{ m}^2$$

معدل التحميل السطحي الهيدروليكي هو:

$$Q_w / A(\text{TOTAL}) = 230.43 / 14.13 = 16.31 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$$

محقق وهو أقل من القيمة $32 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$

وتخرج الحمأة من حوض التكثيف إلى مرشحات قماشية تعمل تحت الضغط ، وإن الشكل (6-17): يبين مسقطاً ومقطعاً شاقولياً لأحواض تكثيف الحمأة.

ب- تصميم المرشحات القماشية التي تعمل تحت الضغط:

- كمية الحمأة المكثفة في المرحلة الأولى:

بفرض أنّ نسبة المواد الصلبة في الحمأة (5%) و كثافة الحمأة 1000 كغ/م³ فيكون حجم الحمأة الزائدة المكثفة :

$$Q_x = 573.64 / (1000 \times 0.05) = 11.47 \text{ m}^3/\text{day}$$

وزن الحمأة هو 573.64 كغ /يوم بإهمال وزن البوليميرات المتحددة مع المواد الصلبة ، وذلك لأنّ وزن البوليميرات في الحمأة المكثفة صغير جداً .

نختار فلتر بريس عدد (1) بقدرة استيعاب 6 م³/ ساعة استطاعة الجهاز 18 كيلواط في هذه المرحلة يعمل الفلتر حوالي 2 ساعة في اليوم.

- كمية الحمأة المكثفة في المرحلة الثانية:

بفرض أنّ نسبة المواد الصلبة في الحمأة (5%) و كثافة الحمأة 1000 كغ/م³
فيكون حجم الحمأة الزائدة المكثفة :

$$Q_X = 1152.17 / (1000 \times 0.05) = 23.04 \text{ m}^3/\text{day} = 0.96 \text{ m}^3/\text{hr}$$

وزن الحمأة هو 1152.17 كغ /يوم بإهمال وزن البوليميرات المتحددة مع المواد الصلبة، وذلك لأنّ وزن البوليميرات في الحمأة المكثفة صغير جداً .

في هذه المرحلة يعمل فلتر بريس القماشي 4 ساعة / يوم تقريباً وتنقل الحمأة المشكلة على شكل أقراص بواسطة سير ناقل لتدفن في المطامر الصحية او تستخدم كمحسنات للتربة، أو يمكن استخدامها كوقود لأنّ لها قيمة حرارية عالية . إن كعكة الحمأة الناتجة عن فلتر بريس تحوي على تركيز من المواد الصلبة يتراوح بين 20-50% من المواد الصلبة وبشكل نموذج وعملي تكون نسبة المواد الصلبة في كعكة الحمأة حوالي 36%.

ويفضل وضع خزان تجميع للمياه المعالجة، يمكن الاستفادة من المياه الموجودة فيه في عمليات سقاية المزروعات في محطة المعالجة نفسها ويمكن الاستفادة منه في تغذية شبكة إطفاء الحريق الموجودة في محطة المعالجة ونختار هذا الخزان بسعة حوالي 100 م³ بأبعاد 5 متراً طولاً و 5 متراً عرضاً وارتفاع مائي صافي 4 متراً وارتفاع كلي 4.5 م. كما هو مبين في الشكل (6-18).

ت- تصميم محطات الضخ اللازمة: إن التدفقات الواردة في محطة الضخ مبينة في الجدول (6-7).

الجدول (6-7): التدفقات الواردة إلى محطة المعالجة

2050	2035	الفترة التصميمية
0.085	0.0422	الغزارة اليومية الوسطية Q_{av} (m^3/s)
0.1647	0.0886	الغزارة الأعظمية في الطقس الجاف (m^3/s)
21344	11482	الغزارة الاعظمية في الطقس الماطر (m^3/d)
0.247	0.133	الغزارة الاعظمية في الطقس الماطر (m^3/s)

والآن نبدأ بتصميم محطات الضخ الموجودة في محطة المعالجة ومحطات الضخ الموجودة هي :

- محطة الضخ الرئيسية (ضخ مياه الصرف الخام).
- محطة ضخ إعادة السائل الممزوج من أحواض التهوية إلى الأحواض منقوصة الأكسجين.

- تصميم محطة ضخ الحمأة الراجعة والحماة الزائدة.
- تصميم محطة ضخ الحمأة الزائدة الذاهبة حوض التكتيف.
- محطة ضخ المياه المفرغة.

خ-1- محطة الضخ الرئيسية (ضخ مياه الصرف الخام):

غزارة الطقس الماطر للمرحلة الأولى:

$$Q_{max.w} = 11482 \text{ m}^3/\text{day}$$

غزارة الطقس الماطر للمرحلة الثانية:

$$Q_{max.w} = 21344 \text{ m}^3/\text{day}$$

يتم حساب حجم التخزين في الحوض الرطب على أساس زمن مكوث لمدة 4 دقائق عند التدفق الأعظمي للمرحلة الثانية فيكون حجمه :

$$V=21344/(24 \times 60) \times 4=59.3 \text{ m}^3$$

بالتالي حجم الحوض 54.3 م³ بالأبعاد: الطول 5 م ، العرض 2.7 م ، الارتفاع 4.4 م. نختار مجموعة ضخ تتكون من أربع مضخات غاطسة ثلاثة منها عاملة والرابعة احتياط:

التدفق الساعي الاعظمي في المرحلة الثانية هو:

$$Q_{\text{max.w}} = 21344 \text{ m}^3/\text{day} = 21344/24 = 889.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

وبالتالي تدفق المضخة الواحدة هو :

$$Q_{P1} = 889.3/4 = 222.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

-الاستطاعة الكهربائية لكل مضخة : تحسب الاستطاعة الكهربائية لكل مضخة من العلاقة :

$$P = Q \times H / (367 \times \epsilon)$$

Q: التدفق مقدراً بوحدة متر مكعب /ساعة.

H: ارتفاع الضخ مقدراً بالمتر.

P: الإستطاعة الكهربائية للمضخة مقدرة بالكيلو واط ساعي.

€: مردود المضخة ويؤخذ في العادة لمضخات الصرف الصحي 0.65

-حساب ارتفاع الضخ والاستطاعة الكهربائية لكل مضخة :على فرض

المضخة ترتفع عن أرضية خزان التجميع بمقدار 30 سم :

الفرق الستاتيكي ما بين منسوب قاع حوض محطة الضخ ومنسوب محور القسطل الداخلى إلى منشأة الدخول (تؤخذ هذه القيم من المخططات الطبوغرافية للمنطقة المدروسة و ذلك بعد اجراء مسح طبوغرافي و رسم الموقع العام لمحطة المعالجة)، وفي حالتنا هذه الفرق الستاتيكي هو:

$$426.95-418.3=8.65\text{m}$$

عمياً تعطى المضخة قدرة على الرفع أكبر بـ 30% من القيمة النظرية للتغلب على الضياعات الخطية والموضوعة قدرة الضخ التصميمية هي :

$$1.3 \times 8.65 = 11.3\text{m}$$

إذا الإستطاعة الكهربائية لكل مضخة غاطسة هي :

$$P = 222.3 \times 11.3 / (367 \times 0.65) = 10.53 \text{ Kw/h}$$

ويفضل ان يقسم بئر الضخ إلى قسمين متساوين بحيث يوضع في كل قسم مضختين ويعملان هذين البئرين مع بعضهما البعض ويمكن إخراج أحد هذين البئرين عن الخدمة في حالات الطوارئ والصيانة، واخترنا في هذا التصميم مضخات غاطسة مجهزة بفرامات لذلك لا داعي لوجود البئر الجاف.

- حساب قطر أنبوب الدفع (الخارج من محطة الضخ باتجاه المعالجة

الابتدائية):

في البلاد الجافة و شبه الجافة التي لا يتكرر فيها التدفق المطري كثيراً يفضل تصميم أنبوب الدفع بناء على التدفق الوسطي الجاف للمرحلة الأولى و التحقق من هذا التصميم على التدفق الوسطي للمرحلة الثانية ، و سرعة الجريان المسموحة في هذا اختيار أنبوب معدني أو من الفونت 0.3-3 م/ثانية و يفضل دائماً أن تكون السرعة بحدود 1م/ثانية لأن هذه السرعة لا تسبب حثاً لأنبوب الدفع و كذلك هي سرعة اقتصادية أيضاً لا تعطي مقطعاً كبيراً لأنبوب الدفع.

- الغزارة الوسطية للطقس الجاف في نهاية المرحلة الأولى هي: 0.0422 متر

مكعب في الثانية.

- الغزارة الوسطية للطقس الجاف في نهاية المرحلة الثانية هي: 0.085 متر

مكعب في الثانية.

نفرض سرعة جريان المياه في أنبوب الدفع هي : 1 متر في الثانية وذلك عند مرور التدفق الوسطي الجاف في المرحلة الأولى فيكون القطر هو :

$$A=3.14 \times D^2/4=Q/V=0.0422/1$$

وبالتالي فالقطر حسابياً هو 0.23 م وعملياً هو 0.25 متر ، عملياً نختار أنبوب دفع من الفونت بقطر 25 سم ونحسب السرعة بالنسبة للتدفق الوسطي للمرحلة الثانية :

$$V_{PIPE}=Q/A=0.085/(3.14 \times 0.25^2/4)=1.73\text{m/sec OK}$$

خ-2- تصميم محطة ضخ إعادة السائل الممزوج من أحواض التهوية إلى الأحواض منقوصة الأكسجين:

إن نسبة إعادة السائل الممزوج من حوض التهوية إلى حوض منقوص الأكسجين في طريقة A^2/O تتراوح بين (100-300)% من قيمة التدفق.

نصمم محطة ضخ إعادة السائل الممزوج على التدفق الوسطي الجاف:

خ -2-1- المرحلة الأولى :

التدفق : 3650 م³/يوم

يجب أن تكون مضخات إعادة السائل الممزوج قادرة على ضخ تدفق مقداره (100-300) % من قيمة التدفق Q لذلك نصمم محطة الضخ على تدفق مقداره $3 \times Q$ فيكون التدفق التصميمي هو :

$$Q_{PR}=3 \times 3650=10950\text{m}^3/\text{day}=456.3\text{m}^3/\text{h}$$

من أجل تحقيق استقرار جيد وكفاءة جيدة في المعالجة يجب أن تعمل المضخات 24 ساعة أي بدون توقف.

إذا نختار 8 مضخات (6) عاملة و(2) احتياط نضع 4 مضخات في نهاية حوض التهوية إذا تدفق المضخة الواحدة هو :

$$=456.3/6=76\text{m}^3/\text{h}$$

إذا أصبح لدينا في نهاية كل حوض تهوية 4 مضخات 3 تعمل وواحدة احتياط ويوضع برنامج زمني لعمل المضخات بحيث يكون لدينا 3 مضخات عاملة وواحدة احتياط ، مع الانتباه إلى أنه دوماً هناك مضخة واحدة في حالة راحة أي مجموع عمل كل مضخة في اليوم هو 18 ساعة و 6 ساعات فترة راحة.

وكان من الممكن أن نختار ثلاث مضخات (2) عاملة وواحدة احتياط ولكن اخترنا (3) مضخات عاملة وذلك من أجل تحقيق مرونة في التشغيل وخصوصاً أن طريقة A^2/O يتم فيها تدور 100-300 % من قيمة التدفق الداخل.

- **تصميم أنبوب الضخ :** نصمم أنبوب الضخ على التدفق الوسطي المعاد والذي يبلغ $2 \times Q$ والذي يوافق عمل مضختين لكل حوض

$$Q = V \times A$$

تدفق هو مضختين $2 \times 76 = 152 \text{ م}^3/\text{ساعة}$.

نفرض السرعة 1 م/ثانية ونحسب القطر :

$$152 / (60 \times 60) = 1 \times (3.14 \times D^2 / 4)$$

$$D = 0.23 \text{ m ومنه}$$

وبالتالي القطر العملي هو $D = 0.25 \text{ m}$

- تحقيق السرعة عند التدفق الأصغري : والذي يتوافق مع عمل مضخة غاطسة واحدة .

عند عمل مضخة واحدة تكون السرعة :

$$V_{min} = \frac{Q}{A} = \frac{76/3600}{0.25 \times 0.25 \times 3.14/4} = 0.43 \text{ m/sec}$$

السرعة الأصغرية محققة لأنها أكبر من القيمة 0.3 م/ثانية

- تحقيق شرط السرعة عند التدفق الأعظمي: والذي يتوافق مع عمل ثلاث مضخات غاطسة بتدفق إجمالي 228 م³/ساعة.

$$V_{max} = \frac{Q}{A} = \frac{228/3600}{0.25 \times 0.25 \times 3.14/4} = 1.23 \text{ m/sec}$$

أيضاً السرعة العظمى محققة لأنها أقل من 3 م/ثانية.

خ-2-2- المرحلة الثانية :

$$Q_{PR} = 3 \times 7331 = 23193 \text{ m}^3/\text{day} = 966.4 \text{ m}^3/\text{h}$$

إذا نضيف أيضاً 8 مضخات مماثلات للمضخات السابقة (6 عامل + 2 احتياط) لأنه في هذه المرحلة سيدخل حوضي تهوية جديدين في العمل مجموع المضخات العاملة في المرحلة الثالثة هو: 12 مضخات و 4 احتياط وبالتالي التدفق الكلي :

$$76 \times 12 = 912 \text{ m}^3/\text{h}$$

ويمكن في الحالات الحرجة الخاصة أن تعمل مضخات الإحتياط من أجل تأمين تدفقاً مقداره 966.4 م³/ساعة علماً أنّ ورود هذا التدفق لا يحدث إلا في نهاية العمر التصميمي لمحطة المعالجة.

- حساب لاستطاعة الكهربائية لكل مضخة وارتفاع الضخ :

إن الفرق الستاتيكي ما بين منسوب أسفل المضخة ومنسوب أنبوب إعادة السائل الممزوج هو: 4.15 م كما هو مبين في المقطع الطولي (المنسوب بين أسفل حوض التهوية وسطح الحوض المنقوص الأكسجين)، عملياً تعطى المضخة قدرة على الرفع أكبر بـ 30% من القيمة النظرية للتغلب على الضياعات الخطية والموضوعة قدرة الضخ التصميمية هي :

$$1.3 \times 4.15 = 5.4 \text{ m}$$

إذا الإستطاعة الكهربائية لكل مضخة هي :

$$P=76 \times 5.4 / (367 \times 0.65) = 1.72 \text{ Kw/h}$$

خ -3- تصميم محطة ضخ الحماة الراجعة والحماة الزائدة :

مضخات الحماة الراجعة:

المرحلة الأولى: في طريقة A^2/O نسبة تدفق الحماة المعادة إلى من حوض الترسيب النهائي إلى مدخل الأحواض اللاهوائية هي: 30%-50% من التدفق، ونصمم على الوسطي وعلى القيمة 50% لتحقيق مرونة في التشغيل. التدفق الوسطي للمرحلة الأولى هو:

التدفق: 3650 م³/يوم

التدفق التصميمي لمحطات ضخ إعادة الحماة هو $Q \times 0.5$:

$$Q = 0.5 \times 3650 / 24 = 76 \text{ m}^3/\text{h}$$

نزيد هذه النسبة بمقدار لا يقل عن 10% كعامل أمان إضافي فيكون التدفق التصميمي لمحطة ضخ الحماة الراجعة في المرحلة الأولى هو :

$$Q_{\text{DESIGN}} = 76 \times 1.1 = 83.6 \text{ m}^3/\text{h}$$

نختار (3) مضخات (2) عاملة وواحدة احتياط فتكون غزارة كل مضخة

$$83.6 / 2 = 41.82 \text{ m}^3/\text{h}$$

المرحلة الثانية :

التدفق: 7331 م³/يوم

$$Q_{\text{DESIGN}} = 0.5 \times 7331 \times 1.1 / 24 = 168 \text{ m}^3/\text{h}$$

يصبح لدينا (4) مضخات عاملة و(2) احتياط وتدفق كل مضخة هو:

$$41.82 \text{ m}^3/\text{h}$$

ومجموع تدفق المضخات هو 167.3 م^3 وهو أقل بقليل من التدفق $168 \text{ م}^3/\text{يوم}$ ويمكن في الحالات الحرجة الخاصة أن تعمل مضخات الإحتياط من أجل تأمين تدفقاً مقداره $168 \text{ م}^3/\text{ساعة}$ علماً أنّ ورود هذا التدفق لا يحدث إلا في نهاية العمر التصميمي لمحلة المعالجة.

- يتم حساب حجم التخزين في الحوض الرطب على أساس خمس دقائق للتدفق الوسطي في المرحلة الثانية لمكوث الحمأة:

$$V = 7331 / (24 \times 60) \times 5 = 25.5 \text{ م}^3$$

بالتالي حجم الحوض 23 م^3 بالأبعاد: الطول 4 م لعرض 4 م الارتفاع الكلي 2 م والارتفاع الفعال 1.6 م .

- تصميم أنبوب إعادة الحمأة الراجعة :

التدفق الوسطي المعاد للمرحلة الأولى والذي هو 40% من التدفق الوسطي :

$$Q_{\text{DESIGN}} = 0.4 \times 3650 \times 1.1 / (24 \times 3600) = 0.0186 \text{ م}^3/\text{sec}$$

نفرض السرعة $1 \text{ م} / \text{ثانية}$ ونحسب القطر :

$$0.0186 = 1 \times (3.14 \times D^2 / 4)$$

$$D = 0.153 \text{ م}$$

عملياً نختار أنبوب معدني من الفونت بقطر 6 انش $= 15.24 \text{ سم}$

تحقيق السرعة عند التدفق الأعظمي المضخوخ الذي يوافق عمل أربع مضخات :

$$V_{\text{max}} = \frac{Q}{A} = \frac{4 \times 41.82 / 3600}{0.15 \times 0.15 \times 3.14 / 4} = 2.63 \text{ م} / \text{sec}$$

أيضاً السرعة العظمى محققة لأنها أقل من $3 \text{ م} / \text{ثانية}$.

-حساب الاستطاعة الكهربائية لكل مضخة وارتفاع الضخ :

الفرق الستاتيكي ما بين منسوب أسفل المضخة ومنسوب وأنبوب إعادة الحمأة هو(يؤخذ من المخططات الطبوغرافية بعد وضع كافة أقسام المحطة على مخطط الموقع العام ورسم المقطع الطولي للمحطة).

$$426.7-415.85=10.85\text{m}$$

عملياً تعطى المضخة قدرة على الرفع أكبر بـ 30% من القيمة النظرية للتغلب على الضياعات الخطية والموضوعة قدرة الضخ التصميمية هي :

$$10.85 \times 1.3 = 14.1\text{m}$$

إذا الإستطاعة الكهربائية للمضخة الواحدة هي:

$$P=41.82 \times 14.1 / (367 \times .65) = 2.47 \text{Kw/h}$$

خ-4- تصميم محطة ضخ الحمأة الزائدة الذاهبة حوض التكتيف:

- حجم الحمأة المراد تكتيفها:

للمرحلة الأولى:

$$Q_X = 114.72 \text{ m}^3/\text{day}$$

للمرحلة الثانية:

$$Q_X = 230.43 \text{ m}^3/\text{day}$$

ارتفاع الضخ (ويؤخذ من المقطع الطولي /الهيدوليكي للمحطة و ذلك بعد رسمه بشكل دقيق على المخطط الطبوغرافي):

$$424.1-415.85=8.25\text{m}$$

عملياً تعطى المضخة قدرة على الرفع أكبر بـ 30% من القيمة النظرية للتغلب على الضياعات الخطية والموضوعة إذاً قدرة الضخ التصميمية هي:

$$1.3 \times 8.25 = 10.73\text{m}$$

في المرحلة الثانية لدينا تدفقاً مقداره 230.43 م³/يوم، نختار مضخة عاملة
وواحدة احتياط ونفرض أن المضخة ستعمل لمدة 4 ساعات في اليوم في المرحلة الثانية
وبالتالي التدفق الساعي هو

$$230.43/4=57.6\text{m}^3/\text{h}$$

إذا الإستطاعة الكهربائية هي:

$$P=57.6 \times 10.73 / (367 \times .65) = 2.6 \text{Kw/h}$$

وهذه المضخة تعمل في المرحلة الأولى أيضاً بعدد ساعات عمل في اليوم يساوي:

$$114.72/57.6=2\text{h}$$

نفرض السرعة 1 م / ثانية ونحسب قطر أنبوب الضخ :

$$57.6/3600=1 \times (3.14 \times D^2/4)$$

$$D=0.14\text{m}$$

عملياً نختار أنبوب معدني من الفونت بقطر 6 انش = 15.24 سم

خ-5- خامساً : محطة ضخ المياه المفرغة :

الغاية من محطة ضخ المياه المفرغة تصريف مياه الصرف من كافة أقسام محطة
المعالجة في حالات الطوارئ و الصيانة إلى المسيل أو خط خروج مياه الصرف المعالجة
من محطة معالجة مياه الصرف الصحي، وكذلك يمكن إعادة مياه الصرف إلى بداية
أحواض المعالجة البيولوجية لذلك ، نختار خزان تجميع مياه التفريغ بالأبعاد الآتية :
الطول = العرض = 3 م والارتفاع المائي 3 م.

ارتفاع الضخ : هو فرق المنسوب بين قاع خزان تجميع المياه المفرغة وغرفة التفتيش
الموجودة قبل الأحواض اللاهوائية :

$$=426.7-416.28=10.42\text{m}$$

عمياً تعطى المضخة قدرة على الرفع أكبر بـ 30% من القيمة النظرية للتغلب على الضياعات الخطية والموضوعة قدرة الضخ التصميمية هي :

$13.5m = 1.3 \times 10.42$, نفرض أنّ خزان التجميع يتم تفريغه بزمّن مقداره 1 ساعة لذلك نختار مضخة تدفقها الساعي يساوي حجم الخزان

$$Q = V \times T = 3 \times 3 \times 3 \times 1 = 27m^3$$

نختار مضختين واحدة عاملة والثانية احتياط ، فتكون الإستطاعة الكهربائية للمضخة الواحدة هي:

$$P = 27 \times 13.5 / (367 \times .65) = 1.53Kw/h$$

نفرض السرعة 1 م / ثانية ونحسب قطر أنبوب الضخ :

$$27/3600 = 1 \times (3.14 \times D^2 / 4)$$

$$D = 0.093m$$

عملياً نختار أنبوب معدني من الفونت بقطر 4 انش = 10.16 سم

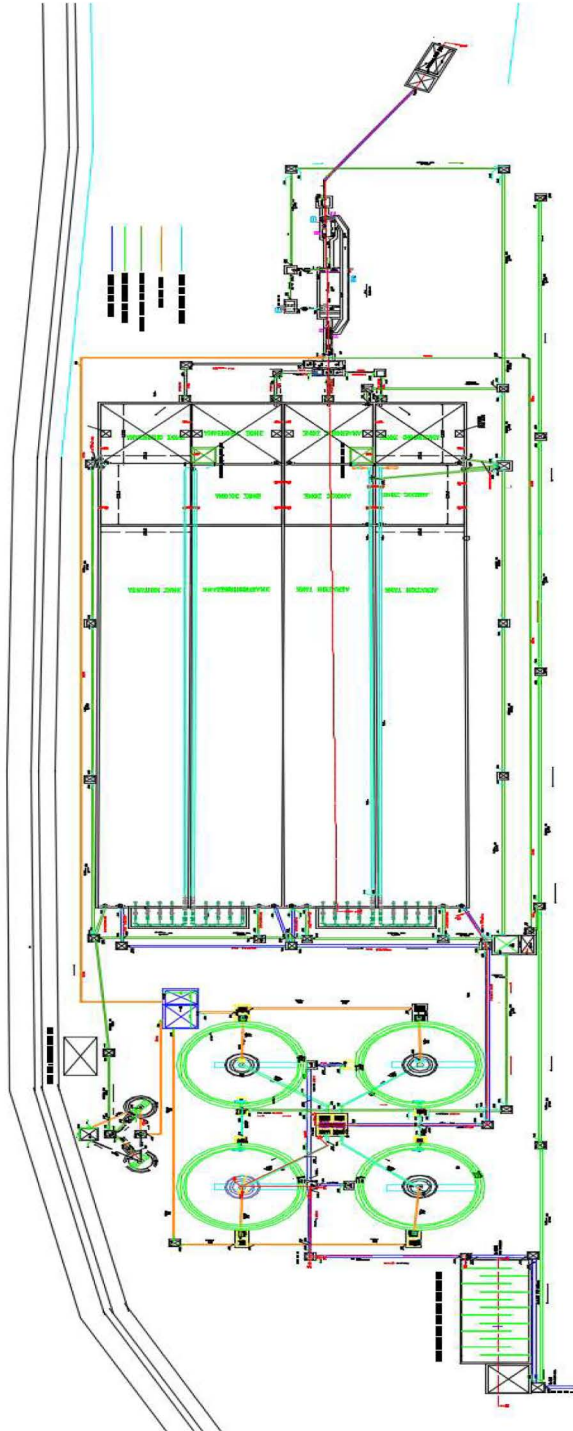
خ-6: محطة ضخ الحمأة المكثفة :

تجمع الحمأة المكثفة في خزان تجميع بأبعاد الطول = العرض = 2 م و الارتفاع المائي 2 م.

حجم الحمأة الزائدة المكثفة في المرحلة الثانية هو : 23.04 م³/يوم ، نفترض أن عدد ساعات عمل المكبش المرشح (فلتر بريس) الذي سيقبل رطوبة الحمأة هو 8 ساعات في اليوم فيكون تدفق المضخة الواحدة :

$$23.04/8 = 2.88m^3/h$$

عملياً نختار مضختين تدفق الواحدة 3 م³/ساعة واحدة عاملة والثانية احتياط.



الشكل (6-18): مسقطاً عاماً لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي المقترحة

الملحق

(بعض المواصفات القياسية العربية الخاصة بتصريف مياه الصرف الصناعي

إلى الشبكة العامة للصرف الصحي)"

-المواصفات القياسية السورية:المخلفات السائلة الناتجة عن النشاطات

الاقتصادية المنتهية إلى شبكة الصرف الصحي 2008/2580:

- مياه الصرف الصناعي: هي المياه التي تنتج عن نشاطات صناعية والتي تحتوي على المخلفات والملوثات الناتجة عن مختلف مراحل هذه النشاطات، سواء كانت معالجة أم غير معالجة.

يجب أن تتحقق الاشتراطات التالية في مياه الصرف الصناعي التي تصرف من النشاطات الواردة أعلاه إلى شبكة الصرف العامة:

الجدول (م-1) : المواصفات القياسية السورية رقم 2580 لعام 2008

اسم العنصر	الرمز	الحد الأقصى المسموح به	الوحدة
1- درجة الحرارة	T	35	سيلسيوس
2- الرقم الهيدروجيني	pH	9.5-6.5	/
3- المواد الصلبة القابلة للتسيب بعد 30 دقيقة	S.S	10	مل/ل
4- مجموع المواد العالقة	T.S.S	500	ملغ/ل
5- الكبريتيد	S	2	ملغ/ل
6- الكبريتات	SO ₄	1000	ملغ/ل
7- الأمونيا/ الأمونيوم	NH ₄ ⁻ N	100	ملغ/ل

		NH ₃ - N	
ملغ/ل	20	PO ₄	8- الفوسفات
ملغ/ل	100	-	9- الزيوت والشحوم القابلة للتصبن والمواد الراتنجية
ملغ/ل	10	-	10- الزيوت والشحوم المعدنية
ملغ/ل	3	Ba	11- الباريوم
ملغ/ل	1	B	12- البورون
ملغ/ل	0.1	Cd	13- الكاديوم
ملغ/ل	0.1	Cr	15- الكروم السداسي
ملغ/ل	2	Cr	16- الكروم الكلي
ملغ/ل	1	Cu	17- النحاس
ملغ/ل	1	Pb	18- الرصاص
ملغ/ل	0.01	Hg	19- الزئبق
ملغ/ل	2	Ni	20- النيكل
ملغ/ل	1	Se	21- السيلينيوم
ملغ/ل	1	Ag	22- الفضة
ملغ/ل	4	Zn	23- التوتياء
ملغ/ل	0.5	CN	24- السيانيد
ملغ/ل	0.1	As	25- الزرنيخ
ملغ/ل	2	-	26- مركبات الفينول
ملغ/ل	800	BOD	27- الاحتياج الكيميائي للأوكسجين
ملغ/ل	1600	COD	28- الاحتياج الكيميائي للأوكسجين
ملغ/ل	2000	TDS	29- الأملاح الكلية المنحلة

30- الكلورايد	Cl	600	ملغ/ل
31- الفلورايد	F	8	ملغ/ل
32- المبيدات	-	0.005	ملغ/ل
33- المنظفات	ABS	5	ملغ/ل
34- المركبات العضوية الهالوجينية	AOX	0.1	ملغ/ل

– المواصفات القياسية السعودية الخاصة بصرف مياه الصرف الصناعي الى الشبكة العامة للصرف الصحي :

مياه الصرف الصحي :

المياه الحاملة للفضلات التي مصدرها المساكن والمباني التجارية والحكومية والمؤسسات والمصانع. تلتزم الجهات الحكومية، والخاصة، والمؤسسات التجارية، قبل تصريف مياه صرف صحي ذات نوعية لا تطابق الحدود المسموح بها لتصريفها، إلى شبكة الصرف الصحي العامة حسب الجدول رقم (م-2) بإجراء معالجة مسبقة لهذه المياه

خواص و معايير مياه الصرف الصحي الخام الداخلة إلى الشبكة العامة

ومحطات المعالجة:

يجب أن تكون الخواص الطبيعية والكيميائية لمياه الصرف الصحي المصروفة إلى شبكة الصرف الصحي العامة في حدود المستويات الموضحة في الجدول رقم (م-2) المرفق باللائحة .

الجدول رقم (م-2): خواص ومعايير مياه الصرف الصحي الخام الداخلة إلى

الشبكة العامة ومحطات المعالجة

أقصى مستويات التلوث ملغ /لتر	الخواص	
خالية	المواد الطافية	الخواص الطبيعية
600	المواد الصلبة العالقة TSS	
9-6	الأس الهيدروجيني pH	
50 درجة مئوية	درجة الحرارة	
500	متطلب الأكسجين الكيموحيوي BOD ₅	الخواص الكيميائية العضوية
1000	متطلب الأكسجين الكيميائي COD	
400	الكربون العضوي الكلي TOC	
100	الزيوت و الشحوم OIL & GREASE	
5	الفينول PHENOL	
15	المنظفات DETERGENTS	
خالية	المبيدات PESTISIDES	
1000	الكلوريدات Cl ₂	خواص المركبات الكيميائية
1000	الكبريتات (SO ₄)	
200	القلوية (Alkalinity as CaCO ₃)	
80	الأمونيا (NH ₃ -N)	
25	الفوسفات (PO ₄)	
0.1	الزرنيخ As	الخواص الكيميائية (العناصر الثقيلة)
1.2	الكروم الكلي Cr	
0.05	السيانيد Cn	
0.05	الزئبق Hg	
2.6	الزنك Zn	
5.0	المنجنيز Mn	

أقصى مستويات التلوث ملغ / لتر	الخواص	
0.5	السيلينيوم Se	
2.0	البورون B	
0.02	الكاديوم Cd	
1.2	النحاس Cu	
1.0	الرصاص Pb	
2.0	النيكل Ni	
1.0	الباريوم Ba	
0.5	الموليبيدينوم Mo	
1.0	الفاناديوم V	

– المواصفات القياسية الفلسطينية: مقاييس و معايير جودة وخصائص مياه

الصرف الصناعي المصروفة إلى شبكه الصرف الصحي:

يجب أن تتطابق الخصائص الفيزيائية في مياه الصرف الصناعي والمعايير المبينة في

الجدول (م-3):

الجدول (م-3)

رقم البند	الخاصية	(ملجم/لتر) ما لم يذكر خلاف ذلك
1	الحرارة (°C) Temperature	40
2	اللون (كوبالت بلاتيني) Color (PCU)	100(قابلة لتحلل)
3	المواد العالقة الكلية TSS	600
4	المواد الذائبة الكلية TDS	2000
5	الحرارة (°C) Temperature	40
6	الأس الهيدروجيني pH	9-6
7	الأكسجين الممتص حيويًا BOD	600
8	الأكسجين الممتص كيميائيًا COD	1500
9	النيتروجين الكلي TKN	80
10	أمونيا NH ₃ -N	7
11	نترات NO ₃ -N	80
12	فلوريدات Fluorides	2
13	فوسفور كلي Phosphorus Total	15
14	كبريتيد Sulfides	1
15	الفينول Phenols	3
16	الزيوت والشحوم Fat Oil & Grease	20

15	Mineral Oil زيوت معدنية	17
25	Detergent (MBAS)1 المنظفات	18
2	Residual Chlorine الكلور المتبقي	19
0.75	Cyanide سيانيد	20
0.5	Beryllium بيريليوم	21
3	Boron بورون	22
3	Lithium الليثيوم	23
2	Aluminum الألمنيوم	24
600	sodium الصوديوم	25
1200	chloride الكلوريد	26
0.5	Chromium total كروم كلي	27
1	Tin قصدير	28
1	Nickel نيكل	29
0.5	Cadmium كادميوم	30
0.25	Arsenic زرنيخ	31
0.5	Lead رصاص	32
1	Manganese منغنيز	33
0.03	Silver فضة	34
0.05	Mercury زئبق	35
50	Iron حديد	36
4	Zinc زنك	37
0.5	Cobalt الكوبالت	38
0.01	Selenium السيلينيوم	39
0.1	Vanadium الفاناديوم	40

41	الموليبدنم Molybdenum	0.15
42	النحاس Copper	1

– المواصفات و المقاييس المصرية الخاصة بصرف المخلفات السائلة الى الشبكة العامة للصرف الصحي: المعايير والمواصفات الواجب توافرها في المخلفات السائلة التي يرخص بصرفها في شبكات الصرف الصحي العامة :

القانون رقم 93 لسنة 1962 ولائحته التنفيذية المعدلة رقم 44 لسنة 2000 للصرف على المجاري العمومية.

أ . يشترط للترخيص بصرف المخلفات السائلة من المنشآت الصناعية والتجارية إلى شبكات الصرف الصحي العامة ألا تتجاوز النسب و المعايير المبينة في الجدول (م-4) :

الجدول (م-4)

المؤشر	القيمة العظمى
درجة الحرارة	43 درجة مئوية
الأس الهيدروجيني pH	لا تقل عن 6.0 ولا تزيد عن 9.5
الأكسجين الحيوى الممتص B.O.D ₅	600 جزء في المليون
الأكسجين الكيماوي المستهلك CO.D (دأى كرومات)	1100 جزء في المليون
المواد العالقة	800 جزء في المليون
زيوت وشحوم	100 جزء في المليون
كبريتيدات دائبة	10 جزء في المليون
النيتروجين الكلى	100 جزء في المليون
الفسفور الكلى	25 جزء في المليون

السيانيد	0.2 جزء في المليون
الفينول	0.05 جزء في المليون
(المواد الراسبة/لتر)	
بعد 10 دقائق	8 سم ³
بعد 30 دقيقة	15 سم ³
(المعادن الثقيلة)	
الكروم السداسي	0.5 مللجم/لتر
الكادميوم	0.2 مللجم/لتر
الرصاص	1 مللجم/لتر
الزئبق	0.2 مللجم/لتر
الفضة	0.5 مللجم/لتر
النحاس	1.5 مللجم/لتر
النيكل	1.0 مللجم/لتر
القصدير	2.0 مللجم/لتر
الزرنيخ	2.0 مللجم/لتر
البورون	1.0 مللجم/لتر
على ألا يتعدى مجموعها 5 مللجم/لتر .	

بعض مواد المواصفات القياسية السورية: الخاصة بمياه الصرف الصحي المعالجة
لأغراض الري 2008/2752:

م.ق.س: 2008 / 2752	الموضوع: مياه الصرف الصحي المعالجة لأغراض الري - المراجعة الأولى	الجمهورية العربية السورية وزارة الصناعة هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية
Reclaimed wastewater for irrigation use		
1- المجال تختص هذه المواصفة القياسية بالاشتراطات الواجب توافرها في مياه الصرف الصحي المعالجة والناجمة عن محطات معالجة مياه الصرف الصحي والتي يمكن استخدامها حسب الأوجه المبينة في الجدول رقم (1). 2- التعاريف 1/2 مياه الصرف الصحي: هي المياه الناتجة عن الاستعمالات المنزلية والتي قد تختلط بمياه عادمة صناعية ذات نوعية مطابقة للمواصفات القياسية السورية م.ق.س/2580/ والخاصة بـ "المخلفات السائلة الناتجة عن النشاطات الاقتصادية المنتهية إلى شبكة الصرف العامة" 2/2 المسطحات الخضراء: هي المساحات المخصصة للأغراض الجمالية والتنسيقية وغير المخصصة لغايات الترفيه. 3/2 المحاصيل الصناعية: هي المحاصيل التي تستخدم في غايات صناعية مثل القطن والشوندر السكري وأشجار الأخشاب وغيرها. 4/2 أنظمة المعالجة الميكانيكية: هي الأنظمة التي تعالج المياه بطرائق ميكانيكية تتضمن التهوية والترسيب كنظام الحمأة المنشطة ونظام الأقراص البيولوجية الدوارة والمرشحات البيولوجية وغيرها.		

5/2 أنظمة المعالجة الطبيعية:

هي الأنظمة التي تعالج المياه طبيعياً بواسطة البرك اختيارية التهوية أو اللاهوائية أو برك الإنضاج وغيرها.

6/2 التطهير: هي عملية التخلص من الميكروبات الممرضة والدالة على التلوث من خلال استخدام مطهرات مثل الكلور أو مركباته أو الأوزون أو أية مطهرات أخرى معتمدة.

7/2 معالجة المياه:

1/7/2 المعالجة الأولية: هي المعالجة التي تعتمد على الفصل الفيزيائي فقط.
2/7/2 المعالجة الثانوية وما فوق: هي المعالجة التي تعتمد على معالجة كيميائية و/أو بيولوجية.

8/2 العينة المركبة: هي عينة تؤخذ خلال مدة معينة (يوم مثلاً) وتتكون من عدد من العينات المفردة مأخوذة على فترات زمنية محددة خلال تلك المدة.
9/2 العينة المفردة: هي عينة تؤخذ مرة واحدة في وقت معين (يفضل أن يكون متوافقاً مع توقيت الحمل الأقصى للمحطة).

إلزامية التطبيق	تاريخ الاعتماد 2008/11/2	رقم قرار الاعتماد 373
Syrian Arab Organization for Standardization and Metrology		

1- الاشتراطات القياسية:

1/4 يبين الجدول رقم (1) المعايير القياسية الخاصة بمياه الصرف الصحي المعالجة المستخدمة في الزراعة، وفي حال تجاوزت مواصفات المياه المعالجة هذه القيم يتوجب على الجهة المستخدمة لهذه المياه إجراء الدراسات العلمية الهادفة إلى توضيح تأثير تلك المياه على الصحة العامة والبيئة، واقتراح الحلول العلمية والعملية الكفيلة بتجنب الإضرار بأي منهما.

3/4 يمنع استخدام نظام الري بالرشاشات لفئة الاستخدام (ب) و (ج) وباستثناء ري المسطحات الخضراء.

4/4 عند استخدام نظام الري بالرشاشات لفئة الاستخدام (أ) وكذلك المسطحات الخضراء غير المعرضة للاستخدام البشري نهاراً، عندها يتوجب ممارسة الري ليلاً.

5/4 تستثنى المحاصيل التي تؤكل بشكل نيئ مثل الحمص والفاصوليا والأعشاب والذرة فيما يخص فئة الاستخدام (ج).

8/4 يجب إجراء الدراسات الفنية لنوعية مياه الري في المناطق الحساسة وهي الأراضي القريبة من الينابيع أو الطبقات الحاملة للمياه التي تستخدم مياهها لأغراض الشرب بحيث لا تسبب تلوثاً للمصادر المائية الجوفية أو أحواض هذه الينابيع ويجب أن تحقق هذه المياه الشروط التالية :

الجدول (م-5)

المؤشر	الحد الأدنى للإزالة
العكارة	2NTU
إجمالي الكربون العضوي (TOC)	16 ملغ/ل
الايشيريشياكولاي (E-Coli)	2.2 عصية/100 مل
BOD	10 ملغ/ل
COD	20 ملغ/ل
NH ₄	2 ملغ/ل
NO ₃	30 ملغ/ل
TN	30 ملغ/ل
بيوض الديدان	صفر بيضة /لتر
مؤشر TP التركيز 2 ملغ/ل (100000-10000) نسمة التركيز 1 ملغ/ل (أكثر من 100000) نسمة	80%
مؤشر TN التركيز 15 ملغ/ل (100000-10000) نسمة التركيز 10 ملغ/ل (أكثر من 100000) نسمة	70-80%)

جدول رقم (م-5) الحدود القصوى المسموح بها للمعايير القياسية الخاصة بالمياه المعالجة المستخدمة لأغراض الري

المؤشر	الحضر المطبوخة	المتنزهات و الملاعب وجوانب	الملاعب الرياضية	الأشجار المتنوعة	جوانب الطرق الخارجية	المسطحات الحضراء	الجوب والحاصل العلفية	الحاصل الصناعية	الأشجار الحراجية
المؤشر	ب								ج
BOD ₅ (mg/l)	30					100			150
COD(mg/l)	75					200			300
TDS(mg/l)	1500					2000			-
SS(mg/l)	50					150			150
SAR	<3					3-9			<9
pH	9-6								
CL ₂ residual	0.5					-			-
NO ₃ (mg/l)	60					60-70			70-80
NH ₄ (mg/l)	20					30			-
TN(mg/l)	30-45					45-70			
H ₂ S(mg/l)	<0.5					2-0.5			>2
So ₄ (mg/l)	500					600			600

تابع جدول رقم م-5-

المؤشر	الخضار المطبوخة	المنتزهات و الملاعب وجوانب الطرق داخل المدن	الملاعب الرياضية	الأشجار المثمرة	جوانب الطرق الخارجية	المسطحات الخضراء	الحيوب والمحاصيل العلفية	المحاصيل الصناعية	الأشجار الحراجية
المؤشر	أ			ب				ج	
PO ₄ (mg/l)	20								
TP (mg/l)	10								
HCO ₃ (mg/l)	520								
Cl (mg/l)	500								
الزيوت والشحوم	5								
MBAS (mg/l)	5								
Phenol (mg/l)	0.002								
Na (mg/l)	300								
Mg (mg/l)	60								
Ca (mg/l)	270								
معايير صحية									
Fecal coliform MPN /100ml	<100			100-1000					
Intestinal Helminthes Eggs (wgg/l)	بويضة واحدة أو أقل								

تابع جدول رقم م-5-

العناصر النادرة		
	الاستعمال طويل الأجل (بشكل دائم)	الاستعمال قصير الأجل (حتى 20 سنة كحد أقصى)
Al (mg/l)	5	20
As (mg/l)	0.1	2
Be (mg/l)	0.1	0.5
B (mg/l)	0.5	2
Cd (mg/l)	0.01	0.05
Cr (mg/l)	0.1	1
Co (mg/l)	0.05	5
Cu (mg/l)	0.2	5
F (mg/l)	1	15
Fe (mg/l)	5	20
Li (mg/l)	2.5	5
Mn (mg/l)	0.2	10
Mo (mg/l)	0.01	0.05
Ni (mg/l)	0.2	1
Se (mg/l)	0.02	0.02
V (mg/l)	0.1	1
Pb (mg/l)	0.5	5
Zn (mg/l)	2	10
CN (mg/l)	0.1	0.1

الجدول (م-6): قابلية انحلال الأكسجين في الماء الصافي تحت ضغط جوي
760 mm زئبق حيث يحتوي الهواء على نسبة **20.9 %** من حجمه أكسجيناً

5	4	3	2	1	0	درجة الحرارة (°م)
12.80	13.13	13. 48	13. 84	14. 23	14. 66	كمية الأكسجين المنحل (ملغ/ل)
11	10	9	8	7	6	درجة الحرارة (°م)
11.08	11.33	11. 59	11. 87	12. 17	12. 48	كمية الأكسجين المنحل (ملغ/ل)
17	16	15	14	13	12	درجة الحرارة (°م)
9.74	9.95	10. 15	10. 37	10. 60	10. 83	كمية الأكسجين المنحل (ملغ/ل)
23	22	21	20	19	18	درجة الحرارة (°م)
8.68	8.83	8.9 9	9.1 7	9.3 5	9.5 4	كمية الأكسجين المنحل (ملغ/ل)
30	28	27	26	25	24	درجة الحرارة (°م)
7.63	7.92	8.0 7	8.2 2	8.3 8	8.5 3	كمية الأكسجين المنحل (ملغ/ل)
100— 90	80	70	60	50	40	درجة الحرارة (°م)
0 — 1.7	2.8	3.9	4.7	5.6	6.4	كمية الأكسجين المنحل (ملغ/ل)

الجدول (م-7): قيم اللزوجة والكثافة للماء بدرجات مختلفة للحرارة

اللزوجة المطلقة (μ)		اللزوجة الحركية (ν)		الكثافة (ρ)	الحرارة
بواز $\text{gram cm}^{-1} \text{sec}^{-1}$	$\text{Kg m}^{-1} \text{sec}^{-1}$	ستوك $\text{cm}^2 \text{sec}^{-1}$	$\text{m}^2 \text{sec}^{-1}$	(Kg/m^3)	درجة مئوية
0.017921	0.0017921	0.017923	$1.7923 \cdot 10^{-6}$	999.87	0
0.015676	0.0015676	0.015676	$1.5676 \cdot 10^{-6}$	1000.00	4
0.013872	0.0013872	0.013874	$1.3874 \cdot 10^{-6}$	999.88	8
0.012390	0.0012390	0.012396	$1.2396 \cdot 10^{-6}$	999.52	12
0.011156	0.0011156	0.011168	$1.1168 \cdot 10^{-6}$	998.97	16
0.010087	0.0010087	0.010105	$1.0105 \cdot 10^{-6}$	998.23	20
0.009161	0.0009161	0.009186	$0.9186 \cdot 10^{-6}$	997.33	24

الرموز:

BOD: كمية الأكسجين اللازم للتثبيت الكيميائي الحيوي

(Biochemical Oxygen Demand)

COD كمية الأكسجين اللازم للأكسدة الكيميائية (Chemical

(Oxygen Demand)

FOG: الشحوم والزيوت والدهون

k: معدل الاستخدام الأعظمي للمواد العضوية والمغذيات (substrate) ويقدر

بوحدة زمن⁻¹.

k_d : معامل اضمحلال الخلايا بوحدة زمن⁻¹.

K_S : ثابت نصف السرعة مقدراً بـ ملغ/ل.

K_n : ثابت سرعة النصف ويمثل تركيز المواد العضوية والمغذيات (المحددة للنمو)

عند نصف معدل استعمال المواد العضوية والمغذيات النوعي الأعظمي (غرام /م³).

k_{dn} : معامل اضمحلال الأحياء الدقيقة المنتجة بوحدة يوم⁻¹.

HRT: زمن المكوث الهيدروليكي في حوض التهوية مقدراً باليوم.

NH_4^+ : شاردة الأمونيوم.

NO_3^- : شاردة النترات.

θ : معامل فعالية درجة الحرارة.

θ_C : زمن مكوث المواد الصلبة (عمر الحمأة) مقدراً باليوم.

θ_C^M : زمن مكوث المواد الصلبة الأصغري مقدراً باليوم.

PO_4^{3-} : شاردة الفوسفات الثلاثية.

rg: معدل نمو البكتريا مقدراً بـ ملغ/ل.يوم.

TDS: المواد الصلبة الكلية المنحلة (Total Dissolved Solid)

TS: المواد الصلبة الكلية (Total Solid)

TSS : المواد الصلبة الكلية المعلقة (Total suspended Solid)

TMS: المواد الفلزية الكلية

TMDS: المواد الفلزية الكلية المنحلة.

TMSS: المواد الفلزية الكلية المعلقة.

TVS: المواد الصلبة الكلية الطيارة (Total Volatile Solid)

TVSS: المواد الصلبة الكلية المعلقة الطيارة (Total Volatile suspended Solid).

TVDS: المواد الصلبة الكلية المنحلة الطيارة (Total Volatile Dissolved Solid)

TKN: نتروجين كالدال بوحدة ملغ/ل .

U: معدل استخدام الملوثات بوحدة يوم⁻¹.

μ : معدل النمو النوعي بوحدة زمن⁻¹.

μ_m : معدل النمو الأعظمي بوحدة زمن⁻¹.

μ_n : معدل النمو النوعي للأحياء الدقيقة المنتزعة بوحدة يوم⁻¹.

μ_{nm} : معدل النمو الأعظمي للبكتريا المنتزعة بوحدة يوم⁻¹.

VSS:المواد الصلبة المعلقة الطيارة (Volatile Suspended Solid).

Y: معامل الإنتاجية الأعظمي مقاساً خلال فترة النمو اللوغارتمي المحدود ويقدر بـ نسبة كتلة الخلايا المتشكلة إلى كتلة المواد العضوية والمغذيات (substrate) المستهلكة.

المصطلحات - TERMINOLOGY	
A	
Activated Carbon	كربون منشط
Activated Sludge	حمأة منشطة
Adsorption	امتزاز
Aeration Tank	حوض مهوى / حوض تهوية
Aerator	جهاز تهوية
Aerobic Bacteria	بكتيريا هوائية
Airlift Pump	مضخة ذات رفع بالهواء
Alkalinity	قلوية
Anaerobic Bacteria	بكتيريا لاهوائية
Artesian Spring	نبع ارتوازي
Artesian well	بئر ارتوازية
Asbestos cement pipe	انبوب اسبستوس إسمنتي
Autotrophic Bacteria	بكتيريا ذاتية التغذية
Available Pressure	الضغط المتوفر
Average daily demand	الاحتياج اليومي الوسطي
B	
Bacterial Growth Rate	معدل النمو البكتيري
Ball valve	سكر ذو كرة
Bar Screen	مصافي قضبانية
Barometric Pressure	ضغط بارومتري

Belt Filter press	مكبس مرشح بالحزام
Biochemical Oxygen Demand (COD)	الاحتياج الكيميائي حيوي للأوكسجين
Biodegradable	قابل لتفكك العضوي
Biological Discs	اقراص بيولوجية
Biological Filters	مرشحات بيولوجية
Biological Treatment	معالجة بيولوجية
Biomass	الكتلة الحيوية
Bolted gland joint	وصلة السداد ذات البراغي
Boulders	جلاميد
Boundary condition	الظروف الجوية
Brass	نحاس أصفر
Brush Aerator	جهاز تهوية من نوع الفرشاة
Bulking Sludge	حمأة منتفخة
Butterfly valve	سكر فراشة
By-pass	مجرى تحويلي
C	
Capacity	استطاعة (سعة)
Capillarity	خاصة شعرية
Capillary	شعري
Centrifugal Pump	مضخة نابذة- مضخة طرد مركزي
Channel	قناة
Check valve	سكر عدم رجوع
Chemical Oxygen Demand	الاحتياج الكيميائي للأوكسجين
Chemical Treatment	المعالجة الكيميائية
Clarification	ترويق (ترقيد)

Colorimetric analysis	تحاليل الشدة اللونية
Compact Treatment Unit	وحدة معالجة مدمجة او مرصوصة
Complete Mix	مزج كامل
Cone of Depression	مخروط الهبوط
Contact Stabilization	التثبيت بالتماس
Continuity equation	معادلة الاستمرار
Conveyance of water	أنابيب وأقنية نقل الماء
Copper pipe	أنبوب نحاسي
Corrosion	تآكل
Cracks	أخاديد - شقوق
D	
Dechlorinating	إزالة الكلور
Daily demand	الاحتياج اليومي
Dead- end lines	خطوط الأنابيب ذات النهايات الميتة
Diffused Air	هواء مذرر
Digester	حوض هضم
Discharge	تصريف
Draw down	هبوط
Dry Weather Flow	جريان الطقس الجاف
Ductile iron	حديد مطاوع (فونت مرن)
Dug well	بئر محفورة
Dumping	الردم
Dupuit equation	علاقة ديبوي
E	
Electrolyte	الكتروليت

Elevated storage	خزان عالي
Energy	طاقة
Equilibrium flow	تدفق التوازن
Excavation	حفريات
Expansion joint	وصلة تمدد
Extended Aeration	التهوية المديدة
F	
Facultative Bacteria	بكتيريا اختيارية
Filamentous	خيطي
Filter	مرشح
Fire hydrant	مأخذ إطفاء حريق
Fittings for pipes	القطع الخاصة للأنابيب
Flame Trap	مصيدة لهب
Flanged pipe	أنبوب ذو فلنجات
Flexible	مرن
Flexible coupling	وصلة الرباط المرن
Float	فواشة
Flocculation	تشكيل الندف
Flotation	تعويم- تطويف
Flourescein	الفلوريسين
Flow pipe	أنبوب جريان
Flow pressure	الضغط أثناء الجريان
Fusion butt welding	لحام تناكبي انصهاري
G	
Galvanized steel	الفولاذ المغلفن
Gate valve	سكر بوابة

Gravity thickening	تكثيف ثقلي
Grit tank	حوض الراسب الرملي
reinforced plastic pipes Glass	الأنابيب البلاستيكية المسلحة بألياف الزجاج
Granite	غرانيت
Gravity well	بئر ثقالية
Ground water table	بساط الماء الجوفي
H	
Heterotrophic Bacteria	بكتيريا عضوية التغذية
Head loss	ضياح الحمولة
Horizontal well	بئر أفقية
Hydraulic Detention time	زمن الحجز الهيدروليكي
Hydraulic gradient	التدارج الهيدروليكي
I	
Influent	الوارد - الداخل
Impervious stratum	طبقة غير نفوذه
Inhibition of corrosion	كبح التآكل
K	
Kinetic energy	الطاقة الحركية
Kinematic viscosity	لزوجة حركية
L	
Laminar flow	جريان صفحي
Lead pipe	أنبوب رصاصي
Lift check valve	سكر عدم رجوع ذا رافعة
Limestone	حجر كلسي
Lysimetric	مقياس التحلل

M	
Mixed Liquor	المزيج المنحل
Modified Aeration	تهوية معدلة
Most probable Number	العدد الأكثر احتمالا
Multiple Hearth Furnace	الفرن متعدد الطبقات
N	
Neutralization	تحييد
Nitrification	نترجة
Nitrogenous Oxygen Demand	الاحتياج الاوكسجين في المرحلة النترات
Non-return valve	سكر عدم رجوع
Nutrient	غذاء
P	
Percolate	يرشح
Percolation capacity	طاقة التسرب
Permeability	قابلية النفوذ
Permeable	نفوذ
Pervious wall	جدار نفوذ
photosynthesis	التمثيل الضوئي
Plastic pipe	أنبوب بلاستيكي
Polyethylene pipes	أنابيب بولي إيثيلين
Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH _s)	الهيدروكربونات العطرية متعددة النوى
Positive Displacement pump	مضخة ذات ازاحة موجبة
Pressure relief valve	سكر تلطيف الضغط
Pressure well	بئر مضغوطة

Primary Sedimentation	ترسيب اولي
Primary Treatment	معالجة أولية
Pumping station	محطة ضخ
R	
Raw Wastewater	مياه مجاري خام
Rate of flow	معدل التدفق
Reactor	المفاعل (حوض التفاعل)
Reinforced concrete pipe	أنبوب من الخرسانة المسلحة
Relief valve	سكر تلطيف الضغط
Remote control	التحكم عن بعد
Return pipe	أنبوب راجع
Rigidity	صلابة
Rise and fall main	أنبوب رئيس بجريان ذاهب آيب
Rough pipe	أنبوب خشن
Rubidium	روبيديوم
S	
Sampling	أخذ العينات
Safe yield of an aquifer	الإنتاجية الآمنية للطبقة المائية
Safety valve	صمام أمان
Salt water intrusion	تطفل الماء المالح
Sand Filter	مرشح رملي
Sand stone	حجر رملي
Scouring Velocity	سرعة الجرف
Scraper	كاشط

Secondary Treatment	معالجة ثانوية
Sedimentary deposits	مخلفات رسوبية
Seepage	تسرب
Septic Tank	خزان التحلل (الحفرة الفنية)
Series Flow	جريان متتابع
Shale	طين صفحي
Shock absorber	ماص للصدمة
Sludge Conditioning	تكييف الحمأة
Sludge Density Index	دليل كثافة الحمأة
Sludge Dewatering	نزع المياه من الحمأة
Sludge Digestion	هضم الحمأة
Sludge Drying	تجفيف الحمأة
Sludge Incineration	حرق الحمأة
Sludge loading index	دليل تحميل الحمأة
Sludge Recirculation	اعادة تدوير الحمأة
Sludge Return Rate	معدل اعادة الحمأة
Sludge thickening	تكثيف الحمأة
Sludge Volume index	دليل حجم الحمأة
Softening point	نقطة التلين
Steady flow	جريان هادئ مستقر
Step Aeration	التهوية المجرأة
Stop tab	حنفية إيقاف

Strength	مقاومة
Substrate	الطبقة المغذية
Suction	امتصاص
Surface water	ماء سطحي
Surplus Sludge	الحمأة الزائدة
Suspended Solids	المواد الصلبة المعلقة
Synthesis Coefficient	عامل الاصطناع
T	
Thermistor	مقاوم حراري
Thermostatic control	تحكم حراري
Threaded	ملولب
Throttle valve	سكر خانق
Tile drain	مصرف آجري
Till	طين قاسي
Tilting disc check valve	سكر عدم رجوع ذا قرص مائل
Total Dissolved Solids	المواد الصلبة المنحلة الكلية
Total Suspended Solids	المواد الصلبة المعلقة الكلية
Toughness	متانة
Tower Filter	مرشح برج
Toxicity	السمية
U	

Underground flow	تدفق جوفي
Underground stratum	طبقة جوفية
Unplasticized polyvinyl chloride pipes(UPVC)	أنابيب البولي فينيل كلورايد غير اللدنة
V	
Vacuum breaker	كاسر انفراغ
Velocity	سرعة
Vent pipe	أنبوب تهوية
Victaulic joint	وصلة فيكتاوليك
Viscosity	لزوجة
Volatile Suspended Solids	المواد الصلبة المعلقة الطيارة
W	
Wastewater	مياه المجاري
Warning pipe	أنبوب مفيض وإنذار
Wastewater treatment plant	محطة معالجة مياه المجاري
Water – bearing bed	السرير الحامل للماء
Water – level indicator	مؤشر مستوى الماء
Water main	خط التغذية الرئيسي للماء
Water Hammer	مطرقة مائية

المراجع العربية

- أصفري أحمد فيصل 1991 "تصميم محطات معالجة مياه المجاري"، الشركة العربية لمعالجة المياه (AWTC).
- أصفري أحمد فيصل 1996، "معالجة مياه الفضلات الصناعية"، مؤسسة الكويت للتقدم العلمي.
- السلطة الوطنية الفلسطينية ، سلطة جودة البيئة، 2010 ، مقاييس ومعايير جودة و خصائص مياه الصرف الصناعي المصروفة إلى شبكه الصرف الصحي.
- الوقائع المصرية العدد 230 في 9 أكتوبر لعام 2000 قرار وزارة الاسكان و المرافق و المجتمعات العمرانية في جمهورية مصر رقم 44 لسنة 2000 الخاص بتعديل اللائحة التنفيذية للقانون رقم 93 لسنة 1962 في شأن صرف المخلفات السائلة.
- بلاش عمر 1987 " علم الجراثيم " منشورات جامعة حلب.
- بنود عبد الحكيم ، مراد آغا محمد أمجد ، 2010 - "معالجة مياه المجاري و المياه الصناعية " ، مديرية الكتب و المطبوعات ، جامعة حلب.
- تركماني ، عبد الرزاق ' محطات المعالجة بالنباتات ، 2009 ، موقع الهندسة البيئية.
- حجار سلوى 1987 " الهندسة الصحية-البيئة و مياه المجاري" مديرية الكتب و المطبوعات ، جامعة حلب .
- حجار سلوى ، 2006 ، معالجة مياه الشرب ، مديرية الكتب و المطبوعات الجامعية ، جامعة حلب .
- حجار سلوى، بنود عبد الحكيم ، حبوب محمد هثيم ، ضاي محمد، 2012 ، شبكات المياه والصرف الصحي مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية ، جامعة حلب ، سوريا.
- صغير عبدالله ، 2017 ، معالجة مياه الصرف الصناعي في الوطن العربي ، الدار العربية للعلوم ناشرون ، لبنان.
- فرهود ناهد: 2007 - "المعالجة البيولوجية لمياه المصانع باستعمال السرير المميع " ،رسالة دكتوراه أجازت في كلية الهندسة المدنية-أجازت في جامعة حلب- بإشراف الدكتورة سلوى حجار.

- هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية، 2008، "مواصفات المخلفات السائلة الناتجة عن النشاطات الاقتصادية المنتهية إلى شبكة الصرف العامة المواصفات القياسية السوري للمرمي في المجزور رقم 2580"، الجمهورية العربية السورية وزارة الصناعة.
- وزارة المياه و الكهرباء في المملكة العربية السعودية ،اللائحة التنفيذية، 2006 ، لنظام مياه الصرف الصحي المعالجة و إعادة استخدامها ،

English references

–Amin, M. M and Movahedian, H, 2005–"Performance evaluation of UASB system treating slaughterhouse wastewater", Sharif University of Technology And Esfahan University of Medical Sciences.

–Caixeta CE, Cammarota MC, Xavier AM. Slaughterhouse wastewater treatment: evaluation of a new three–phase separation system in a UASB reactor. Bioresource technology. 2002 Jan 1;81(1):61–9.

–City of Tacoma Environmental Services Source Control Oil Water Separator Policy”,2012, Chapter 11 Oil Water Separators. <http://cms.cityoftacoma.org/surfacewater/swm2012/V5-C11.pdf>

–City of Saskatoon, “Wetland Design Guidelines” 2014, https://www.saskatoon.ca/sites/default/files/documents/transportation-utilities/construction-design/new-neighbourhood-design/wetlands_design_guidelines.pdf

–Daigger . G.T.G.D .Waltrip.E.D Romm.and L.M.Morales, 1988: "Enhanced secondary treatment incorporating Biological nutrient removal ." Journal wpcf ,vol. 60,no.10.

–EUROPEAN COMMISSION , Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), 2003, Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry.

– Ghangrekar Makarand M .and Tom Keenan .2005– "Design of an UASB Reactor",Indian Institute of Technology Kharagpur.

– Ghangrekar, M. “Design of an UASB Reactor” Indian Institute of Technology Kharagpur, India. 2002. <https://www.scribd.com/document/86683056/Design-of-an-UASB-Reactor>.

–Holland, K.T.J.S Knapp .et al 1987 "Anaerobic Bacteria " Chapman and Hall New York.

-İDEAL ÇEVRE TEKNOLOJİLERİ, Reverse Osmosis Systems,2014.

http://www.idealsu.com/brosur/dobel_pass_RO_system.pdf.

-Lettinga, G and Tom Keenan. 2002- "anaerobic treatment\Anaerobic Biodegradability" National Environmental Services Agency (NESA)at <http://www.uasb.org>.

-Lettinga G, Hulshoff Pol LW.1991 UASB-process design for various types of wastewaters. Water science and technology.;24(8):87-107.

-Nguyen Tuan Anh and Tom Keenan, 2004 "Methods for UASB Reactor Design".National Environmental Services Agency (NESA).

-Patwardhan, A.D.2017.Industrial wastewater treatment. PHI Learning Pvt. Ltd.

-Saghir A, Hajjar S. 2018,The treatment of baker's yeast wastewater by an up flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. Environmental Research and Technology. 1(2):39-44. <https://dergipark.org.tr/en/pub/ert/issue/36278/409483>.

-Saghir A, Hajjar S. 2018,The treatment of Slaughterhouses wastewater by An Up Flow-Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 22(5):1378-84.

-Sludge treatment and disposal. 2007. biological wastewater treatment series , volume six, IWA publishing London.

-Tchobanoglous, G., Burton, F.L.1991, Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGraw -Hill, Inc, Metcalf & Eddy, Inc. Third ed. NEW YORK.

-Tchobanoglous, G., Stensel, H.D, Tsuchihashi, R., Burton, F. 2013,Wastewater Engineering, Treatment, and Reuse, McGraw -Hill, Inc, Metcalf & Eddy, Inc. Fifth ed. NEW YORK..

-The Composting Association. 2001),"Large-scale composting a practical manual", forthe UK.17) Nutrient removal from municipal wastewater".

-U.S Environmental Protection Agency.1987, "Phosphorus removal design manual" .EPA.september.

-United States Environmental Protection Agency.2000, Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters.

-U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development. 1988, "Design Manual Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment".

-Water Environment Federation (WEF) Third edition .2008, WEF Manual of Practice No. FD-3,"INDUSTRIAL WASTEWATER MANAGEMENT, TREATMENT, AND DISPOSAL.

-Worch, E .2012, Adsorption Technology in Water Treatment .Fundamentals, Processes, and Modeling, Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, Berlin/Boston.

الحمد لله رب العالمين تم بعون الله وقوته