كتاب
بعنوان

محطات معالجة مياه الصرف الصحي

د. فاطمة جعارة

المجموعة الهندسية للأبحاث البيئية
Exclusive
Environmental Engineering Group

إعداد
المجموعة الهندسية للأبحاث البيئية
www.env-gro.com

الفصل الأول
مياه الصرف الصحي

تعرف مياه الصرف الصحي بأنها التدفقات المائية بعد استخدامها من قبل الأفراد .

يتم تجميع مياه الصرف الصحي من عدة مصادر ،

وتعتمد الكميات التي يتم جمعها من تلك المصادر على نوعية نظام الجميع. ومن مصادر تلك المياه :

١. مياه استعمالات الاغراض المنزلية والتجارية وغيرها كالمدارس والفنادق والمطاعم .
٢. مياه الاستعمالات الصناعية .
٣. مياه الأمطار في حالة دمج شبكة المجاري بشبكة تصريف السيول .
٤. المياه المتسربة من عدة مصادر مائية وخاصة المياه الجوفية .

مصادر مياه الصرف

تختلف مواصفات مياه الصرف الواصلة إلى محطة المعالجة من موقع لآخر وفقاً ل:

آ – طبيعة السكان

ب – النشاط الصناعي في المنطقة المخدمة

ج – استخدام الأرض

د – مستويات المياه الجوفية في المنطقة

هـ – درجة الفصل بين مياه الجريانات المطرية و مياه الصرف الصحي

فمياه الصرف المنزلية تتضمن مياه من استخدامات المطابخ و الحمامات و مياه غسيل الملابس بالاضافى إلى أية نفايات يرميها الانسان عمداً أو من حوادث الإنسكاب في نظام شبكة الصرف الصحي

تتألف مياه الصرف البلدية من مياه الصرف المنزلية بالاضافة إلى التصريفات من المناطق التجارية و الصناعية و المنشآت العامة .

حجم مياه الصرف الصحي الواصلة إلى محطة المعالجة

إن حجم مياه الصرف الصحي بشكل عام هي حوالي 200 لتر للشخص و لكن يختلف مجال التدفق من قيمة أصغرية تعادل 20% إلى قيمة أعظمية تعادل 400% من القيمة الوسطية لتدفق الطقس الجاف في المجمعات السكنية الصغيرة و حوالي 200% من أجل المجتمعات الكبيرة

أما النفايات الصناعية فتختلف كماً و نوعاً باختلاف الصناعات المنتجة لها في المنطقة المخدمة، كما تختلف كميات مياه العاصفة المطرية التي تصل المحطة مع مياه الصرف الصحي تختلف حسب درجة الفصل بينهما ، فمعظم أنظمة الصرف الصحي الحديثة في العالم هي أنظمة منفصلة تجمع مياه الصرف في أقنية أو أنابيب منفصلة عن مياه الصرف الصحي بينما الأنظمة القديمة تجمع نوعي المياه في شبكة واحدة .

الصفات الفيزيائية لمياه الصرف

من الناحية الفيزيائية يمكن توصيف مياه الصرف بأنها ذات لون رمادي و رائحة نتنة و تمثل حوالي 0.1% مادة صلبة و 99.9% ماء

يمكن أن تكون المواد الصلبة معلقة (حوالي 30%) و منحلة (حوالي 70%) . يمكن أن نعمل على التخلص من المواد الصلبة المعلقة و الغروانية والمنحلة بعمليات معالجة فيزيائية أو كيميائية أو بيولوجية حسب طبيعتها ، لأن عدم التخلص منها يؤدي إلى ترسب هذه المواد المعلقة على قاع المجرى المستقبل و تعرضها للتحلل اللاهوائي و تنتقل المواد المنحلة إلى المجرى المستقبل لتسهم بتهور نوعيته و فساده.

الصفات الكيميائية لمياه الصرف

من الناحية الكيميائية تحوي مياه الصرف مركبات عضوية و لاعضوية وأشكال مختلفة من الغازات المنحلة ، كما أن المكونات العضوية فيها قد تتألف من:

- هيدروكربونات – بروتينات
- دهون – مواد دسمة – مواد ذات سطح فعال – زيوت
- مبيدات حشرات – فينولات – .. لخ

و المواد غير العضوية في مياه الصرف قد تتألف من:

- نيتروجين – فوسفور
- PH – قلوية
- كبريت – كلوريدات
- معادن ثقيلة – مركبات سامة – .. إلخ

في مياه الصرف المنزلية تكون المواد العضوية 50% و المواد غير العضوية 50% من مكونات مياه الصرف و لكن بما أن مياه الصرف تحتوي مواد صلبة منحلة بنسبة أعلى من محتواها من المواد الصلبة المعلقة فإن حوالي 85 – 90% من المكونات غير العضوية منحلة و أن 55 – 60 من إجمالي المكونات العضوية هي مواد منحلة.

الغازات التي توجد منحلة في مياه الصرف هي عموماً

- كبريت الهيدروجين – الميتان – الأمونيا
- الأكسجين – ثاني أوكسيد الكربون – النتروجين
- تنتج الغازات الثلاثة الأولى (كبريت الهيدروجين – الميتان – الأمونيا)

من تحلل المواد العضوية الموجودة في مياه الصرف بمساعدة الأحياء المجهرية المساعدة على التحلل.

الأحياء المساعدة على تحلل مياه الصرف.

إن مياه الصرف تحتوي من الناحية العضوية أحياء مجهرية مختلفة ، لكن الأنواع ذات الأهمية في المعالجة هي المصنفة على أنها أحياء دقيقة protista و نباتات plants و حيوانات animals.

يتضمن قسم الأحياء الدقيقة (protista) البكتريا و الفطور ووحيدات الخلية و الطحالب

يتضمن قسم النباتات (plants) السرخسيات والأشنيات والنباتات البذرية seed plants و النباتات الطحلبية liverworts

و يتضمن قسم الحيوانات animals اللافقاريات و الفقاريات.

إن القسم الأكثر أهمية فيما يتعلق بمعالجة مياه الصرف الصحي هو قسم اللأحياء الدقيقة protista و خاصة البكتريا و الطحالب ووحيدات الخلية، و تحتوي مياه الصرف الصحي على أحياء ممرضة تنشأ في الأساس من الناس الذين تعرضو للعدوى بهذه الأمراض أو الذين يحملون أمراضاً معينة.

إن التعرف على وجود الأحياء الممرضة في المياه العذبة و مياه الصرف أمر صعب ويستهلك وقتاً طويلاً من الزمن ، لكن مجموعات أحياء الكوليفورم توجد بأعداد كبيرة جداً في المياه و يسهل التعرف عليها ، تستخدم هذه الأحياء كدليل على وجود الأحياء الممرضة ولكن هذا الإختبار لا يعكس بشكل دقيق وجود أو غياب كل الأحياء الممرضة التي يمكن أن تكون موجودة في مياه الصرف المعالجة ، مثل الفيروسات.

الطرق المحتملة لتلوث الكتل المائية المستقبلة لمياه الصرف:

إن الكتل المائية المستقبلة لمياه الصرف يمكن أن تتلوث بطرق عدة منها:

أولاً– كمية فائضة من المواد المعلقة (مسببة ترسباً للطمي على سرير المجرى المائي

ثانياً– إزالة كلية أو جزئية للأكسجين المنحل الموجود في المجاري المائية المستقبلة ، تكون هذه الإزالة مؤثرة لدرجة تؤدي إلى قتل النباتات والأحياء الموجودة في الماء.

إن تفريغ كمية كبيرة من مياه الصرف إلى حجم صغير من الماء النظيف قد يؤدي إلى إزالة كاملة للأكسجين اللازم ، و إن أكسدة المواد العضوية الموجودة في مياه الصرف الداخلة نظام المجرى المائي المستقبل قد تحتاج

إضافة اكسجين بمعدل أكبر مما يتم تبادله بين الماء و الهواء الجوي المحيط . في هذه الحالة نجد أن مياه النهر تخلو تماماً من الأكسجين و ينتج عن ذلك وجود ظروف لاهوائية في مياه النهر،

ثالثاً – إذا حوت مياه الصرف مواد سامة فإن هذه المواد السامة تؤدي إلى انقطاع الحياة في المجرى المائي رغم وجود كمية من الأكسجين تكفي لتأمين ظروف هوائية مستقرة، فإذا تم تفريغ مياه الصرف إلى حجم مائي كبير كالبحر مثلاً حيث تتوفر كمية كافية من الأكسجين المنحل لأكسدة المواد العضوية فلن يكون هنالك ظروف مزعجة نتيجة لرمي مياه الصرف ، و مع ذلك قد توجد مشكلة من ترسب المواد الطافية على رمال الشاطئ وفي الحالات الشديدة قد توجد مشكلة تلوث جرثومي إذا لم يتم تصميم موقع المصب البحري بالعناية الكافية.

رابعاً: قد يتم تفريغ مواد منحلة غير عضوية مثل الفوسفور والنتروجين إلى نظام الكتلة المائية المستقبلة (مثل البحيرات أو الأنهار الكبيرة بطيئة الجريان) و هذا يساعد على النمو الزائد للطحاب على سطح الماء (ظاهرة الإنفجار الطحلبي) تتفسخ هذه المواد لتزيد من حمولة المواد العضوية على الكتلة المائية و تؤدي إلى وجود مشكلة تلوث عضوي في المياه المستقبلة

المعايير الدولية لتغريغ مياه الصرف إلى الكتل المائية

إن تزايد الحاجة إلى الماء النظيف يستدعي نظافة أكبر لمياه الأنهار و المصادر المائية للإستعمالات المختلفة (بشرية– صناعية– زراعية– استجمام .... الخ)

و هذا يجعل من الضروري تأمين معالجة كافية لمياه الصرف الصحي ، و تزداد الحاجة للمعالجة بتفاقم مشكلة ندرة الماء النظيف في العالم و خاصة حول التجمعات السكانية الكبيرة.

إن معايير نقاء أوصلاحية مياه الصرف للرمي في المستودعات المائية تهتم أساساً بتركيز المواد الصلبة المعلقة (SS) والإحتياج الاكسجيني البيوكيميائي(BOD_5^{20}) و ذلك تبعاً لنسبة تمديد مياه الصرف بمياه المستودع المائي المستقبل) حسب الجدول ( )

معالجة مياه الصرف

تتضمن معالجة مياه الصرف عمليتين أساسيتين هما:

١ – إزالة المواد الصلبة الطافية و المعلقة بوسائل ميكانيكية أو كيميائية

٢ – تخفيض الإحتياج الأكسجيني لمياه الصرف بطرق بيولوجية واستخدام النشاط الطبيعي امتعضيات و بكتريا حية.

و قد نحتاج أحياناً اللجوء إلى عملية معالجة ثالثة لإزالة بعضاً من الشوارد المنحلة غير العضوية الموجودة في مياه الصرف و التي يمكن أن تسبب مشاكل لو تم تفريغها في الكتلة المائية المستقبلة.

الجدول ( ) : معايير الجمعية البريطانية عن مواصفات مياه الصرف المسموح رميها في مستودع مائي تبعاً لنسبة التمديد

نسبة التمديد = حجم مياه المستودع المائي / حجم مياه الصرف	مراحل المعالجة اللازمة قبل رمي مياه الصرف إلى المستودع المائي
أكبر من 500	يمكن تصريف مياه صرف خام بعد أن تخضع لعملية تصفية . و إذا لزم الأمر إزالة الرمال الناتجة عن الطاحنات
500 – 300	يجب أن لا تزيد قيمة (SS) عن (150 ppm)
300 – 150	يجب أن لا تزيد قيمة (SS) عن (60 ppm)
150 – 8	$BOD_5^{20} \leq 20$ ppm $SS \leq 30$ ppm

وبما أنه من شبه المستحيل تأمين تمديد كبير لمياه الصرف إلا في حال تصريفها إلى مياه البحر ، و لضمان نقاء المجاري المائية فقد أصرت الجمعية الوطنية البريطانية على تطبيق المعيار الصارم 20/30 لكافة أنواع مياه الصرف الفرغة إلى المجاري المائية الداخلية.

كما تطلب الجمعية الملكية البريطانية أيضاً أ لا تزيد قيمة BOD_5^{20} في النهر أو المستودع المائي عن (4 ppm) بعد رمي مياه الصرف إليه، هذا وإن الجمعية الملكية البريطانية تعطي تصنيفاً لمياه المجاري المائية وفقاً للجدول رقم ( )

الجدول رقم ( ) تصنيف الجمعية الملكية البريطانية لمياه المجاري المائية تبعاً لمحتواها من BOD_5^{20}.

التصنيف	BOD_5^{20} PPm
سيئ	10
موضع شك	5
نظيف نوعاً ما	3
نظيف	2
نظيف جداً	1

حساب BOD لمزيج (نهر – مياه صرف)

$$BOD = (X + YZ)/ (Z + 1)$$

حيث

X : قيمة BOD لمياه الصرف المفرغة إلى النهر

Y : قيمة BOD لمياه النهر قبل نقطة تفريغ مياه الصرف

Z : عامل تمديد (مياه النهر/ مياه الصرف)

مثال : إذا كانت قيمة BOD_5^{20} لمياه الصرف المعالجة العادية هي (20 ppm) و كانت نسبة التمديد (1/8) و كانت قيمة BOD_5^{20} للنهر قبل نقطة التصريف هي(2 ppm)

BOD = للنهر بعد تفريغ مياه الصرف

(20 + 2 x 8) / (8 + 1)

BOD = 4PPm

اختيار موقع محطة معالجة مياه الصرف الصحي

١ الموقع الجغرافي Location

الموقع العام لمنشأة المعالجة

يشير تحديد الموقع العام لمنشأة المعالجة إلى ترتيب خاص للتجهيزات الفيزيائية اللازم للتوصل إلى أهداف المعالجة المعطية، وإن تحديد الموقع العام لمنشأة يتضمن تحديد مواقع الأبنية الإدارية و ابنية التحكم و أية منشأة ضرورية أخرى .

يتم عادة وضع عدة خيارات للموقع العام و يتم تقييم كل واحد منها قبل أن يتم الاختيار النهائي .

عوامل تحديد الموقع العام لمحطة معالجة

من العوامل التي يجب اعتبارها عند تحديد الموقع العام لمنشأة معالجة هي التالية :

١ – الوضع الهندسي لمواقع محطة المعالجة المتوفرة

٢ – الوضع الطبوغرافي

٣ – ظروف التربة و التأسيس

٤ – موقع المجرور الداخل إلى المنشأة

٥ – موقع نقطة التفريغ النهائي بعد المعالجة

٦ – الوضع الهيدروليكي للمنشأة ، يفضل وجود مسار جريان مستقيم بين الوحدات من أجل التقليل من ضياع الحمولة و لتأمين تناسق (متساوي) لفصل التدفق

٧ – أنواع العمليات الداخلة في المعالجة

٨ – أداء وكفاءة العملية

٩ – وجود منافذ للنقل

١٠ – إمكانية وصول الأفراد المسؤولين عن التشغيل

١١ – اعتمادية و اقتصادية التشغيل

١٢ – الناحية الجمالية

١٣ – التحكم و حماية البيئة

١٤ – الاحتياط من أجل توسع المنشأة في المستقبل بما فيها المساحة الإضافية

١٥ – الحفاظ على تباعد مقبول عن المناطق السكنية ومناطق العمل و استخدام العامة لمناطق التجهيزات التي يقترحها مخطط المشروع .

2 – المساحة اللازمة لموقع المحطة

يجب تخصيص مساحة كافية من أجل الترتيب المناسب لوحدات المعالجة وأنابيب و أقنية التوصيل بين وحدات المعالجة و كذلك يجب تخصيص حيز يكفي من أجل الوحدات اللازمة للتوسع المستقبلي.

يتضمن التوسع المستقبلي تأمين مساحة احتياطية من أجل زيادة استيعاب وحدات المعالجة الحالية و من أجل وحدات معالجة من نوع جديد تلزم لرفع الكفاءة بعد عملية إعادة التصميم إستيعاب الإحتياجات المستقبلية وعند وضع معايير أكثر صرامة للتدفق الخارج من محطة المعالجة.

3– إمكانية الوصول إلى موقع المحطة

يجب اختيار موقع المحطة بحيث يمكن استخدام الطرق المؤدية إلى المحطة في كافة ظروف الأحوال الجوية ويمكن استخدام خط سكة حديد جانبي إذا كان الأمر ممكناً من الناحية العملية.

عند تصميم فرش الأبنية و الطرقات و السياج و الممرات بين وحدات المعالجة يجب الأخذ بالحسبان ظروف فصل الشتاء عندما يحتاج الوضع إلى إزالة الثلوج ، فكل شجيرة shrubs تم زرعها يمكن أن تساعد في التخفيف من حدة الريح الباردة إذا وضعت في المكان الصحيح و يمكن أن تسبب انجرافات و تتعارض من عملية إزالة الثلوج إذا تم زرعها في مكان خاطئ

الإعتبارات الأساسية لتصميم محطات المعالجة

١ – معلومات أولية للدراسة

يتم تحديد المعالجة اللازمة من معرفة :

a. مواصفات التدفق الداخل إلى المحطة
b. المواصفات المطلوب تأمينها في التدفق الخارج من المحطة بعد المعالجة
c. عمليات المعالجة التي تنتج مياه معالج بمواصفات مقبولة

يتم تحديد مواصفات التدفق الداخل إلى محطة المعالجة بتحاليل مخبرية لعينات تم جمعها من مجارير مياه الصرف ، و في حال التصميم لبدة لا توجد فيها شبكة للصرف بعد يمكن الاستعانة بتحاليل لمجارير بلدة مشابهة للبلدة المدروسة من حيث الكثافة السكانية و طريقة المعيشة ، وإذا تعذر ذلك أيضاً يمكن اعتماد قيم معيارية معتمدة لمياه الصرف في المنطقة.

يتم اختيار عمليات المعالجة وفقاً لاعتبارات مواصفات التدفق الداخل و الخارج ولإعتبارات فنية و اقتصادية.

٢ – عدد السكان التصميمي Design population

تعتمد سعة المعالجة على عدد السكان التصميمي الذي يتم التنبؤ به من التحاليل السكانية.

يتم تحديد عدد السكان التصميمي باضافة العدد الإجمالي للسكان و ثلث الأعداد للأفراد غير المقيمين ، يحسب عدد الأفراد من فرض عدد معين يسكنون المنزل الواحد. و في المستشفيات نجمع عدد أسرة المستشفى بالإضافة إلى عدد الأفراد الذين يأكلون ثلاث وجبات في المستشفى و يعد الفرد مرة واحدة في بيته أو في عمله يعد معرفة العدد الإجمالي للأفرد المستفيدين من المشروع يجب ضرب الناتج بعامل السعة المذكور في الجدول (1) للحصول على العدد التصميمي للسكان.

الجدول (1) عامل السعة

عدد السكان الفعال	عامل السعة
5000	1.5
5000	1.5
10000	1.25
20000	1.15
30000	1.10
40000	1.05
50000	1.00

٣ - تقدير احتياجات الخدمة المستقبلية

طبيعة النشاطات السكانية المنتجة لمياه الصرف.

إن طبيعة السكان و مستوى المعيشة هو عامل هام جداً في تحديد صرف الفرد الواحد من مياه الصرف لأن اختلاف النشاط و نوع الحياة يؤدي إلى اختلاف كبير في استعمالات المياه

يبين الجدول (2) هذه العوامل بواحدة لتر في اليوم للفرد الواحد و يبين الجدول (3) كيف تختلف حمولة النفايات بين الأفراد المقيمين و غير المقيمين. في حال تخديم أفراد يمتلكون طاحن نفايات في المطبخ يجب زيادة القيم في الجدول (3) كما يلي:

قيمة BOD 30%

قيمة SS 100%

محتوى الزيوت والشحوم 40%

أما إسهام التدفقات من المناطق الصناعية و التجارية فيجب تقييم التدفق و التحميل فيها من أجل كل حالة على حدة.

الجدول (2) تدفقات الصرف للفرد الواحد

نوع النشاط المنتج لمياه الصرف	من أجل الأفراد المقيمين(لتر في اليوم)	
	إقامة دائمة	إقامة مؤقتة
مشافي	1135 - 2270	378
باقي النشاطات	378	132

الجدول (3) مواصفات مياه الصرف (تحميل الفرد من الملوثات الرئيسة)

	من أجل الأفراد المقيمين	
العنصر الملوث	أفراد مقيمين غرام لشخص في 24 ساعة	أفراد غير مقيمين غرام للشخص في دورية 8 ساعات
المواد الصلبة المعلقة SS	90	45
الإحتياج الأكسجيني BOD	90	45
الزيوت و الشحوم	40	22

التدفقات التصميمية في حال شبكات الصرف المشتركة

إن كمية مياه الصرف التي تصل منشأة المعالجة في الطقس الجاف تدعى تدفق الطقس الجاف و يرمز لها ب (DWF) ، يستعمل هذا الر قم في تصميم وحدات المعالجة و هو يتعلق باستهلاك الماء من قبل أفراد التجمع السكاني ن و يؤخذ عادة 150 إلى 220 لتر / شخص في اليوم.

عند تقدير قيمة (DWF) يجب أن تؤخذ بالحسبان رشوحات المياه الجوفية إلى داخل أنابيب الصرف (تقاس عادة في ساعات الصباح الباكر من الساعة الواحدة والرابعة صباحاً) . و إذا لم يكن القياس ممكناً يقدر الرشح تبعاً لعمر و نوع أنابيب الصرف و لظروف طبقات التربة تحت المجارير.

للحصول على اسهام الصناعات و التصريفات الزراعية في مياه الصرف الداخلة إلى منشأة المعالجة يمكن توزيع استبيان على المستفيدين من شبكة الصرف للحصول على معلومات عن طبيعة مياه الصرف الصناعية و الكمية المصرفة يومياً و معدل التصريف الساعي الأعظمي من أجل كل منشأة صناعية على حدة.

و إذا لم تتوفر معلومات مفصلة عن التصريفات الصناعية ، خاصة من أجل المصانع التي يتوقع أن تقام مستقبلاً في مناطق التوسع.

يمكن تقدير تدفقات مياه الصرف الصناعية على أساس عدد السكان المعادل و الذي يقدر ب 75 شخصاً للهكتار و بحيث يصرف الشخص الواحد مياه صرف قيمتها 220 لتر في اليوم. هذه القيمة تصرف من المنطقة الصناعية خلال فترة 12 ساعة من اليوم و هي قيمة تفترض عدم وجود تدفقات كبيرة غير عادية من المنطقة الصناعية و تعطى قيمة أعظمية قدرها 28 لتر/ دقيقة للهكتار الواحد من مساحة المنطقة الصناعية المفترضة.

تعطى عادة معالجة كاملة (معالجة فيزيائية + معالجة بيولوجية) لكمية تقدر ب:

(3DWF) من مياه الصرف المنزلية + معدل التدفق الساعي الأعظمي لمياه الصرف الصناعية .

يعطى معالجة ابتدائية و معالجة لمياه العاصفة المطرية من أجل تدفق قدره

(3- 6 DWF) من مياه الصرف المنزلية، أما ما زاد عن

(6 DWF) إذا ما وصل إلى منشأة المعالجة فإنه يعرّض لعملية تصفية فقط ثم يصرف إلى أقرب مجرى مائي.

التدفقات التصميمية في حال شبكات الصرف المنفصلة

إن سعة محطة معالجة مياه الصرف في حال شبكات الصرف المنفصلة تعتمد على معدل الجريان اليومي السنوي (المعدل يوم معين من السنة) المحسوب في السنة التي يتم فيها التصميم، لكن من الناحية العملية يجب تصميم محطة معالجة مياه الصرف لتحقق عدداً من الشروط التي تتأثر بمعدل الجريان و مواصفات مياه الصرف كما يجب أيضاً الأخذ بالاعتبار الظروف في حالة الذروة بما فيها معدلات الجريان في حالة الذروة و معدلات التحميل الكتلي في حالة الذروة (أكبر معدل تدفق و أكبر معدل تحميل كتلي) .

إن قيمة الذروة لمعدل الجريان الهيدروليكي هو أمر هام لأنها تسمح للمصمم بتقدير سعات وحدات المعالجة و أقنية التوصيل بحيث يمكنها أن تعمل بشكل مرضٍ في كافة الظروف بما فيها حالة الذروة.

بالإضافة إلى ما سبق ، يجب الأخذ بالحسبان فترات بدء التشغيل ، و التشغيل في حال التدفقات المنخفضة و الحمولات المنخفضة.

يبين الجدول ( ) العوامل النموذجية لمعدلات التحميل و الجريان المستخدمة من أجل تصميم و تشغيل معدات محطة معالجة مياه الصرف الصحي.

إن الأهداف العامة لمعالجة مياه الصرف الصحي هي تأمين نظام معالجة قادر على التعامل مع مجال واسع من ظروف مياه الصرف بما يتوافق مع احتياجات التشغيل المناسب ، لتحقيق هذا الغرض يجب فهم تأثير عوامل التحميل و معدلات الجريان فهماً جيداً

التدفق الوسطي اليومي لمياه الصرف الصحي

يتم حساب معدل الجريان الوسطي اليومي و الذي يستخدم لتصميم محطات المعالجة الجديدة كناتج ضرب عدد السكان بتدفق الفرد الواحد المأخوذ من الجدول (2) ثم يعدل من أجل الجريانات الصناعية و رشوحات الداخلة من مياه المطر أو من المياه الجوفية.

في حال وجود قسم من الأفراد يعملون بنظام دوام الدوريات يتم حساب الجريان في الأوقات ال 1ي يوجد فيها معظم الأفراد بدوام عملهم.

يمكن التأكد من دقة الحساب إذا كان تدفق الصرف (عدا رشوحات المياه الجوفية) يعادل (80%- 60) من مالمياه العذبة المستهلكة أما باقي ال (40 %- 20) فتضيع بري المزروعات غسيل الأرضيات و نقاط إستخدام المياه غير المربوطة بشبكة الصرف .

آ – تغير تدفقات مياه الصرف

إن معدل تدفق مياه الصرف تختلف على مدى اليوم و يعتمد تصميم وحدات المعالجة على التدفق الوسطي اليومي أما عناصر النقل مثل الأقنية و السيفونات وآليات توزيع التدفق فإنها تصمم على أساس معدل تدفق الذروة المتوقع ويساوي ثلاث مرات التدفق الوسطي . و تصمم المروقات على أساس تدفق الذروة الساعي (معدل الجريان الوسطي اليومي 1.75x) .

يلزم أخذ معدل الجريان الأصغري بالاعتبار عند تصميم وحدات معالجة خاصة مثل أحواض حجز الرمال ووسائل قياس التدفق ووسائل إعطاء الجرعات الكيميائية إن لزمت ؛ في هذه الحالة تستخدم قيمة (40%) من معدل الجريان الوسطي

ب- التدفقات الصناعية

عند وجود تصريفات صناعية يفضل حساب التصريفات لكل صناعة على حدة مع معرفة فيما إذا كان الصرف الصناعي مستمراً أو متقطعاً و زمن و مدة حدوث التصريفات المذكورة .

التصريفات الصناعية الخفيفة النموذجية تتضمن الصرف من ما يلي:

- من محطة المعالجة نفسها
- مناطق الصيانة
- مناطق غسيل السيارات
- مياه غسيل برك السباحة
- الغسيل العكسي في محطات معالجة مياه الشرب
- غسيل مياه أبراج التبريد
- معدات إطفاء الحريق
- محابر التصوير
- المخابر الطبية و السنية

الجدول ( ): العوامل النموذجية لمعدلات التحميل و الجريان المستخدمة من أجل تصميم و تشغيل معداتن محطة معالجة مياه الصرف الصحي.

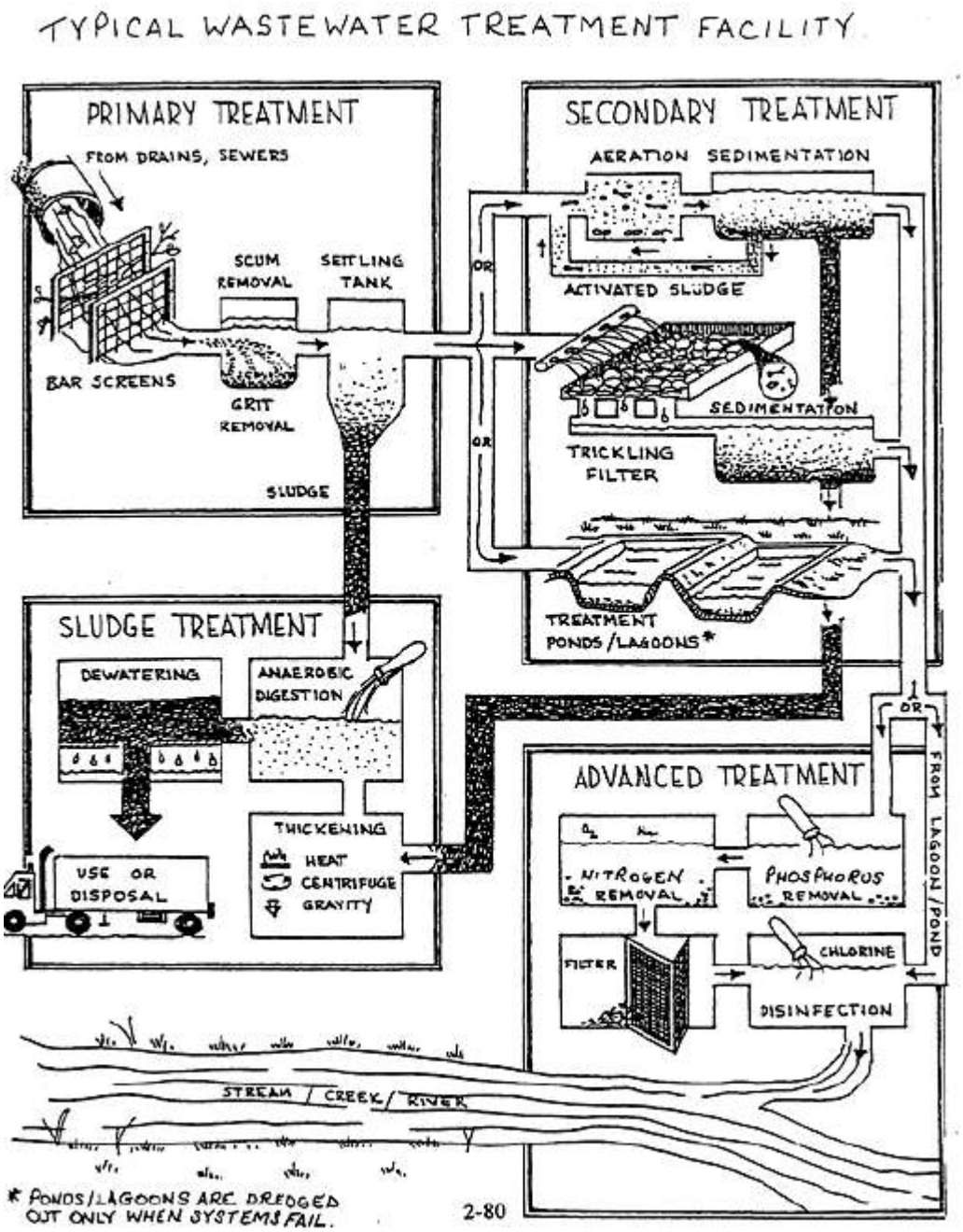
التطبيق على أساس معدل الجريان	العامل
من أجل : - تحديد حجوم معدات الضخ و أقطار الأنابيب و أبعاد أقنية التوصيل - تحديد أبعاد عناصر المصفاة القضبانية - تحديد سعات وحدات المعالجة الفيزيائية مثل o أحواض حجز الرمال o أحواض الترسيب o المرشحات - تحديد سعات أحواض تماس الكلور	تدفق ساعة الذروة
تصميم نظام ضخ الحمأة	تدفق أعظمي يومي
تحديد كميات رواسب حوض حجز الرمال و كمية المواد المحجوزة خلف المصفاة القضبانية	أكبر من التدفق الأعظمي اليومي
تقديم تقارير و حفظ سجلات	تدفق أعظمي أسبوعي
تقديم تقارير و حفظ سجلات و تحديد حجم و معدات تخزين المواد الكيميائية	تدفق أعظمي شهري

تحديد أوقات أيقاف الضخ و معرفة القيم المنخفضة لتدفقات المحطة	تدفق ساعي أصغري
- تحديد أبعاد أقنية دخول الماء من أجل التنبؤ بتراكم الرواسب و اتخاذ الاختياطات المناسبة تحديد مدى الحاجة لتدوير التدفق في المرشحات الحجرية	تدفق يومي أصغري
اختيار العدد الأصغري لوحدات المعالجة اللازم تشغيلها أثناء فترات معدل الجريان المنخفض	تدفق شهري أصغري

التطبيق على أساس معدل التحميل الكتلي	العامل
تحديد حجم وحدات المعالجة البيولوجية المختارة	تدفق يومي أصغري
تحديد حجوم أنظمة تكثيف الحمأة و إزالة الماء عن الحمأة	أكبر من التدفق الأعظمي اليومي
تحديد حجوم وحدات معالجة الحمأة	ذروات التغذية
تحديد حجوم معدات تخزين الحمأة و حاجات تركيب السماد	تدفق أعظمي شهري
تحديد أوقات الحاجة لإيقاف النظام عن العمل	تدفق أصغري شهري
تحديد أبعاد نظام إعادة التدوير للمرشحات الحجرية	تدفق يومي أصغري

الفصل الثاني

المعالجة التمهيدية



قبل بدء عملية المعالجة لمياه الصرف يجب أن تتم معالجة تمهيدية تتضمن عدداً من عمليات المعالجة الفيزيائية و الميكانيكية تهدف إلى حماية معدات تشغيل محطة معالجة مياه الصرف ، يتم ذلك بإزالة أية مواد كبيرة الحجم يمكنها أن تسد أو تعطل المضخات أو تتعارض مع عمليات المعالجة اللاحقة ، لذلك تصمم وسائل المعالجة التمهيدية لتحقق مايلي:

١. إزالة المواد الصلبة المعلقة الكبيرة الحجم أو العمل على تصغير حجمها بالتفتيت، قد تتكون هذه المواد الصلبة من قطع خشبية، قماش، ورق، بلاستيك، .... إلخ ، مع بعض المواد البرازية.
٢. إزالة المواد الصلبة الثقيلة غير العضوية مثل الرمل و الحصى بالإضافة إلى المعادن و الزجاج ، هذه المواد تدعى grit (رمال أو أية مواد خشنة).
٣. إزالة الكميات الزائدة من الشحوم أو الزيوت.
٤. التصفية (الدقيقة) Straining

يمكن استعمال عدد من المعدات للتوصل إلى أغراض المعالجة التمهيدية.

التصفية screening

توجد المصافي أحياناً عند مدخل محطة الضخ حيث يمكن لقطع القماش/ rags/ و الورق و المواد الخشنة الأخرى أن تسبب أعطالاً و تلتف على شفرات المضخات و تقلل كفاءتها .

قد توضع المصافي أيضاً عند منشأة الفضال لمياه الصرف لتمنع المواد الخشنة من إفساد المياه المستقبلة.

تصنيف المصافي Classification of screens

يختلف تصنيف المصافي وفقاً ل:

١ - حجم الفتحات (خشنة – متوسطة – ناعمة)

٢ - طريقة التركيب (على شكل رفش بمسننات rakes – مصفاة قضبانية bar– مصافي شبكية mesh)

٣ - طريقة تنظيف المواد المحجوزة خلف المصفاة (تنظيف بالمشط بطريقة يدوية manually-raked – تنظيف بالمشط بطريقة آلية mechanically-raked – تنظيف بالنافورة المائية water-jet)

٤ - تصنف أيضاً وفقاً لإمكانية حركة سطح المصفاة (ثابتاً أو متحركاً)

تتسخدم عادة وسيلة للتصفية و التفتيت بآن واحد screening and maceration

المصافي الثابتة

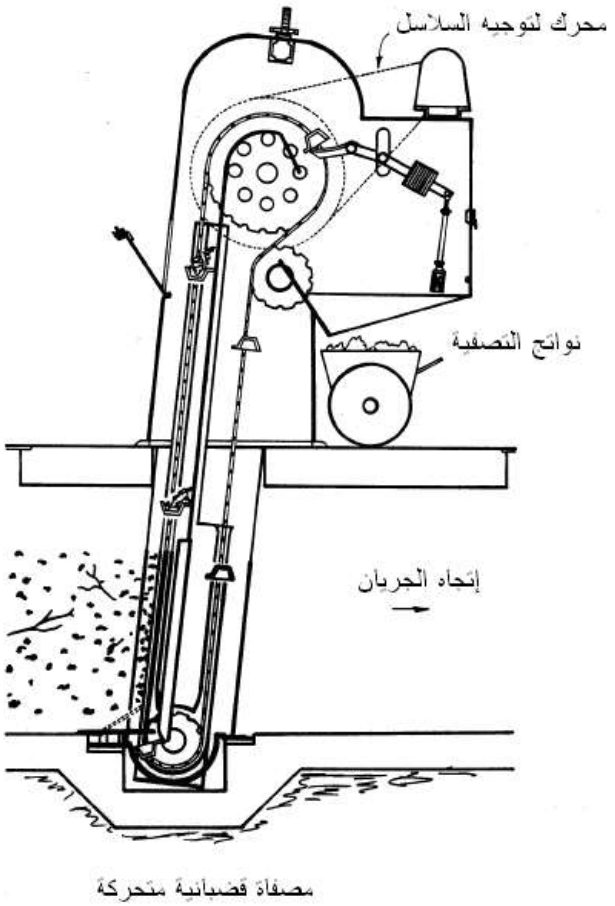
مصافي المسننات و القضبان _ *Rakes and bar screens*

هي أبسط أشكال للمصافي تستخدم عند مدخل محطة المعالجة و تعتمد كفاءة عملها على البعد الصافي بين قضبان المصفاة .

أ – يتم تصفية المواد الناعمة نسبياً من أجل تباعد أقل من 10 mm

ب – يتم تصفية المواد المتوسطة من أجل تباعد 20 – 10 mm

ت – يتم تصفية المواد الخشنة من أجل تباعد يزيد عن 60 - 20 mm



مصفاة قضبانية متحركة

يسبق المصافي الناعمة عادة عملية تصفية أولية خشنة لحماية المصافي الناعمة من الكسر بالمواد كبيرة الحجم أو للتقليل من الضياع الكبير للحمولة الذي يسببه تراكم المواد خلف المصفاة.

تتألف المصافي القضبانية عادة من قضبان بتباعد 15 cm – 2 و المصافي الأكثر استخداماً هي بمسافة حرة بين القضبان 2.5-5 cm .

تركب المصافي كبيرة الحجم لتكون شاقولية أحياناً لكن معظم المصافي القضبانية تركب بزاوية ^{o} 60 – 45 على الشاقول ، تمر مياه الصرف من خلال القضبان و تتراكم المواد الكبيرة الحجم المحجوزة خلف القضبان لتنظف على فترات

قد تنظف المصافي يدوياً أو بوسائل آلية ، و يفضل التنظيف الآلي عند معدلات التدفق العالية أو من أجل مياه صرف تحوي حمولة عالية من المواد الصلبة .

لتقليل العمل اليدوي قدر الإمكان تم تحويل عمل المصافي إلى العمل الآلي في معظم محطات المعالجة، و حتى في محطاة المعالجة الصغيرة الحجم يصبح التنظيف الآلي ضرورياً في حال وجود أوراق النباتات والأغصان في فصل الخريف ، فهذه الأوراق عندما تصل إلى المصفاة غالباً ما تسبب انسدادها بشكل كامل خلال دقائق.

يتم حماية المصفاة القضبانية الأوتوماتيكية بوضع مصفاة قضبانية خشنة أمامها تنظف يدوياً.

تجمع المواد المحجوزة خلف المصفاة بحجوم معينة تحسب من التواتر المقبول للتخلص من هذه المواد، و يتم التخلص من المواد المجموعة بالطمر أو الحرق.

تصميم المصافي

إن العوامل الرئيسة التي يجب اعتبارها عند تصميم المصافي هي:

أ – متانة و دوام المادة التي تتكون منها المصفاة

يستخدم الفولاذ المطاوع mild steel لصنع المصافي و لكن قد يلزم البحث عن مواد أخرى مقاومة للتآكل عند وجود مياه تساعد على التآكل الكيميائي ، يجب أن تكون متانة مادة المصفاة تكفي لتتحمل تأثير المواد الطافية كبيرة الحجم و القوى التي تطبق من وسائل التنظيف الآلية .

ب – المساحة الصافية بين الفتحات

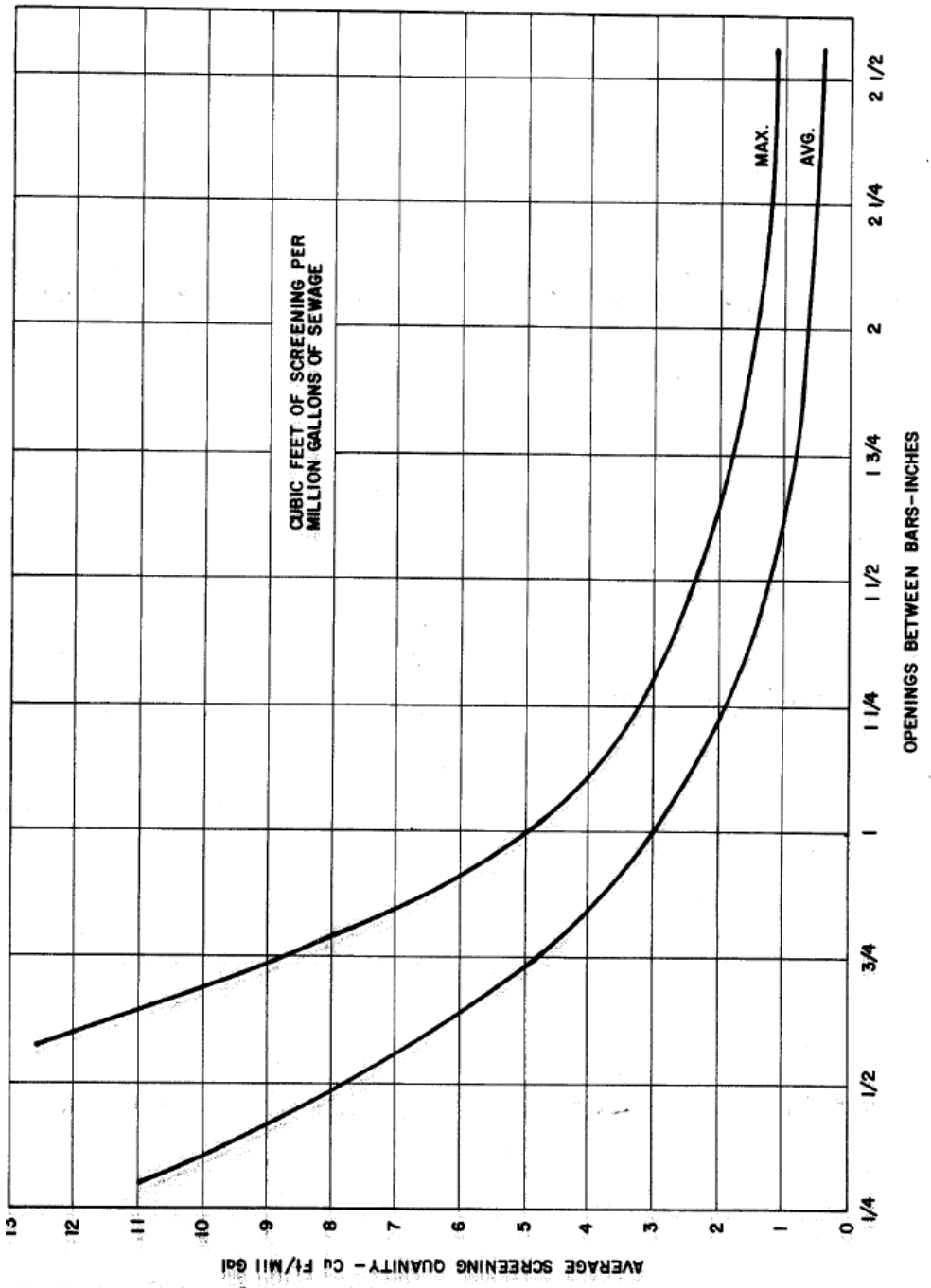
– إن سرعة العبور المتوسطة المقبولة بين القضبان هي 0.6 m/s و قيمة 1m/s عند قيم التدفق التصميمي الأعظمي، هي سرعة تطبق على المسافة بين القضبان التي ما تزال نظيفة تسمح بمرور الماء.

– و إن مساحة الجزء الفعال من المصفاة يحدد حسابياً و يجب أن لا يقل عن ضعف مساحة المقطع المائي الحي للجريان ضمن قناة الإقتراب في حال التنظيف اليدوي و لا يقل عن 1.2 من المقطع نفسه في حال التنظيف الآلي

ت – تحدد السرعة الأعظمية المسموحة في قناة الاقتراب بحيث لا تسبب انجرافاً للمواد خلال فتحات المصفاة و تحدد السرعة الأصغرية للماء في قناة الإقتراب بحيث تمنع ترسب المواد الناعمة على أرضية القناة

لمنع ترسب الرمال في قناة الإقتراب (قبل القضبان مباشرة) يلزم تأمين سرعة جريان أصغرية و إن قيمة السرعة المسموحة هي 0.4 m/s – 0.3 و هي تكفي لمنع تراكم المواد المترسبة في قناة

إن سرعة الإقتراب في القناة قبل المصفاة مباشرة تكون عادة بطيئة خاصة في حالة المصافي القضبانية الناعمة التي تكون فيها مساحة الفتحات أقل من 50% من مساحة القناة، في هذه الحالة تتراكم المواد الصلبة المترسبة أمام المصفاة و يجب إما منع هذا الترسب بتحريك الماء أمام المصفاة أو إجراء تنظيف ذاتي يومي لهذه الرواسب.



U. S. Ary Corps of Engineers

FIGURE 7-2 ESTIMATE OF SCREENINGS COLLECTED ON BAR SCREENS

مقطع قناة الإقتراب

لإختيار المقطع المناسب لقناة الإقتراب و بعد معرفة التدفق التصميمي الأعظمي لمنشأة المصافي و التدفق اليومي الأعظمي نتبع الخطوات التالية:

نوجد تدفق مياه الصرف نقسمه على السرعة المسموحة بين القضبان (0.6 من أجل التدفق اليومي الوسطي و 1 m/s من أجل التدفق الأعظمي المار عبر المصفاة) فنحصل على المساحة الحسابية

نقسم المساحة الحسابية على الكفاءة f(مأخوذة من الجدول) نوجد المساحة المبلولة اللازمة للتصفية

$$f = w/(w +b)$$

حيث: b المسافة الحرة بين القضبان و w عرض مقطع القضيب

العرض الأصغري للقناة 0.6 m و الأعظمي 1.2 m .

قطر قضبان المصفاة (مم)	حجم الفتحات بين القضبان (مم)	كفاءة التصفية
6	25	0.806
8	25	0.757
10	25	0.714
12	25	0.675
14	25	0.641

يفضل أن تكون مياه الصرف في القناة بارتفاع قليل حتى نتجنب الضياع الكبير للحمولة عبر المصفاة.

لذلك فإن العمق المسموح في القناة يلعب دوراً في تحديد أبعاد القناة،

عرض القناة هو ناتج قسمة المساحة المبلولة على الإرتفاع المفروض للماء في القناة

f عامل الكفاءة للقناة القضبانية محسوبة من العلاقة أعلاه

قطر قضبان المصفاة (مم)	حجم الفتحات بين القضبان (مم)	كفاءة التصفية
6	25.4	0.800
7.8	25.4	0.768
9.5	25.4	0.728
11	25.4	0.696
12.7	25.4	0.667

ث – ضياع الحمولة عبر المصفاة

إن الحسابات الهيدروليكية تحدد الحمولة الهيروليكية اللازمة لتركيب المصفاة :

$$h = \beta\left(\frac{w}{b}\right)^{4/3}\frac{V_a{}^2}{2g}\sin\theta$$

h: ضياع الحمولة عبر المصفاة (m)

β: عامل الشكل و يساوي 2.4 من أجل قضبان ذات مقطع مربع الشكل

w: العرض الأعظمي للقضبان

V_a: سرعة الإقتراب في القناة أمام المصفاة (m/s)

g: تسارع الجاذبية الأرضية (m/s^2)

θ: زاوية ميلان القضبان عن الأفق (هي عادة 30^o)

b : المسافة الحرة بين القضبان

تستخدم العلاقة السابقة لتحديد الضياع الهيدروليكي الأصغري عبر المصافي عند معدلات جريان مختلفة و لكنها لا تفيد بعد تجمع المواد على سطح القضبان

يجب الأخذ بالحسبان الزيادة الأعظمية لضياع الحمولة التي يمكن أن تحصل تحت الظروف الحرجة و التدفق الأعظمي و التواتر الأصغري لتنظيف المصفاة، ففي حالة المصافي التي تنظف آلياً يمكن تأمين نظام تنظيف أوتوماتيكي عند الوصول إلى قيمة أعظمية لفرق منسوب الماء أمام و خلف المصفاة ولكن في حالة المصافي ذات التنظيف اليدوي يجب تأمين مسافة حرة فوق سطح الماء في قناة الإقتراب لتجنب خطر امتلاء القناة عند التدفقات الأعظمية و المصفاة في حال تراكم الأوساخ خلفها.

أحواض حجز الرمال Grit chambers

إن أحواض حجز الرمال هي جزء هام في عملية معالجة مياه الصرف فالمواد غير العضوية يمكن أن تسبب تخريباً كبيراً للأنابيب و المعدات الميكانيكية في محطة المعالجة

إن المواد غير العضوية الموجودة في مياه الصرف الصحي تتألف من مواد صغيرة غير عضوية مثل حبات القهوة و الرمل و قشور البيض و الحصى، لا يمكن معالجة هذه المواد في عمليات المعالجة البيولوجية و يمكن أن تسبب تآكلاً للمضخات ومعدات جمع الرواسب في أحواض الترسيب التقليدية.

يتم إزالة الرمال (Grit) في قناتين طويلتين ضيقتين تحوي أدات لكشط الرمال من القاع "scraper" و ترميها في حوض خاص ، عند امتلاء هذا الحوض تسحب منه الرمال بوساطة لولب خاص (يشبه أبرة الحفر auger) هذه الأداة تسمح بعودة المياه الموجودة في الحمأة ثانية إلى حوض الرحجز الرمال لتنقل إلى مراحل المعالجة اللاحقة (حوض الترسيب الإبتدائي)

تصمم عادة أحواض حجز الرمال لترسب الجزيئات الكبيرة الحجم نسبياً (بقطر أكبر أو تساوي 0.2 mm) أما الجزيئات الأنعم (بقطر أقل من 0.2 mm) فيجب التأكيد على عدم ترسبها في هذه الأحواض لأنها في الغالب مواد عضوية يجب أن تنقل لتعالج في المراحل اللاحقة.

أنواع أحواض حجز الرمال:

١. الأحواض ذوات السرعة الثابتة
٢. الأحواض المهواة
٣. الأحواض ذوات التحريك الميكانيكي

- **الأحواض ذوات السرعة الثابتة**

تتألف المنشأة من حجرة لحجز الرمال مع وسيلة للتحكم بالسرعة ، و هي على شكل قناة طويلة يتم ضبط سرعة الجريان في هذه القناة بحيث يمكنها أن تعمل كحوض ترسيب يجب أن يؤمن سرعة جريان ثابتة أقرب مايكون من السرعة 0.3m/s مهما تغيرت قيمة التدفق يتم ذلك عن طريق تصميم مقطع القنات بشكل يحافظ على السرعة مهما تغير ارتفاع الماء في القناة

نهاية القناة يتحول مقطع الجريان إلى مقطع مستطيل فيه مقطع تحكم ، يعمل هذا المقطع كوسيلة لقياس التدفق بقياس ارتفاع الماء قرب هذا المقطع .

يجري نصميم كل من مقطع التحكم و حوض حجز الرمال بآن واحد بحيث تكون سرعة جريان الماء ثابتة (بقيمة محددة في قناة حجز الرمال من أجل كافة قيم التدفق ووجد أن السرعة (0.25 – 0.35) تسمح بترسب معظم حبات الرمال ذوات القطر 0.2mm أو أكبر و تبقى المواد العضوية معلقة لتخرج من الحوض دون ترسيب.

يمكن التوصل إلى السرعة الثابتة بإنشاء قناة ذات مقطع على شكل (قطع مكافئ) تنتهي بمقطع تحكم مستطيل الشكل أو بواسطة حوض حجز رمال مستطيل مركب عليه هدار ذو شكل خاص يحافظ على سرعة ثابتة و يستخدم لقياس التدفق و غالباً ما يتم تبني الحالة الأولى.

قياس التدفق

رغم أن وسائل قياس التدفق ليس لها دور في علاج مياه الصرف لكنها جزء ضروري من أجل التشغيل الجيد لوحدات المعالجة، يتم قياس التدفق عند المدخل والمخرج و لتحديد التدفق الراجع في محطات المعالجة الكبيرة الحجم ؛ و يقاس عند مخرج المحطات صغيرة الحجم ، فبدون قياس التدفق لا يمكن للمشرف على تشغيل المحطة أن يعرف الحالة الهيدروليكية و التحميل العضوي لمحطة المعالجة أو معدلات التحميل المفرغة إلى المياه المستقبلة.

يقاس التدفق في مكانين من محطات معالجة مياه الصرف :

- في أقنية مكشوفة حيث يكون الجريان بالجاذبية الأرضية (بالراحة)
- في أنظمة الضخ (أنابيب مليئة) .

وسيلة قياس التدفق في الأقنية المكشوفة:

إن الوسيلة الأكثر شيوعاً لقياس التدفق في الأقنية المكشوفة ولا تستخدم الأقنية مستطيلة الشكل بنفسها لهذه الغاية بسبب عدم الدقة و المشاكل الأخرى. و إنما نلجأ إلى إنشاء وسيلة قياس تساعد في تشكيل مقطع حرج حيث يمكن قياس التدفق من معرفة إرتفاع الماء في القناة .

من وسائل القياس الذي يتوفر فيه شرط تشكل المقطع الحرج هي المقاربات *Flumes* **و الهدارات** *weirs*

المقاربات *Flumes*:

إن المقارب هو منشأة يتم بناؤها ضمن قناة مكشوفة، فعند حصول تقلص في مقطع الجريان يرتفع مستوى الماء فيه و يكون تدفق الماء متناسباً من ارتفاعه في القناة .

و تكون سرعة الجريان عبر المقارب ثابتة ، و بسبب ذلك نحتاج لقياس الارتفاع فقط للحصول على قيمة التدفق (بفرض ثبات عرض المقطع)، عندها يمكن حساب التدفق من العلاقة .

$$Q = A \times V$$

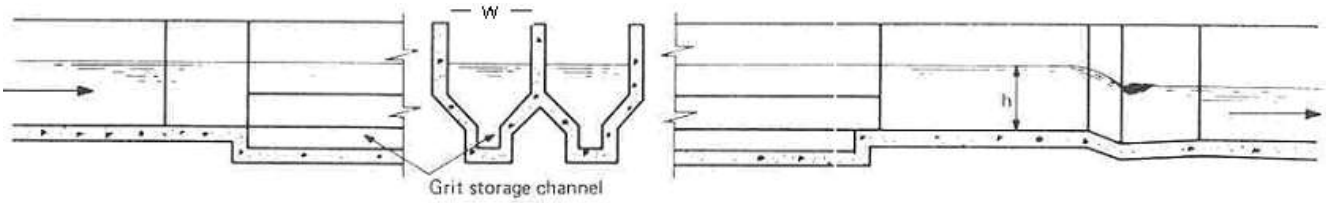
حيث:

Q التدفق

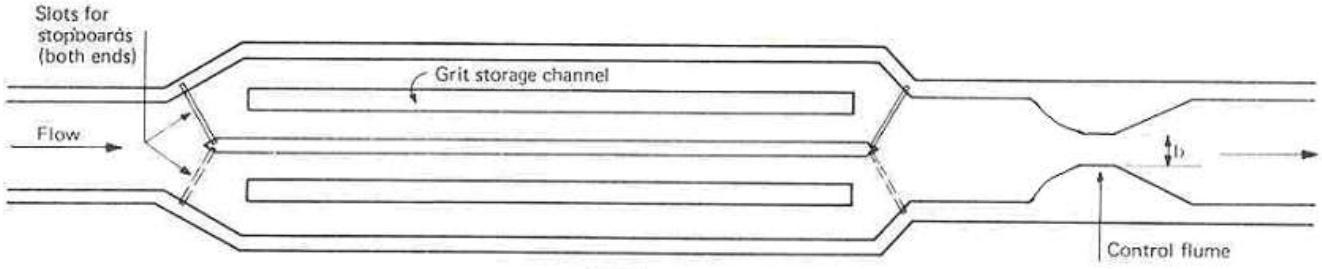
A التدفق مساحة المقطع العرضي للماء في للقناة أو الأنبوب

V سرعة مرور السائل عبر مقياس التدفق

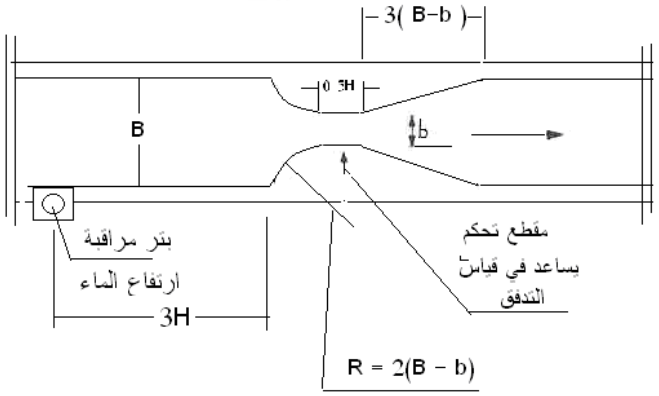
و إن الشكل الأكثر استخداماً لقياس التدفق هو مقارب مقياس بارشال و هوه منشأة سهلة التشغيل تنظف أنياً (بسبب سرعة الماء ضمن المقارب)



SECTIONAL ELEVATION WITH CROSS-SECTION SUPERIMPOSED



PLAN



- **تصميم الأحواض ذوات السرعة الثابتة**

من أجل مقطع التحكم يعطى التدفق بالعلاقة :

$$Q_f = C\ b\ h^{3/2}$$

حيث:

Q_f التدفق

b عرض مقطع التحكم

h ارتفاع الماء في مقطع التحكم

C ثابن مقطع التحكم

التدفق ضمن قناة حجز الرمال تعطى بالعلاقة:

$$Q_g = A \times V_f$$

Q_g: التدفق

A: التدفق مساحة المقطع العرضي للماء في للقناة أو الأنبوب

V_f: سرعة مرور السائل عبر مقياس التدفق

$$Q_f = Q_g$$

$$C\ b\ h^{3/2} = A \times V_f \qquad (1)$$

عندما تكون قناة حجز الرمال بمقطع قطع مكافئ و بحيث يكون المولد السفلي للقناة هو نفس المولد السفلي لمقطع التحكم فإن مقطعه يعطى بعلاقة القطع المكافئ :

$$h = a\ w^2$$

و تعطى مساحة مقطعه بالعلاقة

$$A = 2/3\ h\ w$$

$$W = \sqrt{h/a}$$

$$A = 2/3\ h\ h^{1/2} / \sqrt{a}$$

$$A = 2/3\ h^{3/2} / \sqrt{a} \qquad (2)$$

بتعويض العلاقة (2) في العلاقة (1)

$$V_f = 3/2\ C\ b\ \sqrt{a} \qquad (3)$$

نجد من العلاقة (3) أن السرعة في القناة مستقلة عن ارتفاع الماء (و بما أن تغيرالتدفق تؤثر على ارتفاع الماء فقط) فإن السرعة تكون مستقلة عن تغيرات التدفق.

من العلاقة ($h = a\ w^2$)

$$w = \sqrt{h}/\sqrt{a}$$

$$\sqrt{a} = \sqrt{h}/w \qquad (4)$$

$$Vf = 3/2\ C\ b\ \sqrt{h}/w$$

$$w = 1.5\ C\ b\ \sqrt{h}/\ Vf$$

$$w = 1.5\ (A/h)$$

و لسهولة تنفيذ القناة يمكن أن تنفذ حسب الشكل ( ) بحيث يكون لها نفس المقطع A و أقرب ما يكون للمقطع المكافئ .

<u>طول قناة حجز الرمال</u>

من علاقات الترسيب في حوض بسيط مستطيل

$$H_{max} / Vs = L/Vf \qquad (5)$$

بفرض $Vf = 0.3$ m/s

Vs للجزيئات ذوات القطر 0.2mm و كثافة $\rho = 2.55$ gr/cm^3

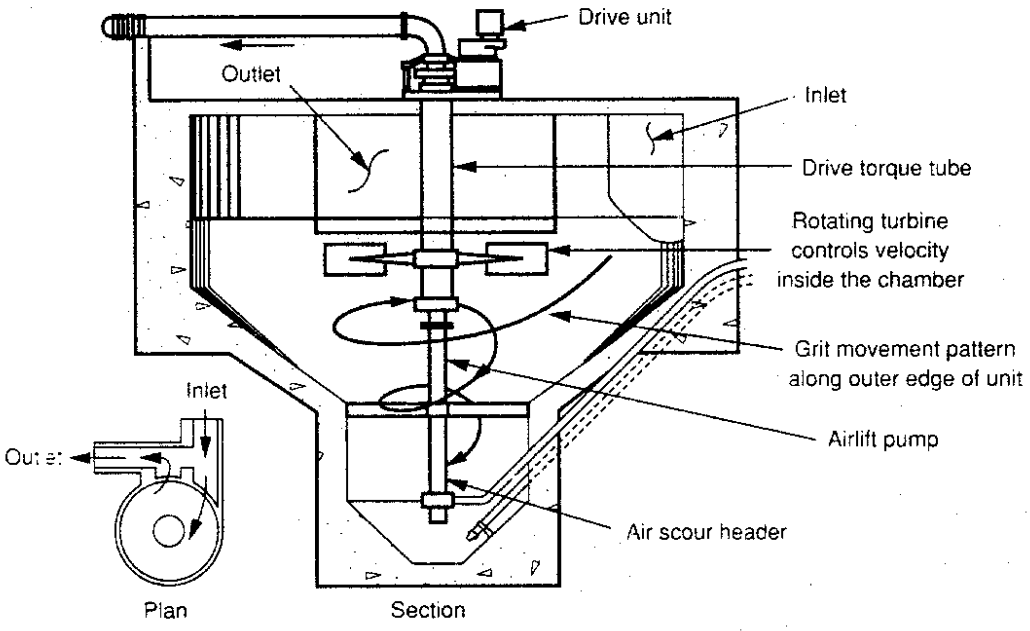
نكون السرعة $Vs = 0.02$ m/s

بالتعويض في العلاقة (5)

$$L = 15\ h_{max}$$

يؤخذ عامل أمان 1.5 – 1.2 فيكون $L > 18\ h_{max}$

و مهما كان عدد الأحواض في العمل يجب أن يبقى حوض واحد على الأقل فارغاً بحيث يعمل في حالة التنظيف أو صيانة أحد أحواض العاملة .



عوامل تصميم حوض حجز الرمال

- إن السرعة التي تزيد عن 0.3m/s تسبب ترسب كميات كبيرة من المواد العضوية في الحوض مع الرمال
- زمن المكوث في الحوض يتراوح بين /20 sec / و دقيقة واحدة و هذا يتأمن بوجود عدد من الأقنية لاستيعاب التغير في قيمة التدفق الواصل إلى منشأة إزالة الرمال أو بوضع هدار تحكم في التدفق يوضع في نهاية حجرة الرمال أو أية وسيلة أخرى لضبط التدفق تسمح بتنظيم سرعة الجريان.
- يوجد في القناة وسيلة لإزالة الرمال من القاع
- – يمكن حقن الهواء في منطقة ترتفع أكثر من متر عن قاع الحوض (في حال الحوض الدائري أو المربع الشكل) الهدف من حقن الهواء أبقاء المواد العضوية الخفيفة نسبياً بحالة معلقة و السماح بترسب الرمال بتأثير الجاذبية خالية نسبياً من المواد العضوية في المنطقة الهادئة (أسفل منسوب ضخ الهواء لكن يجب الإنتباه أن ضخ كميات كبيرة من الهواء قد يؤدي إلى جعل قوة الرفع كبيرة تؤثر على ترسيب الرمال ، هذا النوع من حجرات الرمال تدعى بحجرة الرمال المهواة.

تنظيف أحواض حجز الرمال

تصمم أحواض حجز الرمال ليكون تنظيفها يدوياً أو بوسائل تشغل آلياً ، إذا كان التنظيف يدوياً يجب تأمين

حيز مناسب لتخزين الرمال . في حال الحجرات الموجودة في محطات تعالج مياه صرف تأتي من شبكة مجاريرمشتركة يجب أن تحوي وحدتي تنظيف يدوي أو وحدة تنظيف آلي مزودة بممر جانبي by-pass و ينصح باتباع التنظيف الآلي . يمكن قبول وحدة تنظيف يدوية واحدة فقط مع by-pass في المحطات الصغيرة التي تعالج مياه صرف فقط (شبكة منفصلة)

غسيل الرمل Washing Grit

تحتوي الرمال المترسبة على مواد عضوية يمكن أن تتفسخ و تصدر رائحة كريهة ، يتم أحياناً غسل الرمال من المواد العضوية و إعادة مياه الغسيل إلى مدخل مياه الصرف إلى المحطة ، يتم عادة غسل الرمل بوسائل ميكانيكية خاصة

كمية الرمل الناتجة عن أحواض حجز الرمال

تعتمد الكمية الناتجة عن أحواض حجز الرمال على نوع نظام شبكة الصرف و حالة خطوط الصرف و عوامل أخرى، فمياه الصرف البلدية المجموعة في شبكة منفصلة جيدة التصميم و الإنشاء و بحالة إنشائية جيدة تنتج القليل من الرمال بينما الشبكة المشتركة تحمل حجوماً كبيرة من الرمال تصل إلى قيمتها العظمى عند العواصف المطرية الشديدة .

يمكن توقع حجم ($7 - 30\ l/1000m^3$) (في سورية قد يكون الرقم أعلى بكثير)

تشغيل الأحواض

أحواض جز الرمال ذات التشغيل اليدوي التي تستقبل مياه صرف من شبكة موحدة يجب تنظيفها بعد كل حالة هطول كبيرة و في الظروف العادية تنظف هذه القناة عندما تملأ الرمال 50 – 60% من حيز تخزين الرمل في القناة ، هذا الوضع يجب فحصه مرة كل عشرة أيام على الأقل في الفصل الجاف.

.عند استخدام أحواض ذوات تنظيف آلي فيجب تنظيفها على فترات زمنية منتظمة لمنع التحميل الزائد على معدات التنظيف الآلية ، يجب التأكد من تنفيذ تعليمات الجهة المصنعة بالإضافة إلى الخبرة الشخصية في محطة معالجة ما تساعد على وضع جدول زمني للتنظيف.

التخلص من المواد الرملية الناتجة عن المصافي وأحواض حجز الرمال:

إن المواد الناتجة عن المصافي تتفسخ بسرعة منتجة روائح كريهة لذلك يجب أن تبقى مغطاة في علب خاصة و يتم إزالتها مرة في اليوم على الأقل ليتم التخلص منها بالطمر أو الترميد

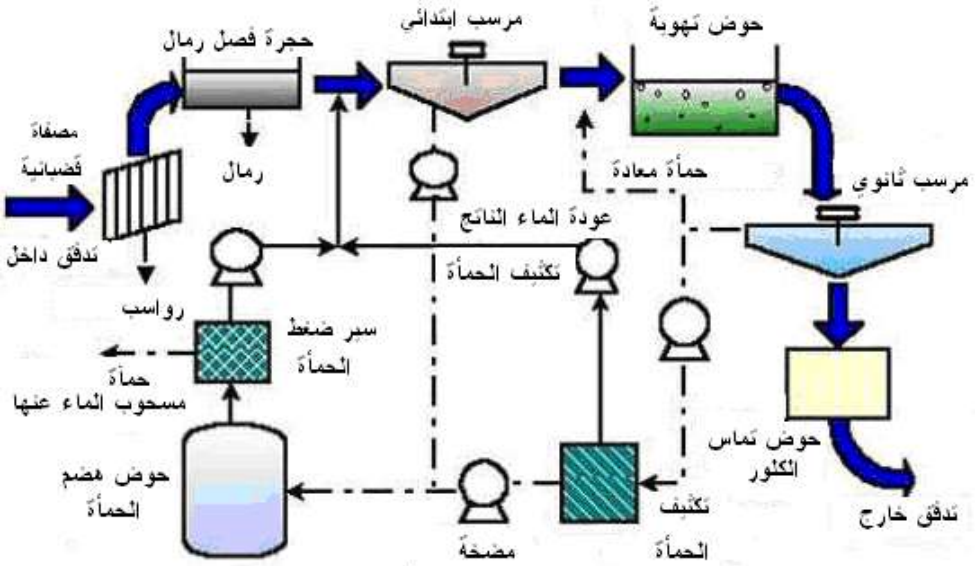
و يجب غسل جدران و بسطات حجرة التصفية بخرطوم الماء لتبقى نظيفة . كما أن الرمال التي تحوي كمية كبيرة من الرمال يجب أن تدفن سريعاً لتجنب انتشار الروائح .

الفصل الثالث

المعالجة الابتدائية

Primary treatment

إن المعالجة الابتدائية هي الخطوة الثانية في معالجة مياه الصرف حيث يتم فصل المواد الصلبة والزيوت عن مياه الصرف .



مخطط عملية نموذجية بالحمأة المنشطة

يتم في هذه المرحلة حجز مياه الصرف في حوض ضمن ظروف هادئة لمدة ساعات مما يسمح بترسيب المواد الناعمة إلى القاع وتطفو الزيوت على السطح .

تسحب المواد الصلبة المترسبة من قاع الحوض وتقشط المواد الطافية ليتم نقلها حيث تجري عليها معالجة إضافية في مرحلة معالجة الحمأة بينما تنتقل المياه المعالجة في أحواض الترسيب الابتدائية إلى مراحل المعالجة التالية :

قد تتم المعالجة الابتدائية في أحواض الترسيب الابتدائي أو أحواض التعفن septic tanks وأحيانا قد يستغنى عن مرحلة الترسيب الابتدائي باستخدام مصافي ناعمة وقد استخدمت أحواض الترسيب الابتدائي أحيانا كحوض هضم أولي لزيادة إنتاج الحموض الدسمة الطيارة من أجل تحسين عملية إزالة النتروجين بطريقة بيولوجية في مرحلة المعالجة الثانوية .

عملية الترسيب

تعاريف تتعلق بعملية الترسيب

توجد بعض التعاريف التي تساعد في تحديد المفهوم الأساسي للترسيب، هذه التعاريف هي:

الترسيب Sedimentation – هو إزالة الجزيئات الصلبة من معلق ما بوساطة الترسيب تحت الجاذبة الأرضية

الترويق Clarification – تعبير مشابه يستعمل لتحديد عمل حوض الترسيب الذي ينتج ماءاً رائقاً (قد يتضمن هذا التعبير بشكل عام عملية التطويف و الترشيح ، حيث تنتج عن هذه العمليات ماء رائق)

التكثيف – Thickening هو عملية تتم في حوض ترسيب يزيد من خلالها تركيز المواد المترسبة للتتراص في القاع على أرضية حوض الترسيب و في مخروط تجميع الحمأة

المواد المركزة التي تسحب من قاع حوض الترسيب تدعى حمأة **sludge** أما المواد الخفيفة التي تطفو على سطح الماء في الحوض فتدعى خبثاً **scum**

تطبيقات عملية الترسيب في مياه الصرف الصحي

أ – في مرحلة المعالجة التمهيدية و الأولية يستخدم الترسيب لإزالة الرمال و الحصى والجزيئات الناعمة من مياه الصرف حيث يزال في أحواض الترسيب الإبتدائية 70% – 50 من المواد الصلبة المعلقة (و هي تحتوي % 40 – 25 من قيمة BOD لمياه الصرف الصحي)

ب –في مرحلة المعالجة الثانوية يستخدم الترسيب لإزالة الندف البيولوجية (الحمأة الحيوية) بعد عملية المعالجة بالحمأة المنشطة أو المرشحات الحجرية أو الأقراص البيولوجية الدوارة .

ت –في مرحلة المعالجة الثالثة لإزالة الندف الكيميائية عند استخدام عمليات الترويب الكيميائي (مثل إزالة الفوسفات على شكل رواسب صلبة).

ث –في أحواض الهضم حيث يلزم فصل الهمأة المهضومة عن المائع

من الضروري فهم المبادئ الأساسية التي تحكم سلوك المواد المترسبة من أجل عمل تصميم و تشغيل جيدين لأحواض الترسيب.

تصنيف سلوك الترسيب Classification of settling behavior

يمكن تمييز حالات مختلفة لسلوك الرواسب و ذلك حسب طبيعة الجزيئات المترسبة و تركيزها فمن أجل طبيعة الجزيئات يمكن تمييز جزيئات منفصلة (حبات رملية) أو جزيئات متندفة (معظم المواد العضوية و المواد الصلبة البيولوجية) و من أجل تركيز الجزيئات المترسبة

يمكن تمييز مائع ممد جداً أو عالي التركيز (في هذه الحالة يمكن للجزيئات المترسبة أن تتلامس و تغير من طبيعة الترسيب.

التصنيفات العامة للترسيب

1- الصنف – I (ترسيب الجزيئات المنفصلة)

- الوصف: معلق ممدد لجزيئات يتم فيه ترسيب الجزيئة و كأنها جزيئة منفصلة تماماً و لايوجد تأثير من الجزيئات المجاورة على سرعة ترسيب الجزيئة فكل جزيئة في المعلق تحصل على السرعة الحدية الخاصة بها.
- التطبيق: إزالة جزيئات الحصى و الرمال من مياه الصرف

2 الصنف – II (ترسيب الندف):

- الوصف: معلق ممدد يتم فيه تشكيل للندف (تندف) أثناء عملية الترسيب ، لذلك تزداد كتلة الجزيئة و تترسب بمعدل أسرع (يزداد معدل الترسيب بمرور الزمن)
- التطبيق: إزالة قسم من المواد الصلبة المعلقة الإجمالية في مياه الصرف غير المعالجة في وحدات المعالجة التمهيدية و في الجزء الأعلى من وحدات الترسيب الثانوى بالإضافة إلى إزالة الندف الكيميائية عند استخدام عمليات الترويب الكيميائي و هي أيضاً تساعد على تخفيض ال BOD و الفوسفات

3- الصنف – III (الترسيب المعاق – ترسيب منطقة الرواسب)

- الوصف: معلق يحوي مواد صلبة بتركيز متوسط ، في هذا المعلق يوجد تأثير من الجزيئات على بعضها البعض بدرجة تكفي لإعاقة ترسيب الجزيئات المجاورة، تبقى الجزيئات بوضع واحد بالنسبة لبعضها البعض و تترسب الكتلة الإجمالية للجزيئات في المعلق كوحدة مترابطة . و يبدأ تشكل سطح فاصل واضح بين المعلق و المائع الرائق عند الكتلة المترسبة
- التطبيق: يستخدم هذا الصنف من الترسيب في وحدات الترسيب الثانوي المرتبطة بوحدات المعالجة العضوية.

تحليل عملية الترسيب من الصنف I (ترسيب جزيئة منفصلة)

قبل تصميم حوض الترسيب يجب معرفة سرع ترسيب الجزيئات المراد إزالتها، و إن الصفات الفيزيائية للجزيئة تحدد سرعة الترسيب الحدية لها.

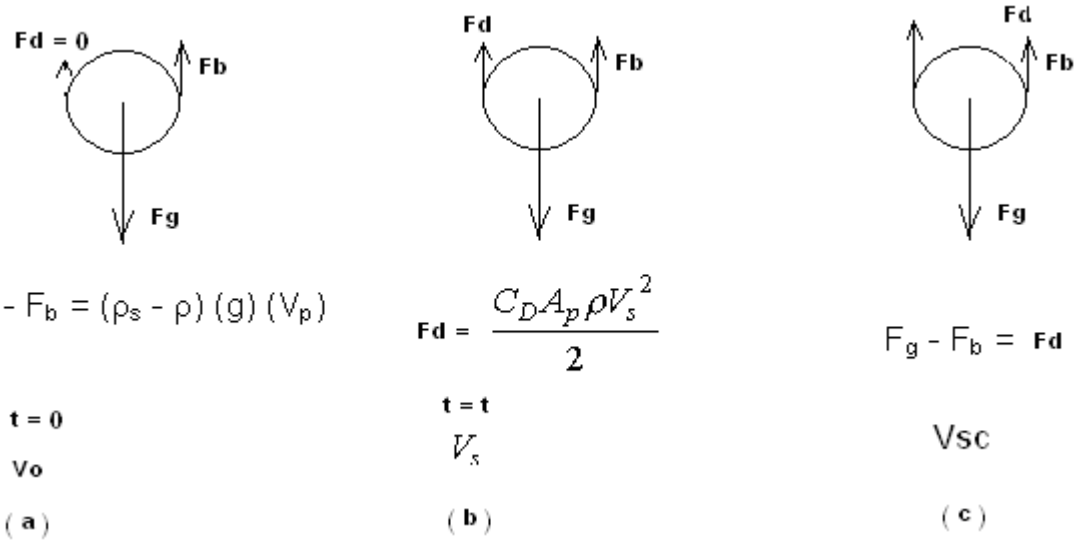
لنقم بتحليل القوى المؤثرة على الجزيئة المترسبة في كتلة مائع مع أخذ الإفتراضات التالية بالحسبان:

آ- الجزيئة منفصلة عن باقي الجزيئات في المعلق لا يتغير حجمها و لا شكلها أثناء الترسيب

ب- يتم الترسيب في وعاء كبير نسبة إلى حجم الجزيئة بحيث يمكن حذف تأثير جدران الوعاء على عملية الترسيب

ج- الجزئية منفصلة كروية الشكل (كرية) قطرها d ووزنها النوعي ρ_p موجودة في مائع له كثافته ρ و w (الوزن النوعي)

عند ترك الجزيئة دون دفع في المائع تبدأ الحركة المتسارعة بتأثير القوى المؤثرة عليها (مبينة في الشكل) .



حيث:

Fg قوة الثقالة

Fb قوة الطفو المؤثرة على الجزيئة في الماء

Fd قوة ممانعة الحركة من المائع (تزداد بزيادة سرعة سقوط الجزيئة)

V_p حجم الجزيئة (الكرية)

g تسارع الجاذبية الأرضية

يمكن حساب قوة الثقالة من العلاقة:

$$F_G = F_g - F_b = (\rho_p - \rho_w) \cdot g \cdot V_p$$

(1)

و قوة ممانعة الحركة (المقاومة)

$$F_D = \frac{C_D \cdot A_p \cdot \rho_w \cdot v_s^2}{2}$$

(2)

حيث:

CD عامل مقاومة الحركة

A_p مساحة مقطع الجزيئة باتجاه معامد على اتجاه الحركة

V_s سرعة سقوط الجزيئة

بفرض أن الجزيئة تنطلق من السكون ، تكون سرعة السقوط معدومة في بداية الزمن و تكون قوة ممانعة الحركة معدومة أيضاً، و لكن تبدأ الكرية بحركة متسارعة بسبب تعرضها لمجموع قوتين هما الوزن الذاتي و قوة الطفو و يكون قانون الحركة (قانون نيوتن) لهذه الجزيئة :

$$m\frac{dV}{dt} = F_g - F_b$$

حيث

m كتلة الجزيئة

v سرعة حركة الجزيئة في الماء

بعد مرور فترة كافية من الزمن بزيادة السرعة تزداد قيمة قوة ممانعة الحركة Fd حتى نصل إلى حالة تتساوى فيها القوة المسببة للحركة مع القوة الممانعة، عندها تنعدم القوة المحركة.

$$m\frac{dV}{dt} = F_g - F_b - F_d = 0$$

(4)

بتعويض قيم $F_g - F_b$ و F_d من المعادلات (1) و (2) في المعادلة (4) نجد

$$m\frac{dV}{dt} = (\rho_p - \rho)V_p g - \frac{C_D A_p \rho V_s^2}{2}$$

$$(\rho_p - \rho)V_p g = \frac{C_D A_p \rho V_s^2}{2}$$

(5)

و

$$V_s = \sqrt{\left[\frac{2g(\rho_p - \rho)}{C_D \rho}\right]\left[\frac{V_p}{A_p}\right]}$$

(6)

المساحة Ap و الحجم Vp للكرية التي تخضع لعملية الترسيب تعطى بالعلاقات التالية:

$$V_p = \frac{\pi d_p^3}{6}, \qquad A_p = \frac{\pi d_p^2}{4}$$

(7)

حالة الجريان الصفحي Re < 1 و الجزيئات كروية

$$C_D = \frac{24}{R_e} = \frac{24\mu}{\rho V_s d_p}$$

(8)

بتعويض قيم CD , Ap , Vp من المعادلات 6 , 7 نحصل على معادلة ستوكس من أجل السرعة الحدية

$$V_s = \sqrt{\left[\frac{4g(\rho_p - \rho)d_p}{3\left(\frac{24\mu}{\rho V_s d_p}\right)\rho}\right]} = \frac{g(\rho_p - \rho)d_p^2}{18\mu}$$

(9)

حيث μ اللزوجة الحركية للمائع

في حوض الترسيب كافة الجزيئات المعلقة و التي لها سرعة ترسيب في الماء تزيد عن السرعة الحدية تترسب في الحوض . أما الجزيئات ذات سرعة الترسيب أقل من Vs يتم إزالتها من الحوض بشكل يتناسب مع النسبة V_{si} / V_s

يجب أن نتذكر أن الدراسة السابقة هي دراسة نظرية تفترض شروط مثالية للترسيب و لكن في الطبيعة يستحيل تحقيق هذه الشروط فالجزيئات في الطبيعة ليست كروية تختلف الكثافة من جزيئة إلى أخرى و الجريان عبر حوض الترسيب ليس منتظما على كامل الحوض ويوجد تغير في توزع حجوم الجزيئات على حجم الحوض كما أن الجزيئات تتصادم أثناء سقوطها لتلتصق و تشكل ندفاً أكبر ذات سرعة أكبر من سرعة السقوط المحسوبة.

لاحظ أن رقم رينولدز يجب أن لا يزيد عن 1 من أجل استخدام علاقة ستوكس في حساب سرعة الترسيب الحدية

أنواع أحواض الترسيب (انظر الأشكال)

نميز ثلاثة أنواع مختلفة لأحواض الترسيب هي

آ – حوض ترسيب ذو الجريان الأفقي

ب – حوض ترسيب دائري ذو جريان قطري

ج – أحواض ترسيب ذوات الجريان الصاعد

يقسم حوض الترسيب المستطيل النموذجي إلى أربعة مناطق:

1– منطقة الدخول – يتم فيها تشنين طاقة الماء ليتحول الجريان إلى جريان هادئ متجانس

2 – منطقة الترسيب – يفترض أن يحدث في هذه المنطقة عملية ترسيب هادئ أثناء انتقال الماء إلى منطقة الخروج

3 – منطقة الخروج – يتحول الجريان إلى جريان صاعد ليمر فوق هدار الخروج.

4 – منطقة الحمأة – حيث تجمع المواد المترسبة و تنقل إلى مخروط جمع الحمأة من أجل الإزالة. يفترض أن الجزيئة التي تترسب إلى القاع تبقى هنالك حتى إزالتها.

تصميم حوض ترسيب بسيط

نفترض (لأغراض تصميمية) أن الجزيئة الحرجة توجد في أعلى منطقة الترسيب على وجه الدخول عند النقطة A (انظر الشكل) ، تترسب بسرعة تكفي لأن تصل منطقة الحمأة عند وجه الخروج من منطقة الترسيب (النقطة B) ، مركبة سرعة الأنتقال الأفقي هي V_h و سرعة الترسيب لمثل هذه الجزيئة V_s و هي السرعة الحدية بالإتجاه الشاقولي .

يبدو من الشكل الهندسي لحوض الترسيب المستطيل أن الجزيئة تحتاج زمن t_o لتنتقل من أعلى منطقة الترسيب إلى أسفلها و كذلك تحتاج نفس الزمن t_o لتنتقل على كامل طول الحوض (من المدخل إلى المخرج) يعطى الزمن t_o بالعلاقة :

$$t_o = \frac{H}{V_p} = L/v_s$$

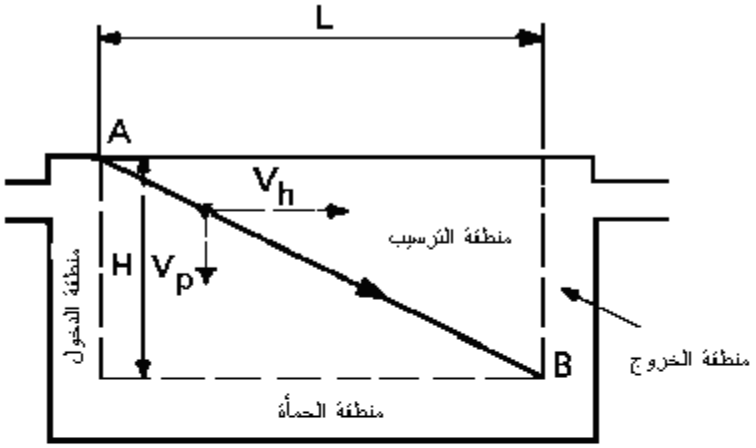
و لكن بما أن $V_s = Q/WH$ فإن $V_s = Q/WL$ حيث Q هو معدل الجريان و L و W و H هي أبعاد الحوض المستطيل ، و بما أن مساحة الحوض هي WL عندها يكون

$$V_s = Q/A$$

من العلاقة السابقة نرى أن أبطأ جزيئة مترسبة يتوقع أن يتم إزالتها في حوض الترسيب المثالي هي الجزيئة التي سرعة ترسيبها تساوي معدل التحميل السطحي Q/A و هو عامل أساسي يحكم أداء أي حوض ترسيب .
المعادلة أعلاه تعني أيضاً أن كفاءة الترسيب مستقلة عن عمق الحوض ، يؤثر عمق الحوض على كفاءة الترسيب في حالة واحدة ـ عندما تكون سرعة الإنتقال الأفقي كبيرة لدرجة تساعد في عودة تعليق الجزيئات المترسبة .
من التحاليل المشابهة للجريان في حوض الترسيب الدائري و الحوض ذو الجريان الصاعد يتبين أن العلاقة $V_s =$ Q/A, صحيحة أيضاً (**انظر الشكل**) .
في الحوض ذو الجريان الصاعد يبدو أن الجزيئات تزال من الماء لتبقى في الحوض إذا كانت سرعة ترسيب الجزيئة تزيد عن سرعة صعود الماء، في هذه الحالة تعطى سرعة الصعود الأصغرية بقسمة التدفق مقسوماً على مساحة مقطع الحوض و هي تعبر عن العلاقة

$$V_s = Q/A$$

. .



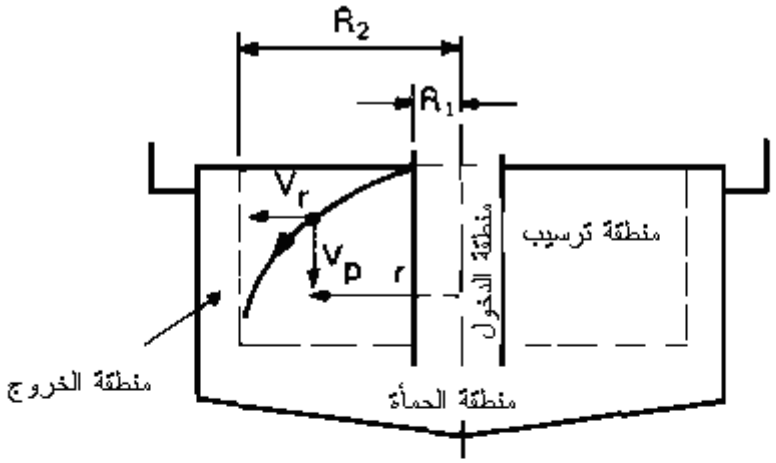
$$t_o = \frac{H}{V_p} = \frac{L}{V_h}$$ زمن المكوث يعطى بالعلاقة

$$= \frac{L}{Q/WH}$$

$A = WL$ بترتيب المعادلة و أخذ مساحة سطح الحوض تساوي

$$V_p = \frac{Q}{A}$$

الشكل ( ) تعريف الترسيب المثالي في أحواض ترسيب المستطيلة



يعطى زمن المكوث بالعلاقة $t_o = \frac{H}{V_p}$ and $t_o = \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{V_r}$

لكن $V_r = \frac{Q}{2\pi r H}$

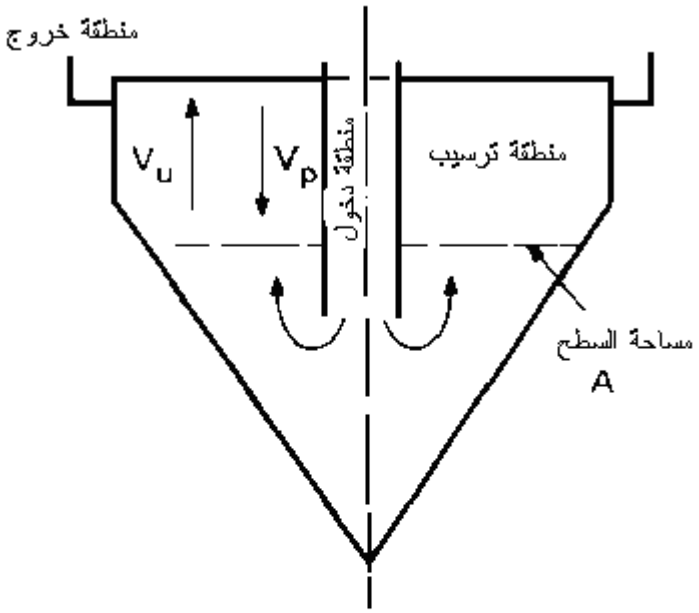
عندها يكون $t_0 = \frac{2\pi H}{Q} \int_{R_1}^{R_2} r\, dr$

$= \frac{\pi(R_2^2 - R_1^2)H}{Q}$

لكن $\pi(R_2^2 - R_1^2) = A$, so $\frac{H}{V_p} = \frac{AH}{Q}$

لذلك $V_p = \frac{Q}{A}$

الشكل ( ) تعريف الترسيب المثالي في أحواض ترسيب الدائرية قطرية الحركة



$V_u = Q/A$ السرعة الأصغرية لصعود الماء

الوضع الحرج لإزالة الجزيئات

$V_p = V_u$ الصلبة يتم عندما يكون

$V_p = \frac{Q}{A}$ أي عندما يكون

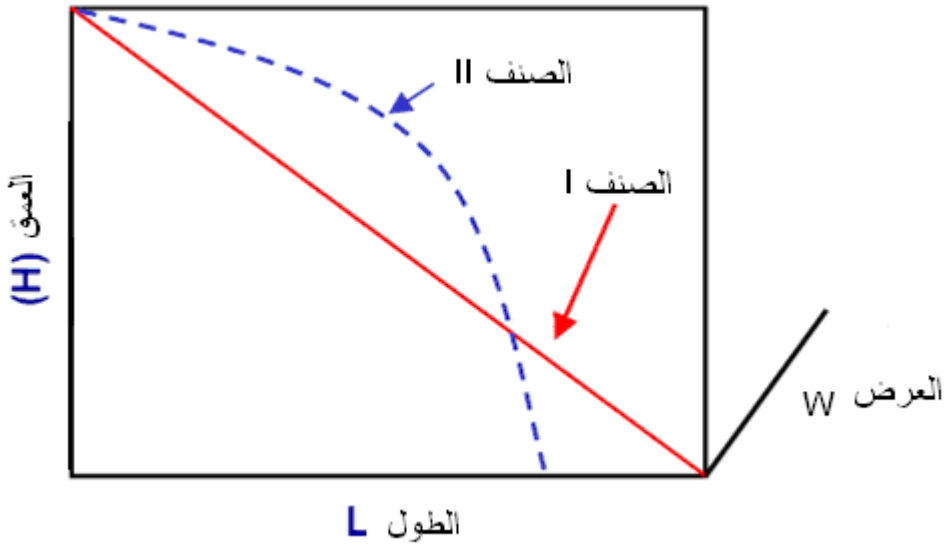
الشكل ( ) تعريف الترسيب المثالي في أحواض ترسيب الدائرية ذو الحركة الصاعدة

2- الصنف II – (ترسيب مائع متندف في معلق ممدد)

Sedimentation Class II - settlement of flocculent particles in dilute suspension :

في معلق ممدد لمياه الصرف توجد جزيئات غروانية و هذا يساعد في تشكيل ندف لتكبر باستمرار عملية الترسيب و تزداد سرعة ترسيبها مع الزمن

هذا يعني أنه في حوض ترسيب مستطيل يكون مسار الندف المترسبة منحنياً و ليس مستقيماً كما هي الحالة انظر الشكل ( )



يتم فيه تشكيل للندف أثناء عملية الترسيب ، لذلك تزداد كتلة الجزيئة و تترسب بمعدل أسرع (يزداد معدل الترسيب بمرور الزمن)، و هذه الزيادة في سرعة الترسيب مع الزمن تعني أن العمق الأكبر للحوض و زمن المكوث الأطول يعطي فرصة للندف لتكبر حجماً و تكتسب سرعة ترسيب أكبر ، لكن إذا تم تصميم حوض ضحل طويل له نفس زمن المكوث فإن فرصة تصادم الجزيئات مع بعضها لتكون ندفاً أكبر يكون فرصة أكبر لأن معدل الجريان الأفقي يكون أكثر فعالية في زيادة إمكانيات التصادم ،

يبدأ تحليل الترسيب من الصنف II مم مبادئ تصميم الترسيب من الصنف I لكن من الضروري الحصول على صفات الترسيب لمعلق يحوي ندف باستخدام تجربة عمود الترسيب.

تجربة عمود الترسيب:

١. لإجراء التجربة نحتاج عمود ترسيب بارتفاع حوالي 3m و يجب أن لا يقل عن الارتفاع المتوقع لحوض الترسيب،
٢. يوجد على العمود عدد من نقاط جمع العينات بتباعد حوالي 0.5 m .
٣. نبدأ التجربة بتأمين تجانس في تركيز الجزيئات على كامل ارتفاع العمود هو التركيزالابتدائي (بالتحريك)
٤. باستمرار عملية التارسيب نجمع عينات متواقتة من نقاط مختلفة على ارتفاع العمقد و في أزمنة مختلفة و ذلك من أجل تحديد تركيز المواد الصلبة المعلقة عند نقطة و زمن الاستعيان .
٥. نحدد نسبة الازالة لكل عينة و نوقعها على مستوى الاحداثيات على شكا رقم يعبر عن نسبة الإزالة عتد الارتفاع المحدد و الزمن المحدد.

$$\%R_{ti,h} = \frac{X_o - X_{ti,h}}{X_o} \times 100\%$$

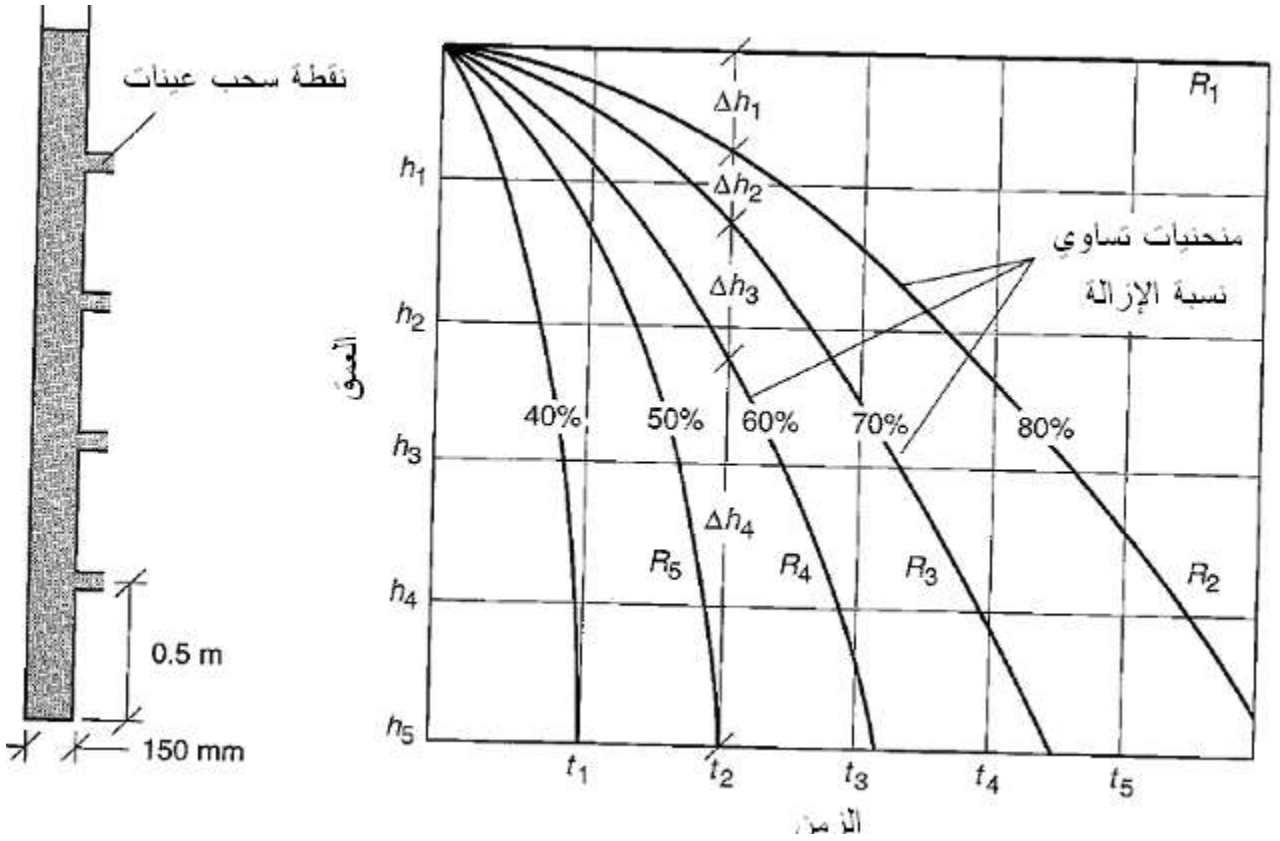
حيث:

Rti,h النسبة المئوية لإزالة المواد الصلبة المعلقة عند الزمن ti و العمق hو %

Xo التركيز الابتدائي للمواد الصلبة، mg/l

Xti,h تركيز للمواد الصلبة عند الزمن ti و العمق h ، mg/l

رسم خطوط تساوي نسبة الإزالة المارة بين النقاط ذوات الأرقام



من الناحية العملية يجب تأمين عمق معين للحوض لتجب حصول حالات الدارة القصيرة ، فالقيمة العملية لعمق الحوض هي 3m– 6m و زمن مكوث لعدة ساعات

الصنف – III (الترسيب المعاق – ترسيب منطقة الرواسب)

Sedimentation Class III - hindered settling and zone settling

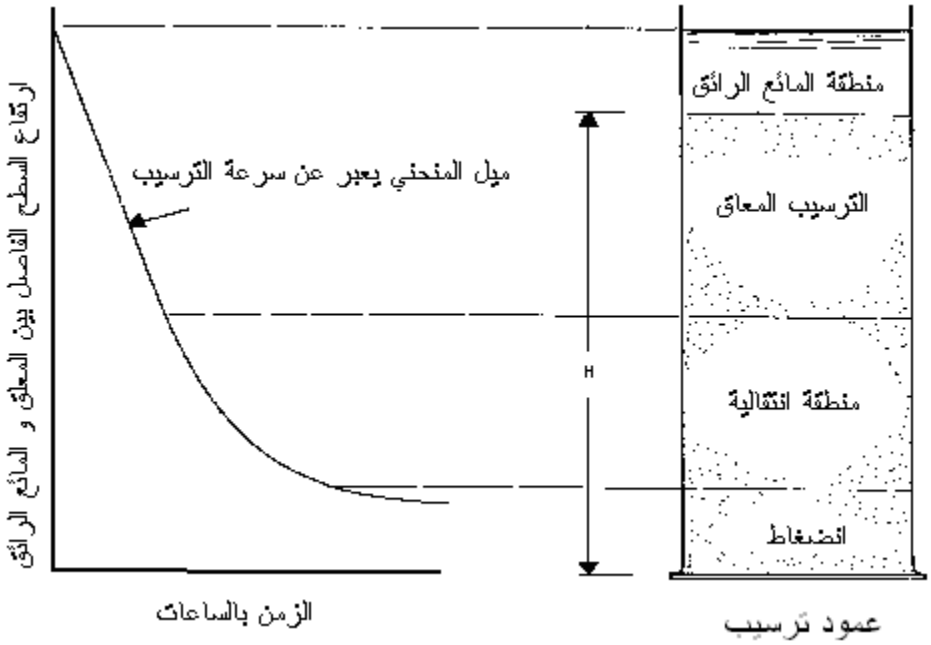
بزيادة تركيز الجزيئات في المعلق نصل إلى حالة تكون فيها الجزيئات قريبة من بعضها لدرجة أنها لا تعد بحالة ترسيب توصف بأنها منفصلة بل تؤثر على بعضها البعض بدرجة تكفي لإعاقة ترسيب الجزيئات المجاورة، كما توجد قيمة صافية للتدفق الصاعد للسائل الذي تزيحه الجزيئات المترسبة ، هذا يؤدي إلى تخفيف سرعة الترسيب لكتلة المعلق و تعرف الظاهرة بأنها الترسيب المعاق.

في الحالى القصوى للترسيب المعاق تكون عندما يكون تركيز الجزيئات عال جداً بحيث يتم ترسيب كامل المعلق و كأنه كتلة واحدة أو بساط من الحمأة ، تعرف هذه الظاهرة بأنها ترسيب المنطقة *zone settling*

في حالة ترسيب المنطقة يمكن تمييز مناطق مختلفة في عمود الترسيب الشكل ( ) يمثل تجربة لعملية ترسيب متقطع batch-settling column test لمعلق يبدي مواصفات ترسيب المنطقة .

بعد ترك المعلق ليترسب لمدة قصيرة تتشكل قرب السطح سطح فاصل بين المائع بتركيزه الأصلي و المائع الرائق ، يتحرك هذا السطح الفاصل باتجاه الأسفل كما يتشكل سطح فاصل قرب القاع يفصل المعلق عن طبقة الرواسب يتحرك الصطح الفاصل السفلي باتجاه الأعلى بتطور عملية الترسيب في نهاية عملية الترسيب يلتقي السطخان الفاصلان ،

إن ميل منحني الترسيب عند أية نقطة يمثل سرعة ترسيب السطح الفاصل العلوي ، مرة أخرى يتبين لنا أن معدل التحميل السطحي هو اعتبار أساسي في تصميم أحواض الترسيب من الصنف III ما لو يكن معدل التحميل السطحي المعتمد في التصميم أقل من سرعة ترسيب المنطقة (V_{SZ}) للمعلق فإن المواد الصلبة تحمل مع التدفق الخارج من الحوض



إن التطبيق الهام لترسيب المنطقة هو في التصميم النهائي لأحواض الترسيب في علية المعالجة بالحمأة المنشطة. و كذلك في تصميم حوض ترسيب ذو جريان صاعد فهذه الوحدات تعمل غالباً بحالة مائع بتركيز عالي للمواد الصلبة (لندف حية أو ندف كيميائية)

إن سرعة الترسيب للمعلق في حالة الترسيب المعاق تتعلق بقيمة التركيز C و توجد علاقات عديدة تربط السرعة V مع C منها علاقة ريشاردسون و ذكي

$$V_c = v_P(1-c)^n$$

حيث n قيمة تتعلق برقم ريتولدس الترسيب و ب النسبة d/D

D قطر و عاء الترسيب و d قطر الجزيئة المترسبة و القيمة التقريبية هي n = 4.65

و في حالة الجزيئات غير الكروية

$$V_c = v_P(1- kc`)^n$$

تحدد قيم k و n تجريبياً

الصنف – IV (ترسيب الانضغاط – الارتصاص)

Sedimentation Class IV - compression settling (compaction)

في قاع أحواض الترسيب يكون تركيز الرواسب الصلبة عال جداً و في هذه الظروف يحدث تماس مباشر للجزيئات . يمكن أن يحدث ترسيب إضافي إذا أمكن إعادة ترتيب الندف بحيث تحتل حجماً أصغرو هذا يحدث بشكل بطيء . هذا الترسيب يدعى بترسيب الإنضغاط و يعبر عنه بالمنطقة السفلى لمنحنب الترسيب.

يحدث الانضغاط في طبقة الرواسب بتأثير وزن الرواسب الموجودة فوقها حيث يقل حجم الفراغات بالتدريج و يخرج الماء الموجود في الفراغ بين الندف.

إن ظاهرة ترسيب الانضغاط هامة في عملية التركيز بالثقالة و في حالة أحواض الترسيب النهائي بعد المعالجة بالحمأة المنشطة. حيث يلزم زيادة تركيز الحمأة من أجل التدوير إلى أحواض التهوية و من أجل التخلص من الحمأة الفائضة.

تصميم أحواض الترسيب

إن العامل الأساسي قي تصميم أحواض الترسيب هو معدل التحميل السطحي Q/A

يتم تصميم الحوض في حال الترسيب البسيط بحيث يكون Q/A مساوياً لسرعة الترسيب Vp و في حالة الترسيب من الصنف II يتم إدخال مفهوم الارتفاع H و زمن الكوث t من أجل الأخذ بالحسبان حادثة تشكيل الندف .

من الصعب تأمين توزيع منتظم للجريان على كامل الحوض بسبب حوادث الدارات القصيرة والتشتيت غير الكافي للطاقة عند منطقة الدخول و تاثير سحب الحمأة مع التدفق الخارج عند هدار الخروج، لذلك نضرب معدل التحميل السطحي المحسوب وزمن المكوث بعامل أمان قدره 2.5 – 1.7

من أجل التصميم العملي للترسيب من الصنف II يتم اعتماد أحواض الترسيب المستطيلة الأفقية و الأحواض ذوات الجريان القطري و الأحواض المربعة الشكل ذوات الجريان الصاعد. و من أحل الترسيب من الصنف III العامل الأساسي قي تصميم أحواض الترسيب هو معدل التحميل السطحي Q/A أيضاً.

إن تصميم أحواض الترسيب من أجل تدفق مين قدره Q يتضمن اختيار معدل التحميل السطحي Q/A يتم من خلاله تحديد مساحة منطقة الترسيب للحوض و يتم تصميم عمق الحوض أو زمن المكوث

يمكن التعبير عن العلاقات بين عوامل التصميم المختلفة بالطريقة التالية:

من أجل قيمة محددة للتدفق Q بواحدة m^3/hr و A m^2 تعطى سرعة الترسيب Vp (m/h) بالعلاقة Vp = Q/A و يكون زمن المكوث t = Ah/Q حيث H هو العمق (m).

يجب الإنتباه إلى قيمة سرعة الحريان الأفقية V_h في حوض الترسيب المستطيل الشكل لأن السرعة الكبيرة قد تؤدي إلى حدوث انجراف للرواسب الموجودة في القاع و إعادة تعليقها لتخرج من هدار الخروج. هذه الحاجة تؤثر في اختيار النسبة طول إلى عرض هذه الأحواض.تعطى السرعة الأفقية بالمعادلة

$$Vh = \frac{Q}{WH}$$

حيث W هي عرض الحوض (m) أو

$$V_h = \frac{L}{t},$$

جمع الماء الرائق

آ – حوض الترسيب المستطيل

معدل التحميل على الهدار Q/L_w : هو عامل هام في أحواض الترسيب الأفقية . فوجود هدار واحد عند طرف الخروج يعتبر مسافة قصيرة جداً و يجعل معدل التحميل الهيدروليكي كبير جداً لذا يزود الحوض بمجموعة هدارات عائمة موزعة على الحوض بحيث تعطي معدل تحميل طولي لا يزيد عن $300\ m^3/m.d$ و يمكن مضاعفة طول الهدار بوضع قناة الجمع عند السطح بحيث يتم الجمع من طرفي القناة . كما يمكن تصميم عدد من أقنية الخروج المتوازية حتى نصل إلى معدل التحميل المناسب

ب – حوض الترسيب الدائري ذو الجريان القطري

يوجد هدار الخروج على كامل المحيط الخارجي للحوض الدائري و إن الطول الكبير للحوض يجعله حساساً جداً بالنسة لمنسوبه ، وقد تؤثر الرياح في عمل الهدار ، لذا نلجأ إلى عمل أثلام في محيط الهدار على مسافات متباعدة لضمان تأمين ارتفاع مقبول للمياه الخارجة من حوض الترسيب.

يجب تصميم منطقة الدخول إلى الحوض الدائري بعناية فائقة لأنه غالباً ما يكون مخروط تجميع الحمأة المترسبة متوضعاً أسفل منطقة الدخول مباشرة

جمع الحمأة

المواد الصلبة المترسبة إلى قاع حوض الترسيب تقشط عادة إلى حجرة خاصة توجد في إحدى النهايات (في المروق المستطيل) أو إلى الوسط (في المروق الدائري) ، يتم ضخ الحمأة المتجمعة في الحفرة إلى نظام معالجة الحمأة .

العوامل التي تؤثر في كفاءة أحواض الترسيب الابتدائية

إن كفاءة أحواض الترسيب الابتدائية تتأثر بعوامل عدة منها:

1- نوع المواد الصلبة في مياه الصرف، إذا وجدت كميات كبيرة من مياه الصرف الصناعي

2- عمر مياه الصرف (الزمن الذي تقضيه مياه الصرف في نظام الجمع) عندما تصل إلى محطة المعالجة، فالمياه القديمة تصبح متعفنة ؛ في هذه الحالة لا تترسب المواد الصلبة بشكل فعال ، لأن فقاعات الغاز تلتصق بجزيئات المواد الصلبة و تبقيها بحالة معلقة.

3- معدل جريان مياه الصرف مقارنة مع التدفق التصميمي. " التحميل الهيدروليكي "

4- الشروط الميكانيكية و نظافة المروق

5- السحب الملائم للحمأة، فإذا سمح للحمأة لتبقى في الحوض . تطلق الغازات و قد ترتفع طبقة الحمأة بالكامل إلى سطح المروق.

6- المواد الصلبة المعلقة، التي تعاد إلى حوض الترسيب الإبتدائي من مراحل معالجة أخرى، هذه المواد قد لا تترسب بالكامل. فمصادر المواد الصلبة هذه تتضمن نفايات حمأة منشطة ومياه ناتجة عن

- أحواض الهضم
- معدات إزالة الماء عن الحمأة
- معدات فصل الماء عن الحمأة بالطرد المركزي
- مياه منفصلة عن غسيل المرشحات

أحواض الترسيب الضحلة

وجدنا من الدراسة النظرية السابقة لحالة الترسيب من الصنف I أن كفاءة الترسيب مستقلة عن عمق الحوض H وبما أن زمن الترسيب يتعلق بقيمة العمق H

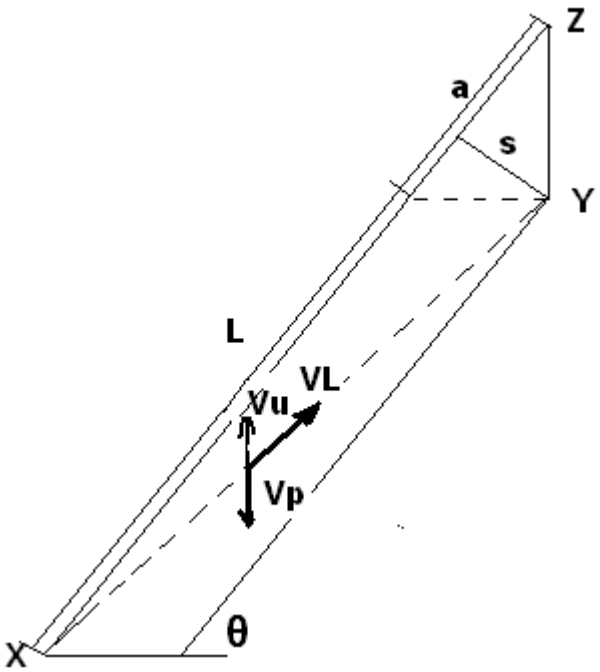
$$t_o = \frac{H}{V_p}$$

فإن تقسيم عمق الحوض إلى n حوض ضحل يقلل زمن المكوث بنسبة n ، لذا تم تقسيم عمق الحوض بوضع صواني لاستقبال الرواسب بزمن مكوث مختزل بنسبة n و إمالة القاع بزاوية 5° من أجل تسهيل غسيل الرواسب بعد انتهاء عملية الترسيب

يتم التنظيف بشكل دوري بارسال تيار من الماء بسرعة معاكسة لإتجاه الجريان في الحوض ،و لكن هذه الطريقة لم توفر كثيراً في زمن تشغيل الحوض حيث جدت الحاجة لإقاف العمل من أجل التنظيف و إعادة إملاء الحوض .

و احتاج الأمر لإمالة الحوض بزاوية 60°

أحواض الترسيب بالصفائح أو الأنابيب المائلة Lamella settlers:



$$to = \frac{XZ}{VL} = \frac{ZY}{Vp}$$

من الشكل نجد

$$XZ = L + a$$

$$XZ = L + \frac{ZY}{\sin\theta}$$

$$ZY = \frac{s}{\cos\theta}$$

$$XZ = L + \frac{s}{\sin\theta\cos\theta}$$

$$\frac{VL}{Vp} = \frac{XZ}{ZY} = \frac{L + \frac{s}{\sin\theta\cos\theta}}{\frac{s}{\cos\theta}}$$

$$VL = Vp\left[\frac{L\,Cos\theta}{s} + \frac{1}{Sin\theta}\right]$$

من الشكل و بإساط مركبات السرعة

$$Vu = VL\ Sin\theta$$

$$Vu = Vp\left[\frac{L}{s} Sin\theta Cos\theta + 1\right]$$

$$Vu = \frac{Vp}{2}\left[\frac{L}{s} Sin2\theta + 2\right]$$

القيمة الأعظمية ل Vu عندما $Sin2\theta = 1$

$$Vu = \frac{Vp}{2}\left[\frac{L}{s} + 2\right]$$

من الخبرة العملية لمرسبات الصفائح المائلة:

$s = 5\ cm$ و $L = 10\ cm$

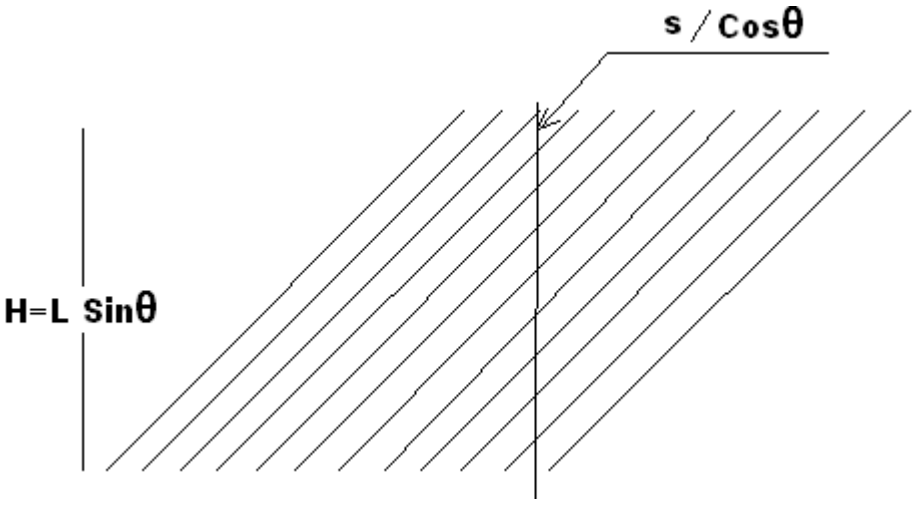
بالتعويض في المعادلة نجد

$$V_u = 11\ V_p$$

عندما $\theta = 90^o$ (الأنبوب شاقولي)

$$Sin2\theta = 0$$

$$V_u = V_p$$



من المعادلة

$$Vu = Vp \left[\frac{L \frac{Sin\theta}{s}}{Cos\theta} + 1 \right]$$

$$Vu = Vp \left[n + 1 \right]$$

في حالة معلق مركز نبدل Vp ب $Vp(1-C)^{n'}$

$$Vu = Vp (1-C)^{n'} \left[n + 1 \right]$$

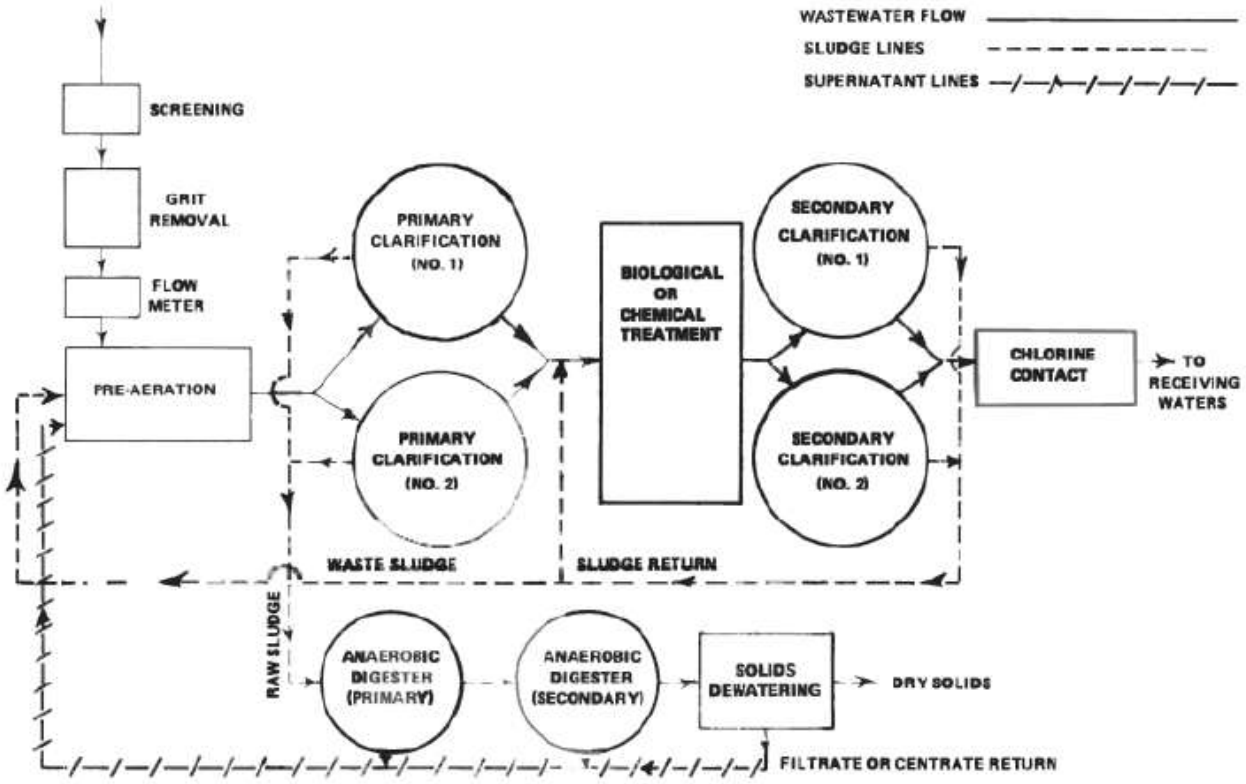


Figure 6.1 - *Typcial Plant Schematic*

Design Flowrate...

$Q = (A)\ (V_{sc})$

Where ; Q : flowrate (m^3 / s), A : area of basin (= width x length, m^2) and V_{sc} : critical settling velocity (the velocity of particles which just settle in the basin (m / s).

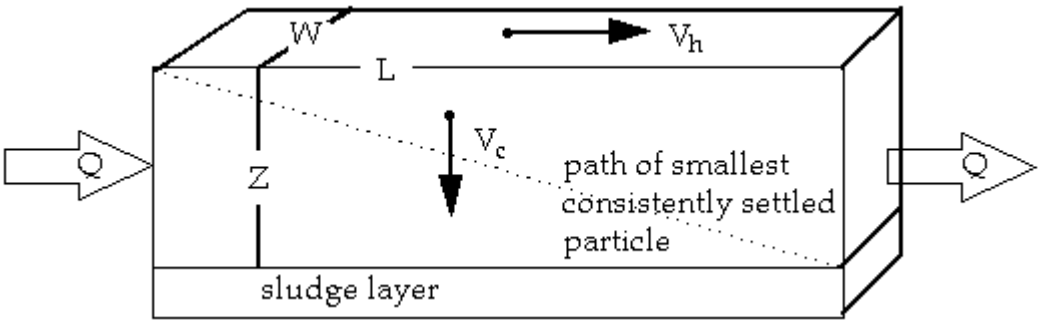
Design Process Based on Discrete Settling...

To be conservative, size the settling basin for smallest particle to be removed : $Q = (A)\ (V_c)$; where Q : flowrate and A = surface area of basin. Note that size is independent of the depth of the reactor, so stacked shallow systems are most efficient (but plate and tube settlers often clog). Flocculant Settling (Type - II) : need to determine settling characteristics in a settling column with height = height of tank. Hindered (Type - III) and Compression (Type - IV) settling : need to consider areas required for clarification, thickening, and sludge withdrawal. Thickening requirements usually predominate, and graphical techniques can be used to estimate the area.

"Longidutal Section of a Circular Sedimentation Tank"...

Settling Basin Design...

For any clay-sized or larger particle in suspension in a fluid, the settling rate is a function of the gravitational force (downward) and the frictional resistance (opposite). Because the mass of a particle increases with the cube of the radius, but drag surface area only increases with the square of the radius, larger particles settle more quickly than small particles. Very small particles (such as the colloidal particles in milk), can be kept in solution indefinately by static charges and brownian motion, so settling basins are ineffective at removing these particles. The essence of the design process is to determine a specific residence time, dependent on a particle size goal. The sediment removal will include all particles with a velocity > V_c, plus that fraction of the slower (smaller) particles that enter low enough in the column to also settle to the sludge layer before passing out of the basin.



In order to theoretically calculate the critical velocity of the smallest consistently removed particle using Stoke's law (for small Reynolds numbers), we must know the particle density, fluid viscosity, and the drag coefficient. In practice, a

settling column experiment is often used to determine the settling velocity of the different fractions of a suspension, along with the mass of sediment in each fraction.

For a given V_c, the fraction removed ;

$$= (1 - x_c) + \int_0^{x_c} \frac{V_p}{V_c} dx$$

where $(1 - x_c)$ = fraction of particles with velocity $V_p \geq V_c$, and

$\int_0^{x_c} \frac{V_p}{V_c} dx$ = fraction of particles removed with velocity $V_p < V_c$

where $(1 - x_c)$ = fraction of particles with velocity $V_p \geq V_c$, and

$\int_0^{x_c} \frac{V_p}{V_c} dx$ = fraction of particles removed with velocity $V_p < V_c$

With data on V_p for a range of fractions dx, we can rewrite the integral as a sum ;

$$\text{where } \frac{1}{V_c} \sum V_p dx = \int_0^{x_c} \frac{V_p}{V_c} dx$$

and thus integrate manually.

The settling basin is sized for smallest particle to be removed, using the following equation ; Q = (A) (V_c). Where ; Q : flowrate, A : surface area of basin, and V_c : is the terminal settling velocity of the smallest particle for which settling is desired. Note that the size of the basin required is a function of area but not depth, so shallow systems are most efficient (and are therefore sometime stacked in municipal and industrial applications). In practice, we must adjust the resulting Q / A (= V_c) for the effects of inlet and outlet turbulence, non-uniform fluid flow, and sludge storage. Most settling basins are designed to achieve a 5 to 10 minute residence time, which should settle 50 to 75% of the solids from open feedlot runoff. At 6 minutes residence time, the nominal size of the smallest consistently separated particule is 35 microns, with a calculated terminal velocity V_c of 0.84 cm / s.

Design Example...

Given :
(1) two rectangular primary clarifiers ;
(2) dimensions : 40 ft x 12 ft x 7 ft deep ;
(3) effluent weir length = 45 ft ;
(4) Q = 387,000 gpd.

Required :
(1) overflow rate ;
(2) weir loading ;
(3) detention time ;
(4) estimated BOD removal.

Solution :
Flow per clarifier : 387,000 gpd / 2 = 193,500 gpd
Overflow rate : 193,500 gpd / [(40 ft) (12 ft)] = 403 gpd / ft^2
Weir loading : 193,500 gpd / 45 ft = 4,300 gpd / ft
Detention time : [(40 ft) (12 ft) (7 ft)] / 193,500 gpd = 3.1 hr
Estimated BOD removal : 35 % (typical range is 30 % - 40 %)

عملية الترسيب و التطويف في محطات معالجة مياه الصرف الصحي

في معظم محطات معالجة مياه الصرف البلدية يوجد بعد أقنية الرمال وحدات معالجة من أجل الترسيب و التطويف ، تدعى هذه الوحدات أحواض الترسيب أو المروقات (clarifier) و الإسم الأكثر استعمالاً هو primary clarifier لأنها تساعد في ترويق مياه الصرف أحواض الترويق الإبتدائية

قد توجد المروقات في محطات المعالجة النموذجية في نقطتين مختلفتين ، المروق الموجود عند النقطة الأولى التي تلي مباشرة المصافي القضبانية أو المصافي الطاحنة أو أقنية إزالة الرمال تسمى مروقات إبتدائية لأنها تكون أول مروق في محطة المعالجة أما المروق الأخر و الذي يتبع أنواع أخرى من وحدات المعالجة فيدعى مروق ثانوي أو مروق نهائي . إن كلا النوعين من المروقات يعملان بنفس الطريقة تقريباً.

إن سبب وجود مروق ثانوي هو وجود أنواع أخرى من المعالجة تتلو المروق الإبتدائي ، هذه الوحدات تحول كمية أكبر من المواد المنحلة إلى مواد قابلة للترسيب ، و يجب إزالة هذه المواد الصلبة المتشكلة لاحقاً من مياه الصرف . و بسبب الحاجة لإزالة هذه المواد الصلبة الإضافية يعتبر حوض الترسيب الثانوي جزئاً من أنواع عمليات المعالجة الأخرى

إن الاختلاف الأساسي بين المروقات الإبتدائية و الثانوية هي:

١ – كثافة الحمأة المتشكلة عن الترسيب، فالحمأة الإبتدائية أكثر كثافة مكن الحمأة الثانوية.

٢ – التدفق الخارج من حوض الترسيب الثانوي يكون رائقاً أكثر من التدفق الخارج من حوض الترسيب الابتدائي

المواد الصلبة المترسبة إلى قاع المروق تقشط عادة إلى حجرة خاصة توجد في إحدى النهايات (في المروق المستطيل) أو إلى الوسط (في المروق الدائري) ، يتم ضخ الحمأة المتجمعة في الحفرة إلى نظام معالجة الحمأة .

حساب كفاءة المروق

لحساب كفاءة أية عملية لمعالجة مياه الصرف نحتاج جمع عينات من التدفق الداخل و الخارج في وحدة المعالجة موضع الاهتمام . يفضل جمع عينة مركبة من 24 عينة ساعية (كل ساعة جزء و لمدة 24 ساعة) ثم قياس المؤشر المراد لنوعية المياه (مثل BOD أو المواد الصلبة المعلقة) و من ثم حساب كفاءة المعالجة.

يتم حساب الكفاءة من أجل التحكم بعملية المعالجة . يجب أن يكون الإهتمام الأساسي هو نوعية المياه في التدفق الخارج بغض النظر عن نسبة الإزالة

مثال:

تدفق داخل إلى مروق ابتدائي فيه BOD = 200 mg/l . و في التدفق الخارج من الحوض BOD = 140 mg/l ماهي كفاءة حوض الترسيب في إزالة BOD ؟ .

قيم معروفة	قيم غير معروفة
BOD = 200 mg/l في التدفق الداخل	الكفاءة %
BOD = 140 mg/l في التدفق الخارج	

حساب كفاءة إزالة ال BOD:

الكفاءة = (BOD الداخل – BOD الخارج) (100 %) / BOD في التدفق الداخل

= (200 – 140) (100 %) / 200

= (0.3) (100 %)

= 30% إزالة BOD

تستخدم نفس المعادلة لحساب كفاءة الإزالة من أجل كافة المؤشرات التالية لنوعية المياه .

القيم النموذجية لكفاءة المروقات

الجدول رقم ( ) يبين بعض النسب المئوية لكفاءات حوض التارويق :

مؤشر نوعية المياه	نسبة الإزالة المتوقعة
المواد الصلبة القابلة للترسيب	95% to 99%
المواد الصلبة المعلقة	40% to 60%
إجمالي المواد الصلبة	10% to 15%
الإحتياج الأكسجيني البيوكيميائي	20% to 50%
البكتريا	25% to 75%

إن قيمة PH لا تتأثر عادة بعملية الترويق . غالباً ما يكون لمياه الصرف المنزلي قيمة PH حوالي 6.5 إلى 8.0 حسب المنطقة و إمداد الماء و النفايات المصرفة إلى نظام المجارير.

إن كفاءة المروق تتأثر بعوامل عدة منها:

1- نوع المواد الصلبة في مياه الصرف، إذا وجدت كميات كبيرة من مياه الصرف الصناعي

2- عمر مياه الصرف (الزمن الذي تقضيه مياه الصرف في نظام الجمع) عندما تصل إلى محطة المعالجة، فالمياه القديمة تصبح متعفنة ؛ في هذه الحالة لا تترسب المواد الصلبة بشكل فعال ، لأن فقاعات الغاز تلتصق بجزيئات المواد الصلبة و تبقيها بحالة معلقة.

3- معدل جريان مياه الصرف مقارنة مع التدفق التصميمي. " التحميل الهيدروليكي "

4- الشروط الميكانيكية و نظافة المروق

5- السحب الملائم للحمأة، فإذا سمح للحمأة لتبقى في الحوض . تطلق الغازات و قد ترتفع طبقة الحمأة بالكامل إلى سطح المروق.

6- المواد الصلبة المعلقة، التي تعاد إلى حوض الترسيب الإبتدائي من مراحل معالجة أخرى، هذه المواد قد لا تترسب بالكامل. فمصادر المواد الصلبة هذه تتضمن نفايات حمأة منشطة ومياه ناتجة عن

- أحواض الهضم
- معدات إزالة الماء عن الحمأة
- معدات فصل الماء عن الحمأة بالطرد المركزي
- مياه منفصلة عن غسيل المرشحات

ضخ الحمـــأة و الخبث

إن الجزيئات التي تترسب إلى قاع المروق تدعى (الحمأة) ، يجب إزالة الحمأة المتجمعة بشكل متكرر، يتم ذلك في معظم الأحواض بوسيلة تنظيف آلية و مضخات .

إن الأحواض آلية التنظيف لا تحتاج إيقاف لعملها من أجل التنظيف. قد يتطور ظروف تعفن بسرعة في حوض الترسيب الابتدائي إذا لم يتم إزالة الحمأة على فواصل زمنية منتظمة، إن الفواصل الزمنية المناسبة تعتمد على ظروف عدة و قد تختلف من 30 دقيقة إلى 8 ساعات.

و في حالات قليلة قد تصل هذه الفترة إلى 24 ساعة.

إن تحديد الفترة المناسبة لسحب الحمأة من منشأة معينة يعتمد على الخبرة ، إذ يمكن تمييز حالة التعفن في الحمأة عندما نلاحظ قطع كبيرة من الحمأة تبدأ بالطفو على سطح المروق. كما أن الحمأة المتعفنة تكون ذات رائحة كريهة وحمضية التركيب (لها قيمة منخفضة ل PH).

تجب التأكد من أن الحمأة هي بأكبر كثافة ممكنة قبل ضخها من حوض الترسيب حتى تكون كمية الماء المسحوب مع الحمأة أقل ما يمكن.

إن كمية المواد الصلبة في الحمأة يؤثر في حجم الحمـــأة المسحوبة و على تشغيل حوض الهضم فالحمأة الابتدائية الجيدة السميكة تحتوي 4 إلى 8 في المائة من المواد الصلبة الجافة (على شكل إجمالي المواد الصلبة المحددة في المختبر)

إن الظروف التي تؤثر في تركيز الحمأة هي :

١. الوزن النوعي
٢. حجم و شكل الجزيئات الصلبة
٣. درجة حرارة مياه الصرف
٤. الإضطراب في حوض الترسيب

يجب أن يكون معدل سحب الحمأة بطيئاً من أجل منع سحب كميات كبيرة من الماء مع الحمأة. أثناء سحب الحمأة يتم أخذ عينات بشكل متكرر من أجل الفحص البصري لرؤية فيما إذا كانت الحمأة تحوي كميات زائدة من الماء ، إذا بدت الحمأة خفيفة يكون الوقت قد حان لإيقاف مضخة سحب الحمأة.

المروقات الإبتدائية:

إن العمل الأكثر أهمية للمروق الإبتدائي هو إزالة أكبر كمية ممكنة من المواد القابلة للترسيب و المواد الطافية. إن إزالة المواد الصلبة العضوية القابلة للترسيب هو أمر هام جداً لأن هذه المواد تسبب إختياج أكسجيني كبير (BOD) في المياه المستقبلة أو في وحدات المعالجة البيولوجية اللاحقة في محطة المعالجة. إن العوامل الهامة التي تلعب دوراً في تصميم المروقات كثيرة جداً ومن أهمها مواصفات الترسيب للجزيئات المعلقة في الماء، العوامل الأخرى هي

١. درجة الحرارة
٢. الدارات القصيرة
٣. زمن المكوث
٤. معدل التحميل الطولي فوق هدار الخروج
٥. معدل التحميل السطحي
٦. حمولة المواد الصلبة

1- درجة الحرارة

إن الماء يتمدد بزيادة درجة الحرارة (فوق 4 درجات مئوية) أو هي تتقلص بنقصان درجة الحرارة (حتى الوصول إلى الدرجة 4 مئوية) ويحدث العكس عند درجات الحرارة الأفض من 4 مئوية ، تزداد سرعة ترسيب الجزيئات بزيادة درجة حرارة الماء و بنقصان درجة الحرارة تزداد كثافة الماء و لزوجته لذلك يصبح من الأصعب ’تمام عملية الترسيب

2- الدارات القصيرة

بدخول الماء إلى حوض الترسيب يجب أن يتم توزيعه بشكل متساو على كامل المقطع العرضي للحوض ، و يجب أن يجري بنفس السرعة على كامل المساحة أثناء انتقاله إلى نهاية الحوض، عندما تكون السرعة في أماكن من المقطع العرضي أكثر منها في مناطق أخرى تحدث ظاهرة الدارة القصيرة و السرع العالية قد تقلل من زمن المكوث في تلك المنطقة و قد تبقى الجزيئات معلقة لتخرج مع التدفق الخارج من الحوض لأنها لم تبق في الحوض فترة زمنية تكفب لترسبها.

من جهة أخرى إذا كانت السرعة قليلة جداً قد يحدث في الحوض ظروف تعفن غير مرغوبة.

قد تحدث ظاهرة الدارة القصيرة بسهولة في طرف الدخول من حوض الترسيب و يتم منعها باستخدام هدار صفيحة أو حواجز أو فتحات دخول أو عن طريق التصميم الجيد لقناة الدخول

3- زمن المكوث

يجب أن يبقى الماء في الحوض فترة طويلة لتسمح بزمن ترسيب كافي للجزيئات الصيبة

إذا كان الحوض صغيراً (بالنسبة للتدفق و معدل ترسيب الجزيئات) فإن العديد من الجزيئات سيحمل مع التدفق الخارج من المروق ، إن علاقة زمن المكوث بمعدل الترسيب هامة و معظم النمهندسين يصممون أحواض الترسيب من أجل زمن مكوث 2 إلى 3 ساعة و هي قيمة مرنة تعتمد على ظروف عدة

يمكن حساب زمن المكوث باستخدام عاملين اثنين هما:

١ - معدل التدفق متر مكعب في اليوم

٢ - أبعاد الحوض أو حجمه

4- معدل التحميل الطولي فوق هدار المخرج

تترك مياه الصرف المروق بجريانها فوق الفضال (الهدار) إلى قناة الخروج (قناة غسيل) أو عبر ترنيبات خروج معينة ، من الهام وجود عدد من خطوط أنية الخروج لمنع الدارات القصيرة أو وجود سرعة كبيرة بجانب الهدار مما يسبب سحباً للمواد الصلبة المترسبة مع التدفق الخارج.

يعرف معدل الجريان فوق الهدار بأنه حجم مياه الصرف الذي يجري فوق واحدة الطول من الهدار في واحة الزمن .

معظم المصممين يقترحون معدل تحميل طولي للهدار قدره 130 – 250 متر مكعب في اليوم للمتر الطولي من الهدار.

في أحواض الترسيب الثانوية و في أحواض الترسيب التي تنتج مياه عالية الجودة يجب أن يكون معدل التحميل الطولي أقل من التحميل المقبول في أحواض الترسيب الإبتدائي.

5- معدل الترسيب السطحي أو معدل التحميل السطحي

يعبر عن هذا العامل ب حجم مياه الصرف المارة على واحدة المساحة من حوض الترسيب في واحدة الزمن
إن معدل التحميل السطحي متعلق مباشرة بكفاءة إزالة المواد الصلبة القابلة للترسيب في حوض الترسيب.
يختلف معدل التحميل السطحي المقترح عملياً من 12 إلى 40 متر مكعب للمتر المربع في اليوم و ذلك حسب طبيعة المواد الصلبة و المعالجة اللازمة، غالباً ما يستخدم معدل تحميل منخفض في المحطات الصغيرة في المناطق ذات الطقس البارد.
أما في المناطق اتلدافئة فإن معدل التحميل المنخفض قد يسبب وجود زمن مكوث زائد عن الحد مما يسبب بوجود حالة اعفن في الحوض .
إن حساب معدل التحميل السطحي لحوض الترسيب يستلزم معرفة عاملين هما:

١ - معدل التادفق الداخل للحوض ($m^3/m^2.d$)
٢ - مساحة منطقة الترسيب في الحوض (m^2)

6- معدل تحميل المواد الصلبة

يستخدم هذا التعبير للإشارة إلى كمية المواد الصلبة الممكن إزالتها يومياً من أجل كل متر مربع من مساحة الترسيب في الحوض، إذا زاد معد تحميل المواد الصلبة عن حد معين يمكنن توقع الزيادة لمحتوى المواد الصلبة في التدفق الخارج، يمكن نطبيق هذا المفهوم على أحواض الترسيب الثانوية أو مكثف الحمأة.
يعبر عن معدل التحميل ب كغ من المواد الصلبة في اليوم لكل متر مربعه من مساحة منطقة الترسيب في حوض الترسيب ، و هو يعتمد على طبيعة المواد الصلبة و احتياجات المعالجة.
إن حساب معدل تحميل المواد الصلبة في حوض الترسيب يستلزم معرفة ثلاثة عوامل هي:

١ - معدل التدفق الداخل للحوض ($m^3/m^2.d$)
٢ - تركيز المواد الصلبة (mg/l)
٣ - مساحة منطقة الترسيب في الحوض (m^2)

أحواض الترسيب الثانوي بعد المرشحات الحجرية

يستخدم حوض الترسيب الثانوي بعد المرشحات الحجرية لتخليص المياه من القشور البيولوجية الناتجة عن وسط الترشيح.
إن القشور البيولوجية هي منتجات العمل البيولوجي في المرشح، تكون هذه المواد البيولوجية ذات محتوى عال من BOD و تخفض من نوعية التدفق الخارج من المرشح الحجري ما لم يتم إزالتها.

قد تكون المرسبات الثانوية التي تلي المرشحات الحجرية ذات شكل دائري أو مستطيلو يحتوي على آلية لإزالة الحمأة مشابهة للآلية الموجودة في حوض الترسيب الابتدائي، له نفس زمن المكوث تقريباً لكن معدل التحميل السطحي و معدل التحميل الطولي لهدار المخرج تكون أقل عادة لأن الحمأة الثانوية فيه أقل كثافة.

بعض عوامل التصميم النموذجية لهذا الحوض هي :

زمن المكوث 2 – 3 ساعات

معدل التحميل السطحي من 30 إلى 50 ($m^3/m^2.d$)

معدل التحميل الطولي على هدار المخرج من 60 إلى 180 ($m^3/m.d$)

أحواض الترسيب الثانوي بعد عمليات المعالجة بالحمأة المنشطة

تصمم أحواض الترسيب الثانوي التي تلي عمليات المعالجة بالحمأة المنشطة لتتعامل مع حجوم كبيرة من الحمأة ، يجب الاهتمام أكثر بتصميمها لأن الحمأة فيها أقل كثافة.

بعض عوامل التصميم النموذجية لأحواض الترسيب المستخدمة بعد عملية التهوية بالحمأة المنشطة هي :

زمن المكوث 2 – 3 ساعات

معدل التحميل السطحي من 30 إلى 50 ($m^3/m^2.d$)

معدل التحميل الطولي على هدار المخرج من 60 إلى 180 ($m^3/m.d$)

معدل تحميل المواد الصلبة هي 117 – 150 ($kg/m^2.d$)

الهدف من وجود هذا الحوض هو هدف مطابق للحواض السابق عدا أن الجزيئات المطلوب ترسيبها أتت من حوض تهوية بدلاً من حوض الترشيح البيولوجي .

إن معظم أحواض الترسيب الثانوية تجهز بآلية لإزالة الحمأة بشكل سريع لأهمية إعادة الحمأة إلى حوض التهوية

إن حجم الحمأة في حوض الترسيب الثانوي بعد عملية الحمأة المنشطة أكبر منه في الحوض الذي يتبع المرشحات الحجرية

إن آلية إزالة الحمأة من أحواض الترسيب الثانوية تختلف عنها في معظم أحواض الترسيب ، خاصة في حالة أحواض الترسيب الدائرية الشكل التي تصمم من أجل إزالة مستمرة للحمأة بأنظمة هيدروستاتيكية مع إعادة ضخ الحمأة المنشطة إلى أحواض التهوية بمضخات ذات سعة كبيرة، هذه المضخات تكون عادة من نوع المضخات النابذة مع تحكم بتغيير سرعة دوران المحرك أو من نوع مضخات الرفع بالهواء الكبيرة large air-lift type

إن ضبط تشغيل حوض ترسيب من هذا النوع يحتاج عناية خاصة جداً لذلك تم تطوير بعض الأمور المساعدة تتألف من بعض الأدوات القادرة على مراقبة :

١ - مستويات سطح بساط الحمأة في أحواض الترسيب
٢ - تركيز المواد الصلبة المعلقة في التدفق الخارج من أحواض الترسيب
٣ - التحكم بنسب تدفق الحمأة الراجعة
٤ - مستويات العكارة في التدفق الخارج من أحواض الترسيب
٥ - تركيز الأكسجين المنحل (DO) في التدفق الخارج من أحواض الترسيب
٦ - مستويات PH

يجب إجراء تجارب مخبرية لقياس كل العوامل المذكورة أعلاه و يجب دائماً فحص دقة عمل أجهزة القياس .
كما يمكن إجراء تجارب أخرى مثل قياسات الإحتياج الأكسجيني (BOD) و النتروجين أمونيا (NH3-N)

أمور تصميمية تلزم لتسهيل حسن تشغيل وصيانة أحواض الترسيب

١ - المعدات التي تحوي محركات يوجد فيها نقاط خاصة بالتزييت . يجب دائماً تأمين وسيلة للوصول إلى مواقع نقاط التزييت لعلب السرعة و يجب دائماً ضمان امكانية الوصول إلى القرص الدوار turntables
٢ - يجب ضمان إمكانية الوصول إلى الهدارات و أقنية خروج الماء الرائق وحجرة المكابح control boxes من أجل التنظيف و الدهان و فعاليات أخرى للصيانة.
٣ - يجب وضع مضخة الحمأة في مكان مناسب بحيث يسهل إعادة غسل خط الأنابيب باتجاه حوض الترسيب
٤ - يجب اتخاذ احتياطات لتحديد مكان وضع مضخات محمولة و ربطها من أجل نضح الماء عن أحواض الترسيب إذا لم يوجد خط صرف من أجل تفريغ ألأحواض إلى نظام الصرف في المحطة .
٥ - يجب الإنتباه عند تركيب أنابيب و أقنية دخول و خروج الماء في حوض الترسيب بحيث يمكن عزل كل طرف و تفريغ الأنابيب بالجريان بالراحة أو عن طريق مضخة محمولة.
٦ - يجب أن تكون أنابيب السحب للمضخات أقصر ما يمكن و خالية من قطع الوصل (مثل الأكواع 90 درجة أو النقاصات).
٧ - يلزم وجود فوهات تعزيل على خطوط أنابيب سحب الحمأة و الخبث من أجل تسهيل الوصول إليها بمعدات التنظيف من قضبان تنظيف المجارير و المنظفات بالسرعات العالية ، يجب تركيب فوهة تعزيل على خطوط الأنابيب تسمح بالوصول للأنابيب مع بقاء حوض الترسيب بحالة العمل، بدلاً من الحاجة لتفريغ الحوض لتعزيل الإنسداد أو لتنظيف الأنابيب.

٨ – يجب دراسة وجود خطوط خدمة إضافية (ماء ، هواء ، كهرباء ، وسائل قياس ، نقاط لسحب العينات و إضافة المواد الكيميائية) ، تركب على هذه الخطوط سكورة قطع عند مواقع مناسبة (من أجل تسهيل عزل أقسان من الخطوط) و تأمين إمكانية الوصول إليها من أجل إصلاح عند الضرورة. و يجب تأمين علب سحب كتيمة على الماء لدكتلت أسلاك و كابلات الكهرباء، ويجب أن تجهز خطوط سحب العينات بفتحات تعزيل كما يجب تزويدها بسكورة من أجل السماح بعملية غسيل دورية للأنابيب.

٩ – الأحواض المغطاة يجب أن تزود بفتحات مع أغطية خفيفة الوزن لتأمين سهولة الوصول إلى أقنية سحب الخبث و كاشطات المواد الطافية و أقنية سحب الماء الرائق و وحدات المحركات

أمور تصميمية تلزم لتأمين حالات السلامة عند تشغيل وصيانة أحواض الترسيب

١ – يجب تجهيز أحواض الترسيب بإمكانية الوصول إلة كل نقطة فيه عن طريق تركيب أدراج ، سلالم ، منحدرات (رامب) ممرات ضيقة ، جسور تساعد على تشغيل و صيانة الحوض بشكل مأمون

٢ – يجب أن يكون للمرات و الجسور صفائح أرضيات أو شبكة مصبعة مصنعة بشكل مأمون و مزودة ب لوحة بداية toeboards و سطوح مضادة للإنزلاق nonskid surfaces

٣ – يجب تأمين إضاءة كافية على حوض الترسيب

٤ – يجب تأمين شبكة أمان مصبعة عند مدخل كل من أقنية خروج الماء و خطوط الأنابيب التي تنقل الجريان من أحواض الترسيب إلى وحدات معالجة أخرى أو أقنية أو منشآت لمنع حوادث دخول في هذه المنشآت بسبب التزحلق أو السقوط.

٥ – في أحواض الترسيب الدائرية يجب أن يوجد إمكانية للوصول إلى الطاولة الدوارة وحواجز تحويل الجريان و سكورة التحكم في الحمأة الراجعة دون أن يحتاج المشغل ترك الجسر أو الممر الضيق catwalk .

٦ – يجب وضع حماية كافية فوق محركات سلاسل التنظيف chain drives و السيور و الأجزاء المتحركة الأخرى Safety hooks و

٧ – يجب وضع خطاف الإنقاذ و أعمدة و فواشات من أجل إنقاذ أي شخص يمكن أن يسقط في الحوض.

٨ – يجب عدم السماح بعبور أنابيب أو أقنية عل سطح الجسور أو الممرات الضيقة.

٩ – يجب تأمين تحويلات كافية offset للمحركات ووحدات نقل الحركة drive units و المعدات الأخرى لنسمح بالوصول دون عوائق إلى كل المناطق في الحوض.

وحدات مركبة من حوض ترسيب و حوض هضم

الهدف من الوحدات المركبة

يوجد نوع من وحدة مركبة للهضم و الترسيب تتألف من مرسب صغير مبني فوق حوض هضم للحمأة.
إن وحدة معالجة من هذا النوع تصصم و تبنى لتخدم عدد قليل من الأفراد مثل المدارس ومناطق المعسكرات . تركب هذه الوحدجات عادة بدلاً من حوض إمهوف أو أنظمة أحواض التعفن . تكون كفاءة معالجة مياه الصرف في هذه الوحدات مشابهة لحوض ترسيب ابتدائي بنسبة إزالة 65% للمواد الصلبة و 35% للاتياج الأكسجيني .

كيفية عمل الوحدات المركبة

تعتبر الوحدات المركبة من محطات معالجة مدمجة، يمر التدفق الداخل فيها عبر مقاس تدفق من أجل تسجيل الجريان .
غالباً ما تبدأ المحطة عادة بمصفاة قضبانية ليتم حجز المواد الخشنة لتزال بشكل يدوي يومياً أو بتكرار أكبر إن لزم الأمر.
تدخل مياه الصرف إلى حوض الترسيب قرب السطح عند المركز و يتم توجيه الجريان و المواد الصلبة عن طريق بئر الدخول الدائري باتجاه قاع الحوض، يجري الماء الرائق ببطء عبر الحوض ليتركه في قناة المخرج ، المياه الخارجة من حوض الترسيب تتلقى عادة معالجة إضافية في محطة معالجة ثانوية مدمجة كالمعالجة بالحمأة المنشطة، يتم كشط الرواسب من قاع حوض الترسيب إلى المركز ، يوجد شق في مركز الحوض يسمح بجريان المواد الصلبة إلى حجرة الهضم، يوجد تحت الشق غطاء واقي أو سدادة تمنع كتلة المواد العضوية من الهضم و الحمأة المتعفنة من الطفو و الصعود من سدادة حوض الترسيب . يتم تفكيك الحمأة لاهوائياً في حجرة الهضم لتم إزالة من قاع حوض الهضم بالضخ أو بالجريان بالثقالة إلى أحواض تجفيف الحمأة.

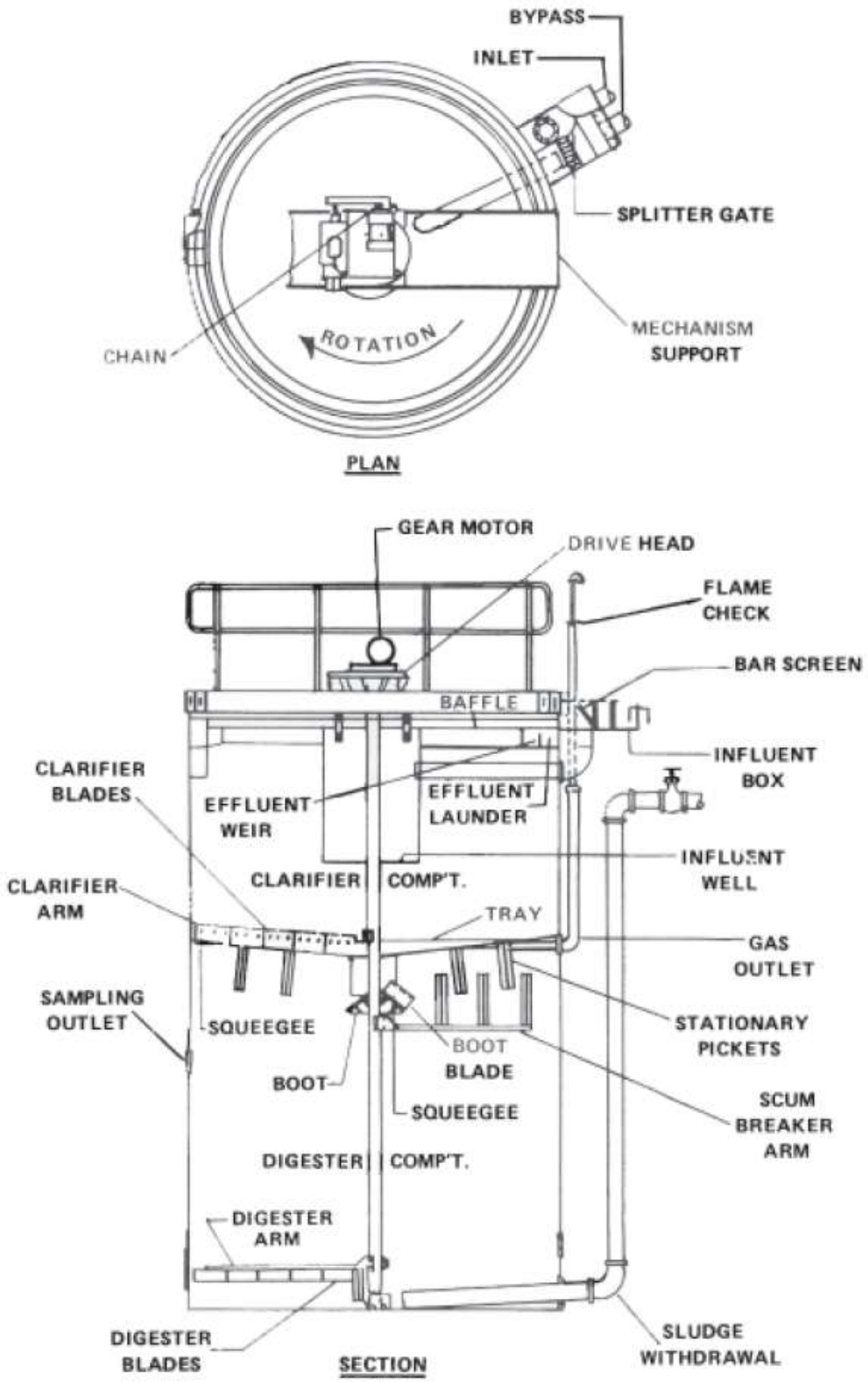


Figure 6.4 - *Sedimentation Digestion Unit*

أحواض إمهوف

الهدف من أحواض إمهوف

إن حوض إمهوف يجمع حوض الترسيب و حوض الهضم في نفس وحدة المعالجة ،

يمكن أن يكون حوض إمهوف دائرياً أو مستطيل الشكل و هو يقشم إلى ثلاثة أجزاء

١ – القسم العلوي أو حجرة الترسيب

٢ – القسم السفلي أو حجرة الهضم

٣ – منطقة تنفيس الغاز أو قسم الخبث

يتم فصل الحجرتين العلوية و السفلية بأرضية ذات ثلم (شق) مصمم ليسمح بمرور الجزيئات المترسبة إلى حجرة الهضم.

طور حوض امهوف لاصلاح سيئتين في تشغيل حوض الهضم .septic tank

١ – منع صعود الرواسب من جديد و مزجها مع المياه بعد خروجها من الشق الموجود في قاع حجرة الترسيب و اتخاذ الاحتياطات اللازمة لهضم هذه المواد الصلبة في حجرة الهضم

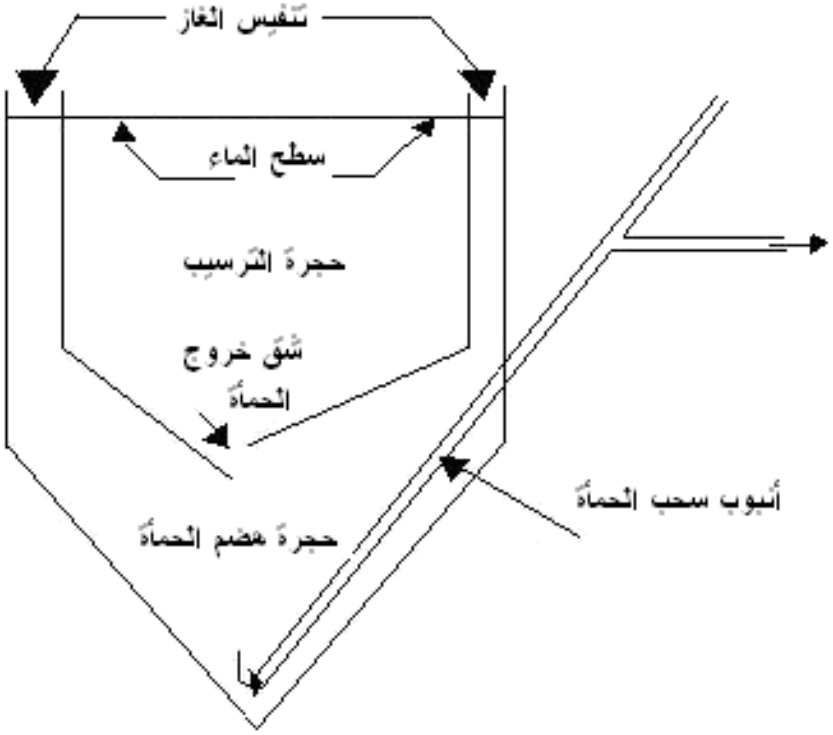
٢ – المياه الخارجة من حوض إمهوف قابلة للمعالجة في مراحل لاحقة

من المفضل التصميم بحيث يمكن قلب اتجاه التدفق في حجرة الترسيب فهذا يمنع تراكم الحمأة في أحد أطراف حجرة الترسيب ، أن القلب الدري لإتجاه الجريان ينتج تراكم متساوي على كامل أرضية حجرة الترسيب ،

أثناء تشغيل حوض إمهوف تعبر مياه الصرف الحجرة العلوية لتخرج من النظام بينما تترسب المواد الصلبة إلى القاع بمرورها على الجدار المائل لتخرج من الشق السفلي إلى حجرة الهضم السفلية.

أحد الجدران المائلة يمتد إلى الأسفل لتتجاوز حافة الشق بمسافة إضافية لا تقل عن 15 سم (انظر الشكل) ، هذا يشكل مصيدة تمنع غازات الجزيئات الصلبة المهضومة الموجود في الحجرة السفلية من الإنتقال إلى الحجرة العلوية .

يتم تحويل الغازات و أية جزيئات حمأة صاعدة إلى قسم تنفيس الغازات و تجميع الخبث.



يمكن استخدام نفس الحسابات السابقة المستخدمة لتصميم حوض الترسيب من أجل تحديد معدلات التحميل في منطقة الترسيب لحوض إمهوف.

تشغيل حوض إمهوف

لاتوجد أقسام ميكانيكية في حوض إمهوف و لكن يجن الإنتباه إلى ما يلي:

أ – إزالة الدسم و الخبث و المواد الصلبة الطافية يومياُ من حجرة الترسيب

ب – كشط الجدران المائلة ل حجرة الترسيب أسبوعياً بوساطة عصا ممسحة مطاطية لإزالة المواد الصلبة الملتصقة بالجدران حتى لا تتعفن

ت – تنظيف أسبوعي للشق في أسفل حجرة الترسيب و ذلك باستخدام جرار بسلسلة

ث – عكس دوري لإتجاه الجريان في حجرة الترسيب إذا سمح التصميم بذلك

ج – ضبط وضع الخبث في حجرة الخبث بتكسيره و رشه بالماء تحت الضغط باستعمال الخرطوم ليبقى رطباً ، تستعمل المياه الناتجة عن حوض الهضم و إزالتها إذا وصلت سماكة طبقة الخبث 60 إلى 90 سم

ح – يجب إزالة الحمأة من حجرة الهضم قبل أن تصل طبقة الحمأة إلى مسافة 45 سم عن الشق في قاع حجرة اتترسيب، من الأفضل إزالة كمية قليلة من الحمأة بتكرار أكبر من إزالة كمية

كبير على فترات زمنية طويلة ، و يجب إزالة الحمأ ببطء و بسرعة منتظمة لتجنب عملية تشكيل مخروط داخل طبقة الحمأة (أي تشكل قناة عبر طبقة الحمأة) فهذا يسمح بأن تسحب من الحوض الحمأة ذات الهضم الجزئي و الماء و المخزنة فوق الحمأة المهضومة، قبل حلول الشتاء و توقع انخفاض درجة الحرارة يجب سحب معظم الحمأة الموجودة في حجرة الهضم عدا كمية حمأة تلزم لتعمل كبذور (حوالي 20%) و ذلك لتأمين حيز لتراكم الحمأة في الشتاء حيث تكون عملية الهضم بطيئة ، و يجب تحديد عمق طبقة الحمأة في حجرة الهضم عند مدخل و مخرج الحوض مرة في الشهر على الأقل.

خ – بعد كل عملية إزالة للحمأة يجب غسيب أنبوب ضخ الحمأة و تفريغه من المياه لمنع جفاف الحمأة فيه و انسداده

د – يجب بذل أقصى الجهود لمنع تشكل الرغوة لأنه إصلاح الأمر بعد تشكل الرغوة صعب جداً ، تترافق الرغوة عادة بجود ظروف حمضية للحمأة و في هذه الحالة يمكن منع تشكلها أو إصلاح الوضع بالمعالجة بالكلس أو بيكربونات الصوديوم لتعديل الحموضة في الحمأة ، توجد بعض الإجراءات يمكن أن تحسن الوضع أحياناً منها:

1– إضافة كلس مطفأ أو بيكربونات الصوديوم إلى فتحات التنفيس قد يساعد في العلاج لكن يجب أن لاتزيد درجة PH 7.6

2– إخراج الحوض من العمل إن أمكن لعدة أيام و السماح له بالراحة فهذا قد يحسن الوضع أحياناً

3– تحريك منطقة تنفيس الغاز بخرطوم ماء أو بمحاريك قد يساعد أحياناً

لا توجد في حوض إمهوف أجزاء ميكانيكية ويسهل تشغيله وهو ذو كلفة تشغيل قليلة ، يعطي الحوض إمكانية للترسيب و الهضم في نفس وحدة المعالجة و ينتج مياه بمواصفات المعالجة الإبتدائية مع تقليل محتوى الماء من المواد الصلبة المعلقة بقيمة 40 – 60% و تقليل محتوى ال BOD ب 15 – 35% ،

تصميم الطابقين يتطلب حوض عميق ، في محطات المعاجة الكبيرة تم الإستعاضة عن المجموعة بحوض ترسيب ابتدائي و حوض هضم منفصل،

يفضل استخدام حوض إمهوف في التجمعات السكانية الصغيرة (لعدد سكان يقل عن 5000 نسمة) و حيث لا يلزم إجراء درجات معالجة إضافية.

بعض القيم النموذجية لعوامل تصميم و تشغيل أحواض إمهوف هي:

منطقة النرسيب

- زمن مكوث مياه الصرف لا يقل عن ساعة واحدة (1.0 – 2.0 hr) على أساس تدفق أعظمي ساعي
- معدل الترسيب السطحي (معدل التحميل السطحي) (25-50 $m^3/m^2/d$)
- معدل التحميل على واحدة الطول من هدار المخرج (400 - 800 $m^3/m/d$)
- نسبة إزالة المواد الصلبة المعلقة (35 % - 45%)
- نسبة إزالة BOD (35 % - 25%)
- أبعاد الحوض : الطول ألأصغري للجريان بين مدخل و مخرج الحوض بحدود 3 متر وعمق لا يقل عن 1.8 متر
- المسافة الحرة: المسافة الحرة فوق سطح الماء لا تقل عن 45 سم
- ميل أرضية الحوض : يجب أن يكون لأرضية الحوض ميل لا يقل عن 1.4 شاقول و 1 أفقي، و الشق في قاع حجرة الترسيب الذي يسمح بمرور المواد الصلبة لف فتحة أصغرية قدرها 15 سم
- المدخل و المخرج: يجب تصميم ترتيبات المدخل و المخرج بحيث يمكن عكس إتجاه الجريان ليسمح بتوزيع منتظم للمواد الصلبة في حجرة الهضم . و يجب تأمين عوارض كافية لكشط الخبث في نهاية منطقة الجريان.
- الهدارات: تصمم هدارات الخروج بنفس معايير التصميم في أحواض الترسيب الإبتدائية
- الممرات الضيقة:يجب تأمين ممرات ضيقة للمشاة على طول الحوض

منطقة هضم الحمأة

- سعة حجرة الهضم : يجب تأمين سعة تعادل 110 l/hd من أجل المعالجة الابتدائية مع تأمين حجم 170 l/hd في حال و جود حمأة ثانوية أيضاً تدخل حوض الهضم ، يقاس حجم حجرة الهضم أسفل المستوى الأفقي الذي يقع أسفل شق خجرة الترسيب مسافة 45 سم
- منطقة تنفيس الغاز: يؤمن مساحة قدرها 20% من المساحة الإجمالية للحوض من أجل تنفيس غاز حجرة الهضم
- ميل مخروط الحمأة: يجب أن يكون قاع حجرة الهضم منشأة على شكل مخروط بميل 1.75 شاقولي و 1 أفقي .

يتم عادة سحب الحمأة من حجرة الهضم باستخدام ضغط هيدروستاتيكي بفرق ضغط قدره 15 سم .

- و باستخدام أنبوب سحب حمأة بقطر يساوي أويزيد عن 20 سم زمن تخزين الحمأة 3 – 12 months

الفصل الرابع

المعالجة الثانوية

SECONDARY TREATMENT

مكونات عمليات المعالجة الثانوية

لحدوث معالجة ثانوية يلزم توفر عدة عوامل هي:

(1) الأحياء الدقيقة المسؤولة عن المعالجة
(2) مصدر لإمداد الأكسجين اللازم لتنفس البكتريا
(3) مياه الصرف الحاوية على المادة العضوية و التي تعتبر غذاء للبكتريا
(4) مزج يؤمن فرص أكبر لتماس البكتريا و المادة العضوية و الأكسجين.

تكاثر و نمو البكتريا

يمكن تعريف الحمأة الحية على أنها (مزيج من الأحياء الدقيقة تتفاعل تلامس و تهضم المواد القابلة للتحلل (غذاء) الموجودة في مياه الصرف.

- الحمأة الحية هي أحياء دقيقة.
- العمليات التي تنجز في الحمأة الحية هي عمليات بيولوجية
- التحكم الجيد بعمليات المعالجة العضوية يتم من خلال الضبط الجيد لنمو الأحياء الدقيقة

البكتريا Bacteria

- تشكل البكتريا حوالي 95% من كتلة الحمأة الحيوية
- هذه الأحياء وحيدة الخلية تنمو في مياه الصرف باستهلاكها (أكلها) للمواد القابلة للتحلل العضوي مثل البروتينات و الكربوهيدرات و الدسم و مواد عديدة أخرى

دور الأنزيمات The Role of Enzymes

الأنزيمتات هي مركبات تنتجها الأحياء . عملها هو المساعدة في حدوث التفاعل البيوكيميائي . إن كافة التفاعلات الكيميائية تقريباً تتطلب وجود أنزيمات تسبب حدوثها.

إن الأنزيمات تساعد البكتريا في عملية تفكيك المواد المغذية و في إعادة بناءها إلى مكونات جديدة تحتاجها في عملية النمو و التكاثر و تؤدي الأنزيمات عملها بكفاءة عندما تكون الظروف البيئية ملائمة فقط ، و إذا لم تكن الظروف ملائمة لا تعمل الأنزيمات بشكل جيد و بذلك فإن البكتريا لا تقوم بعملها جيداً و قد لا تتمكن من الحياة و إذا كانت الظروف جيدة فإن البكتريا تعيش و تزدهر .

النسبة غذاء إلى مواد حية F:M (Food to Microorganism ratio)

نقيس كمية المواد القابلة للتحلل و التي يمكن للبكتريا استعمالها كغذاء بقياس كمية BOD (الاحتياج البيوكيميائي للأكسجين) أو COD (الاحتياج الكيميائي للأكسجين) في التدفق الداخل إلى حوض التهوية. نقدر وزن الأحياء الدقيقة في السائل الممزوج بقياس كمية المواد الصلبة القابلة للتطاير (VSS) في الحمأة المنشطة . نستخدم المعلومات لتشكيل علاقة نسميها (النسبة غذاء إلى مواد حية) .(F/M ratio). هذه النسبة تعبر عن النمو و عن ظروف الخلية . فإذا كانت هذه النسبة مرتفعة فإن الأحياء تنمو عادة بشكل سريع (فهذا يعني وجود وفرة من الغذاء مقارنة مع عدد الأحياء الدقيقة) ؛ وإذا كانت هذه النسبة منخفضة فإن الأحياء تنمو عادة بشكل بطيء جداً (بسبب ندرة وجود الغذاء المتوفر لنمو الأحياء الدقيقة) ؛

استخدام الأكسجين The Use of Oxygen

البكتريا تحتاج الأكسجين لتعيش. يستخدم استهلاك الأكسجين لتحديد نشاط الكائنات الحية فالأحياء النشيطة تستهلك الغذاء بسرعة لذلك فهي تستهلك الأكسجين بمعدل عال . نقيس معدل استخدام الأكسجين يتجربة تدعى معدل استهلاك الاكسجين (OUR) ، أو معدل التنفس . يقاس بغرام O_2/h لكل غرام من MLSS – يترافق المعدل المرتفع عادة مع قيمة عالية للنسبة (F/M) و الحمأة الأحدث عمراً و يترافق المعدل المنخفض مع قيمة منخفضة للنسبة (F/M) و الحمأة الأطول عمراً (القديمة) ، لذلك إذا أردت معدل أعلى لاستهلاك الأكسجين ، يجب تصريف كمية أكبر من الحمأة . و تصريف كمية أقل إذا أردنا نسبة أقل من F/M .

تشكل الندف The Formation of Floc

عندما تبدأ البكتريا بالنمو تتطور عادة على شكل سلاسل أو مجموعات . هذه البكتريا شديدة النشاط و الحركة و يصعب ترسبها . فهي لم تطور بعد طبقة بيولوجية لزجة (slime) تساعدها لتلتصق مع بعضها . لذلك عندما يحدث المزج تتكسر الندف و التجمعات و تبقى الكائنات الحية مشتتة في السائل الممزوج و لاتتكتل أو تترسب.

بزيادة عمر الحمأة تفقد الكائنات الحية قدرتها على الحركة و تجمع بعض المواد العضوية اللزجة . ثم يسهل عليها أن تلتصق مع بعضها. تكبر الكتل الحيوية حجماً مع الوقت لتشكل ندفاً . إذا تكمنت الكائنات الحية من التطور بشكل ملائم ضمن الظروف الملائمة تكبر الندف و تتراص و تبدأ بالترسب .

إن المزج في حوض التهوية يجعل الندف تبقي بالحجم الصغير لأن قوى الترابط بينها ليس كبيراً رغم كون الأحياء لزجة ، و هذا أمر جيد فهو يسمح للخلايا الحية و الغذاء و الأكسجين لتتلاقى و تستمر عملية التهوية.

الأكسجين المنحل Dissolved Oxygen

تحتاج الكائنات الحية في حوض التهوية إلى الأكسجين لتتمثل الطعام من أجل الحفاظ على الخلية و للنمو.
رغم أن الكائنات الحية تحتاج الأكسجين فإن بعضها قد يكفيه من الأكسجين أقل مما يحتاج غيره من الكائنات .
فكل الكائنات يلزمها على الأقل 0.1-0.3 mg/L لتعمل بشكل ملائم. لذلك من الضروري الحفاظ على قيمة حوالي 2 mg/L من الأكسجين المنحل في حوض التهوية بحيث أنه حتى البكتريا الموجودة ضمن الندفة تحصل على حاجتها من الأكسجين
إذا كان تركيز الأكسجين المنحل أقل من 2 mg/L فإن الكائنات على حواف الندفة يحصل على الكمية المتوفرة من الأكسجين قبل أن يصل إلى مركز الندفة . فتموت الكائنات الموجودة في المركز و هذا يسبب تكسر الندف.

تأثير المزج The Effects of Mixing

يلزم المزج لتبقي الأحياء و المواد المغذية و الأكسجين مع بعضها و لتزيل نفايات أو منتجات التمثيل الخليوي .
إذا لم يوجد مزج كاف لن تحدث المعالجة الملائمة بسبب نقص التماس بين الكائنات الحية و بين الغذاء و الأكسجين ، و إذا كان المزج شديداً تتكسر الندف أو تشكل جزيئات متندفة غير مستقرة

تأثير ال PH The Effects of pH

إن الأنزيمات التي تنظم العديد من التفاعلات البيوكيميائية تعتمد كثيراً على قيمة ال PH ، القيمة المثلى ل PH هي بين 7 و 7.5 من أجل الإبقاء على الكائنات حية في وسط الحمأة المنشطة .

تأثير درجة الحرارة The Effects of Temperature

إن التفاعلات البيوكيميائية تعتمد كثيراً على درجة الحرارة . فالحرارة المنخفضة تسبب بطء التفاعلات . وأثناء فصل الشتاء نحتاج إلى كائنات حية أكثر عدداً للقيام بنفس العمل الذي تقوم به الكائنات الحية في فصل الصيف.

تأثير المواد المغذية The Effects of Nutrients

تحتاج الأحياء الدقيقة إلى مواد مغذية معينة من أجل نموها . المواد المغذية الأساسية المتوفرة في مياه الصرف البلدية هي : الكربون (C) يعبر عنه ب BOD ، النتروجين (N) ، الفوسفور (P) ضمن النسبة BOD:N:P 100: 5 :1 .
بالاضافة للكربون و النتروجين و الفوسفور ، نحتاج كميات ضئيلة من الصوديوم و البوتاسيوم و المغنيزيوم و الحديد و مواد أخرى عديدة ، و تتوفر معظم هذه المواد المغذية في مياه الصرف البلدية العادية.

إن معظم مشاكل نقص المواد المغذية تحدث عند وجود كمية كبيرة من مياه الصرف الصناعية . ففي حال عدم توفر المواد المغذية تفشل عملية التمثيل الخليوي و يبدأ تراكم نوع معين من الشحم البكتيري (slime) حول الخلية . يتباطأ نشاط الخلية لأنها لا تستطيع انتاج الأنزيمات الكافية ولأن المواد المغذية اللازمة لاتستطيع اختراق طبقة الشحم لتصل إلى الخلية . لن تترسب الحمأة و ستتباطأ عملية إزالة ال BOD

وحيدات الخلية و الدولابيات Protozoa & Rotifers

إن وجود نوع معين من وحيدات الخلية يتبع نوعية التدفق الخارج و أداء محطة المعالجة . فوحيدات الخلية تلعب دوراً ثانوياً و لكنه هاماً في التنقية الهوائية لمياه الصرف.

إن وحيدات الخلية في عمليات معالجة الحمأة المنشطة يقع في أربعة تصنيفات رئيسة:
الأميبا Amoebae – السوطيات Flagellates و الهدبيات Ciliates (حرة السباحة Free-swimming والزاحفة Crawling و ذات الساق Stalked).

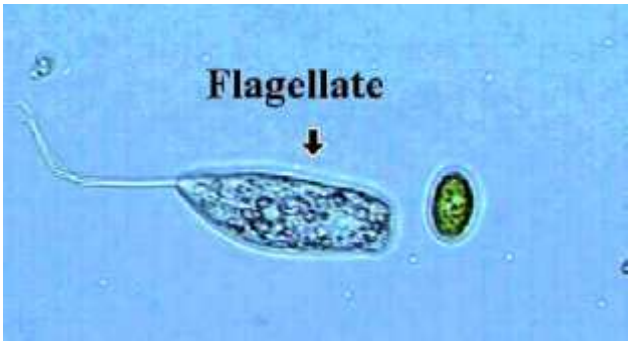
- **الأميبا Amoebae**

الأميبة هي وحيدات الخلية الأكثر قدماً تتحرك بأقدام كاذبة غالباً ما توجد في مياه الصرف الخام ووجودها في حوض التهوية قصير الأمد . تتكاثر الأميبا فقط في حال وفرة المواد المغذية في حوض التهوية. إنها تتحرك

ببطء شديد و يصعب عليها المنافسة من أجل الغذاء إذا كان توفره محدوداً . لذا تتواجد الأميبا في حوض التهوية لفترة محدودة فقط.

تتغذى الأميبا على الجزيئات العضوية الصغيرة . عند تواجد الأميبا بعدد كبير في حوض التهوية فإن هذا يشير بأنه يوجد نوعاً من حمولة الصدمة في محطة المعالجة (حيث يتوفر الغذاء بكمية كبيرة) . قد يشير وجودها أيضاً على بيئة ذات أكسجين منحل منخفض في حوض التهوية لأنها يمكن أن تتحمل مستويات منخفضة جداً من الأكسجين المنحل.

السوطيات Flagellates



معظم السوطيات تمتص المواد المغذية المنحلة . حالما تبدأ الأميبا بالاختفاء و بينما يوجد تركيز كبير للغذاء المنحل فإن كلاً من السوطيات و البكتريا تتغذى على المواد المغذية العضوية الموجودة في مياه الصرف، و بتدني مستوى المواد المغذية يصعب على السوطيات منافسة البكتريا على الغذاء المنحل فيبدأ عددها بالتناقص.

إذا وجد عدد كبير من السوطيات في المراحل المتأخرة من تطور عملية الحمأة المنشطة فإن هذا يشير إلى أن مياه الصرف مازالت تحوي كمية كبيرة من المغذيات المنحلة.

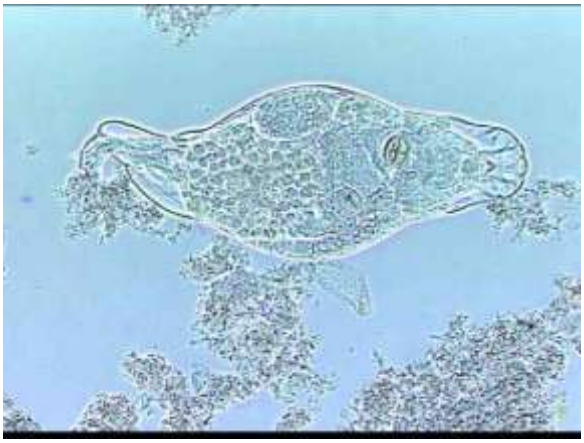
- **الهدبيات Ciliates**

تتغذى الهدبيات على البكتريا و ليس على المواد العضوية المنحلة . عندمي تتنافس كلاً من البكتريا و السوطيات على المغذيات المنحلة . فإن الهدبيات تتنافس مع هدبيات أخرى و الروتيفير على البكتريا. إن وجود الهدبيات يشير على حمأة جيدة لأنها توجد بعد تشكل الندف و بعد إزالة معظم المواد الوغذية العضوية.

  - الهدبيات حرة السباحة – تظهر هذه الهدبيات عندما تبدأ السوطيات بالاختفاء . بزيادة عدد البكتريا يكون عدد كبير من البكتريا المشتتة متوفر من أجل الغذاء و بظهور ندف متشتتة قليلاً يتزايد عدد الهدبيات السابحة

- الهدبيات الزاحفة – بزيادة حجم جزيئات الندف و ثباتها ، فإن الهدبيانت الزاحفة تقترب من الندفة لتتلامس معها. فالهدبيات الزاحفة تنافس الهدبيات حرة السباحة على الغذاء لأنهم يمكن أن يجدا الغذاء ضمن الندفة.
- **الهدبيات** السوطية – تظهر الهدبيات السوطية في الحمأة الناضجة . فضمن الحمأة الناضجة الهدبيات الزاحفة و السوطية تتنافس على السيطرة.

الدولابيات Rotifers



إن الدولابيات نادراً ما توجد بعدد كبير في عمليات معالجة مياه الصرف . وإن الدور الأساسي لها هو إزالة البكتريا و تطوير الندف .

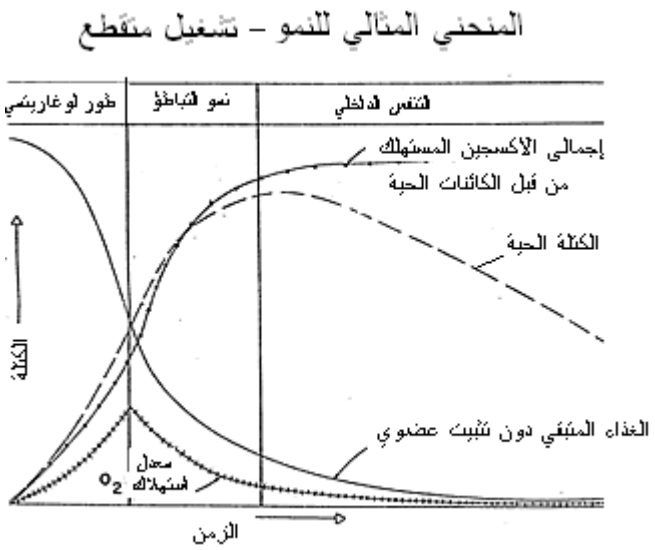
تسهم الدولابيات في إزالة عكارة المياه الخارجة من المحطة وذلك بإزالة البكتريا غير المتندفة . المادة المخاطية Mucous التي تفرزها الدولابيات إما بفمها أو بأقدامها تساعد في تشكل الندف . الدولابيات تحتاج زمناً أطول لتوجد في عمليات المعالجة و هي تشير إلى زيادة ثبات النفايات العضوية.

مواصفات النمو Growth Characteristics

إذا كان الغذاء وفيراً فإن البكتريا تستخدم معظمه من أجل النمو و بعضه من أجل انتاج الطاقة

- إن الخلية في طور النمو يكون لها أهداب flagella (بنية تشابه الشعر على الجدار الخارجي للخلية) هذه الأهداب تمكن الخلية من الحركة (من أجل البحث عن الغذاء).
- الخلية الواحدة تتكاثر بالانشطار إلى خليتين أصغر و تتوالى عملية الانشطار لتتكاثر الخلايا الحية
- عندما يكون الغذاء المتوفر للنمو قليلاً فإن البكتريا تستخدم الغذاء القليل المتوفر من أجل انتاج الطاقة للحفاظ على الخلية . و بذلك يكون التكاثر بطيئاً جداً أو معدوماً
- عندما يكون الغذاء المتوفر قليلاً وفي محاولة للحفاظ على الطاقة فإن البكتريا تفقد أهدابها و تصبح غير قادرة على الحركة .
- النفايات المنتجة تبدأ بتشكيل طبقة ســـــميكة من الحمأة العضوية (slime) خارج جدار الخلية و هذا يجعل الخلايا تلتصق ببعضها

منحني نمو البكتريا



إن فهم مواصفات النمو للبكتريا يكون أفضل بدراسة منحني النمو.

- الطور البدائي البطيء : أثناء هذا الطور تصبح البكتريا متكيفة مع محيطها الجديد فهي تهضم الغذاء و تطور أنزيمات و أشياء أخرى لازمة للنمو
- طور النمو السريع: البكتريا بأسرع معدل ممكن بسبب وجود وفرة من الغذاء و غالباً ما تكون الخلايا موجودة في السائل بشكل متشتت.غير ملتصقة ببعضها .
- طور النمو المتباطئ : يتباطأ التكاثر بسبب عدم وجود كمية وفيرة من الغذاء فإن معظم الغذاء تم استهلاكه مسبقاً و يوجد عدد كبير من البكتريا تتنافس على القليل من الغذاء المتبقي ، فالبكتريا ليس لديها الكمية الكافية من الغذاء المتبقي للحفاظ على معدل أعظمي للنمو.
- طور المعدل الثابت للنمو: عدد البكتريا هو أكبر عدد ممكن لهذه المستعمرة و لكن لايوجد كمية كبيرة من الغذاء ، لذلك لا يمكن أن يزيد عدد البكتريا . يوجد بعض التكاثر و لكن يوجد أيضاً موت لبعض البكتريا لذلك يبقى العدد ثابتاً . البكتريا قد فقدت الآن أهدابها و لها مادة لزجة تغطي خارج الحلية و تسمح للخلايا بالتجمع على شكل ندف . في الحقيقة تكبر الندف لدرجة تمكنها من الترسب إلى القاع إذا توقفت عملية التهوية و التحريك
- طور الموت : يتزايد معدل الموت مع القليل إن وجد من التكاثر. لذلك يتناقص العدد الكلي للبكتريا ، و البكتريا تحاول البقاء حية فقط لكن دون أي نشاط فعلي.

يبين الشكل رقم ( ) حالة مزرعة بكترية حيث تبدأ التجربة بكمية غذاء ابتدائية ولا يتم إضافة أية بكتريا جديدة مع الزمن. و لكن في محطات المعالجة يكون لدينا تدفقات مستمرة من مياه الصرف و بالتالي يصبح منحني التطور بازدياد دائم .

و تتعلق كفاءة عملية المعالجة بالنسبة F / M . فإذا زادت هذه النسبة عن حد معين تضعف عملية المعالجة البيولوجية ، و المال الأفضل للمعالجة البيولوجية هو طور الزيادة اللوغاريتمية و هنا لا بد من إدخال مفهوم زمن المكوث (عمر الحمأة) .

$$\theta c = [X]t / [\Delta X]t \quad (days)$$

حيث [X]t كمية المواد الصلبة الإجمالية الموجودة في نظام التهوية

[ΔX]t تزايد كمية المواد الصلبة اليومي

توجد عدة طرق لمعالجة مياه الصرف بيولوجياً تعتمد جميع هذه الطرق على تحريض تماس مباشر بين ال O_2 الموجود في الهواء وبين المواد العضوية الموجودة في مياه الصرف بوجود بكتريا هوائية نشيطة تعمل على أكسدة المواد العضوية ، من هذه الطرق عمليات نمو البكتريا على طبقة رقيقة ثابتة من البكتريا و المواد العضوية Fixed Film Processes أو في وسط معلق في سائل Suspended Growth Processes

تصنيف عمليات المعالجة الثانوية

إن تصنيف عمليات المعالجة الثانوية تعتمد غالباً على طبيعة النمو البكتيري ، فالأحياء يمكن أن تكون معلقة في مياه الصرف أو تكون مرتبطة إلى سطح غير فعال عضوياً.

- عمليات النمو على طبقة ثابتة Fixed Film Processes

عمليات النمو على طبقة ثابتة تتضمن ما يلي:

(١) المعالجة بالأراضي

(٢) المرشح الحجري Trickling filter, أو المرشحات البيولوجية Biofilters

(٣) الأقرص الدوارة

أما عمليات النمو المعلق (طريقة المعالجة الأكثر شيوعاً) فتتضمن :

١. البحيرات Lagoons منها
   a. بحيرات التوازن Waste stabilization ponds
   b. البرك المهواة – Aerated Lagoons

٢. الطرق التقليدية للتهوية بالحمأة المنشطة Conventional (tapered aeration)
٣. الطرق المطورة للتهوية بالحمأة المنشطة مثل
   a. التهوية على مراحل Step aeration,
   b. التثبيت ببرك التماس
   c. التهوية المطولة
   d. خنادق الأكسدة
   e. التهوية بالأكسجين النقي

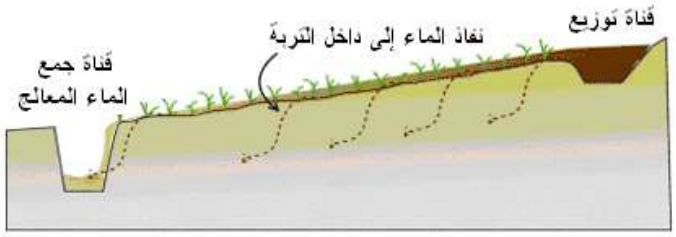
عمليات النمو على طبقة ثابتة Fixed Film Processes

المعالجة بالأراضي: Land based treatment

تعتمد المعالجة بالأراضي على فعل البكتريا الموجودة في التربة لتحليل المواد العضوية الموجودة في مياه الصرف الصحي.

يتم إضافة مياه الصرف إلى ارض طبيعية مائلة تساعد على جريان مياه الصرف غير مبطنة من خلال أقنية توزيع، تضاف مياه الصرف الخام إلى قناة علوية و يتم استقبال المياه المعالجة من القناة السفلية يتم العمل بشكل متقطع و يعتمد معدل المعالجة على نفاذية التربة و فقدان المياه بالتبخر من على سطح التربة .

تقوم البكتريا الموجودة على سطح التربة بتحليل المواد العضوية كما أن النباتات تقوم بدور في المعالجة



المعالجة بالأراضي

فهي تستهلك الأملاح الناتجة المغذية عن المعالجة مثل النتروجين و الفوسفور الذي يتحرر نتيجة تحلل المواد العضوية . غالباً ما تكون النباتات عبارة عن مرج يتم حصادها و تقديمها كعلف للحيوانات و قد تكون النباتات جزء من غابة طبيعية تستخدملنمو المحاصيل. في هذه الحالة أيضاً تقوم الأشجار و النباتات باستهلاك المواد المغذية التي تحررها المعالجة و طبعاً يتم اختيار نباتات للاستهلاك غير الآدمي

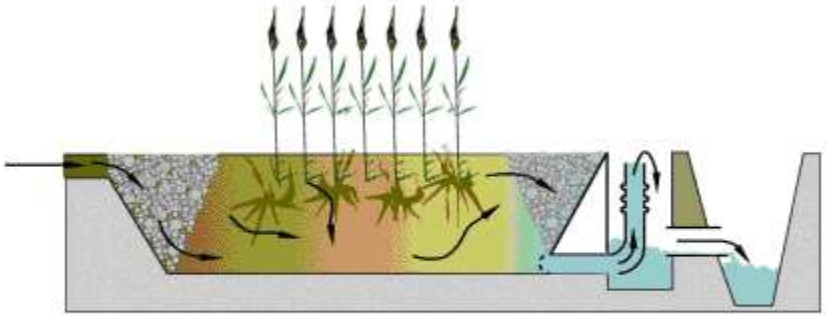
و عندما تكون التربة مشبعة بالمياه في حالة الهطول المطري يجري الماء فوق الأرض . في هذه الحالة يتم إزالة المواد العضوية عن طريق الترشيح بالمروج أو بنظام النمو المعلق

الترشيح بالمروج

المعالجة بالأراضي الرطبة الاصطناعية Constructed wetlands

الأراضي الرطبة الإصطناعية حي حالة وسط بين المعالجة بالأراضي و المعالجة بالبحيرات فهي تتألف من أرضية بحصية .

يتم نمو الأحياء اللازمة للمعالجة بين حبات البحص و كذلك يحرض نمو نباتات تستهلك الأملاح المغذية الناتجة عن المعالجة

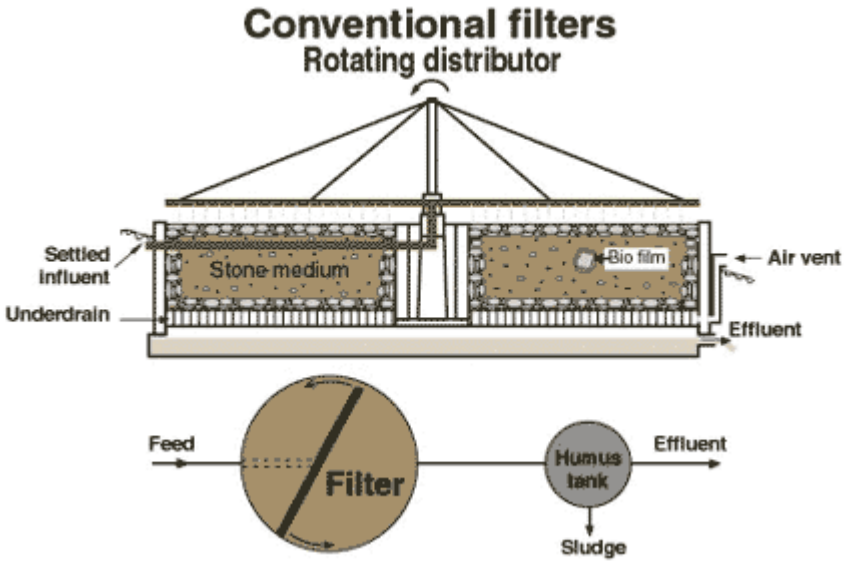


الأراضي الرطبة الاصطناعية

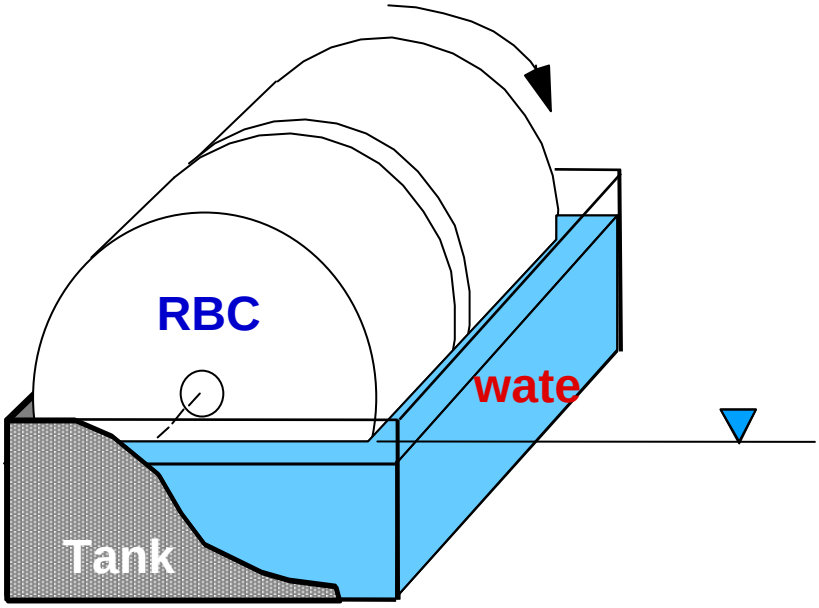
الترشيح الحجري Trickling filtration

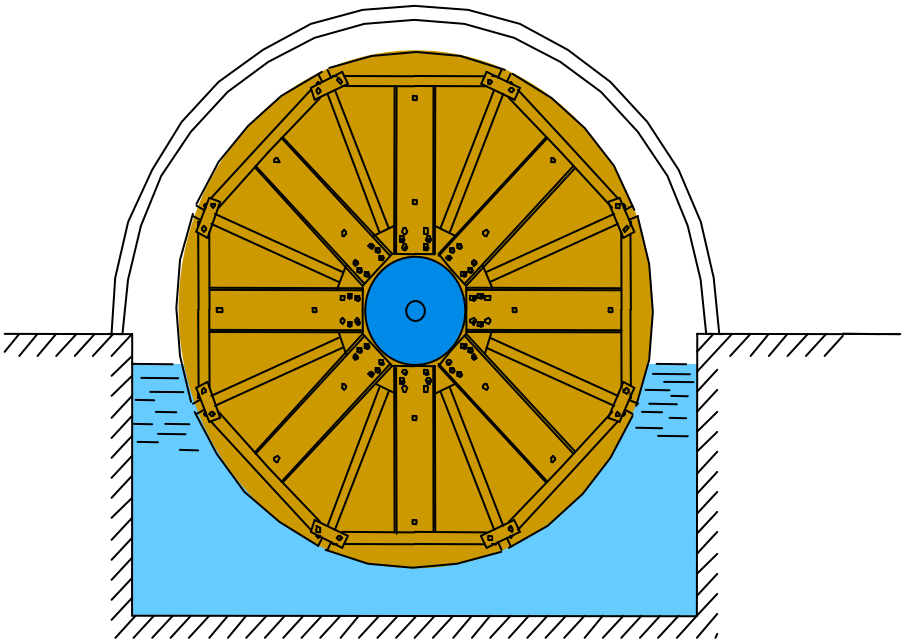
يتم تحريض نمو البكتريا اللازمة للمعالجة على طبقة من الحجارة حيث ترش مياه الصرف على سطح الحجارة وتستخدم البكتريا الأكسجين المتوفر في الفراغات بيمن الحجارة من أجل التنفس و تتغذى على المواد العضوية. يمكن أحياناً زيادة كفاءة المعالجة بضخ هواء ضمن طبقة الحجارة و إعادة تدوير الماء المعالج الحاوي على البكتريا النشيطة ، و قد يستعاض عن الحجارة بقطع من البلاستيك أو الخشب لنمو البكتريا على سطحها . مع مرور الزمن تنمو طبقة بيولوجية من البكتريا تساهم في زيادة معدل المعالجة و بزيادة سماكة هذه الطبقة البيولوجية تتقشر عن سطح الحجارة و تخرج مع الماء المعالج .

الماء الخارج من المرشح الحجري يحوي ندف حية يجب إزالتها عن طيق حوض ترسيب ثانوي



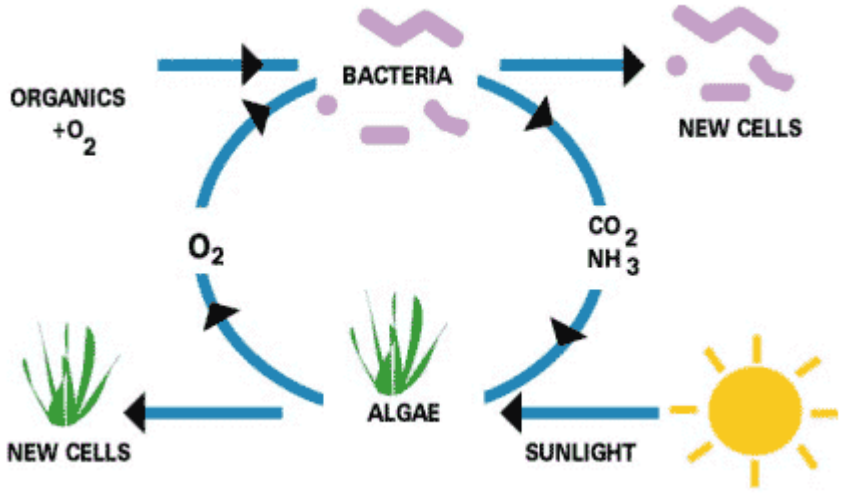
الترشيح بالأقراص البيولوجية الدوارة





عمليات النمو المعلق

برك التوازن



البرك المهواة

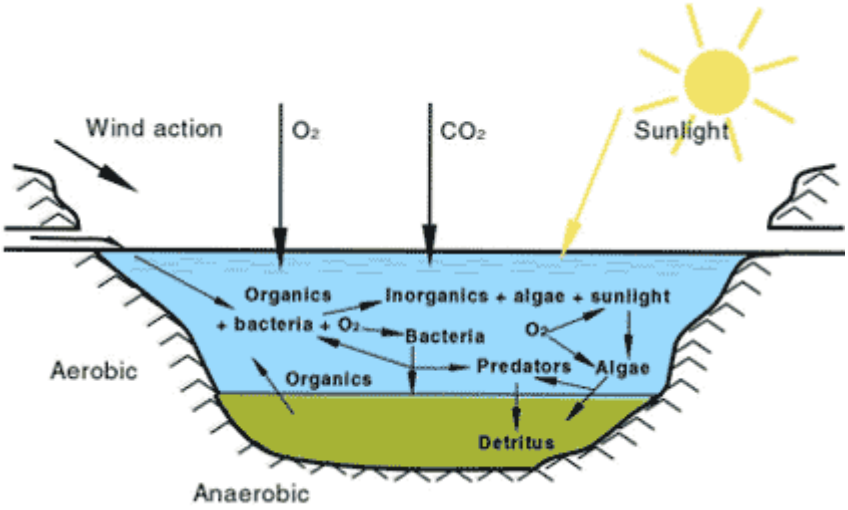


Figure 2.26: Symbiotic relationship between bacteria and algae in a wastewater lagoon

المعالجة بالحمأة المنشطة

تعريف عملية الحمأة المنشطة:

إن عملية الحمأة المنشطة هي نظام معالجة يعتم النمو المعلق ماذال يعمل بكفاءة عالية منذ بداية القرن العشرين ، شتق اسم عملية المعالجة من حقيقة أن الحمأة المترسبة في حوض الترسيب النهائي يحوي أحياء مجهرية حية أو نشيطة يتم إعادتها إلى هوض التهوية بهدف زيادة الكتلة الحية المتوفرة في الحوض ولتسريع عملية التفاعل.

قد يكون نظام الجريان في حوض التهوية يعمل بنظام المزج الكامل completely mixed أو بنظام تدفق متقطع plug - flow process .

عملية المعالجة هوائية يتم إمداد الحوض بالأكسجين بحله من الهواء الحاوي عليه.

مكونات نظام المعالجة بالحمأة المنشطة:

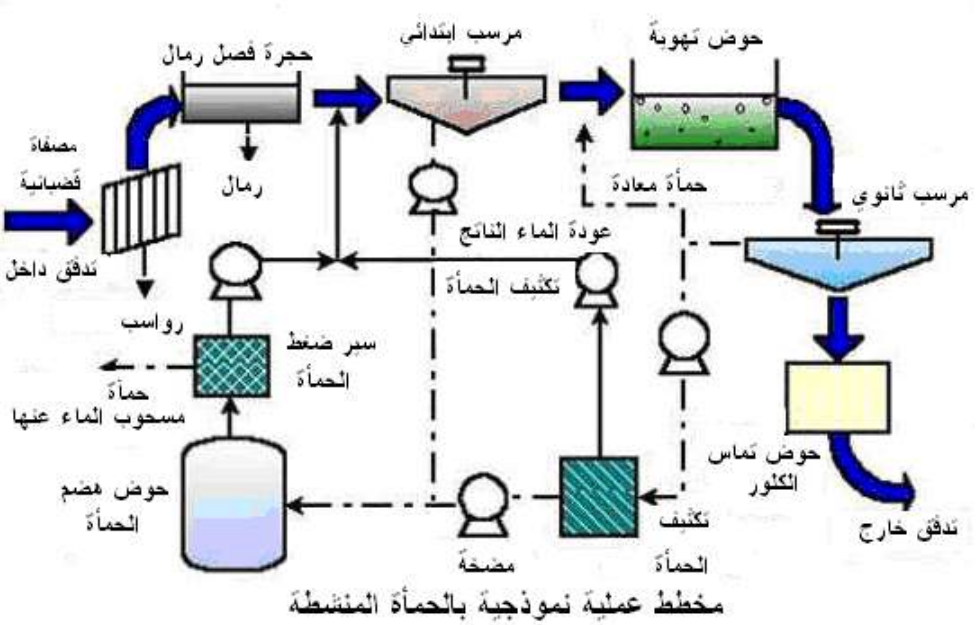
يتألف نظام المعالجة بالحمأة المنشطة من:

١. حوض التهوية يتم فيه التفاعل البيولوجي و تمزج فيه الحمأة المنشطة مع مياه الصرف الداخلة إلى الحوض، يعرف المزيج الناتج بالسائل الممزوج Mixed Liquor
٢. حوض ترسيب لترسيب الندف المتشكلة
٣. نظام ضخ الحمأة يعيد جزءاً من الحمأة المترسبة في حوض الترسيب النهائي إلى مدخل حوض التهوية
٤. نظام تهوية يؤمن تغذية دائمة من الأكسجين إما عن طريق بث الهواء الحاوي على الأكسجين أو بضخ الأكسجين مباشرة
٥. وسيلة لسحب باقي الحمأة المترسبة من حوض الترسيب النهائي يومياً.

إن الصفة المميزة لنظام الحمأة المنشطة هو إمكانية التحكم بزمن المكوث لكل من المواد الصلبة للحمأة المنشطة و للتدفق السائل الخارج أي توجد إمكانية للتحكم و ضبط عملية المعالجة.

يعطى معدل التحميل العضوي في نظام الحمأة المنشطة بالعامل F/M

أي kg BOD / kg MLVSS . d



مخطط عملية نموذجية بالحمأة المنشطة

طرق مطورة عن عملية الحمأة المنشطة

توجد تصنيفات ثلاثة لعملية الحمأة المنشطة وفقاً للنسبة (تحميل المادة العضوية إلى كتلة الخلايا الدقيقة) هي معدل تحميل عالي – متوسط – منخفض

مجال التحميل النموذجي		
مجال التحميل	عمر الحمأة	F/M (kg BOD5 /kg MLVSS . day
عالي	3 - 5	0.4 – 1.5
متوسط	5 - 15	0.2 – 0.4
منخفض	15 - 30	0.05 – 0.2

يمكن تعديل شكل و عدد أحواض التهوية ضمن الحدود المذكورة في الجدول من أجل تغيير نموذج الجريان

العملية التقليدية للحمأة المنشطة (جريان دفعي Plug Flow)

في عملية المعالجة التقليدية بالحمأة المنشطة يتم تقديم مياه الصرف الخارجة من حوض الترسيب النهائي إلى حوض تهوية بيتوني كبير طويل و يتم تقديم أعداد ممزوجة من الأحياء الدقيقة (الحمأة المنشطة) .ويتم تحريك المزيج بنفخ الهواء فيه و يتم كذلك إدخال الأكسجين لحصول التحلل البيولوجي الهوائي بسرعة أكبر.

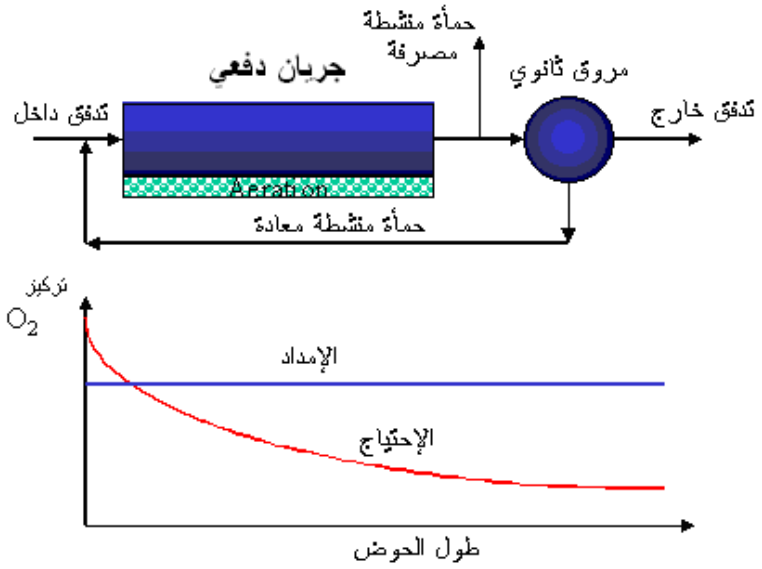
بعد 6 إلى 8 ساعات من التهوية يجري المزيج إلى داخل حوض ترسيب كبير من أجل التخلص من الكتلة الحية و سحب الماء الرائق من أجل تعقيمه و تفريغه في الكتلة المائية المستقبلة القريبة.

يتم التخلص من الكمية الفائضة من الأحياء بنقلها إلى مرحلة معالجة الحأة و تحويل الجزء المتبقي إلى حوض التهوية.

في هذا الترتيب يكون الإحتياج الأكسجيني أكبر ما يمكن قرب مدخل مياه الصرف من حوض التهوية و يتناقص بانتقال الماء عبر الحوض لذلك عند تصميم حوض التهوية على المهندس المصمم أن يتأكد من إدخال كمية أكبر من الأكسجين ووضع عدد أكبر من نافثات الهواء عند منطقة الدخول.

في هذا النظام تجري مياه الصرف عبر سلسة من الأقنية الموجودة ضمن حوض التهوية على شكل تدفق دفعي يتم معالجتها أثناء الإنتقال على طول الحوض ويقل تركيز المواد العضوية بشكل كبير.

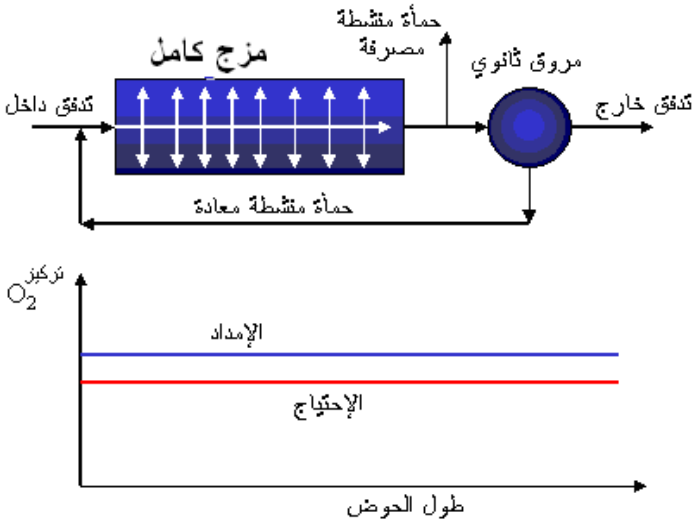
يمكن تغيير نظام الجريان بإضافة الحمأة المعادة بكميات متزايدة عند مواقع مختلفة على طول الحوض؛ فتقل قيمة ال BOD بمرور مياه الصرف على طول الحوض فينخفض بالتالي الإحتياج للهواء و العدد البكتيري اللازم للمعالجة.



حمأة منشطة تقليدية

عملية الحمأة المنشطة ذات المزج الكامل (Completely Mixed)

قد يتم مزج مباشر لمياه الصرف القادمة مع كامل محتويات حوض التهوية (يتم المزج مع البكتريا و الأكسجين) ، هذه الحال هي الشائعة في معظم أحواض التهوية المستخدمة حالياً ، و بما أن مياه الصرف تمزج بالكامل مع البكتريا و الأكسجين يكون تركيز المواد الصلبة الطيارة واحداً على كامل حجم الحوض

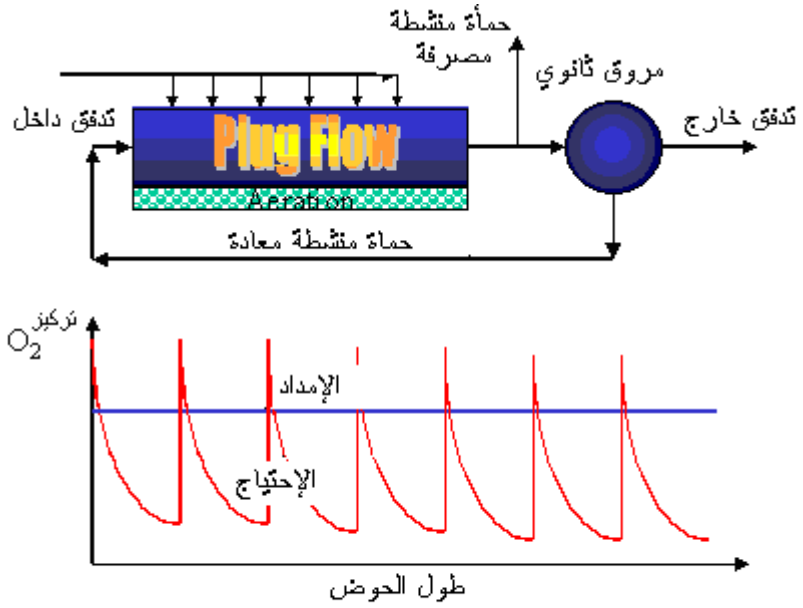


حمأة منشطة بمزج كامل

عملية الحمأة المنشطة ذات التهوية التدريجية (Step Aeration)

لجعل تحميل ال BOD متساوياً على طول الحوض و بالتالي جعل تحميل ال O_2 متساوياً على طول الحوض يمكن أن نجعل جريان مياه الصرف يدخل الحوض من نقاط متعددة على طول الحوض و هذا يدعى بالتهوية التدريجية (step aeration). تكون قيمة ال BOD بأعلى قيمة لها ند نقاط دخول مياه الصرفو لكن هذا التركيز أقل بكثير من حالة نظام التهوية التقليدي.

في هذه الحالة يمكن توزيع ناشرات الهواء بشكل متساوي لجعل التصميم أكثر سهولة.



حمأة منشطة بالتهوية التدريجية

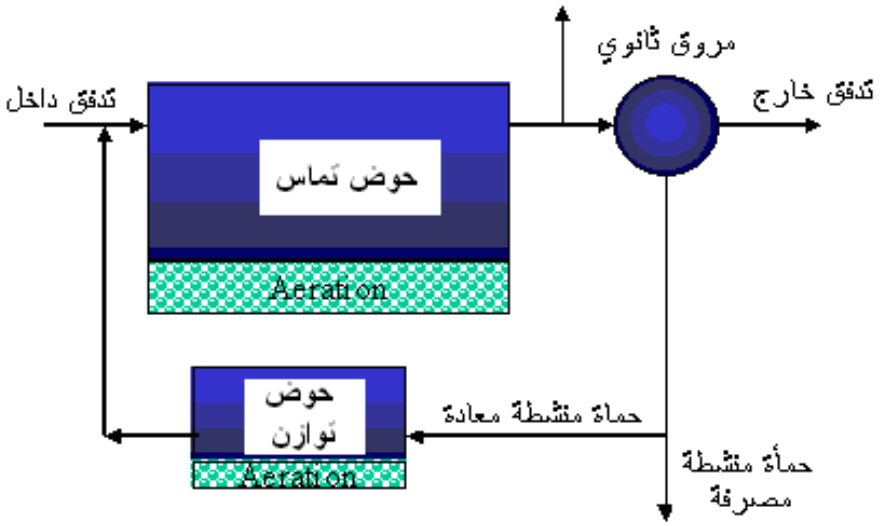
الحمأة المنشطة مع أحواض التماس Contact Stabilization

في هذه العملية يتم تحريض تماس بين مياه الصرف و الأحياء الدقيقة المسؤولة عن المعالجة لفترة زمنية قصيرة جداً (ساعة إلى ساعتين مقارنة مع المعالجة التقليدية التي تستمر 6 إلى 8 ساعات) ، فبعد عملية الترسيب يتم ضخ الحمأة المنشطة إلى أحواض تفاعل خاصة يتم فيها هضم البكتريا للمواد المغذية التي استخلصوها من مياه الصرف .

رغم أن هذا الترتيب ليس بنفس كفاءة حوض الحمأة المنشطة التقليدي لكنه يكون أكثر ثباتاً عندما تكون مياه الصرف عرضة لتغيرات كبيرة من حيث التدفق و التحميل العضوي.

إن الأحياء الدقيقة تستهلك المواد العضوية في حوض التماس ، تجري مياه الصرف إلى حوض التماس حيث يتم تهويتها و مزجها بالبكتريا، المواد المنحلة تمر عبر جدار الخلية بينما تلتصق المواد غير المنحلة إلى الطرف الخارجي من الجدار. يتم ترسيب المواد الصلبة فيما بعد ليتم صرفالفائض منها أو تعاد إلى حوض التماس لأنهاى تحتاج غذاء أكثر.

بقلل زمن المكوث إلى القيمة الدنيا بحيث يكون حجم حوض التماس أصغر لأن الحوض يستقبل الحمأة الراجعة المركزة ولايستقبل مياه الصرف. غالباً ما يستغنى عن وضع حوض ترسيب ابتدائي قبل حوض التماس بسبب الاستهلاك السريع لغذاء البكتريا من المواد المنحلة و غير المنحلة.



أحواض التثبيت بالتماس

الإمداد بالأكسجين النقي ...High Purity Oxygen

يوجد تعديل لعملية المعالجة بالحمأة المنشطة هي استعمال الأكسجين النقي بدلاً من الهواء من أجل التهوية.
يمكن نقل الأكسجين النقي إلى عملية المعالجة بمعدل أسرع بكثير من أجل إرجاع المواد العضوية بسرعة أكبر (حوالي ضعفي معدل الإرجاع للمعالجة التقليدية).
بذلك يمكن تخفيض حجم حوض التهوية غلى زمن مكوث يعادل نصف زمن المكوث في النظام التقليدي. إن توليد الأكسجين النقي مكلف لذلك يتم تغطية حوض التهوية للحفاظ عليه .
إن التوفير في كلفة إنشاء مثل هذا النظام قد يعدل بزيادة كلفة التشغيل نتيجة لكلفة إنتاج الأكسجين، لذلك يستخدم في حال الأراضي عالية السعر.

التهوية المطولة Extended Aeration

في هذا التغيير لعملية المعالجة بالحمأة المنشطة يزداد زمن التهوية إلى حوالي 24 ساعة . إن الفائدة الأساسية من هذا الترتيب هي أن معدل صرف الحمأة المنشطة من العملية تقترب من الصفر.
تزداد كفاءة المعالجة و تزداد كلفة الطاقة اللازمة ، يتم استبعاد حوض الترسيب الإبتدائي .
يتم تصميم هذا النظام عادة من أجل التدفقات الصغيرة (أقل من $3500\ m^3 / d$) و يمكن أن تكون المنشاة مسبقة الصنع.
تستخدم هذه الطريقة لمعالجة مياه صرف صناعية تحتاج زمن مكوث طويل ه نفس مواصفات التهوية ذات المزج الكامل.
إن ميزة زمن المكوث الطويل في حوض التهوية هي أنه يؤمن عملية موازنة لإمتصاص حمولات الصدمة و غنتاجه لكمية أقل من الحمأة لأن بعض البكتريا يتم هضمها في حوض التهوية.و هو من أبسط أشكال التعديل للمعالجة التقليدية بالحمأة المنشطة.

طرق أخرى مطورة عن عملية الحمأة المنشطة

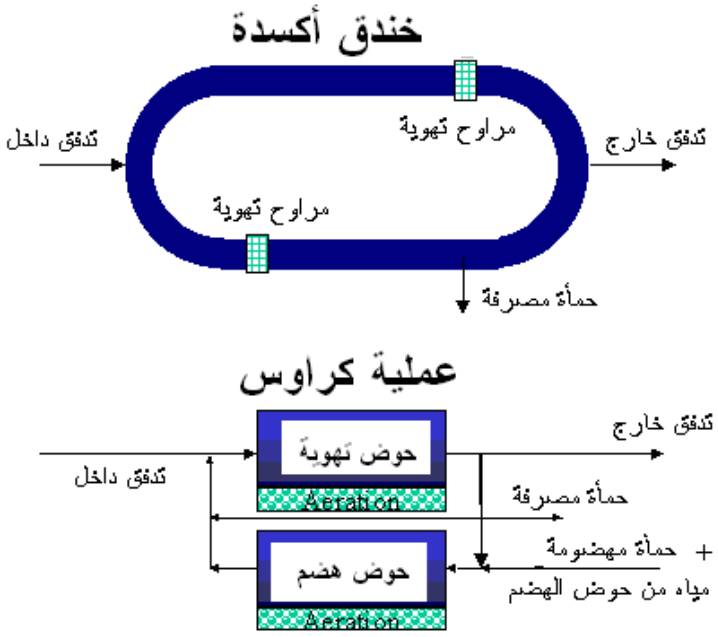
خنادق ألكسدة: Oxidation ditch

هو نظام مشابه لنظام الجريان الدفعي و لكنه يستخدم أحواض تهوية دائري .

التغذية التدريجية Step feed : يتم تقديم مياه الصرف من نقاط مختلفة على طول الحوض.

التهوية المتناقصة تدريجياً: يمكن إنقاص معدل التهوية على طول الحوض

عملية التهوية بنظام كراوس: يتم إضافة حمأة معرضة للهضم اللاهوائي و مياه ناتجة عن حوض الهضم إلى الحمأة المنشطة الراجعة ليسهم في تحسين صفات الترسيب للندفة الحية، فالندفة التي تعرضت لعملية هضم لا هوائي تكون أكثر كثافة و تترسب بسرعة ، و عند إضافتها إلى الحمأة الثانوية الأخف وزناً تضيف لها وزناً و تساعدها على الترسيب..



الجدول رقم ( ) يبين استخدامات الطرق المعدلة عن الحمأة المنشطة

الطريقة المعدلة	مجال الاستخدام
التقليدية	مياه صرف صحي ضعيفة القوة، عرضة لحمولات الصدمة
المزج الكامل	تطبيق عام ، مقاوم لحمولات الصدمة مع مهويات سطحية
التهوية التدريجية	تطبيق عام على مجال واسع من مياه الصرف
التهوية المعدلة	درجة متوسطة من المعالجة تكون فيها وجود النسج الخلوية في مياه الصرف أمر غير مرفوض .
التثبيت بالتماس	توسع الأنظمة الحالية و محطات المعالجة المدمجة ، هو نظام مرن
التهوية المطولة	من أجل المجتمعات الصغيرة، و المحطات المدمجة ، هو نظام مرن مع مهويات سطحية.
عملية كراوس	محتوى قليل بالنتروجين ، لمياه صرف قوية
تهوية ذات معدل عالي	تستخدم مع مهويات تربينية لنقل الأكسجين و ضبط حجم الندف ، تطبيقات عامة
الأكسجين النقي	تطبيقات عامة، يستخدم في حال كون الأراضي المتوفرة قليلة أو غالية الثمن، تتطلب توفر مصدر رخيص الثمن للأكسجين ، توربينتا أو مهويات سطحية.

تصميم أنظمة الحمأة المنشطة:

1- حوض التهوية:

يجب أن تتوفر في الحوض الشروط المناسبة لنمو البكتريا

حجم حوض التهوية: يتم تعيين حجم حوض التهوية بالإعتماد على النسبة F/M و يعبر عنها اختصاراً بالرمز F

$$F = \frac{\text{كتلة BOD الداخلة إلى حوض التهوية في اليوم}}{\text{الكتلة الإجمالية لـ MLVSS في حوض التهوية}}$$

بعض الأنظمة تأخذ بالاعتبار قيمة MLVSS في كل من حوض التهوية و حوض الترسيب النهائي.

$$F = \frac{Kg\ BOD}{Kg\ MLVSS\ .\ d}$$

$$F\ (1/day) = \frac{Q\ (m^3/d)\ L_i\ (mg/l)}{\forall\ (m^3)\ X_v\ (mg/l)}$$

حيث :

- Q : الدفق الداخل إلى حوض التهوية في اليوم
- L_i : تركيز BOD في التدفق الداخل
- $\forall$: حجم حوض التهوية
- X_v : تركيز المواد الصلبة الطيارة في حوض التهوية

$$\forall = \frac{Q\ L_i}{F\ X_v}$$

يمكن استعمال عوامل تصميم أخرى مثل زمن المكوث t

$$t = \frac{\forall}{Q}$$

و معدل التحميل العضوي $\frac{Q L_i}{\forall}$ g BOD/m^3 .d

و يتأثر المردود أيضاً بتغيرات التدفقات المائية و الهواء عبر الحوض وطرق تشغيل الحوض (جريان دفقي أو مزج كامل) .

لندرس حالة المزج الكامل :

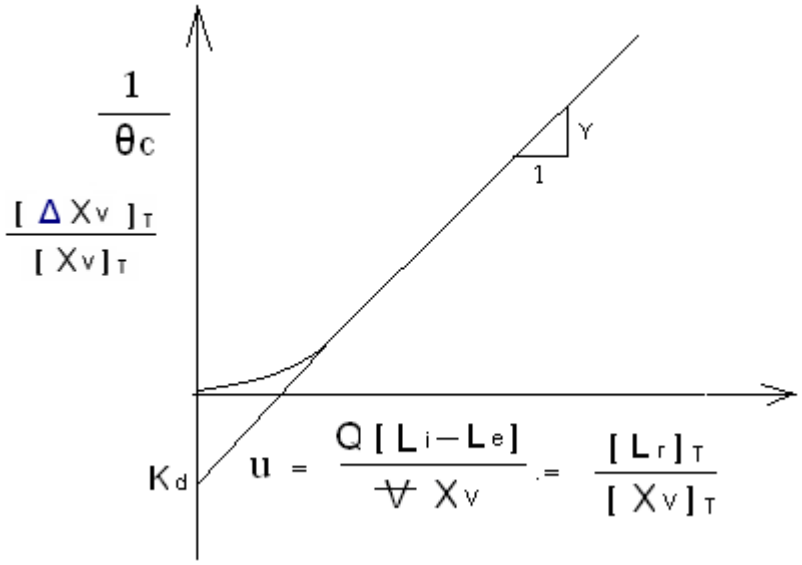
لنوجد تعريفاً جديداً للنسبة (غذاء إلى مواد حية) تأخذ بالحسبان كتلة الحمولة العضوية المزالة بدلاً من الكتلة العضوية الداخلة إلى حوض التهوية.

$$u = \frac{\text{كتلة BOD المزالة في اليوم}}{\text{الكتلة الاجمالية ل MLVSS في حوض التهوية}} = \frac{[L_r]_T}{[X_v]_T}$$

$$u = \frac{Q[L_i - L_e]}{\forall X_v}$$

كتلة الحمأة المنتجة :

توجد علاقة تجريبية تربط العامل U مع مقلوب عمر الحمأة $\frac{1}{\theta_c}$ موضحة بالشكل ( )



تعبر عن الارتباط بين U و مقلوب عمر الحمأة بالعلاقة

$$\frac{1}{\theta_c} .= Y\,U - Kd$$

بالتعويض عن U و $\frac{1}{\theta_c}$ بقيمتها نجد:

$$[\Delta X_v]_T = Y[L_r]_T - Kd[X_v]_T$$

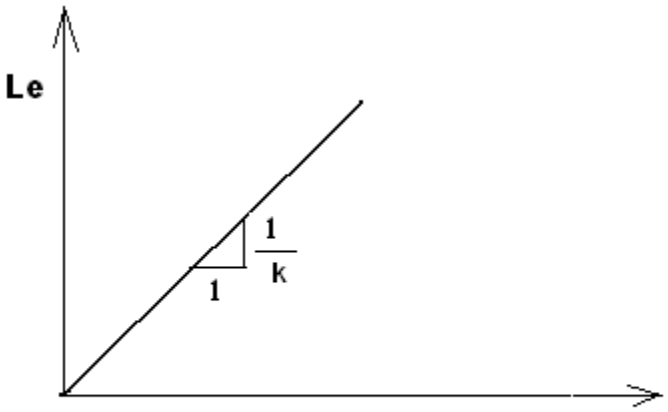
يبين الشكل ( ) أن العلاقة غير خطية عند القيم الصغيرة ل U (حالة التحميل العضوي الصغير أو حالة التهوية المطولة) و في هذه الحالة لا يمكن استنتاج $[\Delta X_v]_T$ بنفس الطريقة و يجب تصحيح قيم Y و K_d إذ توجد طرق خاصة تأخذ بالحسبان التغير في معدل انتاج الحمأة عند الحمولات المنخفضة بدلالة معامل الانتاج الملاحظ Observed Yield Coefficient

$$Y_{obs}\ U = \frac{[\Delta X_v]_T}{[X_v]_T}$$

في هذه الحالة تكون Y_{obs} ذات علاقة غير خطية مع θ_c و يجب تحديد العلاقة بطريقة تجريبية في مخبر أو في وحدة معالجة تجريبية.

الحمولة العضوية في التدفق الداخل :

توجد علاقة تجريبية تربط العامل U مع الحمولة العضوية في التدفق الداخل Le موضحة بالشكل ( )



$$U = \frac{Q[L_i - L_e]}{\forall X_v} = \frac{[L_r]_T}{[X_v]_T}$$

$$U = K\ Le$$

$$Le = \frac{1}{k}\frac{Q[L_i - L_e]}{\forall X_v}$$

$$Le = \frac{1}{Kt}\frac{[L_i - L_e]}{X_v}$$

$$Le\ Kt\ X_v = L_i - L_e$$

$$Le\ (1 + Kt\ Xv) = Li$$

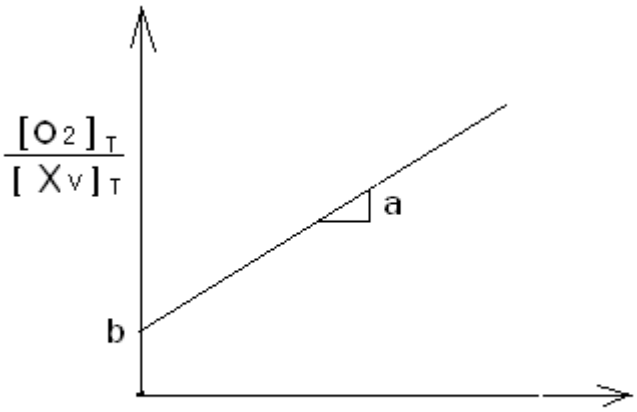
$$\frac{Le}{Li} = \frac{1}{(1 + Kt\ Xv)}$$

يجب ملاحظة أن قيمة Le المعطية في العلاقات السابقة هي قيمة BOD المنحلة في التدفق الخارج و ليس الندف البيولوجية لذلك هي قيمة BOD المقاسة في التدفق الخارج بعد ترشيحه (في الحالة العملية غالباً ما تحوي التدفقات الخارجة على ندف صغيرة جداً من الحمأة المنشطة ، عندها يجب اعتبار إجمالي قيمة BOD المنحلة و الندف في التدفق الخارج.

الأكسجين اللازم للأكسدة الكربونية

يعبر عن الأكسجين اللازم من أجل أكسدة المواد الكربونية بالأكسجين اللازم لواحدة الكتلة من الحمأة المنشطة $\frac{[O_2]_T}{[X_V]_T}$.

توجد علاقة تجريبية تربط العامل U مع الأكسجين اللازم للأكسدة الكربونية موضحة بالشكل ( )



$$u = \frac{Q[L_i - L_e]}{\forall X_V}$$

$$\frac{[O_2]_T}{[X_V]_T} = a \frac{[L_r]_T}{[X_V]_T} + b$$

$$[O_2]_T = a[L_r]_T + b[X_V]_T$$

و بالتالي يمكن الحصول على قيمة O_2 اللازمة من العلاقة

$$[O_2]_T = [L_{ur}]_T - 1.42[\Delta X_V]_T$$

حيث:

$[L_{ur}]_T = 1.46[L_r]_T$ الكتلة الاجمالية ل BOD المزالة في اليوم (في مياه المجاري المنزلية) و الحد $1.42[\Delta X_V]_T$ يمثل قيمة O_2 الكربوني اللازم لتشكيل خلايا جديدة تعتمد عليها طريقة الحمأة المنشطة.

لتبرير الرقم 1.42 نفترض أن كامل الخلايا الحية يتم أكسدتها وفق المعادلة التالية

$$C_5H_7NO_2 + 5\ O_2 \longrightarrow 5CO_2 + 2\ H_2O + NH_3 + energy$$
113 5(32)
1 1.42

من المعادلة السابقة نجد أن BOD المكافئ ل 1 مول من الخلايا يعادل 1.42 مرة من تركيز الخلايا

- كمية O_2 اللازم للنترجة (تحويل الأمونيا إلى النتريت ثم إلى نترات) تقدر بشكل منفصل و تساوي عادة 4.6 Kg O_2 / 1 Kg N – أمونيا
- يجب تأمين O_2 للنترجة و أكسدة الكربون و الحفاظ على قيمة أصغرية ل DO هي DO ≥ 1 mg/l
- من أجل الوصول إلى حالة النترجة يلزم DO ≥ 2 mg/l
- يجب اعتبار تدفقات الذروة اليومية في تصميم أحواض التهوية

الثوابت Y , Y_{Obs} , Kd , K , a , b تعين تجريبياً
القيم التي قد تنتج عن مياه الصرف المنزلية هي

$Y = 0.2 – 0.7$
. $kd = 0.04 – 0.07$
. $k = 0.025$ l/mg.d
. $a = 0.57$ kg O_2 / kg BOD مزال
. $b = 0.1$ kg O_2 / kg MLVSS.d

2 – حوض الترسيب النهائي :

الهدف من وجود حوض الترسيب النهائي هو الترويق أو التكثيف (زيادة تركيز الحمأة).

يجب أن يصمم الحوض ليعمل كمروق بشكل صحيح و إلا خرجت الندف الحيوية مع التدفق الخارج لتسبب عكارة و لتوجد احتياج ل O_2 بسبب تنفس الأحياء أو بسبب تفسخها.

إن تركيز المواد الصلبة في التدفق الداخل إلى حوض الترسيب يزيد عن 2000 mg/l لذا فإن شروط الترسيب تكون ضمن مجال الترسيب المعاق

$$V_c = V_o\ (\ 1 – C\ )^n$$

حيث V_c سرعة ترسيب السطح الفاصل (معلق – مائع رائق)

يدخل في تصميم حوض الترسيب النهائي مفهوم معدل حمولة المواد الصلبة في واحدة المساحة من حوض الترسيب S_x تعطى بالعلاقة

$$S_x = X\ (\ Q + R\ )\ /A$$
$$S_x = X/1000\ \ Q/A(\ 1 + R/Q\ )$$

من أجل القيم النموذجية في أنظمة التهوية لمياه الصرف الصحي

X = 3000 mg/l
Q/A = 40
R/Q = 0.5

Sx = 180 kg /m^2 .d

Sx = 7.5 kg /m^2 .hr

العمق الأصغري للحوض	H = 3m
زمن المكوث	t = 1.5 – 2 hr من أجل التدفق الوسطي
معدل التحميل السطحي	Q/A = 30 – 40

ملاحظات لا بد منها لتصميم حوض الترسيب الثانوي

آ – زمن المكوث يتحدد ب التدفق Q حسب الفصل لذلك قد تتغير قيمة زمن المكوث حسب التدفق و إن الزمن الزائد لمكوث الحمأة في الحوض يسبب إرجاع النترات إلى غاز النتروجين و إن حجز الفقاعات في الحمأة بسبب خفتها و ارتفاعها لتخرج مع التدفق الخارج و تزيد عكارة الماء الخارج ، لذا يفضل إيجاد وسائل لإزالة المواد الطافية في أحواض الترسيب النهائي خاصة عند الوصول إلى حالة النترجة.

في المنشآت الصغيرة قد يصعب الوصول إلى العمق اللازم تحت هدار الخروج لذلك يمكن في هذه الحالة تبنى أعماق أقل مع تقليل معدل التحميل السطحي ليصبح

$$Q/A = 20m^3/m^2.d$$

ب – معدل التحميل على الهدار لا يزيد عن قيمة أعظمية هي

$$Q/wL = 250m^3/m.d$$

ج – يمكن أن يكون الحوض دائري او مستطيل و يجب في كل الحالات سحب الحمأة من الحوض بسرعة و تخفيف الإضطراب السطحي عند هدارات الخروج قدر الإمكان.

3 – نظام شبكة الحمأة المرجعة

تصمم شبكة الحمآة المرجعة للمحافظة على MLVSS في حوض التهوية عند القيم التصميمية

بالإضافة إلى قيمة MLVSS = X يوجد عامل جديد يعرف بدليل حجم الحمأة (Sludge Volume Index SVI) هو الحجم الذي يشغله 1gr (جاف) من الحمأة الخارجة من حوض الترسيب النهائي و يمكن إيجاده تجريبياً بترسيب حجم لتر واحد من السائل الممزوج لمدة 30 min

$$SVI = \frac{\text{الحجم المترسب من المزيج السائل بعد ٣٠ دقيقة}}{MLVSS\ (\ g/l\ )}$$

و يستعمل أحياناً العامل دليل كثافة الحمأة و هو الوزن الجاف لحجم 100 مل من الحمأة .

Sludge Density Index SDI(g/ 100ml)

و يجب إدخال بعض عوامل التصحيح لإمكانية تمثيل نتائج التجربة المخبرية على حوض ترسيب فعلي (تأثير الجدران في اسطوانة الترسيب و نظام الترسيب حيث يكون في الاسطوانة نظام ترسيب متقطع بينما قد يكون في حوض النترسيب الفعلي نظام جريان مستمر)

بعد معرفة SVI و X يمكن حساب الحمأة المعادة كنسبة من التدفق الداخل إلى حوض التهوية (r)

$$r = \frac{100}{10^6 / [(\ X\ )\ (\ SVI\ ) - 1\ ]}$$

$$R = \frac{r}{100}$$

يجب أن يجهز نظام الضخ بآلية تعديل التدفق بما يتناسب و تغيير قيمة SVI عملياً يؤخذ عمل المضخة بين ADWF %(150 – 20)

أنظمة التهوية:

الهدف من وجود أنظمة التهوية إضافة الأكسجين للوصول إلى التركيز المطلوب و ذلك برفع ال DO ، و إن سرعة التبادل بين الهواء و الماء يتعلق بالفرق بين درجة الإشباع و التركيز الموجود فعلاً للهواء في الماء .

من أهم طرق التهوية:

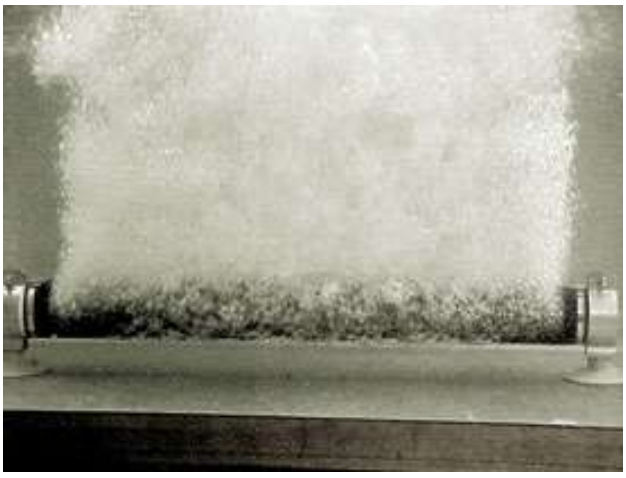
١. ناشرات ذات الفقاعات الناعمة
٢. نافثات ذات الفقاعات الخشنة
٣. التهوية الميكانيكية

الناشرات ذات الفقاعات الناعمة

- الناشرات المسامية يتم من خلالها ضخ الهواء عبر رؤوس من مادة مسامية تعطي الهواء على شكل فقاعات صغيرة جداً تختلط بالماء لتؤمن الأكسدة و الخلط معاً
- من مشاكلها انسداد المسام في حال عدم العمل

- توضع شبكة التهوية على عمق مناسب في قاع حوض التهوية و يؤمن الهواء عن طريق استخدام ضاغظ يعطي ضغطاً قدره حوالي 49 kpa يعطي كمية نظرية للاكسجين تقدر ب 8 - 2) kgO2/kW-hr)

- تستعمل حالياً ناشرات مسامية على شكل أنبوب بلاستيكي مثقب مغطاة بغلاف من المطاط المسامي (المثقب) في هذه الحالة يمكن التغلب على مشاكل الإنسداد حيث يمكن انكماش المطاط على الفتحات و إغلاقها بشكل أني في حال توقف المهويات عن العمل.



-

الناشرات ذات الفقاعات الخشنة منها:

الفتحة ذات السكر

القرص الضطرب

الأنابيب المثقبة

ناشرا ت مثقبة مزودة بنابض و صفيحة

Nozzle and Piping
Air Supply
Mixed Liquor Supply
Nozzle

Coarse Bubble – D24

التهوية الميكانيكية Mechanical Aerators

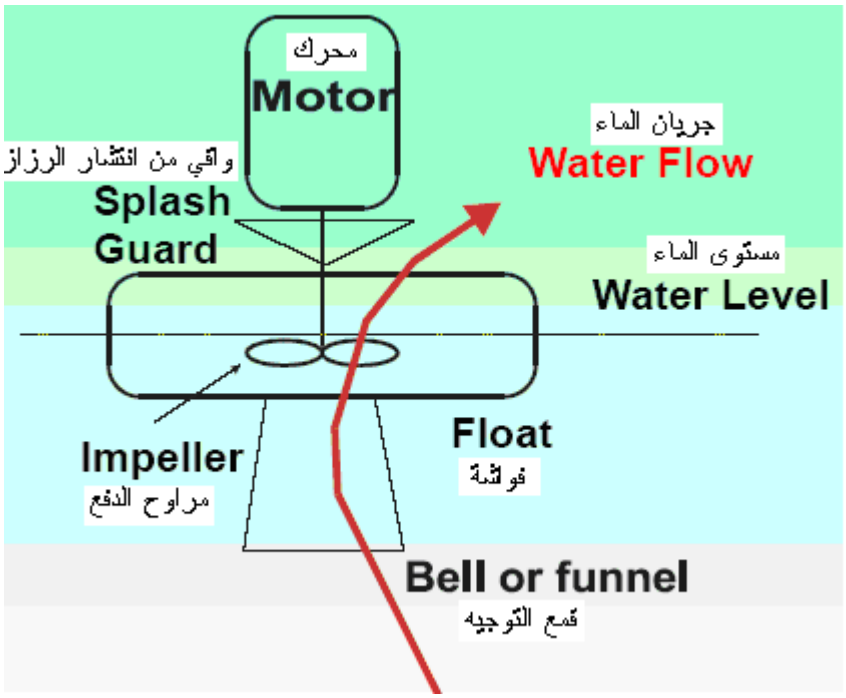
- يوجد نوعان من عنفات التهوية،

العنفات السريعة (900 – 1200 دورة في الدقيقة) و العنفات البطيئة (30 – 80 دورة في الدقيقة)

- توجدالعنفات عند سطح الماء
- كفاءة التهوية معتدلة
- الفقدان الحراري فيها كبير
- تسبب انتشار الرزاز من الماء و الهواء
- سهلة التركيب و خاصة السريعة منها
-

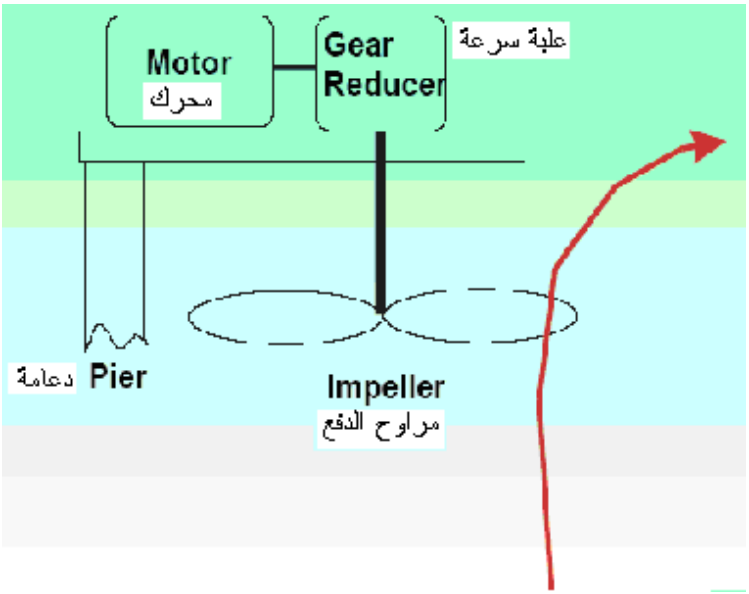
المهويات السطحية السريعة الدوران (الضخ المحوري)

High Speed Surface Aerator (Axial Pumping)



المهويات السطحية البطيئة الشاقولية (الضخ القطري)

Low Speed Vertical (Radial Pumping)



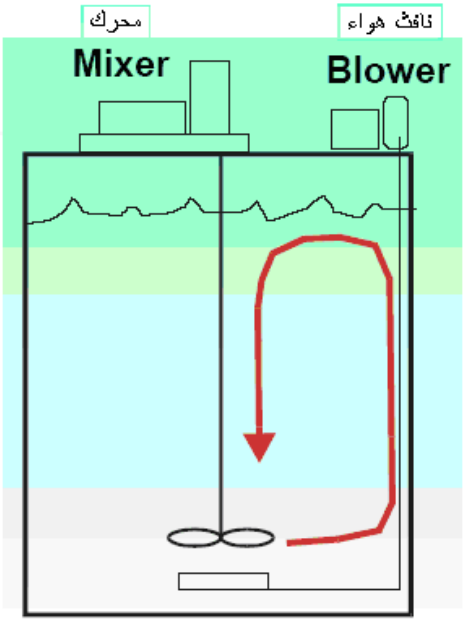
المهويات السطحية البطيئة الأفقية Slow Speed Horizontal

- تستخدم في خنادق الأكسدة
- تستخدم لتساعد في تعزيز سرعة الجريان الخطية بالإضافة إلى وظيفتها في التهوية
- لها كفاءة تهوية تشبه كفاءة المهويات السطحية البطيئة الشاقولية

المهويات المختلطة Combined Types

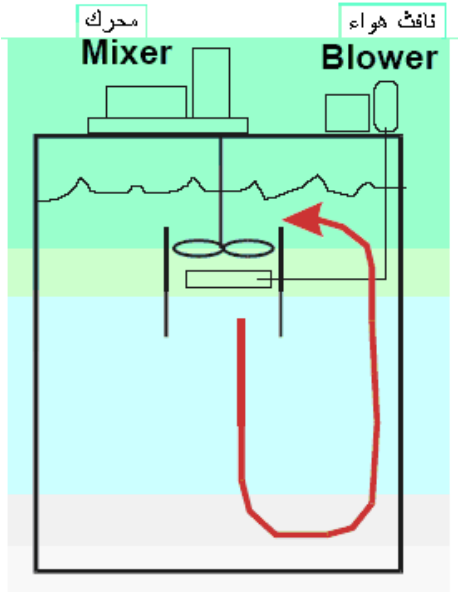
- عنفات تستخدم الطاقة الميكانيكية لتشكيل فقاعات ناعمة من نافثات الفقاعات الخشنة يوجد منها نوعين:

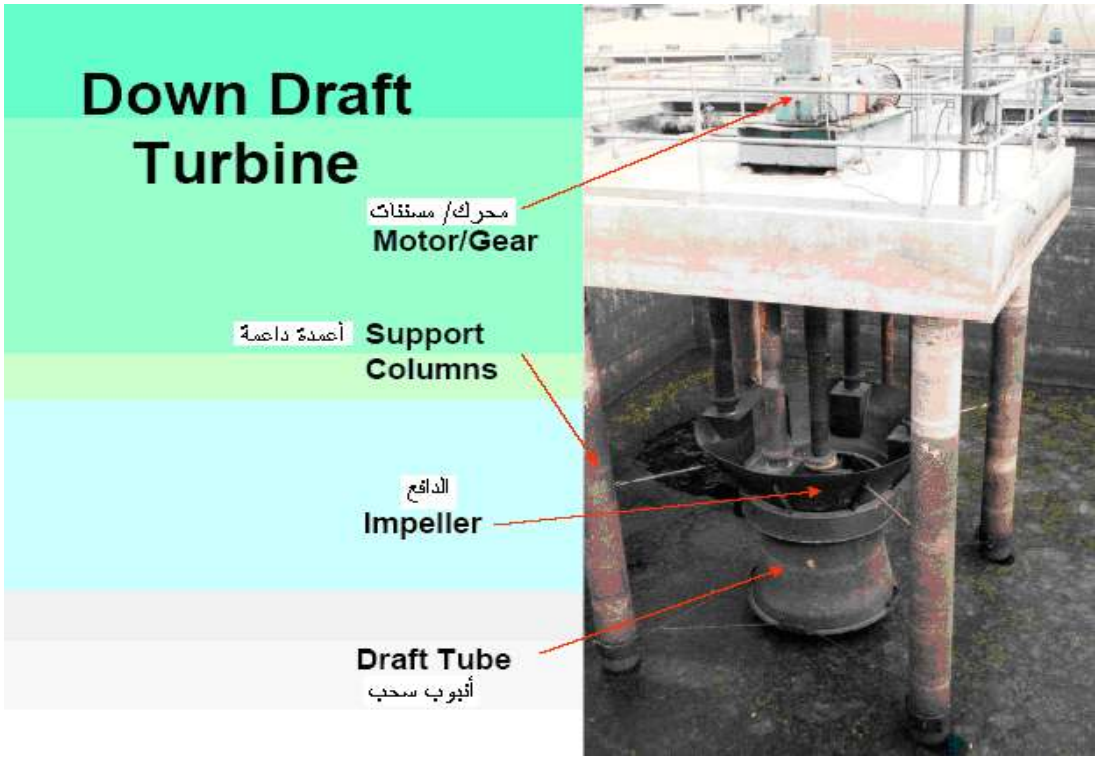
١. نوع **Sparged** يركب على عمق كبير (أكثر من 10 متر) غالباً ما يستخدم لتهوية المياه الصناعية



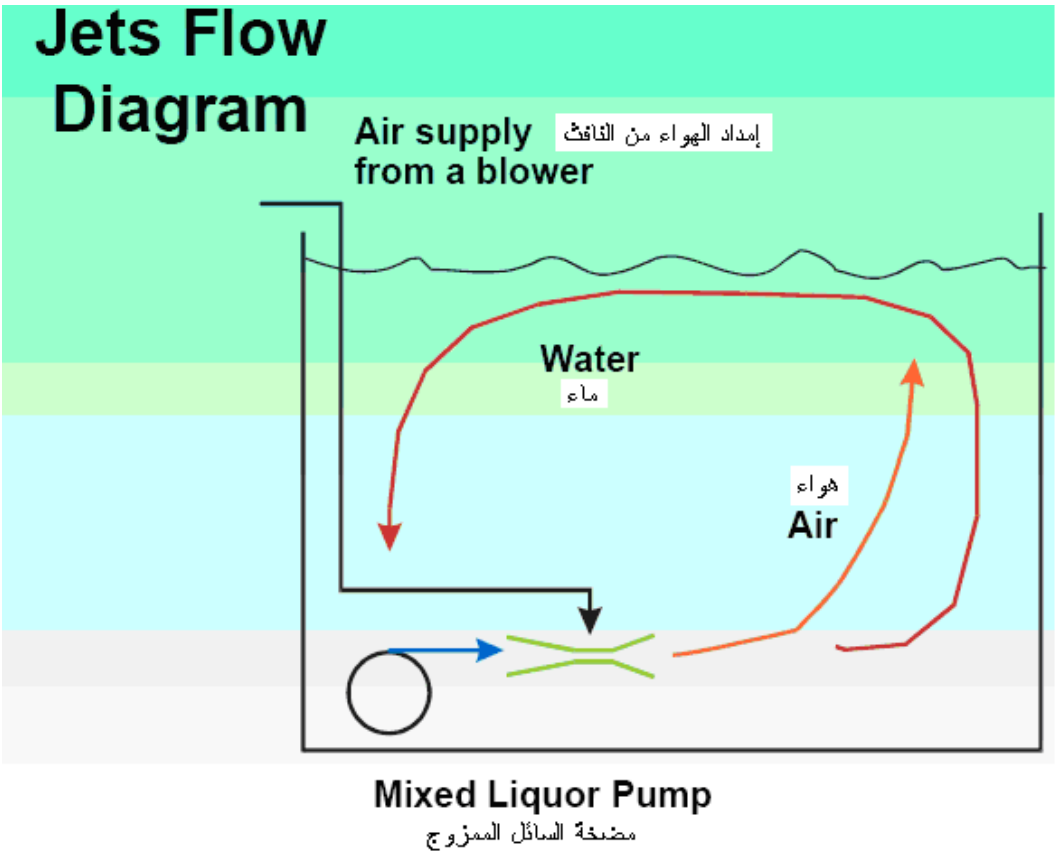
٢. العنفات السطحية تدفع الجريان باتجاع الأسفل Down draft تركب أقرب إلى السطح على عمق أكبر من 5 متر

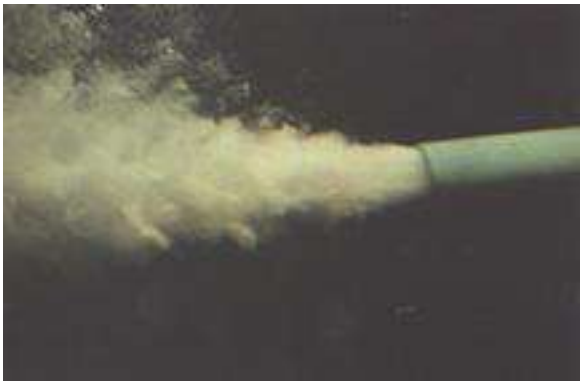
قدرة الأكسدة (1.8 kgO2/kW-hr) ، علبة السرعة لسرعة دوران تتراوح بين 100 إلى 400 دورة في الدقيقة) ، مشاكل الصيانة فيها قليلة.

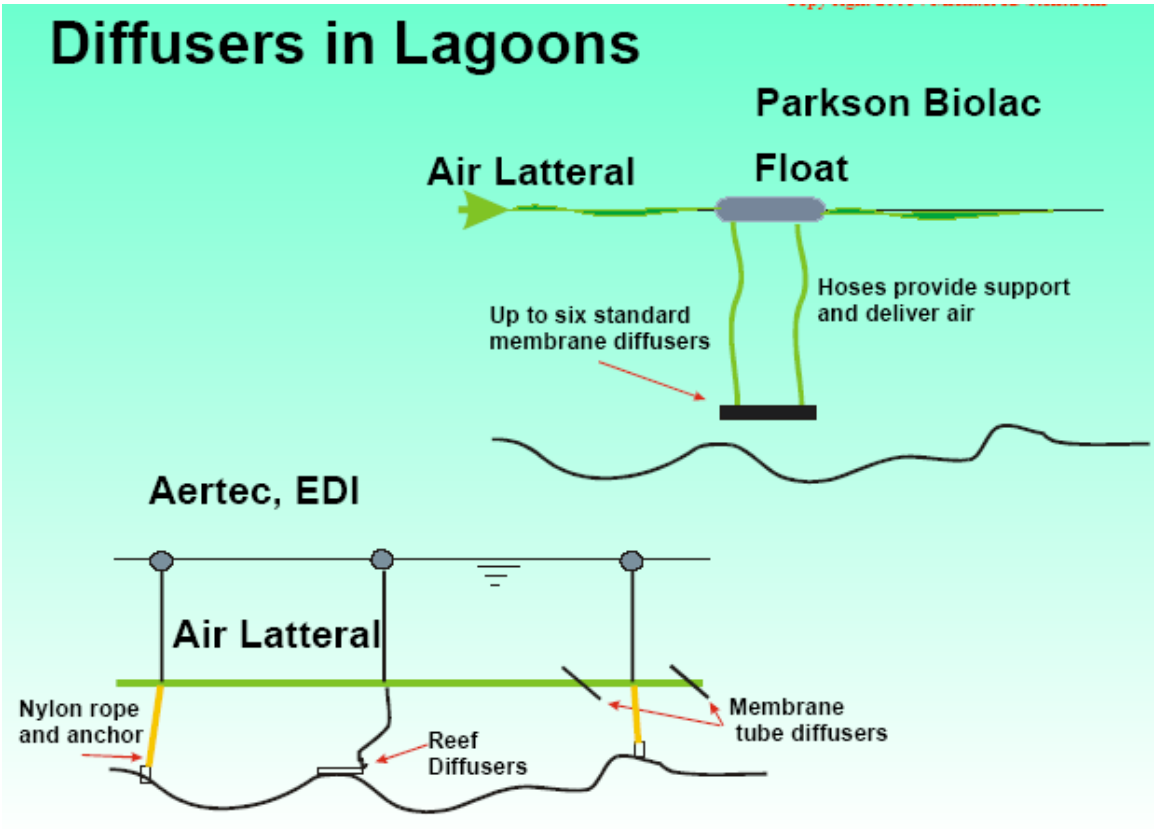




٣. النافثات **Jets** – يتدفق الماء و الهواء عبر انبوب يشبه انبوب فينتوري لتولد فقاعات خشنة دون الحاجة إلى وجود فتحات صغير لتدفق الهواء






Diffusers in Lagoons
Parkson Biolac
Air Latteral
Float
Hoses provide support
and deliver air
Up to six standard
membrane diffusers
Aertec, EDI
Air Latteral
Nylon rope
and anchor
Reef
Diffusers
Membrane
tube diffusers

الفصل الخامس

المعالجة اللاهوائية لمياه الصرف

تستخدم المعالجة اللاهوائية أساساً لمعالجة أنواع مختلفة من الحمأة المزالة من أحواض الترسيب الابتدائي و من أحواض الترسيب الثانوي التي تتبع أحواض التهوية

تستخدم المعالجة اللاهوائية أيضاً لمعالجة مياهالصرف بدلاً من الحمأة و ذلك في البرك ذات الظروف اللاهوائية و أحواض التعفن Septic Tanks رغم أنه حتى في تلك الظروف اللاهوائية يحدث الهضم بمعدل أكبر في طبقة الحمأة المترسبة إلى القاع.

يحدث هضم الحمأة بغياب الأكسجين

إن المادة الصلبة في الحمأة الخام تحوي 70% مواد عضوية و 30% مواد معدنية أو غير عضوية.

إن معظم الماء في حمأة مياه الصرف هي مياه مقيدة "bound" لا تنفصل عن المادة الصلبة في الحمأة ، لكن الأحياء المجهرية اللاهوائية تفكك بنية الجزيئات العضوية المعقدة لتحرر الماء المقيد حول المادة الصلبة لتحصل على الأكسجين و الغذاء من أجل تكاثرها

الهدف من الهضم

الهدف من الهضم هو التوصل إلى هدفين

١ تحويل الحمأة و التي هي غالباً ذات صفات حمضية و رائحة كريهة تحتفظ بالماء إلى حمأة ذات صفات قلوية ، عديمة الرائحة و يمكن تجفيفها في الهواء الطلق بسرعة أكبر منها في حالة تجفيف الحمأة الخام و بالتالي تقليل حجم الحمأة و تحليل المواد العضوية ذات القابلية العالية للتحلل إلى مركبات خاملة عضوية و غير عضوية

٢ إن ملائمة الحمأة للتخلص على الأراضي الزراعية يزداد بشكل كبير ، فأثناء الهضم تحلل البكتريا اللاهوائية المواد الكربوهيدراتية و البروتين و الدهون و التي تؤلف القسم الأكبر من المادة العضوية ، و نتيجة لتفكك هذه المواد يوجد انخفاض كبير في المادة العضوية بتحويل المادة الصلبة إلى غازات، و خفض الحجم بشكل كبير عن طريق فصل الماء، و إذا أتيحت الظروف يمكن جمع وة استعمال الغازات الناتجة

آلية عمل الهضم اللاهوائي

إن تحلل المادة العضوية المعقدة تحت الظروف اللاهوائية إلى مواد أكثر ثباتاً يتم عن طريق فعالية مجموعتين متميزتين من الأحياء الدقيقة هي:

المرحلة الأولى عمل البكتريا منتجة الحموض:

تهاجم البكتريا المنتجة للحموض المواد العضوية المنحلة أو غير المنحلة (مثل السكريات)

في هذه المرحلة تتشكل :

حموض عضوية بكميات كبيرة و كحوليات و ألدهيدات

غازات CO_2 ، H_2S ،

المرحلة الثانية عمل البكتريا منتجة الميتان:

يتم مهاجمة الحموض العضوية و المركبات النتروجينية من قبل البكتريا منتجة الغازات و لكن بمعدل أقل من المرحلة الأولى

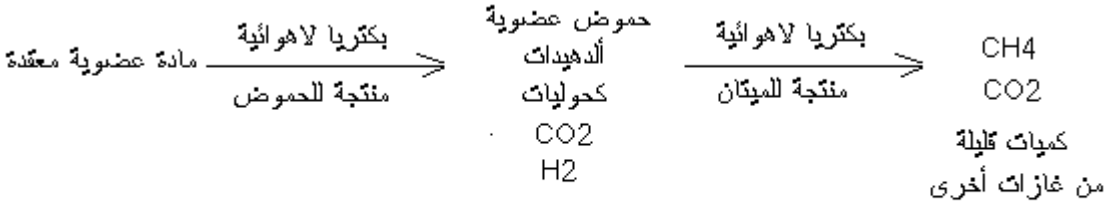
في هذه المرحلة يتم هضم المواد الأكثر مقاومة مثل المواد البروتينية و الحموض الآمينية و المواد الأخرى

يجب الحفاظ على قيمة PH ضمن المجال 6.8 –7.4

تنتج في هذه المرحلة كميات كبيرة من الغازات 65% منها أو أكثر هو غاز الميتان

الميتان هو غاز عديم الرائحة شديد الاحتراق يمكن استخدامه كوقود

المواد الصلبة المتبقية هي مواد ثابتة أو بطيئة التحلل يمكن التخلص منها دون ضرر بل هي مفيدة في الزراعة.



الشكل التخطيطي لمراحل الهضم

العوامل الهامة في جودة تشغيل حوض الهضم

تخفيض المواد الصلبة الطيارة

تحوي الحمأة 60– 0% مواد صلبة طيارة. بعد اتمام عملية الهضم قد تنخفض لنسبة الى ما دون 50%،

يجب قياس تخفيض المواد الصلبة الطيارة اسبوعياُ و تبيان منحى التخفيض بالرسم البياني وإن الهبوط المتزايد في منحني التخفيض قد يعني:

١ درجة حرارة منخفضة جداُ

٢ تحميل عالي للمواد الصلبة

٣ مزج غير كافي لمحتويات حوض الهضم

٤ تراكب كبير في الرمال و الخبث

٥ المواد الصلبة الطيارة منخفضة في الحمأة الخام

مواصفات الحمأة جيدة الهضم

١ سوداء اللون

٢ ليس لها رائحة عفن غير مستحبة

٣ عند جمعها في وعاء زجاجي تبدو حبيبية البنية و يظهر أقنية واضحة بسبب الماء الصاعد أثناء ترسب المادة الصلبة.

حجم و تركيب الغازات الناتجة

إنتاج الغاز في حوض الهضم يكون بحدود 20 م3/ يوم لكل كغ من المادة المتحللة.

يجب الوصول إلى القيمة 10 م3 / يوم لكل كغ من المادة المتحللة

يجب أن تكون كمية الغاز الناتج ثابتة فالانخفاض المفاجئ قد يشير إلى شروط سمية

الرقم الشائع في هضم مياه صرف بلدية هو إنتاج 6.2 لتر للشخص في اليوم

70% من الغاز الناتج هو غاز الميتان و 30% غاز CO_2 و غازات خاملة مثل النتروجين

زيادة نسبة غاز CO_2 قد يشير إلى عدم كفاءة عملية الهضم

قيمة PH

قيمة PH تعبر عن تركيز وجود شاردة الهدروجين و هي تبين فيما إذا كانت الحمأة في شروط حمضية أو قلوية . قيمة PH النموذجية هي في المجال 6.5 – 7.5 لتعزيز تشكل الغاز.

الانخفاض في قيمة PH يحدث عادة بشكل سريع جداً لذلك لا يفيد كثيراً في ملاحظة المشاكل، فهو يشير أن مشاكل تشغيل قد حدثت فعلاً.

النسبة حموض الطيارة / القلوية

تنتج الحموض في المرحلة الأولى لعملية الهضم ، أن تركيز الحموض الطيارة يشير إلى كفاءة عملية الهضم و هي المؤشر الأفضل للتحكم بالعملية و هي تقاس أسبوعيا و يجب أن تبقى بقيمة ثابتة . وأثناء فترة عدم التوازن يجب أن يقاس يومياً

الزيادة تعني مشاكل تشغيل

القلوية البيكربونية تشير إلى سعة صد كبيرة للحمأة buffering capacity و هي القدرة على إبقاء قيمة PH ثابتة و القدرة على تعديل الحموض كبيرة

تتغير القلوية الكربونية عادة ضمن المجال 1500 إلى 6000 مع/لتر (على شكل كربونات الكالسيوم)

النسبة حموض الطيارة / القلوية هي مؤشر تشغيل ممتاز و إذا كان بقية أقل من 0.25 فالتشغيل بحالة ملائمة.

ارتفاع النسبة قد يشير إلى مشاكل تشغيل قد يكفي أحياناً تخفيض معدل التحميل على حوض الهضم أو إيقاف التشغيل لفترة من الزمن.

العوامل البيئية الهامة في جودة تشغيل حوض الهضم

يقوم بعملية الهضم متعضيات حية يجب تأمين البيئة الملائمة لها لتقوم بعملها على أكمل وجه

1- درجة الحرارة

يمكن إجراء عملية الهضم بأية درجة حرارة ولكن يلزم زمن أكبر بانخفاض حرارة الهضم

التغير السريع في درجة الحرارة هي أمر ضار فيجب أن لا يزيد التراوح عن درجة مئوية واحدة في اليوم.

إن ضخ كميات كبيرة من حمأة ذات تركيز ضعيف قد يسبب انخفاض في درجة حرارة الحوض كما أنه يستهلك سعة في الحوض و تقلل من زمن المكوث. البكتريا منتجة الميتان هي ذات حساسية كبيرة لتغيرات درجة الحرارة ،

عند الدرجة 12 درجة مئوية يتم اكمال 90% من عملية الهضم في حوالي 55 يوم.

بزيادة درجة الحرارة ينقص الزمن

عند الدرجة 24 درجة مئوية ينقص زمن عملية الهضم إلى 35 يوم.

عند الدرجة 30 درجة مئوية ينقص زمن عملية الهضم إلى 26 يوم.

عند الدرجة 35 درجة مئوية يلزم نصف الزمن زمن عند الدرجة 15 درجة مئوية

2- الإمداد بالغذاء

الغذاء هو المواد الصلبة الداخلة إلى حوض الهضم على شكل مواد صلبة طيارة

إجمالي حجم الحمأة الخام التي تضخ إلى حوض الهضم

معدل ضخ الحمأة

درجة توفر الغذاء إلى الأحياء المجهرية المحللة

معدل التحميل العالي يقلل من كفاءة التشغيل و خاصة في المرحلة الثانية من عملية الهضم و يختل التوازن في كامل العملية

إذا كان ذلك بسبب نقص في التصميم حيث يوجد حوض هضم صغير وإنتاج كثير للحمأة فإن الحل الوحيد في زيادة سعة الأحواض

عوامل يمكن ضبطها يمكنها أن تسبب خلل في توازن عملية الهضم

توجد عوامل أخرى يمكنها أن تسبب خلل في توازن عملية الهضم و هي عوامل يمكن ضبطها:

١ عدم الحفاظ على درجة حرارة ثابتة

٢ إضافة حجوم كبيرة من الحمأة الطازجة على فترات زمنية متباعدة

٣ أو إزالة حجم كبير من الحمأة المهضومة في وقت واحد قد يسبب تحميل عالي مؤقت.

٤ تجنب حمولات الصدمة في الحوض

٥ في حال أحواض الهضم غير المسخنة قد تصادف هذه الظروف في فصل الشتاء

٦ نحتاج في هذه الحالة ضعف السعة المحسوبة للحوض المسخن

٧ يفضل تقديم الغذاء للبكتريا على مراحل لا تقل عن مرتين في اليوم في المحطات الصغيرة و بتواتر أكبر في المحطات الأكبر و هذا بالطبع يتوافق مع الحاجة لإزالة الحمأة من حوض الترسيب قبل أن يصبح بشروط التعفن

3- المزج و تأمين البذور

عند البدء بتشغيل خوض الهضم يفضل تسريع العملية بإضافة بذور من حوض آخر قريب

بعد الوصول إلى حالة التشغيل يجب التحريك لمزج الحمأة القادمة الطازجة مع الأحياء النشيطة الموجودة مسبقاُ في الحوض يخدم التحريك في عدة أهداف:

١ مزج المواد الصلبة الخام الداخلة حديثاُ إلى الحوض مع الحمأة النشيطة الموجودة في الحوض من قبل

٢ تحرض التماس بين الغذاء و الأحياء المحللة

٣ يقل تشكل الخبث

٤ تحسين النقل الحراري بين المبادل و الحمأة

٥ توزع المادة القلوية على كامل الحوض وتضبط قيمة PH

٦ تشتت و تخفف المواد الضارة الموجودة في الحمأة الداخلة إلى الحوض

يمكن التوصل إلى المزج الجيد بعدة طرق:

- شفرات دوارة و أزرعه تكسير الخبث
- تحريك الحمأة بالضخ من الأعلى إلى الأسفل
- ضخ الغاز الناتج عن الحمأة من أسفل الحوض

4- نظام المزج في حوض الهضم

قد يكون المزج بشكل متقطع أو مستمر ، التحريك المتقطع يساعد في فصل الماء عن المواد الصلبة في حالة الهضم وحيد الحوض.

في المزج المستمر يتم الهضم بمعدل أعلى على كامل الحوض و تنخفض سعة الحوض، و لكن في هذه الحالة نحتاج إلى حوض ثاني أو حوض تخزين للحمأة المهضومة لاستقبال الحمأة الطازجة في الحوض الأول و لـــامين فصل الماء عن المادة الصلبة في الحوض الثاني.

5- غياب المواد السامة

وجود مواد عضوية أو غير عضوية في حوض الهضم قد يسبب إعاقة أو سمية ، فالمعادن الثقيلة و شوارد المعادن الخفيفة ، الاكسجين ، الكبريتيد و الأمونيا كلها مواد قد تنضوي على خطر السمية .

إن الطريقة الأفضل في حماية حوض الهضم من دخول مواد سامة :

ضبط دخول نفايات صناعية قوية

يمكن التوصل إلى تخفيف مؤقت من السمية ب:

أ -زيادة التحريك لتمديد و تشتيت المواد السامة

ب تغذية مستمرة للحمأة بدلاً من تقديمها على دفعات

ت تقليل معدل التغذية للحوض

ث تمديد الحمأة

ج ضخ حمأة بذور نشيطة إذا كانت إعاقة العمل جزئية.

رغم أن الهضم اللاهوائي يصعب التحكم به أحياناُ فإنه يشكل مرحلة تثبيت مفضلة و أكيدة . إنها توفر الطاقة عندما ينتج النظام غازاُ قابلاُ للاحتراق يستخدم لتسخين الحمأة و لأغراض أخرى ، يعمل النظام بشكل جيد في كل حالات الطقس و يجعل الحمأة مثبتة.

إن العامل الأكثر أهمية في تحديد حجم حوض الهضم هو حمولة المواد الصلبة الطيارة.

الفصل السادس

معالجة حمأة مياه الصرف الصحي

و

طرق التخلص منها

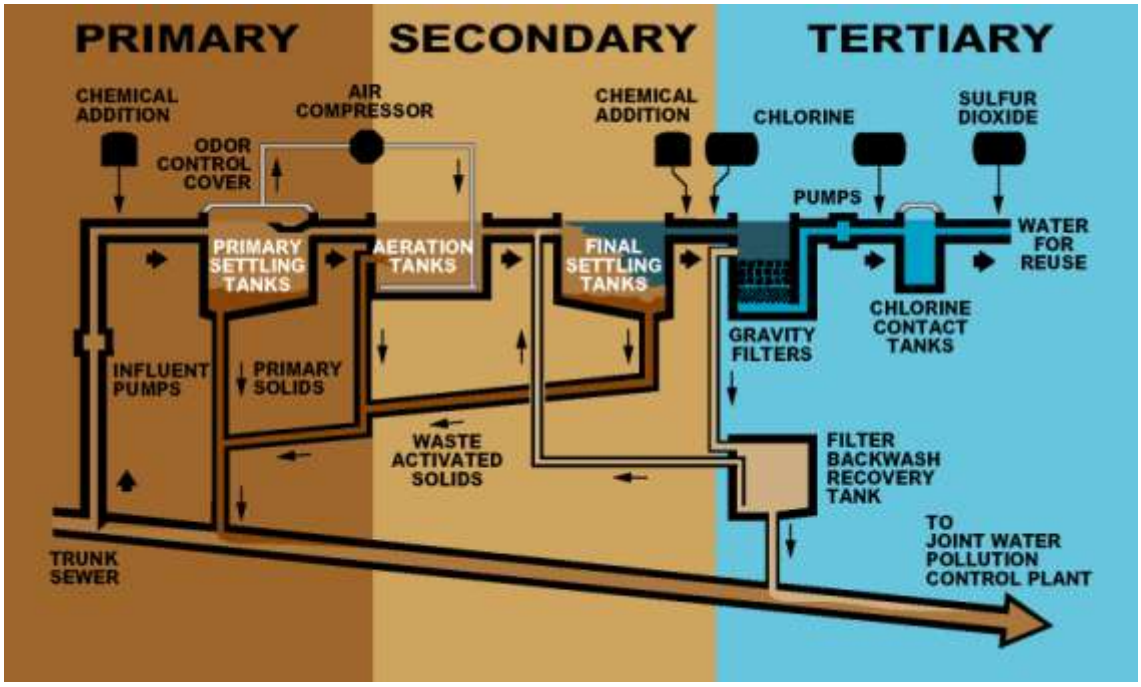
الحمأة عبارة عن مزيج من المواد الصلبة و الماء (طين).

إن معظم عمليات معالجة مياه الصرف تنتج حمأة يجب التخلص منها، فهي تنشأ عن:

مراحل المعالجة الابتدائية لتسمى حمأة ابتدائية

مراحل المعالجة الثانوية لتسمى حمأة ثانوية

خليط من المرحلتين الابتدائية و الثانوية لتسمى حمأة مختلطة.



مواصفات الحمأة الناتجة عن مياه الصرف البلدي

إن مواصفات الحمأة الثانوية تختلف وفقاً لنوع عملية المعالجة البيولوجية،

الحمأة الأولية

الحمأة الأولية الناتجة عن ترسيب مياه الصرف الصحي الخام يكون:

- لونها أسود (فاتح)
- لها رائحة كريهة
- محتوى الماء فيها يختلف بشكل كبير و يعتمد على عوامل عدة تتضمن:
  ١. حجم و شكل حوض الترسيب الابتدائي
  ٢. زمن المكوث في الحوض
  ٣. تكرار و طريقة إزالة الحمأة
- المواد الصلبة العضوية فيها تحتوي على دهون – شحوم – فضلات طعام – براز – ورق

الحمأة الثانوية

غالباً ما تحتاج المياه إلى مرحلة ترسيب ثانوي لتخليص المياه من الأحياء البيولوجية المتكاثرة في عمليات المعالجة البيولوجية (مهما كانت طريقة المعالجة البيولوجية)

- **الترشيح البيولوجي**: ينتج حمأة دبالية ، لونها مائلاً للبني عندما تكون جديدة ولها رائحة التراب ، المواد العضوية تشكل 65 – 75% من المادة الصلبة تتضمن الفضلات البيولوجية و الحشرات و الديدان
- **عمليات الحمأة المنشطة:** تنتج الحمأة الفائضة المادة الصلبة 70 – 85% منها على شكل مواد متندفة و مواد صلبة ناتجة عن التمثيل الخلوي من الكائنات الحية

الحمأة المختلطة

في العديد من محطات المعالجة تضخ الحمأة الدبالية المنتجة عن المرشحات البيولوجية أو الحمأة الفائضة عن عمليات الحمأة المنشطة و كذلك الحمأة الناتجة عن مراحل المعالجة الثالثة إلى أحواض الترسيب الأولي لتترسب مع الحمأة الابتدائية عندها تدعى الحمأة المختلطة

الهدف من معالجة الحمأة

1– نادراً ما ينحصر نظام الصرف الصحي الحضري على نقل مياه صرف منزلية فقط ولكن غالباً ما تنقل إلى شبكة الصرف تدفقات صناعية من المعامل و جريانات مطرية من الطرقات و الساحات المعبدة، لذلك فإن الحمأة الناتجة عن معالجة مياه الصرف تحتوي بالإضافة، إلى النفايات العضوية ،على آثار من العديد الملوثات

التي نستخدمها، بعض من هذه الملوثات سام للنباتات (phytotoxic) و بعضها سام للإنسان و الحيوان ، لذلك من الضروري ضبط تركيزها في التربة و ضبط معدلات تطبيقها على التربة.

2- إن حمأة مياه الصرف تحتوي أيضاُ على بكتريا ممرضة ، و الفيروسات و وحيدات الخلية و شوائب أخرى يمكن أن ترفع مستوى الخطر على صحة الإنسان و الحيوان و النبات، يمكن تقليل أعداد العوامل الممرضة الموجودة في الحمأة قبل تطبيقها على الأرض و ذلك بمعالجة مناسبة للحمأة ، ويقل احتمال الخطر الصحي بتأثير الطقس، و أحياء التربة والزمن بعد إضافة الحمأة إلى الأرض.

3- إن المادة العضوية في الحمأة يمكن أن تحسن من سعة التربة للاحتفاظ بالماء و تحسن من بنية بعض الترب. خاصة عندما تضاف إلى الأرض على شكل كعكة حمأة مزال منها الماء

كمية الحمأة الناتجة

إن الاختلاف في كمية الحمأة الابتدائية تعزى لنوع أنظمة الجمع ، فشبكات الصرف الموحدة تنتج كمية أكبر من الرمال و المواد المعلقة الأخرى و هي تتطلب معالجة للمادة العضوية.

و من أجل الحمأة الثانوية فإن كافة أنظمة الحمأة المنشطة تنتج قيماُ أعلى من المادة العضوية عدا حالة التهوية المطولة فهي تنتج قيماُ منخفضة.

في بعض محطات المعالجة و خاصة تلك التي تعمل بالمرشحات البيولوجية تعاد الحمأة من حوض الترسيب النهائي إلى أحواض الترسيب الابتدائي من أجل السحب النهائي للحمأة.

عند استخدام عمليات الترسيب الكيميائي بهدف إزالة الفوسفور أو لأي هدف آخر تزداد كميات الحمأة الناتجة إلى مستوى يعتمد على نوع و كمية المادة الكيميائية المضافة و مواصفات مياه الصرف الخام و تقدر كمية الحمأة الكيميائية الناتجة من أجل كل حالةعلى حدة و في معظم الأحيان نحتاج إجراء تجارب مخبرية عن الحمأة الناتجة قبل عملية التصميم لوحدات المعالجة.

الجدول( ) يبين كمية المادة الصلبة الجافة التي تنتج يومياُ عن مياه الصرف

نوع الحمأة	مادة صلبة جافة منتجة في اليوم غ/الشخص
حمأة ابتدائية	54.4 - 90
حمأة ثانوية	22.7- 90
حمأة مشتركة (ابتدائية و ثانوية)	77 - 180

محتوى الحمأة من المادة الطيارة

إن محتوى الحمأة الابتدائية أو الثانوية من المادة العضوية الطيارة هي 60 – 80% .

إن حمولة المادة الصلبة الطيارة هي قيمة هامة قي التصميم خاصة من أجل حساب سعة أحواض الهضم.

الوزن النوعي للحمأة

إن الوزن النوعي للمواد الصلبة الطيارة هي حوالي/1 / و المادة الصلبة الجافة غير الطيارة هي حوالي / 2.5 /. أما الوزن النوعي لمزيج معين من الحمأة فهو يعتمد على نسبة المادة الصلبة الطيارة فيه. فمعظم أنواع الحمأة الخام لها وزن نوعي يتراوح بين 1.01 إلى 1.03

محتوى الحمأة من المادة الصلبة الجافة

إن النسبة المئوية من المادة الصلبة في الحمأة الطازجة متغيرة (انظر الجدول 2) . و يمكن ضخ الحمأة بكفاءة جيدة إذا كان محتوى المادة الصلبة الجافة فيها أقل من 5 – 6 % .

معظم أنواع الحمأة ذات محتوى المادة الصلبة الجافة الذي يزيد عن 10% تنقل على أنها مواد نصف صلبة باستخدام معدات خاصة مثل السير الناقل.

جدول (2) نسب نموذجية لمحتوى الحمـــأة الخام من المادة الصلبة.

محتوى الحمأة من المادة الصلبة % نسبة وزنية	نوع الحمأة
2.5 - 5.0	حمأة ابتدائية
5.0 - 8.0	مرشح حجري
3.0 - 6.0	حمأة مشتركة (من المرشح الحجري و حمأة ابتدائية)
0.5-1.5	حمأة منشطة
3.0 - 5.0	حمأة مختلطة(من الحمأة المنشطة و حمـــأة ابتدائية

طرق معالجة الحمأة

عوامل تؤثر في اختيار الطرق المتبعة لمعالجة الحمأة

- حجم الحمأة المراد معالجتها و مساحة الأرض المتوفرة
- الآثار الجوية في المنطقة
- مواصفات التربة و مواصفات الحمأة
- التطور التكنولوجي المتوفر .

طرق معالجة الحمأة تتضمن:

١. التكييف
٢. التحويل إلى كومبوست
٣. الهضم
٤. التركيز
٥. إزالة الماء و التجفيف
٦. الترميد

إن عمليات الهضم و الترميد تستعملان أساساً من أجل إزالة المادة العضوية الموجودة في الحمأة ، بينما تستخدم عمليات التركيز و التكييف و إزالة الماء من أجل إزالة الماء عن الحمأة،

1- تكييف الحمأة

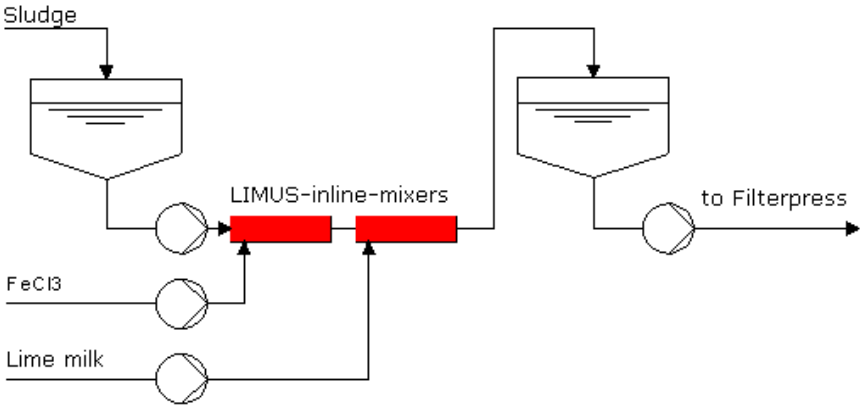
تكييف الحمأة هي عملية تعالج بها الحمأة كيميائياً أو بوسائل أخرى مختلفة من أجل تحضيرها لعمليات لاحقة من أجل إزالة الماء عنها

آ- التكييف الكيميائي

إن التكييف الكيميائي يحضر الحمأة من أجل معالجة أفضل و أكثر اقتصادية

يوجد العديد من المواد الكيميائية المستخدمة في تكييف الحمأة منها حمض الكبريت ، الشبة و كبريتات النحاس المكلورة chlorinated copperas كبريتات الحديدي و كلور الحديد مع أو بدون الكلس. و يمكن أحياناً استخدام الكلس لوحده أو كلور الحديد لوحده، فالكلس لوحده يستخدم في تكييف أنواع الحمأة الابتدائية ، و كلور الحديد لوحده يستخدم لتكييف الحمأة المنشطة.

إن إضافة المادة الكيميائية للحمأة يرفع أو يخفض من قيمة PH لدرجة تسمح في تكتل الجزيئات الصغيرة إلى جزيئات أكبر، و يمكن التخلص من الماء بسرعة اكبر



ب- التكييف و التثبيت الحراري

توجد عمليتان أساسيتان للمعالجة الحرارية للحمأة،

1- **الأكسدة الهوائية الرطبة** هي أكسدة الحمأة بدون لهب و بدرجة حرارة 232 الى 290 درجة مئوية و ضغط حوالي 80 بار psig . بهذه الطريقة ترجع الحمأة إلى رماد

2- **المعالجة بالحرارة** ، تتم بدرجة حرارة 180 الى 200 درجة مئوية و ضغط 10 إلى 20 بار. إن نظام المعالجة بالحرارة يحرر الماء المقيد ضمن بنية خلية الحمأة لذلك تتحسن صفات إزالة الماء و التكثيف للحمأة . لسوء الحظ، إن المعالجة الحرارية تخرب الجدران الخلوية للأحياء البيولوجية ، لذلك هي لا تحرر الماء فقط و لكنها تحرر معه المواد العضوية المقيدة في الخلية الحية أيضاُ، هذه العملية تعيد بعضاُ من المواد العضوية التي حولت مسبقاُ إلى شكل جزيئات صغيرة،

وإن تفكيك الخلايا البيولوجية نتيجة للمعالجة الحرارية تحول الخلايا الجزيئية سابقاُ إلى مواد صلبة ناعمة ، هذا يساعد في عملية إزالة الماء و لكنه يوجد مشكلة منفصلة لمعالجة السوائل شديدة التلوث من الخلايا الحيوية، إن معالجة هذا السائل تتطلب عناية خاصة عند تصميم المنشاة لأن المحتوى العضوي للسائل يكون عال جداُ فالسوائل الناتجة و المعادة يمكن أن تضيف 15 – 30 % حمولة BOD إضافية إلى نظام معالجة السوائل

بشكل عام إن الأنظمة الحرارية تكون عملية في حالة المحطات الكبيرة فقط ، التي يزيد تدفقها عن 40000 متر مكعب في اليوم، أو من أجل تطبيقات خاصة حيث يلزم مستوى عال من القتل البكتيري من أجل التخلص من الحمأة إلى الأرض.

سيئة هذه الطريقة في أنها تستهلك الوقود ما لم تتوفر الحرارة المسترجعة عن عملية الاحتراق.

ج- المزج Blending

المزج هو عملية يتم فيها خلط نوع أو أكثر من الحمأة من أجل تسهيل وجود تركيز أكبر للمادة الصلبة في الحمأة و مزيج أكثر تجانساً قبل عملية نزع الماء.

إن عملية المزج تقلل الحاجة إلى مواد كيميائية من أجل التكييف و إزالة الماء عن الحمأة.

تحدث عملية المزج عادة في حوض تجميع الحمأة حيث يتم مزج حمأة أولية مع الحمأة المنشطة الفائضة. يمكن أن تحدد كميات و نسب مزج الحمأة بالتجربة فقط، لنرى النتائج على عملية نزع الماء

2- تحويل الحمأة إلى كومبوست

يعرف تحويل الحمأة إلى كومبوست على أنه تحلل حراري هوائي للنفايات العضوية لتتحول إلى مواد تربة عضوية ثابتة نسبياً ، ينتج التحلل عن النشاط البيولوجي لأحياء مجهرية توجد في النفايات.

إن الكومبوست الجيد يمكن أن يحتوي حوالي حتى 2% نتروجين و 1% حمض فوسفور والعديد من العناصر النادرة . إن الصفة الأكثر قيمة للكومبوست ليس محتواه العالي من المواد المغذية و لكن صفات الاحتفاظ بالماء و الصفة الحيوية للتربة .

3- تثبيت الحمأة (هضم الحمأة)

التثبيت هو تحويل المادة العضوية الفعالة الموجودة في الحمأة إلى مواد خاملة غير ضارة .

في حالة التثبيت اللاهوائي يكون هضم الحمأة بغياب الأكسجين الحر لتنتج كميات كبيرة من الغازات 65% منها أو أكثر هي غاز الميتان ثم التخلص من المواد الصلبة المتبقية الثابتة أو بطيئة التحلل في الزراعة.

والهضم الهوائي هو عملية تثبيت تطبق في تجهيزات هضم يركب فيها نافخ هواء أو يطلب تركيبه من أجل معالجة السوائل، يوجد سيئة لهذا النظام هي الحاجة إلى كمية كبيرة من الطاقة، و هو ذو فعالية ضعيفة في الأماكن ذات الطقس البارد .

4- تركيز الحمأة Thickening

هو تحويل الحمأة المخففة إلى حمأة أكثر تركيزاً (واحدة الحجم من الحمأة يحوي كمية أكبر من المادة الصلبة) بسحب أكبر قدر من الماء عنها .

من الطرق المتبعة في تركيز الحمأة

١. التركيز بالثقالة
٢. التطويف بالهواء المنحل
٣. التركيز بالطرد المركزي

في حال إتباع معالجة عضوية بطريقة الترشيح الحجري تعاد الحمأة الثانوية إلى أحواض الترسيب ، ويكون تركيز المواد الصلبة في الحمأة 5% مادة جافة و في هذه الحالة لا يفي كثيراً اللجوء إلى عملية تركيز الحمأة

أما في حالة الحمأة المنشطة فقد يكون من الضروري اتباع آلية التركيز بسبب المحتوى المنخفض للمادة الصلبة في الحمأة، و من المناسب اتباع عملية التطويف في التركيز أما في حالة الحمأة المختلطة فيفضل اتباع آلية التركيز بالثقالة.

آ – التركيز بالثقالة *Gravity*

تتم عملية التركيز بالثقالة في حوض مجهز بآلية تحريك بطيء تحطم الجسر المائي بين جزيئات الحمأة ، مما يزيد من الرص و الترسيب.

يجب تصميم حوض التركيز بالثقالة ليحافظ على الحالة الهوائية فالظروف اللاهوائية تسبب مشاكل انتفاخ الحمأة و انتشار الروائح في حوض التركيز،

يمكن تحسين عمل حوض التركيز بإضافة مادة مروبة للتدفق الداخل للحوض ، البولي إلكتروليتات هي من أنواع مساعدات الترويب الأكثر استخداماً في أحواض التركيز.

ب – التطويف بالهواء المنحل

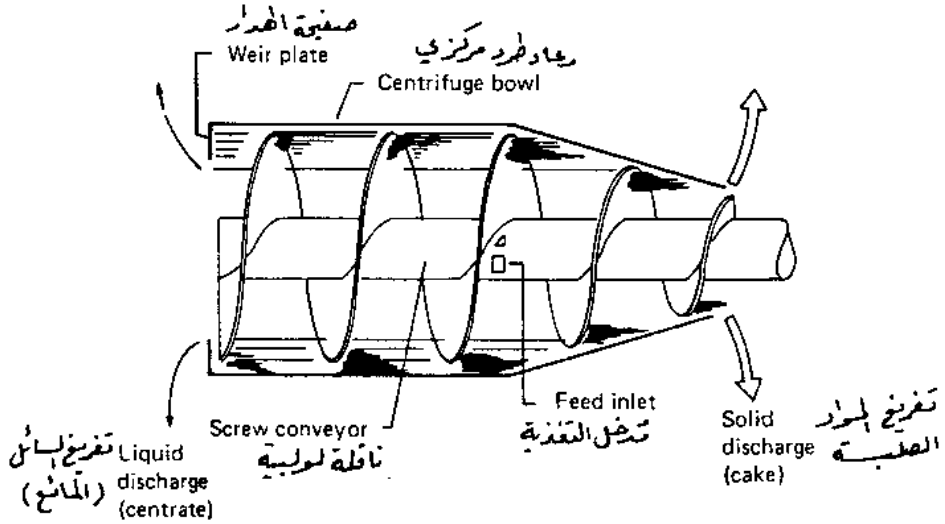
ينتشر استخدام التطويف بالهواء المنحل و هو قابل للتطبيق خاصة في الحمأة الجيلاتينية مثل الحمأة المنشطة.

يمكن تحميل حوض تركيز بالتطويف بمعدل أعلى من تحميل حوض تركيز بالثقالة لأن فصل المادة الصلبة عن مياه الصرف يكون أسرع في هذه الحالة. هو 40 – 240كغ/متر مربع في اليوم. حسب نوع الحمأة و درجة التكييف .

في حوض التركيز بالتطويف فقاعات الهواء الصغيرة المحررة من المحلول تلتصق بندف الحمأة و تحتجزها ليرتفع مزيج الهواء مع ندف الحمأة إلى سطح الحوض، حيث يزداد تركيزها و يتم إزالتها بالكواشط

ج – التركيز بالطرد المركزي Centrifuges

إن عملية الطرد المركزي هي تسريع لعملية الترسيب بتطبيق قوة طرد مركزيةو يستخدم الطرد المركزي في كل من تركيز الحمأة و لإزالة الماء منها



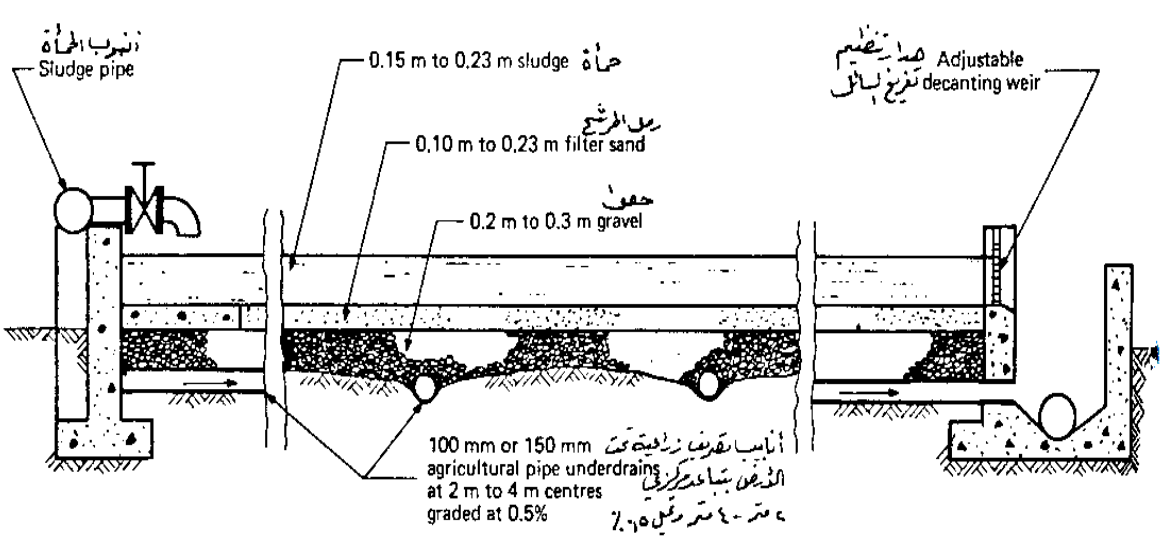
5 – إزالة الماء عن الحمأة Dewatering

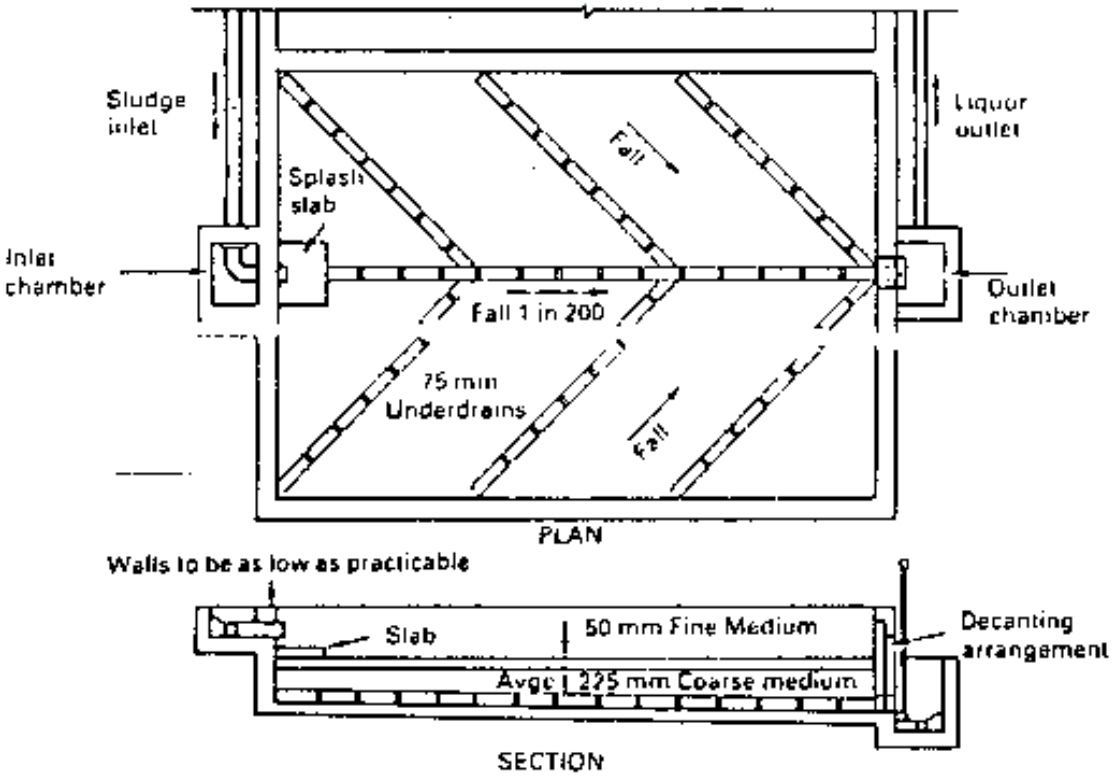
نزع الماء عن الحمأة بعمليات إضافية يمكن أن توصل تركيز المادة الصلبة فيها إلى 20% – 30%

آ – إزالة الماء بأحواض تجفيف الحمأة Drying beds

عندما توضع الحمأة المثبتة بحالة رطبة على الأرض ، لا تحصل أية إزالة للماء ، لأن أدوات المعالجة تتطلب إزالة الماء قبل عملية التخلص، و بوجود مساحة كافية من الأرض ، فإن أحواض تجفيف الحمأة هي فعالة اقتصادياُ و يجب اللجوء لها و استعمالها في التخلص النهائي.

إن أحواض تجفيف الحمأة تستخدم في محطات بسعة 4000 متر مكعب في اليوم ، يجب تأمين تخزين إضافي في أحواض الهضم لإعطاء بعض السماحة و المرونة للتشغيل

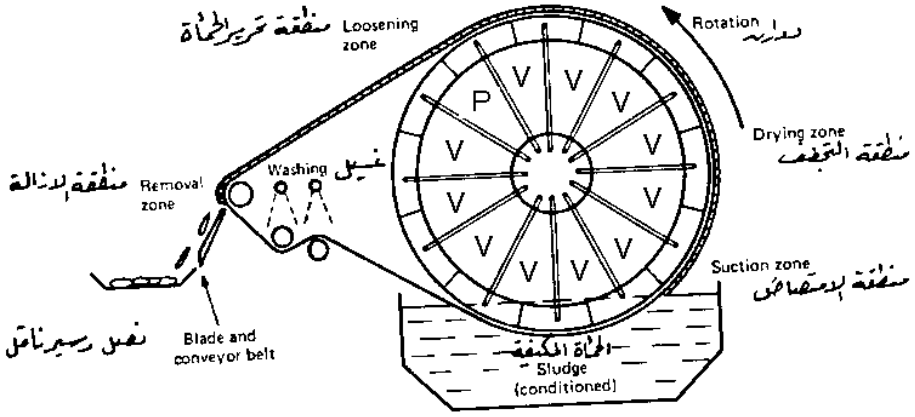



Sludge inlet
Splash slab
Fall
Liquor outlet
Inlet chamber
Fall 1 in 200
Outlet chamber
75 mm Underdrains
Fall
PLAN
Walls to be as low as practicable
Slab
50 mm Fine Medium
Decanting arrangement
Avge L 225 mm Coarse medium
SECTION

ب – إزالة الماء بالمرشح الإنفراغي Vacuum filters.

يستخدم المرشح بضغط التفريغ بشكل واسع في الطرق الميكانيكية لإزالة المياه .

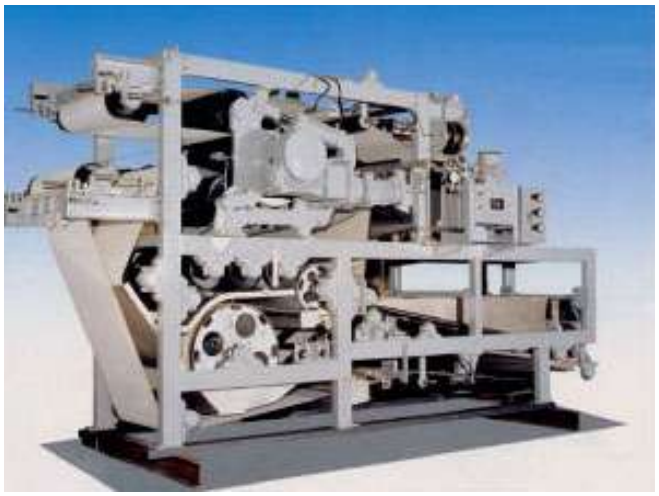
هذه الطريقة تستخدم لإزالة الرطوبة عن الحمأة و يمكن الوصول بعد المعالجة إلى حمأة بتركيز مادة صلبة قدره 15 –25%

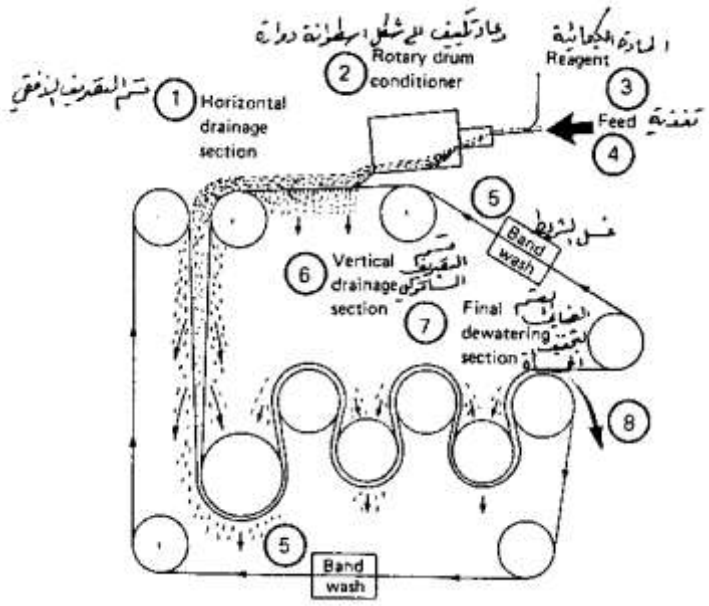


ج – إزالة الماء بالسير المضغوط Belt presses

تم تطوير طريقة لإزالة الماء تضغط الحمأة بين سيرين مساميين تجبر الماء بالخروج من الحمأة بالضغط..

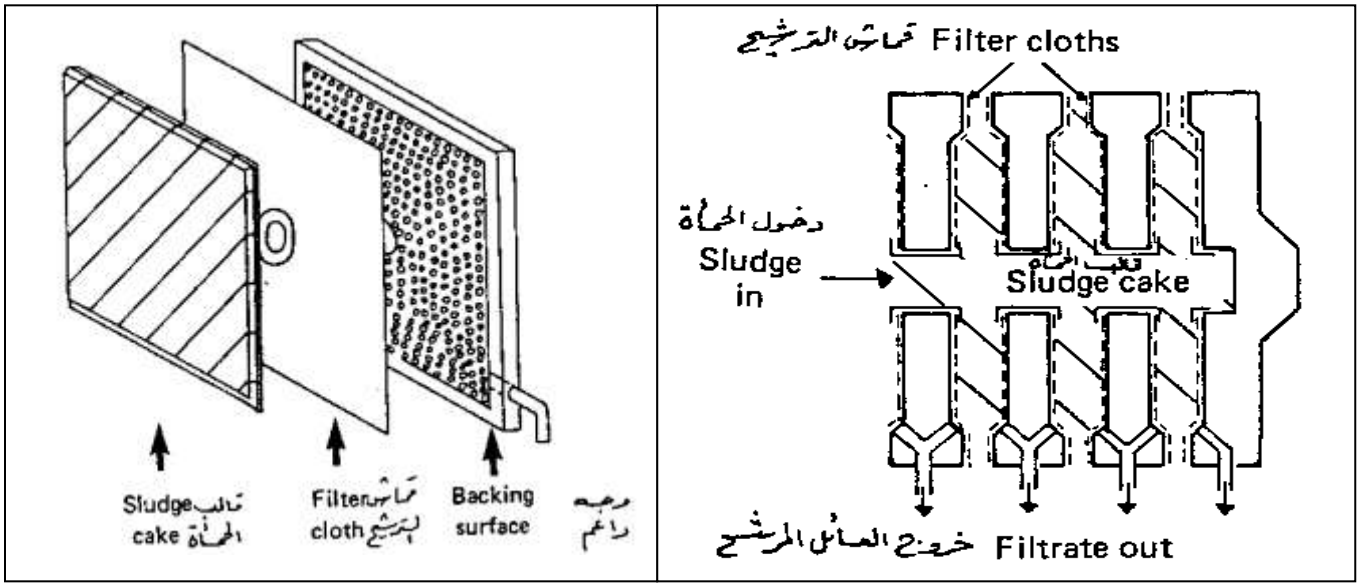
إن هذه العملية تتم بشكل مستمر يسبقها عادة مرحلة إضافة للمادة الكيميائية حيث تضاف مواد تشكيل الندف لتحسين مواصفات إزالة الماء من الحمأة ، في حال التكييف الملائم للحمأة يمكن للسير المضغوط أن ينتج حمأة بتركيز مادة صلبة 20 –30% من أجل الحمأة المنشطة و 35 – 40% من أجل حمأة من ماءات المعدن.

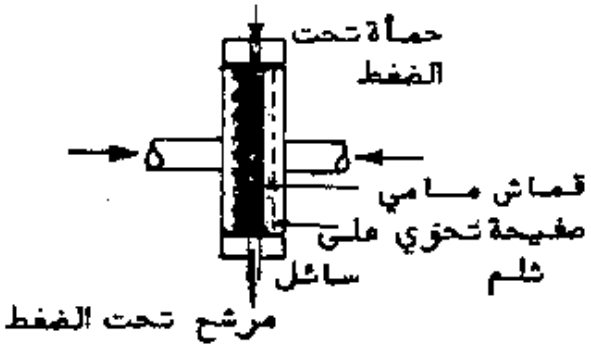




د – إزالة الماء بالصفائح المضغوطة Plate presses

المرشح بالضغط له كلفة تشغيل و إنشاء أعلى من الطريقتين السابقتين لكنه ينتج كعكة حمأة أكثر تركيزاً (تركيز المادة الصلبة يصل إلى 25 – 40%).





قد يفضل البعض هذه الوحدة إزالة المياه ليقلل الحاجة للوقود إلى الحد الأدنى إذا كانت العملية اللاحقة هي التجفيف بالحرق أو للتقليل من كلفة نقل الحمأة للتخلص النهائي في حالة الحاجة للنقل لمسافات طويلة.

6 – الترميد Incineration .

الترميد هو وسيلة معالجة تتضمن هدم المادة العضوية في الحمأة بالحرق المضبوط عند درجات حرارة عالية، أي حرق الحمأة لإزالة الماء عنها و يختزل بقايا الحمأة إلى رماد آمن غير قابل للاحتراق يمكن التخلص منه بشكل آمن إلى الأرض أو إلى أجسام مائية معينة أو طمره تحت الأرض.

عند الحاجة لاتخاذ قرار بشأن اللجوء إلى الترميد توجد معايير هامة يجب اعتبارها هي :

١. كلفة التشغيل العالية
٢. تلوث الهواء
٣. الوقود يشكل عاملاً هاماً أيضاً، فإذا لم يتم الحصول على إزالة كافية للماء (بتركيز مادة صلبة 35% على الأقل) فإن الفرن سيستهلك كمية كبيرة من الوقود.

إن مزج الحمأة مع نفايات بلدية صلبة أثناء الحرق يستفيد من الحرارة الناتجة عن حرق النفايات البلدية الصلبة.

التخلص النهائي من الحمأة Sludge Disposal

إن المواد الصلبة الناتجة عن معالجة مياه الصرف قد تحتوي مستويات مركزة من الملوثات التي كانت موجودة أصلاً في مياه الصرف. يجب توجيه اهتمام كبير للتخلص الملائم من هذه المواد الصلبة .

إن طرق المعالجة إما أنها تقلل من حجم الحمأة أو تغير صفاتها لتسهل التخلص منها، و لكنها ما تزا ل في معظم الأحيان تترك بقايا يجب إزالتها من موقع محطة المعالجة .

توجد طريقتين للتخلص النهائي من الحمأة هي :

التخلص إلى الماء

التخلص إلى الأرض

1- التخلص في الماء

هذه الطريقة هي اقتصادية و لكنها غير شائعة لأنها تتوقف على توفر كتل مائية كافية للسماح بهذا الحل. عند بعض المدن الساحلية يتم ضخ أو شحن الحمأة إلى الساحل لترمى في المياه العميقة بعيداً عن الشاطئ لتؤمن عامل تمديد كبير جداً يمنع أي أثر مرضي على طول الشاطئ.

2- التخلص على الأرض

في حالة التخلص على الأرض بمكن اللجوء إلى إحدى الطرق التالية

- دفن الحمأة
- الردم بالحمأة
- إضافة الحمأة إلى الأرض على شكل محسنات التربة

- دفن الحمأة

يتم اللجوء إلى هذه الطريقة أساساً من أجل الحمأة الخام ، ما لم يتم تغطية الحمأة بالتربة قد تنشأ مشكلة روائح كريهة . تجر الحمأة إلى خنادق بعرض 0.6 إلى 1 متر و بعمق 0.6 م

تغطى الحمأة الخام في الخندق بالتربة و بعمق 0.3 م

إذا توفرت مساحات كبيرة من الأرض قد يكون دفن الحمأة الخام هو الطريقة الأكثر اقتصادية للتخلص منها كما هي و دون أية معالجة، و لكن هذه الطريقة نادراً ما يتم اللجوء لها و إذا حصلت تكون مرحلة انتقالية للتخلص و ذلك بسبب المساحة الكبيرة من الأرض اللازمة لذلك.

قد تبقى الحمأة في الخندق لسنين رطبة و ذات رائحة كريهة بذلك فإن الأرض المستخدمة لمرة لا يمكن إعادة استخدامها ثانية لنفس الغرض أو لأي غرض آخر و لفترة طويلة من الزمن.

- الردم بالحمأة

إن استخدام الحمأة من أجل الردم ينحصر تماماً في الحمأة المهضومة و التي يمكن تعريضها للجو دون انتشار روائح كريهة.

يمكن استخدام حمأة رطبة أو مزال عنها الماء جزئياً (كتلك الحمأة الناتجة عن أسرة الحمأة أو الترشيح الإنفراغي) في ردم المناطق المنخفضة. عند استخدام حمأة رطبة تصبح المنطقة بركة حمأة ، عند اللجوء إلى بركة الحمأة فالمنطقة تستخدم حتى امتلائها ثم تهجر دون أي استخدام آخر.

و عند استخدام برك الحمأة كطريقة معالجة تزال الحمأة بعد بعض التجفيف ليعاد استخدام البركة من جديد.

إن البرك المستخدمة من أجل التخلص النهائي من الحمأة تكون عميقة نوعاً ما ، تضاف الحمأة على طبقات حتى امتلاء البركة تماماً.

التخلص النهائي من حمأة مهضومة بالبرك هي طريقة اقتصادية و تلغي كافة طرق إزالة الماء عن الحمأة

يتم عادة التخلص من الرماد الناتج حرق الحمأة باستخدامه في الردم ، عند توفر مناطق قريبة من المرمد يمكن تحويل الرماد إلى طين بإضافة الماء إليه بعد خروجه من مخروط الرماد و يضخ إلى نقطة التخلص

و إذا كانت منطقة الردم بعيدة يجب أن يكون الرماد بدرجة رطوبة تكفي لمنع مشكلة تطاير الرماد و لتسهيل النقل بالشاحنات أو السيارات أو القطارات.

- إضافة الحمأة إلى الأرض على شكل محسنات التربة

إن حمأة مياه الصرف تحتوي على العديد من العناصر الهامة للنبات ، مثل النتروجين و الفوسفور و البوتاسيوم بالإضافة إلى بعض المعادن الثقيلة الهامة لنمو النبات مثل البورون و الكالسيوم و النحاس و المغنيزيوم و المنغانيز و الكبريت و الزنك.

في الحقيقة قد توجد هذه المواد في الحمأة الناتجة عن معالجة مياه صرف صناعية تراكيز ضارة .

إن دبال الحمأة بالإضافة إلى أنه يحسن النبات فإنه يفيد التربة بزيادة قدرتها على حجز الماء و تحسين بنية التربة بحيث يحول التربة الثقيلة إلى أرضية بذار جيدة . و كذلك تقلل من حت التربة

---------- **تم بعونه تعالى** ----------